

Antti Laari

# Sähkömoottorin laakerivirtojen tutkiminen ja ehkäisy

Opinnäytetyö

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2023



**Kaakkois-Suomen  
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Antti Laari
Työn nimi	Sähkömoottorin laakerivirtojen tutkiminen ja ehkäisy
Toimeksiantaja	UPM Communication Papers Oy
Vuosi	2023
Sivut	44 sivua, liitteitä 13 sivua
Työn ohjaaja(t)	Risto Kuitunen

## TIIVISTELMÄ

Suuremman kokoiset taajuusmuuntajalla olevat moottorilähdöt ovat usein herkkiä laakerivirroille. Laakerivirrat voivat pahimmillaan laskea moottorin käyttöikää merkittävästi. Laakerivirroille ei ole yksittäistä selitystä, vaan niihin vaikuttaa useampi eri tekijä.

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää Kymin paperitehtaan keskitelan moottoreissa ilmennyttä laakerivirtoja. Lisäksi tarkoituksena on selvittää mahdollisia toimenpiteitä, joilla pystytään välttämään ja ehkäisemään suurempia laakerivirtoja. Työn hyöty liittyy paperikoneen käyntiasteen parantamiseen, jotta välttäisiin yllättäviltä huolloilta. Laakerivirrat vaikuttavat merkittävästi sähkömoottoreiden toimintaan, siksi niiden taltuttaminen on tärkeää.

Teoriassa käydään läpi eri laakerivirtatyypit ja miten ne ilmenevät eri tavalla sähkömoottoreissa. Lisäksi työstä löytyy todellisesta elämästä havainnollistettuja vikoja, mitkä ovat aiheuttaneet laakerivirrat.

Työ toteutettiin yhteistyössä ulkopuolisen tahon kanssa, joka tuli tehtaalle mitaamaan laakerivirtoja. Työssä ei toteutettu parantavia toimenpiteitä, vaan annettiin vinkkejä korjaavista toimenpiteistä. Korjaavia toimenpiteitä on useampi, ja niiden toteuttamisesta vastaa paperitehdas itse.

Opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että laakerivirrat aiheena on todella laaja ja erittäin vaikea tulkita. Se vaatii erityistä ammattitaitoa ja laajaa näkemystä asian suhteen. Työ antaa pohjatietoa laakerivirroista, jos niitä ilmenee muissakin eri käyttöympäristöissä.

**Asiasanat:** Sähkömoottori, Laakerivirta, Taajuusmuuntajat

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Antti Laari
Thesis title	Investigation and prevention of bearing currents in electric motors
Commissioned by	UPM Communications Papers Oy
Time	2023
Pages	44 pages, 13 pages of appendices
Supervisor	Risto Kuitunen

## ABSTRACT

Motor outputs with larger size frequency transformers are often sensitive to bearing currents. In the worst case, bearing currents can significantly reduce motor lifetime. There is no single explanation for bearing currents, but they are influenced by several different factors.

The aim of the thesis is to investigate bearing failures in the motors of the Kymi paper mill's central shaft. In addition, the aim is to find out possible measures to avoid and prevent higher bearing currents. The benefit of this work is related to the improvement of the paper machine running rate to avoid unexpected failures. Bearing currents have a significant impact on the operation of electric motors, therefore it is important to control them.

The theory section deals with the different types of bearing currents and how they occur in different ways in electric motors. The report also includes real-life examples of failures that have caused bearing failures.

The work was carried out in collaboration with an external party who came to the factory to measure the bearing currents. No remedial measures were taken, but tips on corrective measures were given. There are several corrective measures and the paper mill itself is responsible for their implementation.

The thesis shows that the subject of bearing currents is very broad and very difficult to interpret. It requires special professional skills and extensive knowledge of the subject. The work provides a basic knowledge of bearing flows if they are to be seen in other different operating environments.

**Keywords:** Electric motor, Bearing current, frequency inverter

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	SÄHKÖMOOTTORIT.....	6
2.1	Sähkömoottorin toimintaperiaate .....	6
2.1.1	Epätahtimoottori.....	7
2.1.2	Tahtimoottorit.....	8
2.1.3	Kestomagneettitahtimoottori .....	9
2.2	Laakerityypit.....	11
3	LAAKERIVIRRAT .....	12
3.1	Laakerivirtatyypit.....	12
3.1.1	EDM- eli kipinävirta .....	12
3.1.2	Kiertävä virta.....	13
3.1.3	Akselin maadoitusvirta .....	14
3.1.4	Kapasitiivinen purkausvirta .....	14
3.2	Laakerivirtojen haitat.....	15
3.2.1	Laakerivirran purkautuminen .....	16
3.2.2	Laakerivirtojen vaikutus vierintäpintoihin.....	16
3.2.3	Laakerin voiteluaineen vaikutus.....	18
4	MITTAUS.....	18
4.1	Mittaustuloksia .....	21
5	LAAKERIVIRTOJEN EHKÄISEMINEN.....	24
6	YHTEENVETO .....	29
	LÄHTEET.....	30
	Liite 1. UPM Kymi keskitelan moottorit -raportti 2020 .....	32
	Liite 2. UPM Kymi Keskitelan moottorit ja yläviiran VT 012023 .....	40

## 1 JOHDANTO

Laakerivirtoja on ollut niin kauan kuin sähkömoottoreitakin. Yleensä ne syntyvät useamman tekijän summasta. Laakerivirrat yleistyivät, kun alettiin käyttämään taajuusmuuttajakäyttöjä. Oikein voimakkaina ne voivat vaurioittaa moottoria hyvin lyhyessä ajassa. Laakerivirrat syntyvät, kun moottorin roottorissa ja akselissa indusoidut jännitteet purkautuvat maihin laakereiden kautta. Se aiheuttaa ennen aikaista kulumista, lisämelua ja tärinää. Ympäri vuorokautisessa toiminnassa voi kuitenkin odottaa laakerin kestävän vähintään viisi vuotta.

Laakerivirtoja esiintyy kolmessa eri muodossa: kiertävä virta, akselinmaadoitusvirta ja kapasitiivinen purkausvirta. Jokaisessa muodossa on omat murheensa ja haittansa. Korjaavia toimenpiteitä on useampi, mutta kaikki eivät sovi korjaamaan tiettyjä laakerivirtoja.

Laakerivirtojen tutkiminen ja ehkäisy on tärkeää, koska niiden korjaaminen voi säästää aikaa ja rahaa. Silloin myös vältetään yllättäviltä seisokeilta ja pysytään perillä moottorin kunnosta. Laakerivirtojen mittaaminen on melko hankalaa, ja se vaatii erityistä ammattitaitoa. Oikeilla toimenpiteillä saadaan pienennettyä tai jopa poistettua laakerivirtoja kokonaan. Laakerivirrat olisi hyvä saada kuriin mahdollisimman nopeasti, ettei laakeri pääsisi varioitumaan. Oikein suurissa laakerivirroissa ja huonoissa olosuhteissa laakeri voi vaurioitua muutamassa vuodessa.

Opinnäytetyössä tutkin laakerivirtoja yleisesti ja niiden vaikutuksia sähkömoottoreihin sekä myös todellisissa olosuhteissa olevia moottoreita, jotka sijaitsevat Kymin paperitehtaalla. Niissä on ilmennyt laakerivirtoja useammassa eri kohteessa. Tutkimme ulkopuolisen avun kanssa laakerivirtoja, koska tehtaalla ei ole tarvittavia laitteita kohteiden mittaamiseen.

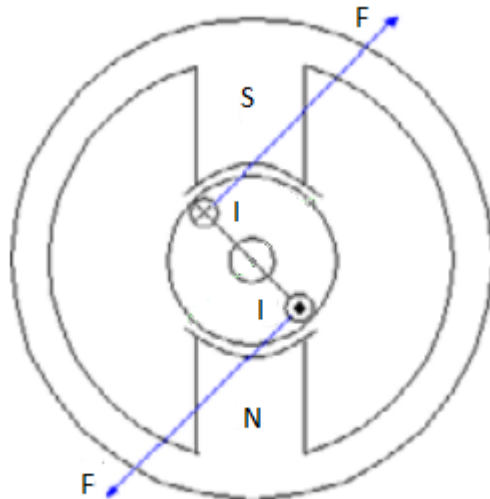
## 2 SÄHKÖMOOTTORIT

Sähkömoottoreita on useampaa eri tyyppiä. Niillä on kuitenkin sama tehtävä, muuntaa energiaa toiseen muotoon. Yleisimmät sähkömoottorityypit ovat epätahti-, tahti- ja tasavirtamoottori. Jokainen konetyyppi tekee saman työn, vaikka ne ovat toteutettu eri tavalla. Sähkömoottori voi toimia kumminpäin tahansa, eli se joko muuntaa sähköenergian mekaaniseksi energiaksi tai mekaanisen energian sähköenergiaksi. Kun se luovuttaa sähköenergiaa, sitä kutsutaan generaattoriksi. (Aura & Tonteri 1996, 305.)

Sähkömoottorin perusrakenteesta löytyy aina roottori ja staattori. Roottori on kiinnitetty akseliin, joka pyörii moottorin sisällä, kun taas staattori on paikallaan moottorissa. Nämä saavat aikaan sähköisen magneettikentän, jota päälle ja pois kytkemällä saa aikaan pyörimisliikkeen. Tähän sähkömoottoreiden toiminta perustuu. Lisäksi moottoriin kuuluu myös laakeri  $N$ , joka on moottorin peräosassa, ja laakeri  $D$ , joka on ulostulevan akselin puolella. Lisäksi moottoriin kuuluu kytkentäkoppa ja tuuletin, joka jäähdyttää moottoria. (Aura & Tonteri 1996, 305.)

### 2.1 Sähkömoottorin toimintaperiaate

Sähkömoottorin tehtävä on muuntaa sähköenergia mekaaniseksi energiaksi. Se tapahtuu, kun magneettikentässä olevan virrallisen johdinsilmukan ja magneettikentän voimat kohtaavat. Kuvassa 1 on kaksinapainen moottori, jossa on yksi johdinkierros ja roottorikäänityksenä yksi vyyhti. Kun johdinsilmukassa vaikuttaa virta  $I$  se luo ympärilleen oman magneettikentän. Tämä reagoi staattorin magneettikenttään, joka saa aikaan vastakkaiset voimat  $F$ . Nämä luovat voimaparin, joka pyrkii kääntämään silmukan takaisin vaaka-asentoon. Voima kohdistuu tasaisesti magneettikenttään sekä virralliseen johtimeen, mutta ne ovat vastakkain toisiaan. (Aura & Tonteri 1996, 310.)



Kuva 1. Kaksinapaisen moottorin toimintaperiaate (Aura & Tonteri 1996, muokattu)

### 2.1.1 Epätahtimoottori

Epätahtimoottori tunnetaan myös nimellä oikosulkumoottori. Nimitys syntyy siitä, että koneessa pyörivän roottorin nopeus on eri kuin pyörivän magneettikentän nopeus. Epätahtikoneet jaetaan oikosulku- ja liukurengasmootoreihin.

Oikosulkumoottori on suosittu moottori, koska se on rakenteelta hyvin yksinkertainen, kestävä sekä huoltovapaa. Oikosulkumoottorissa on ns. häkkikäämitys. Se koostuu levyistä, jonka välissä ovat johteet. Johteet ovat alumiinia tai kuparia. Hankauksen estämiseksi johteet ovat vinossa, mikä myös auttaa antamaan hyvän muunnossuhteen. Häkkikäämitys on sijoitettu roottorin uriin ja kytketty molemmista päistä oikosulkurenkailla. Roottorin takaosaan viilenystä varten kiinnitetty tuuletin, joka auttaa pitämään moottorin lämpötilan rajan alapuolella. Tasaisen pyörimisen takaamiseksi moottorissa on laakerit akselin molemmissa päissä. Oikosulkumoottorin etuja ovat yksinkertainen rakenne, mikä tekee siitä edullisen, se ylläpitää tasaista nopeutta ja siinä on hyvä hyötysuhde korkeilla kierroksilla. (Elprocus 2022.)

Liukurengasmootori on vähemmän käytetty moottori kuin normaali oikosulkumoottori, mutta siinä on kuitenkin omat hyötynsä. Sen etuja on alhainen käynnistysvirta ja korkea käynnistysmomentti. Se kestää hetkellistä täydenkuorman virtaa, joka voi olla jopa 6–7 kertaa suurempi. Sen takia tyypillisemmät käyttökohteet ovat erilaiset nosturit ja hissit, koska siinä on suuri käynnistysmomentti. Liukurengasmootori on monimutkikkaampi rakenteeltaan, koska

sen rakenteeseen kuuluvat harjaosa ja liukurenkaat, jotka luovat suuren käynnistysmomentin. Nämä lisäävät ylläpitokustannuksia, koska ne pitää huolta säännöllisin väliajoin. Liukurengasmootorin nopeutta voidaan säätää ulkoisilla vastuksilla. (Elprocus 2022.)

### 2.1.2 Tahtimoottorit

Tahtimoottori eli synkronimoottori on hyötysuhteeltaan parempi kuin tavallinen oikosulkumoottori. Isomman koko luokan moottoreissa muutamankin prosentin häviöt ovat suuria tehohäviöitä, ja ne voivat merkittävästi rasittaa moottoria. Synkroninen moottori toimii vaihtosähkömoottorina, mutta tässä akselin tekemän kierrosten kokonaismäärä on yhtä suuri kuin syötetyn virran taajuuden kokonaislukukerroin. Synkronimoottori ei ole riippuvainen induktiovirrasta toisin kuin oikosulkumoottori. Näissä staattorissa on monivaiheisia vaihtovirtasähkömagneetteja, jotka muodostavat pyörivän magneettikentän. Tässä roottori on kestopagneetti, joka synkronoituu pyörivän magneettikentän kanssa ja pyörii synkronisesti siihen kohdistetun virran taajuuden kanssa.

Synkronisten moottoreiden toiminta riippuu staattorin magneettikentän vaikutuksesta roottorin magneettikentän kanssa. Staattorissa on 3-vaihekäämitys ja 3-vaiheinen teho. Siten staattorikäämitys tuottaa 3-vaiheisen pyörivän magneettikentän. Roottori yhdistyy staattorikäämin tuottamaan pyörivään magneettikenttään ja pyörii tahdistuksessa. Silloin moottorin nopeus riippuu syötetyn virran taajuudesta. Synkronisen moottorin nopeutta ohjataan syötetyn virran taajuudella, joka lasketaan kaavalla:

$$n = 60 \cdot \frac{f}{p} \quad (1)$$

Jossa  $n$  on pyörimisnopeus,  $f$  on taajuus ja  $p$  on napojen kokonaisparien lukumäärä vaihetta kohti.

Jos kuormitus on suurempi kuin läpilyöntikuorma, moottori ei synkronoidu. 3-vaiheisen staattorikäämin etuna on pyörimissuunnan määrittäminen. Yksivaiheisen käämin tapauksessa pyörimissuuntaa ei voida määrittää ja moottori voi käynnistyä kummasta tahansa suunnasta. Pyörimissuunnan ohjaamiseksi näissä synkronisissa moottoreissa tarvitaan käynnistysjärjestelyjä.



Roottorin hitausmomentti estää suurikokoisia synkronimoottoreita käynnistymästä itsestään. Roottorin hitauden takia roottorin ei ole mahdollista synkronoitua staattorin magneettikentän kanssa juuri silloin, kun tehoa käytetään. Joten tarvitaan lisämekanismia roottorin synkronoimiseksi. Suurissa moottoreissa on induktiokäämitys, joka tuottaa riittävän kiihdytykseen tarvittavan vääntömomentin. Erittäin suurille moottoreille kuormittamattoman koneen nopeuttamiseksi käytetään ponimoottoria. Staattorin virran taajuutta muuttamalla elektronisesti ohjatut moottorit voivat kiihtyä jopa nollanopeudesta. Hyvin pienissä moottoreissa, kun roottorin hitausmomentti ja mekaaninen kuorma ovat hyvin pieniä, ne voivat käynnistyä ilman käynnistysmenetelmiä.

Yleensä synkronimoottoreita käytetään sovelluksissa, joissa vaaditaan tarkkaa ja tasaista nopeutta. Näiden moottoreiden pienitehoisiin sovelluksiin kuuluvat paikannuskoneet. Näitä käytetään esim. roboteissa. Myös kuulamylyt, kellot ja levysoittimen kääntölevyissä käytetään synkronimoottoreita. Näiden lisäksi niitä käytetään myös servomoottoreina ja ajoituskoneina (Elprocus 2022).

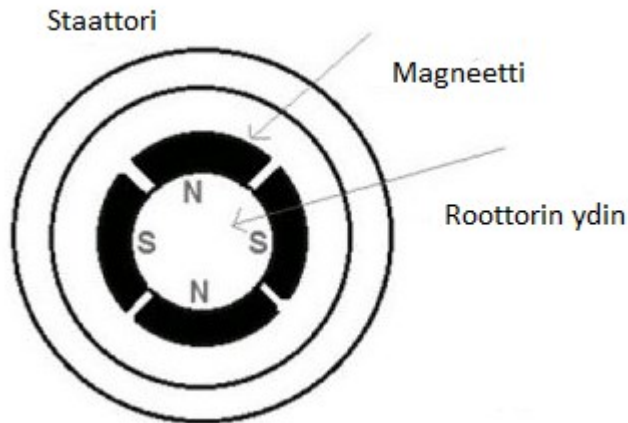
### **2.1.3 Kestomagneettitahtimoottori**

Kestomagneettitahtimoottorit ovat vakaita 3-vaiheisia vaihtovirtamoottoreita, jotka toimivat vakionopeudella ja ovat tahdissa syöttötaajuuden kanssa. Tämä tarkoittaa, että moottorin nopeus on sama kuin pyörivä magneettikenttä. Lisäksi ne ovat tehokkaita, nopeita, turvallisia, harjattomia ja antavat korkean dynaamisen suorituskyvyn perinteisiin moottoreihin nähden.

Kestomagneettitahtimoottorit ovat lähes samanlaisia kuin perinteinen tahtimoottori, mutta niitä käytetään vain taajuusmuuttajälähdöissä. Ainut ero perinteiseen tahtimoottoriin on, että roottorissa ei ole kenttäkäämiä vaan kestopagneetti. Yleisin käytetty kestopagneetti on neodyymi-boori-rauta, koska se on halpa ja helposti saatava. Kestomagneetti asennetaan roottoriin, mutta sillä on kaksi erilaista asennustapaa: pintaan asennettu kestopagneetti ja sisäisesti asennettu kestopagneetti.

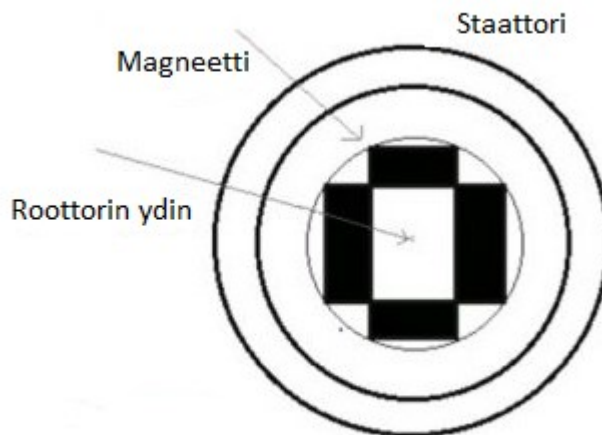
Pintaan asennettu kestopagneetti soveltuu nopeasti pyöriviin moottoreihin. Se antaa tasaisen ilmavälin, koska kestopagneetin ja ilmavälin permeabiliteetti

on sama. Siinä ei ole reluktanssivääntömomenttia, mutta korkea dynaaminen suorituskyky, joten se sopii hyvin esim. robotiikkaan. Magneetit upotetaan teräsroottoriin, ja ne luovat jatkuvan magneettikentän. Magneettien sijoittaminen vaikuttaa koneen toimintaan esimerkiksi, onko magneetit symmetrisesti vai ei.



Kuva 2. Ulkoisesti asennettu kestmagneetti (Elprocus 2023, muokattu)

\*Ulkoisesti asennettu kestmagneetti on kuvassa 2. Sisäisesti asennettu kestmagneetti on upotettu roottoriin, kuten kuvassa 3 näkyy.



Kuva 3. Sisäisesti asennettu kestmagneetti (Elprocus 2023, muokattu)

Sekin soveltuu nopeasti pyöriviin sovelluksiin. Sisäisesti asennetun kestmagneetin magneettiset ominaisuudet riippuvat, mistä suunnasta asiaa katsoo. Induktanssi on pienempi pitkittäisakselin suunnassa kuin poikittaisakselin suunnassa. Reluktanssivääntömomentti aiheutuu induktanssierosta, jota hyödynnetään moottorisäädöissä.

## 2.2 Laakerityypit

Sähkömoottori on soveltuva moneen eri käyttökohteeseen, joten pitää ottaa huomioon, minkä tyyppiset laakerit soveltuvat kuhunkin käyttökohteeseen.

Sähkömoottoreissa käytetään tyypillisesti näitä laakerityyppejä:

- peruskuulalaakeri
- perusrullalaakeri
- viistokuulalaakeri
- lieriörullalaakerit.

Yleisin laakerityyppi, mitä käytetään pienitehoisissa (alle 150hv) sähkömoottoreissa, on peruskuulalaakeri. Niitä käytetään suoraan kytkettyihin sovelluksiin. Ne ovat tehokkaita suurilla pyörimisnopeuksilla ja kohtuullisilla radiaali- ja aksiaalikuormilla.

Perusrullalaakeria käytetään hihnakäyttöisiin sovelluksiin. Rullalaakerit kestävät suuriakin radiaalikuormia ja nopeuksia. Rullalaakerin heikkoutena on, että se ei kestä aksiaalikuormia.

Viistokuulalaakeri on suunniteltu kestäämään yhdistettyjä kuormia, eli samanaikaisesti vaikuttavia radiaali- ja aksiaalikuormia (Tekwell 2023).

Lisäksi näitä laakereita saadaan erilaisilla laakerirakenteilla. Näitä rakenteita ovat tiivistetyt, suojatut ja avoimet laakerit. Tiivistettylaakeri tarkoittaa sitä, että se on suojattu, ettei moottorin sisään pääsisi mitään epäpuhtauksia. Yleisemmin niitä käytetään pienissä sähkömoottoreissa. Niitä ei voida voidella uudelleen, kun se on asennettu, mikä rajaa niiden käyttöikä. Suojattulaakeri on rakennettu niin, ettei laakerin sisälle pääsisi epäpuhtauksia. Niitä on mahdollista rasvata uudelleen, mutta liiallinen rasvaus voi kasvattaa laakerin sisäistä painetta mikä hajottaa laakerin. Avoinlaakeria ei ole suojattu mitenkään. (Tekwell 2023.)

### 3 LAAKERIVIRRAT

Laakerivirrat, eli oikealta nimeltään vuotovirrat, ovat aina olleet läsnä sähkötekniikassa. Tekniikan ja laitteiden kehittyessä taajuusmuuttajakäyttöjen (VFD) vuotovirrat ovat yleistyneet. VFD tulee sanoista variable frequency drives. Tämä on huono asia, koska pahimmillaan se voi lyhentää sähkömoottorin tai sähkömoottoreilla käytettävän laitteen käyttöikää merkittävästi. Laakerivirrat syntyvät nykyajan taajuusmuuttajissa, koska ne ovat nopeasti säädettyjä ja nostavat nopeasti sekä jännitepulsseja että korkeita kytkentätaajuuksia, mikä aiheuttaa purkautuvia virtapulsseja laakereihin. Toistuva virtapulssi kuluttaa laakerin vierintäpintaa. (ABB 2000; Lumia 2013.)

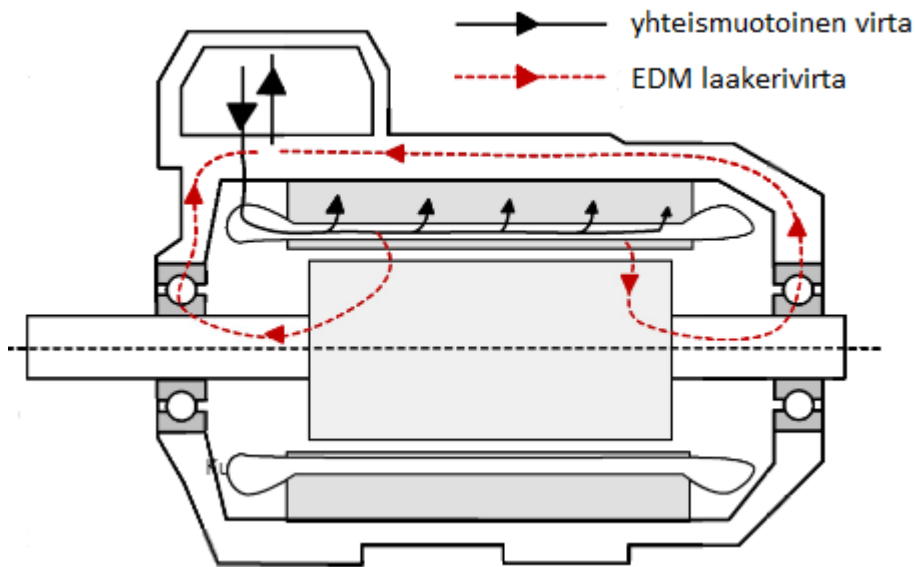
#### 3.1 Laakerivirtatyypit

Laakerivirtatyyppejä on neljässä eri muodossa. Ne kaikki ovat taajuusmuuttajaperäisiä korkeataajuisia yhteismuotojännitteitä, vaikka niiden syntymekanismit eroavat toisistaan. Laakerivirran päävirtatyypit:

- EDM- eli kipinävirta (Electrical Discharge Machining)
- kiertävä virta
- akselin maadoitusvirta
- kapasitiivinen purkausvirta.

##### 3.1.1 EDM- eli kipinävirta

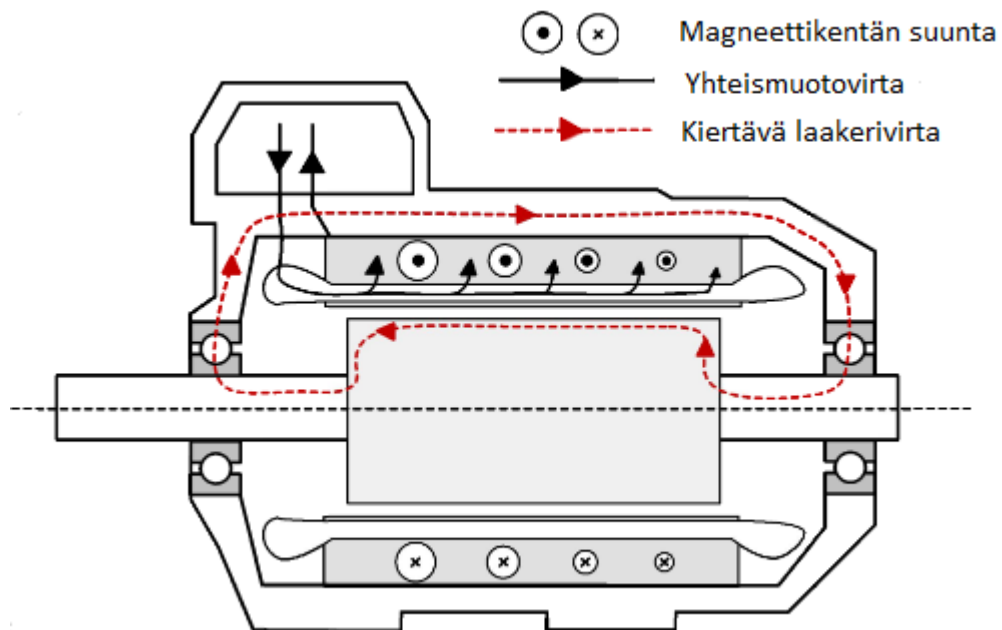
Kipinävirta syntyy, kun moottorin sisäiset hajakapasitanssit, korkeataajuiset yhteismuotovirrat sekä laakerin öljykalvon aiheuttama kapasitanssi kasvavat liian suureksi. Se nostaa roottorin jännitettä ja lataa laakerikapasitansseja, mikä aiheuttaa roottorin ja rungon välille potentiaalieron tiettyyn pisteeseen asti. Kun akselinjännite on riittävän suuri, se saa aikaan kipinätyöstöä, mikä purkaantuu laakeriin ja vaurioittaa laakerin pintoja. Jännitteen pitää olla riittävän suuri, että se läpäisee laakerin öljykalvon. Sen takia kipinävirtaa ei esiinny kaikissa kohteissa, koska siihen vaikuttaa öljykalvon paksuus. Kuvassa 4 näkyy kipinävirran muodostuminen. (Ahola 2011, 19.)



Kuva 4. EDM-laakerivirran syntyminen (Ahola 2011, muokattu)

### 3.1.2 Kiertävä virta

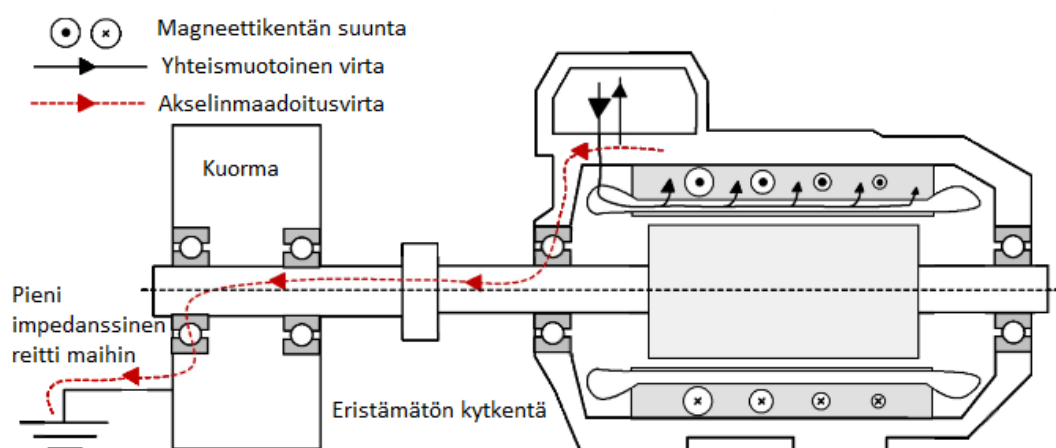
Kiertävä virta on haitallista moottorin molemmille laakereille. Kiertävävirta on moottorin sisällä aksiaalisuuntainen yhteismuotovirtapulssi, jonka aiheuttaa moottorin rungon ja roottorin käämityksen välinen kapasitanssi. Tämä luo ympärilleen oman magneettikentän. Virta alkaa kiertämään moottorin sisällä, kun akselinpäiden potentiaaliero on riittävän suuri. Kuvassa 5 näkyy kiertävän virran kulkureitti. (Ahola 2011, 20.)



Kuva 5. Kiertävän laakerivirran syntyminen (Ahola 2011, muokattu)

### 3.1.3 Akselin maadoitusvirta

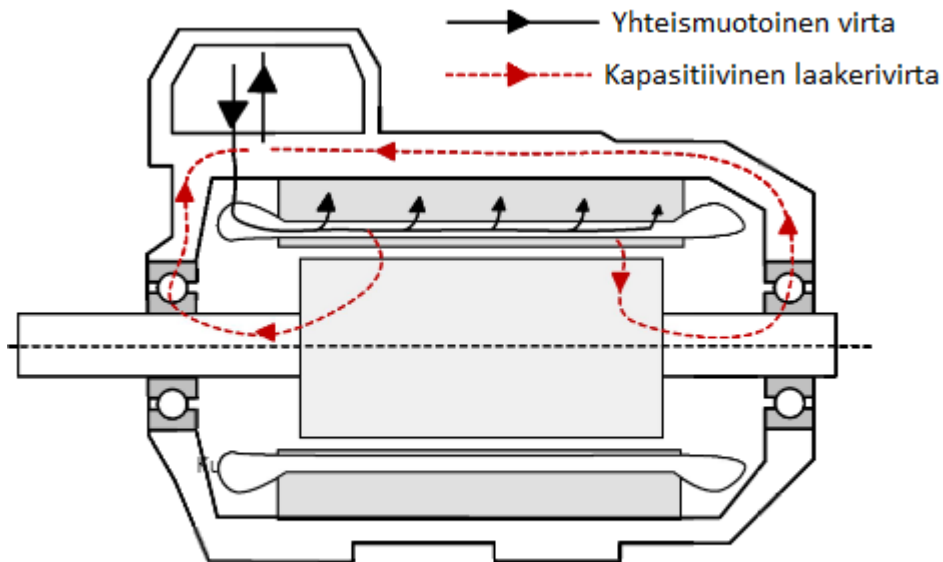
Akselin maadoitusvirta voi vahingoittaa sekä moottoria että käyttökohdetta, koska vuotovirta kulkeutuu molempien kohteiden laakerien lävitse. Vuotovirran syntyminen johtuu siitä, että moottorin maadoitus ei ole riittävä. Roottorin impedanssi on maihin nähden alhaisempi kuin moottorin oma maadoitusimpedanssi. Jos välissä on vaihdelaatikko, voi myös vaihdelaatikon välitysosien hammastukset vaurioitua. Kuvassa 6 on havainnollistettu akselin maadoitusvirran kulku. (Lumia 2013, 11.)



Kuva 6. Akselimaadoitusvirran syntyminen (Ahola 2011, muokattu)

### 3.1.4 Kapasitiivinen purkausvirta

Kapasitiivisen purkausvirran saa aikaan yhteismuotoisen jännitteen, joka syntyy aina, kun kytkentä tapahtuu taajuusmuuttajassa. Yhteismuotojännitteen korkea kytkentätaajuus kulkeutuu roottorista akselille ilmavälin ylitse staattorilta. Akselin kautta se kulkeutuu laakerille aiheuttaen pienen kapasitiivisen purkausvirran, mikä puhkaisee laakerin öljykalvon ja johtuu runkoon. Tästä ei kuitenkaan synny kipinätyöstöä, koska öljykalvon läpilyöntikestoisuus ei ylitä kapasitiivisessa purkauksessa.



Kuva 7. Kapasitiivisen purkausvirran syntyminen (Ahola 2011, muokattu)

Kapasitiivisessa purkausvirrassa purkausvirrat ovat erittäin pieniä n. 5-10 mA. Kuvassa 7 näkyy kapasitiivisen purkausvirran muodostuminen. (Ahola 2011; Lumia 2013.)

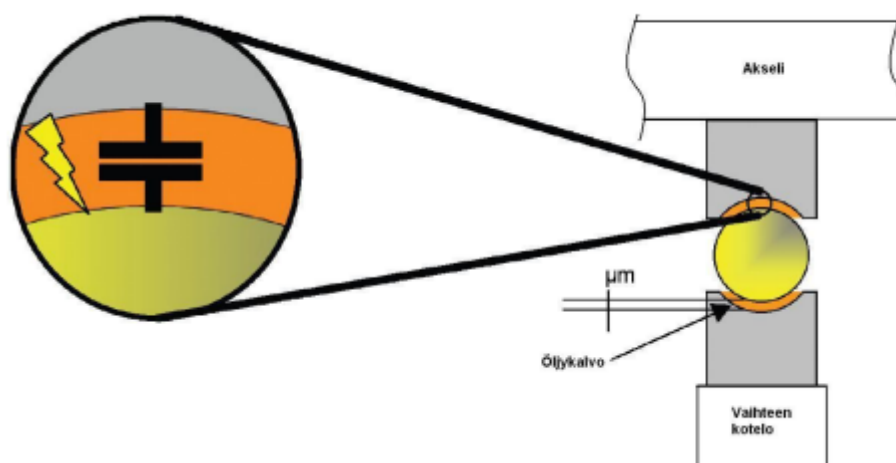
### 3.2 Laakerivirtojen haitat

Laakerivirrat ovat haitaksi laakerin molemmille osille eli laakerinvierintäpinnalle sekä laakerin vierintäelimiin. Laakerivirrat aiheuttavat näkyviä vaurioita molemmille osille. Yleisin syy laakerivirran syntymiselle on taajuusmuuttajan nopeat jännitteen muutokset, mutta on myös olemassa muitakin syitä laakerivirroille. Vauriot lyhentävät laakerin käyttöikää merkittävästi. Laakerivirrat ovat enemmän haitaksi vierintäpintoihin kuin vierintäelimiin.

Keskustelimme yhdessä kunnonvalvojen kanssa, onko tehtaalla esiintynyt suorakäyttöisissä moottoripiireissä sähköisiä laakerivikoja. Tämä voisi viitata siihen, että tehtaalle verkosta tuleva sähkö ei olisi tarpeeksi laadukasta. Jos verkosta tulevassa jännitteessä on heittoja/häiriöitä, voi sekin olla yksi syy laakerivirtojen syntymiselle. Suorakäyttöisiä moottorilähtöjä on Kymin paperitehtaalla hyvin vähän, eikä niissä ole esiintynyt laakerivirtoja, joten tämä ei ole todellinen syy laakerivirroille tässä ympäristössä.

### 3.2.1 Laakerivirran purkautuminen

Vuotovirta pääsee liikkumaan vapaasti akselissa. Tämä on laakerin kannalta huonojuttu, koska vuotovirta kulkeutuu laakerinsisäkehästä laakerin vierintäeliimiin ja siitä laakerinulkokehälle. Kuvassa 8 on havainnollistettu vuotovirran kulku.



Kuva 8. Laakerivirran purkautuminen. (Lumia 2013)

Laakerin osien välille syntyy voitelukalvo, mikä kuvaa laakerinkapasitanssia. Jos akselin jännite kasvaa riittävän suureksi, voi vuotovirta läpäistä voitelukalvon ja sitä kautta laakeriin muodostuu kipinäintiä. Kipinäinti vahingoittaa laakerin kaikkia osia, ja eniten se vaikuttaa laakerin vierintä ominaisuuksiin. Läpilyöntiin vaikuttaa moni tekijä, mutta pienissäkin jännitteissä voi tapahtua läpilyönti, kun voitelukalvon läpilyöntikestävyys on 1 - 30 V/µm. (Lumia 2013.)

### 3.2.2 Laakerivirtojen vaikutus vierintäpintoihin

Laakerinvierintäpinnalle syntyneet vauriot ovat sähköistä syöpymistä eli kipinäintiä, mikä aiheuttaa vierintä pinnalle kraaterimaisia kuoppia. Kuopat ovat yleensä kooltaan 0.5 µm–0.5 mm. Kuoppien syntymisestä aiheutuu, että laakerin pinnasta irtoaa metallihiukkasia. Irrotessaan metallihiukkaset siirtyvät voiteluaineeseen, joka heikentää voiteluaineen ominaisuuksia. Huonossa tapauksessa voiteluaine edistää virran siirtymistä eteenpäin laakerin lävitse, josta aiheutuu herkemmin läpilyöntejä. Metallihiukkaset myös tekevät voiteluaineesta ”karkeamman”, jolloin voiteluaine ei voitele suunnitellulla tavalla. Se aiheuttaa mekaanista kulumista laakerinvierintäpintaan. Kun kraatereita on muodostunut liikaa, ne vaikuttavat merkittävästi vierintäelimien liikkumiseen.



Tästä aiheutuu värinää laakerille, mikä muodostaa vierintäpinnalle pyykkilautamaisen kuvion, kuten kuvassa 9 näkyy.



Kuva 9. Keskitelan laakerin vierintäpinnan kuluma (UPM kunnonvalvonta 2022)



Kuva 10. Keskitelan laakerin keskiön kuluma (UPM kunnonvalvonta 2022)

Laakeripesässä voi myös ilmetä harmaantumista, joka johtuu voiteluaineen eristyskyvyn heikkenemisestä. Kuvassa 10 näkyy, miten laakerin vierintäpinnat ovat päässeet harmaantumaan. Myös vierintäelimien pinta harmaantuu, kun laakerin läpi kulkee laakerivirtoja. Kun voiteluaineesta tulee johtava laakerivirta syövyttää laakerin vierintäpintoja karkeaksi. Se voi johtua moottorin huonosta maadoituksesta. (Kanninen 2011; Lumia 2013.)

### **3.2.3 Laakerin voiteluaineen vaikutus**

Voiteluaineet vaikuttavat suuresti laakerivirtoihin. Läpilyöntiä ei tapahdu, jos laakerin kuulat ovat voiteluaineen peitossa ja voiteluaineen ominaisuudet ovat oikeat. Läpilyönti voi tästä huolimatta tapahtua, jos laakerivirran jännite on riittävän suuri läpäisemään öljykalvon kestotason. Moottorin nopeus myös vaikuttaa, koska alhaisilla moottorin kierroksilla öljykalvo ei pääse kohoamaan laakerin kuulille. Läpilyönti myös aiheuttaa korkeita lämpötila muutoksia. Voiteluaineen pohja öljy voi palaa/hiiltä suurissa lämpötiloissa. Tämä kuluttaa voiteluaineen lisäaineita. Lisäaineet edistävät eristyskerroksen syntymistä laakerin kuulille. Eristyskerrosta ei synny, jos lisäaineet ovat loppuneet voiteluaineesta.

Voiteluaineita on ominaisuuksiltaan erilaisia esim. johtava voiteluaine tai eristävä voiteluaine. Voiteluaineen päätehtävä on kuitenkin voidella laakeria ja estää sen mekaaninen kuluminen. Voitelun ja eristävyys välille on kuitenkin löydettävä tasapaino. Laakerivirtoja varten olisi parasvaihtoehto olla mahdollisimman eristävä voiteluaine. Voiteluaineen paksuus parantaa eristävyttä. Pienillä kierros nopeuksilla voiteluaineen paksuus jää pieneksi, koska laakerin vierintäpinta ja laakerin kuulat ovat lähekkäin toisiaan. Myös korkeissa lämpötiloissa voiteluaine notkistuu ja eristyskerros on ohuempaa. (Kanninen 2011.)

## **4 MITTAUS**

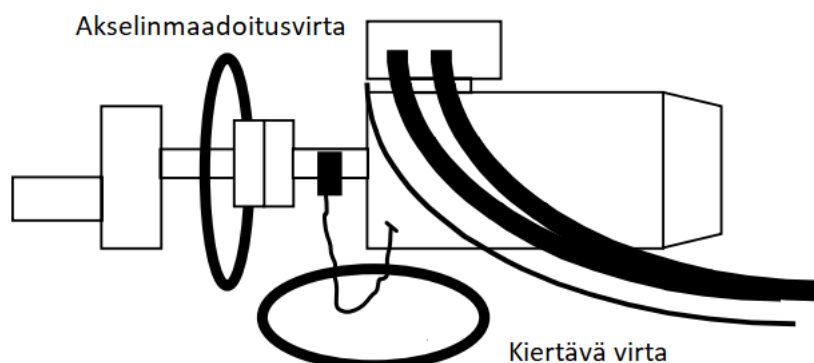
Kohteena on tutkia UPM Kymin paperitehtaan keskitelan moottorissa esiintyviä laakerivirtoja. Tehtaan oma kunnossapito oli epäillyt moottorissa esiintyvän laakerivirtoja. Moottori päätettiin vaihtaa uuteen ja tutkia vanha moottori. Huomattiin, että laakerin läpi on kulkenut hajavirtoja ja laakeri oli vaurioitunut. Pai-

kalle pyydettiin ulkopuolinen apu mittaamaan moottorit ja raportoimaan tarvittavista korjaustoimenpiteistä. Mittauksia on toteutettu tässä ympäristössä pari kertaa.

Mittauskohteena on paperikoneen suurilinjakäyttö, keskitelan käytöt A sekä B. Molemmissa käytöissä on samanlaiset moottorit eli HXR500LR4. Moottorin teho on 1250 kW, jännite 660 v ja nimellinopeus 1496 rpm. Moottoreissa D-päässä laakereina on 6326/C3 syväurakuulalaakeri ja N-päässä on laakereina 6324/C3 syväurakuulalaakeri.

Laakerivirtojen synty on kiinni monesta eri muuttujasta, kuten moottorin impedanssin suuruudesta ja öljykalvon läpilyöntikestoisuudesta. Niiden mittaaminen on haastavaa, koska laakerit ovat moottorin sisällä eikä niihin päästä kärsiksi suoraan moottorin ulkopuolelta, joten mittaukset tehdään kenttämittauksena moottorin käydessä. Moottorin täytyy pyöriä vähintään 10 % pyörimisnopeudella, jolloin on edes mahdollista syntyä purkausvirtoja. Ilman moottorin pyörimistä laakerin osat ovat niin lähekkäin toisiaan, jolloin kontaktipinta on suuri. Tämä estää, ettei kuluttavaa kipinöintiä pääse tapahtumaan. Jos moottori ei pyöri, myöskään laakerit eivät nouse öljykalvolle. (ABB 2000; PSK Standardisointi 2004.)

Laakerivirtoja täytyy mitata epäsuorasti, joten siihen on olemassa laitteistoa mikä mittaa laakerivirtoja pyörivän moottorin akselilta. Mittalaitteiston tulee tulkita vähintään 10 kHz–2 MHz esiintyviä taajuuksia. Laitteiston tulee myös havaita vähintään 150–200 A:n suuruiset huippuarvot ja tehollisarvot, jotka ovat mA:n luokkaa. Tuloksien tulkinta on hankalaa, ja se vaatii osaavaa ammattitaitoa. (ABB 2000.)



Kuva 11. Kiertovirran ja akselinmaadoitusvirran mittaus (PSK Standardisointiyhdistys Ry 2004, muokattu)

Mittaukset käytetään Rogowsky-tyyppistä kelaa. Kiertävässä virrassa käyttö-  
pään laakeri oikosuljetaan ja mitataan oikosulkulenässä kulkeva virta. Oiko-  
sulkulenkki kytketään moottorin runkoon, kuten kuvan 11 alaosassa näkyy.  
Lenkin toinen pää tulee osua moottorin akseliin. Tätä varten on olemassa eri-  
koisvarsia, joilla voidaan painaa lenkin pää turvallisesti pyörivään akseliin. Ak-  
selin maadoitusvirrassa mitataan Rogowskyn kelalla akselin ympärille muo-  
dostuvaa magneettikenttää, joka näkyy kuvan 11 yläosassa. Siinä virta on  
pulsseista, joten magneettikenttäkin on vaihtelevaa. Tästä voidaan tutkia  
akselille muodostuvaa indusoitunutta jännitettä. Oskilloskoopilla tulkitaan ke-  
lan antamaa virtatietoa. (PSK Standardisointiyhdistys Ry 2004.)

Laakerivirtojen toteamiseen tehtävät mittaukset jakaantuvat asennustavan ja  
moottorin nimellisteho mukaan. Asennustavoissa on kaksi eri vaihtoehtoa: kel-  
luva akseli tai johtava akseli. Kelluva akseli tarkoittaa sitä, että moottori ja käy-  
tettävä laite ovat eristetty toisistaan. Tällainen on esimerkiksi hihnäkäyttö. Joh-  
tava akseli on taas päinvastainen, eli moottori ja käytettävä laite ovat kytkök-  
sissä toisiinsa. Taulukosta 1 ja 2 voidaan katsoa laakerivirtojen toteamiseksi  
tarkoitettut mittaukset. (PSK Standardisointiyhdistys Ry 2004.)

Taulukko 1. Kelluvalle akselille tarkoitettut mittaukset (PSK Standardisointiyhdistys Ry 2004)

Moottorin nimellisteho kW	≤ 30	30... 100	> 100
Kapasitiivinen jännite	X		
Indusoitunut jännite			(X)
Akselin maadoitusvirta			
Kiertovirta			X

(X) = ei voi käyttää yksin tilannearviossa

Taulukko 2. Johtavalle akselille tarkoitettut mittaukset (PSK Standardisointiyhdistys Ry 2004)

Moottorin nimellisteho kW	≤ 30	30...100	> 100
Kapasitiivinen jännite			
Indusoitunut jännite			(X)
Akselin maadoitusvirta	X	X	X
Kiertovirta			X

(X) = ei voi käyttää yksin tilannearviossa

Tässä työssä tutkittavat moottorit ovat kaikki johtavalla akselilla toteutettuja. Molemmassa keskitelan moottoreissa on havaittavissa akselivirtoja. Seuraavissa taulukoissa 3 ja 4 näkyy laakerivirtojen huippu ja tehollisarvot. Näistä taulukoista saadaan selville, kuinka suuri virta on haitallista moottorin laakereille.

Taulukko 3. Laakerivirran huippuarvo (PSK Standardisointiyhdistys Ry 2004)

Laakerivirran huippuarvo $I_p$	Haitallisuusluokitus
< 1 A	Ei vaikuta merkittävästi laakerin käyttöikäen.
1 A ... 2 A	Voi vaikuttaa laakerin käyttöikäen.
> 2A	Vaikuttaa merkittävästi laakerin käyttöikäen.

Taulukko 4. Laakerivirran tehollisarvo (PSK Standardisointiyhdistys Ry 2004)

Laakerivirran tehollisarvo $I_{rms}$	Haitallisuusluokitus
< 20mA	Ei vaikuta merkittävästi laakerin käyttöikäen.
20mA ... 50mA	Voi vaikuttaa laakerin käyttöikäen.
> 50mA	Vaikuttaa merkittävästi laakerin käyttöikäen.

#### 4.1 Mittaustuloksia

Ensimmäisellä kerralla ei pystytty mittamaan keskitelan käytöstä A kiertovirta mittauksia, koska moottorin akselia ei pystytty maadoittamaan maadoitusvarrella. Moottorin akselin ympärillä olevat suojat olivat liian lähellä moottoria, mikä esti akselin mittauksen. Moottorin käydessä ei ollut mahdollista irrottaa suoja turvallisesti, joten mittaukset jätettiin siltä osin tekemättä. Nyt viime mittauskerralla olimme varautuneet tähän, ja suoja oli jo aikaisemmassa seisakissa siirretty sopivalle etäisyydelle, jotta päästäisiin mittamaan kiertovirtoja. Moottorikäytössä B ei ollut tätä ongelmaa.

Käydään ensiksi läpi keskitelan moottorikäyttö A. Ensimmäisellä kerralla ei pystytty mittamaan kiertovirtaa. Taulukosta 5 voidaan katsoa, mitä mitta-arvoja saatiin. Moottorissa on käytössä vakiolaakerit.

Taulukko 5. Keskitelan käyttö A laakerivirtamittaustulokset (ABB 2023)

HF Virta	Keskitelan käyttö A			
	RMS		Peak	
	2020	2023	2020	2023
Summavirta syöttökaapelit	142mA	234mA	1365mA	1757mA
Akselilla kulkeva virta	53mA	56mA	2745mA	2500mA
kiertovirta	-	64mA	-	1161mA

Tuloksista voidaan päätellä, että kaapeleiden summavirta on noussut viime mittausta kerrasta. Moottorin päässä läpivienti on toteutettu roxtec-läpiviennillä. Huomasin, että kaapeleiden läpivienti on hiukan löystynyt ja kaapelit ovat päässeet valahtamaan, mikä heikentää läpiviennin tiiveyttä. Tämä voi olla osasy, miksi kaapeleiden summavirta on pääsyt nousemaan. Syöttöpäässä kaapeleiden läpivienti oli asiallisessa kunnossa. Akselilla kulkeva virta ei ole muuttunut viime mittauksista, mutta se on edelleen haitallisen korkea sekä huippuarvossa että tehollisarvossa. Kiertovirtaa ei pystytä vertamaan, mutta se on viime mittauksen perusteella haitallisen korkea tehollisarvossa. Moottorit ovat kuitenkin tyypiltään samanlaisia, ja tulokset molemmilla käytöillä lähellä toisiaan, joten voidaan päätellä keskitelan käytöstä A kiertovirran olevan ensimmäisellä mittaus kerralla lähes samaa luokkaa kuin keskitelan käytössä B. Huippuarvo on siedettävissä arvoissa kiertovirran suhteen. Akselivirta on yli 2 A ja sen värähtelytaajuus on 1.25–3 MHz luokkaa. Tämä kertoo, että vuotovirta kulkeutuu todennäköisesti N-pään laakerin lävitse. Vuotovirta kulkeutuu akselia pitkien eteenpäin ja aiheuttaa myös mahdollisesti ongelmia akselin toisessa päässä olevalle vaihteelle. Tähän korjauksena on asentaa N-päähän sisärenkaalla eristetty laakeri. On syytä myös tarkistaa taajuusmuuttajan parametrejä, onko parametri Long Distance Mode päällä. Jos parametri ei ole käytössä, on syytä laittaa parametri käyttöön ja sen jälkeen tehtävä uudet mitaukset.

Keskitelan moottorikäyttö B tulokset ovat hyvin samanlaisia kuin moottorikäytössä A, mutta mittauksissa havaittu hiukan suurempia virtoja. Moottorissa on vakiolaakerit. Tässäkin moottorissa on roxtec-läpivienti. Samaa kaapeleiden valuma ongelmaa on tässäkin moottorissa. Kaapeleiden syöttövirta on nous-

sut huomattavasti viime mittauksesta. On suositeltavaa kuitenkin uusia mo-  
lempien moottoreiden läpivienti. Taulukossa 6 on tarkemmin moottorista mita-  
tut laakerivirrat.

Taulukko 6. Keskitela käyttö B laakerivirtamittaus tulokset (ABB 2023)

HF Virta	Keskitelan käyttö B			
	RMS		Peak	
	2020	2023	2020	2023
Summavirta syöttökaapelit	134mA	165mA	1788mA	3514mA
Akselilla kulkeva virta	51mA	61mA	2886mA	2918mA
kiertovirta	43mA	52mA	900mA	1318mA

Tässä moottorissa akselivirta lähenee n. 3 A, ja se on aikaisemmasta mittauk-  
sesta nousemaan päin. Vuotovirta on erittäin suuri, ja sille on suositeltavaa  
tehdä korjaustoimenpiteitä mahdollisimman nopeasti. On suositeltavaa vaih-  
taa N-päähän sisärenkaalta eristetty laakeri. Myös tässä moottorilähdössä on  
syytä tarkistaa, että parametri Long Distance Mode on päällä, ja päälle laiton  
jälkeen uudelleen mitata laakerivirtoja. Tähän moottorilähtöön on vaihdettu uu-  
det ferriittirenkaat, mutta viimeisten mittausten perusteella tästä ei ole ollut  
hyötyä. Syytä on kuitenkin pitää ferriittirenkaat kunnossa. Lisäksi kurkkasin  
moottorin sisälle. Ensimmäinen havainto oli, että kopan sisällä lemusi sähkön  
käryä. Tarkkaa syytä en tiedä, mistä tämä haju olisi tullut, mutta veikkaan, että  
se liittyy laakerivirtoihin. Tarkastushetkellä moottori oli seissyt n. kaksi viikkoa.  
Muuten moottori oli kopan sisältä siistissä kunnossa, kuten kuvassa 12 näkyy.





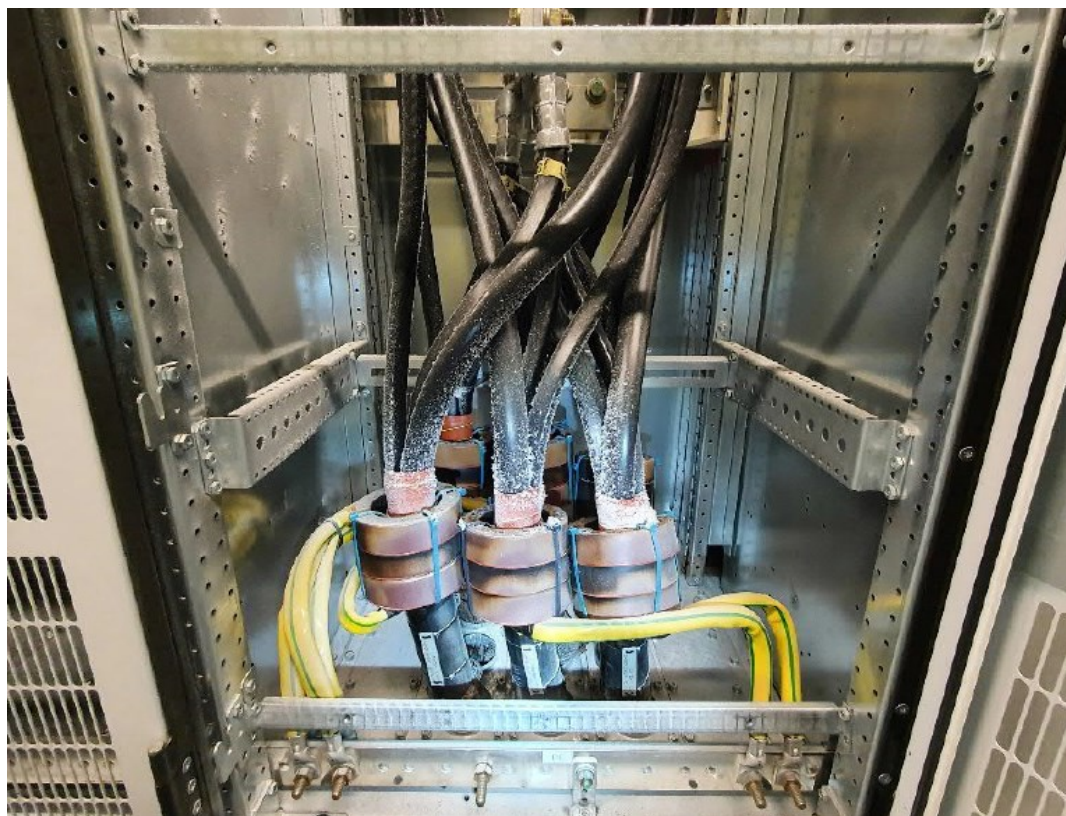
Kuva 12. Keskitelan moottorikäyttö B kytkentäkopan sisältä (2023)

## 5 LAAKERIVIRTOJEN EHKÄISEMINEN

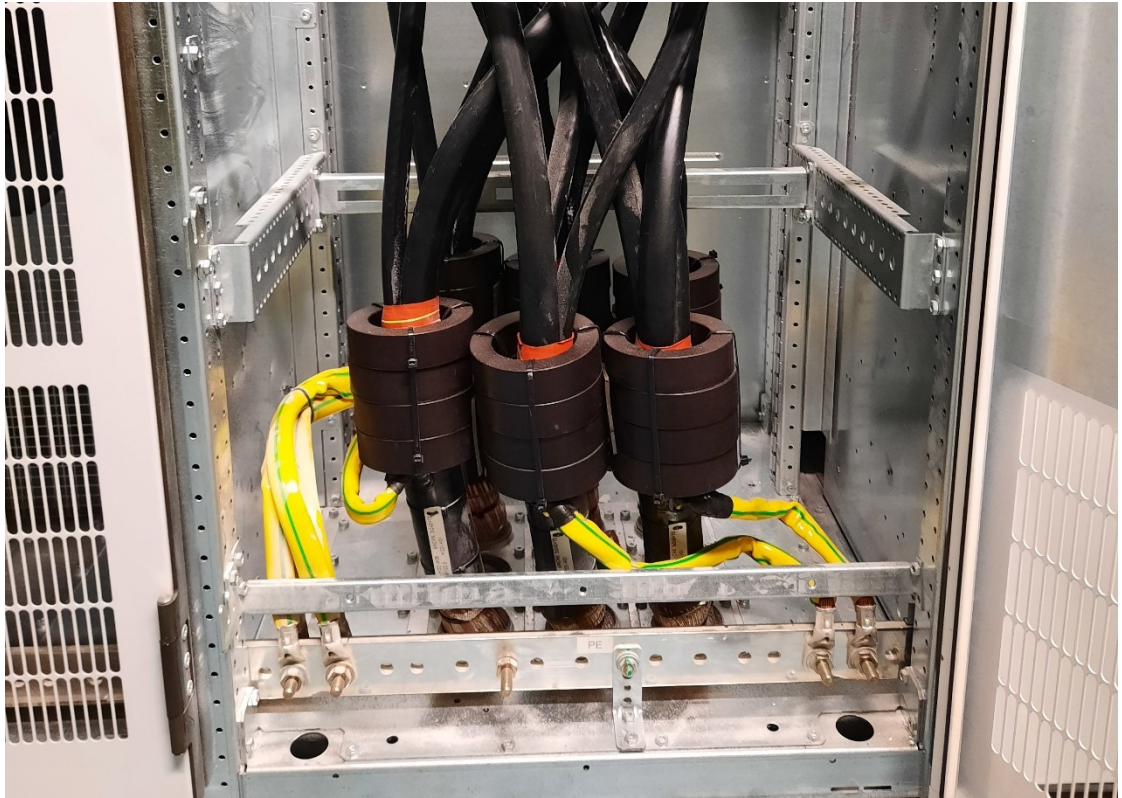
Laakerivirtojen ehkäisyssä ei ole yhtä tai samaa korjaavaa toimenpidettä, vaan jokaista tapausta pitää tutkia paikkakohtaisesti. Laakerivirtoihin vaikuttavat moottorin koko, moottorin ominaisuudet, syöttö, kaapelien laatu ja maadoitus. Korjaavia menetelmiä on muutamia vaihtoehtoja. Jossakin tapauksissa useampi menetelmä voi toimia korjaavana tai parantavana moottorinlaakerivirtoihin, mutta pahimmassa tapauksissa väärät menetelmät voivat jopa pahentaa tilannetta. Siksi pitää tutkia huolellisesti, minkä tyyppistä laakerivirtaa moottorissa esiintyy. Akselin jännitteen mittaaminen taajuusmuuttajakäytöllä toimivalla moottorilla antaa tärkeää tietoa moottorin tilasta. Mittaukset tulee suorittaa moottorin ollessa käynnissä, koska muuten laakerivirtoja ei voida havaita. Tuloksia tulkitaan oskilloskoopin avulla. Tietyn tyyppiset laakeriratkaisut voivat estää laakerivirtojen etenemisen kokonaan, mutta myös kaapeleilla ja voiteluaineella on vaikutusta laakerivirtojen syntyyn. Voiteluainetta olisi hyvä tarkistaa tietyn väliajoin. (ABB 2000.)



Ensimmäinen mahdollinen korjaava vaihtoehto voi olla kuristin eli ferriittirengas, joka sijoitetaan syöttöpään kaapeleihin. Sen tehtävä on suodattaa korkeataajuisen syötön kohinaa. Tavoitteena on, ettei laakerivirtapulsseja pääsisi syntymään tai ne olisivat hyvin pieniä, että siitä ei ole haittaa laakerille. Tämä on hyvä vaihtoehto, koska se voi vähentää laakerivirtoja, ja ne voidaan lisätä jälkikäteen. Kuvassa 13 näkyy vanhat ferriittirenkaat, josta näkee, kuinka paljon ne ovat ottaneet lämpöä vuosien saatossa. Sen takia olisi suositeltavaa vaihtaa uudet ferriittirenkaat tasaisin väliajoin. Kuvassa 14 näkyy uudet ferriittirenkaat, jotka ovat uusittu ensimmäisten mittausten jälkeen. Ferriittirenkaat ei kuitenkaan aina pieneä laakerivirtoja, kuten todettiin keskitelan moottorilähdön B mittauksissa.



Kuva 13. Vanhat ferriittirenkaat keskitelan syötön B kaapeleissa (ABB 2020)



Kuva 14. Uusitut ferriittirenkaat keskitelan syötön B kaapeleissa (2023)

Seuraava mahdollinen korjaava vaihtoehto on eristetty laakeri, joko moottorin tuulettimen puoleisessa päässä tai moottorin molemmissa päissä. Eristetty laakeri on yleensä keraaminen, joten se ei johda sähköä. Silloin virta ei pääse kulkeutumaan akselille. Jos havaitaan akselivirtoja ja eristetään moottorin molemmat laakerit, silloin ongelmat voivat siirtyvät akselia myöten käytettävään laitteeseen ja vahingoittaa pyörítettävää laitetta. Silloin on syytä miettiä, kannattaako molemmat moottorin laakerit eristää, ja varmistaa, että maadoitukset ovat kunnossa. Tämä vaihtoehto ei estä laakerivirtojen syntymistä, mutta se estää niiden pääsemisen niille kuulumattomiin paikkoihin. Mittausten perusteella on suositeltavaa vaihtaa N-päähän eristetty laakeri molempiin moottoreihin.

Laakeri on myös mahdollista pinnoittaa tai eristää, mikä vaimentaa laakerivirtojen etenemistä. Pinnoitus tarkoittaa sitä, että laakerin ulko- tai sisäkehä päällystetään. Laakerin pintoja voidaan päällystää keraamisella pinnalla, joka on 0.05–0.5 mm paksu. Yleensä korkeataajuisien vuotovirtojen pinnoituksessa käytetään 0.5 mm ja matalataajuisissa ohuempaa pintaa. Laakerin eristyksessä laakerinpesä eristetään laminaatilla. Eristys ei ole välttämättä pitkäaikainen, koska eristys myös estää lämmönsiirtymistä. Se taas kuluttaa eristeen

pintaa. Pinnan tai eristeen kuluessa voi vuotovirta löytää uuden reitin, josta kulkea laakerin lävitse. Kumpikaan näistä vaihtoehtoista ei ole halpa tapa estää laakerivirtojen etenemistä. (Kanninen 2011.)

Myös eristävä kytkin voi olla yksi korjaava vaihtoehto. Se estää, ettei virta pääsisi kulkemaan kytkimen kautta moottorin laakereihin ja luoden sitä kautta piiriä käyttökohteen maihin. Tähän on ratkaisuna parantaa moottorin maadoitusta. Maadoitusta voidaan parantaa moottorin maadoitus hiiliharjalla tai lisäämällä maadoituspisteitä. Sen ideana on ohjata hajavirran kulkevan maadoitus harjan kautta eikä laakerin läpi. Silloin se suojaa moottoria ja koko kokonaisuutta. Tämä on hyvä vaihtoehto, koska ne voidaan asentaa jo ihan uutena tai jälkikäteen. (Ahola 2011.)

Taajuusmuuttajaan voidaan asentaa du/dt-suodin. Tämän tarkoitus on vähentää nopeita jännitemuutoksia, mitä taajuusmuuttaja saa aikaan. Se myös vähentää kapasitiivisia vuotovirtoja. Suotimen merkitys kasvaa siinä tilanteessa, kun moottorin kaapelit ovat pitkiä. Suodin asennetaan taajuusmuuttajan ja moottorin välille. Lisäksi suodin suojaa moottorin käämitystä, laakereita ja moottorin lämpötilaa. Tämä voi pidentää moottorin käyttöikää. Suotimen huonoja puolia on hinta, suuret häviöt ja että se rajoittaa moottorin kuormitettavuutta. Taajuusmuuttajan ja suotimen yhteiset jännitehäviöt voivat olla jopa 10 %:n luokkaa. (VFDs 2021.)

Kuitenkin merkittävin tapa ehkäistä laakerivirtojen syntyminen on kunnollinen maadoitus. Kaapeleiden suositellaan olevan symmetrisiä ja hyvin suojattuja, jotta virrat pysyvät sopivina. Seuraavalla sivulla taulukossa 7 on esitetty erilaisia korjaavia vaihtoehtoja laakerivirtatyypeille. Taulukosta ilmenee, minkälainen korjaustoimenpide olisi sopiva jokaiselle laakerivirtatyypille. Taulukosta myös näkee, mikä ei ole sopiva korjaustoimenpide tai onko korjaustoimenpiteestä mitään apua kyseiselle laakerivirtatyypille.

Taulukko 7. Määritelmiä laakerivirtojen ehkäisyyn (Ahola 2011, 22)

LAAKERIVIRRRAN TYYPIT			
Toimenpide	EDM-laakerivirrat	Kiertävät laakerivirrat	Akselin laakerivirrat
Akselin maadoitus hiiharjalla	Vaaditaan pieni impedanssi	Vaaditaan pieni impedanssi	Ongelma voi jopa pahentua
Eristetyt laakerit tai keraamiset kuulat/rullat	Vaatii, että molemmat laakerit ja kuorma eristetään	Toinen pää pitää eristää	Molemmat päät on eristettävä
Moottorin maadoitus ja/tai suojatut moottorikaapelit	Ei toimi	Voi jopa pahentaa ongelmaa	Toimii
Taajuusmuuttajan lähtösuotimet	Toimii, jos suodin poistaa yhteismuotoista jännitettä	Toimii	Toimii
Eristävä kytkin moottorin ja kuorman välillä	Toimii kuormakoneelle	Ei toimi, virta kiertää moottorin sisällä	Toimii
Faradayn häkki staattorin ja roottorin välille	Toimii	Ei toimi	Toimii
Taajuusmuuttajan kytkentätaajuuden laskeminen	Pienentää ongelmaa	Pienentää ongelmaa	Pienentää ongelmaa
CM-jännitettä optimoiva taajuusmuuttajan modulointi	Toimii, jos poistaa CM-jännitettä	Toimii, jos poistaa CM-jännitettä	Toimii, jos poistaa CM-jännitettä
Staattorin urien vuoraaminen	Ei toimi	Toimii	Vaatii kunnollisen maadoituksen
Taajuusmuuttajan jännitetasojen lisääminen	Pienentää ongelmaa	Pienentää ongelmaa	Pienentää ongelmaa

## 6 YHTEENVETO

Aiheena laakerivirrat sähkömoottoreissa on todella laaja aihe, ja siihen perehtyminen vie oman aikansa. Opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää laakerivirtoihin liittyviä ongelmia ja miten niitä voitaisiin ehkäistä. Lisäksi tarkoituksena oli kertoa mahdollisia korjaustoimenpiteitä, miten laakerivirtoja voitaisiin pitää kurissa. Mittaustulokset liittyivät tehtaalla esiintyvään laakerivirtaongelmaan keskitelan moottoreissa. Tulokset antoivat hyvää tietoa moottoreiden tilasta, ja korjaustoimenpiteitä on syytä miettiä nopeasti. Omasta mielestä sain koottua kaiken tarpeellisen tiedon tähän työhön.

Tuloksista voidaan päätellä, että on syytä mitailla moottoreiden laakerivirtoja parin vuoden välein. Silloin pysytään kartalla moottoreiden tilasta. Moottoreiden laakerivirrat ovat nousseet viime kerrasta, ja ensimmäiset korjaustoimenpiteet eivät olleet tehonneet. Molempien moottoreiden akselilla kulkevan virran huippuarvot ja tehollisarvot ovat yli suositusten, joten on syytä tehdä uudet korjaustoimenpiteet ja mittaukset, jolloin nähdään, auttavatko nämä pitämään laakerivirtoja kurissa. Eristetyn laakerin vaihto N-päähän on suositeltavaa molemmilla moottoreilla. Myös moottoreiden läpivientiä on syytä korjata.

Vaikka työssä tutkittiin keskitelan moottoreita, voidaan teoriaa ja työn tuloksia hyödyntää muissakin vastaavissa kohteissa. Laakerivirrat ovat kasvava ongelma nykyajan taajuusmuuttajakäytöissä, koska niissä esiintyy korkeataajuisia yhteismuotojännitteitä. On vain selvitettävä, minkä tyyppistä laakerivirtaa moottorissa esiintyy.



## LÄHTEET

ABB. 2000. Tekninen opas nro 5 Laakerivirrat uusissa vaihtovirtakäytöissä. PDF-dokumentti. 15.11.2000. Saatavissa: <https://library.e.abb.com/public/4afd9ccbf5eb991fc1256d280083a4d2/Tekninenopasnro5.pdf> [viitattu 17.10.2022].

Ahola, J. 2011. Taajuusmuuttajaohjattujen sähkömoottorikäyttöjen laakerivirrat ja niiden mittaaminen. WWW-dokumentti. 28.9.2011. Saatavissa: <https://docplayer.fi/9534819-Taajuusmuuttajaohjattujen-sahkomoottorikayttojen-laakerivirrat-ja-niiden-mittaaminen-jero-ahola-28-9-2011.html> [viitattu 10.1.2023]

Aura, L. & Tonteri, A J. 1996. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Porvoo: WSOY.

Bearing news. 2019. How to deal with persistent bearing currents. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.bearing-news.com/how-to-deal-with-persistent-bearing-currents/> [viitattu 9.2.2023].

Elprocus. 2023. What is a Permanent Magnet Synchronous Motor Its Working. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.elprocus.com/what-is-a-permanent-magnet-synchronous-motor-its-working/> [viitattu 7.2.2023]

Elprocus. 2022. What is a Squirrel Cage Induction Motor and Its Working. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.elprocus.com/what-is-a-squirrel-cage-induction-motor-and-its-working/> [viitattu 8.11.2022].

Elprocus. 2022. What is Slip Ring Induction Motor and Its Working. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.elprocus.com/what-is-slip-ring-induction-motor-and-its-working/> [viitattu 8.11.2022].

Elprocus. 2023. Synchronous Motor: Types and Applications. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.elprocus.com/synchronous-motor-working-principle-types/> [viitattu 25.1.2023]

Kanninen, J. 2011. Laakerivirrat kestopagneettitahtikoneessa. Lappeenranta teknillinen yliopisto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/72664/Kanninen\\_Jarno%20Dipl.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/72664/Kanninen_Jarno%20Dipl.pdf?sequence=3&isAllowed=y) [viitattu 15.3.2023].

Lumia, J. 2013. Vuotovirran diagnosointi hammasvaihteessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/196554586.pdf> [viitattu 10.1.2023].

Motiva. 2022. Sähkömoottorityyppit. WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava\\_liikenne\\_ ja\\_liikkuminen/va-litse\\_auto\\_viisaasti/ajoneuvotekniikka/ /sahkoautot/sahkomoottorityyppit](https://www.motiva.fi/ratkaisut/kestava_liikenne_ ja_liikkuminen/va-litse_auto_viisaasti/ajoneuvotekniikka/ /sahkoautot/sahkomoottorityyppit) [viitattu 17.10.2022].

moottoritekniikka

PSK Standardisointiyhdistys Ry. 2004. PSK Standardisointi 7708. Kunnonvalvonnan sähköiset menetelmät. Pyörivät epätahtikoneet. Akselijännitteen ja virran mittaus. 2. painos. PDF-dokumentti. Saatavissa: [https://psk-standardisointi-fi.ezproxy.xamk.fi/Standard/Ryhma77/PSK\\_7708\\_2p.pdf](https://psk-standardisointi-fi.ezproxy.xamk.fi/Standard/Ryhma77/PSK_7708_2p.pdf) [viitattu 13.2.2023].

SKF. 2023. Vierintälaakeri. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.skf.com/fi/products/rolling-bearings> [viitattu 3.1.2023].

Tekwell. 2023. Different Types of Electric Motor Bearings and What They Are Used For. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.tekwellservices.com/different-types-of-electric-motor-bearings-and-what-they-are-used-for/> [viitattu 3.1.2023].

VFDs. 2021. Dv/dt – What is it and why should you care? WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://vfds.com/blog/dv-dt-what-is-it-and-why-should-you-care/> [viitattu 21.3.2023].

## Liite 1. UPM Kymi keskitelan moottorit -raportti 2020

**ABB Oy**  
Motors & Generators Service

**UPM Communication Papers Oy**  
Kymi, Kuusankoski

Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235

Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

- Keskitelanmoottorit HXR500LR4 1250kW, 660V, 1315A, 1496rpm, A ja B hajosivat peräjälkeen kytkinpään laakeroinnista.
- Moottoreista päätettiin tutkia mahdollinen laakerivirran aiheuttama vikaantuminen sekä selvittää miksi kiinteä kunnonvalvontajärjestelmä ei juuri vikaantumisesta varoittanut.



Käyttö 1. (A) moottorin sn# 4567698



Käyttö 2. (B) moottorin sn# 4567694



Keskitelan käyttö 2.



Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235







Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

- Laakerivirtamittaus tulokset:

HF Virta	Mittaukset Käyttö 1. (A)	
	RMS	Peak
Summavirta syöttökaapelit	142mA	1365mA
Akselilla kulkeva virta	53mA	2745mA
Takon reaktiotanko	39mA	1239mA
Kiertovirta (akselia ei päästy maadoittamaan → ei mitattu)	na	na

HF Virta	Mittaukset Käyttö 2. (B)	
	RMS	Peak
Summavirta syöttökaapelit	134mA	1788mA
Akselilla kulkeva virta	51mA	2886mA
Takon reaktiotanko	26mA	1048mA
Kiertovirta	43mA	900mA

#### PSK 7708 stardandin antamat raja-arvot Kiertovirralle.

Laakerivirran tehollisarvo $I_{rms}$	Haitallisuusluokitus	Laakerivirran huippuarvo $I_p$	Haitallisuusluokitus
< 20mA 	Ei vaikuta merkittävästi laakerin käyttöikään.	< 1 A 	Ei vaikuta merkittävästi laakerin käyttöikään.
20mA ... 50mA 	Voi vaikuttaa laakerin käyttöikään.	1 A ... 2 A 	Voi vaikuttaa laakerin käyttöikään.
> 50mA 	Vaikuttaa merkittävästi laakerin käyttöikään.	> 2A 	Vaikuttaa merkittävästi laakerin käyttöikään.

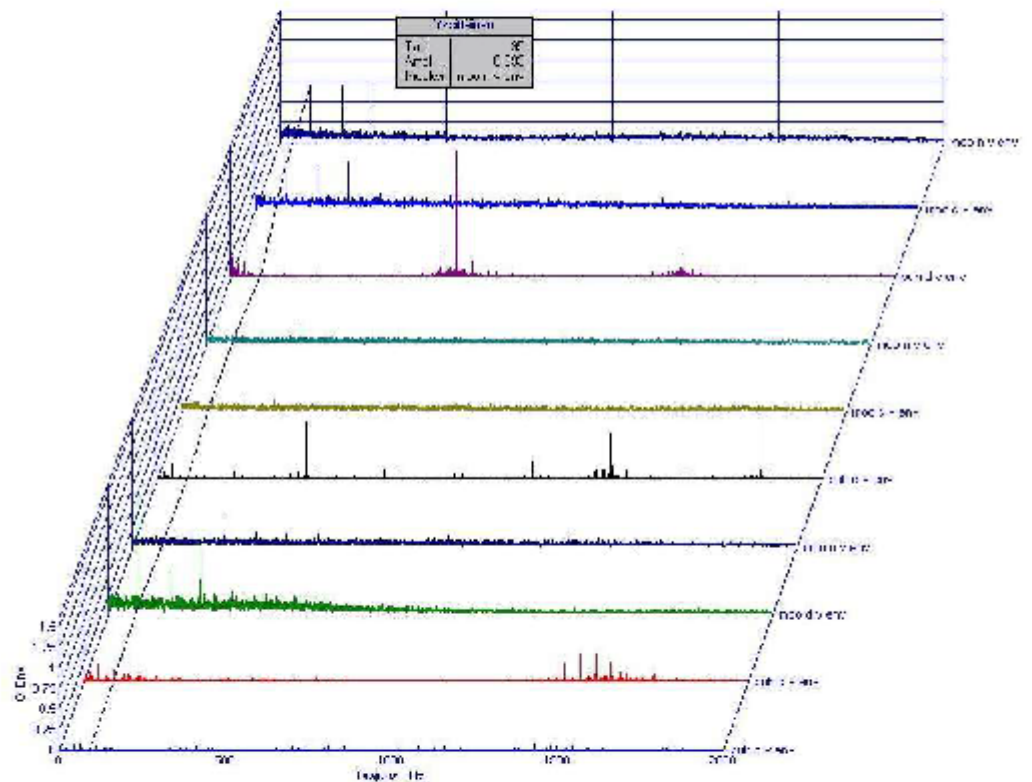
- Käytössä 1. moottorin akselia ei päästy maadoittamaan koska kytkimen suoja oli liian tiivis eikä sitä voitu turvallisesti irroittaa moottorin ollessa käytössä. Muut mittaus tulokset ovat kuitenkin hyvin lähellä käytön 2. arvoja joten voidaan olettaa myös kiertovirran olevan lähellä samoja tasoja.
- Käytön 2. mitatut kiertovirta-arvot ylittävät PSK7708 standardin asetamat raja-arvot tehollisarvoltaan. Mitattu arvo 43mA voi vaikuttaa laakerin käyttöikään.

Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235

Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

- 20.5 Tehtiin moottoreille tarkat värähtelymittaukset mistä voitaisiin tarkastaa onko moottoreissa joltain poikkeavuuksia normaaliin.
  - Kiihtyvyyden verhoikäyrämittaukset mitatuista kolmesta moottorista vaakasuuntaan mitattuna.
  - Ylimpänä (3 ensimmäistä spektriä) käyttö A jossa nähdään n.95Hz perustaajuuden komponentti joka eroaa käytöstä B



**ABB Oy**  
Motors & Generators Service

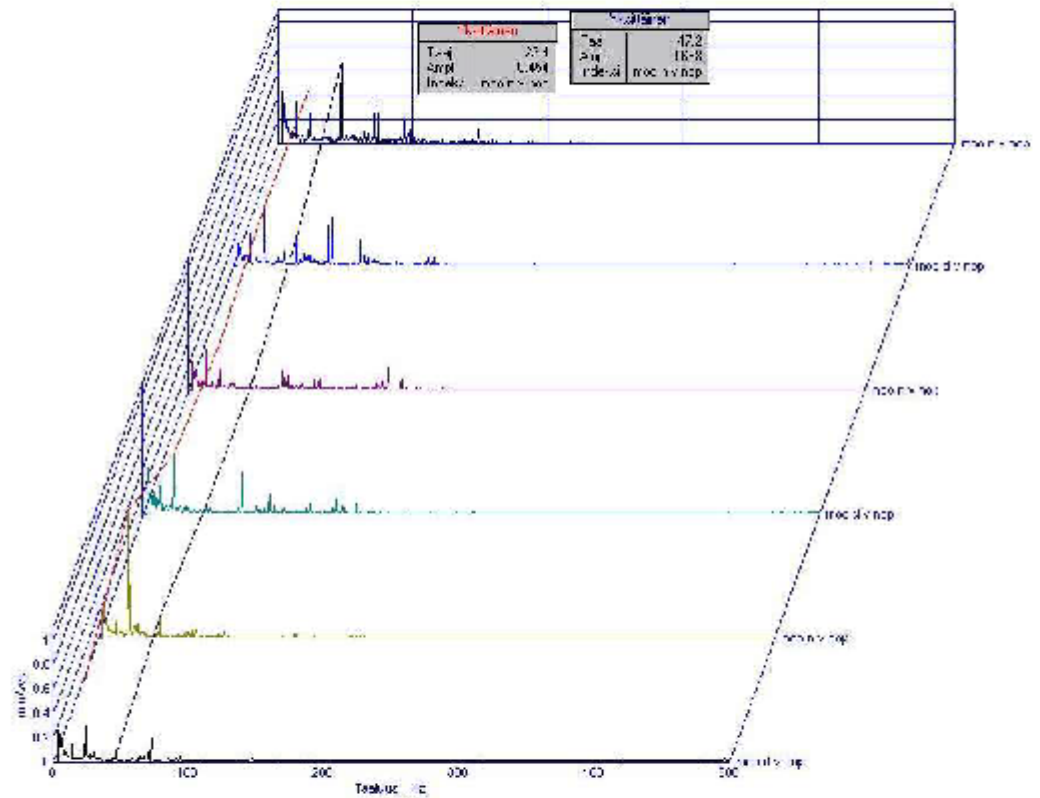
**UPM Communication Papers Oy**  
Kymi, Kuusankoski

Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235

Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

- Nopeus spektrit laitteista. Ylimpänä taas käyttö A. Moottorin NDE laakerissa näkyy pyörimisnopeuden komponentti x2 joka on merkki välyksestä. Moottorin NDE laakerin pesän sovitte on hyvin väljä ja valssauksen esto on toteutettu O-renkaalla joka on uusittu huollossa. Tämän näkyminen on normaalia ja näkyy monesti jos on hieman linjausvirhettä ja/tai kuormitus moottorilla on suuri.



**ABB Oy**  
Motors & Generators Service

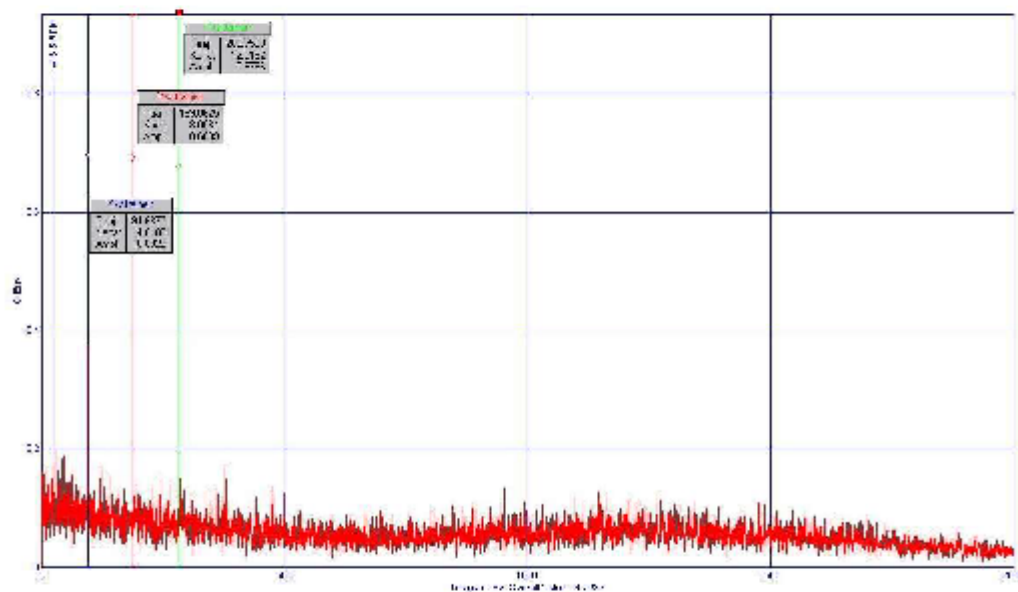
**UPM Communication Papers Oy**  
Kymi, Kuusankoski

Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235

Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

- o Moottorin pyörimisnopeus oli mittaushetkellä 23.608Hz ja syöttötaajuus 47.28Hz. 2xn on siis 47.216Hz ja 4x n on 94.432Hz ja 2x syöttötaajuus on 94.56Hz.
- o Kuvassa merkattu nopeus 23.608Hz. Siihen on verrattu kolmea herätettä jotka osuvat *hyvin lähelle* pyörimisnopeuden komponenttia.



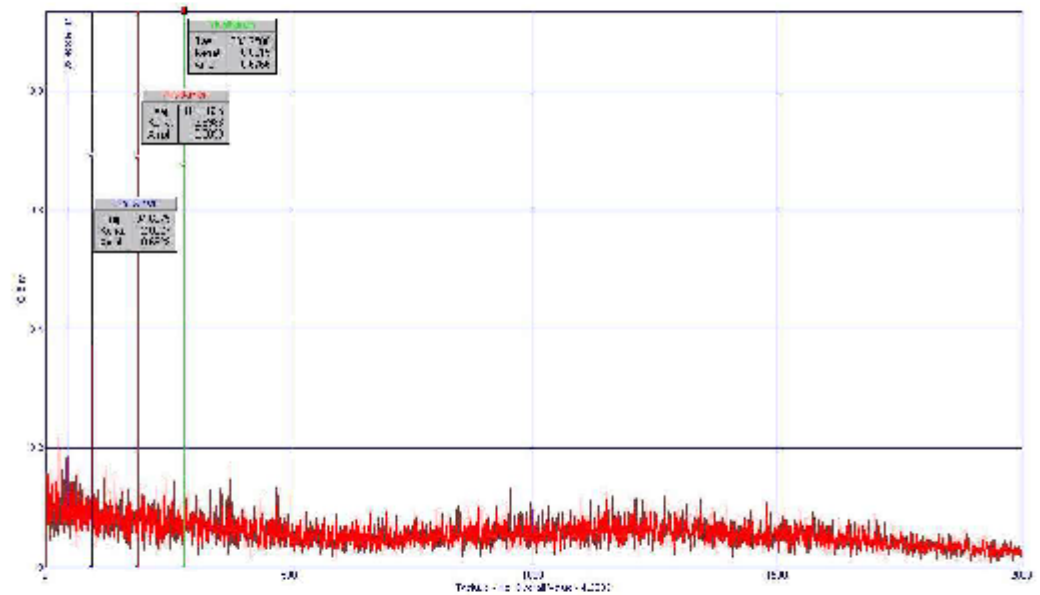
Kiihtyvyyden verkokäyräspektri moottorin A NDE laakeroinnista vaakasuuntaan mitattuna.

Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235

Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

- o Moottorin pyörimisnopeus oli mittaushetkellä 23.608Hz ja syöttötaajuus 47.28Hz. 2xn on siis 47.216Hz ja 4x n on 94.432Hz ja 2x syöttötaajuus on 94.56Hz.
- o Kuvassa merkattu syöttötaajuus 47.28Hz joka näkyy kuvassa 2836.8rpm nimellä. Siihen on verrattu kolmea herätettä jotka osuvat *täsmälleen* näihin herätteisiin. Voidaan siis todeta etteivät ks herätteet ole pyörimisnopeuteen liittyviä, vaan normaali ilmiö joka yleisesti näkyy taajuusmuuttaja käyttöisissä moottoreissa. 2x syöttötaajuus ja sen kerrannaiset.



Kiihtyvyyden verkokäyräspektri moottorin A NDE laakeroinnista vaakasuuntaan mitattuna.



**ABB Oy**  
Motors & Generators Service

**UPM Communication Papers Oy**  
Kymi, Kuusankoski

Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235

Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

- Seisakissa 27.5 päätettiin tutkia moottoreiden kaapeloinnit sekä tarkastaa käytöjen lähtöpäiden kaapeloinnit sekä maaotukset. Samalla tutkittiin myös takojen kaapeloinnin kunto ja mitattiin että takojen sähköneritys akseliin toimii.
  - Kaapelointi oli tehty asianmukaisesti molemmissa päissä.
  - Vaikutti että 360 maadoitus toimi myös roxtec läpiviennissä, joskin läpivienti on hieman kulunut.
  - Ferriitti renkaat käytön päässä olivat hieman kuumentuneen näköiset ja voi olla että ovat jo osittain kyllästyneet ja menettäneet tehoa.



Kuva käytön B lähtöpään kaapeleista jossa näkyvät värä muuttaneet ferriittirenkaat.

**ABB Oy**  
Motors & Generators Service

**UPM Communication Papers Oy**  
Kymi, Kuusankoski

Jarkko Monthan 11.6.2020

ABB Projektinumero 70186235

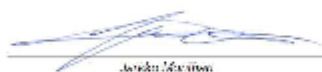
Laakerivirta-, ja värähtelymittaus keskitelan moot A ja B

Yhteenveto:

- Moottorissa B mitatetaan kiertovirran osalta PSK standardin ylittävä tehollisarvon mittaus.
- Moottorin A kiertovirtamittausta ei voitu suorittaa ahtaan kytkinsuojan takia.
- Moottoreissa ei havaita normaalia poikkeavia värähtelyitä.
- Alatelän käytön moottorille tehtiin myös värähtelymittaukset ja siinä havaitaan poikkeama käytettävän laitteen moottorin puoleisessa laakerissa joka vihdettiin seisakissa 27.5.
- Lähtöpään ferriittirenkaat alkavat olemaan käyttöikänsä päässä.
- ABB:n suorittama moottorin laakeroinnin laskennallien elinikä ennuste L10, on 50 000h normaaleissa olosuhteissa (hyvin painava roottori ja kuulalaakerointi). Saatujen historia tietojen mukaan huoltoväli on ollut hyvin lähellä sitä.

Suosituks:

- Moottoreiden lähtöpään ferriittirenkaat olisi hyvä uusia ja määrää voisi lisätä. Tällöin kiertovirta voi tippua hyväksyttävälle tasolle.
- Kunnonvalvonta mittausasetusten asettaminen oikein jotta voidaan seurata laakeroinnin kuntoa paremmin.
- Syöttötaajuuden ottaminen huomioon kunnonvalvonta mittauksissa.
- Uudet laakerivirtamittaukset kun ferriitti renkaat uusittu.



**ABB** Oy  
Motors and Generators  
Myllytie 10  
45910 Voikkaa  
[jarkko.monthan@fi.abb.com](mailto:jarkko.monthan@fi.abb.com)  
+35850 33 56 507

## Liite 2. UPM Kymi Keskitelan moottorit ja yläviiran VT 012023

**ABB Oy**  
Motion Services

**UPM Communication Papers Oy**  
Kymi, Kuusankoski

Jarkko Monthan 2.5.2023

**ABB Projektinnumero 70222368**

**Laakerivirtamittaus keskitelan moot A ja B, yläviiran VT**

- Keskitelänmoottorit, sekä Yläviiranvetotelan moottori HXR500LR4 1250kW, 660V, 1315A, 1496rpm ovat identtisiä keskenään.
- Edeltävässä laakerivirtamittauksessa 2020 havaittiin vanhojen ferriittirenkaiden olevan kyllästyneet keskitelän käyttöjen osalta, jotka voivat vaikuttaa akselivirtoihin.



Käyttö 1. (A) moottorin sn# 4567697



Käyttö 2. (B) moottorin sn# 4567698



Yläviiranvetotela. moottorin sn# 4567694



Jarkko Monthan 2.5.2023

ABB Projektinumero 70222368

Laakerivirtamittaus keskitelan moot A ja B, yläviiran VT







Laakerivirtamittaus tulokset:

HF Virta	Mittaukset Käyttö 1. (A)	
	RMS	Peak
Summavirta syöttökaapelit	234mA	1757mA
Akselilla kulkeva virta	56mA	2500mA
Kiertovirta	64mA	1161mA

HF Virta	Mittaukset Käyttö 2. (B)	
	RMS	Peak
Summavirta syöttökaapelit	165mA	3514mA
Akselilla kulkeva virta	61mA	2918mA
Kiertovirta	52mA	1318mA

HF Virta	Mittaukset Yläviiranvetotela	
	RMS	Peak
Summavirta syöttökaapelit	170mA	1647mA
Akselilla kulkeva virta	39mA	718mA
Kiertovirta	71mA	800mA

**PSK 7708 stardandin antamat raja-arvot Kiertovirralle.**

Laakerivirran tehollisarvo $I_{rms}$	Haitallisuusluokitus	Laakerivirran huippuarvo $I_p$	Haitallisuusluokitus
< 20mA 	Ei vaikuta merkittävästi laakerin käyttöikään.	< 1 A 	Ei vaikuta merkittävästi laakerin käyttöikään.
20mA ... 50mA 	Voi vaikuttaa laakerin käyttöikään.	1 A ... 2 A 	Voi vaikuttaa laakerin käyttöikään.
> 50mA 	Vaikuttaa merkittävästi laakerin käyttöikään.	> 2A 	Vaikuttaa merkittävästi laakerin käyttöikään.

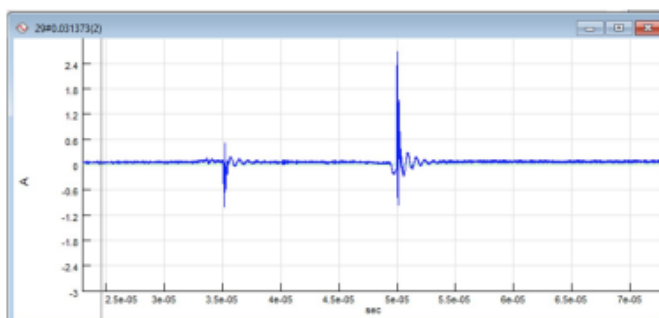
Jarkko Monthan 2.5.2023

ABB Projektinumero 70222368

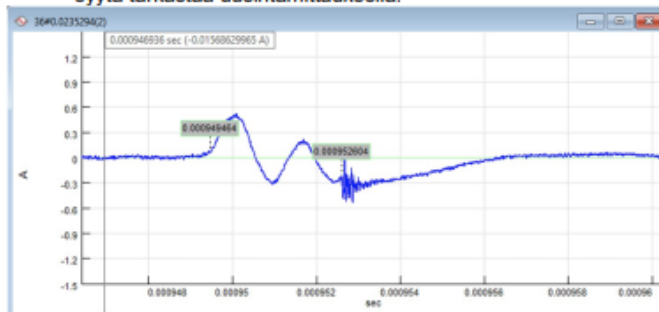
Laakerivirtamittaus keskitelan moot A ja B, yläviiran VT

Keskitelan käyttö 1. (A) moot. sn:4567697.

- Eristetty laakerikiipi, vakiolaakerointi.
- Akselilla menee vaihteelle päin 1-2.5 A<sub>peak</sub> transientteja, joiden värähtelytaajuus on 1.25-3.MHz. Kyseessä on todennäköisesti N-pään laakerieristyksen läpi kapasitiivisesti vuotava kiertovirta, joka huippuarvot max 2.5 A<sub>peak</sub>, tehollisarvo 56 mA<sub>rms</sub>.
- Aiheuttaa todennäköisesti ongelmia vaihteella.



- Mahdollinen kaksoiskääntö. Taajuusmuuttajan Long Distance Mode -parametrin asetus syytä tarkastaa. (16.3 Pass Code, Group 97 = 5600) Jos parametri on päällä, N-päähän suositeltavaa asentaa sisärenkaalta eristetty laakeri. Jos parametri ei ole päällä, sen päälle laitoin vaikutus on syytä tarkastaa uusintamittauksella.



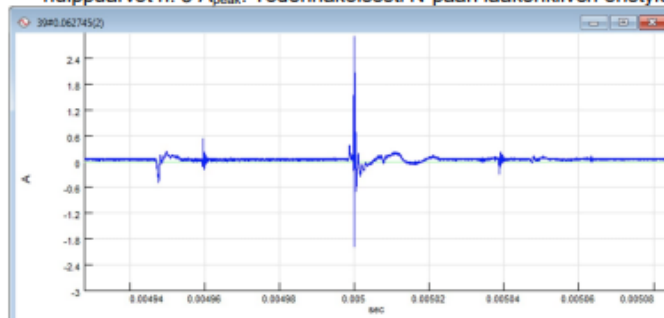
Jarkko Monthan 2.5.2023

ABB Projektinnumero 70222368

Laakerivirtamittaus keskitelan moot A ja B, yläviiran VT

Keskittela käyttö 2. (B) moot. sn:4567698.

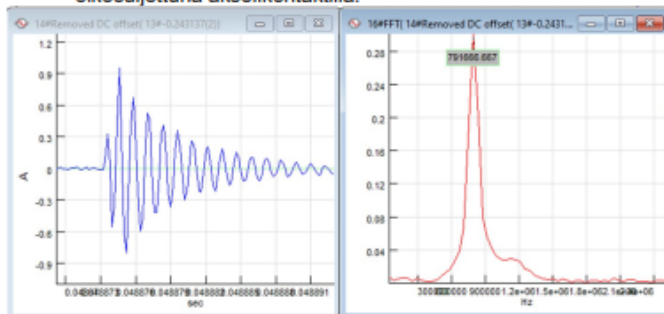
- Eristetty laakerikilpi, vakiolaakerointi, huollettu kesä 2022.
- Kuten keskitelan 1. käytössä, akselilla näkyy korkeahkoja vaihteelle päin meneviä virtapiikkejä, huippuarvot n. 3 A<sub>peak</sub>. Todennäköisesti N-pään laakerikilven eristyksen läpi vuotavaa kiertovirtaa.



- Taajuusmuuttajan Long Distance Mode -parametrin asetus syytä tarkastaa (16.3 Pass Code, Group 97 = 5600). Jos parametri on päällä, N-päähän suositeltavaa asentaa sisärenkaalta eristetty laakeri. Jos parametri ei ole päällä, sen päällelaiton vaikutus on syytä tarkastaa uusintamittauksella.

Yläviiran vetotela kiertovirta moot. sn:4567694.

- Eristetty laakerikilpi + eristetyt laakerit molemmissa päissä, huollettu kesä 2022.
- Virta vaikuttaa olevan kapasitiivisesti N-pään laakerieristyksien läpi mittaushetkellä kulkevaa virtaa, koska siinä ei näy läpilyöntejä vaan transientit vaimenevat hitaasti.
- Käynnin aikana virtaa ei todennäköisesti kulje, koska mittaushetkellä D-pään laakeri on oikosuljettuna akselikontaktilla.



**ABB Oy**  
Motion Services

**UPM Communication Papers Oy**  
Kymi, Kuusankoski

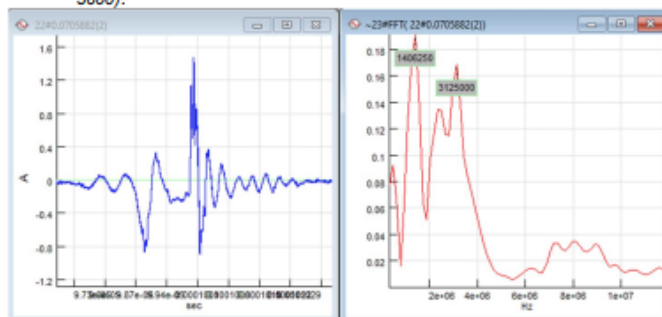
Jarkko Monthan 2.5.2023

ABB Projektinumero 70222368

Laakerivirtamittaus keskitelan moot A ja B, yläviiran VT

Yläviiran vetotela akselivirta moot. sn:4567694.

- Eristetty laakerikilpi, molemmat laakerit vaihdettu eristettyihin huollossa kesällä 2022.
- 1.4-3.12 MHz taajuudella värähteleviä transienteja. Virrassa näkyy mahdollisesti kaksoiskääntöjen aiheuttamia transienteja (kaksi kytkentää peräkkäin samaan suuntaan muutaman mikrosekunnin välein).
- Tehollisarvo ja huippuarvot yleisesti  $39 \text{ mA}_{\text{rms}}$  /  $718 \text{ mA}_{\text{peak}}$ , absoluuttiset huippuarvot satunnaisesti n.  $1.5 \text{ A}_{\text{peak}}$ . Long Distance mode -parametrin asetus syytä tarkastaa (16.3 Pass Code, Group 97 = 5600).



- Yläviiran vetotelalla ei pitäisi esiintyä laakerivirroista aiheutuvia ongelmia.

**ABB**

Jarkko Monthan  
Project Manager

**ABB Oy Motion Services**  
Myllytie 10  
Voikkaa  
Mobile: +358503356507  
Phone: +358102256507  
E-mail: jarkko.monthan@fi.abb.com  
abb.com