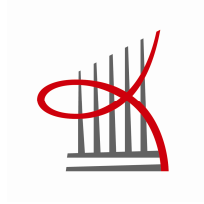


+



MUUTTUVAKIERROKSISEN GENERAATTORIN MITOITTAMINEN

Liikkuvat koneet

Jari Mäkelä

Opinnäytetyö
Maaliskuu 2016
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautuminen

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tampere University of Applied Sciences

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautuminen

Jari Mäkelä
Muuttuvakierroksisen generaattorin mitoittaminen
Liikkuvat koneet

Opinnäytetyö 45 sivua, joista liitteitä 10 sivua
Maaliskuu 2016

Generaattorin mitoitus on yksinkertaista silloin kun generaattorin toimintaan vaikuttavat asiat pysyvät vakiona. Kun nämä tekijät vaihtelevat käytön aikana, mitoituksesta tulee hankalaa. Pitää selvittää kierroslukualue, toimintasykli, ulkoiset olosuhteet ja muita tässä työssä esitettyjä asioita. Niiden yhteisvaikutuksen laskeminen on hankalaa. Kulutuksen kasvu tulevaisuudessa ja varautuminen siihen, kuten kiinteään verkon generaattoreissa, ei ole mobiilissa laitteessa ongelma.

Generaattorin jatkuva keskimääräinen kuormitustaso mobiilissa laitteessa ei ole ennalta tarkasti arvioitavissa. Laitteiden käyttäjien toiminta vaihtelee suuresti. Myös operaatio eri tilanteissa kuormittaa laitteita eritasoisesti. Vaikka laitteen eri toimintojen kuormitus tunnettaisiin, aina kuljettajien joukossa on henkilö, joka toiminnallaan saa laitteen pois operaatiosta ylikuormituksen johdosta.

Generaattorin mitoituksessa tärkein työ on löytää kuormitusyksi, jolla laite toimii jatkuvassa työtehtävissä vielä hyväksyttävästi. Tavallisesti tämä edellyttää paljon tutkimusta asiakkaiden erilaisissa operaatioissa ja koneen käytön syvää tuntemista.

Muuttuvakierroksisuus tuo todistettuja säästöjä polttoainetaloudessa. Mitoituksessa suurintuneiden komponenttien kustannukset, verrattuna kiinteäkierroksiseen generaattoriin, niiden takaisinmaksuaika on lyhyt.

ABSTRACT

Tampere University of Applied Sciences
Electric Power Engineering Training Programme
Electric Power Engineering Orientation

Jari Mäkelä
Sizing of the variable speed generator
Moving machines

Bachelor's thesis 45 pages, appendices 10 pages
March 2016

Sizing of the generator is simple when all sizing factors are constant. When these factors change during usage, sizing became difficult. You have to notice speed range, work cycle of operation, ambient conditions and other factors described in this thesis. Calculation of joint effect is difficult. Network consumption increase estimation in future is not a problem in mobile machine as it is in network generator sizing.

Constant average generator load level cannot be calculated to one exact value. Behavior of machine users varies much. Different kind of operation is loading machine with variation of load levels. Even we know all functions load individually, always there is somebody who can make machine out of operation by overheating equipment with his actions.

Sizing of the generator, main work is to find load cycle that machine is working acceptable in constant operation. Normally this means a lot of study with customer different operation and deep understanding of machine usage.

Variable speed brings proven savings in fuel economy. Some increased costs in component sizing compared to constant speed generator sizing, payback time is very short.

Key words: generator, variable speed, sizing, moving machines, fuel saving

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
1.1	Muuttuvakierroksinen voimalaite ja hyötysuhteen parantaminen	7
1.2	Tehtävän laajuus	8
1.3	Käytetty materiaali	9
1.4	Tutkintotyön tekijän kokemus	9
2	Generaattoritekniikka.....	10
2.1	Generaattorin jännite ja magnetointi	10
2.2	Generaattorin pyörintänopeus ja taajuus	12
2.3	Generaattorin teho	13
2.4	Generaattorin lämpöluokka	14
2.5	Generaattorin jäähdytys.....	14
3	Muuttuvakierroksisen generaattorin mitoitus	16
3.1	Jännite.....	16
3.2	Vaiheet.....	18
3.3	Taajuusalue	19
3.4	Dieselmoottorin kierrosalue.....	19
3.5	Vaihesiirtokulma	20
3.6	Generaattorin hyötysuhde.....	21
3.6.1	Virtalämpöhäviöt	21
3.6.2	Staattorin rautahäviöt	22
3.6.3	Mekaaniset häviöt.....	22
3.6.4	Magnetoimishäviöt magnetoimiskäämityksessä	22
3.7	Generaattorin nimellisteho	23
3.8	Generaattorin lämpöaikavakio	24
3.9	Muuttuvakierroksisen generaattorin jäähdytys	25
3.10	Generaattorin mitoitusteho	25
3.11	Generaattori oikosulussa	27
3.12	Harmoniset aallot	30
3.13	Generaattorin mekaaniset ja muut valinnat	31
4	Mitoitus esimerkki.....	32
4.1	Muuttuvakierroksisen generaattorin mitoitus, esimerkki.....	32
5	POHDINTA	34
	LÄHTEET	35
	LIITTEET 1(2)	36
	Liite 1. Generaattori rakenne, Stamford generaattori. Installation, Service & Maintenance Manual for HC4, 5 & 6 AC Generators	36

Liite 2. Stamford Generaattori HCI 434D/444D, Technical Data Sheet.....38

ERITYISSANASTO

Konttilukki	Kuljettaa ja pinoaa kontteja sataman varastoalueelle. Suomalainen keksintö jo 1970-luvulta
Muuttuvakierroksinen voimalaite	Voimalaitteen kierrosnopeutta muutetaan kuormituksen mukaan. Voimalaite toimii parhaan hyötysuhteen mukaan kullakin tehoalueella.
AVR	Automatic Voltage Regulator, Automaattinen jännitteen säätäjä. Säättää magnetointivirtaa ja generaattorin jännitettä.
UFRO	Toiminto, jossa pudotetaan voimakkaasti magnetointivirtaa taajuuden laskiessa
Työsykli	Jatkuvasti toistuvien toimintojen saman sisältöinen osuus. Esimerkiksi yhden kontin haku ja kuljetus varastopaikalle. Se sisältää tarvittavat nostot ja laskut odotusaikoinen.

1 JOHDANTO

1.1 Muuttuvakierroksinen voimalaite ja hyötysuhteen parantaminen

Liikkuvilla koneilla liikkeisiin tarvittava teho tehdään koneessa olevilla voimalaitteilla. Voimalaitteet mitoitetetaan siten, että niiden tuottama teho kattaa kaikki tehontarpeet kaikissa työliikkeissä. Tällöin voimalaitteen mitoitus muodostuu helposti sellaiseksi, että se käy vajaalla teholla suurimman osan työtehtävää. Voimalaitteen hyötysuhde laskee ja erityisesti dieselmoottori voimalaitteena käy huomattavasti huonommalla seossuhteella, kuin sen parhaalla voiman tuottokäyrällä.

Ratkaisuksi hyötysuhteen ja polttoainetalouden parantamiseksi on tehty muuttuvakierroksinen dieselnäyttö. Siinä lasketaan voimalaitteen työkiertoja, mikäli ei tarvita täyttä tehoa moottorilta. Pienemmällä kierrosnopeudella pienenee voimalaitteen sisäiset tehohäviöt, lisälaitteiden vakiotehot sekä jäähdytyksen tarve. Tällä on huomattava vaikutus polttoainetalouteen. Tätä on tutkittu aikaisemminkin Kalmar konttilukkiin, Maiju Tuomi 2006 Variable speed generator - a way to lower fuel consumption of a Straddle Carrier. /1/ Olin tällöin työn ohjaajana kyseisessä tutkintotyössä.

Kun koneessa on sähköinen voimansiirto, muuttuvakierroksinen voimalaite asettaa generaattorille uusia vaatimuksia, joita on tässä tutkintotyössä valotettu. Generaattorin laitteena tulee pystyä kehittämään liikkeiden maksimiteho hetkellisesti sekä vajaa teho jatkuvassa käytössä hyvällä hyötysuhteella sähkön laadun kärsimättä.

Operaation vaatima maksimiteho määrittelee voimalinjan maksimitehonannon. Voimalinjan teho voidaan laskea laitteen asiakkaalle tarjotun spesifikaation mukaan. Spesifikaatiossa määritellään laitteen fyysiset ominaisuudet. Näitä ovat kiihdytysajat, liikkeen maksiminopeus ja kerralla kannettava maksimikuorma. Liikkeiden kuormitus maksimikihdytyksillä ja tarve yhtäaikaisiin liikkeisiin tuo helposti tehon rajoitustarpeen kulutukselle. Maksimitehontarve voikin olla rajoitettu dieselin maksimitehon tuottoon. Operaation keskiteho voi olla hyvinkin alle 100 kW ja moottorin maksimituotto 300 kW.

Sähköisen voimansiirron tehon käyttöä pystytään helposti valvomaan ja säätämään liikkeiden kulutusta mittaamalla. Näin saadaan käskyt voimalaitteelle oikeasta kierrosnopeudesta. Nykyaikainen dieselvoimalaite pystyy reagoimaan tehon tarpeen muutoksiin 0 - 100 %:iin parissa sekunnissa. Suurimpana viivetekijänä tehonannon nousussa on turbon paineen kehittämisen hitaus.

Kierrosnopeuden nosto tehdään antamalla uusi kierrosnopeus ja voimalaitteen sisäinen säätäjä nostaa kierrosnopeutta sen säätäjän vahvistuksen mukaan. Jokaisen palotapahtuman ainemäärä määritellään sallitun kierrosnousun/sekunti mukaan. Tämä voi olla sekunnin osia, riippuen säätäjän arvoista, kuinka nopea pitää olla kierrosten nousu.

Liian nopealla kierrosten nousulla rasitetaan moottoria huomattavasti, joten tässä pitää olla varovainen. Ilman kierrosten nostoa ja kuorman lisäystä ei turbon paine kohoja ja maksimitehoa ei saavuteta. Tehon muutosten dynamiikka onkin useiden toistojen ja tulosten analysointien perusteella tehtävää automaatiotyötä, jossa pitää ottaa usea muuttuja huomioon.

Muuttuvakierroksinen generaattori voidaan periaatteessa kytkeä tahdistettuna verkkoon. Jatkuvassa tehosyötössä dieselvoimalaitteen teho jää melko alhaiseksi. Jonkinlaisena hätäkäyttönä voidaan generaattorista ottaa saarekekäytössä rajallinen teho ulos. Tällöin ei tarvita tahdistuslaitteistoa voimalaitteelle.

Nykyään on muita keinoja pienentää voimalaitteen kokoa. Ottamalla ulkoisesta energiavarastosta tarvittava lisäteho sähköiseen järjestelmään päästään mitoituksessa pienempään voimalaitteeseen. Tätä tutki Mikko Suovirta 2009, Sähköisten energiavarastojen mallintaminen ja mitoittaminen. /2/ Ohjasin Suovirtaa kyseisessä tutkintotyössä.

1.2 Tehtävän laajuus

Työn tavoitteena on verrata muuttuvakierroksisen generaattorin mitoitusta kiinteäkierroksiseen generaattoriin. Tutkia asiat, mitkä pitää ottaa huomioon mitoituksessa eroavasti kiinteäkierroksiseen generaattoriin verrattuna ja saada esiin mitoituksen periaatteet, jotta saadaan kustannustehokas mitoitus generaattorille. Työssä ei tutkita generaattorin kytke mistä verkkoon, koska tämä tilanne on erittäin harvoin tehtävänä.

1.3 Käytetty materiaali

Pääosa valintakriteereistä on saatu generaattorivalmistajan ohjeista; Stamford 1990, Section 4, Generator Selection /3/. Englantilainen generaattorien valmistaja Stamford kuuluu nykyään Cummins moottorivalmistajan konserniin ja on nimeltään Cummins Generator Technologies.

1.4 Tutkintotyön tekijän kokemus

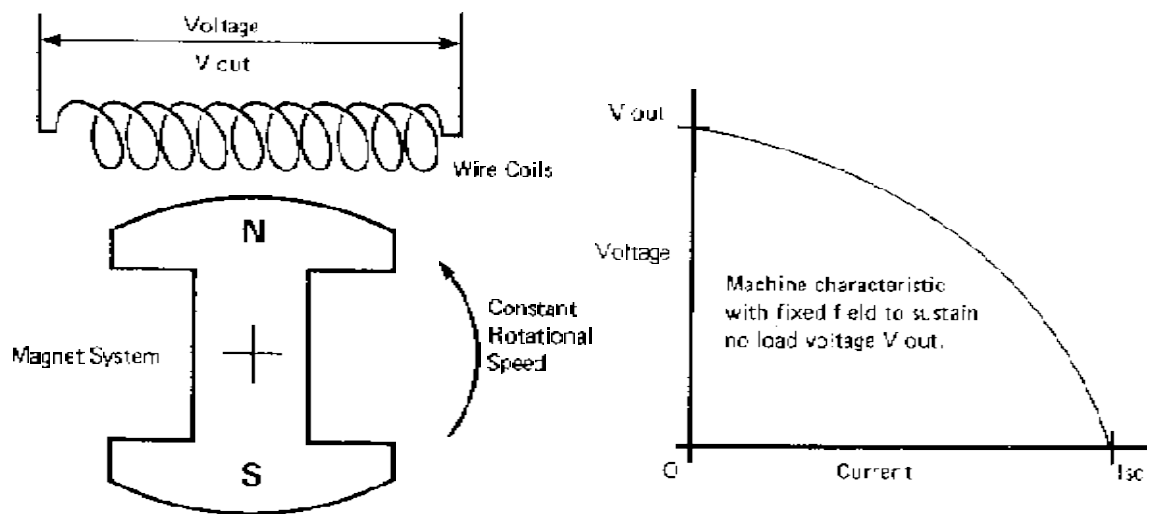
Tutkintotyön tekijällä on kokemusta yli 10 vuoden ajalta sähköisen voimansiirron tuotekehityksestä konttilukkeja valmistavasta yrityksestä. Yritys toimii nykyään Cargotec Finland Oy nimellä ja valmistaa Konttilukkeja Kalmar tuotemerkin alla. Satamalaitteiden suunnittelu- ja valmistuskokemusta tutkintotyön tekijällä on yli 20 vuodelta.

2 Generaattoritekniikkaa

Seuraavassa on esitelty lyhyesti generaattorin perustekniikkaa ja toimintaa.

2.1 Generaattorin jännite ja magnetointi

Käsitellään tahtigeneraattoria, jossa kierrosnopeus vastaa siitä saatavan verkon taajuutta. Tahtikoneella ei ole samanlaista taajuuden jättämää, mitä on oikosulkumoottorilla.



KUVA 1. Generaattorin jännitteen muodostus./3/

Generaattorin jännite saadaan kaavasta:

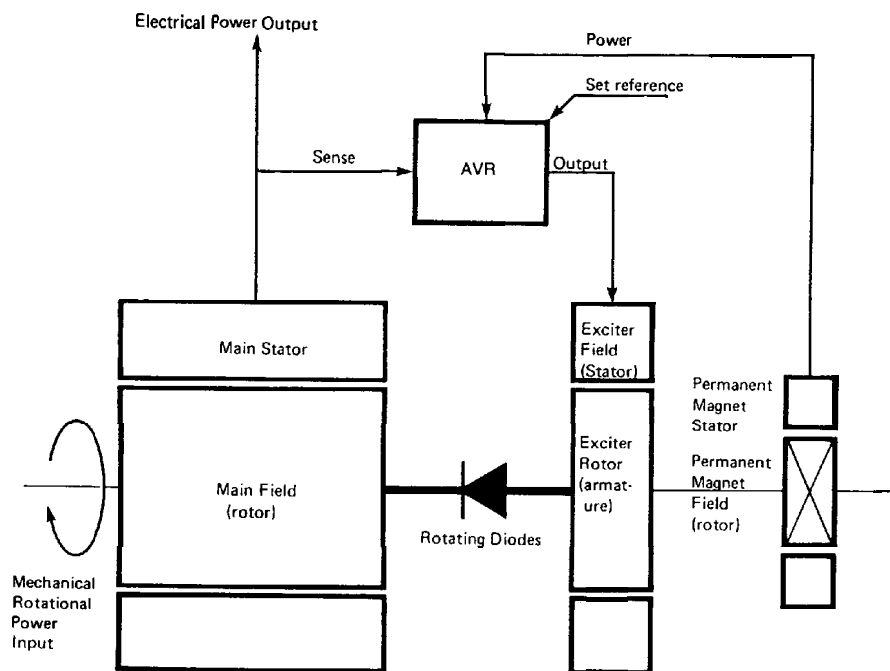
$$E_m = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N \Phi \approx 4,44 f N \Phi$$

missä E_m on vaihejännite
 f on taajuus
 N on vaiheen käämityksen kierrosluku
 Φ on magneettivuo

Suureista huomataan, että magneettivuo on moottorin sisällä ainoa säädettävä suuruus. Generaattorin taajuus on suoraan riippuvainen koneen pyörimisnopeudesta. Siten jännite on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuden muutoksista.

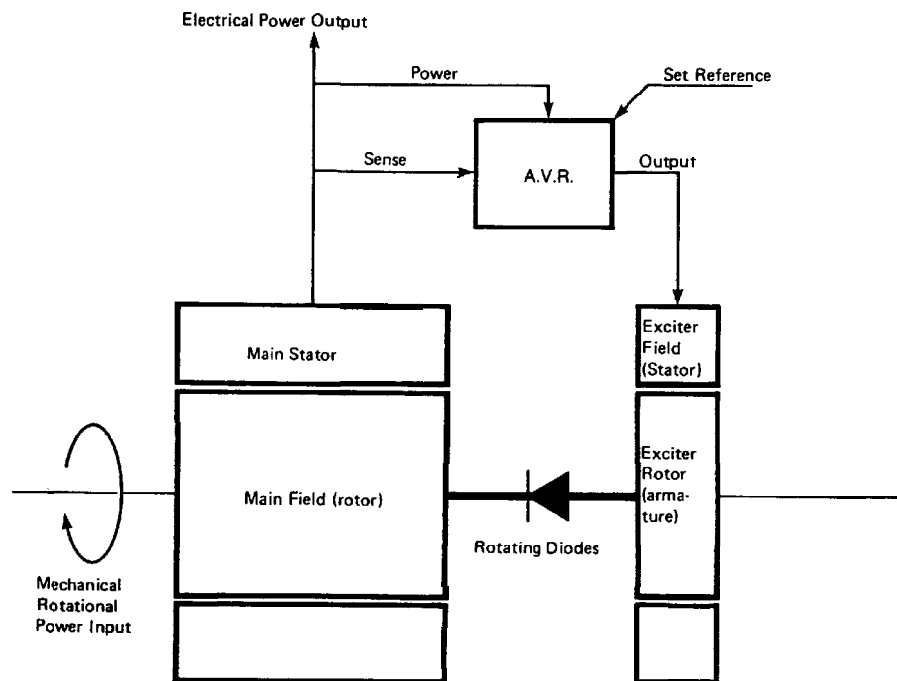
Tahtigeneraattorin sisällä pyörivään roottoriin muodostetaan magneettinavat. Staattorissa sijaitsevan käämin muodostama jännite seuraa napaparin kulmaa generaattorin sisällä.

Magnetoinnilla säädetään generaattorin jännitettä. Lisäämällä magnetointia saadaan enemmän jännitettä ja päinvastoin. Generaattorin ulostulevan jännitteen pitää olla vakio erilaisissa kuormitustilanteissa, joten magnetoinnin säätö on syytä jättää elektroniikan tehtäväksi. Tätä laitetta kutsutaan englanninkielisessä aineistossa AVR:ksi. Laite mittaa uloslähtevää jännitettä referenssinä ja sen mukaan joko lisää tai vähentää automaattisesti magnetointikäänin virtaa



KUVA 2. Periaatekuva erillismagnetoidusta generaattorista./3/

Magnetointiin tarvittava energia otetaan yllä olevassa kuvassa erillisestä magnetointi-generaattorista. Eli itse asiassa yhdessä generaattorissa on kolme generaattoria samalla akselilla. Pääjännitteen takaisinkytkentä voidaan ottaa myös käänin väliulosotosta. Tällöin ei tarvita alennusmuuntajaa AVR:n sisääntuloon.



KUVA 3. Periaatekuva itsemagnetoidusta generaattorista. Magnetointiin tarvittava energia otetaan pääjännitteestä./3/

Kuvan 2 ja 3 mukaisissa generaattoreissa ei tarvita hiiliharjoja ja ne ovat huoltovapaita. Magnetointivirran suuruutta rajoittaa magnetointikämin maksimi virtaraja. Tämä myös kuvaa hyvin roottorin rautapiirin kyllästymistilaa. Kun rautapiiri kyllästyy, ei magnetointivirran nostamisella ole vaikutusta ulostulojännitteeseen. Kuvien 2 ja 3 generaattorit eivät sovellu saarekkeena toimivan sähköjärjestelmän sähköntuottoon. Kyseiset generaattorit tarvitsevat aina verkon, jonka jännitteen avulla herätetään magnetointipiiri ja sen säätäjä. Myös muuttuvalla taajuudella ei voi syöttää AVR:ää.

2.2 Generaattorin pyörintänopeus ja taajuus

Generaattorin ja sen tuottaman jännitteen taajuus ovat toisiinsa verrannolliset. Generaattorin rakenne on määräävä, montako jännitehuippua tulee yhdellä roottorin kierroksella. Tämä on jo tehtaalla etukäteen valmistettu, eikä ole muutettavissa jälkeenpäin.

$$f = \frac{n \times 60}{p}$$

missä f on generaattorin jännitteen taajuus
n on tahtikoneen pyörintänopeus
p on napapariluku

2.3 Generaattorin teho

Generaattoriin leimataan sen maksimi jatkuvasti tuottaman tehon arvo sekä vaihesiirtokulma. Teho mitoitetaan siihen liitettävän kuorman mukaan. Lasketaan kaikki kuormat yhteen, jätetään laajennusvaraa tuleville generaattorin käyttövuosille, yleensä noin 20 %. Generaattorivalmistajan luettelosta haetaan seuraava suurempi tehoporras

Yliteho lämmittää generaattoria ja pitkällinen ylikuumentuminen rasittaa käämityksiä, jolloin ne voivat heikentyä ja aiheuttaa sisäisen oikosulun. Joten Generaattorin lämpenemä rajoittaa tehoa yhtä lailla kuin sen jännitteen antokyky ylikuormassa.

Generaattorin antamaan tehoon vaikuttaa, jos kuorma on voimakkaasti induktiivista. Jos generaattorin tuottamalla sähköllä pyöritetään oikosulkumoottoreita tai loistelamppuvalaistusta, pitää kuormien loistehon aiheuttama virta ottaa huomioon generaattorin nimellistehoa lisäävänä tekijänä. Normaali $\cos\varphi$ arvo on 0,8 mitä generaattorivalmistaja käyttää mitoituksessa ja leimaa generaattoriin.

Generaattorin mitoitus-tehoa suurentaa sen käyttöpaikka. Mikäli sitä käytetään korkealla meren pinnasta, saadaan oheisesta taulukosta kerroin, jolla jaetaan generaattorin kuormateho.

Taulukko 1, ympäristön lämpötilan vaikutus generaattorin mitoitukseen./3/

Temperature(°C)	Multiplier
45	0.97
50	0.94
55	0.91
60	0.88

Jatkuvaan teollisuuden käyttämään maksimi mitoitukseen (Continuous Maximum Industrial Rating)/3/ verrataan myös erityisalojen generaattorien mitoitusta. Näitä aloja ovat esimerkiksi Merikäyttö mitoitus (Continuous Marine Rating)/3/. Siinä käytetään ulkoisen ilman lämpötilaa $+50^{\circ}\text{C}$. Toisaalta Hätäkäyttö mitoitus (Standby Duty Rating) sallii suuremman jatkuvan tehon kuin teollisuuden mitoitus.

2.4 Generaattorin lämpöluokka

Generaattorin sallittu lämpenemä mitoitetaan jatkuvan tehon mukaan riippuen sen käämien eristysmateriaalista.

Taulukko 2. Käämin suurin sallittu lämpenemä. IEC 60034-1 mukaan

Määritelmät		Eristysluokka		
		B	F	H
Sallittu "kuumimman pisteen" lämpötila	$^{\circ}\text{C}$	130	155	180
Sallittu vastusmittauksen avulla määritetty käämityksen lämpötila	$^{\circ}\text{C}$	120	145	165
Sallittu käämityksen lämpenemä, kun ympäristön korkein lyhytaikainen lämpötila on $+ 40^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	80	105	125

Taulukossa on ilmoitettu montako astetta voi eri tavoin eristetty käämi lämmentä ulkoilman ollessa $+ 40^{\circ}\text{C}$. Täten huomataan, että generaattorin ulkolämpötiloissa voi olla suuriakin lämpötiloja ja kädellä tunnusteltaessa ei kuumaa generaattoria saa sanoa heti ylikuumaksi. Pitää tietää käämin lämpöluokka ja muistaa, että sisälämpötila on arviolta $40 - 50^{\circ}\text{C}$ pintalämpötiloja korkeampi.

2.5 Generaattorin jäähdytys

Generaattori voidaan jäähdyttää ilmalla tai jollakin väliaineella. Generaattorin käyttöolosuhteet usein määrittelevät jäähdytystavan. Mikäli ilmassa on aineita, jotka voivat vahingoittaa generaattoria, kuten rautapölyä, syövyttäviä aineita tai suolavettä, voidaan harkita suljettua generaattoria ja jäähdytystä väliaineella, kuten öljyllä tai vesi-glykoli seoksella.

Alla olevasta taulukosta nähdään Standardin IEC 60034-6 mainitsevat jäähdytystavat.

Taulukko 3, Sähkökoneiden tavallisimmat IC-luokat IEC 60034-6 (1991)

Merkintä	Määritelmän epävirallinen suomennos
IC 00	Konetta ympäröivä ilma jäähdyttää koneen sisäosat. Roottorin tuuletusvaikutus on merkityksetön. Jäähdytysaineen liike johtuu lämpötilaeroista.
IC 01	Kuten IC 00, paitsi että akselille tai roottoriin asennettu tuuletin saa aikaan ilman virtauksen.
IC 06	Jäähdytysmenetelmä on sama kuin kohdassa IC 01, mutta jäähdytysaineen virtaus saadaan aikaan koneeseen asennetulla tuulettimella, jonka toiminta on riippumaton pääkoneen pyörimisnopeudesta.
IC 11	Koneeseen kanavan kautta tuleva ilma poistuu vapaasti koneen ympäristöön. Ilmanvirtaus saadaan aikaan tuulettimella, joka on asennettu akselille tai roottoriin.
IC 31	Tuleva ja lähtevä ilma virtaa kanavien kautta. Virtauksen aiheuttava tuuletin on kiinnitetty akselille tai roottoriin.
IC 411	Suljettu, sisäinen ilman virtaus ja vaippajäähdytys koneen akselille asennettujen tuulettimien avulla
IC 511	Suljettu, sisäinen ilman virtaus. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun ilma-ilma-lämmönvaihtimen kautta (tavallisesti ns. putkijäähdytin) ulkopuoliseen ilmaan, jonka virtaus saadaan aikaan akselille asennetulla tuulettimella
IC 611	Kuten IC 511, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle
IC 7A1 W7	Suljettu, sisäinen jäähdytysaineen virtaus. Sisäisen ilmankierron saa aikaan pääkoneen pyörimisnopeudesta riippuva tuuletin. Lämpö johdetaan koneen sisään rakennetun vesi-ilma-lämmönvaihtimen kautta jäähdytysveteen, jonka virtaus saadaan aikaan joko verkkopaineen tai apupumpun avulla
IC 8A1 W7	Kuten IC 7A1 W7, mutta lämmönvaihdin on kiinnitetty koneeseen sen ulkopuolelle.

3 Muuttuvakierroksisen generaattorin mitoitus

3.1 Jännite

Generaattorin nimellisjännite yleensä mitoitetaan nimelliselle kierrosluvulle. Muuttuvakierroksisella generaattorilla se voi olla jännitealue, minkä se kattaa suurimmalla ja pienimmällä kierrosnopeudella. Generaattorivalmistajat kertovat jännitteen, minkä maksimumimagnetointivirralla ja minimikierrosnopeudella tulee generaattorin jännitteeksi. Jännitealue pitää olla tarpeeksi suuri kattamaan laitteiden toiminta-alueen. Esimerkiksi sähkökäytön alin sallittu jännite 6-pulssisuuntaajalle on 296 V, että säädettävistä käytöistä saadaan vielä käytännössä kolmivaiheinen jännite 400V. Sallituista jännitealueista on laitekohtaisia rajoja eri toimittajilla.

SINAMICS G130
Drive converter chassis units

75 kW to 800 kW

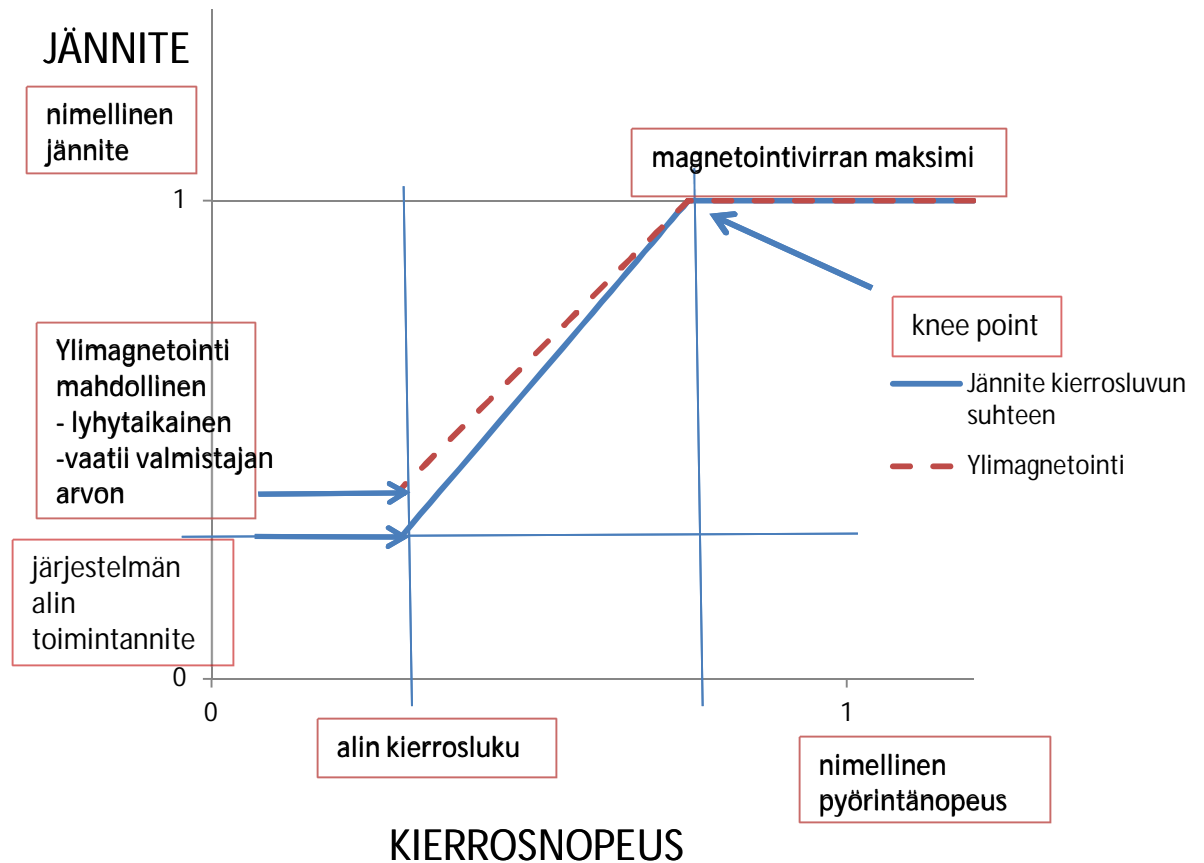
Technical data (continued)

General technical data

Electrical data	
Line voltages and output ranges	<ul style="list-style-type: none"> • 380 ... 480 V 3 AC, ±10 % (-15 % < 1 min) 110 ... 560 kW • 500 ... 600 V 3 AC, ±10 % (-15 % < 1 min) 110 ... 560 kW • 660 ... 690 V 3 AC, ±10 % (-15 % < 1 min) 75 ... 800 kW
Types of supplies	Grounded TN/TT systems or ungrounded IT systems (a grounded phase conductor is not permissible in 690 V systems)
Line frequency	47 ... 63 Hz

Kuva 4. Taajuusmuuttajan tulojännitteen arvojen vaihteluvälit.

Kun kierrokset alenevat, voidaan magnetointivirtaa kasvattamalla saada lisää jännitettä. Magnetointikäänin maksimivirta rajoittaa käytännössä jännitteen kasvatusta. Tämä vaikuttaa erityisesti kun mennään lähelle dieselmoottorin tyhjäkäyntikierroksia. Generaattorin rautapiirin ylimagnetoituminen ja käänin ylivirta yhdessä antavat rajat jännitteen nostolle alhaisilla kierroksilla.



KUVA 5. Generaattorin jännite kierrosluvun mukaan.

Generaattorin jännitteen alenema knee pointin alapuolella voidaan perustella kaavasta

$$E = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f N \varphi = 4,44 f N \varphi \quad /8/$$

E = Generaattorin sähkömotorinen voima, napajännite

f = Generaattorin taajuus

N = Käämityksen johdinkierrokset

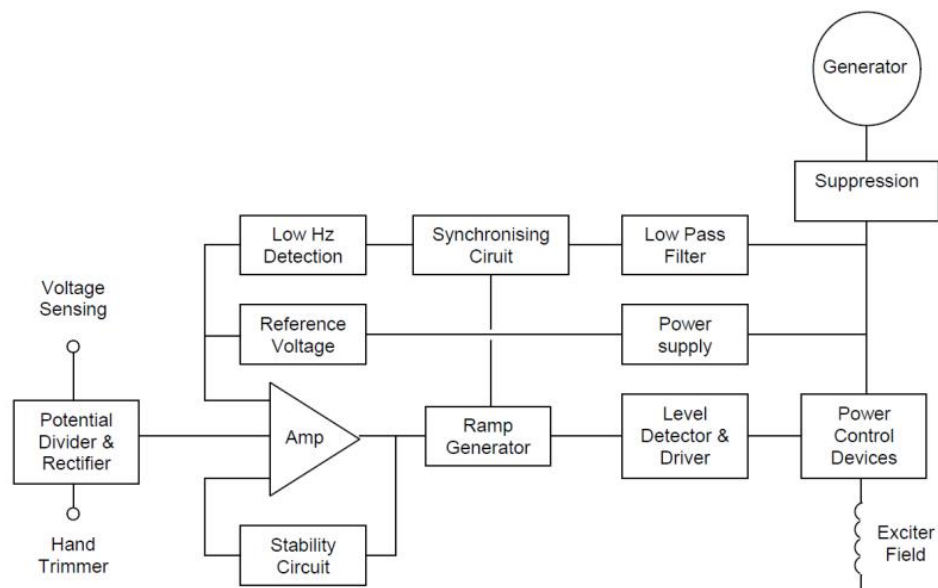
φ = Magneettivuo

Muut suureet ovat vakioita, paitsi generaattorin kierrosluku. Tällöin generaattorin napoihin muodostuva jännite on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen knee pointin alapuolella.

Generaattorin jännitekäyrää seurataan aina maksimi magnetoinnilla. Isommalla jännitteellä tuotetaan vaadittava teho pienimmillä virroilla. Tämä vaikuttaa hyötysuhteeseen ja generaattorin lämpenemään.

Usein lähellä tyhjäkäyntikiertoja ei käytön kuorma ole ongelma, koska silloin vain ylläpidetään järjestelmiä riittävä jännitetaso säilyttämällä. Kun järjestelmä tarvitsee tehoa generaattorilta, nostetaan kierroksia testattuun kierrosrajaan saakka.

Jännitesäätäjän (AVR) toimintaa pitää säätää, ettei UFRO aktivoidu. UFRO on alitaajuudesta aktivoituva magnetoinnin alennus. Kiinteäkierroksisissa generaattoreissa toiminta tarvitaan, silloin kun generaattori jää nimellisestä taajuudesta, lasketaan jännite alas.



Kuva 6, Low Hz detection piiri aktivoi magnetoinnin pudotuksen alhaisen taajuudenjohdosta. /4/

3.2 Vaiheet

Kolmivaiheinen generaattori on kyseessä oleville tehoille pakollinen valinta. Yksivaiheisen teho ei riitä työkonen käyttöön. Tasasuuntaajan kuorma on symmetristä, joten generaattorille ei tarvita välttämättä nollajohtoa. Tällöin jätetään yhdistämättä generaattorin tähtipiste ja runko toisiinsa. Tällaisella kelluvalla verkolla voidaan joissain tapauksissa

vähentää ylitaajuus- ja häiriövirtoja. Kelluvassa verkossa pitää huomata Standardin vaatimus verkon eristystilan valvontaan.

Sovellutuksissa on aina yksivaiheisia kuormia. Kuormat ovat kuitenkin niin pieniä, ettei sillä ole vaikutusta yhden vaiheen jännite alenemaan tai vaihe-epäsymmetriaan.

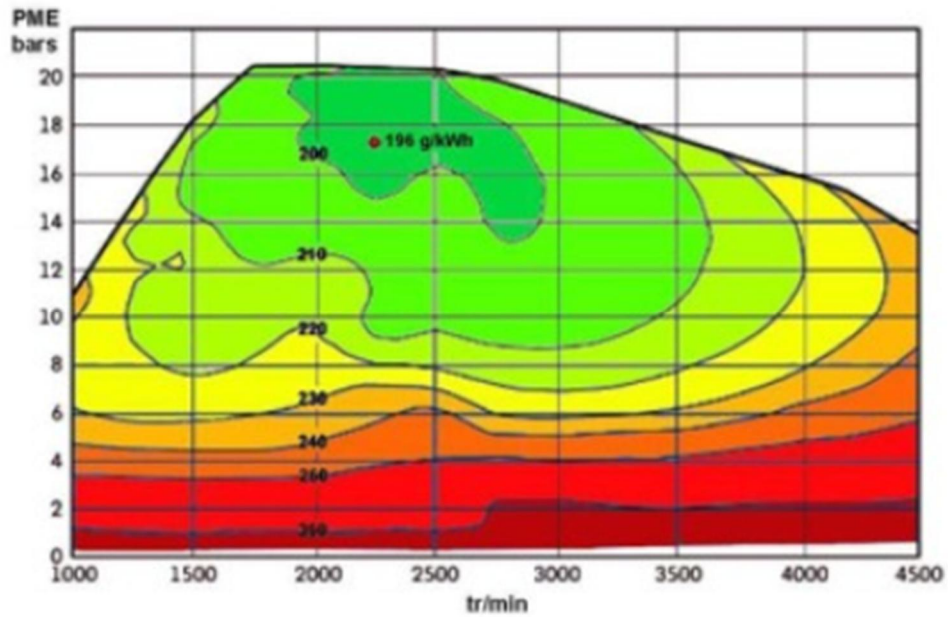
Yksivaiheisia kuormia syötettäessä on syytä tehdä syöttö erillisen muuntajan kautta. Muuntajassa esim. DYN kytketyssä, saadaan yksivaiheiset kuormat siirrettyä kolmivaiheiseen järjestelmään.

3.3 Taajuusalue

Taajuusalue saadaan dieselmoottorin toiminta-alueesta. Tasasuuntaajan ja syötettävien kuormien taajuusalue pitää olla generaattorin taajuusalueella. Ali- ja ylitaajuus on valvottava muulla kuin kiinteästi aseteltavalla releellä. Mikäli tarvitaan kiinteätaajuuksista syöttöä, ne pitää tehdä soveltuvalla taajuusmuuttajalla tai vastaavalla laitteella.

3.4 Dieselmoottorin kierrosalue

Dieselmoottorin kierrosalue on tyhjäkäynnin ja maksimikierrosten välinen alue. Toiminta-alue kattaa dieselmoottorin tehokkaan käytön eri tehoalueet. Dieselmoottorin kierroksia ei kannata nostaa yhtään siitä, mikä on taloudellisin kierrosalue tehdä tarvittava teho.



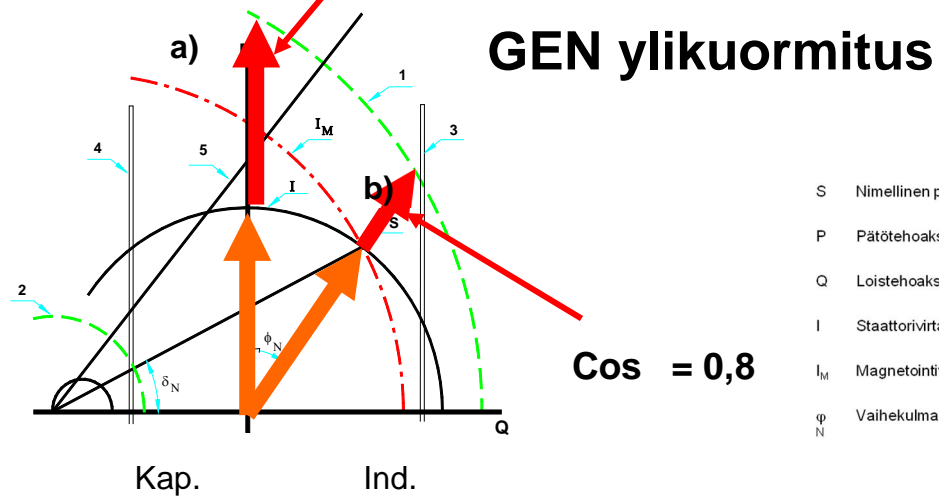
Kuva 7. Tehon ja polttoaineen simpukkakäyrä. Paras polttoainehyötysuhde tehon ja pyörimisnopeuden välillä on kuvattu tummalla vihreällä.

3.5 Vaihesiirtokulma

Tasasuuntaajan vaihesiirtokulma on lähellä $\cos\varphi = 1$. Mikäli generaattori syöttää muuta-kin suoraa kuormaa, pitää niiden loisteho mitoittaa generaattorin tehoon mukaan. Koska syötetään pätötehoa, voidaan generaattoria käyttää huomattavasti yli nimellisen tehon.



a) Nuoli on pidempi
kuin b) nuoli
→ suurempi ylikuormitusvara $\cos\varphi = 1$



KUVA 8, vaihesiirtokulman vaikutus generaattorin ylikuormitettavuuteen./5/

3.6 Generaattorin hyötysuhde

Generaattorin hyötysuhde muodostuu tehohäviöiden suhteesta annettuun pätötehoon. Generaattorin hyötysuhde ilmoitetaan yleensä nimelliselle taajuudelle. Seuraavassa on tarkasteltu tehohäviöiden käyttäytymistä kierrosluvun muuttuessa:

3.6.1 Virtalämpöhäviöt

Virtalämpöhäviöt ovat kuormituksen mukaan muuttuva suure. Siinä staattorikäimityksessä kulkeva virta aiheuttaa käämityksen vastuksessa tehohäviön $f(I^2)$. Sama tehohäviö muodostuu kaikilla kierrosalueilla, mikäli jännite pysyy samana. Jännitteen laskiessa sa-

maa tehoa siirrettäessä kasvaa virta ja sen myötä tehohäviöt. Kun siirretään tehoa kuormaan, on syytä olla sellaisella kierrosalueella, että generaattori pystyy tuottamaan täyden jännitteen.

3.6.2 Staattorin rautahäviöt

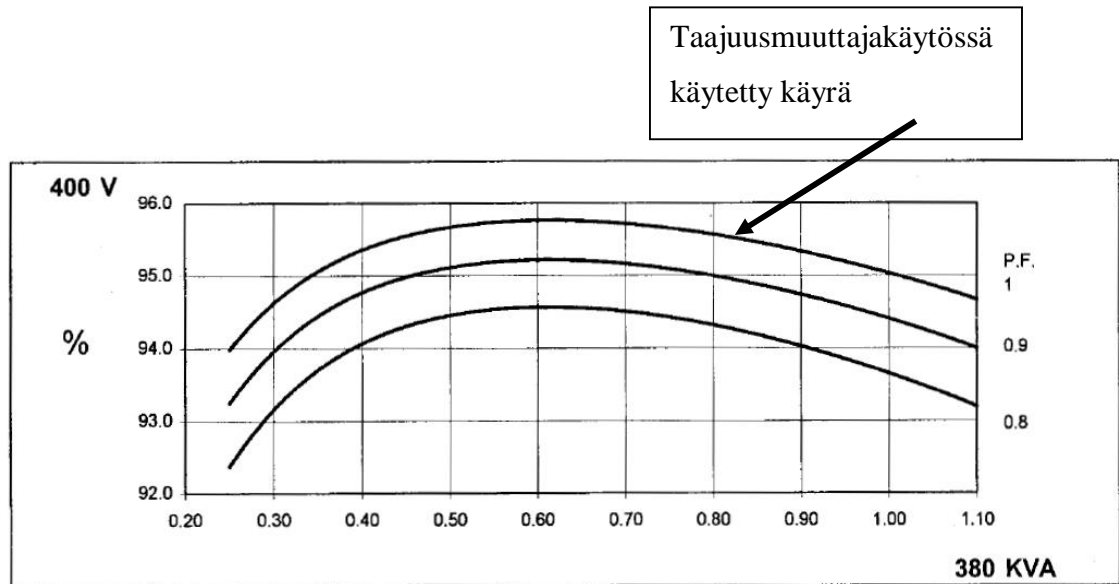
Rautahäviöt syntyvät vain staattorissa, sillä roottorin napaisuus ei vaihtele. Häviöiden suuruus riippuu pyörimisnopeudesta ja staattorin magneettivuosta. Magneettivuo koostuu pää- poikittais- ja pitkittäiskenttien yhteisestä summasta $f(I^2)$. Pyörimisnopeuden las-
kiessa, pienentyvät staattorin rautahäviöt virran pysyessä vakiona.

3.6.3 Mekaaniset häviöt

Mekaaniset häviöt koostuvat laakeri- ja jäähdytysilman kiertohäviöistä. Kun kierrosnopeus muuttuu, pienenevät mekaaniset häviötkin. Kun mekaaninen tuuletin on akselilla, teho on $f(n^2)$. Kun generaattorilla on ulkopuolinen tuuletus, on häviöt aina vakiot mutta suhteellinen osuus suurenee generaattorin tehonannon pienetessä.

3.6.4 Magnetoimishäviöt magnetoimiskäämityksessä

Häviöt johtuvat magnetoinnin tarvitsemasta tehosta. Kuvissa 2 ja 3 on esitetty yleisimmät magnetoimintatavat. Magnetoimintikäämin virtalämpöhäviöt ovat riippuvaiset käämityksen virrasta ja jännitteestä, sillä ne ovat tasavirtaa.



Kuva 9. Generaattorin tyypillinen hyötysuhdekäyrä. Ilmajäähdytteinen Stamford generaattori HCI434./6/

Hyötysuhdekäyrä osoittaa, että paras hyötysuhde tällä generaattorilla on nimellisen tehon puolessa välissä. Virtahäviöiden kasvu huonontaa hyötysuhdetta kun kasvatetaan tehon antoa tästä. Pienen tehon puolella vastaavasti vakio magnetointihäviöiden osuus kasvaa. Tässä on kyseessä kiinteäkierröksinen generaattori, joten siinä ei ole mukana kierrosnopeudesta johtuva vaikutus mukana.

Generaattorin hyötysuhteen suuruutta, tilanteessa kun kierrosnopeutta pienennetään, ei tutkittu tässä työssä. Häviöitä lisää magnetoinnin tehon kasvaminen, mutta toisaalta mekaaniset häviöt pienenevät.

3.7 Generaattorin nimellisteho

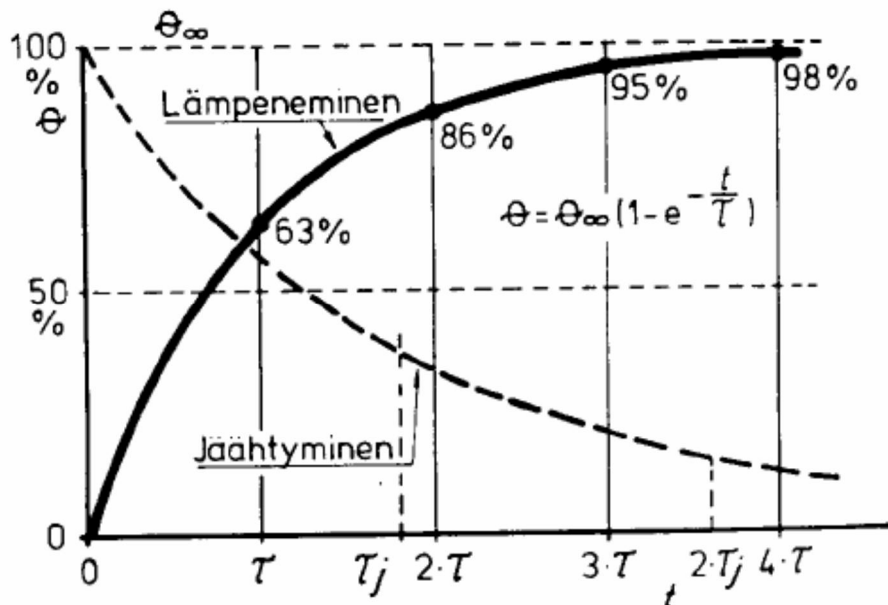
Generaattorin nimellisteho on teho, jota se pystyy tuottamaan jatkuvasti lämpenemättä liikaa eristysaineen sallimissa rajoissa. Tällöin on otettu huomioon kaikki lämpenemiseen liittyvät tiedot:

- ympäröivän ilman lämpötila, jos se poikkeaa 40°C
- käyttöpaikan korkeus meren pinnasta
- jäähdytysilman kierron suodatus
- huipputehon tuotto kyky riittävällä marginaalilla prosessin vaatimaan ottotehoon

3.8 Generaattorin lämpöaikavakio

Ison generaattorin lämpenemä on suhteellisen hidas prosessi. Ylivirtaa ja ylitehoa voidaan generaattorista ottaa hetkellisesti huomattavasti. Prosessin nimellistehon alittava kuorma tai jopa tyhjäkäynti tasaa generaattorin lämpötiloja.

Generaattorin lämpeneminen noudattaa eksponenttilakia. Lämpenemiskäyrän kulun määrää lämpöaikavakio τ , jonka kuluttua lämpenemä on saavuttanut 63 % loppuarvostaan. Kun aikaa on kulunut $4 \times \tau$ verran, voidaan katsoa loppulämpenemä saavutetuksi. Mitä suurempi lämmitettävä massa ja mitä huonompi jäähdytys, sitä pidempi aikavakio./7/



KUVA 10. Generaattorin käännyksen lämpeneminen ja jäähdyminen./7/

τ = lämpenemisaikavakio

τ_j = jäähdytisaikavakio

Taulukko 4. Pyörivien koneiden lämpenemisaikavakioita./7/

Konelaji (teho yli 100 kW)	Lämpenemisaikavakio τ /min
Suljettu rakenne	50 ... 150
Avoin rakenne tai lämmönvaihdin	40 ... 100
Pienet avoimet koneet	20 ... 60

Huom. Pidemmät aikavakiot liittyvät hitaampiin koneisiin.

Yllä nähdään kuinka lämpenemisaikavakiot ovat kymmeniä minutteja. Prosessin lyhytaikaiset ylikuormitusjaksot ovat tällöin mahdollisia toteuttaa ilman generaattorin yllilämpöä.

3.9 Muuttuvakierroksisen generaattorin jäähdytys

Generaattoria voidaan jäähdyttää Standardin IEC 60034-6 (1991) IC-luokkien (taulukko 3) mukaisesti. Siinä jäähdytystapoina ovat ulkoinen jäähdytys tai generaattorin pyörimisliikkeestä vaikuttava jäähdytys. Jäähdyttävänä väliaineina ovat tavallisesti ilma, vesiglykoliseos tai öljy.

Mitoitettaessa muuttuvakierroksisen generaattorin jäähdytystä generaattorin akselilla olevalla keskipakopuhaltimella, pitää laskea työsyklin tehohäviöt ja samanaikaisesti verrata sitä työsyklin eri kierrosalueiden puhallustehoon. Puhallustehon alenema ei ole lineaarista vaan jäähdytysteho laskee voimakkaasti kierrosten laskiessa.

Generaattoria, jossa on ulkopuolinen jäähdytys, voidaan kuormittaa myös alhaisemmilla kierrosluvulla. Vakiotehoinen jäähdytys toimii samalla vakioteholla koko kierrosalueella. Jäähdytystehon laskennassa summataan yhteen generaattorin vähintään nelinkertaisen lämpöaikavakion ajalta koneen häviöteho. Häviöteho vastaa jäähdytyksen keskimääräistä tarvetta. Koneen työsykli tulee tuntea hyvin, sillä alimitoitettussa työsyklissä generaattori lämpiää ja automatiikka on pakotettu laskemaan työnopeuksia tai pahimmassa tapauksessa lopettamaan toiminta estääkseen lämmöstä johtuvat vauriot.

3.10 Generaattorin mitoitusteho

Muuttuvakierroksista generaattoria ei dieselvetoisena kannata mitoittaa dieselmoottorin jatkuvan maksimitehon mukaan. Tällöin generaattori ylimitoitetaan huomattavasti. Generaattorin pitää pystyä tuottamaan tarvittava maksimiteho, mutta vain prosessin tarvitseman ajan.

Generaattori mitoitetaan työsyklin keskimääräisen tehon tarpeen mukaan. Käytetään työsyklin keskitehoa ja lisätään siihen turvamarginaali, joka Stamfordin ohjeen mukaan on $1,1 \times \text{keskiteho} / 3$. Työkoneeseen yleensä ei jätetä kasvuvaraa tulevaisuuden lisäystä varten, sillä koneet ovat usein laitteita, joihin ei liitetä merkittäviä kuormia jälkeensä. Tietenkin työsyklin tehon pitää ottaa huomioon kaikki mahdolliset lisälaitteet, mitä tarvitaan koneen laitteistossa ja optiovalinnoissa.

Kun lasketaan työsyklin keskitehoa, käytetään hyväksi tunnettua työsyklin kuvaajaa.

$$\sum S \times t = S_1 \times t_1 + S_2 \times t_2 + S_3 \times t_3 + \dots + S_n \times t_n, \quad \cos\varphi = 1$$

$\sum S$ = keskinäennäisteho

S_{1-n} = Jakson näennäisteho

t_{1-n} = Jakson aika

$\cos\varphi$ = vaihesiirtokulma

Tehoa ei kuitenkaan voi käyttää suoraan määriteltäessä generaattorin mitoitustehoa. Koska staattorivirta lämmittää kuormasta riippuen vaihtelevasti generaattoria, pitää muuntaa työsyklin teho staattorivirraksi.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U}$$

I = Staattorivirta

U = Jännite

Lisäksi käämityksessä kuluva tehohäviö määräytyy seuraavasti

$$P_h = 3 \times I^2 \times R$$

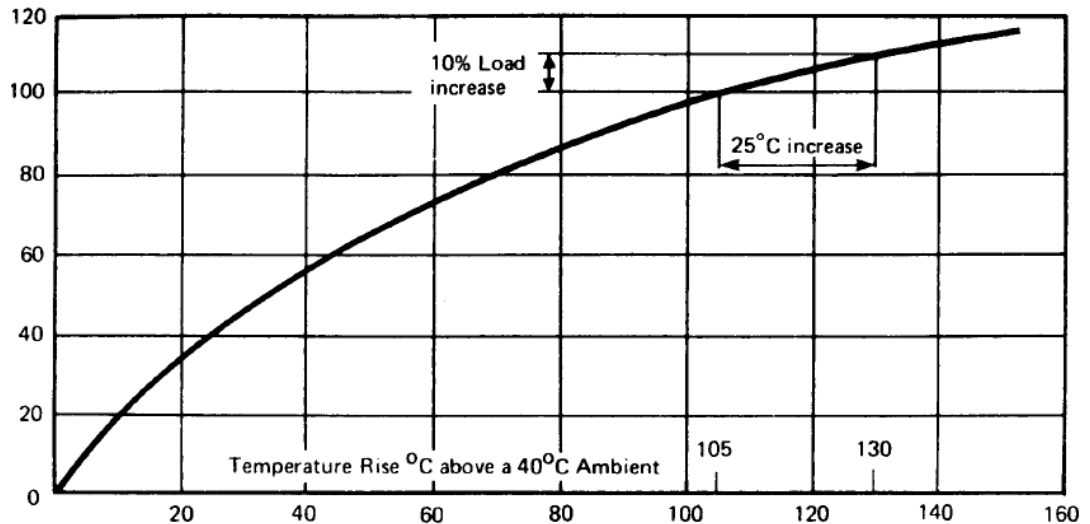
R = Staattorin vastus

Koska jännite ja staattorin vastus on yhtälön molemmilla puolilla, voidaan kaava muodostaa seuraavasti

$$\sum I^2 \times t = I_1^2 \times t_1 + I_2^2 \times t_2 + I_3^2 \times t_3 + \dots + I_n^2 \times t_n$$

Tuloksena saatu nimellisvirta muutetaan keskitehoksi ja tehdään valinta generaattorivalmistajan taulukosta seuraava suurempi generaattorikoko.

Oheisen kaaviolla esitetään virran vaikutuksen neliöllisyyttä, 10 % ylikuorma vaikuttaa generaattorin lämpenemään 25 %.



KUVA 11, jatkuvan ylitehon vaikutus generaattorin lämpenemään./3/ Valmistajan esittämä käyrä nimellisellä pyörimisnopeudella.

3.11 Generaattori oikosulussa

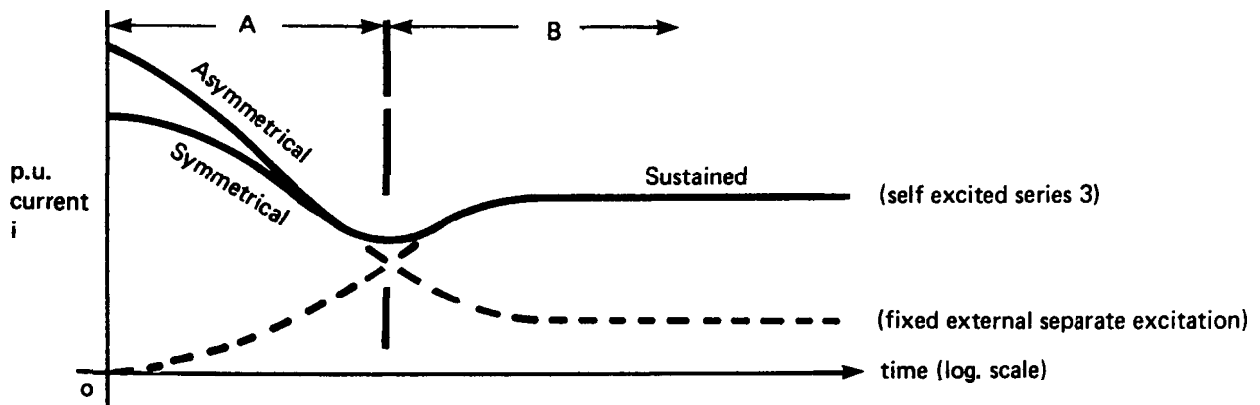
Oikosulku on sähköjärjestelmän pieniohminen eristysvika kahden tai useamman vaihejohtimen välillä. Oikosulkuun tulee varautua siten, että se saadaan katkaistua ajoissa, ettei lisävaaraa tule sähkölaitteistolle, kaapeleille tai lämpövaikutuksen johdosta tulipaloa. Oikosulkuvirta aiheuttaa myös rakenteisiin kosketusjännitteen, jota pienennetään standardin vaatimiin arvoihin lisäpotentiaalintasauksella sekä generaattorin nopealla laukaisulla verkosta oikosulun tapahduttua.

Generaattorin oikosulkuvirtaa on vaikea määritellä, koska sen sisäiset arvot muuttuvat oikosulkuvirran vaikutuksesta. Laskennallisesti vaikeaksi asian tekee generaattorin reaktanssin muutos, tahtigeneraattorin reaktanssi romahtaa alle 20 %:iin alkuperäisestä. Tämän arvon saa generaattorin valmistajalta.

VOLTAGE SERIES STAR	380/220	400/231	415/240	440/254	416/240	440/254	460/266	480/277
VOLTAGE PARALLEL STAR	190/110	200/115	208/120	220/127	208/120	220/127	230/133	240/138
VOLTAGE SERIES DELTA	220/110	230/115	240/120	254/127	240/120	254/127	266/133	277/138
KVA BASE RATING FOR REACTANCE VALUES	380	380	380	380	444	456	463	475
X _d DIR. AXIS SYNCHRONOUS	2.59	2.34	2.17	1.93	3.21	2.95	2.74	2.58
X' _d DIR. AXIS TRANSIENT	0.17	0.15	0.14	0.12	0.18	0.17	0.15	0.14
X'' _d DIR. AXIS SUBTRANSIENT	0.12	0.11	0.10	0.09	0.13	0.12	0.11	0.10
X _q QUAD. AXIS REACTANCE	2.23	2.01	1.87	1.66	2.84	2.61	2.42	2.28
X' _q QUAD. AXIS SUBTRANSIENT	0.30	0.27	0.25	0.22	0.42	0.39	0.36	0.34
X _L LEAKAGE REACTANCE	0.06	0.05	0.05	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06
X ₂ NEGATIVE SEQUENCE	0.21	0.19	0.18	0.16	0.28	0.26	0.24	0.22
X ₀ ZERO SEQUENCE	0.08	0.08	0.07	0.06	0.10	0.09	0.09	0.08
REACTANCES ARE SATURATED		VALUES ARE PER UNIT AT RATING AND VOLTAGE INDICATED						
T' _d TRANSIENT TIME CONST.	0.08s							
T'' _d SUB-TRANSTIME CONST.	0.019s							
T' _{do} O.C. FIELD TIME CONST.	1.7s							
T _a ARMATURE TIME CONST.	0.018s							
SHORT CIRCUIT RATIO	1/X _d							

Taulukko 5, Stamford Generaattori HCI 434 reaktanssiarvot./9/ Valmistajan esittämät arvot nimellisellä taajuudella.

Mikäli oikosulkua ei katkaista heti, suurenee generaattorin reaktanssi vähitellen kohti pysyvää arvoa, joka on sen tahtireaktanssi.



KUVA 12, Generaattorin oikosulkuvirta. Valmistajan esittämä käyrä nimellisellä taajuudella.

Kuvaajassa on esitetty kolmi ja yksivaiheisen oikosulun käyttäytyminen generaattorin nimellisellä taajuudella. Oikosulkuvirta tasaantuu ajan A jälkeen jatkuvaksi oikosulkuvirraksi B.

Oikosulkuvirrasta yleensä kiinnostaa kaksi arvoa. Suureet ovat virran alkuarvo ja jatkuva oikosulkuvirta. Ne määräävät suojalaitteen asetteluarvon sekä mahdollisesti kasvattavat kaapelin poikkipinnan suuruutta.

Alkuoikosulun virtana voidaan ajatella että generaattorilla on takanaan jäykkä verkko ja se syöttää oikosulkuun virtaa sen alkureaktanssin, johtoreaktanssin verran oikosulkupaikalle ja oikosulun reaktanssin kautta. Koska ollaan saarekekäytössä, ei tarvitse ottaa huomioon muita jännitelähteitä.

$$I_k = \frac{U_v}{Z_g'' + Z_w + Z_k}$$

U_v = Generaattorin jännite, vaihejännite

Z_g'' = Generaattorin alkureaktanssi

Z_w = Johdon reaktanssi oikosulkupaikkaan

Z_k = Oikosulkupaikan reaktanssi

Sen hetkellisen kuorman reaktanssin vaikutus oheisessa tilanteessa on oletettu merkityksettömäksi.

Kun ollaan knee pointin oikealla puolella (suuremmalla kierrosluvulla) oikosulkuteho noudattaa kaavaa ja on lähellä nimellisen pyörintänopeuden suuruutta.

Knee pointin vasemmalla puolella (pienemmällä kierrosluvulla) oikosulkuteho pienenee kierrosluvun ja jännitteen laskiessa.

Jatkuva oikosulkuvirta saadaan, kun alkuoikosulkureaktanssi muuttuu tahtireaktanssiksi.

$$I_k = \frac{U_v}{Z_g + Z_w + Z_k}$$

Z_g = Generaattorin tahtireaktanssi

Generaattorin oikosulkusuoja pitää toimia riittävän ajoissa katkaisemaan laskettu oikosulku kaukaisimmassa verkon pisteessä riittävän nopeasti. Usein pienjännitteellä toimivien generaattorien oikosulkuvirrat ovat niin pieniä, että ne eivät riitä laukaisemaan katkaisijoita, vaan on otettava erikseen generaattorikäyttöön suunnitellut katkaisijat. Erikoisnopeat sulakkeet vaaditaan usein tasasuuntaajien etukojeiksi. Näissä sulakkeissa on nopeat reagointiajat ja ne riittävätkin usein generaattorin oikosulkuvirralle.

Tekemissäni generaattorin oikosulkukokeissa havaitsin, että voimalaite pystyy syöttämään oikosulkutehoa jatkuvasti, mikäli oikosulku tapahtuu voimalaitteen ollessa tuottamassa momenttia. Toisin sanoen dieselmoottorilla turbon paine kohonnut ja työkoneen kuorma ottaa selkeästi tehoa generaattorilta. Tämä tapahtuu dieselin toimiessa työkierroksilla ja generaattorin nimellistaajuuksilla. Voimalaitteen ollessa alhaisella kuormituksella, se nopeasti pysähtyi oikosulkuun. Tällöin momentin tuottokyky oli alhainen ja tehonantokyky rajoittunut. Dieselmoottori pysähtyi, kun oikosulun vastamomentti tuli suuremmaksi kuin dieselin momentin tuotto oikosulkuhetkellä.

Oikosulkuteho on voimakkaasti reaktiivista, eikä se muodosta suurta vastamomenttia voimalaitteelle. Vastamomenttia synnyttävä pätöteho (virta) jää pieneksi. Mikäli oikosulkupaikan resistanssi nousisi, ei sekään auta, koska toisaalta silloin oikosulkuvirta pienenee voimakkaasti oikosulkupaikan resistanssin suuretessa.

Mikäli voimalaitetta käynnistetään generaattorin ollessa oikosulussa, riittää vastamomentti pysäyttämään voimalaitteen käynnistyksen.

Jos haetaan tarkkaa arvoa, jolla oikosulun vastamomentti voittaa dieselmoottorin momentin tuottokyvyn, tarvitaan useita erilaisia testitilanteita. Dieselmoottorilla on useita suureita, jotka vaikuttavat sen momentintuottokykyyn. Näitä ovat esimerkiksi; kierrosluku, turbon paine, hetkellinen kuorma sekä hetkellisen momentin nousu- tai laskutilanne.

3.12 Harmoniset aallot

Generaattoreita voidaan pitää yliaaltojännitelähteinä. Generaattorien kehittämä jännite poikkeaa sinimuodosta, sillä generaattorin navan ilmaväli ei ole aivan tarkkaan sinimuotoinen. Generaattorin yliaaltovirtojen suuruus määräytyy kuormien yliaaltoimpedanssista. Häiriöaallot ovat vakiot tietyn tehorajan yläpuolella. Maadoitusten kautta häiriöt palaavat generaattoriin.

Yliaaltoja voidaan estää:

- Taajuusmuuttajalla ohjattujen moottoreiden laakerien eristämällä.
- Imukuristimen kytkemisellä ennen tasasuuntaajaa

- Sarjakuristimen kytkemisellä moottoriin

Tärkeintä kuitenkin on, että sähköjärjestelmä ja sen komponentit kestävät verkossa esiintyvät yliaallot. Saarekekäytössä ei tarvitse murehtia koko maailman laitteiden selviämisestä huonon sähkönlaadun kanssa. SFS EN 60204-32, kohta 4.3.2 määrittelee yliaaltojen sallittavan rajan seuraavasti: ”Toisesta viidenteen harmonisten yliaaltojen summana saatu suhteellinen yliaaltosisältö ei ylitä 10 % vaiheiden välisestä jännitteen tehollisarvosta (r.m.s.). 2 % lisäys vaiheiden välisestä jännitteen tehollisarvosta (r.m.s.) kuudennesta kolmanteenkymmenenteen harmonisten yliaaltojen summana sallitaan.”

Käytännön vaikutuksista yliaallolle on että esimerkiksi muuntajan toisiojännite nousee nimellisestä yliaaltojen vaikutuksesta. Tässä helposti aiheuttaa ylijännitteitä muuntajan toisipuolen laitteille. Jännitteen mittalaitteet ja jännitereleet pitää olla häiriön sietoiset.

3.13 Generaattorin mekaaniset ja muut valinnat

Generaattorin sähköisten arvojen lisäksi pitää selvittää useita arvoja, jotka määräävät asennuksen, kytkennän ja laskelmien toimivuuden käytännössä. Tällaisia arvoja ovat esimerkiksi:

- laakerien määrä, yksi vai kaksi, kannattaako voimalaitteen laakeri myös generaattori käyttöön akselia?
- Moottorin laippakoko ja kiinnitys voimalaitteeseen, tarvitaanko värähtelyjä vaimentava rakenne?
- Liitinkopan asennus, miltä puolelta tulee johtojen ulostuloreiitit.
- Termistorit vai PT-100 anturit yllälämpövalvontaan
- Generaattorin maalaus.
- Seisontalämmityksen tarve
- Liitinpulttien kierrekoko.
- Miten estetään voimalaitteen jäähdytysilmankierto generaattorille? Voimalaitteelta tulee 80 asteista ilmaa generaattoritilaan, mikäli tilat ovat suoraan yhteydessä toisiinsa. Jos laittaa ulkoilman lämpötilaksi +80°C, saa turhaan ylimitoitettua generaattorin tulokseksi.

4 Mitoitusesimerkki

4.1 Muuttuvakierroksisen generaattorin mitoitus, esimerkki

Mitoitetaan muuttuvakierroksinen generaattori laitteen valmiiksi annetulla prosessin suoritusarvoilla ja verrataan sitä kiinteään kierrosnopeuksikseen generaattoriin.

Suoritusarvot:

Kiihdytys = 280kW, kesto 17 s

Tasainen ajo = 170 kW, kesto 150 s

Nosto, kiihdytys = 200 kW, kesto 3 s

Nosto tasainen = 170 kW, kesto 10 s

Seisonta = 0 kW, kesto 120 s

Syklin kokonaiskesto = 300 s

Käytetään kaavaa sivulta 24:

$$\sum S \times t = S_1 \times t_1 + S_2 \times t_2 + S_3 \times t_3 + \dots + S_n \times t_n, \cos\varphi = 1$$

Sijoitetaan kaavaan tehot ja vastaavat ajat:

$$\begin{aligned} \sum S \times t &= 280kW \times 17s + 170kW \times 150s + 200kW \times 3s + 170kW \times 10s + 0kW \\ &\quad \times 120s = 32560kW s \end{aligned}$$

$$P = \frac{32560kW s}{300s} = 108,53kW$$

Prosessin keskiteho on 108,53kW. Otetaan valitulta valmistajalta generaattori, joka on seuraavassa tehoportaassa keskitehon yläpuolella.

Stamfordin generaattorissa se on alla olevan taulukon mukaan UCI274C 114 kW.

STAMFORD® UC27 Industrial and Marine Alternator Range

- STAMFORD UCI/UCM 27 is a range of 4-pole, single or 2-bearing AVR controlled alternators
- Engine adaptors to SAE 1, 2, & 3, and coupling discs to SAE 10, 111/2 & 14 are available
- UC27 is a single core length higher output option, dedicated to SAE 2/111/2 or 1/14 adaptor/disc combinations
- Windings offered are 12-wire reconnectable (for single or three phase)
- Voltages available range up to 690 V
- IP23 enclosure protection is standard
- Drip-proof louvres are provided on UCM27 marine alternators



Class "H" Temperature Rise, Continuous Ratings (kVA), 40°C Ambient

		50Hz, 380V	60Hz, 416V
UCI274C	4 pole	100.0	112.5
UCI274C	4 pole	114.0	131.3
UCI274E	4 pole	140.0	160.0
UCI274F	4 pole	160.0	181.3
UCI274G	4 pole	180.0	205.0
UCI274H	4 pole	200.0	237.5

Taulukko 6, generaattori UC27, Stamford Generators

Kun valitaan ulkopuolinen jäähdytys, nestejäähdytys tai erillistuuletus, voidaan mitoittaa häviötehon tarvitsema jäähdytysteho keskitehon mukaan.

Keskiteho x 10% = jäähdytysteho = 108,5 kW x 0,1 = 10,8 kW jatkuvaa jäähdytystehoa.

Muuttuvakierroksisen generaattorin mitoituksessa pitää tarkastaa seuraavat asiat:

Tarkastetaan valmistajalta, että generaattori pystyy tuottamaan 280 kW tehon ilman jännitteen laskua (magnetointi riittää jännitteen ylläpitoon).

Toiminta-alueen kierrosalueella jännite ei laske alle nimellisen.

5 POHDINTA

Hyvä generaattorin mitoittaminen ja alhaisen kierroslukualueen käyttäminen aikaansaa kustannuksien alennuksia rakennuskustannuksissa, polttoaineen kulutuksessa, huoltokustannuksissa ja pidennetään laitteiston toimintaikää. Rakennuskustannuksissa generaattorin koon lisäksi säästetään suojalaitteissa, kaapeloinnissa sekä mekaanisen rakenteen suuruudessa.

Generaattorin tehon mitoitus pohjautuu generaattorin syöttämän laitteiston ottamaan kuormitukseen. Kuormituksen tunteminen, joka on käytännössä prosessin tai koneen toimintaa, voi olla uudessa laitteessa vaikeata tarkasti havainnollistaa. Myös käyttäjien erilaiset koneen käyttötottumukset vaikuttavat kuorman vaihteluihin ennalta arvaamattomasti käytön aikana. Kokemus on osoittanut, että käyttäjien toiminnan arvioinnissa tulee suurimmat eroavaisuudet koneen todelliseen käyttötapaan.

Generaattorin raja-arvot, kuten maksimitehon tarve, jännitteet ja kierroslukualue ovat helpoimmin määriteltävissä. Tarvittavat sähköiset suureet tulevat määriteltäväksi niin muuttuvan kierrosluvun omaavan generaattorin käytössä kuin kiinteässä kierroslukukäytössä. Mitoituserot syntyvät kun kierrosluku laskee. Mikäli tehoa otetaan paljon alhaisilla kierrosluvuilla, voi jännitteen alenema kasvattaa generaattorin virtaa sekä ilmajäähdytteisen generaattorin jäähdytyskyky alenee alhaisella pyörimisnopeudella.

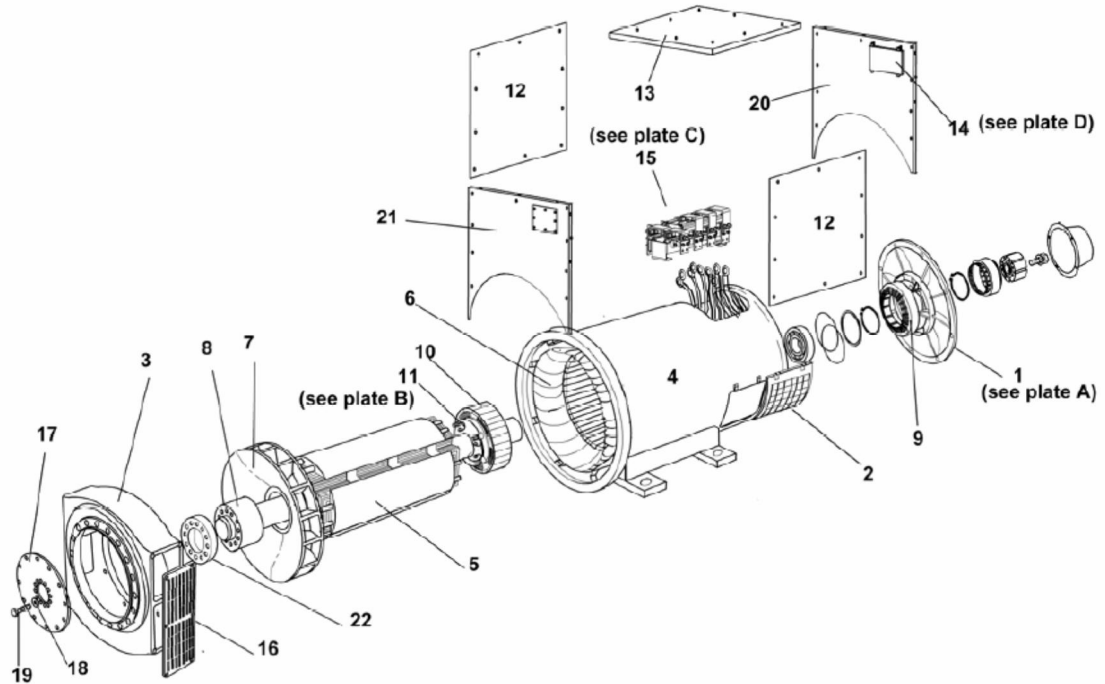
Liikkeen aloituksessa on viivettä, kun tehon antokyky ei ole vielä korkea. Tällöin dieselmoottorin pyörimisnopeuden herätys ennen kuorman ottoa tulee merkittävään asemaan ja vaatii mahdollisesti ohjausjärjestelmältä jopa ennakoitua käyttäjän lähiajan tarpeista.

Muuttuvakierroksisia generaattoreita on rakennettu erilaisiin laitteisiin jo usean vuoden ajan ja tekniikka on ottanut paikkansa sähkökäyttöisten liikkuvien koneiden voimanlähteissä.

LÄHTEET

1. Maiju Tuomi, 2006. Variable speed generator - a way to lower fuel consumption of a Straddle Carrier.
2. Mikko Suovirta, 2009. Sähköisten energiavarastojen mallintaminen ja mitoittaminen
3. Stamford Generators, nyk. Cummins Generator Technologies, 1990 Section 4 Generator selection
4. Stamford Generators, SX460 Automatic Voltage Regulator (AVR) Specification, installations and adjustments
5. Lauri Hietalahti, TAMK, vaihesiirtokulman vaikutus generaattorin ylikuormitettavuuteen
6. Stamford, Generator Data Sheet, Frame HC434F winding 311.
7. ABB Käsikirja, Moottorit ja generaattorit
8. Aura, Tonteri, Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet, Porvoo WSOY 1996
9. Stamford Generators, Generaattori HC 434 käsikirja

Liite 1. Generaattori rakenne, Stamford generaattori. Installation, Service & Maintenance Manual for HC4, 5 & 6 AC Generators

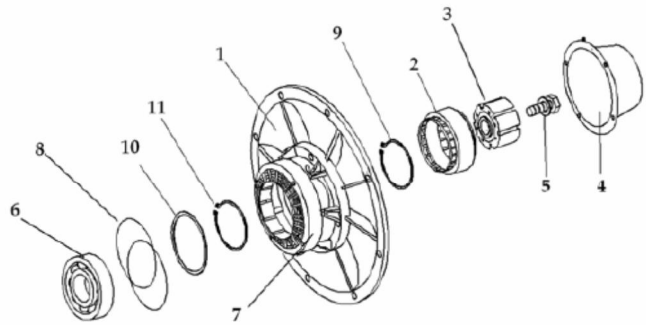


KUVA 13, Stamford Generaattori HC 4 & 5. Yksilaakerinen

No.	DESCRIPTION
1	N. D. E. Bracket (Non Drive End)
2	N. D. E. Cover
3	D. E. Adaptor SAE-0 (Drive End)
4	Main Frame Only (Non Service Part)C,D,E
4	Main Frame Only (Non Service Part)F
5	Wound Main Stator Assembly(No sensors)
6	Wound Rotor Assembly Complete
7	Fan
8	SHAFT (Non Service Part)
9	Wound Exciter Stator 65mm
10	Wound Exciter Rotor 65mm
11	Rotating Rectifier Assembly
12	Terminal Box Side Panel
13	Terminal Box Lid
14	A. V. R. MX341-2
15	Main Terminal Arrangement
16	Drive End Screen
17	Coupling Disc SAE 18
18	Coupling Disc Washer
19	Coupling Bolt M20 x 60 Long
20	Terminal Box Endpanel N.D.E.
21	Terminal Box Endpanel D.E.
22	Coupling Spacer
23	Foot Hole Reducing Bush

Taulukko 7, Generaattorin osat räjäytyskuvaan liittyen.

ITEM	DESCRIPTION
1	N.D.E. Bracket
2	Perm Magnet Stator Assy
3	Perm Magnet Rotor Assy
4	Perm Magnet Endcover
5	P M Rotor Fixing Bolt
6	Bearing
7	Exciter Stator
8	Bearing O Ring
9	Circlip
10	Waved washer
11	Circlip



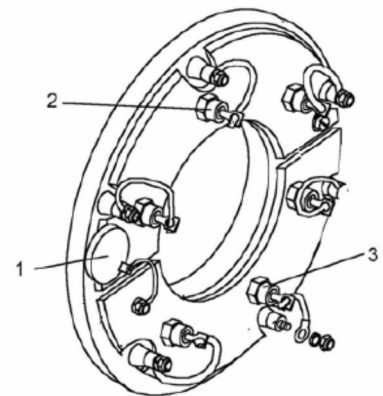
(Items 2 to 5 supplied as Permanent Magnet Kit)
 (Items 6, 8, & 10 supplied as Replacement Bearing Kit)

KUVA 14, Magnetointigeneraattorin räjäytyskuva.

HC 4&5

ITEM	DESCRIPTION
1	Varistor Assembly
2	Diode Forward (1 SET of 3)
3	Diode Reverse (1 SET of 3)

(Items 1 to 3 supplied as Rectifier Service Kit)

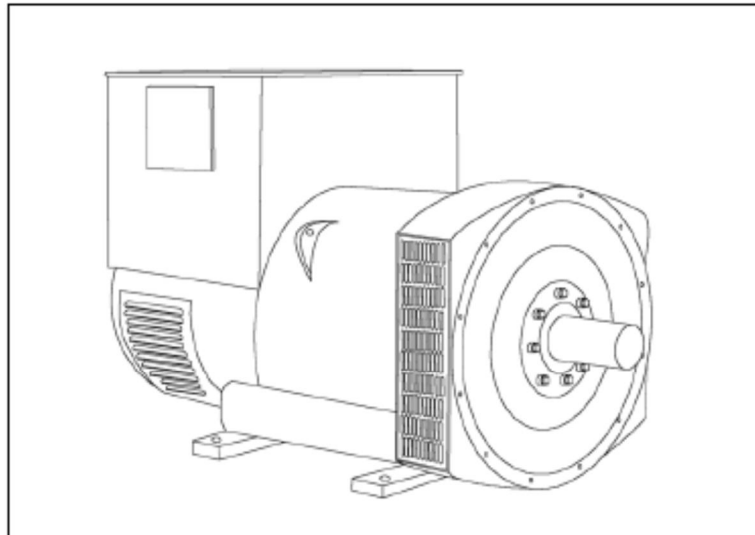


KUVA 15, Diodisilta

Liite 2. Stamford Generaattori HCI 434D/444D, Technical Data Sheet



HCI 434F/444F - Technical Data Sheet



HCI434F/444F SPECIFICATIONS & OPTIONS



STANDARDS

Newage Stamford Industrial generators meet the requirements of BS EN 60034 and the relevant section of other international standards such as BS5000, VDE 0530, NEMA MG1-32, IEC34, CSA C22.2-100, AS1359. Other standards and certifications can be considered on request.

VOLTAGE REGULATORS

SX440 AVR - STANDARD

With this self-excited system the main stator provides power via the Automatic Voltage Regulator (AVR) to the exciter stator. The high efficiency semi-conductors of the AVR ensure positive build-up from initial low levels of residual voltage.

The exciter rotor output is fed to the main rotor through a three-phase full-wave bridge rectifier. The rectifier is protected by a surge suppressor against surges caused, for example, by short circuit or out-of-phase paralleling.

The SX440 will support a range of electronic accessories, including a 'droop' Current Transformer (CT) to permit parallel operation with other ac generators.

If 3-phase sensing is required with the self-excited system, the SX421 AVR must be used.

SX421 AVR

This AVR also operates in a self-excited system. It combines all the features of the SX440 with, additionally, three-phase rms sensing for improved regulation and performance. Over voltage protection is provided via a separate circuit breaker. An engine relief load acceptance feature is built in as standard.

MX341 AVR

This sophisticated AVR is incorporated into the Stamford Permanent Magnet Generator (PMG) control system.

The PMG provides power via the AVR to the main exciter, giving a source of constant excitation power independent of generator output. The main exciter output is then fed to the main rotor, through a full wave bridge, protected by a surge suppressor. The AVR has in-built protection against sustained over-excitation, caused by internal or external faults. This de-excites the machine after a minimum of 5 seconds.

An engine relief load acceptance feature can enable full load to be applied to the generator in a single step.

If three-phase sensing is required with the PMG system the MX321 AVR must be used.

We recommend three-phase sensing for applications with greatly unbalanced or highly non-linear loads.

MX321 AVR

The most sophisticated of all our AVRs combines all the features of the MX341 with, additionally, three-phase rms sensing, for improved regulation and performance. Over voltage protection is built-in and short circuit current level adjustments is an optional facility.

WINDINGS & ELECTRICAL PERFORMANCE

All generator stators are wound to 2/3 pitch. This eliminates triplen (3rd, 9th, 15th ...) harmonics on the voltage waveform and is found to be the optimum design for trouble-free supply of non-linear loads. The 2/3 pitch design avoids excessive neutral currents sometimes seen with higher winding pitches, when in parallel with the mains. A fully connected damper winding reduces oscillations during paralleling. This winding, with the 2/3 pitch and carefully selected pole and tooth designs, ensures very low waveform distortion.

TERMINALS & TERMINAL BOX

Standard generators are 3-phase reconnectable with 12 ends brought out to the terminals, which are mounted on a cover at the non-drive end of the generator. A sheet steel terminal box contains the AVR and provides ample space for the customers' wiring and gland arrangements. It has removable panels for easy access.

SHAFT & KEYS

All generator rotors are dynamically balanced to better than BS6861:Part 1 Grade 2.5 for minimum vibration in operation. Two bearing generators are balanced with a half key.

INSULATION/IMPREGNATION

The insulation system is class 'H'.

All wound components are impregnated with materials and processes designed specifically to provide the high build required for static windings and the high mechanical strength required for rotating components.

QUALITY ASSURANCE

Generators are manufactured using production procedures having a quality assurance level to BS EN ISO 9001.

The stated voltage regulation may not be maintained in the presence of certain radio transmitted signals. Any change in performance will fall within the limits of Criteria 'B' of EN 61000-6-2:2001. At no time will the steady-state voltage regulation exceed 2%.

NB Continuous development of our products entitles us to change specification details without notice, therefore they must not be regarded as binding.

Front cover drawing typical of product range.



HCI434F/444F WINDING 311

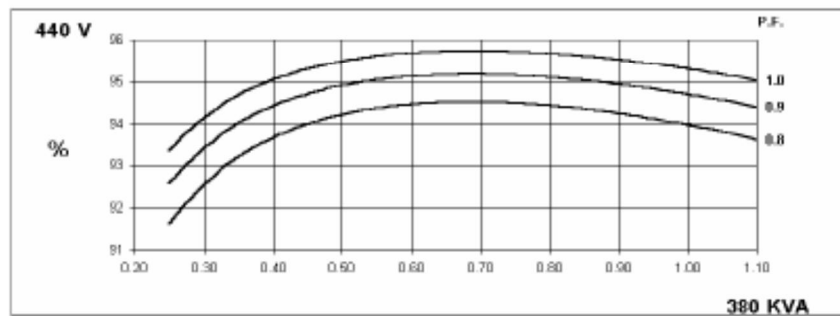
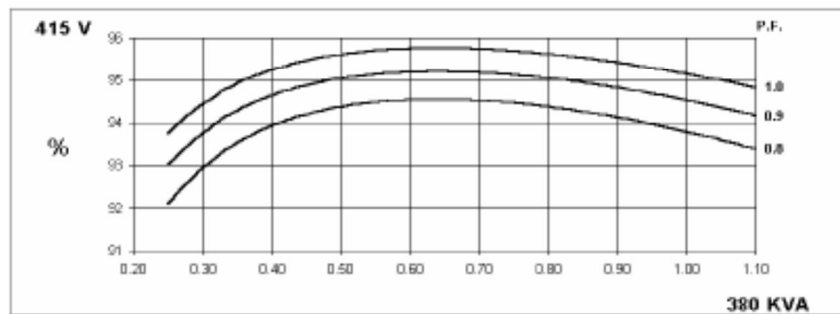
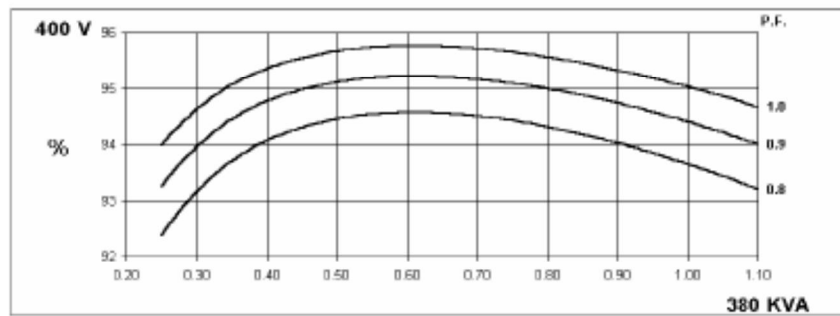
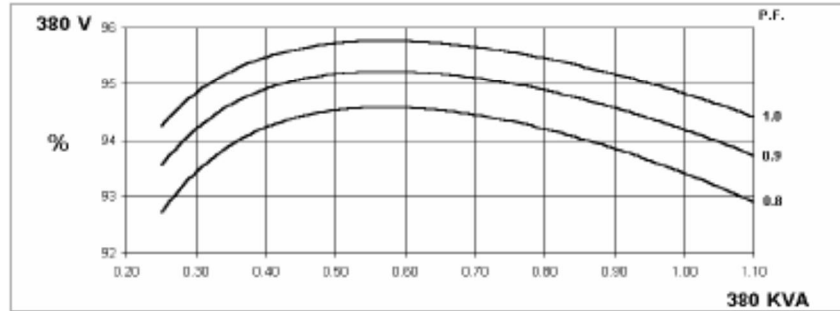
CONTROL SYSTEM	SEPARATELY EXCITED BY P.M.G.							
A.V.R.	MX321	MX341						
VOLTAGE REGULATION	± 0.5 %	± 1.0 %	With 4% ENGINE GOVERNING					
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	REFER TO SHORT CIRCUIT DECREMENT CURVES (page 7)							
CONTROL SYSTEM	SELF EXCITED							
A.V.R.	SX440	SX421						
VOLTAGE REGULATION	± 1.0 %	± 0.5 %	With 4% ENGINE GOVERNING					
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	WILL NOT SUSTAIN A SHORT CIRCUIT							
INSULATION SYSTEM	CLASS H							
PROTECTION	IP23							
RATED POWER FACTOR	0.8							
STATOR WINDING	DOUBLE LAYER LAP							
WINDING PITCH	TWO THIRDS							
WINDING LEADS	12							
STATOR WDG. RESISTANCE	0.0073 Ohms PER PHASE AT 22°C SERIES STAR CONNECTED							
ROTOR WDG. RESISTANCE	1.37 Ohms at 22°C							
R.F.I. SUPPRESSION	BS EN 61000-6-2 & BS EN 61000-6-4, VDE 0875G, VDE 0875N. refer to factory for others							
WAVEFORM DISTORTION	NO LOAD < 1.5% NON-DISTORTING BALANCED LINEAR LOAD < 5.0%							
MAXIMUM OVERSPEED	2250 Rev/Min							
BEARING DRIVE END	BALL. 6317 (ISO)							
BEARING NON-DRIVE END	BALL. 6314 (ISO)							
	1 BEARING				2 BEARING			
WEIGHT COMP. GENERATOR	1160 kg				1160 kg			
WEIGHT WOUND STATOR	535 kg				535 kg			
WEIGHT WOUND ROTOR	463 kg				440 kg			
WR ² INERTIA	5.4292 kgm ²				5.2304 kgm ²			
SHIPPING WEIGHTS in a crate	1775 kg				1780 kg			
PACKING CRATE SIZE	155 x 87 x 107(cm)				156 x 87 x 107(cm)			
	50 Hz				60 Hz			
TELEPHONE INTERFERENCE	THF<2%				TIF<50			
COOLING AIR	0.486 m ³ /sec 1030 cfm				0.580 m ³ /sec 1240 cfm			
VOLTAGE SERIES STAR	380/220	400/231	415/240	440/254	416/240	440/254	460/266	480/277
VOLTAGE PARALLEL STAR	190/110	200/115	208/120	220/127	208/120	220/127	230/133	240/138
VOLTAGE SERIES DELTA	220/110	230/115	240/120	254/127	240/120	254/127	266/133	277/138
KVA BASE RATING FOR REACTANCE VALUES	380	380	380	380	444	456	463	475
X _d DIR. AXIS SYNCHRONOUS	2.59	2.34	2.17	1.93	3.21	2.95	2.74	2.58
X' _d DIR. AXIS TRANSIENT	0.17	0.15	0.14	0.12	0.18	0.17	0.15	0.14
X'' _d DIR. AXIS SUBTRANSIENT	0.12	0.11	0.10	0.09	0.13	0.12	0.11	0.10
X _q QUAD. AXIS REACTANCE	2.23	2.01	1.87	1.66	2.84	2.61	2.42	2.28
X' _q QUAD. AXIS SUBTRANSIENT	0.30	0.27	0.25	0.22	0.42	0.39	0.36	0.34
X _L LEAKAGE REACTANCE	0.06	0.05	0.05	0.04	0.07	0.06	0.06	0.06
X ₂ NEGATIVE SEQUENCE	0.21	0.19	0.18	0.16	0.28	0.26	0.24	0.22
X ₀ ZERO SEQUENCE	0.08	0.08	0.07	0.06	0.10	0.09	0.09	0.08
REACTANCES ARE SATURATED				VALUES ARE PER UNIT AT RATING AND VOLTAGE INDICATED				
T' _d TRANSIENT TIME CONST.	0.08s							
T'' _d SUB-TRANSIENT TIME CONST.	0.019s							
T' _{do} O.C. FIELD TIME CONST.	1.7s							
T _a ARMATURE TIME CONST.	0.018s							
SHORT CIRCUIT RATIO	1/X _d							

**50
Hz**

HCI434F/444F
Winding 311



THREE PHASE EFFICIENCY CURVES

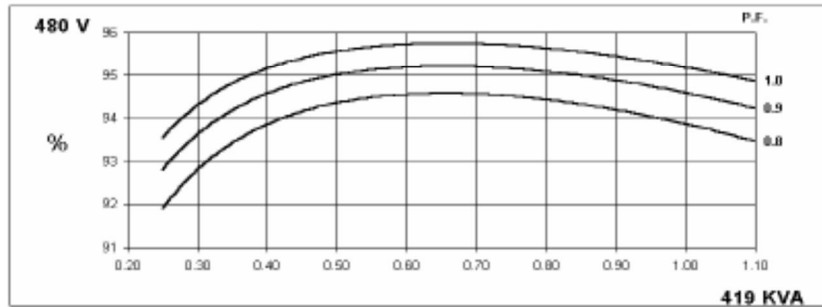
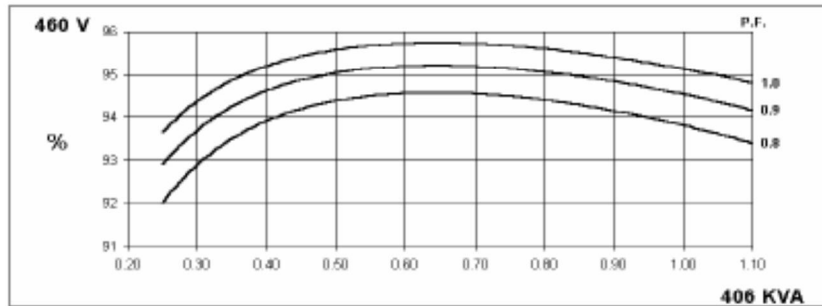
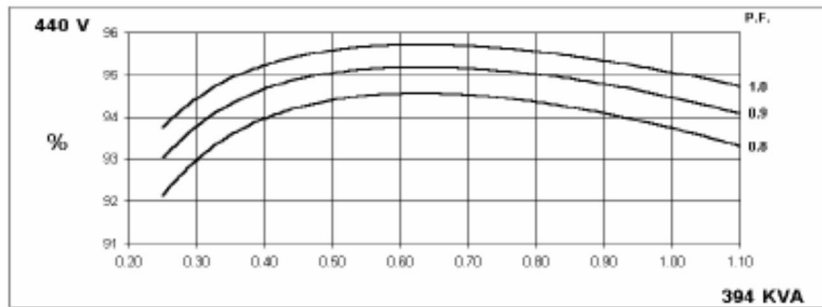
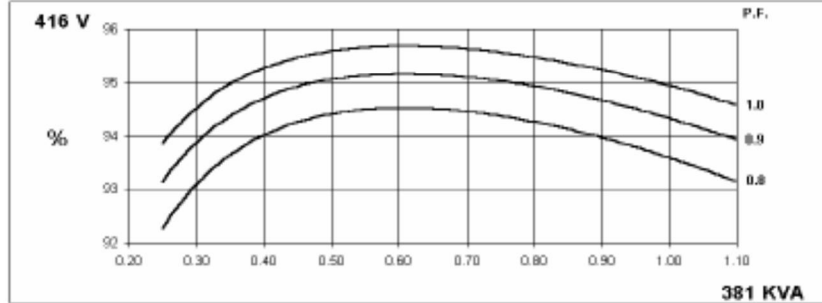




HCI434F/444F
Winding 311

60 Hz

THREE PHASE EFFICIENCY CURVES



HCI434F/444F
Winding 311

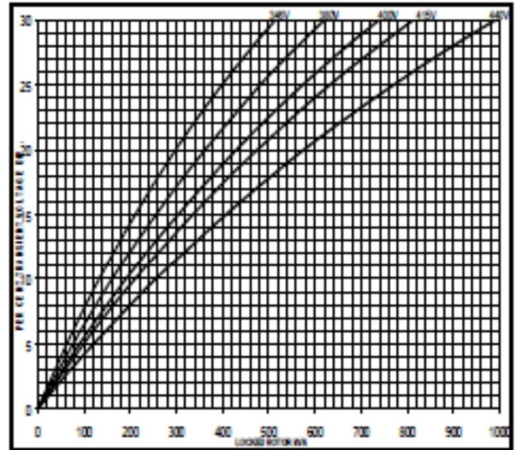
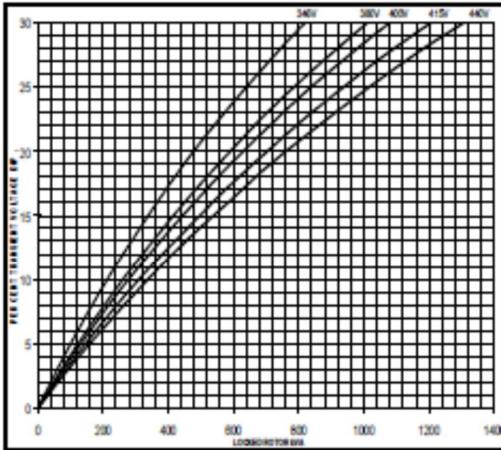


Locked Rotor Motor Starting Curve

50 Hz

MX

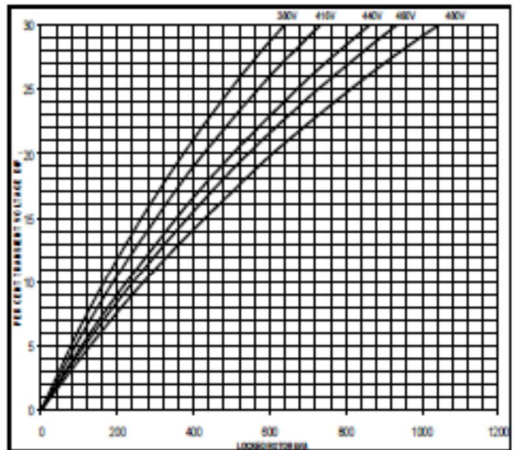
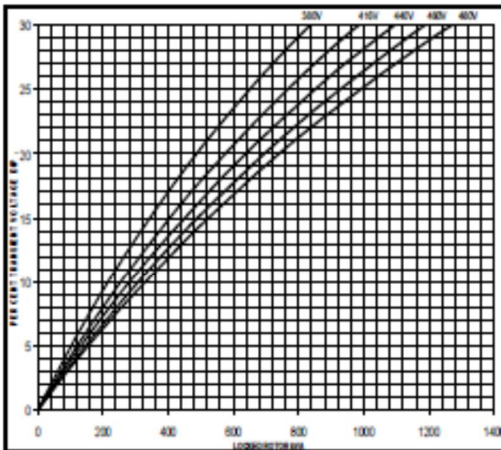
SX



60 Hz

MX

SX

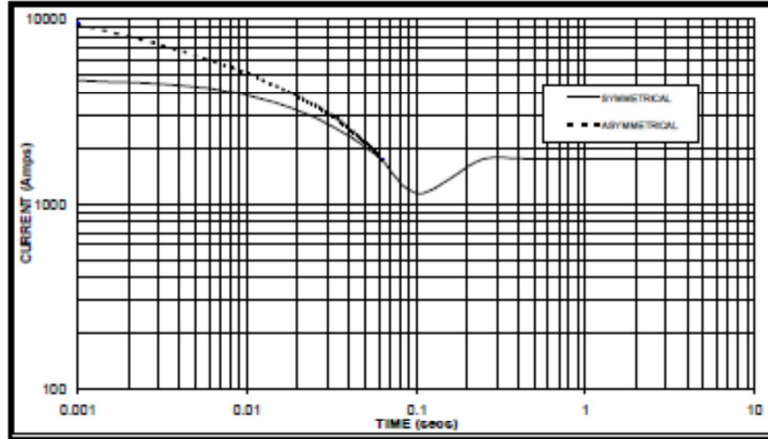




HCI434F/444F

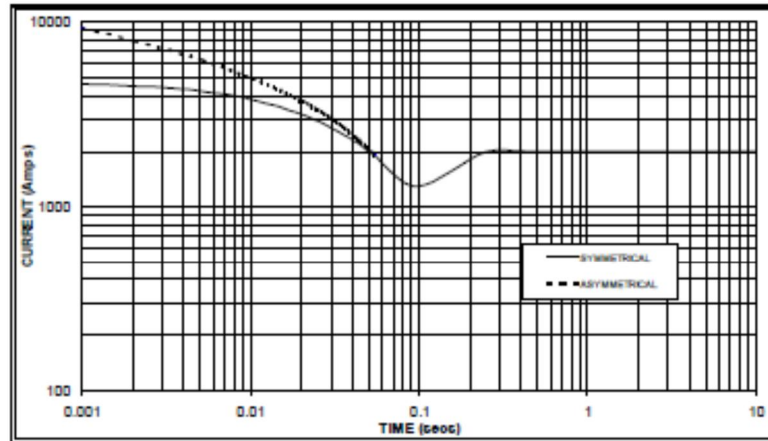
Three-phase Short Circuit Decrement Curve. No-load Excitation at Rated Speed
Based on star (wye) connection.

**50
Hz**



Sustained Short Circuit = 1,750 Amps

**60
Hz**



Sustained Short Circuit = 2,000 Amps

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 :

50Hz		60Hz	
Voltage	Factor	Voltage	Factor
380v	X 1.00	416v	X 1.00
400v	X 1.05	440v	X 1.06
415v	X 1.09	460v	X 1.10
440v	X 1.16	480v	X 1.15

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

Note 3

Curves are drawn for Star (Wye) connected machines. For other connection the following multipliers should be applied to current values as shown :

Parallel Star = Curve current value X 2

Series Delta = Curve current value X 1.732

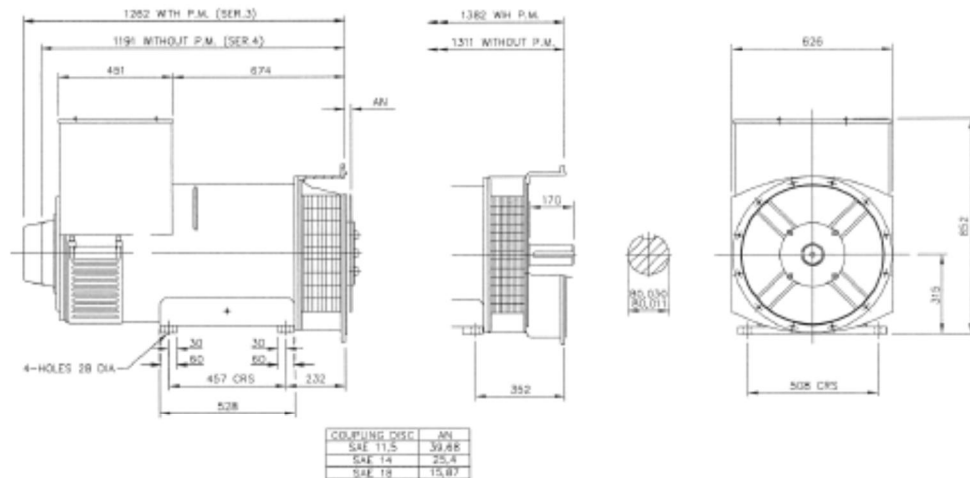
HCI434F/444F
Winding 311 / 0.8 Power Factor



RATINGS

Class - Temp Rise	Cont. F - 105/40°C				Cont. H - 125/40°C				Standby - 150/40°C				Standby - 163/27°C				
50 Hz	Series Star (V)	380	400	415	440	380	400	415	440	380	400	415	440	380	400	415	440
	Parallel Star (V)	190	200	208	220	190	200	208	220	190	200	208	220	190	200	208	220
	Series Delta (V)	220	230	240	254	220	230	240	254	220	230	240	254	220	230	240	254
	KVA	350	350	350	350	380	380	380	380	390	390	390	390	404	404	404	404
	KW	280	280	280	280	304	304	304	304	312	312	312	312	323	323	323	323
	Efficiency (%)	93.8	94.0	94.1	94.2	93.4	93.7	93.8	94.0	93.3	93.5	93.7	93.9	93.1	93.4	93.5	93.7
	kW Input	299	298	298	297	325	324	324	323	334	334	333	332	347	346	346	345
60 Hz	Series Star (V)	416	440	460	480	416	440	460	480	416	440	460	480	416	440	460	480
	Parallel Star (V)	208	220	230	240	208	220	230	240	208	220	230	240	208	220	230	240
	Delta (V)	240	254	266	277	240	254	266	277	240	254	266	277	240	254	266	277
	KVA	405	420	425	438	444	456	463	475	475	483	488	500	488	500	506	519
	KW	324	336	340	350	355	365	370	380	380	386	390	400	390	400	405	415
	Efficiency (%)	93.9	94.0	94.1	94.1	93.5	93.7	93.8	93.9	93.2	93.4	93.6	93.7	93.0	93.2	93.4	93.5
	kW Input	345	357	361	372	380	389	395	405	408	414	417	427	420	429	433	444

DIMENSIONS



PO Box 17 • Barnack Road • Stamford • Lincolnshire • PE9 2NB
Tel: 00 44 (0)1780 484000 • Fax: 00 44 (0)1780 484100
Website: www.newage-avkseg.com

© 2002 Newage International Limited.
Reprinted with permission of N.I. only.
Printed in England.

TD_HCI4F.GB_08.02_01_GB