

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulku / Merenkulkualan insinööri

Timo Laurell

GENERAATTOREIDEN JA SÄHKÖMOOTTOREIDEN HUOLTO

Opinnäytetyö 2015

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Merenkulun koulutusohjelma

LAURELL, TIMO	Generaattoreiden ja sähkömoottoreiden huolto
Opinnäytetyö	47 sivua + 5 liitesivua
Työn ohjaaja	Lehtori Ari Helle, tuntiopettaja Mari Melotindos
Toimeksiantaja	Merenkulun ja logistiikan painoala; KYAMK
Toukokuu 2015	
Avainsanat	huolto, generaattori, moottori, eristys, mittaus

Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda katsaus generaattoreiden ja sähkömoottoreiden peruskunnossapitoon ja siihen liittyviin mittauksiin. Samalla perehdytään yleisempien sähkökoneiden toimintaan ja rakenteeseen. Tutustutaan laakereiden kunnonvalvontaan sekä perehdytään laakerivirtailmiöön, sen syntyyn ja torjuntatapoihin. Lisäksi työssä käydään läpi luokituslaitosten määräyksiä, jotka koskevat sähkökoneiden käytönaikaisia luokituksia ja niiden aikavälejä.

Suurin osa tiedosta on kerätty käyttäen hyväksi sähkömoottori- ja generaattorivalmistajien manuaaleja sekä alan kirjallisuutta. Laakerivirtoja koskevat tiedot on kerätty valmistajien julkaisemista dokumenteista ja tieteellisistä julkaisuista. Luokituslaitosten määräykset on kerätty luokittajien verkkodokumenteista.

Perushuoltotoimenpiteet ovat samanlaisia sekä moottoreille että generaattoreille joutuessa näiden koneiden rakenteellisista yhtäläisyyksistä. Suuritoisimmat huollot koskevat laakereiden vaihtoa ja käämityksien pesemistä, jolloin roottori joudutaan vetämään ulos. Mittauksista tärkein on eristysvastusmittaus, jota käytetään eristyksen likaisuuden ja kunnan arviointiin.

ABSTRACT

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

University of Applied Sciences

Maritime Technology

LAURELL, TIMO

Bachelor's Thesis

Supervisor

Commissioned by

May 2015

Keywords

Maintenance of Generators and Electric Motors

47 pages + 5 pages of appendices

Ari Helle, Senior Lecturer; Mari Melotindos, Lecturer

Merenkulun ja logistiikan painoala; KYAMK

maintenance, motor, generator, insulation, measurement

The objective of this thesis is to make a survey into the maintenance of electric motors and generators and to explore what measurements need to be made during maintenance. In this thesis, the basic structure and operating principle of the most common electrical machines are explored. Also familiarization into condition monitoring of bearings will be conducted and the phenomenon behind bearing current is explained and protection from it is explored. The classification of electrical machines during the operation of ship is also briefly conducted.

The majority of the information used in this thesis was obtained from the manuals of the manufacturers of electric motors and generators. Electrical textbooks were also utilized in the explanation of basic operating principles and maintenance. Information concerning bearing current was obtained from the publications of manufacturers and scientific papers. Documents of classification societies were used to explain survey schedules and scopes.

The basic maintenance procedures for electrical motors and generators are similar as they are both based on the same operating principle. The most labour consuming task is the replacement of bearings or removal of the rotor when cleaning the inside of the machine. The measurement of insulation resistance is a key factor in the condition evaluation of electrical machines since it used both in the evaluation of dirtiness and overall condition of the insulation.

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	6
2	SÄHKÖMOOTTORIT	7
	2.1 Sähkömoottorin perusrakenne	7
	2.1.1 Oikosulkumoottorin rakenne	8
	2.2 Sähkömoottoreiden huolto	9
	2.3 Sähkömoottoreiden mittaukset	10
	2.4 Käämitys	11
	2.4.1 Käämityksen lämpötila	11
3	GENERAATTORIT	12
	3.1 Vaihtovirtageneraattorin perusrakenne	12
	3.1.1 Herätinkoneisto	13
	3.2 Generaattorin huolto	14
	3.2.1 Taso 1	16
	3.2.2 Taso 2	16
	3.2.3 Taso 3	16
	3.2.4 Taso 4	16
	3.3 Generaattorin pesu	17
4	SÄHKÖISET MITTAUKSET	18
	4.1 Eristysvastusmittauksen ja polarisaatioindeksin teoria	18
	4.2 Eristysvastuksenmittaus	20
	4.2.1 Generaattorin staattorin mittaus	21
	4.2.2 Generaattorin roottorin mittaus	22
	4.2.3 Polarisaatioindeksi	22
	4.3 Korkeajännitekoe	23
	4.3.1 DC Hipot	24
	4.3.2 AC Hipot	25

4.4	Diodien ja varistorien mittaus	26
4.5	Osittaispurkausmittaus	26
5	LAAKERIT	27
5.1	Vierintälaakerien iskusysäysmittaus	27
5.2	ABB MACHsense - P ja MACHsense R	28
5.2.1	Värähtelyt	29
5.3	SKF - kunnonvalvonta	29
5.4	Laakerivirrat	30
5.4.1	Kiertävä virta	32
5.4.2	Akselin maadoitusvirta	32
5.4.3	Kapasitiivinen purkausvirta	32
5.4.4	Vaurio	32
5.4.5	Torjunta	34
6	LUOKITUSLAITOSTEN MÄÄRÄYKSET	37
6.1	Tarkastukset	37
6.2	Korkeajännitejärjestelmiä koskevat lisämääräykset	39
7	YHTEENVETO	40
8	LÄHTEET	42

LIITTEET

Liite 1. American Bureau of Shipping: Tables for Primary and Secondary Essential Services

Liite 2. Harbour Diesel Generator laiturikoe

Liite 3. ABB Generator

1 JOHDANTO

Laivaympäristössä generaattorit ja sähkömoottorit ovat jokapäiväisiä laitteita, jotka vaativat huoltoa aivan kuten muukin laitteisto. Tämä asettaa monesti haasteita laivan henkilöstölle, koska läheskään jokaisella laivalla ei ole sähkömiestä tai sähkömestaria suorittamassa huoltotoimenpiteitä tai antamassa arviota sähkömoottorin tai generaattorin kunnosta.

Tässä opinnäytetyössä pyritään perehtymään generaattoreiden ja sähkömoottoreiden vaatimaan huoltoon ja kunnossapitoon. Tarkoituksena on tehdä yleissivistävä katsaus sähkömoottoreiden ja generaattoreiden vaatimiin mittauksiin ja huoltotoimenpiteisiin, sekä samalla auttaa sellaista henkilöä ymmärtämään sähkökoneiden toimintaa, joka ei ole saanut alan koulutusta. Uudelleen käämintää tai muita vaativampia korjaustöitä ei työssä tulla käsittelemään.

Sähkömoottoreista käydään läpi toimintaperiaate ja perehdytään oikosulkumoottorin rakenteeseen. Generaattoreissa tarkastellaan harjattoman vaihtovirta-tahtigeneraattorin toimintaa ja rakennetta, sillä tahtigeneraattori on nykyaikana yleisin laivoilla tavattava generaattori. Perehdytään toimenpiteisiin ja tarkastuskohteisiin, joihin tulee huollossa kiinnittää huomiota ja esitellään yhden valmistajan antama huolto-ohjelma. Tutustutaan huollossa suoritettaviin mittauksiin, joilla arvioidaan koneen eristyksen kuntoa.

Esitellään laakereiden kunnonvalvontaa ja tutustutaan siihen tarjolla oleviin kunnonvalvonta palveluihin. Laakereiden vaihtamista ei sinänsä käsitellä. Lisäksi perehdytään taajuusmuuttaja käyttöjen aiheuttamiin laakerivirtoihin ja niiden aiheuttamiin vaurioihin sekä torjunta tapoihin.

Työssä tutustutaan niihin luokituslaitosten määräyksiin, jotka koskevat sähkökoneiden käytönaikaisia luokituksia ja niiden aikavälejä sekä siihen, miten generaattoreiden ja niiden kuorman säätelyn toimintaa testataan. Lisäksi tarkastellaan, mihin ryhmiin luokituslaitos sähkökoneet ja -laitteet laivan päällä jakaa ja jaottelun perusteisiin. Korkeajännitekoneistoja koskeviin lisämääräyksiin tehdään myös katsaus.

2 SÄHKÖMOOTTORIT

Sähkömoottoreita on olemassa useita eri tyyppisiä, mutta yleisimmät tyypit ovat vaihtovirta- ja tasavirtamoottorit, joista vaihtovirtamoottorit voidaan vielä eritellä kahteen ryhmään tahti- ja epätahtimoottoreihin.

Sähkömoottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen voimavaikutukseen. Virrallisella johtimella on oma magneettikenttensä, joka tuottaessa staattorin magneettikenttään muodostaa voimaparin. Tämä voimaparin muodostama momentti pyrkii saattamaan roottorin pyörivään liikkeeseen. Moottorin toiminnan mahdollistavan magneettikentän luomiseen käytetään magnetointikäämitystä. Sen luoma kenttä vaikuttaa moottorin työvirtakäämitykseen jossa niin sanottu varsinainen sähköteho vaikuttaa. (1)

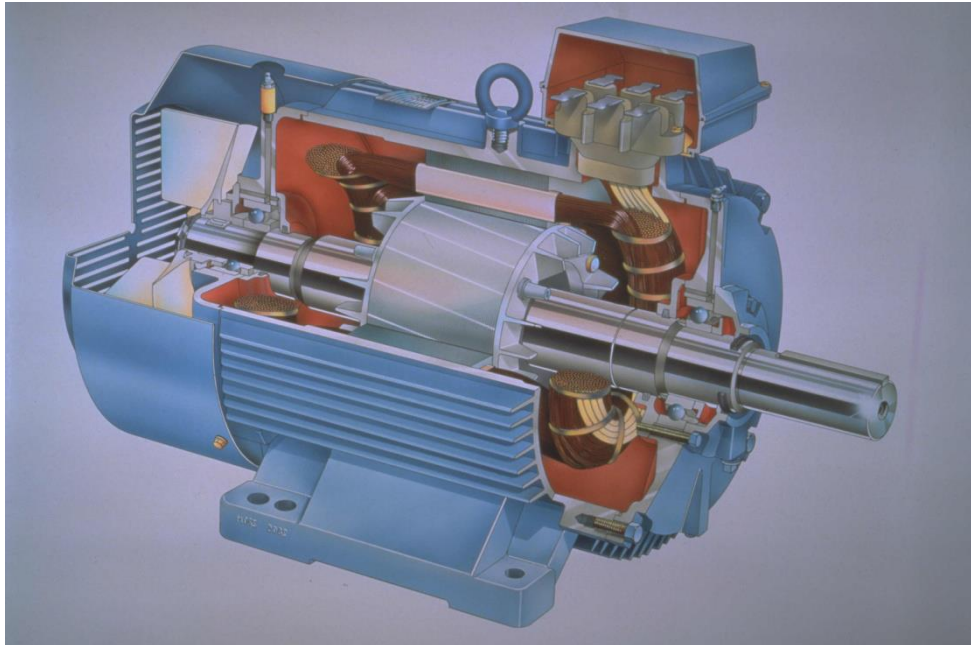
Sähkömoottorin käämitykset sijaitsevat sekä roottorissa että staattorissa ja niiden rakenne sekä muoto voivat konetyypistä riippuen vaihdella. Käämityksellä muodostetaan moottorin ilmaväliin magneettikenttä, jolla on parillinen napaluku. Yhden napaparin muodostavat pohjois- ja etelänapa. Vaihtovirtakoneissa napaparien lukumäärä ja verkon taajuus määrittelevät koneen pyörimisnopeuden. Esimerkiksi 50 Hz verkossa oleva yhdellä napaparilla varustettu tahtimoottori pyörii 3000 rpm:n nopeudella ja kahdella napaparilla vastaavasti 1500 rpm. (1)

2.1 Sähkömoottorin perusrakenne

Rakenteeltaan kaikki sähkömoottorit koostuvat seuraavista peruskomponenteista: staattori, roottori, laakerikilvet ja laakerit. Staattori muodostaa moottorin rungon, johon on kiinnitetty laakerikilvet. Roottori on sidottu moottorin akseliin, joka on tuettu molemmista päistään laakereilla laakerikilpiin, jotka kiinnittyvät moottorin runkoon. (1)

Tasavirtamoottoreissa, rakenne poikkeaa huomattavasti vaihtovirtamoottoreiden rakenteesta, sillä tasavirtamoottoreissa tarvittava magneettikenttä muodostetaan magnetointikäämityksellä, joka indusoi vaihtosähkömotorisen jännitteen roottoriin. Mootto-

riin syötettävä tasavirta on vaihtosuunnattava kommutaattorissa, jotta roottori pyörii.
(2, 267 – 269)



Kuva 1 Poikkileikkaus oikosulkumoottorista

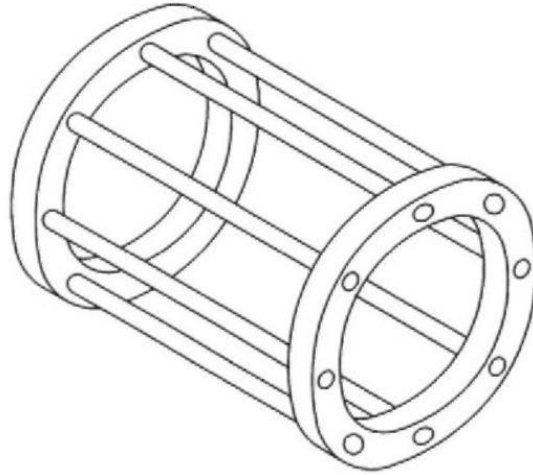
2.1.1 Oikosulkumoottorin rakenne

Oikosulkumoottori on rakenteeltaan äärimmäisen yksinkertainen, sillä sen pyörimisen mahdollistava magneettikenttä syntyy staattorin kolmivaihekäämityksessä ilman apulaitteita. Roottori rakentuu häkkikäämityksestä, joka on sijoitettu roottorin uriin ja suljettu päistään oikosulkurenkailla, eikä roottorikäämiä ole erikseen eristetty roottori-raudasta. Staattori taas rakentuu symmetrisestä staattorikäämityksestä, joka on kytketty joko tähteen tai kolmioon. Rakenteensa yksinkertaisuuden takia oikosulkumoottori on yksi yleisimmistä sähkömoottorityypeistä. (1)

Oikosulkumoottori on epätahtikone eli roottori pyörii eri nopeudella kuin staattorikäämityksen synnyttämä pyörivä magneettikenttä. Moottorin todellinen pyörimisnopeus ilmaistaan jättämän avulla, joka ilmoittaa, kuinka monta prosenttia roottorin pyörimisnopeus on tahtinopeutta pienempi. Jättämä on pienillä ja keskisuurilla moottoreil-

la 5 - 15 % riippuen moottorin kuormituksesta ja suuremmilla moottoreilla 0,8 - 2 %.

(1)



Kuva 2 Häkkikäätymyksen rakenne

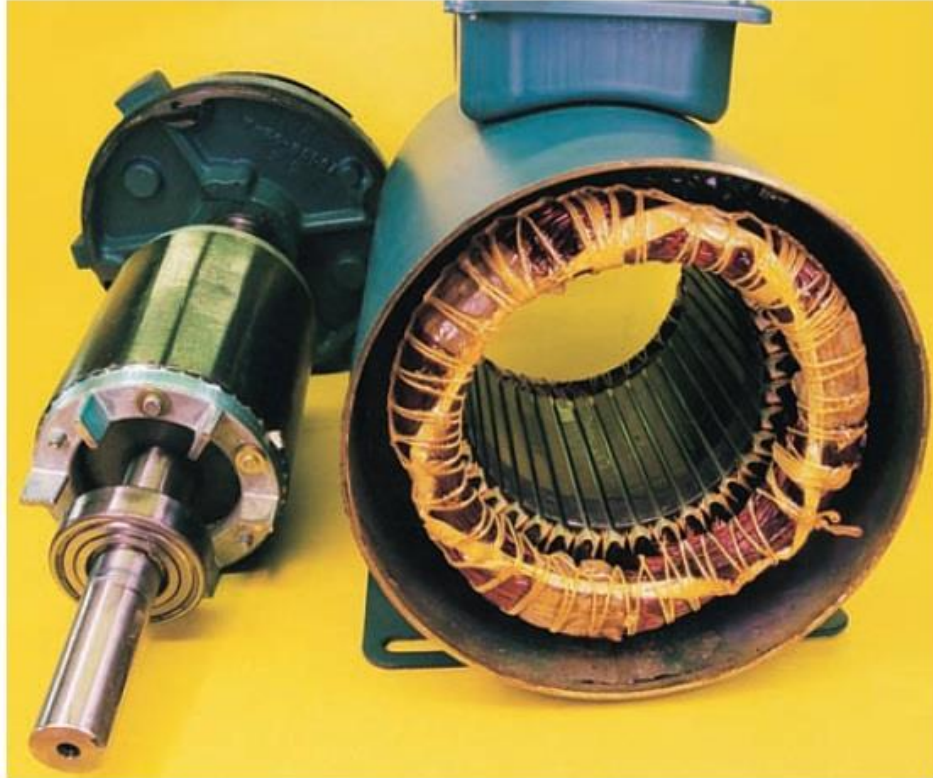
2.2 Sähkömoottoreiden huolto

Sähkömoottorit ovat oikein käytettyinä helppohoitoisia ja samat peruseräatteen soveltuvat kaikkiin sähkökoneisiin. Moottoreita tulisi tarkastaa säännöllisin väliajoin esimerkiksi 2000 tunnin tai 3 kuukauden välein. Tarkastuksessa tulisi ottaa huomioon mahdolliset ulkoiset vauriot, puhdistaa pölyt jäähdytysrivoista, tarkastaa laakereiden kunto ja mahdollisesti rasvata ne riippuen siitä, onko moottori varustettu kestovoidelluilla laakereilla vai avoimilla laakereilla. Tarkastuksessa pitää huomioida moottorin kiinnitykset ja kaapeleiden liitokset sekä akselin ja liitinkotelon tiivisteet. (3)

Mikäli moottori sijaitsee tärisevässä paikassa ja on vähäisellä käytöllä tai stand - by tilassa, tulisi sitä pyrkiä käyttämään vähintään kahden viikon välein, tai jos järjestelmän käyttö ei onnistu, tulisi moottorin akselia pyörittää käsin, koska tärinä voi aiheuttaa moottorin laakeriin kolosyöpymiä. (4)

Laakereiden voitelussa tulee seurata moottorin arvokilpeen tai voiteluohjekilpeen painettuja ohjeita. Kestovoideltujen laakereiden ilmoitettu vaihtoväli riippuu valmistajasta. Esimerkiksi ABB antaa vaihtoväliksi moottorin koosta ja napaluvusta riippuen 16 000 - 40 000 tuntia, kun taas Moves ilmoittaa kaikille kestovoidelluilla laakereilla varuste-

tuille moottoreille 25 000 tunnin käyttöiän. Lisäksi moottorin asennusasento saattaa vaikuttaa laakerin kestoikään lyhentävästi. (4) (5)



Squirrel cage induction motor frame, stator, and rotor.

Kuva 3 Purettu oikosulkumoottori

2.3 Sähkömoottoreiden mittaukset

Mittauksia tulee suorittaa kaikille koneille ja kun koneen tehoarvo on yli 100 kW, tulee testin olla luokituslaitoksen sertifioima. Normaaleja kunnonmittaustestejä ovat eristysvastusmittaus ja korkeajännitemittaus. Lisäksi voidaan mitata käynnistysvirtaa ja tyhjäkäyntivirtaa. Eristysvastusmittaus tulisi pyrkiä suorittamaan vuosittain kaikille sähkömoottoreilla, vaikka niille ei suurempia huoltotoimenpiteitä olisi tehty. (6) (7, 100 - 103)

2.4 Käämitys

Moottorin käämityksen kunto tulisi aina tarkistaa, kun moottori avataan esimerkiksi laakerin vaihdon takia, ja huomio tulisi kiinnittää käämityksen likaisuuteen ja mahdolliseen löysyyteen. Jos käämitys vaatii puhdistusta, voidaan puhdistaminen suorittaa joko kuivapuhdistuksena tai märkäpuhdistuksena. Puhdistustapa riippuu liantyyppistä, eli onko lika kuivaa ja helposti irtoavaa vai pinttynyt käämitykseen. (6)

Kuivapuhdistus voidaan tehdä joko puhaltamalla pölyt kuivalla matalapaineisella paineilmalla pois tai imuroimalla ne. Korkeapaineisen paineilman käyttö voi ajaa lian tiukemmin kiinni käämitykseen. Kuivapuhdistusta voidaan täydentää pyyhkimällä roottori märällä rätillä. (2, 208 – 209) (4)

Märkäpuhdistus voidaan suorittaa vesipesuna tai liuotinpessuna. Liuotinpessussa tulee käyttää sellaisia aineita, jotka eivät aiheuta käämityksen lakkaukselle vaurioita. Märkäpesun jälkeen käämitys tulisi kuivata ja kuivauksen jälkeen tulisi suorittaa eristysvastusmittaus, jotta kuivauksen onnistumisesta päästään varmuuteen. (2, 208 - 209)

2.4.1 Käämityksen lämpötila

Sähkökoneiden käämitykset luokitellaan niiden eristyksen lämpötilakeston mukaan. Lämpötilaluokituksissa on määritelty koneen suurin sallittu lämpenemä, jonka verrokilämpötila on 40 °C. Tämä lämpenemä on luokasta riippuen 5 – 15 °C matalampi kuin luokituksen ilmoittama lämpötila, joka on käämityksen kuumimman pisteen lämpötila. Nykyään yleisimmät luokat ovat F ja H. Lämpötilaluokat jaetaan seuraavasti: (8, 457 – 460) (9)

Taulukko 1. Käämien lämpötilaluokitus

Luokka	Lämpötila (°C)
Y	90
A	105
E	120
B	130
F	155
H	180

Käämityksen lämpötilalla on suora vaikutus käämityksen eristyksen elinikään, sillä eristyksen elinikä puolittuu aina kymmenen asteen lämpötila nousun myötä. Verrokki lämpötilana toimii sähkökoneen suunniteltu toimintalämpötila. Vastaavasti käämityksen eristyskyky puolittuu jokaista 10 - 15 °C lämpötilan nousua kohden. (8, 457 – 460) (10)

Käämityksen ylikuumentumisesta kertovia merkkejä ovat kuparin tummuminen, eristyksen kutistuminen tai halkeilu. Kuparin tummuminen voi johtua myös ympäristön kaasuista. (8, 457 – 460) (10)

3 GENERAATTORIT

Sähkön tuotanto laivalla perustuu yleensä harjattomiin vaihtovirtageneraattoreihin, joilla tuotetaan kolmivaiheista sähkövirtaa, joko 50 tai 60 Hz:n taajuudella. Myös tasavirtageneraattoreita on käytössä pienissä määrin. Laivoilla olevat generaattorimallit ovat yleensä samoja malleja kuin muuallakin teollisuudessa pienillä muutoksilla, joilla ne täyttävät IEC:n vaatimukset laivaympäristössä. (7, 73 - 80)

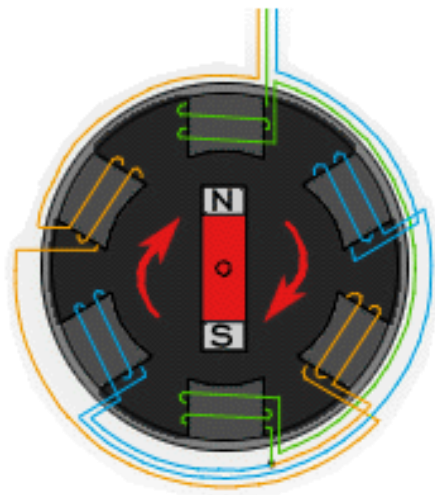
3.1 Vaihtovirtageneraattorin perusrakenne

Vaihtovirtaa tuottava tahtigeneraattori muistuttaa hyvin paljon tahtimoottoria ja sen peruskomponentit ovat samat: staattori, jossa käämitys sijaitsee, ja roottori, jossa sijaitsevat magneettiset navat. Roottorin akseli kiinnittyy laakereiden välityksellä generaattorin runkoon ja samalla akselilla sijaitsee myös tuuletin. Lisäksi generaattorin runkoon on myös voitu integroida vesi- ilmalämmönvaihdin riippuen generaattorin jäähdytystavasta. (7, 73 - 80)

Roottorin napojen pyöriessä indukoituu staattorin käämityksiin sähkövirta ja kun staattorin käämitys on jaettu kolmeen osaan, saadaan kolmivaihevirtaa. Tätä tuotettua sähkövirtaa säätelee automaattinen jännitteensäätäjä(AVR), jonka tehtävänä on pitää jännite asetusarvossaan halutulla tarkkuudella riippumatta kuormituksen, lämpötilan

tai taajuuden vaihteluista. AVR vastaa myös rinnankäyviin generaattorien virran ja loistehon tasauksesta sekä yli- ja alijännitteen suojauksesta. Vaihtovirtageneraattorin tuottaman sähkön taajuus on riippuvainen napojen lukumäärästä ja sitä pyörittävän voimakoneen pyörimisnopeudesta. (7, 73 – 80) (11, 34 - 37)

AVR:n toiminta perustuu suljettuun silmukkaan, jossa generaattorin tuottama vaihtovirta mitataan ja muutetaan matalajännitteiseksi tasavirraksi. Tätä mitattua tasavirtaa verrataan jännitteenasetusarvoon ja haluttuun arvoon pääsemiseksi AVR muuttaa herätinkoneiston tuottamaa magnetoimisvirtaa. Jänniteensäätimiä on sekä digitaalisia että analogisia. (11, 34 – 37) (12, 118 -119)



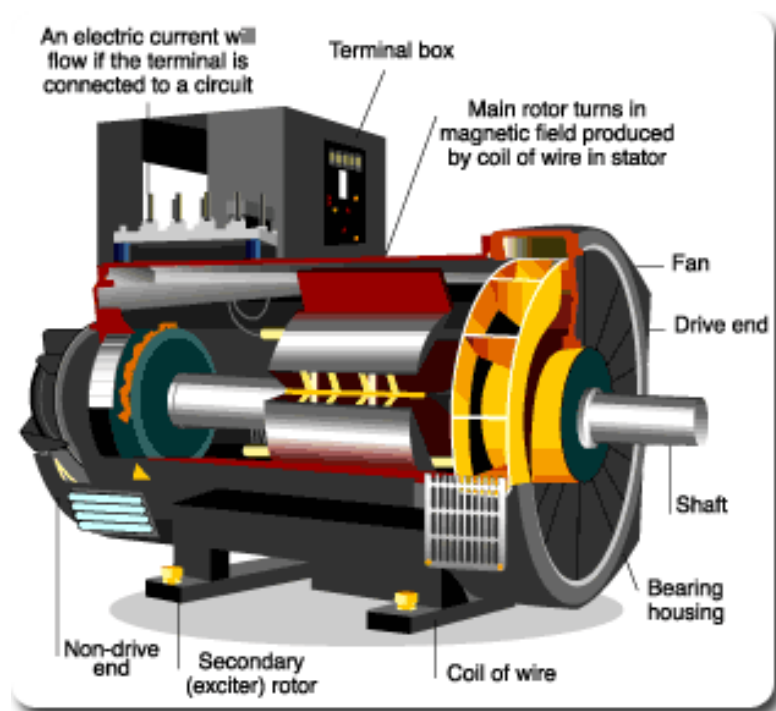
Kuva 4 Generaattorin käämitys ja navat

3.1.1 Herätinkoneisto

Lähteäkseen tuottamaan sähköä generaattori tarvitsee myös herätteen, joka tuotetaan generaattorin akselin vapaassa päädyssä sijaitsevalla herätinkoneistolla. Herätinkoneistoja on monenlaisia, mutta nykypäivänä uusien matalajännitegeneraattoreiden herätinkoneisto koostuu kestopagneeteista, jotka tuottavat vaihtovirran herätinkoneiston käämitykseen. Tämä vaihtovirta herättää staattorin käämityksen, mutta jotta roottorin navat saadaan magnetoitua, pitää herätinkoneiston tuottama vaihtovirta tasasuunnata roottorin akselilla sijaitsevalla kolmivaihetasasuuntaajalla. (7, 73 - 80)

Kolmivaihetasasuuntaaja koostuu roottorin akselin ympärille rakennetusta kuusi dio-
dia sisältävästä tasasuuntaussillasta sekä diodeja jännitepiikeiltä suojaavista varisto-
reista tai resistoreista. Tämä tasasuuntaussilta tuottaa roottorin napojen magnetointiin
tarvittavan tasajännitteen. (13) (14)

Periaatteessa herätinkoneisto on generaattori generaattorissa. Vanhemmissa generaat-
toreissa herätinkoneiston käämityksen tilalla ovat hiiliharjat ja liukurenkaat, jolloin
myös tasasuuntaussilta puuttuu. (14)



Kuva 4 Poikkileikkaus generaattorista

3.2 Generaattorin huolto

Generaattoreiden huolto voidaan jakaa neljään eri tasoon, joista tasot 1 ja 2 koostuvat lähinnä silmämääräisistä tarkastuksista ja pienistä huoltotöistä ja niiden tarkoituksena on tuottaa vinkkejä seuraavampaa isoa huoltoa varten. Tasot 3 ja 4 taas koostuvat suurimmista tarkastuksista ja huoltotöistä sekä mittauksista. Huoltoa varten tulee avata

tarvittavat huoltoluukut (liite 3) ja perustyökalujen lisäksi, huollon tasosta riippuen, pitää olla eristysvastusmittari, oskilloskooppi ja endoskooppi. Endoskooppia käytetään roottorin rakenteen tarkastamiseen ja oskilloskoopilla voidaan tarkkailla generaattorin sähkön laatua. Huoltoluukkujen sijainnista on esimerkki liitteissä.

Huoltovälit perustuvat käyttötunteihin tai aikaväleihin. ABB määrittelee käyttötunnit seuraavasti: (10)

Vastaavat käyttötunnit (Eq. h) = todelliset käyttötunnit + käynnistysten määrä x 20

Lisäksi generaattorin ulkokuoren puhtaudesta ja yleisestä siisteydestä tulisi pitää hyvää huolta aivan kuten muutenkin konehuoneessa. Mahdollinen rungossa oleva lika ja korroosio voivat vaikuttaa negatiivisesti koneen jäähdytykseen. (10)

Joitakin seuraavaksi mainittavista huoltotoimenpiteistä voidaan käyttää myös suurten tahtimoottoreiden kunnossapidossa, sillä rakenteellisesti tahtimoottorin ja -generaattorin välillä ei ole suurta eroa. (6)

Käämityksen osalta tarkastellaan samoja asioita kuin sähkömoottorien kohdallakin eli likaisuutta, murtumia, merkkejä ylikuumenemisestä tai liikkeestä. Ylikuumenemisesta kertovia merkkejä ovat kuparin tummuminen käämityksissä, ytimen kerroksien tummuminen, värierot kiinnityspulteissa, eristyksen kutistuminen ja halkeilu. Urakiilojen ja tukien tiukkuus tulee tarkastaa. Mekaaniset rasitukset saattavat aiheuttaa halkeamia tukiin, sidontoihin ja urien päihin. Lisäksi tulee tarkastella käämejä mahdollisten hankaumien tai jauheen löytämiseksi urien päädyissä. Mikäli havaitaan täysin löystyneitä urakiiloja tai taipuneita käämejä, tulee ne korjata välittömästi. Roottorin ja staattorin ilmavälin symmetrisyys tulisi aina pyrkiä tarkistamaan. (10) (13)

Suurempien huoltojen aikavälejä katsottaessa tulee pitää mielessä se, että jokaisella valmistajalla on omat määritelmänsä ja lisäksi käyttöpaikan olosuhteet voivat vaikuttaa huoltoväleihin. Seuraavaksi mainitut tasot ovat ABB:n AMG sarjalle tarkoitettuja suuntaa antavia huoltovälejä.

3.2.1 Taso 1

Taso 1 koostuu lähinnä visuaalista tarkastuksista ja se tulisi suorittaa puolenvuoden tai 4 000 käyttötunnin välein. Eli tehdään pintapuolinen tarkastus, jossa tarkastellaan liittimien ja kaapeleiden kuntoa mahdollisten hapettumien ja löystymien varalta. Kaikki koneen kiinnikkeet tulee tarkastaa mahdollisten löystymien tai murtumien varalta. Tarkkaillaan laakereita mahdollisten öljyvuotojen varalta. Koneen jäähdytys tyypistä riippuen puhdistetaan mahdollinen ilmansuodatin tai jäähdytysrivat. Mahdollisten liukurenkaiden kuluneisuus tulisi tarkistaa. Mikäli käytössä on vesijäähdytys, tulee lämmönvaihdin tarkastaa vuotojen varalta. (10)

3.2.2 Taso 2

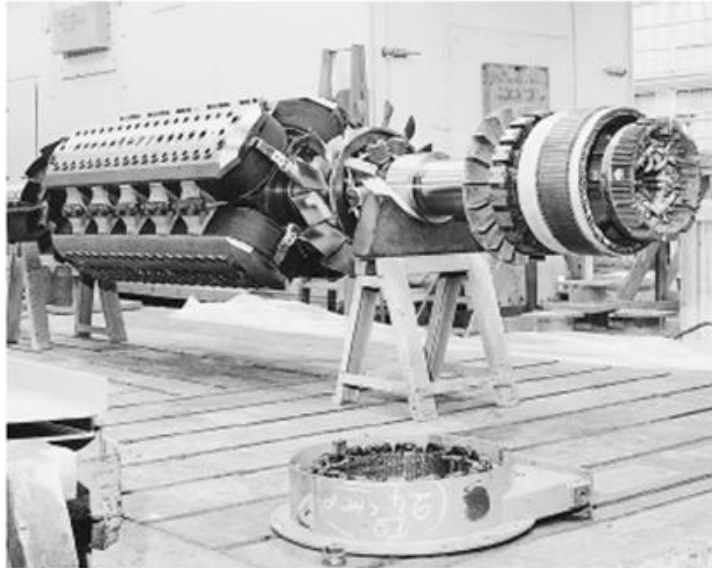
Taso 2 tulisi tehdä vuoden tai 8 000 käyttötunnin välein. Se täydentää tason 1 tarkastuksia ja sen tarkoituksena on löytää koneen käyttöön liittyviä vikoja. Mittauksista tulisi suorittaa eristysvastusmittaus koko koneelle eli staattorin, roottorin ja herätinkoneiston eristysvastukset mitataan. Lisäksi lämpötila - antureiden toiminta tulisi myös tarkastaa, jännitteensäätäjän toiminta tulisi tarkistaa kuten myös kosteutta poistavien lämmittimien toiminta. Vesijäähdytystä käytettäessä tulee lämmönvaihtimen putket ja kanavat puhdistaa sekä tarkastaa korroosion määrä niissä. (10)

3.2.3 Taso 3

Taso 3 tulisi suorittaa 24 000 käyttötunnin tai kolmen - viiden vuoden välein ja sen tarkoituksena on korjata aikaisemmissa tasojen 1 ja 2 aikana havaittuja vikoja. Lisäksi suoritetaan eristysvastusmittaus ja korkeajännitetestaus. (10)

3.2.4 Taso 4

Taso 4 on kaikista huolloista suuri töisin ja siihen kuuluu roottorin ulosveto. Se tulisi suorittaa 80 000 käyttötuntia vastaavan käytön jälkeen. Käytännössä kone puretaan osiin ja roottori vedetään ulos. Tämän huollon tavoitteena on palauttaa koneen luotettavaan toimintatilaan ja taata sen luotettava toiminta pitkällä aikavälillä. (10)



Kuva 5 Roottori

3.3 Generaattorin pesu

Generaattorin pesu vaatii aina roottorin ulosvetämisen ja on siksi suuritöinen operaatio. Pesu tapahtuu yleensä manuaalisesti märällä rätillä pyyhkien käyttäen apuna erilaisia rasvan poistoon tarkoitettuja liuottimia, jotka haihtuvat itsekseen käämityksen pinnalta. Tällaisia liuottimia ovat esimerkiksi Unitor Electrosolv-E ja CRC Electrical Parts Cleaner. (13)

Mikäli on jouduttu tekemään vesipesu, joudutaan käämitys kuivaamaan huolellisesti. Kuivaaminen suoritetaan käyttämällä apuna lämpöpuhaltimia, tällöin tulee kiinnittää huomiota puhaltimien asemointiin, jotta vältetään käämitykseen muodostuvilta kuumilta pisteiltä. Vaihtoehtoisesti voidaan oikosulkea koneen staattori ja johtaa siihen tasavirtaa akuista. Tällöin generaattoria pyörittävän voimakoneen tulee pyörittää generaattoria, jotta käämityksen kosteus poistuu käämien lämpenemisen ja koneen oman tuulettimen tuottaman ilmavirran mukana. Käämityksen lämpötilan nousu saa maksimissaan olla 5 °C tunnissa, ja käämityksen maksimi kuivauslämpötila riippuu generaattorin valmistajasta. Kuivaamisen aikana ja sen jälkeen tulee suorittaa eristysvastusmittaus, jotta kuivauksen onnistumisesta varmistutaan. (10) (13) (14)

Lisäksi on olemassa muita pesutapoja, joiden käytöstä laivaympäristössä ei ole kattavia näyttöjä. Esimerkiksi kuivajääpuhallus, joka on hiekkapuhallukseen verrattava toimenpide, jossa puhdistavana aineena toimivat kuivajää eli hiilidioksidi(CO₂) pelletit. Pelletit puhalletaan suurella virtauksella käämityksen pinnalle, jolloin ne poistavat epäpuhtaudet. Etuihin lukeutuu nopeus, ei kuluta käämityksen pintaa, eikä jätä jäämiä, koska kuivajää haihtuu pinnoilta pois. (15)

4 SÄHKÖISET MITTAUKSET

Sähkömoottoreille ja generaattoreille tehtävät mittaukset ovat hyvin pitkälti samoja mittauksia, joiden tarkoituksena on tuottaa informaatiota sähkökoneen roottorin ja staattorin kunnosta. Seuraavissa mittauksissa annetut arvot ovat ABB:n AMG sarjan matalajännitegeneraattoreiden manuaalista.

Mittauksia tehdessä tulisi aina pitää sähköturvallisuusmääräykset mielessä ja korkeajännitelaitteistojen mittaukset tulee jättää koulutuksen saaneille.

4.1 Eristysvastusmittauksen ja polarisaatioindeksin teoria

Eristeen tehtävä on estää virran kulku johtimien ja staattorin tai roottorin ytimen välillä ja ideaali tapauksessa eristysvastusarvo olisi ääretön. Eristysvastusmittaus mittaa neljää erilaista eristeessä kulkevaa virtaa ja on näiden neljän virran summa.

Kapasitiivinen virta syntyy kun kytketty tasajännite lataa eristeen kondensaattorin tavoin. Alussa virta on hyvin suuri mutta se alkaa pian laskemaan ja saavuttaa lopulta nolla - arvon. Tämä tapahtuu yleensä alle kymmenessä sekunnissa virran kytkemisestä käämitykseen. Kapasitiivisen virran takia eristysvastusmittaus kestää yhden minuutin, koska tällöin se ei pääse vaikuttamaan mittaustulokseen. (16, 235 - 242)

Vuotovirta on jatkuvaa tasavirtaa, joka kulkee eristeen pinnalla ja sitä esiintyy aina hyvin pienissä määrin koska mikään eriste ei ole ideaalinen. Vuotovirta suurenee jos eristeen pinnalla on likaa. (16, 235 - 242)

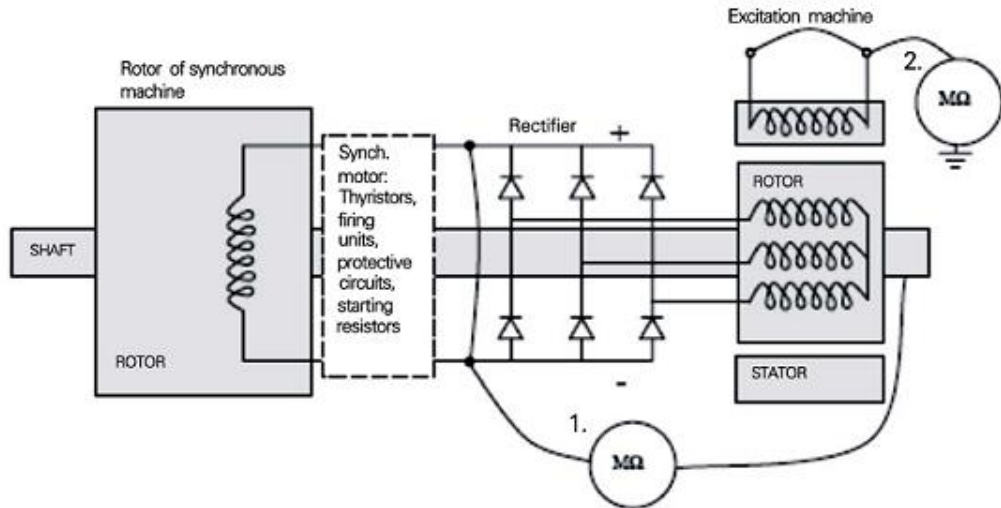
Johtuva virta on eristeen yli kulkeutuvien elektronien tai ionien aiheuttama virta. Moderneissa eristysmateriaaleissa ei esiinny tätä virtaa ellei eriste ole lionnut vedessä useita päiviä. (16, 235 - 242)

Polarisoiva virta tarkoittaa johtimessa kulkevan sähkövirran aikaan saaman sähkökentän eristeeseen tuottamaa virtaa. Tämä polarisoiva virta pyrkii vetämään eristeen ja sen pinnalla mahdollisesti olevien epäpuhtauksien elektroneja puoleensa johtimessa vaikuttavan sähkökentän mukaisesti. Kun polarisoiva virta on vaikuttanut eristeeseen 10 minuuttia, ovat eriste ja sen pinnalla sijaitsevat epäpuhtaudet tulleet täysin polarisoituneiksi, jolloin polarisoiva virta on vaimentunut nolnaan. Polarisoivaa virtaa käytetään hyödyksi polarisaatioindeksiä laskettaessa. (16, 235 - 242)

Taulukko 2. IEEE 43 - 2000 standardin antamat ohjearvot eristysvastusmittausta ja polarisaatioindeksiä varten. (16, 235 - 242)

Käämityksen nimellisjännite(V)	Eristysvastusmittaus V DC
< 100	500
1000 – 2500	500 – 1000
2501 – 5000	1000 – 2500
5001 – 12 000	2500 – 5000
> 12 000	5000 – 10 000

Eristysvastusmittaus suoritetaan tasavirralla vaihtovirran sijaan, koska vaihtovirta käyttäytyy eristeessä eri tavalla. Tasavirta poistaa vaihtovirralla esiintyvän reaktiivisen komponentin vaikutuksen eristykseen, joka aiheutuu eristeen kapasitanssista. Eristeeseen aiheutuva kapasitanssi ei vaihtovirran napaisuuden jatkuvasta vaihtumisesta johtuen pääse purkautumaan, jolloin mittauksesta tulisi virheellinen kapasitiivisen virran takia. Tasavirran käyttö mahdollistaa tarkan eristysvastusmittauksen, koska tasavirran kapasitiivinen komponentti pääsee purkautumaan. (17) (18)



Kuva 6 Generaattorin rottorin ja herätinkoneiston eristysvastusmittaus

4.2 Eristysvastuksenmittaus

Eristysvastusmittauksella saadaan tietoa koneen eristyksen kunnosta, onko se likainen tai kostea vai mahdollisesti molempia. Yleisesti ottaen jokaiselle moottorille ja generaattorille tulisi tehdä eristysvastusmittaus kerran vuodessa, ja mikäli kone on ollut pitkään varastoituna tai seisokissa tulisi sille tehdä eristysvastusmittaus ennen käyttöönottoa. (6)

Eristysvastusmittauksen eli meggeröinnin tarkoituksena on varmistaa, että jännitteiset osat ovat riittävän eristettyjä maasta ja se tulisi suorittaa ennen muita mittauksia jotta olisi varmuus siitä, ettei suojajohtimia ole yhteen kytkettyinä missään asennuksen osassa. Mittaus tulee suorittaa kaikkien jännitteellisten johtimien ja maan, nolla johtimien välillä ja muiden mittausten jälkeen jotta varmistetaan siitä, että sähkökoneen eristykset ovat kestäneet mittaukset. Tämä mittaus suoritetaan koneen ollessa jännitteetön. Mittauksen jälkeen käämitysten vaiheet tulee maadoittaa jännitteen purkamiseksi. (19)

Eristysvastusmittausta tehtäessä täytyy tietää koneen käyttöjännite, jotta mittaus suoritetaan oikealla ja riittävällä jännitteellä. Valmistajasta riippuen mitatut eristysvastus arvot saattaa joutua muuttamaan taulukon avulla vastaamaan valmistajan arvoja, kos-

ka esimerkiksi ABB:n ilmoittamat eristysvastusarvot on mitattu käämin lämpötilan ollessa 40 °C. (10)

Luokituslaitos vaatii myös eristysvastusmittauksen suorittamista käyttölämpimille koneille eli hot meggeröinin. Mittaus suoritetaan esimerkiksi laiturikokeen jälkeen jolloin koneita on kuormitettu 100 % kuormalla tunnin ajan. Mittauksella varmistetaan eristyksen riittävyys käämin ollessa lämmin. Eristysvastusarvot uudelle lämpimänä mitatulle koneelle ovat yleensä yli 500 M Ω verrattuna kylmän koneen >1000 M Ω arvoihin. (20)



Kuva 7 Fluke 1503 eristysvastusmittari

4.2.1 Generaattorin staattorin mittaus

Ennen mittausta tulee varmistaa, että kaikki syöttökaapelit on irrotettu, koneen runko, staattorin käämitykset joita ei testata, sekä lämpötila - anturit ovat maadoitettu ja mahdollisten ei yhteisten jännitemuuntajien maadoitukset poistettu. Mittaus suoritetaan pääterasiasta ja yleensä koko käämitys testataan yhtenä ryhmänä. Mittari asetetaan käämityksen ja koneen rungon väliin. Mittausjännite on staattorille 1000 V DC ja mittauksen tulee kestää yhden minuutin, jonka jälkeen eristysvastusarvo merkataan muistiin. Käytetyn staattorin eristysvastus tulisi olla yli 100 M Ω . (10)

4.2.2 Generaattorin roottorin mittaus

Ennen mittausta herätinkoneiston tasasuuntaaja tulee oikosulkea ja roottorin lämpötila mitata tai arvioida. Eristysvastusmittaus tapahtuu roottorikäänityksen ja roottorinakselin välillä. Mittaus suoritetaan 500 V DC:n jännitteellä ja sen tulee kestää minuutin ajan. Mittauksen jälkeen tulee jännite purkaa käänityksestä maadoittamalla se. Roottorin eristysvastus arvon tulisi olla yli 1.5 MΩ. (10)

4.2.2.1 Herätinkoneiston mittaus

Herätinkoneiston staattorikäänityksen mittauksessa tulee irrottaa jännitelähteen kaapeli. Mittari asennetaan herätinkoneiston staattorikäänityksen ja koneen rungon väliin. Mittaus suoritetaan 500 V DC:n jännitteellä. (10)

4.2.3 Polarisaatioindeksi

Polarisaatioindeksi on variaatio eristysvastusmittauksesta ja se antaa lisätietoja käänityksen tilasta. Polarisaatioindeksin tarkoituksena on vähentää eristysvastusmittauksista saatujen tuloksien herkkyyttä lämpötilan vaihteluille.

Polarisaatioindeksi on kahden eri eristysvastusmittauksen suhde toisiinsa, nämä mitaukset tulisi suorittaa käänityksen lämpötilan ollessa alle 50 °C, jolloin sitä voidaan pitää lämpötilasta riippumattomana. Mittauksien tulisi kestää vähintään 15 sekuntia ja 1 minuutin, tai 1 minuutin ja 10 minuutin ajan. Saatujen mittaustuloksien perusteella polarisaatioindeksi voidaan laskea seuraavalla kaavalla. (10) (16, 235 - 242)

$$PI = \frac{R_{10min}}{R_{1min}}$$

Polarisaatioindeksin laskukaava

Laskukaavalla saadut arvot asettuvat yleensä 1 – 4 välille ja ne voidaan luokitella seuraavasti:

- < 1 vaarallinen
- 1 – 2 huono
- 2 – 3 riittävä
- 3 – 4 hyvä
- $4 >$ loistava

Mikäli polarisaatioindeksiksi saadaan alle 2, kertoo se että käämitys on likainen ja se tulisi pestä. (10) (21)

4.3 Korkeajännitekoe

Korkeajännitekokeella etsitään sähköisesti heikkoja kohtia eristyksessä, jotka voivat johtaa eristyksen peittämiseen käytön aikana ja se voidaan suorittaa sekä tasa-, että vaihtovirralla. Kaikki laivan sähkökoneet ja kaapelit käyvät läpi hyväksyntä testauksen jo valmistettaessa, sekä telakalla ennen koneistojen käyttöönottoa. Käytönaikana ei korkeajännitetestausta eli huoltotestausta välttämättä tulla suorittamaan, mutta tämä asia riippuu laitteen valmistajasta, sekä luokittajasta. Mikäli kone on esimerkiksi vaurion takia jouduttu uudelleen käämimään, tulee sille suorittaa korkeajännitetestaus ennen kuin se voidaan hyväksyä käyttöön. (16, 243 – 244) (22)

Testi on niin sanottu go - no go testi eli jos käämityksessä ilmenee vikaa, joudutaan se korjaamaan tämän testin aiheuttaman vaurion takia eikä se varsinaisesti anna tietoa käämityksen kunnosta. Ennen testin suorittamista tulisi tehdä eristysvastusmittaus, jotta varmistutaan eristyksen riittävästä kuivuudesta testiä varten ja vältetään eristeen turhalta vaurioitumiselta. Suurimpana erona vaihto- ja tasavirta mittauksien välillä on mittalaitteiston koko, joka tasavirta testilaitteilla on huomattavasti pienempi, koska niiden ei tarvitse tuottaa yhtä suurta virtaa kuin vaihtovirta testilaitteiden. (16, 243 - 244)

Englanniksi käytetään yleisesti Hipot Test nimitystä, joka tulee sanoista High Potential Test. Lisäksi on olemassa myös muita nimityksiä esimerkiksi Dielectric Strength Test ja High Voltage Test.

4.3.1 DC Hipot

Tasavirralla suoritettavaa testiä varten tarvittava tieto on testijännite. Yleisesti ottaen huollossa suoritettavan Hipot testijännitteen tulisi olla $2E$, jossa E tarkoittaa koneen nimellisjännitettä, koska koneen staattorin käytössä kokema ylivirta on yleensä kaksi kertaa nimellisjännite. (16, 243 - 244)

Testi tehdään yhdelle vaiheelle kerrallaan muiden vaiheiden ollessa maadoitettuina, lisäksi käämityksen lämpötila - anturit tulee olla maadoitettu. Testi suoritetaan jokaiselle vaiheelle erikseen, jotta varmistutaan siitä, että käämityksien vyyhtienpäihin kohdistuu riittävästi rasitusta. Mikäli vaiheiden erikseen mittaaminen ei onnistu mitataan ne yhdellä kertaa. Ongelmana kaikkien vaiheiden kerralla mittauksessa on se, että mitaus ei välttämättä paljasta kaukana ytimestä olevien vyyhtienpäiden vikoja, koska potentiaali eroja eri vaiheiden vyyhtien välille ei pääse muodostumaan. Lisäksi on olemassa erilaisia variaatioita tasavirralla suoritettavasta Hipot testistä. (16, 243 - 244)

Perinteisessä Hipot testissä käämitykseen nostetaan nopeassa tahdissa testaus jännitteeseen, jota pidetään yllä yhden minuutin tai viiden minuutin ajan. Kun riittävä aika on kulunut, jännite lasketaan nopeasti ja käämitys maadoitetaan asianmukaisesti. Mikäli tapahtuu läpilyönti eristysresistanssi romahtaa välittömästi ja virta alkaa virrata aiheuttaen testilaitteen katkaisijan trippaamisen. (16, 244 - 245)

Step- Stress Hipot testissä periaate on sama kuin perinteisessä mutta jännitettä nostetaan portaittain aina testaus jännitteeseen asti. Esimerkiksi jännitettä nostetaan yhden kilovoltin porrastuksella ja sitä pidetään jokaisella portaalla yhden minuutin ajan yllä. Jos testi menee ideaalisesti pitäisi testerin näytölle muodostua nouseva käyrä. Mikäli käyrään tulee yllättäviä virtapiikkejä voi se kertoa eristeen olevan lähellä puhkeamista. (16, 245)

DC Ramp Hipot testissä jännitettä nostetaan lineaarisesti yleensä joko 1 tai 2 kV / min nousunopeudella. Tällä testillä on helpointa havaita eristyksessä tapahtuvat virtapiikit,

jotka kielivät mahdollisista heikkouksista mahdollistaen samalla sen, että eristeen puhkeaminen voidaan pystyä välttämään. (16, 245)

4.3.2 AC Hipot

AC Hipot testin suorittaminen ei itsessään eroa DC testistä eli testi suoritetaan samaan tapaan jokaiselle vaiheelle erikseen. Suurimpana erona ovat jännite ja sen jakautuminen eristeessä. Vaihtovirta jakaantuu eristeeseen tasaisemmin kapasitanssien takia, eikä sen jakautuminen ole riippuvainen käämityksen resistansseista kuten tasavirralla. Tästä seuraa se piirre, että vaihtovirralla voidaan löytää eristeessä piileviä vikoja joita ei tasavirralla huomattaisi. (16, 247 - 249)

Testaus voidaan suorittaa joko 50, 60 tai 0,1 Hz eli Very Low Frequency (VLF) taajuudella. Suurin erotus taajuuksien välillä on niiden vaatima virta, joka tarvitaan eristeen kapasitanssien lataamiseksi ja se on VLF laitteistolla pienin. Esimerkiksi 13.8 kV generaattorin staattorin vaatima virta 60 Hz taajuudella olisi 8 ampeeria, kun VLF laitteistolla virta olisi vain 13 milliampeeria. Tästä seuraa se, että VLF testeri voi olla huomattavasti pieni kokoisempi kuin vain normaaleihin tehotajuuksiin pystyvä testeri. (16, 247 - 249)



Kuva 8 Sefelec RXS50 korkeajännitetesteri

4.4 Diodien ja varistorien mittaus

Diodit mitataan yksitellen ja mittaus tulee tehdä molempiin suuntiin. Mittausta varten diodi irrotetaan käämityksen ja diodin liityntä kohdasta. Kunnossa oleva diodi päästää virtaa vain toiseen suuntaan. Mikäli diodi on viallinen on vastus johtavaan suuntaan nähden korkea yli $100\ \Omega$ ja vastaavasti käänteiseen suuntaan matala eli alle $100\ \text{k}\Omega$. Diodeja testatessa tai vaihdettaessa tulee diodit muistaa kiristää valmistajan antamilla momenteilla ja käyttää mahdollisesti kierrelukitetta ja lämpötahnaa. (14)

Diodeja suojaavat varistorit tulee myös mitata ja samalla tarkastella niiden ulkoista kuntoa mahdollisten ylikuumentumisen (värin muutos, rakot, sulaminen) tai hajoamisesta kertovien merkkien varalta. Mittausta varten varistorit irroitetaan ja mitataan yksitellen. Kunnossa olevan varistorin resistanssi on yli $100\ \text{M}\Omega$. Mikäli varistori on viallinen ei siinä ilmene resistanssia kumpaankaan suuntaan. (14)

4.5 Osittaispurkausmittaus

Osittaispurkausmittaus eli Partial Discharge Test (PD) on mittaus jota käytetään pelkästään korkeajännitekoneistojen eristyksen kunnan arviointiin. Mittauksen avulla pystytään ennakoimaan eristevauriot ja määrittämään niiden summittainen sijainti. (16, 259 - 265)

Osittaispurkaus on ilmiö, jossa eristeen rakenteessa olevissa koloissa tai epäjatkuvuuskohdissa tapahtuu purkaus, jossa virta kulkee kolon puolelta toiselle äärimmäisen lyhyen ajan sisällä (muutamia nanosekunteja) aiheuttaen eristeen vanhenemista. Periaatteessa eristeessä muodostuu kondensaattori, joka purkautuu äärimmäisen nopeasti. (16, 259 - 265)

Mittaus voidaan suorittaa käyttämällä staattorin terminaaliin yhdistettyä korkeajännitteistä kondensaattoria. Käämitykseen tuotetaan erillisellä muuntajalla nimellisjännitettä vastaava jännite, joka alkaa tuottamaan osittaispurkauksia eristyksessä. PD purkausvirta saa kondensaattorin reagoimaan ja tämä reagointi pystytään näyttämään os-

killoskoopilla tai muulla näyttölaitteella. Testaus tulisi suorittaa jokaiselle vaiheelle erikseen. (16, 259 - 265)

5 LAAKERIT

Laakerien kunnan valvontaa voidaan yksinkertaisimmillaan suorittaa aistihavainnoilla, eli kuuntelemalla, sillä viallinen laakeri pitää normaalista huomattavasti poikkeavaa ääntä ja aiheuttaa samalla moottorin huomattavaa lämpenemistä. Aistinvaraisen kunnanvalvonnan lisäksi valvontaa voidaan suorittaa erilaisten tärinän mittauslaitteiden avulla. Lisäksi monet valmistajat tarjoavat erilaisia kunnossapito - ohjelmia, joissa seurataan kiinteiden mittalaitteiden avulla laakereiden kuntoa, jonka avulla voidaan suorittaa ennalta ehkäisevää huoltoa.

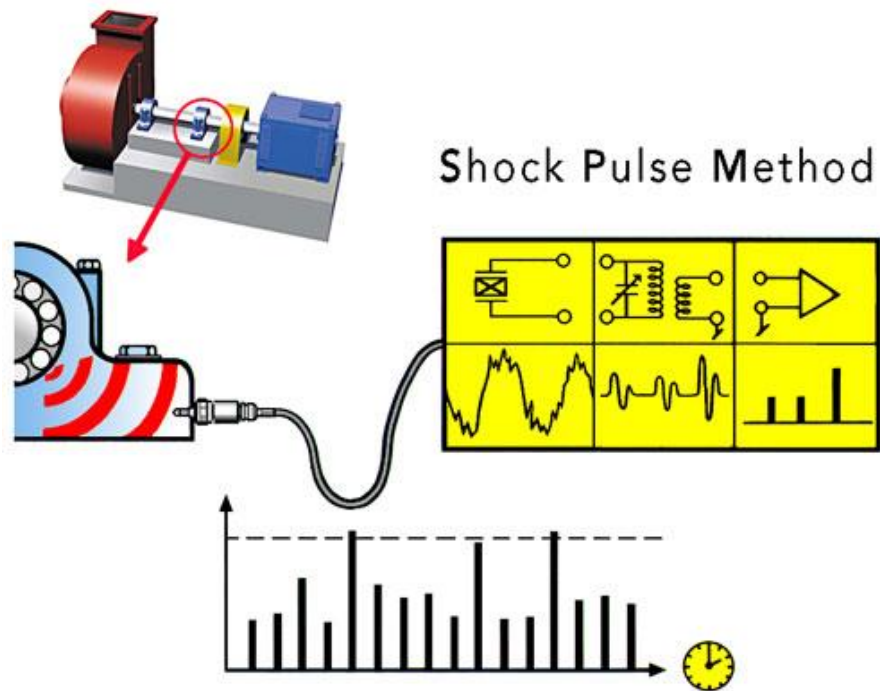
Laakereiden vaihdossa tulee käyttää oikeita työkaluja, ja etenkin uudelleen asennuksessa tulisi välttää laakerin liiallista lämmittämistä. Myöskin vasaroiden tai muiden lyömävälineiden käyttöä tulisi välttää uuden laakerin vaurioitumisen ehkäisemiseksi. Laakereiden vaihdon jälkeen tulee akselin tai hihnapyörän linjaus tarkastaa, jotta vältetään ennen aikaiselta vauriolta.

5.1 Vierintälaakerien iskusysäysmittaus

Iskusysäysmittaus eli Shock Pulse Method (SPM), on menetelmä jossa havainnoidaan vierintälaakereissa tapahtuvia iskuja, jotka tuottavat mittaus anturille sähköisiä syysäyksiä. Nämä anturin havaitsemat sähköiset sysäykset ovat verrannollisia iskun voimakkuuteen. (24)

Mittaustuloksiin vaikuttavat laakerin yleisen kunnan lisäksi sen koko, pyörintänopeus, voitelun toimivuus ja laakerin kuormitus. Mittausta varten pitää mittalaitteelle antaa laakerin halkaisija ja sen pyörintänopeus, jotta mittalaite osaa asetta alkuarvon. (24)

Mittauksia tulisi myös tehdä määrätyn väliajoin, jotta laakereiden kuntoa pystytään seuraamaan ja vikaantuminen havaitsemaan. Mittaus aikavälinä voitaisiin pitää 3 kuukautta, koska tällä aikavälillä pitäisi suorittaa sähkömoottoreiden yleinen kunnontarkistus.



Kuva 9 SPM mittaus

5.2 ABB MACHsense - P ja MACHsense R

ABB:n MACHsense - P on sähkömoottoreiden kunnonvalvontamittauspalvelu, jossa on integroitu sekä sähkömagneettisten vikojen, että mekaanisten vikojen analyysi. Mittaus tapahtuu paikanpäällä normaalin käytön aikana ja mittauksilla mitataan moottorin virrat, jännitteet ja värähtelyt. (24)

MACHsense - R on etänä tapahtuva kunnonmittauspalvelu, jossa mittauksesta huolehtii paikanpäälle asennettava monitorointiyksikkölaite(DAU). DAU kerää ja analysoi dataa, jonka se lähettää ABB:lle, joka tuottaa datasta raportin internet sivulle, joka on käyttäjän luettavissa. (25)

Mittauksilla saadusta datasta tehty analyysi pystyy kertomaan:

- laakeriviat
- asennusvirheet

- roottorikämmityksen ongelmat
- sähkönsyötön laadun

Lisäksi MACHsense - R kertoo koneen kuormituksesta ja jäähtymisen toiminnasta.

Suurimmat edut tulevat siitä, että sähköiset ja värähtely mittaukset suoritetaan samaan aikaan ja niistä saaduista tuloksista tehdään yksi kattava raportti, joka kertoo sekä koneen mekaanisesta, että sähköisestä kunnosta. (25)

5.2.1 Värähtelyt

Värähtelymittaus molemmissa MACHsense varianteissa perustuu neljään eri mittauskanavaan, joita mitataan samanaikaisesti. Värähtely mittauksessa mitataan sekä mekaanisten, että sähköisten voimien aiheuttamia värähtelyitä.

Molemmissa varianteissa suoritetaan PCA (Principal Component Analysis) – mittaus, jossa asennetaan kiihtyvyysanturit moottorin DE ja NDE – päiden laakerikilpiin, jotta päästään selville moottorin mekaanisesta kunnosta. Lisäksi suoritetaan sähkömagneettinen mittaus (EM), jolla tutkitaan sähkömekaanisten voimien vaikutuksia. Kiihtyvyysanturit asennetaan runkoon ja jalustaan. (24)

Kummankin palvelun mittaukset mittaavat useita erilaisia laakerin tilasta kertovia parametreja ja vertaa saatuja tietoja SKF - ja FAG - laakereiden tietoihin. (24) (25)

5.3 SKF-kunnonvalvonta

SKF tarjoaa merikäyttöön kattavan määrän erilaisia kunnossapitopalveluita aina kannettavista mittauslaitteista jatkuviin mittaus järjestelmiin, joilla voidaan seurata läheltä kaikkia laivaan asennettua koneistoa. (26)

SKF:n Microlog Inspector on kämmentietokoneeseen asennettava applikaatio, jolla voidaan langattomasti lukea langattomien (WMCD, Wireless Machine Condition Detector) mittauspääteiden keräämää dataa. WMCD yksikkö kerää ja tallentaa tietoja: (26)

- Koneen yleisestä värähtelytasosta
- Laakereiden värähtelyt
- Lämpötila
- FFT spektristä

WMCD: Itä luetut tiedot lähetetään, joko langattomasti tai laite kytketään tietokoneeseen, jossa on SKF @ptitude Monitoring Suite kunnonvalvonta ohjelmisto.

Lisäksi SKF tarjoaa perinteisempiä koneisiin kiinteästi kiinnitettäviä mittapäitä, joilta käydään langallisella mittauslaitteella keräämässä mittausdata säännöllisin väliajoin.

(28)



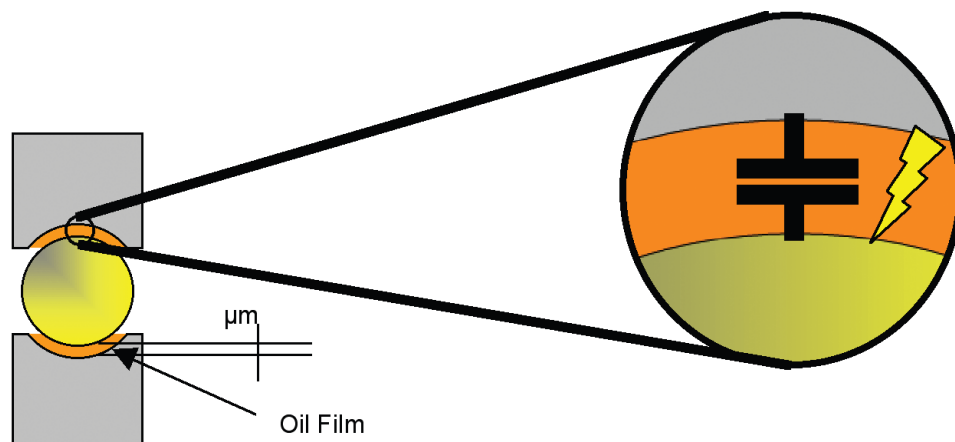
Kuva 10 SKF Microlog Inspector ja WMCD yksikkö

5.4 Laakerivirrat

Laakerivirta on virta jossa laakerin yli indusoituu suurtaajuuksinen jännite, joka on riittävän suuri ylittääkseen laakerin voiteluaineen läpilyönti kestävyuden. Ilmiönä laakerivirta ei ole uusi vaan se on tunnettu jo 1900 - luvun alusta alkaen mutta parantuneet valmistusmenetelmät ovat minimoineet ongelman nykyaikaisissa moottoreissa, joissa ei ole käytössä taajuusmuuttaja ohjausta. (28)

Nykyään laakerivirta voi aiheuttaa ongelmia taajuusmuuttaja käytössä, joissa tapahtuu paljon nopeita jännitteenkytkentöjä ja taajuudet ovat suuria. Pahimmillaan laakerivaurio voi ilmetä jo muutaman kuukauden päästä moottorin käyttöönotosta.

Laakerivirran synnyn taajuusmuuttaja käytössä mahdollistaa se, että taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajan tuottaman kolmivaiheisen vaihtosähkön kolmen vaiheen jännitteiden summa, eli neutraalijännite, ei ole enää nolla kuten normaalissa kolmivaihe kytkennässä. Tätä jännitettä kutsutaan yhteismuotoiseksi jännitteeksi ja se on osa niin sanottua yhteismuotoista virtapiiriä. Yhteismuotoinen virtapiiri muodostuu sähkömoottorissa normaalisti ilmenevistä hajakapasitansseista ja yhteismuotoisesta jännitteestä. Hajakapasitanssit eivät normaalisti kytketyissä moottoreissa aiheuta ongelmia vaan taajuusmuuttajan kantaallontaajuus aiheuttaa hajakapasitanssien taajuuden nousua jolloin hajakapasitanssit voivat aiheuttaa ongelmia. (28) (29)



Kuva 11 Laakerivirta

5.4.1 Kiertävä virta

Virran aiheuttavat käämityksestä staattoriin kulkeutuvat kapasitiiviset epäsymmetriset vuotovirrat ja moottorin syötössä tapahtuvat nopeat jännitteen nousut ja laskut. Nämä aikaansaavat uuden korkea taajuuksien yhteismuotoisen virran. Tämä uusi yhteismuotoinen virta kehittää magneetikentän moottorin akselipäiden välille, joka indusoi suuritaajuisen jännitteen akseliin. Virran purkautumiselle moottorin runko ja laakerointi tarjoavat reitin. Tämä virta tyyppi on yleinen suurissa moottoreissa. (28) (30)

5.4.2 Akselin maadoitusvirta

Akselin maadoitusvirta aiheutuu tilanteessa, jossa moottori ja käytettävä kone ovat kiinnitetty toisiinsa laipalla, joka johtaa sähköä. Käytettävän koneen maadoitus on suoritettu paremmin kuin sitä käyttävän moottorin ja sen syöttökaapeleiden maadoitus, joka mahdollistaa akselin toimimisen virran reittinä. Eli virta kulkee moottorin rungosta laakereiden läpi akseliin ja akselista käytettävän koneen maadoitukseen. (28) (30)

5.4.3 Kapasitiivinen purkausvirta

Virta syntyy kun moottorissa vaikuttavan yhteismuotoisen jännitteen sisäinen jännitejakauma kasvaa riittävän suureksi, jolloin purkausvirta pyrkii moottorin roottorista akselin kautta laakereihin, josta purkausvirta kulkeutuu moottorin rungon kautta maahan. Moottorin pyöriessä korkeilla nopeuksilla laakerin vierintäelementin ja seinämän välinen voiteluaine kalvo pienenee aiheuttaen läpilyönti rajan pienenemistä. (28) (30)

5.4.4 Vaurio

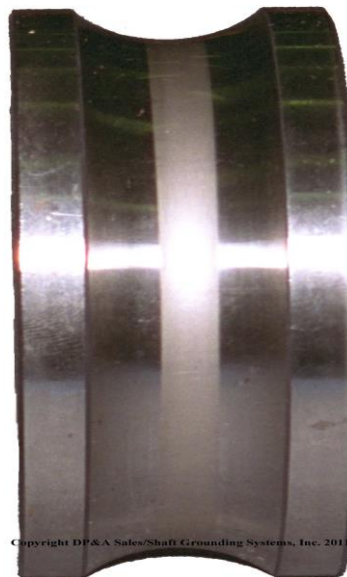
Vauriot voidaan jakaa kahteen näkyvään kategoriaan joista yleisempi on kipinäytöstön(EDM) seurauksena syntynyt vaurio, jossa yksittäinen virtapulssi tuottaa vaurion laakeriin. Yksittäinen vaurio ei ole vielä merkittävä mutta tämä yksittäinen vaurio alkaa keräämään lisää EDM purkauksia laajeten hiljalleen kipinäytöstö kuopaksi. Kuopat muodostavat lopulta laakerin sisäpinnalla niin sanotun pyykkilauta kuvion. (28)



Kuva 12 Laakerivirran aiheuttama vaurio

Toinen silmin havaittava vaurio tyyppi on niin sanottu laakerin jäätyminen, jossa sisäpintaan syntyy harmaa ura. Tämä vaurio syntyy yleensä moottoreissa, joiden käyttönopeudet vaihtelevat paljon ja sen käytön aikainen havaitseminen on hankalampaa. (31)

Laakerin voiteluaineen koostumus voi myös muuttua, koska virtapulssit voivat hajottaa voiteluaineen koostumuksen huonontaan sen ominaisuuksia ja EDM purkausten myötä voiteluaineeseen siirtyvät metallihiukkaset heikentävät voiteluaineen ominaisuuksia. (33)



Kuva 13 "Jäätynyt" laakeri

5.4.5 Torjunta

Laakerivirtojen torjunta vaatii virran tyypistä riippuen erilaisia torjunta tapoja, joiden tavoitteena vaimentaa tai alentaa virrat sellaisille tasoille, jotta ne eivät vaikuta laakereissa. Vaihtoehtoisesti moottorin laakerit voidaan eristää ja näin katkaista virran reitti. Monesti joudutaan käyttämään useampia torjunta tapoja, jotta saavutetaan riittävä suojaus ja vältetään esimerkiksi käyttölaitteen laakereiden tai hammastusten vaurioilta. (30)

Vaihtosuuntaajan vaihtotaajuuksia voidaan kokeilla alentaa, mikäli se ei käytön kannalta tuota ongelmia, eli aiheuta moottorin lämpenemistä, ääntä tai suorituskyvyn laskemista. (32)

Moottorin syöttökaapelointi tulisi olla suojamaa (PE) johtimen osalta symmetrinen, eli sen tulisi ympäröidä kaikkia vaihejohtimia tai muodostaa vaihejohtimien kanssa symmetrinen rakenne. Vaihtosuuntaajan tuottamaan aaltomuotoon voidaan yrittää vaikuttaa erilaisilla suodattimilla tai kuristajilla. (28) (32)

5.4.5.1 Laakereiden eristys

Moottorin laakerit voidaan myös vaihtaa eristettyihin laakereihin. Laakereiden eristys voidaan suorittaa, joko pinnoittamalla laakerin ulko - tai sisäkehä keraamisella pinnoitteella. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää hybridilaakereita, joissa laakerin ulko - ja sisäkehät ovat valmistettu normaalista laakeriteräksestä ja vierintä elementit ovat keraamiset. (33)

Johtavia laakerivoiteluaineita on myös olemassa mutta yleisesti ottaen niiden käyttöä ei nähdä järkevänä, koska niiden voiteluominaisuudet ovat normaaleihin voiteluaineisiin verrattuna huonot, johtaen laakerin lyhentyneeseen käyttöikänsä. (32) (34)



Kuva 14 SKF:n keraamisilla kuulilla varustettu hybridilaakeri

5.4.5.2 Akselin maadoittaminen

Akselin maadoittamiseen olemassa erilaisia vaihtoehtoja joista kaikki perustuvat samaan periaatteeseen eli virran pois johtamiseen akselilta

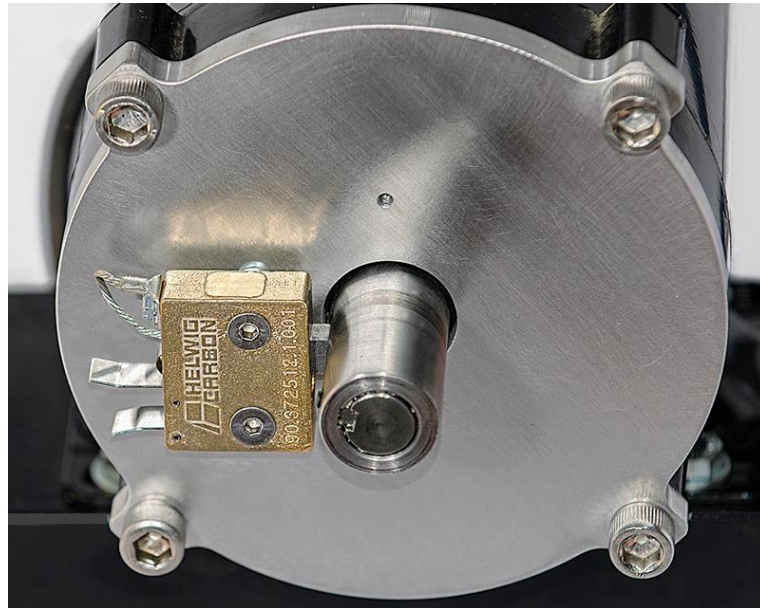
Moottorin akseli voidaan maadoittaa maadoitusrenkaalla, joka kiinnittyy sähkömoottorin DE tai N - DE päähän moottorin laakerikilpiin. Akselin maadoitus perustuu mikroituihin, jotka sijaitsevat maadoitusrenkaan sisäkehällä. Nämä joustavat kuidut hankaavat akselia johtaen akselissa vaikuttavan virran pois moottorin runkoon josta se poistuu rungon maadoitukseen. (35)



Kuva 15 Akselin maadoitusrenkas

Toinen tapa akselin maadoittamiseen on käyttää metalliharjaa samaan tapaan kuin maadoitusrengasta, sillä erotuksella, että metalliharjas ei ympäröi akselia koko ympärysmitalta. Toiminta periaatteeltaan harjaksen toiminta muistuttaa liukurengasta eli harjas on jousikuormitteinen, joka takaa harjaksen jatkuvan kontaktin akselin kanssa. Ongelmana metalliharjan käytössä on sen nopea kuluminen käytössä, joka johtaa jatkuvaan huollon tarpeeseen. Lisäksi harjakset ovat alttiita keräämään likaa ja akselin harjasten mahdollinen oksidoituminen voi haitata virran johtumista. (34)

Hiiliharjojen käyttö vastaa periaatteeltaan metalliharjan käyttöä, eli jousivoima painaa harjasyksikköä akselia vasten, joka johtaa virran akselistä pois maadoitukseen. Etuina metalliharjaksiin on vähäisempi kuluminen, parempi sähkönjohtavuus ja vähäisempi huollontarve. (36)



Kuva 16 Hiiliharjalla toteutettu akselinmaadoitus

6 LUOKITUSLAITOSTEN MÄÄRÄYKSET

Luokituslaitokset ovat tehneet paljon erilaisia määräyksiä koskien sähkölaitteiden toimintaa ja sijoittelua laivalla. Pääpiirteittäin luokkien antamat määräykset ovat yhte-neväisiä mutta pieniä eroja löytyy. Seuraavat tiedot perustuvat American Bureau of Shippingin(ABS) ja Russian Maritime Register of Shippingin(RS) dokumentteihin.

Luokituslaitokset jakavat laivassa olevat sähkölaitteistot kahteen osaan välttämättö-miin ja ei välttämättömiin. Välttämättömät toiminnot jaetaan vielä ensisijaisiin ja tois-sijaisiin. ABS: n luettelo välttämättömistä laitteista löytyy liitteistä. (37) (38)

Ensisijaiset toiminnot ovat laivan navigoinnin, propulsio ja turvallisen käytön kan-nalta tärkeitä laitteita, joiden pitää olla toiminnassa vuorokauden jokaisena tuntina. Tällaisia laitteita ovat: jäähdytysvesi pumput, konehuoneen tuulettimet ja generaatto-rit. (37) (38)

Toissijaisiin toimintoihin kuuluvat laitteet joiden jatkuva päällä olo ei ole navigoinnin ja propulsio kannalta välttämätöntä, mutta ovat välttämättömiä laivan turvallisuuden takaamiseksi. Tällaisia laitteita ovat: polttoaineen siirtopumput, palopumput ja käyn-nistysilma kompressorit. (37) (38)

Ei välttämättömät laitteistot koostuvat laitteista joiden väliaikainen verkosta poiskyt-keminen ei aiheuta ongelmia laivan navigoinnille, propulsiolle tai turvallisuudelle. (37) (38)

6.1 Tarkastukset

Koko laivalle suoritettavat käytön aikaiset tarkastukset jaetaan vuosittain tehtäviin, toisen tai kolmannen vuosittain tehtävän tarkastuksen välissä tehtäviin keskitason tar-kastuksiin ja viiden vuoden välein tehtäviin luokan uusimistarkastuksiin. Ensimmäi-nen keskitason tarkastus suoritetaan vasta ensimmäisen uudelleen luokituksen jälkeen. Lisäksi laivoille tulee niiden käyttö tarkoituksesta riippuen tehdä lisätarkastuksia tie-tyille alueille, joilla varmistetaan laivan turvallinen operointi. Esimerkiksi tankkilai-voilla lastiruuman pumput ja puhaltimet tarkastetaan vuosittain. (22) (37)

Sähkölaitteistolle suoritettavissa tarkastuksissa tehtävät toimenpiteet voidaan jakaa seuraavasti:

- Vuosittain suoritettavissa tarkastuksissa tarkastetaan laitteiston toiminta ja ulkoinen kunto. (22) (37)
- Luokan uusimistarkastuksessa tulee sähkökoneistoja purkaa riittävästi, jotta pystytään mittaamaan kulumia ja välyksiä. Lisäksi tulee suorittaa erinäisiä mittauksia esimerkiksi eristysvastusmittaus ja toiminta parametrit tulee myös tarkastaa. Uudelleen luokitustarkastuksen tarkoitus on varmistaa, että laiva täyttää luokan vaatimukset. (22) (37)
- Keskitason tarkastuksissa tulee suorittaa samat mittaukset kuin uudelleen luokituksessa ja tarkastaa laitteiston toiminta käytön aikana sekä tarkastaa koneiston kunto ulkoisesti. (22) (37)

Nämä tarkastukset koskevat kaikkia välttämättömiksi katsottuja sähkökoneita ja niiden oheislaitteistoja sekä kaapelointeja. Laitteiston kunnan arviointiin vaikuttavat tarkastuksen lisäksi käytönaikaiset vauriot ja niiden korjaukset. (22)

Sähkökoneiden eristysvastus tulisi olla minimissään 0,2 M Ω ja normaaliksi arvoksi katsotaan 0,7 M Ω ja sitä suuremmat arvot. Arvot tulisi mitata koneen ollessa käyntilämpmin. (22)

Viiden vuoden välein suoritettavassa luokan uusimistarkastuksessa mitataan kaikkien kaapeleiden, koneiden, kytkintaulujen sekä kuluttajien eristysresistanssi. Pää- ja hätätaulujen kaapeleiden liitoksien tiukkuus tarkastetaan joko momenttiavaimella tai lämpökameralla, lisäksi kokoojakiskojen resistanssi tulee mitata. Katkaisijoiden toiminta ja niiden kontaktipintojen kunto tarkastetaan. (7, 207- 209)

Pää- ja hätägeneraattorit tulee testata niiden maksimi kuormalla sekä kaikilla mahdollisilla kuormilla, jolloin tarkastetaan generaattoria pyörittävän voimakoneen pyörintänopeuden pysyvyys sallituissa rajoissa ja automaattisen jännitteensäätäjän toiminta. Liitteissä on esimerkkinä satamageneraattorin laiturikoe jossa jännitteensäätäjän toiminta on sallituissa rajoissa. Liukulaakereiden lämpötila ei saa ylittää 80 °C, tai jos kone on varustettu vierintälaakereilla, ei lämpötila saa ylittää 100 °C. (22)

Rinnakkain toimivien generaattoreiden toiminnassa tarkkaillaan kuormien jakamista ja kuormaa tulisi nostaa 20 % päähän ilmoitetusta tehosta ja siitä aina suurimpaan kuormaan, joka laivan kuormittajilla saadaan aikaiseksi. Takateho suojausten toimivuus tarkastetaan ja suojausten pitää aktivoitua 10 sekunnin sisällä sekä kuormien erottamiseen käytettävien laitteiden toiminta tarkastetaan. (22)

6.2 Korkeajännitejärjestelmiä koskevat lisämääräykset

Normaalien sähkölaitteita koskevien määräyksien lisäksi luokituslaitokset ovat tehneet lisämääräyksiä korkeajännitejärjestelmille, jotka täydentävät normaaleja sääntöjä.

Korkeajännite- ja matalajännitelaitteistoja ei saa olla samassa koteloinnissa tai mikäli niitä on, tulee ne olla riittävästi erotellut jotta matalajännitelaitteistoon päästään turvallisesti käsiksi. Korkeajännitekaapelit tulee vetää omissa nipuissaan, omilla radoillaan / kanavissaan, pitäen ne matalajännitekaapeloinnista erillään. Mikäli eri jännitteisiä korkeajännitekaapeleita vedetään samalla kaapeliradalla, tulee kaapeleiden eristysvälit olla riittävän suuret. Kaapelit tulee myös varustaa riittävillä merkinnöillä, jotta ne ovat helppoja tunnistaa. Lisäksi pintamatkojen riittävydestä tulee huolehtia, jotta vältetään virtojen hiipimiseltä rungon ja jännitteisten osien tai eri potentiaalissa olevien osien välillä. Näiden matkojen tulisi perustua joko kansalliseen tai kansainväliseen standardiin. (38)

Taulukko 3 luokituslaitosten vaatimista minimi ilmaväleistä eristämättömille osille ja kaapeleille

Nimellisjännite (kV)	Minimietäisyys (mm)
3 - 3,3	55
6 - 6,6	90
10 - 11	120

Sähkökoneiden suojausten tulee olla vähintään IP23 luokituksen mukaisia ja syöttökaapeleiden tulot koteloon tulee olla vähintään IP44 luokan mukaiset. Moottorit ja

muuntajat, jotka asennetaan tiloihin joihin on pääsy henkilöillä joilla ei ole kolutusta laitteistoihin tulee olla suojattu IP4X tason mukaisesti. Mikäli laitteistot asennetaan erilliseen huoneeseen, jossa niitä ei ole aidattu, tulee huoneen olla lukittavissa niin, että se pystytään avaamaan vain kun laitteet ovat jännitteettömiä ja maadoitettuja. Kaikki laitteistot, kaapeloinnit ja huoneet tulee merkata asian mukaisesti korkeajännitteestä kertovilla kylteillä. (38)

Huoltoa varten jokainen generaattori tulee varustaa katkaisijalla, joka kykenee erottamaan maadoittavan nollajohtimen maasta. (38)

7 YHTEENVETO

Sähkökoneiden huolto on peruseriaateiltaan samanlaista riippumatta siitä onko kyseessä moottori käyttö vai generaattori. Moottoreiden osalta laivan päällä tapahtuva huolto toiminta voidaan rajata laakereiden vaihtoon ja eristyksen kunnon mittaamiseen ja silmä määräiseen arviointiin, sekä käämityksen pesuun.

Generaattoreiden huoltotoimenpiteet noudattelevat pääpiirteittäin sähkömoottoreille tehtäviä toimenpiteitä, suurimpina eroina herätinkoneistoon ja diodien toiminnan tarkastukseen liittyvät toimenpiteet.

Mittauksissa suurin huomio tulisi kohdistaa eristysvastusmittauksen osaamiseen ja polarisaatio indeksin laskemiseen sillä se on sähkökoneiden kunnon arvioimisen kannalta tärkein mittaus, joka jokaisen konemestarin tulisi osata. Yleisesti ottaen olisi suotavaa tietää edes perusteet jokaisesta tässä työssä läpi käydystä mittauksesta, vaikkei kyseisiä mittauksia ikinä henkilökohtaisesti tulisi suorittamaan, koska se tukee laitteiston huollon kokonaiskuvan hahmottamista ja sitä kautta sen käyttöä.

Työn kannalta suurin ongelma, etenkin generaattorien osalta, oli materiaalin hankkimisen vaikeus, koska generaattoreiden huoltamista koskevaa materiaalia ei julkisessa jakelussa suuremmin ole ja yleisimmistä vioista ei ole listausta saatavilla. Lisäksi työn rajaaminen merikäytössä oleviin generaattoreihin tuotti omat ongelmansa perusraken-

netta selvitetessä. Englanninkielinen termistö aiheutti myös paikka paikoin ongelmia sillä samoista asioista saattaa olla useampia eri nimityksiä käytössä. Etenkin laakerivirtojen ymmärtäminen vaati paljon paneutumista sillä ilmiö on monimutkainen ja sähkötekniikan perusteet hallitsevalle se merkitsi uusien asioiden opiskelua, jotta asiasta pystyi muodostamaan kattavan kuvan. Kokonaisuudessaan työ oli mielenkiintoinen ja sain muodostettua hyvän kuvan siitä mistä sähkömoottoreiden ja generaattoreiden perushuolto koostuu.

8 LÄHTEET

1. Korpinen L. Sähkövoimatekniikkaopus. Sähkökoneet, osa 1. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.leenakorpinen.fi/node/158 [Viitattu 25.9.2014.]
2. Lauri Aura, Antti J. Tonteri. 1996. Sähkökoneet ja tehoelektroniikan perusteet. WSOY. Porvoo. [Viitattu 29.9.2014]
3. Brook Crompton. W Safe Area AC Induction motors. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.brookcrompton.com/pdf-files/103-4e.pdf [Viitattu 29.9.2014]
4. ABB. Pienjännitemoottoreiden asennus-, käyttö- ja kunnossapito - ohje. Verkkodokumentti. Saatavissa. https://library.e.abb.com/public/9e446a5b232c8f3ac1257dd300234690/Standard_Manual_Low_Voltage_multilang_revE%20lores.pdf [Viitattu 29.9.2014]
5. Moves Oy. Vakiomoottorit. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.moves.fi/web_documents/moves_moottoreiden_kytt_ - ja_huolto-ohje.pdf [Viitattu 29.9.2014]
6. ABB. Induktiomoottoreiden ja generaattoreiden käyttöohje. Verkkodokumentti. Saatavissa [www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/6782ccd7168dd354c1257cca00270606/\\$file/Manual_for_Induction_Motors_and_Generators_3BFP000060R0105_rev_G%20FI_lores.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/6782ccd7168dd354c1257cca00270606/$file/Manual_for_Induction_Motors_and_Generators_3BFP000060R0105_rev_G%20FI_lores.pdf) [Viitattu 5.1.2015]
7. Borstlap Rene, Ten Katen Hans. 2011. Ships Electrical Systems. Dokmar. Enkhuizen. The Netherlands. [Viitattu 19.11.2014]
8. ABB. 2000. Teknisiä tietoja ja taulukoita. Ykkös - Offset Oy. Vaasa. Kymmenes painos. [Viitattu 7.12.2014]
9. Siemens. Thermal Classes. Verkkodokumentti. Saatavissa. <https://support.industry.siemens.com/cs/document/39181972?lc=en-US> [Viitattu 19.3.2015]

10. ABB AMG Synchronous Generator Marine Application Series User manual. Verkkodokumentti. Saatavissa.
[http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/e570f31381ff18c048257a020025bbc3/\\$file/5866326_A_USER%20MANUAL_AMG%200180-0500_MARINE%20APPLICATION_EN.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot234.nsf/veritydisplay/e570f31381ff18c048257a020025bbc3/$file/5866326_A_USER%20MANUAL_AMG%200180-0500_MARINE%20APPLICATION_EN.pdf) [Viitattu: 4.1.2014]
11. Häkkinen Pentti. 2007. Laivan sähköverkko. Teknillinen Korkeakoulu. Espoo. [Viitattu 5.3.2015].
12. Warne. D.F. 2005. Newnes Electrical Power Engineer's Handbook. St. Louis, MO, USA. Elsevier Science & Technology. [Viitattu. 5.3.2015]
13. Leroy Somer. Alternator Service & Operating Manual. Verkkodokumentti. Saatavissa.
www.leroy-somer.com/documentation_pdf/2327_en.pdf [Viitattu 28.1.2015]
14. Stamford. P80 AC Generators Installation, Service and Maintenance. Verkkodokumentti. Saatavissa.
https://www.cumminsgeneratortechnologies.com/www/en/common/pdfs/manuals/p80/A040J851_P80_EN.pdf [Viitattu 21.1.2015]
15. Turbo Care. CO2 Dry Ice Blasting. Verkkodokumentti. Saatavissa.
http://www.turbocare.com/co2_dry_ice_blasting.html [Viitattu 28.1.2015]
16. Stone Greg, Boulter Edward A. and Culbert Ian. 2004. Electrical Insulation for Rotating Machines: Design, Evaluation, Aging, Testing and Repair. Hoboken, NJ, USA. Wiley-IEEE. [Viitattu 26.1.2015].
17. Cadick Corporation. Principles of Insulation Testing. Verkkodokumentti. Saatavissa.
www.cadickcorp.com/download/TB012b-Principles-of-Insulation-Testing.pdf [Viitattu 28.1.2015]
18. Slaughter. Basic Facts about Electrical Safety Testing. Verkkodokumentti. Saatavissa.
<http://hipot.com/docs/whitepapers/Basic-Facts.pdf> [Viitattu 18.2.2015]

19. Virtuaali Ammattikorkeakoulu. Eristysresistanssimittaus. Verkkodokumentti. Saatavissa <http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1134129294081/1134132211537/1134133739307/1134133840901.html> [Viitattu 1.12.2014]
20. Melotindos Mari. Sähköpostiviesti. [Viitattu 12.2.2015]
21. Southern Testing. Polarization index. Verkkodokumentti. Saatavissa. <http://www.electrical-testing-safety.co.uk/regulations/polarisation-index> [Viitattu 20.1.2015]
22. Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the Classification Surveys of Ships in Service. Part II Survey Schedule and Scope. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.rs-class.org/upload/iblock/7d3/2-020101-012-E.pdf [Viitattu 4.2.2015]
23. SPM Instruments. Verkkodokumentti. Saatavissa. <http://www.spminstrument.fi/Mittaustekniikat/Iskusysays/> [Viitattu 29.12.2014]
24. ABB MACHsense-P Verkkodokumentti. Saatavissa. www.abb.fi/product/seitp322/006eee0ee0e1c75ac1257be300232ed2.aspx?productLanguage=fi&country=FI [Viitattu 29.12.2014]
25. ABB MACHsense-R Verkkodokumentti. Saatavissa. <http://www.abb.fi/product/seitp322/6acfb3aa801b6d06c1257be300290427.aspx?productLanguage=fi&country=FI&tabKey=7> [Viitattu 9.1.2014]
26. SKF Marine. Verkkodokumentti. Saatavissa. <http://www.skf.com/group/industry-solutions/marine/index.html> [Viitattu 27.1.2015]
27. SKF Microlog Inspector Accessories Catalogue. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.skf.com/binary/21-11700/CM-P1-11644-EN-SKF-Microlog-Inspector-SKF-Marlin-Accessories-Catalog.pdf [Viitattu 27.1.2015]
28. ABB. Tekninen opas nro.5. Verkkodokumentti. Saatavissa. [www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/\\$file/Tekninenopasnro5.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/$file/Tekninenopasnro5.pdf) [Viitattu 30.12.2014]
29. ABB. Motor Bearings Reprint from Global Cement Magazine. Verkkodokumentti. Saatavissa. [www09.abb.com/global/scot/scot393.nsf/veritydisplay/63851c12adb74ab9c1257b350030730e/\\$file/Motor%20bearings_reprint%20from%20Global%20Cement%20Magazine_3BHS%20260%20042%20ZAB%20E01.pdf](http://www09.abb.com/global/scot/scot393.nsf/veritydisplay/63851c12adb74ab9c1257b350030730e/$file/Motor%20bearings_reprint%20from%20Global%20Cement%20Magazine_3BHS%20260%20042%20ZAB%20E01.pdf) [Viitattu 30.12.2014]

30. Särkimäki Ville. 2009. Radio Frequency Measurement Method for Detecting Bearing Currents in Induction Motors. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Verkkodokumentti. Saatavissa. <http://www.doria.fi/handle/10024/45048> [Viitattu 20.1.2015]
31. Shaft Grounding Systems. Verkkodokumentti. Saatavissa. http://marineshaftgrounding.com/yahoo_site_admin/assets/docs/Technical_Document_2.15192110.pdf [Viitattu 26.1.2015]
32. Brook Crompton. Shaft Voltages & Bearing Currents. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.brookcrompton.com/pdf-files/GAMBICA_Motor_Shaft_Voltages_Bearing_Currents_Report2_2nd_ed.pdf [Viitattu 28.1.2015]
33. FAG. Current insulating bearings. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publication/schaeffler_2/tpi/downloads/8/tpi_206_de_en.pdf [Viitattu 21.1.2015]
34. HPAC Engineering. Preventing Damage to Motor Bearings. Verkkodokumentti. Saatavissa. http://hpac.com/motors-drives/preventing_damage_motor [Viitattu 30.1.2015]
35. Aegis. Shaft Grounding Rings. Verkkodokumentti. Saatavissa. www.est-aegis.com/datasheets/iPRO-datasheet.pdf [Viitattu 20.2.2015]
36. Helwig Carbon Products Inc. Shaft Grounding Brush Holders & Lightning Protection. Verkkodokumentti. Saatavissa. <http://www.helwigcarbon.com/products/carbon-brush-holders/shaft-grounding-brush-holders-and-lightning-protection.html> [Viitattu 30.1.2015]
37. American Bureau of Shipping. Steel Vessels 2015. Part 4 Vessel Systems and Machinery. Chapter 8 Electrical Systems. Verkkodokumentti. Saatavissa. ww2.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/conventional_ocean_service/2_steelvesselrules2015/SVR_Part_4_e-Feb15.pdf [Viitattu 4.2.2015]
38. Russian Maritime Register of Shipping. Rules for the Classification and Construction of Sea- Going Ships Volume 2. Part XI. Electrical Equipment. Verkkodokumentti. Saatavissa. [www.rs-class.org/upload/iblock/eb0/2-020101-082-E\(T1\).pdf](http://www.rs-class.org/upload/iblock/eb0/2-020101-082-E(T1).pdf) [Viitattu 4.2.2015]

Kuvallähteet:

1. http://users.telenet.be/b0y/content/gen_techin/Induction.Motor.cutaway.jpg Viitattu 1.2.2015
2. <http://what-when-how.com/induction-motor/construction-induction-motor/> Viitattu 1.2.2015
3. <http://1.bp.blogspot.com/-W3qaZeaVVHs/UAEr5rzmsbI/AAAAAAAAAFME/cunD9rxKwI8/s1600/Squirrel+cage+induction+motor+frame,+stator,+and+rotor.jpg> Viitattu 1.2.2015
4. <http://c03.apogee.net/contentplayer/?coursetype=foe&utilityid=gulfpower&id=4624> Viitattu 29.12.2015
5. http://1.bp.blogspot.com/-9mrFh1TUIGI/T5C2gnfAQ_I/AAAAAAAAACs/MImBzoLRFQo/s1600/45.gif Viitattu 1.2.2015
6. <http://4.bp.blogspot.com/-BP55897g7Gc/T-aEKrmce8I/AAAAAAAAABuk/CL54m1P7XX4/s1600/rotors.png> Viitattu 1.2.2015
7. ABB AMG Synchronous Generator Marine Application Series User manual
<http://www.yeint.fi/index.php?main=64&productCat=2598&productID=11928>
Viitattu 1.2.2015
8. http://www.sefelec.com/en/images/RXS_000.jpg
http://www.spminstrument.fi/Global/Shared/Measuring_techniques/Shock_pulse_monitoring/SPM_shock_pulses.jpg Viitattu 1.2.2015
9. [http://www05.abb.com/global/scot/scot393.nsf/veritydisplay/63851c12adb74ab9c1257b350030730e/\\$file/Motor%20bearings_reprint%20from%20Global%20Cement%20Magazine_3BHS%20260%200042%20ZAB%20E01.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot393.nsf/veritydisplay/63851c12adb74ab9c1257b350030730e/$file/Motor%20bearings_reprint%20from%20Global%20Cement%20Magazine_3BHS%20260%200042%20ZAB%20E01.pdf) Viitattu 1.2.2015

10. <http://www.greenheck.com/images/articles/bearing-fluting.jpg> Viitattu 1.2.2015
11. <http://marineshaftgrounding.com/technical> Viitattu 26.1.2015
12. [http://www.skf.com/binary/21-48167/210x210/Hybrid- 0 48 522 570.jpg](http://www.skf.com/binary/21-48167/210x210/Hybrid-0_48_522_570.jpg) Viitattu 21.1.2015
13. http://www.crown.co.za/resources/images/NewsAugust2012/SKF_Shaft_GroundingRing_Kits.jpg Viitattu 21.1.2015
14. <http://www.helwigcarbon.com/products/bearing-protection.html> Viitattu 30.1.2015

Part 4 Vessel Systems and Machinery
 Chapter 8 Electrical Systems
 Section 1 General Provisions

4-8-1

TABLE 1
Primary Essential Services (2010)

(a)	Steering gears
(b)	Pumps for controllable pitch propellers
(c)	(2010) Scavenging air blower, fuel oil supply pumps, fuel valve cooling pumps, lubricating oil pumps and cooling water pumps for main and auxiliary engines, turbines and shafting necessary for propulsion
(d)	Ventilation necessary to maintain propulsion
(e)	Forced draft fans, feed water pumps, water circulating pumps, vacuum pumps and condensate pumps for steam plants on steam turbine ships, and also for auxiliary boilers on vessels where steam is used for equipment supplying primary essential services
(f)	Oil burning installations for steam plants on steam turbine vessels and for auxiliary boilers where steam is used for equipment supplying primary essential services
(g)	(2006) Low duty gas compressor and other boil-off gas treatment facilities supporting boil-off gas usage as fuel to main propulsion or electric power generation machinery.
(h)	Azimuth thrusters which are the sole means for propulsion/steering with lubricating oil pumps, cooling water pumps, etc.
(i)	Electrical equipment for electric propulsion plant with lubricating oil pumps and cooling water pumps
(j)	Electric generators and associated power sources supplying primary essential equipment
(k)	Hydraulic pumps supplying primary essential equipment
(l)	Viscosity control equipment for heavy fuel oil
(m)	Control, monitoring and safety devices/systems of equipment for primary essential services.

TABLE 2
Secondary Essential Services (2010)

(a)	Windlass
(b)	Fuel oil transfer pumps and fuel oil treatment equipment
(c)	Lubrication oil transfer pumps and lubrication oil treatment equipment
(d)	Pre-heaters for heavy fuel oil
(e)	Starting air and control air compressors
(f)	Bilge, ballast and heeling pumps
(g)	Fire pumps and other fire extinguishing medium pumps
(h)	Ventilating fans for engine and boiler rooms
(i)	Services considered necessary to maintain dangerous spaces in a safe condition (inert gas system of an oil carrier, ventilation for Ro-Ro cargo spaces, etc.)
(j)	(2006) Re-liquefaction plant on liquefied gas carriers
(k)	Navigation lights, aids and signals
(l)	Internal communication equipment required by 4-8-2/11.5
(m)	Fire detection and alarm system
(n)	Lighting system
(o)	Electrical equipment for watertight and fire-tight closing appliances
(p)	Electric generators and associated power sources supplying secondary essential equipment
(q)	Hydraulic pumps supplying secondary essential equipment
(r)	Control, monitoring and safety systems for cargo containment systems
(s)	Control, monitoring and safety devices/systems of equipment for secondary essential services
(t)	(2005) Ambient temperature control equipment required by 4-8-3/1.17.2
(u)	(2010) Watertight Doors (see Sections 3-2-9, 3-2-15 and 3-2-16)

ПРОГРАММА
ШВАРТОВНЫХ И ХОДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Отчет о проведении испытаний/Test report for			
9112	СТОЯНОЧНЫЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР / HARBOUR DIESEL GENERATOR		
Отв. за систему System resp	Отв. за испытания Insp. resp:	Редакция Revision: <input type="text"/>	Дата: Date: <input type="text"/>

--

410	Испытание под нагрузкой Loading test	Дата Date	Верфь Shipyard	PMPC Class	Заказчик Owner	Янтарь Yantar
<div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 20px;"></div>						

Нагрузка Load	Выход Output	Продолжительность Duration
75 %	242 kW кВт	15 min мин
100 %	323 kW кВт	4 h час 7h 10min ; 20sec
110 %	355 kW кВт	10 min мин

Elapsed time min Прошедшее время	15	75	135	195	255	265
Load Нагрузка	75 %	100 %	100 %	100 %	100 %	110 %
Generator current A Ток генератора	340	430	470	450	440	574
Generator voltage V Напряжение генератора В	398	400	397	400	398	398
Generator frequency Hz Частота генератора Гц	50	50	50	50	50	50
Diesel engine lub. oil temperature Температура смазочного масла дизеля	104	108	108	108	107	110
Diesel engine lub. oil pressure Давление смазочного масла дизеля	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1
Diesel engine cooling water temperature Температура охлаждающей воды дизеля	86	85	86	85	85	86

ПРОГРАММА
ШВАРТОВНЫХ И ХОДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Отчет о проведении испытаний/Test report for			
9112	СТОЯНОЧНЫЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР / HARBOUR DIESEL GENERATOR		
Отв. за систему System resp	Отв. за испытания Insp. resp	Редакция Revision: <input type="text"/>	Дата: Date: <input type="text"/>

--

410	Испытание под нагрузкой Loading test	Дата	Верфь	PMPC	Заказчик	Янтарь
		Date	Shipyard	Class	Owner	Yantar

Нагрузка	Выход Output	Продолжительность
Load		Duration
75 %	242 kW кВт	15 min мин
100 %	323 kW кВт	4 h час <i>7h</i>
110 %	355 kW кВт	10 min мин

Elapsed time min Прошедшее время	15	75	135	195	255	265
Load Нагрузка	75 %	100 %	100 %	100 %	100 %	110 %
Generator current A Ток генератора	340	430	470	450	440	574
Generator voltage V Напряжение генератора В	398	400	397	400	398	398
Generator frequency Hz Частота генератора Гц	50	50	50	50	50	50
Diesel engine lub. oil temperature Температура смазочного масла дизеля	104	108	108	108	107	110
Diesel engine lub. oil pressure Давление смазочного масла дизеля	4,4	4,2	4,2	4,2	4,2	4,1
Diesel engine cooling water temperature Температура охлаждающей воды дизеля	86	85	86	85	85	86

QUAY AND SEA TRIAL TEST PROGRAM
 ПРОГРАММА
 ШВАРТОВНЫХ И ХОДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

Pages 7(7)

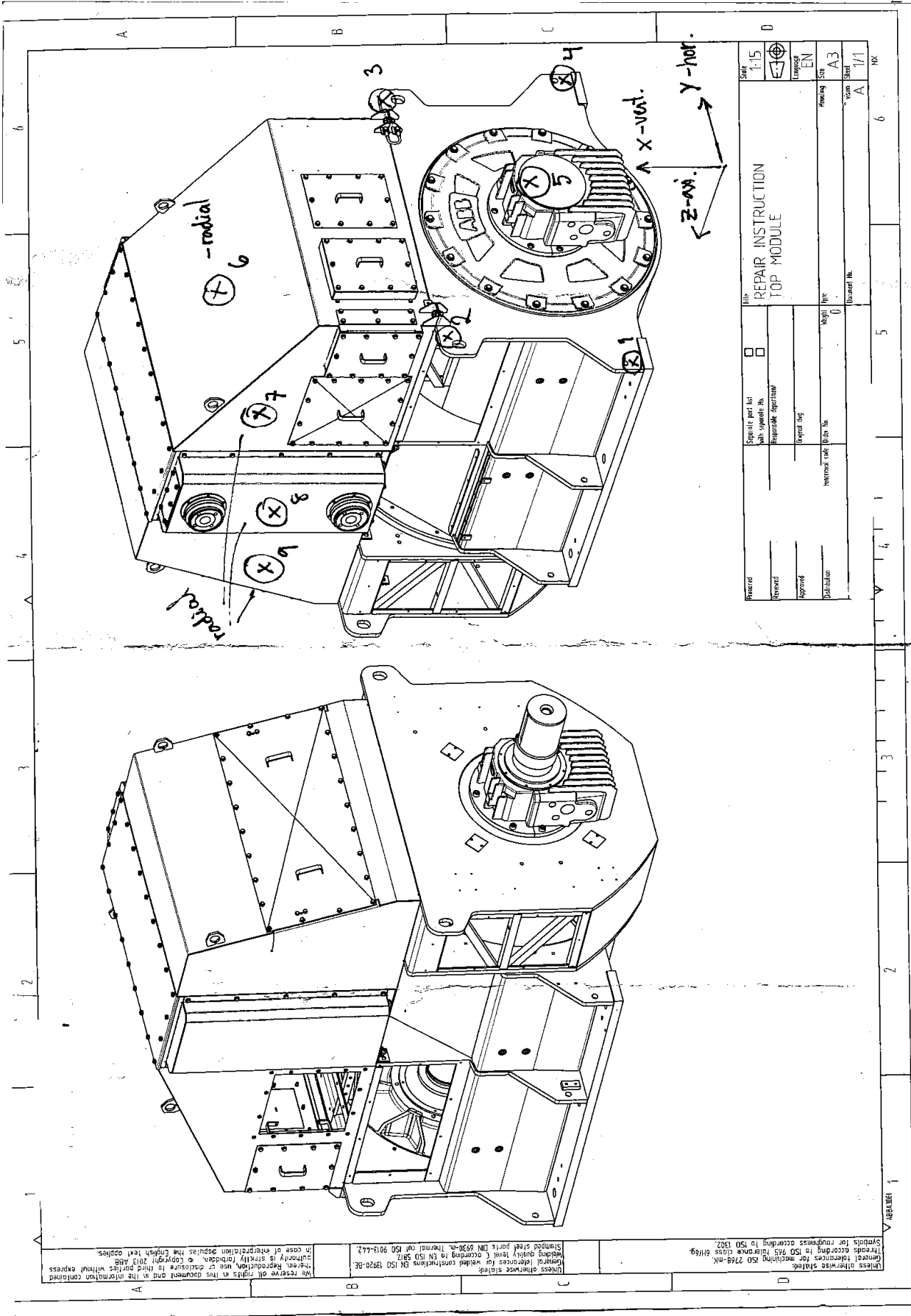
Отчет о проведении испытаний/Test report for
9112 **СТОЯНОЧНЫЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР / HARBOUR DIESEL GENERATOR**
 Отв. за систему / System resp. Отв. за испытания / Insp. resp. Редакция / Revision: Дата: / Date:

Outside air temperature Температура наружного воздуха	+14	+14	+14	+14	+12	+12
Air temperature in HDG room Температура в пом. СДГ	22	20	15	21	16	20

Values to be filled in the end of the performance time, for 100% also every hour.
 HDG room door to be kept closed during loading test.

Значения записываются в конце времени выполнения работы, для 100% также в каждый час.
 Дверь помещения СДГ должна быть закрыта во время испытания нагрузкой.

	Дата Date	Верфь Shipyard	PMPC Class	Заказчик Owner	Янтарь Yantar
411 Testing of cooling water preheater Проверка пред.подогревателя охлаждающей воды					
412 Testing of hand pump for lub. oil emptying Проверка ручного насоса для выкачивания смазочного масла					



Unless otherwise stated:
 General references for welded constructions EN ISO 13920-02;
 Welding quality level 1 according to EN ISO 5817;
 Stamped steel parts EN 9330-01, Thermal EN ISO 9013-442;
 Surface finish according to EN ISO 8011;
 We reserve all rights in this document and in the information contained therein. Reproduction, use or disclosure in third parties without express authorisation is strictly forbidden. © copyright 2013 ABB
 In case of interpretation disputes the English text applies.
 Symbols for roughness according to ISO 1002.
 Fits according to ISO 965 reference class 6H/6g.
 General references for machining ISO 2768-mK.
 Press otherwise stated.