

Tuomas Turves

SYNKRONIKOMPENSAATTORIN JÄNNITTEENSÄÄDÖN TOIMINTAPERIAATE JA TOTEUTUSTAPA

SYNKRONIKOMPENSAATTORIN JÄNNITTEENSÄÄDÖN TOIMINTAPERIAATE JA TOTEUTUSTAPA

Tuomas Turves
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Tuomas Turves

Opinnäytetyön nimi: Synkronikompensaattorin jännitteensäädön toimintaperiaate ja toteutustapa

Työn ohjaajat: Heikki Kurki & Jani Karhu

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 44 + 7 liitettä

Suomalainen kantaverkkoyhtiö Fingrid rakennuttaa synkronikompensaattorilaitosta Jylkän sähköasemalla, Kalajoella. Opinnäytetyön tavoitteena oli saada laitteiston jännitteensäädöstä ja toiminnallisuudesta selvempi käsitys. Samalla selvitettiin, miten olemassa olevat, tavanomaisille voimalaitoksille suunnatut jännitteensäädön ohjeet ja asettelut sopivat opinnäytetyössä esitetyille synkronikompensaattorille.

Työssä käytettiin sähkökoneisiin ja jännitteensäätöön keskittyntä kirjallisuutta, Fingridin projektidokumentaatiota, Fingridin laatimia voimalaitosten järjestelmätekniisiä vaatimuksia sekä synkronikompensaattorin toimittajan toimittamaa materiaalia. Osa dokumentaatiosta on liitteenä tässä opinnäytetyössä, mutta tilaaja on määritellyt liitteet luottamuksellisiksi, jonka vuoksi niitä ei julkaista opinnäytetyön yhteydessä.

Opinnäytetyön aikana selvisi, että synkronikompensaattorin jännitteensäätö ei teoriassa eroa tavallisesta teollisuuskäytössä olevasta staattisesti magnetoidusta umpinapaisesta tahtikoneesta, mutta tässä käytössä sitä tullaan ajamaan eri tavalla kuin teollisuuskäytössä normaalisti tuotantoon käytettyä tahtikonetta. Jännitteensäädön ohjeet ja asettelut ovat erilaiset, mutta peruseriaatteet ovat molemmissa samat. Jännitettä kompensoidaan loisteholla, tahtikoneen magnetointia säätämällä. Loistehoa voidaan kompensointia kantaverkossa myös reaktoreilla ja rinnakkaiskondenssaattoreilla. Jylkässä loistehonkompensointi tulee tapahtumaan synkronikompensaattorilla, koska se pystyy vastaamaan Jylkän alueella tuulivoimalla tuotetun tehon vaihteluihin dynaamisemmin ja joustavammin kuin rinnakkaiskondenssaattorit tai reaktorit.

Asiasanat: Jännitteensäätö, magnetointi, Tahtikone, synkronikompensaattori.

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Bachelor of Engineering in Electrical Engineering

Author: Tuomas Turves

Title of thesis: Synchronous Compensator Voltage Control and Implementation

Supervisors: Heikki Kurki & Jani Karhu

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2024

Number of pages: 44 + 7 appendices

Fingrid, the Finnish national electricity transmission system operator, was constructing Finland's first synchronous condenser at their Jylkkä substation in Kalajoki. This large-scale machine also known as synchronous condenser, aims to stabilize the voltage of the power grid, especially during wind power generation. The aim of my thesis was to find out how or if synchronous compensator's voltage control differs from usual industrial applications of synchronous machines. When writing the thesis, literature focused on electrical machines and voltage regulation, Fingrid's project documentation, system requirements for power plants stipulated by Fingrid, and materials provided by the synchronous compensator supplier were also used. Part of the documentation is attached to this thesis, but the client has defined the attachments as confidential, and therefore are not published in connection with the thesis.

Although voltage regulation of the synchronous compensator theoretically resembles that of a conventional industrial synchronous motor, research findings prove that its operational purpose differs. Due to its unique application, it will be operated differently from a typical synchronous motor applications in industrial settings. However, the fundamental principles remain the same: voltage is compensated using reactive power. In Fingrid's high-voltage grid, reactive power compensation is achieved through reactors and parallel capacitors. The Jylkkä synchronous compensator will dynamically respond to fluctuations in wind-generated energy, surpassing the capabilities of parallel capacitors and reactors.

Keywords: voltage control, synchronous compensator, excitation

KÄYTETYT LYHENTEET JA MERKINNÄT

Sähkösuureet

B = susceptanssi

E_{mv} = päälähdejännite

f_k = käämityskerroin

f = taajuus

kV = kilovoltti

ΔU = jännitteen muutos

MW = megawatti

MVAR = megavari, reaktiivisen tehon yksikkö

N = staattorin vaihekäämin sarjaan kytkettyjen johdinkierrosten lukumäärä

p.u. = per unit, suhteellinen arvo

Q_c = johdon tuottama loisteho

Q_x = johdon reaktansseissa kuluttama loisteho

S = loistehostatiikka

U = jännite

U_n = nimellisjännite

X = reaktanssi

Φ_m = magneettinavan päävuoto

Lyhenteet:

AVR = automaattinen jänniteensäätäjä (Automatic voltage regulator)

DCS = laitosloistehonsäätäjä (Distributed control system)

GE = sähkölaite- ja järjestelmävalmistaja (General Electric)

LOE = magnetoinnin menetyssuoja (Loss of Excitation)

OEL = ylimagnetointisuoja (Overexcitation limiter)

PSS = lisästabilisointipiiri (Power system stabilizer)

RMS = neliöllinen keskiarvo (Root Mean Square)

SYNCON = synkronikompensaattori (Synchronous Condenser)

SFC = synkronikompensaattorin käynnistyslaitteisto

UEL = alimagnetointisuoja (Underexcitation limiter)

VJV = voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	JÄNNITE JA JÄNNITTEENSÄÄTÖ	8
2.1	Kantaverkon jännitteensäätö ja loisteho	9
2.2	Jännitteensäätö tahtikoneella	10
2.3	Magnetoinnin säätö	11
2.3.1	Induktiivinen loisvirta ja magnetointi	12
2.3.2	Kapasiivinen loisvirta ja magnetointi	14
2.4	Loistehostatiikka	16
3	JYLKÄN JÄRJESTELMÄN KUVAUS	17
3.1	Synkronikompensaattori	18
3.2	Automaattinen jännitteensäätäjä	19
3.3	Jylkän synkronikompensaattorin automaattisen jännitteensäätäjän toiminta	20
3.4	Jylkän synkronikompensaattorin tekniset tiedot ja periaatekuvat	22
4	VOIMALAITOSTEN JÄRJESTELMÄTEKNISET VAATIMUKSET	24
4.1	Tyypiluokan D voimalaitokset	26
4.2	D-tyyppin voimalaitosten yleisvaatimukset	26
4.3	D-tyyppin voimalaitosten reaaliaikaiset mittaukset ja instrumentointi	28
4.4	D-tyyppin voimalaitosten lähivikakestoisuus	29
4.5	D-tyyppin tahtikonevoimakonelaitoksia koskevat vaatimukset	31
4.6	D-tyyppin tahtikonevoimalaitoksen loistehokapasiteetti	34
4.7	D-tyyppin tahtikonevoimalaitoksen jännitteensäätö	36
5	JYLKÄN SYNKRONIKOMPENSAATTORI JA VJV:N SOVELTAMINEN	40
6	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	44

1 JOHDANTO

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid rakentaa ja ottaa käyttöön ensimmäisen Suomen voimajärjestelmään kytkettävän synkronikompensaattorilaitoksen. Kalajoella, Jylkän sähköasemalla. Laitoksen tarkka sijainti on esitetty liitteessä 1. Synkronikompensaattori rakennetaan Jylkän sähköasemalle, sillä alueella on paljon tuulivoimaa sekä tuotannossa että suunnitteilla. Opinnäytetyötä kirjoitettaessa tuulivoimaloista Jylkän sähköasemalle siirrettävä teho on n.1300 MW. Alueella ei ole tahtikoneita, joiden luonnollisiin ominaisuuksiin kuuluu sähköjärjestelmän muutosten vastustaminen. Verkon häiriötilanteessa alueellisesta verkosta voisi tulla epästabiili. Jylkän synkronikompensaattorin rakentaminen tuo alueelle, muuten tuulivoimalle tyypilliseen suuntaajakäyttövaltaiseen järjestelmään paljon kaivattua lisäinerttia, oikosulkutehoa ja jännitteensäätökykyä, jotka ovat tahtikoneille luontaisia.

Opinnäytetyön tilaaja oli Fingrid Oyj. Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, miten synkronikompensaattorin jännitteensäätö toteutetaan, millä tavalla generaattorilaitoksen jännitteensäädön periaatteita voidaan soveltaa Jylkän synkronikompensaattoriin ja miten synkronikompensaattorin jännitteensäätö eroaa voimalaitosten jännitteensäädöstä.

Fingrid Oyj, kuva 1 on Suomen kantaverkkoyhtiö: sen omistajina ovat Suomen valtio ja suomalaiset eläkeyhtiöt. Fingridin tehtävä on huolehtia, että suomalainen yhteiskunta saa sähköä kaikissa tilanteissa varmasti ja häiriöttömästi. Fingridin kantaverkkoa on 14000 kilometriä läpi Suomen. (19).



KUVA 1. Fingridin arvot (19).

2 JÄNNITE JA JÄNNITTEENSÄÄTÖ

Jännite on sähköjärjestelmän tärkeimpiä perussuureita. Sen vaikutuksesta suljettuun virtapiiriin syntyy virta. Vaihtosähköverkossa jännitteen ja virran suunta sekä niiden välinen vaihesiirtokulma vaihtelevat aiheuttaen loistehoa. Kun verkossa on kapasitiivista tai induktiivista energiaa, eli jos reaktanssi poikkeaa nolasta, kaikki saatavilla oleva pätöteho ei ole käytettävissä, vaan osa energiasta varastoituu magneetti- tai sähkökenttään loistehona. (1.)

Jännitteen arvo on paikallinen, joten sen säädön pitää tapahtua paikallisesti. Loistehon kasvaessa loisteho- ja jännitehäviöt lisääntyvät, joten verkossa ei ole järkevä siirtää loistehoa pitkiä matkoja. Siksi loisteho tuotetaan ja kulutetaan yleensä paikallisesti.

Verkkoon kytketyt kulutuskojeet on tehty liitettäväksi tiettyyn jännitteeseen ja ottamaan vain toimintaansa tarvitsemansa virran. Tämä kokonaisvirta voi olla puhdasta pätövirtaa tai se voi muodostua pätö- ja loiskomponentista. Kantaverkossa tapahtuvassa suurjännitevoimansiirrossa esiintyvissä virroissa näin on yleensä aina. Voimajohdon reaktanssissa syntyy loistehohäviöitä, joiden määrä kasvaa virran ja siirtomatkan kasvaessa. Vastaavasti johto tuottaa kapasitansseissaan loistehoa, jonka suuruus riippuu jännitetasosta ei kuormitusvirrasta. (1.)

Jännitteensäädön päätavoitteet kantaverkossa ja Fingridin sähköasemilla ovat

- yli- ja alijännitteiden torjuminen
- käyttövarmuuden ylläpitäminen ja häiriöiden estäminen
- Fingridin sopimusten mukaisten jännitteiden ylläpitäminen
- hyvä sähkönlaatu
- siirron taloudellisuuden parantaminen häviöitä pienentämällä. Häviöiden aiheuttajia ovat mm. virtalämpö- ja koronahäviöt.

2.1 Kantaverkon jännitteensäätö ja loisteho

Kantaverkon loistehon kompensointiin käytetään yleensä rinnakkaiskondensaattoreita ja reaktoreita, joilla kompensoidaan kuormituksen tarvitsemaa loistehoa. Jylkän synkronikompensointori on ensimmäinen kantaverkossa loistehon kompensointiin tarkoitettu tahtikone. Reaktorit kuluttavat ja rinnakkaiskondensaattorit synnyttävät loistehoa. Synkronikompensointori pystyy molempiin magneettitoiminnan säädön avulla. (1.)

Kantaverkon jännitetason ja loistehon säädön tavoitteena on pitää jännitteet kaikissa käyttötilanteissa sallitulla alueella. Sallitut alueet on esitetty taulukossa 4 sivulla 25. Jännitetasoa ylläpidetään kaikilla jänniteportilla huolehtimalla loistehotasapainosta. Kapasitiivinen loisteho kasvattaa jännitteen itseisarvoa ja induktiivinen loisteho laskee sitä, joten jännite pidetään sallituissa rajoissa loistehon tuotantoa ja kulutusta ohjaamalla. (1.)

Sähkönsiirtoverkon loistehon laskentaan voidaan käyttää laskentakaavoja 1 ja 2.

Johto kuluttaa reaktansseissaan loistehoa. Johdon reaktanssien kuluttama kokonaisloisteho Q_x voidaan laskea kaavalla 1. (2 s. 365.)

$$Q_x = \frac{U_1^2}{X} + \frac{U_2^2}{X} - 2 \frac{U_1 U_2 \cos \delta}{X} \quad (\text{KAAVA 1})$$

Johdon kapasitansseissa syntynyt loisteho voidaan laskea kaavalla 2. (2 s. 365.)

$$Q_c = Q_{c_1} + Q_{c_2} = \frac{BU_1^2}{2} + \frac{BU_2^2}{2} = \frac{\omega C}{2} (U_1^2 + U_2^2) \quad (\text{KAAVA 2})$$

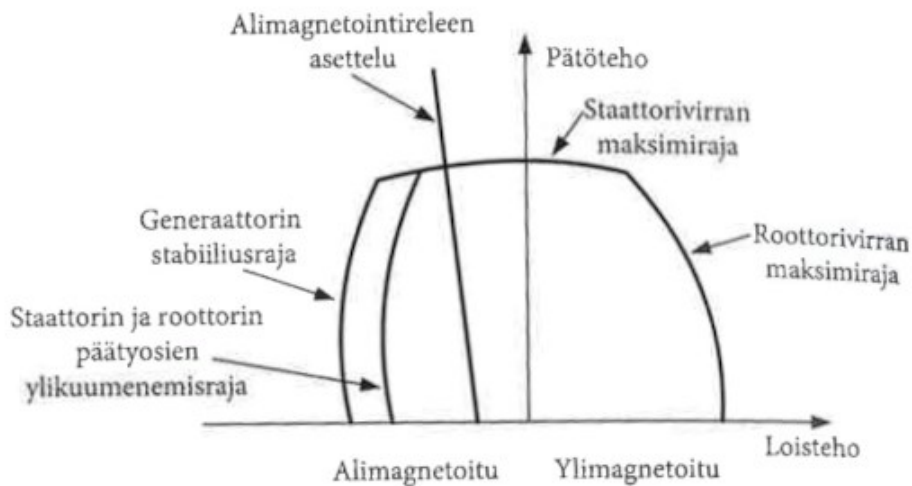
Kaavojen 1 ja 2 jännitteen alaindeksit kuvaavat johdon alku- ja päättymispisteitä. Voimajohdon alku ja loppupäässä on yleensä jännite-eroa, johtojen luonnollisen tehon vuoksi.

2.2 Jännitteensäätö tahtikoneella

Tahtikoneita, joita käytetään loistehon tuotantoon ja kulutukseen, kutsutaan synkronikompensoitajiksi. Tahtikoneitten yleisimmät roottorirakenteet ovat avo- ja umpinaparootorit. Kumpaakin tahtikoneen roottorityyppiä hyödynnetään yleisesti teollisuudessa tuotannossa. Samalla ne osallistuvat verkon jännitteensäätöön niiden käytöstä syntyvällä loisteholla. (2; 3.)

Loistehon tuotantoa ja kulutusta säädetään tahtikoneen magnetointia muuttamalla. Loisteho puolestaan vaikuttaa verkon jännitetasoon. Magnetointi vaikuttaa koneen staattorivirran ja -jännitteen väliseen vaihekulmaan. Eri voimalaitosten generaattoreilla voi olla toisistaan poikkeavia magnetointijärjestelmiä, mutta käyttäjän kannalta magnetoinnin muutoksella on sama vaikutus jännitteeseen ja loistehoon generaattorin navoissa sekä verkkoon liitettynä myös voimajärjestelmässä. (1.)

Tahtikonetta **alimagnetoimalla** tuotetaan kapasitiivista loistehoa ja **ylimagnetoimalla** tuotetaan induktiivista loistehoa. Generaattorien loistehotuotantokyky esitellään aina kullekin generaattorille erikseen PQ-diagrammeilla, jotka kuvaavat koneen sallitut jatkuvat toiminta-alueet ja rajoitukset, kuten kuvassa 2. (2; 3.)



KUVA 2. Tahtigeneraattorin PQ-diagrammi, joka kuvaa sitä, miten paljon generaattori voi antaa pätötehoa verkkoon ja miten paljon se voi antaa ja ottaa loistehoa verkosta. (2 s.376).

2.3 Magnetoinnin säätö

Jylkän tapauksessa synkronikompensoattori voidaan kuvata umpinapaiseksi tahtikoneeksi. Magneettisilta ominaisuuksiltaan sen roottori on jotakuinkin symmetrinen eli magnetointivirran synnyttämä magneettivuo kykenee tunkeutumaan magneettinavan magnetointikäämin sijoituskohdan kautta roottorirautaan tasaisesti. (2).

Magnetointikäämiin syötetty magnetoimisvirta on tasavirtaa. Tasavirran synnyttämää magneettivuota kutsutaan päävuoksi. Päävuon suuruus riippuu magnetoimisvirran suuruudesta. Kun roottoria pyöritetään, päävuo lävistää staattorikäämejä. Tällöin se indusoi staattorikäämeihin sinimuotoisen jännitteen, jota kutsutaan päälähdejännitteeksi. (4.)

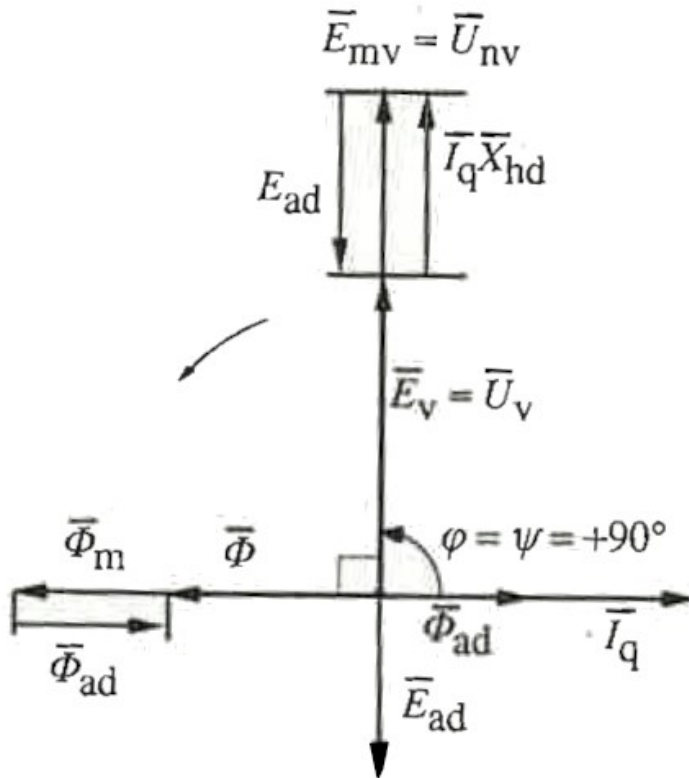
Päälähdejännite E_{mv} voidaan laskea kaavalla 3 (4 s. 216).

$$E_{mv} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_k f N \Phi_m \quad (\text{KAAVA 3})$$

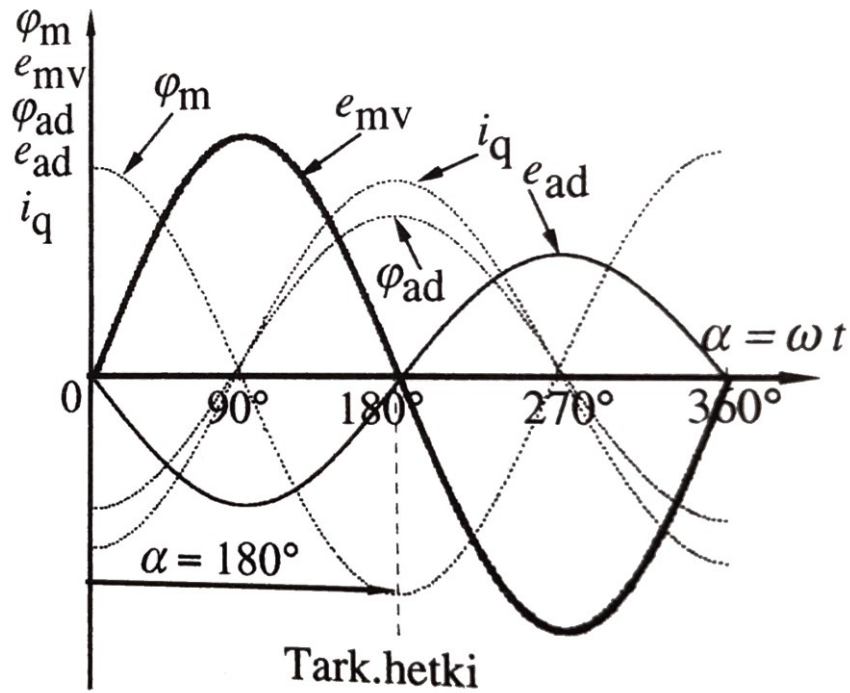
Päälähdejännite ja sen synnyttämä virta saa aikaan staattorilla lisäksi staattorin oman magneettikentän eli ankkurivuon. Kun tahtikonetta pyöritetään, roottorilla ja staattorilla olevat magneettikentät vetävät toisiaan puoleensa, mikä saa koneen roottorin ja staattorin pyörimään samaa nopeutta koneen ollessa toiminnassa, eli kone pyörii tahdissa. Kun koneen magnetointitehoa kasvatetaan, päävuo yrittää ankkurivuon edelle, jolloin koneen napojen välinen kulma kasvaa. Kulmaero voi kasvaa 90 asteeseen asti. Kun kulma ylittää 90 astetta, kone putoaa tahdistä. (4; 5.)

2.3.1 Induktiivinen loisvirta ja magnetointi

Induktiivinen loisvirta aiheuttaa sen, että napapyörältä katsottuna ankkurivuo ja päävuo ovat pitkitäin vastakkain, kuvan 3 mukaisesti. Pyörivä ankkurivuo indusoi staattorin vaihekäämeihin jännitteen E_{ad} . Sähkömotorinen jännite E_{ad} jää 90 astetta vuostaan $\bar{\Phi}_{ad}$ ollen näin päälähdejännitteelle E_{mv} vastakkainen jännite (ks. kuva 4). Kun liitinjännite U_v halutaan pitää vakiona, tulee koneen ylimagnetointia kasvattaa, sillä ankkurivuo magnetoi suoraan päävuota vastaan laskien lähdejännitettä E_v , koska induktiivisella virralla $E_v = E_{mv} - E_{ad}$. Ylimagnetoidessa loisvirta I_q kasvaa (ks. kuva 5) eli kone tuottaa induktiivista loisvirtaa. (4; 6.)

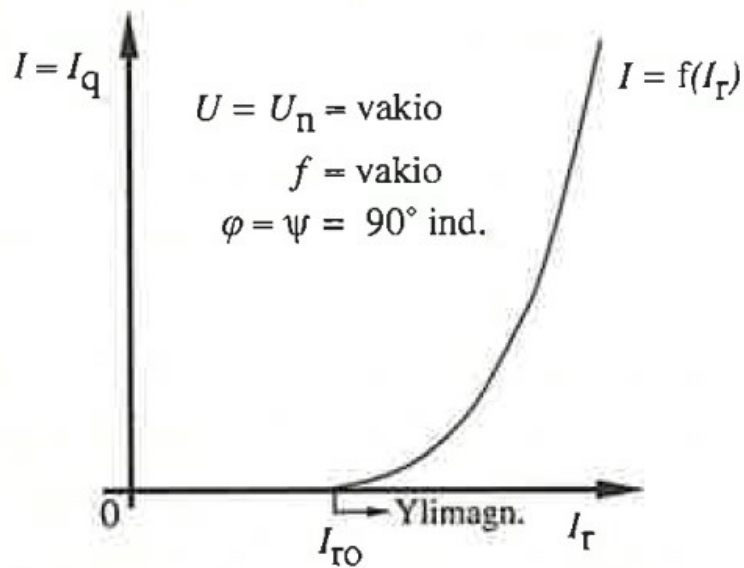


KUVA 3. Osoitinpiirros, kun vaihesiirtokulma φ on 90 astetta induktiivista. Kuvan kone on häviötön. $X_{hd} = 0$ (4)



KUVA 4. Induktiivisesti kuormitetun vaihekäämin vuokäyrät, kun päävuon vaihekulma $\alpha=180$ astetta. (4, muokattu.)

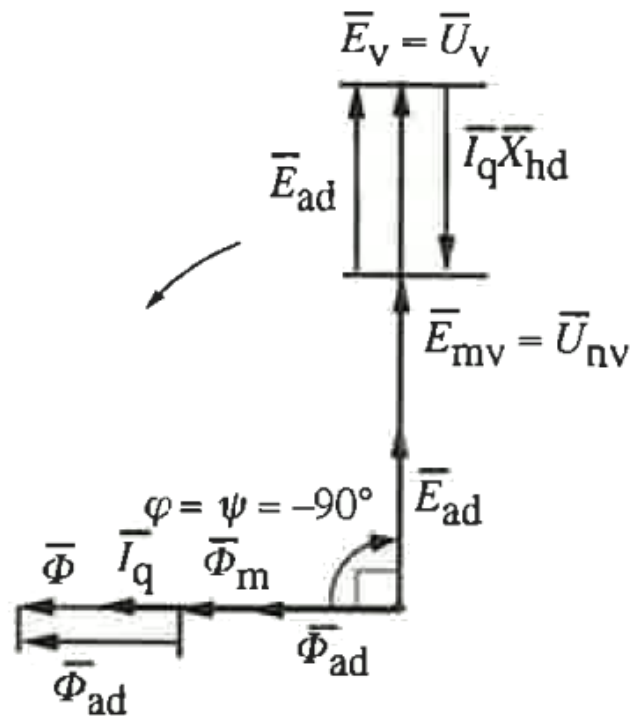
Kuvassa 5 on esitetty induktiivisen kuormitusvirran suhde roottorin magnetoimisvirtaan. Mitä suurempi induktiivinen kuormitusvirta on, sitä enemmän konetta on ylimagnetoitava.



KUVA 5. Induktiivisen kuormitusvirran vaikutus tahtikoneen magnetoimisvirtaan (4)

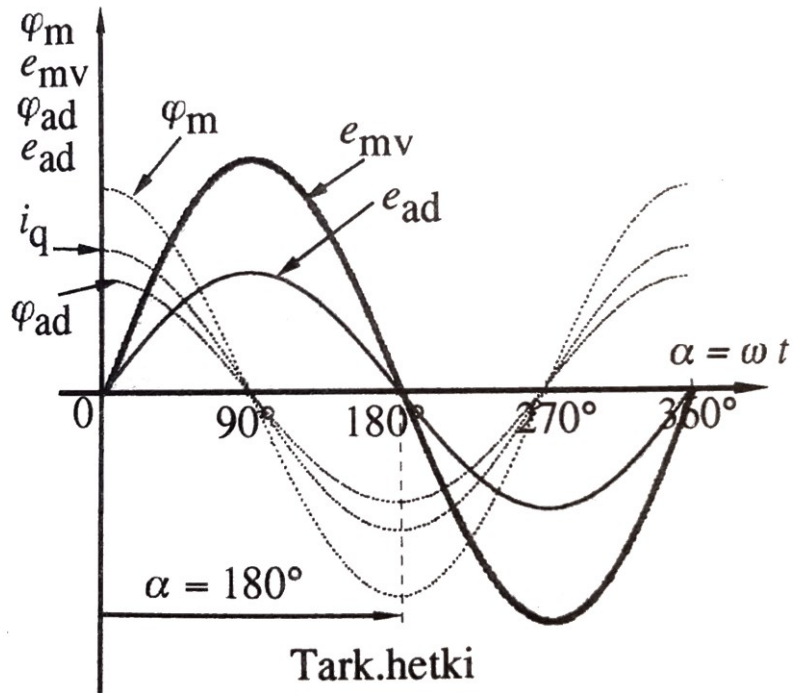
2.3.2 Kapasitiivinen loisvirta ja magnetointi

Kun tahtikoneen kuormitusvirta on kapasitiivista, tilanne on koneen kannalta sama kuin induktiivisella virralla, mutta kapasitiivisen kuormitusvirran ankkurivuo on päävuon kanssa saman suuntainen kuten kuvassa 6. Napapyörältä katsottuna ankkurivuo ja päävuo ovat nyt pitkittäin myötäisiä. (4).



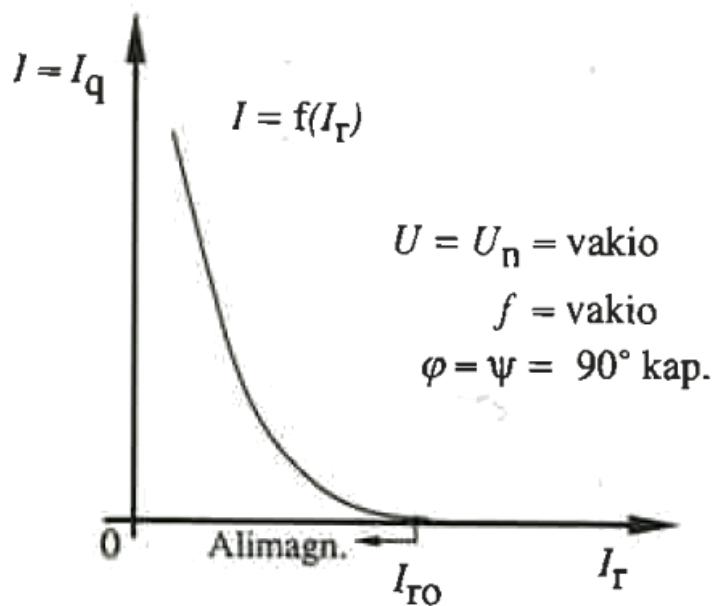
KUVA 6. Osoitinpiirros, kun vaihesiirtokulma φ on 90 astetta kapasitiivista. Kuvan kone on häviötön $X_{hd} = 0$ (4)

Pyörivä ankkurivuo indusoi staattorin vaihekäämeille jännitteen E_{ad} . Jännite jää vuostaan $\bar{\Phi}_{ad}$ 90 astetta ollen päälähdejännitteelle E_{mv} myötäinen jännite kuten kuvassa 7 nähdään. Kapasitiivinen loisvirta magnetoi pääkenttää Φ_m vahvistaen tätä, koska ankkurikenttä $\bar{\Phi}_{ad}$ on sen kanssa samansuuntainen. Tätä seuraa lähdejännitteen E_v kasvaminen, sillä kapasitiivisella virralla $E_v = E_{mv} + E_{ad}$. Kun koneen liitinjännite U_v halutaan pitää vakiona, laitetta on alimagnetoitava. Alimagnetoidessa kapasitiivinen loisvirta kasvaa, katso kuva 8. (4; 6).



KUVA 7. kapasitiivisesti kuormitetun vaihekäämin vuokäyrät, kun päävuon vaihekulma $\alpha=180$ astetta. (4, muokattu.)

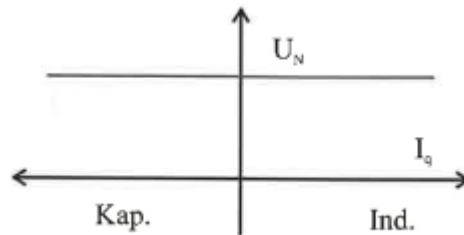
Kuvassa 8 on esitetty kapasitiivisen kuormitusvirran suhde roottorin magnetoimisvirtaan. Mitä suurempi kapasitiivinen kuormitusvirta on, sitä enemmän konetta tulee alimagnetoida.



KUVA 8. Kapasitiivisen kuormitusvirran vaikutus tahtikoneen magnetoimisvirtaan (4)

2.4 Loistehostatiikka

Koska jännitteen säätö vaatii magnetoinnin kasvattamista tai laskemista induktiivisella sekä kapasitiivisella kuormitusvirralla, tahtikoneen jänniteensäätäjän tulee pitää laitteen liitinjännite vakiona loistehon muutoksista huolimatta. Tämä tapahtuu asettamalla laitteen jänniteensäätäjän jännitestatiikaksi 0 %. (kuva 9). (3.)

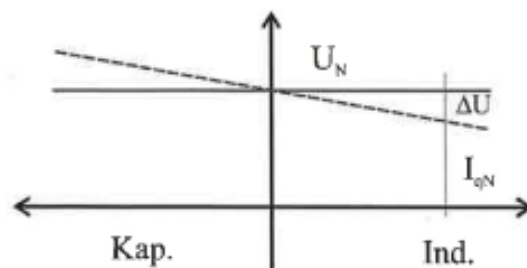


KUVA 9. Jännite verkon loisvirran funktiona (3 s. 107)

Loisvirtastatiikka (S) voidaan laskea kaavalla 4: (3 s. 107)

$$S = \frac{\Delta u}{U_n} \quad (\text{KAAVA 4})$$

Statiikka mahdollistaa rinnankäytössä laitteiden ja verkon stabiilisuuden sekä reaktiivisen tehon jakautumisen tasaisesti tehonlähteiden kesken. Statiikka tarkoittaa sitä, että generaattorin jännitteen tulee alentua reaktiivisen kuormavirran kasvaessa (kuva 10). Jännitteen oloarvoon lisätään generaattorin loisvirtaan verrannollinen komponentti. Kasvattamalla statiikkaa pienennetään koneella tuotettua reaktiivista tehoa. (3.)



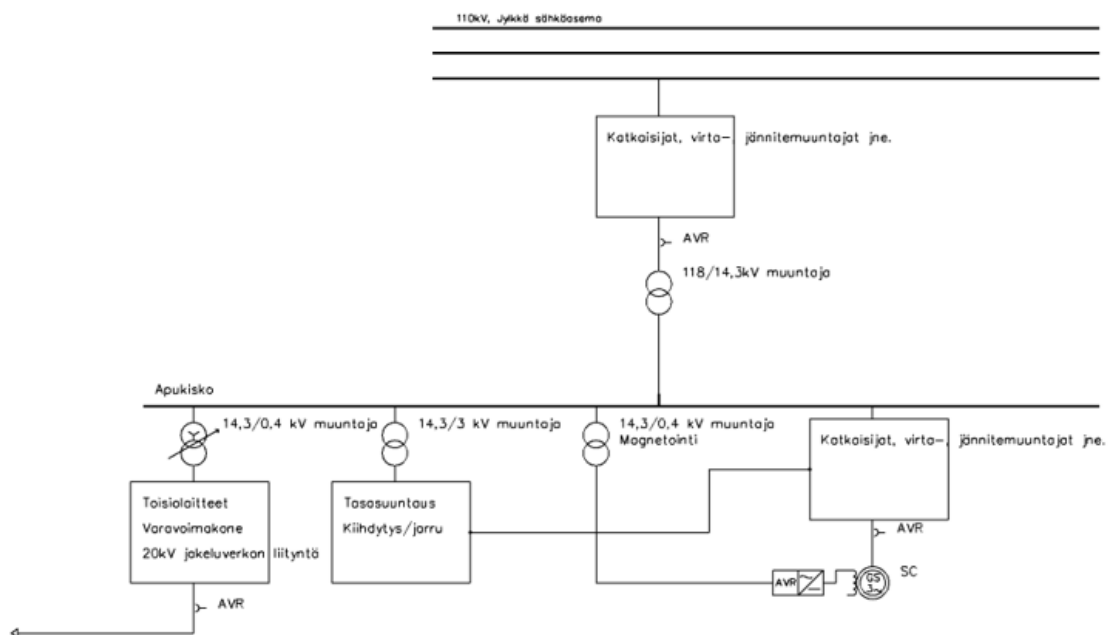
KUVA 10. Verkon jännite loistehon funktiona statiikkatoiminnassa (3 s.108)

3 JYLKÄN JÄRJESTELMÄN KUVAUS

Synkronikompensoattorilaitos kytkeytyy Jylkän sähköaseman 110 kV:n kiskoon. Kiskoon kytketään 118/14,3 kV:n muuntaja. Toisiojännite 14,3 kV johtuu siitä, että generaattorin liitinjännite on 14,3 kV. Kun muuntajan alajännitepuoli on sama kuin generaattorin liitinjännite, ei muuntaja tarvitse käämikytkintä, myöskään jännitteensäätö ei tarvitse muuntajan käämikytkintä. Tämä yksinkertaistaa laitoksen jännitteensäätöjärjestelmän. Muuntajan alajännitepuolelle tulee kaksi 14,3/0,4 kV:n muuntajaa laitoksen omakäytön ja magnetointilaitteiden syötölle sekä yksi 14,3/3 kV:n muuntaja synkronikompensoattorin käynnistyslaitteista varten (7.)

Synkronikompensoattori on staattisesti magnetoitu, eli sen magnetointi tarvitsee jännitelähteen, sillä magnetoimisvirta syötetään roottorille liukurenkaita ja hiiliharjastoa pitkin. Yksi edellä mainituista 14,3/0,4 kV:n muuntajista syöttää koneen magnetointiin tarvittavan virran, joka tasasuunataan. (7; 2.)

Toinen 14,3/0,4 kV:n muuntaja on omakäyttömuuntaja ja se on tarkoitettu toisilaitteille ja varavoimakoneelle. 0,4 kV:n omakäyttöjärjestelmä on varustettu varavoimakoneella. Varavoimakone voi hetkellisesti ylläpitää koko järjestelmää, mutta tarvittaessa omakäyttösähkö voidaan syöttää myös paikallisen jakeluverkkoyhtiön verkosta. Toisilaitteita ovat mm. jäähdytykseen ja voiteluun tarvittavat pumput ja sähkömoottorit, kuten kuvassa 11 on esitetty. (7.)



KUVA 11. Yksinkertaistettu kaaviokuva järjestelmästä

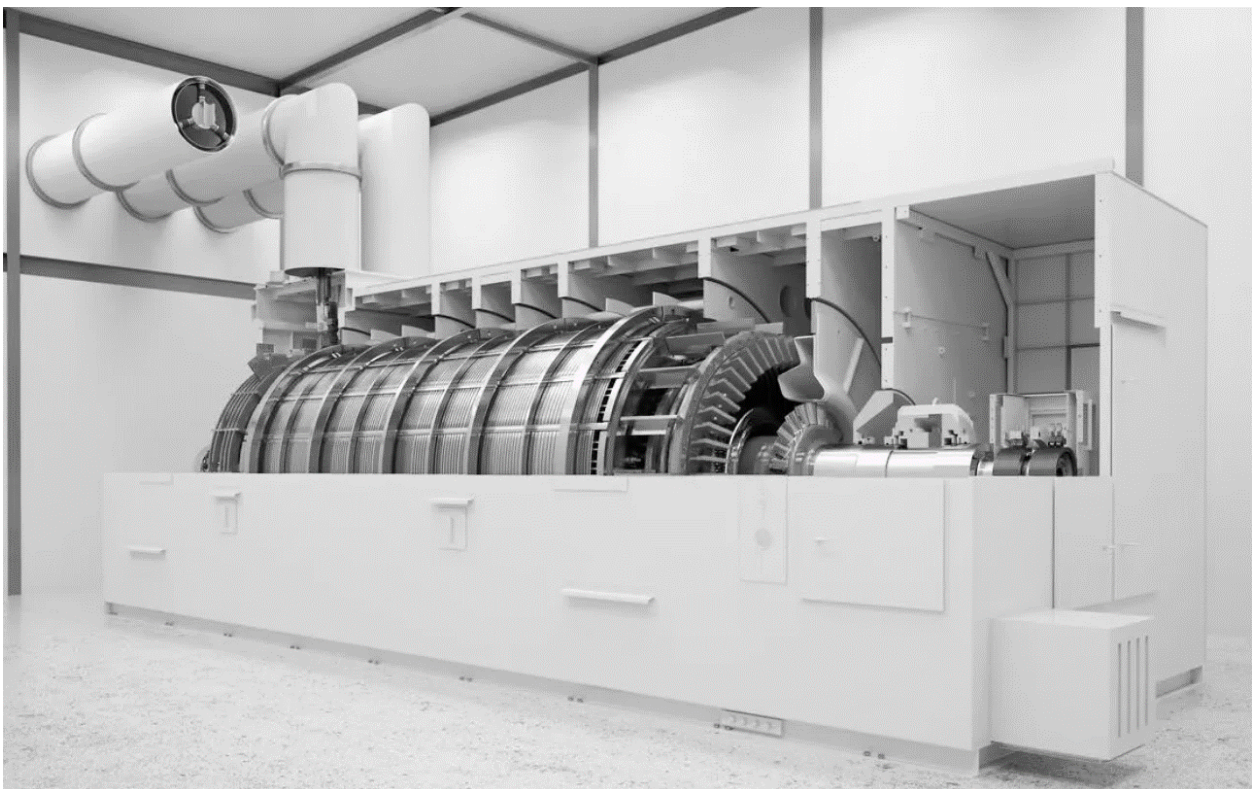
3.1 Synkronikompensaattori

Synkronikompensaattorin tarkoitus on luoda sähköverkkoon inertiaa, oikosulkutehoa ja jännitteen-säätökykyä. Synkronikompensaattori on generaattori tai kone, joka ottaa verkosta vain tyhjäkäyn-tiinsä tarvittavan pätötehon. Synkronikompensaattori itse ei tuota pätötehoa. Tämä on generaatto-rin ja synkronikompensaattorin merkittävin ero. (8; 2.)

Synkronikompensaattori pitää jännitteen alueellisesti vakiona kompensoimalla loistehoa, verkon loistehotilanteen mukaan. Tämä tapahtuu magnetointia säätämällä, kuten jännitteesäätöön liitty-vässä teoriassa on kerrottu luvuissa 2.2, 2.3 ja sen alaluvuissa 2.3.1 sekä 2.3.2. (8; 2.)

Jylkän synkronikompensaattorin pääkäyttötarkoitukset ovat

- oikosulkutehon ylläpitäminen ja tuotto
- loistehon tuotto jännitteen stabilisoimiseksi
- inertian tuotanto koneeseen liitetyn pyörivän massan, eli vauhtipyörän avulla.



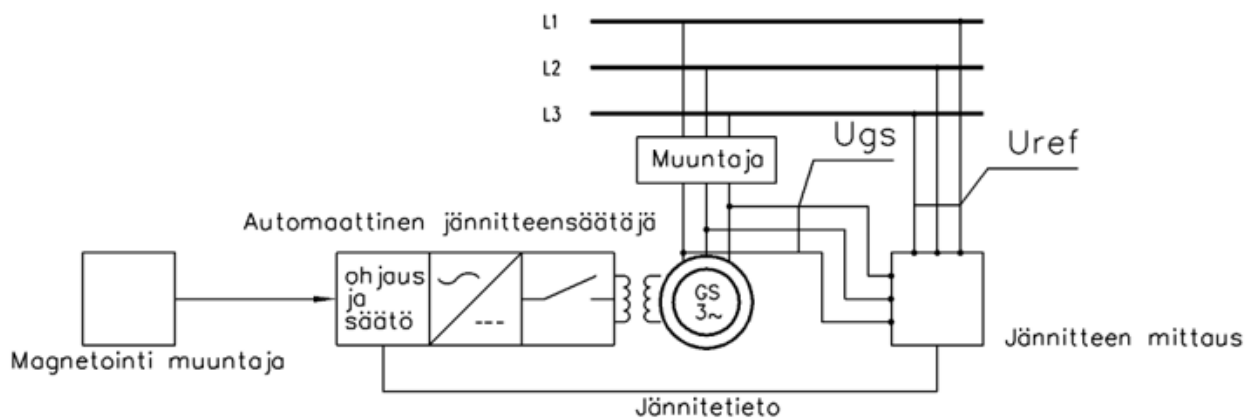
KUVA 12. Kuvituskuva Siemensin synkronikompensaattorista ilman vauhtipyörää. (18.)

3.2 Automaattinen jänniteensäätäjä

Automaattinen jänniteensäätäjä lyhennetään yleensä "AVR". Lyhenne tulee englannin kielestä Automatic Voltage Regulator. Se on generaattoreissa käytetty säätölaite, jolla voi säätää ja tarkkailla useita generaattorin arvoja, kuten oikosulkutehoa, yli- ja alijännitteitä sekä liitinjännitettä (2; 8; 9).

AVR joko pitää liitinjännitteen halutussa asetetussa arvossa tai ohjaa koneen syöttämään verkkoon loistehoa muuttaen jännitteen itseisarvoa. Yleensä AVR parametroidaan mittaamaan jännite asetetusta mittauspisteestä generaattorimuuntajan yläjännitepuolelta, sekä koneen ulostulosta. (2; 8; 9.)

AVR ohjaa tasavirtaa generaattorin roottoriin, jolloin se pystyy säätämään magnetointia niin, että loisteho säätyy yläjännitemittauspisteen arvon mukaan induktiivisesti tai kapasitiivisesti. Kuvassa 13 U_{gs} tarkoittaa generaattorin jännitettä ja U_{ref} referenssijännitettä. (2; 8; 9.)

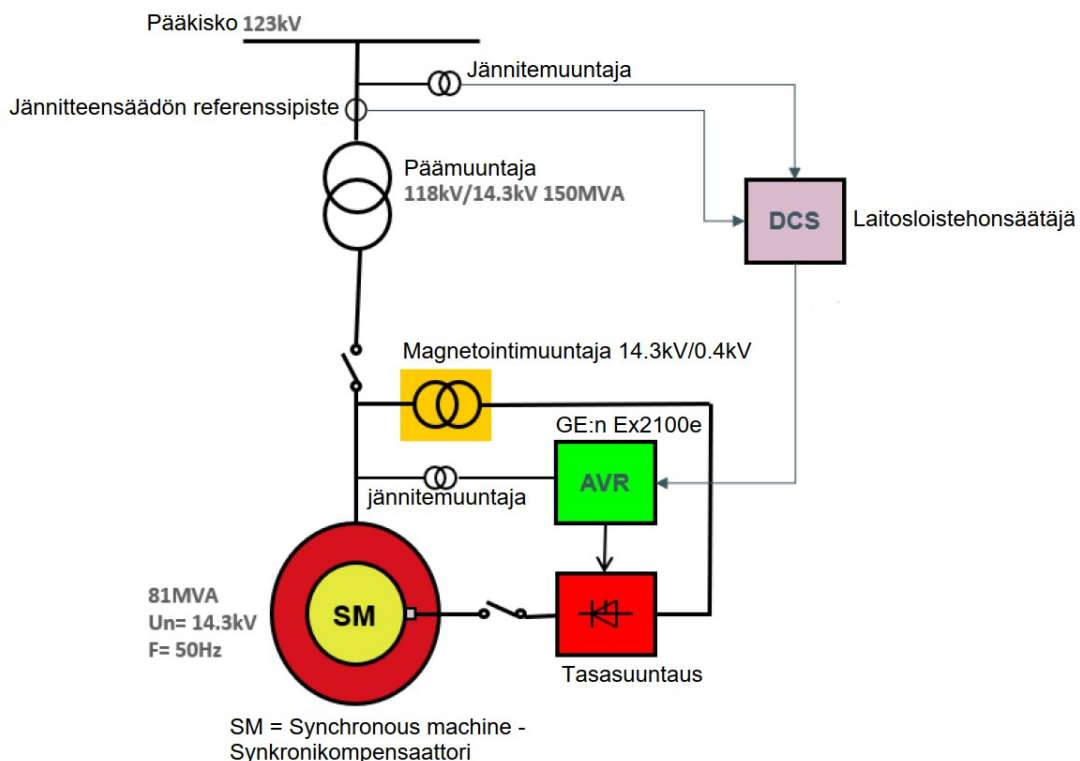


KUVA 13. AVR:n keskeiset osat

3.3 Jylkän synkronikompensaattorin automaattisen jännitteensäätäjän toiminta

Jylkän synkronikompensaattorin tapauksessa AVR:n generaattorin jännitteensäädön referenssi-
mittauspiste tulee olemaan laitoksen synkronikompensaattorin päämuuntajan alajännitepuoli.
Yleensä AVR mittaa itse yläjännitepuolen jännitteen kuten aikaisemmassa luvussa 3.2 kerrottu.
Jylkän tapauksessa mittauksen suorittaa laitosautomaatioon integroitu laitosloistehonsäätäjä. Se
ottaa jännitteensäädön referenssiarvon 110 kV:n jännitemuuntajalta, eli yläjännitepuolelta, kuten
kuvassa 14 on esitetty. Laitosloistehonsäätäjä lyhennetään yleensä "DCS". Lyhenne tulee englan-
ninkielisistä sanoista "Distributed Control System". Normaalisti laitosloistehonsäätäjän tulee pitää
tuotantolaitos sille asetetussa loistehoikkunassa.

Laitoksen DCS ja generaattorin AVR muodostavat kaskadisäädön, jossa DCS on AVR:n ylempi
säädin, eli se antaa ohjearvoja generaattorin jännitteensäädölle hitaalla 15 minuutin muutosajalla.
DCS ei kuitenkaan estä eikä saa estää tai ohittaa generaattorin liitinjännitteen vakiojännitesäätöä,
joka pysyy generaattorin oman AVR:n ohjaamana, kuten kuvassa 14 esitetty. (10.)



KUVA 14. Jylkän AVR:n ja DCS:n yhteistoiminnan pelkistetty kuvaus. (12, muokattu.)

DCS mittaa seuraavat arvot ja muodostaa niistä AVR:lle generaattorin jännitteen ohjearvon:

- loisteho liittymispisteessä
- verkon jännite
- generaattorin loisteho
- generaattorin jännite.

DCS antaa AVR:n jännitteensäädön ohjearvon, mikäli verkkojännite pysyy ikkunassa 116-120 kV. Mikäli laitosloistehonsäätäjä ei anna jännitteensäädön ohjearvoa, generaattori toimii vain oman jännitteensäätäjensä ohjaamana liitinjännitteensäädöllä. Laitosloistehonsäätäjä on ohjelmoitu Valmetin valmistamaan tehdasautomaatiojärjestelmään. (10.)

Synkronikompensoattorin jännitteensäätäjä on GE:n valmistama ja sen tyyppi on Ex2100e. Jylkän järjestelmän hankintaspesifikaatioissa on määritetty jännitteensäätäjälle halutut ominaisuudet. Lisäksi Fingrid noudattaa jännitteensäädössä voimalaitosten järjestelmäteknisissä vaatimuksissa (VJV) määrättyjä asetteluja ja vaatimuksia, kuitenkin tietyin poikkeuksin. Jännitteensäätäjällä pitää olla mahdollista säätää ainakin seuraavia:

- generaattorin jännite ja staattorivirta
- yli- ja alimagnetoinnin rajoitus ja ohjaus
- Jännitteensäätäjällä tulee olla PSS lisästabilisointipiiri
- U/f-rajoittaminen.

Arvojen ja rajoittimien tulee olla ohjattavissa automaattisesti (AVR&DCS) sekä käsikäytöllä (Operaattori). Jännitteensäätäjän tulee olla 2-kanavainen eli siinä tulee olla kaksi identtistä ja toisistaan riippumatonta kanavaa. Lisäksi syötön ja ohjauksen tulee olla erotettuna eri laitekaappeihin. (10.)

GE:n Ex2100e täyttää edellä asetetut vaatimukset. Valmistajan mukaan ominaisuuksia ovat mm:

- Auto ref. (Jännitteensäätäjän automaattisen säädön referenssipiste): Operaattori & DCS
- automaattinen staattorin virran rajoitus
- PSS lisästabilisointipiiri (sähköverkon vakautus tehonohjaimella)
- yli- ja alimagnetoinnin rajoitus ja ohjaus
- Man ref. (operaattori asettaa jännitteensäädölle referenssipisteen)
- U/f-rajoittaminen
- Jännitteensäätäjällä on kaksi identtistä toisistaan riippumatonta kanavaa. (11.)

3.4 Jylkän synkronikompensoattorin tekniset tiedot ja periaatekuvat

Synkronikompensoattori tulee olemaan GE:n valmistama A72-S1 ilmajäähdytteinen generaattori, johon liitetään GE:n valmistama vakuuissa pyörivä kaasulla viilennettävä vauhtipyörä tuottamaan lisäinertiaa. Taulukossa 1 on kerrottu generaattorin teknisiä tietoja. Taulukossa 2 on generaattorin sähköisiä arvoja. Taulukossa 3 on tietoja koneen väännöstä ja inertiaasta

TAULUKKO 1. Generaattorin A72-S1 teknisiä tietoja (13)

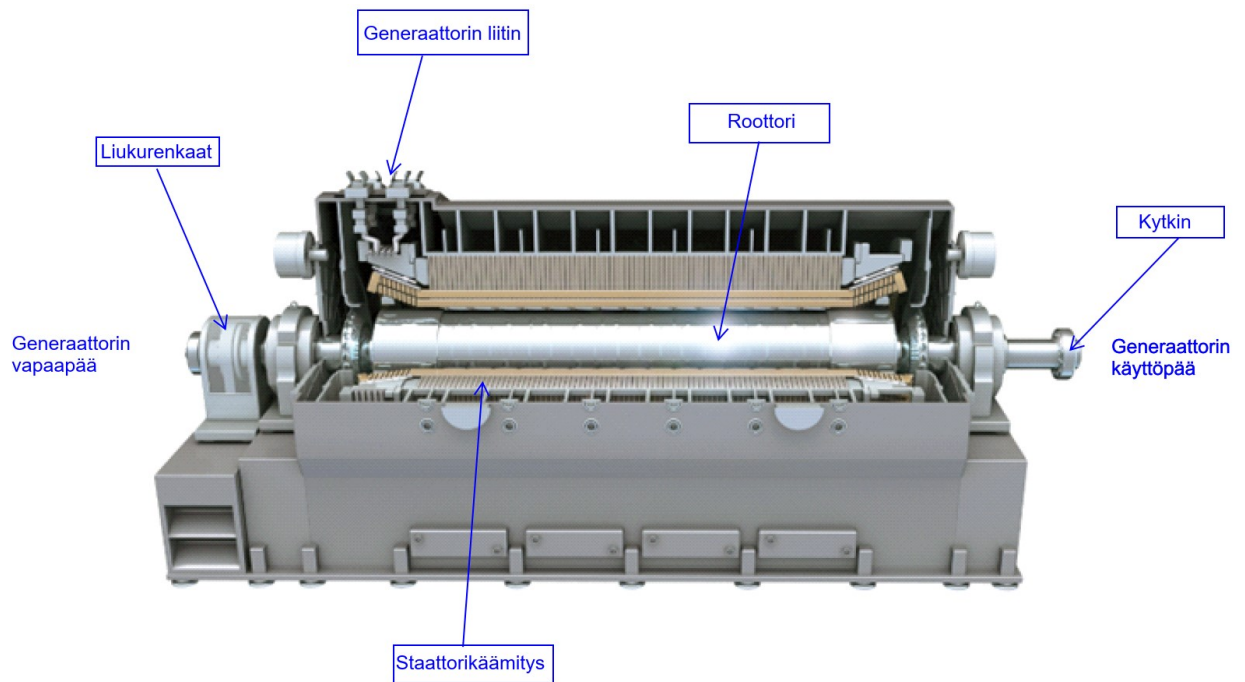
Nimellisjännite	14.3 kV (± 10 %)
Nimellisvirta	3270 A
Loisteho	81 / -48 Mvar
Taajuus	50 Hz (± 2 %)
Pyörimisnopeus 100 %	3000 rpm
$\cos \varphi$	0.01
3-vaihe huippuokosulkuvirta	164,5 kA
Vaihejärjestys	U V W (L1 L2 L3)
Suojausluokka	IP54

TAULUKKO 2. Generaattorin A72-S1 Reaktansseja ja resistansseja (13)

Impedanssi	2.525 Ω
Staatton impedanssi	0.396 Ω
Staatton resistanssi	1.018 m Ω
Roottorin resistanssi 95°C	0.199 Ω

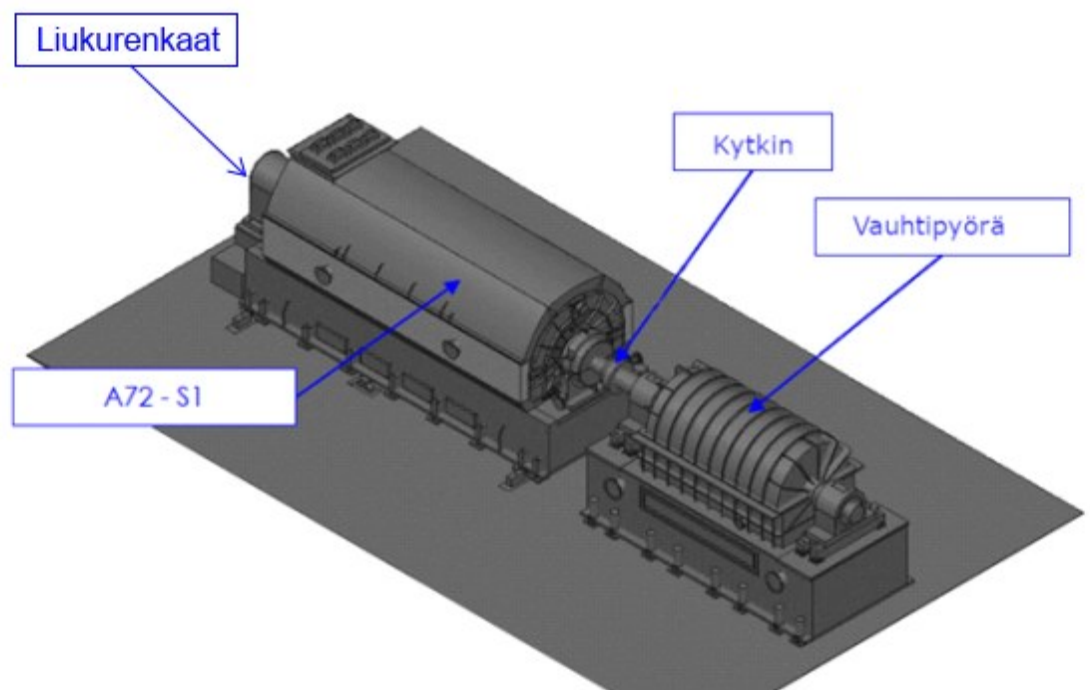
TAULUKKO 3. Generaattorin A72-S1 vääntö ja inertia (13), (14).

Nimellinen vääntömomentti	3 kNm
Maksimimomentti	637 kNm
Hitausmomentti (pelkkä generaattori)	5580 kgm^2
Hitausmomentti (gen. & vauhtipyörä)	37110 kgm^2



KUVA 15. A72-S1 Poikkileikkaus 3D-mallinnettuna. GE (15, muokattu.)

Generaattorin vapaassa päässä on liukurenkaat ja hiiliharjat generaattorin magnetoimiseen. (Kuva 15) Generaattorin tarvitsema tasavirta johdetaan roottorikäänin akselille liukurenkaiden ja niitä laa- haavien metalligrafiittiharjojen avulla. Tässä tapauksessa tasavirta saadaan erilliseltä magnetointi- muuntajalta, koska kone on staattisesti magnetoitu. Käyttöpäähän kiinnittyy vauhtipyörä, kuten alla kuvassa 16 on esitetty. (10.)



KUVA 16. 3D-mallinnos gen. kokonaisuudesta (16, muokattu.)

4 VOIMALAITOSTEN JÄRJESTELMÄTEKNISET VAATIMUKSET

Suomessa voimajärjestelmään kytkeytyvien yli 0,8 kW voimalaitosten tulee täyttää niille asetetut voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset (VJV). Opinnäytetyötä kirjoittaessa viimeisin versio dokumentista on vuodelta 2018. Dokumentti velvoittaa noudattamaan voimalaitoksen verkkoon liittämisen ajankohdan mukaisia järjestelmäteknisiä vaatimuksia, eli tässä tapauksessa Fingrid velvoittaa järjestelmän toimittajaa noudattamaan ja ylläpitämään versiota vuodelta 2018. Määräys perustuu Euroopan komission asetukseen (2016/631), johon Fingrid on tehnyt kansallisia lisäyksiä ja täsmennyksiä. Määräys koskee Fingridin omistaman verkon lisäksi myös asiakkaan, kuten liittymispisteen verkonhaltijana toimivan jakeluverkkoyhtiön sähköverkkoon liittyneitä voimalaitoksia. (17.)

Vaatimuksilla pyritään varmistamaan, että voimalaitokset kestävät sähköjärjestelmässä tapahtuvat jännite- ja taajuusvaihtelut, eivät häiritse sähköjärjestelmään muita kytkettyjä laitteita ja ne toimivat verkon häiriötilanteessa luotettavasti. Vaatimukset takaavat myös sen, että Fingrid ja liittymispisteen verkonhaltija saavat voimalaitoksen tiedot käyttöönsä sähköjärjestelmän käytön, ylläpidon ja suunnittelun tueksi. (17.)

Suomen kantaverkossa nimellisjännitteet ovat 110 kV, 220 kV ja 400 kV. Taajuus on yleisesti 50 Hz jännitetasosta riippumatta. Normaalisti taajuuden vaihtelualue on $\pm 0,01$ Hz, pahimmillaan taajuuden vaihtelualue voi kuitenkin olla jopa $\pm 1,5$ Hz. (17.)

Voimalaitosten liittymispistettä suunnitellessa käytetään kantaverkon liittymispisteen normaaleja käyttöjännitteitä, joita ovat 118 kV, 223 kV ja 410 kV. Kantaverkossa tapahtuu kuitenkin jännitteiden vaihtelua, sallitut vaihtelualueet esitetty seuraavalla sivulla, taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Jännitteiden vaihtelualueet normaalissa sekä häiriö- ja poikkeustilanteessa. (17.)

Kantaverkon jännitteiden vaihtelualueet, normaalissa sekä häiriö- ja poikkeustilanteessa		
Jännite	Normaali vaihtelualue	Häiriö- tai poikkeustilanne vaihtelualue
400 kV	395 – 420 kV	360 – 420 kV
220 kV	215 – 245 kV	210 - 245 kV
110 kV	105 – 123 kV	100 – 123 kV

Voimalaitokset on VJV-määräyksissä jaettu tyyppiluokkiin (A, B, C, D) voimalaitoksen tehon ja liittymispisteen jännitteen mukaan. Tyyppiluokat on esitetty taulukossa 5.

TAULUKKO 5 Voimalaitosten tyyppiluokat, VJV:ssä. (17.)

Tyyppiluokka	Liittymispisteen jännite	Ehto	Voimalaitoksen mitoitusteho P_{max}
A	Alle 110kV *	ja	Mitoitusteho on vähintään 0,8 kW mutta alle 1 MW
B	Alle 110kV *	ja	Mitoitusteho on vähintään 1 MW mutta alle 10 MW
C	Alle 110kV	ja	Mitoitusteho on vähintään 10 MW mutta alle 30 MW
D	Vähintään 110kV	tai	Mitoitusteho on vähintään 30 MW

(* - Riippumatta liittymissopimuksen mukaisesta liittymispisteen jännitteestä A ja B tyyppin voimalaitosten jännitetasoksi katsotaan se jännitetaso, johon voimalaitoksen päämuuntaja liitetään, tai jännitetaso, johon voimalaitos liittyy suoraan ilman päämuuntajaa.) (17.)

VJV:n vaatimukset eivät koske seuraavia:

- erilliskäytössä olevia voimalaitoksia, jotka käyvät alle 5 minuuttia kalenterikuukaudessa, kun sähköjärjestelmä on normaalitilassa
- merellä sijaitsevia voimalaitoksia, mikäli voimalaitoksen liityntä on toteutettu suurjännitteisellä tasasähköyhteydellä (Tasasähköyhteyksille on erilliset määräykset.)
- energiavarastoja, paitsi jos kyseessä on pumppuvoimalaitos (17.)

4.1 Tyypiluokan D voimalaitokset

Jylkän synkronikompensaattori lukeutuu liittymisjännitteensä mukaan tyypiluokkaan D. Luvuissa (4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ja 4.6) avataan tyypiluokan D voimalaitosten vaatimuksia tarkemmin. Jylkän synkronikompensaattoria koskevat vaatimukset on tarkennettu luvussa 5.

Tyypiluokkaan D kuuluviin voimalaitoksiin tulee pyytää erityistarkastelun arvio laitoksen esisuunnitteluvaiheessa. Fingrid arvioi erityistarkastelun tarpeen ainakin seuraavista asioista

- alisykroninen vuorovaikutus
- geomagneettisesti indusoituvat virrat
- tehoheilahtelujen vaimentuminen
- pieni minimioikosulkuteho. (17.)

Lisäksi liittäjän ja liittymispisteen verkonhaltijan tulee suorittaa Tyypin D voimalaitoksen todentamisprosessi ja käyttöönottoilmoitusmenettely vaiheittain liitteessä 2 olevan taulukon mukaan. Todentamisprosessin aikana toimitetaan tiedot D-tyypin voimalaitoksista ja tahtikonevoimalaitoksien generaattoreista. Generaattoreista toimitettavien tietojen taulukko on liitteessä 3.

4.2 D-tyypin voimalaitosten yleisvaatimukset

VJV2018 määrittelee yleisvaatimukset D-tyypin voimalaitoksille. Ne noudattavat samoja määräyksiä kuin A-, B- ja C-tyypin voimalaitokset (taulukko 5 s. 25.) Lisäksi D-tyypin voimalaitoksille on omat tyypikohtaiset lisäykset. Yleisvaatimukseen kuuluu mm. voimalaitoksen toiminta verkon taajuus- ja jännitevaihteluitten aikana, toiminta verkon vikatilanteessa ja vian jälkeen sekä voimalaitosten tilatietojen ilmoitus Fingridille ja verkonhaltijalle. (17.)

Osa yleisvaatimuksista on listattu seuraaville sivuille. Kaikkia vaatimuksia ei ole kirjattu. Tällaisista mainittakoon suuntaajakytkettyjä voimalaitoksia ja taajuuden sekä pätötehon säätöön liittyviä vaatimuksia. Tähän opinnäytetyöhön kirjattuja yleisvaatimuksia tulee tutkiskella ainoastaan Jylkän synkronikompensaattorin kannalta. Kaikki yleisvaatimukset ovat luettavissa vapaasti Fingridiltä haettavasta (VJV2018) Voimalaitosten järjestelmätekniset määräykset -dokumentista.

1. Voimalaitoksen on pystyttävä toimimaan jatkuvasti ja normaalisti kun liittymispisteen jännitteen vaihteluväli on 90 – 105 % normaalista (taulukko 4 S.25.) Kun taajuus on 49,0 Hz - 51,0 Hz. (17.)
2. Voimalaitoksen tulee kyetä jatkamaan toimintaansa normaalisti taajuuden muutosnopeuden ollessa alle 2,0 Hz/s. Taajuuden muutosnopeudenmittauksen suojaus ei saa reagoida järjestelmässä tapahtuvien häiriöiden aiheuttamiin äkillisiin muutoksiin jännitteessä. Tällaisia suojalaitteita saa käyttää ainoastaan alle 50 kW voimalaitoksissa ja suojalaite saa erottaa voimalaitoksen verkosta ainoastaan, jos taajuuden muutosnopeutta on mitattu vähintään 500 millisekunnin ajan. (17.)
3. Voimalaitoksen saavutettua pienimmän mahdollisen magnetoinnin säätötason tulee sen silti kyetä jatkamaan toimintaansa. (17.)
4. Taajuussäädön yli- ja alitaajuustoimintatilan statiikan tulee olla asetettavissa välillä 2-12%, VJV:ssä suositus on 4 %. Nämä säädöt tulee pitää päällä aina. (17.)
5. Voimalaitokset tulee varustaa väyläliitännällä, jotta tuotannolle voidaan antaa ohjearvo pätötehon alentamiseksi ohjearvon mukaan. Väyläliitännän tulee olla yhteensopiva standardien IEC60870-8, IEC60870-5-104 tai IEC61850-Protokollan kanssa. Käytöstä vastaava toimija voi ohjata voimalaitosta kaukokäytöllä tai paikallisesti. Voimalaitoksen käytöstä vastaavan toimijan on muutettava voimalaitoksen pätö- tai loistehonsäädön toimintatilaa ja asetteluarvoa voimalaitosteknologian asettamissa rajoissa, jos Fingridin kantaverkkokeskus tai liittymispisteen verkonhaltija sitä pyytää. Muutos on saavutettava 15 minuutin kuluessa pyynnön antamisesta. Muutoksen toleranssi on ± 5 % asetusravosta tai suurimmillaan 1MW. (17.)
6. Voimalaitos tulee suunnitella niin, että tuotetun sähkön laatu on Fingridin "110 kV verkon sähkön laaturaportin" mukaista (17).
7. Voimalaitoksen on kulmastabiilisuuden tai säädettävyyden menetyksen jälkeen pystyttävä kytkeytymään automaattisesti irti sähköverkosta, jotta sähköjärjestelmän käyttövarmuus voidaan säilyttää tai voimalaitoksen vaurioituminen estetään. Kulmastabiilisuus katsotaan-

menetetyksi, kun voimalaitoksen ja liittymispisteen pätötehon välinen sähköinen kulmaero ylittää pysyvässä tilassa 90 astetta. (17.)

8. Voimalaitoksen päämuuntajan on oltava yläjännitepuolen nolapisteen maadoitusjärjestelyjen osalta verkonhaltijan määrittelemien vaatimusten mukaiset (17).

4.3 D-tyyppin voimalaitosten reaaliaikaiset mittaukset ja instrumentointi

VJV2018 velvoittaa liittijää toimittamaan C- ja D-tyyppin voimalaitoksista liittymispisteen verkonhaltijalle voimalaitoksen reaaliaikaiset pätö- ja loistehonmittaukset sekä kytkinlaitteiden tilatiedot. Mittaustiedot toimitetaan ensisijaisesti nettomittauksena. Nettomittaus tarkoittaa tehtaan bruttotuotannon ja voimalaitoksen omakäytön erotuksesta jäävää lukemaa. (14).

Liittymispisteen verkonhaltija toimittaa tai velvoittaa liittijää toimittamaan mittatiedot Fingridille.

Reaaliaikatietojen päivityssykli saa olla korkeintaan minuutin. (17.)

D-tyyppin voimalaitoksiin tulee asentaa häiriötallennus- sekä heilahtelutallennusjärjestelmä, joko releisiin integroituna tai erillisinä laitteina. Mikäli häiriötallennin kattaa heilahtelutallentimelle asetetut vaatimukset, voi häiriötallennin toimia ainoana tallentimena laitoksessa.

Häiriö- ja heilahtelutallentimille on asetettu vaatimukset voimalaitosten järjestelmäteknisissä vaatimuksissa, näitä ovat seuraavat.

- Häiriötallennin mittaa ja tallentaa liittymispisteen jännitteet ja generaattorin virrat hetkellisarvoina vaiheittain.
- Häiriötallentimen näytteenotto ja tallennustaajuuden tulee olla 1 kHz tai enemmän.
- Häiriötallennin toimii, kun
 - suojarele toimii
 - jännitteen suhteellisarvo alittaa 0,95 tai ylittää 1,05 pu. (17).

Heilahtelutalennin mittaa ja tallentaa liittymispisteen kunkin vaiheen jännitteet ja generaattorin virrat RMS-arvoina (neliöllisinä keskiarvoina) sekä tallentaa kunkin vaiheen jännitteiden ja virtojen vaihekulmat. Jos vaihekulmaa ei mitata, voidaan vaihtoehtoisesti tallentaa generaattorin pätö- ja loisteho sekä taajuus. Tallennusajan tulee olla kymmeniä sekunteja ja näytteenottotaajuuden 1 kHz. Tallennustaajuuden tulee olla 50 Hz tai suurempi.

Tallentimen tulee toimia, kun

- suojarole toimii
- jännitteen suhteellisarvo alittaa 0,95 tai ylittää 1,05 pu
- taajuus alittaa 49,80 Hz tai ylittää 50,20 Hz (17).

Molemmissa tallentimissa tulee olla näytteen talteenotto ennen vikaa. Vian sattuessa häiriötallentimen tulee tallettaa 0,5 – 1 s ennen vikaa ja 2 s vian jälkeen ja heilahtelutallentimen tulee tallettaa 1 – 5 s ennen vikaa ja 15 s vian jälkeen. (17.) Jylkän SYNCON talletusajat tulevat olemaan pitemmät, mutta talletustaajuudet ovat samat.

4.4 D-tyyppin voimalaitosten lähivikakestoisuus

Lähivikakestoisuudeksi kutsutaan voimalaitoksen kykyä pystyä jatkamaan toimintaansa häiriön aikana ja sen jälkeen irtoamatta verkosta. Lähivikakestoisuusvaatimus on voimassa symmetrisissä vioissa eli 3-vaiheisissa oikosuluissa sekä epäsymmetrisissä vioissa, kuten 2-vaiheisissa oikosuluissa, tai 1- ja 2-vaiheisissa maasuluissa. Lähivikavaatimus on määritelty seuraavissa olosuhteissa ennen jännitehäiriötä:

- voimalaitoksen jännite on 1,0 pu
- voimalaitos ei syötä eikä ota loistehoa liittymispisteestä
- voimalaitoksen AVR on toiminnassa
- oikosulkuteho oletetaan normaaliksi ennen lähivikaa ja sen jälkeen. (17.)

1. Voimalaitoksista tulee toimittaa laskelma lähivikakestoisuudesta liittymispisteen verkonhaltijalle. Laskelmassa ei ole tarkoitus kuvata voimantuotantoprosessia, mutta prosessin asetamat rajoitteet sähköntuotantoon tulee olla huomioituna. Laskentaperusteina tulee käyttää taulukoissa 6 ja 7 olevia arvoja sekä edellä mainittuja ehtoja.

TAULUKKO 6. Jännitehäiriölaskennassa käytettävät lähtötiedot, kun liittymispisteen jännite on alle 400 kV. (17.)

Lähtötieto	Häiriö 1	Häiriö 2
Jännitehäiriön kesto	150 ms	250 ms
Liittymispisteen jännite häiriön aikana	0,0 pu	0,25 pu
Liittymispisteen oikosulkuteho ennen häiriötä	Normaali	Normaali
Liittymispisteen oikosulkuteho häiriön jälkeen	Minimi	Normaali

TAULUKKO 7. Jännitehäiriölaskennassa käytettävät lähtötiedot, kun liittymispisteen jännite on vähintään 400 kV. (17.)

Lähtötieto	Häiriö 1	Häiriö 2
Jännitehäiriön kesto	200 ms	250 ms
Liittymispisteen jännite häiriön aikana	0,0 pu	0,25 pu
Liittymispisteen oikosulkuteho ennen häiriötä	Normaali	Normaali
Liittymispisteen oikosulkuteho häiriön jälkeen	Minimi	Normaali

2. Voimalaitoksesta katsottuna liittymispisteen takana olevasta sähköjärjestelmästä tehdään sijaiskytkentä. Sijaiskytkennässä tulee olla esitettyä, sarjaan kytkettynä sähköjärjestelmän oikosulkutehoa kuvaava impedanssi ja ideaalinen lähdejännite. Mikäli voimalaitoksen liittymispisteen jännitetaso on 400 kV tai lähellä 400 kV:n siirtoverkkoa, tulee sähköjärjestelmän mallintamisesta sopia erikseen Fingridin kanssa. (17.)

4.5 D-tyyppin tahtikonevoimakonelaitoksia koskevat vaatimukset

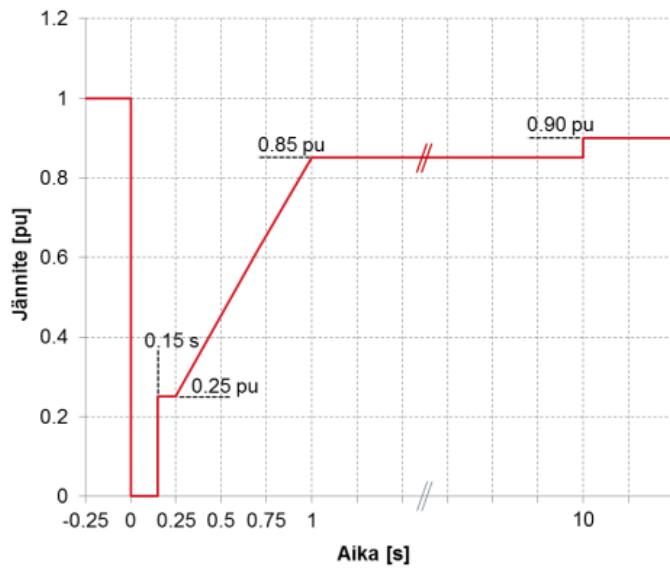
Kuten luvussa 4 voimalaitokset, myös tahtikonevoimalaitokset ovat VJV:ssä jaettu tyyppiluokkiin, näitä ovat A, B, C ja D. Tahtikoneiden tyyppiluokkien jaottelu perustuu samaan (taulukkoon 5. s. 25), jota käytetään voimalaitosten luokitteluun, mutta tahtikonevoimalaitoksen tyyppiluokka mitoitetaan eri tavalla.

Tahtikonevoimalaitosten mitoitusteho luokitellaan laitteiston koon mukaan. Siihen sisällytetään kaikki voimalaitoksen osat, jotka käyvät erottamattomasti yhdessä, sellaisia ovat esimerkiksi yhden kombilaitteiston erilliset vaihtosähkögeneraattorit, joita käyttävät erilliset turpiinit. Tahtikonelaitokset, joihin sisältyy useita kombilaitteistoja, tulee arvioida yhden kombiyksikön koon eikä laitoksen kokonaiskapasiteetin perusteella. (17.)

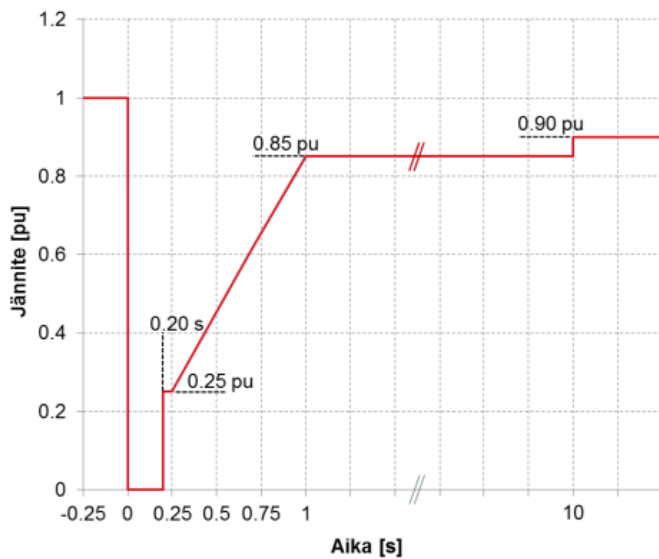
D-tyypin tahtikonevoimalaitoksien tulee täyttää tässä ja edellisessä luvussa (4.2) kuvatut VJV-vaatimukset sekä lisäksi ainakin seuraavat tahdistamista koskevat vaatimukset:

- voimalaitos on varustettava tarvittavilla tahdistuslaitteilla
- liittyjä saa tahdistaa voimalaitoksen verkkoon vasta, kun on saanut siihen luvan verkonhaltijalta
- voimalaitos tulee kyetä tahdistamaan verkkoon yleisvaatimuksissa (s. 28 kohdassa 1) esitetyn normaalin jatkuvan käytön taajuudella ja jännitteellä
- voimalaitoksen tahdistuksesta on sovittava erikseen liittymispisteen verkonhaltijan kanssa, mikäli seuraavista arvoista tullaan poikkeamaan
 - taajuus 49,0 – 51,0 Hz
 - jännite 0,90 – 1,05 pu
 - vaihekulmaero on alle 10°
 - taajuuspoikkeama on alle 0,2 Hz
 - jännitepoikkeama on alle 0,05 pu
 - vaihejärjestys on sama tahdistavan katkaisijan molemmilla puolilla. (17.)

1. Tahtikonevoimalaitokset pitää suunnitella niin, että ne kestävät lyhytaikaisen jännitteen vaihtelun irtoamatta verkosta ja menettämättä tahdistustaan. Lyhytaikaisen liittymispisteen jännitehäiriön läpiajo vaatimukset on eritelty alle. (Kuvat 17 ja 18.)



KUVA 17. Lyhytaikaista jännitehäiriötä vastaava liittymispisteen jännite, jonka aikana ja jälkeen tyyppin D tahtikonevoimalaitoksen, jonka liittymispisteenjännite on alle 400 kV, tulee jatkaa toimintaansa normaalisti. Jännitteen suhteellisarvo 1,0 pu on jännite ennen häiriötä. Jännite on 0,00 pu 150 millisekunnin ajan. (17.)

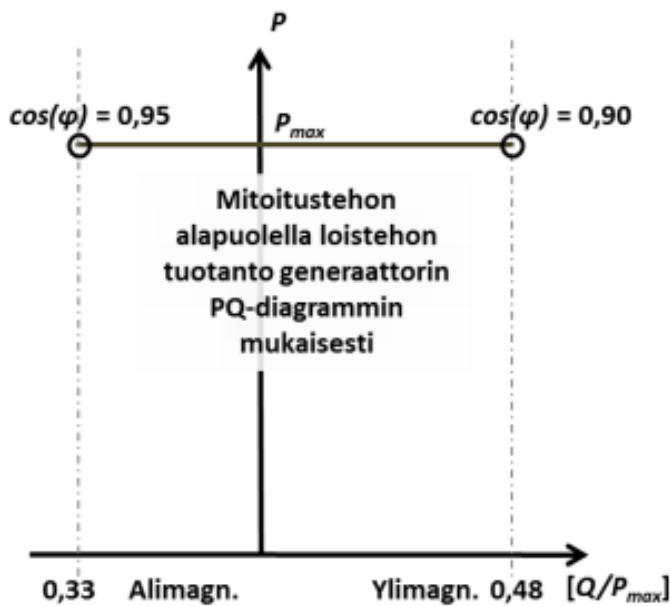


KUVA 18. Lyhytaikaista jännitehäiriötä vastaava liittymispisteen jännite, jonka aikana ja jälkeen tyyppin D tahtikonevoimalaitoksen, jonka liittymispisteenjännite on vähintään 400 kV, tulee jatkaa toimintaansa normaalisti. Jännitteen suhteellisarvo 1,0 pu on jännite ennen häiriötä. Jännite on 0,00 pu 200 millisekunnin ajan. (17.)

2. Tahtikoneiden napajakojätö ei ole sallittua. Voimalaitos ei myöskään saa kytkeytyä irti automaattisesti useankaan perättäisenjännitehäiriön seurauksena, ellei voimalaitoksen transienttikulmastabiilisuus vaarannu tai jarrutusenergian kestoisuus ylitä sille asetettua mitoitusarvoa. (17.)
3. Fingridillä on oikeus vaatia voimalaitoksia säätymään VJV2018:ssa esitettyjen tehonsäätöön liittyvien ominaisuuksien rajoissa, mikäli sähköjärjestelmää ei voida palauttaa normaalitilaan häiriön jälkeen. (17.)
4. Voimalaitoksia suunnitellessa perustana tulee käyttää seuraavia minimitehoja:
 - vesi-, kaasuturpiini- ja moottorivoimalaitokset 10 % mitoitustehosta
 - sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokset sekä muut voimalaitokset 40 % mitoitustehosta. (17.)
5. Voimalaitosten minimitehon tulee olla mahdollisimman pieni. Lisäksi niiden tulee olla lyhytaikaisesti ylikuormitettavia, ylikuormitettavuus riippuu ulkoisista tekijöistä kuten ulkolämpötilasta. Minimiteho ja kyky toimia lyhytaikaisesti minimitehon alapuolella ja ylikuormitettuna tulee ilmoittaa osana toimitettavia tietoja. Mikäli voimalaitoksella on useita generaattoreita, eikä minimiteho jakaudu tasaisesti niitten välillä, on koko voimalaitoksen minimitehon lisäksi ilmoitettava yksittäisten generaattoreiden minimitehot. (17.)
6. Vesi-, kaasuturpiini- ja moottorivoimalaitoksien tulee olla käynnistettävänä täyteen tehoonsa viidessätoista minuutissa. Arviot näille voimalaitoksille tyypillisistä käynnistysajoista minimi- ja mitoitusteholle tulee ilmoittaa osana toimitettavia tietoja. Sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitosten sekä muun tyyppisten voimalaitosten kuten ydinvoimaloiden käynnistysajat saavat olla hitaampia, niille on kuitenkin asetettu vaatimuksia omakäytöltä paluun yhteydessä ja niiden käynnistysajoista tulee toimittaa arvio muiden toimitettavien arvojen kanssa. (17.)

4.6 D-tyyppin tahtikonevoimalaitoksen loistehokapasiteetti

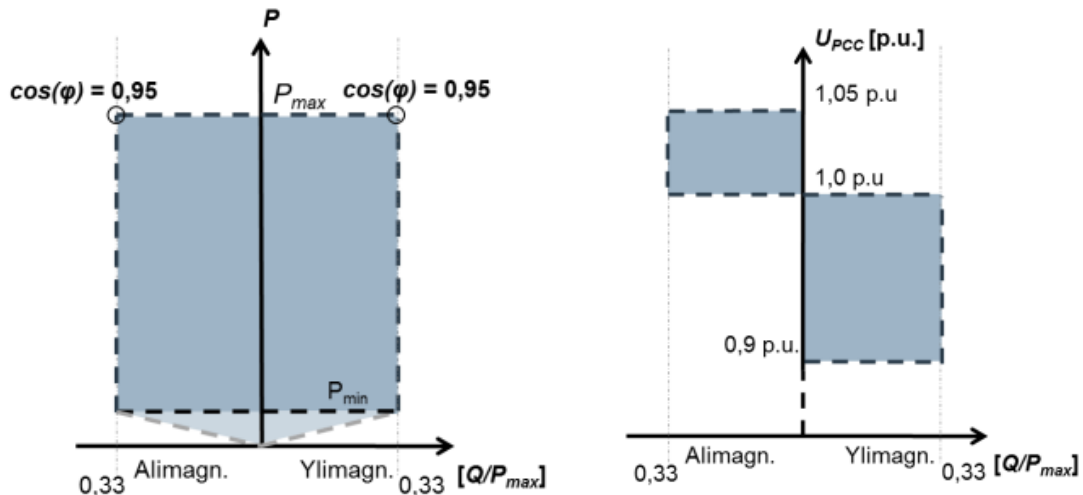
VJV2018:ssa on määrätty, että D-tyyppin tahtikonevoimalaitoksien generaattorien tulee pystyä toimimaan jatkuvasti maksimitoitustehollaan P_{max} , kun generaattorin liittimistä mitattava tehokerroin on 0,95 (kap.) – 0,90 (ind.). Generaattorin toimiessa mitoitustehoa pienemmillä tehoilla sen tulee kyetä tuottamaan tai kuluttamaan loistehoa generaattorin mitoitusjännitteellä ja -taajuudella laaditun PQ-diagrammin mukaan (kuva 19). Voimalaitoksen tulee siis kyetä rajoittamaan liittymispisteen jännitettä kuluttamalla loistehoa, kun liittymispisteen jännite on korkeampi kuin liittymispisteen normaali käyttöjännite. Vastaavasti generaattorin tulee kyetä tuottamaan loistehoa, jolla liittymispisteen jännitteen laskua voidaan rajoittaa. Tämä on todettu jännitteensäädön teoriaa koskevilla luvuilla (2.2, 2.3) ja sen alaluvuilla (2.3.1, 2.3.2) sekä synkronikompensaattorin käyttötarkeituksissa luvussa (3.1). (17.)



KUVA 19. PQ-diagrammi Tahtikonevoimalaitoksesta vaadittava loistehokapasiteetti (17).

Tahtikonevoimalaitosten tulee kyetä tuottamaan ja kuluttamaan loistehoa myös minimitehonsa ja mitoitustehonsa rajaamalla toiminta-alueella yli- ja alimagnetoituna loistehokapasiteetilla, joka vastaa toimintapistettä nimellistehon tehokerroimella 0,95 (kuva 20 s. 35). Liittymispisteestä mitatun loistehon tulee olla:

- $0 \leq 0,33 [Q / P_{max}]$ ylimagnetoituna, kun liittymispisteen jännite on 0,90 – 1,00 pu
- $0 \leq 0,33 [Q / P_{max}]$ alimagnetoituna, kun liittymispisteen jännite on 1,00 – 1,05 pu. (17.)



KUVA 20. Tahtikonevoimalaitosten loistehokapasiteetti-alue, kun tehokerroin on 0,95 (vas.) ja voimalaitoksen liittymispisteestä mitattava loisteho yli- ja alimagnetoitussa. (oik.) (17, muokattu.)

1. Voimalaitoksien ei ole pakko tuottaa loistehoa minimitehonaan pienemmillä tehoilla. Liittymispisteen verkonhaltija voi kuitenkin määrätä voimalaitosta kasvattamaan loistehokapasiteettiaan, mikäli voimalaitoksen liittymispiste ei ole generaattorimuuntajan suurjännitelaitimissa tai vaihtosähkögeneraattorin liittimissä, jos generaattorimuuntajaa ei ole. Tuotetun lisäloistehon tulee kompensoida liittymispisteen jännitettä niin, että se on säätävä edellä mainittujen määräysten mukaan. (17.)
2. VJV velvoittaa liittyjän toimittamaan voimalaitoksen liittymispisteen verkonhaltijalle laskelman voimalaitoksen loistehokapasiteetista. Laskelma tulee toimittaa vaatimusten todentamisprosessin vaiheessa 1. Laskelman tulee sisältää lähtökohtina käytetyt tiedot, kuten generaattorien jännitealueet ja PQ-diagrammit, sekä loistehoa rajoittavien rajoittimien asetelut. Laskelmalla tulee osoittaa voimalaitoksen kyky tuottaa ja kuluttaa loistehoa VJV:ssä määritetyillä liittymispisteen jännitetasoilla ja voimalaitoksen pätötehotasoilla 50 Hz:n taajuudella.

3. Mikäli voimalaitoksen generaattorimuuntajalla on käämikytkin, laskelmaan tulee sisällyttää käämikytkimen keskiasennon lisäksi käämikytkimen arvot automaattisäädöllä. Laskelmaan tulee sisällyttää myös muut voimalaitoksen komponentit, jotka voivat tuottaa tai kuluttaa loistehoa. Laskettu loistehokapasiteetti tulee todentaa käyttöönottokokeessa. (17.)

4.7 D-tyypin tahtikonevoimalaitoksen jänniteensäätö

Voimalaitoksen ja generaattorin jänniteensäädön rajoitukset tulee suunnitella ja asetella niin, että niiden toiminta ei rajoita loistehon tuotantoa ja kulutusta enempää kuin jänniteensäädön kannalta on tarpeellista. Loistehokapasiteetin rajoittamiseksi käytettävien magnetoinnin lisäsäätöjen, rajoittimien ja magnetoinnin toimintaan liittyvien suojen tulee toimia niin, että loistehokapasiteetti hyödynnetään tehokkaasti ja ilman generaattorin verkosta irtikykeytymisen riskiä. (17.)

1. Generaattorilla tulee olla liitinjännitteen vakiojännitesäätö, jonka asetteluarvon tulee olla aseteltavissa suhteessa generaattorin jännitteelle määritettyjen raja-arvojen mukaisesti enintään 0,01 p.u. portaissa. Generaattorin loistehonsäätö tulee toteuttaa niin, että se on jatkuvaa ja loistehon muutokset tapahtuvat portaattomasti. Säätö ei saa häiriintyä verkossa mahdollisesti tapahtuvista jännitteen ja taajuuden muutoksista tai lyhytaikaisten jännitehäiriöiden seurauksena. Generaattorin jänniteensäätäjällä voi olla lisäksi muita toimintatiloja, kuten vakio-loistehonsäätö tai vakio-tehokerroinsäätö. (17.)
2. Jos jänniteensäätö toteutetaan muuten kuin liitinjännitteen vakiojännitesäädöllä. Toiminnallisuuden tulee olla samanlainen kuin liitinjännitteen vakiojännitesäädöllä. Mikäli voimalaitokselle toteutetaan vakio-loistehonsäätö, tulee se olla aseteltavissa enintään 1 MVA:n portaissa. (17.)

3. Jännitteensäätäjän kannalta tärkeistä rajoittimista ja suojuuksista sekä niiden toiminnallisuuksista mainittakoon seuraavat:
- lisästabilointipiiri (PSS). PSS:n tarkoitus on mitata synkronikompensaattorin sähköteho ja koneen sisäinen taajuus. Mittauksen perusteella se arvioi roottorin nopeuden ja antaa nopeudelle verrannollisen ajosignaalin AVR:lle. PSS vaimentaa akselilla syntyviä värähtelyjä.
 - magnetoinnin menetyssuoja (LOE). LOE mittaa synkronikompensaattorin resistansseja ja reaktansseja, joiden alittaessa asetetut vähimmäisarvot. LOE erottaa se koneen voimajärjestelmästä ennen magnetoinnin täydellistä menetystä.
 - ylimagnetointisuoja (OEL). OEL suojaa synkronikompensaattoria vahingoilta tilanteissa, joissa virta kasvaa liian suureksi. Virran äkillinen ja liiallinen kasvu voi aiheuttaa mm. synkronikompensaattorin ylikuumentumista ja muita materiaalivahinkoja koneen sisäisiin komponentteihin.
 - alimagnetointisuoja (UEL). UEL estää AVR:n ohjauksen tilanteessa, jossa liian pieni reaktiivinen virta voi aiheuttaa stabiilisuuden menetyksen magneetikentässä tai koneen staattorin sydän on ylikuumentumassa. (11.)
4. Generaattorin jännitteensäätö on varustettava lisästabilisointipiirillä sekä ylikuormitussuojalla. Jännitteensäätäjän on oltava kahdennettu kuten luvussa (3.3) Fingrid on Jylkän jännitteensäätäjän toimittajalta GE:ltä vaatinut. Jännitteensäätäjän kummassakin kanavassa tulee olla automaattinen generaattorin liitinjännitteen vakiojännitesäätö ja varajärjestelmänä magnetoimisvirran vakiovirransäätö. Lisästabilisointipiiri tulee asettaa vaimentamaan laitoskohtaista heilahtelutaajuutta sekä generaattorin ja sähköjärjestelmän välisiä heilahteluja 0,2 – 2 Hz taajuuksilla. Lisästabilisoinnin tulee olla kytkettävissä auki, sen signaalin suuruutta on rajoitettava rajoittimilla ja sen toiminta tulee todentaa käyttöönottokeiden yhteydessä. Jännitteensäätäjän muilla rajoittimilla, kuten virranrajoittimilla tulee olla mahdollisuus käänteiseen aikakarakteristikaan, jotta generaattorin jännitteensäätölaitteiden ylikuormitusalue on hyödynnettävissä eri käyttötilanteissa. Rajoittimien tulee toimia mahdollisimman suoraan ja viiveettömästi, jotta voimakkailta yli- tai alijännitteiltä liittymispisteessä vältyttäisiin. Alimagnetoinnin rajoittimen tulee koordinoida staattorin, roottorin ja magnetoinnin virtarajoittimien sekä magnetoinnin menetyssuojan sekä PSS:n kanssa. Ylimagnetoinnin rajoittimen tulee vastaavasti koordinoida staattorin, roottorin ja magnetoinnin ylivirtasuojien sekä PSS:n kanssa. (17.)

5. 110 kV:n verkkoon liittyneiden yli 10 MW:n tahtikonevoimalaitosten jännitteensäädön asetteluperiaatteet ovat seuraavat:
- Generaattorin jännitteen säätötapa on ensisijaisesti napajännitteen säätö.
 - 110 kV:n verkossa jännitteensäädön asetusarvo on 118 kV.
 - jännitteensäädön referenssipisteen ollessa alemmalla jännitetasolla, jännitteensäädön asetusarvot tulee asettaa niin, että voimalaitoksen loistehon kulutus ja tuotto ovat mahdollisimman lähellä nollaa.
 - Voimalaitoksen päämuuntajan yläjännitepuoli kannattaa mitoittaa suoraan 118 kV:in
 - päämuuntajan käämikytkimen käyttö ei ole pakollista, mutta jos muuntajalla on käämikytkin, tulee se asetella seuraavasti. Jännitteensäädön referenssipisteen ollessa yläjännitepuolella, käämikytkimen automaattisäätö on sallittu. Alajännitepuolella, käämikytkimen automaattisäätö estetty. (17.)
6. 110 kV verkkoon liittyneiden yli 10 MW:n tahtikonevoimalaitosten loistehostatiikan asetteluarvot ovat seuraavat:
- mitoitusloisteho VJV-vaatimusten mukaisesti (VJV2018 luku 12) opinnäytetyössä luku 4.5
 - jännitteensäädön referenssipisteen ollessa päämuuntajan yläjännitepuoli. Laitoksen sisältäessä vain yhden generaattorin, loistehostatiikan asetusarvon tulee olla välillä 4 – 8%. VJV suositus on 4 %
 - jännitteensäädön referenssipisteen ollessa päämuuntajan alajännitepuoli. Laitoksen sisältäessä vain yhden generaattorin, loistehostatiikan asetusarvon tulee olla välillä 0-4%. VJV suositus on 0 %, mutta mikäli generaattorin oikosulkuimpedanssi on suurempi kuin 12 % tulee asetusarvon olla 2 %. (17.)
7. 110 kV verkkoon liittyneiden yli 10 MW:n tahtikonevoimalaitosten laitosloistehonsäätäjän (DCS) asetteluarvot ja sen käyttämisen ehdot ovat seuraavat:
- laitosloistehon säätäjää saa käyttää ainoastaan liitynnöissä, joiden taakse on liittynyt kulutusta ja tuotantoa
 - generaattorin jännitteensäädön tulee olla aseteltu tässä luvussa edellä mainittujen asetteluarvojen mukaisesti
 - generaattorin liitinjännitteensäätö jätetään päälle, eikä DCS saa estää tai ohittaa sitä (17).

8. Laitosloistehonsäätäjä saa olla toiminnassa ainoastaan, kun seuraavat ehdot täyttyvät
 - liittymispisteen jännite on 116-120 kV
 - laitosloisteholla kompensoitava loisteho on alle puolet generaattorin loistehokapasiteetista
 - laitosloistehonsäädön integrointiaika on hidas, 15 minuuttia loistehonmuutoksesta (17).

9. Mikäli edeltävistä asetteluista on tarve poiketa perustellusta syystä, tulee siitä sopia erikseen Fingridin kanssa. Laitosloistehonsäädön käytöstä tulee ilmoittaa Fingridille. (17.)

10. Jännitteensäätäjä on mitoittettava niin, että sen kattojännite staattisella magnetoinnilla on vähintään kaksi kertaa ja harjattomalla magnetoinnilla 1,6 kertaa generaattorin mitoituskuormitusta vastaava jännite ottaen huomioon kuitenkin edellä mainitut jännitteensäädön asetteluperiaatteet. Generaattorin tulee pystyä pitämään kattojännite vähintään 10 sekunnin ajan. (17.) Jylkän synkronikompensaattorin kattojännite on 2,5-kertainen, jotta synkronikompensaattori voi vastata vikoihin dynaamisemmin.

5 JYLKÄN SYNKRONIKOMPENSAATTORI JA VJV:N SOVELTAMINEN

Kuten luvussa 4.5 on esitetty, koneet jaetaan tyyppiluokkiin A, B, C ja D niiden kokonaistehon perusteella. Luvussa 4 todetaan, että voimalaitos kuuluu D-tyyppiin, kun liittymispisteen jännite on vähintään 110 kV tai laitoksen kokonaisteho vähintään 30 MW. Kuten luvussa 3 esitetty, Jylkän laitoksen liittymispiste on 110 kV. Edellä mainitun perusteella Jylkän synkronikompensaattori kuuluu tyyppiluokkaan D.

Jylkän synkronikompensaattorin kannalta oleelliset VJV:n D-luokan vaatimukset ovat seuraavat.

- Jylkän syncon laitokseen asennetaan häiriötallennus ja heilahtelutallennusjärjestelmä releisiin integroituna. Niiden tallennusajat tulevat poikkeamaan VJV:ssä määrätyistä. Jylkässä syncon talletusajat tulevat olemaan pitempiä ennen vikaa ja vian jälkeen. Talletustaajuudet tulevat olemaan samat, jotka mainittu luvussa 4.3.
- Jylkän Voimalaitoksen on pystyttävä toimimaan jatkuvasti ja normaalisti kun liittymispisteen jännitteen vaihteluväli on 90 – 105 % normaalista (taulukko 4 S.25.) Kun taajuus on 49,0 Hz - 51,0 Hz. Synkronikompensaattorin pääkäyttötarkoitukseen kuuluu kompensoida verkkoa häiriön aikana.
- Jylkän syncon laitoksen on tarkoitus toimia häiriöiden aikana normaalisti ja syöttää verkon tarvitsemää oikosulkutehoa
- Moottorivoimalaitosten käynnistysajat, luvusta 4.5 kohdasta 6. Myös Jylkän synkronikompensaattori tulee olemaan käynnistettävä täyteen tehoonsa 15 minuutissa.
- Jylkän synkronikompensaattorilaitos noudattaa standardia IEC60870-5-104. Syncon:n käyttämä standardi on yksi kolmesta VJV:n sallimista, muut sallitut standardit mainittu luvussa 4.2 kohdassa 5.

Jylkän synkronikompensaattorin kannalta oleelliset VJV:n D-luokan jänniteensäädölle asetetut vaatimukset ovat seuraavat.

- Jänniteensäätäjän kattojännite, staattisella magnetoinnilla on VJV:ssä määrätty olemaan 2 kertainen normaalista. Jylkässä kattojännite tulee olemaan 2.5 kertainen. kattojännitteestä on mainittu luvussa 4.7 kohdassa 10.
- Jänniteensäätäjällä, tulee olla ainakin PSS, LOE, OEL ja UEL toiminnallisuudet. Jylkän synconille asennettavalla EX2100e:stä löytyy tarvittavat toiminnallisuudet, kuten luvussa 3.3 todettu. PSS:n, LOE:n, OEL:n ja UEL:n toiminnot on selitetty luvussa 4.7 kohdassa 3.
- Jylkän syncon DCS:n liittymispisteenjännite on 116 – 120 kV ja DCS:n integrointiaika on hidas, 15 minuuttia loistehonmuutoksesta. Jylkän synkronikompensaattoria ei koske VJV:n määräykset loistehokapasiteetista, sillä laitoksen halutaan ajavan verkkoon loistehoa niin paljon kuin jänniteensäädölle on tarpeellista. DCS:stä oli kirjoitettu enemmän luvussa 3.3 ja sen asetteluista luvussa 4.7 kohdassa 7.
- Jylkän synkronikompensaattorin jänniteensäätäjän ensisijainen säätötapa on liitinjänniteensäätö, kuten VJV:ssä veloitetaan ja kuten todettu luvussa 4.7 kohdassa 1.

Jylkän synkronikompensaattorista toimitetaan VJV:stä poikkeamatta ne laskelmat, jotka on tyyppille D määrätty. Opinnäytetyöhön on valittu oleelliset seuraavasti:

- Lähivikakestoisuuden laskelmat, laskelmissa käytettävistä arvoista on mainittu luvussa 4.4
- Loistehokapasiteetin laskelmat, loistehokapasiteetin laskemisessa käytettävistä arvoista on mainittu luvussa 4.6 kohdissa 2 ja 3.
- Jylkän syncon laitteistoa toimitetaan ja on toimitettu GE:n puolelta VJV:ssä määrätty laskelmat generaattorin jänniteensäädön suorituskyvystä ja oikosulkukestoisuudesta, joista ei ole erikseen mainintaa opinnäytetyössä.
- Jylkän syncon laitokselle tehdään VJV:n mukaiset käyttöönottokokeet, ennen laitoksen lopullista verkkoon liittämistä.
- VJV:ssä määrättyjen laskelmien lisäksi Jylkän syncon laitteiston toimittaja on veloitettu toimittamaan ja on toimittanut laskelmat jänniteensäädöstä synkronikompensaattorin ollessa verkossa, seuraavilla askelmilla: -2 %, +2 %, -5 %, +5 %, -10 % ja +10 % liitinjännitteestä ja liittymispisteessä katsottuna.

6 YHTEENVETO

Jylkän synkronikompensaattori on ensimmäinen Fingridin omistamassa kantaverkossa ja sille on todellinen tarve. Niiden käytöstä ja toiminnasta on konkreettista näyttöä maailmalta suuntaaja valtaisista järjestelmistä, joita ovat etenkin aurinko- ja tuulivoimalat. Samalla kun perinteisesti fossiililla polttoaineella, kuten hiilellä, tuotetun energian määrä vähenee voimalaitoksissa maailmalla nyt ja tulevaisuudessa, synkronikompensaattorien rakentaminen lisääntyy.

Jylkän synkronikompensaattorin toiminta ei teoriassa poikkea tavallisista tahtikoneista. Magnetointi toimii, säätö ja käyttäytyminen samalla tavoin kuin teollisuuskäytössä yleisesti käytetyssä umpinapaisessa tahtikoneessa. Poikkeuksina on se, että koneella ei ole akselia pyörittävää turpiinia.

Synkronikompensaattorin jännitteensäätäjän toimintaperiaate on hyvin samantapainen kuin tavanomaisen voimalaitoksen generaattorin jännitteensäätäjän toiminta. Merkittävimpiä eroja ovat, että synkronikompensaattorin jännitteensäätäjä toimii suurimman osan laitoksen käyttöajasta laitosloistelehonsäätäjän ohjaamana ja jännitteensäätäjän referenssimittauspiste on laitoksen päämuuntajan alajännitepuoli. DCS:ään integroidut raja-arvot poikkeavat myös tavallisesti käytetyistä voimalaitoksen järjestelmäteknisissä vaatimuksissa asetetuista DCS:n asetteluista.

Jylkän synkronikompensaattori on suunniteltu siten, että se täyttää VJV vaatimukset ja tukee verkkoa häiriötilanteissa mahdollisimman tehokkaasti. Voimalaitoksen järjestelmäteknisistä vaatimuksista tehdyt poikkeukset synkronikompensaattorin tapauksessa ovat perusteltuja ja tarkkaan harkittuja. VJV:ssä esitetyillä, laitokselle tehtävillä käyttöönottokokeilla varmistetaan koneen suorituskyky ja häiriötilanteissa koneen todellinen kyky ylläpitää verkon tasapainoa.

LÄHTEET

- 1) Fingrid, M-Files. Kantaverkkowiki. Sisäinen lähde.
- 2) Elovaara, Jarmo & Haarla, Liisa 2011. Sähköverkot 1. Helsinki: Otatieto.
- 3) Hietalahti, Lauri 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka.
- 4) Aura, Lauri & Tonteri, Antti J. 1996 Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki: WSOY.
- 5) Korpinen, Leena. 10 Sähkökoneet, osa 2. Hakupäivä 6.2.2024. [Linkki](#).
- 6) Paavola, Martti 1975. Sähköjohdot. Porvoo: WSOY.
- 7) Fingrid. Projektidokumentaatio JYSK1A500. Sisäinen lähde.
- 8) GE Digital Energy. Synchronous Condenser Systems. Hakupäivä 6.2.2024. [Linkki](#).
- 9) Joronen, Tero, Jenő, Kovács, Majanne, Yrjö 2007. Voimalaitosautomaatio. Helsinki: Suomen automaatioseura ry.
- 10) Fingrid, M-Files. S2238E1. Sisäinen lähde.
- 11) GE, verkkosivu. EX2100e Excitation Control 35 A and 120 A Regulator Systems product description. Hakupäivä 7.2.2024. [Linkki](#).
- 12) Cheng, Hock-Lim. Fingrid. Syn Con AVR Control Principle For Discussion PowerPoint. Sisäinen lähde.
- 13) Fingrid, M-Files. JYSK0N800. Sisäinen lähde.
- 14) Fingrid, M-Files. JYSK0N831. Sisäinen lähde.
- 15) GE, verkkosivu. AIR-COOLED GENERATOR (GEN-A). Hakupäivä 7.2.2024. [Linkki](#).
- 16) Fingrid, M-Files. JYKS5Q800. Sisäinen lähde.
- 17) Fingrid, verkkosivu. Voimalaitosten järjestelmätekniset vaatimukset 2018. Hakupäivä 7.2.2024. [Linkki](#).
- 18) Siemens, verkkosivu. Siemens Energy awarded contracts to enable Uniper to provide grid stability services in Great Britain. Hakupäivä 15.2024. [Linkki](#).
- 19) Fingrid, verkkosivu. Fingridin esittely. Hakupäivä 16.2.2024. [Linkki](#).

LIITTEET

Liite 1 Laitoksen sijainti kartalla. (Luottamuksellinen)

Liite 2 D-tyyppin voimalaitoksen vaatimusten todentamisprosessi VJV2018.

Liite 3 Tahtikonevoimalaitoksien generaattoreista toimitettavat tiedot VJV2018.

Liite 4 Jylkän synkronikompensaattorista toimitetut tekniset tiedot 1. (Luottamuksellinen)

Liite 5 Jylkän synkronikompensaattorista toimitetut tekniset tiedot 2. (Luottamuksellinen)

Liite 6 Jylkän synkronikompensaattorista toimitetut tekniset tiedot 3. (Luottamuksellinen)

Liite 7 Jylkän synkronikompensaattorista toimitetut tekniset tiedot 4. (Luottamuksellinen)

FINGRID

16.11.2018

Taulukko 6.1. Voimalaitoksen Vaatimusten todentamisprosessi, käyttöönottoilmoitusmenettely ja aikatauluvaatimukset tyypin D voimalaitoksille.

Prosessin vaihe	Edellytys	Aikatauluvaatimus ja lisätiedot
EON - kytkentäilmoitus	Fyysinen verkkoliityntä on valmis käyttöönottoon.	Liityntä tulee toteuttaa liittymissopimuksen ehtojen mukaisesti. KytKentäilmoituksen saatuaan liittyjä saa oikeuden kytkeä sähkött liittymispisteen takaiseen verkkoon.
Vaihe 1 (Suunnittelu): <ul style="list-style-type: none"> • Suunnittelutiedot • Mallinnustiedot • Vaaditut laskelmat • Projektikohtaiset alustavat asetteluarvot • Reaaliaikaisten mittaustietojen toimitus • Vaatimustenmukaisuus-ilmoitus 	Liittyjä voi toimittaa vaiheen 1 tiedot heti kun ne ovat saatavilla.	Vaiheen 1 tiedot ja reaaliaikamittaus tulee toimittaa mahdollisimman aikaisin, jotta voimalaitoksen väliaikainen käyttöönottoilmoitus voidaan käsitellä. Toimitettavat tiedot on listattu luvussa 7.4 .
ION - väliaikainen käyttöönottoilmoitus	Liittyjä on toimittanut vaiheen 1 mukaiset tiedot ja toteuttanut reaaliaikamittauksen. Liittymispisteen verkonhaltija on vahvistanut vaadittujen toimenpiteiden toteuttamisen.	Väliaikaisen käyttöönottoilmoituksen saatuaan liittyjä saa oikeuden käyttää voimalaitosta ja tuottaa sähköä liittymispisteeseen enintään 18 kuukauden ajan.
Vaihe 2 (Käyttöönotto ja todentaminen): <ul style="list-style-type: none"> • Muutokset ja päivitykset vaiheen 1 tietoihin • Käyttöönottokokeiden suunnittelu ja toteutus • Koetulosten raportointi • Mallinnustietojen validointi • Säätäjien ja suojauksen lopulliset asetteluarvot • Vaatimustenmukaisuus-ilmoitus 	Liittymispisteen verkonhaltija on antanut väliaikaisen käyttöönottoilmoituksen.	Liittyjän on toimitettava käyttöönottokoesuunnitelma liittymispisteen verkonhaltijalle viimeistään 2 kuukautta ennen suunniteltua kokeiden aloittamista. Käyttöönottokokeet on suoritettava hyväksytysti 9 kuukauden sisällä, ja vaiheen 2 toimenpiteet 12 kuukauden sisällä, hetkestä, jolloin voimalaitos on syöttänyt ensimmäisen kerran pätehoä sähköjärjestelmään. Toimitettavat tiedot on listattu luvussa 7.4 .
Vaihe 3 (Tarkastus ja hyväksyntä): <ul style="list-style-type: none"> • Toimitettujen tietojen tarkastus • Prosessin hyväksyntä 	Liittyjä on toimittanut vaiheen 2 mukaiset tiedot ja toteuttanut toimenpiteet sekä Liittymispisteen verkonhaltija on vahvistanut vaadittujen toimenpiteiden toteuttamisen.	Liittymispisteen verkonhaltijan tulee tarkistaa toimitetut tiedot ja vahvistaa vaadittujen toimenpiteiden suorittaminen. Liittymispisteen verkonhaltijan tulee toimittaa lausunto vaatimusten todentamisesta viimeistään 3 kuukauden kuluttua vaiheen 2 tietojen vastaanottamisen jälkeen.
FON - lopullinen käyttöönottoilmoitus	Liittymispisteen verkonhaltija on vahvistanut vaiheen 3 toimenpiteiden toteuttamisen.	Lopullisen käyttöönottoilmoituksen saatuaan liittyjä saa oikeuden käyttää voimalaitosta ja tuottaa sähköä liittymispisteeseen toistaiseksi.

FINGRID

16.11.2018

Taulukko 7.4. Tahtikonevoimalaitoksen generaattoreista toimitettavat tiedot.

1 Mitoitusarvot		
1.1	Mitoitusjännite U_r	[kV]
1.2	Jännitealue	[p.u.]
1.3	Näennäisteho S_r	[MVA]
1.4	Mitoitusteho P_{max}	[MW]
1.5	Mitoitusvirta I_r	[A]
1.6	Mitoitustehokerroin $\cos \phi_r$	
1.7	Mitoituspyörimisnopeus n	[1/min]
1.8	Mitoitusmagnetointijännite U_e	[V]
1.9	Mitoitusmagnetointivirta I_e	[A]
2 Impedanssit		
2.1	Staattori-resistanssi R	[p.u.]
2.2	Pitkittäinen tahtireaktanssi X_d	[p.u.]
2.3	Pitkittäinen tahtireaktanssi X_d (kyllästynyt)	[p.u.]
2.4	Poikittainen tahtireaktanssi X_q	[p.u.]
2.5	Pitkittäinen muutosreaktanssi X_d'	[p.u.]
2.6	Pitkittäinen muutosreaktanssi X_d' (kyllästynyt)	[p.u.]
2.7	Poikittainen muutosreaktanssi X_q'	[p.u.]
2.8	Pitkittäinen alkureaktanssi X_d''	[p.u.]
2.9	Poikittainen alkureaktanssi X_q''	[p.u.]
2.10	Staattorin hajareaktanssi X_l	[p.u.]
2.11	Nollareaktanssi X_0	[p.u.]
2.12	Vastareaktanssi X_2	[p.u.]
3 Aikavakiot		
3.1	Tasakomponentin aikavakio T_a	[s]
3.2	Pitkittäinen tyhjäkäyntimuutosaikavakio T_{do}'	[s]
3.3	Poikittainen tyhjäkäyntimuutosaikavakio T_{qo}'	[s]
3.4	Pitkittäinen tyhjäkäyntialkuaikavakio T_{do}''	[s]
3.5	Poikittainen tyhjäkäyntialkuaikavakio T_{qo}''	[s]
3.6	Pitkittäinen muutosaikavakio T_d'	[s]
3.7	Poikittainen muutosaikavakio T_q'	[s]
3.8	Pitkittäinen alkuaikavakio T_d''	[s]
3.9	Poikittainen alkuaikavakio T_q''	[s]
4 Mekaaniset parametrit		
4.1	Hitausvakio (turpiini, generaattori ja muut pyörivät komponentit) H	[s]
4.2	Generaattorin hitausmomentti J_g	[kgm ²]
4.3	Kunkin turpiinin hitausmomentti $J_{t1}, J_{t2}, J_{t3}, \dots$	[kgm ²]
4.4	Magnetointikoneen (jos käytössä) hitausmomentti J_{exc}	[kgm ²]
4.5	Edellä annettujen turpiinigenaattorien osien väliset jousivakiot $K_{t1_t2}, K_{t2_t3}, \dots, K_{t_g}, K_{g_exc}$	[Nm/Rad]