

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 6.2.2010

Sami Repo

Tentissä saa käyttää omaa ohjelmoitavaa laskinta. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

Kuvaa tahtikoneen jännitteensäätöjärjestelmä toimintaa normaali- ja häiriötilanteessa. Valitse jokin selkeästi nimetty kokonaisuus, jonka toimintaa kuvaat. Toiminnan kuvauksen tulee sisältää jännitteensäädön perusidea, toiminnan syy ja seuraus suhteet ja säätöjärjestelmän keskeisimmät ominaisuudet. Voit tarvittaessa havainnollistaa asiaa kuvien avulla.

2. Tuotannon optimointi

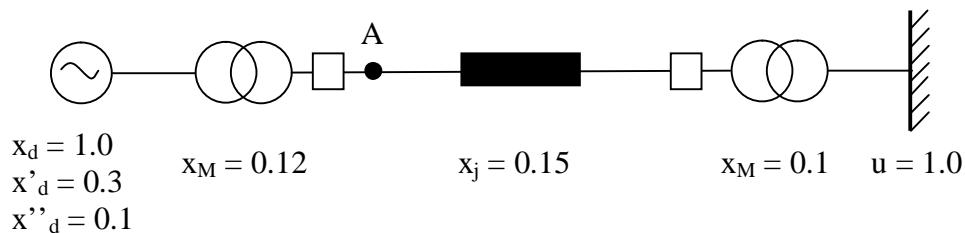
- Määritä tuotantoyksiköiden 1, 2 ja 3 tuottamat optimitehot tuotantokustannusten suhteen, kun kokonaiskuorma on 850 MW.
- Hiilen hinta pienenee arvoon 0.9 R/MBtu. Määritä kunkin yksikön lisäkustannukset uudessa tilanteessa.

Taulukko 1. Tuotantoyksiköiden tiedot.

Yksikkö	Polttoaine	Polttoaineen hinta [R/MBtu]	Max teho [MW]	Min teho [MW]	Sisäänmeno -ulostulo käyrä [MBtu/h]
1	Hiili	1.1	600	150	$H_1=510+7.2P_1+0.00142P_1^2$
2	Öljy	1.0	400	100	$H_2=310+7.85P_2+0.00194P_2^2$
3	Öljy	1.0	200	50	$H_3=78+7.97P_3+0.00482P_3^2$

3. Stabiilisuus

Generaattori syöttää yhden säteittäisen siirtojohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $p = 0.8$ pu ja $\cos\phi = 0.85_{ind}$. Pisteessä A tapahtuu vikaresistanssiton kolmivaiheinen oikosulku aiheuttaen siirtojohdon päissä olevien katkaisijoiden (nelikulmiot) aukeamisen 0.1 s kuluttua vian syntymisestä. Oletetaan, että vika häviää katkaisijoiden toimittua. Laske tehokulma δ' , jolla katkaisijoiden on viimeistään sulkeuduttava, jotta stabiilisuus säilyisi.



Kuva 1.

4. Vastaa lyhyesti

- a) Selosta silmukoidun siirtoverkon distanssisuojan suojausvyöhykkeiden asetteluperiaatteita.
- b) Minkälaiset tekijät vaikuttavat ja miten voimalaitosten ajojärjestykseen?
- c) Jos taajuus alenee äkillisesti 49 Hz:iin, niin millaisia asioita ilmenee ja toteutetaan taajuuden palauttamiseksi 50 Hz:iin. Kerro asiat pääpiirteissään ja aikajärjestyksessä.

5. Valitse toinen tehtävistä

A) Kuvaa SVC-yksikön rakenne ja toimintaperiaate sähköverkon jännitteen säädössä. Selosta myös mihin muihin tarkoituksiin SVC-laitetta voidaan soveltaa.

B) Selosta mitä ovat PU-käyrät ja miten niitä voidaan hyödyntää analysoitaessa sähköverkon jännitestabiilisuutta. Voit käyttää selostuksesi apuna yksinkertaista esimerkkiä, missä kahden rinnakkaisen siirtojohdon kautta syötetään kuormitusta. Tarkastele normaalitilanteen lisäksi häiriötilannetta, missä toinen siirtojohdoista irtikytkeytyy.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 5.10.2009

Sami Repo

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

Siirtojohdon jännitetason hallinnassa sovelletaan loistehon kompensointia. Selosta mistä syystä johdon jännitetason hallitsemiseksi tarvitaan loistehon kompensointia. Voit käyttää apuna johdon sijaiskytkentää ja osoitinpiirrosta. Selosta kompensointitarvetta johdon erilaisissa kuormitustilanteissa. Valitse tarkastelun kohteeksi toinen kompensointitavoista rinnakkais- tai sarjakompensointi. Merkitse vastaukseesi selkeästi kumpaa kompensointitapaa käsittelet.

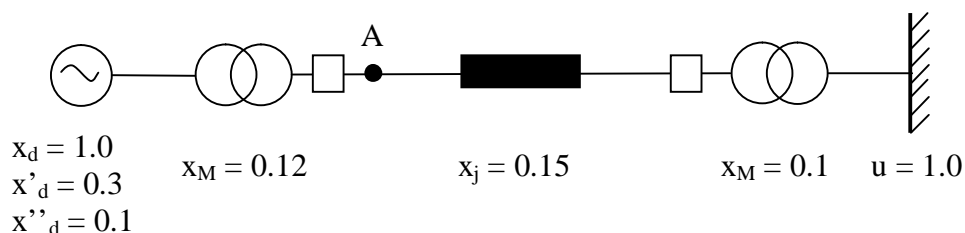
2. Tehonsäätö

Pieni saarekkeena toimiva sähköjärjestelmä koostuu kolmesta generaattorista G1, G2 ja G3, joiden nimellistehot ovat 30, 40 ja 60 MW ja ne toimivat 50 %:a nimellistehostaan. Generaattori G1 irtikytkeytyy yllättäen, jolloin generaattoreiden G2 ja G3 taajuudensäätäjät säätävät ulostulotehoaan taajuuden pitämiseksi nimellisenä (50 Hz). Kuormituksen oletetaan olevan muuttumaton koko tapahtuman ajan. Kaikkien generaattoreiden säätövoima on 5 %:a generaattoreiden nimellistehojen suhteen.

- Mikä on koko järjestelmän statiikka, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt?
- Mikä on jatkuvuustilan taajuus, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt ja tehonsäätöjärjestelmä ei ole ennättänyt vielä ”korjaamaan” taajuutta?
- Mikä on generaattoreiden G2 ja G3 tehojen muutos?

3. Stabiilisuus

Generaattori syöttää yhden säteittäisen siirtojohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $p = 0.8$ pu ja $\cos\varphi = 0.85_{\text{ind}}$. Pisteessä A tapahtuu vikaresistanssiton kolmivaiheinen oikosulku aiheuttaen siirtojohdon päissä olevien katkaisijoiden (nelikulmiot) aukeamisen 0.1 s kuluttua vian syntymisestä. Oletetaan, että vika häviää katkaisijoiden toimittua. Laske tehokulma δ' , jolla katkaisijoiden on viimeistään sulkeuduttava, jotta stabiilisuus säilyisi.



Kuva 1.

4. Vastaa lyhyesti

- d) Mitä ovat tahtikoneen muuntajajännitteet ja miten niiden huomiotta jättäminen vaikuttaa tahtikoneiden muutostilanteiden analysointiin?
- e) Minkälaiset tekijät vaikuttavat ja miten voimalaitosten ajojärjestykseen?
- f) Jos taajuus alenee äkillisesti 49 Hz:iin, niin millaisia asioita ilmenee ja toteutetaan taajuuden palauttamiseksi 50 Hz:iin. Kerro asiat pääpiirteissään ja aikajärjestyksessä.

5. Valitse toinen tehtävistä

A) Kuvaile millä tavalla sähkömarkkinat vaikuttavat sähkönsiirtoverkon toimintaan. Pyri kuvaamaan vaikutuksia mahdollisimman laaja-alaisesti ilman takertumista yksityiskohtiin. Syy-yhteys, millä tavalla markkinat vaikuttavat siirtoverkkoon, tulee kuitenkin olla selkeästi esitetty.

B) Kuvaa HVDC-linkin tehonsäätömenetelmän pääpiirteet.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 15.5.2009

Sami Repo

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

Generaattori syöttää verkkoon tehon $P = 80 \text{ MW}$, $Q = 0$. Verkon liityntäpisteen jännite $U = 110 \text{ kV}$ ja verkon oikosulkuteho $S_k = 1000 \text{ MVA}$ jännitteellä 110 kV . Paljonko aseman jännite muuttuu, jos sinne kytketään kondensaattori, jonka nimellisarvot ovat $U_n = 120 \text{ kV}$, $Q_n = 60 \text{ Mvar}$. Generaattorin nimellisteho on 100 MVA , nimellisjännite $10,5 \text{ kV}$ ja tahtireaktanssi $1,5 \text{ pu}$. Generaattorimuuntajan nimellisteho on 100 MVA , nimellisjännitteet ovat $110 / 10,5 \text{ kV}$ ja oikosulkuimpedanssi on 10% .

2. Tehonsäätö

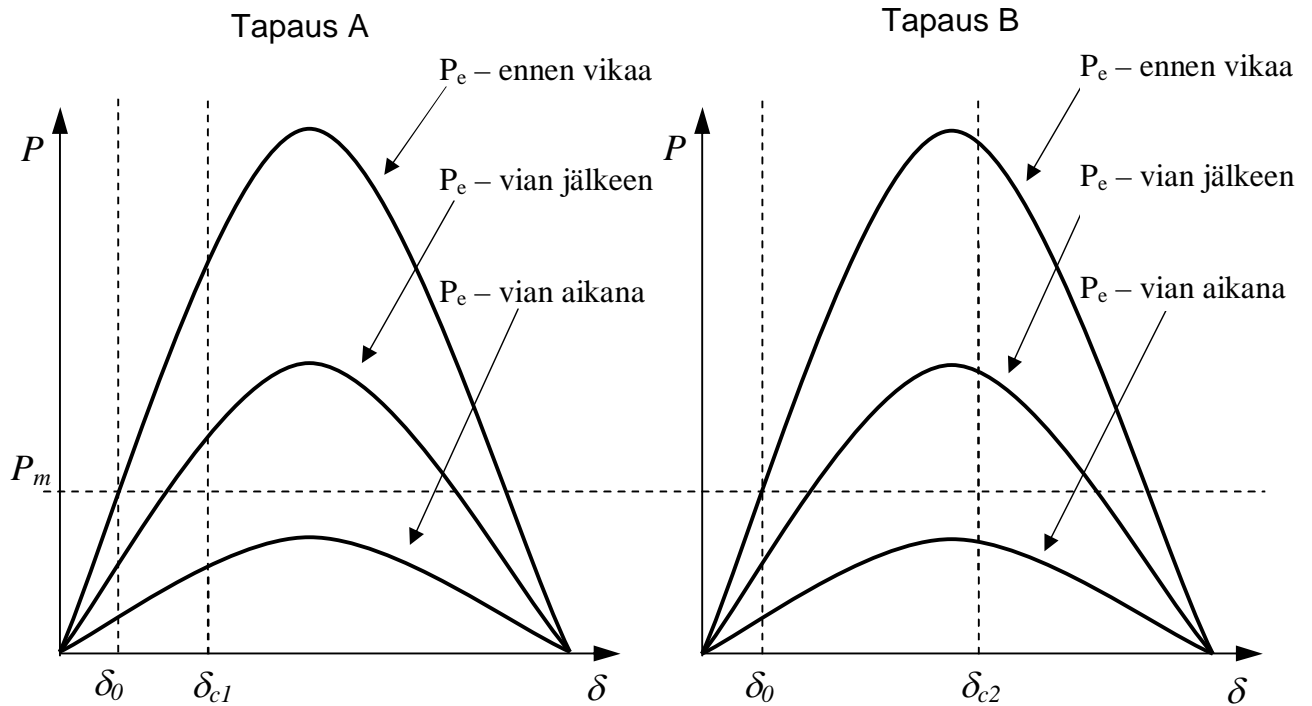
Pieni saarekkeena toimiva sähköjärjestelmä koostuu kolmesta generaattorista G1, G2 ja G3, joiden nimellistehot ovat 30 , 40 ja 60 MW ja ne toimivat 50% :a nimellistehostaan. Generaattori G1 irtikytkeytyy yllättäen, jolloin generaattoreiden G2 ja G3 taajuudensäätäjät säätävät ulostulotehoaan taajuuden pitämiseksi nimellisenä (50 Hz). Kuormituksen oletetaan olevan muuttumaton koko tapahtuman ajan. Kaikkien generaattoreiden säätövoima on 5% :a generaattoreiden nimellistehojen suhteen.

- d) Mikä on koko järjestelmän statiikka, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt?
- e) Mikä on jatkuvuustilan taajuus, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt ja tehonsäätöjärjestelmä ei ole ennättänyt vielä ”korjaamaan” taajuutta?
- f) Mikä on generaattoreiden G2 ja G3 tehojen muutos?

3. Stabiilisuus

Kuvassa 1 esitetyt kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. $P =$ pätöteho, $\delta =$ tehokulma, alaindeksit 0 ja c viittaavat vastaavasti ennen vikaa vallitsevaan tasapainotilaan ja vian erottamisajankohtaan.

- a) Perustelevatko kuvan 1 tilanteet A ja B stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Arvioi pinta-alakriteerion avulla maksimikulmaa johon järjestelmä vian seurauksena heilahtaa ja piirrä kulma kuvaajiin. Piirrä lisäksi kuvaajiin stabiilisuuden määrittämisessä käytettävät pinta-alat.
- b) Perustelevat miksi tehokäyrät ovat erilaiset ennen vikaa, vian aikana ja vian jälkeen.
- c) Kuvaa generaattorin pätötehon, pyörimisnopeuden ja tehokulman käyttäytymistä tapauksessa A.



Kuva 1.

4. Vastaa lyhyesti

- g) Kuinka määritetään voimalaitoksen polttoaineen lisäkustannukset?
- h) Piirrä distanssireleen RX-diagrammi ja selitä sen perusteella distanssireleen toimintaperiaate. Nimeä minkä tyyppinen distanssirele on kyseessä.
- i) Jos taajuus alenee äkillisesti 49 Hz:iin, niin millaisia asioita ilmenee ja toteutetaan taajuuden palauttamiseksi 50 Hz:iin. Kerro asiat pääpiirteissään ja aikajärjestyksessä.

5. Valitse toinen tehtävistä

A) Kuvaa tahtikoneen jännitteensäätöjärjestelmä toimintaa normaali- ja häiriötilanteessa. Valitse jokin selkeästi nimetty kokonaisuus, jonka toimintaa kuvaat. Toiminnan kuvauksen tulee sisältää jännitteensäädön perusidea, toiminnan syy ja seuraus suhteet ja säätöjärjestelmän keskeisimmät ominaisuudet. Voit tarvittaessa havainnollistaa asiaa kuvien avulla.

B) Selosta keinoja joilla voidaan parantaa siirtoverkon jännitestabiilisuutta.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 16.2.2009

Sami Repo

1. Jännitteen säätö

Siirtojohdon jännitetason hallinnassa sovelletaan loistehon kompensointia. Selosta mistä syystä johdon jännitetason hallitsemiseksi tarvitaan loistehon kompensointia. Voit käyttää apuna johdon sijaiskytkentää ja osoitinpiirrosta. Selosta kompensointitarvetta johdon erilaisissa kuormitustilanteissa.

2. Tuotannon optimointi

- c) Määritä tuotantoyksiköiden 1, 2 ja 3 tuottamat optimitehot tuotantokustannusten suhteen, kun kokonaiskuorma on 850 MW.
- d) Hiilen hinta pienenee arvoon 0.9 R/MBtu. Määritä kunkin yksikön lisäkustannukset uudessa tilanteessa.

Taulukko 1. Tuotantoyksiköiden tiedot.

Yksikkö	Polttoaine	Polttoaineen hinta [R/MBtu]	Max teho [MW]	Min teho [MW]	Sisäänmeno -ulostulo käyrä [MBtu/h]
1	Hiili	1.1	600	150	$H_1=510+7.2P_1+0.00142P_1^2$
2	Ölly	1.0	400	100	$H_2=310+7.85P_2+0.00194P_2^2$
3	Ölly	1.0	200	50	$H_3=78+7.97P_3+0.00482P_3^2$

3. Tehonsäätö

Kaksinapaisen tahtigeneraattorin inertia vakio $H=4$ MJ/MVA, nimellisteho 100 MVA ja nimellistaajuus 50 Hz. Nimellisteholla toimivan generaattorin kuormitus pienenee 50 MW:iin. Mikä on roottorin pyörimisnopeus, kun tehonsäätäjä alkaa toimia 0.2 s kuluttua häiriöstä? Voit olettaa, että roottori kiihtyy vakiokiihtyvyydessä koko ajan. Generaattorin häviöitä ei tarvitse myöskään huomioida.

4. Vastaa lyhyesti

- j) Mikä on tahtigeneraattorin vaimennuskäämien tehtävä? Missä ne sijaitsevat ja mikä on se ilmiö, jonka kautta ne vaikuttavat?
- k) Selosta silmukoidun siirtoverkon distanssisuojan suojausvyöhykkeiden asetteluperiaatteita.
- l) Mistä syystä tavallinen kondensaattori ei tue siirtoverkon jännitestabiilisuutta kovinkaan hyvin?

5. Valitse toinen tehtävistä

- A) Selosta siirtoverkon pullonkaulojen hallintamenetelmien periaatteet ja vaikutukset Pohjoismaisilla sähkömarkkinoilla.
- B) Selosta keinoja joilla voidaan parantaa siirtoverkon transienttistabiilisuutta.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 9.10.2008

Sami Repo ja Pasi Vuorenpää

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

Kuvaa tahtikoneen jännitteensäätöjärjestelmä toimintaa normaali- ja häiriötilanteessa. Valitse jokin selkeästi nimetty kokonaisuus, jonka toimintaa kuvaat. Toiminnan kuvauksen tulee sisältää jännitteensäädön perusidea, toiminnan syy ja seuraus suhteet ja säätöjärjestelmän keskeisimmät ominaisuudet. Voit tarvittaessa havainnollistaa asiaa kuvien avulla.

2. Tuotannon optimointi

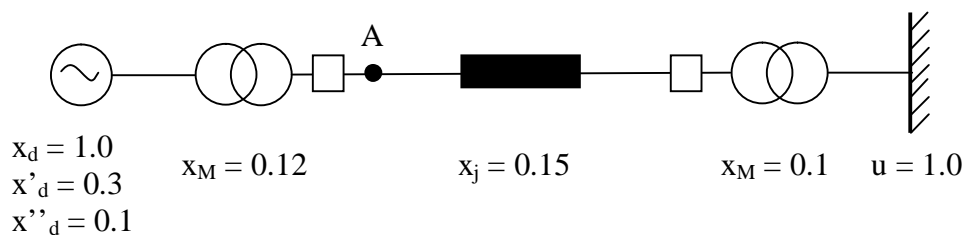
- e) Määritä tuotantoyksiköiden 1, 2 ja 3 tuottamat optimitehot tuotantokustannusten suhteen, kun kokonaiskuorma on 850 MW.
- f) Hiilen hinta pienenee arvoon 0.9 R/MBtu. Määritä kunkin yksikön lisäkustannukset uudessa tilanteessa.

Taulukko 1. Tuotantoyksiköiden tiedot.

Yksikkö	Polttoaine	Polttoaineen hinta [R/MBtu]	Max teho [MW]	Min teho [MW]	Sisäänmeno -ulostulo käyrä [MBtu/h]
1	Hiili	1.1	600	150	$H_1=510+7.2P_1+0.00142P_1^2$
2	Öljy	1.0	400	100	$H_2=310+7.85P_2+0.00194P_2^2$
3	Öljy	1.0	200	50	$H_3=78+7.97P_3+0.00482P_3^2$

3. Stabiilisuus

Generaattori syöttää yhden säteittäisen siirtojohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $p = 0.8$ pu ja $\cos\phi = 0.85_{ind}$. Pisteessä A tapahtuu vikaresistanssiton kolmivaiheinen oikosulku aiheuttaen siirtojohdon päissä olevien katkaisijoiden (nelikulmiot) aukeamisen 0.1 s kuluttua vian syntymisestä. Oletetaan, että vika häviää katkaisijoiden toimittua. Laske tehokulma δ' , jolla katkaisijoiden on viimeistään sulkeuduttava, jotta stabiilisuus säilyisi.



Kuva 1.

4. Vastaa lyhyesti

- a) Mikä on (n-1) –kriteeri?
- b) Mikä on sähköverkon pullonkaula? Mitä sen ilmetessä tulisi tehdä?
- c) Mitä on vastakauppa ja mihin sitä tarvitaan? Kuinka vastakaupat käytännössä toteutetaan?
- d) Jos jostain syystä, esimerkiksi kahden yhtäaikaisen vian seurauksena, menetetään siirtoverkon käyttövarmuus, on kantaverkkoyhtiöllä joukko toimenpiteitä tämän häiriötilanteen hallitsemiseksi. Mitä nämä toimenpiteet ovat ja kuinka niitä käytetään ko. häiriötilanteessa?
- e) Mikä on hetkellinen häiriöreservi ja mihin sitä tarvitaan?
- f) Mikä ja minkälainen on käyttötilan luokittelun palautustila?

5. Valitse toinen tehtävistä

- A) Kuvaile ja perustele tasasähkönsiirron etuja ja haittoja verrattuna vaihtosähkövoimansiirtoon.
- B) Selosta siirto johdon distanssisuojauksen peruseräite. Kuvaa lisäksi kuinka siirto johdon varasuojaus toteutetaan distanssisuojilla. Selosta myös distanssisuojauksen mahdollisia ongelmakohtia: niiden syntymekanismeja ja mahdollisia ratkaisukeinoja.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 12.5.2008

Sami Repo ja Pasi Vuorenpää

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden.

Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

- a) Selosta mitkä tekijät ja millä tavalla vaikuttavat siirtojohdon alku- ja loppupään jännitteisiin siirrettävän tehon suhteen. Hyödynnä selostuksessa siirtojohdon π -sijaiskytkentää.
- b) Millä tavalla johdon loppupäähän asennettava rinnakkaiskondensaattori vaikuttaa siirtojohdon jännitteisiin ja siirtokykyyn?
- c) Piirrä osoitindiagrammi yliluonnollisella tehoalueella toimivasta siirtojohdosta, kun johdon loppupäässä on rinnakkaiskondensaattori. Diagrammissa tulee näkyvät sekä johdon alku- ja loppupään jännitteet ja jännitehäviöosoittimet että näennäis-, pätö- ja loisivirtaosoittimet. Siirtojohdon kuormitusvirran suuruuden voit valita itse. Tehtävässä on oleellista, että osoittimet ovat selvästi oikeansuuntaisia.

2. Tehonsäätö

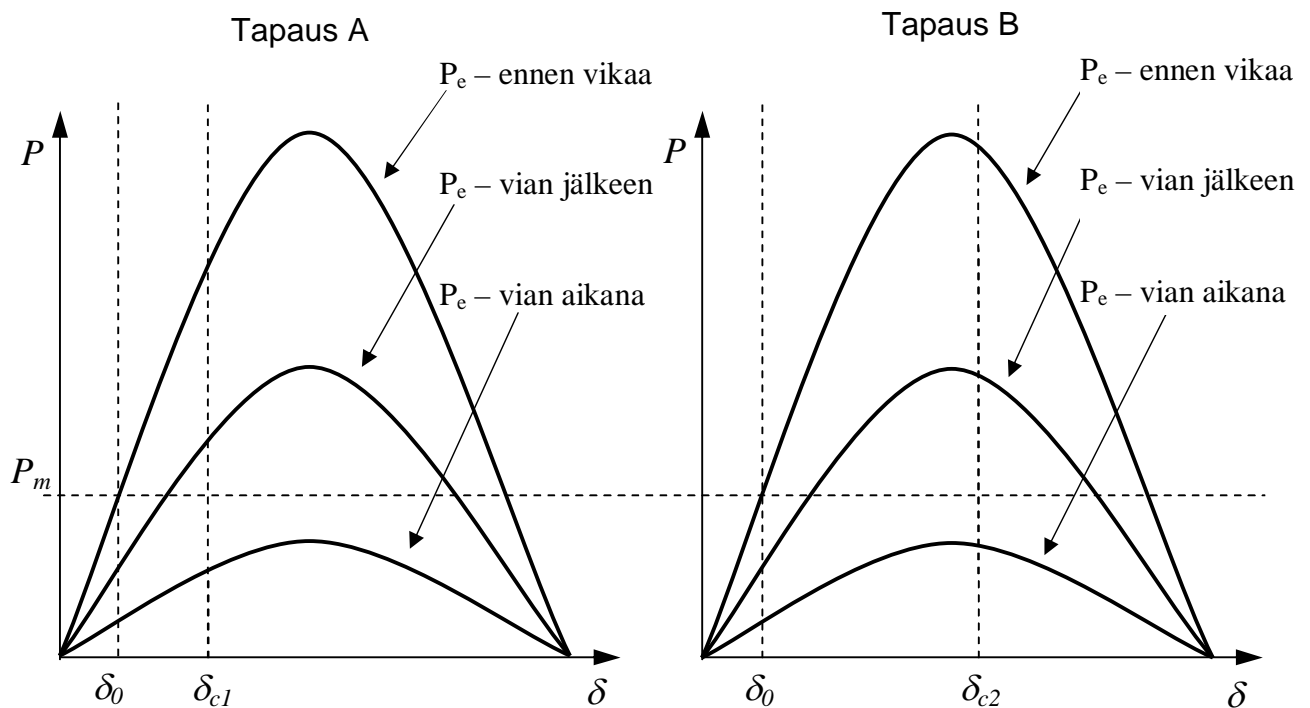
Pieni saarekkeena toimiva sähköjärjestelmä koostuu kolmesta generaattorista G1, G2 ja G3, joiden nimellistehot ovat 30, 40 ja 60 MW ja ne toimivat 50 %:a nimellistehostaan. Generaattori G1 irtikytkeytyy yllättäen, jolloin generaattoreiden G2 ja G3 taajuudensäätäjät säätävät ulostulotehoaan taajuuden pitämiseksi nimellisenä (50 Hz). Kuormituksen oletetaan olevan muuttumaton koko tapahtuman ajan. Kaikkien generaattoreiden säätövoima on 5 %:a generaattoreiden nimellistehojen suhteen.

- g) Mikä on koko järjestelmän statiikka, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt?
- h) Mikä on jatkuvuustilan taajuus, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt ja tehonsäätöjärjestelmä ei ole ennättänyt vielä ”korjaamaan” taajuutta?
- i) Mikä on generaattoreiden G2 ja G3 tehojen muutos?

3. Stabiilisuus

Kuvassa 1 esitetyt kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. P = pätöteho, δ = tehokulma, alaindeksit 0 ja c viittaavat vastaavasti ennen vikaa vallitsevaan tasapainotilaan ja vian erottamisajankohtaan.

- Perustelevatko kuvan 1 tilanteet A ja B stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Arvioi pinta-alakriteerion avulla maksimikulmaa johon järjestelmä vian seurauksena heilahtaa ja piirrä kulma kuvaajiin. Piirrä lisäksi kuvaajiin stabiilisuuden määrittämiseksi käytettävät pinta-alat.
- Perustelevat miksi tehokäyrät ovat erilaiset ennen vikaa, vian aikana ja vian jälkeen.
- Kuvaa generaattorin pätötehon, pyörimisnopeuden ja tehokulman käyttäytymistä tapauksessa A.



Kuva 1.

4. Vastaa lyhyesti

- Mitä hyötyä on Parkin muunnoksesta tahtikoneen mallinnuksessa?
- Selosta kuinka PU-diagrammin avulla voidaan analysoida sähköverkon jännitestabiilisuutta.
- Mikä on sähköverkon pullonkaula? Mitä sen ilmetessä tulisi tehdä?
- Luettele mielestäsi kolme tärkeintä sähkön pörssihintaan vaikuttavaa tekijää. Mistä syystä nämä tekijät vaikuttavat hintaan erityisen voimakkaasti?

5. Relesuojaus

Solmupistettä C syötetään pisteistä A ja B käsin siirtojohtojen A-C ja B-C kautta kuvan 2 osoittamalla tavalla. Solmupisteiden A ja B johtolähdöille on sijoitettu distanssireleet järjestelmän siirtojohtojen suojaamiseksi. Releiden asetteluarvot sekä niitä vastaavat viiveet ovat esitettyinä taulukossa 1.

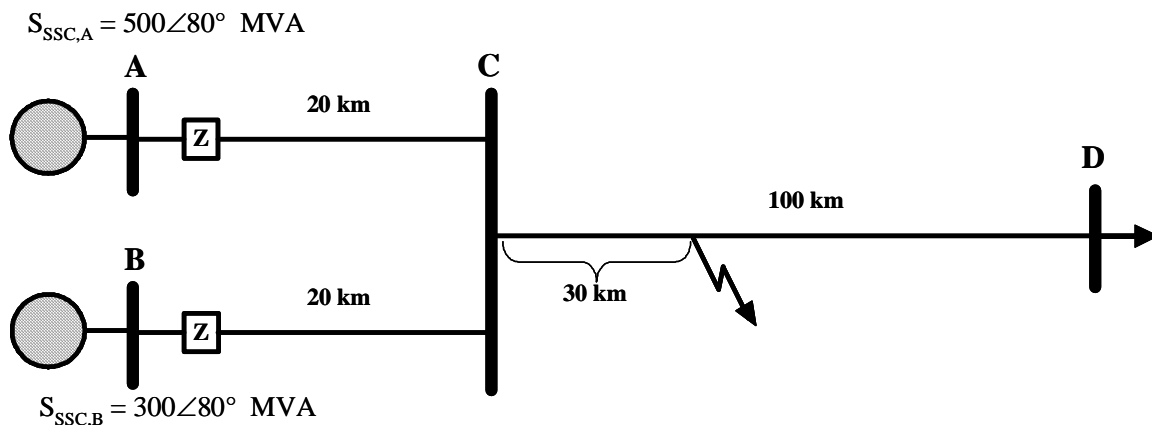
Solmupisteeseen A kytkeytyvän ulkoisen järjestelmän oikosulkuteho on $500\angle 80^\circ$ MVA ja solmupisteeseen B kytkeytyvän järjestelmän $300\angle 80^\circ$ MVA. Siirtojohtojen impedanssi on $0.4\angle 80^\circ \Omega/(\text{vaihe}\cdot\text{km})$. Järjestelmän nimellisjännite on 50 kV.

- Määritä milloin distanssireleet A ja B antavat laukaisupulssin, kun johdolla C-D 30 km etäisyydellä solmupisteestä C tapahtuu vikaimpedanssiton kolmivaiheinen oikosulku (kts. kuva 2).
- Kuinka kaukana (ilmoita vastaus **kilometreissä**) johdolla C-D tapahtuvan kolmivaiheisen vikaimpedanssittoman oikosulun releet A ja B voivat havaita taulukossa 1 annettujen asetteluarvojen puitteissa. Muista määrittää maksimietäisyys molemmille releille.

Taulukko 1 Releiden A ja B asetteluarvot

	Vyöhyke 1		Vyöhyke 2		Vyöhyke 3	
	$Z_{\text{zone1}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone2}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone3}} [\Omega]$	Viive [s]
A	20	0.0	40	0.2	80	0.5
B	30	0.2	80	0.5	----	----

Molempien distanssisuojien impedanssin karakteristinen kulma on 65°



Kuva 2. Tarkasteltavan 50 kV:n järjestelmän rakenne

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 5.5.2008

Sami Repo ja Pasi Vuorenpää

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

- d) Selosta mitkä tekijät ja millä tavalla vaikuttavat siirtojohdon alku- ja loppupään jännitteisiin siirrettävän tehon suhteen. Hyödynnä selostuksessa siirtojohdon π -sijaiskytkentää.
- e) Millä tavalla johdon loppupäähän asennettava rinnakkaiskondensaattori vaikuttaa siirtojohdon jännitteisiin ja siirtokykyyn?
- f) Piirrä osoitindiagrammi yliluonnollisella tehoalueella toimivasta siirtojohdosta, kun johdon loppupäässä on rinnakkaiskondensaattori. Diagrammissa tulee näkyvät sekä johdon alku- ja loppupään jännitteet ja jännitehäviöosoittimet että näennäis-, pätö- ja loisivirtaosoittimet. Siirtojohdon kuormitusvirran suuruuden voit valita itse. Tehtävässä on oleellista, että osoittimet ovat selvästi oikeansuuntaisia.

2. Tehonsäätö

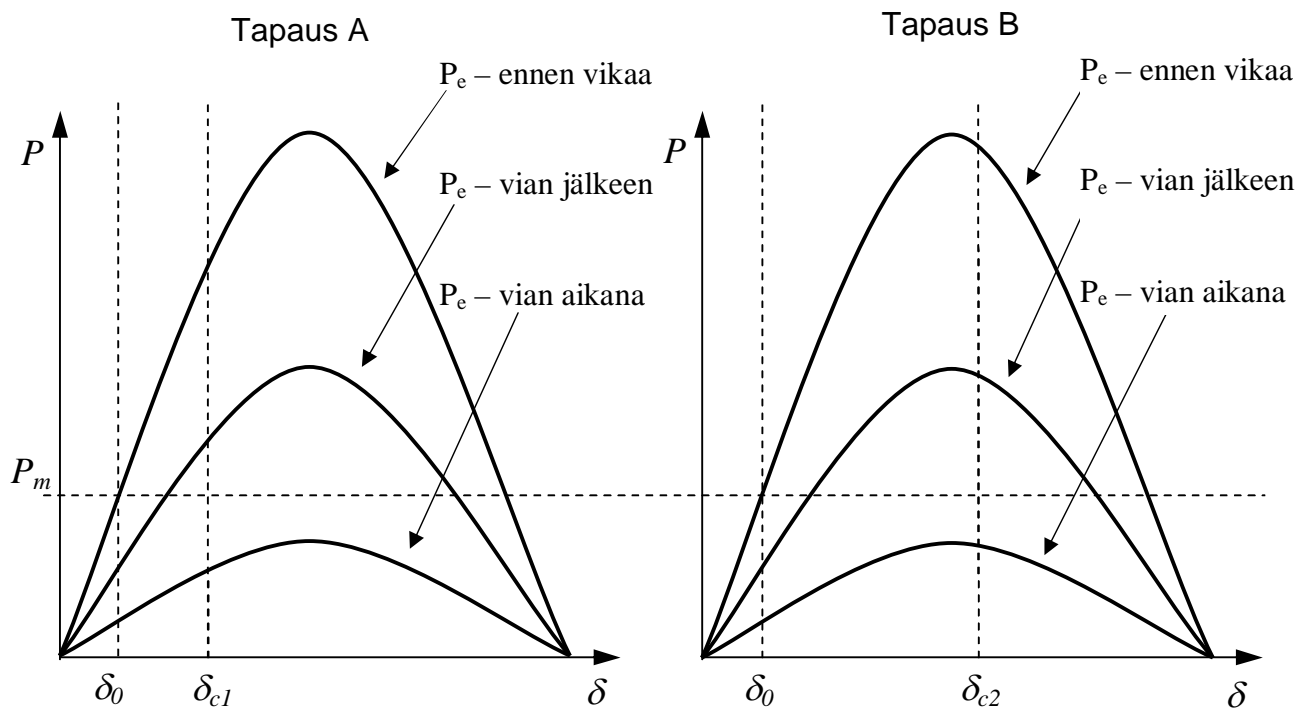
Pieni saarekkeena toimiva sähköjärjestelmä koostuu kolmesta generaattorista G1, G2 ja G3, joiden nimellistehot ovat 30, 40 ja 60 MW ja ne toimivat 50 %:a nimellistehostaan. Generaattori G1 irtikytkeytyy yllättäen, jolloin generaattoreiden G2 ja G3 taajuudensäätäjät säätävät ulostulotehoaan taajuuden pitämiseksi nimellisenä (50 Hz). Kuormituksen oletetaan olevan muuttumaton koko tapahtuman ajan. Kaikkien generaattoreiden säätövoima on 5 %:a generaattoreiden nimellistehojen suhteen.

- j) Mikä on koko järjestelmän statiikka, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt?
- k) Mikä on jatkuvuustilan taajuus, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt ja tehonsäätöjärjestelmä ei ole ennättänyt vielä ”korjaamaan” taajuutta?
- l) Mikä on generaattoreiden G2 ja G3 tehojen muutos?

3. Stabiilisuus

Kuvassa 1 esitetyt kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. P = pätöteho, δ = tehokulma, alaindeksit 0 ja c viittaavat vastaavasti ennen vikaa vallitsevaan tasapainotilaan ja vian erottamisajankohtaan.

- Perustelevatko kuvan 1 tilanteet A ja B stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Arvioi pinta-alakriteerion avulla maksimikulmaa johon järjestelmä vian seurauksena heilahtaa ja piirrä kulma kuvaajiin. Piirrä lisäksi kuvaajiin stabiilisuuden määrittämisessä käytettävät pinta-alat.
- Perustelevat miksi tehokäyrät ovat erilaiset ennen vikaa, vian aikana ja vian jälkeen.
- Kuvaa generaattorin pätötehon, pyörimisnopeuden ja tehokulman käyttäytymistä tapauksessa A.



Kuva 1.

4. Vastaa lyhyesti

- Mitä hyötyä on Parkin muunnoksesta tahtikoneen mallinnuksessa?
- Selosta kuinka PU-diagrammin avulla voidaan analysoida sähköverkon jännitestabiilisuutta.
- Mikä on sähköverkon pullonkaula? Mitä sen ilmetessä tulisi tehdä?
- Luettele mielestäsi kolme tärkeintä sähkön pörssihintaan vaikuttavaa tekijää. Mistä syystä nämä tekijät vaikuttavat hintaan erityisen voimakkaasti?

5. Relesuojaus

Solmupistettä C syötetään pisteistä A ja B käsin siirtojohtojen A-C ja B-C kautta kuvan 2 osoittamalla tavalla. Solmupisteiden A ja B johtolähdöille on sijoitettu distanssireleet järjestelmän siirtojohtojen suojaamiseksi. Releiden asetteluarvot sekä niitä vastaavat viiveet ovat esitettyinä taulukossa 1.

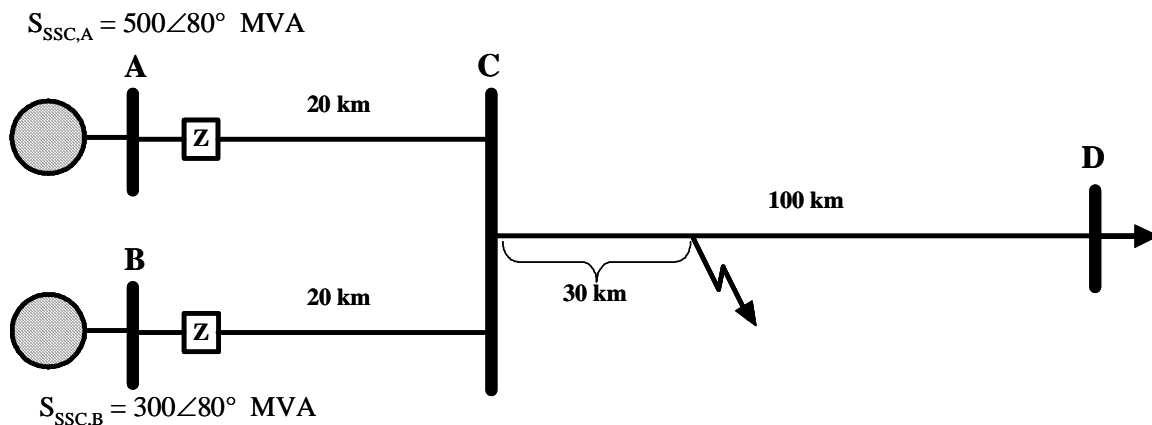
Solmupisteeseen A kytkeytyvän ulkoisen järjestelmän oikosulkuteho on $500\angle 80^\circ$ MVA ja solmupisteeseen B kytkeytyvän järjestelmän $300\angle 80^\circ$ MVA. Siirtojohtojen impedanssi on $0.4\angle 80^\circ \Omega/(\text{vaihe}\cdot\text{km})$. Järjestelmän nimellisjännite on 50 kV.

- Määritä milloin distanssireleet A ja B antavat laukaisupulssin, kun johdolla C-D 30 km etäisyydellä solmupisteestä C tapahtuu vikaimpedanssiton kolmivaiheinen oikosulku (kts. kuva 2).
- Kuinka kaukana (ilmoita vastaus **kilometreissä**) johdolla C-D tapahtuvan kolmivaiheisen vikaimpedanssittoman oikosulun releet A ja B voivat havaita taulukossa 1 annettujen asetteluarvojen puitteissa. Muista määrittää maksimietäisyys molemmille releille.

Taulukko 1 Releiden A ja B asetteluarvot

	Vyöhyke 1		Vyöhyke 2		Vyöhyke 3	
	$Z_{\text{zone1}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone2}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone3}} [\Omega]$	Viive [s]
A	20	0.0	40	0.2	80	0.5
B	30	0.2	80	0.5	----	----

Molempien distanssisuojien impedanssin karakteristinen kulma on 65°



Kuva 2. Tarkasteltavan 50 kV:n järjestelmän rakenne

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 27.3.2008

Sami Repo ja Pasi Vuorenpää

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

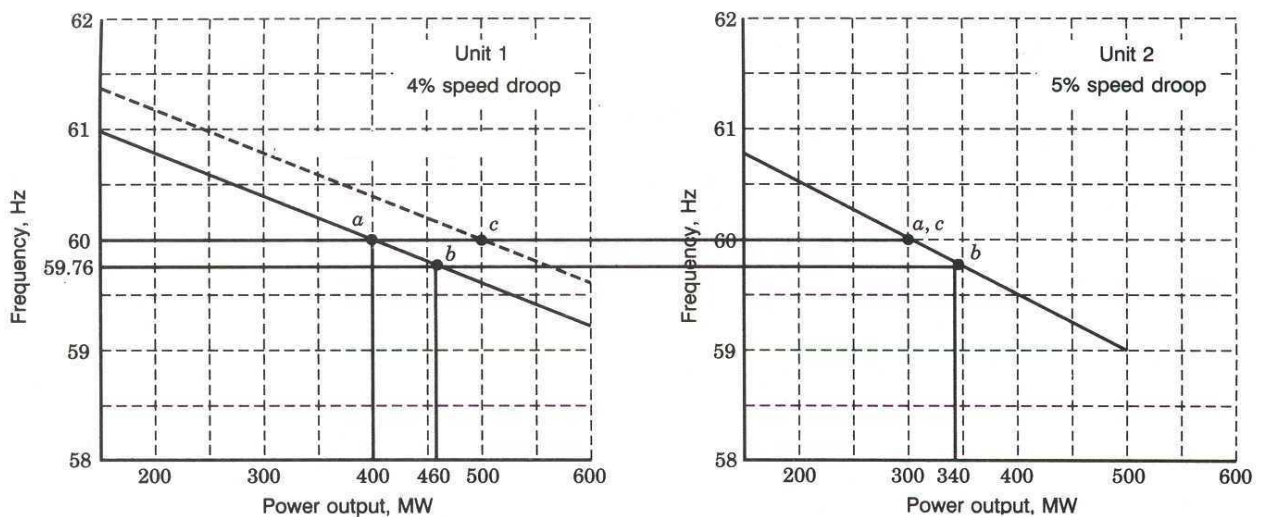
1. Jännitteensäätö

Solmujen 1 ja 2 välillä on siirtojohto, jonka impedanssi on $Z = 0.05 + j0.02$ pu. Solmussa 2 on kuormitus, jonka suuruus on $S_2 = 1.0 + j0.6$ pu. Molempien solmupisteiden jännitteet halutaan pitää vakioina $|V_1| = |V_2| = 1.0$.

- Kuinka suuri rinnakkaiskondensaattori (määritä kondensaattorin loistehon suuruus) solmuun 2 on kytkettävä, jotta jännitteen säätö onnistuisi? (4 p)
- Piirrä tilanteesta sekä jännitteiden / virtojen osoitinpiirros että tehojen osoitinpiirros, jossa ovat mukana kuorma, kondensaattori ja siirtojohto. Muista määritellä virtojen positiiviset suunnat sähköverkossa. (2 p)

2. Tehonsäätö

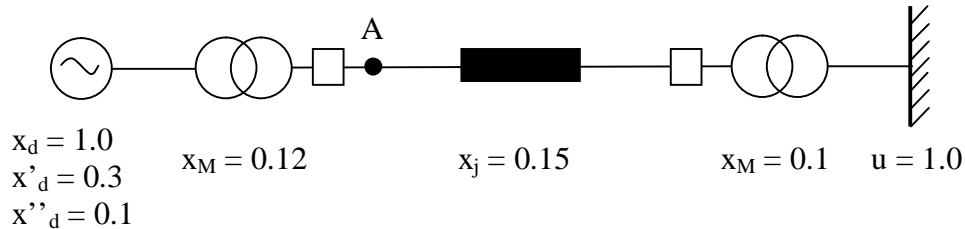
Kuvassa 1 on esitetty kahden generaattorin (unit 1 ja unit 2) käyttäytyminen tilanteessa, jossa kuorman lisäys on 100 MW:a. Generaattorit toimivat aluksi pisteessä a. Kuorman lisäyksen jälkeen toimintapiste muuttuu ensin pisteeseen b ja lopuksi pisteeseen c. Selvitä mitä ja miksi missäkin vaiheessa a, b ja c tapahtuu ja minkä takia generaattorit siirtyvät pisteestä toiseen.



Kuva 1.

3. Stabiilisuus

Generaattori syöttää yhden säteittäisen siirtojohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $p = 0.8$ pu ja $\cos\varphi = 0.85_{\text{ind}}$. Pisteessä A tapahtuu vikaresistanssiton kolmivaiheinen oikosulku aiheuttaen siirtojohdon päissä olevien katkaisijoiden (nelikulmiot) aukeamisen 0.1 s kuluttua vian syntymisestä. Oletetaan, että vika häviää katkaisijoiden toimittua. Laske tehokulma δ' , jolla katkaisijoiden on viimeistään sulkeuduttava, jotta stabiilisuus säilyisi.



Kuva 2.

4. Vastaa lyhyesti

- Kuinka umpi- ja avonapaisten tahtikoneiden vaimennusta voidaan lisätä? Piirrä tarvittaessa asiaa selventäviä kuvia. Mikä merkitys tahtikoneen vaimennuksella on sähköjärjestelmän kannalta?
- Selosta kuinka generaattorin säätöjärjestelmät vaikuttavat sähköverkon jännitestabiilisuuteen.
- Mitä on vastakauppa ja mihin sitä tarvitaan? Kuinka vastakaupat käytännössä toteutetaan?
- Millä tavalla vesivoiman määrä (voimalaitosten käytettävissä oleva hetkellinen teho ja varastoaltaisiin sitoutunut veden potentiaalienergia) vaikuttaa sähköntuotannon lyhyen- ja pitkäntähtäimen optimointiin?

5. Valitse toinen kysymyksistä

- Selosta lyhyesti IEC 61850 asema-automaatiostandardin keskeistä sisältöä vierailuluennon pohjalta. Kerro lisäksi mitä etua uudella standardilla voidaan saavuttaa perinteisiin ratkaisuihin verrattuna.
- Selosta siirtojohdon distanssisuojauksen peruseriaate. Kuvaa lisäksi kuinka siirtojohdon varasuojaus toteutetaan distanssisuojilla. Selosta myös distanssisuojauksen mahdollisia ongelmakohtia: niiden syntymekanismeja ja mahdollisia ratkaisukeinoja.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 8.10.2007

Sami Repo

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Essee

Selosta siirtojohdon loistehon kompensoinnin perusteita eli miksi loistehoa on kompensoitava ja mitkä tekijän ja millä tavalla vaikuttavat kompensoinnin tarpeeseen. Selosta myös siirtojohdon loistehon kompensoinnin toteuttamiseen käytettäviä teknisiä ratkaisuja ja niiden ominaisuuksia.

2. Tehonsäätö

Pieni saarekkeena toimiva sähköjärjestelmä koostuu kolmesta generaattorista G1, G2 ja G3, joiden nimellistehot ovat 30, 40 ja 60 MW ja ne toimivat 50 %:a nimellistehostaan. Generaattori G1 irtikytkeytyy yllättäen, jolloin generaattoreiden G2 ja G3 taajuudensäätäjät säätävät ulostulotehoaan taajuuden pitämiseksi nimellisenä (50 Hz). Kuormituksen oletetaan olevan muuttumaton koko tapahtuman ajan. Kaikkien generaattoreiden säätövoima on 5 %:a generaattoreiden nimellistehojen suhteen.

- m) Mikä on koko järjestelmän statiikka, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt?
- n) Mikä on jatkuvuustilan taajuus, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt ja tehonsäätöjärjestelmä ei ole ennättänyt vielä ”korjaamaan” taajuutta?
- o) Mikä on generaattoreiden G2 ja G3 tehojen muutos?

3. Tuotannon optimointi

Määritä optimaalinen ajojärjestys taulukon 1 tuotantoyksiköille seuraavissa peräkkäisissä kuormitustilanteissa (450, 530 ja 600 MW). Yksiköt 2 ja 3 ovat käynnissä ajanhetkellä $t=0$.

Tehtävässä oletetaan, että kustannukset käyttäytyvät lineaarisesti tehon funktiona.

Taulukko 1. Tuotantoyksiköiden tiedot.

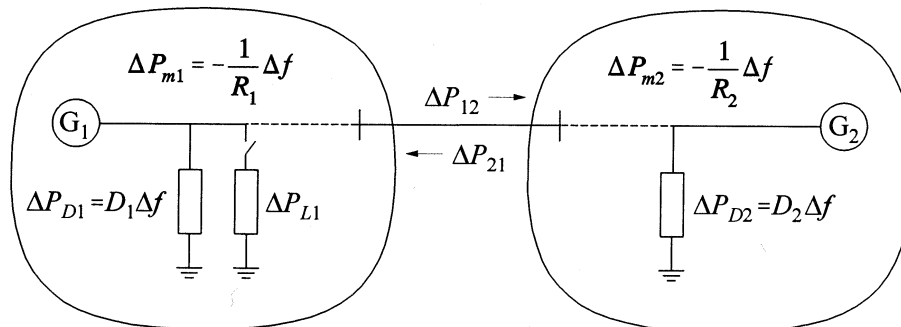
Yksikö	Maksimi-teho [MW]	Minimi-teho [MW]	Tyhjäkäynti-kustannukset [€/h]	Keskimääräinen kustannus nimellisteholla [€/MWh]	Minimi käynnissä-oloaika [h]	Minimi sammutus-aika [h]	Käynnistys-kustannus [€]
1	80	25	213	23.54	4	2	350
2	250	60	585.62	20.34	5	3	400
3	300	75	684.74	19.74	5	4	1100
4	60	20	252.00	28.00	1	1	0.02

4. Vastaa ytimekkäästi

- Piirrä 12-pulssisilla suuntaajajilloilla varustetun bipolaarisen HVDC-linkin rakenne. Mitä etuja tästä rakenteesta on verrattuna monopolaariseen yhteyteen verrattuna? Selosta lyhyesti kunkin komponentin tehtävä linkissä.
- Jos jostain syystä, esimerkiksi kahden yhtäaikaisen vian seurauksena, menetetään siirtoverkon käyttövarmuus, on kantaverkkoyhtiöllä joukko toimenpiteitä tämän häiriötilanteen hallitsemiseksi. Mitä nämä toimenpiteet ovat ja kuinka niitä käytetään ko. häiriötilanteessa?
- Kuinka umpi- ja avonapaisten tahtikoneiden vaimennusta voidaan lisätä? Piirrä tarvittaessa asiaa selventäviä kuvia. Mikä merkitys tahtikoneen vaimennuksella on sähköjärjestelmän kannalta?

5. Valitse toinen kysymyksistä

- Kirjoita essee transienttistabiilisuuden parantamisen keinoista ja ”mekanismeista” joilla keinot vaikuttavat stabiilisuuden paranemiseen.
- Kuvassa a on esitetty alueiden 1 ja 2 ja yhdysjohdon muodostaman järjestelmän kaavio. Johda yhtälöt yhdysjohdon tehonmuutokselle ΔP_{12} , jatkuvuustilan taajuuspoikkeamalle Δf ja kummankin alueen aluesäätövirheelle, kun alueella 1 kuorman muutos on ΔP_{L1} ja tarkastellaan tilannetta välittömästi kuormitusmuutoksen jälkeen (taajuuspoikkeaman ja aluesäätövirheen korjausta ei ole aloitettu). Perustele vastauksesi, pelkkien yhtälöiden pyörittäminen ilman perusteluita ei riitä täydelliseen vastaukseen! Kuvan muut suureet ovat: ΔP_m on generaattorin sisäänmenotehon muutos, R on säätövoima, ΔP_D on taajuusriippuvan kuorman muutos ja D on kuorman vaimennuskerroin. Voit olettaa, että kaikki suureet ovat suhteellisarvoja.



Kuva 1.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

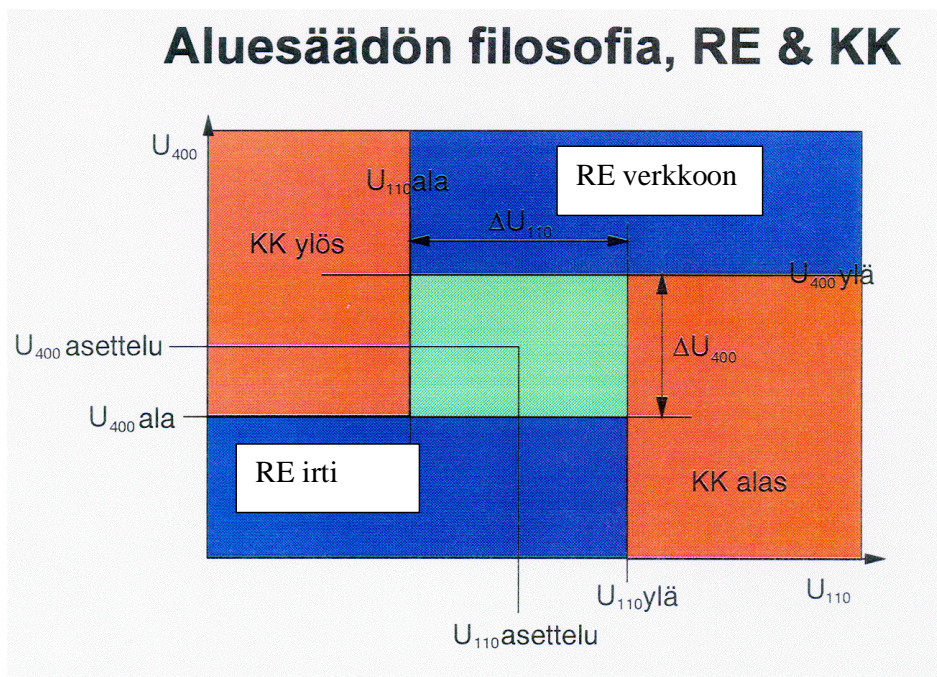
Tentti, 7.5.2007

Sami Repo

Tentissä saa olla mukana ohjelmoitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

- Selosta 400 kV:n siirtojohtoon jännitteensäädön periaate (mitä säädetään ja miksi).
- Esittele loistehon rinnakkaiskompensointilaitteet. Kuvaa niiden ominaisuudet, sovelluskohteet ja rinnakkaiskompensoinnin toimintaperiaate näissä sovelluksissa.
- Kuvassa 1 on esitetty aluesäädön filosofia 400 kV:n reaktorin ja 400/110 kV muuntajan käämikytkimen osalta. Selosta kuvaa käyttäen kyseessä oleva säätöperiaate. Miksi ko. aluesäätö on ”fiksi” (mihin aluesäädöllä pyritään)? Missä tilanteissa aluesäätö on parempi ratkaisu kuin perinteinen yksittäisten komponenttien paikallissäätö? RE = reaktori, KK = käämikytkin, U = jännite (alaindeksi viittaa jännitetasoon), $U_{asettelu}$ = jännitteen asetteluarvo ja ΔU = jännitteen muutos.



Kuva 1.

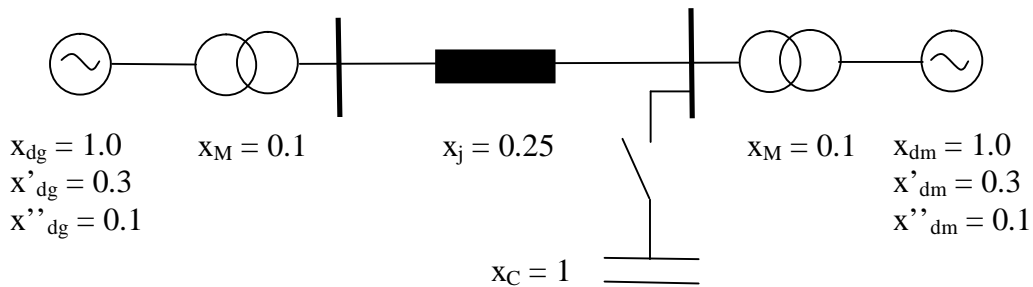
2. Tehonsäätö

Pieni saarekkeena toimiva sähköjärjestelmä koostuu kolmesta generaattorista G1, G2 ja G3, joiden nimellistehot ovat 30, 40 ja 60 MW ja ne toimivat 50 %:a nimellistehostaan. Generaattori G1 irtikytketty yllättäen, jolloin generaattoreiden G2 ja G3 taajuudensäätäjät säätävät ulostulotehoaan taajuuden pitämiseksi nimellisenä (50 Hz). Kuormituksen oletetaan olevan muuttumaton koko tapahtuman ajan. Kaikkien generaattoreiden säätövoima on 5 %:a generaattoreiden nimellistehojen suhteen.

- p) Mikä on koko järjestelmän statiikka, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt?
- q) Mikä on jatkuvuustilan taajuus, kun generaattori G1 on irtikytkeytynyt ja tehonsäätöjärjestelmä ei ole ennättänyt vielä ”korjaamaan” taajuutta?
- r) Mikä on generaattoreiden G2 ja G3 tehojen muutos?

3. Stabiilisuus

Määritä kuinka paljon suurempi kuvan 3 järjestelmässä staattisen stabiilisuuden tehoraja on kondensaattorin kanssa kuin ilman sitä. Tehtävässä oletetaan, että kondensaattori ei vaikuta verkon jatkuvuustilan jännitetasoon ja generaattori (vasemmalla) ja moottori (oikealla) toimivat nimellisjännitteillään.



Kuva 3.

4. Vastaa ytimekkäästi

- d) Piirrä 12-pulssisilla suuntaajasilloilla varustetun bipolaarisen HVDC-linkin rakenne. Mitä etuja tästä rakenteesta on verrattuna monopolaariseen yhteyteen verrattuna? Selosta lyhyesti kunkin komponentin tehtävä linkissä.
- e) Jos jostain syystä, esimerkiksi kahden yhtäaikaisen vian seurauksena, menetetään siirtoverkon käyttövarmuus, on kantaverkkoyhtiöllä joukko toimenpiteitä tämän häiriötilanteen hallitsemiseksi. Mitä nämä toimenpiteet ovat ja kuinka niitä käytetään ko. häiriötilanteessa?
- f) Kuinka umpi- ja avonapaisten tahtikoneiden vaimennusta voidaan lisätä? Piirrä tarvittaessa asiaa selventäviä kuvia. Mikä merkitys tahtikoneen vaimennuksella on sähköjärjestelmän kannalta?

5. Valitse toinen kysymyksistä

- a) Unit commitment. Kerro mitä, miksi ja miten ratkaistaan tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen määrittämisessä. Selosta myös minkälaisen optimointiongelman (optimoitava funktio ja sen reunaehdot) kyseisestä tehtävästä saa muodostettua.
- b) Distanssisuojaus. Selosta suuntaominaisuuden sisältävän impedanssireleen (distanssireleen) toimintaperiaate ja sen käyttäytyminen siirtojohdon suojauksessa. Piirrä numeerisen releen toimintakaavio, jonka avulla havainnollistat suojan toimintaa. Kuvaa myös kuinka siirtojohtojen suojauksessa impedanssireleellä voidaan toteuttaa varasuojaus.

SVT-3411 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

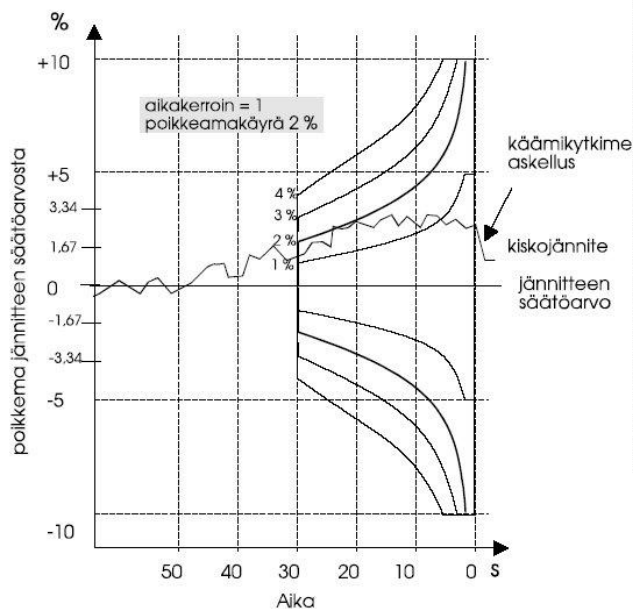
Tentti, 23.3.2007

Sami Repo

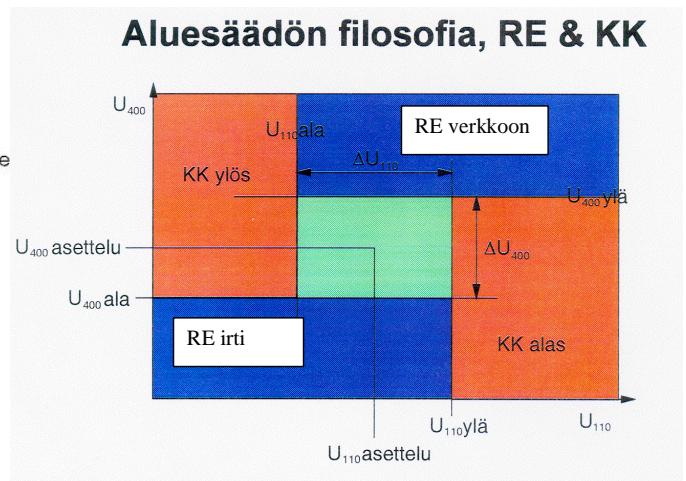
Tentissä saa olla mukana ohjelmitava laskin, jos se on luotettavasti resetoitu valvojan nähden. Lisäksi tentissä saa olla mukana opiskelijan itsensä laatima kaavaluettelo, joka ei saa sisältää minkäänlaista tekstiä. Kaavaluettelo on palautettava tentin mukana.

1. Jännitteen säätö

- s) Selosta kuvaa 1 käyttäen käämikytkimen toimintaperiaate (esim. muuntajassa 110/20 kV).
- t) Piirrä siirtojohdon osoitindiagrammi jännitteiden, jännitehäviön ja virtojen suhteen, kun johto kuvataan sarjaimpedanssilla. Johdon tehokerroin on induktiivinen, mutta sen suuruuden voit valita itse. Piirrä samaan kuvaan uudet osoittimet tilanteesta, jossa johto on kompensoitu rinnakkaiskondensaattorilla johdon loppupäässä siten, että johdon tehokerroin on yksi. Määritä käyttämäsi merkinnät johdon sijaiskytkennässä.
- u) Kuvassa 2 on esitetty aluesäädön filosofia 400 kV:n reaktorin ja 400/110 kV muuntajan käämikytkimen osalta. Selosta kuvaa käyttäen kyseessä oleva säätöperiaate. Miksi ko. aluesäätö on ”fiksi” (mihin aluesäädöllä pyritään)? Missä tilanteissa aluesäätö on parempi ratkaisu kuin perinteinen yksittäisten komponenttien paikallissäätö? RE = reaktori, KK = käämikytkin, U = jännite (alaindeksi viittaa jännitetasoon), $U_{asettelu}$ = jännitteen asetteluarvo ja ΔU = jännitteen muutos.



Kuva 1.



Kuva 2.

2. Taajuudensäätö

Kuvassa 3 on esitetty saarekkeeseen kytketyn voimalaitoksen taajuudensäätöjärjestelmän lohkokaavio.

- a) Sähkövoimajärjestelmässä tapahtuu äkillinen kuormituksen kasvu ΔP_D . Ennen kuormituksen muutosta järjestelmä on staattisessa tilassa. Selosta kuvassa 3 esitettyä lohkokaaviota apuna käyttäen miten ja miksi taajuudensäätöjärjestelmä toimii kyseisessä muutostilanteessa. Kuvaa tapahtumaketjun keskeiset syy-seuraus-suhteet ja pyri samalla kuvamaan järjestelmän toiminta-aikoja (oletetaan muutostilanteen ajanhetkeksi 0 s). Miten staattinen tila, johon järjestelmä asettuu muutoksen jälkeen, poikkeaa kuormitusmuutosta edeltäneestä staattisesta tilasta, kun taajuudensäätö on toteutettu kuvassa 3 esitetyllä tavalla. (4 p.)
- b) Mitkä todellisen sähkövoimajärjestelmän tekijät määrittävät kuvan 3 säätöjärjestelmän aikavakioiden suuruuden?
- c) Kuvassa esitetty taajuudensäätöjärjestelmä on osittain puutteellinen kun huomioidaan, että voimajärjestelmän taajuus tulee pitää mahdollisimman lähellä nimellistaajuutta. Miten säätöjärjestelmän rakennetta tulisi muokata tavoitteen saavuttamiseksi? (1 p.)

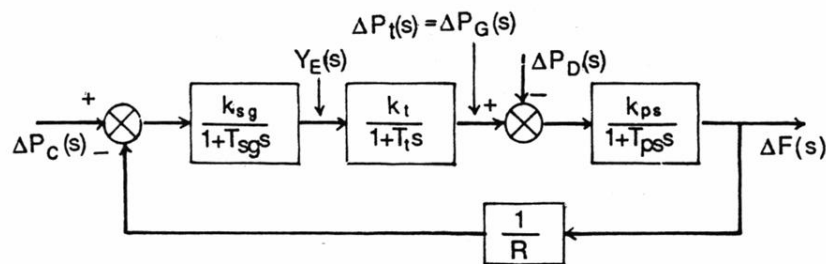
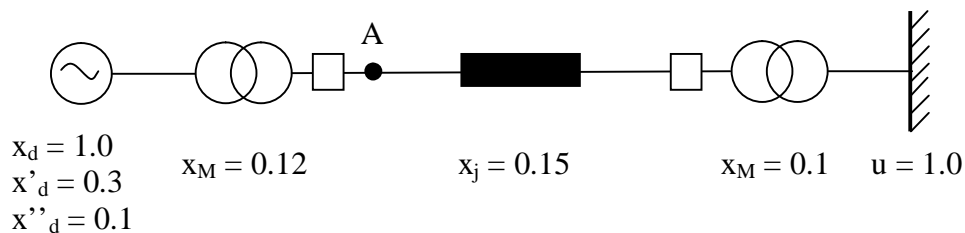


Fig. 8.6 Block diagram model of load frequency control (isolated power system)

Kuva 3.

3. Transienttistabiilisuus

Generaattori syöttää yhden säteittäisen siirtojohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $p = 0.8$ pu ja $\cos\varphi = 0.85_{\text{ind}}$. Pisteessä A tapahtuu vikaresistanssiton kolmivaiheinen oikosulku aiheuttaen siirtojohdon päissä olevien katkaisijoiden (nelikulmiot) aukeamisen 0.1 s kuluttua vian syntymisestä. Oletetaan, että vika häviää katkaisijoiden toimittua. Laske tehokulma δ' , jolla katkaisijoiden on viimeistään sulkeuduttava, jotta stabiilisuus säilyisi.



Kuva 4.

4. Selosta mitä seuraavat käsitteet ja termit tarkoittavat ja mihin niitä käytetään

- | | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| g) Vastaosto | j) Parkin muunnos |
| h) $(n-1)$ -kriteeri | k) Tuotantoyksikön lisäkustannus |
| i) Taajuusohjattu häiriöreservi | l) Lagrangen menetelmä |

5. Relesuojaus

Solmupistettä C syötetään pisteistä A ja B käsin siirtojohtojen A-C ja B-C kautta kuvan 5 osoittamalla tavalla. Solmupisteiden A ja B johtolähdöille on sijoitettu distanssireleet järjestelmän siirtojohtojen suojaamiseksi. Releiden asetteluarvot sekä niitä vastaavat viiveet ovat esitettyinä taulukossa 1.

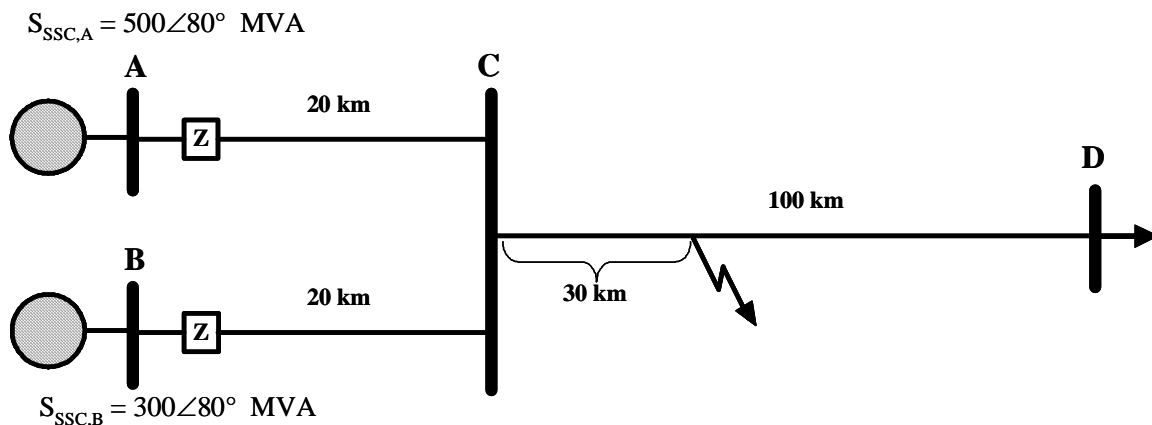
Solmupisteeseen A kytkeytyvän ulkoisen järjestelmän oikosulkuteho on $500\angle 80^\circ$ MVA ja solmupisteeseen B kytkeytyvän järjestelmän $300\angle 80^\circ$ MVA. Siirtojohtojen impedanssi on $0.4\angle 80^\circ \Omega/(\text{vaihe}\cdot\text{km})$. Järjestelmän nimellisjännite on 50 kV.

- Määritä milloin distanssireleet A ja B antavat laukaisupulssin, kun johdolla C-D 30 km etäisyydellä solmupisteestä C tapahtuu vikaimpedanssiton kolmivaiheinen oikosulku (kts. kuva 5).
- Kuinka kaukana (ilmoita vastaus **kilometreissä**) johdolla C-D tapahtuvan kolmivaiheisen vikaimpedanssittoman oikosulun releet A ja B voivat havaita taulukossa 1 annettujen asetteluarvojen puitteissa. Muista määrittää maksimietäisyys molemmille releille.

Taulukko 1 Releiden A ja B asetteluarvot

	Vyöhyke 1		Vyöhyke 2		Vyöhyke 3	
	$Z_{\text{zone1}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone2}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone3}} [\Omega]$	Viive [s]
A	20	0.0	40	0.2	80	0.5
B	30	0.2	80	0.5	----	----

Molempien distanssisuojien impedanssin karakteristinen kulma on 65°



Kuva 5. Tarkasteltavan 50 kV:n järjestelmän rakenne

SVT-3410 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 10.4.2006

Sami Repo, Tuomas Rauhala

1. Tuotannon optimointi

- g) Määritä tuotantoyksiköiden 1, 2 ja 3 tuottamat optimitehot tuotantokustannusten suhteen, kun kokonaiskuorma on 850 MW.
- h) Hiilen hinta pienenee arvoon 0.9 R/MBtu. Määritä kunkin yksikön lisäkustannukset uudessa tilanteessa.

Taulukko 1. Tuotantoyksiköiden tiedot.

Yksikkö	Polttoaine	Polttoaineen hinta [R/MBtu]	Max teho [MW]	Min teho [MW]	Sisäänmeno -ulostulo käyrä [MBtu/h]
1	Hiili	1.1	600	150	$H_1=510+7.2P_1+0.00142P_1^2$
2	Öljy	1.0	400	100	$H_2=310+7.85P_2+0.00194P_2^2$
3	Öljy	1.0	200	50	$H_3=78+7.97P_3+0.00482P_3^2$

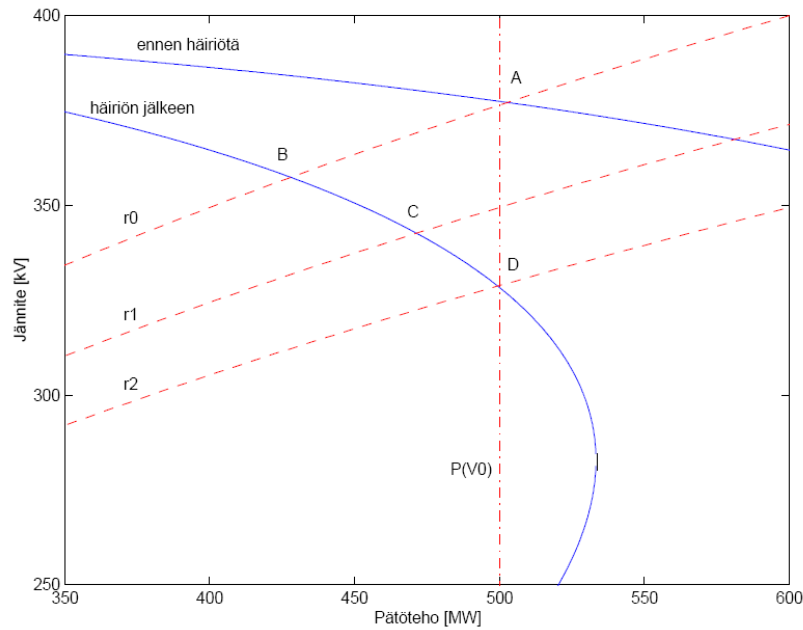
2. Jännitestabiilisuus

Kuvassa 1 on esitetty säteittäisellä johdolla olevan 400/110 kV:n muuntajan käämikytkimen toiminta jännitehäiriön yhteydessä. Muuntajan toisioon on kytketty 500 MW:n kuormitus, jonka jatkuvuustilan jänniteriippuvuuden eksponenttikerroin on yksi. Kuvassa esitetyt suureet on mitattu muuntajan yläjännitepuolelta. Yhtenäisellä viivalla on esitetty sähköjärjestelmää, katkoviivalla jänniteriippuvaa kuormitusta ja katko-pisteviivalla vakiotehokuormaa. Merkinnät r_0 , r_1 ja r_2 ovat käämikytkimen asentoja siten, että $r_0 > r_1 > r_2$ (käämikytkin askeltaa alaspäin).

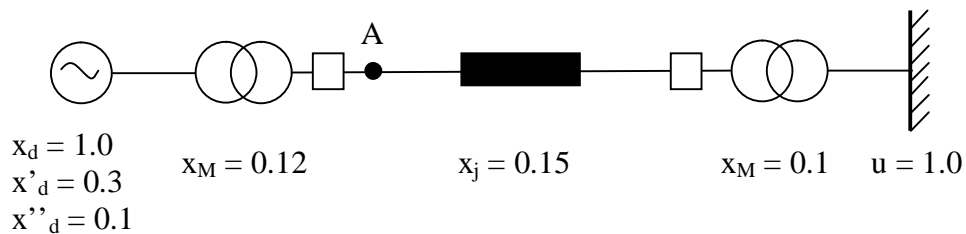
- a) Selosta kuvaa hyödyntäen mitä ja miksi ko. häiriössä tapahtuu.
- b) Mihin pisteeseen häiriön jälkeinen toimintapiste asettuu? Miksi?
- c) Kuinka paljon siirrettävää pätötehoa voitaisiin kasvattaa vaarantamatta stabiilisuutta?
- d) Millä tavalla häiriön luonne muuttuu, jos muuntajan käämikytkin lukitaan?

3. Transienttistabiilisuus

Generaattori syöttää yhden säteittäisen siirtojohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $p = 0.8$ pu ja $\cos\phi = 0.85_{\text{ind}}$. Pisteessä A tapahtuu vikaresistanssiton kolmivaiheinen oikosulku aiheuttaen siirtojohdon päissä olevien katkaisijoiden aukeamisen 0.1 s kuluttua vian syntymisestä. Oletetaan, että vika häviää katkaisijoiden toimittua. Laske tehokulma δ' , jolla katkaisijoiden on viimeistään sulkeuduttava, jotta stabiilisuus säilyisi.



Kuva 1.



Kuva 2.

4. Selosta mitä seuraavat käsitteet ja termit tarkoittavat ja mihin niitä käytetään

- SVC
- Voimalaitoksen säätövoima
- Mitoittava vika
- Aluehinta
- Loisvirtastatiikka
- Hitausmomenttikerroin
- Vastaosto
- Kommutointi

5. Distanssisuojaus

Selosta suuntaominaisuuden sisältävän impedanssireleen (distanssireleen) toimintaperiaate ja sen käyttäytyminen siirtojohtojen suojauksessa. Piirrä sähkömekaanisen releen toimintakaavio, jonka avulla havainnollistat suojan toimintaa. Kuvaa myös kuinka siirtojohtojen suojauksessa impedanssireleellä voidaan toteuttaa varasuojaus.

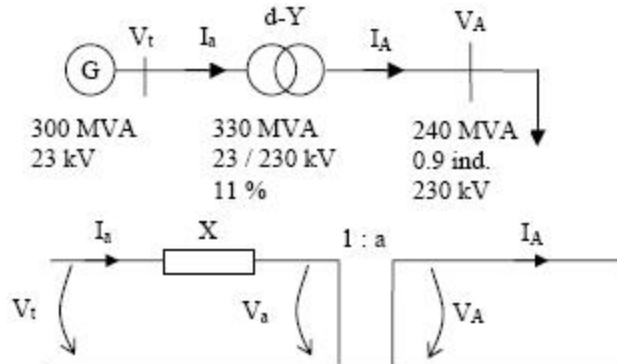
SVT-3410 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 6.3.2006

Sami Repo, Tuomas Rauhala

1. Jännitteensäätö

Generaattori syöttää muuntajan (väliottokytkin Δ -puolella) kautta kuormaa kuvan 1 mukaisesti. Generaattori pitää yllä muuntajan yläjännitepuolen jännitettä V_A . Määritä generaattorin tuottama pätö- ja loisteho, kun muuntajan muuntosuhde on $1:1.05 \angle 30^\circ$.



Kuva 1.

2. Taajuudensäätö

Kuvassa 2 on esitetty saarekkeeseen kytketyn voimalaitoksen taajuudensäätöjärjestelmän lohkokaavio.

- Sähkövoimajärjestelmässä tapahtuu äkillinen kuormituksen kasvu ΔP_D . Ennen kuormituksen muutosta järjestelmä on staattisessa tilassa. Selosta kuvassa 2 esitettyä lohkokaaviota apuna käyttäen miten ja miksi taajuudensäätöjärjestelmä toimii kyseisessä muutostilanteessa. Kuvaa tapahtumaketjun keskeiset syy-seuraus-suhteet ja pyri samalla kuvamaan järjestelmän toiminta-aikoja (oletetaan muutostilanteen ajanhetkeksi 0 s). Miten staattinen tila, johon järjestelmä asettuu muutoksen jälkeen, poikkeaa kuormitusmuutosta edeltäneestä staattisesta tilasta, kun taajuudensäätö on toteutettu kuvassa 2 esitetyllä tavalla. (3 p.)
- Mitkä tekijät määrittävät kuvan 2 säätöjärjestelmän aikavakioiden suuruuden? Käytettäessä kuvassa 2 esitettyjä lohkokaavioita on voimajärjestelmän kuvaus yksinkertaistettu äärimmilleen. Miten muuten voimajärjestelmän komponentit voidaan mallintaa tehosäätöä tarkasteltaessa? (1 p.)
- Kuvassa 2 esitetty taajuudensäätöjärjestelmä on osittain puutteellinen kun huomioidaan, että voimajärjestelmän taajuus tulee pitää mahdollisimman lähellä nimellistä taajuutta. Miten kuvassa esitetyn säätöjärjestelmän rakennetta tulisi muokata em. Tavoitteen saavuttamiseksi? Miksi? (1 p.)
- Saareke kytketään osaksi laajempaa voimajärjestelmää pitkän siirtojohdon avulla. Miten taajuudensäätöpiirin rakennetta voidaan muokata järjestelmän toiminnan parantamiseksi? (1p.)

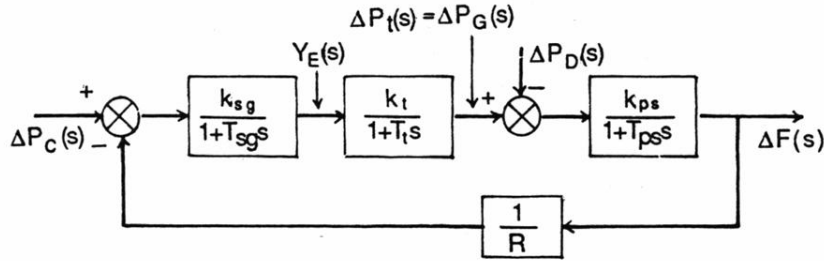


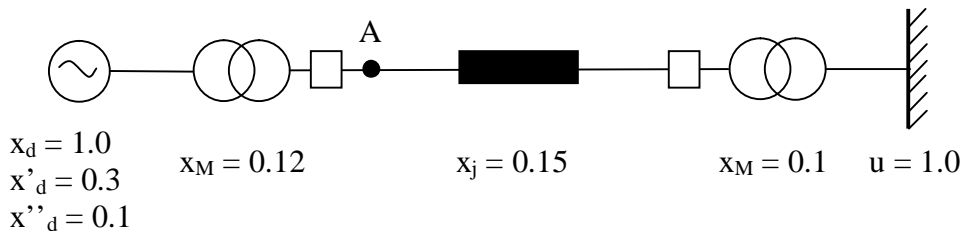
Fig. 8.6 Block diagram model of load frequency control (isolated power system)

Kuva 2.

3. Stabiilisuus

Generaattori syöttää siirto johdon kautta jäykkään verkkoon tehon $p = 0.8$ pu ja $\cos\varphi = 0.85_{\text{ind}}$. Pisteessä A tapahtuu vikaresistanssiton kolmivaiheinen oikosulku aiheuttaen siirto johdon päissä olevien katkaisijoiden aukeamisen 0.1 s kuluttua vian syntymisestä. Oletetaan, että vika häviää katkaisijoiden toimittua. Laske

- Tehokulma δ' , jolla katkaisijoiden on viimeistään sulkeuduttava, jotta stabiilisuus säilyisi. (4 p)
- Aika, joka saa korkeintaan kulua katkaisijoiden avautumisesta niiden sulkeutumiseen, kun generaattorin hitausmomenttikerroin $H = 5$ MWs/MVA. (2 p)



Kuva 3.

4. Selosta mitä seuraavat käsitteet ja termit tarkoittavat ja mihin niitä käytetään

- Loisvirtastatiikka
- PU-käyrä
- Kuormituksen jänniteriippuvuus
- Tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen prioriteettalista
- Hitausmomenttikerroin
- Vastaosto
- Kontingenssianalyysi
- Minimisammutuskulmasäätö

5. Distanss suojaus

Selosta suuntaominaisuuden sisältävän impedanssireleen (distanssireleen) toimintaperiaate ja sen käyttäytyminen siirto johdon suojauksessa. Piirrä sähkömekaanisen releen toimintakaavio, jonka avulla havainnollistat suojan toimintaa. Kuvaa myös kuinka siirtojohtojen suojauksessa impedanssireleellä voidaan toteuttaa varasuojaus.

SVT-3410 Sähkövoimajärjestelmän säätö ja käyttö

Tentti, 2.2.2006

Sami Repo, Tuomas Rauhala

1. Jännitteensäätö

Solmujen 1 ja 2 välillä on siirtojohto, jonka impedanssi on $Z = 0.05 + j0.02$ pu. Solmussa 2 on kuormitus, jonka suuruus on $S_2 = 1.0 + j0.6$ pu. Molempien solmupisteiden jännitteet halutaan pitää vakioina $|V_1| = |V_2| = 1.0$.

- c) Kuinka suuri rinnakkaiskondensaattori (määritä kondensaattorin loistehon suuruus) solmuun 2 on kytkettävä, jotta jännitteen säätö onnistuisi? (4 p)
- d) Piirrä tilanteesta sekä jännitteiden / virtojen osoitinpiirros että tehojen osoitinpiirros, jossa ovat mukana kuorma, kondensaattori ja siirtojohto. Muista määritellä virtojen positiiviset suunnat sähköverkossa. (2 p)

2. Taajuudensäätö

Kuvassa 1 on esitetty saarekkeeseen kytketyn voimalaitoksen taajuudensäätöjärjestelmän lohkoakaavio.

- h) Selosta kuinka ja millä tavalla taajuudensäätöjärjestelmä toimii. (Jos tapahtuu muutos ”siellä ja siellä” niin tapahtuu muutos ”tuolla ja tuolla” ”näin ja näin” nopeasti jne.) (3 p)
- i) Mitkä tekijät määrittävät kuvan 1 säätöjärjestelmän aikavakioiden suuruuden? Käytettäessä kuvassa 1 esitettyjä lohkoakaavioita on voimajärjestelmän kuvaus yksinkertaistettu äärimmilleen. Miten muuten voimajärjestelmän komponentit voidaan mallintaa tehosäätöä tarkasteltaessa? (1 p)
- j) Miten säätöjärjestelmän rakennetta tulee muokata pysyvän taajuussäätövirheen poistamiseksi? Perustele vastauksesi. (1 p)
- k) Saareke kytketään osaksi laajempaa voimajärjestelmää pitkän siirtojohtojen avulla. Miten taajuudensäätöpiirin rakennetta voidaan muokata järjestelmän toiminnan parantamiseksi? (1 p)

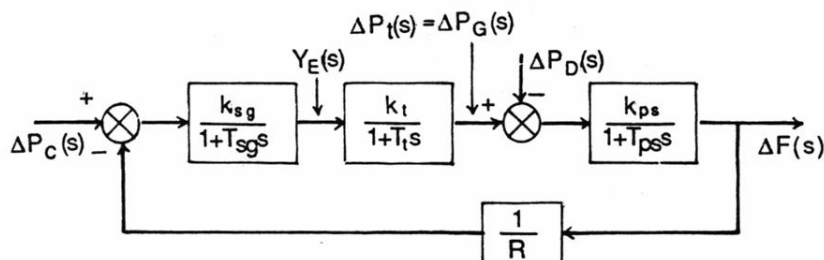


Fig. 8.6 Block diagram model of load frequency control (isolated power system)

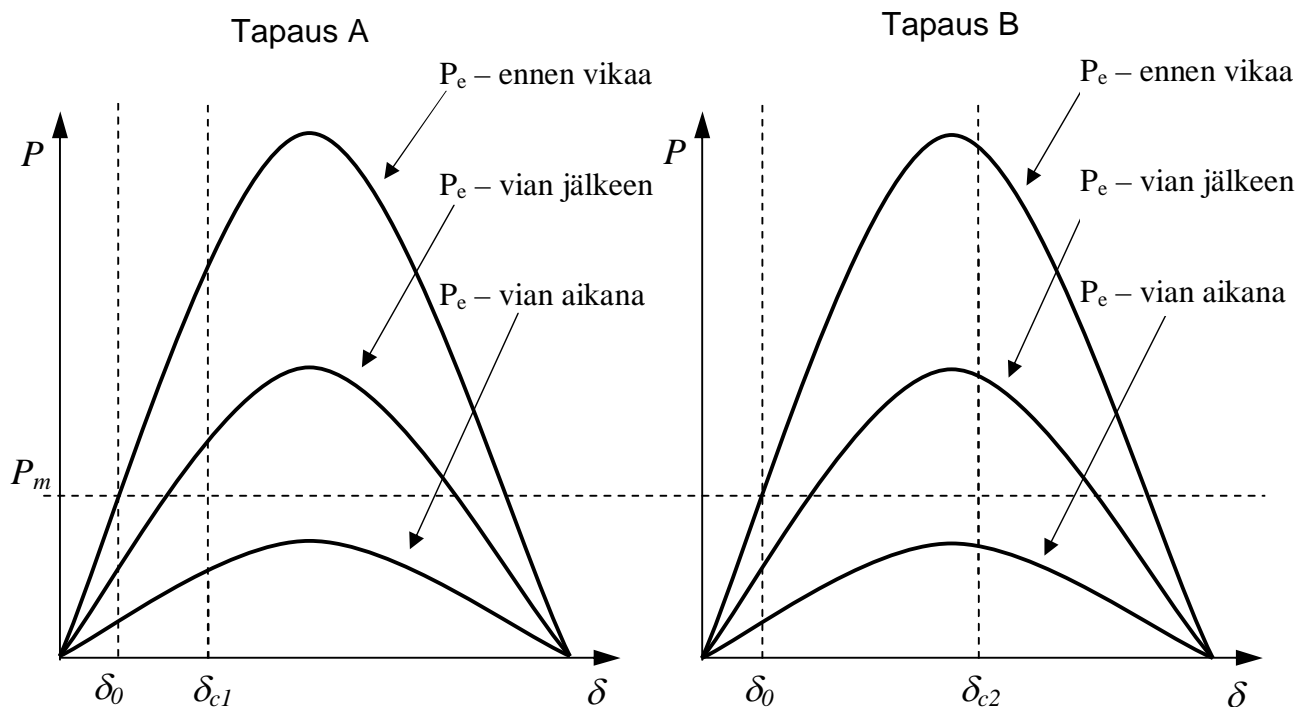
Kuva 1.

3. Stabiilisuus

Kuvassa 2 esitetyt kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon

puolivälissä. P = pätöteho, δ = tehokulma, alaindeksit 0 ja c viittaavat vastaavasti ennen vikaa vallitsevaan tasapainotilaan ja vian erottamisajankohtaan.

- j) Perustelevatko kuvan 2 tilanteet A ja B stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Arvioi pinta-alakriteerion avulla maksimikulmaa johon järjestelmä vian seurauksena heilahtaa ja piirrä kulma kuvaajiin. Piirrä lisäksi kuvaajiin stabiilisuuden määrittämiseksi käytettävät pinta-alat. (2 p)
- k) Perustelevat miksi tehokäyrät ovat erilaiset ennen vikaa, vian aikana ja vian jälkeen. (1 p)
- l) Kuvaa generaattorin pätötehon, pyörimisnopeuden ja tehokulman käyttäytymistä tapauksessa A. (3 p)



Kuva 2.

4. Selosta lyhyesti mitä seuraavat käsitteet ja termit tarkoittavat ja mihin niitä käytetään

- SVC
- QU-käyrä
- Voimalaitoksen säätövoima
- Tahdistava teho
- Tuotantoyksikön lisäkustannus
- Mitoittava vika
- Aluehinta
- Säätösähkö

5. HVDC

Kuvaile ja perustelevat tasasähkönsiirron etuja ja haittoja verrattuna vaihtosähkövoimansiirtoon.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

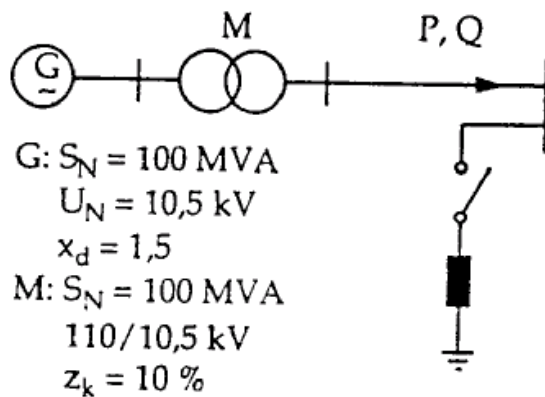
Tentti

17.10.2005

Sami Repo, Tuomas Rauhala, Jouni Pylvänäinen

1. Lasku

Generaattori syöttää verkkoon tehon $P = 80 \text{ MW}$, $Q = 0$. Verkon liityntäpisteen jännite $U = 115 \text{ kV}$ ja verkon oikosulkuteho $S_k = 800 \text{ MVA}$ jännitteellä 115 kV . Paljonko aseman jännite muuttuu, jos sinne kytketään reaktori, jonka nimellisarvot ovat $U_n = 120 \text{ kV}$, $Q_n = 40 \text{ Mvar}$.



Kuva 1.

2. Essee

Selosta ja kuvaile tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen määrittämistä. Vastaa ainakin seuraaviin kysymyksiin:

- Miksi tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen määrittäminen on erityisen tärkeää tuotantoyhtiön viikkosuunnittelussa?
- Mitkä tekijät ovat ajojärjestyksen määrittämisen reunaehtoja ja millä perusteella ne ovat sitä?
- Minkälaisia menetelmiä ajojärjestyksen määrittämiseksi on olemassa? Älä takerru yksityiskohtiin, kuvaa ainoastaan pääpiirteet siten, että eri menetelmät voidaan selkeästi erottaa toisistaan. Mainitse lisäksi kunkin menetelmän hyvät ja huonot puolet.
- Mitä epävarmuustekijöitä ajojärjestyksen määrittämiseen käytännössä liittyy?
- Kuinka nämä epävarmuustekijät voidaan ottaa huomioon ajojärjestyksestä suunniteltaessa?

3. Vastaa ytimekkäästi

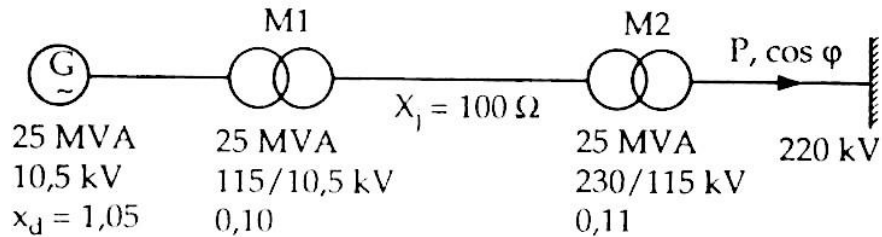
- Mitä keinoja voidaan käyttää pysyvän taajuusvirheen poistamiseksi esimerkiksi häiriötilanteen jälkeen?
- Mikä on hetkellinen häiriöreservi ja mihin sitä tarvitaan?
- Kuinka siirtoverkon pullonkauloja hallitaan hinta-alueiden sisällä Nordel:ssä?
- Millä tavalla kuormien jänniteriippuvuus vaikuttaa siirtojärjestelmän jännitestabiilisuuteen?
- Kuvaile $(n-1)$ käyttövarmuuskriteerin periaate.

f) Milloin tasasähkönsiirto on vaihtosähköyhteyttä kannattavampi ratkaisu?

4. Lasku

Generaattori syöttää verkkoon kuvan 3 mukaisesti tehon $P = 20 \text{ MW}$, $\cos\varphi = 0.85_{\text{ind}}$. Laske stabiili rajateho, kun

- generaattorin magnetointia ei säädetä
- magnetointia säätämällä pidetään generaattorin napajännite siinä arvossa, joka sillä oli em. kuormitusilanteessa. Mikä on generaattorin smv. tällöin?



Kuva 3.

5. Suojaus

Selosta suuntaominaisuuden sisältävän impedanssireleen (distanssireleen) toimintaperiaate ja sen käyttäytyminen siirtojohtojen suojauksessa. Piirrä sähkömekaanisen releen toimintakaavio, jonka avulla havainnollistat suojan toimintaa. Kuvaa myös kuinka siirtojohtojen suojauksessa impedanssireleellä voidaan toteuttaa varasuojaus.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti

5.9.2005

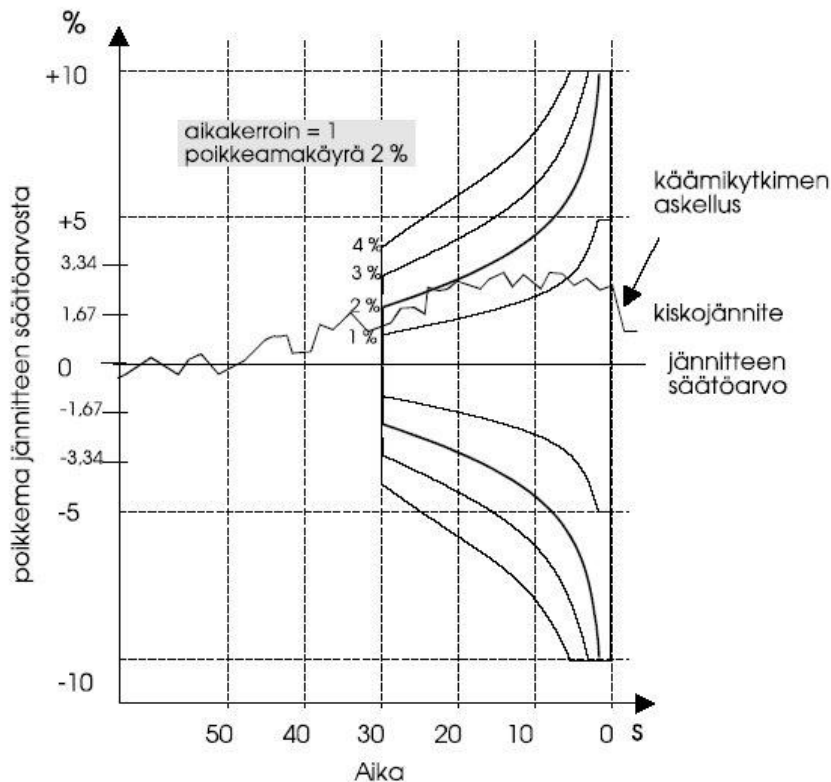
Sami Repo, Tuomas Rauhala, Jouni Pylvänäinen

Huom! Tehtäväpaperissa kaikkiaan 4 sivua.

1. Jännitteen säätö

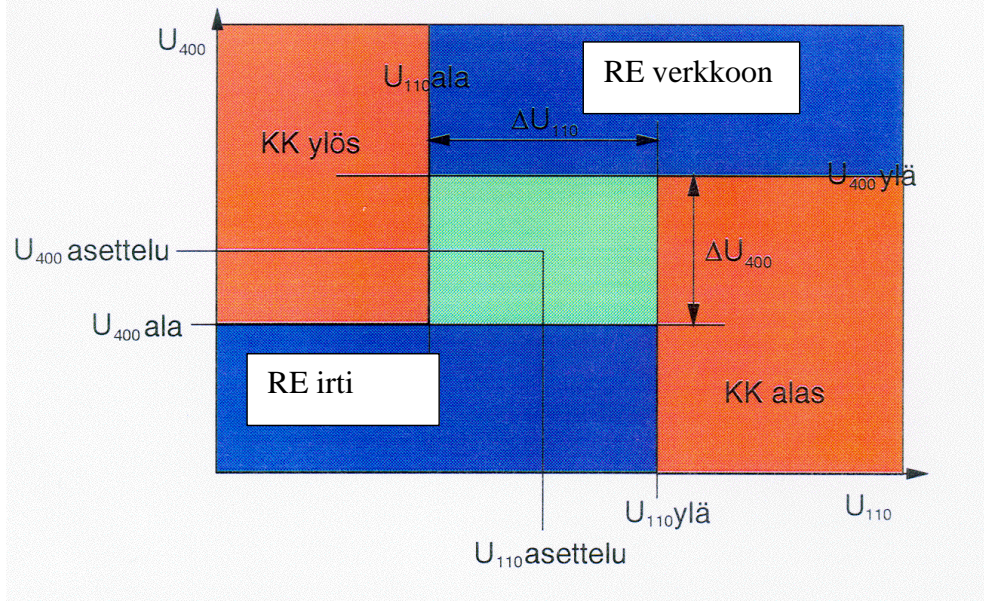
Vastaa oheisiin kysymyksiin ytimekkäästi:

- v) Selosta kuvaa 1 apuna käyttäen käämikytkimen toimintaperiaate (esim. muuntajassa 110/20 kV).
- w) Pohdi käämikytkimen eri säätötapoja yleisesti kaikilla jännitetasoilla. Vertaa niitä keskenään niiden käyttökohteiden suhteen. Säätötapoja eivät ole manuaalinen ja automaattinen säätö, vaan se mitä säädetään.
- x) Kuvassa 2 on esitetty aluesäädön filosofia 400 kV:n reaktorin ja 400/110 kV muuntajan käämikytkimen osalta. Selosta kuvaa käyttäen kyseessä oleva säätöperiaate. Miksi ko. aluesäätö on ”fiksi” (mihin aluesäädöllä pyritään)? Mikä siitä tekee aluesäädön perinteisen paikallisen säädön sijaan? RE = reaktori, KK = käämikytkin, U = jännite (alaindeksi viittaa jännitetasoon), $U_{asettelu}$ = jännitteen asetteluarvo ja ΔU = jännitteen muutos.



Kuva 1.

Aluesäädön filosofia, RE & KK



Kuva 2.

2. Tuotannon optimointi

Kahden tuotantoyksikön muuttuvat tuotantokustannukset C_1 ja C_2 saadaan oheisista yhtälöistä, missä P_1 ja P_2 ovat MW:na.

$$C_1 = 10P_1 + 0.008P_1^2 \quad \text{€/h}$$

$$C_2 = 8P_2 + 0.009P_2^2 \quad \text{€/h}$$

- Määritä kummankin yksikön tuotantoteho, lisäkustannukset ja kokonaiskustannukset, kun kokonaiskustannukset minimoidaan kokonaiskuormitustilanteessa $P_T = 725$ MW. Tuotantoyksiköiden rajoituksia ja sähköverkon häviöitä ei tarvitse huomioida.
- Määritä kummankin yksikön tuotantoteho, lisäkustannukset ja kokonaiskustannukset uudelleen samassa kuormitustilanteessa, kun tuotantoyksiköiden tehorajat ovat:

$$100 \leq P_1 \leq 600 \quad \text{MW}$$

$$500 \leq P_2 \leq 1000 \quad \text{MW}$$

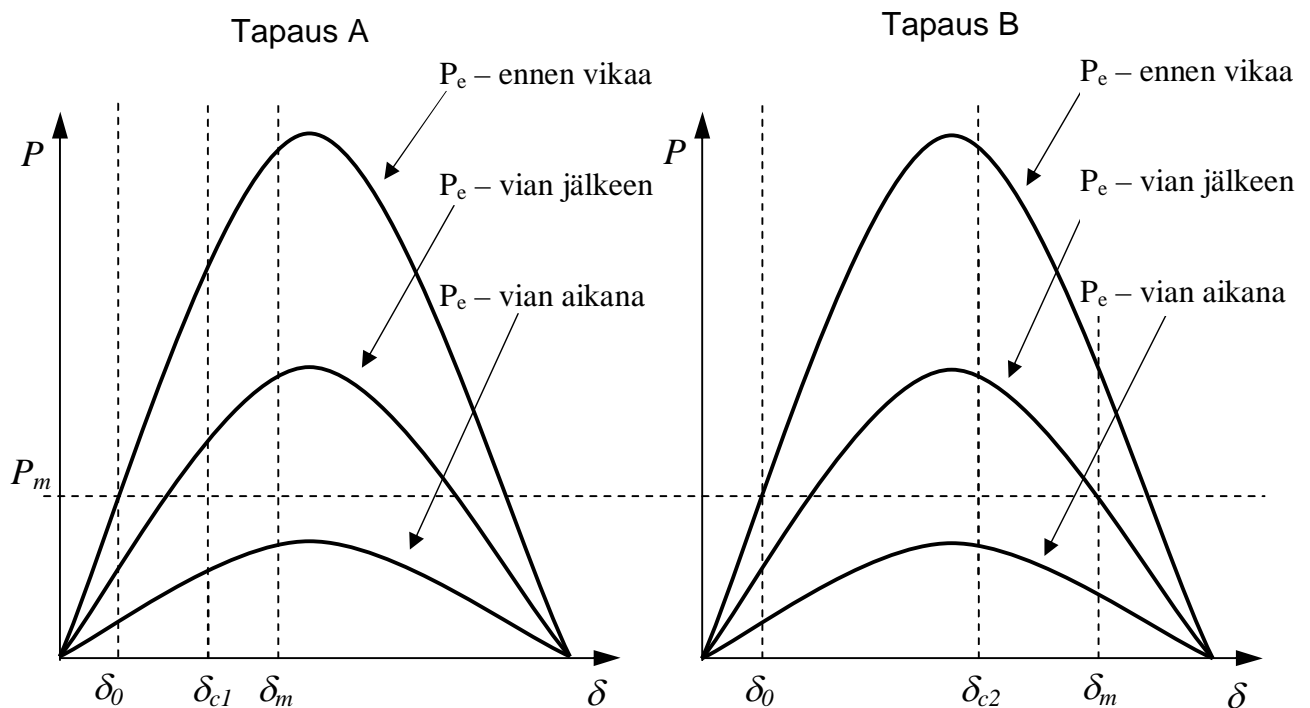
3. Essee

Selosta kuinka tasehallinta (balance management) on toteutettu Pohjoismaiden yhteiskäyttöverkossa Nordelissa. Tarkastele ainoastaan normaalitilannetta (ei häiriötilanteita). Kantaverkko-operaattoreiden ja markkinaosapuolien vastuut ja tekemiset tulisi käydä vastauksesta selkeästi ilmi. Selosta myös kuinka tasehallinta kytkeytyy sähkömarkkinoiden toimintaan ja kuinka tasehallinta hinnoitellaan.

Vastauksen selkeyteen ja kokonaisuuden hahmottamiseen kiinnitetään erityistä huomiota, joten irrallisten asioiden luetteleminen mielivaltaisessa järjestyksessä ei tuota hyvää lopputulosta. Älä ”takerru” yksityiskohtiin, vaan kuvaa kokonaisuus. Hyvä vastaus mahtuu A4:lle.

4. Stabiilisuus

- m) Perustelevatko kuvan 3 tilanteet A ja B stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Piirrä kuvaajiin stabiilisuuden määrittämisessä käytettävät pinta-alat. Kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. P = pätöteho, δ = tehokulma, alaindeksit 0, c ja m viittaavat vastaavasti ennen vikaa vallitsevaan tasapainotilaan, vian erottamisajankohtaan ja kulman maksimiarvoon.
- n) Kuvaile omin sanoin mitä sähköjärjestelmässä tapahtuu tehokäyrien P_e ja tarkasteltavien tehokulmien leikkauspisteissä (leikkauspisteet ovat myös pinta-alojen kulmapisteitä) ja miten ne liittyvät stabiilisuuden määrittämiseen.



Kuva 3.

5. Relesuojaus

Solmupistettä C syötetään pisteistä A ja B käsin siirtojohtojen A-C ja B-C kautta kuvan 4 osoittamalla tavalla. Solmupisteiden A ja B johtolähdöille on sijoitettu distanssireleet järjestelmän siirtojohtojen suojaamiseksi. Releiden asetteluarvot sekä niitä vastaavat viiveet ovat esitettyinä taulukossa 1.

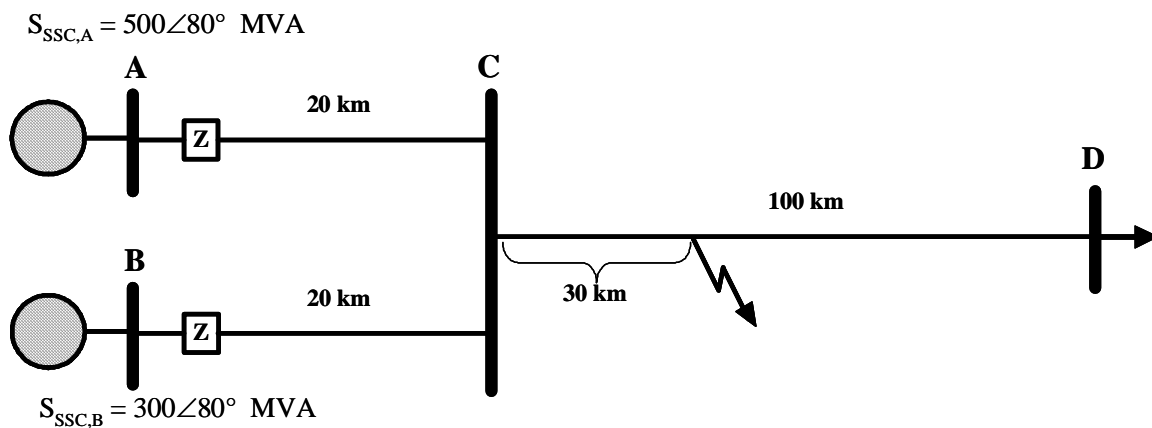
Solmupisteeseen A kytkeytyvän ulkoisen järjestelmän oikosulkuteho on $500 \angle 80^\circ$ MVA ja solmupisteeseen B kytkeytyvän järjestelmän $300 \angle 80^\circ$ MVA. Siirtojohtojen impedanssi on $0.4 \angle 80^\circ \Omega / (\text{vaihe} \cdot \text{km})$. Järjestelmän nimellisjännite on 50 kV.

- g) Määritä milloin distanssireleet A ja B antavat laukaisupulssin, kun johdolla C-D 30 km etäisyydellä solmupisteestä C tapahtuu vikaimpedanssiton kolmivaiheinen oikosulku (kts. kuva 4).

- h) Tarkastele tilannetta, jossa kaikki johdot on kytketty järjestelmään. Kuinka kaukana (ilmoita vastaus **kilometreissä**) johdolla C-D tapahtuvan kolmivaiheisen vikaimpedanssittoman oikosulun releet A ja B voivat havaita taulukossa 1 annettujen asetteluarvojen puitteissa. Muista määrittää maksimietäisyys molemmille releille.

Taulukko 1 Releiden A ja B asetteluarvot

	Vyöhyke 1		Vyöhyke 2		Vyöhyke 3	
	$Z_{\text{zone1}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone2}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone3}} [\Omega]$	Viive [s]
A	20	0.0	40	0.2	80	0.5
B	30	0.2	80	0.5	----	----
Molempien distanssisuojien impedanssin karakteristinen kulma on 65°						



Kuva 4. Tarkasteltavan 50 kV:n järjestelmän rakenne

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti

6.5.2005

Sami Repo, Tuomas Rauhala, Jouni Pylvänäinen

Palaute

Anna palautetta kurssin rakenteesta, työmäärästä ja toteutuksesta.

1. Jännitteen säätö

- Mallinnetaan siirtojohto pitkittäisreaktanssin ja maakapasitanssien avulla. Esitä kuinka tehonsiirto (pätö- ja loistehon) vaikuttaa johdon loppupään jännitteeseen, kun alkupään jännite pidetään vakiona. Mitkä tekijät vaikuttavat loppupään jännitteen suuruuteen? Voit esittää asian yhtälöiden, piirrosten tai sanallisen kuvauksen avulla.
- Minkä takia muuntajan (esim. 110/20 kV) käämikytkin voi kiihdyttää jännitteen romahdusta? Kuvaa käämikytkimen käyttäytymistä siirtoverkon pysyvässä häiriötilanteessa (sähköaseman 110 kV:n jännite normaalia alhaisempi), kun jakeluverkon kuormien oletetaan käyttäytyvän vakiovirtakuormina. Piirrä PU-diagrammi käämikytkimen toiminnasta ja tilanteesta, jossa käämikytkimen toiminta on aiheuttanut jännitteen romahduksen.

2. Taajuuden säätö

Kuvassa 1 on esitetty voimalaitoksen taajuudensäätöjärjestelmän lohkoakaavio. Selosta kuvan avulla:

- Kuinka ja millä tavalla taajuudensäätöjärjestelmä toimii yksittäisen voimalaitoksen osalta?
- Mitkä tekijät ja millä tavalla vaikuttavat voimalaitoksen tehonsäädön dynaamisiin ominaisuuksiin?

Kuvan suureet ovat: ΔF on taajuuden muutos, ΔP_G on generaattorin tehonmuutos, ΔP_D on sähkövoimajärjestelmän kuorman muutos, ΔP_C on generaattoritehon asetteluarvon muutos, R on säätövoima, k on säätäjän vahvistus ja T on säätäjän aikavakio. Siirtofunktioiden alaindeksit viittaavat turbiinisäätäjään (sg), turbiiniin (t) ja generaattori-kuorma – järjestelmään (ps).

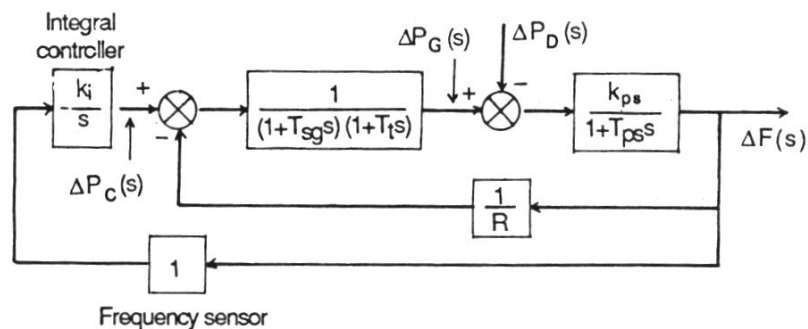


Fig. 8.10 Proportional plus integral load frequency control

Kuva 1.

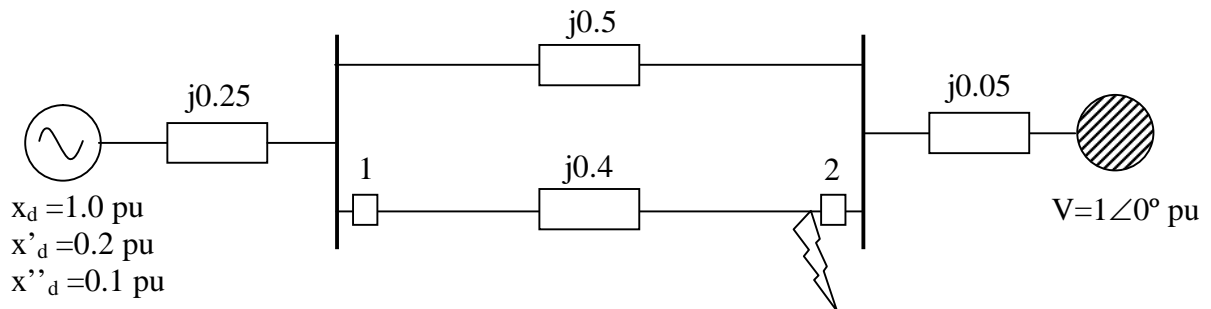
3. Käyttö

Kuvaa Pohjoismaisen sähkövoimajärjestelmän suunnittelun periaatteita ja kriteereitä. Vastaa ainakin seuraaviin kysymyksiin:

- i. Millä keinoin järjestelmän käyttövarmuus saavutetaan?
- ii. Millaisissa tilanteissa järjestelmän käyttövarmuus on uhattuna?
- iii. Kuinka mahdollisiin käytönaikaisiin häiriötilanteisiin reagoidaan?
- iv. Millä tavalla käytettävissä oleva siirtokapasiteetti liittyy järjestelmän käyttövarmuuteen?
- v. Kuinka käytettävissä oleva siirtokapasiteetti määritetään?
- vi. Kuinka tehonsiirron pullonkauloja hallitaan?

4. Kulmastabiilisuus

Kolmivaiheinen vika tapahtuu kuvan 2 osoittamassa paikassa. Määritä kriittinen kulma vian poistamiseksi (kulma jolloin vika on viimeistään poistettava, jotta järjestelmä on vielä stabiili), kun katkaisijat 1 ja 2 toimivat samanaikaisesti ja vikapaikka erotetaan pysyvästi verkosta. Generaattori (vasemmalla) syöttää jäykkään verkkoon (oikealla) tehon 1.0 pu tehokertoimella 0.9_{ind} ennen vikaa. Laskelmissa ei huomioida häviöitä.



Kuva 2.

5. Relesuojaus

Solmupistettä C syötetään pisteistä A ja B käsin siirtojohtojen A-C ja B-C kautta kuvan 3 osoittamalla tavalla. Solmupisteiden A ja B johtolähdöille on sijoitettu distanssireleet järjestelmän siirtojohtojen suojaamiseksi. Releiden asetteluarvot sekä niitä vastaavat viiveet ovat esitettyinä taulukossa 1.

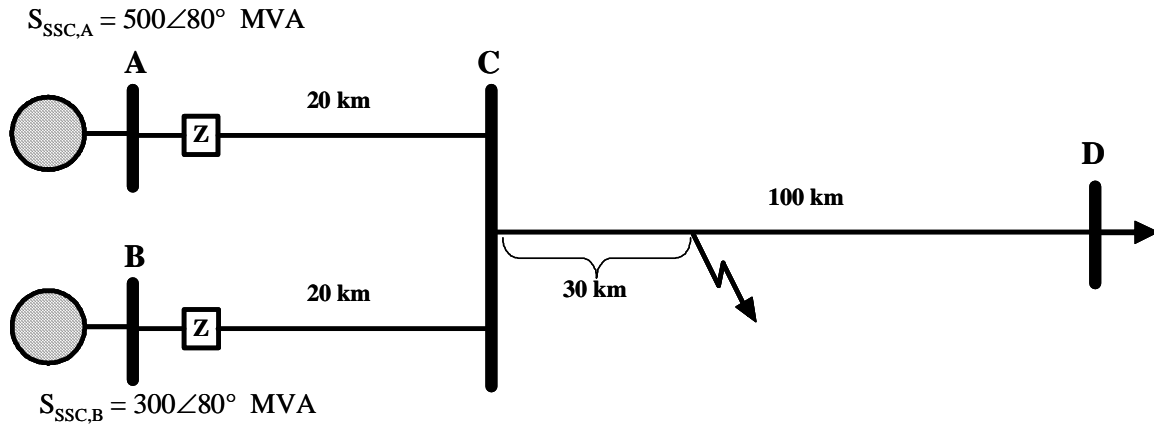
Solmupisteeseen A kytkeytyvän ulkoisen järjestelmän oikosulkuteho on $500 \angle 80^\circ \text{ MVA}$ ja solmupisteeseen B kytkeytyvän järjestelmän $300 \angle 80^\circ \text{ MVA}$. Siirtojohtojen impedanssi on $0.4 \angle 80^\circ \Omega / (\text{vaihe} \cdot \text{km})$. Järjestelmän nimellisjännite on 50 kV .

- i) Määritä milloin distanssireleet A ja B antavat laukaisupulssin, kun johdolla C-D 30 km etäisyydellä solmupisteestä C tapahtuu vikaimpedanssiton kolmivaiheinen oikosulku (kts. kuva 3).
- j) Tarkastele tilannetta, jossa kaikki johdot on kytkeyty järjestelmään. Kuinka kaukana (ilmoita vastaus **kilometreissä**) johdolla C-D tapahtuvan kolmivaiheisen

vikaimpedanssittoman oikosulun releet A ja B voivat havaita taulukossa 1 annettujen asetteluarvojen puitteissa. Muista määrittää maksimietäisyys molemmille releille.

Taulukko 1 Releiden A ja B asetteluarvot

	Vyöhyke 1		Vyöhyke 2		Vyöhyke 3	
	$Z_{\text{zone1}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone2}} [\Omega]$	Viive [s]	$Z_{\text{zone3}} [\Omega]$	Viive [s]
A	20	0.0	40	0.2	80	0.5
B	30	0.2	80	0.5	----	----
Molempien distanssisuojien impedanssin karakteristinen kulma on 65°						



Kuva 3 Tarkasteltavan 50 kV:n järjestelmän rakenne

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

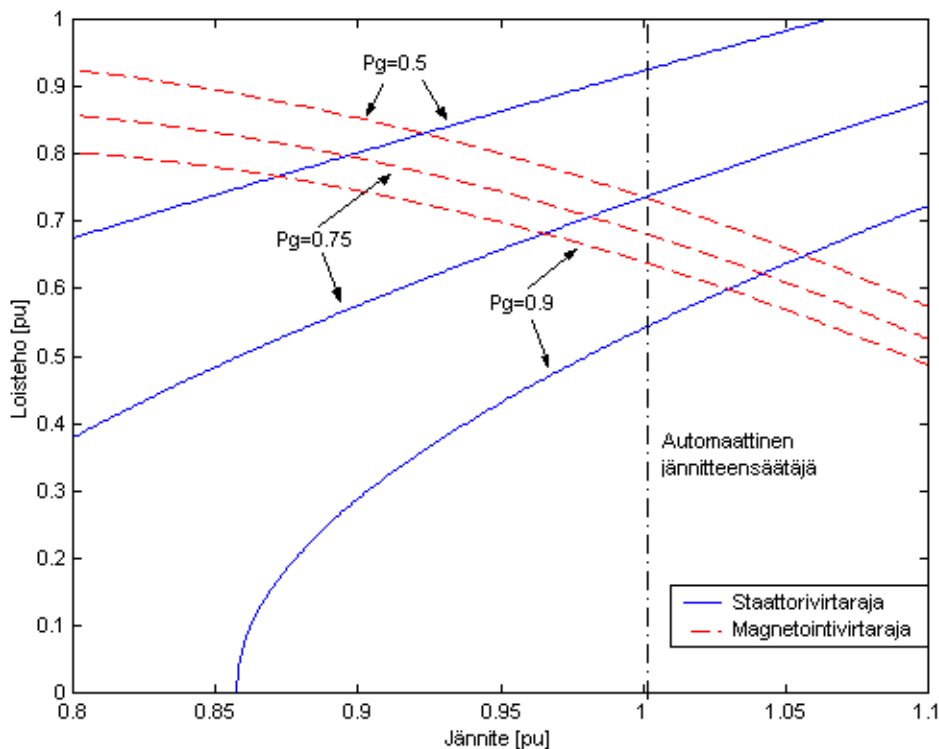
Tentti

1.11.2004

Sami Repo, Tuomas Rauhala, Jouni Pylvänäinen

1. Vastaa vain siihen mitä kysytään

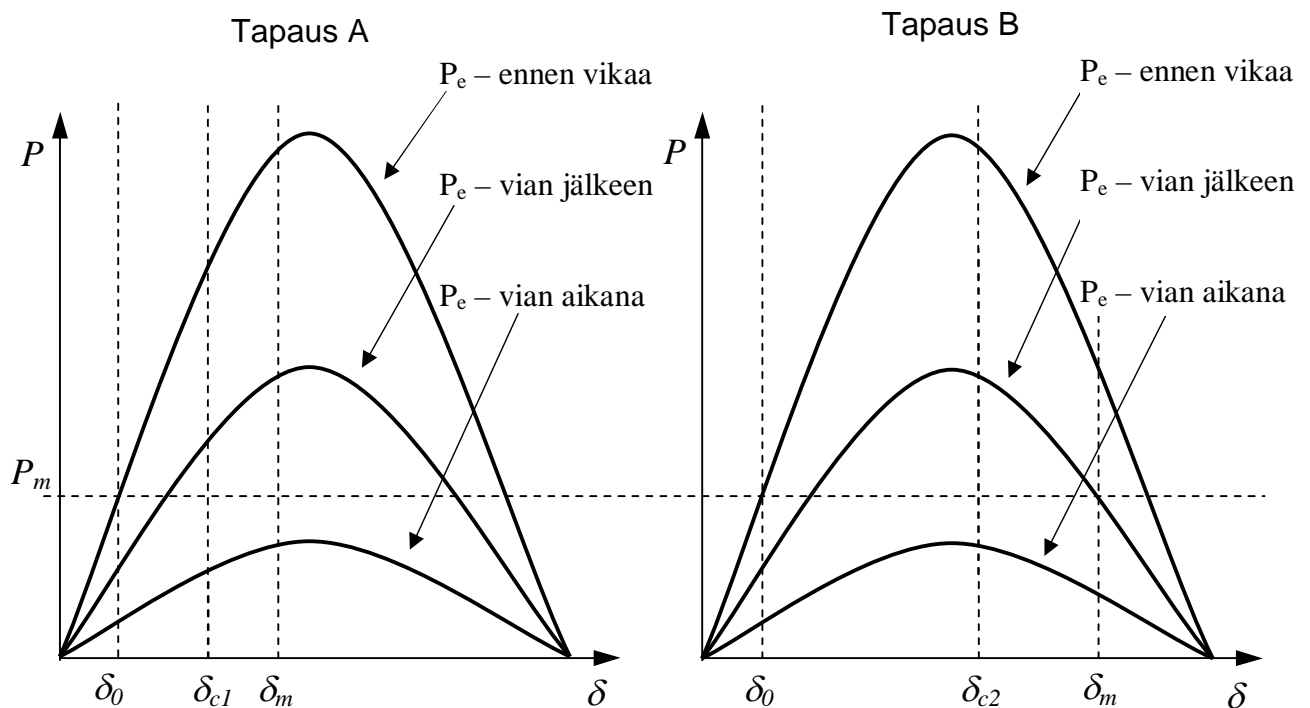
- Kuvaa voimalaitoksen (lauhde- tai vesivoimalaitos) säätöjärjestelmiä omin sanoin. Kerro mitä asioita voimalaitoksella voidaan säätää ja miten näihin asioihin voidaan vaikuttaa. Kerro myös kuinka säätö on käytännössä toteutettu ja mitä voimalaitoksen osia säätöjärjestelmään kuuluu. Piirrä säätö- ja mittausjärjestelmästä lohkokaavio.
- Kerro kuvan 1 perusteella kuinka tahtikoneen virtarajat vaikuttavat koneen napajännitteen suuruuteen. Kuinka tämä asia huomioidaan tahtikoneen jänniteensäätäjässä?
- Minkä takia muuntajan (esim. 110/20 kV) käämikytkin voi kiihdyttää jännitteen romahdusta? Kuvaa käämikytkimen käyttäytymistä siirtoverkon pysyvässä häiriötilanteessa (sähköaseman 110 kV:n jännite normaalia alhaisempi), kun jakeluverkon kuormien oletetaan käyttäytyvän vakiovirtakuormina. Piirrä PU-diagrammi käämikytkimen toiminnasta ja tilanteesta, jossa käämikytkimen toiminta on aiheuttanut jännitteen romahduksen.



Kuva 1.

2. Stabiilisuustehtävä

- o) Perustele ovatko kuvan 2 tilanteet A ja B stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Piirrä kuvaajiin stabiilisuuden määrittämiseksi käytettävät pinta-alat. Kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. P = pätöteho, δ = tehokulma, alaindeksit 0, c ja m viittaavat vastaavasti ennen vikaa vallitsevaan tasapainotilaan, vian erottamisajankohtaan ja kulman maksimiarvoon.
- p) Kuvaile omin sanoin mitä sähköjärjestelmässä tapahtuu tehokäyrien P_e ja tarkasteltavien tehokulmien leikkauspisteissä (leikkauspisteet ovat myös pinta-alojen kulmapisteitä) ja miten ne liittyvät stabiilisuuden määrittämiseen.



Kuva 2.

3. Essee

Selosta ja kuvaile tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen määrittämistä. Vastaa ainakin seuraaviin kysymyksiin:

- f) Miksi tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen määrittäminen on erityisen tärkeää tuotantoyhtiön viikkosuunnittelussa?
- g) Mitkä tekijät ovat ajojärjestyksen määrittämisen reunaehtoja ja millä perusteella ne ovat sitä?
- h) Minkälaisia menetelmiä ajojärjestyksen määrittämiseksi on olemassa? Älä takerru yksityiskohtiin, kuvaa ainoastaan pääpiirteet siten, että eri menetelmät voidaan selkeästi erottaa toisistaan. Mainitse lisäksi kunkin menetelmän hyvät ja huonot puolet.
- i) Mitä epävarmuustekijöitä ajojärjestyksen määrittämiseen käytännössä liittyy?

j) Kuinka nämä epävarmuustekijät voidaan ottaa huomioon ajojärjestystä suunniteltaessa?

4. Valitse toinen vaihtoehtoista a) tai b)

c) Selitä, mitä periaatteita noudattaen HVDC-linkin tehon säätö on toteutettu linkin toimiessa normaalitilassa? Kerro lisäksi kuvaa 3 apuna käyttäen, mitä säätöperiaatteita käyttäen edellä mainitut linkin toiminnan pääperiaatteet on toteutettu normaalitilan säädössä.

d) Kuvassa 4 on esitetty alueiden 1 ja 2 ja yhdysjohdon muodostaman järjestelmän kaavio. Johda yhtälöt yhdysjohdon tehonmuutokselle ΔP_{12} , jatkuvuustilan taajuuspoikkeamalle Δf ja kummankin alueen aluesäätövirheelle, kun alueella 1 kuorman muutos on ΔP_{L1} ja tarkastellaan tilannetta välittömästi kuormitusmuutoksen jälkeen (taajuuspoikkeaman ja aluesäätövirheen korjausta ei ole aloitettu). Perustele vastauksesi, pelkkien yhtälöiden pyörittäminen ilman perusteluita ei riitä täydelliseen vastaukseen! Kuvan muut suureet ovat: ΔP_m on generaattorin sisäänmenotehon muutos, R on säätövoima, ΔP_D on taajuusriippuvan kuorman muutos ja D on kuorman vaimennuskerroin. Voit olettaa, että kaikki suureet ovat suhteellisarvoja.

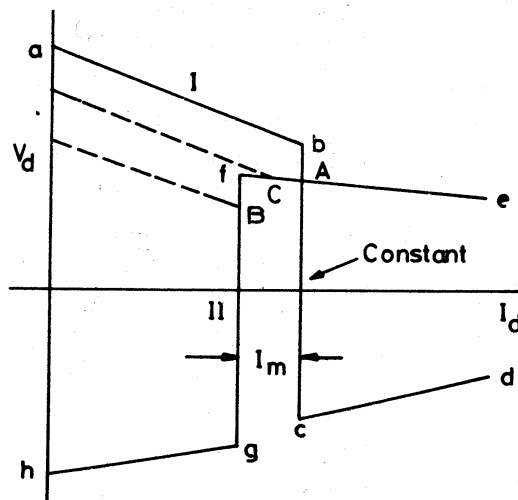
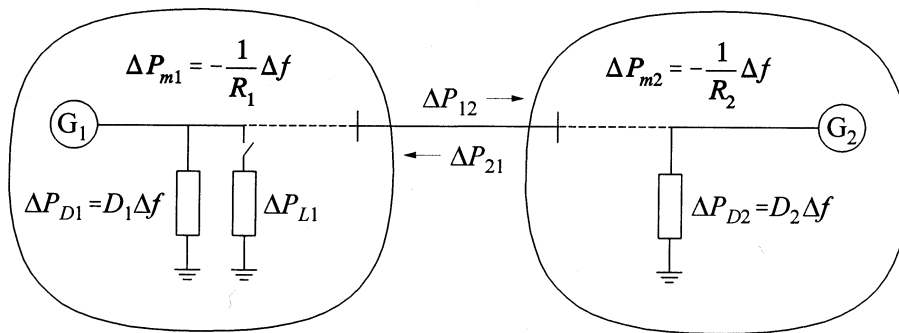


Fig. 4.2 Converter controller characteristic

DC voltage at the station II versus DC current. Each station characteristic has three parts as given below:

Station I	Station II	Type
<i>ab</i>	<i>hg</i>	minimum α
<i>bc</i>	<i>gf</i>	constant current
<i>cd</i>	<i>fe</i>	minimum γ

Kuva 3.



Kuva 4.

5. Lasku

Kahden tuotantoyksikön muuttuvat tuotantokustannukset C_1 ja C_2 saadaan oheisista yhtälöistä, missä P_1 ja P_2 ovat MW:na.

$$C_1 = 10P_1 + 0.008P_1^2 \quad \text{€/h}$$

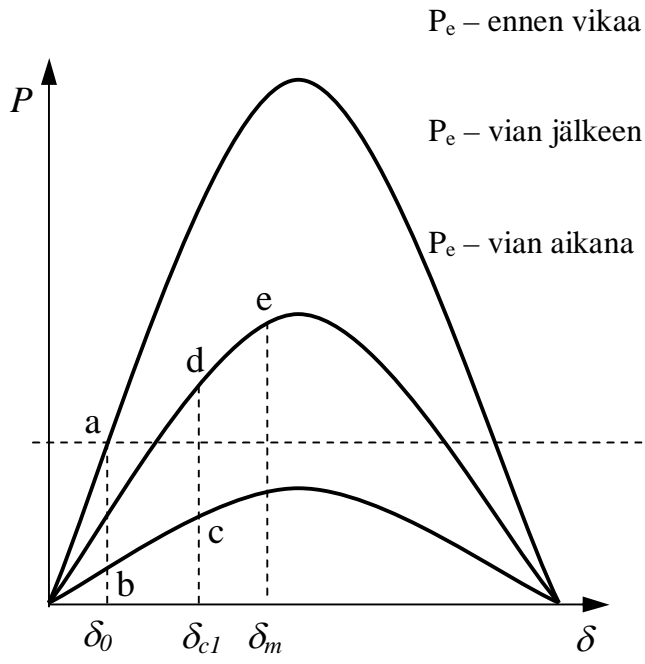
$$C_2 = 8P_2 + 0.009P_2^2 \quad \text{€/h}$$

- c) Määritä kummankin yksikön tuotantoteho, lisäkustannukset ja kokonaiskustannukset, kun kokonaiskustannukset minimoidaan kokonaiskuormitustilanteessa $P_T = 725$ MW. Tuotantoyksiköiden rajoituksia ja sähköverkon häviöitä ei tarvitse huomioida.
- d) Määritä kummankin yksikön tuotantoteho, lisäkustannukset ja kokonaiskustannukset uudelleen samassa kuormitustilanteessa, kun tuotantoyksiköiden tehorajat ovat:

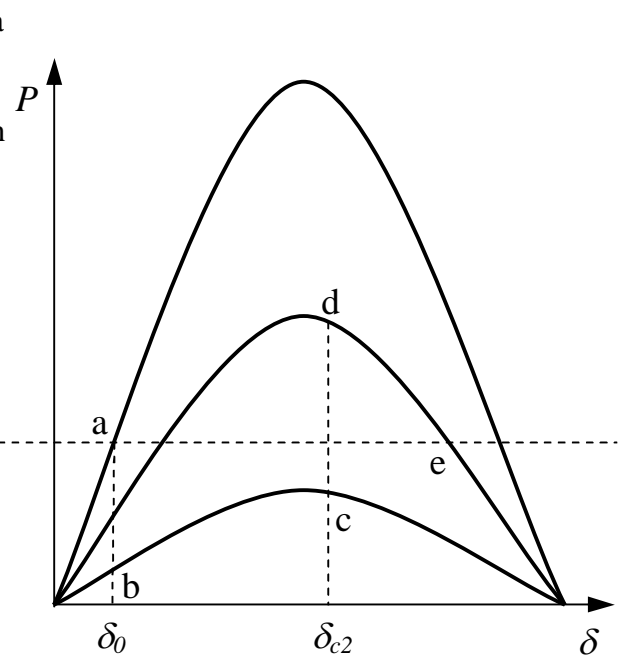
$$100 \leq P_1 \leq 600 \quad \text{MW}$$

$$500 \leq P_2 \leq 1000 \quad \text{MW}$$

Tapaus A



Tapaus B



7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

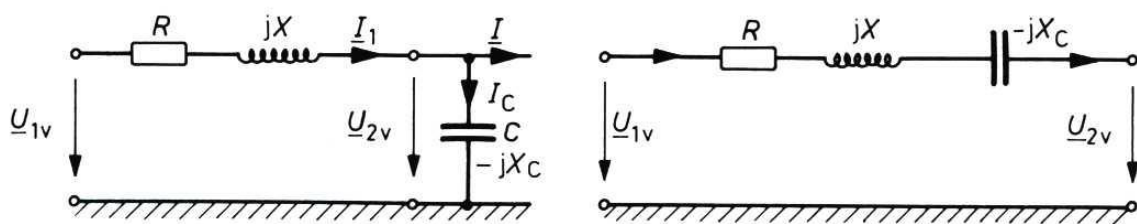
Tentti

27.9.2004

Sami Repo, Tuomas Rauhala, Jouni Pylvänäinen

1. Jännitteen säätö

- Piirrä kuvan 1 kompensointivaihtoehtoista osoitindiagrammit siten, että siinä näkyvät sekä johdon alku- ja loppupään jännitteet ja jännitehäviöosoitin jaettuna resistiiviseen ja reaktiiviseen osaan että näennäis-, pätö- ja loisivirtaosoittimet. Molemmissa tapauksissa kuormitusvirta I ilman kompensointia on induktiivinen (voit valita suuruuden itse). Kompensoinnin vaikutuksesta siirtojohto on ylikompensoitu. Tehtävässä on oleellista, että osoittimet ovat selvästi oikeansuuntaisia.
- Perustele osoitindiagrammeja hyödyntäen rinnakkais- ja sarjakompensoinnin vaikutus siirtojohdon kompensointiin (kuinka vaikutukset näkyvät osoitindiagrammeissa).
- Perustele osoitindiagrammeja hyödyntäen rinnakkais- ja sarjakompensoinnin keskeiset eroavaisuudet (kuinka eroavaisuudet näkyvät osoitindiagrammeissa).



Kuva 6.11. Johdon rinnakkais- ja sarjakompensointi.

a) Rinnakkaiskompensointi, b) Sarjakompensointi.

Kuva 1.

2. Vastaa ytimekkäästi, vastaa vain siihen mitä kysytään

- Mistä syistä siirtoverkon tilapäiset pullonkaulat voivat syntyä? Miten ne eroavat siirtoverkon rakenteellisista pullonkauloista?
- Mitä keinoja siirtoverkon pullonkaulojen hallintaan käytetään Pohjoismaissa?
- Mitkä tekijät vaikuttavat siirtokapasiteetin suuruuteen? Millä tavalla ne vaikuttavat siirtokapasiteettiin?
- Mainitse periaatteita, joita käytetään Nordel yhteiskäyttöjärjestelmän suunnittelussa.
- Mikä on käytettävissä oleva siirtokapasiteetti (available transfer capacity)?

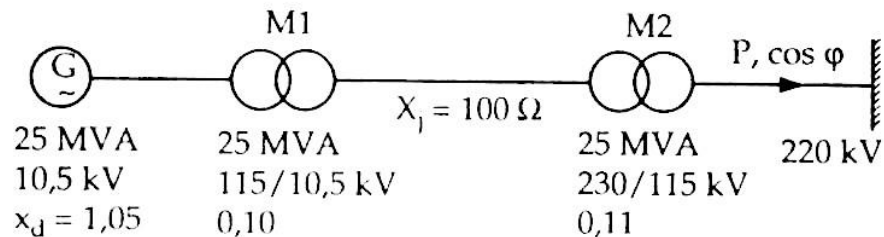
3. Essee

Selosta mikä on Unit commitment –ongelma ja millaisia ovat sen reunaehdot. Voit käyttää ongelman havainnollistamisessa keksimääsi esimerkkiä. Kerro myös kuinka sähkömarkkinoilla toimiminen (kaupankäynti sähköpörssissä) vaikuttaa UC-ongelmaan.

4. Lasku

Generaattori syöttää verkkoon kuvan 3 mukaisesti tehon $P = 20 \text{ MW}$, $\cos\varphi = 0.85_{\text{kap}}$. Laske stabiili rajateho, kun

- c) generaattorin magnetointia ei säädetä
- d) magnetointia säätämällä pidetään generaattorin napajännite siinä arvossa, joka sillä oli em. kuormitustilanteessa. Mikä on generaattorin smv. tällöin?



Kuva 3.

5. Lasku

Kahden tuotantoyksikön muuttuvat tuotantokustannukset C_1 ja C_2 saadaan oheisista yhtälöistä, missä P_1 ja P_2 ovat MW:na.

$$C_1 = 10P_1 + 0.008P_1^2 \quad \text{€/h}$$

$$C_2 = 8P_2 + 0.009P_2^2 \quad \text{€/h}$$

- e) Määritä kummankin yksikön tuotantoteho, lisäkustannukset ja kokonaiskustannukset, kun kokonaiskustannukset minimoidaan kokonaiskuormitustilanteessa $P_T = 725 \text{ MW}$. Tuotantoyksiköiden rajoituksia ja sähköverkon häviöitä ei tarvitse huomioida.
- f) Määritä kummankin yksikön tuotantoteho, lisäkustannukset ja kokonaiskustannukset uudelleen samassa kuormitustilanteessa, kun tuotantoyksiköiden tehorajat ovat:

$$100 \leq P_1 \leq 600 \quad \text{MW}$$

$$400 \leq P_2 \leq 1000 \quad \text{MW}$$

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti

10.5.2004

Sami Repo, Tuomas Rauhala, Jouni Pylvänäinen

1. Jännitteen säätö

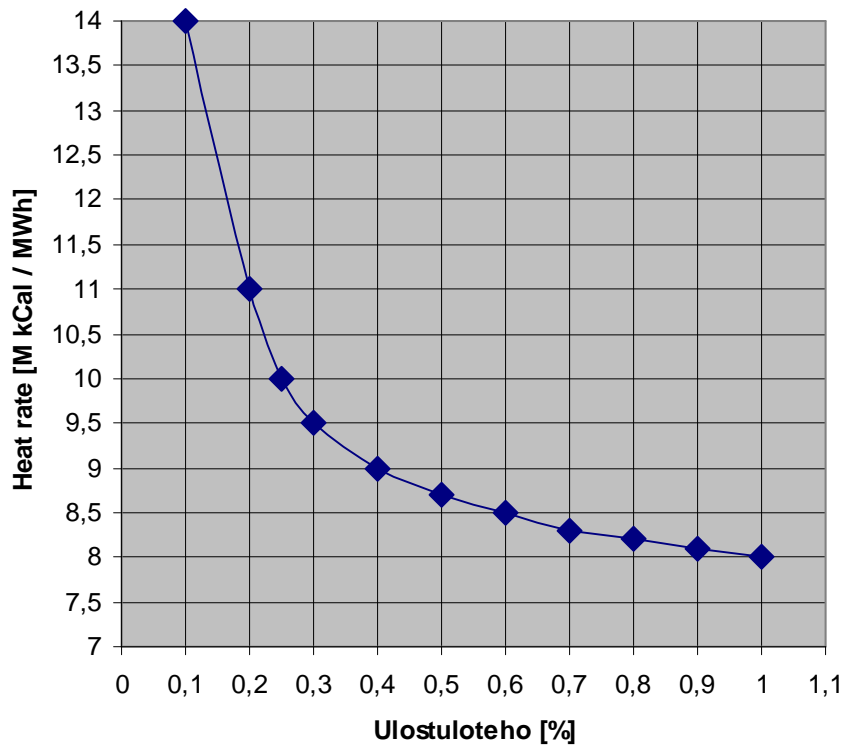
Kuorman liittymispisteen jännitteen U_L pitämiseksi 5%:n ($0,95 \leq 1,0 \leq 1,05$ p.u.) sisällä jännitteen nimellisestä arvosta liittymispisteeseen kuorman rinnalle kytketään TSC (thyristor switched capacitor), joka koostuu kahdesta rinnakkaisesta identtisestä kondensaattoriparistosta. Kondensaattorin nimellisjännite on 1 p.u. ja kondensaattoripariston kytkeminen verkkoon tapahtuu liittymispisteen jännitteen ollessa 0,95 p.u..

Kuormaa syöttävä siirtoverkko voidaan paristojen mitoittamiseen liittyvien tarkastelujen yhteydessä esittää ekvivalenttireaktanssin X ja ideaalin jännitelähteen U_O avulla. Järjestelmän tyhjäkäyntijännitteen U_O eli siirtojärjestelmän jännitteen voidaan olettaa vaihtelevan välillä 0,8 – 1,05 p.u.. Kuormavirran (eli kuorman) vaikutus liittymispisteen jännitteeseen voidaan olettaa tarkastelussa vähäiseksi ja jättää näin ollen huomioimatta.

- Määritä kondensaattoripariston reaktanssin X_C suuruus (ilmoita X_C järjestelmän ekvivalenttireaktanssin X avulla) siten, että liittymispisteen jännite vastaa toisen kondensaattoripariston kytkemisen jälkeen liittymispisteelle määritettyä maksimijännitettä.
- Määritä järjestelmän tyhjäkäyntijännite U_O kohdassa a) kuvatussa tilanteessa.
- Mikä on liittymispisteen jännite U_L välittömästi ensimmäisen kondensaattoripariston kytkemisen jälkeen.
- Kuinka paljon loistehoa TSC tuottaa maksimissaan kun siirtojärjestelmän ekvivalenttireaktassi X on 0,192 p.u..
- Kuinka suuri kuorman liittymispisteen jännite on, kun siirtojärjestelmän jännite U_O on minimissään? Onko liittymispisteen jännite U_L tällöin vaadittujen rajojen sisällä?
- Kuinka suuri kuorman liittymispisteen jännite on, kun siirtojärjestelmän jännite U_O on maksimissaan? Onko liittymispisteen jännite U_L tällöin vaadittujen rajojen sisällä?

2. Tuotannon optimointi

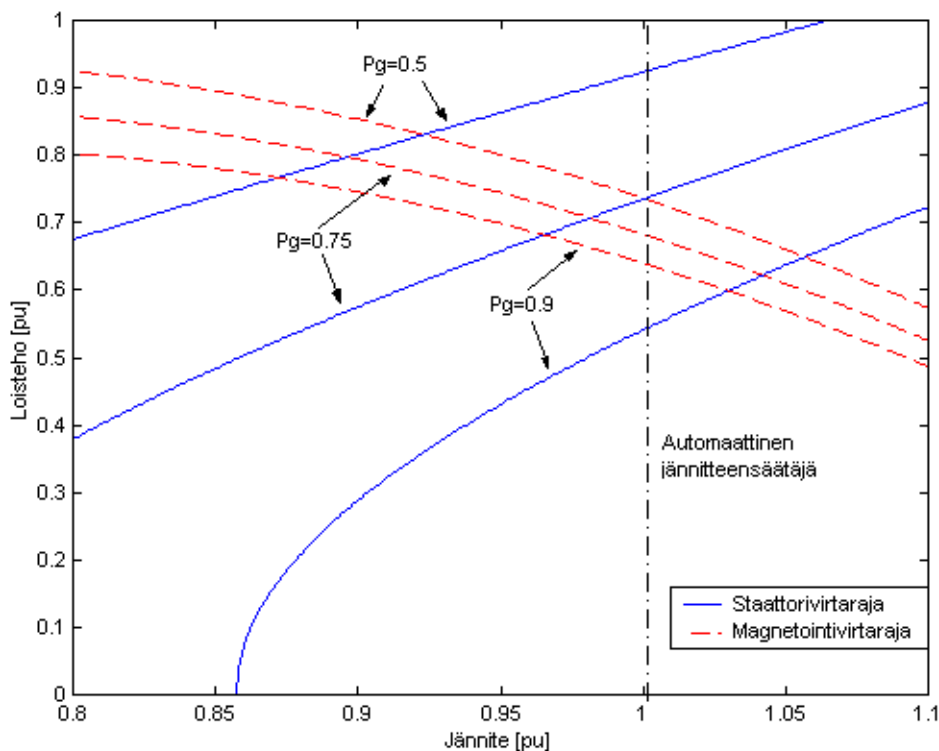
- Määritä 100 MW:n tuotantoyksikön lisäkustannusyhtälö kuvan 1 heat rate -kuvaajan perusteella, kun polttoainekustannukset ovat 7 €/M kCal. (1 kWh = 851 kCal = 3412 Btu)
- Mikä on tuotantoyksikön polttoainetarve energiana yhden tunnin aikana, kun ulostuloteho on 50 MW:a.
- Erään toisen 100 MW:n tuotantoyksikön lisäkustannusyhtälö on $IC_2 = 0,7 \cdot P_{g2} + 10$. Määritä yksiköiden optimaalinen tuotannonjako, kun yksiköt syöttävät 120 MW:n kuormaa.
- Kuinka paljon rahaa säästyy ajettaessa tuotantoyksiköitä optimaalisella tuotannonjaolla verrattuna tilanteeseen, jossa yksiköt toimivat samansuuruisilla tehoilla kumpikin.



Kuva 1.

3. Voimalaitoksen säätö

- Kuvaa voimalaitoksen (lauhde- tai vesivoimalaitos) säätöjärjestelmiä omin sanoin. Kerro mitä asioita voimalaitoksella voidaan säätää ja miten näihin asioihin voidaan vaikuttaa. Kerro myös kuinka säätö on käytännössä toteutettu ja mitä voimalaitoksen osia säätöjärjestelmään kuuluu. Piirrä säätö- ja mittausjärjestelmästä lohkokaavio.
- Kuinka taajuudensäätöreservi on toteutettu ja miten se liittyy voimalaitoksen säätöjärjestelmään?
- Mitkä tekijät ja kuinka vaikuttavat voimalaitoksen tehonsäätöjärjestelmän nopeuteen (vasteeseen)?
- Kerro kuvan 2 perusteella kuinka tahtikoneen virtarajat vaikuttavat koneen napajännitteen suuruuteen. Kuinka tämä asia huomioidaan tahtikoneen jännitteensäätäjässä?



Kuva 2.

4. Jännitestabiilisuus

- Kuvaa tyypillisen jännitteenromahduksen kulku, kun tuotantoyksiköt sijaitsevat etäällä syötettävästä kuormituspisteestä. Selvitä tapahtumien kulku ja niiden taustalla olevat syyt.
- Mitkä sähköjärjestelmän komponentit ja millä tavalla osallistuvat jännitestabiilisuuden ylläpitämiseen?
- Minkä takia muuntajan (esim. 110/20 kV) käämikytkin voi kiihdyttää jännitteen romahdusta? Kuvaa käämikytkimen käyttäytymistä siirtoverkon pysyvässä häiriötilanteessa (sähköaseman 110 kV:n jännite normaalia alhaisempi), kun jakeluverkon kuormien oletetaan käyttäytyvän vakiovirtakuormina. Piirrä PU-diagrammi käämikytkimen toiminnasta ja tilanteesta, jossa käämikytkimen toiminta on aiheuttanut jännitteen romahduksen.

5. Suojaus

Selosta mitä tekijöitä on huomioitava luotettavan suojauskokonaisuuden toteuttamisessa. Kuvaile myös kuinka nämä tekijät otetaan huomioon suojausta suunniteltaessa. Käytä selostuksen apuna esimerkkejä silmukoidun siirto johdon suojauksesta. Pyri muodostamaan vastauksessasi kokonaisnäkemys aiheesta, jota täydennät teknisillä yksityiskohdilla. Yksittäisten ”nippelitietojen” muistamisesta ei palkita.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

31.3.2004

Lisäpiste

Kerro mielipiteesi tai näkemyksesi kuinka opiskelijoiden aktiivisuutta luennoilla ja harjoituksissa voitaisiin lisätä.

1. Jännitteen säätö

Solmujen 1 ja 2 välillä on siirtojohto, jonka impedanssi on $Z = 0.05 + j0.02$ pu. Solmussa 2 on kuormitus, jonka suuruus on $S_2 = 1.0 + j0.6$ pu. Molempien solmupisteiden jännitteet halutaan pitää vakioina $|V_1| = |V_2| = 1.0$.

- e) Kuinka suuri rinnakkaiskondensaattori (määritä kondensaattorin loistehon suuruus) solmuun 2 on kytkettävä, jotta jännitteen säätö onnistuisi?
- f) Piirrä tilanteesta sekä jännitteiden / virtojen osoitinpiirros että tehojen osoitinpiirros, jossa ovat mukana kuorma, kondensaattori ja siirtojohto. Muista määritellä virtojen positiiviset suunnat sähköverkossa.

2. Tuotannon optimointi

Selosta ja kuvaile tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen määrittämistä. Vastaa ainakin seuraaviin kysymyksiin:

- k) Miksi tuotantoyksiköiden ajojärjestyksen määrittäminen on erityisen tärkeää tuotantoyhtiön viikkosuunnittelussa?
- l) Mitkä tekijät ovat ajojärjestyksen määrittämisen reunaehdoja ja millä perusteella ne ovat sitä?
- m) Minkälaisia menetelmiä ajojärjestyksen määrittämiseksi on olemassa? Älä takerru yksityiskohtiin, kuvaa ainoastaan pääpiirteet siten, että eri menetelmät voidaan selkeästi erottaa toisistaan. Mainitse lisäksi kunkin menetelmän hyvät ja huonot puolet.
- n) Mitä epävarmuustekijöitä ajojärjestyksen määrittämiseen käytännössä liittyy?
- o) Kuinka nämä epävarmuustekijät voidaan ottaa huomioon ajojärjestyksestä suunniteltaessa?

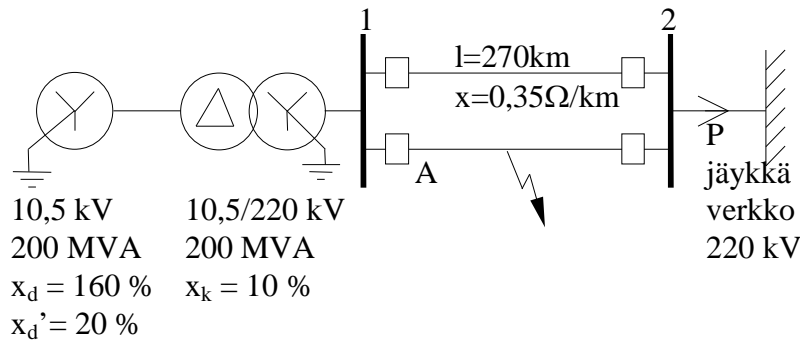
3. Sähköjärjestelmän käyttö

Vastaa seuraaviin kysymyksiin:

- f) Mistä syistä siirtoverkon tilapäiset pullonkaulat voivat syntyä? Miten ne eroavat siirtoverkon rakenteellisista pullonkauloista?
- g) Mitä keinoja siirtoverkon pullonkaulojen hallintaan käytetään Pohjoismaissa?
- h) Mitkä tekijät vaikuttavat siirtokapasiteetin suuruuteen? Millä tavalla ne vaikuttavat siirtokapasiteettiin?
- i) Kuinka siirtokapasiteetin suuruus määritetään Pohjoismaissa?

4. Stabiilisuus

Generaattori syöttää kuvan 2 mukaisesti muuntajan ja kaksoisjohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $P = 250 \text{ MW}$ tehokertoimella $\cos\phi = 0,8_{\text{ind}}$. Toisella kaksoisjohdoista tapahtuu johdon puolivälissä kolmivaiheinen oikosulku. Suojaus on järjestetty siten, että vikaantuneen johdon alku- ja loppupään katkaisijat avautuvat ajanhetkellä, jota vastaa tehokulma $\delta_1 = 50^\circ$. Tehokulmaa $\delta_2 = 85^\circ$ vastaavalla ajanhetkellä tapahtuu pikajälleenkytkentä, joka epäonnistuu, jolloin vikaantuneen johdon katkaisijat avautuvat uudestaan tehokulmaa $\delta_3 = 120^\circ$ vastaavalla ajanhetkellä. Onko tilanne stabiili? Häviöitä ei oteta huomioon.



Kuva 2.

5. Suojaus

Selosta mitä tekijöitä on huomioitava luotettavan suojauskokonaisuuden toteuttamisessa. Kuvaile myös kuinka nämä tekijät otetaan huomioon suojausta suunniteltaessa. Käytä selostuksen apuna esimerkkejä silmukoidun siirtojohdon suojauksesta. Pyri muodostamaan vastauksessasi kokonaisnäkemys aiheesta, jota täydennät teknisillä yksityiskohdilla. Yksittäisten ”nippelitietojen” muistamisesta ei palkita.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

19.1.2004

1. Lasku

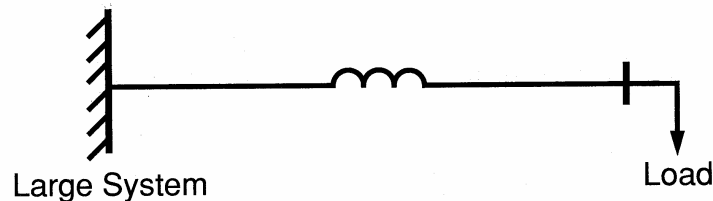
Generaattori (100 MVA, 10 kV) syöttää dYn11-kytketyn muuntajan (100 MVA, 10/110 kV, väliottokytkin kolmiopuolella, hajareaktanssi 11 %) kautta kuormaa (50 MVA, tehokerroin $0.9_{ind.}$, 110 kV). Generaattori pitää yllä muuntajan yläjännitepuolen jännitettä. Määritä generaattorin tuottama pätö- ja loisteho, kun muuntosuhde on $a=1.05$.

2. Lasku

Sähköjärjestelmän 1 taajuuskäyttäytyminen on sellainen, että 250 MW:n lisäys kuormassa saa aikaan 0.1 Hz:n suuruisen taajuudenmuutoksen. Vastaavan taajuusmuutoksen järjestelmässä 2 saa aikaan 400 MW:n kuorman lisäys. Oletetaan, että järjestelmän 1 taajuus on 49.85 Hz ja järjestelmän 2 taajuus 50 Hz. Jos järjestelmät yhdistettäisiin toisiinsa, mikä olisi yhdysjohdolla siirtyvän tehon suuruus ja suunta? Täydellisessä ratkaisussa on oltava mukana myös tarvittavien yhtälöiden johtaminen.

3. Vastaa ytimekkäästi

a) Mikä aiheuttaa jännite-epästabiilisuuden kuvan 1 klassisessa tapauksessa?



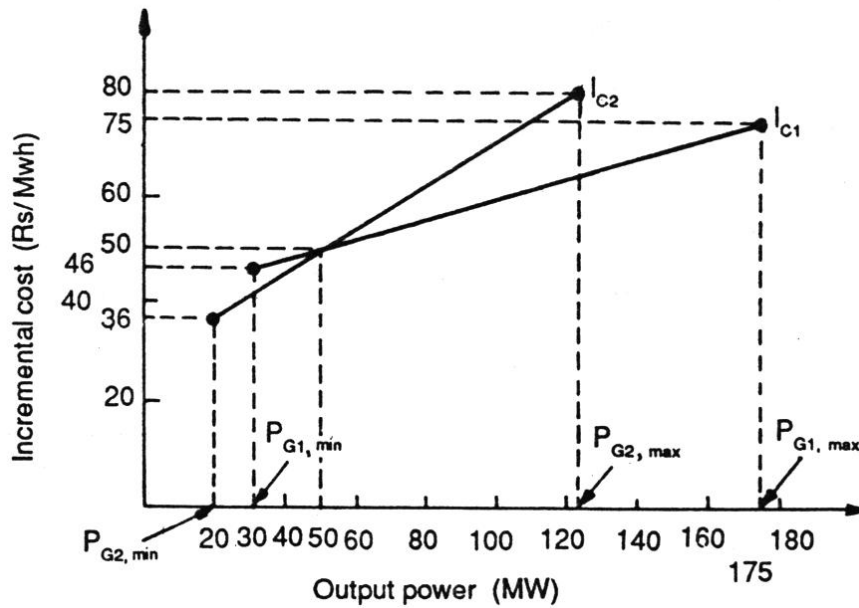
Kuva 1.

b) Mikä on käytettävissä oleva siirtokapasiteetti (available transfer capacity)?

c) Minkälaisia tehoreservejä Suomessa on käytössä ja mihin niitä tarvitaan?

d) Määritä graafisesti tuotannonjaon optimi kuvan 2 generaattoreille, kun kokonaiskuormitus on 200 MW. Kuinka suuret ovat tällöin generaattoreiden tuotantokustannukset (R_s), jos generaattorit toimivat optimitehoilla yhden tunnin ajan. Palauta tehtävä tehtäväpaperilla.

e) Milloin on edullista käyttää tasasähkönsiirtoa verrattuna vaihtosähkön siirtoon.

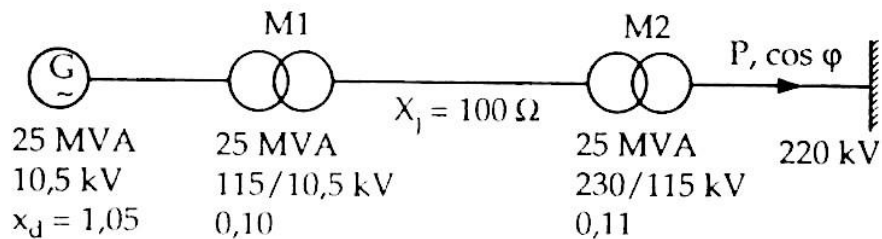


Kuva 2.

4. Lasku

Generaattori syöttää verkkoon kuvan 3 mukaisesti tehon $P = 20$ MW, $\cos\phi = 0.85_{\text{kap}}$. Laske stabiili rajateho, kun

- e) generaattorin magnetointia ei säädetä
- f) magnetointia säätämällä pidetään generaattorin napajännite siinä arvossa, joka sillä oli em. kuormitustilanteessa. Mikä on generaattorin smv. tällöin?



Kuva 3.

5. Suojaus

Selosta suuntaominaisuuden sisältävän impedanssireleen (distanssireleen) toimintaperiaate ja sen käyttäytyminen siirtojohtojen suojauksessa. Piirrä sähkömekaanisen releen toimintakaavio, jonka avulla havainnollistat suojan toimintaa. Kuvaa myös kuinka siirtojohtojen suojauksessa impedanssireleellä voidaan toteuttaa varasuojaus.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

1.9.2003

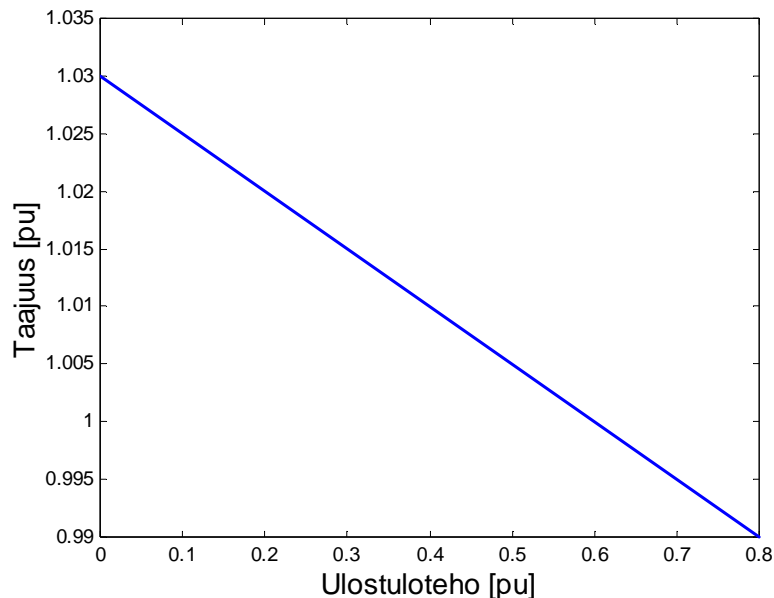
1. Jännitteen säätö

Solmujen 1 ja 2 välillä on siirtojohto, jonka impedanssi on $Z = 0.05 + j0.02$ pu. Solmussa 2 on kuormitus, jonka suuruus on $S_2 = 1.0 + j0.6$ pu. Molempien solmupisteiden jännitteet halutaan pitää vakioina $|V_1| = |V_2| = 1.0$. Kuinka suuri rinnakkaiskondensaattori (määritä kondensaattorin loistehon suuruus) solmuun 2 on kytkettävä, jotta jännitteen säätö onnistuisi?

2. Tehonsäätö

100 MW:n generaattori toimii 50 Hz:n taajuudella.

- Määritä kuvan 2 perusteella generaattorin statiikka-asettelu.
- Generaattori toimii nimellistaajuudella kuvan 1 tilanteessa. Mikä on generaattorin teho, kun taajuus nousee 0.1 Hz?
- Kuvan 1 generaattori vastaa alueen A tuotantoa. Alueeseen A kytketään alue B, jonka statiikka on 100 MW/Hz ja kokonaistuotanto 200 MW. Kuinka suuri on yhdysjohdon tehonmuutos, kun alueella A kuormitus kasvaa siten, että taajuus koko järjestelmässä laskee 0.1 Hz?



Kuva 1.

3. Tuotannon optimointi

Mitkä tekijät ja millä tavalla vaikuttavat sähköntuotannon viikkosuunnitteluun?

4. Vastaa ytimekkäästi

- g) Mitä keinoja voidaan käyttää pysyvän taajuusvirheen poistamiseksi esimerkiksi häiriötilanteen jälkeen?
- h) Mikä on hetkellinen häiriöreservi ja mihin sitä tarvitaan?
- i) Kuinka siirtoverkon pullonkauloja hallitaan hinta-alueiden sisällä Nordel:ssa?
- j) Millä tavalla kuormien jänniteriippuvuus vaikuttaa siirtojärjestelmän jännitestabiilisuuteen?
- k) Kuvaile (n-1) käyttövarmuuskriteerin periaate.
- l) Kerro mielipiteesi Yhdysvaltojen ja Kanadan itäosien elokuussa 2003 tapahtuneen laajamittaisen sähkökatkoksen syistä (kiinnitä erityistä huomiota vastauksesi perusteluihin, syy- ja seuraussuhteiden tulee olla selkeitä)?

5. Suojaus

Selosta suuntaominaisuuden sisältävän impedanssireleen (distanssireleen) toimintaperiaate ja sen käyttäytyminen siirtojohtojen suojauksessa. Piirrä sähkömekaanisen releen toimintakaavio, jonka avulla havainnollistat suojan toimintaa. Kuvaa myös kuinka siirtojohtojen suojauksessa impedanssireleellä voidaan toteuttaa varasuojaus.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

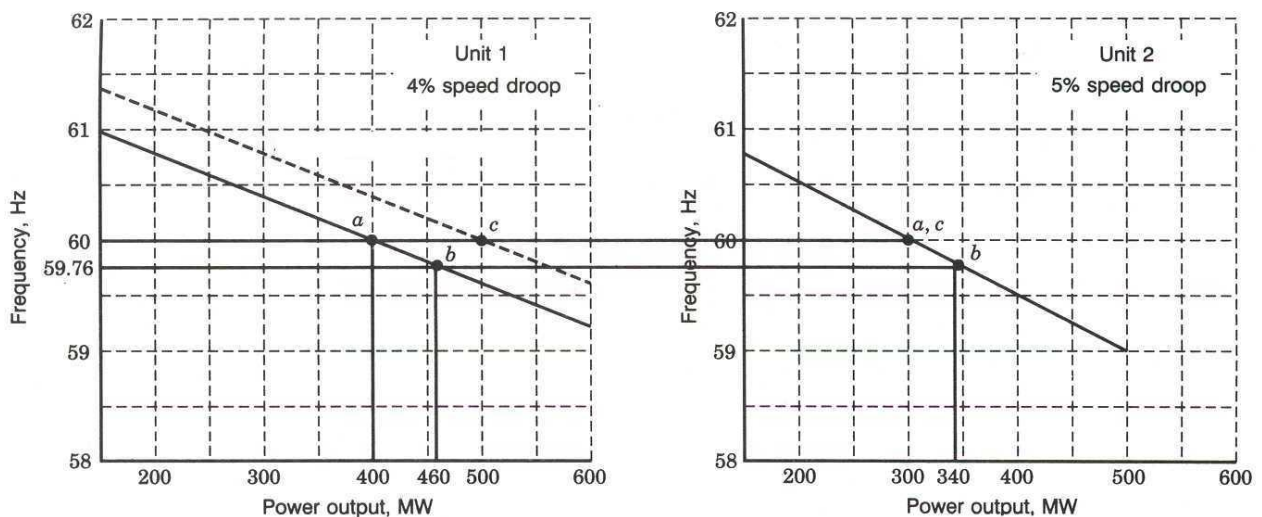
12.5.2003

1. Jännitteen säätö

Selosta yksittäisen siirtojohtoon kompensoinnin periaate ja tekijät, jotka vaikuttavat kompensointitarpeeseen. Kuvaile eri kompensointitarkoituksien hyviä ja huonoja puolia. Vastaa ainakin seuraavan tyyppisiin kysymyksiin: miksi kompensoidaan ja kuinka (millä tavalla) kompensoidaan. Vastauksessa ei pidä kuvata koko siirtojärjestelmän jännitteesäätöä.

2. Taajuuden säätö

Kuvassa 5 on esitetty kahden generaattorin (unit 1 ja unit 2) käyttäytyminen tilanteessa, jossa kuorman lisäys on 100 MW:a. Generaattorit toimivat aluksi pisteessä a. Kuorman lisäyksen jälkeen toimintapiste muuttuu ensin pisteeseen b ja lopuksi pisteeseen c. Selvitä mitä ja miksi missäkin vaiheessa a, b ja c tapahtuu ja minkä takia generaattorit siirtyvät pisteestä toiseen.



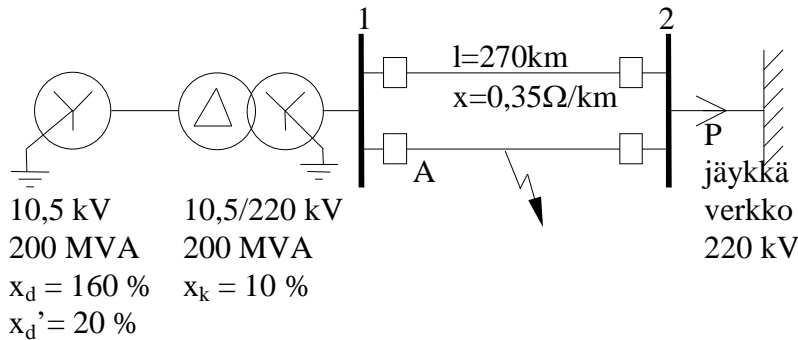
Kuva 1.

3. Vastaa ytimekkäästi

- Mikä on tuotantoyksikön lisäkustannuskuvaaja ja miten se voidaan muodostaa?
- Mitä keinoja voidaan käyttää pysyvän taajuusvirheen poistamiseksi esimerkiksi häiriötilanteen jälkeen?
- Mikä on hetkellinen häiriöreservi ja mihin sitä tarvitaan?
- Kuinka siirtoverkon pullonkauloja hallitaan hinta-alueiden sisällä Nordel:ssa.
- Millä tavalla kuormien jänniteriippuvuus vaikuttaa siirtojärjestelmän jännitestabiilisuuteen?
- Mitkä ovat tasasähkönsiirron edut vaihtosähköön verrattuna?

4. Transienttistabiilisuus

Generaattori syöttää kuvan 2 mukaisesti muuntajan ja kaksoisjohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $P = 250 \text{ MW}$ tehokertoimella $\cos\phi = 0,8_{\text{ind}}$. Toisella kaksoisjohdoista tapahtuu johdon puolivälissä kolmivaiheinen oikosulku. Suojaus on järjestetty siten, että vikaantuneen johdon alku- ja loppupään katkaisijat avautuvat ajanhetkellä, jota vastaa tehokulma $\delta_1 = 50^\circ$. Tehokulmaa $\delta_2 = 85^\circ$ vastaavalla ajanhetkellä tapahtuu pikajälleenkytkentä, joka epäonnistuu, jolloin vikaantuneen johdon katkaisijat avautuvat uudestaan tehokulmaa $\delta_3 = 120^\circ$ vastaavalla ajanhetkellä. Onko tilanne stabiili? Häviöitä ei oteta huomioon.



Kuva 2.

5. Suojaus

Selosta suuntaominaisuuden sisältävän impedanssireleen (distanssireleen) toimintaperiaate ja sen käyttäytyminen siirtojohdon suojauksessa. Piirrä sähkömekaanisen releen toimintakaavio, jonka avulla havainnollistat suojan toimintaa. Kuvaa myös kuinka siirtojohtojen suojauksessa impedanssireleellä voidaan toteuttaa varasuojaus.

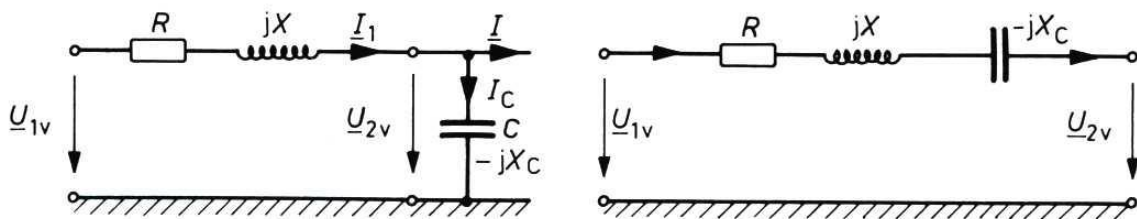
7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

25.3.2003

2. Jännitteen säätö

- d) Piirrä kuvan 1 kompensointivaihtoehdoista osoitindigrammit siten, että siinä näkyvät sekä johdon alku- ja loppupään jännitteet ja jännitehäviöosoitin jaettuna resistiiviseen ja reaktiiviseen osaan että näennäis-, pätö- ja loisivirtaosoittimet. Molemmissa tapauksissa kuormitusvirta I ilman kompensointia on induktiivinen (voit valita suuruuden itse). Kompensoinnin vaikutuksesta siirtojohto on ylikompensoitu. Tehtävässä on oleellista, että osoittimet ovat selvästi oikeasuuntaisia.
- e) Perustele osoitindigrammeja hyödyntäen rinnakkais- ja sarjakompensoinnin vaikutus siirtojohdon kompensointiin (kuinka vaikutukset näkyvät osoitindigrammeissa).
- f) Perustele osoitindigrammeja hyödyntäen rinnakkais- ja sarjakompensoinnin keskeiset eroavaisuudet (kuinka eroavaisuudet näkyvät osoitindigrammeissa).



Kuva 6.11. Johdon rinnakkais- ja sarjakompensointi.

a) Rinnakkaiskompensointi, b) Sarjakompensointi.

Kuva 1.

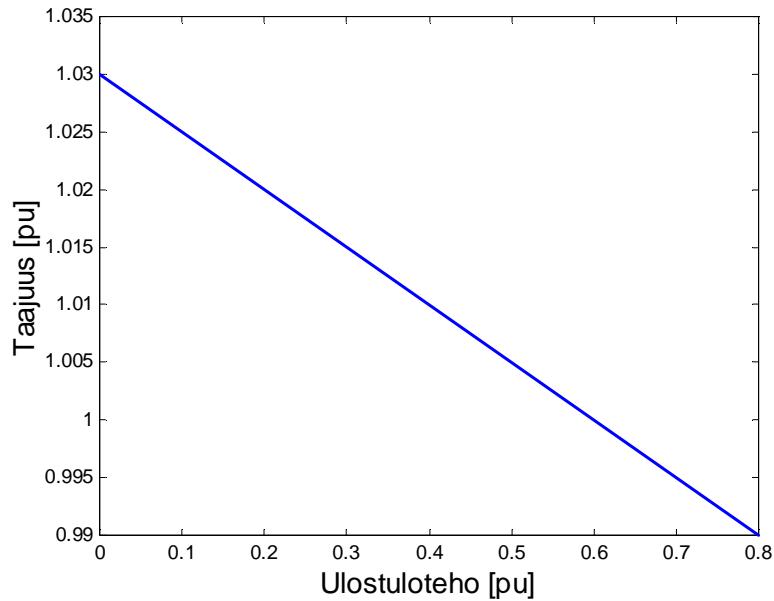
3. Tuotannon optimointi

Mitkä tekijät ja millä tavalla vaikuttavat sähköntuotannon viikkosuunnitteluun?

4. Tehonsäätö

100 MW:n generaattori toimii 50 Hz:n taajuudella.

- d) Määritä kuvan 2 perusteella generaattorin statiikka-asettelu.
- e) Generaattori toimii nimellistaajuudella kuvan 2 tilanteessa. Mikä on generaattorin teho, kun taajuus nousee 0.1 Hz?
- f) Kuvan 2 generaattori vastaa alueen A tuotantoa. Alueeseen A kytketään alue B, jonka statiikka on 100 MW/Hz ja kokonaistuotanto 200 MW. Kuinka suuri on yhdysjohdon tehonmuutos, kun alueella A kuormitus kasvaa siten, että taajuus koko järjestelmässä laskee 0.1 Hz?



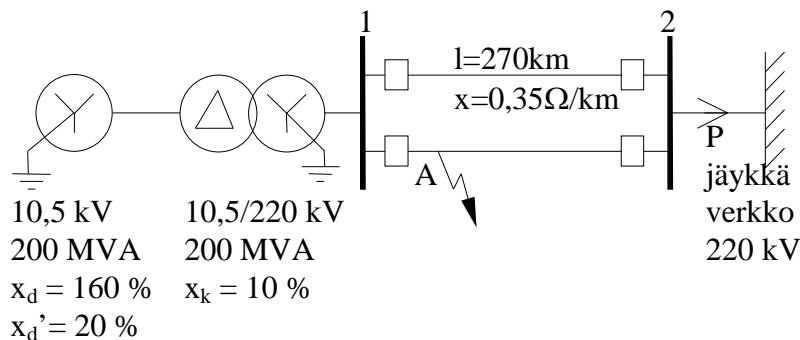
Kuva 2.

5. Kaikenlaista

- Mainitse keinoja, joita käytetään Nordel yhteiskäyttöjärjestelmän käyttövarmuuden ylläpitämiseen.
- Selosta miksi muuntajan käämikytkin voi aiheuttaa sähköjärjestelmän jännite-epästabiilisuuden.
- Selosta suuntaominaisuuden sisältävän distanssisuojan periaatteellinen toiminta siirtojohdon suojauksessa.

6. Transienttistabiilisuus

Generaattori syöttää kuvan 3 mukaisesti muuntajan ja kaksoisjohdon kautta jäykkään verkkoon tehon $P = 176 \text{ MW}$ tehokertoimella $\cos\phi = 0,8_{\text{ind}}$. Toisella kaksoisjohdoista tapahtuu johdon puolivälissä kolmivaiheinen oikosulku. Suojaus on järjestetty siten, että vikaantuneen johdon alku- ja loppupään katkaisijat avautuvat ajanhetkellä, jota vastaa tehokulma $\delta_1 = 50^\circ$. Tehokulmaa $\delta_2 = 85^\circ$ vastaavalla ajanhetkellä tapahtuu pikajälleenkytkentä, joka epäonnistuu, jolloin vikaantuneen johdon katkaisijat avautuvat uudestaan tehokulmaa $\delta_3 = 120^\circ$ vastaavalla ajanhetkellä. Onko tilanne stabiili? Häviöitä ei oteta huomioon.



Kuva 3.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

20.1.2003

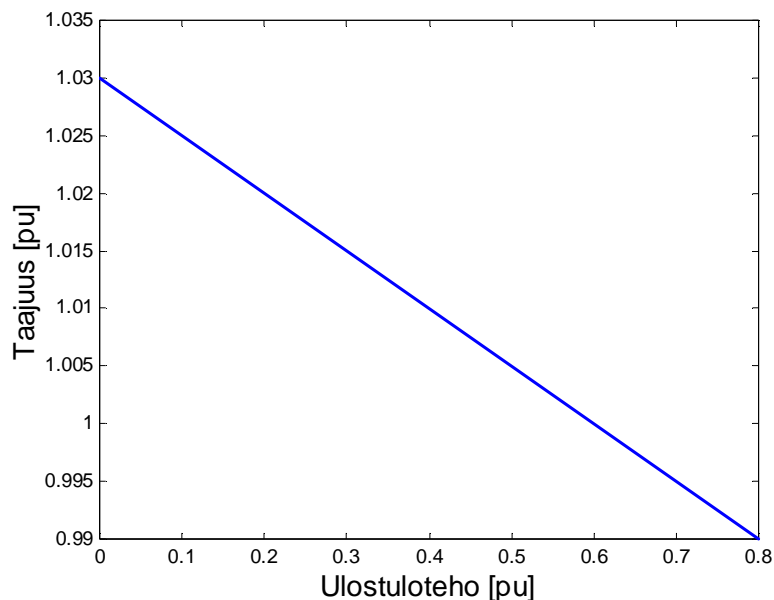
1. Lyhyitä kysymyksiä

- Mihin tehonjakolaskentaa tarvitaan?
- Miksi solmipisteadmittanssimatriisi Y on ns. harvamatriisi?
- Selosta sähköntuotannon optimoinnin periaate, kun käytettävissä on tuotantoyksiköiden lisäkustannuskuvaajat?
- Mihin tarvitaan generaattorin taajuudensäätäjän statiikka-asettelua?
- Mikä on käytettävissä oleva siirtokapasiteetti (available transfer capacity)?
- Mikä on varausloisvirta ja miten se liittyy sähköjärjestelmän jännitteensäätöön?

2. Tehon säätö

100 MW:n generaattori toimii 50 Hz:n taajuudella.

- Määritä kuvan 1 perusteella generaattorin statiikka-asettelu.
- Generaattori toimii nimellistaajuudella kuvan 1 tilanteessa. Mikä on generaattorin teho, kun taajuus nousee 0.1 Hz?
- Kuvan 1 generaattori vastaa alueen A tuotantoa. Alueeseen A kytketään alue B, jonka statiikka on 100 MW/Hz ja kokonaistuotanto 200 MW. Kuinka suuri on yhdysjohdon tehonmuutos, kun alueella A kuormitus kasvaa siten, että taajuus koko järjestelmässä laskee 0.1 Hz?

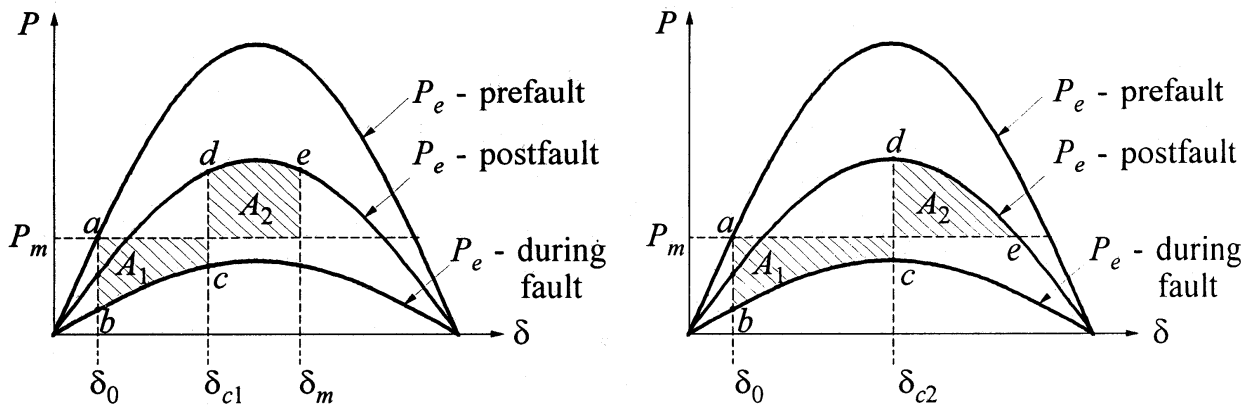


Kuva 1.

3. Stabiilisuustehtävä

Perustele ovatko kuvan 2 tilanteet stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. Kuvaile myös omin sanoin mitä

kuvan 2 pisteissä a, b, c, d ja e tapahtuu ja miten ne liittyvät stabiilisuuden määrittämiseen. P = pätöteho, δ = tehokulma, prefault = ennen vikaa, postfault = vian jälkeen ja during fault = vian aikana.



Kuva 2.

4. Essee

- Selosta mikä on Unit commitment –ongelma ja millaisia ovat sen reunaehdot. Voit käyttää ongelman havainnollistamisessa keksimääsi esimerkkiä.
- Millä tavalla tehoelektroniikkaa on hyödynnetty sähkönsiirtojärjestelmässä tehonsiirrossa ja järjestelmän stabiilisuuden parantamisessa?

5. Tehtävä ja lasku

- Selosta 2-käämimuuntajan nollaverkon muodostumisen riippuvuutta muuntajien kytkentäryhmästä ja piirrä kustakin tilanteesta nollaverkon sijaiskytkentä. Käsittele perustapaukset (esim. YNyn, Yny, Dy, Dyn, Dd)
- Myötäverkon solmupisteimpedanssimatriisi Z_{BUS} suhteellisarvoina lausuttuna on seuraava. Solmupisteessä 3 sattuu 3-vaiheinen vika, jonka vikaimpedanssi $Z_f = 0 \Omega$. Laske vian aikainen jännite solmupisteessä 1 kun ennen vikaa kaikkien solmupisteiden jännite on 1.0 pu.

$$Z_{BUS} = \begin{pmatrix} j0.15 & j0.08 & j0.04 & j0.07 \\ j0.08 & j0.15 & j0.06 & j0.09 \\ j0.04 & j0.06 & j0.13 & j0.05 \\ j0.07 & j0.09 & j0.05 & j0.12 \end{pmatrix}$$

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

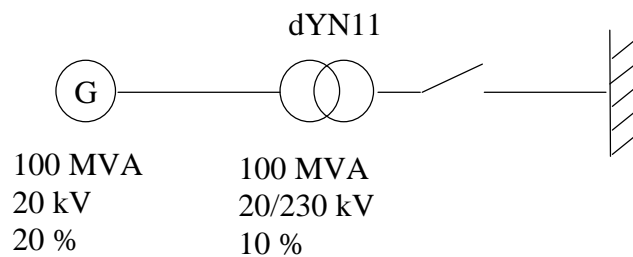
2.9.2002

1. Vastaa ytimekkäästi

- g) Mihin tehonjakolaskentaa tarvitaan? (1 p.)
- h) Miksi solmipisteadmitanssimatriisi Y on ns. harvamatriisi? (1 p.)
- i) Mikä on varausloisvirta ja miten se liittyy sähköjärjestelmän jännitteensäätöön? (1 p.)
- j) Pohdi rinnakkais- ja sarjakompensoinnin etuja ja haittoja. (2 p.)
- k) Kuvaile $(n-1)$ käyttövarmuuskriteerin periaate. (1 p.)
- l) Mikä on tehonsäädön statiikka-asettelu? (1 p.)
- m) Mikä on aluesäätövirhe ja kuinka se syntyy? (1 p.)

2. Vikavirrat

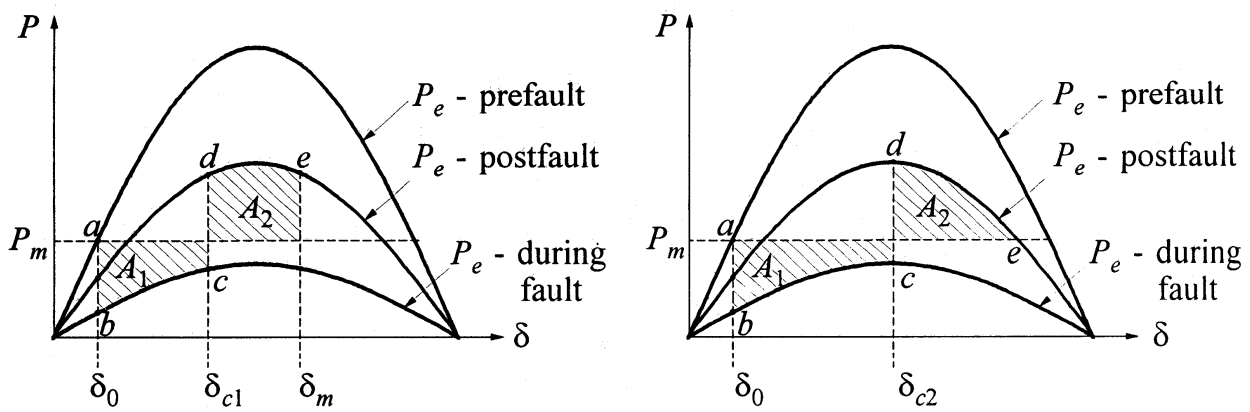
Kuvassa 1 muuntajan yläjännitepuolella tapahtuu 1-vaiheinen maasulku. Laske generaattorin kaikkien vaiheiden vikavirrat, kun generaattori on jäykästi maadoitettu. (6 p.)



Kuva 1.

3. Stabiilisuustehtävä

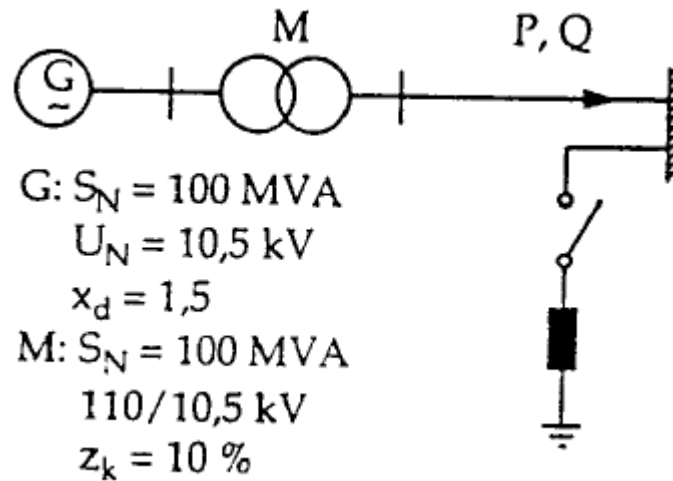
Perustelevatko kuvan 2 tilanteet stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. Kuvaile myös omin sanoin mitä kuvan 2 pisteissä a, b, c, d ja e tapahtuu ja miten ne liittyvät stabiilisuuden määrittämiseen. P = pätöteho, δ = tehokulma, pre-fault = ennen vikaa, post-fault = vian jälkeen ja during fault = vian aikana. (6 p.)



Kuva 2.

4. Jännitteensäätö

Generaattori syöttää verkkoon tehon $P = 80 \text{ MW}$, $Q = 0$. Verkon liityntäpisteen (jäykän verkon) jännite $U = 115 \text{ kV}$ ja verkon oikosulkuteho $S_k = 1\,000 \text{ MVA}$ jännitteellä 115 kV . Paljonko aseman jännite muuttuu, jos sinne kytketään reaktori, jonka nimellisarvot ovat $U_n = 120 \text{ kV}$, $Q_n = 60 \text{ Mvar}$. (6 p.)



Kuva 3.

5. Tehonsäätö

Kuvaile omin sanoin pätötehoreservejä ja niiden toimintaperiaatteita. (4 p.)

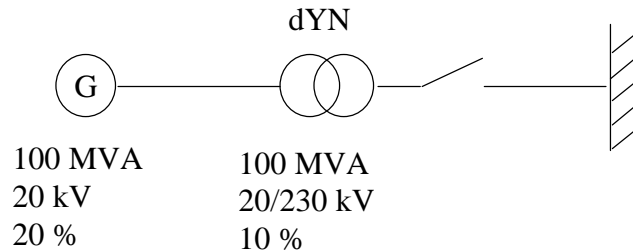
7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Sami Repo

10.5.2002

1. Vikavirrat

Kuvassa 1 muuntajan yläjännitepuolella tapahtuu 1-vaiheinen maasulku. Laske generaattorin kaikkien vaiheiden vikavirrat. (6 p.)



Kuva 1.

2. Stabiilisuus

Laske staattisen stabiilisuuden rajateho, kun generaattorin i) napajännite ja ii) sähkömotorinen voima on 1.2 pu. Generaattorin tahtireaktanssi on 0.5 pu. Generaattori syöttää tehonsa jäykkään verkkoon (jännite 1.0 pu) siirtojohton kautta, jonka reaktanssi on 1.0 pu. Selosta myös mistä syystä jälkimmäisessä tapauksessa rajateho on alhaisempi. (6 p.)

3. Jännitteen säätö

Solmujen 1 ja 2 välillä on siirtojohto, jonka impedanssi on $Z = 0.05 + j0.02$ pu. Solmussa 2 on kuormitus, jonka suuruus on $S_2 = 1.0 + j0.6$ pu. Molempien solmupisteiden jännitteet halutaan pitää vakioina $|V_1| = |V_2| = 1.0$. Kuinka suuri kondensaattori (määritä kondensaattorin loistehon suuruus) solmuun 2 on kytkettävä, jotta jännitteen säätö onnistuisi? (6 p.)

4. Tehonsäätö

Kuvaile omin sanoin pätotehoreservejä ja niiden toimintaperiaatteita. (4 p.)

5. Lyhyitä kysymyksiä (1 p. / alakohta)

- Mihin tehonjakolaskentaa tarvitaan?
- Miksi solmipisteadmitanssimatriisi Y on ns. harvamatriisi?
- Kuinka määritetään laajan (tuhansia solmupisteitä) siirtojärjestelmän transienttistabiilisuus?
- Selosta sähköntuotannon optimoinnin periaate, kun käytettävissä on tuotantoyksiköiden lisäkustannuskuvaajat?
- Mihin tarvitaan generaattorin taajuudensäätäjän statiikka-asettelua?
- Mitkä ovat tasasähkönsiirron edut vaihtosähköön verrattuna?

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

2. välikoe, Sami Repo

22.4.2002

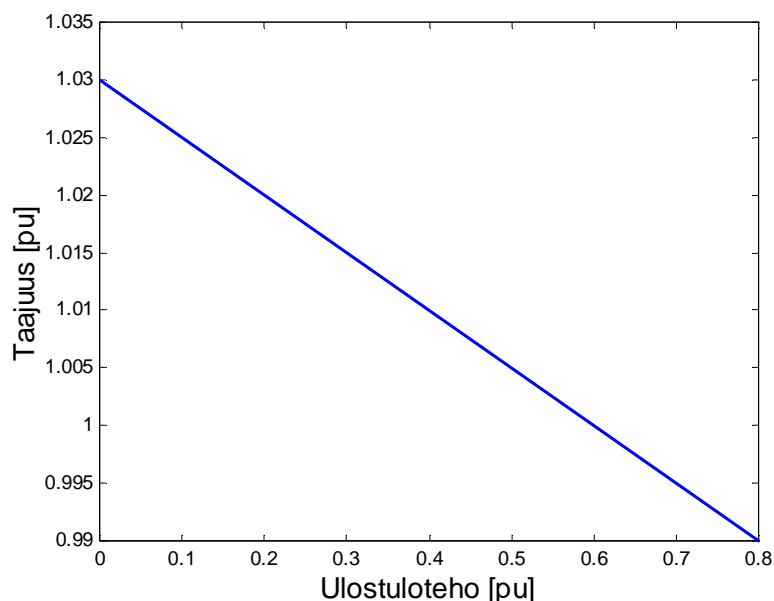
1. Jännitteen säätö

- Johda yhtälö käämikytkimellisen muuntajan virtojen ja jännitteiden välille. Y-matriisin ei tarvitse olla symmetrinen, riittää kun selvität perustapauksen. Määrittele käyttämäsi merkinnät.
- Solmujen 1 ja 2 välillä on siirtojohto, jonka impedanssi suhteellisarvona on $Z = 0.05 + j0.02$. Solmussa 2 on kuormitus, jonka suuruus on $S_2 = 1.0 + j0.6$ pu. Molempien solmupisteiden jännitteet halutaan pitää vakioina $|V_1| = |V_2| = 1.0$. Kuinka suuri kondensaattori (määritä kondensaattorin loistehon suuruus) solmuun 2 on kytkettävä, jotta jännitteen säätö onnistuisi?

2. Tehon säätö

100 MW:n generaattori toimii 50 Hz:n taajuudella.

- Määritä kuvan 1 perusteella generaattorin statiikka-asettelu.
- Generaattori toimii nimellistaajuudella kuvan 1 tilanteessa. Mikä on generaattorin teho, kun taajuus nousee 0.1 Hz?
- Kuvan 1 generaattori vastaa alueen A tuotantoa. Alueeseen A kytketään alue B, jonka statiikka on 100 MW/Hz ja kokonaistuotanto 200 MW. Kuinka suuri on yhdysjohdon tehonmuutos, kun alueella A kuormitus kasvaa siten, että taajuus koko järjestelmässä laskee 0.1 Hz?



Kuva 1.

3. Essee

Kuvassa 2 on esitetty generaattorin taajuudensäätöjärjestelmän kaavio. Selosta sen avulla kuinka taajuudensäätöjärjestelmä toimii. Kuvan suureet ovat: ΔF on taajuuden muutos, ΔP_G on generaattorin sisäänmenotehon muutos, ΔP_D on kuorman muutos, ΔP_C on generaattoritehon asetteluarvon muutos, R on säätövoima, k on säätäjän vahvistus ja T on säätäjän aikavakio.

Siirtofunktioiden parametrien alaindeksit viittaavat turbiinisäätimeen (sg), turbiiniin (t) ja generaattori-kuorma –järjestelmään (ps).

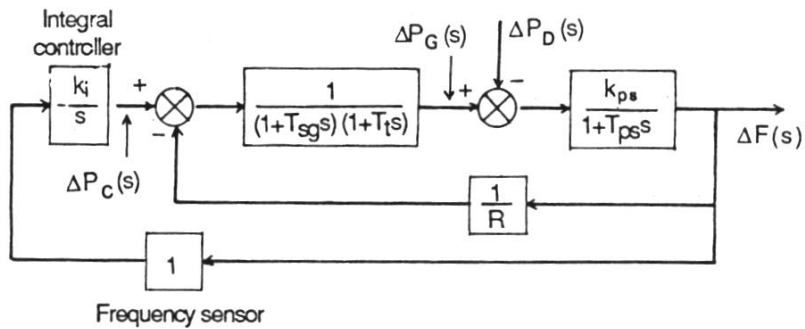


Fig. 8.10 Proportional plus integral load frequency control

Kuva 2.

4. Valitse toinen aiheista A tai B

- A) Selosta oheista kuvaa 3 apuna käyttäen kuinka HVDC-linkin tehonsäätö tapahtuu, eli miten ja miksi?
- B) Selosta omin sanoin tehoelektroniikan soveltamismahdollisuuksista sähköjärjestelmissä, eli mihin, miten ja miksi?

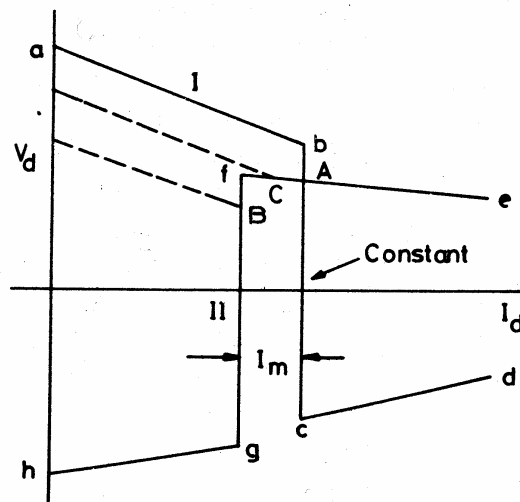


Fig. 4.2 Converter controller characteristic

DC voltage at the station II versus DC current. Each station characteristic has three parts as given below:

Station I	Station II	Type
ab	hg	minimum α
bc	gf	constant current
cd	fe	minimum γ

Kuva 3.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

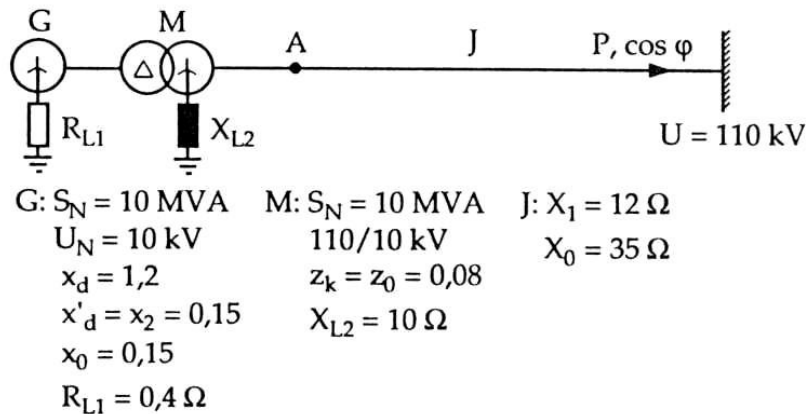
1. välikoe, Juhani Bastman ja Sami Repo

18.2.2002

1. Vikavirtatehtävä

Generaattori syöttää jäykkään verkkoon kuvan 1 mukaisesti tehon $P = 8 \text{ MW}$, $\cos\varphi = 0.9$. Generaattorin, muuntajan ja johdon tiedot on kuvassa merkitty kirjaimin G, M ja J. Pisteessä A tapahtuu 1-v. maasulku.

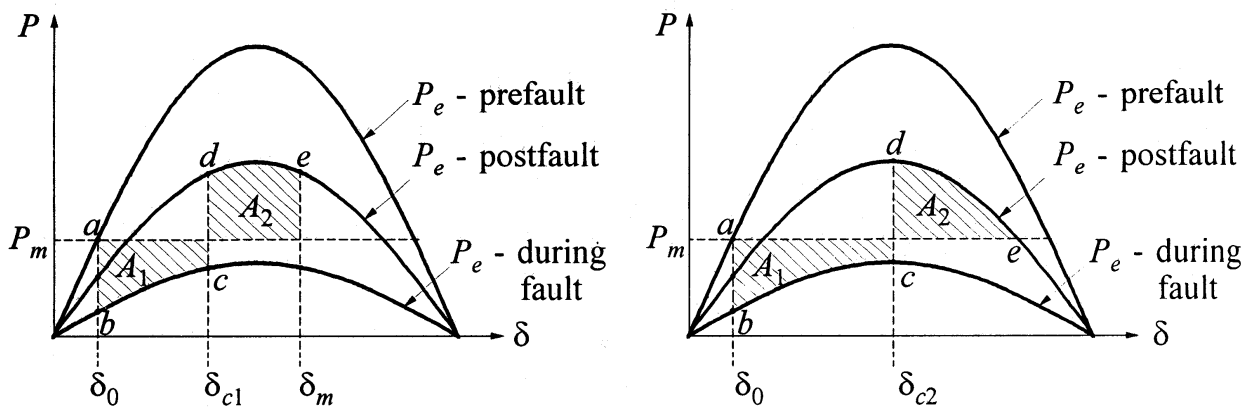
- Laske myötä-, -vasta ja nollaverkon sijaiskytkentöjen impedanssien arvot suhteellisarvoina kun perusteho $S_b = 10 \text{ MVA}$ ja perusjännite pisteessä A on 110 kV .
- Piirrä sijaiskytkennät.
- Miten verkot kytkeytyvät, jos pisteessä A tapahtuu 1-v. maasulku vikaimpedanssi $Z_f = 0.1 \text{ pu}$ kautta. Laskua ei tarvitse ratkaista numeerisesti.



Kuva 1.

2. Stabiilisuustehtävä

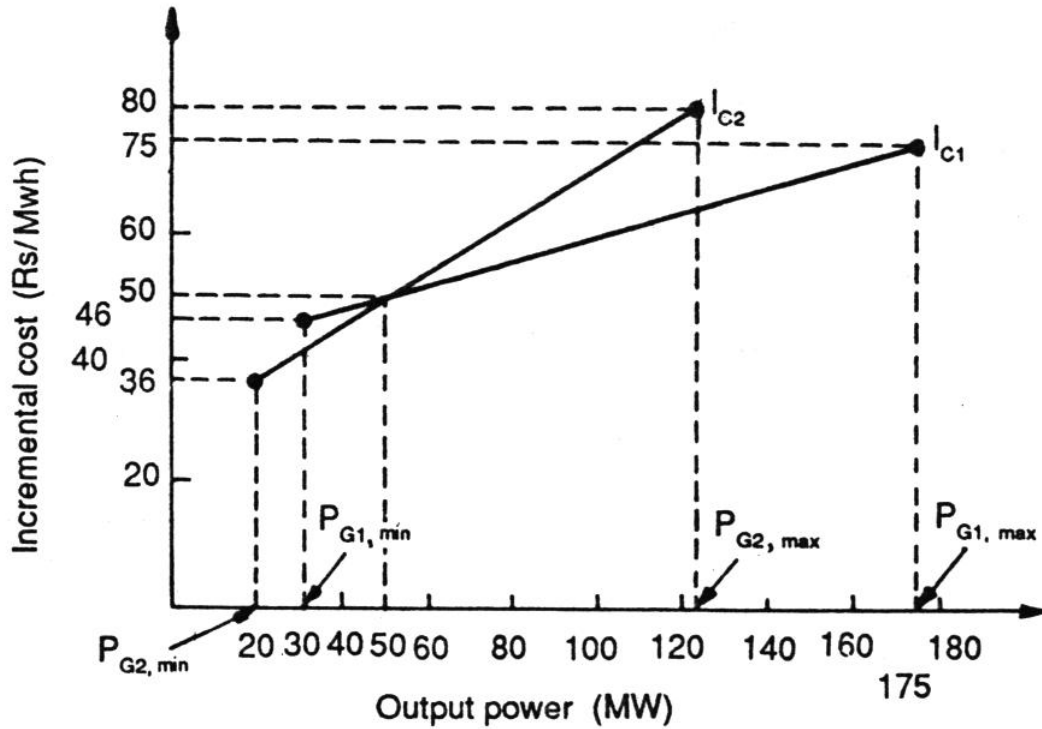
Perustele ovatko kuvan 2 tilanteet stabiileja pinta-alakriteerion perusteella. Kuvaajat ovat järjestelmästä, jossa generaattori syöttää tehoa kahden rinnakkaisen johdon kautta jäykkään verkkoon. Tutkittava vika esiintyy toisen johdon puolivälissä. Kuvaile myös omin sanoin mitä kuvan 2 pisteissä a, b, c, d ja e tapahtuu ja miten ne liittyvät stabiilisuuden määrittämiseen. $P =$ päätöteho ja $\delta =$ tehokulma.



Kuva 2.

3. Vastaa ytimekkäästi

- Mihin vertailupistettä tarvitaan tehonjakotehtävissä?
- Määritä graafisesti tuotannonjaon optimi kuvan 3 generaattoreille, kun kokonaiskuormitus on 175 MW. Palauta tehtävä tehtäväpaperilla.
- Selosta mikä on Unit commitment -ongelma.



Kuva 3.

4. Käyttövarmuus

Määrittele omin sanoin sähkönsiirtojärjestelmän käyttövarmuus. Kuvaile kuinka käyttövarmuus voidaan määrittää laskennallisesti ja miten se liittyy käytettävissä olevan siirtokapasiteetin (available transfer capacity) määrittämiseen.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

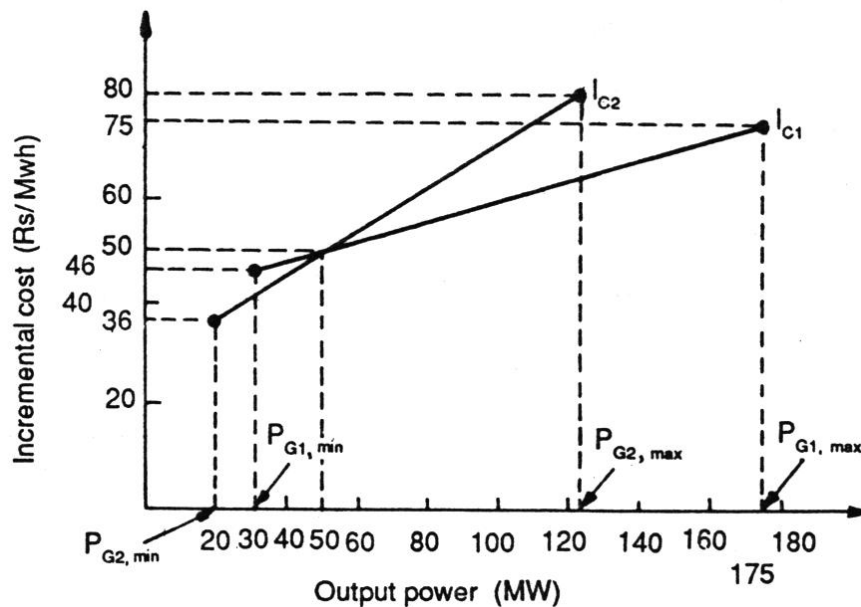
2. välikoe, Sami Repo

24.4.2001

Kolmeen ensimmäiseen tehtävään vastataan nyt ja viimeinen tehtävä palautetaan Wappuun mennessä.

1. Vastaa ytimekkäästi

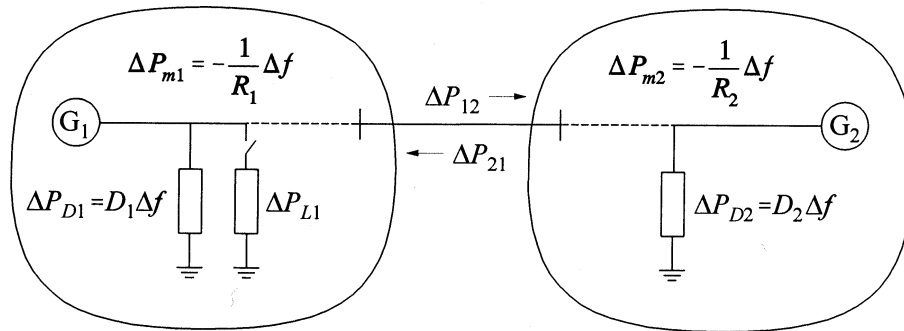
d) Määritä graafisesti tuotannonjaon optimi kuvan generaattoreille, kun kokonaiskuormitus on 150 MW. Palauta tehtävä tehtäväpaperilla (1p.)



- e) Kuvaile (n-1) käyttövarmuuskriteerin periaate. (1p.)
- f) Mikä on generaattorin loistehoreservi ja mihin sitä tarvitaan? (1p.)
- g) Mikä on luonnollinen teho? (1p.)
- h) Luettele loistehon tuottajia ja kuluttajia (1p.)
- i) Mikä on tehonsäädön statiikka-asettelu? (1p.)
- j) Mikä on aluesäätövirhe ja kuinka se syntyy? (1p.)
- k) HVDC-aseman komponentit ja niiden tehtävät (2p.)

2. Johda (4p.)

Oheisessa kuvassa on esitetty alueiden 1 ja 2 ja yhdysjohdon muodostaman järjestelmän kaavio. Johda yhtälö yhdysjohdon tehonmuutokselle ΔP_{12} , kun alueella 1 kuorman muutos on ΔP_{L1} . Kuvan muut suureet: ΔP_m on generaattorin sisäänmenotehon muutos, R on säätövoima, Δf on taajuuden muutos, ΔP_D on taajuusriippuvan kuorman muutos ja D on kuorman vaimennuskerroin. Voit olettaa, että kaikki suureet ovat suhteellisarvoja.



3. Essee (3p.)

Selosta mikä on Unit commitment –ongelma ja millaisia ovat sen reunaehdot. Voit käyttää ongelman havainnollistamisessa keksimääsi esimerkkiä.

HUOM! Kotitehtävä

4. Lasku muuntajan käämikytkimestä (8p.)

Määritä 110/20 kV -muuntajan toisiopuolen jännite, kun kuorma on 20 MVA ja $\cos\phi=0,9$ kapasitiivinen. Muuntajan ensiopuolella verkon jännite on 110 kV. Käämikytkin sijaitsee toisiopuolella ja sen asento on $a=0,95$. Muuntajan nimellisteho on 50 MVA, reaktanssi 12 % ja kytkentäryhmä Dyl1.

Vinkki: Laskun voi tehdä esimerkiksi Matlab:lla.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Juhani Bastman ja Sami Repo

24.4.2001

1. Tehtävä ja lasku (6p.)

Selosta 2-käämimuuntajan nollaverkon muodostumisen riippuvuutta muuntajien kytkentäryhmästä ja piirrä kustakin tilanteesta nollaverkon sijaiskytkentä.

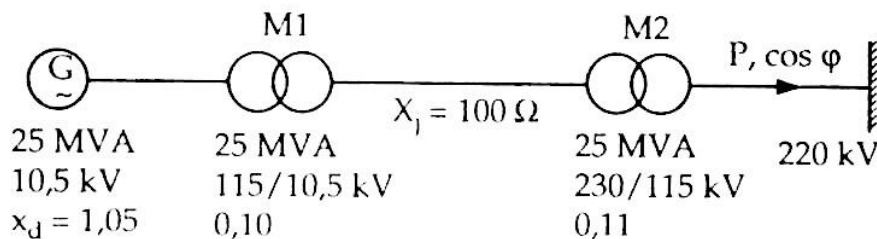
- c) Käsittele perustapaukset (esim. YNyn, Yny, Dy, Dyn, Dd)
- d) Myötaverkon solmupisteimpedanssimatriisi Z_{BUS} suhteellisarvoina lausuttuna on seuraava. Solmupisteessä 3 sattuu 3-vaiheinen vika, jonka vikaimpedanssi $Z_f = 0 \Omega$. Laske vian aikainen jännite solmupisteessä 1 kun ennen vikaa kaikkien solmupisteiden jännite on 1.0 pu.

$$Z_{BUS} = \begin{pmatrix} j0.15 & j0.08 & j0.04 & j0.07 \\ j0.08 & j0.15 & j0.06 & j0.09 \\ j0.04 & j0.06 & j0.13 & j0.05 \\ j0.07 & j0.09 & j0.05 & j0.12 \end{pmatrix}$$

2. Lasku (6p.)

Generaattori syöttää verkkoon kuvan 1 mukaisesti tehon $P = 20 \text{ MW}$, $\cos\phi = 0.85_{\text{kap}}$. Laske stabiili rajateho, kun

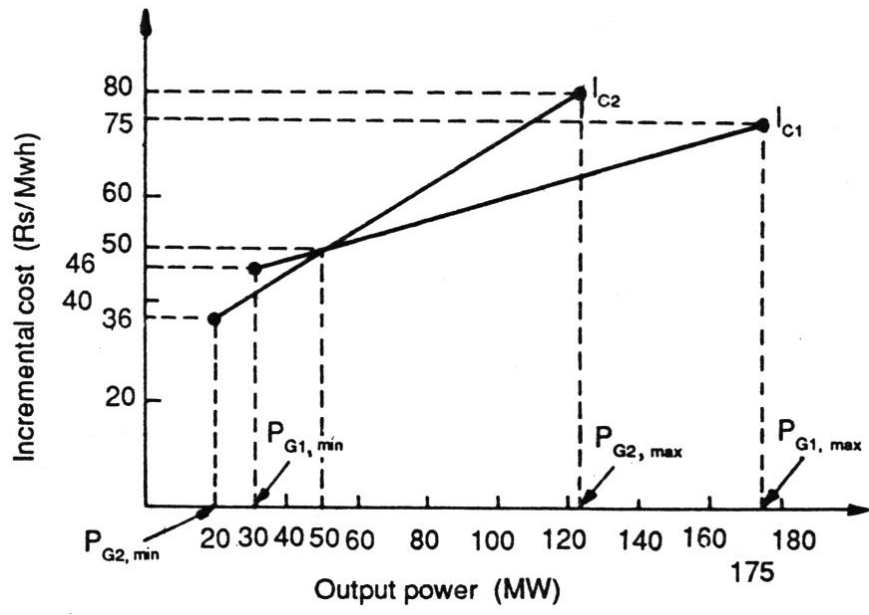
- g) generaattorin magnetointia ei säädetä
- h) magnetointia säätämällä pidetään generaattorin napajännite siinä arvossa, joka sillä oli em. kuormitustilanteessa. Mikä on generaattorin smv. tällöin?



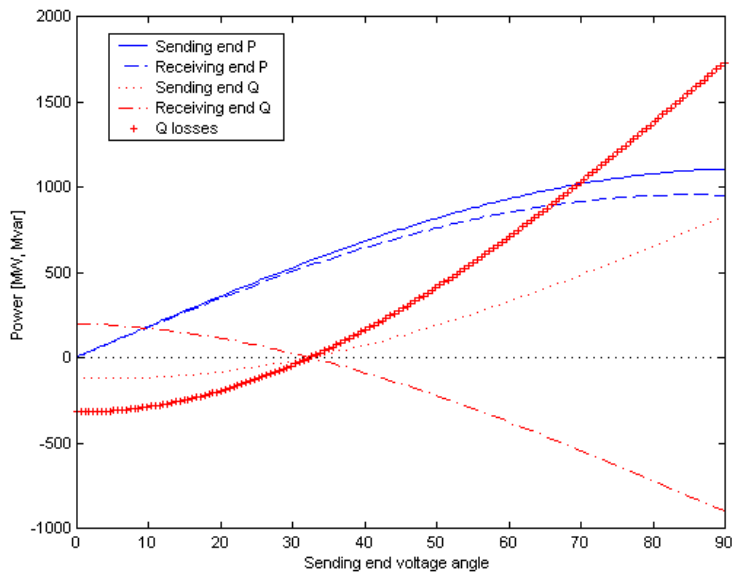
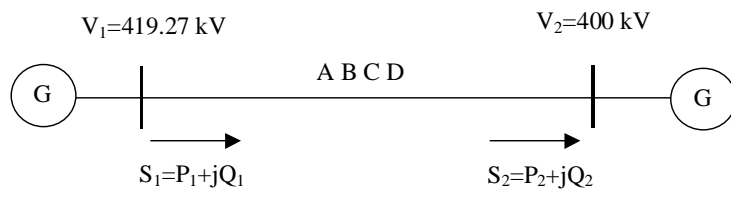
Kuva 1.

3. Vastaa ytimekkäästi

- a) Määritä graafisesti tuotannonjaon optimi kuvan 2 generaattoreille, kun kokonaiskuormitus on 200 MW. Kuinka suuret ovat tällöin generaattoreiden tuotantokustannukset (R_s), jos generaattorit toimivat optimitehoilla yhden tunnin ajan. Palauta tehtävä tehtäväpaperilla (2p.)
- b) Kuvaile (n-1) käyttövarmuuskriteerin periaate. (1p.)
- c) Milloin on edullista käyttää tasasähkönsiirtoa verrattuna vaihtosähkön siirtoon (1p.)
- d) Selosta johdon kompensoinnin syy ja periaate. Voit käyttää apuna oheista johdon (2-Finch 400 kV, 520 km) diagrammia (kuva 3). (2p.)



Kuva 2.



Kuva 3.

4. Essee (6p.)

Kuvassa 4 on esitetty generaattorin taajuudensäätöjärjestelmän kaavio. Selosta sen avulla kuinka taajuudensäätöjärjestelmä toimii. Kuvan suureet ovat: ΔF on taajuuden muutos, ΔP_G on generaattorin sisäänmenotehon muutos, ΔP_D on kuorman muutos, ΔP_C on generaattoritehon asetteluarvon muutos, R on säätövoima, k on säätäjän vahvistus ja T on säätäjän aikavakio. Siirtofunktioiden alaindeksit viittaavat turbiinisäätäjään (sg), turbiiniin (t) ja generaattori-kuorma –järjestelmään (ps).

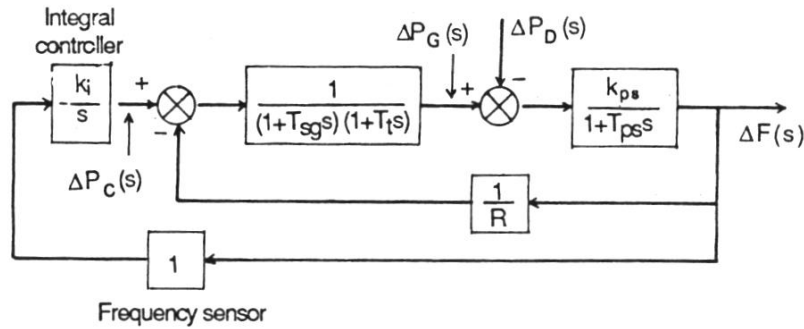
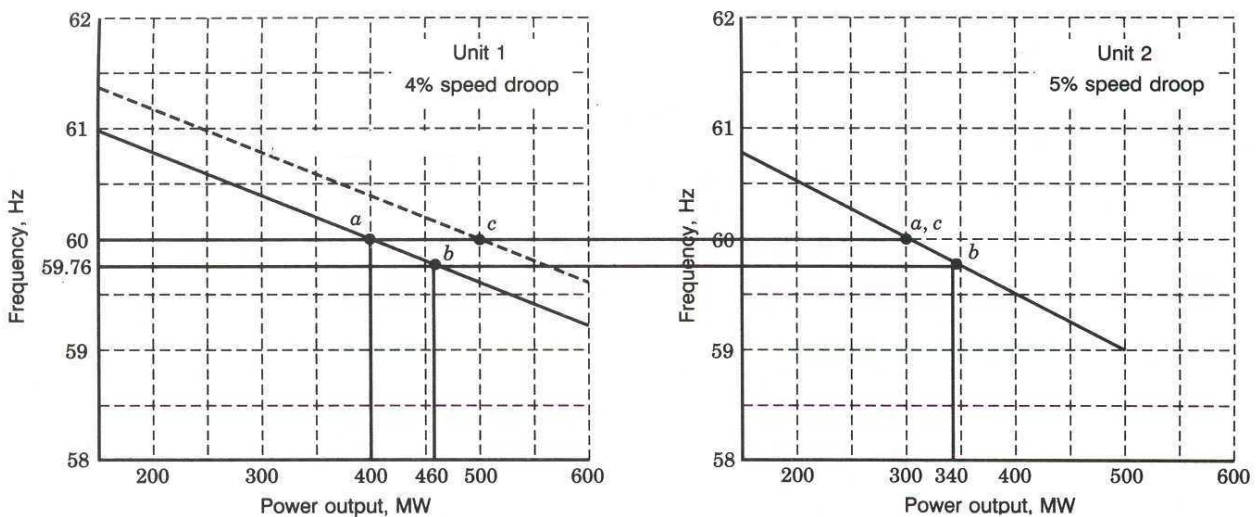


Fig. 8.10 Proportional plus integral load frequency control

Kuva 4.

5. Essee (6p.)

Kuvassa 5 on esitetty kahden generaattorin (unit 1 ja unit 2) käyttäytyminen tilanteessa, jossa kuorman lisäys on 100 MW:a. Generaattorit toimivat aluksi pisteessä a. Kuorman lisäyksen jälkeen toimintapiste muuttuu ensin pisteeseen b ja lopuksi pisteeseen c. Selvitä mitä ja miksi missäkin vaiheessa a, b ja c tapahtuu ja minkä takia generaattorit siirtyvät pisteestä toiseen.



Kuva 5.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

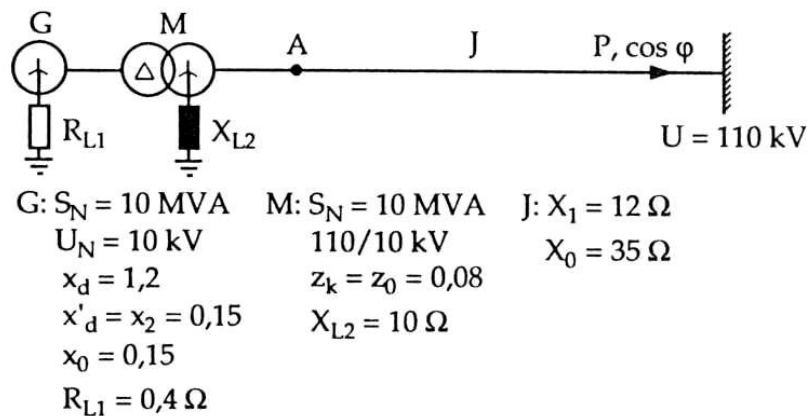
Tentti, Juhani Bastman ja Sami Repo

9.5.2001

1. Vikavirtatehtävä 6p.

Generaattori syöttää jäykkään verkkoon kuvan 1 mukaisesti tehon $P = 8 \text{ MW}$, $\cos\varphi = 0.9_{\text{ind}}$. Generaattorin, muuntajan ja johdon tiedot on kuvassa merkitty kirjaimin G, M ja J. Pisteessä A tapahtuu 1-v. maasulku.

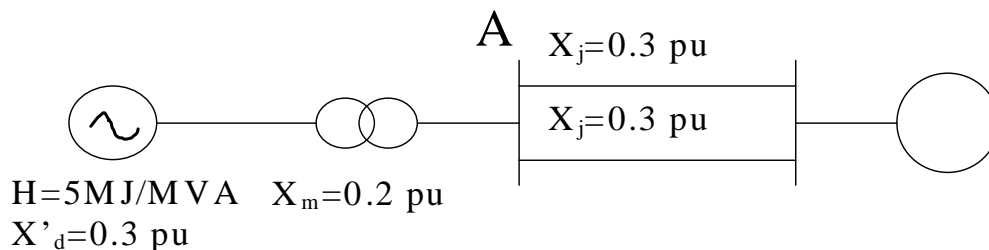
- Laske myötä-, -vasta ja nollaverkon sijaiskytkentöjen impedanssien arvot suhteellisarvoina kun perusteho $S_b = 10 \text{ MVA}$ ja perusjännite pisteessä A on 110 kV .
- Piirrä sijaiskytkennät.
- Miten verkot kytkeytyvät, jos pisteessä A tapahtuu 1-v. maasulku vikaimpedanssi $Z_f = 0.1 \text{ pu}$ kautta. Laskua ei tarvitse ratkaista numeerisesti.



Kuva 1.

2. Lasku 6p.

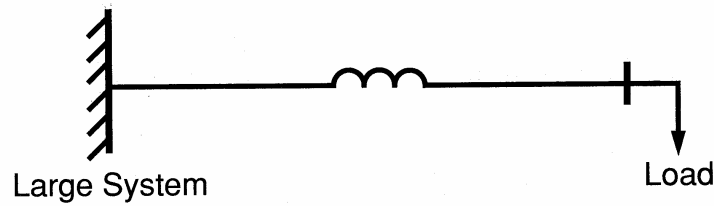
Generaattorin pitkittäinen muutosreaktanssi $X'_d = 0.3 \text{ pu}$ ja hitausvakio $H = 5 \text{ MJ/MVA}$. Generaattori on kytketty kuvan 2 mukaisesti jäykkään verkkoon muuntajan ($X_m = 0.2 \text{ pu}$) ja kaksoisjohdon kautta ($X_j = 0.3 \text{ pu}$ /johto). Jäykän verkon jännite $V = 1.0 \text{ pu}$ ja generaattorin verkkoon syöttämä pätöteho $P = 0.8 \text{ pu}$ ja loisteho $Q = 0.074 \text{ pu}$. Asemalla A tapahtuu ohimenevä 3-v. oikosulku vikaimpedanssi $Z_f = 0 \text{ pu}$ kautta. Vian aikana ja jälkeen molemmat johdot ovat verkossa. Laske pinta-alakriteerion avulla millä tehokulman arvolla vian on viimeistään poistuttava, jotta tilanne säilyy stabiilina.



Kuva 2.

3. Vastaa ytimekkäästi

a) Mikä aiheuttaa jännite-epästabiilisuuden kuvan 3 klassisessa tapauksessa? 1p.



Kuva 3.

b) Mikä on käytettävissä oleva siirtokapasiteetti (available transfer capacity)? 1p.

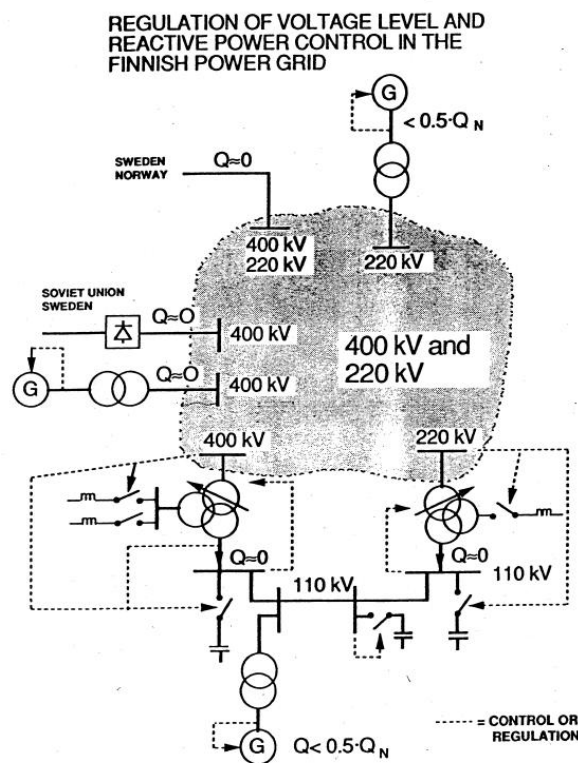
c) Minkälaisia tehoreservejä Suomessa on käytössä ja mihin niitä tarvitaan? 2p.

d) Mikä on lisäkustannuskuvaaja sähkön tuotannon optimoinnissa? 1p.

e) Mikä on varausloisvirta ja miten se liittyy sähköjärjestelmän jännitteensäätöön? 1p.

4. Essee 6p.

Selosta Suomen siirtoverkon (400-110 kV) paikallisen jännitteensäädön periaate kuvan 4 pohjalta. Perustele miksi jännitteensäätö on toteutettu näin.



Kuva 4.

5. Essee 6p.

Selosta yksittäisen alueen (isolated power system) tehonsäädön toiminta ja periaate. Piirrä tehonsäädön lohkoakaavio (periaatteellinen tai siirtofunktioiden avulla) ja selosta kunkin osan tarkoitus ja tehtävät. Perustele selostuksesi yksityiskohdat sanallisesti tai yhtälöiden avulla.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

Tentti, Juhani Bastman ja Sami Repo

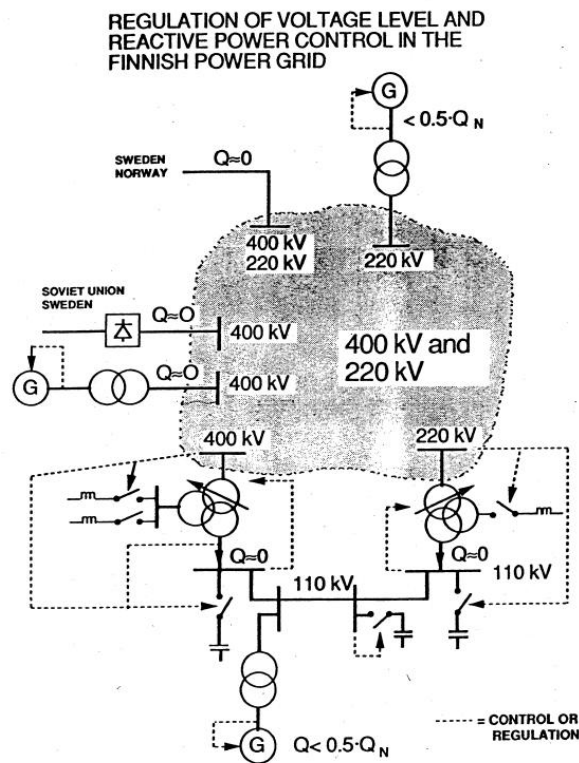
3.9.2001

3. Vastaa ytimekkäästi

- t) Mikä on varausloisvirta ja miten se liittyy sähköjärjestelmän jännitteensäätöön? 1p.
- u) Pohdi rinnakkais- ja sarjakompensoinnin etuja ja haittoja. 2p.
- v) Kuvaile (n-1) käyttövarmuuskriteerin periaate. 1p.
- w) Mikä on tehonsäädön statiikka-asettelu? 1p.
- x) Mikä on aluesäätövirhe ja kuinka se syntyy? 1p.

4. Essee 6p.

Selosta Suomen siirtoverkon (400-110 kV) paikallisen jännitteensäädön ja loistehoreservien toiminnan periaate kuvan 1 pohjalta. Perustele miksi ne ovat toteutettu näin.



Kuva 1.

5. Tehonsäätötehtävä 6p.

Sähköjärjestelmän 1 taajuuskäyttäytyminen on sellainen, että 250 MW:n lisäys kuormassa saa aikaan 0.1 Hz:n suuruisen taajuudenmuutoksen. Vastaavan taajuusmuutoksen järjestelmässä 2 saa aikaan 400 MW:n kuorman lisäys. Oletetaan, että järjestelmän 1 taajuus on 49.85 Hz ja järjestelmän 2 taajuus 50 Hz. Jos järjestelmät yhdistettäisiin toisiinsa, mikä olisi yhdysjohdolla siirtyvän tehon suuruus ja suunta? Täydellisessä ratkaisussa on oltava mukana myös tarvittavien yhtälöiden johtaminen.

7705025 Sähköverkkotekniikan jatkokurssi

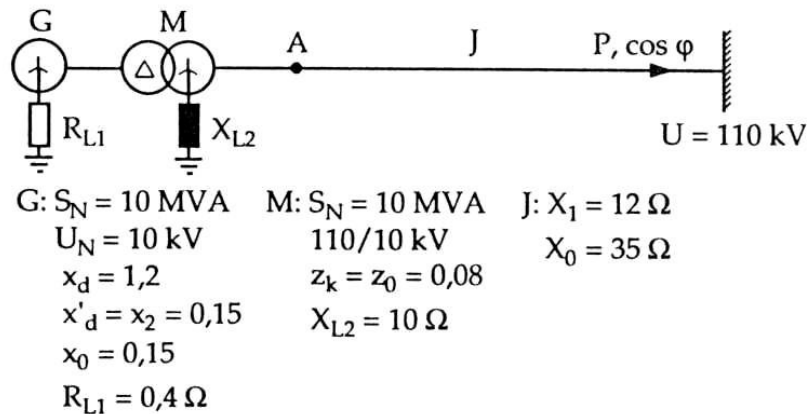
Tentti, Juhani Bastman ja Sami Repo

23.10.2001

1. Vikavirtatehtävä 6p.

Generaattori syöttää jäykkään verkkoon kuvan 1 mukaisesti tehon $P = 8 \text{ MW}$, $\cos\varphi = 0.9_{\text{ind}}$. Generaattorin, muuntajan ja johdon tiedot on kuvassa merkitty kirjaimin G, M ja J. Pisteessä A tapahtuu 1-v. maasulku.

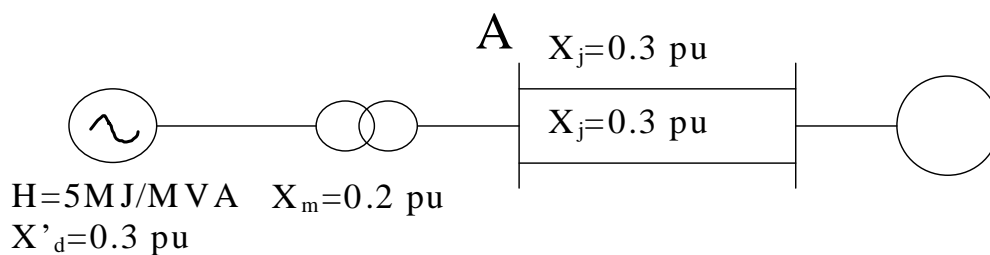
- Laske myötä-, -vasta ja nollaverkon sijaiskytkentöjen impedanssien arvot suhteellisarvoina kun perusteho $S_b = 10 \text{ MVA}$ ja perusjännite pisteessä A on 110 kV .
- Piirrä sijaiskytkennät.
- Miten verkot kytkeytyvät, jos pisteessä A tapahtuu 1-v. maasulku vikaimpedanssi $Z_f = 0.1 \text{ pu}$ kautta. Laskua ei tarvitse ratkaista numeerisesti.



Kuva 1.

2. Lasku 6p.

Generaattorin pitkittäinen muutosreaktanssi $X'_d = 0.3 \text{ pu}$ ja hitausvakio $H = 5 \text{ MJ/MVA}$. Generaattori on kytketty kuvan 2 mukaisesti jäykkään verkkoon muuntajan ($X_m = 0.2 \text{ pu}$) ja kaksoisjohdon kautta ($X_j = 0.3 \text{ pu}$ /johto). Jäykän verkon jännite $V = 1.0 \text{ pu}$ ja generaattorin verkkoon syöttämä pätöteho $P = 0.8 \text{ pu}$ ja loisteho $Q = 0.074 \text{ pu}$. Asemalla A tapahtuu ohimenevä 3-v. oikosulku vikaimpedanssi $Z_f = 0 \text{ pu}$ kautta. Vian aikana ja jälkeen molemmat johdot ovat verkossa. Laske pinta-alakriteerion avulla millä tehokulman arvolla vian on viimeistään poistuttava, jotta tilanne säilyy stabiilina.



Kuva 2.

3. Vastaaan ytimekkäästi

y) Mikä on varausloisvirta ja miten se liittyy sähköjärjestelmän jännitteensäätöön? 1p.

z) Pohdi rinnakkais- ja sarjakompensoinnin etuja ja haittoja. 2p.

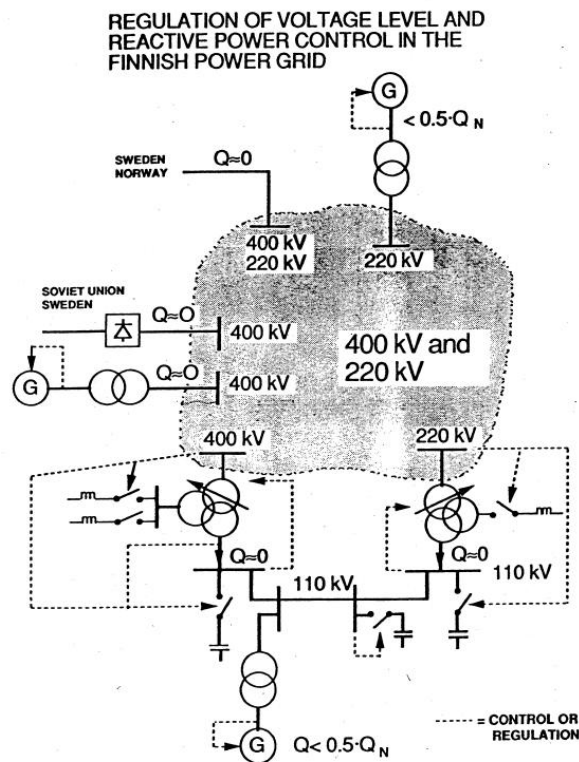
ä) Kuvaile (n-1) käyttövarmuuskriteerin periaate. 1p.

ä) Mikä on tehonsäädön statiikka-asettelu? 1p.

ö) Mikä on aluesäätövirhe ja kuinka se syntyy? 1p.

4. Essee 6p.

Selosta Suomen siirtoverkon (400-110 kV) paikallisen jännitteensäädön ja loistehoreservien toiminnan periaate kuvan 3 pohjalta. Perustele miksi ne ovat toteutettu näin.



Kuva 3.

5. Tehonsäätötehtävä 6p.

Sähköjärjestelmän 1 taajuuskäyttäytyminen on sellainen, että 250 MW:n lisäys kuormassa saa aikaan 0.1 Hz:n suuruisen taajuudenmuutoksen. Vastaavan taajuusmuutoksen järjestelmässä 2 saa aikaan 400 MW:n kuorman lisäys. Oletetaan, että järjestelmän 1 taajuus on 49.85 Hz ja järjestelmän 2 taajuus 50 Hz. Jos järjestelmät yhdistettäisiin toisiinsa, mikä olisi yhdysjohdolla siirtyvän tehon suuruus ja suunta? Täydellisessä ratkaisussa on oltava mukana myös tarvittavien yhtälöiden johtaminen.