

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

1.7.2016

## Lisästabiloinnin viritysohje Suomen voimajärjestelmään liitettäville generaattoreille

### Sisällysluettelo

<b>1</b>	<b>Johdanto</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Taustatietoa lisästabiloinnista</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Huomioitavat asiat</b> .....	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>PSS tyypit</b> .....	<b>3</b>
<b>5</b>	<b>Lisästabiloinnin virittäminen</b> .....	<b>4</b>
5.1	PSS laitteiston toimivuuden tarkastaminen .....	4
5.2	PSS:n ulostulon rajoitin .....	4
5.3	Suojaus ja hälytykset .....	4
5.4	Washout-suodatin .....	4
5.5	Vaihekompensoinnin virittäminen.....	4
5.6	Vahvistuksen määrittäminen .....	5
5.7	Käyttöönototestit .....	5
5.7.1	Mitattavat suureet .....	5
5.7.2	Esimerkki käyttöönottosuunnitelmasta .....	6
5.8	Esimerkki vaihekompensointi simuloinnista.....	9

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

1.7.2016

## 1 Johdanto

Tämä dokumentti on tarkoitettu kuvaamaan lisästabiloinnin (PSS) virittämisessä käytettäviä periaatteita. Dokumentti ei kuvaa yksityiskohtaisesti erilaisten laitteiden virittämistä. Ohjeen mukaisella virityisperiaatteella PSS parantaa vaimennusta voimalaitoksen ja voimajärjestelmän alueiden välisten heilahteluiden sekä paikallisen heilahtelumoodin osalta. Dokumentin tavoitteena on opastaa kokenutta jännitteensäädön ja PSS:n virittämisen ammattilaista luomaan viritystoimintatapa kullekin käyttöön otettavalle laitteistotyypille. Tämä ohje ei toimi sellaisenaan käyttöönotto-ohjeena, yksityiskohtainen suunnittelu ja lisästabiloinnin virittäminen on aina suunniteltava ja suoritettava projektiokohtaisesti.

## 2 Taustatietoa lisästabiloinnista

Lisästabiloinnin (PSS) perustehtävä on parantaa järjestelmässä esiintyvien tehoheilahteluiden vaimennusta. Parempi vaimennus lisää käyttövarmuutta ja kasvattaa siirtokapasiteettia. Pohjoismaisessa synkronijärjestelmässä alueiden välisiä tehoheilahteluja esiintyy 0,2 ja 1,0 Hz:n välillä. Hallitseva heilahtelumoodi on noin 0,3 Hz.

PSS toimii tahtigeneraattorin magnetointilaitteiston jännitteensäädön yhteydessä. PSS moduloi jännitteensäädön ohjearvoa ja sen myötä generaattorin tuottamaa loistehoa, minkä seurauksena akselin vääntömomenttikulma muuttuu. Magnetoinnin ominaisuudet, kuten nopea vasteaika ja hyvä viritys, ovat kriittisiä PSS:n tehokkuudelle. PSS:n viritys tulee tehdä vasta, kun magnetointi on viritetty ja kalibroitu.

Uusissa magnetointilaitteistoissa PSS on tyypillisesti ohjelmisto, joka sisältyy digitaaliseen automaattiseen jännitteen säätäjään (AVR). AVR:n napajännite- ja virtamittauksia käytetään kiihdyttävän tehon ja synteettisen nopeuden (kiihdyttävän tehon integraalin) laskentaan.

PSS:n toiminta perustuu sisäänmenosignaalin vaihesiirtoon ja sen päämääränä on generaattorin ja magnetoinnin vaihesiirron kompensointi. Vaihekompensointi saavutetaan säätämällä PSS kompensoimaan generaattorin, magnetoinnin ja voimajärjestelmän aiheuttama viive siten, että PSS muuttaa vääntömomenttia samassa vaiheessa akselin nopeusmuutosten kanssa.

PSS:n hinta voi olla hyvin alhainen, jos se hankitaan magnetointilaitteiston hankinnan yhteydessä. Jotkin valmistajat toimittavat PSS:n ilman eri kustannusta AVR:n osana.

Voimalaitoshankkeen tai perusparannuksen hankintaan tulee sisällyttää PSS:n viritystyö ja todennettujen laskentamallien toimittaminen IEEE standardin 421.5 mallikirjaston mukaisesti.

## 3 Huomioitavat asiat

Lisästabilointi tulee virittää huolellisesti. Laitevahinkojen välttämiseksi lisästabiloinnin virittämisessä ja käyttöönotossa on huomioitava seuraavat asiat:

- PSSiä on sekä analogisia että digitaalisia. Testausmenetelmät eivät tyypillisesti ole identtisiä molemmille tyypeille.

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

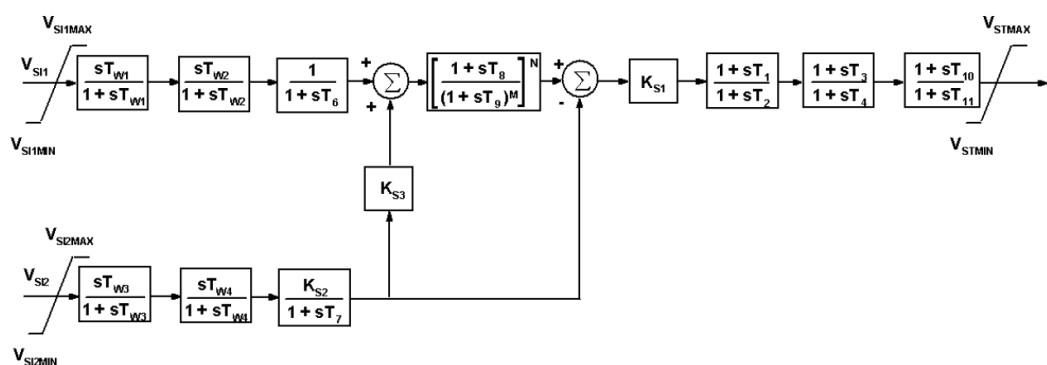
1.7.2016

- PSS:n moduloima akselin vääntömomentin muutos voi herättää turbiinigeneraattorin akselin värähtelyjä, jos akselin ominaisvärähtelytaajuudet ovat alle 20 Hz. Näin voi tapahtua etenkin, kun nopeutta käytetään PSS:n sisäänmenosignaalina. Normaalisti käytetään akselivärähtelyjen suodatinta poistamaan akselin värähtelyt PSS:n sisäänmenosignaalista.
- PSS voi häiritä magnetoinnin transienttivastetta. Tämän takia ulostulorajoittimet kuuluvat normaalisti PSS järjestelmään.
- Ali- ja ylimagnetointirajoittimet voivat rajoittaa PSS:n toimintaa. Rajoittimet tulee virittää toimimaan koordinoitusti PSS:n kanssa.
- Sähkötehoa sisäänmenosignaalina käyttävän PSS:n vaste voi aiheuttaa generaattorin vasteeseen isoja loistehoheilahduksia nopeissa kuorman muutostilanteissa. Tyypin PSS2A ja PSS2B säätäjät voidaan virittää paremmin sietämään kuorman muutoksia.
- Virittäminen tulee tehdä käyttötilanteessa, jossa laitosmoodin vaimennus on pienintä. Lisäksi tulee todentaa, että PSS ei aiheuta epästabiliutta normaalilla toiminta-alueella tai odotettavissa vikatilanteissa.

## 4 PSS tyypit

Lisästabilointeja on suunniteltu erilaisilla sisäänmenosignaaleilla. Sisäänmenosignaali on yleensä roottorin nopeus, napajännitteen taajuus, sähköinen teho, kiihdyttävä teho tai useampi edellisistä.

Fingrid suosittelee käyttämään IEEE 421.5 standardin PSS2A tai PSS2B dual-input tyyppisiä lisästabilointeja. PSS2B lisästabiloinnin lohkoakaavio on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. PSS2B lisästabiloinnin lohkoakaaviokuva [IEEE 421.5].

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

1.7.2016

## 5 Lisästabiloinnin virittäminen

Tässä luvussa on kuvattu lisästabiloinnin virittäminen pääpiirteittäin. Lisästabiloinnin virittäminen tapahtuu eritavoin eri sisäänmenosignaaleja käyttäville PSS:lle ja yksityiskohtaisessa ohjeistuksessa voi olla eroja.

### 5.1 PSS laitteiston toimivuuden tarkastaminen

Lisästabilointipiirin perustoiminnallisuudet; kompensointiominaisuudet, rajoittimet ja suojaus tulee tarkistaa. Mahdollisten potentiometrien tulee toimia tasaisesti ja jatkuvalla säädöllä koko toiminta-alueella.

### 5.2 PSS:n ulostulon rajoitin

Ulostulorajat asetetaan siten, että PSS ei voi muuttaa generaattorin napajännitettä yli ennalta määritetyn arvon.

Ennen kuin PSS kytketään päälle ensimmäisen kerran tulee rajoittimet asettaa tiukasti; esim.  $\pm 2\%$  generaattorin napajännitteestä.

Lopullinen asettelu on tyypillisesti välillä  $\pm 5\% \dots 10\%$  generaattorin napajännitteestä. Rajat voidaan asettaa epäsymmetrisesti.

### 5.3 Suojaus ja hälytykset

PSS:n ulostulon suoja tulee koordinoida ulostulon rajoittimen kanssa. Järjestelmän tulee hälyttää, mikäli suojaus poistaa PSS:n käytöstä.

### 5.4 Washout-suodatin

Washout-suodattimella suodatetaan PSS:n sisäänmenosignaalista matalataajuiset komponentit. Washout-aikavakio vaikuttaa PSS:n vaihekompensointiin siten, että lyhyet washout-aikavakiot lisäävät vaihekompensointia taajuuspohjaisissa PSS:issä samalla kun vähentävät vahvistusta.

PSS2A ja PSS2B tyyppisissä lisästabiloinneissa suositellaan alle 10 sekunnin washout-aikavakiota, jotta matalataajuiset komponentit (alle 0,1 Hz) saadaan poistettua nopeasti PSS:n ulostulosta. Pienempi aikavakio vähentää PSS:n vaikutusta järjestelmän jännitteeseen pidempiaikaisessa taajuushäiriössä (esimerkiksi tuotannon tippuminen) erityisesti, jos PSS:llä on suuri vahvistus.

### 5.5 Vaihekompensoinnin virittäminen

Vaihekompensointi viritetään seuraavien periaatteiden mukaan:

- Mitataan generaattorin ja magnetoinnin järjestelmäväste ilman PSS:ää pienellä generaattorin teholla. Taajuusvastekokeessa jännitteensäädön sisäänmenoon syötetään sinisignaali, jonka vaihesiirto mitataan. Taajuusvastekoe tehdään taajuusalueella 0,2-3,0 Hz esimerkiksi kymmenellä eri taajuudella.

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

1.7.2016

- Taajuusvastekokeen tulokset tulee tarkastaa simuloiteja vasten ja virittää lisästabilointi kompensoimaan mitattu vaihesiirto.
- Viritetään PSS kompensoimaan vaihesiirto mahdollisimman lähelle 0 astetta alueiden välisillä heilahtelutaajuuksilla 0,3-1,0 Hz.
- Vaihesiirto tulee mieluummin alikompensoida kuin ylikompensoida, koska voimajärjestelmän heikentyessä generaattorin ja magnetoinnin vaihesiirto pienenee.
- Jos paikalliset stabilointitarpeet vaativat, että PSS viritys alueiden välisellä heilahtelutaajuudella antaa 0 asteesta eroavan vaihesiirron, koko PSS/AVR/generaattori -järjestelmän vaste ei saa silloinkaan ylittää 30 asteen vaihesiirtoa 0,2-2,0 Hz taajuusalueella.
- Vaihesiirron virittämisessä tulee tarkastaa, ettei matalataajuuksien (alle 0,1 Hz) signaalien vahvistus ole suurempi kuin 0,2 - 2,0 Hz taajuusalueen vahvistus. Vaihesiirron virituksen ja matalataajuuksien signaalien vahvistuksen suhteen on joissakin tapauksissa tehtävä kompromissi, jolloin vaihesiirron alikompensointi on haastavaa. Tällöin on kuitenkin huolehdittava, että vaihesiirto ei ylitä 30 astetta 0,2-2,0 Hz taajuusalueella.

## 5.6 Vahvistuksen määrittäminen

Mahdollisimman suurella käytännössä toimivalla vahvistuksella saavutetaan voimajärjestelmän kannalta paras vaimennus. Suositeltava ja luotettavin tapa selvittää suurin turvallinen vahvistus on testaus. Vahvistustesti tulee tehdä, kun järjestelmän kokonaisvahvistus on suurimmillaan, jolloin voidaan todeta vahvistusmarginaali. Testi tulisi siis tehdä täydellä teholla tai ainakin yli 80 % teholla.

Ennen kuin PSS:n vahvistusta lähdetään kasvattamaan, tulee PSS:n toiminnan olla stabiili ja lisästabiloinnin rajoittimien tulee olla päällä; esim. +5% generaattorin napajännitteestä.

Vahvistusta lisätään, kunnes PSS:n ulostulosignaali tai napajännite alkaa värähdellä. Napajännitteen värähtely aiheutuu PSS:n voimistamasta kohinasta tai magnetointilaitteiston moodin vahvistumisesta. Tämä maksimivahvistus merkitään ylös ja jaetaan kahdella tai kolmella, jolloin saavutetaan hyvä stabiili säätöpiiri.

PSS:n optimaalinen vahvistus ja PSS:n tehokkuus alueiden välisten heilahtelumoodien vaimentamiseen tulee tarkastaa simuloinein.

## 5.7 Käyttöönottotestit

### 5.7.1 Mitattavat suureet

Käyttöönottotesteissä tulee mitata ja tallentaa ainakin seuraavat suureet:

- Magnetointivirta

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

1.7.2016

- Magnetointijännite
- Napajännite
- Loisteho
- Pätöteho
- Taajuus
- PSS ulostulosignaali
- Testisignaali (sinisignaali, joka syötetään jänniteensäädön sisäänmenoon vaihesiirron mittaamiseksi)

PSS virittämistä varten magnetointilaitteistoon jänniteensäätäjän sisäänmenoon tulee voida syöttää eritaajuisia siniaaltoja taajuusvasteen määrittämiseksi.

#### 5.7.2 Esimerkki käyttöönottosuunnitelmasta

Tämä esimerkki kuvaa pääosin toimenpiteet, jotka tulee suorittaa digitaalisen lisästabilointipiirin käyttöönottamiseksi. Tyypillisesti lisästabilointi otetaan käyttöön voimalaitoksen käyttöönoton osana, jolloin lisästabilointipiirin käyttöönotto sulautetaan laitoksen käyttöönotto-ohjelmaan.

##### 1. Jänniteensäädön ja lisästabilointipiirin simulointi (simulointi)

Jänniteensäätö ja lisästabilointipiiri mallinnetaan ja viritetään standardimalleilla (IEEE421.5).

##### 2. Jänniteensäädön askelvastekokeet (generaattori ei verkossa)

Jänniteensäädölle tehdään askelvastekokeet, kun generaattori ei ole verkossa ja käy tyhjäkäynnillä. Tehdään 2 % ja 10 % askelvasteet, ylös- ja alaspäin.

##### 3. Jänniteensäädön askelvastekokeet (generaattori verkossa minimiteholla)

Jänniteensäädölle tehdään askelvastekokeet, kun generaattori käy verkossa minimiteholla. Tehdään 1 % ja 2 % askelvasteet, ylös- ja alaspäin.

##### 4. Taajuusvasteen mittaaminen (generaattori verkossa minimiteholla)

Mitataan jänniteensäätöpiirin taajuusvaste, kun generaattori käy verkossa minimiteholla ja lisästabilointi ei ole päällä. Taajuusvastekokeessa jänniteensäädön sisäänmenoon syötetään sinisignaali, jonka vaihesiirto mitataan napajännitteestä. Taajuusvastekoe tehdään taajuusalueella 0,2-3,0 Hz esimerkiksi kymmenellä eri taajuudella (0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 [Hz]).

##### 5. Yli- ja alimagnetointirajoittimien testaaminen (generaattori verkossa minimiteholla)

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

1.7.2016

Testataan yli- ja alimagnetointirajoittimien toiminta. Ylimagnetointirajoittimen raja-arvoa lasketaan asetteluarvosta ja todennetaan, että rajoitin toimii jännitteensäädön askelvastetta rajoittaen. Alimagnetointirajoittimen raja-arvoa nostetaan asetteluarvosta ja todennetaan, että rajoitin toimii jännitteensäädön askelvastetta rajoittaen. Asetetaan rajoittimet takaisin suunnitteluarvoonsa tai muutetaan tarvittaessa. Koe toistetaan vähintään kerran generaattorin mitoitusteholla.

#### 6. Lisästabiloointipiirin viritys (simulointi)

Tarkastetaan ja viritetään jännitteensäädön simulointimalli askelvastekokeiden tuloksia vasten.

Viritetään lisästabilointi kompensoimaan mitattu vaihesiirto. Ks. luku [5.5](#).

#### 7. Vahvistuksen määrittäminen (generaattori verkossa 50 % mitoitustehosta)

Vahvistus määritetään seuraavasti (Ks. luku [5.6](#)) :

1. Ennen kuin PSS kytketään päälle ensimmäisen kerran tulee lisästabiloinnin rajoittimet asettaa tiukasti; esim. +2% generaattorin napajännitteestä. Tällä vältetään mahdollisen parametrintivirheen aiheuttama askelmainen jännitemuutos.
2. Lisästabiloinnin vahvistus (Ks1) asetetaan arvoon 0 ja lisästabiloointipiiri kytketään päälle ensimmäisen kerran ja tehdään 1 % askelvastekoe ylös- ja alaspäin.
3. Lisästabiloinnin vahvistus (Ks1) asetetaan arvoon 1 ja tehdään 1 % askelvastekoe ylös- ja alaspäin. Jos jännitteensäädön vaste on stabiili, voidaan lisästabiloinnin rajoittimien asetteluarvot nostaa esim. +-5 % generaattorin napajännitteestä.
4. Lähdetään kasvattamaan vahvistusta arvosta 0 ylöspäin pienin askelin (esim. 0; 1; 2; 4; 6; 8; 10; 12; 13; 14; 15). Jokaisen vahvistusmuutoksen jälkeen tehdään 2 % askelvastekoe ylös- ja alaspäin. Jokainen vahvistusmuutoksen jälkeen seurataan PSS:n ulostulosignaalia ja generaattorin napajännitettä, kun havaitaan värähtelyä ei vahvistusta tule enää kasvattaa.
5. Vahvistus, jolla piirissä havaitaan ensimmäisen kerran värähtelyä, merkitään muistiin. Tämä maksimivahvistus jaetaan kahdella tai kolmella, jolloin saavutetaan hyvä stabiili säätöpiiri. Näin saatu arvo on vahvistuksen nimellisarvo. Tarkka jakaja (2-3) määritetään sen perusteella, mikä on voimalaitoksen liittymispisteen oikosulkutehon normaalitilan suhde heikon verkon tilanteeseen ja sen vaikutus lisästabiloinnin toimintaan.

#### 8. Kompensoidun taajuuden määrittäminen (generaattori verkossa 50 % mitoitustehosta)

Useimmissa lisästabiloointipiireissä generaattorin napajännitteen ja sisäisen lähdejännitteen välinen kulmaero kompensoidaan kompensointireaktanssilla (Xcomp tai Xq). Tyypillisesti tämän reaktanssin arvo on generaattorin pitkittäisen ja poikittaisen muutosreaktanssin välillä. Näin määritetyn kompensoidun taajuuden perusteella lisästabiloinnin vaihesiirto saadaan viritettyä kompensoimaan roottorin todellinen kulmanopeuden muutos.

Jotta sopiva kompensointireaktanssi saadaan määritettyä, tulee askelvastekokeet toistaa

AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

1.7.2016

vahvistuksen nimellis arvolla, testaten vaihtoehtoisia reaktanssiarvoja. Paras arvo valitaan saadun vasteen perusteella.

9. Vahvistuksen määrittäminen täydellä teholla (generaattori verkossa vähintään 80 % mitoitustehosta)

1. Lisästabilointipiiri kytketään päälle ja lisästabiloinnin vahvistus (Ks1) asetetaan arvoon 0. Tehdään 2 % askelvastekoe ylös- ja alaspäin.
2. Lisästabiloinnin vahvistus (Ks1) asetetaan nimellis arvoon ja tehdään 2 % askelvastekoe ylös- ja alaspäin.
3. Lisästabiloinnin vahvistus (Ks1) asetetaan 2\*nimellis arvoon ja tehdään 2 % askelvastekoe ylös- ja alaspäin.
4. Mikäli edellä mainitut askelvastekokeet tuottivat stabiilin vasteen, niin lisästabiloinnin vahvistus (Ks1) asetetaan takaisin nimellis arvoon. Tämä on lopullinen asetteluarvo.  
Jos lisästabilointipiirin vaste on epästabiili tai värähtelevä tai selkeästi poikkeaa 50 % mitoitusteholla tehdyistä askelvasteista, tulee vahvistuksen määrittäminen tehdä uudestaan täydellä teholla kohdan 7 mukaan.

10. Yli- ja alimagnetointirajoittimien testaaminen täydellä teholla (generaattori verkossa vähintään 80 % mitoitustehosta)

Testataan yli- ja alimagnetointirajoittimien toiminta. Ylimagnetointirajoittimen raja-arvoa lasketaan asetteluarvosta ja todennetaan, että rajoitin toimii jännitteensäädön askelvastetta rajoittaen. Alimagnetointirajoittimen raja-arvoa nostetaan asetteluarvosta ja todennetaan, että rajoitin toimii jännitteensäädön askelvastetta rajoittaen. Asetetaan rajoittimet takaisin suunnitteluarvoonsa tai muutetaan tarvittaessa.

11. Jatkuva käyttö ja loppudokumentaatio

Onnistuneen virityksen jälkeen lisästabilointipiiri jätetään käyttöön. Parametrit tallennetaan ja nauhoitettujen tulosten pohjalta tehdään lisästabilointipiirin viritysraportti. Asetetut lopulliset parametrit, numeeriset tulokset sekä raportti toimitetaan liittymispisteen verkonhaltijan ja Fingridin haltuun.



AKP / Kuusela Antti  
AKS / Harjula Antti

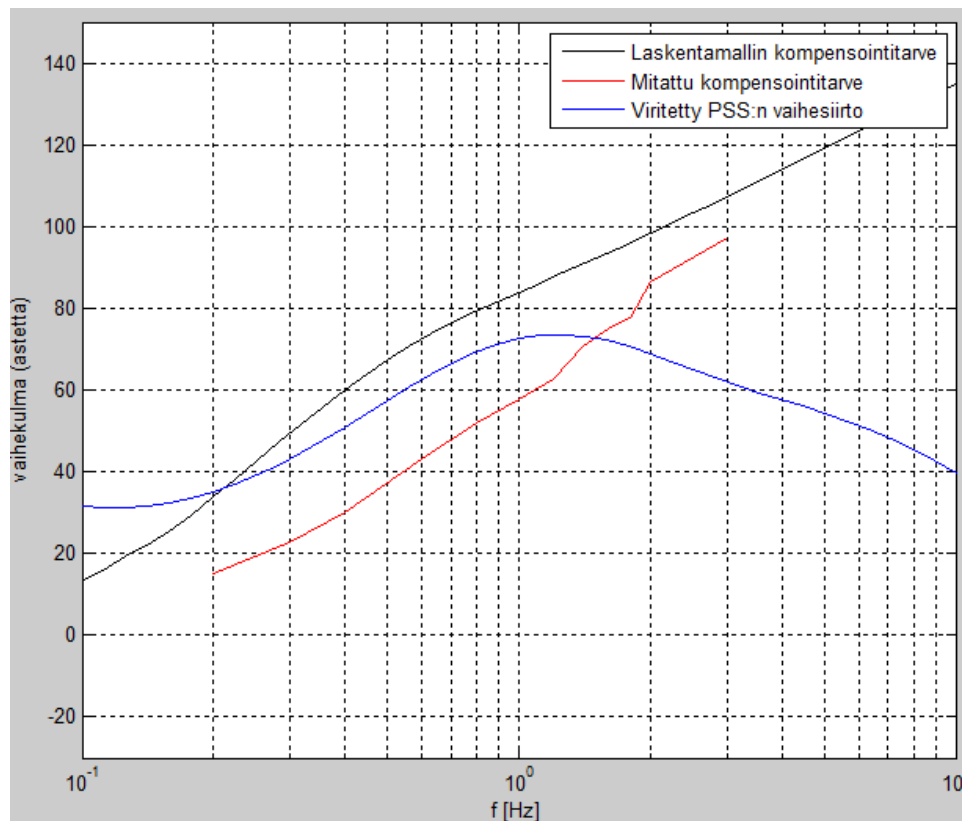
1.7.2016

## 5.8 Esimerkki vaihekompensointi simuloinnista

Alla olevassa kuvassa 2 on esitetty magnetointilaitteiston jänniteensäätäjän siirtofunktion avulla laskettu kompensointitarve, todelliseen mittaukseen perustuva kompensointitarve, sekä viritetty lisästabiloinnin vaihesiirto.

Kuvasta 2 huomataan, että mitatut ja laskentamallilla etukäteen lasketun kompensointitarpeen vaihesiirron välillä on huomattava ero. Tämän vuoksi taajuusvastemittaus on aina tehtävä, jotta voidaan varmistua lisästabiloinnin oikeasta virityksestä.

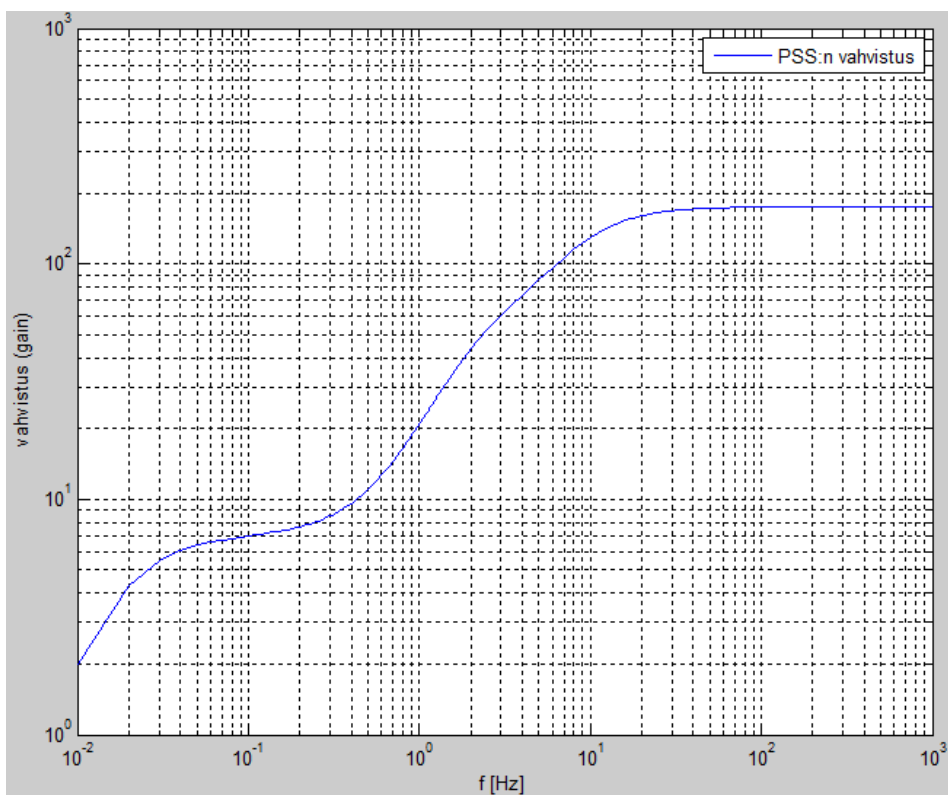
Kuvan 2 mukaisessa virityksessä on tehty kompromissi vaihesiirron suhteen, sillä vaihesiirto ja vahvistus on haluttu viritellä mahdollisimman tarkasti kompensoimaan laitoksen paikallinen moodi. Kompensointi kuitenkin on tämän virityssäännön mukainen ja vaihesiirto mitatusta kompensointitarpeesta on jokaisella taajuudella välillä 0,2 - 2,0 Hz alle 30 astetta. Tällä virityksellä on saatu myös vahvistus pieneksi matalilla taajuuksilla ja vahvistuksen raja-arvo on myös maltillinen, lisästabilointipiirin vahvistus on esitetty kuvassa 3.



Kuva 2. Laskentamallin kompensointitarve, mitattu kompensointitarve ja viritetty PSS:n vaihesiirto

AKP / Kuusela Antti  
 AKS / Harjula Antti

1.7.2016



Kuva 3. Lisästabilointipiirin vahvistus