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) သက်သောင့်သက်သာ(comfortable)ဖြစ်စေရုံသာမက HVAC plant များ efficient ဖြစ်စွာ လည်ပတ်(operate) နိုင်ရန်အတွက် ခေတ်မီသည့် control system များ လိုအပ်သည်။ HVAC plant များသည် သာမန် အချိန်များတွင် သာမက ကြိုတင်မစဉ်းစားထားသည့် 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 အကျိုးများလှသည်။

စွမ်းအင်ချွေတာခြင်း(energy saving)နှင့် ဖန်လုံအိမ်အာနိသင် ဖြစ်ပေါ်စေသည့် ဓာတ်ငွေ့ထုတ်လွှတ်မှု (greenhouse gas emission)များ လျော့ချနိုင်ရန် အတွက် control system များသည် အရေးကြီးသည့် အခန်းကဏ္ဍမှ 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 အမှားနည်းလာသည်။ အမှားတစ်စုံတစ်ရာ ဖြစ်ပေါ်ပါက ချက်ခြင်းသိနိုင်သည်။ Error detection လုပ်နိုင်သည်။ ပို၍ တိကျလာသည်။ 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 ပြဋ္ဌာန်းနိုင်ခဲ့ကြသည်။

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 ပိုအဆင်မြင့်သည့် 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-

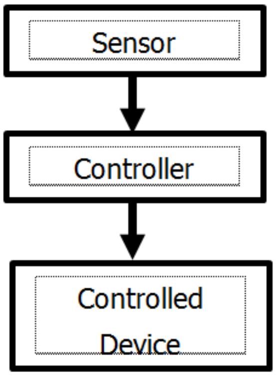
(က)Heating သို့မဟုတ် cooling လုပ်ပေးရမည့် အချိန်များကို တတ်နိုင်သမျှနည်းအောင် ကန့်သတ်ထားရန်၊ လိုအပ်သလောက်သာ ပေးရန်၊ optimal start/stop strategy များကို အသုံးပြုရန် နှင့် occupancy sensor များကို တပ်ဆင်၍ အသုံးပြုသူ ရှိမှသာ heating နှင့် cooling ပေးရန်တို့ ဖြစ်သည်။

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

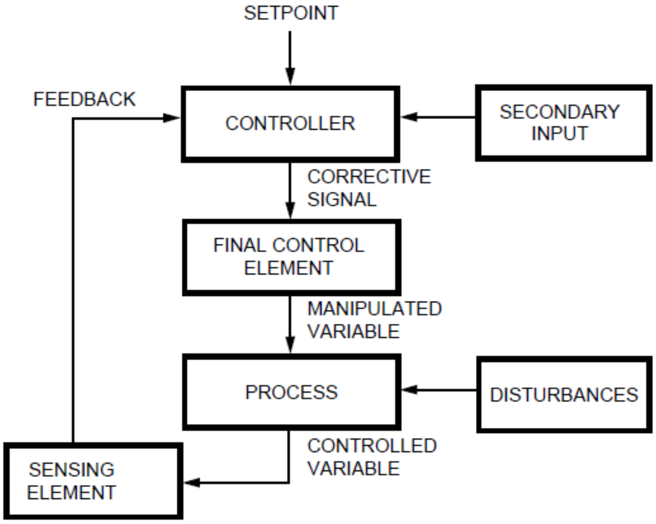
(ဂ)Equipment များ ပုံမှန် အလုပ်မလုပ်ခြင်း(malfunction) သို့မဟုတ် inefficient operation ဖြစ်နေပါက အချိန်မီ သတိ(warning) ပေးနိုင်ရန်အတွက် စောင့်ကြည့်ခြင်း (monitoring) တို့ ဖြစ်သည်။

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။

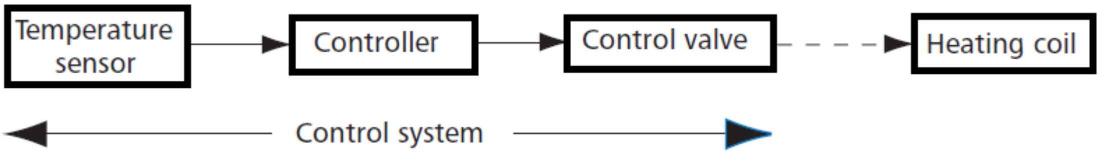


ပုံ ၂-၁ Open loop control system



ပုံ ၂-၂ Feedback in a closed-loop system

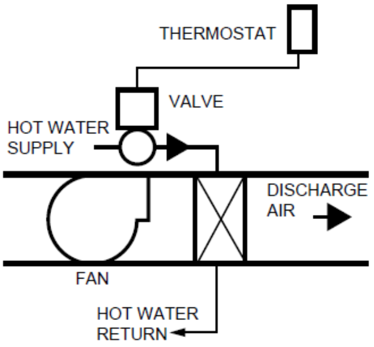
"**Closed Loop Control System**" သို့မဟုတ် "**Feedback System**" များသည် controlled variable ကို feedback အဖြစ် ပြန်ယူသည့် loop များ ဖြစ်သည်။ Feedback ပြန်မယူသည့် control system များကို "**Open Loop**" သို့မဟုတ် "**Feed Forward System**" ဟု ခေါ်သည်။



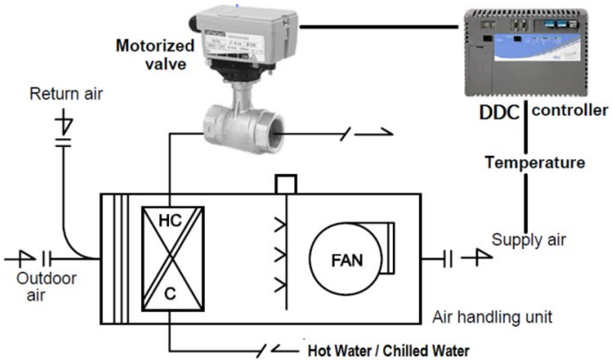
ပုံ ၂-၃ Common control system

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။

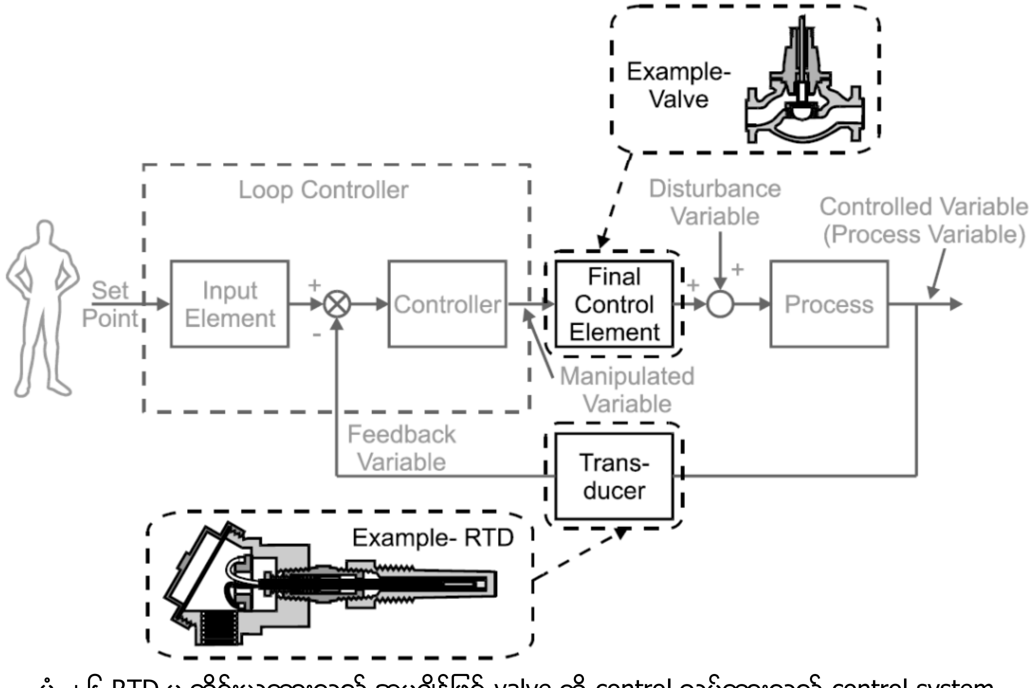


ပုံ ၂-၄ System using heating coil



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။

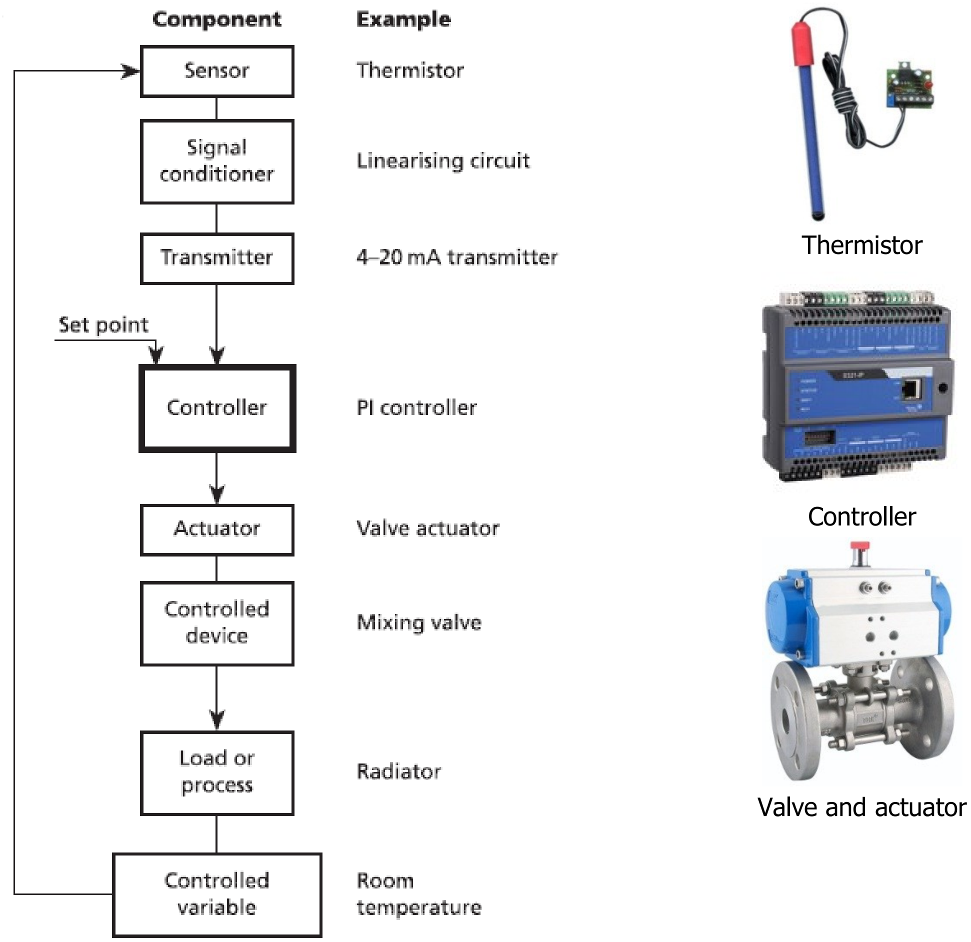


ပုံ ၂-၆ RTD မှ တိုင်းယူထားသည့် အပူချိန်ဖြင့် valve ကို control လုပ်ထားသည့် control system

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

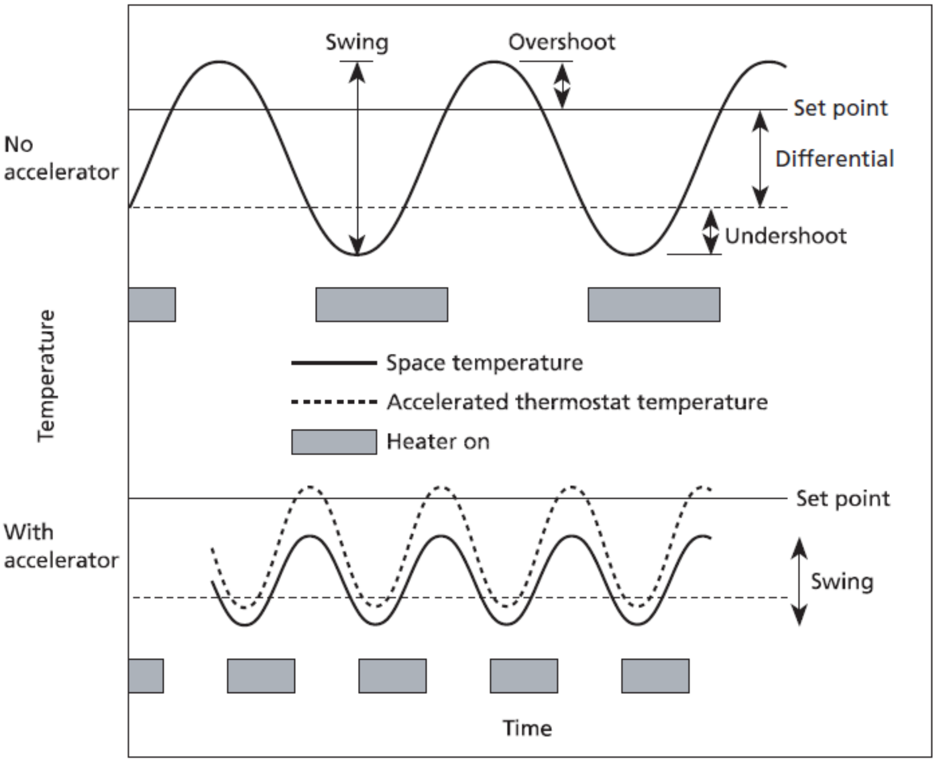
ပုံ(၂-၆)တွင် ဖော်ပြထားသော ရှင်းလင်းလွယ်ကူသည့် closed loop system တစ်ခုဖြင့် စတင်ကြ ရအောင်။ Control system တစ်ခုမှ တုံ့ပြန်ပုံ(respond) နှင့် controlled variable ကို ပြောင်းလဲစေသည့် နည်းများကို "**Control Mode**" ဟု ခေါ်သည်။ လက်တွေ့လုပ်ငန်းခွင်တွင် အသုံးပြုနေသည့် control လုပ်နည်း(control mode) အမျိုးမျိုး 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 ထုတ်ပေး နေလိမ့်မည်။



ပုံ ၂-၈ Two-position(on/off) control

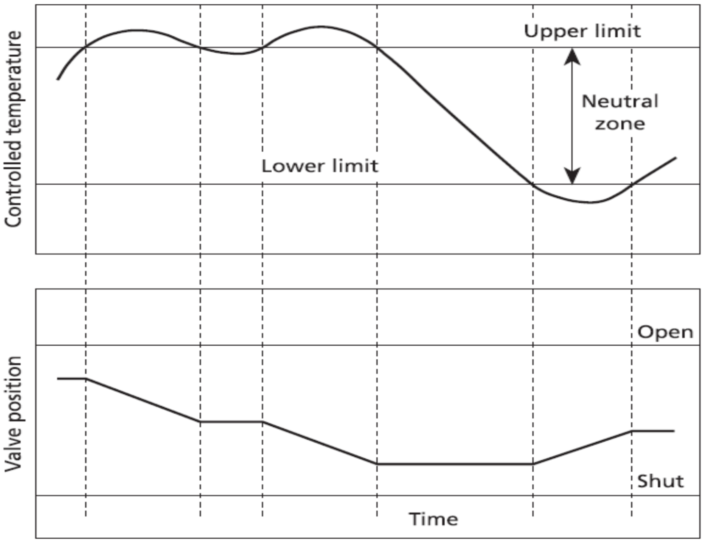
Upper limit နှင့် lower limit နှစ်ခုကြားရှိ gap ကို "**Differential Gap**" သို့မဟုတ် "**Differential Band**"ဟု ခေါ်သည်။ American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers(ASHRAE) စာအုပ်များတွင် "**Deadband**" ဟု ရေးသား ခေါ်ဝေါ်လေ့ရှိသည်။

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 ဆက်လက် မြင့်တက် နေလိမ့်မည်။ အဘယ်ကြောင့်ဆိုသော် radiator အတွင်း၌ ရှိနေသည့်ရေ(hot water)သည် အချိန် အနည်းငယ် 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 အချိန်စော၍ကြိုပိတ်ခြင်း 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။

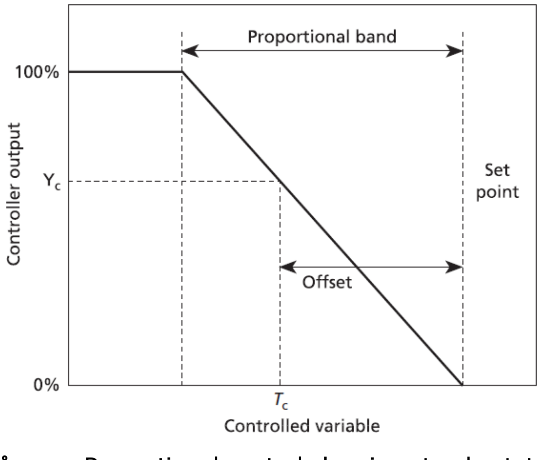
Temperature	Heating Valve	Cooling Valve
Above upper limit	ပိတ်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(shut)	ပွင့်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(open)
Within natural zone	ရောက်သည့်နေရာ၌ ရပ်နေခြင်း(hold)	ရပ်နေခြင်း (hold current positioin)
Below lower limit	ပွင့်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(open)	ပိတ်ရာဘက်သို့ သွားနေခြင်း(shut)

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) လျော့ချပေးသည်။ 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

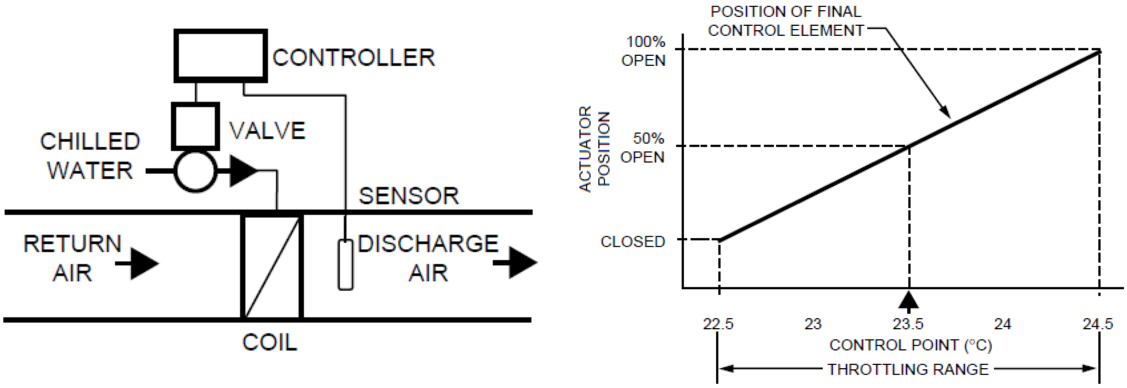
Proportional control ၌ controller သည် controlled device ဆီသို့ ပြောင်းလဲနေသည့် (variable) output တန်ဖိုးကို အမြဲမပြတ် ပေးပို့နေသည်။ Setpoint နှင့် measured variable တို့၏ ခြားနားချက်ကို error ဟုခေါ်သည်။ Error signal နှင့် အချိုး ညီသည့်(proportional ဖြစ်သည့်) output တန်ဖိုးကို controlled device ဆီသို့ 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။

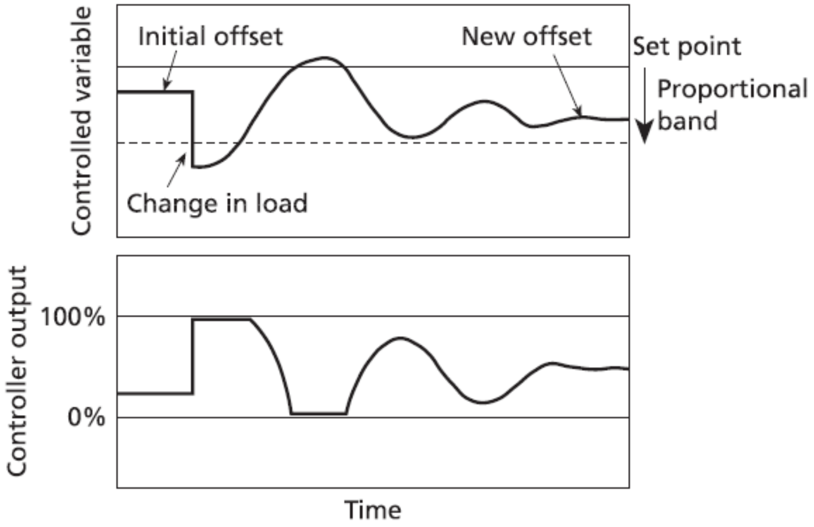
> Proportional control ကို သုံးလျှင် steady state condition ၌ load error သို့မဟုတ် offset တန်ဖိုး ရှိနေလိမ့်မည်။ System load များလာလေ offset တန်ဖိုးများလာလေ ဖြစ်သည်။

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။

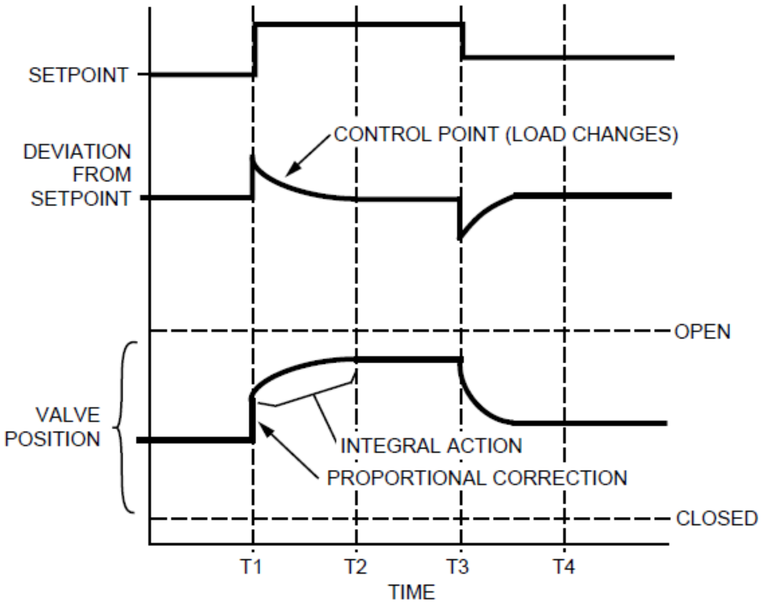
ဥပမာ control ၏ scale range သည် 0°C မှ 80°C ဖြစ်၍ Proportional band ၏ width သည် 20°C ဖြစ်လျှင် Proportional band ကို 25% ဟု သတ်မှတ် ပြောဆိုသည်။ Physical unit အတိုင်း လိုက်၍ သတ်မှတ်သလို၊ ယူနစ်မရှိခြင်း(Non-dimensional)လည်း ဖြစ်နိုင်သည်။ ဥပမာ Proportional band သည် 50% ဖြစ်လျှင် Proportional gain သည် 2 ဖြစ်သည်။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

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

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

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

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



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 လျှော့ချနိုင်သည်။ သို့သော် Proportional band တန်ဖိုး နည်းသောကြောင့် သို့မဟုတ် gain များသောကြောင့် control system တစ်ခုလုံး တည်ငြိမ်ပြီး ကောင်းစွာ အလုပ် လုပ်နေရန် ခက်ခဲလိမ့်မည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် stability ဖြစ်ရန် ခက်ခဲ လာလိမ့်မည်။

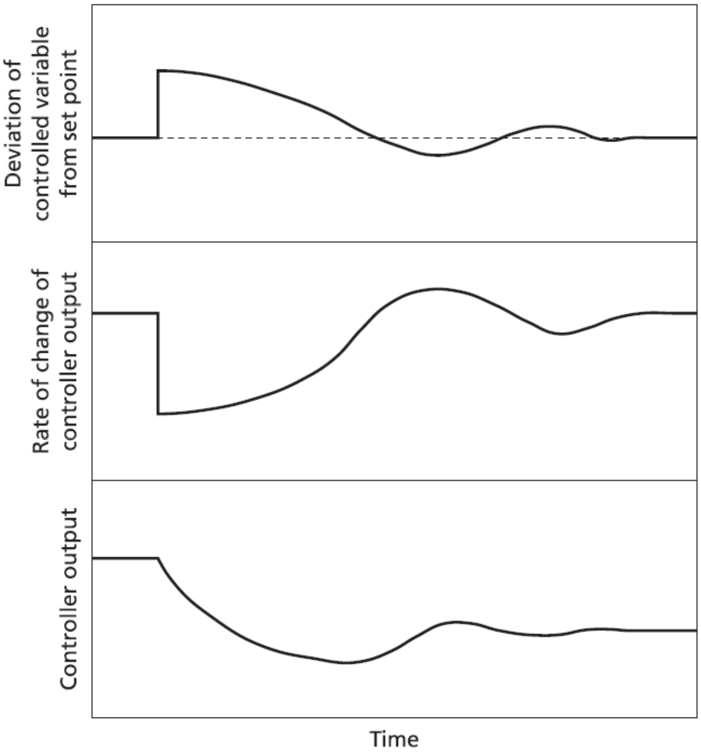
Proportional band နည်းလာသည့်အခါ control action သည် on/off control ကဲ့သို့ ပြုမူ နေလိမ့်မည်။ Proportional control ကို time proportioning ဟုလည်း သတ်မှတ်လေ့ရှိသည်။ Output device သည် On/Off သာလုပ်နိုင်သည့် two position output ဖြင့်လည်း Proportional control ဆောင်ရွက်မှုမျိုး ရနိုင်သည်။ Control ၏ output ကို 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 အလွန်ခဲယဉ်းသည်။ 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။

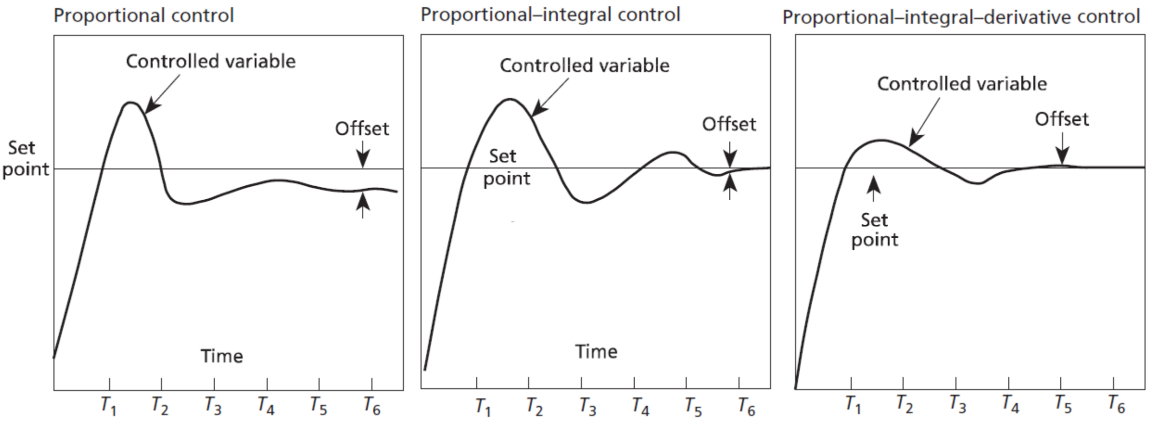
၂.၄.၆ Proportional Plus Integral Plus Derivative (PID) Control

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။

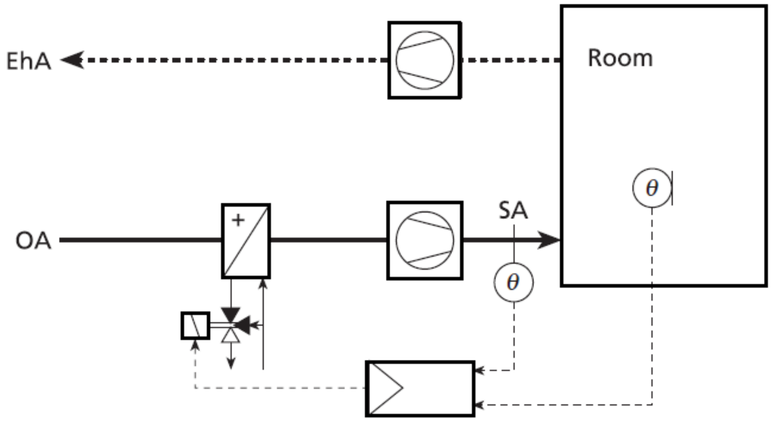
Derivative gain setting သည် derivative action time ဖြစ်ပြီး မိနစ်ဖြင့် ဖော်ပြလေ့ရှိသည်။ Error ပြောင်းလဲနှုန်းကို ကြည့်၍ control output လိုသလို ထိန်းပေးခြင်း ဖြစ်သည်။ HVAC application များ၌ derivative action မလိုအပ်သည့်အခါ PID controller ၌ derivative time ကို zero အဖြစ် ထားရုံသာ ဖြစ်သည်။ တစ်နည်းအားဖြင့် 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။

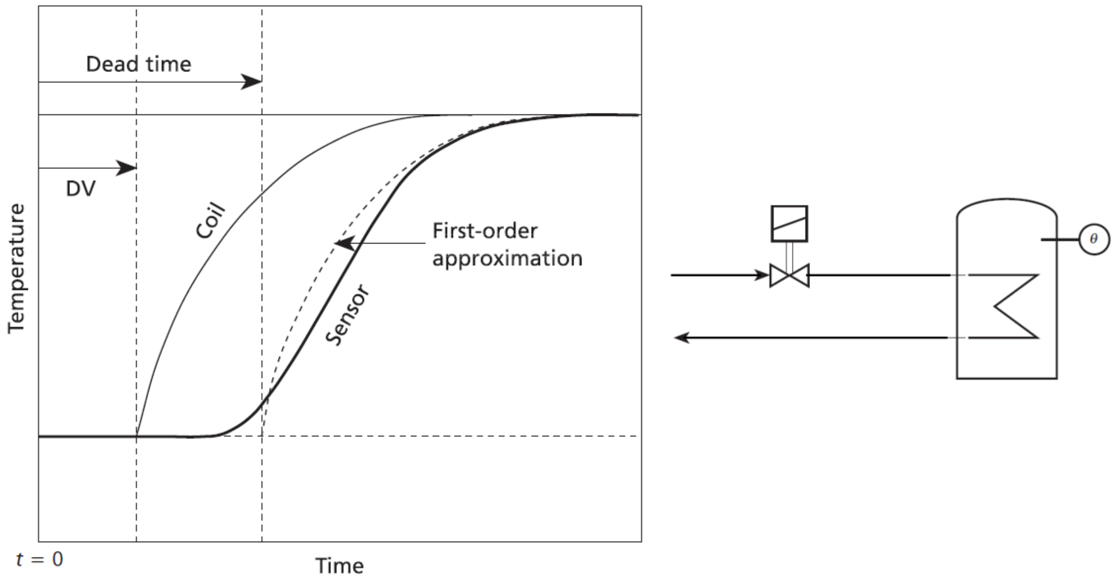
အခေါ်အဝေါ်သုံးနှုန်းပုံများ(term) မရောထွေးစေရန်၊ နားလည်မှု မလွဲစေရန် သတိပြုသင့်သည်။ Cascade control ဆိုသည်မှာ UK ၌ အသုံးပြုသည့် အခေါ်အဝေါ် ဖြစ်သည်။ USA ၌ "**Reset Control**"ဟု ခေါ်ဆိုသည်။ Control လုပ်ပုံလုပ်နည်းများ အားလုံး တူညီကြသော်လည်း သုံးနှုန်းထားသည့် အခေါ်အဝေါ်သာ ကွာခြားသည်။

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 ပြုလုပ်ရန် ခဲယဉ်းသည်။ 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။

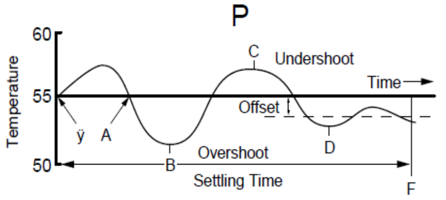
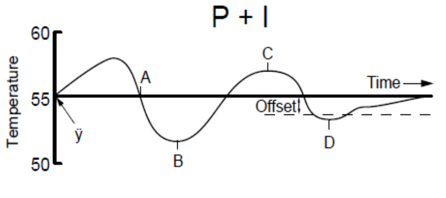
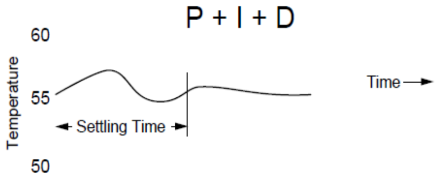
အခန်းအပူချိန် (space temperature)သည် supply air temperature ပြောင်းလဲ နေခြင်းကို အလွန် နှေးကွေးစွာ တုံ့ပြန်(response)သည်။ Feedback control loop တိုင်း၌ control system များ၏ controlled output များ၏ ပြောင်းလဲခြင်းကြောင့် control system response သည် အချိန် နောက်ကျခြင်း(delay) သို့မဟုတ် တုံ့ပြန်မှု (response)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

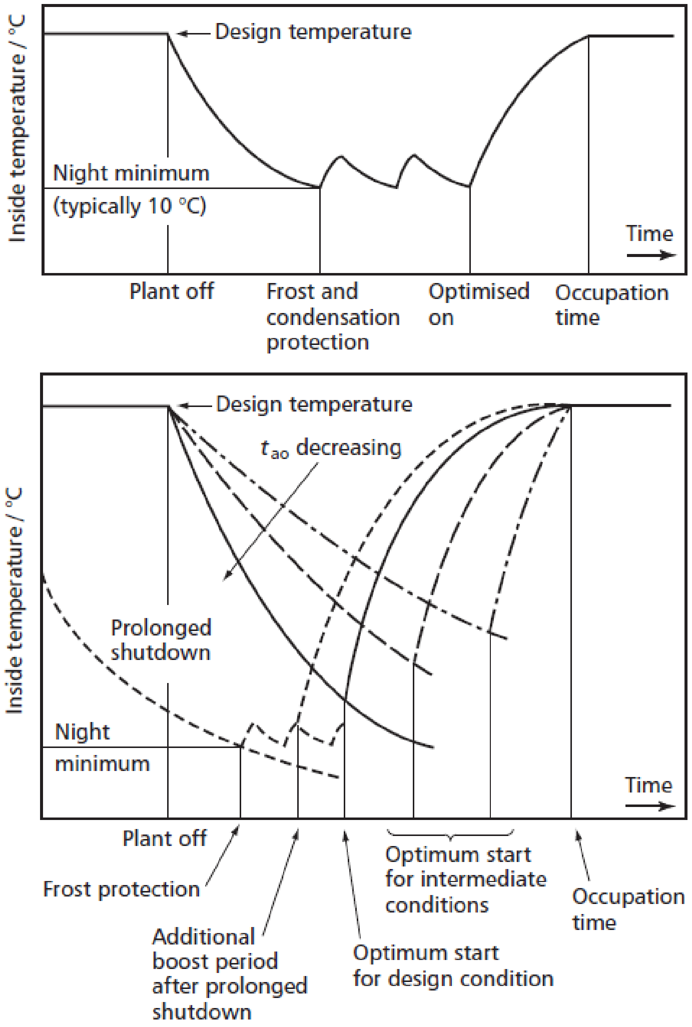
Heat output 30kW ထက်နည်းသည့် heating system များတွင် timer သို့မဟုတ် time switch ကို အသုံးပြုသင့်သည်။ Optimal start controller ကို အသုံးပြုရန် မသင့်လျော်ပေ။ အသုံးပြုသူများ အဆောက်အဦ အတွင်းသို့ စတင် မဝင်ရောက်ခင် heating system ကို ကြိုမောင်းထားရန် လိုအပ်သည်။ သို့မှသာ occupant များ ရောက်ချိန်၌ သက်သောင့်သက်သာ(comfortable)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

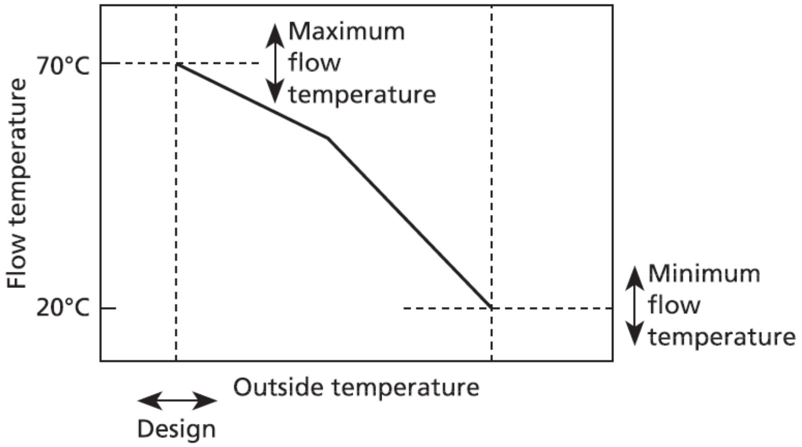
ပုံ(၂-၁၈)တွင် control characteristicကို ဖော်ပြထားသည်။ နေ့လယ်ထမင်းစားချိန်ကဲ့သို့သော unoccupied period အတွင်း၌ heating အတွက် occupied period အပူချိန်ထက် အနည်းငယ် နိမ့်ထားရန် နှင့် cooling အတွက် occupied period အပူချိန်ထက် အနည်းငယ် ပိုမြင့်ထား ပေးနိုင်သည်။

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 အလွန်နေးပါက 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 နေးသည့် data များသည် အသုံးမဝင်သည့် information များ သို့မဟုတ် မှားယွင်းစွာ ယူဆနိုင်သည့် information များကို ဖြစ်စေသည်။ ထိုကဲ့သို့ sampling time နေးသောကြောင့် 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။

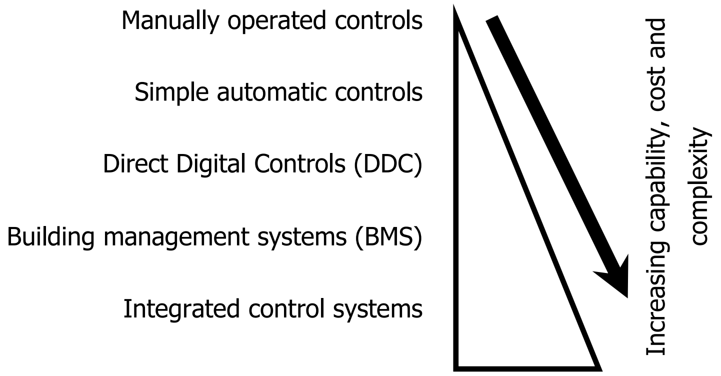
Initial controller setting များကို ထုတ်လုပ်သူများ (manufacturer)က ပေးလေ့ရှိသည်။ Common application များအတွက် ယေဘုယျအားဖြင့် သုံးနိုင်သည့် တန်ဖိုးများကို အောက်တွင် ဖော်ပြထားသည်။

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