

## **Tutkintotyö**

Juha Jokiniemi

**AC -moottoreiden kuormituskokeet ja luokitukset jaksottaiskäyttöön**

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Sähkötekniikan koulutusohjelma

### Sähkövoimatekniikka

Jokiniemi, Juha

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Työn valvojat

Huhtikuu 2009

Hakusanat

AC moottoreiden kuormituskokeet ja luokitukset jaksottaiskäyttöön

39 sivua + 19 liitesivua

Eerik Mäkinen

ABB Oy Service

Jorma Lillinen ja Veikko Kivelä

Kuormituskoe, nimelliskäyttöluokka, luokitus

## TIIVISTELMÄ

ABB Oy Servicen Nokian huoltokorjaamolla suoritetaan kuormituskokeita oikosulkumoottoreille. Moottorit koestetaan ja hyväksytyn kuormituskokeen jälkeen leimataan tarkastuslaitoksen toimesta eri nimelliskäyttöluokkiin.

Työn tarkoituksena oli tehdä selkeät kuormitusohjeet jokaiselle nimelliskäyttöluokalle sekä selvittää kuormituslaitteiston toiminta koestustilanteessa.

Lähdetietoina työssä käytettiin huoltokorjaamon henkilökunnan osaamista sekä järjestelmästä aikaisemmin tehtyjä erilaisia dokumentteja. Kuormitusohjeet nimelliskäyttöluokkiin tehtiin osaltaan kansainvälisten standardien mukaan.

Tutkintotyön ansiosta järjestelmään perehtymätön henkilö voi melko nopeasti sisäistää koestustapahtuman kulun sekä kuormituslaitteiston eri komponenttien tarkoituksen järjestelmän toiminnassa.

TAMK UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electrical Engineering

Electric Power Engineering

Jokiniemi, Juha

Loading tests of AC-motors and ratings to loading duties

Engineering thesis

39 pages + 19 appendices

Thesis advisor

Eerik Mäkinen

Commissioning company

ABB Oy Service

Supervisors

Jorma Lillinen and Veikko Kivelä

April 2009

Keywords

Loading test, loading duty, rating

**ABSTRACT**

ABB Oy Service at Nokia performs loading tests for cage induction motors. After passed loading test officially accredited inspector marks motors to different rated loading classes.

Main purpose of this work was to do well-defined loading instructions to every rated loading class and explain operations of loading machinery in action.

Source of information in this work was knowledge of personnel and previously made documentation from system. Instructions to loading tests were done based on international standards.

With operation instructions of loading tests even unfamiliar person can quite easily understand progress of loading test and function of different components in active loading system.

## ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö tehtiin ABB Oy Servicelle Nokialle. Tahtoisinkin kiittää valvojia Veikko Kivelää ja Jorma Lillistä sekä muuta huoltokorjaamon henkilökuntaa asiantuntevasta avusta työn aikana. Oman kiitoksensa ansaitsee myös työn ohjaaja Eerik Mäkinen, joka jaksoi opastaa ja kannustaa eteenpäin työn edetessä.

Suuri kiitos kuuluu myös kaikille sukulaisille ja kavereille joiden ansiosta epäuskon hetkienkin jälkeen löytyi motivaatiota jatkaa eteenpäin.

Halikossa huhtikuussa 2009

Juha Jokiniemi

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>TIIVISTELMÄ .....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>ALKUSANAT .....</b>	<b>4</b>
<b>SISÄLLYSLUETTELO .....</b>	<b>5</b>
<b>SYMBOLILUETTELO .....</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>7</b>
<b>2 SÄHKÖKONEIDEN NIMELLISKÄYTTÖTAVAT /1/ .....</b>	<b>8</b>
2.1 Jatkuva käyttö S1 .....	8
2.2 Lyhytaikainen käyttö S2 .....	9
2.3 Jaksollinen ajoittaiskäyttö S3 .....	9
2.4 Jaksollinen käynnistyskäyttö S4 .....	10
2.5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö S5 .....	11
2.6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö S6 .....	12
2.7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö S7 .....	13
2.8 Pysähtymätön määräajaksollinen käyttö S8 .....	14
2.9 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella S9 .....	15
2.10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla S10 .....	16
<b>3 KUORMITUSKOKEET .....</b>	<b>17</b>
3.1 Kuormituskoe .....	18
3.1.1 Jatkuva käyttö .....	18
3.1.2 Lyhytaikainen käyttö .....	19
3.1.3 Jaksolliset käytöt .....	19
3.1.4 Käytöt vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella sekä vakiokuormalla .....	23
3.2 Ylinopeuskoe .....	23
3.3 Ylikuormituskoe .....	23
3.4 Oikosulkukoe .....	24
<b>4 MITTAUKSET .....</b>	<b>24</b>
4.1 Lämpenemän mittaus käämityksen resistanssin avulla .....	24
4.2 Lämpenemän mittaus rungosta ja laakerikilvestä .....	26
4.3 Sallitut lämpenemät .....	28
4.4 Mittaukset oikosulkukokeessa .....	28
4.4 Moottoreiden leimaukset .....	29
<b>5 KUORMITUSLAITTEISTO .....</b>	<b>29</b>
5.1 Kuormituskoneet .....	29
5.2 Taajuusmuuttajat .....	32
<b>6 YHTEENVETO .....</b>	<b>36</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>38</b>
<b>LIITTEET .....</b>	<b>39</b>

## SYMBOLILUETTELO

$P$	kuormitusteho
$P_v$	häviöteho
$P_{\text{ref}}$	vertailuteho
$P_i$	kuormituksen vakioiteho käyttöjaksossa
$\Theta$	lämpenemä
$\Theta_{\text{max}}$	maksimilämpenemä
$\Theta_{\text{ref}}$	vertailulämpenemä
$t$	aika
$t_i$	vakiokuormituksen aika käyttöjaksossa
$n$	pyörimisnopeus
$T_C$	käyttöjakso
$\Delta t_P$	toiminta-aika vakiokuormituksella
$\Delta t_R$	lepoaika
$\Delta t_D$	käynnistysaika
$\Delta t_F$	jarrutusaika
$\Delta t_V$	tyhjäkäyntiaika
$\Delta t_S$	ylikuormitusaika
$\Delta \Theta_i$	koneen lämpenemän ero vertailulämpenemään käyttöjaksossa

## 1 JOHDANTO

ABB Oy Servicen huoltokorjaamolla Nokialla koestetaan Lönnerin vaihtosähkömoottoreita, joita käytetään laivakäytöissä lähinnä ankkureiden ja ramppien hydraulipumpuissa. Koneet ovat jatkuvaan käyttöön luokitettuja vakimoottoreita, joita testataan ja leimataan uudelleen. Tällä järjestelyllä saadaan moottorin toimitusaika lyhyemmäksi, koska ei ole tarvetta valmistaa konetta eri nimelliskäyttötavoille, vaan moottori koestetaan ja leimataan jälkeensä. Uudelleen leimauksen ansiosta voidaan myös käyttää pienempitehoisia moottoreita, koska koneen käyttö ei ole jatkuvaa ja sen on mahdollista jäähtyä käyttöjaksojen välillä.

Koneet kuormitetaan kuormituslaitteistolla, johon kuuluu kaksi erikokoista DC-moottoria, joilla tuotetaan testattavalle moottorille tarvittava vastamomentti. Näitä kuormituskoneita syötetään verkkosillan avulla joka tasasuuntaa sillan syöttöjännitteen sekä vastaavasti vaihtosuuntaa ja syöttää verkkoon kuormituskoneilta tulevan tehon generaattorikäytöllä. Testattavia moottoreita syötetään konekoosta riippuen jommallakummalla taajuusmuuttajalla, joita ohjataan koestuskentällä sijaitsevilla ohjauspaneelilla.

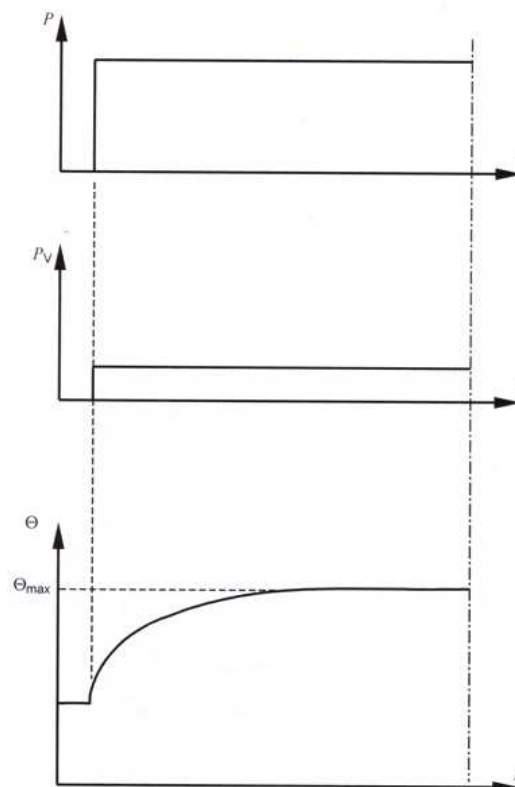
Työssä tullaan esittelemään kuormituslaitteisto sekä sen toiminta kokonaisuutena. Osana työtä valmistuu myös kuormituslaitteiston käyttöohje, jonka avulla perussähkötekniikan tunteva henkilö osaa käyttää laitteistoa ja suorittaa kuormituskokeita.

## 2 SÄHKÖKONEIDEN NIMELLISKÄYTTÖTAVAT /1/

Pyörivät sähkökoneet luokitellaan niiden käyttötapojen mukaan eri nimelliskäyttöta-voille. Yleisesti kaikki moottorit valmistetaan jatkuvaa käyttöä varten ja niiden luoki-tukset toiseen käyttötapaan tehdään valtuutettujen luokituslaitoksien valvomien kuor-mituskokeiden avulla. Eri nimelliskäyttötapojen ansiosta voidaan pyörivää sähkö-konetta käyttää nimellistehoja suuremmilla tehoilla, jos huolehditaan siitä, että koneen kokonaislämpenemä ei kasva ja kone suoriutuu muilta osin kuormituksen vaatimasta käytöstä.

### 2.1 Jatkuva käyttö S1

Jatkuvassa käytössä moottori käy nimellistehollaan niin kauan, että saavutetaan jatku-van käytön loppulämpötila. Koneen arvokilpeen nimelliskäyttötapa merkitään leima-uksella S1, mikä ei kuitenkaan ole pakollista. Kuvassa 1 on esitetty kuormitusteho, te-hohäviöt ja lämpenemä ajan funktiona.

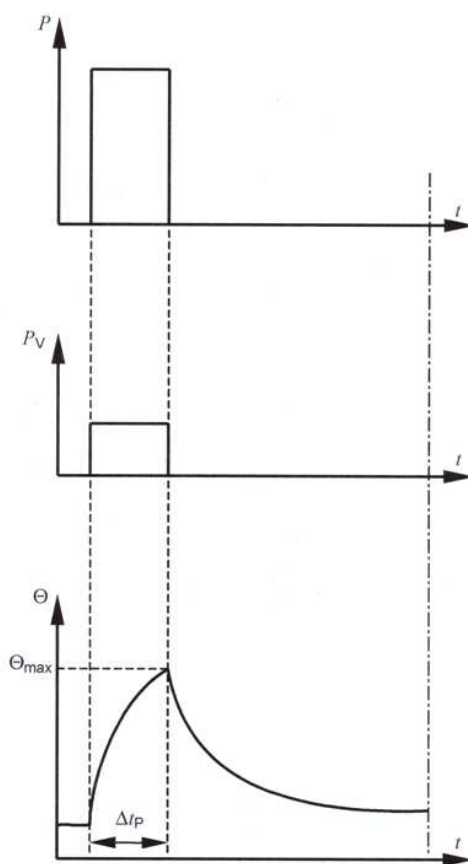


Kuva 1. Nimelliskäyttötavan S1 periaatteellinen kuvaaja



## 2.2 Lyhytaikainen käyttö S2

Koneen ennalta määrätty käyttöaika on niin lyhyt, että kone ei nimellistehollaan kuormitettuna ehdi saavuttaa jatkuvan käytön loppulämpötilaa. Ennen seuraavaa käyttöä moottorin annetaan jäähtyä ympäröivän ilman tai jäähdytysaineen lämpötilaan. Standardissa suositellaan käyttöaikoja 10, 30, 60 ja 90 minuuttia. Leimaus koneen arvokilpeen on muotoa S2 30 min. Kuvassa 2 on esitetty kuormitustehon, häviötehon ja lämpenemän kuvaajat ajan funktiona.

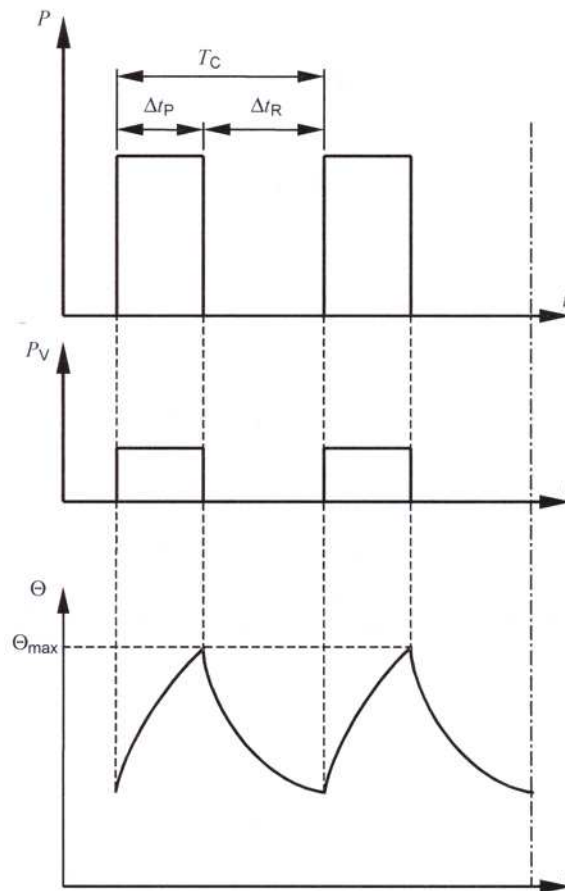


Kuva 2. Nimelliskäyttötavan S2 periaatteellinen kuvaaja

## 2.3 Jaksollinen ajoittaiskäyttö S3

Jaksollinen ajoittaiskäyttö muodostuu keskenään samanlaisista käyttöjaksoista, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisona-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Koneen käynnistykset eivät vaikuta merkittävästi lämpenemään.

Toiminta-ajan suhdetta käyttöjakson keston kuvaava ajoittaiskäyttökerroin, jonka arvo ilmoitetaan leimauksessa käyttötavan yhteydessä. Nimelliskäyttötavan S3 ajoittaiskäyttökerroin voidaan ratkaista kaavasta  $\Delta t_P / T_C$ . Luokituksissa yleisesti käytetyt ajoittaiskäyttökertoimet ovat 15, 25, 40 ja 60 % ja käyttöjakson pituus 10 minuuttia. Leimaus koneen arvokilvessä on muotoa S3 25 %. Kuvassa 3 on esitetty S3-käytön kuormitustehon, häviötehon ja lämpenemän periaatteellinen kuvaaja ajan funktiona.



Kuva 3. Nimelliskäyttötavan S3 periaatteellinen kuvaaja

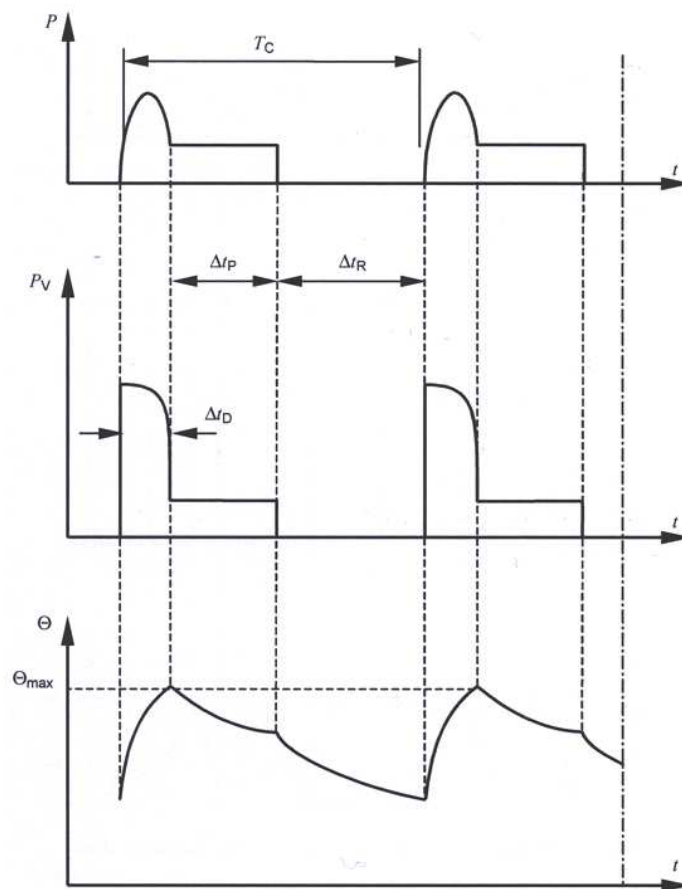
## 2.4 Jaksollinen käynnistyskäyttö S4

Jaksollinen käynnistyskäyttö muodostuu keskenään samanlaisista käyttöjaksoista, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisonta-aika. Toiminta-ajan jälkeen moottori pysähtyy luonnollisesti hidastumalla tai mekaanisen jarrun avulla, jolloin moottori ei rasitu termisesti.

Leimauksessa käyttötavan jälkeen esitetään ajoittaiskäyttökerroin, joka tässä tapauksessa saadaan selville kaavalla  $(\Delta t_D + \Delta t_P) / T_C$ , moottorin roottorin hitausmomentti  $J_M$  ja moottorin nimellisaika nopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti  $J_{ext}$ . Leimaus koneen arvokilvessä on esimerkiksi seuraavanlainen:

S4 25 %  $J_M = 0,1 \text{ kgm}^2$   $J_{ext} = 0,1 \text{ kgm}^2$ .

Kuvassa 4 on esitetty nimelliskäyttötavan S4 periaatteellinen kuvaaja.



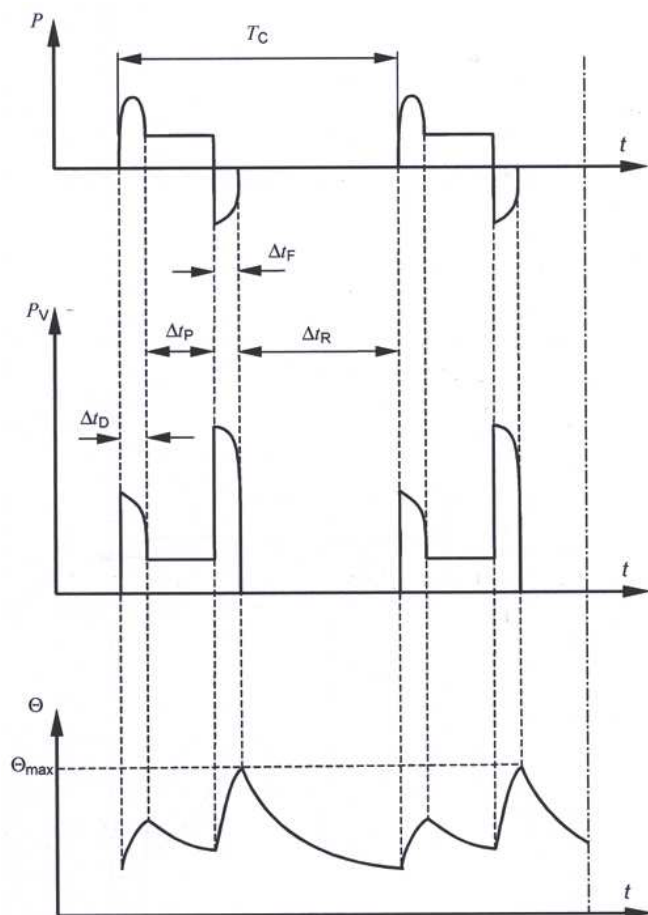
Kuva 4. Nimelliskäyttötavan S4 periaatteellinen kuvaaja

## 2.5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö S5

Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö eroaa S4:stä siten, että käynnistysajan, toiminta-ajan vakiokuormituksella sekä seisonta-ajan lisäksi käyttötavassa on jarrutusai-ka, jolloin kuorma pysäytetään moottorin avulla käyttäen esimerkiksi vastavirtajarrutusta, joka rasittaa moottoria termisesti. Koneen arvokilvessä oleva leimaus on samaa muotoa kuin se on käyttötavalla S4, eli esimerkiksi seuraavanlainen:

S5 40 %  $J_M = 1,3 \text{ kgm}^2$   $J_{\text{ext}} = 2,6 \text{ kgm}^2$ .

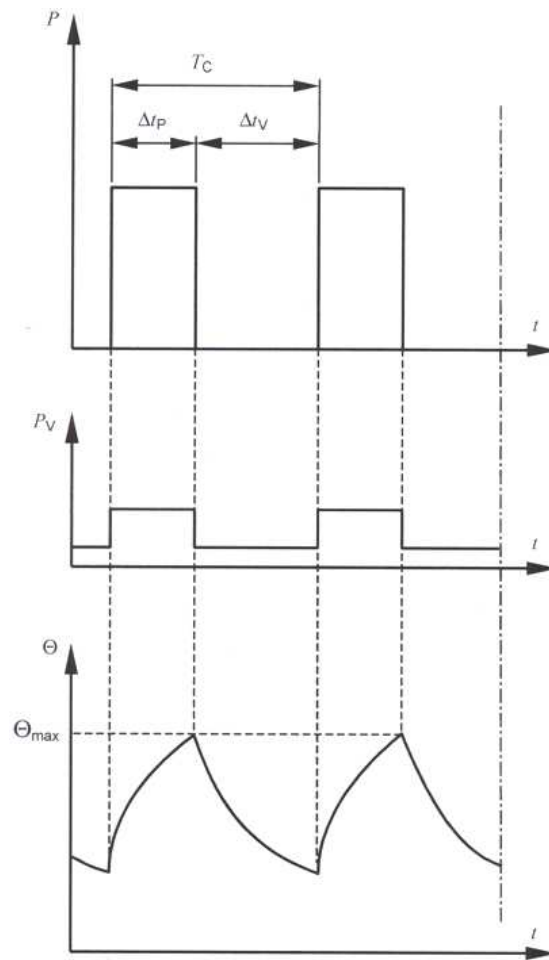
Leimauksessa esitetty ajoittaiskäyttökerroin saadaan kuvassa 5 olevien symbolien avulla ratkaistua kaavalla  $(\Delta t_D + \Delta t_P + \Delta t_F) / T_C$ .



Kuva 5. Nimelliskäyttötavan S5 periaatteellinen kuvaaja

## 2.6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö S6

Pysähtymätön ajoittaiskäyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä tyhjäkäyntiaika. Käyttö on kuten S3, ainoastaan sillä erotuksella että seisonta-aika on muutettu tyhjäkäynniksi. Luokituksessa käytettävä toimintajakson aika on 10 minuuttia. Koneen arvokilven leimauksessa esitetään käyttötapa ja ajoittaiskäyttökerroin, esimerkiksi S6 25 %. Kuvassa 6 esitettyjen symbolien avulla voidaan ratkaista käytön ajoittaiskäyttökerroin, joka on yhtäläinen käytön S3 kanssa, eli siis  $\Delta t_P / T_C$ .



Kuva 6. Nimelliskäyttötavan S6 periaatteellinen kuvaaja

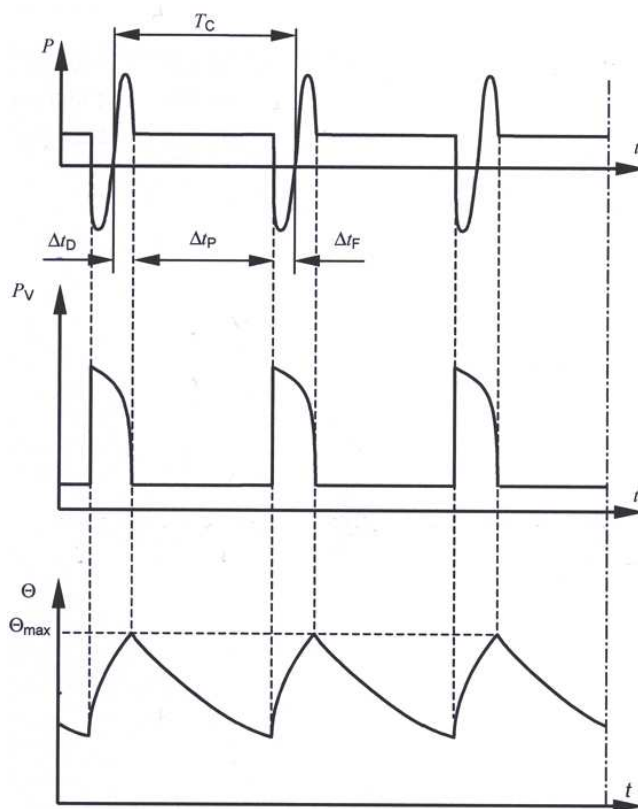
## 2.7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö S7

Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä jarrutusaika. Jarrutus tapahtuu koneen avulla sähköisesti mikä kuormittaa konetta termisesti.

Koneen leimauksessa on esitettävä käyttötavan lisäksi moottorin roottorin hitausmomentti  $J_M$  ja moottorin nimellisnopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti  $J_{\text{ext}}$ .

Leimaus voi olla esimerkiksi seuraavanlainen: S7  $J_M = 0,08 \text{ kgm}^2$   $J_{\text{ext}} = 0,08 \text{ kgm}^2$ .

Keskeytymättömässä käytössä ajoittaiskäyttökerroin on luonnollisesti 1. Kuvassa 7 on esitetty S7-käytön kuormituksen, kuormitushäviöiden ja lämpenemän kuvaajat ajan funktiona.



Kuva 7. Nimelliskäyttötavan S7 periaatteellinen kuvaaja

## 2.8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö S8

Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella ja määrätyllä pyörimisnopeudella, jota välittömästi seuraa toiminta-aika toisella vakiokuormituksella ja pyörimisnopeudella. Pyörimisnopeuksia ja vakiokuormituksia voi olla kaksi tai useampia.

Leimauksessa koneen arvokilvessä on käyttötavan jälkeen ilmoitettava moottorin roottorin hitausmomentti  $J_M$  ja moottorin nimellisnopeudelle redusoitu kuorman hitausmomentti  $J_{ext}$  sekä jokaiselle pyörimisnopeudelle erikseen kuormituksen nimellisteho, pyörimisnopeus ja ajoittaiskäyttökerroin. Leimaus voi olla esimerkiksi seuraavanlainen:

$$S8 \ J_M = 2,2 \text{ kgm}^2 \ J_{ext} = 40 \text{ kgm}^2$$

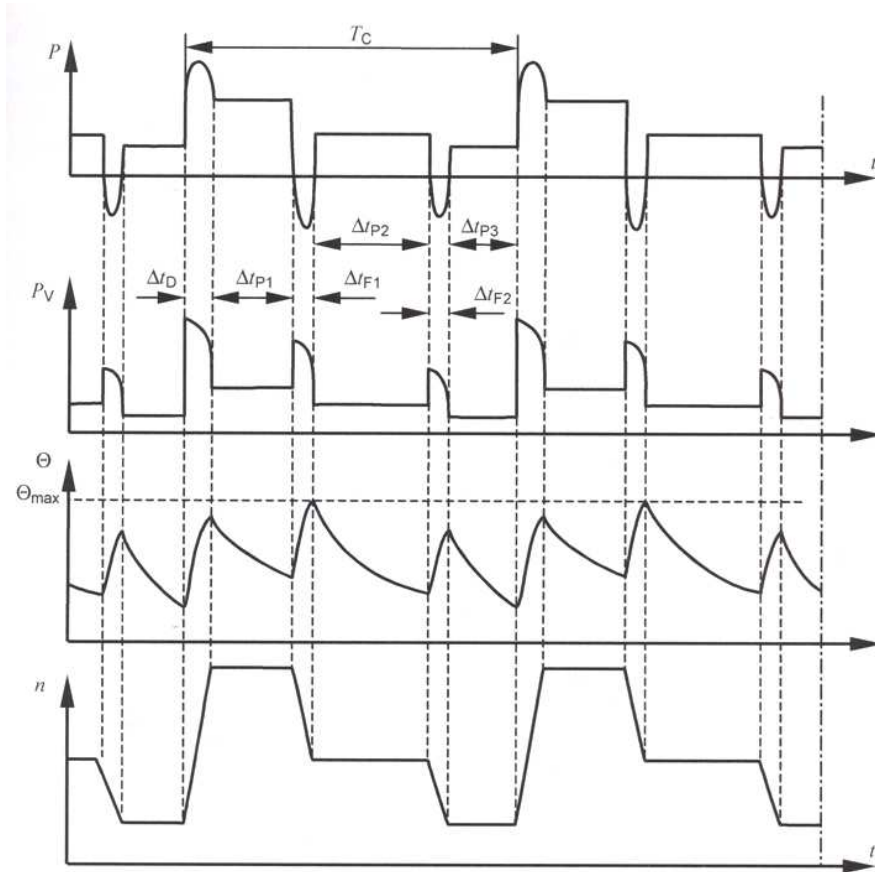
24 kW 740 r/min 30 %

60 kW 1460 r/min 30 %

25 kW 980 r/min 40 %

Pysähtymättömän määräjaksollisen käytön ajoittaiskäyttökerroin jokaiselle osajaksolle erikseen voidaan ratkaista kuvan 8 symboleita käyttämällä seuraavanlaisesti:

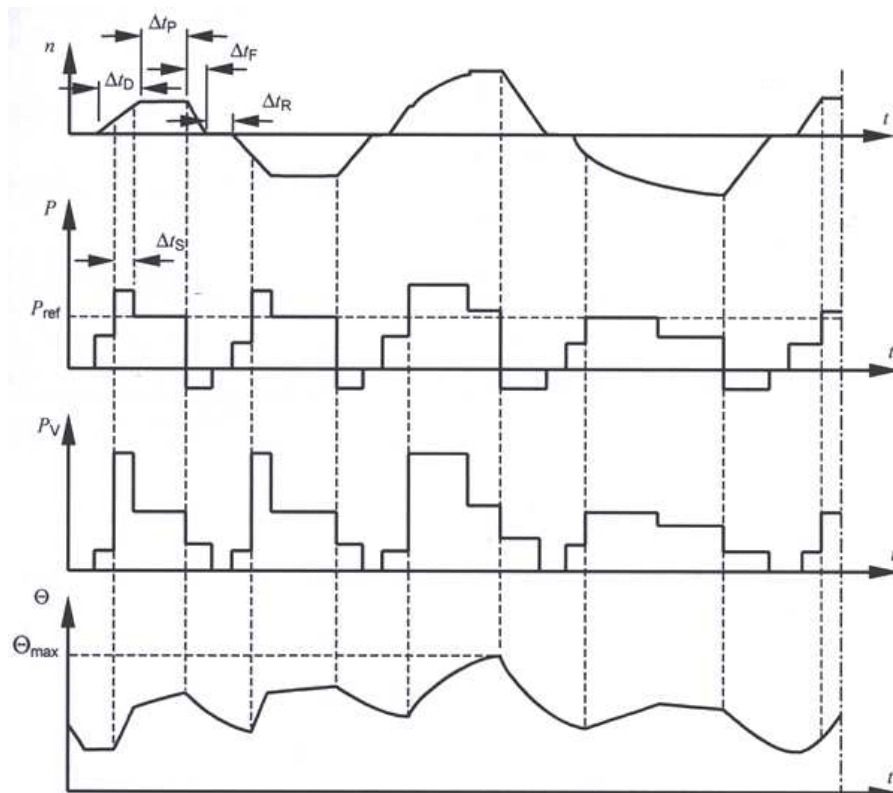
$$(\Delta t_D + \Delta t_{P1}) / T_C; (\Delta t_{F1} + \Delta t_{P2}) / T_C; (\Delta t_{F2} + \Delta t_{P3}) / T_C.$$



Kuva 8. Nimelliskäyttötavan S8 periaatteellinen kuvaaja

## 2.9 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella S9

Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka eivät yleensä ole jaksollisia. Se sisältää usein tapahtuvia ylikuormia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuorman. Koneen jatkuvan käytön nimellisteho valitaan vertailutehoksi  $P_{ref}$ , jonka avulla havainnollistetaan käytössä tapahtuvia hetkellisiä ylikuormia kuvan 9 mukaisesti. Kuvassa 9 on esitetty myös kyseisen käytön pyörimisnopeus, kuormitus, kuormitushäviöt ja lämpenemä ajan funktiona. Koneen arvokilpeen tämä nimelliskäyttötapa leimataan tunnuksella S9.



Kuva 9. Nimelliskäyttötavan S9 periaatteellinen kuvaaja

## 2.10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla S10

Tämä käyttö muodostuu enintään neljästä osajaksosta erisuurella vakiokuormalla. Jokaisen vakiokuorman käyttöaika on niin pitkä, että kone saavuttaa loppulämpötilansa. Kuormitus syklin pienin vakiokuorma voi olla myös kone tyhjäkäynnissä tai kokonaan pysäytettynä lepotilassa.

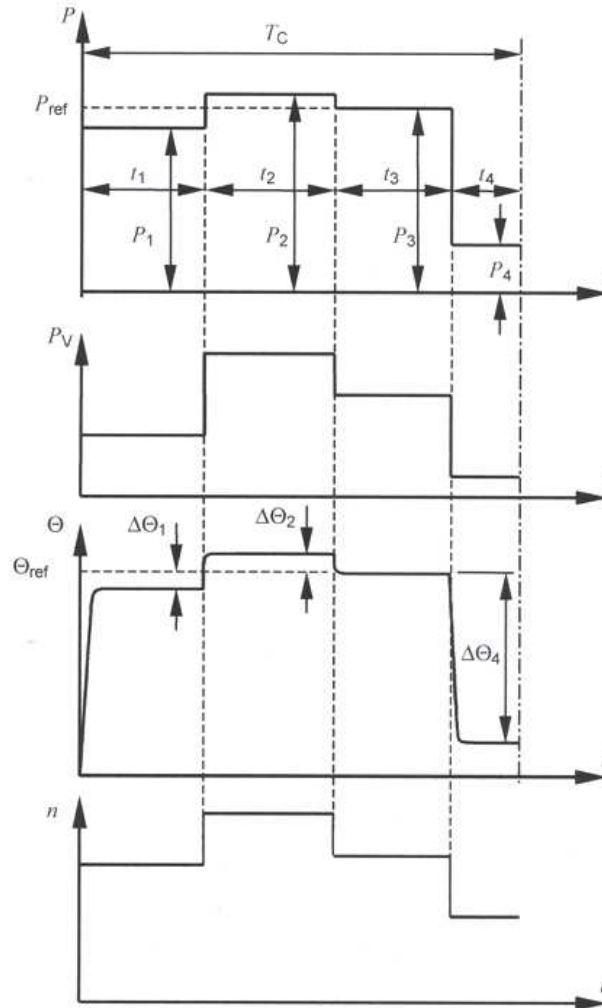
Jokaisen kuormitus syklin ei kuitenkaan tarvitse olla täysin samanlainen sillä riittää, että jokaisessa osajaksossa saavutetaan kuormituksen määräämä loppulämpötila ja että jokainen käyttöjakso antaa saman suhteellisen eristysten arvioidun eliniän.

Leimauksessa koneen arvokilpeen merkitään nimelliskäyttötapa S10, kuormituksen ja kuormitusajan suhteelliset arvot  $p/\Delta t$  jokaiselle osajaksolle erikseen sekä suhteellinen lämpenemän aiheuttama vaikutus eristysten arvioituun elinikään ( $TL$ ). Eristysten arvioitua elinikää verrataan jatkuvaan käyttöön S1. Jos osajaksossa ei ole kuormitusta ja kone on joko jännitteetön tai lepotilassa, merkitään tällaista tilaa leimauksessa kirjaimella  $r$ . Koneen arvokilvessä oleva leimaus voi olla esimerkiksi seuraavanlainen:



$S10\ p/\Delta t = 1,1/0,4; 1/0,3; 0,9/0,2; r/0,1\ TL = 0,6$

Kuvassa 10 on esitetty S10-käytön periaatteellinen kuvaaja.



Kuva 10. Nimelliskäyttötavan S10 periaatteellinen kuvaaja

### 3 KUORMITUSKOKEET

Sähkökoneen uudelleenleimaukseen nimelliskäyttötavoille vaaditaan erilaisia kokeita, joiden avulla testataan moottorin kestävyys nimelliskäyttötavan määrittelemässä kuormitustyyppissä. Jos kokeiden tulokset ovat vaadittujen arvojen rajoissa, valtuutettu tarkastaja leimauttaa koneet vastaavaan nimelliskäyttöluokkaan. Tässä luvussa selvitetään kaikki leimaukseen vaadittavat kokeet ja niiden suoritus kuormituslaitteistoa käyttäen.

### 3.1 Kuormituskoe

Kuormituskokeen kulku on riippuvainen koneen nimelliskäyttöluokasta. Edellä esitellään pääpiirteittäin erityyppisille käyttöluokille tehtävät toimenpiteet kuormituskokeen aikana. Standardin määrittämät kuormituskokeet suoritetaan konevalmistajan toimesta, jos kone valmistetaan suoraan tietylle nimelliskäyttötavalle. Huoltokorjaamolla tehtävissä kuormituskokeissa ainoastaan todetaan moottorin kestävyys siinä käytössä johon se koestetaan. Seuraavissa kappaleissa esitetään kummankin kuormituskokeen tekotavat. Yksityiskohtaiset kuormitusohjeet jokaiselle nimelliskäyttötavalle on esitetty työn ohessa valmistuneessa ”Kuormituskokeiden koestamisohjeet” -ohjeessa, joka on tämän työn liitteenä.

#### 3.1.1 Jatkuva käyttö

Moottorivalmistajalta saapuvat vakio koneet on jo valmiiksi luokitettu jatkuvaa käyttöä, S1, varten.

Jatkuvan käytön kuormituskokeet suoritetaan koneen nimellisteholla. Testattavaa moottoria käytetään taajuusmuuttajalla sen nimellisnopeudella ja kuormitetaan nimellisteholla kuormituskoneiden avulla. Standardin mukaan koetta jatketaan kunnes kone on saavuttanut loppulämpenemänsä, eli lämpötilan muutos tunnin sisällä on korkeintaan 2 °C.

Koska käämityksen resistanssin mittaaminen jännitteellisenä kokeen aikana ei ole suotavaa, lämpenemän tarkkailemiseksi mitataan rungon lämpötilaa lämpömittarilla tasaisin väliajoin, jotta voidaan todeta lämpenemän muutos ja sen pysähtyminen.

Huoltokorjaamolla tehtävissä kuormituskokeissa kokeen pituus on 30 minuuttia. Kokeen jälkeen mitattuja käämityksen resistanssiarvoja verrataan ennen koetta mitattuihin kylmän käämityksen resistanssiarvoihin.

### 3.1.2 Lyhytaikainen käyttö

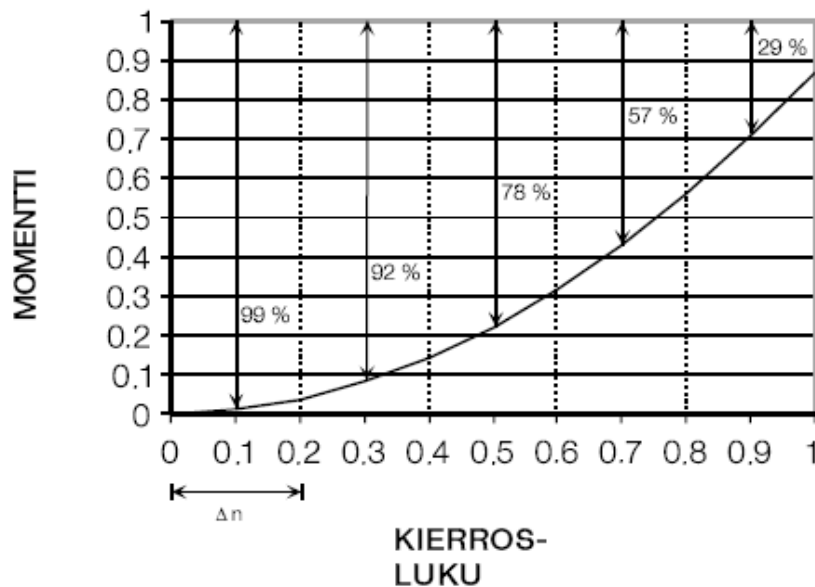
Lyhytaikaisen käytön, S2, kuormituskokeissa konetta käytetään niin kauan, kuin koneen uuden leimauksen yhteydessä on ilmoitettu. Kuormituskokeessa käytettävä kuormitusteho on luonnollisesti suurempi kuin jatkuvan käytön teho. Kuormituskokeen tilaaja ilmoittaa lyhytaikaisen käytön nimellistehon, jolla koe suoritetaan.

### 3.1.3 Jaksolliset käytöt

Jaksollisille käytöille, S3-S8, kuormituskokeet voidaan tehdä joko käyttämällä todellisia kuormitussyklejä todellisilla kuormituksilla tai kuormittamalla kone valmistajan ilmoittamilla ekvivalenttisilla tehoilla, joilla on samanlainen vaikutus moottorin lämpenemään kuin todellisellakin kuormalla.

Huoltokorjaamon kuormituslaitteistolla jaksollisten käyttöjen koestus todellisilla kuormituksilla on haastavaa, koska käytöissä on kiihdytyksiä ja jarrutuksia, joiden vaatimat vastamomentit ja kiihdytys- sekä jarrutusajat ovat riippuvaisia koestettavan moottorin todellisesta kuormatyypistä. Koska pääsääntöisesti kaikki koestettavat moottorit tulevat toimimaan hydraulipumpuissa, koestusohjeissa olevat kiihdytys- ja jarrutusajat voidaan ratkaista ainoastaan pumppu- ja puhallinkäytöille.

Pumppukäytölle on ominaista kiihdytysmomentin kasvu neliöllisesti pyörimisnopeuteen nähden. Tämän vuoksi kuormituslaitteistolla on säädettävä moottorin vastamomenttia pyörimisnopeuden kasvaessa. Jotta käsin ohjattavassa järjestelmässä kuormituskoe voitaisiin suorittaa riittävällä tarkkuudella, täytyy pyörimisnopeusalue jakaa yhtä suuriin osiin ja laskea jokaiselle alueelle kiihdytysaika sekä todellista kuormaa vastaava vastamomentin arvo. Kuvassa 11 on kuvattu suhteellisina arvoina moottorilta vaadittava momentti pyörimisnopeuden funktiona. Asteikko on suhteutettu moottorin synkroniseen nopeuteen, joten jättämän takia kuormitusmomentin suhteellinen arvo on alle 1. Kuvassa on jaettu pyörimisnopeusalue viiteen yhtä suureen osaan, joita käytetään apuna käynnistysaikaa laskettaessa.

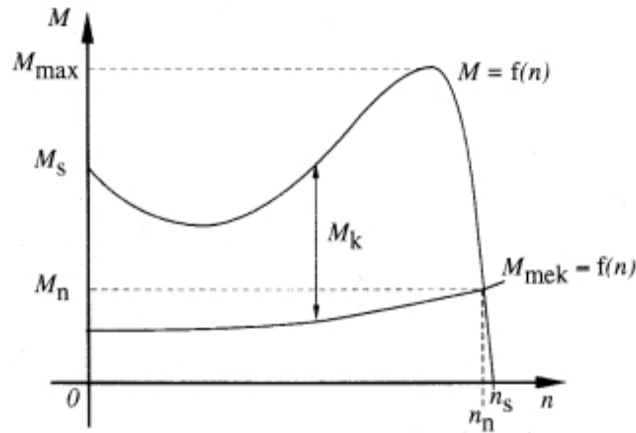


Kuva 11. Pumppukäytön suhteellinen momentti suhteellisen pyörimisnopeuden funktiona

Kiihdytysaikaa laskettaessa oletetaan neliöllisen kuormitusmomentin olevan jokaisella pyörimisnopeusalueella lineaarinen. Tästä syystä voidaan jokaiselle viidelle kierrosalueelle käyttää laskuissa vakiomomenttia. Tämä momentti määräytyy jokaisen kierrosalueen keskikohdasta kuvan 11 mukaisesti.

Kiihdytysajan ratkaisemiseksi on oltava tiedossa moottorin tuottama momentti  $T_m$ , joka muuttuu pyörimisnopeuden  $n$  funktiona. Koska moottorin momenttikäyrä riippuu konetyypistä, on yhtä joka tilanteeseen pätevää nimellismomenttiin suhteutettua moottorin momenttikäyrää mahdotonta kehittää, varsinkin jos tahdotaan mallintaa edes jonkinlaisella tarkkuudella todellisen moottorin tuottamaa momenttia.

Todellisuutta vastaavan mittaustulokseen päästään ratkaistaessa momenttikäyrän pohjalta jokaiselle konetyypille erikseen viiden eri osajakson momentit. Osajaksojen momenttien arvot ratkaistaan kuten kuvassa 11, ainoastaan pohjana käytetään moottorin momenttikäyrää. Tyypillisen momenttikäyrän periaatteellinen kuvaaja on esitetty kuvassa 12, josta selviää myös moottorin sekä kuormituksen momenttien välinen suhde. Momenttikäyrien väliin jäävä alue kuvaa kiihdytysmomenttia, jolla moottori kiihdyttää kuormitusta.



Kuva 12. Moottorin ja kuormituksen momenttikäyrät kiihdytyksessä

Moottorin ja kuormituksen momenttien osajaksojen perusteella voidaan ratkaista kiihdyttävä momentti  $\Delta T_k$  tai jarruttava momentti  $\Delta T_j$  tehon suunnan perusteella (kaava 1). Ratkaistujen momenttien avulla saadaan selville kuorman kiihdytysaika  $\Delta t$  (kaava 2) pumppukäytössä.

Eri kierroslukualueille käynnistysaikaa laskettaessa käytetään kuvassa 11 esitettyjä suhteellisia kuormitusmomentin arvoja sekä konekohtaisesti ratkaistavia moottorin momentin osajaksojen arvoja. Esimerkissä käytetään ensimmäisen kierroslukualueen suhteellista kuormitusmomenttia sekä tähän tilanteeseen keksittyä satunnaista moottorin momentin suhteellista arvoa (kaava 3). Todellinen käynnistysaika saadaan laske-  
malla jokaisen kierroslukualueen käynnistysajat yhteen.

$$\Delta T_k = T_m - T_k = \Delta T_j = f(n) \quad (1)$$

jossa,  $\Delta T_k$  = kiihdyttävä momentti

$T_k$  = moottorin momentti

$T_k$  = kuorman momentti

$\Delta T_j$  = jarruttava momentti

$$\Delta t = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{(J_M + J_{ext}) \cdot \Delta n}{\Delta T_k} \quad (2)$$

jossa,  $\Delta t$  = kiihdytysaika

$J_M$  = roottorin hitausmomentti

$J_{ext}$  = roottorille redusoitu kuorman hitausmomentti

$\Delta n$  = nopeuden muutos

$\Delta T_k$  = kiihdyttävä momentti

$$\Delta t = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{(J_M + J_{ext}) \cdot \Delta n}{(2,56 - 0,99) \cdot T_n} \quad (3)$$

Vastakenttäjarrutuksen aikana kuorma käyttäytyy lähes samalla tavalla kuin kiihdytyksessä. Kuormitusmomentti laskee neliöllisesti siten, että jarrutuksen alkuvaiheessa kuormitusmomentin pieneneminen on suhteellisesti hitaampaa kuin sen loppuvaiheessa. Moottorin pyörimisnopeus taas pienenee jarrutuksen alkuvaiheessa nopeammin ja vähenee hidastuessaan suhteellisesti hitaammin.

Vastakenttäjarrutuksessa kuluva aika voidaan karkeasti laskea samalla tapaa kuin kiihdytysaikakin (kaava 4). Oleellista on huomata, että moottorin momenttikäyrä jarrutuksessa ei ole samanmuotoinen kuin kiihdytyksessä. Jarrutusajan – ja momentin selvittämiseksi on tunnettava pyörimisnopeuden funktiona muuttuva moottorikohtainen jarrutusmomentti, jonka avulla jarruttava momentti ratkaistaan samalla tapaa kuin kiihdyttävä momentti aikaisemmin. Koska jarrutuksessa kiihdyttävä momentti on negatiivinen, eli siis jarrutusmomentti on positiivinen, myös jarrutusajasta saadaan positiivinen arvo seuraavan yhtälön perusteella.

$$\Delta t = \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{(J_M + J_{ext}) \cdot (\Delta_{n1} - \Delta_{n2})}{\Delta T_j} \quad (4)$$

Edellä esitetyt laskentakaavat sekä käynnistys- ja jarrutusajat pätevät moottoreille, jotka on kytketty suoraan verkkoon. Taajuusmuuttajilla on mahdollista ohjata moottoria ns. momenttiohjeella, jossa valitaan vakiomomentti jolla taajuusmuuttaja kiihdyttää moottoria.

Koska kuormituskokeissa mallinnetaan lämpenemän kannalta rajuinta käynnistystapaa eli suoraan verkkoon käynnistystä, muiden ohjaustapojen kuten taajuusmuuttajien ja

pehmokäynnistimien käyttö ei aiheuta moottorille tulevaisuudessa riskiä ylikuumentua sen nimelliskäyttöluokan edellyttämässä käytössä.

Käsin ohjattavassa järjestelmässä todellisen tilanteen kanssa täysin samanlaiseen kuormitus sykliin pääseminen on hyvin hankalaa. On kuitenkin yksi poikkeus, kuormituslaitteistolle on tehty tutkintotyönä ohjelmisto käyttötavalle S6, joka pyörittää moottoria ja kuormituskonetta automaattisesti käyttötavan mukaisesti. /4/

### 3.1.4 Käytöt vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella sekä vakiokuormalla

Kun kuormituskokeissa koestettaessa konetta käytölle, joka sisältää kuormituksia vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella, S9, tai vaihtelevalla vakiokuormalla, S10, koe suoritetaan aina valmistajan ilmoittaman ekvivalenttisen kuormituksen mukaisesti. Tämä ekvivalenttinen kuormitus rasittaa moottoria termisesti samalla tavalla kuin todellinenkin kuormitus. Jotta kone voidaan leimata kokeen edellyttämään käyttöluokkaan, moottori ei saa lämmetä loppulämpenemäänsä yhden kuormitus syklin aikana.

## 3.2 Ylinopeuskoe

Ylinopeuskokeella testataan moottorin rakenteen fyysinen kestävyys nimellistä suuremmille pyörimisnopeuksille. Kokeessa moottorin taajuus säädetään 120 %:iin nimellistaajuudesta. Moottoria pyöritetään tyhjäkäynnissä ylinopeudella 2 minuutin ajan, jolloin tarkkaillaan koneen mahdollista epänormaalia tärinää tai melua. Kokeen aikana tai sen jälkeen ei ole tarpeen suorittaa mitään mittauksia.

## 3.3 Ylikuormituskoe

Ylikuormituskokeessa testattavaan moottoriin kohdistetaan kuormituslaitteiston avulla ylikuormaa niin paljon, että moottorin vaihevirrat ovat 1,6-kertaiset nimellisvirtaan verrattuna. Tässä tilanteessa kirjataan moottorin pyörimisnopeus muistiin mittauspöytäkirjaan. Ylikuormituskoe tulee lopettaa välittömästi pyörimisnopeustietojen kirjaimisen jälkeen, jotta vältetään moottorin käämityksen palaminen.

### 3.4 Oikosulkukoe

Oikosulkukokeen tarkoituksena on selvittää syöttöjännitteen suuruus oikosulkutilanteessa, kun moottoria syötetään nimellisvirralla. Tätä syöttöjännitteen arvoa valtuutettu tarkastaja vertaa referenssiarvoihin, millä hän selvittää moottorin kestävyysolosuhteissa. Oikosulkukoe tehdään lukitsemalla moottorin akseli paikoilleen ja nostamalla syöttökaapelin jännitettä, kunnes saavutetaan moottorin nimellisvirta.

## 4 MITTAUKSET

Ennen kuormituskokeita, niiden aikana sekä jälkeen tehdään moottorin lämpenemää havainnollistavia mittauksia. Koneen lämpötilaa mitataan suoraan moottorin rungosta ja laakerikilvestä sekä käämityksestä vastusmittauksella. Jos koestettavassa koneessa on sisäänrakennettu lämpötila-anturi, myös sitä voidaan käyttää hyväksi lämpenemää mitattaessa.

### 4.1 Lämpenemän mittaus käämityksen resistanssin avulla

Moottorin lämpötilan mittaaminen vastusmittauksella perustuu käämityksen resistanssin muutokseen lämpötilan funktiona. Käämityksien vastukset mitataan kylmänä ennen kuormituskokeen alkua ja kuumana kokeen päätyttyä. Resistanssien arvot merkitään ylös mittauspöytäkirjaan.

Mittaus suoritetaan yleismittarilla Metra Hit 271, joka mittaa resistanssin käyttäen Wheatstonen siltaa. Tämä menetelmä on kaksiahaarainen piiri, jonka kummassakin haarassa on yksi tunnettu vastus. Toisessa haarassa on säätövastus ja toisessa mitattava resistanssi. Haarojen välillä on galvanometri, joka mittaa niiden välillä kulkevaa virtaa. Säättövastuksella säädetään haarat tasapainoon siten, että niiden välillä ei kulje virtaa. Tässä tilanteessa mitattavan resistanssin arvo voidaan ratkaista tunnettujen vastuksien ja säätövastuksen arvojen perusteella. /3/ Tästä syystä käytössä on neljä mitta-päätä, jotka asetellaan kolmiokytkennässä kuvan 13 mukaisesti. Mittaus suoritetaan jokaisten käämitysten väliltä, siten että kolmiokytkennässä verrataan mitattavaa käämitystä kahden muun käämin sarjakytkentään. Tämä mittaustapa ei anna käämityksen



todellista resistanssia, vaan tulos on ainoastaan vertailukelpoinen kahden muun käämityksen vastaaviin resistanssiarvoihin. Jos arvojen välillä ei ole poikkeavuutta, voidaan todeta jokaisen käämin lämmenneen tasaisesti.

Tähtikytkennässä keltaiset mittapäät sijoitetaan tähtipisteeseen ja mustat käämityksen toiseen päähän. Tässä tapauksessa tuloksena saadaan yhden käämin todellinen resistanssi. Mittaus suoritetaan jokaisesta käämistä, kuten aikaisemmin kolmiokytkennässä.

Tähti- ja kolmiokytkennässä saatuja resistanssiarvoja verrataan aikaisemmin suoritettun lämpenemäajan tuloksiin. Lämpenemäajo suoritetaan jokaiselle uudelle koneen runkotyypille sekä ajetaan uudestaan, jos edellisestä lämpenemäajasta on kulunut kaksi vuotta. Tämän toimenpiteen tarkoituksena on käyttää konetta, kunnes se saavuttaa jatkuvan tilan loppulämpenemän eli koneen lämpenemän muutos yhden tunnin sisällä on vähemmän kuin 2 °C. Välittömästi lämpenemäajan jälkeen mitatut käämien resistanssit määrittävät kuormituskokeissa mitattaville vastuksille vertailuresistanssin kyseiselle runkotyypille. Näihin käämityksien resistansseihin vertaamalla voidaan päätellä, täyttääkö koestettava moottori standardin määrittämät vaatimukset.

Standardi ilmoittaa aikarajat, joiden sisällä moottorin jännitteettömäksi kytkemisestä vastusmittaus tulisi suorittaa, jotta mittaustulos olisi luotettava. Nämä aikarajat erikoisille koneille on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Vastusmittauksen aikarajat

Nimellisteho ( $P_N$ ) kW, kVA	Aika, koneen jännitteettömäksi kytkemisen jälkeen s
$P_N \leq 50$	30
$50 < P_N \leq 200$	90
$200 < P_N \leq 5\,000$	120
$5\,000 < P_N$	Sopimuksen mukaan



*Kuva 13. Käämityksen resistanssin mittaus*

#### 4.2 Lämpenemän mittaus rungosta ja laakerikilvestä

Testattavasta moottorista mitataan myös laakerikilven ja rungon lämpötilat ennen ja jälkeen kuormituskokeen. Lämpötilan mittaus tässä tapauksessa suoritetaan yleismittarin avulla.

Rungon lämpötilaa mitattaessa on pisteen oltava mahdollisimman lähellä runkoa eikä lämpötilaa saa mitata esimerkiksi jäähdytysrivasta. Mittaus tulisi suorittaa aina samasta kohdasta, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Kuvassa 14 on esitetty lämpötilan mittaus moottorin rungosta.



*Kuva 14. Lämpötilan mittaus moottorin rungosta*

Standardi määrittää mittauspisteet sen mukaan onko käytössä oleva laakeri avonainen rulla- tai kuulalaakeri vai laakerikilvellä suljettu. Taulukossa 2 on esitetty arvot eri laakerityypeille.

Taulukko 2. Laakerien lämpötilojen mittauspisteet /1/

Laakerityyppi	Mittauspiste	Mittauspisteen sijainti
Avonainen rulla- tai kuulalaakeri	A	Laakeripesä, korkeintaan 10 mm laakerin ulkokehästä
	B	Laakeripesän ulkopinta, mahdollisimman lähellä laakerin ulkokehää
Suljettu laakeri	A	Laakerin painevyöhykkeellä, korkeintaan 10 mm öljykalvon aukosta.
	B	Mistä tahansa muualta laakerin kuoresta.

Suurilla laakereilla mittauspisteiden A ja B välillä voi esiintyä merkittäviäkin lämpötilaeroja. Laakereiden, joiden sisäreiän halkaisija on korkeintaan 150 mm, lämpötilaerot oletetaan merkityksettömiksi. Tästä syystä pienien laakereiden mittauksen voi tehdä mistä tahansa kohdasta mittauspisteiden A ja B väliltä. Suurempien laakereiden lämpötila-ero eri mittauspisteiden välillä on noin 15 °C. Kuvassa 15 esitetään suositeltu mittauspiste laakerin lämpötilan mittaukselle.



Kuva 15. Lämpötilan mittaus laakerikilvestä

### 4.3 Sallitut lämpenemät

Moottoreiden luokituksia koskevassa standardissa määritetään sallitut arvot käämityksen lämpenemän muutokselle eri eristysluokissa. Sallitun lämpenemän suuruuteen vaikuttaa koneen nimellisteho sekä tuuletuksen puuttuminen tai käämityksen tyyppi.

Käämityksen lämpötilaa voidaan mitata vastusmittauksella (R) tai sisäänrakennetulla lämpötila-anturilla (ETD). Ilmajäähdytteisen moottorin lämpenemän arvot eri tapauksille on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Ilmajäähdytteisen moottorin lämpenemän sallitut arvot /1/

Eristysluokka	130 (B)		155 (F)		180 (H)	
	R / °C	ETD / °C	R / °C	ETD / °C	R / °C	ETD / °C
$P_N \geq 5\,000\text{ kW}$	80	85	105	110	125	130
$200\text{ kW} < P_N < 5\,000\text{ kW}$	80	90	105	115	125	135
$0,6\text{ kW} < P_N \leq 200\text{ kW}$	80	-	105	-	125	-
$P_N \leq 0,6\text{ kW}$	85	-	110	-	130	-
Käämityksen jäähdytys ilman tuuletinta ja/tai valueristetty käämitys	85	-	110	-	130	-

### 4.4 Mittaukset oikosulkukokeessa

Oikosulkukokeessa mitataan moottorin syöttöjännitettä siinä pisteessä jossa oikosulkuvirta saavuttaa moottorin virran nimellispisteen. Moottorin akseli on kokeen aikana lukittuna paikoilleen.

Kokeen suorittamiseksi on moottorin syöttökaapeli vaihdettava koestuspulpetista tulevaan kaapeliin. Tästä syystä moottorin syöttöjännitettä mitataan pulpetissa A sijaitsevasta ”AC koestusjännite” -liittimistä. Moottorin syöttöjännitettä nostetaan myös pulpetissa A sijaitsevalla säätöpyörällä ” A4 Magnetointi / AC koestusjännitteen säätö”. Moottorin virta-arvoja voidaan lukea paneelissa OP2 sijaitsevista digitaalisista virtamittareista. Jotta virta-arvot olisivat luettavissa, paneelista OP2 on käännettävä nokkakytkin ”Mittauspaikan valinta” kohtaan ”Pulpetti”.

Koestuspulpetin toiminnasta on kerrottu tarkemmin Juha Konttisen ja Lasse Kantasen tutkintotöissä. /6/, /7/

## 4.4 Moottoreiden leimaukset

Kuormitettavat moottorit saapuvat koestukseen useamman kappaleen erinä. Koneet koestetaan siten, että valtuutettu tarkastaja on jokaisesta toimituserästä ainakin yhden koneen kuormituskokeessa mukana valvomassa koestustapahtumaa. Yleensä tämä moottori on toimituserän viimeinen. Aikaisemmin tehtyjen kuormituskokeiden mittauspöytäkirjojen perusteella tarkastaja hyväksyy kuormituskokeet ja ilmoittaa tunnistekoodin jonka avulla moottoreiden toimituserä yksilöidään. Koodi stanssataan moottorin kaulukseen. Yksilöintikoodin stanssauksessa käytetään tarkastajalta saatavaa luokitustilaitoksen omaa stanssia, jolla vähennetään mahdollisuutta koneiden leimausten väärentämiseen.

## 5 KUORMITUSLAITTEISTO

Aikaisemmin kuvatut kuormituskokeet suoritetaan kuormituslaitteiston avulla, johon kuuluu taajuusmuuttajia koestettavan moottorin pyörittämistä varten, kuormituskoneita tarvittavan vastamomentin tuottamiseksi sekä näiden toimilaitteiden toimintaa tukevia komponentteja, kuten ohjauskeskuksia, muuntajia sekä verkkosilta. Järjestelmän pääjohtokaavio on esitetty liitteenä 2.

### 5.1 Kuormituskoneet

Koestuskentällä sijaitsevilla kahdella tasasähkömoottorilla kuormitetaan testattavat vaihtosähkömoottorit. Järjestelmään on hankittu vuonna 1995 ABB:n DCS-500 tasavirtakäyttö. Käytössä on nelikvadranttikäyttö, jossa on vastarinnan kytketyt tyristorisillat. Tämä mahdollistaa jarrutustehon syöttämisen takaisin verkkoon kuormituskoneen toimiessa generaattorina. Lisäksi se mahdollistaa myös pyörimissuunnan vaih-

tamisen ankkurivirran suuntaa kääntämällä, pyörimisnopeuden ja magnetoinnin säätämisen ankkuripiirissä sekä momentin säätämisen ankkurivirtaa muuttamalla. /2/

Taulukko 4. Kuormituskoneiden teknisiä tietoja

	Kuormituskone 1	Kuormituskone 2
$P_N / \text{kW}$	440	80
$U_N / \text{V}$	440	440
$I_N / \text{A}$	1060	194

Kuormituskoneita ohjaavan verkkosillan syöttöjännite on 400 Vac. Sitä syötetään keskukselta RK1, jonka ovelta sijaitsevilla pääkytkimellä verkkosilta voidaan kytkeä jännitteettömäksi. Keskusta RK1 syötetään kiinteistön pääkeskukselta AMCMK 3x120Al+41Cu - kaapelilla.

Verkkosilta syöttää kuormituskoneille 440V tasajännitettä keskuksen FSK1/UOK3 kautta. Tässä keskuksessa sijaitsee kuormituskoneiden kuormakontaktorit, joilla voidaan valita verkkosillan syöttämä kuormituskone.

Kuvassa 16 on esitetty koestuskentän kuormituskoneet.



Kuva 16. Koestuskentän kuormituskoneet

Kuormituskoneita ohjataan paneeleista OP6 ja FSK1/UOK3. Käytettävä kuormituskone valitaan kaapin ovelta sijaitsevan paneelin FSK1/UOK3 kytkimestä, jossa sijaitsee myös merkkivalot käytettävän kuormituskoneen sekä tasasuuntaussillan tilatiedoille.

Paneelissa OP7 on pelkästään merkkivalot kummankin kuormituskoneen pääkytkimen ja pääkontaktorin tilatiedoille. Paneelista OP6 säädetään kaikki muut kuormituskoneen toiminnot, kuten nokkakytkimillä kuormituskoneen pyörimissuunta, käyttötavaksi moottori tai generaattori ja koneen ajokytkin. Kahdella potentiometrillä säädetään momentin ja pyörimisnopeuden ohjearvot, jotka voidaan lukea samassa keskuksessa sijaitsevista numeronäyttöistä. Kuormituskoneen momenttia ilmaiseva näyttö on kuitenkin epäkunnossa eikä näytä koneen todellista momenttia. Paneelit OP6 ja OP7 on esitetty kuvassa 17.



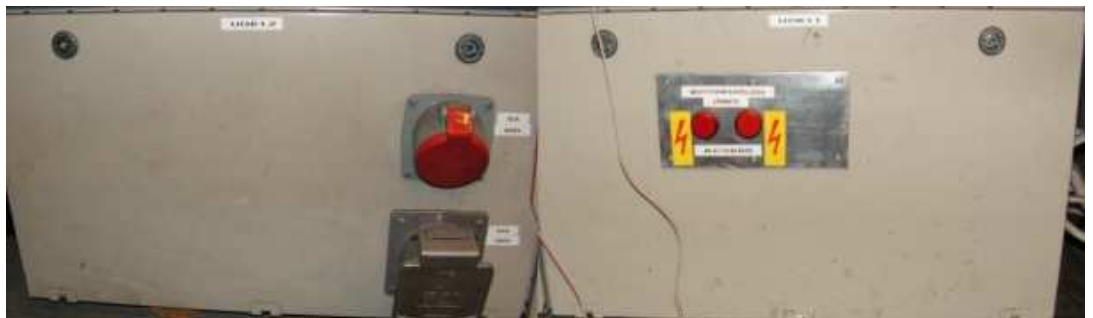
Kuva 17. Paneelit OP6 ja OP7



## 5.2 Taajuusmuuttajat

Koestettavaa moottoria voidaan syöttää kahdella eri nimellisjännitteen ja -tehon taajuusmuuttajalla.

Vanhempi taajuusmuuttaja, 320kVA:n ABB ACS600, toimii 500 V:n nimellisjännitteellä. Taajuusmuuttajan nimellisjännite muutetaan huoltokorjaamon automaatiopuolen tiloissa sijaitsevan 400/500 V:n jännitteennostomuuntajan avulla. Muuntajaa syötetään kaapelilla AMCMK 3x120Al+41Cu. Taajuusmuuttajakeskuksesta moottorin käyttöjännite siirretään keskukseseen UOK1/2, jossa sijaitsee kuorman kytkemiseen ja erottamiseen käytettävä moottorikontaktori sekä moottorikaapelin virtaa mittaavat virtamittarit. Keskuksen ovelle sijaitsee merkkivalot, jotka vilkkuvat kun koestettavaa moottoria syöttävässä kaapelissa on jännite. Kuvassa 18 on esitetty kuva keskuksista UOK1.1 ja UOK1.2



*Kuva 18. Keskukset UOK1.1 ja UOK1.2*

Koestustiloihin on syksyn 2008 aikana asennettu uusi jännitteennostomuuntaja, 400/690V, jonka ansiosta saatiin käyttöön toinenkin taajuusmuuttaja, ABB ACS 607. Suuremmalla nimellisjännitteellä toimiva taajuusmuuttaja mahdollistaa tehokkaampien moottoreiden koestamisen. Jännitteennostomuuntajan lisäyksestä sekä sen mitoituksista on aikaisemmin tehty ammattikorkeakoulun tutkintotyö. /5/

Muuntajaa syötetään kiinteistön pääkeskuksesta kaapelilla 2x (AMCMK 3x185Al+75Cu). Muuntajan erottaminen verkosta tapahtuu ABB:n SACE Tmax 630N kuormakytkimen avulla, joka sijaitsee kiinteistön pääkeskuksessa samassa tilassa ohjauspulpetin keskuksien ja muuttajakoneiden kanssa. Kuormakytin on kauko-ohjattava, jotta muuntajan jännitteettömäksi kytkeminen on vaivatonta.



Jännitteennostomuuntaja syöttää 610kVA:n taajuusmuuttajaa 690Vac:n nimellisjännitteellä. Kuvassa 19 on esitetty taajuusmuuttajien sijainti koestustilassa. TM2:n vieressä sijaitsee sitä syöttävä jännitteennostomuuntaja.



Kuva 19. Taajuusmuuttajat

Taajuusmuuttaja syöttää koestettavaa moottoria keskuksen UOK3/FSK1 kautta, jossa sijaitsee kuorman kytkemiseen ja erottamiseen käytetty moottorikontaktori. Kontaktorin kärjistä lähtevä syöttökaapeli kulkee virtamittareiden läpi, joiden mittaamat virta-arvot voidaan lukea keskuksen OP3 analogisista virtamittareista.

Taajuusmuuttajan valinta ja sen kytkeminen verkkoon suoritetaan keskuksesta OP1. Samassa keskuksessa sijaitsee myös analoginen jännitemittari, joka ilmaisee valitun taajuusmuuttajan syöttömuuntajan pääjännitteen. Keskuksessa on myös merkkivalot taajuusmuuttajakäyttöihin liittyvien komponenttien tilatiedoille. Kuvassa 20 on esitetty keskuksen OP1 naamakuva.



Kuva 20. Paneeli OP1

Kummallekin taajuusmuuttajalle on oma erillinen ohjauspaneeli, josta voidaan säätää nokkakytkimillä taajuusmuuttaja syöttämään koestettavaa moottoria, vaihtaa moottorin pyörimissuuntaa vasta- tai myötäpäivään sekä valita taajuus jolla moottoria ajetaan. Valittavana ovat yleisimmät käytettävät taajuudet, 50 Hz, 60 Hz, 72 Hz ja 100 Hz. Taajuus voidaan säätää myös manuaalisesti, jolloin säätö tapahtuu keskuksen välittömässä läheisyydessä sijaitsevien taajuusmuuttajan ohjauspaneelien avulla. Koestettava moottori kytketään taajuusmuuttajaan moottorikontaktorin avulla, jonka ohjaukseen käytettävät kytkimet sijaitsevat myös paneeleissa OP3 ja OP4. Taajuusmuuttajan erottaminen vauhdissa kuormasta moottorikontaktorin avulla on kiellettyä, koska toimenpide aiheuttaa jännitepiikin joka voi hajottaa taajuusmuuttajan. Keskuksissa sijaitsevat myös analogiset virtamittarit moottorin vaihevirroille, analoginen jännitemittari taajuusmuuttajan lähtöjännitteelle sekä analoginen taajuusmittari taajuusmuuttajan syöttötaajuudelle. TM1:n ohjauspaneelissa OP4 sijaitsee taajuusmuuttajan häiriöstä ilmoittava punainen merkkivalo, taajuusmuuttajalla ACS 607 tämä merkkivalo sijaitsee itse taajuusmuuttajan ovenssa. Paneelien OP3 ja OP4 naamakuvat on esitetty kuvassa 21.



Kuva 21. Paneelit OP3 ja OP4

Uuden jännitteennostomuuntajan asennuksen yhteydessä järjestelmään lisättiin paneeli FSK1/UOK3, jossa sijaitsee keskitetysti kummankin taajuusmuuttajan sekä kuormituskoneitten käytön kannalta tärkeimpiä merkkivaloja ja kytkimiä. Tämä ohjauspaneeli on esitetty kuvassa 22. Merkkivalot ilmoittavat kummankin taajuusmuuttajan syöttökontaktorin ja pääkytkimen sekä taajuusmuuttajan ja moottorin erottavan moottorikontaktorin tilatiedot. Paneelista selviää myös valittu taajuusmuuttaja sekä merkkivaloilla sen syöttöjännitteen tilatieto. Analogisesta jännitemittarista voidaan lukea taajuusmuuttajan syöttöjännitteen suuruus. Punaiset vilkkureleen avulla toteutetut merkkivalot vilkkuvat kun moottoriin kytkettävässä moottorikaapelissa on jännite. Paneelista on myös mahdollista käynnistää automaattinen kuormitusajo nimelliskäyttötavalle S6. Ohjelmisto suorittaa automaattisesti myös ylikuorma- ja ylinopeuskokeet, joiden valitsemiseksi paneelissa on erillinen nokkakytkin. Uutta 400/690V muuntajan syöttöä ohjataan kuormakatkaisijalla, jonka tilaa voidaan etäohjata paneelissa sijaitsevilla painonapeilla. Painonappien yhteydessä paneelissa sijaitsee myös merkkivalot kuormakatkaisijan tilatiedoille sekä katkaisijan ylivirtasuojan laukeamiselle. Taajuusmuuttajakohdaiset häiriöiden merkkivalot sijaitsevat taajuusmuuttajien yhteydessä.



Kuva 22. Ohjauspaneeli keskuksessa FSK1/UOK3

## 6 YHTEENVETO

Tutkintotyön tavoitteena oli tehdä kuormituskokeita varten koestamisohjeet sekä kertoa koestuskentällä sijaitsevan kuormituslaitteiston toiminnasta, siten että normaalia sähkötekniikkaa ymmärtävä henkilö pystyisi suoriutumaan kuormituskokeista käyttöohjeen avulla.

Tutkintotyön ansiosta on uuden henkilökunnan perehdyttäminen kuormituslaitteiston toimintaan aikaisempaa helpompaa, koska keskeiset asiat on kasattu samojen kansien väliin.

Jos tulevaisuudessa laitteistoa vielä tullaan kehittämään, olisi kenties hyödyllistä automatisoida muidenkin käyttöluokkien kuormitusajoja kuten tällä hetkellä käyttöluokka S6. Tällä saavutettaisiin kuormituskokeista keskenään vertailukelpoisempia mittauksia, kun kuormitusmomenttien ja – nopeuksien säädöstä poistuisi inhimillisen virheen ja epätarkkuuden mahdollisuus.

Jos joku nimelliskäyttöluokka nousee tulevaisuudessa yleisesti kuormitettavaksi, on automaattisen ajon kehittäminen ilman muuta kannattavaa, koska kuormituslaitteistoon on jo hankittuna kaikki tarvittavat komponentit, ainoastaan logiikan sovellusohjelman ohjelmointi puuttuu.

Mielestäni onnistuin täyttämään melko hyvin tutkintotyölle sen alussa asetetut tavoitteet. Projektin alkuvaiheessa asiat tuntuivat osaltaan melko sekavilta, mutta kuormituskokeissa mukana oleminen auttoi olennaisesti ymmärtämään asiaa. Tutkintotyön tekemisen aikana koestuskentällä tehdyt muutostyöt venyttivät työn valmistumista keväeseen, mutta toisaalta muutostöiden seurauksena kuormituslaitteiston sähkökuvat muuttuivat paljon selkeämpään muotoon. Aikataulun viivästymisen johdosta tutkintotyöhön ja kuormitusohjeisiin saatiin mukaan myös uusi jännitteennostomuuntaja sekä toinen taajuusmuuttaja. Tämän seurauksena kuormitusohjeet eivät ole heti valmistus-  
saan jo vanhentuneet.

## LÄHTEET

- /1/ IEC 60034-1. Rotating electrical machines. Part 1: Rating and performance. International Electrotechnical Commission. 2004.
- /2/ Kallionpää, Janne. Koekentän jarrugeneraattorikäyttö. Päättötyö. Tampere. 1995.
- /3/ <http://sinuhe.jypoly.fi/~reppa/IEE20200S05/IEE20200%20luento%205.pdf>
- /4/ Anttalainen, Pirkko. Vaihtosuuntaajamoduulien koestuksen automatisointi. Tutkintotyö. Tampere. 2006.
- /5/ Virtanen, Tuomas. Jännitteennostomuuntajan mitoitus sähkökonekorjaamon koekentälle. Tutkintotyö. Tampere. 2005.
- /6/ Kantanen, Lasse. Tasasähkökoneen huolto ja koestus. Tutkintotyö. Tampere. 2008.
- /7/ Konttinen, Juha. Vaihtosähkökoneen huolto ja koestus. Tutkintotyö. Tampere. 2008

## **LIITTEET**

- Liite 1. Kuormituskokeen koestamisohjeet
- Liite 2. Järjestelmän pääjohtokaavio
- Liite 3. Mittauspöytäkirja

ABB Oy Service  
Nokian huoltokorjaamo

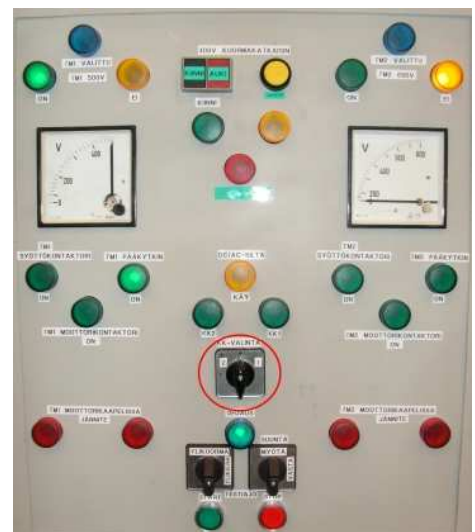
Kuormituskokeiden koestamisohteet

1. Asenna testattava kone testauspenkkiin valitsemallesi kuormituskoneelle.
2. Kiinnitä moottorin akseli kuormituskoneen akselin kanssa yhteen. Säädä testauspenkki oikealle korkeudelle niin, että akselit ovat samalla tasolla ja ettei käytön aikana esiinny häiritsevää meteliä ja tärinää.
3. Mittaa moottorin käämien resistanssit sekä rungon ja laakerikilven lämpötilat ja syötä arvot tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.
4. Kytke käyttämältäsi taajuusmuuttajalta tuleva kaapeli testattavan moottorin liittimiin. Tarkista ennen kytkemistä ettei moottorikaapelissa ole jännitettä!
5. Tarkista, että käytettävän taajuusmuuttajan, pääkeskuksen ja verkkosillan pääkytkimet ovat kiinni.



6. Valitse käytettävä kuormituskone **KK1/KK2** paneelista **FSK1/UOK3**.

Kytkee kuormituskoneiden magnetoinnit kontaktoreilla K1 (Kuormituskone 1) ja K2 (Kuormituskone 2) keskuksessa OK3. Kytkin vaihtaa samanaikaisesti myös keskuksessa OP6 sijaitsevien momentti- ja nopeusnäyttöjen mittauksen käytettävälle kuormituskoneelle.





7. Kytke kuormituskoneiden ohjauspaneelin **OP6** pääkytkin 1-asentoon.

Pääkytkin kytkee verkkosillan kontaktorin K11, joka antaa tasasuuntaussillan ohjausyksikköön tiedon liittimeen X6:7.

8. Valitse kuormituskoneiden **käyttötapa** ja **pyörimissuunta** tarpeen mukaiseksi.

Kytkimet ohjaavat verkkosillan ohjausyksikön sulkeutuvia kärkiä, jotka antavat kytkinten tilatiedot liittimille X6:1 (Käyttötapa) ja X6:2 (Pyörimissuunta).



9. Valitse taajuusmuuttajaksi **ACS600** tai **ACS607 (Star)** paneelista **OP1**.

Valintakytkimellä ohjataan ohjausjännitteet taajuusmuuttajille. Kytkin ohjaa myös paneelissa OP1 sijaitseville taajuusmuuttajakohtaisille merkkivaloille negatiivisen käyttöjännitteen.



10. Kytke moottorikontaktori päälle paneelista **OP3** tai **OP4**.

Moottorikontaktorit kytkevät koestettavan moottorin ja taajuusmuuttajan yhteen. Kytkin kytkee valitun taajuusmuuttajan moottorikontaktorin kelalle ohjausjännitteen.

11. Valitse testattavan moottorin nimellisarvojen perusteella oikea taajuus kytkimellä **Nopeusohjeen valinta** paneelista **OP3** tai **OP4**.

Moniasentoinen nokkakytkin antaa ohjausjännitteen valitun taajuusmuuttajan sisääntulo-liittimiin, joiden taakse on valmiiksi parametroitu vakiotaaajuudet. ”Manuaali”-asennossa taajuus on vapaasti säädettävissä taajuusmuuttajien ohjauspaneeleista, jotka sijaitsee paneelien **OP3** ja **OP4** alapuolella.



12. Valitse seuraavilta sivuilta oikeat koestamisohjeet moottorin nimelliskäyttöluokan perusteella.

13. Syötä testattavan moottorin nimellisvirta mittauspöytäkirjaan, joka laskee nimellismomentin ja sitä vastaavan pyörimisnopeuden.

14. Käynnistä moottori kääntämällä **SEIS / KÄY** – kytkin paneelista **OP3** tai **OP4** asentoon **1** sekä sekuntikello.

Kytkin S2 antaa taajuusmuuttajan ohjauskortille Käy-tiedon.



15. Odota että moottorin saavuttaa nimellinopeuden. Kirjaa mittauspöytäkirjaan muistiin pyörimisnopeus ja vaihevirrat tyhjäkäynnissä.

16. Käynnistä kuormituskone kääntämällä **Ajokytkin** asentoon **Start** paneelista **OP6**. Sääda kuormituskoneen pyörimisnopeudeksi paneelista **OP6** nimellismomenttia vastaava pyörimisnopeus. Pyörimisnopeustieto luetaan paneelissa **OP6** sijaitsevasta näytöstä.

Ajokytken Start-asento ohjaa verkkosillan kontaktoria K12, joka vetäessään kytkee pitopiirin siten että kuormituskone on toiminnassa nokkakytkimen 1-asennossa.



17. Suorita kuormituskoe edellä olevien ohjeiden mukaisesti.

18. Kokeen päätyttyä suorita kuormituslaitteiston pysäytys vastakkaisessa järjestyksessä käynnistuksen kanssa.

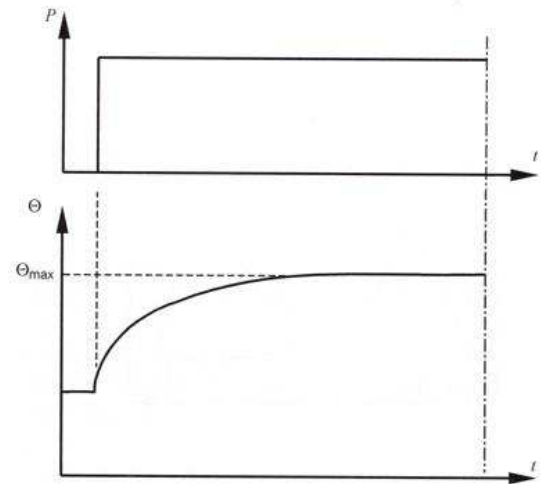
**Valitse seuraavat toimenpiteet kuormitettavan moottorin nimelliskäyttöluokan perusteella.**

### **S1 Jatkuva käyttö:**

Jatkuvassa käytössä moottori käy nimellistehollaan niin kauan että saavutetaan moottorin jatkuvan käytön loppulämpötila.

S1.1 Pyöritä moottoria nimellisarvoilla 30 minuutin ajan.

S1.2 Moottorin pysähtyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

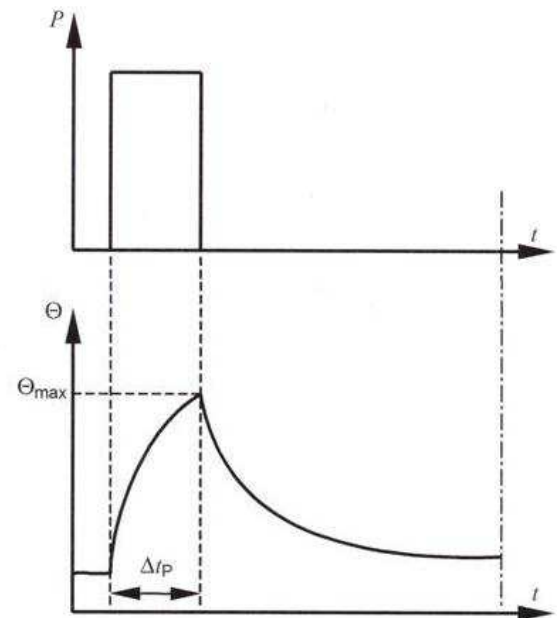


### **S2 Lyhytaikainen käyttö**

Lyhytaikaisessa käytössä kone ei ehdi saavuttaa loppulämpenemää ennalta määrätyn käyttöajan sisällä. Ennen koneen seuraavaa käynnistystä koneen annetaan jäähtyä ympäröivän ilman tai jäähdytysaineen lämpötilaan. Yleisimmät käyttöajat ovat 10, 30, 60 ja 90 minuuttia.

S2.1 Pyöritä koestettavaa moottoria nimellisteholla nimelliskäyttöluokan määräämän käyttöajan ajan.

S2.2 Moottorin pysähtyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

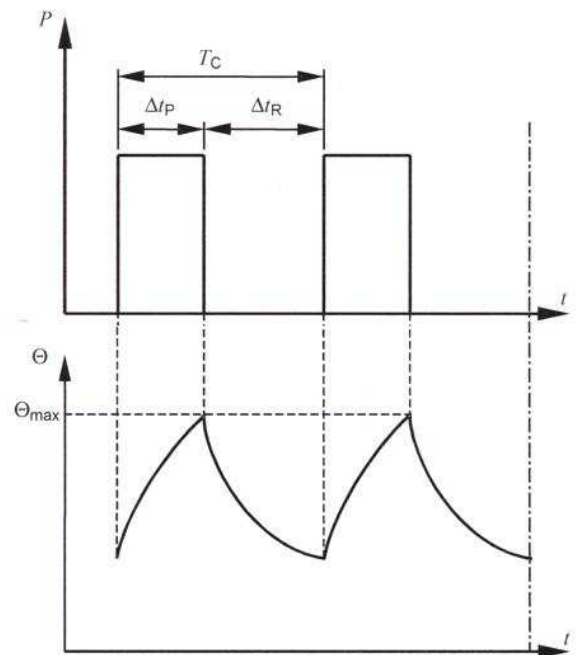


### S3 Jaksollinen ajoittaiskäyttö

Jaksollinen ajoittaiskäyttö muodostuu keskenään samanlaisista käyttöjaksoista, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella ( $\Delta t_P$ ) sekä seisonta-aika ( $\Delta t_R$ ). Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Käyttöluokan jäljessä ilmoitetaan käytön ajoittaiskäyttökerroin ( $A_{S3}$ ), joka on yleisesti 15, 25, 40 tai 60% ja käyttöjakson ( $T_C$ ) pituus yleisesti 10 minuuttia.

Jos valmistaja on ilmoittanut koneen käyttöluokalle kuormitusohjeen, jossa koe suoritetaan käyttämällä ekvivalenttisia kuormituksia, koe tehdään kyseisen kuormitusyöskin mukaisesti.

Jos taas koe tehdään käyttämällä todellisia kuormituksia, suorita kuormituskoe seuraavien ohjeiden mukaisesti:



S3.1 Syötä ajoittaiskäyttökerroin ja käyttöjakson pituus Excel-taulukkoon, joka laskee toiminta-ajan ja seisonta-ajan pituuden.

S3.2 Pyöritä koestettavaa moottoria aikaisemmin ratkaistun toiminta-ajan verran kuormittaen sitä nimellisteholla. Pysäytä moottori toiminta-ajan päättyessä ja anna sen seistä lepoajan verran. Toista 10 minuutin käyttöjaksoja kolme kappaletta, jolloin kuormituskokeen kokonaispituudeksi tulee 30 minuuttia.

S3.3 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

#### S4 Jaksollinen käynnistyskäyttö

Jaksollinen käynnistyskäyttö muodostuu keskenään samanlaisista käyttöjaksoista, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika ( $\Delta t_D$ ), toiminta-aika vakiokuormituksella ( $\Delta t_P$ ) sekä seisonta-aika ( $\Delta t_R$ ). Toiminta-ajan jälkeen moottori pysähtyy luonnollisesti hidastumalla tai mekaanisen jarrun avulla, jolloin moottori ei rasitu termisesti. Kuormituksen tiedoista ilmoitetaan moottorin roottorin hitausmomentti ( $J_M$ ) sekä akselille redusoitu kuorman hitausmomentti ( $J_{ext}$ ).

Jos valmistaja on ilmoittanut koneen käyttöluokalle kuormitusohjeen, jossa koe suoritetaan käyttämällä ekvivalenttisia kuormituksia, koe tehdään kyseisen kuormituskyklin mukaisesti.

Jos taas koe tehdään käyttämällä todellisia kuormituksia, suorita kuormituskoe seuraavien ohjeiden mukaisesti:

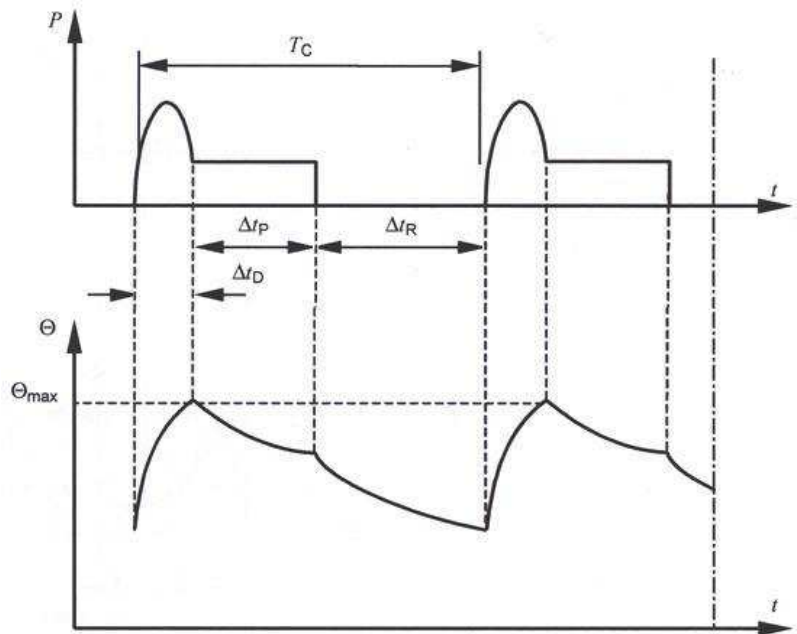
S4.1 Ratkaise moottorin käynnistysaika ( $\Delta t_D$ ) ilmoitettujen arvojen perusteella. Syötä Excel-taulukkoan koestettavan moottorin nimellisteho ( $P$ ), moottorin kiihdytyksen momenttikäyrästä ratkaistut osajaksojen momentit ( $T_{k1}$ - $T_{k5}$ ), nimellinen pyörimisnopeus ( $n$ ), moottorin roottorin ( $J_M$ ) ja kuorman hitausmomentit ( $J_{ext}$ ).

S4.2 Syötä ajoittaiskäyttökerroin ja käyttöjakson pituus Excel-taulukkoan, joka laskee toiminta-ajan ja seisonta-ajan pituuden.

S4.3 Moottorin kiihdytysaika on jaettu viiteen eri osaan, jossa jokaisessa on kuormituksesta riippuvainen vakiomomentti. Kiihdytä moottoria ensimmäisen osajakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla, sen jälkeen toisen jakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla. Jatka näin viiden osajakson verran, kunnes saavutetaan taulukon ilmoittama kiihdytysaika.

S4.4 Pyöritä moottoria nimellismomentilla toiminta-ajan verran. Kun toiminta-aika on lopussa, kytke moottori jännitteettömäksi ja anna sen pysähtyä itsestään.

S4.5 Jatka edellä kuvattua kuormituskykliä kunnes kuormituskoe saavuttaa 30 minuutin kokonaiskeston.



S4.6 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

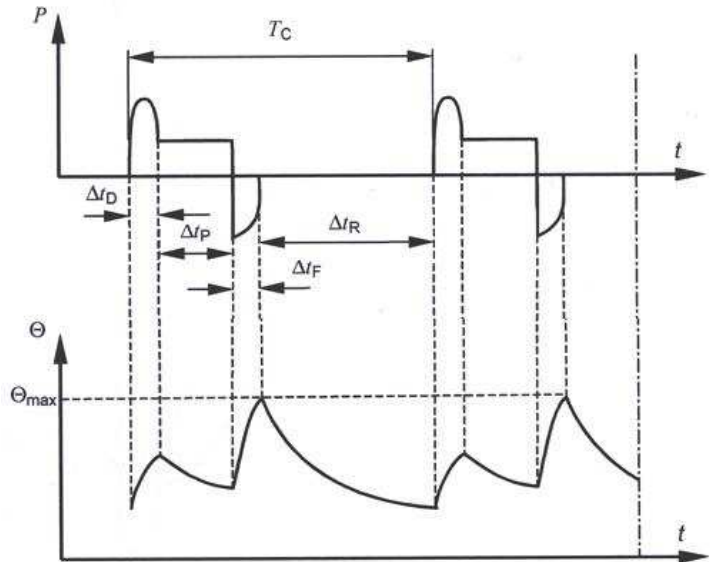


## S5 Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö muodostuu käynnistysajasta ( $\Delta t_D$ ), toiminta-ajasta vakiokuormituksella ( $\Delta t_P$ ), seisonta-ajasta ( $\Delta t_R$ ) sekä jarrutusajasta ( $\Delta t_F$ ), jonka aikana kuorma pysäytetään moottorin avulla käyttäen esimerkiksi vastavirtajarrutusta, joka rasittaa moottoria termisesti.

Jos valmistaja on ilmoittanut koneen käyttöluokalle kuormitusohjeen, jossa koe suoritetaan käyttämällä ekvivalenttisia kuormituksia, koe tehdään kyseisen kuormitusrytmin mukaisesti.

Jos taas koe tehdään käyttämällä todellisia kuormituksia, suorita kuormituskoe seuraavien ohjeiden mukaisesti:



S5.1 Ratkaise moottorin käynnistysaika ( $\Delta t_D$ ) ilmoitettujen arvojen perusteella. Syötä Excel-taulukkoon koestettavan moottorin nimellisteho ( $P$ ), moottorin kiihdytyksen momenttikäyrästä ratkaistut osajaksojen momentit ( $T_{k1}$ - $T_{k5}$ ), jarrutuksen momenttikäyrästä ratkaistut osajaksojen momentit ( $T_{j1}$ - $T_{j5}$ ), nimellinen pyörimisnopeus ( $n$ ), moottorin roottorin ( $J_M$ ) ja kuorman hitausmomentit ( $J_{ext}$ ).

S5.2 Syötä ajoittaiskäyttökerroin ja käyttöjakson pituus Excel-taulukkoon, joka laskee toiminta-ajan ja seisonta-ajan pituuden.

S5.3 Moottorin kiihdytysaika on jaettu viiteen eri osaan, jossa jokaisessa on kuormituksesta riippuvainen vakiomomentti. Kiihdytä moottoria ensimmäisen osajakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla, sen jälkeen toisen jakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla. Jatka näin viiden osajakson verran, kunnes saavutetaan taulukon ilmoittama kiihdytysaika.

S5.4 Pyöritä moottoria nimellismomentilla toiminta-ajan verran. Kun toiminta-aika on kulunut loppuun, pysäytä moottori käyttäen Excel-taulukon ilmoittamia jarrutusaikoja- ja momentteja.

S5.5 Jatka edellä kuvattua kuormitusrytmiä kunnes kuormituskoe saavuttaa 30 minuutin kokonaiskeston.

S5.6 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittausspöytäkirjaan.



## S6 Pysähtymätön ajoittaiskäyttö

Pysähtymätön ajoittaiskäyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella ( $\Delta t_p$ ) sekä tyhjäkäyntiaika ( $\Delta t_v$ ).

Kuormituskoe voidaan suorittaa automaattisesti logiikkaan tehdyn ohjelmiston avulla.

S6.1 Tarkista että verkkosillan ja käytettävän taajuusmuuttajan pääkytkimet ovat kiinni.

S6.2 Valitse käytettävä kuormituskone paneelista **FSK1/UOK3**. Kuormituskoneen ohjauspaneelin **OP6** pääkytkin asentoon "0" ja **Ajokytkin** asentoon "0".

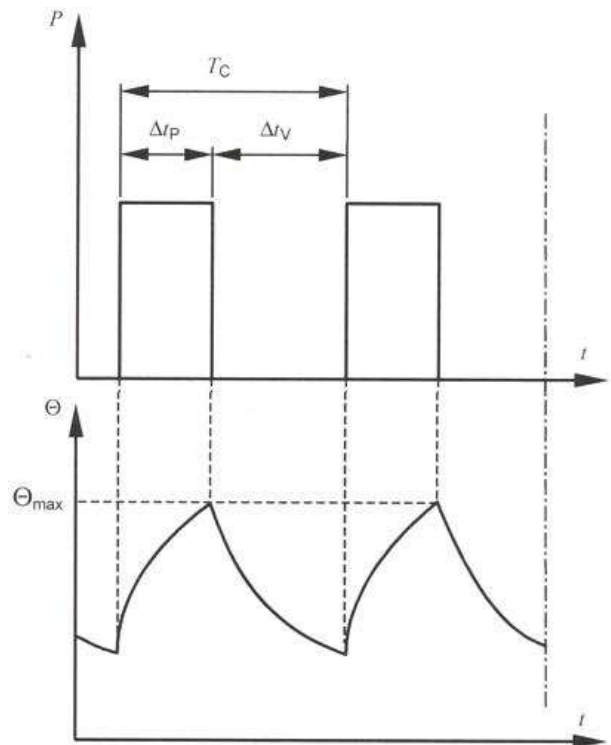
S6.3 Kytke käytettävän taajuusmuuttajan paneelista moottorikontaktori asentoon "Auki" sekä **seis/käy** asentoon "seis". Valitse samasta paneelista koestettavan moottorin taajuus, yleensä 60 Hz.

S6.4 Paina paneelista **FSK1/UOK3** Testiajo käyntiin vihreästä "START"-painikkeesta. Paneelin **OP6** mittarit syttyvät. Säädä paneelin **OP6 Momenttiraja** kohtaan "5". Tällä tavalla voidaan moottorin virta säätää käsin oikeaksi vastamomenttia säätämällä, jos se automaattijolla eroaa nimellisvirrasta.

S6.5 Käynnistä tietokoneelta piirto-ohjelma **DriveWindow**.

S6.6 Paina taajuusmuuttajan ohjauspaneelista **OP4** (ACS600) tai **OP3** (ACS607) **moottorikontaktori "Kiinni"** ja **seis/käy "käy"**. Moottori käynnistyy ja logiikka ohjaa kuormituskonetta ja moottoria S6-40% mukaan. 30 minuutin jälkeen ohjelma lopettaa kuormituskokeen. Kuormituskokeen voi keskeyttää paneelista **FSK1/UOK3** Testiajon punaisesta "STOP"-painikkeesta.

S6.7 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

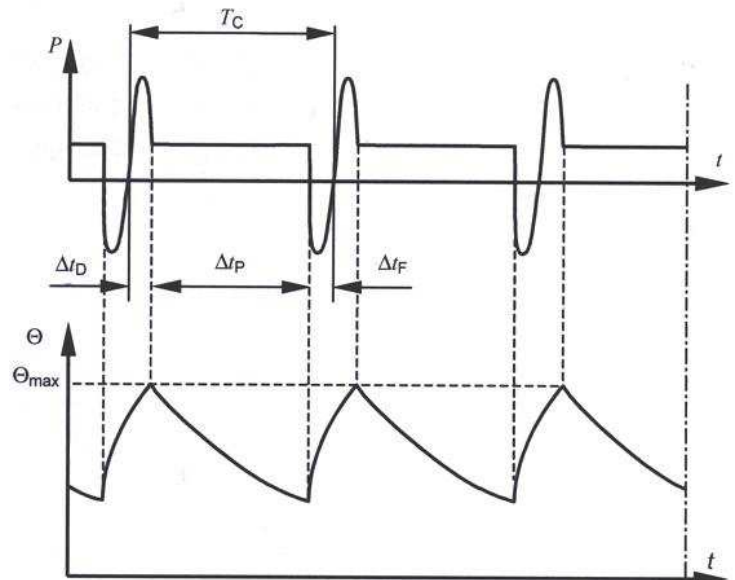


## S7 Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö

Keskeytymätön käynnistys- ja jarrutuskäyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika ( $\Delta t_D$ ), toiminta-aika vakiokuormituksella ( $\Delta t_P$ ) sekä jarrutusaika ( $\Delta t_F$ ). Jarrutus tapahtuu sähköisesti esimerkiksi vastavirtajarrutuksella.

Jos valmistaja on ilmoittanut koneen käyttöluokalle kuormitusohjeen, jossa koe suoritetaan käyttämällä ekvivalenttisia kuormituksia, koe tehdään kyseisen kuormitusyöskin mukaisesti.

Jos taas koe tehdään käyttämällä todellisia kuormituksia, suorita kuormituskoe seuraavien ohjeiden mukaisesti:



S7.1 Ratkaise moottorin käynnistysaika ( $\Delta t_D$ ) ilmoitettujen arvojen perusteella. Syötä Excel-taulukkoon koestettavan moottorin nimellisteho ( $P$ ), moottorin kiihdytyksen momenttikäyrästä ratkaistut osajaksojen momentit ( $T_{k1}$ - $T_{k5}$ ), jarrutuksen momenttikäyrästä ratkaistut osajaksojen momentit ( $T_{j1}$ - $T_{j5}$ ), nimellinen pyörimisnopeus ( $n$ ), moottorin roottorin ( $J_M$ ) ja kuorman hitausmomentit ( $J_{ext}$ ).

S7.2 Syötä ajoittaiskäyttökerroin ja käyttöjakson pituus Excel-taulukkoon, joka laskee toiminta-ajan ja seisonta-ajan pituuden.

S7.3 Moottorin kiihdytysaika on jaettu viiteen eri osaan, jossa jokaisessa on kuormituksesta riippuvainen vakiomomentti. Kiihdytä moottoria ensimmäisen osajakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla, sen jälkeen toisen jakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla. Jatka näin viiden osajakson verran, kunnes saavutetaan taulukon ilmoittama kiihdytysaika.

S7.4 Pyöritä moottoria nimellismomentilla toiminta-ajan verran. Kun toiminta-aika on kulunut loppuun, pysäytä moottori Excel-taulukon ilmoittamia jarrutusaikoja ja –momentteja käyttäen. Kun moottori on pysähtynyt, kiihdytä se uudestaan kohdan S7.3 mukaisesti.

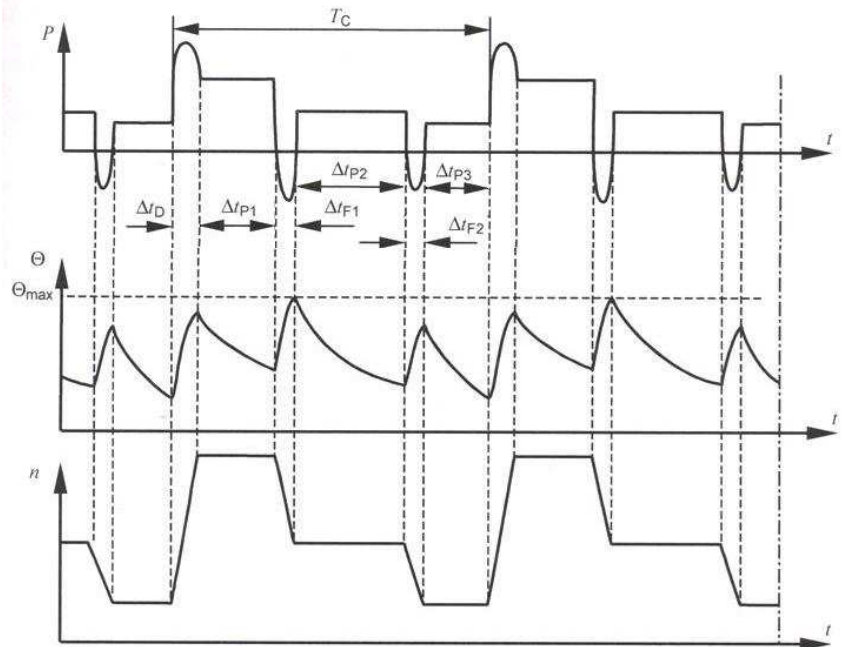
S7.5 Jatka edellä kuvattua kuormitusyöskliä kunnes kuormituskoe saavuttaa 30 minuutin kokonaiskeston.

S7.6 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

## S8 Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö

Pysähtymätön määräjaksollinen käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu kiihdytysaika ( $\Delta t_D$ ), toiminta-aika vakiokuormituksella ja määrättyllä pyörimisnopeudella ( $\Delta t_{P1}$ ) sekä jarrutusaika ( $\Delta t_{F1}$ ), jota välittömästi seuraa toiminta-aika toisella vakiokuormituksella ja pyörimisnopeudella ( $\Delta t_{P2}$ ) sekä jarrutusaika ( $\Delta t_{F2}$ ). Pyörimisnopeuksia ja vakiokuormituksia voi olla kaksi tai useampia.

Jos valmistaja on ilmoittanut koneen käyttöluokalle kuormitusohjeen, jossa koe suoritetaan käyttämällä ekvivalenttisia kuormituksia, koe tehdään kyseisen kuormitusjakson mukaisesti.



Jos taas koe tehdään käyttämällä todellisia kuormituksia, suorita kuormituskoe seuraavien ohjeiden mukaisesti:

S8.1 Ratkaise moottorin käynnistysajat ja jarrutusaikat ilmoitettujen arvojen perusteella. Syötä Excel-taulukko koestettavan moottorin nimellistehot ( $P$ ), moottorin kiihdytyksen momenttikäyrästä ratkaistut osajaksojen momentit ( $T_{k1}$ - $T_{k5}$ ), jarrutuksen momenttikäyrästä ratkaistut osajaksojen momentit ( $T_{j1}$ - $T_{j5}$ ), nimelliset pyörimisnopeudet ( $n$ ), moottorin roottorin ( $J_M$ ) ja kuorman hitausmomentit ( $J_{ext}$ ).

S8.2 Syötä ajoittaiskäyttökerroin ja käyttöjakson pituus Excel-taulukko, joka laskee toiminta-ajan ja seisonta-ajan pituudet.

S8.3 Moottorin kiihdytysaika on jaettu viiteen eri osaan, jossa jokaisessa on kuormituksesta riippuvainen vakiomomentti. Kiihdytä moottoria ensimmäisen osajakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla, sen jälkeen toisen jakson ajan sitä vastaavalla vakiomomentilla. Jatka näin viiden osajakson verran, kunnes saavutetaan taulukon ilmoittama kiihdytysaika.

S8.4 Pyöritä moottoria nimellismomentilla toiminta-ajan verran. Kun toiminta-aika on kulunut loppuun, hidasta tai kiihdytä moottorin pyörimisnopeus seuraavaan vakiokuormitukseen. Moottorin kiihdyttäminen tapahtuu kuten edellä kohdassa S8.3. Myös todellinen jarrutus mallinnetaan viidellä eri osajaksolla, jotka Excel-taulukko

laskee automaattisesti. Hidasta kuormitus kyseisiä kuormitusmomenteja ja –aikoja käyttäen.

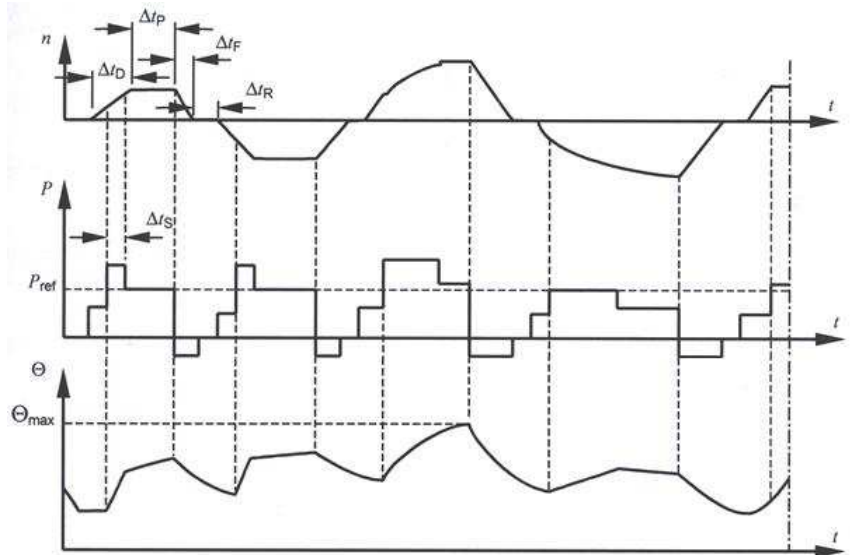
S8.5 Jatka edellä kuvattua kuormitussykliä kunnes kuormituskoe saavuttaa 30 minuutin kokonaiskeston.

S8.6 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

### S9 Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella

Käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka eivät yleensä ole jaksollisia. Se sisältää usein tapahtuvia ylikuormia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuorman. Kuvassa näkyvät ylikuormitukset havainnollistetaan vertailuteholla ( $P_{ref}$ ), joka on moottorin jatkuvan käytön nimellisteho.

Tämän nimelliskäyttötavan kuormituskokeet tehdään aina valmistajan määrittelemillä ekvivalenttisilla tehoilla, jotka aiheuttavat moottoriin samanlaisen lämpenemän kuin todellinenkin kuormitus.



S91. Suorita kuormituskoe valmistajan ilmoittamien kuormitusohjeiden mukaisesti.

S9.2 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.

### S10 Käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla

Tämä käyttö muodostuu enintään neljästä osajaksosta erisuurella vakiokuormalla. Jokaisen vakiokuorman käyttöaika on niin pitkä, että kone saavuttaa loppulämpötilansa. Kuormitusyklin pienin vakiokuorma voi olla myös kone tyhjäkäynnissä tai kokonaan pysäytettynä lepotilassa.

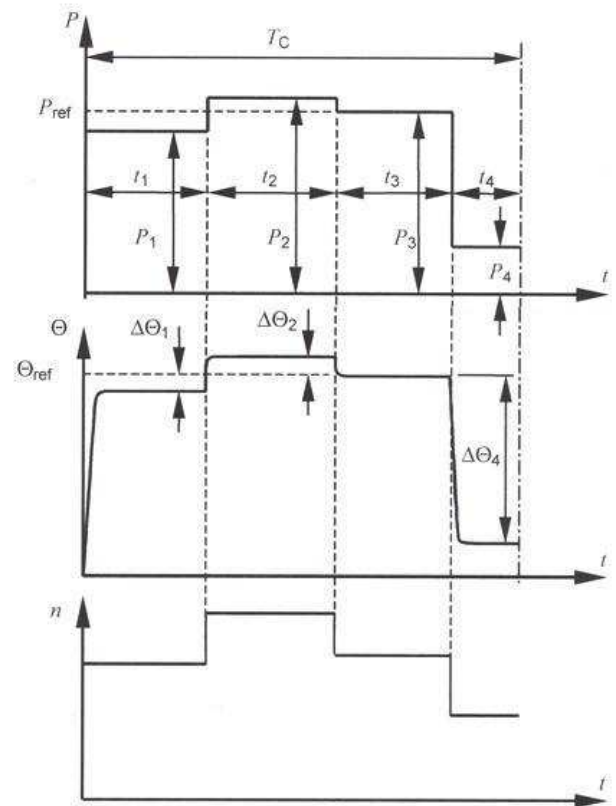
Jos valmistaja on ilmoittanut koneen käyttöluokalle kuormitusohjeen, jossa koe suoritetaan käyttämällä ekvivalenttisia kuormituksia, koe tehdään kyseisen kuormitusyklin mukaisesti.

Jos taas koe tehdään käyttämällä todellisia kuormituksia, suorita kuormituskoe seuraavien ohjeiden mukaisesti:

S10.1 Kiihdytä moottori ensimmäiseen vakiokuormaan ja – momenttiin.

S10.2 Kun moottorin lämpenemä on tasaantunut ensimmäisellä vakiokuormalla, muuta kuormitusta ja pyörimisnopeutta seuraavan vakiokuorman mukaiseksi. Jatka vastaavasti kunnes moottorin lämpenemä on tasaantunut viimeisen vakiokuormituksen osalta.

S10.3 Kuormituskokeen päätyttyä mittaa käämien resistanssi, moottorin rungon ja laakerikilven lämpötila. Merkitse tulokset muistiin tietokoneella olevaan mittauspöytäkirjaan.



### Ylinopeuskoe

Kuormituskokeiden jälkeen testataan moottorin rakenteen kestävyys suuremmille pyörimisnopeuksille.

1. Sääda moottorin taajuudeksi paneelista **OP3** tai **OP4** 120% testattavan moottorin nimellistaajuudesta, esim. 50 Hz:n moottorille 60 Hz.
2. Pyöritä moottoria ylinopeudella 2 minuutin ajan. Tästä kokeesta ei tarvitse tehdä mittauspöytäkirjaan merkintöjä jos moottori käyttäytyy normaalisti, esim. käyntiäänä ei ole normaalia poikkeava.

### Ylikuormituskoe

Ylikuormituskokeessa moottorin vaihevirratt nostetaan 160% nimellisestä. Mittauspöytäkirja laskee automaattisesti oikeat käämitysten virta-arvot nimellisarvojen perusteella.

1. Käynnistä moottori pyörimään nimellisnopeuteen.
2. Käynnistä kuormituskone ja sääda kuormitusta paneelista **OP6** kytkimellä **Momenttiraja** niin kauan että vaihevirratt ovat mittauspöytäkirjassa ilmoitetun suuruiset.
3. Ota ylös moottorin pyörimisnopeus paneelin **OP6** näytöstä ja kirjaa se mittauspöytäkirjaan.
4. Pysäytä moottori välittömästi pyörimisnopeuden toteamisen jälkeen.

### Oikosulkukoe

1. Vaihda moottorin syöttökaapeli koestuspenkistä tulevaan syöttökaapeliin. Tarkista ettei keskuksessa **FSK1/UOK3** olevat moottorikaapelin jännitteellisyydestä ilmoittavat punaiset varoitusvalot vilku.
2. Lukitse moottorin akseli paikoilleen.
3. Käännä kytkin **Mittauspaikan valinta** keskuksessa **OP2** asentoon ”**Pulpetti**”.
4. Kytke koestuspenkki toimintakuntoon sitä koskevien käyttöohjeiden mukaisesti.
5. Mittaa vaihtosähkökoneen koestusjännitettä yleismittarilla koestuspulpetti A:n liittimistä **AC Koestusjännite**. Nosta koestusjännitettä kytkimellä **A4 Magnetointi / AC Koestusjännitteen säätö** kunnes saavutetaan moottorin nimellisivirta.

6. Paina mieleesi koestusjännitteen suuruus, kun moottorin virta on nimellinen. Säädä koestusjännite nolleen ennen kuin kirjaat mittaustulokset mittauspöytäkirjaan.



D muutos  
E muutos  
F muutos

Liite 2

A muutos  
B muutos  
C muutos

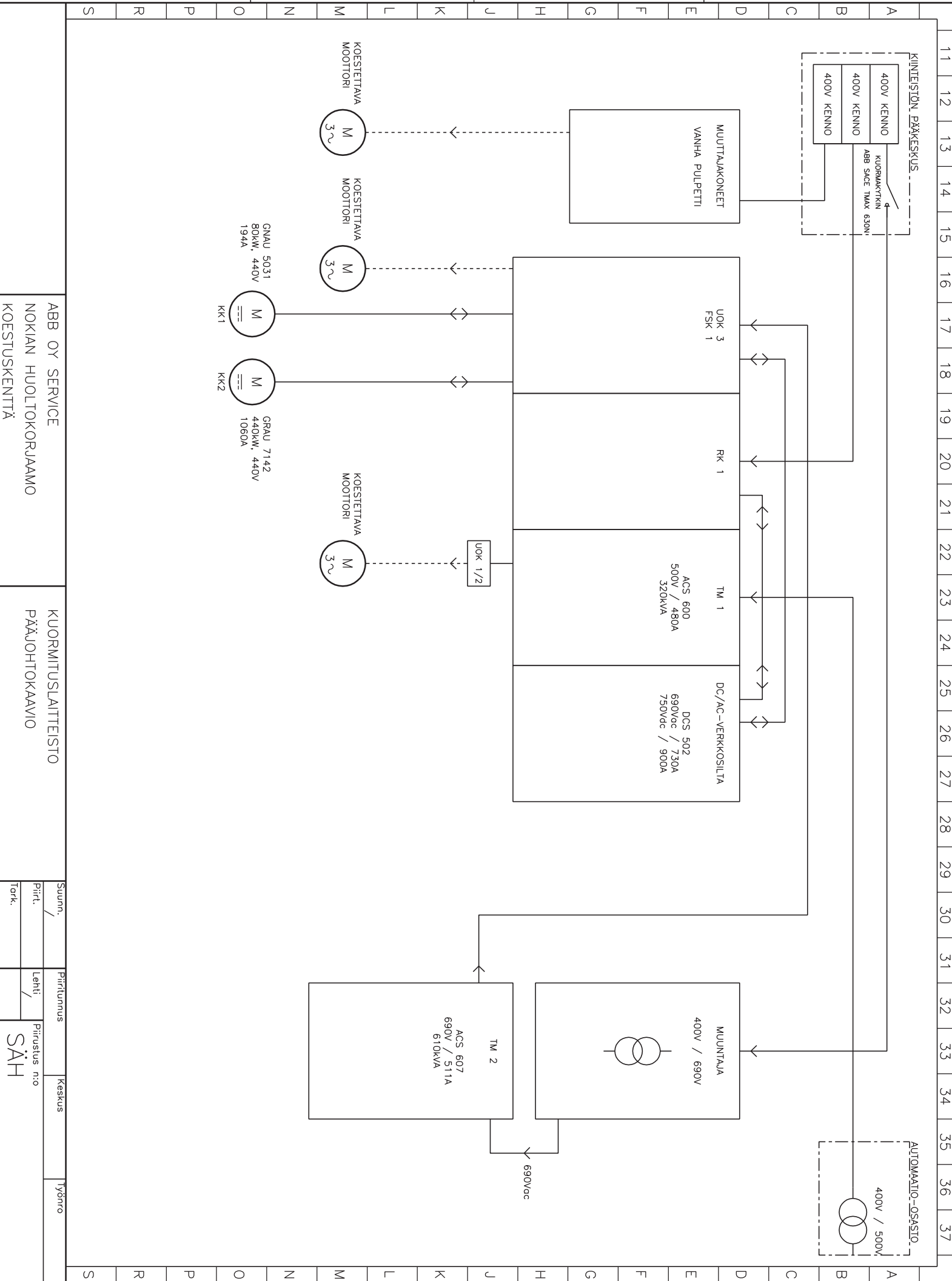


ABB OY SERVICE  
NOKIAN HUOLITOKORJAAMO  
KOESTUSKENTTÄ

KUORMITUSLAITTEISTO  
PÄÄJOHTOKAAVIO

Suunn.	Piirtunus	Keskus	Työno
Piirt.	Lehti	Piirustus n:o	
Tork.		SÄH	

**Nokianvaltatie 31 37100 NOKIA**