

Ylivainio Tuomas

ALUKSEN DIESELGENERAATTOREIDEN OHJAUS

Merenkulun koulutusohjelma

2020

ALUKSEN DIESELGENERAAATTOREIDEN OHJAUS

Ylivainio, Tuomas
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Merenkulun insinöörin koulutusohjelma
kesäkuu 2020
Sivumäärä: 39
Liitteitä: 3

Asiasanat: Generaattori, Magnetointi, Power management system, Tahdistaminen, Säätäjä

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin aluksen dieselgeneraattoreiden toimintaa, niiden automaattista ohjausta ja myös generaattoreiden rinnankäyttöön ja kuorman jakoon perehdyttiin. Työn tarkoituksena oli antaa yleiskäsitys siitä, miten sähkövoima tuotetaan aluksilla ja kuinka sen tuotantoa ohjataan.

Opinnäytetyötä varten perehdyttiin sähkötekniikan perusteisiin, sähkövoimakoneisiin, aluksen sähköverkkoa koskevaan kirjallisuuteen sekä luokituslaitoksen antamiin määräyksiin koskien generaattoriyksiköitä ja sähköntuotannon automaatiota.

Lopputuloksena on kokonaisuus, jossa käsitellään tärkeimmät osa-alueet aluksen sähkövoimantuotantoa ja ohjausta ajatellen.

CONTROL OF SHIPS DIESEL GENERATORS

Ylivainio, Tuomas

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Marine Engineering

June 2020

Number of pages: 39

Appendices: 3

Keywords: Generator, Excitation, Power Management System, Synchronizing, Governor

The purpose of this thesis was to give basic knowledge of how electric power of vessels is generated and how the automatic control of power generation works. Also, the parallel operation of generators and load sharing between running units were studied.

For this thesis, the basics of electrical engineering, generator design and literature concerning vessels power supply were studied.

The result gathers the most important aspects of vessels power generation and its automation.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
1.1	Aiheen valinta ja rajausta	6
1.2	Tutkimusmenetelmät	6
2	SÄÄNNÖKSET	7
2.1	Tärkeimmät SOLASin asettamat vaatimukset aluksen sähköntuotannolle	7
2.2	DNV GL luokituslaitoksen vaatimukset aluksen sähköntuotannolle.....	7
2.2.1	Vaatimukset koskien generaattoriyksiköitä.....	8
2.2.2	Vaatimukset koskien sähköntuotannon suojausta ja automaatiota	8
3	DIESELGENERAATTORIN RAKENNE JA TOIMINTAPERIAATE	10
3.1	Dieselmoottori.....	10
3.2	Tahtigeneraattori	13
3.3	Generaattorin magnetointi	18
3.3.1	Harjallisen tahtikoneen magnetointi	18
3.3.2	Harjattoman tahtikoneen magnetointi	19
3.3.3	Magnetoinnin säätöjärjestelmän ominaisuudet.....	20
3.4	Jännitteen muodostuminen generaattorissa	21
3.5	Jännitteen säätö	23
4	GENERAATTORIEN KÄYTTÖ	25
4.1	Rinnankäyttö	26
4.1.1	Manuaalinen tahdistaminen	27
4.1.2	Automaattinen tahdistaminen	29
4.2	Kuormanjako	30
4.2.1	Nopeuden alenema eli speed droop.....	30
4.2.2	Isokroninen säätö	33
5	GENERAATTORIEN AUTOMAATIO.....	34
5.1	Kuormasta riippuva käynnistys/pysäytys	34
5.2	Kuormituksen ohjaus.....	35
5.3	Blackoutin havainnointi.....	36
5.4	Tehonvaraus suurille kuluttajille ja epäolennaisten kuluttajien irti kytkeminen	36
5.5	Kuorman siirto akseligenaattorille	37
6	LOPPUPÄÄTELMÄT	38
	LÄHTEET	39
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Sähköntuotanto on olennainen osa alusten toimintaa ja sen kokonaisuuden ymmärtäminen on tärkeää. Nykyaikaisessa aluksessa sähköntuotanto on pitkälti automatisoitua ja onkin hyvä tietää, mihin se kaikki perustuu. Alusten sähkö tuotetaan edelleen pääasiassa dieselgeneraattoreilla, mutta vaihtoehtoisiaakin tapoja on nykyään käytössä, mutta niihin ei tässä työssä puututa.

Tässä työssä perehdytään dieselgeneraattoreiden toimintaan ja aluksen sähköntuotannon ohjaukseen. Dieselgeneraattoreihin ja niiden automatisointiin liittyy myös runsaasti määräyksiä, joista tärkeimmät olen tiivistänyt yhteen lukuun. Koko aluksen sähköntuotantojärjestelmän suunnittelu perustuu näihin säädöksiin generaattorin rakenteesta sähköntuotannon automatisointiin asti.

Tahtigeneraattorin rakenne selvitetään mekaaniset osat läpikäymällä ja tutkimalla, mikä on osien rooli vaihtosähkön syntyemisessä. Lähteenä käyttämäni materiaalit selittivät toimintaperiaatetta pitkälti matemaattisesti, mutta omassa työssäni olen jättänyt matemaattiset kaavat pois, koska työni rajauksen puitteissa en koe tarpeelliseksi syventyä generaattorissa tapahtuviin sähkömagneettisiin ilmiöihin liian perinpohjaisesti.

Generaattorien käyttöön liittyvässä luvussa selvitän, miten generaattoreiden tuottama jännite ja taajuus pidetään halutuissa rajoissa sekä miten useamman yksikön rinnankäyttö on toteutettu. Lopuksi tutkin generaattoreiden automaatiota ja Power Management Systemin toimintoja.

Tavoitteeni tälle työlle on se, että lukija saisi selvyyden siihen, kuinka sähköä tuotetaan ja miten sen tuotantoa ohjataan aluksilla. Olen koettanut havainnollistaa asiat siten, että lukijalla ei tarvitsisi olla aikaisempaa tietoa aiheesta saadakseen työstäni jotain selville.

1.1 Aiheen valinta ja rajaus

Koulussa käydyt sähkövoimatekniikan kurssit herättivät mielenkiintoni perehtyä hiukan syvemmin myös aluksen sähköpuoleen ja tuntui siltä, että koulussa opetettu oli vain pintaraapaisu aiheeseen.

Päädyin aiheeseen, koska halusin selvittää jonkin mekaanisen laitteen toimintaperiaatteen sekä tutkia myös sähköistä ohjausta. Koen myös tärkeäksi sen, että aluksella työskentelevällä konemestarilla olisi suhteellisen kattava ymmärrys generaattorin toiminnasta sekä aluksen sähköntuotannosta.

Tästä työstä olen rajannut pois hätägeneraattorit, koska niiden perustoiminta on samankaltainen, kuin päägeneraattoreillakin. Tarkoituksena ei ole myöskään perehtyä aluksen sähköverkkoon muuten, kuin päägeneraattoreiden osalta.

1.2 Tutkimusmenetelmät

Tätä opinnäytetyötä varten olen perehtynyt kirjallisuuteen koskien sähkötekniikan ja sähkökoneiden perusteita sekä laivan sähköverkkoja. Näistä materiaaleista olen sitten koostanut kokonaisuuden, jossa käsitellään aluksen dieselgeneraattoreiden toiminnan ja käytön perusperiaate.

2 SÄÄNNÖKSET

Aluksen sähköntuotantoa koskevia vaatimuksia on paljon, joiden pohjana on SOLAS Chapter II-1 Part D, jossa on annettuna vaatimukset aluksen sähköverkkoa koskien. Luokituslaitoksilla on lisäksi omat tarkennuksensa koskien itse generaattoreita sekä sähköntuotannon automatiikkaa ja suojausta.

2.1 Tärkeimmät SOLASin asettamat vaatimukset aluksen sähköntuotannolle

Sähköenergian tuotanto tulee toteuttaa vähintään kahdella päägeneraattorilla. Generaattoriyksiköiden tulee olla sellaisia, että yksi yksikkö pystyy turvaamaan sähköntuotannon aluksen normaalia operointia sekä riittäviä asumisolosuhteita varten. Riittävillä asumisolosuhteilla tarkoitetaan keittiön toimintaa, lämmitystä, kylmätilojen jäähdytystä sekä talous- ja juomaveden saatavuutta. Yhden generaattoriyksikön tulee olla sellainen, että se mahdollistaa pääpropulsiokoneiston käynnistämiseen kuolleesta tilasta. (SOLAS II-1/41.1.1 - 1.2.)

Vähintään yhden generaattoriyksikön voimakoneineen sekä päätaulun tulee olla samassa osastossa, mikä turvaa sähköntuotannon tulipalon tai muun onnettomuuden sattuessa. Tämä tarkoittaa sitä, että koko sähköntuotanto menetetään vain siinä tapauksessa, mikäli tämä kyseinen osasto, missä sekä generaattoriyksikkö, että päätaulu sijaitsevat, tuhoutuu. (SOLAS II-1/41.3.)

2.2 DNV GL luokituslaitoksen vaatimukset aluksen sähköntuotannolle

Säännöksiä on paljon koskien sekä generaattoriyksikköä, että pääasiallisen voimantilan suojaamista ja ohjausta. Seuraavassa on kerrottuna pääkohdat määräyksistä, joita DNV GL on antanut.

2.2.1 Vaatimukset koskien generaattoriyksiköitä

Pyörivien sähkökoneiden suunnittelusta ja toiminnasta määrätään IEC 60092-301 standardissa sekä IEC 60034 standardissa. DNV GL asettaa omia vaatimuksia generaattoriyksiköiden rakennetta koskien. Jännitteen ja taajuuden säätö tulee olla toteutettu siten, että generaattorin tuottaman sähkön taajuus ja jännite pysyvät annetuissa rajoissa kuormitustilanteesta riippumatta. Useampaa generaattoria käytettäessä rinnan päto- ja loistehon tulee jakautua tasaisesti eri yksiköiden välillä koko kuormitusalueella (DNVGL-RU SHIP Pt.4 Ch.8. Sec. 5.1 - 5.2.)

2.2.2 Vaatimukset koskien sähköntuotannon suojausta ja automaatiota

Pääasiallisen voimanlähteen suojaus ja automaatio ovat tärkeä osa sähköntuotannon luotettavuutta, joten sitä koskien on lukuisia vaatimuksia. Jokaista generaattoriyksiköä kohti tulee olla oma erillinen ja itsenäinen suojayksikkö, jonka ominaisuuksiin kuuluu suojaaminen vikatiloja vastaan, voimakoneen pysäyttäminen ja generaattorin irrotus verkosta. Samojen suojien tulee olla toiminnassa riippumatta siitä, onko generaattori käsi- tai automaattikäytössä.

Generaattoriyksikön manuaalisen ohjauspisteen tulee sisältää tarvittavat tiedot järjestelmän tilasta sekä ohjailumahdollisuudet laitteiston turvallista käyttöä varten. Vähimmäisvaatimuksena ovat seuraavat:

- Voimanlähteen käynnistys/pysäytys
- Katkaisija verkkoon kytkemistä varten ja osoitus siitä onko generaattori kytkettynä verkkoon vai ei
- Tuotettu teho kW
- Tuotettu loisteho kVAr
- Tieto kaikissa vaiheissa vaikuttavasta sähkövirrasta
- Vaiheiden lähdejännite
- Virtakiskon (busbar) jännite
- Generaattorin taajuus
- Virtakiskon taajuus

- Säätolaitteet generaattorin verkkoon tahdistamista varten
- Kuormanjako verkkoon kytkettyjen voimanlähteiden välillä

(DNVGL-RU SHIP Pt.4 Ch.8. Sec. 2.8.1 - 2.8.3.)

Blackoutista palautumiseen on annettu myös määräyksiä.

- Päävoimanlähteen tulee palautua automaattisesti blackoutista ja aloittaa sähkönsyöttö uudelleen.
- Generaattoreiden tulee kytkeytyä verkkoon yksi kerrallaan ja uudelleen kytkeytymisen tulee olla mahdollista vasta sitten, kun kaikki generaattorit ovat irti verkosta
- Automaattinen kytkeytyminen verkkoon tulee tapahtua vasta sitten, kun generaattorin taajuus on sallituissa rajoissa

(DNVGL-RU SHIP Pt.4 Ch.8. Sec. 2.8.5.)

Kokonaisuudessaan annetut määräykset löytyvät Liitteestä 1: Control of main sources of power and main switchboards ja Liitteestä 2: Rotating machines.

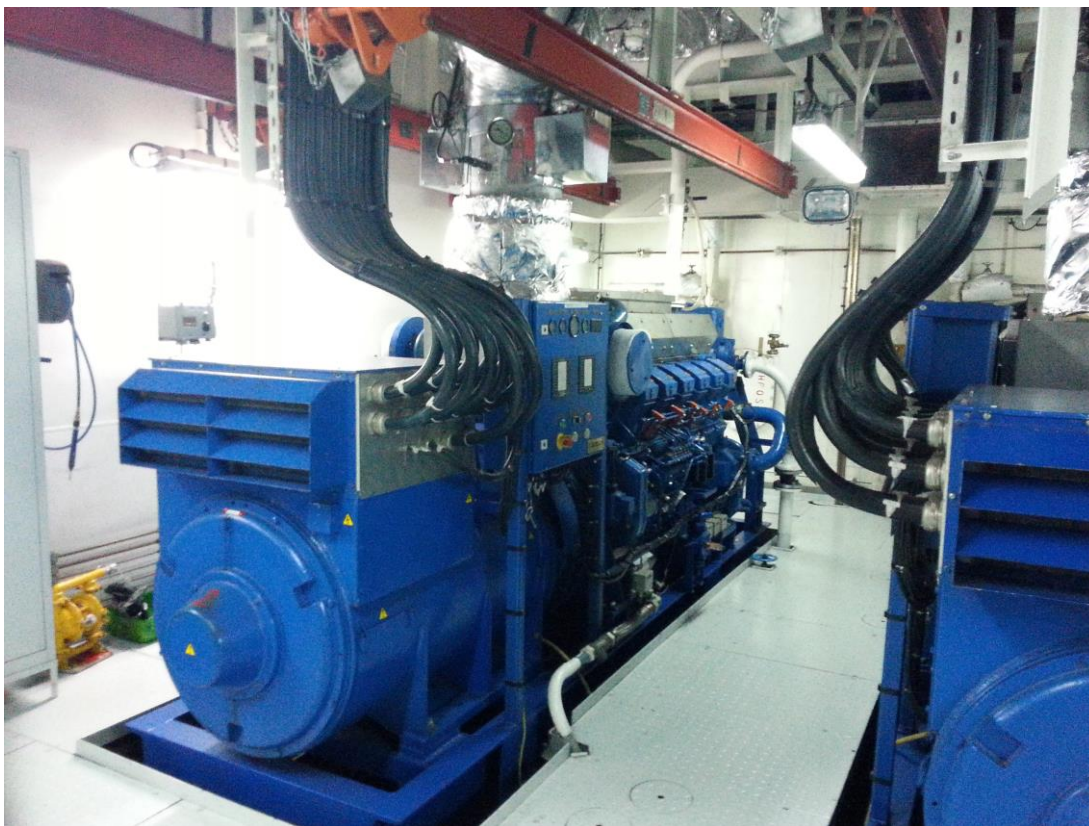
3 DIESELGENERAATTORIN RAKENNE JA TOIMINTAPERIAATE

3.1 Dieselmoottori

Dieselmoottori pyörittää generaattorin eli tahtikoneen roottoria ja säätelee sen pyörimisnopeutta ja sitä kautta tuotetun sähkön taajuutta. Olennainen osa on säätäjä, joka pitää moottorin käyntinopeuden vakiona kuormituksesta riippumatta.

Laivoilla generaattorikäytössä oleva moottori on yleensä keskinopea diesel, mutta pienissä aluksissa käytetään nopeakäyntisiä moottoreita. Akseligenaattorikäytössä laivan pääkone toimii generaattorin voimakoneena. Dieselsähköisissä järjestelmissä aluksen pääkoneet pyörittävät generaattoreita ja sähköiset propulsiomoottorit aluksen potkureita. Tällaista järjestelyä kutsutaan voimalaitosperiaatteeksi.

Liitteessä 3 generaattorin voimakoneena toimivan dieselmoottorin instrumentaatiota ja hälytyksiä koskevat vaatimukset.



Kuva 1. Generaattoriyksikkö. (T. Ylivainio 2020)

Dieselmoottorin yhteyteen sijoitetaan kierrosnopeuden säädin, joka on mekaaninen, hydraulinen tai sähköinen laite. Laivoilla säätimet ovat mekaanishydraulisia tai sähköisiä riippuen moottorista. Moottoreissa, jotka käyttävät Common Rail ruiskutusjärjestelmää, käytetään sähköisiä säätimiä. Perinteisellä polttoaineen ruiskutuksella varustetuissa moottoreissa käytetään mekaanishydraulisia säätimiä. Säätimen tehtävä on nimensä mukaisesti säädellä moottorin kierrosnopeutta ja pitää se asetetuissa rajoissa, kuormituksesta riippumatta, koska tuotetun sähkön taajuus on riippuvainen generaattorin pyörimisnopeudesta. Säädin kytketään dieselmoottoriin hammaspyörän välityksellä ja se säätelee polttoaineen syöttöä ja sitä kautta moottorin käyntinopeutta. (Lehmusto n.d.)

Kun generaattorin kuormitusta kasvatetaan moottori joutuu tuottamaan suuremman vääntömomentin ja sen kierrosnopeus laskee, kunnes sille syötetään enemmän polttoainetta, jotta se kykenee tuottamaan suuremman vääntömomentin samalla nimellisyörimisnopeudella. Säädin havaitsee pyörimisnopeuden muutoksen kuorman muuttuessa ja säätelee polttoainepumpun syöttökiskoa siten, että moottorin pyörimisnopeus pysyy asetetulla tasolla. (Lehmusto n.d.)

Nopeuden säädön vähimmäisvaatimukset:

- Nopeuden vaihteluväli eli kierrosnopeuden ylimmän ja alimman arvon väli saa olla korkeintaan $\pm 0,5$ % nimelliskierrosnopeudesta.
- Hetkellinen nopeuden muutos saa olla korkeintaan ± 15 % nimelliskierrosluvusta kuorman kasvaessa tai pienentyessä 60 %.
- Palautumisaika, eli aika, joka kuluu kuormanmuutoksesta siihen, että nopeus on asettunut normaalin vaihteluvälinsä sisäpuolelle, ei saa ylittää 15 sekuntia, kun kuormaa nostetaan 60 %.
- Suurin nopeuden alenema on korkeintaan 5 %. (Lehmusto n.d.)



Kuva 2. Kierrosnopeuden säädin Wärtsilän dieseliin kytkettynä. (T. Ylivainio 2020)



Kuva 3. Woodward säätäjä. (Goltens www-sivut)

Luvussa 4 käsitellään kierrosnopeuden säätimen virkaa jaettaessa kuormaa useamman generaattoriyksikön välillä.

3.2 Tahtigeneraattori

Tahtigeneraattori on sähkökone, joka muuttaa voimakoneen mekaanisen tehon sähkötehoksi, jonka se sitten luovuttaa sähköverkkoon. Nimitys tahtigeneraattori (tästä eteenpäin generaattori) tulee siitä, että roottori ja magneettikenttä pyörivät samalla nopeudella eli tahdissa. Generaattori rakentuu kiinteästä staattorista ja sen sisällä olevasta, voimakoneen pyörittämästä roottorista sekä roottorin magnetoinnin luomiseen käytetystä magnetointikoneesta, jota kutsutaan myös herätinkoneeksi. Generaattorin toiminta perustuu sähkömagneettiseen induktioon. Roottorin napoihin muodostetaan magneettikenttä, joka ohittaessaan staattorin käämityksen indusoi niihin sinimuotoisen jännitteen.

Generaattorin kehittämän jännitteen taajuus riippuu roottorin napaparien lukumäärästä ja generaattorin pyörimisnopeudesta. Yleisesti ottaen laivojen sähköverkot ovat taajuukseltaan 50 Hz, jolloin jännitteet ovat 230 V ja 400 V, tai 60 Hz, jolloin jännitteet ovat 110V ja 440V. Sähköisessä propulsiokäytössä verkon jännite on kilovolttiluokkaa.

Tahtigeneraattorin pyörimisnopeus ja sen kehittämän sähköön taajuus sekä generaattorin napaparien lukumäärä ovat yhteydessä toisiinsa seuraavan yhtälön osoittamalla tavalla:

$$n = \frac{f}{p} \text{ eli } n = \frac{60 \cdot f / \text{Hz}}{p} \frac{r}{\text{min}}$$

jossa n = Generaattorin pyörimisnopeus
 f = sähköön taajuus
 p = napaparien lukumäärä

Esimerkki: Jos generaattorissa on kolme napaparia, niin dieselmoottorin käyntinopeuden tulee olla 1000 kierrosta minuutissa, että saadaan sähkön taajuudeksi 50 Hz.

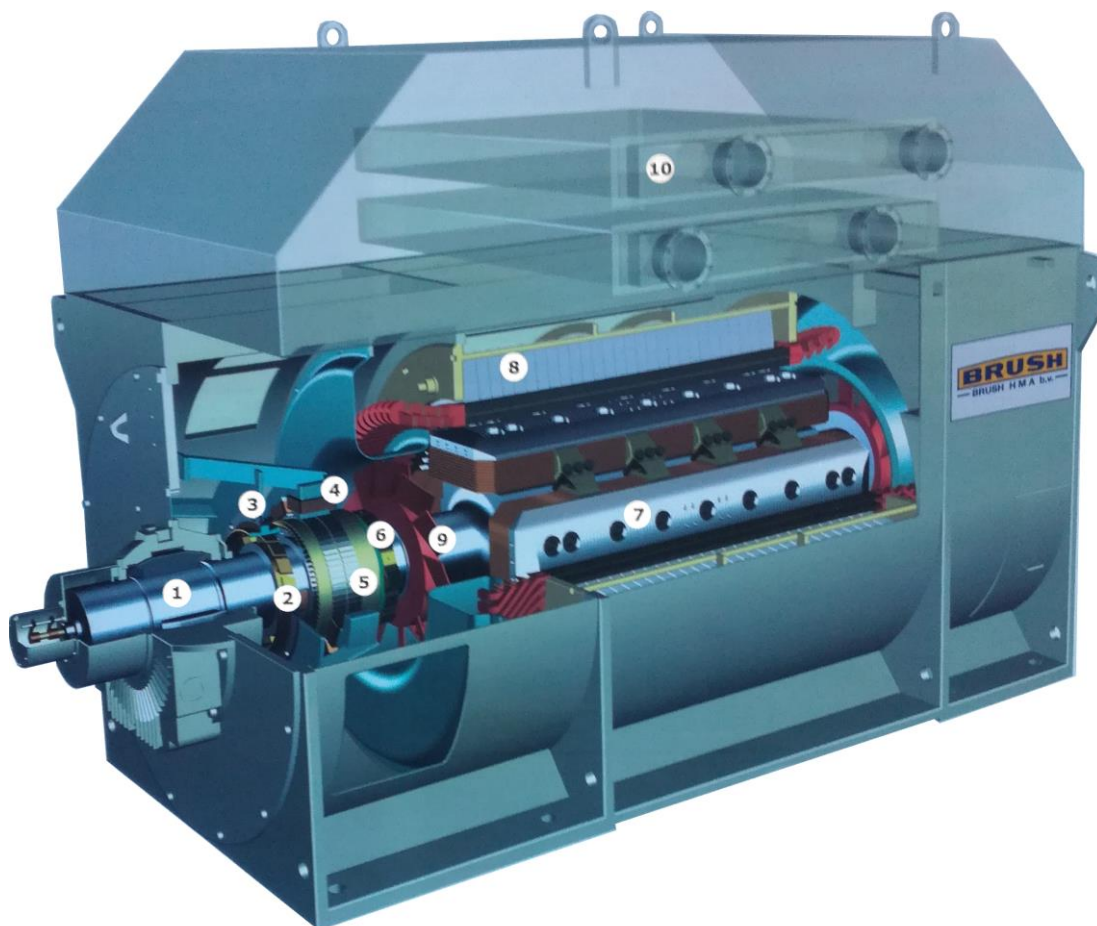
Taulukosta 1 käy ilmi se, että mitä vähemmän napapareja generaattorilla on niin, sitä suuremmalla nopeudella voimakoneen tulee pyörittää roottoria, että saadaan haluttu taajuus, oli se sitten 50 Hz tai 60 Hz.

Taulukko 1. Generaattorin pyörimisnopeuden suhde taajuuteen ja napaparien lukumäärään. (Borstalp & Ten Katen 2011, 73.)

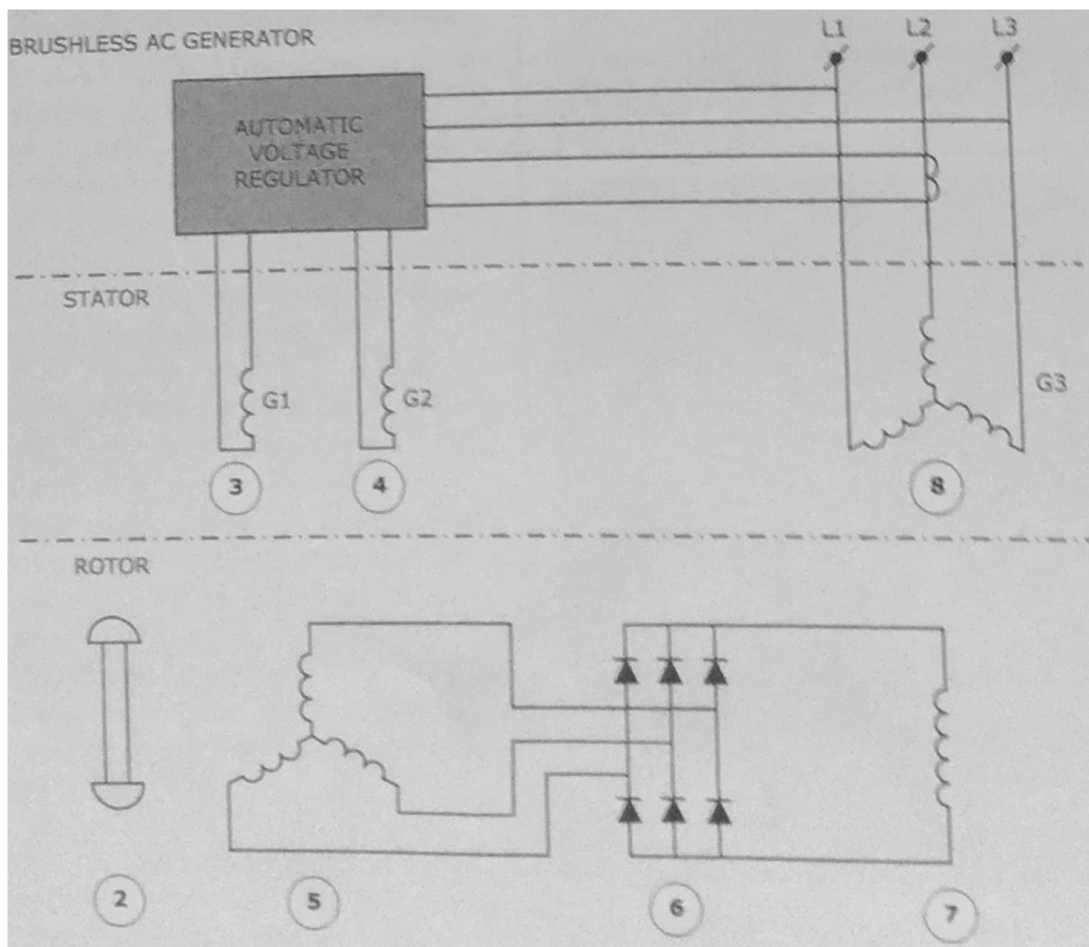
SÄHKÖN TAAJUUS		NAVAT	NAPAPARIT
50Hz	60Hz		
RPM			
3000	3600	2	1
1500	1800	4	2
1000	1200	6	3
750	900	8	4
600	720	10	5
500	600	12	6

Generaattori rakentuu kolmesta samalle akselille sijoitetusta generaattorista. Komponentit käyvät ilmi kuvasta 4.

1. Akselin laakerointi 2. ja 3. Kestomagnetoitu herätinkone 4. ja 5. Magnetointikoneen staattori ja roottori 6. Pyörivät tasasuuntaajadiodit 7. Päägeneraattorin roottorin navat 8. Staattorin käämit 9. Puhallin 10. Jäähdytyksen lämmönvaihdin.

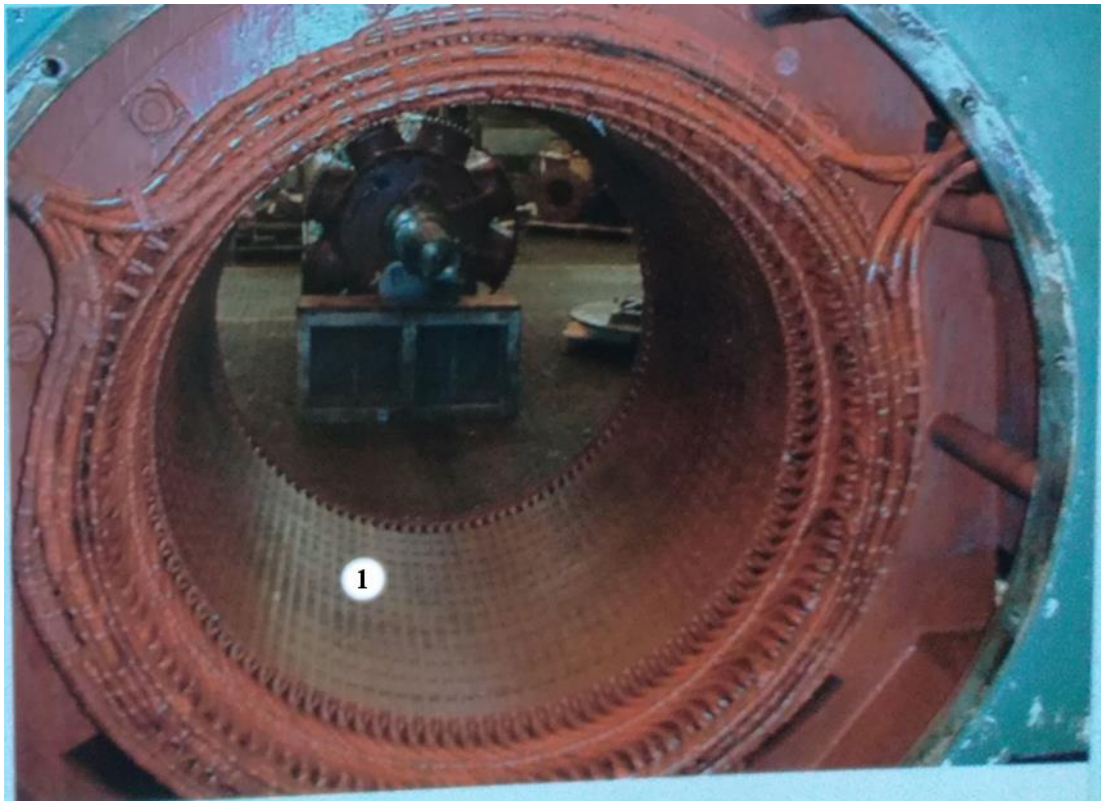


Kuva 4. Generaattorin rakenne. (Borstlap & Ten Katen 2011, 76)

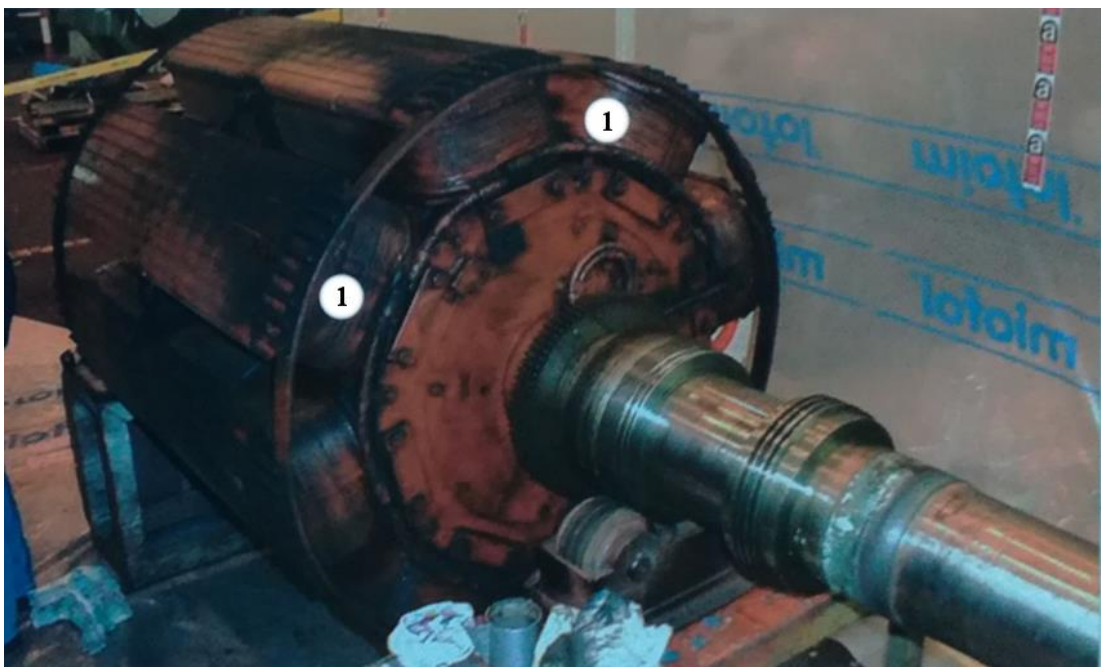


Kuva 5. Kaaviokuva generaattorin rakenteesta, numeroiden selitykset sivulla 15. (Borstlap & Ten Katen 2011, 76)

Dieselgeneraattorikäytössä tahtikoneena käytetään avonapakonetta, jossa roottori koostuu erillisistä navoista. Kiinteän staattorin (Kuva 6) käämitys on muotoiltu niin, että niihin indusoituva jännite on mahdollisimman sinimuotoinen. Staattorin sisällä on voimakoneen pyörittämä roottori (Kuva 7), joka tehdään suuresta rautakappaleesta koneistamalla. Sen kehällä on napaparit, joiden ympärille on käämitty kuparinen magne-
tointikäämitys. (Häkkinen 1993, 111-112.)



Kuva 6. Staattori, käämit merkitty numerolla 1. (Borstlap & Ten Katen 2011, 77)



Kuva 7. Roottori, navat merkitty numerolla 1. (Borstlap & Ten Katen 2011, 77)

3.3 Generaattorin magnetointi

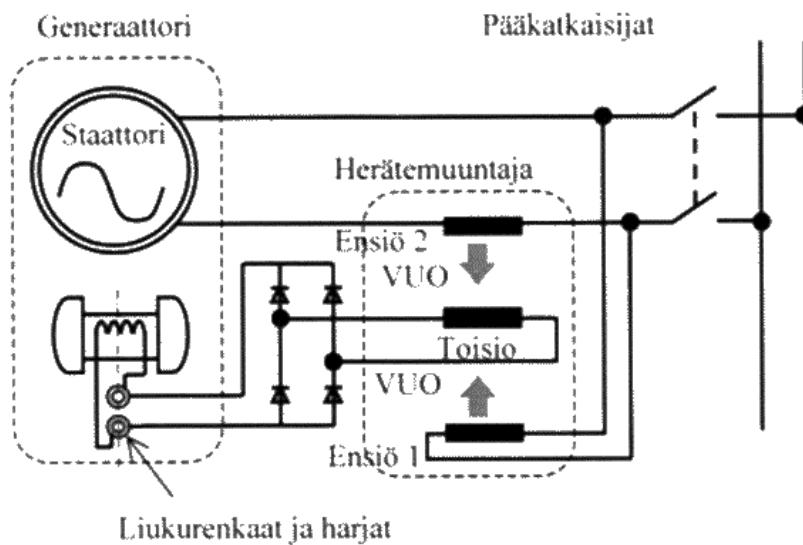
Ennen kuin generaattori voi alkaa tuottamaan jännitettä, laitteisto tulee herättää eli magnetoida. Magnetointi toteutetaan syöttämällä tasavirtaa roottorin napoihin sijoitettuun magnetointikäimitykseen. Magnetointikäimitykseen syötetty magnetoimisvirta synnyttää pääkoneen roottoriin magneettivuon, joka pysyy paikallaan roottorin pyörimisestä huolimatta. Generaattorit eli tahtikoneet jaetaan magnetointimenetelmien perusteella harjallisiin ja harjattomiin tahtikoneisiin. (Häkkinen 2007, 34.)

3.3.1 Harjallisen tahtikoneen magnetointi

Harjallisissa koneissa magnetoimisvirta tuodaan roottorikäymiin hiiliharjojen ja liukurenkaiden välityksellä. Magnetointiteho otetaan joko ulkoisesta tasasähkölähteestä tai vaihtosähkölähteestä. Tasasähkölähteenä voi olla pääkoneen roottorin kanssa samalle akselille sijoitettu tasavirtageneraattori tai erillinen tasasähkölähte. (Häkkinen 2007, 34.)

Ulostulojännite saadaan pidettyä oikeana magnetointia säätämällä, koska staattorissa vaikuttavan magneettivuon voimakkuus vaikuttaa generaattorin tuottamaan jännitteeseen. Harjallisen tahtikoneen magnetoinnin säätöön voidaan käyttää eri menetelmiä, joista yksi on Kompound-järjestelmä (Kuva 8), jossa otetaan tyhjäkäyntimagnetointi kiinteällä tasasuuntaajalla generaattorin navoista. (Häkkinen 2007, 34.)

Generaattorin kuorman kasvaessa tasasuuntaajaan syöttöä lisätään kuormitusvirrasta riippuvalla määrällä. Kuorman vähentyessä syöttöä pienennetään. Tällainen staattinen magnetoinninsäätö voidaan sijoittaa joko sähköpäätauluun tai generaattorin yhteyteen. Tällaisen järjestelmän heikkouksia on säädön epätarkkuus ja useamman generaattorin rinnankäytön vaikeus, koska kyseisestä järjestelmästä puuttuu varsinainen jännitteen-säätäjä. (Häkkinen 2007, 34.)



Kuva 8. Compound-tyyppinen herätejärjestelmä, näkyvissä vain yksi vaihe kolmesta (Häkkinen 2007, 34)

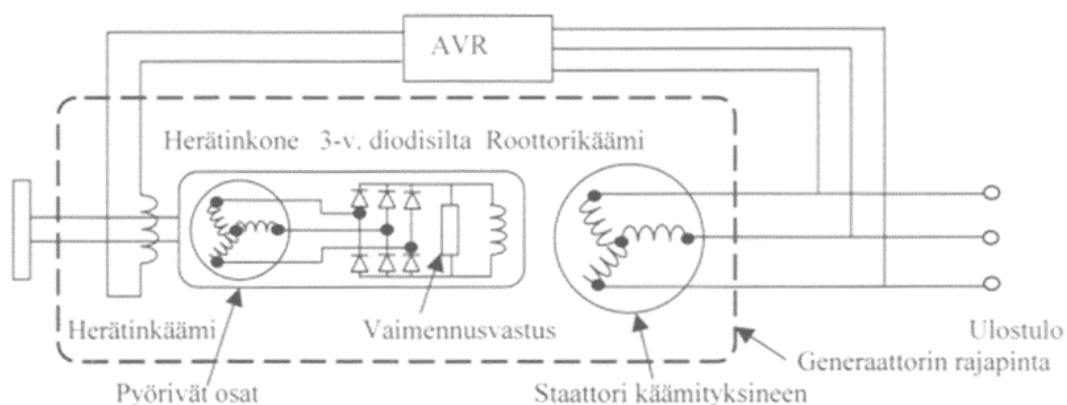
Toinen käytössä oleva staattinen säätöjärjestelmä on tyristoritasasuuntaaja, jota voidaan ohjata elektronisella säätäjällä niin, että roottorin napajännite pysyy vakiona. Tällainen säätö on nopea ja tarkka. (Häkkinen 2007, 35.)

Edellä mainituissa tapauksissa ei tarvita erillistä magnetointikonetta, mutta generaattorissa tulee olla liukurenkaat ja hiiliharjat, joiden kautta magnetointivirta saadaan siirrettyä roottorin navoille. (Häkkinen 2007, 35)

3.3.2 Harjattoman tahtikoneen magnetointi

Harjattomassa tahtikoneessa käytetään roottorin kanssa samalla akselilla pyörivää vaihtovirtaerätinkonetta. Herätinkoneen magneettinavat ovat staattorin kehällä ja kolmivaihekäämitys roottorilla. Rakenne on siis varsinaiseen generaattoriin nähden päinvastainen. Lisäksi samalla akselilla on vielä kolmas, kestmagnetoitu magnetointikone, joka mahdollistaa sen, että generaattori saadaan aloittamaan sähköntuotto ilman ulkoista jännitelähdettä. (Häkkinen 2007, 34.)

Magnetointikoneessa syntyvä vaihtojännite tasasuunnataan dioditasasuuntaajalla tasajännitteeksi, joka vaikuttaa päägeneraattorin magnetoimiskäämiin syöttäen siihen magnetoimisvirran. Magnetointia ja sitä kautta päägeneraattorin tuottamaa jännitettä säädellään roottorin käämeissä kulkevaa magnetoimisvirtaa säätämällä. (Aura & Tonteri 1996, 218, 249.)



Kuva 9. Harjaton magnetointikoneisto. AVR on jännitteensäätäjä (Häkkinen 2007, 35)

3.3.3 Magnetoinnin säätöjärjestelmän ominaisuudet

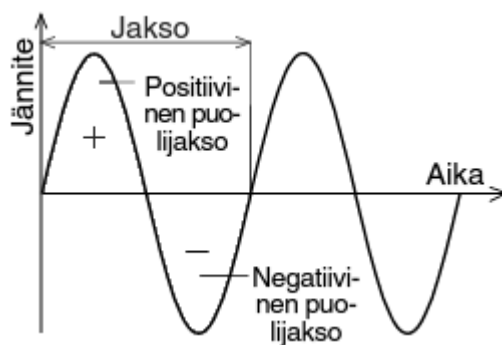
Magnetoinnin säätöjärjestelmän tulisi pitää sisällään seuraavia ominaisuuksia:

- Jännitteen säätö
- Reaktiivisen kuorman kompensointi (voltage droop)
- Jännitteen rajoitus
- Reaktiivisen virran tai tehokertoimen säätö
- Jännitteen nosto
- Magnetoinnin minimi- ja maksimirajoitus
- Reaktiivisen virran minimi- ja maksimirajoitus
- Napakulman rajoitus
- Manuaalinen ajo
- Rinnankäyttöominaisuudet

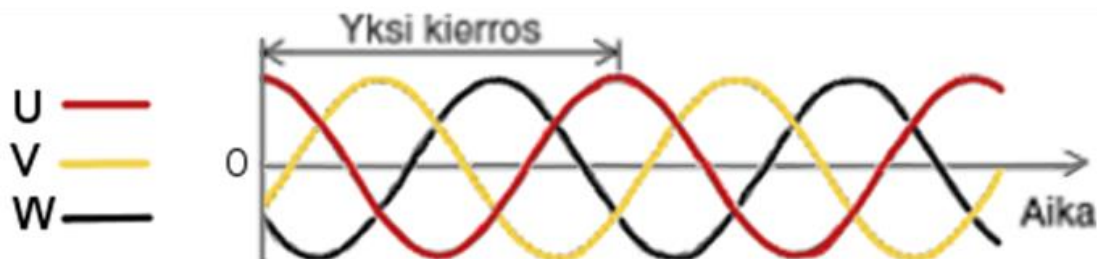
(Hietalahti 2011, 100.)

3.4 Jännitteen muodostuminen generaattorissa

Vaihtojännite koostuu toistuvista jaksoista, jotka muodostuvat positiivisesta ja negatiivisesta puolijaksosta. Jaksojen lukumäärä sekunnissa kertoo vaihtojännitteen taajuuden. (Kuva 10). Jännitteen ollessa nollakohdassa virta ei kulje, mutta kolmivaihevirran tapauksessa vaiheet ovat toisiinsa nähden limittäin ja yksi vaiheista on aina lähestymässä huippukohtaa, joten virrankulku on jatkuvaa (Kuva 11). (Ahoranta 2017, 265, 29.)



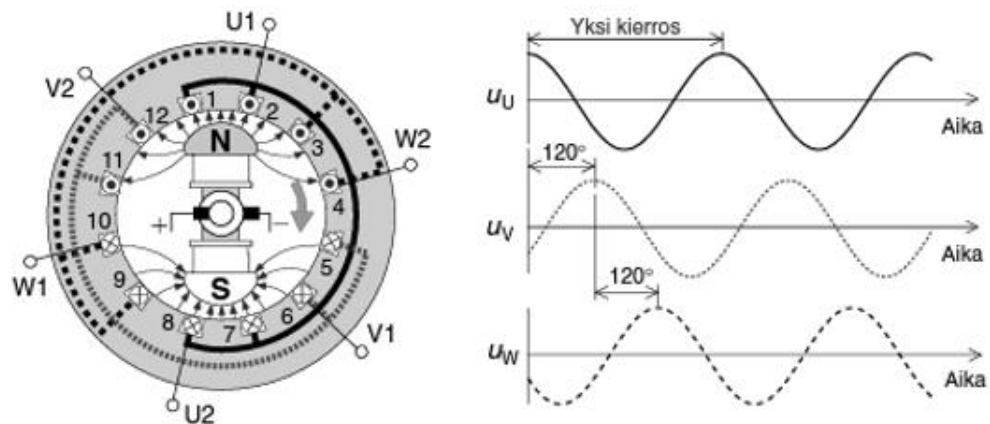
Kuva 10. Yksi vaihe. (Ahoranta 2017, 29)



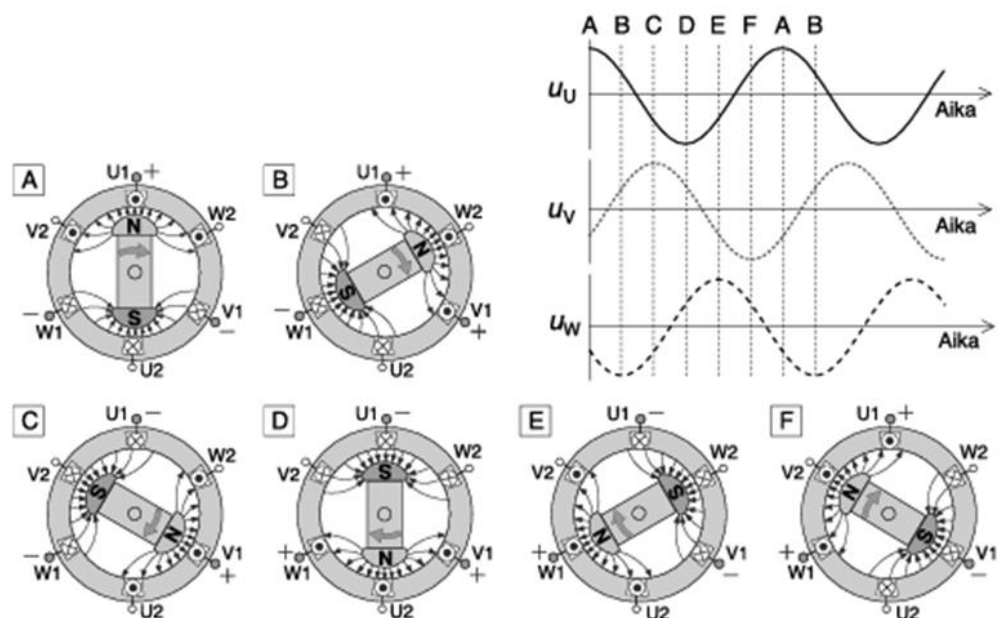
Kuva 11. Kolmivaihejännite, vaiheet merkitty U, V ja W. (T. Ylivainio 2020)

Kolmivaihesähköä tuottavan generaattorin staattorille on käämitty jokaista vaihetta varten oma vaihekäämi, joita merkitään U1-U2, V1-V2 ja W1-W2. Käämit on sijoitettu staattorin kehälle 120° :n päähän toisistaan. Kun magnetoitua roottoria pyöritetään voimakoneella, niin roottorin magneettinapojen magneettikentät leikkaavat staattoriin sijoitettuja vaihekäämejä ja indusoivat niihin lähes sinimuotoisen sähkömotorisen voiman eli jännitteen. Koska käämit ovat 120° :n päässä toisistaan, niin myös käämeihin indusoituvien vaihejännitteiden välillä on 120° :n vaihe-ero (Kuva 12). Generaattorin tuottaman jännitteen suuruus riippuu roottorin pyörimisnopeudesta sekä roottorin magneettikentän voimakkuudesta. (Ahoranta 2017, 265, 269.)

Kuvassa 13 tarkastellaan, kuinka jännitteen suunta vaihtuu roottorin yhden pyörähdyksen aikana.



Kuva 12. Staattorin kolme vaihekäämiä merkittynä U1-U2, V1-V2 ja W1-W2, missä 1 tarkoittaa käämin alkupäätä ja 2 käämin loppupäätä, sekä käämeihin indusoituvan jännitteen vaihe-ero. Huippuarvojen välinen etäisyys merkitsee yhtä kierrosta. (Ahoranta 2017, 269)

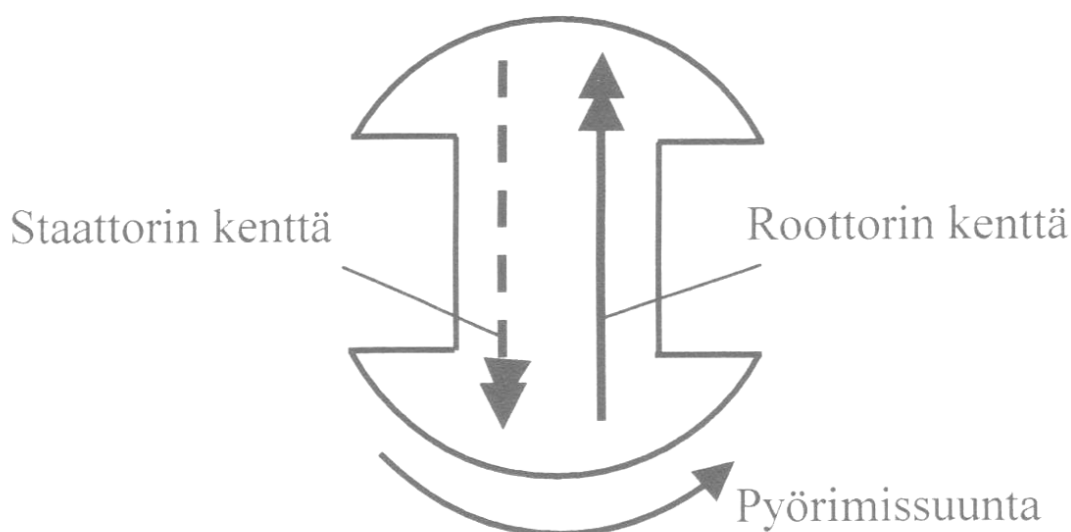


Kuva 13. Jännitteen käyttäytyminen yhden roottorin pyörähdyksen aikana. Käämiin indusoituvaa jännitettä on positiivinen, kun roottorin magneettikentän pohjoisnapa leikkaa käämin alkupäätä. Etelänavan leikatessa käämin alkupäätä jännitteen suunta vaihtuu. (Ahoranta 2017, 270)

3.5 Jännitteen säätö

Jännitteen säätö toteutetaan roottorin magnetointivirtaa säätämällä. Magnetointikoneessa luotu vaihtojännite ohjataan dioditasasuuntaajaan, joka tekee siitä tasasähköä. Magnetointivirran voimakkuus vaikuttaa magneettikentän voimakkuuteen ja sitä kautta generaattorin tuottamaan jännitteeseen. Automatic voltage regulatorin eli automaattisen jännitteensäätäjän (AVR) tehtävänä on säädellä magnetoinnin voimakkuutta ja sitä kautta ulostulojännitettä.

Jännitteen säätö perustuu generaattorissa vaikuttavaan loistehoon, joka ei aiheuta magneettista momenttia roottoriin. Se tuottaa staattoriin pyörivän magneettikentän, joka on roottorin magneettikenttään nähden vastakkainen (Kuva 14). Vastakkain olevat magneettikentät aiheuttavat suuren magneettivuon heikkenemisen, joka merkitsee alentunutta ulostulojännitettä. Jännitteensäätäjä havaitsee jännitteen laskun ja alkaa kasvattamaan roottorin magnetointia, magneettivuon lisäämiseksi. Magnetointia kasvatetaan, kunnes jännite on normaaliarvossaan. (Häkkinen 2007, 38.)



Kuva 14. Staattorin ja roottorin magneettikentät loistehon tapauksessa. (Häkkinen 2007, 38)

Nopeat kuorman muutokset vaikuttavat generaattorin tuottamaan jännitteeseen; kuorman kasvu laskee jännitettä ja kuorman lasku nostaa sitä. AVR pitää jännitteen 2,5 %:n sisällä asetetusta koko kuormitusalueella. AVR seuraa generaattorin tuottamaa

jännitettä ja ohjaa käämien magnetoimisvirtaa sen mukaan. Siihen kuuluu muuntajia, tasasuuntaajia ja piirikortti, joka sijaitsee generaattorissa tai päätaulussa. (Häkkinen 2007, 36.)

AVR mittaa ulostulojännitteen tasavirtasignaalia ja vertaa sitä asetusarvoon. AVR:n ominaisuuksiin kuuluu jännitemuutosten stabilointi, rinnankäyvien generaattorien virran ja loistehon tasaus, nopea jännitteen nosto käynnistyksessä sekä ali- ja ylijännitesuojaus. (Häkkinen 2007, 36.)

Kun generaattori toimii yksin, säätäjä toimii jännitteensäätötilassa. Kun käytetään useampaa kuin yhtä generaattoria, niin silloin käytetään loistehonjakoa. Jako toteutetaan joko droop-säädöllä eli laskevalla jännitekäyrällä tai differentiaalisella kompensoinnilla. Loistehoa säädetään magnetoinnin muutoksilla. Yhden generaattorin magnetoinnin muuttaminen ei vaikuta verkon jännitteeseen vaan kyseisen generaattorin osuuteen loistehosta. (Häkkinen 2007, 37.)

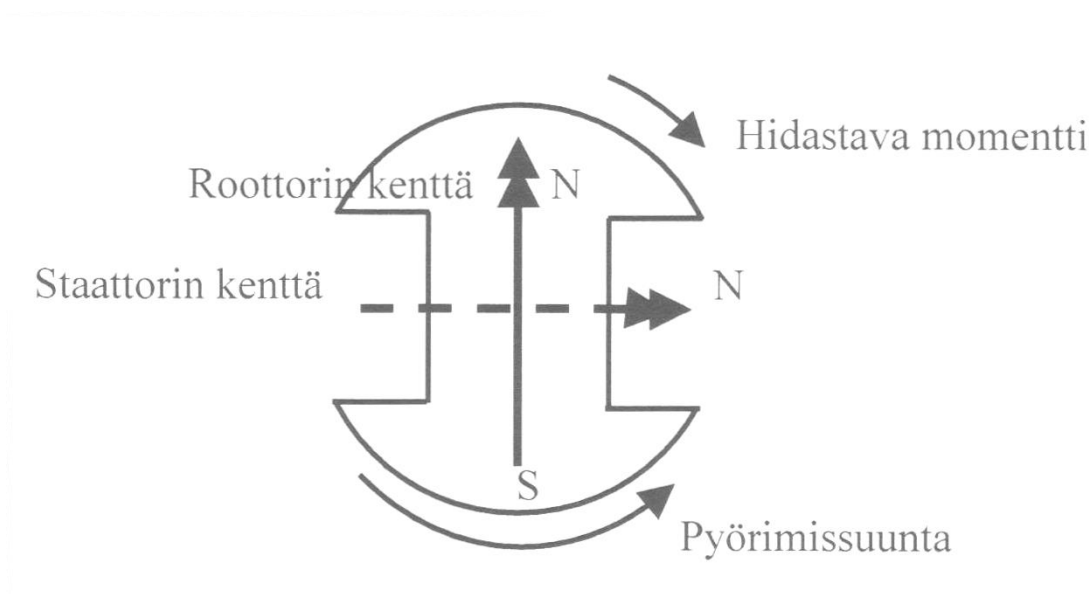
4 GENERAATTORIEN KÄYTTÖ

Useampaa kuin yhtä generaattoria on mahdollista käyttää yhtä aikaa. Tämä vaatii sen, että generaattoreiden kuormaa ohjataan niin ettei yksikään ylikuormitu. Kuorman siirto generaattorilta toiselle suoritetaan sujuvasti niin, että verkkoon syötettävä jännite ei katkea missään vaiheessa. Päägeneraattorit eivät kuitenkaan voi käydä yhtä aikaa hätägeneraattorin tai maistasyötön kanssa. (Häkkinen 2007, 37.)

Rinnankäyttö perustuu pätö- ja loistehon jakaantumiseen oikealla tavalla generaattoreiden kesken. Pätötehon jaosta vastaa voimakoneen nopeuden säätäjä ja loisteho jaetaan magnetointia säätämällä. (Häkkinen 2007, 37.)

Kun generaattori on kuormittamaton, säädetään sen nopeutta, kunnes taajuus on oikea ja jännitteen säätäjää, kunnes jännite on oikea. Kun kuormittamaton generaattori saa resistiivisen lämmitysvastuskuorman, niin voimakoneen tehontarve kasvaa. Tapahtumaketju on kuvattu seuraavassa:

Kun pätöteho eli kuorma tulee päälle, staattorin käämeissä alkaa kulkea virta ja se synnyttää pyörivän magneettikentän, joka pyörii samalla nopeudella kuin roottori. Staattorin magneettikenttä on kohtisuorassa roottorin kenttää vastaan ja synnyttää roottorille magneettisen momentin, joka vastustaa roottorin pyörimistä (Kuva 15). Magneettinen momentti hidastaa roottorin pyörimisnopeutta. Dieselmoottorin nopeuden säätäjä havaitsee tämän hidastumisen ja lisää polttoaineen syöttöä. Polttoaineen syöttö kasvaa siihen asti, kunnes taajuus on jälleen sama kuin alkutilanteessa. Nyt vaadittu pätöteho sekä moottorin pyörimisnopeus ovat oikeat. (Häkkinen 2007, 38.)



Kuva 15. Roottorin ja staattorin välinen magneettikenttä pätötehon tapauksessa. (Häkkinen 2007, 38)

4.1 Rinnankäyttö

Käydessään rinnan generaattoreiden tulee jakaa kuorma tasan. Jos kuormaa ei jaettaisi, niin se johtaisi siihen, että yksi kone kävisi täydellä teholla muiden käydessä pienemällä teholla. Tämä tarkoittaa sitä, että vajaalla teholla käyvien koneiden tehoreservi ei ole käytettävissä. (Borstlap & Ten Katen 2011, 93.)

Voimakoneiden kuormanjaosta vastaa kierrosnopeuden säätäjä, johon asetetaan nopeuden alenema (droop). Nopeuden aleneman suhteessa kuorman kasvuun tulee olla samansuuruinen koko kuormitusalueella ja sen tulee olla yhtenevä koneiden välillä. Jos nopeuden alenemassa on eroa koneiden välillä, niin koneet eivät jaa kuormaa koko kuormitusalueella, vaan ainoastaan tietyllä kokonaiskuormituksella (Borstlap & Ten Katen 2011, 93.)

Myös jänniteensäätäjän tulee olla oikeanlainen rinnankäyttöä varten. Siihen on asetettu laskeva jännitekäyrä, joka sallii 2 – 4 %:n jännitteen laskun nollakuorman ja täyden kuorman välillä. Rinnankäytettävien koneiden säätäjiin asetetun käyrän tulee olla samanlainen, jolloin koneet jakavat kuorman keskenään ottamalla osuuden koneiden mitoitettusta virrasta. (Borstlap & Ten Katen 2011, 93.)

Kuormanjako on saavutettu, kun kaikki koneet syöttävät saman verran sähkötehoa. Kun generaattori ottaa kuormaa, sen roottori pyörii staattorin magneettikentästä jäljessä. Ja kun generaattori antaa kuormaa pois, roottori pyörii staattorin magneettikentän edellä. Kun koneet jakavat kuorman, niiden roottorit pyörivät staattorin kenttää edellä kierrosnopeuden ollessa koneiden välillä sama. (Borstlap & Ten Katen 2011, 96.)

4.1.1 Manuaalinen tahdistaminen

Generaattori tulee synkronoida eli tahdistaa verkon kanssa, ennen kuin se voidaan kytkeä siihen. Tahdistaminen verkkoon edellyttää tiettyjen ehtojen täyttymistä. Ehdot ovat seuraavat:

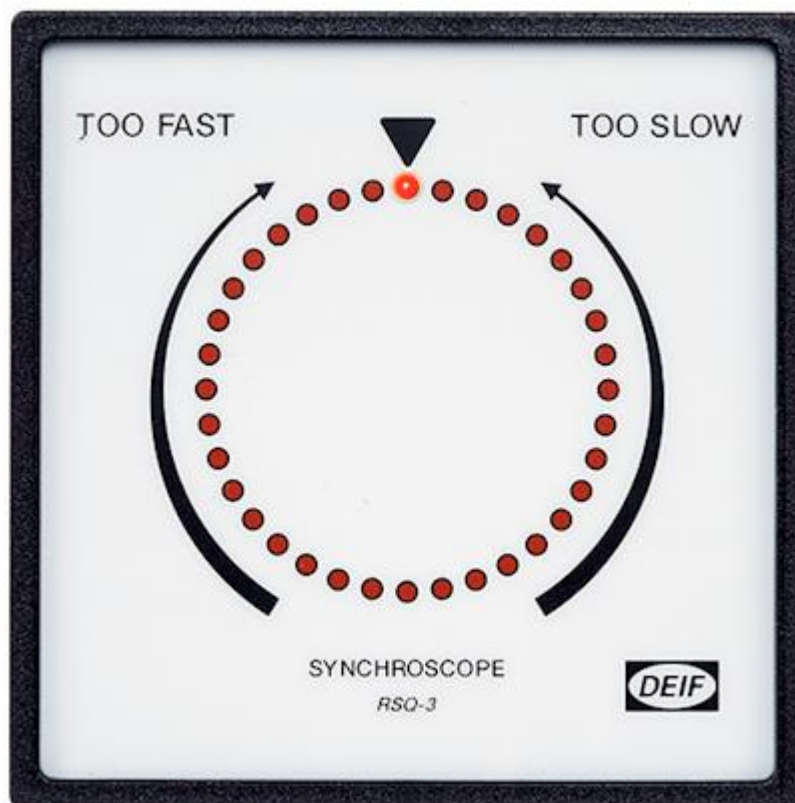
- Generaattorin ja virtakiskon jännitteiden tulee olla itseisarvoltaan ja vaihekulmiltaan yhtä suuret.
- Taajuuksien ja kulmataajuuksien tulee olla lähes yhtä suuret.
- Vaihejärjestys on oltava sama virtakiskon ja generaattorin välillä. (Aura & Tonteri 1996, 234.)

Asetettaessa kaksi konetta käymään rinnan tulee kuormittamaton kone säätää käymään hieman nopeammin kuin kuormitettu kone. Sen jälkeen kone tahdistetaan, jolloin koneen ja virtakiskon välinen vaihe-ero on 0° ja taajuus on yhtenevä. Lopuksi kone asetetaan rinnankäyttötilaan, jolloin se alkaa ottamaan kuormaa jo sähköverkkoon kytke-tyiltä koneilta. Koneiden kytkeminen rinnankäyttötilaan ilman tahdistusta aiheuttaisi se vakavia vaurioita niihin.

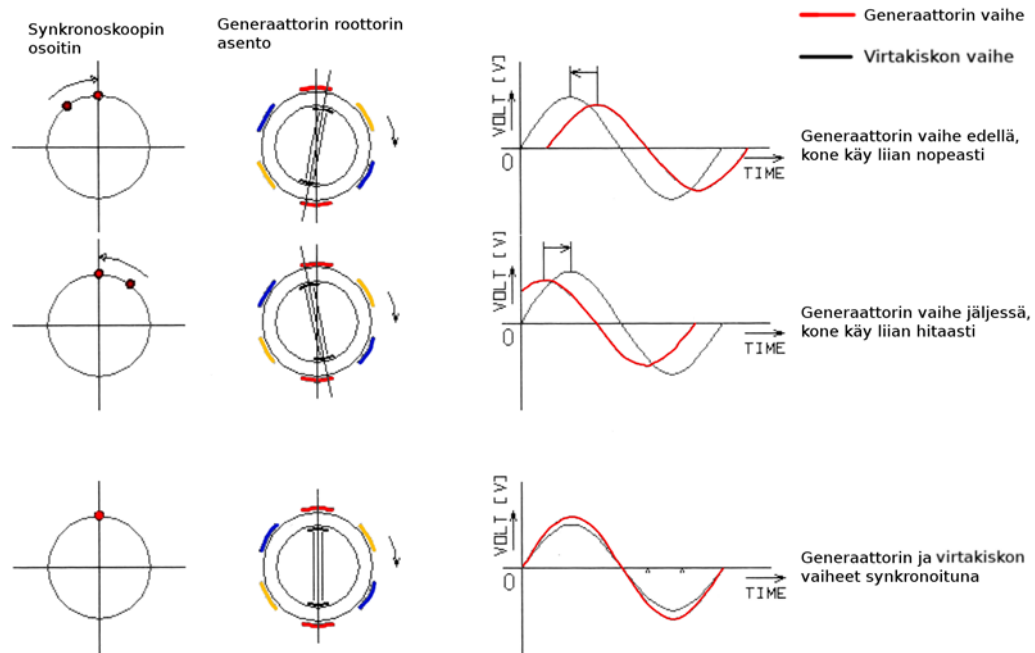
Kuormittamattoman generaattorin kytkeydyttyä verkkoon sen polttoaineen syöttöä kasvatetaan, jolloin se alkaa ottamaan kuormaa toiselta generaattorilta. Tämän seurauksena kuormitetun generaattorin kuormitus vähenee ja polttoaineen syöttö pienee. Tästä eteenpäin koneet jakavat kuorman itsenäisesti koko kuormitusalueella.

Synkronoinnin apuna käytetään synkronoskooppia, joka kertoo, onko verkkoon liitettävä generaattori oikeassa vaiheessa verkkoon nähden. Laite mittaa generaattorin ja virtakiskon jännitettä ja laskee niiden välistä vaihe-eroa, joka sitten osoitetaan kehäksi asetelluilla 36:lla LED valolla. Jos synkronoskoopin LED valo kiertää vastapäivään generaattori käy liian hitaasti ja päinvastoin. Kun LED valo palaa kello kahdessatoista niin vaihe-ero on 0° ja valon palaessa kello kuudessa vaihe-ero on 180° . 36:lla LED valolla päästään 10° :n tarkkuuteen (Kuvat 15 ja 16). (CSQ-3 synkronoskoopin käyttöopas)

Tahdistettavan koneen nopeutta säädellään generaattorin sähköpäätaulussa olevalla kytkimellä, joka ohjaa moottorin kierrosnopeudensäätäjää. Kun tahdistettavan generaattorin ja virtakiskon vaiheiden välinen vaihe-ero on alle 10° , niin generaattorin katkaisija voidaan sulkea. (Borstlap & Ten Katen 2011, 95.)



Kuva 16. Synkronoskoopin osoitin. (Deif - www sivut)



Kuva 16. Synkronoskoopin osoitin havainnollistettuna. (Borstlap & Ten Katen 2011, 96)

4.1.2 Automaattinen tahdistaminen

Manuaalista tahdistamista käytetään nykyisin varamenetelmänä, jos automaatiojärjestelmään tulee jokin häiriö. Automaattiseen tahdistamiseen pätee kuitenkin sama periaate mikä manuaaliseenkin. Generaattorilta mitataan jännitettä, taajuutta ja virtaa ja ne muutetaan elektronisiksi signaaleiksi, jotka prosessoidaan. Lopputulos syötetään kierrosnopeuden säätäjälle, joka tekee tarvittavat muutokset kierrosnopeuteen. Kun vaiheero on sallituissa rajoissa, generaattorin katkaisijalle annetaan sulkeutumiskäskeä. (Borstlap & Ten Katen 2011, 97.)

Automaatiojärjestelmä voidaan tehdä toisistaan erillisistä komponenteista, mutta yleensä toiminnot kootaan yhteen yksikköön. Kehittyneimmät järjestelmät ovat tietokonepohjaisia, joita pystytään valvomaan ja ohjaamaan näytöiltä, joihin tuodaan laitteiston tilaa koskevat tiedot ja parametrit. Tämän kaltaisia järjestelmiä käytetään yleensä monimutkaisten sähköverkkojen tehonhallintajärjestelmissä (PMS), kuten Dynamic Positioning aluksissa. Kyseinen järjestelmä hallitsee sekä stand by- koneiden käynnistystä ja pysäytystä että suurten kuluttajien tehon varausta. Kuvassa 17 Deifin valmistama automaattitahdistin (Borstlap & Ten Katen 2011, 97.)



Kuva 17. Deif PPU-3 automaattinen tahdistinyksikkö, joka hoitaa myös generaattorin suojauksen. (Deif www-sivut)

4.2 Kuormanjako

Käydessään rinnan generaattorit jakavat kuorman keskenään. Kuormanjakoa varten on käytössä kaksi eri menetelmää; droop säätö ja isokrooninen säätö. Droop säädössä moottorin kierrosnopeuden säätimeen on asetettu nopeuden alenema, joka on yleensä 3–5 % koko kuormitusalueella. Isokronisessa säädössä tällaista nopeuden alenemaa ei tarvita.

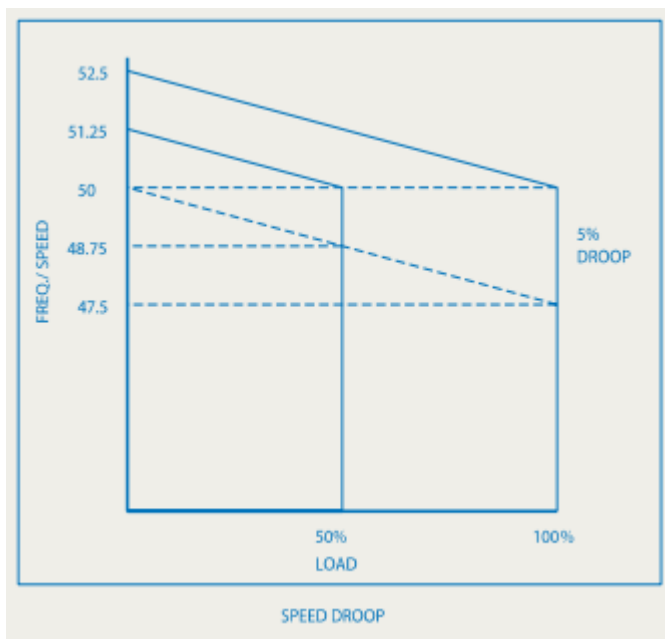
4.2.1 Nopeuden alenema eli speed droop

Generaattoreiden välistä kuormanjakoa varten säätäjään asetetaan nopeuden alenema, eli droop, joka on edelleenkin yleisin kierrosnopeuden säätömenetelmä kuormanjaon toteuttamiseen. Sen periaatteena on, että kierrosnopeuden säätimen nopeusohjetta lasketaan suhteessa kuorman muutokseen. (Valkeejärvi n.d.)

Jos nopeuden alenema on 5 %, se tarkoittaa sitä, että kuormittamattoman ja 100-prosenttisesti kuormitetun moottorin kierrosnopeudessa on 5 %:n lasku kuormittamattoman ja 100-prosenttisesti kuormitetun moottorin välillä. 5 %:n lasku

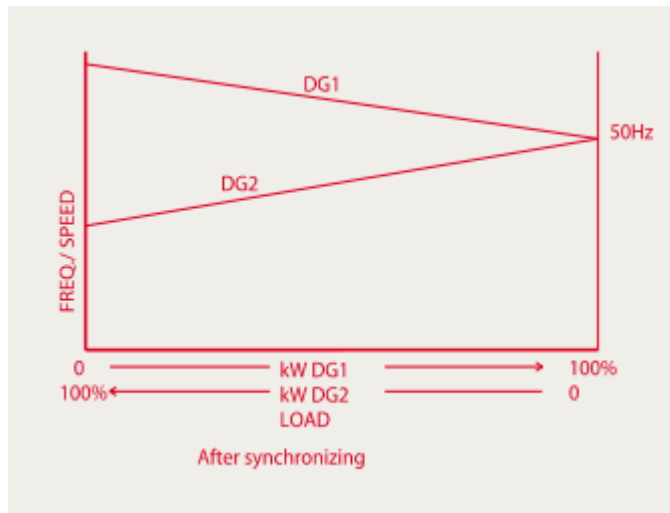
kierrosnopeudessa aiheuttaa sen, että generaattorin tuottaman sähkön taajuudessa on sama 5 %:n lasku koko kuormitusalueella.

Nopeuden nostoa ohjaa säätäjä, ja power management system (PMS) ohjaa nopeuden laskua ja kompensoi droopin vaikutusta sitä kautta. Droop-säätöä käytettäessä säätäjien ei tarvitse olla samanlaisia keskenään, ainoastaan niihin asetetun nopeuden aleneman tulee olla yhtenevä säätäjien kesken (Kuva 18). (Valkeejärvi n.d.)

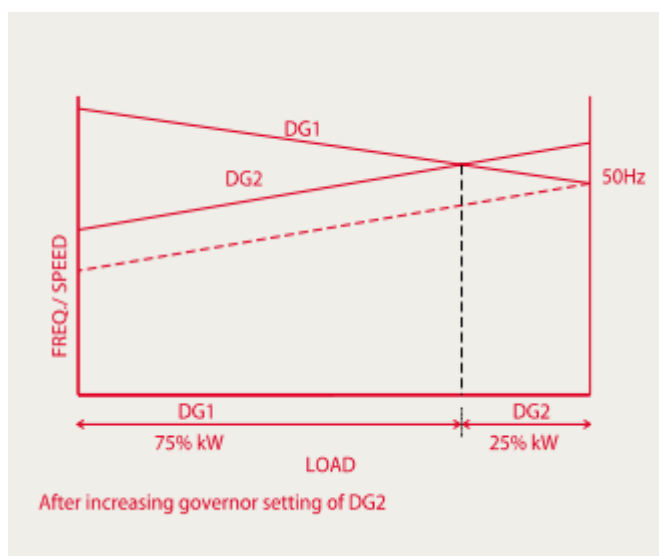


Kuva 18. 5 %:n droop. Kun halutaan 50 Hz:n taajuus 50 %:n kuormalla, niin kuormittamattomana taajuus on 51,25 Hz, ja 100 %:n kuormalla 48,75 Hz. (Valkeejärvi n.d.)

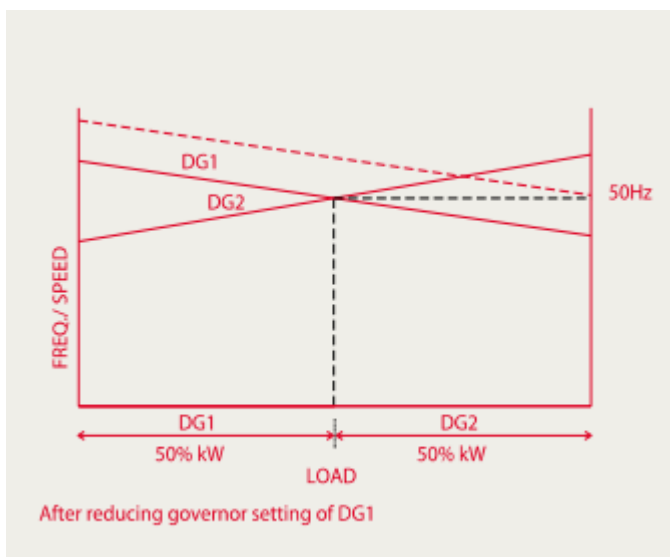
Kuvissa 19-21 kahden generaattorin DG 1 ja DG 2 kuormanjako droop-säädöllä toteutettuna. Ennen kuormanjakoa koko kuorma on DG 1:llä (Kuva 19). Kun DG 2:n nopeutta nostetaan, se alkaa ottamaan kuormaa DG 1:ltä (Kuva 20). DG 1:n säätäjä havaitsee kuorman vähentymisen ja laskee moottorin kierrosnopeutta. Nyt generaattorit jakavat kuorman tasan ja tuotetun sähkön taajuus on 50 Hz (Kuva 21).



Kuva 19. Kaksi generaattoria tahdistettuna verkkoon. (Valkeejärvi n.d.)



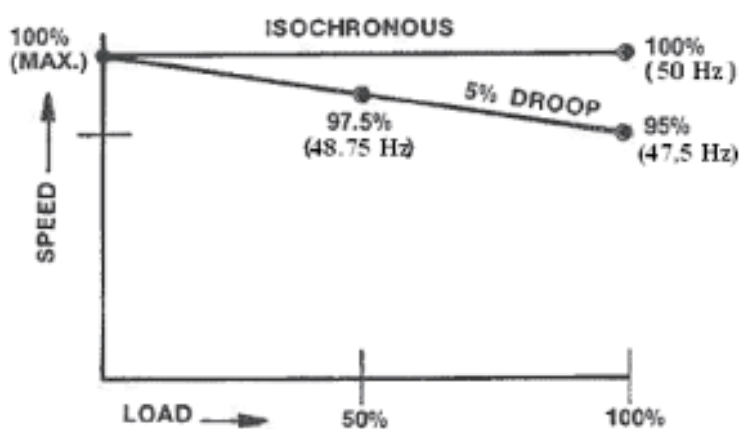
Kuva 20. Kuormaa jaettaessa DG 2:n nopeutta nostetaan ja se alkaa ottamaan kuormaa DG 1:ltä. (Valkeejärvi n.d.)



Kuva 21. DG 1:n nopeutta lasketaan ja kuormat menevät tasan taajuuden ollessa 50 Hz. (Valkeejärvi n.d.)

4.2.2 Isokroninen säätö

Isokronisessa säädössä koneiden kierrosnopeudet pysyvät vakiona kuormituksesta riippumatta. Mekaanishydraulisilla säätäjillä isokroonista säätöä ei voida toteuttaa, vaan se vaatii jokaiselle yksikölle samanlaisen elektronisen säätimen. Isokronisen säädön etu droop-säädön nähden on tarkempi kuormanjako generaattoreiden välillä. Säätimet kommunikoivat keskenään ja vertailevat kuormituksia generaattoreiden välillä. Generaattoreiden ohjaus toimii itsenäisesti ilman että PMS:n tarvitsee kompensoida säätöä. (Valkeejärvi n.d.)



Kuva 22. Isokroonisen ja droop säädön ero. Isokroonisessa säädössä nopeus on vakio koko kuormitusalueella. (Quora www-sivut)

5 GENERAATTORIEN AUTOMAATIO

Generaattorien ohjaukseen liittyy paljon automatiikkaa ja tässä luvussa käsitellään sitä pääpiirteittäin. Isossa osassa automaatiota on Power Management System (PMS), jonka tehtävänä on ohjata aluksen voimalaitosta, varmistaa sähkötehon saanti ja ehkäistä blackouteja. PMS voi olla itsenäinen järjestelmä tai se voidaan integroida aluksen automaatiojärjestelmään. PMS mahdollistaa erilaisia ohjaustapoja; se voi toimia täysin automaattisesti, sitä voidaan kauko-ohjata tai ohjata paikallisesti. (Valkeejärvi n.d.)

PMS:iin kuuluvia toimintoja ovat muun muassa:

- Dieselgeneraattoreiden käynnistys ja pysäytys ja niiden turvajärjestelmät.
- Generaattoreiden automaattinen tahdistus ja katkaisijoiden ohjaus.
- Yksiköiden kuormituksesta riippuva käynnistys ja pysäytys, sekä kuorman jako käytettäessä droop säätöä.
- Tehon varaus suurille kuluttajille ja ei välttämättömien kuluttajien verkosta pudottaminen ylikuormitustilanteessa.
- Tuotetun sähkön taajuuden hallinta.
- Mahdollisuus valita aluksen operointitila, esimerkiksi meriajo- tai manöveeraustila.
- Kuormansiirto akseligenaattorille ja siltä pois. (Valkeejärvi n.d.)

5.1 Kuormasta riippuva käynnistys/pysäytys

PMS laskee virtakiskon nimellistehon ja mittaa kuorman jokaiselta generaattorilta. Generaattoreiden kokonaiskuormaa verrataan kuormasta riippuvan käynnistyksen/pysäytyksen asetettuihin raja-arvoihin. Tavoitteena on varmistaa paras mahdollinen energiatehokkuus sekä polttoaineen kulutus.

Yksikön kuormasta riippuva käynnistys tapahtuu, kun yksi tai useampi seuraavista ehdoista täyttyy:

- Saatavilla oleva teho on pienempi kuin järjestelmään asetettu raja käynnistymiselle.
- Verkkoon kytkettyjen generaattoreiden keskimääräinen kuorma ylittää asetetun rajan ja kuormitus kestää kauemmin, kuin mitä asetettu arvo on.
- Jos järjestelmä havaitsee, että yhden generaattorin ottama kuorma alkaa vähenemään. (Valkeejärvi n.d.)

Yksikön kuormasta riippuva pysäytys tapahtuu:

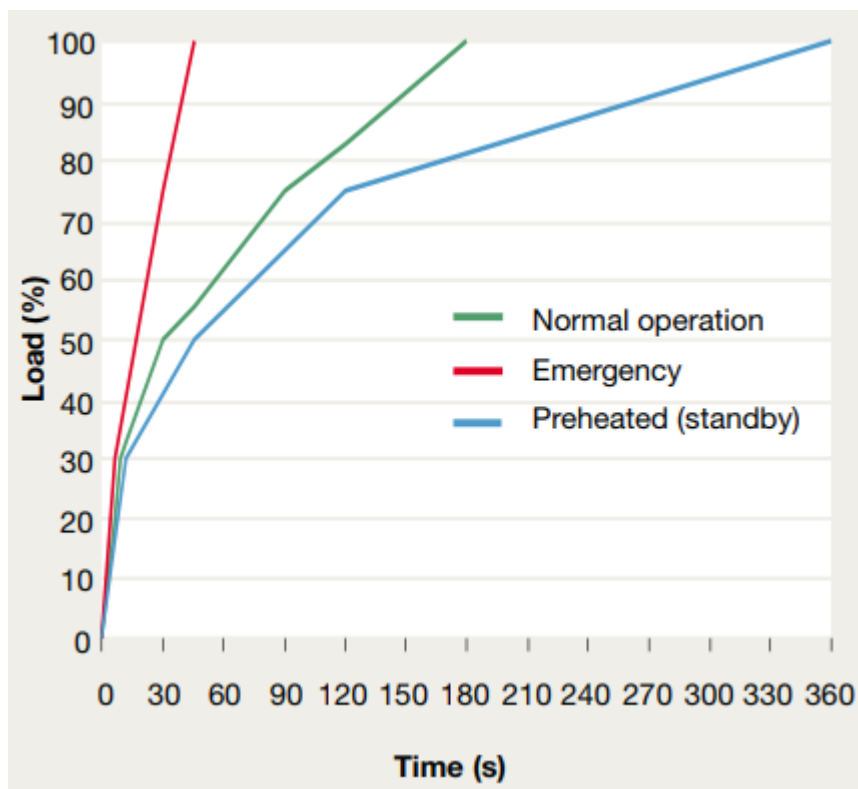
- Jos saatavilla oleva teho on enemmän kuin kuormasta riippuvan pysäytyksen raja.
- Jos keskimääräinen kuorma käyviltä generaattoreilta laskettuna, pois lukien pysäytettävä yksikkö, säilyy asetetun arvon alapuolella kauemmin mitä määritetty aika on. (Valkeejärvi n.d.)

5.2 Kuormituksen ohjaus

Normaalin esilämmitetyn moottorin käynnistyksen yhteydessä moottorivalmistajan määrittämää kuormituskäyrää ei saa ylittää (Kuva 23). PMS hoitaa tämän ennalta ohjelmoitua tehonnostokäyrää seuraamalla. Ongelmia voi tulla, kun PMS seuraa ennalta ohjelmoitua käyrää ja samaan aikaan verkossa tulee suuri tehon tarpeen kasvu, jota kierrosnopeudensäätimen droop-asetus lähtee kompensoimaan. Kun moottoriin vaikuttaa yhtä aikaa kaksi erillistä tehonkasvatusohjetta, niin se johtaa yleensä ylikuormitustilaan. (Valkeejärvi n.d.)

Isokronisessa säädössä tällaista ongelmaa ei tule, koska vasta verkkoon kytketty kone ei ala ottamaan verkon kuormaa, ennen kuin se on kuormitettuna tehonnostokäyrän määrittämällä tavalla. (Valkeejärvi n.d.)

Tämä tulee ottaa huomioon aluksen sähköverkkoa suunniteltaessa, koska blackout tilanteessa virtakiskoon ensimmäisenä kytkeytyvän generaattorin pitää pystyä ottamaan verkossa oleva peruskuorma. (Valkeejärvi n.d.)



Kuva 23. Wärtsilä 46:n tehnostokäyrä. (Valkeejärvi n.d.)

5.3 Blackoutin havainnointi

Blackoutin sattuessa kaikki saatavilla olevat generaattorit käynnistetään automaattisesti ja kytketään virtakiskoon. Ensimmäisenä käynnistyvän koneen katkaisija kytketään kuolleeseen verkkoon ilman tahdistamista. Loput generaattorit kytketään tahdistamalla yksittäin. (Valkeejärvi n.d.)

5.4 Tehonvaraus suurille kuluttajille ja epäolennaisten kuluttajien irti kytkeminen

Tehonvaraustoiminto tarkkailee saatavilla olevaa tehoa ja sen riittävyyttä suurille kuluttajille. Tarpeen vaatiessa PMS käynnistää ja kytkee stand-by generaattorin ja antaa kuluttajalle käynnistymisluvan, kun verkkoon on kytkettynä tarpeeksi generaattoritehoa.

Generaattoreiden pitkäjäksoisen ylikuormituksen ehkäisemiseksi ja riittävän tehon varmistamiseksi suurille kuluttajille PMS voi pudottaa verkosta epäolennaiseksi

luokiteltuja kuluttajia. Tällaisia kuluttajia ovat keittiölaitteet, ilmastointikompressorit ja asuintilojen ilmanvaihto. (Valkeejärvi n.d.)

5.5 Kuorman siirto akseligenaattorille

Akseligenaattorikäytössä PMS suorittaa seuraavat toiminnot:

- Varmistaa, että pääkone on asetettuna vakionopeustilaan.
- Tahdistaa akseligenaattorin verkkoon.
- Siirtää kuorman akseligenaattorille pudottamalla dieselgeneraattorin kuormaa.
- Avaa dieselgeneraattorin kytkimen ja pysäyttää koneen.

(Valkeejärvi n.d.)

6 LOPPUPÄÄTELMÄT

Työn tavoitteena oli perehtyä aluksen dieselgeneraattoreiden toimintaan ja niiden automaattiseen ohjaukseen. Työssä käytiin läpi sähkön muodostumisen perusteet generaattorissa ja kuinka generaattorin eri komponentit ovat osallisena sähkön muodostumiseen.

Generaattoreiden automaatiosta tutkittiin jännitteen säätöä ja taajuuden pitämistä vakiona sekä dieselmootoreiden nopeudensäätömenetelmiä. Lisäksi käytiin läpi Power Management Systemin toimintojen perusteet.

Ennen työn aloittamista minulla ei ollut kovinkaan paljon tietoa generaattoreista ja sähköstä yleensäkkään, ainoastaan se mitä koulussa käytiin muutaman kurssin aikana läpi. Sen takia jouduin aloittamaan työn tekemisen sillä, että perehdyin sähkötekniikan perusteisiin ja sen kautta siirryin sähkövoimakoneisiin ja laivan sähkövoimantuottoon.

Onkin ollut antoisaa perehtyä tähän aiheeseen, koska joka päivä olen oppinut jotain uutta sähkövoimatekniikkaan liittyen.

Aihetta voisi tutkia lisää perehtymällä tarkemmin generaattorissa tapahtuviin sähkömagneettisiin ilmiöihin sekä siihen, voiko aluksen päästöihin vaikuttaa ja kuinka paljon generaattoreiden ohjausta parantamalla.

LÄHTEET

Ahoranta, J. 2017. Sähkötekniikka. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Aura, L. & Tonteri, A.J. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. Helsinki: WSOY.

Borstlap, R. & Ten Katen, H. 2011. Ships' Electrical Systems. Dokamar, Enkhuizen.

Check synchroscope type CSQ-3, user manual <https://www.deif.com> Viitattu 25.6.2020

DNV GL 2019. Rules for classification Ships Part 4 Systems and components Chapter 8 Electrical installations

Gas engine governors <https://www.goltens.com> Viitattu 24.6.2020

Häkkinen, P. 1993. Laivan koneistot Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Laivalaboratorio.

Häkkinen, P. 2007. Laivan sähköverkko. Espoo: Teknillinen korkeakoulu. Laivalaboratorio.

International Maritime Organization. 2020. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS) Chapter II-1 – Construction: Structure, Subdivisions and Stability, Machinery and Electrical Installations

Kari Valkeejärvi The ship's electrical network, engine control and automation www.semanticscholar.org Viitattu 26.6.2020

Lehmusto, M. Dieselgeneraattorin käynninsäätö 2004. <https://medifast-tekniikka.fi> Viitattu 15.6.2020.

Single function synchroscope, <https://www.deif.com> Viitattu 24.6.2020

What is the essential function of the Droop Speed of a generator set with a gas engine as the primary motor <https://www.quora.com/> Viitattu 25.6.2020

- the UPS or battery supported DC distribution systems has its primary power supply from the section of the main busbar section as the systems (consumers) being served
 - the distribution system, the UPS or the battery supported DC distribution system is located in the same space as systems served
 - the control circuit to each consumer has separate short circuit protection.
- d) The interlocking circuit and protection relays shall be arranged so that a circuit breaker is not dependent of external power sources except for external power supplies mentioned in c) and/or [8.1.3].
- e) If shunt trip coils are used for high voltage switchgear, the continuity of the tripping circuit has to be monitored (i.e. wire break monitoring). When the wire breakage alarm is activated, the switching shall be interlocked so that switching on not is possible. The power supply to the tripping circuit has to be monitored.

8.1.3 Battery supplied control power

- a) When power supply to switchgear and controlgear is from battery installations, as allowed by [8.1.2] c), generator circuit breakers and other duplicated essential and important equipment shall be supplied from independent power supplies as described in [6.3.3].
- b) An independent control power supply system shall be arranged for each of the switchboard sections and be arranged with changeover possibilities.
- c) Each switchboard cubicle shall have a separate circuit from the control voltage distribution, with separate short circuit protection.
- d) Each auxiliary control power supply system shall have sufficient stored energy for at least two operations of all the components connected to its section of the switchboard. For switching off circuit breakers this applies for all circuit breakers simultaneously, and without excessive voltage drop in the auxiliary circuits.

8.1.4 Control of duplicated consumers

- a) Control circuits for duplicated essential and important equipment shall be kept separated from each other, and not located in the same enclosure.
- b) Controlgear for duplicated essential or important equipment shall be mutually independent and shall be divided between two motor control centres or distribution boards having separate supplies from different sides of the main switchboard and/or the emergency switchboard.
- c) Where switchboards are fitted with bus ties or bus links, the duplicated circuits shall be fed from different sides of the bus tie.
- d) Duplicated equipment for essential or important services shall not be dependent on any common circuits such as e.g. contactors for emergency stop.

8.2 Control of main sources of power and main switchboards

8.2.1 General

- a) Control systems for main sources of power shall be arranged as independent units.
- b) All main sources of power, generator prime movers, circuit breakers and converter units shall have means for manual operation at the front of the switchboard or at a dedicated control position within the space where it is installed. This local operation shall be independent of remote parts of the automation system. For systems not used for propulsion and steering an alternative arrangement may be accepted.
- c) For main sources of power installed in a space that does not have direct access to the space where the generator breaker is installed, the generator and generator driver shall be equipped with remote control and alarms as required by class notation **E0** at a manned control station.

8.2.2 Protection of main sources of power

- a) A main source of power shall be fitted with safety systems and electric protection relays for all expected failures relevant for the respective sources.

- b) Required protection for a source of power shall be active in all operating modes (i.e. both in manual mode and any automatic mode).
- c) A shut down or stop signal to a generator prime mover shall cause disconnection signal to the generator circuit breaker (or disabling of the associated frequency converter) if reverse power may result in motoring operation of the generator.
- d) Protection for a source of power shall include, when relevant, for the different sources:
 - lubrication monitoring (if relevant)
 - overcurrent / overload
 - short circuit
 - undervoltage release.
- e) Protection units shall be separate/independent units for each main source of power. It is acceptable that such individual protection units comprise control functions as e.g. load sharing, blackout starting and energy management. This is an exemption from the general requirement to separation between safety systems and control and alarm systems given in [Ch.9 Sec.3 \[1.1.3\]](#).
- f) The following alarms shall be arranged at a manned control station
 - power failure to the control system
 - high and low frequency on main AC busbars, if applicable
 - high and low voltage on the main busbars (both AC and DC).
- g) Where start, stop and/or load sharing between main sources of power are controlled by an automation system, the following alarms shall be arranged at a manned control station:
 - starting failure of prime mover
 - difference in loads (kVA or alternatively both kW and kVAr) taken by the different sources, with the necessary time delay, when in symmetrical load sharing mode.

8.2.3 Manual operation

- a) At any control position for manual operation of a source of power, information and control signals necessary for safe operation shall be easily and simultaneously observed by the operator. The following information and control signals shall be available (as relevant for the different types of sources of power):
 - start/stop of the source of power
 - control / operation of the feeder breaker (e.g. generator circuit breaker)
 - control and indication of connected (active) or disconnected (de-energised) state
 - delivered (produced) power [kW]
 - delivered (produced) reactive power [kVA]
 - current in all phases. If changeover switch is used, the current reading shall be supplied by separate current transformers, not used for protection. At an operating station one reading is sufficient.
 - source voltage in all phases
 - busbar voltage in all phases
 - input frequency (when relevant)
 - busbar frequency (when relevant)
 - adjustment devices, enabling connection to busbar (e.g. speed of generator prime mover and voltage of generator when required for synchronisation or voltage adaptation)
 - load sharing between connected sources of power
- b) Main sources of power that shall operate in parallel, shall have a stable load sharing (both active and reactive load) in all operating modes. There shall be a load sharing mode which do not depend on any remote-control system or communication between the units.
- c) When synchronisation is required, it shall be possible to synchronise each source of power intended for parallel operation with two different devices. Alternatively, one independent synchronising device for each source of power will be accepted. Each source of power shall be able to be synchronised to

- its busbar section by a synchronising device independent of any other sections of the switchboard. Synchronisation of generators driven by propulsion engines may, however, be achieved by adjusting the busbar frequency, i.e. by adjusting the speed/frequency setpoint(s) of the running generator(s).
- d) For generators or other sources of power working in parallel on a DC busbar, synchronization may not be required. However, instrumentation and adjustment devices shall be independently installed for each source of power so that the same level of independency and local control is achieved as for AC generators.

8.2.4 Automatic operation

- a) An automatic control system may be fitted in addition to the manual control required by [8.2.3]. The required manual control functions shall be independently available for each source of power. When an automation system is arranged as independent units, with separate functional units for each source of main power, the required functionality for manual operation may be performed by the modules/units used for the automation system in each local control system for the source of power.
- b) Automatic starting attempts which fail shall be limited to restrict consumption of starting energy.
- c) Systems with automatic start of the standby unit at high load on running units shall be arranged with adequate delay to prevent false start attempts, e.g. caused by short load peaks.
- d) Systems with automatic stop of a running unit shall be arranged with adequate delay. It shall be possible to select a minimum number of active sources of power or to deselect functions for automatic stop of sources of power at low load.
- e) When a main source of power is in standby mode, this shall be indicated on the control panel.
- f) If the circuit breaker has a test position, this shall be recognised by the automation system as not available.

Guidance note:

An automation system may typically perform tasks as:

- load dependent start and stop
- load sharing, additionally to the inherent load sharing required in manual mode
- handling of heavy load requests
- energy management
- charging / discharging control
- control of non-essential or non-important consumers
- parallelling of power units and busbar sections.

---e-n-d---o-f---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

8.2.5 Restoration of main power in a blackout situation

- a) As given in [2.2], the main power supply system shall have the ability to recover from a blackout situation. I.e. the blackout restoration shall normally be automatically performed with redundancy type R1. However, manual operation with redundancy type R2 is accepted for vessels not depending on electricity for propulsion or steering.
- b) Simultaneous connection of generators on to the same bus shall not be possible. Automatic connection of a generator (synchronous or asynchronous) during blackout shall only be possible when auxiliary contacts on all generator circuit breakers show that all generators are disconnected from the main switchboard and thus that the bus is dead. A single synchronising device or undervoltage detection shall not be relied upon for blackout detection.
- c) Automatic connection shall not take effect before the voltage of the incomer is stable and at normal level.
- d) No more than one attempt of automatic connection per standby generator is permitted to a de-energised switchboard.
- e) Where necessary, or desired, a warming up and a cooling down sequence may be programmed. A cool down sequence shall not prevent required starting in a blackout situation.

SECTION 5 ROTATING MACHINES

1 General

1.1 References

1.1.1 General

The design and function of rotating machines shall generally comply with the requirements of IEC 60092-301. For basic machine design, the relevant parts of IEC 60034 apply.

1.2 Requirements common to generators and motors

1.2.1 Rating

- a) Electrical machines, including any excitation system, shall be designed for continuous duty unless otherwise clearly stated in the rules for specific application.
- b) Generally, maximum environmental temperatures for rotating machines shall be as given in [Sec.3 \[2.3\]](#).

1.2.2 Insulation

- a) All windings for machines shall be treated to resist moisture, sea air, and oil vapours.
- b) For general requirements for insulation materials and terminations, see [Sec.3 \[4\]](#).
- c) The winding insulation for converter-fed motors shall be designed for such application.

1.2.3 Temperature rise in windings (insulation)

The maximum permissible temperature rise in windings is given in [Table 1](#), with the following provisions:

- a) If the temperature of the cooling medium will be permanently lower than the values given in [Sec.3 \[2.3\]](#), then the permissible temperature rise may be increased with the difference between the actual temperature and the temperature given in [Sec.3 \[2.3\]](#). Maximum acceptable increase is 20°C.
- b) If the ambient temperatures clearly exceed the maximum upper limits, then the temperature rises shall be decreased accordingly.
- c) In [Table 1](#) allowance has been made for the temperature in certain parts of the machine being higher than measured. The temperatures at such hot spots are assumed not to exceed the values given in [Sec.3 Table 1](#).
- d) For vessels with class notation restricting the service to non-tropical waters the design limits for temperature rises given in [Table 1](#) may be increased by 10°C. Alternatively, the upper ambient air temperature limits according to [Table 1](#) may be reduced by 10°C.
- e) Where water cooled heat exchangers are used in the machine cooling circuit, the temperature rise shall be measured with respect to the temperature of the cooling water at the inlet to the heat exchanger, regardless of the ambient air temperature. Temperature rises given in [Table 1](#) may be increased by 13°C provided the inlet water does not exceed 32°C.
- f) If inlet water temperature is above 32°C, permissible temperature rise in [Table 1](#) may be increased by 13°C and then reduced by the amount by which the maximum cooling water temperature exceeds 32°C.
- g) If the inlet cooling water temperature is permanently less than 32°C, the permissible temperature rise in [Table 1](#) may be increased by 13°C and may be further increased by an amount not exceeding the amount by which the cooling temperature is less than 32°C.
- h) For machines with insulating class 220 the temperature rise will be evaluated in each case.
- i) The additional temperature rise caused by the harmonics of currents and voltages shall be taken into consideration in the design of motors and generators by the maker.

Table 1 Limits of temperature rise of machines for vessels for unrestricted service based on ambient temperature of 45°C

Part of machine ¹⁾		Method of measurement of temperature ²⁾	Maximum temperature rise in for air-cooled machines [°C] Insulation class		
			B	F	H
1.	a) AC winding of machine having output of 5000 kVA or more	ETD R	80 75	105 100	125 120
	b) AC winding of machine having output of less than 5000 kVA	ETD R	85 75	110 100	130 120
2.	Winding of armature with commutators	R T	75 65	100 80	120 100
3.	Field winding of AC and DC machine with excitation other than those in item 4.	R T	75 65	100 80	120 100
4.	a) Field windings of synchronous machines with cylindrical rotors having DC excitation winding embedded in slots	R	85	105	130
	b) Stationary field windings of DC machines having more than one layer	ETD	85	105	130
		R	75	100	120
		T	65	80	100
c) Low resistance field windings of AC and DC machines and compensating windings of DC machines having more than one layer	R, T	75	95	120	
d) Single-layer windings of AC and DC machines with exposed bare surfaces or varnished metal surfaces and single compensating windings of DC machines	R, T	85	105	130	
1) Temperature rise of any part of a machine shall in no case reach such a value that there is a risk of injury to any insulating or other material in adjacent parts. 2) R indicates temperature measurement by the resistance method, T the thermometer method and ETD the embedded temperature detector method. In general for measuring the temperature of the windings of a machine the resistance method shall be applied. (See IEC 60034-1). For stator windings of machines having a rated output of 5000 kW (or kVA) or higher, the ETD method shall be used. Determination by ETD method requires not less than six detectors suitably distributed throughout the winding. Highest reading shall be used to determine the temperature for the winding. 3) For high voltage machines having rated output of 5000 kVA or more, or having a core length of 1 m or more, the maximum temperature rise for class E insulation shall be decreased by 5°C.					

1.2.4 Machine short time overloads

- a) General purpose rotating machines shall be designed to withstand the following excess torque, unless otherwise given in c):
- AC induction motors and DC motors: 60% in excess of the torque that corresponds to the rating, for 15 s, without stalling or abrupt change in speed (under gradual increase of torque), the voltage and frequency being maintained at their rated value.

- AC synchronous motors with salient poles: 50% in excess of the torque that corresponds to the rating, for 15 s, without falling out of synchronism, the voltage, frequency and excitation current being maintained at their rated values.
 - AC synchronous motors with wound (induction) or cylindrical rotors: 35% in excess of the torque that corresponds to the rating, for 15 s, without losing synchronism, the voltage and frequency being maintained at their rated value.
- b) General purpose rotating machines shall be designed to withstand the following excess current, unless otherwise given in c):
- AC generators: 50% in excess of the rated current for not less than 30 s, the voltage and frequency being maintained as near to the rated values as possible.
 - AC motors: 50% in excess of the rated current for not less than 120 s, the voltage and frequency being maintained as near to the rated values as possible.
 - commutator machines: 50% in excess of the rated current for not less than 60 s, operating at highest full-field speed.
- c) Other parts of the rules may impose additional requirements to excess torque or overload. Motors for windlass operation shall withstand the requirements given in Pt.3 Ch.11 Sec.1 [6] (i.e. 150% torque in 120 s). Induction motors for specific applications the excess torque may be subject to special agreement. See IEC 60034-1 clause 9.3.

1.2.5 Balance

Machines shall be so constructed that, when running at any working speed, all revolving parts are well balanced.

1.2.6 Lubrication

- a) Bearing lubrication of rotating machines shall be effective under all operating conditions including towing.
- b) Each self-lubricated sleeve bearing shall be fitted with an inspection lid and means for visual indication of oil level or use of an oil gauge. Similar requirement applies to self-contained oil lubricated roller bearings.
- c) Provision shall be made for preventing the lubricant from gaining access to windings or other insulated or bare current-carrying parts.
- d) For electrical propulsion see Sec.12 [1.6.4] e).

1.2.7 Shafts and shaft currents

- a) Shafts shall comply with the requirements in Ch.4 both with regard to strength, bearings and balancing.
- b) Means shall be provided to prevent damaging levels of circulating currents between shaft, bearings and connected machinery.
- c) When all bearings on a machine are insulated, the shaft shall be electrically connected to the machine's earth terminal.

1.2.8 Shaft locking device

Propulsion shafts shall be provided with shaft locking devices as required by Sec.12 [1.2.2] and Ch.4 Sec.2 [2.9.3].

1.2.9 Machine overspeed

- a) Rotating machines shall be capable of withstanding 1.2 times the rated maximum speed for a period of 2 minutes.
- b) For rotating machines coupled to the main propulsion system and not arranged in the main shafting, at 1.25 times the rated speed.
- c) For rotating machines arranged in the main shafting and whose construction makes testing impracticable, proof by computation of mechanical strength is required.

1.2.10 Nameplate

Each machine shall be provided with nameplate of durable material, giving the following information:

- make, type, serial number
- performance standard
- IP rating
- rated values for: output apparent power, voltage(s), frequency, current(s), power factor, speed
- for AC machines: the winding connection
- thermal classification of insulation
- duty type, if other than S1
- maximum permissible cooling medium temperature
- technical data necessary for the application of the machine
- total mass.

1.3 Instrumentation of machines**1.3.1 Temperature detectors embedded in stator winding**

- a) Low voltage machines having a rated output above 5000 kW (or kVA), all high voltage machines, and all propulsion motors shall be provided with temperature detectors in their stator windings, for monitoring and alarm.
- b) For machines depending on additional cooling, see [Sec.3 \[4.2.1\]](#).

Guidance note:

For the requirements in regard to temperature detectors, see IEC 60034-11.

---e-n-d---o-f---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2 Additional requirements for generators**2.1 General****2.1.1 General**

Exciter and voltage regulation equipment is considered as part of the generator.

Guidance note:

See [Ch.3](#) regarding the prime movers' speed governor characteristics and [Ch.9](#) regarding instrumentation equipment.

---e-n-d---o-f---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.1.2 Automatic voltage regulator (AVR)

The AVR shall be capable of keeping the voltage within the values specified for stationary and dynamic variations.

2.1.3 Available neutral point

Generators with rating exceeding 1500 kVA, and all high voltage generators, shall be prepared for installation of equipment for short circuit protection of the generator windings.

2.1.4 De-excitation

Generators with rating exceeding 1500 kVA, and all high voltage generators, shall be prepared for external signal for initiation of de-excitation of the generator. Other suitable means to achieve the same objective may be evaluated and accepted.

2.1.5 Voltage waveform

For AC generators, the voltage shall be approximately sinusoidal, with a maximum deviation from the sinusoidal curve of 5% of the peak value.

2.2 Voltage and frequency regulation

2.2.1 Voltage build-up

- a) The construction shall normally be such that the generator, when started up, takes up the voltage without the aid of an external electric power source.
- b) External power sources may be used to take up the voltage on main generators provided that redundancy for this external source is arranged as required for starting arrangement.

2.2.2 Stationary voltage regulation

- a) The voltage regulation shall be automatic, suitable for shipboard condition, and such that the voltage is kept within 97.5% to 102.5% of the rated voltage under all steady load conditions. This is between no-load and full-load current and at all power factors which can occur in normal use, but in any case with power factor from 0.7 to 0.9 lagging, also taking into consideration the effect of the prime mover's speed characteristic.
- b) There shall be provision at the voltage regulator to adjust the generator no load voltage.
- c) The limits in a) may be increased to $\pm 3.5\%$ for emergency sets.

2.2.3 Transient voltage regulation

- a) Maximum values (current and power factor) of sudden loads to be switched on and off shall be specified. In case of the absence of precise information concerning the maximum values of the sudden loads, 60% of the rated current with a power factor of between 0.4 lagging and zero shall be used for type testing.
- b) The voltage variations under transient conditions shall comply with the following:
 - when the generator is running at no load, at nominal voltage, and the specified sudden load is switched on, the instantaneous voltage drop at the generator terminals shall not be more than 15% of the generators nominal voltage. The generator voltage shall be restored to within $\pm 3\%$ of the rated voltage within 1.5 s.
 - when the specified sudden load is switched off, the instantaneous voltage rise shall not be more than 20% of the rated voltage. The generator voltage shall be restored to within $\pm 3\%$ of the rated voltage within 1.5 s.
- c) For non-parallelising emergency generating sets the regulation limits and time in b) might be increased to $\pm 4\%$ within 5 s.
- d) On installations where two or more generators are normally run in parallel, the maximum load that can be switched on may be divided between the generators in relation to their rating and expected maximum duty as individual generator.
- e) See [Ch.2](#) and [Ch.3](#) for requirements for the governor of a generator prime mover.

Guidance note:

Special consideration should be given to the overvoltage that may occur when switching off the generators at full load or overload. This overvoltage should not reach a level that may damage power supplies for AVRs, under-voltage coils, instruments etc. connected on the generator side of the generator circuit breaker.

---e-n-d---o-f---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.3 Generator short circuit capabilities

2.3.1 Short circuit withstand and contribution capabilities

- Generally, AC synchronous generators, with their excitation systems, shall, under steady short circuit condition, be capable of maintaining, without sustaining any damage, its short circuit current, which shall be at least three (3) times the rated full load current, for a duration of at least 2 s. (IEC 60092-301 modified clause 4.2.3)
- Lower short circuit current and short time duration may be acceptable provided that the selectivity and generator protection requirements [Sec.2 \[7.1.4\]](#) and [Sec.2 \[7.3.1\]](#) are fulfilled analogously.
- Shaft generators which are arranged in the main shafting and - due to their construction - could not be tested in the manufacturer's works, and shaft generator systems utilising frequency converters, shall withstand, without sustaining any damage, its short circuit current. The required overload/overcurrent test shall be verified through suitable tests, or by calculations.

2.3.2 Generator decrement curve

In order to provide sufficient information to the party responsible for determining the discrimination settings in the distribution system where the generator is going to be used, the generator manufacturer shall provide documentation showing the transient behaviour of the short circuit current upon a sudden short-circuit occurring when excited, and running at nominal speed. The influence of the automatic voltage regulator shall be taken into account, and the setting parameters for the voltage regulator shall be noted together with the decrement curve. Such a decrement curve shall be available when the setting of the distribution system's short-circuit protection is calculated. The decrement curve need not be based on physical testing. The manufacturer's simulation model for the generator and the voltage regulator may be used where this has been validated through the previous type test on the same model.

2.4 Parallel operation

2.4.1 Load sharing

- Generators for parallel running shall be such that the sharing of active and reactive power is stable under all load conditions. Oscillations smaller than $\pm 20\%$ of each generator's rated current can be accepted.
- In the range 20 to 100% of the rated reactive load of each generator, its actual reactive load (mean value, if oscillations occur) shall not differ from its proportionate share of the total reactive load by more than 10% of the rated reactive load of the largest generator in parallel, or not more than 25% of the smallest generator's rated reactive load, if this is less than the former.
- Requirement for sharing of active power is given in [Ch.2 Sec.5 \[1.8\]](#).

Guidance note:

The sharing of power is mainly determined by the prime movers' governor characteristics, to which further requirements are given in [Ch.3](#). Power oscillations, however, are determined both by the prime movers' and generators' characteristics.

---e-n-d---o-f---g-u-i-d-a-n-c-e---n-o-t-e---

2.4.2 Parallel operation on nets with earthed neutral

When generators are run in parallel on nets with earthed neutral, it shall be ensured that the equalising current resulting from harmonics does not exceed 20% of the rated current of each generator.

Table 11 Control and monitoring of auxiliary engines

System	Item	Gr 1 Indication alarm load reduction	Gr 2 Automatic start of stand-by pump with alarm ¹⁾	Gr 3 Shut down with alarm	Comment
1.0 Fuel oil system	Leakage from jacketed high pressure pipes	A			Level monitoring of leakage tank or equivalent
	Fuel oil pressure at engine inlet	IR, IL			
	Fuel oil temperature at engine inlet ²⁾	IR, IL, A			Fuel oil viscosity is accepted as alternative
2.0 Lubricating oil system	Lubrication oil to main bearings, inlet pressure	IR or IL, LA,	AS	SH ³⁾	
	Lubrication oil to main bearings, inlet temperature	IR or IL, HA			
3.0 Turbocharger system	Turbocharger lubrication oil inlet pressure	IR or IL, LA			
	Turbocharger lubrication oil outlet temperature ⁴⁾	IR or IL, HA			Applicable only when the T/C is served by group of cylinders > 2500 kW If not forced system, oil temperature near bearings
	Speed of turbocharger ⁴⁾	IR or IL, HA			Applicable only when the T/C is served by group of cylinders > 1 000 kW
4.0 Cylinder cooling medium	Cylinder cooling inlet pressure or flow	IR or IL, LA	AS		Monitoring of expansion tank level, with alarm at low level, is an acceptable alternative for engines with cylinder power < 130 kW
	Cylinder cooling water temperature at engine outlet	IR or IL, HA, LR		SH	Either LR or SH
5.0 Exhaust gas system	Exhaust gas temp after each cylinder ⁵⁾	IR or IL, HA, LR ⁶⁾			SH may replace LR for electric power generating engines
	Exhaust gas temp before T/C ⁷⁾	IR or IL, HA, LR			The LR is only required when the T/C is served by group of cylinders > 2 500 kW SH may replace LR for electric power generating engines

<i>System</i>	<i>Item</i>	<i>Gr 1 Indication alarm load reduction</i>	<i>Gr 2 Automatic start of stand-by pump with alarm ¹⁾</i>	<i>Gr 3 Shut down with alarm</i>	<i>Comment</i>
6.0 Hydraulic oil system	Leakage from jacketed high pressure pipes for hydraulic operation of valves	A			Level monitoring of leakage tank or equivalent
7.0/8.0 Engine speed/direction of rotation	Engine speed	IR, IL			For engines other than for electric power generation, local indication is an acceptable alternative
	Overspeed protection			SH	Applicable if $P \geq 220$ kW, see [5.3]. SH shall be activated automatically
9.0 Crankcase explosive condition ⁸⁾	Oil mist detection ¹⁰⁾	HA		SH ⁹⁾	Shall be activated automatically
	Other systems than oil mist detection ¹¹⁾	A		SH ⁹⁾	Shall be activated automatically
14. Misfire ¹²⁾	Detection of misfire	A, LR		SH ¹³⁾	Depending on permissible misfire, LR is accepted as alternative to SH for auxiliary engines other than driving generators

System	Item	Gr 1 Indication alarm load reduction	Gr 2 Automatic start of stand-by pump with alarm ¹⁾	Gr 3 Shut down with alarm	Comment
		<p>Gr 1 = sensor(s) for indication, alarm, load reduction (common sensor permitted but with different set points and alarm shall be activated before any load reduction)</p> <p>Gr 2 = sensor for automatic start of standby pump</p> <p>Gr 3 = sensor for shut down</p> <p>IL = local indication (presentation of values), in vicinity of the monitored engine component or system</p> <p>IR = remote indication (presentation of values), in engine control room or another centralized control station such as the local platform/manoeuvring console</p> <p>A = alarm activated for logical value</p> <p>LA = alarm for low value</p> <p>HA = alarm for high value</p> <p>AS = automatic start of standby pump with corresponding alarm</p> <p>LR = load reduction, either manual or automatic, with corresponding alarm</p> <p>SH = shut down with corresponding alarm. May be manually (request for shut down) or automatically executed if not explicitly stated above.</p> <p>For definitions of load reduction (LR) and shut down (SH), see Ch.1.</p> <p>1) To be provided when stand-by pump is required.</p> <p>2) For engines running on heavy fuel oil only.</p> <p>3) Only for engine output ≥ 220 kW.</p> <p>4) Where outlet temperature from each bearing cannot be monitored due to the engine combined with the turbocharger design, alternative arrangements may be accepted. Continuous monitoring of inlet pressure and inlet temperature in combination with specific intervals for bearing inspection in accordance with the turbocharger manufacturer's instructions may be accepted as an alternative.</p> <p>5) Individual exhaust temperature when cylinder power > 500 kW.</p> <p>6) Alarm with request for load reduction to be given in case of excessive average exhaust gas temperature. This applies when there is no separate sensor before T/C, and the T/C is served by a group of cylinders > 1 000 kW. The alarm level shall be set with due considerations to safe operation of T/C.</p> <p>7) Applicable only when the T/C is served by a group of cylinders > 1 000 kW and if no individual exhaust gas temperature for each cylinder. The alarm level shall be set with due considerations to safe operation of T/C.</p> <p>8) Applicable to engines of 2 250 kW and above, or with cylinder diameter ≥ 300 mm.</p> <p>9) One crankcase explosive condition monitoring device having two independent outputs for detecting alarm and shut-down is acceptable.</p> <p>10) Oil mist detectors shall be type tested in accordance with IACS UR M67.</p> <p>11) Alternative methods of monitoring may be approved by the Society, see [5.7.10].</p> <p>12) If required by torsional vibration calculations, diesel engines with cylinder output of 130 kW and above shall have means to detect misfire.</p> <p>13) One device detecting alarm and shut-down is acceptable. Failure of the device shall be monitored and alarmed.</p> <p>14) On turbocharging systems where turbochargers are activated sequentially, speed monitoring is not required for the turbocharger(s) being activated last in the sequence provided all turbochargers share the same intake air filter and they are not fitted with waste gates.</p>			