

Jani Seimelä

INDUKTIOUUNIN MODERNISOINTI

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2019

INDUKTIOUUNIN MODERNISOINTI

Seimelä, Jani
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2019
Sivumäärä: 32
Liitteitä: 1

Asiasanat: taajuusmuuttajat, induktio, modernisaatio

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella modernisaatio induktiokouru-uunille. Työn kohteena oli Oras Groupin Rauman yksikössä sijaitseva induktiokouru-uuni, jonka modernisaatio mahdollisuutta Oras Group oli tiedustellut Quantilta. Selvityksen jälkeen päädyttiin testaamaan, että voidaanko uunin lämmitystä ohjata taajuusmuuttajien avulla.

Opinnäytetyön teoriaosuus käsittelee induktiouunien, taajuusmuuttajien sekä sinisuotimien toimintaa. Induktiouuni-osiossa esitetään kahden yleisemmän induktiouunityypin rakennetta ja toimintaa. Taajuusmuuttajien ja sinisuotimien toimintaperiaatteet kuvataan omissa kappaleissaan.

Teoriaosion jälkeen esitetään modernisaation suunnittelusta ja testausvaiheesta kerättyä tietoa. Testauksessa käytettiin kolmea eri taajuusmuuttajaa, jotka kaikki oli Vaconin valmistamia. Aluksi testaus suoritettiin tyhjällä Inducan valmistamalla uunilla ja lopuksi tuotantoseisakissa olevalla täydellä uunilla. Testitulokset kirjattiin muistiin samoin kuin lopulliset taajuusmuuttajan parametritkin taajuusmuuttajasta. Saatujen tulosten perusteella päätettiin jatkaa suunnittelua niin, että lopullinen testilaitteisto voitaisiin koekäyttää ja antaa tarjous modernisaatiosta Oras Groupille.

MODERNIZATION OF INDUCTION FURNACE

Seimelä, Jani

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Electrical Engineering

December 2019

Number of pages: 32

Appendices: 1

Keywords: induction, frequency converter, modernization

The purpose of this thesis was to design modernization for channel induction furnace. The subject of the work was a channel induction furnace found in Oras Group Rauma site, which modernization options Oras Group had inquired from Quant. After the study, it was decided to test out if the heating of the furnace can be controlled by frequency converters.

The theoretical part of the thesis deals with the operating principles of induction furnace, frequency converters and sine wave filters. The Induction furnace section provides information about the structure and function of the two most common types of induction furnaces. The operating principles of the inverters and sine wave filters are described in their own chapters.

After the theory section, will be shown the information which were collected on the design and testing phase of the modernization. Three different frequency converters, all manufactured by Vacon, were used for testing. Initially, the test was carried out with an empty furnace manufactured by Induca and finally with a full furnace. The test results were recorded as well as the final drive parameters of the frequency converter. Based on the results obtained, it is possible to continue the design so that the final concept can be tested and give an offer to the Oras Group for the modernization.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TYÖN TOIMEKSIANTAJAT.....	6
2.1	Quant.....	6
2.2	Oras Group.....	6
3	INDUKTIOUUNI	7
3.1	Induktiouunit.....	7
3.2	Induktiupokasuunit	8
3.3	Induktiokouru-uuni	10
3.4	Induktiouuni Oras Groupin Rauman yksikössä.....	12
4	TAAJUUSMUUTTAJA	13
4.1	Taajuusmuuttajan toiminta ja komponentit	13
4.1.1	Tasasuuntaaja	13
4.1.2	DC-väylä	14
4.1.3	Vaihtosuuntaaja.....	14
4.1.4	Vaihtosuuntaajan output.....	15
5	SINISUODIN.....	16
6	YHTEYDENOTOT VALMISTAJIIN.....	17
7	KÄYTÄNNÖN TESTIT TAAJUUSMUUTTAJALLA.....	18
7.1	Ensimmäiset testit tyhjällä uunilla sekä pienillä taajuusmuuttajilla	18
7.2	Testiajot 15 kW taajuusmuuttajalla	19
7.3	Testit 55 kW taajuusmuuttajalla	21
7.3.1	Valmistelut	22
7.3.2	Testausvaihe	25
7.3.3	Testin lopputulos	26
7.3.4	Parametrit ja normaali taajuusmuuttajan kuorman eroavaisuus.....	26
8	VERTAILU MUIHIN OHJAUSMENETELMIIN.....	27
8.1	Hyödyt	27
8.1.1	Huoltokustannukset.....	27
8.1.2	Varaosien saanti	27
8.1.3	Helppo taajuusmuuttajan vaihto.....	27
8.2	Haasteet.....	28
9	YHTEENVETO	29
	KUVALUETTELO.....	31
	LÄHTEET.....	32
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena on selvittää mahdollisuutta modernisoida Oras Groupin Rauman yksikössä 1980-luvulla asennettu induktiouunin ohjausyksikkö. Asiakas toivoo, että uuni olisi nykyaikainen, portaattomasti ohjattavissa ja kustannustehokas käytössä. Lisäksi huoltamisen tulisi olla mahdollisimman yksinkertaista ja nopeaa, jotta uunin seisonta-ajat jäisivät lyhyiksi.

Nykyinen uuni toimii tyristoriohjauksella, lähinnä On/Off menetelmää käyttäen. Tämä rasittaa uunia todella paljon ja vaatii koko uunin vaihtoa tietyin aikavälein. Oraksella on kaksi uudempaa uunia, joissa on käytössä kuusiportainen säätö. Näitä uuneja ei ole tarvinnut uusia määräajoin. Modernisoitavan uunin ohjaustekniikka on niin vanhaa, että varaosien saanti on hankalaa. Nämä ovat kaksi tärkeintä syytä, miksi asiakas haluisi uunin modernisoitavaksi.

Pohdinnan ja tutkimuksen jälkeen päätettiin kokeilla, että voidaanko uunia ohjata tyristorien sijaan taajuusmuuttajilla.

Oras Groupin Rauman yksiköllä on huoltosopimus Quantin kanssa ja modernisoinnin osittainen suunnittelu ja testaustyö tehtiin muiden huoltotöiden rinnalla.

2 TYÖN TOIMEKSIANTAJAT

2.1 Quant

Opinnäytetyön toimeksiantaja on Quant Sataservice. Teollisuuden kunnossapidon markkinajohtaja on auttanut hyödyntämään kunnossapidon koko potentiaalia yli 25 vuoden ajan ympäri maailman. Tällä hetkellä Quant ylläpitää ja parantaa turvallisuutta sekä tuotannon tehokkuutta noin 2500 työntekijän voimin yli 300 toimipisteessä eri puolilla maailmaa. Pääkonttori sijaitsee tällä hetkellä Tukholmassa. Suomessa se työllistää ihmisiä kolmessa eri yrityksessä, jotka ovat Quant Finland Oy, Quant Sataservice Oy ja Quant Technologies Oy. Quant on hoitanut kunnossapitoa Oraksella yli kymmenen vuoden ajan. (Quant Servicen www-sivut, 2019)

2.2 Oras Group

Oraksen perusti vuonna 1945 Raumalla 8. toukokuuta Erkki Paasikivi. Yrityksen perustamisesta lähtien se on keskittynyt siihen, että tuotteet ovat käyttäjäystävällisiä, vettä ja energiaa säästäviä, turvallisia ja tyylikkään muotoilun omaavia. Ensimmäiset kosketusvapaat hanansa Oras Group esitteli markkinoille 1990-luvulla.

Nykyisin Oras Group on merkittävä eurooppalainen talotekniikan vesikalustetoimittaja: markkinajohtaja Pohjoismaissa ja johtava yritys Manner-Euroopassa. Tavoitteena sillä on tehdä veden käytöstä helppoa sekä ympäristöä säästävää ja olla kehittyneiden vesikalusteiden eurooppalainen markkinajohtaja tulevaisuudessa. Oras Groupin brändit ovat Oras ja Hansa.

Oras Groupin pääkonttori sijaitsee Suomessa Raumalla ja sen kolme tehdasta sijaitsevat Suomessa Raumalla, Kralovicessa Tšekissä sekä Olesnossa Puolassa. Oras Groupilla on noin 1400 työntekijää kahdessakymmenessä eri maassa. (Oras Groupin www-sivut, 2019)

3 INDUKTIOUUNI

Valu-uuneilla on tärkeä rooli hanatuotannossa, koska nykyisten messinkirunkoisten hanojen rungot valetaan oman tehtaan valimossa. Ennen hanojen toimittamista tilaajalle tuotteiden on käytävä lävitse monta työvaihetta, jotka kaikki pystytään toteuttamaan Rauman tehtaassa. Hyvälaatuinen valu on tärkeää, koska huono valu aiheuttaa ongelmia loppuprosessissa. Valu-uunien toiminta on keskeinen valun laatuun vaikuttava tekijä.

3.1 Induktiouunit

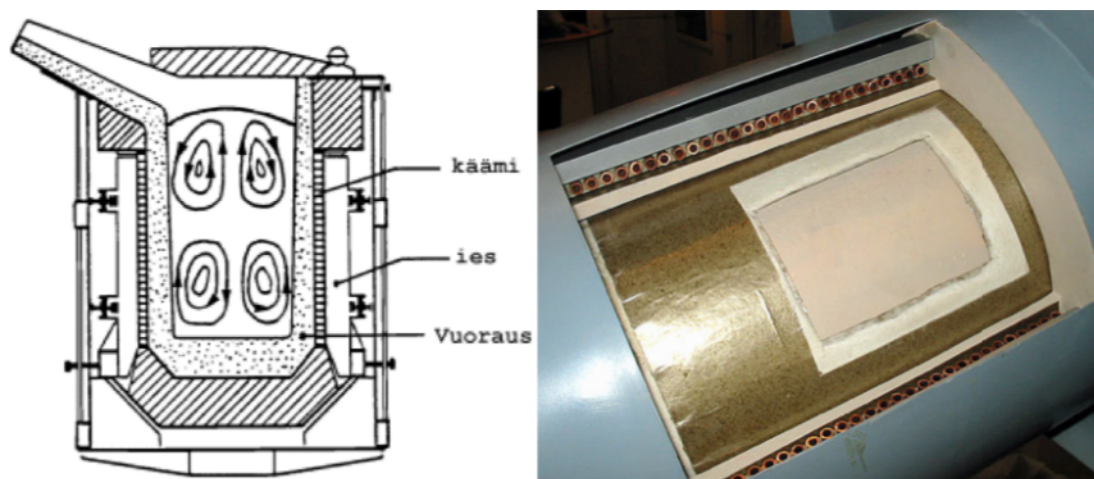
Aikaisemmin Suomen valimoissa käytettiin valokaari- ja kupoliuuneja romumetallin ja valuraudan sulatukseen ja sulan massan kuumanapitoon. Nyt valurautojen laatuvaatimukset ovat nousseet samalla kun induktiouunien tekniikka on kehittynyt niin, että ne ovat korvanneet vanhoja uuneja. Valurautojen sulatus ja kuumanapito ovat induktiouunilla taloudellisesti kannattavaa. Lisäksi kupoliuuneissa oli huomattavasti isommat pölypäästöt kuin induktiouuneissa, jotka eivät myöskään käytä fossiilisia polttoaineita vaan sähköä energialähteenään.

Kevytmetallien ja kupariseosten sulattaminen on mahdollista induktiouunilla. Tällöin käytetään yleensä 0,5 – 20 tonnin uunikokoja mutta esimerkiksi kuumanapidossa uunit voivat olla paljonkin isompia. Induktiouunien toiminta perustuu pyörrevirtoihin. Kun metallipanoksen ympäri kulkevaan kuparikäämiin johdetaan vaihtovirtaa, syntyy pyörrevirtoja, jotka lämmitessään sulattavat panoksen.

Samankokoista induktiouunia ja valokaariuunia keskenään verrattaessa ovat induktiouunin hankinta-, ylläpito- ja huoltokustannukset selvästi edullisempia. Induktiouunien käyttö vaatii vähemmän henkilöstöä kuin valokaariuunien käyttäminen ja lisäksi henkilöstö on nopeammin koulutettavissa kyseiseen tehtävään. Toisaalta induktiouunien huonona puolena on, että hiilen poisto sulasta ei mellottamalla onnistu yhtä hyvin kuin valokaariuunilla. Myös emäksisillä kuonilla hapan vuorausmassa aiheuttaa sen, että fosforin ja rikin poisto ei myöskään onnistu.

Induktiuuneja on kaksi pääryhmää: pääasiassa sulatuksessa käytettävät induktioupokasuunit ja induktiokouru-uunit, joita yleensä käytetään sulan kuumana pitämisessä. (Meskanen & Toivonen, 2009, ss. 12-18)

3.2 Induktioupokasuunit



Kuva 3.1 Upokasuuni (Meskanen & Toivonen, 2009, s. 15)

Kuva 3.1 on esitetty induktiouunin rakenne: uloimmaisena on alumiinirunko, johon ikeet ovat kiinnitetty. Kuparinen käämi painautuu alemmaa kelamuurausta vasten ikeiden ansiosta. Samalla ne tukevat käämiä sivusuunnassa ja keskittävät käämin oikeaan kohtaan. Huollon yhteydessä tietyin välein on uusittava käämin sisäpinnalle, kansiin ja alapuolelle tehty kelamuuraus. Sen sijaan ennen uunin käyttöönottoa asennettavan kulutusvuorauksen (Kuva 3.1 kolmas selitys) uusimistarpeeseen vaikuttaa se, mitä materiaalia uunilla on sulatettu sekä kuinka kauan sitä on käytetty ja myös muut uuniin vaikuttavat ulkoiset tekijät. Yleensä uunin pohjassa on sylinteri, jonka avulla vuoraus pystytään nostamaan kerralla irti uunista.

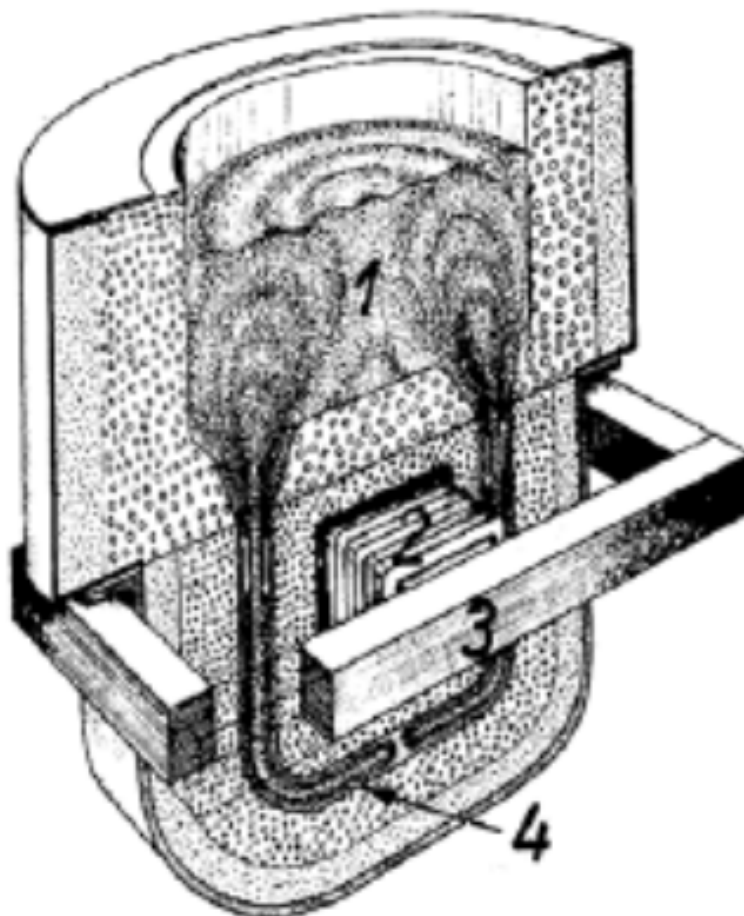
Sulatukseen käytettävä virta johdetaan vesijäähdytteiseen kuparikäämiin. Käämi voi verkkotaajuusuuneissa olla sulan pinnan alapuolella, kun taas keskitaajuusuuneissa tilanne on päinvastainen eli käämi voi olla sulan pinnan yläpuolella. Kelan käämit ovat eristetty toisistaan, eivätkä ne saa yhdistyä uunin rakenteeseen. Muuntajalevyistä rakennetut ikeet estävät runkorakenteisiin syntyvien pyörrevirtojen muodostumisen, jol-

loin uunin hyötysuhde paranee ja induktiivinen häviö vähenee. Normaalisti on käytössä kaksi upokasuunia yhteisellä muuntajalla: ensimmäisen upokasuunin sulattaessa, toista uunia käytetään seostukseen ja kuumanapitoon. Uunien huollot pystytään myös limittämään niin, että ylimääräisiltä tuotannon pysäyksiltä vältytään.

Upokasuuneja voidaan taajuusmuuttajan avulla ajaa eri taajuuksilla. Vielä 1970-luvulla verkkotaajuusuunit olivat yleisimpiä malleja, mutta nykyään tehokkaammat keskitaajuusuunit ovat alkaneet korvata verkkotaajuusuuneja. Niissä seosaineiden liukeneminen ja lämpötilan tasaantuminen nopeutuvat sulan voimakkaan kiertoliikkeen ansiosta. Tällöin kuitenkin ilmassa oleva happi sekoittuu sulaan, eikä verkkotaajuusuunia näin ollen pysty käyttämään teräksen sulatuksessa. Pääasiassa näillä uuneilla pidetään sulaa kuumana. Kalliimmilla ja monimutkaisemmilla, mutta toisaalta energiatehokkaammilla keskitaajuusuuneilla sulatus tapahtuu nopeammin. Verkkotaajuusuunien alkupanoksen on oltava vähintään 200 mm paksuinen, mutta keskitaajuusuunin sulatuspanokset voivat olla pienempiä.

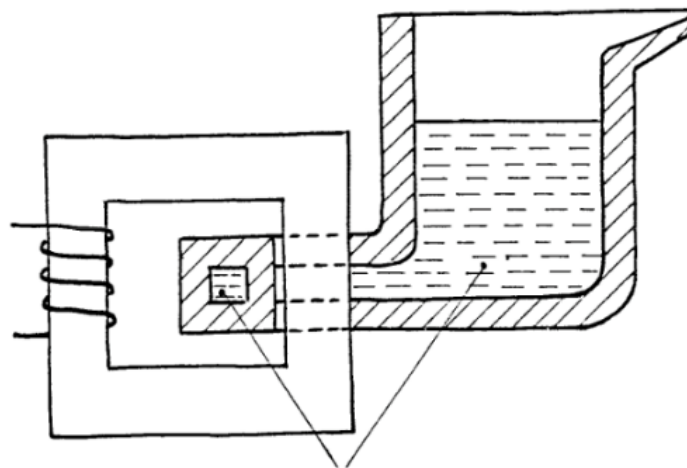
Uunien virrantaajuutta säädellään esimerkiksi tyristorisäätimillä tai taajuusmuuttajilla. Uunin tuottamaa loistehoa kompensoidaan rinnan kytkettyjen kondensaattoriparistojen avulla. Näin pystytään säätämään tehokerrointa, jonka halutaan olevan lähellä yhtä. Romumetalli saadaan sulatettua, kun taajuussäädettävissä uuneissa käytetään aluksi suurempaa taajuutta. Taajuutta voidaan lopuksi laskea, jotta edistetään sulan sekoittumista ja seostamista. (Meskanen & Toivonen, 2009, ss. 12-15)

3.3 Induktiokouru-uuni



Kuva 3.2 Kouru-uuni 1. Uunipesä 2. Primäärikäämi 3. Magneettisydän 4. Sekundääripääriin muodostama sulametallikouru (Keskinen & Niemi, s. 2)

Kouru-uuneissa (Kuva 3.2) sulan lämpötila pysyy vakiona teräsrunkoon kiinnitetyn induktorin avulla. 50 Hz verkkotaajuudella toimivissa kouru-uuneissa on koko ajan oltava sulaa ja niiden tilavuudet vaihtelevat 5 - 100 tonnin välillä. Induktiokouru-uuni on toimintaperiaatteeltaan (Kuva 3.3) samanlainen kuin sähkömuuntaja. Verkostosta johdetaan ensiökäämiin 50 Hz taajuinen vaihtojännite. Renkaan muotoisessa kanavassa eli kourussa oikosulussa oleva sula metalli toimii toisiökääminä. Oikosulun takia sulatettava materiaali kuumenee voimakkaasti ja uunipesässä oleva sulatettava panos kuumenee samalla kun metalli kiertää uunipesän kautta.

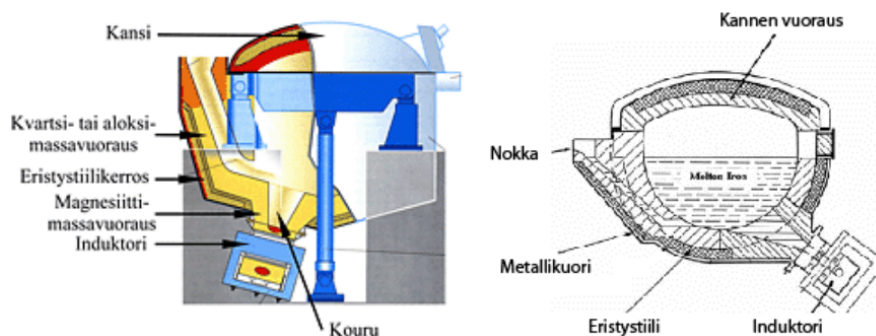


Sulaa metallia

Kuva 3.3 Kouru-uunin toimintaperiaate (Keskinen & Niemi, s. 1)

Toimiakseen uunin kourussa olevan metallin täytyy olla sulaa. Tästä syystä sulatuksen aloittaminen kylmällä uunilla vaatii sulan alkumetallin, joka sulatetaan jossain toisessa uunissa. Mikäli metalli pääsee jähmettymään kourussa, saattaa se kutistuessaan vahingoittaa kourun vuorausta. Uunipesässä oleva sulapanos kuumenee metallin liikkeen eli pyörrevirtojen ja lämpötilaerojen takia.

Induktiokouru-uunin muuntajaa kutsutaan induktoriksi ja se voi sijaita eri kohdissa uunia. Induktorin avulla lämmitetään uunissa olevaa sulaa. Koska sen vuoraus kuluu nopeammin kuin itse uunin, voidaan nykyaikaisissa uuneissa induktori vaihtaa tarvittaessa rikkomatta uunin vuorausta ja jopa silloin kun sula metalli on uunin sisällä. Sitä vaihdettaessa uuni käännetään sellaiseen asentoon, että se on sulan metallipinnan yläpuolella. Suurten uunien induktorien vuorausta jäähdytetään vedellä ja ensiökäämiä ilmapuhalluksella. Induktiokourusulatusuunien suuruus on tavallisesti 0,5 -10 tonnia ja kuumenpituunien 5 -100 tonnia. Suurissa uuneissa voi olla useita induktoreita.



Kuva 3.4 Uunin halkileikkaus (Keskinen & Niemi, s. 5)

Kouru-uunien vuorauksen (Kuva 3.4) kestolle asetetaan paljon isommat vaatimukset, kuin upokasuunien. Kuumanapitouunin lämpötilanvaihtelut ja mekaaniset rasitukset ovat vähäisempiä kuin sulatusuuneilla, mutta kvartsi- tai aloksi- vuorauksen ominaisuudet eivät kuitenkaan riitä kuumanapitouuneille tavallisesti asetetulle 2-4 vuoden vaihtovälille. Sen sijaan kuumanapitouuneissa käytetään alumiinioksi- tai magnesiumoksidipohjaista vuorausmateriaalia (tiilet, sullomassa ja valumassa). Induktiokouru-uunien pesää vuorattaessa asennetaan ulkoseinää vasten joko eristystiili tai huokoinen ruiskumassakerros. Uunin sisäpuolinen muoto saadaan aikaan puisen tai metallilevystä tehdyn mallineen avulla. Mallineen ja eristysmassan väli täytetään tulenkestävällä korundimassalla. Täyttäminen voidaan suorittaa sullomalla, mutta nykyään yleisimmin valamalla. Myös uunin kanteen asennetaan uloimmaksi kerrokseksi eristystiili tai huokoinen massakerros. Sisempänä kerroksena voidaan käyttää valettavaa spinellimassaa. Koska induktorin vuoraus rasittuu sekä korkean lämpötilan, että metallin virtauksen takia, käytetään vuorausmateriaalina korkealaatuista emäksistä sullomassaa. Vuorauksen kestävyys parantamiseksi isoissa induktoreissa käytetään vesijäähdytystä. Induktoreiden vuoraukset kestävät normaalisti 1 – 2 vuotta. (Keskinen & Niemi, ss. 1-5)

3.4 Induktiouuni Oras Groupin Rauman yksikössä

Oras Groupin Rauman yksikössä on käytössä ainoastaan kouru-uuneja. Uuneja käytetään messinkisten hanarunkojen valmistukseen. Valu tapahtuu siten, että uuneissa noin tuhat asteista messinkisulaa ajetaan keernan sisältävään valumuottiin pienellä paineella. Tällöin syntyy valukappale, jonka valaja tarkastaa ja lähettää kappaleen eteenpäin keernahiekan poistoon. Rauman yksikön uunit ovat Inducan ja IMR:n valmistamia. Modernisoitava uuni on 90 kW tehoinen, yhden tonnin kokoinen kouru-uuni.

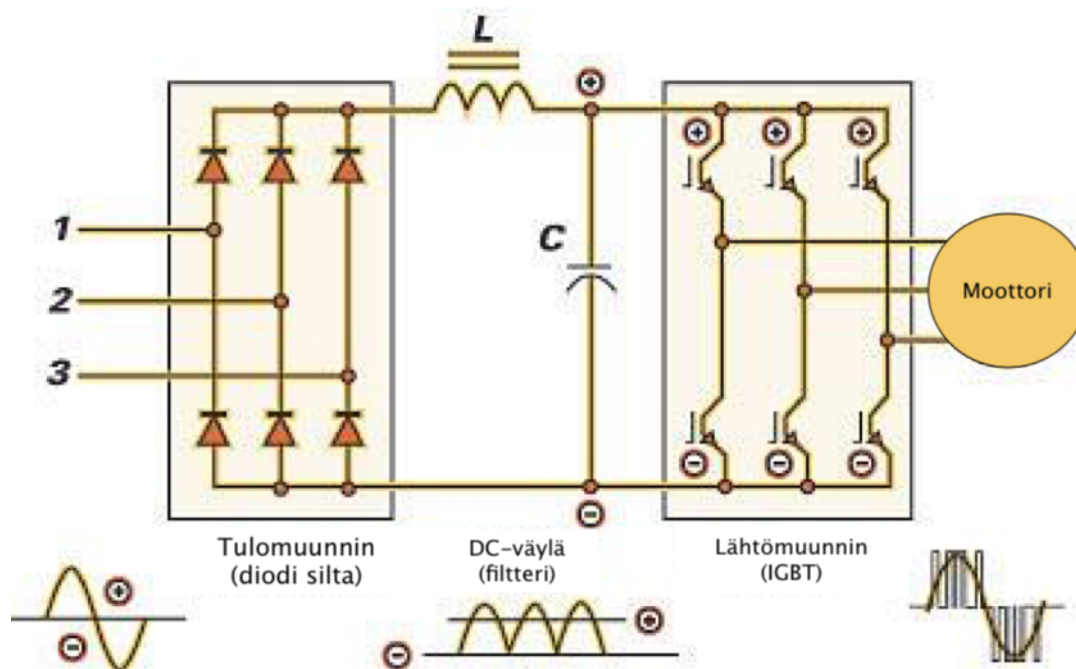
4 TAAJUUSMUUTTAJA

4.1 Taajuusmuuttajan toiminta ja komponentit

Seuraavissa kappaleissa käydään läpi mihin taajuusmuuttajan toiminta perustuu ja mitä komponentteja se sisältää.

4.1.1 Tasasuuntaaja

Vaihtovirran taajuutta on vaikea muuttaa, siksi taajuusmuuttajan ensimmäinen tehtävä on muuntaa vaihtovirtainen siniaalto tasavirraksi. Kaikkien taajuusmuuttajien ensimmäinen komponentti on tasasuuntaaja, tai muuntimena tunnettu laite, joka on Kuva 4.1 vasemmalla.



Kuva 4.1 Taajuusmuuttaja komponenttikuva (Gozukin www-sivut, 2019)

Tasasuuntaajapiiri muuntaa vaihtovirran tasavirraksi tehden sen suunnilleen samalla tavalla kuin akkulaturi tai valokaarihitsauslaite. Se käyttää diodisiltaa rajoittamaan vaihtovirran siniaallon liikettä vain positiiviseen suuntaan. Tuloksena on täysin oi-

kaistu vaihtovirta-aaltomuoto, jonka DC-piiri tulkitsee alkuperäisenä tasavirta-aaltomuotona. Kolmen vaiheen taajuusmuuttajat hyväksyvät kolme erillistä vaihtovirtatuloa vaihetta ja muuntavat ne yhdeksi tasavirtatuloksi. Useimpiin kolmivaiheisiin taajuusmuuttajiin voidaan kytkeä yksivaiheinen kuorma. Todelliset yksivaiheiset taajuusmuuttajat (yksivaiheisia moottoreita ohjaavat) käyttävät yksivaiheista tuloa ja tuottavat tulon verrannollisen tasajännitelähdön. (Gozukin www-sivut, 2019)

4.1.2 DC-väylä

Toista komponenttia, joka tunnetaan nimellä DC-väylä (esitetty Kuva 4.1 keskellä), ei käytetä kaikissa taajuusmuuttajissa, koska se ei vaikuta suoraan muuttuvaan toimintaan. Korkealaatuisissa taajuusmuuttajissa DC-väylässä käytetään kondensaattoria ja induktoria suodattamaan vaihtovirran hurinajännitettä muunnetusta tasavirrasta ennen vaihtosuuntaajaa. DC-väylä voi sisältää myös suodattimia, jotka estävät harmonisia vääristymiä, jotka voivat vaikuttaa taajuusmuuttajaa syöttävään virtalähteeseen. Vanhemmat taajuusmuuttajat ja jotkut pumppukohtaiset taajuusmuuttajat vaativat erilliset linjasuodattimet. (Gozukin www-sivut, 2019)

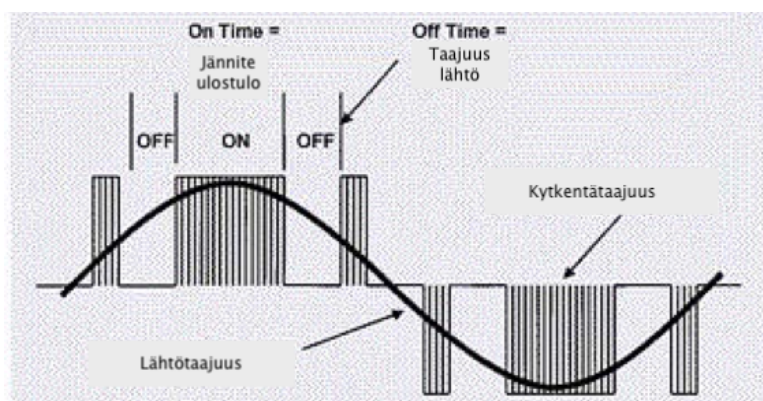
4.1.3 Vaihtosuuntaaja

Kuva 4.1 oikealla puolella on taajuusmuuttajan "sisus". Taajuusmuuttaja käyttää kolmea kytkintransistoria DC-pulssien luomiseksi, joiden avulla luodaan vaihtovirtasinaallan kolme vaihetta jäljittelevä aaltomuoto. Nämä pulssit määrittävät aallon jännitteen ja taajuuden. Nykyaikainen taajuusmuuttaja käyttää PWM- (Pulse Width Modulation) tekniikkaa jännitteen ja taajuuden säätelyyn.

Vaihtosuuntaajassa käytettävä IGBT (Insulated-Gate Bipolar Transistor) on suuritehoinen bipolaaritransistori, jossa on sekä bipolaaritransistori että eristehilatransistori yhdessä. Transistoria, joka aikanaan korvasi tyhjiöputken, käytetään kahteen tarkoitukseen; se voi toimia vahvistimena ja lisätä signaalin vahvuutta esimerkiksi äänentoistolaitteissa tai se voi toimia kytkimenä ja kytkeä signaalin päälle ja pois. IGBT on moderni versio, joka mahdollistaa suuremmat kytkentänopeudet (3000 - 16000 Hz) ja vähentää hukkalämmöntuotantoa. Suurempi kytkentänopeus lisää vaihtovirta-aaltojen

jäljittelyn tarkkuutta ja vähentää kuultavaa moottorin kohinaa. Hukkalämmön tuotannon väheneminen mahdollistaa pienempien jäähdytyslementtien käytön ja pienentää taajuusmuuttajan hiilijalanjälkeä. (Gozukin www-sivut, 2019)

4.1.4 Vaihtosuuntaajan output



Kuva 4.2 PWM-taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajan generoiman aaltomuodon todellisen vaihtovirran siniaaltoon verrattuna (Gozukin www-sivut, 2019)

Kuva 4.2 näyttää PWM-taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajan generoiman aaltomuodon todellisen vaihtovirtasiniaaltoon verrattuna. Taajuusmuuttajan lähtö koostuu sarjasta suorakulmaisia pulsseja, joilla on kiinteä korkeus ja säädettävä leveys. Kuvassa esitetyssä tapauksessa on näkyvillä kolme pulssisarjaa: leveä sarja keskellä sekä kapea sarja vaihtovirtasyklin sekä positiivisen että negatiivisen osan alussa ja lopussa. Pulssien pinta-alojen summa on yhtä suuri kuin todellisen vaihtovirta-aallon efektiivinen jännite. Jos todellisen vaihtovirta-aallon ylä- tai alapuolelle jäävät pulssiosat sijoitetaan käyrän alle jääviin tyhjiin paikkoihin, huomataan että ne vastaavat pinta-alaltaan melkein täydellisesti toisiaan. Juuri tällä tavalla taajuusmuuttaja ohjaa moottoriin menevää jännitettä.

Pulssien leveyden ja niiden välisten tyhjien tilojen summa määrää moottorin vaikuttavan aallon taajuuden (siis PWM tai pulssileveysmodulaatio). Jos pulssi olisi jatkuva (ts. ilman tyhjiä kohtia), taajuus olisi silti oikea, mutta jännite olisi paljon suurempi kuin todellisen vaihtovirran jännite. Halutusta jännitteestä ja taajuudesta riippuen taajuusmuuttaja muuttaa pulssin korkeutta ja leveyttä sekä väliin jäävien tyhjien tilojen leveyttä. (Gozukin www-sivut, 2019)

5 SINISUODIN

Siniaaltosuodattimet ovat alipäästötaajuussuodattimia, jotka muuntavat moottorikäyttöjen suorakulmaisen PWM-lähtösignaalin tasaiseksi siniaaltojännitteeksi, jolla on alhainen hurinajännite. Niitä kutsutaan myös output-suodattimiksi tai sinimuotoisiksi suodattimiksi ja niitä käytetään pääasiassa taajuusmuuttajien kanssa moottorin suojaamiseksi liiallisilta jännitepiikeiltä ja ylikuumentumiselta. Nämä suodattimet vähentävät kytkentäkohinatasoa ja mahdollistavat pidempien kaapeleiden asennuksen. Hyötynä on se, että vaihtovirtamoottoreiden eristysten rasitus ja häviöt vähenevät ja moottorin käyttöikä pidentyy. (Schaffnerin [www-sivut](#), 2019)

6 YHTEYDENOTOT VALMISTAJIIN

Ennen varsinaista kokeilua isolla 55 kW taajuusmuuttajalla oltiin yhteydessä sekä uunivalmistaja Inducan, että taajuusmuuttajavalmistajaan Vaconiin. Kumpikaan ei ollut kuullut aikaisemmin tämän tyyppisestä sovelluksesta. Vaconin edustaja ei pitänyt kyseistä sovellusta mahdottomana, ainoana huolena oli, että mitä suorakaiteen muotoinen aalto tekee uunin kaapeleille ja kelan eristykselle, esimerkiksi voisiko se vahingoittaa tai heikentää niitä. Uunin valmistaja tarjosi ensin heidän omaa, tyristoriohjaukseen perustuvaa ratkaisua. Lopulta muutaman yhteydenoton jälkeen uunin valmistajalta tuli samantyylinen vastaus kuin Vaconilta. Tästä syystä sovellukseen asennettaisiin sini-aaltosuodin. Näiden vastausten jälkeen oli vuorossa testi käytössä olevalle uunille. (Vaconin edustaja puhelinkestustelu, 2019) (Inducan edustaja sähköposti, 2019)

7 KÄYTÄNNÖN TESTIT TAAJUUSMUUTTAJALLA

7.1 Ensimmäiset testit tyhjällä uunilla sekä pienillä taajuusmuuttajilla

Ensimmäiset testit aloitettiin pienillä taajuusmuuttajilla, sekä tyhjällä, osittain rikki-
näisellä uunilla mahdollisten vahinkojen välttämiseksi. Käytettiin kahta eri taajuus-
muuttajaa, jotka olivat valmistaneet ABB ja Vacon. ABB taajuusmuuttaja ei käynnis-
tynyt lainkaan häiriöiden ja vikailmoitusten takia. Vaconin valmistama taajuusmuut-
taja oli käynnistyyä, mutta pienen tehonsa takia ei toiminut kunnolla. Testien perusteella
päättiin jatkaa Vaconin suurempitehoisilla taajuusmuuttajilla. Kuva 7.1 ja Kuva 7.2
ovat testitilanteista ja saman mallisesta induktiouunista kuin modernisoinnin kohteena
oleva.



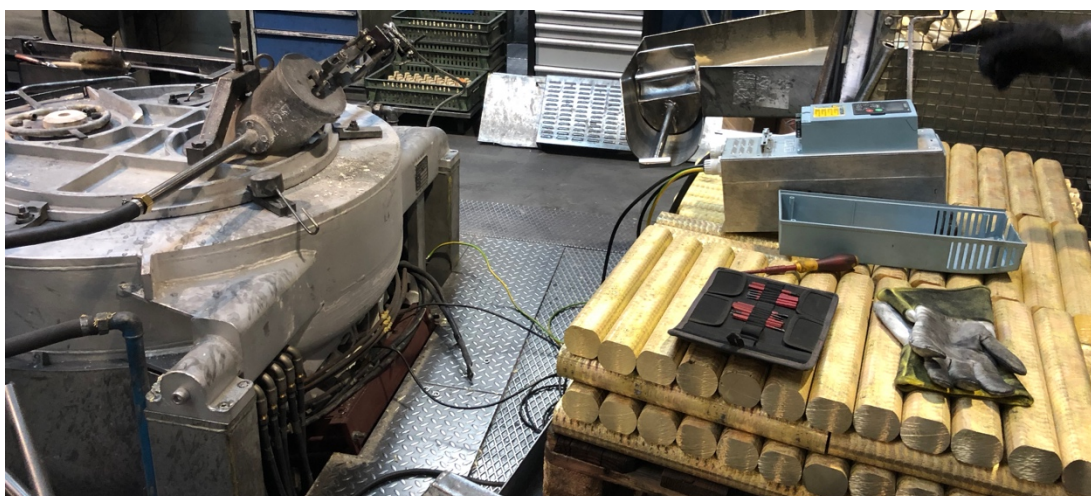
Kuva 7.1 Ensimmäisen testin tyhjä ja osittain rikkiäinen induktiouuni ja 5,5 kW taajuusmuuttaja



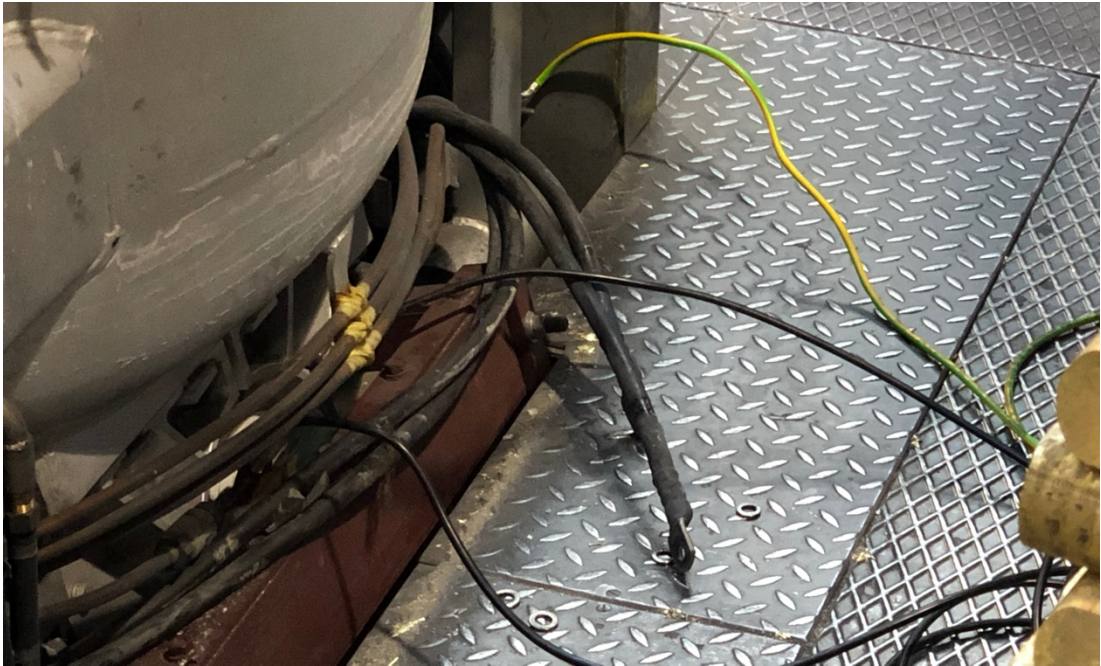
Kuva 7.2 Testilaitteiston kelaosa, liittimet sekä kourun ulko-osa

7.2 Testiajot 15 kW taajuusmuuttajalla

Seuraavaksi testattiin Vaconin tekemää 15 kW taajuusmuuttajaa tuotantoseisakissa olevan Inducan valmistaman uunin kanssa. Kuva 7.3 ja Kuva 7.4 ovat testeistä, joissa käytettiin 6 mm² kaapeleita. Tällä taajuusmuuttajalla saatiin aikaan häiriötön ajo, joskaan 15 kW teho ei ollut riittävä, vaan johti jatkuvasti virtarajoituksen ylittymiseen. Kokeen lopputuloksena voitaisiin päätellä, että uunia olisi mahdollista käyttää taajuusmuuttajalla ja jatkotestejä varten päädyttiin hankkimaan tehokkaampia taajuusmuuttajia.



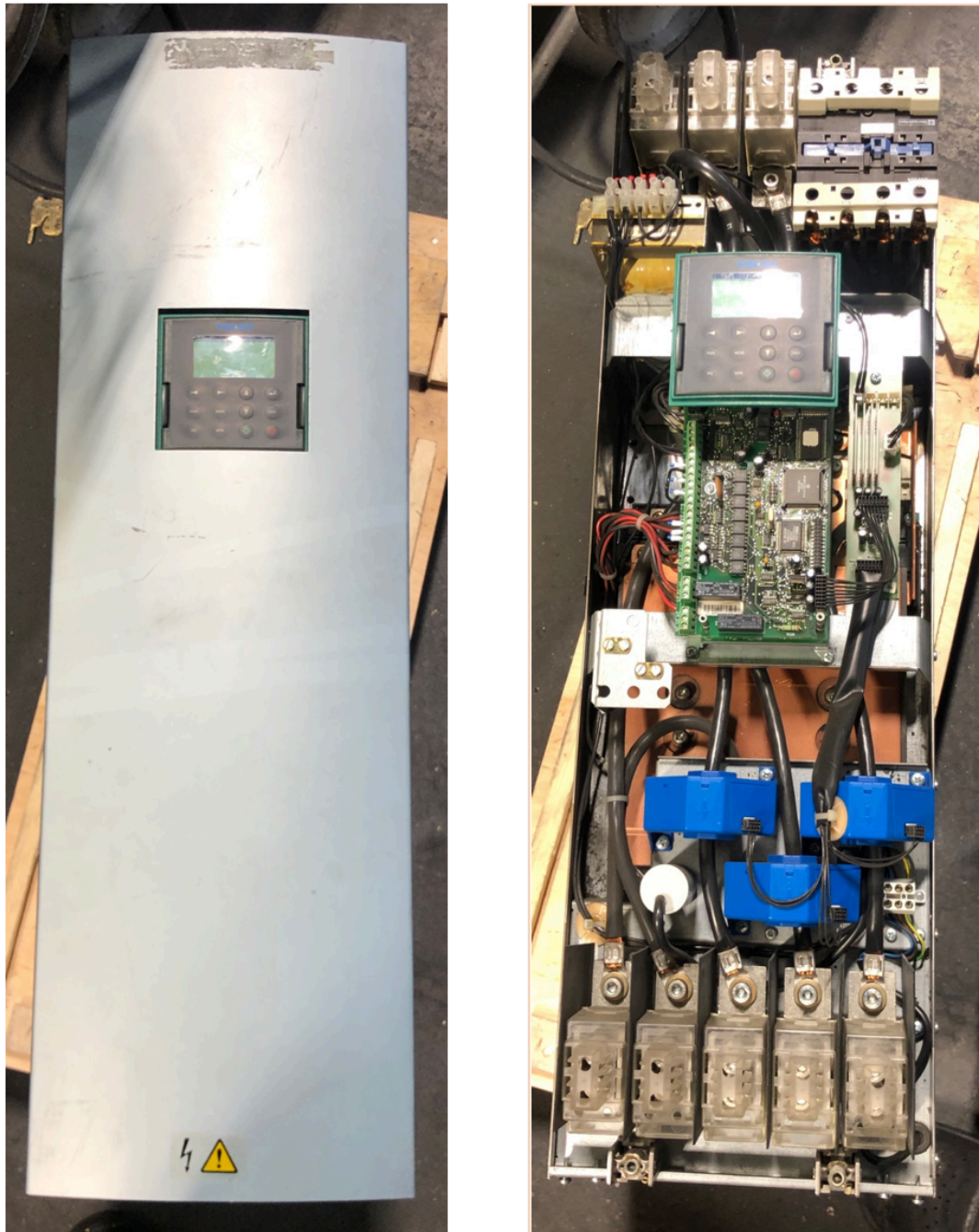
Kuva 7.3 Modernisoitava uuni sekä 15 kW taajuusmuuttaja



Kuva 7.4 Modernisoitavan uunin kela ja liittimet

7.3 Testit 55 kW taajuusmuuttajalla

Ensimmäisissä testeissä häiriötilat aiheuttivat sellaisia ongelmia, että testit oli pakko suorittaa uudestaan tehokkaammalla taajuusmuuttajalla, tällöin ylivirtahälytys ei keskeyttäisi testiä. Tästä syystä hankittiin Kuva 7.5 mukainen vanha Vacon 55cx, jota oli aikaisemmin käytetty poistoilmapuhaltimissa.



Kuva 7.5 55 kW Vacon 55cx taajuusmuuttaja

7.3.1 Valmistelut

Kytännät tehtiin vanhoilla uunin kaapeleilla. Syöttö taajuusmuuttajalle otettiin uunin ohjauskaapista (Kuva 7.7 ja Kuva 7.8), jossa on 250 A sulakkeet. Kuva 7.6 on tilanteesta juuri ennen testin aloittamista.



Kuva 7.6 Testitilanne, jossa näkyy uuni ja taajuusmuuttaja



Kuva 7.7 Uunin vanha ohjauskaappi, joka on tarkoitus korvata



Kuva 7.8 Ohjauskaappi ylempää

Ohjausparametrit määritettiin laskelmien ja uunin tehoarvojen perusteella. Taajuusmuuttajassa uunin kela kytkettiin L1 ja L3 napoihin. Liitteessä 1 on taajuusmuuttajaan syötetyt parametrit.

7.3.2 Testausvaihe

Testi aloitettiin ja kaikki sujui hyvin. Parametrien hienosäädön jälkeen saatiin virtapiirin virraksi 133 A, jännitteeksi 205 V ja taajuudeksi 53 Hz kuten Kuva 7.9, Kuva 7.10 ja Kuva 7.11 nähdään.



Kuva 7.9 Jännitemittarin antama lukema voltteina



Kuva 7.10 Pihtivirtamittarin antama virta-arvo ampeereina



Kuva 7.11 Pihtivirtamittarin antama arvo taajuudelle hertseinä

7.3.3 Testin lopputulos

Testi kesti puoli tuntia ilman vika- tai häiriöilmoituksia. Sen aikana sulan lämpötila nousi yhden asteen ainoastaan yhtä kelaa käyttäen. Testitulokset vaikuttivat lupaavilta taajuusmuuttajakäyttöisen uunin suhteen.

7.3.4 Parametrit ja normaali taajuusmuuttajan kuorman eroavaisuus

Parametrit ovat lähes normaaliin moottorikuormaan verrattavissa. Joitain suojauksia jouduttiin poistamaan käytöstä kytkennän takia. Pyörivän liikkeen puuttuminen täytyi huomioida parametreja säädettäessä. Testin aikana käytössä olleet suojausparametrit selviävät liitteestä 1.

8 VERTAILU MUIHIN OHJAUSMENETELMIIN

8.1 Hyödyt

Alla esitellään mahdolliset hyödyt mitä uudesta sovelluksesta voisi tulla.

8.1.1 Huoltokustannukset

Huoltokustannukset pysyvät maltillisina, koska rikkoutuvia komponentteja on suhteellisen vähän. Myös taajuusmuuttajat ovat melko huoltovapaita, joten tästäkään ei aiheudu lisäkustannuksia. Pääasiassa kustannuksia tulee uunin huoltamisesta, mikä on tälläkin hetkellä isoin menoerä.

8.1.2 Varaosien saanti

Varaosien saanti on helppoa, koska tehtaassa on käytössä tällä hetkellä useita saman kokoluokan taajuusmuuttajia. Tähän sovellukseen ei tarvita mitään konekohtaisia varaosia, joten osien toimitusajat pysyvät lyhyinä. Varastoon voi huoletta tilata niitä, koska niitä tarvitaan tehtaan muihinkin sovelluksiin.

8.1.3 Helppo taajuusmuuttajan vaihto

Jokaiselle vaiheelle tarvitaan oma taajuusmuuttaja, ettei yhden vaiheen vikatilanteessa koko uuniin lämmitys lopu. Taajuusmuuttajan vaihto tapahtuu helposti ja nopeasti; kopioidaan parametrit ja ladataan ne uuteen. Tämä tapahtuu samalla tavalla kuin mihin tahansa muuhunkin taajuusmuuttajasovellukseen.

8.2 Haasteet

Ennen kuin testissä ollut uusi sovellus on valmis asiakkaille myytäväksi, se vaatii vielä lisää tutkimuksia. Saattaa olla, että käyttöönottovaiheessa ilmenee vielä ongelmia, joita ei tehdyissä testeissä tullut esille. Lisäksi laitteistosta ei ole ollenkaan kokemuksia pidempiaikaisesta käytöstä.

9 YHTEENVETO

Työ eteni aluksi hitaasti ja reilusti aikataulusta jäljessä. Syynä oli testien suorittaminen kunnossapitotyön ohella, joten oli vaikeaa saada aikataulut sopimaan normaaliin työaikaan. Tein testit Quantin edustajan Kalle Hietaniemen kanssa ja hän työskentelee Quantin Oraksen yksikössä kolmivuorotyössä, mistä aiheutui omat aikatauluviivytyksensä. Kun päästiin tekemään testejä ja dokumentaatiota asiat etenivät mallikkaasti ja hallitusti. Testien aikana huolehdittiin turvallisuudesta monin eri tavoin, esimerkiksi testialueille pääsy ulkopuolisilta oli estetty ja normaalit oikosulku- ja ylivirtasuojaukset olivat käytössä.

Työtä tehdessä tietoni induktiouuneista ja taajuusmuuttajista lisääntyivät todella paljon, etenkin taajuusmuuttajien parametreista sain runsaasti uutta ja hyödyllistä tietoa. Uutena, varsin tärkeänä oppimanani asiana pidän neliöaallon vaikutusta eristeisiin, koska tämä ongelma on lähes jokaisessa sovelluksessa, joissa käytetään taajuusmuuttajia. Siksi tuntuu omituiselta, että siniaaltosuodattimet eivät kuulu taajuusmuuttajien vakiovarusteisiin. Työn aikana on tullut myös jonkin verran hyödyllistä tietoa automaatiosta. Kaiken kaikkiaan voidaan sanoa, että hyöty tästä työstä oli minulle todella merkittävä tulevaisuutta ajatellen.

Työn teettäjälle koituneet hyödyt liittyvät sekä taloudellisuuteen että laitteiston käytettävyyteen. Tämän sovelluksen avulla huoltokustannukset pysyvät pienempinä kuin muiden vastaavien uunien huoltokustannukset. Varaosat ovat yleisiä ja komponenttien vaihtoon kuluva aika on lyhyt. Laitteiston käytettävyys liittyy oleellisesti vaihto- ja huoltoaikaan. Myös vianhaku-aika pienenee, koska ohjausta yksinkertaistetaan ja komponentteja on vähemmän verrattuna vastaaviin ohjaussovelluksiin nähden. Myös se helpottaa, että taajuusmuuttajat ovat tuttuja jo ennestään asentajille, joten uuden opiskelun tarve on vähäisempää. Esitettyjen tekijöiden summana asiakastyytyväisyyttä saadaan pidettyä hyvänä. Tämä on Quantille tärkeä tekijä.

Myös Oras Group hyötyy käytettävyydestä. Kun uuni pysyy käytössä, niin valaja pysyy valamaa uusia hanarunkoja. Mahdollinen uunin vaihtoväli pidentyy, mikä oli yksi merkittävimpiä asioita mitä modernisaatiolta haetaan.

Oma riskinsä kyseisessä sovelluksessa on se, että luodaan täysin uusi ja testaamaton laitteisto. Tehtyjen testien perusteella voidaan todeta, että saavutettavat hyödyt ovat suuremmat kuin haitat.

KUVALUETTELO

Kuva 3.1 Upokasuuni (Meskanen & Toivonen, 2009, s. 15)	8
Kuva 3.2 Kouru-uuni 1. Uunipesä 2. Primäärikäämi 3. Magneettisydän 4. Sekundääripiirin muodostama sulametallikouru (Keskinen & Niemi, s. 2)	10
Kuva 3.3 Kouru-uunin toimintaperiaate (Keskinen & Niemi, s. 1).....	11
Kuva 3.4 Uunin halkileikkaus (Keskinen & Niemi, s. 5)	12
Kuva 4.1 Taajuusmuuttaja komponenttikuva (Gozukin www-sivut, 2019).....	13
Kuva 4.2 PWM-taajuusmuuttajan vaihtosuuntaajan generoiman aaltomuodon todellisen vaihtovirran siniaaltoon verrattuna (Gozukin www-sivut, 2019)	15
Kuva 7.1 Ensimmäisen testin tyhjä ja osittain rikkinäinen induktiouuni ja 5,5 kW taajuusmuuttaja	18
Kuva 7.2 Testilaitteiston kelaosa, liittimet sekä kourun ulko-osa	19
Kuva 7.3 Modernisoitava uuni sekä 15 kW taajuusmuuttaja	19
Kuva 7.4 Modernisoitavan uunin kela ja liittimet	20
Kuva 7.5 55 kW Vacon 55cx taajuusmuuttaja.....	21
Kuva 7.6 Testitilanne, jossa näkyy uuni ja taajuusmuuttaja	22
Kuva 7.7 Uunin vanha ohjauskaappi, joka on tarkoitus korvata	23
Kuva 7.8 Ohjauskaappi ylempää	24
Kuva 7.9 Jännitemittarin antama lukema voltteina.....	25
Kuva 7.10 Pihtivirtamittarin antama virta-arvo ampeereina.....	25
Kuva 7.11 Pihtivirtamittarin antama arvo taajuudelle hertseinä.....	25

LÄHTEET

Gozukin www-sivut. (2019). Haettu 21.11.2019 osoitteesta <http://www.frequencyinverter.org/what-is-frequency-converter-how-it-works-631601.html>

Inducan edustaja sähköposti. (24.4.2019).

Keskinen, R.;& Niemi, P. (2011). Induktiokouru-uunit. Haettu 20.11.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/15820328-8-induktiokouru-uunit.html>

Meskanen, S.;& Toivonen, P. (2009). Valimotekniikan perusteet. Haettu 20.11.2019 osoitteesta <https://docplayer.fi/4876707-Seuraavia-sulaton-sulankasittelylaitteita-on-kasitelty-tarkemmin-luvussa-%22rautametallien-sulametallurgia%22.html>

Oras Groupin www-sivut. (2019). Haettu 3.12.2019 osoitteesta <https://www.oras.com/fi/etusivu/>

Quant Servicen www-sivut. (2019). Haettu 3.12.2019 osoitteesta <https://www.quantservice.com/fi/>

Schaffnerin www-sivut. (2019). Haettu 21.11.2019 osoitteesta <https://www.schaffner.com/products/power-magnetics/sine-wave-filters/>

Vaconin edustaja puhelinkestustelu. (2.4.2019).

TAAJUUSMUUTTAJAN PARAMETRIT (ei julkinen)

