



Yong Min

Siemensin PLC-tekniikan soveltaminen sähkölaitteiden automaatio-ohjaukseen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

20.1.2023

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Yong Min
Otsikko:	Siemensin PLC-tekniikan soveltaminen sähkölaitteiden automaatio-ohjaukseen
Sivumäärä:	40 sivua + 2 liitettä
Aika:	20.1.2023
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto:	Automaatiotekniikka
Ohjaaja(t):	Timo Tuominen, Chaoyong He

Opinnäytetyön tarkoituksena oli päivittää älykkään lämmönvaihtimen ohjausjärjestelmä. Siihen lisättiin PID-analogian ohjausteknologian ja PLC:n yhdistelmä lisättiin, mikä tekee koko järjestelmästä joustavamman ja vähentää merkittävästi kustannuksia.

Suurin osa työstä tehtiin MTCS-yrityksen laboratoriossa Pekingissä, Kiinassa, jossa ohjelmoitiin uusien sähköasemien ohjelmat ja tehtiin valvomografiikat. Lopuksi järjestelmä otettiin käyttöön ja testattiin paikan päällä.

Projektin tuloksena on asiakkaille toimivia automaatiojärjestelmiä. Uusissa valvoimissa oli paremmat mahdollisuudet tarkastella ja säätää prosesseja, mikä helpotti huoltohenkilöstön ja muiden järjestelmän käyttäjien reagoimista kiinteistöprosessien vikatilanteisiin ja ongelmiin.

Avainsanat: PID-tekniikka, PLC-tekniikka, Automaatio-ohjaus

Abstract

Author(s):	Yong Min
Title:	Application of PLC Technology to Automation Control of Electrical Equipment
Number of Pages:	40 pages + 2 appendices
Date:	20 January 2023
Degree:	Bachelor of engineering
Degree Programme:	Electrical and automation engineering
Specialization option:	Automation engineering
Instructor(s):	Chaoyong He, Project Manager Timo Tuominen, Senior Lecturer

The purpose of the thesis work was to upgrade the control system of an intelligent heat exchanger. A combination of PID analogy control technology and PLC was added, which makes the whole system more flexible and significantly reduces costs.

Most of the work was carried out in the laboratory of the MTCS company in Beijing, China, where the programs of the new substations were programmed and the control room graphics were made. Finally, the system was commissioned and tested on-site.

The result of the project is functional automation systems for customers. The new control rooms had better opportunities to view and adjust processes, making it easier for maintenance personnel and other system users to react to fault situations and problems in property processes.

Keywords: PID-technology, PLC-technology, Automation Control

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	PLC-rakenne ja laitteistosuunnittelu	2
2.1	Ohjelmoitava logiikka (PLC)	2
2.2	PLC s7-200 Smartin perusrakenne	4
2.3	Kosketusnäyttö PC-liitântään	8
3	Älykäs lämmönvaihtoyksikkö	9
3.1	Yleiskatsaus lämmönvaihtoyksiköstä	9
3.2	Älykkään lämmönvaihtoyksikön avainkomponentit	10
3.2.1	Lämpötilan säätö	11
3.2.2	Paineensäätö	13
3.2.3	Levylämmönvaihtimen valinta ja parametrit	17
3.2.4	Sähköohjauksen asettelun periaate	19
4	Älykkään lämmönvaihtoyksikön PID-säätöalgoritmi	22
4.1	PID-säätöperiaate	22
4.2	Smithin ennakoiva ohjaus	29
4.3	Älykkään ohjausjärjestelmän perustaminen ja simulointi	32
5	Yhteenveto	38
	Lähteet	40
	Liitteet	42
	SMART200 älykäs ohjauslämmönvaihdi ohjelma	42
	Ohjelma 1	42

Lyhenteet

I/O	Input/output. Automaatiojärjestelmän sisään- ja ulostulot.
IP	Internet protocol. Internetissä pakettien reitittämiseen käytettävä osoite.
PID	Proportional, integral, derivative. Sääntötekniikan perussäädin.
UDP	User Datagram Protocol. Protokolla, joka mahdollistaa tiedostojen lähetyksen ilman pakettien kuittausta.
PLC	Ohjelmoitava logiikka. Mikroprosessorilla toimiva laite, kuin tietokone.
STO	Safe Torque Off. ja Moottorin väännötön turvatila.
TIA	Täysin integroitu automaatio.
SSM	Safe Brake Control. ja Moottorin turvapysäytys ja paikaallanpito.

1 Johdanto

Opinnäytetyö tehtiin MTCS Oy:lle. MTCS Oy on vuonna 1996 Pekingiin perustettu ja monipuoliseksi ja maailmanlaajuiseksi kasvanut ammattilaiseen testaukseen ja mittaukseen erikoistunut yritys. Yritys tarjoaa korkealaatuisia kansainvälisiä testi- ja mittauslaitteita ja testausohjelmistojen kehittämistä, tuotantoa ja myyntiä sekä tarjoaa yrityksille kokonaisratkaisuja ja konsultointipalveluja. (MTCS Systems Engineering.)

Tehtaiden on tuotettava korkealaatuisempia tuotteita, ja tuotantoympäristön lämmönvaihtojärjestelmiä koskevat vaatimukset ovat yhä korkeammat. Vanhat ohjauslaitteet eivät enää täytä nykyisiä vaatimuksia, kuten tarvetta vakaaseen lämpötilaan, paineeseen ja virtaukseen, mutta samalla vanhojen laitteiden ylläpitokustannukset ovat erittäin korkeat. Tavoitteena oli päivittää älykkään lämmönvaihtimen ohjausjärjestelmä. Lisättiin PID-analogisen ohjaustekniikan ja PLC:n yhdistelmä, joka tekee koko järjestelmästä joustavamman ja vähentää huomattavasti kustannuksia.

Vastaavia vanhentuneita automaatiojärjestelmiä on Kiinassa monissa muissakin kohteissa, joten opinnäytetyön tavoitteena on myös olla hyödyksi kyseisten järjestelmien modernisointiprojekteissa jatkossakin. Jatkuvan teknisen kehityksen myötä automaatiojärjestelmien laitteiden pitää toimia yhä joustavammin ja nopeammin.

2 PLC-rakenne ja laitteistosuunnittelu

2.1 Ohjelmoitava logiikka (PLC)

Ohjelmoitava logiikka (Programmable Logic Controller, PLC) on mikroprosessoripohjainen laite ja sitä käytetään automaatioprosessien ohjaukseen. Vuonna 1968 General Motors ehdotti 10 GM:ää, jotka olivat PC:n edeltäjiä. Monien innovaatioiden jälkeen PLC:stä on tullut vahva ohjelmoitava ohjelmisto, joka ohjaa monien monimutkaisten järjestelmien suorittamista. Sillä on myös vahva häiriönestokyky, kätevä ja joustava käyttö, alhainen hinta ja korkea luotettavuus. Ohjausjärjestelmää käytetään monimutkaisissa teollisen prosessin ohjausverkon järjestelmissä, joista on tullut sopivia nykyaikaisen teollisen kehityksen tarpeisiin. (PLC Control 2002, 21–23.)

PLC-sovellukset voidaan jakaa seuraaviin luokkiin:

(1) Viestintä ja verkostoituminen

PLC voi kommunikoida muiden laitteiden kanssa muodostaakseen keskitetyn hallintajärjestelmän ja hajautetun ohjausjärjestelmän.

(2) Tietojen käsittely

PLC:llä on toimintoja, kuten matemaattiset operaatiot, tiedonsiirto, C-tietojen muuntaminen, lajittelu ja taulukon haku, jotka voivat suorittaa tiedon keräämisen, analysoinnin ja käsittelyn loppuun. Näitä datatoimintoja voidaan soveltaa joihinkin suuren mittakaavan ohjausjärjestelmiin.

(3) Prosessin ohjaus

Jatkuvasti muuttuvat tiedot, kuten lämpötila, paine ja virtausnopeus, voidaan vaihtaa, laskea ja ohjata PLC:llä. Näissä prosesseissa PLC käyttää yleensä suljetun silmukan ohjausjärjestelmää. Tässä projektissa suljetun silmukan muodon

katsotaan ohjaavan järjestelmäparametreja. Joissakin keskikokoisissa ja suurissa järjestelmissä PLC:t on varustettu PID-ohjausmoduuleilla, jotka voidaan toteuttaa PID-aliohjelmilla. Lisäksi prosessiohjauksessa on eräänlainen avoimen silmukan ohjaus. Avoimen silmukan ohjaus on viallinen. Jos halutaan ohjata parametreja tarkasti, sen on selvitettävä eri häiriötekijät prosessinohjauksessa, ja lopuksi järjestelmän tarkkaa hallintaa on vaikea saavuttaa.

(4) Liikeohjaus

PLC voi ohjata mekaanisten laitteiden tasoa tai tilaa. Mekaanisen liikeradan ominaisuuksien vertailun kolmiulotteiset koordinaattiakselitiedot lähetetään PLC-ohjausjärjestelmään tarkkaa ohjausta varten. PLC:tä käytetään joissakin mekaanisissa toiminnoissa, kuten metallin leikkauksessa, robottitoiminnassa jne.

(5) KytKentäarvon looginen ohjaus

PLC:n perustoiminto on korvata perinteinen relejärjestelmän ohjaus logiikkaohjauksella loogisen ohjauksen ja sekvenssiohjauksen toteuttamiseksi. Kytkimen logiikan ohjaus on jaettu hajautettuun periaatteeseen, keskitettyyn periaatteeseen ja sekaperiaatteeseen. Niistä hybridiperiaate sisältää edellä mainittujen kahden periaatteen edut, mutta toteutusprosessi on hieman monimutkainen ja käyttää enemmän ja komento.

Koska älykäs lämmönvaihtokone vaatii pienen tilan, kätevän käytön ja tehokkaat toiminnot, joten valittiin Siemens S7-200smart -sarja.

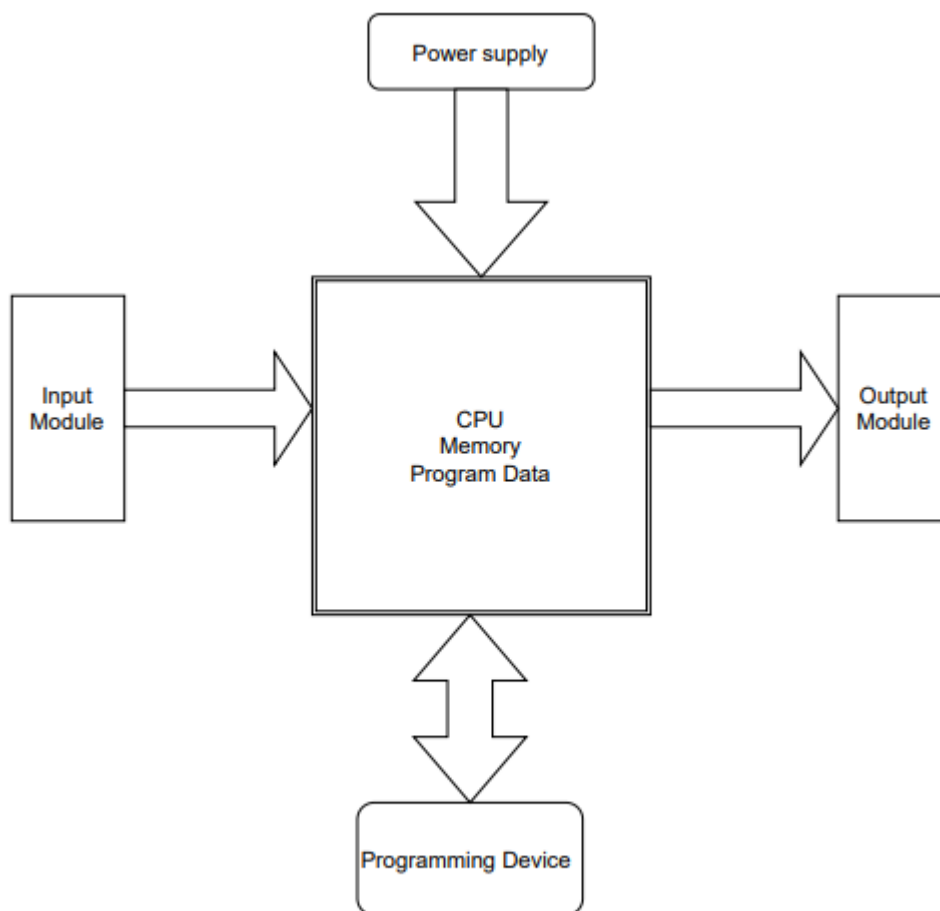


Kuva 1. Siemens s7-200 Smart.

2.2 PLC s7-200 Smartin perusrakenne

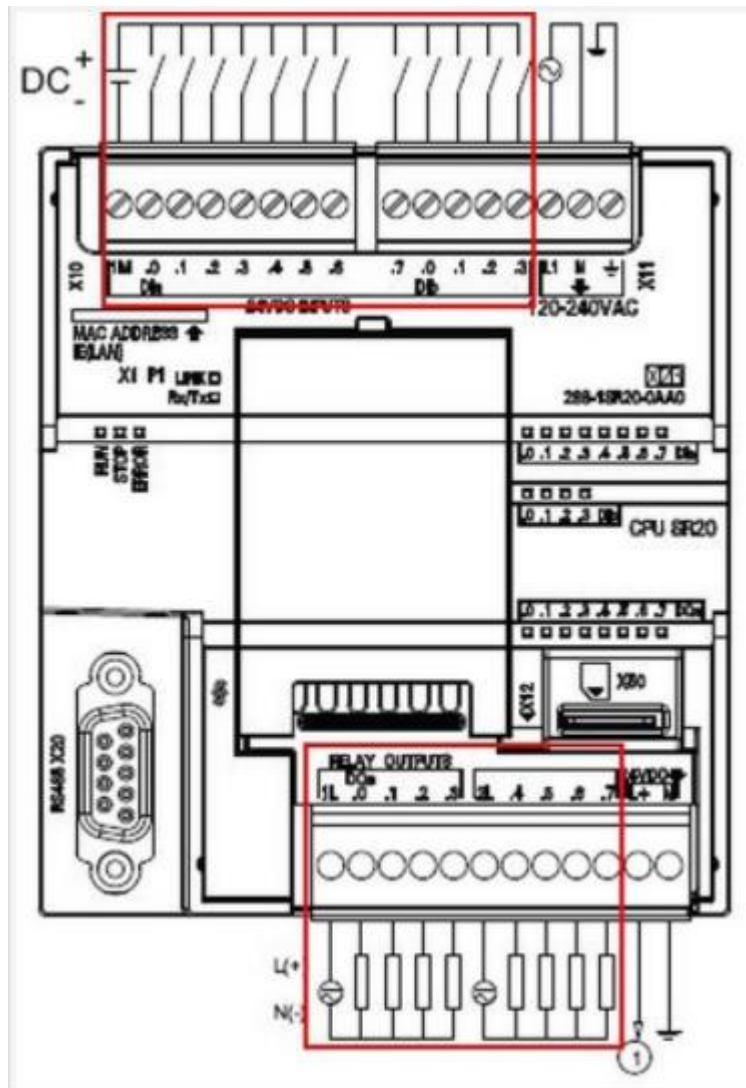
Elektronisen tekniikan kehityksen myötä PLC:n suorittimen suorituskyky on tuottanut useita malleja. Mutta jokainen malli kuuluu väylätyyppiseen avoimeen rakenteeseen, ja sen I/O-toimintoa voidaan laajentaa ja yhdistää teknologisten vaatimusten mukaisesti.

CPU on PLC:n ydin. PLC:ssä on vähintään yksi CPU, ja joissakin laitteissa on vara-CPU. Se vastaanottaa ja tallentaa käyttäjän ohjelman ja tiedot PLC-järjestelmäohjelman antamien toimintojen mukaisesti, tallentaa paikan päällä suoritetusta skannausmenetelmästä saadut tiedot rekisteriin ja diagnosoi toimintatilan ja syntaksivirheet ohjelmointiprosessissa. Kun on syötetty järjestelmän toimimaan, luetaan käyttäjäohjelma yksitellen muistista, tehdään yhteenveto ja luetaan ohjeet, analysoidaan ohjeiden määrittämät tehtävän signaalit ja annetaan sitten erilaisia tietoja, kun ohjataan sähkölaitteita ja sähkökomponentteja. Kuten mikrotietokoneessa, PLC:ssä on myös ohjaimet, aritmeettiset yksiköt, rekisterit ja niiden yhteen liitetyt tiedot. Ohjataan ja tila koostuvat väyläyhteydestä sekä muista ulkoisten ohjauslaitteiden rajapinnoista.



Kuva 2. Ohjelmoitavan logiikan perusrakenne.

Tämän projektin CPU-malli on SR20, jossa on 12 integroitua tulopistettä ja 8 lähtöpistettä: analogisten tulopisteiden enimmäismäärä on 49 ja lähtöpisteiden määrä on 25. Tämä malli voi täyttää vain lämmönvaihtimen ohjauspisteiden määrän vaatimukset. CPU-virtalähde valitsee DC 24V. Kuten kuvassa 2.3 on esitetty, tuloliittimien ylärivillä 1M on yhteinen tuloliitäntä, joka on kytketty DC24V+ -laitteeseen tulosignaalin aktivoimiseksi. Riviliittimen ylemmät rivit L1 ja N antavat virtaa keskusyksikölle DC24V+-liitäntään. Johdotusliittimen alemmat rivit 1 L ja 2 L ovat yhteisiä lähtöliittimiä releen liittämiseksi. Rele voidaan kytkeä vaihto- ja tasavirtalähteeseen eikä sillä ole suuntausta.

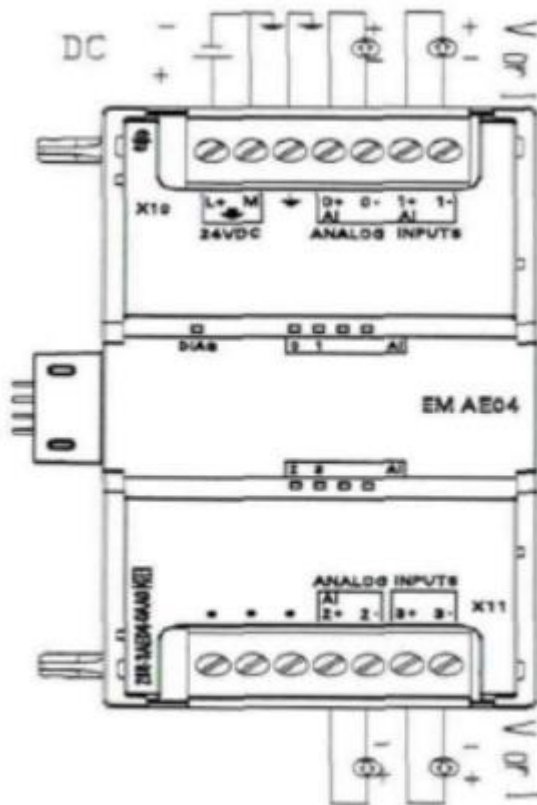


Kuva 3. SR-20-yhteyskaavio.

Analogisella tulomoduulilla on välimuunnos. Vastaanotettuaan ulkoisen analogisen signaalin tulomoduuli muuntaa sen digitaaliseksi signaaliksi A/D:n kautta ja lähettää saadun digitaalisen signaalin CPU-ohjaimelle.

CPU:n kanssa sovitettu tulomoduuli ottaa käyttöön EMAE04n. Tulopisteiden lukumäärä M on tulomoduulin ulkoinen teholiitäntä, ja käytössä on DC24V.

Tulomoduulissa 0+ ja 0- ovat tulovirtalähteen positiivisia ja negatiivisia napoja. 1+ ja 1- ovat samat kuin 0-kanava. Sekä tulojännite- että virtasignaaleja voidaan käyttää.



Kuva 4. Analoginen tulomoduuli.

Analogisella lähtösignaalilla on myös välimuunnosrooli. Kun lähtömoduuli vastaanottaa CPU:n digitaalisen signaalin, se muuntaa digitaalisen signaalin analogiseksi signaaliksi D/A-muunnoksen avulla.

CPU:n kanssa sovitettu lähtömoduuli on EMAQ02, tulopisteiden lukumäärä on 2.0 ja 0M lähtömoduulissa ovat tehon ulostulon positiiviset ja negatiiviset navat, joita voidaan käyttää samalla jännitteellä ja virralla kuin syöttömoduuli.



Kuva 5. Analoginen lähtömoduuli.

2.3 Kosketusnäyttö PC-liitântään

Kun PLC-ohjelmaa on muokattu henkilökohtaisella tietokoneella, USB/PPI-datalinja liitetään kosketusnäyttöön PLC-ohjelman ohjelmointia ja asennusta varten ohjaimeen ilman muita laitteita. USB/PPI-datalinjan yhdeksänapainen portti on kytketty PLC-tietoliikenneliitântään ja USB-liitântä tietokoneeseen.

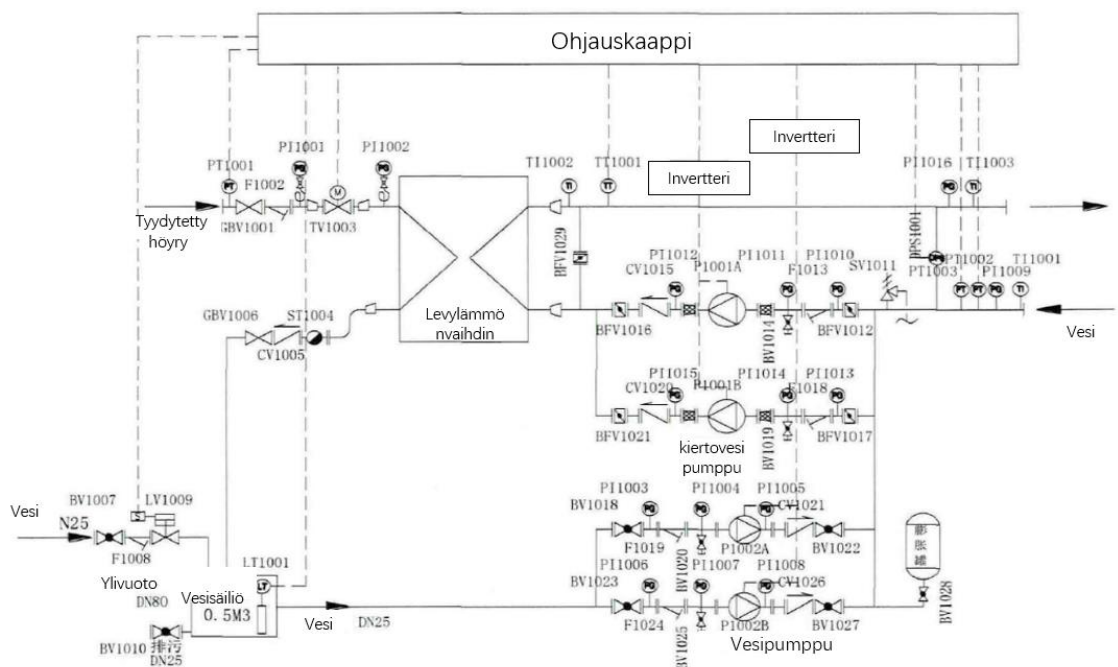


Kuva 6. PLC-kaapeli USB - PPI.

3 Älykäs lämmönvaihtoyksikkö

3.1 Yleiskatsaus lämmönvaihtoyksiköstä

Älykäs lämmönvaihtoyksikkö Suzhou Johnson & Johnsonin tehtaalla purkaa kunnallishallinnon toimittaman korkeapaineisen höyryn ja muuntaa sen 50°C:n vedellä älykkäässä levylämmönvaihtimessa, jolloin korkeapaineinen höyry vapauttaa lämpöä ja muuttuu höyryksi, ja kondensoitu vesi vapauttaa lämpöä. Järjestelmän paluuveden lämpötilaa nostetaan ja samalla lämpökiertopumppua kierrätetään jatkuvasti, jotta lämpö siirtyy jokaiseen puhdistilan ilmastointiyksikköön ja konepajan lämpöä käyttäviin laitteisiin. Järjestelmä pyrkii varmistamaan, että valvoton tilanne voi silti tehdä säännöllistä ja koordinoitua työtä, mikä on myös erottamaton PLC:n ainoasta ohjaustoiminnosta.

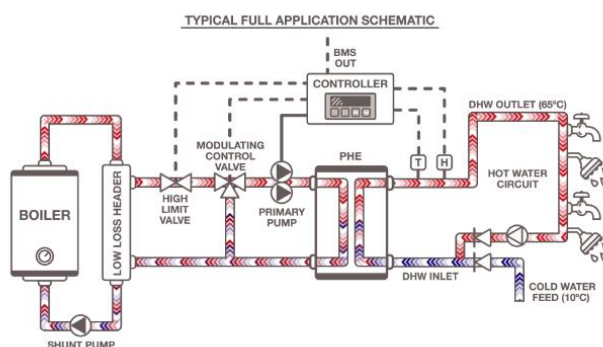


Kuva 7. Älykkään lämmönvaihtoyksikön vuokaavio.

Kun älykäs kuumavesi lämmönvaihtoyksikkö muuntaa höyrylämmönlähteen kuumavesilähteeksi, kuumavesikiertopumppu kuljetetaan muihin käyttökohteisiin. Sen ydinkomponentteja ovat pääasiassa höyry-vesi-lämmönvaihdin, kuumavesikiertopumppu, älykäs ohjauskaappi, käyttöventtiili, lämpötila-anturit ja paineilmaisimet. Älykkään höyry-vesi-lämmönvaihtoyksikön laitteiston suorituskyky on tehokkaampi kuin yleisen vesi-vesi-lämmönvaihtoyksikön. Lämmönvaihto on suuri, lämmönvaihtonopeus on nopea, tila on pieni, melu on pieni, eikä henkilöstön valvontaa tarvita, mutta laitekomponentteja on monenlaisia ja ohjausmenettelyt ovat monimutkaisempia. Mutta lämmitysjärjestelmässä tällaisten älykkäiden laitteiden on oltava tehokkaita ja luotettavia.

3.2 Älykkään lämmönvaihtoyksikön avainkomponentit

Lämmönvaihtoyksikkö ohjaa käyttöolosuhteiden mukaan kuuman veden kierto- vesipumpun, pehmeän veden täyttöpumpun, sähköisen ohjausventtiilin, vakio- paineisen paisuntasäiliön jne. toimintaa tiettyjen sääntöjen mukaisesti ja säätää virtausta, lämmitysjärjestelmän lämpötilaa ja painetta. Samalla järjestelmä kestää hyvin lämpökuormituksen ja lämpötilan muutoksia. Laitteen suunnittelun ja asennuksen onnistumisen varmistamiseksi ulkonäkösuunnittelu tulee tehdä ennen järjestelmän valmistusta.



Kuva 8. Älykkään lämmönvaihtoyksikön 3D



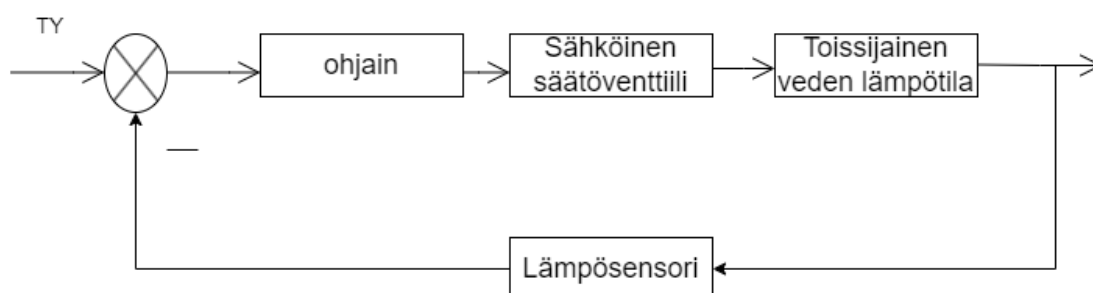
Kuva 9. Älykäs lämmönvaihdinyksikkö.

3.2.1 Lämpötilan säätö

Toisen lämpötilamittauksen jälkeen kuuma vesi kuljetetaan suoraan puhtaaseen ilmastointiyksikköön tai käyttöpisteeseen, joten älykkään lämmönvaihtoyksikön toissijainen lämpötilamittaus vaikuttaa suoraan ilmastointilaitteen toiminnan laatuun, joten lämpötilan säätö on kriittisin lämmönvaihtoyksikön ohjausprosessissa, koska höyryn paine on verrannollinen lämpötilaan, lämmönvaihtoyksikön ohjausjärjestelmän tarvitsee vain analysoida laitokseen tulevan primaarisen lämmönsyötön paine ja toissijaiset ylläpitolämpötilavaatimukset, laskea ja määrittää ensiöhöyryn välinen lämpötilaero, lämmönsyötön sekä toisiojärjestelmän tulo- ja paluueden ja määrittää paluueden lämpötilaero. Samalla määritetään vastaava kuumen veden virtaus toissijaisessa verkossa. Lopuksi ensiöpuolen höyryventtiilin aukkoa säädetään PLC-säätimellä niin, että pneumaattiseen venttiiliin tuleva kylläinen höyryvirta ensiömittauksessa muuttuu, minkä jälkeen höyryn lämpötilaa säädetään ja säädetään. Samalla tila on myös muuttunut

vastaavasti kaasumaisesta nestemäiseen tilaan, mikä myös mahdollistaa järjestelmän kyvyn mukautua automaattisesti lämpökuorman ja ympäristön lämpötilan muutoksiin.

Lämpötilan säätöperiaate on esitetty kuvassa 10, jossa ohjattava kohde on toisiopuolen lämmönlähteen lämpötila, toimilaite on höyry pneumaattinen venttiili, R on asetusarvo ja Y on järjestelmän lähtö.



Kuva 10. Lämpötilan säätökaavio.

Lämpötilamittaus ottaa käyttöön termistorin lämpötila-anturin. Tällaisia lämpötila-antureita on monenlaisia. PT100-platinavastuslämpötila-anturia käytetään yleisesti veden lämpötilan valvontaan. Alle 600 asteen lämpötilamittausarvon virhe on $\pm 4^{\circ}\text{C}$ ja toiminta on luotettavaa. Termistorianturi muuttaa resistanssiarvoa vastaavasti lämpötilan muutoksen mukaan, kuten kaavassa näkyy.

$$R_t = R_0[1 + a(t - t_0)]$$

R_t : Ilmaisee vastuksen resistanssiarvon lämpötilassa $t^{\circ}\text{C}$.

R_0 : Ilmaisee vastuksen resistanssiarvon 0°C lämpötilassa.

a : Ilmaisee lämpövastuksen lämpötilakertoimen, joka muuttuu lämpötilan mukaan. Samanaikaisesti eri metalleilla on erilaiset a -arvokertoimet. Yleensä mitä suurempi a :n arvo on, sitä suurempi on lämpövastuksen herkkyyys. Lämpötilalähtetin syöttää termistoriin tunnettua viritysvirtaa termistorin yli olevan jännitteen

mittaamiseksi ja muuntaa sitten resistanssin lämpötila-arvoksi resistanssin testausten jälkeen, jolloin lämpötilamittaus toteutuu.

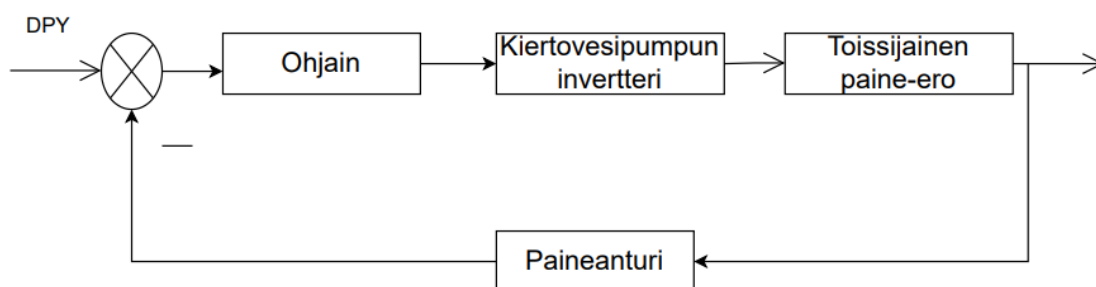
3.2.2 Paineensäätö

Tässä projektissa on kaksi paineensäätömuotoa, joista toinen on paine-eron säätö ja toinen vakiopainesäätö. Paine-eron ohjaus testaa tulo- ja paluuputkien painetta samanaikaisesti ja sitten vertailee ja mittaa eroa. Vakiopainearvo on tarkoitettu vain tietyn putkilinjan syöttöpaineen tai vastapainearvon mittaamiseen.

Paine-eron ohjaus

Älykkään lämmityksen prosessissa normaalin ja jatkuvan kierron ylläpitämiseksi puhdastilan ilmastointiyksikön ja lämmityslaitteiden sisällä on lämmitysjärjestelmän vesi- ja paluuputkien välillä säilytettävä tietty paine-eroalue. Jos järjestelmän paine-ero on liian pieni, sivun älykkään lämmönvaihtimen tuottamaa lämpöä ei voida toimittaa etäilmastointilaitteisiin tai lämmityslaitteisiin, mikä vaikuttaa vakavasti tämän järjestelmän energiantarpeeseen. Päinvastoin, jos paine-ero on liian suuri, sivu saattaa olla vaurioitunut, kuten ilmastointilaitteen romahdus, vesivuoto älykkäiden laitteiden putkien läheltä jne., mikä myös aiheuttaa lisääntynyttä energiahäviötä ja vakavaa energianhukkaa. PLC ei voi siepata silmukkaputkiston paineen muutosta inertein säätämiseksi. Siksi älykkäässä lämmönvaihtoyksikössä taajuusmuuttajan nopeuden säätöä ohjataan valvomalla järjestelmän paluuputken painetta sen varmistamiseksi, että tulo- ja paluuputkien välillä säilyy tietty paine-eroalue. Koska putkilinjan paine koostuu dynaamisen paineen ja staattisen paineen summasta, kun paine-ero on pieni, on välttämätöntä lisätä kiertovesipumpun pyörimisnopeutta taajuusmuuttajan läpi veden- syötön dynaamisen paineen lisäämiseksi.

Tulo- ja paluuveden paine-eron ohjausperiaate on esitetty kuvassa 11. PLC mittaa tulo- ja paluunesteiden välisen paine-eron ja vertaa sitä asetettuun paine-eroon. Jos paine-ero ylittää asetetun alueen, PLC-ohjain antaa ohjaussignaalin säätääkseen kiertovesipumpun toimintataajuutta inerteissä pumpun nopeuden muuttamiseksi, jotta tulo- ja paluuveden paine-eroalue voidaan säätää asetettuun arvoon, R on asetettu arvo ja Y on järjestelmän lähtö.



Kuva 11. Paine-eron ohjausperiaate.

Paine-erolähetin muunnetaan pääasiassa sähköiseksi signaaliksi elastisen punnituskennon siirtymällä tai voimalla. Tämä nestepaine-erotesteri käyttää kapasiitiivista siirtymäpaine-erolähetintä. Kun neste puristaa mittauskondensaattorin kalvoa molemmilta puolilta, kalvo siirtyy etäisyyden Δt keskiasennosta matalapainepuolelle, mutta koska siirtymän muutos ei ole ilmeinen, se voidaan laskea suhteellisen muutoskaavan mukaan.

$$\Delta d = K_1 P$$

K_1 on suhteellinen vakio, kondensaattorikalvon ja vasemman ja oikean kiinteän levyn välisen etäisyyden alkuperäisestä t_0 :sta tulee $t_0 - \Delta t$ ja $t_0 + \Delta t$. Kaksi kondensaattoria C_1 , C_2 voidaan kirjoittaa kaavaksi.

$$C_2 = k_2 / (t_0 - \Delta t)$$

$$C1 = k2 / (t0 + \Delta t)$$

jossa $k2$ on vakio, jonka määrää kondensaattorilevyn pinta-ala ja eristeen dielektrisyyskerroin. Samalla kun yllä olevat suhteet ratkaistaan, voidaan saada seuraava muunnoskaava:

$$(C2 - C1) / (C2 + C1) = \Delta t / T0 = (K1 / T0) * P = K3 * P$$

Edellisestä kaavasta voidaan päätellä, että kapasitiivisen paine-erolähtetimen tehtävä muuntaa $C2 - C1$:n vertailun $C2 + C1$:ksi jännitteen tai virran muotoon. Kun virta tai jännite ja signaali on lisätty, sitä verrataan takaisinkytkentäsignaaliin ja tuloksena olevaan erotukseen vahvistimeen. PLC hyväksyy vahvistetun virran arvon arvioidakseen seuraavan lähtösignaalin.

Määritä paineensäätö

Lämmönlähteen kuljetusjärjestelmä joudutaan usein käynnistämään ja pysäyttämään kokonaisuutena vallitsevan tilanteen mukaan. Tällainen käynnistys-pysäytystekijä saa veden lämpötilan muutoksen putkiverkostossa vaikuttamaan putkiston lämpölaajenemiseen ja supistumiseen. Putkilinjan lämpölaajeneminen ja supistuminen johtavat usein järjestelmävikoihin. Jäteveden poistoilmiö järjestelmän veden laadun havaitsemiseksi esiintyy usein lämmönlähteen kuljetuksessa, ja nämä tilanteet aiheuttavat passiivisia vaihteluita putkiverkoston kokonaispaineessa. Kun putkistojärjestelmän paine on riittämätön tai liian korkea, se vaikuttaa laitteen ali- tai ylipainetoimintaan, eivätkä laitteet voi vastaanottaa vaakaata energiaa. Siksi sopiva vakiopainealue on säilytettävä.

Jotta varmistetaan, että lämmönlähteen siirtopaine on asetetulla alueella, kierto-vesipumpun lähtöpäähän on asennettava vakiopaineinen paisuntasäiliö, kun ylimääräisen veden lähde ylittää jatkuvapaineisen paisuntasäiliön absorptiokapasiteetin, putkijärjestelmän varoventtiili vapauttaa automaattisesti ylimääräisen veden lähteen, mikä välttää laitteen ylipaineaurion. Kun järjestelmän veden lämpötila laskee tai vuotaa, vesilähteen tilavuus pienenee ja vesilähdettä on

täydennettävä, vakioaineinen paisuntasäiliö vapauttaa automaattisesti säiliössä olevan vesilähteen. Pumppu alkaa täydentää vettä.

Teksti jatkuu sisennyksen jälkeen vasemmasta reunasta leipätekstityyllillä. Paisuntasäiliön tehollisen tilavuuden laskentamenetelmä on:

$$V_s = \alpha \Delta t V_c \cdot 1.3$$

V_s : Vesijärjestelmän vaatima ilmanpainesäiliön säädön tehollinen tilavuus (m³).

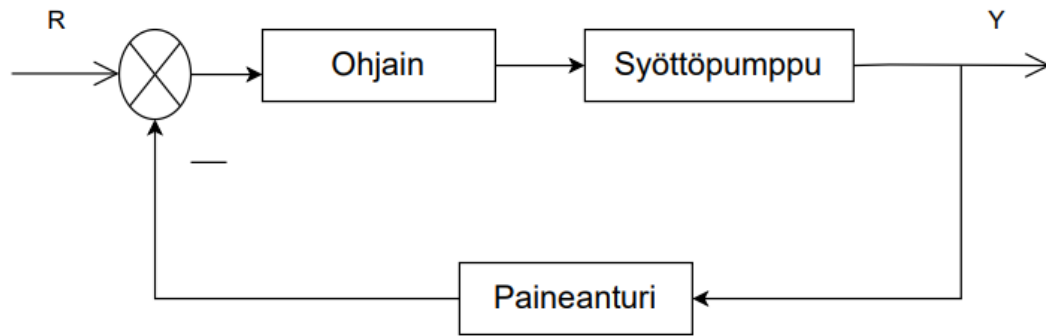
A : Laajenemiskerroin 0.0006.

Δt : Lämpötilaero.

V_c : järjestelmän kokonaisvesi.

1.3: Paisuntasäiliön turvallisuuskerto.

Vakiojännitteen ohjauksen periaate on esitetty kuvassa. Ohjattu kohde on älykkään lämmönvaihtoyksikön toissijainen sivulevytyyppinen paluueden paineen tunnistuspiste. Suorituslaitteisto on järjestelmän täyttöpumppu ja R on älykkään ohjausjärjestelmän paluueden paineen asetusarvo. Kiinteä arvo, Y on älykkään järjestelmän lähtölämmönlähteen paineen asetusarvo. Älykäs säädin vertaa siepattua paluupaine arvoa asetusarvoon. Jos mitattu paluueden painearvo on suhteellisella alueella, järjestelmän täyttöpumppu ei toimi, ja jos se on pienempi kuin osuuden alaraja, täyttöpumppu käynnistyy syöttämään vettä järjestelmään. Suhteen mukaan paisuntasäiliö imee automaattisesti ylipaineen, jotta saavutetaan koko järjestelmän jatkuva paineenhallinta. Paineen sieppaus ja signaalin siirto vaativat painelähtetimen lähetyksen suorittamiseksi loppuun.

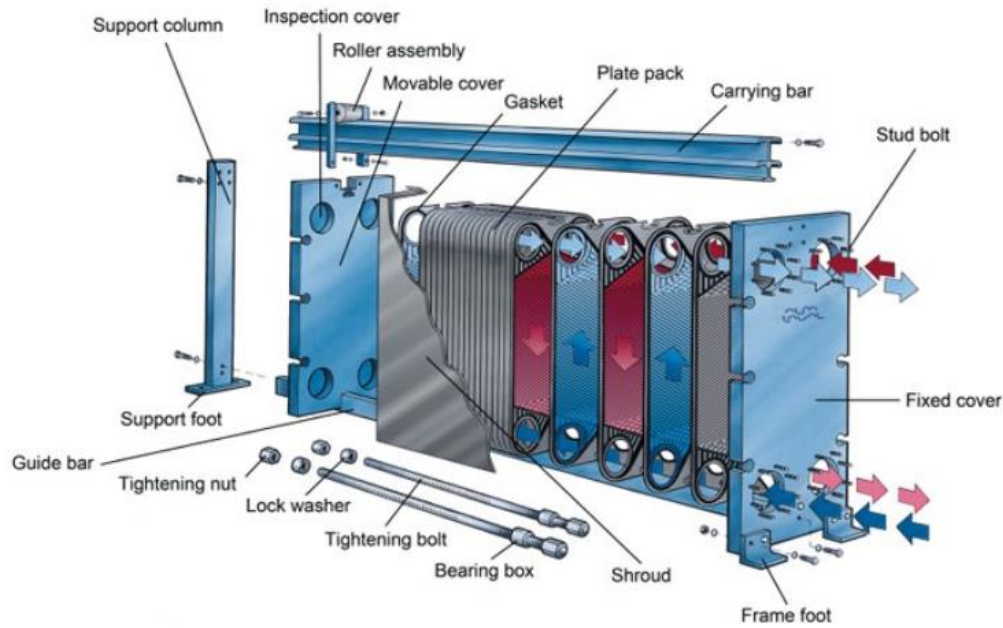


Kuva 12. Vakiopaineen säätöperiaate.

Painelähetin ottaa vastaan standardoidun tasavirtasignaalin PLC-ohjauskaappiin. Tasavirtasignaali lähetetään lineaarisessa muodossa ja sen tulo- ja lähtökäyrät voidaan esittää lineaarisella yhtälöllä $y=kx+b$.

3.2.3 Levylämmönvaihtimen valinta ja parametrit

Levylämmönvaihdin koostuu sarjasta rinnakkaisia ohuita metallisia aallotettuja levyjä, jotka on pinottu päällekkäin. Rakenne on yksinkertainen ja lattiapinta-ala on suhteellisen pieni. Levylämmönvaihdin koostuu pääasiassa levyistä, tiivistelevyistä, kiinteistä ja liikkuvista puristuslevyistä, puristuspulteista ja muttereista jne. Erityinen rakenne on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Höyrylevylämmönvaihdin.

Projektin vaatimusten mukaisesti levylämmönvaihdin käyttää Alfa Laval -merkkiä ja laiteparametrit on esitetty kuvassa.

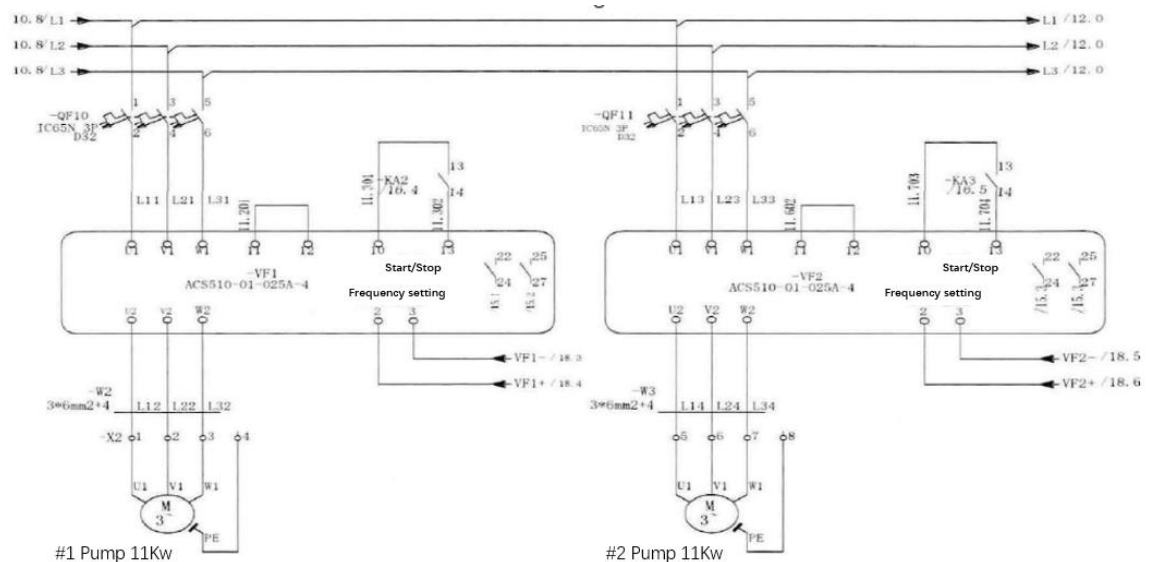
Capacity 1030 kW		Pressure Rating	PN10
Primary side		Secondary side	
Flow Rate	1640 kg/h	Flow Rate	8828kg/h
Pressure	4 bar	Inlet Temperature	50°C
Temperature	175°C	Outlet Temperature	60°C
Pipe BP	0 bar	Pressure Drop	70 kpa
Lift	0 m		

Kuva 14. Kuormitusparametrinen.

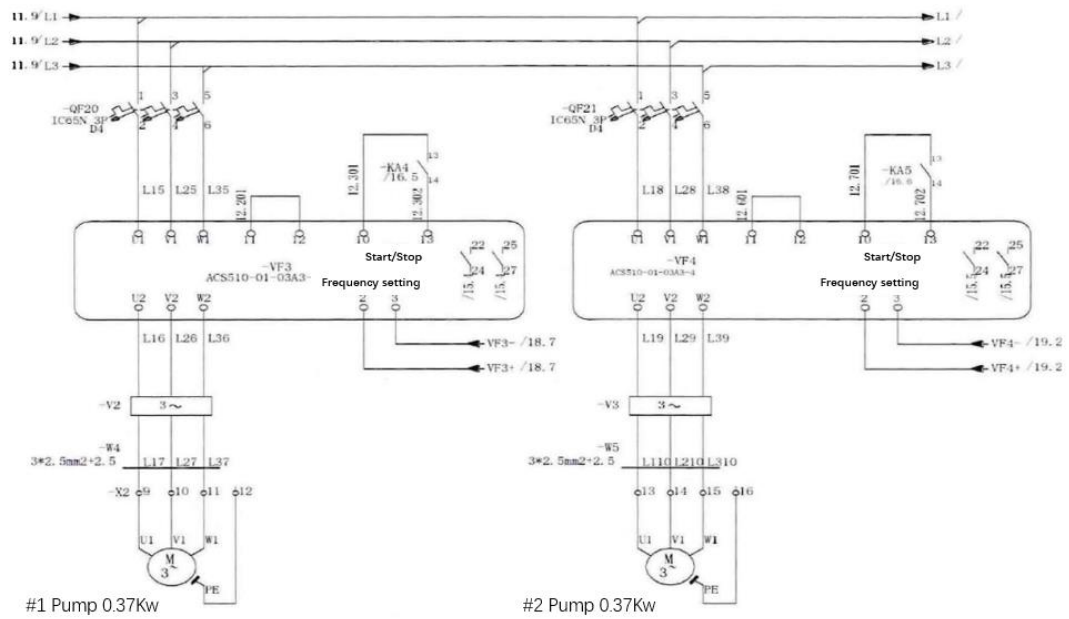
Metallilevyt yhdistetään tietyssä järjestyksessä. Höyry ja kuuma vesi virtaavat metallilevyjen välillä levyn molemmilla puolilla, ja lämmönvaihto tapahtuu aaltopahvilevyjen kautta. Levymuodon käyttö on menetelmä, jolla on korkein lämmönvaihtotehokkuus. Samalla virtauksella ja paineella levylämmönvaihtimen lämmönsiirtokerroin on yli kaksinkertainen vaippa- ja putkityyppiin verrattuna.

380 V:n virtalähdettä ohjaa ensin katkaisija, jonka jälkeen se tulee jokaiseen haaraan erikseen. Jokaisessa haarassa on kytkinohjaus, joka estää haaran sähkökatkoksen vaikuttamasta kahteen muuhun virtalähteeseen. Virtalähdettä 220 V käytetään puhaltimien, loistelamppujen ja kytkentäkaapin pistorasioiden syöttämiseen. Tuuletinta käytetään kytkentäkaapin jäähdytykseen, päivänvalolamppua valaistukseen ja pistorasiaa kytkentäkaapin tarkastukseen. 380 V:n virtalähde ohjaa kiertovesipumpun virransyöttöä. Virtalähde kytketään ensin sähkökaapin taajuusmuuttajaan, jonka jälkeen taajuusmuuttaja ohjaa kiertovesipumppua ja lisävesipumppua. Ohjatun kiertovesipumpun teho on 11 kW ja järjestelmän täydennyspumpun teho on 1,1kW.

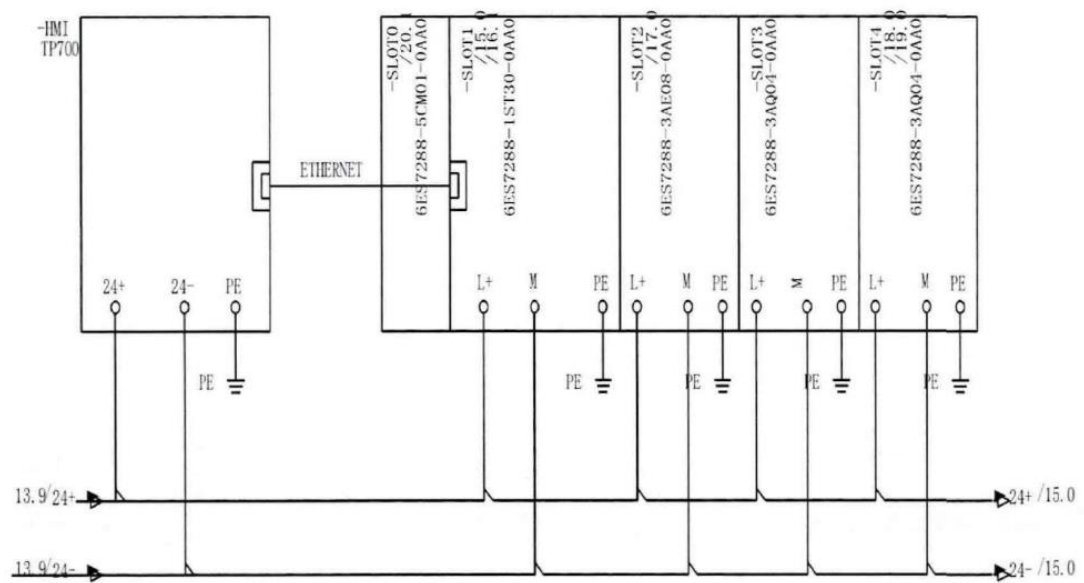
Taajuusmuuttaja ohjaa vesipumpun pumppausvirtaa ja ohjaa vesipumpun käyntinopeutta alhaisen lämmönkulutuksen tilassa. Pumpun etänopeus perustuu järjestelmän lämpötilapalautteeseen vastaavien muutosten tekemiseksi. Lämpötilasignaali tulee ensin PLC:hen, jonka jälkeen PLC ohjaa invertteriä.



Kuva 16. Vesipumpun ohjausvirtauskaavio.



Kuva 17. Vaihtoehtoinen vesipumpun ohjaus virtauskaavio.



Kuva 18. PLC-ohjaimen sähkölähdekaavio.

4 Älykkään lämmönvaihtoyksikön PID-säätöalgoritmi

1900-luvun lopusta nykypäivään sumeaa ohjaustekniikkaa on kehitetty uudeksi tieteenalaksi useiden sukupolvien ponnisteluilla, ja eri järjestelmien tarkastuksessa ja testauksessa on saavutettu suuria saavutuksia. Sumean tekniikan soveltaminen erilaisissa ohjauslaitteissa saa laitteiden toimintaan suuren parannustilan. Käytäntö on osoittanut, että sumealla ohjaustekniikalla on erittäin suuri kehityspotentiaali automaattiohjauksessa. Järjestelmää suunniteltaessa ei ole tarpeen muodostaa tarkkaa matemaattista mallia ohjattavasta kohteesta, joten se sietää paremmin ohjattavan kohteen ominaisuuksien ja parametrien muutoksia; siksi se soveltuu erilaisten ohjattujen kohteiden matemaattisten mallien muodostamiseen monimutkaisen järjestelmän ohjaukseen. Fuzzy-ohjaustekniikka on ollut mukana monilla teollisuudenaloilla, kuten teollisuusuneissa, hiilikaivoksissa, elintarvike- ja kodinkonealoilla sekä sähkömekaanisella ja muilla aloilla. Tällä hetkellä sähkömekaaninen teollisuus on ottanut käyttöön sumean PID-säädön laskentamenetelmän. PID ohjaa järjestelmän toimintaa määritetyn digitaalisen sumean kaavan mukaisesti. Sumea ohjauskieli koostuu pääasiassa kolmesta osasta: suhteellisesta, integraalista ja differentiaalista. Näiden kolmen välillä ei ole ilmeistä yhteyttä. Nämä kolme muodostavat ohjaussuureen lineaarisen yhdistelmän kautta, käyttävät tätä ohjaussuuretta ohjatun kohteen ohjaukseen, muodostavat nykyisen sumean PID-säätimen.

4.1 PID-säätöperiaate

Automaattinen ohjausjärjestelmä ottaa aluksi käyttöön perusavaimen ja kiinnohjaimen, joka on usein sanottu kaksiasentoinen ohjain. Ohjausjärjestelmän toiminnan aikana esiintyy usein jatkuvaa värähtelyä, ohjaus ei ole vakaa ja esiin tuleva ohjausviiva on karkea. Tämä tilanne johtuu pääasiassa siitä, että säädin toimii vain, kun virhe ylittää ylärajan tai laskee alarajan alapuolelle ohjausprosessin aikana. Toteuttaakseen vakaan muutoksen ylä- ja alarajan välillä ohjausalueella, ohjausjärjestelmä ottaa käyttöön suhteellisen säätötoiminnon. Suhteellinen säätö on prosenttiosuus tulosuureen suhteellisesta muutoksesta, joka voi

saada säätimen lähtösuureen muuttumaan täydessä asteikossa vain suhteellisella toiminnalla.

Kun suhde on otettu käyttöön, järjestelmässä on jälleen vakaan tilan virhe. Siten ohjausjärjestelmä lisää kiinteän komponentin. Sopeutuakseen järjestelmän tulevaan muutostrendiin ja varmistaakseen hyvän tuloksen tulevassa ohjauksessa järjestelmä on ottanut käyttöön differentiaalikomponentin, joka perustuu virheen vaihtelun säätöön rajoitetun ajan sisällä. Tämä ei perustu jokaiseen täsmälliseen pisteeseen, vaan kuvaa kunkin alueen muutoksia kielen kautta ja muodostaa siten analogisen ohjausjärjestelmän.

Analoginen ohjausjärjestelmä koostuu analogisesta PID-säätimestä ja ohjatusta kohteesta, $r(t)$ on annettu arvo, $y(t)$ on järjestelmän todellinen lähtöarvo ja annettu arvo ja todellinen lähtöarvo muodostavat säätöpoikkeaman $e(t)$.

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

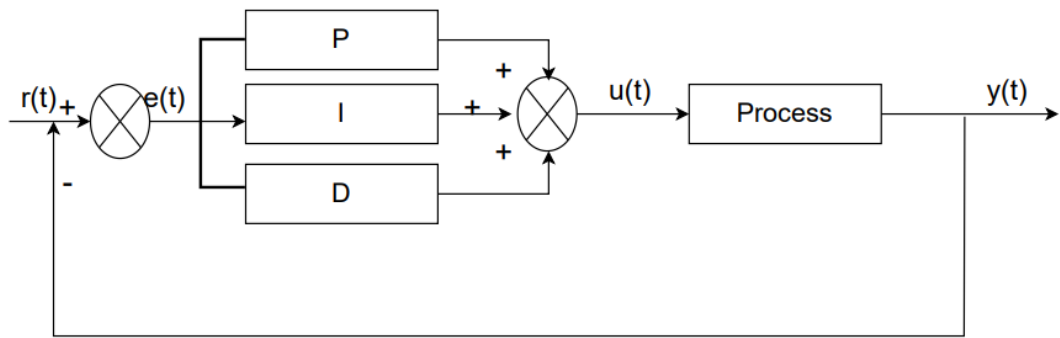
$e(t)$:tä käytetään PID-säädön sumean ohjausmuuttujan syötteenä, eli tarkka määrä $e(t)$:stä kvantisoidaan sumeaksi sumean kielilausekkeen muodostamiseksi. Suoritetaan useita tietojen vertailuja, jotta saadaan sumeiden kielten osajoukkoja. $u(t)$ on PID-säätimen sumea lähtö ja ohjatun kohteen sumea tulo. Siksi analogisen PID-säätimen ohjauslaki voidaan ilmaista kaavana.

$$U(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}]$$

K_p - säätimen suhteellinen kerroin.

T_i - ohjaimen integraaliaika, joka tunnetaan myös integraalikertoimena.

T_d - ohjaimen differentiaaliaika, joka tunnetaan myös nimellä differentiaalikerroin.



Kuva 19. PID-perusohjausjärjestelmän periaate.

Tarkemman ohjauksen saamiseksi sumeassa ohjauksessa on välttämätöntä ei-simuloida $u(t)$ tarkaksi suureeksi ja lähettää sitten saatu tarkka määrä toimilaitteeseen myöhempää käsittelyä varten. Järjestelmä kerää jatkuvasti $y(t)$ -dataa, ja järjestelmän ohjausprosessia kehitetään myöhemmin. Tämä lukemattomia silmukkaohjauskertoja muodostaa sumean ohjauksen.

Sumean ohjausjärjestelmän peruskomponentti on sumea ohjain, ja sumea säädin koostuu pääosin neljästä osasta, joita ovat tiedon tallennus, sumea matemaattinen laskentamenetelmä, syötteen ja määrän sumea ja ulostulosuureen tarkkuus. Fuzzy-säätimen sumea matemaattinen laskentamenetelmä sisältää kolme osaa, jotka ovat suhteellinen matemaattinen laskenta, integraalimatematiikka ja differentiaalimatematiikka. Vertaamalla näiden kolmen osan vaikutuksen astetta syntetisoimaan ja lopuksi säätämään näiden kolmen osan tiedot kohtuulliselle tasolle, jotta ohjattu kohde voi tulostaa tarkasti.

Suhteellinen matematiikka

Simulaattorissa suhteellisen linkin tehtävänä on reagoida poikkeamaan välittömästi, ja ohjaustoimenpiteen suuruus riippuu kertoimesta K_p . Mitä suurempi on suhteellinen kerroin, sitä suurempi on ohjaustoiminto, sitä nopeampi sivusiirtymäprosessi ja sitä pienempi ohjausprosessin staattinen poikkeama. Mitä suu-

remppi se on, sitä helpompi on synnyttää värähtelyä ja tuhota järjestelmän staabiiliujärjestelmä. Joissakin ohjausjärjestelmissä, joissa on vähemmän hystereesiä, suhteellinen säätö on sopivampi ratkaisu, mutta monissa ohjausjärjestelmissä on ilmeinen hystereesi. Ohjausjärjestelmässä suhteellisen osan säätölevyyttä kutsutaan yleisesti suhteelliseksi kaistaksi. Suhteellisen osan säätämisen helpottamiseksi tätä tarkoitusta varten otetaan käyttöön vahvistuskonsepti. Yksinkertaisesti sanottuna vahvistus on suhteellisen kaistan käänteisluku. Mitä suurempi on ohjaimen vahvistus, sitä suurempi on säätimen lähtö samalla poikkeamalla. Jos vahvistus on esimerkiksi 5, 10 %:n poikkeama ohjaa 50 % lähdöstä. Siksi suhteellinen kaistan ja vahvistuksen välinen suhde on seuraava.

$$\text{Vahvistus} = 100 \text{ \% / suhteellinen kaista} = \text{arvo}$$

Integraalimatemaattiset laskelmat:

Sumeassa matemaattisessa laskentamenetelmässä integraalista osaa käytetään pääasiassa poikkeaman eliminoimiseen, mutta se vähentää järjestelmän vastenopeutta ja lisää järjestelmän ylitystä. Integraalivakion T_i suurentaminen hidastaa staattisen virheen eliminointiprosessia, ja poikkeaman poistamiseen tarvittava aika on myös pidempi, mutta se voi vähentää ylitystä ja parantaa järjestelmän vakautta. Kun T_i on pieni, integraalin vaikutus on voimakkaampi ja järjestelmän siirtymäajassa voi tällä hetkellä esiintyä värähtelyä, mutta poikkeaman poistamiseen tarvittava aika on lyhyt.

Differentiaalimatemaattiset laskelmat:

Differentiaaliosaa ohjataan poikkeaman vaihtelutrendin mukaan. Mitä nopeammin poikkeama muuttuu, sitä suurempi on differentiaalisäätimen lähtö, ja se voidaan korjata ennen kuin poikkeama kasvaa. Differentiaalitoiminnan käyttöönotto auttaa vähentämään ylitystä, voittamaan värähtelyjä ja tekemään järjestelmästä yleensä vakaan, erityisesti korkealuokkaisissa järjestelmissä, jotka nopeuttavat järjestelmän seurantanopeutta. Mutta eron roolin on helppo houkutella suurtaajuisia häiriöitä. Differentiaaliosa vaikuttaa selvästikin suuresti järjestelmän vakauteen.

Näiden kolmen linkin vertailun ja analyysin mukaan nämä kolme ohjausparametria voivat määrittää koko ohjausjärjestelmän edut ja haitat. Siksi näiden kolmen parametrin oikea valinta on ongelman avain. Yleisesti ottaen suhdetta käytetään pääasiassa poikkeaman "karkeaan säätöön" järjestelmän "vakauden" varmistamiseksi, ja integraali- ja differentiaalisivuja käytetään pääasiassa poikkeaman "hienosäätöön" "tarkan" varmistamiseksi.

Tällä hetkellä käytössämme on näytteenoton valvontalomake, joka lasketaan näytteenottotietojen ja kontrollisuureen välisen poikkeaman perusteella. Jatkuvan ohjauksen, kuten analogisen määrän, sijaan jatkuva lähdön ohjausmäärä. Tämän ominaisuuden takia integrointia ja eriyttämistä ei voida käyttää suoraan, vaan paikkadiskretointi on suoritettava. Paikkadiskretisointimenetelmässä:ta käytetään näytteenottojaksona, K on näytteenotonnumero ja KT vastaa jatkuvaa aikaa t . Menetelmän numeerista integrointia käytetään integraalin approksimoimiseen ja ensimmäisen asteen ohjattua eroa käytetään differentiaalisen approksimoimiseen. Erityinen kaava on seuraava:

$$t \approx KT \quad (k=0, 1, 2, \dots)$$

$$\int_0^t e(t) dt \approx T \sum_{j=0}^k e(jT) = T \sum_{j=0}^k e_j$$

$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T}$$

$$= \frac{e_k - e_{k-1}}{T}$$

Yllä olevassa kaavassa ilmaisun helpottamiseksi samanlainen kvasi- e (KT) on yksinkertaistettu E_k :ksi ja niin edelleen.

Korvaamalla yllä oleva kaava diskreetti PID-lauseke voidaan saada seuraavasti:

$$U_k = Kp [e_k + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^K e_j + Td \frac{e_k - e_{k-1}}{T}]$$

Tai

$$u_k = Kp * e_k + Ki \sum_{j=0}^k e_j + Kd(e_k - e_{k-1})$$

Kaavassa K - näytteenottojärjestysnumero, K=0, 1, 2, 3

U_k - tietokoneen lähtöarvo K:nnella näytteenottohetkellä

Ki – integraalikerroin

Kd. – erokerroin.

Jos näytteenottojakso on riittävän pieni, likimääräisellä laskennalla voidaan saada riittävän tarkkoja tuloksia ja diskreetti ohjausprosessi on hyvin lähellä jatkuvaa prosessia. Koska tämän algoritmin jokainen tulos liittyy menneeseen tilaan, laskenta edellyttää e_k :n keräämistä, työmäärä on suuri ja kumulatiivinen virhe on suhteellisen suuri. Kun järjestelmä tekee virheen, järjestelmä on helppo menettää hallinnassa, mikä heijastaa sitä, että laitteiston käytön aikana saattaa tapahtua tuotanto-onnettomuuksia, mutta todellisuus ei salli sitä. Jos sumeassa ohjausjärjestelmässä ei ole kiinteää komponenttia, se on sopivampi, mutta käytännön sovelluksissa on integroitu komponentti, joten paikkadiskretointiprosessia ei voida käyttää. Tässä voidaan käyttää inkrementaalista PID-säätöalgoritmia edellä mainitun tilanteen välttämiseksi.

Inkrementaalinen PID-säätöalgoritmi tarkoittaa, että digitaalisen säätimen lähtö on vain säätösuureen ΔU_k lisäys. Kun toimilaitteen tarvitsema ohjaussuure on inkrementaalinen eikä paikkasuureen itseisarvo, sitä voidaan ohjata inkrementaalisella PID-säätöalgoritmilla.

Inkrementaalinen HD-ohjausalgorithmi voidaan päätellä kaavan avulla. Kaavasta voidaan saada säätimen K-1:n:n omaksumisajan lähtöarvo.

$$u_{k-1} = Kp \left[e_{k-1} + \frac{T}{T_i} \sum_{j=0}^{k-1} e_j + Td \frac{e_{k-1} - e_{k-2}}{T} \right]$$

$$\Delta u_k = u_k - u_{k-1}$$

$$= k_p \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right) e_k - k_p \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right) e_{k-1} + Kp \frac{T_d}{T} e_{k-2}$$

$$= A e_k + B e_{k-1} + C e_{k-2}$$

Joten

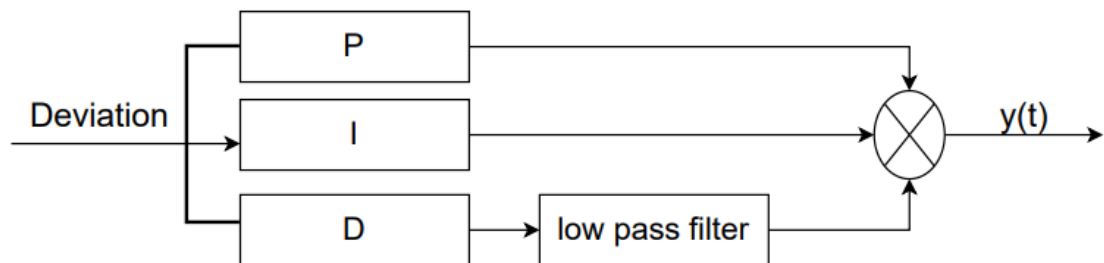
$$A = Kp \left(1 + \frac{T}{T_i} + \frac{T_d}{T} \right)$$

$$B = Kp \left(1 + \frac{2T_d}{T} \right)$$

$$C = Kp \frac{T_d}{T}$$

Yllä olevasta voidaan nähdä, että jos tietokoneohjausjärjestelmä ottaa käyttöön vakiojakson T, määritetään inkrementaaliset PID-kerran A, B ja C, kunhan kolmen mittauksen poikkeama arvot ennen ja jälkeen käyttöä, kontrollimäärä voidaan laskea suhteellisen helposti. Jokaisella tehonsäädön lisäyksellä on pieni vaikutus mekaaniseen vikaan eikä vakavia seurauksia toimituksen jälkeen. Samaa aikaan vaikutus on suhteellisen pieni vaihdettaessa manuaalisen ja automaattisen välillä. Inkrementaalisen ja paikkaohjauksen vertailun kautta inkrementaalisen PID-säädön laskentamenetelmä on sopiva. Siinä on kiinteä komponenttijärjestelmä, ja inkrementaalilaskennan määrä on paljon pienempi, joten vaikutus on hyvin ilmeinen.

Vaikka sumean ohjausjärjestelmän differentiaaliosa voi ennustaa poikkeaman ja voittaa värähtelyn, järjestelmällä on taipumus olla vakaa, mutta korkeataajuisia häiriöitä esiintyy. Järjestelmän säädön laatua ei voida parantaa, varsinkin kun PLC-ohjausjärjestelmän lähtöarvo muuttuu suuresti. Kun älykäs höyrylämmönvaihdin vaihtaa vuodenaikoja, sähköinen höyryventtiili vaihtelee suuresti, mikä tekee siitä helppoa, että järjestelmä ei toimita lämpöä lämmitysjärjestelmään syklin aikana. Oikeassa arvossa esiintyy suurtaajuisia häiriöitä. Tässä käytetään epätäydellistä differentiaalista PID-laskentamenetelmää, sumean ohjausjärjestelmään lisätään ensimmäisen asteen alipäästösuodatin, kuten kuvassa 20.

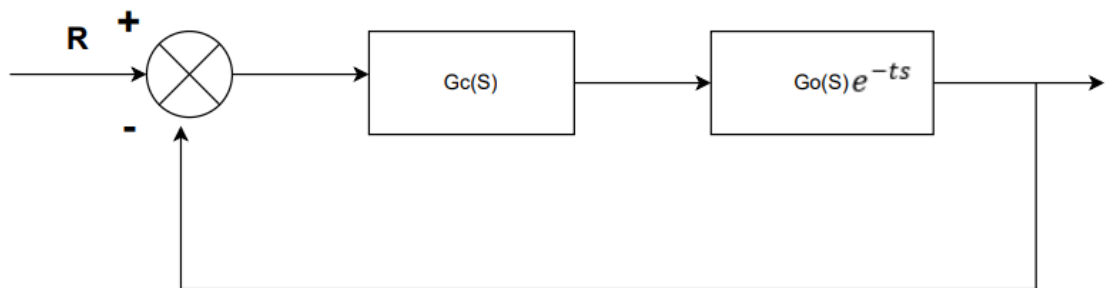


Kuva 20. Ensimmäisen asteen alipäästösuodattimen rakennekaavio

4.2 Smithin ennakoiva ohjaus

Älykkään kuumavesilämmön vaihtoyksikön ensiöpuoli vaihdetaan höyryn muodossa ja toissijainen puoli kuumaan veteen laitoksessa käytettävien laitteiden syöttämiseksi. Koska höyrypuolen säätöventtiilin herkkyys ja siepattu lämpötila-arvo ovat jäljessä järjestelmän todellisesta lämpötilan muutoksesta. Samalla lämmönsyötöllä on suuri inertiaalio, ja lämmitysjärjestelmästä tulee epätyypillinen epälineaarinen järjestelmä. Tämä säädely lämpötila ei voi ajoissa ja oikein heijastaa järjestelmän aiheuttamaa lämpötilahäiriötä, joka johtaa lämmitysjärjestelmän lämpötilaan tai viivästyy siitä, mikä johtaa erittäin huonoon järjestelmän vakauteen. Tässä suhteessa Smithin ennakoivan ohjaustekniikan käyttöönotto on parempi kuin yksinkertainen ohjausmenetelmä.

Smithin ennustava kompensointiohjain on malliin perustuva ohjausalgoritmi, joka kompensoi puhtaan hystereesi-ilmiön. Se voi ratkaista puhtaan hystereesi-järjestelmän paremmalla vakauden hallinnan avulla. Yleinen lämpötilansäädin on esitetty kuvassa 2.29, kuvan järjestelmän lähtötoiminto on $G_C(s)$, ohjattavan kohteen siirtofunktio on siirtofunktio $G_0(s)e^{-ts}$, joka ei sisällä puhdas hystereesi osa ohjatussa objektissa, ja on hystereesin siirtofunktio e^{-ts} ohjausobjektissa.

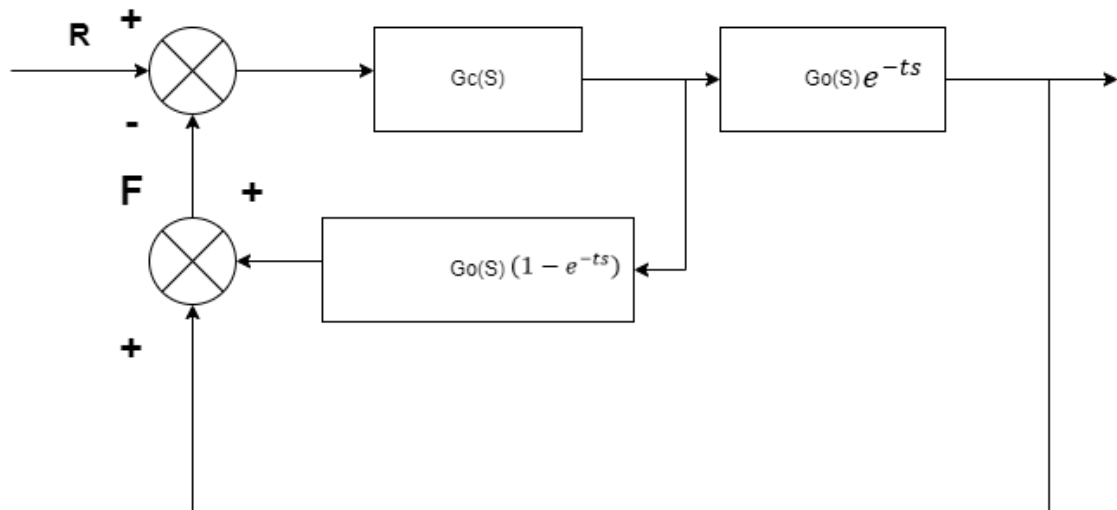


Kuva 21. PID-säädön vuokaavio

Kuvan 21 mukaan älykkään lämmönvaihtimen lämpötilansäätöjärjestelmän suljetun silmukan siirtofunktio voidaan saada:

$$G(s) = \frac{G_c(s)G_0(s)e^{-ts}}{1 + G_c(s)G_0(s)e^{-ts}}$$

Smithin estimointiprosessin tarkoituksena on suorittaa estimointikompensointi dynaamisten ominaisuuksien alla olennaisen häiriön alaisena siten, että viivästetty lämpötilan lisäsäätö voi heijastua ohjaussuureen mahdollisimman paljon, jotta ohjaus voi toimia etukäteen, mikä vähentää merkittävästi ylitystä ja nopeuttaa säätöprosessia. Sen ohjausperiaaterakenne on esitetty kuvassa 22.

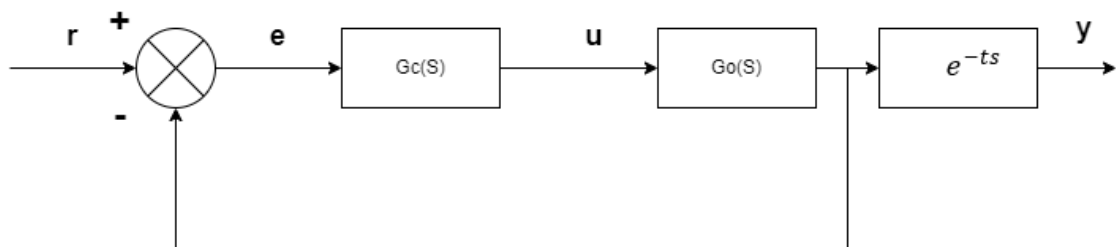


Kuva 22. Smith ennakoivan ohjauksen vuokaavio

Kuvasta voidaan nähdä, että Smithin estimoidun kompensattorin siirtofunktiio on

$$F = UGoe^{-ts} + UGo(1 - e^{-ts}) = UGo(s)$$

Kun Smith on arvioinut ja kompensoinut, sen ekvivalenttiperiaate on esitetty kuvassa 23



Kuva 23. Smithin ennustavan korvauksen ekvivalenssiperiaate

Kun Smith-kompensaatio on asetettu, takaisinkytkentäsignaalissa F ei ole aika-viivettä, se liittyy vain $G_0(s)$ - ja U -arvoihin, ja järjestelmällä on rooli kompensoinnissa. Tällainen ennakoiva ohjausalgoritmi voi tukahduttaa järjestelmän ylitysilmiön ja parantaa sen dynaamista suorituskykyä järjestelmässä. Samaan aikaan

suhteellisen kertoimen K lisäys sumeassa säätimessä ei aiheuta liiallista ylitysilmiötä.

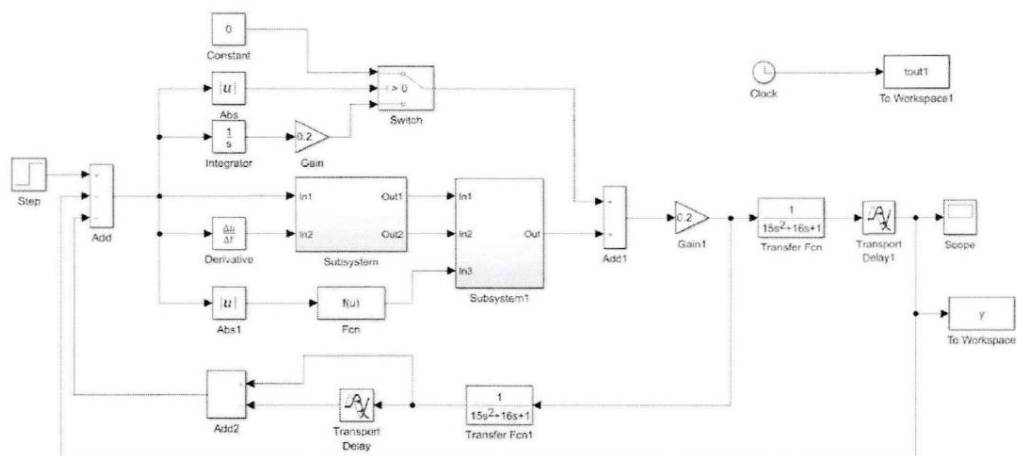
4.3 Älykkään ohjausjärjestelmän perustaminen ja simulointi

Älykkään kuumen veden lämmönvaihtoyksikön ensiöpuolen tuloaukko on 150 °C höyryä, 100 °C kondensoitua vettä, toissijaisen puolen tulo on 50 °C, ulostulo on 60 °C kuumaa vettä. Säädin syöttää lämpötilapoikkeaman ja poikkeaman muutosnopeuden ja käyttää virhettä integraattorikaavion esittelyyn.

Lämmönvaihtimen dynaamisten ominaisuuksien mukaan voidaan saada lämmönvaihtimen matemaattinen malli:

$$G(s) = \frac{1}{(s + 1)(15s + 1)} e^{-15s}$$

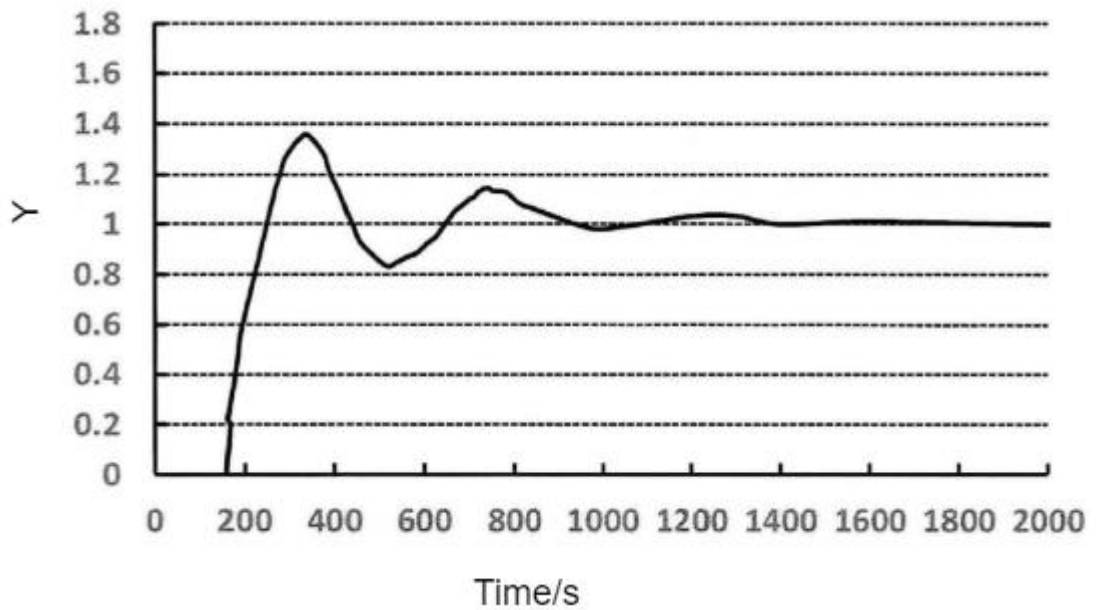
Yllä olevan matemaattisen mallin mukaan simulaation rakennekaavio muodostetaan MATLAB 7.1/Simulink 6.0 -ympäristössä seuraavasti:



Kuva 24. Simulaatiokaavio

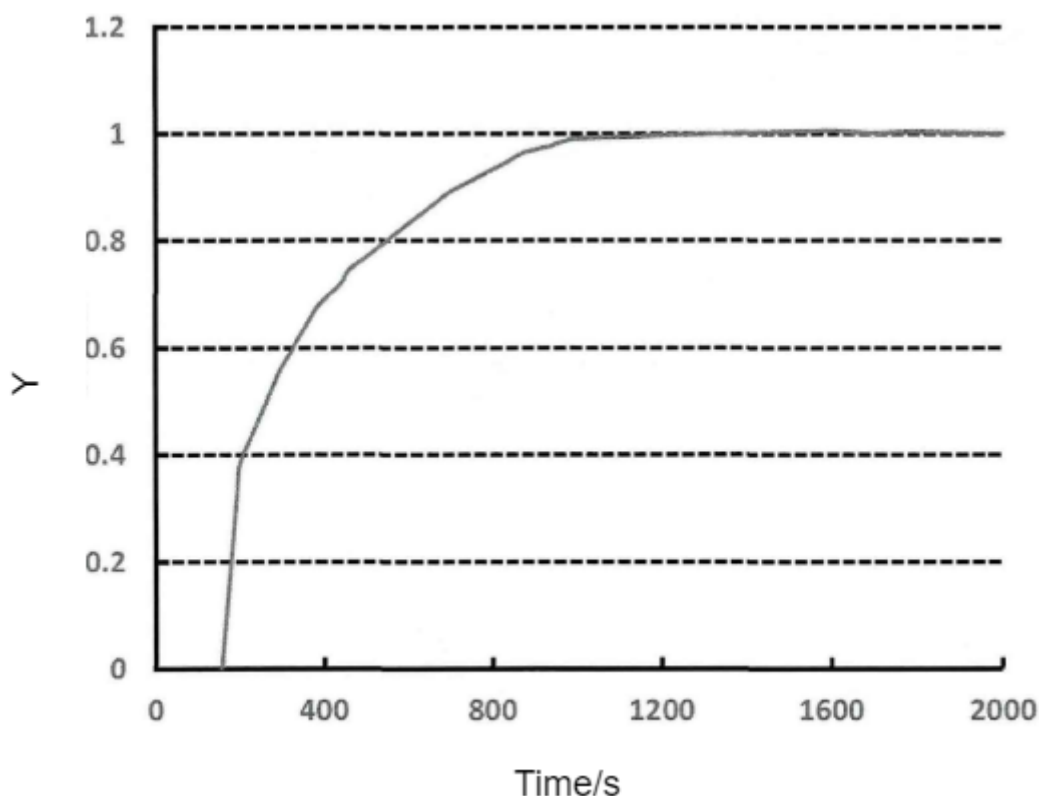
Simuloitaessa simulointiparametrien asettelulla ja ratkaisijan valinnalla saadaan hyvä ohjauslaatu. Kaikki parametrit on asetettava ennen simulaation ohjaussi-

mulaatiota. Kohteen hitausaika ja puhdas viiveaika määritetään ylösnousukäyrällä ja PID-parametrit ovat $K_P=0,3$, $T_i=360$ s ja $T_d=90$ s. Lämmönvaihtimen ohjausjärjestelmän askelvasteen simulointitulokset näkyvät kuvassa 24.



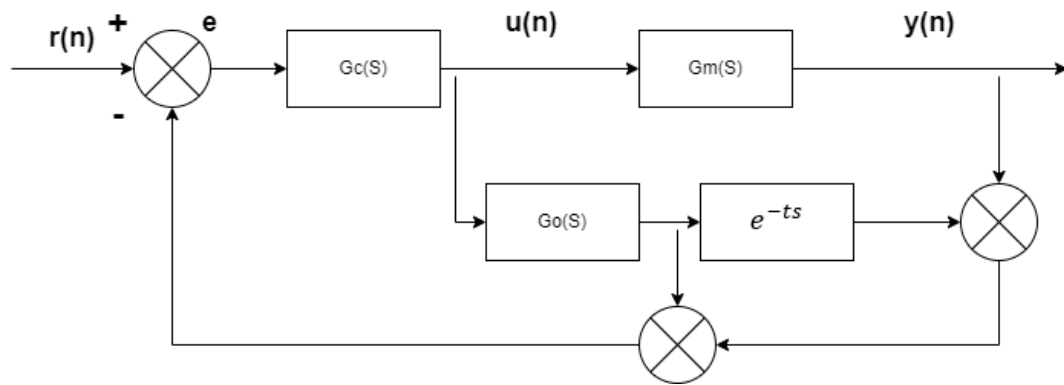
Kuva 25. PID-säädön askelvastekäyrä

Kuvasta 24 voidaan nähdä, että sumealla älykkäällä PID-säätöjärjestelmällä on suuri ylitysilmiö monta kertaa sen jälkeen, kun se on altistettu lämpötilan muutoksille, ja se värähtelee edestakaisin asetuspisteessä. Siksi järjestelmä käyttää Smithin ennustajaa, ja ohjauskäyrä lähestyy vähitellen ohjauspistettä, kuten kuvassa 25.



Kuva 26. Smithin ennustajan vastekäyrä.

Kun tarkkaillaan Smithin ennustavan säätimen kolmea parametria: vahvistusparametria, aikavakiota ja kuollutta aikaa, on havaittu, että Smith-ennustusohjaimen mallin tarkkuudessa viiveajan tarkkuudella on suurin vaikutus järjestelmään, jota seuraa vahvistus ja lopuksi aikavakio. Tämä projekti parantaa ensin viiveparametreja. Vaikutusasteen vähentämiseksi säädin viedään järjestelmään suunnittelemaan 5 %:n virhe, jotta järjestelmällä on enemmän vakautta ja nopeaa nousutilaa [27]. Parannettu ennakoiva ohjain on esitetty kuvassa 26.

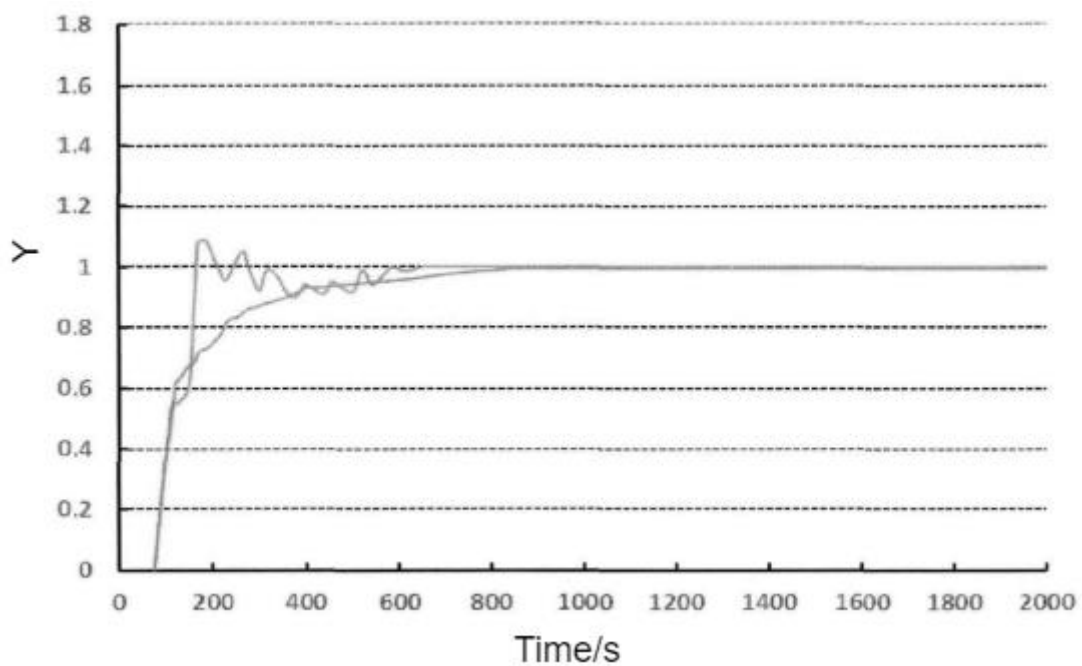


Kuva 26. Parannettu ennakoivan ohjaimen kaaviokehys.

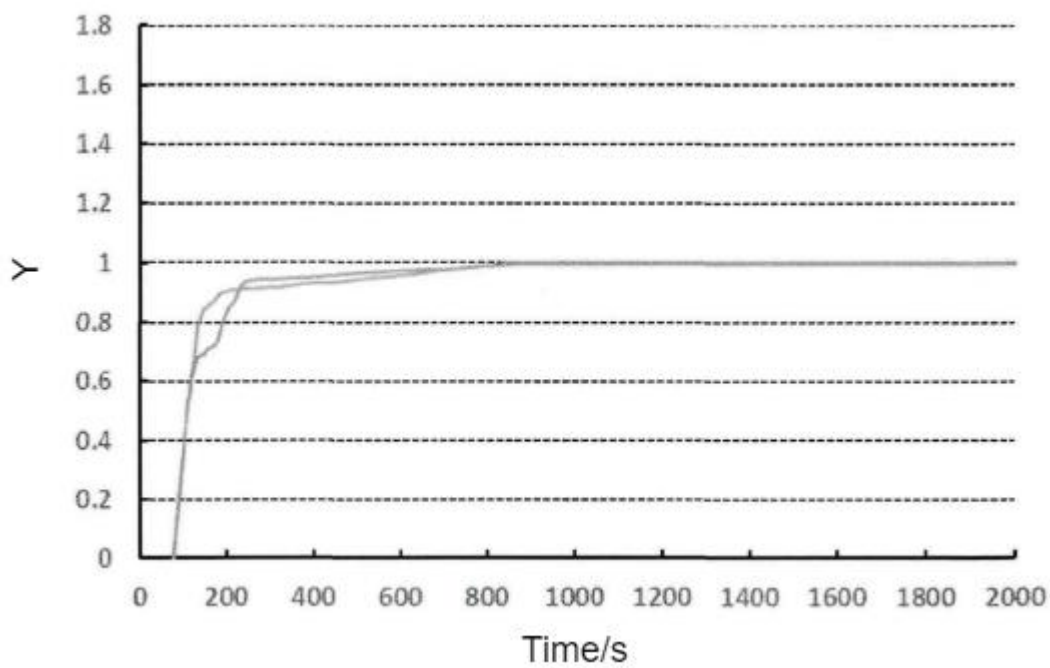
Järjestelmässä käytetty simulaatiomalli on ensimmäisen asteen inertia-aikavii-
vejärjestelmä:

$$G(s) = \frac{1}{(s + 1)(15s + 1)} e^{-15s}$$

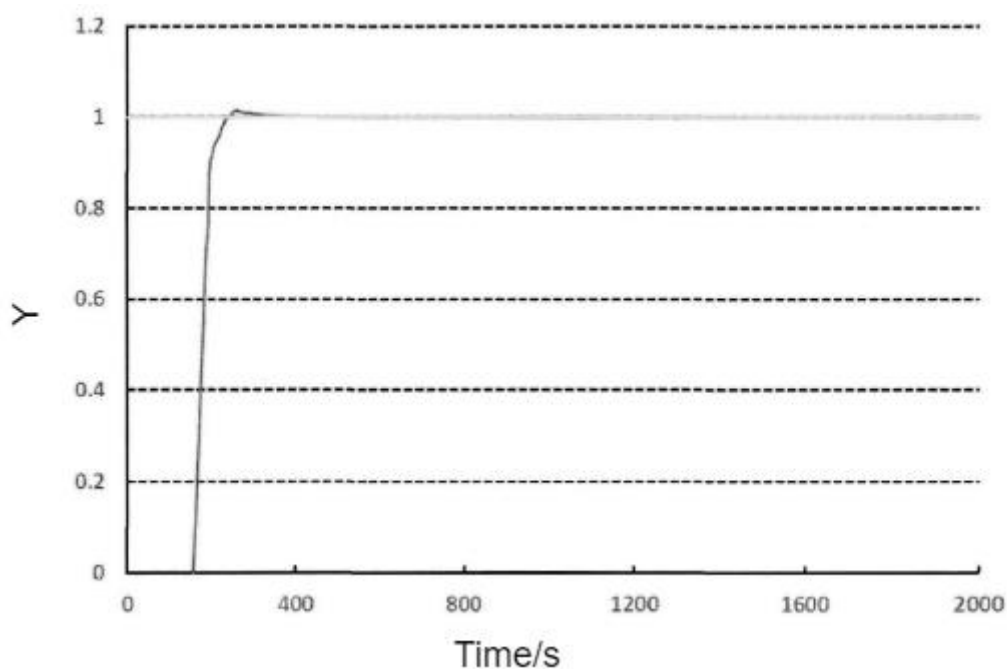
Kun kolme parametria vaihtelevat 1-2 yksikköä 20 % etäisyyden yksikkönä, otetaan $t/T_m=0.8$ ja $T/T_m=1.2$ vaikutusten vertaamiseksi, kuten kuvista 2.26, 2.27 ja 2.28 esitetään. Se parannettu Smithin ennakoiva ohjain on vakauden ja järjestelmäintegraation suhteen parempi kuin perinteiset. Parantaa järjestelmän nousuaikaa. Parametrit muuttuvat ajan myötä Smithin ennustavassa ohjainmallissa. Vältetään näytteenoton ohjauksen aiheuttamaa järjestelmän epävakautta ja tavanomaisen Smithin ennustajan ohjauksen aiheuttamaa mallin epäsopivuutta.



Kuva 27 $t/t_m = 0.8$ simulaatiotulokset.



Kuva 28 $t/t_m = 1.2$ simulaatiotulokset.



Kuva 29 Parannetun Smithin ennustavan ohjaimen kokeelliset tulokset.

Kuten kuvasta 29 näkyy, ylitystä ohjataan alueella 0,955, eikä ilmeistä värähtelyä ole sen jälkeen, kun järjestelmä lähestyy vakautta, ja virheen tarkkuus on myös alle 0.5 %, mikä täyttää ohjausvaatimukset ja säätöaikavaatimukset.

Suunnittelun jälkeen säädintä sovelletaan todelliseen lämpötilan säätöjärjestelmään ja saadaan hyvä ohjausvaikutus. Ohjausaika lyhenee järjestelmän sallitun ylityksen tapauksessa. Eli lyhennetään järjestelmän nousuaikaa.

Simulaatiotulosten mukaan parannetun Smithin ohjaustekniikan lisääminen älykkääseen sumeaa ohjaimeen voi saavuttaa hyviä ohjaustehosteita. Tärkeimmät vaikutukset näkyvät järjestelmän nopeassa vasteajassa, suurempien ylitysten välttämisessä ja lyhyessä stabilointiajassa häiriön jälkeen, ja järjestelmällä on loistava mukautumiskyky ja häiriötorjuntakyky.

5 Yhteenveto

Lääketeollisuus kukoistaa Kiinassa, ja lääketuotannon prosessissa on oltava ilmastointilaitteet, jotka käyttävät lämpöä tuotantopajan ilman käsittelyyn tuotantopajan lämpötila- ja kosteusvaatimusten ylläpitämiseksi. Pysin suunnittelemaan sarjan älykkäitä lämmönvaihdinyksiköitä, joilla on korkea hyötysuhde, energiaa säästävää ja ympäristön saastumista vähentävä ja joka ylläpitää ilmastointilaitteiden energiankulutusta ja samalla vähentää tehtaiden älykkäiden lämmönvaihdinyksiköiden rakennusala. Tämä on kysymys, jota monet lääketehaat pohtivat jatkuvasti. Tässä artikkelissa kunnan toimittamaa höyryä käytetään jatkuvasti energianvaihtoon ilmastointilaitteen kuuman veden kiertojärjestelmän kanssa. Pohdin, kuinka käytetään parannettua sumeaa ohjausteoriaa energianvaihtoprosessin aikana vastaamaan lämpötilan, paineen ja virtauksen muutoksiin kuuman veden kiertojärjestelmässä. Siksi PLC-ohjaukseen perustuva älykäs lämmönvaihtoyksikkö on suunniteltu vastaamaan ilmastointijärjestelmän normaalia toimintaa. Tässä artikkelissa älykäs lämmönvaihtoyksikkö on suunniteltu perustuen ilmastointilaitteen kysyntään Johnson & Johnsonin tehtaalla Suzhoussa.

Tämän artikkelin ensimmäisessä osassa kuvataan älykkäiden kuumavesilämmönvaihtolaitteiden muutoksia ja kehitystrendejä viime vuosina. Lämmönvaihtimien tuotannon tehokkuuden parantamiseksi ja työpajojen käyttöalueen vähentämiseksi 2000-luvun ihminen keskittyy automaation ohjaustekniikkaan ja parantaa jatkuvasti lämmönvaihtojärjestelmiä. Artikkelissa mainitaan myös tämän hankkeen tausta ja syy sekä esitetään tämän artikkelin tutkimussuunta.

Tämän jälkeen suunnittelen lämmönvaihtoyksikön vuokaaviota ilmastointilaitteen ilmankäsittelyvaatimusten mukaisesti ja valitsen kiertovesijärjestelmän lämpötilan ja paineen säätömenetelmän vuokaavion mukaisesti. Samalla ratkaisen levylämmönvaihtimen valinnan ja sähköisen ohjauksen vuokaavion laitteissa.

Älykkään lämmönvaihtoyksikön tehokkaan ohjauksen saavuttamiseksi tässä artikkelissa ehdotetaan sumeaa säätömenetelmää kuuman veden kiertojärjestelmän lämpötilan, paineen ja muiden parametrien parantamiseksi, minkä jälkeen se parantaa tätä sumeaa ohjausmenetelmää lisäämällä inkrementaalista epätäydellistä laskentaa. , mikä stabiloi järjestelmän lämpötilan, paineen ja paineeron säädön. Tältä pohjalta otettiin käyttöön Smithin esiohjausjärjestelmä, esiohjausmenetelmä optimoitiin varmistamaan entisestään paikan päällä olevan älykkään lämmönvaihdinlaitteen toimintavaikutus.

Käyttämällä Siemens S7-200smart PLC:n ohjelmointitoimintoa kootaan ohjausohjelmasarja koko laitesarjan automaattisen ohjauksen ja järjestelmän etävalvonnan toteuttamiseksi. Tämä laitesarja on otettu käyttöön ja testattu, ja kaikki toimintaparametrit ovat saavuttaneet odotetut tulokset.

Älykkään lämmönvaihdinyksikön onnistunut suunnittelu ratkaisee yrityksille tehokkaan tavan käyttää lämmönlähteitä ilmastointilaitteiden lämmön toimittamiseen ja pienemmän rakennusalan viemiseen. Lisäksi tämä lähestymistapa voi myös lyhentää huoltohenkilöstön valvontatyöaika ja pelastaa huoltohenkilöstön kokonaan aiemmalta raskaalta työltä.

Lähteet

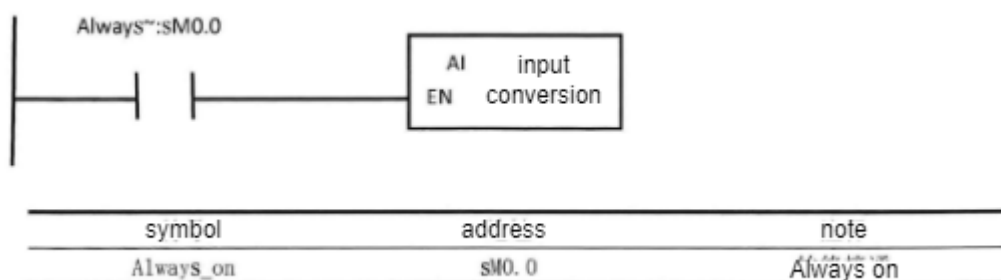
- 1 Tutkimusraportti Kiinan tehokkaiden ja älykkäiden lämmönvaihtolaitteiden kehitystrendistä ja tulevaisuuden strategiasta [R]. 2018–2023. Academia Sinica. Sivut: 5–10.
- 2 Gan Xiaolin. PLC:hen perustuvan hissisimulaatioohjausjärjestelmän suunnittelu [D]. Chengdu: Kiinan elektroniikkatieteen ja teknologian yliopisto, 2016.
- 3 ST-Käsikirja 22 Kiinteistöjen valvomojärjestelmät. 2017. Espoo: Sähköinfo Oy.
- 4 Siemens AG, 2013. S7-1200 Motion Control V12 SP1. 10 September 2013. <http://support.automation.siemens.com/WW/llis-api.dll?func=cslib.csinfo&objId=803 84402>. Luettu 2.1.2014.
- 5 Siemens AG. Fine-tuning. TIA Portal Information System. Luettu 14.2.2014.
- 6 Jari Olli, 2011. Control Engineering [Lecture Material] Helsinki University of Applied Sciences, unpublished.
- 7 Siemens AG, 2013, S7-1200 Easy Book. <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objId=34612486&subtype=133300&caller=vie>. Luettu 2.1.2014.
- 8 Shao Jie. Sumea ohjaustaaajuusmuunnosnopeuden säätöjärjestelmä, joka perustuu PLC:hen [D]. Jining: Electric Manufacturing, 2005. (000) 005:24–25.
- 9 Zhang Haijiao. PLC-pohjaisen sisäilman kosteudensäätöjärjestelmän suunnittelu ja tutkimus [D]. Jiangsun yliopisto, 2016, 12.
- 10 Wang Xiaoming. PID-säädön säädin napsautusnopeuden säätämiseen [R]. Beihang University Press, 2006.
- 11 Yao Wei. PID-ennusteeseen perustuva koneuunin koordinoitiohjaus [D]. Journal of Hunan University of Science and Technology, 2019, 34(4) Sivut: 83-89.
- 12 Xia Yuan. Älykkääseen ohjaustekniikkaan perustuvien lämmönvaihtimen ohjausjärjestelmien tutkimus [J]. Pienjännitesähkölaitteet, modernit rakennussähkötuotteet. 2007, sivut: 5–9.

- 13 Shang Zhiwu, Li Cheng. Lämpötilan säätöjärjestelmä, joka perustuu parannettuun Smith Prediktor -säätimeen [J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2020, 39(1) Sivut: 77-83.
- 14 Feng Lichuan, Dai Linghan. Itsesopeutuvan sumean PID-säädön, joka perustuu Smithin arvioon ja kompensointiin, käyttö lämmönvaihtimen lähtö-lämpötilan säädössä [J]. School of Mechanical and Electrical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, 2006, 11, sivut: 34-39.
- 15 Yin Chengqiang. Analytical design of improved smith predictor controller [J]. Chemical Automation and Instrumentation, 2010, 37(11): 28-30.
- 16 Zhang Jun, Luo Dayong. Smith estimation time-delay compensation method for networked control system [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2012, 17(5): 34-38.
- 17 Huang Can, Gui Weihua, Yang Chunhua, etc. Decoupling smith control for multivariable time-delay processes [J]. Control Theory and Applications, 2010, 27(10): 1393-1397.
- 18 Xue Yan. Robust stability analysis of time-delay dependence [J]. Journal of Taiyuan Normal University, 2019.18(4): 30-34.
- 19 Zhang Ping, Yuan Mingzhe, Wang Hong. Adaptive fuzzy smith control for large time-delay systems [J]. Computer Simulation, 2006, 23(9): 87-91.
- 20 Lan Ge, Liu Wenping. Research on Intelligent Water Supply Control System-Based on PLC and Kingview [J], Applied Technology, 2020: 76-78.
- 21 Chen Huimin, Yu Fuhua. MCGS touch screen and Siemens S7 series PLC Ethernet communication [J], Electromechanical Engineering Technology 2019, 48 (10): 142-144.

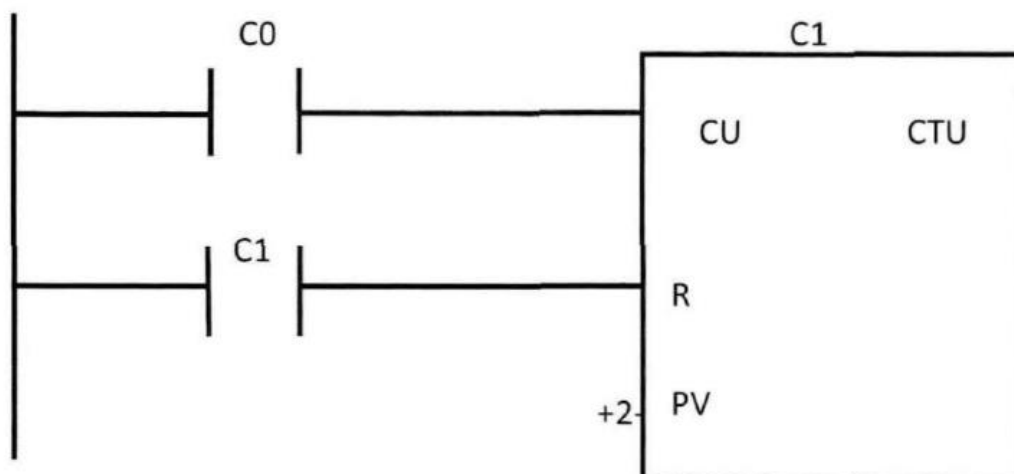
Liitteet

SMART200 älykäs ohjauslämmönvaihdinohjelma

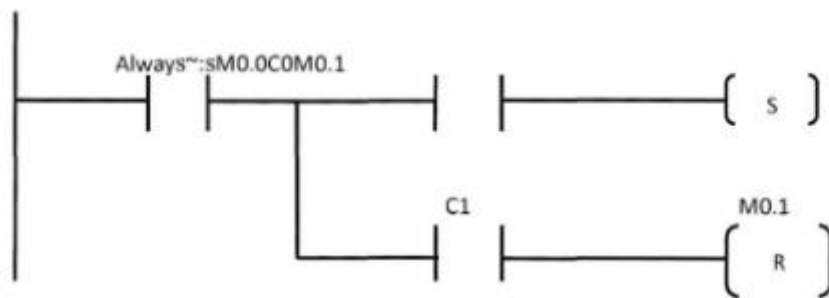
Ohjelma 1



Ohjelma 2



Ohjelma 3



symbol	address	note
Always on	sM0.0	Always on

