

Ydinvoima-automaatio ja laadunvarmistus: ohjelmointi

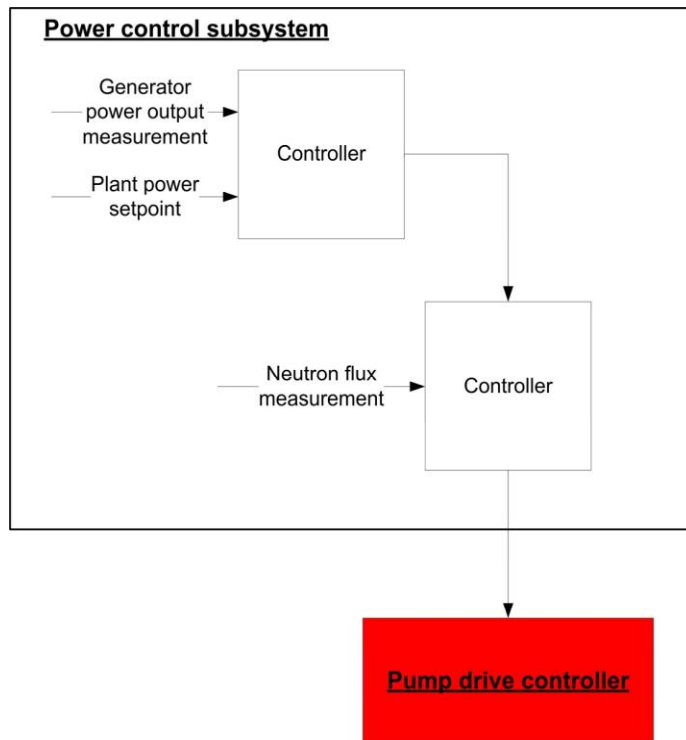
Pisteytys

- 7 testitapausta
- 2 reflektiokysymystä
- jokaisesta saa 2p eli yhteensä 18p.

Case kuvaus: kiehutusvesireaktorin pääkiertopumppujen automaatio

Polttoainesauvojen kuumuus höyrystää vettä kovasta paineesta huolimatta. Jäähdyttimen virtausta lisäämällä voidaan vähentää höyryn osuutta. Kiehutusvesireaktorissa tätä osuutta kutsutaan aukko-osuudeksi. Korkeampi aukko-osuus heikentää neutronien moderointia ja siten vähentää fissioiden lukumäärää. Näin ollen reaktorin teho on verrannollinen jäähdyttimen virtaukseen, mikä puolestaan on verrannollinen pääkiertopumppujen taajuusmuuntajien tehoon. Täten tätä tehoa käytetään reaktorin tehon säätämiseen sekä normaalitilanteissa että hätä tilanteissa.

Kuvassa näytetään, että pääkiertopumppujen nopeuden asetusarvo saadaan tehonsäätöjärjestelmän ulostulosta. Tehonsäädössä käytetään kaskadisäätöä, eli ensimmäisen säätimen ulostulo on seuraavan säätimen asetusarvo. Neutronivuo muuttuu huomattavasti nopeammin kuin generaattorin teho, jolloin kaskadisäätö on mielekäs. Tällä kurssilla ei kuitenkaan mennä syvemmälle säätöön vaan keskitytään logiikkaohjelmointiin. Tehtävänä on toteuttaa kuvan punainen laatikko. Mycoursesista voit ladata Simulink projektin, jossa on jo valmiina yksinkertaistettu tehonsäätöjärjestelmä, joka ei ole riittävän tarkka säätimien virittämiseen, mutta joka mahdollistaa pääkiertopumppujen automaation logiikkatestauksen. Ohjelmistotestauksessa on yleinen tekniikka, että kun testataan yhtä moduulia, muista moduuleista on yksinkertaiset, testauksen tarpeisiin riittävät toteutukset.



Testausfilosofia: iteratiivinen kehitys ja testaus

IT alalla yleinen ja hyväksi todettu kehitysmenetelmä on valita osajoukko vaatimuksista työn alle seuraavaan iteraatioon, niin että päästään pian testaamaan tehty työ ja löydetään virheet varhaisessa vaiheessa. Vaatimuksien perusteella laaditut testit ovat keskeisin osa laadunvarmistusta ja iteratiivisen kehityksen tarkoitus on välttää ongelmat jotka syntyvät siitä, että laadunvarmistus tehdään vasta lopussa. Virheiden korjaamisen kustannus kasvaa eksponentiaalisesti mitä myöhemmässä vaiheessa ne havaitaan.

Iteraatio 1

Vaatus: Toteuta pääkiertopumppujen normaalitilanteen ohjauslogiikka, jolloin taajuusmuuntajan jännite on suoraan verrannollinen tehonsäätöjärjestelmän nopeusasetusarvoon.

Simulink toteutus: Toteuta vaatimus stateflow charttiin – Simulink ympäristössä ei ole skaalausta, joten tämä on triviaali: OutVoltage=SpeedSetPoint. Luo 'Nominal' tila, jonne lisää tämän toiminnallisuuden. Tämä iteraatio on triviaali, mutta halutaan varmistaa, että ympäristö toimii ennen kuin kirjoitetaan enemmän koodia-

Käytetyt rajapinnat: SpeedSetPoint (input), OutVoltage (output)

Testitapaus 1.1:

Skenaario: Tehonsäätöjärjestelmä ajaa SpeedSetPoint rampilla 0-100.

Odotettu tulos (jonka toteat Simulink scopella): OutVoltage seuraa SpeedSetPointia. Käyrä ei ole ihan tasainen, kun simulaattoriin on lisätty häiriötä.

Ota kuvakaappaus toteutuksesta ja ulostulosta. Valmistaudu esittelemään kuvat tehtävän palautuksen yhteydessä.

Iteraatio 2

Järjestelmäkuvaus: Reaktorin hätäpysäytyksen (scram) aikana pumppujen teho ajetaan rampilla alas, kunnes pumput ovat minimikierroksissa. Näin vähennetään reaktorin tehoa ja kuitenkin vältetään polttoainesauvojen pinnan kuivahtaminen, mikä voisi johtaa sulamiseen ennen kuin tilanne saadaan hallintaan säätösauvojen avulla. Tämän takia pääkiertopumppujen automaatiojärjestelmä on turvallisuuskriittinen järjestelmä.

Vaatimukset: Järjestelmän tulee voida reagoida reaktorin suojausjärjestelmän lähettämään scram-tapahtumaan ja välittömästi rampittaa ulostulonsa alas, kunnes minimikierroksiin tarvittava taso (minRPM) on saavutettu. Tämän jälkeen pidetään MinRPM taso.

Simulink toteutus: Tarvitaan seuraavat tilat: Nominal, RampingToMinRPM and MinRPM

Transitio Nominal -> RampingToMinRPM liipaistaan, kun sisääntulo EmergencySignal on tosi

RampingToMinRPM tilassa voidaan vähentää OutVoltagesta 5 jokaisella askeleella

Transitio MinRPM tilaan otetaan, kun OutVoltage on minimikierroksia vastaavalla tasolla, mikä tässä harjoituksessa on 20

Uudet rajapinnat: EmergencySignal input Boolean

Testitapaus 2.1:

Skenaario: Reaktorin turvajärjestelmä lähettää scram tapahtuman

Odotettu tulos: Järjestelmä siirtyy RampingToMinRPM tilaan, jossa OutVoltage rampitetaan alas, kunnes MinRPM taso on saavutettu, minkä jälkeen pidetään tämä taso. *HUOM: tässä käytetään valkolaatikkoperspektiiviä (joka selitettiin lukutehtävässä)*

Ota kuvakaappaus toteutuksesta ja ulostulosta. Valmistaudu esittelemään kuvat tehtävän palautuksen yhteydessä.

Iteraatio 3

Vaatimukset: Operaattori voi kuitata scram- tapahtuman D1 pituisen viiveen jälkeen. Normaalitilaan voidaan palata sen jälkeen, kun molemmat ehdot toteutuu:

- operaattori on kuitannut scram tapahtuman
- pumpit ovat saavuttaneet MinRPM tason

Simulink toteutus: Nyt pidetään yllä kahdenlaista tilatietoa:

1. ulostulojännitteen tila: Nominal, RampingToMinRPM tai MinRPM
2. Scram tai NoScram.

Scram tilassa on alitilat Unacknowledgeable ja Acknowledgeable. Näiden välinen transiio laukeaa kun viive D1 on kulunut. Aseta viiveeksi 60 sekuntia.

Miten tämä mallinnetaan tilakoneella? 1. voidaan mallintaa niin että järjestelmä on tasan yhdessä tilassa koko ajan. Myös 2 voidaan mallintaa näin. Joten 1 ja 2 mallinnetaan rinnakkaisina tiloina, joiden sisällä on yllämainitut tilat:

1. OutVoltageControl
2. ScramState

Transitioehdot OutVoltageControl tilassa voi edellyttää että ScramStaten sisällä ollaan tietyssä tilassa kuten NoScram. Transitioehdot syntaksi on: [in(ScramState.NoScram)]

Uudet rajapinnat: `OperatorScramAck` input Boolean

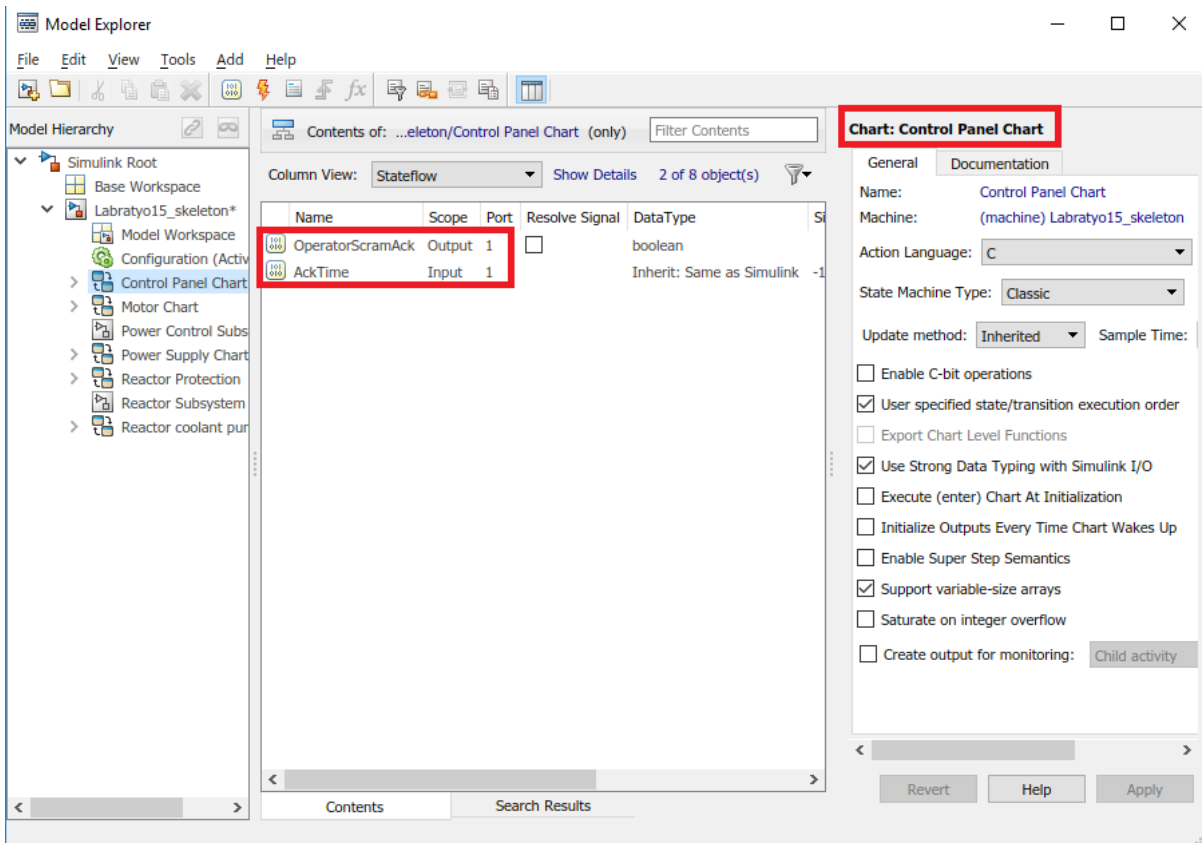
Testitapaus 3.1

Skenaario: Ack kuittaus tulee ennen D1:tä (esim ajanhetkellä $t=80$). Voit muuttaa kuittausta siirtymällä tilakoneen ylimmälle tasolle (klikkaa vasemmalta ylhäältä Labratyö15_skeleton) ja vaihtamalla constant laatikon arvoa, joka on kytketty AckTime sisääntuloon Control Panel Chartissa.

Odotettu tulos: sama kuin 2.1

Mikäli tilakoneen nimet eivät näy (ovat laatikkoita), pystyt katsomaan kyseisen tilakoneen nimen ja IO:t klikkamalla tilaa oikealla hiiren näppäimellä ja valitse (ylimpänä listassa) "explore" tai valitsemalla tilan ja painamalla alla olevaa ikonia. Avautuvan ikkunan kuva alla.





Ota kuvakaappaus toteutuksesta ja ulostulosta. Valmistaudu esittelemään kuvat tehtävän palautuksen yhteydessä.

Testitapaus 3.2

Skenaario: Ack kuittaus tulee D1 jälkeen (esim ajanhetkellä $t=120$)

Odotettu tulos: sama kuin 3.1 Ack tapahtumaan asti. Tämän jälkeen OutVoltage alkaa välittömästi seurata tehonsäätöjärjestelmän asetusarvoa. (Oikeassa reaktorissa tämä ei tapahtuisi välittömästi, mutta tämä on logiikkatestauksen kannalta tarkoituksenmukainen testiympäristö).

Ota kuvakaappaus toteutuksesta ja ulostulosta. Valmistaudu esittelemään kuvat tehtävän palautuksen yhteydessä.

Iteraatio 4

Järjestelmäkuvaus: jos kaikista varotoimista huolimatta taajuusmuuntajien sähkönsyöttö menetetään, on hyvä olla varavoimalähde, jonka avulla voidaan rampittaa pumpput hallitusti alas ja välttää pumppujen äkkipysäytys. Tässä tapauksessa käytetään huimamassaa (flywheel), joka on pyörivä massa, jonka liike-energia voidaan muuntaa sähköenergiaksi. Kun sähkönsyöttö on normaali, huimamassa kiihdytetään normaaliin nopeuteen. Lisätietoa (ei tarvitse lukea tämän kurssin suorittamiseksi):

http://en.wikipedia.org/wiki/Flywheel_energy_storage

Vaatimukset:

- Kun sähkönsyöttö on normaali (InVoltage=100), huimamassa (flywheel) ladataan kunnes sen kierrosluku (FlyRPM) saavuttaa maksimiarvonsa 100.
- Kun sähkönsyötön jännite vajoaa normaalilukeman alle (InVoltage<100), huimamassaa käytetään energialähteenä, eli FlyRPM asetusarvoa lasketaan. (Tässä simulointiympäristössä ei ole anturia huimamassalle, joten FlyRPM kierroslukua muutetaan inkrementaalisesti jokaisella Simulink askeleella).
- Kun FlyRPM on 0, järjestelmä siirtyy FlyLost tilaan, josta se ei toivu. Toisin sanoen huimamassaa ei aleta ladata, vaikka sähkönsyöttö myöhemmin normalisoituisi.
- Jos huimamassaa käytetään, OutVoltage rampitetaan alas MinRPM:ään. Jos se on MinRPM tasolla ja huimamassaa edelleen käytetään, pumpput rampitetaan edelleen alas nolnaan.
- Scram tapahtuman jälkeen siirtymä normaaliin tehonsäätöön on mahdollista vain, jos sähkönsyöttö on normaali ja Scram on kuitattu normaalisti.
- Jos ramppi alas MinRPM tasolle on aloitettu, se pitää suorittaa loppuun, vaikka sähkönsyöttö (InVoltage) palaa normaalitasolle.
- Jos pumpput on rampitettu pysähdyksiin, automaatio ei voi enää käynnistää niitä.
- Jos pumppuja ollaan rampittamassa MinRPM tasosta alaspäin ja jos sähkönsyöttö normalisoituu Scram tapahtuman ollessa päällä, siirrytään ajamaan pumppuja MinRPM nopeudella.
- Jos sekä sähkönsyöttö ja huimamassa on menetetty, pumppujen ohjaussignaali (OutVoltage) asetetaan nolnaan siten että automaatio ei voi enää toipua siitä.

Simulink toteutus:

Uudet rajapinnat: InVoltage (input)

Lisätään kolmas rinnakkainen tila "Fly" OutVoltageControl ja ScramState rinnalle. Fly:ssaon seuraavat tilat: FlyCharging, UsingFly, FlyLost.

OutVoltageControl tarvitsee 2 uutta tilaa: RampingToZero, DeadStop. Jotkut transition menee kaikista 4:stä muusta tilasta DeadStop:iin. Transitioiden määrän vähentämiseksi ja luettavuuden parantamiseksi, tee Alive supertila seuraavien tilojen ympärille: Nominal, RampingToMinRPM, MinRPM, RampingToZero. Tee tämä ennen kuin lisäät transitioita.

Testitapaus 4.1:

Skenaario: Tehonsyöttöjärjestelmä antaa normaalia pienemmän InVoltage arvon ja palaa normaaliksi ennen kuin pumppujen MinRPM nopeus saavutetaan. (esim VoltageDropTime=20, RecoveryTime=7)

Odotettu tulos: OutVoltage aletaan rampittaa heti kun InVoltage notkahtaa ja palaa takaisin setpoint-ohjaukseen kun InVoltage palaa normaaliksi. Kuitenkin ramppi suoritetaan aina MinRPM tasolla asti.

Ota kuvakaappaus toteutuksesta ja ulostulosta. Valmistaudu esittelemään kuvat tehtävän palautuksen yhteydessä.

Testitapaus 4.2:

Skenaario: InVoltage on alle normaalin niin pitkään, että MinRPM taso saavutetaan, mutta ei kuitenkaan niin pitkään, että huimamassa tai pumpput pysähtyisi kokonaan. Scram laukeaa ennen kuin InVoltage palaa normaaliksi (esim VoltageDropTime=40, RecoveryTime=18)

Odotettu tulos: OutVoltage ramppi alkaa heti kun InVoltage laskee. OutVoltage pysyy MinRPM tasolla sen jälkeen kun InVoltage normalisoituu ja palaa setpoint ohjaukseen sitten kun Scram on kuitattu.

Ota kuvakaappaus toteutuksesta ja ulostulosta. Valmistaudu esittelemään kuvat tehtävän palautuksen yhteydessä.

Testitapaus 4.3:

Skenaario: InVoltage on alle normaalitason niin pitkään, että pumpput ehtii pysähtyä, minkä jälkeen InVoltage palaa normaaliksi (esim VoltageDropTime=40, RecoveryTime=25)

Odotettu tulos: OutVoltage ramppi alkaa heti kun InVoltage laskee alle normaalitason. Se saavuttaa nollatason ja pysyy siinä sen jälkeen, kun InVoltage normalisoituu ja scram kuitataan.

Ota kuvakaappaus toteutuksesta ja ulostulosta. Valmistaudu esittelemään kuvat tehtävän palautuksen yhteydessä.

Reflektointi

Tämä viittaa laadunvarmistus teoriaan, joka käsiteltiin tehtävässä "Ydinvoima-automaatio ja laadunvarmistus: lukutehtävä"

1. Mieti jäljitettävyyttä: osoita mitä vaatimuksia testit 4.1, 4.2 ja 4.3 testaa.
2. Mieti valkolaatikkotestausta: käykö testit 4.1, 4.2 ja 4.3 kaikkien tilojen ja transitioiden kautta?