

Joonas Kämäräinen

Erään UPS-laitteen melutason pienentäminen puhallinohjauksen avulla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Elektroniikka

Insinöörityö

6.5.2013

<p>Tekijä Otsikko</p> <p>Sivumäärä Aika</p>	<p>Joonas Kämäräinen Erään UPS-laitteen melutason pienentäminen puhallinohjauksen avulla</p> <p>33 sivua + 2 liitettä 6.5.2013</p>
<p>Tutkinto</p>	<p>insinööri (AMK)</p>
<p>Koulutusohjelma</p>	<p>elektroniikka</p>
<p>Ohjaajat</p>	<p>Senior Program Manager Jari Uusitalo lehtori Kai Lindgren</p>
<p>Tämä insinöörityö on tehty Eaton Power Quality Oy:n tuotekehitysosastolle. Tässä työssä suunniteltiin ja rakennettiin prototyyppi puhallinohjatusta Eaton 9395 UPS -laitteesta. Puhaltimien pyörimisnopeutta ohjataan laitteen kuormitustason mukaan.</p> <p>Työn alussa määriteltiin alkutilanne, johon myöhemmässä vaiheessa tehtyjä muutoksia verrataan. Alkutilanteen määrittely sisältää laitteen senhetkisen melutason, toimintalämpötilan sekä hyötysuhteen mittaamisen.</p> <p>Seuraavassa vaiheessa suunniteltiin ja toteutettiin puhallinohjauspiiri, jolla puhaltimien pyörimisnopeutta ohjataan. Ennen varsinaisen puhallinohjauspiirin suunnittelua ja toteutusta etsittiin vaihtoehtoinen puhallin, jonka tulisi olla mekaanisilta sekä sähköisiltä ominaisuuksiltaan aiempaa vastaava. Ohjauspiiri toteutettiin lisäämällä laitteeseen ylimääräinen ohjainkortti, jolla luodaan ohjaussignaali puhaltimille sekä kortit, joilla toteutetaan ylösvedot signaalille sekä optoerotus.</p> <p>Työn lopussa on käsitelty mittaustulokset, jotka puhallinohjatulla laitteella on mitattu sekä niitä on verrattu alkuperäisen laitteen mittaustuloksiin.</p>	
<p>Avainsanat</p>	<p>UPS, puhallinohjaus, melutaso</p>

Author Title	Joonas Kämäräinen Sound Pressure Level Reduction of UPS Device by Using Fan Speed Control
Number of Pages Date	33 pages + 2 appendices 6 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electronics
Instructors	Jari Uusitalo, Senior Program Manager Kai Lindgren, Senior Lecturer
<p>This bachelor's thesis was made in co-operation with New Product Development unit at Eaton Power Quality Oy. The aim of this thesis was to design and build a prototype of Eaton 9395 UPS device with fan speed control.</p> <p>At the beginning of this thesis a starting point was defined. The definition of the starting point includes measurement data which will be compared later to the prototype with fan speed control. The sound pressure level, temperatures of the IGBT modules and the efficiency of the original unit were measured at this stage.</p> <p>After the starting point definition, the control circuit for fan speed control was designed and implemented. Before the circuit design was started the alternative fans were chosen. The alternative fans must have the same mechanical and electrical specifications as the original fan used in this product. The control circuit includes an extra control board, pull-ups for the control signal and optical isolation from hazardous voltages.</p> <p>At the end of this thesis the test results from the fan speed controlled prototype are presented and compared to the original unit.</p>	
Keywords	UPS, fan speed control, sound pressure level

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet ja symbolit

1 Johdanto	1
2 Eaton Corporation –yritysesittely	2
3 UPS (Uninterruptible Power System)	4
3.1 UPS -topologiat	4
3.1.1 Stand-by-topologia	5
3.1.2 Line interactive -topologia	6
3.1.3 Double conversion -topologia	7
3.2 Eaton 9395 -UPS-laite	8
3.2.1 Laitteen tekniset tiedot	8
3.2.2 Laitteen rakenne	9
4 Projektin alkutilanne	11
4.1 Laitteen melutason määrittäminen	11
4.1.1 Ääni ja melu	11
4.1.2 Äänipaine- ja äänitehot	12
4.1.3 Taajuus ja -painotus	13
4.1.4 Melutasomittausten toteutus	14
4.1.5 Mittaustulokset alkuperäisellä laitteella	16
4.2 Lämpöajot	16
4.2.1 Lämpöajojen toteutus	17
4.2.2 Lämpöajojen tulokset alkuperäisellä laitteella	17
4.3 Hyötysuhdemittaukset	17
4.3.1 Hyötysuhdemittausten toteutus	18
4.3.2 Hyötysuhdemittausten tulokset alkuperäisellä laitteella	18
5 Puhaltimien ohjaus	19
5.1 Käytössä oleva puhallin	19
5.2 Vaihtoehtoinen puhallin	19
5.3 Ohjauspiirin suunnittelu ja toteutus	20
5.3.1 Mini-CSB -kortti	21
5.3.2 Liitäntäkortti	22
5.3.3 Erotinkortti	23

5.4 Ohjelmiston kehitys	24
5.4.1 Pulssinleveysmodulaatio	24
5.4.2 Puhallinohjaukseen käytetty ohjelma	25
6 Mittaustulokset puhallinohjatulla prototyypillä	29
6.1 Melutasomittausten tulokset	29
6.2 Lämpömittausten tulokset	30
6.3 Hyötysuhdemittausten tulokset	30
7 Yhteenveto	32
Lähteet	33
Liitteet	
Liite 1. Ohjelmakoodi	
Liite 2. Hyötysuhdemittausten tulokset	

Lyhenteet ja symbolit

Lyhenteet

CAN	<i>Controller Area Network</i> ; automaatiiväylä
CFM	<i>Cubic foot per minute</i> ; kuutiojalkaa minuutissa
CSB	<i>Communication Server Board</i> ; ohjainkortti
GPB	<i>General Purpose Interface Bus</i> ; digitaalinen tiedonsiirtoväylä
IGBT	<i>Insulated-gate bipolar transistor</i> ; eristehila-bipolaaritransistori
ISBM	<i>Integrated System Bypass Module</i> ; integroitu ohitusyksikkö
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> ; negatiivinen lämpötilakerroin
PWM	<i>Pulse-width modulation</i> ; pulssinleveysmodulaatio
RPM	<i>Revolutions per minute</i> ; pyörähdystä minuutissa
SELV	<i>Safety Extra-low Voltage</i> ; suojaeristetty pienenjännite
UPM	<i>Uninterruptible Power Module</i> ; häiriöttömän sähkön tehoyksikkö
UPS	<i>Uninterruptible Power System</i> ; häiriöttömän sähkönsyötön laite

Symbolit

D	Pulssisuhde.
L_p	Äänipainetaso.
L_w	Äänitehotaso.
P	Teho.
P_{in}	Sisääntuloteho.
P_{out}	Ulostuloteho.
P_0	Äänitehotason standardoitu referenssipaine.
p_0	Äänipainetason standardoitu referenssipaine.
R	Resistanssi.
t	Aika.
T	Jakson aika.
η	Hyötysuhde.

1 Johdanto

Tämä insinööri työ on tehty Eaton Power Quality Oy:n tuotekehitysosastolle ja sen tavoitteena on UPS-laitteen aiheuttaman melutason pienentäminen. Melutasoa pyritään pienentämään ohjaamalla laitteen tehokomponentteja jäähdyttäviä puhaltimia niin, ettei laitteen toimintalämpötila pääse nousemaan liian korkeaksi.

UPS-laitteita käytetään monenlaisissa ympäristöissä suojaamaan sähkölaitteita sähköverkossa esiintyviltä häiriöiltä. Tyypillisiä käyttöympäristöjä suuren teholuokan UPS-laitteille ovat esimerkiksi sairaalat, konesalit ja laivat. Pienen teholuokan laitteita taas voidaan käyttää esimerkiksi pienehköissä toimistoissa tai kodeissa.

Melu koetaan yleensä häiritsevänä tekijänä, joten melutason pienentämisellä voidaan lisätä laitteen käyttömukavuutta ja ympäristön viihtyvyyttä. Nykypäivänä häiritsevien tekijöiden minimointiin kiinnitetään entistä enemmän huomiota, kun halutaan lisätä sellaisten työympäristöjen viihtyvyyttä, joihin UPS-laitteita hankitaan.

Työn alussa perehdytään UPS-laitteen teoriaan ja toimintaan, minkä jälkeen määritellään alkutilanne, johon myöhemmässä vaiheessa puhallinohjauksella varustettua prototyyppiä verrataan. Alkutilanteen määrittelyn jälkeen esitellään puhaltimille suunniteltu ohjauspiiri, jolla pyörimisnopeutta ohjataan.

2 Eaton Corporation -yritysesittely

Eaton Corporation on teollisuuden monialayritys, jolla on toimintaa yli 150 maassa ympäri maailmaa ja arviolta noin 100 000 työntekijää. Yrityksen tavoitteena on suunnitella ja valmistaa turvallisia, luotettavia, tehokkaita sekä kestäviä tehonhallintasovelluksia useille teollisuudenaloille.

Yrityksellä on ollut toimintaa jo yli 100 vuoden ajan. Se on perustettu vuonna 1911 Yhdysvaltojen New Jerseyssä, toimimaan alunperin autoteollisuuteen. Vuosien saatossa Eaton Corporation on kasvattanut toimintaansa liiketoiminnan kasvun ja yrityskauppojen avulla nykyiseen kokoonsa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2011 oli 16 miljardia dollaria. [1.]

Eaton Corporationin toiminta jakautuu nykyisin viiteen liiketoimintayksikköön:

- Aerospace
- Automotive
- Electrical
- Hydraulics
- Truck.

Eaton Electrical -liiketoimintayksikkö tarjoaa kattavan tuotevalikoiman joka koostuu häiriöttömän sähkönsyötön järjestelmistä (UPS), ylijännitesuojista, sähkökeskuksista, virranjakoyksiköistä, rakkikaapeista, analysaattoreista, kaukovalvonnasta sekä hallinta-ohjelmistoista. Lisäksi tarjolla on huolto- sekä suunnittelupalveluja.

Eatonilla on kokemusta UPS-laitteiden valmistuksesta ja suunnittelusta jo yli neljänkymmenen vuoden ajalta. Eaton on kasvanut yhdeksi maailman johtavista alalla toimivista yrityksistä.

Eaton Power Quality Oy on osa Eaton Electrical -liiketoimintayksikköä. Eaton Power Quality Oy valmistaa ja suunnittelee UPS-laitteita Suomessa. Yhtiö on nykyisin markkinajohtaja häiriöttömän sähkönsyötön alalla Suomessa.

Espoossa sijaitsevalla toimipisteellä, joka on perustettu vuonna 1962, työskentelee noin 200 työntekijää. Toimipiste on erikoistunut suuremman kokoluokan kolmivaihe-UPS-laitteiden toimittamiseen ja niihin liittyviin palveluihin. Lisäksi Espoon toimipisteessä toimii yksi Eatonin UPS-tuotekehitysyksiköstä, jonka tehtävänä on suunnitella ja kehittää kolmivaihe-UPS-laitteita. Espoossa toimiva tuotekehitysyksikkö toimii yhteistyössä Kiinassa ja Yhdysvalloissa sijaitsevien yksiköiden kanssa.

3 UPS (Uninterruptible Power System)

UPS (Uninterruptible Power System) on laite tai järjestelmä, jolla voidaan syöttää jatkuvasti tehoa tai suojata kuormaa riippumatta verkossa tapahtuvista häiriöistä ja katkoista. Tyypillisesti UPS-laitteita käytetään suojaamaan herkästi hajoavia elektroniikkalaitteita kuten tietokoneita, palvelimia tai telekommunikaatiolaitteita. UPS-laitteita voidaan käyttää myös suojaamaan ja ylläpitämään laitteita tai tiloja, joissa pienikin käyttökatos voi aiheuttaa vaaraa ihmisille, palveluille tai liiketoiminnalle.

Yleisimpiä verkossa esiintyviä häiriöitä joilta, UPS-laitteilla voidaan suojautua on yhteensä yhdeksän:

1. verkkokatko
2. jännitteen notkahdus
3. jännitepiikki
4. alijännite
5. ylijännite
6. suurtaajuiset verkkohäiriöt
7. taajuuden vaihtelut
8. kytkentätransientit
9. harmoninen särö. [2.]

3.1 UPS -topologiat

IEC 62040-3 UPS-standardi määrittelee 3 eri UPS -topologiaa, jotka ovat:

1. Stand-by-topologia
2. Line interactive -topologia
3. Double conversion -topologia. [3.]

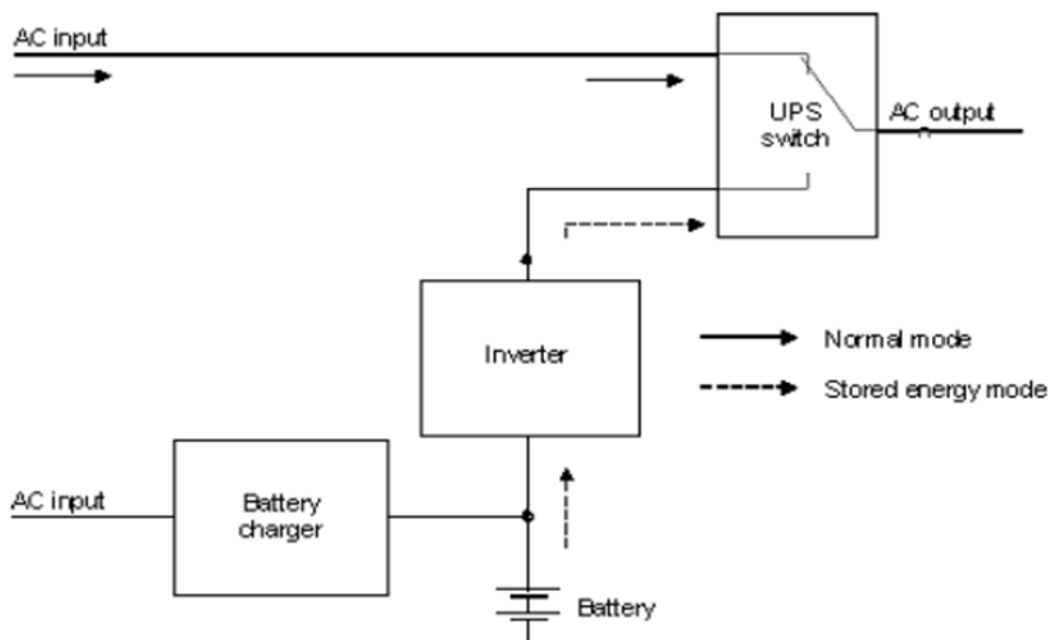
Tiettyä UPS -topologiaa käyttämällä voidaan valita, miltä ylempänä mainituista verkossa esiintyvistä häiriöistä halutaan laitteen lähtöön kytkettyä kuormaa suojata.

UPS-laitteita voidaan kolmen edellä mainitun topologian lisäksi toteuttaa myös vauhtipyörän avulla. Vauhtipyörällä toteutetussa laitteessa on yhdistetty moottori ja generaattori sekä raskas vauhtipyörä. Verkkokatkon aikana vauhtipyörään varastoidun energian avulla pyöritetään generaattoria.

3.1.1 Stand-by-topologia

Stand-by-topologialla suunniteltu UPS-laite soveltuu parhaiten työasemien ja muiden PC-laitteiden suojaamiseen. Normaalissa tilassa laite syöttää tehoa kuorman suoraan verkosta suodatettuna, mutta ilman minkäänlaista aktiivista muunnosta. Laitteen akut ladataan verkosta, ja kun laite huomaa verkkokatkon siirrytään syöttämään tehoa laitteen akuilta. Vaihtosuuntaajan avulla saadaan akkuihin varastoitu tasajännite muunnettua vaihtojännitteeksi.

Kuvassa 1 esitetään stand-by-topologia lohkokaavio:



Kuva 1. Stand-by-topologia [3.]

Edellä mainitulla topologialla suunniteltu UPS-laite on edullisempi kuin Line interactive- tai Double conversion -topologialla suunniteltu laite. Stand-by-topologialla toteutettu laite sopii hyvin esimerkiksi koti- tai toimistokäyttöön silloin, kun verkkojännite on riit-

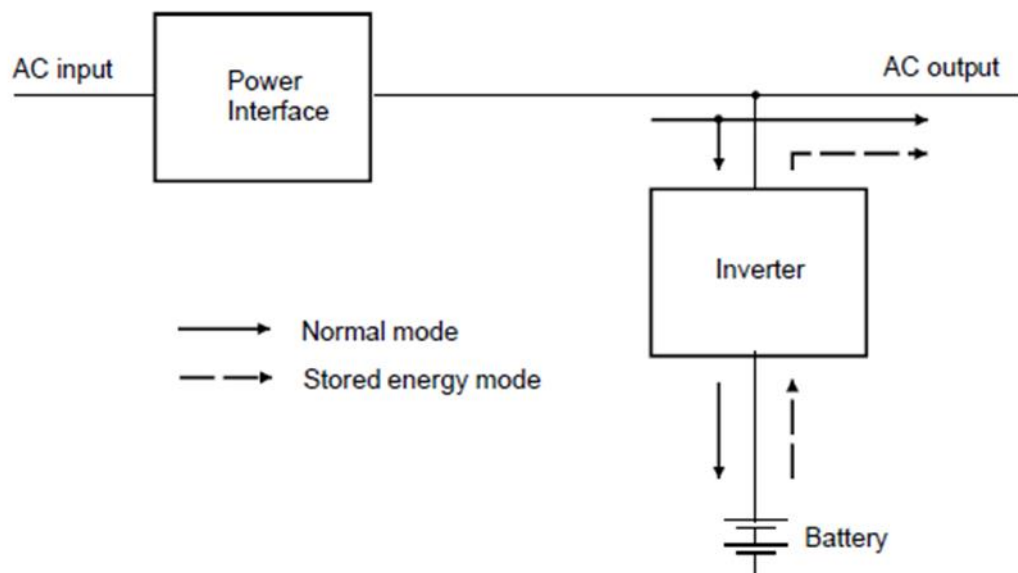
tävän laadukasta. Normaalisissa tiloissa tällä topologialla suunnitellulla ja valmistetulla laitteella on hyvä hyötysuhde, koska laite syöttää tehon kuormalle suoraan verkosta.

3.1.2 Line interactive -topologia

Line interactive -topologialla suunniteltua UPS-laitetta käytetään yleisimmin suojaamaan esimerkiksi yritysten verkkoja ja IT-sovelluksia. Laite on varustettu ohjausyksiköllä, joka sisältää mikroprosessorin jonka avulla tarkkaillaan ja korjataan verkkojännitettä.

Tällä topologialla suunniteltu laite sopii hyvin käytettäväksi verkkoon, jossa esiintyy verkkojännitteen vaihtelua. Verkkokatkon aikana laite toimii kuten ylempänä mainittu Stand-by-topologiaan perustuva UPS-laite.

Kuvassa 2 esitetään Line interactive -topologian lohkokaavio:



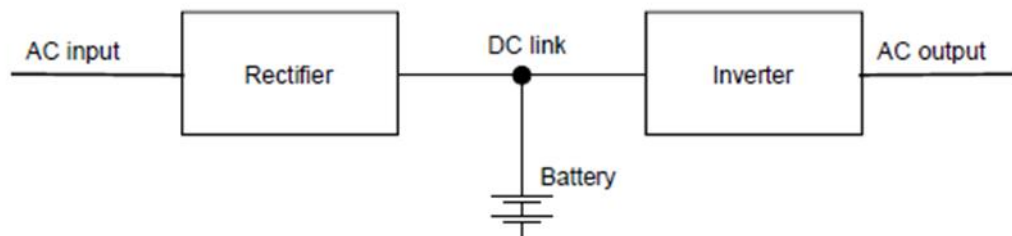
Kuva 2. Line interactive -topologia. [3.]

3.1.3 Double conversion -topologia

Double conversion -topologiolla, jota kutsutaan myös On-line -topologiaksi, voidaan suojautua kaikilta yhdeksältä verkossa esiintyvältä häiriöltä. Normaalisissa tiloissa verkkojännite tasasuunnataan, minkä jälkeen se muutetaan vaihtosuuntaajan avulla vaihtojännitteeksi. Laitteessa on myös usein ohituskytkin, joka mahdollistaa mahdollisissa tasa- tai vaihtosuuntaajan vikatilanteissa katkeamattoman sähkönsyötön kuormalle. Verkkokatkon aikana laite käyttäytyy kuten ylempänä esiteltyt UPS-topologiat eli se syöttää tehoa kuormaan akuilta.

Double conversion -topologiolla suunniteltu laite on riippumaton verkkojännitteestä, joten se sopii kaikenlaisiin sähköverkkoihin, ja sillä voidaan syöttää todella hyvälaatuisia jännitteitä kuormaan. Minkäänlaiset sähköverkossa esiintyvät häiriöt eivät myöskään pääse läpi kuormaan.

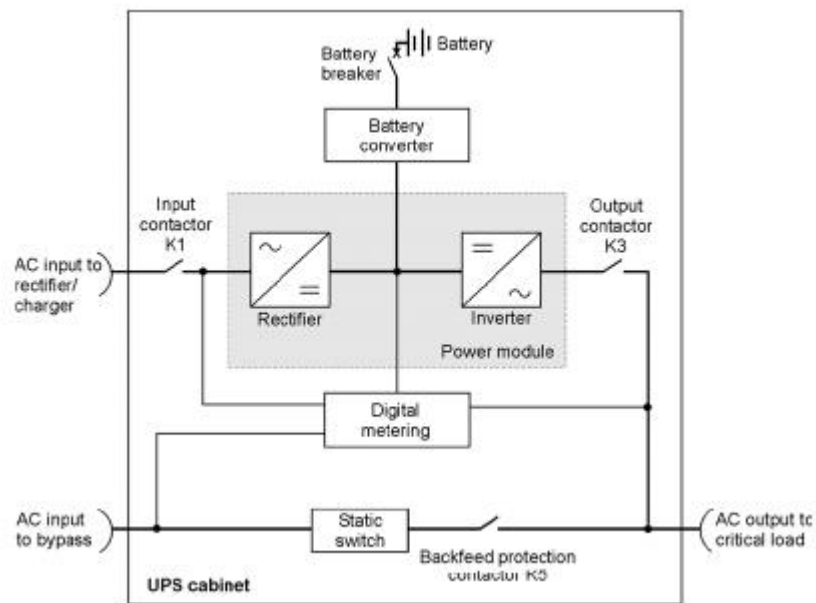
Kuvassa 3 esitetään Double conversion -topologian lohkokaavio:



Kuva 3. Double conversion -topologia [3.]

3.2 Eaton 9395 UPS -laite

Eaton 9395 on Double conversion -topologialla toteutettu kolmivaiheinen UPS-laite, joka suojaa laitteeseen kytkettyä kuormaa kaikilta yhdeksältä aikaisemmin mainitulta verkossa esiintyvältä häiriöltä. Laitteen lohkokaavio esitetään kuvassa 4. Laite on suunniteltu suojaamaan konesalien, sairaaloiden tai vastaavien suurten ja kriittisten kohteiden sähkönsaantia. Laitetta on saatavana 225 - 1 100 kVA:n teholuokissa.



Kuva 4. Eaton 9395 UPS -laitteen lohkokaavio [4.]

3.2.1 Laitteen tekniset tiedot

Laitteen ulkomitat määräytyvät laitteen teholuokan mukaan. Tässä työssä tehdyt mitaukset on tehty 275 kVA:n laitteella, joten seuraavat tekniset tiedot ja ominaisuudet ovat saman teholuokan laitteesta:

- mitat 1 880 x 1 350 x 880 mm (korkeus x leveys x syvyys)
- paino 830 kg
- hyötysuhde > 94,5 % (Double conversion -moodissa, täydellä kuormalla)
- tulojännite 380 V / 400 V / 415 V
- lähtöjännite 380 V / 400 V / 415 V
- lähdön tehokerroin 0,9 (275 kVA = 247,5 kW)
- melutaso < 76 dB(A). [4.]

3.2.2 Laitteen rakenne

Eaton 9395 UPS -laitteen rakenne on jaettu kahteen osaan (kuva 5). Vasemmalla puolella on laitteen ISBM-osa, ja oikealla puolella on laitteen UPM-osa.

Laitteen vasemmalla puolella oleva ISBM-osa sisältää laitteen tulo- ja lähtöliitännät, jotka on sijoitettu erilliseen osaan sekä staattisen ohituskytkimen, virtakytkimet, käyttäjän ja laitteen väliseen kommunikointiin tarvittavat liitännät sekä näytön.



Kuva 5. Eaton 9395 275kVA UPS -laite

Laitteen oikealla puolella oleva UPM-osa sisältää tasa- ja vaihtosuuntaajan, teholähteet, tulo- ja lähtökontaktorit sekä puhaltimet, joilla UPM-osan jäähdytys on toteutettu. Yksi UPM-osa on tehonkestoltaan maksimissaan 275 kVA, joten suuremman teholuokan laitteissa UPM-osia on kahdesta neljään (550 kVA - 1 100 kVA).

Laite on myös mahdollista päivittää myöhemmin kentällä suurempaan teholuokkaan Field-Upgrade UPM:n avulla. Myöhemmin lisättävä UPM-osa sijoitetaan laitteen vasemmalle puolelle. Suurempaan teholuokkaan päivittäminen on mahdollista, jos laitteeseen on asennettu valmiiksi suuremman teholuokan staattinen ohituskytkin.

Eaton 9395 UPS -laite on ilmajäähdytetty. 275 kVA -laitteen jäähdytys on suunniteltu yhteensä kymmentä puhallinta käyttäen. Puhaltimista kaksi on laitteen keskiosassa sijaitsevassa staattisessa ohituskytkimessä, ja kahdeksan puhallinta on sijoitettu laitteen varsinaiseen UPM-osaan. Staattisen ohituskytkimen puhaltimet imevät ilmaa laitteen etuosassa olevien ilmansuodattimien kautta, josta ne jäähdytyslevyn kautta kierrätetään laitteen UPM-osaan. UPM-osassa vaakatasoon sijoitetut puhaltimet imevät myös ilmaa laitteen etuosassa olevien ilmansuodattimien kautta, minkä jälkeen ilma kierrätetään tehopuolijohteiden jäähdytyslevyjen kautta. Lämmin ilma puhalletaan laitteen katossa olevan ritilän läpi ulos.

4 Projektin alkutilanne

Alkutilanteen määrittely osana tuotekehitysprojektia on tärkeää. Kun laitteen suorituskykyä yritetään parantaa, on oltava varma laitteen senhetkistä ominaisuuksista. Projektin alkuvaiheessa tehtävien verifointimittausten tarkoituksena on varmistaa laitteen suorituskyky sekä dokumentoida tilanne, johon projektin aikana tehtyjä muutoksia myöhemmässä vaiheessa verrataan.

Oleellisimmat mittaustulokset joita tämän projektin alkuvaiheessa halutaan tietää sekä myöhemmässä vaiheessa käyttää vertailukohtana liittyvät laitteen melutasoon sekä toimintalämpötilaan. Lisäksi mahdolliset parannukset laitteen hyösuhteeseen halutaan mitata.

4.1 Laitteen melutason määrittäminen

4.1.1 Ääni ja melu

Ääni on hiukkasten värähtelyä, joka etenee väliaineessa aaltoliikkeenä. Väliaine voi olla missä tahansa muodossa, mutta tyhjiössä ääniaalto ei kuitenkaan voi edetä. Hiukkasten värähtely tai ääniaalto voidaan havaita paineen vaihteluina, tihentyminä tai harvennumina, tai hiukkasnopeutena. Tavallisimmin ääntä havaitaan paineen vaihteluna, koska ihmisen kuuloaisti havainnoi ääntä paineenvaihtelun avulla. Tyypillisesti myös mikrofonit havaitsevat ääntä paineen vaihtelun avulla. [5, s 10.]

Äänen ja melun erot ovat häilyvät, koska ääni on terminä neutraalimpi ja kuvastaa yleensä ei niinkään haitallista ilmiötä. Melua sen sijaan käytetään yleisemmin kuvaamaan jotain häiritsevää tai jopa haitallista ilmiötä.

4.1.2 Äänipaine- ja äänitehotaso

Äänipainetaso L_p ilmaisee ihmisen kuuloaistimuksen suuruuden suhteessa äänipaineeseen. Äänipainetaso määritellään kaavalla

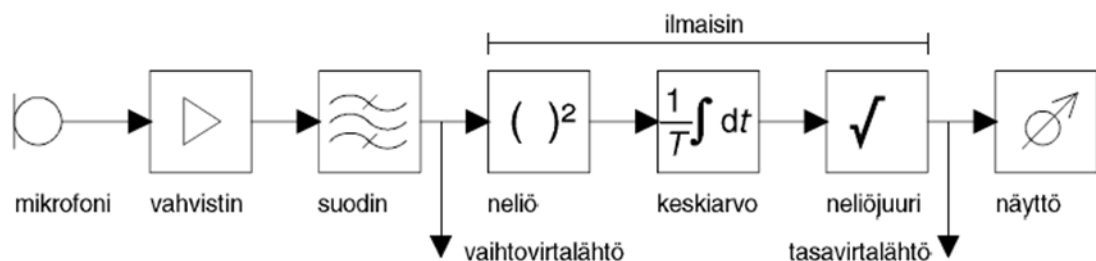
$$L_p = 20 \lg (p/p_0)$$

missä p on tarkasteltava äänipaine, ja p_0 on standardoitu referenssiarvo.

Logaritmimuodon vaatiman referenssipaineen standardoitu arvo on

$$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$$

Melumittarilla eli äänitasomittarilla mitataan äänipainetasoa havaintopisteessä. Havaintopisteessä mitattuun äänipainetasoon vaikuttaa lähteen ääniteho, havaintopisteen ja lähteen etäisyys sekä ympäristön ominaisuudet, kuten pintojen aiheuttamat kaiut tai sen toimiminen esteenä ääniaallolle. Melumittari koostuu yleensä mikrofonista, vahvistimesta, suodimesta, ilmaisimesta sekä näytöstä. Melumittarin lohkokkaavio kuvassa 6:



Kuva 6. Melumittarin lohkokkaavio [5, s 31]

Äänitehotaso L_w ilmaisee lähteen tuottamaa akustista tehoa. Äänitehotason arvo on riippumaton ympäristön ominaisuuksista. Äänitehotaso määritellään kaavalla

$$L_w = 10 \lg P/P_0$$

missä P on mitattu ääniteho ja P_0 on logaritmimuodon vaatima referenssiarvo.

Logaritmimuodon vaatima referenssiarvo on

$$P_0 = 1 \text{ pW}$$

4.1.3 Taajuus ja -painotus

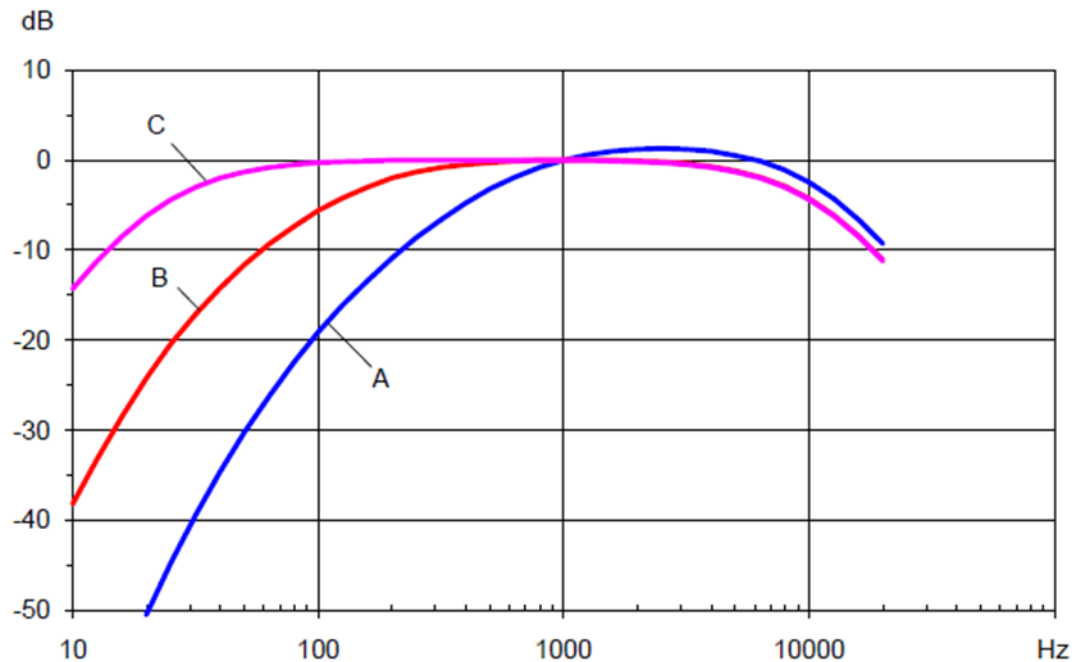
Ääniaallon taajuutta mitataan värähdyksinä sekunnissa, yksikkönä on SI-järjestelmän mukaisesti hertsi. Yleisimmin ihmisen kuuloaisti havaitsee värähtelyä taajuusalueella 16 Hz - 20 kHz. Kuuloaisti on kuitenkin yksilöllinen, joten kaikki ihmiset eivät havainnoi värähtelyä samalla taajuusalueella. Taajuuden aiheuttama tärykalvon värähtelynopeus ja simpukan tuottamat hermoärsykkeet tulkitaan aivoissa matalina ja korkeina ääнинä. Kuuloaistimuksen voimakkuus riippuu sekä taajuudesta, että äänipaineesta.

Ihminen kuulee yleensä parhaiten hieman yli 1 kHz:n taajuusalueella, tämä johtuu korvan rakenteesta. Myös korvan rakenne, kuten korvalehti ja korvakäytävä muokkaavat kuultavan äänen taajuussisältöä. Aikuisen ihmisen korvakäytävä toimii muotonsa vuoksi neljännesaaltoresonaattorina vahvistaen 3 - 5 kHz:n taajuusalueella saapuvia ääniä noin 12 - 15 dB. Sisäkorvan kuuloelimet eivät kuitenkaan pysty tuottamaan hermoärsykeitä kaikista taajuuksista, joten kuulemaksemme taajuusalueeksi jää aikaisemmin mainittu 16 Hz - 20 kHz. [5, s 20]

Melun mittauksessa tulee ottaa huomioon ihmisen kuulon eroavaisuus äänenpaineen ja taajuuden vaihtelussa. Koska ihminen kuulee eri taajuuksien äänipainetasot eri herkkyyksillä, on vakiintunut käytäntö muuttaa laajakaistaisen lineaarisen mittauksen tulokset painotetuksi ihmisen kuuloalueelle. Lineaarisessa mittauksessa jokaisen taajuuden äänipainetaso esitetään sellaisena, kuin se on mitattu. Taajuuspainotussuotimen jälkeen tulos kuvaa tarkemmin ihmisen kuulemaa ääntä.

Painotussuotimet perustuvat korvan standardisoiduille herkkyyssäyrille eri taajuuksilla. Suotimia on eri painotusalueille, mutta vakiintuneimpaan käyttöön on jäänyt A-painotus, joka kuvaa tarkimmin melun häiritsevyyttä ja kuulovaurion syntymistä.

Eri painotussuotimien taajuusvasteita voidaan tarkkailla kuvassa 7:



Kuva 7. Painotussuotimien taajuusvasteita [5, s 31]

A-painotussuotimen siirtofunktio on

$$R_A(f) = \frac{12200^2 \cdot f^4}{(f^2 + 20.6^2) \sqrt{(f^2 + 107.7^2)(f^2 + 737.9^2)} (f^2 + 12200^2)}$$

A-painotussuodin voidaan rakentaa kuudella RC-piirillä, neljällä ylipäästö- ja kahdella alipäästösuotimella.

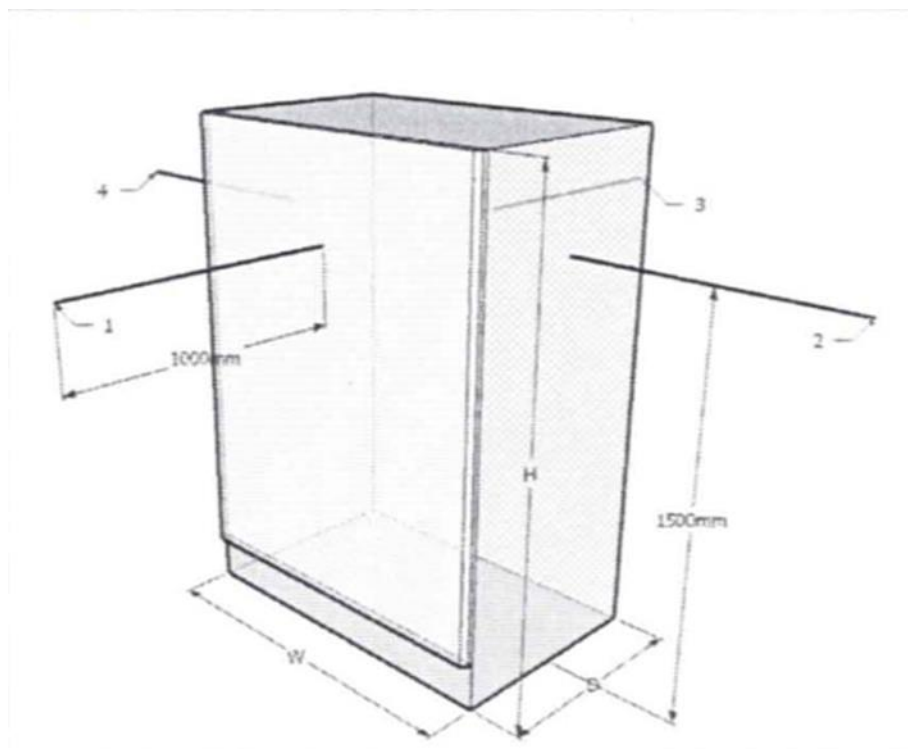
4.1.4 Melutasomittausten toteutus

Melutason määrittämiseen käytettiin analogista Brüel & Kjær 2209 -melumittaria. Mittaukset suoritettiin käyttäen suodattimessa A-painotusta, jota ISO7779:2010 -standardissa suositetaan käytettäväksi. Lisäksi mitattavan laitteen ympärille on lisätty ääntä vaimentavia seiniä, jotta ulkopuolinen melu sekä kauiut saataisiin minimoitua.

Ääntä vaimentavia seiniä käytettiin laitteen ympärillä, koska mahdollisuutta suorittaa mittauksia standardin mukaisesti kaiuttomassa tai puolikaiuttomassa huoneessa ei ollut.

Melutasot mitattiin yhteensä neljästä pisteestä, laitteen edestä ja takaa. Mittapisteet sijaitsivat yhden metrin päässä laitteen seinästä ja puolentoista metrin korkeudella lattiatasosta.

Kuvassa 8 esitetään melumittauksissa käytetyt mittapisteet:



Kuva 8. Mittapisteet

Alkuperäisellä laitteella tehdyt melumittaukset toteutettiin laitteen normaalissa käyttötilanteessa, laitteen ollessa Double conversion -tilassa kuormitettuna.

4.1.5 Mittaustulokset alkuperäisellä laitteella

Alkuperäisellä laitteella tehtyjen melumittausten tulokset toimivat referenssinä myöhemmin tehtäville melumittauksille. Mittaustulokset on pyöristetty lähimpään kokonaislukuun ja niissä on otettu huomioon + 1 dB mittavirhe. Taustamelusta aiheutuvaa haittaa ei tarvitse ottaa huomioon, koska sen taso on huomattavasti mitattavaa melua pienempi. Mittaustuloksia tarkastellessa on otettava huomioon, että toisen mittapisteen takana oli sähkökeskus, eikä ääntä vaimentavaa seinää kuten muissa testipisteissä.

Taulukossa 1 esitetään alkuperäiselle laitteelle tehtyjen melumittausten tulokset:

Taulukko 1. Melumittausten tulokset alkuperäiselle laitteelle.

9395 275 kVA without fan speed control				
	1	2	3	4
244,6 kW	76	74	71	69
178,6 kW	76	74	71	69
124 kW	76	74	71	69
57 kW	76	74	71	69
0 kW	76	74	71	69
Background	44			

4.2 Lämpöajot

Tässä työssä tehdyillä lämpöajoilla on tarjottu kartoittaa laitteen tasa- ja vaihtosuuntaajan IGBT-moduulien lämpötiloja. Alkuperäiselle laitteelle tehtävillä lämpöajoilla halutaan asettaa rajat, joissa laitteen toimintalämpötila halutaan myös tulevaisuudessa pitää. IGBT-moduulien lämpötilat eivät saa myöhemmässä vaiheessa nousta liian korkeiksi, koska liian suuret lämpötilat voivat aiheuttaa komponenttien hajoamista tai niiden eliniän lyhenemistä.

4.2.1 Lämpöajojen toteutus

Laitteen toimintalämpötilaa mitattiin IGBT-moduuleihin valmistajan toimesta integroitujen NTC-vastusten avulla. IGBT-moduulien lämpötiloja mitattiin Keithley 2000 - yleismittarilla, joka oli GPIB-väylän kautta liitetty dataloggeriin, jolla vastusarvot saadaan luettua lämpötiloina Excel-tiedostoon. Lämpötiloja mitattiin yhdeltä IGBT-moduulilta jokaisen vaiheen tasa- ja vaihtosuuntaajalta sekä akku- ja nollahakkurilta.

4.2.2 Lämpöajojen tulokset alkuperäisellä laitteella

Laitetta kuormitettiin tasaisesti maksimaalisella kuormalla niin kauan, että IGBT-moduulien lämpötilat tasaantuivat. Lämpötilat mitattiin myös 75 %:n, 50 %:n sekä 25 %:n kuormituksilla. Alkuperäisellä laitteella tehtyjen lämpöajojen tulokset esitetään taulukossa 2:

Taulukko 2. Alkuperäiselle laitteelle tehdyt lämpöajot

Load (kW)	243,4	177,9	123,3	56,9
Load (%)	100	75	50	25
L1 Inverter (°C)	65,1	54,5	46,2	37,9
L1 Rectifier (°C)	66,0	54,3	45,5	37,1
L2 Inverter (°C)	66,8	55,1	46,2	37,4
L2 Rectifier (°C)	64,7	53,1	44,3	36,0
L3 Inverter (°C)	62,0	51,7	43,9	35,9
L3 Rectifier (°C)	67,2	55,2	46,6	37,4
Neutral (°C)	43,5	42,2	40,7	39,8
Battery (°C)	37,0	34,3	31,8	30,3

4.3 Hyötysuhdemittaukset

Myös puhaltimien pyörimisnopeuden laskun aiheuttamasta mahdollisesta tehon säästöstä halutaan tietää. Pienetkin parannukset laitteen hyötysuhteessa ovat tärkeitä, koska suurempien teholuokkien laitteissa niillä voidaan saada aikaan pidemmällä aikavälillä suuriakin säästöjä tehon kulutuksessa ja sitä kautta asiakkaan sähkölaskussa.

Laskukaava laitteen hyötysuhteen määrittämiseen on

$$\eta = P_{\text{out}} / P_{\text{in}}$$

missä P_{out} on laitteen kaikkien kolmen vaiheen yhteenlaskettu ulostuloteho ja P_{in} laitteen kaikkien kolmen vaiheen yhteenlaskettu sisääntuloteho.

4.3.1 Hyötysuhdemittausten toteutus

Hyötysuhdemittauksia tehdessä käytettiin kuusikanavaista Yokogawa WT1600 -tehomittaria, jolla voidaan mitata jokaisen vaiheen sisään- ja ulostulotehot, joista mittari laskee laitteen hyötysuhteen. Virtamuuntajina mittauksia tehdessä käytettiin HITE-Cin valmistamia erittäin tarkkoja virtamuuntajia.

Hyötysuhdemittaukset toteutettiin IEC62040-3-standardin mukaan. Standardi määrittelee UPS-laitteen suorituskykyyn ja sen mittaamiseen liittyviä asioita. Standardissa määritetään mittaustapa, jota mittauksia tehdessä tulisi käyttää. Laitetta kuormitetaan täydellä kuormatasolla ja odotetaan, kunnes lämpötila laitteen sisällä tasaantuu. Kun vakaa tila on saavutettu, luetaan tehomittarilta tarvittavat mittaustulokset kolme kertaa kymmenen minuutin välein. Sama toistetaan myös 75 %:n, 50 %:n sekä 25 %:n kuormitustasoilla.

4.3.2 Hyötysuhdemittausten tulokset alkuperäisellä laitteella

Alkuperäisellä laitteella tehtyjä hyötysuhdemittauksia verrataan myöhemmässä vaiheessa puhallinohjauksella tehtyihin mittauksiin, jotta voidaan todeta puhaltimien pyörimisnopeuden pienentämisen vaikutus laitteen hyötysuhteeseen.

(Alkuperäisellä laitteella tehtyjen hyötysuhdemittausten tulokset, ks. liite 2.)

5 Puhaltimien ohjaus

5.1 Käytössä oleva puhallin

Laitteen UPM-osassa tuotannossa käytettäväksi puhaltimiksi on hyväksytty kahden eri valmistajan, ominaisuuksiltaan samankaltaiset puhaltimet. Puhaltimien ominaisuudet vastaavat toisiaan. Hyväksytyjen puhaltimien ominaisuuksia ovat:

- koko 172 x 150 x 51 mm
- käyttöjännite 48 VDC
- nimellisvirta 1,65 A
- nimellisteho 79,2 W
- melutaso 74,5 dB(A)
- ilmavirta (Staattinen paine = 0) 415 CFM. [6.]

5.2 Vaihtoehtoinen puhallin

Vaihtoehtoisen puhaltimen valinnassa oli otettava huomioon hyväksytyyn puhaltimen omaisuudet, jotta muutoksilta mekaniikassa ja elektroniikassa vältyttäisiin. Käytännössä vaihtoehtoisen puhaltimen tulee olla kooltaan sama kuin aikaisemmin käytetyn. Sähköisiltä ominaisuuksiltaan puhaltimen tulisi myös täyttää jo hyväksytyyn puhaltimen ominaisuudet, koska puhaltimille tehoa syöttävät teholähteet on suunniteltu ylempänä mainittujen ominaisuuksien perusteella.

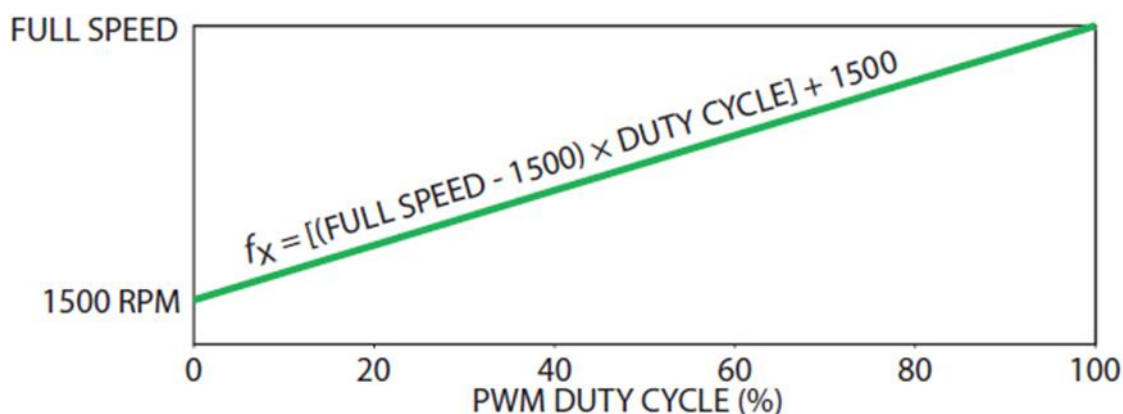
Puhaltimien pyörimisnopeuden ohjaamisen kannalta parhaaksi vaihtoehdoksi valittiin ulkoisen ohjaussignaalin avulla tapahtuva puhaltimen ohjaus. Puhallinvalmistajilla on tarjolla vakiopuhallinmalleihin sisäänrakennettuja piirejä, jolloin käyttäjän tarvitsee tuoda puhaltimelle vain tietynlainen ohjaussignaali.

Aikaisemmin mainittujen vaatimusten perusteella työssä käytettäväksi puhaltimeksi valittiin Nidec X17L48BGM7-07 -puhallin. Puhallin on ominaisuuksiltaan lähes vastaava aikaisemmin käytettyihin verrattuna. Vaihtoehtoisen puhaltimen ominaisuuksia ovat:

- koko 172 x 150 x 51 mm
- käyttöjännite 48 VDC

- nimellisvirta 1,6 A
- nimellisteho 76,8 W
- melutaso 73 dB(A)
- ilmavirta (Staattinen paine = 0) 421 CFM
- maksimi pyörimisnopeus 5 300 RPM. [7.]

Puhaltimen pyörimisnopeutta ohjataan pulssinleveysmodulaation avulla. Pyörimisnopeutta voidaan ohjata välillä 1 500 – 5 300 RPM. Pulssisuhteen ollessa 0 % puhallin pyörii 1 500 kierrosta minuutissa kun taas puhaltimelle syötettävän ohjaussignaalin pulssisuhteen ollessa 100 % pyörii puhallin täydellä nopeudella. Kuvassa 9 esitetään pulssisuhteen vaikutus puhaltimen pyörimisnopeuteen:



Kuva 9. Pulssisuhteen vaikutus pyörimisnopeuteen [7.]

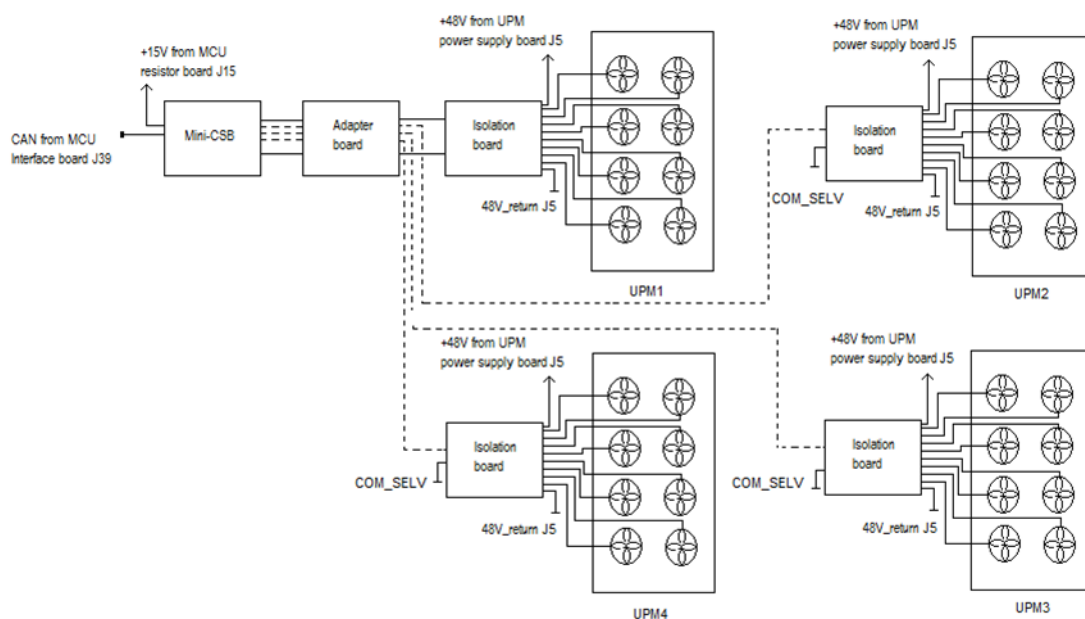
Puhaltimelle syötettävän ohjaussignaalin tulisi olla taajuudeltaan 20 - 30 kHz, ohjaussignaalin ylätaso 2,6 - 6,0 VDC ja ohjaussignaalin alataso -0,5 - 0,5 VDC. [7.]

5.3 Ohjauspiirin suunnittelu ja toteutus

Puhaltimien ohjaus päätettiin toteuttaa lisäämällä laitteeseen yksi Mini-CSB-kortti lisää. Mini-CSB-kortilta löytyy ulostulo, jolla voidaan luoda ohjaussignaali puhaltimien ohjaukselta varten sekä liitettävyyttä laitteen sisäiseen CAN-väylään. CAN-väylän kautta kortille saadaan tarvittavat tiedot, joita puhaltimien ohjaukseen tarvitaan. Lisäksi ohjauspiiriin tarvitaan kortti, josta voidaan jakaa ohjaussignaali neljään eri UPM-osaan. Mini-CSB-

kortin ja liitântäkortin lisäksi jokaiseen UPM-osaan lisätään vielä kortti, jolla erotetaan optisesti vaarallinen jännite, johon laitteen puhaltimet on kytketty, SELV-jännitteestä, johon Mini-CSB-kortti ja liitântäkortti on kytketty.

Puhaltimien ohjaukseen suunniteltu piiri esitetään kuvassa 10:



Kuva 10. Ohjauspiirin lohkokaavio

Ohjauspiirin suunnitteluvaiheessa oli myös muita vaihtoehtoja piirin toteuttamiseen. Valmiin Mini-CSB-kortin käyttäminen puhaltimien ohjaukseen tässä työssä osoittautui parhaaksi ratkaisuksi, koska siitä löytyi valmiiksi liitettävyys laitteen sisäiseen CAN-väylään sekä prosessori, jolla puhaltimien ohjaukseen käytettävä PWM-signaali voidaan luoda. Puhallinohjauspiiriä suunnitellessa on otettu huomioon, että toteutus on mahdollista laajentaa toimimaan enimmillään neljän UPM:n kokoonpanossa.

5.3.1 Mini-CSB-kortti

Laitteeseen lisättävältä Mini-CSB-kortilta löytyy Texas Instrumentsin valmistama TMS320F2812 DSP -prosessori, jolta löytyy kuusi itsenäistä PWM-ulostuloa. PWM-ulostuloihin on lisätty ULN2003A-puskuripiirit, joiden ulostuloista saadaan tarvittaessa 500 mA virtaa. Alunperin ulostulot on tarkoitettu asiakasliitântöihin, joten niistä on jä-

tetty ylös veto kytkemättä. Liitäntäkortille lisätään ylösvedot ulostuloille. Lisäksi kortilla on liittimet mm. CAN-väylälle ja käyttöjännitteille, joita tässä työssä tarvitaan.

5.3.2 Liitäntäkortti

Liitäntäkortilta ohjaussignaalit syötetään jokaiselle UPM-osalle erikseen. Liitäntäkortilla on myös ylösvedot ohjaussignaaleille. Ohjaussignaalit vedetään ylös 3,3 V:in. Mini-CSB-kortilta tuodaan liitäntäkortille 15 V, josta tehdään 3,3 V zenerdiodin avulla. Koska laitteeseen on tarkoitus kytkeä enintään neljä UPM-osaa, tarvitaan optoerottimen LED:n ohjaamiseen noin 10 mA yhtä UPM-osaa kohti ja lisätään 5 mA varaa. Vastuksen arvo lasketaan kaavalla:

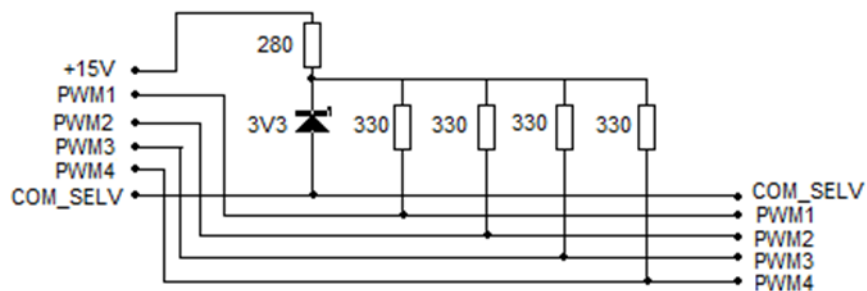
$$R = 12,7 \text{ V} / 45 \text{ mA} = 282 \Omega$$

Vastuksen arvoksi valitaan 280 Ω .

Jokaiselle neljälle ohjaussignaaleille lisättiin 330 Ω :n ylösvetovastukset, jolloin virta rajoittuu 10 mA.

$$R = 3,3 \text{ V} / 10 \text{ mA}$$

Kuvassa 11 esitetään tässä työssä käytetty liitäntäkortti:



Kuva 11. Liitäntäkortti

5.3.3 Erotinkortti

IEC 60950-1 -standardin mukaan SELV-jännitteet on erotettava vaarallisista jännitteistä. Optoerotin on hyvä tapa erottaa ja suojata prosessori sekä muu elektroniikka mahdollisilta jännitepiikeiltä. Optoerottimeksi kortille valittiin 6N137-optoerotin kytkentänopeutensa ansiosta. Halvemmissa, esimerkiksi 4N25-optoerottimessa, kytkentäajat ovat niin suuria, että läpi ajettava signaali vääristyy ja ohjaa puhaltimet väärään nopeuteen. 6N137-optoerottimen vaatima virta on vähintään 6,3 mA ja enintään 15 mA. [8.]

Datalehdessä kerrotaan optoerottimen LED:n kynnysjännitteen olevan tyypillisesti 1,4 V, joten etuvastus voidaan 3,3 V:n jännitetasolla laskea kaavalla

$$R = (3,3 \text{ V} - 1,4 \text{ V}) / 10 \text{ mA} = 190 \ \Omega$$

Valitaan etuvastuksen arvoksi 190 Ω .

6N137-optoerotin tarvitsee myös erillisen käyttöjännitteen, vähintään 4,5 V ja enintään 5,5 V. Tässä työssä jänniteregulointi tehdään zenerdiodilla. Valitaan 4,7 V:n zenerdiodi. Optoerottimen vaatima enimmäisvirta on 15 mA, joten vastusten arvot lasketaan kaavalla

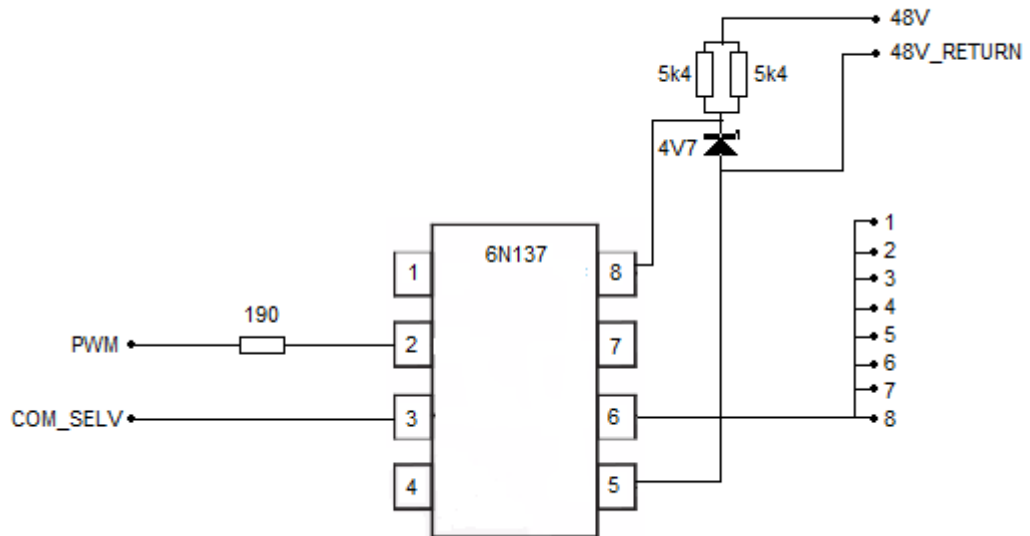
$$R = 48\text{V} - 4,7\text{V} / 15\text{mA} = 2,9\text{k}\Omega$$

Vastuksia valitessa on myös otettava huomioon tehonkesto, joka lasketaan kaavalla

$$P = (48\text{V} - 4,7\text{V})^2 / 2,7\text{k}\Omega = 0,7\text{W}$$

Laskun perusteella valitaan käytettäväksi kaksi rinnankytkettyä 5,4 k Ω vastusta, jotka ovat tehonkestoaltaan 0,4 W.

Kuvassa 12 esitetään työssä käytetty erotinkortti:



Kuva 12. Erotinkortti

5.4 Ohjelmiston kehitys

Puhaltimien ohjaukseen käytettävä ohjelmisto on tehty muokkaamalla Mini-CSB-kortin ohjelmistoa. Mini-CSB-kortilla on Texas Instrumentsin valmistama TMS320F2812 DSP-prosessori, jolla puhaltimia ohjataan.

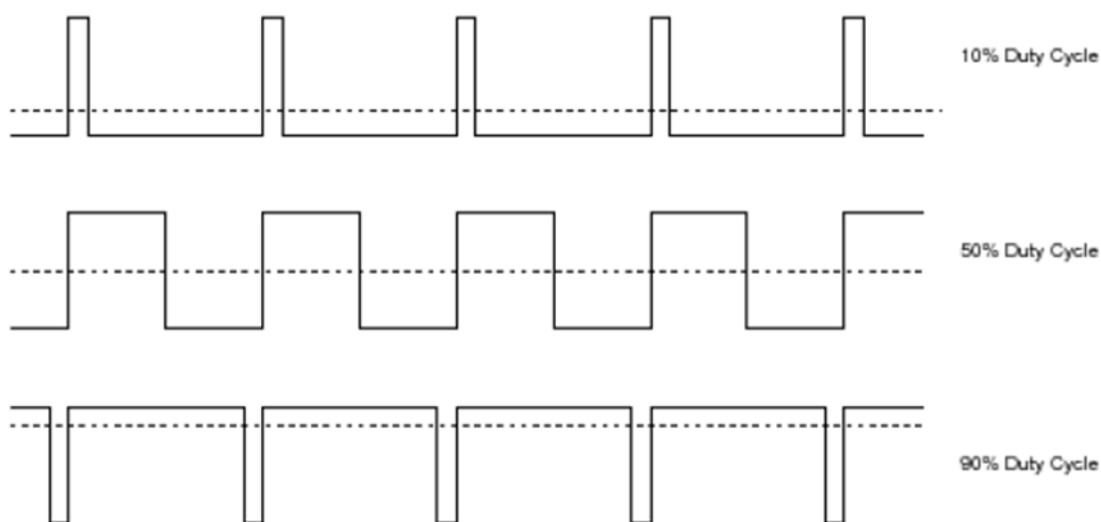
5.4.1 Pulssinleveysmodulaatio

PWM eli pulssinleveysmodulaatio on tekniikka, jolla voidaan säätää kuormaan menevää jännitettä. Jännitettä säädetään kytkemällä jännitettä päälle ja pois. Näiden jakson aikojen suhde määrittää kuormaan menevän jännitteen arvon. Tätä jakson aikojen suhdetta kutsutaan pulssisuhteeksi eli *duty cycleksi*.

Pulssisuhde määritellään kaavalla

$$D = t / T$$

missä t on jakson aika kun jännite on aktiivinen ja T on jakson kokonaisaika. Kuvassa 13 esitetään esimerkkejä PWM-signaaleista:



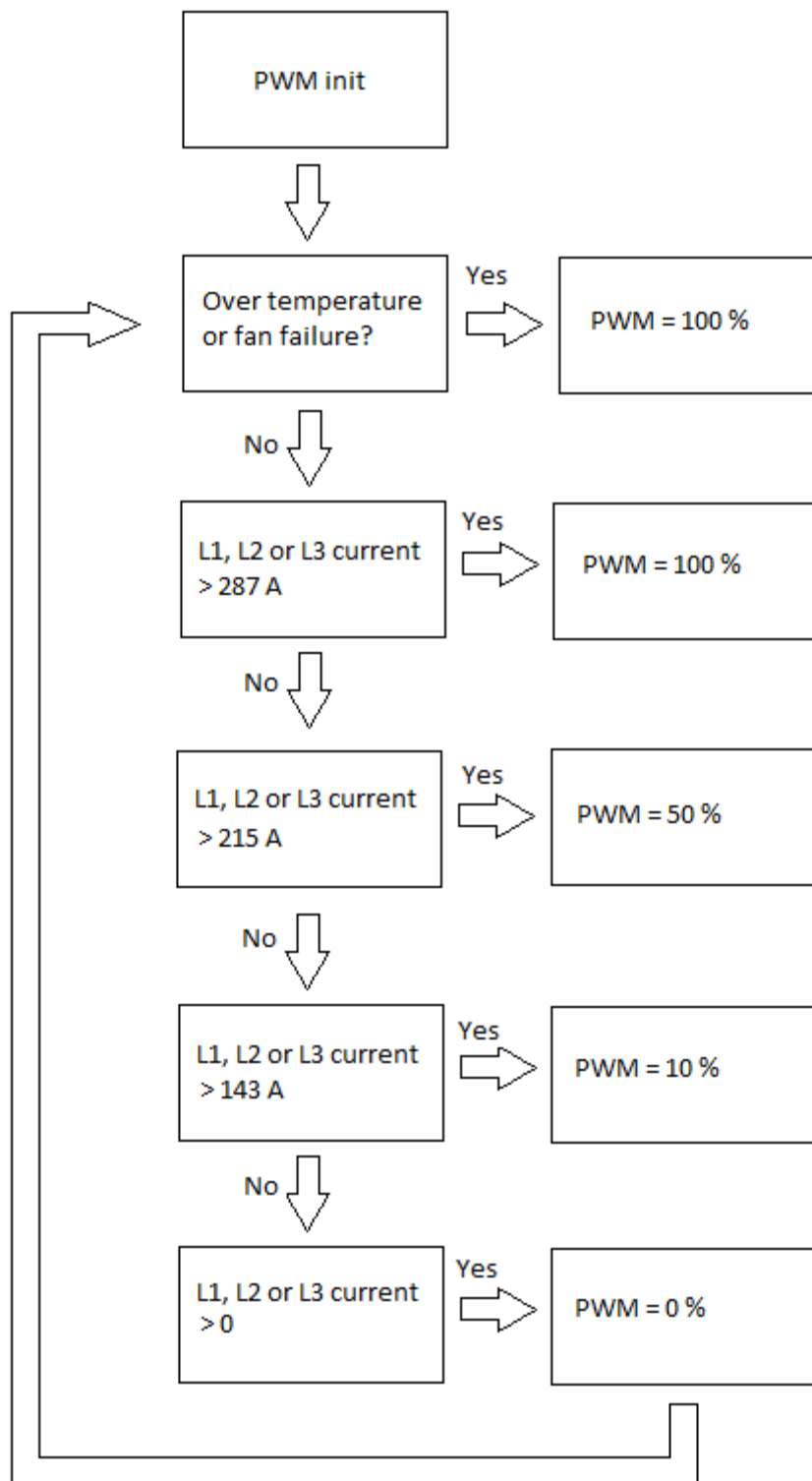
Kuva 13. PWM-signaaleja [9.]

Tässä työssä käytettävällä TMS320F2812-prosessorilla PWM-signaali luodaan Event-Manager -moduulien avulla. Prosessorilla on yhteensä kaksi moduulia: EVA sekä EVB.

Puhaltimien pyörimisnopeus tietyllä kuormatasolla pyritään pitämään mahdollisimman pienenä, jotta melutaso saadaan pidettyä mahdollisimman pienenä. Puhaltimien pyörimisnopeus ei kuitenkaan saa olla liian pieni, koska komponentit saattavat lämmetä liikaa ja sitä kautta rikkoontua. Oikea pyörimisnopeus kullekin kuormatasolle on säädetty kohdalleen kokeilemalla käytännössä, tarkkaillen samalla laitteen lämpötiloja.

5.4.2 Puhallinohjaukseen käytetty ohjelma

Puhaltimien ohjausta varten Mini-CSB-kortin ohjelmistoa on muokattava, jotta kortilta saadaan PWM-signaali ulos. Tässä työssä puhaltimien ohjaukseen tarvitaan yksi signaali, joka jaetaan kahdeksalle puhaltimelle. Puhallinohjaukseen käytettävän ohjelman lohkokaavio esitetään kuvassa 14 (ks. seur. s.).



Kuva 14. Puhaltimien ohjaukseen käytettävän ohjelman lohkokaavio

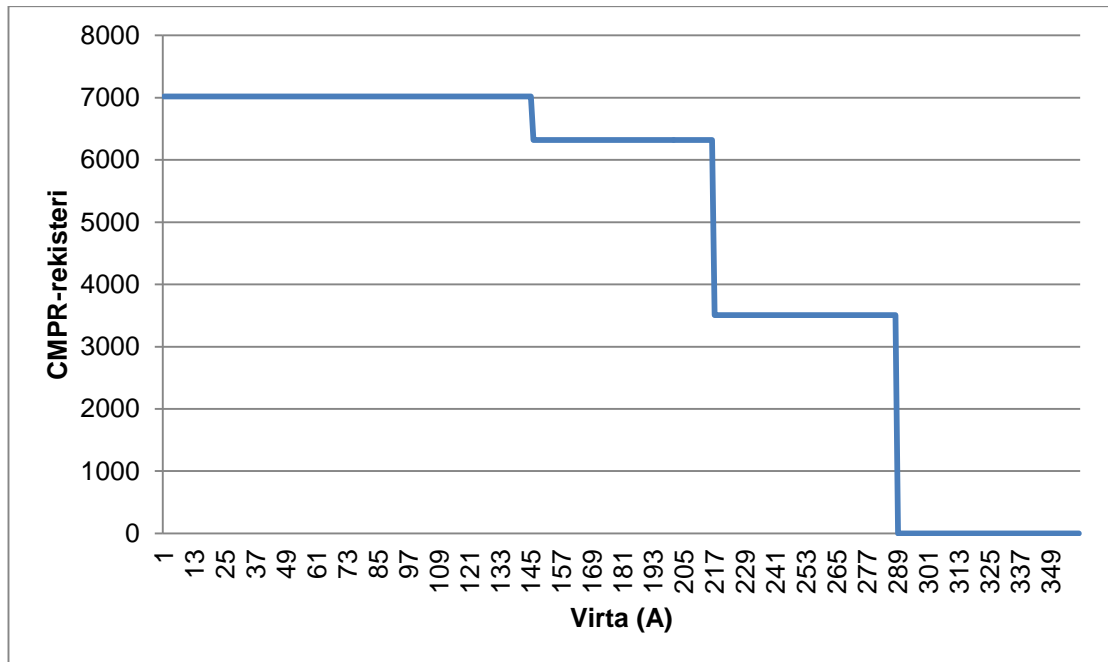
Ohjelmistoa muokattiin käyttämällä Code Composer Studio -kehitysympäritöä. Code Composer Studio on Texas Instrumentsin prosessoreille suunniteltu kehitysympäristö, jolla voidaan kääntää ja debugata ohjelmaa.

Ensimmäisessä funktiossa, fancontrol_init() -funktio, alustetaan ja asetetaan aloitusarvot tarvittaville rekistereille ja otetaan käyttöön PWM-toiminnot. Rekisterit alustetaan ohjelmiston pääohjelmassa. Fancontrol_init() -funktiossa alustetaan seuraavat rekisterit:

- EvbRegs.T3PR
- EvbRegs.T3CMPR
- EvbRegs.T3CNT
- EvbRegs.T3CON
- EvbRegs.ACTRB
- EvbRegs.DBTCORB
- EvbRegs.COMCORB. [10.]

Toisen funktion, updatefanspeed_upm1() -funktio, tehtävänä on ohjata puhaltimia ohjaavan PWM-signaalin pulssisuhdetta. Funktiota ajetaan periodic_funcs()-funktiossa, jolloin pulssisuhdetta ohjaavan rekisterin arvoa päivitetään 100 millisekunnin välein. Funktiiossa tarkkaillaan virtoja laitteen ulostulovaiheissa, jonka mukaan puhaltimien pyörimisnopeutta ohjataan. Lämpötilan noustessa liian suureksi funktio reagoi ohjaamalla puhaltimet täyteen nopeuteen. Sopivat pyörimisnopeudet kullakin kuormatasolla on kokeiltu ohjaamalla puhaltimia funktiogeneraattorin avulla sekä tarkkailemalla IGBT-moduulien lämpötiloja.

Puhaltimien ohjaukseen käytetään tässä työssä porraskunktiota, joka on toteutettu ohjelmakoodiin if-else-rakenteen avulla. Porraskunktio esitetään kuvassa 15 (ks. seur. s.).



Kuva 15. Puhaltimien ohjaukseen käytettävä porrassfuntio

CMPR-rekisterin arvon ollessa 7 018 puhaltimet pyörivät miniminopeudella, joka on 1 500 kierrosta minuutissa. Kun taas rekisterin ollessa arvossa nolla puhaltimet pyörivät 5 300 kierrosta minuutissa, joka on niiden maksimi pyörimisnopeus.

6 Mittaustulokset puhallinohjatulla prototyypillä

6.1 Melutasomittausten tulokset

Puhallinohjauksella varustetulla prototyypillä tehdyissä mittauksissa on otettu huomioon + 1 dB:n mittavirhe, ja ne on pyöristetty lähimpään kokonaislukuun. Myös puhallinohjauksella varustetulle prototyypille tehdyissä mittauksissa taustamelun taso pysyy niin paljon mitattavaa melutasoa pienempänä, että siitä aiheutuvaa haittaa ei tarvitse tuloksissa ottaa huomioon tuloksia käsitellessä.

Puhallinohjatulla prototyypillä tehtyjen melumittausten tulokset esitetään taulukossa 3:

Taulukko 3. Melumittausten tulokset puhallinohjatulla prototyypillä

9395 275 kVA with fan speed control				
	1	2	3	4
244,6 kW	75	72	71	68
178,6 kW	72	68	67	66
124 kW	69	67	67	64
57 kW	69	67	67	64
0 kW	69	67	67	64
Background	42			

Tuloksista voitiin huomata, että puhaltimien pyörimisnopeutta pienentämällä voidaan laskea laitteen pitämää melutasoa. Täydellä kuormituksella laitteen pitämä melutaso on suurinpiirtein sama kuin alkuperäisellä laitteella, koska puhaltimien pyörimisnopeutta ei ohjata. Riippuen kuormasta laitteen pitämää melutasoa saadaan tällä ratkaisulla pienennettyä noin 6 dB.

Melumittauksia tehtäessä kävi ilmi, että laitteen keskiosassa sijaitsevan staattisen ohituskytkimen pitämä melu alkoi vaikuttaa enemmän laitteen melutasoon pienimmillä kuormatasoilla. Ohjaamalla staattisen ohituskytkimen puhallinta laitteen melutasoa voitaisiin mahdollisesti pienentää vielä enemmän. Laitteen ollessa Double conversion - moodissa staattisen ohituskytkimen kautta laitteen kuormaan ei pääse virtaa, joten puhallin voitaisiin ohjata pyörimään pienellä nopeudella.

6.2 Lämpöajojen tulokset

Lämpömittausten päätarkoituksena on todeta, että laitteen IGBT-moduulien lämpötilat eivät pääse nousemaan liian korkeiksi ja sitä kautta komponenttien elinikä laskemaan. Tavoitteena on pysyä lämpötiloissa, joita alkuperäisillä puhaltimilla on mitattu. Mittauksia tehdessä on myös otettava huomioon, että laitteen on toimittava luotettavasti 40 °C:een lämpötilassa, 1 000 m merenpinnasta.

Lämpömittaukset puhallinohjatulla laitteella on tehty 24 °C:een ympäristön lämpötilassa.

Puhallinohjatulla prototyypillä tehtyjen lämpöajojen tulokset esitetään taulukossa 4:

Taulukko 4. Puhallinohjatulla prototyypillä tehdyt lämpöajot

Load (kW)	243,5	177,7	123,8	56,9
Load (%)	100	75	50	25
L1 Inverter (°C)	67,8	62,9	60,5	48,7
L1 Rectifier (°C)	69,6	63,9	60,2	47,5
L2 Inverter (°C)	69,5	63,8	60,7	47,9
L2 Rectifier (°C)	67,3	60,9	56,2	44,0
L3 Inverter (°C)	64,5	59,0	56,3	45,1
L3 Rectifier (°C)	69,7	63,6	58,3	45,3
Neutral (°C)	44,8	47,2	52,0	53,0
Battery (°C)	36,7	35,4	35,0	33,8

6.3 Hyötysuhdemittausten tulokset

Hyötysuhdemittaukset puhallinohjauksella varustetulla prototyypillä on toteutettu samalla tavalla kuin alkuperäiselle laitteelle tehdyt mittaukset. (Mittaustulokset, ks. liite 2)

Täydellä kuormatasolla tehtyjen mittausten tuloksissa alkuperäiseen laitteeseen verrattuna laitteen hyötysuhde pysyy Double conversion -tilassa samana. Pienemmillä kuormatasoilla laitteen hyötysuhdetta voidaan parantaa puhallinohjausta käyttämällä.

Hyötysuhteen parannus esitetään taulukossa 6:

Taulukko 5. Hyötysuhteen parannus ilman puhallinohjausta ja puhallinohjauksen kanssa

Load (%)	100	75	50	25
Efficiency without fan speed control (%)	94,18	94,21	93,73	90,86
Efficiency with fan speed control (%)	94,19	94,33	93,97	91,58
Difference (%)	0,01	0,12	0,24	0,72

Puhallinohjatulla prototyypillä voidaan säästää tehoa pienemmillä kuormatasoilla. Säästöt tehonkulutuksessa esitetään taulukossa 6:

Taulukko 6. Tehohäviöt ilman puhallinohjausta ja puhallinohjauksen kanssa

Without fan speed control				
Load (%)	100	75	50	25
P_{in} (W)	258 560	188 880	131 520	62 690
P_{out} (W)	243 490	177 950	123 280	56 967
Losses	15 070	10 930	8 240	5 723
With fan speed control				
Load (%)	100	75	50	25
P_{in} (W)	258 430	188 410	131 720	62 220
P_{out} (W)	243 430	177 720	123 770	56 970
Losses	15 000	10 690	7 950	5 250
Difference	70	240	290	473

7 Yhteenveto

Työn aikana suunnitellulla ohjauspiirillä pienennettiin prototyypin aiheuttamaa melutasoa, eivätkä laitteen tehokomponenttien toimintalämpötilat nousseet liian korkeiksi.

Tässä insinööriyössä oli tavoitteena UPS-laitteen melutason pienentäminen puhallinohjauksen avulla. Puhaltimien pyörimisnopeuden ohjaamista varten oli suunniteltava ja rakennettava ohjauspiiri, jolla puhallinohjaus toteutettaisiin. Lisäksi nykyiset puhaltimet oli korvattava ohjattavilla puhaltimilla.

Työn alkuvaiheessa tehtiin laitteella referenssimittaukset, jotta prototyyppiin tehtävien muutosten vaikutuksesta voitaisiin olla varmoja. Referenssimittausten jälkeen suunniteltiin ohjauspiiri. Ohjauspiiri asennettiin prototyyppiin, minkä jälkeen prototyyppillä suoritettiin mittaukset, joita verrattiin aikaisemmin tehtyihin referenssimittauksiin.

Työn aikana tehtyjen mittausten perusteella voitiin todeta, että puhaltimien pyörimisnopeutta ohjaamalla voidaan laskea laitteen melutasoa huomattavasti. Tuloksista voidaan myös todeta, että pyörimisnopeutta ohjaamalla laitteen kuormitustason mukaan saadaan laitteen hyötysuhdetta parannettua jonkin verran.

Insinööriyön aihe oli hyvä, koska siinä voitiin tutustua tuotekehitysprojektin eri vaiheisiin sekä tuotekehitysyksikön eri työtehtäviin. Työssä tutustuttiin myös UPS-laitteiden testaukseen sekä elektroniikka- ja ohjelmistosuunnitteluun liittyviin asioihin ja käytäntöihin.

Tulevaisuudessa tämän työn tuloksia voidaan käyttää tuotekehitysprojektissa, jonka tarkoituksena on päivittää laitteen UPM-osaa vastaamaan entistä enemmän nykypäivän vaatimuksia. Projektin päätavoite on parantaa laitteen hyötysuhdetta, jota myös tässä työssä suunnitellulla puhallinohjauspiirillä voidaan parantaa.

Lähteet

- 1 Eaton Corporation. Verkkodokumentti. <<http://www.eaton.com/>>. Luettu 3.11.2012.
- 2 Eaton Corporation. UPS-käsikirja. Sisäinen dokumentti.
- 3 International Electrotechnical Commission. IEC 62040-3.
- 4 Eaton Corporation. Eaton 9395 UPS 225-550 kVA Installation and Operation Manual. Sisäinen dokumentti.
- 5 Lahti Tapio. Akustinen mittaustekniikka. TKK:n raporttisarja, raportti 38.
- 6 Nidec A35516-59PW1-Datasheet. Sisäinen dokumentti.
- 7 Nidec X17L48BGM7-07-Datasheet. Sisäinen dokumentti.
- 8 6N137-Datasheet. Verkkodokumentti. <<http://www.fairchildsemi.com/ds/6N/6N137.pdf>>. Luettu 14.12.2012.
- 9 Pulse Width Modulation. Verkkodokumentti. <<http://www.best-microcontroller-projects.com/pwm-pic.html>>. Luettu 19.12.2012.
- 10 TI TMS320F2812 DSP Processor Data Manual. Verkkodokumentti. <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tms320f2810.pdf>> Luettu 16.12.2012

Ohjelmakoodi

```
#include "DSP28_Device.h"
```

```
#include "meters.h"
```

```
#include "nodebits.h"
```

```
void fancontrol_init() // PWM-toimintojen ja -rekisterien alustus
```

```
{
```

```
    EvbRegs.T3PR = 0x1B6A;
```

```
    EvbRegs.T3CNT = 0x0000;
```

```
    EvbRegs.T3CON.all = 0x1042;
```

```
    EvbRegs.ACTRB.all = 0x0AAA;
```

```
    EvbRegs.DBTCNB.all = 0x0000;
```

```
    EvbRegs.COMCNB.all = 0xA600;
```

```
}
```

```
void updatefanspeed_upm1() // Puhaltimien pyörimisnopeuden ohjaus
```

```
{
```

```
    if      (NB_GetNodebit(INVERTER_BATT_OT_WARNING_LVL)      ||
NB_GetNodebit(RECTIFIER_NEUTRAL_OT_WARNING_LVL)             ||
NB_GetNodebit(INVERTER_BATT_OT_SHUTDOWN_LVL)                ||
NB_GetNodebit(RECTIFIER_NEUTRAL_OT_SHUTDOWN_LVL)            ||
NB_GetNodebit(FAN_FAILURE))
```

```
{
```

```
    EvbRegs.CMPR4 = 0x0000; // 0=100% PWM
```

```
}

    else if (PMFMeters[0].I1Out_Meter > 2869 || PMFMeters[0].I2Out_Meter > 2869
|| PMFMeters[0].I3Out_Meter > 2869)

    {

        EvbRegs.CMPR4 = 0x0000; // 0=100% PWM

    }

    else if (PMFMeters[0].I1Out_Meter > 2152 || PMFMeters[0].I2Out_Meter > 2152
|| PMFMeters[0].I3Out_Meter > 2152)

    {

        EvbRegs.CMPR4 = 0x0DB5; // 0DB5=50% PWM

    }

    else if (PMFMeters[0].I1Out_Meter > 1435 || PMFMeters[0].I2Out_Meter > 1435
|| PMFMeters[0].I3Out_Meter > 1435)

    {

        EvbRegs.CMPR4 = 0x18AE; // 18AE= 10% PWM

    }

    else if (PMFMeters[0].I1Out_Meter >= 0000 || PMFMeters[0].I2Out_Meter >=
0000 || PMFMeters[0].I3Out_Meter >= 0000)

    {

        EvbRegs.CMPR4 = 0x1B6A; // 1B6A = 0% PWM

    }

}
```

Hyötysuhdemittausten tulokset

Hyötysuhdemittausten tulokset ilman puhallinohjausta.

Normal mode	Resistive load											
	25% load			50% load			75% load			100% load		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
U_{input}	236,60	236,78	237,20	236,88	236,77	236,70	235,84	236,45	236,27	234,51	234,73	234,84
L ₁	236,37	236,54	236,92	236,50	236,29	236,13	235,42	235,96	235,49	234,34	234,27	234,36
L ₂	237,58	237,45	237,82	237,50	237,39	237,28	236,83	237,01	236,94	235,56	235,58	235,60
L ₃	89,22	89,17	89,17	185,34	185,67	186,02	267,40	267,39	267,14	367,95	367,17	367,12
I_{input}	88,74	88,86	88,70	185,12	184,81	185,02	266,17	265,51	266,07	364,99	366,70	365,96
L ₁	88,41	88,28	87,98	185,16	185,67	185,30	267,13	266,35	266,90	368,75	367,45	367,50
L ₂	20,990,00	21,000,00	21,040,00	43,860,00	43,920,00	43,990,00	63,040,00	63,200,00	63,090,00	86,260,00	86,150,00	86,180,00
L ₃	20,860,00	20,900,00	20,900,00	43,730,00	43,620,00	43,640,00	62,620,00	62,600,00	62,610,00	85,480,00	85,850,00	85,710,00
P_{input}	20,840,00	20,800,00	20,770,00	43,920,00	44,020,00	43,920,00	63,230,00	63,090,00	63,200,00	86,830,00	86,530,00	86,550,00
L ₁	62,690,00	62,700,00	62,700,00	131,520,00	131,570,00	131,550,00	188,880,00	188,890,00	188,910,00	258,560,00	258,530,00	258,440,00
L ₂	21,110,00	21,110,00	21,150,00	43,960,00	43,960,00	44,030,00	63,060,00	63,220,00	63,120,00	86,290,00	86,180,00	86,210,00
L ₃	20,980,00	21,020,00	21,020,00	43,780,00	43,670,00	43,690,00	62,660,00	62,650,00	62,660,00	85,530,00	85,910,00	85,770,00
S_{input}	21,000,00	20,960,00	20,920,00	43,980,00	44,080,00	43,970,00	63,270,00	63,130,00	63,240,00	86,860,00	86,570,00	86,590,00
Total	63,090,00	63,100,00	63,090,00	131,660,00	131,710,00	131,690,00	188,990,00	189,000,00	189,010,00	258,690,00	258,660,00	258,570,00
p_{finput}	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
f_{input}	50,04	50,00	50,02	50,00	49,98	49,97	49,93	50,00	49,94	50,00	49,97	49,93
L ₁	230,14	230,16	230,14	229,54	229,58	229,58	229,03	229,04	229,06	228,46	228,49	228,43
L ₂	230,29	230,30	230,34	229,75	229,73	229,77	229,32	229,34	229,33	228,81	228,78	228,77
L ₃	230,26	230,25	230,26	229,72	229,79	229,73	229,28	229,30	229,30	228,79	228,76	228,74
L ₁	81,84	81,84	81,84	178,86	178,89	178,88	258,21	258,22	258,24	352,80	352,83	352,75
L ₂	82,82	82,82	82,84	178,57	178,56	178,57	258,80	258,82	258,81	355,71	355,69	355,66
L ₃	82,78	82,78	82,78	179,39	179,44	179,39	259,40	259,43	259,42	356,31	356,26	356,24
L ₁	18,834,00	18,835,00	18,833,00	41,050,00	41,070,00	41,060,00	59,130,00	59,140,00	59,150,00	80,590,00	80,610,00	80,570,00
L ₂	19,071,00	19,073,00	19,079,00	41,020,00	41,020,00	41,030,00	59,340,00	59,350,00	59,350,00	81,380,00	81,370,00	81,360,00
L ₃	19,061,00	19,060,00	19,061,00	41,210,00	41,230,00	41,210,00	59,470,00	59,480,00	59,480,00	81,510,00	81,490,00	81,480,00
P_{output}	56,967,00	56,968,00	56,974,00	123,280,00	123,320,00	123,300,00	177,950,00	177,980,00	177,980,00	243,490,00	243,470,00	243,410,00
L ₁	18,835,00	18,836,00	18,834,00	41,060,00	41,070,00	41,070,00	59,140,00	59,140,00	59,150,00	80,600,00	80,620,00	80,580,00
L ₂	19,072,00	19,074,00	19,080,00	41,030,00	41,020,00	41,030,00	59,350,00	59,360,00	59,350,00	81,390,00	81,380,00	81,370,00
L ₃	19,062,00	19,061,00	19,062,00	41,210,00	41,230,00	41,210,00	59,480,00	59,490,00	59,480,00	81,520,00	81,500,00	81,490,00
S_{output}	56,970,00	56,971,00	56,977,00	123,290,00	123,320,00	123,310,00	177,960,00	177,990,00	177,990,00	243,510,00	243,490,00	243,430,00
p_{foutput}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
U_{battery}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
I_{battery}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P_{battery}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Efficiency (Avg)	90,87	90,86	90,86	93,74	93,73	93,73	94,21	94,22	94,21	94,17	94,18	94,19
Efficiency (Avg)	90,86			93,73			94,21			94,18		

