

**Kuva 7.** Hyötysuhteen määrittäminen Eh-tähti -menetelmän avulla. (IEC60034-2-1 2014: 39.)

Moottorin hyötysuhteen määrittäminen kokonaisuudessaan toteutetaan mittaamalla ensin moottorin rauta-, kitka- ja virtalämpöhäviöt. Ennen kuormitustestiä mitataan käämivastus ympäristön lämpötilassa. Seuraavaksi hyötysuhteen määrittämiseksi moottorille on suo-



























































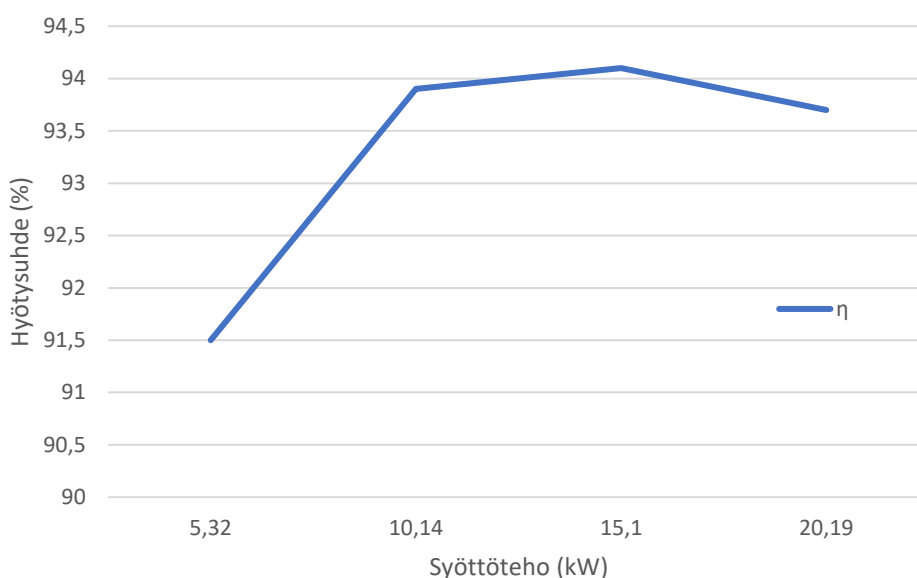








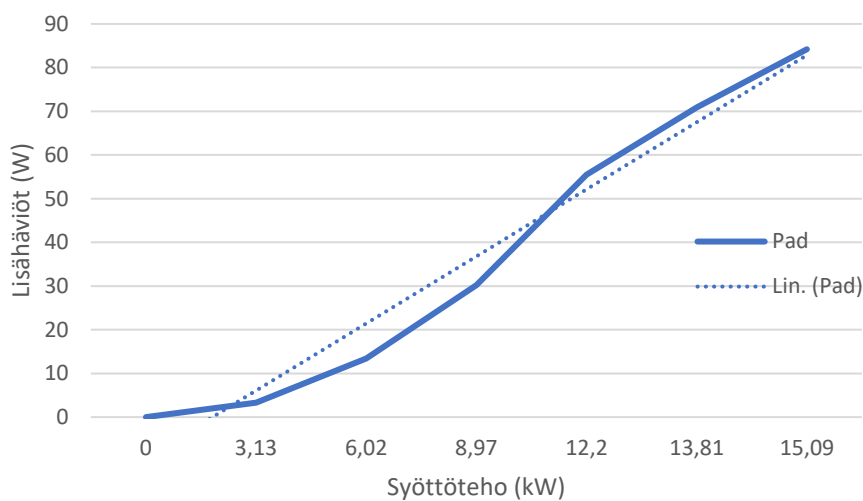
Kuvasta 28 nähdään, että lisähäviöt kasvavat lähes lineaarisesti moottorin kuormituksen kasvaessa. Moottorin toimiessa täydellä kuormalla lisähäviöiden arvoksi ABB:n yleisellä hyötysuhdemittausmenetelmällä tarkasteltuna saadaan 265 W. Kuvassa 29 on esitetty suoraan verkkoonkäynnistyvän tahtireluktanssimoottorin hyötysuhteen mitatut arvot vastaavilla kuormitusasteilla.



**Kuva 29.** DOL-SynRm -moottorin hyötysuhde  $\eta$  eri kuormitusasteilla.

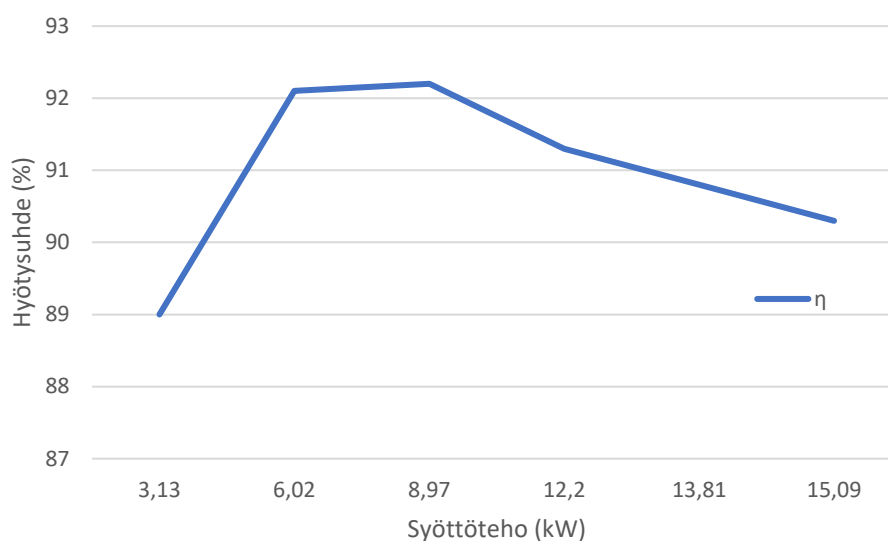
Kuvasta 29 nähdään, että moottori saavuttaa korkeimman hyötysuhteensa toimiessaan 75 %:in kuormituksella nimellistehostaan. Täydellä kuormalla moottorin hyötysuhteeksi saadaan 93,7 %, kun otetaan huomioon kaikki moottorista mitatut häviöt.

Liitteessä 7 on esitetty vertailukohteenä toimivan oikosulkumoottorin mittaustulokset. Kuvassa 30 on esitetty oikosulkumoottorin lisähäviöt 25–125 %:in kuormituksella moottorin nimellistehosta.



**Kuva 30.** Oikosulkumoottorin lisähäviöt  $P_{ad}$  ja lineaarisen sovituksen käyrä  $Lin.(P_{ad})$  eri kuormitusasteilla.

Tahtireluktanssimoottorista poiketen oikosulkumoottorin testaus suoritettiin myös 115 ja 125 %:in ylikuormalla nimellistehoon verrattuna. Kuvasta 30 nähdään, että myös oikosulkumoottorin lisähäviöt kasvavat lähes lineaarisesti moottorin kuormituksen kasvaessa. Moottorin toimiessa täydellä kuormalla oikosulkumoottorin lisähäviöiden arvoksi ABB:n yleisellä hyötysuhdemittausmenetelmällä tarkasteltuna saadaan 55,5 W. Kuvassa 31 on esitetty tutkittavan oikosulkumoottorin hyötysuhteen mitatut arvot vastaavilla kuormitusasteilla.

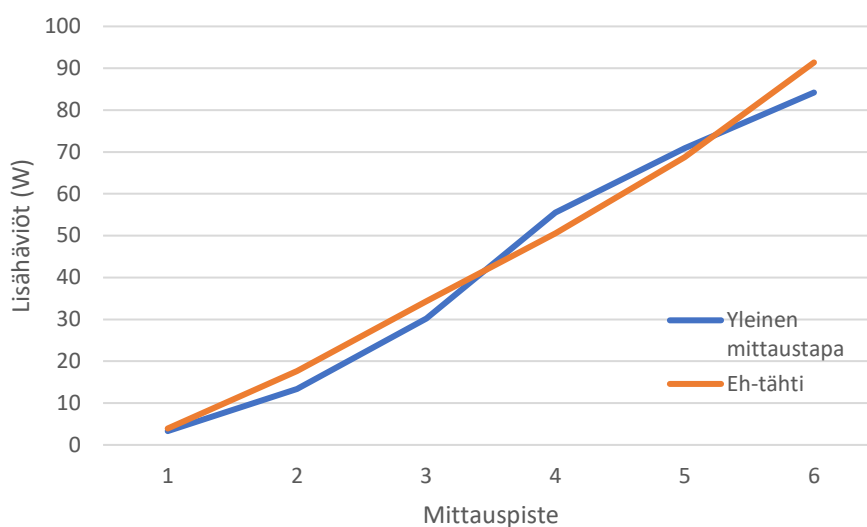


**Kuva 31.** Oikosulkumoottorin hyötysuhde  $\eta$  eri kuormitusasteilla.

Kuvasta 31 nähdään, että myös oikosulkumoottori saavuttaa korkeimman hyötysuhteensa toimiessaan 75 %:in kuormituksella nimellistehostaan. Täydellä kuormalla moottorin hyötysuhteeksi ABB:n normaalin testiohjelman mukaisesti saadaan 91,3 %, kun otetaan huomioon kaikki moottorista mitatut häviöt.

#### 4.3 Tulosten vertailu

Oikosulkumoottorin mittauksissa moottorin lisähäviöiksi saatiin 55,7 W ABB:n käyttämällä arviointimenetelmällä, ja 73 W Eh-tähti menetelmää käyttäen. Kuvassa 32 on esitetty oikosulkumoottorin testauksista saadut lisähäviöt sekä ABB:n yleisellä mittaustavalla että Eh-tähti -menetelmällä. Eh-tähti -menetelmässä moottoria ei kuormiteta, joten lisähäviöiden vertailu tehon suhteen on hankalaa. Tästä johtuen kuvassa 32 tulokset ovat esitettyinä eri mittauspisteiden mukaan. Mittauspisteet ovat vaaka-akselilla järjestyksessä, jossa ensimmäinen mittauspiste on Eh-tähti -mittauksessa pienimmän virran mittauspiste ja yleisellä mittauksella pienimmän kuormituksen mittaus. Vastaavasti kuudes mittauspiste antaa lisähäviöiden suuruuden Eh-tähti -menetelmän suurimman virran mittauspisteessä ( $I_v=1,5I_n$ ) ja yleisen mittaustavan suurimmalla kuormituksella ( $P_1=1,25P_n$ ).



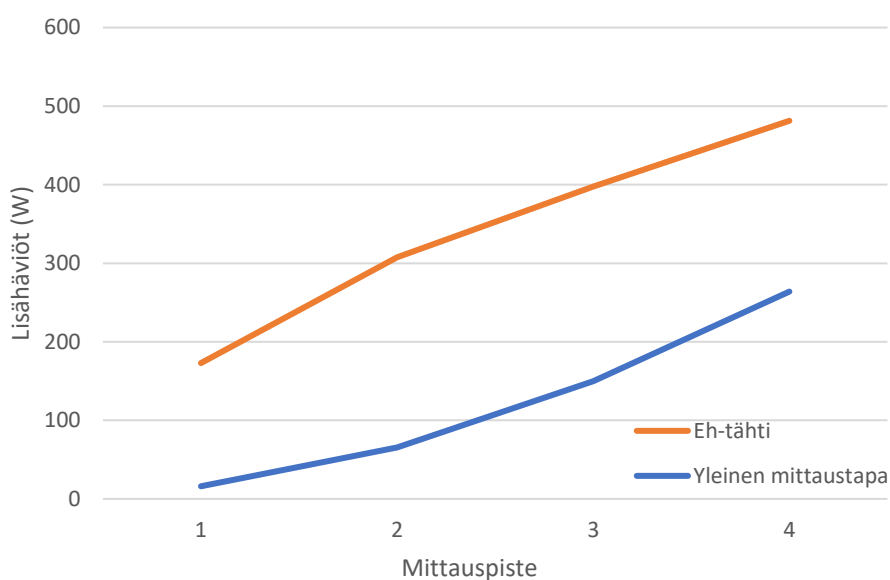
**Kuva 32.** Oikosulkumoottorin lisähäviöt lisähäviöt Eh-tähti -menetelmällä ja yleisellä mittaustavalla mitattuna eri mittauspisteissä.

Kuvasta 32 nähdään, että oikosulkumoottorin mittauksessa Eh-tähti -menetelmän laskennalliset lisähäviöt ovat lähes identtiset yleisellä mittaustavalla saatuihin lisähäviöihin nähden. Koska Eh-tähti -menetelmässä moottoria ei kuormiteta, määritetään lopulliset kuormitustilanteen lisähäviöt käyrän kulmakertoimesta. Tämä nostaa tutkitulla oikosulkumoottorilla lisähäviöiden suuruutta noin 20 W verrattuna yleisen mittaustavan tuloksiin, vaikka laskennalliset arvot ovatkin lähes saman suuruiset.

Eh-tähti -menetelmän suuremmat lisähäviöt aiheuttavat hyötysuhteeseen vain 0,1 prosenttiyksikön eron moottorin hyötysuhteeseen. Eh-tähti -menetelmän ollessa hyväksytty mittaustapa lisähäviöiden määrittämiseen oikosulkumoottoreille, voidaan tuloksista päätellä kytkennän ja laskennallisten arvojen määrittämisen onnistuneen. Vertailemalla testimoottoria muihin samanlaisella käämillä valmistettuihin moottoreihin huomataan, että testimoottorin lisähäviöt ovat todella pienet verrattuna rakenteellisesti identtisesti valmistettuihin moottoreihin. Mitattua korkeammat lisähäviöt olivat näin ollen odotettavissa Eh-tähti -menetelmän mukaisiksi lisähäviöiksi.

Suoraan verkkoonkäynnistyvällä tahtireluktanssimoottorilla ABB:n vakiokäytäntöjen mukaan lasketuiksi lisähäviöiksi saatiin 263,9 W. Eh-tähti -menetelmän avulla määrite-

tyiksi lisähäviöiksi puolestaan saatiin 401 W. Kuvassa 33 on esitetty suoraan verkkoonkäynnistyvän tahtireluktanssimoottorin testauksista saadut lisähäviöt sekä ABB:n yleisellä mittaustavalla että Eh-tähti -menetelmällä. Lisähäviöiden tarkat arvot olivat saatavilla DOL-SynRm -moottorin testiraportissa ainoastaan neljästä mittauspisteestä, joten myös Eh-tähti -menetelmän kuvaajasta on poistettu kahden mittauspisteen tulokset.



**Kuva 33.** DOL-SynRm -moottorin lisähäviöt Eh-tähti -menetelmällä ja yleisellä mittaustavalla mitattuna eri mittauspisteissä.

Kuvasta 33 nähdään, että arvojen erotus mittauspisteissä on keskimäärin 200 W. Menetelmien ero on erittäin suuri, ja DOL-SynRm -moottoreiden ollessa vielä vähän tutkittuja, ei voida varmasti sanoa voidaanko Eh-tähti -menetelmän mukaista tulosta pitää luotettavana. Mikäli moottorin todelliset lisähäviöt ovat noin 400 W, laskee se myös moottorin hyötysuhdetta huomattavasti. Eh-tähti -mittauksen mukainen hyötysuhde, kun moottorin kaikki mitatut häviöt otetaan huomioon on 93,0 %. Näin ollen hyötysuhde olisi 0,7 prosenttiyksikköä alempi, kuin ABB:n vakiomittauksella mitattuna.

IEC-standardi sallii 15 % toleranssin ilmoitetun ja mitatun hyötysuhteen välillä laskettuna käänteisesti leimatusta kilpiarvosta. Moottorin kilpiarvon ollessa 94,5 % tarkoittaisi tätä sitä, että alimmillaan mitattu hyötysuhde saisi olla 93,7 %. Näin ollen Eh-tähti -testillä

mitattuna DOL-SynRm -moottorin hyötysuhde ei olisi enää IEC:n sallimissa rajoissa. Toleranssien alarajat voidaan laskea

$$\eta_{\text{leimaus}} - (0,15 \cdot (1 - \eta_{\text{leimaus}})) = \eta_2, \quad (64)$$

missä  $\eta_{\text{leimaus}}$  on moottorin arvokilvelle leimattu hyötysuhde ja  $\eta_2$  on moottorin testattu tai laskennallinen hyötysuhde. DOL-SynRm -moottorin testiraportista (liite 6) voidaan nähdä, että yleisellä hyötysuhdemittausmenetelmällä mitattuna moottori on ylittänyt standardin vaatimaan hyötysuhteeseen.

Sekä oikosulkumoottorille että tahtireluktanssimoottorille yritettiin myös laskea metodin A mukaiset lisähäviöt ennen metodin C käyttämistä. Laskennalliset tarkistusarvot poikkesivat kuitenkin liian paljon sallituista rajoista, joten tuloksia ei voida pitää luotettavina.

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Eh-tähti -menetelmä on käyttökelpoinen ja ABB:n koekentällä toteutettavissa oleva metodi moottorin lisähäviöiden määrittämiseen ainakin oikosulkumoottoreilla. ABB:n koekentällä mitattaessa Eh-tähti -laskentaa ei kuitenkaan voi toteuttaa standardin mukaisella metodilla A, vaan laskennassa täytyy käyttää matemaattisesti raskaampaa metodia C. Tämä johtuu vaiheiden tehon laskennasta, joka ABB:n koekentällä lasketaan kolmessa pisteessä, kun Eh-tähti -mittaus vaatisi tehon vain kahdesta pisteestä. Metodi C käyttää laskennassa järjestelmästä mitattua kokonaistehoa ja on näin ollen laskentaan sopivampi, kuin metodi A.

Mikäli Eh-tähti -menetelmää halutaan ottaa laajemmin käyttöön täytyisi myös laitteistohankintoja tehdä, sillä pienempiä moottoreita tutkittaessa käytettävän lisävastuksen suuruutta on nostettava. Tällä hetkellä koekentän säädettävällä vastuksella päästiin suurimmillaan noin  $3 \Omega$  arvoon. Myös vaihtokytkin helpottaisi testin suorittamista, vaikka kytkentä olikin täysin toteutettavissa kahdella kontaktorilla, joista toinen kytkettiin suoraan moottorille ja toinen lisävastuksen kautta.

DOL-SynRm -moottoreiden osalta menetelmä vaatii vielä jatkotutkimuksia sekä useamman moottorin testausta, jotta Eh-tähti -menetelmän luotettavuudesta voidaan tehdä päätelmiä. Perinteisen mittaustavan lisähäviömittauksen mahdollisia ongelmia kyseisellä moottorityypillä on myös selvitetävää. Laskennallisesti metodi kuitenkin näyttää mahdolliselta, sillä negatiivisen ja positiivisen sekvenssin virtojen suhde pysyi koko mittauksen ajan sallituissa rajoissa. Myöskään laskennallinen ja mitattu teho eivät eronneet yli yhtä prosenttiyksikköä toisistaan, mikä myös on osoitus luotettavista mittaustuloksista. Moottorista mitatut arvot käyttäytyvät myös täsmälleen samalla tavalla kuin oikosulkumoottorilla, joten laskennallisesti Eh-tähti -menetelmässä ei aiheudu ongelmia moottorin jättämisen ollessa 0.

Suurin ero DOL-SynRm -moottorin ja oikosulkumoottorin välillä Eh-tähti -mittauksen tuloksissa on mittauspisteiden lisähäviöiden mukaan piirretyn käyrän ja korjatun lisähä-

viökäyrän välillä. Oikosulkumoottorilla käyrän ja pystyakselin leikkauspiste erosi huomattavasti enemmän origosta, kuin tahtireluktanssimoottorilla. Tämä ei kuitenkaan vaikuta kuormituslisähäviöiden arvoon, sillä kuormituksen aikaiset lisähäviöt määritetään Eh-tähti -menetelmässä suoran kulmakertoimen mukaan, eikä leikkauspisteellä ole vaikutusta tähän.

Mikäli suoraan verkkoonkäynnistyvän tahtireluktanssimoottorin tulokset pitävät paikkansa, ovat moottorin lisähäviöt moottorin kokoon suhteutettuna epätyypillisen korkeat. Näin ollen suoraan verkkoonkäynnistyvien tahtireluktanssimoottoreiden tutkimuksissa tulisi jatkossa keskittyä myös roottorin ja staattorin geometrian optimointiin, jotta lisähäviöitä saataisiin alhaisemmiksi.

Eh-tähti -menetelmä on jatkotutkimuksien arvoinen menetelmä, sillä käytännössä se on erittäin nopea mittaus, kunhan moottorin kytkentä on selvillä. Kyseinen metodi myös mahdollistaa lisähäviömittauksen myös korkeilla yli 95 % hyötysuhteilla, joilla perinteinen arviointimenetelmä menettää huomattavasti tarkkuuttaan. Eh-tähti -menetelmän huonoina puolina voidaan pitää haastavaa teoriaa metodin takana. Mikäli laskelmat voidaan suorittaa standardin mukaisella metodilla A, voidaan laskennassa käyttää esimerkiksi tau-lukkolaskentaohjelmalla. Tässä tutkimuksessa päädyttiin käyttämään laskentametodi C:tä, joka perustuu neljännen asteen yhtälön ratkaisuun ja vaatii näin ollen Matlabin tai Mathematican kaltaisen laskentaohjelman, jotta yhtälönratkaisu käy nopeasti. Laskennassa kuitenkin huomattiin, että metodissa C ratkaistava yhtälö on erittäin epästabiili ja jo pienet desimaalimuutokset voivat muuttaa lopputulosta huomattavasti.

Eh-tähti -laskennassa olisi myös tutkittavaa ja tulevaisuuden tutkimuskohteita voisi olla esimerkiksi kaavojen yksinkertaistaminen kompleksimuotoon, mikäli tämä on mahdollista. Nykyinen erillisten reaali- ja imaginääriosien avulla laskeminen johtaa pahimmillaan erittäin monimutkaisiin lausekkeisiin, joissa laskentavirheiden mahdollisuudet kasvavat.

## 6 YHTEENVETO

Jatkuvasti kiristyvät hyötysuhdevaatimukset pakottavat sähkömoottorivalmistajat löytämään uusia keinoja, joilla vaatimukseen päästään. Yksi potentiaalisista moottorityypeistä on perinteisestä tahtireluktanssimoottorista johdettu ilman taajuusmuuttajaa käynnistyvä DOL-SynRm -moottori. Suoraan verkkoonkäynnistyminen on mahdollista valamalla moottorin roottoriin alumiininen oikosulkuhäkki, johon indusoituva virta auttaa moottorin käyntiin käynnistysvaiheessa. DOL-SynRm -moottori mahdollistaa pienempien käytölämpötilan kautta suuremman tehon saamisen pienemmästä rungosta kuin perinteinen oikosulkumoottori. Myös moottorin hyötysuhde on oikosulkumoottoria suurempi.

Korkeampien hyötysuhdevaatimuksien vuoksi on entistä tärkeämpää saada tarkempaa tietoa moottorin todellisista häviöistä, jotta asiakkaille voidaan antaa tarkempaa tietoa moottorin todellisesta hyötysuhteesta. Yksi yleisimmistä hyötysuhdemittausmenetelmistä on esimerkiksi ABB:llä käytettävä IEC60034-2-1 -standardissa kuvailtu epäsuorametri, jossa lisähäviöt arvioidaan kuuden eri kuormapisteessä tehdyn kuormituskokeen perusteella. Kyseisessä metodissa lisähäviöiden arviointitarkkuus kuitenkin heikkenee korkeilla yli 95 % hyötysuhteilla. Tästä syystä on tarpeellista etsiä myös vaihtoehtoisia tapoja lisähäviöiden mittaukseen.

Yksi IEC30034-2-1 -standardissa hyväksytty oikosulkumoottoreiden mittaustapa on nimeltään Eh-tähti -menetelmä, jossa kaksi vaihetta kytketään rinnakkain säädettävän lisävastuksen kautta moottorin pyöriessä tyhjäkäynnillä. Metodista ei ole standardissa hyväksytty tahtireluktanssimoottoreille, mutta tässä tutkimuksessa esitettyjen tulosten perusteella laskennallista syytä tälle ei ole. DOL-SynRm -moottorien soveltuvuutta Eh-tähti -mittaukseen on kuitenkin tutkittava vielä lisää, sillä erot eri metodeilla mitattujen lisähäviöiden suhteen olivat todella suuret eikä moottori saavuttanut sen arvokilpeen leimattua hyötysuhdetta IEC-standardin sallimalla maksimissaan 15 % toleranssilla.

Vertailukohteena käytetyn oikosulkumoottorin tulosten perusteella voitiin päätellä, että DOL-SynRm -moottori toimii Eh-tähti -kytkennässä hyvin samalla tavalla kuin oikosulkumoottori, eikä jättämän suuruus 0 aiheuta laskuissa tai moottorin toiminnassa häiriöitä.

Eh-tähti -menetelmä on jatkotutkimuksien arvoinen lisähäviömittausmenetelmä nopeutensa vuoksi ja siksi, että Eh-tähti -mittauksessa ylärajaa hyötysuhteelle ei ole. Sen laajempi käyttöönotto vaatii kuitenkin vielä tarkempaa perehtymistä myös nykyisten mittausmenetelmän virheisiin lisähäviömäärityksessä erityisesti DOL-SynRm -moottoreilla. Myös laitehankintoja voidaan joutua tekemään, mikäli menetelmää halutaan testata myös pienempitehoisille moottoreille.

## LÄHDELUETTELO

- ABB (2018). ABB oy. Motors and Generators -yleisesittely. Saatavilla: <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>
- ABB (2017a). ABB oy. *EU MEPS Efficiency requirements for low voltage motors Updated for stage 3 requirements from January 1, 2017*. Saatavilla: [https://library.e.abb.com/public/0119fb1fa72f4b72b96801307ece2f54/13894\\_ABB\\_Motors\\_EU\\_MEPS\\_brochure\\_update\\_lowres.pdf](https://library.e.abb.com/public/0119fb1fa72f4b72b96801307ece2f54/13894_ABB_Motors_EU_MEPS_brochure_update_lowres.pdf)
- ABB (2017b). ABB oy. *FIMOT Final Testing Procedures*. Motors and Generators -yksikön Vaasan tehtaan ohjeet moottorien testaukseen.
- ABB (2016). ABB oy. *Low voltage IE4 Synchronous Reluctance motors catalog*. Tahti-reluktanssimoottoreiden tuotekatalogi. Saatavilla: [https://library.e.abb.com/public/6d4f5034141d4e0eb9f30a1abc6445fc/IE4\\_SynRM\\_08-2016\\_LOW.pdf](https://library.e.abb.com/public/6d4f5034141d4e0eb9f30a1abc6445fc/IE4_SynRM_08-2016_LOW.pdf)
- Aoulkadi, M. & Binder, A. (2007). *Comparison of Different Evaluation Methods to Determine Stray Load Losses in Induction Machines with Eh-Star Method*. IEEE International Electric Machines & Drives Conference. Antalya, Turkki. 3.–5.5.2007
- Aoulkadi, M. & Binder, A. (2006). *Evaluation of Different Measurement Methods to Determine Stray Load Losses in Induction Machines*. IEEE-artikkeli. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. Taormina, Italia. 23.–26.5.2006.
- Binder, A. & Aoulkadi, M. (2005) *Guideline: Eh-Star-Circuit for Stray loss measurement*. Eh-tähti -testauksen yleisohje. Darmstadt University of Technology.
- Gieras, Jacek F. (2017). *Electrical Machines, Fundamentals of Electromechanical Energy Conversion*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 978-1-4987-0883-8. s. 293.

- Haataja, J. (2003). *A Comparative Performance Study of Four-pole Induction Motors and Synchronous Reluctance Motors in Variable Speed Drives*. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tohtorin väitöskirja. ISBN 951-764-772-7. s. 19.
- Hienovirta, J. (2008). *Eh-star -hyötysuhdemittausmenetelmän kokeilu käytännössä*. Vaasan ammattikorkeakoulu. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. s. 31, 42.
- IEC 60034-2-1. (2014). *Standard methods for determining losses and efficiency from tests (excluding machines for traction vehicles)*.
- IEC 60034-30-1. (2014). *Efficiency classes of line operated AC motors (IE code)*.
- Kersten, A. (2017). *Efficiency Investigation of Line Start Synchronous Reluctance Motors*. Chalmers University of Technology. Department of Energy and Environment. Master's Thesis. s. 13.
- Kolehmainen, J. (2011). *Dovetail rotor poles in synchronous permanent magnet and reluctance machines*. Aalto yliopisto. Sähkötekniikan yksikkö. Väitöskirja. s. 18.
- Kolehmainen, J. (2012). *Pyörivät sähkökoneet*. Luentomateriaali. Vaasan yliopisto.
- Kostko, J.K. (1923). *Polyphase Reaction Synchronous Motors*. Journal of American Institute of Electrical Engineers. 42:1. ISSN: 0360-6449. s. 1162.
- Krishnan, R. (2001). *Switched Reluctance Motor Drives*. Boca Raton: CRC Press. ISBN 0-8493-0838-0. s. 31.
- Lindholm, N. (2018). *Starting capabilities of DOLSynRm with different voltages, Loads and Inertias*. Vaasan yliopisto. Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö. Diplomityö. s. 30–32.

- Machado, Adilson C. Pacheco, João E Ferreira da Luz, Nerves & Carlson (2008). *Stray Load Losses Calculation Routine Based on the Eh-star Method*.
- Moghaddam, R. (2007). *Synchronous Reluctance Machine (SynRM) Design*. Stockholm Royal Institute of Technology. Department of Electrical Engineering. Master's Thesis. s. 3, 15.
- Pyrhönen, J. Jokinen, T. & Hrabovcová, V. (2014). *Design of Rotating Electrical Machines*. West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-1-118-58157-5. s. 524–530.
- Sivunen, Jarkko. (2011) *Mittautuloksiin perustuva tahtireluktanssimootorin laskentamallin tarkentaminen*. Vaasan yliopisto. Sähkö- ja energiatekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. s. 12, 16, 36–38.
- Tampio Juha, Tero Käsäkangas, Saku Suuriniemi, Jere Kolehmainen, Lauri Kettunen, Jouni Ikäheimo (2016). Analysis of Direct-On-Line Synchronous Reluctance Machine Start-Up Using a Magnetic Field Decomposition. IEEE-artikkeli. XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM). Lausanne, Sveitsi. 4.–7.9.2016.





**Liite 2.** Matlab-koodi Eh-tähti -laskennan C-metodille.

```

clc
clear all
% Alkuarvot
Uuv=236; Uvw=277.1; Uwu=81.3;
Iu=12.36; Iv=15.27; Iw=11.69;
Pein=791;

n=1500;
In=21.5; I0=8.74;
Pfe=219.9; Rsl=0.805/2;
Reh=3.047; Pfw=43.1; It=sqrt(In^2-I0^2);

Rfe=(Uuv^2+Uvw^2+Uwu^2)/Pfe;

% jännitteet
Uuvr=Uuv; Uuvi=0;
Uwur=(Uvw^2-Uwu^2-Uuv^2)/(2*Uuv);
Uwui=sqrt(Uwu^2-Uwur^2);
Uvvr=-Uuvr-Uwur;
Uvwi=-Uwui;

beta=Iv^2-Iw^2-Iu^2;

% Iwr ratkaistaan neljännen asteen yhtälö numeerisesti
x=sym('x');
sol = solve((Pein-Uuv*(beta*x/(2*Iw^2)+sqrt(beta*x^2/(4*Iw^4)-
(beta^2-4*Iu^2*(Iw^2-x^2))/(4*Iw^2)))+Uvvr*x)^2-Uvwi^2*(Iw^2-
x^2),x)

Iwr=sol(1);
Iwi=-sqrt(Iw^2-Iwr^2);

%Kevennetään operaatioita muuttamalla Iwi ja Iwr numeeriseksi
symbolisesta muodosta
Iwi=double(Iwi);
Iwr=double(Iwr);

Iur=beta*Iwr/(2*Iw^2)+sqrt(beta*Iwr^2/(4*Iw^4)-(beta^2-
4*Iu^2*(Iw^2-Iwr^2))/(4*Iw^2));
Iui=-sqrt(Iu^2-Iur^2);
Ivr=-Iur-Iwr;
Ivi=-Iui-Iwi;

% Myötä- ja vastakomponentit

```

```

Uiuv=Uuvr+Rsl*(Ivr+i*Ivi-(Iur+i*Iui));
Uivw=Uvwr+i*Uvwi+Rsl*(Iwr+i*Iwi-(Ivr+i*Ivi));
Uiwu=Uwur+i*Uwui+Rsl*(Iur+i*Iui-(Iwr+i*Iwi));
UiLL1=(1/3)*(Uiuv+exp((i*2*pi)/3)*Uivw+exp((i*4*pi)/3)*Uiwu);
UiLL2=(1/3)*(Uiuv+exp((i*4*pi)/3)*Uivw+exp((i*2*pi)/3)*Uiwu);
Ui1=exp(-(i*pi)/6)*UiLL1/sqrt(3);
Ui2=exp((i*pi)/6)*UiLL2/sqrt(3);
Uiu=Ui1+Ui2;
Uiv=exp(-(i*2*pi)/3)*Ui1+exp((i*2*pi)/3)*Ui2;
Uiw=exp((i*2*pi)/3)*Ui1+exp(-(i*2*pi)/3)*Ui2;
Iiu=(Iur+i*Iui)-Uiu/Rfe;
Iiv=(Ivr+i*Ivi)-Uiv/Rfe;
Iiw=(Iwr+i*Iwi)-Uiw/Rfe;
Ii1=(Iiu+exp((i*2*pi)/3)*Iiv+exp(-(i*2*pi)/3)*Iiw)/3;
Ii2=(Iiu+exp(-(i*2*pi)/3)*Iiv+exp((i*2*pi)/3)*Iiw)/3;

% Ilmavälitehot
Pairgap1=3*real(Ui1*conj(Ii1));
Pairgap2=3*real(Ui2*conj(Ii2));

% lisähäviöt ja tarkistusteho
Padd=(n/1500*(Pairgap1-Pairgap2)-Pfw)*(abs(Ii2)^2/(abs(Ii1)^2+abs(Ii2)^2));
Pcheck=(Pairgap1+Pairgap2)+((abs(Uiu)^2+abs(Uiv)^2+abs(Uiw)^2)/Rfe)+Rsl*(Iu^2+Iv^2+Iw^2);

    fprintf('abs Ui1= % d \nabs Ui2= % d \n', abs(Ui1),
abs(Ui2))
    fprintf('abs Ii1= % d \nabs Ii2= % d \n', abs(Ii1),
abs(Ii2))
    fprintf('Ii1/Ii2=% d \n', abs(Ii1)/abs(Ii2))
    fprintf('Pairgap1= % d \nPairgap2= % d \n',Pairgap1,Pair-
gap2)
    fprintf('Padd=% d \n',Padd)
    fprintf('Pcheck=%d\n', Pcheck)
    fprintf('Pein-Pcheck= % d \n', Pein-Pcheck)
    fprintf('Pein/Pcheck= % d \n \n \n', Pein/Pcheck)
X=(abs(Ii2)/It)^2;
    fprintf('(Ii2/It)^2=% d \n', X)

```

**Liite 3.** Matlab-läpilasku DOL-SynRm moottorille ensimmäisestä mittauksesta.

$U_{uv}$ (V)	369,3	$I_{wr}$ (A)	-5,822645092
$U_{vw}$ (V)	438,1	$I_{wi}$ (i)	-23,03550312
$U_{wu}$ (V)	165,8	$I_{ur}$ (A)	24,2139
$I_u$ (A)	24,28	$I_{ui}$ (i)	-1,7908
$I_v$ (A)	30,57	$I_{vr}$ (A)	-18,3912
$I_w$ (A)	23,76	$I_{vi}$ (i)	24,8263
$P_{ein}$ (W)	2853	$U_{iu}$ (V)	3,5215e+02 + 1,0713e+01i
$n$ (rpm)	1500	$U_{iw}$ (V)	-4,0223e+02 - 1,8065e+02i
$I_n$ (A)	21,5	$U_{iwu}$ (V)	5,0080e+01 + 1,6994e+02i
$I_o$ (A)	8,74	$U_{iLL1}$ (V)	2,7728e+02 - 1,2521e+02i
$P_{fe}$ (W)	219,9	$U_{iLL2}$ (V)	7,4868e+01 + 1,3593e+02i
$R_{sl}$ ( $\Omega$ )	0,4025	$U_{i1}$ (V)	1,0250e+02 - 1,4265e+02i
$R_{eh}$ ( $\Omega$ )	3,047	$U_{i2}$ (V)	-1,8048 + 89,5764i
$P_{fw}$ (W)	43,1	$U_{iu}$ (V)	1,0069e+02 - 5,3076e+01i
$I_t$ (A)	19,6434	$U_{iv}$ (V)	-2,5146e+02 - 6,3789e+01i
$R_{fe}$ ( $\Omega$ )	1,62E+03	$U_{iw}$ (V)	1,5077e+02 + 1,1686e+02i
$U_{uvr}$ (V)	369,3	$I_{iu}$ (A)	24,1516 - 1,7580i
$U_{uvi}$ (i)	0	$I_{iv}$ (A)	-18,2358 + 24,8657i
$U_{wur}$ (V)	37,9901	$I_{iw}$ (A)	-5,9158 - 23,1077i
$U_{wui}$ (i)	161,3889	$I_{i1}$ (A)	-1,7729 - 4,4355i
$U_{vwr}$ (V)	-407,2901	$I_{i2}$ (A)	25,9246 + 2,6775i
$U_{vwi}$ (i)	-161,3889	$P_{airgap1}$ (W)	1,35E+03
$\beta$	-219,5311	$P_{airgap2}$ (W)	579,1439
$\text{sol}$ (A)	-5,822645092	$P_{add}$ (W)	707,043
	-17,1647097	$P_{check}$ (W)	2,84E+03
	21,9124969	$P_{ein}-P_{check}$ (W)	8,07E+00
	17,84968344	$P_{ein}/P_{check}$	1,00E+00
		$(I_{i2}/I_t)^2$	1,76E+00





**Liite 5.** Matlab-läpilasku oikosulkumoottorin ensimmäisestä mittauksesta.

$U_{uv}$ (V)	343,8	$I_{wr}$ (A)	-3,539435754
$U_{vw}$ (V)	376,4	$I_{wi}$ (i)	-11,35096888
$U_{wu}$ (V)	82,6	$I_{ur}$ (A)	14,6974
$I_u$ (A)	14,921	$I_{ui}$ (i)	-2,5735
$I_v$ (A)	17,794	$I_{vr}$ (A)	-11,158
$I_w$ (A)	11,89	$I_{vi}$ (i)	13,9245
$P_{ein}$ (W)	2854	$U_{iuu}$ (V)	3,2110e+02 + 1,4485e+01i
$n$ (rpm)	1464	$U_{ivw}$ (V)	-3,6133e+02 - 1,0116e+02i
$I_n$ (A)	11,9	$U_{iwu}$ (V)	40,2350 +86,6750i
$I_o$ (A)	4,728	$U_{iLL1}$ (V)	2,1477e+02 - 1,0868e+02i
$P_{fe}$ (W)	142,9	$U_{iLL2}$ (V)	1,0633e+02 + 1,2317e+02i
$R_{sl}$ ( $\Omega$ )	0,878	$U_{i1}$ (V)	7,6013e+01 - 1,1634e+02i
$R_{eh}$ ( $\Omega$ )	3,047	$U_{i2}$ (V)	17,6082 +92,2765i
$P_{fw}$ (W)	84,7	$U_{iu}$ (V)	93,6213 -24,0632i
$I_t$ (A)	10,9204	$U_{iv}$ (V)	-2,2748e+02 - 3,8549e+01i
$R_{fe}$ ( $\Omega$ )	1,87E+03	$U_{iw}$ (V)	1,3386e+02 + 6,2612e+01i
$U_{uvr}$ (V)	343,8	$I_{iu}$ (A)	14,6472 - 2,5606i
$U_{uvi}$ (i)	0	$I_{iv}$ (A)	-11,0361 +13,9452i
$U_{wur}$ (V)	24,223	$I_{iw}$ (A)	-3,6112 -11,3845i
$U_{wui}$ (i)	78,9684	$I_{i1}$ (A)	0,0116 - 3,4237i
$U_{vwr}$ (V)	-368,023	$I_{i2}$ (A)	14,6357 + 0,8631i
$U_{vwi}$ (i)	-78,9684	$P_{airgap1}$ (W)	1,20E+03
<b>beta</b>	-47,3819	$P_{airgap2}$ (W)	1,01E+03
<b>sol</b> (A)	-3,539435754	$P_{add}$ (W)	91,3934
	-6,735640213	$P_{check}$ (W)	2,85E+03
	11,69669788	$P_{ein}-P_{check}$ (W)	1,55E+00
	11,57211568	$P_{ein}/P_{check}$	1,00E+00
		$(I_{i2}/I_t)^2$	1,80E+00

## Liite 6. Suoraan verkkoonkäynnistyvän tahtireluktanssimoottorin testiraportti.





ABB Motors		3-Phase Induction Motor				Calculations		
Type <b>M3BL 160MLB 4 IMB3/IM1001</b>		Calculated Values Nr. <b>3G1F1719427459</b> Ver: B				Work Nr. <b>1332027-2</b>		
Power <b>18.50 kW</b>	Duty <b>S9</b>	Speed <b>1498.9 rpm</b>			Calculation Nr. <b>3GZF021016-819</b>			
Voltage <b>400 V</b>	Connection <b>D</b>	Torque <b>117.9 Nm</b>			Ambient <b>40</b>			
Current <b>37.53 A</b>	Frequency <b>50.0 Hz</b>	Direction 	IP <b>55</b>		Insul. Class <b>F</b>	Temp. Class <b>B</b>		
Approved by:		Tested as <b>Motor</b>			Rotor Bar Material <b>Al</b>			
<b>Motor Parameters</b>			<b>No-Load Test</b>			<b>Efficiency</b>		
$I_0$	<b>15.02 A</b>	$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - PC_u}{P_{0N}}$	$^{1.0}$ IEC Measure	$^{1.0}$ IEC Nominal	$^{1.0}$	
$\cos \phi_0$	<b>0.0359</b>	1,2	<b>1.743</b>	<b>1.551</b>	U1	<b>401.0 V</b>	<b>401.0 V</b>	
$P_0$	<b>374.0 W</b>	1,1	<b>1.280</b>	<b>0.985</b>	I1	<b>38.17 A</b>	<b>37.53 A</b>	
$Z_0$	<b>15.380 Ω</b>	1,0	<b>1.000</b>	<b>0.726</b>	I2	<b>0.0 A</b>	<b>0.0 A</b>	
$n_0$	<b>1498.0 rpm</b>	0,9	<b>0.824</b>	<b>0.588</b>	$P_{fw}$	<b>43.1 W</b>	<b>43.1 W</b>	
$I_k$	<b>162.5 A</b>	0,8	<b>0.691</b>	<b>0.490</b>	$P_{Fe}$	<b>219.9 W</b>	<b>220.1 W</b>	
$\cos \phi_k$	<b>0.2783</b>	0,6	<b>0.478</b>	<b>0.326</b>	$P_s$	<b>742.4 W</b>	<b>720.0 W</b>	
$Z_k$	<b>1.4211 Ω</b>	0,4	<b>0.296</b>	<b>0.215</b>	$P_r$	<b>0.1 W</b>	<b>0.1 W</b>	
$R_k$	<b>0.3955 Ω</b>	0,3	<b>0.216</b>	<b>0.178</b>	$P_L$	<b>263.9 W</b>	<b>264.8 W</b>	
$X_k$	<b>1.3650 Ω</b>	0,2	<b>0.144</b>	<b>0.143</b>	$P_T$	<b>1269.5 W</b>	<b>1248.2 W</b>	
$P_k$	<b>1479 W</b>	0,15	<b>0.113</b>	<b>0.120</b>	$P_{out}$	<b>18.92 kW</b>	<b>18.50 kW</b>	
$R_{1v}$ (20°C)	<b>133.45 mΩ</b>				$P_{in}$	<b>20.19 kW</b>	<b>19.75 kW</b>	
$R_{2v}$ (20°C)	<b>0.00 mΩ</b>				$\eta$	<b>93.7 %</b>	<b>93.7 %</b>	
					$\cos \phi$	<b>0.761</b>	<b>0.759</b>	
$\Delta$		$Y$		<b>.58Un</b>	s	<b>0.00 %</b>	<b>0.00 %</b>	
$T_N$	<b>117.8 Nm</b>	<b>117.8 Nm</b>	<b>117.8 Nm</b>	<b>0.53</b>	n	<b>1498.9 rpm</b>	<b>1498.9 rpm</b>	
$T_u/T_N$	<b>1.70</b>	<b>0.00</b>	<b>0.53</b>	<b>Temperature Rises</b>				
$T_u/T_N$	<b>-1.11</b>	<b>0.00</b>	<b>-0.34</b>	$\Delta \Theta_{Cu10}$	<b>68.1 K</b>	<b>65.8 K</b>		
$T_B/T_N$	<b>2.54</b>	<b>0.00</b>	<b>0.79</b>	$\Delta \Theta_{Cu1}$	<sup>30</sup> <b>65.4 K</b>	<b>63.2 K</b>		
$I_A$	<b>282.9 A</b>	<b>0.0 A</b>	<b>0.79</b>	$\Delta \Theta_{DW}$	<b>80.9 K</b>	<b>78.1 K</b>		
$I_A/I_N$	<b>8.01</b>	<b>0.00</b>		$\Delta \Theta_{Cu2}$	<b>0.0 K</b>	<b>0.0 K</b>		
$I_A/I_k$	<b>1.74</b>	<b>0.00</b>		$\Delta \Theta_R$	<b>72.2 K</b>	<b>69.7 K</b>		
<b>Short-Circuit Test</b>				$\Delta \Theta_F$	<b>44.9 K</b>	<b>43.3 K</b>		
$I/I_N$	<b>1.50</b>	<b>1.00</b>	<b>0.80</b>	$\Delta \Theta_{DB}$	<b>44.5 K</b>	<b>42.9 K</b>		
$I_k'/I_k$	<b>1.1869</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9047</b>	$U_{amb}$	<b>21.8 °C</b>	<b>25.0 °C</b>		

ABB Motors		3-Phase Induction Motor				Calculations			
Type		M3BL 160MLB 4 IMB3/IM1001				Work Nr. 1332027-2			
Power		13.87kW		Duty S9		Speed 1498.9 rpm		Calculation Nr. 3GZF021016-819	
Voltage		400V		Connection D		Torque 88.4 Nm		Ambient 40	
Current		29.92 A		Frequency 50.0 Hz		Direction  IP 55		Insul. Class F Temp. Class B	
Approved by:				Tested as Motor				Rotor Bar Material Al	
Motor Parameters			No-Load Test			Efficiency			
$I_0$	15.02	A	$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - P_{Cu}}{P_{0N}}$	<sup>1.0</sup> IEC Measure		<sup>1.0</sup> IEC Nominal	
$\cos \phi_0$	0.0359		1,2	1.743	1.551	U <sub>1</sub>	400.4	V	400.4
P <sub>0</sub>	374.0	W	1,1	1.280	0.985	I <sub>1</sub>	30.40	A	29.92
Z <sub>0</sub>	15.380	Ω	1,0	1.000	0.726	I <sub>2</sub>	0.0	A	0.0
n <sub>0</sub>	1498.0	rpm	0,9	0.824	0.588	P <sub>fw</sub>	43.1	W	43.1
I <sub>k</sub>	147.0	A	0,8	0.691	0.490	P <sub>Fe</sub>	222.1	W	222.2
$\cos \phi_k$	0.2545		0,6	0.478	0.326	P <sub>s</sub>	470.9	W	461.2
Z <sub>k</sub>	1.4211	Ω	0,4	0.296	0.215	P <sub>r</sub>	0.0	W	0.0
R <sub>k</sub>	0.3955	Ω	0,3	0.216	0.178	P <sub>L</sub>	149.7	W	149.0
X <sub>k</sub>	1.3650	Ω	0,2	0.144	0.143	P <sub>Tr</sub>	885.8	W	875.5
P <sub>k</sub>	959.9	W	0,15	0.113	0.120	P <sub>out</sub>	14.22	kW	13.87
R <sub>1v</sub> (20°C)	133.45	mΩ				P <sub>in</sub>	15.10	kW	14.75
R <sub>2v</sub> (20°C)	0.00	mΩ				η	94.1	%	94.1
						$\cos \phi$	0.716		0.712
	$\Delta$		Y	.58U <sub>N</sub>		s	0.00	%	0.00
						n	1497.9	rpm	1498.9
						$\Delta \theta_{Cu1s}$			
						$\Delta \theta_{Cu1}$			
						$\Delta \theta$			
						$\Delta \theta_{Cu2}$			
						$\Delta \theta_R$			
Short-Circuit Test						$\Delta \theta_F$			
I/I <sub>N</sub>	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	$\Delta \theta$			
I <sub>k</sub> /I <sub>k</sub>	0.9047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	U <sub>amb</sub>			

Load  
0.75

ABB Motors		3-Phase Induction Motor					Calculations		
		Calculated Values Nr. 3G1F1719427459					Ver: B		
Type <b>M3BL 160MLB 4 IMB3/IM1001</b>						Work Nr. <b>1332027-2</b>			
Power <b>9.250kW</b>		Duty <b>S9</b>			Speed <b>1498.9 rpm</b>		Calculation Nr. <b>3GZF021016-819</b>		
Voltage <b>400 V</b>		Connection <b>D</b>			Torque <b>58.9 Nm</b>		Ambient <b>40</b>		
Current <b>23.18 A</b>		Frequency <b>50.0 Hz</b>		Direction  IP <b>55</b>		Insul. Class <b>F</b> Temp. Class <b>B</b>			
Approved by:				Tested as <b>Motor</b>		Rotor Bar Material <b>Al</b>			
Motor Parameters			No-Load Test			Efficiency			
$I_0$	15.02 A		$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - PCu}{P_{0N}}$	$^{1.0}$ IEC Measure	$^{1.0}$ IEC Nominal	$^{1.0}$	
$\cos\phi_0$	0.0359		1,2	1.743	1.551	$U_1$ 400.2 V	400.2 V		
$P_0$	374.0 W		1,1	1.280	0.985	$I_1$ 23.52 A	23.18 A		
$Z_0$	15.380 $\Omega$		1,0	1.000	0.726	$I_2$ 0.0 A	0.0 A		
$n_0$	1498.0 rpm		0,9	0.824	0.588	$P_{fw}$ 43.1 W	43.1 W		
$I_k$	116.3 A		0,8	0.691	0.490	$P_{Fe}$ 224.2 W	224.2 W		
$\cos\phi_k$	0.2069		0,6	0.478	0.326	$P_s$ 281.9 W	276.8 W		
$Z_k$	1.5708 $\Omega$		0,4	0.296	0.215	$P_r$ 0.0 W	0.0 W		
$R_k$	0.3998 $\Omega$		0,3	0.216	0.178	$P_L$ 65.7 W	66.2 W		
$X_k$	1.5190 $\Omega$		0,2	0.144	0.143	$P_T$ 614.9 W	610.4 W		
$P_k$	373.1 W		0,15	0.113	0.120	$P_{out}$ 9.53 kW	9.25 kW		
$R_{1v}$ (20°C)	133.45 m $\Omega$					$P_{in}$ 10.14 kW	9.86 kW		
$R_{2v}$ (20°C)	0.00 m $\Omega$					$\eta$ 93.9 %	93.8 %		
						$\cos\phi$ 0.622	0.614		
<b><math>\Delta</math></b>			<b>Y</b>			<b>.58Un</b>	s	-0.00 %	-0.00 %
						n	1498.3 rpm	1498.9 rpm	
						$\Delta\Theta_{Cu1s}$			
						$\Delta\Theta_{Cu1}$			
						$\Delta\Theta$			
						$\Delta\Theta_{Cu2}$			
						$\Delta\Theta_R$			
<b>Short-Circuit Test</b>						$\Delta\Theta_F$			
$I/I_N$	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\Delta\Theta$		
$I_k/I_k$	0.7159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$U_{amb}$		

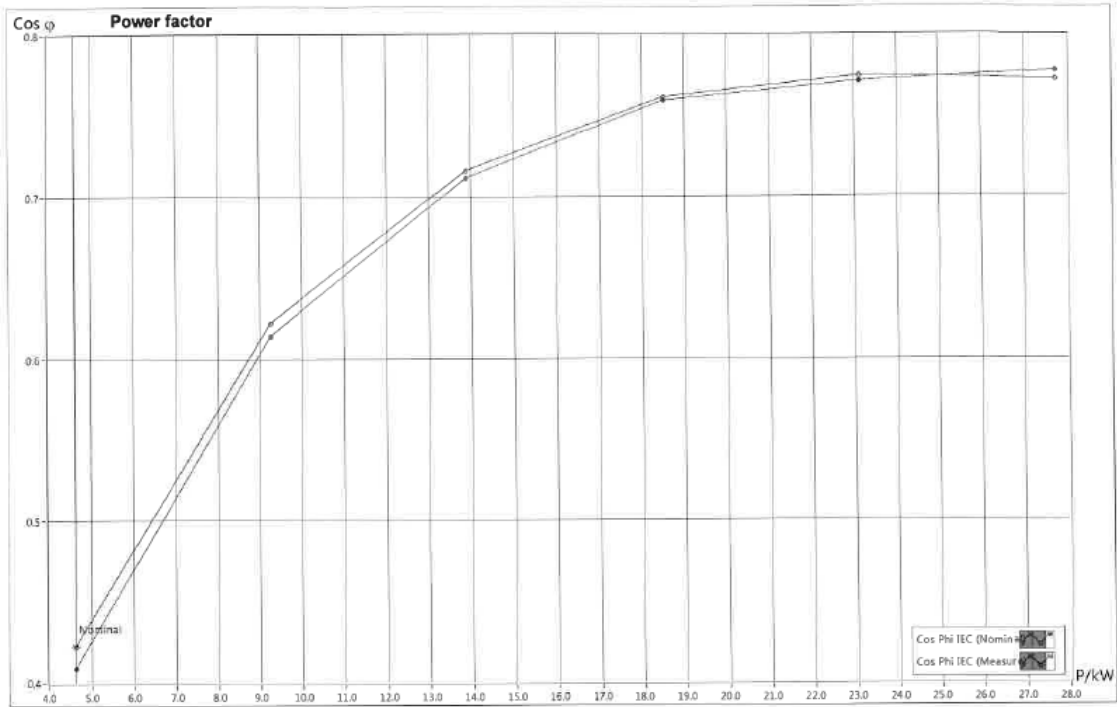
Load  
0.50

ABB Motors			3-Phase Induction Motor					Calculations		
Type <b>M3BL 160MLB 4 IMB3/IM1001</b>			Calculated Values Nr. 3G1F1719427459 Ver: B					Work Nr. <b>1332027-2</b>		
Power <b>4.625kW</b>		Duty <b>S9</b>			Speed <b>1498.9 rpm</b>		Calculation Nr. <b>3GZF021016-819</b>			
Voltage <b>400 V</b>		Connection <b>D</b>			Torque <b>29.5 Nm</b>		Ambient <b>40</b>			
Current <b>17.92 A</b>		Frequency <b>50.0 Hz</b>		Direction  IP <b>55</b>		Insul. Class <b>F</b> Temp. Class <b>B</b>				
Approved by:				Tested as <b>Motor</b>			Rotor Bar Material <b>Al</b>			
Motor Parameters			No-Load Test			Efficiency				
$I_0$	15.02 A		$\frac{U}{U_k}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - P_{Cu}}{P_{0N}}$		<sup>1,0</sup> IEC Measure	<sup>1,0</sup> IEC Nominal	<sup>1,0</sup>	
$\cos\phi_0$	0.0359		1,2	1.743	1.551	$U_1$	400.9 V	400.9 V		
$P_0$	374.0 W		1,1	1.280	0.985	$I_1$	18.15 A	17.92 A		
$Z_0$	15.380 $\Omega$		1,0	1.000	0.726	$I_2$	0.0 A	0.0 A		
$n_0$	1498.0 rpm		0,9	0.824	0.588	$P_{fw}$	43.1 W	43.1 W		
$I_k$	116.3 A		0,8	0.691	0.490	$P_{Fe}$	226.2 W	226.3 W		
$\cos\phi_k$	0.2069		0,6	0.478	0.326	$P_s$	167.9 W	165.5 W		
$Z_k$	1.9852 $\Omega$		0,4	0.296	0.215	$P_r$	0.0 W	0.0 W		
$R_k$	0.4107 $\Omega$		0,3	0.216	0.178	$P_L$	16.1 W	16.6 W		
$X_k$	1.9423 $\Omega$		0,2	0.144	0.143	$P_T$	453.3 W	451.5 W		
$P_k$	373.1 W		0,15	0.113	0.120	$P_{out}$	4.87 kW	4.62 kW		
$R_{1v}$ (20°C)	133.45 m $\Omega$					$P_{in}$	5.32 kW	5.08 kW		
$R_{2v}$ (20°C)	0.00 m $\Omega$					$\eta$	91.5 %	91.1 %		
						$\cos\phi$	0.422	0.409		
	$\Delta$	$Y$		$.58U_n$		$s$	-0.00 %	-0.00 %		
						$n$	1497.9 rpm	1498.9 rpm		
						$\Delta\Theta_{Cu10}$				
						$\Delta\Theta_{Cu1}$				
						$\Delta\Theta$				
						$\Delta\Theta_{Cu2}$				
						$\Delta\Theta_R$				
<b>Short-Circuit Test</b>						$\Delta\Theta_F$				
$I/I_N$	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	$\Delta\Theta$				
$I_k/I_k$	0.7159	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$U_{amb}$				

Load  
0.25



Statistics Curves	Type: M3BL 160MLB 4 IMB3/IM1001	Power: 18.50kW	Voltage: 400V	Frequency: 50.0Hz
	Motor nr: 3G1F1719427459	ver: B	Connection: D	Current: 35.3A



### ABB Motors

**3-Phase Induction Motor**

Testing Record Sheet Nr. 3G1F1719427459 Ver: B

Type **M3BL 160MLB 4 IMB3/IM1001**

Power **18.50 kW** Duty **S9** Supply cables

Voltage **400 V** Speed **1500 rpm** Connection **D**

Current **35.30 A** Frequency **50.00 Hz** IP **55**

Cos φ **0.80** Project Direction

Work Nr. **1332027-2** 1/3

Calculation Nr. **3GF021016-819**

Ambient **40**

Shaft Material

Insulation Class **F** Temperature Class **B**

Bearings D **6309-2Z/C3**

N **6209-2Z/C3**

**Test (222) Torque/Speed curve, type test and multi-point load test with report for motor from specific delivery batch**

Approved by:

<p>Remarks</p> <p>Stamping</p> <p>Insulation Resistance</p> <p>        °C          MΩ; V</p> <p>                      MΩ; V</p> <p>U= 59.5 °C St.          MΩ; U= 1000 V</p> <p>After          °C          MΩ; V</p> <p>High Voltage Test</p> <p>St. 1900 V;          60 sec</p> <p>                              V;          sec</p> <p>Locked Rotor Test <span style="float: right;">Measured by JaSi Date 26/11/2017</span></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>ΣU<sub>k</sub>/3, V</th> <th>Ik/In</th> <th>ΣIk/3, A</th> <th>P<sub>k</sub>, W</th> <th>Ik', A</th> <th>Ik'/Ik</th> <th>cos φ<sub>k</sub></th> <th>fk, Hz</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>109.6</td> <td>1.5</td> <td>52.87</td> <td>3233.1</td> <td>192.9</td> <td>1.1869</td> <td>0.3220</td> <td>49.975</td> </tr> <tr> <td>86.9</td> <td>1.0</td> <td>35.31</td> <td>1479.3</td> <td>162.5</td> <td>1.0000</td> <td>0.2783</td> <td>49.975</td> </tr> <tr> <td>77.0</td> <td>0.8</td> <td>28.29</td> <td>959.9</td> <td>147.0</td> <td>0.9047</td> <td>0.2545</td> <td>49.975</td> </tr> <tr> <td>59.8</td> <td>0.5</td> <td>17.40</td> <td>373.1</td> <td>116.3</td> <td>0.7159</td> <td>0.2069</td> <td>49.975</td> </tr> </tbody> </table>	ΣU <sub>k</sub> /3, V	Ik/In	ΣIk/3, A	P <sub>k</sub> , W	Ik', A	Ik'/Ik	cos φ <sub>k</sub>	fk, Hz	109.6	1.5	52.87	3233.1	192.9	1.1869	0.3220	49.975	86.9	1.0	35.31	1479.3	162.5	1.0000	0.2783	49.975	77.0	0.8	28.29	959.9	147.0	0.9047	0.2545	49.975	59.8	0.5	17.40	373.1	116.3	0.7159	0.2069	49.975	<p>Overload Test</p> <p>T=          *T<sub>n</sub>;          0 sec</p> <p>Overvoltage Test</p> <p>U=          *U<sub>n</sub>;          0 sec</p> <p>Overspeed Test</p> <p>n=          *n<sub>s</sub>;          0 sec</p> <p>Overcurrent Test</p> <p>I=          *I<sub>n</sub>;          0 sec</p> <p>Air-Gap δ = 0.000 - 0.000 mm</p>
	ΣU <sub>k</sub> /3, V	Ik/In	ΣIk/3, A	P <sub>k</sub> , W	Ik', A	Ik'/Ik	cos φ <sub>k</sub>	fk, Hz																																	
	109.6	1.5	52.87	3233.1	192.9	1.1869	0.3220	49.975																																	
	86.9	1.0	35.31	1479.3	162.5	1.0000	0.2783	49.975																																	
77.0	0.8	28.29	959.9	147.0	0.9047	0.2545	49.975																																		
59.8	0.5	17.40	373.1	116.3	0.7159	0.2069	49.975																																		

<p>Rotor Length, slots, sign, skewness 0 0 0.0 mm</p>	<p>Stator Length, slots 0 mm 0</p>	<p>Fan: 3GZV304014-1          Ø0 mm</p>	<p>Axial clearance 0.00 mm</p>
---	--	---	------------------------------------

Shaft Voltage	0.00 mV	MAX	MIN
Stator Diameter, mm	D	0.00	0.00
	M	0.00	0.00
	N	0.00	0.00
Rotor Diameter, mm	D	0.00	0.00
	M	0.00	0.00
	N	0.00	0.00

**No-Load Curve**

**Locked Rotor Curve**

**No-Load Test** R<sub>uv</sub>= 302.7 mΩ Measured by HaRa Date 27/11/2017

Notes  
DOL.SynRM.Pitkä akseli N-päässä

U/Un	ΣU/3, V	ΣI0/3, A	P0, W	U/Un	I0/I0N	P0-PCu / P0N	f0, Hz
1.2	480.0	26.178	891.25	1.200	1.743	1.551	50.008
1.1	440.1	19.221	536.28	1.100	1.280	0.985	49.962
1.0	400.1	15.016	373.99	1.000	1.000	0.726	49.985
0.9	360.0	12.368	288.89	0.900	0.824	0.588	49.982
0.8	320.1	10.372	232.76	0.800	0.691	0.490	50.021
0.6	240.2	7.176	144.88	0.600	0.478	0.326	49.975
0.4	160.2	4.447	90.46	0.400	0.296	0.215	50.000
0.3	120.1	3.236	70.41	0.300	0.216	0.178	49.992
0.2	80.0	2.157	56.43	0.200	0.144	0.143	49.988
0.15	60.0	1.692	45.85	0.150	0.113	0.120	50.008
ρ P, W	P <sub>Fe</sub> , W	P <sub>Cu</sub> , W	t, s	s, rpm	n <sub>0</sub> , rpm		
43.12	228.5	102.4	60	2.0	1498.0		

PRINTED FROM F:\M-10083





### Liite 7. Vertailukohteena toimineen oikosulkumoottorin testiraportti.

Test Place TP2 MotLab 8.0 Build 1 Printed: 15/09/2018 **PAGE C 1**


ABB Motors			3-Phase Induction Motor				Calculations		
Calculated Values			Nr.	3G1F1408200711		Ver:B			
Type	M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3					Work Nr. 890808-3			
Power	11.00 kW	Duty S1			Speed	1458.5 rpm			
Calculation Nr. LKH84477									
Voltage	690 V	Connection Y			Torque	72.0 Nm			
Ambient 50									
Current	12.20 A	Frequency 50.0 Hz		Direction			IP	65	
Insul. Class F			Temp. Class B						
Approved by:				Tested as Motor		Rotor Bar Material AI			
Motor Parameters			No-Load Test			Efficiency			
$I_0$	4.533 A	$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - P_{Cu}}{P_{0N}}$	$^{1.0} IEC$ Tested	$^{1.0} IEC$ Calculated	$^{1.0}$		
$\cos \phi_0$	0.0543	1.2	1.358	1.136	$U_1$	690.6 V	690.6 V		
$P_0$	294.1 W	1.1	1.149	0.929	$I_1$	12.20 A	12.20 A		
$Z_0$	87.884 $\Omega$	1.0	1.000	0.803	$I_2$	0.0 A	0.0 A		
$n_0$	1498.0 rpm	0.9	0.876	0.702	$P_{fw}$	84.7 W	79.1 W		
$I_k$	53.86 A	0.8	0.766	0.610	$P_{Fe}$	142.9 W	142.9 W		
$\cos \phi_k$	0.3709	0.6	0.557	0.472	$P_s$	466.7 W	474.9 W		
$Z_k$	7.3965 $\Omega$	0.4	0.364	0.398	$P_r$	307.9 W	313.3 W		
$R_k$	2.7432 $\Omega$	0.3	0.276	0.352	$P_L$	55.5 W	54.4 W		
$X_k$	6.8690 $\Omega$	0.2	0.206	0.295	$P_T$	1057.7 W	1064.6 W		
$P_k$	1189 W	0.15	0.186	0.276	$P_{out}$	11.15 kW	11.15 kW		
$R_{1v}$ (20°C)	867.43 m $\Omega$				$P_{in}$	12.20 kW	12.22 kW		
$R_{2v}$ (20°C)	0.00 m $\Omega$				$\eta$	91.3 %	91.3 %		
					$\cos \phi$	0.836	0.837		
		$\Delta$	Y		s	2.66 %	2.70 %		
$T_N$	71.76 Nm	71.76 Nm	0.00 Nm						
$n$	1459.2 rpm	1458.5 rpm							
$T_L/T_N$	0.00	2.56	0.00	Temperature Rises					
$T_U/T_N$	0.00	1.69	0.00	$\Delta \theta_{Cu10}$	52.4 K	52.5 K			
$T_B/T_N$	0.00	3.10	0.00	$\Delta \theta_{Cu1}$	30 50.1 K	50.2 K			
$I_A$	0.0 A	78.8 A	A	$\Delta \theta_D$	46.8 K	0.0 K			
$I_A/I_N$	0.00	6.62		$\Delta \theta_{Cu2}$	0.0 K	0.0 K			
$I_A/I_k$	0.00	1.46		$\Delta \theta_R$	59.9 K	0.0 K			
Short-Circuit Test					$\Delta \theta_F$	27.0 K	0.0 K		
$I/I_N$	1.50	1.01	0.80	0.51	0.00	0.00	$\Delta \theta_{DB}$	25.3 K	0.0 K
$I_k/I_k$	1.0916	1.0000	0.9463	0.8380	0.0000	0.0000	$U_{amb}$	19.6 °C	0.0 °C

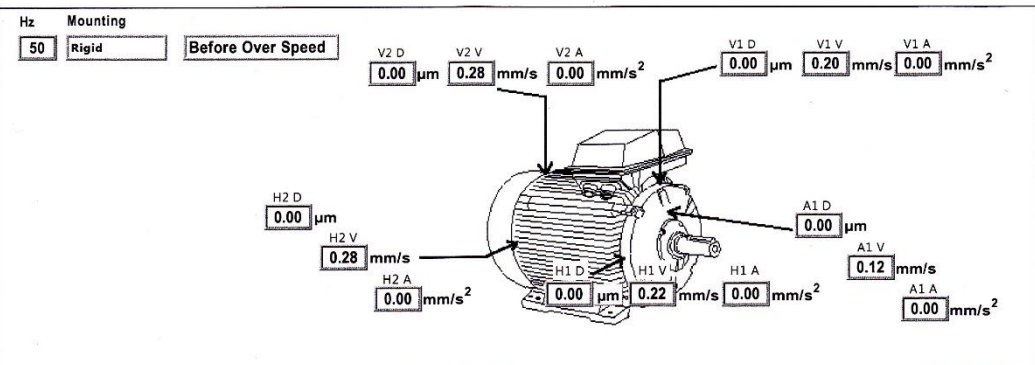
ABB Motors		3-Phase Induction Motor			Work Nr.	890808-3	
Type		M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3			Calculation Nr.	LKH84477	
Power	11.00 kW	Duty	S1 Supply cables			Ambient	50
Voltage	690 V	Speed	1464 rpm	Connection	Y	Shaft Material	15618
Current	11.90 A	Frequency	50.00 Hz	IP	65	Insulation Class	F Temperature Class B
Cos φ	0.85	Project	Direction			Bearings D	6309/C3
						N	6309/C3
Test (222) Torque/Speed curve, type test and multi-point load test with report for motor from specific delivery batch, (456)						Approved by:	
Remarks				Stamping			
				Insulation Resistance		Overload Test	
				°C MΩ; V		T= 1.6 * T <sub>n</sub> ; 15 sec	
Rotor Length, slots, sign, skewness				Stator Length, slots		Overvoltage Test	
0 0 0.0 mm				0 mm 0		U= *U <sub>n</sub> ; 0 sec	
Fan: 3GZF304116-2				Ø 225 mm		Overspeed Test	
				Axial clearance 0.00 mm		n= 1.2 * n <sub>s</sub> ; 120 sec	
Shaft Voltage		MAX		MIN		Overcurrent Test	
0.00 mV						I= 1.5 * I <sub>n</sub> ; 15 sec	
Stator Diameter, mm	D	0.00		0.00		Locked Rotor Test	
	M	0.00		0.00		Measured by MaM Date 15/09/2018	
	N	0.00		0.00		ΣU <sub>k</sub> /3, V I <sub>k</sub> /I <sub>N</sub> ΣI <sub>k</sub> /3, A P <sub>k</sub> , W I <sub>k</sub> , A I <sub>k</sub> '/I <sub>k</sub> cos φ <sub>k</sub> f <sub>k</sub> , Hz	
Rotor Diameter, mm	D	0.00		0.00		210.2 1.5 17.906 2620.0 58.79 1.0916 0.4020 49.937	
	M	0.00		0.00		154.0 1.0 12.018 1188.7 53.86 1.0000 0.3709 49.977	
	N	0.00		0.00		128.6 0.8 9.500 743.8 50.97 0.9463 0.3514 49.966	
Air-Gap		δ = 0.000 - 0.000 mm		92.8 0.5 6.071 304.6 45.13 0.8380 0.3121 49.941			
<p><b>No-Load Curve</b></p>				<p><b>Locked Rotor Curve</b></p>			
No-Load Test R <sub>UV</sub> = 1900 mΩ				Measured by MaM Date 15/09/2018		Notes	
U <sub>N</sub>	ΣU/3, V	ΣI <sub>0</sub> /3, A	P <sub>0</sub> , W	U/U <sub>N</sub>	I <sub>0</sub> /I <sub>0N</sub>	P <sub>0</sub> -P <sub>Cu</sub> /P <sub>0N</sub>	f <sub>0</sub> , Hz
1.2	828.1	6.156	442.10	1.200	1.358	1.136	49.933
1.1	759.0	5.208	350.96	1.100	1.149	0.929	49.962
1.0	690.1	4.533	294.12	1.000	1.000	0.803	49.940
0.9	620.8	3.970	251.47	0.900	0.876	0.702	49.913
0.8	552.2	3.470	214.47	0.800	0.766	0.610	49.933
0.6	413.9	2.524	155.87	0.600	0.557	0.472	49.906
0.4	276.0	1.650	126.96	0.400	0.364	0.398	49.944
0.3	207.0	1.253	105.32	0.300	0.276	0.352	49.954
0.2	138.0	0.932	91.11	0.200	0.206	0.295	49.958
0.15	103.5	0.842	82.45	0.150	0.186	0.276	49.938
	P <sub>0</sub> , W	P <sub>Fe</sub> , W	P <sub>Cu</sub> , W	t, s	s, rpm	I <sub>0</sub> , rpm	
	84.75	150.8	58.6	60	2.0	1498.0	



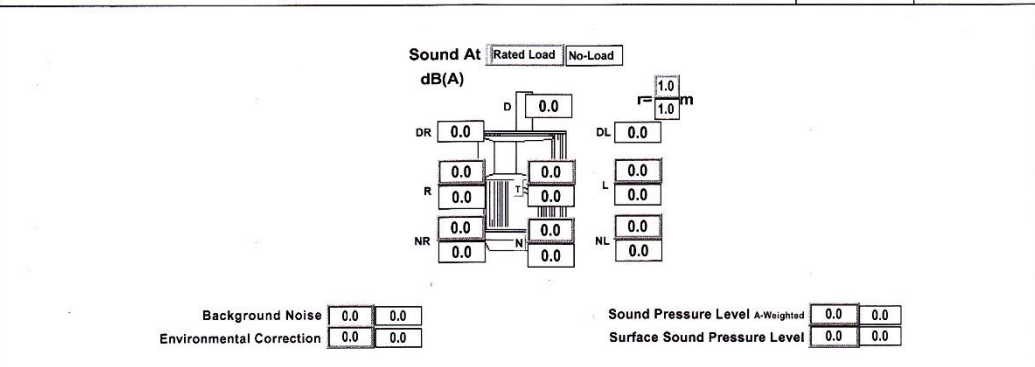


Type M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3 Testing Record Nr. 3G1F1408200711 Ver: B

**Vibrations**

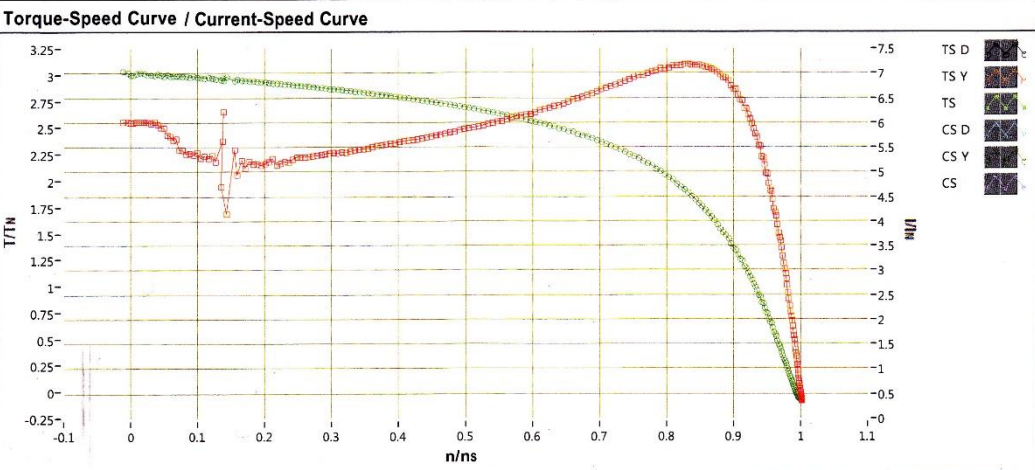



Sound Levels Measured by MaM Date 15/09/2018



Torque-Speed Curve <input checked="" type="checkbox"/> Cold Motor						Starting Performance Test				Measured by MaM Date 14/09/2018				
Date	Measured by MaM					Connection	Cold/Hot	$\Sigma U/3, V$	$\cos \phi$	$\Sigma I/3, A$	TL Nm	PL kW	IA/IN	TL/TN
14/09/2018	MaM					$\Delta$	Cold							
	Umeas.avg., V	Ucorrect., V	TU/TN	TU/TN	TB/TN	$\nabla$	Hot	698.9	0.571	79.8	174.3	55.2	6.62	2.36
	693.5	690.0	2.56	1.69	3.10									

IA/IN AND TL/TN CALCULATED



<b>ABB Motors</b>		<b>3-Phase Induction Motor</b>				<b>Calculations</b>		
Type <b>M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3</b>		Calculated Values Nr. 3G1F1408200711		Ver: B		Work Nr. <b>890808-3</b>		
Power <b>13.75kW</b>	Duty <b>S1</b>		Speed <b>1449.1</b> rpm		Calculation Nr. <b>LKH84477</b>			
Voltage <b>690</b> V	Connection <b>Y</b>		Torque <b>90.6</b> Nm		Ambient <b>50</b>			
Current <b>14.85</b> A	Frequency <b>50.0</b> Hz	Direction  IP <b>65</b>		Insul. Class <b>F</b> Temp. Class				
Approved by:		Tested as <b>Motor</b>		Rotor Bar Material <b>Al</b>				
<b>Motor Parameters</b>		<b>No-Load Test</b>			<b>Efficiency</b>			
$I_0$	<b>4.533</b> A	$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - PCu}{P_{0N}}$	<sup>1.0</sup> IEC Tested	<sup>1.0</sup> IEC Calculated	<sup>1.0</sup>	
$\cos\phi_0$	<b>0.0543</b>	1,2	<b>1.358</b>	<b>1.136</b>	$U_1$	<b>689.7</b> V	<b>689.7</b> V	
$P_0$	<b>294.1</b> W	1,1	<b>1.149</b>	<b>0.929</b>	$I_1$	<b>14.85</b> A	<b>14.85</b> A	
$Z_0$	<b>87.884</b> Ω	1,0	<b>1.000</b>	<b>0.803</b>	$I_2$	<b>0.0</b> A	<b>0.0</b> A	
$n_0$	<b>1498.0</b> rpm	0,9	<b>0.876</b>	<b>0.702</b>	$P_{fW}$	<b>84.7</b> W	<b>77.9</b> W	
$I_k$	<b>56.54</b> A	0,8	<b>0.766</b>	<b>0.610</b>	$P_{Fe}$	<b>141.0</b> W	<b>141.0</b> W	
$\cos\phi_k$	<b>0.3878</b>	0,6	<b>0.557</b>	<b>0.472</b>	$P_s$	<b>692.1</b> W	<b>704.7</b> W	
$Z_k$	<b>7.0462</b> Ω	0,4	<b>0.364</b>	<b>0.398</b>	$P_r$	<b>465.6</b> W	<b>474.0</b> W	
$R_k$	<b>2.7327</b> Ω	0,3	<b>0.276</b>	<b>0.352</b>	$P_L$	<b>84.2</b> W	<b>86.1</b> W	
$X_k$	<b>6.4947</b> Ω	0,2	<b>0.206</b>	<b>0.295</b>	$P_T$	<b>1467.6</b> W	<b>1483.7</b> W	
$P_k$	<b>1819</b> W	0,15	<b>0.186</b>	<b>0.276</b>	$P_{out}$	<b>13.62</b> kW	<b>13.63</b> kW	
$R_{1v}$ (20°C)	<b>867.43</b> mΩ				$P_{in}$	<b>15.09</b> kW	<b>15.11</b> kW	
$R_{2v}$ (20°C)	<b>0.00</b> mΩ				$\eta$	<b>90.3</b> %	<b>90.2</b> %	
					$\cos\phi$	<b>0.850</b>	<b>0.851</b>	
<b>Δ</b>		<b>Y</b>			$s$	<b>3.27</b> %	<b>3.33</b> %	
					$n$	<b>1450.2</b> rpm	<b>1449.1</b> rpm	
					$\Delta\Theta_{Cu1s}$			
					$\Delta\Theta_{Cu1}$			
					$\Delta\Theta$			
					$\Delta\Theta_{Cu2}$			
					$\Delta\Theta_R$			
<b>Short-Circuit Test</b>					$\Delta\Theta_F$			
$I/I_N$	<b>1.25</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	$\Delta\Theta$			
$k'/k$	<b>1.0497</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	$U_{amb}$			

Load  
1.25





ABB Motors			3-Phase Induction Motor					Calculations							
Type			M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3					Work Nr. 890808-3							
Power			12.65 kW		Duty S1		Speed		1453.8 rpm			Calculation Nr. LKH84477			
Voltage			690 V		Connection Y		Torque		83.1 Nm			Ambient 50			
Current			13.69 A		Frequency 50.0 Hz		Direction 		IP 65		Insul. Class F		Temp. Class		
Approved by:							Tested as			Motor		Rotor Bar Material		Al	
Motor Parameters			No-Load Test				Efficiency								
	$I_0$	4.533	A		$\frac{U_0}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - PC_{Cu}}{P_{0N}}$		$^{1,0}$ IEC Tested	$^{1,0}$ IEC Calculated	$^{1,0}$				
$\cos \phi_0$	0.0543			1,2	1.358	1.136	$U_1$	689.4	V	689.4	V				
$P_0$	294.1	W		1,1	1.149	0.929	$I_1$	13.69	A	13.69	A				
$Z_0$	87.884	$\Omega$		1,0	1.000	0.803	$I_2$	0.0	A	0.0	A				
$n_0$	1498.0	rpm		0,9	0.876	0.702	$P_{fw}$	84.7	W	78.5	W				
$I_k$	55.59	A		0,8	0.766	0.610	$P_{Fe}$	141.8	W	141.8	W				
$\cos \phi_k$	0.3819			0,6	0.557	0.472	$P_s$	587.5	W	598.3	W				
$Z_k$	7.1659	$\Omega$		0,4	0.364	0.398	$P_r$	387.6	W	394.6	W				
$R_k$	2.7369	$\Omega$		0,3	0.276	0.352	$P_L$	70.9	W	72.4	W				
$X_k$	6.6227	$\Omega$		0,2	0.206	0.295	$P_T$	1272.5	W	1285.6	W				
$P_k$	1562	W		0,15	0.186	0.276	$P_{out}$	12.54	kW	12.54	kW				
$R_{1v}$ (20°C)	867.43	m $\Omega$					$P_{in}$	13.81	kW	13.83	kW				
$R_{2v}$ (20°C)	0.00	m $\Omega$					$\eta$	90.8	%	90.7	%				
							$\cos \phi$	0.845		0.846					
	$\Delta$				$Y$		$s$	2.96	%	3.02	%				
							$n$	1455.4	rpm	1453.8	rpm				
							$\Delta \theta_{Cu1s}$								
							$\Delta \theta_{Cu1}$								
							$\Delta \theta$								
							$\Delta \theta_{Cu2}$								
							$\Delta \theta_R$								
Short-Circuit Test							$\Delta \theta_F$								
$I/I_N$	1.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	$\Delta \theta$								
$I_k/I_k$	1.0322	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$U_{amb}$								

ABB Motors		3-Phase Induction Motor				Calculations	
Calculated Values		Nr.	3G1F1408200711		Ver: B		
Type	M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3				Work Nr. 890808-3		
Power	8.250kW	Duty	S1		Speed	1471.0 rpm	Calculation Nr. LKH84477
Voltage	690V	Connection	Y		Torque	53.6 Nm	Ambient 50
Current	9.46 A	Frequency	50.0 Hz	Direction	 IP 65	Insul. Class F Temp. Class	
Approved by:				Tested as Motor		Rotor Bar Material AI	
Motor Parameters			No-Load Test			Efficiency	
I <sub>0</sub>	4.533 A		$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - PC_u}{P_{0N}}$	IEC Tested	IEC Calculated <sup>1.0</sup>
cosφ <sub>0</sub>	0.0543		1,2	1.358	1.136	U <sub>1</sub> 689.1 V	689.1 V
P <sub>0</sub>	294.1 W		1,1	1.149	0.929	I <sub>1</sub> 9.46 A	9.46 A
Z <sub>0</sub>	87.884 Ω		1,0	1.000	0.803	I <sub>2</sub> 0.0 A	0.0 A
n <sub>0</sub>	1498.0 rpm		0,9	0.876	0.702	P <sub>fw</sub> 84.7 W	80.8 W
I <sub>k</sub>	50.29 A		0,8	0.766	0.610	P <sub>Fe</sub> 144.9 W	144.9 W
cosφ <sub>k</sub>	0.3468		0,6	0.557	0.472	P <sub>s</sub> 280.9 W	286.0 W
Z <sub>k</sub>	7.3965 Ω		0,4	0.364	0.398	P <sub>r</sub> 156.7 W	159.5 W
R <sub>k</sub>	2.7432 Ω		0,3	0.276	0.352	P <sub>L</sub> 30.2 W	30.1 W
X <sub>k</sub>	6.8690 Ω		0,2	0.206	0.295	P <sub>T</sub> 697.5 W	701.3 W
P <sub>k</sub>	667.0 W		0,15	0.186	0.276	P <sub>out</sub> 8.27 kW	8.28 kW
R <sub>1v</sub> (20°C)	867.43 mΩ					P <sub>in</sub> 8.97 kW	8.98 kW
R <sub>2v</sub> (20°C)	0.00 mΩ					η	92.2 %
						cosφ	0.794
			<b>Δ</b>	<b>Y</b>		s	1.83 %
						n	1472.1 rpm
							1471.0 rpm
						ΔΘ <sub>CU10</sub>	
						ΔΘ <sub>CU1</sub>	
						ΔΘ	
						ΔΘ <sub>CU2</sub>	
						ΔΘ <sub>R</sub>	
						ΔΘ <sub>F</sub>	
<b>Short-Circuit Test</b>						ΔΘ	
I/I <sub>N</sub>	0.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	U <sub>amb</sub>
I <sub>k</sub> /I <sub>k</sub>	0.9338	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	

Load  
0.75

<b>ABB Motors</b>		<b>3-Phase Induction Motor</b>				<b>Calculations</b>		
Calculated Values		Nr.		3G1F1408200711		Ver: B		
Type <b>M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3</b>						Work Nr. <b>890808-3</b>		
Power <b>5.500kW</b>		Duty <b>S1</b>		Speed <b>1480.9 rpm</b>		Calculation Nr. <b>LKH84477</b>		
Voltage <b>690 V</b>		Connection <b>Y</b>		Torque <b>35.5 Nm</b>		Ambient <b>50</b>		
Current <b>7.17 A</b>		Frequency <b>50.0 Hz</b>		Direction  IP <b>65</b>		Insul. Class <b>F</b> Temp. Class		
Approved by:				Tested as <b>Motor</b>		Rotor Bar Material <b>Al</b>		
<b>Motor Parameters</b>			<b>No-Load Test</b>			<b>Efficiency</b>		
$I_0$	<b>4.533 A</b>		$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - P_{Cu}}{P_{0N}}$	<sup>1.9</sup> IEC Tested		<sup>1.0</sup> IEC Calculated <sup>1.0</sup>
$\cos\phi_0$	<b>0.0543</b>		1,2	<b>1.358</b>	<b>1.136</b>	U <sub>1</sub>	<b>689.0 V</b>	<b>689.0 V</b>
P <sub>0</sub>	<b>294.1 W</b>		1,1	<b>1.149</b>	<b>0.929</b>	I <sub>1</sub>	<b>7.17 A</b>	<b>7.17 A</b>
Z <sub>0</sub>	<b>87.884 Ω</b>		1,0	<b>1.000</b>	<b>0.803</b>	I <sub>2</sub>	<b>0.0 A</b>	<b>0.0 A</b>
n <sub>0</sub>	<b>1498.0 rpm</b>		0,9	<b>0.876</b>	<b>0.702</b>	P <sub>fw</sub>	<b>84.7 W</b>	<b>82.2 W</b>
I <sub>k</sub>	<b>45.13 A</b>		0,8	<b>0.766</b>	<b>0.610</b>	P <sub>Fe</sub>	<b>146.9 W</b>	<b>146.9 W</b>
$\cos\phi_k$	<b>0.3121</b>		0,6	<b>0.557</b>	<b>0.472</b>	P <sub>s</sub>	<b>161.1 W</b>	<b>163.9 W</b>
Z <sub>k</sub>	<b>7.9208 Ω</b>		0,4	<b>0.364</b>	<b>0.398</b>	P <sub>r</sub>	<b>68.0 W</b>	<b>69.2 W</b>
R <sub>k</sub>	<b>2.7471 Ω</b>		0,3	<b>0.276</b>	<b>0.352</b>	P <sub>L</sub>	<b>13.4 W</b>	<b>13.2 W</b>
X <sub>k</sub>	<b>7.4291 Ω</b>		0,2	<b>0.206</b>	<b>0.295</b>	P <sub>T</sub>	<b>474.1 W</b>	<b>475.4 W</b>
P <sub>k</sub>	<b>304.6 W</b>		0,15	<b>0.186</b>	<b>0.276</b>	P <sub>out</sub>	<b>5.55 kW</b>	<b>5.55 kW</b>
R <sub>1v</sub> (20°C)	<b>867.43 mΩ</b>					P <sub>in</sub>	<b>6.02 kW</b>	<b>6.03 kW</b>
R <sub>2v</sub> (20°C)	<b>0.00 mΩ</b>					η	<b>92.1 %</b>	<b>92.1 %</b>
						$\cos\phi$	<b>0.704</b>	<b>0.705</b>
<b>Δ</b>			<b>Y</b>			s	<b>1.19 %</b>	<b>1.21 %</b>
						n	<b>1481.3 rpm</b>	<b>1480.9 rpm</b>
						$\Delta\theta_{Cu10}$		
						$\Delta\theta_{Cu1}$		
						$\Delta\theta$		
						$\Delta\theta_{Cu2}$		
						$\Delta\theta_R$		
<b>Short-Circuit Test</b>						$\Delta\theta_F$		
I/I <sub>N</sub>	<b>0.51</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	$\Delta\theta$		
I <sub>k</sub> /I <sub>k</sub>	<b>0.8380</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	<b>0.0000</b>	U <sub>amb</sub>		

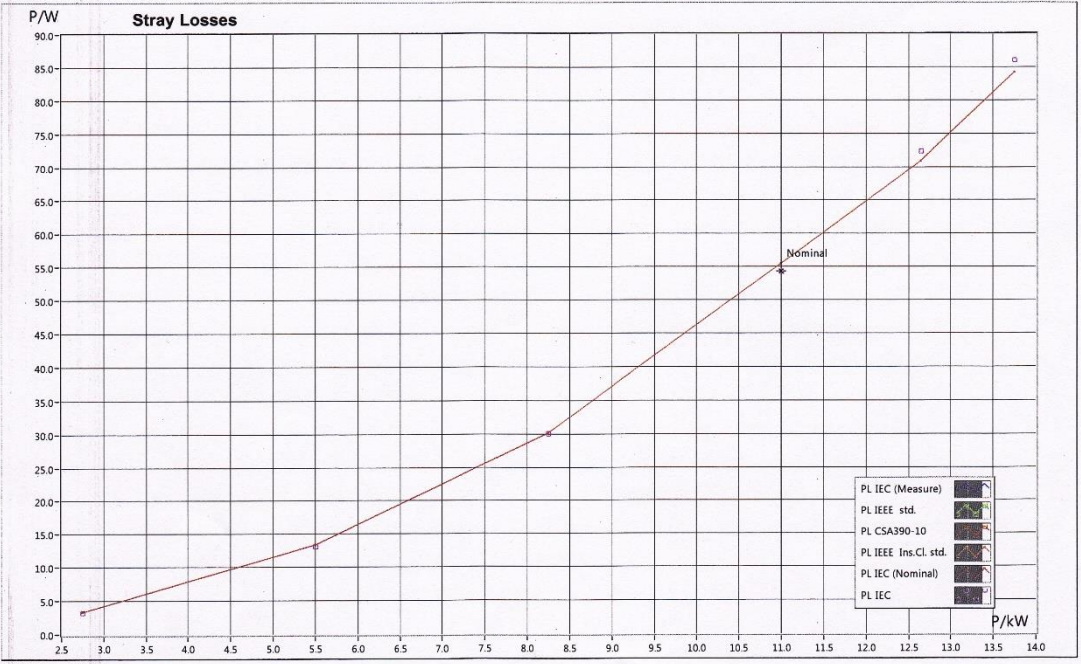
Load  
**0.50**

ABB Motors		3-Phase Induction Motor				Calculations			
Type		M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3				Work Nr. 890808-3			
Power		2.750 kW		Duty S1		Speed 1490.0 rpm		Calculation Nr. LKH84477	
Voltage		690 V		Connection Y		Torque 17.6 Nm		Ambient 50	
Current		5.34 A		Frequency 50.0 Hz		Direction  IP 65		Insul. Class F Temp. Class	
Approved by:				Tested as Motor				Rotor Bar Material Al	
Motor Parameters			No-Load Test			Efficiency			
	$I_0$	4.533 A	$\frac{U}{U_N}$	$\frac{I_0}{I_{0N}}$	$\frac{P_0 - PCu}{P_{0N}}$	<sup>1.0</sup> IEC Tested		<sup>1.0</sup> IEC Calculated	
	$\cos\phi_0$	0.0543	1,2	1.358	1.136	$U_1$	688.7 V	688.7 V	
	$P_0$	294.1 W	1,1	1.149	0.929	$I_1$	5.34 A	5.34 A	
	$Z_0$	87.884 Ω	1,0	1.000	0.803	$I_2$	0.0 A	0.0 A	
	$n_0$	1498.0 rpm	0,9	0.876	0.702	$P_{fw}$	84.7 W	83.5 W	
	$I_k$	43.30 A	0,8	0.766	0.610	$P_{Fe}$	148.8 W	148.8 W	
	$\cos\phi_k$	0.2999	0,6	0.557	0.472	$P_s$	89.4 W	91.0 W	
	$Z_k$	8.8265 Ω	0,4	0.364	0.398	$P_r$	17.0 W	17.3 W	
	$R_k$	2.7547 Ω	0,3	0.276	0.352	$P_L$	3.3 W	3.3 W	
	$X_k$	8.3856 Ω	0,2	0.206	0.295	$P_T$	343.3 W	343.9 W	
	$P_k$	233.7 W	0,15	0.186	0.276	$P_{out}$	2.78 kW	2.78 kW	
	$R_{1v}$ (20°C)	867.43 mΩ				$P_{in}$	3.13 kW	3.13 kW	
	$R_{2v}$ (20°C)	0.00 mΩ				$\eta$	89.0 %	89.0 %	
						$\cos\phi$	0.491	0.491	
$\Delta$			$Y$			$s$	0.59 %	0.60 %	
						$n$	1489.5 rpm	1490.0 rpm	
						$\Delta\theta_{Cu1s}$			
						$\Delta\theta_{Cu1}$			
						$\Delta\theta$			
						$\Delta\theta_{Cu2}$			
						$\Delta\theta_R$			
Short-Circuit Test						$\Delta\theta_F$			
	$I/N$	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	$\Delta\theta$		
	$I_k/I_k$	0.8040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	$U_{amb}$		

Load  
0.25

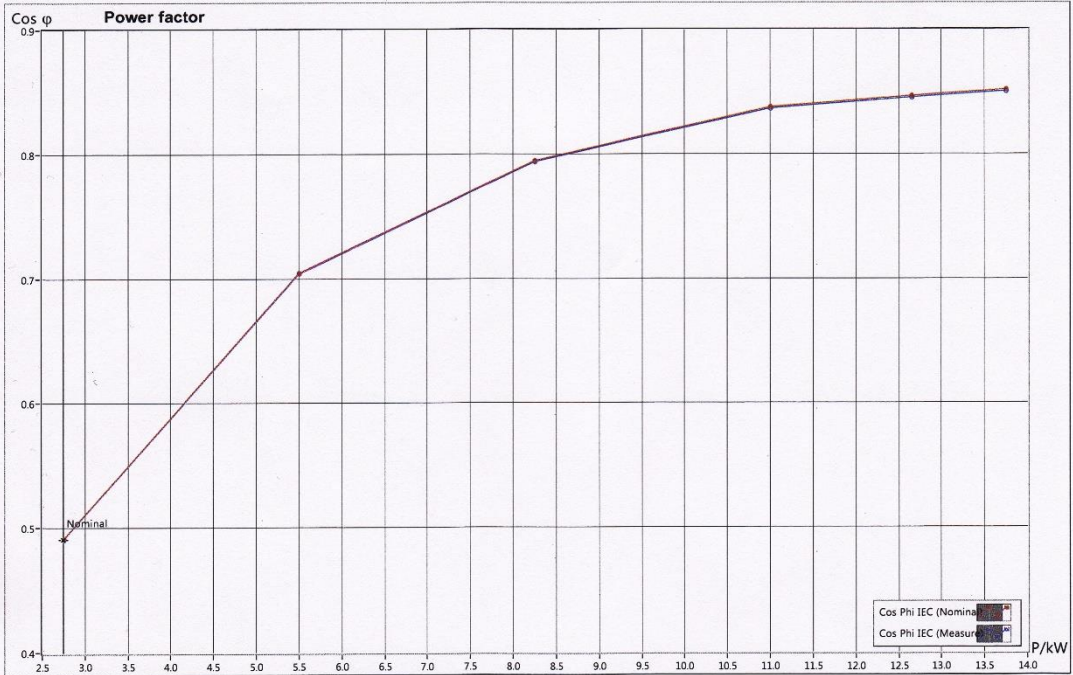
Statistics Curves Type: M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3 Power: 11.00kW Voltage: 690V Frequency: 50.0Hz  
 Motor nr: 3G1F1408200711 Ver: B Connection: Y Current: 11.9A

Test Place: TP2 MotLab 8.0 Build 1 Printed: 15/09/2018 PAGE G 3

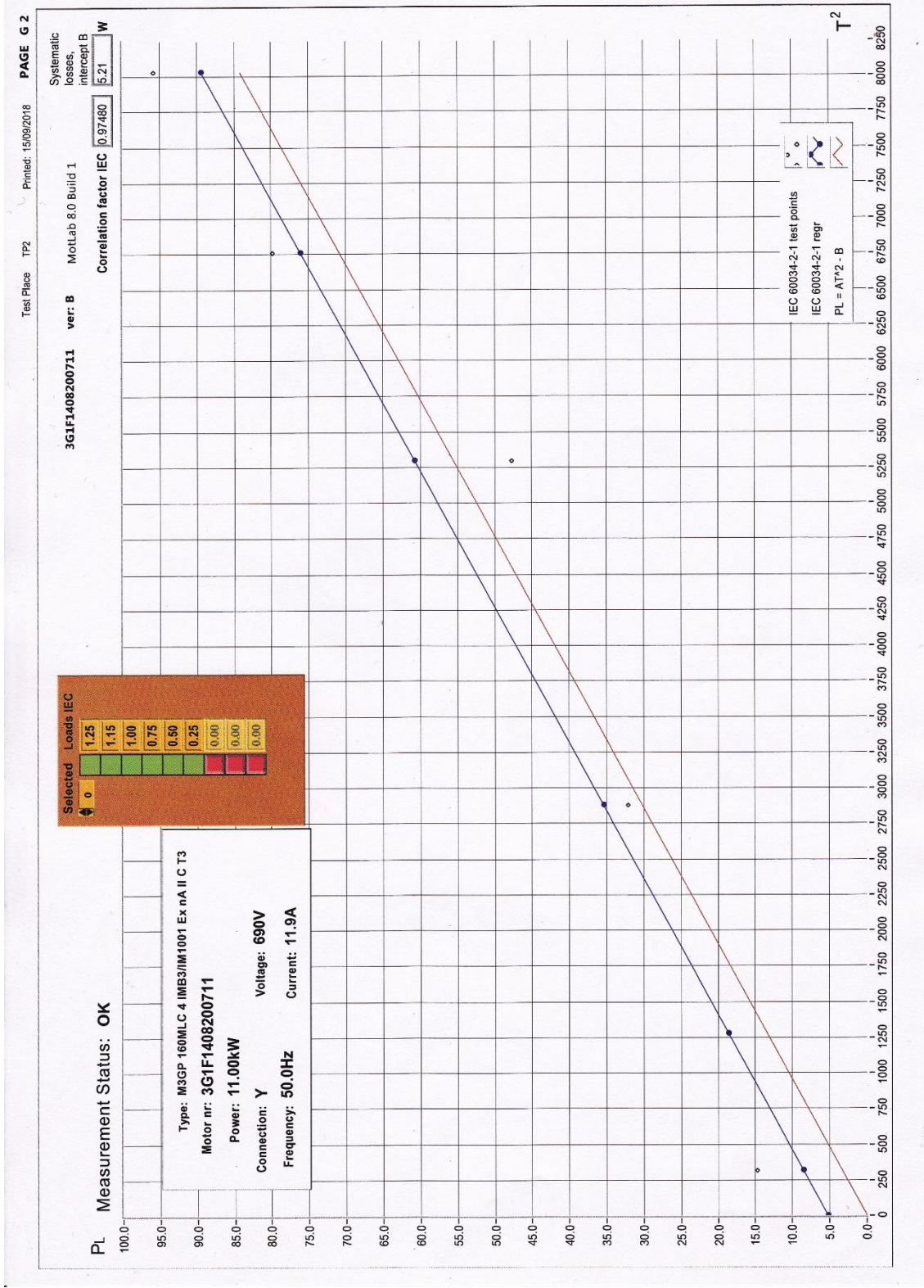


PRINTED FROM: HWP-100003

Statistics Curves    Type: M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II C T3    Power: 11.00kW    Voltage: 690V    Frequency: 50.0Hz  
Motor nr: 3G1F1408200711    ver: B    Connection: Y    Current: 11.9A



PRINTED FROM: 140-000000



Test Place TP2  
Printed: 15/09/2018  
PAGE G 1  
Nr. 3G1F1408200711  
MoLab 8.0 Build 1  
Date 15/09/2018  
Crop Beginning 11:50  
End 06:38  
Type M3GP 160MLC 4 IMB3/IM1001 Ex nA II CT3  
Motor Nr 3G1F1408200711 Ver: B Calc. No LKH84477 Voltage 690V  
Power 11.00kW Frequency 50.0Hz Duty type S1  
Work No 890808-3

### Temperature Chart

