HVAC CONTROLS AND BUILDING AUTOMATION SYSTEMS

ကောင်းထက်ညွန့်

HVAC CONTROLS AND BUILDING AUTOMATION SYSTEMS BY KAUNG HTAT NYUNT

Chapter-1 Introduction to HVAC Control System

(က) ဤအခန်း(chapter)တွင် control ပညာရပ်၏ အခြေခံ သဘောတရားများကို ဖော်ပြထားသည်။

(ခ) အဘယ်ကြောင့် HVAC နှင့် ACMV system များတွင် control လုပ်ရန် လိုအပ်သနည်း။

(ဂ) Control product များ တိုးတက်လာပုံ နှင့် နောက်ခံသမိုင်း အကျဉ်း တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။

(ဃ) Control system များတွင် ပါဝင်သည့် control loop များ နှင့် block များ တည်ဆောက်ပုံတို့ကို ရှင်းပြထားသည်။

(င) Control loop များတွင် အသုံးပြုထားသည့် control strategy များနှင့် algorithm များ ကိုလည်း ဖော်ပြထားသည်။

Study Objectives

ဤအခန်း(chapter)ကို စနစ်တကျ လေ့လာပြီးနောက်

(က) HVAC system များတွင် control system မရှိမဖြစ် လိုအပ်ပုံ

(ခ) Open loop control နှင့် closed loop control တို့ ကွဲပြား ခြားနားပုံ

(ဂ) Two-position ၊ floating နှင့် modulating control loop များ အလုပ်လုပ်ပုံ

(ဃ) Modulation control loop များတွင် Proportional (P)၊ Integral (I) နှင့် Derivative (D) control action များ အလုပ်လုပ်ပုံ နှင့် control loop တစ်ခုကို tune လုပ်ပုံ

(င) Direct action နှင့် Reverse action တို့ကွဲပြားပုံ

(စ) Normally Open(NO) နှင့် Normally Closed(NC) တို့ ကွဲပြားပုံ

(ဆ) Controller တစ်ခုတည်းကိုသာ အသုံးပြု၍ controlled device များ sequence ပြုလုပ်ပုံ တို့ကို နားလည်သဘောပေါက်လိမ့်မည် ဖြစ်သည်။

၁.၁ အဘယ်ကြောင့် Control System များ လိုအပ်သနည်း?

ယနေ့ နည်းပညာခေတ်ကြီးတွင် ကျွန်ုပ်တို့၏ ဘဝများ ပို၍ အဆင်ပြေချောမွေ့(convenient)စေရန်၊ efficient ဖြစ်ရန်၊ သက်သောင့်သက်သာ(comfortable)ဖြစ်ရန် နှင့် effective ဖြစ်ရန်တို့အတွက် control နည်းပညာနှင့် control system များ လိုအပ်သည်။

ပြင်ပအခြေအနေ(condition)နှင့်အခန်းတွင်းအလိုရှိသည့်အခြေအနေများပြောင်းလဲသည့်အခါက် equipment များ၏ လုပ်ဆောင်ချက်များ လိုက်လျောညီထွေ ဖြစ်စေရန်အတွက် control များက ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Equipment များ ပိုမို ကောင်းမွန်စွာ လုပ်ဆောင်စေရန်လည်း control များက ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

Control ဆိုသည်မှာ လက်ရှိအခြေအနေ(current input)များကို စောင့်ကြည့်ပြီး(monitor လုပ်ပြီး) ကိရိယာ(output device)များဆီသို့ output များ ထုတ်ပေး၍ အလိုရှိသည့် အခြေအနေ အတိုင်းဖြစ်အောင် ထိန်းပေး(regulate)ခြင်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ-နံနက်ခင်းအချိန် သင်ရေချိုးသည့်အခါ ရေအပူချိန်ကို လက်ဖြင့်စမ်းပြီး အလိုရှိသည့် အပူချိန်ရအောင် ရေပူထုတ်ပေးသည့်ဘား နှင့် ရေအေးထုတ်ပေးသည့်ဘားကို လက်ဖြင့်လှည့်ကာ control လုပ်ခြင်းပင် ဖြစ်သည်။

နောက်ဥပမာ တစ်ခုမှာ ကားမောင်းသည့်အခါ မြန်နှုန်းပြဒိုင်ခွက်(speedometer)ကို ကြည့်၍ မိမိအလိုရှိသည့် မြန်နှုန်းရအောင် လီဗာ(accelerator)ကို ခြေထောက်ဖြင့် ချိန်ဆ၍ ဖိပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို ဥပမာ အားလုံးသည် closed-loop manual control များဖြစ်ကြသည်။ Manual ဆိုသည်မှာ (controller သို့မဟုတ် control loop ကို မသုံးဘဲ) လူကိုယ်တိုင်က controller အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးနေခြင်း ဖြစ်သည်။ လူက(operator) မည်သည့် control action ပြုလုပ် ရမည်ကို ဆုံးဖြတ်ကာ ဆောင်ရွက်နေခြင်း ဖြစ်သည်။

Closed-loop ဆိုသည်မှာ control action မှ feedback ပြန်ယူ၍ control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ သင် ဆောင်ရွက်လိုက်သည့် control action သင်ဆောင်ရွက်လိုက်သည့် control action ကြောင့် process သို့မဟုတ် plant မှ မည်ကဲ့သို့ ပြန်လည်၍ တုံ့ပြန်သည်ကို feedback အဖြစ် ပြန်ယူ၍ control လုပ်ခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ အထက်ပါ ဥပမာများတွင် feedback အဖြစ် ရေအပူချိန်ကို လက်ဖြင့် စမ်းသပ်ခြင်း၊ မိမိ အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်းသို့ ရောက်၊ မရောက်ကို မြန်နှုန်းပြဒိုင်ခွက်(speedometer)ကို လှမ်းကြည့်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ သင့်ကားတွင် မြန်နှုန်းကို အလိုရှိသလို ထိန်းထားနိုင်သည့် cruise control ပါလျှင် ထို control ကို automatic control ဟု သတ်မှတ်ခေါ်ဆိုသည်။ Automatic control ဆိုသည်မှာ သင် ကိုယ်တိုင် ပြုလုပ်ဆောင်ရွက် (manual)ရမည့် control action များကို သင့်ကိုယ်စား ပြုလုပ်ပေးမည့် controller ဖြင့် control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

သင့်ကား၏ cruise control panel တွင် သင်အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်းကို ထည့်သွင်းပြီး "set" ခလုတ်ကို နှိပ်လိုက်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် cruise controller သည် ကားမြန်နှုန်းကို စောင့်ကြည့်ပြီး(monitor လုပ်နေပြီး) လီဗာ (accelerator)ကို လိုသလို ချိန်ဆ(adjust) ပေးနေလိမ့်မည်။ သင်အလိုရှိသော မြန်နှုန်း (desired speed)ကို control ဝေါဟာရအားဖြင့် "**Set Point**" ဟုခေါ်သည်။ Controller မှ control loop သည် အမြဲတမ်း set point သို့မဟုတ် သင်အလိုရှိသောမြန်နှုန်း(desired speed)ကို ရရှိအောင် ကြိုးစားနေလိမ့်မည်။ Cruise control system သည် သင် သတ်မှတ်ထားသော မြန်နှုန်း (set point)ကို သင့်ထက် ပိုတိကျစွာ ထိန်းပေးထားနိုင်စွမ်း ရှိသည်ကို တွေ့ရလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် သင်သည် ကားမြန်နှုန်း(speed) တစ်ခုတည်းကိုသာ ထိန်းရန်အတွက် အမြဲတမ်း အာရုံစိုက် နေနိုင်လိမ့် မဟုတ်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Automatic control များကို ကျွန်ုပ်တို့ အသုံးပြုရသည့် အကြောင်းမှာ အလိုရှိသောရလဒ်(desire result) တစ်ခုတည်းကိုသာ ရရန်အတွက် အမြဲမပြတ် ကြည့်ရှုပြီး ထိန်းသိမ်းနေရန် အချိန်မရှိခြင်း၊ ထိုသို့ အမြဲပြုလုပ်နေရန် မစွမ်းနိုင်ခြင်း နှင့် ငြီးငွေ့လာခြင်း တို့ကြောင့် ဖြစ်သည်။

HVAC နှင့် refrigeration system များ၏ control သည် ကျွန်ုပ်တို့ ကားမောင်းသည့်အခါ သုံးသည့် control နှင့် ဆင်တူသည်။ ကားမြန်နှုန်း(speed)ကို ကြည့်၍ မနည်းစေ၊ မများစေဘဲ ဘေးအန္တရာယ်ကင်းအောင် မောင်းသကဲ့သို့ HVAC system သည် dry bulb အပူချိန်(temperature)ကို လူများ သက်သောင့်သက်သာ(comfort) ဖြစ်စေမည့် အပူချိန်ဖြစ်နေအောင် အမြဲထိန်းပေးထားရမည်။ သို့သော် ဘေးအန္တရာယ်ကင်းစွာ မောင်းနှင်ရန်အတွက် မြန်နှုန်း (speed) တစ်ခုတည်းဖြင့် မလုံလောက်သကဲ့သို့ thermal comfort ဖြစ်ရန်အတွက်လည်း အပူချိန် (temperature) တစ်ခုတည်းဖြင့် မရနိုင်ပေ။ ဘေးအန္တရာယ်ကင်းစွာ မောင်းရန် မြန်နှုန်း (speed)သည် အဓိကအချက်(major factor)

ဖြစ်သကဲ့သို့ သက်သောင့်သက်သာ(comfort)ဖြစ်ရန် အတွက်လည်း အပူချိန် (temperature)သည် အဓိက ကျသည်။

ခရီးအတွင်း မြန်နှုန်းမြင့်အောင် လုပ်ခြင်း၊ တောင်ပေါ်သို့ မောင်းတက်ခြင်းနှင့် အလွန် လေးသည့် ပစ္စည်းများ ကားအပြည့်သယ်ဆောင်ခြင်း စသည့် တစ်ခါတစ်ရံမှသာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် အခြေအနေ များ၌ peak power output လိုအပ်ပြီး ကျန်အချိန်များတွင် အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း(speed)ရရှိရန် လီဗာ(accelerator)ကို နင်း၍ အင်ဂျင်ပါဝါ (output)ကို လိုသလို control လုပ်သည်။ HVAC system များ၌လည်း ထို့အတူပင် ဖြစ်သည်။ Peak cooling load သို့မဟုတ် heating load များကို တစ်ခါတစ်ရံမှသာ လိုအပ်ပြီး ကျန်အချိန်များတွင် comfortable ဖြစ်စေရန် လက်ရှိ အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် (actual) cooling/ heat load များနှင့် ကိုက်ညီသည့် system output ထုတ်ပေး နေအောင် control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။

HVAC system များရှိ manual control နေရာတွင် automatic control ဖြင့် အစားထိုး အသုံးပြု ရသည့် အကြောင်းမှာ automatic control တွင် မောင်းသူ(operator)က အမြဲမပြတ် စောင့်ကြည့်ပြီး ထိန်းပေးနေရန် မလိုသောကြောင့် အလုပ်သမားခ(operator cost) သက်သာသည်။ အမြဲ ထပ်တူတိကျ(consistent) သည့် ရလဒ်ကို ပေးနိုင်သည်။ System တစ်ခုလုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)လည်း ပိုမို ကောင်းမွန်စေ နိုင်သည်။

HVAC system များတွင် control ကို အသုံးပြုရသည့် အဓိက ရည်ရွယ်ချက်မှာ facility အတွင်းရှိ process များအတွက် သင့်လျော်သော environment ရရှိရန် အတွက်ဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ လူများ(building's occupants)အတွက် အပူအအေးမျှတသည့် နေရာထိုင်ခင်း(thermal comfort) ဖြစ်စေရမည်။ ရုံးခန်းများအတွင်းရှိ ဝန်ထမ်းများ စွမ်းအားပြည့် လုပ်နိုင်စေရန် (productive atmosphere) အတွက် thermal comfort ဖြစ်ရန် လိုသည်။ ဈေးဆိုင်များ၊ စားသောက်ဆိုင်များတွင် ဖောက်သည် နှင့် စားသုံးသူများကို ဖိတ်ခေါ်ရန် အတွက် comfortable environment ဖြစ်ရန် လိုသည်။ ပစ္စည်းထုတ်လုပ်သော စက်ရုံများတွင် အလုပ်သမားများ ကျန်းမာသက်သာစွာ အလုပ်လုပ်နိုင်ရန် နှင့် ထုတ်ကုန်များ၏ အရည်အသွေး ပိုမို ကောင်းစေရန်အတွက် productive environment ဖြစ်ရန် လိုသည်။ ဆေးရုံများ နှင့် စမ်းသပ်ခန်းများတွင် ရောဂါ မကူးစက်နိုင်သည့် နေရာများ ဖြစ်ရန်နှင့် ပိုးမွှားများကို ထိရောက်စွာ သန့်စင် နှိမ်နင်းထားသော လုံခြုံ စိတ်ချရသည့်(safe environment) နေရာများဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

HVAC system များရှိ လေ(air) နှင့် ရေ(water) တို့၏ ရွေ့လျားမှု(movement)များကို လိုသလို ထိန်းချုပ် (regulate)ရန်နှင့် comfortable environment ဖြစ်ရန်အတွက် heating၊ cooling နှင့် humidification source များကို ထိန်းချုပ်(regulate)ရန် လိုအပ်သည်။

ယနေ့တွင် ခေတ်အရ တောင်းဆိုလာသော control system များ၏ စွမ်းရည်(capability)တစ်ရပ်မှာ energy management ဖြစ်သည်။ Control system သည် HVAC function များကို မဖြစ်မနေ လုပ်ဆောင် ပေးရမည့်အပြင် energy efficient ဖြစ်အောင် အတတ်နိုင်ဆုံး ဆောင်ရွက်ပေးရမည်။ ဘေးအန္တရာယ် ကင်းရှင်းစေရေး(safety) သည် automatic control ၏ နောက်ထပ် အရေးကြီးသည့် function တစ်ခု ဖြစ်သည်။ Safety function များ သည် HVAC equipment များ အနီး၌ လုပ်ကိုင်နေသူများ၏ အသက်အန္တရာယ်နှင့် ကျန်းမာရေး လုံခြုံစိတ်ချရစေရန်၊ equipment များ မပျက်စီးစေရန် နှင့် equipment များ သက်တမ်းရှည် ကြာရှည်စွာ အသုံးပြုနိုင်စေရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ Safety control function များ၏ ဥပမာများမှာ အပူလွန်ခြင်း(overheating) နှင့် ရေခဲခြင်း(freezing) တို့ မဖြစ်စေရန်အတွက် အပူချိန်မြင့်တက်ခြင်း(high temperature) နှင့် အပူချိန်ကျဆင်းခြင်း(low temperature) မဖြစ်အောင် ကန့်သတ်ထားခြင်း၊ ဖိအားမြင့်ခြင်း(high pressure) နှင့် ဖိအားနိမ့်ခြင်း(low pressure) မဖြစ်အောင် ကန့်သတ်ထားခြင်း၊ fuse များဖြင့် over current protection (current အလွန်မြင့်တက်လာခြင်းကို ကာကွယ်ခြင်း)၊ fire protection နှင့် smoke detection တို့ ဖြစ်သည်။

၁.၂ Control လုပ်နည်းများ တိုးတက်လာပုံ

Automatic control တွင် ပထမဆုံး အသုံးပြုသော ကိရိယာ(device)သည် space heating system တွင် ပါရှိသည့် bimetallic strip ဖြစ်သည်။ ထို ကိရိယာ(device)သည် အလိုရှိသည့် ဘွိုင်လာ(boiler) output ရအောင် သို့မဟုတ် အလိုရှိသည့် combustion rate ရအောင် ဘွိုင်လာ(boiler)တံခါးပိတ်ခြင်း၊ ဖွင့်ခြင်း၊ combustion air

damper ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း စသည့်ကိစ္စများ လုပ်ဆောင်ရန်အတွက် control လုပ်ပေးသည်။ ထို့အပြင် steam radiator နှင့် steam heating coil တွင် အသုံးပြုသည်။ ထိုအချိန်က steam radiator ကို စောင့်ကြည့်၍ လက်ဖြင့် (manually) ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်းနည်းဖြင့် control လုပ်ခဲ့ကြသည်။

Dr.Andrew Ure သည် thermostat ကို စတင် တီထွင် အသုံးပြုခဲ့သည်။ ယနေ့ထက်တိုင် thermostat ကို နေရာများစွာတွင် အမျိုးမျိုး အသုံးပြုနေကြဆဲ ဖြစ်သည်။ Thermostat ကို ခန်းမများ၊ စားသောက်ဆိုင်များနှင့် အဆောက်အဦများ၌ အပူချိန်(temperature) ကို control လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ ထို့နောက် mercury thermometer နှင့် mercury switch တို့ကို တီထွင် အသုံးပြု လာကြသည်။ Mercury thermometer တွင် မာကျူရီ ၏ ထုထည်ကျယ်ပြန့်(expansion)မှုကြောင့် contact ဖြစ်စေကာ control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ အပူချိန် မြင့်မားလာမှု ကြောင့် မာကြူရီ၏ ထုထည် ကျယ်ပြန့်လာကာ contact ဖြစ်စေပြီး လျှပ်စစ် စီးဆင်းစေကာ complete circuit ဖြစ်စေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် contact ဖြစ်ကာ လျှပ်စစ်ပတ်လမ်းတစ်ခု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုကိရိယာသည် အလွန် တိကျစွာ လုပ်ဆောင်ပေးနိုင်သော်လည်း လိုသလို ထိန်းညှိ(adjust လုပ်)၍ မရနိုင်သည့် non-adjustable device ဖြစ်သည်။

Mercury switch သည် သေးငယ်သည့် tube ထဲတွင် မာကြူရီ(mercury)ကို အရည်အသွင်ဖြင့် ထည့်၍ အသေပိတ်ထားသည့် ကိရိယာ ဖြစ်သည်။ ထိပ်တစ်ဖက် သို့မဟုတ် ထိပ်တစ်ဖက်စီကို contact အဖြစ် အသုံးပြု ထားသည်။

Refrigeration system များတွင် thermostat များကို မော်တာများ မောင်းရန်၊ ရပ်ရန် အတွက် လည်းကောင်း၊ ဘားများ(valves) ဖွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန် အတွက် လည်းကောင်း အသုံးပြုသည်။ ရှေးအခါက refrigeration system များတွင် စီးဆင်းမည့် refrigerant ပမာဏကို manually control လုပ်ကြသည်။ ထို့နောက် high side float ၊ low side float နှင့် constant pressure valve(automatic expansion valve) စသည့် control device များကို တီထွင်ကာ အသုံးပြုလာကြသည်။ Control device များ ပေါ်ပေါက်ခါစ၌ fan သို့မဟုတ် pump များ မောင်းရန်၊ ရပ်ရန် သို့မဟုတ် valve နှင့် damper များ ဖွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန်အတွက် လျှပ်စီးပတ်လမ်း(electric circuit)ကို ပတ်လမ်း ပြည့်အောင်လုပ်ခြင်း(Make)၊ ပတ်လမ်း ပြတ်အောင်လုပ်ခြင်း(Break)နည်းဖြင့် control လုပ်ကြသည်။

တီထွင်ခါစအချိန်က control device များသည် ပြင်ပမှစွမ်းအင် မလိုအပ်သည့်(self-powered) ကိရိယာများ ဖြစ်ကြသည်။ Self-powered ဆိုသည်မှာ control device များအတွက် လိုအပ်သည့် power ကို ပြင်ပတစ်နေရာ (external source)မှ မယူဘဲ control လုပ်နေသည့် process မှ power ကို အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။ ထိုအချိန်က ဈေးနှုန်း သက်သာသည့် modulating control များရှိရန် လိုအပ်လာသောကြောင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားကို မသုံးဘဲ compressed air ကို အသုံးပြုသည့် pneumatic control device များ ပေါ်ပေါက်လာသည်။

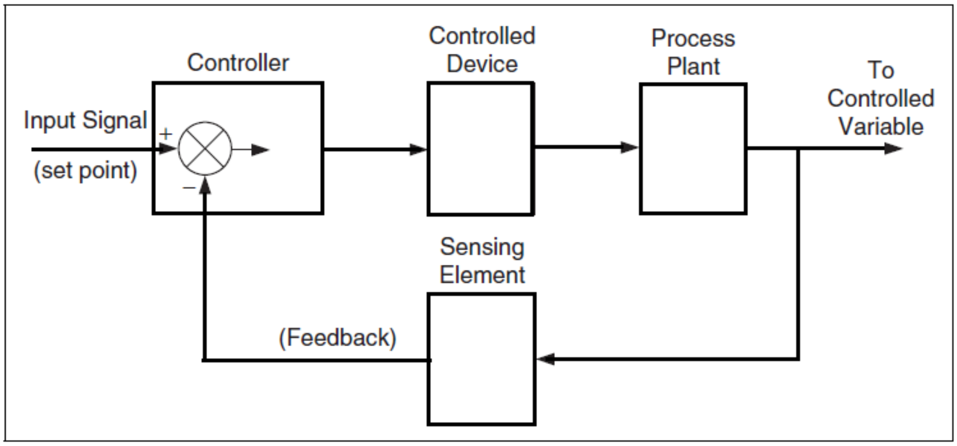
Modulating control ဆိုသည်မှာ မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း သို့မဟုတ် ပိတ်ခြင်း၊ ဖွင့်ခြင်း စသည်ကဲ့သို့ အခြေ အနေ(state) နှစ်မျိုးသာရှိခြင်း မဟုတ်ဘဲ controlled device ကို လိုအပ်သလို 0% မှ 100 % အတွင်း၌ ရှိနေစေခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - valve သို့မဟုတ် damper ကို ၃၀% ပွင့်နေစေခြင်း ဖြစ်သည်။

Pneumatic control များသည် analog အမျိုးအစား(modulating)များ အဖြစ် ရနိုင်သည်။ ထို့နောက် electron tube ပေါ်ထွန်းလာပြီးနောက် analog electronic control device များ တီထွင် နိုင်လာခဲ့ကြသည်။ ယခု အခါတွင် analog solid state (semiconductor) device များကို တီထွင်နိုင်ခဲ့ခြင်းကြောင့် control လုပ်နိုင်သည့် function များလည်း ပို၍ ကောင်းမွန်လာသည်။ ထို့နောက် Direct Digital Control (DDC) ဟုခေါ်သည့် digital control နည်းပညာများ ထွန်းကား လာသည်။

Modern control system ၏ အခြေခံ control system အမျိုးအစား (၅)မျိုးမှာ

(၁) Self-powered controls
(၂) Electric controls
(၃) Pneumatic control
(၄) Analog electronic controls နှင့်
(၅) Digital control တို့ ဖြစ်သည်။

ယနေ့ အသုံးပြုနေသော control system များတွင် အထက်ပါ control system အမျိုးအစား (၅)ခုကို ပေါင်းစပ်၍ တည်ဆောက်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Hybrid control system ဟု ခေါ်ဆိုပါက ပိုမို မှန်ကန်သည်။ ယခင်၊ ယခုအချိန် နှင့် နောင်တွင်ရှိမည့် temperature control system များတွင် အသုံးပြုထားသည့် hardware အမျိုးအစား အားလုံးသည် တူညီသော control သဘောတရား(fundamental principle)ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက် ထားသည်။ မည်သို့ပင် ပိုကောင်းအောင် ပြုပြင် တီထွင်ထားပါစေ အခြေခံ သဘောတရား (fundamental concept)များ ပြောင်းလဲ လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ (ASHRAE publication - Heat and Cold Mastering the Great Indoor မှ ကူးယူ ဖော်ပြသည်။)



ပုံ ၁-၁ Diagram of control loop

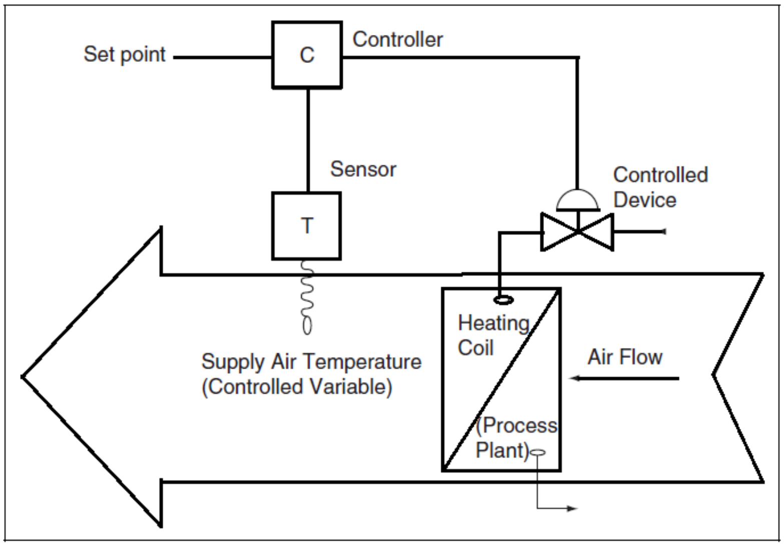
၁.၃ Control Loops

သတ်မှတ်ထားသော မြန်နှုန်း(speed)တစ်ခုတွင် ထိန်း၍ ကားမောင်းနေခြင်းသည် control loop တစ်ခု၏ ဥပမာဖြစ်သည်။ ကား၏မြန်နှုန်းကို သိရန် မြန်နှုန်းပြဒိုင်ခွက်(speedometer)ကို အသုံးပြုသည်။ လက်ရှိ ကားမြန်နှုန်း (speed)သည် အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း(speed)ထက် နှေးနေလျှင် လီဗာ(accelerator)ကို ဖိနင်း၍ ကား၏ တုံ့ပြန်မှုကို စောင့်ကြည့်သည်။ ထို့နောက် ကားမြန်နှုန်းသည် အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း(speed)ထက် နှေး နေသေးလျှင် လီဗာ (accelerator)ကို ပို၍ ဖိနင်းသည်။ ပိုမြန်နေလျှင် လျော့၍ နင်းသည်။ ဤနည်းဖြင့် အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း (speed) ရအောင် မြန်နှုန်းပြဒိုင်ခွက်(speedometer)ကို ကြည့်၍ လီဗာ(accelerator)ကို ချိန်ဆ၍ နင်းသည်။

အထက်ပါ ဥပမာတွင် သင်သည် လီဗာ(accelerator)ကို မည်မျှနင်းမည်၊ လျော့ပေးမည် စသည့် control decision ကို ဆုံးဖြတ်ကာ controller ကဲ့သို့ပြုမူ ဆောင်ရွက်သည်။ Control ဝေါဟာရများအရ ကား မြန်နှုန်း (speed)သည် "**Controlled Variable**" ဖြစ်သည်။ မြန်နှုန်းပြဒိုင်ခွက်(speedometer)သည် လက်ရှိ မြန်နှုန်းကို တိုင်းတာသည့် sensor ဖြစ်သည်။ မြန်နှုန်း(speed)ကို "**Control Point**" သို့မဟုတ် "**Control Variable**" ဟုလည်း ခေါ်သည်။ ကားအင်ဂျင် (engine) သည် "**Process Plant**" ဖြစ်ပြီး လီဗာ(accelerator)သည် "**Controlled Device**" ဖြစ်သည်။

ပုံ(၁-၁)သည် control system တစ်ခု၏ information များ အပြန်အလှန် ဖလှယ်ကြပုံကို schematic ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Control loop ဟု ခေါ်ဆိုရသည့် အကြောင်းမှာ information များ တစ်နေရာပြီး တစ်နေရာ (နေရာအားလုံး ရောက်အောင်) ပတ်မိအောင် ရောက်သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Sensor ဟုခေါ်သည့် မြန်နှုန်းပြ ဒိုင်ခွက်(speedometer)မှ controlled variable ဟုခေါ်သည့် မြန်နှုန်း(speed) သည် controller ထံသို့ ရောက်ရှိ သွားသည်။ Controller သည် လက်ရှိ controlled variable ဖြစ်သည့် မြန်နှုန်း (speed)နှင့် အလိုရှိသည့် speed set point နှင့် နှိုင်းယှဉ်ကာ ဘာလုပ်ရမည် ဆိုသည့် "control decision"ကို ချမှတ်သည်။ ထို့နောက် ဘာလုပ်ရမည် ဆိုသည့် ညွှန်ကြားချက်(instruction)ကို output အဖြစ် controlled device ဖြစ်သည့် accelerator ထံသို့ ပို့ပေး သည်။ Controlled device (accelerator) မှတစ်ဆင့် process plant (car engine)ကို လိုသလို မောင်းပေးသည်။

Control loop အားလုံးတွင် process plant ၊ controlled variable ၊ controller ၊ controlled device၊ set point ၊ control point စသည့် တို့သည် မရှိမဖြစ် ပါဝင်ရမည့် အစိတ်အပိုင်း(essential element)များ ဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၁-၂ Simple heating system

ပုံ(၁-၂)သည် ရေနွေးငွေ့(steam) သို့မဟုတ် ရေပူ(hot water) သို့မဟုတ် တခြားသော heating source တစ်မျိုးမျိုးကို သုံးထားသည့် heating coil ပါရှိသည့် air-heating system တစ်ခု၏ပုံ ဖြစ်သည်။ အေးသည့် လေများကို fan မှ မှုတ်ထည့်ပေးပြီး အလိုရှိသည့် set point အပူချိန်သို့ရောက်အောင်(ရအောင်) ထိန်းထားရန် ဖြစ်သည်။ Controlled variable ဖြစ်သည့် supply air အပူချိန်(temperature) ကို sensor က တိုင်းယူပြီးနောက် controller ဆီသို့ ပို့ပေးသည်။

Controller သည် sensor တိုင်းယူထားသည့် အပူချိန်(control point) နှင့် အလိုရှိသည့်အပူချိန်(set point) တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ကာ error ကို တွက်ယူသည်။ "**Error**" ဆိုသည်မှာ set point အပူချိန် နှင့် control point အပူချိန်တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ Controller သည် error ကို အခြေခံ၍ output signal ကို တွက်ချက်ပြီး controlled device ဖြစ်သည့် valve ၏ actuator ထံသို့ ပို့ပေးသည်။ Actuator သည် လက်ခံရရှိသည့် signal အတိုင်း valve opening position ကို ဖြစ်စေကာ(heating medium flow rate နည်းခြင်း၊ များခြင်း ဖြစ်စေကာ) process plant ရှိ coil အတွင်းသို့ ရေပူ(hot water) သို့မဟုတ် ရေနွေးငွေ့(steam)ကို စီးဆင်းစေသည်။ ထို့နောက် supply air သည် coil ကိုဖြတ်ပြီးသည့်အခါ လိုချင်သည့် အပူချိန်သို့ ချဉ်းကပ်(ရောက်ရှိ)သွားစေသည်။ နောက်တစ်ခါ sensor သည် information အသစ်ကို ထပ်ဖတ်ကာ controller ထံသို့ ပို့ပေးပြီး cycle အသစ်တစ်ခုကို စတင်ပြန်သည်။ ဤနည်းဖြင့် အလိုရှိသည့် အခြေအနေ(desired output) ဖြစ်အောင် ထပ်ကာ ထပ်ကာ အဆက်မပြတ် ပြုလုပ်နေကြသည်။

အထက်ပါ ဥပမာ နှစ်ခုစလုံးကို system အားဖြင့် ခွဲခြား ပြောရဆိုလျှင် "**Feedback Control System**" ဖြစ်သည်။ Controlled variable ကို အမြဲမပြတ် sense လုပ်နေပြီး controller ထံသို့ အဆက်မပြတ် ပေးပို့(feed) နေသောကြောင့် "**Feedback Control System**" သို့မဟုတ် "**Closed Loop**" ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Controlled device နှင့် process plant တို့သည် controlled variable အပေါ် အကျိုးသက်ရောက် နိုင်စွမ်းရှိသည်။ Controlled variable တန်ဖိုးကို sensor က အမြဲမပြတ် controller ထံသို့ ပို့ပေးကာ controller သည် set point တန်းဖိုး နှင့် နှိုင်းယှဉ်ပြီး output signal ကို controlled device ဆီသို့ ပို့ပေးသည်။

Open-loop control system တွင် controlled variable နှင့် controller တို့အကြားတွင် တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်မှု(direct link) မရှိပေ။ ထို့ကြောင့် feedback လည်း မရှိပေ။ Open loop control ၏ ဥပမာ တစ်ခုမှာ sensor သည် ပြင်ပလေအပူချိန်(outside air temperature)ကို controller ထဲသို့ ပို့ပေးသည်။ Controller သည်

outside air temperature တစ်ခုတည်း(feedback မရှိဘဲ)ဖြင့် control valve ကို တိကျစွာ control လုပ်နိုင်အောင် ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားသည်။ ဤဥပမာတွင် controlled variable ဖြစ်သည့် supply air temperature ကို တိုင်းတာခြင်းလည်း မရှိ၊ controller ထံသို့ ပေးပို့ခြင်းလည်း မရှိပေ။ ထို့ကြောင့် controller သည် control valve ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် တုံ့ပြန်မှု(response)ကို ပြန်မသိနိုင်။ Open-loop ၏ အခြားသော အဓိပ္ပာယ်မှာ controlled device ဖြစ်သည့် control valve ၏ direct impact ဖြစ်သည့် control variable တန်ဖိုးကို ပြန်၍ sense မလုပ်ပေ။

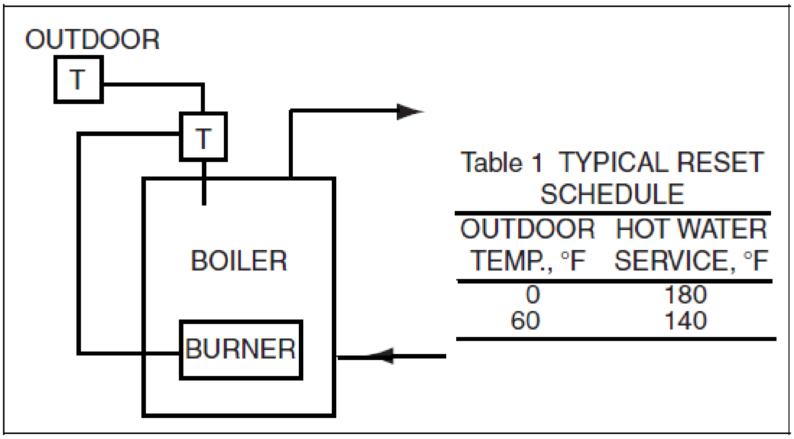
Table 1-1 Control Comparison for Automobile and Heating

Term	Automobile Example	Heating system Example	Definition
Controller	You	The device that provides a signal to the valve	The device that provides a signal to the controlled device in response to feedback from the sensor
Sensor	Speedometer	Supply air temperature sensor	The device that measures the current status of the controlled variable
Controlled device	The accelerator	The control valve	The device that changes the operation of the process plant in response to a control signal
Controlled variable	The car speed	The supply air temperature	The signal that the sensor senses
Process plant	The car engine	The heating coil	The device that produces the change in the controlled variable
Input signal (set point)	Desired speed	Supply air set point	This is the reference or desired input that is compared to the controlled variable

Open-loop control system တွင် end result နှင့် variable sensed by the controller တို့အကြား တွင် သွယ်ဝိုက်သောနည်းဖြင့်ဆက်သွယ်ချက်(indirect connection)ရှိသည်ဟု သတ်မှတ်ယူဆထား(presume လုပ်ထား)သည်။ အကယ်၍ outdoor air temperature နှင့် heating load တို့အကြား ဆက်သွယ်မှုကို အတိအကျ သိထားလျှင် open-loop control ကို အသုံးပြု၍ အခန်းအပူချိန်(space temperature)ကို လိုသလို အတိအကျရအောင် ထိန်းထား နိုင်သည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် ထိုကဲ့သို့ တိကျသည့် ဆက်သွယ်မှုမျိုးကို သိရန် မဖြစ်နိုင်သောကြောင့် open-loop control system များသည် ကျေနပ်လောက်သည့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို မပေးနိုင်ကြပေ။ ထိုအကြောင်း များကြောင့် HVAC continuous control system များ အားလုံးတွင် closed-loop control ကိုသာ အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။

Time clock ၊ occupancy sensor စသည့်တို့တွင် open-loop control များကို မလွဲမသွေ အသုံးပြု ကြသည်။ ၄င်းတို့သည် on/off အမျိုးအစားများသာ ဖြစ်ကြပြီး continuous control များ မဟုတ်ကြပေ။ အသုံး များသည့် open-loop control အမျိုးအစားတစ်ခုမှာ "reset control" ဖြစ်သည်။ Reset control သည် closed-loop control ၏ setpoint ကို ပြောင်းလဲစေရန်အတွက် အသုံးပြုထားသော open-loop ဖြစ်သည်။

ပုံ(၁-၃)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း ပြင်ပလေအပူချိန်(outside temperature)ကို အခြေခံ၍ heating supply water temperature ကို adjust လုပ်ရန် အတွက် open-loop control ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပြင်ပအပူချိန်(outside temperature) ကျဆင်းလာလျှင် (နိမ့်လာလျှင်) ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့်(predetermined) schedule အတိုင်း open-loop output ကို မြှင့်ပေးနိုင်သည်။ ဇယားတွင် ပြထားသည့်အတိုင်း open-loop output မှ ဘွိုင်လာ(boiler) အတွက် set point ကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။



ပုံ ၁-၃ Boiler reset control

Reset control ၏ ထူးခြားကောင်းမွန်ချက်မှာ heating load မြင့်တက်လာသည် နှင့်အမျှ heating system ၏ capacity ကို များစေခြင်းဖြင့် control လုပ်နိုင်စွမ်း(ability)ကို ပိုမိုကောင်းမွန် စေသည်။ ဤနည်းသည် control loop တစ်ခုမှ output ကို နောက်(second) control loop တွင် input အဖြစ် အသုံးပြုထားခြင်း ဖြစ်သည်။ "**Cascading**" လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။

ဥပမာများမှ control loop တိုင်း၌ပါဝင်သော essential element များဖြစ်သည့် sensor ၊ controller ၊ controlled device နှင့် process plant တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။ သို့သော် control system များ အားလုံးနီးပါးသည် ဤဥပမာကဲ့သို့ ရိုးရှင်း လွယ်ကူကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ လက်တွေ့လုပ်ငန်းခွင်တွင် ပို၍ ရှုပ်ထွေးသော(complex) system များ ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ သို့သော် elementary control loop များကိုသာ အခြေခံပြီး တည်ဆောက်ထားသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ sensor နှင့် controller နှစ်ခု စလုံးကို package တစ်ခုထဲတွင် ပါဝင်အောင် ပြုလုပ် ထားလေ့ ရှိသည်။

Sensor နှင့် controller နှစ်ခုစလုံး ပါဝင်သည့် အရာကို "**stat**" ဟုခေါ်သည်။ ဥပမာ- thermostat ၊ humidistat နှင့် pressurestat တို့ဖြစ်သည်။ Stat အထဲတွင် sensor နှင့် controller တို့ သီးခြားစီ တည်ရှိကြသော်လည်း နှစ်ခုစလုံးကို အခွံ(enclosure)တစ်ခုအတွင်းတွင် ထည့်၍ ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Stat များနှင့် တွဲ၍ အသုံးများသည့် controlled device များမှာ control valve (steam သို့မဟုတ် hot water ကို control လုပ်ရန်အတွက်) နှင့် control damper (air flow ကို control လုပ်ရန်အတွက်) တို့ဖြစ်သည်။ ထို device များနှင့် stat တို့ကို မည်ကဲ့သို့ မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်အသုံးပြုရမည်ကို ရှင်းလင်းစွာ နည်းလည် သဘောပေါက်ရန် လိုသည်။

Controlled variable များမှာ အပူချိန်(temperature)၊ စိုထိုင်းဆ(humidity) ၊ ဖိအား(pressure) နှင့် အလျင်(velocity)တို့ ဖြစ်သည်။ Hydronic heating system နှင့် cooling system တို့တွင် အများဆုံး တွေ့ရသော controlled variable များမှာ ရေ၏ အပူချိန်(temperature)၊ အလျင်(velocity) နှင့် ဖိအား (pressure)တို့ ဖြစ်သည်။ ထို variable များကို တိုင်းသည့် sensor များကို ပုံစံ အမျိုးမျိုး ၊ အရွယ်အစား အမျိုးမျိုး နှင့် accuracy အမျိုးမျိုးဖြင့် ဈေးကွက်တွင် ရနိုင်သည်။ တိုင်းတာမှု(measurement)များ၏ တိကျမှု(accuracy)သည် control တစ်ခုလုံး၏ accuracy အပေါ် အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိသည်။ Sensor များအကြောင်းကို အခန်း(၃)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ပုံမှန်အားဖြင့် controller နှင့် controlled device(valve သို့မဟုတ် damper) အကြားတွင် actuator ရှိသည်။ Actuator သည် signal ကို တွန်းအား(physical force) အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲစေပြီး controlled device ဖြစ်သည့် damper သို့မဟုတ် valve စသည်တို့ကို တွန်းစေ၊ ရွေ့စေသည်။ Actuator သည် controlled device(valve)အပေါ်တွင် "**Linkage**" ဟုခေါ်သည့် မောင်းတံဖြင့် ချိတ်ထားသည်။

ဤအခန်းတွင် control system များ၌ အသုံးပြုသည့် ဝေါဟာရ(term)များ၏ အခြေခံသဘော တရားများ (fundamental)ကို ဖော်ပြထားသည်။ ထိုဝေါဟာရများကို လုံးဝ ပြည့်စုံစွာ နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။ နောက်အခန်းများတွင် ဖော်ပြထားသည့် သင်ခန်းစာများကို နားလည် သဘောပေါက်ရန် ကွဲပြားအောင် မှတ်သားသင့်သည်။

Controlled variable : Control လုပ်ခြင်းခံရမည့် အပူချိန်(temperature)၊ စိုထိုင်းဆ(humidity) ၊ ဖိအား (pressure)၊ စီးနှုန်း(flow) နှင့် အလျင်(velocity)စသည့် ဂုဏ်သတ္တိ(properties)များ၊

Control point : ဖြစ်လို၊ ရလိုသည့် အခြေအနေ(condition) သို့မဟုတ် ဖြစ်လို၊ ရလိုသည့် control variable ၏ တန်ဖိုး၊

Sensor : Controlled variable ၏ တန်ဖိုးကို sense လုပ်ယူနိုင်သည့် ကိရိယာ၊ သိနိုင်သည့် ကိရိယာ၊ လက်ရှိအခြေအနေ(existing condition)ကို sense လုပ်နိုင်သည့် ဖတ်ယူနိုင်သည့် ကိရိယာ

Sensed variable : Temperature ၊ pressure ၊ humidity စသည့် တိုင်းယူခြင်းခံရမည့် property များ၊ closed loop control များအတွက် sense variable များသည် controlled variable များပင် ဖြစ်ကြသည်။

Controlled device : Valve ၊ damper စသည့် process plant များ၏ output ကို ပြောင်းလဲစေနိုင်သည့် ကိရိယာများ သို့မဟုတ် control လုပ်ခြင်းခံရသည့် ကိရိယာများ ဖြစ်သည်။

Process plant : Heating coil သို့မဟုတ် cooling coil စသည့် controlled variable ၏ တန်ဖိုးများကို ပြောင်းလဲစေနိုင်သည့် equipment များ၊

Controller : Sensor မှ ဖတ်ယူထားသည့် တန်ဖိုးနှင့် set point တို့ကို နှိုင်းယှဉ်ပြီး မတူညီပါက လိုအပ်သည့် corrective action ပြုလုပ်ရန်အတွက် controlled device ဆီသို့ signal ပို့ပေးသည့် ကိရိယာကို controller ဟု ခေါ်သည်။

Control loop : Sensor ၊ controlled device ၊ process plant နှင့် controller တို့ ပေါင်းစုထားသည့် အစုအဝေးကို control loop ဟုခေါ်သည်။

Closed-loop : Sensor မှ controlled variable ကို မတိုင်းယူဘဲ အခြားသော အရာတစ်ခုခုကို တိုင်းယူထားသည့် control loop ကို open loop ဟုခေါ်သည်။ Controlled device နှင့် process plant တို့တွင် ပြောင်းလဲမှု တစ်ခုခုပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် controlled variable တွင် တိုက်ရိုက် အကျိုးသက်ရောက်မှု(direct impact) မရှိပေ။ တိုင်းတာ ထားသည့် အရာ(property)နှင့် controlled variable တို့၏ တန်ဖိုးသည် တိကျသော နည်းဖြင့် ဆက်သွယ်မှု ရှိသည်ဟု လက်ခံယူဆထားသည်။

၁.၄ Control Modes

Closed loop controller များ၏ အဓိကတာဝန်မှာ controlled variable များကို အလိုရှိသည့် set point တန်ဖိုးတွင် ထိန်းထားရန် ဖြစ်သည်။ Controller များ အားလုံးသည် controlled device ထံသို့ output signal ထုတ်ပေးရန်အတွက် သင့်လျော်သည့် တွက်ချက်မှု ပြုလုပ်ကြသည်။ Output signal ကို error signal အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ တွက်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် output signal သည် function of error signal ဖြစ်သည်။

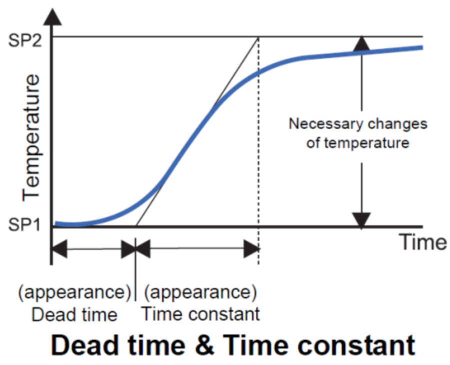
Error သို့မဟုတ် error signal သည် control point နှင့် set point တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် controlled variable တန်ဖိုး နှင့် set point တန်ဖိုးတို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။

Controller ၏ ပြုမူဆောင်ရွက်ချက်သည် control mode သို့မဟုတ် control logic ဖြစ်သည်။ Control mode များကို အကြမ်းအားဖြင့် သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(၁) Two-position control
(၂) Floating control နှင့်
(၃) Modulating control တို့ဖြစ်သည်။

Error signal မှ output signal အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲစေသည့် control algorithm များတွင် တိကျမှု (accuracy) ကောင်းရန် နှင့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ပိုကောင်းလာစေရန် အတွက် အထက်ပါ control mode သုံးမျိုးထဲမှ တစ်မျိုးမျိုးကို အသုံးပြုကြသည်။ Control mode များနှင့် ထပ်ပွားထားသည့် subcategories များသည် အလိုရှိသည့် ရလဒ်(desired result) များ ရရှိရန် နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် ဆောင်ရွက်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

HVAC system များသည် အချိန်နှင့်အမျှ အမြဲပြောင်းလဲနေသည့် dynamic system ဖြစ်သောကြောင့် မိမိလိုသလို ဖြစ်စေရန်အတွက် အလွန်ခက်ခဲသည်။ ခက်ခဲရှုပ်ထွေးသည့် control system များ လိုအပ်လေ့ ရှိသည်။



ပုံ ၁-၄ Dead time and time constant

အမြဲလိုလို controller ၏ ဆောင်ရွက်ချက်များ နှင့် sensor မှ ဖတ်ယူလိုက်သည့် process plant မှ တုံ့ပြန်မှု (response)များ အကြားတွင် အချိန် ကွာဟမှု(time lag) သို့မဟုတ် အချိန်နောက်ကျမှု(time delay)ရှိသည်။ ဘား(valve) သည် controller မှ output signal ရပြီး အချိန် အနည်းငယ် ကြာမှသာ ပွင့်သည့် အခြေအနေသို့ ရောက်သည်။ ဘားပွင့်ပြီး နောက်မှသာ ရေပူများ စတင်စီးဆင်းသည်။ မောင်းနေသည့် (operation လုပ်နေသည့်) coil မဖြစ်လျှင် ရေသည် လေကို ပူအောင် မပြုလုပ်ခင် coil တစ်ခုလုံးကို အရင် ပူအောင် ပြုလုပ်ရသည်။

အကယ်၍ sensor သည် duct အတွင်း၌ မရှိဘဲ အခန်း အတွင်း၌ တည်ရှိခဲ့လျှင် အချိန် ပိုကြာအောင် စောင့်ပြီးမှသာ အခန်း၏ အပူချိန်ပြောင်းလဲမှု(response)ကို ရရှိလိမ့်မည်။ လေသည် အခန်း အတွင်းရှိ နံရံများကို ပူစေပြီးမှသာ sensor အနီးရှိ လေကို ပူစေ(warm)သောကြောင့် အချိန်ကွာဟမှု ပိုများ လာသည်။ ထို့အပြင် sensor အတွင်းရှိ sensing material များကို ပူစေပြီး၊ steady state အခြေအနေ အသစ်တစ်ခုကို ရောက်စေပြီးမှသာ controller ဆီသို့ information အသစ်ကို update လုပ်ရန် ပေးပို့ ရသည်။ ထို့နောက် controller သည် အချိန်ယူ၍ sensor မှ signal နှင့် set point ကို နှိုင်းယှဉ်ပြီးမှသာ မည်သို့ တုံ့ပြန် ရမည်ကို ဆုံးဖြတ်ချက် ချနိုင်သည်။

အချိန်နောက်ကျမှုများ(time delay)ကို "**System Time Constant**" ဟု ခေါ်သည်။ အကယ်၍ system time constant တိုလျှင်(short) control system သည် process plant ၏ ပြောင်းလဲမှုများကို လျှင်မြန်စွာ တုံ့ပြန်(react quickly)လိမ့်မည်။ အကယ်၍ time constant သည် ပိုကြာလျှင် controlled device များ၏ တုံ့ပြန်မှု နှေးကွေးလိမ့်မည်။

Controlled device နှင့် process plant တို့သည် အခြေအနေတစ်ခု ပြောင်းလဲရန် အတွက် controlled device မှ ပြောင်းပေးရသည့် တန်ဖိုးကို "**Controller Gain**" ဟုခေါ်သည်။ Control system ၏ performance သည် system gain ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Controller gain ဆိုသည်မှာ process plant သည် သတ်မှတ်ထားသည့် ပြောင်းလဲမှုအောက်တွင် controller က မည်မျှပြောင်းလဲ ပေးရမည်ကို ဆိုလိုသည်။ System gain နှင့် controller gain မတူညီပုံကို သတိပြုရန် လိုသည်။

Table 1-2

Controller Setting	Controller Gain	Control Action
Open valve from zero to 100% for a 1°F change in measured. (1°F ပြောင်းရန်အတွက် valve ကို 0% မှ 100% အထိ ဖွင့်ပေးရသည်။)	Higher	Small change in measured variable creates a big change in output. 1°F causes controller to request 100% valve opening
Open valve from zero to 100% for a 5°F change in measured (5°F ပြောင်းရန်အတွက် valve ကို 0%မှ 100% အထိ ဖွင့်ပေး ရသည်။)	Lower	Large change in measured variable required to create a significant change in output. 1°F causes controller to request only 20% valve opening

Full load အခြေအနေတွင် process plant သည် full output ကို ထုတ်ပေးသည့် အခါ controller gain နှင့် system gain တို့ တူညီကြသည်။ 50% load အခြေအနေတွင် process plant သည် full output ၏ တစ်ဝက်ကိုသာ ထုတ်ပေးရန် လိုသောကြောင့် ဘားတစ်ဝက်သာ ပွင့်နေလိမ်မည်။ ထိုအခါ process plant ၏ capacity သည် required output ၏ နှစ်ဆ ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ System gain နှစ်ဆ ဖြစ်နေဟု ပြောလေ့ရှိသည်။ System gain သည် controller gain ကို system capacity ဖြင့် စားထားသည့် တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{System\ Gain = \frac{Controller\ Gain}{System\ Capacity}}$$

ထို့ကြောင့် system gain သည် controller gain ၏ function ဖြစ်ပြီး load ကို ဆောင်ရွက်နိုင်သည့် system capacity ၏ function လည်းဖြစ်သည်။ အလွန်များသည့် gain(high gain)ရှိသည့် system ဆိုသည်မှာ အနည်းငယ်မျှသော output signal ပြောင်းလဲခြင်းသည်(controlled device မှတစ်ဆင့်) ကြီးမားသော controlled variable ပြောင်းလဲမှုကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် signal နည်းနည်း ပြောင်းလဲရုံဖြင့် controlled variable တန်ဖိုးများစွာ ပြောင်းလဲလိမ့်မည်။ ပို၍ ထင်ရှားအောင် ပြောရလျှင် system ကို လိုသည်ထက် ပိုကြီးအောင် လုပ်ထားခြင်း(over sized) ဖြစ်သည်။ Signal အနည်းငယ်က အလွန်များသော output ကို ဖြစ်စေသောကြောင့် ကောင်းမွန် မှန်ကန်စွာ control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။

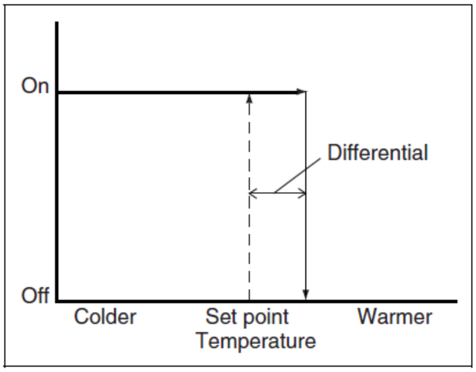
ပုံ(၁-၃)တွင် ပြထားသည့် outdoor reset သည် အလွန်နည်းသည့် load အခြေအနေတွင် over capacity မဖြစ်စေရန် system capacity ကို ထိန်းညှိပေးခြင်း(adjust လုပ်ပေးခြင်း) ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ထို time delay နှင့် gain များသည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ဆက်သွယ်မှု(linear relation) ရှိကြပြီး တညီတညာတည်း (consistent) ဖြစ်ကြလျှင် တိကျမှန်ကန်သော control ဖြစ်ရန် အတွက် controller များကို ထိန်းညှိပေး (adjust လုပ်ပေး) နိုင်သည်။ Tune လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ သို့သော် control system တိုင်းတွင် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း မဟုတ်သော ဆက်သွယ်မှုများ (non-linear relation)၊ အချိန်နောက်ကျခြင်း(delay) နှင့် မတူညီသည့် တုံ့ပြန်မှုများ(uneven response) စသည့် hysteresis များ ရှိကောင်း ရှိနိုင်သည်။

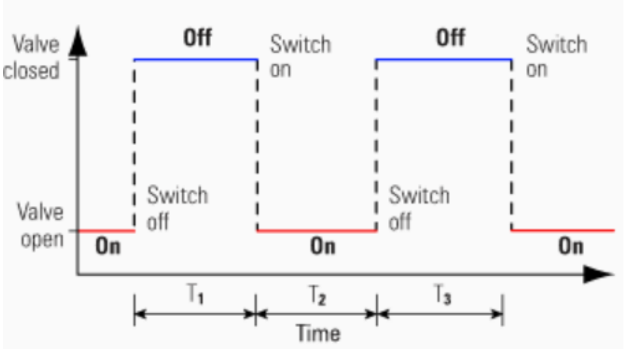
ဥပမာ- ဘား(valve)၏ မောင်းတံ(stem)တွင် ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော အချိန်နောက်ကျခြင်း(delay) ရှိနိုင်သည်။ ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကြောင့် ချောမွေ့စွာ ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း(linear movement) မျိုး မရရှိနိုင်ပေ။ Heating coil ထဲသို့ ဝင်ရောက် လာသော ရေအပူချိန်(hot water supply temperature) မြင့်တက်လာမှုကြောင့် system gain လည်း ပိုများလာနိုင်သည်။ လေစီးနှုန်း(air flow)ပမာဏ နည်းသွားသောကြောင့် system gain ပိုများလာနိုင်သည်။

ထိုသို့ ရှုပ်ထွေးသည့် system များကို တိကျစွာ ဆောင်ရွက်နိုင်ရန်အတွက် အောက်တွင် control mode များကို ဖော်ပြထားသည်။ အလွယ်ကူဆုံးနှင့် အသုံးအများဆုံးသော control နည်းသည် two-position control

ဖြစ်သည်။ Fan သို့မဟုတ် pump စသည့် equipment များအတွက် မောင်းခြင်း(run)၊ ရပ်ခြင်း(stop) စသည့် အခြေအနေ(state) နှစ်ခုသာ ရှိသည်။ Damper ၊ valve များ စသည့် device များအတွက် ဖွင့်ခြင်း(open)၊ ပိတ်ခြင်း (closed)ဟူသည့် state နှစ်ခုသာ ရှိသည်။ Equipment များ နှင့် device များကို control လုပ်ရန် အတွက် two position control နည်းကို အသုံးပြုသည်။

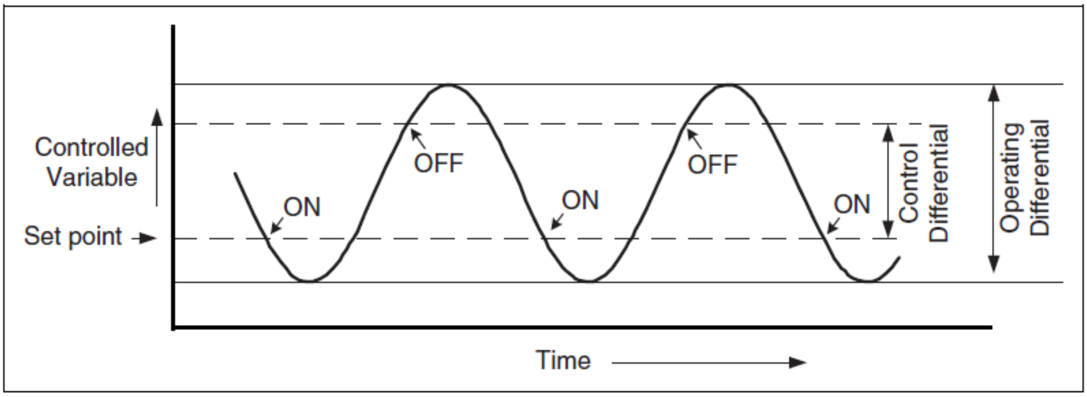
လူနေအိမ်များ၌ တပ်ဆင်ထားသည့် HVAC system အငယ်စားများတွင် ပါဝင်သည့် air conditioner များ နှင့် furnace များ၌ two-position control ကို အများဆုံး အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ State နှစ်ခုတည်းသာရှိသည့် တခြားသော system များတွင်လည်း two-position control ကို အမြဲ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ ပုံ(၁-၅) သည် heating system မှ heating thermostat တစ်ခု၏ two-position control လုပ်ဆောင်ပုံ(action) ကို ဖော်ပြထားသည်။





ပုံ ၁-၅ Two-position control diagram for a heating system

Two position control တွင် on/off သို့မဟုတ် open/close သာ ဖြစ်နိုင်သည်။ Steam သို့မဟုတ် hot water စသည့် heating medium တစ်ခုခုကို အသုံးပြု၍ လေအပူချိန်(supply air temperature)ကို မြင့်တက်စေသည်။ ပူစေသည်။ ထို့နောက် ထွက်လေအပူချိန်(supply air temperature)သည် တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက် လာကာ set point ထက် ပိုမြင့်သည့် control differential အပူချိန်သို့ ရောက်ရှိသည်။ Control differential သည် သင့်လျော်သည့် ကိန်းသေတစ်ခု(fixed difference) ဖြစ်သည်။ valve ဖွင့်ရန် အပူချိန်(temperature) နှင့် valve ပိတ်ရန် အပူချိန်(temperature) နှစ်ခုကြားတွင် ရှိသည့် fixed difference ဖြစ်သည်။ Supply air temperature သည် set point temperature နှင့် control differential နှစ်ခုပေါင်းထားသည့် အပူချိန်သို့ ရောက်သည့်အခါ controller သည် actuator အား valve ကို ပိတ်ရန် အမိန့်("off" command) ပေးလိုက်သည်။



ပုံ ၁-၆(က) Two-position heating control

အချိန်အနည်းငယ် ကြာပြီးနောက် valve သည် ပိတ်သွားပြီး heating medium စီးဆင်းခြင်း မရှိသောကြောင့် ထွက်လေအပူချိန်(supply air temperature)သည် set point ထိရောက်အောင် ကျဆင်းကာ နောက်ထပ် cycle တစ်ခုကို စတင်သည်။ ဤ ဥပမာတွင် set point သည် "**on-point**" ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် valve ကို

ပွင့်စေသည့် အမှတ်(point) ဟုလည်း ပြောနိုင်သည်။ Set point + control differential သည် "**off-point**" ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် valve ကို ပိတ်စေသည့် အမှတ်(point) ဟုလည်း ဆိုနိုင်သည်။

Set point ကို on-point နှင့် off-point နှစ်ခုကြား(mid point)၌ ထားနိုင်သည်။ ထိုအခါ valve ပွင့်ခြင်းနှင့် ပိတ်ခြင်း နှစ်ခုကြားတွင် set point ရှိနေလိမ့်မည်။

လက်တွေ့တွင် two position thermostat များ၌ ပါရှိသည့် ဘီးကလေးကို လှည့်၍ အလိုရှိသည့် အပူချိန် အနိမ့်၊ အမြင့် လိုသလိုရအောင် set point ကို ထိန်းညှိ(adjust) နိုင်သည်။ Time delay ကြောင့် မျှော်လင့်ထားသည် ထက် ပို၍ အေးသွားခြင်း(overshoot) နှင့် ပို၍ ပူလာခြင်း(undershoot)တို့ ဖြစ်နိုင်သည်။

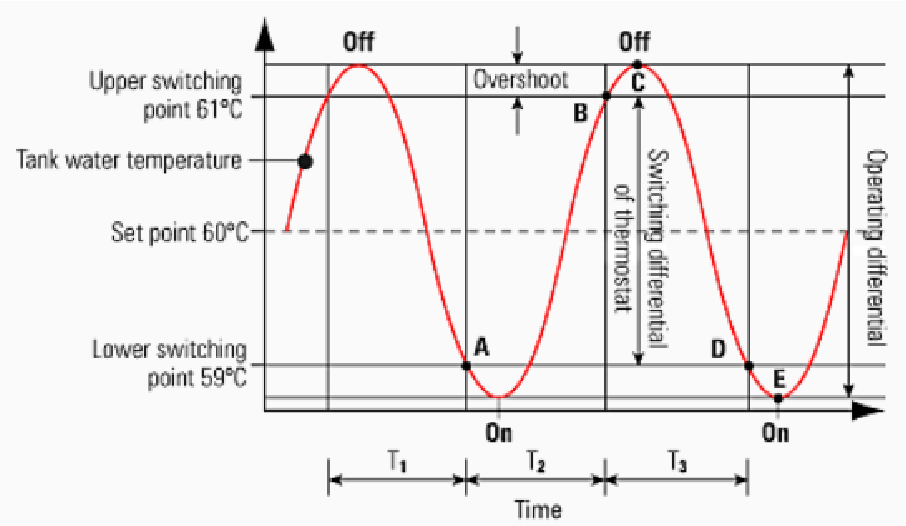
Overshoot နှင့် undershoot တို့၏ ခြားနားချက်ကို operation differential ဟု ခေါ်သည်။

ပုံ(၁-၆)တွင် controlled variable သည် maximum temperature နှင့် minimum temperature တို့ အကြားတွင် ရှိနေသည်။

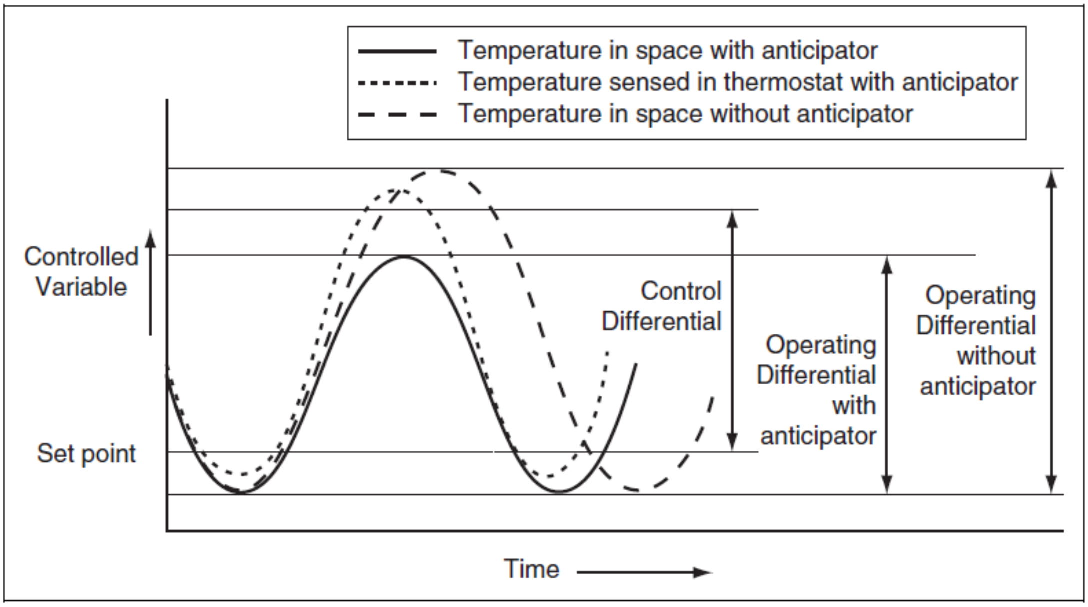
Operating differential သည် control differential ထက် အမြဲကြီးလေ့ ရှိသည်။ HVAC system များတွင် ဖြစ်လေ့ရှိသည့် အချိန်နောက်ကျခြင်း(natural time delay) နှင့် thermal lag တို့ကို ဖယ်ရှားရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

သို့သော် anticipation device များကို အသုံးပြု၍ operating differential နှင့် control differential ကွာဟချက် ပမာဏကို လျှော့ချနိုင်သည်။ Single zone heating thermostat အတွက် အသုံးများသော heat anticipatory သည် resistance heater ဖြစ်သည်။ Resistance heater ကို temperature sensor အနီးတွင် တပ်ဆင်ပြီး အဖွင့်၊အပိတ် လုပ်ပေးခြင်းဖြင့် sensor သည် false reading ရရှိက ပို၍ မြန်ဆန်စွာ တုန့်ပြန်(respond) စေသည်။

အခန်းအပူချိန်(space temperature)သည် control differential အထိ မြင့်တက် မလာခင် heater ပိတ်ပစ်ခြင်းဖြင့် overshoot ဖြစ်ခြင်းကို လျှော့နည်းစေနိုင်သည်။ Overshoot နည်းခြင်းကြောင့် operating differential လည်း လျှော့နည်းသွားလိမ့်မည်။ Cooling အတွက်လည်း anticipation device ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Cooling လုပ်ရာတွင် sensor ရမည့် signal (supply air temperature)ကို set point ထက် ပိုမြင့်အောင် ပြုလုပ်ပေးခြင်းဖြင့် cooling coil အတွင်းသို့ ရေများပို၍ မြန်မြန်ဝင်ရောက်ကာ operating differential လျှော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁-၆(ခ) Temperature versus time for Two-position cooling control



ပုံ ၁-၇ Control differential

မည်သို့ပင် anticipation device များ အသုံးပြုစေကာမူ၊ control differential ကို လုံးဝ ပျောက်သွားအောင် (မရှိအောင်) ပြုလုပ်၍ မရနိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် set point ထက် အပူချိန် ပိုမြင့်ခြင်း(overshoot)နှင့် ပိုနိမ့်ခြင်း (undershoot) စသည့် အပူချိန် အတက်အကျဖြစ်ခြင်း(temperature fluctuation)တို့ ရှိနေလိမ့်မည်။ ဖြစ်လို၊ ရလိုသည့် အခြေအနေ(desired condition) သို့မဟုတ် set point ကို ရရှိနိုင်သည့် အချိန်အတိုင်းအတာသည် အခိုက်အတန့်သာ ဖြစ်သည်။

Control differential ကို နည်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် control ကို ပို၍ တိကျစေကာ အလိုရှိသည့် အတိုင်း ဖြစ်အောင်ပြုလုပ်နိုင်သည်။ သို့သော် control differential အလွန်နည်းသည့်အခါ short-cycling ဖြစ်ပေါ် လာနိုင်သည်။ Short-cycling ဆိုသည်မှာ အချိန်အနည်းအတွင်း valve သည် အကြိမ်များစွာ ပိတ်ခြင်း(close)၊ ပွင့်ခြင်း (open) နှင့် အချိန်အနည်းငယ်အတွင်း equipment များ အကြိမ်များစွာ မောင်းခြင်း(on)၊ ရပ်ခြင်း(off) တို့ ဖြစ်သည်။ Short-cycling ကြောင့် heating နှင့် cooling system များ ကောင်းစွာ efficient မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ Equipment များ အချိန်မတိုင်မီ ပျက်စီးကြလိမ့်မည်။

> Two position control တစ်ခု ကောင်းစွာ ပုံမှန် အလုပ် လုပ်နေခြင်းဆိုသည်မှာ short-cycling မဖြစ်စေဘဲ၊ သင့်လျော်သည့် control differential ထားရှိပြီး၊ controlled variable ကို set point အနီးတွင် တတ်နိုင်သမျှရအောင် ထိန်းထားခြင်းဖြစ်သည်။

Two position control ၏လုပ်ဆောင်မှု(function) သည် HVAC system ၏ system gain အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Process plant ၏ capacity သည် အမှန်တကယ် ရှိသည့် load ထက် များစွာ ပို၍ ကြီးမနေစေရန် လိုသည်။ ပို၍ ကြီးနေလျှင်control differential ကို ကြီးအောင်ပြုလုပ်ကာ ထိန်းထားနိုင်သည်။ Control differential ကြီးသောကြောင့် operating differential လည်း လိုက်၍ ကြီးလာလိမ့်မည်။

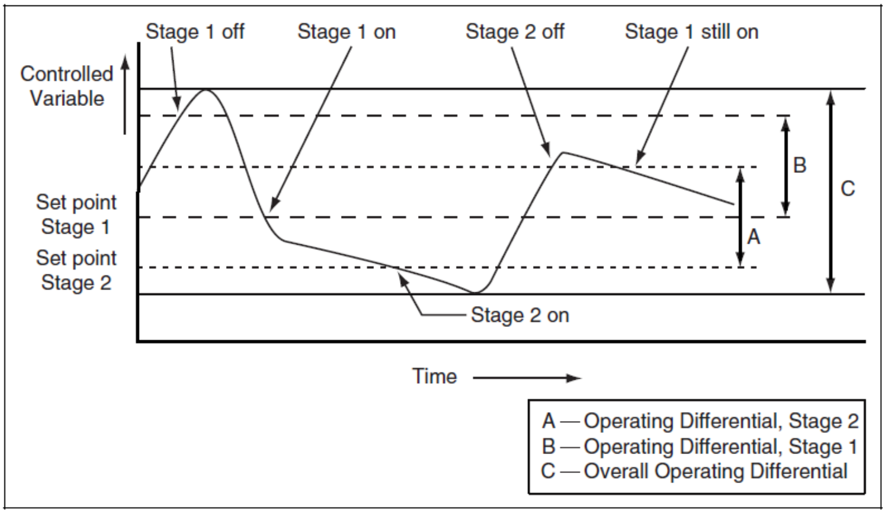
> HVAC system တစ်ခု၏ capacity ကို အမှန်တကယ်ရှိသည့် load ထက် ပိုကြီးအောင်(oversize) ဒီဇိုင်း လုပ်ထားလျှင် two position control နည်းဖြင့် control လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ မည်ကဲ့သို့သော နည်းဖြင့် control လုပ်ပါစေ HVAC system ကို လိုသည်ထက် ပိုကြီးအောင်(over sized) ဒီဇိုင်းလုပ်ထားလျှင် control လုပ်ရန် အလွန် ခက်ခဲသည်။ Load အနည်းအများကို လိုက်၍ system capacity ကို သင့်လျော်အောင် အဆင့်အဆင့် ခွဲ၍ ဒီဇိုင်း လုပ်ထားရမည်။

Controlled variable ကို set point တွင် ထိန်းထားနိုင်ရန် အတွက်

(က) Control differential ကျယ်ကျယ်ထားပေးရမည်။ Operation differential လည်းလိုက်၍ ကျယ်လာ လိမ့်မည်။

(ခ) System သည် short-cycling ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

Load နှင့် system capacity ကိုက်ညီစေရန် step control ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Step control ဆိုသည်မှာ အဆင့်နှစ်ဆင့်(two position) set point နှစ်မျိုးခွဲကာ control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Multiple stage capacity ရှိသည့် system များတွင် အဆင့်များစွာ(multiple steps)ထားရှိပြီး step control လုပ်နိုင်သည်။ Multiple stage capacity ဆိုသည်မှာ High-Low-Off ရှိသည့် multi-speed motor များကို လည်းကောင်း High fire-Low fire-off ရှိသည့် multi-stage gas burner များအား လည်းကောင်း၊ multiple compressor ၊ multi-speed compressor ၊ compressor with cylinder unloading နှင့် multi-stage refrigeration system များကို ဆိုလိုသည်။



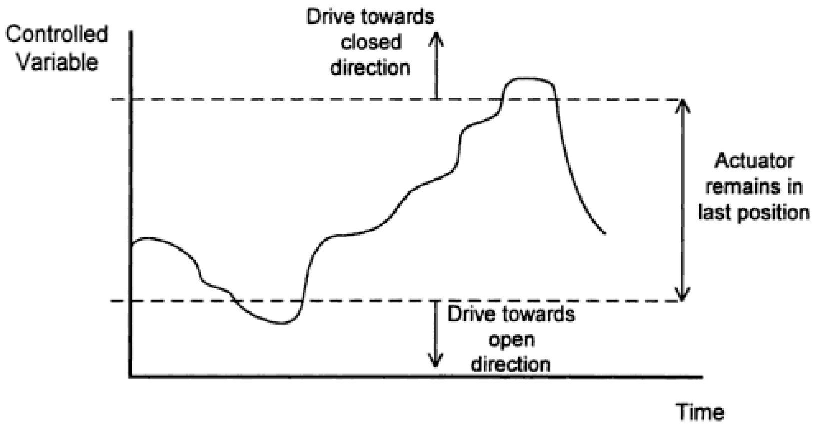
ပုံ ၁-၈(က) Step control

ပုံ၁-၈(က) တွင် stage နှစ်ခုရှိသည့် heating system တစ်ခု၌ High fire ၊ Low fire နှင့် Off စသည့် operating position သုံးမျိုးရှိသည့် control system အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ လေ၏ အပူချိန်သည် ပထမအဆင့်(stage 1) set point ၏ အောက်အထိ နိမ့်ဆင်းလာလျှင် controller သည် first step ကို “ON” လိုက်သည်။ အကယ်၍ first step heating ၏ capacity နှင့် ကိုက်ညီနေလျှင် လေအပူချိန်သည် ပထမအဆင့်(stage 1)set point အနီးတွင် cycling ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ Two-position control ကဲ့သို့ ဖြစ်နေ လိမ့်မည်။

ထိုသို့မဟုတ်ဘဲ လေအပူချိန်သည် ဒုတိယအဆင့်(stage 2) set point ထက် ပို၍ နိမ့်ဆင်းလာပါက controller သည် second heating stage ကို “ON” လိမ့်မည်။ ထိုအခါ first heating stage ကို အမြဲ ON ထားပြီး second heating stage ကို “ON” လိုက်၊ “OFF” လိုက်ဖြင့် two position control ကဲ့သို့ ပြုမူနေလိမ့်မည်။ Control operating range နှစ်ခုကို တစ်ခုနှင့်တစ်ခု ထပ်နေလျှင်(overlap) first stage “ON” ဖြစ်မည့် အပူချိန်သည် second stage off ဖြစ်မည့်အပူချိန်ထက် နိမ့်နေလိမ့်မည်။

Set point နှင့် control differential ထပ်မနေအောင် (overlap မဖြစ်အောင်)၊ stage တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ထပ်မနေအောင် ပြုလုပ်ထားသင့်သည်။ Second stage “ON” point သည် first stage “ON” point ထက်မြင့် ရမည်။ (တူညီနိုင်သည်။ မငယ်စေရ။) သို့သော်လည်း overlapping range သည် stage တစ်ခုချင်းစီ၏ operating differential နည်းအောင် မလုပ်ဘဲ over all operating differential ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ (နှစ်ခုထပ်သွားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။) ဤနည်းဖြင့် short-cycling မဖြစ်စေပဲ ပိုကောင်းမွန်သည့်နည်းဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။

Floating control – Floating control ကို "tri-stage" control ဟု ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Two position control နှင့်လည်း ခပ်ဆင်ဆင် တူညီသည်။ သို့သော် system ကို state နှစ်ခုဖြစ်အောင် မကန့်သတ်ထားပေ။ System တွင် modulating အမျိုးအစား controlled device ပါဝင်သည်။ များသောအားဖြင့် damper နှင့် valve တို့ကို အသွားအပြန် နှစ်မျိုးလုံးမောင်းနိုင်သည့် bi-directional actuator ဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၈(ခ) Floating control for heating

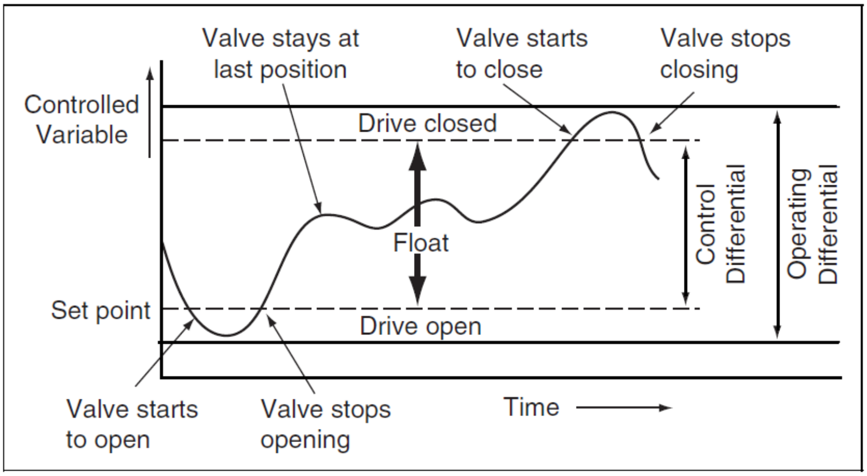
Floating control ၏ controller များတွင် mode သုံးမျိုးရှိသည်။

(၁) Drive open (ပွင့်နေဆဲ)

(၂) Idle(No movement) – (ရောက်သည့် နေရာ၌ ရပ်နေခြင်း) နှင့်

(၃) Drive closed (ပိတ်နေဆဲ) တို့ဖြစ်သည်။

Floating control တွင် two position control ကဲ့သို့ပင် set point နှင့် control differential တို့ ပါရှိသည်။ အချို့သော floating controller များတွင် upper set point နှင့် lower set point ဟူ၍ လိုသလို ချိန်ယူနိုင်သည့် set point adjustment နှစ်ခု ပါဝင်သည်။ Control differential သည် upper set point နှင့် lower set point နှစ်ခုတို့၏ ခြားနားချက်(differential)ပင် ဖြစ်သည်။

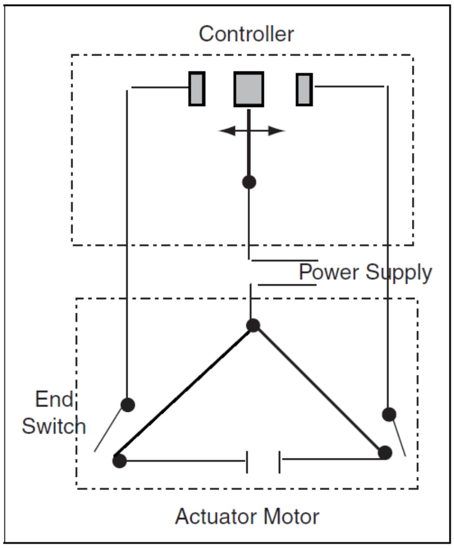


ပုံ ၁-၈(ဂ) Floating control for heating

ပုံ ၁-၈(ခ) နှင့် ပုံ ၁-၈(ဂ) တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း ထွက်လေအပူချိန်(supply air temperature)သည် နိမ့်သည့် differential လိုင်းထက်နိမ့် ဆင်းလာလျှင် controller သည် valve ကို စဖွင့်ရန် အမိန့်(command) ပေးသည်။ Valve ပွင့်ပြီး coil အတွင်းသို့ heating medium များ တဖြည်းဖြည်း ဝင်ရောက်လာသည်။ Valve ပွင့်ရန် အချိန်လို သောကြောင့်(time delay ကြောင့်)လည်းကောင်း၊ ရှိတတ်သော thermal lag ကြောင့် လည်းကောင်း၊ valve

ပွင့်နေသော်လည်း ထွက်လေအပူချိန်(supply air temperature)သည် ချက်ချင်းမြင့်တက်လာလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

အချိန်အနည်းငယ် ကြာသည့်အခါ ထွက်လေအပူချိန်(supply air temperature) မြင့်တက်လာ လိမ့်မည်။ Supply air temperature သည် differential ထက် ပိုမြင့်သွားပါက floating controller သည် valve ကို လက်ရှိနေရာတွင် ထိန်းထားရန်အမိန့်(command) ပေးလိမ့်မည်။ Idle (no movement) ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ထွက်လေအပူချိန် (supply air temperature)သည် differential range အတွင်း၌ ရှိနေလျှင် valve သည် ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း မဖြစ်ဘဲ လက်ရှိ နေရာတွင်သာ ရပ်နေလိမ့်မည်။ အကယ်၍ temperature သည် differential ၏ အထက်လိုင်း (upper line)ထက် ပိုမြင့်လာပါက floating controller သည် valve (actuator) ကို ပိတ်ရန် အမိန့်(command) ပေးလိမ့်မည်။



ပုံ ၁-၉ Floating diagram with actuator

ထိုအခါ coil အတွင်းသို့ စီးဝင်နေသောနှုန်း(heating medium flow rate)သည် တဖြည်းဖြည်း နည်းလာလိမ့်မည်။ ထို့နောက် အပူချိန်(temperature)သည် differential range အတွင်းသို့ ရောက်လာသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် valve သည် ရောက်နေသည့် နေရာတွင် ရပ်(no movement) နေလိမ့်မည်။ Air temperature သည် differential range အတွင်းတွင် float ဖြစ်နေ သောကြောင့် ဤနည်းကို "**Floating control**" ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁-၉)သည် actuatorထံသို့ controller မှ drive signal ပေးပို့သည့်ပုံ ဖြစ်သည်။

Drive signal သည် ပိတ်ရန်(close) signal လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ဖွင့်ရန်(open) signalလည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ရောက်သည့်နေရာတွင် ရပ်နေခြင်းမျိုးလည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Floating control တွင် controlled device သည် two position control မှာ ကဲ့သို့ ပုံသေ မဟုတ်ပေ။

လုံးဝပွင့်နေခြင်း(fully open)၊ လုံးဝပိတ်နေခြင်း(fully close)၊ တစ်ဝင်တစ်ပျက်ပွင့်နေခြင်း(opening % တစ်ခုခုတွင် ရပ်နေခြင်း) တို့ ဖြစ်နိုင်သည်။

> ထို့ကြောင့် floating control နည်းကိုသုံးလျှင် two position control ထက်သေးငယ်သည့် control differential ရနိုင်သည်။ အလွန်များသည့်(excessive) short-cycling မဖြစ်စေဘဲ stability ပိုကောင်းနိုင်သည်။ Two position control မှာ ကဲ့သို့ပင် floating control ၌လည်း operating differential သည် control differential ထက် ပို၍ ကျယ်(ကြီး)သည်။

Time delay နှင့် thermal lag တို့ကြောင့် floating control တွင် valve များ၊ damper များ စသည့် controlled device များသည် full open မှ full close ဖြစ်ရန် အချိန်ပိုကြာသောကြောင့် (full closed မှ full open) overshoot နှင့် undershoot ဖြစ်နိုင်ခြေ ပိုများသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် valve timing ပိုနှေးသောကြောင့် overshoot နှင့် undershoot ပိုဖြစ်နိုင်သည်။

Unstable ဖြစ်မည်စိုးသောကြောင့် valve timing ကို နှေးထားရခြင်းလည်း ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ valve သည် ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း လျှင်မြန်စွာ ပြုလုပ်လျှင် two position control နှင့် ပြုမူပုံနှင့် တူညီနေလိမ့်မည်။ Floating control ၌ ပါဝင်သော valve များနှင့် damper များ လျှင်မြန်စွာ ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း ဖြစ်လျှင် ထို floating control သည် two position control ပုံစံမျိုးနှင့် ဆင်တူနေလိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် two position များတွင် အသုံးပြုသည့် anticipation device များကို floating control များတွင်လည်း အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ ကားမောင်းနှင်သည့်အခါ လက်ရှိ မောင်းနေသည့် မြန်နှုန်း(speed)သည် မောင်းလိုသည့်မြန်နှုန်း(desired speed)ထက် နည်းနေသည့်အခါ လီဗာကို လုံးဝမနင်းဘဲ လွှတ်ထားလိုက်လျှင်

သို့မဟုတ် လီဗာကိုတစ်ဆုံး နင်းလျှင် ကားသည် မြန်လိုက်၊ နှေးလိုက် ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ဤနည်းဖြင့် ကားမောင်းခြင်းသည် two position control ဖြင့် ကားမောင်းနည်း ဖြစ်သည်။ ကားကို မောင်းလိုသည့် မြန်နှုန်း (speed)တွင် တိကျစွာ မောင်းရန်အတွက် တောင်တက်၊ တောင်ဆင်း၊ မြေပြန့် စသည့်လမ်းအခြေအနေကို ကြည့်၍ သင့်လျော်သည့် ပါဝါ(power)ရအောင် လီဗာ(accelerator)ကို ဖွဖွနင်းခြင်း၊ လွှတ်ပေးခြင်း၊ အားကုန် ဖိနင်းခြင်း စသည့် နည်းဖြင့် control လုပ်ရသည်။

HVAC system များအားလုံးလိုလို၏ load သည် အချိန်နှင့်အမျှ ပြောင်းလဲနေသည်။ ထိုကဲ့သို့ အချိန်နှင့် အမျှ ပြောင်းလဲနေသည့် load အတွက် အလိုရှိသည့် set point အနီး၌ controlled variable ကို ထိန်းထားနိုင်ရန် modulating control သည် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်သည်။ ကားကို two position control နည်းဖြင့် accelerator ကို နင်းလိုက်၊ လွှတ်လိုက် လုပ်ကာ မောင်းနိုင်သည်။ မောင်း၍ ရသည်။ သက်သောင့် သက်သာဖြစ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Floating control နည်းဖြင့်လည်း မောင်းနိုင်သည်။ သို့သော် ကျေနပ်ဖွယ် ကောင်းသည့် အခြေအနေသို့ ရောက်မည် မဟုတ်ပေ။ လူများ အားလုံး လက်တွေ့ မောင်းနေကြသည့်နည်းမှာ modulating control နည်းဖြင့် မောင်းနေကြခြင်း ဖြစ်သည်။

Modulating control ကို တစ်ခါတစ်ရံ "**Analog Control**" ဟုခေါ်လေ့ရှိသည်။ Two position control ကိုလည်း "**Digital Control**" ဟု ခေါ်လေ့ရှိသည်။ လွန်ခဲ့သည့် နှစ်ပေါင်းများစွာက Proportional control ကို modulating control အဖြစ် သတ်မှတ်ခေါ်ဆိုကြသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လွန်ခဲ့သည့် အချိန်က controller များသည် Proportional control logic function တစ်ခုတည်းကိုသာ လုပ်နိုင်ကြသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ယခု အခါတွင် ပြောဆိုနေကြသည့် modulating သည် ရိုးရှင်းသည့် Proportional logic ထက် ပို၍ ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲသည့် sophisticated algorithm များကို လုပ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိကြသည်။

Automatic control သည် လူသားများ၏ ပြုမူဆောင်ရွက်ပုံများကို အတုယူကာ တီထွင်ထားသော နည်းပညာများ ဖြစ်သည်။ ကားမောင်းသူက မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းသည့်အခါတွင် လမ်းအခြေအနေကို ကြည့်၍ မောင်းသည်။ လမ်းသည် ညီညာ ဖြောင့်တန်းနေလျှင် သို့မဟုတ် တစ်သမတ်တည်း အနည်းငယ် စောင်းနေလျှင် မောင်းသူသည် လီဗာ(accelerator)ကိုပုံသေနင်းထားသည်။ တောင်တက်ရန်အတွက် လမ်းမတ်စောက်လာသည့်အခါ အရှိန်ကျသွားသည်။ ထိုအခါ လီဗာ(accelerator)ကို ပို၍ ဖိနင်း ထားသည်။

တစ်ခါတစ်ရံ လိုချင်သည့် မြန်နှုန်း(speed)ထက် နည်းနည်းနှေးသွားလျှင် လီဗာ(accelerator)ကို အနည်းငယ် ပို၍ ဖိနင်းထားရသည်။ လိုချင်သည့် မြန်နှုန်း(speed)ထက် ပို၍ များစွာနှေးလာလျှင် accelerator ကို ပို၍ ခပ်ပြင်းပြင်း ဖိနင်းထားရသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ ကားသည် မြန်နှုန်းပုံသေ(constant speed)ဖြင့် မောင်းနေ သော်လည်း အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း(speed)ထက် နှေးနေသည့်အခါ လီဗာ(accelerator)ကို အနည်းငယ်မျှသာ ပို၍ ဖိနင်းပေးရသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ လမ်းက ကုန်းဆင်းအတိုင်း ဖြစ်သွားသောကြောင့် လိုချင်သည့် မြန်နှုန်း(speed)ထက် ရအောင် လီဗာ(accelerator)ကို လွှတ်လိုက်သည်။ ထိုကဲ့သို့ပင် control system များမှ control loop များသည် ကားမောင်းသူများကဲ့သို့ ပြုလုပ်ပေးသည်။ သင်္ချာညီမျှခြင်းဖြင့် control equation များ ဖော်ပြနိုင်သည်။

$$V = V_o + V_p + V_i + V_d$$

$$V = V_o + K_p e + K_i \int e\, dt + K_d \frac{de}{dt} \qquad Equation\ 1-1$$

V_o သည် offset adjustment ဖြစ်သည်။

V_p သည် proportional term ဖြစ်သည့်အပြင် error နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျသည့်ပမာဏ ဖြစ်သည်။ Error များလျှင် V_p တန်ဖိုး များလာလိမ့်မည်။ Error နည်းလျှင် V_p တန်ဖိုး နည်းသွားလိမ့်မည်။

$$Error = desired\ speed(set\ point) - actual\ speed$$

Error ဆိုသည်မှာ desired speed (set point) မှ actual speed ကို နှုတ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

တစ်နည်းအားဖြင့် desired speed(set point) မှ actual speed တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ Vp သည် Error နှင့် အချိုးကျသည့် ပမာဏ ဖြစ်သည်။

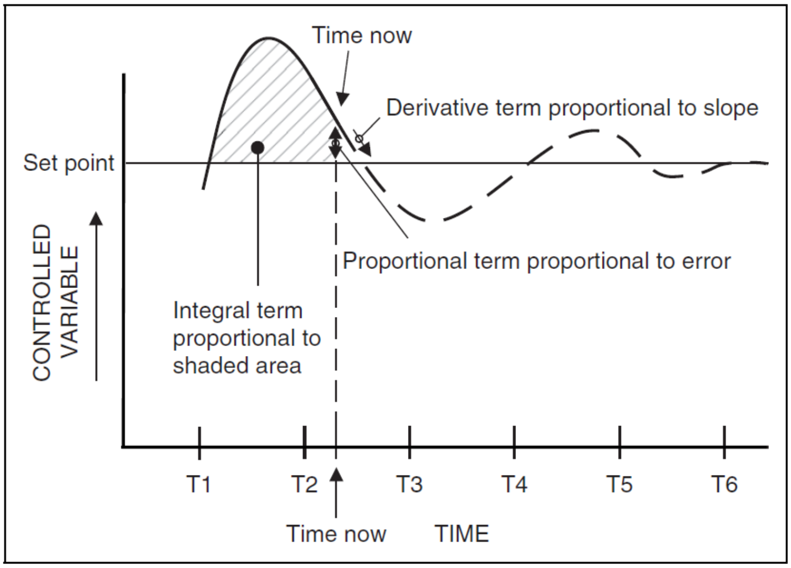
Desired speed(set point) ထက် actual speed ကနည်းနေလျှင် error ရှိသည်။ နေးသည် မည်၏။ ပိုနေးလျှင် error ပိုများ လိမ့်မည်။ Error များလျှင် (speed ပိုနေးသောကြောင့်) လီဗာ(accelerator) ကို များများ ဖိပေးရန် လိုသည်။ Error နည်းလျှင် (speed သိပ်မကွာသောကြောင့်) နည်းနည်းသာ ဖိပေးရန် လိုသည်။

> V_i သည် "**Integral Term**" ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသော အချိန်တစ်ခုအတွင်းရှိ Error များကို ပေါင်းထားခြင်းဖြစ်သည်။ အဆက်မပြတ် ပေါင်းထားခြင်းကို integrate လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။
> Calculus သင်္ချာနည်းအရ ဖော်ပြရလျှင် time-weight average of the error ဖြစ်သည်။ Set point မှ အချိန် မည်မျှကြာကြာ ကွာဝေးနေသည်ကို တွဲ၍ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အချိန်အတိုင်းအတာ တစ်ခုအတွင်းရှိ average error နှင့် ထိုအချိန်ပမာဏနှင့် မြှောက်ထားသည့် ရလဒ်ပမာဏ ဖြစ်သည်။

ဥပမာ-ကားမြန်နှုန်း(speed)သည် မောင်းလိုသည့်မြန်နှုန်း(desired speed)ထက် နေးနေသည့်အပြင် အချိန် အတော်ကြာ နေးနေသောကြောင့် လီဗာ(accelerator) ကို ပို၍ ပြင်းပြင်းဖိရန် လိုအပ်ပြီဟု ဆိုလိုခြင်း ဖြစ်သည်။

> V_d သည် "Derivative Term" ဖြစ်သည်။ Derivative of the error with respect to time ဖြစ်သည်။ Calculus သင်္ချာဖြင့် ဖော်ပြရလျှင် V_d သည် set point နှင့် controlled variable ကွာခြားမှု ပြောင်းလဲနှုန်း(rate of change of error) ဖြစ်သည်။ ကား၏ မြန်နှုန်း (speed)သည် မောင်းလိုသည့် မြန်နှုန်း(desired speed) သို့မဟုတ် set point ဆီသို့ မည်မျှ မြန်မြန် ချဉ်းကပ်နေသည်ကို ဖော်ပြသည်။ သို့မဟုတ် set point မှ မည်မျှမြန်မြန် ဝေးကွာနေသည်ကို ဖော်ပြသည်။

ဥပမာ-ကားမြန်နှုန်း(speed)သည် မောင်းလိုသည့်မြန်နှုန်း(desired speed) ဆီသို့ လျင်မြန်စွာ ချဉ်းကပ်နေပြီ (approaching)ဆိုလျှင် လီဗာ(accelerator)ကို ဖိထားသည့်နေရာမှ နည်းနည်းလျော့ ပေးနိုင် သည်။



ပုံ ၁-၁၀ Proportional, Integral and Derivative control

ထိုသဘော တရားသည် derivative control logic ၏ အခြေခံသဘော ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁-၁၀)တွင် term သုံးမျိုးစလုံးကို ဂရပ်ပုံစံဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ Proportional term(V_p) သည် error အနည်းအများကို လိုက်၍ အချိုးညီ ပြောင်းလဲသည်။ Error နည်းသည် ဆိုသည်မှာ set point အနီးတွင် ရှိပြီး(set point) သို့ မရောက်သေးပေ။

Error များသည် ဆိုသည်မှာ controlled variable သည် set point မှ ကွာဝေးသည်ဟု ဆိုလိုသည်။ Integral term(V_i) သည် error ၏ time – weight average နှင့် အချိုးညီသည်။ Curve ၏ အောက်၌ရှိသော ဧရိယာ(area) ဖြစ်သည်။ (Area under the Curve.)။ Derivative term(V_d) သည် error line ၏ slope ဖြစ်သည်။ (Slope of the error line)။ Set point ဆီသို့ မည်မျှ မြန်မြန်သွားနေသည်၊ set point ဆီမှ မြန်မြန် ဝေးကွာနေသည်ကို ဖော်ပြသည်။ Term သုံးခုစလုံးသည် သူ့နည်းသူ့ဟန်ဖြင့် control system ၏ စွမ်းဆောင်ရည် နှင့် တိကျမှု(accuracy)ကို ပိုကောင်းအောင် လုပ်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

ပထမဦးစွာ equation 1-1 မှ Integral term နှင့် Derivative term တို့ကို ချန်ထား၍ Proportional term တစ်ခုတည်းကိုသာ စဉ်းစားကြပါစို့။

$$V = V_o + K_p e \qquad \textit{Equation } 1-2$$

အထက်ပါ equation 1-2 တွင် V သည် controller ၏ output ဖြစ်သည်။ ကားမောင်းသည့် ဥပမာဖြင့် ပြောရလျှင် အလိုရှိသည့်မြန်နှုန်း(desired speed) သို့မဟုတ် set point ရရန် accelerator ကို မည်မျှ နင်းထားရမည်ကို ဆိုလိုသည်။ Proportional only control logic ကို သင်္ချာနည်းဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်း (mathematics expression)ဖြစ်သည်။ Proportional control သည် အရိုးရှင်းဆုံး နှင့် အသုံးအများဆုံးသော modulating control logic ဖြစ်သည်။ Pneumatic thermostat များအားလုံးနီးပါး၊ pneumatic controller များ အားလုံးနီးပါးနှင့် analog electric controller အများစုတို့၌ Proportional gain တစ်ခုတည်းသာ ပါသည့် (Proportional only) control logic ကို အသုံးပြုကြသည်။

ပုံ(၁-၁၁)တွင် equipment များ စတင် မောင်းသည့် အချိန် သို့မဟုတ် set point ကို ပြောင်းလိုက်သည့် အချိန်တွင် Proportional only system တစ်ခုမှ တုံ့ပြန်မှု(response)ကို ဖော်ပြထားသည်။ System သည် set point ဆီသို့ ရောက်အောင် ချဉ်းကပ်သည်။ သို့သော် timer delay နှင့် thermal lag ကြောင့် overshoot ဖြစ်ပေါ်သည်။ Set point သို့ရောက်အောင် နောက်ထပ်ကြိုးစား ချဉ်းကပ်သည့် အခါ undershoot အနည်းငယ် ဖြစ်ပေါ်သည်။ အချိန်ကြာလာသည်နှင့်အမျှ overshoot နှင့် undershoot တို့သည် တဖြည်းဖြည်း နည်းလာပြီး controlled variable သည် set point အနီးတွင် ရှိနေသော်လည်း set point နှင့် တစ်ထပ်တည်းမကျပေ။ အနည်းငယ်မျှ ကွာဟနေသည်။ ထိုကွာဟချက် error ကို "**offset**" ဟုခေါ်သည်။ "**Droop**" ဟုလည်း ခေါ်သည်။ Constant load ဖြင့်မောင်းနေသည့် steady-state အခြေအနေတွင် အမြဲရှိနေသည့် offset သည် Proportion control က ပေးသည့် အမွေဆိုးဖြစ်သည်။

Continuous offset နှင့် Proportional only control တို့သည် အမြဲတွဲလျက် ရှိကြသည်။ ရှောင်လွှဲမရ။ Proportional control သည် သတ်မှတ်ထားသော load အခြေအနေတွင် controlled variable ကို set point အနီးတွင် ရှိနေအောင် ထိန်းထားနိုင်သည်။ သို့သော် droop သို့မဟုတ် offset သည် အမြဲတမ်းရှိနေ လိမ့်မည်သာ ဖြစ်သည်။

Equation 1-2 တွင် Proportional logic ကို ထည့်ကာ heating coil အား control လုပ်ပုံကို ဖော်ပြ လိုသည်။ အပူပေး(heating) coil တစ်ခုသည် steady load အခြေအနေတွင် load နှင့် လုံးဝ ကိုက်ညီသည့် heating medium ပမာဏသည် coil အတွင်းသို့ စီးဝင်နေရန် လိုသည်။ ထိုစီးဝင်နေရမည့်နှုန်း(flow rate) ကို ဖြစ်စေရန် ဘားပွင့်နေရမည့် ရာခိုင်နှုန်း(valve opening %)ကို controller ၏ output signal မှ ဆုံးဖြတ်ပေးသည်။ Output signal တန်ဖိုးသည် equation 1-2 မှ V ၏ တန်ဖိုးပင် ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ set point နှင့် controlled variable တို့ အတိအကျ တူညီကြလျှင် error သည် သုည(zero) ဖြစ်သည်။ Zero error ဖြစ်လျှင် second term သည်လည်း သုည(zero) ဖြစ်သည်။ ထိုအခါ control signal သည် V_0 ၏ တန်ဖိုးနှင့် တူညီနေလိမ့်မည်။ V_0 သည် offset adjustment ဖြစ်သည်။ ထိုအခြေ အနေတွင် ရှိရသည့် load အတွက် သင့်လျော်သည့် စီးနှုန်း(flow rate)ကိုရရန် V_0 ကို adjust လုပ်ရန် လိုသည်။ သို့မှသာ offset ကို zero ဖြစ်အောင် လုပ်နိုင်လိမ့်မည်။

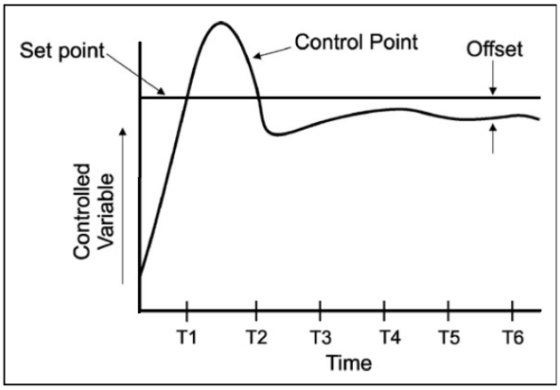
V_0 သည် ကိန်းသေတန်ဖိုး(constant) ဖြစ်သည်။ Load ပိုများလာလျှင် စီးနှုန်း(flow rate) ပိုများရန် လိုသည်။ စီးနှုန်း(flow rate)များများ ရရှိရန် valve ကို ပိုဖွင့်ပေးရန် လိုသည်။ ထို့ကြောင့် signal တန်ဖိုး ပိုများရန် လိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် V တန်ဖိုးများရန် လိုအပ်သည်။ V တန်ဖိုးများစေရန် equation 1-2 ၏ second term သည် zero မဖြစ်စေရ။ တစ်နည်းအားဖြင့် error တန်ဖိုးသည် သုည မဖြစ်ရ။ (Non-zero) error သည် offset သို့မဟုတ် droop ဖြစ်သည်။ Offset ပမာဏသည် ကိန်းသေ K_p တန်ဖိုးကို လိုက်၍ အချိုးညီ ပြောင်းလဲနေသည်။ (offset=function of constant K_p)။

K_p သည် controller ၏ porporational gain ဖြစ်သည်။ K_p တန်ဖိုးများလာလေ offset တန်ဖိုး နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။ K_p တန်ဖိုး များများထား၍ offset ပမာဏ နည်းအောင် ပြုလုပ် နိုင်သော်လည်း အလွန် ကြီးမားသည့် K_p တန်ဖိုးကြောင့် system stability ကို ထိခိုက် စေနိုင်သည်။

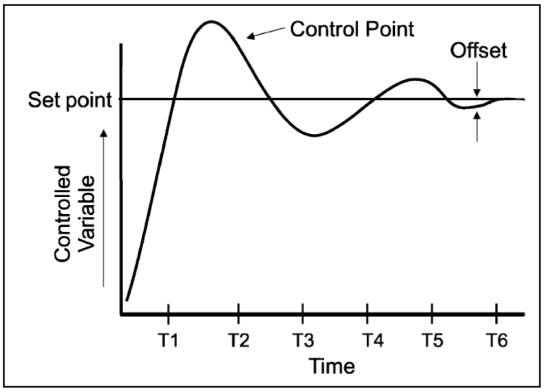
Set point အနီး၌ controlled variable သည် မြင့်လိုက်၊နိမ့်လိုက်(oscillation) ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ထိုသို့ ဖြစ်ခြင်းကို "**Hunting**" ဖြစ်သည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။ Gain တန်ဖိုးကို ကြီးကြီးထားခြင်းကြောင့် signal value သည်လည်း ကြီးကာ သေးငယ်သည့် error ကို ဖြစ်စေသော်လည်း load အနည်းငယ် ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် system သည် လိုအပ်သည်ထက် ပိုများစွာ တုံ့ပြန်လိမ့်မည်။ Overreact လုပ်လိမ့်မည်။

Overreaction ကြောင့် ပို၍ ကြီးမားသည့် error ကို တခြားဘက်(ပြောင်းပြန်ဘက်)တွင် ဖြစ်စေသည်။ ပိုကြီးမားသည့် overshoot လည်း ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Stable control ရရှိရန်အတွက် gain များကို adjust လုပ်ခြင်း၊ hunting မဖြစ်စေဘဲ offset တန်ဖိုး ငယ်အောင် လုပ်ခြင်းကို "control loop turning" ဟု ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။

Proportional gain ၏ တခြားနာမည်တစ်ခုမှာ "**P Gain**" ဖြစ်သည်။ Throttling range သည် controlled device များ ဖြစ်ကြသည့် valve နှင့် damper တို့ လုံးဝပွင့်နေမည့် အခြေအနေ(full open)မှ လုံးဝ ပိတ်နေသည့်(fully closed) အခြေအနေသို့ ရောက်ချိန်တွင် controlled variable ပြောင်းလဲသွားသည့် ပမာဏ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၁၁ Proportional-only control



ပုံ ၁-၁၂ Proportional Plus Integral control

Throttling range သည် Proportional gain နှင့်ပြောင်းပြန် အချိုးကျသည်။

Proportional only logic တွင် အမြဲရှိနေသည့် offset ကို ပျောက်စေရန်၊ သို့မဟုတ် လျှော့နည်း စေရန် အတွက် Integral logic နှင့်တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Proportional plus Integral(PI) control logic ဟု ခေါ်သည်။ သင်္ချာနည်းဖြင့် equation 1-3 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Integral term ၏ လုပ်ဆောင်ချက်မှာ error ရှိနေသည့် အချိန်ကြာလာသည့်နှင့်အမျှ Integral term ပို၍ ကြီးမားလာသည်။ ထို့ကြောင့် controlled variable ကို set point ဆီသို့ရောက်အောင် (ချဉ်းကပ်အောင်) တဖြည်းဖြည်း တွန်းပို့ပေးသည်။ ထိုအခါ offset လုံးဝ ပျောက်သွား နိုင်သည်။ သို့မဟုတ် မပြောပလောက်အောင် သေးငယ်သွားနိုင်သည်။

ပုံ(၁-၁၂)တွင် PI control အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Control logic ၏ sensitivity သည် Proportional gain(K_p)နှင့် Integral gain (K_i)တို့ နှစ်မျိုးစလုံး၏ function ဖြစ်သည်။ Proportional control တွင် gain တန်ဖိုး အလွန်များပါက stable control မဖြစ်နိုင်။ Tune လုပ်ရန် လိုသည်။ Integral term ၏ အားနည်းချက်မှာ "**wind up**" ဖြစ်ပေါ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Wind up သည် control loop က အလုပ်လုပ်နေပြီး(in operation) controlled device သည် ချိတ်ဆက် မထားသည့်အခါ (disconnected) ဖြစ်ပေါ်သည်။

Controlled variable နှင့် မထိန်းနိုင်သည့် အခါတွင် wind up ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Controlled variable သည် set point နားသို့ မရောက်သော အခါ (ဝေးကွာနေသည့် အခါ) တွင် Integral term သည် တဖြည်းဖြည်း ပို၍ ကြီးမားလာသည်။ ထိုအချိန်တွင် system စမောင်း လိုက်သည့် အခါတွင် valve သည် လုံးဝ ပွင့်နေပြီး သို့မဟုတ် လုံးဝ ပိတ်နေပြီး မှားသည့်ဘက်(wrong side) တွင် over shoot ကို အမြဲဖြစ်ပေါ်စေသည်။

Integral term ပုံမှန်ဖြစ်စေရန် အချိန်အတော်ကြာ စောင့်ရသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အချိန် အတော်ကြာအောင် error ဖြစ်ပေါ်နေခဲ့သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် system ၏ controlled variable သည် set point မှ အချိန်ကြာမြင့်စွာ ဝေးနေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ဖြစ်ခြင်းကို "**wind up**" ဖြစ်သည် ဟုခေါ်သည်။ အချိန် အခိုက်အတန့်မျှ system ကို unstable အခြေအနေ ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

ထိုပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန်အတွက် system ကို ရပ်ထားသည့်အချိန် ၌ controller နှင့် controller loop များကိုလည်း ရပ်ထားရန် လိုသည်။ System တစ်ခုသည် ရပ်နေပြီး ထို system ၏ control loop ကို မရပ်ထားပါက wind up ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။ Derivative control ထည့်၍လည်း ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ Anti-wind up device များ ထည့်၍လည်း ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ Analog electric controller များတွင် algorithms ထည့်၍လည်း ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ အသုံးအများဆုံး anti-wind up algorithm မှာ system စတင်ခါစ အချိန်တွင် integral term ကို မသုံးထားဘဲ Proportion only control logic ဖြင့် အချိန်ခဏကြာ စတင်ခြင်း ဖြစ်သည်။ PI control ကို pneumatic control များနှင့် analog electric control များတွင် တွေ့နိုင်သည်။ Digital control system များအတွက် မပါမဖြစ် ရှိသင့်သည့် စံ(standard)တစ်ခု ဖြစ်သည်။

$$V = V_o + K_p e + K_i \int e\,dt \qquad \textit{Equation } 1-3$$

Equation 1-1 တွင်ပါဝင်သည့် term သုံးခုလုံးကို အသုံးပြုလျှင် Proportional plus Integral plus Derivative (PID) control logic ဟုခေါ်သည်။ Derivative term ကို ပါဝင်စေခြင်းဖြင့် overshooting ဖြစ်ခြင်းကို လျှော့ချပေးနိုင်သည်။ Integral term က ဘရိတ်(brake)အဖြစ် လိုက်ထိန်းပေးသည်။

ပုံမှန်အားဖြင့် derivative control သည် အလွန်လျင်မြန်စွာ တုံ့ပြန်လေ့ရှိသည်။

ထို့ကြောင့် လျင်မြန်စွာ တုံ့ပြန်(very fast response)ရန် လိုအပ်သော industrial process များနှင့် ဒုံးပျံများ၏ ပဲ့ထိန်း စနစ်များတွင် လွန်စွာ အသုံးဝင်သည်။

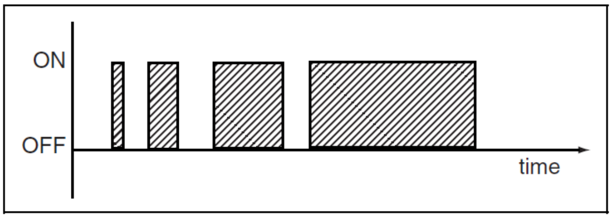
HVAC system များ၏ တုံ့ပြန်မှု(responses) နှေးသောကြောင့် derivative control ကို HVAC application တွင် အသုံးနည်းသည်။ Differential term ပါဝင်မှုကြောင့် tuning လုပ်ရာတွင် ပိုခက်ခဲ ရှုပ်ထွေးလာသည်။ မတည်မငြိမ်(unstable) ဖြစ်စေသည့် တုံ့ပြန်မှုများ(responses)ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

လက်တွေ့ လုပ်ငန်းခွင်များတွင် digital control application များ၌ PID loop ဟုခေါ်ဝေါ်ပြောဆို နေကြသော်လည်း derivative function ကို အသုံးမပြုဘဲ ချန်ထားလေ့ရှိသည်။ PID logic ကို modulating function များတွင် ပိုကောင်းသည့် တိကျမှု(accuracy)ရရန် အသုံးပြုထားသည့် staged capability များတွင်လည်း အသုံးပြု သည်။ ထိုအခါမျိုးတွင် modulating control loop သည် real device ကို control မလုပ်ဘဲ "virtual" output ကိုသာ ထုတ်ပေးပြီး controlled variable ကို control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Second loop ၏ virtual output သည် equipment ၏ capacity ကို အဆင့်ဆင့် sequence လုပ်ပေးခြင်းဖြင့် control လုပ်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

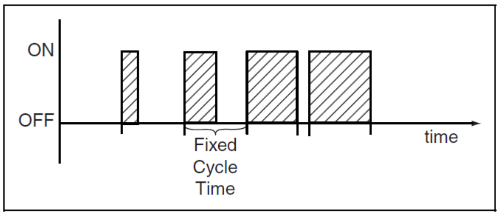
ဤသို့ PID logic ကို ထည့်သွင်း အသုံးပြုခြင်းဖြင့် step control logic တွင် ရရှိသည့် operating differential ထက် ပိုကောင်းသည့်(ငယ်သည့်) operating differential ရရှိစေနိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် step များ ပါရှိသည့် system များ၊ step လေးခုထက် ပိုများသည့် system များတွင် အကျိုးသက်ရောက်မှု ပိုကောင်းသည်။

Pulse-width modulating နှင့် Time-proportioning control modulating logic နောက်တစ်မျိုးမှာ on-off type output ကို pulse width ၏ ပမာဏဖြင့် control လုပ်သောနည်း ဖြစ်သည်။ "Pulse-Width Modulation (PWM)" ဟုခေါ်သည်။ Output သည် အတန်းလိုက်ဖြစ်သော သီးခြား step များ၏ လှုပ်ရှားမှု ဖြစ်သည်။ Series of discrete step ဖြစ်သည်။ သို့သော် အမှန်တကယ် modulating မှ ရသော ပုံစံနှင့် လုံးဝနီးပါး ဆင်တူသည်။ Controller ၏ output သည် အရှည်မတူညီသော pulse များ၏ အစဉ်အတန်း ဖြစ်သည်။ (A Series of pulses of varying length)။ ထို pulse များဖြင့် controlled device များကို control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Valve နှင့် damper များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် step motor များ၊ electric heater များ၏ ON-OFF control များ ဖြစ်ကြသည်။

Control loop မှ output signal သည် control device ၏ position မဟုတ်ဘဲ pulse များ၏ အချိန် အတိုအရှည်(length of pulse) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၁၃ Pulse-width Modulation



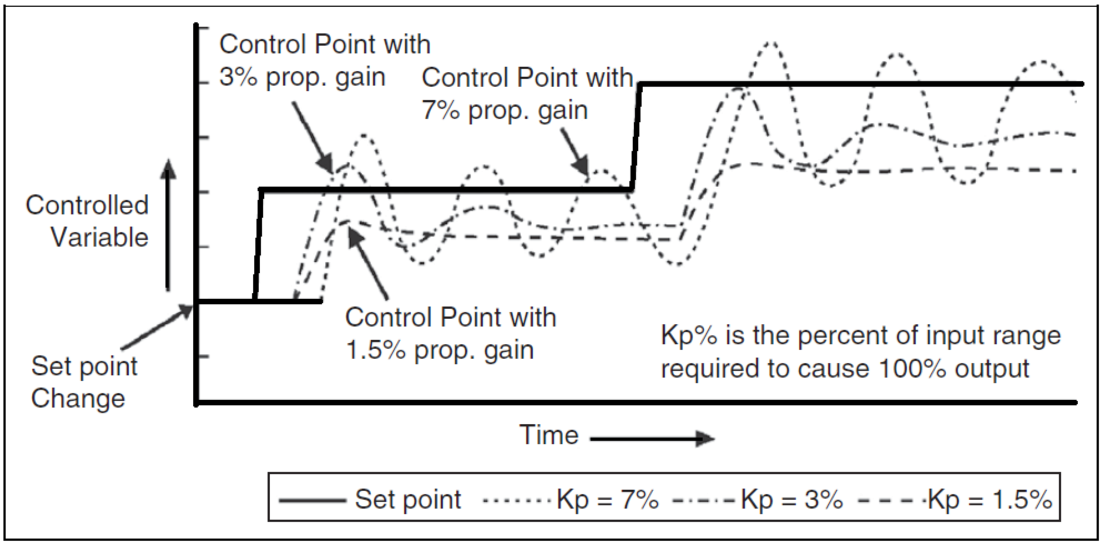
ပုံ ၁-၁၄ Time-proportioning control

Controlled device များ၏ လက်ရှိနေရာ(actual position)ကို သိရန် လိုအပ်သည့် အခါများ၌ feedback device များမှ တစ်ဆင့် control system ဆီသို့ input အဖြစ် (feedback အဖြစ်သုံးရန်) ပို့ပေးသည်။ PWM သည် လက်ရှိနေရာ(actual position)ကို မပေးနိုင် သောကြောင့် position သိနိုင်ရန် တခြားသော device တစ်မျိုးမျိုး တပ်ဆင်၍ input အဖြစ် control system အတွင်းသို့ ပို့ပေးသည်။ Time-proportioning control သည် PWM control မှ ခွဲထွက်လာသော control အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ PWM ကဲ့သို့ပင် output သည် on/off pulse များ၏ အစဉ်အတန်း ဖြစ်သည်။ သို့သော် time cycle သည် ပုံသေ(fixed) ဖြစ်သည်။ Cycle အတွင်းရှိ on time နှင့် off time တို့၏ ရာခိုင်နှုန်း(%) သည် ပြောင်းလဲနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် cycle အားလုံး၏ အချိန်တူညီကြသော်လည်း cycle တစ်ခုအတွင်းရှိ ပွင့်ချိန်(ontime)နှင့် ပိတ်ချိန်(offtime) တို့၏ ရာခိုင်နှုန်း(%) မတူညီကြပေ။

၁.၅ Gains and Loop Tuning

ကားမောင်းတတ်ခါစသူများ မောင်းသည့်အခါ ကားသည် ညင်သာချောမွေ့စွာ သွားလေ့ မရှိပေ။ စက်နိုးသည့် အခါ လီဗာ(accelerator)ကို တဆုံးနင်းထားခြင်း၊ ကားဆောင့်ထွက်ခြင်း၊ ဘရိတ်ကိုဆောင့်နင်းခြင်း စသည့် အဆင်မပြေမှုများ ရှိစမြဲ ဖြစ်သည်။ သို့သော် ကျွမ်းကျင်စွာ မောင်းတတ်လာသည့်အခါ အလိုလျောက်ထိန်း တတ်လာသည်။ သို့သော် အမျိုးအစားမတူသည့် ကားကိုမောင်းသည့်အခါ ဘရိတ် အမာအပျော့ ကွာခြားခြင်း၊ လီဗာ (accelerator) မတူညီခြင်းတို့ကြောင့် မည်သူမဆို ပြန်၍ adjust လုပ်ရန် လိုသည်။ ထိုနည်းတူပင် HVAC system များတွင် ရှိသည့် control loop များကိုလည်း tune လုပ်ရန် လိုသည်။ Control လုပ်ရမည့် HVAC system များသည် တစ်ခုနှင့် တစ်ခု မတူညီသောကြောင့် control loop များ အားလုံးသည်လည်း တူညီလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

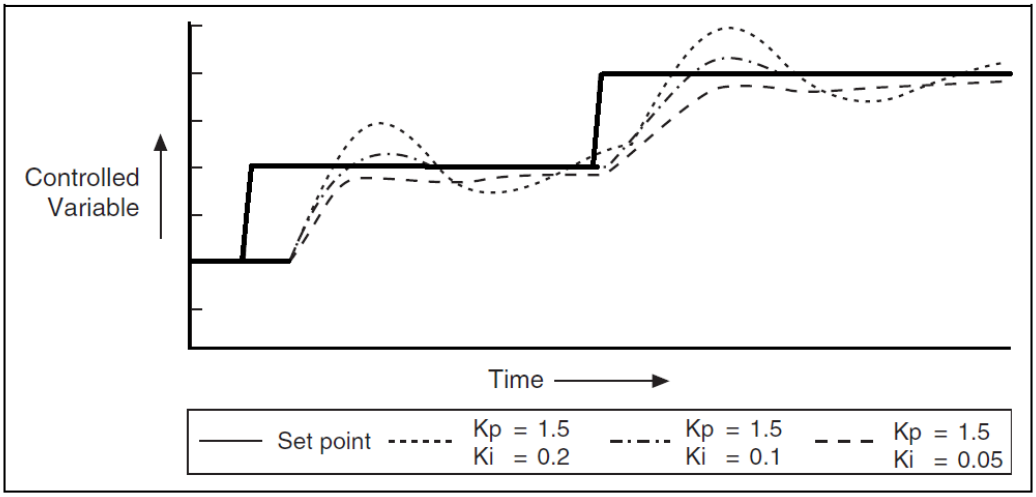
အလွန်ကြီးမားသော ပစ္စည်းသိုလှောင်ရုံ(ware house)တွင် သုံးသည့် heating coil နှင့် ဟိုတယ် အခန်းငယ်တွင် သုံးသည့် heating coil တို့တွင် အားလုံးတူညီသည့် controller အမျိုးအစား တပ်ဆင် ထားနိုင်သည်။ ထို system နှစ်ခု၏ time constant သည် တူညီကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထို့ကြောင့် controller gain များကို ထိန်းညှိ(adjust)ရန် လိုသည်။ Tune လုပ်ရန် လိုသည်။



ပုံ ၁-၁၅ Proportional control

ပုံ(၁-၁၅)တွင် proportional control loop turning လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ P control loop ဖြစ်သောကြောင့် gain အားလုံးအတွက် offset ရှိသည်။

“P Gain” များလာလေ oscillation ပိုဖြစ်လေ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၁-၁၆ Proportional-integral control

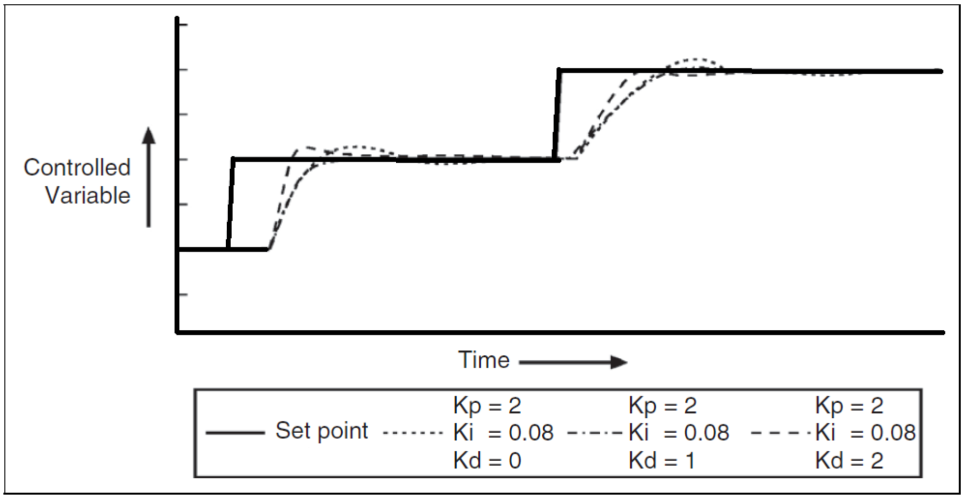
ပုံ(၁-၁၆)တွင် Proportional plus Integral(PI) control loop turning လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ P only control ထက် ပို၍ ကောင်းလာသည်။ အားလုံးအတွက် P Gain(K_p) မှာ 1.5 ကိန်းသေ ဖြစ်သည်။

“I Gain” (K_i) နည်းလာလေ oscillation နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။

ပုံ(၁-၁၇)သည် PID control loop tuning လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Set point တစ်ဆင့်ပြီး တစ်ဆင့် ပြောင်းလာသည့်အခါ control loop များက တုံ့ပြန်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

HVAC system များ၌ တစ်နေ့တာအတွင်း set point ပြောင်းလဲမှုအချို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော်လည်း၊ ဤပုံများတွင် ပြထားသကဲ့သို့ မြန်ဆန်စွာ မဖြစ်ပေါ်နိုင်ပါ။ Heating load နှင့် cooling load များအတွက် တုံ့ပြန်မှု(response)များမှာ

ခပ်ဆင်ဆင် တူညီကြသည်။ သင့်လျော်သည့် Proportional gain ၊ Integral gain နှင့် Derivative gain တို့ကို ရွေးချယ်ခြင်းဖြင့် ပိုတိကျသည့် accuracy နှင့် ပိုကောင်းသည့် system stability ရရှိနိုင်ပုံကို curve များမှ တစ်ဆင့် လေ့လာနိုင်သည်။ Loop turning သည် အနုပညာဆန်သည့် ဝိဇ္ဇာပညာရပ် ဖြစ်ပြီး trial-and-error နည်းဖြင့်သာ ပြုလုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁-၁၇ Proportional-integral-derivative control

> Tune လုပ်သည့် နည်းလမ်းမှာ များသောအားဖြင့် သင့်လျော်သည့် Proportional gain ကို အရင်ဆုံး ရအောင်ပြုလုပ်ပြီး ရှိနေသည့် offset တန်ဖိုးကို Integral gain ဖြင့် လုံးဝပျောက်အောင် သို့မဟုတ် နည်းသွားအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ များသောအားဖြင့် Derivative gain ကို အသုံးပြုလေ့မရှိပေ။ Derivative gain ကိုပါ ထည့်၍ tune လျှင် အလွန်ရှုပ်ထွေးသောကြောင့် လိုအပ်လျှင် နောက်ဆုံးမှသာ ထည့်လေ့ ရှိသည်။

ပထမဦးစွာ PID gain များကို rule-of-thumb နည်းအရ သော်လည်းကောင်း၊ ထုပ်လုပ်သူများ (manufacturer) များက ပေးသည့်တန်ဖိုး(recommended value)များအရ သော်လည်းကောင်း၊ ယခင်က ကြုံတွေ့ခဲ့သည့် အတွေ့အကြုံများအရ သော်လည်းကောင်း tune လုပ်ယူသည်။ Control system ၏ ပြုမူ ဆောင်ရွက်ပုံကို လေ့လာပြီး gain တန်ဖိုးကို oscillation စဖြစ်သည် အထိ ရောက်အောင် တိုးပေးသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Trend logging ရနိုင်ခဲ့လျှင် control system ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)ကို ပြန်၍ ကြည့်နိုင်သည်။ ထို့နောက် gain တန်ဖိုးကို oscillation စတင် ဖြစ်ပေါ်သည့် တန်ဖိုး၏ ထက်ဝက်ခန့် လျှော့ချကာ အသုံးပြုနိုင်သည်။

PID တန်ဖိုးများ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)များကို ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များ တစ်ယောက်နှင့် တစ်ယောက် ကွဲပြားစွာ သုံးလေ့ ရှိသည်။ အတွေ့အကြုံ ပိုများသူသည် အချိန်တိုတိုအတွင်း ပိုတိကျစွာ turning လုပ်နိုင်လိမ့်မည်။ အထက်ပါနည်းသည် အကောင်းဆုံး မဟုတ်သော်လည်း သင့်လျော် ကောင်းမွန်သည့် ရလဒ်ကို ပေးနိုင်သည်။ အလွန်တိကျသည့် loop turning နည်းများကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် manually ပြုလုပ်ရန် အလွန် လက်ဝင်သည်။ ခက်ခဲသည်။ အချို့သော digital control system များတွင် automatic loop turning software ပါဝင်သည်။ မည်သူ့ အကူအညီ နှင့် မည်သည့် input မလိုအပ်ဘဲ software ဖြင့် အလိုလျောက် loop turning ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Proportional control logic တွင် process များသည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ဆက်စပ်နေသည် (linear relation)ဟု ယူဆထားကြသည်။ Error ကို တွက်ယူသည့်အခါ၌ ပါဝင်သောအချို့ characteristic များသည် operating condition နှင့် မသက်ဆိုင်(independent)ဟုလည်း ယူဆထားသည်။ လက်တွေ့ process များ အားလုံး၏ function သည် non-linear ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် PID logic ကို operation condition များ အားလုံး အတွက် error မရှိအောင်(zero error) လုပ်ရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။

ပုံ(၁-၂)တွင် ပြထားသည့် heating coil ၏ valve သည် အနည်းငယ် ပွင့်ရုံဖြင့် supply temperature သည် အလွန် လျှင်မြန်စွာ မြင့်တက်သွားသည်။ ထိုသို့သော characteristic များကို steam နှင့် hot water ကို အသုံးပြုထားသော heating coil များတွင် တွေ့မြင်ရသည်။ Valve သည် ၅၀% ပွင့်ပြီး(opening) ပြီးနောက် နောက်ထပ် % အနည်းငယ်ပွင့်ရုံဖြင့် supply air temperature ကို အနည်းငယ်သာ ပြောင်းလဲစေသည်။ Hot water သို့မဟုတ် steam flow rate များနေချိန်တွင် အလွန်ကောင်းမွန်သည့် control ဖြစ်အောင် turn လုပ်ပြီးနောက် flow ကျဆင်းသွားသည့်အခါ control သည် ဆိုးဝါးညံ့ဖျင်း သွားနိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် တုံ့ပြန်မှု (response) နှေးကွေးသွား လိမ့်မည်။ ထို့နည်းတူ flow နိမ့်သွားသည့် အခြေအနေတွင် turning လုပ်ထားသည့် control loop သည် flow မြင့်လာသည့်အခါ တုံ့ပြန်မှု(response) အလွန်လျှင်မြန်လာပြီး system ကို မတည်မငြိမ် (unstable) ဖြစ်စေနိုင်သည်။

Dynamically self-tuned ဆိုသည်မှာ အလွန်တိကျသော(precise) control ရရှိရန်အတွက် operating condition ကို လိုက်၍ gain များကို အလိုလျောက်၊ အဆက်မပြတ် ပြောင်းလဲပေးနေခြင်း (adjust လုပ်နေခြင်း)ကို ဆိုလိုသည်။ အချို့သော digital control system များတွင် ထိုသို့သော dynamically self-turned capability များပါရှိခြင်းကြောင့် system သည်ပို၍ "robust" ဖြစ်လာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် တုံ့ပြန်မှုမြန်(fast responding) လာသည်။ Dynamic self-tuning ပါဝင်လျှင် manual tuning လုပ်ရန် မလိုအပ်သောကြောင့် commissioning လုပ်သည့်အခါ အချိန်နှင့် ကုန်ကျစရိတ် သက်သာသည်။

Non-linearity ပြဿနာကို ဖြေရှင်းရန် အခြားသောနည်းတစ်ခုမှာ fuzzy logic ကို အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။ Fuzzy logic သည် PID control logic များ အတွက် နည်းပညာအသစ် ဖြစ်သည်။ Fuzzy logic သည် လူများ စဉ်းစားတွေးခေါ်ပြီး ဆုံးဖြတ်ချက်ချသည့်နည်းကို အတုယူကာ control action များ ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Neural network နှင့် artificial intelligence တို့ကို အသုံးပြုထားသော self turning technique များသည် operation condition အမျိုးမျိုးတွင် control system က ပြုမူပုံ(behavior)ကို လေ့လာပြီး control အတွက် သင့်လျော်သည့် တုံ့ပြန်မှု(response) နှင့် gain များကို တွက်ချက်ပေးခြင်း ဖြစ်သည်။

၁.၆ Control Action များ နှင့် Normal Position

Control action များကို Direct Action (DA) နှင့် Reverse Action (RA) ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားသည်။ Control ပညာရပ် အခေါ်အဝေါ်ဖြစ်သော control action သို့မဟုတ် control direction သည် controller ၏ output signal ကို controlled variable ၏ ပြောင်းလဲသွားသည့် direction ကို အခြေခံ၍ ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

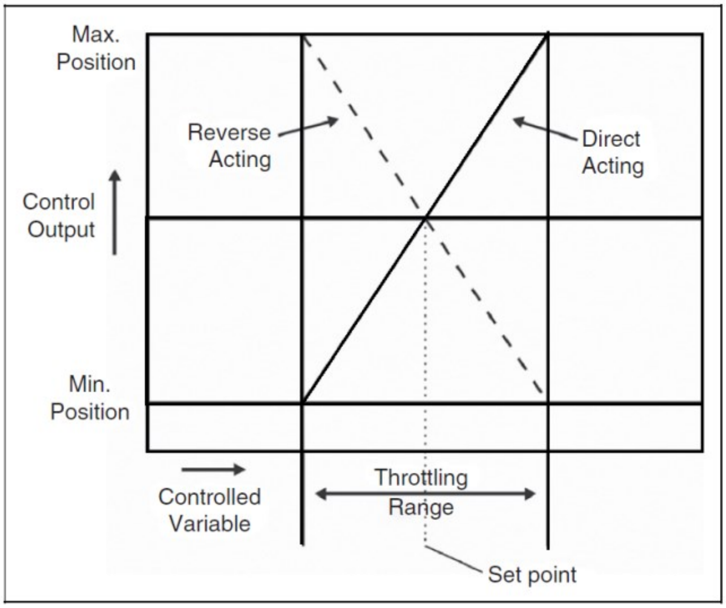
> Direct Action(DA) ဆိုသည်မှာ controlled variable ၏ တန်ဖိုးများလာသည်နှင့်အမျှ controller ၏ output signal တန်ဖိုးများလာခြင်း ဖြစ်သည်။ Reverse Action(RA)ဆိုသည်မှာ controlled variable တန်ဖိုးများလာသည်နှင့် အမျှ controller ၏ output signal တန်ဖိုးနည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

Cooling valve ဥပမာ- ထွက်လေအပူချိန်(discharge air temperature)ကို set point တွင် ထိန်းထားရန် cooling valve ကို အသုံးပြုထားသည်။ အကယ်၍ discharge air temperature သည် set point ထက် မြင့်နေပါက controller သည် ပိုများသည့် output signal တန်ဖိုးကို ထုတ်ပေးကာ valve ကို ပွင့်စေပြီး ရေအေး(cold water) များကို coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက် စေသည်။ အပူချိန်(temperature) မြင့်လာသည့်အခါ signal တန်ဖိုး လိုက်များပေးသောကြောင့် "**Direct Action**" ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

> Cooling coil အတွက် direct action ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။ Heating coil အတွက် reverse action ဖြစ်ရမည်။

Heating valve ဥပမာ - လက်ရှိအပူချိန်(temperature)သည် set point ထက် နိမ့်နေသည့်အခါ controller ၏ output signal တန်ဖိုးကို များစေပြီး heating valve ကို ပိုပွင့်စေကာ coil အတွင်းသို့ hot water(steam) များကို ဝင်ရောက်စေသည်။

Control action ဆိုသည့် ဝေါဟာရ(term) ကို သတိကြီးစွာဖြင့် အသုံးပြုပါ။ လက်တွေ့တွင် control variable ၏ ပြောင်းလဲသွားသည့် direction ကို အခြေခံ၍ ဖော်ပြထားသည် ဆိုသည်ကို ပို၍ အသုံးများကြသည်။ Two position-action ၊ floating action ၊ modulating စသည့် control mode များကိုလည်း control action ဟူ၍ ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ Control logic များကိုလည်း Proportional action ၊ Integral action စသဖြင့် control action အဖြစ် ပြောဆို လေ့ရှိသည်။



ပုံ ၁-၁၈ Proportional control

ပုံ(၁-၁၈)သည် Proportional control logic ကို အသုံးပြု၍ direct acting နှင့် reverse acting signal တို့ အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Output signal သည် error signal နှင့် တိုက်ရိုက် အချိုးကျ(direct proportion) ပြောင်းလဲနေသည်။ သချာ်ညီမျှခြင်းဖြင့် equation 1-2 တွင် ဖော်ပြထားသည်။

> Slope line ၏ တန်ဖိုး (magnitude)သည် Proportion gain ၏ တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ Slop ၏လက္ခဏာ (sign)သည် action ကို ဖော်ပြသည်။ Direct action အတွက် slope sign သည် positive ဖြစ်သည်။ Reverse action အတွက် slope sign သည် negative ဖြစ်သည်။

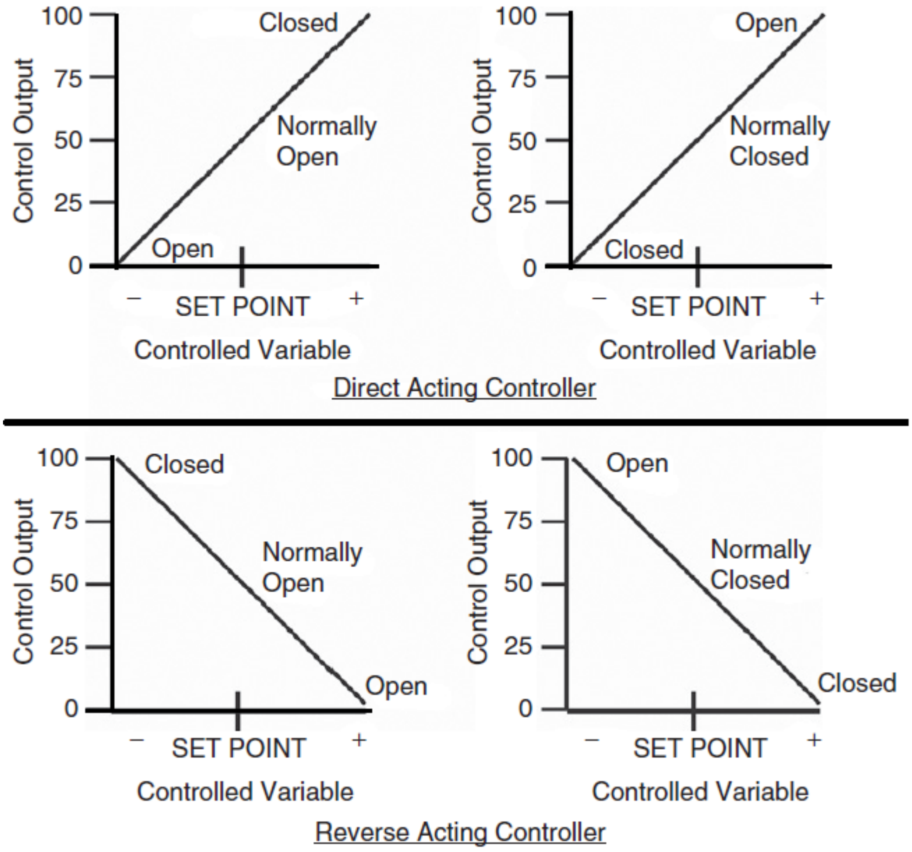
ပုံ(၁-၁၉)တွင် ပြထားသည့် throttling range သည် controlled device ဖြစ်သည့် valve full-open အခြေအနေ၏ controlled variable တန်ဖိုးမှ valve full-closed အခြေအနေ၏ controlled variable တန်ဖိုးကို နှုတ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Set point ကို throttling range ၏ အလယ်တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Two-position နှင့် floating control ပုံ(၁-၄) မှ ပုံ(၁-၈)အထိတွင် set point ကို အစွန်းတစ်ဖက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

ထိုသို့အလည်၌ ဖော်ပြခြင်းသည် Proportional control logic အတွက် ထုံးစံဖြစ်သည်။ သို့သော် လက်တွေ့တွင် set point သည် အသုံးပြုသူ(user) ၏ အပူအအေး နှစ်သက်မှုကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲ နေသောကြောင့် set point သည် throttling range အတွင်း မည်သည့် နေရာတွင်မဆို ရှိနေနိုင်သည်။ Set point သည် throttling range fully open နေရာတွင်လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Fully closed နေရာတွင် လည်း ဖြစ်နေနိုင်သည်။

Damper များ၊ valve များနှင့် switch များ စသည့် controlled device များ Normally Open(NO) position နှင့် Normally Closed(NC) position ဟူ၍ position နေရာ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Normally Open(NO) ကို "Fail Open"

ဟုလည်း ခေါ်ဆိုလေ့ ရှိသည်။ Power supply ပျက်တောက်ချိန်(fail)တွင် ပွင့်(open) နေမည် ဖြစ်သောကြောင့် Fail Open ဟုခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။



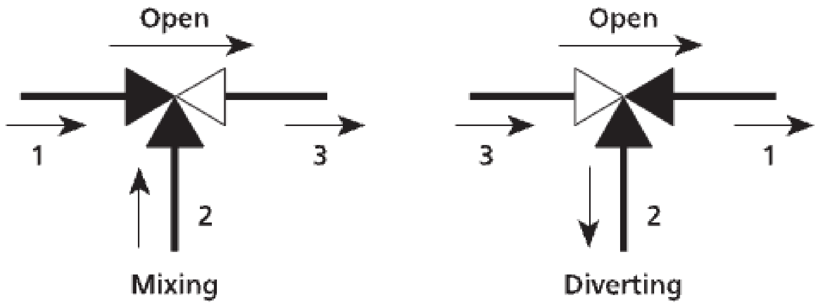
ပုံ ၁-၁၉ Control Action and Normal Position

Damper များ၊ valve များနှင့် switch များ၏ normal position ဆိုသည်မှာ ထို device များကို ပေးထားသည့် power (electricity power သို့မဟုတ် control air-pneumatic အတွက်) မရှိသည့်အခါတွင် ရောက်နေမည့် position ဖြစ်သည်။ Device များ normal position တွင် ဖွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန်အတွက် စပရိန်(spring) ကို self power ထုတ်ပေးမည့် ကိရိယာအဖြစ် ထည့်သွင်းထားသည်။

Normally closed damper တွင် စပရိန်(spring)ကို actuator ထဲတွင် ထည့်ထားသည်။ Actuator သို့ ပေးထားသည့် power supply ကို ဖြတ်တောက်လိုက်သည့်အခါတွင် actuator အတွင်းရှိ စပရိန်(spring) သည် တွန်းကန်၍ damper ကို ပိတ်စေလိမ့်မည်။ Normally closed damper ဆိုလျှင် စပရိန်က ပိတ်နေသည့် အနေအထားသို့ ရောက်အောင် တွန်းပိတ်လိမ့်မည်။ Normally open damper ဆိုလျှင် စပရိန်က ပွင့်နေသည့် အနေအထားသို့ ရောက်အောင် တွန်းဖွင့်လိမ့်မည်။ ထိုကဲ့သို့မျိုး damper ကို spring return damper ဟုခေါ်သည်။

အကယ်၍ actuator အတွင်း၌ spring သာ မပါရှိလျှင် power supply ကို ဖြတ်တောက်လိုက်သည့် အခါ damper သည် ရောက်နေသည့် နေရာတွင်သာ ရပ်နေလိမ့်မည်။(Stay in the last position.)။ ထိုကဲ့သို့မျိုး damper/actuator တွင် normal position မပါဝင်ပေ။

Three-way valve များတွင် diverting အမျိုးအစားနှင့် mixing ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Diverting သည် ဝင်သည့် water သို့မဟုတ် compressed air ကို steam နှစ်မျိုး အဖြစ်သို့ရောက်အောင် ခွဲပေးသည်။ Mixing three way valve သည် stream နှစ်ခုကို ရောနှောသွားအောင် လုပ်ပေးသည်။



Port	Name	Alternative	USA	Europe
1	Control	Load	A	E
2	Bypass	Bypass	B	L
3	Common	Common	AB	C

Three way valve တွင် ပါရှိသော port သုံးခု အနက်မှ တစ်ခုသည် common port ဖြစ်သည်။ Diverting valve တွင် common port သည် entering port ဖြစ်ပြီး mixing valve တွင် common port သည် leaving port ဖြစ်သည်။ Normally open(NO) အတွက် common port သည် power ဖြစ်တောက်ခြင်း ခံရသည့် အခါတွင် ပွင့်နေလိမ့်မည်။ Normally closed three way valve သည် power ဖြတ်တောက်ခြင်း ခံရသည့် အခါတွင် common port သည် ပိတ်နေလိမ့်မည်။

Three way valve သည် Normally Closed (NO) ဖြစ်စေ Normally Open (NO) ဖြစ်စေ ရေစီးနေမည်သာ ဖြစ်သည်။ Coil အတွင်းသို့ ရေစီးဝင်ခြင်း ရှိ၊ မရှိသာ ကွာခြားသည်။

သတိပြုရန် အချက်မှာ controlled device ၏ normal position သည် နေ့စဉ်(every day) ပုံမှန် အလုပ်လုပ်ရန် ပွင့်နေသည့် အခြေအနေ ပိတ်နေသည့် အခြေအနေကို ဆိုလိုခြင်း မဟုတ်ပါ။

Outdoor air damper ကို Normally Closed(NC) အဖြစ် ပြုလုပ်ထား သင့်သည်။ နေ့အချိန်၌ fan မောင်းနေစဉ် outdoor air damper သည် ပွင့်နေပြီး လေများ အဆောက်အဦးအတွင်းသို့ ဝင်ရောက်နေရမည်။ ညအချိန် fan ရပ်နေသည့်အခါတွင် damper ပိတ်နေရန် လိုသည်။ မီးပျက်သည့်အခါ damper သည်(NC ဖြစ်၍) ပိတ်နေပြီး တိရိစ္ဆာန်များ၊ အမှိုက်များ ဝင်ရောက်ခြင်း၊ မီးခိုးများ ဝင်ရောက်ခြင်းမှ ကင်းဝေးစေသည်။ Spring return actuator နှင့် တခြား device များသည် power မရှိသည့်အခါတွင် fail-safe position တွင် ရှိနေအောင် ပြုလုပ်ထားသည်။

Fail-safe position သည် သတ်မှတ်ထားသည့် normal position တစ်ခုဖြစ်သည်။ လုံးဝပွင့်နေခြင်း (fully open) သို့မဟုတ် လုံးဝပိတ်နေခြင်း(fully closed) ဖြစ်ရန် မလိုပေ။ ဥပမာ- outdoor air intake coil ၏ hot water valve ကို Normally Open(NO)အဖြစ် ပြုလုပ်ထားလေ့ရှိသည်။ ထို့မှသာ power မရှိသည့်အခါ hot water သည် coil အတွင်းသို့ ဆက်စီးဆင်းနေပြီး freezing ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်မည်။ Supply fan ၏ inlet guide vane နှင့် outdoor air intake damper တို့ကို Normally Closed(NC) အဖြစ် ပြုလုပ်ထားရမည်။

Fan နှင့် damper တို့ကို inter lock လုပ်သင့်သည်။ Inter lock ဆိုသည်မှာ fan ရပ်သည့် အခါ damper ကို ပိတ်ထားအောင် ပြုလုပ်ထားပြီး damper မပွင့်ဘဲ fan မောင်း၍ မရအောင် ပြုလုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ ညအခါ supply fan ကို ရပ်လိုက်သည့်အခါ inlet guide နှင့် outdoor air damper ကိုလည်း အလိုလျောက် ပိတ်စေရမည်။ ထုံးစံအားဖြင့် control signal မရှိတော့သည့်အခါ သို့မဟုတ် zero ဖြစ်သွားသည့်အခါ control deviceသည် normal position ဆီသို့ ရောက်သွားလိမ့်မည်။ Control signal တန်ဖိုး များလာခြင်းဖြင့် controlled device သည် ပုံမှန်နေရာ(normal position) မှ ဝေးရာ တခြားတစ်ဖက်သို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ ထို့ကြောင့် normal position သည် controller ၏ control action နှင့် process plant သဘာဝကိုလိုက်ကာ ကိုက်ညီအောင် ရှိနေသင့်သည်။

ဥပမာ- ပုံ(၁-၂)တွင် ပြထားသည့် heating system မှ valve သည် Normally Open(NO) ဖြစ်ရမည်။ Controller ၏ control action (thermostat)သည် direct action ဖြစ်ရမည်။ Controllerမှ control signal နည်းလာသည်နှင့်အမျှ valve သည် normal position (ပွင့်နေရာမှ) မှဝေးရာသို့ (ပိတ်သည့်ဘက်သို့) ရောက်သွားစေလိမ့်မည်။ Valve လုံးဝပိတ်ရန် အတွက် control signal သည် အမြင့်ဆုံးတန်ဖိုး(maximum value) ဖြစ်ရမည်။ ထို့ကြောင့် duct အတွင်းရှိ လေအပူချိန် မြင့်တက်လာလျှင် control signal ၏ တန်ဖိုးလည်း များလာကာ valve ပိတ်သွားလိမ့်မည်။ Valve ပိတ်သွားခြင်းကြောင့် coil အတွင်းသို့ စီးဝင်လာသည့် hot water flow နည်းသွားကာ over heating ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။

ပုံ(၁-၂)မှ heating coil ကို chilled water coil အဖြစ်သို့ ပြောင်းလိုက်လျှင် control valve သည် Normally Open(NO)သာ ဖြစ်မည်။ သို့သော် controller သည် reverse action ဖြစ်ရမည်။ အပူချိန် မြင့်တက်လာလျှင် valve သည် ပွင့်ရန် လိုအပ်ပြီး chilled water flow များများ စီးဝင်ရန် လိုအပ်သည်။ Valve ပွင့်ရန်အတွက် control signal နည်း ရမည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အပူချိန် (temperature) ပြောင်းသည့် ဆန့်ကျင်ဘက်သို့ controller က လုပ်ဆောင် ပေးရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် reverse action ဖြစ်ရန် လိုအပ်သည်။

Table 1-3 Required control action		
	Normal Position	
Application and Controlled Device	**NO (Normally Close)**	**NC (Normally Open)**
Heating valve or damper	Direct Action	Reverse Action
Cooling valve or damper	Reverse Action	Direct Action

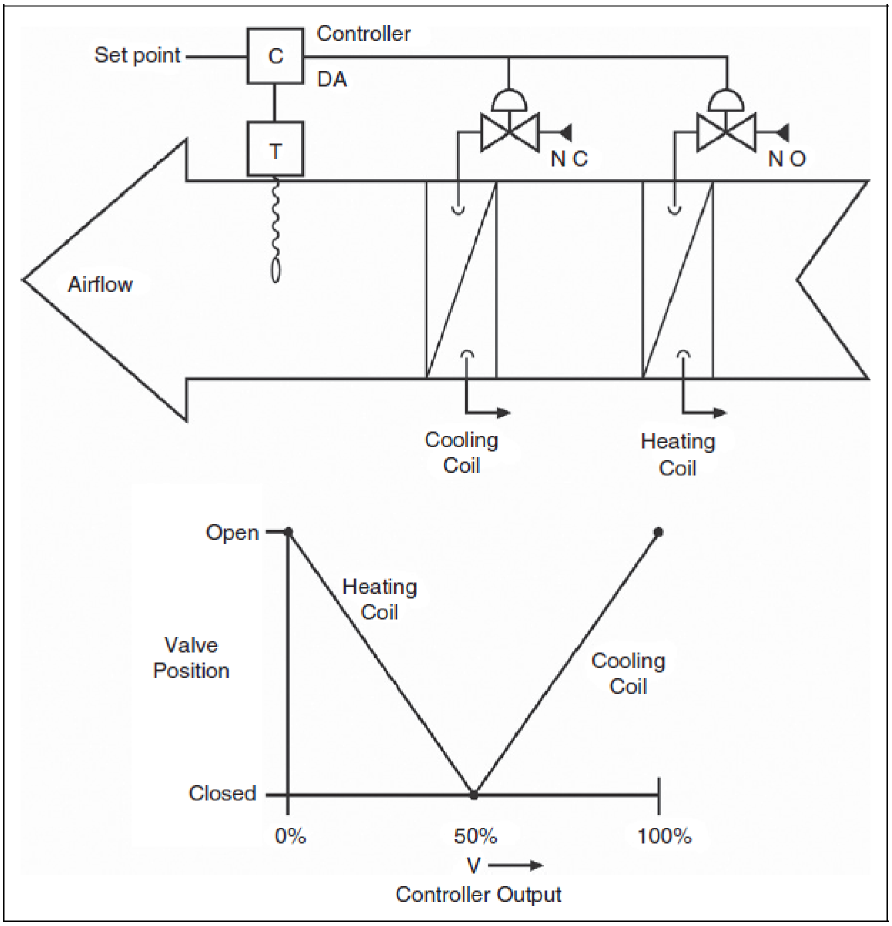
Heating နှင့် cooling application များအတွက် control action နှင့် normal position တို့ ဆက်သွယ်ပုံကို ဇယား(၁-၃)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ(၁-၁၉)တွင် ထိုဆက်သွယ်ပုံ(relationship)များကို schematic ဖြင့် Proportion control ကို အသုံးပြုပြီး ဖော်ပြထားသည်။ ပထမဦးစွာ fail-safe position ဖြစ်ရန် အတွက် device ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သော normal position ကို ရွေးချယ်ပါ။ ထို့နောက် process plant (heating plant သို့မဟုတ် cooling plant)၏ သဘာဝနှင့် သင့်လျော်အောင် ရွေးချယ်ထားသည့် normal position ကို အခြေခံ၍ reverse acting ဖြစ်သင့်သည် သို့မဟုတ် direct acting ဖြစ်သင့်သည် စသည့် controller ၏ control action ကို ဆုံးဖြတ်ပါ။ အကယ်၍ တစ်စုံတစ်ရာ အဆင်မပြေ၍ ပဋိပက္ခ(conflict) ရှိခဲ့လျှင် controller၏ action ကို ပြောင်းသွားစေရန် reversing relay ကို ထည့်၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ ဥပမာ- Normally Open(NO) heating valve နှင့် reverse acting controller ကို အသုံးပြုလိုလျှင် reversing relay ကို ထည့်ပါ။

၁-၇ Control Range နှင့် Sequencing ပြုလုပ်ပုံ

Gain ကို adjust လုပ်ခြင်းဖြင့် equation 1-1 မှ 1-3 တွင် ပါရှိသည့် control loop မှ output တန်ဖိုးကို နည်းအောင်၊ များအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Error ကို လိုက်၍ gain ကို adjust လုပ်ခြင်းဖြင့် output တန်ဖိုးကို အတိုင်းအတာ တစ်ခုအတွင်း scale လုပ်နိုင်သည်။ ဥပမာ - control loop အတွက် controlled device သည် fully closed ဖြစ်နေပြီး 0% မှ 100% အတွင်းတွင် ရှိနိုင်သည်။ 0% သည် direct-action loop အတွက် controlled device သည် fully closed ဖြစ်နေပြီး 100% သည် full-open ဖြစ်ရန် လိုသည်။ Pneumatic controller များ၏ output သည် 3 psi မှ 13 psi အတွင်း ဖြစ်သည်။ Electric controller များ၏ output သည် 2Vdc မှ 12 Vdc အတွင်းဖြစ်သည်။

Controller device များသည် controller တစ်ခုနှင့် ကောင်းစွာ ချိတ်ဆက်ပြီး အလုပ်လုပ်နိုင်ရန် controller မှ output range သည် controlled device များ လက်ခံနိုင်သည့် control range ဖြစ်ရမည်။ "**Control range**" ဆိုသည်မှာ controlled device များက လက်ခံ တုံ့ပြန်နိုင်သည့် control signal range ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - pneumatic controller များ၏ output range မှာ 3 psi မှ 13 psi အတွင်းဖြစ်သည်။ Controlled device များ၏ control range သည် controller ၏ output range အတွင်း၌သာ ရှိရမည်။

Pneumatic device များ၏ control range သည် 3 psi မှ 8 psi အတွင်း နှင့် 8 psi မှ 13 psi အတွင်း ဖြစ်သည်။ Control range ၏ အစွန်းတစ်ဖက်ဖက်၌ device သည် fully closed သို့မဟုတ် fully open ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ဥပမာ- Normally Open(NO) pneumatic control valve ၏ control range မှာ 3 psi မှ 8 psi အတွင်း ဖြစ်လျှင် valve သည် 3 psi ၌ fully open ဖြစ်နေပြီး 8 psi ရသည့်အခါ fully closed ဖြစ်နေလိမ့်မည်။



ပုံ ၁-၂၀ Sequencing

"**Control span**" ဆိုသည်မှာ control range ၏ အများဆုံးမှ အနည်းဆုံးကို နှုတ်ထားသည့် တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ အထက်ပါ pneumatic control valve ၏ control span မှာ 8 psi -3 psi=5 psi ဖြစ်သည်။ သင့်လျော်သည့် controlled device များ၊ သင့်လျော်သည့် control range နှင့် သင့်လျော်သည့် normal position များကို ရွေးချယ်၍ controller တစ်ခုတည်းသာ အသုံးပြု၍ အလိုရှိသော control function များကို လုပ်ဆောင်နိုင်သည်။ ချမှတ်ထားသော စွမ်းအင်နှင့်သက်ဆိုင်သည့် စည်းကမ်းများ(energy code)အရ စွမ်းအင်မဖြုန်းတီးစေရန် valve များ၏ control range သည် over lapping မဖြစ်စေရ။

ဥပမာ- heating valve ၏ control range ကို ၀% မှ ၅၀% အတွင်းသာ အသုံးပြုပြီး၊ cooling valve ၏ control range မှာ ၅၀% မှ ၁၀၀% အတွင်း အသုံးပြုခြင်းမျိုး ဖြစ်သည်။ Heating valve သည် fully open (controller output 0%ဖြစ်သည့် အခါ) ဖြစ်နေပြီး controller output 50% ဖြစ်သည့်အခါ heating valve သည် fully close ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ Valve သည်(controller output 50% ဖြစ်နေသည့်အခါ) fully closed ဖြစ်နေပြီး controller output 100% ဖြစ်သည့်အခါ fully open ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ သို့သော် ASHRAE 90.1-2004 သတ်မှတ်ချက်များသည် overlapping မဖြစ်ရုံနှင့် မလုံလောက်ပေ။ ပိုတင်းကျပ်သော စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းများ ပါဝင်သည်။

၁.၈ Control Documentation ၊ Maintenance and Operation

Control system များ အားလုံးကို စနစ်တကျ မှတ်တမ်းပြုစုထားရမည်။ ထိုမှတ်တမ်းများတွင် အလုပ်လုပ်ပုံ sequence များ၊ I/O point list များ၊ data sheet များ၊ damper များနှင့် valve များ၏ schedule များ control drawing များ၊ device များ ရှိသည့်နေရာများ(site plan location) အတွက် control device များနှင့် remote device များ၊ input/output point list များ ပါဝင်ရမည်။ ထိုစာရွက်စာတမ်းများနှင့် drawing များကို လုံခြုံသည့် နေရာတွင် သိမ်းဆည်းထားပြီး အသုံးပြုသူများ အလွယ်တကူ ကြည့်ရှုနိုင်စေရမည်။ တပ်ဆင်မှု(installation) အားလုံး ပြီးစီးသည့်နောက် Testing & Commissioning ပြီးစီးသည့်အခါ ရရှိသည့် ရလဒ်(result data) များကိုလည်း မှတ်တမ်းပြုစုထားသင့်သည်။

Control system များ အားလုံးအတွက် အချိန်မှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ(periodic maintenance)၊ သင့်လျော်မည့် adjustment များ၊ calibration များ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်နှစ်လျှင် နှစ်ကြိမ်(semi annual) သို့မဟုတ် လေးကြိမ်(quarterly) ပြုလုပ်သင့်သည်။ **ASHRAE Standard 62.1-2004** တွင် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းခြင်း (maintenance)နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်များကို ဖော်ပြထားပြီး outdoor air damper နှင့် actuator များကို သုံးလ တစ်ကြိမ် စစ်ဆေးရန် ဖော်ပြထားသည်။ ပြုပြင်ခြင်း၊ ထိန်းသိမ်းခြင်းတို့ ပြုလုပ်ပြီးသည့် အခါ စနစ်တကျ ရေးသား မှတ်တမ်းတင် ထားသင့်သည်။

-End –

- **Contents**

၁.၁ အဘယ်ကြောင့် Control System များ လိုအပ်သနည်း? 1
၁.၂ Control လုပ်နည်းများ တိုးတက်လာပုံ 3
၁.၃ Control Loops 5
၁.၄ Control Modes 9
၁.၅ Gains and Loop Tuning 23
၁.၆ Control Action များ နှင့် Normal Position 26
၁-၇ Control Range နှင့် Sequencing ပြုလုပ်ပုံ 30
၁.၈ Control Documentation ၊ Maintenance and Operation 32

INTRODUCTION TO HVAC CONTROL SYSTEM

မာတိကာ

၁.၁ အဘယ်ကြောင့် Control System များ လိုအပ်သနည်း?	1
၁.၂ Control လုပ်နည်းများ တိုးတက်လာပုံ	3
၁.၃ Control Loops	5
၁.၄ Control Modes	9
၁.၅ Gains and Loop Tuning	23
၁.၆ Control Action များ နှင့် Normal Position	26
၁-၇ Control Range နှင့် Sequencing ပြုလုပ်ပုံ	30
၁.၈ Control Documentation ၊ Maintenance and Operation	32

Chapter-2 Control Systems for Buildings

၂.၁ Modem Control System

ခေတ်မီ အဆောက်အဦများ ဘေးအန္တရာယ်ကင်းစွာနှင့် efficient ဖြစ်စွာ လည်ပတ်နေရန် အတွက် မှန်ကန်သည့် control system များ ရှိရန် လိုအပ်သည်။ အဆောက်အဦအတွင်း ရှိနေသူများ(occupant) သက်သောင့် သက်သာ(comfortable)ဖြစ်စေရုံသာမက HVAC plant များ efficient ဖြစ်စွာ လည်ပတ်(operate) နိုင်ရန်အတွက် ခေတ်မီသည့် control system များ လိုအပ်သည်။ HVAC plant များသည် သာမန် အချိန်များတွင် သာမက ကြိုတင် မစဉ်းစားထားသည့် အခြေအနေများ၌လည်း ဘေးကင်းလုံခြုံစွာ လည်ပတ်နေရန်လိုသည်။ အဆောက်အဦ တစ်ခုသည် ခေတ်မီ အဆင့်မြင့်ရန် အတွက် ပို၍ ခက်ခဲ နက်နဲသည့်(sophisticated) control system ပါရှိရန် လိုအပ်သလို သာမန် ရိုးရှင်းသည့် အဆောက်အဦများ၌လည်း သင့်လျော် မှန်ကန်သည့် control system တပ်ဆင်ထားပါက အကျိုးများ လှသည်။

စွမ်းအင်ချွေတာခြင်း(energy saving)နှင့် ဖန်လုံအိမ်အာနိသင် ဖြစ်ပေါ်စေသည့် ဓာတ်ငွေ့ထုတ်လွှတ်မှု (greenhouse gas emission)များ လျှော့ချနိုင်ရန် အတွက် control system များသည် အရေးကြီးသည့် အခန်း ကဏ္ဍမှ ပါဝင်သည်။ ၁၉၇၀ ပြည့်နှစ် နောက်ပိုင်း၌ digital နည်းပညာများ ပေါ်ထွန်း လာပြီးနောက် data များကို sequence of number များ အဖြစ် ပြောင်းလဲလာနိုင်ခဲ့သည်။ ယခင်က analogue value များကိုသာ ပေးပို့ (transmit) နိုင်ခဲ့ကြသည်။ ယခုအခါ digital data များဖြင့် ဆက်သွယ်(communicate) နိုင်ခဲ့ခြင်းကြောင့် အမှား နည်းလာသည်။ အမှားတစ်စုံတစ်ရာ ဖြစ်ပေါ်ပါက ချက်ခြင်းသိနိုင်သည်။ Error detection လုပ်နိုင်သည်။ ပို၍ တိကျ လာသည်။ ထိုအချိန်မှ စတင်၍ Direct Digital Controller(DDC) များ ပေါ်ပေါက်လာပြီး data များကို ဂဏန်းဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် အချက်အလက်များ(numerical message)အဖြစ် ပြောင်းလဲ၍ ပေးပို့ခြင်း၊ လက်ခံခြင်း စသည့် data communication နည်းပညာများ တိုးတက်လာသည်။

Data communication နည်းပညာများကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် variable များ၏ တန်ဖိုး(value)များ သာမက မည်သည့် origin device မှ မည်သည့် destination device ဆီသို့ ပေးပို့သည်၊ အမှားရှာဖွေခြင်း (error-checking) ပြုလုပ်ပြီး ဖြစ်သည်၊ စသည့် အချက်အလက်(information)များကိုပါ သိရှိနိုင်သည်။ ထိုသို့ data များကို device များ အချင်းချင်း နားလည်နိုင်ရန် တိကျသည့် structure ဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည့် data communication protocol များကို တီထွင် ပြဌာန်းနိုင်ခဲ့ကြသည်။

Central computer များ၏ တွက်ချက်နိုင်စွမ်း(computing power) လျင်မြန်စွာ တိုးတက် နေသောကြောင့် ပို၍ ခက်ခဲရှုပ်ထွေး(sophisticated)သည့် လုပ်ငန်း(central function)များကို လုပ်ဆောင် လာနိုင်ပြီး energy consumption monitoring ၊ report printing ၊ trending စသည့် ပိုအဆင့်မြင့်သည့် လုပ်ငန်း(function)များကို လုပ်ဆောင် လာနိုင်ခဲ့ကြသည်။

Microprocessor များ ပေါ်ပေါက်လာခြင်းကြောင့် monitoring နှင့် control function များ အားလုံးကို central computer တစ်ခုတည်းက လုပ်ဆောင်ပေးရန် မလိုအပ်တော့ပေ။ Microprocessor များဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် Direct Digital Controller(DDC) သည် monitoring၊ control နှင့် communicating function များ အားလုံးကို intelligent ဖြစ်စွာ ပြုလုပ်ပေးနိုင်သောကြောင့် central computer များနှင့် supervisory controller များက Direct Digital Controller(DDC) များ အားလုံး၏ action ကို supervise လုပ်ခြင်း၊ alarm များကို လက်ခံယူခြင်း၊ set point များကို ပြောင်းပေးခြင်းနှင့် schedule time(operating time) များကို ပြောင်းပေးခြင်း စသည်တို့ကိုသာ လုပ်ဆောင်ပေးရန် လိုအပ်သည်။

Data communication နှင့် Local Area Network (LAN) နည်းပညာများ တိုးတက်လာမှုကြောင့် DDC များ နှင့် PC များ အပြန်အလှန် ဆက်သွယ်လာ နိုင်သည်။ Network များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု ဆက်သွယ် (communicate) နိုင်ခြင်းကြောင့် မိုင်ပေါင်းများစွာ ဝေးကွာနေသည့် အဆောက်အဦများ အတူတကွ ချိတ်ဆက်ပြီး သတင်း အချက်အလက်များ အပြန်အလှန်လဲလှယ်ကာ အလုပ်လုပ်(operate) နိုင်သည်။

ထိုအကြောင်းများကြောင့် Building Management System (BMS) သည် ပို၍ ခေတ်မီ တိုးတက် လာသည်။ ဤစာအုပ်တွင် ဆိုလိုသည့် control system သည် အဆောက်အဦများ အတွင်းရှိ control system များကိုသာ ဆိုလိုသည်။ Building control system များတွင် control element များ၊ controller များ၊ network များ၊ communication device များ၊ central controller များ၊ software များနှင့် database များ ပါဝင်ကြသည်။

Building Management System (BMS) ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦ service system များကို control နှင့် monitor လုပ်နိုင်သည့် component များ သို့မဟုတ် device များ အချင်းချင်း အပြန်အလှန် ဆက်သွယ်ရန် (communicate)အတွက် ချိတ်ဆက်ထားပြီး နေရာတစ်ခုတည်း(single point)မှ စီမံခန့်ခွဲ(manage)နိုင်သည့် system ကို ဆိုလိုသည်။

ယနေ့ခေတ်၌ ရုံးများနှင့် စက်ရုံများ ချောမွေ့စွာလည်ပတ်ရန်(operation)အတွက် စီးပွားရေး(business) လိုအပ်ချက်အရ အလွန့်အလွန် များပြားသည့် သတင်းအချက်အလက်(information) များကို process လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

၂.၂ Sustainable Development and Global Environment

UN world mission ၏ အဓိပ္ပာယ် ဖွင့်ဆိုချက်အရ sustainable development ဆိုသည်မှာ နောင်မျိုးဆက်သစ်များ(future generation)၏ လိုအပ်ချက်များ ပြေလည်စေမည့် အရာများကို စတေးခြင်း (compromising) မလုပ်ဘဲ ယနေ့ မျက်မှောက်ခေတ် လိုအပ်ချက်များ ပြေလည်စေမည့် တိုးတက်ဖွံ့ဖြိုးမှု (development)များကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အောက်ပါ ရည်ရွယ်ချက်(objective) လေးမျိုးကို တစ်ပြိုင်နက် ပြည့်စုံစေခြင်း ဖြစ်သည်။

(၁) လူတိုင်း၏ လိုအပ်ချက်များကို လက်ခံ အသိအမှတ်ပြုထားသည့် တိုးတက်မှုများ (social progress)

(၂) သဘာဝပတ်ဝန်းကျင်(environment)ကို ကောင်းစွာ လုံးဝ ကာကွယ် ထိန်းသိမ်းထားခြင်း

(၃) သဘာဝ အရင်းအမြစ်များ(natural resources)ကို စောင့်ရှောက်ခြင်း နှင့်

(၄) စီးပွားရေးအရ တိုးတက်ခြင်းနှင့် အလုပ်အကိုင် ရရှိရေး တို့ဖြစ်သည်။

၂.၂.၁ Energy Efficiency

စွမ်းအင်များ အလဟဿ မဆုံးရှုံးရအောင် အဆောက်အဦ(building)များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် BAS system က ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည်။ အဆောက်အဦများ ပုံမှန် လည်ပတ်နေစေရန်အတွက် လိုအပ်သော စွမ်းအင် (energy)သည် အောက်ပါအချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(က) Building envelope နှင့် သက်ဆိုင်သည့် thermal efficiency

- (၁) Thermal insulation (အပူ စီးကူးမှုများကို ကာကွယ်နိုင်ခြင်း)
- (၂) Air tightness (အဆောက်အဦ လေလုံခြင်း)
- (၃) Provision for passive solar gains (နေရောင်များ အဆောက်အဦအတွင်း ရောက်ရှိခြင်း)

(ခ) Indoor environment ၏ လိုအပ်ချက်များ

- (၁) Temperature schedule
- (၂) Ventilation needs
- (၃) Humidity control
- (၄) Indoor air quality
- (၅) Lighting requirement
- (၆) Hot water requirements - lifts and mechanical services

(ဂ) အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ process များ

- (၁) IT equipment
- (၂) Industrial process

အထက်ပါ အချက်များသည် အဆောက်အဦတစ်ခု ပုံမှန်လည်ပတ်နေရန်နှင့် စီးပွားရေး(business)အရ လိုအပ်ချက်များ ပြည့်မီစေရန်အတွက် အသုံးပြုရမည့် စွမ်းအင်(energy) ဖြစ်သည်။ မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရမည့် (သုံးစွဲရမည့်) စွမ်းအင်ပမာဏ ဖြစ်သည်။

လက်ရှိသုံးစွဲနေသည့် စွမ်းအင်(actual energy expenditure)မှ အမှန်တကယ်သုံးစွဲရန် လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်(base requirement)ကိုနုတ်လျှင် ကာကွယ်တားဆီးနိုင်သည့် စွမ်းအင်လေလွင့်မှု(avoidable waste) ပမာဏကို ရရှိသည်။

လျှော့ချနိုင်သည့် လေလွင့်မှု(avoidable waste)များသည် အောက်ပါ အကြောင်းအမျိုးမျိုးကြောင့် ဖြစ်နိုင်သည်။

- (၁) Poor time and temperature control of the building interior
- (၂) Ineffective utilisation of internal heat gains
- (၃) Plant oversizing
- (၄) Excessive ventilation
- (၅) Low operating efficiency of the HVAC system
- (၆) Poor system design and installation
- (၇) Standing losses နှင့်
- (၈) Unnecessary use of artificial lighting and air conditioning တို့ ဖြစ်သည်။

အထက်ပါ အချက်များ အားလုံးသည် control system နှင့် သက်ဆိုင်သည်။ လေလွင့်မှု(waste) များ နည်းသွားအောင် control system က ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည့် သိသာထင်ရှားသော အချက်များမှာ-

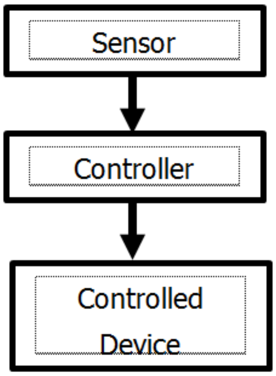
(က)Heating သို့မဟုတ် cooling လုပ်ပေးရမည့် အချိန်များကို တတ်နိုင်သမျှနည်းအောင် ကန့်သတ်ထားရန်၊ လိုအပ်သလောက်သာ ပေးရန်၊ optimal start/stop strategy များကို အသုံးပြုရန် နှင့် occupancy sensor များကို တပ်ဆင်၍ အသုံးပြုသူ ရှိမှသာ heating နှင့် cooling ပေးရန်တို့ ဖြစ်သည်။

(ခ)မလိုအပ်သည့် လည်ပတ်မှု(operation)များ မဖြစ်စေရန် ကြိုတင် ကာကွယ်ခြင်း နှင့်

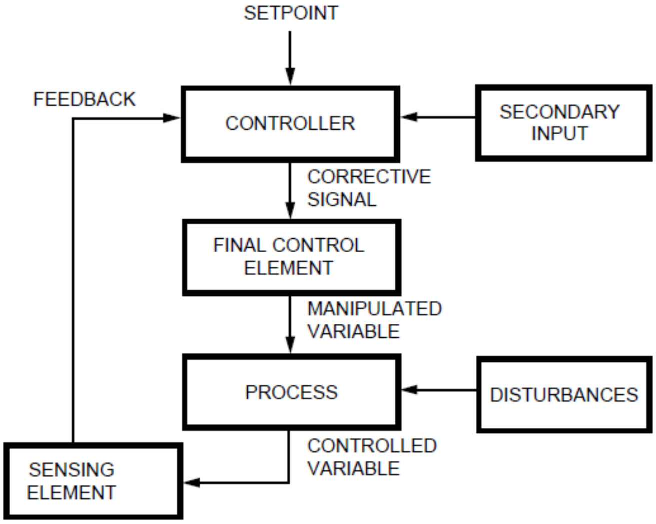
(ဂ)Equipment များ ပုံမှန် အလုပ်မလုပ်ခြင်း(malfunction) သို့မဟုတ် inefficient operation ဖြစ်နေပါက အချိန်မီ သတိ(warning) ပေးနိုင်ရန်အတွက် စောင့်ကြည့်ခြင်း (monitoring) တို့ ဖြစ်သည်။

၂.၃ Building Control System

Control system တစ်ခုတွင် အခြေခံအားဖြင့် အစိတ်အပိုင်း(element) သုံးမျိုး ပါဝင်သည်။ Sensor တစ်ခု၊ controller တစ်ခု နှင့် controlled device(control လုပ်ခြင်းခံရသည့် device) တို့ ဖြစ်သည်။ ပုံ(၂-၁) တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Sensor သည် အပူချိန်(temperature)၊ ဖိအား(pressure) စသည့် control variable တစ်မျိုးမျိုးကို တိုင်းယူပြီး controller ထံသို့ ပို့ပေး(transmit)သည်။ Controller သည် sensor မှ ရသည့် တန်ဖိုး(value)ကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်မှုပြုလုပ်ပြီး controlled device ဆီသို့ output signal ထုတ်ပေးသည်။ Controlled device သည် load output ကို ပြောင်းလဲပေးသည်။

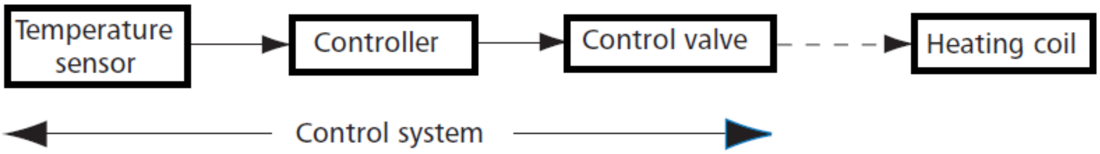


ပုံ ၂-၁ Open loop control system



ပုံ ၂-၂ Feedback in a closed-loop system

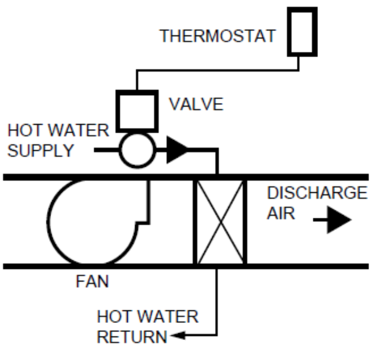
"**Closed Loop Control System**" သို့မဟုတ် "**Feedback System**" များသည် controlled variable ကို feedback အဖြစ် ပြန်ယူသည့် loop များ ဖြစ်သည်။ Feedback ပြန်မယူသည့် control system များကို "**Open Loop**" သို့မဟုတ် "**Feed Forward System**" ဟု ခေါ်သည်။



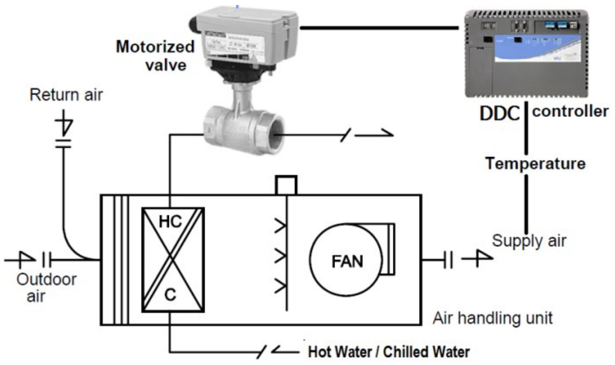
ပုံ ၂-၃ Common control system

ဤစာအုပ်တွင် ဖော်ပြထားသည့် control system များသည် closed loop များ ဖြစ်သည်။ ပုံ(၂-၃) တွင် အခန်းအပူချိန်ကို setpoint တွင် ရောက်နေစေရန် ထိန်းထားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ အခန်းအပူချိန် နိမ့်နေပါက heater ၏ output ကို ပိုများစေသည်။

Heater ၏ output များခြင်းကြောင့် အခန်းအပူချိန် တိုးလာသည်။ ထိုမြင့်တက်လာသည့် အပူချိန်ကို sensor မှ တိုင်းယူ၍ controller ဆီသို့ ပို့ပေးသည်။ Controller သည် တိုင်းယူထားသည့် controlled variable တန်ဖိုး နှင့် set point တို့ နှိုင်းယှဉ်ကာ သင့်လျော်သည့် output ကို ထုတ်ပေးသည်။

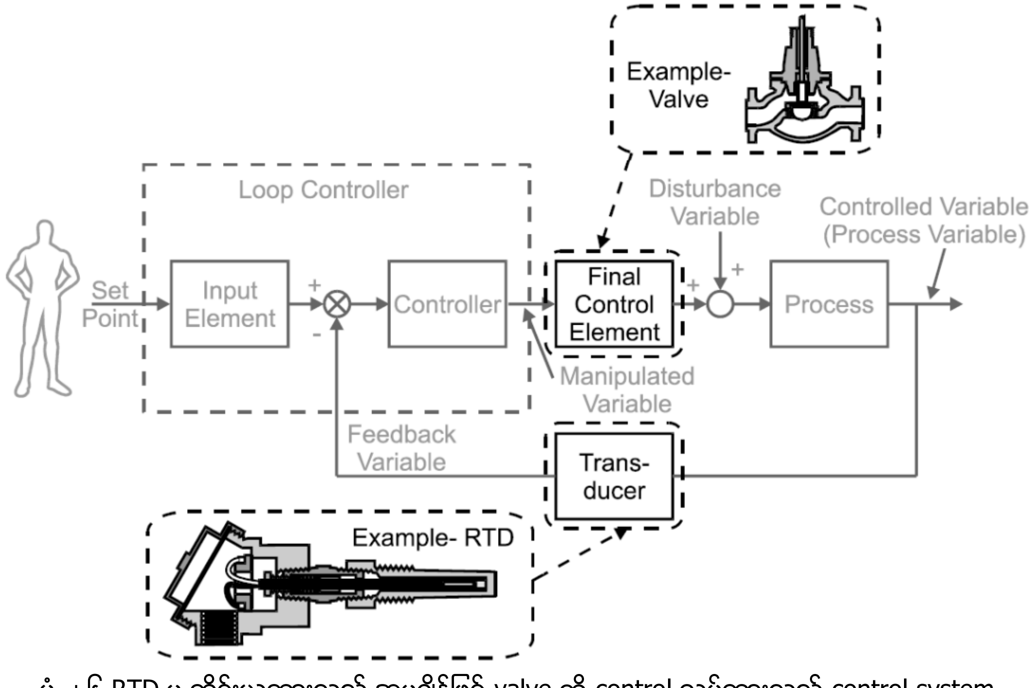


ပုံ ၂-၄ System using heating coil



ပုံ ၂-၅ Air Handling Unit's controller and valve

Controlled device များ၏ လုပ်ဆောင်မှု(operation)သည် sensor မှ ဖတ်ယူရရှိသည့် တန်ဖိုး (value)များ ပေါ်တွင် အခြေခံသည်။ သို့သော် controller တစ်ခုတည်းဖြင့် measured variable များကို ပြောင်းလဲစေနိုင်စွမ်း မရှိပေ။ Weather compensator သည် open loop Proportional control ၏ ဥပမာ တစ်ခု ဖြစ်သည်။ ပြင်ပလေ၏ အပူချိန်ကို အသုံးပြုပြီး heating system က ထွက်သည့် အပူချိန်(temperature) ကို control လုပ်နိုင်သည်။ သို့သော် ထို control system သည် အခန်းအတွင်း၌ အလိုရှိသည့် အပူချိန်(temperature)ကို ရရှိနေသည်၊ မရနိုင်သည်ကို မသိနိုင်ပေ။ Control loop တစ်ခုတွင် input signal များစွာ ရှိနိုင်သလို output signal များစွာလည်း ရှိနိုင်သည်။ Control loop များစွာကို တစ်ခုပြီးတစ်ခု ဆင့်ကာဆင့်ကာ ချိတ်ဆက်၍ control sequence တစ်ခု ပြုလုပ်နိုင်သည်။

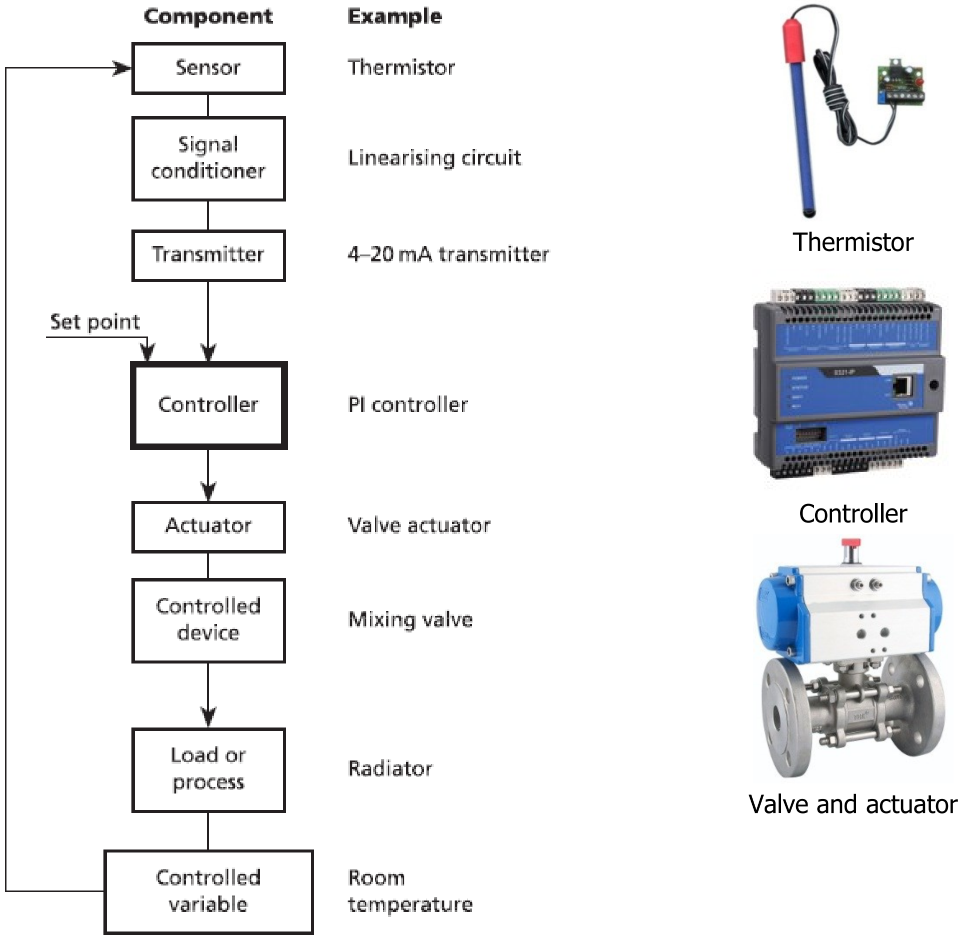


ပုံ ၂-၆ RTD မှ တိုင်းယူထားသည့် အပူချိန်ဖြင့် valve ကို control လုပ်ထားသည့် control system

Controller ၏ input နှင့် output တို့သည် အချိန်နှင့်အမျှ ပြောင်းလဲနေသည့် တန်ဖိုးများ(continuous variable) ဖြစ်ကြသည်။ လုပ်ငန်းခွင် အတွင်းရှိ control system များ၌ interlock များ ပြုလုပ်ထား ရသည်။

System တစ်ခုလုံးမှ တစ်နေရာရာသည် အခြားသော variable များနှင့် သာမက system တစ်ခုလုံးနှင့် ဆက်စပ်နေသောကြောင့် interlock များ ရှိရန် လိုအပ်သည်။ Input နှင့် output အများစုသည် On/Off သို့မဟုတ် Open/Close စသည့် သဘာဝ ရှိသည့် Binary Input(BI) နှင့် Binary Output(BO)များ ဖြစ်သည်။ Digital Input(DI) နှင့် Digital Output(DO) ဟုလည်း ခေါ်ဝေါ် ပြောဆိုလေ့ ရှိသည်။

Control system အတွင်းရှိ အချို့သော component များသည် component နှစ်မျိုးကို ပေါင်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- Thermostat



ပုံ ၂-၇ Control system တစ်ခုတွင် ပါဝင်သည့် component များ

၂.၄ Control Modes

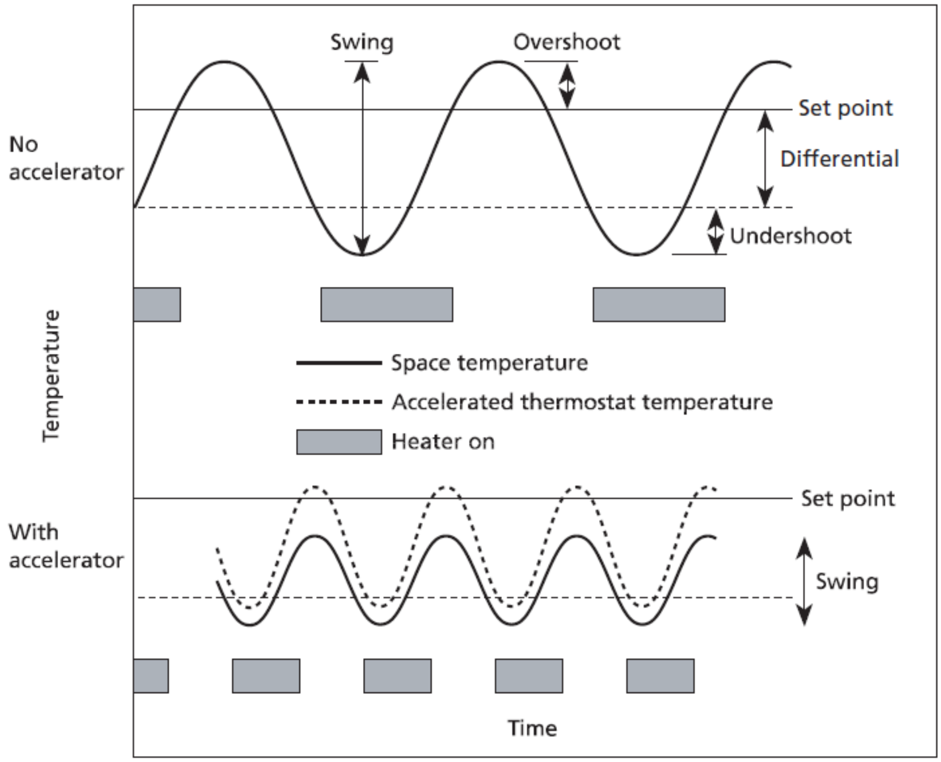
ပုံ(၂-၆)တွင် ဖော်ပြထားသော ရှင်းလင်းလွယ်ကူသည့် closed loop system တစ်ခုဖြင့် စတင်ကြ ရအောင်။ Control system တစ်ခုမှ တုံ့ပြန်ပုံ(respond) နှင့် controlled variable ကို ပြောင်းလဲစေသည့် နည်းများကို "**Control Mode**" ဟု ခေါ်သည်။ လက်တွေ့လုပ်ငန်းခွင်တွင် အသုံးပြုနေသည့် control လုပ်နည်း(control mode) အမျိုးမျိုး ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် မိမိ control လုပ်လိုသည့် အလုပ်နှင့် control mode ကိုက်ညီအောင် ရွေးချယ်တတ်ရန် လိုအပ် သည်။

၂.၄.၁ Two Position (ON/OFF) Control

Two position control mode ၌ control device များသည် အများဆုံး(maximum) output နှင့် အနည်းဆုံး(minimum) output ဟူ၍ output နှစ်မျိုးကိုသာ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ ဥပမာ On/Off သို့မဟုတ် open/close တို့ဖြစ်သည်။ Control system ၏ တာဝန်မှာ controlled variable ဟုခေါ်သည့် အလိုရှိသည့် အပူချိန်(desired temperature) သို့မဟုတ် set point ၌ ထိန်းထားရန် ဖြစ်သည်။ Controlled device ပိတ်သည့်အခါ (ရပ်နေသည့် အခါ) နှင့် ပွင့်သည့်အခါ (မောင်းသည့်အခါ) အပူချိန် ခြားနားချက် (အပူချိန် နိမ့်ခြင်း၊ မြင့်ခြင်း) ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။ Heating valve ပွင့်နေ(ON)နေသည့်အခိုက် အခန်းအပူချိန်(space temperature) တဖြည်းဖြည်း မြင့်တက် လာကာ sensor output သည် set point ကို ကျော်လွန်သွားလိမ့်မည်။

Heating control ၌ အခန်းအပူချိန်သည် set point ထက် ပိုများသွားခြင်း (ပိုပူသွားခြင်း)ကို overshoot ဖြစ်သည်ဟု ခေါ်သည်။ Cooling control ၌ set point ထက် ပိုအေးသွားလျှင် over shoot ဖြစ်သည်ဟု ခေါ်သည်။

Heating valve ကို ပိတ်လိုက်သည့်အခါ(switch off) အခန်းအပူချိန်(space temperature) တဖြည်းဖြည်း ကျဆင်းလာပြီး(နိမ့်လာပြီး) differential ထက် နိမ့်သွားလိမ့်မည်။ ထို့နောက် controller သည် အခန်းအပူချိန်(space temperature)ကို set point ၌ ထိန်းရန် ကြိုးစားရင်း heating valve ကို ဖွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန် output ထုတ်ပေးနေလိမ့်မည်။



ပုံ ၂-၈ Two-position(on/off) control

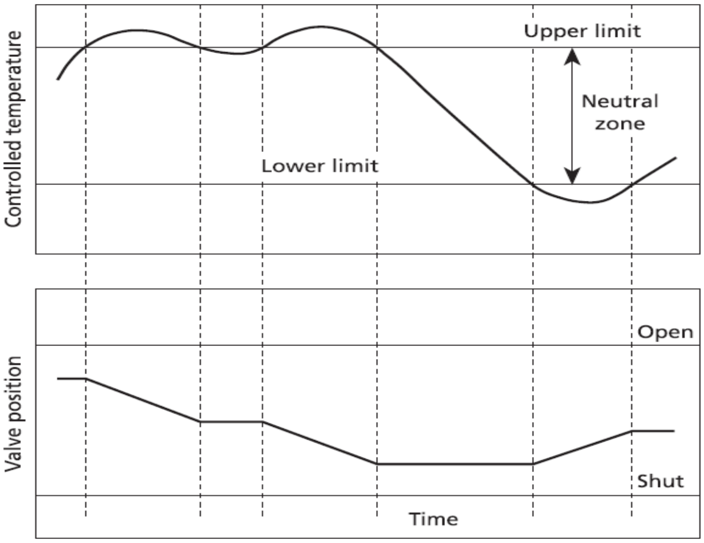
Upper limit နှင့် lower limit နှစ်ခုကြားရှိ gap ကို "**Differential Gap**" သို့မဟုတ် "**Differential Band**"ဟု ခေါ်သည်။ American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers(ASHRAE) စာအုပ်များတွင် "**Deadband**" ဟု ရေးသား ခေါ်ဝေါ်လေ့ရှိသည်။

Differential gap သို့မဟုတ် deadband အတွင်း၌ output state သည် "ON" state လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ "OFF" state လည်း ဖြစ်နေနိုင်သည်။ နောက်ဆုံး switching လုပ်ထားခဲ့သည့် အခြေ အနေပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Heating valve ပိတ်ပြီးသည့်နောက် အချိန်အနည်းငယ် ကြာသည့်တိုင်အောင် အခန်းအပူချိန်သည် ဆက်လက်မြင့်တက် နေလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် radiator အတွင်း၌ ရှိနေသည့်ရေ(hot water)သည် အချိန်အနည်းငယ် ကြာသည်တိုင်အောင် ပူနေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ အရှိန် မကုန်သေးသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

Two position control နည်းကို အသုံးပြုလျှင် အပူချိန် မြင့်တက်ခြင်း၊ ကျဆင်းခြင်း(temperature swing) မကြာခဏ ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။ အလိုရှိသည့် အပူချိန်(desired temperature)သည် set point ထက် ပိုမြင့်နိုင်သလို set point ထက် ပိုနိမ့်နိုင်သည်။ Heating load နည်းသည့်အခါ ပျမ်းမျှအပူချိန်(mean temperature)သည် set point ၏ ပိုမြင့်နိုင်သည်။ Overshoot ဖြစ်နိုင်သည်။ Heating load များသည့်အခါ ပျမ်းမျှအပူချိန်(mean temperature)သည်

set point ထက် နိမ့်လိမ့်မည်။ အမြင့်ဆုံး အခန်း အပူချိန်(peak space temperature) နှင့် အနိမ့်ဆုံးအခန်းအပူချိန် အကြားကို "**Swing**" သို့မဟုတ် "**Operation Differential**" ဟု ခေါ်သည်။ Differential နည်းအောင် လျှော့ချခြင်းဖြင့် "Swing" ဖြစ်ခြင်း နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ သို့သော် အချိန် အနည်းငယ်အတွင်း အကြိမ်ပေါင်းများစွာ ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း(short cycling) ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ စက်များ အချိန်မတိုင်ခင် ပျက်စီးနိုင်သည်။

အိမ်သုံး thermostat များသည် two position controller များ ဖြစ်ကြသည်။ Thermostat အတွင်း၌ accelerator heater ကို ထည့်ထားခြင်းဖြင့် operation differential ကို နည်းအောင် လျှော့ချနိုင်သည်။ Power နည်းသည့် heater များ၌ thermostat နှင့် load ကို parallel ချိတ်ဆက်ထားသည်။ ထို့ကြောင့် thermostat က ဖတ်ယူထားသည့် အပူချိန်သည် အခန်းအပူချိန်ထက် အနည်းငယ် မြင့်တက်နေသောကြောင့် အနည်းငယ် အချိန်စောၡကြိုပိတ်ခြင်း ဖြစ်လိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် switching ဖြစ်သည့် အကြိမ်အရေအတွက် ပိုများကာ operating differential ပိုနိမ့်လာသည်။ အခန်းအတွင်း၌ temperature swing ဖြစ်ခြင်းလည်း နည်းလာသည်။ Accelerator ကြောင့် အခန်း၏ ပျမ်းမျှအပူချိန်(mean temperature) ကျဆင်းလာသည်။ Set point ထက် နိမ့်လာသည်။ Proportional control တွင် တွေ့ရလေ့ရှိသည့် load error နှင့် တူညီသည်။ Accelerated thermostat ၏ ပြုမူဆောင်ရွက်ပုံကို pseudo-proportional ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။



ပုံ ၂-၉ Floating control

၂.၄.၂ Floating Control

Floating control များသည် two position control အမျိုးအစားတွင် ပါဝင်သည်။ Controlled device သည် တဖြည်းဖြည်းခြင်းသာ လှုပ်ရှားသော(slow moving) actuator ဖြစ်ပြီး output နည်းခြင်း၊ များခြင်းကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။ Three position သို့မဟုတ် tristate control ဟုလည်း ခေါ်သည်။ ဥပမာ hotwater စီးနှုန်း(flow)ကို control လုပ်သည့် motorized valve ဖြစ်သည်။ Controller မှ output signal ပေးနေသည့် အခိုက် valve သည် ပိတ်သည့်ဘက်သို့ (close position) သို့မဟုတ် ပွင့်သည့်ဘက်သို့(open position) တဖြည်းဖြည်း သွားနေသည်။ Signal မရသည့်အခါ၌ valve သည် ရောက်သည့်နေရာ၌ ရပ်နေသည်။ ထို့ကြောင့် controller ၏ output signal သည် သုံးမျိုး ဖြစ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် three position သို့မဟုတ် tristate control ဟုခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

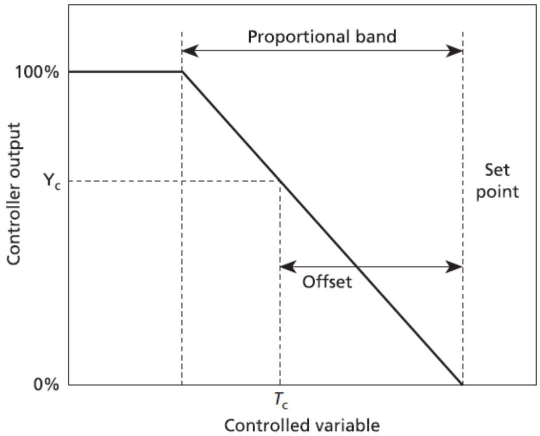
Temperature	Heating Valve	Cooling Valve
Above upper limit	ပိတ်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(shut)	ပွင့်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(open)
Within natural zone	ရောက်သည့်နေရာ၌ ရပ်နေခြင်း(hold)	ရပ်နေခြင်း (hold current positioin)
Below lower limit	ပွင့်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(open)	ပိတ်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(shut)

ပုံ(၂-၉)တွင် floating control လုပ်ပုံလုပ်နည်း(floating control mode)ကို ဖော်ပြထားသည်။ အခန်းအပူချိန်သည် upper temperature limit ကို ကျော်လွန်သည့်အခါ controller သည် valve ထံသို့ စ,ပိတ်ရန် signal ပေးသည်။ Valve သည် တဖြည်းဖြည်းပိတ်နေပြီး အခန်းအတွင်းသို့ ပေးနေသည့် အပူပမာဏ (heat supply) လျှော့ချပေးသည်။ အခန်းအပူချိန်သည် upper limit ထက် နိမ့်လာသည့်အခါ controller က hold signal ကို ပေးပြီး valve ကို ရောက်သည့်နေရာ၌ ရပ်နေစေသည်။ ထို့နောက် အခန်း အပူချိန်သည် upper limit နှင့် lower limit အကြားရှိ natural zone အတွင်း၌ ရှိနေပြီး တချိန်ချိန်၌ upper limit သို့မဟုတ် low limit ကို ဖြတ်ကျော်သွားသည့်အခါ controller သည် ဖွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန်အတွက် သင့်လျော်သည့် signal ကို valve ၏ actuator ထံသို့ ပို့ပေးသည်။

System ကို ဤကဲ့သို့ ဒီဇိုင်းပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် controlled device သည် လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open)မှ လုံးဝပိတ်နေသည့် အခြေအနေ(fully closed position)သို့ ရောက်ရန် အချိန် အနည်းငယ် ကြာလေ့ရှိသည်။ Load အပြောင်းအလဲများသည့် အခါမျိုး၌ two position control နှင့် ဆင်တူပြီး အချိန်တိုအတွင်း ခဏခဏ ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း(short-cycling) ဖြစ်နိုင်သည်။ Sensor ကို downstream နှင့် အနီးဆုံးနေရာ (immediately downstream)၌ ထားရှိမှသာ floating control ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ဥပမာ - control damper ကို coil အနီး၌ တပ်ဆင်ထားလေ့ရှိသည်။

> Long lead time ရှိသည့် system များ၏ floating control တွင် controlled variable ၏ တန်ဖိုးသည် natural zone မှ ဝေးလေ actuator မှ ပို၍ လျင်မြန်စွာ ဆောင်ရွက်လေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပို၍ လျင်မြန်စွာ disturbance ကို correction လုပ်လေ ဖြစ်သည်။ Integral control ၏ ပြုမူဆောင်ရွက်ပုံနှင့် ဆင်တူသည်။

၂.၄.၃ Proportional Control



ပုံ ၂-၁၀ Proportional control showing steady-state conditions

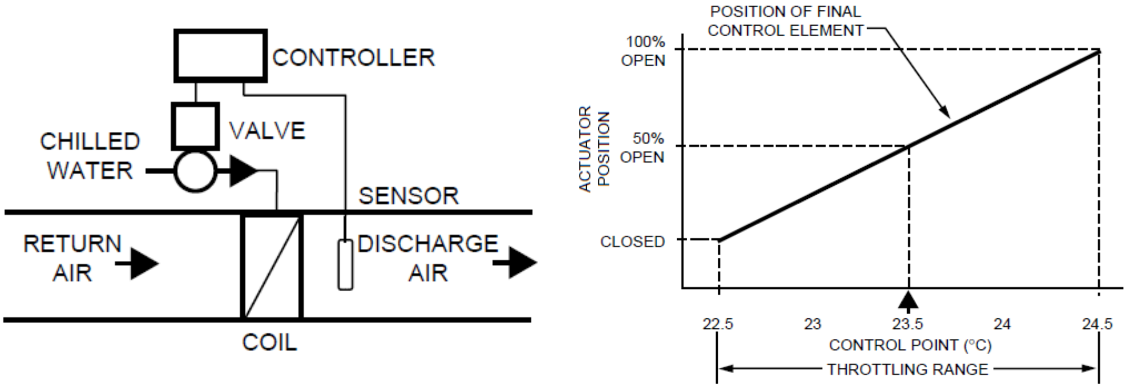
Proportional control ၌ controller သည် controlled device ဆီသို့ ပြောင်းလဲနေသည့် (variable) output တန်ဖိုးကို အမြဲမပြတ် ပေးပို့နေသည်။ Setpoint နှင့် measured variable တို့၏ ခြားနားချက်ကို error ဟုခေါ်သည်။ Error signal နှင့် အချိုး ညီသည့်(proportional ဖြစ်သည့်) output တန်ဖိုးကို controlled device ဆီသို့ ထုတ်ပေး သည်။ System ၌ ရှိသည့် load နှင့် ညီမျှသည့် output ကို ထုတ်ပေးရန် အတွက် (controller မှ) set point နှင့် controlled variable အကြား၌ offset တန်ဖိုး တစ်ခုခု ရှိနေလိမ့်မည်။

ပုံ(၂-၁၀)သည် Proportional control တစ်ခု၏ steady-state အခြေအနေတွင် ပြုမူပုံဖြစ်သည်။ Controlled variable တန်ဖိုးသည် Tc ဖြစ်ပြီး controller output တန်ဖိုးသည် Yc ဖြစ်သည်။ Set point မှ Tc တန်ဖိုး အထိ အကွာအဝေးသည် offset သို့မဟုတ် load error ဖြစ်သည်။

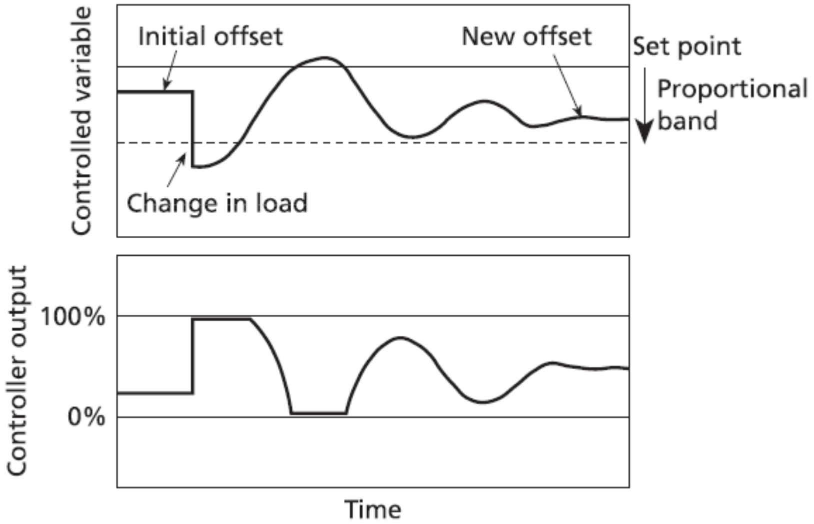
> Proportional control ကို သုံးလျှင် steady state condition ၌ load error သို့မဟုတ် offset တန်ဖိုး ရှိနေလိမ့်မည်။ System load များလာလေ offset တန်ဖိုးများလာလေ ဖြစ်သည်။

ပုံ(၂-၁၁)တွင် heating system တစ်ခု၏ Proportional control output သည် 0% မှ 100% အထိ ထုတ်ပေးလိမ့်မည်။ "**Throttling range**" ဟုခေါ်သည်။ Steady state အခြေအနေ၌ control point ၏ equilibrium

တန်ဖိုးသည် set point ထက်နည်းကာ offset ဖြစ်နေသည်။ Offset သည် load နှင့်အညီ လိုက်၍ များလာလိမ့်မည်။ ဥပမာ ဆောင်းရာသီ ပြင်ပအပူချိန် အလွန်နိမ့်သည့်အခါ heating load ပိုများ လာလိမ့်မည်။



ပုံ ၂-၁၁ Proportional control loop (cooling system)



ပုံ ၂-၁၂ ရုတ်တရက် load ပြောင်းလဲခြင်းကို Proportional controller မှ တုံ့ပြန်(response)ပုံ

Proportional band ပမာဏ၏ ယူနစ်ကို control လုပ်ခြင်းခံရသည့် physical quantity ၏ ယူနစ် (unit) အတိုင်း သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။ အပူချိန်(Temperature) ကို control လုပ်သည့် Proportional band ယူနစ်သည် °C သို့မဟုတ် °F ဖြစ်သည်၊ ဖိအား(Pressure) ကို control လုပ်သည့် Proportional band ယူနစ်သည် pascal သို့မဟုတ် in WG ဖြစ်သည်။ သို့မဟုတ် control scale range ၏ ရာခိုင်နှုန်း(%)ဖြင့်လည်း ဖော်ပြနိုင်သည်။

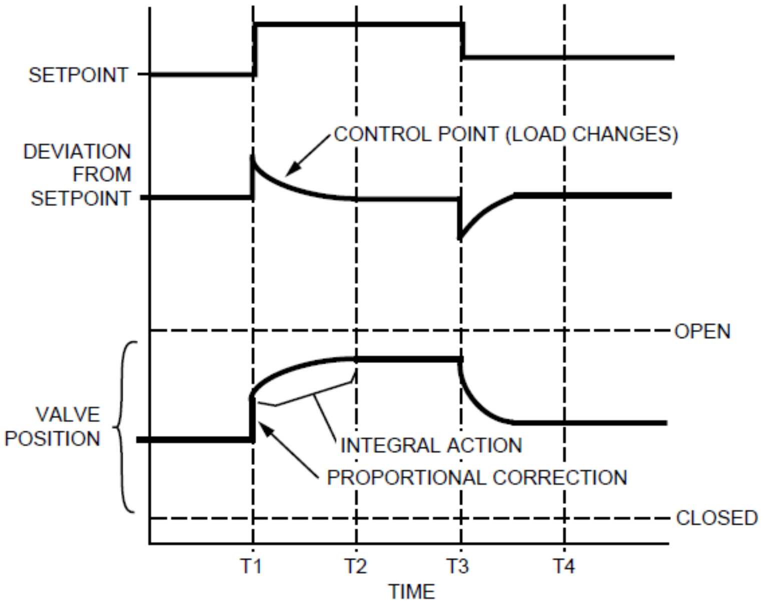
ဥပမာ control ၏ scale range သည် 0°C မှ 80°C ဖြစ်၍ Proportional band ၏ width သည် 20°C ဖြစ်လျှင် Proportional band ကို 25% ဟု သတ်မှတ် ပြောဆိုသည်။ Physical unit အတိုင်း လိုက်၍ သတ်မှတ်သလို၊ ယူနစ်မရှိခြင်း(Non-dimensional)လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ဥပမာ Proportional band သည် 50% ဖြစ်လျှင် Proportional gain သည် 2 ဖြစ်သည်။ Proportional band 50% နှင့် Proportional gain 2 တို့သည် တူညီကြသည်။

Proportional band သည် controller sensor span ကို ရာခိုင်နှုန်း(percentage)ဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် throttling range ဖြစ်သည်။

$$Proportional\ Band = \frac{Throttling\ Range}{Sensor\ Span} x\ 100$$

"Gain"သည် industrial control system များတွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသည့် ဝေါဟာရ(term)တစ်ခု ဖြစ် သည်။ Proportional control ၏ gain တန်ဖိုးသည် Proportional band ၏ ပြောင်းပြန်(reciprocal) ဖြစ်သည်။

$$Gain = \frac{100}{Proporational\ Band}$$



ပုံ ၂-၁၃ Proportional-Integral control response to load changes

ပုံ(၂-၁၃)နှင့် ပုံ(၂-၁၄)တွင် Proportional control system ၏ system demand ပြောင်းလဲသည့်အခါ controller က တုံ့ပြန်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Controlled variable ၏ တန်ဖိုး(value)သည် တက်လိုက် ကျလိုက် ဖြစ်ကာ နောက်ဆုံး steady state offset temperature ၌ ငြိမ်သွားသည်။ Setting down ဖြစ်သွားသည်။

Proportional band ၏ တန်ဖိုးကို နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် gain များအောင်ပြုလုပ်ခြင်း ဖြင့် offset ဖြစ်နေသည့် ပမာဏကို လျော့ချနိုင်သည်။ သို့သော် Proportional band တန်ဖိုး နည်းသောကြောင့် သို့မဟုတ် gain များသောကြောင့် control system တစ်ခုလုံး တည်ငြိမ်ပြီး ကောင်းစွာ အလုပ် လုပ်နေရန် ခက်ခဲလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် stability ဖြစ်ရန် ခက်ခဲ လာလိမ့်မည်။

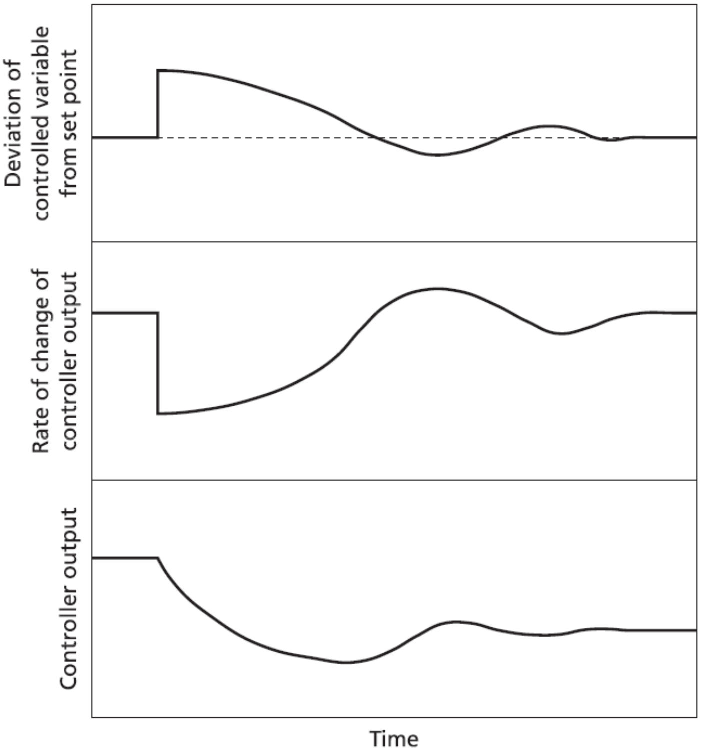
Proportional band နည်းလာသည့်အခါ control action သည် on/off control ကဲ့သို့ ပြုမူ နေလိမ့်မည်။ Proportional control ကို time proportioning ဟုလည်း သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။ Output device သည် On/Off သာလုပ်နိုင်သည့် two position output ဖြင့်လည်း Proportional control ဆောင်ရွက်မှုမျိုး ရနိုင်သည်။ Control ၏ output ကို constant cycle period မှ ပွင့်နေသည့်အချိန်(on) နှင့် ပိတ်နေသည့်အချိန် (off)ကာလ ၏ အချိုးကို လိုသလို ပြောင်းလဲပေးခြင်းဖြင့်လည်း control လုပ်နိုင်သည်။ ဥပမာ cycle time သည် (၁၀)မိနစ်ဖြစ်လျှင် control သည် 40% output ထုတ်ပေးလျှင် control device သည် လေးမိနစ်ကြာ ပွင့်နေပြီး (switch on) ခြောက်မိနစ်ကြာ ပိတ်နေလိမ့်မည်။

Cycle time ကို ကြိုက်နှစ်သက်သလို ရွေးချယ်နိုင်သည်။ သို့သော် မကြာခဏ ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း မဖြစ်အောင် အချိန်ကြာကြာ ထားရှိရမည်။ ထို့အပြင် over all system ၏ response time ထက်လည်း နည်းရမည်။ ထိုနည်းသည် ပိုကြာသည့် တုံ့ပြန်ချိန်(longer response time)ရှိသည့် system များအတွက် ပို၍ သင့်လျော်သည်။ ဤနည်းကို ထို

system များတွင် အသုံးပြုပါက two position on/off control ထက် temperature swing ဖြစ်မှု ပိုနည်းသည်။ Control ၏ ပြုမူဆောင်ရွက်ပုံ(behavior)သည် Proportional control system တူညီပြီး load error လည်း တူညီသည်။ Time Proportional control ကို switching frequency လုပ်ချင်တိုင်းလုပ်၍ မရနိုင်သည့် လျှပ်စစ်အပူပေးစက်(heater)များတွင် disturbance များ မဖြစ်ပေါ်စေရန် အတွက် အသုံးပြုကြသည်။

၂.၄.၄ Integral Control

Integral control ကို PI control များတွင် Proportional control နှင့် တွဲ၍ အများဆုံး တွေ့မြင် နိုင်သည်။ Integral control ကို "I control" ဟုလည်းခေါ်လေ့ရှိသည်။ Integral control ကို တစ်ခုတည်း သီးခြား အသုံးပြုရန် အလွန်နဲယဉ်းသည်။ Integral control ကို Proportional control နှင့် တွဲသုံးလေ့ရှိသည်။ Integral control သည် အချိန်အတိုင်းအတာ တစ်ခုအတွင်းရှိ set point မှ သွေဖီ(deviation) နေသည့် control variable တန်ဖိုးများကို ပေါင်းထားခြင်း(integrate လုပ်ထားခြင်း) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၂-၁၄ Integral control တစ်ခုတည်း၏ action ဖြစ်သည်။ Steady state အခြေအနေတွင်ရှိသည့် System တစ်ခုကို set point နိမ့်ချလိုက်လျှင် ဖြစ်ပေါ်လာမည့် တုံ့ပြန်မှု(response) ကိုဖော်ပြထားသည်။

Proportional control ကို သုံးလျှင် offset ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထို offset တန်ဖိုးများကို အချိန်အတိုင်းအတာ တစ်ခုအတွင်း စုပေါင်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။ PI control သည် steady state အခြေအနေ၌ zero offset ပေးနိုင်သည်။ Steady output ထုတ်ပေးရမည်။ PI control သည် floating control နှင့် ခပ်ဆင်ဆင်တူသည်။ Natural zone ၏ width သည် မရှိသလောက်နည်းပြီး (zero နီးပါး) output သည် အမြဲပြောင်းလဲနေသည်။

Integral control တစ်ခုတည်းကို တိုတောင်းသည့် time constant ရှိပြီး အလွန်လျှင်မြန်သည့် တုံ့ပြန်မှု(fast reaction rate) ရရန် လိုအပ်သည့် system များတွင်သာ အသုံးပြုနိုင်သည်။ တုံ့ပြန်မှု နှေးသည့်(slow response) system သို့မဟုတ် long time constant ရှိသည့် system များအတွက် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ အသုံးပြုခဲ့လျှင် လိုအပ်သည်ထက် ပို၍ တုံ့ပြန်(over correct or over react)လိမ့်မည်။ Integral control ကို အများဆုံးအသုံးပြုသည့် control device သည် variable speed actuator နှင့် တွဲသုံးသည့် valve ဖြစ်သည်။

Control response များအတွက် လိုအပ်သည့် အမြဲပြောင်းလဲနေသည့်(variable) rate of change ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Controller က variable pulse ထုတ်ပေးလျှင် constant speed actuator များကိုလည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။ Valve ပိတ်နှုန်း၊ ပွင့်နှုန်း (speed of closure of valve) သည် controlled system ၏ response speed ထက်နှေးရမည်။ အောက်တွင် Proportional နှင့် Integral နှစ်ခုပေါင်းထားသည့် PI control အကြောင်း အသေးစိတ် ရှင်းပြထားသည်။

၂.၄.၅ Proportional Plus Integral (PI) Control

Proportional controller ၌ Integral control ပေါင်းထည့်၍ load error သို့မဟုတ် offset ပမာဏကို လျော့နည်းစေနိုင်သည်။ HVAC control များတွင် PI control ကို အလွန်ကျယ်ပြန့်စွာ အသုံးပြုကြသည်။ PI control သည် offset မရှိသည့် (zero offset) stable control ကို ပေးနိုင်သည်။ Set point မှ သွေဖီ(deviate) နေသည့် ပမာဏကို ပေါင်းထည့်၍ controller မှ control output ကို adjust လုပ်ပေးခြင်းဖြင့် set point နှင့် နီးသထက် နီးအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။ Proportional band ကြောင့် ပို၍ stable ဖြစ်သည့် control ကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။ Proportional band သည် stable control ကို ဖြစ်စေသည်။ Integral control ကြောင့် offset လျော့နည်းသည်။ Proportional နှင့် Integral ပေါင်းထားသည့် PI control သည် အလွန် လိုက်ဖက်ညီသည့် အတွဲဖြစ်သည်။

Integral setting သည် integral action time ဖြစ်သည်။အချိန်မည်မျှကြာအောင်စောင့်၍ error များကို ပေါင်း၍ correction လုပ်မည်ကို ဆိုလိုသည်။ Integral control ၏ unit သည် အချိန်ဖြစ်သည်။ စက္ကန့် သို့မဟုတ် မိနစ် ဖြစ်သည်။ Error သို့မဟုတ် offset ပေါင်းပေးရမည့် အချိန်ကာလ တစ်ခုဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် integral setting ကို "**reset rate**" အဖြစ်လည်း ယူဆနိုင်သည်။ Reset rate သည် တစ်မိနစ် အတွင်း reset လုပ်သည့် အကြိမ်အရေအတွက် ဖြစ်သည်။ Reset per minute ဖြစ်သည်။

PI controller များသည် interactive ဖြစ်ကြသည်။ Integral time ကို မထိခိုက်စေဘဲ Proportional band တန်ဖိုးများကို လိုအပ်သလို ပြောင်းလဲ နိုင်သည်။ Integral time ပိုကြာသောကြောင့် steady state error ပိုများလာနိုင်သည်။

Integral time များလေ steady state error များလေဖြစ်သည်။
PI control တွင် integral time ကို အလွန်များ(ရှည်)အောင် ထားလျှင် Proportional controller ၏ ပြုမူပုံနှင့် တူညီသွားလိမ့်မည်။ Integral time များ(ရှည်)သည့် PI control သည် Proportional controller နှင့် တူညီနေလိမ့်မည်။ သို့သော် Integral time ကို control system ၏ time constant ထက် နည်း(တို)အောင် ထားလျှင် stable ဖြစ်ရန် ခက်ခဲ လာလိမ့်မည်။

Integral term ၏ output သည် controlled variable ၏ ပြီးခဲ့သည့်(past history)ပေါ်တွင် မူတည် သည်။ Equipment များ ပိတ်ထားချိန်(ရပ်နားထားချိန်)ဖြစ်ပေါ်ခဲ့သည့် error များ စုပေါင်းထား သောကြောင့် စမောင်းခါစတွင် အဆင်မပြေ ဖြစ်နိုင်သည်။ ဤကဲ့သို့ ဖြစ်ခြင်းမျိုးကို "**wind up**" ဖြစ်သည်ဟု ခေါ်ဆိုသည်။

အောက်ပါ အကြောင်းများကြောင့် Integral windup ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

(၁) System ရပ်နားထားစဉ်

(၂) Heating သို့မဟုတ် cooling medium မရနိုင်သည့်အချိန် နှင့်

(၃) Control loop ကို override လုပ်ထားစဉ် တို့ဖြစ်သည်။

Controller output 100% ဖြစ်နေသည့် အချိန်နှင့် error များ positive ဖြစ်နေချိန်၌လည်း wind up ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ ထိုအခြေအနေ၌ Integral action သည် အဆက်မပြတ် ပေါင်းထည့်ကာ တစ်စထက် တစ်စ ပိုများလာလိမ့်မည်။ အလွန်များပြားသည့် positive gain ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ထိုအခိုက် system ကို စတင်လိုက်လျှင် windup error ပျောက်ရန် အချိန် အတော်အကြာ စောင့်ရလိမ့်မည်။ Wind up ဖြစ်ထားသည့် gain များ unwind up

ဖြစ်မှသာ ပုံမှန်(normal operation)အခြေအနေသို့ ရောက်နိုင်လိမ့်မည်။ Anti wind up feature ပါရှိသည့် controller များသည် ဤကဲ့သို့ မဖြစ်အောင် တားဆီး နိုင်သည်။ Equipment အလုပ်မလုပ်သည့်အချိန်(not in operation)၌ PI control loop ကို disable လုပ်ထားနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ Integral action ကို disable မလုပ်ထားသည့်အခါ system များ စမောင်းခါစ၌ ထိုကဲ့သို့မျိုးသော ပြဿနာ မျိုး ဖြစ်နိုင်သည်။ သို့သော် အချိန်ခဏမျှသာဖြစ်ပြီး Proportional band သည် ကောင်းစွာ အလုပ်မလုပ်သေးခင် အချိန် အထိသာ ဖြစ်သည်။

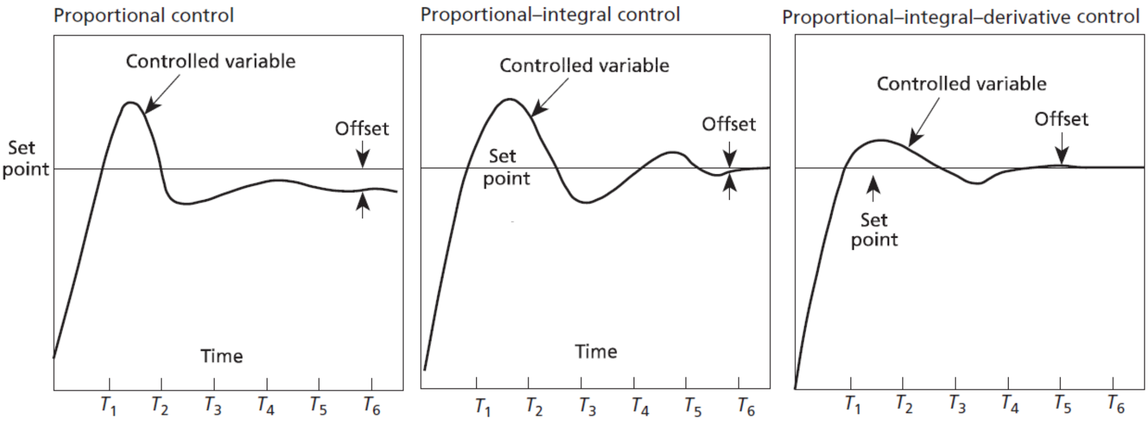
၂.၄.၆ Proportional Plus Integral Plus Derivative (PID) Control

Derivative action ၏ control signal သည် control variable ၏ ပြောင်းလဲနှုန်း(rate of change)နှင့် အချိုးကျသည်။ Controlled variable သည် set point ဆီသို့ လျင်မြန်စွာ ချဉ်းကပ်နေခဲ့သော် derivative action သည် control action ကို လျော့နည်းစေသည်။ Controlled variable သည် set point အနီးရောက်နေပြီ ဖြစ်သည်ဟု ယူဆလျက်၍ control action လျော့နည်းစေခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် over shoot ဖြစ်ခြင်း လျော့နည်းသွားသည်။ Inertia များသည် system များအတွက် သင့်လျော်သည်။

လက်တွေ့တွင် Derivative action ကြောင့်လည်း ပြဿနာ ဖြစ်နိုင်သည်။ Measured variable သည် ပရမ်းပတာ ပြောင်းလဲချင်သလို ပြောင်းလဲနေလျှင် controller ၏ derivative action သည် erratic output ထုတ်ပေးလိမ့်မည်။ (အကယ်၍ ထိုပြောင်းလဲမှုများ၏ amplitude သည် အနည်းငယ်မျှပင် ဖြစ်ပါစေ)။

Derivative action ကို အခြား Proportional gain နှင့် Integral gain များ မပါဝင်ဘဲ အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Proportional ၊ Integral နှင့် Derivative သုံးမျိုးပေါင်း၍ PID control အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ Proportional gain မှ steady control ကို ဖြစ်စေနိုင်သည်။ Integral gain ကြောင့် zero offset ကို ဖြစ်စေသည်။ Offset ပမာဏကို လျော့နည်းစေသည်။ Derivative gain ကြောင့် ရုတ်တရက် load ပြောင်းလဲခြင်းများကို ကောင်းစွာ တုံ့ပြန်(respond) နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် PID control သည် steady state အခြေအနေတွင် load မည်ကဲ့သို့ ပြောင်းလဲနေပါစေ သို့မဟုတ် disturbance မည်ကဲ့သို့ ဖြစ်ပါစေ zero offset ရှိသည့် steady control ကို ပေးနိုင်သည်။

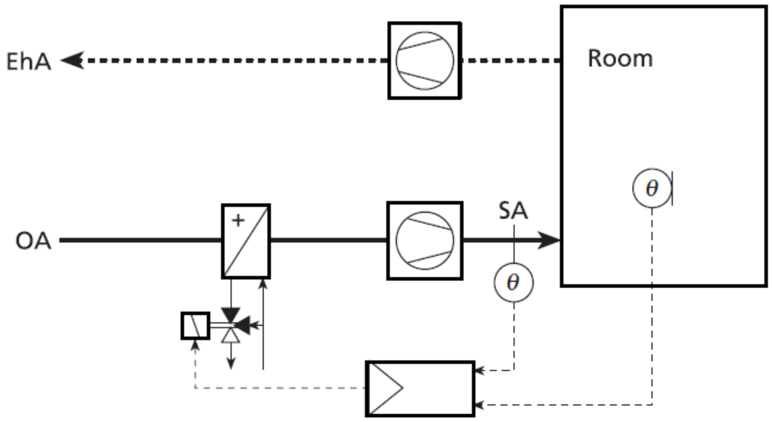
Derivative gain setting သည် derivative action time ဖြစ်ပြီး မိနစ်ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Error ပြောင်းလဲနှုန်းကို ကြည့်၍ control output လိုသလို ထိန်းပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ HVAC application များ၌ derivative action မလိုအပ်သည့်အခါ PID controller ၌ derivative time ကို zero အဖြစ် ထားရုံသာ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် derivative time မရှိ။ ထိုအခါ၌ PID controller သည် PI action အဖြစ်သာ လုပ်ဆောင် ပေးလိမ့်မည်။ Process control application များတွင် PID control loop များကို အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၂-၁၅ P only ၊ PI နှင့် PID control mode များကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

ပုံ(၂-၁၅)သည် PID control မှ စမောင်းခါစ(start up)၌ control variable ကို control လုပ်သည့် behavior

ကို ဖော်ပြသည့် ideal characteristic ကို ဖော်ပြထားသည်။ Proportional control တစ်ခုဖြင့် ရနိုင်သည့် output မှာ set point မှ deviation ဖြစ်သည့် control variable ဖြစ်သည်။ Control variable တည်ငြိမ်(stabilize) သွားသည့်အခါ residual load error ဖြစ်၍ ကျန်ခဲ့လိမ့်မည်။ Integral control ကို ပေါင်းထည့်သည့်အခါ control variable သည် set point သို့ ရောက်သွားသည်။ သို့သော် stable operation မဖြစ်ခင် အချိန်၌ overshoot အနည်းငယ်ဖြစ်နေသေးသည်ကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Derivative control သည် overshoot ကို လျော့နည်းစေပြီး control variable ကို အချိန်တိုအတွင်း set point ကို ရောက်စေနိုင်သည်။



ပုံ ၂-၁၆ Room temperature ကို အသုံးပြု၍ controller ၏ set point ကို reset လုပ်သည့် Cascade control တစ်ခု ဖြစ်သည်။ Controller ၏ set point သည် supply air temperature ကို control လုပ်သည်။

၂.၄.၇ Cascade Control (Reset Control)

အချို့သော လုပ်ငန်း(application)များအတွက် controller များကို sub system နှစ်ခု (master controller နှင့် submaster နှစ်ခု အဖြစ်) ခွဲထားခြင်းဖြင့် ပို၍ အကျိုးများသည်။ Master controller သည် submaster loop ရှိ set point ကို ထိန်းညှိ(adjust)ပေးသည်။ Submaster controller သည် controller system ၏ intermediate part ကို control လုပ်ပေးသည်။ ဥပမာ အလွန်ကြီးမားသည့် အခန်းများ၏ အပူချိန်ကို control လုပ်ရန်အတွက် master controller နှင့် submaster controller ကို အသုံးပြုထားသည်။

Master controller သည် supply air set point ကို control လုပ်သည်။ Submaster controller သည် supply air temperature ကို control လုပ်ပေးသည်။ Heating coil ၏ hot water modulating valve မှ တစ်ဆင့် hot water flow rate ကို control လုပ်ပေးသည်။

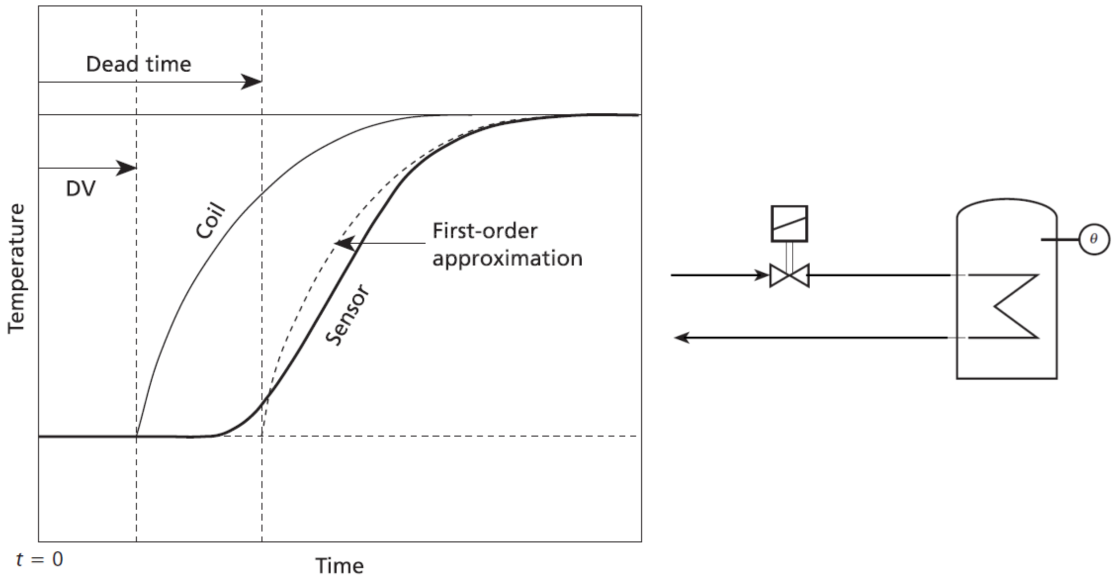
အခေါ်အဝေါ်သုံးနှုန်းပုံများ(term) မရောထွေးစေရန်၊ နားလည်မှု မလွဲစေရန် သတိပြုသင့်သည်။ Cascade control ဆိုသည်မှာ UK ၌ အသုံးပြုသည့် အခေါ်အဝေါ် ဖြစ်သည်။ USA ၌ "**Reset Control**"ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ Control လုပ်ပုံလုပ်နည်းများ အားလုံး တူညီကြသော်လည်း သုံးနှုန်းထားသည့် အခေါ်အဝေါ်သာ ကွာခြားသည်။

Cascade controller ဆိုသည်မှာ master နှင့် sub master controller ကို ဆိုလိုသည်။ Control loop နှစ်ခုဖြင့် တစ်ပြိုင်နက် control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Master-slave သို့မဟုတ် primary- secondary စသဖြင့် သုံးနှုန်းလေ့ရှိသည်။ Cascade control ကို သုံးလျှင် PI control တစ်ခုတည်းဖြင့် တည်ငြိမ် (stable)အောင် ပြုလုပ်ရန်ခဲယဉ်းသည်။ PI control တစ်ခုတည်း နှင့် မလုံလောက်ပေ။

"Time lags"

မည်သည့် feedback control loop တွင်မဆို၊ control system ၏ တုံ့ပြန်မှု(response)သည် sensor output ပြောင်းလဲမှု ဖြစ်သည်။ Incoming air temperature မည်ကဲ့သို့ ပြောင်းလဲပါစေ သို့မဟုတ် heating coil ၏ hot water temperature မည်ကဲ့သို့ ပြောင်းလဲပါစေ submaster controller သည် supply air temperature ကို

အလိုရှိသည့် set point အတိုင်းဖြစ်အောင် control လုပ်ပေးသည်။ Master controller သည် supply air set point ကို reset လုပ်ပေးသည်။ Space temperature ကို အသုံးပြုပြီး PI control ဖြင့် supply air temperature set point ကို reset လုပ်သည်။ Control loop နှစ်ခုလုံးတွင် Integral action ကို အသုံးပြု ထားသောကြောင့် system တည်ငြိမ်မှု(stable)ဖြစ်အောင် ဂရုစိုက်ရန် လိုသည်။



ပုံ ၂-၁၇ System ၏ တုံ့ပြန်မှု(response)ကို dead time နှင့်တကွ ဖော်ပြထားပုံ ။
t = 0 တွင် valve စပွင့်သည်။

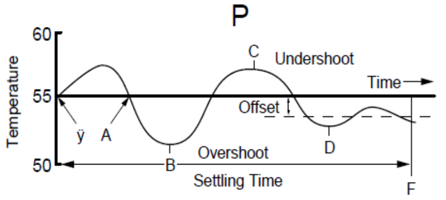
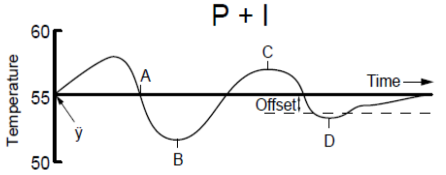
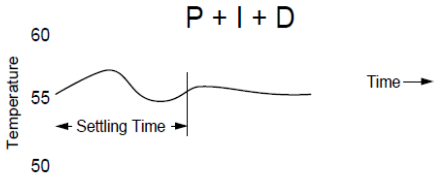
အခန်းအပူချိန် (space temperature)သည် supply air temperature ပြောင်းလဲ နေခြင်းကို အလွန်နှေးကွေးစွာ တုံ့ပြန်(response)သည်။ Feedback control loop တိုင်း၌ control system များ၏ controlled output များ၏ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် control system response သည် အချိန် နောက်ကျခြင်း(delay) သို့မဟုတ် တုံ့ပြန်မှု (response) နှေးခြင်း ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည်။

(၁) Transport delay ကို "**Distance Velocity Lag**" ဟု လည်း ခေါ်သည်။ Heat source မှ အပူ(heat) များသည် heating medium များ မှတစ်ဆင့် controlled space သို့ ရောက်အောင် သွားရသည့် ကြာချိန်ကို "**Transport Delay**" ဟု သတ်မှတ်သည်။ ကြီးမားသည့် အဆောက်အဦများ၏ heating system ၏ ပိုက် အရှည်လျားခြင်း နှင့် ရေထုထည် ကြီးမားခြင်း တို့ကြောင့် အခန်းအပူချိန် မြင့်တက်ရန် အချိန် အတော်ကြာ စောင့်ရသည်။ အဆောက်အဦရှိ အခန်းများ၌ အနွေးဓာတ်ရရန် စောင့်ရသည်။

(၂) ဒုတိယ delay အမျိုးအစားမှာ "**Transfer Lag**" ဖြစ်သည်။ Component များ အပူချိန်မြင့်တက်လာရန် အတွက် စောင့်ရသည့်အချိန် ဖြစ်သည်။ ပုံ(၂-၁၇)တွင် ပြထားသည့် heating circuit ၌ controller မှ valve ပွင့်ရန် signal ပေးပြီးနောက် hot water များသည် heating coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက် သွားသည်။ ထိုသို့ ဝင်ရောက် စီးဆင်းသွားပြီးနောက် အပူစီးကူးခြင်း(heat transfer) အဆင့်ဆင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။ Hot water မှ heating coil၊ heating coil မှ supply air ၊ supply air မှ sensor ၊ နောက်ဆုံးတွင် sensor မှ system respond ကို ဖတ်ယူ ရရှိသည်။

ထိုကဲ့သို့ အချိန်ကြာမြင့်ခြင်း သို့မဟုတ် delay ဖြစ်ခြင်းကြောင့် control system အနှောင့်အယှက် ဖြစ်စေသည်။ Integral သို့မဟုတ် floating control တို့ကို အလွန် အချိန်ကြာသည့် (dead time များသည့်) system များတွင် အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ Deadtime ဖြစ်နေစဉ် (system မှ respond ပြန်မလာခင်) အချိန်၌ controller သည် output ကို အဆက်မပြတ် ပြောင်းလဲပေးနေသည်။ ထို့ကြောင့် overshoot ဖြစ်ပေါ်လာ ရသည်။ PI control ကို

သုံးရန် ပို၍ သင့်လျော်သည်။ သင့်လျော်အောင် ကျယ်သည့် P band ရှိသည့် Proportional control ကလည်း stable control ကို ပေးနိုင်သည်။ သင့်လျော်သည့် Integral time ခပ်ရှည်ရှည်သုံးခြင်းဖြင့် လည်း load error ကို လျော့နည်းစေသည်။ လုံးဝပျောက်စေသည်။

Element	Deals with	Control Concept	Added Benefit	Response to Perturbance
Proportional (P)	Error	Signal proportional to error	Control signal proportional to error (demand-based)	
Integral (I)	Time	Integrates error over time to respond to small error	Eliminates offset over time (accuracy)	
Derivative (D)	Rate	Responds to rate at which setpoint is approached	Shortens settling time (quick response) and Less overshoot/undershoot (precise)	

ပုံ ၂-၁၈ PID control mode များကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားပုံ

၂.၅ Logic Control

Logic control function များ ပါရှိသည့် controller များသည် control operation ကို ပို၍ ကောင်းမွန်စေသည်။ ဥပမာ အချို့မှာ-

Hysteresis Hysteresis module သည် အလွန်သေးငယ်သည့် input ပြောင်းလဲမှုများကို filter လုပ်ပေးသည်။ Hysteresis module သည် ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့် ပမာဏထက် ပိုများသည့် input ပြောင်းလဲမှုများကိုသာ process လုပ်စေသည်။ Control variable များ၏ သေးငယ်သည့် ပြောင်းလဲမှု(fluctuation) များကို control system မှ တုံ့ပြန်မှု(response)မလုပ်ရန် hysteresis module မှ တားမြစ်ထားသည်။ သေးငယ်သည့် fluctuation တိုင်းကို တုံ့ပြန် (respond)ပါက အချိန်တိုအတွင်း အကြိမ်ပေါင်းများစွာ ဖိတ်ခြင်းပွင့်ခြင်းကို ဖြစ်ပေါ်စေပြီး စက်ပစ္စည်းများ အချိန်မတိုင်မီ ပျက်စီး လိမ့်မည်။

Averaging Averaging module သည် input တန်ဖိုးများ၏ ပျမ်းမျှတန်ဖိုးကို ထုတ်ပေးရန် သို့မဟုတ် တွက်ပေးရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ ဥပမာ ဇုန်(zone)အတွင်းရှိ temperature sensor မှ ရသည့် input တန်ဖိုးများမှ ပျမ်းမျှတန်ဖိုး တွက်ယူရန် averaging module ကို အသုံးပြုသည်။

Logic Operator Logic module ၌ Boolean AND ၊ NOT ၊ OR နှင့် XOR gate များ အားလုံး ပါဝင်သည်။ ထို gate များ သို့မဟုတ် logic များကို software interlock လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ ဥပမာ ပြတင်းပေါက်များ ပွင့်နေစဉ်အတွင်း heating system မောင်း၍မရအောင်(operate လုပ်၍ မရအောင်) ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Safety နှင့် critical interlock များအတွက် hard wired ဖြင့်သာ interlock လုပ်ခွင့်ပြုသည်။

Look up table Look up table များကို functional relationship များအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Thermistor resistance မှ temperature တန်ဖိုး ပြောင်းယူရန်အတွက်(conversion လုပ်ရန် အတွက်) look up table ကို အသုံးပြုသည်။ ထို့အပြင် control element များ၏ characteristic များကို software ဖြင့် linearization လုပ်၍လည်း resistance မှ temperature သို့ conversion လုပ်ယူနိုင်သည်။

၂.၆ သင့်လျော်သည့် Control Mode များ ရွေးချယ်ခြင်း

သင့်လျော်ကိုက်ညီသည့် control mode များကို ရွေးချယ်ရန်အတွက် အောက်ပါအချက်များကို ထည့်သွင်းစဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

(၁) လိုအပ်သည့် accuracy နှင့် လက်ခံနိုင်သည့် offset ပမာဏ

(၂) ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသည့် load ပြောင်းလဲမှုများ(အများဆုံးပြောင်းလဲနိုင်သည့် load ပမာဏ၊ အကြိမ်အရေအတွက် နှင့် အချိန်ကာလ)

(၃) System characteristics (time lag ဖြစ်နိုင်သည့် အချိန်ကာလ၊ sub system မှ တုံ့ပြန် (respond) မည့် speed နှင့်

(၄) ကြိုတင်မျှော်လင့်ထားသည့် start up အခြေအနေ(situation)များ တို့ဖြစ်သည်။

ရှင်းလင်းလွယ်ကူပြီး လိုအပ်ချက်များကို ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည့် control mode ကို အသုံးပြုခြင်းသည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ ရှုပ်ထွေး ခက်ခဲသည့်(complicated) control mode များကို အသုံးပြုလျှင် setup လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ ကောင်းမွန်သည့် control မဖြစ်လာဘဲ ပိုဆိုးရွားနိုင်သည်။ Derivative control ကို HVAC များတွင် အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။ Derivative control သည် high inertia system များတွင် overshoot ဖြစ်ခြင်းကို ရှောင်လွှဲရန် အတွက် set point ကို approach လုပ်နေသည့်နှုန်းကို တိုင်းတာခြင်း ဖြစ်သည်။ Overshoot ဖြစ်ခြင်းကြောင့် မလိုအပ်ဘဲ equipment များ(additional equipment များမောင်းခြင်း) စမောင်းခြင်းကို ဖြစ်စေသည်။

Table 2.1 Recommended control modes

Application	Recommended control mode	Notes
Space temperature	P	
Mixed air temperature	PI	
Chilled water coil discharge temperature	PI	
Hot water coil discharge temperature	PI	
Air flow	PI	Use wide Proportional band and short Integral time. PID may be required.
Fan static pressure	PI	Some applications may require PID
Humidity	P	Possibly PI for tight control
Dewpoint	P	Possibly PI for tight control
Static pressure control of supply fan	PI	
Flow tracking control of return fan	PI	
Space temperature control	PI	
Steam heat	PID	

၂.၇ Optimum Start

Building control system များ၏ အရေးအကြီးဆုံး လုပ်ငန်း(function)တစ်ခုမှာ time control ဖြစ်သည်။ လိုအပ်သည့်အခါ၌သာ equipment များကို မောင်းခြင်း နှင့် မလိုအပ်သည်နှင့်တစ်ပြိုင်နက် equipment များကို ပိတ်ခြင်း(shut down)တို့သည် time control ဖြစ်သည်။ HVAC equipment များကို အဆက်မပြတ် မောင်းခြင်း (continuous operation)ထက် လိုအပ်လျှင်မောင်း၊ မလိုအပ်လျှင်ပိတ်ခြင်း (intermittent operation)ဖြင့် စွမ်းအင် ချွေတာ နိုင်သည်။ ထိုသို့ ပြုလုပ်ရန် အချက်များစွာပေါ် မူတည်သည်။ အလတ်စား အဆောက်အဦများ (lightweight building)တွင် thermal inertia နည်းသောကြောင့် ပူလွယ်၊ အေးလွယ် ဖြစ်ပြီး စွမ်းအင်ချွေတာမှု(saving) များများ ရနိုင်သည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် အောက်ပါ အခြေအနေများ၌ intermittent heating နှင့် cooling လုပ်ခြင်းတို့ကို အသုံးပြုလျှင် အလွန် အကျိုးကျေးဇူး များသည်။

(က) Lightweight building (low thermal mass)
(ခ) Short occupancy period နှင့်
(ဂ) Over sized plant တို့ ဖြစ်သည်။

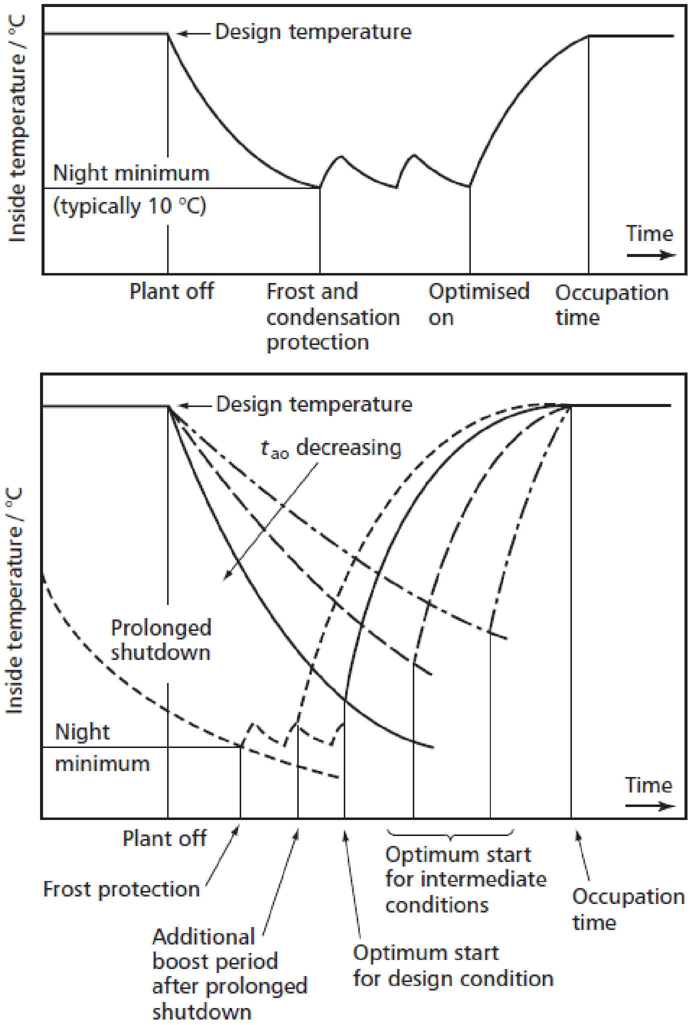
Heat output 30kW ထက်နည်းသည့် heating system များတွင် timer သို့မဟုတ် time switch ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Optimal start controller ကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ အသုံးပြုသူများ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ စတင် မဝင်ရောက်ခင် heating system ကို ကြိုမောင်းထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ occupant များ ရောက်ချိန်၌ သက်သောင့်သက်သာ(comfortable) ဖြစ်မည့် အခန်းအပူချိန်ကို ရရှိနေလိမ့်မည်။

ပြင်ပအပူချိန် (နွေ၊ မိုး၊ ဆောင်း ရာသီ သုံးပါးလုံးအတွက်)ကို မူတည်၍ အချိန် မည်မျှစောစော ကြိုတင် မောင်းရမည်ကို သတ်မှတ်သည်။ စောလွန်းစွာ မောင်းပါက(start too early) စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးရာ ရောက်သည်။ နောက်ကျ မောင်းပါက occupant များ သက်သောင့်သက်သာ(comfortable) မဖြစ်နိုင်ပေ။ တနင်္ဂနွေ သို့မဟုတ် ရုံးပိတ်ရက်ပြီး နောက်တစ်ရက်တွင် မောင်းနေကျ အချိန်ထက် အနည်းငယ် ကြိုမောင်းသင့်သည်။ Optimizer start controller သည် ရာသီသုံးပါးလုံး၌ အကောင်းဆုံး နှင့် အသင့်လျော်ဆုံး ဖြစ်မည့် မောင်းချိန်ကို ဆုံးဖြတ်ပေးနိုင်သည်။

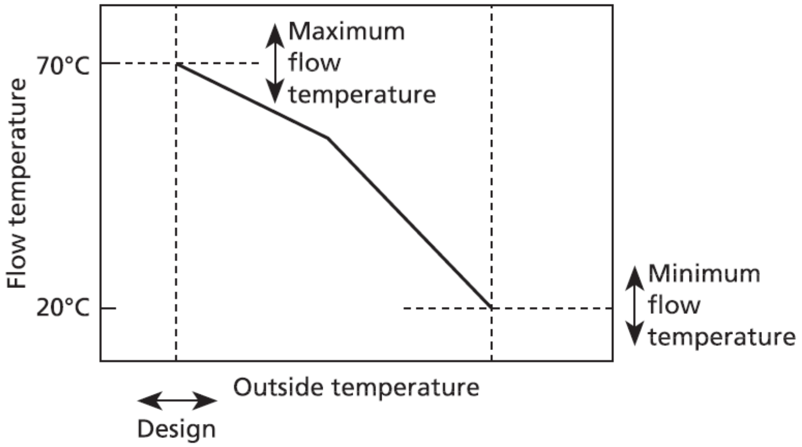
ပုံ(၂-၁၈)တွင် control characteristicကို ဖော်ပြထားသည်။ နေ့လယ်ထမင်းစားချိန်ကဲ့သို့သော unoccupied period အတွင်း၌ heating အတွက် occupied period အပူချိန်ထက် အနည်းငယ် နိမ့်ထားရန် နှင့် cooling အတွက် occupied period အပူချိန်ထက် အနည်းငယ် ပိုမြင့်ထား ပေးနိုင်သည်။

Optimal start controller ၏ အခြေခံလုပ်ငန်း(primary function)မှာ စမောင်းရမည့် အချိန်ကို သတ်မှတ် ပေးရန် ဖြစ်သည်။ အခန်းအတွင်း အပူချိန်(internal space temperature)နှင့် ပြင်ပအပူချိန် (external air temperature)ကို အခြေခံ၍ တွက်ယူသည်။ Optimal stop function သည် occupancy period မတိုင်မီ (လူများ မပြန်မီ သို့မဟုတ် ရုံးမဆင်းမီအချိန်) cooling နှင့် heating တို့ကို ကြို၍ ရပ်နားသင့်သည်။ ကြိုတင်ပိတ်ရမည့် အချိန် ကာလကို တွက်ယူနိုင်သည်။ စောပိတ်မိပါက occupant များ သက်သောင့်သက်သာ (comfortable) မဖြစ်နိုင်၊ နောက်ကျ ပိတ်ပါက စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးမှု ဖြစ်စေသည်။ (၁၅)မိနစ် သို့မဟုတ် နာရီဝက်စော၍ ပိတ်နိုင်သည်။ Optimal start သည် optimal stop ထက် ပို၍ စွမ်းအင်ချွေတာ(energy saving)နိုင်သောကြောင့် အသုံးများသည်။

HVAC system များကို ရာသီအမျိုးမျိုး(နွေ၊ မိုး၊ ဆောင်း)တွင် ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်အောင် ဒီဇိုင်း လုပ်ထား ကြသည်။ အမြင့်ဆုံးအခြေအနေ(max condition)ကို အခြေခံ၍ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသောကြောင့် capacity ပိုများသည်။ ထို့ကြောင့် သာမန်အချိန်များတွင် systemသည် part load တွင်သာ မောင်းနေလေ့ရှိသည်။ Part load condition တွင် ရှိသည့် control behavior သည် design အခြေအနေနှင့် မတူညီပေ။ ဥပမာ VAV system တစ်ခု၌ အချို့သောနေ့များတွင် မောင်းနေ(operate)သည့် ပုံမှန် လေစီးနှုန်း(air flow)သည် design flow(max flow)၏ တစ်ဝက်ခန့်သာ ရှိနိုင်သည်။ ထိုအခါ system gain သည် နှစ်ဆ ပိုများသွားသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ၌ system gain နှစ်ဆ ပိုများသောကြောင့် system stability မဖြစ်နိုင်တော့ပေ။ ထို့ကြောင့် system တစ်ခုသည် stability ဖြစ်ရန်အတွက် system gain များလာမည့် အခြေအနေများကို ဂရုစိုက်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၂-၁၉ Optimum start control



ပုံ ၂-၂၀ Weather compensation control characteristic with two adjustable slopes

Sampling Time

Digital control system များ၌ controlled variable ကို တိုင်းသည့် interval ကို sampling time ဟု သတ်မှတ်သည်။

Sampling time သည် အောက်ပါ အချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(က) Time period required by the A/D converter

(ခ) Any multiplexing between sensor inputs နှင့်

(ဂ) Density of traffic on a bus system တို့ ဖြစ်သည်။

Sampling time အရမ်းမြန်လျှင်(too fast) BAS/BMS ၏ data handling လုပ်ခြင်းကို ထိခိုက် စေသည်။ Sampling time မြန်ပါက(အချိန်တိုပါက)data များစွာကို handle လုပ်ရသည်။ Sampling time အလွန်နှေးပါက system ၏ ပြောင်းလဲမှုများ(changes)ကို ကောင်းစွာ မသိနိုင်။ Detect မလုပ်နိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် ကောင်းစွာ control လုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Equipment များနှင့် system များ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)ကို evaluate လုပ်ရန်အတွက် data များကို သိမ်းဆည်းလေ့ရှိသည်။ Sampling time နှေးသည့် data များသည် အသုံးမဝင်သည့် information များ သို့မဟုတ် မှားယွင်းစွာ ယူဆနိုင်သည့် information များကို ဖြစ်စေသည်။ ထိုကဲ့သို့ sampling time နှေးသောကြောင့် information များ ထင်ယောင်ထင်မှား ဖြစ်စေခြင်းကို "**Aliasing**" ဟု ခေါ်သည်။

သင့်လျော်မှန်ကန်သည့် sampling frequency ကို Shannon's sampling theorem ကို အသုံးပြု၍ ရနိုင်သည်။ Maximum frequency(time max) သည် system သို့မဟုတ် equipment component ၏ အမြင့်ဆုံး frequency ဖြစ်သည်။ ထို time max ထက် နှစ်ဆ များသည့် frequency ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Theoretical sampling frequencies ထက် ဆယ်ဆမက ပိုများသော sampling frequencies ကို လက်တွေ့ လုပ်ငန်းခွင်တွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Disturbance များကို အဓိကအားဖြင့် လေးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။ Control system တစ်ခုကို ပရမ်းပတာ ဖြစ်စေနိုင်သောကြောင့် disturbance ဟုခေါ်ဆိုသည်။

(က) Supply disturbances

(Chilled water supply temperature သို့မဟုတ် Hot water temperature ပြောင်းလဲခြင်း)

(ခ) Demand disturbances

(Occupant အရေအတွက် များလာခြင်း၊ နည်းသွားခြင်း)

(ဂ) Set point changes

(Set point ပြောင်းလဲခြင်း)

(ဃ)Ambient (environmental) variable changes

(ရာသီဥတုပြောင်းလဲခြင်း၊ အချိန်ကို လိုက်၍ ပြင်ပအပူချိန်(outdoor temperature) ပြောင်းလဲခြင်း)

၂.၈ Tuning

အမြဲပြောင်းလဲနေသည့် အခြေအနေကို control လုပ်ရသည့် control loop များ၏ behavior သည် control setting များ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ မမှန်ကန်သည့် setting များ နှင့် controller parameter များသည် system ကို မတည်မငြိမ်(unstable) ဖြစ်စေနိုင်သည်။ Controller များမှ optimum performance ရရန်အတွက် ကောင်းမွန်မှန်ကန်သည့် control parameter setting တန်ဖိုးများ သိထားရန် လိုအပ်သည်။

System တစ်ခုလုံး တည်ငြိမ်စွာ ပုံမှန် အလုပ်လုပ်နေရန် အရေးကြီးသည်။ Stability ပိုကောင်းစေရန် အောက်ပါ အချက်များကို လိုက်နာသင့်သည်။

(က) Proportional band တန်ဖိုးကို များပေးခြင်း

(ခ) Integral action time ကို များပေးခြင်း

(ဂ) Derivative action time ကို လျှော့ချပေးခြင်း

Tuning မပြုလုပ်ခင် system တစ်ခုလုံးအား manual mode ၌ မောင်းခြင်း၊ ရပ်တန့်ခြင်း၊ output signal များ စစ်ဆေးခြင်း စသည့် လုပ်ငန်းများကို စတင်ပြုလုပ်ရမည်။ ကျေနပ်လောက်သည့် အဆင့်ရောက်မှသာ tuning စတင် ပြုလုပ်သင့်သည်။ Set point အမျိုးမျိုးထား၍ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အခြေအနေများကို စောင့်ကြည့်သင့်သည်။ အောက်ပါ အချက်များကို စစ်ဆေးသင့်သည်။

(၁) Process noise များ ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးသင့်သည်။ Controlled variable များ၏ တန်ဖိုးများ ရုပ်တရက် လျှင်မြန်စွာ ပြောင်းလဲခြင်း ဖြစ်၊ မဖြစ် စစ်ဆေးသင့်သည်။
(၂) Set point ပြောင်းလိုက်သည့်အခါ အလွယ်တကူ ထိန်းပေးနိုင်စွမ်း ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးသင့်သည်။
(၃) မည်သည့် operating region ၌ ပို၍ sensitive ဖြစ်သည်ကို စစ်ဆေးသင့်သည်။

Control loop တစ်ခုကို turning လုပ်ရန် အခြေခံ အချက်များကို နားလည်ထားသင့်သည်။

(က) On/off controller သည် Proportional controller က ပေးသည့် Proportional action ကို မည်သည့်အခါမျှ ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

(ခ) Controlled device များudk operating range ၏ အတွင်း၌သာ အလုပ်လုပ်စေရမည်။ Fully open သို့မဟုတ် fully closed အခြေအနေအနီးတွင် အမြဲတမ်း ရှိမနေစေရ။

(ဂ) Cascade control ကို turning လုပ်သည့်အခါ အတွင်း(inner) loop ဟုခေါ်သည့် submaster ကို အရင်ဆုံး turning လုပ်ရမည်။ Primary water circuit ကို ပထမဦးစွာ တည်ငြိမ်(stable) အောင် turning လုပ်ပြီးမှသာ secondary loop ကို turning လုပ်ရမည်။

(ဃ) အချို့သော controller များသည် တစ်ခုမကသော controlled device များကို control လုပ်ကြသည်။ ဥပမာ temperature controller သည် heating coil နှင့် cooling coil ကို control လုပ်သည်။ လိုအပ်လျှင် operation တစ်ခုကို disable လုပ်၍ ကျန်တစ်ခုတည်းကိုသာ turning လုပ်သင့်သည်။

ယေဘုယျ အကြံပေးချက် အချို့ကို ဖော်ပြထားသည်။

Proportional band : ယေဘုယျ အားဖြင့် Proportional band တန်ဖိုး တစ်ခုခု ထားရန် လိုအပ်ပါက plant output ၏ 50% တွင် ရရှိမည့် controlled variable ၏ တန်ဖိုးကို အသုံးပြုသင့်သည်။

Integral time : ယေဘုယျ အားဖြင့် Integral time တန်ဖိုး တစ်ခုခု ထားရန် လိုအပ်ပါက open loop time constant နှင့် ညီမျှသည့် တန်ဖိုးကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Component time constant များအားလုံး စုပေါင်းထားသည့်အချိန် ဖြစ်သည်။ ဥပမာ actuator နှင့် sensor တို့ time constant စုစုပေါင်းဖြစ်သည်။

Derivative time : Control loop တွင် delay ရှိသည့်အခါ တွင် Derivative time ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ ယေဘုယျ အားဖြင့် Derivative time တန်ဖိုး တစ်ခုခု ထားရန် လိုအပ်ပါက control loop dead time ၏ 50% ဖြစ်သင့်သည်။

Sampling time : Open loop time constant ၏ 25% ထက် ပိုမများသင့်ပေ။

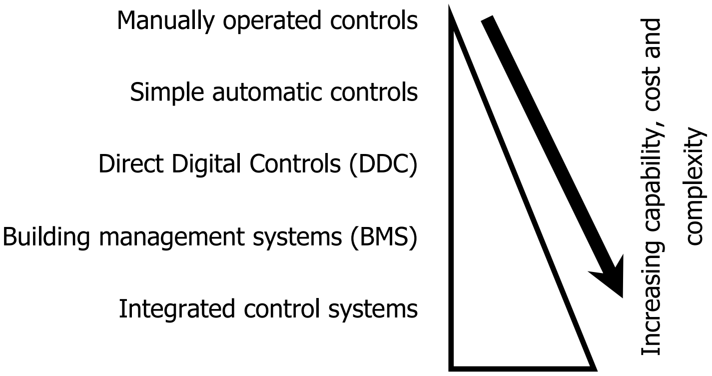
Initial controller setting များကို ထုတ်လုပ်သူများ (manufacturer)က ပေးလေ့ရှိသည်။ Common application များအတွက် ယေဘုယျအားဖြင့် သုံးနိုင်သည့် တန်ဖိုးများကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Table 2.2 Typical settings for a PI controller

Controlled device	Controlled quantity	Proportional band	Integral time (min)
Heating coil	Zone temperature	2 K	0
Preheat coil	Duct temperature	3 K	4
Chilled water coil	Duct temperature	8 K	4
Humidifier	Zone RH	15% RH	15
Dehumidifier coil	Duct RH	15% RH	4
Thermal wheel	Duct air temperature	4 K	4
Run around coil	Supply air temperature	6 K	4
Recirculation damper	Mixed air temperature	4 K	4
Ventilation supply	Zone CO2 concentration	100 ppm	10
Room terminal unit	Zone temperature	3 K	4
Supply fan	Static pressure	1000 Pa	1

၂.၉ Complexity of Control Systems

အောက်တွင် control system များ၏ ရှုပ်ထွေးခက်ခဲမှု များကို ဖော်ပြထားသည်။ Manually control လုပ်ခြင်းသည် လွယ်ကူရှင်းလင်းပြီး ကုန်ကျစရိတ်အနည်းဆုံးဖြစ်သည်။ Integrated control system များသည် ရှုပ်ထွေးခက်ခဲပြီး ကုန်ကျစရိတ် အများဆုံးဖြစ်သည်။ ရရှိသည့် အကျိုးများလည်း အမျိုးမျိုး ကွဲပြားကြသည်။



ပုံ ၂-၂၁ Relative capability and complexity of key control systems (Based on diagram from BSRIA AG 15/2002)

-End-

Chapter-2 Control Systems for Buildings

၂.၁ Modem Control System	1
၂.၂ Sustainable Development and Global Environment	2
၂.၃ Energy Efficiency	3
၂.၄ Control Modes	6
၂.၄.၁ Two Position (ON/OFF) control	6
၂.၄.၂ Floating control	8
၂.၄.၃ Proportional control	9
၂.၄.၄ Integral control	12
၂.၄.၅ Proportional Plus Integral (PI) control	13
၂.၄.၆ Proportional Plus Integral Plus Derivative (PID) control	14
၂.၄.၇ Cascade Control (Reset Control)	16
၂.၅ Logic Control	18
၂.၆ သင့်လျော်သည့် Control Mode များ ရွေးချယ်ခြင်း	19
၂.၇ Optimum Start	20
၂.၈ Tuning	23
၂.၉ Complexity of Control Systems	24

မာတိကာ

၂.၁ Modem Control System 1

၂.၂ Sustainable Development and Global Environment..2

၂.၂.၁ Energy Efficiency 3

၂.၄ Control Modes 6

၂.၄.၁ Two Position (ON/OFF) Control ....

၂.၄.၂ Floating Control ....

၂.၄.၃ Proportional Control ....

၂.၄.၄ Integral Control ....

၂.၄.၅ Proportional Plus Integral (PI) Control ....

၂.၄.၆ Proportional Plus Integral Plus Derivative (PID) Control ....

၂.၄.၇ Cascade Control (Reset Control)..
၂.၅ Logic Control 17
၂.၆ သင့်လျော်သည့် Control Mode များ ရွေးချယ်ခြင်း...18
၂.၇ Optimum Start...19
၂.၈ Tuning 21
၂.၉ Complexity of Control Systems..23

Chapter -3 Sensors and Transducers

နည်းနှစ်နည်းဖြင့် တိုင်းတာမှု(measurement)များ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

တိုက်ရိုက် တိုင်းတာခြင်း(Direct Method)

Direct method နည်းသည် တိုင်းလိုသည့် အရာ(unknown quantity)ကို တိုက်ရိုက် တိုင်းတာခြင်း ဖြစ်သည်။

တစ်ဆင့် တိုင်းတာခြင်း(Indirect Method)

Indirect method နည်းသည် တိုင်းလိုသည့် အရာ(unknown quantity)ကို တိုက်ရိုက် တိုင်းတာရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါ ဆက်စပ်နေသည့် အခြားတန်ဖိုးကို တိုင်းယူ၍ unknown quantity ၏ တန်ဖိုးကို တွက်ယူသည့်နည်း ဖြစ်သည်။

ဥပမာ- ထုထည်စီးနှုန်း(volume flow rate)ကို တိုင်းရန် မဖြစ်နိုင်သည့်အခါတွင် အလျင်(velocity)ကို တိုင်း၍ ဧရိယာ(cross sectional area) နှင့် မြှောက်(multiply)ယူနိုင်သည်။

၃.၁ Classification Of Instruments

Absolute Instruments

တိုင်းလိုသည့်အရာ၏ တန်ဖိုးကို တိုက်ရိုက် တိုင်းတာနိုင်သည့် instrument များကို "**Absolute Instrument**" များဟု ခေါ်သည်။

Secondary Instruments

Instrument တစ်ခုကို calibrate လုပ်ထားပြီးဖြစ်သည့် absolute instruments နှင့် နှိုင်းယှဉ်ပြီး calibrate လုပ်ထားသောကြောင့် secondary instrument များဟု ခေါ်သည်။

Instrument များ၏ function များကို သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(၁) တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြရန်အတွက် တိုင်းတာခြင်း (Indicating function)
ဥပမာ- အခန်းအပူချိန်၊ ရာသီဥတု အပူချိန်

(၂) တန်ဖိုးများကို မှတ်တမ်းတင်ရန်အတွက် တိုင်းတာခြင်း (Recording function)
ဥပမာ- လျှပ်စစ်မီတာ၊ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားသုံးစွဲနှုန်း

(၃) Device တစ်ခုကို ထိန်းချုပ်မောင်းနှင့်ရန်အတွက် တိုင်းတာခြင်း (Controlling function)

ဥပမာ- Chilled water flow valve ကို control လုပ်ရန်အတွက် supply temperature ကို တိုင်းတာခြင်း ဖြစ်သည်။

Measurement system များကို အသုံးပြုသည့် လုပ်ငန်းများ(application)

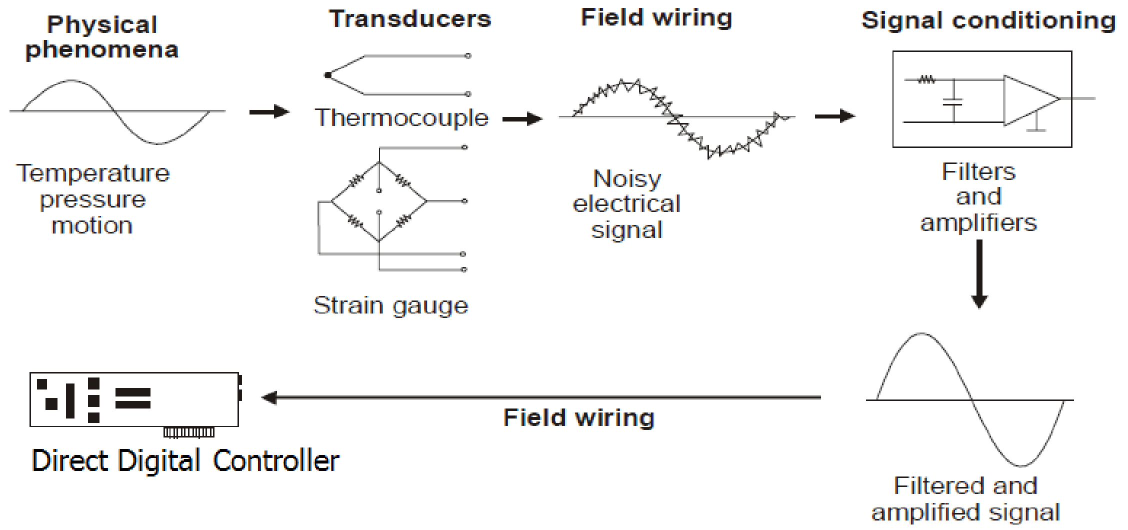
(၁) Monitoring of process and operation.

(၂) Control of processes and operation.

(၃) Experimental engineering analysis.

Sensor များသည် control system တွင် မရှိမဖြစ်ပါဝင်သည့် အဓိက အစိတ်အပိုင်းများ ဖြစ်ကြသည်။ အရည်အသွေး ညံ့ဖျင်းသည့် sensor များ နှင့် စနစ်တကျ မတပ်ဆင်ထားသည့် sensor များမှ ဖတ်ယူထားသည့် တန်ဖိုးများကို အသုံးပြု၍ အဆင့်မြင့် ခက်ခဲသည့်(sophisticated) လုပ်ငန်းများကို ဆောင်ရွက်ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ဤအခန်း(chapter)တွင် building control system များတွင် အသုံးပြုသည့် sensor များကိုသာ ဦးစားပေး ဖော်ပြထားသည်။

Sensor များကို အသုံးပြု၍ controlled variable များ၏ တန်ဖိုးကို တိုင်းတာကြသည်။ မည်သည့် တိုင်းတာမှုမျှ မပြုလုပ်ပဲ မည်သည့်အရာကိုမျှ control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပါ။ Operator များသည် sensor များက ဖတ်ယူထားသည့် တန်ဖိုးများကို စောင့်ကြည့်(monitoring)ကာ plant တစ်ခုလုံး၏ အခြေအနေကို သိနိုင်သည်။



ပုံ ၃-၁ Anatomy of a sensor system

HVAC လုပ်ငန်း(application)များတွင် အသုံးများသည့် sensor များမှာ temperature ၊ Carbon Dioxide (CO_2)၊ Carbon Monoxide (CO) ၊ Relative Humidity ၊ dewpoint ၊ differential pressure ၊ velocity sensor နှင့် flow sensor တို့ဖြစ်သည်။ Sensing technology သည် အလွန် လျှင်မြန်စွာ တိုးတက် ပြောင်းလဲနေသည့် ပညာရပ် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် sensor အသစ်များ အဆက်မပြတ် ထွက်ပေါ် နေလေ့ ရှိသည်။

တိုင်းတာရမည့်အရာ(measured variable)မှ control module အတွင်းသို့ input အဖြစ်ရောက်ရှိသည့် နေရာအကြားရှိ process အားလုံးကို sensor ဆိုသည့် စကားလုံးဖြင့် မရေမရာ ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။

Sensor တစ်ခုက ဆောင်ရွက်ရမည့် လုပ်ငန်း(function)များ နှင့် အစိတ်အပိုင်းများကို ခွဲခြားဖော်ပြရလျှင်

(၁) **Sensing element:** တိုင်းတာလိုသည့် အရာ(measured variable)ကို သိနိုင်၊ အာရုံခံနိုင်သည့် ကိရိယာကို sensing element ဟုခေါ်သည်။

(၂) **Transducer:** Sensing element မှ တိုင်းတာချက်များကို electrical signal အဖြစ်သို့ ပြောင်းပေးနိုင်သည့် active device ကို transducer ဟုခေါ်သည်။

(၃) **Transmitter:** တိုင်းတာချက်များကို electrical signal အဖြစ် control module ဆီသို့ ပို့ပေးသည့် device ကို transmitter ဟုခေါ်သည်။

လက်တွေ့တွင် transducer နှင့် transmitter တို့ကို ပေါင်းလျက် အတူတကွ တွေ့ရလေ့ရှိသည်။ Transducer နှင့် transmitter တို့၏ ဆောင်ရွက်ချက်များကို "**Signal Conditioning**" ဟုခေါ်ဆိုသည်။

Signal conditioning ၏ လုပ်ငန်းများမှာ

(၁) Filtering to remove noise

(၂) Averaging over time နှင့်

(၃) Linearization တို့ ဖြစ်သည်။

အချို့သော system များတွင် sensing element ကို controller နှင့် တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်ထားလေ့ရှိသည်။ ဥပမာ thermocouple ကို controller နှင့်တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်ထားပြီး signal conditioning ကို controller module အတွင်း၌ ဆောက်ရွက်လေ့ရှိသည်။

Transmitter

Transmitter ဆိုသည်မှာ signal တစ်ခုကို လက်ခံပြီးနောက် ထို signal နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်(data)များကို အခြားသော device တစ်ခုဆီသို့ ထပ်မံထုတ်လွှတ်သည့် ကိရိယာ(device)ကို **Transmitter** ဟုခေါ်သည်။

Transmitter မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည့် signal အမျိုးအစားများမှာ 0–5 volt ၊ 0–10 volt or 4–20 milliamp (mA) တို့ဖြစ်သည်။ HVAC လုပ်ငန်းခွင်တွင် voltage output များကို အလွန်အသုံးများသည်။ သို့သော် 4–20 mA signal သည် ပို၍ စိတ်ချ(robust)ရသည်။ အထူးသဖြင့် ဝါယာကြိုး ရှည်သည့်အခါ နှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများတွင် ပို၍ သင့်လျော်သည်။

Sensor နှင့် transmitter တို့ နှစ်ခုပေါင်းထားသည့် accuracy ကို ဖော်ပြလေ့ ရှိသည်။

Sensor များကို နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် ထုတ်လုပ်နေသောကြောင့် sensor များ၏ interchangeability နှင့် interoperability တို့သည် control system များအတွက် အလွန်အရေးကြီးသည့် အချက် ဖြစ်သည်။

Interchangeability သည် ထုတ်လုပ်တစ်ယောက်ထံမှ sensor ဖြင့် အခြားထုတ်လုပ်သူ တစ်ယောက်ထံမှ sensor ကို လဲလှယ်တပ်ဆင်နိုင်မှု(physical replacement)ကို ဆိုလိုသည်။

Interoperability ဆိုသည်မှာ sensor များကို တစ်ခု နှင့် တစ်ခု လဲလှယ် တပ်ဆင်သည့်အခါ control system နှင့် ကိုက်ညီမှု ရှိ၊ မရှိ(operability)ကို ဆိုလိုသည်။

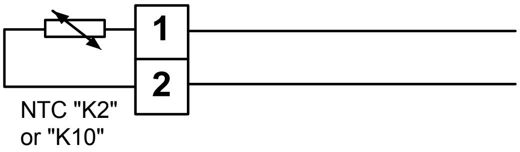
Sensor များကို ရွေးချယ်ရာတွင် installation time ၊ accuracy ၊ precision ၊ reliability ၊ repeatability ၊ durability ၊ maintenance ၊ repair/replacement costs ၊ compatibility စသည်တို့ကို အလေးပေး စဉ်းစားရန် လိုအပ်သည်။

Status ကို ဖော်ပြသည့် sensor များသည် binary output(on/off)ကို ထုတ်ပေးသည်။ Setpoint တန်ဖိုးထက် များလျှင် "ON" output သို့မဟုတ် setpoint တန်ဖိုးထက် နည်းလျှင် "OFF" output ထုတ်ပေးသည်။

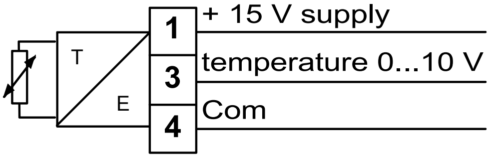
Sensor အများစုသည် mechanical device များ ဖြစ်ကြသည်။ Thermostats ၊ humidistats နှင့် pressure switches တို့ ဖြစ်ကြသည်။

Status ဖော်ပြရန် သို့မဟုတ် software interlock လုပ်ရန်အတွက် sensor ၏ output ကို controller ၌ digital input အဖြစ် ချိတ်ဆက်သည်။ ဘေးအန္တရာယ်၊ လုံခြုံရေးနှင့် သက်ဆိုင်သည့်(safety-critical) interlock များကို ဝါယာကြိုးဖြင့်သာ(hardwired) ချိတ်ဆက်လေ့ရှိသည်။ Software interlock ကို အသုံးပြုခွင့်မရှိ။

Sensor ၏ status များသည် voltage-free contact များ ဖြစ်ကြသည်။ Analogue sensor များသည် measured variable ၏ တန်ဖိုးကို electrical signal အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးပြီး controller ဆီသို့ ပို့ပေးသည်။ တိုင်းထားသည့် တန်ဖိုးများကို input signal အဖြစ် control လုပ်ရာတွင် အသုံးပြုသည်။



ပုံ ၃-၂(က) Passive Sensor



ပုံ ၃-၂(ခ) Active Sensor

Analogue sensor များကို အောက်ပါအတိုင်း ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) **Passive devices:** Transducer မပါဝင်ပဲ sensing element သာ ပါဝင်သည့် device ကို passive device ဟုခေါ်သည်။ Signal conditioning လုပ်ခြင်းကို controller အတွင်း၌သာ ပြုလုပ်သည်။ ဥပမာ resistance type temperature sensor ဖြစ်သည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပေးရန် မလိုပဲ controller ၏ analogue input နှင့် passive sensor ကို ဝါယာကြိုး(field wiring)ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။

(ခ) **Active devices:** Sensing element နှင့် signal conditioning လုပ်ရန် transducer နှင့် transmitter တို့ ပါဝင်သည့် ကိရိယာကို active device များဟု ခေါ်သည်။ Controller ၏ analogue input နှင့် passive sensor ကို ဝါယာကြိုး(field wiring)ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ Transmitter မှ ထုတ်ပေးသည့် industry standard electrical signal များကို Table 3.1 ၌ ဖော်ပြထားသည်။

Table 3.1 Standard signals for transmission of sensor readings

Signal	Application
0–10 V DC	Standard for HVAC applications
4–20 mA	Common in process control
Voltage-free contact	For status indication
Pulse	Energy and flow measurement

4 to 20 mA signal ကို သုံးလျှင် ဝါယာကြိုး နှစ်ချောင်း(two-wire connection)သာ လိုသည်။ Hostile environments နှင့် process control များတွင် 4 to 20 mA signal ကို အသုံးပြုကြသည်။ 0–10 V signal ကို သုံးလျှင် ဝါယာကြိုး သုံးချောင်း သို့မဟုတ် လေးချောင်း လိုအပ်သည်။ ကုန်ကျစရိတ် သက်သာကြောင့် HVAC systems များတွင် အသုံးပြုကြသည်။

Intelligent sensor များသည် တိုင်းယူထားသည့် တန်ဖိုး(measured value)များကို သို့မဟုတ် အခြေအနေ(status)များကို digital signal အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပြီး တစ်ခြားသော intelligent device များဆီသို့ control လုပ်ရန်အတွက် သော်လည်းကောင်း၊ တိုင်းတာထားသည့် တန်ဖိုးများကို ဖော်ပြရန်အတွက် ပေးပို့နိုင်စွမ်း

ရှိသည်။ Network အတွင်းရှိ device များသို့လည်း ပေးပို့ နိုင်သည်။

ထို့အပြင် intelligent sensor များသည် အောက်ပါ လုပ်ငန်းများကို ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်သည်။

(က) Checking upper and lower bounds

(ခ) Calibration and compensation functions

(ဂ) Calculating derived values, e.g. enthalpy.

၃.၂ အဓိပ္ပာယ် ဖွင့်ဆိုချက်များ(Definition of Terminology)

Ambient

Sensor ရှိရာနေရာ သို့မဟုတ် control system ရှိရာနေရာ၏ အနီးဝန်းကျင်ကို ဆိုလိုသည်။

Attenuation

Attenuation ဆိုသည်မှာ အချိန် ကြာမြင့်သည်နှင့်အမျှ signal ၏ magnitude ခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် signal strength အားနည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

Calibrate

အမှန်တကယ် ရှိသည့်တန်ဖိုး(true value) နှင့် sensor ၏ output တန်ဖိုးတို့သည် လက်ခံနိုင်သည့် accuracy သို့မဟုတ် uncertainty အတွင်းရှိအောင်ပြုလုပ်ခြင်းကို calibrate လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။

Closed loop

Relates to a control loop where the process variable is used to calculate the controller output.

Range

Device တစ်ခု operate လုပ်မည့် upper limit နှင့် lower limit အကြားသည် Range ဖြစ်သည်။

Rangeability

Rangeability ဆိုသည်မှာ အမြင့်ဆုံးစီးနှုန်းနှင့် အနိမ့်ဆုံးစီးနှုန်း အချိုး ဖြစ်သည်။ Control လုပ်နိုင်သည့် flow range ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{Rangeability = \frac{Q_{min}}{Q_{max}}}$$

Reliability

Reliability ဆိုသည်မှာ device တစ်ခုသည် သတ်မှတ်ထားသည့် specification သို့မဟုတ် စံချိန်စံညွှန်းအောက်တွင် အကြိမ်ပေါင်းမည်မျှ operation လုပ်နိုင်သည် သို့မဟုတ် အချိန်(operating hours)မည်မျှ တာရှည်အောင် အလုပ်လုပ်နိုင်သည်ကို ဖော်ပြသည့် ဖြစ်နိုင်ခြေ ဖြစ်သည်။

Resolution

Resolution ဆိုသည်မှာ တိုင်းတာသိရှိနိုင်သည့် အသေးငယ်ဆုံးသော ပမာဏ(smallest interval) ဖြစ်သည်။

Self Heating

Electrical excitation ကြောင့် sensor အတွင်း၌ အပူချိန်မြင့်တက်လာသည်။ Self-heating သည် ဖြတ်စီးသွားသော လျှပ်စစ်စီးကြောင်း(current)ကြောင့် ဖြစ်သည်။

Sensitivity

သတ်မှတ်ထားသည့် input တန်ဖိုး ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ပြောင်းလဲသွားသည့် output တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။

Stiction

Static friction တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ တစ်စုံတစ်ခု စတင် ရွေ့လျားသွားရန် အတွက် ခုခံထားသည့်အား(resistance to motion) ဖြစ်သည်။

Transducer

Temperature or pressure စသည့် physical quantity ၏ တန်ဖိုးကို volts or millivolts or resistance change အဖြစ် ပြောင်းလဲပေးသည့် element သို့မဟုတ် device ကို transducer ဟုခေါ်သည်။

Accuracy

Accuracy ဆိုသည်မှာ တိုင်းတာမှု(measurement)သည် မည်မျှ တိကျသည်ကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် accuracy သည် တိုင်းတာမှုတွင် ပါဝင်နေသည့် အမှားပမာဏ(error in the measurement) ဖြစ်သည်။ တိုင်းတာမှု(measurement)များ ပြုလုပ်သည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်သည့် အမှားပမာဏ(amount of error) ကို accuracy ဟု သတ်မှတ်သည်။ အမှားပမာဏ(amount of error)များလေ accuracy ညံ့ဖျင်းလေ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အမှန်တကယ်ရှိသည့် တန်ဖိုးသည်(true value)သည် တိုင်းတာမှု(measurement)မှ ရရှိသည့် တန်ဖိုးနှင့် မည်မျှ နီးစပ်သည်ကို ဆိုလိုသည်။

Accuracy သည် sensor တစ်ခု၏ တိုင်းတာသည့် ကိရိယာများ၏ သင့်လျော်မှု(suitability measuring equipment) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Accuracy သို့မဟုတ် total error in the measurement သည် linearity ၊ hysteresis နှင့် repeatability တို့နှင့် လည်းသက်ဆိုင်သည်။

Reference accuracy ဆိုသည်မှာ သတ်မှတ်ထားသည့် အခြေအနေ(reference conditions) တွင် ရရှိနိုင်သည့် accuracy ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ်ထားသည့် လေထုအပူချိန်(ambient temperature)၊ ဖိအား(static pressure) နှင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား(supply voltage)တို့သည် reference condition ဖြစ်သည်။

Accuracy ကို error သို့မဟုတ် uncertainty ဖြင့်လည်း ဖော်ပြနိုင်သည်။ Systematic bias error နှင့် random errors (imprecision) ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ အမှန်တကယ် ရှိသည့် တန်ဖိုး(true value) ကို တတ်နိုင်သမျှ တိကျမှန်ကန်အောင် ဖော်ပြနိုင်စွမ်းသည် accuracy ဖြစ်သည်။

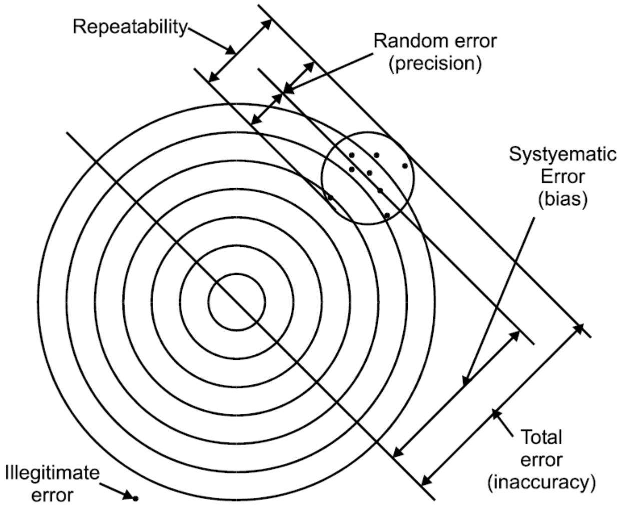
Reporting Accuracy

အောက်တွင် minimum acceptable reporting accuracie ဖော်ပြထားသည်။

Measured Variable	Reported Accuracy
Space temperature	±0.5 degrees C (±1 degrees F)
Ducted air temperature	±1.0 degrees C [±2 degrees F]
Outdoor air temperature	±1.0 degrees C [±2 degrees F]
Water temperature	±0.5 degrees C [±1 degrees F]
Relative humidity	±2 percent RH
Water flow	±5 percent of full scale
Air flow (terminal)	±10 percent of reading
Air flow (measuring stations)	±5 percent of reading
Air pressure (ducts)	±25 Pa [±0.1 "W.G.]
Air pressure (space)	±3 Pa [±0.001 "W.G.]
Water pressure	±2 percent of full scale *Note 1
Electrical Power	5 percent of reading

CO Carbon Monoxide	±10 percent of reading 0-300 ppm
CO2 Carbon Dioxide	±50 ppm or 3% of reading

Note 1: for both absolute and differential pressure



ပုံ ၃-၃ Accuracy terminology

Range of Operation

အမြင့်ဆုံးနှင့် အနိမ့်ဆုံး operating limit တို့အကြားသည် ကိရိယာများ ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်နိုင်သည့် range of operation ဖြစ်သည်။ ဖော်ပြထားသည့် specification များသည် range of operation အတွင်း၌သာ အကျုံးဝင်သည်။ Range of operation ၏ အပြင်တွင် ကျရောက်နေသည့်အခါ အမှားများခြင်း (excessive errors)၊ ပုံမှန် အလုပ်မလုပ်ခြင်း(malfunction) နှင့် ပျက်စီးခြင်း(permanent damage) စသည်တို့ ဖြစ်နိုင်သည်။

Sensor များ၏ တိုင်းနိုင်သည့် range ကို ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)များက ကက်တလောက်(catalogue)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ တိုင်းလိုသည့် တန်ဖိုးသည် range ၏ အပြင်ဘက်တွင် ကျရောက်မနေစေရန် သတိပြုသင့်သည်။

Budget/Cost

Sensor များ ရွေးချယ်ရာတွင် ဈေးနှုန်းနှင့် ကုန်ကျစရိတ်သည် အဓိကကြသည့် အချက်ဖြစ်သည်။ ခွင့်ပြုထားသည့် ဘတ်ဂျက်(allocated budget)အတွင်း၌သာ လုပ်ကိုင်ကြရသောကြောင့် specification များ အားလုံး ကိုက်ညီနေခဲ့ သော်လည်း ဈေးနှုန်းနှင့် ကုန်ကျစရိတ် အလွန်များပါက ခွင့်ပြုလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

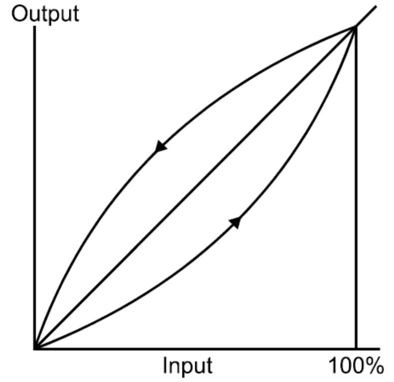
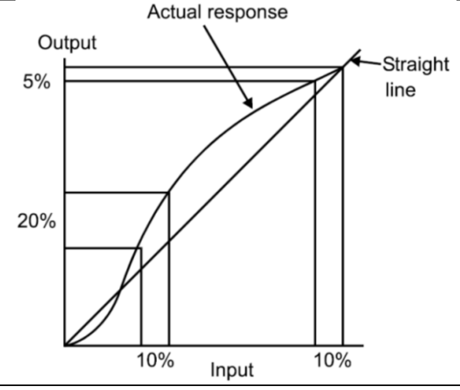
Hysteresis

Device များ၏ accuracy သည် previous value နှင့် direction of variation အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Hysteresis သည် အမှန်တကယ်ရှိသည့် တန်ဖိုးသည်(true value) မှ ကွဲလွဲမှု(inaccuracy) ကို ဖော်ပြသည်။ Previous measurement နှင့် လည်း သက်ဆိုင်သည်။

Linearity

Linearity ဆိုသည်မှာ curve တစ်ခုသည် မျဉ်းဖြောင့်(straight line)နှင့် မည်မျှ နီးစပ်သည်ကို ဖော်ပြသည်။ Sensor ၏ curve တစ်ခုသည် မျဉ်းဖြောင့်(straight line)နှင့် တူလေ linearity ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။ Instrument မှ တိုင်းတာရသည့် တန်ဖိုးကို response curve ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။ Response curve သည် မျဉ်းဖြောင့်(straight line)ကဲ့သို့ မဟုတ်လျှင် သို့မဟုတ် linearity မကောင်းလျှင် continuous control

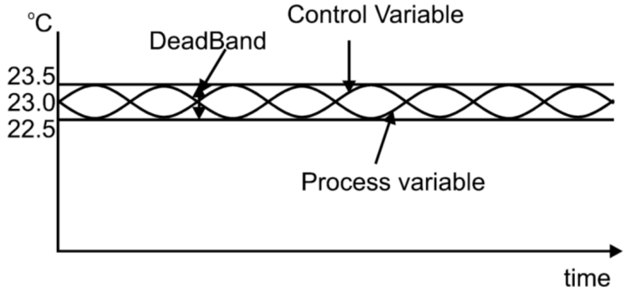
application များတွင် ပြဿနာများစွာ ကြုံတွေ့ရ နိုင်သည်။ ထိုပြဿနာများကို ဖြေရှင်းရန်အတွက် signal ကို မျဉ်းဖြောင့်(straight line)အတိုင်း ဆက်စပ်မှု ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ထိုသို့ပြုလုပ်ခြင်းကို linearise လုပ်သည်ဟု ခေါ်သည်။

	
ပုံ ၃-၄ Hysteresis	ပုံ ၃-၅ Linearity

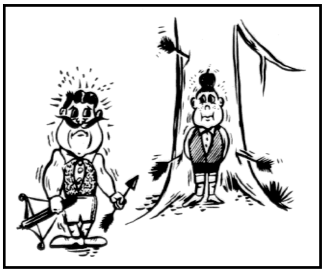
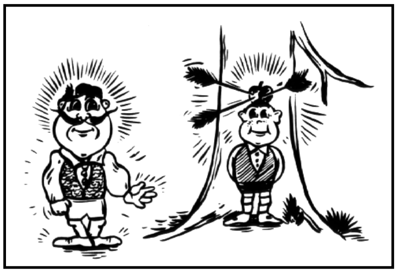
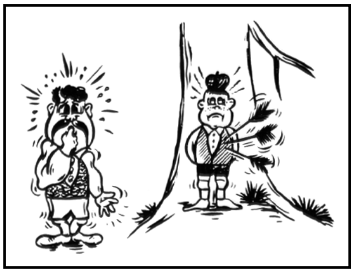
Repeatability

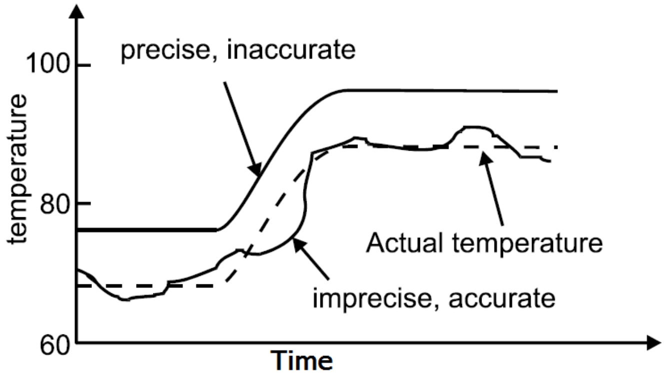
Repeatability ဆိုသည်မှာ ဒုတိယအကြိမ် တိုင်းတာမှု(second measurement)သည် ပထမအကြိမ် တိုင်းတာမှု(second measurement)နှင့် မည်မျှနီးကပ်သည်ကို ဖော်ပြသည်။ တူညီသည့်(same) input နှင့် တူညီသည့်(same) operating condition အောက်တွင်သာ အကျုံးဝင်သည်။ Repeatability သည် device ၏ accuracy range အောက်တွင်သာ ရှိသည်။ Repeatability နှင့် hysteresis နှင့် ကွဲပြားပုံကို သတိပြုသင့်သည်။

Sensor များ repeatability ညံ့သောကြောင့် control system များ၏ စွမ်းဆောင်ရည် ညံ့ဖျင်းနိုင်သည်။ Sensor များ repeatability ညံ့သောကြောင့် controller များသည် လိုသည်ထက်ပို၍ control လုပ်ခြင်း(over-control) ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုပြဿနာကို controller များတွင် deadband ထား၍ ဖြေရှင်းနိုင်သည်။



ပုံ ၃-၆ Repeatability

		
ပုံ ၃-၇ Poor Repeatability Means Poor Accuracy	Good Accuracy Means Good Repeatability	Good Repeatability Does Not Necessarily Mean Good Accuracy



ပုံ ၃-၈ Accuracy and Precision (Hegberg, 2001–2002)

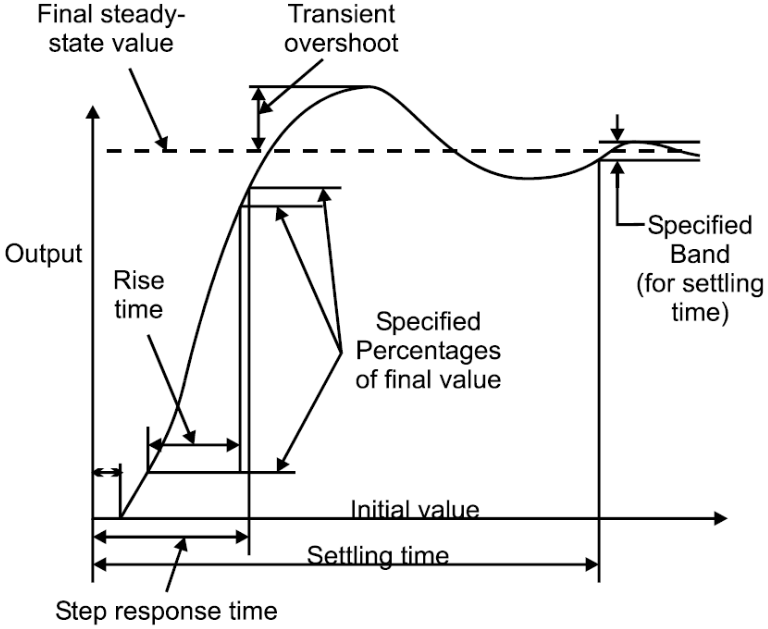
ပုံ(၃-၂)တွင် precise and inaccurate ၊ imprecise and relatively accurate တို့ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။

Reliability

Realibility ဆိုသည်မှာ သတ်မှတ်ထားသော အတိုင်းအတာ တစ်ခုအတွင်း device တစ်ခုသည် ယုံကြည်စိတ်ချစွာ ပျက်စီးချို့ယွင်းခြင်း မရှိဘဲ ပုံမှန်အတိုင်း အလုပ်လုပ်နေမည် ဖြစ်နိုင်ခြေ(mathematical probability) ဖြစ်သည်။

Response

Device တစ်ခု၏ output ကို function of time ဖြင့် ဖော်ပြသည့်အခါ အခြေအနေအသစ်ကို တုန့်ပြန်(respon)ရန် ကြာချိန်သည် အလွန်အရေးကြီးသည့် အချက် ဖြစ်သည်။ ထို device သုံးရန် သင့်၊မသင့် ကိုလည်း စဉ်းစားရန် လိုသည်။ လွန်နှေးသည့် တုံ့ပြန်မှုရှိသည့် (slow responding) device များ ကို continuous control application တွင် မသုံးသင့်ပါ။



ပုံ ၃-၉ Typical time response for a system with a step input.

ASHRAE Terminology of Heating, Ventilating, Air Conditioning, and Refrigeration (1991)မှ နည်းပညာဝေါဟာရများကို ဖော်ပြထားသည်။

တိုင်းတာမှု(measurement)တစ်ခုလုံး၏ accuracy သည် အောက်ပါအချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(က) **Accuracy of the sensing element:** the claimed accuracy of the element may not be available over the whole operating range or may be quoted under ideal conditions.

(ခ) **Sensitivity:** this is the smallest change in themeasured variable that can be detected by the system.

(ဂ) **Interacting variables:** the condition of the sensormay be affected by other environmental variables,e.g. an air temperature sensor will be affected by thermal radiation or an RH sensor by local variations in air temperature.

(ဃ) **Stability:** sensors may drift with time and require checking. Stability is likely to be affected by operating conditions.

(င) **Hysteresis:** the sensor reading may be affected by its past history and speed and direction of change of the measured variable.

(စ) **Mounting:** the mounting and location of the sensor will affect the reading.

(ဆ) **Signal conditioning:** associated transducers will introduce their own limitations to the accuracy achievable. Some systems 'filter' readings first and only transmit when the measured variable has changed by a specified 'filter factor'. This is used to minimise network traffic.

(ဇ) **A/D conversion:** the discrimination of any analogue to digital conversion will set a limit to the achievable accuracy. Eight-bit conversion divides the range into 256 steps, 12-bit into 4096 steps. In the latter case, a measurement range of −50 to 150 ºC would have a step size of 0.05 K.

၃.၃ Sensor Performance Characteristic

Sensor များ၏ static characteristic နှင့် dynamic characteristic များကို ဖော်ပြထားသည်။ တဖြည်းဖြည်းခြင်းသာ ပြောင်းလဲသည့် characteristic များကို static characteristic ဟု ခေါ်သည်။

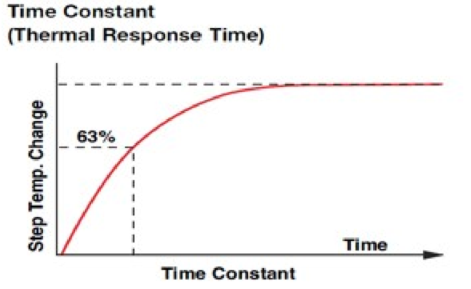
Static Characteristics		Dynamic Characteristics
Accuracy	Scale range	Speed of response
Drift	Scale span	Measuring lag
Dead Zone	Noise	Fidelity
Static Error	Dead Time	Dynamic error
Sensitivity	Hysteresis.	
Reproducibility	Linearity	
Static correction		

Actuator Expected Performance Characteristic

Sensor Type	Expected Response Time	Performance Assurance
Air Flow Damper	30 second	Sensor Feedback
Evacuation	60 second	Supervised
Admittance	1 second	Supervised
Lighting	100 millisecond	Optical Sensing
Smoke Control Damper	10 second	Supervised
Smoke Abatement	60 second	Supervised

Speed of response

Sensor များ၏ တုန့်ပြန်မှု(response) လျှင်မြန်မှုသာ တည်ငြိမ်(stable)ပြီး တိကျသည့်(accurate) control လုပ်ငန်းများကို ဆောင်ရွက်နိုင်လိမ့်မည် ဖြစ်သည်။ Speed of response ကို time constant ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Time constant ဆိုသည်မှာ ပြောင်းလဲမှု၏ ၆၃%ကို output singal အဖြစ် ထုတ်ပေးနိုင်ချိန်ကို ဆိုလိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြောင်းလဲမှု၏ ၆၃% ကိုသိရန်ကြာချိန် ဖြစ်သည်။ time constant သည် တတ်ဆင်ထားပုံ၊ တိုင်းသည့် medium တို့အပေါ်တွင် မူတည်သည်။



ပုံ ၃-၁၀ Time Constant

Controlled variable ၏ ပြောင်းလဲမှုကို sensor က သိရန်ကြာလေ time constant များလေ ဖြစ်ပြီး control system ၏ တုန့်ပြန်မှု(respond)နှေးလေ ဖြစ်သည်။ Time constant နည်းသည့်အခါ measured variable ၏ short term fluctuation များကြောင့် မလိုလားအပ်သည့် control action များဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

Sensor ၏ time constant သည် control system ၏ time lags တွင် ပါဝင်သည်။

၃.၄ Selection Requirements

တပ်ဆင်သည့်နေရာ ရွေးချယ်ခြင်း နှင့် အသုံးပြုမည့် sensor အမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်းတို့သည် control system တိုင်းအတွက် အရေးကြီးသည်။

Control system ချို့ယွင်းခြင်း၊ ပုံမှန် အလုပ်မလုပ်ခြင်း ၏ အဓိက အကြောင်းအရင်းသည် sensor မှ ဖြစ်ပေါ်သော ပြဿနာများကြောင့်ဖြစ်သည်။ အရည်အသွေး ညံ့ဖျင်းသော sensor များကြောင့် drift ဖြစ်ပေါ်ခြင်း သို့မဟုတ် သက်တမ်းမတိုင်မီ ပျက်စီးခြင်း(early failure)၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းရန် ကုန်ကျစရိတ်များခြင်း နှင့် control လုပ်နိုင်စွမ်း ညံ့ဖျင်းခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

အဆောက်အဦးရှိ sensor များတွင် ဖြစ်ပေါ်လေ့ရှိသည့် ပြဿနာများမှာ မတိကျခြင်း(inaccuracy)နှင့် ပျက်စီးချို့ယွင်းခြင်း(failure)တို့ ဖြစ်သည်။ ထိုပြဿနာ နှစ်မျိုးမှာ sensor များကို မှားယွင်းစွာ တပ်ဆင်ထားခြင်း (incorrect installation)ကြောင့် ဖြစ်သည်။

Table 3.2 Sensor requirements	
Sensor requirement	**Checklist**
Type	Status, analogue, intelligent
Sensed medium	Air, water, gas, oil
Sensed quantity	Temperature, pressure, velocity, humidity
Location	Space, duct, pipe
Housing	Accessibility, effect on accuracy and speed
Accuracy	Accuracy, resolution, hysteresis, repeatability
Operating range	The range over which the sensor performs accurately
Overload range	The range to which the sensor may be subjected without damage
Response time	Affected by sensor, housing and medium
Protection	Is protection required from a damaging environment?
Maintenance	Calibration requirements, ease of servicing and replacement
Interchangeability	Can sensor be replaced by another from the same or different manufacturer?
Cost	Initial cost and total ownership cost over life cycle

Sensor selection criteria:

Sensor များကို ရွေးချယ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်များကို အလေးပေး စဉ်းစားသင့်သည်။

Range: Sensor ၏ accuracy သည် range အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Sensitivity: တိုင်းတာ၍ ရနိုင်သည့် အသေးငယ်ဆုံးသော ပြောင်းလဲမှု(measure of the smallest change) ဖြစ်သည်။

Linearity: Linearity between the change in input variable and the change in output variable. Signal conditioning is required for nonlinear sensors

Response time: The time taken for the sensor output to change for a given change in the sensor input

Accuracy: Sensor က တိုင်းပေးသည့် တန်ဖိုး(sensor output value) နှင့် အမှန်တကယ်ရှိသည့် တန်ဖိုး(true value)တို့၏ ကွာခြားချက် အမှား(error)သည် accuracy ဖြစ်သည်။

Repeatability: Sensor ၏ consistency

Interchangeability: Re-calibrating ပြန်လုပ်ရန် မလိုပဲ တခြား အမျိုးတူ sensor တစ်ခုနှင့် ပြောင်း၍ လဲလှယ်တပ်ဆင်နိုင်သည့် အရည်အသွေး။

Ease of calibration: The ease of establishing and maintaining the calibration of a sensor

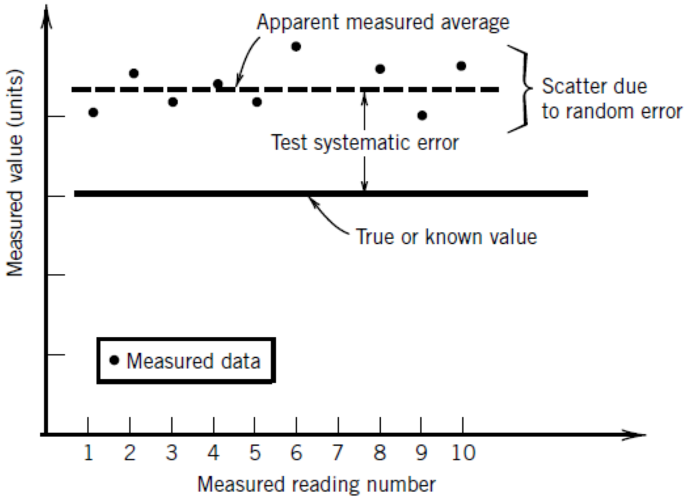
Stability: Sensor ၏ ရှိသင့်သည် စွမ်းဆောင်ရည်ကို တာရှည်အောင် ထိန်းသိမ်းထားနိုင်သည့် အရည်အသွေး။

Cost: Consideration of the appropriate cost for the value of information gained from the sensor

ထုတ်လုပ်သူ(manufacturer)မှ ပေးသည့် pressure transducer တစ်ခု၏ specifications ကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။

Operation	
Input range	0–1000 cm H_2O
Excitation	15 V DC
Output range	0–5 V
Performance	
Linearity error	0.5% full-scale operating range
Hysteresis error	Less than 0.15% full-scale operating range
Sensitivity error	0.25% of reading
Thermal sensitivity error	0.02%/°C of reading
Thermal zero drift	0.02%/°C full-scale operating range
Temperature range	0–50 °C

၃.၅ Classification of Error



ပုံ ၃-၁၁ Effects of random and systematic errors on calibration readings.

Error များကို သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(၁) **Gross Error**

Gross error သည် လူများကြောင့်ဖြစ်သော အမှားများ ဖြစ်သည်။ တိုင်းတာသည့် တန်ဖိုးများ မှားဖတ်ခြင်း၊ တွက်ချက်မှု မှားခြင်း စသည်တို့ ဖြစ်သည်။

(၂) Systematic Or Cumulative Error

(က) Instrumental error

Instrumental error သည် instrument ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော အမှားများ ဖြစ်သည်။

(ခ) Enviromental error

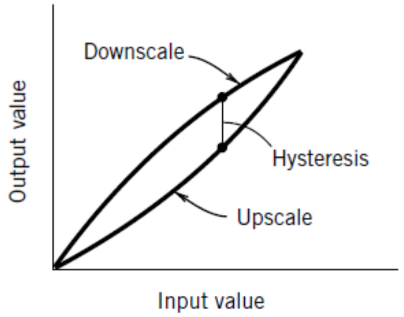
Measuring device ရှိရာနေရာသည် သတ်မှတ်ထားသော အခြေအနေ(temperature ၊ pressure ၊ humidity ၊ dust or of external electrostatic or magnetic field) မရှိသောကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့်

အမှားများဖြစ်သည်။

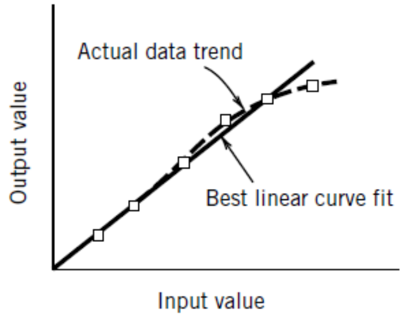
(ဂ) Observational Error

(၃) Random Or Residual Or Accidental Error

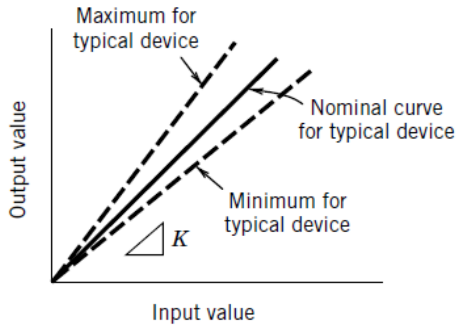
Residual error ဟုလည်း ခေါ်ဆိုသည်။ အကြောင်းများစွာကြောင့် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သော အမှားများဖြစ်သည်။ တိုင်းတာမှု(measurement)တစ်ခုလုံး၏ accuracy သည် အောက်ပါ အချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အောက်တွင် instrument error (၅)မျိုးကို ပုံနှင့်တကွ ဖော်ပြထားသည်။



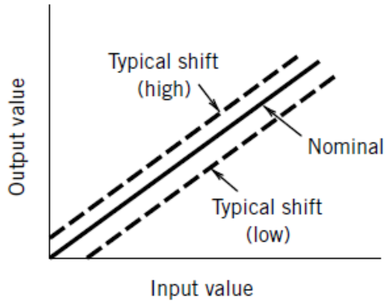
ပုံ ၃-၁၂ (က) Hysteresis error



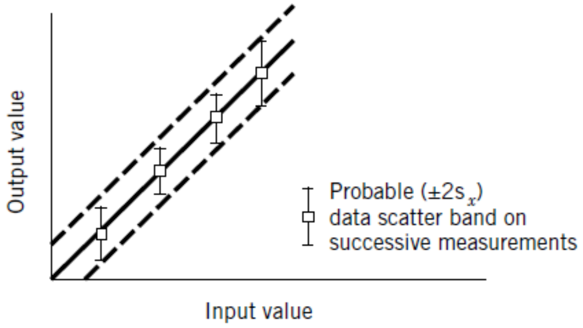
ပုံ ၃-၁၂ (ခ) Linearity error



ပုံ ၃-၁၂ (ဂ) Sensitivity error



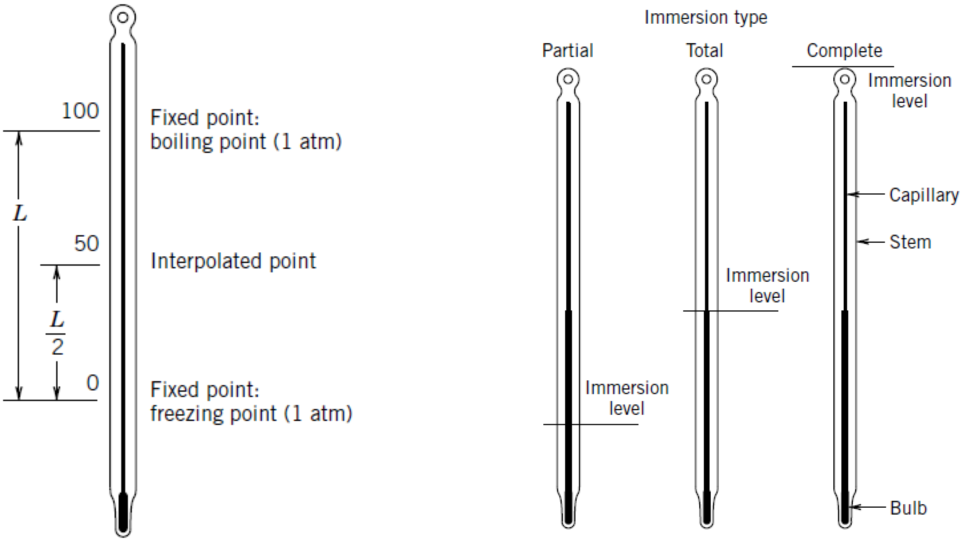
ပုံ ၃-၁၂ (ဃ) Zero shift (null) error



ပုံ ၃-၁၂ (င) Repeatability error

၃.၆ Temperature Sensors

Air-conditioning application များတွင် အပူချိန်(temperature)သည် အဓိက ကျသော primary controlled variable ဖြစ်သည်။ Comfort HVAC application များတွင် အပူချိန်(temperature)သည် သက်သောင့်သက်သာ(human comfort)ဖြစ်မှု ၏ အခြေခံအကြောင်း ဖြစ်သည်။ Humidity ၊ air velocity နှင့် radiant temperature စသည်တို့သည် သက်သောင့်သက်သာ(human comfort)ဖြစ်မှု အပေါ် အကျိုး သက်ရောက်နိုင်သော်လည်း အပူချိန်(temperature)လောက် အဓိက မကျပေ။ Temperature sensor အမျိုးမျိုး ရှိသည်။



ပုံ ၃-၁၃ Calibration and interpolation for a liquid-in-glass thermometer.

စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial) တွင် အသုံးပြုလေ့ရှိသည့် temperature sensor နှစ်မျိုးမှာ

Contact Type	Non contact Type
Thermocouples	Infrared
Resistance Temperature Detectors (RTD's)	Acoustic
Thermistors	

Temperature sensor များ၏ အသုံးပြုပုံ(application) ကို လိုက်၍ specification ကွာခြားသည်။ 15°C မှ 25°C အတွင်း၌ accuracy 0.6K ပေးနိုင်သည့် temperature sensor ကို zone air temperature တိုင်းယူရန် အတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Chilled water temperature ကို control လုပ်ရန် အသုံးပြုမည့် temperature sensor သည် accuracy 0.25 K ရှိရန် လိုအပ်သည်။

၃.၆.၁ Principles of Temperature Measurement

Process material မှ တိုင်းတာသည့် ကိရိယာ(measuring device)ဆီသို့ အပူစွမ်းအင်(heat energy) ကူးပြောင်းမှုပေါ်တွင် အခြေခံ၍ အပူချိန်တိုင်းတာမှု(temperature measurement)များကို ပြုလုပ်ကြသည်။ ထို့ကြောင့် တိုင်းတာသည့် ကိရိယာ(measuring device)များသည့် temperature dependent ဖြစ်ရန်လိုသည်။

ယနေ့ခေတ် analog electronic နှင့် digital control system များတွင် အပူချိန်(heat)ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance) ပြောင်းလဲမှုကို အခြေခံထားသည့် device များကို ပို၍ အသုံးပြုလာကြသည်။

အသုံးများသည့် device များမှာ

(၁) Thermistors

(၂) Resistance temperature detectors (RTDs) နှင့်

(၃) Integrated circuit (IC) temperature sensors တို့ဖြစ်သည်။

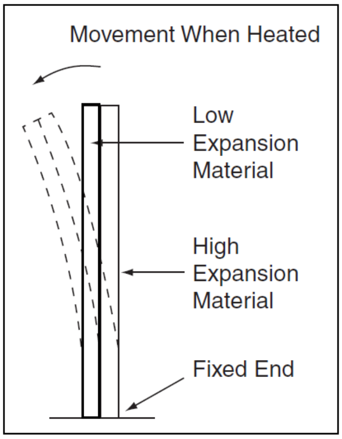
Sensor အတွင်းသို့ လျှပ်စစ်စီးကြောင်း(current) ဖြတ်သွားသည့်အခါ လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance) ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုအခါ ထွက်ပေါ်လာသည့် အပူ(heat)ကြောင့် တန်ဖိုးအနည်းငယ် ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ self-heating ဖြစ်သည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။

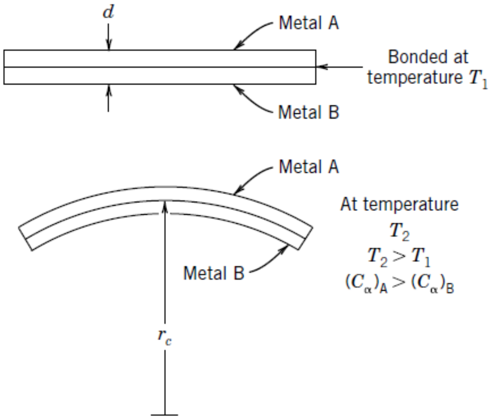
Bimetal

ပထမဦးဆုံးသော temperature sensor သည် bimetallic sensor ဖြစ်သည်။ အတိုခေါက်အားဖြင့် bimetal ဟု ခေါ်လေ့ရှိသည်။ သတ္တုပြားငယ်(metal strip)နှစ်ခုကို တစ်သားတည်း ဖြစ်နေအောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ ဂဟေဆော် (welding) ထားသည်။

ကျယ်ပြန့်နှုန်း မတူညီသည့်(different coefficient of expansion) သတ္တုပြားငယ်(metal strip) နှစ်ခုကို ရွေးချယ် အသုံးပြုထားသောကြောင့် အပူချိန် မြင့်မားလာသည့်အခါ တစ်ဖက်ဖက်သို့ ကွေးသွား သည်။ ထိုသို့ကွေးသွားခြင်းကို အခြေခံ၍ control system များတွင် modulating နည်း သို့မဟုတ် two-position နည်းဖြင့် အသုံးပြုကြသည်။

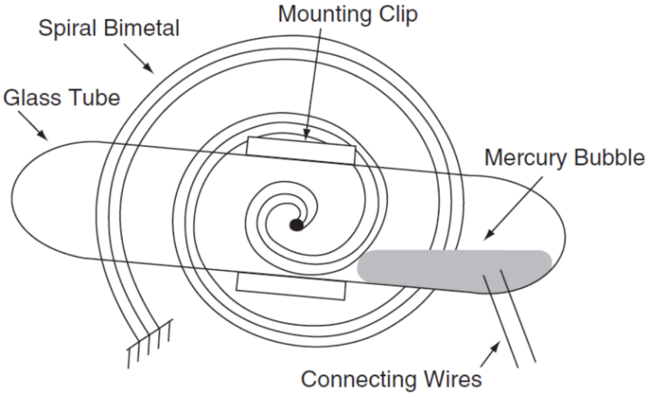
Two-position electric control တွင် spiral bimetal များကို အသုံးပြုကြသည်။ Mercury ထည့်ထားသည့် small glass switch ကို spiral အလယ်တွင် တပ်ဆင်ထားပြီး spiral အပြင်ဘက်တွင် bimetal ကို တပ်ဆင်ထားသည်။ အပူချိန် ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် spiral သည် တင်းကြပ်ခြင်း(wind) သို့မဟုတ် ပြေလျော့ခြင်း(unwind) ဖြစ်ပေါ်ကာ mercury switch သည် လျှပ်စစ်ပတ်လမ်းပြည့်စေခြင်း(make the circuit) သို့မဟုတ် ပျက်တောက်စေခြင်း(break the circuit)ကို ဖြစ်စေသည်။



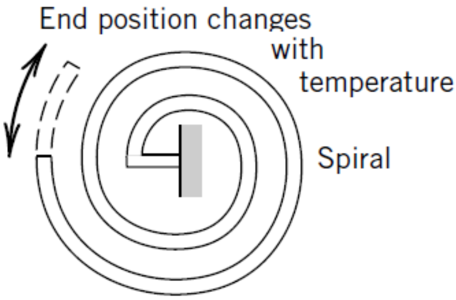


ပုံ ၃-၁၄ Expansion thermometry bimetallic temperature sensor

အပူချိန်၏ တန်ဖိုးကို ဒိုင်ခွက်ဖြင့် ဖော်ပြရန် အတွက် small glass switch ကို ညွှန်ပြတံ(indicating pointer)ဖြင့် ချိတ်ဆက် ထားနိုင်သည်။ အခန်းတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် thermostat များကို ဥပမာအဖြစ် တွေ့မြင်နိုင်သည်။ သို့သော် mercury သည် အဆိပ်သင့်စေသောကြောင့် သတိပြုသင့်သည်။



ပုံ ၃-၁၅ Mercury switch



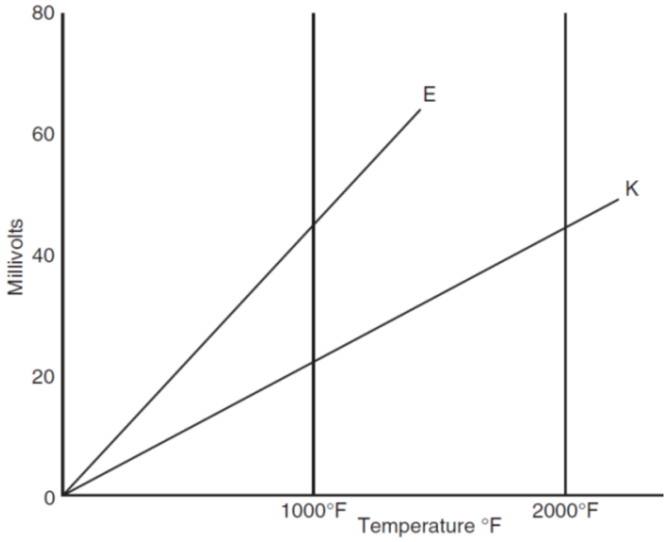
ပုံ ၃-၁၆ Bimetallic spiral shape

၃.၆.၂ Thermocouple

RTDs ကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်သည့် အခါများတွင် Thermocouple များကို အသုံးပြုကြသည်။ Thermocouple များသည် hostile သို့မဟုတ် remote environment များတွင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။ Thermocouple များသည် "**Seebeck effect**" ကို အသုံးပြု၍ အပူချိန်(temperature)ကို တိုင်းတာခြင်း ဖြစ်သည်။

Thermocouple များသည် အမျိုးအစား မတူညီသည့် သတ္တု(dissimilar metal)နှစ်မျိုးကို junction အဖြစ် ပေါင်းစပ်ထားသောကြောင့် အပူချိန်ပြောင်းလဲလျှင် electromagnetic force (voltage)လည်း ပြောင်းလဲသည်။ Iron wire နှင့် constantan wire တို့ကို junction အဖြစ် ပေါင်းစပ်ထားသည့်အခါ လေထု အပူချိန်(ambient temperature)ထက် 100°F ပိုမြင့်သည့်အခါ 3 milli-volts ထုတ်ပေးသည်။

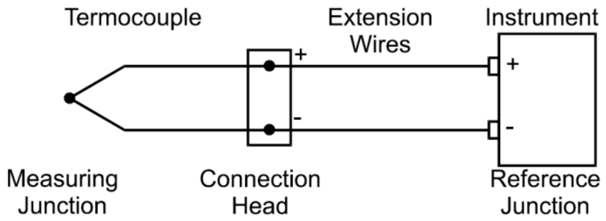
အသုံးများသည့် thermocouple material များမှာ platinum-rhodium (Type S or R) ၊ chromel-alumel (Type K)၊ copper-constantan (Type T) နှင့် iron-constantan (Type J) တို့ဖြစ်ကြသည်။ Thermocouple သုံးထားသည့် handheld instrument များတွင် ±0.5°F မှ ±5°F တိကျမှု(accuracy) ရရှိနိုင်သည်။



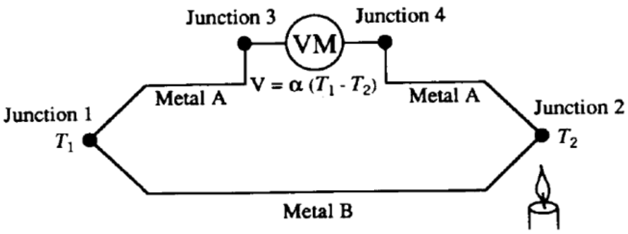
ပုံ ၃-၁၇ Thermocouples E and K characteristics

Thermocouple များသည် စျေးနှုန်းချိုသာသည်။ အရွယ်အစားသေးငယ်ခြင်း နှင့် steady-state သို့ လျှင်မြန်စွာ ရောက်နိုင်ခြင်း တို့ကြောင့် hand-held temperature sensor များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ HVAC application များတွင် အပူချိန် အလွန်မြင့်မားသည့် boiler နှင့် flue တို့တွင် အသုံးပြု ကြသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် accuracy ကောင်းပြီး၊ ရိုးရှင်း လွယ်ကူသောကြောင့် အသုံးများသည်။ Table 4-1 တွင် thermocouple ၏ အားသာချက်(advantage)များ နှင့် အားနည်းချက်(disadvantage)များကို ဖော်ပြထားသည်။

အောက်တွင် thermocouple ၏ measuring circuit ကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၃-၁၈ Typical thermocouple and extension leads



ပုံ ၃-၁၉ Practical thermocouple circuit

$$\Delta V_{AB} = \alpha (T_1 - T_2)$$

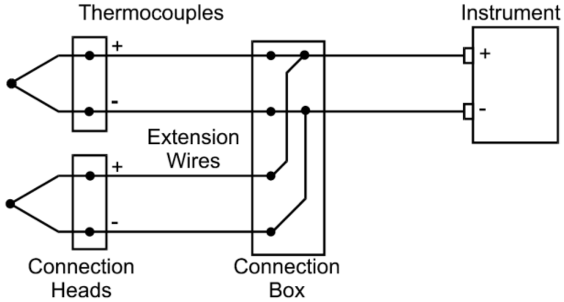
ΔV_{AB} သည် မျိုး မတူသည့် သတ္တုနှစ်မျိုး၏ အပူချိန်ကွာခြားချက် ΔT ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဗို့အား(volt) ကွာခြားချက် ဖြစ်သည်။ α သည် ကိန်းသေတန်းဖိုး တစ်ခုဖြစ်သည်။

Transmitter သည် အပူချိန်ပြောင်းလဲမှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance) ပြောင်းလဲမှုကို linear signal အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲပေးသည်။ Digital control system များတွင် software များကို အသုံးပြု၍ look-up table ကိုကြည့်၍ လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance)ကို တိုင်းယူပြီး အပူချိန်ပြောင်းလဲမှု တန်ဖိုးကို ဖော်ပြနိုင်သည်။ သို့မဟုတ် thermistor manufacturer များ သို့မဟုတ် lab များက ပေးသည့် exponents နှင့် coefficients များကို အသုံးပြု၍ exponential equation များ ဖြေရှင်းခြင်း(solving)ဖြင့်လည်း အပူချိန်တန်ဖိုးကို ရရှိနိုင်သည်။

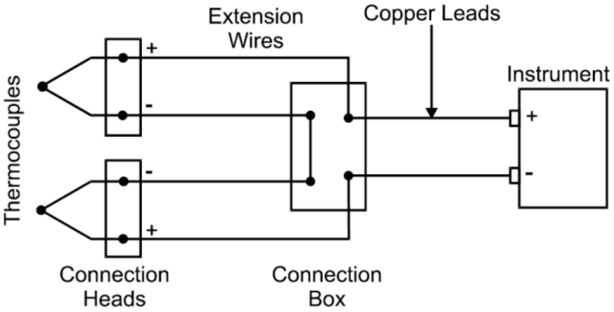
အဓိက အားသာချက်(advantages)နှင့် အားနည်းချက်များ(disadvantages)ကို Table 4-2 တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Table 4-2 Thermocouple – Advantages and Disadvantages

Advantages	**Disadvantages**
Self-powered	Non-linear
Simple	Reference required for accuracy
Rugged	Least stable
Fast response	Least sensitive
Wide variety	Very weak output, millivolts
Wide temperature range	Limited accuracy for small variations in temperature
Inexpensive for lower accuracy	Sensitive to electrical noise
Wide range of operation	Complicated conversion from emf to temperature
Robust	
Small size	
Accurate for large temperature changes	



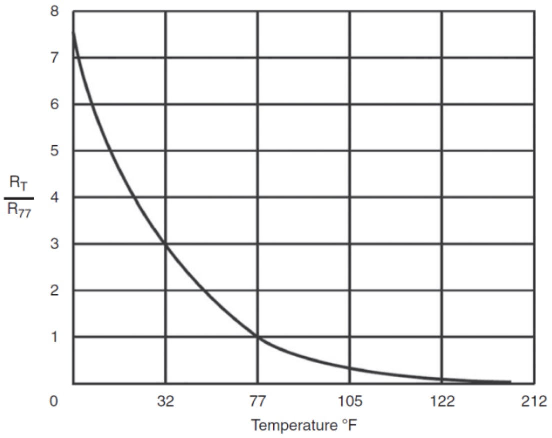
ပုံ ၃-၂၀ Thermocouples in parallel for average temperature measurement



ပုံ ၃-၂၁ Two thermocouples used to measure temperature difference

၃.၆.၃ Thermistors

Thermistor များသည် semiconductor compound များ ဖြစ်ကြသည်။ အပူချိန်မြင့်တက်လျှင် Thermistor ၏ လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance) ကျဆင်းသွားသည်။ အပူချိန် အနည်းငယ် ပြောင်းရုံဖြင့် လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance) တန်ဖိုးများစွာ ပြောင်းလဲသည်။



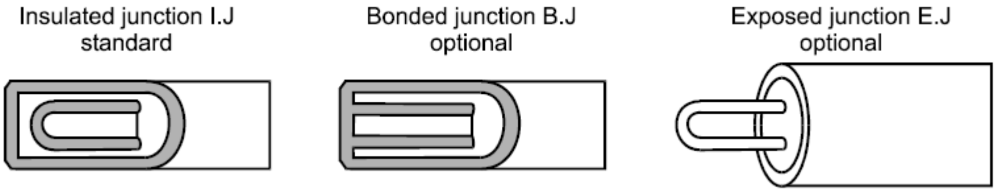
ပုံ ၃-၂၂ Thermistor characteristic

ပုံ(၃-၂၂)တွင် အပူချိန် 77°F တွင်ဖြစ်ပေါ်နေသည့် လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance) အချိုး(ratio)ကို Y-axis တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Resistance-temperature curve ၏ characteristic သည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း(non-linear) ဖြစ်မနေပေ။

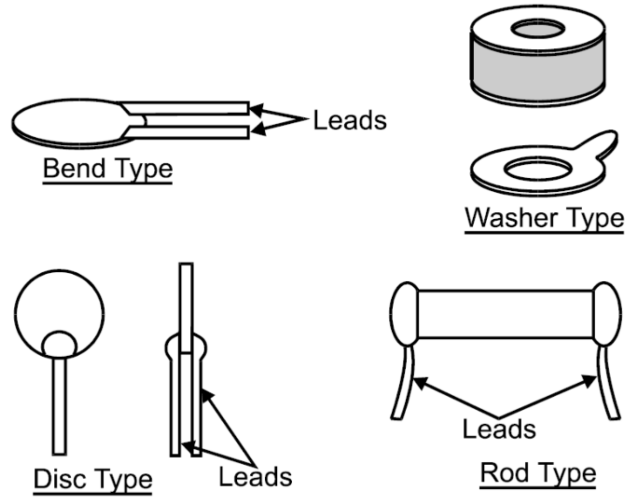
Thermistor များ၏ accuracy သည် ±0.5°F ခန့် ဖြစ်သည်။ ±0.2°F အထိ ကောင်းအောင်လည်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Sensitivity အလွန်ကောင်းသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် အပူချိန်ပြောင်းလဲမှုကို လျှင်မြန်စွာ(fast) တိတိကျကျသိနိုင်(detailed response)သည်။

အချိန်ကြာလာသည်နှင့်အမျှ thermistor ဖတ်ယူသည့် အပူချိန်တန်ဖိုး ကွာဟမှု(drift) ရှိသည်။ အမှန်တကယ် ရှိသည့် တန်ဖိုး(true value)နှင့် thermistor ဖတ်ယူသည့် အပူချိန်တန်ဖိုး ကွာခြားလာမှုကို drift ဖြစ်သည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် မကြာခဏ calibration လုပ်ပေးရန် လိုသည်။

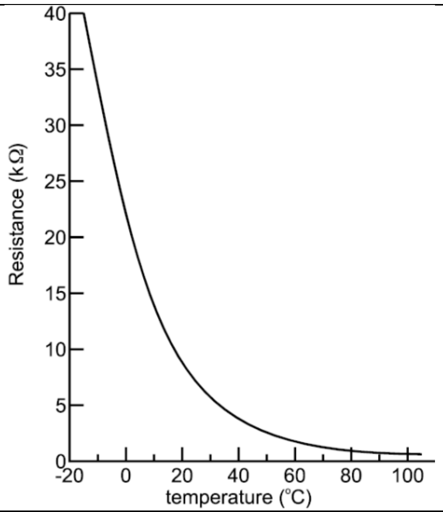
(၅)နှစ်အတွင်း 0.05°F သာ အများဆုံး drift ဖြစ်သည့် thermistor များကို ဈေးနှုန်း ချိုသာစွာဖြင့် ဝယ်ယူ ရရှိနိုင်သည်။



ပုံ ၃-၂၃ Mineral insulated thermocouples



ပုံ ၃-၂၄ Variations in thermistor sensor packaging



Thermistor resistance versus temperature is highly non-linear and usually has a negative slope.

Thermistor များသည် အပူချိန်ကို လိုက်၍ လျှပ်စစ်ခုခံအား ပြောင်းလဲသည့် thermal resistor များဖြစ်ကြသည်။ Thermistor များသည် negative temperature coefficient ရှိသည့် resistor များဖြစ်ကြသည်။ အပူချိန်မြင့်မားလေ thermistor ၏ လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance) ကျဆင်းသွားလေဖြစ်သည်။

Table 4-2 Thermistor – Advantages and Disadvantages	
အားသာချက်များ (Advantages)	**အားနည်းချက်များ (Disadvantages)**
High resistance change	Non-linear
Fast response	Fragile
Two-wire measurement	Current source required

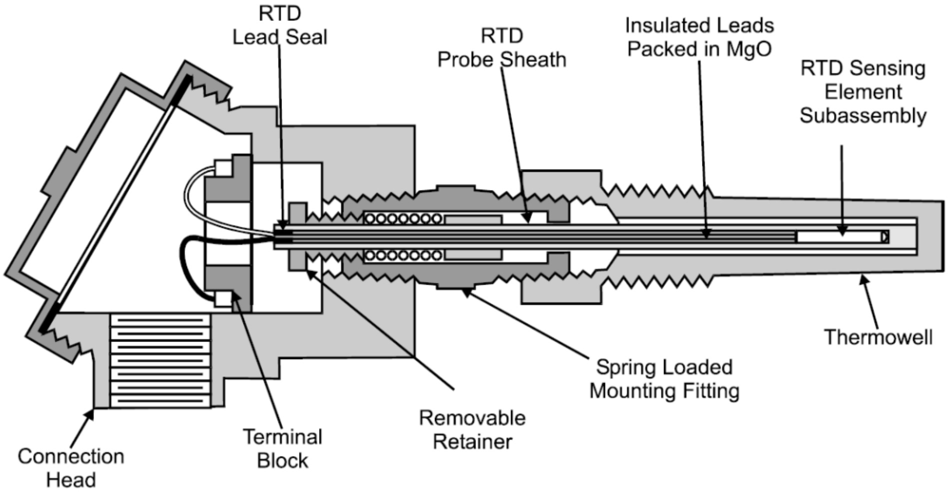
၃.၆.၄ Resistance Temperature Detectors (RTDs)

Resistance Temperature Detectors (RTDs)သည် အသုံးများသည့် temperature sensor တစ်မျိုးဖြစ်သည်။ တည်ငြိမ်ခြင်း(stable)၊ တိကျခြင်း(accuracy) နှင့် ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်း တို့ကြောင့် RTD ကို analog electronic နှင့် digital control system နှစ်မျိုးစလုံးတွင် အသုံးများသည်။

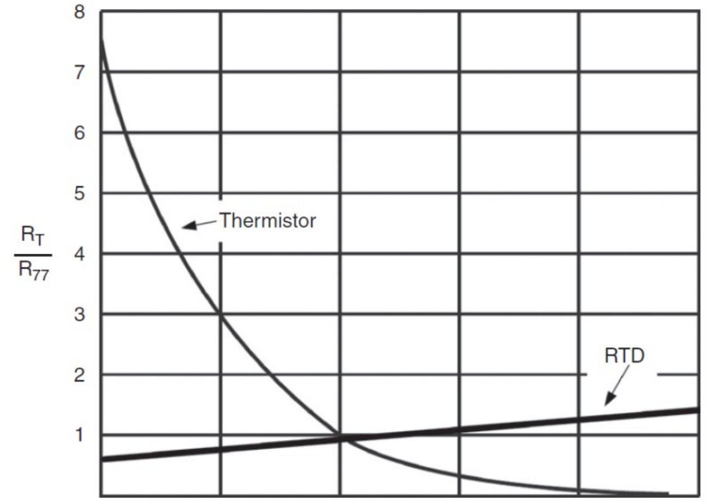
RTD ကို သတ္တုဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ အပူချိန်သည် ထိုသတ္တုတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် လျှပ်စစ်ခုခံအား (resistance)နှင့် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း(linear) ပြောင်းလဲနေသည်။

ပုံ(၃-၂၅) အသုံးများသည့် သတ္တုအမျိုးအစားများမှာ platinum ၊ copper-nickel ၊ copper ၊ tungsten နှင့် nickel-iron alloys တို့ဖြစ်သည်။ RTD များတွင် နန်းဆွဲထားသည့် သတ္တုမျှင်ကို အသုံးပြု ထားသည်။ Recalibration ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။

0°C တွင် standard platinum RTDs လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance)တန်ဖိုးသည် 100 ohms ဖြစ်သည်။ လျှပ်စစ်ခုခံအားနည်းသည့်(low resistance) RTDs များသည် ဝါယာကြိုးကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance)ကိုလည်း ထည့်စဉ်းစားရန် လိုသည်။ ဝါယာကြိုးကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် လျှပ်စစ်ခုခံအား(resistance)ကို လျော့နည်းစေရန် three-wire သို့မဟုတ် four-wire circuit ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။



ပုံ ၃-၂၅ Typical RTD and thermowell construction



ပုံ ၃-၁၅ Thermistor and RTD resistance change with temperature

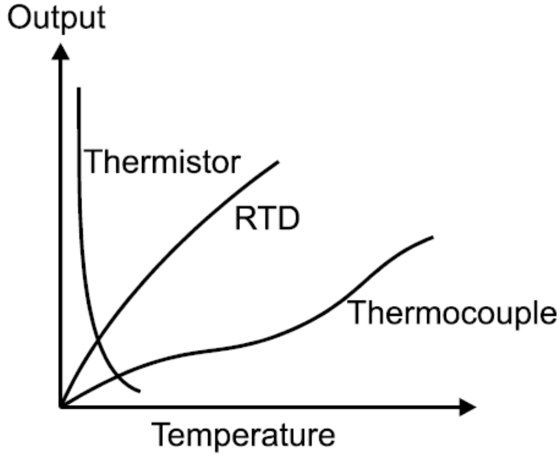
Platinum RTD များသည် 100 ohms တွင် ±1.0°F accuracy ရရှိနိုင်သည်။ သန့်စင်ထားသည့် (high purity) platinum sensor များ၏ accuracy သည် ±0.02°F ဖြစ်သည်။

Thin-film platinum RTD ၏ လျှပ်စစ်ခုခံအား(reference resistance) သည် 1,000 ohms ဖြစ်သည်။ ဈေးနှုန်းချိုသာပြီး accuracy ကောင်းခြင်းကြောင့် ယနေ့အချိန်တွင် electronic နှင့် digital control system များတွင် RTDs ကို တစ်စထက်တစ်စ thermistor များထက် ပို၍ အသုံးပြုလာကြသည်။

Thin-film RTDs ၏ accuracy သည် calibration point အနီးတွင် ±0.5°F မှာ ±1.0°F ဖြစ်သည်။ Platinum သတ္တု၏ အားသာချက်တစ်ခုမှာ drift ဖြစ်ခြင်း အလွန်နည်းသည်။ အားသာချက်များ (advantages) နှင့် အားနည်းချက်များ(disadvantages) RTD များကို Table 4-3 တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Table 4-3 RTD – Advantages and Disadvantages	
Advantages	**Disadvantages**
Most stable	Expensive
Most accurate	Current source required
Most linear	Bulky in size and fragile
Good sensitivity	Slow thermal response time due to bulk
Uses standard copper wire	Self heating problems
Copper RTD's minimise thermocouple effect	More susceptible to electrical noise
Interchangeable	More expensive to test and diagnose

Transmitter အတွင်း ရှိ electronic circuit သည် RTD မှာ ထွက်သည့် signal ကို DDC မှ လက်ခံနိုင်သည့် signal အဖြစ်သို့ရောက်အောင် amplifie လုပ်ခြင်း နှင့် conditions လုပ်ခြင်းတို့ ပြုလုပ်ပေးသည်။



ပုံ ၃-၂၇ Thermistor versus RTD's versus Thermocouples

RTD connection to a Wheatstone Bridge:

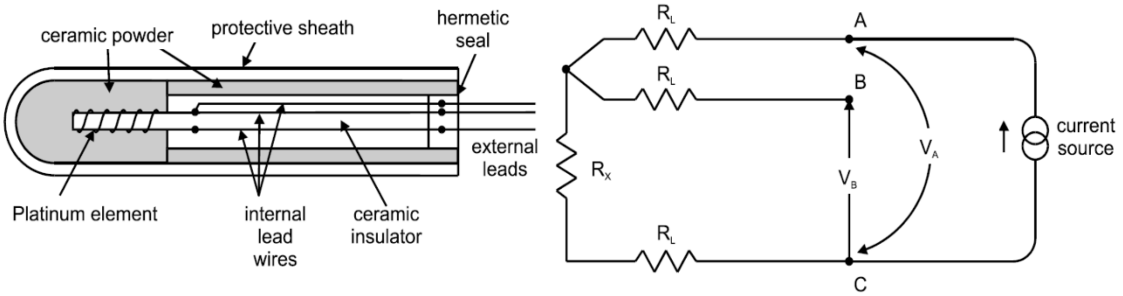
- Two-wire
- Three-wire
- Four-wire

Two-wire measurement

ဝါယာကြိုးနှစ်ချောင်း ကို အသုံးပြု၍ RTD ဖြင့် အပူချိန်တိုင်းတာခြင်းသည် အခြေခံအကျဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ ရိုးရှင်းလွယ်ကူပြီး ဈေးနှုန်းချိုသာသည်။ သို့သော် accuracy မကောင်းပေ။ ဝါယာကြိုးကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် resistance ကို ကြောင့် အပူချိန်သည် true value ထက်ပိုမြင့်နိုင်သည်။

Three-wire measurement:

Three-wire measurement RTD device များသည် bridge ၏ lead wires တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် resistance များကို လိုက်ညှိပေးသည်။ Two-wire device ကို အနည်းငယ် ပြုပြင်ထားခြင်းသာ ဖြစ်သည်။ Lead wire တစ်ချောင်းသည် bridge circuit ၏ အပေါ်ပိုင်းတစ်ဝက်(top half)ကို တိုင်း၍ ကျန် wire တစ်ချောင်းသည် အောက်ပိုင်း တစ်စ်ဝက် (bottom half)ကို တိုင်းပေးသည်။



ပုံ ၃-၂၈ 3-Wire RTD Configuration for a Digital System

Four-wire measurement - Switched:

three-wire measurement တွင် lead resistance နှစ်ခု မတူညီနိုင်သောကြောင့် အ

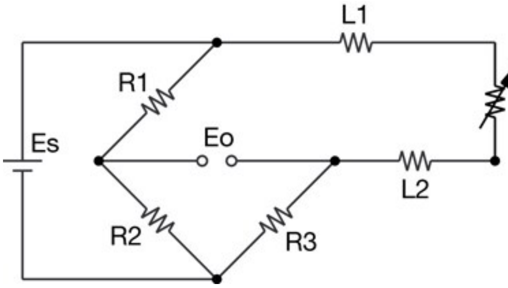
One of the limitations with the three-wire measurement, is that if the lead resistance is not the same or suffer different effects, then the measurement will be erroneous.

The Four-wire measurement takes both sensing leads into account and alternates the leads into the upper part of the bridge.

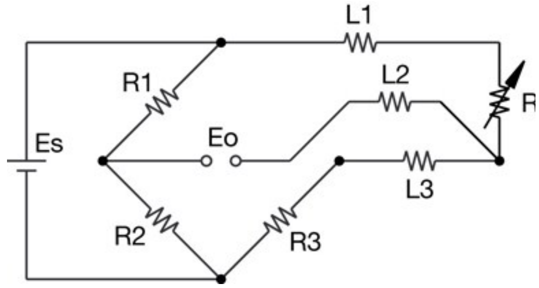
By alternating, the lead resistance is effectively measured in both sensing leads, but is then cancelled out by taking the average of the two readings. This level of complexity does make four-wire sensing more expensive.

Four-wire measurement - Constant Current:

Four-wire ဖြင့်တိုင်းခြင်းသည် lead resistance ကြောင့်ဖြစ်သော error ပြဿနာကို constant current ဖြေရှင်းရန် အကောင်းဆုံးနည်း ဖြစ်သည်။ အဓိကအကြောင်းသည် **wire ကြောင့်ဖြစ်သော** voltage drop ဖြစ်သည်။ ဝါယာနှစ်ချောင်းသည် excitation power ကို သယ်ဆောင်ပြီး ဖြစ်ပေါ်လာသည့် voltage ကို ကျန်ဝါယာ နှစ်ချောင်းဖြင့် တိုင်းယူသည်။



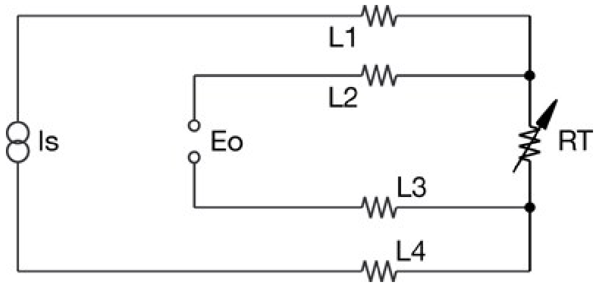
ပုံ ၃-၂၉ 2-wire Wheatstone bridge circuit circuit



ပုံ ၃-၃၀ 3-wire circuit

Shown is a 2-wire RTD connected to a typical Wheatstone bridge circuit. Es is the supply voltage; Eo is the output voltage; R1, R2, and R3 are fixed resistors; and RT is the RTD. In this uncompensated circuit, lead resistance L1 and L2 add directly to RT.

In this circuit there are three leads coming from the RTD instead of two. L1 and L3 carry the measuring current while L2 acts only as a potential lead. No current flows through it while the bridge is in balance. Since L1 and L3 are in separate arms of the bridge, resistance is canceled. This circuit assumes high impedance at Eo and close matching of resistance between wires L2 and L3. TEMPCO matches RTD leads within 5%. As a rule of thumb, 3 wire circuits can handle wire runs up to 100 feet.



ပုံ ၃-၃၁ 4-wire circuit

4-wire RTD circuit များသည် resistances မကိုက်ညီခြင်း(mismatch)ကို ပြေပျောက်စေနိုင်သည်။

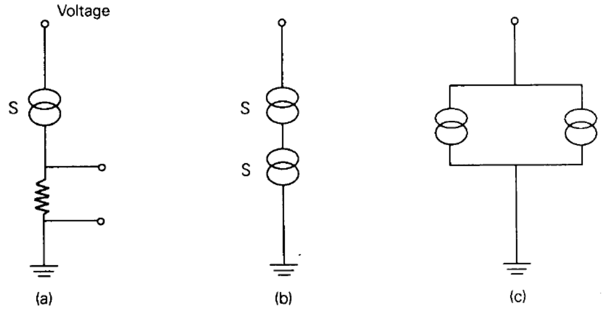
A common version is the constant current circuit shown here. Is drives a precise measuring current through L1 and L4; L2 and L3 measure the voltage drop across the RTD element. Eo must have high impedance to prevent current flow in the potential leads. 4-wire circuits may be usable over a longer distance than 3-wire, but you should consider using a transmitter in electrically noisy environments.

၃.၆.၅ Integrated Circuit Temperature Sensors

Integrated Circuit (IC) sensor များကို current source device များ နှင့် voltage source device များ အဖြစ် နှစ်မျိုးလုံး ရရှိနိုင်သည်။ Semiconductor junction diode များ၏ current-voltage characteristics ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသည်။ Current-voltage သည် အပူချိန်(temperature)နှင့် မျဉ်းဖြောင့် အတိုင်း ဆက်သွယ်ချက်(linear relationship) ရှိသည်။

IC sensors ၏ ဂုဏ်သတ္တိများမှာ (Properties)

(က) ဈေးနှုန်းချိုသာခြင်း (relatively cheap)
(ခ) အပူချိန် -50 °C မှ 150 °C အတွင်းသာ တိုင်းနိုင်ခြင်း(limited temperature range)
(ဂ) ကွဲလွယ်ခြင်း(relatively fragile) နှင့် ကြာရှည်သုံးလျှင် stability ညံ့ဖျင်းခြင်း(poor stability over time)
(ဃ) ပြင်ပမှ လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ပေးရန် လိုအပ်ခြင်း(require an external power supply)
(င) BAS တွင် သုံးရန် မသင့်လျော်ခြင်း (not quite suitable for BAS application) တို့ဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၃၂ 4.3: IC sensor output types

IC sensor output types:

(က) Voltage output

(ခ) Current output - minimum sensed temperature

(ဂ) Current output - average sensed temperature

Linear Diodes

Table 4-4 Linear Diodes – Advantages and Disadvantages	
Advantages	**Disadvantages**
Most linear	Use up to 330°F
Inexpensive	Power supply required, Slow, Self-heating, Limited configurations

Semiconductor diode နှင့် transistor များဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည့် Integrated circuit (IC) temperature sensor များကို solid-state temperature sensor သို့မဟုတ် linear diode ဟူ၍လည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။

Solid-state sensor များ၏ ထူးခြားချက်(advantage)မှာ calibration လုပ်ရန် လုံးဝ မလိုအပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Table 4-4 တွင် Solid-state sensor များ၏ အားသာချက်များ(advantages) နှင့် အားနည်းချက်များ (disadvantages)ကို ဖော်ပြထားသည်။

လုပ်ငန်းနှင့် သင့်လျော်သည့် sensor အမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်းသည် စီးပွားရေးအရ တွက်ခြေကိုက်မှု (economics)၊ တိကျမှု(accuracy) နှင့် အချိန်ကြာသည့်တိုင် စိတ်ချရမှု(long-term reliability) တို့ဖြစ်သည်။

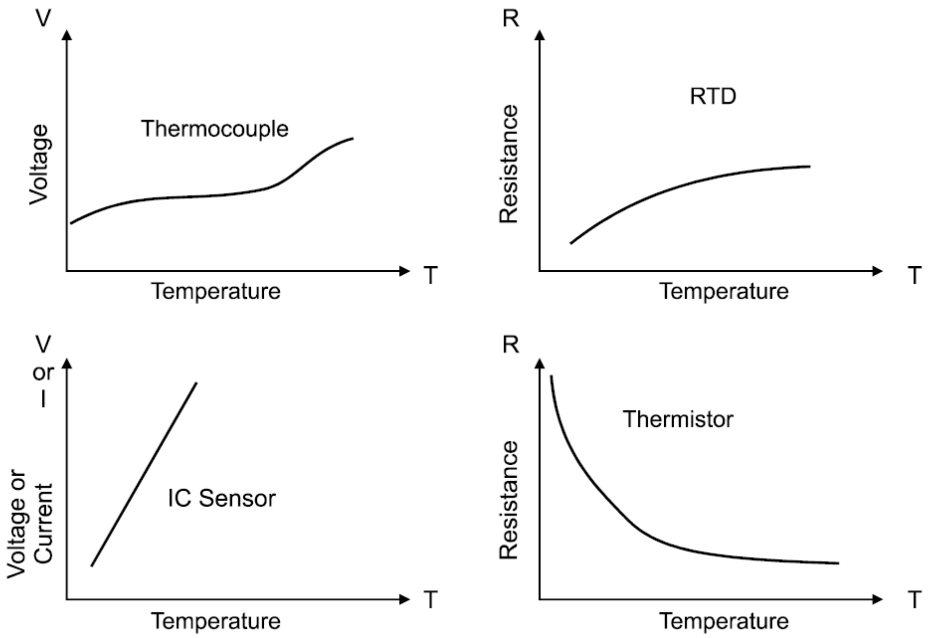
Sensor characteristics များကို Table 4-5 တွင် အနှစ်ချုပ် ဖော်ပြထားသည်။

Table 4-5 Temperature Sensors Comparison				
Type	**Primary Use**	**Advantages**	**Disadvantages**	**Response Time**
Thermocouple	Portable units and high temperature use < 5,000°F	Inexpensive Self-powered for average accuracy	Very low voltage output	Slow to fast depending on wire gauge
Thermistor	High sensitivity General use < 300°F	Very large resistance change	Non-linear Fragile Self-heating	Fast

RTD	General purpose < 1,400˚F	Very accurate Interchangeable Very stable	Relatively expensive	Long for coil Medium/ fast for foil Short for thin film
Integrated circuit	General purpose <400°F	Linear output Relatively inexpensive	Not rugged limited selection	Medium / Fast

၁.၆.၆ Summary of temperature sensors

Sensor type	Primary use	Advantages	Disadvantages
RTD	General purpose water, air, steam	Very accurate, stable, interchangeable	Relatively expensive, not very sensitive
Thermistor	High sensitivity applications, chilled water metering	Very sensitive	Nonlinear, fragile, prone to self-heating
Thermocouple	High temperature applications, boilers, stack gas	Inexpensive, rugged, self-powered	Not very sensitive, low voltage output
IC sensor	General purpose, low temperature applications (<200°C)	Very linear, high output, inexpensive	Not very rugged, limited physical configurations



ပုံ ၁-၁၁ Characteristics of Thermocouples, RTD’s IC and Thermistor Temperature Sensors

၃.၆.၇ Temperature Sensor's Measuring Errors

Table 8.8 တွင် temperature sensor များကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် အမှားများ(measuring errors) ကိုဖော်ပြထားသည်။

Random Errors

(၁) Imprecision of readings

(၂) Time and spatial variations

Systematic Errors

(၁) Insertion errors, heating or cooling of junctions

(က) Conduction errors

(ခ) Radiation errors

(ဂ) Recovery errors

(၂) Effects of plugs and extension wires

(က) Nonisothermal connections

(ခ) Loading errors

(၃) Ignorance of materials or material changes during measurements

(က) Aging following calibration

(ခ) Annealing effects

(ဂ) Cold work hardening

(၄) Ground loops

(၅) Magnetic field effects

(၆) Galvanic error

(၇) Reference junction inaccuracies

၃.၇ Moisture Sensors

ဓာတ်ငွေ့များ(gases) သို့မဟုတ် လေ ထဲတွင် ပါဝင်နေသည့် ရေငွေ့ပမာဏ(moisture content)ကို စိုထိုင်းဆ(humidity)ဟု ခေါ်သည်။ စိုထိုင်းဆ(humidity)ကို Relative humidity၊ Absolute humidity နှင့် Dew point တို့မှ တစ်ဆင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

စိုထိုင်းဆ(Humidity)ကို တိုင်းတာနိုင်သည့် နည်းပညာများ(technologies) နှင့် နည်းလမ်းများစွာ ရှိသည်။ အောက်တွင် အသုံးများသည့် တိုင်းတာနည်းများကို ဖော်ပြထားသည်။

Relative Humidity	Absolute Humidity	Dew Point Measurement
-Mechanical -Wet and dry bulb -Surface resistivity devices -Crystal frequency change	-Gravimetry -Electrolysis - Infrared - Conductivity - Capacitance - Colour change - Karl Fischer titration - RF power absorption - Neutron reflection	- Chilled mirror - Lithium chloride - Wet bulb thermometer

	- Heat of absorption or desorption - Nuclear magnetic resonance	

၃.၇.၁ Humidity Sensors

Air conditioning လုပ်ငန်းခွင်တွင် စိုထိုင်းဆ တိုင်းတာခြင်း(humidity measurement)သည် အလွန်အရေးကြီးသည်။ လက်တွေ့တွင် drift ဖြစ်ခြင်း နှင့် contamination ဖြစ်ခြင်း စသည့် ပြဿနာများ ကြုံတွေ့နိုင်သည်။

လေထုထဲရှိ ရေငွေ့ပါဝင်မှု(moisture content)ကြောင့် ဆံပင်နှင့် နိုင်လွန်(nylon) film တို့သည် ဆန့်ထွက်(expansion) လာသည်။ စိတ်ချရသည့် နည်းဖြစ်ပြီး contamination ဖြစ်ခြင်းကို ခံနိုင်ရည်ရှိသည်။ သို့သော် accuracy ညံ့သည်။

HVAC application များတွင် capacitative polymer film sensor နှင့် chilled mirror dewpoint sensor နှစ်မျိုးကို အသုံးများသည်။ Capacitative polymer film sensor သည် relative humidity ကို တိုက်ရိုက်တိုင်းနိုင်သောကြောင့် အသုံးများခြင်းဖြစ်သည်။ Sensing element ကို membrane သို့မဟုတ် ပိုက်ဖြင့်(netting filter) ဖုံးအုပ်ထားသည်။ Low humidities သို့မဟုတ် low temperature လုပ်ငန်းများတွင် dewpoint ကို အတိအကျ တိုင်းရန် လိုအပ်သည်။

၃.၇.၁ Relative Humidity Sensors

HVAC system များတွင် စိုထိုင်းဆ(humidity measurement)ကို တိုင်းရန် အတွက် တည်ငြိမ်(stable)၊ တိကျ(Accurate)ပြီး ဈေးနှုန်းချိုသာသည့် ကိရိယာ အလွန်ရှားသည်။

> ASHRAE Standard 62.1 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality ပြဋ္ဌာန်းချက် အရ အခန်းအတွင်း စိုထိုင်းဆ(relative humidity levels)ကို 65% အောက်တွင် ထိန်းထားရန် လိုအပ်သည်။

Solid-state technology တိုးတက်လာမှုကြောင့် accuracy ပိုကောင်းလာ သော်လည်း စိတ်ချရသည့် accuracy ရရန် Relative Humidity sensor များကို ပုံမှန် ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန်နှင့် calibration လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို့ကြောင့် ဒီဇိုင်းနာများသည် ဈေးနှုန်း၊ တိကျမှု နှင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ စသည်တို့ကို ချိန်ဆ၍ HVAC control system များကို ဒီဇိုင်းလုပ်ရန် လိုသည်။

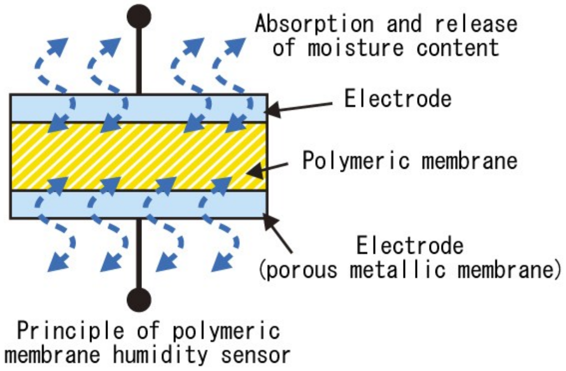
Humidity တန်ဖိုးရရှိရန် relative humidity ၊ dew-point temperature နှင့် wet-bulb temperature တို့မှတစ်ဆင့် တွက်ယူနိုင်သည်။ Relative humidity ကို အများဆုံးတိုင်းတာ လေ့ရှိသည်။ ထိုတန်ဖိုးသုံးမျိုးသည် တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အပြန်အလှန် ဆက်စပ်နေကြသည်။ တစ်မျိုးမျိုးကို dry-bulb temperature အပူချိန်နှင့် တစ်ပြိုင်နက်တိုင်းယူနိုင်လျှင် ကျန်နှစ်မျိုး၏ တန်ဖိုးကို ရနိုင်သည်။ Barometric pressure ကို လိုက်၍ တန်ဖိုးများပြောင်းလဲနေသောကြောင့် ဖိအားပြောင်းမှုကို သတိပြုရန်လိုသည်။

Relative Humidity (RH):

Humidity sensor များသည် hygroscopic material ကို အသုံးပြု၍ ပြုလုပ်ထားသည်။ Hygroscopic material များ၏ ထုထည်(dimension)သည် စိုထိုင်းဆ(humidity)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် hygroscopic material များသည် လေထဲမှ ရေငွေ့ကို စုပ်ယူ၍ ပွလာခြင်းဖြစ်သည်။

တိရိစ္ဆာန်မွေးအမျှင်များ(animal hair)၊ သစ်သား(wood) နှင့် ဖိုင်ဘရစ် အမျိုးမျိုး(various fabrics) တို့သည် hygroscopic material များ ဖြစ်ကြသည်။ ထိုပစ္စည်းများကို portable sensor များတွင် အများဆုံး အသုံးပြု ကြသည်။ Accuracy သည် ±5% relative humidity ထက် ပိုများလေ့ရှိသည်။

၃.၇.၂ Resistance-type humidity sensors

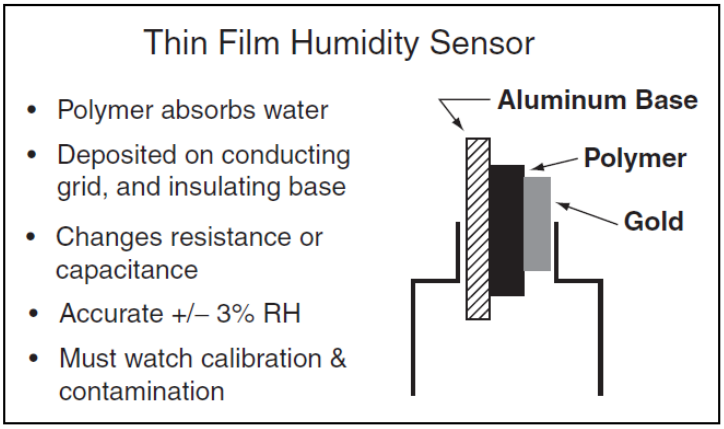


Resistance-type humidity sensor များတွင် hygroscopic material အသုံးပြု ထားသည်။

Hygroscopic materialsများ၏ လျှပ်စစ်ခုခံအား(electrical resistance)သည် စိုထိုင်းဆ(humidity)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲ နေသည်။

ပုံ ၃-၃၄ Polymer resistance humidity sensor

၃.၇.၃ Capacitance-Type Humidity Sensors



ပုံ ၃-၃၅ 4-19 Thin-film Sensor Example (Hegberg, 2001)

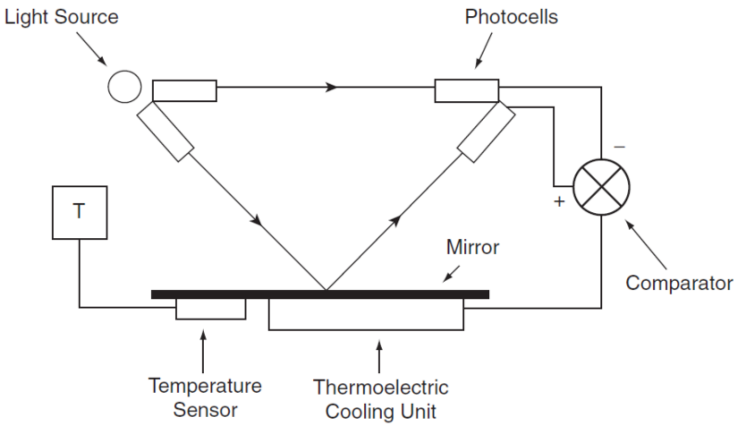
Capacitance-type humidity sensor များကို ပုံစံအမျိုးမျိုးဖြင့် ရနိုင်သည်။ Hygroscopic material များ၏ electrical capacitance သည် စိုထိုင်းဆ (humidity)ကို လိုက်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ ပုံ(၃-၃၅)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း အလွန် ပါးလွှာသည့် aluminum oxide ၊ polymer နှင့် gold တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။ Aluminum နှင့် gold တို့သည် capacitor ၏ plate များ အဖြစ် တည်ရှိသည်။

Capacitance သည် aluminum oxide layer အလွှာမှ စုပ်ယူထားသော ရေငွေ့(water vapor) ပမာဏပေါ်တွင် မူတည်၍ ပြောင်းလဲနေသည်။ အလွန်ပါးသည့် ရွှေအလွှာ(very thin layer of gold)တွင် ရေငွေ့(water vapor) စုပ်ယူခြင်း၊ ပြန်ထုတ်ခြင်း ဖြစ်ပေါ်သည်။ Jason-type hygrometer ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ 85% relative humidity အတွင်းတိုင်းလျှင် accuracy အလွန်ကောင်းသည်။ အလွန်များသည့် စိုထိုင်းဆရှိသည့်လေ(higher humidity air)ထဲတွင် အသုံးပြုလျှင် ပျက်စီးနိုင်သည်။ ±5% RH accuracy မှ ±1% rh အထိကောင်းသည့် RH sensor များ ရနိုင်သည်။ ထို ±1% rh accuracy တွင် hysteresis နှင့်

calibration uncertainty တို့ ပါဝင်သည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် တစ်နှစ်လျှင် 1% မှ 3%RH ခန့် drift ဖြစ်နိုင်သောကြောင့် သုံးလတစ်ကြိမ် ပုံမှန် calibration လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

၁.၇.၄ Lithium Chloride Dew-point Sensors:

Dew-point sensor များသည် အလွန်တိကျသည့် humidity sensor များဖြစ်သည်။ ဈေးကြီးသည့် အမျိုးအစားများ ဖြစ်ကြသည်။ စိုထိုင်းဆ တိုင်းလိုသည့်လေနှင့် saturated salt solution (lithium chloride) ထိတွေ့ပြီး တိုင်းယူရသည်။ Steady state သို့ရောက်သည့်အခါ solution ၏ အပူချိန်နှင့် လေ၏ dew-point အပူချိန်တို့ တူညီသွားသည်။ အလွန်တိကျသော်လည်း တုန့်ပြန်မှု အလွန်နှေး(slow to respond)သည်။ လေထဲတွင် စိုထိုင်းဆ အလွန်နည်းလျှင်(low humidity levels) မတိကျမှု(inaccurate) ဖြစ်နိုင်သည်။ Sensor accuracy သည် ±2.5°F ထက် ပိုကောင်းသည်။



ပုံ ၁-၃၆ Chilled-mirror Dew-point sensor

၁.၇.၅ Chilled-Mirror Dew-point Sensors:

အလွန်တိကျသည့် dew-point sensor နောက်တစ်မျိုးမှာ chilled-mirror ဖြစ်သည်။ ပုံ (၁-၃၆)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း light source ၊ two photocells နှင့် အအေးခံထားသည့် မှန် (chilled mirror)တို့ ပါဝင်သည့် chamber အတွင်းသို့ တိုင်းလိုသည့် လေကို ဖြတ်သန်းစေသည်။ Photocell တစ်ခုသည် light source မှ အလင်းတန်းကို reference အဖြစ် တိုက်ရိုက် လက်ခံယူသည်။ အခြားတစ်ခုသည် photocell အအေးခံထားသည့်မှန်(chilled mirror)မှ တစ်ဆင့်ပြန်လာသည့် အလင်းတန်းကို လက်ခံယူသည်။ ထိုအလင်းတန်း နှစ်ခုကို နှိုင်းယှဉ်ခြင်းဖြင့် လေ၏ dew-point အပူချိန်ကို သိနိုင်သည်။

မှန်ပေါ်တွင် condensation ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါ အလင်းတန်းများသည် ဘေးသို့ပြန့်ကား (scatter) ထွက်သွားသည်။ ထိုအခါ မှန်မှ အလင်းတန်းများသည် photocell ထံသို့ မရောက်ရှိတော့ပေ။ Light level လျော့နည်းသွားခြင်းသည် condensation ဖြစ်ခြင်းကို ဖော်ပြသည်။ မှန်၏ မျက်နှာပြင်အပူချိန်(surface temperature of the mirror) RTD temperature sensor ဖြင့် တိုင်းယူခြင်းဖြင့် condensation စတင်ဖြစ်ပေါ်သည့် အပူချိန်ကို ရရှိသည်။ ထိုအပူချိန်သည့် စီးဝင်လာသည့် လေ၏ dew-point အပူချိန်ပင် ဖြစ်သည်။

ဈေးနှုန်းမြင့်ခြင်းကြောင့် chilled-mirror sensor များကို commercial building များတွင် relative humidity sensor များ အဖြစ် အသုံးပြုလေ့မရှိပေ။

အားသာချက်များ(advantages)

(၁) Dew-point ကို တိုက်ရိုက် တိုင်းတာခြင်း။

Temperature နှင့် RH တို့မှ တွက်ယူထားသည့်နည်း မဟုတ်ပေ။

(၂) Accuracy ±0.4°F အထိ ရနိုင်ခြင်း

(၃) တိုင်းယူနိုင်သည့် range (—20 and 80°F dry bulb) ကျယ်ပြန့်ခြင်း

Chilled-mirror sensor ဖြင့် လေ၏ dew-point အပူချိန်ကို တိုင်းယူသည့်အခါ မှန်မျက်နှာပြင်ပေါ်တွင် contamination ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် တိုင်းယူမည့်လေကို သန့်စင်အောင် စစ်(filter)ထားရန် လိုအပ်သည်။ အလွန်တိကျသည့် accuracy လိုအပ်သည့်အခါ chilled-mirror sensor များသည် အကောင်းဆုံးနှင့် အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။

ပုံ ၃-၃၇ Examples of humidity sensors

ပုံ ၃-၃၆ Sling psychrometer

၃.၇.၆ Psychrometers

Psychrometer သည် wet-bulb နှင့် dry-bulb အပူချိန်ကို တိုက်ရိုက်တိုင်းယူသည့်နည်းဖြင့် humidity ကို တိုင်းခြင်းဖြစ်သည်။ Wet-bulb နှင့် dry-bulb အပူချိန်တန်ဖိုးကို သိလျှင် psychrometric chart မှတစ်ဆင့် ကျန်ရှိနေသည့် လေ၏ဂုဏ်သတ္တိများ(properties of air) အားလုံးကို သိနိုင်သည်။ Commercial building များတွင် psychrometer များ တပ်ဆင် အသုံးပြုလေ့ မရှိသော်လည်း အခြားသော humidistat နှင့် relative humidity sensor များကို calibration လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုကြသည်။

Sling psychrometer များကိုလည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။ Sling psychrometer တွင် သာမိုမီတာ (thermometer) နှစ်ချောင်း ပါဝင်သည်။ သာမိုမီတာ(thermometer) တစ်ချောင်းကို ရေစွတ် ထားသည့်ဝါဂွမ်း သို့မဟုတ် အဝတ်စဖြင့် ပတ်ထားသည်။ တိုက်နေသည့်လေ ဖြစ်စေရန်အတွက် သာမိုမီတာ (thermometer) နှစ်ချောင်းကို အချိန်အနည်းငယ်ကြာ မွှေ့ရမ်းရသည်။ ထို့နောက် wet-bulb နှင့် dry-bulb အပူချိန်တန်ဖိုးကို လျှင်မြန်စွာ ဖတ်ယူရသည်။ Wet-bulb နှင့် Dry-bulb အပူချိန်တန်ဖိုး နှစ်မျိုးမှ Psychrometric chart ကို အသုံးပြု၍ RH နှင့် moisture content ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

မွှေ့ရမ်း(swing)သည့် အချိန်နည်းခြင်း နှင့် သာမိုမီတာ(thermometer)တွင် ရေလုံလောက်အောင် မစိုစွတ်ခြင်းတို့ကြောင့် တိကျမှု အားနည်းသည်။

Advantages of Psychrometers

(က) Physical propertie များကို တိုက်ရိုက် တိုင်းတာသောကြောင့် recalibration လုပ်ရန် မလိုပေ။

(ခ) Indoor environments များတွင် အသုံးပြုလျှင် accuracy သိပ်မဆိုးပေ။

(ဂ) wet-bulb အပူချိန်တန်ဖိုး +5% accuracy ရနိုင်သည်။

(ဃ) သယ်ဆောင်ရန် ပေါ့ပါးလွယ်ကူသည်။

Disadvantages

(က) Psychrometric chart ကို မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရသည်။ Wet-bulb နှင့် Dry-bulb အပူချိန်များကို psychrometric chart ပေါ်တွင် နေရာချ(locate)ရသည်။ ထို့နောက် ကျန်သည့် တန်ဖိုးများကို

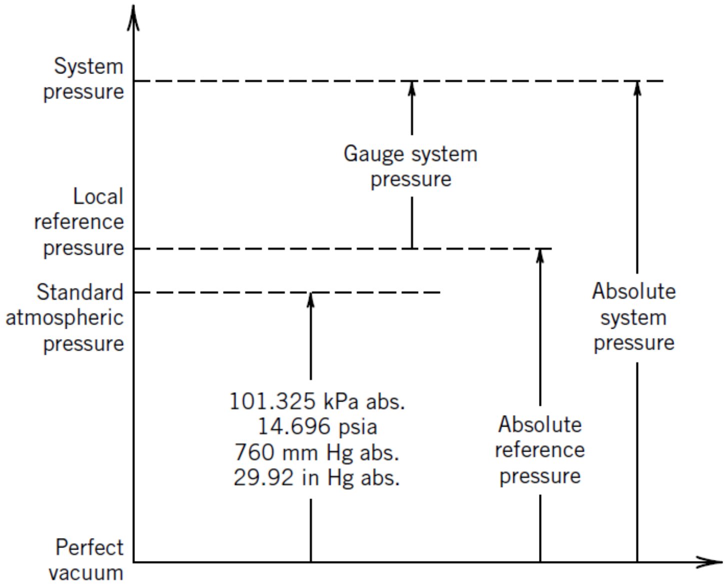
ဖတ်ယူရခြင်းကြောင့် အမှားများစွာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

(ခ) Duct အတွင်းရှိ လေကို တိုင်းရန်ခက်ခဲသည်။

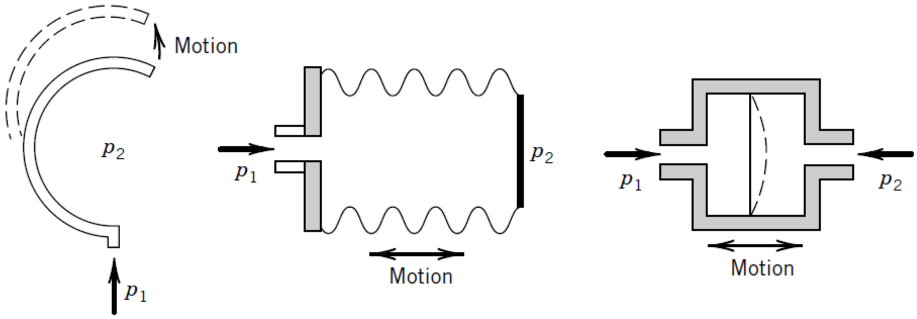
(ဂ) လေထဲ၌ စိုထိုင်းဆနည်းသည့်အခါ(low-relative-humidity) တိုင်းရန် ခက်ခဲသည်။

(ဃ) သာမိုမီတာ(thermometer) များမှ တန်ဖိုးများကို ဖတ်ယူသည့်အခါတွင် error များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

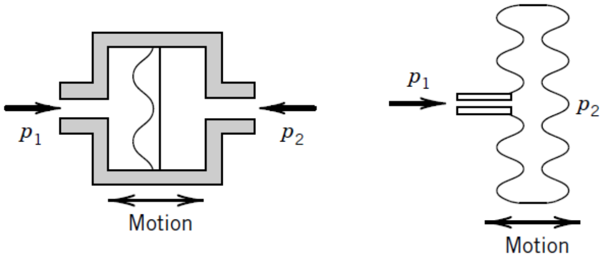
(င) Contamination ဖြစ်ခြင်းကြောင့် error များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။



ပုံ ၁-၃၉ Relative pressure scales.



ပုံ ၁-၄၀ C-shaped Bourdon tube Bellows Diaphragm



Corrugated diaphragm Capsule

ပုံ ၁-၄၁ Elastic elements used as pressure sensors.

၃.၈ Pressure Sensors

ဖိအား(pressure) ပမာဏကို အမြဲတမ်း ဖိအားကွာခြားမှု(differential pressure)ဖြင့် တိုင်းလေ့ရှိသည်။ Fluid နှစ်မျိုး တို့၏ ဖိအားကွာခြားမှု သို့မဟုတ် fluid တစ်မျိုး၏ ဖိအား နှင့် reference pressure တို့၏ ခြားနားချက်ကို တိုင်းယူခြင်း ဖြစ်သည်။

လေထုဖိအား(atmospheric pressure)ကို reference pressure အဖြစ်သတ်မှတ်ပြီး တိုင်းယူရသည့် ဖိအားကို gauge pressure ဟု သတ်မှတ် ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ Gauge pressure ဆိုသည်မှာ pipe တွင်းရှိ ရေ သို့မဟုတ် duct အတွင်းရှိ လေ(fluid)၏ ဖိအားနှင့် လေထုဖိအား(atmospheric pressure) တို့၏ ကွာခြားချက် တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ Fluid တစ်မျိုး၏ absolute pressure ဆိုသည်မှာ gauge pressure နှင့် လေထုဖိအား (atmospheric pressure) တို့ပေါင်း၍ ရသည့်တန်ဖိုး ဖြစ်သည်။ ပင်လယ်ရေမျက်နှာပြင်ရှိ လေထုဖိအား (atmospheric pressure)သည် 14.7 pounds per square inch ဖြစ်သည်။

ရေဖိအား(water pressure)ကို pounds per square inch(PSI) သို့မဟုတ် KPa ဖြင့် တိုင်းလေ့ ရှိသည်။ psig ကို gauge pressure ၊ psia ကို absolute pressure ၊ psi ကို differential pressure ယေဘုယျအားဖြင့် သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။

လေဖိအား(air pressures)ကို inches of water gauge သို့မဟုတ် water column ဖြင့် တိုင်းတာသည်။ One inch H2O သည် 0.036 psi နှင့် ညီမျှသည်။

လေထုဖိအား(Atmospheric Pressure)

ပင်လယ် ရေမျက်နှာပြင်(sea level)ပေါ်သို့ သက်ရောက်နေသည့် ဖိအား (theoretical standard barometric pressure)ကို SI ယူနစ် နှင့် IP ယူနစ် တို့ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Torr	kPa	Inch of Hg	M Bar	Psia	Psig
760	101.4	29.92	1000	14.696	0.0

psig = psi ၏ နောက်တွင် g ဖြင့် ဖော်ပြလျှင် "Guage Pressure" ဖြစ်သည်။ (positive pressure)
psia = psi ၏ နောက်တွင် a ဖြင့် ဖော်ပြလျှင် "Absolute Pressure" ဖြစ်သည်။ (positive pressure)
psiv = psi ၏ နောက်တွင် v ဖြင့် ဖော်ပြလျှင် "Vacuum Pressure" ဖြစ်သည်။ (negative pressure)
psi ဟုဖော်ပြလျှင် "Differential pressure" ဖြစ်သည်။ (positive or negative pressure)

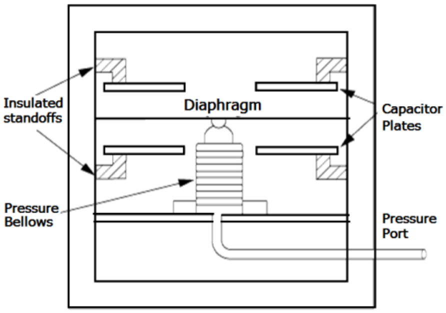
$$P_{abs} = P_{atm} + P_g$$
$$P_{abs} = P_{atm} - P_{vac}$$

Differential pressure သည် fluid နှစ်မျိုး၏ ဖိအားကွားခြာချက် သို့မဟုတ် reference pressure နှင့် တိုင်းလိုသည့် pressure တို့၏ ဖိအားကွားခြာချက် ဖြစ်သည်။

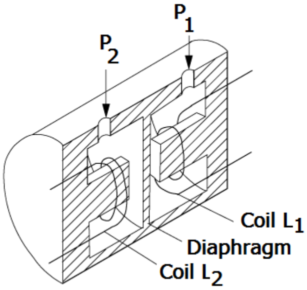
Pressure sensor များတွင် diaphragm သို့မဟုတ် bellow စသည့်ဖြင့် အားကို တိုင်းတာနိုင်သည့် အရာ(force summing element) ပါဝင်သည်။ ဖိအားကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အားကို စပရိမ်(spring) သို့မဟုတ် တခြားသော elastic structure တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် တိုင်းယူခြင်း ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဖိအားကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော displacement ကို electrical quantity အဖြစ် ပြောင်းလဲပြီး တိုင်းတာ ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

Pressure sensor ကို ရွေးချယ်သည့်အချက်များ(selection criteria)မှာ temperature sensor များကို ရွေးချယ်သည့် အချက်များနှင့် တူသည်။

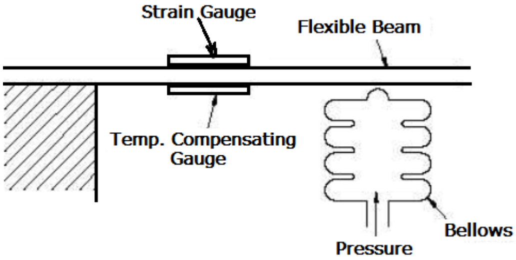
အသုံးများသော pressure transducers အမျိုးအစား (၅)မျိုးမှာ



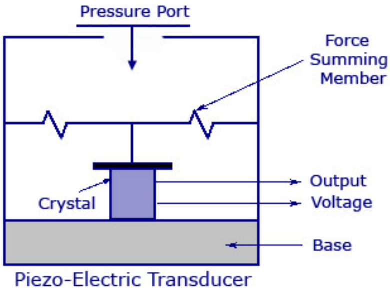
ပုံ ၃-၄၂ Capacitive pressure transducer



ပုံ ၃-၄၃ Inductive pressure transducer



ပုံ ၃-၄၄ Strain gauge pressure transducer



ပုံ ၃-၄၅ Piezoelectric pressure transducer

(၁) **Capacitive pressure transducers**

Capacitor ကို plate နှစ်ခုဖြင့်တည်ဆောက်ထားသည်။ ဖိအားကြောင့် plate နှစ်ခု၏ အကွာအဝေး ပြောင်းလဲမှုကို တိုင်းယူသည်။ Capacitance သည် oscillator circuit ၏ အစိတ်အပိုင်းဖြစ်သည်။ capacitance ပြောင်းလဲမှုကြောင့် oscillator frequency ပြောင်းလဲသည်။ Oscillator frequency ပြောင်းလဲမှုကို သိခြင်းဖြင့် ဖိအားပြောင်းလဲမှုကို သိနိုင်သည်။

(၂) **Inductive pressure transducers**

Inductive type pressure transducers တွင် coil နှစ်ခု ပါဝင်သည်။ primary coil ကို ac ဓာတ်အား ပေး၍ induced voltages ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်လာသည့် အရွေ့(displacement)ကို တိုင်းထားခြင်းဖြင့် ဖိအားတန်ဖိုးကို သိနိုင်သည်။

(၃) **Strain gauge pressure transducers**

The deformation of a piece of wire subjected to force due to pressure along its length causes a change in wire diameter and hence the wire resistance. Resistance changes are then measured by a suitable bridge circuit.

(၄) **Piezoelectric transducers**

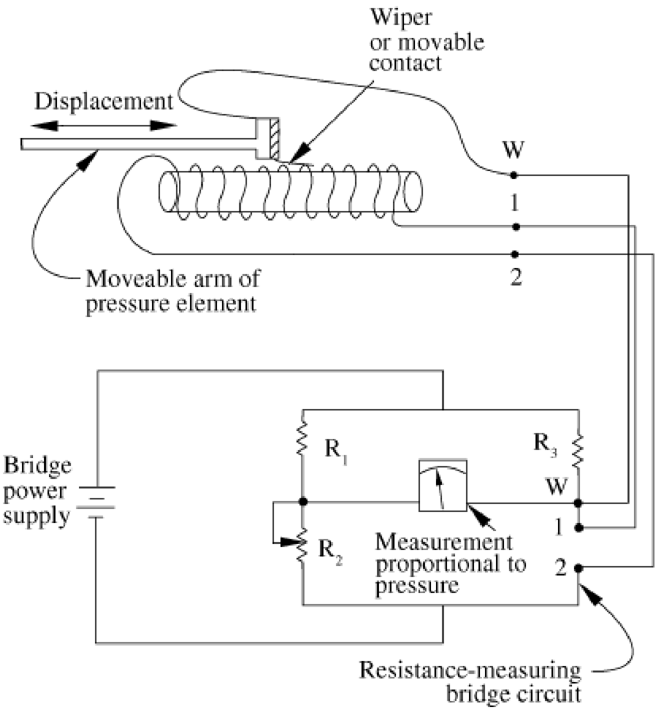
These use materials whose electrical characteristics change when they are deformed under pressure, e.g. crystalline quartz exhibits a change in resistance when subjected to pressure (piezoresistive)

(၅) **Potentiometric transducers**

These consist of a 3-terminal resistor with adjustable centre connection in the form of a wiper. The wiper moves as a result of force due to pressure, and hence pressure measurement is related to the position of the wiper measured as a resistance.

၃.၈.၁ Summary of pressure sensors for BAS applications

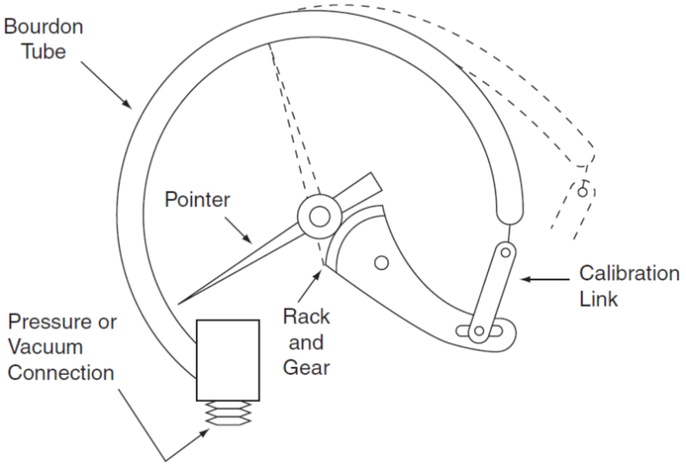
Sensor type	Primary use	Advantage	Disadvantage
Capacitive	low-pressure air; duct static or filter differential pressure	Cheap	Complex signal conditioning
Inductive	Low pressure	Rugged	Expensive, temp compensation difficult
Strain gauge	High pressure, chilled water, steam	Linear output	Low output signal
Piezoelectric	Fluctuating pressures, sound, mech. vibration	Wide pressure range	Difficult to calibrate
Potentiometric	General purpose	Cheap, high output	Low accuracy, large size, physical wear reduces life



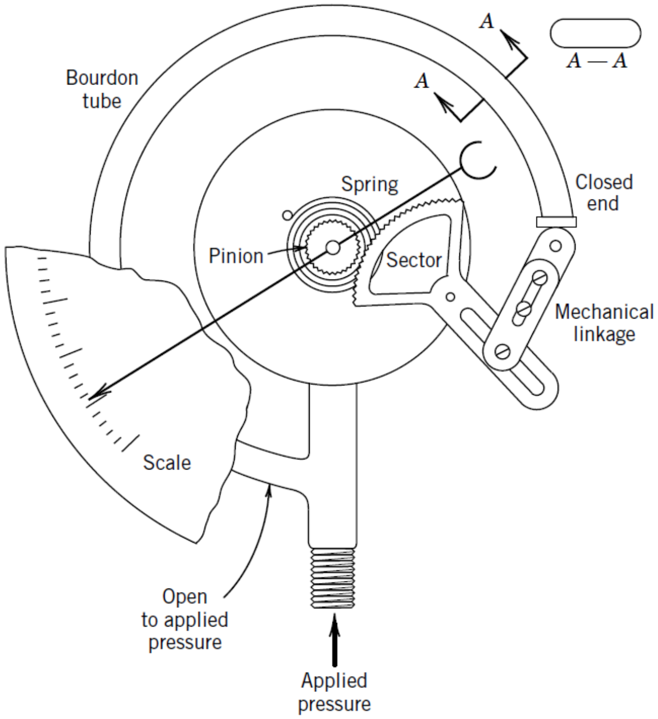
ပုံ ၃-၄၆ Potentiometric pressure transducers

၃.၈.၂ Mechanical Pressure Gauges:

ပုံ(၃-၄၆)တွင် ဖော်ပြထားသည့် pressure gauge များတွင် Bourdon tube ကို sensing element အဖြစ် အသုံးပြုထားသည်။ Bourdon tube သည် ထိပ်တစ်ဖက်တွင် ပိတ်ထားသည့် spiral tube ဖြစ်သည်။ အခြားတစ်ဖက်တွင် တိုင်းလိုသည့် ဖိအား သက်ရောက်စေသည်။ လေထုဖိအားကို atmospheric pressure reference အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ တိုင်းလိုသည့် ဖိအားပမာဏများလာလျှင် Bourdon tube သည် ဆန့်ထွက် ဖြောင့်တန်းလာလိမ့်မည်။ မောင်းတံ(linkage) နှင့် ဂီယာ(gear)မှ တစ်ဆင့် ညွှန်ပြတံ(indicating pointer)ကို ရွေ့လျားစေသည်။ Bourdon and spiral tube များကို water system များတွင်သာ အသုံးပြုကြသည်။



ပုံ ၃-၄၇ 4-22 Bourdon Tube Pressure Sensor

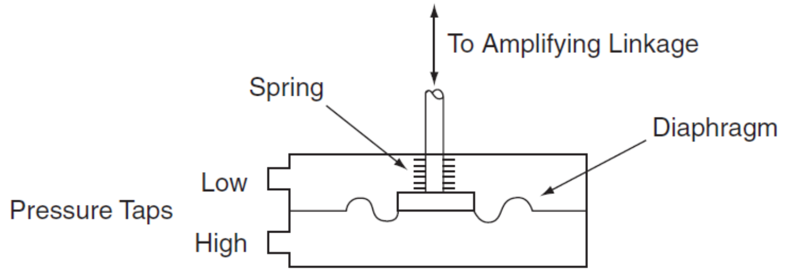


ပုံ ၃-၄၈ 4-22 Bourdon tube pressure gauge.

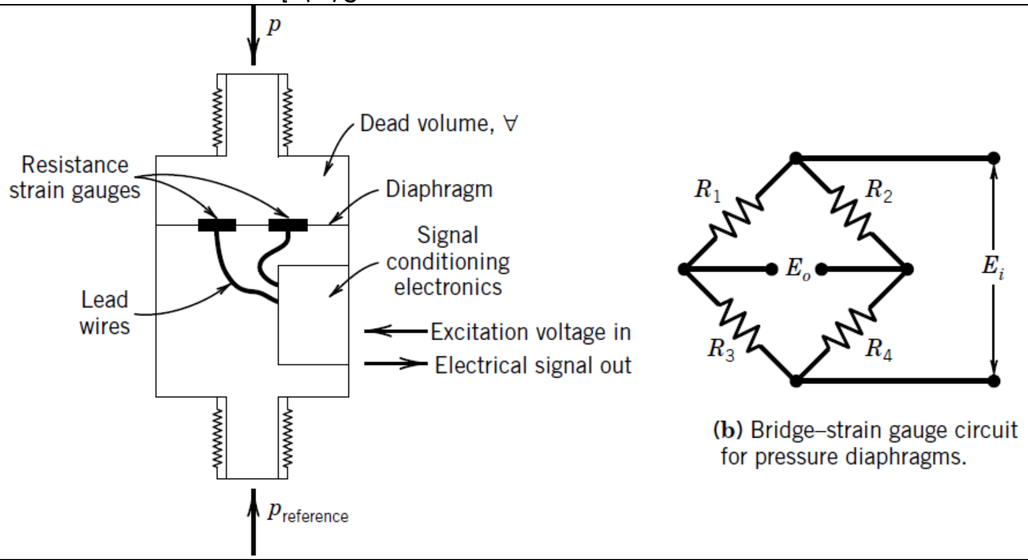
၃.၈.၃ Diaphragm sensor

ပုံ(၃-၄၉)တွင် ပြထားသည့် diaphragm sensor သည် chamber နှစ်ခုပါဝင်ပြီး flexible wall သို့မဟုတ် diaphragm ဖြင့် ပိုင်းခြားထားသည်။ ပါးလွှာသည့် စတီးပြား(thin steel sheet)ကို diaphragm အဖြစ် အသုံးပြုထားသောကြောင့် သေးငယ်သည့် ဖိအားပြောင်းလဲမှုများကို သိနိုင်သည်။ Fabric များကိုလည်း diaphragm အဖြစ် အသုံးပြုကြသည်။ ရေဖိအား တစ်လက်မ၏ အပုံတစ်ရာပုံလျှင် တစ်ပုံအထိ သေးငယ်သည့် ဖိအားကို တိုင်းနိုင်သည်။ ဖိအား(psi) ရာပေါင်းများစွာ များသည့် ဖိအားများကိုလည်း တိုင်းနိုင်သည်။ သို့သော် pressure gauge များ အားလုံးတွင် ကန့်သတ်ထားသည့် pressure range များ ရှိကြသည်။ Pressure range

များလာလေ sensitivity လျော့နည်းလာလေဖြစ်သည်။ Diaphragm pressure gauge များကို water နှင့် air system များတွင် အသုံးပြုကြသည်။

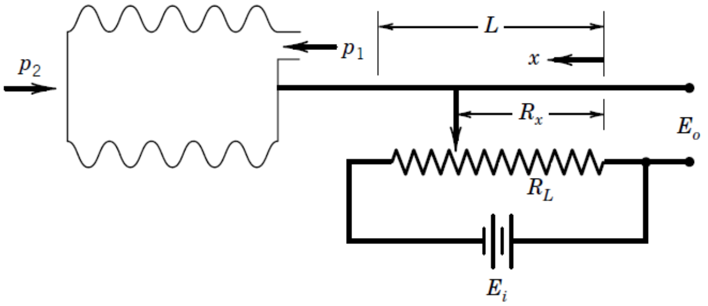


ပုံ ၃-၄၉ 4-23 Diaphragm Pressure Sensor



ပုံ ၃-၅၀ Diaphragm pressure transducer

ဖိအားကို တိုင်းသည့် mechanical device များအားလုံးကို transmitter နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုရန် လိုသည်။ transmitter သည် ဖိအားပြောင်းလဲမှုများကို singal များအဖြစ် ထုတ်ပေးသည်။



ပုံ ၃-၅၁ xx2 Potentiometer pressure transducer.

Pressure sensor မှ electrical output ထုတ်ပေးနိုင်သည့် transducer သုံးမျိုးရှိသည်။

၃.၈.၄ Potentiometer

potentiometer သည် အရိုးရှင်းဆုံးသော device ဖြစ်သည်။ ပုံ xx2 ကွိုင်(coil)တစ်ခုနှင့် slider တစ်ခုဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ Slider သည် ကွိုင်(coil) တစ်လျှောက်တွင် ရွေ့လျားနိုင်သည်။

ကွိုင်(coil)ပေါ်ရှိ slider နေရာပြောင်းလဲမှုကို transmitter က သိရှိပြီး ဖိအားတန်ဖိုးအဖြစ် ပြောင်း၍ ဖော်ပြပေးသည်။ Potentiometric များသည် ဈေးသက်သာသော်လည်း accuracy နိမ့်သည်။

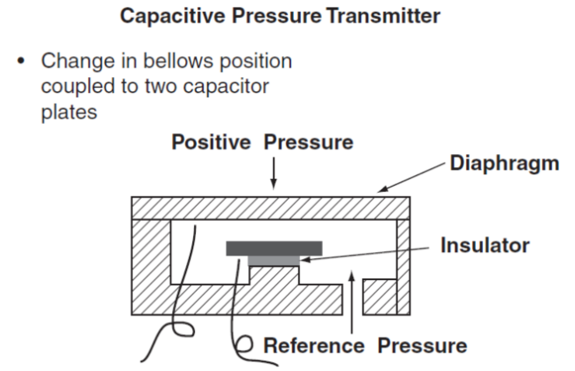
၁.၈.၅ Electrical Pressure Guages:

Piezoelectric pressure sensor မှ လွဲ၍ ကျန် pressure sensor များ အားလုံးသည် ဖိအား တန်ဖိုးများကို အဆက်မပြတ် တိုင်းယူ(measure continuous)သည်။ Piezoelectric pressure sensor ဖိအား ပြောင်းလဲမှုကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည့် strain ပြောင်းလဲခြင်းကို တိုင်းတာ၍ output signal အဖြစ် ထုတ်ပေးသည်။

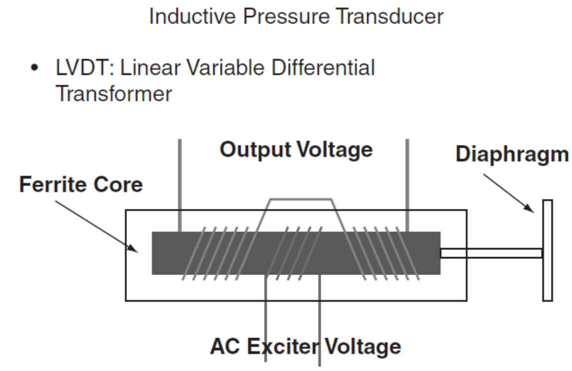
ဖိအားပြောင်းလဲသည့် အခါမှသာ တိုင်းတာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ပြောင်းလဲမှုဖြစ်ပေါ်မှသာ ဖိအားတန်ဖိုးအသစ်ကို update လုပ်သည်။

၁.၈. ၆ Capacitance pressure detector

Capacitive pressure measurement နည်းသည် diaphragm ရွေ့လျားမှု ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် capacitance ပြောင်းလဲမှုကို တိုင်းယူသည့်နည်းဖြစ်သည်။ Sensor အတွက်လိုအပ်သည့် စွမ်းအင်ကို high frequency oscillator မှယူသည်။ pressure changes ဖိအား ပြောင်းလဲမှုကြောင့် diaphragm ၏ နေရာပြောင်းလဲသည်။ ထိုပြောင်းလဲမှုကို bridge circuit မှ capacitance ဖြင့်တိုင်းယူသည်။



ပုံ ၁-၅၂ Capacitive sensor



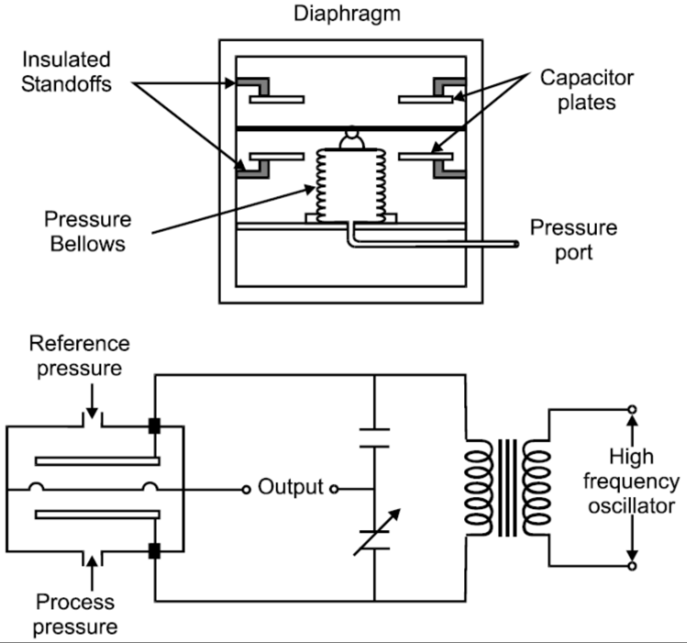
ပုံ ၁-၅၃ Inductive sensor

Capacitance sensor ကို ပုံ(၁-၅၂)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Capacitor ကို plate နှစ်ခုဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ ဖိအားကြောင့် plate နှစ်ခု၏ အကွာအဝေး ပြောင်းလဲမှုကို တိုင်းယူသည်။ Capacitance သည် oscillator circuit ၏ အစိတ်အပိုင်းဖြစ်သည်။ Capacitance ပြောင်းလဲမှုကြောင့် oscillator frequency ပြောင်းလဲသည်။ Oscillator frequency ပြောင်းလဲမှုကို သိခြင်းဖြင့် ဖိအားပြောင်းလဲမှုကို သိနိုင်သည်။

ပုံ(၁-၅၃)တွင် ဖော်ပြထားသည့် inductive sensor များသည် metal core တွင် ကွိုင်(coil) နှစ်ခု ပတ်ထားသည့် transformer နှင့် ဆင်တူသည်။ Metal core ကို ရွေ့လျားနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ Metal core ရွေ့လျားခြင်းကြောင့် metal core တွင် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် magnetic flux ကို transmitter မှ တိုင်းယူသည်။ ထိုမှတစ်ဆင့် ဖိအားတန်ဖိုး အဖြစ်သို့ ပြောင်းယူသည်။

အသုံးများသည့် capacitance pressure detector နှစ်မျိုးမှာ two-plate design နှင့် single capacitor design ဖြစ်သည်။ ဤနည်းဖြင့်တိုင်းလျှင် တိကျ(accurate)ပြီး operating range အလွန် ကျယ်သည်။ Capacitive pressure measurement သည် ကန်အတွင်းရှိ အရည်၏ အမြင့်ကို တိုင်းရာတွင် အလွန်အသုံးများသည်။

Advantages	Disadvantages
Inaccuracy 0.01 to 0.2%	Temperature sensitive
Range of 80Pa to 35MPa	Stray capacitance problems
Linearity	Vibration
Fast response	Limited overpressure capability
	Cost



ပုံ ၃-၅၄ Capacitance pressure detector

၃.၉ Flow Sensors and Meters

Process flow များကို တိုင်းယူသည့် အဓိက နည်းသုံးမျိုးမှာ velocity ၊ volumetric flow နှင့် mass flow တို့ဖြစ်သည်။

Air system နှင့် hydronic system များတွင် flow sensor များကို အသုံးပြုရသည့် ရည်ရွယ်ချက်မှာ energy process control နှင့် energy monitoring ရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ Sensor များတွင် တန်ဖိုးကို ဖော်ပြနိုင်သည့် ကိရိယာ(indication device) သို့မဟုတ် တန်ဖိုးများကို သိမ်းဆည်း မှတ်သားထားနိုင်သည့် ကိရိယာ(recording device) ပါဝင်နေလျှင် ထို sensor ကို မီတာ (meter)ဟု ခေါ်သည်။

Factors affecting flowmeter performance

(က) Process media (Liquid/Gas)
(ခ) Density (Specific Gravity)
(ဂ) Temperature
(ဃ) Velocity
(င) Viscosity
(စ) Pressure

Volumetric Flowmeter အမျိုးအစားများမှာ

(က) DP
(ခ) Turbine
(ဂ) Vortex / Swirl
(ဃ) Magnetic
(င) Target
(စ) Ultrasonic
(ဆ) Displacement

HVAC နှင့် ACMV လုပ်ငန်းများတွင် flow control ကို အသုံးပြုထားသည့် နေရာများမှာ chilled water flow၊ condenser water flow ၊ hot water flow နှင့် air flow တို့ဖြစ်သည်။ HVAC applications များတွင် အများဆုံး အသုံးပြုသည့် flow sensor များကို အောက်ပါအတိုင်း လေးအုပ်စု ခွဲနိုင်သည်။

(၁) Differential pressure flow sensors
(၂) Displacement flow sensors
(၃) Passive flow sensors နှင့်
(၄) Mass flow sensors တို့ ဖြစ်သည်။

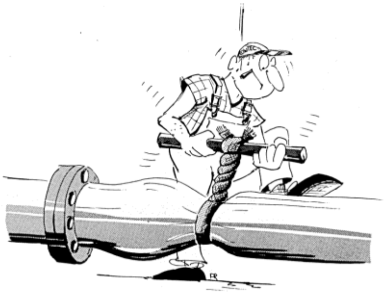
စီးဆင်းနေသည့် fluid သည် fully developed ဖြစ်မှသာ fitting နှင့် obstruction များကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သော eddy နှင့် vortice များ ကင်းဝေးမှသာ flow sensor များအားလုံး၏ တိုင်းတာမှုများ တိကျ မှန်ကန်နိုင်သည်။

Flow sensor များ အားလုံးသည် လုံလောက်အောင် ဖြောင့်တန်းသည့် ပိုက်အရှည် သို့မဟုတ် duct အရှည် ရှိရန် လိုအပ်သည်။ တိုင်းတာမှုများ တိကျမှန်ကန်ရန် upstream တွင် duct/pipe diameter ၏ (၂)ဆ မှ (၁ဂ)ဆ နှင့် downstream တွင် duct/pipe diameter ၏ (၂)ဆ မှ (၃)ဆ လိုအပ်သည်။

ရှိသင့်သည့် ဖြောင့်တန်းသည့် ပိုက် သို့မဟုတ် duct အရှည် မရနိုင်ပါက straightening vane သို့မဟုတ် grid များကို အသုံးပြု၍ accuracy ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ရေ(water)နှင့် လေ(air)ကို တိုင်းသည့် flow meter များကို အသုံးများသည်။

Differential Pressure Flowmeters	
Advantages	**Disadvanteages**
Use On Liquid, Gas, and Steam	Limited Rangeability
Suitable for Extreme Temperatures and Pressures	Effected By Changes In Density, Pressure, and Viscosity
No Moving Parts	Maintenance Intensive
Low Cost	

၃.၉.၁ Differential Pressure Flow Meters



Differential Pressure Flow Meters:

Differential pressure မှတဆင့် စီးနှုန်း(flow)ကို တွက်ယူခြင်းသည် နှစ်ပေါင်းများစွာက အသုံးပြုခဲ့သည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Bernoulli's equation ကို အခြေခံ၍ Differential pressure မှ စီးနှုန်း(flow) ကို တွက်ယူသည်။

$$V = C\sqrt{\frac{2\,\Delta P}{\rho}}$$

$$V = C\sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \qquad (Equation\ 4\text{-}1)$$

where V is the velocity,

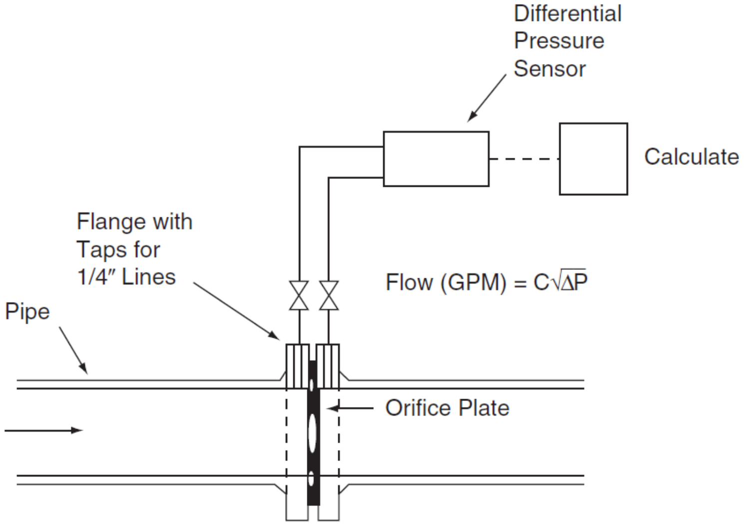
C is a constant that is a function of the physical design of the meter,

DP is the measured pressure drop, and

ρ is the fluid density.

HVAC system များ ပုံမှန် မောင်းနှင် လည်ပတ်နေသည့် အခြေအနေများတွင် လေနှင့် ရေတို့၏ သိပ်သည်းဆများ မပြောင်းလဲကြပေ။ ထို့ကြောင့် လေ နှင့် ရေ သိပ်သည်းဆတန်ဖိုး(density)ကို အစားသွင်း၍ တွက်နိုင်သည်။

၃.၉.၂ Orifice Meter



ပုံ ၃-၅၅ 4-26 Orifice Plate Flow Meter

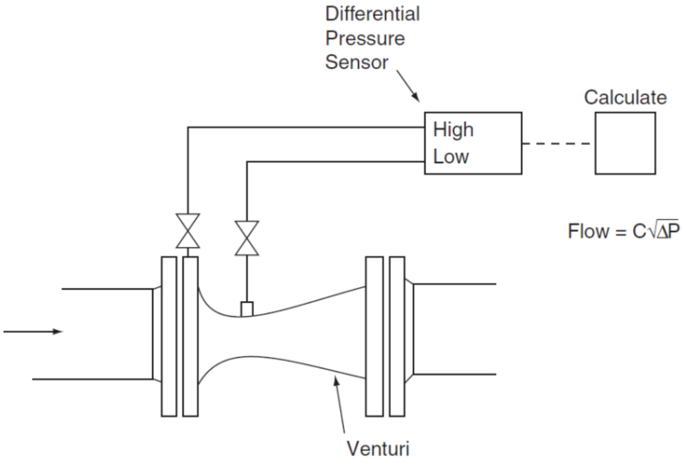
ပုံတွင် 4-26 orifice plate meter ၏ ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Orifice plate သည် အလယ်တွင် အပေါက်(with round sharp edged)ပါသည့် plate တစ်ခုဖြစ်သည်။ Orifice plate ကို ဖြတ်၍ စီးသည့် fluid ၏ Reynolds Number များသည့်အခါ flow rate နှင့် pressure drop တို့သည် အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဆက်စပ်နေသည်။

$$V = C\sqrt{\frac{2\,\Delta P}{\rho}}$$

Orifice plate ကို အသုံးပြုသည့်အခါ flow coefficient C ကို measured area of the pipe and orifice opening တို့မှ တစ်ဆင့် သိနိုင်(determine လုပ်နိုင်)သည်။

အခြားသော device များအတွက် flow coefficient C ကို လက်တွေ့စမ်းသပ်ချက်များ (experiment) လုပ်ယူရသည်။ ထို့ကြောင့် orifice meter များကို အခြားသော flow meter များအား calibrate လုပ်ရာတွင် အသုံးပြုသည်။ Orifice meter များသည် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များ သောကြောင့် HVAC system များတွင် အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။ Reynolds Number နည်းသည့် flow များ(lamina flow)အတွက် accuracy ကျဆင်းနိုင်သည်။ အညစ်အကြေးများ နှင့် အပေါက်နှုတ်ခမ်းတစ်လျောက် ပွန်းတီးခြင်း(wear) တို့ကြောင့် HVAC system များတွင် အသုံးနည်းသည်။

၃.၉.၃ Venturi Meter

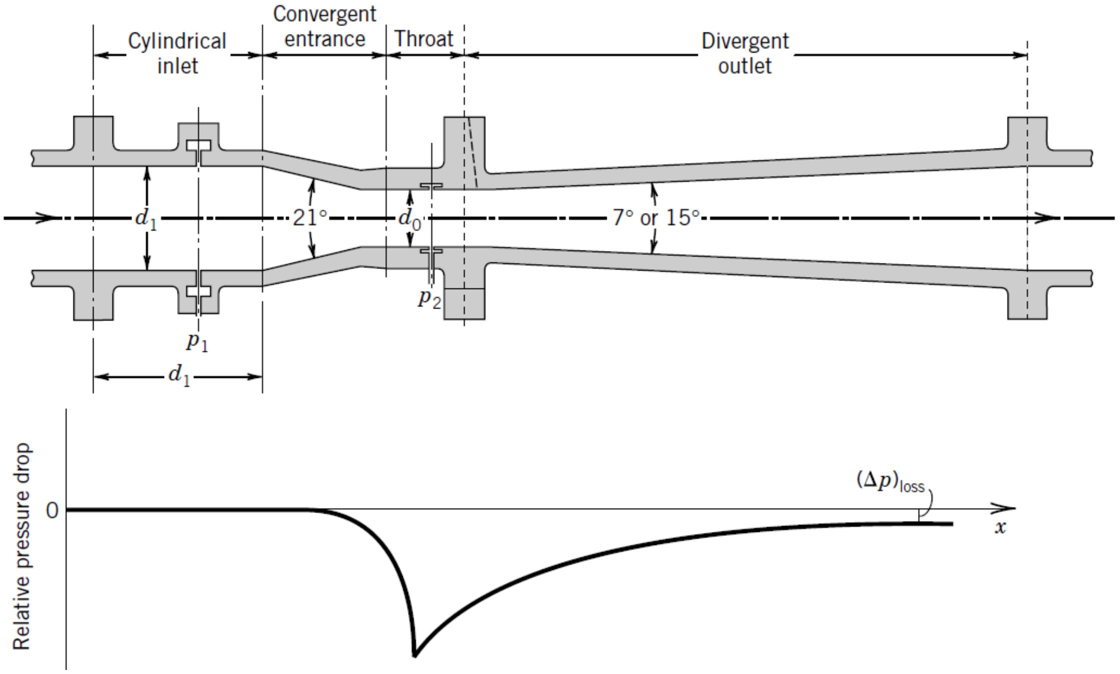


ပုံ ၃-၅၆ 4-27 Venturi flow meter

ပုံ(၃-၅၆)တွင် Venturi အမျိုးအစား flow meter ကို ဖော်ပြထားသည်။ Venturi meter နှင့် orifice meter တို့၏ အခြေခံသဘောတရား တူညီကြသည်။ အဝင်(inlet)နှင့်အထွက်(outlet)ကို ပြေပြစ်အောင် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် Venturi meter ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)နည်းသည်။ စီးနှုန်း များလာသည့်အခါ static pressure သည် velocity (kinetic energy)အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။

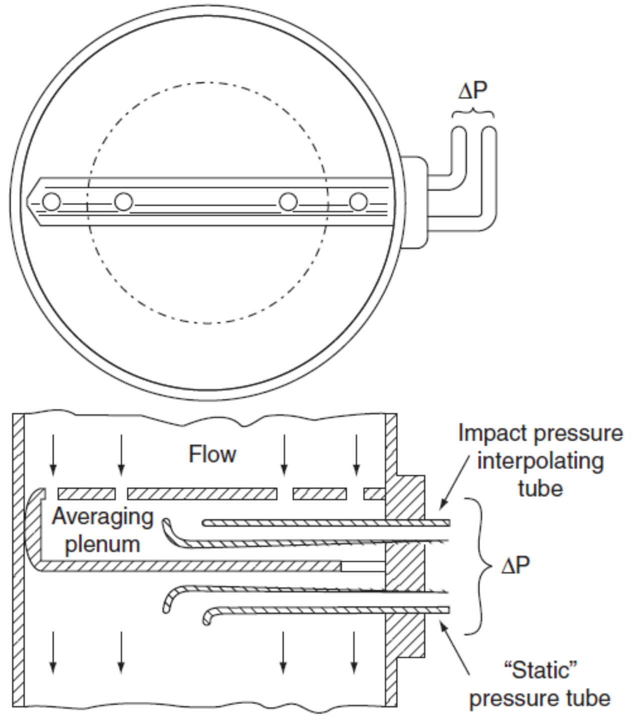
အဝင်(inlet) မှ static pressure ကျဆင်းမှုကို တိုင်းယူခြင်းပြီး အောက်ပါညီမျှခြင်းကို အသုံးပြု၍ velocity ကို တွက်ယူနိုင်သည်။ Flow coefficient ကို စမ်းသပ်မှု(test) များလုပ်၍ ရယူနိုင်သည်။

$$V = C\sqrt{\frac{2\,\Delta P}{\rho}}$$



ပုံ ၃-၅၇ The Herschel venturi meter with the associated flow pressure drop along its axis.

Venturi meter များကို steam flow measurement များတွင် အသုံးပြုလေ့ ရှိသည်။ Water flow measurement များ အတွက် အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။ ဈေးနှုန်းမြင့်မားသောကြောင့် air flow measurement များအတွက် လုံးဝ အသုံးမပြုကြပေ။ Standard density ကို အသုံးပြု၍ ရေစီးနှုန်းအတွက် အောက်ပါ ညီမျှခြင်းဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။



ပုံ ၃-၅၈ 4-28 Averaging Type, Pipe-mounted Pitot Meter

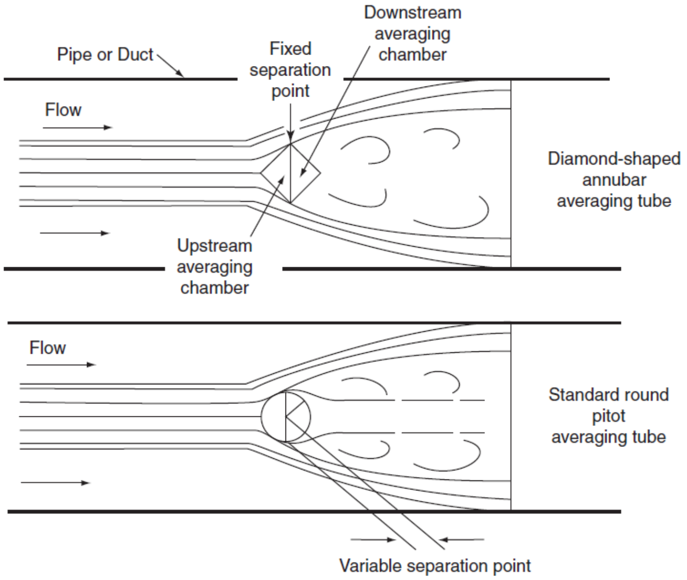
$V = 12.2\sqrt{\Delta P}$ Equation 4-2

$$V = 12.2\sqrt{\Delta P} \qquad (Equation\ 4\text{-}2)$$

where DP is in psi and V is in feet per second (fps).

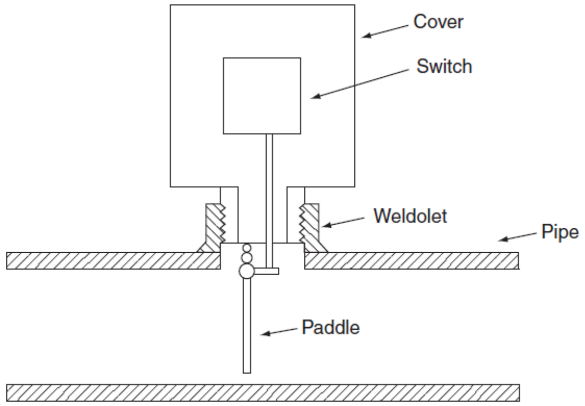
ပုံ(၃-၅၈)တွင် ပိုက်အတွင်း၌ တပ်ဆင်ထားသည့် pitot flow sensor ကို ဖော်ပြထားသည်။ ပိုက်တွင်းရှိ velocity profile ပုံသဏ္ဍာန် ပျက်ယွင်းခြင်း(natural distortion)ကို လျော့နည်းစေရန်အတွက် Velocity pressure ကို တိုင်းယူသည့် port များသည် tube တစ်လျှောက်တွင် တည်ရှိသည်။ Sensor tube များကြောင့် turbulence ဖြစ်ပေါ်ပြီး accuracy လျော့ကျခြင်းများ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Downstream ရှိ static pressure တန်ဖိုးများ မှားယွင်းနိုင်သည်။

Accuracy ပိုကောင်းစေရန်အတွက် အချို့သော ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturers)သည် အဝိုင်း ပုံသဏ္ဍာန် အစား ပုံသဏ္ဍာန် အမျိုးမျိုးပြုလုပ်ကြသည်။



ပုံ ၃-၅၉ 4-29 Annubar flow sensor

ပုံ(၃-၅၈)သည် Annubar flow sensor ပုံဖြစ်သည်။ Annubar sensors သည် bi-directional senor ဖြစ်သည်။ အချိုးညီ(symmetrical) သည် sensing port နှစ်ခု ပါဝင်သောကြောင့် အသွားနှင့် အပြန် နှစ်ဘက်လုံးကို တိုင်းနိုင်သည်။ Bi-directional pressure transmitter ကို အသုံးပြုရန် လိုသည်။ Bi-directional pressure transmitter ဆိုသည်မှာ သုညတန်ဖိုး အမှတ်(zero mark) မှ ပေါင်းဘက်(positive side) နှင့် အနုတ်ဘက် (negative side) နှစ်ဘက်စလုံးကို တိုင်းနိုင်သည့် transmitter ဖြစ်သည်။ သို့သော် HVAC system များတွင် နှစ်ဘက်စလုံးကို တိုင်းနိုင်သည့် (Bi-directional) sensor များ မလိုအပ်ပါ။ Primary-secondary piping system တပ်ဆင်ထားသည့် chilled water system ၌သာ decoupling pipe သို့မဟုတ် by pass pipe တစ်နေရာတွင်သာ အသုံးပြုရန်လိုသည်။



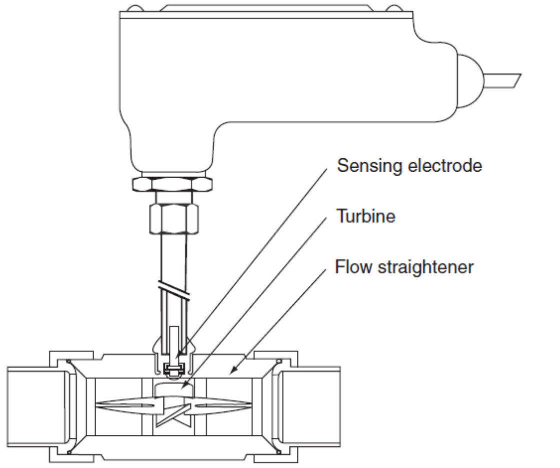
ပုံ ၃-၆၀ 4-30 Paddle Flow Switch

၃.၉.၄ Displacement Flow Meters

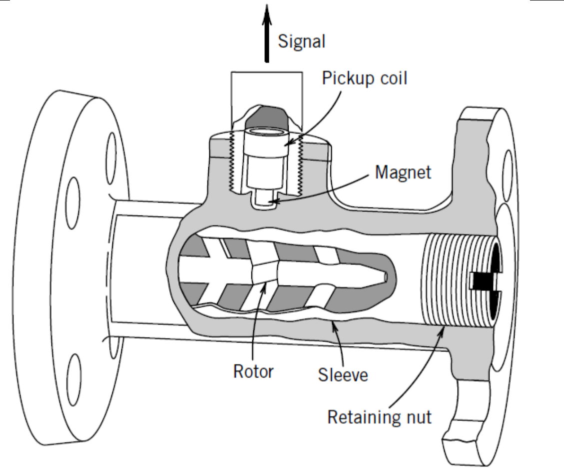
စီးနေသည့် fluid stream ထဲသို့ လည်နိုင်သည့် ဒလက်များ ထားခြင်းဖြင့် တိုင်းယူသည့် flow meter ကို displacement flow meter ဟုခေါ်သည်။

Paddle flow switch

Paddle flow switch ကို 4-30 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ပိုက်ထဲတွင် စီးဆင်းနေမှု ရှိ၊ မရှိကို သိနိုင်ရန် အတွက် အသုံးပြုကြသည်။ Fluid flow ကြောင့် paddle ပြားကလေး ယိုင်သွားသည့် အခါတွင် switch ကို activate လုပ်ပေးခြင်းဖြင့် ပိုက်ထဲတွင် စီးဆင်းမှု ဖြစ်ပေါ်နေကြောင်း သိနိုင်သည်။ Air system များတွင် ပိုပေါ့ပါးပြီး ကြီးမားသည့် paddle ပြားကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ “**Sail switch**” ဟုခေါ်လေ့ရှိသည်။ ပျက်စီးနိုင်သည်။ သံချေးတက်နိုင်သည်။ စိတ်ချရရန်အတွက် ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၃-၆၁ 4-31 Inline Turbine Flow Meter



ပုံ ၃-၆၂ Cutaway view of a turbine flow meter.

၃.၉.၅ Turbine Meter

ပုံ(၃-၆၁)တွင် turbine meter ကို ဖော်ပြထားသည်။ Fluid stream ထဲ၌ ထည့်ထားသည့် ဒလက်နှင့် ဆက်ထားသည့် propeller-shaped rotor လည်ပတ်သည့် အရေအတွက်ကို တိုင်းယူခြင်းဖြင့် စီးနှုန်းကို သိနိုင်သည်။ HVAC system များတွင် water flow measurement များကို တိုင်းရန်အတွက် အများဆုံး အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

Magnetic sensor (metal rotor)ကို အသုံးပြု၍ အပတ်ရေကို တိုင်းယူခြင်းဖြစ်သည်။ Infrared light ၏ reflection ကို အသုံးပြု၍ အပတ်ရေကို တိုင်းယူနိုင်သည်။ Non-magnetic radio frequency impedance sensors ကို အသုံးပြု၍ အပတ်ရေကို တိုင်းယူနိုင်သည်။

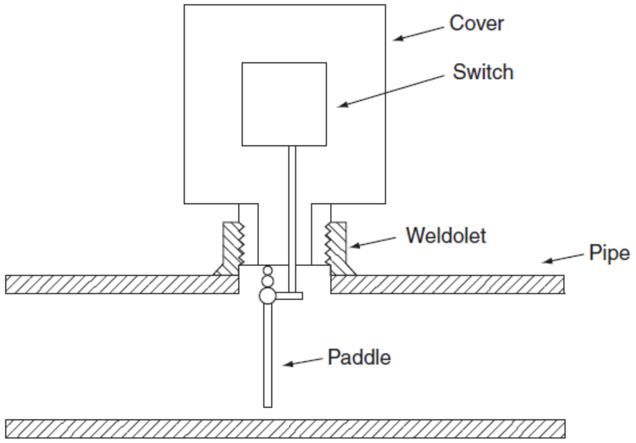
Turbine meter များသည့် စီးဆင်းသည့် ဦးတည်ရာ နှစ်ဘက်လုံး(bi-directional)ကို တိုင်းနိုင်သည်။ Dual turbine meter ကို အသုံးပြု၍ accuracy ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Turbine နှစ်ခုကို ပြောင်းပြန်(opposite directions) တပ်ဆင်ထားသောကြောင့် counter-rotating rotor နှစ်ခုသည် swirling current များကို ခြေဖျက်(cancel out) ပစ်နိုင်သည်။

Turbine Meter	
High accuracy (.5% of rate)	Clean water applications only
High rangeability (up to 50:1)	NIST Traceable Factory Calibration
Compact design	Low cost, Easy to install
Fast response time	In and out of line, under pressure
Broad range of sizes	
Turbine Flowmeters	
Advantages	**Disadvanteages**
High Accuracy	Only For Low Viscosities
Suitable for Extreme Temperatures and Pressures	Moving Parts
Can Be Used On Gas or Liquid	Sensitive to Flow Profile

Pressure differential flowmeters အမျိုးအစားများ

Helical gear	Oval gear
Nutating disk	Rotary
Oscillating piston	

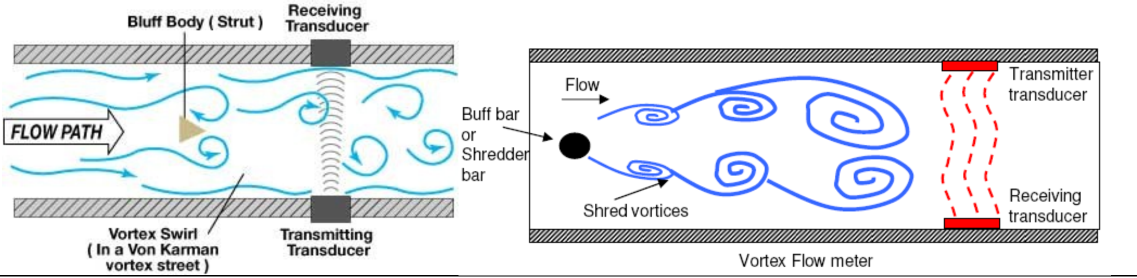
၃.၉.၆ Target Meter



ပုံ ၃-၆၃ 4-32 Target Meter

ပုံ(၃-၆၂)တွင် target meter ကို ဖော်ပြထားသည်။ Drag-force meter ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Flow ကြောင့်ဖြစ်ပေါ်သော paddle ပေါ်တွင် သက်ရောက်နေသည့် အားပမာဏ မှတစ်ဆင့် flow rate ကို တိုင်းနိုင်သည်။ Flow rate ပိုများလေ bending action ပိုများလေဖြစ်ပြီး stress ပိုများလိမ့်မည်။

Strain-gauge မှတစ်ဆင့် stress ပမာဏကို တိုင်းယူနိုင်သည်။ လှုပ်ရှားနေသော အစိတ်အပိုင်း (moving parts) မပါဝင်ခြင်းသည် အားသာချက်ဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၆၄ In the vortex shedding flow meter, the flow path is obstructed by a bluff body (or strut) that creates the vortex swirl. ရေစီးလမ်းကြောင်း(flow path)ကို bluff body ဖြင့် အတားအဆီးဖြစ်အောင် ပြုလုပ်၍ vortex swirl ဖြစ်အောင်ပြုလုပ်သည်။

၃.၉.၇ Vortex meter

Vortex meter များသည် ပိုက်အတွင်းသို့ ထည့်သွင်းထားသည့် sensor မှ တစ်ဆင့် လျှပ်စစ်နည်းဖြင့် flow rate ကို တိုင်းသည့် နည်းဖြစ်သည်။ Sensitive ဖြစ်ပြီး accuracy အလွန်ကောင်းသည်။ ဈေးနှုန်းမြင့်မားသောကြောင့် HVAC system များတွင် အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။

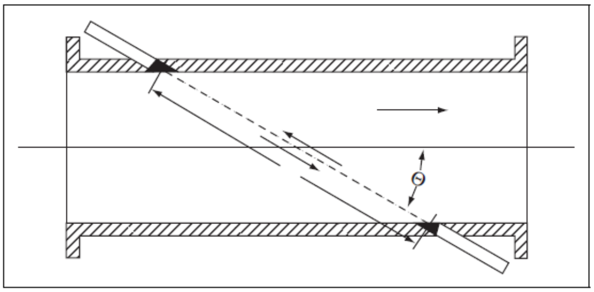
ပုံ ၃-၆၅ Swirlmeter

Vortex / Swirlmeter	
Advantage	**Disadvantage**
No Moving Parts	Span Limitations Due to Viscosity
For Liquid, Gas, or Steam	Flow Profile Sensitive (Vortex)
Uneffected by Pressure, Temperature, or Density Changes.	
Wide Rangeability	
Vortex / Swirlmeter Benefits	
High Accuracy 0.50% of Rate	Versatile
No Moving Parts	Electronics can be used for Diagnostics
Minimal Upstream Piping	Works with Entrained Liquids

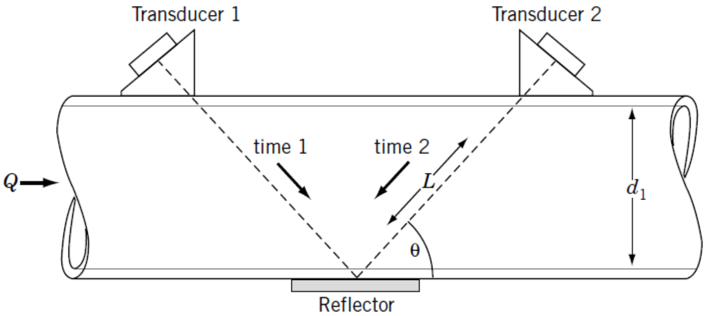
Measures Low Flows	

၃.၉.၈ Passive Flow Meters

Passive flow meter များသည် fluid stream ထဲသို့ obstruction ဖြစ်စေသည့် မည်သည့် အရာဝတ္ထုများကိုမျှ မထည့်ဘဲ flow rate ကို တိုင်းတာသည်။ ထို့ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drops) မဖြစ်ပေါ်ပေ။ Fluid stream အတွင်း၌ လှုပ်ရှားနေသော အစိတ်အပိုင်းများ ရှိမနေသောကြောင့် ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းမှုများ ပြုလုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။



ပုံ ၃-၆၆ Ultrasonic meter



ပုံ ၃-၆၇ Principle of a transit time (ultrasonic) flow meter.

၃.၉.၉ Transit time ultrasonic meters

Transit time ultrasonic meter များသည် flow rate ကို တိုင်းရန်အတွက် sound waves ၏ ရွေ့လျားသည့် အချိန်ကို တိုင်း၍ fluid velocity ကို တွက်ယူသည်။ ပုံ(၃-၆၆)တွင် Transit time ultrasonic meter ကို ဖော်ပြထားသည်။

ထောင့်တစ်ခု စောင်း၍ fluid ထဲသို့ ultrasonic sound wave ကို ပို့လွှတ်သည်။ ထို့နောက် downstream ၌ တပ်ဆင်ထားသည့် sensor မှ ပို့လွှတ်လိုက်သည့် ultrasonic sound wave ကို ပြန်ဖမ်း ယူသည်။

Ultrasonic wave ၏ သွားရန်ကြာချိန် (travel time)ကို တိုင်း၍ average flow velocity ကို တွက်ချက်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Transducer နှစ်ခုရှိသည့် အနက် တစ်ခုသည် transmitter ဖြစ်ပြီး ကျန်တစ်ခုသည် receiver ဖြစ်သည်။ Transmitter ထောင့်တစ်ခု စောင်း၍ fluid ထဲသို့ ultrasonic sound wave ကို ပို့လွှတ်သည်။ ထို့နောက် downstream ၌ တပ်ဆင်ထားသည့် receiver မှ ပို့လွှတ်လိုက်သည့် ultrasonic sound wave ကို ပြန်ဖမ်းယူသည်။

ပိုက်၏ အပြင်ဘက်တွင် sensor များကို တပ်ဆင်ထားသည်။ Fully developed very clean water ၊ no air bubbles နှင့် straight flow အတွက် accuracy သည် ±1% of full range ဖြစ်သည်။ လက်တွေ့

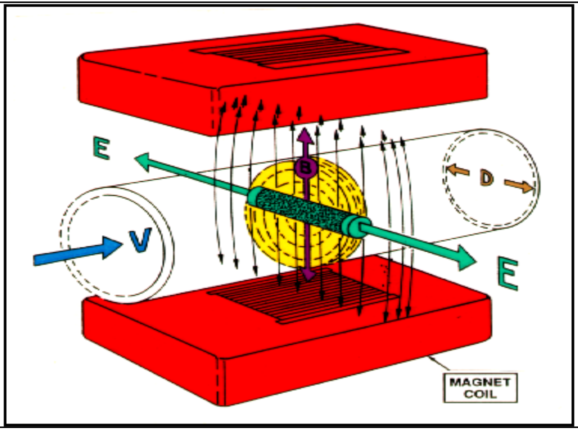
တိုင်းတာမှုများတွင် accuracy သည် ±5%ထက် ပိုများလေ့ မရှိပေ။ Piping dimensions ၊ fluid properties နှင့် other practical limitation တို့ကြောင့် လက်တွေ့တိုင်းတာမှုများတွင် accuracy ကျဆင်းရခြင်း ဖြစ်သည်။

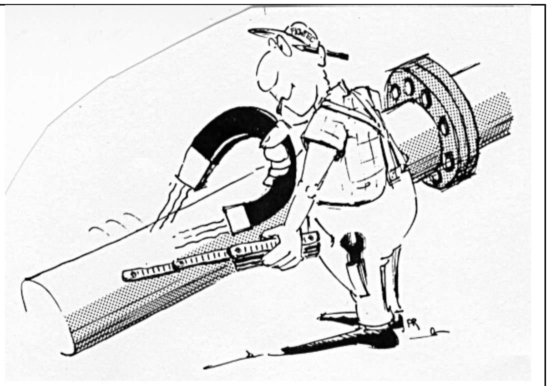
Ultrasonic Flowmeter တွင် doppler နှင့် time of flight ဟု၍ နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။
(က) Doppler effect, used for dirty, slurry type flows
(ခ) Transit time measurement, used for clean fluids

Ultrasonic Flowmeters - Performance Considerations	
Reynolds number constraints	Installed without process shut down
Entrained gas or particles for doppler	Straight upstream piping requirements
Clean liquids for time of flight	
Ultrasonic Flowmeters	
Advantages	**Disadvanteages**
• No Moving Parts	• For Liquids Only (limited gas)
• Unobstructed Flow Passage	• Flow Profile Dependent
• Wide Rangeability	• Errors Due To Deposits

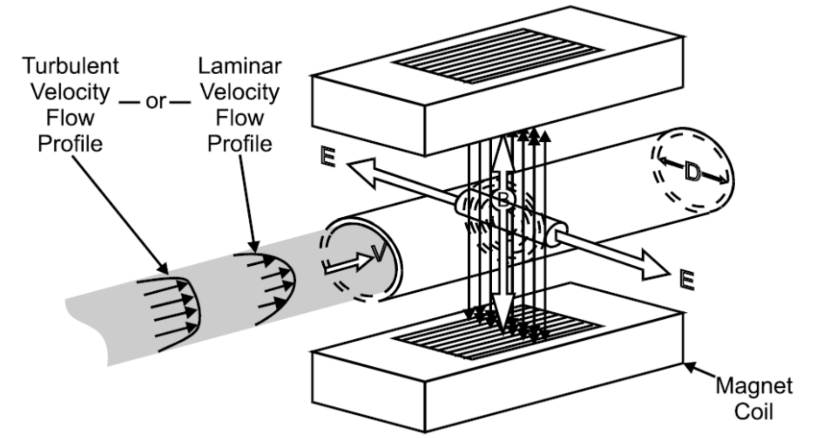
၃.၉.၁၀ Magnetic flow meters

Magnetic flow meter များသည် magnetic field ကို အသုံးပြု၍ magnetic induction နည်းဖြင့် flow rate ကို တိုင်းတာခြင်း ဖြစ်သည်။ တိုင်းယူမည့် fluid သည် non-zero electrical conductance ဖြစ်ရမည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် deionized water မဖြစ်စေရ။ အလွန်တိကျသော်လည်း ဈေးနှုန်းမြင့်မားသည်။ Turbulence ဖြစ်ရန် ခက်ခဲသည့် sludges နှင့် slurrie များကိုလည်း တိကျစွာ တိုင်းယူနိုင်သည်။





ပုံ ၃-၆၈ Magnetic Flowmeters



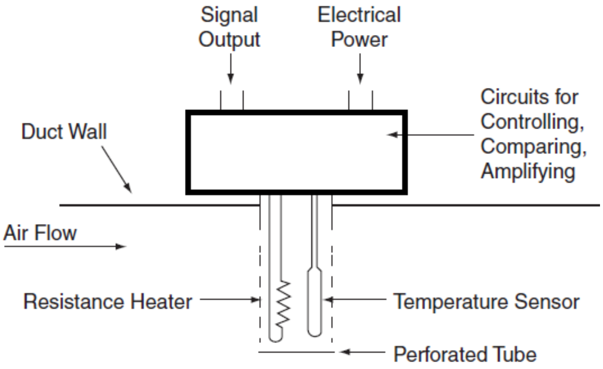
ပုံ ၃-၆၉ Electromagnetic principle as applied to a working flow meter.

Magnetic Flowmeters	
Advantages	**Disadvanteages**
No moving parts to wear out	Liquid Must Be Conductive
Very Wide Rangeability	Physical Pressure and Temperature Limits
Ideal For Slurries	
no obstructions or restrictions to flow	
No pressure drop or differential	
Accommodate solids in suspension	
No pressure sensing points to block up	
Temperature independent	
Capable of measuring flow in either direction	
Magnetic Flowmeters Advantages Over Other Technologies	
No moving parts	Measure dirty liquids with solids
No pressure drop	Measure highly corrosive fluids
Flowrate independent of viscosity, temperature, and density	Very large turndown
Minimum upstream piping requirements	Linear output
Electronics interchangeable without regard to size	

Direct Measurement လုပ်နိုင်သည့် Mass Flowmeter များတွင် Thermal Dispersion အမျိုးအစား နှင့် Coriolis ဟူ၍ နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။

၃.၉.၁၁ Mass Flow Meters

Coriolis force meter နှင့် angular momentum meter စသည့် mass flow meter များကို HVAC လုပ်ငန်းများတွင် mass flow meter များကို အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။ Thermal anemometer သို့မဟုတ် hot-wire anemometer ကို air flow measurement တိုင်းရာတွင် အလွန် အသုံးများသည်။



ပုံ ၃-၇၀ 4-34 Thermal Anemometer

ပုံ(၃-၇၀)တွင် thermal anemometer ကို ဖော်ပြထားသည်။ Air stream ထဲသို့ အပူပေးထားသည့် heated probe ကို ထည့်သွင်း၍ mass flow rate ကို တိုင်းသည်။ လေများ ဖြတ်သန်း သွားသောကြောင့် heated probe သည် အေးသွားသည်။ Probe ကို temperature sensor နှင့် electric resistance-heating element တို့ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည်။

Heated probe ကို အပူချိန် 200°F ခန့်တွင် ထိန်းထားနိုင်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် electrical current ကို တိုင်းခြင်းဖြင့် velocity signal ကို ရနိုင်သည်။ တိုင်းယူသည့်အချိန်၌ လေ၏ သိပ်သည်းဆ(air density) မပြောင်းလဲဟု ယူဆထားသည်။

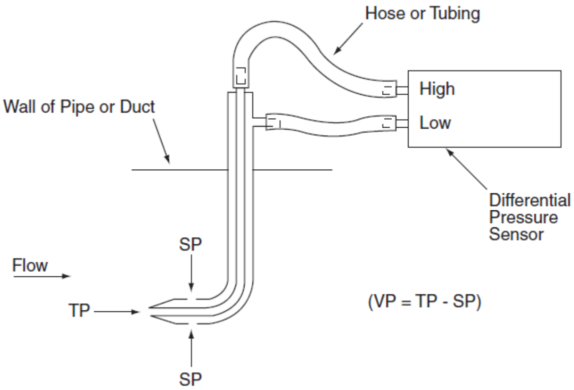
အချို့သော thermal anemometer များတွင် heating element သည်ပင် temperature sensor ဖြစ်သည်။ Self-heated thermistor ကိုလည်း သုံးလေ့ရှိသည်။ Temperature sensor ကို upstream တွင် ထား၍ air density ကို သိအောင် entering air temperature ကို တိုင်းယူခြင်းဖြင့် accuracy ပိုကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Thermal anemometer များ၏ အားသာချက်မှာ pitot tube sensor များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် အလွန်နိမ့်သည့် air velocity ကို တိုင်းနိုင်သည်။ Commercial model များအတွက် 500 fpm အောက်တွင် ±2% to ±3% accuracy ရနိုင်သည်။ 100 fpm ထိအောင် တိုင်းနိုင်သည်။ သို့သော် accuracy သည် ±20 fpm ဖြစ်သည်။ Anemometer ဖြင့် velocity 150 to 5,000 fpm အတွင်း တိုင်းလျှင် လက်ခံနိုင်သည့် accuracy ပေးနိုင်သည်။

Pitot sensor များသည် 400 fpm (0.01 inch wg) တွင် တိကျရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ Pitot sensor များသည် velocities range ကျဉ်းကျဉ်းကိုသာ တိုင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် VAV system များတွက် thermal anemometer များသည် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ Thermal anemometer ကို fan inlet တွင် တပ်ဆင်၍လည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။

ပုံ ၃-၇၁ Air flow meter

ပုံ (4-35)တွင် air flow meter များကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၃-၇၂ Pitot tube sensor

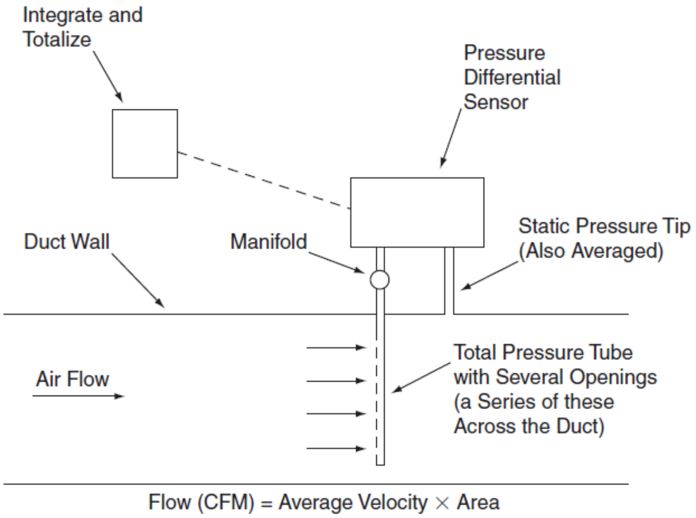
ပုံ(၃-၇၂) Pitot tube sensor များသည် လေယာဉ်ပျံ၏ မြန်နှုန်း(speed of aircraft)ကို တိုင်းရာတွင် အများဆုံး အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။ HVAC application များတွင် လေစီးနှုန်း နှင့် ရေစီးနှုန်း နှစ်မျိုးလုံးကို တိုင်းရန် အတွက် အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

ပုံ(၃-၇၃) တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း အလယ်မှ ပေါက်သည် total pressure တန်ဖိုကို တိုင်းပေးသည်။ ဘေးမှ အပေါက်သည် static pressure ကိုတိုင်းပေးသည်။ Total pressure တန်းဖိုမှ static pressure တန်ဖိုးကို နှုတ်လျှင် velocity pressure တန်းဖိုးကို ရရှိသည်။

Pitot tube velocity differential pressure တန်ဖိုးမှ standard density အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် air flow ကို အောက်ပါ ညီမျှခြင်းကို အသုံးပြု၍ တွက်ယူနိုင်သည်။

$$V = 4005\sqrt{\Delta P} \qquad (Equation\ 4\text{-}3)$$

where DP is measured in inches of water gauge (wg) and V is measured in feet per minute (fpm).



ပုံ ၃-၇၃ Figure 4-37 Air Flow Measuring Station

Figure 4-37 shows an air flow measuring station (FMS) commonly used in duct applications. In large ducts, the FMS is composed of an array of pitot sampling tubes the pressure signals of which are averaged. This signal is fed to a square root extractor, which is a transmitter that converts the differential pressure signal into a velocity signal. (With digital control systems, this calculation can be made in software with improved accuracy over the use of a square root extractor.) The velocity measured in this way is an approximate average of duct velocity, but it is not a precise average because pressure and velocity are not proportional (the average of the square of velocity is not equal to the average of the velocity).

Where fan air flow rate measurement is required, the preferred location of the pitot sensor is in the inlet of the fan. Two arrangements are available. The first, which can be used with almost any fan, has two bars with multiple velocity pressure and static pressure ports mounted on either side of the fan axis. The second, much less common arrangement has multiple pinhole pressure taps that are built into the fan inlet by the fan manufacturer. Differential pressure is measured from the outer point of the inlet to the most constricted point, much like a Venturi meter.

Locating the air flow sensor in the fan inlet has many advantages compared to a duct mounted pitot array. First, air flow is generally stable in the inlet (except when inlet vanes are used, in which case this location is not recommended) and velocities are high, which increases accuracy because the differential pressure signal will be high. Even where inlet vanes are used, a location in the mixed air plenum space could be found. This location also reduces costs because the sensor array is smaller than the array required in a duct. Perhaps the most important advantage of this location is that it obviates the need to provide long straight duct sections required for the duct mounted array. The space needed for these duct sections seldom seems to be available in modern HVAC applications where the operating space occupied by HVAC systems is heavily

scrutinized by the owner and architect, reduced to its smallest area possible, and consciously minimized.

၃.၉.၁၂ Displacement Flow Meters:

စီးနေသည့် air stream ထဲသို့ လည်နိုင်သည့် ဒလက်များ ထားခြင်းဖြင့် တိုင်းယူသည့် flow meter ကို Displacement flow meter ဟုခေါ်သည်။

Propeller or Rotating Vane Anemometers: Propeller or rotating vane anemometers are commonly used hand-held devices for measuring air velocity. They are seldom used as sensors for control systems because they are accurate only for measuring velocity at a single point, and velocity in a typical duct system varies considerably over the duct face.

ပုံ ၃-၇၄ Rotating Vane Anemometers:

Table 4-6 summarizes some of the velocity and flow sensors that we have been discussing.

Table 4-6 Table of Flow Sensors (Hegberg, 2001–2002)

Velocity and Flow Sensor Summary

Sensor Type	**Primary Use**	**Accuracy & Maximum Range**	**Advantage**	**Disadvantage**
Orifice plate	Water	±1–5%, 5:1	Inexpensive, great selection	Sharp edge can erode lowering accuracy
Venturi	Water, high-velocity air		Low head loss	Expensive, large
Turbine	Water	±0.15–0.5%, up to 50:1		Blades susceptible to damage
Ultrasonic	Water	0.25–2%, 100:1		
Vortex shedding	Water	±0.5–1.5%, 25:1		
Pitot tube	Air flow	Minimum velocity 400 fpm	Inexpensive	Can plug with dirt, limited in lowest velocity
Thermal anemometer	Air flow	±20 fpm at 100 fpm	Good at low velocities, small sensor easy to insert into duct	Dirt can reduce accuracy

Rotating Vane	Hand-held Air flow		Inexpenisve	Not robust, large

Electromagnetic

The operating principle of an electromagnetic flow meter (8) is based on the fundamental principle that an electromotive force (emf) of electric potential, E, is induced in a conductor of length, L, which moves with a velocity, U, through a magnetic field of magnetic flux, B. Simply, when an electrically conductive liquid moves through a magnetic field, a voltage is induced in the liquid at a right angle to the field. The voltage is detected by metal electrode sensors with the voltage magnitude and polarity directly proportional to the volume flow rate and the flow direction, respectively. This physical behavior was first recorded by Michael Faraday (1791–1867). In principle,

$$E = \boldsymbol{U} \times \boldsymbol{B} \cdot \boldsymbol{L}$$

where symbols in bold face are vector quantities.

The electromagnetic flow meter comes commercially as a packaged flow device, which is installed directly in-line and connected to an external electronic output unit. Special designs include an independent flow sensor unit that can clamp over a nonmagnetic pipe, a design favored to monitor blood flow rate through major arteries during surgery. The sensor is connected to a control unit bywiring. External sensors are also available as an in-line union, which can measure flow rate in either direction with instantaneous changes (Figure 10.16).

The electromagnetic flow meter has a very low pressure loss associated with its use due to its open tube, no obstruction design, and is suitable for installations that can tolerate only a small pressure drop. It can be used for either steady or unsteady flow measurements, providing either timeaveraged or instantaneous data in the latter. This absence of internal parts is very attractive for metering corrosive and "dirty" fluids. The operating principle is independent of fluid density and viscosity, responding only to average velocity, and there is no difficulty with measurements in either laminar or turbulent flows, provided that the velocity profile is reasonably symmetrical. Uncertainty down to 0.25% (95%) of the measured flow rate can be attained, although values from 1% to 5% (95%) are more common for these meters in industrial settings. The fluid must be conductive, but the minimum conductivity required depends on a particular meter's design. Fluids with values as low as 0.1 microsieman (msieman)/cm have been metered. Adding salts to a fluid increases its conductivity.
Stray electronic noise is perhaps the most significant barrier in applying this type of meter. Grounding close to the electrodes and increasing fluid conductivity reduce noise.

၃.၁၀ CALIBRATION METHODOLOGY

CALIBRATION

- It’s the procedure for determining the correct value of the measurand by comparision with the standard ones.
- The standard of device with which comparison is made is called a standard instrument.
- The instrument which is unknown and is to be calibrated is called test instrument.
- In calibration test instrument is compared with the standard instrument.

DIRECT COMPARISON

- METER CALIBRATION
- GENERATOR CALIBRATION
- TRANSDUCER CALIBRATION

INDIRECT COMPARISON

- METER CALIBRATION
- GENERATOR CALIBRATION
- TRANSDUCER CALIBRATION

Contents

၃.၁ Classification Of Instruments 1
၃.၂ အဓိပ္ပာယ် ဖွင့်ဆိုချက်များ(Definition of Terminology) 5
၃.၃ Sensor Performance Characteristic..10
၃.၄ Selection Requirements..11
၃.၅ Classification of Error 13
၃.၆ Temperature Sensors..14
၃.၆.၁ Principles of Temperature Measurement..
၃.၆.၂ Thermocouple..
၃.၆.၃ Thermistors ....
၃.၆.၄ Resistance Temperature Detectors (RTDs)..
၃.၆.၅ Integrated Circuit Temperature Sensors ....
၃.၆.၆ Summary of temperature sensors ....
၃.၆.၇ Temperature Sensor’s Measuring Errors ....
၃.၇ Moisture Sensors 27

၃.၇.၁ Relative Humidity Sensors ....
၃.၇.၂ Resistance-type humidity sensors..
၃.၇.၃ Capacitance-Type Humidity Sensors ....
၃.၇.၄ Lithium Chloride Dew-point Sensors: ....
၃.၇.၅ Chilled-Mirror Dew-point Sensors: ....
၃.၇.၆ Psychrometers ....
၃.၈ Pressure Sensors 33
၃.၈.၁ Summary of pressure sensors for BAS applications..
၃.၈.၂ Mechanical Pressure Gauges:..
၃.၈.၃ Diaphragm sensor ....
၃.၈.၄ Potentiometer ....
၃.၈.၅ Electrical Pressure Guages: ....
၃.၈. ၆ Capacitance pressure detector ....
၃.၉ Flow Sensors and Meters..39
၃.၉.၁ Differential Pressure Flow Meters ....
၃.၉.၂ Orifice Meter..
၃.၉.၃ Venturi Meter..
၃.၉.၄ Displacement Flow Meters ....
၃.၉.၅ Turbine Meter ....
၃.၉.၆ Target Meter..
၃.၉.၇ Vortex meter..
၃.၉.၈ Passive Flow Meters ....
၃.၉.၉ Transit time ultrasonic meters..
၃.၉.၁၀ Magnetic flow meters ....
၃.၉.၁၁ Mass Flow Meters..
၃.၉.၁၂ Displacement Flow Meters: ....

Coriolis	
Advantages	**Disadvanteages**
• Direct Mass Measurement	• High Purchase Price

• High Accuracy	• High Installation Cost
• Additional Density Measurement	• Size Limitations
• Uneffected By Flow Profile	• Vibration Sensitive

Chapter-4 Control Valves and Dampers

၄.၁ Introduction

ဤအခန်းကို လေ့လာဖတ်ရှုပြီးနောက် control system တစ်ခု၏ output အပိုင်း အလုပ်လုပ်ပုံ သဘောတရားကို သေချာစွာ နားလည်သဘောပေါက်လိမ့်မည်။ ဤအခန်းတွင် valve နှင့် damper အမျိုးအစား၊ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းနှင့် မတူညီသည့် အခြေအနေများတွင် စီးဆင်းမှု(flow)များ ပြောင်းလဲပုံကို တွက်ချက်မှုများဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

Valve အမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်းနှင့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း တို့သည် လွယ်ကူရိုးရှင်းသည့် အလုပ်မဟုတ်ပါ။ Valve များနှင့် damper များ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ရန် အတွက် လက်တွေ့ လုပ်ငန်းခွင်များတွင် ဒီဇိုင်နာများသည် ကျွမ်းကျင်သူ(control specialist)များနှင့် တိုင်ပင် ဆွေးနွေးကာ အကြံဉာဏ်များ ရယူကြသည်။ Valve အမျိုးအစား ရွေးချယ်သည့် အလုပ်ကို control specialist က လုပ်ကိုင် လိမ့်မည် ဖြစ်သော်လည်း ဒီဇိုင်းအရရွေးချယ်စရာနည်းလမ်း(option)များကို နားလည် သဘောပေါက်ပြီး သိသင့် သိထိုက်သော ဝေါဟာရ အခေါ်အဝေါ်များ၊(basic terminology)များကို သိထား သင့်သည်။

၄.၁.၁ Study Objective

HVAC system များတွင် control valve များသည် ရေစီးဆင်းမှု(hot water/cold water flow)ကို control လုပ်ရန် ဖြစ်ပြီး control damper များသည် လေစီးဆင်းမှု(air flow)ကို control လုပ်ရန် အခြေခံကျသော ကိရိယာများ ဖြစ်ကြသည်။ ဤအခန်းတွင် ထို device များ မည်ကဲ့သို့ အလုပ်လုပ်သည်၊ ထို device များကို မည်ကဲ့သို့ ရွေးချယ်ရမည်ကို ဖော်ပြထားသည်။

ဤအခန်းကို လေ့လာပြီးနောက် ရရှိနိုင်သည့် valve အမျိုးအစားများနှင့် အသုံးပြုပုံ(application)များကို မူတည်၍ သင့်လျော်သည့် စီးဆင်းမှု(flow)ကို ရရန် မည်သည့် valve များကို အသုံးပြုရမည်ကို ဆုံးဖြတ်နိုင်လိမ့်မည်။

Mixing valve နှင် diverting valve များ အလုပ်လုပ်ပုံ(operation)၊ hydromic system များအတွက် control valve များကို စနစ်တကျ ရွေးချယ်ပုံ၊ parallel blade damper နှင့် opposed blade damper တို့ ကွဲပြားခြားနားပုံကို နားလည်သဘောပေါက်ရန်၊ damper design များကြောင့် ယိုစိမ့်မှု(leakage) ဖြစ်ပေါ်နိုင်ပုံကို

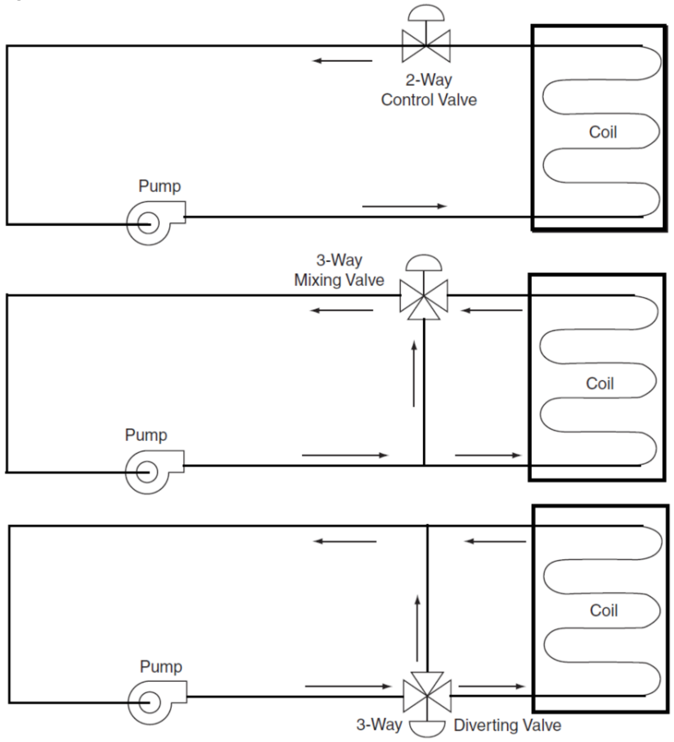
နားလည် သဘောပေါက်ရန်နှင့် ယိုစိမ့်မှု(leakage)ကို နည်းနိုင်သမျှ နည်းအောင်ပြုလုပ်ရန် အရေးကြီးပုံ တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။ Mixing damper အရွယ်အစားရွေးချယ်ပုံ((sizing)တို့ကို ဖော်ပြထားသည်။

၄.၂ Two-Way Control Valve များ

Fluid distribution system များတွင် control valve သည် အရေးအကြီးဆုံးသော အစိတ်အပိုင်း (compoment)ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် process အတွက် လိုအပ်သော စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) ရရှိအောင် ထိန်းပေး(regulate)သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Regulate လုပ်ခြင်းဆိုသည်မှာ လိုအပ်သည့် စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) အတိုင်းရအောင် valve ၏ ပွင့်ရမည့် အကျယ်ပမာဏကို actuator မှတစ်ဆင့် control လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

HVAC system များတွင် control valve များသည် chilled water flow ၊ hot water flow နှင့် condensor water flow တို့ကို လိုသလို ရအောင် ပြုလုပ်ပေးပုံကို ဤအခန်းတွင် ဖော်ပြထားသည်။ သို့သော် steam ၊ refrigerant ၊ gases နှင့် oil တို့၏ control လုပ်ပုံလုပ်နည်း တူညီကြသော်လည်း ဤအခန်းတွင် မဖော်ပြထားပေ။

၄.၂.၁ Style and Principles of Operation



Control valve များကို
(က) Two way
(ခ) Three way-mixing နှင့်
(ဂ) Three way-diverting ဟူ၍
သုံးမျိုးကွဲပြားသည်။

Three way mixing valve တွင် pipe နှစ်ချောင်းသည် အဝင်ဖြစ်ပြီး ကျန်ပိုက် တစ်ချောင်းမှအထွက်ဘက်တွင် တပ်ဆင် ထားသည်။

Three way diverting valve တွင် ပိုက် တစ် ချောင်းမှ အဝင် ဖြစ်ပြီး ကျန်ပိုက် နှစ်ချောင်းမှာ အထွက်ဘက်တွင်တပ်ဆင် ထားသည်။

ပုံ ၄-၁ Simple two-way and three-way valve circuits

Mixing valve သည် steam နှစ်ခုကို ပေါင်း၍ valve တစ်ဖက်မှ ထွက်သွားစေသည်။ Diverting valve သည် ဝင်လာသည့် steam ကို steam နှစ်ခုအဖြစ် ခွဲထွက်စေသည်။ ပုံ(၄-၁)တွင် valve သုံးမျိုးစလုံး၏ အလုပ်လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Valve များသည် heating coil နှင့် cooling coil တို့၏ capacityကို လိုသလို(များအောင်၊ နည်းအောင်) ဖြစ်အောင် fluid စီးနှုန်း(flow rate)ကို modulate လုပ်ပေးသည်။ Two way configuration ၌ စီးဆင်းမှု (flow)သည် ပြောင်းလဲနေသည်။ Three way valve များသည် ပုံသေစီးနှုန်း(constant flow)ဖြင့် မောင်းသည့် ဘွိုင်လာ(boiler [heating system]) နှင့် chiller(cooling system)များအတွက် သင့်လျော်သည်။

Control valve များသည်

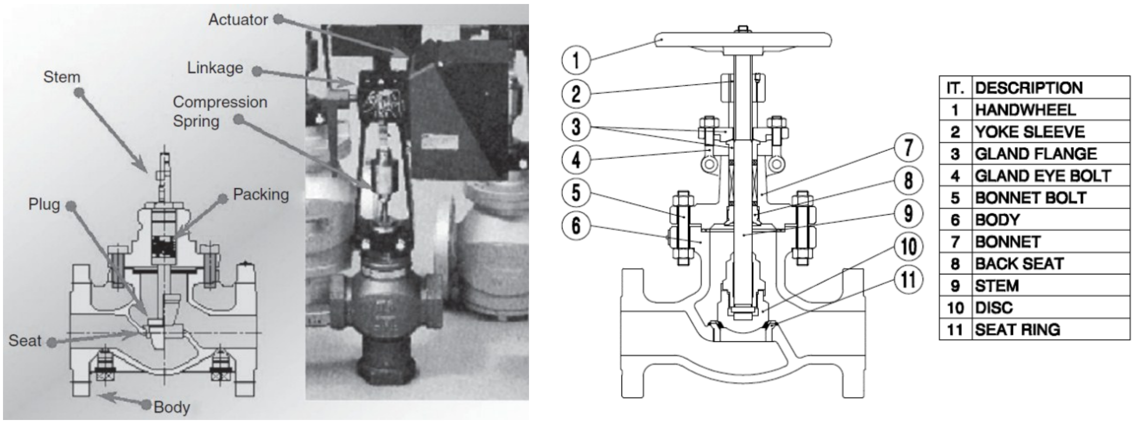
(က) Globe vavle

(ခ) Butterfly valve နှင့်

(ဂ) Ball valve စသဖြင့် ပုံစံ(style) သုံးမျိုး ရှိသည်။

Globe valve များသည် နှစ်ပေါင်းများစွာက စတင်၍ ယခုအချိန်အထိ အလွန် အသုံးများသည်။ Ball valve များသည် ယခုအခါ တစ်စတစ်စ လူသုံးများလာကာ မပါမဖြစ် အသုံးပြု လာကြသည်။ Valve diameter နှစ်လက်မ(50mm) ထက်ငယ်သည့် valve များအတွက် sweat (soldered) သို့မဟုတ် screw connection ဖြစ်သည်။ နှစ်လက်မထက် ကြီးသည့် valve များအတွက် flanged connection များ ဖြစ်ကြသည်။

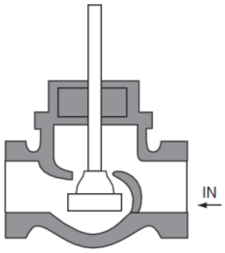
ပုံ(၄-၂)တွင် globe အမျိုးအစား two-way single seated control valve ကို ဖော်ပြထားသည်။ Valve body ၊ single seat နှင့် plug တို့ ပါဝင်သည်။ Plug သည် steam နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ Steam သည် actuator နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ Actuator သည် မော်တာအငယ်စားလေးတစ်မျိုးပင် ဖြစ်သည်။ Actuator အတွင်းရှိ မော်တာငယ်လေး လည်မှုကြောင့် steam သည် အပေါ်သို့တက်ခြင်း၊ အောက်သို့ဆင်းခြင်း ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Steam အပေါ်တက် သည့်အခါ plug ကို ဆွဲတင်သောကြောင့် valve ကို ပွင့်စေသည်။ Steam အောက်ဆင်းသည့်အခါ plug ကို အောက်သို့ တွန်းချသောကြောင့် ပိတ်စေသည်။

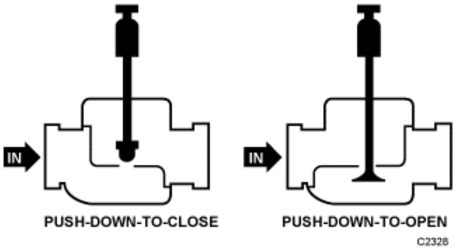


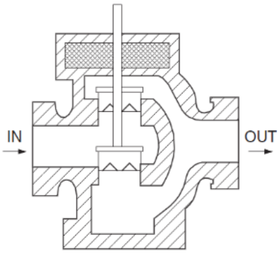
ပုံ ၄-၂ Two-way globe single-seated valve (fluid flow is left to right)

လုံးဝ ပိတ်လိုသည့်အခါ(full shut-off) plug ကို seat ပေါ်တွင် ဖိချထားသည်။ Valve body နှင့် piping system ရှိ ပိုက်ကို screwed၊ flanged၊ welded၊ soldered စသည့် နည်းတစ်နည်းဖြင့် ဆက်ထား နိုင်သည်။ သတိပြုရန်အချက်မှာ union ကဲ့သို့သော pipe fitting တစ်မျိုးမျိုးကို valve ဖြုတ်ရန်၊ ပြန်တပ်ရန် လွယ်ကူစေရန် အတွက် ထည့်ထားသင့်သည်။ Valve များသည် jammed ဖြစ်တတ်သောကြောင့် အလွယ်တကူ ဖြုတ်ရန်၊ ပြင်ရန် နှင့် ပြန်လည်တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ Control valve များ၏ body ပေါ်တွင် ရေသွား လမ်းကြောင်းဦးတည်ရာ(water flow direction)ကို ဖော်ပြထားသည်။ တပ်ဆင်သည့်အခါ ရေသွားလမ်းကြောင်း ဦးတည်ရာ (water flow direction)မှန်ကန်ရန် အရေးကြီးသည်။ Control valve များ၏ body ပေါ်တွင် မြှားဖြင့် flow direction ကို ဖော်ပြထားလေ့ရှိသည်။ Control valve များကို isolation လုပ်ရန် အတွက် service manual ကို ဖတ်ရှုသင့်သည်။

ပုံ(၄-၂)တွင် globe valve တစ်ခု၏ normally open valve assembly ကို ဖော်ပြထားသည်။ Actuator သည် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားပျက်တောက်(power loss)သည့်အခါ valve steam ကို မြင့်တက်စေသည်။ ထိုအခါ valve သည် ပွင့်သွားသည်။ Actuator မှ power ကို ဖြတ်တောက်လိုက်လျှင် valve သည် ပွင့်သည့် ပုံစံအတိုင်း ဖြစ်နေလျှင် Normally Open(NO) ဟုခေါ်သည်။







ပုံ၄-၃(က)Normally Closed globe two-way valve	ပုံ ၄-၃(ခ) Push down to close နှင့် Push down to Open	ပုံ ၄-၄ Double-seated two-way globe valve

ပုံ(၄-၃)သည် Normally Closed(NO) valve တစ်ခု၏ ပုံဖြစ်သည်။ လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ပျက်တောက် (power loss)သည့်အခါ stem သည် အပေါ်သို့ ရောက်သွားသောကြောင့် valve သည် ပိတ်နေလိမ့်မည်။ အခြေအနေ နှစ်မျိုးလုံးတွင် valve ပိတ်ရန် အတွက် steam သည် flow direction ၏ ဆန့်ကျင်ရာဘက်ကို တွန်း၍ ပိတ်ရမည်။ Normally Open(NO) valve များကို ရရှိနိုင်လျှင်အသုံးပြုသင့်သည်။ Power loss သို့မဟုတ် Power fail ဖြစ်သွားလျှင် open position ဖြစ်နေသောကြောင့် ရေသည် ဆက်လက်၍ စီးဆင်းမြဲအတိုင်း စီးဆင်းနေလိမ့်မည်။ ပိတ်လိုလျှင် manual valve ကို အသုံးပြု၍ ပိတ်နိုင်သည်။

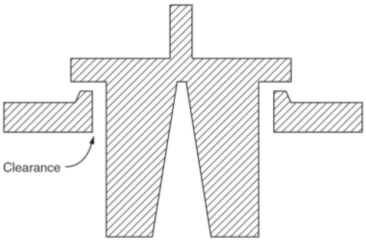
Actuator(modor) နှင့် valve stem တို့ ချိတ်ဆက်ထားသည့် linkage တွင် free movement အနည်းငယ် ရှိနိုင်သည်။ Slack ဟုခေါ်သည်။ Valve ကို flow direction အတိုင်း မှန်ကန်စွာ တပ်ဆင်ထားလျှင် fluid ၏ velocity pressure နှင့် valve ၏ အဝင်နှင့် အထွက်တွင်ရှိသည့် fluid ၏ differential pressure တို့သည် valve ကို ပွင့်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့်တွန်းအားကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ထို့ကြောင့် မော်တာ(actuator) သည် valve ပိတ်နေစေရန် တင်းကြပ်စွာ (မည်သည့် free movement မျှ မရှိအောင်) ဖိထားရသည်။ အကယ်၍ valve ကို စီးဆင်းနေသည့်ဘက်(flow direction)အတိုင်း မတပ်ဆင်ဘဲ ပြောင်းပြန်(မှားယွင်းစွာ) တပ်ဆင်ထားလျှင် velocity pressure သည် valve ကို ပိတ်ရန်(close) တွန်းအားကို ဖြစ်စေသည်။ Valve ၏ plug ကို အပေါ်မှ အောက်သို့ velocity pressure ကတွန်းချပြီး ပုံ(၄-၂)တွင်ပြထားသည်။ ထိုအခါ valve သည် ပိတ်သည့်နေရာဘက်သို့ရောက်အောင် တွန်းခြင်းခံရသည်။ Valve ၏ stem နှင့် linkage တွင် ရှိနေသည့် free movement သို့မဟုတ် slack ကြောင့် velocity pressure အားကောင်းသည့်အခါ plug ကို ပိတ်သည့်အခြေအနေထိ ရောက်အောင် တွန်းနိုင်သည်။

ထိုကဲ့သို့ ဖြစ်ခဲ့ပြီးနောက် စီးဆင်းမှု(flow) မရှိတော့သည့်အခါ၊ velocity pressure လည်း ပျောက်ကွယ်သွားပြီး free movement သည် valve ကို ကွဲအက်(crack)စေသည်။ စီးဆင်းမှု (flow) ပြန်လည်ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ ဤနည်းဖြင့် အကြိမ်ပေါင်း မရေမတွက်နိုင်အောင် ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ စီးဆင်းမှု(flow) စတင်ဖြစ်ပေါ်တိုင်း၊ ရပ်သွားတိုင်း fluid ၏ internal force သည် ပိုက်ပေါ်တွင် water hammer ဟုခေါ်သည့် shock ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ ထိုအပြင် ဆူညံသံကိုလည်း ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ Piping system ကိုလည်း ပျက်စီးစေနိုင်သည်။

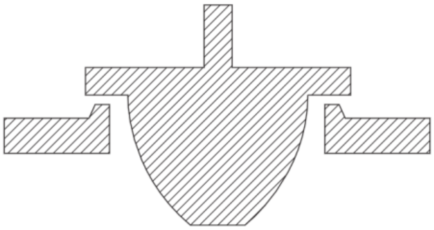
ထို့ကြောင့် control valve ကို flow direction ၏ ပြောင်းပြန် မတပ်ဆင်မိရန် အလွန် အရေးကြီးသည်။

ပုံ(၄-၄)တွင် balanced valve ဟုခေါ်သည့် double-seated valve တွင် seat နှစ်ခု ပါရှိသည်။ Fluid differential pressure ညီမျှနေပြီး actuator ပိတ်ရန်အတွက် fluid differential pressure ကို ဆန့်ကျင်ပြီး တွန်းရန် မလိုပေ။ (ထိုကဲ့သို့ differential pressure ကို ဆန့်ကျင်၍ တွန်းခြင်းမျိုးကို single seated valve များတွင် တွေ့မြင်နိုင်သည်။) ထိုသို့ ဆန့်ကျင်၍ မတွန်းရသောကြောင့် actuator သည် အလွန် အားကောင်းရန် မလိုအပ်ပေ။

သေးငယ်သည့် actuator များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် အလွန် တင်းကြပ်သည့် အားဖြင့် ပိတ်ထားခြင်းမျိုး မရနိုင်ပေ။ Tight shut-off မဖြစ်နိုင်ပေ။ Leak ဖြစ်ကာ စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးမှု ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသည်။ Tight shut-off မဖြစ်၍ leak ဖြစ်ခြင်းကို လက်မခံနိုင်သည့် HVAC system များတွင် ဤကဲ့သို့သော valve မျိုးကို အသုံးပြုသင့်ပါ။



ပုံ ၄-၅ Linear(V-Port) Valve Plug



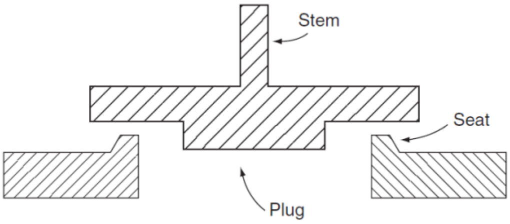
ပုံ ၄-၆ Equal Percentage Valve Plug

Modulating globe အမျိုးအစား control valve များတွင်

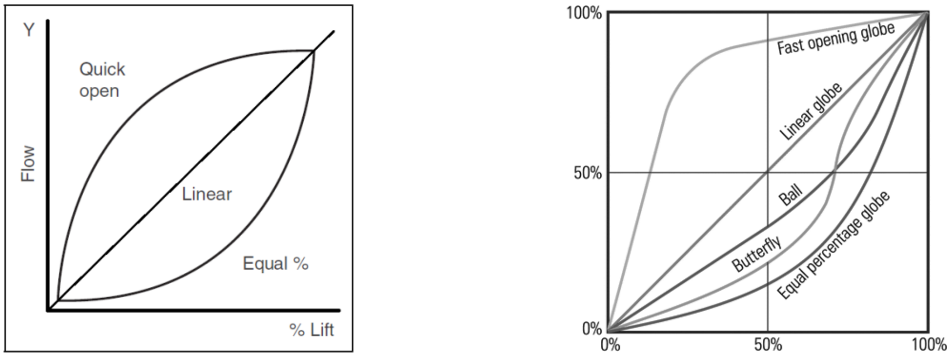
(က) Linear(V-Port) Valve Plug နှင့်

(ခ) Equal Percentage Valve Plug ဟူ၍ နှစ်မျိုးကွဲပြားသည်။

Valve ထုတ်လုပ်သူများသည် ထို နှစ်မျိုးမှ modified လုပ်ထားသော ဒီဇိုင်းများကိုလည်း ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Modified linear နှင့် modified equal percentage တို့ ဖြစ်သည်။ ထို modified နှစ်မျိုးတို့၏ characteristic တို့မှာ တူညီကြသည်။ ပုံ(၄-၇)တွင် flat plate plug ကို ဖော်ပြထားသည်။ Flat plate plug ကို two-position control များ၌ valve မြန်မြန် ပွင့်စေရန်(Quick-opening duty)အတွက် အသုံးပြုသည်။



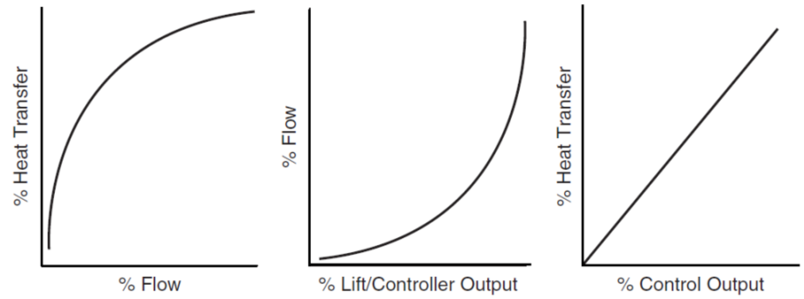
ပုံ ၄-၇ Quick-opening(Flat Plate) Valve Plug



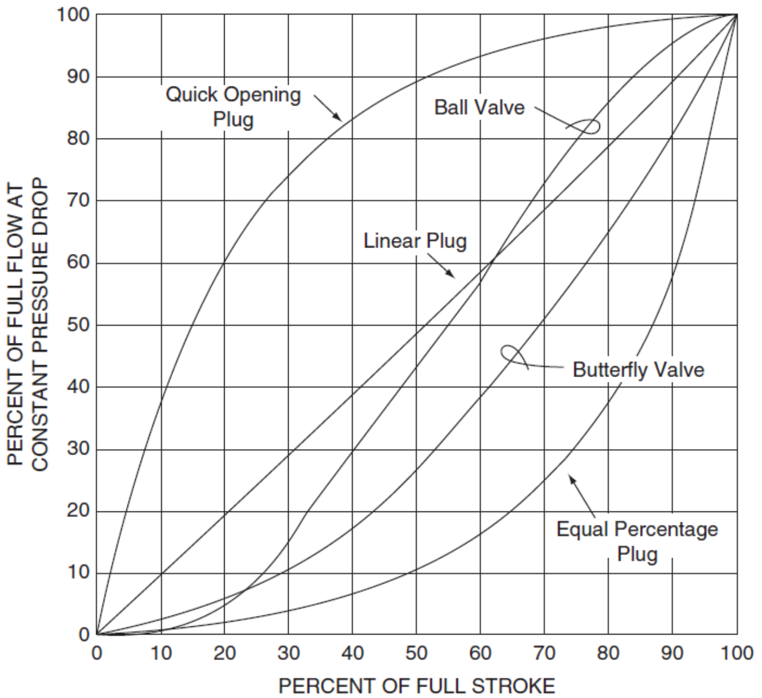
ပုံ ၄-၈ Control Valve Characteristics

ပုံ(၄-၈)တွင် ဟသွားသည့် အမြင့်(plug lift) နှင့် စီးဆင်းသွားသည့် ရာခိုင်နှုန်း(%) တို့ ဆက်သွယ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Valve ၏ အဝင်နှင့် အထွက်၏ pressure ခြားနားချက်မှ မပြောင်းလဲဟု ယူဆချက်(assume) ထားသည်။ Valve သည် ပိတ်နေသည့် အချိန်တွင် plug lift သည် 100% ဖြစ်သည်။ ပုံ(၄-၁၀)အရ flat plate plug သည် ၂၀% ပွင့်နေသည့်အချိန်(20% open) ၌ full flow ၏ 60% စီးဆင်းသည်။ ထို့ကြောင့် flat plate plug များကို modulating လုပ်ရန် မသင့်လျော်ပေ။ Two position control များအတွက်သာသုံးသင့်သည်။

Control valve များ၏ characteristic ကို နားလည်သဘောပေါက်ရန် valve များ မည်ကဲ့သို့ ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည်၊ valve များ မည်ကဲ့သို့ operate လုပ်သည်၊ မည်ကဲ့သို့သော function များရှိသည် တို့ကိုပါ လေ့လာရမည်။ သုံးမည့်နေရာနှင့် သင့်လျော်သည့် characteristic ရှိသည့် valve များကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်တတ်ရန် အရေးကြီးသည်။ ပုံ(၄-၉)တွင် ရှင်းလင်းလွယ်ကူသည့် ဥပမာဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၄-၉ Combination of Coil and Control Valve Characteristics



ပုံ ၄-၁၀ Typical valve characteristics at constant pressure drop

ပုံ(၄-၁၀)တွင် linear plug တွင် % of plug lift နှင့် % of flow တို့သည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း(linearly) ဆက်သွယ်ချက်ရှိသောကြောင့် linear characteristic ရှိသည်။ Equal percentage plug တွင် plug lift ပွင့်နှုန်း နှင့် စီးနှုန်း(flow rate)သည် ထပ်ကိန်း(exponential)ဖြင့် ဆက်စပ်နေသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့်ဆိုသော် valve သည် ပိတ်ခါနီးဆဲ အချိန်၌ စီးဆင်းသည့်ပမာဏ ပြောင်းလဲမှု အနည်းငယ် ဖြစ်ရန် valve ၏ plug ကို ပမာဏ များစွာ ရွှေ့ပေးရသည်။ Valve မပိတ်ခင် အချိန်တွင် flow သည် လျှင်မြန်စွာ ကျဆင်းသည်။ Minimum flow သည် valve မပိတ်ခင် အခိုက်အတန့်၌ plug နှင့် seat မထိခင် အချိန်၌ ဖြစ်ပေါ်သည်။ Valve အဝင်နှင့် အထွက်ရှိ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)တူညီသည့် အခိုက်၌ ရှိသည့် minimum rate နှင့် maximum rate အချိုးကို rangeability သို့မဟုတ် turn-down ratio ဟု ခေါ်သည်။

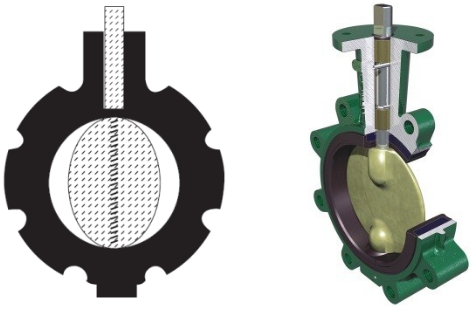
Rangeability

$$Rangeability = \frac{Maximum\ Flow}{Minimum\ Controllable\ Flow}$$

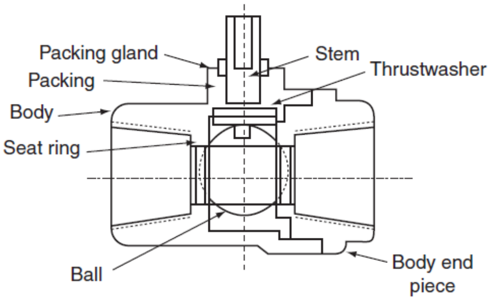
HVAC system များတွင် အသုံးပြုသည့် control valve များ၏ rangeability ၏ အချိုးသည် (၁) မှ (၂၀) အတွင်းဖြစ်သည်။ ရေဖိအားကြောင့် တွန်းလိုက်၍ plug ဟသွားသည့်အခါတွင် 5% flow ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ထို 5% flow ဖြစ်ပေါ်သော်လည်း HVAC Control များကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်သည်။ ပိုများသည့် အချိုး(ratio) ရှိသည့် valve များကို ရရှိနိုင်သော်လည်း အလွန်ဈေးကြီးသည်။

ပုံ(၄-၁၁)တွင် butterfly valve ကို ဖော်ပြထားသည်။ Valve body အတွင်းတွင် အဝိုင်းသဏ္ဍာန် အပြား(round disk)ကို လှည့်ပေးခြင်းဖြင့် စီးဆင်းမှု(flow)ကို modulate လုပ်နိုင်သည်။ သို့သော် တိကျသော စီးဆင်းမှု(flow)ရရန် လိုအပ်သည့် အခါမျိုးတွင် သို့မဟုတ် modulating duty များတွင် အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Butterfly valve များကို shut off လုပ်ရန် ၊ ရေညီမျှအောင်ထိန်းရန် (balancing လုပ်ရန်) ၊ two position နှင့် three way control များအတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Butterfly valve များ၏ characteristic သည် equal percentage နှင့် linear plug characteristic အကြားတွင်ရှိသည့် characteristic မျိုးဖြစ်သည်။

ပုံ(၄-၁၁)တွင် ပြထားသည့် ball valve သည် linear characteristic ကဲ့သို့ပြုမူသည်။ မတူညီသော application များအတွက် မတူညီသော စီးဆင်းမှုပုံစံ(flow characteristic) ရှိသည့် valve များ လိုအပ်သည်။ ပုံ(၄-၁၂) နှင့် (၄-၁၃)၌ ပြထားသည့် ball valve တွင် အပေါက်ဖေါက်ထားသော ball သည် valve body အတွင်းတွင် လှည့်၍ရအောင် ပြုလုပ် ထားသည်။ Ball valve များကို ပိုက်အရွယ်အစား နှစ်လက်မထက် ငယ်သည့် pipe system များတွင် ပိတ်ရန်၊ ဖွင့်ရန်(shut-off) အတွက်နှင့် balancing valve အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ ယခုအခါတွင် automatic control များတွင် စတင်အသုံးပြုလာကြသည်။ Reheat coil ကဲ့သို့သော သေးငယ်သည့် coil များတွင် အသုံးပြုသည်။



ပုံ ၄-၁၁ Butterfly Valve



ပုံ ၄-၁၂ Ball Valve Layout

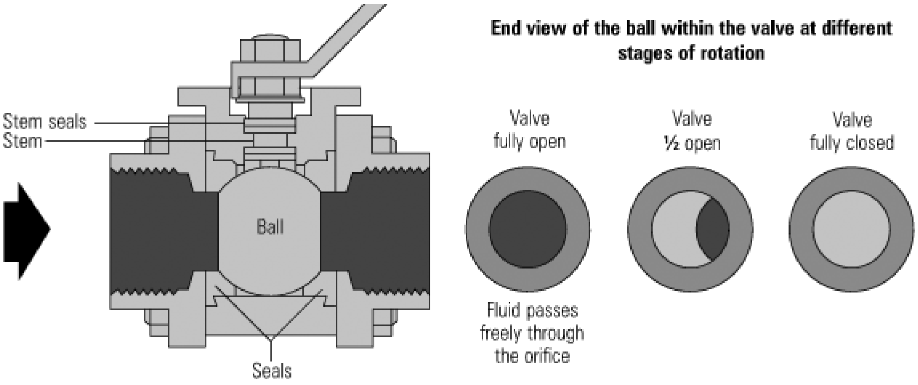
Ball valve များတွင် plug မပါဝင်သောကြောင့် စီးဆင်းမှု(flow)များသည့် နေရာများတွင် အသုံး မပြုသင့်ပါ။ Ball valve သည် ပွင့်နေသည့်အခါ ခုခံအား(resistance) မရှိသလောက် နည်းပါးသည်။ ထို့ကြောင့် ပိုက်အရွယ်အစားထက် ငယ်သည့် valve များကို အသုံးပြုမိသည့်အခါ control ပြုလုပ်ရာတွင် stable မဖြစ်နိုင်ပေ။ ပုံ(၄-၁၃)တွင် ပြထားသည့် Ball valve သည် characterized plug ရှိသည့် valve ကဲ့သို့ ပြုမူသည့် characteristic ရှိသောကြောင့် အချို့သော HVAC control application များတွင် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Standard ball valve နှင့် characterized plug ball valve တို့၌ရှိသည့် flow characteristic တို့ကို ယှဉ်တွဲ၍ ဖော်ပြထားသည်။

Actuator ဖြင့် တွဲ၍ တပ်ဆင်ပြီး အသုံးပြုနိုင်သည့် valve အမျိုးအစား သုံးခုမှာ

(က) Globe valve

(ခ) Butterfly valve နှင့်

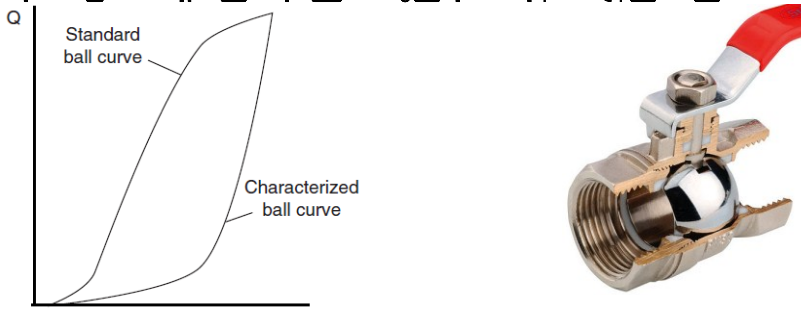
(ဂ) Ball valve တို့ဖြစ်သည်။



ပုံ ၄-၁၃ Characterized ball valve

Globe valve actuator သည် ပုံ(၄-၁၅)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း steam ကို အထက်အောက် ရွှေ့လျား စေသည်။ Ball valve နှင့် Butterfly valve များ၏ actuator များသည် valve steam ကို လှည့်ပေးပြီး (rotate) ပွင့်စေ၊ ပိတ်စေသည်။ ပုံ(၄-၁၆)တွင် ပြထားသည်။ Two way valve များ၌ Three way valve များထက် ပိုကောင်းသည့် အချက်များစွာရှိသည်။ Two way valve များသည် three way valve များထက် ဈေးပေါသည်။ သို့သော် two way valve ၌ ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှု ပိုများသည်။ Two way valve များသည် variable flow ကို ဖြစ်ပေါ်စေသောကြောင့် pumping energy ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ Pump ကို variable speed drive(VSD) ဖြင့် မောင်းမှသာ pumping energy ကို သိသိသာသာ လျှော့ချနိုင်သည်။

Operation မလုပ်နေသည့် coil များအတွင်းသို့ ရေများလုံးဝ မဝင်ရောက်အောင် two way valve ကို အသုံးပြု၍ ပိတ်ပစ်လိုက်နိုင်သောကြောင့် ပိုက်များတွင် အပူဆုံးရှုံးမှု(heat loss)မဖြစ်အောင် ကာကွယ် နိုင်သည်။ Pumping energy ကိုလည်း ချွေတာနိုင်သည်။ Centralized HVAC system များတွင် cooling coil နှင့် heating coil တို့၏ control valve position သည် load ပေါ်တွင်မူတည်၍ ကွဲပြားသည်။ Pump အရွယ်အစား ရွေးချယ်(sizing)သည့်အခါနှင့် distribution system များ အရွယ်အစားရွေးချယ်(sizing)သည့်အခါတွင် load diversity factor ကို အခြေခံ လေ့ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် ပစ္စည်းဖိုး အကုန်အကျနည်းသည်။



ပုံ ၄-၁၄ Ball Valve

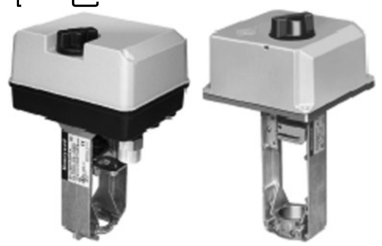
Two way valve သည် load လိုအပ်ချက်အရ သင့်လျော်သည့် chilled water သို့မဟုတ် hot wate ပမာဏကိုသာ coil အတွင်းသို့ စီးဝင်ခွင့်ပေးသည်။ ထို့ကြောင့် two way valve များသည် Normal operation အချိန်တွင် အလိုအလျောက် self balancing ဖြစ်နေသည်။ Three way valve များသည် coil အတွင်းသို့သော် လည်းကောင်း by pass ဖြစ်၍ သော်လည်းကောင်း စီးဆင်းသွားသော်လည်း pump flow rate မပြောင်းလဲပေ။

Two way valve များ၌ အားနည်းချက်များရှိသည်။ Chiller များနှင့် boiler များသည် သတ်မှတ် ထားသည့် စီးဆင်းမှု(flow)ထက် ပိုများပါက သို့မဟုတ် ပိုနည်းပါက ပုံမှန်ကောင်းစွာ အလုပ် မလုပ်နိုင်ကြပေ။ Two way valve များနေရာတွင် three way valve များနှင့် အစားထိုးအသုံးပြုခြင်းဖြင့် ထိုပြဿနာကို

ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ Three way valve များကို သုံးခြင်းဖြင့် coil ထဲသို့ ရေဝင်သည်ဖြစ်စေ မဝင်သည်ဖြစ်စေ chiller နှင့် boiler များတွင် စီးဆင်းနှုန်း(flow rate)သည် မပြောင်းလဲပေ။ Two way valve များကိုလည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် boiler နှင့် chiller များတွင် စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) ပုံမှန်ရှိစေရန် by pass ပိုက် သို့မဟုတ် decoupler ပိုက်များကို တပ်ဆင်ထားရသည်။ Primary pumping နှင့် secondary pumping ဟူ၍လည်း နှစ်မျိုးခွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Hydronic system piping များအကြောင်းကို အခြားစာအုပ်များတွင် ဖတ်ရှုနိုင်သည်။ Two way valve များ တပ်ဆင်အသုံးပြုခြင်းကြောင့် control valve ၏ အဝင်နှင့် အထွက်ဘက်ရှိ differential pressure ကို ပိုများစေသည်။ အထူးသဖြင့် pump များကို constant speed ဖြင့် မောင်းလျှင် ပိုအဖြစ်များသည်။ ထိုသို့ differential pressure များလာခြင်းကြောင့် system ၏ controllability ညံ့ဖျင်းသွားရသည်။ ရေဖိအား(water pressure) များလာခြင်းကြောင့် valve များသည် ရေအားဖြင့် တွန်းဖွင့်ခြင်း ခံကြရသည်။ ထိုရေအားကို ကျော်နိုင်ရန် အားကောင်းသည့် actuator တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

Piping system တွင် by pass ပိုက်တပ်ဆင်ခြင်း သို့မဟုတ် pump များကို VSD တပ်ဆင်၍ မောင်းခြင်း တို့ဖြင့် two way valve များကို တွဲ၍ အသုံးပြုလျှင် စွမ်းအင်ချွေတာ(energy saving)နိုင်သည်။ အစပိုင်းတွင် တပ်ဆင်ခ ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသော်လည်း မောင်းချိန်တိုင်း၌ energy saving ဖြစ်နေသောကြောင့် ပို၍ အကျိုးများနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၁၅ Valve actuators–Move Stem Up and Down

ပုံ ၄-၁၆ Valve actuator – Rotary

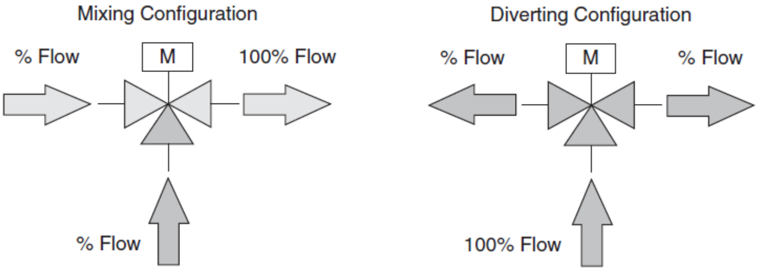
၄.၄ Three way control valve များ

ပုံ(၄-၁)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း three way valve များသည် coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်မည့် ရေပမာဏ(flow)ကို လိုသလို ပြောင်းလဲစေသော်လည်း၊ system flow အနေဖြင့် ကြည့်လျှင် ပြောင်းလဲမှုမရှိပေ။ ပုံ(၄-၁၇)တွင် Mixing three way valve နှင့် diverting three way valve တို့ကို နှိုင်းယှဉ် ဖော်ပြထားသည်။ Mixing valve ၌ ဝင်လာသည့် ရေနှစ်မျိုး(two incoming steam) တို့သည် valve အတွင်း၌ ပေါင်းစည်းပြီး outgoing steam အဖြစ် ထွက်သွားသည်။ Diverting valve သည် mixing valve ၏ ပြောင်းပြန် ဖြစ်သည်။ Diverting valve ၌ ရေစီးကြောင်းတစ်ခုသာ ဝင်လာပြီးနောက် နှစ်ခုအဖြစ် ခွဲ၍ ထွက်သွားသည်။ Mixing valve တွင် အထွက် port ကို common port (100% flow) ဟုခေါ်ပြီး diverting valve တွင် အဝင် port ကို common port(100% flow) ဟုခေါ်သည်။ ပုံ(၄-၁၈)တွင် mixing valve ၌ bottom port ကို Normally Open to common port သတ်မှတ်သည်။ Valve steam မြင့်တက်နေသည့် အချိန်၌ valve ၏ common port သည် ပွင့်နေသည်။

ထို port ကို Normally open(NO)ဟု သတ်မှတ်သည်။ သို့သော် တစ်ခါတစ်ရံ၌ Bottom Port(B) ဟုလည်း ခေါ်ဆိုသတ်မှတ်သည်။ အခြား port ကို Normally Closed(NC) ဟု သတ်မှတ် ခေါ်ဆိုသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ၌ upper port (အင်္ဂလိပ်အက္ခရာ A သို့မဟုတ် V) ဖြစ် သတ်မှတ် ခေါ်ဆိုသည်။ Common out ကို COM သို့မဟုတ် OUT စသည်ဖြင့် နာမည်ပေးလေ့ရှိသည်။ Diverting valve ကိုလည်း ထိုကဲ့သို့မျိုးပင် နာမည်မှည့်လေ့ ရှိသည်။ ပုံ(၄-၁၉)တွင် diverting valve ၏ common port ကို ဖော်ပြထားသည်။

အချို့သော valve ထုတ်လုပ်သူများ(manufacturer)သည် အောက်ဖက်တွင် common port ထား၍ ပြုလုပ်ကြသည်။ ရေသည် အောက်ဖက် bottom port မှ ဝင်လာပြီး ညာဘက်ဘေးနှင့် ဘယ်ဘက်ဘေးတို့မှ ထွက်သွားသည်။ Three way valve များရှိ plug များကို လည်း water hammer ဖြစ်ခြင်းမှ ကာကွယ်ရန် အတွက် two way valve များကဲ့သို့ ရေလမ်းကြောင်း(flow)ကို valve seat အောက်မှ ဖြတ်သွားအောင် ပြုလုပ်ထားကြသည်။ Mixing valve နှင့် diverting valve နှစ်မျိုးလုံးတွင် ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် valve body ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသည့် flow direction အတိုင်းဖြစ်အောင် ပိုက်များကို တပ်ဆင်ထားရမည်။

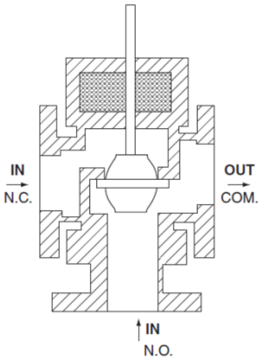
Mixing valve များကို diverting valve အသုံးပြုရမည့် နေရာတွင် အစားထိုး၍ အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင်ပါ။ ထို့အတူ diverting valve များကို mixing valve အသုံးပြုရမည့်နေရာတွင် ပြောင်းသုံး၍ မရပေ။ Mixing valve များသည် diverting valve များထက် ပို၍ ဈေးသက်သာသောကြောင့် အလွန်အသုံးများသည်။



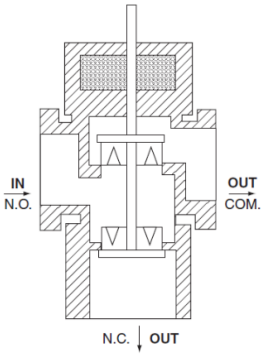
ပုံ ၄-၁၇ Mixing Valve Configurations Diverting Valve Configurations

အကယ်၍ three way valve ကို အသုံးပြုရန် လိုအပ်လျှင် mixing valve များ တပ်ဆင် အသုံးပြုသင့်သည်။ သို့သော် တစ်ခါတစ်ရံ diverting valve ကို မဖြစ်မနေ သုံးရမည့် အခြေအနေမျိုး ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ Mixing valve များကို သုံးရသည့် အကြောင်းမှာ two way valve များကို coil ၏ return side ၌သာ တပ်ဆင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Return side ၌ တပ်ဆင်ထားသော two way ကို three way valve ဖြင့် ပြောင်းတပ်လိုလျှင် mixing valve ဖြင့်သာ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Supply side ရှိ two way valve ကို diverting valve ဖြင့် ပြောင်းလဲ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Two way valve ကို supply side တွင် တပ်ဆင်သည်ဖြစ်စေ၊ return side တွင် တပ်ဆင်သည်ဖြစ်စေ လုပ်ဆောင်မှု function အရ မည်သို့မျှ အပြောင်းအလဲမရှိပေ။

Two way valve ကို coil ၏ return side တွင် တပ်ဆင်ထားပါက ပို၍ efficient ဖြစ်ပြီး လေခိုသည့်အခါ positive air venting ဖြင့် coil return header မှ ထုတ်ပစ်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၁၈ Three-way Mixing Valve



ပုံ ၄-၁၉ Three-way Diverting Valve

ပုံ(၄-၂၀)တွင် three way mixing valve တပ်ဆင်ထားပုံ "စံ" အဖြစ်ဖော်ပြထားသည်။ Valve ၏ port များကို မည်သို့ နာမည် ပေးထားသည်ကို သတိပြုပါ။ ထို့နောက် control schematic ပုံများကိုလည်း ထိုနည်း အတိုင်းလိုက်၍ နာမည် ပေးပါ။ Valve များကို လည်း flow direction အတိုင်း မှန်ကန်စွာ တပ်ဆင်ပါ။ သို့မှသာ

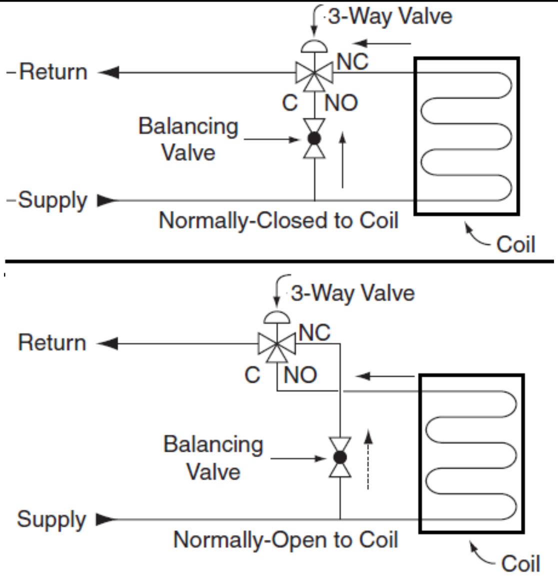
controller မှ ပေးသည့် output signal အတိုင်း valve များသည် control action ကို လုပ်ဆောင်ပေးမည်။

ပုံ(၄-၂၈)တွင် valve သည် coil ကို ဖြတ်သွားသည့် flow တိုင်းအတွက် Normally Closed(NC) ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ coil ကိုဖြတ်စီးသွားသည့် line ၌ Normally open(coil ကိုဖြတ်စီးသွားသည့် line ၌) အလိုရှိလျှင် three way valve မှ common port မဟုတ်သည့် ကျန်ပိုက် နှစ်ချောင်းကို ပြောင်း၍ တပ်ဆင်ပေးနိုင်သည်။ သို့သော် three way mixing valve ၌ Normally Open(NO) port သည် အောက်ဖက်သို့ ပွင့်နေသော port ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် ပုံ(၄-၂၈) တွင် ပြထားသည့် schematic အတိုင်း ဖြစ်လိမ့်မည်။

ပုံ(၄-၂၈)တွင် coil by pass line ၌ balancing တပ်ဆင်ထားသည်ကို တွေ့နိုင်သည်။ Balancing valve သည် control system တွင် ပါဝင်သည့် port သို့မဟုတ် အစိတ်အပိုင်း မဟုတ်ပေ။ သို့သော် water distribution ညီမျှစေရန်အတွက် balancing valve များ တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ coil ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အလွန်နည်းသည့်အခါ balancing valve များကို တပ်ဆင်ရန် မလိုသည့် အခြေအနေမျိုး ကြုံတွေ့နိုင်သည်။ Balancing valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် coil ၏ pressure drop နှင့် ကိုက်ညီ(match)ရန် လိုသည်။ Three way valve သည် by pass position ဖြစ်နေချိန်တွင် စီးဆင်းသည့် flow နှင့် coil အတွင်းသို့ 100% စီးဆင်းသည့် flow တို့သည် တူညီလုနီးပါး ဖြစ်လိမ့်မည်။

Balancing valve တပ်ဆင်ထားခြင်းမရှိပါက supply to return diffenential pressure သည် အလွန်နည်းကာ short-circuit ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုအခါ အခြားသော coil များတွင် ရေမလုံလောက်သည့် ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် higher differential pressure ရှိသည့် coil များတွင် ရေမလုံလောက်မှု ပို၍ ဖြစ်နိုင်သည်။ Two way valve များတွင် ရှိသည့် linear နှင့် equal percentage plug များကိုလည်း three way valve များတွင် ရရှိနိုင်သည်။ သို့သော် valve ထုတ်လုပ်သူများအားလုံးက နှစ်မျိုးလုံးကို valve အရွယ်အစား(size)မျိုးစုံ ထုတ်လုပ်ကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Port တစ်ခုတွင် linear fashion ဖြင့် operate လုပ်ပြီး အခြားသော port တစ်ခုတွင် equal percentage fashion ဖြင့် operate လုပ်သည့် three way valve မျိုးကို တွေ့ရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

> အများဆုံးတွေ့ရသည့် three way valve အမျိုးအစားမှာ equal percentage plug ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသော diverting valve များဖြစ်သည်။



ပုံ ၃-၂၈ Typical three-way mixing valve arrangements

Plug style ရွေးချယ်ပုံကို နောက်ပိုင်းတွင် ဖော်ပြထားသည်။ Constant flow ကို အလိုရှိသည့် အခါတွင် three way valve ကို ရွေးချယ်ကြသည်။ သို့သော် လက်တွေ့ အခြေ အနေတွင် မည်သည့် plug style ကို ရွေးချယ်သည် ဖြစ်စေ constant flow ကို ရရှိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Balancing valve များကို အသုံးပြု၍ ရေသည် coil ထဲသို့ 100% သွားသည်ဖြစ်စေ၊ by pass line မှ သွားသည် ဖြစ်စေ တူညီသည့် water flow ဖြစ်စေရန် ပြုလုပ်ရသည်။

Valve သည် ထိုအခြေ အနေ နှစ်မျိုးမှလွဲ၍ ကျန်သည့် အချိန်များ၌ linear plug ပါရှိသည့် valve ကို သုံးလျှင် flow များလာ လိမ့်မည်။ Equal percentage plug ကို သုံးလျှင် flow နည်းသွား လိမ့်မည်။

Valve များကို ရွေးချယ်ခြင်း(selection) နှင့် sizing မပြုလုပ်ခင် modulating valve များ၏ behavioral characteristic များကို နားလည် သဘောပေါက်ထားရန် လိုအပ်သည်။ Modulating control valve များ၌ "**Rangeability factor**" ဟုခေါ်သည့် operating characteristic ရှိသည်။ Control valve များ၏ rangeability factor ဆိုသည်မှာ maximum flow ကို minimum controllable နှင့် စားထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ထို characteristic သည် constant differential pressure အခြေအနေမျိုးဖြင့် စမ်းသပ်ခန်းတွင် တိုင်းတာ ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Valve တစ်ခု၏ rangeability factor 10:1 ဆိုသည်မှာ valve တစ်ခုတည်းဖြင့် အနိမ့်ဆုံး flow (minimum flow) 10% ရအောင် လုပ်နိုင်စွမ်း ရှိသည်ဟုဆိုလိုသည်။

၄.၅ Valve အမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်း နှင့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း

Control valve ရွေးချယ်ရာတွင် အောက်ပါ အချက်များပေါ် မူတည်သည်။

(က) Control လုပ်ခြင်းခံရမည့် fluid

ဤအခန်းတွင် control လုပ်ခြင်းခံရမည့် fluid မှာ ရေ(water) ဖြစ်သည်။ Glycol solution နှင့် Brine solution ကဲ့သို့သော water solution များနှင့် special heat transfer fluid များကို control လုပ်လိုပါက density နှင့် visocity တို့ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် correction များ ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။ Special fluid များ၏ information များကို ထုတ်လုပ်သူ (manufacturer) များထံမှ ရရှိနိုင်သည်။ Brine အတွက် information များကို handbook တွင် ရရှိနိုင်သည်။ Steam valve အမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်းနှင့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းတို့ကို ထုတ်လုပ်သူများ၏ catalog များတွင် ရရှိနိုင်သည်။

(ခ) Maximum fluid temperature

Fluid temperature သည် packing အမျိုးအစား နှင့် valve body ၊ body trim နှင့် shut-off disk များတွင် အသုံးပြုထားသည့် သတ္တုပစ္စည်း အမျိုးအစားများအပေါ် အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိသည်။ ထုတ်လုပ်သူများ အသုံးပြုထားသည့် standart material သည် အပူချိန် 250°F ကို ကောင်းစွာ ခံနိုင်ရည်ရှိသည်။ ထို 250°F အပူချိန်သည် HVAC heating system များတွင် ရှိသော အမြင့်ဆုံး အပူချိန်ထက် များစွာ ပိုများသည်။

(ဂ) Maximum inlet pressure

Valve body selection သည် maximum inlet pressure ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ အလွန်မြင့်သည့် မိုးပျံအဆောက်အဦး(high-rise building)များရှိ နိမ့်သော အထပ်များ(အထပ်၂၀အထိ)၌ ရှိသော valve inlet pressure သည် များလေ့ရှိသည်။ Static head ကြောင့် inlet pressure များခြင်း ဖြစ်သည်။ Valve body များကို ANSI Class 125 နှင့် ANSI 150 ဟူ၍ အဆင့် နှစ်မျိုးရှိသည်။ Class များသည် အမြင့်ဆုံး temperature ၌ရှိသော normial pressure ကို PSIG ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ လက်တွေ့အခြေအနေတွင် HVAC system များ၌ ရှိသော valve များ၏ ခံနိုင်ရည်သည် nominal pressure ထက် ပိုများသည်။

Actual operating condition များအတွက် valve body rating များကို valve ထုတ်လုပ်သူများ၏ catalog များကို ကိုးကားသင့်သည်။ Valve လုံးဝ ပိတ်ခါနီး အချိန်၌ ဖြစ်ပေါ်သော close-off pressure သည် အမြင့်ဆုံး differential pressure ဖြစ်သည်။ Valve ပိတ်ရန်အတွက် ထို pressure ကို ကျော်လွှားရန် လိုသည်။ ထို pressure ကို ကျော်လွှားရန် actuator သည် အားကောင်းရန် လိုသည်။ Valve style သည်လည်း ခံနိုင်ရည်ရှိ ရမည်။ Valve တစ်ခုတွင် ဖြစ်ပေါ်မည့် differential pressure ကို ခန့်မှန်းရန် ခက်ခဲသည်။ System တစ်ခုလုံး၏ ဒီဇိုင်းပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(ဃ) Maximum fluid flow :

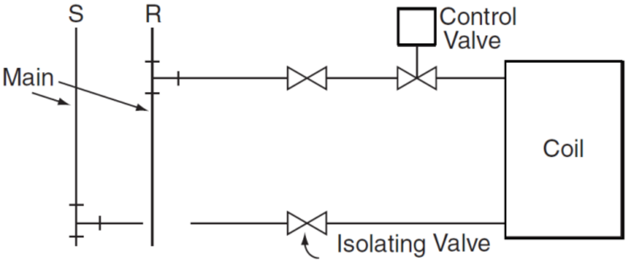
HVAC load calculation နှင့် coil ၊ heat exchanger တို့၏ characteristic တို့မှ design maximum စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) ရရှိသည်။

(c) Valve Style : Three way diverting ၊ Three way mixing နှင့် Two-way တို့ဖြစ်သည်။

(ဓ) Control Mode:

Modulating control mode သို့မဟုတ် two-position control mode တို့ဖြစ်သည်။ Control mode သည် valve အမျိုးအစားနှင့် valve plug အမျိုးအစားတို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Modulating application အကြောင်းကို အသေးစိတ် ရှင်းပြထားသည်။ Standard globe valve အမျိုးအစား (flat plug ပါရှိသည့်) ကို two position duty အတွက် အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် Globe valve များသည် fully open အချိန်တွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အလွန်များသောကြောင့် two position အတွက် အသင့်လျော်ဆုံးမဟုတ်ပေ။ Globe valve သည် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) များသော်လည်း modulating control အတွက် အကောင်းဆုံး ဖြစ်သည်။ ပိုက်အရွယ်အစား နှစ်လက်မ ထက် ငယ်လျှင် motorized ball valve သည် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အလွန်နည်းပြီး၊ ဈေးလည်းသက်သာသည့် ရွေးချယ်စရာ option တစ်ခုဖြစ်သည်။ နှစ်လက်မထက် ပိုကြီးသည့် ပိုက်များ၌ two position control အဖြစ် အသုံးပြုလျှင် butterfly valve များကို သုံးရန် သင့်လျော်သည်။

အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် globe valve ထက် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပိုနည်းပြီး၊ ဈေးလည်း ပိုသက်သာသည်။ Modulating flow characteristic ကို အလိုရှိလျှင် plug အမျိုးအစားကို ဂရုစိုက်၍ ရွေးချယ်သင့်သည်။ ထုတ်လုပ်သူများ အားလုံးသည် plug type မျိုးစုံကို ပြုလုပ်နိုင်စွမ်း မရှိပေ။ ထို့ကြောင့် designer များသည် ဝယ်ယူရရှိနိုင်သည့် plug type များကိုသာ ရွေးချယ်သင့်သည်။ Modulating application များတွင် အသုံးပြုသည့် valve များ full flow အချိန်၌ ဖြစ်ပေါ်သည့် design ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် valve ၏ အရွယ်အစား(size) ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Control လုပ်ချင်သည့် အတိုင်း valve သည် မည်မျှ ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်ပေးသည်ကိုလည်း ဖော်ပြသည်။



ပုံ ၄-၂၁ Coil subsystem

Modulating application အတွက် turn-down ratio သည် valve ရွေးချယ်ရာတွင် ထည့်စဉ်းစားရန် သိပ်မလိုအပ်ပေ။ ထုတ်လုပ်သူများအားလုံးက HVAC application များတွင် လက်ခံနိုင်သည့် turn-down ratio ရှိသည့် valve များကိုသာ ထုတ်လုပ်ကြသည်။ Special application များ ပြုလုပ်လိုလျှင် valve ထုတ်လုပ်သူများ နှင့် တိုင်ပင်(consult)သင့်သည်။

Valve selection ပြုလုပ်ရာတွင် အရေးအကြီးဆုံးသော parameter သုံးခုမှာ

(၁) Desired flow characteristic
(၂) Desired pressure drop
(၃) Close-off rating တို့ဖြစ်သည်။ ထို သုံးချက်ကို နောက်ပိုင်းတွင် အသေးစိတ် ရှင်းပြထားသည်။

၄.၅.၁ Valve အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း (Sizing)

Modulating applicating များတွင် အသုံးပြုမည့် valve size သည် system behavior အပေါ် အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိသည်။ Gain ပမာဏကိုလည်း ဆုံးဖြတ်ပေးသောကြောင့် control system ၏ function နှင့် လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်းကို ပြောင်းလဲစေသည်။

ထင်ရှားသော အချက်တစ်ခုမှာ လိုအပ်သည်ထက်ပိုကြီးသည့် valve သည် flow ကို ကောင်းစွာ control လုပ်နိုင်စွမ်းမရှိပေ။ ဥပမာအားဖြင့် ရေနွေးခွက်ထဲသို့ လေးထောင့် သံပုံးထဲမှ ရေကို လောင်းထည့်ရန် အလွန်ခက်သကဲ့သို့ ဖြစ်သည်။

လိုအပ်သည်ထက်သေးငယ်သည့် valve သည် system ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို အလွန်များစေသည်။ ထို့ကြောင့် ပိုကြီးမားသည့် pump ကို တပ်ဆင်ရမည်။ Operating cost လည်း အလွန်များ လိမ့်မည်။ Valve အရွယ်အစား ရွေးချယ်သည့်အခါ ထိုအချက် နှစ်ချက်ကို မျှတအောင် သ တိပြု ရွေးချယ် သင့်သည်။

Valve size ရွေးချယ်သည့်အခါ fully open အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအား ကျဆင်းမှု (pressure drop)ကိုလည်း အခြေခံရမည်။ မည်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပမာဏကို အသုံးပြု ရမည်ဆိုသည့် အဖြေမှန် မရှိပါ။

Control expert များနှင့် manufacturer များသည် အမျိုးမျိုးသော ထင်မြင်ချက်(opinion)များနှင့် rule-of-thumb များ ဖြင့်သာ ရွေးချယ်နေကြခြင်း ဖြစ်သည်။ တိကျမှန်ကန်သည့် valve size နှင့် လက်ခံ နိုင်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပမာဏ အတွက် ငြင်းခုံမှုများ၊ သဘောထား မတူညီမှုများ ရှိသော်လည်း stable control ရရန်အတွက် ရွေးချယ်ထားသော valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် overall system တစ်ခုလုံး၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)နှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် မပြောပလောက်သည့် ပမာဏ မျှသာ ဖြစ်သင့်သည်။

Valve design ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို တွက်ရန်နည်းတစ်ခုမှာ coil(subsystem) တစ်ခု၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို အခြေခံ၍ စဉ်းစားနည်း ဖြစ်သည်။

Air Handling Unit တစ်ခုကို sub system တစ်ခုအဖြစ် ပုံ(၄-၂၁)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ လက်တွေ့တွင် supply နှင့် return နှစ်ခုကြားရှိ differential pressure available သည် ပြောင်းလဲနေသော် မပြောင်းလဲ(constant)ဟု စဉ်းစားမည် ဖြစ်သည်။ Cooling coil တစ်ခု၏ ပုံမှန်(typical) ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)မှာ 3psi(6.5ft wg) ဖြစ်သည်။ Coil ၏ အဝင်ပိုက်နှင့် အထွက်ပိုက် တို့တွင် တပ်ဆင် ထားသည့် elbow များ၊ isolation valve များ၊ reducer များ တို့၏ piping loss မှာ 4psi(8.7 ft wg) ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် supply pipe နှင့် return pipe နှစ်ခုအကြားတွင် ရှိရမည့် available ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှာ 3+4=7 psi(15.2 ft wg) ထက်များရမည်။

တပ်ဆင်မှုအတွေ့အကြုံ(installation experience)နှင့် စမ်းသပ်ချက်များ(experiment) များအရ control valve ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်ရန် အတွက် ဖြစ်သင့်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှာ coil ၌ full flow ဖြစ်နေသည့် အချိန်တွင် coil နှင့် pipe system ရှိ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)စုစုပေါင်း၏ 50% မှ 100% ခန့်သာဖြစ်သင့်သည်။

အခြားသောနည်းတစ်ခုမှာ control valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှာ total subsystem ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)၏ 30% မှ 50% ဖြစ်သင့်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဆိုရသော် ဤနည်းဖြင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) 2psi မှ 3psi အတွင်း လက်ခံနိုင်သည်ဟု ယူဆထားခြင်းဖြစ်သည်။

Pump ၏ power နည်းစေရန်နှင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့နည်းစေရန် အတွက် ဒီဇိုင်းအင်ဂျင်နီယာများသည် control valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို 2 psi ထက် နည်းအောင် ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။

တစ်ခါတစ်ရံ၌ subsystem တစ်ခုချင်းစီ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို တွက်ယူရန် ခန့်မှန်းရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Sub system တစ်ခု၏ အစ point နှင့် အဆုံး point တို့ကို ရှင်းလင်းစွာ ပိုင်းခြားသတ်မှတ်ရန်လည်း မဖြစ်နိုင်ပေ။

ထို့ကြောင့် အလွယ်တကူရရှိနိုင်သည့် rule of thumb များကို အသုံးပြု၍ control valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို သတ်မှတ်ကြသည်။ 2psi မှ 4psi အတွင်း သင့်လျော်သည့် တန်ဖိုးတစ်ခုကို ရွေးချယ်ကြသည်။ Rule of thumb များသည် typical HVAC application များတွင် အဆင်ပြေစွာ အသုံးပြုနိုင်သည်။

> Globe control valve အရွယ်အစား ရွေးချယ်နည်း နောက်တစ်မျိုးမှာ valve size ကို pipe size ထက် တစ်ဆင့်ငယ်သည့် အရွယ်အစားကို ရွေးချယ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Rule of thumb များသည် butterfly valve နှင့် ball valve များအတွက် မမှန်ပါ။ အသုံးမပြုရ။

Designer ကို လိုက်၍ pipe အရွယ်အစား ရွေးချယ်နည်းများစွာ ကွဲပြားသောကြောင့် flow coefficient လည်း ကွဲပြားမှုများစွာ ရှိသည်။ ထို့ကြောင့် တစ်ခါတစ်ရံ၌ rule of thumb များသည် ကျေနပ်ဖွယ်မကောင်းသော ရလာဒ်များကို ဖြစ်စေသည်။ အချို့သော oversized valve များကို PID control loop ကို ကောင်းစွာ tune လုပ်ပြီး ထိန်း၍ control လုပ်နိုင်သည်။

> များသောအားဖြင့် oversized valve များကို မည်သည့် control algorithm ကမျှ မကူညီ နိုင်ပေ။ ရေနွေးခွက်ငယ်ထဲသို့ ပုံးထဲမှ ရေများကို အဆင်ပြေပြေထည့်ရန် မည်သည့် control algorithm ကမျှ ပြုလုပ်ပေးနိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Oversized valve များသည် အချိန်တိုင်း လိုလို ပိတ်နေသည့် အခြေအနေမျိုးတွင်သာ ရှိနေလိမ့်မည်။ ပိတ်ခါနီး အခြေအနေဖြစ်နေသော valve မှ ရေများသည် turbulence flow ဖြင့် စီးဆင်းနေသောကြောင့် ဆူညံသံ ထွက်ပေါ်လာနိုင်သည်။ Valve seat များလည်း အချိန်မတိုင်မီ ပျက်စီးသွားနိုင်သည်။

Control valve ၏ design ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို ဆုံးဖြတ်ပြီးနောက် valve flow coefficient(C_v) ကို အသုံးပြု၍ valve selection ကို စတင်ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Valve flow coefficient(C_v) သည် valve ခပ်ကျယ်ကျယ်(wide-open) ပွင့်နေသည့်အချိန်၌ 1GPM flow စီးဆင်းရန်အတွက် valve ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) psi ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။ သင်္ချာနည်းဖြင့် အောက်ပါ ညီမျှခြင်း အတိုင်း ဖော်ပြနိုင်သည်။ Q သည် GPM ဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) ဖြစ်သည်။

$$\boldsymbol{C_v = Q\sqrt{\frac{S}{\Delta P}}} \qquad \text{(Equation 4-1)}$$

S သည် fluid ၏ specific gravity ဖြစ်သည်။ Specific gravity ဆိုသည်မှာ 60°F အပူချိန်တွင် ရှိသည့် fluid density နှင့် ရေသန့်(pure wate) တို့၏ အချိုးဖြစ်သည်။ 200 °F ထက် နည်းသည့်ရေ၏ specific gravity မှာ 1.0 နီးပါးဖြစ်သည်။ ΔP သည် psi ဖြင့် ဖော်ပြထားသည့် valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) ဖြစ်သည်။

> valve တစ်ခု၏ valve coefficient **(C_v)** သည် valve size ၊ valve body ဒီဇိုင်းနှင့် plug တို့ပေါ်တွင် မူတည်သောကြောင့် manufacturer များ၏ catalog များကို ကိုးကားသင့်သည်။

ဥပမာ - coil တစ်ခု ပုံတွက် လိုအပ်သော design စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) မှာ 30 GPM ဖြစ်သည်။ Valve ၏ Design ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို 2 psi ထက် နည်းအောင် ပြုလုပ် လိုသည်။
30GPM နှင့် 2 psiမှ အောက်ပါ ပုံသေနည်း(formula)ကို သုံး၍ flow coefficient ကို တွက်ယူနိုင်သည်။

$$C_v = 30\sqrt{\frac{1}{2}}$$ (Equation 4-2)

$= 21.1$

Small globe control valve အရွယ်အစားနှင့် သက်ဆိုင်သည့် flow coefficient(C_v) တန်ဖိုးကို ဖော်ပြထားသည်။ ထို(C_v) တန်ဖိုးများသည် manufacturer ကို လိုက်၍ ကွဲပြားသည်။ Valve style နှင့် size ကွဲပြားလျှင်(C_v) တန်ဖိုး ကွဲပြားသည်။ (C_v) တန်ဖိုး 21.2 သည် valve size $1\frac{1}{4}$ နှင့် $1\frac{1}{2}$ အတွင်း ကျရောက်သည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) တန်ဖိုး အတိအကျကို သိရန် ညီမျှခြင်း(Equation ၄-၃)ကို အသုံးပြု၍ တွက်ယူနိုင်သည်။

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{C_v}\right)^2$$ (Equation 4-3)

Representative Valves of Cv for Small Control Valves	
Normal – Pipe Size	Cv
½	4
¾	6
1	10
$1\frac{1}{4}$	16
$1\frac{1}{2}$	25
2	40

Table 4-xx Representative Values of Cv for Small Control Valves

$1\frac{1}{4}$ Valve အတွက် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 3.5 psi(7.6 ft) ဖြစ်သည်။ $1\frac{1}{2}$ Valve အတွက် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 1.5 psi(3.3 ft) ဖြစ်သည်။

> Valve အရွယ်အစား(size) ကြီးလာလေ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)နည်းလာလေ ဖြစ်သည်။
> Valveအရွယ်အစား(size)လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးလာလေ control လုပ်နိုင်စွမ်း ကျဆင်းလေ ဖြစ်သည်။

$1\frac{1}{2}$ Valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှာ အလွန်နည်းသည်။

Branch ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 30% ထက် နည်းသည်။ ထို 30% ထဲတွင် valve ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) မပါဝင်ပါ။။

ထို့ကြောင့် $1\frac{1}{2}$ valve သည် ကောင်းစွာ control လုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Pump သည် control valve များ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) 2.0 psi ကို အခြေခံ၍ size လုပ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ $1\frac{1}{4}$ Valve ကို ရွေးချယ်လျှင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 3.5psi ဖြစ်သောကြောင့် ကောင်းစွာ control လုပ်နိုင်မည်ဖြစ်သော်လည်း pump တွန်းအား မလုံလောက်နိုင်ပေ။ Valve size သည်လည်း $1\frac{1}{4}$ နှင့် $1\frac{1}{2}$သာ ရနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် design များသည် ဆုံးဖြတ်ချက်ချရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ ယေဘုယျအားဖြင့် ထိုအခြေအနေမျိုးတွင် အရွယ်အစား(size) သေးငယ်သည့် valve ကိုသာ ရွေးချယ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် pump head သည် circuit တစ်ခုလုံးတွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) အများဆုံးသော control valve အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Valve များ အားလုံးတွင် pump နှင့် အနီးဆုံးသော valve များသည် available pressure differential အများဆုံး ရကြသည်။ Pump နှင့် အနီးဆုံး နေရာများ၌ အရွယ်ငယ်သည့် valve များ(under size)ကို ရွေးချယ်ထား သောကြောင့် pump selection နှင့် pump energy သုံးစွဲမှုကို မထိခိုက်စေနိုင်ပေ။

အဘာယ်ကြောင့်ဆိုသော် coil များ၏ design load ကို ရောက်ရန် ခဲယဉ်းသောကြောင့် valve များသည်လည်း 10% မှ 50% အတွင်းသာ ပွင့်နေလေ့ရှိသည်။

Valve နှင့် ပတ်သက်သည့် မှတ်သားရန် အချက်မှာ valve ၌ design ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)များလျှင် ထို valve သည် ကောင်းစွာ flow control လုပ်နိုင်သည်။ Two way valve များဖြင့် တပ်ဆင်သည့် variable flow system တွင် pump speed ပေါ်တွင် မူတည်၍ differential pressure across the valve များလာသည်။ တိုးလာသည်။ အထူးသဖြင့် စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) နည်းလျှင် valve အဝင်နှင့် အထွက် အကြားရှိ ဖိအားကျဆင်းမှု(differential pressure drop) များလာသည်။ ထိုအချိန်တွင် valve သည် ပို၍ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို ဖြစ်စေသောကြောင့် valve များကို over size ဖြစ်အောင် လုပ်ထားသကဲ့သို့ ဖြစ်နေသည်။

Flow control ပိုကောင်းမွန်အောင် လုပ်နိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု သက်သာ စေသည်။ Energy efficient ပိုဖြစ်သည်။ Oversized valve တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် လိုအပ်သည်ထက် ပိုအေးသည့် supply air ကို ဖြစ်စေသည်။ ထို့ကြောင့် reheat coil ကို အသုံးပြုရန် လိုလာသည်။ လိုအပ်သည်ထက် ပိုအေးသောကြောင့် စွမ်းအင်အလဟဿ ဖြစ်သည်။ Reheat coil ကို မလိုအပ်ပဲ အသုံးပြုရသောကြောင့် စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးရာ ရောက်သည်။ Valve ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကို နည်းအောင် ပြုလုပ်ခြင်းကြောင့် pumping energy ကိုလည်း ချွေတာနိုင်သည်။

Cooling Coil တွင် oversized valve တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် coil အတွင်းတွင် higher flow ဖြစ်ပေါ်ပြီး coil မှ ထွက်သည့် leaving water temperature သည် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားသည့် temperature ထက် ပိုနိမ့်သည်။ ထို့ကြောင့် chilled water differential temperature ပိုနိမ့်လာသည်။ Lower delta T ကြောင့် chilled water plant efficiency ဆိုးဝါးသည်။ Oversized control valve သည် system load သို့မဟုတ် load indicator ကို အခြေခံ၍ supply water temperature ကို reset လုပ်သည့် အခါမျိုးတွင် အလွန် သင့်လျော်သည်။ ထိုသို့ supply water temperature ကို မြင့်အောင် reset လုပ်ခြင်းကြောင့် စီးဆင်းနှုန်း (flow rate)ကို မြင့်အောင် ထိန်းထားနိုင်ပြီး valve များ throttling လုပ်ရန် မလိုအပ်တော့ပေ။ သို့သော် reset သည် operation condition အားလုံးအတွက် အဆင်ပြေ သင့်လျော်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

ဥပမာ chilled water system သည် coil ၏ ရေငွေ့ဖယ်ထုတ်နိုင်စွမ်း(dehumidification)ကို ထိခိုက်စေ နိုင်သည်။ Butterfly valve များတွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)အလွန်နည်းပြီး available flow coefficient များသည်။ ထို့ကြောင့် butterfly valve များကို အလွန်သေးငယ်အောင် ရွေးချယ်မှသာ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ခပ်များများ ဖြစ်ပေါ်သည်။ ထိုသို့ အရွယ်ငယ်သည့် butterfly valve ကို ရွေးချယ်ခြင်းကြောင့် actual velocity သည် manufacturer recommend လုပ်ထားသော velocity ထက် ပိုများသည်။ Erosion ဖြစ်ပေါ်ကာ valve သက်တမ်းတိုသည်။ ထိုအကြောင်းများကြောင့် butterfly valve သည် modulating control အတွက် မသင့်လျော်ပေ။ အထူးသဖြင့် flow range များလျှင် အလွန်တိကျသည့် flow ပမာဏကို ရရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ Low flow အခြေအနေ၌ တိကျသည့် flow ပမာဏရရန် မလိုအပ်ပါက ပိုက်အရွယ်အစားထက် တစ်ဆင့် သို့မဟုတ် နှစ်ဆင့် ငယ်သည့် butterfly valve ကို ရွေးချယ်ခြင်းဖြင့် ကောင်းစွာ အဆင်ပြေနိုင်သည်။ အနည်းငယ်ကွဲပြားသည့် valve ရွေးချယ်ပုံ ရွေးချယ်နည်း(procedure)နှစ်မျိုးကို တွေ့နိုင်သည်။

ပထမ - fully open Cv တန်ဖိုး သုံးမည့်အစား 60% open Cv တန်ဖိုးကိုအသုံးပြု၍ valve များကို ရွေးချယ်နိုင်သည်။

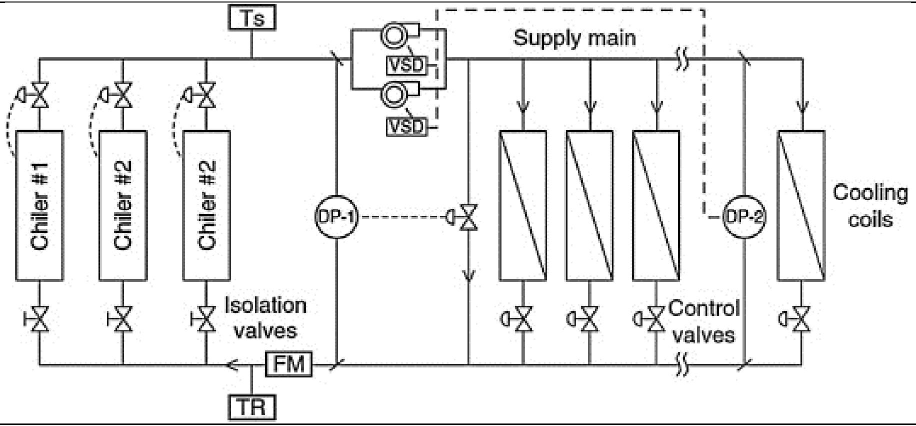
ဒုတိယနည်း - valve size သည် pipe size ထက်ပိုငယ်ပါက flow သည် ချောမွေ့မှု(smooth) မဖြစ်နိုင်။ Valve ၏ Cv တန်ဖိုး နည်းအောင်ပြုလုပ်ခြင်း(resistance များအောင်ပြုလုပ်ခြင်း) ကို piping geometry factor ဟုခေါ်သည်။

ဥပမာ $2\frac{1}{2}$ pipe တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် $1\frac{1}{2}$ valve ၏ Cv တန်ဖိုးသည် 150 ဖြစ်သည်။ 3^4 pipe တွင်တပ်ဆင်ထားသည့် $1\frac{1}{2}$ valve Cv တန်ဖိုးမှာ 123 ဖြစ်သည်။ 4^2 pipe တွင်တပ်ဆင်ထားသည့် $1\frac{1}{2}$ valve ၏ Cv တန်ဖိုးမှာ 80 ဖြစ်သည်။ Ball valve အများ၏ flow coefficient များနည်းသည်။ အားနည်းချက်မှာ အထူးပြုလုပ်ထားသည့် သဏ္ဍာန်ရှိသည့် insert များပြုလုပ်ရသည်။ Coil အနေဖြင့် two way valve သုံးသည်ဖြစ်စေ၊ three way valve သုံးသည်ဖြစ်စေ မည်သို့မျှ ကွာခြားမှုမရှိပေ။ တူညီသည့် modulating flow ပမာဏ coil အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ရန်သာ လိုသည်။

ထို့ကြောင့် two way ဖြစ်စေ၊ three way ဖြစ်စေ design consideration တူညီလျှင်၊ valve selection technique တူညီသည်။ Valve နှင့် coil အဝင်နှင့် အထွက် အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်သော differential pressure သည် three way valve အတွက် သိပ်မပြောင်းလဲပေ။ သို့သော် two way valve system များတွင် differential pressure သည် pump speed ပေါ်တွင် မူတည်၍ များလာနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် three way valve များသည် two way valve များထက်စာလျှင် oversize ပြုလုပ်မိခြင်းကြောင့် သိပ်ပြဿနာ မပေါ်နိုင်ပေ။

၄.၅.၂ Flow Characteristic Selection

Plug selection သည် design flow characteristic ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Design flow characteristic သည် control လုပ်ခံရသည့် heat transfer device ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ ဥပမာ chilled water coil ၊ hot water coil စသည် တို့၏ water flow နှင့် coil capacity characteristic တို့ ဆက်စပ်နေမှု အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Fluid ၏ supply temperature သည် heat transfer device(coil) ၏ flow နှင့် capacity characteristic တို့အပေါ်တွင် များစွာ အကျိုးသက်ရောက်မှု ရှိသည်။

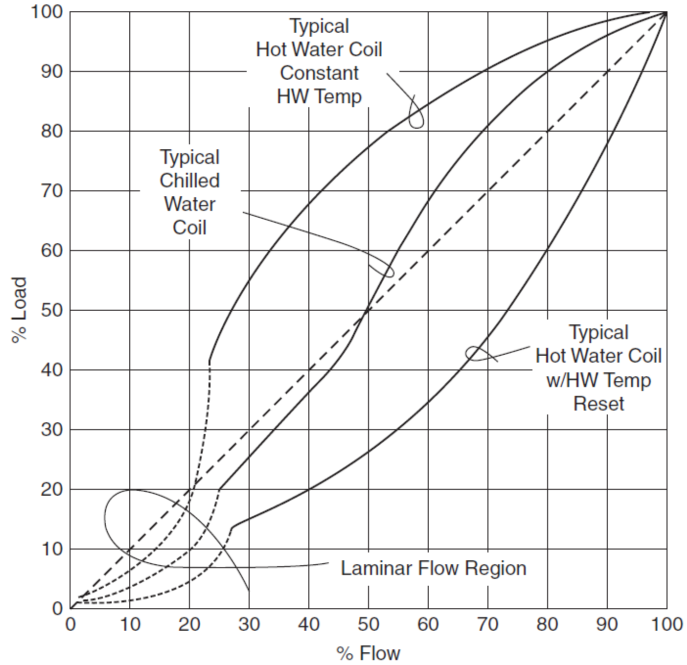


ပုံ ၃-၂၂ Chilled water schematic

ဥပမာ chilled water supply temperature 6.7°C မှ 7.5°C သို့ မြင့်တက်သွားမှုကြောင့် coil ၏ flow နှင့် capacity characteristic တို့ ပြောင်းလဲကုန်သည်။ Control valve အဝင်နှင့် အထွက် အကြားတွင် ရှိသော differential pressure ကို မူတည်၍ valve မှ ဖြစ်ပေါ်သည့် pressure ပြောင်းလဲသည်။

ပုံ(၄-၂၃)သည် heating coil နှင့် colling coil တို့၌ စီးနှုန်း(flow) ပြောင်းလဲမှုကြောင့် စွမ်းအား (capacity) ပြောင်းလဲပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Heating coil ၏ curve သည် non-linear ပုံစံမျိုး ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် hot water ၏ အပူချိန်သည် လေ၏ အပူချိန်ထက် များစွာ မြင့်နေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ Coil ၏ heating capacity 80% အောက် ရောက်ချိန်တွင် flow သည် 50% ထက် နည်းနေပြီ ဖြစ်သည်။ ဤ characteristic သည် high flow coil များ(low temperature drop)တွင် ပို၍ သိသာ ထင်ရှားသည်။ ထို Non linear performance ကို လျော့နည်းစေရန်အတွက် hot water supply temperature

ကို reset ပြုလုပ်ပေး နိုင်သည်။ Hot water supply temperature ကို air temperature နားသို့ ရောက်အောင် လျော့ချပေးနိုင်သည်။ ဤနည်းဖြင့် coil ၏ heating capacity ကို လျော့ချနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၂၃ Capacity versus flow rate

ပုံ(၄-၂၃)တွင် flow ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် heating coil capacity ပြောင်းလဲလာပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ ဤသို့ မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း လုပ်ဆောင်ခြင်း(linearize performance) ဖြစ်စေရန် hot water supply temperature set point ကို reset လုပ်ပေးသည်။ Chilled water coil ၏ sensible capacity characteristic သည် ပို၍ linear ဖြစ်သည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် chilled water temperature နှင့် air temperature တို့သည် များစွာ ကွာခြားမှု မရှိသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ စီးဆင်းနှုန်း(flow rate) ကျဆင်းသွားသည့်အခါ coil ၏ tube အတွင်းရှိ water velocity ကျဆင်းက turbulance flow မှ laminar flow အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသွားသည်။ Laminar flow ဖြစ်ပေါ်သည့်အခါ water နှင့် tube တို့အကြား၌ ရှိသော heat transfer coefficient ကျဆင်းသွားသည်။ ထို့ကြောင့် coil ၏ capacity ကျဆင်းသွားရသည်။ ထိုအခါ flow နှင့် capacity တို့ ပြောင်းလဲမှု၏ ရလာဒ်ကို ခန့်မှန်းရန် ခက်ခဲလာသည်။ Heating coil တစ်ခုအတွက် control valveကို ရွေးချယ်ရာတွင် hot water temperature သည် ပြောင်းလဲမှု သိပ်မများလျှင်(fairly constant) control လုပ်ရသည်မှာ ပိုမို လွယ်ကူကောင်းမွန်သည်။ Valve flow characteristic နှင့် coil characteristic တို့သည် ဆန့်ကျင်ဘက် ဖြစ်သည်။ ပြောင်းပြန်ဖြစ်သည်။ Valve flow characteristic ဆိုသည်မှာ flow versus strok ဖြစ်သည်။

ပုံ(၄-၉)တွင် ပြထားသည့် equal percentage plug သည် heating coil characteristic အကောင်းဆုံး offet ဖြစ်နိုင်စေကာ အသင့်လျော်ဆုံးဖြစ်သည်။ Heating coil duty အတွက် equal percentage plug ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Colling coil ၏ characteristic သည် linear curve ဖြစ်သည်။ Heating system တွင် hot water reset ကို အသုံးပြုထားလျှင် hot water coil ၏ characteristic မှာလည်း linear curve ဖြစ်သည်။

ပုံ(၄-၉)တွင် ပြထားသည်။ Control အကောင်းဆုံးဖြစ်စေရန်အတွက် linear plug ကို အသုံးပြုခြင်းမှာ သဘာဝကျသည်။ Three way control valve များ တပ်ဆင်ထားသည့် constant flow system များတွင်လည်း linear plug ကို သုံးနိုင်သည်။ သို့သော် two way valve system များ၌ valve ပိတ်ခါနီး သို့မဟုတ် စပိတ်ချိန်တွင် valve အဝင်နှင့် အထွက် အကြားရှိ differential press မှာ ပိုများလာလိမ့်မည်။

ဤကဲ့သို့ differential pressure မြင့်တက်လာရသည့် အဓိက နှစ်ချက်မှာ

(က) Flow နည်းသွားခြင်းကြောင့် အခြားသော component (pipe fitting, coi) များ၌ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)လည်း နည်းသွားလိမ့်မည်။

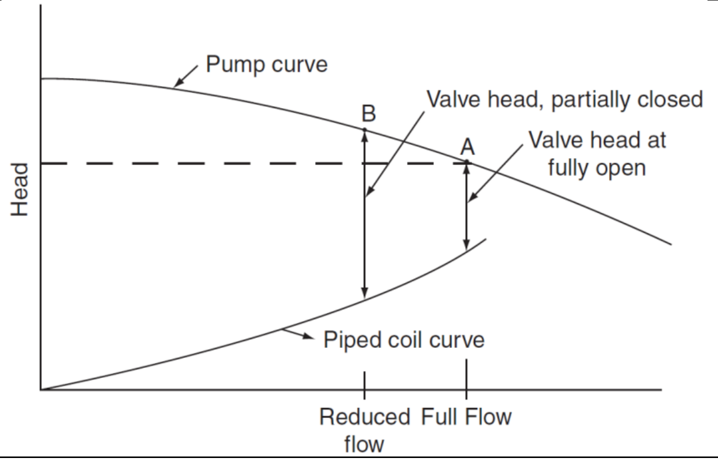
(ခ) Flow နည်းသွားခြင်းကြောင့် available system head ပိုများလာသည်။

ပထမဦးစွာ flow နည်းသွားခြင်းကြောင့် အခြားသော compoment များ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ကျသွား အချက်ကိုအရင် စဉ်းစားကြည့်ရအောင်။ ပြီးခဲ့သည့် ဥပမာတွင် coil ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှာ 3psi ဖြစ်သည်။ Fitting များ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှာ 3.5 psi ဖြစ်သည်။ ဥပမာတွင် ဖော်ပြထားသည့် flow မှာ 30GPM ဖြစ်သည်။ System head မှာ 10.5psi နီးပါး ဖြစ်သည်။ Fixed compoment များ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှာ flow ၏ နှစ်ထပ်ကိန်းနှင့် ညီမျှသည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) $P_2 kgpm^2$ ယေဘုယျအားဖြင့် flow သည် 50% ကျဆင်းလျှင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 25% ကျဆင်းသည်။ System ၌ရှိသော pressure head မှာ constant head ဖြစ်သည်။

ထို့ကြောင့် flow နည်းလာခြင်းကြောင့် coil နှင့် pipe work များတွင် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)နည်းကာ valve အဝင်နှင့် အထွက် အကြားရှိ differential pressure ပိုများလာသည်။ Flow သည် 50% ဖြစ်သည့် အချိန်၌ valve တွင်ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် 8psi မှ 16psi သို့မြင့်တက်သွားသည်။ Table 3-1 တွင်ဖော်ပြထားသည်။

Table 3-1 Pressure/Flow Variations in Control Circuit

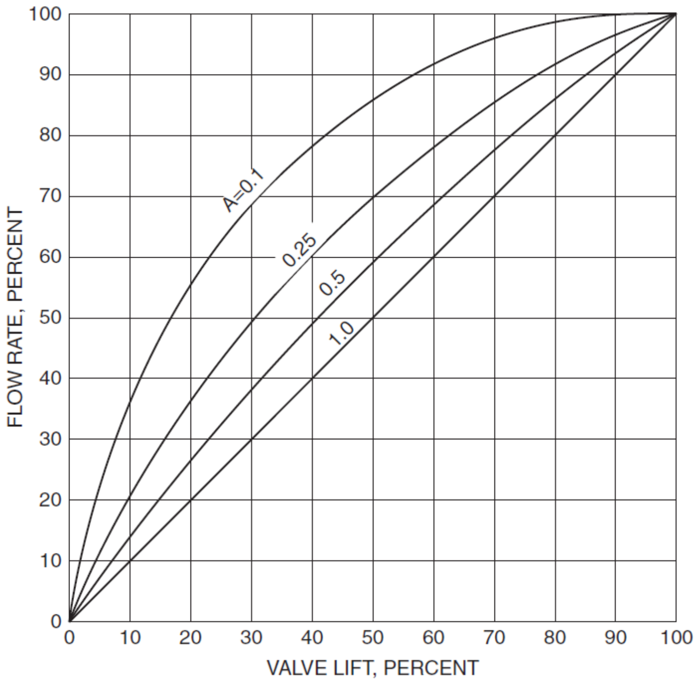
Item	Pressure Drops in Coil Circuit in psi		
	100% Through Coil	50% Through Coil	0% Through Coil
Pipe and fittings	4	1.0	0
Coil	3	0.75	0
Linear control valve	3.5	8.75	10.5
System head (constant)	10.5	10.5	10.5
Total flow coil and bypass gpm	30	~40	30



ပုံ ၃-၂၄ Change in head across a control valve as it closes

Valve ၏ အဝင်နှင့် အထွက် ကြားတွင် constant heat ဖြစ်နေသော valve သည် linear characteristic ကို ပေးနိုင်သည်။ Head across the valve ပိုများလာသောကြောင့် valve အတွင်းသို့ ရေများ ပိုမို ဝင်ရောက်နိုင်ခြေ ရှိသည်။ Valve characteristic လည်း ပုံမှန် မဖြစ်နိုင်သည်။

ဒုတိယ ပြဿနာသည် flow ကျဆင်းသွားသောကြောင့် available system head များလာခြင်း ဖြစ်သည်။ Pipe ၊ two way control valve ၊ coil နှင့် pump တို့သာ ပါဝင်သည့် ရိုးရှင်းသော water circuit တစ်ခုကို လေ့လာကြပါစို့။ Pump curve သည် no flow ဖြစ်သည့်အခါ pump ၏ maximum pressure ကို ရရှိနိုင်ပြီး ဖိအား(pressure) တဖြည်းဖြည်း ကျဆင်းသွားသည်နှင့် အမျှ စီးဆင်းမှု(flow) တဖြည်းဖြည်း များလာသည်ကို pump curve တွင် တွေ့မြင်နိုင်သည်။



ပုံ ၄-၂၅ Authority distortion of linear flow characteristics

Flow/head curve (pump curve ဟုလည်းခေါ်သည်) သည် $P = kgpm^2$ ဆက်သွယ်ချက်ကို ဖော်ပြသည်။ Design လုပ်ထားသည့် flow စီးဆင်းချိန်၌ value ၏ ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(head loss)သည် pipe နှင့် coil ၏ head loss နှင့် တူညီသည်။ ပုံ(၄-၁၄)တွင် ဖော်ပြထားသည်။

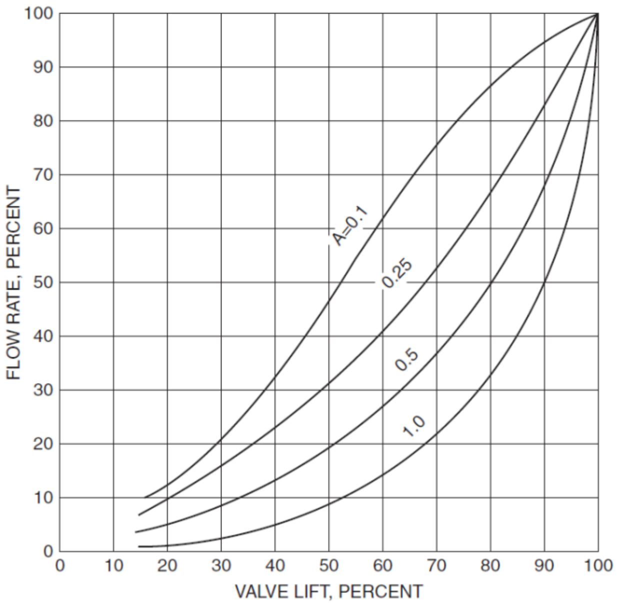
Point A သည် value fully open ပွင့်နေသည့် အခြေအနေဖြစ်သည်။ Pump head သည် value ၊ pipe နှင့် coil တို့တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသော head နှင့် ညီသည်။ Value ပိတ်သည့်အခါ၌ flow ကျဆင်းသွားပြီး pipe နှင့် coil တို့၌ ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)လည်း ကျဆင်းသွားပြီး pump မှ တွန်းနေသော head သည် ပိုများလာလိမ့်မည်။

Pump curve ကို reference ထား၍ ကြည့်လျှင် flow နည်းသွားလျှင် ဖိအား(pressure) များလာလိမ့်မည်။ Flow များလာလျှင် pressure နည်းသွားလိမ့်မည်။

System curve reference ထား၍ ကြည့်လျှင် flow များလာလျှင် pressure loss လည်း များလာလိမ့်မည်။ Flow နည်းသွားလျှင် ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop) နည်းသွား လိမ့်မည်။

Point B သို့ရောက်သွားလိမ့်မည်။ Point B ၌ ရှိသော reduce flow ဖြစ်သည့် အချိန်တွင် valve ၌ ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)သည် နှစ်ဆခန့် ပိုများသွားသည်။

ထိုကဲ့သို့ flow နည်းသွားသည့် အချိန်၌ pump head များလာခြင်းကို ဖြေရှင်းရန် pump speed ကို လျော့ချပြီး pump head ကို လိုအပ်သလောက် ထိန်းထားပြီး flow ကို လျော့ချနိုင်သည်။ Point A ၌ ရှိသည့် head ကို ထိန်းထားပြီး(broken line ဖြင့် ပြထားသည်) flow ကို လျော့ချနိုင်သည်။ Pipe နှင့် coil တို့တွင် flow ကျဆင်းသွားသော်လည်း(pump speed ကို နည်းအောင်လုပ်ခြင်းဖြင့်) valve head(valve အဝင်နှင့် အထွက်) အကြားရှိ differential pressure မှာ ဆက်များနေလိမ့်မည်။ ဤကဲ့သို့ valve ၏ differential pressure ဆက်များ နေခြင်းကြောင့် plug characteristic curve သည် ပုံမှန် အလုပ်မလုပ်တော့ပေ။ Valve သည် ယခင်က နေရာတွင် ရှိနေသော်လည်း ရေများ ပိုမိုဝင်ရောက်သွားလိမ့်မည် ဖြစ်သည်။ More flow will go through the valve. ဤကဲ့သို့ ဖြစ်ခြင်းကို authority distortion ဖြစ်သည်ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၄-၂၆ Authority distortion of equal percentage flow characteristics

ပုံ(၄-၂၅)တွင် linear flow(plug) တစ်ခု distortion ဖြစ်သွားပုံ နှင့် ပုံ(၄-၂၀)တွင် equal percentage flow(plug) တစ်ခု distortion ဖြစ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Variable A (authority) ဆိုသည်မှာ valve full open ဖြစ်သည့် အခိုက်၌ ရှိသော differential pressure across the valve ကို valve ပိတ်ခါနီးဆဲဆဲ အချိန်၌ ဖြစ်ပေါ်သော maximum differential ဖြင့်စားထားခြင်းဖြစ်သည်။ Authority Ratio သည် 1.0 နှင့်ညီသည့်အခါ characteristic curve သည် ပုံ(၄-၉)အတိုင်း ဖြစ်သည်။ Maximum pressure များလာခြင်းကြောင့် ratio တန်ဖိုး ကျသွားသည့်အခါ curve သည် ပုံပြောင်းသွားသည်။ သို့မဟုတ် ပုံပျက်(distorted)သွားသည်။

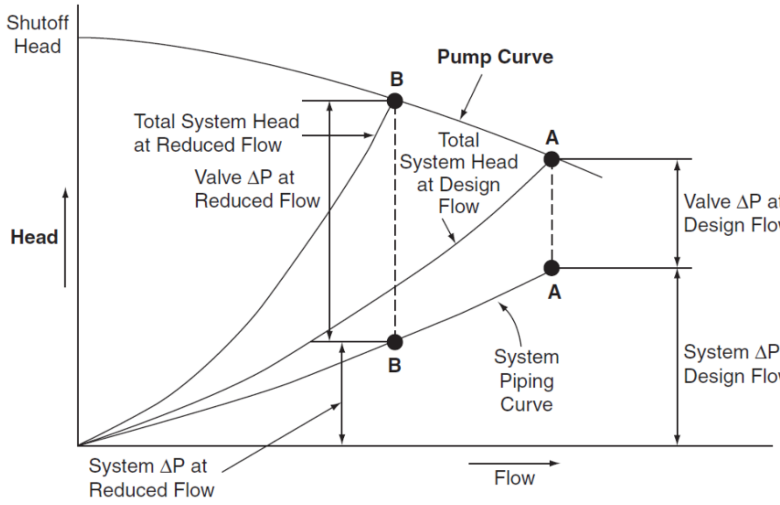
Linear plug သည် flat plug ကဲ့သို့ ပြုမူ လုပ်ဆောင်လိမ့်မည်။ Equal percentage plug သည် linear plug ကဲ့သို့ ပြုမူ လုပ်ဆောင်လိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် မည်သည့် heat exchange အမျိုးအစား သို့မဟုတ် coil အမျိုးအစား သုံးပါစေ two way valve များတွင် equal percentage plug များကို အသုံးပြုကြသည်။ Hydronic application များအတွက် three way valve များတွင် linear plug ကို အသုံးပြုကြသည်။

၄.၅.၃ ပိတ်ခါနီးဆဲဆဲ အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအား(Close Off Pressure)

Close off pressure သည် valve တစ်ခု ပိတ်ခါနီးဆဲဆဲ အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သော အမြင့်ဆုံး differential pressure ဖြစ်သည်။ ပုံ(၄-၂)နှင့် ပုံ(၄-၃) တို့တွင် valve ပြုလုပ်ထားသည့် ပုံစံများအရ

ပိတ်ခါနီးတွင် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအား(pressure)သည် valve ကို တွန်းဖွင့်ရန် ကြိုးစားသည်။ Valve နှင့် actuator နှစ်ခုပေါင်း၍ ရှိသော close off rating သည် valve ၌ ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသော maximum pressure ထက် ပိုများရမည်။



ပုံ ၄-၂၇ Pump and system curve with valve control

Valve အားလုံးလိုလိုတွင် two position duty နှင့် modulating rating duty ဟူ၍ close off pressure rating နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Modulating close off duty rating ကို တစ်ခါတစ်ရံ "**dynamic close off rating**" ဟု ခေါ်သည်။ Dynamic rating သည် အမြဲတမ်း two position rating ထက် နည်းသည်။ Dynamic rating ဆိုသည်မှာ valve ပိတ်ခါနီးဆဲဆဲ အချိန်၌ smooth modulating ဖြစ်စေရန်အတွက် လုံလောက်ရမည့် maximum differential pressure ဖြစ်သည်။ Valve ကို ချောမွေ့စွာ တစ်ဝက်ပွင့်ခြင်း လေးပုံတစ်ပုံနီးပါး ပွင့်ခြင်း စသည့် position သို့ရောက်စေရန်အတွက် လိုအပ်သော အားဖြစ်သည်။

Valve တစ်ခုကို modulating application အတွက် အသုံးပြုလိုလျှင် ထို rating ကို ဦးစားပေး စဉ်းစားရွေးချယ်သင့်သည်။

လက်တွေ့အခြေအနေတွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် valve ၏ close-off pressure ကို သိရန် ခက်ခဲသည်။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် system အတွင်းရှိ flow သည် ပြောင်းလဲနေသောကြောင့် piping နှင့် coil အတွင်းရှိ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)မှုလည်း လိုက်၍ ပြောင်းလဲသည်။ ထို့ကြောင့် pump head သည်လည်း pump curve တစ်လျှောက် ပြောင်းလဲနေသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် three way valve များ တပ်ဆင်ထားသည့် constant flow system ၌ full flow (coil များအတွင်းသို့ ရေအများဆုံးဝင်ရောက်သည့် အချိန်၌) differential pressure သည် အများဆုံး ဖြစ်သည်။ Coil များ အတွင်းသို့ ရေအနည်းငယ်သာဝင်ပြီး by pass pipe အတွင်းသို့ ရေများစွာ ဝင်လျှင် differential pressure သိပ်မများပေ။

Linear characteristic ရှိသည့် valve သည် mixing conditioning တွင် flow ပမာဏ ပိုများလာသည်။ (circuit အတွင်းတွင်)။ ထိုအခါ coil အတွင်းသို့ ရေပိုများများဝင်လာသည့်အတွက် ဖိအား ကျဆင်းမှု(pressure drop)သည်လည်း ပိုများလာက pump head သည် pump curve တစ်လျှောက် ပိုမြင့် လာသည်။ ထိုအချက် နှစ်ခုလုံးကြောင့် valve အဝင်နှင့် အထွက် အကြားရှိ differential သည် ပိုများလာသည်။ Three way valve ၏ close off pressure သည် coil နှင့် valve assemble တို့၌ ရှိသော design differential pressure ပင်ဖြစ်သည်။

Two way valve system များအတွက် valve differential pressure သည် assembly design differential pressure ထက် ပိုများသည်။ ပမာဏ အားဖြင့် မည်မျှ ပိုများလိမ့်မည် ဆိုသည်မှာ pump ကို မည်ကဲ့သို့ control လုပ်ထားသည့် အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

Pump များ၏ head ကို variable speed drive ဖြင့် control လုပ်နိုင်သည်။ Pump staging နည်း သို့မဟုတ် choke valve (valve ကို လိုသလို အဖွင့်အပိတ် ပြုလုပ်ခြင်းနည်း) ဖြင့်လည်း control လုပ်နိုင်သည်။ Maximum differential pressure သည် differential pressure set point ပမာဏ ပေါ်တွင်မူတည်သည်။ Set point မြှင့်ထားလျှင် differential pressure လည်း မြင့်လိမ့်မည်။ ထို့အပြင် differential pressure တိုင်းယူသည့် နေရာ(location) ပေါ်တွင်လည်း မူတည်သည်။ Pump အနီးတွင် တိုင်းယူလျှင် differential pressure ပိုများသည်။

သေချာစိတ်ချရသောနည်းမှာ distribution system တစ်ခုအတွင်းရှိ valve များ ပွင့်နေချိန်တွင် design flow condition ဖြစ်သည်။ ထို design flow condition ၌ ရှိသော pressure ကို ခန့်မှန်းပြီး valve ရှိသည့် နေရာ ၏ differential pressure သို့ pressure sensor ရှိသည့် နေရာသို့ ရောက်အောင် တွက်ယူနိုင်သည်။

VSD များ တပ်ဆင်ထားသည့် variable flow system များ၌ low flow ဖြစ်သည့်အချိန်တွင် maximum differential pressure သည် ပို၍ ပင်များလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် pump သည် A pump curve အတိုင်းသွားသောကြောင့် စီးနှုန်းနည်းသည့်(low flow)အချိန်၌ available pump head ပိုများ သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ ထိုအချက်ကို ပုံ(၄-၂၃)တွင် ပြထားသည့် one valve/one pump system တွင် တွေ့မြင်နိုင်သည်။ Pump တစ်လုံး၏ shut-off head သည် အမြင့်ဆုံးဖိအားကွာဟချက်(maximum differential pressure)ပင် ဖြစ်သည်။

Pump shut off head ဆိုသည်မှာ zero flow (flow မရှိသည့်အခိုက်) တွင် ဖြစ်ပေါ်နေသည့် pump head ကို ဆိုလိုသည်။ လက်တွေ့အခြေအနေတွင် pump ကို flow မရှိပဲ အချိန်အတော်ကြာ မောင်းနေရန် အတွက် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ထိုသို့ flow မရှိပဲ မောင်းနေပါက pump body အပူချိန်မြင့်တက်လာပြီး seal များ ပျက်စီး သွားနိုင်သည်။ Valve များစွာရှိသည့် system များ၌ maximum differential pressure သည် pump shut off head ၏ တစ်ဝက်ခန့်သာ ဖြစ်သည်။

သို့သော် actual differential pressure ကို ခန့်မှန်းရန် ခက်ခဲသောကြောင့် valve များအားလုံး၏ close of rating ကို pump shut off head ထက် ပိုများအောင် ရွေးချယ်ထားခြင်းသည် စိတ်ချသေချာသော နည်းဖြစ်သည်။

တစ်ခါတစ်ရံ safety factor (ဥပမာ 5% မှ 25% အတွင်း) တစ်ခုခုကို ထည့်ပြီး ပိုသေချာအောင် ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။ အထူးသဖြင့် close-off fightly(valve လုံးဝပိတ်နေရန် လိုအပ်သည့် အခါမျိုးများ၌) safety factor ထည့်ပေးလေ့ရှိသည်။

လိုချင်သည့် close-off rating မရနိုင်သည့်အခါ single seated valve များအစား double seated valve ကို အသုံးပြုသင့်သည်။

Diameter နှစ်လက်မထက် ပိုကြီးသည့် double seated valve များ၏ CO rating သည် SSV ထက် ပိုများသည်။ သို့သော် DSV များသည် fight shut off ဖြစ်နိုင်ကြပေ။ ဤအချက်သည် DSV များ၏ အားနည်းချက်ဖြစ်သည်။

၄.၅.၄ Valve Selection

ယေဘုယျအားဖြင့် valve ရွေးချယ်ရာတွင် အလေးပေးစဉ်းစားရမည့်အချက်များကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁)	Pressure rating	(၅)	Shutoff response to leakage
(၂)	Size and flow capacity	(၆)	Equipments and pipes connected
(၃)	Desired flow condition	(၇)	Material compatibility and durability
(၄)	Temperature limits	(၈)	Cost

Valve Sizing

Valve သည် system တစ်ခု၏ အရည်(liquid) သို့မဟုတ် ဓာတ်ငွေ့(gas)ကို regulate လုပ်ပေးသည့် controlled device တစ်ခုဖြစ်သည်။ HVAC သို့မဟုတ် ACMV system တစ်ခုကောင်းစွာ လည်ပတ်နေရန်အတွက် valve များသည် အလွန် အရေးကြီးသည့် controlled device များဖြစ်သည်။ Valve အမျိုးအစား နှင့် အရွယ်အစားကို မှန်ကန်စွာ ရွေးချယ်မထားသည့် system များသည် ကောင်းစွာ efficienct ဖြစ်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

လိုအပ်သည်ထက် ပိုကြီးအောင်(oversized) ရွေးချယ်ထားသည့် Valve ကို အသုံးပြုလျှင် controllability ညံ့ဖျင်းလိမ့်မည်။ Hunting ဖြစ်ခြင်း၊ cycling ဖြစ်ခြင်း စသည်တို့ဖြစ်နိုင်သည်။

လိုအပ်သည်ထက် သေးငယ်အောင်(undersized) ရွေးချယ်ထားသည့် valve ကို အသုံးပြုလျှင် လိုအပ်သည့် စီးနှုန်း(flow rate)ကို ရရန်အတွက် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပိုများလိမ့်မည်။ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) ပိုများလျှင် pump သည် ပို၍ အလုပ်လုပ် ရသောကြောင့် စွမ်းအင် သုံးစွဲမှု ပိုများလိမ့်မည်။

Flow characteristic ကို အသုံးပြု၍ valve အမျိုးအစား(type)ကို ရွေးချယ်သည့် ရသည်။ Flow characteristic သည် valve ၏ stem travel နှင့် valve ကို ဖြတ်စီးသွားသည့် flow ၏ ဆက်စပ်မှု (relationship) ဖြစ်သည်။

Valve အမျိုးအစား ကွဲပြားလျှင် flow characteristic လည်း ကွဲပြားသည်။

Valve Authority

$$N = \frac{\Delta P_{Valve}}{\Delta P_{System}}$$

Where: N = Valve Authority

Rangeability

$$Rangeability = \frac{Maximum\ Flow}{Minimum\ Controllable\ Flow}$$

Valve များအားလုံးတွင် ထိန်း၍ မရနိုင်သည့် စီးနှုန်း(uncontrollable flow) ရှိသည်။ Plug သည် seat မှ စ၍ မြင့်တက်လာသည့် အချိန်တွင် Plug နှင့် seat အကြား၌ရှိသည့် tolerances ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်သည်။

ဥပမာ- uncontrollable flow တွက်နည်း

(၆)လက်မ globe valve ၏ Cv သည် 350 ဖြစ်သည်။ Rangeability သည် 10.4:1 ဖြစ်သည်။ valve သည် wide open (fully open) ဖြစ်နေချိန်တွင် full flow အဖြစ်သတ်မှတ်သည်။ ထိုအချိန်၌ valve ၏ ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)သည် 5 psi ဖြစ်လျှင် uncontrollable flow ကို ရှာပါ။

$$Uncontrollable\ flow\ (Q) = \left(\frac{C_v}{R}\right)\sqrt{\Delta P} = \left(\frac{350}{10.4}\right)\sqrt{5} = 75\ gpm$$

R = Rangeability

ΔP = Differential pressure drop across the valve

Valve Flow Coefficient

ရေးရန်

Sizing of Water Valve

အောက်ပါ ညီမျှခြင်းသည် အခြေခံကျသော valv ရွေးချယ်သည့် ညီမျှခြင်း(basic valve sizing equation) ဖြစ်သည်။

$$C_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$$

Where: Q = Flow in gallons per minute (gpm)

Cv = Valve Flow Coefficient

ΔP = Differential pressure drop across the valve (psi)

Valve sizing ဥပမာ- ၁ (Q နှင့် Cv တန်ဖိုးကို သိလျှင်)

Given	Flow rate(Q)	=	90 gpm
	Flow coefficient (Cv)	=	51
Find	Valve pressure drop(ΔP)	=	?

အဖြေ-

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{C_v}\right)^2 = \left(\frac{90}{51}\right)^2 = 3.1\,psi$$

Valve sizing ဥပမာ- ၂ (ΔP နှင့် Cv တန်ဖိုးကို သိလျှင်)

Given	Valve pressure drop(ΔP)	=	10 ft
	Flow coefficient (Cv)	=	51
Find	Flow rate(Q)	=	?

အဖြေ- 10 ft of head x 0.433 pis/ft = 4.33 psi (1 ft of head = 0.433 psi)

$$Q = \frac{C_v}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{51}{\sqrt{4.33}} = 106\,gpm$$

Valve sizing ဥပမာ- ၃ (Q နှင့် ΔP တန်ဖိုးကို သိလျှင်)

Given	Flow rate(Q)	=	90 gpm
	Valve pressure drop(ΔP)	=	12 ft
Find	Flow coefficient (Cv)	=	?

အဖြေ- 10 ft of head x 0.433 pis/ft = 4.33 psi (1 ft of head = 0.433 psi)

$$C_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}} = \frac{90}{\sqrt{12\,x\,0.433}} = 39.5$$

ရေ မဟုတ်သည့် fluid များအတွက်

$$C_v = \frac{Q}{\sqrt{\frac{\Delta P}{Sg}}}$$

Sg = Specific gravity of the liquid

၄.၅.၅ Valve Schedule:

အောက်တွင် valve နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များ(valve schedule)ကို ဖော်ပြထားသည်။ BAS ကန်ထရိုက်တာများသည့် ရွေးချယ်ထားသည့် control valves များကို Cv တန်ဖိုးနှင့် တကွ ဖော်ပြရန် တာဝန်ရှိသည်။

(၁) Valve Identification Tag.
(၂) Location.
(၃) Valve Type.
(၄) Valve Size.
(၅) Pipe Size.
(၆) Configuration.
(၇) Flow Characteristics.
(၈) Capacity.
(၉) Valve CV.
(၁၀) Design Pressure Drop.
(၁၁) ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)at Design Flow.
(၁၂) Fail Position.
(၁၃) Close-off Pressure.
(၁၄) Valve and actuator Model Number and Type.

Processes များတွင် အသုံးများသည့် valve များမှာ ball valves, butterfly valves, globe valves နှင့် plug valves တို့ဖြစ်သည်။ အသုံးပြုပုံ (application)ကို လိုက်၍ သင့်လျော်သည့် valve အမျိုးအစားများ(types) ကို တွဲ၍ ဖော်ပြထားသည်။

Valve Type	Application	Other information
Ball	Flow is on or off	Easy to clean
Butterfly	Good flow control at high capacities	Economical
Globe	Good flow control	Difficult to clean
Plug	Extreme on/off situations	More rugged, costly than ball valve

၄.၆ Control Damper

လေထုထည်(air volume) နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow) တို့ကို လိုသလို ထိန်းယူရန်အတွက် Volume Control Damper (VCD) များကို အသုံးပြုသည်။ Volume damper ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။ Volume Control Damper (VCD) များကို နှစ်မျိုး ခွဲခြားထားသည်။ လက်ဖြင့် အဖွင့်၊ အပိတ်ပြုလုပ်သည့် (manual damper) သို့မဟုတ် balancing damper နှင့် မော်တာဖြင့်မောင်းသည့်(motor operated) damper များ ဖြစ်ကြသည်။

Damper Characteristics

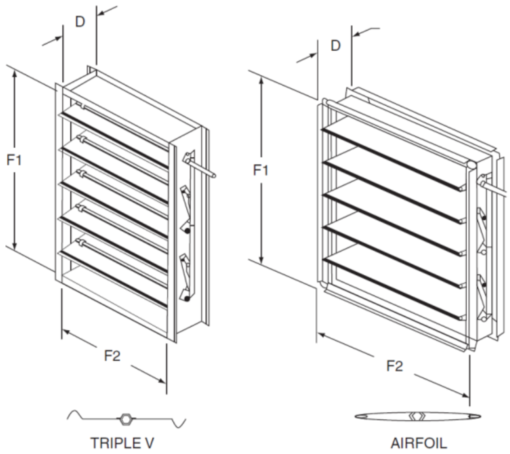
(၁) **Opposed blade** များကို balancing လုပ်ခြင်း၊ mixing လုပ်ခြင်း၊ modulating လုပ်ခြင်း နှင့် 2-position control application များ တို့တွင် အသုံးပြုသည်။

(၂) **Parallel blade:** Two-position applications (open/closed).

(၃) ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure loss)သည် လုံး၀ ပွင့်နေသည့် (full open @ 2000 FPM) အချိန်တွင် 0.15" W.G ထက် ပိုမများစေရ။

(၄) Damper များ၏ အရွယ်အစား(size)ကို ရွေးချယ်သည့်အခါ လေစီးနှုန်း(flow rate) သည် 1,200 – 1,500 CFM/sq.ft ထက်ပို မများစေရ။

Damper များကို လေလမ်းကြောင်းပြောင်းသွားစေရန် နှင့် လေစီးနှုန်း(air flow)ပမာဏ အနည်း၊ အများကို လိုသလို ထိန်းယူ(control)နိုင်ရန်အတွက် အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။ Damper များကို အဝိုင်း (round)၊ လေးထောင့်(rectangular) နှင့် ဘဲဥပုံ(oval) စသဖြင့် duct ၏ ပုံစံကို လိုက်၍ ပုံသဏ္ဍာန်အမျိုးမျိုး ပြုလုပ် ကြသည်။ အဝိုင်းပုံသဏ္ဍာန်(round) damper နှင့် ဘဲဥပုံသဏ္ဍာန်(oval) damper များကို အပြား တစ်ခုတည်း (single blade)ဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ လေးထောင့်(rectangular) damper များကို blade ငယ်များဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ Blade များသည် (၆)လက်မ သို့မဟုတ် (၈)လက်မခန့် အပြားများ ဖြစ်ကြပြီး တစ်ခုနှင့် တစ်ခုကို မောင်းတံ(linkage)ဖြင့် အတွဲလိုက်ဖြစ်အောင် ချိတ်ဆက်ထားသည်။



Airfoil dampers

ပုံ ၄-၂၈ Triple V and Airfoil dampers

HVAC လုပ်ငန်းအတွက် damper များကို များသောအားဖြင့် galvanized steel သို့မဟုတ် extruded aluminum စသည့် သတ္တုများဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ ပြင်ပ လေဝင်ပေါက်(outdoor air intake)၌ တပ်ဆင် ထားမည့် damper များကို အလျူမီနီယံ(aluminum)သတ္တုဖြင့် ပြုလုပ်ကြသည်။ အလျူမီနီယံ(aluminum) သတ္တုသည် သံချေးတက်ခြင်းကို ကာကွယ်နိုင်သောကြောင့် ဖြစ်သည်။ သံချေးတက်ခြင်း ဖြစ်နိုင်သည့် နေရာများ နှင့် စက်မှုလုပ်ငန်းများ (industrial facilities) တွင် စတီး(stainless steel)ကို အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

ဘောင်(frame) နှင့် blade များ တွန့်ခြင်း၊ လိမ်ခြင်း မဖြစ်စေရန် ကြံ့ခိုင်ခံ့အောင် ပြုလုပ် ထားရန် လိုသည်။ Damper ဝင်ရိုး(shaft)တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် ဘယ်ရင်(bearing)များသည် အမြဲတမ်း ချောဆီ ရှိနေမည့် အမျိုးအစားမျိုး ဖြစ်ရန် လိုသည်။ ပွတ်တိုက်မှု(friction)ကို လျော့နည်းစေသည့် အမျိုးအစား ဖြစ်စေသင့်သည်။

> ရေများကို လိုသလို ထိန်းယူ(control)နိုင်ရန် အတွက် ဘား(valve)များကို အသုံးပြုကြသည်။ လေများကို လိုသလို ထိန်းယူ(control)နိုင်ရန် အတွက် damper များကို အသုံးပြုသည်။ Valve နှင့် damper နှစ်ခုလုံး အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ပုံ နှင့် ရွေးချယ်ပုံ ရွေးချယ်နည်း(selection principle)တို့မှာ တူညီကြသည်။ Damper များကိုလည်း valve များကဲ့သို့ပင် တည်ငြိမ်ပြီး(stable) လိုချင်သည့် accurate control ရရန်အတွက် ဂရုတစိုက် ရွေးချယ်သင့်သည်။

Damper blade များကို ပုံစံ အမျိုးမျိုး ပြုလုပ်ကြသည်။

(၁) Flat, one-piece (single metal sheet) blade

(၂) Single skin blade with a triple-v-groove shape နှင့်

(၃) Double- skin air foil-shaped blade တို့ ဖြစ်သည်။

ပုံ(၄-၂၈) triple V နှင့် airfoil blade နှစ်မျိုးကို ပြင်ပမှ မောင်းတံ(external linkage)ဖြင့် ချိတ်ဆက် ထားပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ Damper ဧရိယာသည် F1 (အမြင့်) နှင့် F2 (အလျား) တို့ မြှောက်လဒ် ဖြစ်သည်။ ဘောင်အထူ သို့မဟုတ် ဘောင်အနက် (frame depth) သည် D ဖြစ်သည်။ Blade width နှင့် frame depth တို့ တူညီရမည်။ အပြားပုံသဏ္ဍာန်(flat) blade တစ်ခုတည်းသာ ပါသော(single blade) damper များကို အဝိုင်း ပုံသဏ္ဍာန်(round) duct နှင့် ဘဲဥပုံသဏ္ဍာန်(oval) duct များတွင် တပ်ဆင်ရန်အတွက် ပြုလုပ်ကြသည်။ ဤ damper blade ပုံစံ နှစ်မျိုးကို လေးထောင့်ပုံသဏ္ဍာန်(rectangular) damper များတွင် အသုံးပြုသည်။

Air foil ပုံသဏ္ဍာန် damper သည် ဈေးအကြီးဆုံး ဖြစ်သည်။ Air foil ပုံစံ ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် လေများ blade ကို ဖြတ်သွားသည့်အခါ ဖြစ်ပေါ်လာသည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နှင့် ဆူညံသံကို လျော့နည်းစေသည်။

Triple V groove blade ကို လေအလျင်(velocity) 2000 FPM အထိ အသုံးပြုနိုင်သည်။ သို့သော် 1500 FPM ထက် ပိုများပါက ဆူညံသံများ စတင်ဖြစ်ပေါ် လေ့ရှိသည်။ Blade များကို ထပ်နေအောင်(overlap) နှင့် interlock ဖြစ်နေအောင် ပြုလုပ်ထားသောကြောင့် တင်းကြပ်စွာ ပိတ်(tight closure)ထားနိုင်သည်။

Blade ၏ အစွန်း(edge)များ၌ compressible sealing strip ကို ကပ်ထားသောကြောင့် လေယိုစိမ့်ခြင်း (leakage)ကို လျော့နည်းစေသည်။ ထို sealing strip များကို ဈေးပေါသည့် ရာဘာ(rubber foam)ဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သကဲ့သို့၊ ဈေးကြီးသည့် စီလီကွန်(silicon rubber) သို့မဟုတ် ဗွီနိုင်း(extruded vinyl)ဖြင့်လည်း ပြုလုပ်ကြသည်။ Silicon rubber များသည် ကြာရှည်ခံသည်။

Seal များ တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် damper များ၏ လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open) နှင့် လုံးဝ ပိတ်နေသည့် အခြေအနေ(fully closed) တို့တွင် ရှိသော စွမ်းဆောင်ရည်(performance)များ ကွာခြားကြသည်။ ဘောင်(frame)၏ တစ်ဘက်တစ်ချက်တွင် blade များနှင့် တစ်တန်းတည်း ရှိနေသည့် နေရာတွင် seal ထည့်ထားခြင်းကြောင့် လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage) လျော့နည်းစေသည်။ Damper တစ်ခု၏ ပုံမှန် လေယိုစိမ့်ခြင်း (standard leakage)သည် 50 CFM per square foot at 1 inch pressure ဖြစ်သည်။

တစ်လက်မ ဖိအား(249 Pa)အောက်တွင် damper ဧရိယာ တစ်စတုရန်းပေ ရှိလျှင် 50 CFM နှုန်း လေယိုစိမ့်သည်။ Air foil blade များကို သုံးထားသည့် low leakage damper အမျိုးအစားသည် လေးလက်မ ဖိအား(996 Pascal) အောက်တွင် damper ဧရိယာ တစ်စတုရန်းပေ ရှိလျှင် 10 CFM နှုန်းသာ လေယိုစိမ့်သည်။

HVAC system များတွင် အသုံးပြုထားသည့် shut off damper များသည် လေယိုစိမ့်မှုနည်းသည့်(low leakage) damper အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ တစ်လက်မဖိအား(249 Pascal)အောက်တွင် damper ဧရိယာ တစ်စတုရန်းပေရှိလျှင် 2 CFM နှုန်း လေယိုစိမ့်သည်။ (2 CFM per square foot at 1 inch wg)။ လေယိုစိမ့်ခြင်း (leakage)ကြောင့် မလိုလားအပ်သည့် ဆိုးကျိုးများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

လေယိုစိမ့်ခြင်း(leakage)ကြောင့် စွမ်းအင်ဖြုန်းတီးမှု ဖြစ်ပေါ်သည်။ ကုန်ကျစရိတ် ပိုများသည်။ Damper တစ်ခု၏ အနည်းဆုံး လက်ခံနိုင်သည့်နှုန်း(minimum leakage)များကို ANSI/ ASHRAE/ IESNA Standard 90.1-2004 တို့တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Ultra-low leak damper နှုန်းမှာ 4 CFM/ft^2 ဖြစ်သည်။ Low leak damper နှုန်းမှာ 10 CFM/ft^2 ဖြစ်သည်။ Cooling load အလွန်များသည့် system များအတွင် ultra-low leak damper များကို တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Table 3-2 Maximum Damper Leakage (ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004)

Climate	Maximum Damper Leakage at 1.0 in wg cfm/ft^2 of Damper Area: Motorized	Non-motorized
1, 2, 6, 7, 8	4	Not allowed
All others	10	20(a)

Note: (a) dampers smaller than 24 inches, in either dimension, may have leakage of 40 cfm/ft^2

Ultra-low leak damper နှုန်းမှာ $4\ CFM/ft^2$ ဖြစ်သည်။ Low leak damper နှုန်းမှာ $10\ CFM/ft^2$ ဖြစ်သည်။

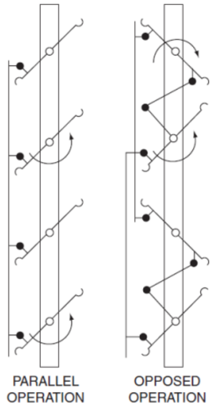
Cooling load အလွန်များသည့် system များအတွင် ultra-low leak damper များကို တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Blade များ ပြိုင်တူပွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန်အတွက် မောင်းတံ(linkage)ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ မောင်းတံ(linkage)ကို နေရာ နှစ်နေရာတွင် တပ်ဆင်ထားနိုင်သည်။ ပုံ(၄-၃၀)တွင် ဖော်ပြထားသည့် blade ပုံစံမျိုး တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်ပြီး လေထဲတွင်ပေါ်နေသည့် မောင်းတံ(linkage) အမျိုးအစား ပါရှိသည့် damper များသည် စျေးနည်းသည်။ မောင်းတံ(linkage)များကို လေနှင့် မထိတွေ့စေဘဲ (မပေါ်အောင်မြုပ်ထားသည့်) အမျိုးအစားများသည် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)ပိုနည်းပြီး၊ သံချေးတက်ခြင်း(corrosion)ကိုလည်း လျော့နည်းစေသည်။

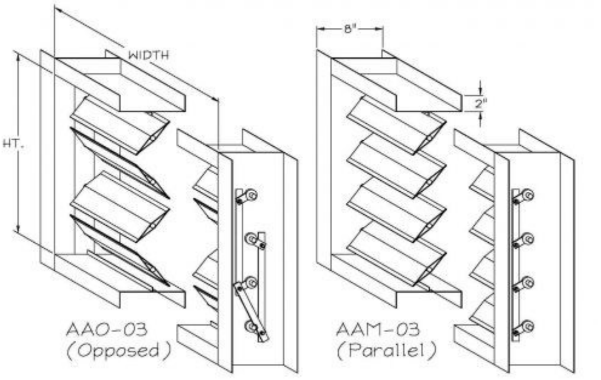
ပိုအားကောင်းသည့် ပုံစံမျိုးဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားခြင်းကြောင့် damper ပိတ်နေသည့်အချိန်၌ ပို၍ တင်းကြပ်စွာ seal ဖြစ်စေသည်။ အထူးသဖြင့် damper များ သက်တမ်း ကြာမြင့်သည့်အခါ ပိုတင်းကြပ်စွာ လုံအောင်ပိတ်နိုင်စွမ်း(seal) ကျဆင်းလာသည်။ Blade များ ကွေးညွတ်သွားသည့်အခါ တင်းကြပ်စွာ ပိတ်နိုင်စွမ်း မရှိတော့ပေ။ Damper များကို ရုတ်တရက် ဖွင့်ပေးခြင်း၊ ပိတ်ပေးခြင်း တို့ကို ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) အနေဖြင့် ပုံမှန် ပြုလုပ်ပေးသင့်သည်။

Damper နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုမည့် actuator များကို damper အသစ်အတွက် သာမက damper ဟောင်းပြီး အိုမင်းသွားမည့်အချိန် အတွက်ပါ စဉ်းစား၍ အနည်းငယ်ပိုကြီးအောင်(oversized) ပြုလုပ် သင့်သည်။ Actuator ၏ တွန်းအားကို damper အသစ် အခြေအနေအတွက်သာ လုံလောက်ရုံ ရွေးချယ် ထားလျှင် သက်တမ်း ကြာသွားသည့်အခါ actuator သည် damper ကို ပွင့်အောင် ဖွင့်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Damper နှင့် actuator များ ကြာရှည် အသုံးပြုနိုင်ရန်အတွက် damper များနှင့် မောင်းတံ(linkage) များကို ပုံမှန် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံမှသာ ပိတ်လေ့ ဖွင့်လေ့ ရှိသည့် damper များကို လေးလ တစ်ကြိမ်၊ ခြောက်လ တစ်ကြိမ် ပုံမှန် စစ်ဆေးမှုများ ပြုလုပ်သင့်သည်။



ပုံ ၄-၂၉ Typical multi-blade dampers



ပုံ ၄-၃၀ Damper linkages

Blade များစွာပါသည့် damper ကို multi-blade damper ဟုခေါ်သည်။ Multi-blade damper များ၌ blade များသည် parallel blade နှင့် opposed blade ဟူ၍ ပုံစံ နှစ်မျိုး ရှိနိုင်သည်။ ပုံ(၅-၄၇) နှင့် ပုံ(၅-၄၈) တွင် ဖော်ပြထားသည်။

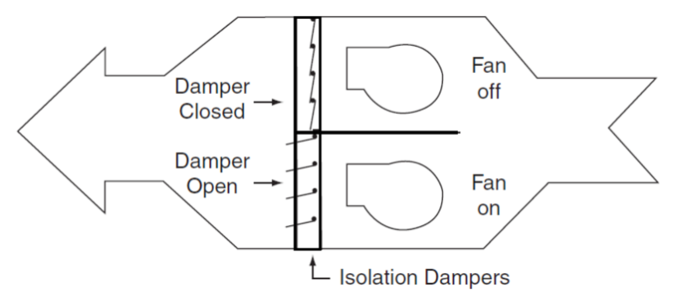
(၁) Parallel blade operation ဆိုသည်မှာ blade များ တစ်ဘက်တည်းသို့(same direction) တစ်ညီ တစ်ညာတည်း ပြိုင်တူ ပွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

(၂) Opposed blade operation ဆိုသည်မှာ တစ်ခုကျော် blade များ တစ်ဘက်သို့ လည်နေချိန်တွင်

ကျန်တစ်ခုကျော် blade များ အခြားတစ်ဘက်သို့ လည်နေခြင်းဖြင့် ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်းကို ဖြစ်စေသည်။

ထို damper နှစ်မျိုးတွင် မတူညီသော လုပ်ဆောင်ချက်များ(operating characteristic) ရှိကြသည်။ Blade တစ်ခုတည်းသာရှိသည့် (single blade) damper ၏ လုပ်ဆောင်ချက်များ(operating characteristic) သည် parallel နှင့် opposed blade damper တို့ နှစ်ခုအကြားတွင် ဖြစ်သည်။

Actuator များကို damper operator သို့မဟုတ် damper motor ဟုလည်းခေါ်သည်။ လုံးဝ ပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open)တွင် လေ၏တွန်းအား အများဆုံး ဖြစ်ပေါ်သောကြောင့် damper actuator သည် လုံလောက်အောင် ကြီးမားသည့် စွမ်းအား(power) ရှိမှသာ damper ကို ကောင်းစွာ ပိတ်နိုင်လိမ့်မည်။

	
ပုံ ၄-၃၁ Fans in Parallel	ပုံ ၄-၃၂ Centrifugal Fan with Inlet Vane damper

Modulating damper များသည် လိုအပ်သည့် small increment များအတိုင်း ချောမွေ့စွာ ရွေ့လျားစေရန်(ပိတ်ခြင်း၊ ပွင့်ခြင်း) damper actuator က ကောင်းစွာ modulate လုပ်ပေးနိုင်ရမည်။ Lower leakage damper များတွင် seal များ ပါရှိခြင်းကြောင့် ပွတ်တိုက်မှု(friction) ပိုများသည်။ ထိုပိုများသည့် ပွတ်တိုက်မှု (friction)ကို ကျော်လွှားရန်အတွက် ပိုကြီးမားသည့် damper motor (damper actuator) တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည်။

> ယေဘုယျအားဖြင့် opposed blade damper များနှင့် နှိုင်းယှဉ်လျှင် parallel blade damper များတွင် ပိုကြီးမားသည် actuator တပ်ဆင်ရန် လိုအပ်သည်။

Actuator ထုတ်လုပ်သူများသည် damper ပိတ်ရန်၊ ဖွင့်ရန်အတွက် လိုအပ်သော အား(torque)ကို inch-pound ဖြင့် ဖော်ပြသည်။ ပွတ်တိုက်မှု(friction) နှင့် လေဖိအားကို ကျော်လွှန်ရန် actuator များ၌ ရှိသည့်ရှိထိုက်သည့် (minimum torque) ကိုလည်း ဖော်ပြပေးရသည်။ ယေဘုယျ စည်းကမ်းချက်မှာ damper နှင့် actuator များကို Normally Open(NO) operation ပုံစံမျိုးဖြင့် ပြုလုပ်(set up) ထားလေ့ရှိသည်။ အကယ်၍ power မရှိတော့သည့်အခါ သို့မဟုတ် ပျက်(fail)သွားသည့်အခါ damper သည် ပွင့်လျက်သား ကျန်ခဲ့ပြီး လေများ အဆက်မပြတ် စီးဆင်း(flow) နေလိမ့်မည်။ ရောက်ပြီ

Coil များတွင် ရေခဲခြင်း(freezing) မဖြစ်စေရန်၊ hazardous waste များ မဝင်ရောက်စေရန် နှင့် system ကို isolation လုပ်ရန် စသည့် အချက်များကို အခြေခံ၍ damper သည် Normally Open(NO) သို့မဟုတ် Normally Close(NC) ဖြစ်ရမည်ကို ဆုံးဖြတ်ကြသည်။
Damper အမျိုးအစား(type) ရွေးချယ်ခြင်း နှင့် damper အရွယ်အစား(size)ရွေးချယ်ခြင်းကို အခြေခံ၍ damper အသုံးပြုပုံ (application) သုံးမျိုး ရှိသည်။

(က) Two position only

လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေနှင့် လုံးဝပိတ်နေသည့်အခြေအနေ(fully open/fully closed) position နှစ်မျိုး အတွက်သာ ဖြစ်သောကြောင့် "**Two Position**" ဟုခေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Fan များ isolation လုပ်ရန် နှင့် ပြင်ပလေဝင်ပေါက်(out door air intake)များ ပိတ်(shut-off)ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။

(ခ) Capacity control duty

အလိုရှိသည့် capacity ရအောင် damper များဖြင့် control လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ VAV discharge damper များနှင့် air balancing damper အဖြစ် အသုံးပြုသည်။

(ဂ) Mixing duty

လေနှစ်မျိုး ရောနှောသွားရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။ Economizer damper များ အဖြစ် အသုံးပြုသည်။

၄.၆.၁ (က) Two Position Duty

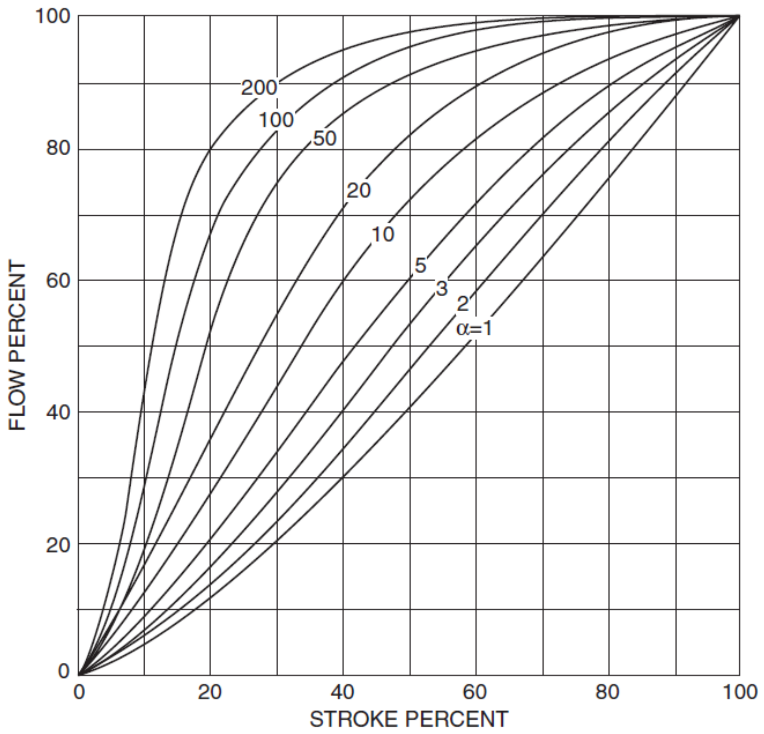
Fan ပိတ်လိုက်သည့် အချိန်၌ တခြားနေရာမှ လေများဝင်လာခြင်း သို့မဟုတ် duct အတွင်းမှ လေများထွက်သွားခြင်းတို့ကို ကာကွယ်ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ Outdoor air intake ၊ fan intake နှင့် discharge များတွင် တပ်ဆင်လေ့ရှိသည်။ Fan မောင်းနေသည့် အချိန်၌ damper ပွင့်နေပြီး၊ fan ရပ်နားနေခိုက် damper ပိတ်နေမည်ဖြစ်သောကြောင့် အပွင့်နှင့် အပိတ် ပုံစံ(position) နှစ်မျိုးသာ ဖြစ်နိုင်သည်။ ပြင်ပမှ တိုက်လေဖိအား(wind pressure) နှင့် stack effect တို့ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသည့် infiltration ဖြစ်ခြင်းကို ကာကွယ်ရန် နှင့် လျော့နည်းစေရန် အတွက် fan ရပ်နေသည့် အချိန်၌ ပြင်ပလေဝင်ပေါက်(out door air intake)ရှိ damper ကို ပိတ်နေအောင် supply air fan နှင့် interlock လုပ်ထားရမည်။ ထို့ကြောင့် coil များပေါ်တွင် ရေခဲခြင်း(freezing) မှ ကာကွယ်နိုင်သည်။ ဆောင်းရာသီတွင် အပူဆုံးရှုံးခြင်း(heat loss) ဖြစ်မှု လျော့နည်းအောင် လုပ်နိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင် အတွက် ကုန်ကျစရိတ် (heating energy cost)သက်သာသည်။

ထိုကဲ့သို့မျိုး damper များကို actuator(motor) ဖြင့်မောင်းသော motorized damper များ သို့မဟုတ် ကမ္ဘာမြေဆွဲအားကို အသုံးပြုထားသည့် gravity damper များ အဖြစ်တွေ့နိုင်သည်။ Gravity damper များကို Back Draft Damper(BDD) သို့မဟုတ် Barometric Damper သို့မဟုတ် Non Return Damper(NRD) များဟု အမျိုးမျိုး ခေါ်ဝေါ်ကြသည်။ ကမ္ဘာမြေဆွဲအားကို အသုံးပြုသည့်(gravity) damper များတွင် actuator (motor) တပ်ဆင်ထားခြင်း မရှိသောကြောင့် motorized damper များကဲ့သို့ တင်းကြပ်စွာ ပိတ်နေခြင်း(tight seal) မဖြစ်နိုင်ပါ။

Gravity damper များသည် လေဦးတည်ရာ တစ်ဘက်တည်းကိုသာ စီးဆင်းနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားသည်။ အသွား(supply)ဘက်သာ စီးခွင့်ပြုပြီး အပြန်(return)ဘက်သို့ ပြန်မစီးနိုင်အောင် ပြုလုပ်ထားခြင်းကြောင့် "**Non Return Damper**"ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

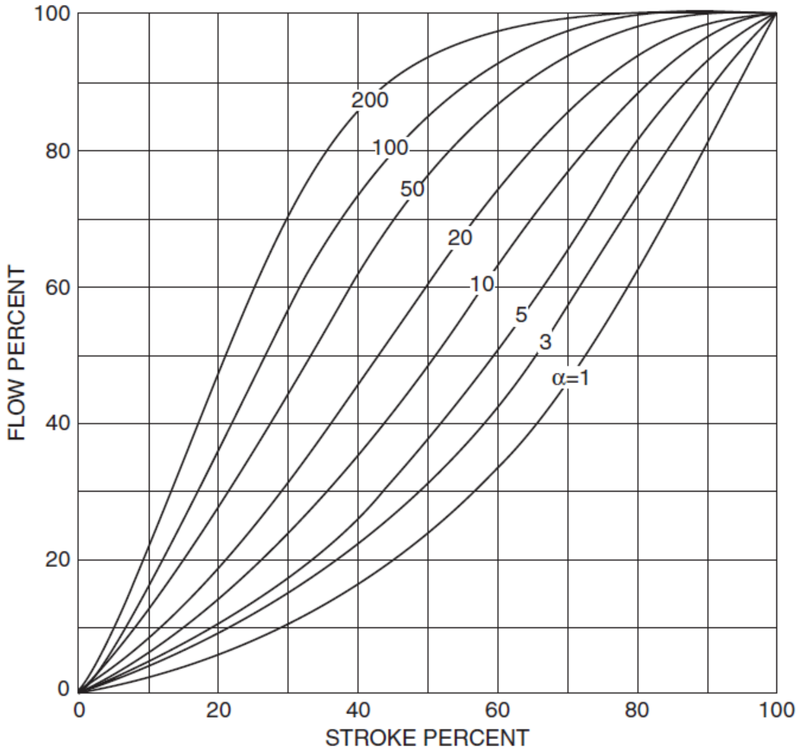
Exhaust fan တွင် တပ်ဆင်ထားသည့် back draft damper သည် fan ရပ်ထားချိန်၌ ပြင်ပမှလေများ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ခြင်းကို ကာကွယ်ပေးသော်လည်း fan မောင်းနေချိန်တွင် exhaust air များ fan discharge point မှ ထွက်နိုင်အောင် ဖွင့်ပေးထားသည်။

ဆောင်းရာသီ၌ အလွန်မြင့်မားသည့် အဆောက်အဦများတွင် stack effect ကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာသော လေဖိအား(air pressure)သည် damper ကို ပွင့်စေနိုင်လောက်အောင် တွန်းအားများသည်။ ထိုအခါ အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ လေများသည် exhaust system မှ တစ်ဆင့် အပြင်သို့ ထွက်သွားပြီး၊ နိမ့်သည့် အထပ်များ အတွင်းသို့ ပြင်ပလေများ make up air အဖြစ် အစားထိုး ဝင်ရောက်လာသည်။ ထိုကဲ့သို့ မဖြစ်စေရန် အတွက် ကမ္ဘာမြေဆွဲအားကို အသုံးပြုသည့်(gravity) damper များအစား motorized damper ကို သုံးရန် ပိုမို သင့်လျော်သည်။



α = ratio of system pressure drop to the drop across the damper at maximum (full open) flow

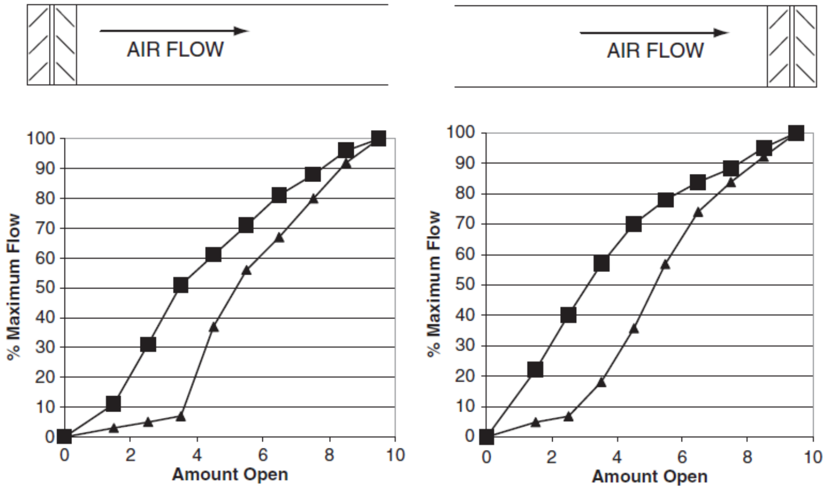
ပုံ ၄-၃၃ Installed characteristic curves of parallel blade dampers



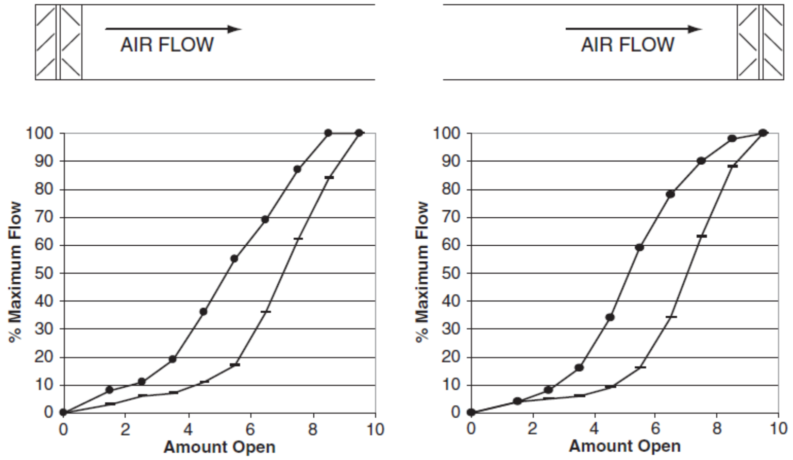
α = ratio of system pressure drop to the drop across the damper at maximum (full open) flow

ပုံ ၄-၃၄ Installed characteristic curves of opposed blade dampers

တစ်ခါတစ်ရံ gravity damper များသည် motorized damper များထက် ပိုမိုသင့်လျော်သည်။ ဥပမာ ပုံ (၅-၄၁)တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း fan နှစ်လုံးကို အပြိုင်ပုံစံ(operating in parallel)ဖြင့် မောင်းလိုသည့်အခါ damper များကို ကန့်သတ်ပိုင်းခြား(isolate)ရန် အတွက် တပ်ဆင်ထားသည်။ ထို့ကြောင့် မည်သည့် fan ကိုမဆို ကြိုက်သလို မောင်းနိုင်သည်။



ပုံ ၄-၃၅ Two Parallel blade Triple V dampers From Different Manufacturers



ပုံ ၄-၃၆ Two opposed blade triple v dampers from different manufacturers

Variable Air Volume(VAV) application ၌ low load အခြေအနေတွင် fan တစ်လုံးသာ မောင်းပြီး high load တွင် fan နှစ်လုံးကို ပြိုင်တူ မောင်းနိုင်သည်။ ထိုအခြေအနေမျိုးတွင် shut-off damper မတပ်ဆင်ထားလျှင် မောင်းနေသည့် fan မှ လေများ ရပ်ထားသည့် fan အတွင်းသို့ ပြန်လည် ဝင်ရောက်နိုင်သည်။ Parallel pumping system များတွင် check valve များ တပ်ဆင်ထားရန် လိုအပ်သည့် သဘောမျိုး ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ motorized damper ကို အသုံးပြုမည်ဆိုပါက မည်သည့် အချိန်တွင် damper ပိတ်ရမည်၊ ဖွင့်ရမည် ဆိုသည့် ပြဿနာကို ရင်ဆိုင်ရလိမ့်မည်။

Fan မမောင်းခင် damper ကို ဖွင့်လျှင် တခြားမောင်းနေသည့် fan မှ လေများ ရပ်နေသည့် fan အတွင်းသို့ ဝင်ရောက်ကာ ပြောင်းပြန်စီးခြင်း(back flow)ဖြစ်ပေါ်စေပြီး short circuit ဖြစ်လိမ့်မည်။ ထိုလေများကြောင့် fan ၏ wheel သည် နောက်ပြန် လည်နေလိမ့်မည်။ ပြောင်းပြန်လည်နေသည့် fan ကို စတင်မောင်းလိုက်သည့်အခါ အလိုရှိသည့် direction ဘက်သို့ လည်စေရန် ပို၍အားကောင်းသည့် (starting torque) လိုအပ်သောကြောင့် မော်တာဝန်ပိခြင်း(motor over load) ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။

Fan ကို အရင် စတင်မောင်းပြီးမှ damper ကို ဖွင့်လျှင် fan plenum အတွင်း၌ ဖိအား (pressure)များ အလွန်မြင့်မားလာကာ ထိခိုက်ပျက်စီးနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့သော application အတွက် gravity back draft damper သည် ပို၍ သင့်လျော်သည်။ Fan မောင်းလိုက်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် ဖိအား (pressure) တဖြည်းဖြည်း များလာကာ gravity damper ကို အလိုအလျောက် တစ်ဖြည်းဖြည်းခြင်း ပွင့်သွား စေလိမ့်မည်။ Back draft damper ကို fan discharge အနီးတွင် အမြဲတပ်ဆင်ထား လေ့ရှိသည်။ Fan discharge နေရာ၌ လေအလျင်(velocity) ပိုများသောကြောင့် back draft damper များကို heavy duty damper အမျိုးအစား အဖြစ် ပြုလုပ်သင့်သည်။

Two position အတွက် အသုံးပြုရာတွင် parallel blade damper ကို အသုံးပြုသည်ဖြစ်စေ၊ opposed blade damper ကို အသုံးပြုသည်ဖြစ်စေ ကွာခြားချက် မရှိပေ။ တစ်နည်းအားဖြင့် two position အတွက် မည်သည့် damper ကို မဆို အသုံးပြုနိုင်သည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open)နှင့် လုံးဝပိတ်နေသည့် အခြေအနေ(fully close position) တို့တွင် damper နှစ်မျိုးလုံး၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) တူညီကြသည်။

Parallel blade damper များကို ဈေးသက်သာသောကြောင့် ပို၍ အသုံးများသည်။ Damper တစ်ခု တည်းကသာ ဈေးသက်သာသော်လည်း damper နှင့် actuator နှစ်ခုပေါင်းထားသည့် အခါ ဈေးသက်သာ ဖို့ရန် မသေချာပေ။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် အရွယ်အစားတူလျှင် parallel damper ၏ actuator သည် opposed blade damper ၏ actuator ထက် ပို၍ အရွယ်အစားကြီးရန်(ပိုအားကောင်းရန်)လိုသည်။ ထို့ကြောင့် HVAC designer များသည် two position application များအတွက် ပစ္စည်းရောင်းသူ(vendor)နှင့် ကန်ထရိုက်တာ (contractor) များကိုသာ ဈေးသက်သာသည့် အမျိုးအစားကို ရွေးချယ်ခွင့်ပေးထားသည်။

Two position damper အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းသည် သိပ်အရေးမကြီးပါ။ အဘယ်ကြောင့် ဆိုသော် two position damper များသည် ပိတ်ရန် ဖွင့်ရန်သာ လိုအပ်ပြီး modulate လုပ်ရန် မလိုအပ်ပေ။

Two position damper များသည် အရွယ်အစား(size) ပိုကြီးလေ၊ လေယိုစိမ့်မှု(leakage) ပိုများလေဖြစ်ပြီး ဈေးပိုကြီးလေ ဖြစ်သည်။ သို့သော် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နည်းသောကြောင့် စွမ်းအင်(energy) သုံးစွဲမှုလည်း နည်းလေသည်။

Shut off damper များကို တပ်ဆင်မည့်နေရာရှိ duct အရွယ်အစားအတိုင်း ရွယ်တူ(same size) ဖြစ်အောင် ရွေးချယ်လေ့ရှိသည်။

၄.၆.၂ (ခ) Capacity Control Duty

Air system မှ လေများ အညီအမျှ ဖြစ်စေရန် သို့မဟုတ် လေဖြန့်ဖြူးမှု ညီမျှစေရန် အတွက် capacity control damper များကို အသုံးပြုသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ terminal တိုင်းတွင် လိုအပ်သည့်လေစီးနှုန်း(air flow)ရရှိရန် duct တစ်ခုတည်းဖြင့် ပြုလုပ်၍ မရနိုင်ပေ။ Volume Control Damper(VCD) သို့မဟုတ် balancing damper များကို branch duct နှင့် selection များတွင်ထည့်၍ diffuser နှင့် grille တိုင်း၌ လိုအပ်သော ဒီဇိုင်း လေစီးနှုန်း(design air flow)ရရန် ဖိအား(pressure)ကို ထိန်းညှိပေး(adjust) ရသည်။ Volume control damper များသည် static damper များဖြစ်ကြသည်။ Static damper ဆိုသည်မှာ actuator မပါဝင်ဘဲ တစ်ခါချိန်ထားရုံဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow) အမြဲတမ်း ညီမျှနေမည့် အမျိုးအစားဖြစ်သည်။ Volume control damper အမျိုးအစားနှင့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်းသည် သိပ်အရေးမကြီးပေ။

ပိုနေသည့်လေများကို လျှော့ချရုံသာဖြစ်ပြီး လုံးဝပွင့်နေသည့် အခြေအနေ(fully open position)ခန့် တွင် လိုအပ်သလောက် ပိတ်ထား(throttle)ခြင်းဖြစ်သည်။ Volume control damper များသည် single blade အမျိုးအစား နှင့် single skin damper အမျိုးအစားများသာ ဖြစ်ကြပြီး တပ်ဆင်သည့်နေရာရှိ duct အရွယ်

အတိုင်းသာ အရွယ်တူ ပြုလုပ်လေ့ရှိသည်။

ထို damper များကို ဈေးသက်သာအောင် ပြုလုပ်ကြသောကြောင့် တစ်ခါတစ်ရံ အသံ ဆူညံလေ့ရှိသည်။ Outlet နေရာမှ ဝေးနိုင်သမျှ အဝေးဆုံးနေရာတွင် တပ်ဆင်ထားသင့်သည်။ VAV system ရှိ fan များ၏ capacity ကို control လုပ်ရန် damper များကို အသုံးပြုသည်။ Damper ပုံစံ(style)နှစ်မျိုးမှာ inlet guide vane နှင့် discharge damper တို့ဖြစ်သည်။

လုံးဝနီးပါး အမြဲတမ်းပွင့်နေသောကြောင့် leakage ဖြစ်ခြင်းလျော့နည်းစေသည်။ gasket များ တပ်ဆင်ထားရန် မလိုအပ်ပေ။ VAV system ရှိ fan များ၏ လေထွက်နှုန်း(capacity)ကို ထိန်းချုပ်(control)ရန် damper များကို အသုံးပြုသည်။ Damper ပုံစံ(style) နှစ်မျိုးမှာ Inlet Guide Vane(IGV) နှင့် discharge damper တို့ဖြစ်သည်။

ပုံ(၄-၃၂)တွင် ပြထားသည့် အတိုင်း Inlet Guide Vane(IGV)ကို fan ၏ အဝ(inlet)တွင် damper အဖြစ် တပ်ဆင်ထားပုံ ဖြစ်သည်။ Fan ၏ အဝိုင်းသဏ္ဍာန် အဝ(inlet)တွင် တပ်ဆင်ရန် ဖြစ်သောကြောင့် damper blade များသည် pic-shaped ဖြစ်ပြီး တစ်ဘက်တည်းသို့ အားလုံး တစ်ပြိုင်နက် လည်နိုင်သည်။

Damper ၏ အကျိုးသက်ရောက်မှုမှာ ဝင်လာသည့်လေ(entering air)ကို ကြို၍ လှည့်ထားပေးခြင်း (pre-rotational spin) ဖြစ်သည်။ Damper တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် ဝင်လာသည့်လေသည် fan ၏ wheel လည်သည့်ဘက်သို့ ဦးတည်သွားစေသည်။ ဝင်လာသည့် လေ၏ direction နှင့် fan ၏ wheel direction တို့ တူညီသွားသောကြောင့် မော်တာသည် အလုပ်များများလုပ်ရန် မလိုအပ်တော့ပေ။ Air volume ကို လျော့ချလိုသည့်အခါ၌ inlet guide vane ကို ပိတ်၍ unload လုပ်နိုင်သောကြောင့် fan ၏ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy consumption) လျော့သွားချသည်။ လက်တွေ့တွင် inlet guide vane သည် စွမ်းအားပြည့်(maximum capacity) မှ ၃၀% အထိ လျော့ကျအောင် လေစီးနှုန်း(air flow) နှင့် ဖိအား(pressure)ကို လျော့ချနိုင်သည်။

Discharge damper များသည် paralle pump များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် check valve များနှင့် တူညီကြသည်။ Discharge damper များသည် ပိုနေသည့် fan မှ ထုတ်ပေးရမည့် ဖိအား(fan pressure)ကို လျော့ချနိုင်သောကြောင့် VAV box များ ကောင်းမွန် အဆင်ပြေစွာ အလုပ်လုပ်နိုင်သည်။ ပို၍ stable ဖြစ်သည့် ပုံစံမျိုးဖြင့် လေစီးနှုန်း(air flow) ကို control လုပ်နိုင်သည်။

Discharge damper များကြောင့် fan ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)သည် ပြောင်းလဲ မသွားပေ။ Discharge damper များ throttling လုပ် သည့်အခါ စွမ်းအင် ဆုံးရှုံးခြင်းနှင့် အသံဆူညံခြင်းတို့ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သောကြောင့် ယခုအခါ VAV system များတွင် discharge damper များကို အသုံးမပြုကြတော့ပေ။

Capacity control လုပ်ရန် volume damper များနှင့် discharge damper များကို throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် opposed blade များကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Parallel blade များကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။

Fully open မှ လုံးဝပိတ်နေသည့်အခြေအနေ(fully closed)အထိ throttling လုပ်သည့်အခါ linear flow characteristic ရှိခြင်းသည် အဓိက အကြောင်းဖြစ်သည်။ ပုံ(၄-၃၃) နှင့်(၄-၃၄) တို့တွင် classic diagram ကို ဖော်ပြထားသည်။

Parameter "A" သည် ဖိအားကျဆင်းမှု(total system pressure drop)ကို damper ပွင့်နေသည့် အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သည့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)across the damper နှင့် စားထားသည့် အချိုးဖြစ်သည်။

Control valve authority တွင် ဖော်ပြခဲ့သည့် အခြေအနေအများနှင့် တူညီသည်။

$$\alpha = ratio\ of\ system\ pressure\ drop\ to\ the\ drop\ across\ the\ damper\ at\ miximum\ (fully\ open) flow$$

$$\alpha = \frac{System\ resistance}{Open\ damper\ resistance}$$

$$Valve\ Authority = \frac{Open\ valve\ resistnace}{Pipe\ loop\ resistance}$$

ထို figure များသည် damper စွမ်းဆောင်ရည်(performance)တစ်ခုလုံးကို ပြည့်စုံစွာ မဖော်ပြနိုင်ပေ။ authority များလာသည်နှင့် အမျှ curve သည် အပေါ်သို့ တက်သွားသည့် ပုံစံမျိုးဖြစ်သော်လည်း အားပမာဏ ပိုနည်းသည်။(ပုံ ၄-၃၃ နှင့် ၄-၃၄)

Damper ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) များသည် အောက်ပါ အချက်များပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) Manufacturer

(၂) Damper relative size နှင့်

(၃) Damper situation တို့ ဖြစ်သည်။

(၁) Manufacturer

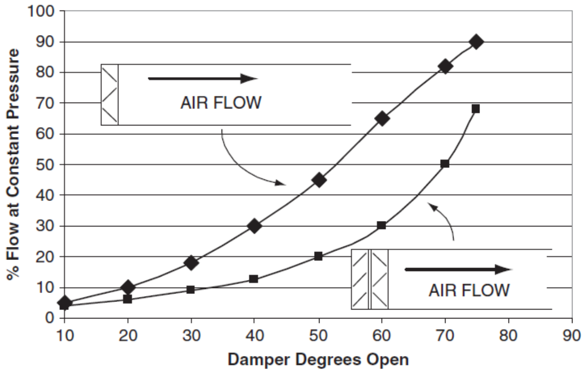
Damper ထုတ်လုပ်သူများ၏ ဒီဇိုင်း(design)၊ ပြုလုပ်သည့်ပစ္စည်း(material)၊ မောင်းတံ (linkage) နှင့် blade seal များ မတူညီခြင်းကြောင့် damper များ၏ လုပ်ဆောင်နိုင်မှု(performance) များ ကွဲပြားရသည်။

(၂) Damper Relative Size

Damper ၏ အရွယ်အစား(size) နှင့် duct ၏ အရွယ်အစား(size) သို့မဟုတ် wall opening ၏ အရွယ်အစား မတူညီခြင်းကြောင့် damper များ၏ လုပ်ဆောင်နိုင်မှု(performance)များ ကွဲပြား ရသည်။ ဥပမာ damper ၏ အရွယ်အစားနှင့် duct ၏ အရွယ်အစား တူညီခြင်းကြောင့် duct ထဲမှ လေသည် damper အတွင်းသို့ တန်းဝင်သွားသည်။ အလွန်ကျယ်သည့် wall opening နေရာတွင် သေးငယ်သည့် damper တပ်ဆင်ထားခြင်းကြောင့် လေများသည် damper ငယ် အတွင်းသို့ ဖြောင့်တန်းစွာ မဝင်ရောက်နိုင်ဘဲ မတူညီသည့် flow characteristic များ ဖြစ်ပေါ်ကာ damper လုပ်ဆောင်နိုင်မှု(performance)များ ကွဲပြားရသည်။

(၃) Damper Situation

Duct ၏ လမ်းကြောင်း ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် damper မဝင်ခင် လေ၏ direction နှင့် damper အထွက်မှ လေသွားလမ်းကြောင်း(direction) ပြောင်းလဲသောကြောင့် damper ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance) ကွဲပြားရသည်။

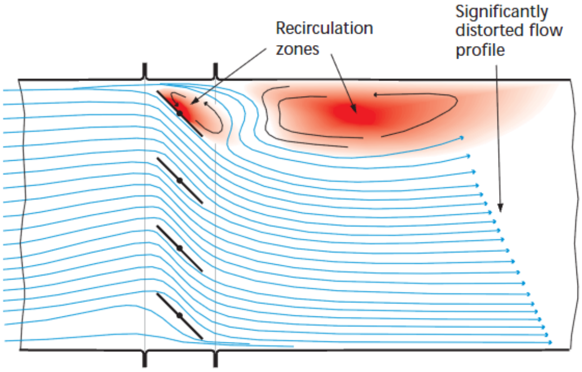


ပုံ ၃-၃၇ Effect of Inlet Louver on an Opposed blade damper Characteristic

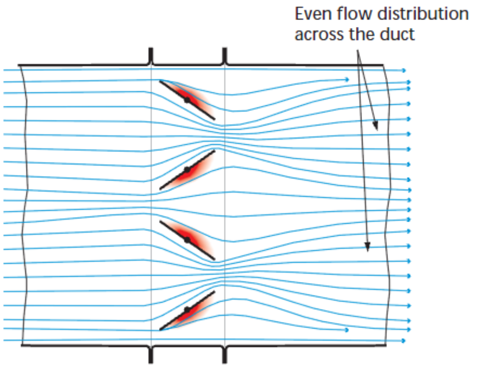
ပုံ(၃-၃၇)တွင် opposed blade damper ၏ စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို ဖော်ပြထားသည်။ Capacity control (throttling) application တွင် damper လုံးဝ ပိတ်နေသည့် အခြေအနေ(position)နှင့် နီးလာလေ pressure drop across the damper များလာလေ ဖြစ်သည်။

Damper throttling လုပ်ခြင်းကြောင့် လေစီးနှုန်း(air flow rate) နည်းလာကာ duct system ရှိ အခြားသော အစိတ်အပိုင်းများ၏ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့် ဖြစ်သောဖိအားဆုံးရှုံးမှု(frictional losses) ကျဆင်းလာသည်။ ပွတ်တိုက်မှုကြောင့်ဖြစ်သော ဖိအားဆုံးရှုံးမှု(frictional losses)သည် လေစီးနှုန်း(air flow rate) ၏ နှစ်ထပ်ကိန်းနှင့် ညီမျှသည်။ Fan ၏ ဖိအား(pressure)သည် volume flow rate နည်းသည့်အခါ fan curve အတိုင်း တက်လာလိမ့်မည်။ Hydronic system များတွင် တပ်ဆင်ထားသည့် two way valve များ ပြုမူပုံ နှင့် ခပ်ဆင်ဆင် တူညီသည်။

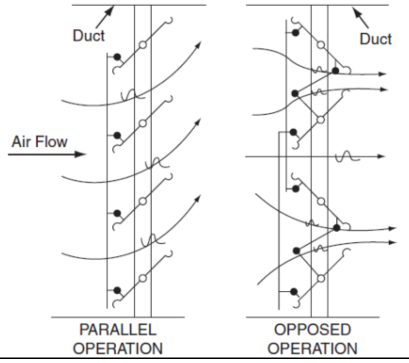
Throttling application များတွင် parallel blade damper ကို အသုံးပြုသည့်အခါ linear characteristic မျိုးတွေ့ရလေ့ရှိသော်လည်း damper အဝင်နှင့်အထွက် အကြား ဖိအားကျဆင်းမှု (pressure drop)သည် system တစ်ခုလုံး၏ ဖိအားကျဆင်းမှု(total pressure drop)၏ ၂၀% ခန့် ဖြစ်သည်။



ပုံ ၄-၃၈ Air flow through parallel



ပုံ ၄-၃၈ Air flow opposed dampers



ပုံ ၄-၃၈ Flow Pattern through dampers

Opposed blade damper ကို throttling application တွင် အသုံးပြုသည့်အခါ linear characteristic မျိုးဖြစ်ပြီး pressure drop across the damper သည် total system pressure drop ၏ ၅% ခန့်ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် opposed blade damper များသည် down steam တွင် turbulance ဖြစ်စေမှု နည်းပါးသောကြောင့် throttling application တွင် အလွန်အသုံးများရခြင်း ဖြစ်သည်။

ထိုအချက်ကို ပုံ(ပုံ ၄-38)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Parallel blade damper သည် လေစီးကြောင်း ဦးတည်ရာ(air steam direction)ကို စောင်းသွား(deflect the air steam)စေသည်။ ထို့ကြောင့် down steam ၌ ပို၍ turbulance ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

အကယ်၍ လေစီးကြောင်းအောက်ဘက်(down stream) အနီးတွင် elbow ကဲ့သို့သော duct fitting ရှိနေပါက asymmetric enter velocity ကြောင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) သည် မှတ်ထားသည်ထက် ပိုများလိမ့်မည်။ အကယ်၍ လေစီးကြောင်း အောက်ဘက်(down stream) အနီးတွင် diffuser ရှိနေပါက ဆူညံသံ အလွန်မြင့်မားပြီး လေထွက်ပုံ(outlet throw pattern)လည်း ပုံပြောင်းသွား လိမ့်မည်။

ထို့ကြောင့် လေထွက်ပေါက်(air outlet)ကို ထုတ်လုပ်သူများက diffuser ၏ neck သို့မဟုတ် diffuser အနီးနား တွင် opposed blade damper များကိုသာ တပ်ဆင်ရန် ပေးထားခြင်းဖြစ်သည်။

Throttling လုပ်ရန် နေရာများတွင် အသုံးပြုမည့် damper များ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ပုံသည် hydronic system များတွင် control valve များ၏ အရွယ်အစား ရွေးချယ်ပုံနှင့် တူညီသည်။ Controllability ကောင်းရန် နှင့် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) မများစေရန် အစွန်းနှစ်ဘက်ကို ရှောင်၍ မျှတအောင် ရွေးချယ်သင့်သည်။ Damper အရွယ်အစား(size) ကြီးလျှင် controllability မကောင်းပေ။ သို့သော် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) နည်းသည်။ Damper အရွယ်အစား(size)သေးလျှင် controllability ကောင်းသည်။ သို့သော် ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop) များသည်။

၄.၆.၃ (ဂ) Mixing duty

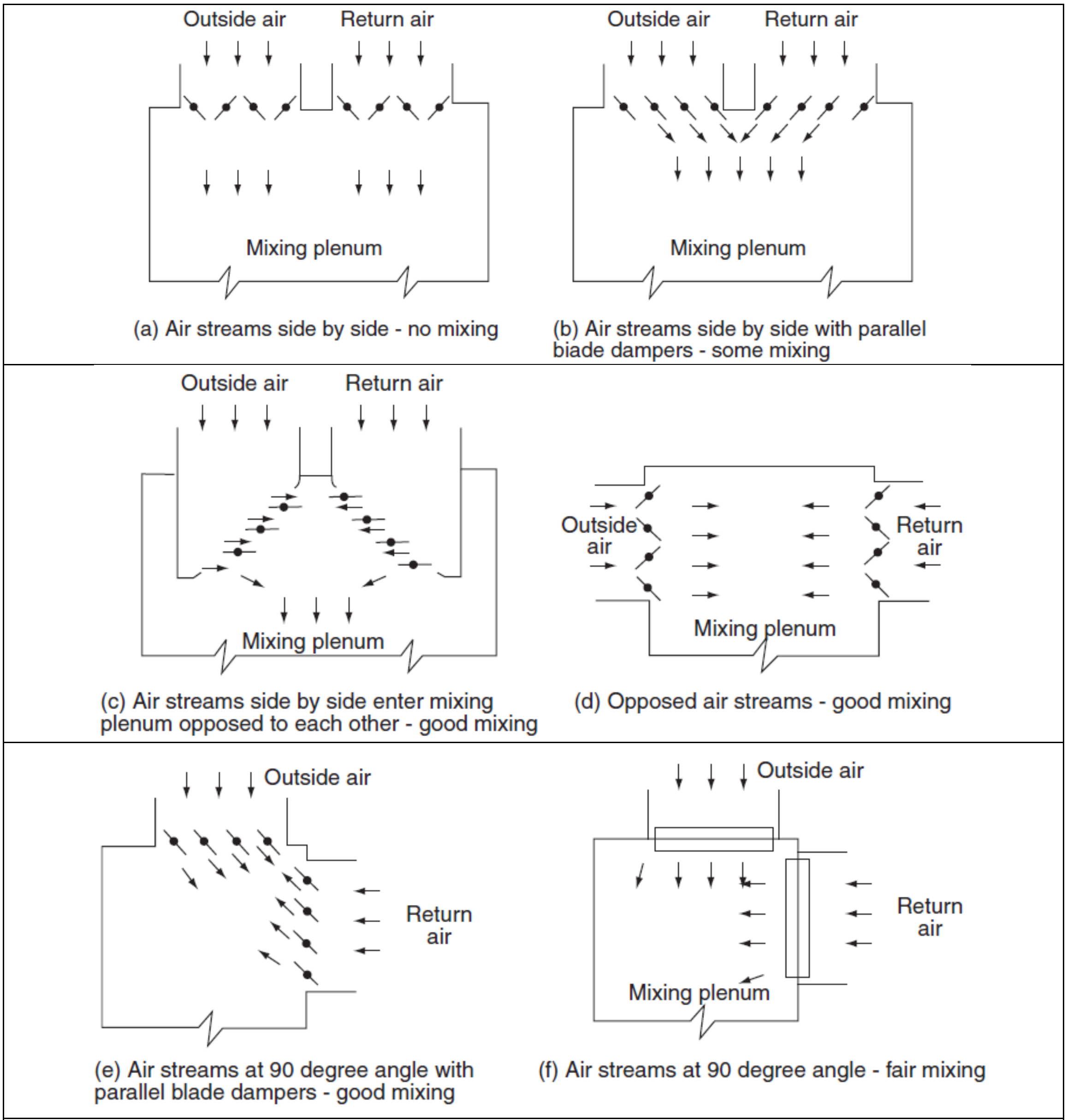
အမျိုးမတူသည့် လေစီးကြောင်း(air steam) နှစ်မျိုးကို ရောနှောရန် damper ကို အသုံးပြုကြသည်။ ပြင်ပလေ(out door air) နှင့် return air တို့ကို ရောနှောခြင်း(mixing) ဖြစ်သည်။ မှားယွင်းသည့် အယူအဆ တစ်ခုမှာ opposed blade damper များသည် throttling လုပ်ရာတွင် အလွန်သင့်လျော်သောကြောင့် ရောနှောခြင်း(mixing)လုပ်ရန် အလွန် သင့်လျော်လိမ့်မည်ဟု ယူဆကြခြင်း ဖြစ်သည်။

များသောအားဖြင့် mixing application တွင် parallel blade damper များကို အသုံးပြုရန် အလွန်သင့်လျော်သည်။ Mixing လုပ်ရာတွင် throttling ကဲ့သို့ တိကျသော control ဖြစ်ရန် မလိုဘဲ၊ air stream နှစ်မျိုးကို ရောနှောစေရုံမျှသာ ဖြစ်သည်။

Parallel blade damper များကြောင့် လေစီးကြောင်း(air steam)များ ယိုင်(deflect)သွားခြင်းကြောင့် throttling လုပ်ရန်အတွက် မကောင်းသော်လည်း mixing လုပ်ရန်အတွက် အလွန်ကောင်းသည့် အချက် ဖြစ်သည်။ ပုံ (၅-၄၉) တွင် parallel blade damper ကြောင့် air stream နှစ်ခုသည် စောင်း(deflect)သွားကာ mixing ဖြစ်စေဖို့ အလွန် အထောက်အကူ ဖြစ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။

Opposed blade damper ကြောင့် လေစီးကြောင်း(air steam)နှစ်ခုတို့ mix ဖြစ်ရန်ခက်ခဲပုံကို ပုံ(၅-၃၉) တွင် ဖော်ပြထားသည်။

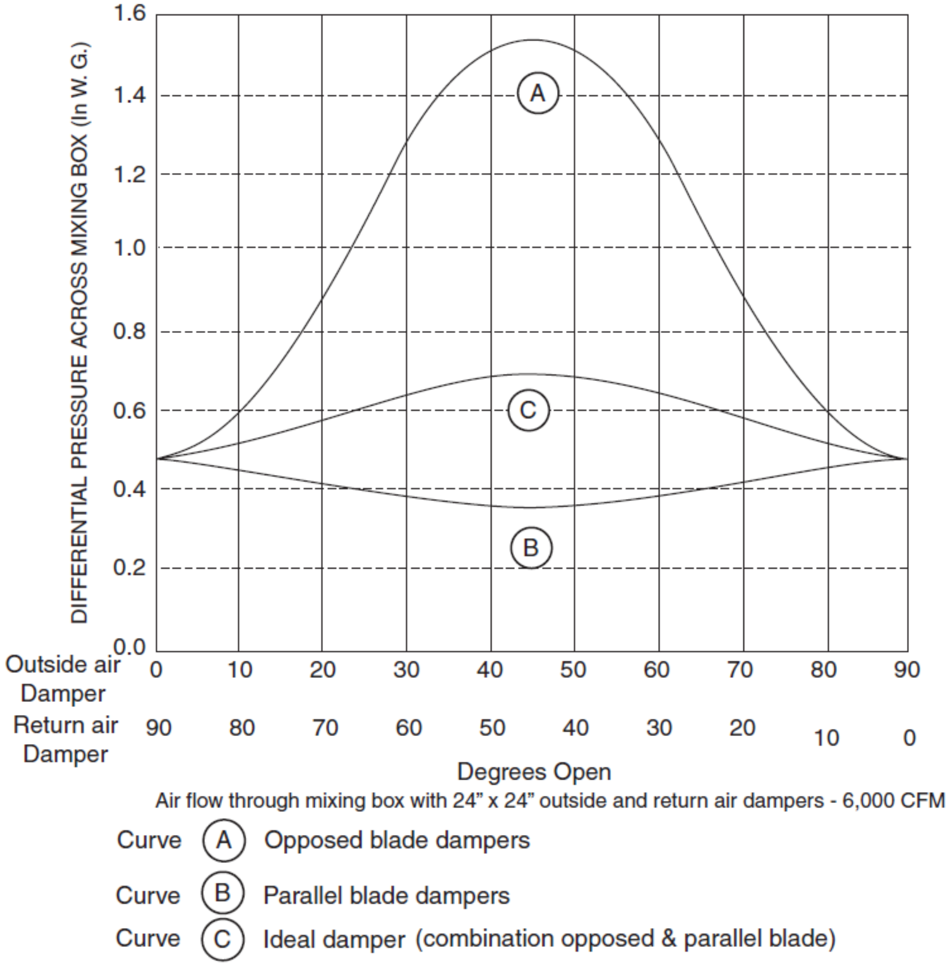
လေစီးကြောင်း(air steam) နှစ်ခု သေချာစွာ မရောနှောသောကြောင့် stratification ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ "Stratification" ဆိုသည်မှာ လေစီးကြောင်း(air steam) နှစ်ခု မရောနှောဘဲ ရေနှင့် ဆီကဲ့သို့ သီးခြားစွာ ရှိနေခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Duct အတွင်းတွင် stratification ဖြစ်သည့်အခါ ပြင်ပလေအပူချိန် (outdoor air temperature) ရှိသည့် လေများက တစ်ဘက်တွင်ရှိနေပြီး return air temperature ရှိသည့် လေများက တစ်ဘက်တွင် ရှိနေလိမ့်မည်။ Stratification ဖြစ်နေခြင်းကြောင့် လေ၏ အပူချိန်ကို တိုင်းယူသည့် အခါတွင် မမှန်ကန်ခြင်း၊ မတိကျခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Ventilation system effectiveness လည်း လျော့နည်းသွားနိုင်သည်။



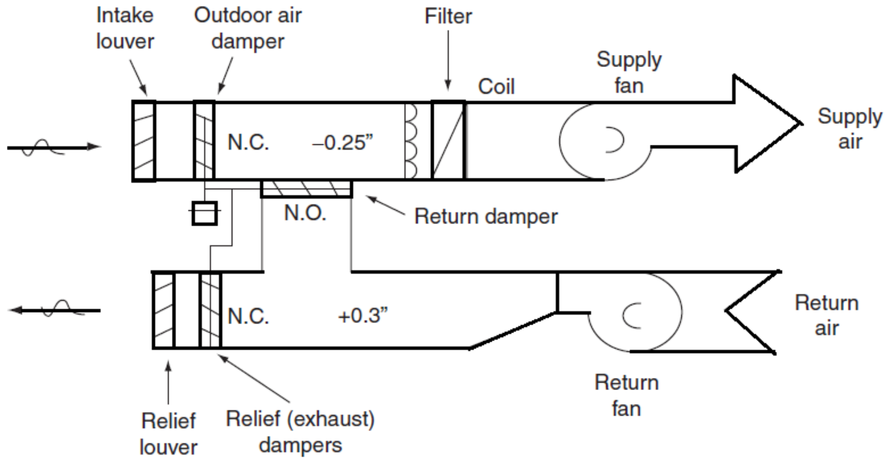
ပုံ ၄-၃၉ Various Mixing Box Arrangements

Damper နှင့်သက်ဆိုင်သည့် အချက်များကို damper schedule ဟုခေါ်သည်။

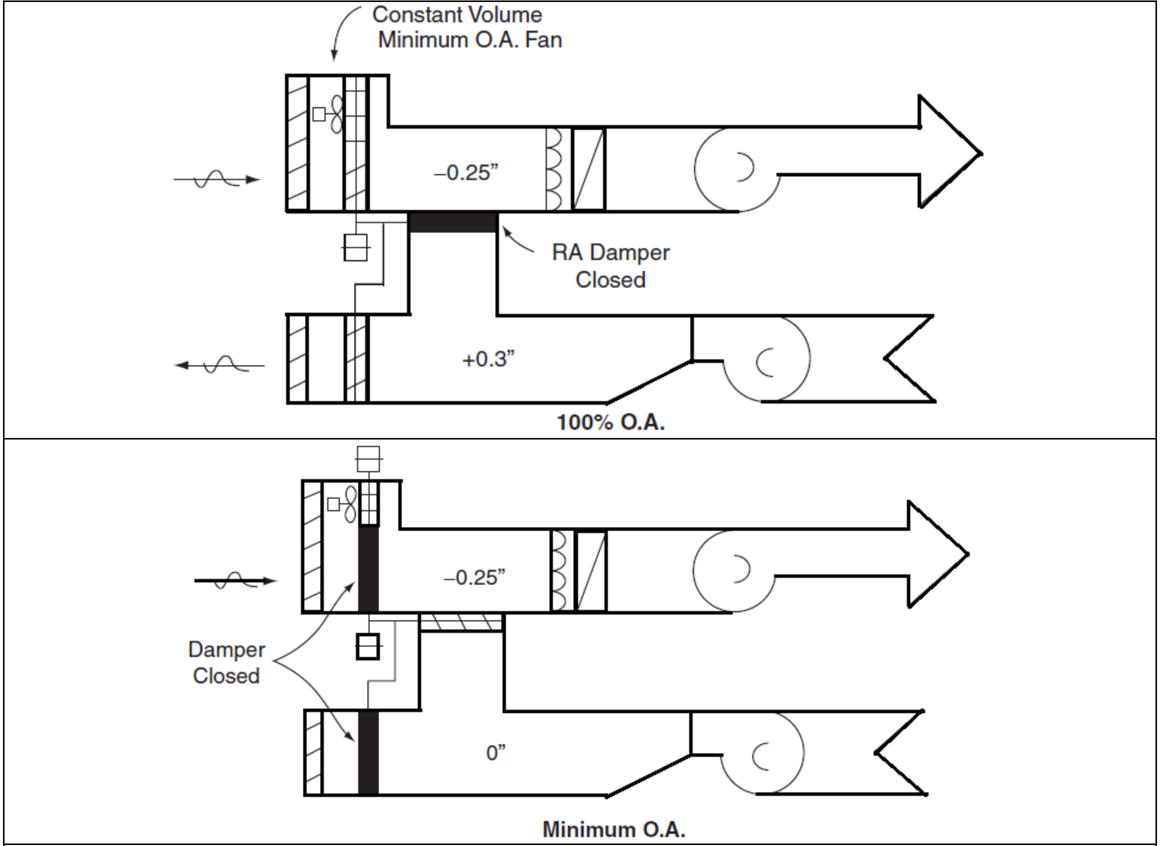
(၁) Damper Identification Tag
(၂) Location
(၃) Damper Type
(၄) Damper Size & Quantity
(၅) Duct Size
(၆) Arrangement
(၇) Blade type
(၈) Velocity Pressure Drop
(၉) Fail Position
(၁၀) Actuator identification Tag
(၁၁) Actuator type & quantity
(၁၂) Mounting



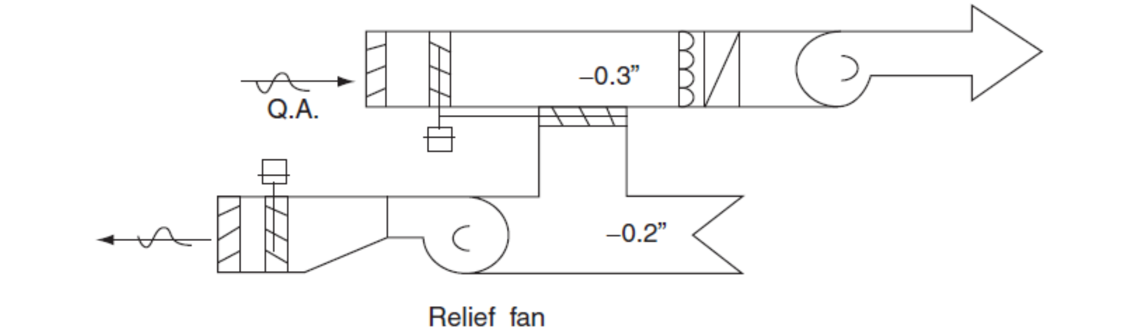
ပုံ ၃-၄၀ ဖိအားကျဆင်းမှု(pressure drop)Across a Typical Mixing Box(Avery, 1986)



ပုံ ၄-၄၁ Economizer with Supply and Return Fan



ပုံ ၄-၄၂ VAV system at 100% outdoor air and minimum outdoor air



ပုံ ၄-၄၃ Economizer with relief fan

Table 3.11 Damper applications	
Control application	**Damper type**
Return air	Parallel
Outdoor air or exhaust air	
— with weather louvre or bird screen	Opposed
— without louvre or screen	Parallel
Coil face	Opposed
Bypass	

— with perforated baffle	Opposed
— without perforated baffle	Parallel
Two-position (all applications)	Parallel

Volume Control Dampers

Isolating Dampers	Regulate or stop flow of air in branches of a duct system
Balancing Dampers	Limit air flow by holding damper blades at a specified position
Fan Inlet Vane Dampers	Used to control air flow rate to a fan
Fan Outlet Dampers	(or Terminal Unit VAV Type Dampers) Used to control air flow rate from a fan

End –

Factors Affecting Damper Performance

Since dampers are a part of a system they are affected by their surroundings. These factors affect the performance of dampers.

(၁) Inlet and outlet conditions
(၂) Location
(၃) Damper Authority
(၄) Damper flow characteristic
(၅) In-duct obstructions
(၆) Inlet and outlet conditions
(၇) Location

Damper Flow Characteristic

The relationship between flow rate through the damper **and the** position of the damper blades

Damper Flow Characteristic

To select a damper which will meet the requirements of a particular application - the relationship between the flow rate through the damper and the position of the damper blades must be understood.

This relationship is commonly called the damper flow characteristic

Damper Flow Characteristic (Opposed)

Use damper authority to determine installed damper flow characteristic

% Damper Authority

- Impact of the damper on total system
- The ratio of wide open pressure drop through the damper to the total duct system pressure drop at the design flow

By definition, **authority** is the ratio of the wide open pressure drop through the damper to the total duct system pressure drop at design flow.

Selecting the Correct Damper

- Determine which installed damper flow characteristic will provide the best control
- Use the value of the damper authority which best matches the system characteristics to determine the wide open pressure drop through the damper

Damper Application will determine which installed damper flow characteristic will provide the best control.
The value of the damper authority which matches the desired flow characteristic is used to determine the wide open pressure drop required through the damper.
The correct damper can then be selected.

Damper Applications

(၁) **2-Position**
(၂) **Static Pressure Control**
(၃) **Temperature Control**
(၄) **Face and Bypass**
(၅) **Mixed Air Control**

2-Position Application

Two Position Damper Applications -

In this application the damper is maintained in either its fully open or closed position depending on a binary input to the actuator.
The shape of the installed damper flow characteristic is not important since the damper is not a modulated device.
The only requirement is that it must be possible to obtain the wide open flow rate with a pressure drop which is less than or equal to the value specified.
Generally, dampers used are duct sized to provide the lowest possible wide open pressure drop.

- Examples: 100% flow or 100% shut off.

Static Pressure Control Application

- Less common today with the use of Variable Air Volume systems and use of inlet vanes to control fan capacity
- Damper modulated to maintain a static pressure set point at some downstream point in ductwork
- Generally installed near the fan discharge
- The damper pressure drop must be included in the overall system resistance

Static Pressure Control Applications -

In this application the damper is modulated to maintain a static pressure setpoint at some downstream point in the ductwork.

The damper is generally installed near the fan discharge.

The pressure drop across the damper must compensate for the increase in pressure developed by the fan and the reduction in the pressure drop across the ductwork as the system flow rate is decreased.

This application is less common today with the advent of variable speed drives and the use of inlet vanes to control fan capacity.

C:\33 BAS and Control Book in Progress\000 HVAC Control and BAS Book Publishing Format Ver 5\Damper.ppt

Contents

၄.၁ Introduction 1
၄.၁.၁ Study Objective..
၄.၂ Two-Way Control Valve များ 2
၄.၂.၁ Style and Principles of Operation ....
၄.၄ Three way control valve များ 9
၄.၅ Valve အမျိုးအစား ရွေးချယ်ခြင်း နှင့် အရွယ်အစား ရွေးချယ်ခြင်း 12
၄.၅.၁ Valve အရွယ်အစားရွေးချယ်ခြင်း (Sizing) ....
၄.၅.၂ Flow Characteristic Selection ....
၄.၅.၃ ပိတ်ခါနီးဆဲဆဲ အချိန်တွင် ဖြစ်ပေါ်သော ဖိအား(Close Off Pressure) ....
၄.၅.၄ Valve Selection...
Valve Sizing ....
၄.၅.၅ Valve Schedule: ....
၄.၆ Control Damper 27
၄.၆.၁ (က) Two Position Duty ....
၄.၆.၂ (ခ) Capacity Control Duty ....
၄.၆.၃ (ဂ) Mixing duty ....
Volume Control Dampers ....
Damper Applications.. **Error! Bookmark no**
Factors Affecting Damper Performance ....

Chapter-5 Introduction to Building Automation System (BAS)

၅.၁ Introduction

Building Automation System(BAS) ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ sub system များ၊ equipment များ နှင့် service များကို monitor လုပ်ခြင်း၊ control လုပ်ခြင်းနှင့် စီမံခန့်ခွဲခြင်း (manage) လုပ်ငန်းများအတွက် computer နှင့် computer နည်းပညာများ ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက် ဖွဲ့စည်းထားသော computer-based system ဖြစ်သည်။ Building Management System(BMS) ဟုလည်း ခေါ်လေ့ရှိသည်။

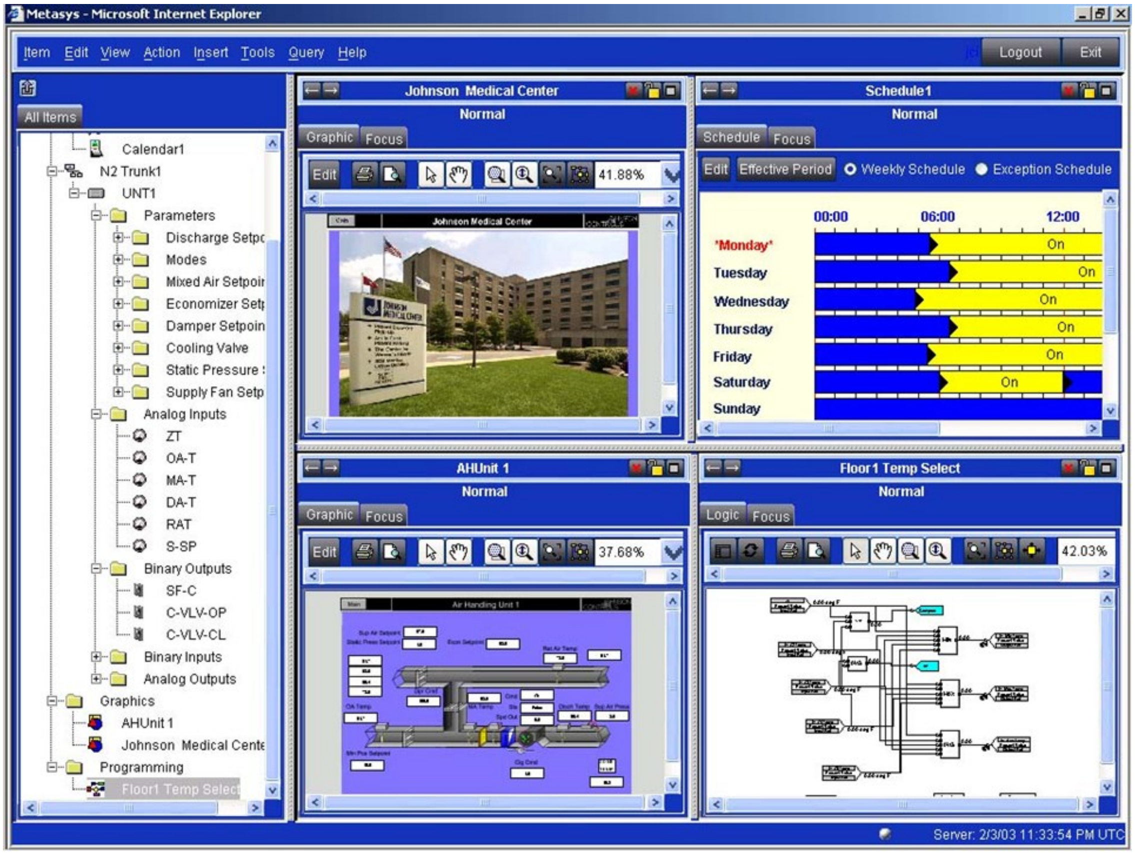
ပုံ ၅-၁ Building automation systems (BAS) ၏ graphic များ

မျက်မှောက်ခေတ်တွင် control နှင့် automation နည်းပညာကို အဆောက်အဦများတွင် မပါမဖြစ် သုံးစွဲလာကြသည်။ Comfort ဖြစ်ရန်၊ convenience ဖြစ်ရန်၊ efficient ဖြစ်ရန် နှင့် effective ဖြစ်ရန် သာမက စွမ်းအင် သုံးစွဲမှုကို စီမံခန့်ခွဲရန် နှင့် စွမ်းဆင်ချွေနိုင်ရန်(energy saving) အတွက်ပါ အသုံးပြုလာကြသည်။ အဆောက်အဦ လုံခြုံရေးနှင့် သုံးစွဲသူများ လုံခြုံရေး(security)သည်လည်း BAS ၏ အရေးကြီးသည့် feature တစ်ခု ဖြစ်သည်။

၅.၁.၁ What is Building Automation?

Building automation systems (BAS) သည် အဆောက်အဦ အတွင်းရှိ equipment ၊ system များ နှင့် service များ ကို monitor လုပ်ခြင်း၊ control လုပ်ခြင်း နှင့် စီမံခန့်ခွဲခြင်း စသည့် လုပ်ငန်းများ အတွက် အသုံးပြုသည့် computer based system ဖြစ်သည်။

ခေတ်မီ အဆောက်အဦရှိ အလိုအလျောက် လုပ်ဆောင်ရမည့်ကိစ္စများ(automated function) ကို BAS မှ နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ အခန်း၏ အပူချိန်ကို သက်သောင့်သက်သာ (comfortable) ဖြစ်အောင်၊ energy သုံးစွဲမှု သက်သာအောင် ပြင်ပအပူချိန်ကို လိုက်၍ အခန်း အပူချိန် ပြောင်းလဲ ပေးခြင်း (temperature reset)၊ အခန်း၏ optimal temperature တွင် အပိုအလိုမရှိ အမြဲ ထိန်းထားနိုင်ခြင်း စသည့် automated function များစွာကို BAS က လုပ်ဆောင်ပေးနိုင်သည်။ ထိုဆောင်ရွက်မှုများသည် BAS တွင် မရှိမဖြစ် ပါဝင်သည့် standard feature များ ဖြစ်ကြသည်။



ပုံ ၅-၂ Building Automation Systems (BAS) ၏ screen ပုံ

Office building များ၊ shopping center များ၊ ဟိုတယ်များ စသည်တို့သည် commercial အဆောက်အဦ(building)များ ဖြစ်ကြသည်။ Commercial building များ၏ Building Automation System တွင် လိုသလို ပြောင်းလဲနိုင်မှု(flexibility)ကို ပို၍ အဓိက ကျသည်။ Motion detector များ ပါဝင်သည့် automatic lighting control function များနှင့် intelligent security system များသည် BAS ၏ ထူးခြားသော အစိတ်အပိုင်းများ ဖြစ်သည်။

စက်မှု လုပ်ငန်းများ နှင့် စက်ရုံ၊ အလုပ်ရုံများတွင် process control လုပ်ငန်းများ အတွက် Programmable Logic Controller (PLC) များကို အသုံးပြုကြသည်။

BAS ၏ အခြားသော အလေးထားရမည့် အချက်များမှာ

(က) Cost-effectiveness/saving energy

(ခ) Communication via bus systems and networks

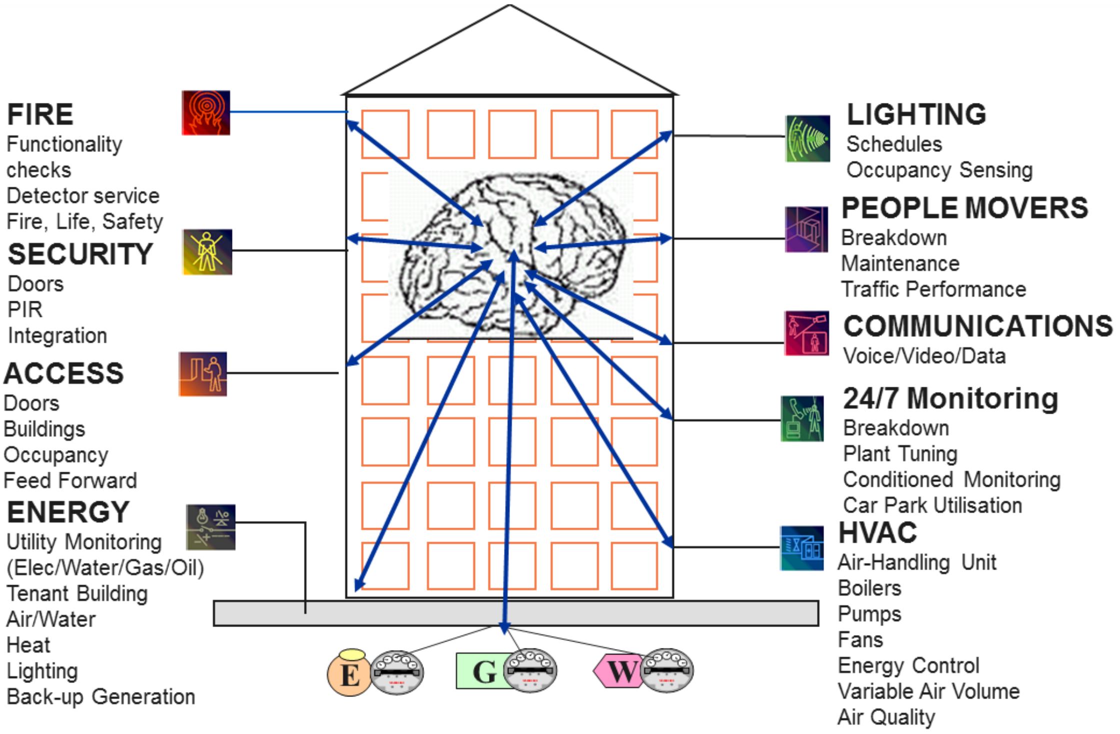
(ဂ) Comfort and convenience နှင့်

(ဃ) Flexibility တို့ ဖြစ်သည်။

၅.၁.၂ Building Automation နှင့် Building Control တို့၏ ကွာခြားချက်များ

အဆောက်အဦးအတွင်းရှိ automated function များအကြောင်း ပြောရမည်ဆိုလျှင် "**Building Automation**" နှင့် "**Building Control**" အကြောင်းကိုသာ အဓိကထား၍ ပြောကြလိမ့်မည်။ ထိုဝေါဟာရ နှစ်ခုသည် တူညီသယောင် ဖြစ်သည်ဟု ထင်ရသည်။

သို့သော် Association of German Engineers အဖွဲ့၏ သတ်မှတ်ချက်အရ building automation ဆိုသည်မှာ အဆောက်အဦးတစ်ခုရှိ service system များအား တိုင်းတာခြင်း(measurement)၊ control လုပ်ခြင်းနှင့် စီမံခန့်ခွဲ(manage)ခြင်း စသည့် လုပ်ငန်းများကို computer များဖြင့် ပြုလုပ်စေခြင်းပင် ဖြစ်သည်။ ထို အဓိပ္ပာယ် ဖော်ပြချက်(definition)အရ building control သည် building automation အောက်တွင် အကျုံးဝင်သည်။ Function အားလုံးကို အလိုလျောက်လည်ပတ် လုပ်ကိုင်စေခြင်း ဖြစ်သည်။ BAS ကို commercial building များ၌ မပါမဖြစ် တပ်ဆင်ကြသည်။



ပုံ ၅-၃ BAS နှင့် ဆက်စပ်နေသည့် system များနှင့် လုပ်ဆောင်နိုင်သည့် function များ

Building automation system သည် building ၏ ဦးနှောက်(brain) နှင့် တူသည်။ Component များ အကြားတွင် အချင်းချင်း အပြန်အလှန်ဆက်သွယ်မှု(communication)သည် BAS ၏ မရှိမဖြစ် လိုအပ်သော အဓိက အချက်ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့သော ဆက်သွယ်မှု(communication)မရှိပဲ ပြည့်စုံသည့် system တစ်ခု မဖြစ်နိုင်ပါ။ တစ်ခုချင်းစီ၏ control system များကိုလည်း monitor လုပ်ခြင်းနှင့် control လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်။

အဆောက်အဦရှိ system များ အားလုံးကို computer မှတစ်ဆင့် operate လုပ်နိုင်သည်။ Operator ကိုယ်စား စောင့်ကြည့် (monitor)ပေးနိုင်သည်။ Component များနှင့် device များ အားလုံး သူ့နည်းသူ့ဟန် နှင့် အလုပ်လုပ်နေကြသော်လည်း တစ်ခု နှင့် တစ်ခု information များ အပြန်အလှန်လဲလှယ်(exchange)နိုင်သည်။ Efficient ဖြစ်စွာ၊ effective ဖြစ်စွာ၊ အဆောက်အဦ၏ function များနှင့် process များ အားလုံးကို ချိတ်ဆက်ထားသည့် ဆက်သွယ်ထားသည့် system တစ်ခုလည်း ဖြစ်သည်။

BAS တွင် အဆောက်အဦအတွင်းရှိ system များ အချင်းချင်း သို့မဟုတ် အခြား အဆောက် အဦရှိ system များ နှင့် coordinate လုပ်ခြင်းနှင့် connect လုပ်ခြင်း စသည်တို့ ပါဝင်သည်။ System များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု communicate လုပ်နိုင် နည်း သုံးနည်းရှိသည်။

(၁) DDC နှင့် building control component များ မှတစ်ဆင့် ဆက်သွယ်(communicate)ခြင်း

(၂) Special DDC သို့မဟုတ် central DDC မှတစ်ဆင့် ဆက်သွယ်(communicate)ခြင်း

(၃) BAS work station နှင့် အခြား system ၏ computer များမှ ဆက်သွယ်(communicate)ခြင်းတို့ ဖြစ်သည်။

Distributed BAS များတွင်

(၁) Primary field panel(s) များ

(၂) Direct Digital Controller(DDC) များ ဟုခေါ်သည့် intelligent controller များနှင့် panel များ ပါဝင်ကြသည်။

Direct Digital Controller(DDC) များသည် standalone control system များကဲ့သို့ လုပ်ဆောင်နိုင်ပြီး အခြား device များနှင့် ဆက်သွယ်(communication) နိုင်သည့် networking capabilities ရှိသည်။ Operator ဖြစ်စေချင်သည့် ညွှန်ကြားချက်(instruction)များအတိုင်း သို့မဟုတ် control program များအတိုင်း ဆောင်ရွက် ပေးနိုင်သော programming capabilities လည်းရှိသည်။ ဤကဲ့သို့သော architecture တွင် DDC အားလုံး နှင့် network အတွင်းရှိ node များ အားလုံး၏ ဆက်သွယ်ရေး(communication)ကို စီမံခန့်ခွဲ (manage)နိုင်သည့် communication module ပါဝင်သည်။

BAS ၏ အခြေခံ လုပ်ဆောင်ချက်(basic task) များကို အောက်ပါ အတိုင်း ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) Data acquisition and processing

(ခ) Control

(ဂ) Communication and information management နှင့်

(ဃ) Diagnostic functions တို့ ဖြစ်သည်။

အထက်ပါ လုပ်ဆောင်ချက်(task)များကို ဆောင်ရွက်နိုင်ရန်အတွက် အောက်ပါ component များ လိုအပ်သည်။

(က) Sensors and transducers

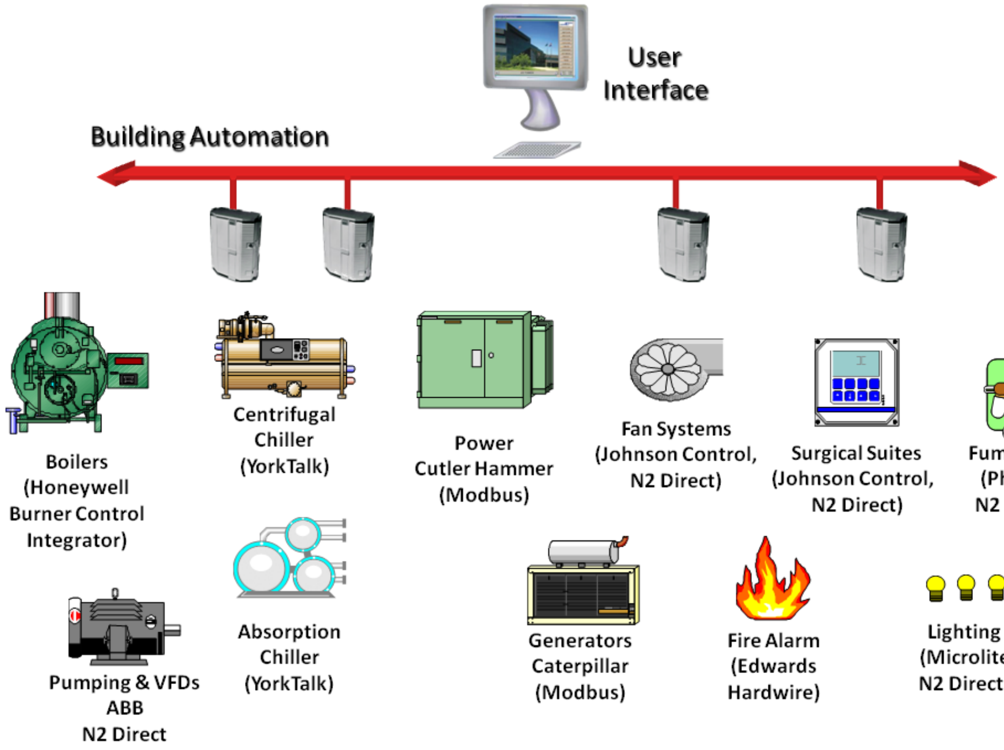
(ခ) Actuators and control devices

(ဂ) Direct digital controllers (standalone or networked)

(ဃ) Digital communication system

(င) Terminal devices (PDU, keyboard, etc.) နှင့်

(စ) Software တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၅-၄

Building automation system သည် subsystem များ တစ်ခုချင်းစီကိုလည်း တစ်သားတည်း ဖြစ်အောင်ပေါင်းစည်းပေးသည်။ ထိုသို့ပေါင်းစည်းပေးခြင်းကို "**Integration**"လုပ်သည် ဟုခေါ်သည်။ ယနေ့ခေတ် BAS system တစ်ခုအောက်တွင် ရှိနိုင်သည့် service များ သို့မဟုတ် sub system များကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Electrical power supply system
(၂) UPS, regulated power supplies, and power conditioning equipment
(၃) Standby/emergency power supply system
(၄) Ventilation and air-conditioning system
(၅) Primary and emergency lighting system
(၆) Passenger and goods lifts/elevators
(၇) Fire alarm and protection systems
(၈) Noxious fume detection systems(e.g. in chemical plants)
(၉) Access control, intruder alarm and security systems
(၁၀) Waste disposal and sewerage systems နှင့်
(၁၁) Domestic hot and cold water supply systems, water treatment plant etc... တို့ဖြစ်သည်။

၅.၁.၃ Benefit of Building Automation System

အဆောက်အဦ ပိုင်ရှင်(building owner)များ ရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူးများမှာ

- Higher rental value (အခန်းငှားခ များများ ရနိုင်သည်။)
- Flexibility on change of building use (နေရာကို အလိုရှိသလို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။)
- Service တစ်ခုချင်းစီ ကို လိုက်၍ ငွေတောင်းခံနိုင်သည်။

Facilities manager များ ရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူးများမှာ

- Central or remote control and monitoring of building operations
- Efficient use of building resources and services
- High productivity
- Rapid alarm indication and fault diagnosis
- Good plant schematics and documentation
- Low operating cost
- Reducing energy costs
- Reducing operational manpower costs
- Reduced maintenance costs & downtime
- Increased safety နှင့်
- Increased security တို့ ဖြစ်သည်။

အဆောက်အဦကို ငှားရမ်းသုံးစွဲသူ(building tenant/occupants)များ ရရှိနိုင်သည့် အကျိုးကျေးဇူးများမှာ

- Effective monitoring and targeting of energy consumption.
- Good control of internal comfort conditions
- Possibility of individual room control
- Increased staff productivity
- Improved plant reliability and life
- Effective response to HVAC-related complaints

Summary of Infometrics Benefits

(၁) Reduced energy consumption and energy cost
(၂) Prioritization of equipment maintenance
(၃) Reduced downtime caused by mechanical equipment failure
(၄) Improved facility operations
(၅) Ongoing commissioning of mechanical systems and control systems
(၆) Reduced risk of indoor air quality problems
(၇) Identification of profitable mechanical retrofit opportunities
(၈) Improved occupant comfort
(၉) Knowledge of facility energy consumption patterns and trends
(၁၀) Integration with information technology systems

၅.၂ Building Automation System Architecture

၅.၂.၁ Configuration

BAS system များကို နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်ကြသောကြောင့် **Architecture** အမျိုးမျိုး ကွဲပြားကြသည်။ ပုံစံ အမျိုးမျိုးဖြင့် configure လုပ်ကြသည်။ Functional hierarchy ကို လိုက်၍ layer များ အဖြစ် သတ်မှတ်ကြသည်။

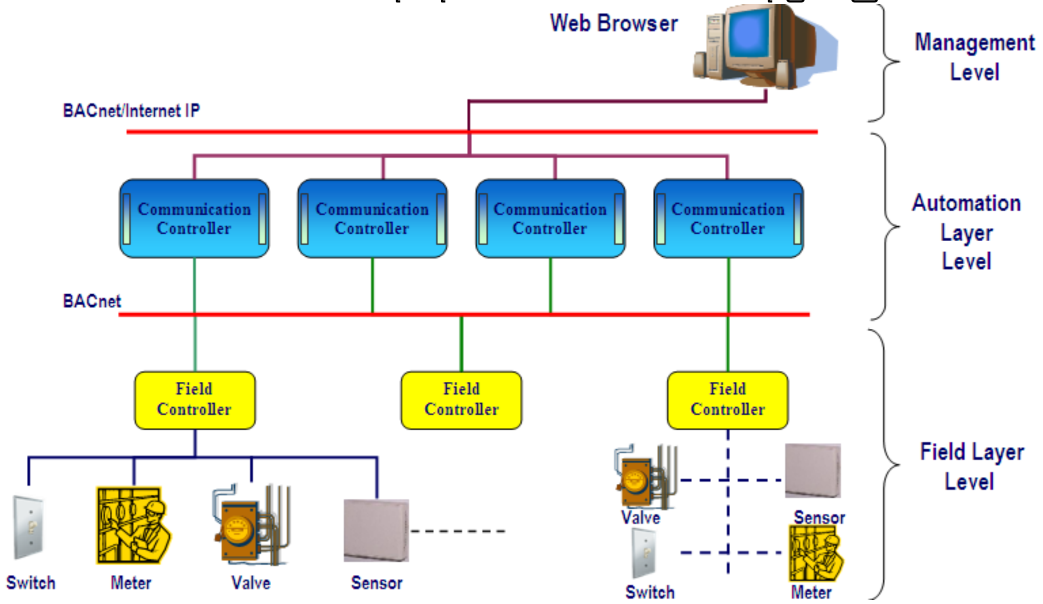
Building Automation system (BAS) hardware သည် microprocessor ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသည့်(microprocessor-based) controller များကို hierarchical configuration ဖြင့် တပ်ဆင်ကြသည်။

Building Automation system (BAS) architecture တွင် ပါဝင် အဓိက အလွှာ(level) သုံးမျိုးမှာ

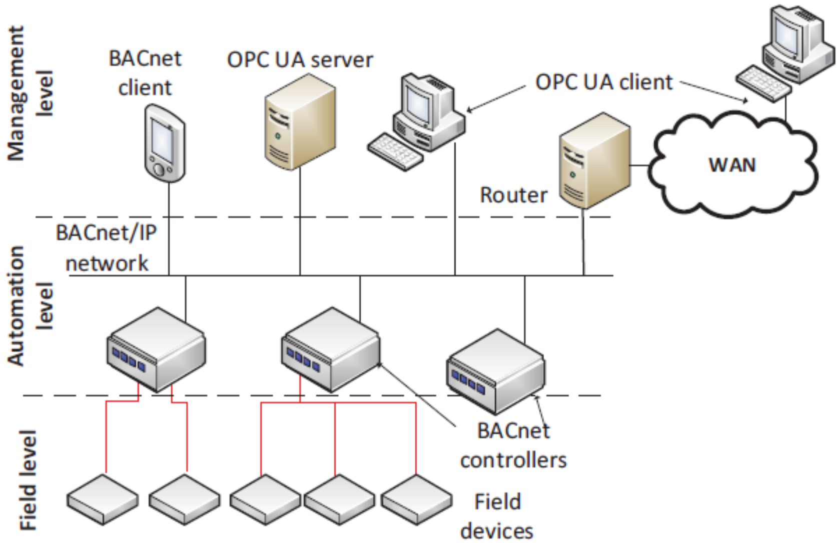
(က) Management-level processors သို့မဟုတ် Management level controllers

(ခ) System-level processors သို့မဟုတ် Automation-level controllers နှင့်

(ဂ) Field-level processors သို့မဟုတ် Zone-level controllers တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၅-၅ Building Automation System (BAS) architecture ၏ အဓိက အလွှာ(level) သုံးမျိုး



ပုံ ၅-၆ Building Automation system (BAS) architecture ၏ အဓိက အလွှာ(level) သုံးမျိုး

အထက်ပုံသည် building automation system တစ်ခုတွင် ပါဝင်လေ့ရှိသည့် configuration ကို ဖော်ပြထားသည်။ ပြည့်စုံကောင်းမွန်သည့် BAS system ဖြစ်ရန်အတွက် workstation များ၊ controller များ နှင့် field device များစွာ ပါဝင်ပြီး နည်းအမျိုးမျိုးဖြင့် ချိတ်ဆက်(connect) ထားသည်။

Building Automation System တစ်ခု၏ configuration ကို ဖော်ပြထားသည်။ နမူနာအဖြစ် ဖော်ပြထားခြင်း သာဖြစ်ပြီး လက်တွေ့တွင် တစ်လုံးထက်ပိုများသော workstation များ၊ controller များနှင့် အခြားသော device များကို ပုံစံအမျိုးမျိုး(different architecture) ဖြင့် အတူတကွ ချိတ်ဆက်ထားနိုင်သည်။

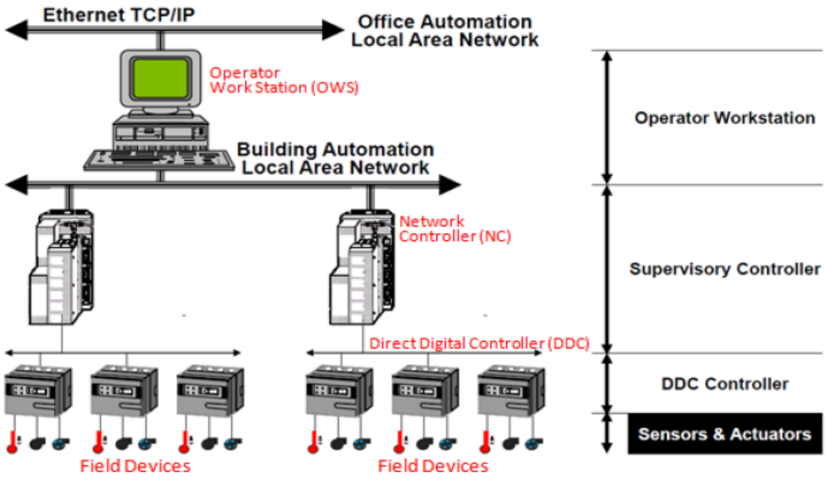
ပုံ(၅-၅) နှင့် ပုံ(၅-၅)သည် Application controller ၊ building level controller နှင့် BAS workstation စသည့် level သုံးမျိုး သို့မဟုတ် layer သုံးမျိုး ဖြင့် တည်ဆောက် ထားသည့် Johnson Controls BAS Network Architecture တစ်ခု ဖြစ်သည်။ ဖော်ပြခဲ့သည့် level သုံးမျိုး သို့မဟုတ် layer သုံးမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။ သို့သော် အချို့သော BAS Network architecture များတွင် အခေါ်အဝေါ်များ နှင့် အမည်များ မတူညီကြပေ။

(၁) Management application သို့မဟုတ် operator workstation

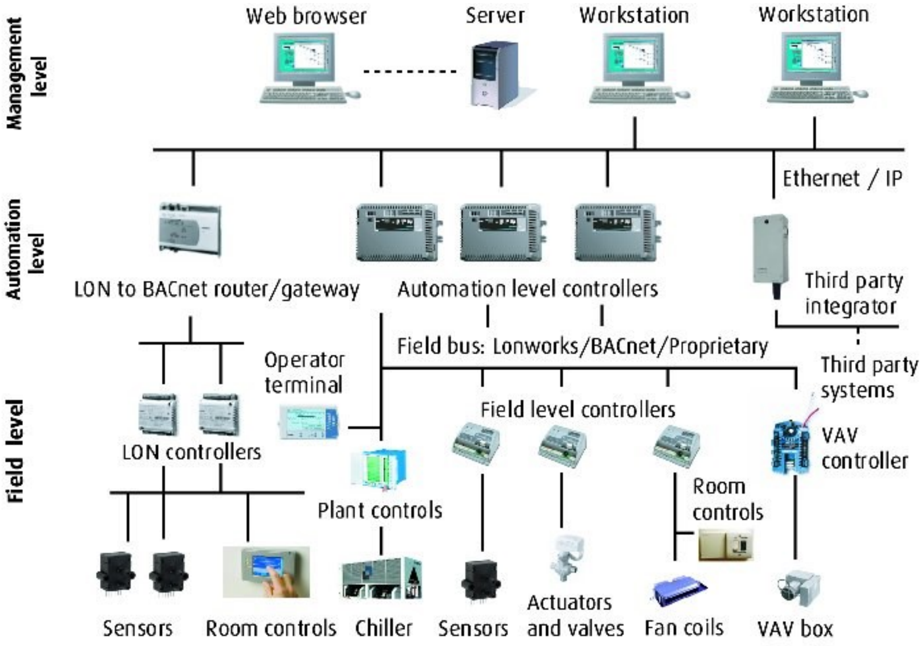
(၂) Supervisory controller နှင့်

(၃) Local controller သို့မဟုတ် DDC controller တို့ ဖြစ်သည်။

Field control stations၊ network control station နှင့် central management station စသည့် level သုံးမျိုး သို့မဟုတ် layer သုံးမျိုးဖြင့်လည်း တည်ဆောက်နိုင်သည်။



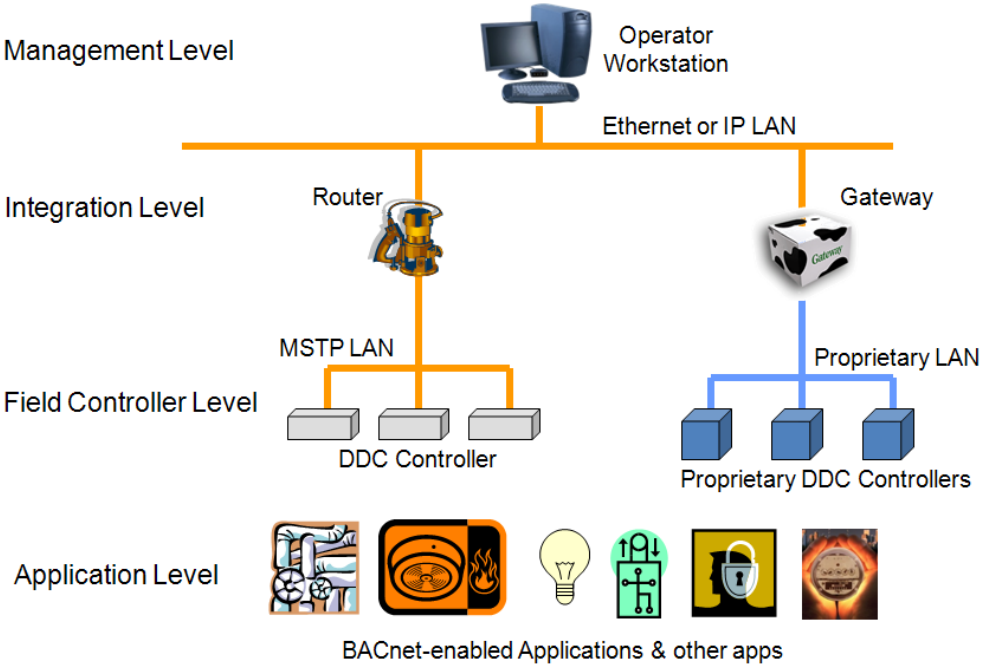
ပုံ ၅-၇ Johnson controls BAS architecture တစ်ခု၏ အလွှာ(level) သုံးမျိုး



ပုံ ၅-၈ Johnson controls BAS architecture တစ်ခု၏ အလွှာ(level) သုံးမျိုး

အောက်ပုံ(၅-၉)တွင် ပြထားသည့် BAS သည် level လေးမျိုးဖြင့်လည်း တည်ဆောက် ထားနိုင်သည်။ အချို့သော BAS များတွင် field level ကို field controller level နှင့် field controller level ဟု၍ ထပ်မံ ခွဲခြားထားသည်။

(က) Management Level
(ခ) Integration Level
(ဂ) Field Controller Level နှင့်
(ဃ) Application Level တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၅-၉ Level လေးမျိုးဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည့် BAS architecture

BAS system တွင် အဆောက်အဦအတွင်းရှိ system များ အားလုံး ချိတ်ဆက်ရန် Information Technology (IT) ကို အသုံးပြုထားသည်။ ထို့နောက် management level ရှိ computer တစ်လုံးမှ အားလုံးကို ထိန်းချုပ်ထားသည်။

System များ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန် information များ ပေးပို့သည့် လုပ်ငန်းကို automation level ၌ ပြုလုပ်သည်။ Control functionများကို process လုပ်ရန်အတွက် automated system တစ်ခုအတွင်းရှိ component များ၊ device များ အဆင့်ဆင့် သို့မဟုတ် အလွှာလိုက် ဖွဲ့စည်း(organize) ထားသည်။ အထက်ပါ ပုံများတွင် BAS တစ်ခု၏ architecture အမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။

Field device များမှာ sensor များ၊ VSD များ၊ actuator များနှင့် valve များ ဖြစ်ကြသည်။ Value နှင့် Actuator များသည် flow rate များကို regulate လုပ်ရန် အတွက် အသုံးပြုသည်။ VSD များကို မော်တာ၏ မြန်နှုန်း(speed)ကို control လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

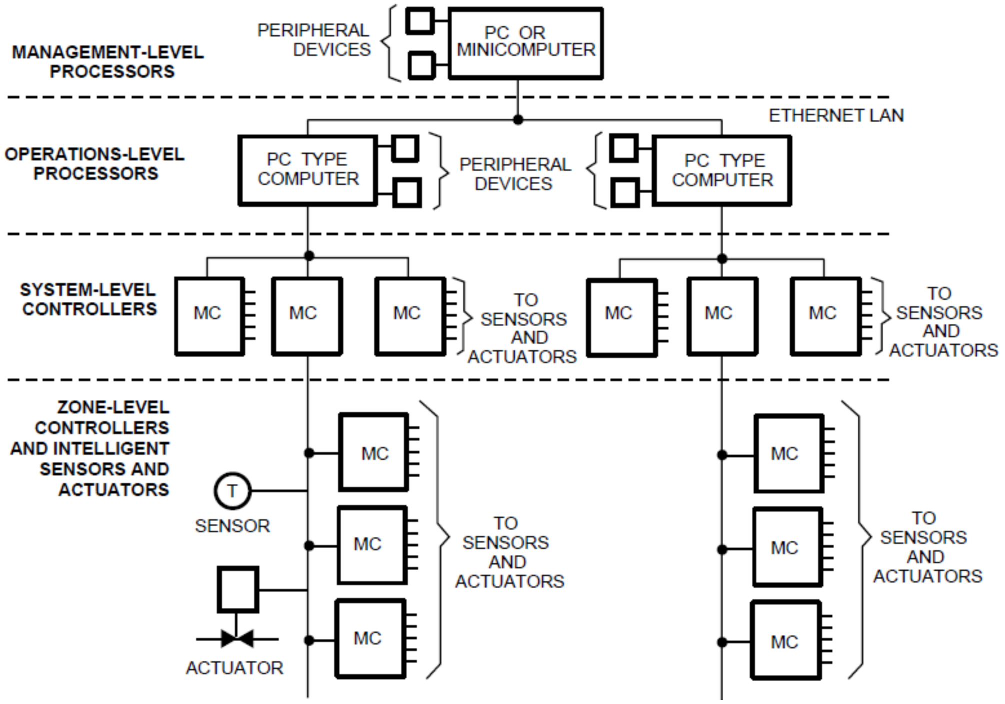
၅.၂.၂ Field-Level Controllers

Field-level controller များတွင် sensor များနှင့် device များကို တိုက်ရိုက် ချိတ်ဆက်(direct connection)ရန်အတွက် port များ ပါရှိသည်။ Field-level controller ၏ memory အပေါ်တွင် သိမ်းဆည်းထားသည့် program များအတိုင်း control action များကို ဆောင်ရွက်(execute)ပေးသည်။

သီးသန့် controller ပုံစံမျိုး(stand-alone manner)ဖြင့် ဆောင်ရွက်နိုင်သည်။ သတင်း အချက်အလက်များ ဖလှယ်ရန်(exchange information)အတွက် field-level controller များကို system level controller နှင့် management controller များဖြင့် network ဖြစ်အောင် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ Field-Level controller များတွင် setup ပြုလုပ်ရန် နှင့် adjustment ပြုလုပ်ရန်အတွက် Portable Operator's Terminal (POT) ကို အသုံးပြုသည်။ POT ချိတ်ဆက်ရန် controller တွင် port ပါရှိသည်။ Chillers ၊ boilers ၊ air compressor ၊ generator စသည့် equipment များ တွင် self-contained field-level controller ပါဝင်သည်။

၅.၂.၃ System-Level Controllers

System-level controllerများသည် field-level controllerများထက် processing capacity ပိုကောင်းကြသည်။



ပုံ ၅-၁၀ Honeywell BAS system architecture

System-level controller ၏ လုပ်ငန်းများမှာ

(က) Databases များ ထိန်းသိမ်းခြင်း (maintenance)

(ခ) Operational information များ စုဆောင်း သိမ်းဆည်းခြင်း

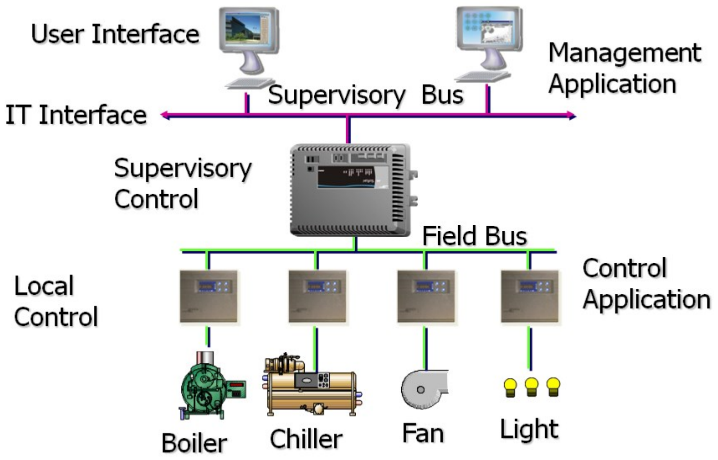
(ဂ) Field-level controller များ ၏ operation များကို coordinate လုပ်ခြင်း နှင့်

(ဂ) Field-level controller များနှင့် management processor အကြားတွင် ဆက်သွယ်မှု(communication) အဆင်ပြေအောင် ဆောင်ရွက်ပေးခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

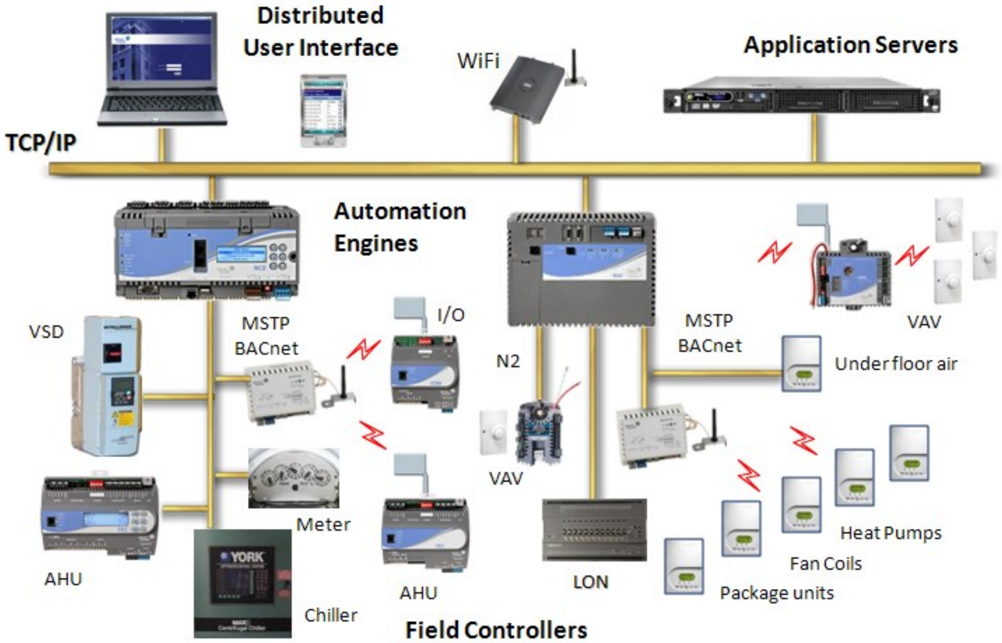
System-level controller မှ data များ management-level processor ဆီသို့ upload လုပ်ခြင်း နှင့် management-level processor မှ application program များ system-level controller ဆီသို့ download လုပ်ခြင်း တို့ကို communication bus မှတစ်ဆင့် ပြုလုပ်သည်။ Communication bus ပျက်ခဲ့သော system-level controller သည် stand-alone mode ဖြင့် ဆက်လက်၍ လုပ်ငန်းများကို ဆောင်ရွက်နေနိုင်သည်။

BAS ၏ sub-systems ဖြစ်သော fire ၊ security ၊ HVAC ၊ EMS စသည်တို့ အပြန်အလှန် ချိတ်ဆက်ခြင်း (integration)ကို system-level controller အဆင့်တွင် ပြုလုပ်ကြသည်။ ဥပမာ fire alarm

system သို့မဟုတ် security system မှ အချက်အလက်များသည် system-level controller သို့ ရောက်ရှိပြီးနောက် ACMV system ၏ field-level controller ဆီသို့ ရောက်ရှိသွားစေသည်။



ပုံ ၅-၁၁ Johnson Controls Building Automation System(BAS) architecture



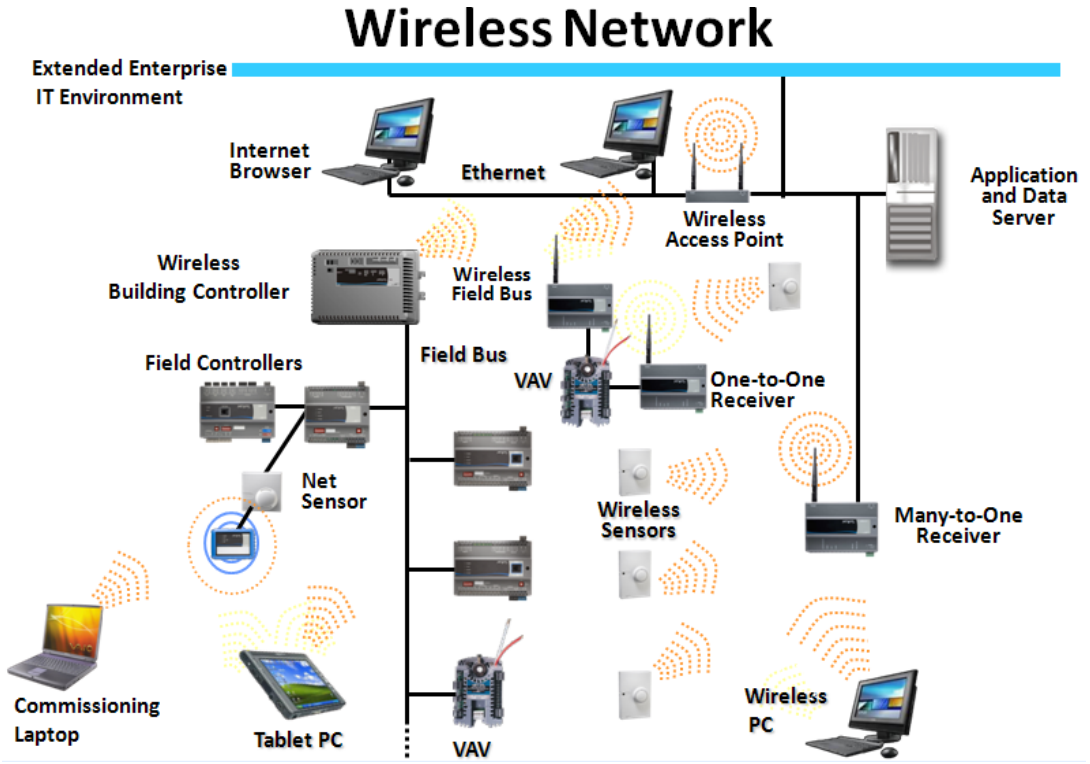
ပုံ ၅-၁၂ Johnson Controls Metasys system ၏ wireless network တစ်ခု ၏ architecture ဖြစ်သည်။

၅.၂.၄ Management Level သို့မဟုတ် Management Processor

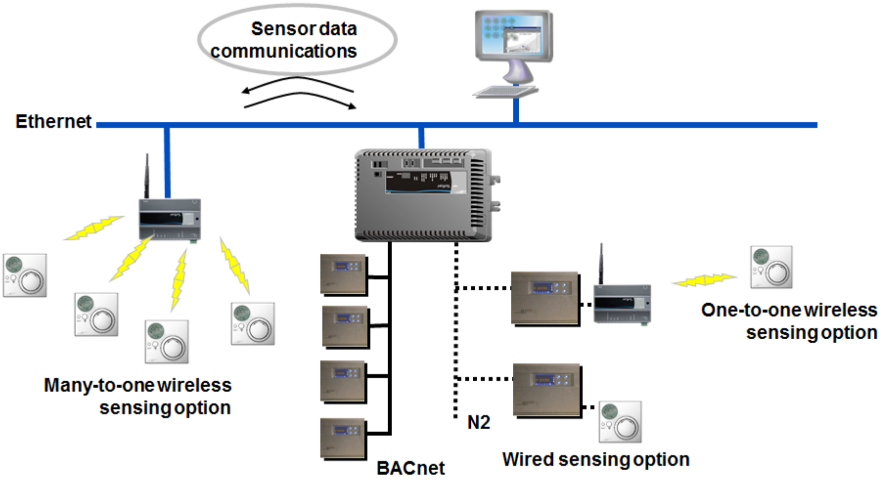
Management level သို့မဟုတ် management processor သည် BAS hierarchy တွင် အဆင့်အမြင့်ဆုံး ဖြစ်သည်။ System တစ်ခုလုံးနှင့် sub system များ အားလုံးကို ထိန်းချုပ်(control)နိုင်သည်။ စီမံခန့်ခွဲ(manage) နိုင်သည်။ Operator သည် management Level ရှိ workstation ၊ server ၊ Web browser များမှတစ်ဆင့် လိုအပ်သည့် information ရယူနိုင်သည်။ အဆောက်အဦ တစ်ခုလုံးကို ကြိုက်နှစ်သက်သလို control လုပ်နိုင်သည်။ အမိန့် ပေးနိုင်သည်။

အဆောက်အဦနှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များ အားလုံးကို စုဆောင်းခြင်း(data collection)၊ သိမ်းဆည်းခြင်း(data storage) ၊ historical data များ process လုပ်ခြင်း စသည်တို့ကို management Level တွင် ပြုလုပ်သည်။

လိုအပ်သည့် report များကို ပြင်ဆင် ပြုစုပေးသည်။ System တစ်ခုလုံးအား programming လုပ်ခြင်း ၊ sequence လုပ်ခြင်း ၊ limit များ သတ်မှတ်ခြင်း၊ set point များ ထည့်ပေးခြင်း စသည့် လုပ်ငန်းများကို management level ၌ ပြုလုပ်သည်။ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းခြင်း လုပ်ငန်းများ(maintenance management) ၊ scheduling လုပ်ခြင်း နှင့် system တစ်ခုလုံး၏ လုံခြုံရေး(security)နှင့် သက်ဆိုင်သည့် လုပ်ငန်းများ ကိုလည်း management level တွင် ပြုလုပ်သည်။



ပုံ ၅-၁၃ Johnson Controls wireless network

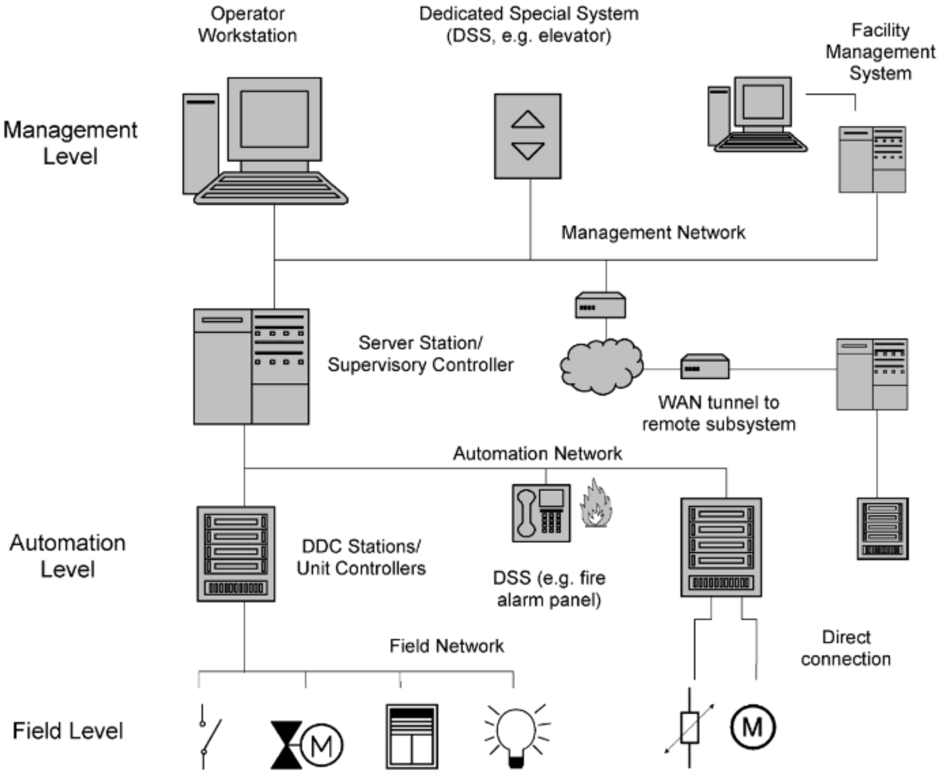


ပုံ ၅-၁၃ Many-to-one room temperature sensing နှင့် One-to-one room temperature sensing

Management level တွင် အခြားသော subsystemများ(multi-vendor systems)ကို software ဖြင့် အလွယ်တကူ integrate လုပ်နိုင်သည်။ Integration ဆိုသည်မှာ တစ်သားတည်းဖြစ်အောင် ပေါင်းစည်းခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Internet technology တိုးတက်လာမှုကြောင့် အဝေးတစ်နေရာမှ နေ၍ အလိုရှိသလို စီမံခန့်ခွဲ နိုင်သည်။

Operator workstation သည် management level တွင် အဓိကကျသော အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။ Operator workstations ၏ function များ မှာ

(၁) Graphics operator interface
(၂) Generation of reports
(၃) Storage of historical data (operator transactions ၊ alarms၊ trend၊ point history and run time totalisation) နှင့်
(၄) Back up storage of database တို့ ဖြစ်သည်။



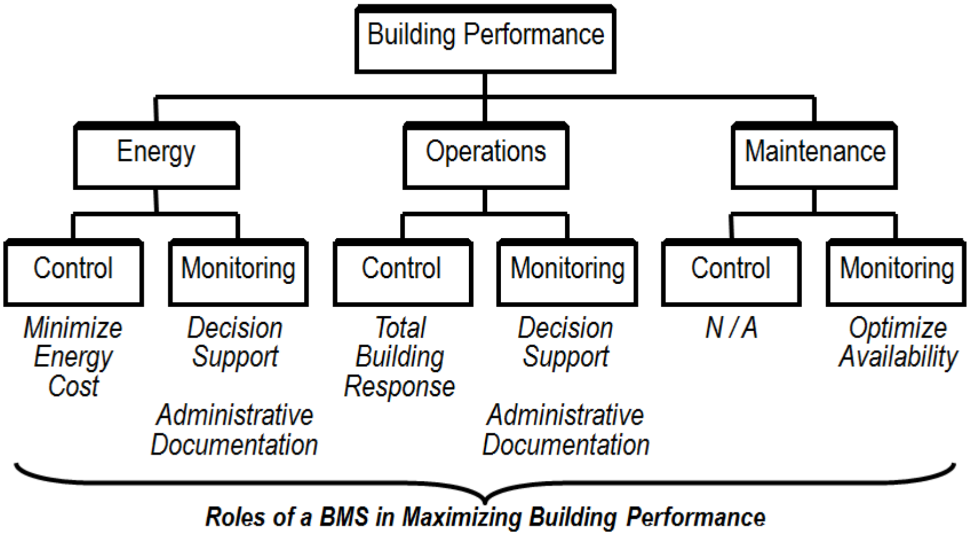
ပုံ ၅-၁၅ Building Automation- Three-level functional hierarchy

ယနေ့ခေတ်တွင် management level သည် stand-alone PC တစ်လုံးသာ ဖြစ်နိုင်သလို အဆင့်မြင့် ဆန်းကြယ်သည့်(sophisticated) SCADA သို့မဟုတ် ဆာဗာများဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည့် ဒီဇိုင်း(server-based design)မျိုးလည်း ဖြစ်နိုင်သည်။

Printers ၊ plotters ၊ video displays ၊ touch screens displays ၊ keyboard ၊ mouse စသည့် I/O device များသည် management level တွင်ပါဝင်သည်။ Field level ရှိ point များဆီသို့ အမိန့်ပေးခြင်း (issuing commands) နှင့် ဒေတာများ တောင်းယူခြင်း(data requesting) စသည့် လုပ်ငန်းများကို management level တွင် လုပ်ကိုင် ဆောင်ရွက်သည်။

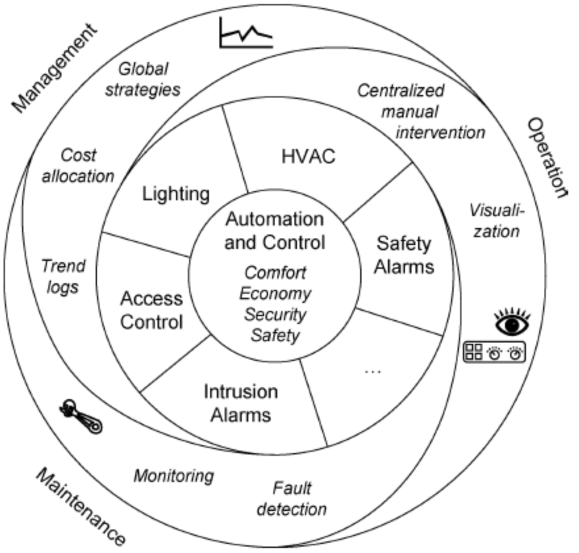
Management-level processor များသည် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု(energy usage)၊ လည်ပတ်ရန် ကုန်ကျစရိတ်(operating costs) နှင့် alarm activity generating report စသည့် စီမံခန့်ခွဲမှု (management) နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များကို စုဆောင်းခြင်း(collection)၊ သိမ်းဆည်းခြင်း (stores) နှင့် historical data များကို ပြုစုပြင်ဆင်ခြင်း (processes) လုပ်ငန်းများကို ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ ထို့အပြင် handling alarms executing applications programs နှင့် handling daily activities စသည် လုပ်ငန်းများလည်း လုပ်ဆောင်ပေးသည်။

Management-level processor များသည် sequences ၊ limits ၊ set points ၊ times ၊ system နှင့် field-level controller များ၏ parameter ပြောင်းခြင်း၊ ဖျက်ခြင်း စသည့် system programming လုပ်ငန်းများ ဆောင်ရွက်သည်။ Management level တွင် အခြားသော vendor များမှ system များကို အလွယ်တကူ integrate လုပ်နိုင်သည်။ Management-level တွင် system တစ်ခုလုံး၏ လုံခြုံရေး(security)၊ ပြုပြင် ထိန်းသိမ်းရေး လုပ်ငန်းများ(Maintenance management and scheduling)နှင့် alarm notification ကိစ္စများ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

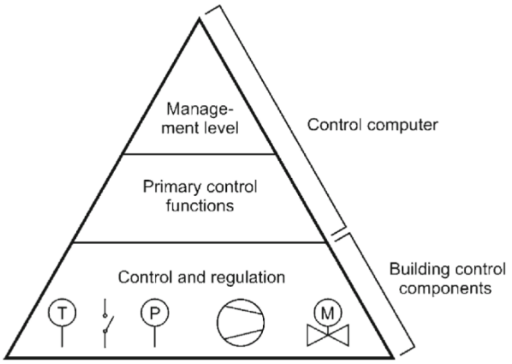


ပုံ ၅-၁၆ Building performance

BAS တွင် ပါဝင်သည့် layer များ နှင့် သက်ဆိုင်သည့် protocol များနှင့် standard များကို ဖော်ပြ ထားသည်။ Building Management System သည် အကောင်းဆုံး building performance ရရှိရန်အတွက် energy ၊ operation နှင့် maintenance လုပ်ငန်းများတွက် control လုပ်ခြင်း နှင့် monitoring လုပ်ခြင်း တို့ဖြင့် အထောက်အပံ့ပြုပုံကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၅-၁၇ BAS overview



ပုံ ၅-၁၈ Hierarchical structure of building control systems

၅.၃ Building Automation System ၏ အခြေခံ လုပ်ဆောင်ချက်များ(Baisc Function)

Building Automation System ၏ basic function များမှာ

(က) Alarm detection/management

(ခ) Scheduling

(ဂ) Trends (short-term storage) and historical data (long-term storage)

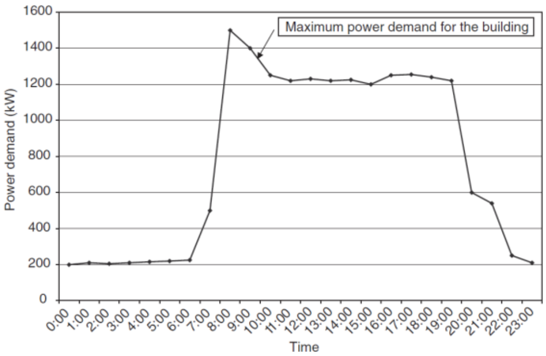
(ဃ) Totalization

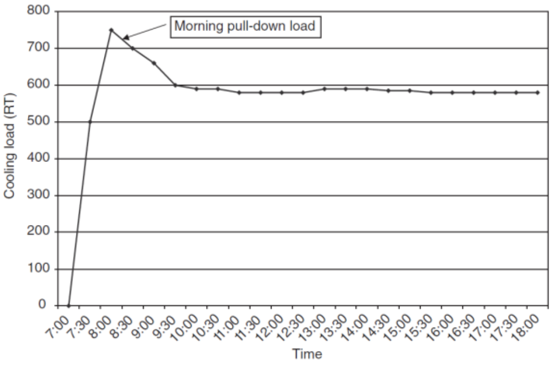
(င) Optimal start နှင့်

(စ) Custom control applications တို့ ဖြစ်သည်။

၅.၃.၁ BAS Trend logging

Trend logging သည် အလိုရှိသည့် parameter များ၏ တန်ဖိုးများကို ကြိုက်သလိုအချိန် (intervals of time)သတ်မှတ်၍ record လုပ်ခြင်းဖြစ်သည်။ Temperatures ၊ flow rates ၊ electrical power နှင့် cooling demand စသည့် parameter များ တန်ဖိုးသည် အရေးကြီးသည့် အချက်များဖြစ်သောကြောင့် trend logging လုပ်လေ့ရှိသည်။ Recording လုပ်မည့် အချိန်အတိုင်းအတာ(interval)သည် တစ်မိနစ်မှ စ၍ နှစ်နာရီ အထိ သတ်မှတ်နိုင်သည်။ Record လုပ်ထားသည့် ဒေတာများကို "**Trend Data**" ဟုခေါ်လေ့ရှိသည်။



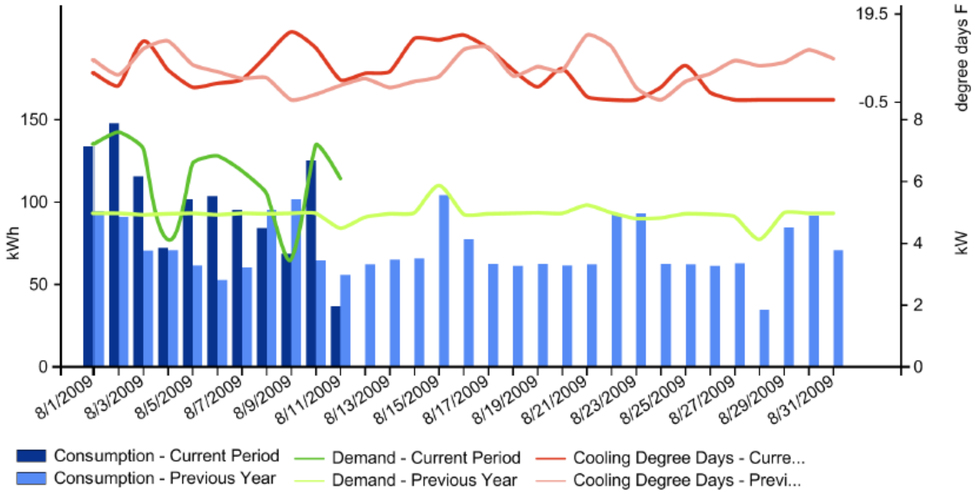


ပုံ ၅-၁၉ Trend data of building power demand

အမှားရှာဖွေရန် (trouble shooting) နှင့် စွမ်းအင်ချွေတာနိုင်သည့် အခွင့်အလမ်းများ(energy saving opportunities) ရှာဖွေရန်အတွက် trend logging လုပ်ထားသည့် အချက်အလက်များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။

ပုံ(၅-၁၉)သည် BAS မှ ထုတ်ယူထားသည့် trend data ဖြစ်သည်။ အမြင့်ဆုံး power demand သည် နံနက်ရှစ်နာရီ(8 a.m.) နှင့် (၁၀)နာရီ(10 a.m)အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်ခဲ့သည်။ အဆောက်အဦ၏ အမြင့်ဆုံး cooling load သည်လည်း နံနက်ရှစ်နာရီ(8 a.m.)နှင့် (၁၀)နာရီ(10 a.m)အကြားတွင် ဖြစ်ပေါ်ခဲ့သည်။ ဤအချက် နှစ်ချက်ကို အသုံးပြု၍ အမြင့်ဆုံး power demand နည်းအောင်လုပ်ကာ power demand အတွက် လျှပ်စစ်ဓာတ်အားခကို လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Chiller plant ကို မိနစ်အနည်းငယ် ကြိုမောင်းခြင်းဖြင့် power demand လျော့နည်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

Trend parameter များ၏ တန်ဖိုးများကို record လုပ်ရန်အတွက် memory နေရာ လိုအပ်သည်။ Analog trend များသည် digital trend များထက် ပို၍ memory အပေါ်တွင် နေရာပိုယူသည်။ Non-linear analog trends (such as thermistors) ဒေတာ အတွက် လိုအပ်သည့် memory နေရာသည် linear analog trends (such as 4 to 20mA sensors) ထက် နှစ်ဆ ပိုများသည်။ Parameter တစ်ခုကို trend လုပ်ရန် သတ်မှတ်လိုက်လျှင် (enable လုပ်လျှင်) module မှ memory နေရာအချို့ကို ဖယ်ထားပေးရသည်။

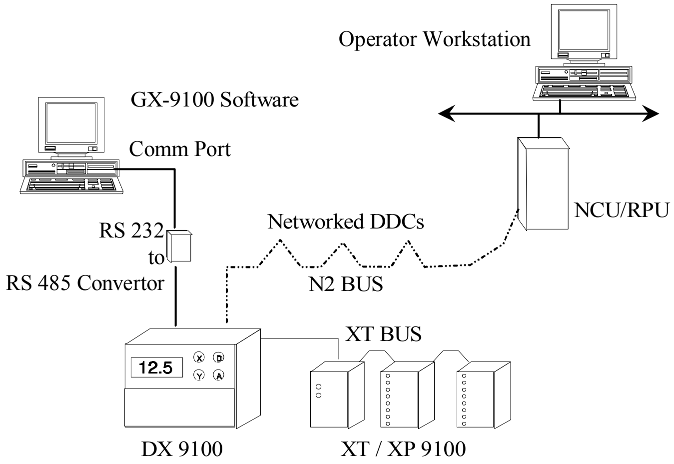


ပုံ ၅-၂၀ Trend

Memory Storage

လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ပျက်တောက်(power failure)လျှင် trend ဒေတာများ ဆုံးရှုံး သွားလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် trend ဒေတာများ သည် volatile RAM ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်း ထားသောကြောင့် ဖြစ်သည်။ RAM သည် battery နှင့် ချိတ်ဆက် မထားပေ။ Function block များသည် controller ၏ non-volatile RAM ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်းထားသည်။

Firmware နှင့် module driver တို့သည် controller ၏ Flash memory ပေါ်တွင် ရှိနေကြသည်။ ဥပမာ controller ၌ 1Mb Flash memory နှင့် 1Mb RAM ရှိသည်ဆိုလျှင် module driver နှင့် firmware တို့သည် 1Mb Flash memory ပေါ်တွင်ရှိကြပြီး GFBs နှင့် trend ဒေတာများသည် 1Mb RAM ပေါ်၌ ရှိကြသည်။ RAM ၏ တစ်စိတ်တစ်ဒေသကို အသုံးပြုခွင့်ပေးထားသည်။ အသုံးပြုခွင့်မရှိသည့် နေရာပမာဏသည် module driver ၏ အရွယ်အစား အပေါ်တွင် မူတည်သည်။



ပုံ ၅-၂၁ Johnson Control BAS Network Architecture

၅.၃.၂ Data Analysis and Report Generation

အဆောက်အဦနှင့်သက်ဆိုင်သည့် data များကို စုဆောင်းခြင်း(collection)သည် BAS system ၏ လုပ်ငန်း(function) တစ်ခုဖြစ်သည်။ Data များအားလုံးသည် အသုံးဝင်သော information အဖြစ်သို့ ရောက်ရန် အတွက် processing လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ ထို information များကို analysis လုပ်ပြီးမှ သာလျှင် report

အဖြစ်သို့ ရောက်သည်။ အဆောက်အဦးနှင့် သက်ဆိုင်သည့် report တွင် energy consumption/equipment failure နှင့် alarm တို့ပါဝင်သည်။ တစ်ချက် click လုပ်ရုံဖြင့် အလိုရှိသည့် report များစွာ ထုတ်ပေးနိုင်ခြင်းသည် BAS system ၏ အားသာချက်ဖြစ်သည်။

Seven Essential Reports

(၁) Big Picture Energy (normalized use and consumption)
(၂) Consumption (details by energy type)
(၃) Production (including efficiency of production)
(၄) Electrical Energy (usage, peak demand, reactive power, power factor)
(၅) Energy Cost (easy to configure overview)
(၆) Equipment Runtime (hourly, including number of starts/stops)
(၇) Load Profile (demand profile by day)

Other standard reports may be:

(က) All point summary
(ခ) Alarm summary
(ဂ) Disabled Points Log
(ဃ) Single System Summary (single AHU or single chiller)
(င) Controller Status Summary
(စ) Applications Summary

အောက်ပါ summary များကိုလည်း BAS မှ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

(၁) Point summary
(၂) Alarm summary
(၃) Limits summary
(၄) Lockout summary
(၅) Off-line summary
(၆) Override summary

Applications Summary

(၁) Alarm detection/management
(၂) Scheduling
(၃) Trend logs/Trend Summaries
(၄) Totalization
(၅) Optimal start
(၆) Custom control applications
(၇) Demand limit / load rolling
(၈) Tailored Summaries

BMS software မှ system report များစွာကို ပြင်ဆင်ပေးနိုင်သည်။ ဖော်ပြ(display) ပေးနိုင်သည်။ Print ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Data များကို point status ဖြစ်လည်းကောင်း တန်ဖိုး(value) များ အဖြစ်လည်းကောင်း ထုတ်ယူ(archive) နိုင်သည်။

၅.၃.၃ Totalization

Fan များ၊ pump များနှင့် building equipment များ နာရီပေါင်း မည်မျှမောင်းပြီးသည်(runtime)ကို သိရှိရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ ထို equipment အတွက် သင့်လျော်မည့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုကို ပြုလုပ်နိုင်လိမ့်မည်။ မောင်းပြီးသည့် နာရီပေါင်း(runtime)နှင့် သုံးစွဲသည့် စွမ်းအင်ပမာဏများ အဆက်မပြတ် စုပေါင်းထားခြင်းကို totalization လုပ်သည် ဟုခေါ်သည်။ စွမ်းအင် မည်မျှသုံးသည်ကို သိရန်အတွက်လည်း totalization လုပ်ရန် လိုသည်။

Totalization သုံးမျိုး ရှိသည်။

(၁) Analog – calculates consumption from flow

(၂) Runtime – counts elapsed time in a specified condition

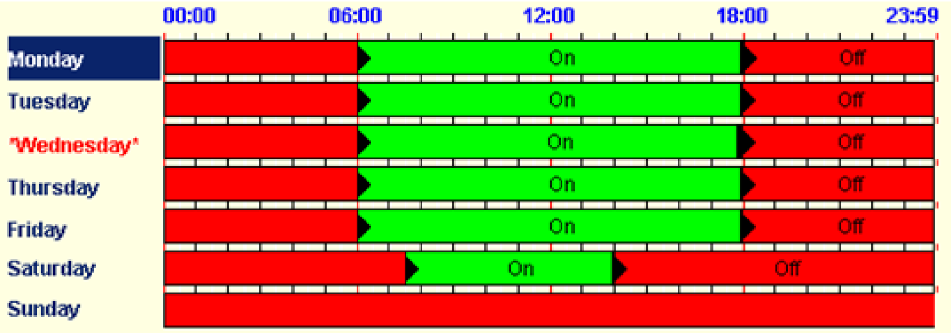
(၃) Event – counts number of occurrences

၅.၃.၄ Scheduling

Equipment များ စမောင်းခြင်း(starting) သို့မဟုတ် ရပ်နားခြင်း(stopping) စသည့်ကိစ္စများ အလိုလျောက် ပြုလုပ်ရန်အတွက် scheduling feature ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ရုံးဖွင့်ရက်(weekdays)၊ ရုံးပိတ် (Saturdays and Sundays)နှင့် ပြန်တမ်းဝင်ရုံးပိတ်ရက်(holidays) အားလုံးအတွက် တစ်နှစ်စာ(one year calendar) equipment များ မောင်းရန်၊ ရပ်ရန် အချိန်ဇယား ပြုလုပ်ထားနိုင်သည်။

လိုအပ်သည့် အခါမှ အချိန်ကိုက် မောင်းနိုင်ခြင်း၊ မလိုသည့် အခါ ချက်ချင်း ရပ်နားနိုင်ခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှုကို လျော့ချနိုင်သည်။ Builiding ၏ cooling load လိုအပ်ချက်ကို လိုက်၍ chiller နှင့် AHU များကို တစ်လုံးပြီး တစ်လုံး အဆင့်ဆင့် အချိန်ဇယားဖြင့် မောင်းနိုင်သည်။

အချို့သောအခြေအနေများတွင် အချို့သော equipment များကို ကြိုတင်မောင်းခြင်း သို့မဟုတ် နောက်ကျမောင်းခြင်းဖြင့် အဆောက်အဦး၏ performance ပိုကောင်းနိုင်သည်။ ဥပမာ office building ၌ တနင်းလာနေ့ နံနက်တွင် chiller နှင့် AHU များကို မောင်းနေကျအချိန် အနည်းငယ်စော၍ မောင်းလေ့ရှိသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် စနေနေ့နှင့် တနင်္ဂနွေနေ့များတွင် အဆောက်အဦကို ပိတ်ထားသောကြောင့်ဖြစ်သည်။



ပုံ ၅-၂၂ BAS တွင် ထည့်ထားသည့် schedule တစ်ခု

Scheduling feature သည် manual timer ထက် အသုံးပြုရန် ပို၍ လွယ်ကူပြီး ထိရောက်သည်။ Central workstation မှ တစ်ဆင့် schedule များ ထည့်ခြင်း၊ ပြင်ခြင်း၊ override လုပ်ခြင်း နှင့် ဖျက်ခြင်း တို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ရပ်ချိန် မောင်းချိန် တူညီသည့် equipment များ ကို တစ်ပြိုင်နက် schedule ထည့်နိုင်သည်။ တစ်ခုချင်း ထည့်ရန်မလိုပေ။

Time schedule ဖြင့် နောင်တချိန်တွင်(later date and time) ဆောင်ရွက်နိုင်သည့် လုပ်ငန်းများ

(၁) Start and stop a point

(၂) Change alarm limits, warning limits or set point

(၃) Lock/unlock point reporting or point control

(၄) Demand limit target setting

(၅) Load rolling target setting

(၆) Trend point enable/disable for a point

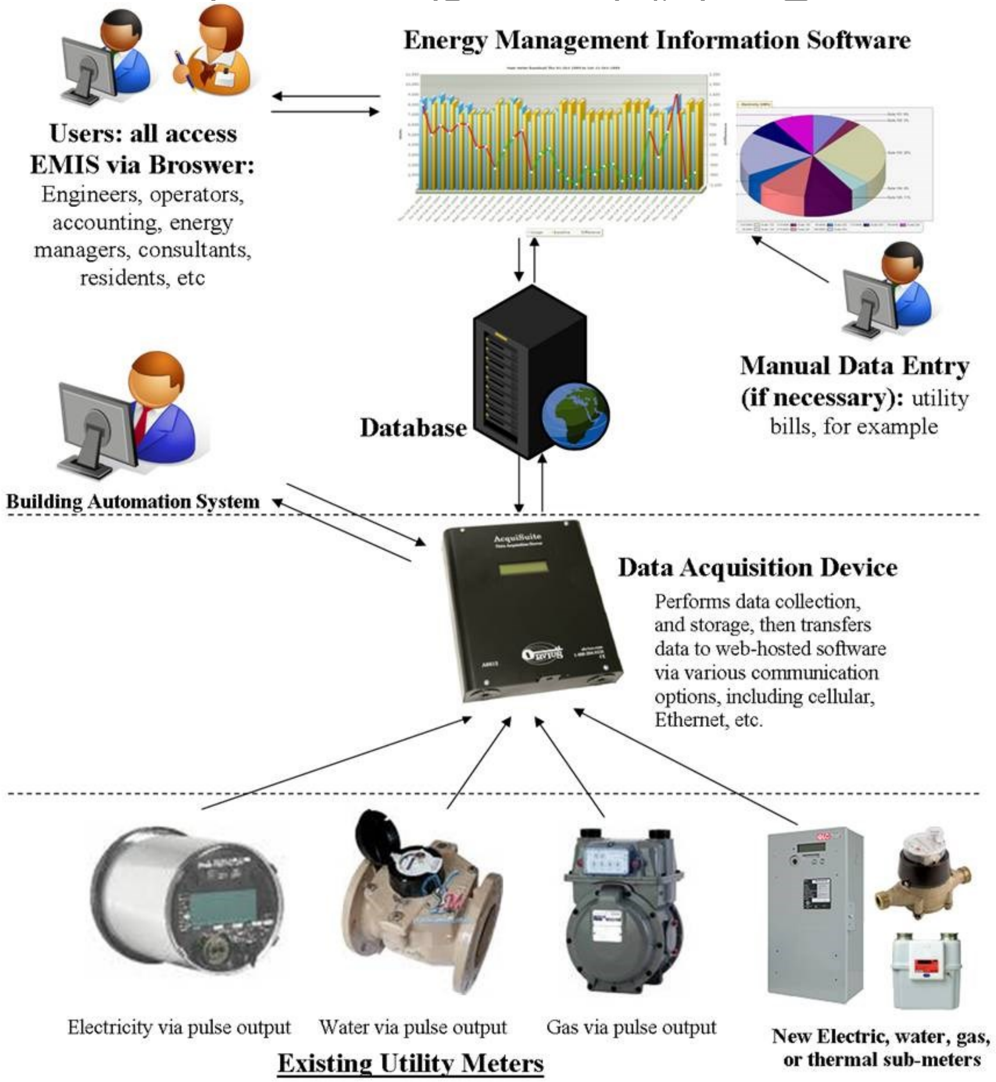
(၇) Totalization enable/disable for a point

(၈) Alarm summary

၅.၃.၅ Equipment Interlocks

BAS တွင် interlock feature များလည်းပါဝင်သည်။ Equipment များကို အုပ်စု(group) ဖွဲ့ထားခြင်းဖြင့် အတူတကွ ဖွင့်ခြင်း၊ ပိတ်ခြင်း တို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Equipment များ မပျက်စီးအောင် ၊ ဘေးအန္တရာယ် ကင်းဝေးအောင်(safety) interlock လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Boiler ကို air intake နှင့် feedwater pump တို့ဖြင့် ဘေး အန္တရာယ်ကင်းဝေးအောင် interlock လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Exhaust fan နှင့် supply fan တို့ကို interlock လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Cooking gas valve နှင့် kitchen exhaust hood ကိုလည်း interlock လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ Chiller နှင့် chilled water pump၊ condenser water pump နှင့် cooling tower တို့ဖြင့် interlock လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။



ပုံ ၅-၂၃ မီတာများ(meters) ၊ data acquisition device နှင့် energy management software

၅.၃.၆ Metering

DDCs များ၏ data acquisition capability ကိုအသုံးပြု၍ water consumption၊ Power consumption စသည့် utility များသုံးစွဲနှုန်းကို သိရန် မီတာကဲ့သို့ အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပုံ(၅-၂၃)သည် energy management software ကို အသုံးပြု၍ မီတာများ(meters)မှ ဒေတာများကို အလိုလျောက် ရယူပုံဖြစ်သည်။

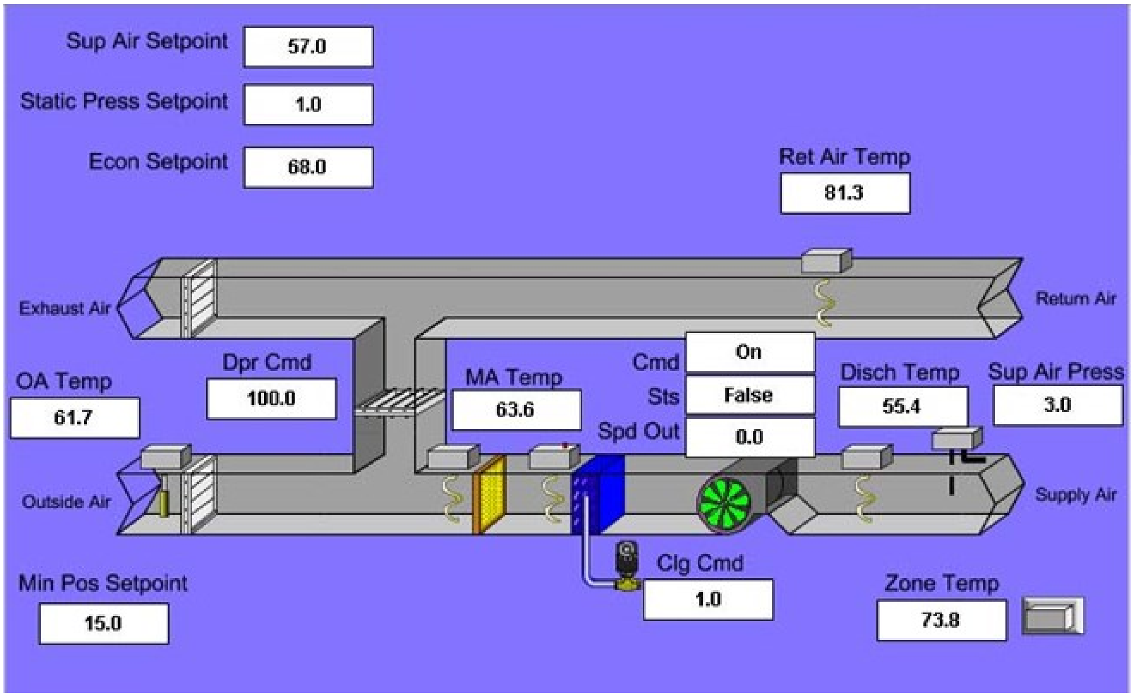
၅.၃.၇ Monitoring

equipment failure မဖြစ်ခင် ကြိုတင်၍ သိအောင် BAS system က လုပ်ပေးနိုင်သည်။ ပြဿနာ ဖြစ်နေသည့် equipment ဆီသို့ ရောက်အောင် သွားရန် မလိုပဲ သိအောင်လုပ်နိုင်သည်။ BAS system မှ ပုံမှန် အလုပ်မလုပ်သည့်(malfunction) equipment များအတွက် alarm များ လုပ်ပေးခြင်းသည် monitoring လုပ်ခြင်းပင်ဖြစ်သည်။ alarm ၏ အရေးကြီးမှု အပေါ်မူတည်၍ မည်သူ့ထံသို့ ပို့ရမည်ကို ကြိုတင်၍ သတ်မှတ်ထားရသည်။ အရေးကြီးသည့် alarm များကို SMS ပို့ခြင်း၊ e-mail ပို့ခြင်းတို့လည်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။ မှတ်တမ်းအဖြစ် သိမ်းဆည်းရန် print out လုပ်နိုင်သည်။ အလွန့်အလွန် အရေးကြီးသော alarm များဖြစ်လျှင် operator မှ ချက်ခြင်းသိရှိပြီး လိုအပ်သည်များကို ဆောင်ရွက်နိုင်ရန် အတွက် visual သို့မဟုတ် audible signal များဖြင့် မြင်သာအောင်၊ သိလွယ်အောင် ထုတ်ပေးရသည်။

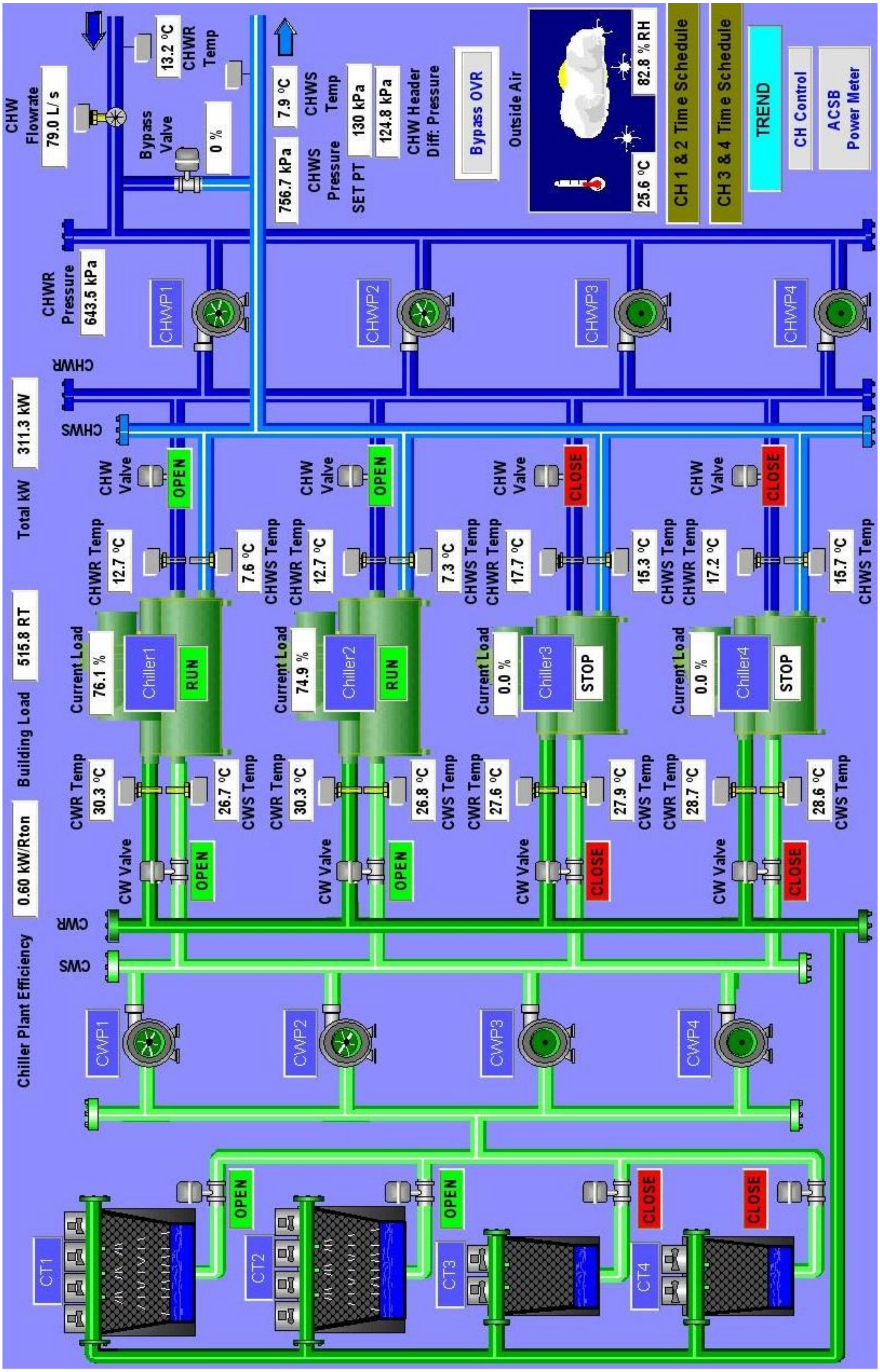
၅.၃.၈ Graphic

BAS တစ်ခုတွင် အောက်ပါ graphic များ ပါဝင်လေ့ရှိသည်။

(၁) Main screen for each building
(၂) Flow diagram for every air handling unit
(၃) Flow diagram for chiller system
(၄) Fire/security plan for every floor
(၅) Plumbing system diagram
(၆) Electrical system diagram
(၇) Vertical transportation system diagram
(၈) Point history graph for all analog points
(၉) Real-time graph for all analog points

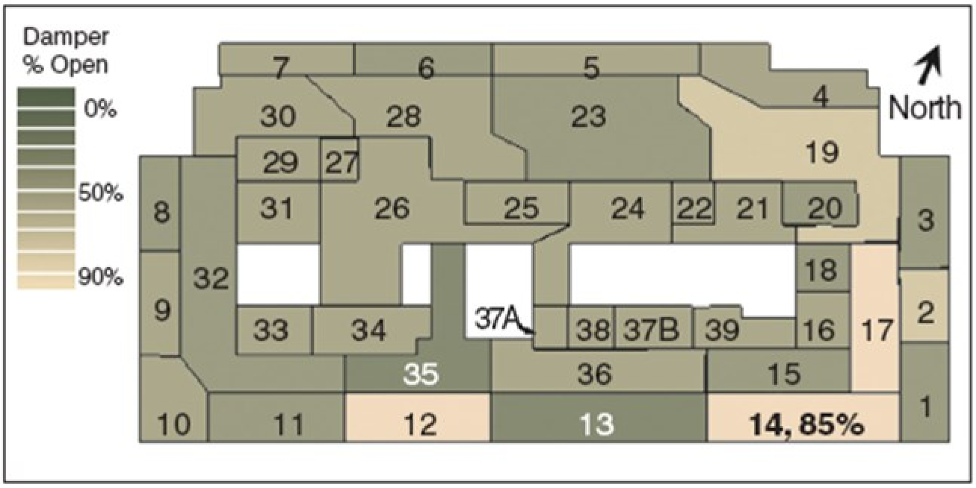


ပုံ ၅-၂၄ AHU တစ်လုံး၏ graphic ပုံ



ပုံ ၅-၂၅ Chilled water system graphic

ပုံ(၅-၂၅)သည် BAS work operator station တွင် မြင်ရသော graphic ဖြစ်သည်။ Chiller water plant room ရှိ equipment များအားလုံးကို graphic ပေါ်တွင် ဖော်ပြထားသည်။ မည့်သည့် chiller ၊ မည်သည့် pump နှင့် မည်သည့် cooling tower တို့ မောင်းနေသည့်ကို ဖော်ပြသည်။ နှင့် System တစ်ခုလုံး နှင့် chiller တစ်လုံးချင်းစီ၏ operation parameter များ ကိုလည်း ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၅-၂၆ VAV Box ရှိ damper များ ပွင့်သည့်ရာခိုင်နှုန်း(opening percentage)

၅.၃.၉ Alarms

Alarm များ အကြောင်းကို အခန်း(၁၀) တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၅.၃.၁၀ Maintenance Scheduling and Inventory Control

Maintenance scheduling နှင့် inventory control တို့သည် database management applications များ ဖြစ်ကြသည်။ preventive maintenance schedule များကို ကြိုတင်ပြင်ဆင်ထားပြီး database management application များတွဲ၍ maintenance personnel အတွက် ညွှန်ကြားချက်များ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ အပိုပစ္စည်များ(parts) ထုတ်ယူခြင်း၊ သိမ်းဆည်းခြင်း စသည့် inventory control လုပ်ငန်းများ ဆောက်ရွက်ပေးနိုင်သည်။

၅.၃.၁၁ Controls

BAS မှ advanced control programs နှင့် energy management program များ အတိအကျ ဆောင်ရွက်ပေး နိုင်သည်။

Reporting ပြုလုပ်ရန်အတွက် အောက်ပါ summary များကို BAS မှ ချက်ချင်း ပေးနိုင်သည်။

(က) Point summary
(ခ) Alarm summary
(ဂ) Override summary
(ဃ) Off-line summary
(င) Disabled summary နှင့်
(စ) Custom summary တို့ ဖြစ်သည်။

၅.၃.၁၂ Software functions

BAS ၏ software function များမှာ

(၁) Configuration
(၂) Commissioning
(၃) Data archiving
(၄) Monitoring
(၅) Commanding နှင့်
(၆) System diagnostics တို့ ဖြစ်သည်။

၅.၃.၁၃ User Access level

BAS ကို access လုပ်ခွင့်ကို အဆင့်(level) ငါးဆင့်ဖြင့် ခွဲခြား သတ်မှတ်ထားသည်။

Level 1 = View Data

Level 1 access ကိုရသည့် user သည် data များကို ကြည့်ရုံသာ ကြည့်ခွင့်ရသည်။

Level 2 = Command

Level 2 access ကိုရသည့် user သည် equipment များ မောင်းရန်၊ ရပ်ရန် စသည့် အမိန့်(command) ပေးနိုင်သည်။

Level 3 = Operator Overrides

Level 3 access ကို ရသည့် user သည် equipment များ မောင်းရန်၊ ရပ်ရန် အချိန်များကို ပြောင်းခြင်း၊ setpoint များကို ပြောင်းခြင်း၊ valve များနှင့် damper များကို override လုပ်ခြင်း စသည့်တို့ကို ဆောင်ရွက်နိုင်သည်။

Level 4 = Database Modification

Level 4 access ကိုရသည့် user သည် database များကို ပြောင်းလဲနိုင်သည်။ Modify လုပ်နိုင်သည်။

Level 5 = Database Configuration

Level 5 access ကိုရသည့် user သည် database configuration လုပ်နိုင်သည်။

Level 6 = All privileges, including Password Add/Modify

Level 6 access ကိုရသည့် user သည် အမြင့်ဆုံးဖြစ်ပြီး ကိစ္စအားလုံးကို ဆောင်ရွက်နိုင်သည်။

၅.၄ Question

(၁) Explain the difference between building automation and building control.

(၂) What is an operational system interface?

(၃) Why are most commercial buildings nowadays equipped with building automation?

(၄) Is "Limiting Peak Demand" an energy saving function?

(၅) Give examples of energy management functions that can be used in hotel rooms.

(၆) What kind of comfort and convenience functions can be implemented in a private residential building?

(၇) What are the advantages and disadvantages of using standardized bus systems and

(၈) Networks in building automation?

-End-

Contents

၅.၁ Introduction 1
၅.၁.၁ What is Building Automation? ....
၅.၁.၂ Building Automation နှင့် Building Control တို့၏ ကွာခြားချက်များ..
၅.၁.၃ Benefit of Building Automation System ....
၅.၂ Building Automation System Architecture 6
၅.၂.၁ Configuration..
၅.၂.၂ Field-Level Controllers ....
၅.၂.၃ System-Level Controllers ....
၅.၂.၄ Management Level သို့မဟုတ် Management Processor..
၅.၃ Building Automation System ၏ အခြေခံ လုပ်ဆောင်ချက်များ(Baisc Function) 15
၅.၃.၁ BAS Trend logging ....
၅.၃.၂ Data Analysis and Report Generation ....
၅.၃.၃ Totalization..
၅.၃.၄ Scheduling..
၅.၃.၅ Equipment Interlocks ....
၅.၃.၆ Metering..
၅.၃.၇ Monitoring ....
၅.၃.၈ Graphic ....
၅.၃.၉ Alarms..
၅.၃.၁၀ Maintenance Scheduling and Inventory Control..
၅.၃.၁၁ Controls..
၅.၃.၁၂ Software functions ....
၅.၃.၁၃ User Access level ....
၅.၄ Question 23

၅.၁ Introduction 1

၅.၁.၁ What is Building Automation? 2

၅.၁.၂ Building Automation နှင့် Building Control တို့၏ ကွာခြားချက်များ 3

၅.၁.၃ Benefit of Building Automation System 5

၅.၂ Building Automation System Architecture 6

၅.၂.၁ Configuration 6

၅.၂.၂ Field-Level Controllers 9

၅.၂.၃ System-Level Controllers 10

၅.၂.၄ Management Level သို့မဟုတ် Management Processor 11

၅.၃ Building Automation System ၏ အခြေခံ လုပ်ဆောင်ချက်များ(Baisc Function) 15

၅.၃.၁ BAS Trend logging 15

၅.၃.၂ Data Analysis and Report Generation 16

၅.၃.၃ Totalization 17

၅.၃.၄ Scheduling 18

၅.၃.၅ Equipment Interlocks 19

၅.၃.၆ Metering 19

၅.၃.၇ Monitoring 20

၅.၃.၈ Graphic 20

၅.၃.၉ Alarms 22

၅.၃.၁၀ Maintenance Scheduling and Inventory Control 22

၅.၃.၁၁ Controls 22

၅.၃.၁၂ Software functions 22

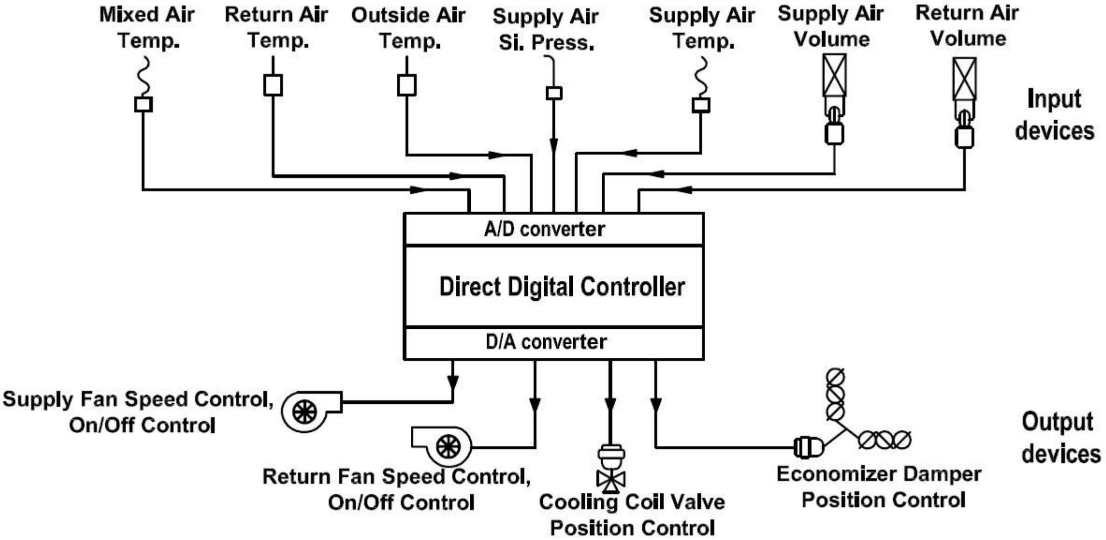
၅.၃.၁၃ User Access level 23

၅.၄ Question 23

Chapter-6 Direct Digital Controllers (DDC)

၆.၁ Basic Feature of DDC Hardware Component

Direct Digital Controller (DDC) များသည် microprocessor ကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသည့် controller များဖြစ်ကြပြီး ထည့်ထားသည့် program များအတိုင်း physical process များကို control လုပ်နိုင်သည်။ DDC များတွင် hardware ၊ software နှင့် firmware တို့ ပါဝင်သည်။ DDC များ သည် standalone controller များဖြစ်ပြီး အလိုရှိသည့် control task ကို ပြင်ပမှ တစ်စုံတစ်ယောက်၏ ကြီးကြပ် ခိုင်းစေမှု(supervision) မပါဘဲ လုပ်ကိုင်ဆောင်ရွက် ပေးနိုင်သည်။



ပုံ ၆-၁ Microprocessor based Direct Digital Controller(DDC)

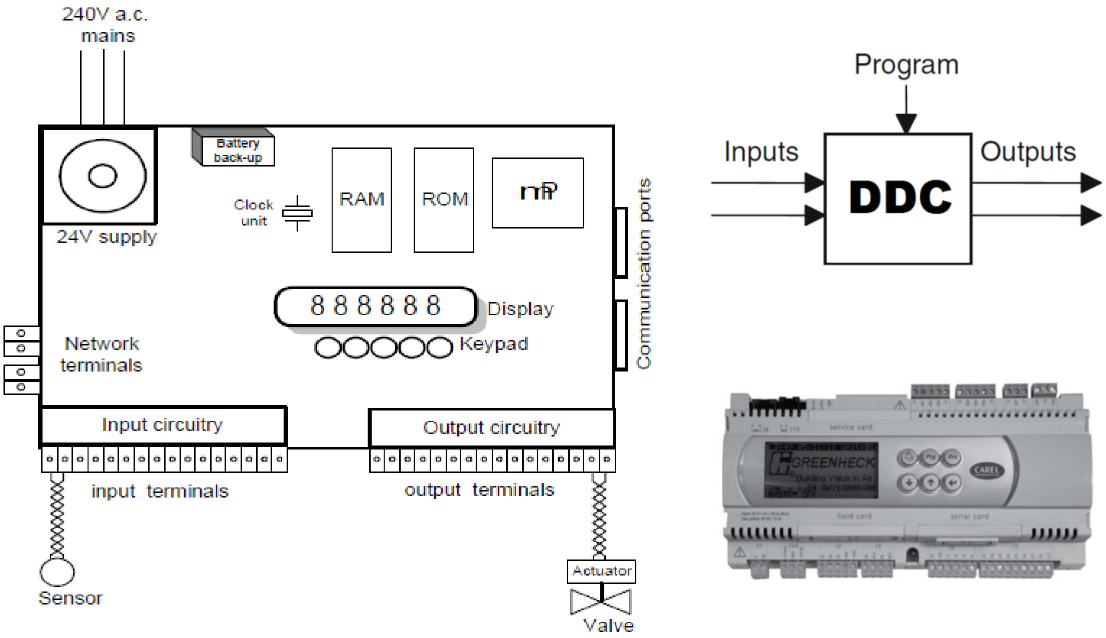
DDC များသည် အမျိုးမျိုးသော control task များကို တပြိုင်နက် ဆောင်ရွက်နိုင်သည့်အပြင် data များ ပေးပို့ခြင်း၊ ရယူခြင်းစသည့် networking capability များ ပိုင်ဆိုင်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် networking လုပ်နိုင်စွမ်း ရှိသည်။ ပုံ(၆-၁) သည် DDC တစ်ခုနှင့် တွဲ၍ ချိတ်ဆက်နိုင်သည့် sensor(input device)များနှင့် controlled device (output device) များကို ဖော်ပြထားသည်။

DDC တစ်ခုတွင် communication လုပ်နိုင်သည့် interface များစွာ ပါရှိသည်။

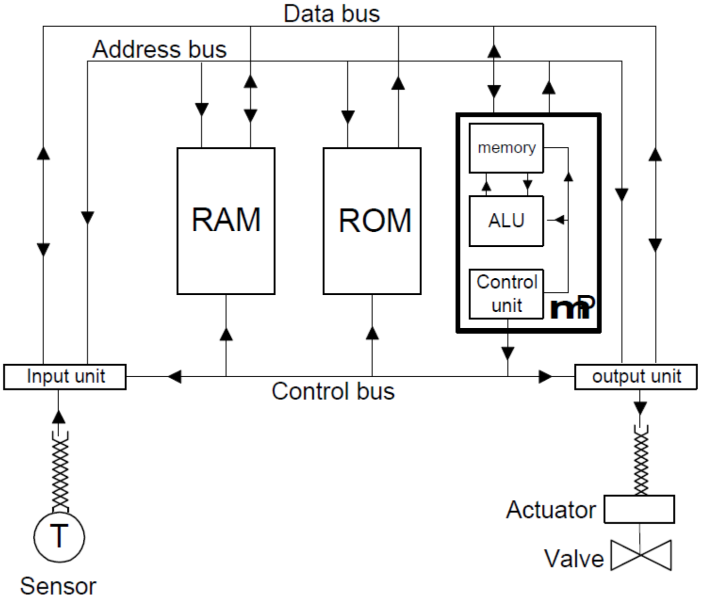
(က) A modem(modem port)

(ခ) A Local Area Network(LAN) terminals

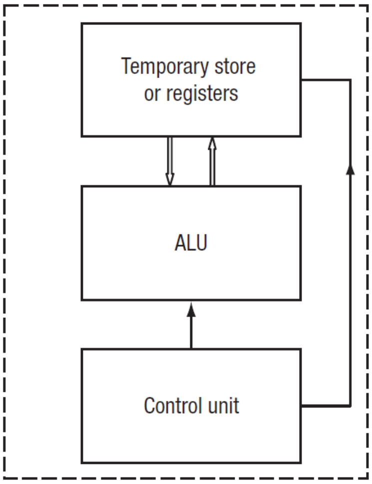
(ဂ) Other operator interface devices, e.g., serial communications port for connecting it to a portable PC for local programming and re-configuration.



ပုံ ၆-၂ Direct Digital Controller (DDC) communication interface



ပုံ ၆-၃ Block diagram of Direct Digital Controller



ပုံ ၆-၄ Microprocessor

DDC များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု သို့မဟုတ် network အတွင်းရှိ node များ တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန် ဆက်သွယ်(communicate) နိုင်ရန် DDC တိုင်းတွင် သီးခြားနံပါတ်များ(unique number) သတ်မှတ်ထားသည်။ ထိုနံပါတ်များကို address ဟု ခေါ်သည်။

Microprocessor သည် Direct Digital Controller (DDC) များ၏ အခြေခံကျသော အစိတ်အပိုင်း ဖြစ်သည်။ Microprocessor သည် အလွန်သေးငယ်သည့် micro-electronic chip ဖြစ်သည်။ စီလီကွန်(silicon) ဖြင့် ပြုလုပ်ထားသည့် large- scale integrated (LSI) circuit ဖြစ်သည်။ Microprocessor သည် Direct Digital Controller (DDC) ၏ ဦးနှောက် (brains) ဖြစ်သည်။

Microprocessor တွင် အဓိက အစိတ်အပိုင်းများစွာ ပါဝင်သည်။

(က) Micro-electronic chip

(ခ) A program memory

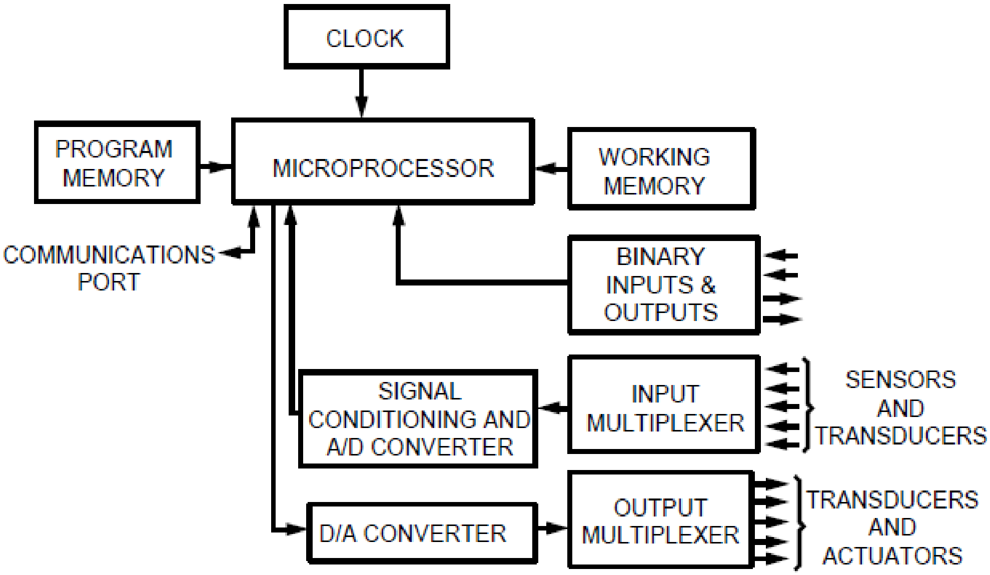
(ဂ) A working memory

(ဃ) Input/Output module

(င) A clock or timing devices နှင့်

(စ) Arithmetic Logic Unit (ALU) တို့ ဖြစ်သည်။

Arithmetic Logic Unit (ALU)သည် ပေါင်း၊နှုတ်၊မြှောက်၊စား စသည့် တွက်ချက်မှုများ အပြင် logical decision များကိုလည်း ပြုလုပ်ပေးသည်။ Control unit သည် microprocessor ဆောင်ရွက်ရမည့် လုပ်ငန်းများ၊ သက်ဆိုင်ရာ အီလက်ထရောနစ်ချပ်(စ်)(electronic chip)များ နှင့် memory တို့က ဆောင်ရွက်ရမည့် လုပ်ငန်းများကို ထိန်းချုပ်(control) ပေးသည်။ ထို့အပြင် program ထဲတွင် ရေးထားသည့် ညွှန်ကြားချက်များ (instructions)ကို အဓိပ္ပာယ်ဖွင့်ဆို၍ ခိုင်းထားသည့် control function များကို ဆောက်ရွက်ပေးသည်။ Temporary memory သည် memory အငယ်စားတစ်မျိုး ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၅ Microprocessor controller configuration for automatic control applications.

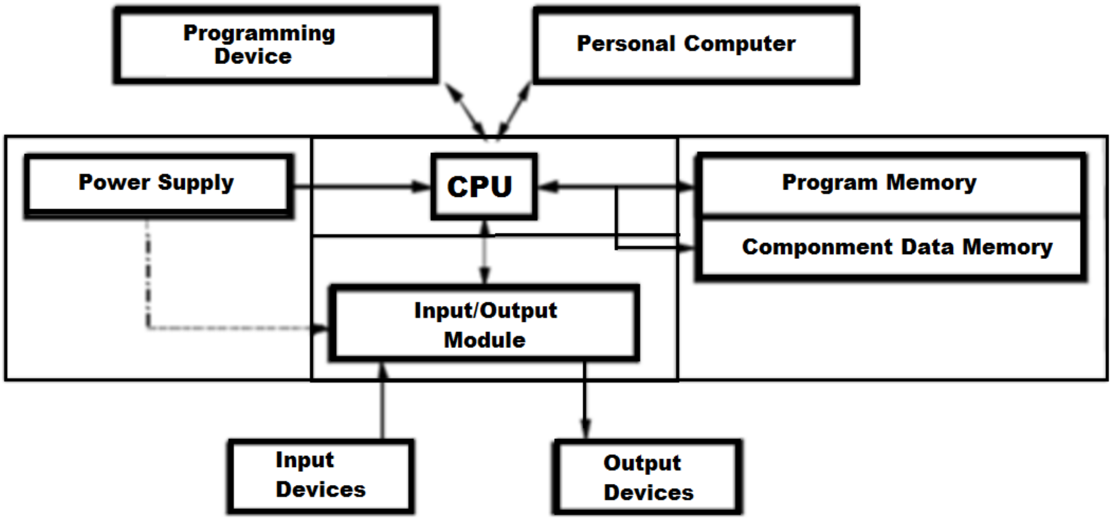
၆.၁.၁ DDC Power Supply

DDC များ အလုပ်လုပ်ရန်အတွက် 24 V power supply ပေးရန် လိုအပ်သည်။ ထို 24V power supply ကို သုံး၍ sensor များကို drive လုပ်ခြင်း၊ output control circuitry များကို အလုပ်လုပ်စေသည်။ DDC အတွင်းရှိ micro electronic circuit များကို low voltage dc supply ဖြင့် အလုပ်လုပ်စေသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် 5Vdc ဖြစ်သည်။

DDC ကို ပေးထားသည့် power supply ကို ပြတ်တောက်လိုက်သည့်အခါ DDC အတွင်းရှိ memory များအတွက် backup battery မှ power ထုတ်ပေးသည်။ ထို backsup battery power supply မရှိ လျှင် DDC

RAM အတွင်းရှိ control program များ ပျက်သွားလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် backup battery သည် စိတ်ချရပြီး (reliable) သက်တမ်းရှည်ရမည်။ Power ပြန်မရခင် အချိန်အတွင်း လုံလောက်သည့် power ကို ထုတ်ပေးနိုင်ရမည်။

အချို့သော DDC များတွင် re-confugration လုပ်ရန်နှင့် information များကို ဖော်ပြရန်အတွက် keypad နှင့် display များ ပါရှိသည်။



ပုံ ၆-၆ Controller

၆.၁.၂ Microprocessor (CPU)

CPU များသည် Dual-In-Line (DIL) package များဖြစ်ကြသည်။ 16 pin သို့မဟုတ် 64 pin ဖြစ်သည်။ CPU များတွင် control unit ၊ CPU memory Arithmetic Logic Unit (ALU) ၊ CPU clock unit ၊ DDC clock ၊ adddress and data bus ၊ DDC RAM နှင့် ROM တို့ ပါဝင်သည်။

(၁) Control Unit

Control unit သည် microprocessor ALU နှင့် memory chip ကဲ့သို့သော အခြား chip များ၏ operationကို control လုပ်ပေးသည်။ Micro computer ၏ function များကို ညှိနှိုင်း(co-ondinate) ပေးသည်။ Program မှ ညွှန်ကြားချက်(instruction)များကို control function ဖြစ်အောင် ဆောင်ရွက်(execute) ပေးသည်။

(၂) CPU memory

CPU memory သည် resister ပေါင်းများစွာဖြင့် ဆောက်လုပ်ထားသည့် memory အငယ်စား ကလေးဖြစ်ပြီး sensor data ၊ point name စသည့် information များကို သိမ်းဆည်းထားပေးသည်။ ALU နှင့် control unit တို့ အလုပ်လုပ်ရန် လိုအပ်သည့် program instruction များကိုလည်း သိမ်းဆည်း ထားပေးသည်။

(၃) Arithmetic and Logic Unit(ALU)

Arithmetic and Logic Unit(ALU) သည် ပေါင်းခြင်း(addition)၊ မြှောက်ခြင်း(multiplication) စသည့် တွက်ချက်မှု(calculation) များကို ပြုလုပ်ပေးသည်။ ရွေးချယ်ခြင်း(selection)၊ ကြီးစဉ်ငယ်လိုက် စဉ်ခြင်း(sorting) နှင့် နှိုင်းယှဉ်ခြင်း(comparing) စသည့် logical decision–marking process များကို ပြုလုပ်ပေးသည်။ Sensor နှင့် tranducer များ စသည့် input device မှ data များကို ALU process ပြုလုပ်ပေးပြီး control output command ကို ထုတ်ပေးသည်။

(၄) CPU Clock Unit (Timer Interval)

Quartz crystal မှ ထွက်လာသည့် pulse များကို control unit များဆီသို့ ပေးပို့ပြီး အချိန်အဖြစ် သုံးရန် နှင့် microprocess ၏ operation များ synchronize ဖြစ်ရန်အတွက် ပေးပို့သည်။

Clock unit speed သည် processor cycle time အရှည်အတို သတ်မှတ်ပေးသည်။ Machine cycle time ဟုလည်း ခေါ်သည်။ Program instruction များ ဆောင်ရွက်(execute) လုပ်ရန် basic speed လည်း ဖြစ်သည်။

(၅)DDC Clock

DDC clock သည် CPU clock unit မဟုတ်ပါ။ DDC clock သည် real time clock ဖြစ်ပြီး CPU clock က မောင်းပေးထားခြင်း ဖြစ်သည်။ CPU clock သည် နေ့၊ ရက်စွဲ၊ အချိန် စသည်တို့ကို မှတ်ထားပေးသည်။ ထို့ကြောင့် DDC သည် building equipment များဖြစ်သော fan ၊ pump တို့ကို schedule များ၊ time program များအတိုင်း အလုပ်လုပ်စေသည်။ ဥပမာ- DDC clock ကို plant တွင် automatic switching လုပ်ရန်အတွက် timer အဖြစ် အသုံးပြုသည်။ ဥပမာ- ညဘက်တွင် မီး(ligh) များကို မှိတ်ပေးခြင်း၊ holiday တွင် equipment များကို ရပ်နားစေခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

(၆) Address and Data Buses

DDC အတွင်းရှိ microprocessor နှင့် တခြား chip များ အကြားတွင် connection ဖြစ်စေရန် address bus နှင့် data bus များက ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ DDC memory အတွင်း၌ သိမ်းထားမည့် data များနှင့် program instruction များကို မည်သည့်နေရာတွင် သိမ်းရမည် ဆိုသည့် နေရာ adddress ကိုပါ စီမံပေးရသည်။ ဥပမာ- sensor တိုင်းအတွက် ကိုယ်ပိုင် address ရှိရသည့် အပြင် memory set ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်းရန် နေရာ(storage area)လည်း သတ်မှတ်ပေးရသည်။

(၁) Data bus များကို DDC chip အတွင်း data များ transfer လုပ်ရန် အသုံးပြုသည်။

(၂) Address bus သည် memory ပေါ်တွင် data များ သိမ်းထားသည့်နေရာကို ညွှန်ပြရန် သို့မဟုတ် prpgram instruction များ သိမ်းထားသည့်နေရာကို ညွှန်ပြရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

(၇) DDC RAM and ROM

DDC RAM နှင့် ROM တို့သည် CPU memory ထက် ပိုကြီးမားသည်။ သို့သော် CPU memory လောက်မြန်အောင် အလုပ်မလုပ်နိုင်ပေ။

Random Access Memory(RAM)

Random Access Memory(RAM) ကို data များ ခဏ သိမ်းဆည်းရန် (temporary storage) အတွက် အသုံးပြုသည်။ ဥပမာ - DDC application program များ၊ configuration information များနှင့် computational result များကို ခဏ သိမ်းဆည်းခြင်း ဖြစ်သည်။ မှတ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ RAM ပေါ်တွင် မှတ်ထားသည့် information များကို application software ဟုခေါ်သည်။ ထို software ကို programmer များက ပြောင်းပစ်နိုင်သည်။

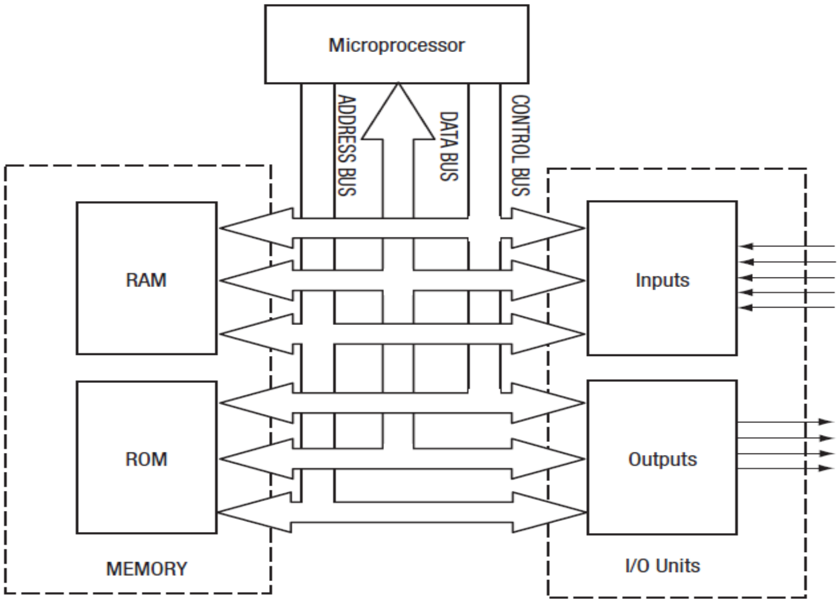
Read Only Memory(ROM)

DDC အတွက် standard control program များကို ROM ပေါ်တွင် သိမ်းထားသည်။ Standard control program များမှာ time schedule ၊ On/Off control နှင့် PID တန်ဖိုးများ ဖြစ်သည်။ ROM ပေါ်တွင် routines ကို သိမ်းထားပြီး RAM ပေါ်တွင် application software နှင့် configuration information များကို သိမ်းထားသည်။ Application program run ရန်လိုအပ်သည့် information များဖြစ်သည်။

ROM ပေါ်တွင်ရှိသည့် control routines သို့မဟုတ် program များကို firmware ဟုခေါ်သည်။ ထို firmware များကို programmer များက ပြုပြင်ခြင်း ပြောင်းလဲခြင်း ပြုလုပ်ရန် မရနိုင်ပေ။

၆.၁.၃ Microcomputer Structure and Buses

Microcomputer သို့မဟုတ် Digital Controller (DDC) ၏ အဓိက ကြသော အစိတ် အပိုင်းများ(main essential components) နှင့် အပြန်အလှန် ဆက်စပ်နေပုံ(interconnections)ကို ပုံ(၆-၇) တွင် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၇ Microcomputer principal architecture.

DDC တွင် အစိတ်အပိုင်း သုံးခုပါဝင်ပါသည်။ Microprocessor (CPU) ၊ memory နှင့် input and output (I/O) units တို့ဖြစ်သည်။

Data ၊ instructions နှင့် address signal transmission စသည့် operation များအားလုံးသည် data bus ၊ address bus နှင့် control bus သုံးမျိုးဖြင့် အလုပ်လုပ်ကြသည်။

ပုံ (၆-၈) တွင် DDC ၏ microprocessor chip သည် memory unit ၊ input နှင့် output units တို့ဖြင့် မည်ကဲ့သို့ ချိတ်ဆက်ထားသည်ကို ဖော်ပြထားသည်။ Unit များ အားလုံးတွင် microelectronic chip တစ်ခုစီ ရှိကြသည်။ Bus ဆိုသည်မှာ ဝါယာကြိုးအစု(parallel wires) ဖြစ်သည်။

Data bus ဆိုသည်မှာ chip တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြားတွင် data များ ကူးပြောင်းစေရန် အတွက် သုံးသည့် ဝါယာကြိုးအစု(parallel wires) ဖြစ်သည်။

ဥပမာ input unit မှ အပူချိန်တန်ဖိုး ကို memory ဆီသို့ data bus မှ တစ်ဆင့် ပေးပို့ခြင်း (transferring) ဖြစ်သည်။

Address bus သည် data များ သိမ်းဆည်းရန်အတွက် နေရာ(memory or register) သို့မဟုတ် program instruction များ သိမ်းဆည်းရန်အတွက် နေရာ(memory or register)ကို သတ်မှတ်ပေးခြင်း (နေရာချပေးခြင်း) ဖြစ်သည်။ ဥပမာ telephone number သို့မဟုတ် IP address တို့ ဖြစ်သည်။

Data များကို သိမ်းဆည်းထားနိုင်ပြီး bus နှင့် ဆက်သွယ်ထားသည့် memory unit တိုင်း၌ address ရှိရန် လိုအပ်သည်။ Address (A) မှ data များကို address (B)သို့ ပေးပို့ ကူးပြောင်းပေးရန်အတွက် အောက်ပါ အဆင့်များ လုပ်ဆောင်ရန် လိုသည်။

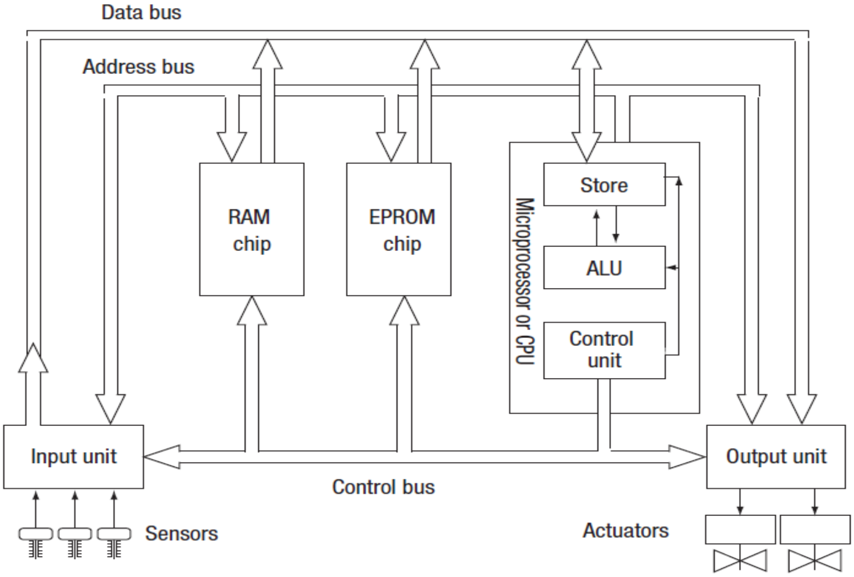
(၁) Microprocessor သည် address A ကို address bus ပေါ်သို့ တင်(locate)ပေးသည်။

(၂) Control unit သည် control bus မှ တဆင့် address A ပေါ်ရှိ data ကို ဖတ်ယူစေရန် data bus ကို အမိန့်(signal) ပေးသည်။

(၃) Microprocessor သည် address B ကို address bus ပေါ်သို့ တင်(locate)ပေးသည်။

(၄) Control unit သည် control bus မှ တဆင့် data bus ပေါ်ရှိ data ကို address A သို့ ရေးသား (write)ရန် data bus ကို အမိန့်(signal) ပေးသည်။

အထက်ပါလုပ်ဆောင်ချက် လေးမျိုးသည် အလွန်လျှင်မြန်စွာ ဆောင်ရွက်သည်။



ပုံ ၆-၈ Architecture of DDC controller

၆.၁.၄ Memory Size

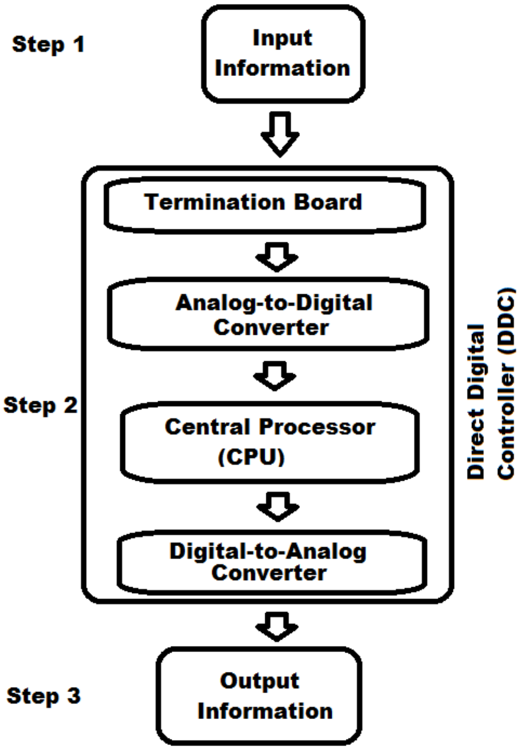
Data နှင့် program instruction များကို memory chip များ ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်း ထားသည်။ Microprocessor တွင် အလွန်လျှင်မြန်စွာ အလုပ်လုပ်နိုင်ပြီး ယာယီ သိမ်းဆည်းထားနိုင်သည့် memory ပါရှိသည်။ Memory chip နှစ်မျိုး ရှိသည်။ Read Only Memory (ROM) နှင့် Random Access Memory(RAM) တို့ဖြစ်သည်။ 16- bit address bus သည် address locations 216 ကို စီမံနိုင်သည်။ 16- bit microprocessor chips ၊ 32- bit and 64- bit chips စသည့် chip များကို အသုံးပြုကြသည်။

ROM chip သည် data သို့မဟုတ် instruction များကို ပေးပို့ခြင်းသာ ဆောင်ရွက်နိုင်သည်။ I/O ports သို့မဟုတ် တခြားသော chip များမှ data များကို လက်ခံနိုင်ခြင်း၊ သိမ်းဆည်းထားနိုင်ခြင်း မပြုလုပ်နိုင်ပေ။

ROM chip ပေါ်၌ ထုတ်လုပ်စဉ်က စက်ရုံမှ ရေးသား သိမ်းဆည်းထားသည့် program နှင့် data များကို user များ ပြုပြင်ပြောင်းလဲရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ ROM chip ပေါ်၌ program နှင့် data များကို အသေ(permanent) ရေးသား သိမ်းဆည်းထားသောကြောင့် လျှပ်စစ်ဓာတ်အား ပျက်တောက်သည့်(power failure) အခါတွင် မပျက်စီးနိုင်ပေ။

ROM chip ပေါ်၌ သိမ်းဆည်းထားသည့် standard control function များ၊ schedule ၊ on/off control နှင့် Proportional-Integral- Derivative (PID) function များ ဖြစ်ကြသည်။

သို့သော် Erasable and re-Programmable ROMs (EPROMs) ကဲ့သို့သော chip များကို အသုံးပြုထားလျှင် လိုသလို ပြုပြင်ပြောင်းလဲခြင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။



Memory အရွယ်အစားသည် bus structure တွင်သုံးထားသည့် bit အရေအတွက် ပမာဏ ဖြစ်သည်။ 16 bit address bus သည် address ပေါင်း 216 ခုကို စီမံပေးနိုင်သည်။ စီစဉ်ပေးနိုင်သည်။

RAM နှင့် ROM chip များ တစ်ခုချင်းစီသည် 8 Kb(Kilobyte) ပမာဏ အထိ သိမ်း ဆည်း နိုင်သည်။ 1 kilobyte သည် 1024 byte နှင့် ညီမျှသည်။ DDC ၏ ဈေးနှုန်း သက်သာစေရန် အလွန်များသည့် memory များကို ထည့်ပေးလေ့မရှိပေ။

ထို့ကြောင့် DDC သိမ်းဆည်းနိုင်သည့် data ပမာဏ အကန့်အသတ် ရှိသည်။ Input အရေအတွက်၊ output အရေအတွက် နှင့် programming များ လုပ်နိုင်ရုံသာ ရှိသည်။

ပုံ ၆-၉ Information path: Digital Controller

ဥပမာ- DDC တစ်ခုသည် temperature sensor(၈)ခုနှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။ (၁)မိနစ် တစ်ကြိမ် ဖတ်ယူရရှိသည့် data များကို DDC ထဲတွင် သိမ်းဆည်းသည်။ Sensor တစ်ခုမှ ဖတ်ယူရသည့် တန်ဖိုး (reading)သည် 1 byte memory သုံးရန် လိုအပ်သည်။ DDC ပေါ်တွင် 4 Kbyte RAM ရှိလျှင် အချိန် မည်မျှကြာအောင် DDC ပေါ်တွင် temperature sensor(၈)ခုမှ တန်ဖိုးများ(values) ကို သိမ်းဆည်း ထားနိုင် မည်နည်း။(Memory ပေါ်မှ data များကို download လုပ်ယူခြင်း၊ overwrite ပြုလုပ်ခြင်း မလုပ်ဟု ယူဆပါ။) ပုံ(၆-၂) သည် DDC controller ၏ input terminal တွင် temperature sensor တစ်ခုဖြင့် ချိတ် ဆက်ထားပြီး DDC controller output ၌ actuator တစ်ခုကို ချိတ်ဆက်ထားသည်။ ပုံမှန်အားဖြင့် DDC controller တစ်ခုတွင် input channel များစွာပါရှိပြီး၊ output channel များစွာ ပါရှိသည်။ ထို့ကြောင့် DDC controller တစ်ခုဖြင့် sensor များ(input terminal) နှင့် controlled device များ(output terminal) ချိတ်ဆက်နိုင်သည်။

၆.၂ Input and Output Points

Direct Digital Controller ကို DDC ဟု အတိုခေါက် ခေါ်ကြသည်။ DDC များသည် microprocessor များကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသော controller များ ဖြစ်ကြသည်။ Personal computer များတွင် ပါရှိသည့် processor များကဲ့သို့ အလုပ်လုပ်သည်။ ထို DDC controller ၏ memory ထဲတွင် control logic ဟုခေါ်သည့် instruction များ ထည့်ထားပေး ရသည်။ DDC များသည် ထို instruction များအတိုင်း control action များကို ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Control လုပ်ပေးသည်။ စနစ်တကျ ရေးထားသည့် instruction များကို program ဟု ခေါ်သည်။

၆.၂.၁ DDC Input/Output Unit Interface

DDC တစ်ခု၏ input နှင့် output နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အပိုင်း(section)တွင် operation amplifier များ၊ A/D နှင့် D/A converter များ စသည့် electronic chip များ ပါဝင်သည်။ ထို chip များကို Printed Circuit Board(PCB) ပေါ်တွင် mount လုပ်ထားသည်။

Sensor များကို DDC controller မှ input terminal ပေါ်ရှိ input channel များနှင့် ဝါယာကြိုးဖြင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။ Control device (actuator) များကို DDC မှ output terminal ပေါ်မှ output channel များနှင့် ဝါယာကြိုးဖြင့် ဆက်သွယ်ပေးသည်။

DDC input unit ကို အောက်ပါ function များ ဆောင်ရွက်ရန် configure လုပ်နိုင်သည်။

(က) Sensor များ၊ transducer များ၊ မီတာ(meter) များ စသည်တို့မှ တိုင်းထားသည့် တန်ဖိုးများ (measured variable)ကို DDC ၏ input unit မှ input signal အဖြစ် လက်ခံရရှိသည်။

(ခ) Input signal များကို လိုအပ်လျှင် amplification လုပ်ခြင်း၊ filtering လုပ်ခြင်းစသည့် signal conditioning များ ပြုလုပ်ပေးသည်။

(ဂ) DDC input unit သည် ဝင်လာသည့် input analogue signal ကို digital signal အဖြစ်သို့ A/D converter ကို သုံး၍ ပြောင်းပေးသည်။

(ဃ) Volt free contact (static switch)မှ ရရှိသည့် On/off state signal ကို device ၏ status သို့မဟုတ် alarm အဖြစ် ဖော်ပြသည်။

DDC output unit သည် computation result နှင့် logical operation များကို အခြေခံ၍ အောက်ပါ function များကို ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

(က) Controlled device ၏ status ပြောင်းသွားစေရန် digital signal တစ်ခုကို ထုတ်ပေးသည်။

(ခ) Output device ကို တစ်ဖြည်းဖြည်း ပြောင်းလဲစေရန်(incremental basis) အချိန်ကာလတို တစ်ခုအတွင်း pulse များစွာ ထုတ်ပေးသည်။

(ဂ) Output device(valve/damper)၏ သတ်မှတ်ထားသော position အတိုင်း ဖွင့်ရန်၊ ပိတ်ရန်အတွက် DDC မှ digital signal ကို D/A converter ကိုသုံး၍ analogue အဖြစ်သို့ ပြောင်းပေးသည်။

၆.၂.၂ DDC I/O Point Types (Data Points)

DDC data point များကို input point နှင့် output point ဟူ၍ နှစ်မျိုးနှစ်စား ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) **Input points**

Sensing device များဖြစ်သည့် sensor နှင့် transducer များမှ data များကို လက်ခံရရှိသောကြောင့် input point ဟု သတ်မှတ်ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ DDC သည် ထိုလက်ခံရရှိသည့် data များကို အခြေခံ၍ တွက်ချက်မှုများ၊ control လုပ်ငန်းကို လုပ်ကိုင်ဆောင်ရွက်သည်။

(၁) **Digital Inputs (DI)**

Status monitoring လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည့် two-state input signal ကို Digital Inputs (DI) ဟုခေါ်သည်။

ဥပမာ- fan on/off status, high/low temperature, alarm on/off စသည်တို့ ဖြစ်သည်။

- Switch dry contact (open/closed)
- Smoke detectors
- Airflow
- Water
- Differential pressure
- Power (on/off status)
- High/low limit switch (on/off)
- Freeze alarm

(၂) Analogue Input (AI)

AI သည် sensor သို့မဟုတ် transmitter ဆီမှ လက်ခံရရှိသည့် continuous signal ဖြစ်သည်။ Temperature ၊ pressure ၊ humidity စသည့် physical variable များ၏ တန်ဖိုးများကို ကိုယ်စားပြုသည့် (ညီမျှသည့်) continuous signal ဖြစ်သည်။

AI input များကို active နှင့် passive အမျိုးစား(type) ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။
Active AI များသည် voltage သို့မဟုတ် current signal input တို့ဖြစ်သည်။
Passive AI များသည် Resistance Temperature Detectors (RTD) ဆီမှ ရရှိသည့် လျှပ်စစ်ခုခံအား (resistance) ဖြစ်သည်။

အောက်ပါတို့သည် active analogue input signal များဖြစ်ကြသည်။

- 0 to10V (0 to 5V)
- 4 to 20mA (0 to 20mA)

Analogue Input (AI) point များကို ဥပမာ နှင့် တကွ ဖော်ပြထားသည်။

- Resistance Temperature Detectors
- Temperature Thermistors
- Temperature Transmitters
- Pressure
- Humidity
- Flow (water, air)
- Voltage
- Current
- Air quality (CO2, O2, etc.)
- Air quantity (CFM)

(၃) **Pulsed Input (PI)**

Physical variable များကို engineering unit တစ်ခုခုဖြင့် ဖော်ပြရန်အတွက် ထိုတန်ဖိုးဖြင့် ညီမျှသည့် accumulated pulse များသည် Pulsed Input (PI) ဖြစ်သည်။
ဥပမာ - 10 pulses သည် 1 kWh နှင့် ညီမျှသည်။ pulses ရေတွက်၍ (၁၀)ခုပြည့်တိုင်း စွမ်းအင် 1 kWh သုံးစွဲပြီးဖြစ်သည်ဟု သိနိုင်သည်။

(ခ) **Output points:**

Output point များသည် control signal အသွင်ဖြင့် ဖော်ပြသည့် အမိန့်များ(commands) ဖြစ်ကြသည်။

(၁) **Digital Output (DO):**

DO သည် contact သို့မဟုတ် switch ၏ relay coil ကို energizing လုပ်ခြင်း သို့မဟုတ် de-energizing လုပ်ခြင်း တို့ကိုဆောင်ရွက်ပေးသည်။
အောက်ပါတို့သည် Digital Output(DO) များ ဖြစ်ကြသည်။

- On/off (driven from a logic variable)
- On/off (driven from a numeric variable)
- Duration Adjusted Type (DAT) (driven from a numeric variable)
- Position Adjust Type (PAT, incremental control)
- Start/Stop (S/S) (driven from a logic variable)
- Pulse (driven from a logic variable).

ဥပမာ

- Relays
- Two-position actuators
- Indicator lights
- Two-position solenoid valves

(၂) **Analogue Output (AO)**

AO သည် controlled device တစ်မျိုးမျိုးကို ခိုင်းစေရန်အတွက် CPU မှ ထုတ်ပေးသည့် software command ဖြစ်သည်။ ထို command ကို continuous၊ variable voltage or current control signals အသွင်သို့ပြောင်း၍ controlled device ဆီသို့ထုတ်ပေးသည်။ ဥပမာ- damper နှင့် valve actuators ၊ variable speed drives ၊ flow rate စသည်တို့ဖြစ်သည်။

အောက်ပါတို့သည် Analogue output signals များ ဖြစ်ကြသည်။

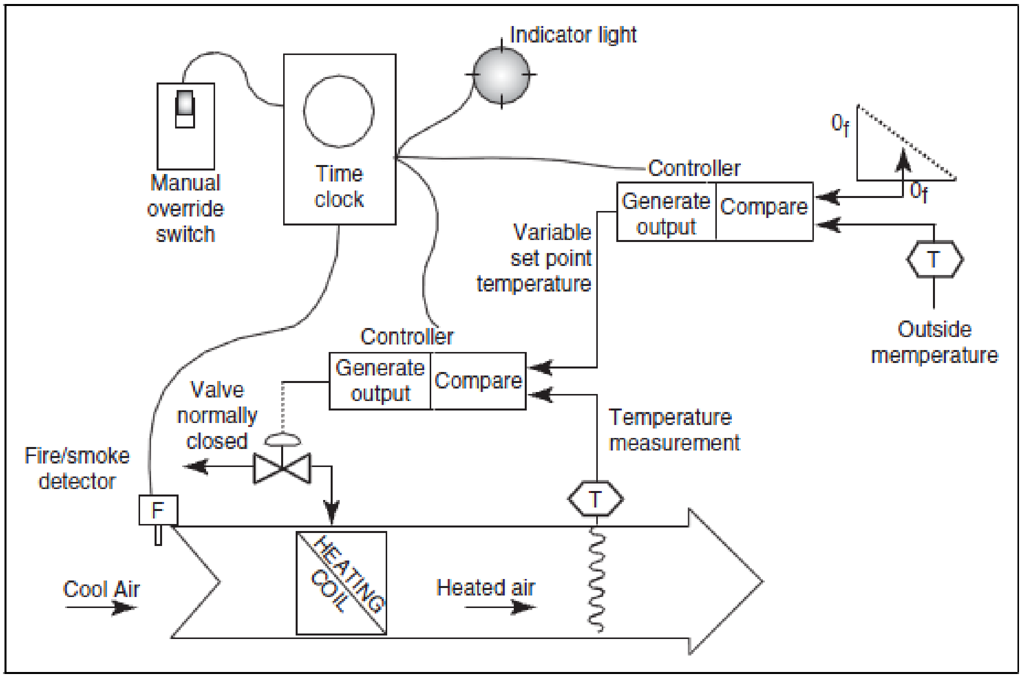
- 0 to10V (0 to 5V)
- 4 to 20mA (0 to 20mA)

ဥပမာ

- Damper actuators
- Modulating valves for Chilled water
- Modulating valves for Heating coil
- Inlet guide vanes
- Variable frequency drives

Table 2. Sample Control Points Classified

Control point:	Classified as:
Smoke detector (dry contact switch)	DI
Outside air temperature	AI
Bypass valve	AO
Start/Stop relays	DO
Chilled water supply temperature	AI
Static (Duct) pressure	AI
Freeze alarm	DI
Damper actuator	AO



ပုံ ၆-၁၀ Air Heater with Outdoor Reset

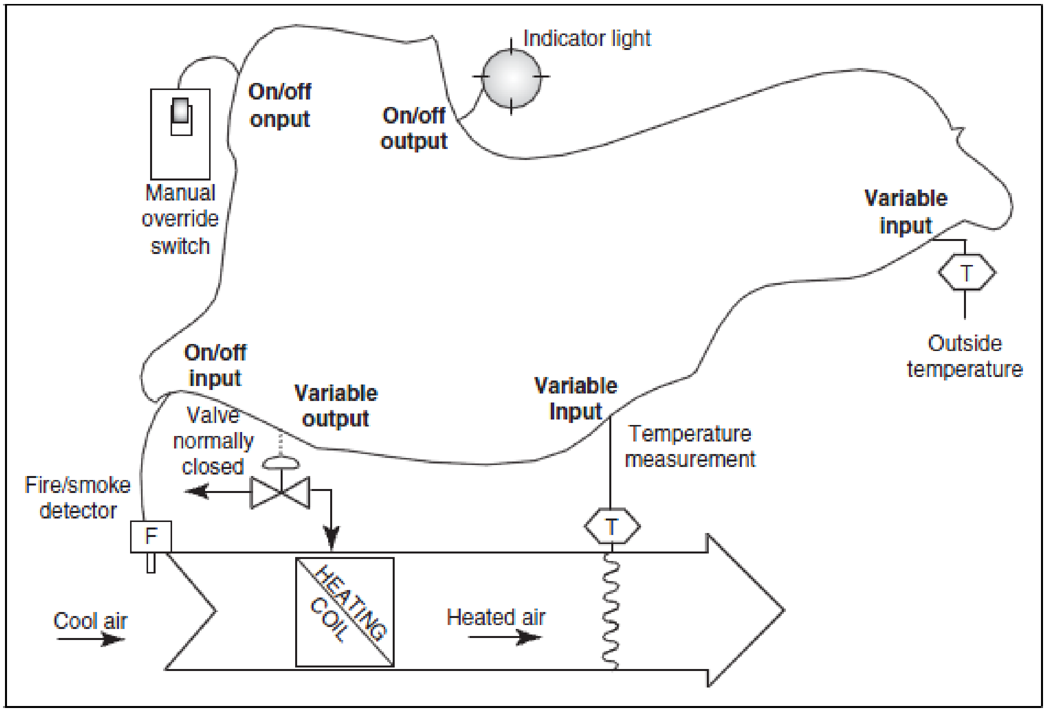
ဥပမာ - DDC တစ်ခု၌ ပါရှိသည့် 8-bit A/D converter သည် RH sensor မှ 7.8 dc volts analog signal ရရှိသည်။

RH sensor ၏ working range သည် 0 to 10 volts ဖြစ်သည်။

(က) A/D converter ၏ resolution ကို ရှာပါ။

(ခ) Sensor output သည် 7.8 volts ဖြစ်လျှင် A/D converter ၏ digital output data တန်ဖိုးကို ရှာပါ။

DDC များအလုပ်လုပ်ပုံကို နားလည်ရန်အတွက် Input နှင့် Output များအကြောင်း နားလည်ရန် လိုသည်။ ပုံ(၆-၂) တွင် input to DDC controller သို့မဟုတ် output from DDC များကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၁၁ Air Heater Input/Output points

ပုံ(၆-၁၁)တွင် outdoor reset လုပ်ပြီး control လုပ်သည့် air heater တစ်ခု၏ control diagram ကို ဖော်ပြသည်။ Fire သို့မဟုတ် smoke detector က မီးလောင်နေသည် သို့မဟုတ် မီးခိုးများထွက်နေသည်ဟု signal မရလျှင် timer မှ မောင်းရန် အချိန်ရောက်လျှင် သို့မဟုတ် start ခလုပ်ကို နှိပ်၍ မောင်းလျှင် fan စမောင်းသည်။

Control System တစ်ခုတွင် အဓိက အားဖြင့် input နှင့် output လေးမျိုးရှိသည်။

(က) On/off input (Digital Input သို့မဟုတ် DI) – manual switch, fire/smoke detector

(ခ) On/off output (Digital Output သို့မဟုတ် DO) – power to light

(ဂ) Variable input (Analog Input သို့မဟုတ် AI) – temperature from sensor နှင့်

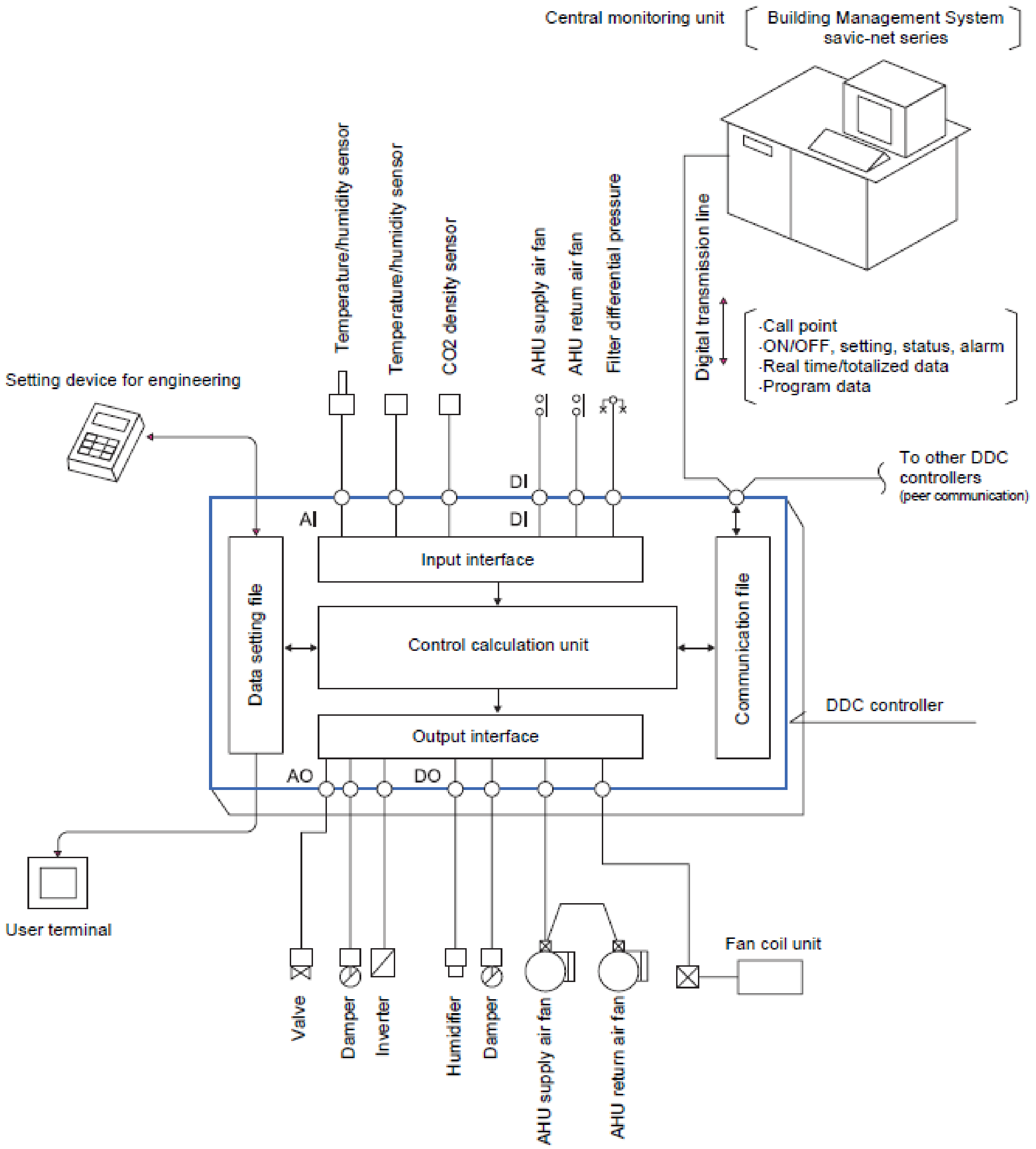
(ဃ) Variable output (Analog Output သို့မဟုတ် AO)– power to the valve တို့ ဖြစ်သည်။

၆.၂.၃(က) On/off Input သို့မဟုတ် Digital Input (DI) သို့မဟုတ် Binary Input (BI)

ON/OFF input သည် လျှပ်စစ်ပတ်လမ်း(circuit) ပြည့်ရန်အတွက်(complete ဖြစ်ရန်) ပိတ်ပေးရသည့် switch သို့မဟုတ် relay သို့မဟုတ် device တစ်မျိုးမျိုး ဖြစ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ အဖွင့်/အပိတ်(ON/OFF) နှစ်မျိုးသာ ရှိသည့်အတွက် "Digital" ဟုခေါ်သည်။ Building Automation System(BAS) ဝေါဟာရ အရ Digital Input(DI) သို့မဟုတ် Binary Input(BI) ဟုခေါ်သည်။

Binary Input(BI) များကို ရေတွက်ရန်(count လုပ်ရန်) လိုအပ်သည်။ ဥပမာ - Power meter သည် 1 kWh ပြည့်တိုင်း on/off တစ်ခါ လုပ်ပေးသည်။ ထို pulse ကို ရေတွက်ခြင်းဖြင့် kWh မည်မျှ သုံးပြီးသည်ကို ရေတွက်နိုင်သည်။ သိပ်မမြန်လျှင် Digital Input(DI) ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ BI ကို တစ်စက္ကန့်လျှင် အကြိမ် (၁၀၀)ထက်ကျော်သည့် pulse များကို count လုပ်ရန်အတွက် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Series of pulse များ ဖြစ်မနေသောကြောင့် digital ဟုခေါ်လျှင် လုံးဝမှန်သည်ဟု မပြောနိုင်ပါ။ ON နှင့် OFF နှစ်မျိုးသာ ဖြစ်နိုင်သောကြောင့် "**Binary**" ဟုပြောလျှင် ပိုမို မှန်ကန်သည်။ On/off input ၏ တရားဝင် နာမည်(official designation) မှာ Binary Input(BI) ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၁၂ Example of distributed DDC controller configuration

၆.၂.၄(ခ) On/off Output သို့မဟုတ် Digital Output(DO) သို့မဟုတ် Binary Output(BO)

On/off output များသည် power သို့မဟုတ် close contact ကို ထုတ်ပေးသည်။ မီးလုံးသည် လင်းနေသည့်အချိန်(power "on") နှင့် ပိတ်နေသည့်အချိန်(power off) နှစ်မျိုးသာ ဖြစ်နိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ On သို့မဟုတ် Off output နှစ်မျိုးကိုသာ ထုတ်ပေးနိုင်သောကြောင့် Digital Output(DO) သို့မဟုတ် Binary Output (BO) ဟုခေါ်သည်။

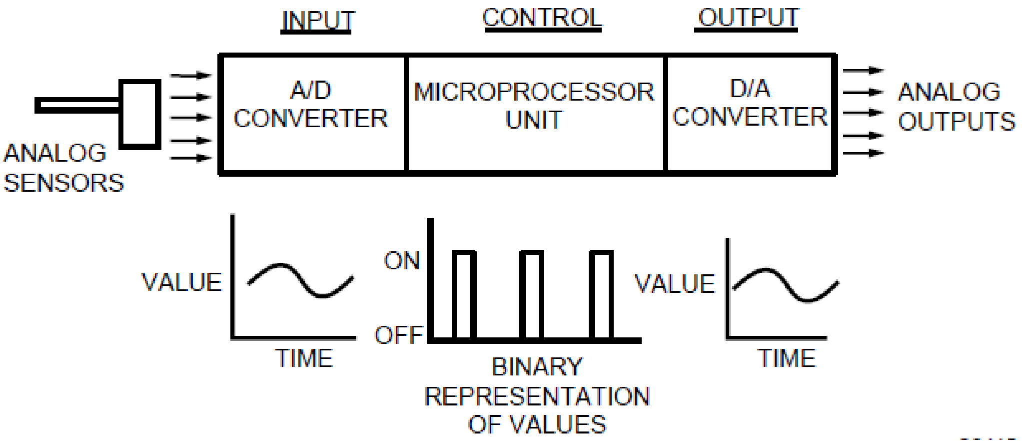
၆.၂.၅(ဂ) Variable Input သို့မဟုတ် Analog Input(AI) သို့မဟုတ် Binary Input(BI)

Variable input ဆိုသည်မှာ အချိန်နှင့်အမျှ ပြောင်းလဲနေသည့် signal များ DDC အတွင်းသို့ ဝင်ရောက် လာခြင်းဖြစ်သည်။ Temperature၊ humidity နှင့် pressure စသည့် တန်ဖိုးတို့နှင့် ညီမျှသည့် signal များ ဖြစ်သည်။ Building Automation System(BAS) ဝေါဟာရအရ ပြောင်းလဲနေသည့် signal(varying signal) သို့မဟုတ် Analog Input(AI) ဟု ခေါ်သည်။

၆.၂.၆(ဃ) Variable Output သို့မဟုတ် Analog Output(AO)

Value နည်းနည်းဖွင့်ရန်၊ များများဖွင့်ရန် သို့မဟုတ် damper လိုသလောက် ဖွင့်ရန်အတွက် ပေးရသည့် variable output ကို Analog Output(AO) ဟုခေါ်သည်။ ထို BI ၊ BO နှင့် AI ၊ AO point များသည် computer သို့မဟုတ် DDC controller နှင့် ချိတ်ဆက်ရန် ဖြစ်သည်။ Temperature ကို ဖတ်ယူသည့် sensor သည် analog အမျိုးအစား varying signal (0- 10 Volts) ကို ထုတ်ပေးသည်။ Computer သို့မဟုတ် DDC သည် digital signal ကိုသာ လက်ခံနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် analog signal မှ digital signal သို့ ပြောင်းပေးမည့် A/D conventor သို့မဟုတ် A/D processor သို့မဟုတ် A/D device လိုအပ်သည်။

ထို့ကြောင့် AI device နှင့် processor (controller) အကြား၌ A/D analog to digital converter ရှိရန် လိုအပ်သည်။ A/D converter ကို controller ပေါ်တွင် တစ်ခါတည်း ပေါင်းထည့်ထား ပေးလေ့ရှိသည်။ Built-in လုပ်ထားသည့်ဟု ရေးသား ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။



ပုံ ၆-၁၄ Analog functions of a digital controller

DDC တစ်ခုတွင် မဖြစ်မနေ ပါဝင်ရမည့် component များမှာ

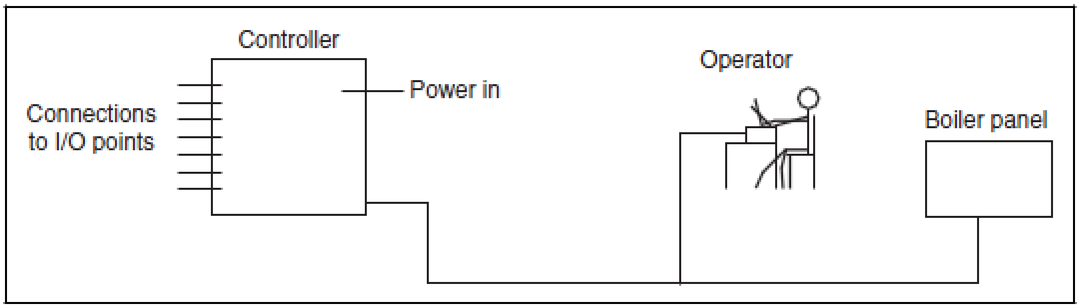
(က) Power Supply Computer board အတွက် လိုအပ်သော power supply ဖြစ်သည်။ Low voltage DC ဖြစ်သည်။ I/O Point များ အတွက်လိုအပ်သော power မှာ Direct Current(DC) သို့မဟုတ် 24 Volt AC လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။

(ခ) Computer Board Control software အတွက် ဖြစ်သည်။ Logic process များအားလုံးကို microprocessor က ပြုလုပ်ပေးသည်။

(ဂ) I/O Board သည် input နှင့် output ဝါယာကြိုးများ ဆက်သွယ်ရန် ဖြစ်သည်။ ထို board ပေါ်၌ A/D နှင့် D/A conversion လုပ်ရန်အတွက် hardware များ ပါရှိသည်။ True analog signal မဟုတ်ပါ။ Digital signal များ ဖြစ်သောကြောင့် accuracy နှင့် timing တို့ ကွာခြားသည်။

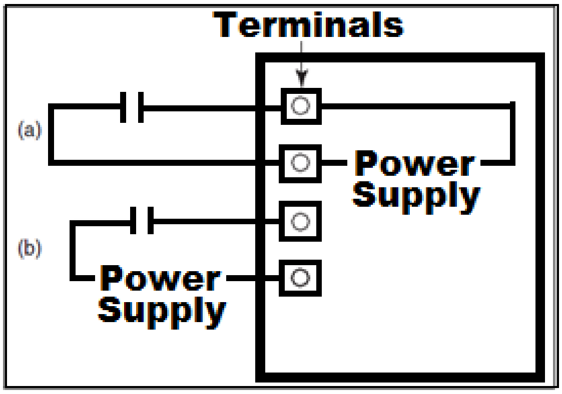
(ဃ) Communication controller များ အချင်းချင်း ဆက်သွယ်ရန် data များ transter လုပ်ရန်အတွက် communication port ပါရှိ ရမည်ဖြစ်သည်။ Communication port မှ operator access လုပ်ရန် ခွင့်ပြုသည့် တခြား device များနှင့် ဆက်သွယ်(communicate) လုပ်သည်။

Digital computer များအားလုံးသည် sequence များဖြင့်သာ အလုပ် လုပ်ကြသည်။ Pneumatic system များသည် analog နည်းဖြင့် အလုပ်လုပ်သည်။ Computer များ၏ speed သည် အလွန် လျှင်မြန်သော်လည်း input များကို တစ်ခုပြီးမှ တစ်ခု ဖတ်နိုင်သည်။

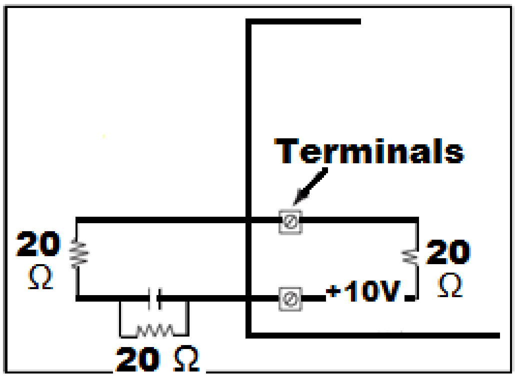


ပုံ ၆-၁၃ Simple DDC system layout

ပုံ(၆-၁၃) တွင်ပြထားသည့်အတိုင်း plant operator သည် သူ့စားပွဲပေါ်ရှိ PC မှ တစ်ဆင့် setpoint ကို adjust လုပ်နိုင်သည်။ Setpoint adjust လုပ်ခြင်းသည် မိမိအလိုရှိသည့် setpoint တန်ဖိုးကို ပြောင်းပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ Controller သည် network cable မှတစ်ဆင့် operator နှင့် boiler control panel တို့ကို communicate လုပ်နိုင်သည်။ မောင်းနေသည့် boiler မှ data များကို ရယူနိုင်သည်။ Data communication အကြောင်းနှင့် network အကြောင်းကို အခန်း(၈) နှင့် အခန်း(၉)တွင် အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၆-၁၅(က) BI Internally and externally powered



ပုံ ၆-၁၅(ခ) Monitored BI point using an analog input

၆.၃ I/O Point Characteristics

Physical input/output point များသည် controller ပေါ်ရှိ I/O board များ termimal များတွင် ဝါယာကြိုးဖြင့် ချိတ်ဆက်(connect)ထားသည်။ အရိုးရှင်းဆုံး point မှာ BI ဖြစ်သည်။ ပုံ ၆-၁၅(ခ) တွင် ဖော်ပြထားသည့်အတိုင်း ပြင်ပမှ power ကို အသုံးပြုထားခြင်း မရှိပေ။ ပုံ ၆-၁၅(က) သည် ပြင်ပမှ power supply ကို အသုံးပြု ထားသည်။ External power supply ကို အသုံးပြုလျှင် power fail ဖြစ်သည် သို့မဟုတ် contact open ဖြစ်သည် ကို သိရန်မလွယ်ကူပေ။ ထို့ကြောင့် internal power supply သည် ပို၍ စိတ်ချရသည်။

Internal power supply အသုံးပြု ထားလျှင် ဝါယာကြိုး ပြတ်နေပါက မသိနိုင်ပေ။ Detect မလုပ်နိုင်ပေ။ DDC များကို အသုံးပြု၍ circuit လျှပ်စစ်ပတ်လမ်းများကို လွယ်ကူစွာ monitor ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Analog input point ကို အသုံးပြု၍ Binary input ကို monitor လုပ်နိုင်သည်။

ဖြစ်နိုင်သော အခြေအနေ လေးမျိုးရှိသည်။

(က) Short circuit ဖြစ်နေခြင်း(terminal တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြားတွင် 0 volt ရှိနေသည်။)

(ခ) Switch closed ဖြစ်နေခြင်း(terminal တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြားတွင် 5.0 vlot ရှိနေသည်။)

(ဂ) Switch open ဖြစ်နေခြင်း(terminal တစ်ခုနှင့် တစ်ခုအကြားတွင် 6.6 vlot ရှိနေသည်။)

(ဃ) Open circuit(terminal တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အကြား၌ 10 volt ရှိနေသည်။)

Software ကို အသုံးပြု၍ ထိုအခြေအနေ လေးမျိုးလုံးကို သိနိုင်အောင် program လုပ်နိုင်သည်။

0 volt နှင့် 4.5 volt အကြားဖြစ်လျှင် short circuit ၊ 4.5 volt နှင့် 5.5 volt အကြားဖြစ်လျှင် switch closed ၊ 5.5 volt နှင့် 6.1 volt အကြားဖြစ်လျှင် switch open နှင့် 7.1 volt ထက်များလျှင် open circuit ဖြစ်သည်။

Terminal နှစ်ခုအကြားရှိ A/D converter circuit သည် high resistance ကို ဖြစ်ပေါ် စေသောကြောင့် monitor circuit ကို မထိခိုက်စေနိုင်ပေ။ Analog Input(AI) ကို multi BI အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည့် နည်းများစွာရှိသည်။ အခြားဥပမာတစ်ခုမှာ constant speed fan ကို monitor လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Fan ၏ cable ၌ current ring သို့မဟုတ် Current Transformer(CT) တပ်ဆင်၍ monitor လုပ်နိုင်သည်။ Analog point ၌ current မရှိ(zero current)လျှင် motor ဆီသို့ power supply မရောက်ခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Low current ဖြစ်လျှင် fan motor ၏ pullery ၌ တပ်ဆင်ထားသည့် ပန်ကာကြိုး(belt) ပြတ်ခြင်းကြောင့် low load နှင့် မောင်းနေခြင်း ဖြစ်နိုင်သည်။ High current ရလျှင် fan သည် over load ဖြစ်တော့မည် သို့မဟုတ် ဖြစ်နေသည့်ဟု သိနိုင်သည်။

> Analog Input(AI) point များသည် BI point များထက် ပို၍ ဈေးကြီးသည်။ Analog Input(AI) point များကို configure လုပ် သည့်အခါ alarm message များကိုပါ ထည့်ရသောကြောင့် ပို၍ အကုန်အကျများသည်။ Analog Input(AI) point များသည် ပို၍ ကုန်ကျစရိတ် များသော်လည်း အလွန်ကြီးမားသည့် fan များနှင့် အရေးကြီးသည့်(critical) fan များတွင် အသုံးပြုရန် သင့်လျော်သည်။

Analog converter များသည် sensor မှ true analog signal ကို လက်ခံပြီး digital signal အဖြစ်သို့ ပြောင်းပေးသည်။ Digital signal သည် 0 နှင့် 1 များကို အတန်းလိုက်အဖြစ်(Series of 1s and 0s) ဖော်ပြခြင်း ဖြစ်သည်။

အကယ်၍ converter သည် 8 bit converter ဖြစ်လျှင် ဝင်လာသည့် signal ၏ (၂၅၆)ပုံလျှင် ၁ပုံ ပြောင်းလဲမှသာ convert လုပ်ပြီးသား တန်ဖိုး ပြောင်းလဲသည်။ အအေးပိုင်းနိုင်ငံများ၏ အပူချိန်မှာ -40°F မှ +120°F အတွင်း ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် range သည် 160°F ဖြစ်သည်။ 8 bit converter သည် 0.625°F(160/250) ပြောင်းလဲမှ digital signal က ဖော်ပြနိုင်သည်။ Economizer damper များကို control လုပ်ရာတွင် သုံးပါက အဆင်ပြေသည်။

သို့သော် ထို signal ကို outside air ၏ enthalpy ကို တွက်ရန် အသုံးပြုလျှင် မသင့်လျော်ပါ။ စိတ်ချရသော accuracy ရလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ 10 bit converter ပြောင်းသုံးလျှင် 0.16°F(160/1024) အထိ ပိုကောင်းလာလိမ့်မည်။ Sensor ၏ accuracy ပိုတိကျလာ လိမ့်မည်။

12 bit converter သည် 0.04F(160/4096) အထိ ပေးနိုင်သည်။ Converter ၏ accuracy နှင့် sensor ၏ accuracy တူနိုင်လေ ပိုကောင်းလေ ဖြစ်သည်။ 12 bit converter သည် control signal အဖြစ် ပိုကောင်း သော်လည်း memory များစွာ လိုအပ်သည်။ Record လုပ်ရန် 24 bit ၏ number မှာ 1,048576 ဖြစ်သည်။

DDC System များ၏ accuracy ကို သတ်မှတ်ရာတွင် accuracy (၅)မျိုး ပါရှိသည်။ (End to End accuracy ကိုတွက်ရန်)

(၁) Medium to sensor
(၂) Sensor
(၃) Transmitter
(၄) Inter connection နှင့်
(၅) A/D converter တို့ဖြစ်သည်။

Medium to sensor accuracy တွင် အခြားသော အချက်များ ပါဝင်သည်။ ဥပမာ- flow meter တွင် turbulence ဖြစ်နေခြင်း၊ outside air temperature sensor တွင် solar radiation ပါဝင်ခြင်း၊ mixed air temperature ၌ air နှစ်မျိုး သည်ကောင်းစွာ ရောနှော(mix) မနေခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Medium to sensor error ကြောင့် end to end accuracy ပိုဆိုးဝါးနိုင်သည်။ Sensor ၏ accuracy သည် sensor ၏ အရည်အသွေး(quality)ပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Transmitter ၏ စွမ်းဆောင်ရည် (performance)ကောင်းရန်အတွက် sensor နှင့် transmitter ကိုက်ညီရန်(match ဖြစ်ရန်) လိုသည်။ Required rang နှင့် 0-10 volt ထုတ်ပေးမည့် transmitter နှင့် 100°F range ရှိသည့် thermistor တို့ကို အသုံးပြုပြီး 38°Fမှ 45°F အပူချိန်ရှိသည့် chilled water supply temperature ကို တိုင်းလျှင် accuracy ပိုကောင်းလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

ဆက်သွယ်ထားသည့် ဝါယာကြိုး(wire) သိပ်မရှည်လျှင် accuracy သိပ်မဆိုးလှသော်လည်း wire ကြိုးရှည်လေ volt drop များလေ၊ accuracy ပိုဆိုးဝါးလေ ဖြစ်သည်။ ဝါယာကြိုး(wire)ရှည်လျှင် ဈေးပေါသည့် 0-5 volt သို့မဟုတ် 0-10 volt မည့်အစား 4-20mA current loop ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ A/D conversion accuracy ကို ရှင်းပြပြီး ဖြစ်သည်။

Analog input signal ကို digital အဖြစ်သို့ ပြောင်းပြီး(convert လုပ်ပြီး)နောက် ထို signal ကို ချောမွေ့အောင်(smooth) ပြုလုပ်ပေးရန် လိုသည်။

VAV box အတွင်း၌ တိုင်းယူရရှိသည့် velocity signal သည် မတည်ငြိမ်သောကြောင့် smooth signal ဖြစ်အောင်ပြုလုပ်ပေးရန် လိုသည်။ စက္ကန့်တိုင်းတွင် reading တစ်ခုရရှိလျှင် reading (၅)ခု သို့မဟုတ် (၅)စက္ကန့် ပေါင်းပြီး smooth လုပ်ပေး နိုင်သည်။ Five second smoothing every cycle ကို အောက်ပါ အတိုင်း တွက်ယူနိုင်သည်။

$$(\boldsymbol{new\ signal} + \mathbf{4} * \boldsymbol{old\ signal}) / \mathbf{5} = \boldsymbol{old\ signal}$$

"Old signal" သည် smooth လုပ်ပြီးသား signal ဖြစ်ပြီး controller က input အဖြစ် လက်ခံ အသုံး ပြုနိုင်ပြီ ဖြစ်သည်။ Input များကို ပုံသေနည်းများ အသုံးပြု၍ သို့မဟုတ် lookup table များကို သုံးပြီး modify လုပ်နိုင်သည်။ Thermistor များ၏ curve သည် non linear curve ဖြစ်သည်။ Thermistor ရသည့် input ကို lookup table သို့မဟုတ် algorithm တို့ဖြင့် signal ကို modify လုပ်ရန် လိုသည်။

AO နှင့် BO Output များ

Sensor များမှ signal ကို A/D converter ကို အသုံးပြု၍ Analog မှ Digital သို့ ပြောင်းရန် လိုအပ်သကဲ့သို့ output device များဖြစ်သည့် valve နှင့် actuator များ အတွက် D/A convertor ကို သုံး၍ analog

အဖြစ်သို့ ပြောင်းရန်လိုသည်။ သို့သော် output device များသည် စက္ကန့်တိုင်း၌ ပြောင်းလဲနေရန် မလိုပေ။ Update လုပ်နေရန် မလိုပေ။ ပုံမှန် အားဖြင့် 10 bit resolution ရှိသည့် D/A ကို အသုံးပြုထားသော်လည်း 8 bit D/A သည် လုံလောက်သည်။ 8 bit သည် 256 increments ကို ပေးနိုင်သည်။ Incremental တစ်ခုသည် 0.4% နှင့်ညီမျှသည်။ Controller များထုတ်ပေးသည့် output power သည် ကန့်သတ်ချက် ရှိသည်။ လိုသလောက် မရနိုင်ပေ။ ထို့ကြောင့် controller မှ control signal ကိုသာ ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

Actuator များကို မောင်းရန် လုံလောက်သည့် power ကို controller က ထုတ်မပေးနိုင်ပေ။ Transducer များ၌ adjustment ပြုလုပ်နိုင်သော်လည်း DDC panel များ၌သာ adjustment ပြုလုပ်ရန် တိုက်တွန်းလိုသည်။ DDC panel ၌ adjust ပြုလုပ်ရန် လွယ်သည်။ Adjustment များ(လုပ်ထားသမျှ) ကို ရေးသား မှတ်တမ်းတင်နိုင်သည်။

၆.၄ DDC I/O Point Type (Data Point)

DDC data point များကို input point နှင့် output point ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

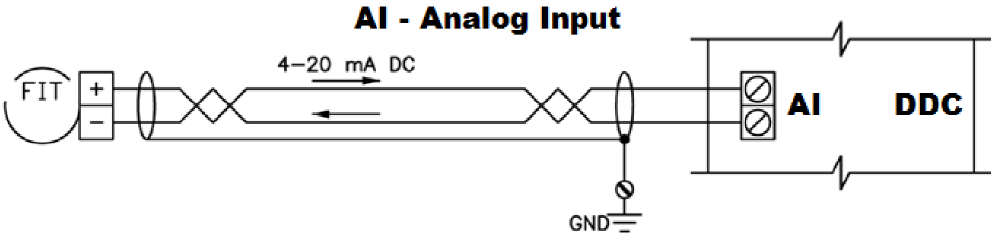
(၁) Input points

(က) Digital Input(DI)

DI သည် two-state input signal ဖြစ်သည်။ Equipment များ၏ status ကို monitor လုပ်ရန် အသုံးပြုသည်။ ဥပမာ - Fan on/off status alarm on/off စသည်တို့ ဖြစ်သည်။

AI သည် sensor နှင့် transmitter များမှ ရရှိသည့် continuous signal ဖြစ်သည်။ temperature၊ pressure ၊ humidity တို့၏ physical variable များကို current သို့မဟုတ် voltage များဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ AI input များသည် active အမျိုးအစား သို့မဟုတ် passive အမျိုးအစား ဖြစ်နိုင်သည်။

Active AI များသည် voltage သို့မဟုတ် current signal input ဖြစ်သည်။ Passive AI သည် resistance တန်ဖိုးများ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၁၆ Analog Input (AI)

(ခ) Analogue Input(AI)

Active analogue input signal များသည် အောက်ပါတို့အနက် မှတစ်ခုခု ဖြစ်နိုင်သည်။

- 0 to 20 mA (0 to 20mA)
- 4 to 20mA (0 to 20mA)
- Pulse Input (PI), PI သည် pulse များကို ရေတွက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

(၂) Output points

Output point များသည် control signal အဖြစ် controller မှ ထုတ်ပေးသည့် command များ ဖြစ်သည်။ ထို command(control signal) များသည် DDC computation မှ ထွက်လာသည့် ရလာဒ်(result)များ ဖြစ်သည်။ Logical operation မှ ထွက်လာသည့် ရလာဒ်(result)များ ဖြစ်သည်။

(က) **Digital Output(DO)** သည် contact သို့မဟုတ် switch အတွင်းရှိ relay coil ကို energizing

သို့မဟုတ် de-energizing လုပ်ခြင်းဖြင့် two state control function ကို perform လုပ်ပေးသည်။

Digital Output ကို အောက်ပါတို့မှ တစ်ခု အနေဖြင့် configure လုပ်နိုင်သည်။

(၁) On/off(driven from a logic variable)

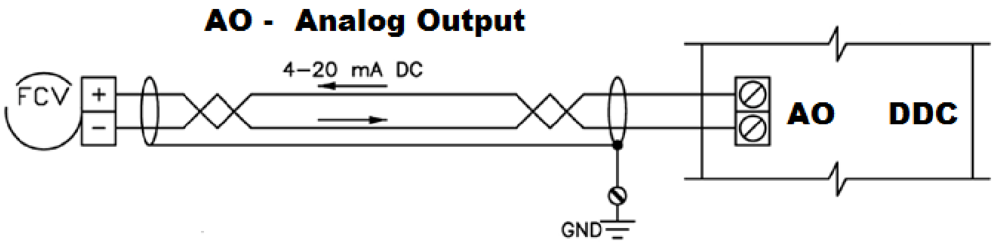
(၂) On/off(driven from a numeric variable)

(၃) Duration Adjusted Type(DAT)(driven from a numeric variable)

(၄) Position Adjust Type(PAT , incremental control)

(၅) Start/Stop(S/S)(driven from a logic variable) နှင့်

(၆) Pulse(driven from a logic variable) တို့ဖြစ်သည်။



ပုံ ၆-၁၇ AO - Analog Output (AO)

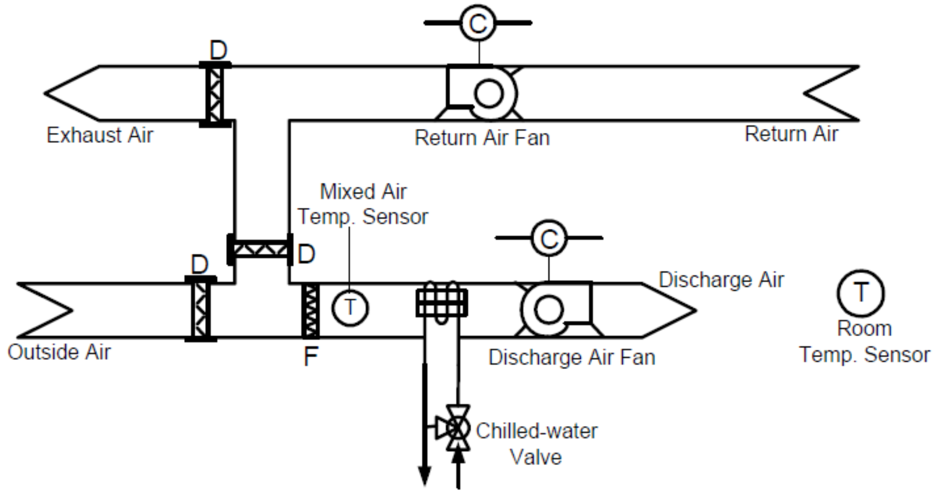
(ခ) Analogue Output (AO)

AO သည် CPU မှ generate လုပ်သည့် software command ဖြစ်သည်။ Controlled device များအတွက် variable voltage သို့မဟုတ် current control signal ဖြစ်သည်။

Analogue output signal များသည် အောက်ပါတို့အနက်မှ တစ်မျိုးမျိုး ဖြစ်နိုင်သည်။

(က) • 0 to10V (0 to 5V)

(ခ) • 4 to 20mA (0 to 20mA)



ပုံ ၆-၁၈ Example 3

DDC တစ်ခုတွင် 8 bit A to D converter ပါဝင်သည်။ RH sensor မှ 7.8 volt dc analog data ကို input အဖြစ် ရရှိသည်။ Sensor ၏ working range မှာ 0 volt မှ 10 volt ဖြစ်သည်။

(က) Converter ၏ resolution ကို ရှာပါ။

(ခ) Sensor output သည် 7.8 volt ဖြစ်လျှင် A/D converter မှ ပြောင်းပေးလိုက်သည့် Digital Output

data မည်မျှ ဖြစ်မည်နည်း။

ဥပမာ -၃

ပုံ(၆-၁၈)သည် DDC based room static pressure control system တစ်ခု၏ schematic diagram ကို ဖော်ပြထားသည်။ Room static pressure ကို Variable Speed Drive(VSD) တပ်ဆင်ထားသည့် return air fan ကို modulating speed ဖြင့် မောင်းပေးခြင်းဖြင့် ထိန်းထားသည်။ Control လုပ်ထားသည်။ Discharge air fan ကို မြန်နှုန်းပုံသေ(fixed speed) ဖြင့် မောင်းပေးသည်။ Damper Actuator(D) သည် modulating အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။ Air flow switch သည် filter ၏(dirty/clean) အခြေအနေကို monitor လုပ်ပေးသည်။ သင့်လျော် သော DDC input/output point များကို assign လုပ်ပါ။

(က) Damper actuators(D)

(ခ) Air flow Switch for the air filter

(ဂ) Room static pressure sensor

(ဃ) Variable speed drive(VSD) for return air fan

(င) Relay coil for contactor(C) of the discharge air fan

Table 2. Typical Data File for Analog Input.	
Point Address	User Address
Point type	Regular or calculation
Sensor	Platinum(0 to 100F)
Physical terminal assigned	16
Use code	Cold deck dry bulb
Engineering unit	F
Decimal places for display	XXX.X
High limit	70
Low limit	40
Alarm lockout point	Point address
Point descriptor	Cold deck temperature
Alarm priority	Critical

၆.၅ DDC Operating Sequence

(၁) Sensor နှင့် transmitter များမှ temperature ၊ pressure စသည်တို့၏ တိုင်းတာထားသည့် တန်ဖိုး(measured variable) များကို DDC ၏ input unit ဆီသို့ signal အဖြစ် ပို့ပေးသည်။

(၂) Sensor reading များကို DDC ရှိ input unit မှ သင့်လျော်သည့် digital electrical အဖြစ်သို့ ပြောင်းပေးသည်။ သို့မှသာ CPU က process လုပ်နိုင်မည်။ ထို information များကို "**Buffer**" ဟုခေါ်သည့် small input unit memory ပေါ်တွင် ခဏတာ သိမ်းဆည်းထားသည်။

(၃) Input unit သည် processing လုပ်ရန် sensor data များရရှိပြီး သည့်အခါ ၊ input unit အတွင်းရှိ buffer တွင် sensor data ကို သိမ်းဆည်းရန်နေရာ(address) ကို CPU က သတ်မှတ်ပေးသည်။

(၄) CPU သည် control bus ဆီသို့ sensor reading ကို သွားယူရန် control signal ပေးလိုက်သည်။

(၅) Program counter သည် နောက်တစ်ဆင့်တွင် ဆောင်ရွက်ရမည့် အလုပ်ကို သတ်မှတ်ပေးသည်။ CPU သည် ထိုအဆင့်ကို ဖတ်ယူပြီး CPU memory ပေါ်တွင် ထို instruction ကို register လုပ်လိုက်သည်။

(၆) CPU သည် RAM ပေါ်တွင် မှတ်သားထားသည့် မည်သည့် data ကိုမဆို နောက်တဆင့်(program step)ကို လုပ်ဆောင်ရန် ယူလိုက်သည်။

(၇) Software program(module) က control routine ကို execute လုပ်သည်။

၆.၆ Control Sequence

Control sequence တစ်ခုကို အလွယ်တကူ ချရေးရန် ချရေးရန် ခက်ခဲသည်။ အချိန်တိုအတွင်း လျှင်မြန်စွာရေးရန် လည်းမဖြစ်နိုင်ပေ။ ရှင်းလင်းတိကျပြီး၊ logical ကျသော control sequence သည် control များကို ကောင်းစွာ အလုပ်လုပ်စေပြီး၊ ပိုမိုတိကျသည့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance) များကို ရနိုင်သည်။ စာရွက်ကြီးကြီး ပေါ်တွင် အလုပ်လုပ်ပုံကို တစ်ဆင့်ပြီး တစ်ဆင့်(step-by-step) ချရေးပါ။

ပထမဆင့် Control လုပ်မည့် system တစ်ခုလုံး၏ schematic ကို ပုံကြမ်း ရေးဆွဲပါ။ Sub system များ ဖြစ်အောင် ခွဲထုတ်ပါ။ ဥပမာ- AHU အတွက် mixing damper ၊ cooling coil ၊ heating coil ၊ fan စသည့် subsystem များအဖြစ် ခွဲထုတ်ပါ။

ဒုတိယဆင့် Subsystem တိုင်း၌ ပါရှိသည့် process variable များ ၊ control လုပ်ရမည့် parameter များ စသည်တို့ကို သတ်မှတ်ပါ။ Main process variable နှင့် control လုပ်မည့် parameter တို့ကို ဆွဲပါ။ ဥပမာ- Supply air temperature နှင့် chilled water value position သို့မဟုတ် duct static pressure နှင့် fan speed စသည်တို့ဖြစ်သည်။

တတိယဆင့် Process variable နှင့် control equipment တို့အကြား၌ ရှိသော control relationship ကို ဖော်ထုတ်ပါ။ ရှာဖွေပါ။ Cooling coil အတွက် supply air temperature ကို input အဖြစ်(process variable ဖြစ်သည်)အသုံးပြုပြီး Proportional Integral control(PI) ဖြင့် valve နှင့် actuator ကို control လုပ်နိုင်သည်။

Air system အတွက် velocity pressure သည် process variable ဖြစ်သည်။ Input ကို smooth လုပ်ပါ။(input (၅)ခု သို့မဟုတ် (၁၀)ခု ကို ပေါင်း၍ smooth လုပ်ပါ။) ထိုနောက် Square root ယူပါ။ (velocity တန်ဖိုးရရန်) ထိုနောက် Duct ၏ area ဖြင့်မြှောက်လျှင် volume ရသည်။ ထို volume ကို controller ၏ input အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်သည်။ Volume နှင့် ဖော်ပြခြင်း(display) သို့မဟုတ် velocity ဖြင့် ဖော်ပြခြင်း အတွက် control ၌ ခြားနားမှု မရှိ။ သို့သော် operation အတွက် volume ပမာဏသည် အဓိပ္ပာယ်ရှိသော parameter ဖြစ်သည်။ အသုံးဝင်သည်။

အသုံးပြုသည့် control method သည် လိုအပ်သော response speed ၊ control loop ၏ time constant စသည်တို့ အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Zone temperature control နှင့် outdoor reset တို့သည် နှေးသည့်(slow control) ဖြစ်သည်။ ရိုးရှင်းသော proportional band control ကိုသာ အသုံးပြုပြီး band ကို ခပ်ကျဉ်းကျဉ်းထား၍(narrow proportional band) သုံးလျှင် အကောင်းဆုံး performance ကို ရနိုင်သည်။

၆.၇ DDC Software module

DDC Software တွင် internal module များစွာ ပါဝင်သည်။ ထို internal module များ သည် DDC ၏ memory (ROM) ပေါ်တွင် ရှိနေသည့် software ဖြစ်သည်။ ထို software module များကို graphical CAD သို့မဟုတ် text based method ကို အသုံးပြု၍ လိုအပ်သော control function များအတွက် configure လုပ်နိုင်သည်။

DDC software module များတွင် အောက်ပါတို့ ပါဝင်သည်။

(၁) Control modules(e.g., on/off, PID)

(၂) Arithmetic modules(e.g. averaging, summing, totalization)

(၃) Programmable logic modules(PLC)

(၄) Interlock modules , etc(e.g., EF with EF OUT)

ပုံသည် internal software module များနှင့် input output point များကို schematic ဖြင့်ဖော်ပြ ထားသည့် DDC တစ်ခုဖြစ်သည်။

သတိပြုရန် - I/O point များအပြင် temporary point များလည်း ရှိနိုင်သည်။ (DDC data base အတွင်းတွင်) ထို temporary point များကို pseudo point များဟု ခေါ်သည်။

-End-

Contents

၆.၁ Basic Feature of DDC Hardware Component 1

၆.၁.၁ DDC Power Supply ....

၆.၁.၂ Microprocessor (CPU) ....

၆.၁.၃ Microcomputer Structure and Buses ....

၆.၁.၄ Memory Size ....

၆.၂ Input and Output Points 8

၆.၂.၁ DDC Input/Output Unit Interface ....

၆.၂.၂ DDC I/O Point Types (Data Points) ....

၆.၂.၃(က) On/off Input သို့မဟုတ် Digital Input (DI) သို့မဟုတ် Binary Input (BI) ....

၆.၂.၄(ခ) On/off Output သို့မဟုတ် Digital Output(DO) သို့မဟုတ် Binary Output(BO) ....

၆.၂.၅(ဂ) Variable Input သို့မဟုတ် Analog Input(AI) သို့မဟုတ် Binary Input(BI) ....

၆.၂.၆(ဃ) Variable Output သို့မဟုတ် Analog Output(AO) ....

၆.၃ I/O Point Characteristics 15

၆.၄ DDC I/O Point Type (Data Point) 18

၆.၅ DDC Operating Sequence 20

၆.၆ Control Sequence 21

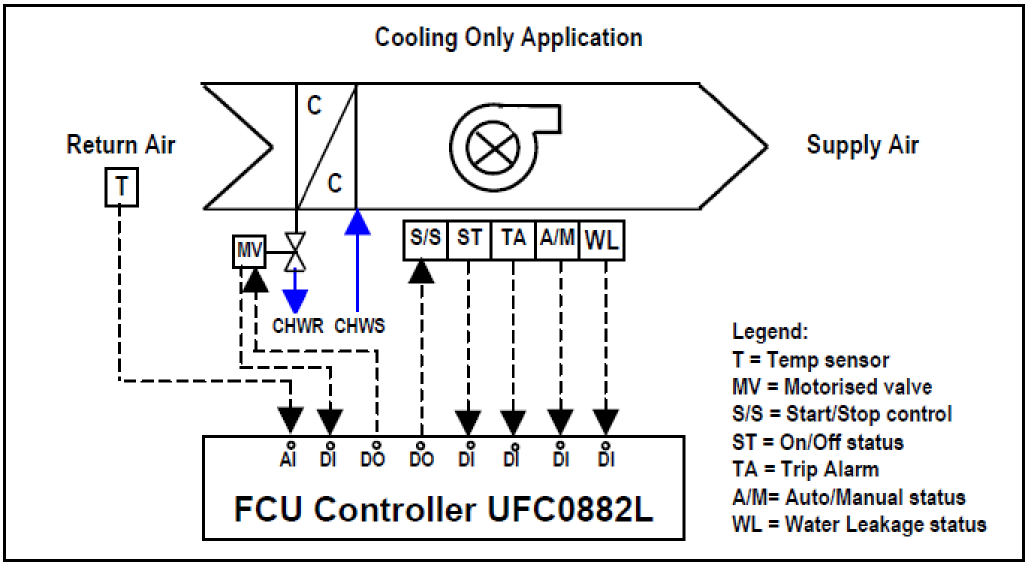
၆.၇ DDC Software module 21

၆.၁ Basic Feature of DDC Hardware Component 1
၆.၁.၁ DDC Power Supply 3
၆.၁.၂ Microprocessor (CPU) 4
၆.၁.၃ Microcomputer Structure and Buses 6
၆.၁.၄ Memory Size 7
၆.၂ Input and Output Points 8
၆.၂.၁ DDC Input/Output Unit Interface 8
၆.၂.၂ DDC I/O Point Types (Data Points) 9
၆.၂.၃ (က) On/off Input သို့မဟုတ် Digital Input (DI) သို့မဟုတ် Binary Input (BI) 12
၆.၂.၄(ခ) On/off Output သို့မဟုတ် Digital Output(DO) သို့မဟုတ် Binary Output(BO) 13
၆.၂.၅(ဂ) Variable Input သို့မဟုတ် Analog Input(AI) သို့မဟုတ် Binary Input(BI) 14
၆.၂.၆(ဃ) Variable Output သို့မဟုတ် Analog Output(AO) 14
၆.၃ I/O Point Characteristics 15
၆.၄ DDC I/O Point Type (Data Point) 18
၆.၅ DDC Operating Sequence 20
၆.၆ Control Sequence 21
၆.၇ DDC Software module 21

Chapter-7 Direct Digital Controllers (DDC) Wiring

Direct Digital Controller (DDC) အမျိုးမျိုးတို့ ၏ input နှင့် output terminal များ နှင့် wing လုပ်ပုံတို့ကို ပုံများနှင့်တကွ အသေးစိတ် ဖော်ပြထားသည်။

၇.၁ Fan Coil Unit ကို control လုပ်ရန် အသုံးပြုသည့် DDC Controller (Model: UFC0882L)



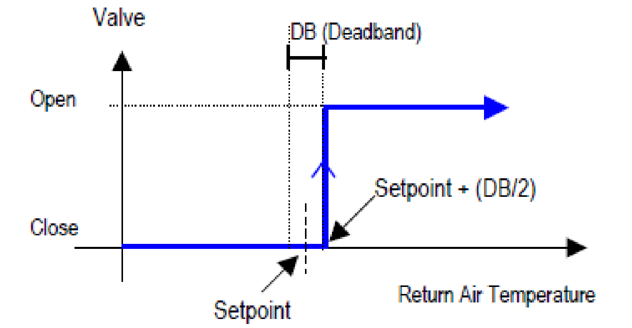
ပုံ ၇-၁ FCU Control(with valve)

၇.၁.၁ Description

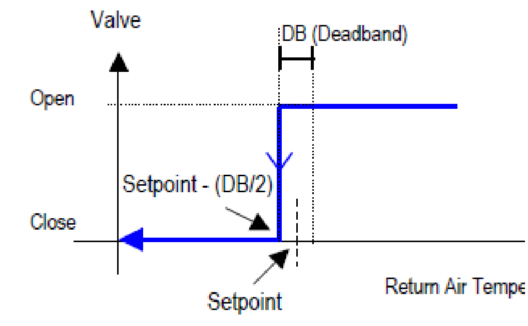
DDC Controller(Model: UFC0882L) ကို အသုံးပြု၍ Fan Coil Unit(FCU) control လုပ်ထားသည်။ LONMARK® Functional Object type 8020 ကို အခြေခံထားသည့် program ဖြစ်သည်။
ဤ ဥပမာတွင် controller ကို Cooling Only Application အတွက် configure လုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

FCU ၏ capacity ကို chilled water On/Off type valve ဖြင့် control လုပ်သည်။

On/Off type actuator ကို အသုံးပြု၍ valve အား ပွင့်အောင်(open)၊ ပိတ်အောင်(close) ပြုလုပ်ခြင်းဖြင့် FCU ၏ capacity ကို control လုပ်သည်။



ပုံ ၇-၂(က) Valve Open Control



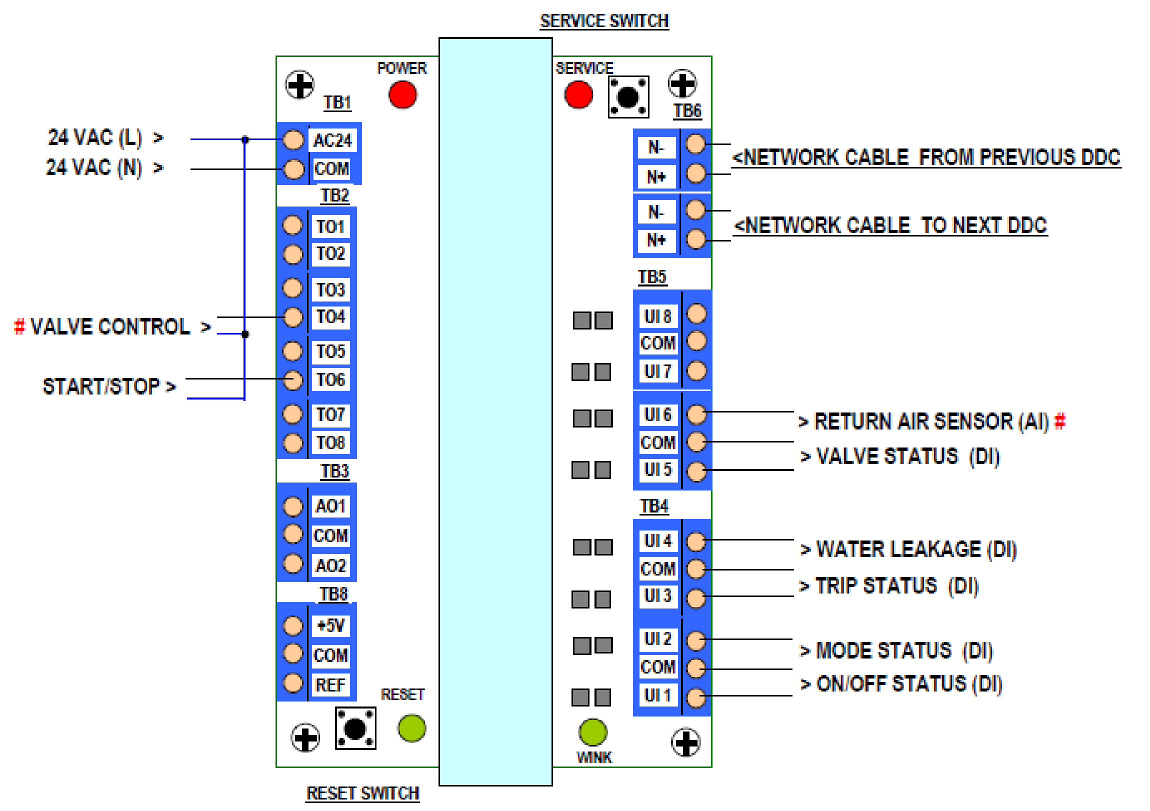
ပုံ ၇-၂(ခ) Valve Close Control

၇.၁.၂ DDC Terminal Block Assignment UFC0882L

Terminal Block (၇)ခုပါရှိသည်။ TB1 မှ TB6 အထိ နှင့် TB8 terminals တို့ ဖြစ်သည်။ TB3 နှင့် TB 8 ကို မသုံးထားပါ။

Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB1	AC24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB2	TO4	On/Off Valve control(DO)	Only for Type 1 FCU
	TO6	FCU Start/Stop control(DO)	
TB4	UI1	FCU On/Off status(DI)	
	COM	Com for UI1 & UI2	
	UI2	FCU Mode status(DI)	
	UI3	FCU Trip status(DI)	
	COM	Com for UI3 & UI4	
	UI4	FCU Water leakage status(DI)	
TB5	UI5	FCU Valve status(DI)	Only for Type 1 FCU
	COM	Com for UI5 & UI6	
	UI6	Return Air Temperature(AI)	Only for Type 1 FCU
TB6	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	

၇.၁.၃ DDC Layout & Wiring Diagram



NOTE:

1) # RETURN AIR SENSOR(AI) & VALVE CONTROL(DO) ONLY APPLICABLE FOR TYPE 1 FCU

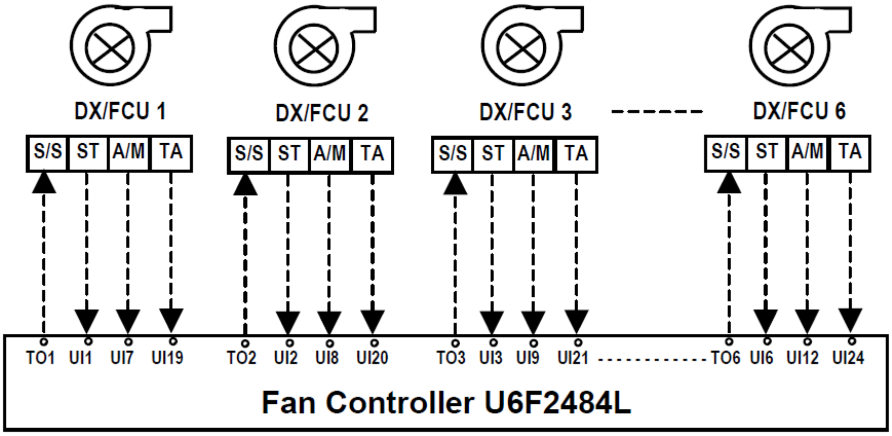
2) EACH COM TERMINAL TO BE SHARED BY 2 UI TERMINALS

3) ALL DIGITAL OUTPUTS ARE 24 Vac TRIAC OUTPUTS

ပုံ ၇-၃

၁.၂ Fan Controller DDC(Model U6F2484L)

DX/FCU Control



S/S = Start/Stop control   TA = Trip Alarm ပုံ ၇-၄

ST = On/Off status   A/M= Auto/Manual status

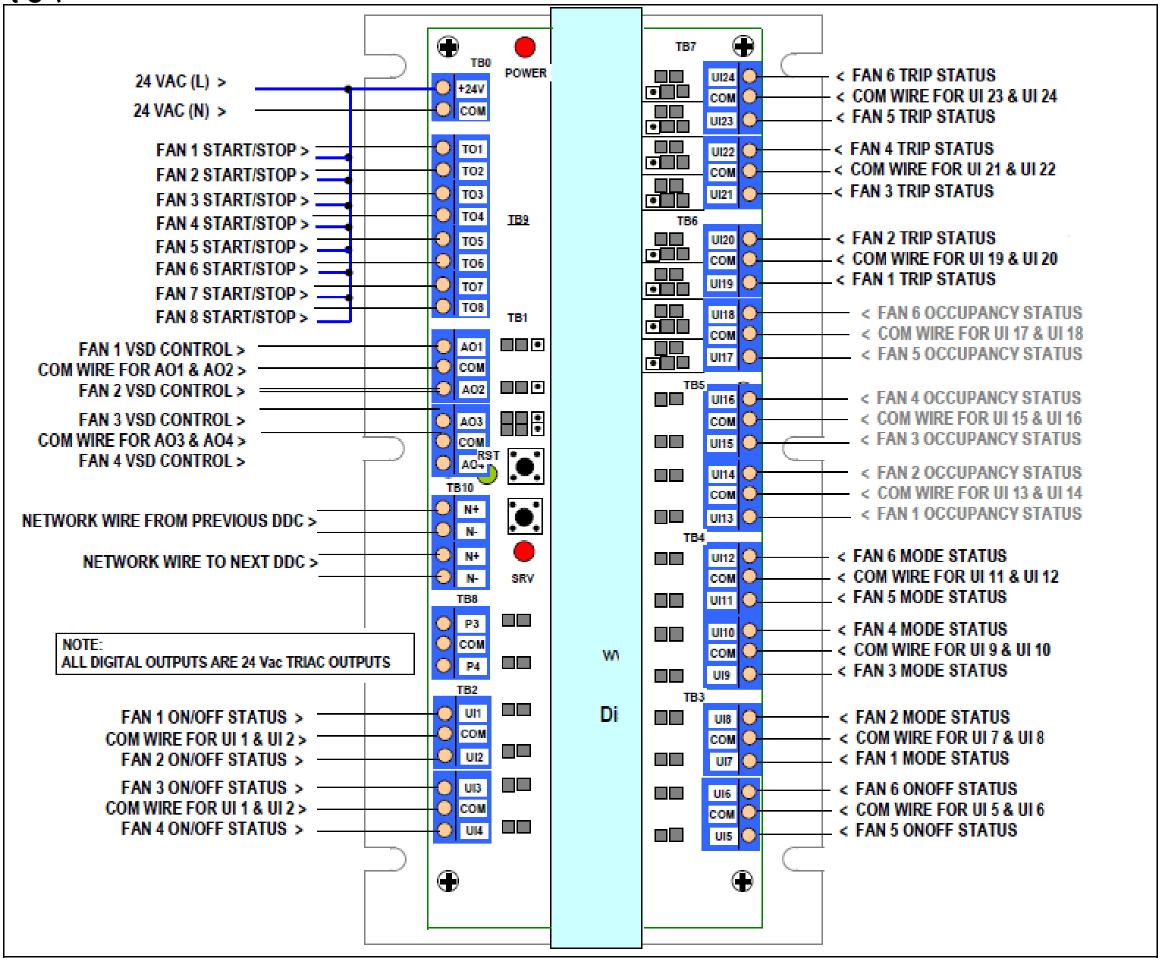
၇.၂.၁ Description

DDC သည် fan (၈) လုံးအထိ control လုပ်နိုင်သည်။ VSD ဖြင့်မောင်းသည့် Fan ဖြစ်လျှင်Fan ၄ လုံးကို control လုပ်နိုင်သည်။ LONMARK® compatible Program ဖြစ်သည်။
ဤဥပမာတွင် controller ကို DX unit သို့မဟုတ် FCU ကို control လုပ်ရန် နှင့် monitor လုပ်ရန် configure လုပ်ထားသည်။ Fan Controller ဟုခေါ်သော်လည်း DX unit နှင့် FCU တို့ကိုလည်း control လုပ်နိုင်သည်။

၁.၂.၂ DDC Terminal Block Assignment(UGM2484L)

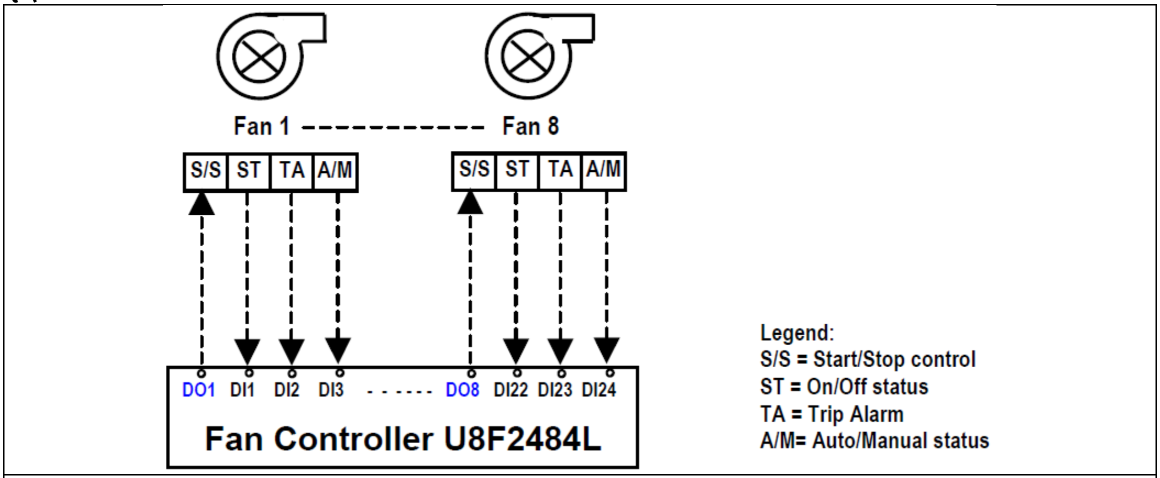
Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB0	+24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB1	AO1	Analog Output 1	AO channels to be commanded via binding
	COM	Com terminal for AO1 & AO2	
	AO2	Analog Output 2	
	AO3	Analog Output 3	
	COM	Com terminal for AO3 & AO4	
	AO4	Analog Output 4	
TB2	UI1 – UI4	Universal Inputs 1-4	
	COM	2 COM Terminals for UI 1-4	Each com shared by 2 UI
TB3	UI5 – UI8	Universal Inputs 5-8	
	COM	2 COM Terminals for UI 5-8	Each com shared by 2 UI
TB4	UI9 – UI12	Universal Inputs 9-12	
	COM	2 COM Terminals for UI 9-12	Each com shared by 2 UI
TB5	UI13 – UI16	Universal Inputs 13-16	
	COM	2 COM Terminals for UI 13-16	Each com shared by 2 UI
TB6	UI17 – UI20	Universal Inputs 17-20	
	COM	2 COM Terminals for UI 17-20	Each com shared by 2 UI
TB7	UI21 – UI24	Universal Inputs 21-24	
	COM	2 COM Terminals for UI 21-24	Each com shared by 2 UI
TB8	P3	High/Low frequency Pulse Input 1	
	COM	Com terminal for P3 & P4	
	P4	High/Low frequency Pulse Input 2	
TB9	TO1-TO8	Digital Output 1 - 8	DO channels to be commanded via binding
TB10	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	

၇.၂.၃ DDC Layout & Wiring Diagram



ပုံ ၇-၅

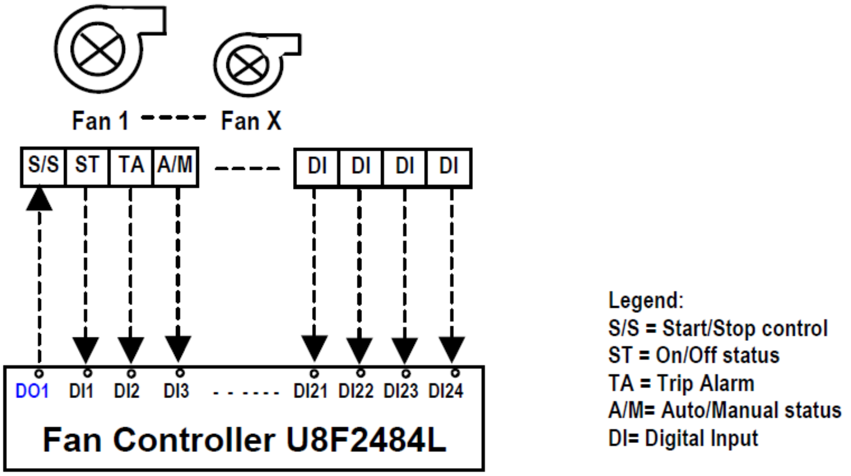
၇.၃ FAN CONTROL DDC U8F2484L



ပုံ ၇-၆ Type 1. M/V Fan Control

၇.၃.၁ Description

DDC သည် fan ၈ လုံးအထိ control လုပ်နိုင်သည်။ LONMARK® compatible Program ဖြစ်သည်သည် ဤဥပမာတွင် controller ဖြင့် Mechanical Ventilation Fan ၈ လုံးကို control လုပ်ရန် နှင့် configure လုပ်ထားသည်။



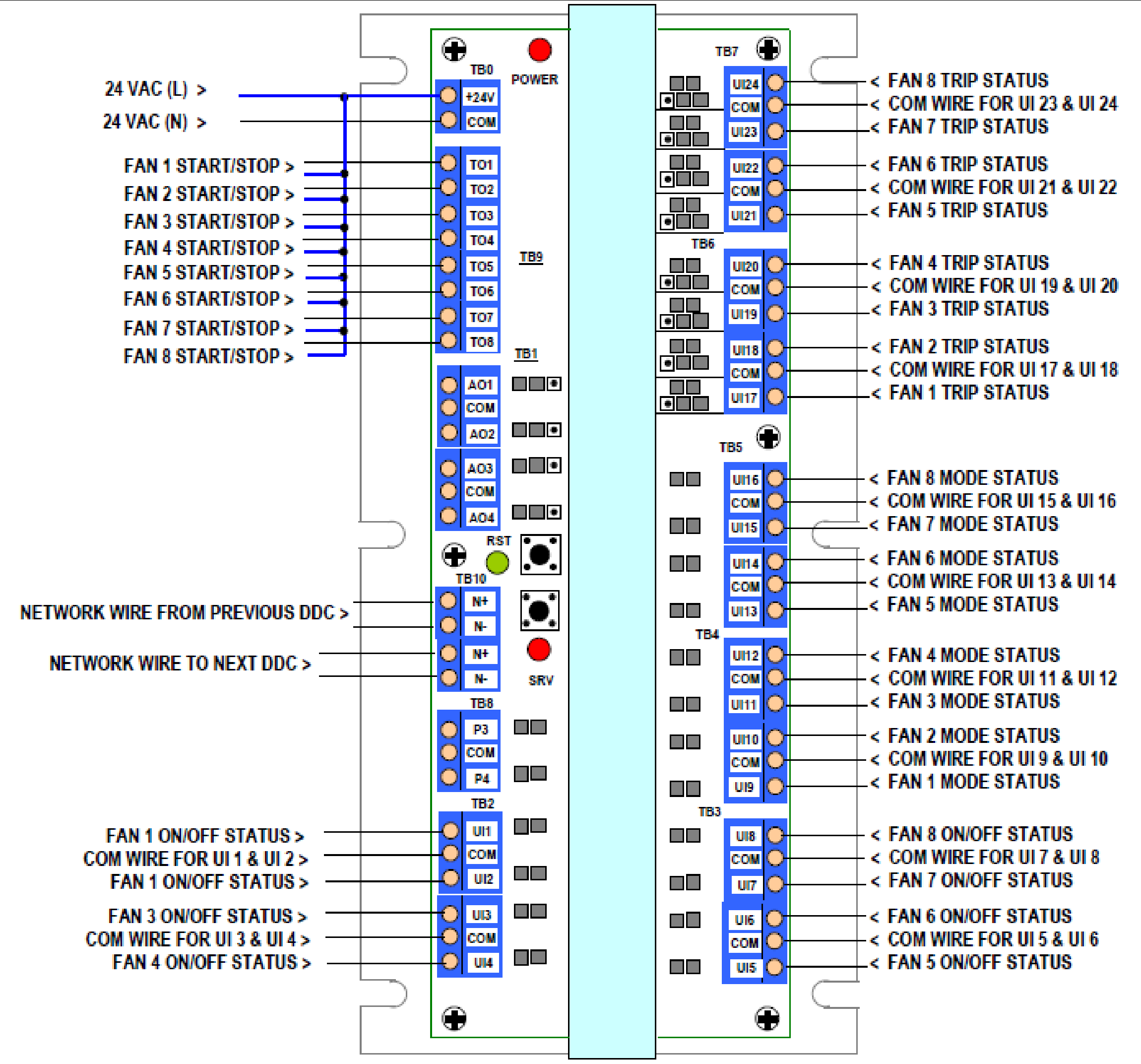
ပုံ ၇-၇ M/V Fan Control & General Digital Input monitoring

၇.၃.၂ DDC Terminal Block Assignment(U8F2484L)

Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB0	+24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB2	UI1 – UI4	Digital Inputs 1-4(DI)	
	COM	2 COM Terminals for DI 1-4	Each com shared by 2 DI
TB3	UI5 – UI8	Digital Inputs 5-8(DI)	
	COM	2 COM Terminals for DI 5-8	Each com shared by 2 DI
TB4	UI9 – UI12	Digital Inputs 9-12(DI)	
	COM	2 COM Terminals for DI 9-12	Each com shared by 2 DI
TB5	UI13 – UI16	Digital Inputs 13-16(DI)	
	COM	2 COM Terminals for DI 13-16	Each com shared by 2 DI
TB6	UI17 – UI20	Digital Inputs 17-20(DI)	
	COM	2 COM Terminals for DI 17-20	Each com shared by 2 DI
TB7	UI21 – UI24	Digital Inputs 21-24(DI)	
	COM	2 COM Terminals for DI 21-24	Each com shared by 2 DI
TB9	TO1	Digital Output 1(Fan 1)	
	TO2	Digital Output 2(Fan 2)	
	TO3	Digital Output 3(Fan 3)	
	TO4	Digital Output 4(Fan 4)	
	TO5	Digital Output 5(Fan 5)	

	TO6	Digital Output 6(Fan 6)	
	TO7	Digital Output 7(Fan 7)	
	TO8	Digital Output 8(Fan 8)	
TB10	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	

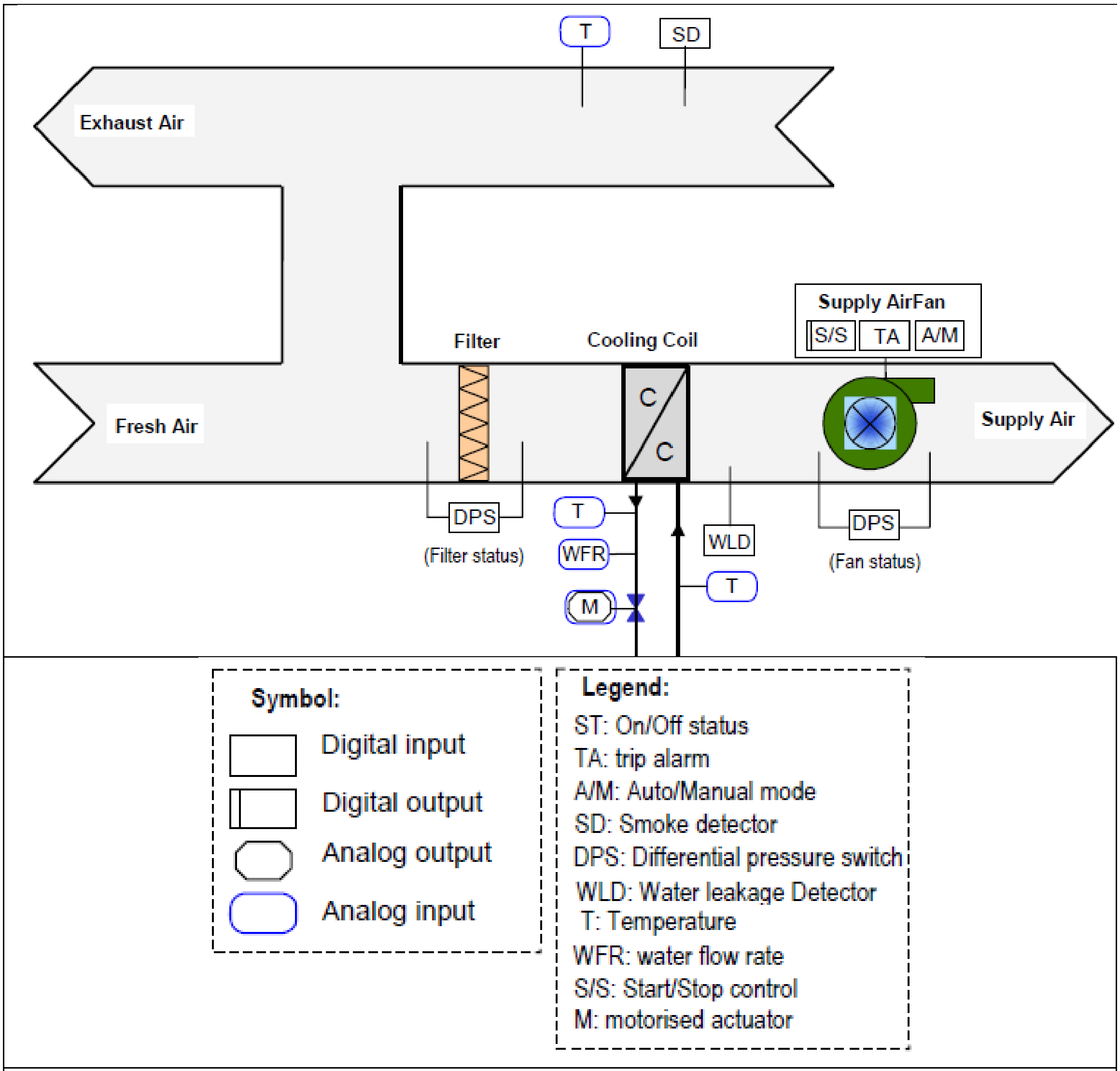
၇.၃.၃ DDC Layout & Wiring Diagram



NOTE: ALL DIGITAL OUTPUTS ARE 24 Vac TRIAC OUTPUTS

ပုံ ၇-၈

၇.၄ Constant Air Volume(CAV) AHU Controller(UAH1464L)



ပုံ ၇-၉

၇.၄.၁ Description

Constant Air Volume(CAV) AHU ကို DDC controller(UAH1464L) ဖြင့် control လုပ်ထားသည်။

Inputs

UAH1464L model controller တွင် Universal input (၁၁)ခု နှင့် a Digital inputs (၃)ခု ကို ချိတ်ဆက် (connect) ထားသည်။

UAH1464L နှင့်တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည့် sensor များမှာ

(၁) Digital Inputs(Dry contacts)

- Selector mode status
- On/Off status
- Smoke detector status
- General dry contacts

- Trip status

(၂) Universal Inputs (0-5 Vdc/4-20mA/ NTC 10K temperature/Dry contacts)

- Temperature sensors
- Chilled water flow rate
- Valve position
- Universal inputs

Analog Input monitoring အတွက် abnormal sensor reading များကို ဟန့်တားရန် First order Low Pass Filter method ကို အသုံးပြုထားသည်။

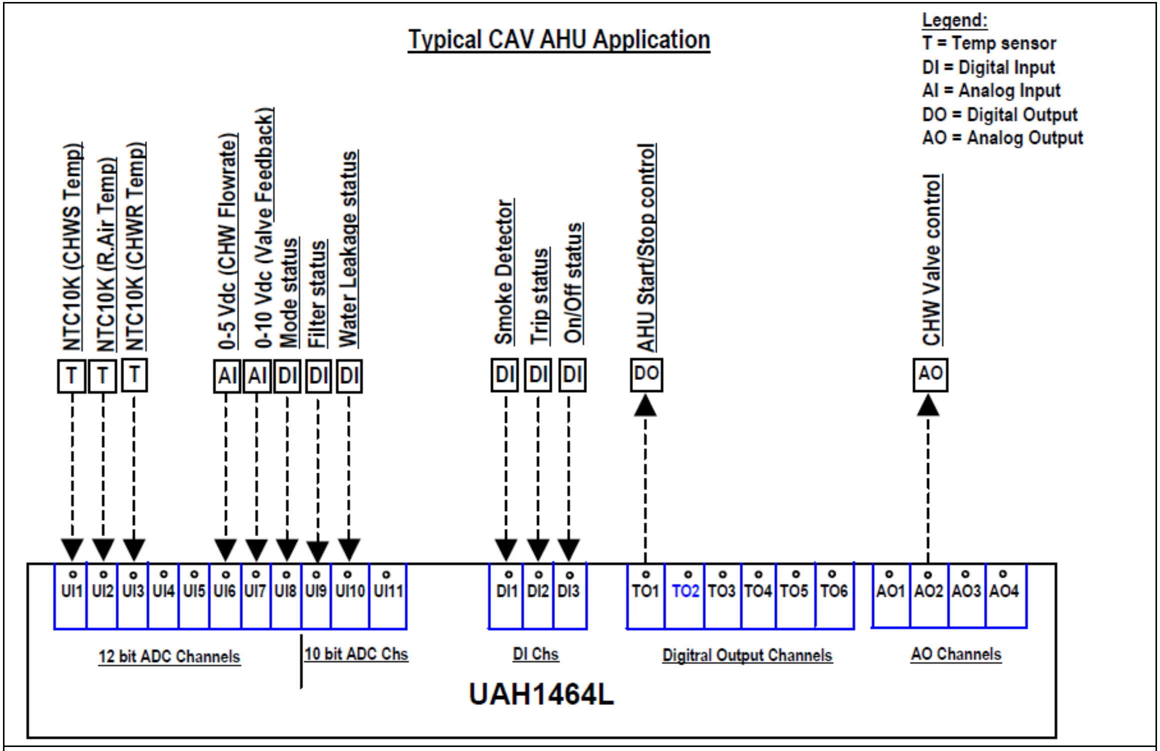
$$Vnew = Vold + C(Vin - Vold)$$

Where, Vnew = New reading to be updated in DDC

Vold = Old reading updated in DDC

Vin = Sensor reading,

C = constant (0.0~ 1.0)



ပုံ ၇-၁၀ AHU CONTROLLER DDC UAH1464L

Outputs

UAH1464L controller သည် Digital Outputs(24 Vac Triac) နှင့် Analog Outputs(0-10 Vdc or 4-20mA) တို့ကို command ပေးနိုင်သည်။ တနည်း output signal ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

(1) Digital Output

Digital output channels (၆)ခုပါရှိသည်။ channel တိုင်းကို 1 DO control သို့မဟုတ် 2 DO control အဖြစ် configure လုပ်နိုင်သည်။

- AHU Start/Stop လုပ်ရန်အတွက်(Individual schedule or manual control)
- DO 1 Start/Stop(Individual schedule manual control)
- DO 2 Start/Stop(Individual schedule manual control)

• Fresh air damper Open/Close control/Floating control
• Re-heater On/Off control

(2) Analog Output

2 nos. of Analog output channels, these are –
• AHU Variable Speed drive control
• AHU Chilled water valve control (cooling အတွက်သာ)
• AHU Heated water valve control (heating အတွက်သာ)

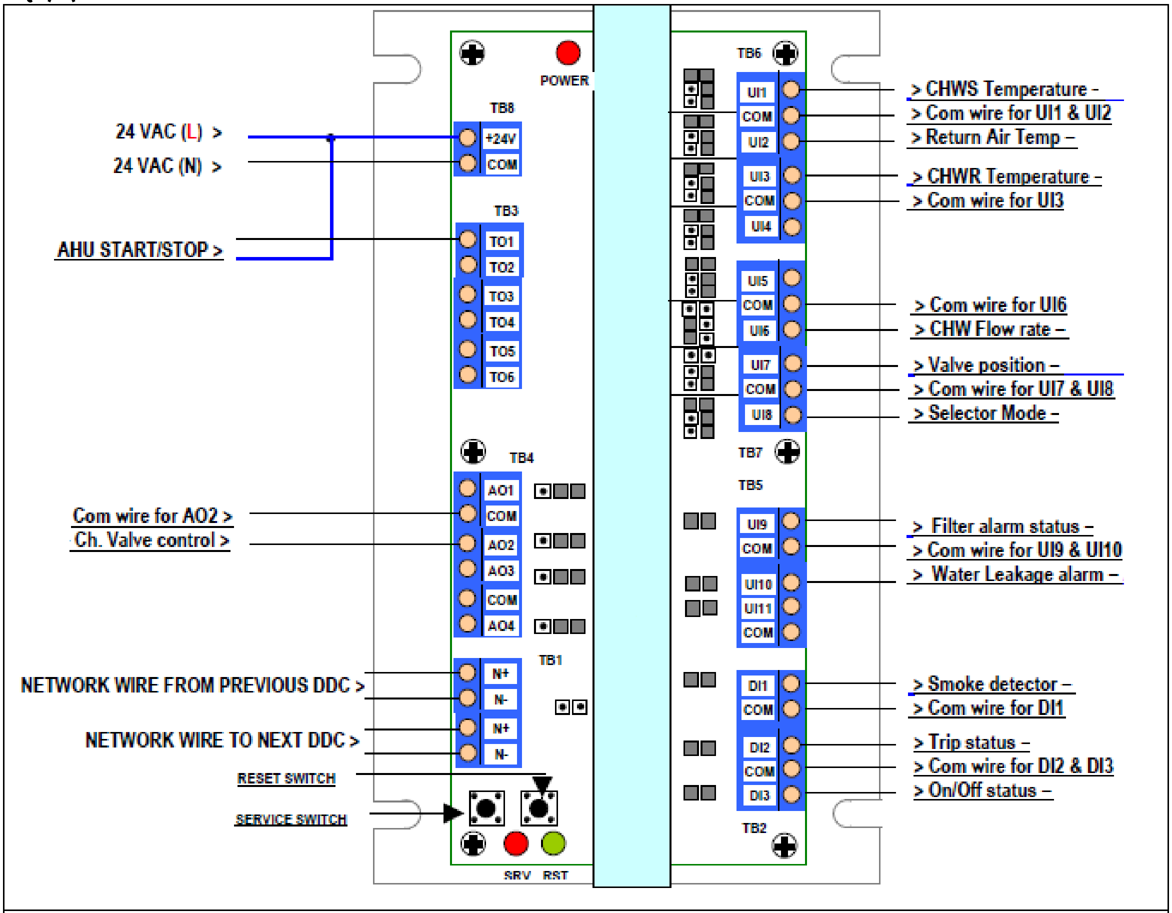
၇.၄.၂ DDC Terminal Block Assignment(UAH1464L)

Terminal Blocks ၇ခု ပါရှိသည်။ TB1 မှ TB6 နှင့် TB8 terminals တို့ဖြစ်သည်။

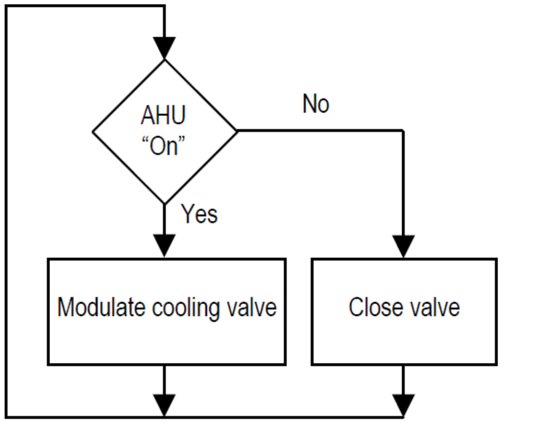
Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB8	+24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB3	TO1-TO6	Digital Output 1 - 6	Only TO1 is used.
TB4	AO1	Analog Output 1	Only AO2 is used.
	COM	Com terminal for AO1 & AO2	
	AO2	Analog Output 2	
	AO3	Analog Output 3	
	COM	Com terminal for AO3 & AO4	
	AO4	Analog Output 4	
TB1	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	
TB6	UI1	Universal Input 1	
	COM	COM Terminal for UI 1-2	
	UI2	Universal Input 2	
	UI3	Universal Input 3	
	COM	COM Terminal for UI 3-4	
	UI4	Universal Input 4	
	UI5	Universal Input 5	
	COM	COM Terminal for UI 5-6	
	UI6	Universal Input 6	
	UI7	Universal Input 7	
	COM	COM Terminal for UI 7-8	
	UI8	Universal Input 8	
TB5	UI9	Universal Input 9	

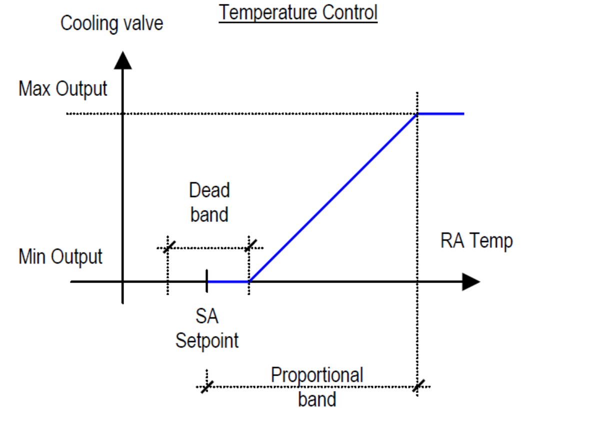
	COM	COM Terminal for UI 9-10	
	UI10	Universal Input 10	
	UI11	Universal Input 11	
	COM	COM Terminal for UI 11	
TB2	DI1	Digital Input 1	
	COM	Com terminal for DI 1& DI 2	
	DI2	Digital Input 2	
	DI3	Digital Input 3	
	COM	Com terminal for DI 3	

၇.၄.၃ DDC Layout & Wiring Diagram CAV AHU



ပုံ ၇-၁၁

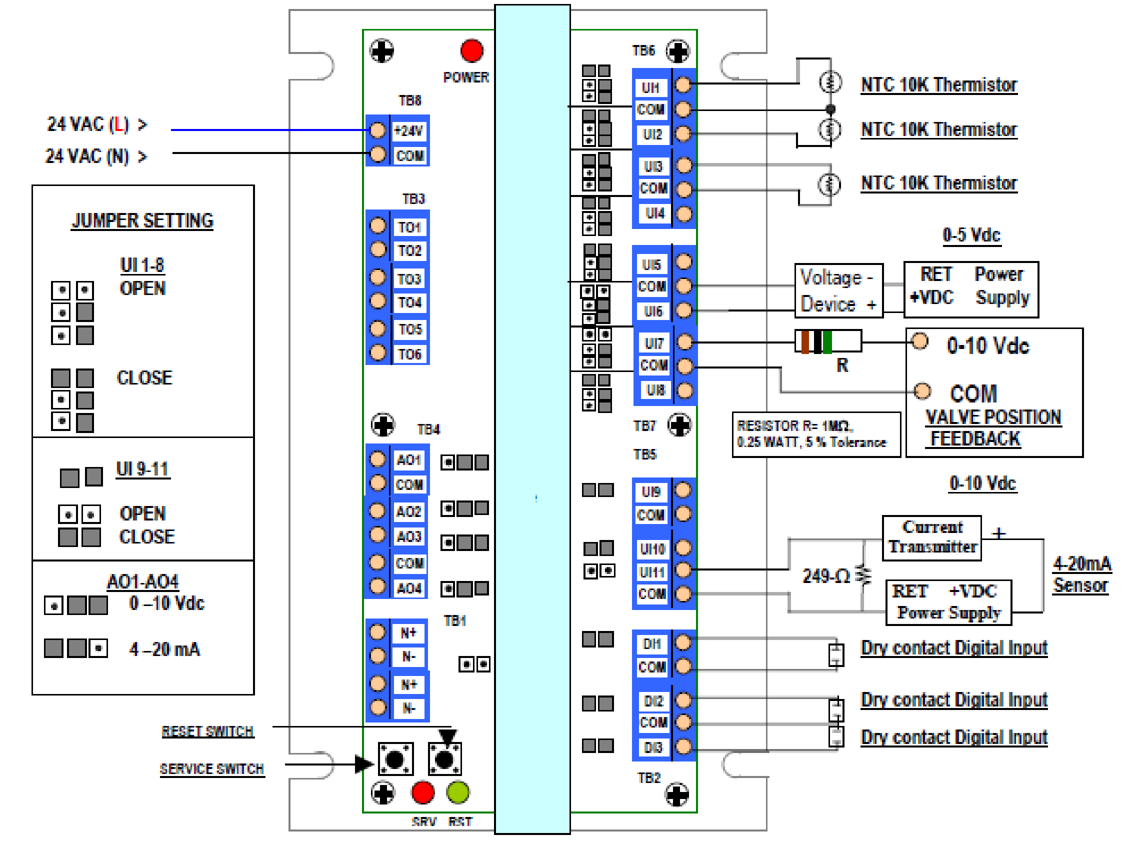




Valve Interlock with AHU status

ပုံ ၇-၁၂

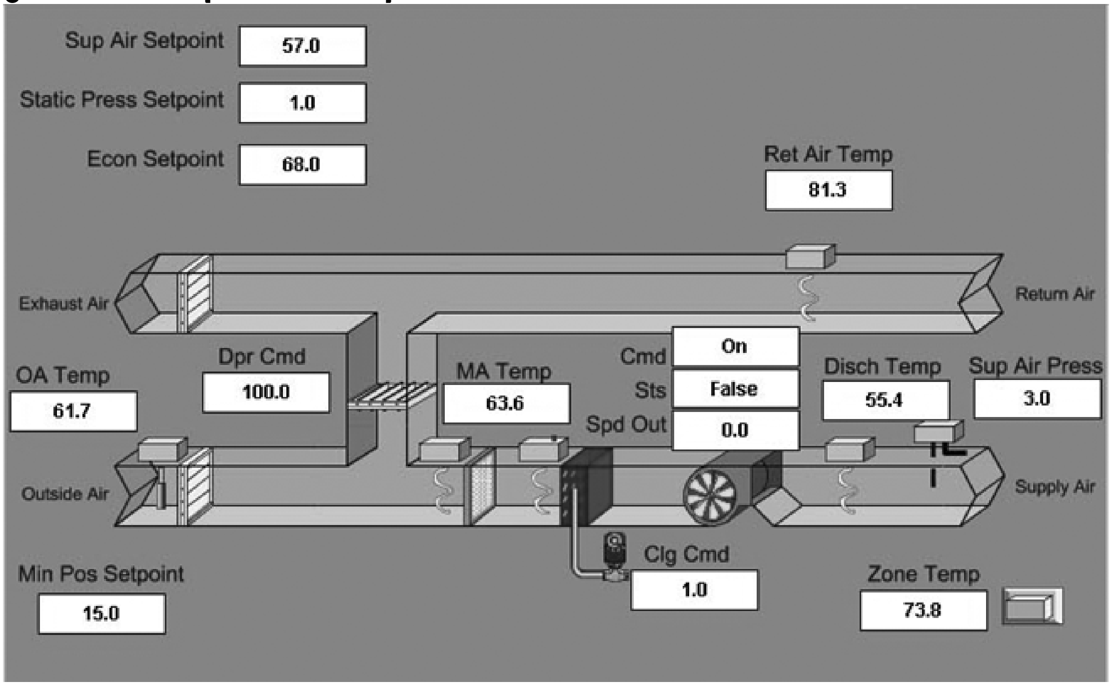
၁.၄.၄ CAV AHU Typical Sensor Termination



TYPICAL SENSOR TERMINATION

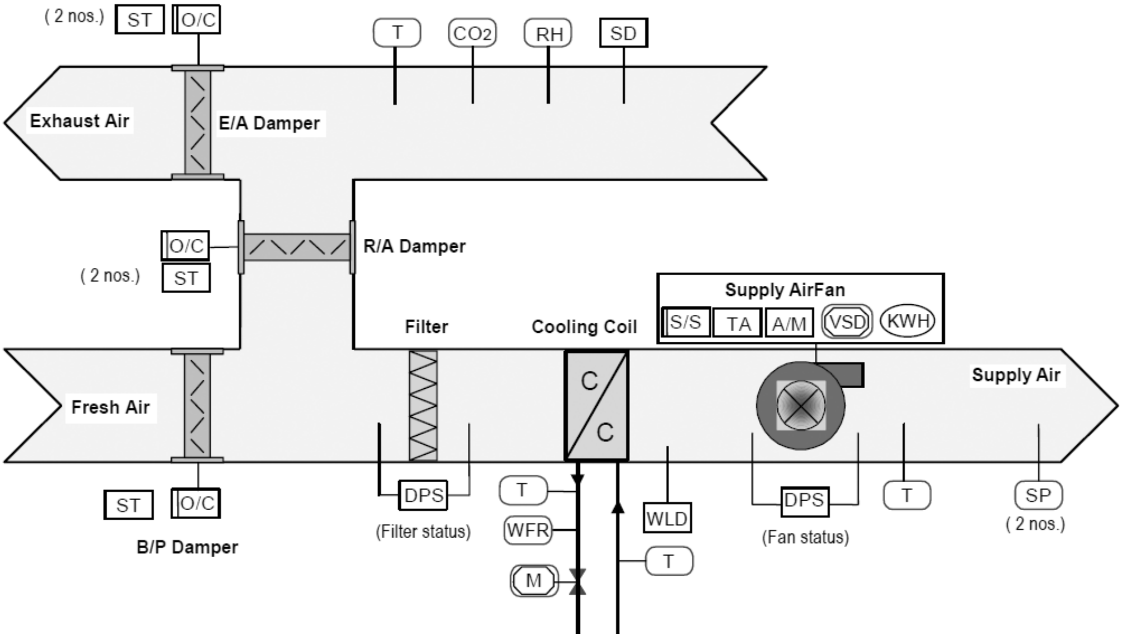
ပုံ ၇-၁၃

၇.၅ VAV AHU တစ်လုံး ၏ Controller နှင့် Control Logic

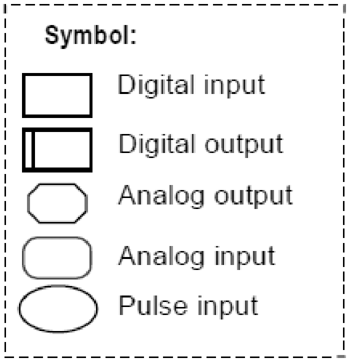


ပုံ ၇-၁၄ Building Automation System(BAS) ရှိ AHU graphic ပုံ

Building Automation System ၌ မြင်တွေ့ရလေ့ရှိသည့် AHU graphic ကို နမူနာ အဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။ AHU တစ်လုံး၏ Direct Digital Controller(DDC)နှင့် Control logic ကို သိစေရန် အတွက်သာ ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ အသေးစိတ်ကို Building Automation System စာအုပ်တွင် လေ့လာ နိုင်ပါသည်။



ပုံ ၇-၁၅ (က) Air Handling Unit တစ်ခုရှိ field device များ၊ Input နှင့် Output များကို ဖော်ပြထားပုံ



Legend

ST: On/Off status
TA: trip alarm
A/M: Auto/Manual mode
SD: Smoke detector
DPS: Differential pressure switch
WLD: Water leakage Detector
T: Temperature
SP: Static pressure
RH: Relative Humidity
WFR: water flow rate
KWH: kilo-watt hour
S/S: Start/Stop control
VSD: variable speed drive
M: motorised actuator
O/C: Open/Close control

ပုံ ၇-၁၅ (ခ) Air Handling Unit တစ်ခုရှိ field device များ၊ Input နှင့် Output များ၏ Legend

၇.၅.၁ Description of DDC Inputs and Outputs

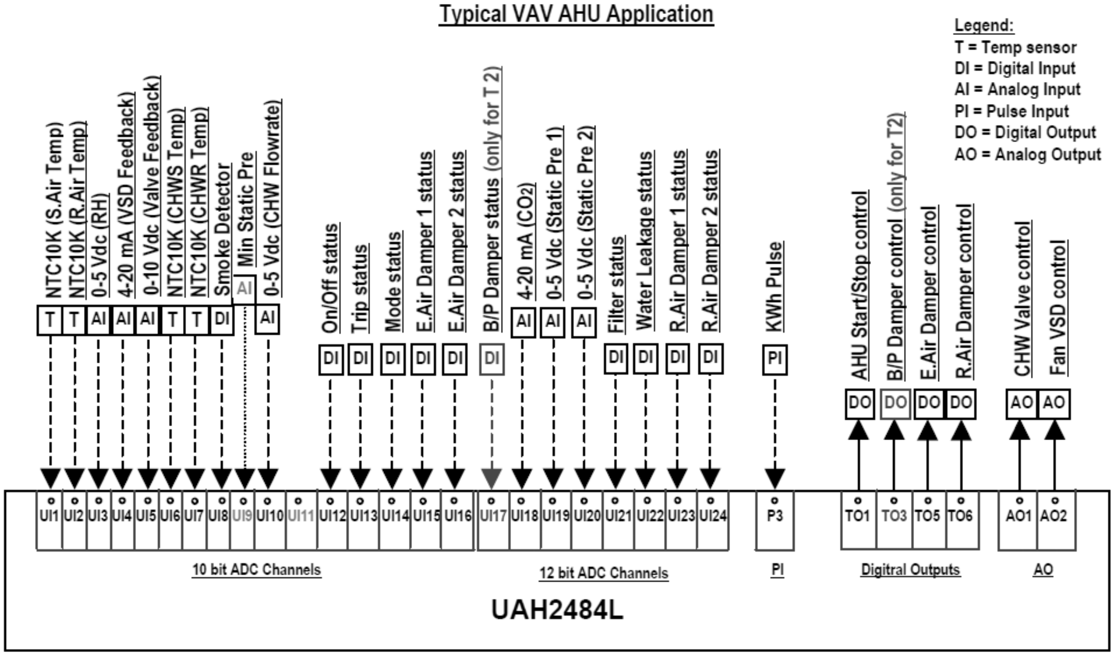
Variable Air Volume (VAV) AHU control application များအတွက် အသုံးပြုထားသည့် Direct Digital Controller (DDC) သည် model UAH2484L ကို ဖြစ်သည်။

Direct Digital Controller (DDC)၏ Input များ

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L နှင့်တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သော Input များ မှာ

(1) Digital Input(Dry contacts)

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L နှင့် Digital Input (၁၅)ခုအထိ ချိတ်ဆက်(connect) နိုင်သည်။



ပုံ ၇-၁၆ VAV AHU တစ်လုံး ၏ controller ရှိ Input နှင့် Output များကို ဖော်ပြထားပုံ

VAV AHU တစ်လုံး ၏ controller နှင့် control logic အကြောင်းကို ဖော်ပြထားသည်။

Digital Input အမျိုးအစားများမှာ

- Selector mode status
- On/Off status
- Trip status
- Smoke detector status(maximum 4 nos.) နှင့်
- General dry contacts(maximum 8 nos.) တို့ဖြစ်သည်။

(2) Analog Input(0-5 Vdc/4-20mA/ NTC 10K temperature)

Direct Digital Controller(DDC)UAH24842L နှင့် Analog Input (၁၂)ခု ချိတ်ဆက်(connect)နိုင်သည်။

Analog Input အမျိုးအစားများမှာ

- Temperature sensors(maximum 4 nos.)
- Static Pressure
- Chilled water flow rate
- CO_2 နှင့်
- Universal Input(maximum 5 nos.) တို့ဖြစ်သည်။

Analog Input monitoring အတွက် ပုံမှန်မဟုတ်သော(abnormal) sensor reading များကို ဟန့်တားရန် "First Order Low Pass Filter Method" ကို အသုံးပြုထားသည်။

$$V_{new} = V_{old} + C(V_{in} - V_{old})$$

Where, Vnew = New reading to be updated in DDC

Vold = Old reading updated in DDC

Vin = Sensor reading,

C = constant(0.0~ 1.0)

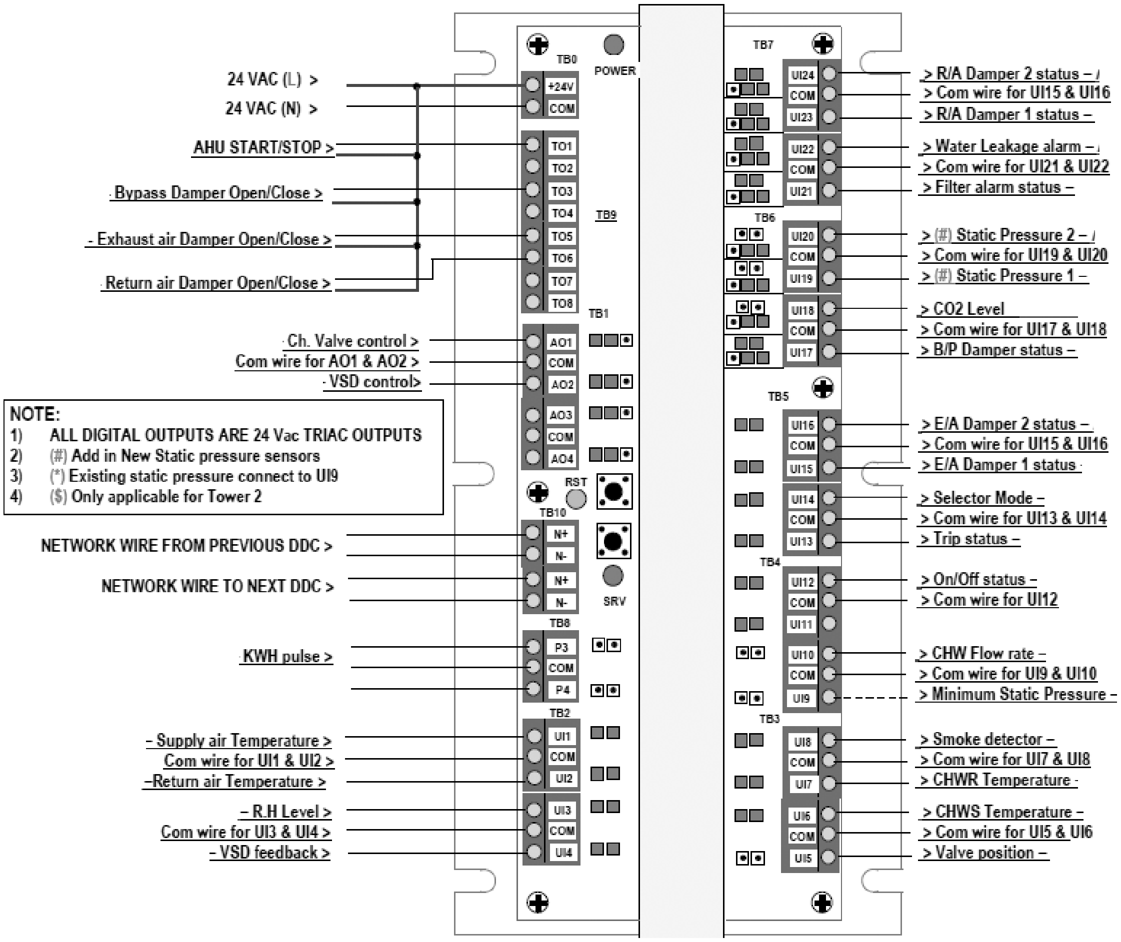
(3) Pulse Input

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L နှင့် pulse Input (၁)ခု ချိတ်ဆက်(connect) နိုင်သည်။အနိမ့်ဆုံး pulse width သည် ၅၀မီလီစက္ကန့်(50ms) ဖြစ်သည်။ Accumulated counter သည် တန်ဖိုး(value) 0 မှ 1,999,999,999 အထိ ဖော်ပြ(display)နိုင်သည်။

Output များ

Direct Digital Controller (DDC) UAH24842L သည် Digital Output(24 Vac Triac) & Analog Output(0-10 Vdc or 4- 20mA)များကို ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Command ပေးနိုင်သည်။

Variable Air Volume (VAV) AHU ၏ DDC Layout နှင့် Wiring Diagram



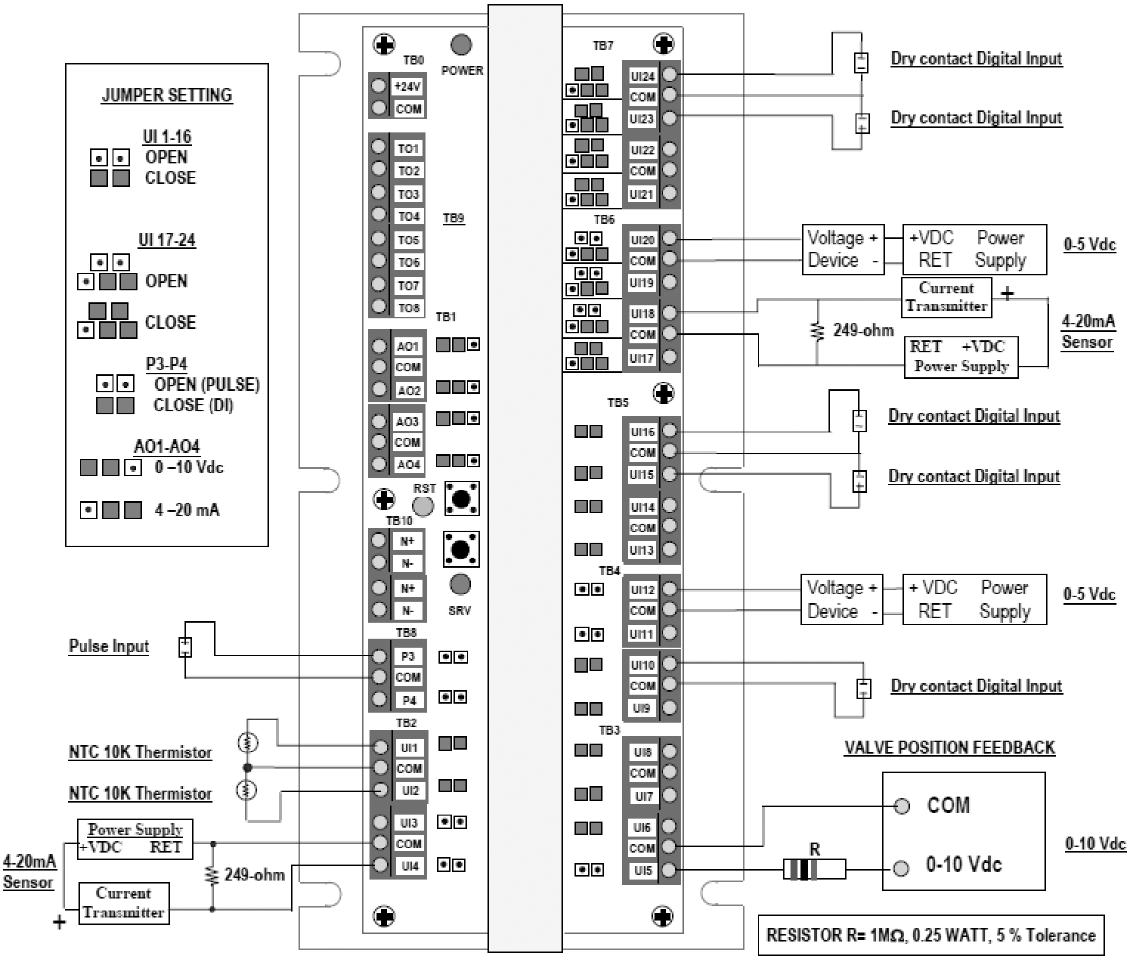
ပုံ ၇-၁၇ Variable Air Volume (VAV) AHU ၏ DDC Layout နှင့် Wiring Diagram

(4) Digital Output

Direct Digital Controller(DDC)UAH24842L သည် Digital output channel (၅)ခု ထုတ်ပေးနိုင်သည်။ Channel တစ်ခုချင်းစီကို Digital Output control (၁)ခု အဖြစ် configure လုပ်နိုင်သည်။

AHU တစ်ခုလုံး မောင်းရန်/ရပ်ရန် AHU Start/Stop(Individual schedule or manual control)
Fan 1 မောင်းရန်/ရပ်ရန် Fan 1 Start/Stop(Individual schedule manual control)(used as By pass damper control)
Fan 2 မောင်းရန်/ရပ်ရန် Fan 2 Start/Stop(Individual schedule manual control)
Return air damper ဖွင့်ရန်/ပိတ်ရန် Return air damper Open/Close control(interlock with AHU operation)
Exhaust air damper ဖွင့်ရန်/ပိတ်ရန် Exhaust air damper Open/Close control(interlock with AHU operation)

Variable Air Volume (VAV) AHU ၏ Typical Sensor Termination



ပုံ ၇-၁၈ Variable Air Volume(VAV)AHU ၏ Typical Sensor Termination

(5) Analog Output

Direct Digital Controller(DDC) UAH24842L သည် Analog output channel နှစ်ခု ထုတ်ပေးနိုင်သည်။

- AHU Variable Speed Drive(VSD) control နှင့်
- AHU chilled water valve control တို့ ဖြစ်သည်။

၇.၅.၂ DDC Terminal Block Assignment (UAH2484L)

Terminal Block (၇)ခု ပါရှိသည်။ TB1 မှ TB6 နှင့် TB8 terminal တို့ ဖြစ်သည်။

Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB0	+24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB1	AO1	Analog Output 1	
	COM	Com terminal for AO1 & AO2	
	AO2	Analog Output 2	
TB2	UI1 – UI4	Universal Input 1-4	

	COM	2 COM Terminals for UI 1-4	Each com shared by 2 UI
TB3	UI5 – UI8	Universal Input 5-8	
	COM	2 COM Terminals for UI 5-8	Each com shared by 2 UI
TB4	UI9 – UI12	Universal Input 9-12	
	COM	2 COM Terminals for UI 9-12	Each com shared by 2 UI
TB5	UI13 – UI16	Universal Input 13-16	
	COM	2 COM Terminals for UI 13-16	Each com shared by 2 UI
TB6	UI17 – UI20	Universal Input 17-20	
	COM	2 COM Terminals for UI 17-20	Each com shared by 2 UI
TB7	UI21 – UI24	Universal Input 21-24	
	COM	2 COM Terminals for UI 21-24	Each com shared by 2 UI
TB8	P3	Pulse Input	Only P3 is used.
	COM	Com terminal for P3 & P4	
	P4	Pulse Input	
TB9	TO1-TO8	Digital Output 1 - 8	Only TO1,3,5,6 are used. TO3 not used for Tower 1
TB10	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	

၇.၅.၃ AHU Control Logic

AHU တွင် operating mode (၅)မျိုး ရှိသည်။

(၁) Purge mode
(၂) Alarm mode
(၃) Normal operation mode
(၄) Manual control mode နှင့်
(၅) Bypass damper control တို့ ဖြစ်သည်။

(၁) Purge mode

Purge mode သည် နံနက်စောစော AHU မမောင်းခင် တစ်ညလုံး အခန်းအတွင်းရှိနေသည့် လေပုတ်လေဟောင်းများကို အခန်းအတွင်းမှ စုပ်ထုတ်ပစ်ပြီး လေသန့်များပြန်ထည့်ပေးခြင်းဖြစ်သည်။ "Flushing Mode" ဟုလည်းခေါ်သည်။

Network မှ purge လုပ်ရန် command ပေးလျှင် သို့မဟုတ် network မှ purge mode ကို enable လုပ်လျှင် controller သည် "Purge Mode" သို့မဟုတ် "Flushing Mode" ကို စတင်သည်။

Controller မှ အောက်ပါ output များကို ထုတ်ပေးကာ(command ပေးကာ) controlled device များကို စတင်လုပ်စေသည်။

- On/Off အမျိုးအစား(type) exhaust air damper ကို ဖွင့်သည်။ (set to open)
- On/Off အမျိုးအစား(type) return air damper ကို ပိတ်သည်။ (set to close)

- AHU supply air fan ကို မောင်း(run)သည်။ Fan speed သည် "Purge Mode" မှ set point အတိုင်းဖြစ်သည်။
- Modulating အမျိုးအစား(type) chilled water valve ကို ပိတ်သည်။ (set to 0%)

(၂) Alarm mode

အကယ်၍ smoke detector activate ဖြစ်လျှင် "Alarm Mode" ကို စတင်သည်။ မီးခိုးများ AHU အတွင်းသို့ ရောက်ရှိလာသောကြောင့် ထိုမီးခိုးများ အခန်းများအတွင်းသို့ မပျံ့ နှံ့စေရန် AHUကို ရပ်တန့်စေ ရမည်။

Blower ၏ VSD speed ကို 0% (set to 0%)ဖြစ်စေသည်။

Return air damper ကို ပိတ်သည်။(set to close)

အကယ်၍ AHU ရပ်နေလျှင် chilled water valve ကို အပြည့်ပိတ်(fully close) ထားသည်။return air damper ကိုဖွင့် (open) သည်။ Exhaust air damper ကိုပိတ်(close)သည်။

(၃) Normal operation mode

AHU မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း(start/stop)ကို လူကိုယ်တိုင်မောင်းနိုင်သည်။(manually) သို့မဟုတ် ထည့်ပေးထားသည့် schedule များအတိုင်း မောင်းနိုင်သည်။

AHU ကို DDC မှ မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း ပြုလုပ်ရန်အတွက် mode selection switch သို့မဟုတ် selector switch ကို "on" ထားရမည်။ သို့မဟုတ် Auto mode သို့ပြောင်းထားပေးရမည်။ အကယ်၍ Mode selection switch သို့မဟုတ် selector switch သည် local mode သို့ရောက်နေလျှင် DDC မှ မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း ပြုလုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

(၄) Manual control Mode

AHU မောင်းနေစဉ်

- On/Off အမျိုးအစား(type) exhaust air damper ကို ပိတ်သည်။ (set to close)
- On/Off အမျိုးအစား(type) return air damper ကို ဖွင့်သည်။ (set to open)
- AHU supply air fan ကိုမောင်းရန် fan speed သည် static pressure setpoint အတိုင်းရရှိရန်အတွက် PID algorithm မှထုတ်ပေးသည့် output contol singal အတိုင်း VSD ကိုမောင်းရန် ဖြစ်သည်။
- Modulating အမျိုးအစား(type) chilled water valve ကို cooling set point အတိုင်းရရှိရန်အတွက် PID algorithm မှထုတ်ပေးသည့် output contol singal အတိုင်း modulating actuator ကိုမောင်းရန် ဖြစ်သည်။

AHU ရပ်ထားလျှင်

- On/Off type Exhaust air damper ကို ပိတ်သည်။(set to close)
- On/Off type return air damper ကို ဖွင့်သည်။(set to open)
- VSD output ကို 0 % အဖြစ်ထားသည်။ (set to 0 %)
- Valve output ကို 0 % အဖြစ်ထားသည်။ (set to 0 %)

(၅) Bypass damper control

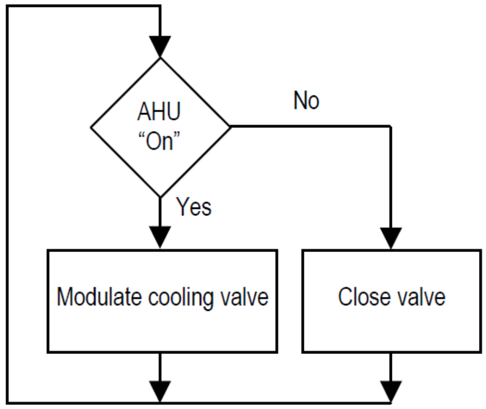
Bypass damper control သည် AHU နှင့် interlock မလုပ်ထားပါ။

ပိတ်ခြင်း ၊ ဖွင့်ခြင်း(open/close)ကို manually သို့မဟုတ် schedule control ဖြင့်ပြုလုပ်နိုင်သည်။

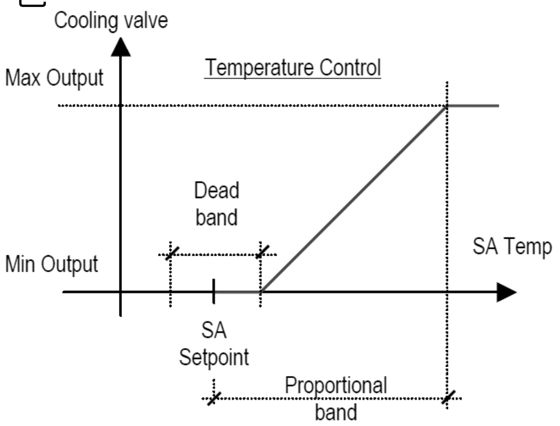
Chilled water valve control

PID control algorithm ဖြင့် modulating type chilled water valve ကို control လုပ်သည်။
Actuator သည် 0~10 Vdc control signal ကို အသုံးပြုထားသည့် အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။
Temperature setpoint အတွက် default PID parameter များမှာ

- default setpoint သည် 12°C ဖြစ်သည်။
- Supply air temperature သည် control PID loop အတွက် reference input ဖြစ်သည်။
- Proportional band ၏ default value သည် 5.0 °C ဖြစ်သည်။
- Dead band ၏ default value သည် 0.40 °C ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၁၉Modulating valve control



ပုံ ၇-၂၀Temperature control

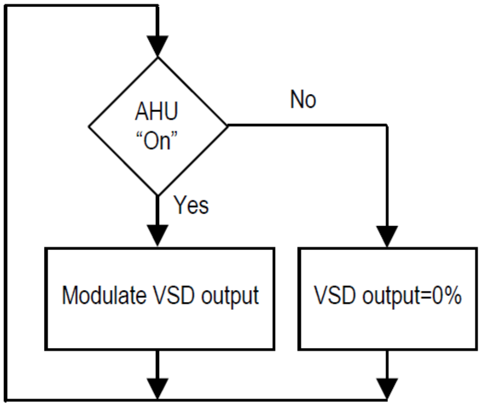
Integral ၏ default value သည် 120 sec ဖြစ်ပြီး derivative constant default value သည် 0 sec ဖြစ်သည်။ (တစ်နည်းအားဖြင့် PI control သာဖြစ်သည်။)

Supply Fan Variable Speed Drive (VSD) control

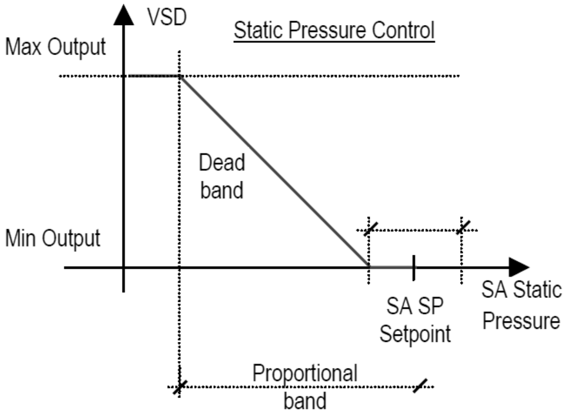
PID control algorithm ဖြင့် Fan မော်တာ Variable Speed Drive(VSD) ကို control လုပ်သည်။ Output Signal သည် 0~10 Vdc ကို အသုံးပြုထားသည့် အမျိုးအစား ဖြစ်သည်။
Temperature setpoint အတွက် default PID parameter များမှာ

- Default setpoint သည် 100 Pa ဖြစ်သည်။
- Minimum supply air static pressure သည် control PID loop အတွက် reference input ဖြစ်သည်။ Sensor range သည် 0~1250 Pa ဖြစ်သည်။
- Proportional band ၏ default value သည် 100 Pa ဖြစ်သည်။
- Dead band ၏ default value သည် 10 Pa ဖြစ်သည်။

Integral ၏ default value သည် 60 seconds ဖြစ်ပြီး derivative constant default value သည် 0 sec ဖြစ်သည်။ (တစ်နည်းအားဖြင့် PI control သာဖြစ်သည်။)



ပုံ ၇-၂၁ VSD control

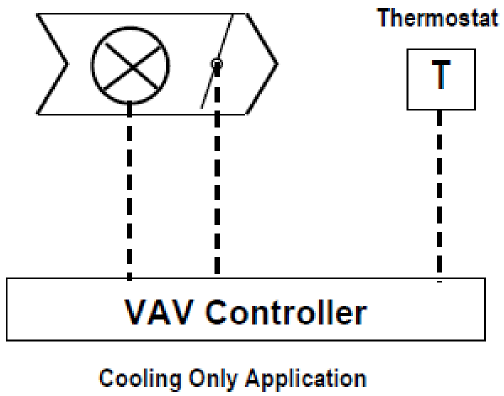


ပုံ ၇-၂၂ Static Pressure Control

၇.၆ VAV Box DDC Controller(Model: UAV0520L)

၇.၆.၁ Description

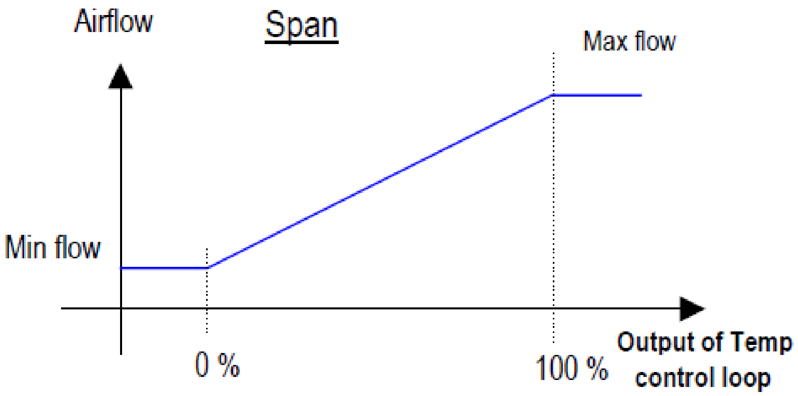
UAV0520L သည် Variable Air Volume(VAV) Box controller ဖြစ်သည်။ LONMARK® Functional VAV Controller Profile program ဖြင့်တွဲ၍ အသုံးပြုသည်။ ဤ controller ကို cooling only application အဖြစ် သုံးရန် configure လုပ်ထားသည်။ space temperature ကို အသုံးပြုသူက set ထားသည့် set-point အတိုင်း ဖြစ်နေစေရန် DDC controller က ထိန်းပေးထားသည်။



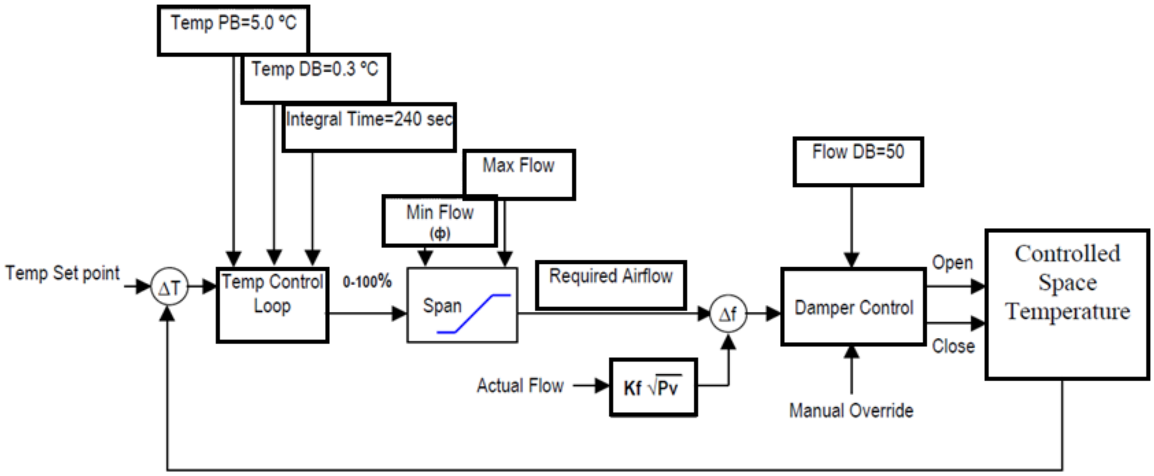
ပုံ ၇-၂၃

Floating type damper actuator ကို အသုံးပြုထားပြီး cool air ကို space အတွင်းသို့ damper မှ တဆင့် ပေးပို့သည်။ cool air ပမာဏကို DDC controller သည် airflow rate ကို control လုပ်ပေးပြီး set-point temperature ရအောင်ထိန်းထားပေးသည်။ Cooling Maximum Flow နှင့် Cooling Minimum Flow တန်ဖိုးကို VAV Box controller program အတွင်း၌ ထည့်ပေးရန်လိုသည်။

၇.၆.၂ Control of Pressure Independent VAV Operation



ပုံ ၇-၂၄ Note:(ⴔ) Min Flow setting will change according to Occupancy status.



ပုံ ၇-၂၅ Air Flow သည် Maximum Flow နှင့် Minimum Flow တန်ဖိုးနှစ်ခုအကြားတွင် သာရှိသည်။

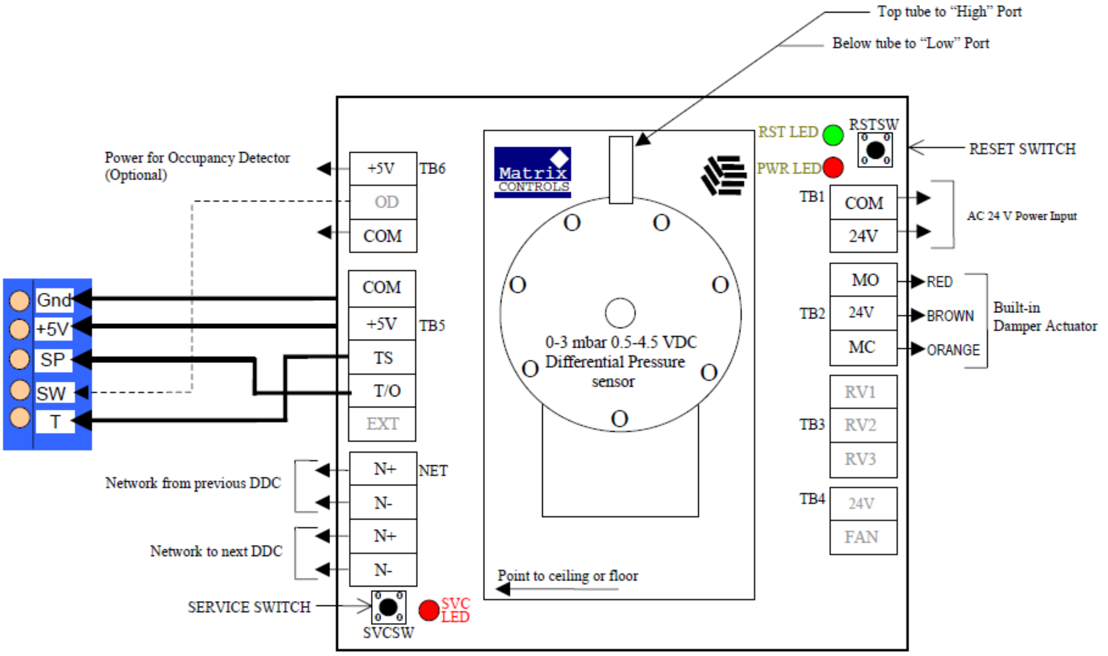
၇.၆.၃ DDC Terminal Block Assignment(UAV0520L)

Terminal Blocks (၇)ခု ပါရှိသည်။ TB1 မှ TB6 နှင့် NET terminals တို့ဖြစ်သည်။

Terminal Block	Label	Description
TB1	COM	24 VAC Input(N)
	24V	24 VAC Input(L)
TB2	MO	Motor Open(Triac output for Damper open control)
	24V	24 VAC output to damper actuator
	MC	Motor Close(Triac output for Damper close control)
TB3	RV1	Not used
	RV2	Not used
	RV3	Not used
TB4	24V	Not used
	FAN	Not used
TB5	COM	Common(Ground) for Thermostat
	+5V	+5 VDC Power Supply for Thermostat
	TS	Space Temperature Sensor input
	T/O	Set point adjustment input from Thermostat
	EXT	Not used
TB6	+5	+5 VDC Power Supply for Occupancy Detector(If connected)
	OD	Occupancy Detector Input from sensor
	COM	Common(Ground)
NET	N+	Network Input
	N-	Network Output

	N+	Network Input
	N-	Network Output

၇.၆.၄ DDC Layout and Wiring Diagram



ပုံ ၇-၂၅

၇.၇ Lighting Controller DDC(ULC0882L)

၇.၇.၁ Description

ULC0882L သည် Lighting controller အဖြစ် အသုံးပြုထားသည့် ဥပမာဖြစ်သည်။ Program သည် LONMARK® standard ကို compatible ဖြစ်သည်။ ULC0882L modle DDC controller ကို configured to Lighting DB ကို control လုပ်ရန် နှင့် DB ၏ On/Off status ကို monitor လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုထားသည်။

Universal inputs အများဆုံး (၈)ခုဖြင့် monitor လုပ်နိုင်သည်။ ULC0882L ကို connecte လုပ်နိုင်သော sensor အမျိုးအစားများမှာ

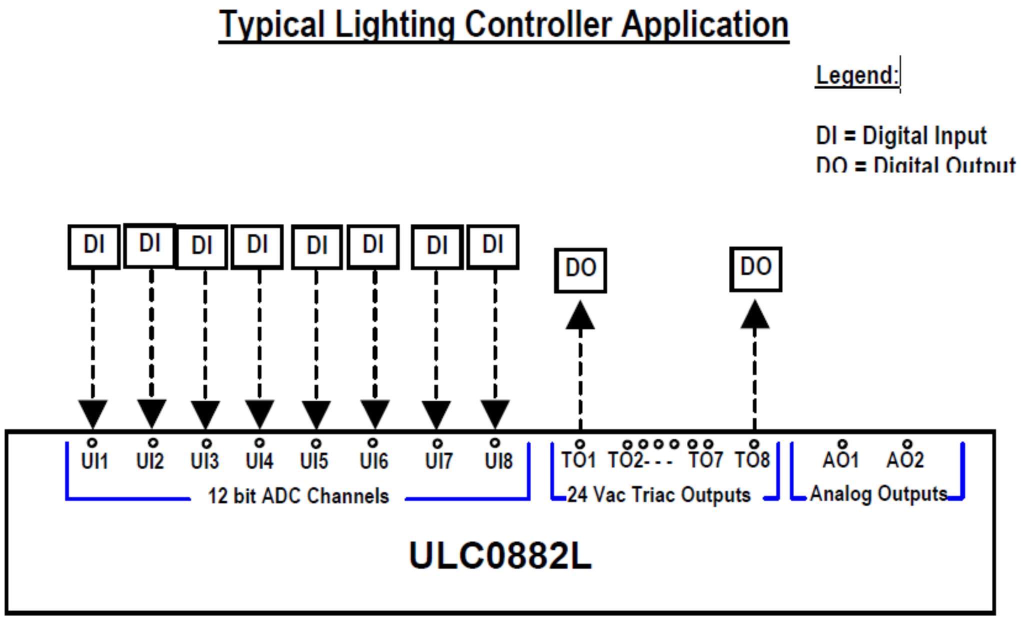
(၁) Digital Inputs(Dry contacts)　　(၃) Analog Inputs(4-20mA) နှင့်

(၂) Analog Inputs(0-5 Vdc)　　(၄) Temperature sensors(NTC 10K Thermistor, -15°C to 100°C) တို့ဖြစ်သည်။

ဤ ဥပမာတွင် Dry contact digital input ကို သာ အသုံးပြုထားသည်။

၇.၇.၂ Output channels

Controller သည် Digital Outputs(maximum 8 nos. 24 Vac Triac) နှင့် Analog Outputs (maximum 2 nos. 0-10 Vdc) တို့ ကို command လုပ်နိုင်သည်။
ဤ ဥပမာတွင် Digital Output(DO) အမျိုးအစားကိုသာ အသုံးပြုထားသည်။



ပုံ ၇-၂၆ DI = Digital Input and DO = Digital Output

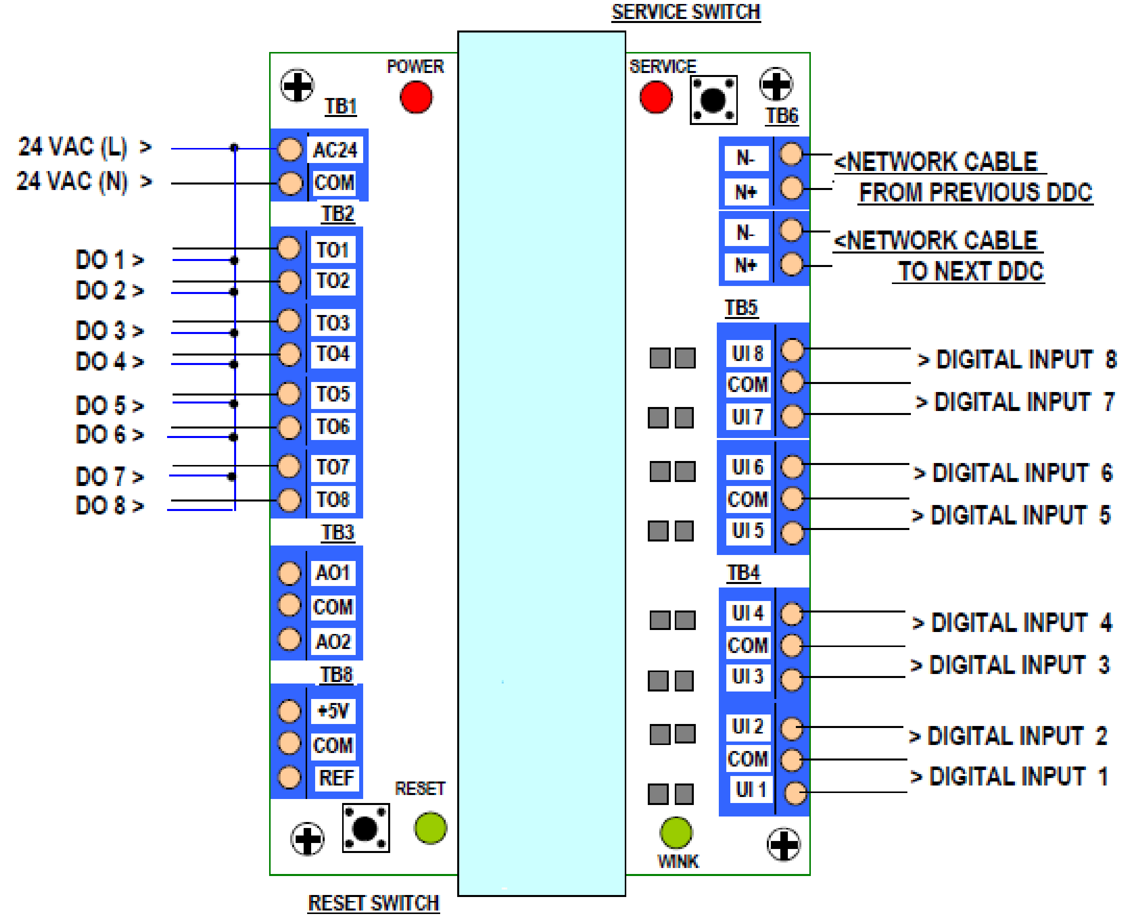
Terminal Blocks စုစုပေါင်း (၇) ခုပါရှိသည်။ TB1 မှ TB6 နှင့် TB8 terminals တို့ဖြစ်သည်။

၇.၇.၃ DDC Terminal Block Assignment (ULC0882L)

Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB1	AC24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB2	TO1-TO8	DO Channels 1-8	
TB3	AO1-AO2	AO Channels 1-2	
TB4	UI1	Universal Input 1	All UI are digital inputs
	COM	Com for UI1 & UI2	
	UI2	Universal Input 2	
	UI3	Universal Input 3	
	COM	Com for UI3 & UI4	
	UI4	Universal Input 4	
TB5	UI5	Universal Input 5	
	COM	Com for UI5 & UI6	
	UI6	Universal Input 6	
	UI7	Universal Input 7	
	COM	Com for UI7 & UI8	
	UI8	Universal Input 8	
TB6	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	

	N-	Network wire to next DDC	

၇.၇.၄ DDC LAYOUT & WIRING DIAGRAM



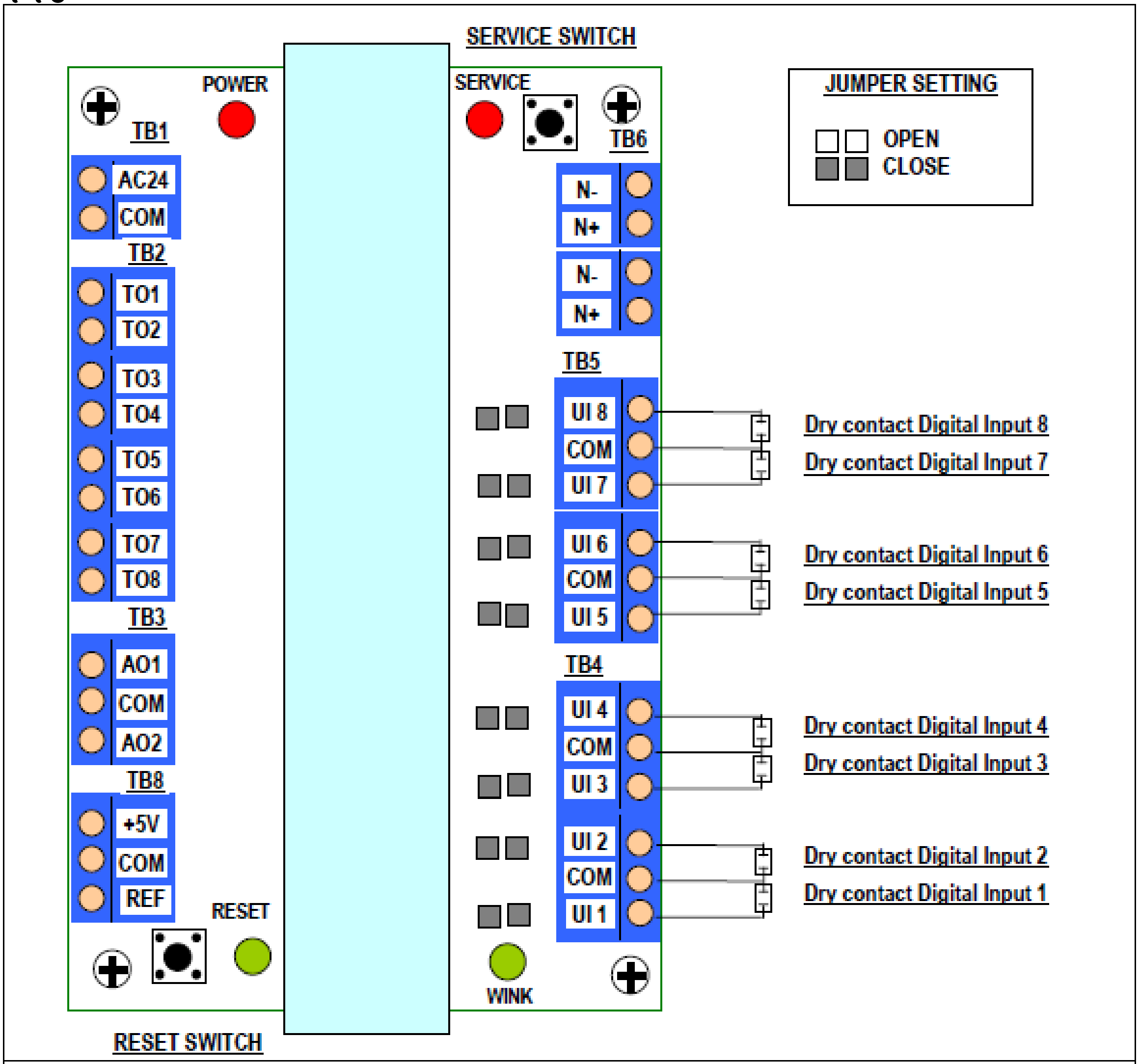
NOTE: 1) EACH COM TERMINAL TO BE SHARED BY 2 UI TERMINALS

2) ALL DIGITAL OUTPUTS ARE 24 Vac TRIAC OUTPUTS

3) ALL ANALOG OUTPUTS ARE 0-10 Vdc

ပုံ ၇-၂၆

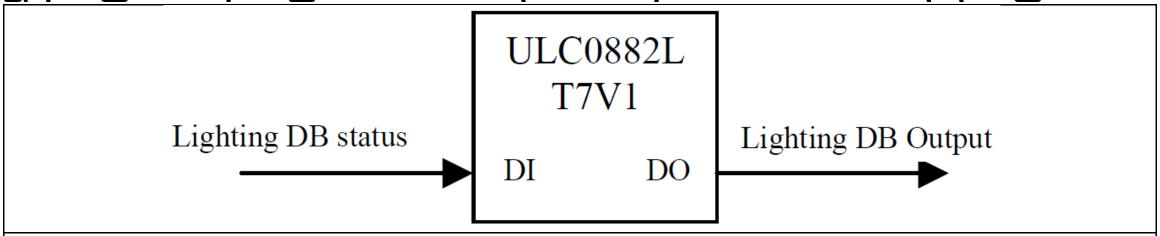
၇.၇.၅ Typical Sensor Termination



ပုံ ၇-၂၇

ULC0882LT7V1

DDC internal schedule ကို သုံး၍ Lighting Distribution Board(DB) start/stop control ပြုလုပ်သည်။ DDC တိုင်းသည် Lighting DB (၈)ခု ၏ status နှင့် Start/Stop control လုပ်နိုင်သည်။



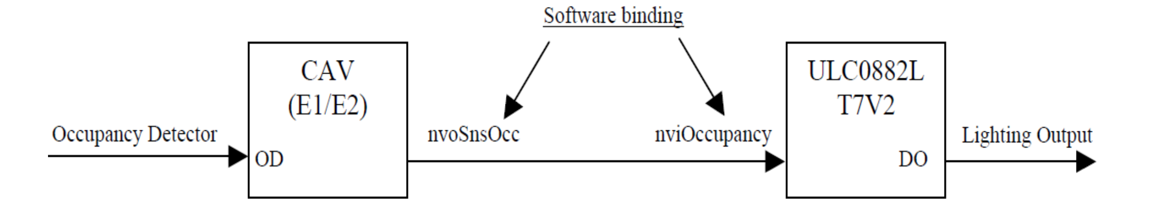
ပုံ ၇-၂၈

ULC0882LT7V2

Male/Female toilet lighting ကို control လုပ်နိုင်သည်။

Toilet တိုင်း၌ Occupancy detector ကို CAV controller(E1/E2) နှင့် ချိတ်ဆက်(connect)၍ သုံးသည်။

detector activate ဖြစ်လျှင်Toilet lighting ကို ဖွင့်ရန်(turned on) ဖြစ်သည်။ Occupancy status changes သည် unoccupied status သို့ပြောင်းပြီးနောက် အချိန်အနည်းငယ်ကြာပြီးမှ(delay) Toilet lighting ကို ပိတ်ရန် ဖြစ်သည်။



ပုံ ၇-၂၉

၇.၈ GENERAL MONITORING DDC UGM0882L

၇.၈.၁ Description

UGM0882L is General Monitoring controller ဖြစ်သည်။ Universal inputs (၈)ခု အထိ monitor လုပ်နိုင်သည်။

UGM0882L နှင့် ချိတ်ဆက်(connect) နိုင်သည့် sensors မျိုးအစားများမှာ

(၁) Digital Inputs(Dry contacts)

(၂) Analog Inputs(0-5 Vdc)

(၃) Analog Inputs(4-20mA)

Analog Input monitoring အတွက် abnormal sensor reading များကို ဟန့်တားရန် First order Low Pass Filter method ကို အသုံးပြုထားသည်။

$$\boldsymbol{Vnew} = \boldsymbol{Vold} + \boldsymbol{C}(\boldsymbol{Vin} - \boldsymbol{Vold})$$

Where, Vnew = New reading to be updated in DDC

Vold = Old reading updated in DDC

Vin = Sensor reading,

C = constant(0.01~ 0.99)(Refer to *SCPTdebounce*)

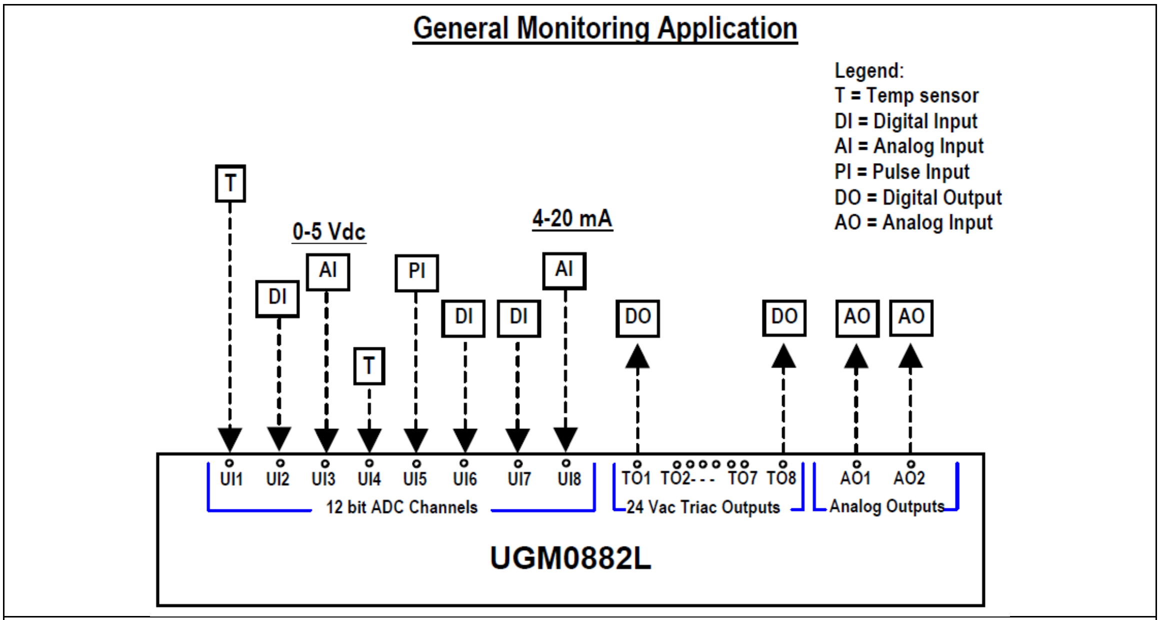
(၄) Pulse Inputs(minimum pulse width 500 ms)(0-9999 counts)

Note: Accumulated counter value is saved in battery backed up RAM in the DDC; this value will be kept if DDC power is recycled.

(၅) Temperature sensors(NTC 10K Thermistor, -15°C to 100°C)

Output channels

Other controllers via binding can command Digital Outputs(maximum 8 nos. 24 Vac Triac) & Analog Outputs(maximum 2 nos. 0-10 Vdc) of UGM0882L.



ပုံ ၇-၃၀

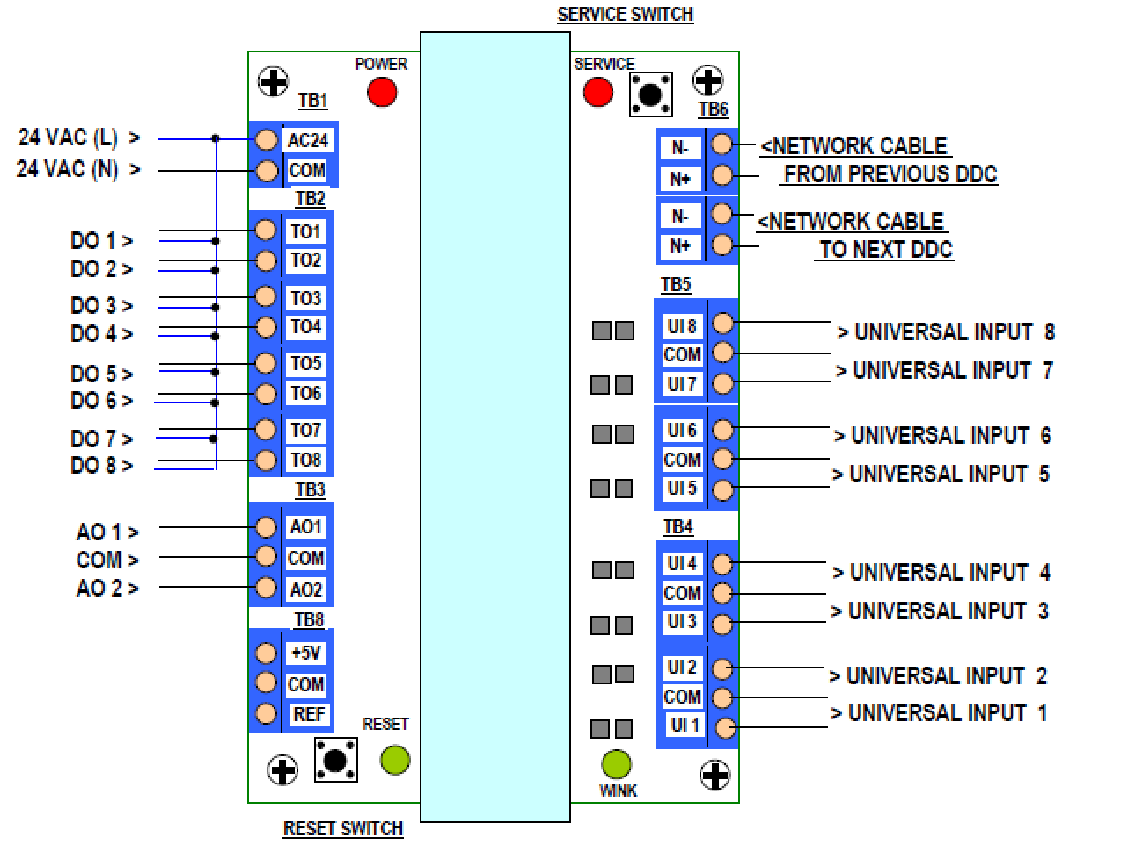
There are total 7 Terminal Blocks, TB1 to TB6 & TB8 terminals.

၇.၈.၂ Terminal Block Assignments(UGM0882L)

Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB1	AC24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB2	TO1-TO8	DO Channels 1-8	DO channels to be commanded via binding
TB3	AO1-AO2	AO Channels 1-2	AO channels to be commanded via binding
TB4	UI1	Universal Input 1	
	COM	Com for UI1 & UI2	
	UI2	Universal Input 2	
	UI3	Universal Input 3	
	COM	Com for UI3 & UI4	
	UI4	Universal Input 4	
TB5	UI5	Universal Input 5	
	COM	Com for UI5 & UI6	
	UI6	Universal Input 6	
	UI7	Universal Input 7	
	COM	Com for UI7 & UI8	
	UI8	Universal Input 8	
TB6	N+	Network wire from previous DDC	

	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	

၇.၈.၃ Typical Sensor Termination



DDC LAYOUT(Controller Model UGM0882L)

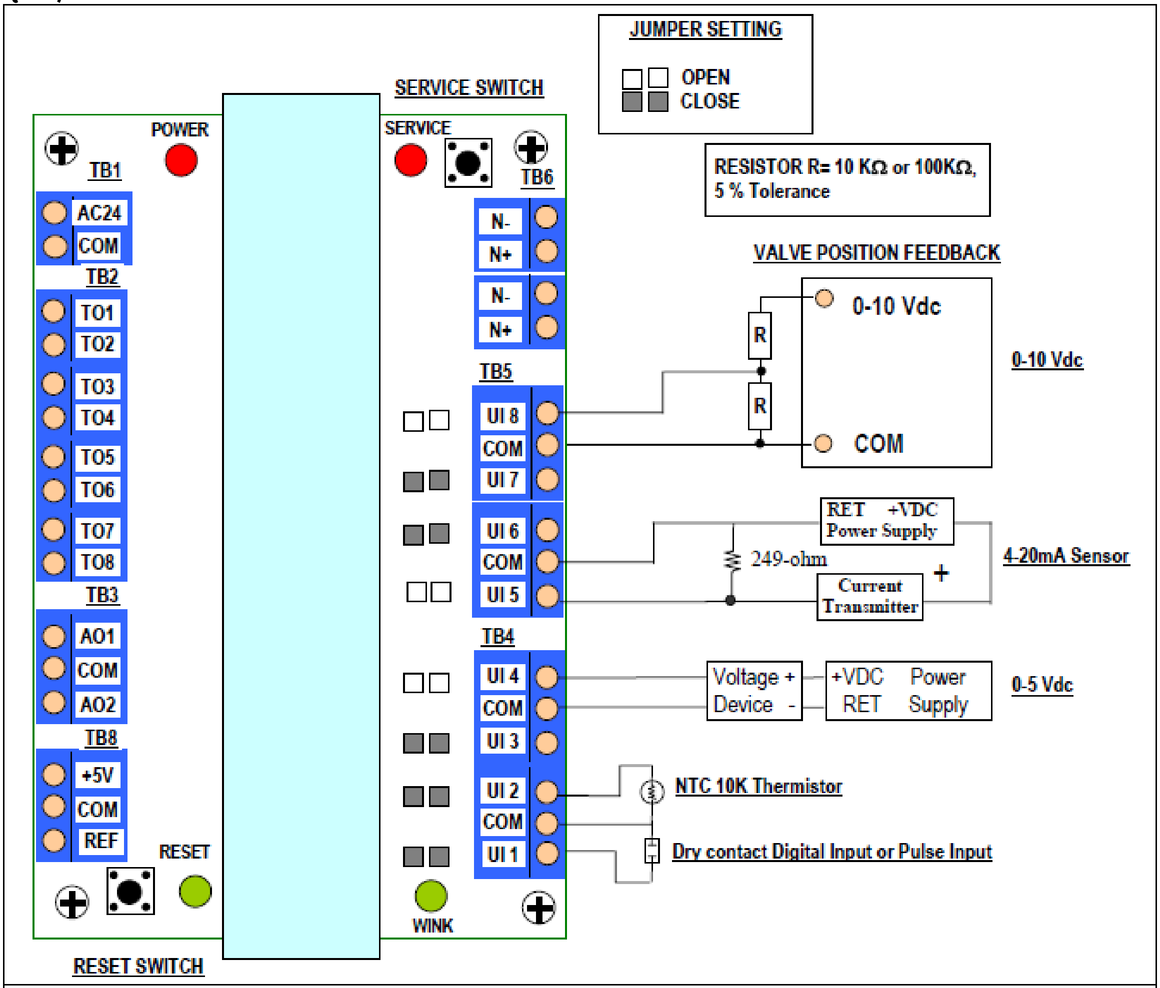
NOTE: 1) EACH COM TERMINAL TO BE SHARED BY 2 UI TERMINALS

4) ALL DIGITAL OUTPUTS ARE 24 Vac TRIAC OUTPUTS

5) ALL ANALOG OUTPUTS ARE 0-10 Vdc

ပုံ ၇-၃၁

၇.၈.၄ DDC LAYOUT & WIRING DIAGRAM



TYPICAL SENSOR TERMINATION

ပုံ ၇-၃၂

၇.၉ General Monitoring DDC UGM2484L

၇.၉.၁ Description

UGM2484L is General Monitoring controller တွင်

Maximum 24 nos. of Universal inputs နှင့် monitor လုပ်ရန် 2 nos. of High frequency Pulse inputs ပါဝင်သည်။

UGM24842L controller နှင့် ချိတ်ဆက်(connect) နိုင်သည့် I/O point များမှာ

(၁) Digital Inputs (Dry contacts)

(၂) Analog Inputs (0-5 Vdc)

(၃) Analog Inputs(0-20mA)

Analog Input monitoring အတွက် abnormal sensor reading များကို ဟန့်တားရန် First order Low Pass Filter method ကို အသုံးပြုထားသည်။ is used to

$$Vnew = Vold + C(Vin - Vold)$$

Where, Vnew = New reading to be updated in DDC

Vold = Old reading updated in DDC

Vin = Sensor reading,

C = constant(0.01~ 0.99)(Refer to SCPTdebounce)

(၄) Low Frequency Pulse Inputs(counter value 0-9999)
(minimum pulse width 500ms)

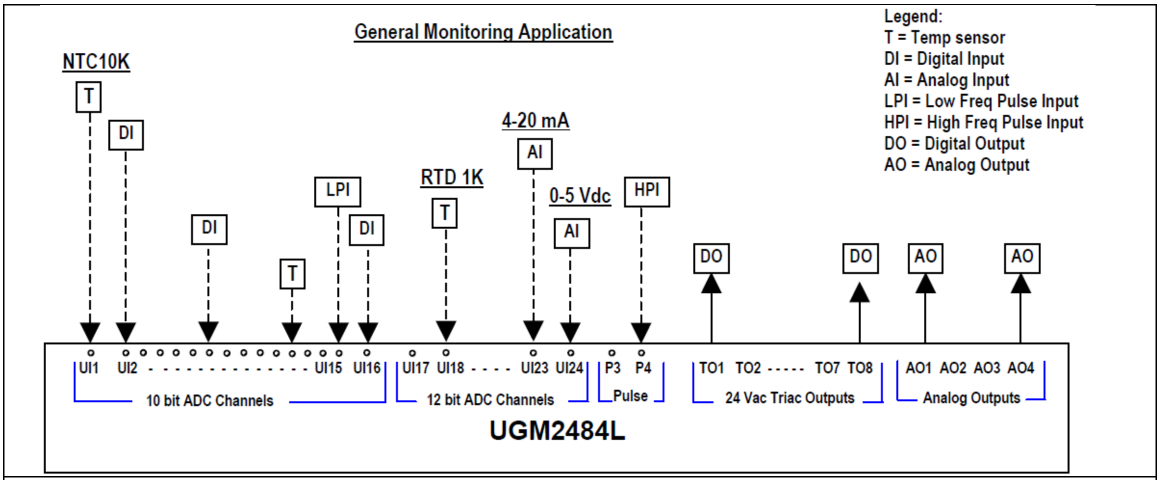
(၅) High Frequency Pulse Inputs(counter value 0-1,999,999,999)
(minimum pulse width 50ms) (Only for terminal P3&P4)
Note: Accumulated counter value is saved in battery backed up RAM in the DDC; this value will be kept if DDC power is recycled.

(၆) Temperature sensors(NTC 10K Thermistor, -15°C to 100°C)

(၇) Temperature sensors(Platinum 1K RTD type)(Only for UI17-UI24)

၇.၉.၂ Output channels

Other controllers via binding can command Digital Outputs(maximum 8 nos. 24 Vac Triac) & Analog Outputs(maximum 4 nos. 0-10 Vdc/0-20 mA) of UGM2484L.



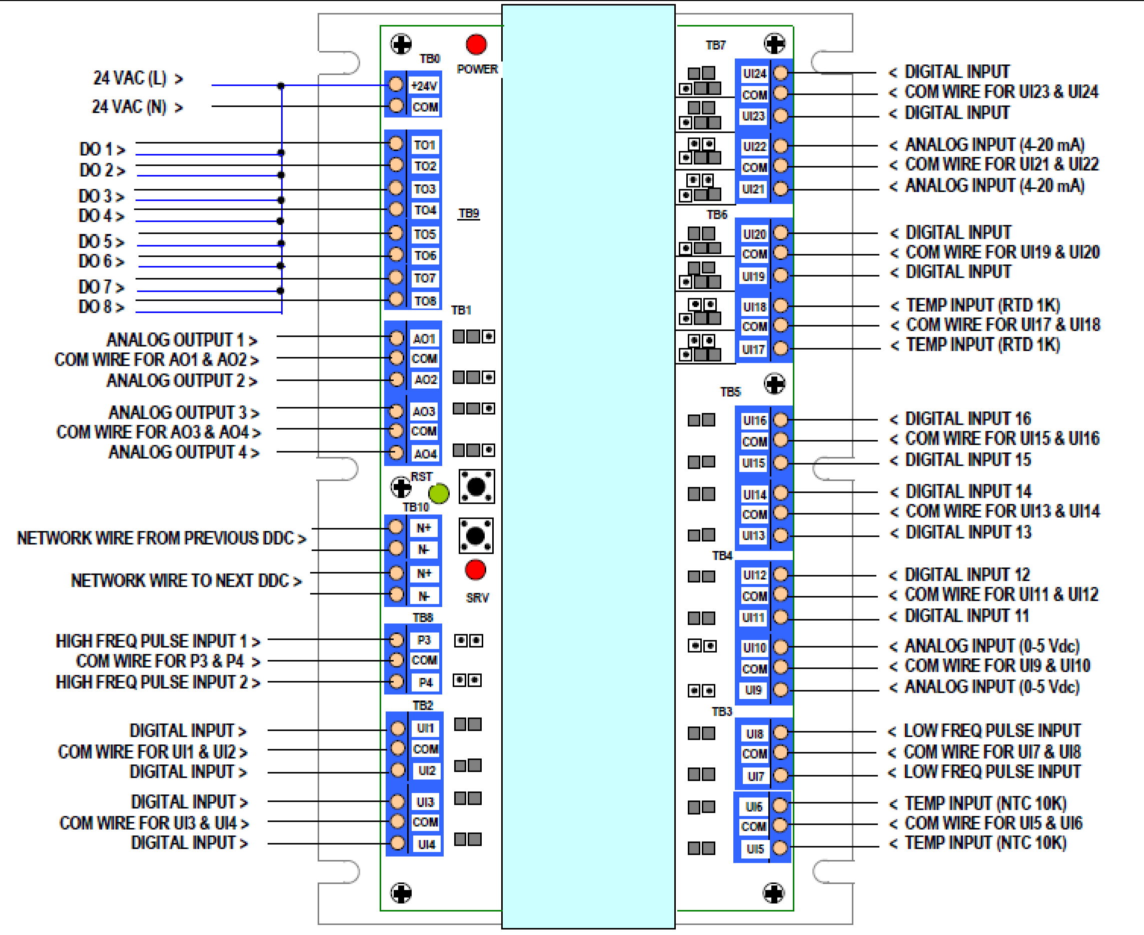
ပုံ ၇-၃၃

၁.၉.၃ DDC Terminal Block Assignment(UGM2484L)

Terminal Block No	Label	Description	Remark
TB0	+24V	24 VAC Input(L)	
	COM	24 VAC Input(N)	
TB1	AO1	Analog Output 1	AO channels to be commanded via binding
	COM	Com terminal for AO1 & AO2	
	AO2	Analog Output 2	
	AO3	Analog Output 3	

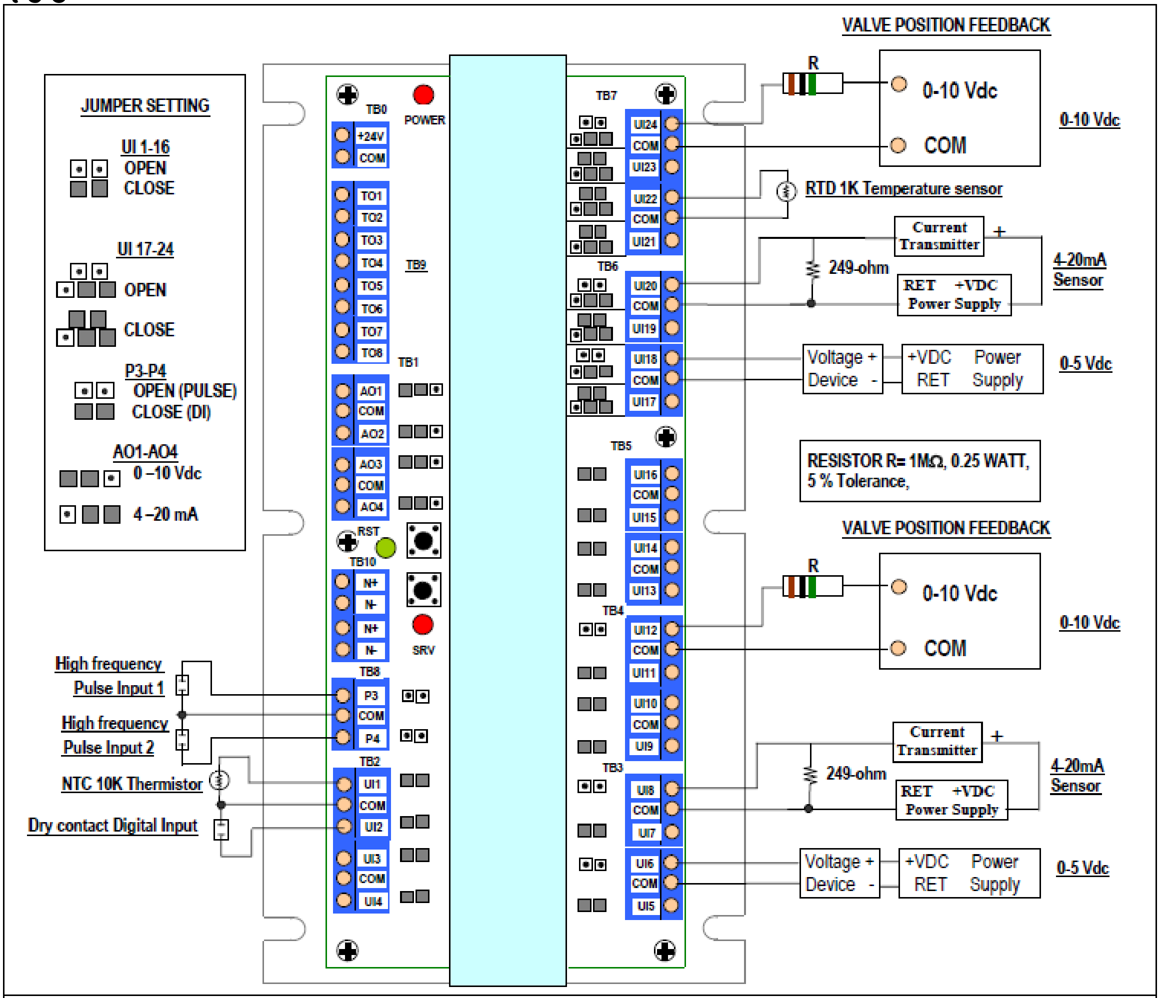
	COM	Com terminal for AO3 & AO4	
	AO4	Analog Output 4	
TB2	UI1 – UI4	Universal Inputs 1-4	
	COM	2 COM Terminals for UI 1-4	Each com shared by 2 UI
TB3	UI5 – UI8	Universal Inputs 5-8	
	COM	2 COM Terminals for UI 5-8	Each com shared by 2 UI
TB4	UI9 – UI12	Universal Inputs 9-12	
	COM	2 COM Terminals for UI 9-12	Each com shared by 2 UI
TB5	UI13 – UI16	Universal Inputs 13-16	
	COM	2 COM Terminals for UI 13-16	Each com shared by 2 UI
TB6	UI17 – UI20	Universal Inputs 17-20	
	COM	2 COM Terminals for UI 17-20	Each com shared by 2 UI
TB7	UI21 – UI24	Universal Inputs 21-24	
	COM	2 COM Terminals for UI 21-24	Each com shared by 2 UI
TB8	P3	High/Low frequency Pulse Input 1	
	COM	Com terminal for P3 & P4	
	P4	High/Low frequency Pulse Input 2	
TB9	TO1-TO8	Digital Output 1 - 8	DO channels to be commanded via binding
TB10	N+	Network wire from previous DDC	
	N-	Network wire from previous DDC	
	N+	Network wire to next DDC	
	N-	Network wire to next DDC	

၇.၉.၄ DDC Layout & Wiring Diagram



ပုံ ၇-၃၄

၇.၉.၅ Typical Sensor Termination



ပုံ ၇-၃၅

-End-

Contents

၇.၁ Fan Coil Unit ကို control လုပ်ရန် အသုံးပြုသည့် DDC Controller (Model: UFC0882L)...................1

၇.၁.၁ Description ....

၇.၁.၂ DDC Terminal Block Assignment UFC0882L...

၇.၁.၃ DDC Layout & Wiring Diagram ....

၁.၂ Fan Controller DDC(Model U6F2484L) 3

၇.၂.၁ Description ....

၁.၂.၂ DDC Terminal Block Assignment(UGM2484L)...

၇.၂.၃ DDC Layout & Wiring Diagram ....

၇.၃ FAN CONTROL DDC U8F2484L 5

၇.၃.၁ Description ....

၇.၃.၂ DDC Terminal Block Assignment(U8F2484L) ....

၇.၃.၃ DDC Layout & Wiring Diagram ....

၇.၄ Constant Air Volume(CAV) AHU Controller(UAH1464L) 8

၇.၄.၁ Description ....

၇.၄.၂ DDC Terminal Block Assignment(UAH1464L)..

၇.၄.၃ DDC Layout & Wiring Diagram CAV AHU...

၇.၅ VAV AHU တစ်လုံး ၏ Controller နှင့် Control Logic 13

၇.၅.၁ Description of DDC Inputs and Outputs ....

၇.၅.၂ DDC Terminal Block Assignment (UAH2484L)...

၇.၅.၃ AHU Control Logic ....

၇.၆ VAV Box DDC Controller(Model: UAV0520L) 21

၇.၆.၁ Description ....

၇.၆.၂ Control of Pressure Independent VAV Operation ....

၇.၆.၃ DDC Terminal Block Assignment(UAV0520L)..

၇.၆.၄ DDC Layout and Wiring Diagram..

၇.၇ Lighting Controller DDC(ULC0882L) 23

၇.၇.၁ Description ....

၇.၇.၂ Output channels..

၇.၇.၃ DDC Terminal Block Assignment (ULC0882L) ....

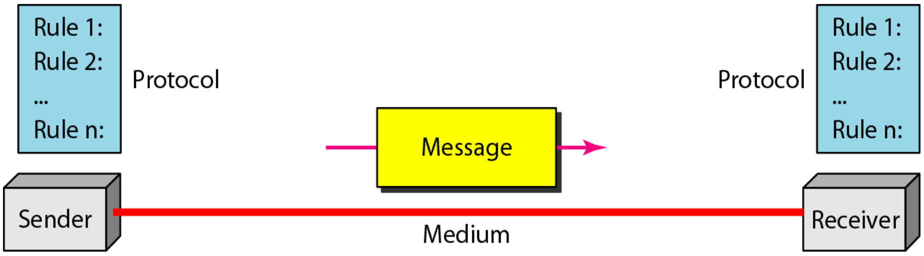
၇.၇.၄ DDC LAYOUT & WIRING DIAGRAM ....
၇.၇.၅ Typical Sensor Termination..
၇.၈ GENERAL MONITORING DDC UGM0882L 27
၇.၈.၁ Description ....
၇.၈.၂ Terminal Block Assignments(UGM0882L) ....
၇.၈.၃ Typical Sensor Termination..
၇.၈.၄ DDC LAYOUT & WIRING DIAGRAM ....
၇.၉ General Monitoring DDC UGM2484L..30
၇.၉.၁ Description ....
၇.၉.၂ Output channels..
၁.၉.၃ DDC Terminal Block Assignment(UGM2484L) ....
၇.၉.၄ DDC Layout & Wiring Diagram ....
၇.၉.၅ Typical Sensor Termination..

Chapter-8 Data Communication and Networking

၈.၁. Data Communication

Computer information system များတွင် data များကို binary information unit သို့မဟုတ် bits များဖြင့် ဖော်ပြကြသည်။ 0 နှင့် 1 ကိုသာ အသုံးပြု၍ အချက်အလက်များ(information)ကို ဖော်ပြသည်။

Data communication ဆိုသည်မှာ transmission medium (wire ၊ cable စသည့် ကြိုးတစ်မျိုးမျိုး) တစ်ခုခုဖြင့် ဆက်သွယ်ထားသည့် device နှစ်ခုတို့ data များ အပြန်အလှန် လဲလှယ်ကြခြင်း ဖြစ်ကြသည်။ Wireless communication များအတွက် radio wave နှင့် microwave တို့သည် transmission medium ဖြစ်သည်။ ဥပမာ အဆောက်အဦ တစ်ခုအတွင်းရှိ device များ အကြား data များ အပြန်အလှန် လဲလှယ်ခြင်း ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၁ Data communication system components

Data communication system ၏ effectiveness သည် အခြေခံအချက် သုံးချက်အပေါ်တွင် မူတည်သည်။

(၁) Delivery : System သည် data များကို ရောက်ရမည့်နေရာ(correct destination)သို့ ရောက်အောင် ပေးပို့နိုင်ရမည်။ လက်ခံရမည့်သူ(receiver device) သို့မဟုတ် အသုံးပြုသူ(user)များ ကသာ data များကို ရရှိစေရမည်။ လမ်း၌ မသက်ဆိုင်သူများက dataများ မရယူနိုင်အောင် ကာကွယ်ပေးနိုင်ရမည်။

(၂) Accuracy : System များသည် data များကို တိကျစွာ မှန်ကန်စွာ ပေးပို့ရမည်။ လမ်းတစ်လျှောက် ပျက်စီးယိုယွင်းသွားသည့် data များနှင့် မမှန်သည့် data များကို အသုံးပြုရန် မဖြစ်နိုင် တော့ပေ။

(၃) Timeliness : System သည် data များကို ရောက်ရမည့် အချိန်အတွင်း အချိန်မှန် ရောက်ရှိအောင် ပေးပို့ရန် လိုအပ်သည်။

Data communication system များကို အစိတ်အပိုင်း(component) (၅)ခုဖြင့် တည်ဆောက်ထားသည်။

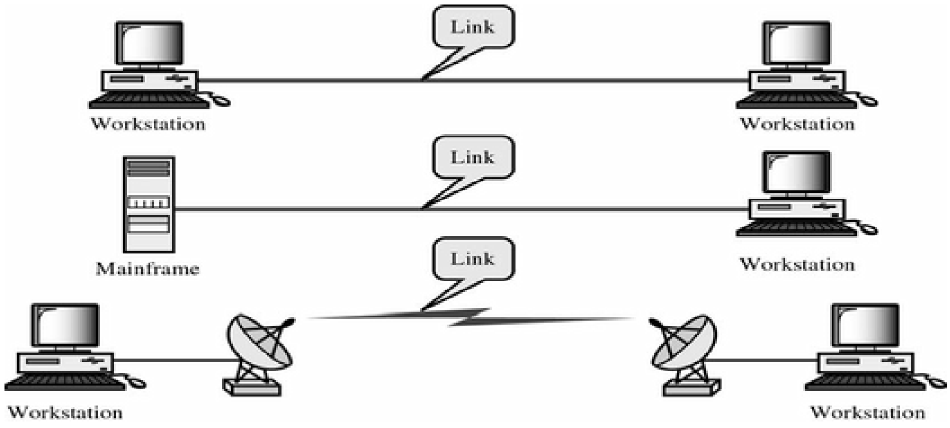
(၁) Message : Message ဆိုသည်မှာ ပေးပို့ရမည့် information သို့မဟုတ် data ဖြစ်သည်။ သို့မဟုတ် ဆက်သွယ်(communicate)ရန် information များ(data များ) ဖြစ်သည်။ Message များသည် အက္ခရာများ(text) ၊ နံပါတ်များ(number) ၊ အသံများ(sound) သို့မဟုတ် ဗီဒီယို(video) များ စသည်ဖြင့် ပုံစံ အမျိုးမျိုး ဖြစ်နိုင်သည်။

(၂) Sender : ပေးပို့သူ(sender) ဆိုသည်မှာ data message ကို ပေးပို့သည့်(send လုပ်သည့်) device ဖြစ်သည်။ Computer ၊ workstation ၊ telephone handset ၊ video camera တို့ဖြစ်သည်။

(၃) Receiver : လက်ခံသူ(receiver)ဆိုသည်မှာ message ကို လက်ခံသည့်(receive လုပ်မည့်) device ဖြစ်သည်။ PC ၊ handset ၊ TV တို့ဖြစ်သည်။

(၄) Medium : Medium ဆိုသည်မှာ(transmission media) ဖြစ်သည်။ ပေးပို့သူ(sender)ဆီမှ message သည် လက်ခံသူ(reciver) ထံသို့ ရောက်သွားအောင် ဆက်သွယ်ထားသည့် Physical path ဖြစ်သည်။ Twisted pair wire ၊ coaxial cable ၊ fiber optic cable ၊ laser ၊ radio wave နှင့် satellite microwave တို့ ဖြစ်သည်။

(၅) Protocol : Protocol ဆိုသည်မှာ data communication ကို ကြီးကြပ်သည့် စည်းမျဉ်းစည်းကမ်းများ(rules) ဖြစ်သည်။ Communicating device များ အချင်းချင်း ထားရှိသည့် သဘောတူညီချက် ဖြစ်သည်။ device အချင်းချင်း နားလည်သည့် ဘာသာစကားဖြစ်သည်။ Protocol မရှိလျှင် device နှစ်ခုကို ချိတ်ဆက်(connect)ရုံသာ လုပ်နိုင်သည်။ ဆက်သွယ်ခြင်း(communication) လုပ်နိုင်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။



ပုံ ၈-၂ Link

၈.၂ Network

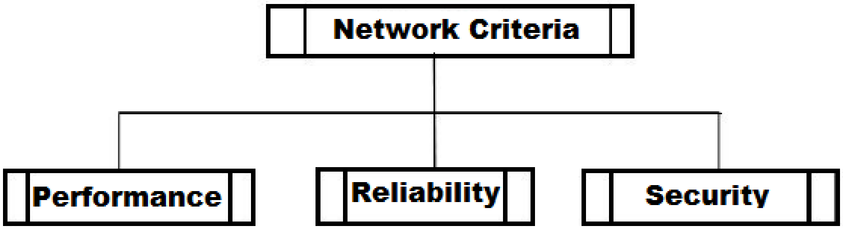
Network ဆိုသည်မှာ media link တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသည့် device များဖြစ်သည်။ တစ်ခါတစ်ရံ ထို device များကို "**Node**" ဟုလည်း ခေါ်သည်။ Data များကို ပေးပို့နိုင်သော(send လုပ်နိုင်သော) စွမ်းရည်၊ လက်ခံနိုင်သည့်(receive လုပ်နိုင်သည့်) စွမ်းရည် ရှိသည့် device များ(node များ)မှာ computer နှင့် printer တို့ ဖြစ်သည်။ ထို device များကို ဆက်သွယ်ထားသည့် connecting link ကို "**Channel**" ဟုခေါ်သည်။

Network များ၏ effective ဖြစ်မှုနှင့် efficient ဖြစ်မှု တို့ကို တိုင်းတာသည့် အချက်များမှာ

(က) စွမ်းဆောင်ရည်(performance)

(ခ) စိတ်ချရမှု(reliability) နှင့်

(ဂ) လုံခြုံရေး(security)တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၃ Network criteria

(၁) စွမ်းဆောင်ရည် (Performance) – Network တစ်ခု၏ performance သည်

(က) **အသုံးပြုသူ အရေအတွက်(number of user) –** အသုံးပြုသူများ(users)အားလုံး တစ်ပြိုင်နက် network ကို အသုံးပြုခြင်းကြောင့် တုံ့ပြန်ချိန်(response time) ပိုကြာစေနိုင်သည်။ နှေးကွေး သွားစေနိုင်သည်။ High traffic အချိန်၌ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကျဆင်းနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် network တစ်ခုတွင် အသုံးပြုသူ(user)များသည့်အချိန်၌လျှင်မြန်စွာတုံ့ပြန်(response)နိုင်လျှင်စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ပိုကောင်းသည်ဟု ဆိုနိုင်သည်။

(ခ) **Type of transmission –** Data များ သွားနှုန်းသည် medium အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ 100 Megabits per second (100 Mbps) နှုန်းဖြင့် သယ်ဆောင်နိုင်သည့် medium သည် 10 Megabits per second (10 Mbps) နှုန်းဖြင့် သယ်ဆောင်နိုင်သည့် medium ထက် (၁၀)ဆခန့်ပို စွမ်းရည်ကောင်းသည်။ Powerful ဖြစ်သည်။

(ဂ) **Hardware –** Transmission လုပ်ရန် ပိုမြန်သည့် ကွန်ပျူတာနှင့် ပိုကြီးမားသည့် storage capacity တို့သည် network performance ကို ပိုကောင်းစေသည်။

(ဃ) **Software -** sender ၊ receiver နှင့် intermediate node တို့၌ data များကို process လုပ်သည့် software များကြောင့် network performance ကောင်းလာနိုင်သည်။

(၂) စိတ်ချရမှု (Reliability)

စိတ်ချရမှု (reliability) ကို အောက်ပါ အချက်များဖြင့် တိုင်းတာသည်။

(က) အသုံးပြု၍ မရသည့် အကြိမ်အရေအတွက်(frequency of failure)

(ခ) ချို့ယွင်းပြီးနောက် ပြန်ကောင်းလာအောင်ပြုလုပ်ရန်ကြာချိန်(recovery time after a network failure)နှင့်

(ဂ) သဘာဝဘေးအန္တရာယ်များ(catastrophe) တို့ ဖြစ်သည်။

Network များကို မီးလောင်ခြင်း၊ ငလျင်လှုပ်ခြင်း စသည့် သဘာဝဘေးအန္တရာယ်များ(catastrophic event) မှ ကြိုတင် ကာကွယ်မှုများ ပြုလုပ်ထားသင့်သည်။

(၃) လုံခြုံရေး (Security)

Unauthorized access ၊ virus စသည် တို့သည် network များ၏ လုံခြုံရေး(security)ကို အန္တရာယ် ပေးနိုင်သည်။ Data များ တစ်နေရာမှ တခြားတစ်နေရာသို့ မည့်ကဲ့သို့ ရောက်ရှိသွားသည်ကို နားလည်ရန် အတွက် communication device များ အပြန်အလှန် ဆက်ဆံပုံ(relationship)ကို နားလည်ရန် လိုသည်။

အခြေခံအားဖြင့် ပုံစံ(၅)မျိုး ရှိသည်။

(က) Line configuration

(ခ) Topology

(ဂ) Transmission mode

(ဃ) Categories of network နှင့်

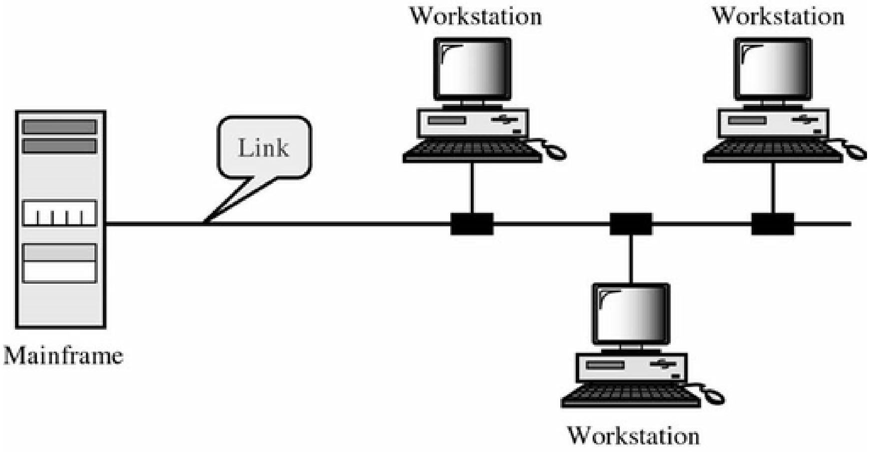
(င) Internet work တို့ ဖြစ်သည်။

Line configuration ဆိုသည်မှာ link တစ်ခုတွင် communicating device များ တွဲ၍ တပ်ဆင် ထားခြင်း (attach လုပ်ထားခြင်း)ကို ဆိုလိုသည်။ Link ဆိုသည်မှာ device တစ်ခုနှင့် တခြား device တစ်ခု အကြားရှိ data transfer လုပ်ရန်အတွက် လိုအပ်သည့် ဆက်သွယ်ရေးလမ်းကြောင်း(physical path) ဖြစ်သည်။

Line configuration နှစ်မျိုးမှာ point to point နှင့် multi point တို့ ဖြစ်သည်။

(က) Point to Point configuration ဆိုသည်မှာ device နှစ်ခုအကြားရှိ သီးသန့် သတ်မှတ် ထားသည့် (dedicated) link ဖြစ်သည်။ Channel တစ်ခုလုံး၏ capacity ကို ထို device နှစ်ခု အတွက်သာ သုံးခွင့် ပေးထားသည်။

(ခ) Multipoint line configuration ဆိုသည်မှာ နှစ်ခုထက်ပိုသည့် device များ link တစ်ခုတည်းကို အတူတကွ အသုံးပြုကြခြင်း ဖြစ်သည်။

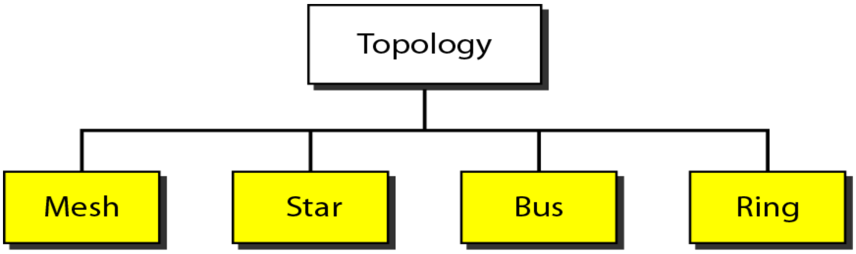


ပုံ ၈-၄ Link

၈.၃ Topology

Topology ဆိုသည်မှာ physical နည်း သို့မဟုတ် logical နည်း ဖြင့် network ဖြစ်အောင် ချိတ်ဆက် (connect) ထားသည့် ပုံစံကို ဆိုလိုသည်။ Device နှစ်ခု သို့မဟုတ် နှစ်ခုထက်များသည့် device များ link တစ်ခု၌ ချိတ်ဆက်ထားသည်။ Link များ စုပေါင်း ချိတ်ဆက်ခြင်းဖြင့် topology ကို ဖြစ်စေသည်။

အခြေခံ topology (၅)မျိုးမှာ Mesh ၊ Star ၊ Tree ၊ Bus နှင့် Ring တို့ဖြစ်သည်။

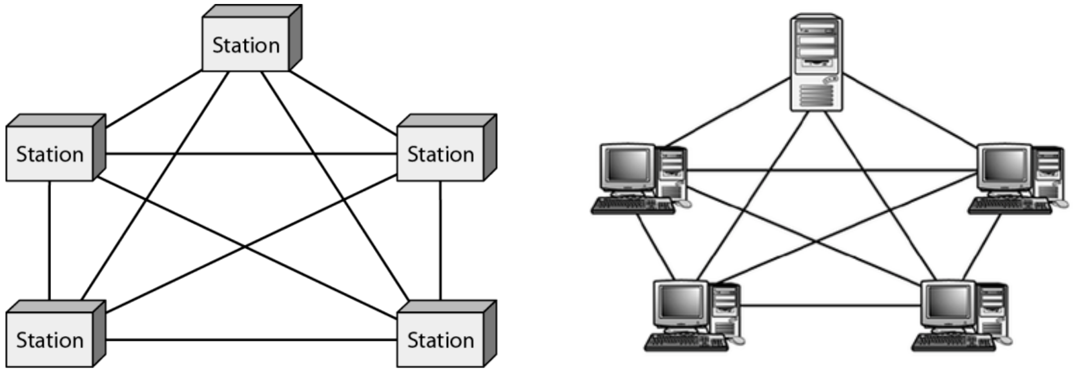


ပုံ ၈-၅ Categories of topology

၈.၃.၁ Mesh topology

Mesh topology တွင် device အားလုံးသည် တခြား device အားလုံးနှင့် ဆက်သွယ်ထားသော သီးသန့် (dedicated) point to point link ရှိကြသည်။ Dedicated ဆိုသည်မှာ device နှစ်ခုတည်းကိုသာ ဆက်သွယ် ထားသော သီးသန့် link ဖြစ်သည်။ Device အရေအတွက် n ရှိသော mesh network တွင် fully connected လုပ်ထားသည့် physical channel အရေအတွက်မှာ $\frac{n(n-1)}{2}$ ဖြစ်သည်။

ထိုသို့ဆက်သွယ်နိုင်ရန်(connect)အတွက် deviceတိုင်းတွင် deviceအရေအတွက်ထက် တစ်ခုလျော့သော (n-1) input/output port များ ပါရှိရမည်။

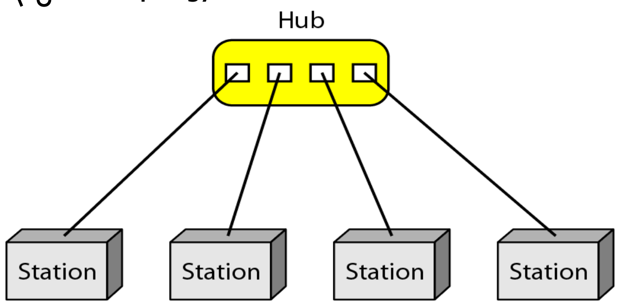


ပုံ ၈-၆ A fully connected mesh topology(five devices)

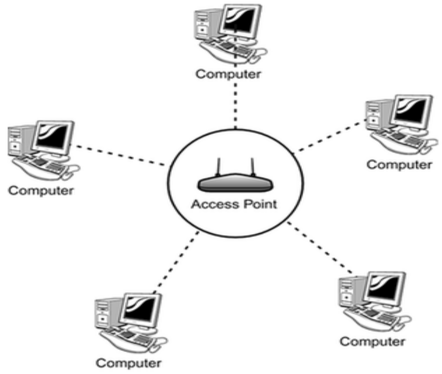
သီးသန့်(dedicated) link များဖြင့် ဆက်သွယ်ထားသောကြောင့် link များသည် device နှင့် သက်ဆိုင်သည့် ကိုယ်ပိုင် ဒေတာ(own data) များကိုသာ သယ်ဆောင်ရန် လိုသည်။ Traffic problem မရှိပေ။ Multi device များတွင် link များကို ခွဲဝေ သုံးစွဲသည့်(share လုပ်သည့်)အခါ traffic problem များ ဖြစ်ပေါ်သည်။ Link တစ်ခု သုံးမရလျှင် network တစ်ခုလုံးကို မထိခိုက်နိုင်ပေ။ Privacy သို့မဟုတ် လုံခြုံမှု(security) ပိုကောင်းသည်။

အမှား(fault)ပေါ်ခဲ့လျှင် အမှားရှာဖွေခြင်းလုပ်ရန်(fault identification) လွယ်ကူသည်။ ဖြစ်ပေါ်နေသည့် ပြဿနာများ ကန့်သတ်တားဆီးခြင်း(fault isolation)ပြုလုပ်ရန်လည်း လွယ်ကူသည်။ အားနည်းချက်မှာ cable များစွာ အသုံးပြုရန် လိုအပ်ပြီး device များ၌ input/output port များစွာ ပါရှိရန် လိုအပ်သည်။

၁.၃.၂ Star Topology



ပုံ ၈-၇ A star topology connecting four stations



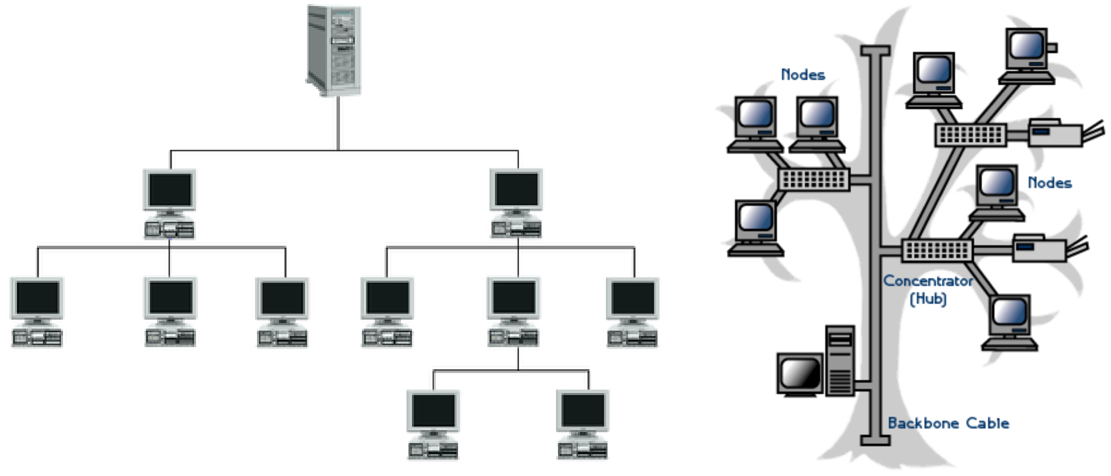
A star topology connecting five stations

Device တိုင်း၌ hub ဟုခေါ်သည့် central controller နှင့် ချိတ်ဆက်(connect) ထားသည့် point to point link ရှိသည်။ Device များသည် အချင်းချင်း ချိတ်ဆက်ထားခြင်း မရှိပေ။ Star တွင် device နှစ်ခုအကြား၌ direct connection မရှိပေ။ Hub သည် exchange အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Device တစ်ခုသည် data ပို့လိုလျှင် hub သို့မဟုတ် controller ဆီသို့ အရင် ပေးပို့ရသည်။ ထို့နောက် hub မှ ရောက်ရမည့် device (destination device) ဆီသို့ ဆက်ပို့ပေးသည်။ Forward လုပ်ပေးသည်။

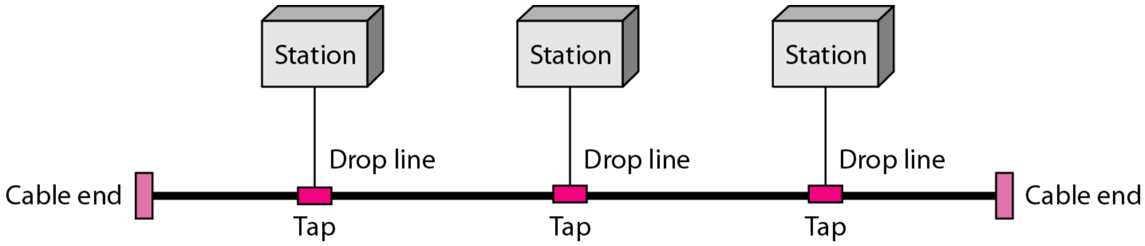
Mesh topology လောက် ဈေးမကြီးပေ။ Device တိုင်း၌ I/O port တစ်ခုစီသာ ရှိရန်လိုသည်။ Link တစ်ခု နှင့်သာ ချိတ်ဆက်(connect လုပ်)သည်။ ထို့ကြောင့် လွယ်ကူစွာ တပ်ဆင်နိုင်သည်။ လွယ်ကူစွာ reconfigure လုပ်နိုင်သည်။ နေရာရွှေ့ခြင်း(move) ပြုလုပ်သည့်အခါ နှင့် device တစ်ခုပျက်သည့်အခါ connection တစ်ခုကိုသာ စစ်ဆေး ပြုပြင်ရသည်။ Robust ဖြစ်သည်။ Link တစ်ခုပျက်လျှင် တခြားသော link များကို မထိခိုက်ပေ။ တခြား link များအားလုံး ပုံမှန် အလုပ်လုပ်နေဆဲ(active ဖြစ်နေမြဲ) ဖြစ်သည်။ ချို့ယွင်းချက်ရှိသည့် နေရာကို သိရန် လွယ်ကူသည်။

အမှားရှာဖွေခြင်းလုပ်ရန်(fault identification)လုပ်ရန် လွယ်သည်။ ချို့ယွင်းချက် ရှိသည့်နေရာကို ကန့်သတ်ရန် လွယ်ကူသည်။ ဖြစ်ပေါ်နေသည့် ပြဿနာများ ကန့်သတ်တားဆီးခြင်း(fault isolation)ပြုလုပ်ရန်လည်း လွယ်ကူသည်။ Hub ကောင်းနေသမျှ ကာလပတ်လုံး link များကို စောင့်ကြည့် နေနိုင်သည်။ Monitor လုပ်နိုင်သည်။ ပျက်သည့် link များကို ရှောင်လွှဲနိုင်သည်။ Bypass လုပ်နိုင်သည်။

Star သည် mesh လောက် cable များများထားရှိရန် မလိုအပ်သော်လည်း tree ring နှင့် bus တို့ထက် ပိုများသည် cable များ ထားရှိရန် လိုသည်။



ပုံ ၈-၈ Tree (Hierarchical) topology



ပုံ ၈-၉ A bus topology connecting three stations

၈.၃.၃ Tree (Hierarchical) topology

Tree topology သည် star topology ကို အနည်းငယ် ပုံပြောင်းထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ပြုပြင်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Tree topology တွင် hub တစ်ခု နှင့် secondary hub များ ပါဝင်သည်။ Device အများစုသည် secondary hub နှင့် ချိတ်ဆက်(connect) ထားသည်။ ထိုမှတစ်ဆင့် central hub နှင့် ချိတ်ဆက်ထား(connect) သည်။ Central hub သည် active hub ဖြစ်သည်။ Active hub ၌ repeater ပါဝင်သည်။ Repeater သည် hardware device တစ်ခု ဖြစ်ပြီး လက်ခံရရှိသည့် data များကို လက်ဆင့်ကမ်း ပေးပို့ခြင်း မပြုလုပ်ခင်(forward မလုပ်ခင်) ရရှိသည့် bit pattern များကို ပြန်တည်ဆောက်(regenerative လုပ်)သည်။ ထို့ကြောင့် signal strength ပိုကောင်းလာကာ ပို၍ ဝေးသည့် နေရာများဆီသို့ data များ ကောင်းစွာ ရောက်ရှိစေနိုင်သည်။

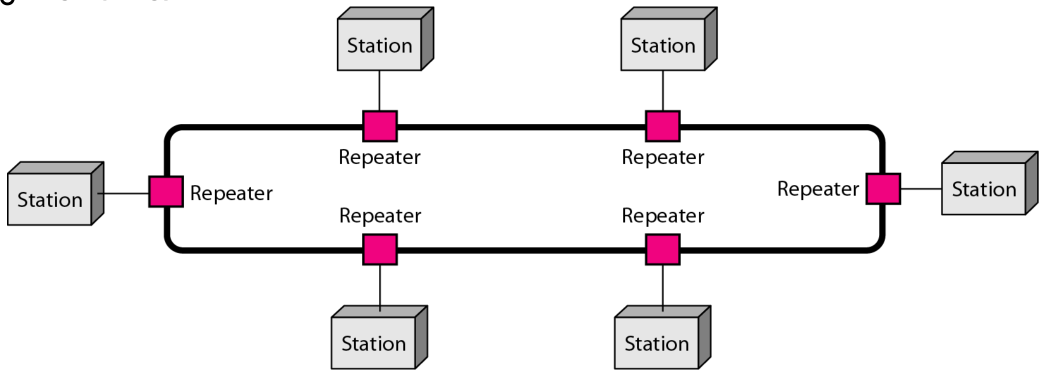
Secondary hub များသည် active hub ဖြစ်နိုင်သလို passive hub လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ Passive hub သည် physical connection မျှသာ ဖြစ်သည်။ Data များကို regenerative လုပ်သည့် repeater မပါဝင်ပေ။ Star ၏ အားသာချက်များနှင့် တူညီသည်။ Secondary hub များ ပါဝင်ခြင်းကြောင့် device အရေအတွက် များများ ချိတ်ဆက်နိုင်သည်။ တခြား computer မှ network ကို isolate လုပ်ခြင်း၊ communication priorities များ ခွဲထားခြင်းတို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Cable TV technology များ၌ star topology ကို တွေ့မြင်နိုင်သည်။ အထက်ပါ topology တို့သည် point to point configuration များ ဖြစ်သည်။

၈.၃.၄ Bus topology

Network အတွင်းရှိ device များ link အဖြစ် ချိတ်ဆက်ရန် bus သည် multi point ဖြစ်သည်။ အရှည်ဆုံး cable သည် backbone ကဲ့သို့ ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Device သို့မဟုတ် node များသည် bus cable ကို drop line နှင့် tap များဖြင့် ချိတ်ဆက်သည်။ Drop line ဆိုသည်မှာ device နှင့် main cable (backbone) နှစ်ခုအကြား ဆက်သွယ်ထားသည့် connection ဖြစ်သည်။ Tap သည် connector တစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ Backbone တစ်လျှောက် သွားနေကြသည့် signal များ၏ အချို့သည် အပူ(heat)အဖြစ်သို့ ပြောင်းသွားသည်။ ထို့ကြောင့် ပိုဝေးဝေး သွားရလေ signal strength အားနည်းသွားလေ ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် bus ပေါ်တွင် ရှိရမည့် tap အရေအတွက်ကို ကန့်သတ်ထားရန် လိုသည်။

အားသာချက်များမှာ တပ်ဆင်ရန် လွယ်ကူသည်။ Bus topology တွင် cable များစွာ အသုံးပြုရန် မလိုပေ။

၈.၃.၅ Ring topology



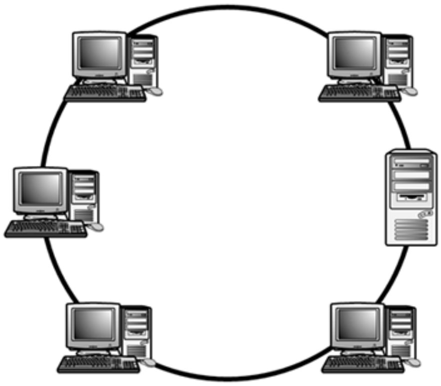
ပုံ ၈-၁၀ A ring topology connecting six stations

Reconfiguration လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ ချို့ယွင်းချက် ရှိသည့်နေရာကို သိရန် ခက်ခဲသည်။ Fault isolation လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ Device အသစ်ထပ်ထည့်ရန် ခက်ခဲသည်။ Signal reflection ကြောင့် signal အရည်အသွေး (quality) ကျဆင်းသည်။ Fault သို့မဟုတ် cable ပြတ်တောက်(break)ခြင်းကြောင့် transmission များအားလုံး ရပ်သွားနိုင်သည်။ ထိခိုက်သည့်နေရာမှ signal များ ပဲ့တင်သံကဲ့သို့ ပြန်ရိုက်ခတ်ခြင်းကြောင့် (reflection ဖြစ်ခြင်းကြောင့်) သို့မဟုတ် reflect ဖြစ်ပြီး မူလ(original) နေရာသို့ ပြန်သွားကာ direction နှစ်ဘက်လုံး၌ noise များ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် နှစ်ဘက်စလုံး သုံးမရ နိုင်တော့ပေ။။

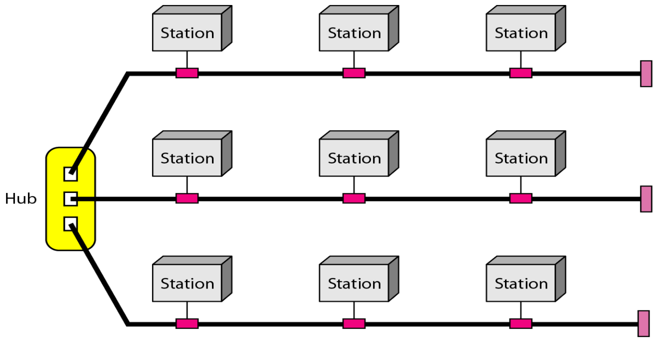
Ring topology ၌ ပါဝင်သော device အားလုံးတွင် ကပ်လျက်ရှိသော device နှစ်ခု အတွက်သာ dedicated point to point line configuration ရှိသည်။ Signal သည် သတ်မှတ်ထားသည့် ဦးတည်ရာ(direction) အတိုင်း device တစ်ခုပြီးတစ်ခု ဖြတ်ကာ နောက်ဆုံး အလိုရှိသည့် နေရာ (destination)သို့ ရောက်ရှိသွားသည်။ Device များ အားလုံးသည် repeater ကဲ့သို့ ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Device တစ်ခုသည် တခြား device တစ်ခုအတွက် signal ကို လက်ခံ ရရှိပြီးသည့်အခါ regenerate လုပ်ပြီး ဆက်လက် ပေးပို့သည်။

တပ်ဆင်ရန်နှင့် reconfigure လုပ်ရန် လွယ်ကူသည်။ Device များ ထပ်ထည့်ရန် သို့မဟုတ် ဖယ်ထုတ်ရန် အတွက် connection နှစ်ခုကိုသာ ပြောင်းပေးရန် လိုအပ်သည်။ Ring တွင် အသုံးပြုမည့် cable အရှည်ကို ကန့်သတ်ထားရန် လိုသည်။ Ring တွင် တပ်ဆင်ထားမည့် device အရေအတွက် ကန့်သတ်ချက် ရှိသည်။ ချို့ယွင်းသည့် နေရာကို ကန့်သတ်ခြင်း(fault isolation) ပြုလုပ်ရန် ရှင်းလင်း လွယ်ကူသည်။ Ring ဖြစ်သောကြောင့် signal များသည် ring တစ်လျှောက် အမြဲလိုလို လည်ပတ်နေသည်။

Device တစ်ခုသည် သတ်မှတ်ထားသည့် အချိန်အတွင်း မည်သည့် signal ကိုမျှ မရရှိလျှင် alarm ထုတ်ပေးသည်။ Alarm ကြောင့် network operator သည် network အတွင်း၌ မည်သည့်နေရာ၌ ပြဿနာ (problem) ဖြစ်နေကြောင်း နှင့် မည်ကဲ့သို့သော ပြဿနာဖြစ်နေကြောင်း သိနိုင်သည်။



ပုံ ၈-၁၁ Ring topology connecting

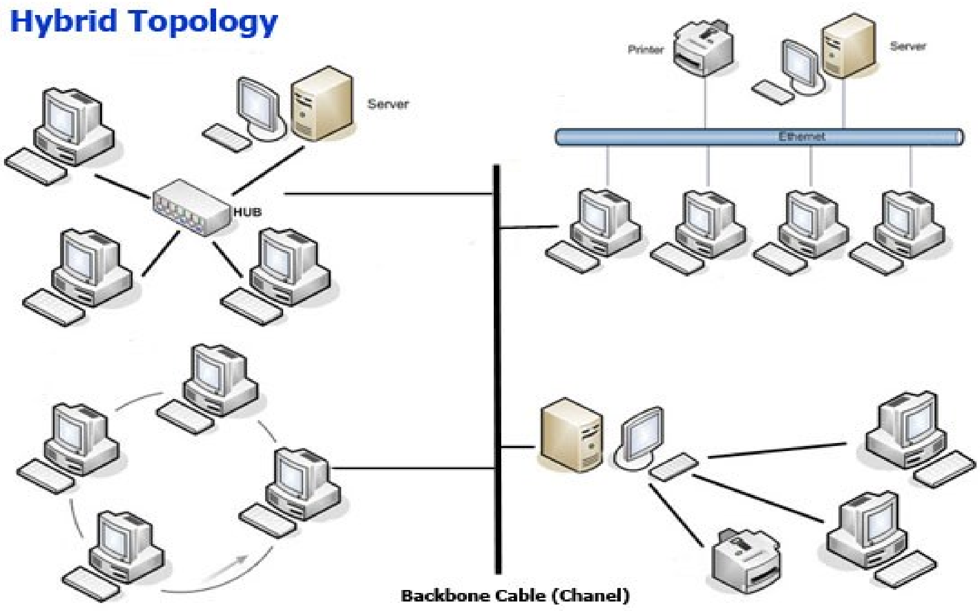


ပုံ ၈-၁၂ Hybrid topology: a star backbone with three bus

Unidirectional traffic ဖြစ်သောကြောင့် အားနည်းချက်များစွာ ရှိသည်။ Ring ၌ ပျက်တောက်(break) ခြင်းကြောင့် network တစ်ခုလုံး down သွားလိမ့်မည်။ Station တစ်ခုပျက်ခြင်းကြောင့်လည်း network တစ်ခုလုံး ထိခိုက်နိုင်သည်။ ထိုပြဿနာကို Dual Ring (ring နှစ်ခုထားရှိခြင်း)ဖြင့် ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ ပြတ်တောက်(break)ခြင်း ဖြစ်ခဲ့သော် ဖြစ်သည့်(break)နေရာ၌ switch ထားရှိခြင်းဖြင့် ဖြေရှင်းနိုင်သည်။

၈.၃.၆ Hybrid Topologies

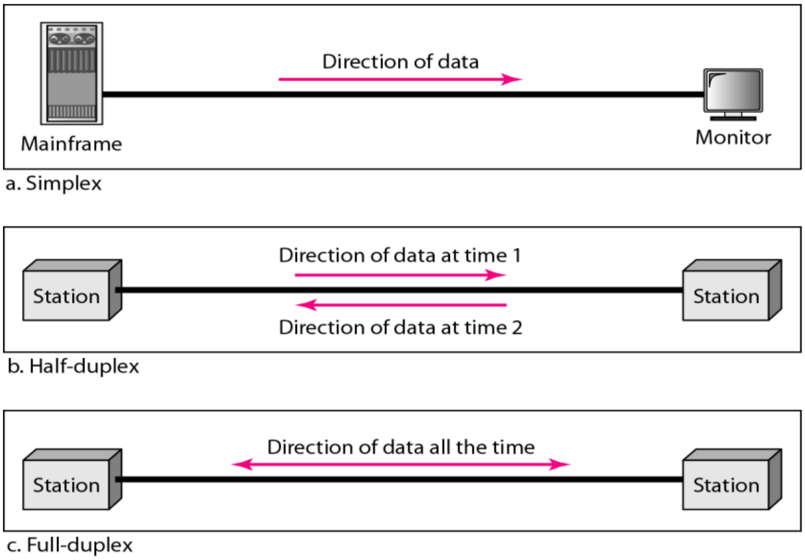
Network အကြီးတစ်ခုကို topology မတူသော network ငယ်(subnetwork) များစွာဖြင့် တည်ဆောက်ထားနိုင်သည်။ ဌာန(department)တစ်ခုသည် bus topology ကို အသုံးပြုပြီး၊ တခြားဌာန(department) တစ်ခုသည် ring topology သို့မဟုတ် star topology ကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ထို network အားလုံးကို central controller ဖြင့် ချိတ်ဆက်ကာ star network အကြီးအဖြစ် တည်ဆောက် နိုင်သည်။



ပုံ ၈-၁၃ Hybrid topology

၈.၄ Transmission Mode

Link လုပ်ထားသည့် device နှစ်ခုတို့ ၏ signal များ သွားသည့် လမ်းကြောင်း(flow ဖြစ်သည့် direction) ကို သတ်မှတ်ရန်အတွက် "**Transmission Mode**" ကို အသုံးပြုသည်။ Transmission mode ဆိုသည်မှာ device များ အကြားတွင် သတင်းအချက်အလက်များသွားရာ ဦးတည်ရာ(information flow direction)ကို ဆိုလိုသည်။



ပုံ ၈-၁၄ Simplex ၊ Half-duplex နှင့် Full-duplex

Transmission mode သုံးမျိုးမှာ

(၁) Simplex
(၂) Half-duplex နှင့်
(၃) Full-duplex တို့ဖြစ်သည်။

၈.၄.၁ Simplex

Simplex mode သည် unidirectional ဖြစ်သည်။ Link နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည့် device နှစ်ခုအနက် တစ်ခုသည် အမြဲတမ်း ထုတ်လွှင့်(transmit)နေပြီး တခြားတစ်ခုမှာ အမြဲတမ်းလက်ခံ(receive)နေသည်။ တစ်လမ်းမောင်း လမ်းနှင့်တူသည်။ တစ်ဖက်တည်းသာ သွားနိုင်သည် လမ်းပြောင်းပြန် မသွားရ။ Keyboard နှင့် Monitor တို့သည် simplex device များဖြစ်သည်။ Keyboard သည် အမြဲတမ်း computer ဆီသို့ input သာထုတ် ပေးနေပြီး၊ monitor သည် အမြဲတမ်း CPU မှ data ကို display လုပ်ရန် လက်ခံယူနေသည်။

၈.၄.၂ Half Duplex

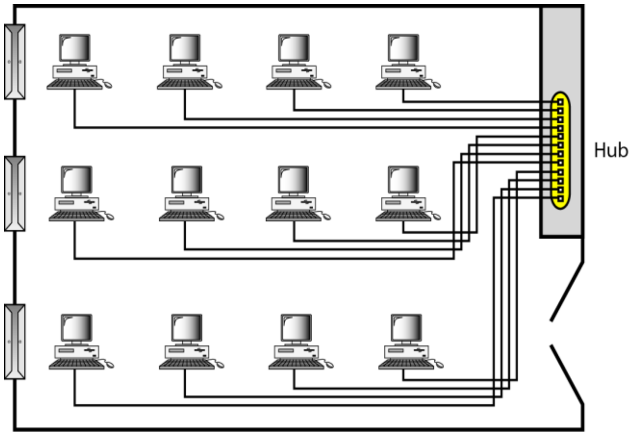
Half Duplex transmission mode တွင် ပါရှိသည့် device နှစ်ခုလုံးသည် ထုတ်လွှင့်(transmit) နိုင်သည်။ လက်ခံ(receive) နိုင်သည်။ သို့သော် တစ်ချိန်တည်း ပြိုင်တူ အလုပ်မလုပ်နိုင်ပေ။ Device တစ်ခုက data ပေးပို့နေချိန်(sending)၌ တခြား device တစ်ခုသည် လက်ခံခြင်း(receiving)သာ လုပ်နိုင်သည်။

ကားတစ်စီးစာသာ ကျယ်သည့် လမ်းမျိုးဖြစ်ပြီး နှစ်ဘက်စလုံးမောင်းနိုင်သည့် လမ်းမျိုး ဖြစ်သည်။ သို့သော် တစ်ချိန်တွင် တစ်ဘက်ဘက်သို့သာ သွားနေနိုင်သည်။ Channel ၏ capacity တစ်ခုလုံးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Walkies-talkies စက်များသည် Half-duplex system ဖြစ်သည်။

၈.၄.၃ Full Duplex

Full Duplex သည် လမ်းနှစ်လမ်းပါပြီး နှစ်ဘက်စလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် အသွားအပြန် မောင်းနိုင်သည့်လမ်းနှင့်တူသည်။ Full duplex mode တွင် signal သည် တစ်ဖက်ဖက်သို့ အပြန်အလှန် တစ်ပြိုင်နက် သွားနေနိုင်သည်။ Telephone network သည် Full duplex communication ဖြစ်သည်။

အသွားနှင့် အပြန် တစ်ပြိုင်နက် ပြုလုပ်ရန်အတွက် link ကို ခွဲဝေ သုံးစွဲရန် လိုသည်။ အသွားအတွက် cable တစ်ခုနှင့် အပြန်အတွက် cable တစ်ခုထားပေးခြင်း သို့မဟုတ် channel capacity ကို ခွဲထားပေးခြင်းတို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။



ပုံ ၈-၁၅ Hub ဖြစ်တည်ဆောက်ထားသည့် network

၈.၅ Network အမျိုးအစားများ (Categories of Network)

အရွယ်အစား(size)၊ ပိုင်ဆိုင်သူများ(ownership)၊ ဖြန့်ကျက်(cover)ထားသည့် ဧရိယာအကျယ်နှင့် physical architecture တို့ပေါ်တွင် မူတည်၍ network များကို အမျိုးအစားခွဲခြား သတ်မှတ်ကြသည်။ Network ကို အဓိက အားဖြင့် သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(က) Local Area Network (LAN)
(ခ) Metropolitan Area Network (MAN) နှင့်
(ဂ) Wide Area Network (WAN) တို့ ဖြစ်သည်။

၈.၅.၁ Local Area Network (LAN)

LAN ကို မိသားစု သို့မဟုတ် အဖွဲ့အစည်းတစ်ခုက ပိုင်ဆိုင်သည်။ ရုံးခန်းအတွင်း device များ အချင်းချင်း network ချိတ်ထားခြင်း၊ အဆောက်အဦ တစ်ခုအတွင်းရှိ device များ အချင်းချင်း network ချိတ်ထားခြင်းမျိုး ဖြစ်သည်။ အဖွဲ့အစည်း(organization)၏ လိုအပ်ချက်နှင့် သုံးထားသည့် နည်းပညာ (technology) အပေါ်တွင် မူတည်၍ PC နှစ်လုံးနှင့် printer သာ ပါဝင်သည့် ရုံးခန်းငယ်(home office)လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ LAN သည် ကီလိုမီတာ အနည်းငယ် အကွာအဝေးထိ ဖြန့်ကျက်(cover)ထားနိုင်သည်။

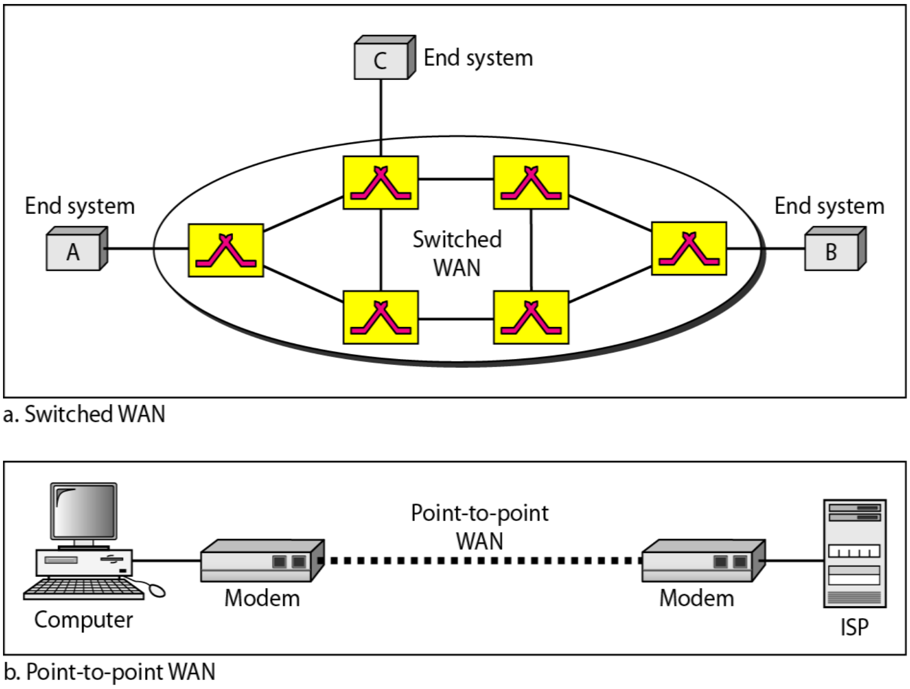
LAN သည် Personal Computer(PC) သို့မဟုတ် work station များ၊ printer ၊ scanner စသည့် တို့ကို အတူတကွ သုံးစွဲရန်(share လုပ်ရန်)အတွက် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားခြင်းဖြစ်သည်။ ဥပမာ- printer တစ်ခုကို PC များအားလုံး ချိတ်ဆက် အသုံးပြုနိုင်ခြင်း၊ LAN များ၏ topology များမှာ bus ၊ ring နှင့် star တို့ဖြစ်သည်။ LAN များ၏ data rate သည် 4Mbps မှ 16Mbps အထိ ဖြစ်သည်။ သို့သော် ယနေ့အခါ 100 Mbps အထိ များလာသည်။

၈.၅.၂ Metropolitan Area Network (MAN)

MAN သည် မြို့တစ်ခုလုံးရှိ device များပါဝင်သည့် network ဖြစ်နိုင်သည်။ ဥပမာ television network ၊ company တစ်ခုမှ မြို့နယ်တိုင်းတွင် ရှိသည့် LAN များကို ချိတ်ထားသည့် MAN ဖြစ်နိုင်သည်။ Telephone network သည် MAN ဖြစ်သည်။

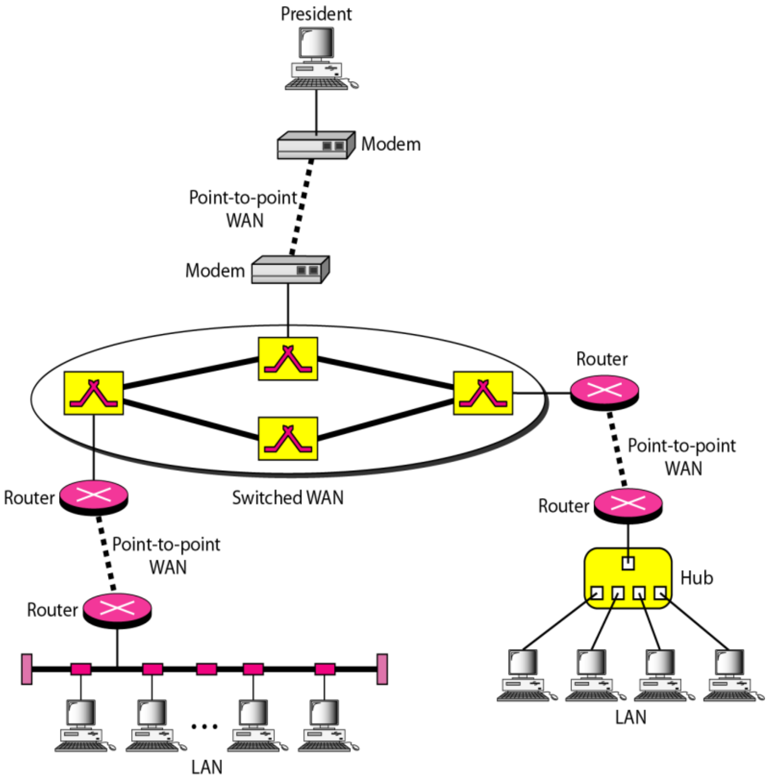
> The IEEE 802-2002 standard describes a MAN as being:
>
> "A MAN is optimized for a larger geographical area than a LAN, ranging from several blocks of buildings to entire cities. MANs can also depend on communications channels of moderate-to-high data rates. A MAN might be owned and operated by a single organization, but it usually will be used by many individuals and organizations. MANs might also be owned and operated as public utilities. They will often provide means for inter networking of local networks."

၈.၅.၃ Wide Area Network (WAN)



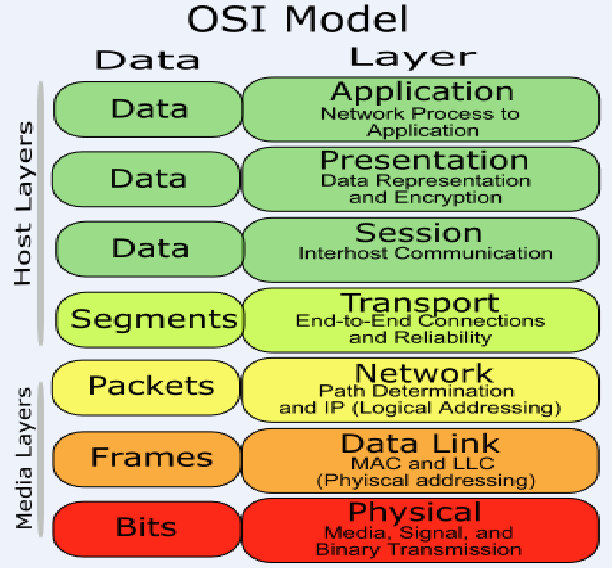
ပုံ ၈-၁၆ (a) Switched WAN နှင့် (b) Point-to-point WAN

Wide Area Network (WAN) သည် နိုင်ငံများ၊ တိုက်ကြီးများကို ကျော်ဖြတ်နိုင်သည့် long distance transmission စွမ်းရည်ရှိသည့် network ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၁၇ Switched WAN နှင့် Point-to-point WAN တို့ဖြင့်တည်ဆောက်ထားသည့် network

၈.၆ OSI Model



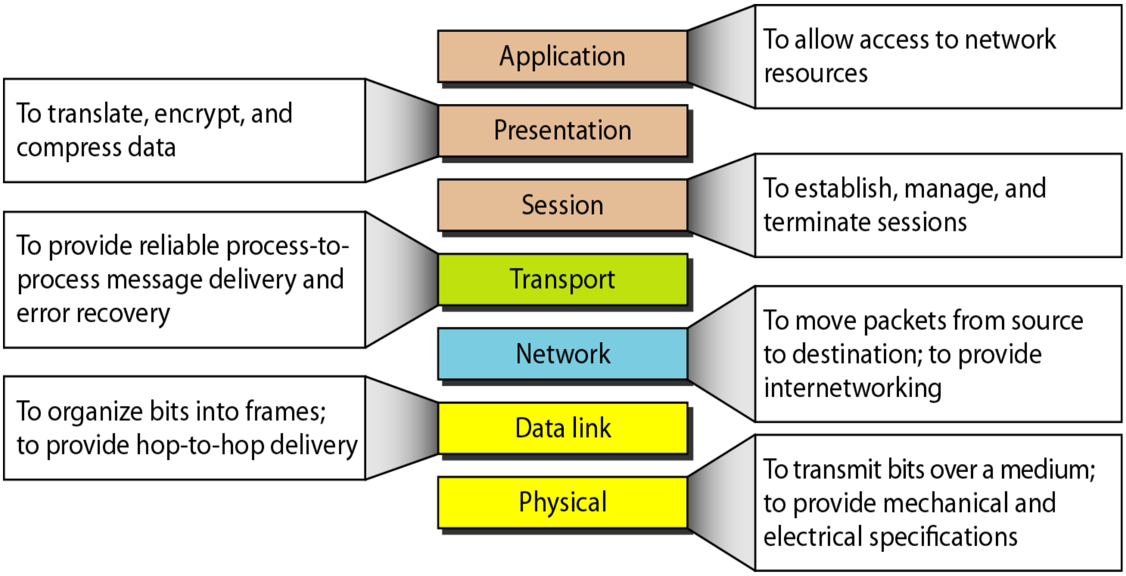
ပုံ ၈-၁၈ OSI (Open System Interconnection) model

International Standard Organization (ISO)ကတစ်ကမ္ဘာလုံးလက်ခံသည့်network communication model တစ်ခုကို ၁၉၄၇ တွင် တီထွင်ပြဌာန်းခဲ့သည်။ ထို modelသည် Open System Interconnection (OSI) model ဖြစ်သည်။

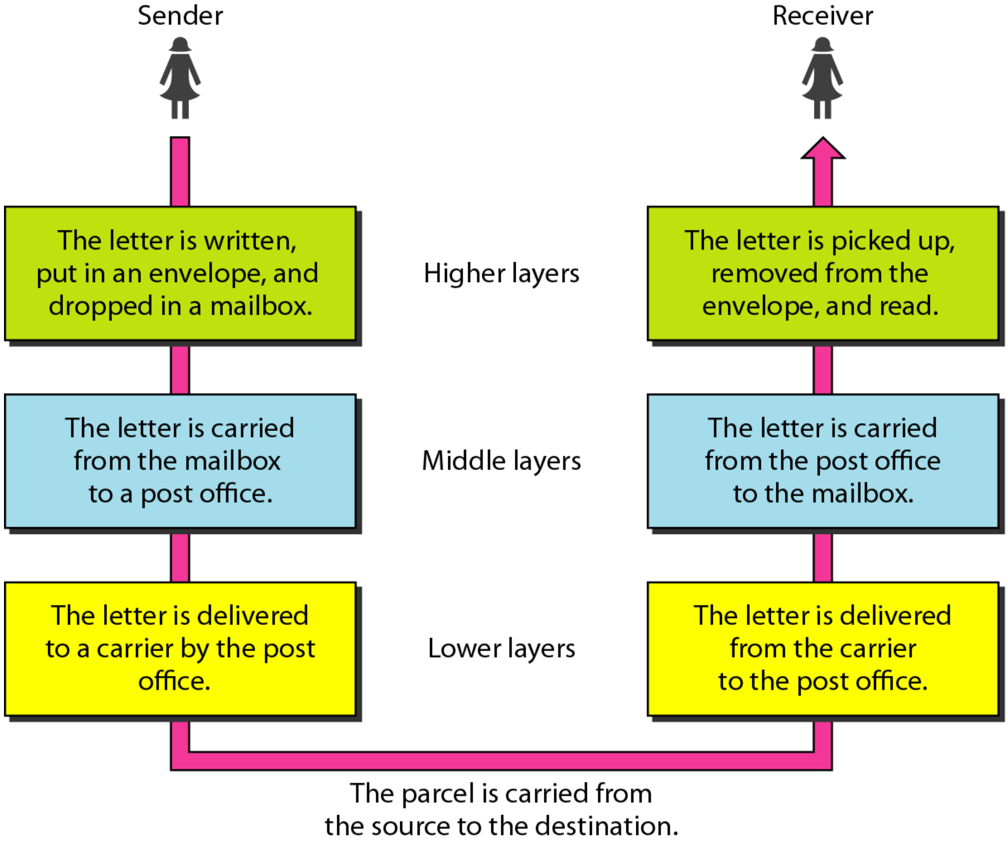
OSI model သည် layer (၇)မျိုး အစီအစဉ်တကျ ပါဝင်သည့် Seven Ordered Layer model ဖြစ်သည်။ Device A မှ ပေးပို့သည့် message တစ်ခုသည် device B သို့ ရောက်ရန်အတွက် intermediate mode များကို ဖြတ်သန်းရသည်။

ထို intermediate mode များတွင် Layer 1 ၊ Layer 2 နှင့် Layer 3 အထိသာ ပါဝင်သည်။
Layer 2 သည် Layer 3 ကို service provide လုပ်ပေးသည်။
Layer 3 သည် Layer 4 ကို service provide လုပ်ပေးသည်။

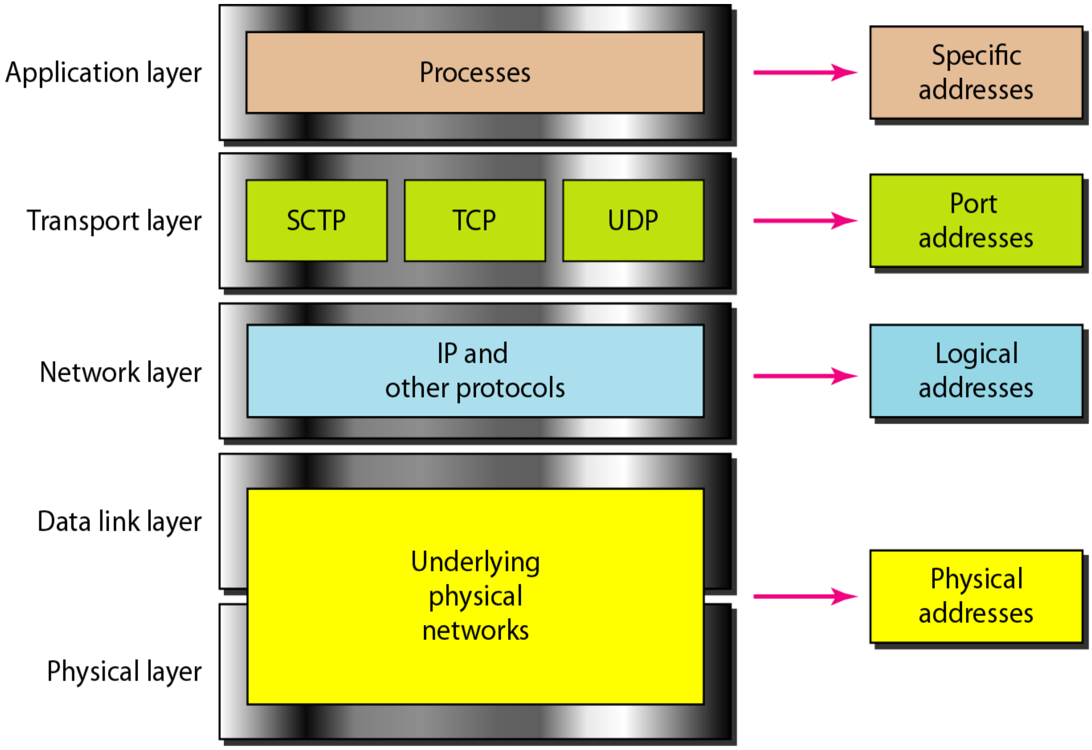
Machine တစ်ခု၏ Layer 3 သည် တခြား machine တစ်ခုမှ Layer 3 နှင့် communicate လုပ်သည်။ ထိုသို့ communication လုပ်ရန် နားလည်မှုယူထားသည့်(သဘောတူပြီးသား) စည်းကမ်းချက်များကို "**protocol**" ဟု ခေါ်သည်။ ထိုသို့ Layer များဖြင့် machine နှစ်ခု communicate လုပ်သည့် process ကို Peer-to-Peer process ဟု ခေါ်သည်။



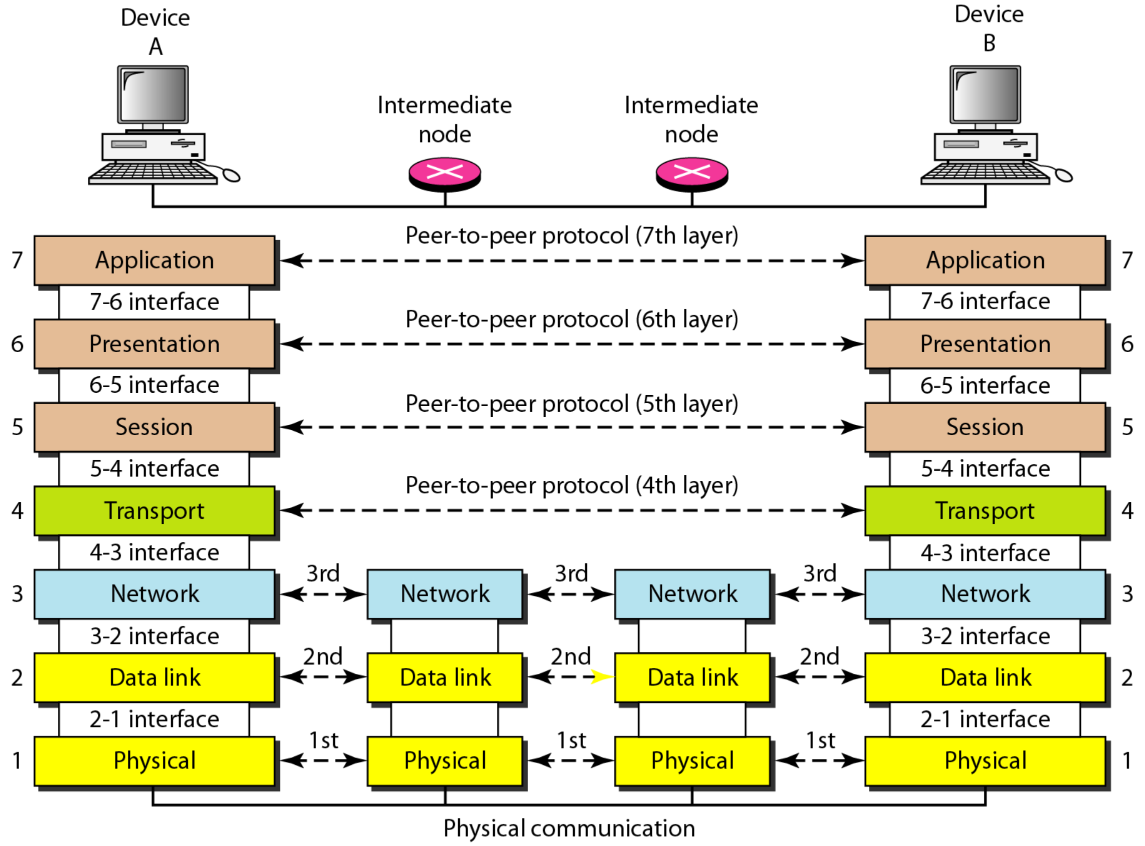
ပုံ ၈-၂၀ Layer (၇)မျိုး ပါရှိသည့် OSI (Open System Interconnection) model


Sender
Receiver
The letter is written, put in an envelope, and dropped in a mailbox.
Higher layers
The letter is picked up, removed from the envelope, and read.
The letter is carried from the mailbox to a post office.
Middle layers
The letter is carried from the post office to the mailbox.
The letter is delivered to a carrier by the post office.
Lower layers
The letter is delivered from the carrier to the post office.
The parcel is carried from the source to the destination.

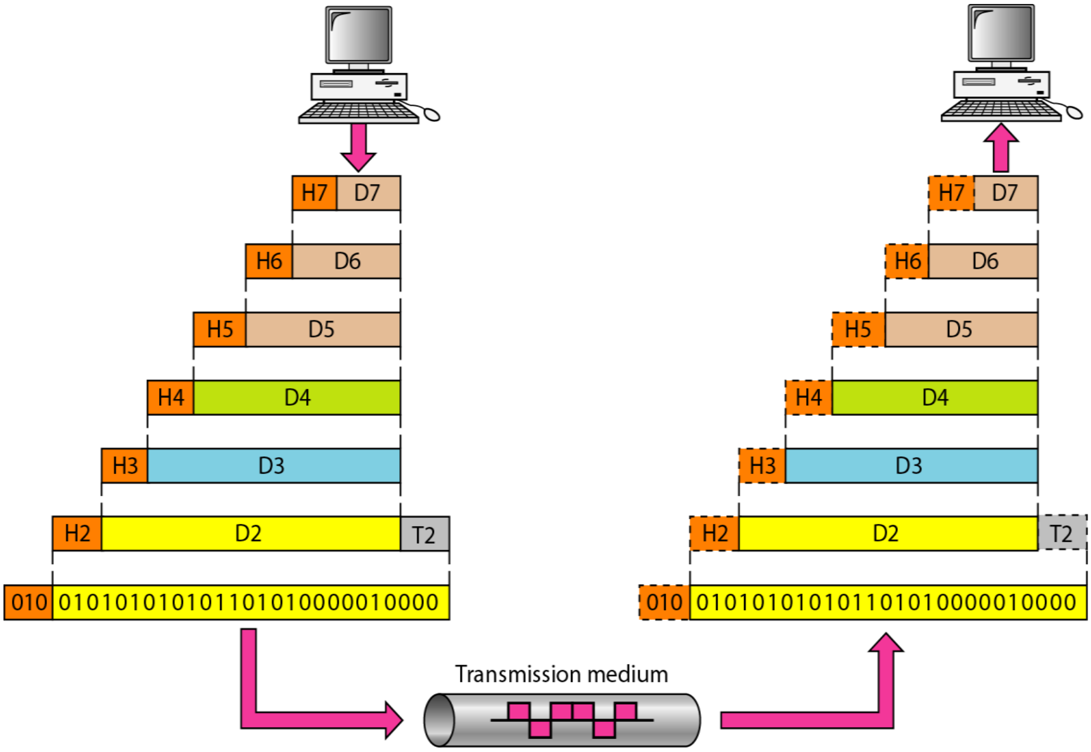
ပုံ ၈-၁၉


Application layer
Processes
Specific addresses
Transport layer
SCTP
TCP
UDP
Port addresses
Network layer
IP and other protocols
Logical addresses
Data link layer
Physical layer
Underlying physical networks
Physical addresses

ပုံ ၈-၂၁



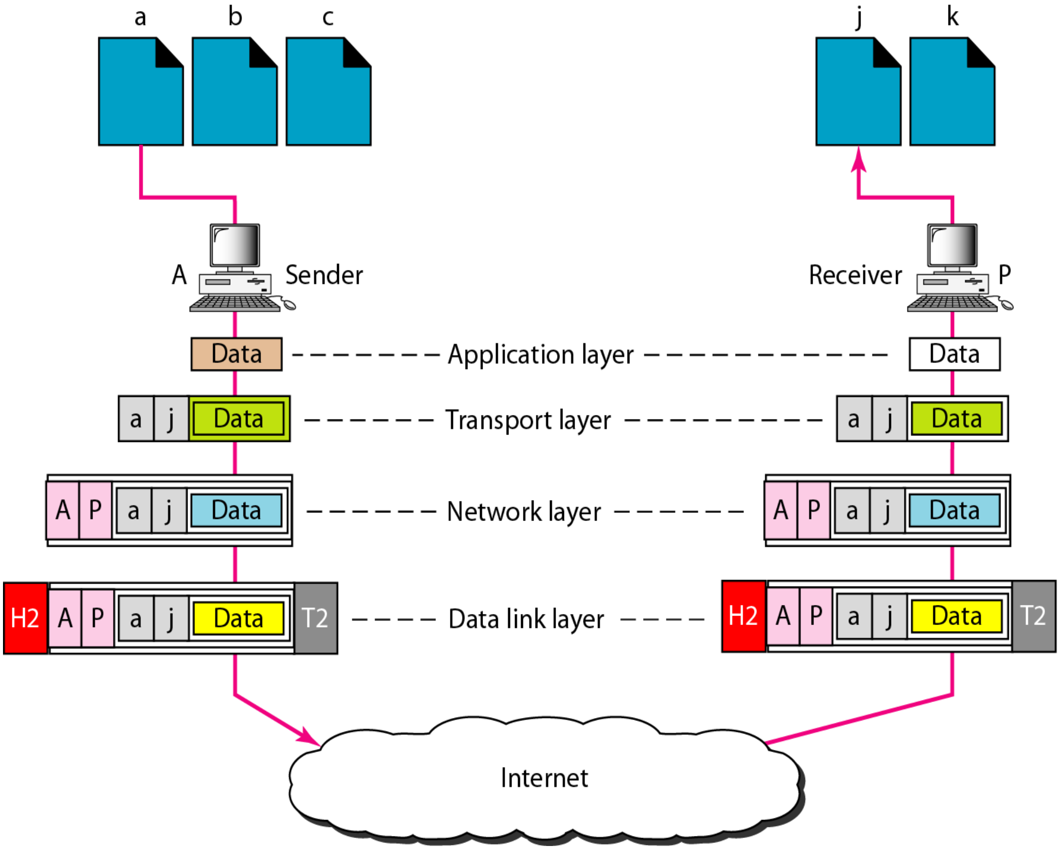
ပုံ ၈-၂၂ OSI layers



ပုံ ၈-၂၃ An exchange using the OSI model

Machine A မှ ပေးပို့(send) လိုသည့် original message သည် Layer 7 မှ စတင် အလုပ်လုပ်သည်။ Layer 7 မှ message သည် Layer 6 သို့ ရောက်သည့်အခါတွင် original message အပြင် Layer 6 က ထည့်ပေးသည့် message ပါ ပါဝင်သည်။ Layer 5 သည် Layer 6 မှ message လက်ခံယူက Header 5 ထပ်ထည့်သည်။ Layer 6 ၊ Layer 5 ၊ Layer 4 ၊ Layer 3 နှင့် Layer 2 တို့သည် Header များ ထပ်ထည့်ကြသည်။ Layer 2 ၌ Trailer ကို ထည့်သည်။

Machine A မှ message သည် Layer 7 မှ အဆင့်ဆင့် ဆင်းကာ Layer 1 သို့ ရောက်သည်။ ထို့နောက် ဆက်ထားသည့်ကြိုး သို့မဟုတ် transmission medium မှတစ်ဆင့် machine B သို့ရောက်သည်။ Machine B ၏ Layer များ အဆင့်ဆင့် တက်ကာ Layer 7 တွင် original message အဖြစ်သို့ ရောက်သည်။ Layer များ သည် လက်ခံ ရရှိသည့် message ထဲသို့ သူတို့ ၏ own message ကို ထည့်သည်။



ပုံ ၈-၂၄ Internet connection

Interface between Layer

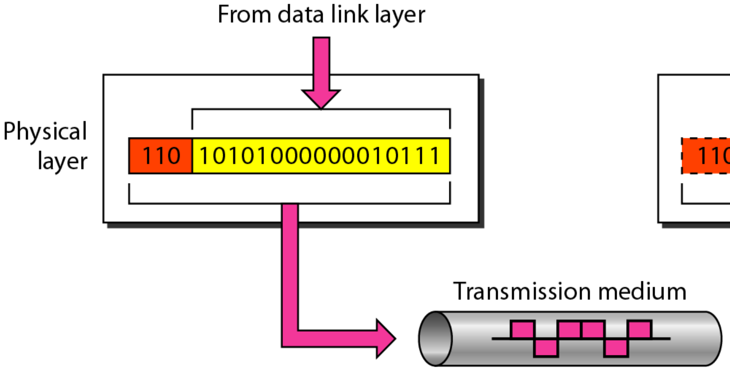
Layer နှစ်ခုအကြားတွင် ကြားနေရာ(interface) တစ်ခု ရှိသည်။

၈.၆.၁ Organization of Layer

Layer 1 (Physical Layer)၊ Layer 2 (Datalink Layer)၊ Layer 3 (Network Layer) တို့သည် "**network support layer**" များ ဖြစ်သည်။ Device တစ်ခုမှ data များ တခြား device သို့ရောက်ရန် အတွက် electrical specification ၊ physical connection ၊ physical addressing နှင့် transport timing စသည့် အလုပ်များကို လုပ်ဆောင်ပေးသည်။Layer 5 (Session Layer)၊ Layer 6 (Presentation Layer)၊ Layer 7 (Application Layer) စသည် တို့သည် "**user support layer**" များ ဖြစ်ကြသည်။ Layer 4 (Transport Layer)သည် data များ transmission လုပ်ရန် တာဝန်ယူရသည်။

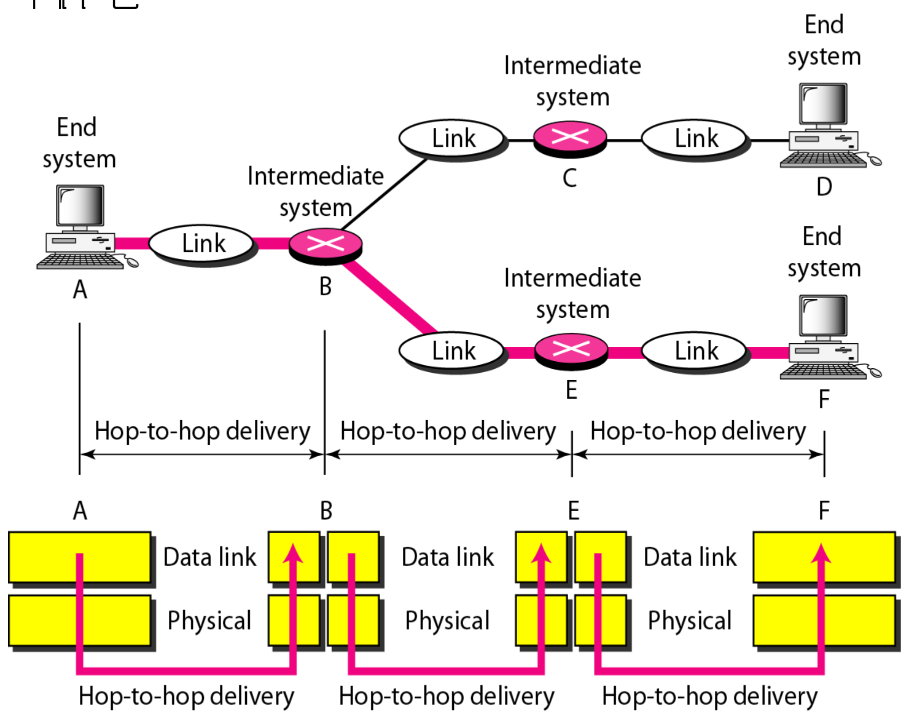
OSI model ၏ Layer အထက်ပိုင်း Layer 5 ၊ Layer 6 နှင့် Layer 7 တို့ကို software ဖြင့် ပြုလုပ်ပြီး၊ (သက်ဆိုင်ပြီး) low level layer ဖြစ်သော Layer 1 ၊ Layer 2 ၊ Layer 3 တို့သည် hardware ဖြင့် သက်ဆိုင်သည်။

၈.၆.၂ Physical Layer (Layer 1)



ပုံ ၈-၂၅

Physical layer သည် node တစ်ခုမှ bit များ တခြား node တစ်ခုသို့ ရောက်သွားအောင် ဆောင်ရွက်ပေး ရသည်။ တာဝန်ယူရသည်။



ပုံ ၈-၂၆

Physical Layer မှ ဆောင်ရွက်ပေးသည့် လုပ်ငန်းများမှာ

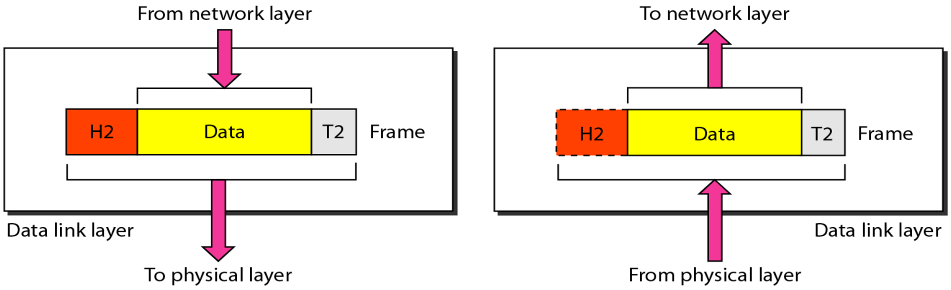
(က) Physical characteristic of interface and media
(ခ) Representation of bit
(ဂ) Data rate
(ဃ) Synchronization of bits
(င) Line configuration
(စ) Physical topology နှင့်
(ဆ) Transmission mode တို့ ဖြစ်သည်။

၈.၆.၃ Data Link Layer (Layer 2)

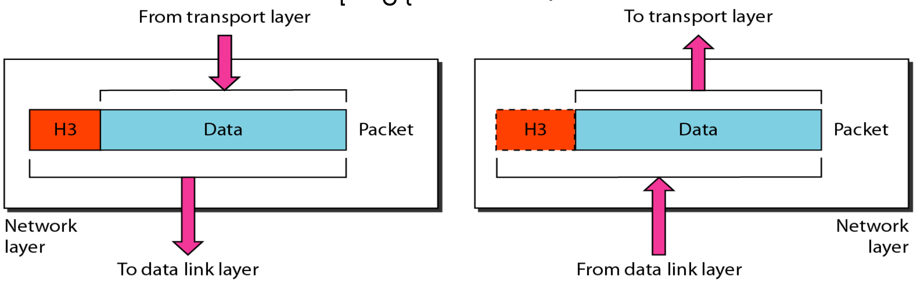
Data link layer သည် node တစ်ခုမှ frame များ တခြား node တစ်ခုဆီသို့ ရောက်အောင် သို့မဟုတ် ရွှေ့လျားသွားအောင် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ တာဝန်ယူရသည်။

Data link layer မှ ဆောင်ရွက်ပေးသည့် လုပ်ငန်းများမှာ

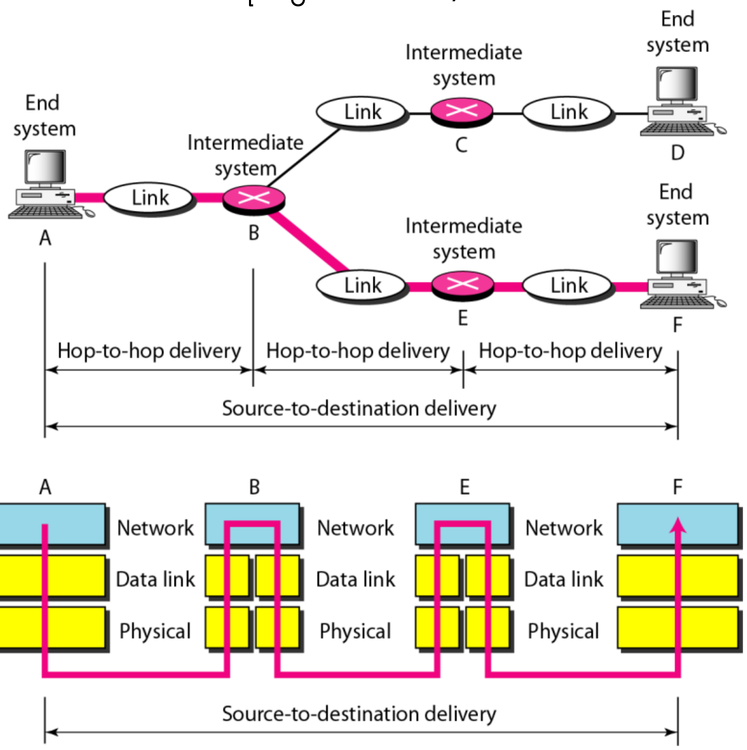
(က) Framing
(ခ) Physical addressing
(ဂ) Flow control
(ဃ) Error control နှင့်
(င) Access control တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၂၇ Data link layer



ပုံ ၈-၂၈ Network layer



ပုံ ၈-၂၉ Source-to-destination delivery

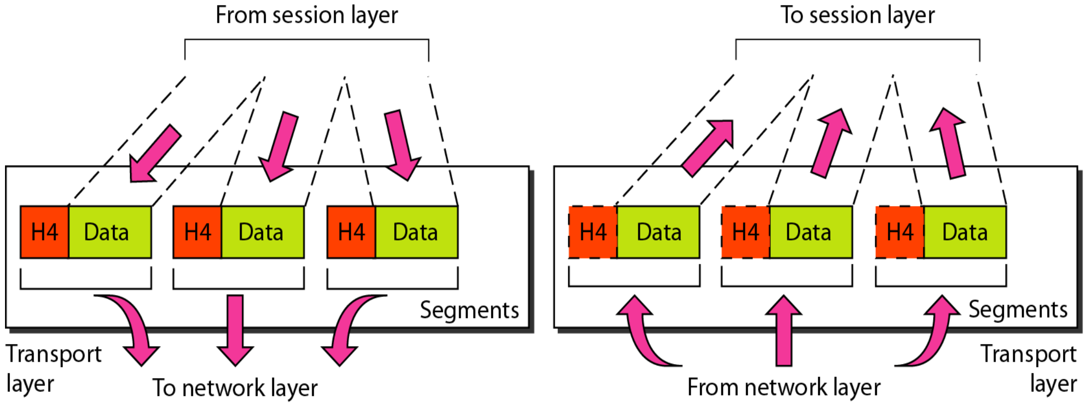
၈.၆.၄ Network Layer (Layer 3)

Network layer သည် ပေးပို့သူ(source host) ထံမှ data packet ကလေးများ တစ်ခုချင်းစီကို destination လက်ခံသူ(host) ထံသို့ ရောက်အောင် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ တာဝန်ယူသည်။

Network Layer မှ ဆောင်ရွက်ပေးသည့် လုပ်ငန်းများမှာ

(က) Logical Addressing နှင့်
(ခ) Routing တို့ဖြစ်သည်။

Source-to-destination delivery



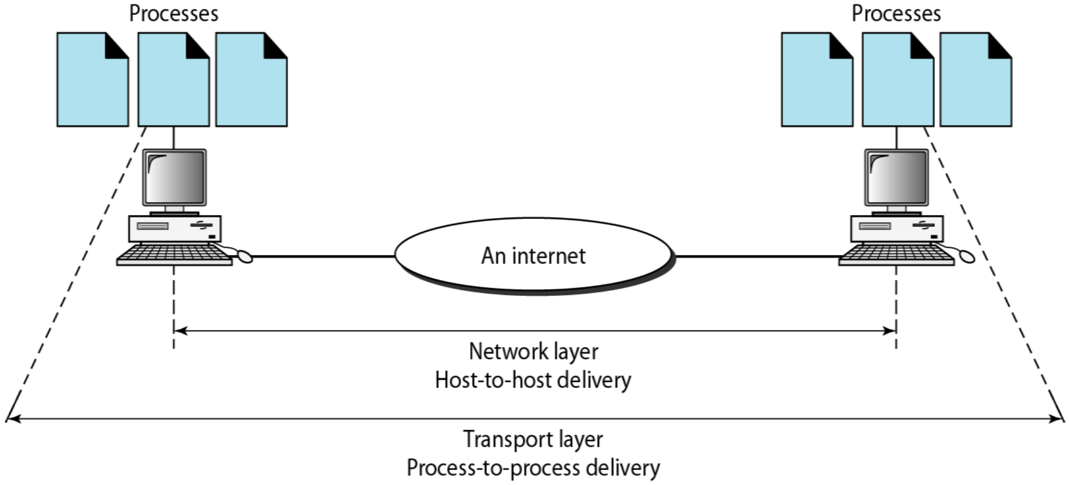
ပုံ ၈-၃၀ Source-to-destination delivery

၈.၆.၅ Transport Layer (Layer 4)

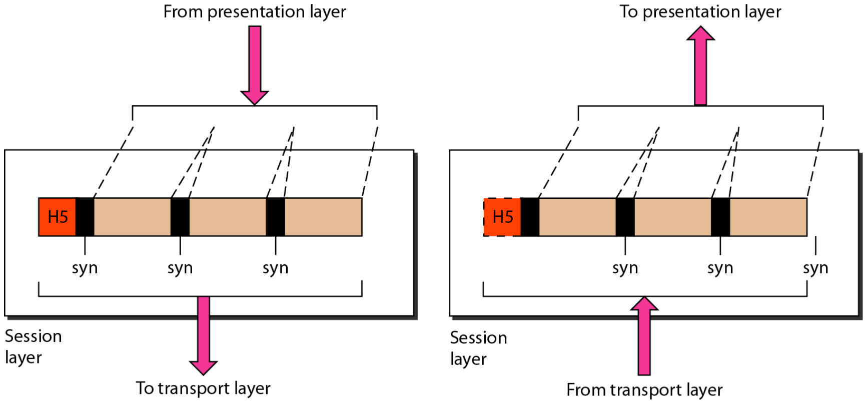
Transport layer သည် process တစ်ခုမှ message များကို တခြား process သို့ရောက်အောင် ပို့ပေး (deliver လုပ်ပေး)သည်။ တာဝန်ယူသည်။

Transport layer မှ ဆောင်ရွက်ပေးသည့် လုပ်ငန်းများမှာ

(က) Service point addressing
(ခ) Segmentation and reassembly
(ဂ) Connection control
(ဃ) Flow control နှင့်
(င) Error control တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၃၁ Transport layer (process-to-process delivery)



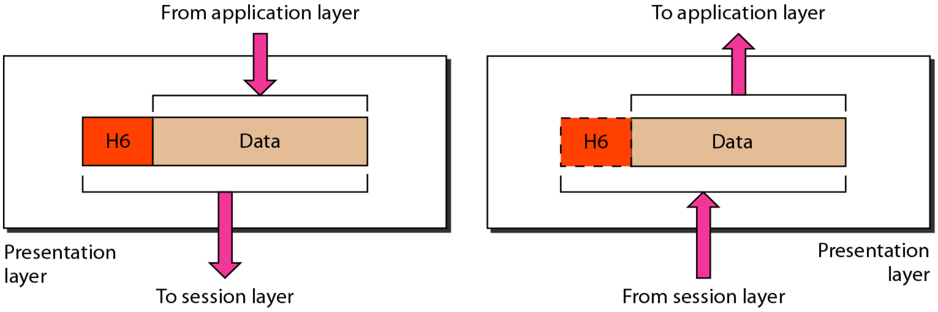
ပုံ ၈-၃၂ Session layer

၈.၆.၆ Session Layer (Layer 5)

Session layer မှ ဆောင်ရွက်ပေးသည့် လုပ်ငန်းများမှာ

(က) Dialog control နှင့်

(ခ) Synchronization တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၃၃ Presentation layer

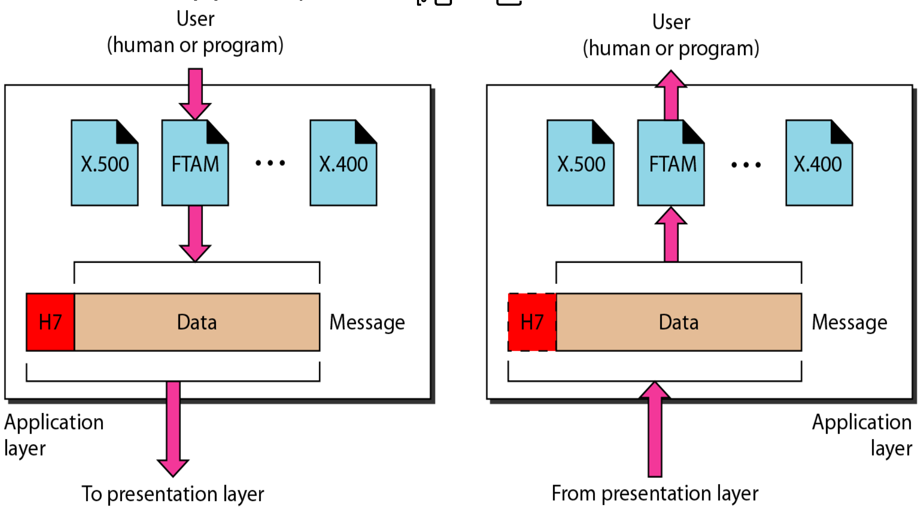
၈.၆.၇ Presentation Layer (Layer 6)

Presentation layer မှ ဆောင်ရွက်ပေးသည့် လုပ်ငန်းများမှာ

(က) Translation

(ခ) Encryption နှင့်

(ဂ) Compression တို့ ဖြစ်သည်။



ပုံ ၈-၃၄ Application Layer

၈.၆.၈ Application Layer (Layer 7)

Application layer သည် အသုံးပြုသူများအတွက် လိုအပ်သည့် service များကို ဆောင်ရွက် ပေးသည်။ တာဝန်ယူသည်။ Application Layer မှ ဆောင်ရွက်ပေးသည့် လုပ်ငန်းများမှာ

(က) Network virtual terminal (ဂ) Mail service နှင့်

(ခ) File Transfer Access and Management (FTAM) (ဃ) Directory service တို့ ဖြစ်သည်။

၈.၇ Network Standards

HVAC control system များတွင် protocol နှစ်မျိုးရှိသည်။ HVAC information များနှင့်သက်ဆိုင်သည့် protocol နှင့် network protocol ဖြစ်သည်။ ပထမ အမျိုးအစားသည် controller အချင်းချင်း ပေးပို့သည့် data များကို အချင်းချင်း နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။ Network protocol သည် information များ physical medium မှ တစ်ဆင့် ပေးပို့ခြင်း ပြုလုပ်ရန်အတွက် packaging လုပ်ခြင်း နှင့် unpackaging လုပ်ခြင်း တို့နှင့် သက်ဆိုင်သည်။

ကုန်ကျစရိတ်နှင့် စွမ်းဆောင်ရည်(performance)ကို လိုက်၍ network အမျိုးမျိုး ကွဲပြားသည်။ မြန်နှုန်း မြင့်မြင့်နှင့် capacity များလျှင် ဈေးနှုန်း ပိုမြင့်မားသည်။ Network capacity အပြည့်နီးပါးသို့ ရောက်လျှင် network performance သည် သိသိသာသာ ကျဆင်းလိမ့်မည်။ ထို့ကြောင့် network များကို ဒီဇိုင်းလုပ်သည့်အခါ spare node နှင့် traffic capacity ကို အပို ဆောင်းထားရန် လိုအပ်သည်။

BAS တွင် အဓိက အသုံးပြုသည့် network standard များမှာ

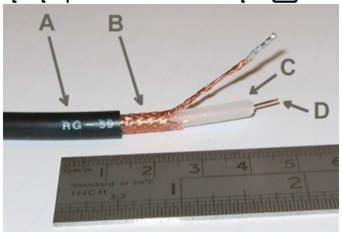
၈.၇.၁ Ethernet (IEEE 802.3)

Ethernet သည် အသုံးအများဆုံးသော Local Area Networks (LAN) ဖြစ်သည်။ မြန်နှုန်း(speed)နှင့် ဖြန့်ကျက်နိုင်သည့် အကွာအဝေးကို လိုက်၍ Ethernet အမျိုးအစားများ ကွဲပြားသည်။

RG-8/U coaxial cable ကို အသုံးပြုထားသည့် thick Ethernet (10BASE5) နှင့် RG-58 coaxial cable ကို အသုံးပြုသည့် thin Ethernet(10BASE2) တို့ကို အသုံးများသည်။ 'Thin' Ethernet ၏ မြန်နှုန်းသည် RG-58 coaxial cable ကို အသုံးပြုလျှင် 100 Mbps ဖြစ်ပြီး၊ ဖြန့်ကျက်နိုင်သည့် အကွာအဝေးသည် မီတာ(၂၀၀) ဖြစ်သည်။ Unshielded 'twisted pairs' ကို အသုံးပြုလျှင် မြန်နှုန်း 10 Mbps ရရှိနိုင်ပြီး မီတာ(၁၀၀) ဖြန့်ကျက်ထားနိုင်သည်။ Twisted pair အသုံးပြုလျှင် 100 nodes per segment ဖြစ်သည်။ Segment တစ်ခုနှင့် တခြားတစ်ခုကို repeater အသုံးပြု၍ ချိတ်ဆက်နိုင်သည်။ Repeater များသည် signal ပိုအားကောင်းလာအောင် ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

Ethernet များကို အဆောက်အဦအတွင်း IT လုပ်ငန်းများအတွက် အသုံးပြုနိုင်သလို BAS system အတွက် အသုံးပြု နိုင်သည်။ သို့သော် IT department အနေဖြင့် IT network ကို တခြားသော system များနှင့် အတူကွ အသုံးပြုရန် လိုလားနှစ်သက်လိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ Unknown traffic နှင့် security ပြဿနာများ ဖြစ်ပေါ်လာနိုင်သည်။

Network များ၏ အသုံးပြုနိုင်ချိန်(uptime) နှင့် အသုံးမပြုနိုင်ချိန်(downtime)သည် အလွန်အရေးကြီးသည်။ IT system တိုင်းတွင် အကြောင်းတစ်ခုခုကြောင့် ရပ်နားထားရချိန်(downtime) ရှိနိုင်သည်။ ညအချိန် နှင့် စနေ၊ တနင်္ဂနွေ ရုံးပိတ်ရက် များတွင် upgrade လုပ်ခြင်း၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှုလုပ်ခြင်း(maintenance) တို့ကြောင့် network များကို ရပ်နား(down) ထားရသည်။



ပုံ ၈-၃၅ Coaxial cable is used to transmit 10BASE-2 Ethernet

10BASE2 cable with BNC T-Connector

10BASE2 cable end Terminator

၈.၇.၂ ARCNET

ARCNET သည် Ethernet ထက် ပို၍ ဈေးချိုသည်။ မြန်နှုန်းသည် 19 kps မှ 10 Mbps အတွင်းဖြစ်သည်။ Cable အမျိုးမျိုးကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ ရိုးရှင်းသည့် system ဖြစ်သည်။ Device (၂၅၅)ခုအထိ ချိတ်ဆက်နိုင်သည်။ HVAC network များတွင် ARCNET သည် intermediate level အဖြစ် တည်ရှိသည်။ Building နှင့် operator terminal အကြားတွင် Ethernet ကို အသုံးပြုသည်။ ARCNET ဖြင့် Controller များကို အချင်းချင်း ချိတ်ဆက်ထားသည်။ ARCNET နှင့် သက်ဆိုင်သည့် အချက်အလက်များကို www.arcnet.com တွင် အသေးစိတ် ဖတ်ရှုနိုင်သည်။

၈.၇.၃ RS-485

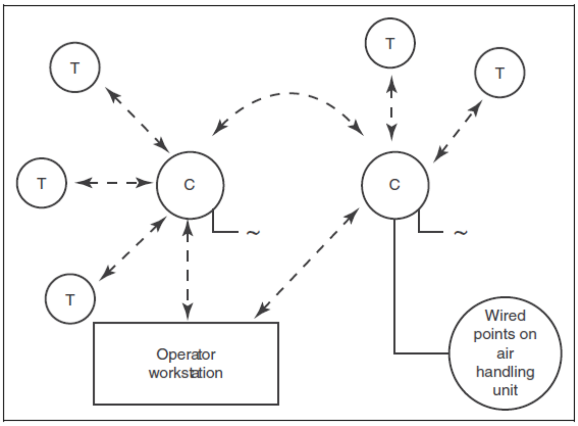
HVAC network များ၏ lower level များ၌ RS-485 ကို အသုံးပြုကြသည်။ ဝါယာကြိုးနှစ်ချောင်း (two-wire)နှင့် ground ဝါယာ ကို အသုံးပြုသည်။ BACnet MS/TP protocol ကို RS-485 နှင့် တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Network တစ်ခုတွင် သီအိုရီအရ master node (၁၂၇)ခု အပါအဝင် node ပေါင်း(၂၅၄) ချိတ်ဆက်ထားနိုင်သော်လည်း ချောမွေ့စွာ အလုပ်လုပ်နိုင်ရန်အတွက် node ပေါင်း (၄၀)ခန့်သာ ထားရှိကြသည်။

ရှေးယခင်က မြန်နှုန်း 9.6 kbps ကိုသာ ရရှိနိုင်သည်။ ယခုအခါ 76.8 kbps ရရှိနိုင်သည်။ Master node များသည် အချင်းချင်း အပြန်အလှန် ဆက်သွယ်(communicate)နိုင်ကြသော်လည်း slave node များသည် master node များက တောင်းဆိုသည့် အရာများကိုသာ ပြန်ဖြေကြားခွင့် ရှိသည်။ Building network ရှိ master node များ၌ ARCNET communications port ပါရှိသည်။

၈.၇.၄ Wireless

Wireless နည်းပညာသည် အလွန်လျင်မြန်စွာ တိုးတက်ပြီး အသုံးများနေသည့် နည်းပညာ အသစ်ဖြစ်သည်။ Wireless signal သည် network cable များ နေရာတွင် အစားထိုး အသုံးပြုလာကြသည်။ Node တစ်ခုသည် wireless signal ကို အသုံးပြု၍ တခြား node တစ်ခု သို့မဟုတ် node များနှင့် ဆက်သွယ်နိုင်သည်။ Node ၌ လိုအပ်သည့် ပါဝါ(power) အတွက် ဘက်ထရီ(battery)ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် မည်သည့် ဝါယာကြိုးကိုမျှ အသုံးပြုရန် မလိုအပ် တော့ပေ။

ဘက်ထရီ(battery)ကို အသုံးပြုထားသောကြောင့် device များကို ပါဝါ(power) သုံးစွဲမှုနည်းအောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားရန် လိုသည်။ အချိန်တိုင်း message များကို လက်ခံနိုင်ပြီး တစ်ခါတစ်ရံမှသာ ထုတ်လွှင့်ခြင်း(occasionally broadcast) ပြုလုပ်အောင် ဒီဇိုင်းလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ပါဝါ(power) သုံးစွဲမှုသက်သာစေရန် message များကို လက်ဆင့်ကမ်းခြင်း(passing on messages) ပြုလုပ်ရာတွင် မပါဝင်အောင် ပြုလုပ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Message များကို လက်ခံနိုင်ပြီး တစ်ခါတစ်ရံမှသာ ထုတ်လွှင့်သည့် device များကို Limited Function(LF) device များ ဟု ခေါ်သည်။ Lithium ion battery တစ်လုံးကို သာမန်device တစ်ခုတွင် အသုံးပြုလျှင် (၅)နှစ်ကျော် အသုံးပြုနိုင်သည်။

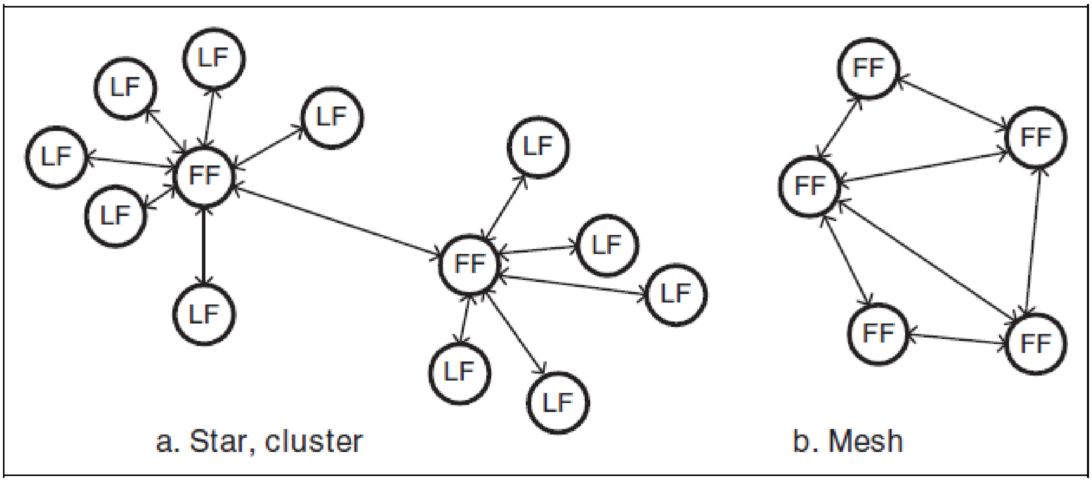


ပုံ ၈-၃၆ Wireless network with self- and building-powered devices

ပုံ(၈-၃၆)တွင် ဘက်ထရီ(battery) ကို အသုံးပြုထားသည့် thermostats (T)၊ building power controllers (C) နှင့် operator workstation (OW) တို့ ဆက်သွယ်(communicate)ပုံ ဖော်ပြထားသည်။

Wireless နည်းပညာသည်တွင် ပါဝါ(power)သုံးစွဲမှုနည်းသည် device များကိုသာ အများဆုံး အသုံးပြုကြသည်။ ကြိုးမဲ့ (wireless) ဖြစ်သောကြောင့် အစဦးကုန်ကျစရိတ် နည်းသည်။ Sensor တစ်ခုကို တပ်ဆင်ရန် ကုန်ကျစရိတ်ထက် ၅၀% လျော့နည်းသည်။ သို့သော် battery အသစ်လဲရသည့် ကုန်ကျစရိတ်များရှိ နိုင်သည်။

Full Function(FF) wireless node များသည် information များကို လက်ခံ(receive)နိုင်သလို တခြား node များဆီသို့ ပေးပို့(send) နိုင်သည်။ Full Function(FF) node များကို ပုံ(၈-၃၇)[a]တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း တပ်ဆင်နိုင်သည်။ Mesh topology ကို တစ်စထက်တစ် ပို၍ အသုံးများလာကြသည်။ ပုံ(၈-၃၇)[b]တွင် ပြထားသည့်အတိုင်း တခြား node တစ်ခုမှ တစ်ဆင့်ကျန် node များဆီသို့ information များကို ပေးပို့ နိုင်သည်။



ပုံ ၈-၃၇ Linear and Mesh arrangements of Nodes

Wireless signal သည် အကွာအဝေး(distance)နှင့် အဆောက်အဦတွင် အသုံးပြုထားသည့် ပစ္စည်းများ (materials) အပေါ်တွင် မူတည်သည်။ Wireless signal သွားရသည့် အကွာအဝေး(distance) ပိုများလေ wireless signal အားလျော့နည်းသွားလေဖြစ်သည်။ Wireless signal အားလျော့နည်းခြင်းကို "**signal attenuation**" ဟု ခေါ်သည်။ ကွန်ကရစ်(concrete) ကဲ့သို့သော နံရံကို ဖြတ်ကျော်ရလျှင် wireless signal အား လျော့နည်းသွားသည်။ နံရံမှ signal များကို စုပ်ယူခြင်း(absorption)ကြောင့် signal အား လျော့နည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။ သတ္တုများ(metal) သည် signal reflection ဖြစ်စေသောကြောင့် သတ္တုမျက်နှာပြင်ဧရိယာများလေ wireless signal ပိုအားကောင်းလေ ဖြစ်သည်။

အတွေ့အကြုံများသော ဒီဇိုင်းအင်ဂျင်နီယာသည် node များကို သင့်လျော်သည့် အကွာအဝေး(spacing) တွင် ချိန်ဆ ထားခြင်းဖြင့် wireless signal များ အားလျော့နည်းသွားခြင်း(attenuation) ပြဿနာကို ဖြေရှင်းနိုင်သည်။ လုံလောက်သည့် signal အား(strength) ရှိ၊ မရှိကို သိနိုင်ရန်အတွက် signal strength test ပြုလုပ် လိုအပ်သည်။ Node တိုင်းကို signal strength test ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ လိုအပ်လျှင် repeater များထည့်ခြင်း၊ node များကို နေရာ ရွှေ့ပြောင်းခြင်းဖြင့် signal အား(strength)ကောင်းအောင် ပြုလုပ်နိုင်သည်။ Repeater သည် message များကို လက်ခံရရှိ(receive)ပြီးနောက် ပြန်လည်ထုတ်လွှင့်(rebroadcast)သည့် device ဖြစ်သည်။ Repeater များကို "**signal power booster**" ဟူ၍လည်း ခေါ်ဆိုလေ့ရှိသည်။

ကြိုးမဲ့ဆက်သွယ်ရေး(wireless communication)သည် hard-wired connection နှင့် မတူညီပေ။ ကြိုးမဲ့ဆက်သွယ်ရေး(wireless communication)သည်တွင် wireless signal များ နှောက်ယှက်ခံရသည့်(interference) ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ ပရိဘောဂ၊ လူ၊ ခန်းစီး စသည့် ရွှေ့လျားနိုင်သည့် အရာဝတ္ထုများကြောင့် interference ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။ lights ၊ variable speed drives ၊ elevators နှင့် တခြားသော radio equipment တို့ကြောင့်လည်း interference ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည်။

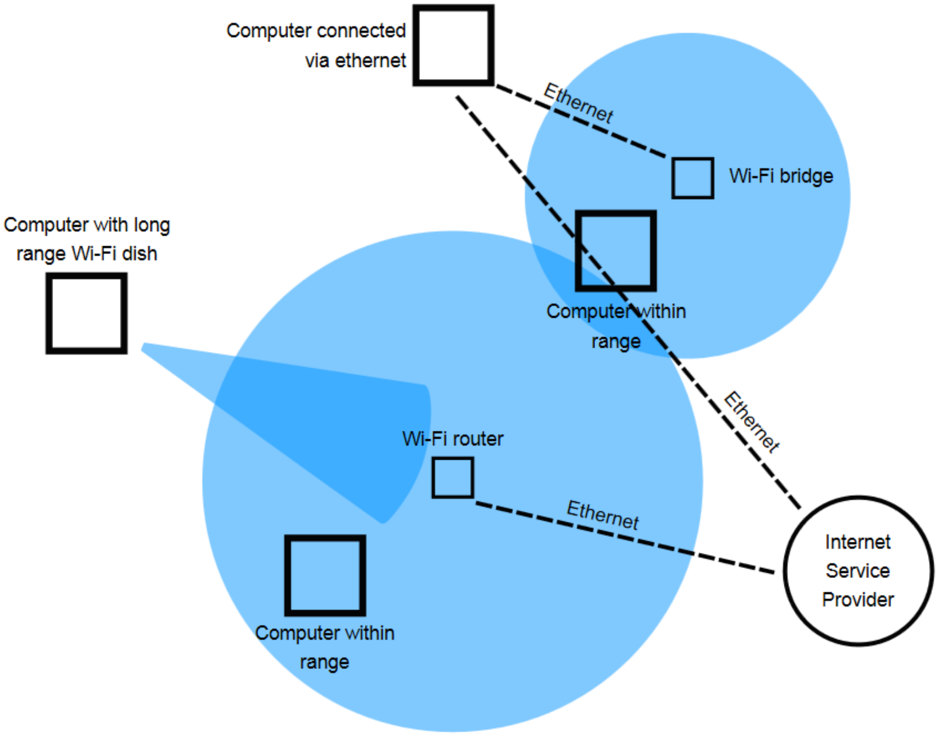
ယေဘုယျအားဖြင့် အသုံးပြုသည့် ရေဒီယိုလှိုင်း(radio frequencies) သုံးမျိုးမှာ

(၁) 2.4 GHz (2.4 to 2.4835 GHz) [IEEE 802.11]

2.4 GHz frequency သည် IEEE 802.15.4 standard ဖြစ်သည်။ ဤ frequency band ကို အသုံးပြုလျှင် စွမ်းအင်အနည်းငယ်သာ လိုအပ်သော်လည်း data transmission speed နှေးသည်။ Commercial building နှင့် institutional building များ အတွင်း(indoor range)၌ ပေ(၁၅၀)အတွင်း mesh arrangement ဖြင့် အသုံးပြုနိုင်သည်။ ပေ(၃၀၀)အတွင်း non-mesh communication ဖြင့် အသုံးပြုနိုင်သည်။

(၂) 900 MHz (902 to 928 MHz)သည် 2.4 GHz band ထက် အသုံးပြုသည်။ ဖြန့်ကျက်နိုင်မှု(range) ပိုကောင်းသည်။ မြောက်အမေရိကတိုက် နှင့် ဩစတြေးလျတိုက်ရှိ နိုင်ငံများသာ အသုံးပြုနိုင်သောကြောင့် ထုတ်လုပ်သူများအတွက် စီးပွားဖြစ် ထုတ်လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။

(၃) 800 MHz ကို မြောက်အမေရိကတိုက် နှင့် ဩစတြေးလျတိုက် ပြင်ပရှိ နိုင်ငံများတွင် အသုံးပြုသည်။ ဖြန့်ကျက်နိုင်မှု(range) ပိုကောင်း သော်လည်း အသုံးပြုနိုင်သည် နိုင်ငံအနည်းငယ်သာ ရှိသည်။

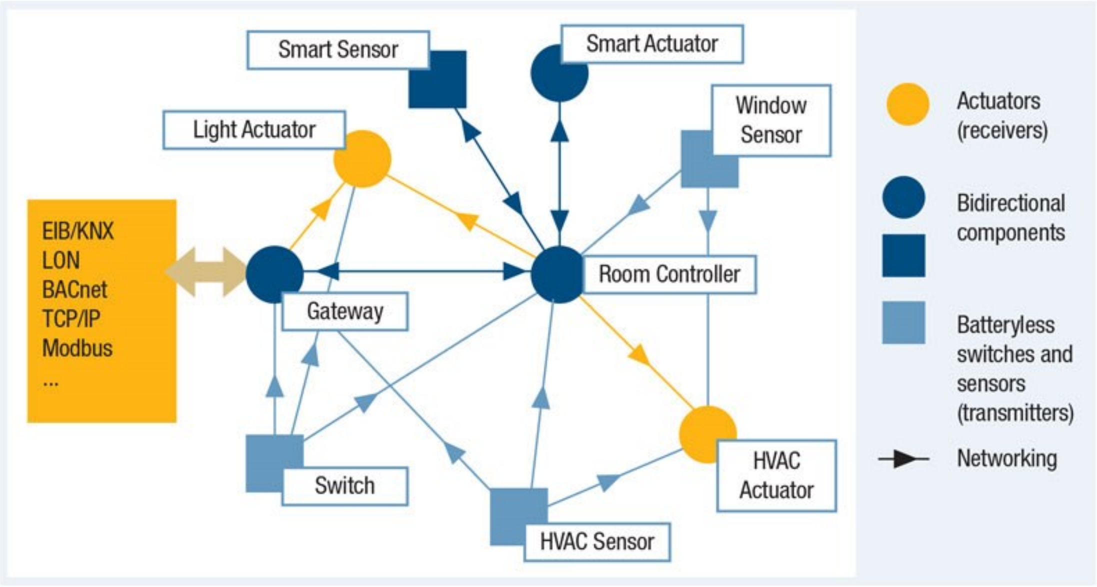


ပုံ ၈-၃၈ WI-FI Range Diagram

Data Transmission Feature of Wired and Wireless Network

Table 8.1 Feature of wired and wireless transmission data

Feature	Wired	Wireless
Range	Better	Bad
Installation effort and flexibility	Worse	Better
Data volume	Better	Worse
Availability of information in room	Bad	Better
Realibility	Better	Good
Cost	Good	Better



ပုံ ၈-၃၉ Wireless Building Automation System (BAS) တစ်ခုပုံ

-End-

Chapter-8 Data Communication and Networking

၈.၁. Data Communication 1

၈.၂ Network 2

၈.၃ Topology 4

၈.၃.၁ Mesh topology 4

၁.၃.၂ Star Topology 5

၈.၃.၃ Tree (Hierarchical) topology 6

၈.၃.၄ Bus topology 7

၈.၃.၅ Ring topology 7

၈.၃.၆ Hybrid Topologies 8

၈.၄ Transmission Mode 8

၈.၄.၁ Simplex 9

၈.၄.၂ Half Duplex 9

၈.၄.၃ Full Duplex 9

၈.၅ Network အမျိုးအစားများ (Categories of Network) 10

၈.၅.၁ Local Area Network (LAN) 10

၈.၅.၂ Metropolitan Area Network (MAN) 10

၈.၅.၃ Wide Area Network(WAN) 11

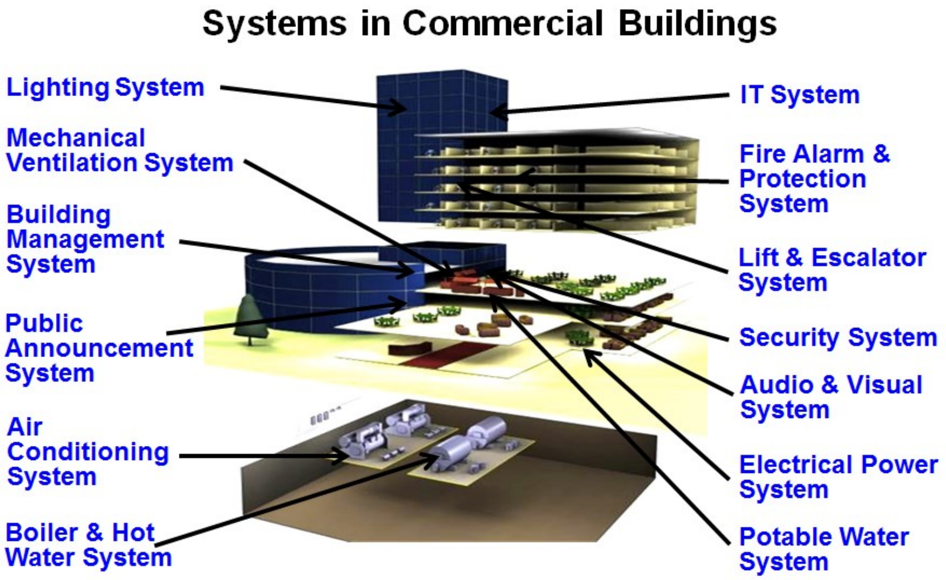
၈.၆ OSI Model 12

၈.၆.၁ Organization of Layer 15

၈.၆.၂ Physical Layer 16
၈.၆.၃ Data Link Layer 17
၈.၆.၄ Network layer 18
၈.၆.၅ Transport Layer 18
၈.၆.၆ Session Layer 19
၈.၆.၇ Presentation Layer 19
၈.၆.၈ Application Layer 20
၈.၇ Network Standards 20
၈.၇.၁ Ethernet (IEEE 802.3) 20
၈.၇.၂ ARCNET 21
၈.၇.၃ RS-485 21
၈.၇.၄ Wireless 21

Chapter-9 BAS Network Integration

အဆောက်အဦရှိ service system များ အကောင်းဆုံး လည်ပတ်(operation)နေစေရန်နှင့် တပ်ဆင်ခ၊ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းခ ကုန်ကျစရိတ်များ သက်သာစေရန်အတွက် computerized system များကို တစ်စထက် တစ်စ ပိုမို မှီခိုလာကြသည်။ Facilities manager များနှင့် BAS engineer များသည် networking နှင့် network integration ဘာသာရပ်တို့ကို မဖြစ်မနေ သင်ယူရန် လိုအပ်လာသည်။



ပုံ ၉-၁ အဆောက်အဦး အတွင်းရှိ service system များ

Building Automation System(BAS)များ တွင် အောက်ပါ sub system နှစ်မျိုး ပါဝင်သည်။

(၁) Equipment များ၊ device များ ပုံမှန်အလုပ် လုပ်နေရန်အတွက် real–time control လုပ်ပေးခြင်း၊ automation လုပ်ပေးခြင်း နှင့်

(၂) Data processing system ၊ maintenance management system ၊ factory/production control system စသည့် system များ၏ data များကို process လုပ်ကိုင်ပေးခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

Local Area Network(LAN) သည် high-performance digital communication network ဖြစ်ပြီး geographic area တစ်ခုကို ဖြန့်ကျက်(cover)ထားနိုင်သည်။ နှစ်ခု သို့မဟုတ် နှစ်ခုထက် ပိုများသည့် node များ ပါဝင်ပြီး၊ ထို node များသည် တစ်ခုနှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန် အဆက်အသွယ်(communicate) လုပ်နိုင်သည်။ Node ဆိုသည်မှာ network အတွင်း လိုချင်သည့် address ကို လိုသလို သတ်မှတ်(set) နိုင်သော addressable device ဖြစ်သည်။ Workstation ၊ Router Network Control Unit(NCU)နှင့် Direct Digital Controller(DDC) များသည် node များဖြစ်ကြသည်။

Local Area Network(LAN) အတွင်း၌ device အချင်းချင်း အချက်အလက်(information)မျိုးစုံကို ဆက်သွယ်(communicate) ပေးပို့နိုင်သည်။ Database upload လုပ်ခြင်း နှင့် download လုပ်ခြင်း၊ field equipment များဆီသို့ command ပေးခြင်း၊ summary များ ရယူခြင်း နှင့် change-of-state message များ လက်ခံခြင်း စသည်တို့သည် node အချင်းချင်း အပြန်အလှန် ပေးပို့သည့် အချက်အလက်များ ဖြစ်ကြသည်။ Network အတွင်း၌ရှိသော DDC များ အချင်းချင်း အပြန်အလှန် ဆက်သွယ်(communicate)နိုင်သည်။ DDC များနှင့် operator workstation တို့လည်း ဆက်သွယ်(communicate)နိုင်သည်။

Local Area Network(LAN) communication standard များမှာ

(၁) Ethernet V802.3

- (က) အများဆုံး အသုံးပြုသည့် Local Area Network (LAN) standard ဖြစ်သည်။
- (ခ) ဈေးသက်သာခြင်း နှင့် unshielded ၊ twisted pairs ကို transmission medium အဖြစ် အသုံးပြုနိုင်ခြင်းကြောင့် တစ်ထက်တစ်စ ပို၍ အသုံးများလာကြသည်။

(၂) ARCnet (Attached Resource Computer network) နှင့်

(၃) BACnet (Building Automation Control Network) တို့ ဖြစ်သည်။

Benefit of Integrated System

Integrated လုပ်ထားသည့် system များ၏ အားသာချက်များမှာ

(၁) Easier operation of multiple Systems

System များစွာကို တစ်နေရာတည်းမှ အလွယ်တကူ control လုပ်နိုင်သည်။

(၂) Lower customer costs

ကွဲပြားနေသည့် system များကို control လုပ်ရန်အတွက် ဝန်ထမ်းများစွာ မလိုအပ်ပေ။ ကွန်ပြူတာ၊ မော်နီတာ၊ ကီးဘုတ် အနည်းငယ်သာ ဝယ်ယူရန် လိုအပ်ပြီး တပ်ဆင်ရန် နေရာ အနည်းငယ်သာ လိုအပ် သည်။

(၃) Less training time

တစ်နေရာတည်းမှသာ control လုပ်သောကြောင့် ဝန်ထမ်းများအား အသုံးပြုနည်း တစ်မျိုးကိုသာ သင်တန်းပေးရန် လိုအပ်သည်။

(၄) Less database management

Sub-system အားလုံးအတွက် database တစ်ခုတည်း(common database)သာ တည်ဆောက်ရန် လိုသည်။ ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု ပြုလုပ်ရန် လိုသည်။

(၅) Less chance of error

တစ်နေရာတည်းမှ control လုပ်သောကြောင့် အမှားပြုလုပ်မိရန် အခြေအနေ နည်းပါးသည်။

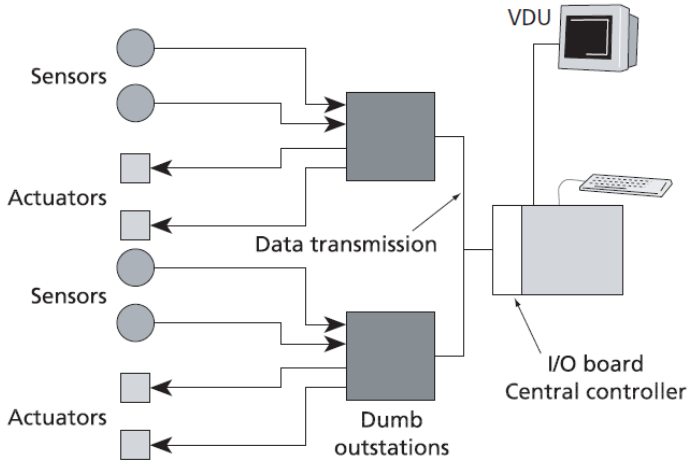
၉.၁ BAS Hardware Architecture

Computer control system များ၏ hardware architecture ဆိုသည်မှာ hardware device များ မည်ကဲ့သို့ ချိတ်ဆက်ထားသည်ကို ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ ချိတ်ဆက်ထားပုံ(connection)ကို ကြည့်၍ ထို hardware များ မည်ကဲ့သို့ ဆက်သွယ်(communicate)ကြသည်ကို သိနိုင်သည်။

Distributed system architecture နှင့် centralized architecture ဟူ၍ နှစ်မျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။ BAS အများစုသည် distributed system architecture ဖြစ်သည်။ သို့သော် centralized architecture သည် သင့်လျော်သည့် အခါတွင် ပို၍ အသုံးဝင်ပြီး၊ တစ်ခါတစ်ရံ တွေ့နိုင်သည်။

၉.၁.၁ Centralized BAS

Centralized building control system များကို လက်ရှိ building control system များတွင် တပ်ဆင်ခြင်းဖြင့် လက်ရှိ control system ၏ လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်း(capabilities)များ ပိုမို မြင့်မားလာနိုင်သည်။ Centralize BAS တွင် central computer တစ်လုံးသာရှိပြီး ထိုcomputer ထဲတွင် application program အားလုံး နှင့် database များ တည်ရှိသည်။ Central computer သည် sensor နှင့် actuator များ အားလုံးကို input/output field panel မှတစ်ဆင့် ဆက်သွယ်သည်။ Communicate လုပ်သည်။ ပုံ(၉-၂)တွင် centralized system တစ်ခု၏ schematic diagram ကို ဖော်ပြထားသည်။ System အတွင်း၌ information များ စီးဆင်းပုံနှင့် data flow ဖြစ်ပုံတို့ကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၉-၂ Centralised controller with dumb outstations

Disadvantages of Centralized BAS (အားနည်းချက်များ)

(၁) Central PC တစ်ခုတည်းကသာ တွက်ချက်မှုများ လုပ်ဆောင်ပေးသည်။ တစ်ခုတည်းသော computing power ဖြစ်ပြီး system တစ်ခုလုံး၏ intelligence device ဖြစ်သည်။ တစ်ပြိုင်နက် monitoring လုပ်ခြင်း၊ တွက်ချက်(calculation)ခြင်း နှင့် control function များအတွက် central PC သည် မနိုင်ဝန် ထမ်းသကဲ့သို့ ဖြစ်နိုင်သည်။

(၂) Centralized BAS ၏ response time သည် နှေးလေ့ရှိသည်။ အထူးသဖြင့် data point များစွာရှိသည့် centralized BAS များတွင် ပို၍ နှေးသည်။

(၃) Central computer ပျက်ခြင်း(fail) သို့မဟုတ် central computer နှင့် field panel များ အကြားရှိ communication ပြတ်ခြင်း စသည်တို့ကြောင့် building control system တစ်ခုလုံး သုံးမရတော့ပါ။

၉.၁.၂ Distributed BAS

ယနေ့ BAS များအားလုံးလိုလိုသည် distributed architecture ပုံစံများ ဖြစ်ကြသည်။

Distributed BAS ၏ အဓိက အစိတ်အပိုင်း(main component) များမှာ

(က) Network communication modules

(ခ) Digital communication network and associated communication protocol(s)

(ဂ) Direct digital controllers(DDC)

(ဃ) System Operator Interface, (typically a workstation PC).

(င) Remote communication devices(where necessary)- modern, telephone links, etc.

Advantage of Distributed BAS (အားသာချက်များ)

(၁) Control system ၏ အစိတ်အပိုင်းတစ်ခု ပျက်ခြင်းသည် ကျန်ရှိသည့် တခြားသောနေရာများနှင့် မသက်ဆိုင်ပေ။ မပျက်သည့် DDC များ အားလုံးသည် သူတို့ဆောင်ရွက်စရာရှိသည့် control function များကို ပုံမှန် ဆောင်ရွက်နေလိမ့်မည်။

(၂) Distributed control system ၌ ရှိသော control response နှင့် alarm response အချိန် အလွန်မြန်သည်။ DDC အားလုံးသည် သူတို့နှင့်သက်ဆိုင်သည့် data processing နှင့် control operation များကို သက်ဆိုင် DDC အတွင်း၌ ရွက်ဆောင်ပေးနေသောကြောင့် ဖြစ်သည်။

(၃) Distributed system များသည် ဈေးသက်သာသည်။ Operate လုပ်ရန် လွယ်ကူပြီး Local Area Network Topologies expansion လုပ်ရန်လည်း မခက်ခဲပေ။ LAN communication အတွက် coax cable ၊ twisted pair သို့မဟုတ် optical fiber များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Network ကို star ၊ bus သို့မဟုတ် mixed network စသည့် configuration ပြုလုပ်နိုင်သည်။ ပါဝင်သည့် node (participating node) များ၏ geometric wiring layout ကို network topology ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

အောက်တွင် network topology များ၏ အားနည်းချက်နှင့် အားသာချက်များကို ဖော်ပြထားသည်။

(က) Bus topology များ အားလုံးတွင် အားနည်းချက် နှင့် အားသာချက်များ ရှိကြသည်။

(၁) Cable များကို node တစ်ခုမှထွက် တခြား node တစ်ခုသို့ဝင် စသည့် ပုံစံမျိုးဖြင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။ T-splice ကို အသုံးပြု၍ ဆက်သွယ်ထားသည်။

(၂) Bus ၏ အဆုံးနေရာ၌ resistor ကို အသုံးပြု၍ terminate လုပ်ရသည်။ ထို resistor ကို End of Line(EOL) resistor ဟု ခေါ်သည်။ Signal များ ပြန်ရိုက်ခြင်း(reflection)ကို ကာကွယ်ရန် အတွက် EOL resistor အသုံးပြုခြင်း ဖြစ်သည်။ Impedance mismatch ဖြစ်၍ signal reflection ဖြစ်သည်။ Cable short ဖြစ်ခြင်း(shorted cable) သို့မဟုတ် faulty node တစ်ခုခုကြောင့် bus တစ်ခုလုံး၏ communication ပျက်သွားလိမ့်မည်။

အားသာချက်များ - ကေဘယ်ကြိုး(cable) အနည်းငယ်သာ အသုံးပြုရန် လိုသည်။

အားနည်းချက်များ - Node တစ်ခုပျက်ခြင်းကြောင့် network တစ်ခုလုံး မထိခိုက်နိုင်ပေ။ အကယ်၍ အလွန်ရှည်လျားသော bus(cable length)၌ ချို့ယွင်းချက်(fault) ဖြစ်ပေါ်ခဲ့သော်၊ ထို fault ကို ရှာဖွေရန် အလွန်ခက်ခဲသည်။ နောင်တစ်ချိန် တိုးချဲ့မှုများပြုလုပ်(Future expansion)ရန်အတွက် ကြိုတင်၍ pre-wiring လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။

(ခ) Star topology တွင် active သို့မဟုတ် passive hub တည်ရှိပြီး၊ ထို hub နှင့် node များအားလုံးကို series of radial connection များဖြင့် ဆက်သွယ်ထားသည်။

(၁) Active hub သည် signal amplification လုပ်ငန်းကို လုပ်ဆောင်နိုင်စွမ်းရှိပြီး management command များကိုလည်း ဆောင်ရွက်ပေးနိုင်စွမ်း ရှိသည်။

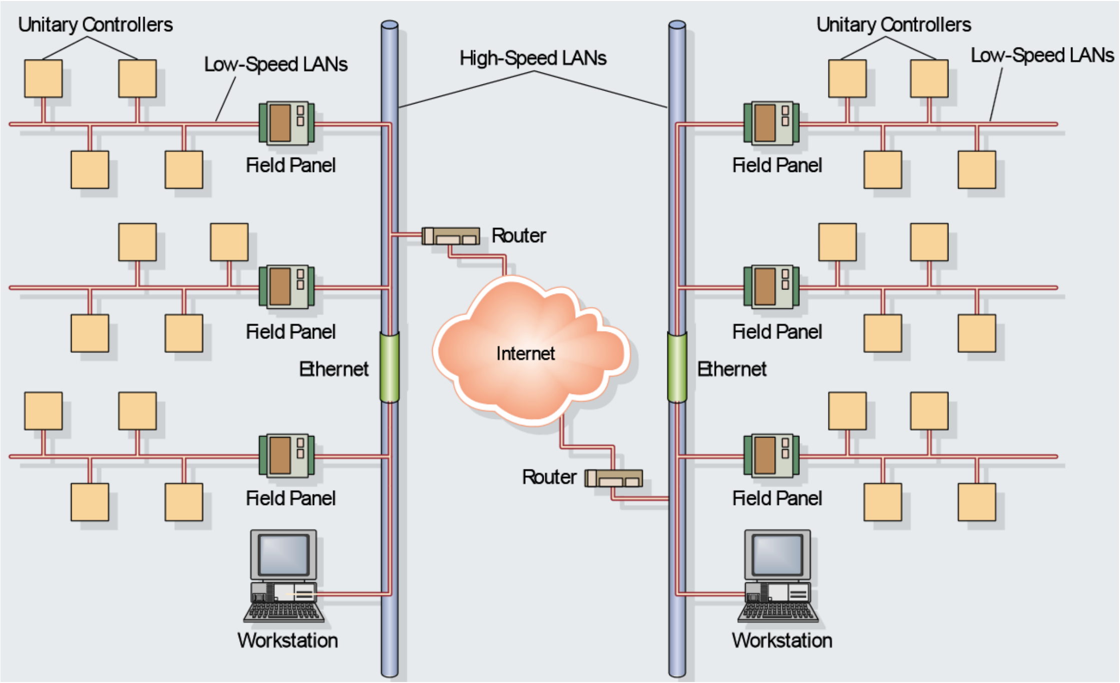
(၂) Active hub သည် အမှား စစ်ဆေးခြင်း(error checking) နှင့် ပြဿနာရှိသည့် node ကိုလည်း electrically isolate (electronic နည်းဖြင့် ဖယ်ထားခြင်း) လုပ်နိုင်သည်။ Passive hub များသည် node များ အပြန်အလှန် ချိတ်ဆက်(interconnect)ရုံသာ လုပ်နိုင်သည်။ Impedance ကိုက်ညီအောင်(matching) ပြုလုပ်နိုင်သည်။

အားသာချက်များမှာ fault ဖြစ်ပေါ်သည့်နေရာ ကန့်သတ်တားဆီးခြင်း(ease of fault isolation)၊ by-passing လုပ်ခြင်း နှင့် faulty ဖြစ်နေသည့် node များကို ပြုပြင်ရန် လွယ်ကူခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

အားနည်းချက်များမှာ bus topology ထက် ပိုရှည်လျားသည့် cable များ အသုံးပြုရန် လိုသည်။

(ဂ) Mixed(star and bus) topology

(၁) Network တစ်ခုအတွင်းရှိ component များကို Star ပုံစံ(Star network) နှင့် Bus ပုံစံ (Bus network) နှစ်မျိုးလုံးဖြစ်အောင် ရောနှော၍ ချိတ်ဆက်ထားလျှင် mixed network ဟုခေါ်သည်။



ပုံ ၉-၃ Internet မှ တစ်ဆင့် BAS network နှစ်ခုကို integration လုပ်ခြင်း

၉.၂ Basic of Network Communication

Computerised system များ တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အချင်းချင်းအဆင်ပြေစွာ ဆက်သွယ်မှု(communicate) ပြုလုပ်နိုင်ရန်အတွက် အောက်ပါ compatibility ပြဿနာများကို ဦးစွာ ဖြေရှင်းရန် လိုအပ်သည်။

(၁) System များအားလုံးသည် တူညီသော Operating System(OS) သို့မဟုတ် compatible ဖြစ်သော Operating System(OS)များဖြင့် run ထားပြီး၊ တူညီသော(similar) networking capabilities ရှိရမည်။ အသုံးများသော Operating System(OS) များမှာ(DOS ၊ Window ၊ OS/2 ၊ UNIX, etc.....)စသည်တို့ ဖြစ်သည်။

(၂) System များ အားလုံးတွင် တူညီသော network သို့မဟုတ် compatible network အတွင်းတွင် ရှိရမည်။ သို့မဟုတ် network မတူညီပါက သို့မဟုတ် compatible မဖြစ်ပါက (network compatibility မဖြစ်ပါက) convertor gateway စသည် network interface device များကို အသုံးပြု၍ ချိတ်ဆက်နိုင်သည်။ (Ethernet , ARCNET, etc.....)

(၃) System များအားလုံးတွင် compatible ဖြစ်သော Application Program Interface (API) ရှိရမည်။ (NetBIOS, Sockets, etc....)

(၄) System များအားလုံးတွင် တူညီသော protocol သို့မဟုတ် compatible protocol ရှိရမည်။ (OSI, TCP/IP, BACnet, MOD Bus, etc.....)

(၅) အခြား network ရှိ အခြား system များမှ information များကို လှမ်းယူနိုင်ရန်(import လုပ်နိုင်ရန်) system အတွင်းရှိ application software များကို ဒီဇိုင်း ပြုလုပ်ထားရမည်။ Point များကို mapping လုပ်ခြင်း၊ migration လုပ်ခြင်း စသည့်ကိစ္စများအတွက် Net DDE စသဖြင့် ဈေးကွက်တွင် အလွယ်တကူ ရနိုင်သည့် software များကို အသုံးပြု၍ import လုပ်နိုင်သည်။

၉.၂.၁ BUS

Bus ဆိုသည်မှာ Busbar ကို အတိုခေါက် ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။ Digital communication system အတွင်းရှိ source တစ်နေရာ (ပေးပို့မည့်နေရာ)မှ destination တစ်နေရာ (ရောက်ရမည့်နေရာ၊ လက်ခံမည့်နေရာ) သို့ data များ ရောက်အောင် ပို့ဆောင်ရန်(data များသယ်ဆောင်ပေးရန်)အတွက် အသုံးပြုရန် cable ကြိုးများကို "Bus" ဟုခေါ်သည်။

Control system အတွင်း၌ ပေးပို့သည့်နေရာ(source) နေရာများအနက် မည်သည့် source က ပိုအရေးကြီးသည်ဆိုသည့် priority ချမှတ်ပေးထားရသကဲ့သို့ လက်ခံမည့်နေရာ(destination) များ အနက် မည်သည့်နေရာက ပိုအရေးကြီးသည် ဆိုသည့် priority သတ်မှတ် ပေးထားရသည်။

၉.၂.၂ Interface

Interface ဆိုသည်မှာ system တစ်ခုအတွင်း component နှစ်ခု အကြား၌ ရှိသော common boundary သို့မဟုတ် shared boundary ကို ခေါ်ဆိုသည်။ BAS တစ်ခုတွင် DDC နှင့် controlled device အကြား တွင် interface circuit ရှိရန် လိုအပ်သည်။ Controlled device များမှာ motorized valve သို့မဟုတ် motor starter ဖြစ်သည်။

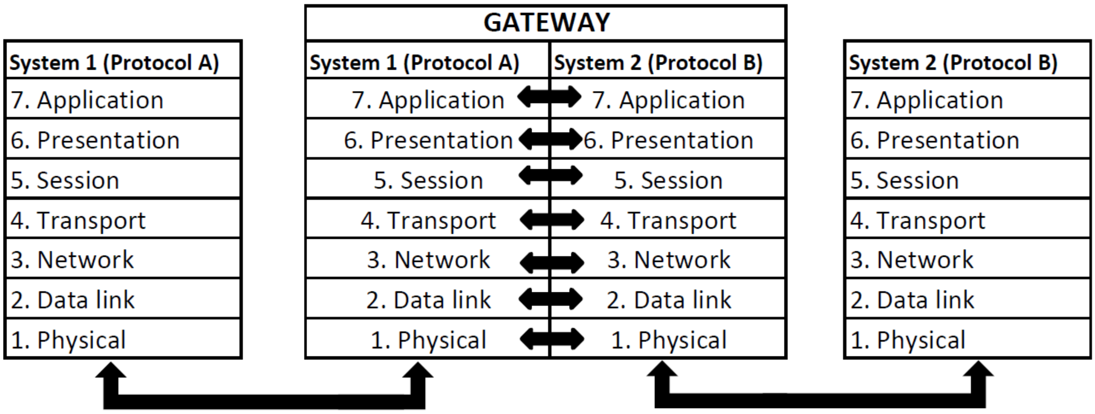
၉.၂.၃ Integrated Control System

Integrated control system တွင် နှစ်ခုထက် ပိုသော dedicated control system များ အချင်းချင်း ဆက်သွယ်(communicate)နိုင်သည်။ သင့်လျော်သည့် protocol နှင့် gateway များကို အသုံးပြု၍ network တစ်ခု အတွင်းရှိ ကွဲပြားသော proprietary system များ အချင်းချင်း ဆက်သွယ် (communicate) နိုင်သည်။ အဆောက်အဦများစွာ ရှိသည့် complex သို့မဟုတ် campus ထဲတွင် အမျိုးမျိုးသော plant များနှင့် service များအတွက် co-ordinated control ဖြစ်အောင် integrated control system မှ ပြုလုပ်ပေးသည်။

၉.၂.၄ Gateway

မတူညီသည့် protocol ကို သုံးထားသည် computer system များ အကြားတွင် translator အဖြစ်ဆောင်ရွက်ပေးသည့် hardware package သို့မဟုတ် software package ကို gateway ဟု ခေါ်သည်။ Network အတွင်းရှိ system များ တစ်ခုချင်းစီသည် translation ပြုလုပ်ပြီး ဆက်သွယ် (communicate)

နိုင်သောကြောင့် မိမိသုံးနေသော protocol ကို ပြောင်းရန် မလိုပေ။ Gateway သည် system တစ်ခုမှ protocol ကို ဘာသာပြန်ပြီး (interpret လုပ်ပြီး) တခြား system တစ်ခုမှ နားလည်သော protocol အဖြစ်သို့ ပြောင်းပြီး၊ ထို system ဆီသို့ information များကို ပို့ပေးသည်။ အောက်တွင် ဖော်ပြထားသော diagram တွင် protocol A နှင့် protocol B ကို သုံးထားသည့် system နှစ်ခုကို gateway မှတစ်ဆင့် ဆက်သွယ် ပေးထားသည်။ Gateway သည် သူနှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည့် system များ အားလုံး၏ protocol ကို နားလည်နိုင်စွမ်း ရှိရမည်။



ပုံ ၉-၄ Gateway တစ်ခု အလုပ်လုပ်ပုံကို OSI layer များဖြင့်ဖော်ပြထားပုံ

၉.၂.၅ Hubs/Repeater

မည်သည့် media အမျိုးအစား(type) ဖြစ်ပါစေ၊ နှစ်ခုထက်ပိုသည့် Ethernet segment များကို ချိတ်ဆက်ရန်(connect) အတွက် hubs/repeater များကို အသုံးပြုနိုင်သည်။ အလွန်ကြီးမားသည့် system များတွင် segment များသည် သတ်မှတ်ထားသည့် maximum length ကို ကျော်လွန်သည့် အတွက် signal quality ကျဆင်းလာသည်။ Signal များ ပုံပျက်(deteriorated)လာသည်။ Hub များသည် signal amplification ပြုလုပ်နိုင်သောကြောင့် သတ်မှတ်ထားသည့် အရှည်ထက် ပိုရှည်သည့် segment များကို လက်ခံနိုင်သည်။ Hub တစ်ခုသည် ဝင်လာသည့် incoming signal ကို port အားလုံးထံသို့ repeat လုပ်ပေးနိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် repeater ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

၉.၂.၆ Bridge

Bridge သည် သီးခြား network နှစ်ခုကို ဆက်သွယ်ပေးသည်။ ချိတ်ဆက်(connect) ပေးသည်။ Bridge သည် အမျိုးအစားမတူသည့် network နှစ်မျိုးကို ချိတ်ဆက်ပေးသလို အမျိုးအစားတူသည့် network နှစ်မျိုးကို တစ်သားတည်းဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ Ethernet နှင့် Fast Ethernet တို့သည် အမျိုးအစား မတူညီသည့် network နှစ်မျိုး ဖြစ်သည်။ ဟိုဘက်ကမ်းနှင့် ဒီဘက်ကမ်းကို ဆက်စပ် ပေးသည့် သဘော ဖြစ်သောကြောင့် bridge ဟု ခေါ်သည်။ ဒီဘက်က network နှင့် ဟိုဘက် building မှ network ကို ပေါင်းပေး သောကြောင့် bridge ဟု ခေါ်ဆိုခြင်း ဖြစ်သည်။

Network အတွင်းရှိ node များ၌ set ထားသော Ethernet address များကို mapping လုပ်ပြီး လိုအပ်သည့် traffic ကိုသာ bridge က သွားခွင့်ပြုသည်။ Data packet များ bridge ဆီသို့ ရောက်သည့်အခါ လက်ခံရမည့်နေရာ(destination)နှင့် ပေးပို့သည့်နေရာ(source)တို့သည် မည်သည့် network ၏ မည်သည့် နေရာတွင် ရှိသည်ကို ကြည့်ပြီး လမ်းကြောင်း သတ်မှတ်သည်။

ပေးပို့သည့်နေရာ(Source) နှင့် ရောက်ရှိရမည့်နေရာ(destination) တို့သည် segment တစ်ခုအတွင်း၌ ရှိလျှင် ဖယ်ထား(drop လုပ်)သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် filter လုပ်သည်။ Source နှင့် destination တို့သည်

မတူညီသည့် segment နှစ်ခုတွင် (သီးခြား segment တစ်ခုစီတွင်) ရှိလျှင်သာ forward လုပ်သည်။ Data packet ကို ရောက်ရမည့် segment သို့ရောက်အောင် forward လုပ်သည်။ ထို့အပြင် bridge သည် ပျက်စီးနေသည့် data packet သို့မဟုတ် misaligned ဖြစ်နေသည့် data packet ကို forward မလုပ်ပါ။ Bridge များကို '**store and forward**' device များဟု ခေါ်သည်။ Filtering လုပ်မည် သို့မဟုတ် forward လုပ်မည် စသည့် ဆုံးဖြတ်ချက်(decision)ကို မချမှတ်ခင် Ethernet network တစ်ခုလုံးကို အရင်ကြည့်ရှု စစ်ဆေးသောကြောင့် 'store and forward' device ဟု ခေါ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

၉.၂.၇ Ethernet Switch

Ethernet switch များသည် Ethernet bridge များ အလုပ်လုပ်ပုံကို ပိုကောင်းအောင် ပြုပြင် ထားခြင်း ဖြစ်သည်။ LAN switch များသည် (၁၀)ခုထက် ပိုများသော network များကို ချိတ်ဆက် ပေးနိုင်သည်။ LAN switch များတွင် cut-through နှင့် store and forward ဟူ၍ အခြေခံအားဖြင့် architecture နှစ်မျိုး ကွဲပြားသည်။ ယခင် အချိန်က cut-through switch များသည် "store and forward" switch များထက် ပိုမြန်အောင် အလုပ်လုပ်နိုင်သည်။ Cut-through switch များသည် destination segment ဆီသို့ data packet ကို forward မလုပ်ခင် destination address ကိုသာ စစ်ဆေးသည်။ Data packet တစ်လုံးကို မစစ်ဆေးပါ။ "Store and forward" switch သည် designation segment ဆီသို့ forward မလုပ်ခင် data packet တစ်ခုလုံးကို စစ်ဆေး(analyze လုပ်) ပြီးမှ ပေးပို့(forward)သည်။

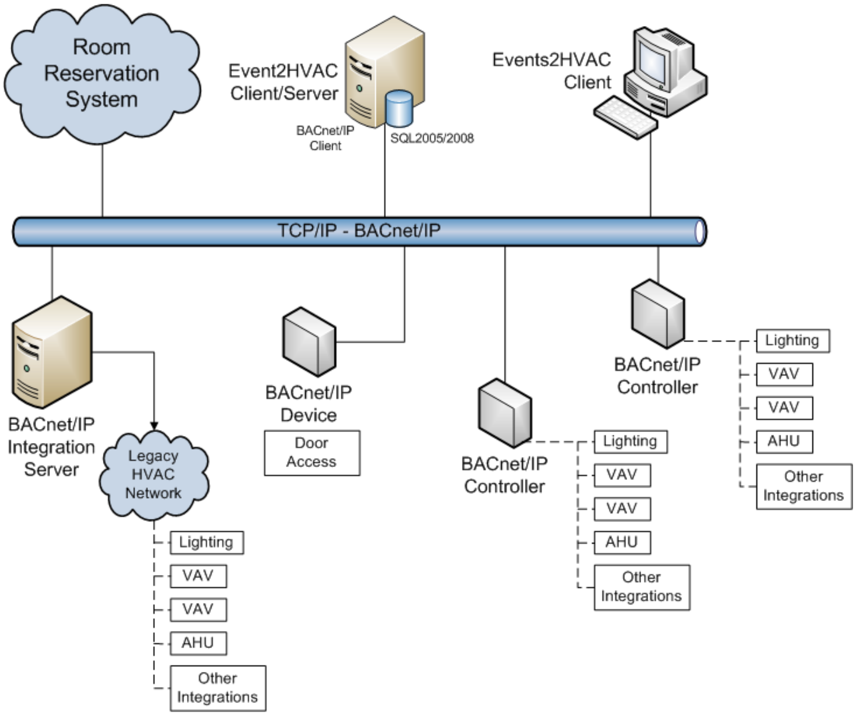
Data packet တစ်ခုလုံးကို စစ်ဆေးသောကြောင့် အချိန်ပိုကြာသည်။ သို့သော် data packet များ၏ error ကို ရှာဖွေနိုင်သည်။ ပျက်စီးနေသည့် data packet များ network အတွင်းတွင် ပျံ့နှံ့မနေအောင် (propagating ဖြစ်မနေအောင်) တားဆီး နိုင်သည်။ ထို switch နှစ်မျိုးလုံးသည် network ကို collision domain အဖြစ် ခွဲခြားနိုင်သည်။ Ethernet switch ရှိသည့် segment တိုင်းသည် 10Mbps bandwidth အပြည့်ကို အသုံးပြုသူ(user) အနည်းငယ်ကသာ share လုပ်သောကြောင့် ပို၍ စွမ်းဆောင်ရည်(performance) ကောင်းသည်။

ယနေ့ခေတ် switch များသည် EDDI ၊ Fast Ethernet သို့မဟုတ် ATM စသည့် high-speed link များနှင့် ချိတ်ဆက် အသုံးပြုနိုင်၍ ပိုမြန်သည်။ High traffic server များအတွက် switch နှစ်ခုကို အတူပေါင်း ပေးခြင်းဖြင့် bandwidth ကို ပိုများစေသည်။ Switch link များစွာ ပေါင်းပြီး ဖွဲ့စည်းထားသည့် network ကို 'Collapsed backbone' network ဟုခေါ်သည်။

၉.၂.၈ Router

Router များသည် data packet များ(traffic) တစ်နေရာမှ တစ်နေရာသို့ ရောက်ရန် သတ်မှတ်ထားသော protocol ဖြင့် စီစစ်၍(filte လုပ်၍)ထိန်းပေးသည်။ Data packet address များဖြင့် filter မလုပ်၊ protocol တူသည့် network ဆီသို့ protocol တူသည့် data packet များကိုသာ ရောက်စေသည်။ Router များသည် network ကို logical နည်းဖြင့်သာ ခွဲခြားထားသည်။ Physical နည်းဖြင့် ခွဲခြားမထားပေ။

IP router တစ်ခုသည် network ကို subnet များစွာ ဖြစ်အောင် ခွဲထားသည်။ ထို့ကြောင့် IP address တစ်ခုဆီသို့ ရောက်အောင် သူနှင့်သက်ဆိုင်သည့် segment များကိုသာ ဖြတ်သွားနိုင်သည်။ ဖြတ်သွားရန် လိုသည်။ ထိုကဲ့သို့ intelligent forwarding လုပ်ခြင်းကြောင့် network speed နှေးကွေးသွားနိုင်သည်။ ထိုကဲ့သို့ protocol ဖြင့် filtering လုပ်ခြင်းကြောင့် အချိန်ပိုကြာသည်။ Switch များနှင့် bridge များတွင် data packet address ဖြင့် filter လုပ်ခြင်းကြောင့် အချိန်တိုသည်။ Ethernet address ကိုသာ ကြည့်ရန် လိုသည်။ သို့သော် အလွန့် လွန်ရှုပ်ထွေးများပြားသည် network များတွင် router ကို အသုံးပြုခြင်းဖြင့် network ကြီးတစ်ခုလုံး၏ overall efficiency ပိုကောင်းလာ နိုင်သည်။



ပုံ ၉-၅ HVAC network ၊ lighting controller၊ VAV နှင့် AHU controller တို့ကို integrated လုပ်ထားပုံ

၉.၂.၉ Communications Networks

Polling Network

Polling network တစ်ခုတွင် DDC များစွာနှင့် central DDC တစ်ခု ပါဝင်သည်။ Polling DDC network တွင် DDC များကို အားလုံးကို central DDC နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည်။

Central DDC သည် အလှည့်ကျ DDC controller တစ်ခုနှင့်သာ communicate လုပ်သည်။ Central DDC က အလိုရှိသည့် အချိန်မှသာ DDC တစ်ခုနှင့်သာ communicate လုပ်သည်။ ထို့ကြောင့် network speed နှေးသည်။

Central DDC သည် DDC တစ်ခုချင်းစီမှ information များကို အစီအစဉ်တကျ အလှည့်ကျ တစ်ကြိမ်လျှင် တစ်ခုကျ polling လုပ်သည်။ DDC တစ်ခုမှ alarm ဖြစ်ပေါ်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် Central DDC က ချက်ချင်း သိရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။ အလှည့်ရောက်အောင် စောင့်ရန် လိုသည်။

Peer-to-Peer Network

Peer-to-Peer network တွင် DDC များအားလုံးနှင့် တစ်ပြိုင်နက် communicate လုပ်နိုင်သည်။ DDC များ အချင်းချင်း တစ်ခုနှင့် တစ်ခု အပြန်အလှန် တစ်ပြိုင်နက် communicate လုပ်နိုင်သည်။(Controllers exchange information immediately)။ အလှည့်ရောက်အောင် စောင့်ရန် မလိုပေ။ DDC controller အားလုံး၌ communicate လုပ်ရန် equal authority ရှိသည်။ Device များအားလုံးသည် information အဆင်သင့် ဖြစ်သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် စတင်၍ communicate လုပ်ကြသည်။ Input signal လက်ခံခြင်းနှင့် output ထုတ်ပေးခြင်းတို့ တစ်ပြိုင်နက် လုပ်နိုင်သည်။ DDC တစ်ခုသည် ကျန် DDC များ အားလုံးနှင့် communicate လုပ်နိုင်သည်။ စောင့်အချိန်(waiting time) မရှိသောကြောင့် network speed အလွန်မြန်သည်။

ရှေးယခင်က BAS များတွင် data processing ကို လုပ်ဆောင်နိုင်သည့် တစ်ခုသော central processor သာ ပါရှိသောကြောင့် poll response protocol ကို အသုံးများသည်။ ယနေ့ခေတ် BAS များတွင်

DDC များအားလုံး၌ processor ပါရှိသောကြောင့် peer protocol ကို အသုံးများလာသည်။ Master device ဟူ၍ မရှိတော့ပေ။

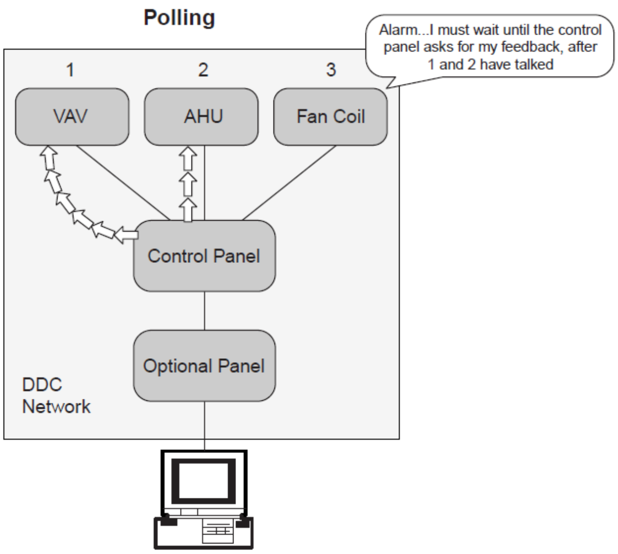
Poll-response communications protocol ထက်စာလျှင် Peer-communications protocol တွင် အောက်ပါ အားသာချက်များ(advantages)ရှိသည်။

(၁) Communication သည် master device တစ်ခုတည်းပေါ်တွင် မမှီခိုပေ။

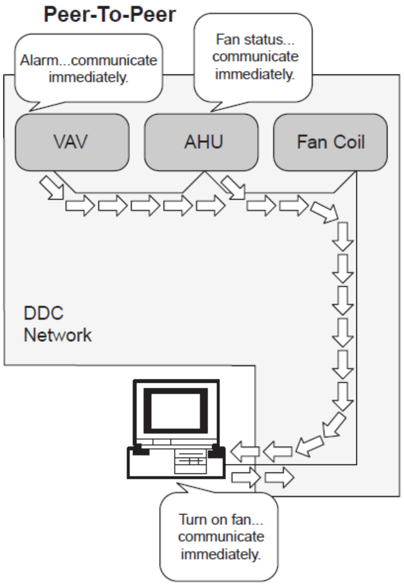
(၂) Bus နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည့် devices များ အချင်းချင်း တိုက်ရိုက် ဆက်သွယ်နိုင်သောကြောင့် central processor မှ တစ်ဆင့် အချက်အလက်များ ဖြတ်သွားရန် မလိုပေ။

(၃) အားလုံးနှင့် သက်ဆိုင်သည့်အချက်အလက်များ(Global messages) ကို bus နှင့် ချိတ်ဆက်ထားသည့် devices များဆီသို့ တစ်ပြိုင်နက် ထုတ်လွှတ်နိုင်သည်။

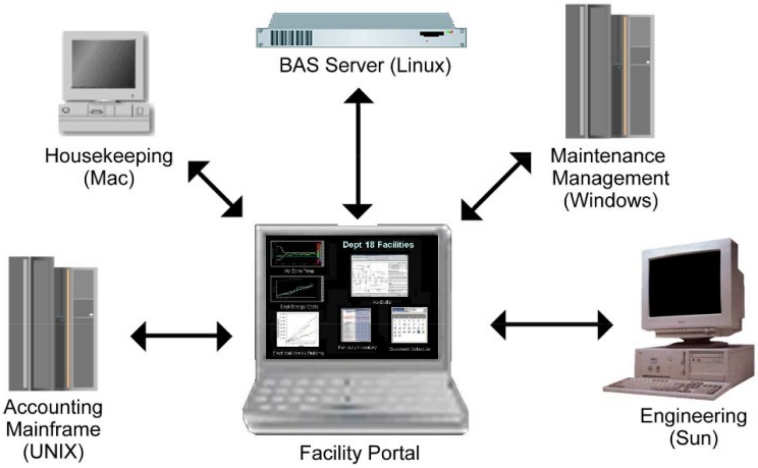
Peer communication တွင် device များ bus ကို ချိတ်နိုင်ခွင့် time slot သည် အလိုလျှောက် အလှည့်ကြ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် device များ data transfer လုပ်ရန် bus နှင့် ချိတ်ဆက်နိုင်ခွင့် time slot ကို အလှည့်ကျ ရနေသည်။



ပုံ ပုံ ၉-၆ (က) Polling network



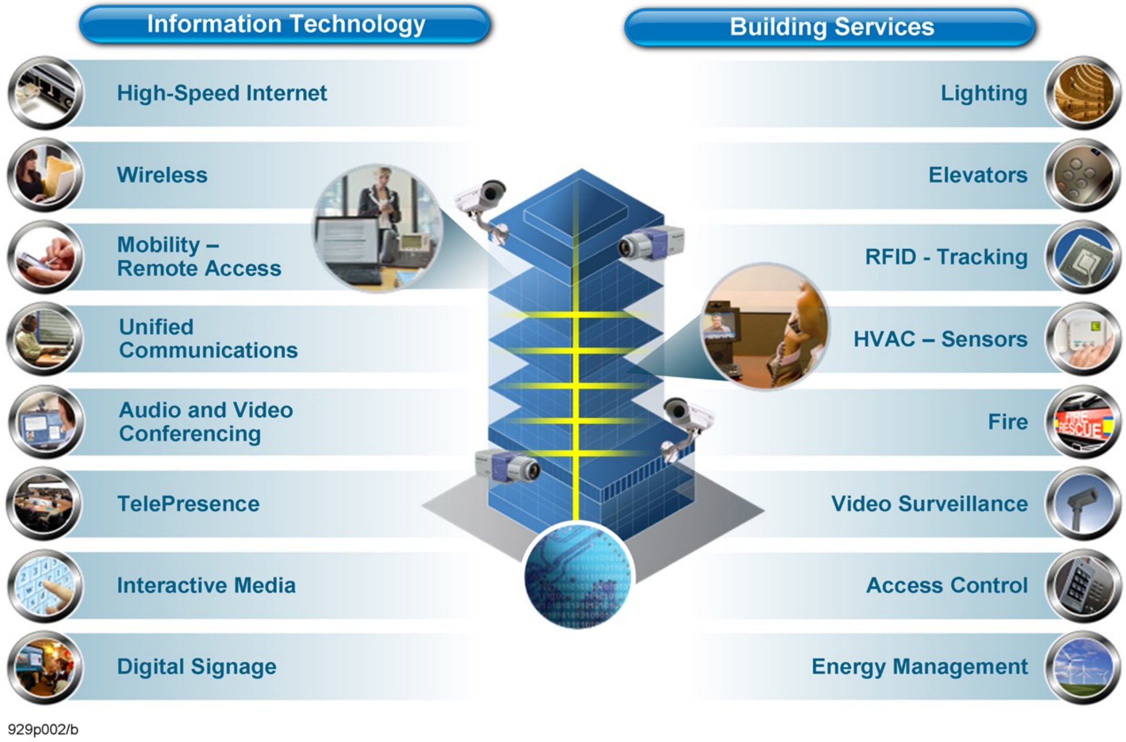
ပုံ ၉-၆ (ခ) Peer-to-Peer network



ပုံ ၉-၇ Integrating information from multiple system into a facility portal

၉.၃ Communication Protocol

Communication protocol ဆိုသည်မှာ computer system များ အချင်းချင်း ဆက်သွယ်ရန် (communicate)အတွက် လိုက်ရမည့်စည်းကမ်းများ(set of rules)ဖြစ်သည်။ Protocolသည် ဘာသာစကားနှင့် တူညီသည်။ ဘာသာစကားတူသူ နှစ်ဦးသားပြောဆို ဆက်သွယ်နိုင်သလို protocol တူသည့် system နှစ်ခုသာ ပြောဆို ဆက်သွယ်နိုင်သည်။ Communicate လုပ်နိုင်သည်။ Talk နိုင်သည်။ ဘာသာစကား မတူသည့် လူနှစ်ဦး ပြောဆိုရန် စကားပြန်(translator) လိုအပ်သကဲ့သို့ protocol မတူသည့် system နှစ်ခု communicate လုပ်ရန်အတွက် gateway လိုအပ်သည်။ Gateway သည် ဘာသာပြန် (translator) အဖြစ် ဆောင်ရွက်ပေးသည်။



ပုံ ၉-၈ Information Technology and Building Services

Communications protocol များသည် BAS ၏ မရှိမဖြစ် လိုအပ်သည့် အရာဖြစ်သည်။ BAS တစ်ခု အတွင်း၌ ထုတ်လုပ်သူအမျိုးမျိုးထံမှ device အမျိုးမျိုး နှင့် controller အမျိုးမျိုးတို့ ရှိနေနိုင်သည်။ တစ်နေရာမှ data များ အခြားတစ်နေရာဆီသို့ ပေးပို့ခြင်း၊ ရယူခြင်း လုပ်ဆောင်ရန်လိုအပ်သည်။

(က) Open Protocol
(ခ) Standard Protocol
(ဂ) Proprietary Protocol ဟူ၍ အခြေခံအားဖြင့် protocol သုံးမျိုး ရှိသည်။

ယနေ့ အသုံးများသည့် communications protocol များကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Building automation and control network (BACnet®, Modicon®, MODBUS®).
(၂) European installation bus (EIB).
(၃) Local Operating Network Talk (LonTalk®) Echelon Corporation.
(၄) Emerging BAS Internet Protocol (transmission control protocol/Internet protocol [TCP/IP], hypertext transfer protocol [HTTP], extensible markup language [XML]).

Protocol များ နှင့် ထုတ်လုပ်သည့် ကုမ္ပဏီများနှင့်တကွ ဖော်ပြထားသည်။

BACnet	LonWorks	Property Protocols
Alerton	Invensys	Siemens
Automated Logic control	Echelon	Trane
Delta	TAC/CSI	Johnson Controls
		Honeywell
		Carrier

၉.၃.၁ Standard Protocol

Industry တစ်ခု သို့မဟုတ် အဖွဲ့အစည်း တစ်ခုမှ တီထွင်ထားသည့် protocol ဖြစ်သည်။ Industry တစ်ခုက ၎င်းတို့၏ လိုအပ်ချက်များကို ဖြည့်ဆည်းရန်အတွက် develop လုပ်ထားသည့် standard ဖြစ်သည်။ Standard protocol အများစုသည် International Standard Organization (ISO) မှ publish လုပ်သည့် Open System Interconnection (OSI) model ကို အခြေခံထားကြသည်။

OSI model ကို computer industry မှ adopte လုပ်ထားပြီး network တစ်ခုအတွင်းရှိ computer တစ်လုံးမှ အခြား network အတွင်းရှိ computer တစ်လုံးဆီသို့ data များ transfer လုပ်လိုသည့်အခါ လုပ်ဆောင်ရန် လိုအပ်သော activity များကို ဖော်ပြထားသည်။

ဥပမာ - EIA/RS 232 Communication, Ethernet Communication တို့ ဖြစ်သည်။

၉.၃.၂ BACnet (Building Automation Control Networking) Protocol

BACnet ၏ နောက်ခံသမိုင်း

BACnet သည် Building Automation Control Networking Protocol ဖြစ်သည်။ BACnet ကို American Society of Heating Refrigeration & Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) အဖွဲ့မှ ၁၉၈၇ တွင် စတင်တီထွင် အသုံးပြုခဲ့သည်။ ASHRAE ကော်မတီတွင် manufacturers ၊ major users ၊ consultants နှင့် စိတ်ဝင်စားသူများ ပါဝင်ကြသည်။

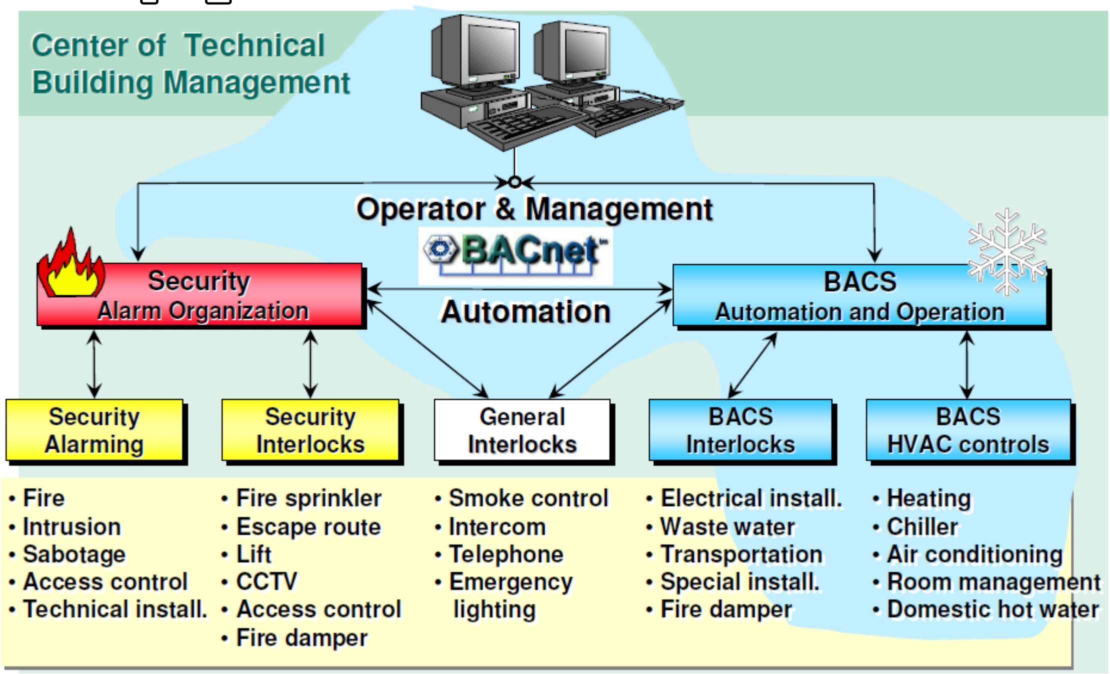
BACnet Protocol ၏ အားသာချက်များ (Strengths)

(က) Global standard ဖြစ်သည်။
(ခ) တိုးတက်လာမည့် နည်းပညာများအတွက်ပါ လိုက်လျောညီထွေ ဖြစ်အောင် ဒီဇိုင်း လုပ်ထားသည်။
(ဂ) Architecture ပုံသေဖြစ်ရန်မလို။ မိမိနှင့် သင့်လျော်သလို ဒီဇိုင်းလုပ်နိုင်သည်။
(ဃ) Device အရေအတွက် ကန့်သတ်ချက် မရှိ။
(င) BACnet protocol ကို အသုံးပြုသည့်အတွက် အခကြေးငွေ ပေးရန် မလိုပေ။
(စ) ကြိုက်သလို မွန်းမံ အသုံးပြုနိုင်သည်။
(ဆ) Vendor များ အားလုံးနီးပါး တညီတညွတ်တည်း ထောက်ခံသည့် protocol ဖြစ်သည်။

Benefits of BACnet

(က) BACnet protocol ကို အသုံးပြုသူ အရေအတွက် အလွန်များသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် ဈေးကွက်ထဲတွင် BACnet protocol ကို အသုံးပြုသည့် device များစွာကို ရွေးချယ်နိုင်သည်။
(ခ) Engineer များနှင့် end user များက အသုံးပြုကြသည်။ Support လုပ်ကြသည်။
(ဂ) HVAC object များ ပြည့်ပြည့်စုံစုံ ရှိထားပြီး ဖြစ်သည်။
(ဃ) EIA/ANSI standard ကို အခြေခံ ထားသည်။

(င)   Robust ဖြစ်သည်။



ပုံ ၉-၉ System integration

BACnet Protocol ၏ အတားအဆီးများ (Obstacles)

(က) Field level တွင် လက်ခံ အသုံးပြုရန် အခက်အခဲရှိသည်။

(ခ) Interoperability လုပ်နိုင်စွမ်း အားနည်းသည်။ (Lack of interoperability)

(ဂ) Guidelines အားနည်းသည်။

(ဃ) Testing လုပ်ခြင်း certification ပေးခြင်း ကိစ္စများ ဆောင်ရွက်ဆဲဖြစ်သည်။

(င) တိတိ ကျကျ specify လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ (Hard to specify)

(စ) တိုးတက်မှု နှေးကွေးသည်။ (Speed of development)

(ဆ) HVAC မဟုတ်သည့် လုပ်ငန်းများအတွက် support လုပ်ပေးမှု အားနည်းသည်။

(ဇ) Device အမျိုးအစား အနည်းငယ်သာ ရနိုင်သည်။ (Limited device offerings)

(ဈ) Gate way ကို မဖြစ်မနေ အသုံးပြုရန် လိုသည်။ (Gateways still required)

BACnet® သည် ANSI standard building automation and control network protocol ဖြစ်သည်။ ANSI/ASHRAE 135-2004, BACnet2---A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks ဟု၍ ထင်ရှားသည်။ ၂၀၀၃ ခုနှစ်တွင် BACnet® သည် ISO 16484-5 နှင့် လုံးဝ ကိုက်ညီသည့် protocol ဖြစ်လာသည်။

BACnet networking လုပ်နိုင်သည့် option များမှာ

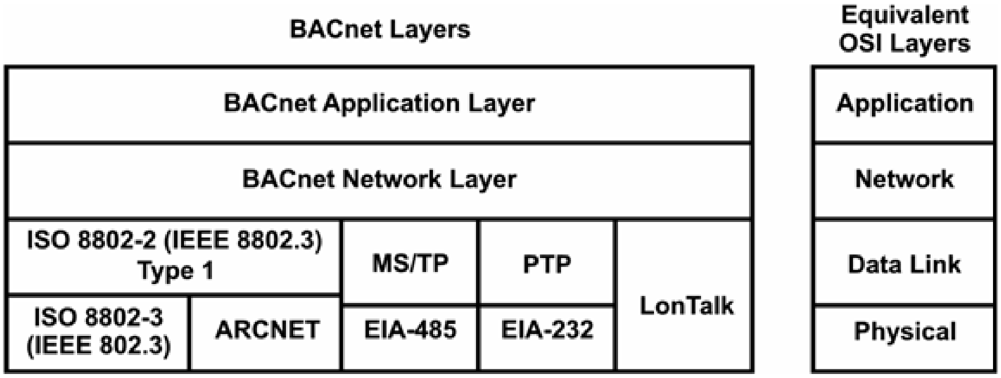
(၁) Ethernet ARCNET

(၂) Master-Slave/Token-Passing (MS/TP)

(၃) Point-to-Point (PTP)

(၄) Echelon's LonTalk

(၅) BACnet/IP



ပုံ ၉-၁၀ BACnet layer များ နှင့် Open System Interconnection (OSI) layer များ နှိုင်းယှဉ်ပုံ

BACnet Websites

(၁) www.bacnet.org

(၂) www.bacnetassociation.org

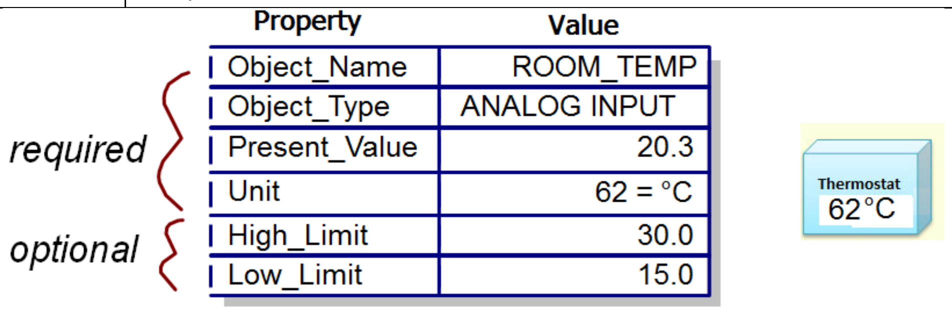
(၃) www.big-eu.org

BACnet မှ သတ်မှတ်ထားသည့် standard object အမျိုးအစား (၂၃)ခုကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

Table 1. Standard BACnet Objects.

OBJECT	**EXAMPLE OF USE**
Analog Input	Sensor input
Analog Output	Control output
Analog Value	Setpoint or other analog control system parameter
Binary Input	Switch input
Binary Output	Relay output
Binary Value	Binary (digital) control system parameter
Calendar	Defines a list of dates, such as holidays or special events, for scheduling.
Command	Writes multiple values to multiple objects in multiple devices to accomplish a specific purpose, such as day-mode to night-mode, or emergency mode.
Device	Properties tell what objects and services the device supports, and other device-specific information such as vendor, firmware revision, etc.
Event Enrollment	Describes an event that might be an error condition (e.g., "Input out of range") or an alarm that other devices to know about. It can directly tell one device or use a Notification Class object to tell multiple devices.
File	Allows read and write access to data files supported by the device.
Group	Provides access to multiple properties of multiple objects in a read single operation.
Loop	Provides standardized access to a "control loop."
Multi-state Input	Represents the status of a multiple-state process, such as a refrigerator's On, Off, and Defrost cycles.
Multi-state Output	Represents the desired state of a multiple-state process (such as It's Time to Cool, It's Cold Enough and it's Time to Defrost).
Notification Class	Contains a list of devices to be informed if an Event Enrollment object determines

	that a warning or alarm message needs to be sent.
Program	Allows a program running in the device to be started, stopped, loaded and unloaded, and reports the present status of the program.
Schedule	Defines a weekly schedule of operations (performed by writing to specified list of objects with exceptions such as holidays. Can use a Calendar object for the exceptions.



ပုံ ၉-၁၁ Example of BACnet Analog Input Object

Table 2. Properties of the Analog Input Object.

PROPERTY	BACnet	EXAMPLE
Object_Identifier	Required	**Analog Input #1**
Object_Name	Required	**"AI 01"**
Object_Type	Required	**Analog Input**
Present_Value	Required	**68**
Description	Optional	**"Outside Air Temperature"**
Device_Type	Optional	**"10k Thermistor"**
Status_Flags	Required	**In_Alarm**, **Fault**, **Overridden**, **Out_Of_Service** flags
Event_State	Required	**Normal** (plus various problem-reporting states)
Reliability	Optional	**No_Fault_Detected** (plus various fault conditions)
Out_Of_Service	Required	**FALSE**
Update_Interval	Optional	**1.00** (seconds)
Units	Required	**Degrees-Fahrenheit**
Min_Pres_Value	Optional	**-100.0**, minimum reliably read value
Max_Pres_Value	Optional	**+300.0**, maximum reliably read value
Resolution	Optional	**0.1**
COV_Increment	Optional	Notify if Present_Value changes by increment: **0.5**
Time_Delay	Optional	Seconds to wait before detecting out-of-range: **5**
Notification_Class	Optional	Send COV notification to Notification Class Object: **2**
High_Limit	Optional	**+215.0**, Upper normal range
Low_Limit	Optional	**-45.0**, Lower normal range
Deadband	Optional	**0.1**
Limit_Enable	Optional	Enable **High-limit-reporting**, **Low-limit-reporting**.
Event_Enable	Optional	Enable **To_Offnormal**, **To_Fault**, **To_Normal** change reporting.
Acked_Transitions	Optional	Flags indicating received acknowledgments for above changes.
Notify_Type	Optional	**Events** or Alarms

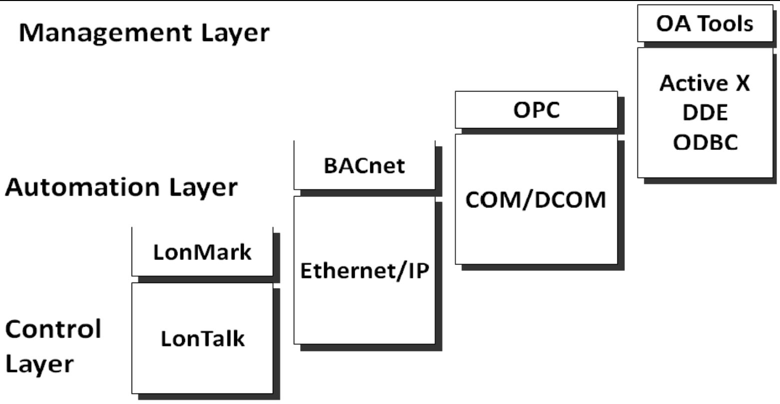
Table 3. Properties of the Device Object.

PROPERTY	BACnet	EXAMPLE
Object_Identifier	Required	Device #1076
Object_Name	Required	"Office 36 DD Control"
Object_Type	Required	Device
System_Status	Required	Operational (plus others)
Vendor_Name	Required	"Alerton Technologies, Inc."
Vendor_Identifier	Required	Alerton
Model_Name	Required	"VAV-DD Controller"
Firmware_Revision	Required	"1.0"
Application_Software_Version	Required	"Dual-Duct DDC"
Location	Optional	"Office 36, Floor 3"
Description	Optional	"(on network 5)"
Protocol_Version	Required	1 (BACnet protocol version)
Protocol_Conformance_Class	Required	2
Protocol_Services_Supported	Required	readProperty, writeProperty, atomicWriteFile,...
Protocol_Object_Types_Supported	Required	Analog Input, Analog Output,...
Object_List	Required	Analog Input #1, Analog Input #2, ...
Max_APDU_Length_Supported	Required	50 (bytes or characters)
Segmentation_Supported	Required	No
VT_Classes_Supported	Optional	n/a
Active_VT_Sessions	Optional	n/a
Local_Time	Optional	30:15.2
Local_Date	Optional	Tuesday, March 12, 1996
UTC_Offset	Optional	+480 (minutes from GMT/UTM)
Daylight_Savings_Status	Optional	False (not in effect)
APDU_Segment_Timeout	Optional	n/a
APDU_Timeout	Required	3000 milliseconds
Number_Of_APDU_Retries	Required	0
List_Of_Session_Keys	Optional	n/a
Time_Synchronization_Recipients	Optional	n/a
Max_Master	Optional	n/a
Max_Info_Frames	Optional	n/a
Device_Address_Binding	Required	None

Table 4. Alarm and Event Services

SERVICE	BACnet	DESCRIPTION
AcknowledgeAlarm	C	Used to tell sender of alarm that a human has seen the alarm.
ConfirmedCOVNotification	C	Tells subscribing devices of the COV that occurred in a property.
ConfirmedEventNotification	C	Used to tell sender of a possible error condition.

GetAlarmSummary	C	Requests from a device a list of "active alarms," if any.
GenEnrollmentSummary	C	Requests a list of "event" (possible error) generating objects.
SubscribeCOV	C	Sent by a device to request that it be told of COVs in an object.
UnconfirmedCOVNotification	U	Tells subscribing devices that a change has occurred to one or more properties of a particular object.



ပုံ ၉-၁၂ Protocol များကို network layar များဖြင့် နှိုင်းယှဉ်ပုံ

၉.၃.၃ LonTalk®

LON ၏ အဓိပ္ပာယ်သည် Local Operating Network(LON) ဖြစ်သည်။ LonTalk သည် Peer to Peer protocol ဖြစ်သည်။ LonTalk protocol သည် electronic component များ အချင်းချင်း သတင်းအချက်အလက်များ ဖလှယ်(data exchange) ရာတွင် အသုံးပြုသည့် သဘောတူညီချက် (ဘာသာစကား) ဖြစ်သည်။

LonTalk® သည် Echelon Corporation မှ LonWorks® နည်းပညာဖြင့် interoperable control network များအတွက် တီထွင်ထားသည့် protocol တစ်ခု ဖြစ်သည်။ ၁၉၈၈ ခုနှစ်တွင် Echelon မှ LonWorks platform ကို စတင်တီထွင်ခဲ့သည်။ Echelon နှင့် LonMark user များက LonMark® Interoperability Association ကို ၁၉၉၄ ခုနှစ် မေလတွင် စတင်ဖွဲ့စည်းခဲ့သည်။ LonMark Association မှ certified လုပ်ထားသည့် device များသည် LonMark တံဆိပ်(logo) ကပ်ခွင့်ရှိပြီး LonMark device ဟု သတ်မှတ်ခြင်းခံရသည်။ မည်သည့် LonWorks network တွင် မဆို တပ်ဆင် အသုံးပြုနိုင်သည့် device ဖြစ်သည်ဟု ဆိုလိုသည်။ LonWorks ကို intelligent device များ ချိတ်ဆက်ထားသည့် distributed control network များတွင် အသုံးပြုသည်။

Local Operating Network(LON) နှင့် ချိတ်ဆက်နိုင်သည့် media အမျိုးအစား(type) များမှာ

(၁) Electrical power lines (e.g., power line carrier)

(၂) Balanced twisted-pair cabling may be supported by any recognized topology (e.g., bus, ring, star)

(၃) Optical fiber cabling

(၄) Coaxial cabling

(၅) Wireless

LonWorks network အတွင်းရှိ LonMark device များတွင် Neuron® chip ဟုခေါ်သည့် intelligent microprocessor ပါရှိသည်။ Neuron® chip သည် processing လုပ်ငန်း နှင့် communicating လုပ်ငန်းများကို ဆောင်ရွက်ပေးသည်။

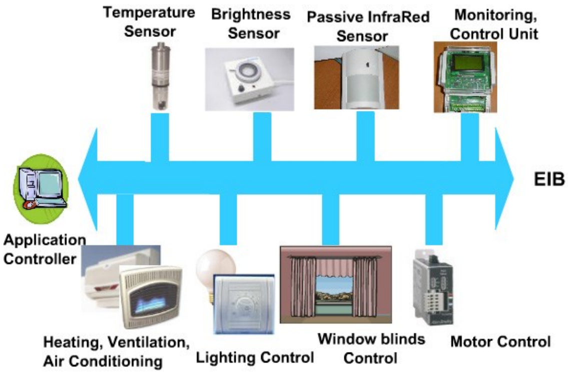
Toshiba နှင့် Cypress Semi-conductor Corporation တို့သည် Echelon ၏ လိုင်စင်ခွင့်ပြုချက် (licensing agreements)ဖြင့် Neuron® chip များကို ထုတ်လုပ်ကြသည်။ အခြား protocol များနှင့် မတူညီသည့် အချက်မှာ LonWorks သည် OSI model မှ အလွှာ (၇)လွှာ(seven layers)လုံးကို အသုံးပြုထားသည်။

LonWorks Strengths

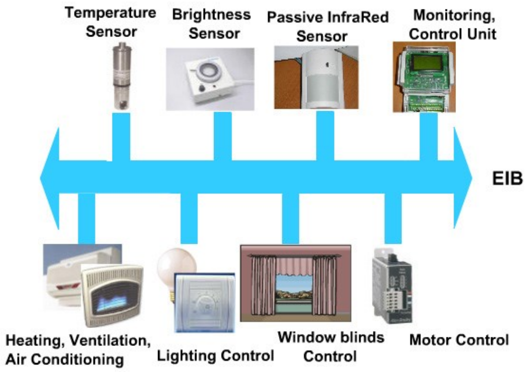
- Gaining momentum
- Good field bus solution
- HVAC, lighting, security, fire, sun blinds, lifts
- Widely adopted (worldwide)
- Interoperability

LonMark Obstacles

- Number of available devices
- High level implementation
- Lack of support from engineers
- Echelon ownership of technology and marks
- Not native IP



ပုံ ၉-၁၃ EIB centralized system



ပုံ ၉-၁၄ EIB decentralized system

၉.၃.၄ Modbus Protocol

Modbus protocol သည် serial communications protocol ဖြစ်သည်။ Communicate လုပ်လိုသည့် device များကို အတန်းလိုက်ပုံစံ(series form)ဖြင့် ချိတ်ဆက်ထားသောကြောင့် serial communication ဟုခေါ်သည်။ ၁၉၇၉ခုနှစ်တွင် Schneider Electric (ယခင်အခေါ် Modicon) မှ Programmable Logic Controllers (PLCs) များအတွက် တီထွင်ခဲ့သည်။ ရိုးရှင်းပြီး စိတ်ချရသည့် communication protocol ဖြစ်သည်။ စက်မှုလုပ်ငန်းများ(industrial)တွင် အသုံးပြုသည့် electronic device များ အပြန်အလှန် ချိတ်ဆက်ရန်ရာတွင် အသုံးများသည့် protocol ဖြစ်သည်။ Network တစ်ခုအတွင်း၌ device ပေါင်း (၂၄၇)အထိ ချိတ်ဆက်၍ communicate လုပ်နိုင်သည်။ Supervisory computer မှ remote terminal unit (RTU)များကို control လုပ်ရန် နှင့် data acquisition လုပ်ရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

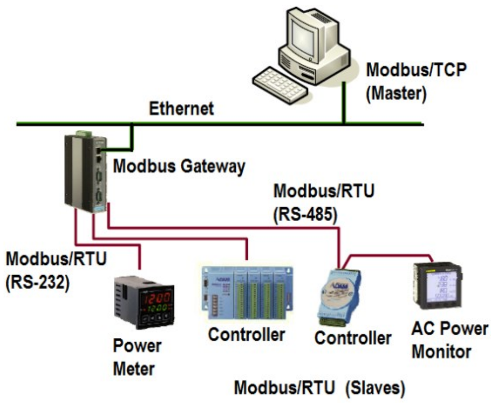
၂၀၀၄ခုနှစ်တွင် Modbus protocolကို Modbus organization မှ ပိုကောင်းအောင် ထပ်မံပြုပြင်ခဲ့သည်။ Schneider Electric မှ မူပိုင်ခွင့်များကို Modbus organization သို့ လွှဲပြောင်းပေးခဲ့သည်။ MODBUS message များအားလုံးတွင် တူညီသည့် တည်ဆောက်ပုံ(structure) ရှိကြသည်။
MODBUS message structure တွင် အောက်ပါ အချက်များ ပါဝင်သည်။

(၁) Device address—Address of the receiver.

(၂) Function code—Code defining message type.

(၃) Data—Data block with additional information.

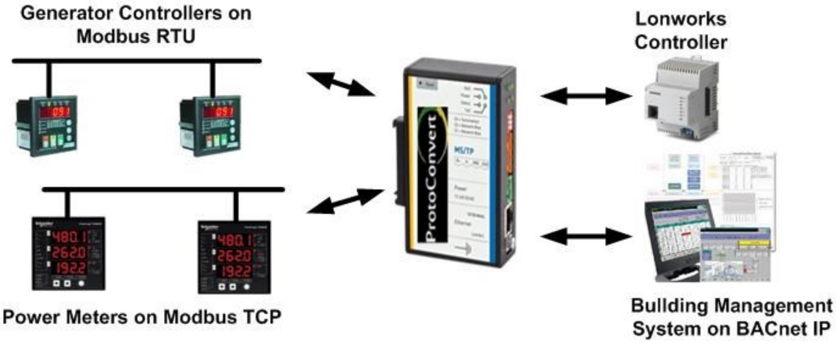
(၄) Error check—Numeric check value to test for communication errors.



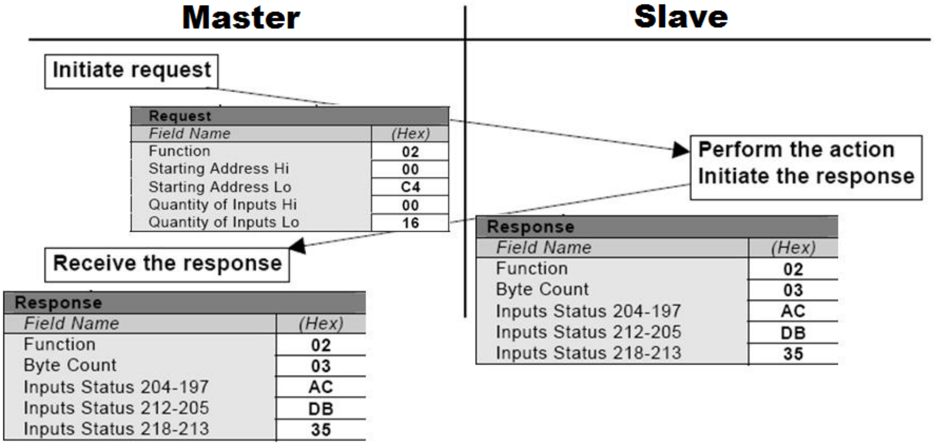
ပုံ ၉-၁၅ Modbus connection

Serial MODBUS network များတွင် master device နှင့် slave device ဟူ၍ နှစ်မျိုးရှိသည်။ Data များ ပေးပို့ရန် အတွက် master မှ စတင်၍ initiate လုပ်သည်။ slave device မှ တုန့်ပြန်သည်။ MODBUS serial communication ၏ message များအားလုံးကို code လုပ်ထားသည်။

American Standard Code for Information Interchange(ASCII)နှင့် Remote Terminal Unit(RTU) ဟူ၍ MODBUS transmission mode နှစ်မျိုးရှိသည်။



ပုံ ၉-၁၆ Modbus RTU နှင့် Modbus TCP



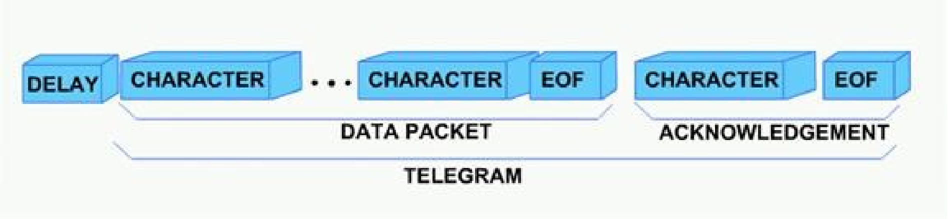
ပုံ ၉-၁၇ Modbus message များ အပြန်အလှန် ပေးပို့(transfer)ပုံ

ASCII transmission mode တွင် message များအားလုံးကို ASCII format ဖြင့် code လုပ်ထားသည်။ Remote Terminal Unit (RTU) transmission mode သည် binary coding ဖြစ်သည်။ RTU transmission mode တွင် message အရွယ်အစားများ သေးငယ်သည်။ တူညီသည့်အချိန်အတွင်း message များများကို transmit လုပ်နိုင်သည်။

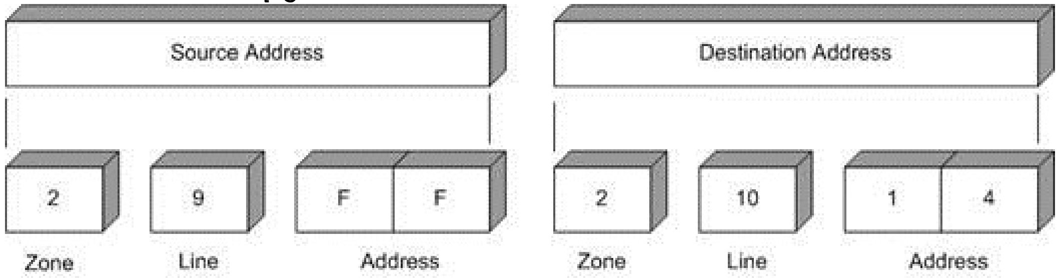
TCP/IP သို့မဟုတ် Ethernet connection များ အတွက် MODBUS protocol ကို အသုံးပြုသည့် MODBUS/TCP ဟူ၍ တီထွင်ထားသည်။ TCP frame အတွင်း၌ MODBUS frame ထည့်ထားသည့် ပုံစံမျိုးဖြစ်သည်။

Modbus serial ဝါယာများသည် RS232 သို့မဟုတ် RS422/485 connection တို့ ဖြစ်သည်။ 2-wire သို့မဟုတ် 4-wire ဖြစ်နိုင်သည်။ Polyethylene insulation ဖြင့် 24 AWG [(0.51 mm (0.020 in)] conductor

ဖြစ်သည်။ Twisted pairs ဝါယာများကိုလည်း အသုံးပြုနိုင်သည်။ MODBUS/TCP တွင် category 6 ကေဘယ်များကို အသုံးပြုသည်။



ပုံ ၉-၁၈ Structure of an EIB compliant telegram



ပုံ ၉-၁၉ Address structure for source and destination of telegram (system accessing mode)

၉.၃.၅ European Installation Bus (EIB)

European Installation Bus (EIB)သည် ၁၉၉၀ တွင် Siemens မှ တီထွင်ထားသည့် industry standard protocol ဖြစ်သည်။ ၂၀၀၂ တွင် စက်မှုလုပ်ငန်းပေါင်း ၁၁၀ ပါဝင်သည့် EIB Association (ELBA)ဟု ထင်ရှားသည့်အဖွဲ့မှ ဝိုင်းဝန်းထောက်ခံခဲ့သည့် protocol ဖြစ်သည်။ EIB သည် modular ပုံစံမျိုးဖြစ်သည်။ Multi-vendor environment တွင် လုပ်ငန်းမျိုးစုံအတွက် အသုံးပြုရန် ရည်ရွယ်၍ တီထွင်ခဲ့ခြင်း ဖြစ်သည်။

EIB ကို မည်သည့် topology နှင့် မဆို အသုံးပြုနိုင်သည်။ Carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA) protocol ကို အခြေခံထားသည့် serial communication ဖြစ်သည်။ Network အတွင်းရှိ device များ အချင်းချင်း common bus ကို သုံး၍ communicate လုပ်နိုင်သောကြောင့် ကေဘယ်ကြိုး သွယ်တန်းရန် ကိစ္စများ နှင့် bridging လုပ်ခြင်းကိစ္စများ လျှော့ချနိုင်သည်။

အောက်တွင် transmission media များကို အသုံးပြု၍ home ၊ office ၊ building automation လုပ်ငန်းများကို EIB ဖြင့် ပြုလုပ်နိုင်သည်။

(က) Balanced twisted-pair cabling (9600 b/s).

(ခ) Electrical power lines (e.g., power line carrier, 1200 b/s).

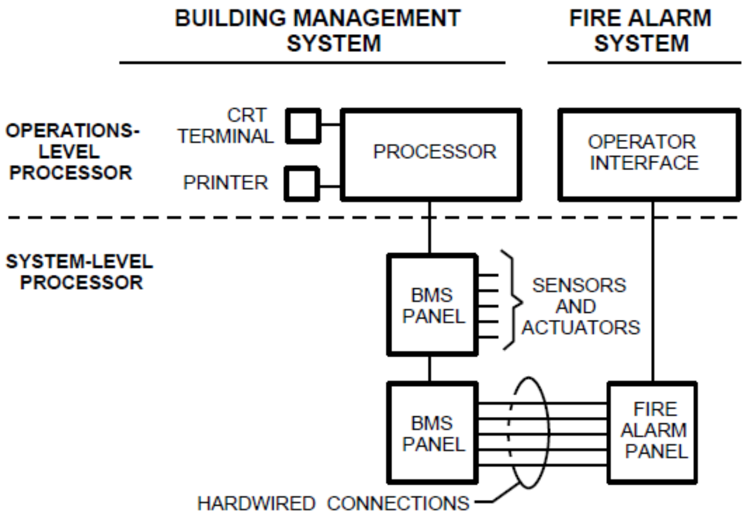
(ဂ) Radio frequency (RF [19 200 b/s, 868 MHz band]).

Advanced Network for unified building integration services (ANubis) သည် powerful protocol ဖြစ်သည်။ Internet ၊ intranet နှင့် extranet တို့မှ တစ်ဆင့် integration လုပ်ရန်အတွက် object model ဖြစ်သည်။ EIB ANubis protocols သည် မည်သည့် IP network အတွက်မဆို အသုံးပြုနိုင်သည်။

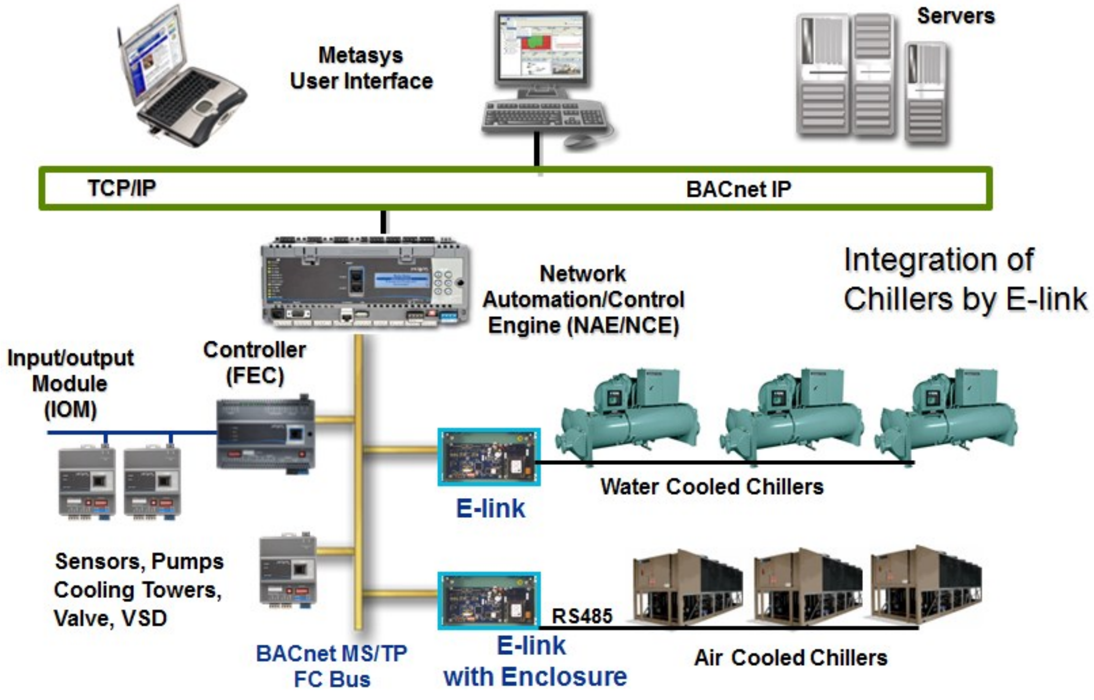
၉.၃.၆ Proprietary Protocol

Proprietary protocol များသည် Johnson Controls၊ Honeywell၊ Siemen စသည့် ကုမ္ပဏီတစ်ခုခုက သီးသန့်တီထွင်ထားသည့် protocol ဖြစ်သည်။ Proprietary protocol များ အကြောင်းကို ဤစာအုပ်တွင် မဖော်ပြထားပါ။

၉.၄ Low Level Interfacing and High Level Interfacing



ပုံ ၉-၂၀ surface integration သို့မဟုတ် hard wired integration



ပုံ ၉-၂၁ High level interfacing သို့မဟုတ် high level integration

၉.၄.၁ Hard Wired Integration or Low Level Interfacing

Hard wired integration ဆိုသည်မှာ sub-system တစ်ခုမှ input/output point တစ်ခုချင်းစီကို ဝါယာကြိုးဖြင့် ချိတ်ဆက်ခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Surface integration သို့မဟုတ် low level interfacing လုပ်သည့် ဟူ၍လည်း ပြောဆိုလေ့ရှိသည်။ အသက်အန္တရာယ်နှင့် သက်ဆိုင်သည့် input/output point များကို hard wired ဖြင့်သာ integration လုပ်ခွင့်ပြုသည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် hard wired integration အလွန်စိတ်ချရသည့်နည်း ဖြစ်သည်။ Software integration မဟုတ်သောကြောင့် controller များ၊ router များ software များ၊ program များနှင့် မသက်ဆိုင်တော့ပေ။

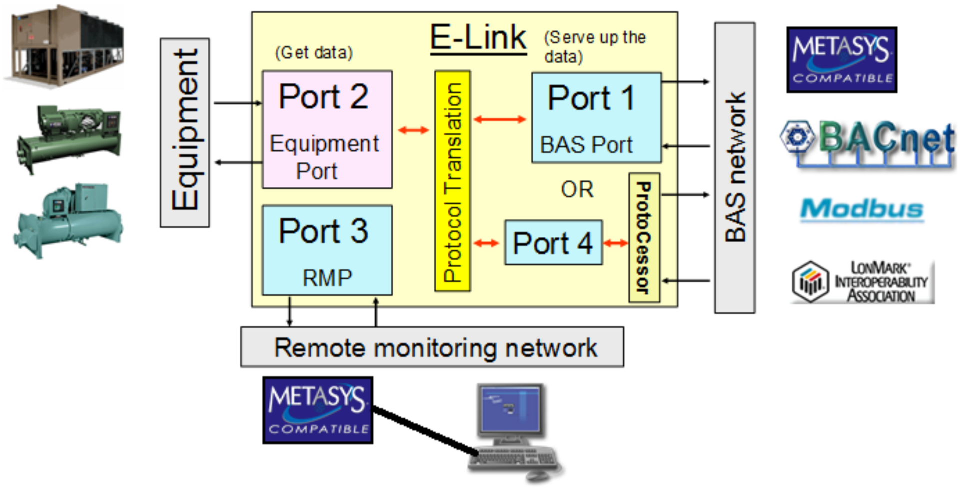
ဥပမာ မီးလောင်သည့်အခါ ACMV system ရှိ AHU များနှင့် FCU များ ပိတ်ရန်(shutdown)အတွက် fire alarm system မှ activation point နှင့် hard wired ဖြင့် integrate လုပ်ရမည်။ Lift များ homing လုပ်ရန်အတွက် fire alarm system မှ activation point ချိတ်ဆက်ရမည်။

၉.၄.၂ High Level Interfacing

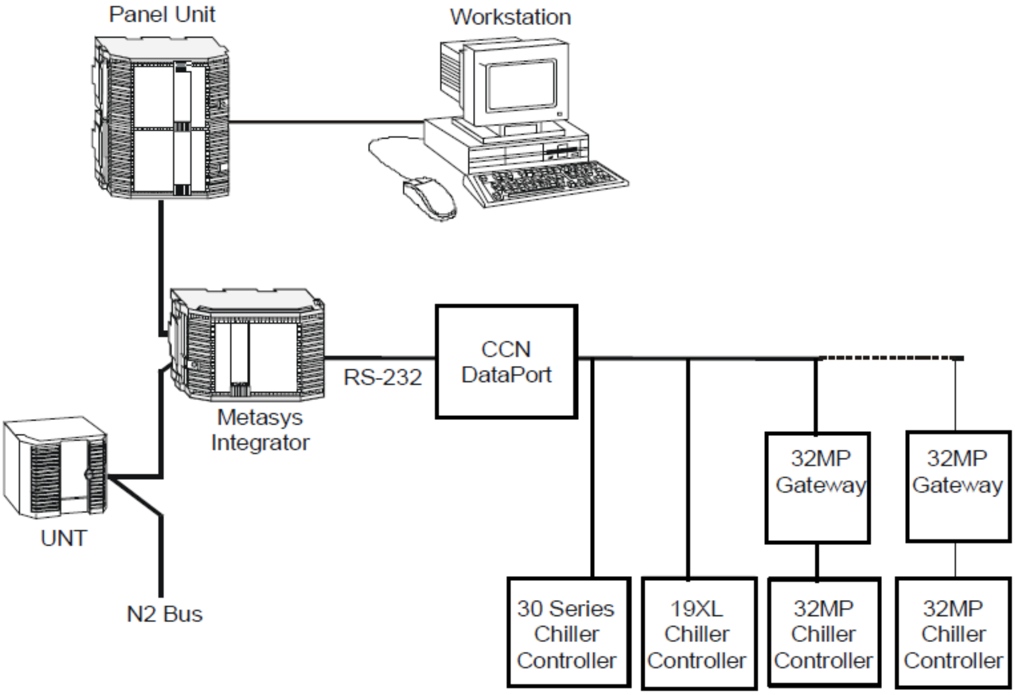
ကိုယ်ပိုင် control system ပါရှိသည့် equipment များဖြစ်ကြသော chiller ၊ air compressor ၊ generator ၊ Computer Room Air Conditioning unit(CRAC unit) များ၏ input/output point တစ်ခုချင်းစီကို integrate လုပ်ရန် ကုန်ကျစရိတ် အလွန်များလိမ့်မည်။ Serial communication ဖြင့် equipment အတွင်းရှိ အချက်အလက်အားလုံးကို တစ်ပြိုင်နက် ရယူနိုင်သည်။ ထိုနည်းသည် "**High level Interfacing**" ဖြစ်သည်။ အောက်တွင် York တံဆိပ် water cooled chiller များနှင့် air cooled chiller များမှ information များကို high level interface လုပ်၍ Building Automation System (BAS) နှင့် integration လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ High level interface လုပ်သည် device သည် Johnson Controls မှ ထုတ်လုပ်သည့် E-link ဖြစ်သည်။

Table 1. Recommended chiller-monitoring points per ASHRAE Standard 147

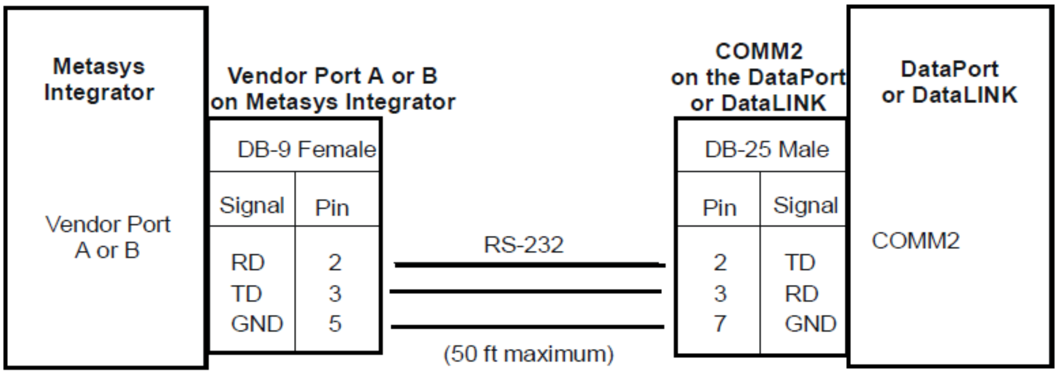
Chilled Water (or other secondary coolant)	Flow Flow	Condenser Water	Flow Flow
	Inlet Pressure		Inlet Pressure
	Inlet Temperature		Inlet Temperature
	Outlet Pressure		Outlet Pressure
	Outlet Temperature		Outlet Temperature
Evaporator	Refrigerant Pressure	Condenser	Refrigerant Pressure
	Refrigerant Temp.		Refrigerant Temp.
Oil	Level	Refrigerant	Level
	Pressure		Compressor Discharge Temp.
	Temperature		Compressor Suction Temp.
	Vibration Levels		PPM Refrigerant Monitor Level
Purge	Exhaust Time	Logs	Date and Time Data
	Discharge Count		Signature of Reviewer
Ambient Temperatures	Dry Bulb	Ambient Temperatures	Amps Per Phase
	Wet Bulb		Volts Per Phase



ပုံ ၉-၂၂ E-link နှင့် ချိတ်ဆက်နိုင်သည့် protocol များ



Carrier CCN DataPort Device and Metasys Companion System Integration

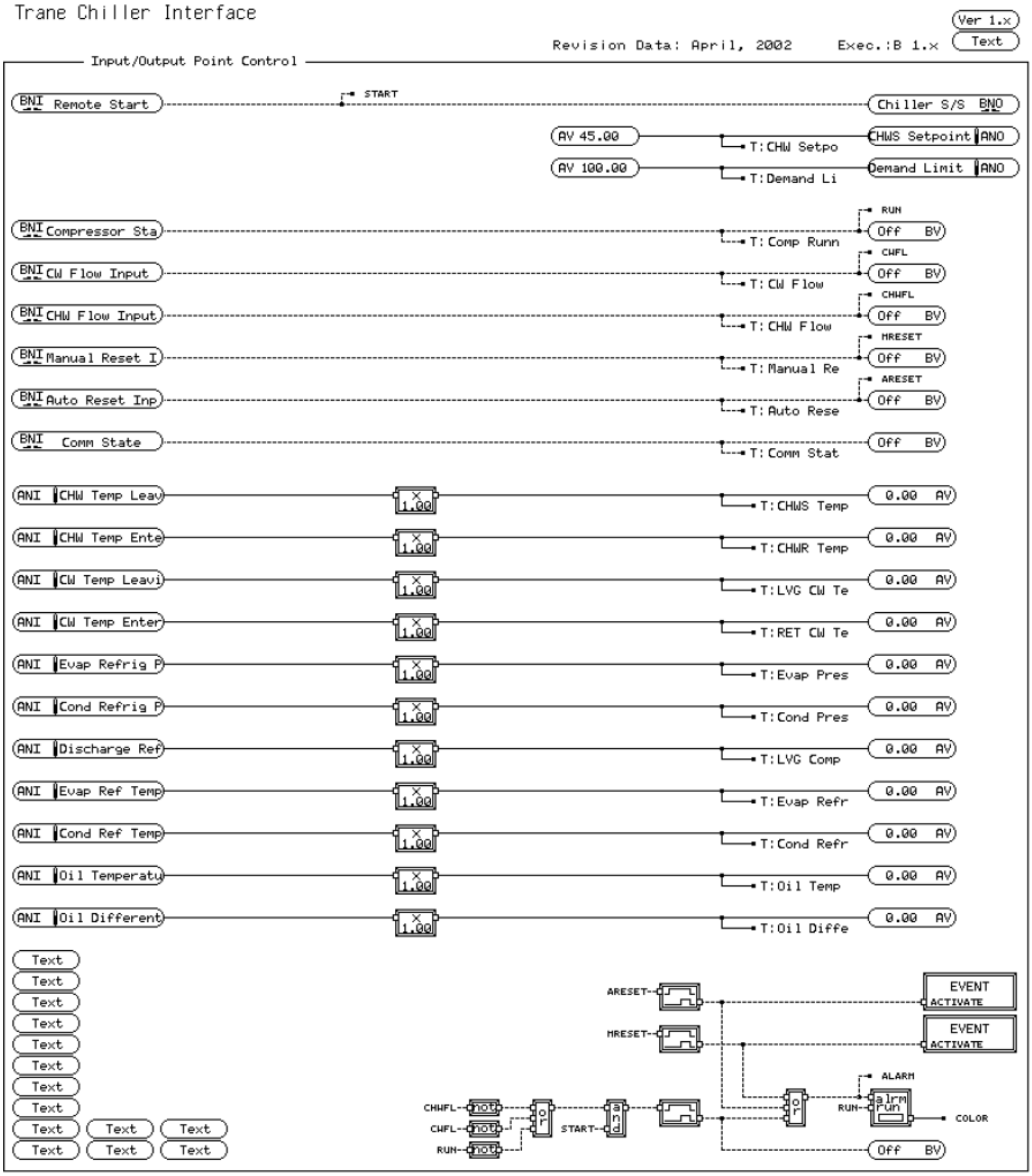


Port-to-Port Connection and Cable Pinouts

Table 1. Chiller တစ်လုံးမှ ဖတ်ယူ(read)နိုင်သည့် Point များ

Network Point Type	Network Point Address	Unit	Description	DataLINK Module Reference Point Name
AI	1	%	Active Demand Limit	DEM_LIM
AI	2	DegF	Water/Brine Setpoint	SP
AI	3	DegF	Control Point	CTRL_PNT
AI	4	DegF	Entering Fluid Temperature	EWT
AI	5	DegF	Leaving Fluid Temperature	LWT
AI	6	min	Minutes Left For Start	min_left
AI	7	psi	A: Discharge Pressure	DP_A
AI	8	psi	A: Suction Pressure	SP_A
AI	9	psi	A: A1 Oil Pressure Diff.	DOP_A1
AI	10	psi	A: A2 Oil Pressure Diff.	DOP_A2
AI	11	psi	A: A1 Oil Pressure	OP_A1
AI	12	psi	A: A2 Oil Pressure	OP_A2
AI	13	DegF	A: Discharge Gas Temperature	DISTMP_A
AI	14	DegF	A: A1 Motor Temperature	TMTR_A1
AI	15	DegF	A: A2 Motor Temperature	TMTR_A2
AI	16	DegF	A: SAT Condensing Temperature	TMP_SCTA
AI	17	DegF	A: Saturated Suction Temperature	TMP_SSTA
AI	18		A: Cooler Level Indicator	LEVEL_A
AI	19	psi	A: Circuit A Econ Pressure	ECNP_A
AI	20	psi	B: Discharge Pressure	DP_B
AI	21	psi	B: Suction Pressure	SP_B
AI	22	psi	B: B1 Oil Pressure Diff.	DOP_B1
AI	23	psi	B: B2 Oil Pressure Diff.	DOP_B2
AI	24	psi	B: B1 Oil Pressure	OP_B1
AI	25	psi	B: B2 Oil Pressure	OP_B2
AI	26	DegF	B: Discharge Gas Temperature	DISTMP_B
AI	27	DegF	B: B1 Motor Temperature	TMTR_B1
AI	28	DegF	B: B2 Motor Temperature	TMTR_B2
AI	29	DegF	B: SAT Condensing Temperature	TMP_SCTB
AI	30	DegF	B: Saturated Suction Temperature	TMP_SSTB
AI	31	psi	B: Cooler Level Indicator	LEVEL_B
AI	32	DegF	B: Circuit B Econ Pressure	ECNP_B
AI	33	DegF	Cooler Entering Fluid	COOL_EWT
AI	34	DegF	Cooler Leaving Fluid	COOL_LWT
AI	35	DegF	Condenser Entering Fluid	COND_EWT
AI	36	DegF	Condenser Leaving Fluid	COND_LWT
AI	37	DegF	Reclaim Entering Fluid	HR_EWT
AI	38	DegF	Reclaim Leaving Fluid	HR_LWT
AI	39	mA	4-20 mA Reset Signal	RST_MA

အောက်တွင် Trane chiller တစ်လုံးနှင့် Automated Logic (http://www.automatedlogic.com) တို့ high level interface လုပ်သည့် Graphic Function Block (GFB) program တစ်ခုကို ဖော်ပြထားသည်။



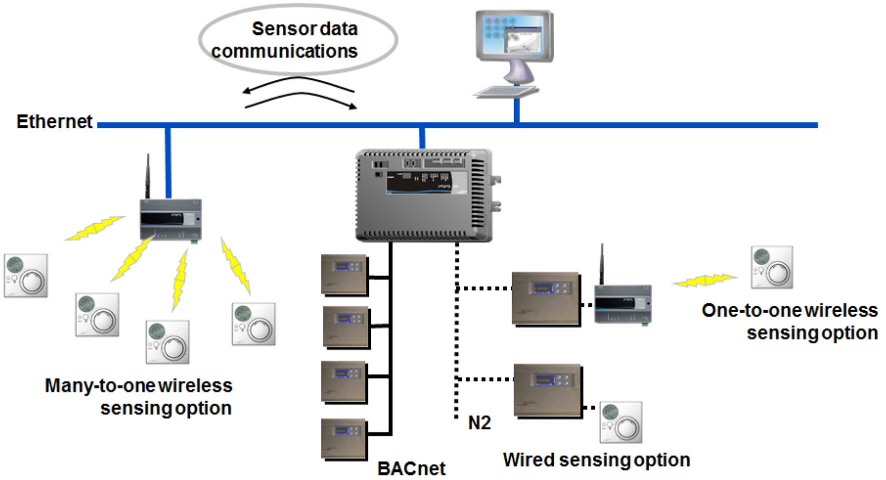
ပုံ BACnet Sample GFB-Trane Chiller using BACnet PTP

၉.၅ Wireless Sensing Systems

Wireless sensing systems ဆိုသည်မှာ sensor မှ controller အကြားတွင် ကြိုးမဲ့(wireless communication)ဖြင့် နှစ်မျိုးရှိသည်။

(က) Many-to-one room temperature sensing

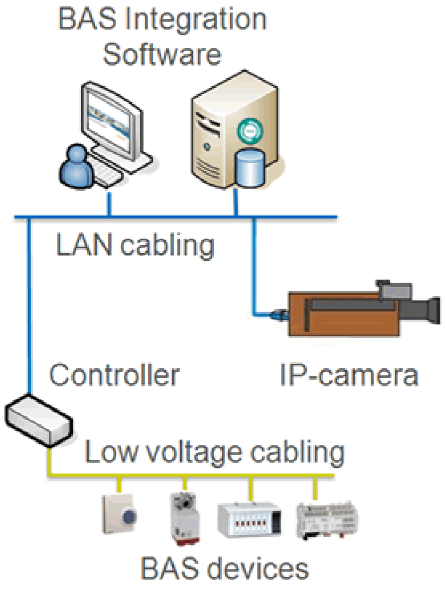
(ခ) One-to-one room temperature sensing



၉-၂၃ Many-to-one room temperature sensing နှင့် One-to-one room temperature sensing

၉.၆ Integration ဥပမာ

၉.၆.၁ BAS နှင့် Security System တို့ Integrate လုပ်ခြင်း



ပုံ ၉-၂၅

Security alarm များကို BAS workstation ဆီသို့ ပေးပြီး workstation operator အား alarm များ အားလုံး စောင့်ကြည့်ခြင်း၊ စီမံခန့်ခွဲခြင်းလုပ်ငန်းများ ဆောင်ရွက်နိုင်း နိုင်သည်။

BAS workstation operator သည် တံခါးအဖွင့်၊ ပိတ်လုပ်ခြင်း (door-open command)၊ security output point တစ်ခုခုကို trigger လုပ်ပေးခြင်း စသည်တို့ကို တစ်နေရာတည်းမှ ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

Building network တစ်ခုတည်းကိုသာ အသုံးပြုခြင်းကြောင့် တပ်ဆင်ခ ကုန်ကျစရိတ် (installation costs)ကို လျှော့ချနိုင်သည်။ HVAC system နှင့် security system တို့ ကို graphics တစ်ခုပေါ်တွင် အတူတကွ ဖော်ပြနိုင်သည်။ Security system မှ Alarm များသည် BAS မှ ဆောင်ရွက်စရာ တစ်ခုခုကို trigger လုပ်ပေးနိုင်သည်။

ဥပမာ- ဝန်ထမ်းတစ်ယောက်ယောက် ရုံးချိန်မဟုတ်သည့် အချိန်တွင် ရုံးသို့လာရောက် အလုပ်လုပ်ကိုင်သည့် အခါ ဝန်ထမ်းကဒ်(badge) ကို card reader ၌ ပြလိုက်လျှင် security system သည် မှန်၊ မမှန် စစ်ဆေးပြီး တံခါးဖွင့် ပေးသည်။ ထို့နောက် security system မှ BAS ဆီသို့ ရုံးအတွင်း၌ ဝန်ထမ်းတစ်ယောက် ရှိနေကြောင်း signal ပေးလိုက်သည်။ BAS သည် လိုအပ်သည့် မီးများကို အလိုလျောက်ဖွင့်ပေးပြီး သက်ဆိုင်သည့်အခန်းကို occupied area အဖြစ်သတ်မှတ်ကာ သက်သောင့်သက်သာဖြစ်စေမည့် အခန်းအပူချိန် (comfortable temperature) ဖြစ်အောင် ပြုလုပ်ပေးသည်။ အလိုရှိလျှင် air con မောင်းနိုင်အောင် ခွင့်ပြု(enable လုပ်)ပေးသည်။ ထိုဝန်ထမ်း ပြန်ရန် အတွက် တံခါးပွင့်ရန် ဝန်ထမ်းကဒ်(badge) ကို card reader ၌ ပြလိုက်လျှင် လူမရှိ(unoccupied area)ဟုသတ်မှတ်ပြီး မီးများနှင့် air con တို့ကို ပိတ်ပေးသည်။

၉.၆.၂ BAS နှင့် Fire Alarm System တို့ Integrate လုပ်ခြင်း

BAS နှင့် Fire Alarm System တို့ integrate လုပ်ခြင်းကြောင့် အဆောက်အဦး၏ fire alarm ဖြစ်ပေါ်သည့် အခါတွင် chillers ၊ boilers ၊ AHU ၊ fan စသည့် equipment များကို ရပ်တန့်(shut down) နိုင်သည်။

အထပ်မြင့် အဆောက်အဦ တစ်ခု၏ မီးလောင်သည့်ဥပမာ-

အထပ်မြင့် အဆောက်အဦ တစ်ခု၏ (၅)ထပ်တွင် မီးစတင်လောင်ကျွမ်းသည့်အခါ fire alarm signal ရရှိပြီး BAS ၏ integrated floor plan ပေါ်တွင် display လုပ်သည်။ မီးလောင်သည့်အထပ်သာမက BAS က ဆောင်ရွက်ထားပြီးဖြစ်သည့် action များအားလုံးကို ဖော်ပြထားသည်။ မီးခိုးများကို HVAC fan များက စုပ်ထုတ်ပစ်ခြင်း၊ လှေခါးများအတွင်း လေဖိအားမြင့်တက်လာအောင် pressure fan များကို မောင်းပေးခြင်း၊ Security Management System (SMS) မှတစ်ဆင့် လူများပြေးထွက်ရန် လမ်းတစ်လျှောက်ရှိ တံခါးများကို unlock လုပ်ပေးခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

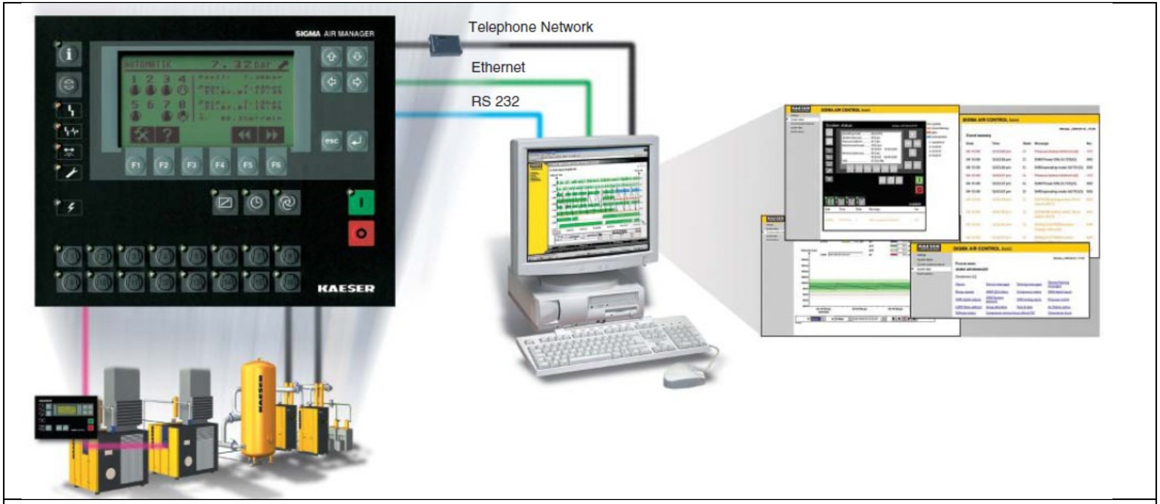
-End-

Contents

၉.၁ BAS Hardware Architecture 3
၉.၁.၁ Centralized BAS ....
၉.၁.၂ Distributed BAS ....
၉.၂ Basic of Network Communication 5
၉.၂.၁ BUS ....
၉.၂.၂ Interface ....
၉.၂.၃ Integrated Control System ....
၉.၂.၄ Gateway ....
၉.၂.၅ Hubs/Repeater ....
၉.၂.၆ Bridge ....
၉.၂.၇ Ethernet Switch ....
၉.၂.၈ Router ....
၉.၂.၉ Communications Networks ....
၉.၃ Communication Protocol 11
၉.၃.၁ Standard Protocol ....
၉.၃.၂ BACnet (Building Automation Control Networking) Protocol ....
၉.၃.၃ LonTalk® ....

၉.၃.၄ Modbus Protocol ....
၉.၃.၅ European Installation Bus (EIB) ....
၉.၃.၆ Proprietary Protocol..........
၉.၄ Low Level Interfacing and High Level Interfacing 21
၉.၄.၁ Hard Wired Integration or Low Level Interfacing ....
၉.၄.၂ High Level Interfacing ....
၉.၅ Wireless Sensing Systems 25
၉.၆ Integration ဥပမာ 26
၉.၆.၁ BAS နှင့် Security System တို့ Integrate လုပ်ခြင်း..........
၉.၆.၂ BAS နှင့် Fire Alarm System တို့ Integrate လုပ်ခြင်း ....

၉.၁ BAS Hardware Architecture	3
၉.၁.၁ Centralized BAS	3
၉.၁.၂ Distributed BAS	4
၉.၂ Basic of Network Communication	5
၉.၂.၁ BUS	6
၉.၂.၂ Interface	6
၉.၂.၃ Integrated Control System	6
၉.၂.၄ Gateway	6
၉.၂.၅ Hubs/Repeater	7
၉.၂.၆ Bridge	7
၉.၂.၇ Ethernet Switch	8
၉.၂.၈ Router	8
၉.၂.၉ Communications Networks	9
၉.၃ Communication Protocol	11
၉.၃.၁ Standard Protocol	12
၉.၃.၂ BACnet (Building Automation Control Networking) Protocol	12
၉.၃.၃ LonTalk®	17
၉.၃.၄ Modbus protocol	18
၉.၃.၅ European Installation Bus (EIB)	20
၉.၃.၆ Proprietary Protocol	20
၉.၄ Low Level Interfacing and High Level Interfacing	21
၉.၄.၁ Hard Wired Integration or Low Level Interfacing	21
၉.၄.၂ High Level Interfacing	22
၉.၅ Wireless sensing systems	25
၉.၆ Integration ဥပမာ	26
၉.၆.၁ BAS နှင့် Security System တို့ Integrate လုပ်ခြင်း	26
၉.၆.၂ BAS နှင့် Fire Alarm System တို့ Integrate လုပ်ခြင်း	27


Telephone Network
Ethernet
RS 232
SIGMA AIR MANAGER
KAESER

Chapter-10 Alarms and Alarm Processing

Alarm များ ထုတ်ပေးနိုင်ခြင်းနှင့် alarm များကို အရေးကြီးလျှင် ကြီးသလို စီမံ(manage)နိုင်ခြင်းသည် Building Automation System (BAS)၏ အထူးခြားဆုံးနှင့် အရေးကြီးဆုံး feature တစ်ခု ဖြစ်သည်။ အကြောင်းများစွာကြောင့် alarm များ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည်။ Alarm များကို ဦးစားပေးအဆင့်များ(priority) ခွဲခြားပြီး လိုအပ်သည့် ဆောင်ရွက်မှုများ ပြုလုပ်ရန် စီမံထားနိုင်သည်။ Alarm များကို ထိုကဲ့သို့ စနစ်တကျ အဆင့်(level)များ ခွဲကာ စီမံနိုင်သောကြောင့် efficient ဖြစ်သည်။ အမြဲတမ်း တိကျမှုတူညီ(consistent)သည်။

Type	Priority	When	Item	Value	Description
Alarm	70	1/7/03 4:01:49 PM UTC	SF-S	Off	Supply Fan Status
Alarm	70	1/7/03 4:01:49 PM UTC	SFALARM	True	
Alarm	70	1/7/03 4:38:45 PM UTC	SF-S	Off	Supply Fan Status
High Alarm	70	1/7/03 4:38:55 PM UTC	RAT	86.0 deg F	
Alarm	70	1/7/03 4:39:02 PM UTC	SFALARM	True	
High Alarm	70	1/8/03 4:17:20 PM UTC	NAE 1	207 %	Acute Care LL, 1,2
High Warning	127	1/8/03 3:22:04 PM UTC	Local Audit Repository	99/100	An unforwarded audit message has
High Warning	127	1/8/03 4:16:02 PM UTC	Local Audit Repository	99/100	An unforwarded audit message has
High Warning	120	1/7/03 4:38:53 PM UTC	RAT	81.9 deg F	
High Warning	120	1/7/03 4:42:42 PM UTC	RAT	84.0 deg F	
High Warning	120	1/8/03 4:21:24 PM UTC	RAT	80.0 deg F	Return Air Temp
Normal	200	1/8/03 3:22:43 PM UTC	SF-S	On	Supply Fan Status
Normal	200	1/8/03 3:22:44 PM UTC	SFALARM	False	

ပုံ ၁၀-၁ Alarm ဖြစ်ပေါ်ချိန်၊ ဦးစားပေးအဆင့်(priority) စသည်တို့ကို ဖော်ပြသည့် alarm page

ပုံ ၁၀-၂ ခေတ်မီ အဆောက်အဦတစ်ခု ၏ control room

၁၀.၁ Alarm စတင် ဖြစ်ပေါ်ပုံ

Alarm တစ်ခုသည် DDC controller အတွင်းရှိ control logic မှ တစ်ဆင့် စတင် ဖြစ်ပေါ် လာသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် control logic သည် control program ဖြစ်သည်။ Sensor က ဖတ်ယူထားသည့် တန်ဖိုး (value) နှင့် ကြိုတင်သတ်မှတ်ထားသည့်တန်ဖိုးတို့ နှိုင်းယှဉ်ပြီး alarm အဆင့် သတ်မှတ်ရန် control program က ဆုံးဖြတ်ပေးသည်။ ဥပမာ- အခန်းအပူချိန်(temperature)သည် 25°C ထက်ပို များလာပါက alarm ထုတ်ပေးရန် program လုပ်ထားသည်။ အကယ်၍ sensor ရရှိသည် တန်ဖိုး(value) သည် 25°C ထက် ပိုများ လာပါက အချိန် အနည်းငယ် စောင့်ကြည့်ပြီး 25°C ထက် ဆက်များနေပါက ထိုအခန်းအပူချိန် point မှ alarm တစ်ခု ထုတ်ပေးရမည်။

Alarm ထုတ်ပေးနိုင်သည့် output device များစွာရှိသည်။ Screen ပေါ်တွင် ဖော်ပြ(display)ခြင်း၊ hand phone သို့ SMS ပေးပို့ခြင်း၊ printer မှ print ထုတ်ပေးခြင်း စသည်တို့ ဖြစ်နိုင်သည်။ Alarm တစ်ခု ဖြစ်ပေါ် သည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် မှတ်တမ်းတင်ပြီး (register လုပ်ပြီး) operator unit ဆီသို့ ပေးပို့သည်။ ဖြစ်ပေါ်သမျှ alarm များ အားလုံးနှင့် ပတ်သက်သည့် အချက်အလက်(information)များကို alarm database တွင် စနစ်တကျ မှတ်တမ်း တင်ထားရမည်။ ထို alarm နှင့် ပတ်သက်သည့် အချက်အလက်များ(information) များကို remote device များ ဖြစ်သည့် mobile phone ၊ fax machine ၊ printer ၊ PC နှင့် web browser တို့ကို email သို့မဟုတ် SMS တို့ ပို့ပေးသည်။

Alarm list ၌ အချိန်နှင့်တကွ clear လုပ်ပြီးသည့် alarm ၊ acknowledge လုပ်ပြီးသည့် alarm ၊ pending ဖြစ်နေသည့် alarm စသည်တို့ကို ရှင်းလင်း ထင်ရှားစွာ ဖော်ပြထားသည်။ Pop-up window ၊ audible နှင့် visual signal alert များကို operator ထံသို့ ပို့ပေးသည်။

၁၀.၂ Alarm အမျိုးအစားများ

Alarm များကို BACnet standard အရ အမျိုးအစား သုံးမျိုး ခွဲခြားနိုင်သည်။

(၁) **Simple Alarm** - User သို့မဟုတ် operator မှ မည်သည့် ဆောင်ရွက်မှုကိုမျှ လုပ်ဆောင်ရန် မလိုအပ်ပါ။ အသိပေးရုံသာ ဖြစ်သည်။

(၂) **Basic Alarm** - User သို့မဟုတ် operator မှ acknowledge လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ အရေးကြီးသည့် alarm ဖြစ်သောကြောင့် ထို alarm ဖြစ်နေကြောင်း acknowledge လုပ်ရန် လိုသည်။ Acknowledge လုပ်သည် ဆိုသည်မှာ alarm ဖြစ်နေကြောင်း operator က သိပြီဟု လက်ခံလိုက်ခြင်း ဖြစ်သည်။

(၃) **Extended Alarm** - User သို့မဟုတ် operator မှ acknowledge လုပ်ရန် နှင့် reset လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။ အရေးကြီးသည့် alarm ဖြစ်သောကြောင့် စက်များ နှင့် process များကို ပိတ်(shutdown) ထားနိုင်သည်။ စက်များ ပြန်မောင်းရန် နှင့် process များ ပြန်စရန်အတွက် reset လုပ်ရန် လိုအပ်သည်။

Alarm များကို အောက်ပါအတိုင်း ခွဲခြားနိုင်ပါသည်။

(၁) **Digital Alarm** - Contact point တစ်ခု open သို့မဟုတ် close ကို assign လုပ်သည်။

ဥပမာ- Air Handling Unit ၏ blower မော်တာ trip point မှ digital alarm ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

(၂) **Analogue Alarm** – လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် high သို့မဟုတ် low alarm limit ၏ အပြင်ဘက်သို့ ရောက်သည့်အခါ analogue alarm ဖြစ်ပေါ်လာလိမ့်မည်။

ဥပမာ- အခန်းအပူချိန်(temperature)ကို 25°C ထက် (၅)မိနစ်ကြာအောင် ပိုမြင့်နေပါက analogue alarm ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

(၃) **Status Alarm -** Contact ၏ status သည် မျှော်လင့်ထားသည့် တန်ဖိုး(expected value) အတိုင်း မဖြစ်ခဲ့လျှင် initiate လုပ်ရန်၊

ဥပမာ- device တစ်ခုသည် control signal ကို ကောင်းစွာ တုံ့ပြန်မှု(response) မလုပ်နိုင်သည့်အခါ status alarm ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

(၄) **Totalizer Alarm** - Variable တစ်ခု၏ စုစုပေါင်းတန်ဖိုး(accumulated value)သည် high limit ပမာဏကို ကျော်လွန်သည့်အခါ initiate လုပ်ရန်

ဥပမာ- မော်တာတစ်လုံး သုံးစွဲသည့် စွမ်းအင်သည် လစဉ် 1500 kWh ထက်ကျော်လွန်ပါ totalizer alarm ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

(၅) **Hours Run Alarm** - စက်တစ်ခုခု၏ မောင်းချိန်နာရီပေါင်း(total hours run)သည် သတ်မှတ်ထားသည့် set limit ကို ကျော်လွန်သွားသည့်အခါ initiate လုပ်ရန် တို့ ဖြစ်သည်။

ဥပမာ- chiller တစ်လုံး၏ မောင်းချိန် နာရီပေါင်း(total hours run) (၁၅၀၀၀)ကျော်ပါက အကြီးစား ပြုပြင်မှု (major overhaul) ပြုလုပ်ရန် hours run alarm ဖြစ်ပေါ်လိမ့်မည်။

Alarm တစ်ခုသည် controller အတွင်းရှိ control logic မှ တစ်ဆင့် စတင်ဖြစ်ပေါ် လာပြီးနောက် operation level processor ထံရောက်ရှိ သွားသည်။ Operation level processor သည် controller မှ alarm တစ်ခုကို လက်ခံ ရရှိပြီးနောက် အောက်ပါ alarm processing လုပ်ငန်းများကို စတင် ဆောင်ရွက်သည်။

(၁) Alarm point သည် လက်ခံ ရရှိသည့် processor အတွက် ပေးပို့ခြင်း ဟုတ်၊ မဟုတ် စစ်ဆေးသည်။

(၂) Server နှင့် တခြားသော LAN processor များဆီသို့ re-broadcast လုပ်သည်။

(၃) Alarm သည် လက်ခံရရှိသည့် processor အတွက်ဖြစ်လျှင် ထို alarm ကို ချက်ချင်း ဖော်ပြ(display)သည်။

(၄) Alarm printer ဆီသို့ print ထုတ်ရန် output alarm message အဖြစ် ပေးသည်။

(၅) မည်သည့် alarm point ဖြစ်ကြောင်း အက္ခရာ(text)ဖြင့် ဖော်ပြသည်။

(၆) နေ့စွဲ(date)/ အချိန်(time) ပါဝင်သည်။

(၇) Action လုပ်ရန် လိုအပ်သည့် alarm ဟုတ်မဟုတ် စစ်ဆေးသည်။ ဆောင်ရွက်စရာ တစ်စုံတစ်ရာ ရှိ၊ မရှိ စစ်ဆေးသည်။

(၈) Graphic ပေါ်တွင် alarm ဖြစ်နေကြောင်း ဖော်ပြသည်။

ဥပမာ- alarm ဖြစ်နေသည့် point သည် အနီရောင် ဖြစ်နေသည်။ Acknowledged မလုပ်ရသေးလျှင် ထို alarm သည် မှိတ်တုတ်မှိတ်တုတ်ဖြစ်(blinking) ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ Acknowledge လုပ်သည်ဆိုသည်မှာ operator က ထို alarm ဖြစ်ပေါ်နေကြောင်း သိသည်ဟု လက်ခံလိုက်ခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Alarm များ သိမ်းဆည်း ထားသည့် historical file တွင် မှတ်တမ်းတင်(record)သည်။ Historical alarm များကို နောင်တစ်ချိန်၌ ပြန်စစ်ဆေးရန် လိုအပ်သည်။

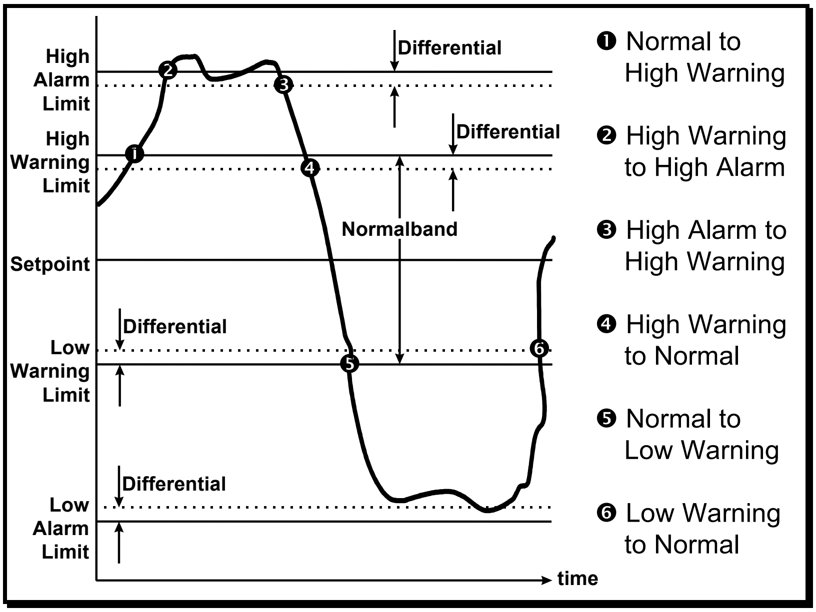
BAS သို့မဟုတ် BMS system တစ်ခုသည် စက္ကန့်တိုင်း၌ I/O point တန်ဖိုး(reading)များကို program လုပ်ထားသည့် တန်ဖိုး(value)များနှင့် နှိုင်းယှဉ်ပြီး warning သို့မဟုတ် alarm များကို ထုတ်ပေးနေသည်။ ထို alarm များကို ကြည့်၍ operator များသည် ပြဿနာ ဖြစ်ပေါ်နေသည့် နေရာကို အလေးပေးကာ ဂရုစိုက်နိုင်သည်။

ရုံးချိန်(occupied hours)အတွင်း AHU မောင်းနေစဉ် အခန်းအပူချိန်သည် 25.5°C ထက် ကျော်လွန်ပါက alarm ထုတ်ပေးရမည် ဖြစ်သော်လည်း AHU မောင်းမနေသည့် အချိန်၌ အခန်းအပူချိန်သည် မည်မျှပင် ဖြစ်ပါစေ alarm ထုတ်ပေးရန် မလိုအပပေ။

အဆောက်အဦတစ်ခု အတွင်း၌ system များ၊ equipment များ၊ နေရာများစွာ ရှိသောကြောင့် alarm အမြောက်အမြား တစ်ပြိုင်နက် ပေါ်ထွက်နိုင်သည်။ ထို့ကြောင့် ထို alarm များကို ဦးစားပေး အဆင့်များဖြင့် ခွဲခြား သတ်မှတ်ပြီး ဖော်ပြပေးရန် လိုသည်။ Fire alarm ကို security alarm ထက် ပို၍ ဦးစားပေး ကိုင်တွယ် ရမည်။ Security alarm ကို mechanical alarm များ ထက် ပို၍ ဦးစားပေး ဖြေရှင်းရမည်။ ထိုဦးစားပေး အဆင့် (priority)များကို ကြည့်၍ alarm နှစ်ခု တစ်ပြိုင်နက် ဖြစ်ပေါ်က မည်သည့် alarm ကို ဦးစားပေး ဖော်ပြ သင့်သည်ကို BAS system က ကြိုတင် သိထားရန် လိုသည်။

Analog point များ၌ alarm limit အပြင် warning limit လည်းရှိသည်။ ထို warning message များကိုလည်း alarm များကဲ့သို့ပင် alarm printer ၌ print လုပ်ပြီး operator workstation ရှိ hard disk အတွင်း၌ file အဖြစ် သိမ်းဆည်းထားရမည်။

Message ၌ နေ့စွဲ(date)၊ အချိန်(time) နှင့် point name စသည်တို့ ပါရှိရမည်။ ထို alarm ကို operator တစ်ယောက်ယောက်က acknowledge လုပ်ပါက ထို operator နာမည် နှင့် alarm ကို event အဖြစ် သိမ်းဆည်းရမည်။ နေ့စွဲ(date) ၊ အချိန်(time) ၊ point name နှင့် operator နာမည် တို့ကို operator workstation များ၌ သိမ်းဆည်း ထားရမည်။ ထို alarm point သည် ပုံမှန်အခြေအနေ(normal status)သို့ ရောက်သွားသည့် အခါ event အဖြစ် သတ်မှတ်ပြီး နေ့စွဲ(date)၊ အချိန်(time) နှင့် point name တို့ကို သိမ်းဆည်းရမည်။ Output တစ်ခုကို operator တစ်ယောက်ယောက်မှ override လုပ်သည့်အခါ နေ့စွဲ(date)၊ အချိန်(time) ၊ point name နှင့် override လုပ်သည့် operator နာမည် တို့ကို သိမ်းဆည်း ထားရမည်။



ပုံ ၁၀-၃ Analogue alarm နှင့် သက်ဆိုင်သည့် တန်ဖိုးများ

၁၀.၃ Alarm Management

၁၀.၃.၁ Analog Alarm Point

Analog point တစ်ခုသည် အောက်ပါ အခြေအနေ(state) (၅)ခုအနက်မှ တစ်ခုခု ဖြစ်နေနိုင်သည်။

(၁) High Alarm အခြေအနေ(state) [တစ်စုံတစ်ခု ဆောင်ရွက်ရန် လိုသည့် အခြေအနေ]

(၂) High Warning အခြေအနေ(state) [သတိထား စောင့်ကြည့်ရမည့် အခြေအနေ]

(၃) Normal အခြေအနေ(state) [ပုံမှန်အခြေအနေ]

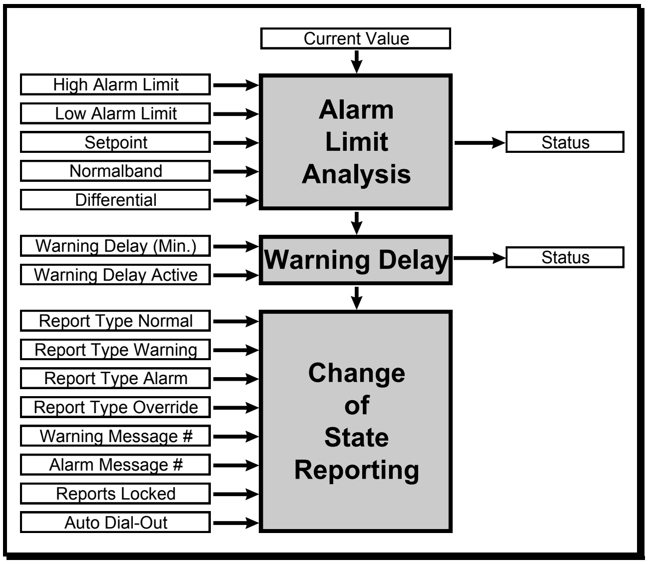
(၄) Low Warning အခြေအနေ(state) [သတိထား စောင့်ကြည့်ရမည့် အခြေအနေ]

(၅) Low Alarm အခြေအနေ(state) [တစ်စုံတစ်ခု ဆောင်ရွက်ရန် လိုသည့် အခြေအနေ]

Analog point ၏ အခြေအနေ(state) တစ်ခုမှ တခြား state တစ်ခုသို့ အပြောင်း(transition)တွင် event တစ်ခု ဖြစ်ပေါ်လာသည်။ Alarm သို့မဟုတ် warning အခြေအနေ(state) တစ်ခု၌ differential amount ထားရှိရသည်။ ထို differential amount ကျော်မှသာ state ပြောင်းသည်။ Differential amount မထားရှိပါက ခဏ အတွင်း alarm ဖြစ်လိုက်၊ warning ဖြစ် လိုက်နှင့် အကြိမ်ပေါင်းများစွာ ဖြစ်နေလိမ့်မည်။

Alarm limit များကို အသက်အန္တရာယ် နှင့် ဘေးအန္တရာယ် လုံခြုံရေး(safety) သို့မဟုတ် comfort စသည့် criteria များ အပေါ်တွင် အခြေခံ၍ သတ်မှတ်သည်။ Facility manager များသည် analog input point များ၏ alarm များ အားလုံးကို လိုအပ်လျှင် ပြန်လည် စစ်ဆေးသင့်သည်။

Warning limit များကို ဖြစ်နိုင်ခြေရှိသည့်(မျှော်လင့်ထားသည့်) တန်ဖိုးများ အပေါ်တွင် မူတည်၍ သတ်မှတ်သင့်သည်။ ဥပမာ- BAS System တစ်ခု၌ အပူချိန်(temperature)ကို setpoint ၏ ±2ºC အတွင်း၌ ရအောင် control လုပ်ရမည်ဆိုလျှင် normal band ကို 4ºC (+2ºC နှင့် -2ºC) သတ်မှတ် ပေးရမည်။ ထို normal band 4ºC ကို အခြေခံ၍ warning limit ကို သတ်မှတ်ပေးရမည်။ Warning limit များကို DDC controller အတွင်း၌ ပါဝင်နေသည့် point များ အတွက်သာ သုံးရမည်။ Control loop မှ စ၍ ပြဿနာ(problem) ဖြစ်နေပါက operator ထံသို့ warning limit ဖြင့် သတိပေးရမည်။ Facility manager များသည် warning limit များကို အခါအားလျော်စွာ စစ်ဆေးသင့်သည်။



ပုံ ၁၀-၄ Analog alarm management

အထက်ပါပုံ(၁၀-၄)သည် analogue data object တစ်ခုနှင့် analogue input object တစ်ခုတို့၏ alarm management function ကို ဖော်ပြထားသည့် diagram ဖြစ်သည်။

တခြားသော event အမျိုးအစားများမှာ

(က) Operator တစ်ယောက်ယောက်က override လုပ်ထားသည့် point များ

(ခ) Controller ၊ PC စသည့် hardware များ off line ဖြစ်သွားသည့်အခါ သို့မဟုတ် Off line ဖြစ်နေရာမှ Online ပြန် ဖြစ်လာသည့်အခါ

(ဂ) Operator များ Log on/Log off လုပ်သည့်အခါ၊ သို့မဟုတ် point တစ်ခုခုကို command ပေးသည့် အခါ

(ဃ) Totalization limit ပြည့်သွားသည့်အခါ ။ (ဥပမာ- run hour နာရီ (၁၀၀၀) ပြည့်သည့်အခါ)

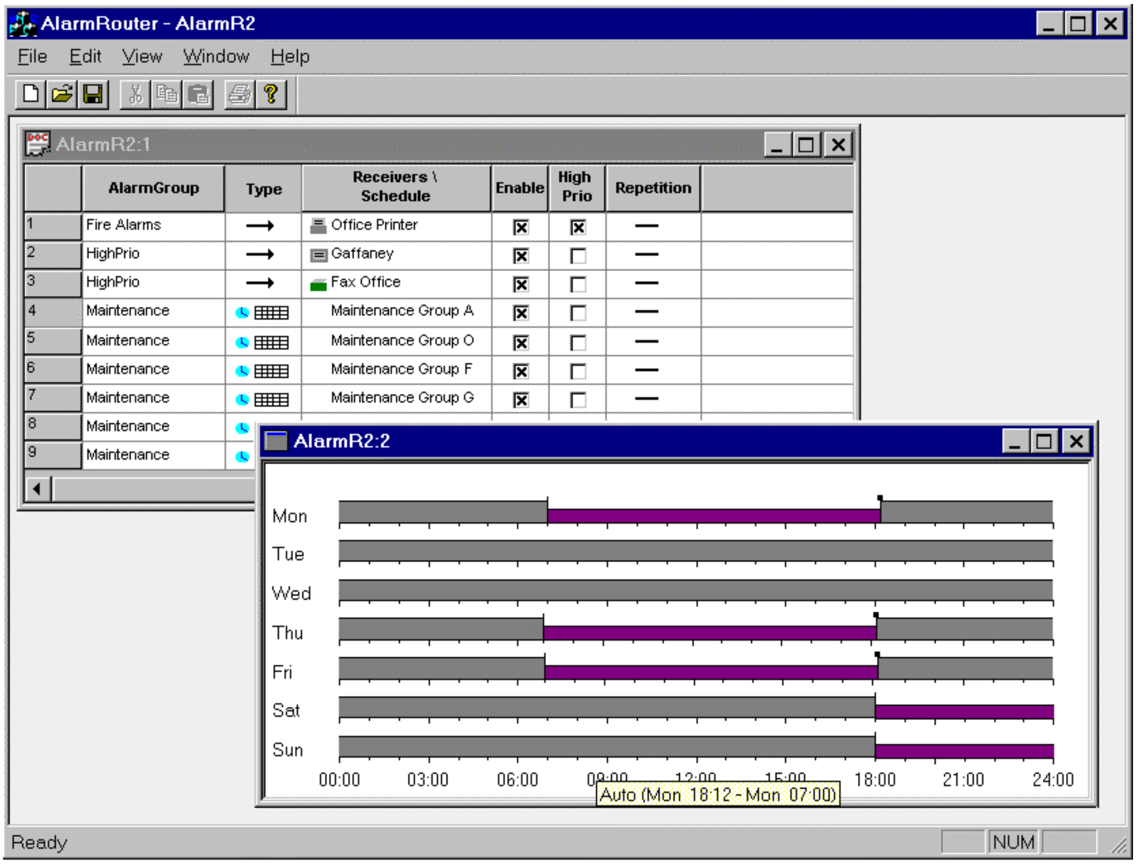
(င) Energy management feature များဖြစ်သည့် demand limiting/load rolling စသည်တို့ လုပ်ပေးရန် မဖြစ်နိုင်တော့သည့်အခါ တို့ဖြစ်သည်။

> Alarm limit analysis သည် software process တစ်ခုဖြစ်သည်။ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value) နှင့် ကြိုတင်သတ်မှတ်ထားသည့်တန်ဖိုး(user defined value)တို့ နှိုင်းယှဉ်ခြင်းသည် alarm limit analysis လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။ Status ကို သတ်မှတ်ပေးရန်အတွက် alarm limit analysis လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

(၁) Normal အခြေအနေ(state) – လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် Normal operating range အတွင်းတွင် ဖြစ်သည်။

(၂) High or low warning အခြေအနေ(state) – လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် Normal Operating range ၏ အပြင်ဘက်တွင် ရှိနေပြီး ၊ alarm limit အတွင်း၌ ရှိနေသည်။

(၃) High or low alarm အခြေအနေ(state) – လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် alarm limit အပြင်ဘက်၌ ရှိနေသည်။



ပုံ ၁၀-၅ Alarm page

High Alarm Limit

Analogue point တစ်ခု၏ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် high alarm limit သို့ ရောက်လျှင် သော်လည်းကောင်း၊ high alarm limit ထက်ကျော်လျှင် သော်လည်းကောင်း high alarm state သို့ရောက်သွားကြောင်း report လုပ်ပေးသည်။

Low Alarm Limit

Analogue point တစ်ခု၏ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် low alarm limit သို့ ရောက်လျှင် သော်လည်းကောင်း၊ low alarm limit ထက်နည်းလျှင် သော်လည်းကောင်း low alarm state သို့ ရောက်သွားကြောင်း report ထုတ်ပေးသည်။

Setpoint

Setpoint သည် normal operating range ၏ အလယ်နေရာ(center point) axis ဖြစ်သည်။

Normal band

Normal band သည် လက်ရှိတန်ဖိုး(current value) ၏ normal band operating range ၏ width(အကျယ်) ဖြစ်သည်။ Normal band ၏ အလယ်မှတ်သည် setpoint ဖြစ်သည်။ Normal band ကို high နှင့် low warning limit ကို တွက်ယူရန်အတွက် အသုံးပြုသည်။

Differential

Differential သည် limit လေးမျိုးအတွက် "**Buffer Zone**" ဖြစ်သည်။ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value) သည် limit တစ်ခုခု၏ အနီး၌ တက်လိုက်၊ ဆင်းလိုက်(oscillation) ဖြစ်နေပါက alarm နှင့် warning များကို အကြိမ်ကြိမ် ထုတ်မပေးစေရန်အတွက် differential ပမာဏကို ထားရှိခြင်း ဖြစ်သည်။ Differential တန်ဖိုးတစ်ခုကို high alarm ၊ low alarm ၊ high warning နှင့် low warning လေးခုလုံး အတွက် အသုံးပြုသည်။ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် differential zone တစ်ခု အတွင်း၌ မတည်မငြိမ်(fluctuation) ဖြစ်နေပါက အခြေအနေ ပြောင်းသွားလဲခြင်း(change of state) မဖြစ်စေပါ။ လက်ရှိ တန်ဖိုး(current value) သည် limit တစ်ခုကို ကျော်သွားပါက report လုပ်သည်။ နောက်ထပ် report တစ်ခု ထပ်ထုတ်ရန် အတွက် limit နှင့် differential ကို ထပ်မံ ဖြတ်ကျော်ရန် လိုအပ်သည်။

Warning delay function ကို အသုံးပြု၍ warning ထုတ်ပေးခြင်းကို အချိန်ဆွဲထားနိုင်သည်။ သို့သော် alarm ကို အချိန် ဆွဲထားရန်(delay)လုပ်ရန် မဖြစ်နိုင်ပါ။ Warning delay ကို အသုံးပြုရခြင်းမှာ setpoint ပြောင်းခြင်းကြောင့် ဖြစ်ပေါ်လာမည့် warning များကို ဖယ်ရှားရန်အတွက် ဖြစ်သည်။

Warning delay(min) သည် warning တစ်ခု မထုတ်ပေးခင် စောင့်ရမည့်အချိန်(မိနစ်) ဖြစ်သည်။ 0 မှ 225 မိနစ်အထိ ထားနိုင်သည်။ Warning delay active သည် warning delay function က active ဖြစ်သည်၊ မဖြစ်သည်ကို ဖော်ပြနေသည်။

Object တစ်ခု၏ status ဖြစ်သည့် alarm ၊ warning ၊ normal နှင့် override စသည်တို့ တစ်ခုမှ တစ်ခုသို့ ပြောင်းသွားသည်နှင့် တစ်ပြိုင်နက် အခြေအနေ ပြောင်းလဲသွားခြင်း(change of state) report ကို တခြား device များမှ တစ်ဆင့် report လုပ်ရန် လမ်းကြောင်း(routing) အတိုင်း ပို့ပေးရမည်။

အခြေအနေ ပြောင်းလဲသွားခြင်း(change of state) reporting တွင် ပါဝင်သည့် အချက်(attribute) များမှာ

(၁) **Report type normal** - တခြားသော အခြေအနေတစ်ခု(state)တစ်ခုမှ ပုံမှန်အခြေအနေ(normal state) သို့ပြောင်းလျှင် အခြေအနေ ပြောင်းလဲသွားကြောင်း(change of state) report ထုတ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။

(၂) **Report type warning** - တခြားသော state တစ်ခုခုမှ high warning သို့မဟုတ် low warning သို့ ပြောင်းသွားလျှင် အခြေအနေ ပြောင်းလဲသွားကြောင်း(change of state) report ထုတ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။

(၃) **Report type alarm** - Alarm တစ်ခုဖြစ်ပေါ်ကြောင်း report ထုတ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။

(၄) **Report type override** - ဆိုသည်မှာ object တစ်ခု၌ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)ကို operator က တန်ဖိုး တစ်ခုခုဖြင့် override command ကို အသုံးပြု၍ override လုပ်လျှင် သော်လည်းကောင်း သို့မဟုတ် override လုပ်ထားသော တန်ဖိုးကို cancel လုပ်လျှင် သော်လည်းကောင်း အခြေအနေ ပြောင်းလဲ သွားကြောင်း (change of state) report ထုတ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။

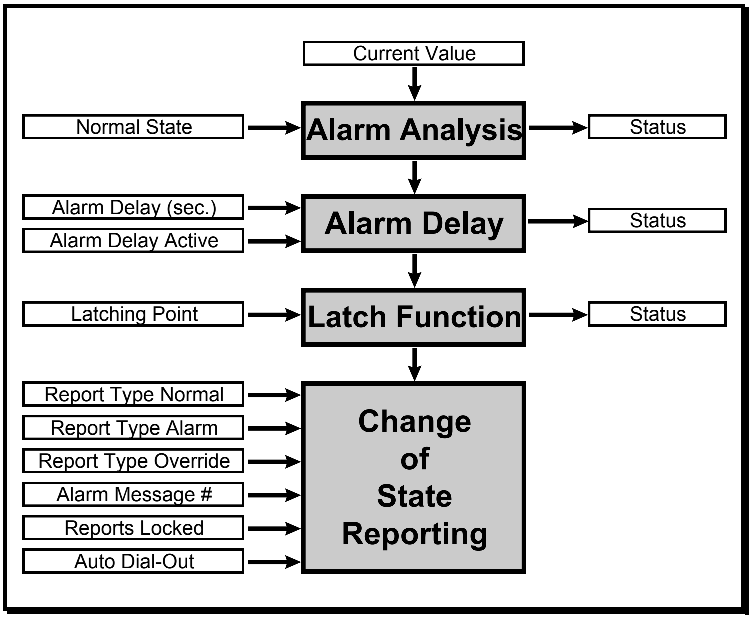
(၅) **Warning message** ဆိုသည်မှာ high warning သို့မဟုတ် low warning ပေါ်လာလျှင် user က သတ်မှတ် (define)ထားသည့် number သို့မဟုတ် text ကို critical warning report ၏ display dialog box တွင် ဖော်ပြပေးရန် ဖြစ်သည်။

(၆) **Alarm message** ဆိုသည်မှာ object တစ်ခု သို့မဟုတ် point တစ်ခုသည် alarm အခြေအနေသို့ ရောက်သည်အခါ ဖော်ပြလိုသည့် message ဖြစ်သည်။

(၇) **Report locked** အခြေအနေပြောင်းလဲသွားခြင်း(change of state) report ကို operator device များထံသို့ ပို့ပေးမည်၊ မပေးပို့မည်ကို ဆိုလိုသည်။ Report ကို lock လုပ်ထားလျှင် lock report သို့မဟုတ် Report ကို unlock လုပ်လိုလျှင် unlocked report command ကို သုံးရန် ဖြစ်သည်။

(၈) **Auto dial out** - Critical report (critical 1 မှ critical 4) ဖြစ်လျှင် remote operator workstation ဆီသို့ အလိုလျောက် Auto Dail-out လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။

၁၀.၃.၂ Binary Data Object and Binary Input Object (BI) Alarm



ပုံ ၁၀-၆ Binary alarm management

အထက်ပါပုံ(၁၀-၆)တွင် binary data object နှင့် binary input object တို့၏ alarm management function ကို ဖော်ပြထားသည်။

Alarm analysis ဆိုသည်မှာ Analog Input(AI) object နှင့် Binary Input(BI) object တို့၏ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)နှင့် user က သတ်မှတ်(define)ထားသည့် normal state များကို နှိုင်းယှဉ်သည့် software process ဖြစ်သည်။

Alarm state ဆိုသည်မှာ လက်ရှိတန်ဖိုး(current status) သည် user က သတ်မှတ်(defined)ထားသည့် normal state နှင့်မကိုက်ညီပါ။ Normal state ဆိုသည်မှာ လက်ရှိတန်ဖိုး(current status)သည် ပုံမှန် အခြေအနေ၌ ရှိသည်။ လက်ရှိတန်ဖိုး(current value)သည် user က သတ်မှတ်(defined) ထားသည့် normal state နှင့် ကိုက်ညီသည်။ Attribute များမှာ None ၊ On ၊ Off တို့ ဖြစ်သည်။ Current contact value ကို operator device ဆီသို့ report လုပ်မည်ဖြစ်သော်လည်း alarm analysis ပြုလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။

Alarm delay function သည် binary data object ၏ alarm report လုပ်ခြင်းကို user က သတ်မှတ်ထားသည့် အချိန်အတိုင်း အချိန်ဆွဲပေး(delay) ထားလိမ့်မည် ဖြစ်သည်။ ထိုသို့ ပြုလုပ်ရခြင်း၏ ရည်ရွယ်ချက်မှာ nuisance report များ ထုတ်ပေးခြင်းကို ကာကွယ် တားဆီးရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ Software မှ alarm အခြေအနေ ပြောင်းလဲသွားခြင်း(change of state) report ထုတ်ပေးရန် အချိန်ဆွဲထား(delay) လိမ့်မည်။ Delay လုပ်နိုင်သည့် အချိန်မှာ 0 စက္ကန့် မှ 255 စက္ကန့်အတွင်း ဖြစ်သည်။

Latching သည် optional function ဖြစ်သည်။ Object တစ်ခုသည် alarm state သို့ ရောက်ပြီးနောက် operator မှ unlatch လာလုပ်သည့်တိုင်အောင် alarm state ၌ ရှိနေလိမ့်မည်။ Latching လုပ်ရသည့် ရည်ရွယ်ချက်မှာ operator မှ ဆောင်ရွက်ချက်(action)တစ်ခုခုကို မဖြစ်မနေ လုပ်ဆောင်ပေးရန်အတွက် ဖြစ်သည်။ Operator မလာမချင်း သို့မဟုတ် operator မှ unlatch မလုပ်မခြင်း alarm state ၌သာ ရှိနေလိမ့်မည်။ Unlatch လုပ်ခြင်းသည် acknowledge လုပ်ခြင်း ဖြစ်သည်။

Alarm system variable များသည် ကြိုတင် သတ်မှတ်ထားသည့်တန်ဖိုး(predetermined limit) များထက် ကျော်လွန်နေကြောင်း operator များကို alarm များဖြင့် သတိပေးသည်။ လိုအပ်သည့် ဆောင်ရွက်မှုများ ပြုလုပ်ရန် သတိပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ- air filter သည် ညစ်ပေ ပိတ်ဆို့နေပြီ ဖြစ်သောကြောင့် ဆေးကြောရန် လိုအပ်နေသည်။ စက်တစ်ခု၏ run time သည် သတ်မှတ်ထားသည့် နာရီထက် ကျော်လွန်နေပြီ ဖြစ်သောကြောင့် ပြုပြင်ထိန်းသိမ်းမှု(maintenance) ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည် စသည့် သတိပေးခြင်းမျိုး ဖြစ်သည်။

Alarm တစ်ခုကို မည်ကဲ့သို့ ဖော်ပြမည်။ မည်သည့်ဆောင်ရွက်မှုမျိုး ပြုလုပ်ရန် လိုအပ်သည် စသည် တို့ကို design ပြုလုပ်စဉ်ကပင် ထည့်သွင်းထားသင့်သည်။ အသံမြည်သည့်(audible)၊ မီးလင်းသည့်(visual) alarm enunciator များနှင့်လည်း တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။

Alarm များကို မည်ကဲ့သို့ ကိုင်တွယ်ရမည်ကို ဆုံးဖြတ်ရန် alarm များကို ဦးစားပေးအဆင့်(priority grade) များ ခွဲခြားထားသင့်သည်။ Alarm များကို လျစ်လျူ မရှုသင့်ပါ၊ ဘာမျှ မပြုလုပ်ဘဲ alarm များကို cancel မလုပ်သင့်ပါ။ စုံစမ်းမှု မလုပ်ဘဲ acknowledge မလုပ်သင့်ပါ။

၁၀.၄ Analog Input Alarm ဥပမာများ

(၁) Duct static pressure point တစ်ခုကို မည်ကဲ့သို့ alarm limit ၊ differential တန်ဖိုးများ ထားရှိရမည်ကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။

(က) Setpoint(inch wg)ထက် 0.3 inch များခြင်း သို့မဟုတ် 0.3 inch နည်းခြင်း (၅)မိနစ်ကျော် ကြာအောင် ဖြစ်နေပါက priority 3 alarm ထုတ်ပေးရန်

(ခ) Setpoint(inch wg)ထက် 0.2 inch များခြင်း သို့မဟုတ် 0.2 inch နည်းခြင်း (၅)မိနစ်ကျော် ဖြစ်နေပါက normal state ပြောင်းပေးရန်

(ဂ) Fan သည် အမှန်တကယ် မောင်းနေပြီးနောက်(ON) အချိန် အနည်းငယ်ကြာမှသာ alarm ထုတ်ပေးရန်

(ဃ) Fan ရပ်နားထားချိန်တွင် မည်သည့် duct static pressure alarm ကိုမျှ ထုတ်မပေးရန်

(၂) Duct air temperature ကို မည်ကဲ့သို့ alarm limit ၊ differential တန်ဖိုးများ ထားရှိရမည်ကို ဥပမာအဖြစ်ဖော်ပြထားသည်။

(က) Setpoint (°F)ထက် 2°F များခြင်း သို့မဟုတ် 2°F နည်းခြင်း (၅)မိနစ်ကျော်ပါက priority 3 alarm ထုတ်ပေးရန်

(ခ) Setpoint (°F)ထက် 1°F များ သို့မဟုတ် 1°F နည်းခြင်း (၅)မိနစ်ကျော်ပါက normal State သို့ ပြောင်းပေးရန်

(ဂ) Fan မောင်းပြီး အချိန်အနည်းငယ်ကြာမှသာ alarm ထုတ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။ သတ်မှတ် ထားသည့် alarm parameter များကို အချိန်အနည်းငယ်ကြာမှသာ sensor များက မှန်ကန်စွာ ဖတ်ယူနိုင်သောကြောင့် အချိန်အနည်းငယ် စောင့်ရန် လိုအပ်သည်။ Fan ရပ်နားထား ချိန်တွင် မည်သည့် alarm ကိုမျှ ထုတ်မပေးရန်

(၃) Space temperature သို့မဟုတ် room temperature

(က) ပုံမှန်အားဖြင့် အခန်းအပူချိန်(space temperature) သို့မဟုတ် room temperature များမှ alarm ထုတ်ပေးရန် မလိုအပ်ပေ။

(၄) Duct သို့မဟုတ် space humidity ကို မည်ကဲ့သို့ alarm limit ၊ differential တန်ဖိုးများ ထားရှိရမည်ကို ဥပမာအဖြစ် ဖော်ပြထားသည်။

(က) Setpoint သည် 60% RH ဖြစ်သည်။ Setpoint ထက် 15 % များခြင်း သို့မဟုတ် 20% နည်းခြင်း (၅)မိနစ်ကျော် ဖြစ်နေပါက priority 3 alarm ထုတ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။

(ခ) Setpoint သည် 60% RH မှ +10% ထက်နည်းပြီး -15% ထက်များပါက (၅)မိနစ်ကြာလျှင် ပုံမှန်အခြေအနေ(normal state)သို့ ပြောင်းရန်

၁၀.၅ Digital Input Alarm ဥပမာများ

Digital Input (DI) alarm များမှာ air flow switch ၊ water differential switch စသည်တို့မှ လာသည့် Digital Input (DI) point များဖြစ်သည်။ Alarm များကို အချိန်ခဏဆွဲထားခြင်း (delay)ဖြင့် nuisance alarm (false alarm)များ ထုတ်ပေးခြင်းမှ ကာကွယ်နိုင်သည်။

Digital Input(DI)၏ value သည် အချိန်အနည်းငယ် ကြာပြီး(delay ဖြစ်ပြီး)နောက် Digital Output(DO) ၏ value နှင့် မကိုက်ညီသည့်အခါ point သည် alarm condition ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ဥပမာ DDC controller မှ motor ကိုမောင်းရန် DO output ကို on state ထုတ်ပြီး အချိန် အနည်းငယ်ကြာသည့် တိုင်အောင် မော်တာသည် "on" သို့မဟုတ် "running" status ဖြစ်မနေပါက alarm condition ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ Digital input ၏ value သည် အချိန်အနည်းငယ်ကြာပြီးနောက် Digital output ၏ value နှင့် တူနေလျှင် ပုံမှန်အခြေအနေ(normal) ပြန်ရောက်သည် ဟုဆိုသည်။

ထိုကဲ့သို့ Digital Input (DI) နှင့် Digital Output (DO) တွဲမထားသည့်(pair မလုပ်ထားသည့်) Digital Input (DI) နှင့် Digital Output(DO) များသည် monitoring အတွက်သာဖြစ်သည်။

(၁) Safety alarm များ (high static cut out ၊ freeze condition ၊ excessive vibration ၊ high humidity cut out နှင့် VSD fault စသည်တို့အတွက် ဖြစ်သည်။)

(က) ထိုကဲ့သို့သော digital input များအတွက် delay မထားဘဲ ချက်ချင်း alarm ထုတ်ပေးရမည်။

(ခ) ထိုကဲ့သို့သော digital input များကို priority 3 alarm ထုတ်ပေးပြီး screen ၌ "Alarm" အဖြစ် ဖော်ပြ(display)ထားရမည်။

(ဂ) ထို safety alarm များ deactivated ဖြစ်လျှင် (တစ်နည်းအားဖြင့် ပုံမှန်အခြေအနေ normal အခြေအနေ သို့ရောက်သွားလျှင်) screen ၌ "Normal" ဟု ဖော်ပြ(display) ရမည်။

Alarm များ၏ ဦးစားပေးအဆင့်(priority)ကို လိုက်၍ အဆင့်များ ခွဲခြားထားသည်။

Priority 2 (critical alarm)	များသည် chiller trip alarm, chilled water pump trip alarm ....စသည်တို့ ဖြစ်သည်။
Priority 3 (mechanical critical alarm)	များသည် mechanical equipment များအားလုံး alarm များဖြစ်သည်။
Priority 4 (mechanical alarm)	သည် dirty filter alarm နှင့် non critical alarm များဖြစ်သည်။

၁၀.၆ Nuisance Alarm သို့မဟုတ် False Alarm

Owner သို့မဟုတ် operator တို့မှ nuisance alarm သို့မဟုတ် false alarm အဖြစ် သတ်မှတ် ထားသော alarm ဖြစ်သည်။ Alarm တစ်ခုဖြစ်ပေါ်ပြီးနောက် control system သည် အောက်ပါတို့ အနက်မှ အားလုံးကို သော်လည်းကောင်း၊ အချို့ကို သော်လည်းကောင်း ပြုလုပ်နိုင်သည်။

(၁) Screen display of message

(၂) Printer output

(၃) Log to hard disk
(၄) Callout to fax machine terminal
(၅) Callout to a digital pager
(၆) Take a specific action. (Hand phone သို့ SMS ပို့ပေးခြင်း)

ပုံ ၁၀-၆ Building Automation System တစ်ခုမှ alarm ထုတ်ပေးနိုင်သည့် ကိရိယာများ(devices)

Point များမှ ဖြစ်ပေါ် နိုင်သည့် alarm event များ

(၁) Alarm input
(၂) Unmatched command (Failure of start/stop of start/stop points, status unmatched)
(၄) Analog high/low limit alarm
(၅) Sensor error
(၆) Trouble
(၇) Totalized value increase error
(၈) Control alarm (Power demand target value exceeded, etc.)

Control system တစ်ခုမှ ဖြစ်ပေါ်နိုင်သည့် alarm event များ

(၁) Component alarm (bus trouble, line status, error, remote unit no response)
(၂) Power demand alarm, power failure alarm, fire alarm

-End-

Alarm Processing

မာတိကာ

၁၀.၁ Alarm စတင် ဖြစ်ပေါ်ပုံ 2
၁၀.၂ Alarm အမျိုးအစားများ 2
၁၀.၃ Alarm Management 4
၁၀.၃.၁ Analog Alarm Point ....
၁၀.၃.၂ Binary Data Object and Binary Input Object (BI) Alarm ....
၁၀.၄ Analog Input Alarm ဥပမာများ 9
၁၀.၅ Digital Input Alarm ဥပမာများ 10
၁၀.၆ Nuisance Alarm သို့မဟုတ် False Alarm 10

၁၀.၁ Alarm စတင် ဖြစ်ပေါ်ပုံ 2
၁၀.၂ Alarm အမျိုးအစားများ 2
၁၀.၃ Alarm Management 4
၁၀.၃.၁ Analog Alarm Point 4
၁၀.၃.၂ Binary Data Object and Binary Input Object(BI) Alarm 8
၁၀.၄ Analog Input Alarm ဥပမာများ 9
၁၀.၅ Digital Input Alarm ဥပမာများ 10
၁၀.၆ Nuisance Alarm သို့မဟုတ် False Alarm 10

Chapter-11 BAS Software

ဤအခန်းကိုလေ့လာပြီးနောက်

(က) BAS software structure နှင့် BAS software hierarchy ကို နားလည်သဘောပေါက်စေရန်

(ခ) Database တည်ဆောက်နည်း(development) အမျိုးမျိုးကို နားလည်သဘောပေါက်စေရန်

(ဂ) DDC text based ၊ graphical programming နှင့် DDE သဘောတရား(concept) နားလည်သဘောပေါက်စေရန်

၁၁.၁ BAS Software Structure

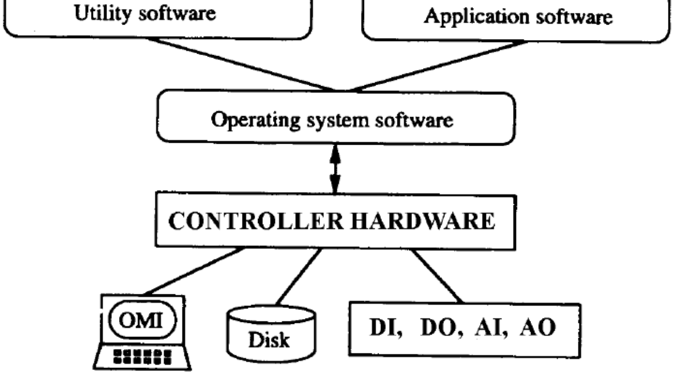
BAS နည်းပညာတွင် အမျိုးမျိုးသော software architecture များ ပုံစံအမျိုးမျိုးဖြင့် ရှိနိုင်သည်။ ကွန်ပြူတာနည်းပညာကို အခြေခံ၍ တည်ဆောက်ထားသည့် BAS network များတွင် Workstation PC ၊ communication unit ၊ DDC စသည်တို့ မလွဲမသွေ ပါဝင်ကြသည်။ BAS software architecture တစ်ခုတွင် အောက်ပါ software များ ပါဝင်ကြသည်။

(၁) Operating System(OS) software

(၂) Utility software နှင့်

(၃) Application software တို့ ဖြစ်သည်။

Software သုံးမျိုး(three classes) အပြန်အလှန် ဆက်သွယ်ထားပုံကို ပုံ(၁၁-၁)တွင် ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၁-၁ Hierarchy of BAS software structure

၁၁.၁.၁ Operating System (Lowest Level)

Operating system software သည် memory location စီမံခန့်ခွဲပေးခြင်း၊ ရိုက်ထည့်သည့် စာလုံး(text)များကို လက်ခံပေးခြင်း စသည့် hardware-specific function များကို ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ ကွန်ပြူတာတိုင်းတွင် Operating System(OS) software အနည်းဆုံးတစ်မျိုး ရှိရန် လိုအပ်သည်။ Windows 95၊ Windows NT၊ Windows XP ၊ Windows 7 စသည်တို့သည် Operating System(OS) software များဖြစ်ကြသည်။

၁၁.၁.၂ Utility Software

DDC အတွင်းရှိ software များသည် အလိုလျောက် အဆက်မပြတ် run နေကြသည်။ သို့သော် အချို့သော operation များသည် တစ်ခါတစ်ရံမှသာ operator ၏ ခိုင်းစေမှုအောက်တွင် (run)ရန် လိုအပ်သည်။ ထိုကဲ့သို့ တစ်ခါတစ်ရံမှသာ run ရန် လိုအပ်သည့် software ကို "**Utilities Software**" ဟုခေါ်သည်။

Communications functions ၊ database management functions ၊ operator-machine interface functions သို့မဟုတ် specific control algorithms စသည့် လုပ်ငန်းများကို utility software က ဆောင်ရွက်ပေးသည်။ Application program များမှ utility software modules ကို ခေါ်၍("called") တစ်ခုခု လုပ်ပေးရန် ခိုင်းစေနိုင်သည်။

၁၁.၁.၃ Application Program Software (Highest Level)

Application software များသည် BAS ၏ အဓိကလုပ်ငန်း(main function)များကို ဆောင်ရွက်ပေးသည့် program များ ဖြစ်ကြသည်။

အဓိကလုပ်ငန်း(main functions)များ အနက်မှ အချို့ကို အောက်တွင်ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Data acquisition
(၂) Metering
(၃) Monitoring
(၄) Control
(၅) Energy management နှင့်
(၆) Operator-machine interface applications တို့ဖြစ်သည်။

Application program များသည် database များနှင့် အပြန်အလှန် စပ်ဆက်နေသည်။ BAS system တွင် တစ်ခုထက်ပိုများသည့် database များ ရှိနိုင်သည်။ Database များကို controlled plant နှင့် လုပ်ဆောင်ရမည့် specific function တို့၏ အချက်အလက်များပေါ်တွင် မူတည်၍ စနစ်တကျ အစီအစဉ်တကျတည်ဆောက်ထားသည်။

Communication network အတွင်း၌ အမျိုးမျိုးသော controller များ၊ communication node များ၊ စသည်တို့ အချက်အလက်များ ဖလှယ်ရန်အတွက် protocol တူညီရန် လိုအပ်သည်။ BAS application programme အမျိုးမျိုး ရရှိနိုင်သည်။ Application program များ၏ capability နှင့် effectiveness သည် control task အမျိုးအစား နှင့် DDC network ၏ architecture အပေါ်တွင်မူတည်သည်။

Typical BAS Application Software

Start/Stop Control

(က) Energy Management applications

(၁) Start/Stop Control
(၂) Duty Cycling
(၃) Load shedding
(၄) Temperature setback
(၅) Enthalpy control

(၆) VAV control
(၇) Optimal start/stop
(၈) Chiller and condenser optimization

(ခ) Energy Management applications

(၁) chilled water(cooling)
(၂) electricity
(၃) Gas
(၄) Water
(၅) fuel consumption(e.g. for standby generators)
(၆) advance warning and action required for maintenance service

(ဂ) Facilities Management

(၁) Fire detection, alarm and prevention
(၂) Access control and security
(၃) Intelligent Building applications
(၄) Operation and maintenance management (e.g. work order generation, maintenance procedures, management information)
(၅) Maintenance Scheduling, Inventory Control, Logistics
(၆) Office automation
(၇) Facility booking s

အမျိုးမျိုးသော application program များ တစ်ချိန်တည်းတွင် အတူ run နိုင်သည်။

၁၁.၂ BAS Software Design Concept

၁၁.၂.၁ DDC Software

DDC software များသည် DDC အား မည်ကဲ့သို့သော တွက်ချက်မှု ပြုလုပ်မည်၊ မည်သို့ဆောင်ရွက်ရမည်ဆိုသည့် ညွှန်ကြားချက်များ(set of instructions)နှင့် လုပ်ငန်းစဉ်များ(procedures) စီမံပေးမည်။ DDC software ကို DDC ၏ Random Access Memory (RAM) ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်းထားလေ့ရှိသည်။ လိုအပ်သည့်အခါ operator မှ ပြင်ဆင်ခြင်း၊ ပြောင်းလဲခြင်း စသည်တို့ ပြုလုပ်နိုင်သည်။

၁၁.၂.၂ DDC Firmware

Firmware များသည် စက်ရုံမှ ထည့်ပေးလိုက်သည့် (factory-embedded) DDC software instruction များဖြစ်သည်။ DDC Read-Only Memory (ROM) ပေါ်တွင် အသေ(permanently)ရေးထားသည်။ System user မှ ပြင်ဆင်ပြောင်းလဲခြင်း ပြုလုပ်ခွင့် မရှိ။ Firmware programme ထဲတွင် DDC program module များဖြစ်သည့် on/off control ၊ PID control ၊ scheduling စသည်တို့ ပါဝင်သည်။

၁၁.၂.၃ DDC Database

DDC database တစ်ခုတွင် physical data point များအားလုံး ၏ အချက်အလက်များ ပါဝင်သည်။ DDC configuration လုပ်စဉ်အတွင်း database ကိုတည်ဆောက်ပြီး DDC memory (RAM) ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်းထားသည်။

DDC database ၏ property များမှာ

(၁) RAM ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်းထားသည့် DDC database ကို ပြင်ဆင်နိုင်သည်။ ပျက်(delete)နိုင်သည်။ အခြား memory device ဆီသို့ ရွှေ့ပြောင်း(move) နိုင်သည်။

(၂) DDC database object များသည် input/output အမျိုးအစားနှင့်သက်ဆိုင်သည့် ဒေတာများ(type of data) ၊ control programs ၊ variable တန်ဖိုးများ နှင့် constant တန်ဖိုးများ စသည်တို့ ဖြစ်သည်။

၁၁.၂.၄ DDC Database Configuration

DDC database configure ပြုလုပ်ခြင်းတွင် operational data နှင့် data point များ၏ အချက်အလက်များ DDC memory ပေါ်တွင် သိမ်းဆည်းရန် စနစ်တကျ ပြင်ဆင်ခြင်း ပါဝင်သည်။ BAS application programs များ executie လုပ်ရန်အတွက် database များ လိုအပ်သည်။ Database သည် workstation PC ၌ လည်းကောင်း အခြားသော central network communication unit များ၌ လည်းကောင်း ရှိနိုင်သည်။

DDC Software Modules

DDC software တွင် DDC ၏ memory (ROM) ပေါ်တွင် ရှိနေသည့် internal module များစွာ ပါဝင်သည်။ Software module များကို graphical နည်း သို့မဟုတ် text based နည်း(method)ဖြင့် configure လုပ်နိုင်သည်။

DDC software modules အမျိုးမျိုးကို ဖော်ပြထားသည်။

(၁) Control modules (e.g., on/off, PID)

(၂) Arithmetic modules (e.g. averaging, summing, totalization)

(၃) Programmable logic modules (PLC)

(၄) Interlock modules , etc (e.g., EF with EF OUT)

၁၁.၃ DDC Software Programming

ဆောင်ရွက်လိုသည့် control လုပ်ငန်းများကို program ရေး၍ DDC ၏ memory အတွင်းသို့ ထည့်ထား (download) ပေးရသည်။

နည်းနှစ်မျိုးဖြင့် program ရေးနိုင်သည်။

(၁) Text-based programming language

(က) Program များသည် DDC အား မည်ကဲ့သို့ လုပ်ဆောင်ရမည် အစီအစဉ်ကို ညွှန်ကြားသည်။

(ခ) အထူးကျွမ်းကျင်သူများသာ Program ရေးနိုင်သည်။

(၂) Graphical programming language(similar to that used for data base configuration)

(က) Program များသည် DDC အား မည်ကဲ့သို့ လုပ်ဆောင်ရမည်ကို ညွှန်ကြားသည်။

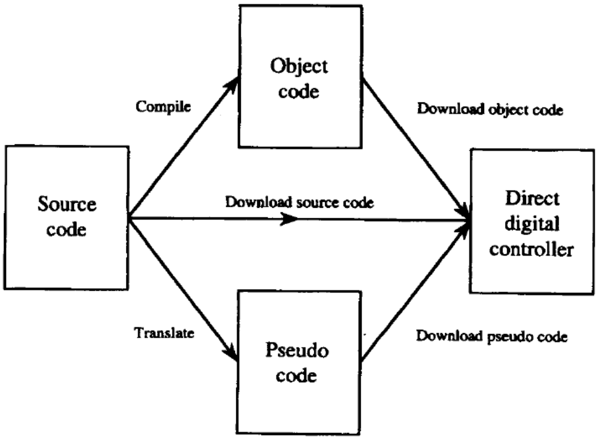
(ခ) Program ရေးသားတတ်ရန် လေ့ကျင့်ရာတွင် လွယ်ကူသည်။

(ဂ) အသုံးပြုသူများ လွယ်ကူ အဆင်ပြေသည်။ (user-friendly)

၁၁.၃.၁ Text-based programming

Translator

Text based programming language တွင် input text file ကို pseudo code ဟုခေါ်သည့် compressed လုပ်ထားသည့် binary file အဖြစ်သို့ ပြောင်းလဲသည်။ Compression လုပ်ထားသောကြောင့် DDC memory ပေါ်တွင် နေရာအနည်းငယ်သာယူသည်။ Control program အတိုင်း execute လုပ်ရန်အတွက် DDC operating system မှ pseudo code ၏ အဓိပ္ပာယ်ကို ဖွင့်ဆိုရသည်။



ပုံ ၁၁-၂ Text based programming language တစ်ခု၏ ဥပမာ

Compiler

Compiler သည် input text file ကို machine instruction များအဖြစ်သို့ ပြောင်းပေးသည်။

Compile လုပ်ထားသည့် machine instruction များကို DDC(microprocessor) သည် နားလည်နိုင်ပြီး control လုပ်ငန်းများဆောင်ရွက်ပေးသည်။

```
010   A=(TEMP;AI)-(PID;SP)
020   IF A<5 THEN 30 ELSE 80
030   IF A<-5 THEN 40 ELSE 80
040  (PID;PI)=0
050  (PID;PE)=0
060  (PID;RP)=(PID;DP)
070   GOTO 20
080   B=A*(PID;DP)/100
090   IF(PID;DP)>=100 THEN 120 ELSE 100
100   IF(PID;DP)<=0 THEN 120 ELSE 100
110  (PID;PI)=A+(PID;PE)/2*(PID;IC)+(PID;P1)
120   C=(PID;P1)/100
130  (PIC;PE)=A
140   A=(PIC;RP)+B+C
150   IF A>=0 THEN 170 ELSE 160
160   A=0
170   IF A<=100 THEN 190 ELSE 180
180   A=100
190   IF(SAFETY;BV)==1 THEN 200 ELSE 210
200   A=O
210  (PID;DP)=A
220   SWAIT 1
230   GOTO 10
```

ပုံ ၁၁-၃ Text-based programming

Text-based programming တစ်ခု၏ ဥပမာ

DDC program များကို ရေးသားပြီးနောက် translate လုပ်ခြင်း၊ compile လုပ်ခြင်း စသည်တို့ ကိစ္စများ ဆောက်ရွက်ပြီးနောက် DDC အတွင် memory ပေါ်သို့ download လုပ်ထည့်ရသည်။

Text-based method ၏ အားသာချက်များမှ

(၁) Parameter များ အားလုံးကို စာကြောင်းတစ်ကြောင်းတည်းဖြင့် ရေးသားနိုင်သည်။

(၂) စာလုံးများ(text) ဖြင့်ရေးသားထားသောကြောင့် တကူးတက မှတ်တမ်းတင်ရန် မလိုအပ်ပေ။ Entry

format များ၊ syntax များ ကို ကျွမ်းကျင်သူ အမှားရှာဖွေနိုင်သည်။

(၃) Program အတွင်း၌ မှတ်ချက်များ၊ comment များကို အတူတကွရေးသားနိုင်သောကြောင့် အခြားသူများ ဖတ်ရှုရာတွင် နားလည်သဘောပေါက်ရန် ပိုမို လွယ်ကူသည်။

(၄) ပြန်လည်စစ်ဆေးရန်(reviewing) အတွက် print ထုတ်နိုင်သည်။

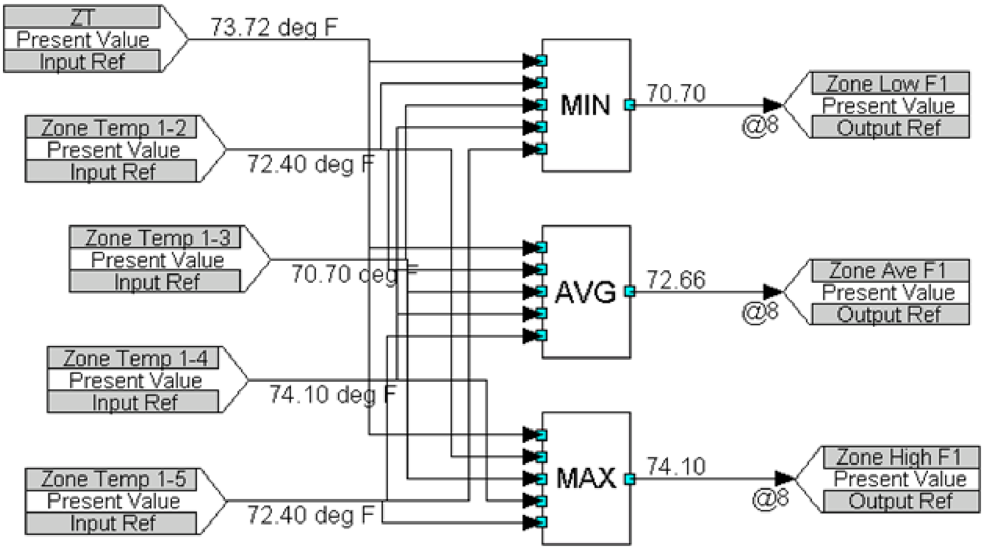
Text-based method ၏ အားနည်းချက်များမှာ

(၁) Syntax များကို အလွန်တိကျစွာ ရေးသားရန်လိုသည်။ database entry statement များကို သိရန် လိုအပ်သည်။

(၂) DDC ၏ memory ထဲသို့ download မလုပ်ခင် compile လုပ်ရန် အဆင့် တစ်ဆင့် ပိုလုပ်ရန်လိုသည်။

(၃) Compile လုပ်သည့် အဆင့်သို့ရောက်မှသာ အမှားများကို တွေ့နိုင်သည်။

၁၁.၃.၂ Programming Language (GPL)



ပုံ ၁၁-၄ Example of Graphic Programming Language(GPL)

အထက်ပါ ပုံ(၁၁-၄) Programming သည် ဇုံ(၅)ခု မှ Temperauter များ 1-1 မှ 1-5 ကို အနိမ့်ဆုံး တန်ဖိုး(minimum value)၊ အမြင့်ဆုံးတန်ဖိုး(maximum value) နှင့် ပျမ်းမျှတန်ဖိုး(average value)တွက်ပုံ ဖော်ပြသည့် program ဖြစ်သည်။ Graphics diagram တွင် ပါရှိသည့် MIN block ၊ MAX block ၊ AVG block တို့သည် software "objects" များဖြစ်ကြသည်။

MIN block သည် ဇုံ(Zone)(၅)ခု မှ temperauter များအနက်မှ အနိမ့်ဆုံး အပူချိန်ကို ရွေးချယ်ပေးသည်။
MAX block သည် ဇုံ(Zone)(၅)ခု မှ temperauter များအနက်မှ အမြင့်ဆုံး အပူချိန်ကို ရွေးချယ်ပေးသည်။
AVG block သည် ဇုံ(Zone)(၅)ခု မှ temperauter များ ပျှမ်းမျှ အပူချိန်ကို တွက်ပေးသည်။

၁၁.၄ Logic Concept

DDC များ အလုပ်လုပ်ပုံ နှင့် အသုံးပြုနိုင်ပုံများကို နားလည်ရန်အတွက် logic concept ကို ပထမဦးစွာ နားလည်ရန် လိုအပ်သည်။ အခြေခံ logic function (၃)မျိုးဖြစ်သည့် AND ၊ OR နှင့် NOT တို့ကို ကွဲပြားအောင် electric circuit များ နှင့် ladder diagram များနှင့်တကွ အသေးစိတ် ရှင်းလင်း ဖော်ပြထားသည်။ ထို logic function (၃)မျိုးကို အခြေခံ၍ ရိုးရှင်းလွယ်ကူသည့် control decision များမှ စ၍ ခက်ခဲရှုပ်ထွေးသည့် control decision များအထိ တည်ဆောက်နိုင်သည်။

၁၁.၄.၁ Binary Concept

Binary concept သည် အိုင်ဒီယာအသစ်တစ်ခု မဟုတ်ပါ။ Binary concept ကို ရှေးယခင်ကတည်းက စတင်သုံးစွဲခဲ့ကြသည်။ ဥပမာ-မီးလုံး တစ်လုံးသည် ပွင့်(on) နေနိုင်သည်။ ပိတ်(off) နေနိုင်သည်။ ခလုပ် (switch) တစ်ခုသည် open ဖြစ်နေနိုင်သည် သို့မဟုတ် close ဖြစ်နေနိုင်သည်။ မော်တာတစ်လုံးသည် မောင်း(running)နေနိုင်သည်။ ရပ်(stop) နေနိုင်သည်။ Digital System များတွင် အခြေအနေ(၂)မျိုး(two state condition)သာ ရှိနိုင်သည်။ Signal ရှိခြင်း (signal activated) သို့မဟုတ် မရှိခြင်း(not activated)၊ high သို့မဟုတ် Low ၊ on သို့မဟုတ် off ၊ open သို့မဟုတ် close စသည့်တို့ ကဲ့သို့ အခြေအနေ(၂)မျိုးအနက်မှ တစ်ချိန်တွင် တစ်မျိုးသာ ဖြစ်နေနိုင်သည်။ ထို two state concept (binary concept)သည် decision များချရန် အတွက် အခြေခံဖြစ်သည်။ Binary concept သည် DDC များ၏ function block များ ပြုလုပ်ရန် နှင့် digital computer များ၏ အခြေခံ(fundamental) သဘောတရားများ ဖြစ်သည်။

PLC စာအုပ်များတွင် Binary 1 သည် signal ရှိခြင်းကို ဆိုလိုသည်။ Binary 0 သည် signal မရှိခြင်း (absence of signal)ကို ရည်ညွှန်းသည်။ Digital system များတွင် ဤအခြေအနေ(၂)မျိုး(two state)ကို မတူညီသည့် voltage level (၂)ခုဖြင့် ဖော်ပြသည်။ +V volt နှင့် 0V volt တို့ကို Table 11-1 တွင် ဖော်ပြထားသည်။ Volt တစ်ခုသည် တခြား Volt တစ်ခုထက် အပေါင်းဓါတ်အား သို့မဟုတ် အဖိုဓါတ်အား (more positive) ပိုများသည်။ တစ်ခါတစ်ရံ Binary 1 သို့မဟုတ် logic 1 ကို true ၊ on ၊ high စသည် အဓိပ္ပာယ်များ အဖြစ် ရည်ညွှန်းပြောဆိုပြီး binary 0 သို့မဟုတ် logic 0 ကို false ၊ off ၊ low စသည့် အဓိပ္ပာယ်များ အဖြစ် ရည်ညွှန်း ပြောဆိုသည်။

Table 11-1. Binary concept using positive logic.

Example	Logic 1 (+V)	Logic 0 (0V)
Limit switch	Operating	Not operating
Bell	Ringing	Not ringing
Light bulb	On	Off
Horn	Blowing	Silent
Motor	Running	Stopped
Clutch	Engaged	Disengaged
Valve	Closed	Open

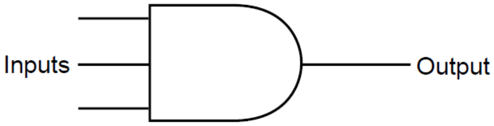
၁၁.၄.၂ Logic Function

Table 11-1 တွင်ဖော်ပြထားသည့် more positive voltage ကို logic 1 အဖြစ် သတ်မှတ်သည်။ Less positive voltage ကို Logic 0 အဖြစ် သတ်မှတ်ထားသည်။ မိမိနှစ်သက်သလို အဆင်ပြေသလို ရွေးချယ် သတ်မှတ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

Binary concept သည် physical quantities (Binary variables) များ၏ အခြေအနေ(၂)မျိုး (two state)ကို 0 နှင့် 1 ဖြင့် ဖော်သည်။ အခြေအနေ(၂)မျိုးအနက် တစ်ချိန်၌ အခြေအနေတစ်မျိုးသာ ဖြစ်နိုင်သည်။ (၂)ခု ထက်ပိုသည့် binary variable များ ပေါင်းစပ်ပြီး ရရှိသည့်ရလာဒ်ကို True (1) သို့မဟုတ် False (0) အခြေအနေ တစ်မျိုးမျိုးဖြင့် ဖော်ပြပုံ ဆက်လက် လေ့လာမည်။ DDC များသည် logical statement များကို အခြေခံ၍ ဆုံးဖြတ်ချက်များ ချမှတ်(make decision) ကြသည်။ DDC များသည် digital equipment များ ဖြစ်ကြသောကြောင့် AND ၊ OR နှင့် NOT စသည့် အခြေခံ(fundamental) logic function (၃)မျိုးကို အခြေခံ၍ operation များ ပြုလုပ်ကြသည်။ ထို function များ ပေါင်းစပ်ပြီး binary variable များကို statement အဖြစ် တည်ဆောက်ကြသည်။

Function တိုင်းတွင် စည်းကမ်းချက်(rule)များ ရှိကြသည်။ ထိုစည်းကမ်းချက်(rule)များအရ ရလာဒ်(result)ကို ထုတ်ပေးသည်။ ဆုံးဖြတ်ပေးသည်။ ကိုယ်ပိုင်သင်္ကေတ(symbol)များ ရှိကြသည်။ နားလည်မှု ရှင်းလင်းစေရန်အတွက် ရလာဒ်(result of statement)ကို output ဟု သတ်မှတ် ခေါ်ဆိုသည်။ Output ကို အင်္ဂလိပ်အက္ခရာ(Y)ဖြင့် သတ်မှတ်ဖော်ပြသည်။ Statement များ၏ အခြေအနေ(condition)များကို input (A နှင့် B) များဟု သတ်မှတ်သည်။ Input နှင့် output (၂)ခုစလုံးကို အခြေအနေ(၂)မျိုး (two state variable) ဖြင့် ဖော်ပြနိုင်သည်။

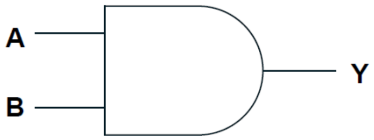
၁၁.၄.၃ "AND" Function



ပုံ ၁၁-၅ Symbol for the AND function.

ပုံ(၁၁-၅)သည် AND gate တစ်ခု၏ သင်္ကေတ(symbol) ဖြစ်သည်။ AND function ကို ပုံဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။ Input များအားလုံး True (1) ဖြစ်မှသာ AND output သည် True (1) ဖြစ်သည်။

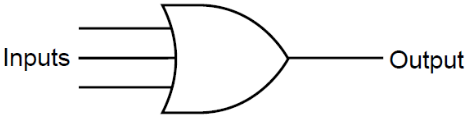
$$\textbf{\textit{The AND output is True }}(\mathbf{1})\textbf{\textit{ only if all inputs are True }}(\mathbf{1}).$$



AND Truth Table		
Inputs		Output
A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ပုံ ၁၁-၆ Two-input AND gate and its truth table.

၁၁.၄.၄ "OR" Function



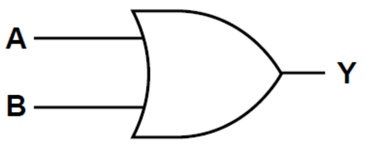
ပုံ ၁၁-၇ Symbol for the OR function.

ပုံ(၁၁-၇)သည် OR gate တစ်ခုကို သင်္ကေတ (Symbol) ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ OR function ကို ပုံဖြင့် ဖော်ပြထားခြင်း ဖြစ်သည်။

$$\textbf{\textit{The OR output is True }}(\mathbf{1})\textbf{\textit{ if on or more inputs are True }}(\mathbf{1}).$$

OR gate ၏ input များအားလုံးအနက်မှ အနည်းဆုံး input တစ်ခု True ဖြစ်လျှင် output သည် True (1) ဖြစ်သည်။

AND function (AND Gate) နှင့် OR function (OR Gate) တို့တွင် input ပေါင်းများစွာရှိနိုင်သော်လည်း output တစ်ခုသာ ရှိမည်။ ပုံ(၁၁-၈)တွင် OR function ၏ true table ကို ဖော်ပြထားသည်။ input များ အားလုံး၏ ဖြစ်နိုင်သည့် combination ကို အခြေခံ၍ output Y ကို ထုတ်ပေးထားသည်။

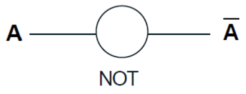


OR Truth Table		
Inputs		Output
A	B	Y
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

ပုံ ၁၁-၈ Two-input OR gate and its truth table.

၁၁.၄.၅ "NOT" function

ပုံ(၁၁-၉) NOT function ကို သင်္ကေတ (symbol) ဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။ NOT function ၏ input မှာ FALSE (0) ဖြစ်လျှင် output သည်TRUE (1) ဖြစ်သည်။ အပြန်အလှန်အားဖြင့် input မှာ TRUE (1) ဖြစ်လျှင် output သည် FALSE (0) ဖြစ်သည်။ NOT Gate ၏ operation မှာ input ၏ state ကို ပြောင်းပြန်(inverse) လုပ်ပေးရန် ဖြစ်သည်။ ထို့ကြောင့် NOT Gate ကို inverter ဟုလည်း ခေါ်သည်။



NOT Truth Table	
Input	Output
A	Ā
0	1
1	0

ပုံ ၁၁-၉ Symbol for the NOT function.

ပုံ ၁၁-၁၀ NOT gate and its truth table.

> အခြားသော AND function နှင့် OR function များနှင့် မတူသည့်အချက်မှာ NOT function တွင် input တစ်ခုတည်းသာ ပါရှိခြင်းဖြစ်သည်။ လက်ခံနိုင်ခြင်းဖြစ်သည်။ NOT function ကို တစ်ခုတည်း အသုံးပြုလေ့ မရှိပေ။ AND gate သို့မဟုတ် OR gate တို့ဖြင့် တွဲ၍ အသုံးပြုလေ့ရှိသည်။

ပုံ(၁၁-၁၁)တွင် NOT Operation နှင့် ယင်း၏ true table ကို ဖော်ပြထားသည်။ A အပေါ်တွင်ဘား (Bar) ကလေးတင်၍ Ā အဖြစ်ဖော်ပြခြင်းသည် NOT A ကို ရည်ညွှန်းသည်။

NOT function အလွယ်တကူသိမြင်နိုင်ရန်(Visualize လုပ်ရန်) ခဲယဉ်းသည်။ AND နှင် OR တို့၏ function ကို သိမြင်နိုင်ရန်(visualize လုပ်ရန်) လွယ်သည်။ သိလွယ်၊ မြင်လွယ်သည်။ သို့သော် NOT function သည် အလွန်ရိုးရှင်းပြီး၊ အလွန်အသုံးဝင်ကြသည်။

အစပိုင်းတွင် ရှင်းပြထားသည့် အချက်(၃)ချက်

(၁) 1 သို့ 0 မိမိနှစ်သက်သည့်အတိုင်း ရွေးချယ်ပါ။

(၂) Logic 1 သည် ပုံမှန်အားဖြင့်(များသောအားဖြင့်) TRUE ၊ HIGH ၊ ON ဖြစ်သည်။ Logic 1 သည် Device တစ်မျိုးမျိုးကို Activate လုပ်ရန် ရည်ရွယ်သည်။ ဥပမာ- Output Y=1 ဖြစ်လျှင် မော်တာကို မောင်းရန် ဖြစ်သည်။

(၃) Logic 0 သည် ပုံမှန်အားဖြင့် (များသောအားဖြင့်) FALSE ၊ LOW ၊ OFF ဖြစ်သည်။ Logic 0 သည် device တစ်မျိုးမျိုးကို deactivate လုပ်ရန် ဖြစ်သည်။

ဥပမာ- Output Y သည် 0 ဖြစ်လျှင် မော်တာကို ရပ်ရန် ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ထိုအခြေအနေကို ပြောင်းလိုလျှင် NOT function ကိုသုံးသည်။ ဥပမာ- logic 0 သည် Device တစ်မျိုးမျိုး Active လုပ်လိုလျှင် NOT function ကို အသုံးပြုသည်။ ဥပမာ- output Y=0 ဖြစ်လျှင် မော်တာကိုမောင်းရန်ဖြစ်သည်။ NOT function သည် အသုံးဝင်သည်။

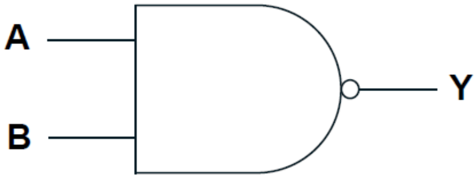
(က) NOT ကိုအသုံးပြုသည်။ Logic 0 (low condition) ဖြစ်လျှင် Device တစ်မျိုးမျိုးကို Active လုပ်ရန်

(ခ) Logic 1 (High Condition) ဖြစ်လျှင် Device တစ်မျိုးမျိုးကို deactivate လုပ်ရန်အတွက် NOT ကိုအသုံးပြုသည်။

အောက်တွင် NOT function ကို သုံးထားသည့် ဥပမာ(၂)ခုကို ဖော်ပြထားသည်။

NOT function ကို AND နှင့် OR function များဖြင့်အသုံးပြုလေ့ရှိကြသော်လည်း ပထမဥပမာတွင် NOT function တစ်ခုတည်းကို သာသုံးထားသည်။

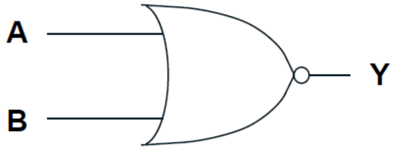
၁၁.၄.၆ NAND Gate



NAND Truth Table		
Inputs		Output
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ပုံ ၁၁-၁၁ Two-input NAND gate and its truth table.

ပုံ 3-7 တွင် NAND gate ၏ logic symbol နှင့် truth table ကိုဖော်ပြထားသည်။ OR gate ၏ output ၌ NOT သင်္ကေတ (symbol)ထည့်လျှင်လည်း အလုပ်လုပ်ပုံမှာ တူညီသည်။ OR gate ၏ normal output ကို function ထည့်ထားသောကြောင့် NOR gate ဖြစ်သည်။ ပုံ(၁၁-၁၂) တွင် NOR gate ၏ logic symbol နှင့် truth table ကိုဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၁-၁၂ ပုံ **3-8.** Two-input NOR gate and its truth table.

NOR Truth Table		
Inputs		Output
A	B	Y
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

၁၁.၅ Review Questions

(၁) Explain briefly about the software architecture applied to BAS.

(၂) List three classes of software used in building automation systems, and outline the functions of each type.

(၃) Describe three typical application software made available to BAS. Give examples on their real-life applications.

(၄) (က) (What is OOP?) Explain the term "object oriented programming" as applied to

building automation systems.

(ခ) Give one example of a DDC database entry that conforms with OOP, ignoring the actual syntax used.

(၅) Describe the information contained in a DDC database.

(၆) Explain the difference between "software" and "firmware", stating clearly, where each one resides in a computer system.

(၇) (က) Explain the purpose of a DDC database.

(ခ) Describe two methods commonly used for DDC database configuration in BAS industry.

(ဂ) Explain the difference between DDC database configuration and DDC programming.

(၈) (က) Describe two methods used to develop BAS application programs.

(ခ) Give two advantages and disadvantages for each method.

(၉) Explain the terms compiler and translator as used in computer programming.

(၁၀) Give two advantages of graphical programming method over test-based method in the development of BAS / DDC application programming.

(၁၁) List and describe five types of DDC program modules used for building control applications.

(၁၂) List three BAS application programs typically available/used for:-

(က) energy management

(ခ) metering and monitoring of building services

(ဂ) facilities management

(၁၃) Describe, with the aid of diagrams, the following real-time energy management routines generally used in BAS:-

(က) Time and temperature profiling

(ခ) Optimal start-stop

(ဂ) Duty cycling

(ဃ) Time and calendar scheduling

(၁၄) The facility management has to deploy the efficient energy management routines to their car parks in three basements of a commercial building. Propose some useful "energy management routines" which will be suitable for basement car park lighting and ventilation systems. Explain clearly how to implement this proposal with your programming knowledge.

-End-

Chapter-11 BAS Software

၁၁.၁ BAS Software Structure 1
၁.၁.၁ Operating System (Lowest Level) 2
၁၁.၁.၂ Utility Software 2
၁၁.၁.၃ Application Program Software (Highest Level) 2
၁၁.၂ BAS Software Design Concept 3
၁၁.၂.၁ DDC Software 3
၁၁.၂.၂ DDC Firmware 3
၁၁.၂.၃ DDC Database 3
၁၁.၂.၄ DDC Database Configuration 4
၁၁.၃ DDC Software Programming 4
၁၁.၃.၁ Text-based programming 4
၁၁.၃.၂ Programming Language (GPL) 6
၁၁.၄ Logic Concept 6
၁၁.၄.၁ Binary Concept 7
၁၁.၄.၂ Logic Function 7
၁၁.၄.၃ "AND" Function 8
၁၁.၄.၄ "OR" Function 8
၁၁.၄.၅ "NOT" function 9
၁၁.၄.၆ NAND Gate 10
၁၁.၅ Review Questions:- 10

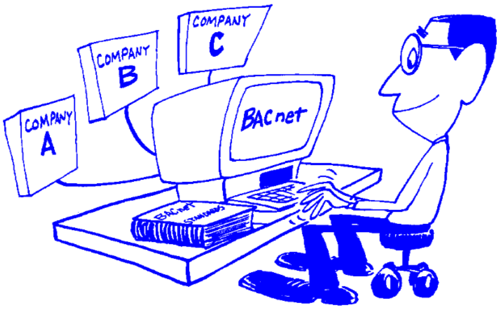
Contents

၁၁.၁ BAS Software Structure..1
၁.၁.၁ Operating System (Lowest Level)..
၁၁.၁.၂ Utility Software ....
၁၁.၁.၃ Application Program Software (Highest Level)..
၁၁.၂ BAS Software Design Concept 3
၁၁.၂.၁ DDC Software..
၁၁.၂.၂ DDC Firmware ....
၁၁.၂.၃ DDC Database ....
၁၁.၂.၄ DDC Database Configuration..
၁၁.၃ DDC Software Programming..4

၁၁.၃.၁ Text-based programming...
၁၁.၃.၂ Programming Language (GPL) ....
၁၁.၄ Logic Concept...6
၁၁.၄.၁ Binary Concept...
၁၁.၄.၂ Logic Function ....
၁၁.၄.၃ “AND” Function...
၁၁.၄.၄ “OR” Function...
၁၁.၄.၅ “NOT” function...
၁၁.၄.၆ NAND Gate ....
၁၁.၅ Review Questions 10

Chapter-12 Integrated Building Management System (IBMS)

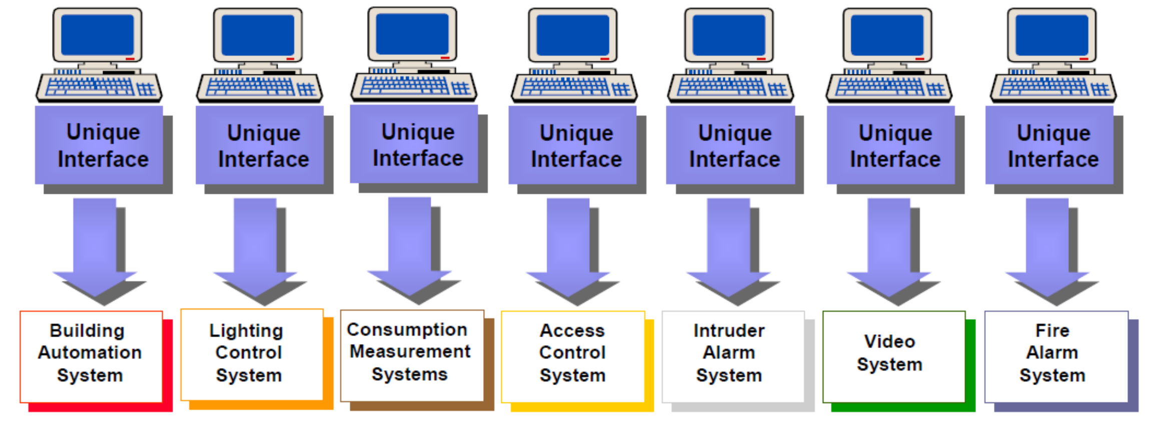
၁၂.၁ Introduction



IBMS ဆိုသည်မှာ Integrated Building Management System ၏ အတိုခေါက် ဖြစ်သည်။ တစ်ခုချင်းစီ ကွဲပြားနေသော system များကို စုစည်းပေးခြင်း(integrated လုပ်ပေးခြင်း) ဖြစ်သည်။ Computer နည်းပညာ နှင့် IT နည်းပညာ များ တိုးတက်လာခြင်းကြောင့် IBMS နည်းပညာ ပေါ်ထွန်းလာသည်။

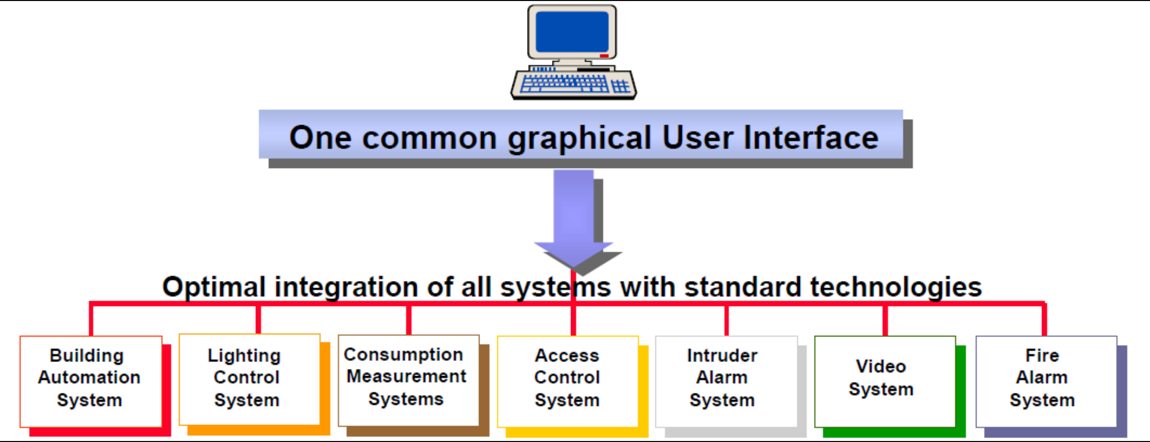
Building Management System(BMS) သို့မဟုတ် Building Automation System(BAS) တို့တွင် ပါဝင်သည့် System များ အပြင် တခြားသော Building Service System များကို စုဝေး ထားသည့် (Integrated လုပ်ထားသည့်) System ဖြစ်သောကြောင့် Integrated Building Management System (IBMS) ဟု ခေါ်ဆိုခြင်းဖြစ်သည်။ Facility Booking System ၊ Integrated Facility Management System ၊ Visitor Management ၊ Visitor service စသည့် System များကို တစ်စုတစ်ဝေးတည်းဖြစ်အောင် integrated လုပ်ထားသောကြောင့် IBMS ဟုခေါ်ဆိုခြင်းလည်းဖြစ်သည်။ အဆောက်အဦးတစ်ခု အတွင်းရှိ sub System များသည် သီးခြားတည်ရှိကြသည်။

အဆောက်အဦးတစ်ခုအတွင်းရှိ Sub System များအားလုံးကို System တစ်ခုအတွင်း၌ တည်ရှိအောင် integrated လုပ်ထားသည်။



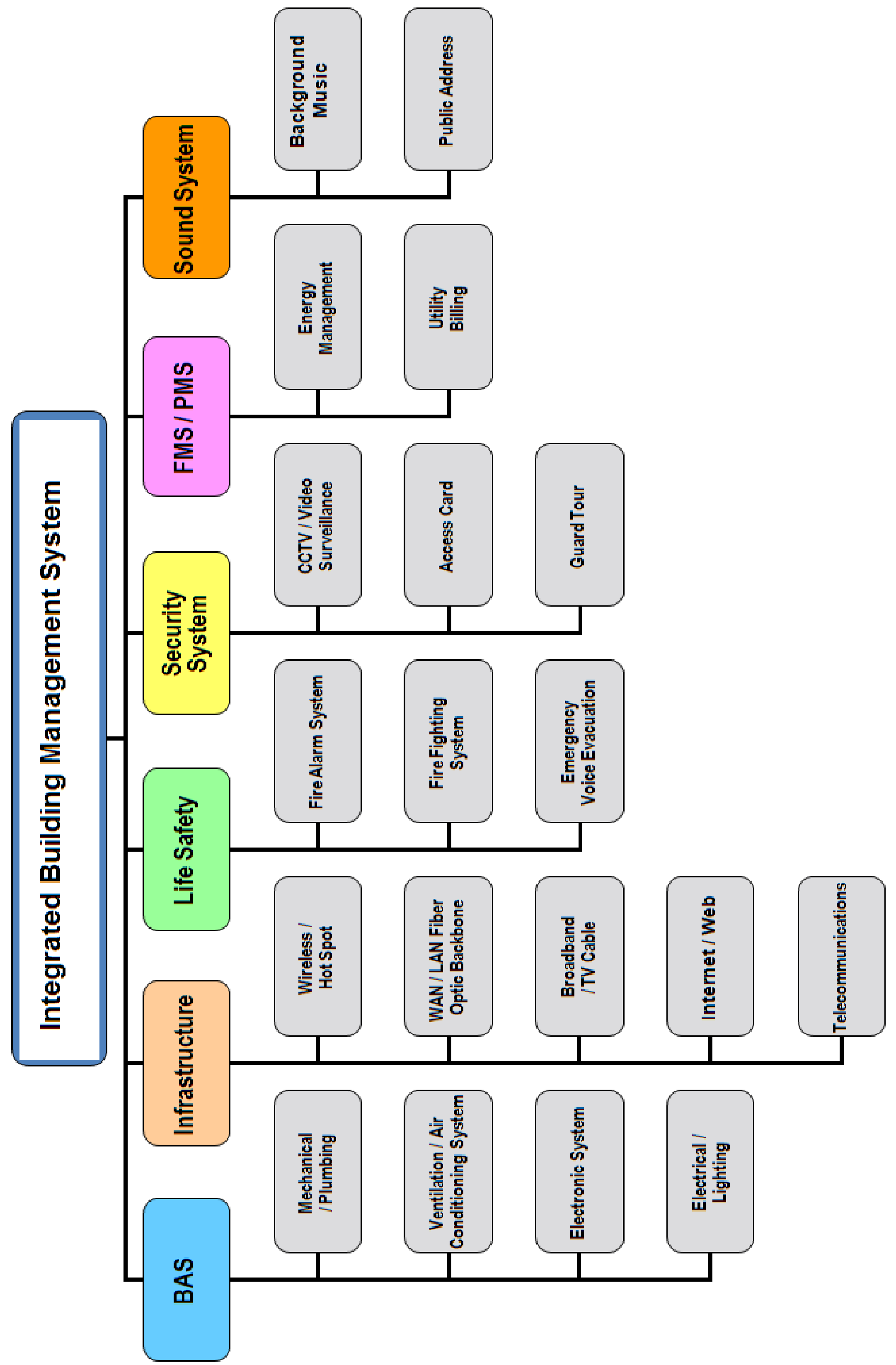
ပုံ ၁၂-၁

Integrated Building Management System တစ်ခုအတွင်းရှိ subsystem များနှင့် service များကို ဖော်ပြထားသည်။



ပုံ ၁၂-၁

BAS သို့မဟုတ် BMS သည် computer နည်းပညာနှင့် Network နည်းပညာ နှစ်ခု အပေါ်တွင် အခြေခံထားသော Building Control System တစ်ခုလည်း ဖြစ်သည်။ ခေတ်မှီ Intelligent Building များတွင် မရှိမဖြစ်ပါဝင်ရမည့် System တစ်ခုလည်းဖြစ်သည်။ Computerized building control system ဖြစ်သည်။
အဆောက်အဦးတစ်ခု နေ့စဉ်ပုံမှန် လည်ပတ် နေရန်အတွက် လုပ်ဆောင်ရမည့် operation များကို monitor လုပ်ရန်၊ အလိုလျောက် ပုံမှန်လည်ပတ်နေအောင် စီမံညွှန်ကြား(Manage) ရန်အတွက် BAS သို့မဟုတ် BMS ကို တပ်ဆင်ကြခြင်း ဖြစ်သည်။ BAS/BMS ဖြင့် အဆောက်အဦး၏ operation များကိုပို၍ Efficient ဖြစ်အောင် ဆောင်ရွက်နိုင်သည်။အလုပ်သမား စရိတ်၊ ဝန်ထမ်းခ လျော့ချနိုင်သည်၊ စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု လျော့ချနိုင်သည်၊ ပို၍ လုံခြုံစိတ်ချရသည်၊ အသုံးပြုသူများ(occupants) အတွက် ပိုမိုကောင်းမွန်ပြီး၊ comfortable ဖြစ်စေသည်။



ပုံ ၁၂-၁ Integrated Building Management System(IBMS)

(က) နေ့စဉ် နေ့တိုင်း ထပ်ခါတစ်လဲလဲ ပြုလုပ်ရမည့်ကိစ္စများ(Air Con ဖွင့်ခြင်း၊ပိတ်ခြင်း၊ရေတင်ခြင်း စသည့် ကိစ္စများ)ကို အလိုအလျောက်ပြုလုပ်ပေးနိုင်သည်။

(ခ) စက်များကို plant room တွင် မည်ကဲ့သို့ monitor လုပ်မည်၊ မည်ကဲ့သို့ control လုပ်ရမည်ကို သင်ကြား ပေးရမည့်အချိန်(Training Hour) လျှော့ချနိုင်သည်။ BAS Work station ရှိ Graphic မှ တဆင့် ပိုမိုလွယ်ကူစွာ သင်ကြားပေးနိုင်သည်။

(ဂ) အသုံးပြုသူများ(occupant)များ၏ လိုအပ်ချက်များ၊ ချို့ယွင်းချက်ရှာဖွေခြင်း(trouble shooting လုပ်ခြင်း) စသည်တို့ကို ပို၍လျင်မြန်စွာ

(ဃ) တုံ့ပြန်(responseလုပ်) နိုင်သည်။ ပို၍ကောင်းအောင် တုံ့ပြန်(responseလုပ်) နိုင်သည်။

(င) ယခင်အချိန်က မည့်သည့် ကဲ့သို့မောင်းခဲ့သည်၊ ပြုပြင်ခဲ့သည် စသည့် Historical record များရှိခြင်း၊ Maintenance Management Program များရှိခြင်း၊ alarm များ ပို့ပေးခြင်းတို့ ကြောင့် အဆောက်အဦးတစ်ခုလုံးကို ပို၍ကောင်းအောင် စီမံခန့်ခွဲ(Manageလုပ်) နိုင်သည်။

(စ) Centralize Control ဖြစ်ခြင်း နှင့် Energy Management Program ပါရှိခြင်းကြောင့် စွမ်းအင်သုံးစွဲမှု အတွက် ကုန်ကျစရိတ်ကို လျှော့ချနိုင်သည်။

(ဆ) အဆောက်အဦးများတွင်ရှိတတ်သည့် special event များကို လွယ်ကူသက်သာစွာ စီမံနိုင်ခြင်း၊

(ဇ) Subsystem များ(ACMV, Fire Alarm, Security, access control, Lighting Control စသည် တို့ကို) တစ်ခု နှင့်တစ်ခု အပြန်အလှန် ဆက်သွယ်နိုင်ခြင်း၊ Data များ အပြန်အလှန် ပေးပို့နိုင်ခြင်း၊ exchange လုပ်နိုင်ခြင်း တို့ဖြစ်သည်။

(ဈ) System များ၏ reliability ပိုကောင်းလာခြင်း(chiller တစ်လုံး Breakdown ဖြစ်ပါက stangby chiller ကို အလိုအလျောက်မောင်းပေးခြင်း)

(ည) Equipment တိုင်းကို (၃၆၅)ရက်စာ မောင်းချိန်၊ ပိတ်ချိန်(start/stop timing) တို့ ထည့်ပေးနိုင်ခြင်း၊ အလိုရှိသည့် report များကို အလိုအလျောက် ထုတ်ပေးနိုင်ခြင်း၊

Energy Management Function [Pg 172 Honeywell]

အဆောက်အဦး အတွင်း ရှိအချက်အလက်များနှင့် Sub system အတွင်းရှိ operating parameter များကို BAS System က စုဆောင်းထားပေးသည်။ ဥပမာ - အခန်းများ၏ အပူချိန်များ၊ equipment များ၏ မောင်းချိန်၊ ပိတ်ချိန်နာရီမည်မျှကြာမောင်းပြီးဖြစ်သည်။ Building Technician သို့ Operator သည် BAS workstation(PC) မှ အလိုရှိသည့် information များအားလုံးကို သိနိုင်သည်။ အလိုရှိလျှင်setting များကို ပြောင်းနိုင်သည်။ အခန်းများ၏ အပူချိန်တက်ခြင်း၊ ကျခြင်းတို့(သတ်မှတ်ထားသည် အပူချိန်) တို့ဖြစ်လျှင် warning သို့မဟုတ် Alarm သို့မဟုတ် Alert များ ပေးနိုင်သည်။ Handphone သို့မဟုတ် SMS သို့မဟုတ် printer သို့မဟုတ် email ဖြင့် ပို့ပေး နိုင်သည်။

၂. System configuration

BAS System များ၏ Architecture များကို Layer များ သို့မဟုတ် Level များဖြင့်ခွဲခြားဖော်ပြသည်။

(က) Management Level

(ခ) Operations Level သို့မဟုတ် Operator Layer

(ဂ) System Level Supervisory Layer နှင့်

(ဃ) Zone Level DDC Controller Layer တို့ ဖြစ်သည်။

Building Automation System architecture အခန်းတွင် အသေးစိတ် လေ့လာဖတ်ရှုနိုင်သည်။

Operating Level Processor

Operating Level Processor များသည် Personal Computer (PC) များဖြစ်သည်။ Operating Level Processer များ၌ အောက်ပါ application Software များပါဝင်သည်။

(၁) System Security - အသုံးပြုသူများ(user) ၏ အဆင့်ကို လိုက်၍ authorization level ခွဲခြားထားနိုင်သည်။

(၂) System Penetration – authorized personal များကိုသာ Data များယူခြင်း(retrieve) နှင့် transfer လုပ်ခွင့်ကို ပေးနိုင်သည်။

(၃) Data Formatting လုပ်ခြင်း

(၄) Data segregation- ခွင့်ပြုသူများ(AP) သာမြင်ရ၊ တွေ့ရသည့် Data များ၊ Equipment များနှင့် ခွင့်မပြုထားသူ များကို data များ equipment မမြင်ရအောင်ပြုလုပ်ထားနိုင်သည်။

(၅) Custom programming

(၆) Graphic ပြင်ဆင်ခြင်း၊ equipment များ တစ်ခုချင်းကို graphic များဖြင့် ဖော်ပြထားသည်။

(၇) Stand report များ

(၈) Custom report

(၉) Maintenance Management

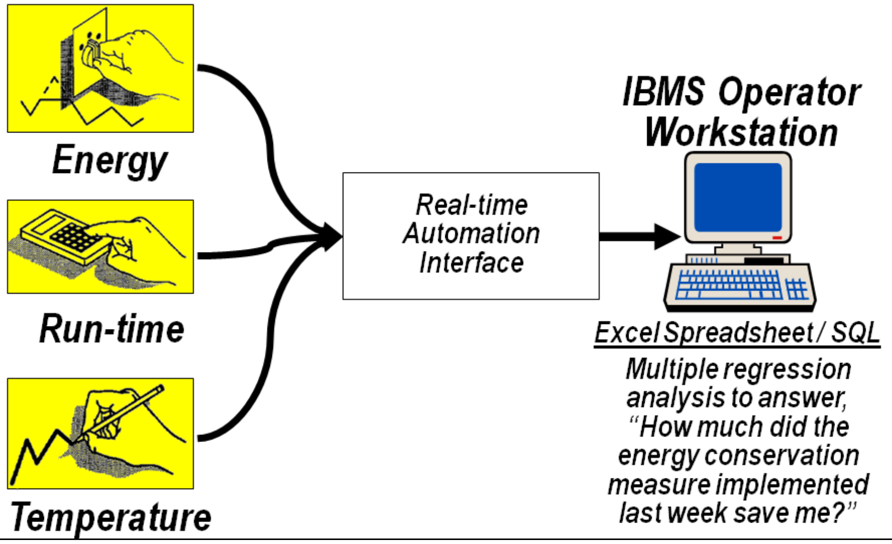
(၁၀) Site specific customization

(၁၁) System integration

IBMS သည် အဆောက်အဦးအတွင်းရှိ အချက်အလက်များအားလုံးကို monitor လုပ်နိုင်သည်။ စီမံခန့်ခွဲ(manage) နိုင်သည်။ IBMS မှ စောင့်ကြည့်စီမံ(monitored and managed)နိုင်သည့် system များမှာ

(၁) Elevators
(၂) Waste Water Treatment System
(၃) Mechanical Direct Digital Controls
(၄) Digital Network Lighting Controls
(၅) Power Monitoring and Control System
(၆) Fire Alarm and Detection System
(၇) Solar Energy Collector Metering
(၈) Wind Energy Power Generator Metering
(၉) Weather Station Monitoring System
(၁၀) Window Washing System နှင့်
(၁၁) Water Reclamation တို့ ဖြစ်သည်။

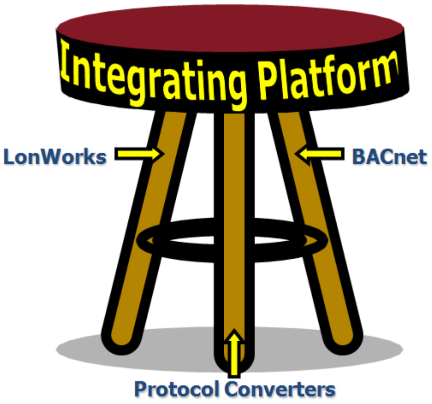
၃. Energy Management and Operation



ပုံ ၁၂-၁ Integration Applications Energy

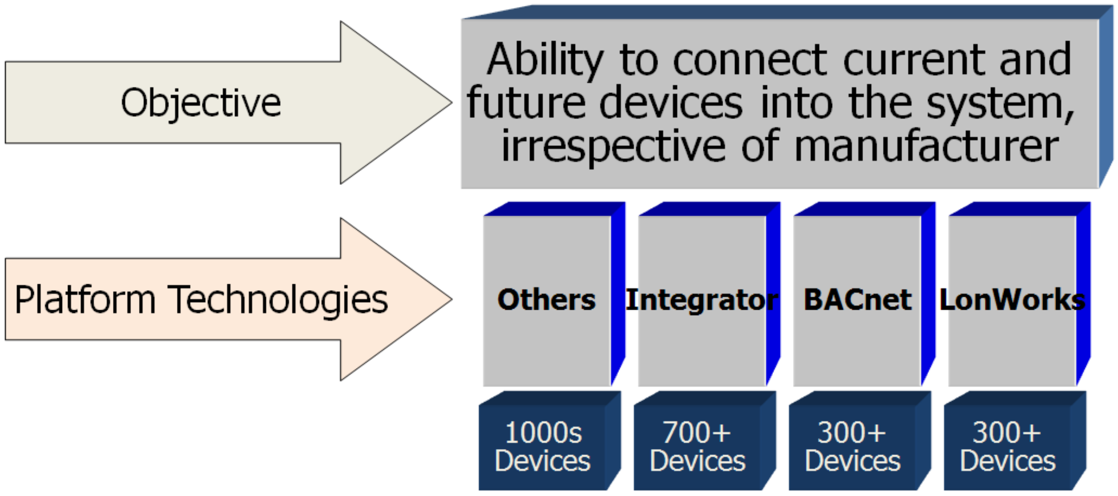
၄. System Integration

Implementing Integration The Right Technology- System Integration

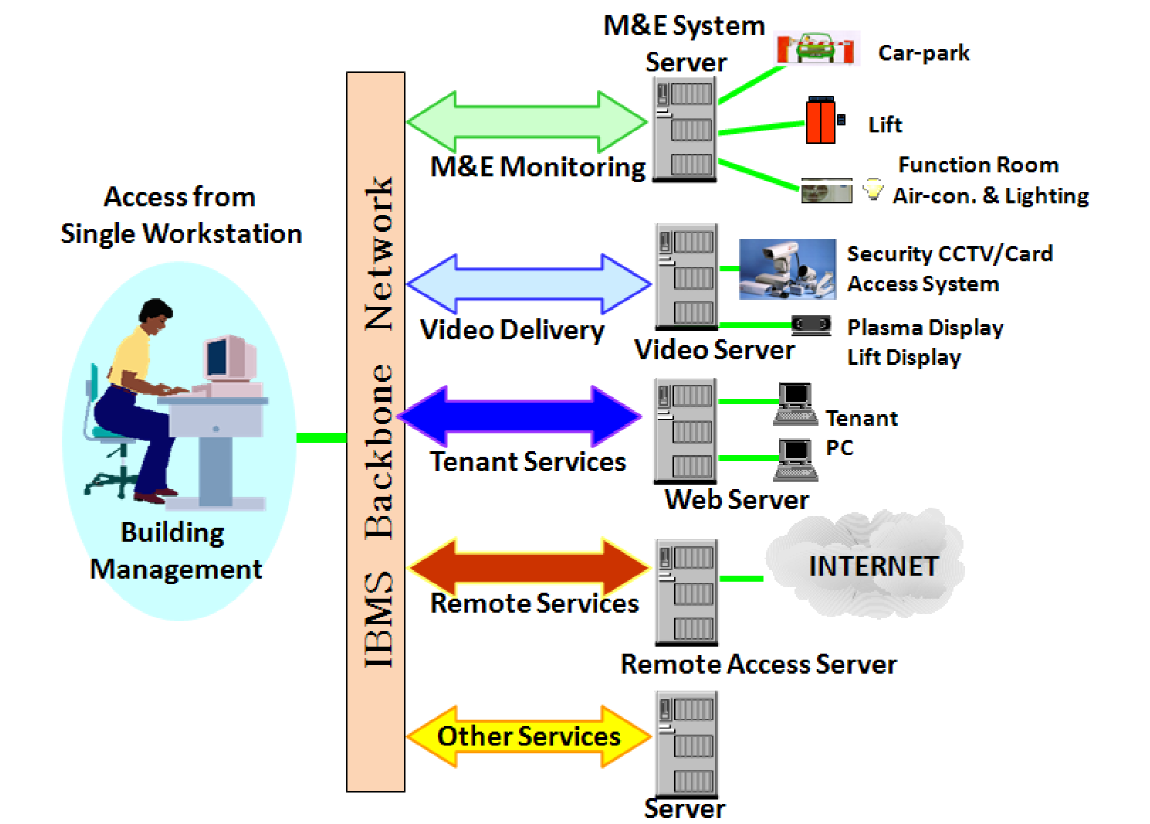


Common user interface for all building systems

- Common graphics
- Common alarm management
- Common management reports

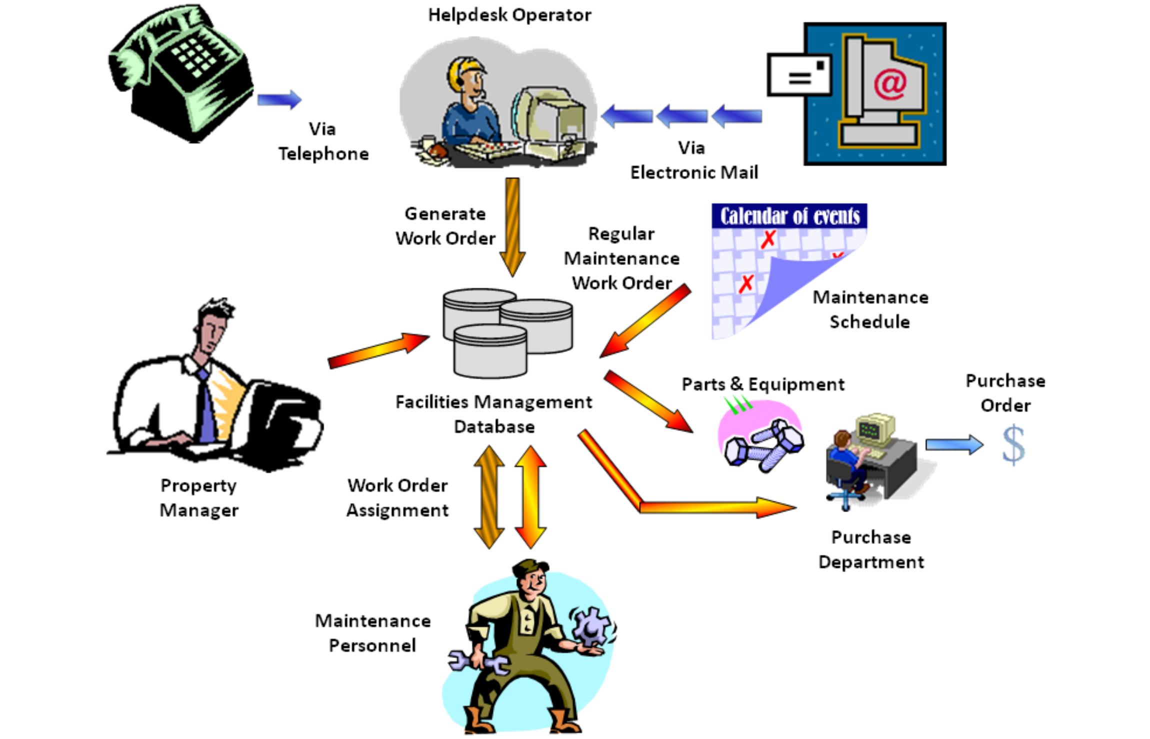


ပုံ ၁၂-၁ IBMS supports LonWorks, BACnet, Integrators and Others



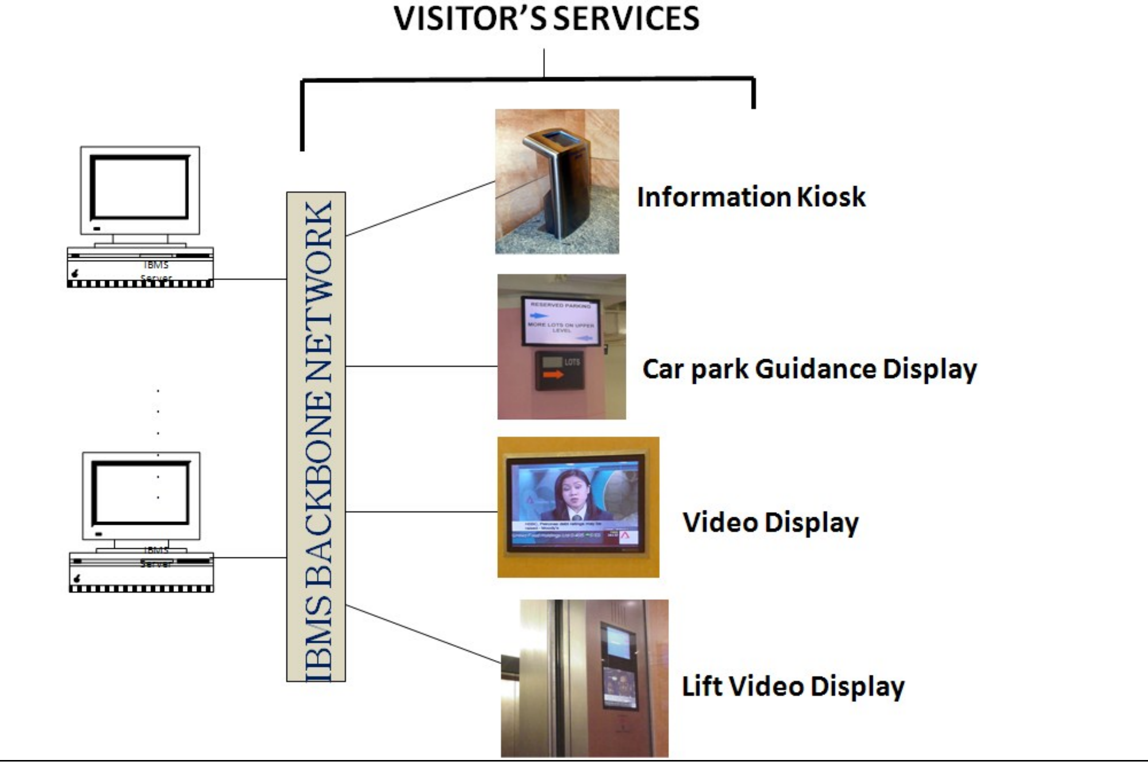
ပုံ ၁၂-၁ IBMS Control Center

၅. Integrated Facilities Management



ပုံ ၁၂-၁ Integrated Facilities Management

၆. Visitor Service



ပုံ ၁၂-၁ Multi-Media Screen

၇. Facility Booking

Support air-con extension

Extending the operating hr of air-con for facility

Booking features

Support public and internal booking

Configurable **calendar** views

Block booking(recurrence)

On-behalf bookings

Booking approval

Email notification

Bookings Mgmt

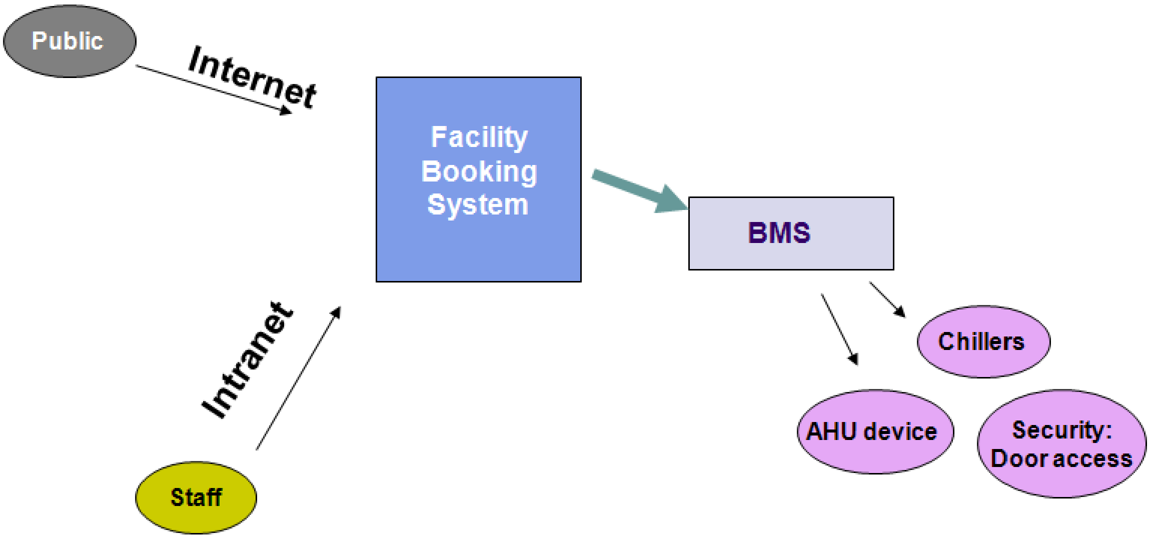
View booking status

View booking history

Cancellation

Amendment

Booking template



Additional features:

Priority bookings

Booking Horizon

Locking facilities for priority bookings

Minimizing booking abuse / maximizing facility utilization

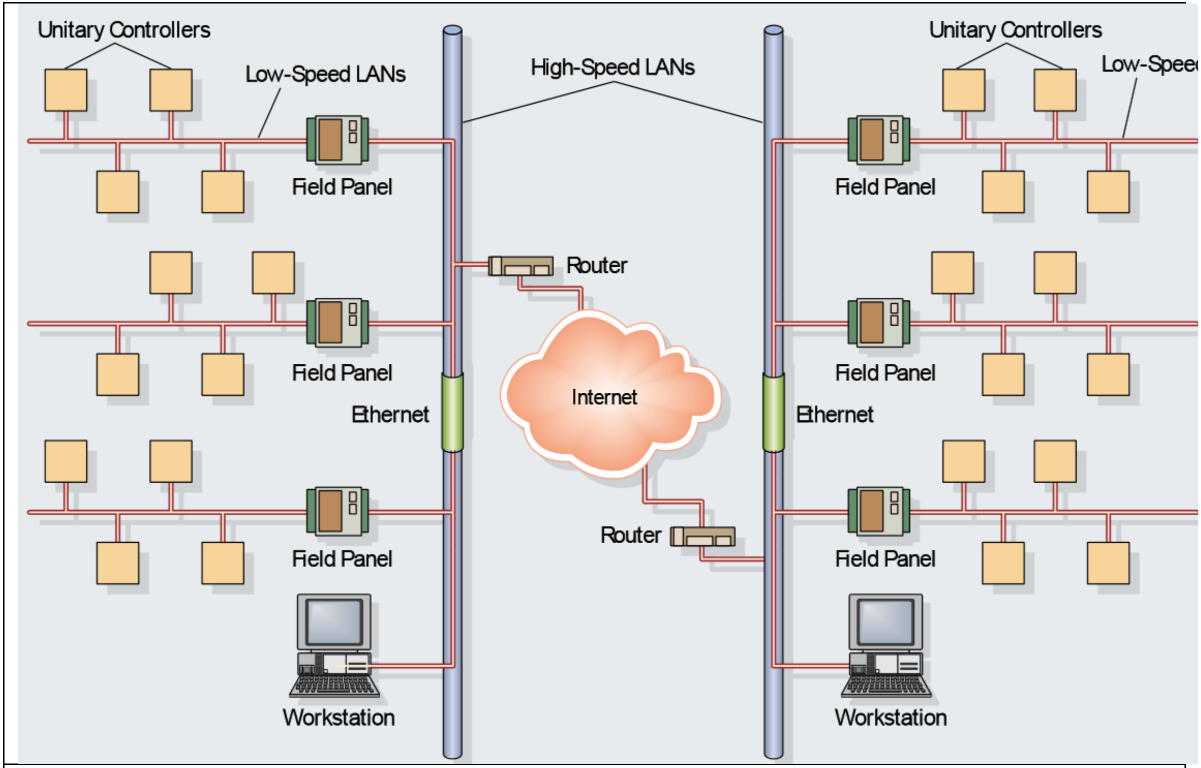
Internal chargeback

Booking approval

Additional users confirmation

Auto cancellation

-End-



A Hierarchical Building Control System Structure

Security in Networked Building Automation Systems

The main objectives of such a secure transmission channel are:

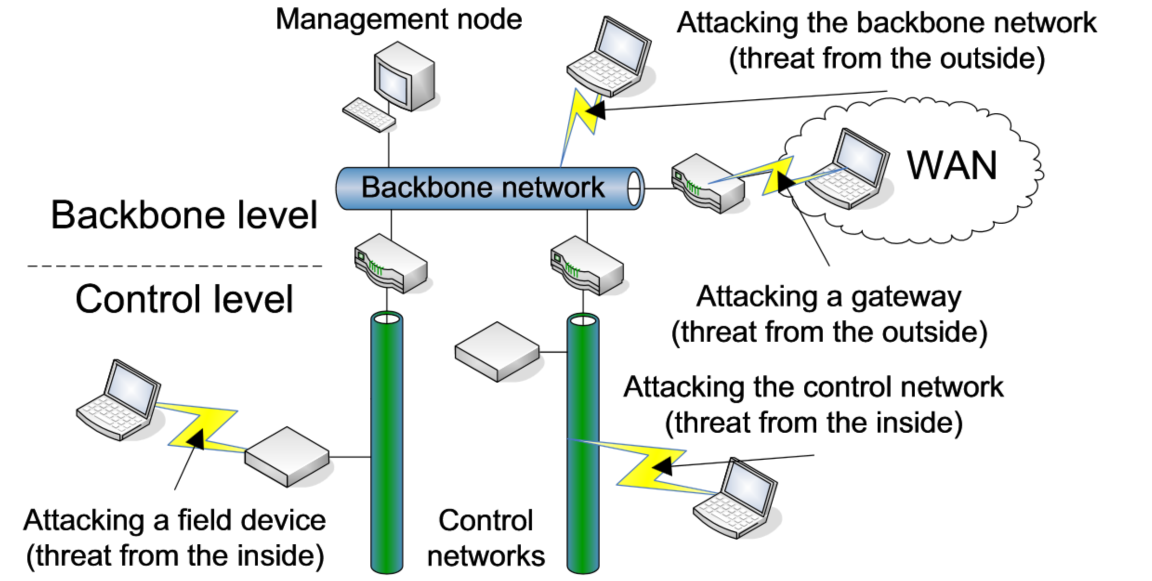
Data Confidentiality: The disclosure of confidential information must be avoided. It must be guaranteed that only entities with the required privileges have access to confidential data (e.g., confidential process data, secret keys).

Data Integrity: The modification of data by unauthorized entities must be prohibited. If such a modification cannot be avoided, it must be detectable by the involved communication participants. Thus, at least the use of these corrupted data can be prevented.

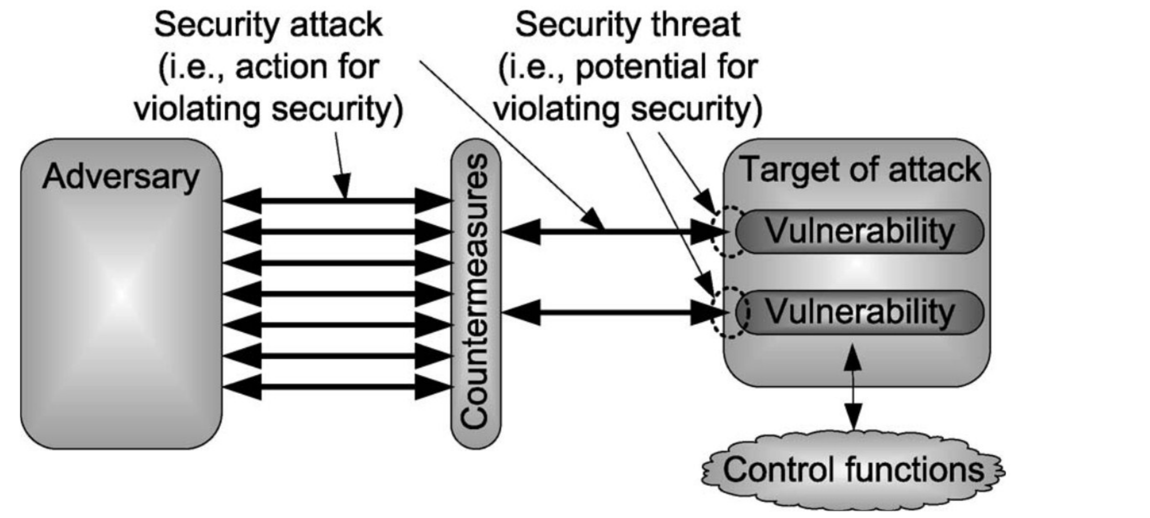
Data Freshness: It must be guaranteed that the data processed by an entity is valid at the current point in time. Message injection or replaying by an unauthorized entity must be prevented.

Security mechanisms in BAS

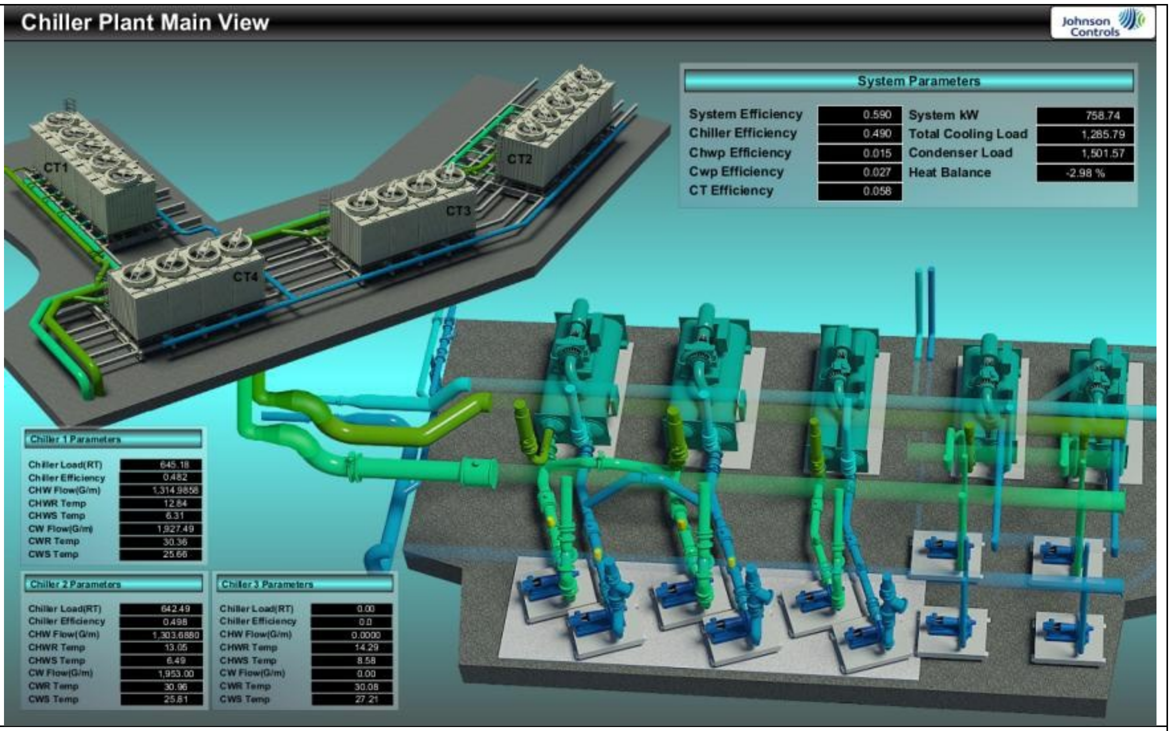
	LonWorks	BACnet	KNX/EIB
Authentication	64 bit MAC (48 bit key)	DES	32 bit password
Integrity	64 bit MAC (48 bit key)	DES	-
Confidentiality	-	DES	-
Freshness	Random number (64 bit)	Random number (64 bit)	



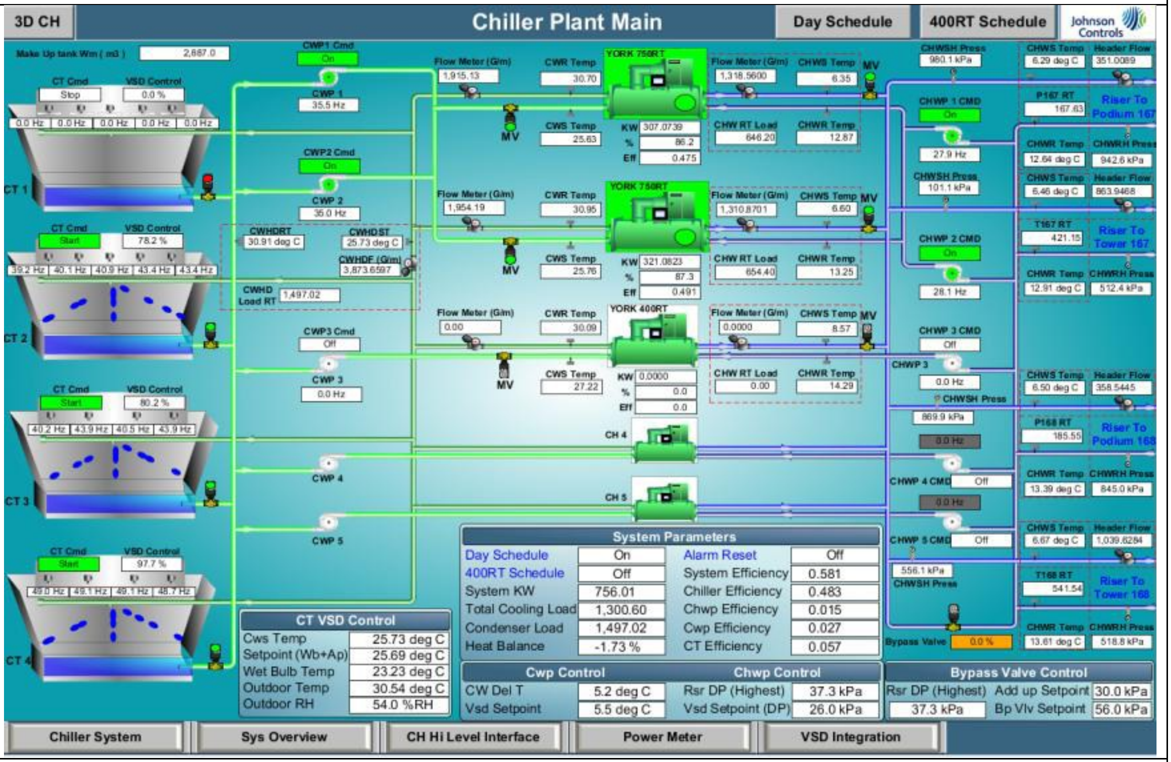
Two level model and security threats in BAS



Two level model and security threats in BAS



Chiller Plant Monitoring System



Chiller Plant Monitoring System

Chiller Plant Room Energy Saving Measures

Item	Chiller Plant Room Energy Saving Measures	Remarks
1	Demand Control of Chiller Plant Equipment	Optimal Start/Stop
2	Enhance Chiller Performance (Re-commission)	Optimize chiller health
3	Enhance Cooling Tower Performance	Optimize CT health
4	Chilled Water Pump Efficiency (Secondary Pump?)	Enhance inefficient Pump
5	Condenser Water Pump Efficiency	Enhance nefficient Pump
6	Remove Pressure Drop across Pumping Circuit	Minimize flow resistance
7	VSD for Cooling Tower Fans	Utilize standby CT
8	VSD for Chilled Water Pumps	Variable Flow
9	VSD for Condenser Water Pumps	Variable Flow
10	Water Flow Balancing across Chillers	Even out chiller water flow
11	Chilled Water Reset	Increase CHWLT
12	Condenser Water Reset	Optimal CWLT
13	Chiller Plant Monitoring & Optimization System	Proactive/optimal Ops
14	Chiller Gear Change	Adapt to actual capacity
15	Chiller VSD Retrofit	Optimize partial load
16	Chillers Consolidation or Replacement (incl. Aircooled)	Remove inefficient chiller
17	(Automatic) Tube Cleaning System	Maintain tube cleanliness
18	Water Treatment System	Maintain water quality

Air Side (incl. AHU/FCU) Energy Saving Measures

1. Demand Control of AHU/FCU
2. Enhance AHU/FCU Performance
3. Air Filter Losses
4. Cooling Coil Losses
5. Fan Efficiency
6. Reduce Excess Airflow
7. Room Temperature Reset
8. Air Ducting System Design

9. Air Distribution (CAV vs VAV) & Balancing
10. Static Pressure Set Point
11. VAV Optimization Algorithm
12. Fresh Air Treatment (Pre Air Cooling)
13. Fresh Air Controls (CO2 at 1,000 ppm)
14. Heat Pipe or Runaround Coils
15. Air-to-Air Heat Recovery
16. Exhaust Air Discharge (15 Air Change/Hr)
17. Recycle Water from AHU for Cooling Tower
18. Car Park Ventilation (25 ppm).

Contents

Chapter-12 Integrated Building Management System (IBMS) 1

၁၂.၁ Introduction 1

Energy Management Function [Pg 172 Honeywell] 4

၂. System configuration 4

၃. Energy Management and Operation 5

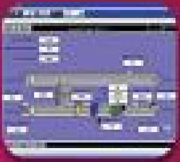
၄. System Integration 6

၅. Integrated Facilities Management 7

၆. Visitor Service 8

၇. Facility Booking 8

Security in Networked Building Automation Systems 10



HVAC CONTROLS AND BUILDING AUTOMATION SYSTEMS

KAUNG HTAT NYUNT

- Reference [illegible] ([illegible]) [illegible] ([illegible]) [illegible]
- [illegible] Building Automation System (BAS) [illegible] Integrated Building Management System (IBMS) [illegible] sub-system [illegible] control strategy [illegible]
- [illegible] network architecture [illegible] BAS network [illegible] (integration) [illegible] protocol [illegible]
- Building Automation System(BAS) software [illegible] BAS [illegible] database [illegible] programming [illegible]
- Two-position control [illegible] floating control [illegible] modulating control [illegible] Proportional (P) Integral (I) [illegible] Derivative (D) control mode [illegible]
- Direct Digital Controller (DDC) [illegible] (wiring) [illegible]
- Analog [illegible] Digital Input/Out point [illegible] logic [illegible] alarm [illegible] configure [illegible]
- Sensor (input device) [illegible] valve [illegible] damper (output device) [illegible]

HVAC CONTROLS AND BUILDING AUTOMATION SYSTEMS BY KAUNG HTAT NYUNT