

Joona Salonen

Uuden generaattorin lisääminen apusähköjärjestelmään

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

8.3.2016

ALKULAUSE

Tämä insinööri työ tehtiin ABB Oy:n Pitäjänmäen Moottorit ja generaattorit osastolle. Työ oli erittäin mielenkiintoinen, haastava ja erittäin opettaja. Haluan syvästi kiittää työni ohjaajia Eero Kupilaa ja Kari Pärssistä sekä Tero Väisästä tämän insinööri työn tarjoamisesta hoidettavakseni.

Lisäksi haluan kiittää koko koestamon henkilökuntaa avusta niin teoriapuolen kysymyksissä, kuin asennusteknisten ongelmien ratkaisuisissa.

Helsingissä 8.3.2016

Joona Salonen

Tekijä(t) Otsikko	Joona Salonen Uuden generaattorin lisääminen apusähköjärjestelmään
Sivumäärä Aika	52 sivua + 2 liitettä 8.3.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja(t)	Lehtori Eero Kupila Käyttöpäällikkö Kari Pärssinen
<p>Tämä insinöörityö tehtiin ABB Oy:n Pitäjänmäen Moottorit ja generaattorit osastolle. Työn tavoitteena oli suunnitella, hankkia ja asentaa tehtaan generaattorikoestamolle uusi apusähkönsyöttöjärjestelmä, jolla syötetään koestettavien koneiden apumoottoreita ja puhaltimia jännitealueella 200–690 V ja taajuusalueella 30–60 Hz. Apusähköverkkoa tullaan syöttämään tahtigeneraattorilla, jota pyöritetään taajuusmuuttajaohjatulla oikosulkumoottorilla. Generaattorin säädöstä vastaa ABB:n automaattinen jännitteensäädin Unitrol-1020. Hankintaprojektiin kuuluivat laitteiden määrittelyt, hankinnat, työn suunnittelu ja asennus sekä käyttöönotto.</p> <p>Työn alussa tutustuttiin työn kannalta olennaisimpien laitteiden, kuten taajuusmuuttajan, oikosulkumoottorin, tahtikoneen ja automaattisen jännitteensäätäjän ominaisuuksiin kirjallisuuden, oppimateriaalin ja käyttöohjeiden avulla, sekä asennuksen kannalta tärkeisiin standardeihin ja määräyksiin. Työn teoriaosuudessa tutkittiin hieman myös generaattorin käytössä ja ohjauksessa usein tarvittavia ominaisuuksia, kuten tahdistusta ja rinnankäyttöä, joita ei kuitenkaan tämän generaattorin kanssa tulla käyttämään.</p> <p>Suunnittelu aloitettiin tutustumalla työn tavoitteisiin, järjestelmältä vaadittaviin ominaisuuksiin, nykyiseen apusähköjärjestelmään ja uuden generaattorikoneiston asennuspaikkaan. Sen jälkeen määriteltiin ja suunniteltiin tarvittavat koneet, kaapeloinnit, pääkeskus ja suoja-laitteet. Työn edetessä tehtiin laitehankintoja ja lopuksi tehtiin asennus- ja käyttöönotto-suunnitelmat.</p> <p>Työssä saatiin määriteltyä käytännössä kaikki uuden apusähkönsyöttöjärjestelmän rakentamiseen tarvittavat laitteet ja tehtyä myös lähes kaikki järjestelmän käyttöönottoa varten tarvittavat suunnitelmat ja hankinnat. Myös osa laitteistosta saatiin asennettua. Työn laajuudesta johtuen päätettiin kuitenkin jättää käyttöönotto-osuus pois työstä ja mm. toimitus-ajoista johtuen, osa asennuksista jäi insinöörityön puitteissa suorittamatta. Asennustyöt ja käyttöönotto suoritetaan kuitenkin loppuun insinöörityön valmistumisen jälkeen.</p>	
Avainsanat	Tahtikone, generaattori, AVR

Author(s) Title	Joona Salonen Adding a Generator-set to Auxiliary Network
Number of Pages Date	52 pages + 2 appendices 8 March 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructor(s)	Eero Kupila, Senior Lecturer Kari Pärssinen, Maintenance Manager
<p>This thesis was made for ABB, Pitäjänmäki motors and generators division in Helsinki, Finland. The purpose of this thesis was to build a new generator set for the test floor for generators-unit at the factory. The generator will mainly be supplying electricity for auxiliary motors used in larger machines with 60 hertz and 690 volts, which cannot be provided from the main supply. An induction motor controlled by frequency converter will be used to rotate the shaft of a synchronous generator, which will be controlled by ABB's automatic voltage regulator Unitrol-1020. The project consisted of specifying parts, designing the power-system, purchasing, installing, testing and commissioning the generator set and the network it supplies.</p> <p>At the beginning, theory of the main components, such as synchronous machines, automatic voltage regulator and frequency converter were studied through literature, study materials and user manuals. Also the most important standards and regulations were re-searched.</p> <p>The design process was started by clarifying the goals, specifying the needs for the new power system, studying the present-day auxiliary network and checking the installation site. Next the required machines, cabling, main distribution board and safety devices were specified. Acquisitions were made throughout the project and at the end installation and commissioning plans were made.</p> <p>As a result, practically all components were specified and nearly all necessary designs, acquisitions and installation plans were completed for the system to be commissioned. Due to the time restrictions and the vast scope of the project, commissioning was left out the thesis. Also because of long delivery times and problems faced with practical issues, some of the installation could not be made within the time scope of this thesis project. However the installation and commissioning will be completed after this thesis.</p>	
Keywords	Synchronous machine, Generator, AVR,

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teoria	2
2.1	Oikosulkumoottori	2
2.2	Taajuusmuuttaja	3
2.2.1	Skalaariohjaus ja -säätö	3
2.2.2	Vektorisäätö	4
2.3	Tahtikone	4
2.3.1	Umpinapakone	5
2.3.2	Avonapakone	6
2.3.3	Vieras magnetoidun tahtikoneen toimintaperiaate	6
2.3.4	Jännitteen säätö	8
2.3.5	Tehon tarkastelu ja tehokulma	9
2.3.6	Magnetointi	12
2.4	AVR eli automaattinen jännitteensäädin	13
2.4.1	Unitrol-1020	14
2.4.2	Toiminnot	15
2.4.3	Rinnan käyttö ja verkkoon tahdistus	16
2.4.4	Rajoittimet	17
3	Suunnitelmat	19
3.1	Nykyiseen järjestelmään tutustuminen	20
3.2	Liittyminen nykyiseen verkkoon	21
3.2.1	Vaihtoehto 1	21
3.2.2	Vaihtoehto 2	22
3.3	Uuden generaattorikoneikon määrittely	22
3.3.1	Generaattori	22
3.3.2	Moottori	24
3.4	Kaapelointi ja suojaukset	25
3.4.1	Moottori ja taajuusmuuttaja	26
3.4.2	Generaattorin ja koestamon keskuksien kaapeloinnit	28
3.4.3	Ohjauspiiri	28
3.5	Pääkeskus	29
3.5.1	Oikosulkukestoisuus	30

3.5.2	Keskuksen komponenttien valinta	34
3.5.3	Maasulkusuojaus ja generaattorin suojaus	36
3.6	Automaatio	37
3.6.1	Generaattorin säätö	37
3.6.2	Oikosulkumoottorin säätö	38
3.7	Koneiden välinen liitäntä ja alusta	39
3.7.1	Kytkin	40
3.7.2	Alusta	41
4	Hankinta, toteutus ja testaus	43
4.1	Hankinnat	43
4.2	Asennusten suunnittelu	43
4.2.1	Asennuspaikka	44
4.2.2	Koneiden siirto asennuspaikalle	45
4.2.3	Koneiden kaapelien asennus	46
4.2.4	Keskusten asennus	47
4.3	Käyttöönotto ja tarkastukset	47
5	Yhteenveto	49
	Lähteet	51
	Liitteet	
	Liite 1. Unitrol-1020 jännitteensäätäjä	
	Liite 2. Alustan suunnitelma	

Lyhenteet

AVR	Automatic Voltage Regulator. Automaattinen jännitteensäädin, jolla magnetoidaan generaattoria ja säädetään sen tuottamaa jännitettä.
DC	Direct Current. Tasavirta
DTC	Direct Torque Control. Suora momentin säätö. Taajuusmuuttajan käyttämä sähkömoottorin säätötapa
IGBT	Insulate Gate Bipolar Transistor. Tehoelektronikassa käytetty transistorityyppi, jossa yhdistyy bipolaaritransistori ja MOSFET transistori.
PAM	Pulse-Amplitude Modulation. Pulssin korkeus modulaatio
PWM	Pulse-Width Modulation. Pulssinleveysmodulaatio.
PMG	Permanent Magnet Generator. Kestomagneettigeneraattori.
RDM	Rotating Diode Monitoring. Harjattomasti magnetoidun tahtigeneraattorin magnetointikoneen tasasuuntauspiirin diodien tarkkailemiseen tarkoitettu toiminto Unitrol-1020 automaattisessa jännitteensäätäjässä.
UPS	Uninterrupted Power Supply. Katkeamaton tehonsyöttö, josta saadaan syötettyä virtaa laitteille verkkosähkön katketessa esim. akuston avulla.
VDC	Voltage Droop Compensation. On-line-toiminto Unitrol-1020 automaattisessa jännitteensäätäjässä. jolla generaattorien rinnankäytössä loisteho jaetaan tasaisesti samassa verkossa olevien generaattorien kesken jännitteensäätöstatiikkaa kompensoimalla.

1 Johdanto

Tämä insinöörityö tehtiin ABB Oy:n Pitäjänmäen tehtaalle Moottorit ja generaattorit yksikölle. ABB on maailman johtava sähkövoima- ja automaatioteknologiayhtymä, jonka palveluksessa työskentelee maailmanlaajuisesti 140 000 henkilöä yli 100:ssa eri maassa, joista noin 5200 Suomessa. ABB:n moottori- ja generaattoriliiketoiminta työllistää maailmalla noin 15 000 henkilöä, joista noin 950 Helsingissä Pitäjänmäen tehtaalla. Tehtaalla valmistetaan muun muassa korkeajännitemoottoreita, tuuli- ja dieselgeneraattoreita sekä kestopagneettimoottoreita.

Moottorit ja generaattorit yksikössä kehitetään ja valmistetaan koneita maailmanlaajuisesti, ja valtaosa koneista myydäänkin juuri ulkomaille. Teollisuuteen valmistettavat koneet ovat usein melko suuritehoisia ja sovellukset erikoisia, joten koneissa käytetään apumoottoreita erilaisiin tarpeisiin, kuten jäähdytykseen tai voiteluöljyn pumppaukseen. Teollisuudessa on paljon 690 V:n moottoreita ja 60 Hz taajuutta käytetään varsinkin Amerikan mantereella, mutta myös jonkin verran Aasiassa. Muun muassa tästä johtuen koneita valmistetaan usean eri nimellisjännitteen lisäksi myös eri taajuuksille.

Työn tavoitteena oli suunnitella, hankkia ja asentaa taajuusmuuttajaohjatulla oikosulkumoottorilla pyöritettävä generaattorikoneisto testauskentän apusähköistyksiä varten. Apusähköjärjestelmää käytetään suuritehoisten koneiden apumoottoreiden pyörittämiseen koestusten yhteydessä. Kokonaisuuteen kuuluu myös generaattorin syöttämän pääkeskuksen suunnittelu ja asennus sekä kaikki tarvittavat kaapeloinnit koneiden, pääkeskuksen ja alakeskusten välille.

Työ on jaettu johdanto-osioon, teoriaosuuteen, suunnitelmaosuuteen sekä toteutusosuuteen ja loppuyhteenvedoon. Teoriaosuudessa käsitellään tahtigeneraattoria ja automaattista jännitteensäätäjää sekä lyhyesti epätahtikoneita ja taajuusmuuttajia. Suunnitelmaosuudessa käsitellään koneiden ja laitteiden määrittelyä, uuden apusähköverkon liittämistä nykyiseen verkkoon, pääkeskuksen suunnittelua ja automaatiota sekä koneiden fyysistä asennusta ja liittämistä toisiinsa. Toteutusosiossa käsitellään vielä laitteiden hankintoja, asennuksiin liittyviä suunnitelmia sekä laitteiston käyttöönottoa. Lopuksi käsitellään vielä jatkosuunnitelmia ja tehdään yhteenveto projektin tavoitteiden saavuttamisesta ja työn aikana kohdatuista ongelmista.

2 Teoria

Sähkökonekäyttöiset sovellukset vastaavat tänä päivänä joidenkin arvioiden mukaan jopa 45 % koko maailman sähkökulutuksesta. Kuitenkin lähes kaikki sähkö myös tuotetaan sähkövoimakoneilla. Kaikki sähkökoneet voivat toimia moottorina tai generaattorina mutta jotta sähkökoneella voidaan generoida sähköä, täytyy sitä pyörittää ulkoisella voimakoneella. Generaattorin pyörittämiseen voidaan käyttää mitä tahansa voimakonetta, kuten esim. dieselmoottoria, mutta tässä työssä voimakoneena käytetään oikosulkumoottoria. Oikosulkumoottorin ohjaamiseen soveltuu parhaiten taajuusmuuttaja, jolla moottorin pyörimisnopeutta ja momenttia voidaan helposti säädellä. (14.)

2.1 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on epätahtikone, joka yksinkertaisuutensa ja kestäväyytensä johdosta on yleisin teollisuudessa käytetty sähkökonetyyppi. Sitä myös valmistetaan eniten, ja näin ollen sitä löytyykin useille eri tehoille ”hyllytavarana”. Suurista valmistuseristä johtuen se on myös edullisin konetyyppi. Kuten kaikkia sähkökoneita, myös epätahtikoneita voidaan käyttää sekä moottoreina että generaattoreina. Generaattoreina niitä käytetään huomattavasti harvemmin, mutta varsinkin merelle asennetuissa tuulivoimaloissa epätahtikoneet ovat yleisiä johtuen vähäisestä huollon tarpeesta. (2.)

Epätahtimoottorin roottori pyörii aina koneen jättämän verran verkon taajuuden määräämää magneettikentän pyörimisnopeutta vastaavaa tahtia hitaammin eli epätahdissa, josta nimitys epätahtikone tulee. Jättämän suuruuteen vaikuttaa koneen rakenteen ja ominaisuuksien lisäksi konetta kuormittava momentti. Kuormituksen kasvaessa myös jättämä kasvaa.

Epätahtikoneen pyörimisnopeuden määrää aina verkon taajuus, koneen napaluku ja jättämä. Näin ollen nopeuden säätö on mahdollista vain jotakin näistä muuttamalla. Kone on mahdollista rakentaa niin, että napalukua voidaan vaihtaa, mutta silloin nopeudensäätö on mahdollista vain napalukujen tarjoamissa portaissa. Pyörimisnopeutta voidaan säätää myös jättämäenergiaa säätämällä lisäämällä roottoriin resistanssia, jolloin energiaa menee hukkaan ja hyötysuhde huononee. Kolmas ja usein paras vaihtoehto on käyttää taajuusmuuttajaa, jolla moottorin syöttöjännitteen taajuutta ja amplitudia voidaan säätää käytännössä portaattomasti. (3, s.32-33.)

2.2 Taajuusmuuttaja

Vaihtosähkökoneiden pyörimisnopeuden säädössä keskeisenä suureena on taajuus. Tehoelektronikan komponenttien kehitys on mahdollistanut vaihtosähkön taajuuden muuttamisen, mikä on huomattavasti helpottanut oikosulkukoneiden nopeuden säätöä. Tyypillisesti taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, jännite- tai virtavälipiiristä ja vaihtosuuntaajasta. Taajuusmuuttajaa syötetään yleisestä sähköverkosta ja vaihtojännite tasasuunnataan puolijohdekomponenteilla. Sitten tasajännite vaihtosuunnataan jälleen puolijohdekomponenteilla käyttäen PWM- tai PAM-modulaatiota, jolloin moottorille syötettävän jännitteen amplitudia ja taajuutta voidaan muuttaa. Komponenttien kehitysten myötä myös säätötavat ovat kehittyneet tarkemmiksi ja tehokkaammiksi, ja nykyään käytetään pääasiassa kolmea eri säätötapaa, jotka ovat skalaari-, vektori- ja DTC- eli suora momentinsäätö. Tässä työssä käytetyssä taajuusmuuttajassa ohjaustapoina on kuitenkin vain skalaari- tai vektorisäätö, joten työssä käsitellään vain niitä. (3.)

2.2.1 Skalaariohjaus ja -säätö

Skalaariohjaus on taajuusmuuttajan ohjaustavoista yksinkertaisin ja se perustuu moottorin pysyvyystilan yhtälöihin eli koneen staattisen tilan tuntemiseen. Säätöpiirissä ei ole varsinaista takaisinkytkentää tai mittausta moottorin pyörimisnopeudesta eli tarkkaa tietoa koneen tilasta sen pyöriessä ei tarvita. Virranmittauksella kuitenkin estetään moottorin ja taajuusmuuttajan ylivirtoja sekä suojataan näin laitteita ylikuormitus-, oikosulku- tai jumitumistilanteissa. (3, s. 33-34; 4, s. 472-473.)

Skalaariohjauksessa ei periaatteessa ole nopeus- eikä vääntömomenttisäätöä vaan sillä säädetään ainoastaan jännitettä ja taajuutta. Taajuusmuuttajalle annetaan usein vain pyörimisnopeuden tai taajuuden ohjearvo, jonka perusteella se syöttää moottorille jännitettä vakio-U/f-suhteen mukaan nimellisnopeuteen asti. Nimellisnopeuden yli mentäessä eli kentänheikennysalueella jännitettä ei enää nosteta taajuuden kanssa vaan se pidetään nimellisarvossaan. Jännitettä nostetaan lineaarisesti tai neliöllisesti suhteessa taajuuteen, ja moottorin todellinen nopeus riippuu kuormitusmomentista ja jättämästä. Skalaariohjaus on hyvä ohjaustapa, jos nopeuden ja momentin tarkka säätö ei ole käytön sujuvuuden kannalta tärkeää. Hyviä esimerkkejä ovat useimmat pumppu- ja puhallinkäytöt missä tärkeintä on vain, että moottori pyörii suurin piirtein haluttua nopeutta, eikä muuttuvia tekijöitä käytännössä ole. (3; 4; 5.)

Skalaariohjauksen tarkkuuta voidaan parantaa lisäämällä säätöön takaisinkytkentätieto eli mittaus pyörimisnopeudesta ja virrasta, jolloin ohjaustapaa kutsutaan skalaariohjauksen sijaan skalaarisäädöksi. Skalaarisäädöllä nopeussäädön staattinen tarkkuus on noin 1-3 % ja dynaaminen tarkkuus noin 3 %, joka on useimpiin käyttöihin riittävä. Varsinkin pienillä nopeuksilla vaaditaan usein tarkkaa momentinhallintaa, jolloin skalaariohjaus ei välttämättä ole riittävän tarkka vaan vaaditaan tarkempaa säätöä kuten vektorisäätöä tai DTC-säätöä. (2, s. 85; 3, s. 32-34; 4, 472-473.)

2.2.2 Vektorisäätö

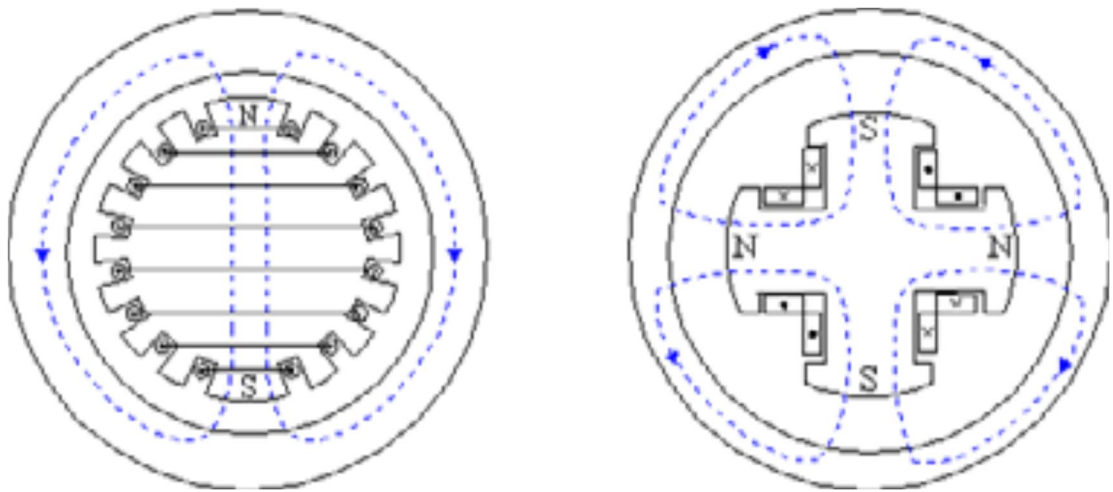
Vektorisäädöllä päästään huomattavasti parempaan säätötarkkuuteen kuin skalaarisäädöllä, sillä se perustuu moottorin dynaamisen tilan mittaamiseen ja tuntemiseen. Ohjauksella säädetään moottorin nopeutta ja epäsuorasti momenttia. sillä saadaan epätahtimoottoria ohjattua lähes yhtä hyvin ja tarkasti kuin DC-moottoria. (3.)

Epätahtikoneita ei magnetoida ulkoisesti vaan taajuusmuuttaja syöttää moottorille sekä magnetointivirran että vääntömomentin tuottavan virran, jolloin moottorivirta jaetaan kahteen komponenttiin, jotka ovat poikittainen ja pitkittäinen komponentti. Pitkittäinen komponentti tuottaa magnetoinnin ja muodostaa käämivuon arvon. Poikittaisella virralla säädetään momenttia. (3.)

2.3 Tahtikone

Tahtikoneita käytetään eniten generaattoreina, joten tässä työssä keskitytään lähinnä tahtigeneraattorin ominaisuuksiin. Tahtikoneita käytetään kuitenkin myös moottoreina hitaissa tai tarkkuutta vaativissa käytöissä ja hyvin suurta, yli 1MW mekaanista tehoa vaativissa sovelluksissa. Kestomagneettimateriaalien ja ohjaustekniikan kehitys on lisännyt kestopagneettitahtikoneiden käyttöä myös pieni- ja keskitehoisissa moottorikäytöissä. Generaattorikäytössä kestopagneettikoneita käytetään lähinnä vierasmagneetoitujen tahtikoneiden magnetointivirran tuottamiseen, sekä nykyään jonkin verran myös pienempitehoisissa sovelluksissa, kuten pienissä tuulivoimaloissa. Tahtikone on generaattoreina käytettävistä koneista kaikkein tärkein, sillä se omaa erinomaiset säätöominaisuudet niin jännitteen kuin loistehonkin suhteen. Tehot vaihtelevat tahtigeneraattoreissa 10 kVA:sta jopa 1000 MVA:iin ja jännitteet 400 V:sta 30 kV:iin. Voi-

malaitosgeneraattorit ovat käytännössä aina kolmivaihekoneita ja niissä käytetään yleensä tähtikytkentää. (2; 3.)



Kuva 1. a) 2-napainen lieriö- eli umpinaparoottori ja b) 4-napainen avonaparoottori. (1)

Tahtikoneen rakenne on melko samanlainen epätahtikoneeseen verrattuna ja staattori onkin periaatteessa täysin samanlainen muodostuen kolmivaiheisesta käämityksestä. Suurin ero epätahtimoottoriin on roottorirakenteessa, sillä suljetun häkkikäämityksen sijaan roottorin käämitys on avoin, jotta siihen voidaan liittää ulkoinen jännitelähde.

Roottoria kutsutaan myös napapyöräksi ja kuten epätahtikoneissakin se rakennetaan aina samalle napaluvulle kuin staattori. Synkroni- eli tahtikoneet lajitellaan reluktanssi-, kestopagneetti- ja vierasmagneetoituihin koneisiin, joista kaksi jälkimmäistä vielä roottorin naparakenteensa mukaan avo- ja umpinapakoneisiin, jotka on esitetty Kuva 1. Tässä työssä keskitytään lähinnä vierasmagneetoituun avonapakoneeseen. (2; 3; 5.)

2.3.1 Umpinapakone

Umpinapakoneen rakenne muistuttaa melko lailla epätahtikonetta myös roottorinsa puolesta ainakin ulkoisesti. Roottori valmistetaan yleensä massiivisesta rautataoksesta sylinterin muotoiseksi koneistamalla. Sylinteri uritetaan akselin suuntaisesti ja uriin asennetaan kuparikäämitykset. Sylinterimuotonsa johdosta magneettivuo pääsee kulkemaan hyvin tasaisesti roottoriraudassa, jolloin roottorista saadaan magneettisesti melko symmetrinen. Umpinapakoneet ovat sylinterimuotonsa johdosta usein pitkiä ja soveltuvat hyvin vankan rakenteensa vuoksi suurta (≥ 3000 rpm) pyörimisnopeutta vaa-

tiviin sovelluksiin, kuten höyry- ja kaasuturbiinikäyttöihin. Suuresta pyörimisnopeudesta johtuen umpinapageneraattoreita kutsutaan myös turbogeneraattoreiksi. (1; 2; 4.)

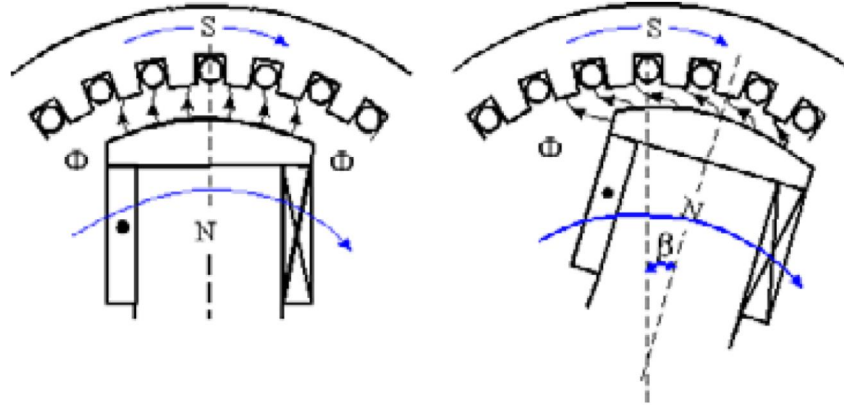
2.3.2 Avonapakone

Avonapakoneen roottori ei ole sylinterimäinen vaan koostuu keskeltä ulospäin suuntautuvista joskus hieman ankkuria muistuttavista navoista. Napojen välit ovat avoimia, mistä tulee nimitys "avonapakone." Näiden avonapojen ympärille on keritty magnetointikäänitys, joka on rakennettu joko lattakuparista tai muotolangasta. Roottorin käämit on kytketty sarjaan niin, että joka toinen napa muodostaa S- ja joka toinen N-navan. Navan päässä on ns. napakenkä, joka on muotoiltu niin, että ilmaväli suurenee navan keskeltä reunoja kohden. Muotoilun ansiosta magneettivuon voimakkuus saadaan vaihtelevaan roottorin pyöriessä sinimuotoisesti staattorinapoihin nähden. Näin ollen myös generaattorista saatava jännite on sinimuotoista. (1; 2; 4.)

Avonaparakenteesta johtuen roottori on magneettisesti epäsymmetrinen ja jaetaan magneettisten ominaisuuksiensa perusteella kahteen akseliin. Napojen suuntainen ns. pitkittäinen d-akseli johtaa hyvin magneettivuota, kun taas napojen välinen poikittainen q-akseli johtaa magneettivuota huonosti johtuen suuresta ilmavälisestä. Avonapakoneet ovat useimmiten moninapaisia ja napapareja saattaakin erittäin suurissa koneissa olla jopa 40. Avonapakoneita käytetään tavallisesti vain hitaammissa (≤ 1500 rpm) käytöissä, kuten vesivoimageneraattoreina. (1; 2; 3.)

2.3.3 Vierasmagnetoidun tahtikoneen toimintaperiaate

Tahtikoneissa toimintaperiaatteena on luoda staattorin ja roottorin napojen välille magneettinen kytkentä. Useimmiten staattoriin kehitetään pyörivä magneettivuoto ja roottoriin kehitetään seisova magneettivuoto, joka pyörii akselin mukana. Moottorikäytössä roottorin seisova magneettikenttä lukkiutuu staattorin vaihtovirralla kehitettyyn pyörivään magneettikenttään, jolloin roottori pyörii täysin samassa tahdissa staattoriin magneettikentän kanssa, josta nimitys tahtikone tulee. Generaattorikäytössä reaktio tapahtuu toisinpäin. Roottoria pyöritetään ulkoisella voimakoneella ja roottorin seisova magneettikenttä indusoi staattorin käämeihin kolmivaiheisen vaihtojännitteen, joka pyörii jälleen täysin samassa tahdissa roottorin kanssa. (1; 4; 5.)



Kuva 2. Generaattorin staattorin ja roottorin magneettikenttien välinen kytKentä a) tyhjäkäynnissä ja b) kuormitettuna. Kuvassa β on tehokulma. (1, s. 3.)

Vierasmagnetoidun tahtikoneen toiminta edellyttää, että roottoriin kehitetään tasainen magneettivuo johtamalla sen käämeihin tasavirtaa. Tasavirta johdetaan käämeihin harjojen ja liukurenkaiden avulla, tai ns. harjattomasti esim. samalle akselille asennetulla ulkonapaisella tahtigeneraattorilla. Roottorin käämeihin johdettu tasavirta saa roottorin navoissa aikaan magneettivuon, joka roottorin pyöriessä leikkaa staattorin käämisauvoja, jolloin käämeihin indusoituu sinimuotoinen lähdejännite.

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \xi_k * f * N * \Phi_m = 4,44 * f * N * \Phi_m \quad (1)$$

ξ_k on käämityskerroin

f on taajuus

N on staattorin vaihekäämin sarjaan kytketyt johdinkierrokset

Φ_m on yhden magneettinavan päävuo.

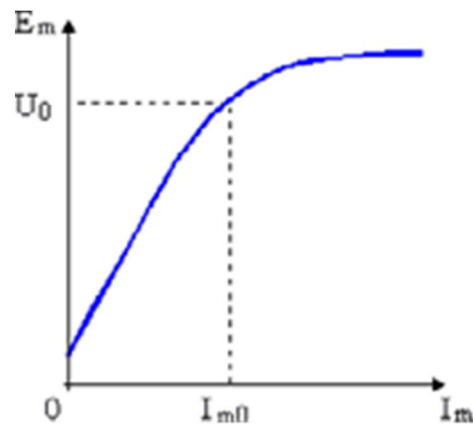
Indusoituvan jännitteen taajuus on riippuvainen roottorin pyörimisnopeudesta n_s sekä generaattorin napapariluvusta p ja niiden välillä on yhtälön mukainen riippuvuussuhde.

$$f = \frac{n_s}{p} \quad (2)$$

Jännitteen amplitudiin vaikuttaa myös koneen ominaisuudet ja roottorin magneettivuon voimakkuus. Magneettivuon voimakkuuteen vaikuttaa käämeissä kulkevan virran voimakkuus, joten syntyvän jännitteen amplitudi on riippuvainen roottorin pyörimisnopeudesta, käämien ominaisuuksista ja magnetointivirran suuruudesta. (1; 2; 4; 5.)

2.3.4 Jännitteen säätö

Koska käämin ominaisuudet ovat vakiot ja jännitteen taajuus eli roottorin pyörimisnopeus pidetään yleensä vakiona, lähdejännitteen suuruutta säädetään muuttamalla magnetointivirtaa. Pyörimisnopeuden pysyessä vakaana on jännitteen kasvu lähes lineaarista suhteessa magnetointivirtaan. Raudan kyllästyessä jännitteen kasvu suhteessa virran kasvuun kuitenkin hidastuu, ja lopulta pysähtyy kokonaan. Tämä nähdään generaattorin tyhjäkäyntikäyrässä Kuva 3.



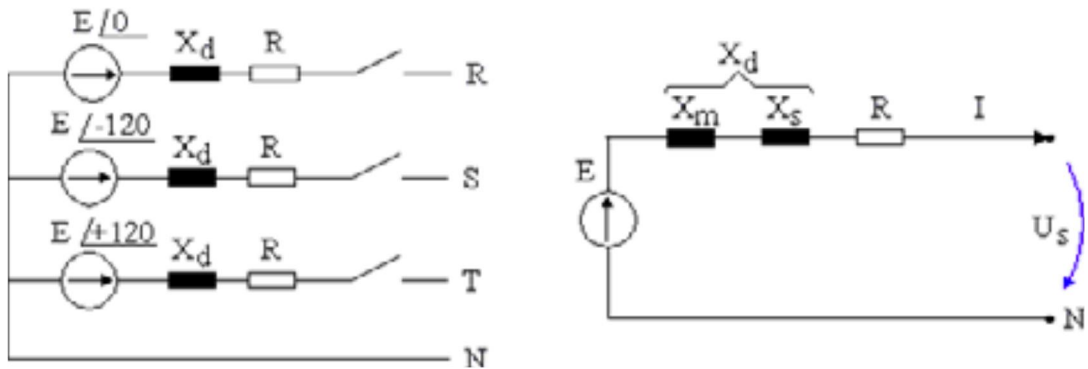
Kuva 3. Staattorikäämityksiin indusoituva lähdejännite E_m magnetoimisvirran I_m funktiona. U_0 on generaattorin nimellisjännite ja I_{m0} on nimellinen magnetointivirta. (1, s. 4.)

Jos koneen rakenne tiedetään tarkkaan, voidaan sen ominaisuuksia kuvata kertoimen avulla jolloin pää- eli lähdejännitteen yhtälö (6) saa yksinkertaisen muodon:

$$E = K_1 * I_m, \quad (3)$$

jossa E on lähdejännite, I_m magnetointivirta ja K_1 koneen ominaisuuksia kuvaava kerroin. (1; 2.)

Staattorin käämeissä syntyvistä häviöistä johtuen pää- eli lähdejännitettä ei kuitenkaan sellaisenaan saada generaattorin liittimistä. Yksinkertaisia laskuja varten generaattoria voidaan mallintaa yksivaiheisella ns. Théveninin lähteellä, joka nähdään Kuva 4.



Kuva 4. Tahtikoneen a) kolme- ja b) yksivaiheinen sijaesityskenttä. X_d on tahti-, X_s on haja- ja X_m magnetoimisreaktanssi. (1, s. 5.)

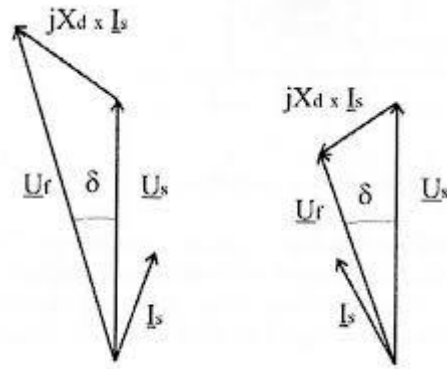
Kuvassa virta on pois päin lähdejännitteestä E eli kone toimii generaattorina. Moottoria mallinnettaessa virran suunta on toisinpäin. Generaattorin liittimistä saatava jännite eli liitinjännite U_s on riippuvainen staattorin sisäisen pääjännitteen E lisäksi myös kuormitusvirrasta I_s , sillä se aikaansaa staattorin sisäisessä impedanssissa Z jännitehäviön.

$$\underline{U}_s = \underline{E} - Z * \underline{I}_s = \underline{E} - (R + jX_d) * \underline{I}_s = \underline{E} - jX_d * \underline{I}_s \quad (4)$$

Staattorin resistanssi on varsinkin isoissa koneissa erittäin pieni reaktanssiin verrattuna, joten se katsotaan usein merkityksettömäksi laskennassa. Näin ollen staattorin sisäistä impedanssia kutsutaan yleensä tahtireaktanssiksi X_d . (1; 2; 4.)

2.3.5 Tehon tarkastelu ja tehokulma

Generaattorin jännitteitä kuormitusilanteessa voidaan havainnollistaa osoitinpiirroksen avulla, joka nähdään Kuva 5. Kuormitusvirta aiheuttaa generaattorin sisäisen pääjännitteen ja liittimistä saatavan napajännitteen välille jännite- ja kulmaeron. Tätä jännitteiden välistä kulmaa kutsutaan tehokulmaksi δ . Tyhjäkäynnissä, jännitteiden välinen tehokulma ja jännite-ero on käytännössä katsoen nolla. Kuvasta nähdään, että induktiivisella kuormitusvirralla koneen liitinjännite U_s on pienempi kuin lähdejännite U_r , kun taas kapasitiivisella kuormalla liitinjännite on suurempi.

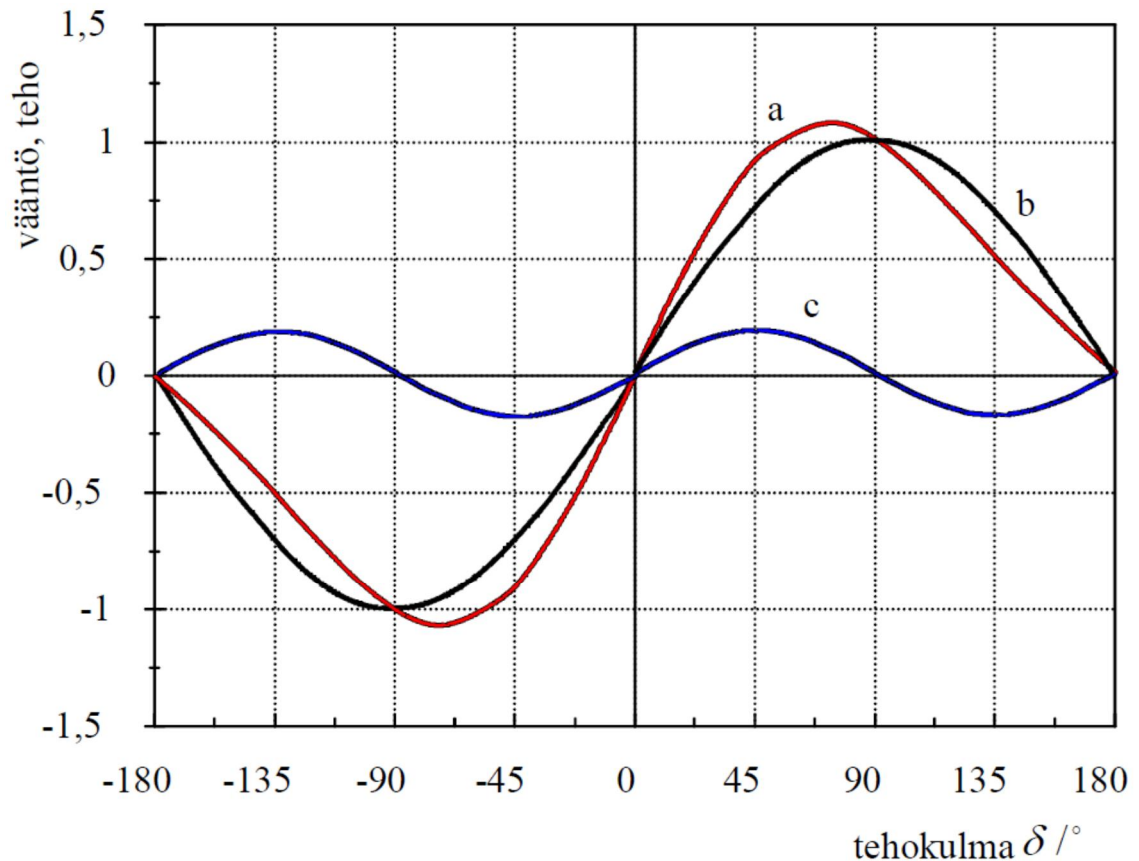


Kuva 5. Tehokulman määrittäminen jännitteiden avulla induktiivisella (vas.) ja kapasitiivisella (oik.) kuormitusvirralla. (2, s. 90.)

Kuva 5 voidaan päätellä, että kulmaero kasvaa kuormavirran mukaan. Kuva 4, yhtälön 7 ja Kuva 5 avulla nähdään myös, että koneen toimiessa generaattorina, virta on yhtälössä positiivista, kulma on positiivinen ja lähdejännite on liitinjännitettä edellä. Virran ollessa negatiivista myös kulma on negatiivinen ja lähdejännite on liitinjännitettä jäljessä, jolloin kone toimii moottorina. Avonapakoneen teho voidaan laskea ns. avonapakoneen tehokulmayhtälöllä 8. (1; 2; 5.)

$$P = 3 \left(\frac{U_{sph} E_f}{\omega_s L_d} \sin \delta + U_{sph}^2 \frac{L_d - L_q}{2 \omega_s L_d L_q} \sin 2\delta \right) \quad (5)$$

U_{sph} on napa- eli liitinjännite ja E_f on lähdejännite ja molemmat ovat yhtälössä vaihejännitteitä. Pääjännitteitä käytettäessä lausekkeen edestä jää pois kerroin 3. Umpinapakoneessa pitkittäis- ja poikittaisinduktanssien L_d ja L_q olleessa yhtä suuret, yhtälön jälkimmäinen termi supistuu nollaan. Tällöin huomataan, että umpinapakoneilla suurin teho saadaan, kun tehokulma on 90 astetta. Avonapakoneella kulma taas on pienempi kuin 90 astetta, sillä induktanssit ovat erisuuret. Induktansseilla on erittäin suuri vaikutus avonapakoneen ominaisuuksiin ja Kuva 6 nähdään tehon ja vääntömomentin riippuvuus tehokulmasta. (5.)



Kuva 6. Avonapakoneen (a) ja umpinapakoneen (b) tehokulmayhtälön kuvaaja. Käyrä (c) esittää avonapatahtikoneen reluktanssivääntömomenttia. (5.)

Jännitteiden välinen kulmaero vastaa myös roottorin navan keskikohdan eli d-akselin ja staattorin magneettivuon symmetriakohdan välistä kulmaa, mitä havainnollistetaan Kuva 2, ja se aikaansaa voimakonetta kuormittavan vääntömomentin. (2, s. 92.)

Edellä todettiin, että generaattorin jännitettä säädellään magnetointivirtaa säätämällä. Kun generaattori on kytketty yleiseen sähköverkkoon eli ns. jäykkään verkkoon, ei liitinjännite kuitenkaan voi nousta verkkojännitettä suuremmaksi. Kuva 7 on avonapageneraattorin staattista tilaa kuvattu tarkemmin jakamalla virta pitkittäis- ja poikittaiskomponentteihin. Pitkittäisvirta I_d synnyttää tasavirtamagnetoinnin käämivuon Ψ_f kanssa yhdensuuntaisen mutta päinvastaisen vuon. Poikittaisvirtaa I_q synnyttää poikittaisen vuon ja sitä kutsutaan myös pätövirraksi, koska se on saman vaiheinen päälähdejännitteen E_f kanssa. Kuvasta nähdään, että lähdejännitteen E_f kasvattaminen kasvattaa myös pitkittäisvirtaa I_d sekä kokonaisvirtaa I_s , jolloin myös virran ja liitinjännitteen U_s välinen tehokerroin φ kasvaa.

, jossa U_r on magnetoimisjännite ja I_r on magnetoimivirta. (4, s. 217-218.)

Kuitenkin useimmiten magnetoimivirta tuodaan roottoriin samalle akselille asennetun ulkonapaisen vaihtosähkögeneraattorin avulla. Tällöin magnetointi tapahtuu harjattomasti, eli liukurenkaita ja hiiliharjoja ei tarvita, jolloin kuluvia osia on vähemmän. Tätä konetta kutsutaan yleensä magnetointikoneeksi tai herätinkoneeksi, ja se toimii periaatteessa päinvastoin päägeneraattoriin nähden. Herätinkoneessa magnetointi on koneen staattorissa ja ankkuri on roottorissa, joka pyörii yhdessä pääkoneen eli generaattorin akselin kanssa. Herätinkoneen staattoriin johdetaan myös tasavirtaa, jolloin sen luoma magneettipiiri indusoi vaihtojännitteen herätinkoneen roottorikämeihin. Sitteen vaihtojännite tasasuunnataan akselille asennetulla diodisillalla ja johdetaan pääkoneen magnetointiin. (2; 4.)

Magnetoimiteho voidaan tuottaa laitteiston sisäisesti esim. generaattorin akselille asennetulla PMG-koneella eli kestopagneettigeneraattorilla tai ottamalla teho suoraan päägeneraattorin liittimistä. Generaattorin roottoriin jäävän remanenssivuon ansiosta generaattori tuottaa pienen jännitteen ilman, että roottoriin syötetään magnetoimivirtaa, jolloin liittimistä saadaan virtaa magnetoimintia varten ja jännitettä voidaan pikkuhiljaa kasvattaa. Näissä tapauksissa generaattoria kutsutaan itseherätteiseksi, sillä kone ei tarvitse toimiakseen pyörittävän voimakoneen lisäksi mitään ulkoista tehonlähdettä. Generaattoria voidaan myös syöttää ulkoisesta tasa- tai vaihtojännitelähteestä käyttämällä esim. verkkovirtaa tai akustoa, jolloin tehontuotto on periaatteessa varmistettu.

Jos magnetoimiteho otetaan suoraan generaattorin liittimistä, saattaa oikosulkutilanne aiheuttaa ongelmia, sillä oikosulussa generaattorin liitinjännite saattaa pudota hyvin pieneksi. Oikosulun tapahtuessa samassa vaiheessa josta magnetoimiteho otetaan, magnetoimintilaite ei välttämättä saa tarpeeksi virtaa magnetoimitehon tuottamiseksi, jolloin oikosulkuvirta putoaa nopeasti liian pieneksi suojalaitteiden toiminnan kannalta. Tästä syystä on käytettävä virtamuuntajia, jotta magnetoimintikoneelle saadaan tarpeeksi virtaa. (1; 2, s. 89; 3, s. 217-219.)

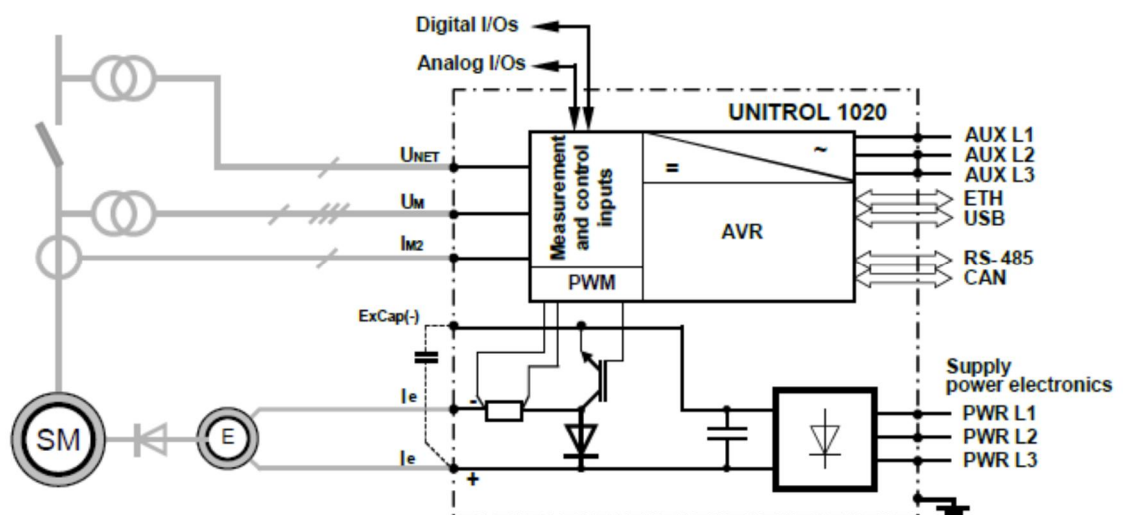
2.4 AVR eli automaattinen jännitteensäädin

Magnetoimintikoneelle syötetään virtaa useimmiten erillisellä magnetoiminnan säätölaitteella, joka toimii "automaattisesti". Koska magnetoimintivirralla säädetään generaattorilla

tuotettavaa jännitettä, tätä laitetta kutsutaan automaattiseksi jännitteensäätäjäksi eli AVR:ksi. Jännitteensäätäjillä voidaan useimmiten säätää generaattoria erilaisissa käyttösovelluksissa ja sen säätöominaisuuksiin kuuluu yleensä vähintään reaktiivisen kuorman säätö, jännitteen rajoitus taajuuden funktiona, reaktiivisen virran tai tehokerroimen säätö, pehmokäynnisty: jännitteen nosto, magnetoinnin maksimi ja minimirajoitukset, reaktiivisen virran maksimi ja minimirajoitukset, napakulman rajoitus, manuaalinen ajo ja rinnankäyttöominaisuudet, kuten tahdistus. Tässä työssä tullaan käyttämään ABB:n Unitrol-1020-mallin jännitteensäätäjää, joten työssä keskitytään vain sen ominaisuuksiin. (2.)

2.4.1 Unitrol-1020

ABB:n Unitrol-1020 on tahtikoneiden magnetointiin ja ohjaukseen tarkoitettu automaattinen jännitteensäädin. Säädin käyttää ohjaukseen mikroprosessoria ja magnetointivirran syöttö tapahtuu IGBT-transistoreilla. Kaikki ohjaustoiminnot voidaan suorittaa joko suoraan laitteessa olevalta ohjauspaneelilla tai etäohjauksena esim. tietokoneelle asennettavalla CMT-1000-ohjelmistolla. Kuva 8 näyttää säätimen kytkentäkaavio.

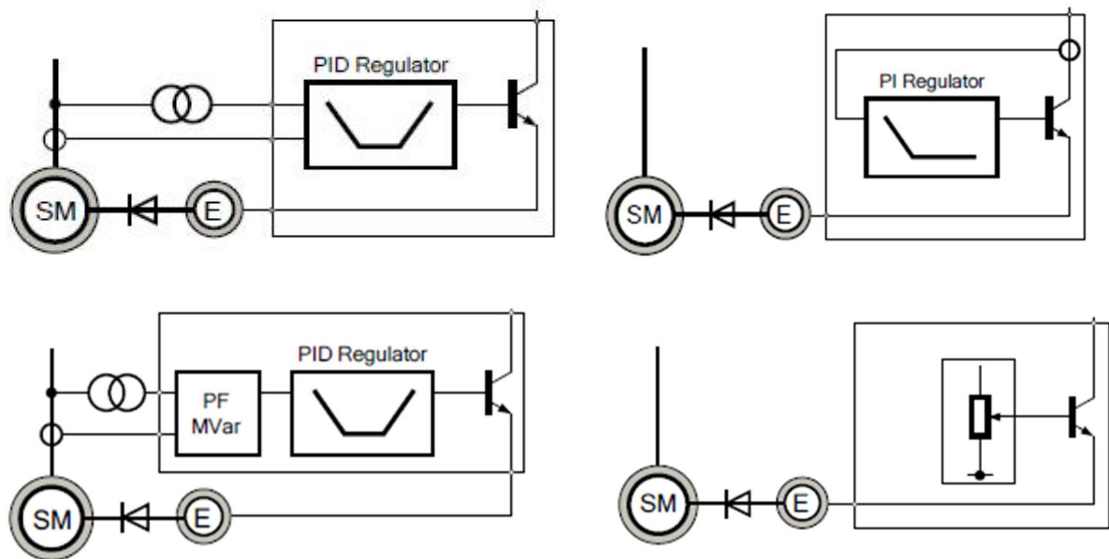


Kuva 8. Unitrol-1020-jännitteensäätäjän kytkentäkaavio (13)

Käytössä tarvittavat säätöominaisuudet riippuvat siitä, ajetaanko generaattoria yksin, onko se kytketty rinnakkain toisen tai usean generaattorin kanssa vai käykö se rinnan jäykän verkon eli esim. valtion verkon kanssa. Kahdessa jälkimmäisessä tapauksessa generaattori tulee tahdistaa muun verkon kanssa.

2.4.2 Toiminnot

Unitrol-1020-säätimessä on neljä erilaista toimintatilaa. Automaattinen jännitteensäätö säätelee generaattorin liitinjännitettä automaattisesti. Manuaalisessa tilassa käyttäjä säätelee itse magnetointivirtaa, eikä tilassa käytetä rajoittimia. Loistehon säätö säätelee generaattorin tehokerrointa tai loistehoa esim. jäykkään verkkoon kytkettynä, jolloin liitinjännitettä ei voida säätää. Avoin piiri tilaa käytetään yleensä vain koekäytöissä ja siinä säätäjä lähettää vain sille määrättyä vakiosignaalia. Myös tässä tilassa kaikki rajoittimet ovat poissa käytöstä.



Kuva 9. Unitrol-1020-säätimen neljä toimintatilaa. Automaattinen jännitteensäätö (vas ylä), manuaalinen tila (oik ylä), loistehonsäätö (vas ala) ja avoin piiri -tila (oik ala)

Säätäjälle asetellaan magnetoinnin ja generaattorin nimellisarvot sekä verkon nimellisarvot, jos generaattori halutaan tahdistaa valmiiseen sähköverkkoon. Kaikissa toimintotiloissa asetellaan säätöä varten minimi-, maksimi- ja ramppiarvot. Lisäksi kaikissa tiloissa loissäätöä lukuun ottamatta on aloitusohjearvo. Sekä automaattinen jännitteensäätö että loistehon säätötila käyttävät magnetointivirran säätämiseen PID-säädintä, jonka virittäminen on säädön hyvän toiminnan kannalta tärkeää.

Erikoiskäyttöjä varten säätimestä löytyy lisäparametreja. Mikäli generaattorin taajuus on muuttuva, Unitrol-1020 säätelee ”kceiling”-kerrointa, kun ”variable kceiling, Kc Freq Drop” -asetus on valittuna. Säätö tapahtuu lineaarisesti mitatun taajuuden mukaan nimellistaajuuden ollessa perusarvo.

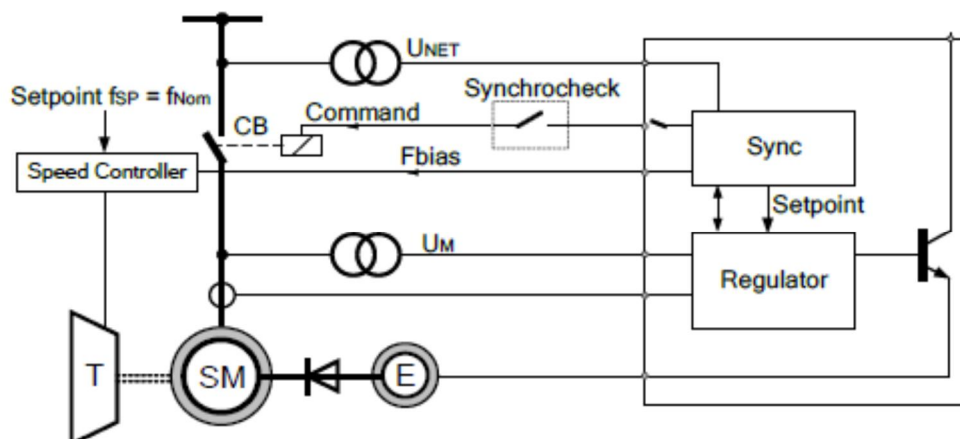
Toimintatilojen lisäksi säätimessä on käynnistys ja on-line-toimintoja sekä useita erilaisia rajoittimia, joita käytetään yhdessä jännitteensäätö- ja loistehonsäätötilojen kanssa.

2.4.3 Rinnan käyttö ja verkkoon tahdistus

Jotta generaattorien rinnankäyttö tai jäykkään verkkoon liittyminen voidaan toteuttaa, täytyy liittyminen tehdä tahdistamalla. Tahdistus tapahtuu nostamalla liitettävän generaattorin jännite ja taajuus verkon tasolle. Jotta tahdistus on mahdollista, täytyy seuraavien ehtojen koneiden tai sähköverkon ja koneen kesken täytyä:

- Jännitteiden suuruudet ovat hyvin lähellä toisiaan.
- Verkon ja generaattorin jännitteiden taajuudet ovat lähellä toisiaan.
- Jännitteiden välillä ei ole vaihe-eroa.
- Vaihejärjestys on sama verkon ja generaattorin kesken.

Unitrol-1020-säätäjästä löytyy valinnaisena ominaisuutena automaattinen tahdistustoiminto (SYNC). Säätäjälle annettujen parametrien perusteella Unitrol-1020 mittaa verkon ja generaattorin jännitteitä ja lähettää nopeudensäätäjälle joko analogisesti tai digitaalisesti ohjaussignaalia, sekä ohjaa katkaisijan kiinni, kun tahdistusehdot täyttyvät. Jos vaihejärjestykset täsmäävät, voidaan kytkin sulkea sillä hetkellä, kun samassa vaiheessa verkon ja generaattorin välinen vaihe-ero lähestyy nollaa. Yleensä generaattorin taajuus nostetaan hieman verkon taajuutta korkeammaksi, jotta verkon ja generaattorin vaihejännitteiden välinen kulmaero saadaan hitaasti muuttumaan, mutta sama tulos saavutetaan myös ajamalla generaattoria verkon taajuutta hitaammin.



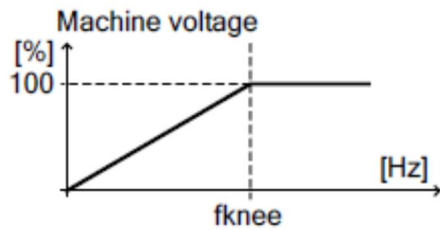
Kuva 10. Tyypillinen tahdistamiseen käytetty sovellus

Tahdistuksen ei koskaan pitäisi tapahtua pelkästään laskelmien perusteella, vaan mitaukset ovat välttämättömiä. Mikäli tahdistusehdot eivät täyty, voi generaattorin kytkentä verkkoon aiheuttaa verkossa vian tai oikosulun ja pahimmassa tapauksessa vahingoittaa generaattoria. Tästä syystä erillinen käsin käytettävä ”synchrocheck” rele voi olla tarpeen. Tällöin tahdistusta valvoo henkilö, joka varmistaa, että tahdistusehdot täyttyvät ja tahdistus voidaan toteuttaa turvallisesti. AVR hoitaa tahdistuksen automaattisesti, mutta lopullinen tahdistus voi tapahtua vasta valvovan henkilön kuitattua ”synchrocheck”-releen.

Generaattorien rinnankäytössä koneet eivät voi säädellä liitinjännitettään vapaasti vain omien ohjearvojensa mukaan, vaan ns. yhteistyö koneiden kesken on tarpeen. Tätä varten säätimessä on ”on-line”-toimintona VDC-ominaisuus. Tämä toiminto jakaa loistehokuorman samassa verkossa olevien generaattorien kesken käyttäen jännitesäätimien keskinäistä keskustelua varten RS485-väylää. VDC-moodissa kaikki säätimet ovat automaattisessa jännitteensäätö-tilassa. Jokainen säädin lähettää RS-485-väylää pitkin arvon omasta loistehokuormastaan, jonka perusteella ennakkoon määrätyt säätimet laskevat loistehokuorman yhteisen keskiarvon koneiden kesken. Keskiarvon perusteella säädin kompensoi ns. drooppiaan eli jännitestatiikkaa. VDC-moodia voidaan käyttää kisko- tai rengasverkossa molemmille löytyen omat säätönsä. (2. s. 106-107; 13. s. 51-54.)

2.4.4 Rajoittimet

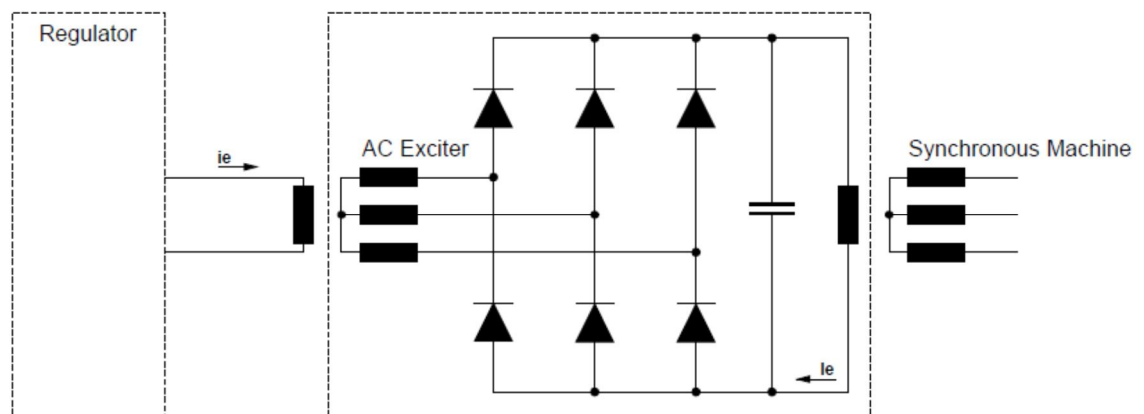
Säätimessä on erilaisia rajoitus- sekä tarkkailutoimintoja, joilla suojataan generaattoria ja verkkoa tai pidetään toiminta vakaana. V/Hz- rajoitin eli jännite/taajuusrajoitin tarkkailee taajuutta ja rajoittaa jännitettä. Taajuuden laskiessa alle generaattorin nimellisarvon, joudutaan magnetointivirtaa kasvattamaan, jotta jännite pysyisi nimellisarvossaan. Tällöin magnetointivirta jouduttaisiin nostamaan yli nimellisarvon, joten liitinjännitettä säädetään pienemmäksi taajuuden laskiessa, jottei magnetointipiiri ylikuormittuisi. Kulmapiste eli ns. ”knee point” on yleensä 90 % nimellistaajuudesta, jonka jälkeen jännitettä aletaan rajoittaa kaltevuuskulman mukaan. Säätimelle asetetaan taajuusarvo ja ramppiarvo, jolla jännitettä aletaan laskea. (13.)



Kuva 11. Jännite/taajuus (V/Hz) rajoittimen toiminnan kuvaaja.

Muita rajoittimia ovat mm. minimi- ja maksimimagnetointivirta, loistehorajoin, generaattorin jännite- ja virtarajoittimet, sekä virranrajoitukset lämpötiloista johtuen.

Harjattomasti magnetoidussa generaattorissa roottorikämeihin johdetaan magnetointivirta akselille asennettujen diodien kautta eikä roottorin sisäistä magnetointipiiriä ja virtaa voida tästä syystä mitata suoraan. Tätä varten säätimessä on RDM- eli pyörivien diodien monitorointitoiminto, joka arvioi magnetointikoneen roottoripiiriin indusoitunutta virtaa, jotta voitaisiin havaita tasasuuntauspiirin diodien rikkoutuminen tai oikosulku.



Kuva 12. Magnetointikoneen pyörivien diodien monitorointisovellus. (13. s. 68.)

Jännitteensäätimestä löytyy asetuksia ja säätömahdollisuuksia moniin eri tilanteisiin, mutta tässä työssä tullaan käyttämään vain pientä osaa näistä, mikä johtuu käytön yksinkertaisuudesta. (13.)

Kuva unitrol-1020 jännitteensäätäjästä nähdään liitteessä 1.

3 Suunnitelmat

Suunnitteluvaiheessa määritellään apusähkönsyöttöjärjestelmään tarvittavat laitteet, kuten moottori, generaattori, taajuusmuuttaja ja pääkeskus, suunnitellaan kaapelointireitit ja asennuspaikat, valitaan kaapelit ja suojauslaitteet sekä tehdään asennus- ja käyttöönottosuunnitelmat.

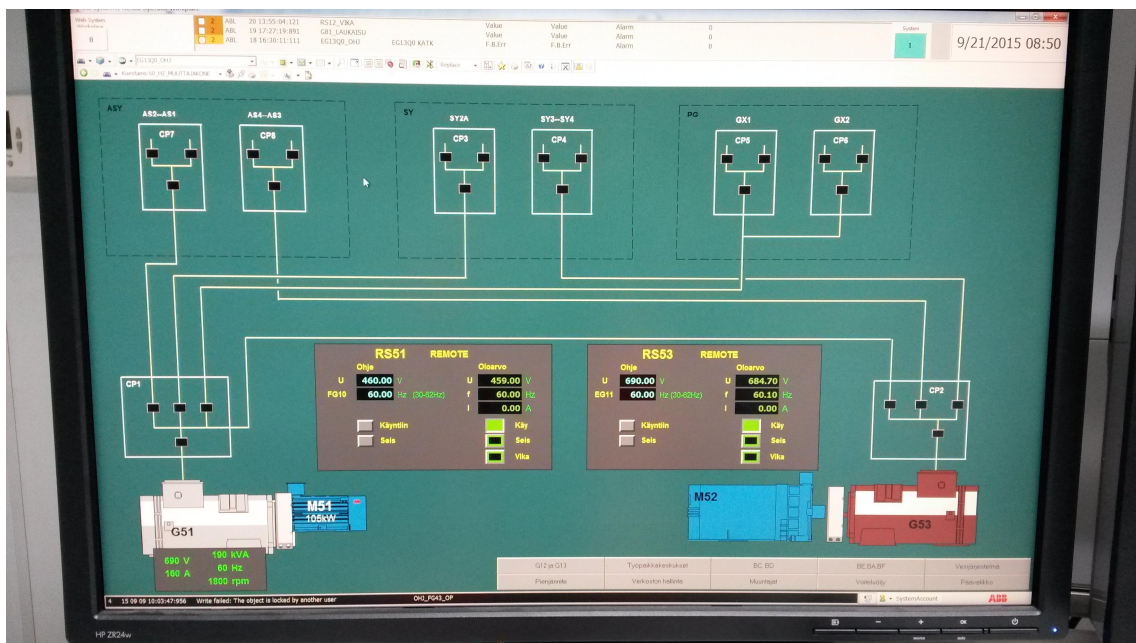
Projektin tavoitteena on suunnitella ja rakentaa uusi apusähkönsyöttöjärjestelmä, jolla syötetään tehtaalla valmistettavien ja koestettavien sähkökoneiden apumoottoreita ja puhaltimia. Apusähköverkon syöttämiseen käytetään generaattoria, jolloin verkon taajuus ja käyttöjännite voidaan määritellä aina tarpeen mukaan. Generaattorin syöttämän verkon jännitealueeksi on määritelty 200–690 V ja taajuusalueeksi 30–60 Hz. Sähköverkkoa halutaan syöttää generaattorilla, jotta saadaan mahdollisimman sinimuotoista ja häiriövapaata virtaa. Generaattorilla voidaan helposti myös vastata moottoreiden verkosta ottamaan loistehon tarpeeseen, josta ei näin ollen synny kuormaa muuhun verkkoon. Apusähköverkko on erotettu muista tehtaan sähköverkoista ja verkkoon kytketään ainoastaan koestettavien koneiden apumoottoreita, joten mahdolliset viat eivät aiheuta häiriötä muille laitteille. Generaattoria pyöritetään erillisellä voimakoneella ja tähän tarkoitukseen soveltuu erittäin hyvin taajuusmuuttajaohjattu oikosulkumoottori.

Uuden generaattorikoneiston päätarkoituksena on korvata tehtaan generaattoriosaston eli PG-puolen koestamolle tuleva tehonsyöttö, joka nykyisin tulee moottoripuolelta. Näin generaattori- ja moottoripuolen apusähköverkot saadaan erotettua toisistaan ja niissä voidaan koestaa eri jännitteillä tai taajuuksilla toimivia koneita samaan aikaan. Uuden laitteiston tulee olla etäohjattava, eli se automatisoidaan, jotta verkkoa voidaan tarkkailla ja ohjata valvomoista käsin. Uusi apusähköverkko myös liitetään nykyiseen verkkoon ja järjestelmästä on tarkoitus tehdä nykyistä järjestelmää monipuolisempi niin, että PG-koestamon keskuksia syöttävää generaattoria voidaan vaihtaa.

Laitteiston määrittelyihin ja suunnitteluun kuuluu mm. generaattori, jännitteensäädin, moottori, taajuusmuuttaja, koneiden alusta ja kytkin sekä kaikki kaapeloinnit ja uusi generaattorin syöttämä pääkeskus sekä ohjauskeskus. Laitteiston automatisoinnin hoitaa pääasiassa ABB:n oma automaatio suunnittelija.

3.1 Nykyiseen järjestelmään tutustuminen

Konetehtas on jaettu kahteen osaan: moottori- ja generaattori puoleen. Lisäksi moottori puoli on vielä jaettu tahti- ja epätahtikoneisiin. Näillä jokaisella konepuolella on kaksi omaa koestuskenttää ja apusähköistykseen tarkoitettua jakokeskusta, jota syötetään generaattoreilla. Nykyiseen apusähköjärjestelmään kuuluu kaksi generaattoria, joilla saadaan tuotettua 690 V:n jännite 60 hertsillä ja jotka molemmat on sijoitettu moottori puolelle. Koneet pystyvät tuottamaan 690 V:n jännitteen myös 50 hertsillä, tosin hyvin heikolla teholla, mutta tämä jännite saadaan kuitenkin myös suoraan jakelumuuntajista. Uuden generaattorin toivottiin kuitenkin pystyvän tuottamaan 690 V:n jännite myös 50 hertsillä, joten se on yksi kriteeri uuden koneen valinnassa. Nykyisessä järjestelmässä syötöt ovat käytännössä kiinteitä, eikä syöttävää tai syötettävää pistettä voi vaihtaa muuttamatta kytkentöjä.



Kuva 13. Nykyisen apusähköjärjestelmän ohjauspaneeli ja kytkentäkuva.

Molemmat generaattorit on kytketty omiin pääkeskuksiinsa CP1 ja CP2, joista on lähöt koestuskenttien jakokeskuksille. Pääkeskukset CP1 ja CP2 on kuitenkin yhdistetty toisiinsa keskusten välille asennetulla kaapelilla, jolloin ne voidaan kytkeä yhteen keskuksessa olevan erottimen avulla. Tämä on hyödyllinen siksi, että kaikkiin koestuskenttien keskuksiin on mahdollista saada virtaa myös toisen generaattorikoneisten vioituessa tai huollon aikana. Siksi myös uusi generaattori ja apusähköverkko liitetään nyky-

seen verkkoon. Generaattoreita ei kuitenkaan koskaan käytetä rinnakkain, eikä rinnanajoa nähty tarpeelliseksi myöskään uuden generaattorin kanssa.

3.2 Liittyminen nykyiseen verkkoon

Uusi generaattori asennetaan ASA-02-muuntamoon rakennuksen PG- eli generaattori-päähän, joka sijaitsee tehdasrakennuksen länsipäässä. Generaattorilla tullaan syöttämään generaattori- eli PG-koestamoa, joka on lähes muuntamon yläpuolella sekä tarpeen vaatiessa myös moottoripuolen koestamoita, jotka taas ovat rakennuksen toisessa päässä. PG-koestamossa on kaksi koestuskenttää GX1 ja GX2 omilla jakokeskussillaan CP5 ja CP6, joiden syöttö tulee moottoripuolella sijaitsevalta nykyisen generaattorin pääkeskukselta CP1. Syöttö tulee keskukselle CP5, jonka rinnalle CP6 on kytketty lyhyen välikaapelin avulla. Tarkoitus on erottaa keskuksset niin, että molempiin keskuksiin tulee oma syöttökaapeli uudelta keskukselta, jolloin ne voidaan erottaa ja tarvittaessa syöttää niitä erikseen uudella ja nykyisellä generaattorilla. Uusi generaattori liitetään nykyiseen verkkoon CP1-keskukselta tulevalla syöttökaapelilla, joka jatketaan tai käännetään uudelle keskukselle, jolloin se toimii linkkinä generaattoreiden ja niiden keskusten välillä.

Kaapelireitti koestamon ja muuntamon välillä kulkee muuntamon sekä öljyhuoneen katon rajassa tikashyllyä pitkin ja nousee katon läpi tehdasalueen lattiatasolle. Tehdasalueella reitti kulkee hallin betonilattiaan aikaisemmin kaiverretun kourun sisällä myös tikashyllyllä ja koestamon alueelle tultaessa tikashylly nousee betonilattian ja korotetun lattian väliin. Reitti on yhteensä noin 50 metriä pitkä. Kaapelointia ja uuden keskuksen sijoitusta pohdittiin kahden eri vaihtoehdon välillä.

3.2.1 Vaihtoehto 1

Koestamoon asennetaan uusi jakokeskus, johon tuodaan nousukaapeli uudelta generaattorilta. Tällöin koestamon ja muuntamon väliin tarvitaan vain yksi kaapeli. Keskukseseen liitetään koestamon keskuksset CP5 ja CP6 uusilla kaapeleilla ja käännetään nykyinen CP1-keskukselta tuleva syöttökaapeli. Uuteen keskukseseen asennetaan kontaktorit tai vaihtokytkimet ja sulakkeet, jotta keskuksia syöttävää generaattoria voidaan helposti vaihtaa. Muuntamoon joudutaan kuitenkin asentamaan toinen keskus tai kytkinlaite, jossa generaattori voidaan erottaa, ja josta generaattorin lähtöjännite voidaan

lukea paikallisesti. Koestamossa ei kuitenkaan ole kovin paljon tilaa uudelle keskukselle ja reitistä johtuvan kuormituskertoimen vuoksi generaattorilta vedettävän kaapelin koko nousee melko suureksi.

3.2.2 Vaihtoehto 2

Generaattorin jakokeskus asennetaan muuntamoon, jolloin mittaukset, generaattorin ohjaus ja koestamon keskusten syöttöjen ohjaus tapahtuu muuntamossa. Tällöin tarvitaan vain yksi pääkeskus ja ohjauskeskus, mutta syöttöjen on ehdottomasti oltava etäohjattavat eli tarvitaan kontaktorit tai moottoriohjatut vaihtokytkimet. Nykyinen syöttökaapeli CP1:ltä joudutaan jatkamaan muuntamoon ja koestamon keskuksilta joudutaan vetämään uudet kaapelit muuntamoon asti, jolloin reitille joudutaan asentamaan kolme uutta kaapelia.

3.3 Uuden generaattorikoneikon määrittely

Uutta generaattorikojeistoa on lähdetty suunnittelemaan jo ennen tämän työn aloittamista ja joitakin alustavia valintoja on tehty, joiden pohjalta laitteiden määrittely hieman helpottui. Uusi koneikko tulee olemaan hyvin samanlainen jo tehtaalla olemassa olevan generaattorikojeiston kanssa, joten sitä voidaan käyttää mallina uuden kojeiston suunnittelussa. Projektia varten on varattu teholtaan sopiva käyttämätön taajuusmuuttaja, joten se vaikuttaa myös muiden laitteiden valintaprosessiin. Taajuusmuuttaja on ABB:n valmistama ACS580-01-206A-4, jonka nimellisteho on 110 kW ja nimellisvirta 206 A

3.3.1 Generaattori

Koestettavissa koneissa on useita erilaisia apumoottorikokoonpanoja, ja jotta tehontarve saataisiin määriteltyä, kysyttiin työnjohdolta arviota mahdollisesta maksimitehosta. Suurimmaksi tehontarpeeksi PG-koestamossa arvioitiin tilanne, jossa kahdeksaa 7,5 kW:n puhallinta ajetaan samanaikaisesti. Näin ollen koneiden ottama kokonaispätöteho olisi 60 kW. Generaattorin täytyy kuitenkin pystyä tuottamaan myös moottoreiden tarvitsemaa loistehoa. Varsinkin pienitehoisilla moottoreilla tehokerroin saattaa olla melko alhainen, jolloin näennäistehon tarve on pätötehoa suurempi. Lisäksi moottorit ovat lähes aina DOL-käyttöisiä eli suoraan verkkoon kytkettäviä, jolloin ne ottavat käynnistyessään moninkertaisen virran nimellisvirtaansa nähden, jonka generaattorin on pys-

tyttävä hetkellisesti tuottamaan. Lisäksi joskus saattaa olla tarvetta syöttää generaattoreilla tehoa samaan aikaan myös moottoripuolelle, joten pieni ylirajoitus on tarpeen. Tällainen tilanne tulee tosin kyseeseen todennäköisesti vain, jos moottoripuolen mo-
lemmat generaattorit ovat huollossa ja on täten erittäin harvinaisen.

Nykyisillä generaattoreilla on tehoa noin 190 kVA, ja uusi kone tulee olemaan samaa kokoluokkaa. Uusi generaattori kuitenkin käytännössä jakaa nykyistä tehontarvetta, sillä se tulee syöttämään pääasiassa vain PG-koestamoita, joka näin ollen poistuu nykyisen koneen tehonsyötöstä. Alustavasti generaattoriksi on suunniteltu Stamfordin UCI274G-mallia, jonka nimellisteho on 175 kVA ja nimellistaajuus 50 Hz.

UCI274G**STAMFORD**

Winding 25 / 0.8 Power Factor

50Hz**RATINGS**

Class - Temp Rise	Cont. F - 105/40°C		Cont. H - 125/40°C		Standby - 150/40°C		Standby - 163/27°C	
Series Star (V)	660	690	660	690	660	690	660	690
Parallel Star (V)	330	345	330	345	330	345	330	345
Series Delta (V)	380	400	380	400	380	400	380	400
kVA	160.0	160.0	175.0	175.0	182.0	182.0	189.0	189.0
kW	128.0	128.0	140.0	140.0	145.6	145.6	151.2	151.2
Efficiency (%)	92.5	92.7	92.2	92.4	92.0	92.3	91.9	92.2
kW Input	138.4	138.1	151.9	151.4	158.2	157.7	164.6	164.0

Kuva 14. Generaattorimallin UCI274G nimellisarvoja

Vaihtoehtoksi alustavalle mallille otettiin myös toinen Stamfordin 4-napainen kone 690 voltin nimellisjännitteellä, mutta 60 hertsin nimellistaajuudella. UCI274E on nimellisteholtaan hieman pienempi kuin UCI274G. Tehon pitäisi kuitenkin olla riittävä, sillä taajuusmuuttajan nimellisteho on 110 kW ja tehohäviöistä johtuen moottorilla ei saada pätötehoa siirrettyä generaattorille jatkuvasti kuin maksimissaan noin 100 kW.

Koneiden suorituskykyä tarkemmin tutkiessa kävi kuitenkin ilmi, että nimellisjännitteen tuottaminen nimellistä pienemmällä taajuudella on vaikeampaa, koska magnetointivirtaa joudutaan tällöin kasvattamaan. UCI274E kone siis pystyisi tuottamaan 690 V 60 hertsillä mutta ei 50 hertsillä. Nykyisillä koneilla 50 Hz:llä ja 690 voltin jännitteellä saadaan tuotettua vain heikko teho, ja uudelle generaattorille se on yksi valintakriteereistä, joten UCI274E-malli ei siis ole tähän käyttöön sopiva.

UCI274E
Winding 27 / 0.8 Power Factor

STAMFORD

60Hz

RATINGS

Class - Temp Rise	Cont. F - 105/40°C		Cont. H - 125/40°C		Standby - 150/40°C		Standby - 163/27°C	
Series Star (V)	660	690	660	690	660	690	660	690
Parallel Star (V)	330	345	330	345	330	345	330	345
Series Delta (V)	380	400	380	400	380	400	380	400
kVA	147.0	147.0	160.0	160.0	167.0	167.0	172.0	172.0
kW	117.6	117.6	128.0	128.0	133.6	133.6	137.6	137.6
Efficiency (%)	92.2	92.4	91.9	92.2	91.8	92.1	91.7	92.0
kW Input	127.6	127.2	139.2	138.8	145.6	145.1	150.1	149.6

Kuva 15. Generaattorimallin UCI274E nimellisarvoja

Generaattorivalmistajalta pyydettiin lisätietoja UCI274G-mallin suorituskyvyistä. Valmistajalle lähetettiin tiedot vaadittavista jännitteistä 60 Hz:llä, 50 Hz:llä ja 30 Hz:llä sekä vaadittavasta tehosta, jonka tulisi olla noin 170 kVA. Valmistajalta saatiin vastaus, ettei koneita yleensä mitoiteta toimimaan kuin yhdellä taajuudella, mutta nimesi kuitenkin tähän käyttöön UCI274G-mallin, sekä laskelmat jännitteistä ja tehoista eri taajuuksilla. Laskelmien perusteella koneesta saadaan 690 voltia 60 Hz:llä ja 400 voltia 30 Hz:llä, joten UCI274G-malli valittiin generaattoriksi.

Generaattorissa on yhteensä 6 käämiä ja 12 käämiliitäntää. Se voidaan siis kytkeä usealla eri tavalla ja kytkentää on mahdollista vaihtaa. Valmistaja antaa jännitearvot kolmelle eri kytkentätavalle: sarjaan kytketty tähti 690 V, rinnan kytketty tähti 345 V ja sarjaan kytketty kolmio 400 V. Generaattorin nimellisvirta tähteen kytkettynä on 146 A ja kolmioon kytkettynä 253 A. Generaattorilla saadaan kehitettyä 690 voltin jännite ainoastaan tähtikytkennällä, joten se tullaan kytkemään tähteen. Tähteen kytkettynä generaattorista saadaan myös käytännössä mikä tahansa alle 690 V:n jännite pienentämällä magnetointivirtaa. Tällöin koneesta saatava teho kuitenkin laskee lineaarisesti liitinjännitteen suhteen ja on esim. 400 voltilla 138,5 kVA, sillä tähteen kytkettynä staattorikämit sallivat vain nimellisvirran eli 146 A:n suuruisen virran.

3.3.2 Moottori

Moottoriksi valittiin myös nelinapainen kone, jolloin koneiden välille ei tarvita vaihteita ja akselien välinen kytkin tulee olemaan mahdollisimman yksinkertainen. Alustavassa

suunnitelmassa moottoriksi oli valittu ABB:n M3BP 280 SMB 4, jonka nimellisteho on 90 kW. Koska moottorin nimellisteho on taajuusmuuttajaa pienempi, eikä koneen käynnistämiseen tarvita suurta käynnistysvirtaa ajateltiin, että kone voisi olla teholtaan astetta isompi. Vaihtoehtoiksi 90 kW:n moottorille valittiin saman akselikokoluokan M3BP 280 SMC4 (110 kW) sekä seuraavan akselikokoluokan M3BP 315 SMA4 (110 kW) ja M3BP 315 SMB4 (132 kW).

Taulukko 1. Moottoreiden nimellisarvoja

Moottorityyppi	P _n	N _n	I _n	T _n	Cos φ	Hyötysuhde	100 %	75 %	50 %
M3BP 280 SMB4	90	1483	160	579	0,86		94,7	94,8	94,4
<u>M3BP 280 SMC4</u>	110	1485	194	707	0,86		95,1	95,2	94,7
M3BP 315 SMA4	110	1487	194	706	0,86		95,1	95,1	94,3
M3BP 315 SMB4	132	1487	232	847	0,86		95,4	95,4	94,7

M3BP 315 SMB4 on teholuokaltaan jo turhan iso, koska taajuusmuuttajan teho on vain 110 kW:a, jolloin konetta jouduttaisiin aina ajamaan aliteholla. Generaattorin akselikorkeus on 270 mm, joten 280-kokoluokan kone, jonka akselikorkeus on 280 mm, on helppo sovittaa yhteen generaattorin kanssa. M3BP 315 SMA4 (110kW) on akselikorkeudeltaan 45 mm korkeampi kuin generaattori, jolloin fyysinen yhteensovittaminen on hieman hankalampaa.

Suurempitehoisella moottorilla generaattorista saadaan tarvittaessa jatkuvasti enemmän pätötehoa ja koneen vääntömomentti riittää paremmin kuorman muutoksiin varsinkin 60 Hz:llä ajettaessa, kun moottoria käytetään kentänheikennysalueella. Hyötysuhde on myös parhaimmillaan useimmiten noin ¾-kuormalla, jolloin suuremmalla koneella häviöt ovat pienemmät. Parhaaksi moottorivaihtoehdoksi valittiin näin ollen M3BP 280 SMC4.

3.4 Kaapelointi ja suojaukset

Kaapelien mitoituksessa mietitään ensisijaisesti käytössä tarvittavaa kuormitusvirtaa. Kaapelien on kestävä jatkuva kuormitusvirta ilman, että kaapelin lämpötila nousee yli 70 °C:n, jotta kaapelin elinikä olisi mahdollisimman pitkä. Kaapelireitti ja sen olosuhteet tulee myös ottaa huomioon, sillä ne saattaa vaikuttaa kaapelin kuormitettavuuteen tai

kestävyyteen. Kaapelien ja suojauksen mitoitus täytyy myös tehdä niin, että oikosulku- ja ylikuormitussuojaus on mahdollista toteuttaa, asennus on turvallinen käyttää ja aiheuttaa vikatapauksessa mahdollisimman vähän vahinkoa.

3.4.1 Moottori ja taajuusmuuttaja

Taajuusmuuttajan nimellisvirta on 206 A ja moottorin 194 A. Käytön aikana moottorin kuormana toimii generaattori ja sen syöttämään verkkoon kytketyt laitteet, mutta koneikkoa ei tarvitse käynnistää kuormitettuna. Moottori on kuitenkin aina kiinni generaattorissa, joten käynnistykseen tarvitaan ainoastaan koneikon kokonaishitausmassan kiihdyttämiseen vaadittava virta, eikä kiihdytyksen tarvitse olla erityisen nopea. Taajuusmuuttajaohjattuna moottorin käynnistys ja kiihdytys eivät vaadi suurta virtaa kuten esim. DOL-käytössä eli suoraan verkkoon kytkettynä.

Taajuusmuuttajan ohjekirjasta saatiin selville, että runkokoon R7 suojaukseen on käytettävä erittäin nopeita aR/gR-sulakkeita, joiden toiminta-aika on 0,5 s. Ohjekirja kertoo myös, että taajuusmuuttaja suojaa moottoria ja moottorikaapelia sekä itseään ylikuormitukselta, kun kaapelit mitoitetaan oikein kuormituksen mukaan. Näin ollen jakokeskukseen asennettava suojaus voidaan mitoittaa lähinnä syöttökaapelissa tai taajuusmuuttajassa tapahtuvaa oikosulku varten.

Taajuusmuuttajaa syöttävään keskukseen asennetaan 250 A:n kytkinvaroke, joka sallii NH1-koon kahvasulakkeen käytön 250 A:iin asti, mutta sulakkeena käytetään 200 A:n aR/gR-kahvasulaketta. Kaapelien ylikuormitussuojana toimivan suojalaitteen on täytettävä seuraavat kaksi ehtoa:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (7)$$

$$I_2 \leq 1,45 \leq I_Z \quad (8)$$

Yhtälöissä I_B on piirin suunniteltu virta, I_N on suojalaitteen mitoitusvirta, I_Z on johtimen jatkuva kuormitettavuus ja I_2 on virta, joka varmistaa suojalaitteen toimimisen sille asetellussa ajassa.

Nykyaikaisia katkaisijoita käytettäessä voidaan suojalaite valita suoraan johdon kuormitettavuuden mukaan, mutta sulakkeita käytettäessä on otettava huomioon sulamisraja-

virta, joka on 1,6...2,1 kertaa sulakkeen nimellisvirtaa suurempi. Tällöin pienin sallittu johdon kuormitettavuus tai sulakkeen koko ylikuormituksen kannalta esitetään SFS-standardissa ja saadaan taulukosta tai yhtälöstä:

$$k * I_n = 1,45 * I_z \quad (9)$$

Yhtälössä k on sulakkeen ylemmän sulamisrajavirran ja nimellisvirran suhde. Esim. yli 16 A:n gG sulakkeilla kerroin on 1,6, jolloin 250 A:n sulakkeella pienin kuormitettavuus on 276 A ja 200 A:n sulakkeella 221 A. (6.)

Kaapelireitti jakokeskukselta taajuusmuuttajalle kulkee tikashyllyä pitkin yhden tai kahden paloeristetyn seinän läpi riippuen reitistä ja on noin 20 metriä pitkä. Molemmilla reiteillä on muita kaapeleita, mutta niitä kuormitetaan hyvin harvoin täydellä teholla ja osa kaapeleista on suuren osan ajasta täysin kuormittamatta. Seinän läpiviennin vaikutusta kuormitettavuuteen on hieman vaikea arvioida, koska sen lämmönjohtokykyä ei tiedetä tarkkaan. Kuormitusta olisi siis syytä hieman pienentää, joten korjauskertoimeksi valittiin 0,85. Näin ollen asennustavalla E kuparikaapelin koko pitäisi siis olla 250 A:n sulakkeella vähintään 3*150/70 mm² ja 200 A:n sulakkeella 3*120/70 mm².

Moottorikaapelina tulisi käyttää EMC-suojattua kaapelia taajuusmuuttajan tehoelektronikkakomponenttien aiheuttaminen häiriöiden ja yliaaltojen vuoksi. Taajuusmuuttaja asennetaan aivan generaattorikoneiston läheisyyteen, joten moottorikaapeli on vain muutaman metrin mittainen, eikä kaapelireitillä ole kuormitettavuutta alentavia tekijöitä. Moottorin nimellisvirta on 194 A, joten kuparikaapelin kooksi riittäisi 3 x 95/50 mm² MCCMK, jonka kuormitettavuus on 245 A tai jopa 3*70/35, jonka kuormitettavuus on 200 A:a. Häiriösuojaus tarvitaan yleensä vain taajuusmuuttajan ja moottorin väliselle kaapelille, sillä taajuusmuuttajan syöttämä vaihtojännite luodaan erittäin nopeilla tehoelektronikan komponenttien kytkennöillä. Taajuusmuuttajasta aiheutuu jonkin verran häiriöitä myös sen omaan syöttökaapeliin, joten häiriöiden minimoimiseksi sekä moottorille että taajuusmuuttajalle päätettiin molemmille käyttää EMC-suojattua kaapelia. Moottorin kaapeli on hyvin lyhyt, joten siinä päätettiin käyttää samaa kaapelia kuin taajuusmuuttajalle, joten kaapelin kooksi valittiin siis 3 x 120 mm².

3.4.2 Generaattorin ja keskuksien kaapeloinnit

Uuden jakokeskuksen asennuspaikaksi valittiin muuntamo eli vaihtoehto 2. Keskus asennetaan siis aivan generaattorin viereen, jolloin niiden välinen kaapeli on erittäin lyhyt. Kaapeliin ei tällöin myöskään vaikuta kuormittavuutta alentavia seikkoja, jolloin kaapelikoko voidaan pitää mahdollisimman pienenä. Kun generaattori kytketään tähteen, siitä saadaan verkon jännitteeksi 690 voltia, jää nimellisvirta vain 146 A:iin. Järjestelmään haluttiin kuitenkin jättää varalle mahdollisuus kytkeä generaattori kolmioon, jolloin kehitetty jännite olisi 400 voltia ja nimellisvirta noin 253 ampeeria. Näin ollen kaapelina tulisi käyttää vähintään $3 \times 120 + 70 \text{ mm}^2$:n kuparikaapelia. Koska myös generaattorin ja keskuksen välinen kaapeli on hyvin lyhyt, päätettiin myös siinä käyttää samaa EMC-suojattua kaapelia, kuin taajuusmuuttajalle ja moottorille. Kaapeloinnit koestamon keskuksille sekä CP1:lle vedetään AMCMK $3 \times 120 + 41 \text{ mm}^2$:n kaapeleilla.

Yhteenveto kaapeloinneista:

- taajuusmuuttajan syöttö: MCCMK $3 \times 120/70 \text{ mm}^2$
- generaattorin syöttö: MCCMK $3 \times 120/70 \text{ mm}^2$
- moottorin syöttö taajuusmuuttajalta MCCMK $3 \times 120/70 \text{ mm}^2$
- CP5-, CP6-, ja CP1-keskusten syöttö pääkeskukselta: AMCMK $3 \times 120/41 \text{ mm}^2$.

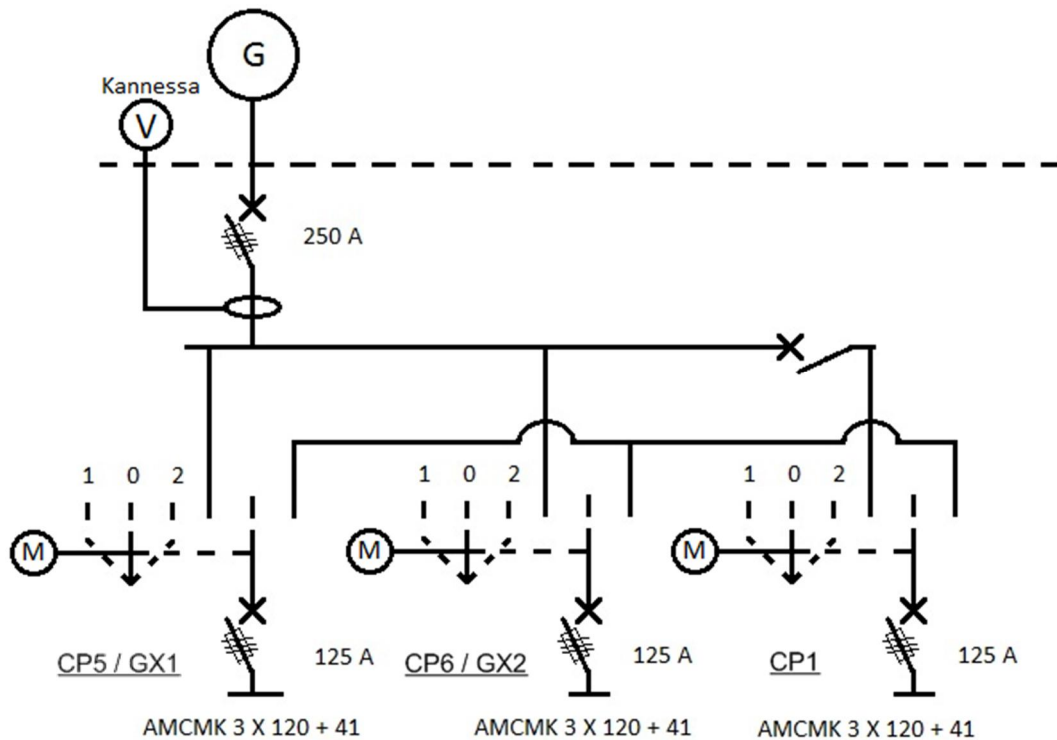
3.4.3 Ohjauspiiri

Ohjauspiiri ja säätölaitteet tarvitsevat myös oman sähkönsyötön. Sääto- ja valvontalaitteiston toiminta halutaan taata myös vikatilanteessa, joten niitä syötetään katkeamattomasti virransyöttölähteestä, eli ns. UPS:lta. Jänniteensäätäjä tarvitsee syötön toimiakseen sekä toisen syötön magnetointivirran tuottamiseksi. Säätäjä ja magnetointipiiri eivät kuitenkaan vaadi paljon tehoa, jolloin syötöksi niille riittää esim. $5 \times 2,5 \text{ mm}^2$:n kuparikaapeli. Samalla kaapelilla saadaan syöttö myös jänniteensäätäjälle ja sen magnetointipiirille jolloin magnetoinnin säätö toimii myös verkkovirran häiriötapauksessa. Ohjauspiirille tarvitaan Kaapelit taajuusmuuttajalta, moottorilta ja pääkeskukselta. Mittauksia varten tarvitaan kaapelit myös generaattorin syöttö-kaapelista, sekä kaapeli Unitrol-jänniteensäätäjältä generaattorin magnetointikoneelle, jotta magnetointivirta saadaan

sinne syötettyä. Sääto- ja ohjauslaitteisto liitetään myös nykyiseen ohjausjärjestelmään väyläkaapeloinnin avulla, joten ohjausyksiköltä vedetään valokuitukaapeli koestamon valvomoon, jolloin laitteiston ohjaus voidaan tehdä sieltä käsin tietokoneella.

3.5 Pääkeskus

Keskuksen pääsyöttönä toimii tämän työn generaattori, jonka nimellisteho on 175 kVA, nimellistaajuus 50 Hz ja -jännite 690 V. Generaattoria käytetään kuitenkin myös 60 Hz:llä, joka pitää ottaa huomioon komponenttien mitoituksessa. Generaattori kytketään tähteen, jolloin virta on 146 A, mutta koska generaattori on mahdollista kytkeä myös kolmioon, jolloin virta on 256 A, mitoitetaan keskus 250 A:lle. Keskuksen käyttöalueena on siis generaattorin tuottamat jännitteet 400 V:sta 690 V:n taajuusalueella 30...60 Hz.



Kuva 16. Uuden pääkeskuksen pääkaavio

Keskuksen kokoonpano on periaatteessa hyvin yksinkertainen, sillä siinä on vain yksi tulo ja kolme lähtöä. Yhtä lähdistä voidaan kuitenkin käyttää myös tulona, jonka syöttönä toimii nykyinen moottoripuolen pääkeskus CP1. Tätä pistettä käytetään siis sekä lähtönä että tulona. GX1- ja GX2- lähtöjen syöttöä pitää voida vaihtaa generaattorin ja CP1-tulon kesken, mikä tekee keskuksesta erikoisen. Tämä voidaan kuitenkin toteuttaa

melko helposti joko vaihtokytkimillä tai kontaktoreilla. Koska kytkentöjä halutaan ohjata etänä, olisi kontaktori tähän tarkoitukseen kätevä. ABB:ltä löytyy kuitenkin myös etäkäytettäviä moottoriohjattuja vaihtokytkimiä. Kuvassa 13 nähdään keskuskytkentöjen periaate.

Vaihtokytkinkomponentteja tarvitaan kytkennän toteuttamiseen kolme, kun kontaktoreja vastaavan kytkennän toteuttamiseen tarvittaisiin kuusi. Vaihtokytkin voidaan myös lukita mekaanisesti, sitä voidaan käyttää käsin kahvalla eikä siinä ole kiinnipalamisen riskiä kuten kontaktoreilla. Kytkimiin ja kontaktoreihin saa myös NO- ja NC- apukoskettimet, joita tarvitaan tilatiedoiksi automaatiota varten.

Keskuksen kanteen tarvitaan lisäksi kiskoston jännitteen mittaus analogisella osoittimella ja valintakytkimellä niin, että näytettäväksi jännitteeksi voidaan valita pää- tai vaihejännite.

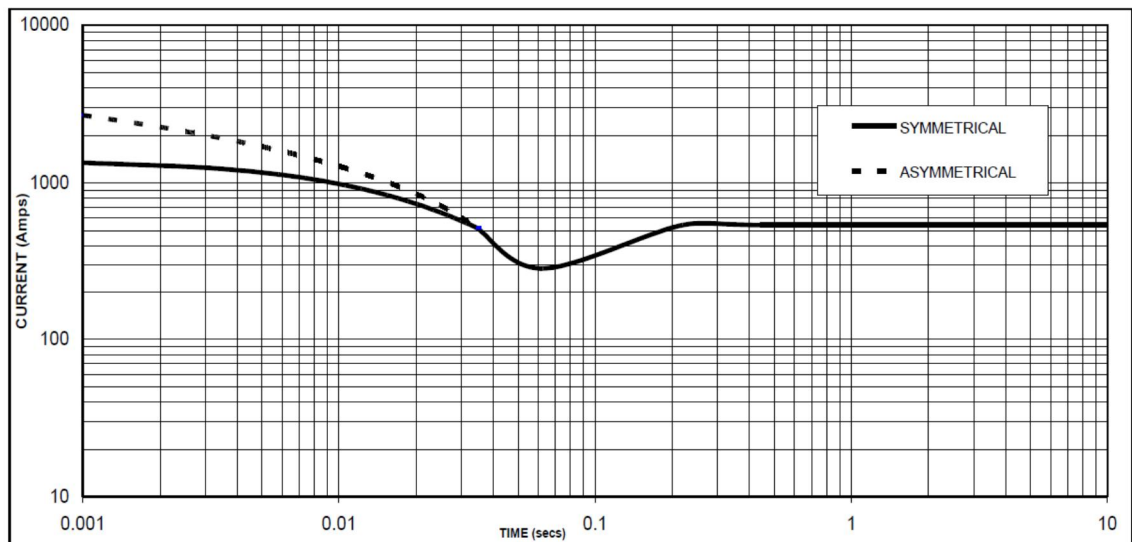
Koska CP1-lähtö on kytketty keskukseseen CP1, jota syötetään toisella generaattorilla, tulee varmistaa, ettei sitä vahingossa kytketä uuden generaattorin kanssa yhteen, mikäli CP1-keskuksessa on jännite toisesta generaattorista. Keskuksset tullaan kytkemään yhteen todennäköisesti vain, jos jokin generaattori on rikki tai huollossa ja kyseisen koneen syöttämällä kentällä tarvitaan sähköä, eli hyvin harvoin. Niinpä CP1-lähdön ja pääsyötön väliin lisätään käsikäyttöinen erotin, joka pidetään normaalisti auki ja lukittuna, jotta se voidaan sulkea tarpeen vaatiessa vain tietoisesti.

Nimellisjännitteen, virran ja taajuuden lisäksi keskukselle täytyy määrittää prospektiivinen oikosulkuvirta tai oikosulkukestoisuus. Keskuksessa halutaan myös käyttää ABB:n omia tuotteita, joten nimellisarvojen lisäksi tehdään alustavia komponenttivalintoja, jonka jälkeen tiedot voidaan lähettää keskusvalmistajalle suunnittelua ja kokoonpanoa varten.

3.5.1 Oikosulkukestoisuus

Keskusta varten on sen liityntäpisteessä määriteltävä oikosulkukestoisuus prospektiivisen oikosulkuvirran ja suurimman mahdollisen oikosulkuvirran eli sysäyoikosulkuvirran perusteella. Keskusta syöttää generaattori, joten tässä tapauksessa virrat määrittyvät sen perusteella, sillä keskusta ei tulla liittämään jakelumuuntajaan. Keskus oikosulkusuojataan prospektiivisen oikosulkuvirran eli alkuoikosulkuvirran perusteella ja sy-

säysoikosulkuvirta määritetään pääasiassa sen aiheuttamien voimavaikutusten vuoksi. Mm. standardi IEC 60909 antaa ohjeet oikosulkuvirtojen määrittämiseksi. Generaattorivalmistajalta saadaan generaattorin nimellisarvot, sekä suhteelliset reaktanssiarvot, joiden avulla oikosulkuvirran suuruus eri tilanteissa voidaan laskea. Generaattorivalmistajalta saatiin myös kuvaaja, josta nähdään oikosulkuvirran käyttäytyminen nimellisnopeudella tähtikytkennässä ja ilman kuormaa.



Kuva 17. Kolmivaiheisen oikosulkuvirran symmetrinen (ehjä viiva) ja epäsymmetrinen (katkoviiva) vaimenemiskäyrä tähtien kytkettynä tyhjäkäynnissä ja nimellisnopeudella.

Kuvassa 14 ehjä viiva kuvaa virran suuruutta symmetrisessä oikosulussa ja katkoviivoitettu osuus epäsymmetrisessä oikosulussa, jolloin virta on suurin. Valmistajan huomautuksena käyrän arvoja on korjattava käytettävän jännitteen mukaan 0,001 sekunnista minimi arvoon eli kuopan pohjalle asti, jonka jälkeen AVR nostaa magnetointivirtaa, jolloin myös oikosulkuvirta nousee ja siirtyy ns. pysyvään tilaan.

Note 1

The following multiplication factors should be used to adjust the values from curve between time 0.001 seconds and the minimum current point in respect of nominal operating voltage :

Voltage	Factor
660V	X 1.00
690V	X 1.05

The sustained current value is constant irrespective of voltage level

Note 2

The following multiplication factor should be used to convert the values calculated in accordance with NOTE 1 to those applicable to the various types of short circuit :

	3-phase	2-phase L-L	1-phase L-N
Instantaneous	x 1.00	x 0.87	x 1.30
Minimum	x 1.00	x 1.80	x 3.20
Sustained	x 1.00	x 1.50	x 2.50
Max. sustained duration	10 sec.	5 sec.	2 sec.

All other times are unchanged

Kuva 18. Generaattorivalmistajan ilmoittamat korjauskertoimet oikosulkuvirtakäyrää luettaessa.

690 voltilla korjauskerto on 1,05. Tarkkojen arvojen lukeminen kuvaajasta on hieman hankalaa johtuen logaritmisesta asteikosta, mutta symmetrinen alkuoikosulkuvirta kuvaajasta päätellen on noin $(1300 * 1,05) A = 1365 A$ ja epäsymmetrinen alkuoikosulkuvirta on noin $(2700 * 1,05) A = 2835 A$.

Generaattorin teoreettinen alkuoikosulkuvirta voidaan laskea myös generaattorin reaktanssiarvojen perusteella. Generaattorin teknisissä tiedoissa ilmoitetut suhteelliset reaktanssiarvot voidaan muuttaa todellisiksi reaktanssiarvoiksi yhtälön 13 avulla. Yhtälössä 13 suhteellinen pitkittäinen alkureaktanssi X''_d muunnetaan todelliseksi pitkittäiseksi alkureaktanssiksi x''_d

$$x''_d = X''_d * \frac{U_V}{I_N} = X''_d * \frac{U_N}{\sqrt{3} * I_N} = X''_d * \frac{U_N^2}{S_N} = 0,1 \frac{690^2}{175000} = 0,272 \quad (10)$$

, jossa U_V on vaihejännite, U_N nimellijännite, I_N nimellisvirta ja S_N nimellisteho. Yleisesti ottaen oikosulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä (14).

$$i''_k = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}}, = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} Z_k} \quad (11)$$

Siinä c on IEC 60909-n mukainen jännitekerroin, U_n on syöttävän verkon jännite ja Z_k on vikapaikan impedanssi. Laskettaessa generaattorin liittimissä tapahtuvaa kolmivaiheista oikosulkua vikapiirissä on vain generaattorin sisäinen impedanssi. Useimmiten tahtigeneraattorin staattorin resistanssi on hyvin pieni reaktanssiin nähden, joten se jätetään huomiotta ja oikosulkuvirtojen laskemiseen käytetään vain valmistajan ilmoittamia reaktanssiarvoja. Näin ollen kolmivaiheinen symmetrinen alkuoikosulkuvirta saadaan yhtälöstä 14 korvaamalla impedanssiarvo reaktanssiarvolla ja johtamalla yhtälöä 13 hyväksi käyttäen. Tällöin symmetrinen kolmivaiheinen maksimioikosulkuvirta on

$$i''_{k3Vsym} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * x''_d} = c \frac{I_N}{X''_d} = 1,05 * \frac{146,4A}{0,1} = 1537 A, \quad (12)$$

jossa i''_{k3Vsym} on symmetrinen alkuoikosulkuvirta, x''_d on pitkittäinen alkureaktanssi ja X''_d on suhteellinen pitkittäinen alkureaktanssi 690 voltilla. (9;10.)

Suurimmillaan oikosulkuvirta on epäsymmetrisessä alkuoikosulkuvirrassa, jossa on mukana tasavirtakomponentti, jolloin kaavaan lisätään vielä ns. sysäyskerroin. Sysäys-

kerroin riippuu verkon resistanssin ja reaktanssin suhteesta eli R/X-suhteesta, joka on maksimissaan kaksi verkon ollessa täysin reaktiivinen. Generaattorin R/X suhde on

$$\frac{R}{X} = \frac{0,056}{0,0272} = 0,206 \quad (13)$$

Tällöin sysäyskerroimeksi saadaan ABB:n TTT-kirjasta 1,55 ja epäsymmetrisen alkuoikosulkuvirran arvoksi saadaan 2383 A.

Pienjänniteverkossa sysäyskerroin on yleensä alle 1,44, mutta tässä työssä käytetyn generaattorin syöttämä oikosulkuvirta on sen verran pieni, että kojeiston oikosulkukestoisuutta määrittäessä voidaan käyttää suurempaa sysäyskerrointa ilman, että se vaikuttaa komponenttien valintoihin.

Oikosulkukestoisuuden ja oikosulun voimavaikutusten määrittämiseksi tarvitaan vielä dynaaminen eli ns. sysäysoikosulkuvirta, joka on epäsymmetrisen alkuoikosulkuvirran huippuarvo, joka saadaan kertomalla epäsymmetrisen alkuoikosulkuvirta kahden neliojuurella. Kokonaisuudessaan kolmivaiheisen epäsymmetrisen oikosulkuvirran huippuarvo eli sysäysoikosulkuvirta saadaan yhtälöstä:

$$I_{dyn} = \sqrt{2} * \chi * I''_{k3Vsym} = \sqrt{2} * \chi * c * \frac{I_N}{X''_d} = \sqrt{2} * 1,55 * 1,05 \frac{146A}{0,1} = 3370 A, \quad (14)$$

jossa χ on sysäyskerroin, ja I_{dyn} on sysäyshuippuvirta eli dynaaminen oikosulkuvirta. (9;10.)

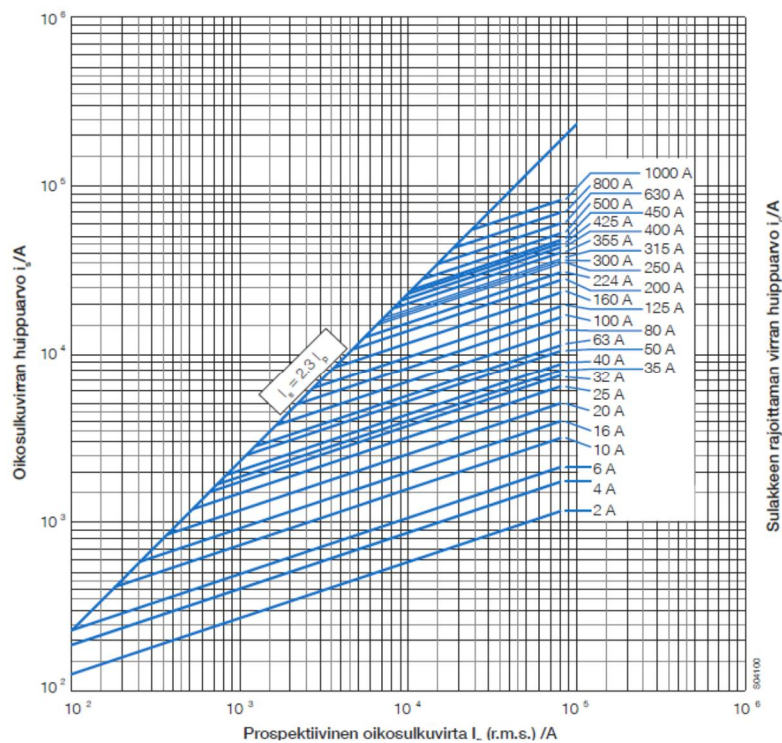
Kolmioon kytkettynä nimellisjännite on 400 voltia ja nimellisvirta 252,6 A. Tällöin myös oikosulkuvirrat ovat suuremmat. Prospektiivinen virta on 2,7 kA ja dynaaminen oikosulkuvirta 5,8 kA, joten keskuksen valmistusta varten annettiin seuraavat nimellisarvot:

- nimellisjännite: 690 V
- nimellistaajuus: 50 Hz
- nimellisteho: 175 KVA
- nimellisvirta: 250 A
- prospektiivinen oikosulkuvirta: 2,7 kA

- dynaaminen oikosulkuvirta ja oikosulkukestoisuus: 5,8 kA.

3.5.2 Keskuksen komponenttien valinta

Kaikkia komponentteja valittaessa on otettava huomioon käytettävä jännite, taajuus ja käyttövirta sekä oikosulkuvirrankestoisuus. Jos oikosulkuvirta on keskuksen liittymispisteessä liian suuri, pääkatkaisijalla tai kahvasulakkeilla voidaan paitsi katkaista ylivirta tai oikosulku, myös rajoittaa oikosulkuvirran huippuarvoa ja näin mahdollisesti pienentää hankintakustannuksia. Tässä tapauksessa generaattorin tuottama oikosulkuvirta on kuitenkin niin pieni, ettei sitä pääsulakkeilla voi tai tarvitse rajoittaa

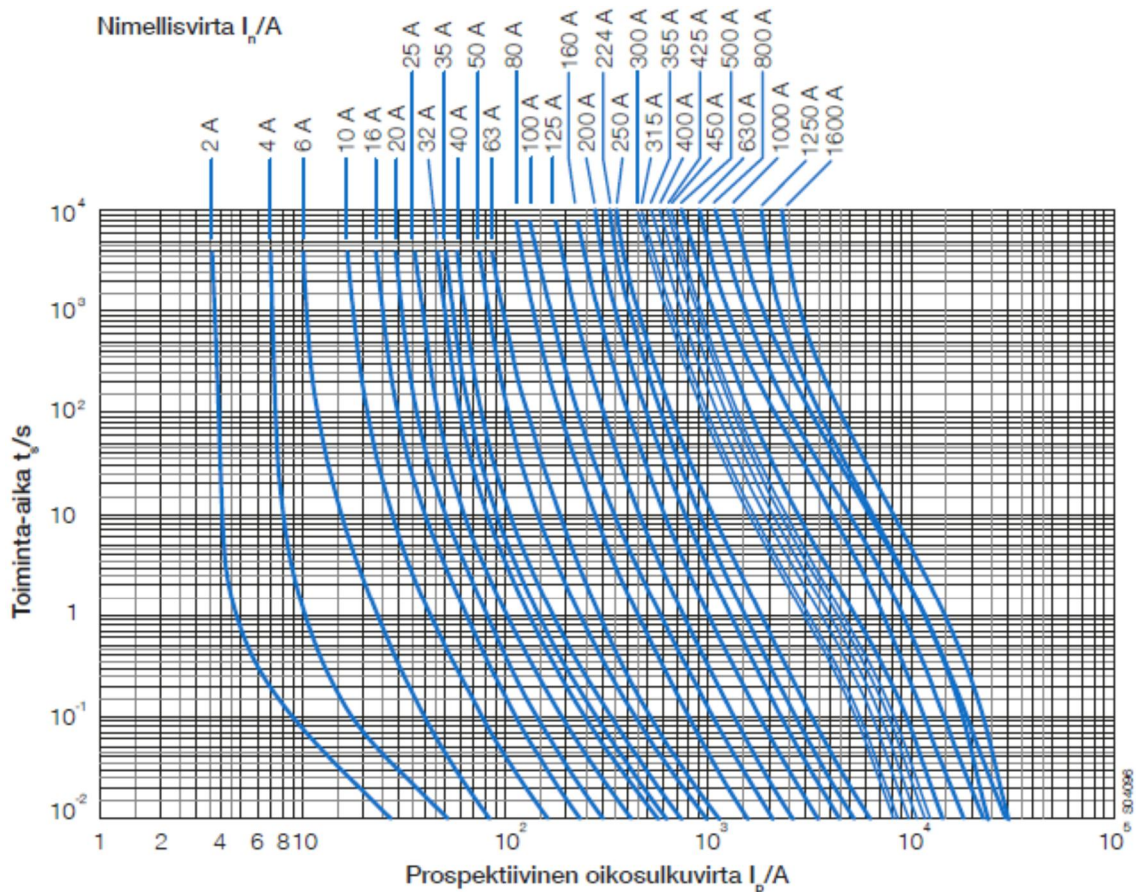


Kuva 19. ABB-kahvasulakkeet, virranrajoitus, 690 V, gG-sulakkeet OFAA_GG_, koot 000...4/4a

Koska uuden apusähkönsyöttöjärjestelmän on tarkoitus olla nykyistä järjestelmää monipuolisempi ohjattavuudeltaan ja tehoa pitää pystyä siirtämään kahdesta eri pisteestä kahteen eri pisteeseen samaan aikaan, tarvitaan generaattorin keskukseseen vaihtokytkimiä tai kontaktoreja. Ohjauksia pitää pystyä tekemään valvomosta automaation avulla, koska kytkimien käsikäyttö keskuksessa olisi sijaintinsa vuoksi epäkäytännöllistä.

Työssä päädyttiin käyttämään moottorihjattuja vaihtokytkimiä, sillä ne soveltuvat työn käyttöön paremmin ja niitä tarvitaan kontaktoreita vähemmän. Vaihtokytkimillä voidaan

tehdä asentomuutoksia jatkuvasti vain kerran minuutissa, mikä kyllä riittää hyvin tähän käyttöön. Nimellisvirraksi kytkimille riittäisi 125 A, mutta tuotteen tietoja tarkasteltaessa huomattiin, että moottorikuormalla eli induktiivisella kuormituksella ja 690 V jännitteellä, 125 A:n vaihtokytkimen käyttövirta putoaa 50 ampeeriin. Tästä syystä jouduttiin valitsemaan pykälää suurempi 160 A:n vaihtokytkin, jossa induktiivinen kuorma ei rajoita käyttövirtaa.



Kuva 20. Toiminta-ajat, 690 V, gG- sulakkeet OFAA_GG_, koot 000...5 (ABB OY)

Pääkatkaisijan tehtävänä on tässä tapauksessa käytännössä suojata generaattoria, keskusta ja niiden välistä kaapelia ylivirroilta ja katkaista oikosulku. Usein pääkytkimänä käytetään kytkinvaroketta ja kahvasulakkeita, kompakti- tai ilmakatkaisijaa tai molempia. Kuvan 14 taulukossa nähdään, että generaattori kestää jatkuvassa tilassa kolmivaiheista oikosulkuvirtaa maksimissaan 10 sekuntia. Generaattorin tuottama kolmivaiheinen jatkuva oikosulkuvirta on kuvan 14 ja generaattorin ohjekirjan mukaan vain 540 A, joka ei riitä laukaisemaan yli 160 A:n kahvasulaketta alle 10 sekunnissa. Oikosulkuvirta symmetrisessä tapauksessa ei välttämättä riitä laukaisemaan sulakesuojasta edes 160 A:n sulakkeella. Kuvassa 17 nähdään toiminta-ajat ABB:n kahvasulakkeil-

le. Tämän lisäksi keskuksen lähtöjen suojiksi valittiin 125 A:n kytkinvarokkeet, jolloin pääsulakkeiksi tulisi selektiivisyyden varmistamiseksi valita vähintään 224 A:n tai 250 A:n sulakkeet.

Niinpä pääkytkimeksi valittiin ABB:n oma kompaktikatkaisija generaattorin suojaamiseen tarkoitettulla elektronisella EKIP G-LS/I -releellä. Kompaktikatkaisija on mallia SACE Tmax XT-4, jolloin sen runko kestää 250 A:n virran. Releen avulla ylivirran katkaisuraja voidaan asettaa 100...250 A:n välille laukaisuajaksi 3...6 sekuntia, kun ylivirta on 3 kertaa asetteluarvo. Ylivirtalaukaisu toimi käännteisaikakäyrällä, jolloin suurempi ylivirta aiheuttaa nopeamman laukaisun. Oikosulkua varten voidaan valita laukaisu-arvo 1...10-kertaiseksi nimellisarvoon nähden ja valita joko välittömästi toimiva tai lyhyellä 0,05-0,2 sekunnin viiveellä toimiva asettelu.

Jotta generaattoreita ei vahingossa kytkettäisi yhteen, lisättiin pääkatkaisijan ja CP1-lähdön vaihtokytkimen väliin käsikäyttöinen ja lukittava kuormanerotin. Tällöin keskuksen yhteen kytkentä voidaan tehdä vain tarkoituksellisesti kun se on tarpeellista.

3.5.3 Maasulkusuojaus ja generaattorin suojaus

Generaattorin suojaukseen saatetaan käyttää useaa eri suojaustapaa riippuen generaattorin syöttämän verkon tärkeydestä ja mm. generaattorin hinnasta. Mikäli generaattori kytketään yleiseen sähköverkkoon, on sen suojauksesta määrätty huomattavasti tiukemmat määräykset kuin saarekekäytössä. Tässä työssä generaattoria ei kytketä yleiseen verkkoon, joten suojauksen toteuttaminen on yksinkertaisempaa. (12.)

Uudessa sekä nykyisessä apusähköverkossa generaattorin syöttämä verkko on maasta erotettu eli käytetään IT-järjestelmää. Maasta erotetun järjestelmän vuoksi vikasuojauksena käytetään maasulkusuojausta.

Maasulkusuojausareleena käytetään Benderin IRDH275-mallista maasulkurelettä, joka tarkkailee vaiheiden ja suojamaadoituksen välistä eristysresistanssia. Eristysresistanssiarvon laskiessa alle raja-arvon, hälytysreleet alkavat vetää ja hälytysledit syttyvät. Laitteessa on kaksi relettä, jotka voidaan asettaa toimimaan esihälytyksenä ja päähälytyksenä. Maasulkusuojausarele asennetaan myös pääkeskukseen.

Nykyisessä apusähköjärjestelmässä maasulkurele katkaisee generaattorin magnetoinnin havaitessaan maasulkuvian, jolloin generaattorin tuottama jännite putoaa remanenssivuon aiheuttamaan arvoon. Maasulkuvika aiheutuu useimmiten virheellisestä tai huonosta kytkennästä koestuspaikalla tai esim. moottorin eristysviasta, jolloin vian sattuessa se huomataan ja voidaan korjata nopeasti, sillä rele on mahdollista kuitata ja resetoida valvomosta.

Useimmiten maasulkureleitä käytetään esim. keskijännitejakeluverkon suojaamiseen, eikä sähkönsyöttöä haluta keskeyttää ensimmäisen maavian sattuessa. Maasulkusuojaus onkin mahdollista toteuttaa myös niin, että releen havaitessa ensimmäisen vian, laukaisee se hälytyksen, mutta ei katkaise syöttöpiiriä. Jakelulinja, missä maasulku havaitaan, erotetaan verkosta vasta, kun havaitaan toinen vika. Tässä tapauksessa syöttö voidaan kuitenkin katkaista, sillä se ei aiheuta häiriötä. (7.)

3.6 Automaatio

Automaatiologiikalla ohjataan käytännössä koko laitteiston toimintaa ja siinä yhdistetään taajuusmuuttaja, jännitteensäädin, mittaukset ja valvontalaitteet yhdeksi kokonaisuudeksi, jota voidaan sitten ohjata valvomosta käsin tietokoneella. Sääto- ja valvontalaitteita varten pääkeskuksen viereen asennetaan oma ohjauskeskus. Tähän keskuksen asennetaan mm. generaattorin magnetoinnin säätölaite eli UNITROL 1020 sekä logiikkapiirit, millä ohjaus ja mittaukset yhdistetään tehtaan muuhun automaatioon.

3.6.1 Generaattorin säätö

Generaattorin tuottaman jännitteen taajuuden määrää ainoastaan roottorin pyörimisnopeus ja generaattorin napaluku. Generaattorin roottoria pyörittää oikosulkumoottori ja sitä ohjaa taajuusmuuttaja, joka siis käytännössä vastaa taajuuden säädöstä. Generaattorin liitinjännitteen suuruuden sen sijaan määrää käytännössä magnetointivirta, jota säädetään magnetoinnin säätölaitteella eli jännitteensäätimellä.

Tämän työn tapauksessa generaattori on harjattomasti magnetoitu eli roottorille tuodaan magnetointivirta magnetointikoneen avulla. Magnetointikone on generaattorin akselille kiinteästi asennettu ulkonapainen vaihtosähkögeneraattori, jota taas syötetään

ulkoisella magnetoinnin säätölaitteella. Tässä tapauksessa magnetointivirran säädöstä vastaa ABB:n UNITROL-1020-mallinen automaattinen jännitteensäädin.

Koska kone on harjattomasti magnetoitu, varsinaista roottorivirtaa ei tiedetä, sillä se vaatisi mittauksen pyörivästä roottorista. Generaattorin magnetointivirtaa säädetään kuitenkin säätämällä magnetointikoneelle syötettävää virtaa. Tätä varten generaattoritoimittajalta pyydettiin ja saatiin seuraavat magnetointikoneen nimellisarvot:

- $V_{eFL} = 36V$
- $I_{eFL} = 1.8 \text{ Amps}$
- $R_e = 20 \text{ ohms.}$

Generaattorin liitinkotelossa on paikka valmistajan omalle jännitteensäätäjälle, mutta UNITROL-jännitteensäädin asennetaan ohjauskeskukseen. Jännitteensäätäjässä on magnetointitehosta vastaava pääpiiri ja säätäjän toiminnasta huolehtiva apujännitepiiri, joihin molempiin otetaan virta UPS:lta. Magnetointivirtaa voidaan siis syöttää generaattoriin vaikka syöttävään verkkoon tulee vika. Tällöin pysähtyy kuitenkin generaattoria pyörittävä sähkömoottori, joten sähköntuotto generaattorilla joka tapauksessa loppuu. Säätäjässä on suuria DC-kondensaattoreita, jotka saattavat aiheuttaa suuria syöksyvirtoja vahvalla tehonlähteellä, joten tehonlähteenä tulee käyttää esim. muuntajaa, jonka nimellisteho on korkeintaan 10 kVA. Koska säätäjä on ohjauskeskuksessa, tarvitaan generaattorin ja ohjauskeskuksen välille magnetointivirran syöttävä kaapeli, jonka tulee olla EMC-suojattu, jos kaapeli on yli 3 metriä pitkä.

3.6.2 Oikosulkumoottorin säätö

Generaattoria pyörittävää moottoria ohjataan taajuusmuuttajalla. Koska generaattorista saatavan jännitteen taajuuden määrää koneen pyörimisnopeus, taajuutta säädetään siis suoraan taajuusmuuttajalla. Taajuusmuuttajan säätötavaksi voidaan valita vain skalaari- tai vektoriohjaus, sillä taajuusmuuttajasta ei löydy DTC-säätöä. Skalaariohjauksella saadaan kierrosnopeus pidettyä vakaana ainakin tasaisella kuormituksella, jolloin se riittää siis taajuuden säätöön. Generaattorilla syötettävä sähköverkko on ns. heikko, koska sitä syöttää vain yksi generaattori. Nopeat ja suuret kuormanmuutokset, kuten moottorin käynnistys ja pysäytys saattavat tällöin aiheuttaa nopeuden/taajuuden muutosta hetkellisesti, sillä skalaariohjauksella momentin ohjaus on vektori- tai DTC-

säätöä hitaampi ja epätarkempi. Säädön nopeutta ja tarkkuutta voitaisiin myös skalaariohjauksella parantaa lisäämällä takaisinkytkentä pyörimisnopeudesta tai generaattorin tuottaman jännitteen taajuudesta, mikä toisi hieman lisäkustannuksia.

Taajuusmuuttajan ohjekirjan mukaan skalaariohjausta kannattaa käyttää mm. seuraavissa tilanteissa:

- Moottorin tarkat nimellisarvot eivät ole saatavissa tai taajuusmuuttajalla täytyy käyttää eri moottoria käyttöönottovaiheen jälkeen.
- Tarvitaan lyhyttä käyttöönottoaikaa tai tunnistusajoa ei haluta suorittaa.
- Moottorin nimellisvirta on alle 1/6 taajuusmuuttajan nimellislähtövirrasta.
- Taajuusmuuttajaan ei ole kytketty moottoria.
- Taajuusmuuttaja käyttää keksijännitemoottoria jännitteenostomuuntajan kautta.

Skalaariohjaus on taajuusmuuttajan oletusohjaustapa, mutta se ei kuitenkaan yllä vektoriohjauksen erinomaiseen suorituskykyyn. Ohjekirjan mukaan vektoriohjaukseen ei myöskään tarvita pyörimisnopeuden mittausta akseliilta, vaan ohjaus edellyttää ainoastaan tasajännitteen ja moottorin kahden vaihevirran mittausta. Taajuusmuuttajalla voidaan mitata vaiheiden virtoja ja jännitteitä, joten ylimääräisiä mittauksia ei tarvita. Käyttöönottovaiheessa taajuusmuuttajalle asetellaan moottorin nimellisarvot ja luodaan moottorimalli, mikä riittää useimpiin sovelluksiin. Parhaaseen ohjaustarkkuuteen päästään tekemällä moottorille erillinen tunnistusajo eli ID-ajo. (5.)

ID-ajo on mahdollista suorittaa 7:llä eri tavalla, joista ”normaali” takaa hyvän ohjaustarkkuuden kaikissa tilanteissa. Normaali ID-ajo tulee valita aina, kun se on mahdollista, ja se kestää noin 90 sekuntia. Kun moottori ja taajuusmuuttaja on asennettu paikalleen, ei ID-ajon suorittamiseksi ole mitään estettä. Parhaan säätötarkkuuden aikaansaamiseksi valitaan ohjaustavaksi siis vektorisäätö. (5.)

3.7 Koneiden välinen liitäntä ja alusta

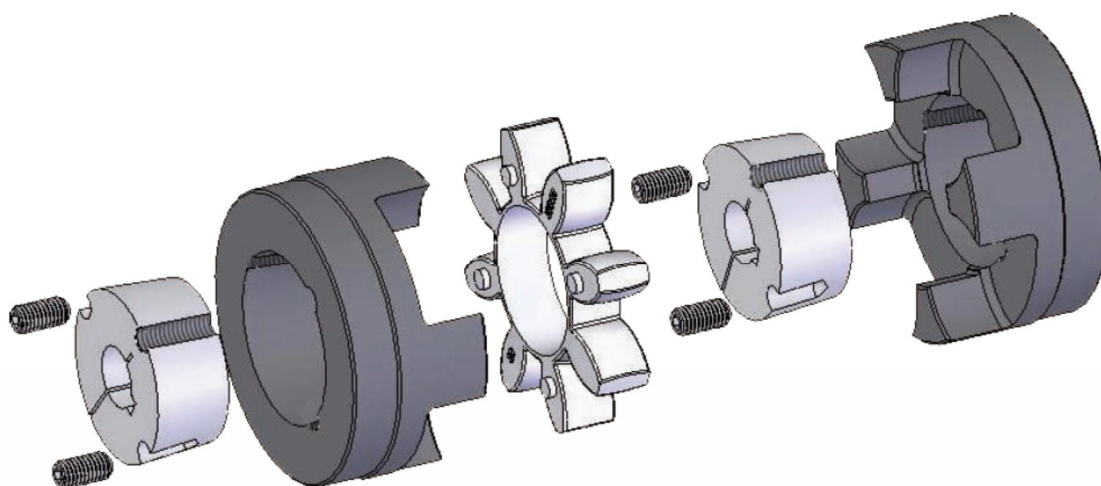
Koneikon suunnittelussa tulee ottaa huomioon myös koneiden asennuksessa vaadittava mekaniikka. Voimansiirto moottorilta generaattorille tapahtuu ns. kytkimen välityksellä. Kytkintyyppejä on useita erilaisia, ja kytkimen valintaan vaikuttavat mm. koneiden

akselien muoto ja koko, käyttötapa ja – kohde, sekä siirrettävän momentin suuruus ja vaihtelevuus. Siirrettävä teho pyörimisnopeuden ohella vaikuttaa käytettävään momenttiin mutta myös pyörimisnopeus itsessään saattaa rajoittaa valintaa.

Jotta generaattori ja moottori voidaan kytkeä toisiinsa, pitää ne myös asentaa kiinteästi paikalleen niin, että koneiden akselit ovat samassa linjassa. Tätä varten koneiden alle asennetaan metallista valmistettu alusta, joka valmistetaan koneiden runkojen asennusmittojen perusteella. Kaikki mitoitukseen tarvittavat tiedot saadaan koneiden valmistajilta.

3.7.1 Kytkin

Nykyinen generaattorikoneikko on teholuokaltaan hyvin lähellä uutta koneikkoa, ja moottori ja generaattori ovatkin runkoko'oiltaan täysin samat uusien koneiden kanssa. Tästä johtuen myös uuden koneikon kytkin ja alusta voidaan mitoittaa ottaen mallia nykyisestä koneikosta. Nykyinen kytkin on ns. joustava sakarakytkin, joka on hyvä mm. siksi, että se sallii pientä epätarkkuutta akselien linjauksille sekä jonkin verran tärinää. Kytkin koostuu kolmesta osasta. Kaksi lähes samanlaista kytkinosaa, holkkia kiinnitetään akseleiden päihin, ja niiden väliin asetetaan joustoelementti eli kuminen ratas, joka siirtää momenttia, mutta samalla absorboi kuorman ja momentin muutoksista aiheutuvia iskuja sekä vaakasuuntaisesta, pystysuuntaisesta, ja akselien kulman välisestä epätarkkuudesta aiheutuvia voimia.

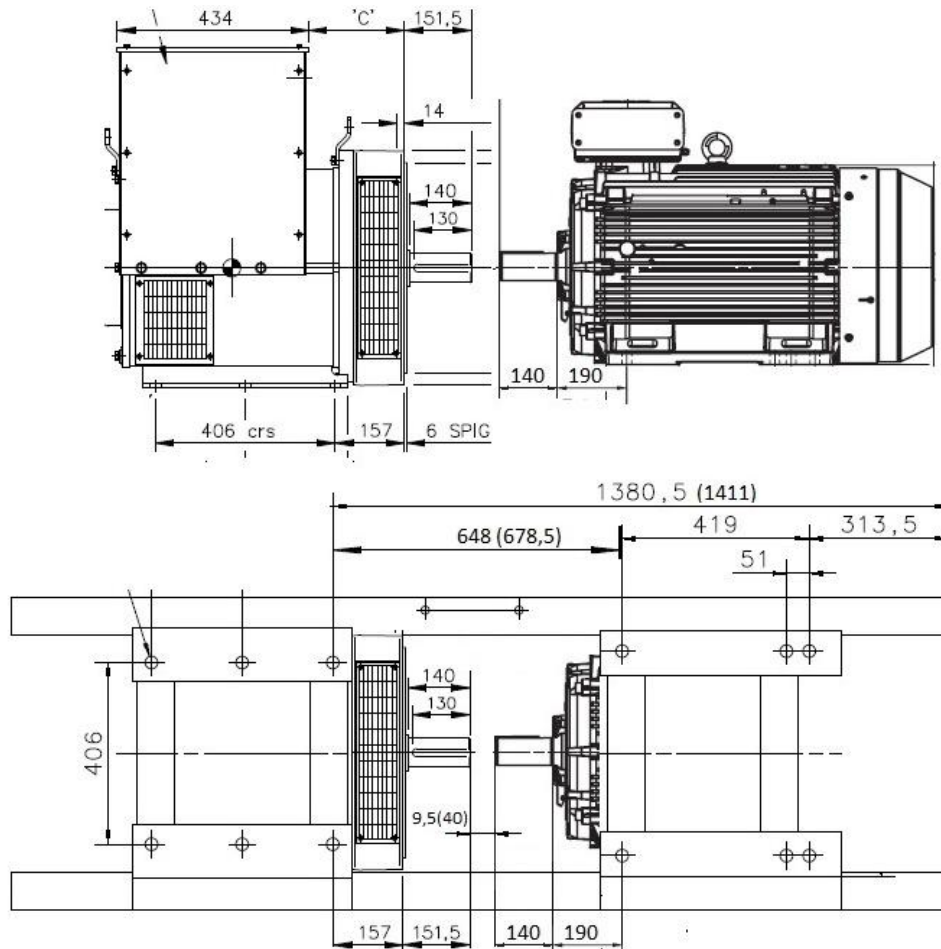


Kuva 21. HWT-mallinen joustava sakarakytkin taperlock-holkeilla.

Koska tämä kuminen osa kuuluu käytössä eniten, joudutaan se silloin tällöin vaihtamaan uuteen. Kun eri koneikoissa käytetään samankokoisia kytkinosia, voidaan niissä käyttää myös samankokoisia kuluvia osia, jolloin varaosia ei tarvitse hankkia useita erilaisia. Sakarakytkimiä on periaatteessa kahta eri mallia: kartioholkkikiinnitteiset ja kiinteänapaiset. Nykyään koneissa käytetään usein kartioholkkikiinnitteisiä eli ns. taperlock-holkkeja, joissa holkki on jaettu kahteen osaan: akseliin puristamalla kiinnittyvä sisäosa ja tähän osaan kierretapeilla kiinnitettävä ulko-osa. joka voidaan vaihtoa suorittaessa irrottaa ja liikuttaa sivuun, jolloin kumiratas voidaan vaihtaa ilman, että koko konetta tarvitsee siirtää. Tämä helpottaa siis joustoelementin tulevia vaihto- operaatioita, kunhan varmistetaan, että akselien päiden välissä on tarpeeksi tilaa.

3.7.2 Alusta

Alustan päätarkoitus on nimensä mukaisesti toimia koneiden alustana ja mahdollistaa koneiden tukeva kiinnitys pitäen koneet paikallaan käytön aikana sekä helpottaa koneiden linjausta asennusvaiheessa. Alustan runkoon tehdään valmistettaessa esim. reiät pulttien kiinnitystä varten ja moottorin ja generaattorin akselikorkeuksien ero saadaan säädettyä valmiiksi alustaan, jolloin asennus helpottuu. Akselit on saatava mahdollisimman suoraan linjaan sekä vaaka-että pystysuunnassa toisiinsa nähden ja samalle korkeudelle, jotta koneiden välinen kytkin voidaan asentaa ja koneiden akseleihin sekä niiden väliseen kytkimeen kohdistuisi mahdollisimman vähän epäsymmetristä rasitusta.



Kuva 22. Havaintokuva alustan ja koneiden välisestä mitoituksesta.

Kuten monien muidenkin osien kohdalla, myös alustasta oli jo valmiiksi olemassa suunnitelma (liite 2). Myös nykyisen generaattorikoneikon asennusalustasta on olemassa mittapiirros. Koska nykyinen moottori ja generaattori ovat runkokooltaan täysin samat uusien koneiden kanssa, myös alustat ovat pääosin samanlaiset. Mittoja tarkistettaessa huomattiin kuitenkin, että akselien päiden väliin jäisi vain noin 9,5 millimetrin rako, ja koska joustoelementti on 30 mm paksu, ei sen vaihtaminen olisi tällöin mahdollista. Tästä johtuen alustan mittoja muutettiin hieman piirustuksiin. Mittojen toleransseista sekä asennusteknisistä syistä koneilla tulee olemaan hieman liikkumavaraa, joten 39,5 millimetrin raon pitäisi olla riittävä.

4 Hankinta, toteutus ja testaus

4.1 Hankinnat

Työhön liittyviä hankintoja tehtiin koko projektin ajan. Osa projektin toteuttamiseen vaadittavista tarvikkeista kilpailutettiin ja tilattiin tehtaan ulkopuolisilta toimittajilta, vaikka työssä pyrittiinkin käyttämään mahdollisimman paljon ABB:n omia tuotteita.

Taajuusmuuttajaksi valittiin tehtaalla jo valmiiksi olemassa oleva ACS580-01-206A-4, joten siitä ei synny lisäkustannuksia projektiin. Moottoriksi valittiin ABB:n M3BP 280 SMC 4, joka tilattiin ABB:n Vaasan tehtaalta. Generaattorin syöttämä pääkeskus päätettiin lopulta tilaamaan ulkopuoliselta keskusvalmistajalta käyttäen pääasiassa ABB:n valmistamia komponentteja.

Generaattorin toimittajaksi valittiin Cummins Generator Technologies, sillä aikaisemmat generaattorit on myös tilattu heiltä. Kone on kuitenkin Stamfordin valmistama. Koneiston alusta sekä kytkinsuoja teetätettiin ulkopuolisella konepajalla, joka valittiin tarjouspyyntöjen perusteella. Myös koneiden välinen kytkin tilattiin ulkopuoliselta toimittajalta.

4.2 Asennusten suunnittelu

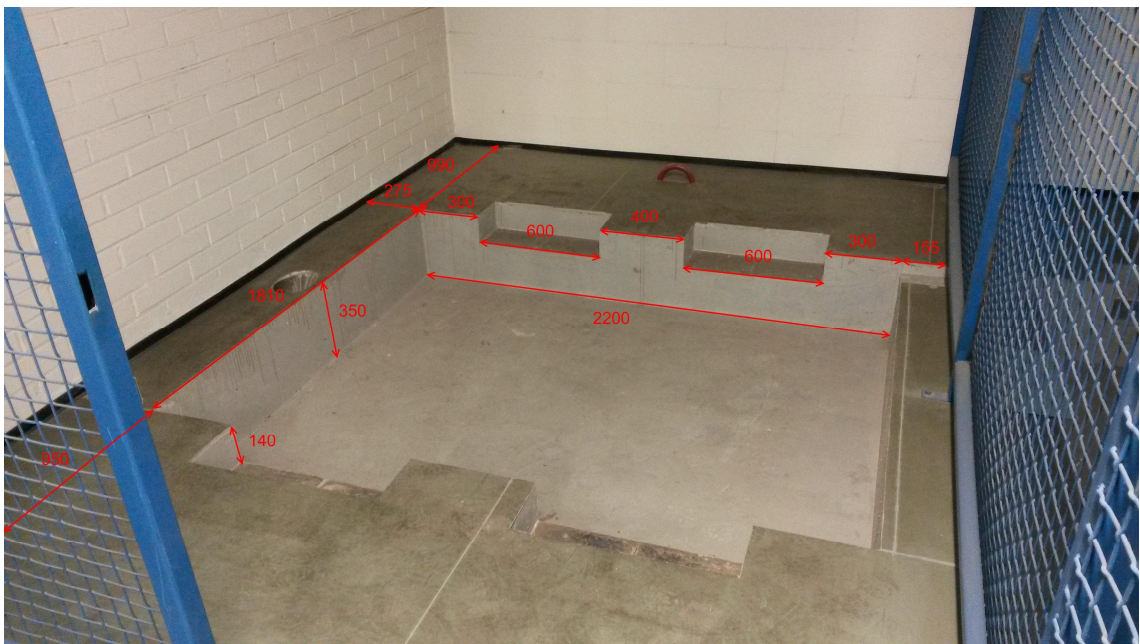
Koneiden sekä keskusten väliset syöttökaapeloinnit suorittaa ulkopuolinen sähköuraakoitsija, sillä osastolta ei löydy kaapelointia varten resursseja ja kalustoa, kuten esim. vetolaitteistoa. Urakoitsija suorittaa myös taajuusmuuttajan, moottorin ja generaattorin syöttökaapelien kytkennät ja kytkinvarokkeen asennuksen jakokeskukseen. Koneiden sekä uuden pääkeskuksen ja ohjauskeskuksen asennukset sekä kytkennät tekee kuitenkin ABB:n oma miehitys.

ABB panostaa ja suhtautuu työturvallisuuteen erittäin vakavasti ja kaikissa työtehtävissä on tarkoin noudatettava työturvallisuusmääräyksiä ja sähköasennuksissa myös sähkötyöturvallisuusmääräyksiä. Esimerkiksi tehtaan tuotantoalueella on aina käytettävä silmä- sekä kuulosuojaimia, huomiomerkein varustettuja työvaatteita ja turvajalkineita. Tätä käytäntöä sovelletaan myös kaikille tehtaalla vieraileville tai työskenteleville alurakoitsijoille ja asiakkaille.

4.2.1 Asennuspaikka

Alustan sekä varsinkin moottorin ja generaattorin asentaminen ja paikalleen saattaminen tuottavat pieniä vaikeuksia, sillä koneet ovat erittäin raskaita ja asennuspaikkaan on hankala kulku. Moottori, generaattori, koneiden alusta sekä pääkeskus ja ohjauskeskus asennetaan ASA-02 eli alasähköasema 02:n muuntamoon.

Kaikkien laitteiden asennuspaikkana toimii alun perin muuntajaa varten suunniteltu tila, joka tilan ja muotonsa vuoksi aiheuttaa hieman hankaluuksia. Lattiassa on ns. öljykuoppa, jonka vuoksi koneikon ja laitteiden sijoittelua jouduttiin hieman pohtimaan. Aluksi ajateltiin, että koneikko sijoitetaan häkin vasempaan reunaan huoneen suuntaisesti. Tällöin kuitenkin vain alustan toinen teräspalkki on tukevasti betonia vasten ja toisen palkin alle joudutaan rakentamaan tukirakenne, sillä palkki on juuri kuopan yllä. Koneikko mahtuisi juuri ja juuri myös kuopan pohjalle, mutta jäähdytyksen varmistamiseksi se päätettiin asentaa lattian tasoon huoneen perälle, jotta sen ympärille jäisi mahdollisimman paljon tilaa ilmanvaihtoa ja koneiden jäähdytystä varten.



Kuva 23. Asennustila mittoineen.

Alusta koneineen asennetaan häkin perälle kuopan reunalle ja keskelle niin, että koneiden taakse ja päihin jää tilaa noin 30 cm ilmanvaihtoa sekä liikkumista varten. Alusta tulisi asentaa mahdollisimman tasaiselle pinnalle, jotta voidaan varmistaa rakenteen kestävyys ja tukeva kiinnitys. Siksi ajateltiin, että kuopan reunalla olevat ”kolot” pitäisi

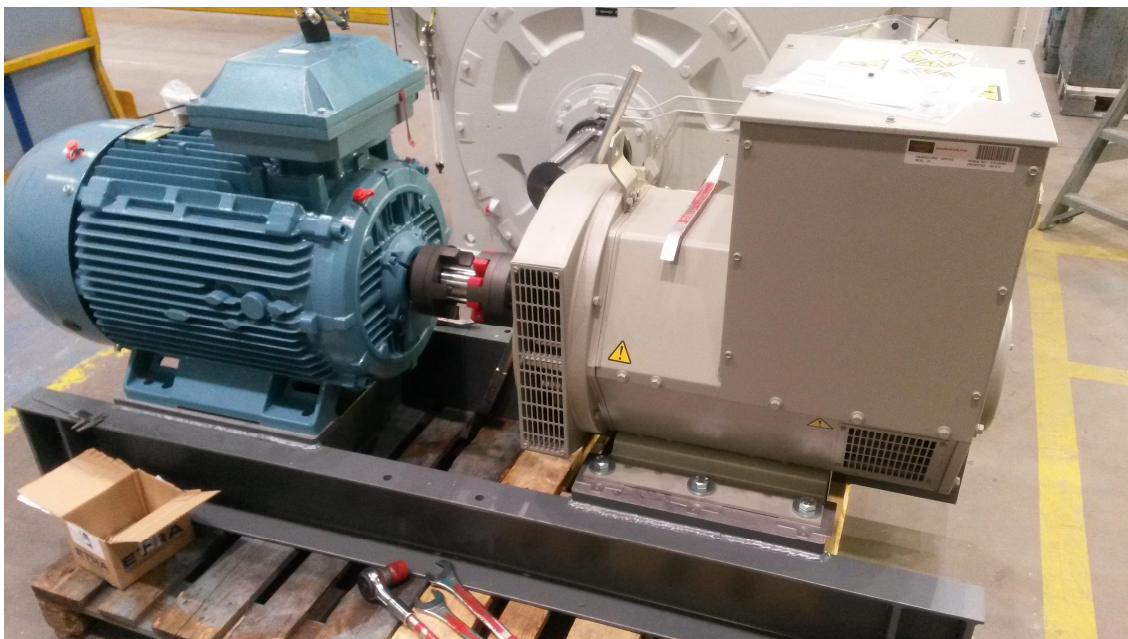
täyttää samaan tasoon lattian kanssa ja tasoittaa. Myös huoneen perällä lattiassa oleva metallikoukku jää alustan alle, joten se on poistettava. Tilassa on valokaarisuojaus ja palohälyttimet, jotka on poistettava käytöstä, mikäli koukku leikataan irti esim. kulmahiomakoneella.

4.2.2 Koneiden siirto asennuspaikalle

Muuntamossa on ovi ja reitti tavarankuljetusta varten huoneen perällä. Tätä kautta koneet ja mm. keskus saadaan siirrettyä muuntamoon. Reitti kulkee kuitenkin kyllästämön kautta, jossa käsitellään hartsia, mistä johtuen kyllästämöön ei voi mennä ilman erillistä lupaa, terveystarkastusta ja suojausta. Tavaroita voi siirtää kyllästämön läpi siis vain kyllästämön oma henkilökunta. Muuntamon lattia on noin metrin kyllästämötilan lattiaa korkeammalla, joten raskaiden tavaroiden, kuten koneiden ja keskuksen nostamiseen tarvitaan trukkia. Muuntamon ja kyllästämön välisen oven edessä olevat rappuset täytyy myös siirtää pois edestä, ennen kuin tavaraa voidaan trukilla siirtää oven kautta muuntamoon.

Koska muuntamossa ei ole nostinlaitteita, on koneikon kasaaminen paikanpäällä erittäin vaikeaa. Tilaan voitaisiin rakentaa väliaikainen vinssi/nostolaite kiinnittämällä se kattoon tai asentamalla kattoon koukku tai väkipyörä ja lattialle nostolaite, jolloin koneet ja alusta voitaisiin siirtää tilaan yksitellen ja kasata koneikko paikanpäällä. Nostolaitteen ja kattokiinnityksen täytyisi kuitenkin pystyä nostamaan tonnin verran massaa, sillä esim. moottori painaa 725 kg.

Toinen vaihtoehto on asentaa koneet alustaan tehdasalueella, josta löytyy sopivat nostolaitteet. Valmiiksi kasattuna koneikkopaketti painaa kuitenkin yhteensä lähes 1600 kg, joten sen siirtäminen muuntamoon vaatii hyvät siirtovälineet. Koneet ja alusta voidaan siirtää pakettina muuntamoon kyllästämön kautta trukilla ja muuntamossa paketin liikuttamiseen tarvitaan joko haarukkavaunua tai ns. tankkeja, jotka sijoitetaan alustan alle samalla, kun se nostetaan muuntamoon, jolloin pakettia voidaan työntää lattialla.



Kuva 24. Koneet kiinnitettiin alustaan ja linjattiin sekä liitettiin yhteen kytkimellä.

Muuntamon lattiassa kulkee kaapelireittejä, jotka myös vaikeuttavat koneikon siirtelyä huoneen poikki. Suuren massansa takia kaapelireitit ylittävien lattiaosuuksien kestävyys täytyy varmistaa rakennesuunnittelijalta ja lattiaa täytyy mahdollisesti vahvistaa ala- tai yläpuolelta esim. teräslevyillä tms., jotta ne kestävät koneikon painon.

Jotta koneet saadaan vielä siirrettyä lopulliselle paikalleen öljykuopan yli, täytyy kuoppa täyttää esim. puutavaralla. Suuresta massasta johtuen, Puutavaran päälle on syytä lisätä vielä teräslevy tai esim. koivuvaneri, jotta siirrosta käytettyjen tankkien tai haarrukkavaunujen renkaat eivät aiheuta liiallista pistekuormaa ja painaudu puuhun. Väliaikaisena puutavarana alla voidaan käyttää esim. rataparruja tai kuormalavoja ja lautoja. Vaihtoehtoisesti koko tukirakenne voitaisiin tehdä raudasta, jolloin tuki voitaisiin jättää tilaan pysyvästi. Lattiassa oleva koukku pitää myös irrottaa, sillä se jää juuri alustan jalan alle.

4.2.3 Koneiden kaapelien asennus

Kaikki kaapelit on kiinnitettävä riittävän tukevasti koko matkaltaan, jotta ne eivät pääse liikkumaan asennuksen jälkeen johtuen esim. oikosulkuvirtojen voimavaikutuksista. Koneet asennetaan lähelle seinää, joten kaapelit voidaan asentaa kaapelihyllylle huoneen seinälle. Moottori asennetaan Kuva 23 katsottaessa huoneen takaosaan ja oike-

aan reunaan, joten moottorin tehtaalla asennettu kaapeliläpivienti on väärällä puolella. Liitäntälaatikko täytyy kääntää ympäri, jotta kaapeliläpivienti on samalla puolella kuin kaapelihylly.

Generaattorissa ei ole valmista kaapeliläpivientiä, vaan sellainen täytyy tehdä. Generaattorin liitäntälaatikon paneelit voidaan irrottaa ja läpivienti voidaan tehdä liitäntälaatikon kumpaan tahansa kylkeen.

4.2.4 Keskusten asennus

Pääkeskus tilattiin keskusvalmistajalta, joka suunnittelee, mitoittaa ja valmistaa keskuksen standardien mukaan. Keskus toimitetaan tehtaalle valmiina pakettina komponentit ja sisäiset johdotukset asennettuna, joten sen asentamiseksi täytyy se vain siirtää paikalleen muuntajahäkkiin, kiinnittää seinään ja kytkeä kaapelit keskuksen. Keskus saadaan siirrettyä häkkiin samaa reittiä kuin koneikko.

Ohjauskeskus asennetaan pääkeskuksen läheisyyteen seinälle paikkaan, missä siihen on helppo päästä käsiksi. Komponenttien asennus ja johdotukset sekä kytkennät on todennäköisesti helpointa tehdä esim. tehtaalla pöydän päällä niin pitkälle kuin mahdollista ja kuljettaa keskus sitten paikan päälle. Keskuksen ja kaapelien asennukset hoitaa ABB:n oma henkilöstö.

4.3 Käyttöönotto ja tarkastukset

Asennusten jälkeen on tietysti otettava se myös käyttöön ja ennen varsinaista käyttöönottoa on sille tehtävä käyttöönottotarkastukset. Tarkastuksiin kuuluu sekä aistinvaraisia, että laskelmilla tai mittaamalla tehtäviä tarkastuksia ja niitä voidaan suorittaa asennuksen yhteydessä ja/tai sen jälkeen. Vaatimukset sähköasennusten käyttöönotto- ja kunnossapitotarkastuksille esitetään standardissa SFS 6000-6.

Noudattamalla standardin luvussa 61 esittämiä vaatimuksia käyttöönottotarkastuksesta varmistutaan, että asennukset täyttävät SFS 6000 muiden osien vaatimukset niin hyvin kuin se käytännössä on mahdollista.

Aistinvaraisessa tarkastuksessa on käytävä läpi ainakin seuraavat kohdat, mikäli ne ovat aiheellisia tarkistaa

- sähköiskulta suojaukseen käytetyt menetelmät
- palosuojausten käyttö ja toimenpiteet lämpövaikutuksilta suojaamiseksi sekä palon leviämiseen estämiseksi tehdyt toimenpiteet
- johtimien valinta kuormitettavuuden ja sallitun jännitteenalenneman kannalta
- suoja- ja valvontalaitteiden valinta ja asettelu
- erotus- ja kytkentälaitteiden valinta ja oikea sijoitus
- sähkölaitteiden ja suojausmenetelmien valinta ulkoisten tekijöiden mukaan
- nolla- ja suojajohtimien oikeat tunnuksot
- yksivaiheisten kytkinlaitteiden kytkentä äärijohtimiin
- piirustusten, varoituskilpien tai vastaavien tietojen olemassaolo
- virtapiirien, varokkeiden, kytkimien, liittimien yms. tunnistettavuus
- johtimien liitosten sopivuus
- suojajohtimien, mukaan luettuna suojaavien potentiaalintasausjohtimien ja lisäpotentiaalintasausjohtimien olemassa olo ja sopivuus
- sähkölaitteiston käytön, tunnistamisen ja huollon vaatima tila.

Laskemalla ja mittaamalla tehtäviin tarkastuksiin kuuluu seuraavat testit ja ne suoritetaan mieluiten seuraavassa järjestyksessä

- suojajohtimien jatkuvuus
- sähköasennuksen eristysresistanssi
- SELV- ja PELV- piirien tai sähköisesti erotettujen piirien erotus
- lattia- ja seinäpintojen resistanssi
- syötön automaattisen poiskytkennän toiminta
- lisäsuojaus
- napaisuustesti

- kiertosuunnan mittaus
- toiminta- ja käyttötestit
- jännitteenalenema.

Jos tarkastuksien yhteydessä huomataan puutteita, pitää ne korjata ennen asennuksen käyttöönottoa. Kaikkia standardissa mainittuja kohtia ei ole tarpeen käydä läpi, sillä ne eivät kuulu asennukseen, kuten esim. lattia- ja seinäpintojen resistanssi. (7.)

SFS-standardissa yli 500 V nimellisjännitteisille asennuksille on tehtävä eristysvastusmittaus 1000 voltin DC-jännitteellä ja eristysresistanssi on oltava vähintään 1,0 MΩ. Generaattorille ja moottorille tehdään eristysvastusmittaukset kaikkien vaiheiden ja rungon välille. Generaattorin kohdalla vaiheiden ja rungon välisen eristysvastuksen täytyy olla vähintään 10 MΩ ja ABB:n moottoreiden eristysvastuksen vähintään 100 MΩ. Eristysvastusmittauksella todetaan, että eristysten ovat ennen käyttöönottoa ehjät ja ettei koneeseen ole päässyt kosteutta, joka heikentää eristystä. Lämpötilan mittaustanturit on maadoitettava ennen eristysvastusmittauksia.

5 Yhteenveto

Työn tarkoituksena oli suunnitella, hankkia, asentaa ja käyttöönottaa uusi apusähköä tuottava generaattorikoneikko, jolla korvataan tehtaan generaattorikoestamon väliaikaiseksi rakennettu apusähkönsyöttö. Tavoitteena oli myös liittää uusi järjestelmä nykyiseen, sekä tehdä uudesta järjestelmästä nykyistä monipuolisempi ja käyttöön mukautuvampi.

Työn aikana ilmeni joitain hankaluuksia mm. suojauksen suunnittelussa, laite- ja tavarahankinnoissa, sekä asennustöissä. Koneiden ja varsinkin keskusten tilaaminen ja toimitusaika venyi melko lailla odotettua pidemmäksi, joten asennustöille ja käyttöönotolle ei jäänyt insinööriyön puitteissa kovin paljon aikaa. Myös koneiden saanti asennuspaikalle hankaloitui käytännön ongelmien vuoksi. Muun muassa muuntamon lattiaa jouduttiin vahvistamaan siirtoa varten, joka myös venytti asennusaikataulua.

Työssä saatiin määriteltyä käytännössä kaikki uuden apusähkönsyöttöjärjestelmän rakentamiseen tarvittavat laitteet ja komponentit. Työssä saatiin tehtyä myös lähes kaikki järjestelmän käyttöönottoa varten tarvittavat suunnitelmat ja hankinnat sekä osa

laitteistosta saatiin asennettua. Työn laajuudesta johtuen päätettiin kuitenkin jättää käyttöönotto-osuus pois työstä ja johtuen mm. toimitusajoista, osa asennuksista jäi insinööriyön puitteissa suorittamatta. Asennustyöt ja käyttöönotto tehdään kuitenkin loppuun insinööriyön valmistumisen jälkeen.

Nykyisessä apusähkönsyöttöjärjestelmässä ei ole mahdollista vaihtaa eri koestuspisteitä syöttävää generaattoria. Tämä ominaisuus voitaisiin lisätä jatkossa nykyiseen moottoripuolen sähkönsyöttöjärjestelmään lisäämällä keskuksiin ohjattuja vaihtokytkimiä.

Mahdollisuutena myöhemmin voisi olla myös generaattorien rinnankäyttö, jolloin verkosta saataisiin jokseenkin vakaampi, kun kuorma voidaan jakaa generaattoreiden kesken. Eri koestusalueilla saatetaan kuitenkin usein käyttää eri jännitteitä tai taajuuksia, joten rinnankäyttö tulisi hyvin harvoin tarpeeseen.

Työ oli erittäin mielenkiintoinen, haastava, monipuolinen ja opettavainen projekti, jonka aikana insinööriyön tekijä joutui miettimään ja tutustumaan moneen eri aiheeseen useasta eri näkökulmasta. Työn aikana tekijä sai kerättyä paljon uutta tietoa sähkösuunnitteluprojektin toteuttamiseen vaadittavista työvaiheista ja varsinkin tahti-generaattorista ja sen käytöstä. Vaikka työssä ei aivan päästy alkuperäiseen tavoitteeseen ja sen tekemiseen kului suunniteltua enemmän aikaa, oli työ kuitenkin onnistunut ja laitteisto saadaan käyttökuntoon melko pian insinööriyön valmistumisen jälkeen.

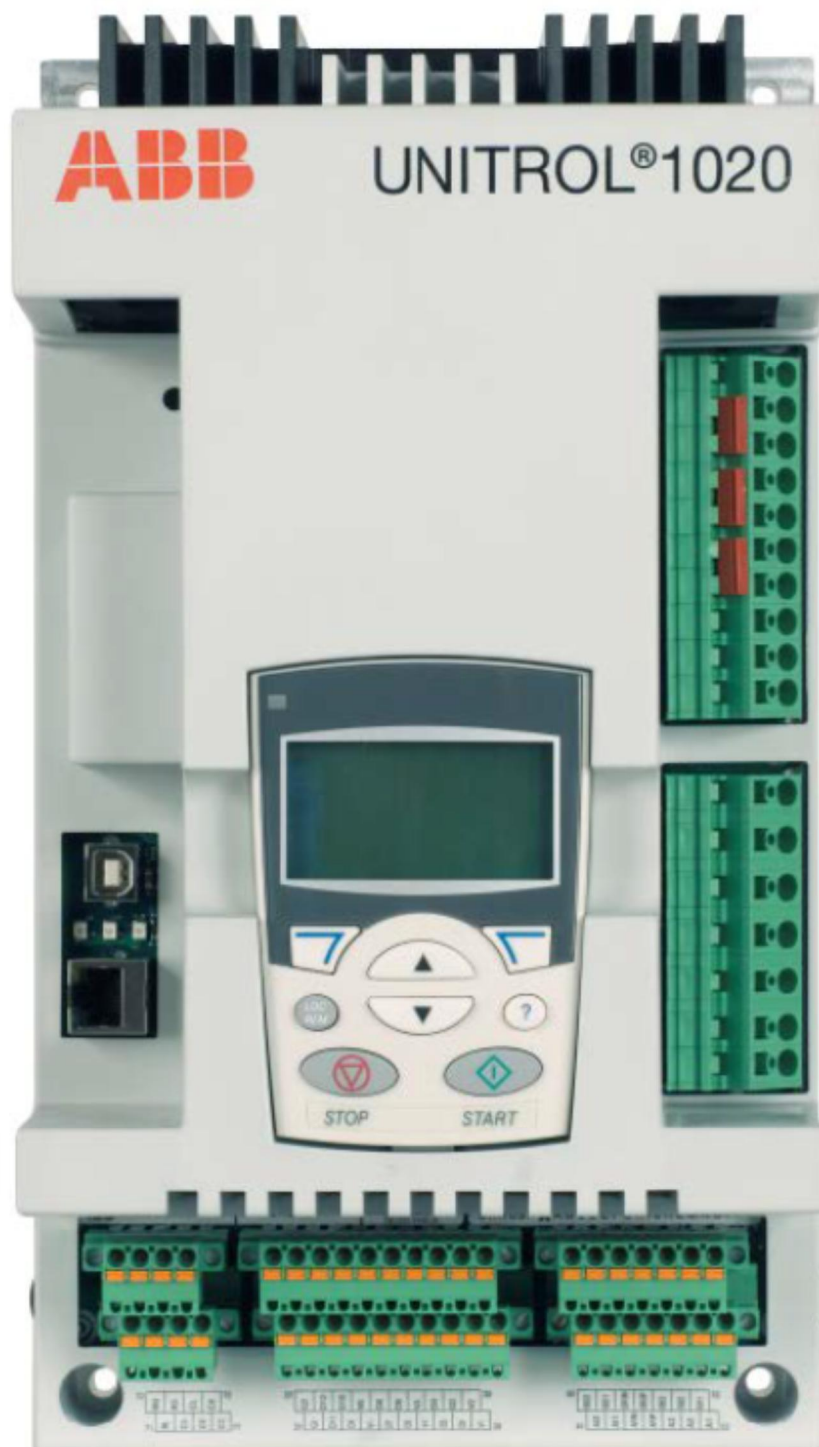
Lähteet

- 1 Korpinen L. 1988. Sähkövoimaopus. 10 Sähkökoneet, osa 2.
<http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf>.
- 2 Hietalahti Lauri. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tammertekniikka.
- 3 Hietalahti Lauri. 2001. Säädetyt sähkömoottorikäytöt. Tammertekniikka.
- 4 Aura L, Tonteri A. J. 1996 Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY.
- 5 Pyrhönen Juha. Tahtikoneet luku 7. Luentomoniste. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. <<https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl30a0400/luennot/luku7.pdf>>. Luettu 2.2.2016.
- 6 ABB. Ohjelmointiopas. ACS-580-vakio-ohjausohjelma.
<https://library.e.abb.com/public/3de5b109206d4adfb2f4f2eab40c899d/FI_ACS_580_standard_control_program_FW_C_A5.pdf>. Luettu 28.2.2016.
- 7 SFS-Käsikirja 600-1. 2012. Sähköasennukset. Osa 1: SFS 6000. Pienjännite-sähköasennukset. Helsinki. Suomen Standardisoimisliitto.
- 8 Sähkötieto ry. 2014, ST-käsikirja 30 Sähkötekniisiä taulukoita, 4. Uudistettu painos, Sähköinfo Oy, Espoo.
- 9 Pietikäinen Hannu. 2007. Tahtigeneraattorin oikosulut. Tutkintotyö. Tampereen Ammattikorkeakoulu.
<<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9836/Pietik%C3%A4inen.Hannu.pdf?sequence=2>>.
- 10 ABB. 2000. ABB:n TTT-käsikirja: Teknisiä Tietoja ja Taulukoita. Yhdeksäs painos.
- 11 Köykkä Samuli. 2008. Sähkökeskusten standardin mukainen valmistus. Opin- näytetyö. Satakunnan Ammattikorkeakoulu.
<https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1303/Koykka_Samuli.pdf?sequence=1>. Luettu 15.1.2016.
- 12 Rantaniemi Lasse. 2013. Generaattorin suojausten vaatimukset ja tarkasteleminen. Kandidaattityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
<<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe201303212584>>. Luettu 27.1.2016.
- 13 Unitrol-1020 User Manual (käyttäjän opas). Rev. G. ABB. Päivitetty 2.2014. Luettu 19.2.2016.

- 14 International Energy Agency. 2011. Verkkoartikkeli.
<<http://www.iea.org/newsroomandevents/news/2011/may/2011-05-18-.html>>.
Päivitetty 18.5.2011. Luettu 1.3.2016.

- 15 ABB. Pienjännitekojeet. Kytkimet. Vaihtokytkimet.
<<https://library.e.abb.com/public/ef222f9921691da8c125798b0032e926/1SCC303004C1801.pdf>>. Päivitetty 13.08.2014. Luettu 20.1.2016.

Unitrol-1020 jännitteensäätäjä



Alustan suunnitelma

Alustan suunnitelma johon on lisätty korjatut mitat uutta koneikkoa varten.

