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)နှင့်အခန်းတွင်းအလိုရှိသည့်အခြေအနေများပြောင်းလဲသည့်အခိုက် 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 ပေးရမည့် အပြင် 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 သက်တမ်းစေ့ 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။

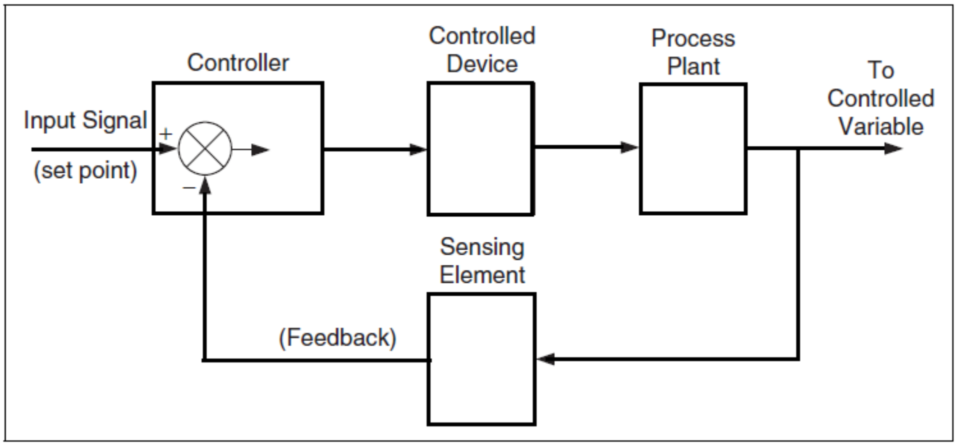
Modulating control ဆိုသည်မှာ မောင်းခြင်း၊ ရပ်ခြင်း သို့မဟုတ် ပိတ်ခြင်း၊ ဖွင့်ခြင်း စသည်ကဲ့သို့ အခြေ အနေ(state) နှစ်မျိုးသာရှိခြင်း မဟုတ်ဘဲ controlled device ကို လိုအပ်သလို 0% မှ 100 % အတွင်း၌ ရှိနေစေခြင်း ဖြစ်သည်။ ဥပမာ - valve သို့မဟုတ် damper ကို ၃၀% ပွင့်နေစေခြင်း ဖြစ်သည်။

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

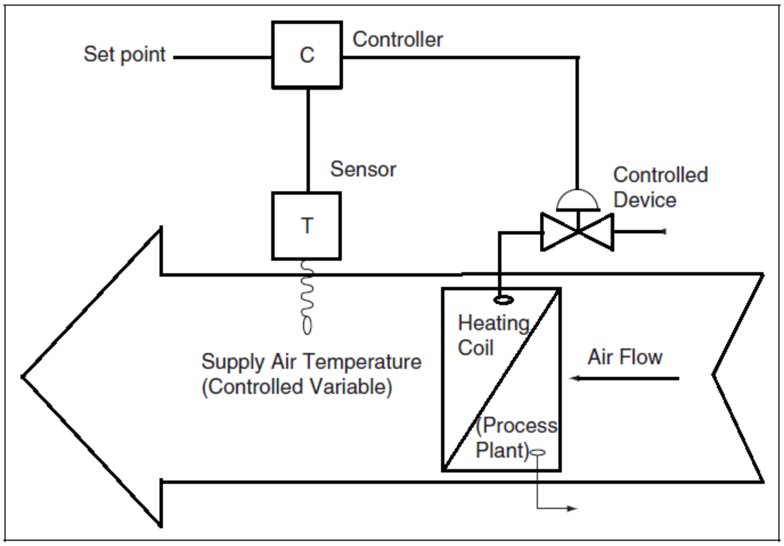
၁.၃ Control Loops

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 လျှော့၍ နင်းသည်။ ဤနည်းဖြင့် အလိုရှိသည့် မြန်နှုန်း (speed) ရအောင် မြန်နှုန်းပြဒိုင်ခွက်(speedometer)ကို ကြည့်၍ လီဗာ(accelerator)ကို ချိန်ဆ၍ နင်းသည်။

အထက်ပါ ဥပမာတွင် သင်သည် လီဗာ(accelerator)ကို မည်မျှနင်းမည်၊ လျှော့ပေးမည် 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) သည့် "**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 နှိုင်းယှဥ်ကာ 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 ချဥ်းကပ်(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 နှိုင်းယှဥ်ပြီး 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။

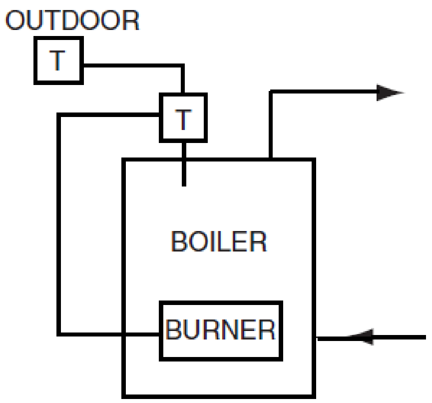


Table 1 TYPICAL RESET SCHEDULE

OUTDOOR TEMP., °F	HOT WATER SERVICE, °F
0	180
60	140

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။

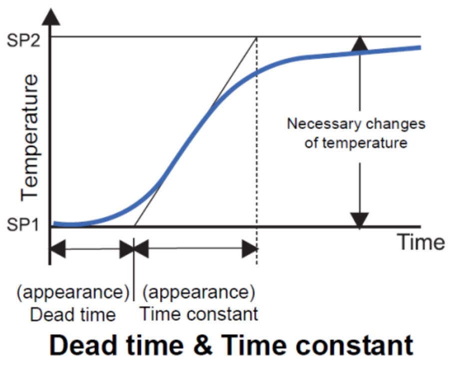
Error သို့မဟုတ် error signal သည် control point နှင့် set point တို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် controlled variable တန်ဖိုး နှင့် set point တန်ဖိုးတို့၏ ခြားနားချက် ဖြစ်သည်။

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 ပွင့်နေလိမ့်မည်။ 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။

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

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။

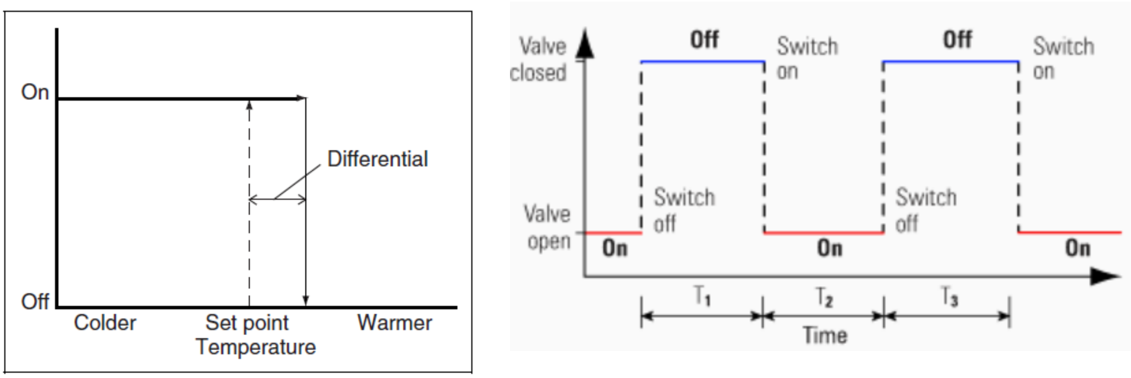
ပုံ(၁-၃)တွင် ပြထားသည့် outdoor reset သည် အလွန်နည်းသည့် load အခြေအနေတွင် over capacity မဖြစ်စေရန် system capacity ကို ထိန်းညှိပေးခြင်း(adjust လုပ်ပေးခြင်း) ဖြစ်သည်။ အကယ်၍ ထို time delay နှင့် gain များသည် မျဉ်းဖြောင့်အတိုင်း ဆက်သွယ်မှု(linear relation) ရှိကြပြီး တညီတညာတည်း (consistent) ဖြစ်ကြလျှင် တိကျမှန်ကန်သော 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

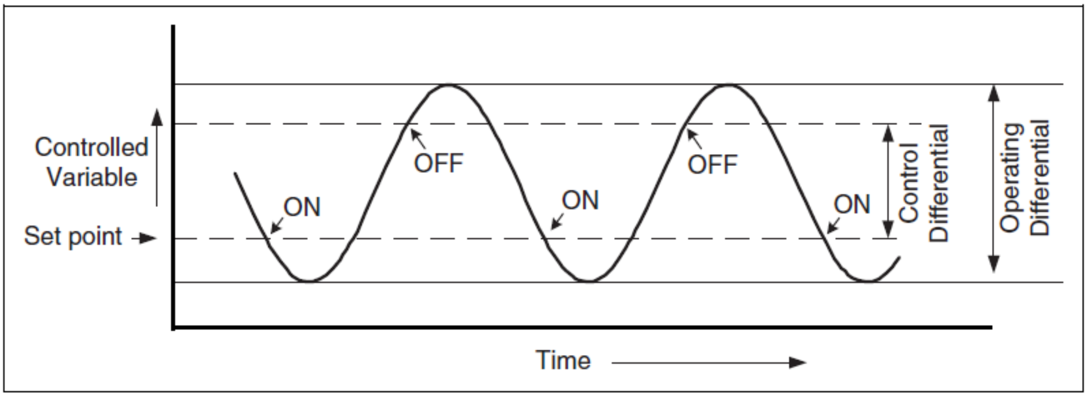
ဖြစ်သည်။ Fan သို့မဟုတ် pump စသည့် equipment များအတွက် မောင်းခြင်း(run)၊ ရပ်ခြင်း(stop) စသည့် အခြေအနေ(state) နှစ်ခုသာ ရှိသည်။ Damper ၊ valve များ စသည့် device များအတွက် ဖွင့်ခြင်း(open)၊ ပိတ်ခြင်း (closed)ဟူသည့် state နှစ်ခုသာ ရှိသည်။ Equipment များ နှင့် device များကို control လုပ်ရန် အတွက် two position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

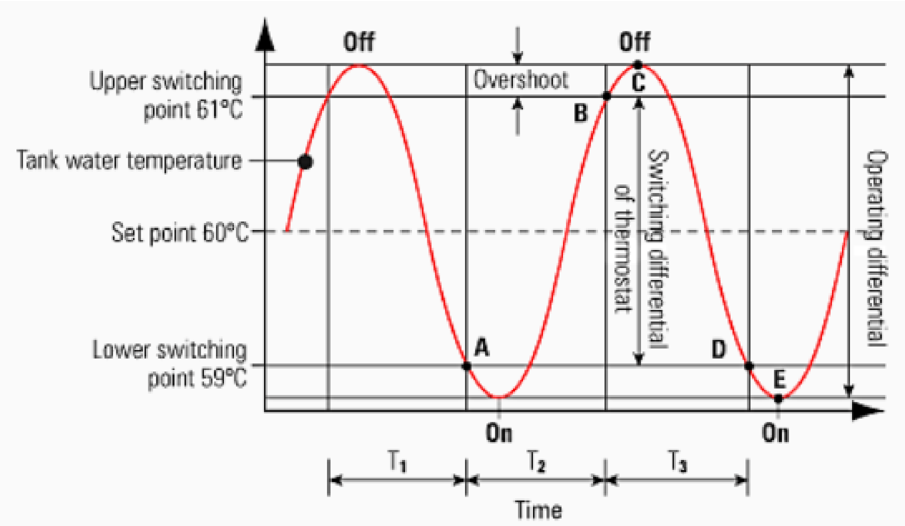
Overshoot နှင့် undershoot တို့၏ ခြားနားချက်ကို operation differential ဟု ခေါ်သည်။

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

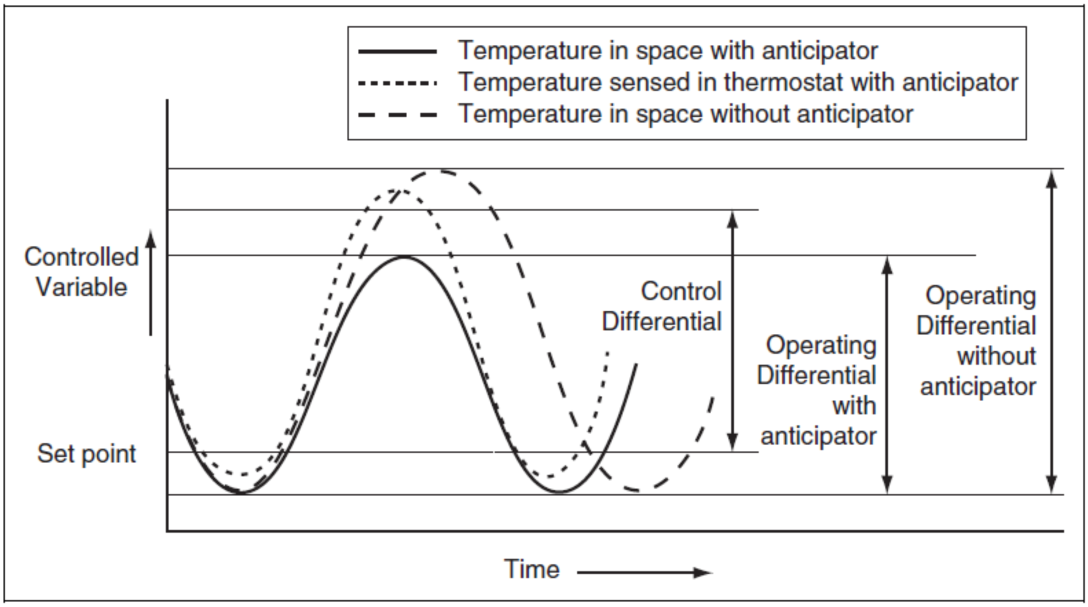
Operating differential သည် control differential ထက် အမြဲကြီးလေ့ ရှိသည်။ HVAC system များတွင် ဖြစ်လေ့ရှိသည့် အချိန်နောက်ကျခြင်း(natural time delay) နှင့် thermal lag တို့ကို ဖယ်ရှားရန် မဖြစ်နိုင်ပေ။

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 ပြုလုပ် ပေးခြင်းဖြင့် 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။

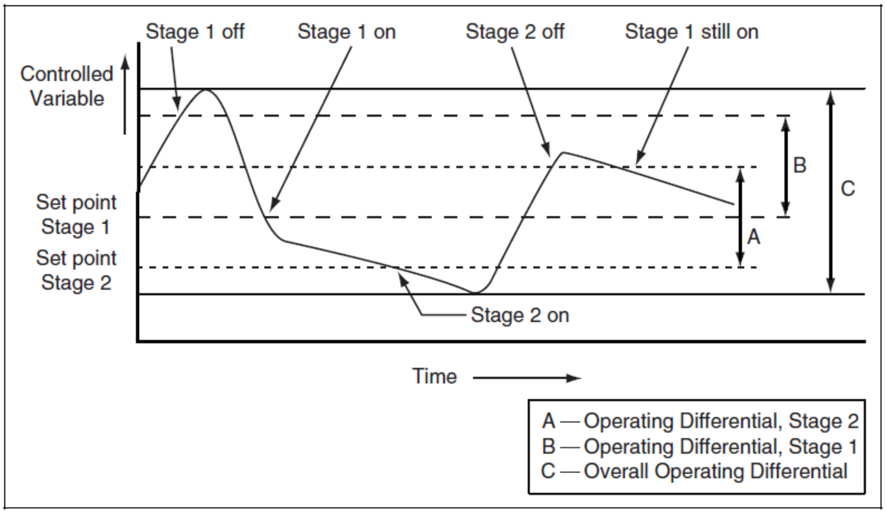
> HVAC system တစ်ခု၏ capacity ကို အမှန်တကယ်ရှိသည့် load ထက် ပိုကြီးအောင်(oversize) ဒီဇိုင်း လုပ်ထားလျှင် two position control နည်းဖြင့် control လုပ်ရန် ခက်ခဲသည်။ မည်ကဲ့သို့သော နည်းဖြင့် control လုပ်ပါစေ HVAC system ကို လိုသည်ထက် ပိုကြီးအောင်(over sized) ဒီဇိုင်းလုပ်ထားလျှင် control လုပ်ရန် အလွန် ခက်ခဲသည်။ 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။



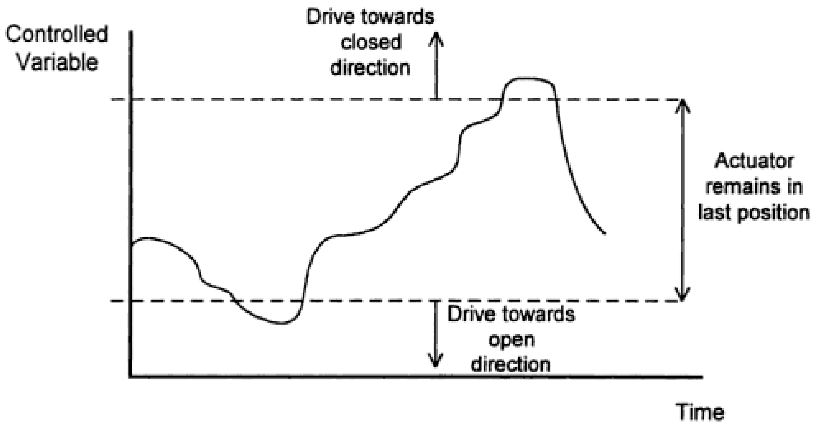
ပုံ ၁-၈(က) Step control

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

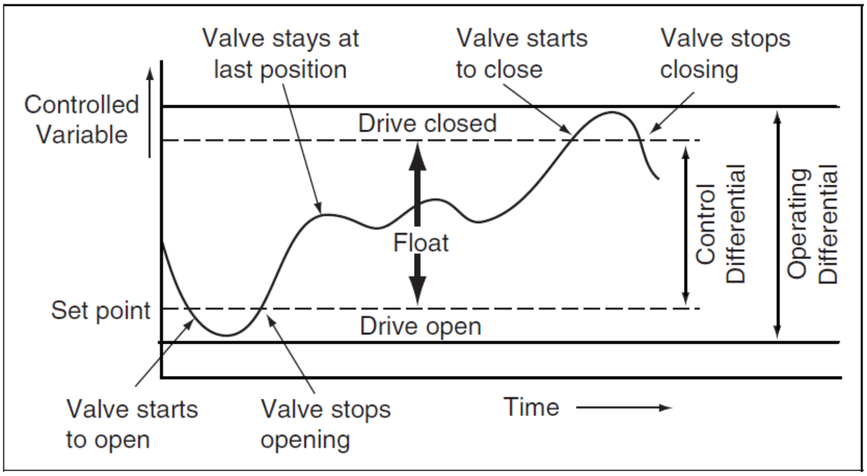
Floating control ၏ controller များတွင် mode သုံးမျိုးရှိသည်။

(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။

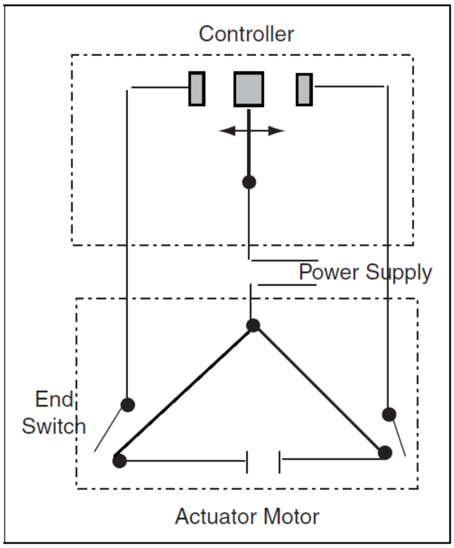


ပုံ ၁-၈(ဂ) Floating control for heating

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 လက်ရှိ နေရာတွင် 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။ ရောက်သည့် နေရာတွင် 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။

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

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

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။

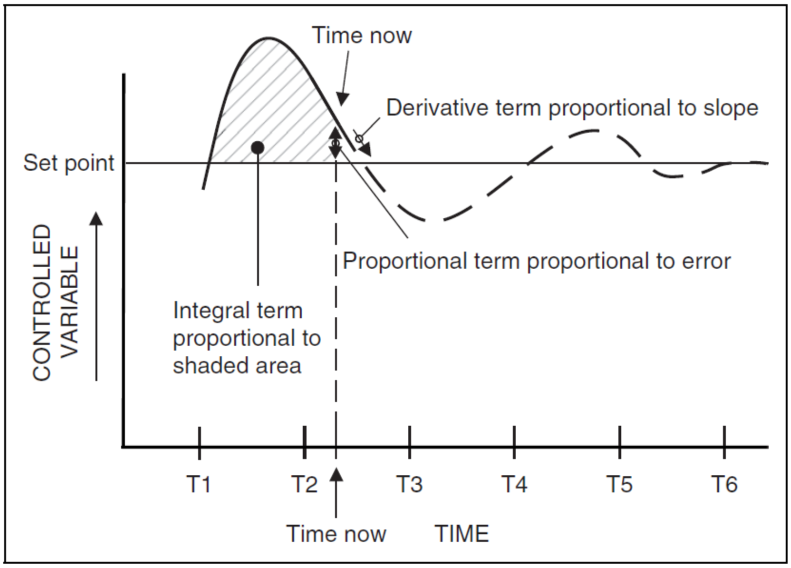
Desired speed(set point) ထက် actual speed ကနည်းနေလျှင် error ရှိသည်။ နေးသည် မည်၏။ ပိုနေးလျှင် error ပိုများ လိမ့်မည်။ Error များလျှင် (speed ပိုနေးသောကြောင့်) လီဗာ(accelerator) ကို များများ ဖိပေးရန် လိုသည်။ Error နည်းလျှင် (speed သိပ်မကွာသောကြောင့်) နည်းနည်းသာ ဖိပေးရန် လိုသည်။

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။

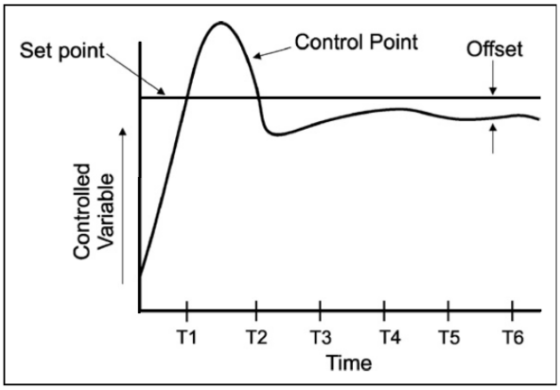
V_0 သည် ကိန်းသေတန်ဖိုး(constant) ဖြစ်သည်။ Load ပိုများလာလျှင် စီးနှုန်း(flow rate) ပိုများရန် လိုသည်။ စီးနှုန်း(flow rate)များများ ရရှိရန် valve ကို ပိုဖွင့်ပေးရန် လိုသည်။ ထို့ကြောင့် signal တန်ဖိုး ပိုများရန် လိုသည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် V တန်ဖိုးများရန် လိုအပ်သည်။ V တန်ဖိုးများစေရန် equation 1-2 ၏ second 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။

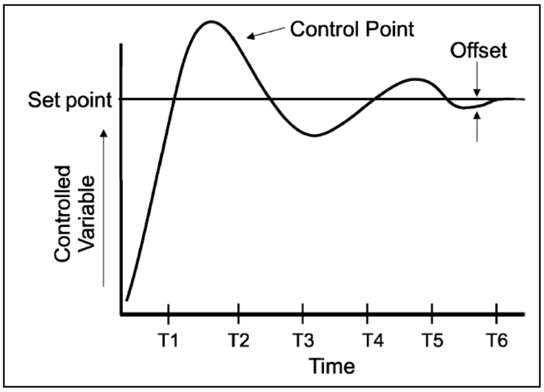
Set point အနီး၌ controlled variable သည် မြင့်လိုက်၊နိမ့်လိုက်(oscillation) ဖြစ်နေလိမ့်မည်။ ထိုသို့ ဖြစ်ခြင်းကို "**Hunting**" ဖြစ်သည်ဟု ပြောလေ့ရှိသည်။ Gain တန်ဖိုးကို ကြီးကြီးထားခြင်းကြောင့် signal value သည်လည်း ကြီးကာ သေးငယ်သည့် error ကို ဖြစ်စေသော်လည်း load အနည်းငယ် ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် system သည် 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 လျော့နည်း စေရန် အတွက် Integral logic နှင့်တွဲ၍ အသုံးပြုနိုင်သည်။ Proportional plus Integral(PI) control logic ဟု ခေါ်သည်။ သချာင်္နည်းဖြင့် 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။

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

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။

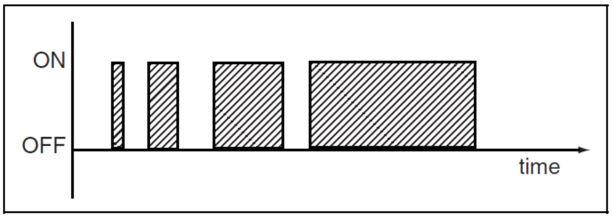
HVAC system များ၏ တုံ့ပြန်မှု(responses) နှေးသောကြောင့် derivative control ကို HVAC application တွင် အသုံးနည်းသည်။ Differential term ပါဝင်မှုကြောင့် tuning လုပ်ရာတွင် ပိုခက်ခဲ ရှုပ်ထွေးလာသည်။ မတည်မငြိမ်(unstable) ဖြစ်စေသည့် တုံ့ပြန်မှုများ(responses)ကို ဖြစ်ပေါ်စေသည်။

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။

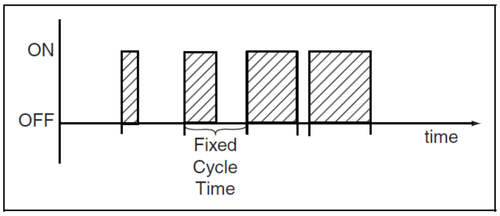
ဤသို့ PID logic ကို ထည့်သွင်း အသုံးပြုခြင်းဖြင့် step control logic တွင် ရရှိသည့် operating differential ထက် ပိုကောင်းသည့်(ငယ်သည့်) operating differential ရရှိစေနိုင်သည်။ အထူးသဖြင့် step များ ပါရှိသည့် system များ၊ step လေးခုထက် ပိုများသည့် system များတွင် အကျိုးသက်ရောက်မှု ပိုကောင်းသည်။

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



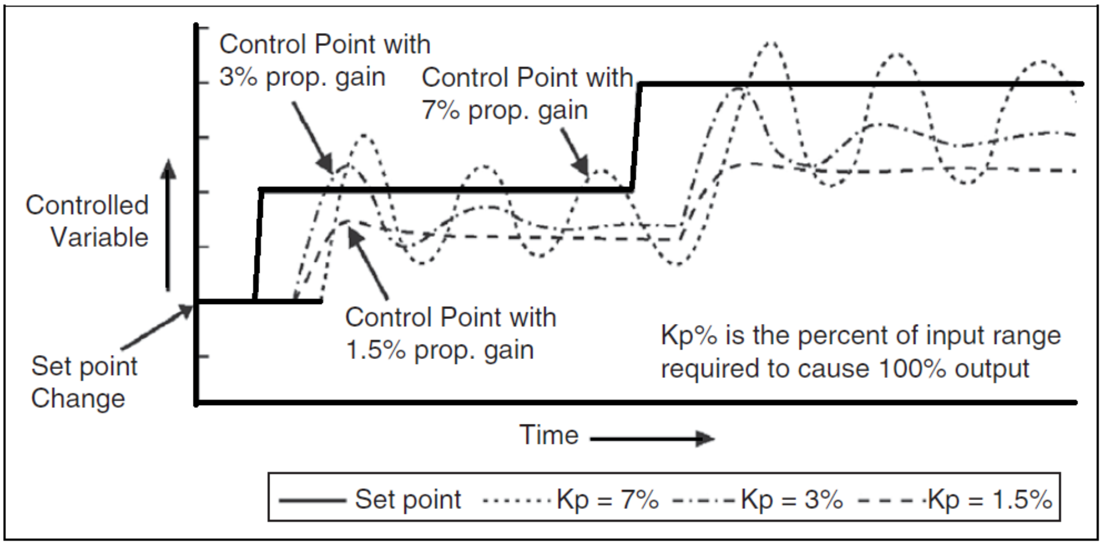
ပုံ ၁-၁၄ Time-proportioning control

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။ စက်နှိုးသည့် အခါ လီဗာ(accelerator)ကို တဆုံးနင်းထားခြင်း၊ ကားဆောင့်ထွက်ခြင်း၊ ဘရိတ်ကိုဆောင့်နင်းခြင်း စသည့် အဆင်မပြေမှုများ ရှိစမြဲ ဖြစ်သည်။ သို့သော် ကျွမ်းကျင်စွာ မောင်းတတ်လာသည့်အခါ အလိုလျောက်ထိန်း တတ်လာသည်။ သို့သော် အမျိုးအစားမတူသည့် ကားကိုမောင်းသည့်အခါ ဘရိတ် အမာ၊အပျော့ 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။

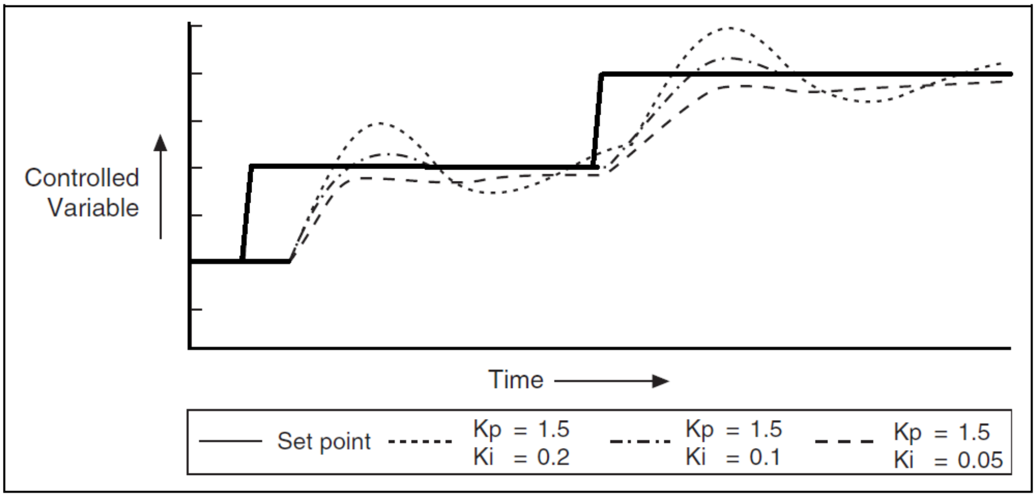
အလွန်ကြီးမားသော ပစ္စည်းသိုလှောင်ရုံ(ware house)တွင် သုံးသည့် heating coil နှင့် ဟိုတယ် အခန်းငယ်တွင် သုံးသည့် heating coil တို့တွင် အားလုံးတူညီသည့် controller အမျိုးအစား တပ်ဆင် ထားနိုင်သည်။ ထို system နှစ်ခု၏ time constant သည် တူညီကြလိမ့်မည် မဟုတ်ပေ။ ထို့ကြောင့် controller gain များကို ထိန်းညှိ(adjust)ရန်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

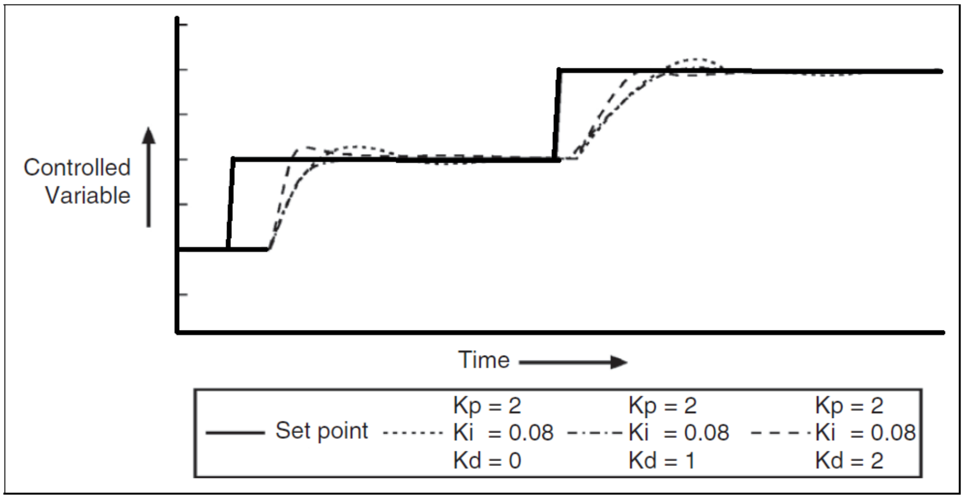
ပုံ(၁-၁၆)တွင် Proportional plus Integral(PI) control loop turning လုပ်ပုံကို ဖော်ပြထားသည်။ P only control ထက် ပို၍ ကောင်းလာသည်။ အားလုံးအတွက် P Gain(K_p) မှာ 1.5 ကိန်းသေ ဖြစ်သည်။

"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 အလွန်လက်ဝင်သည်။ 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။

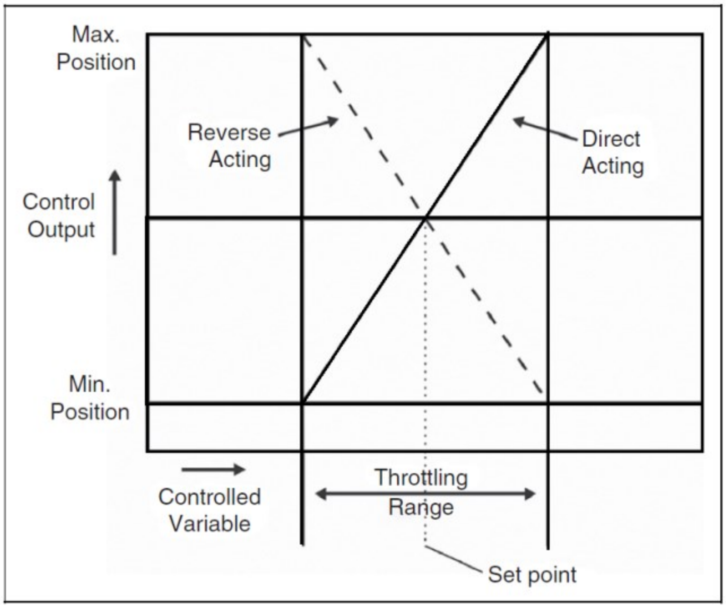
Direct Action(DA) ဆိုသည်မှာ controlled variable ၏ တန်ဖိုးများလာသည်နှင့်အမျှ controller ၏ output signal တန်ဖိုးများလာခြင်း ဖြစ်သည်။ Reverse Action(RA)ဆိုသည်မှာ controlled variable တန်ဖိုးများလာသည်နှင့် အမျှ controller ၏ output signal တန်ဖိုးနည်းသွားခြင်း ဖြစ်သည်။

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။ သချာၤညီမျှခြင်းဖြင့် 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။

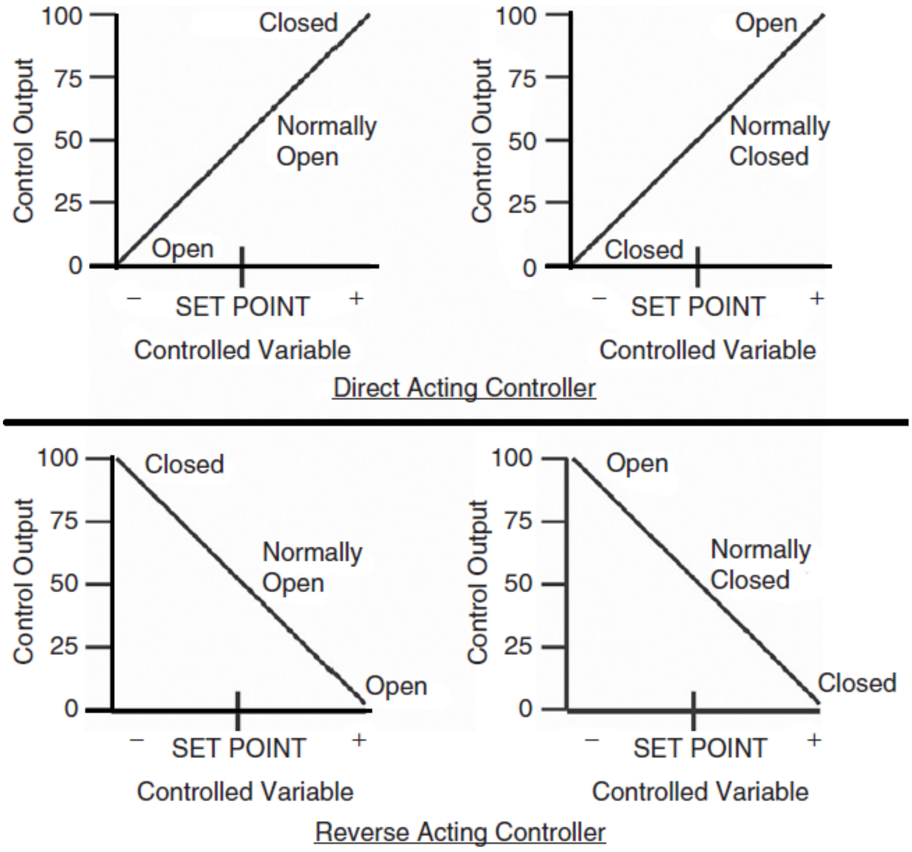
ပုံ(၁-၁၉)တွင် ပြထားသည့် throttling range သည် controlled device ဖြစ်သည့် valve full-open အခြေအနေ၏ controlled variable တန်ဖိုးမှ valve full-closed အခြေအနေ၏ controlled variable တန်ဖိုးကို နှုတ်ထားခြင်း ဖြစ်သည်။

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။



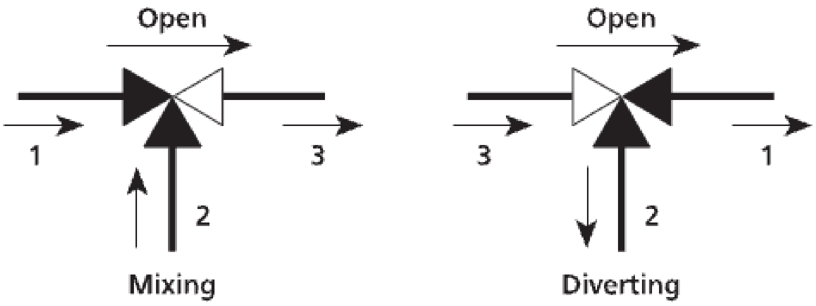
ပုံ ၁-၁၉ Control Action and Normal Position

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 ရေစီး နေမည်သာ 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 အဆောက်အဦအတွင်းသို့ 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

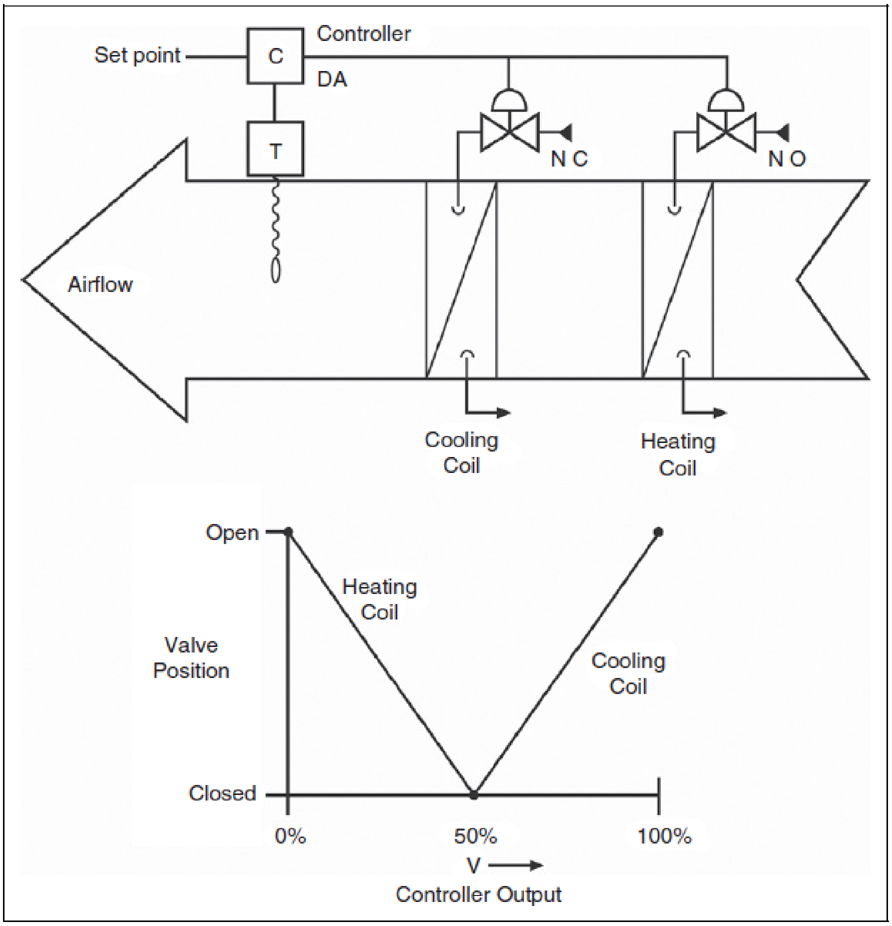
Heating နှင့် cooling application များအတွက် control action နှင့် normal position တို့ ဆက်သွယ်ပုံကို ဇယား(၁-၃)တွင် ဖော်ပြထားသည်။ ပုံ(၁-၁၉)တွင် ထိုဆက်သွယ်ပုံ(relationship)များကို schematic ဖြင့် Proportion control ကို အသုံးပြုပြီး ဖော်ပြထားသည်။ ပထမဦးစွာ fail-safe position ဖြစ်ရန် အတွက် device ကို လိုက်၍ 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 နုတ်ထားသည့် တန်ဖိုးဖြစ်သည်။ 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