



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

## EC-MOOTTORI

Elektronisesti ohjattujen moottorien huomioiminen  
suunnittelussa

Tommi Koivula

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikka  
Sähkövoimatekniikka

KOIVULA, TOMMI:

EC-moottori

Elektronisesti ohjattujen moottorien huomioiminen suunnittelussa

Opinnäytetyö 44 sivua, joista liitteitä 2 sivua

Toukokuu 2017

---

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, mikä EC-moottori on, miten se toimii ja mihin sitä voidaan käyttää. Työssä pyrittiin määrittelemään juuri sähkösuunnittelun näkökannalta hyödyllisiä ominaisuuksia, kuten vertailu toisiin moottoreihin ja suunnittelijan tarvitsemat tiedot EC-moottorikäyttöön. Työn teoriaosiossa keskityttiin moottorin rakenteeseen sekä toimintaan käytössä. Teoriaosio käsittelee myös erilaisia EC-moottorin säätötapoja.

Työstä saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että käyttämällä EC-moottoria voidaan saavuttaa parempi hyötysuhde moottorikäytössä. Tämä tulos saatiin työssä tehdyllä moottorien vertailulla, jossa EC-moottoria verrattiin muun muassa perinteiseen oikosulkumoottoriin. Vertailu tehtiin siten, että siinä pyrittiin käyttämään saman nimellismomentin omaavia moottoreita. Näiden moottoreiden tehoista tehtiin hyötysuhdevertailu eri kierrosnopeuksilla. Lisäksi tähän työhön tehtiin esimerkkiipiirikaaviopohja EC-moottorille.

Vertailuun olisi toki saatu vielä tarkempaa tietoa laboratoriomittauksin, mutta opinnäytetyö toteutettiin kuitenkin valmistajien antamien tietojen sekä moottoreiden tyypillisten hyötysuhdekuvaajien perusteella. Todennus valmistajien lupaamille eduille saataisiinkin selville juuri tekemällä EC-moottorille laboratoriomittauksia. Teorian pohjalta selvisi, että EC-moottoria ei saa tällä hetkellä yli 6 kW:n tehoisena. Tämä johtuu magneettimateriaalin ominaisuuksista.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical Engineering  
Option of Electrical Power Engineering

KOIVULA, TOMMI:

EC-motor

Electronically controlled motors in electrical documenting

Bachelor's thesis 44 pages, appendices 2 pages

May 2017

---

The goal of this bachelor's thesis was to determine what EC-motor is how it works and in what conditions it could be used. The central subject in this report was to study features of EC-motor for electrical engineering by comparing it to different types of electric motors and also by gathering knowledge about what is needed for electrical documentation. The theory section of this bachelor's thesis focuses on structure of the motor and its operation in use. Theory section also includes different types of EC-motor control methods.

The results of this work show that usage of EC-motor can reach better efficiency in motor applications. These results were produced by comparing certain EC-motor to other electric motors including traditional induction motor. Comparison was made by using the same torque possessing motor types. From these motor's power specifications given by manufacturers efficiency calculations were made to compare efficiency at different operating speeds. This bachelor's thesis also includes an example electro technical documents for EC-motor.

This work's comparison is not perfect because comparison was not made with laboratory measurements which could have given more accurate information about EC-motor. Comparison is based only to manufacturer's given data and motor's typical efficiency diagrams. The authenticity for manufacturer's promised performance could be achieved by doing laboratory measurements for EC-motor. Theoretically EC-motors can't produce over 6 kW power at the moment due to magnet materials.

---

Key words: EC-motor, structure, comparison, components

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	EC-MOOTTOREIDEN TOIMINTA JA RAKENNE.....	7
	2.1 Rakenne .....	7
	2.2 Ominaisuudet .....	9
	2.2.1 Vakiomomentti.....	9
	2.2.2 Kierrosnopeus .....	11
	2.2.3 EMC-vaatimukset .....	12
	2.2.4 Anturit .....	12
	2.3 Ohjaus .....	12
	2.4 Käyttökohteet.....	15
	2.5 Sääötavat.....	17
3	EC-MOOTTORIN VERTAILU.....	19
	3.1 EC-moottorin ja PMDC-moottorin vertailu.....	20
	3.2 EC-moottorin ja oikosulkumoottorin vertailu.....	23
	3.3 EC-moottorin ja kestopagneettitahtikoneen vertailu .....	28
	3.4 Yhteenveto kaikista vertailuista.....	32
4	EC-MOOTTORI SÄHKÖSUUNNITTELUSSA.....	34
	4.1 EC-moottorin komponenttien valinta .....	34
	4.1.1 Kaapeli .....	36
	4.1.2 Johdonsuojakatkaisija ja käynnistysvirta .....	37
	4.1.3 Moottorin turvakytin .....	38
	4.1.4 Jännitteenalenema .....	38
	4.2 Pää- ja ohjauspiirikaaviot EC-moottorille .....	39
5	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	42
	LIITTEET .....	43
	Liite 1. HiFEK EC-36 huippuimurin johdotuskaavio .....	43

**LYHENTEET JA TERMIT**

EC	Elektronisesti kommutoitu
BLDC	Hiiliharjaton tasavirta
PMDC	Hiiliharjallinen kestopagneettitasavirta
PM-moottori	Kestomagneettitahtikone
PMSM	Kestomagneettitahtikone

## 1 JOHDANTO

Nykyajan lisääntyvät vaatimukset energiatehokkuudelle ovat asettaneet monille sähköisille käytöille suurempia vaatimuksia. Näihin vaatimuksiin liittyy sähkömoottorikäytöt, joiden hyötysuhdetta on alettu tarkkailla. Pienellä hyötysuhteen parantamisella voidaan säästää sähkökulutuksessa pitkällä aikavälillä paljon riippuen käyttökohteesta ja sen toiminnasta. Tarjolla on monia erilaisia energiatehokkaita moottoreita, jotka muistuttavat osin toisiaan, mutta toimivat hieman erilailla. Tästä syystä sekaannusta kestromagneettikoneiden välillä voi tulla helposti, koska termistö on hyvin samanlaista ja koneet vielä vieraita monille.

Energiatehokkuus tulee esille silloin, kun käyttö on tehtävä säädettäväksi. Normaalisti moottoreita käytetään niiden nimellispyörimisnopeudella, jolloin niiden hyötysuhde on parhaimmillaan. Kun nopeutta halutaan laskea tai lisätä, hyötysuhde yleisesti huononee sähkömoottorilla säätötavasta riippuen. Esimerkkinä tällaisesta säädetyistä toiminnasta voi käyttää säädettävää ilmastointia. Ilmastointi voi toimia täydellä teholla päivisin, mutta iltaisin sen tehoa voidaan säätää esimerkiksi 30 %:iin.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä energiatehokkaaseen säädettävään elektronisesti ohjattuun moottoriin, EC-moottorin käyttötarkoituksiin ja soveltamiseen sähkösuunnittelussa. Työssä pyritään myös tekemään vertailu EC-moottorin ja muiden moottorien välillä. Tarkasteltavalla moottorilla on useita nimityksiä, kuten EC-moottori, joka tulee englanninkielen sanoista electronically commutated. Tämä siis tarkoittaa, että moottorin kommutointi on toteutettu elektronisella ohjauksella. Toinen nimitys on hiiliharjaton tasavirtamoottori ja tämän englanninkielinen nimi on brushless DC-motor, jonka lyhenne on BLDC-motor. Ohjaustapoja kestromagneettimoottoreilla on vielä kahdenlaista, jotka ovat puolisuunnikas- ja siniaalto-ohjaus. EC-moottorilla käytetään puolisuunnikas-aalto-ohjausta ja kestromagneettitahtimoottorilla siniaalto-ohjausta. hiiliharjattoman moottorityypin on alun perin kehittänyt NASA vuonna 1964 avaruus sovelluksiin (Annaz 2014, 15).

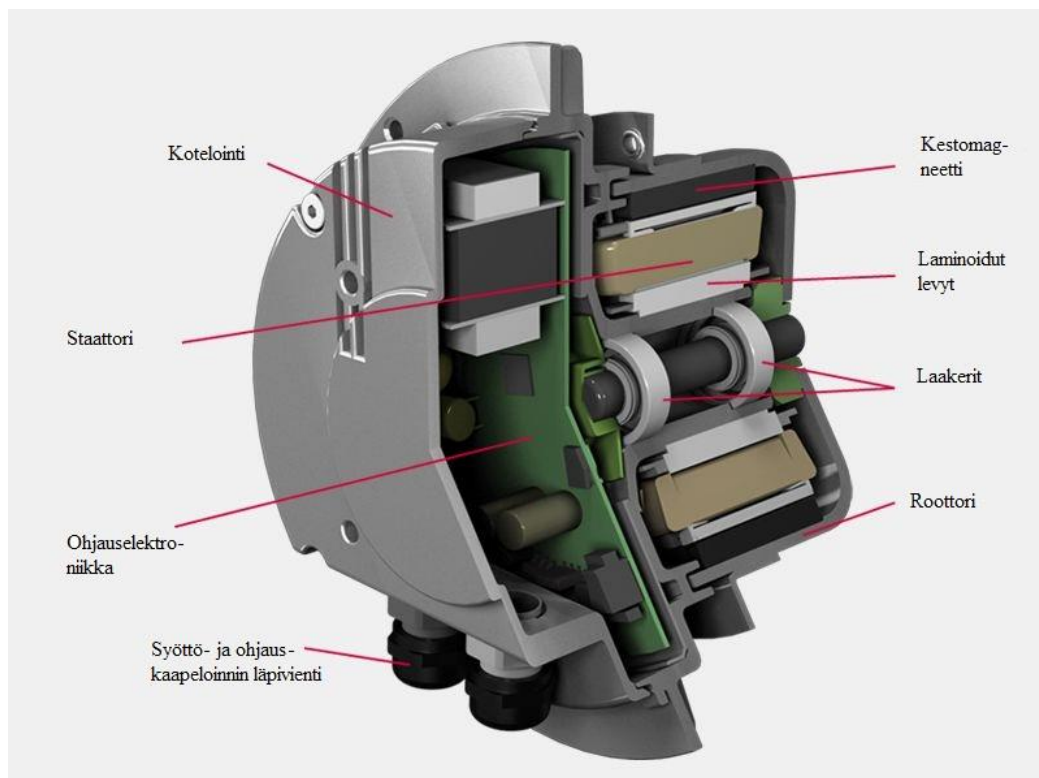
Opinnäytetyö tehdään Insinööritoimisto AX-LVI Oy:n toimeksiannosta. Yrityksellä oli tarve selvittää EC-moottorista sen rakenne, toiminta käytössä ja mitä EC-moottori vaatii sähkösuunnittelun kannalta.

## 2 EC-MOOTTOREIDEN TOIMINTA JA RAKENNE

Tässä osiossa käydään läpi, mitä osia EC-moottorissa on, millaisia ominaisuuksia EC-moottorilla on, miten sitä ohjataan sekä mihin käyttökohteisiin se soveltuu parhaiten. Osion tarkoitus on luoda selkeä kuva siitä, mikä EC-moottori on, niin ettei sitä sekoita muihin kestopagneettimoottoreihin. Tässä osiossa tutustutaan myös hieman erilaisiin ohjausmenetelmiin, kuten väyläohjaukseen.

### 2.1 Rakenne

EC-moottori on kaupallinen nimitys hiiliharjattomalle tasavirtamoottorille. EC-moottorilla on kaksi erilaista rakennetta, joilla sen voi toteuttaa. Moottoreiden rakenne voi muistuttaa normaalia oikosulkumoottoria, tai isommissa käytöissä moottorin roottori on staattorin ympärillä. Englanninkieliset nimitykset näille ovat internal rotor motor, joka on siis normaalin oikosulkumoottorin tyyppinen rakenne, sekä external rotor motor jossa roottori on staattorin ympärillä. Kuvassa 1 on external-tyyppi esitettyä. (Ebm-papst 2011, 10-11)

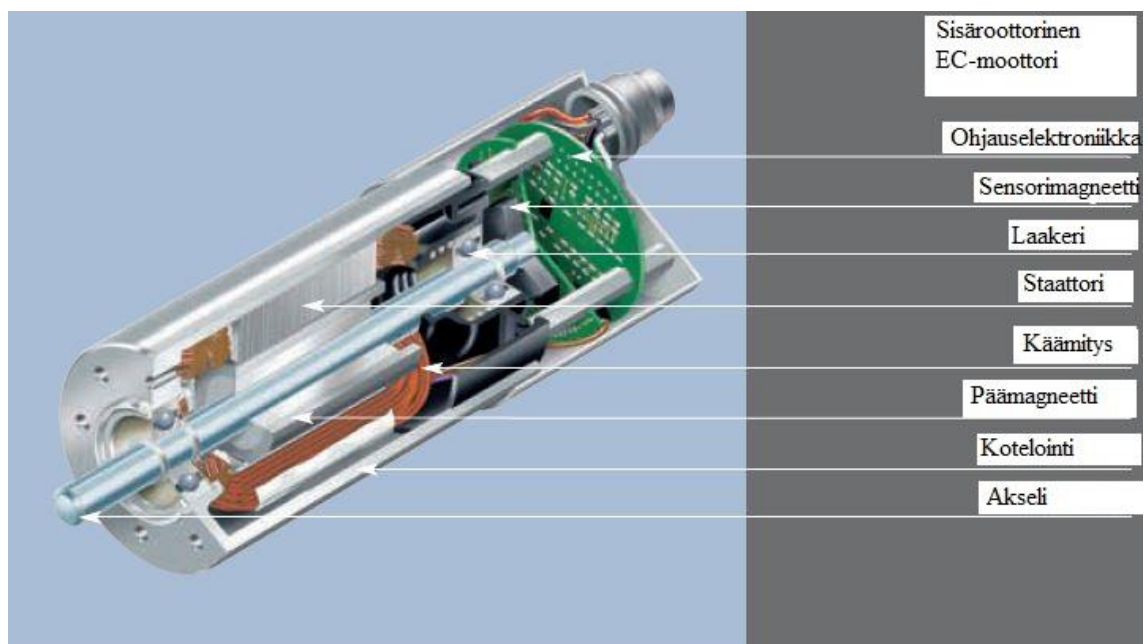


KUVA 1. EC-moottorin yleisin rakenne suurilla tehoilla. (Rosenberg 2017)

Kuvan 1 tapainen moottorirakenne on suuritehoisten EC-moottoreiden tyyppi, koska tällä rakenteella saavutetaan enemmän vääntömomenttia. Sisin osa on akseli, joka on laake-roitu. Akseliin kiinnitetään ympärillä liikkuva roottori, joka saadaan pyörimään roottorin sisäpuolella olevalla staattorilla.

Kestomagneettien rakenne roottorissa vaihtelee. Materiaalina käytetään tämän hetken parasta kestopimagneettimateriaalia, eli neodyymi-rauta-boori-seosta (Annaz 2014, 16). Kestomagneetit on kiinnitetty roottorin sisäpinnalle, niin että ilmaväli jää mahdollisimman pieneksi. Kyseisen materiaalin heikkouksiin kuuluu korkea hinta, sekä lämpötilan ja korroosion huono sietämättömyys. Näihin ominaisuuksiin on tulossa koko ajan parannuksia. Tehokkaimmat yleiset EC-moottorit ovat teholtaan noin 6 kW (Danfoss 2011, 4).

EC-moottoreihin asennetaan ohjauselektroniikka suoraan moottoriin. On tietysti mahdollista, että ohjauselektroniikka asennetaan johonkin muualle, mutta ei liian kauaksi moottorista. Ohjauselektroniikka koostuu tasasuuntaussillasta, välipiiristä ja elektronisesta ohjauksesta (Moorthi 2010, 743). Ohjaus on toteutettu transistoreilla, tyypillisesti six-step menetelmällä, josta kerrotaan enemmän kappaleessa 2.3. Toinen rakennetyyppi, joka muistuttaa enemmän normaalia sähkömoottoria on käytössä pienemmillä tehoilla, mutta sillä saadaan aikaan suuria kierrosnopeuksia. Kuvassa 2 on esitetty tämän moottorityypin rakenne.



KUVA 2. Internal rotor-tyyppisen EC-moottorin rakenne. (Ebm-papst 2011, 10)



Kuvan 2 tyyppiset EC-moottorit ovat normaalisti paljon pidempiä akselin suuntaisesti, kuin kuvan 1 rakenteiset EC-moottorit. Tämän tyyppisillä moottoreilla voidaan päästä jopa 80 000 kierroksen nopeuksiin, kun kuormamomentti on sopiva (Annaz 2014, 15). Lisäksi kiihdytys, pysäytys ja suunnanvaihto voidaan tehdä todella nopeasti. Tämä moottorityyppi on yleensä myös mekaanisesti suljettu, joten IP-luokka perusmalleillakin on jo IP40. Saatavilla on myös malleja, joissa on integroituna vaihteisto, jolla päästään suurempiin momentteihin mutta pienempiin kierrosnopeuksiin. (Ebm-papst 2011, 76)

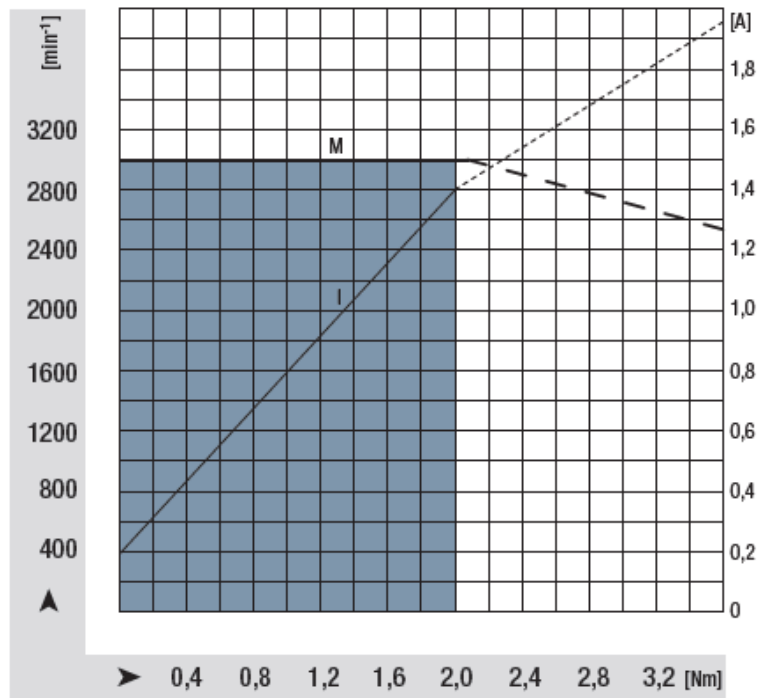
## **2.2 Ominaisuudet**

Tässä osiossa käydään läpi EC-moottorin ominaisuudet hyvistä huonoihin. Ominaisuuksien vertailua muihin moottorityyppeihin tehdään kappaleessa kolme. Yleisesti EC-moottori voi olla hyötysuhteeltaan jopa IE4 luokitusta parempi ja sen pitäisi olla perinteisiä moottoreita hiljaisempi (Ebm-papst 2015, 3).

EC-moottorin integroidun ohjauselektroniikan ansiosta moottorilla on paljon erilaisia ominaisuuksia, kuten monta eri säätötapaa sekä integroitu suojalaitteisto. EC-moottori pystyy tunnistamaan ylikuormitukset ja suojaamaan näin itseään. Tällaiset ominaisuudet tekevät EC-moottorista myös kalliin perinteisiin moottoreihin verrattaessa.

### **2.2.1 Vakiomomentti**

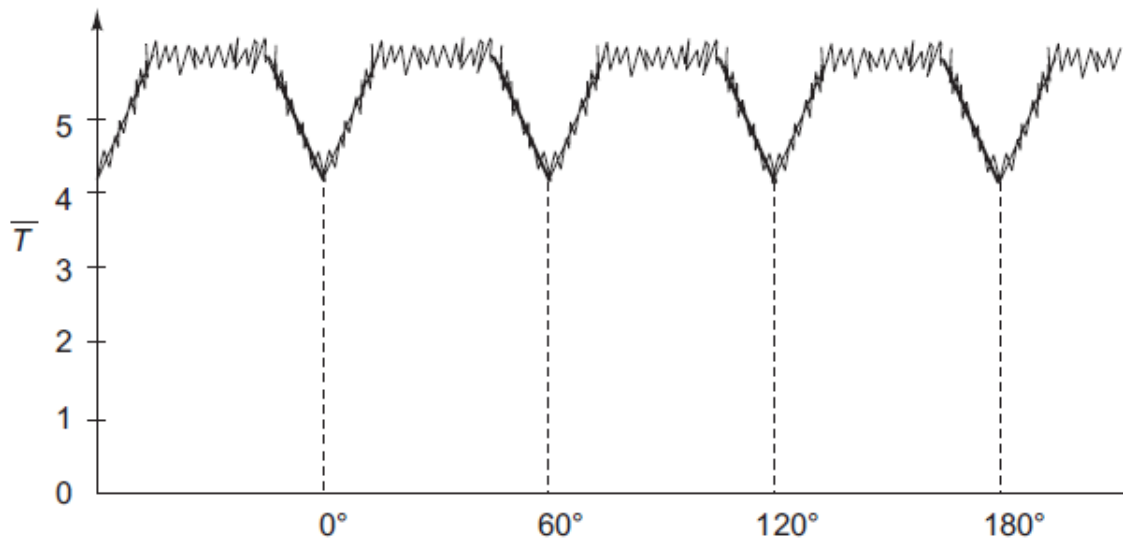
EC-moottorin ominaisuuksiin kuuluu sen vakiomomentti, kun nopeus on nimellistä pienempi. Kuormaa voidaan siis pyörittää samalla momentilla millä tahansa kierrosnopeudella, kunhan pysytään alle nimellispisteen. Kuvaajassa 1 on esitetty erään EC-moottorin momentin käyttäytyminen nopeuden suhteen.



KUVAAJA 1. EC-moottorin kuormitettavuus säädettyssä käytössä. (Ebm-papst 2011)

Kuvaajassa 1 ei ole esitetty vakiotehoaluetta, koska kyseiselle moottorille ei ole sallittua pyöriä nimellistä nopeampaa. Ylikuormitus on kuitenkin esitetty katkoviivalla, josta nähdään, että 2500 kierroksen kohdalla voidaan ylikuormittaa konetta 3,4 Nm momentilla. Nimellispyörimisnopeutta ei tässä koneessa saa ylittää, koska kone on suuritehoinen ja sen pyörittäminen nopeammin voisi johtaa magneettien ylimagnetoimiseen ja niiden tuhoutumiseen.

Momentti ei myöskään ole aivan vakio koko nopeusalueella, vaan suurempiin tehoihin siirryessä sen momenttisäro kasvaa. Tämä johtuu kytkentäilmiöistä ja jännitteestä, jolla sitä syötetään. Kuvaajassa 2 on esitetty kolmivaiheisen EC-moottorin momenttisäro puolikkaalla kierroksella, eli 180 asteella täydestä kierroksesta.



KUVAAJA 2. EC-moottorin vääntömomentin särö. (Moorthi 2010, 744)

Kuvaajan 2 särö kasvaa sitä mukaa mitä suurempaan tehoon mennään. Kuvaajasta 2 voi myös päätellä puolisuunnikkaan pinta-alasta momentin tehollisarvon olevan noin 5 Nm moottorin puolikkaalla kierroksella.

### 2.2.2 Kierrosnopeus

Kierrosnopeutta EC-moottorilla voidaan säätää lähes täysin koko nopeusalueella 0 – 100 % nimellisestä nopeudesta. Nopeutta voi ohjata PWM-signaalilla, väyläohjauksella tai jänniteohjeella. Esimerkiksi Fläkt Woodsin valmistamat huippuimurit toimivat 10 – 100 % nopeusalueella (Fläkt Woods 2015, 3). Kun säätö tehdään 0 – 10 V:n ohjausjännitteellä, yhden voltin jännitteen kohdalla moottori käynnistyy ja alkaa pyöriä 10 % nopeudella nimellisestä. Ohjausjännite ja nopeus ovat lineaarisesti yhteydessä toisiinsa. Tarkempaa tietoa ei ole siitä että, miksi EC-moottoria ei pyöritetä alle 10 % nimellispyörimisnopeudesta. Käytännössä sähkökonetta ei voida pyörittää alhaisilla pyörintänopeuden arvoilla täydellä virralla, koska koneen tuuletus on alentunut ja siten se ei kykene johtamaan häviöitä rakenteesta ulos samalla lailla kuin nimellisellä nopeudella toimiessaan (Hietalahti 2012, 27).

### 2.2.3 EMC-vaatimukset

EC-moottorien syöttökaapeleille ei ole annettu mitään häiriösuojausvaatimuksia moottoreiden aiheuttamien pienten häiriöiden vuoksi. Esimerkiksi Fläkt Woods'in STEC-1 ja -2 huippumurit täyttävät päästörajat EN 55022 Class B (kotitalouskäyttö), häiriönsietorajan EN 61000-6-2 (teollisuuskäyttö) ja harmoniset yliaallot EN 61000-3-2/3. Ohjausväylälle on kuitenkin annettu vaatimuksia esimerkiksi Koja-valmistajalta, jonka mukaan väylän on oltava parikierrettyä ja häiriösuojattua. Vaatimukset tietysti nousevat ympäristön mukaan kaikissa kaapeleissa.

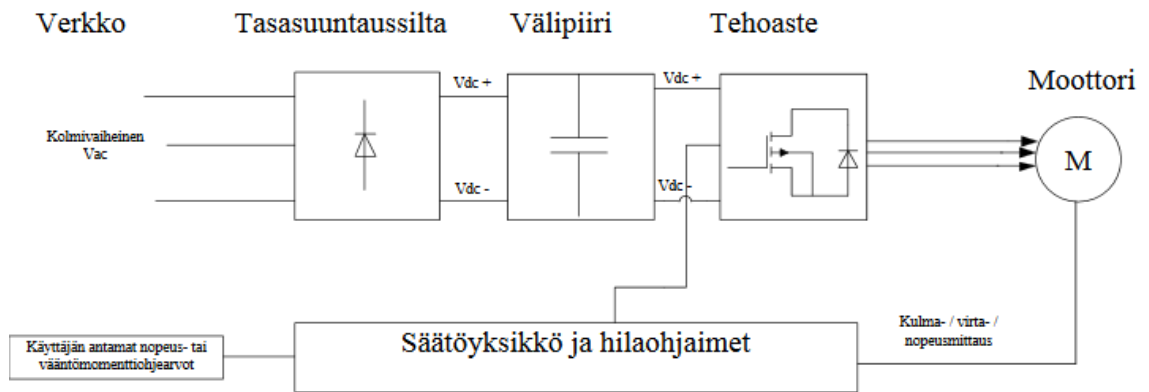
### 2.2.4 Anturit

EC-moottoreihin rakennetaan yleensä integroituna monenlaisia antureita, joiden avulla elektroniikka toteuttaa moottorille monia toimintoja. Tärkein näistä antureista EC-moottorilla on Hall-anturit, joiden avulla elektroniikka tunnistaa roottorin kulman ja ohjaa staattorille oikeanlaisen magneettikentän roottorin pyörimisen edistämiseksi. Näitä antureita on yleensä kolme kappaletta EC-moottorissa 120 asteen välein. (Moorthi 2010, 742)

Muita antureita ovat moottorin suojaukseen liittyvät anturit, kuten lämpötila-anturi staattorille ja ulkolämpötilalle. Elektroniikalla toteutetaan myös roottorin lukkiutumisen tunnistaminen, sekä lisäksi tunnistaminen vaihevialle. Näiden lisäksi on myös muita antureita, mutta niiden tarpeellisuus riippuu käyttäjän vaatimuksista. Esimerkiksi EC-moottorille voi saada tarkkaa säätöä varten kierroslukumittarin ja kulman tunnistinanturin.

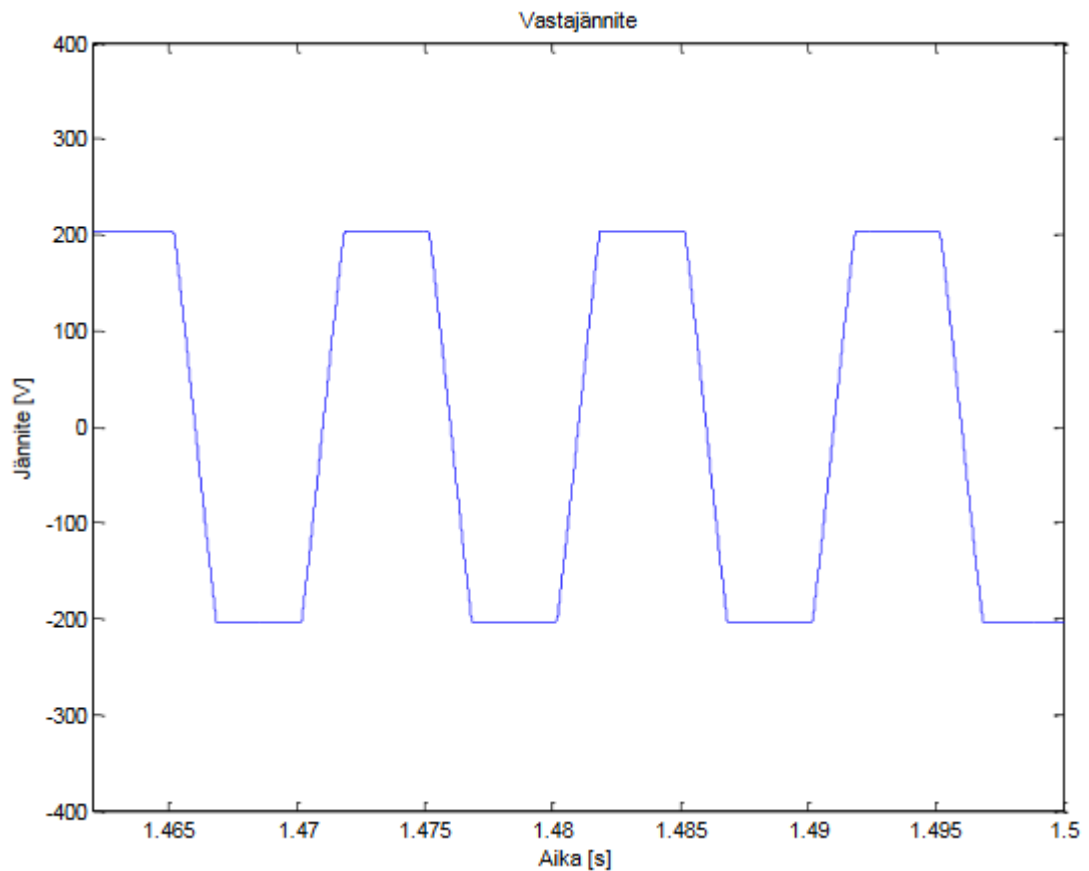
## 2.3 Ohjaus

EC-moottorin yksi tärkeimmistä osista on sen ohjauselektroniikka, joka hoitaa moottorin pyörimisen. Moottorin pyörittäminen suoritetaan six-step-nimisellä ohjausmenetelmällä. Kuvassa 3 on esitetty tyypillinen ohjauskaavio.



KUVA 3. Yksinkertaistettu lohkokkaavio EC-moottorin ohjauksesta. (Khabbal 2014, 8)

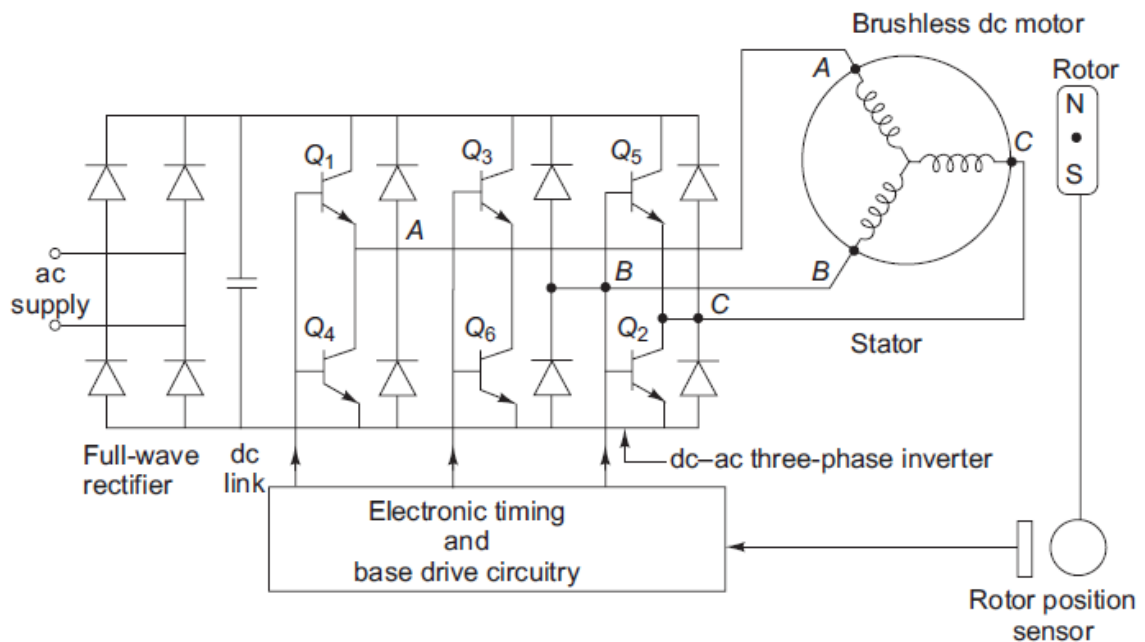
Ohjausta on kahdenlaista, joista EC-moottori käyttää six-step-ohjausta. Toinen tyyppi on sinimuotoinen ohjaus, jota käyttää kestmagneettimoottori. Kyseisestä moottorista kerrotaan lisää kappaleessa 3.3. EC-moottoria ohjataan puolisuunnikkaismaisesti EC-moottorin itse tuottaman vaiheiden välisen vastasähkömotorisen voiman vuoksi. Kuvaajassa 3 on esitetty EC-moottorin itsetuottama jännite.



KUVAAJA 3. EC-moottorin vastasähkömotorisen voiman käyrämuoto. (Khabbal 2014, 27)

Kuvaajan 3 jännite on mitattu staattorin vaiheterminaaleista. Vaikka käyrämuoto muistuttaa kanttiaaltoa, sanotaan sitä kuitenkin puolisuunnikasaaltomuodoksi. Täytyy muistaa, että jos moottori pääsee liikkumaan vapaasti, se voi muodostaa vaarallisen liitinjännitteen. Siksi puhallinkäytöissä moottoria huollettaessa roottori täytyy lukita paikalleen.

Ohjauselektronikkaan on myös tarkennusta kuvan 3 tehoaste-lohkoon. EC-moottoreille ohjaus voidaan toteuttaa monella tapaa. Pienitehoisille alle 100 W EC-moottoreille on hyväksyttävää käyttää puoliaalto-ohjausta, jossa ei ole induktiivisen tehon takaisinsyöttöä (Moorthi 2010, 742). Tällä tapaa saadaan moottorin elektronikan kustannuksia pienemmäksi, koska transistoreita ja diodeja tulee vähemmän. Kuitenkin 100 W teholuokan yläpuolella on käytettävä kokoaalto-ohjausta, jossa käämeihin varastoitunut induktiivinen energia kasvaa liian suureksi. Kokoaalto-ohjauksella tämä kerääntynyt energia voidaan syöttää takaisin verkkoon päin. Muutoin tämä aiheuttaisi transistorien tuhoutumisen poiskytkentäkohdissa. Kolmivaiheinen, kokoaalto-ohjauksen piiri on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Tehokkaan EC-moottorin elektronikan piirikuva. (Moorthi 2010, 741)

Ohjauksesta aiemmin mainittu six-step-ohjaus toimii EC-moottorilla siten, että vain kahta käämiä syötetään samaan aikaan kerrallaan. Kestomagneettitahtimoottorilla taas ohjataan kaikkia kolmea käämiä kerralla. Six-step-ohjauksen askelvaiheet on esitetty seuraavassa taulukossa 1.

TAULUKKO 1. EC-moottorin ohjaustekniikan tilataulukko. (Khabbal 2014, 12)

Roottorin sähköinen kulma	Hall-anturien logiikka	Vaihe U	Vaihe V	Vaihe W
0°-60°	{0,0,1}	+	-	Auki
60°-120°	{0,1,1}	+	Auki	-
120°-180°	{0,1,0}	Auki	+	-
180°-240°	{1,1,0}	-	+	Auki
240°-300°	{1,0,0}	-	Auki	+
300°-360°	{1,0,1}	Auki	-	+

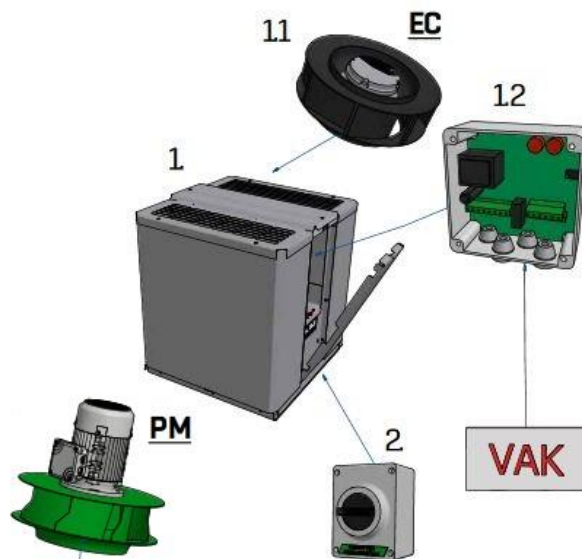
Taulukosta 1 voi huomata kuinka jokainen vaihe on kierroksen aikana 240 astetta johtavassa tilassa ja tästä puolet positiivisesti johtavassa, sekä puolet negatiivisesti johtavassa. Roottorin asento määritetään kolmen Hall-anturin mukaan, jotka määräävät miten transistorit toimivat.

## 2.4 Käyttökohteet

EC-moottoreiden käyttökohteet ovat laajentuneet viime aikoina. Tämä johtuu enimmäkseen kestopagneettimateriaalien kehitykseen. Suurin osa EC-moottoreista on puhallinkäytöissä. Joitakin pumppukäyttöjä EC-moottorilla on tehty, mutta markkinoilla se ei ole vielä pumppukäyttöihin yleistynyt. EC-moottorien käyttö pumpuissa on vasta viime vuosina tullut, tai on tulossa järkeväksi.

EC-moottoria käytetään monenlaisissa puhallinkäytöissä. Se sopii ilmastointi-, ilmanpoisto- ja jäähdytyslaitteisiin (Ebm-papst 2011, 57). Suosion nousu puhallinkäytöissä on EC-moottorin kompakti koko, eikä EC-moottori tarvitse erillistä taajuusmuuttajaa. Näin saadaan puhaltimia asennettua pienempiin tiloihin. Kun puhallinkäyttöä halutaan vielä säätää toimimaan eri nopeudella, on EC-moottori paljon parempi hyötysuhteeltaan kuin tavallinen sähkömoottori taajuusmuuttajalla. Jos käyttö on koko ajan nimellispisteessä, ei eroa hyötysuhteilla välttämättä ole. Vanhan kaksi-nopeuksisen puhaltimen voi vaihtaa EC-moottoripuhaltimeksi valmistajan teettämällä sovittimella, jos puhaltimen toiminta halutaan pitää samanlaisena.

Jäähdytyspuhaltimien käytössä EC-moottori sopii tilanteeseen, jossa monella puhaltimella viilennetään jäähdytysyksikköä. Kaikkia moottoreita voidaan säätää pyörimään samalle nopeudelle, jolloin jäähdytysyksikköä viilennetään tasaisesti hyvällä hyötysuhteella. Tavallinen tapa tähän on ollut käyttää säätämättömiä induktiomootoreita, joiden käyntilukumäärää on vaihdeltu. Tällä käyttötavalla ei synny tasaista viilennystä. Kuvassa 5 on esitetty pohjoismaisen Fläkt Woods Oy:n kehittämä huippuimuri EC-moottorilla. Kuvasta voi huomata, kuinka kompaktiin tilaan moottori ja sen säätöelektronikka mahduttavat. Kuvassa 5 on esitetty myös kestopagneettimoottori vihreällä tuuletinosalla PM koon vertailun vuoksi. Kuvan 5 numerolla 1 on esitetty huippuimurin kotelo, 1.1 on EC-moottori mustalla tuuletinosalla, 1.2 on liityntäkotelo ja 2 on turvakytin. Kuvassa 5 oleva VAK tarkoittaa automaation valvontakeskusta, jolla voidaan ohjata huippuimuria.



KUVA 5. Fläkt Woods:n huippuimuri. (Fläkt Woods 2015, 4)

EC-moottoreita voi käyttää myös suuritehoisissa ilmastointilaitteissa. Hyvänä esimerkkinä on Tampereen Hotelli Ilveksen ilmastointilaitteen saneeraus, jossa 125 kW:n puhaltimen moottori vaihdettiin EC-moottorikäyttöiseksi puhallinseinäksi. Tämä ei tietenkään onnistu vain yhdellä EC-moottorilla, vaan käyttöön suunniteltiin 17 EC-käyttöisen puhaltimen yhteisteho korvaamaan vanha induktiomoottori. Näin tehtiin, koska kierrosnopeuden säädöstä johtuva hyötysuhde-etu on EC-moottoreilla parempi.



## 2.5 Säädetävät

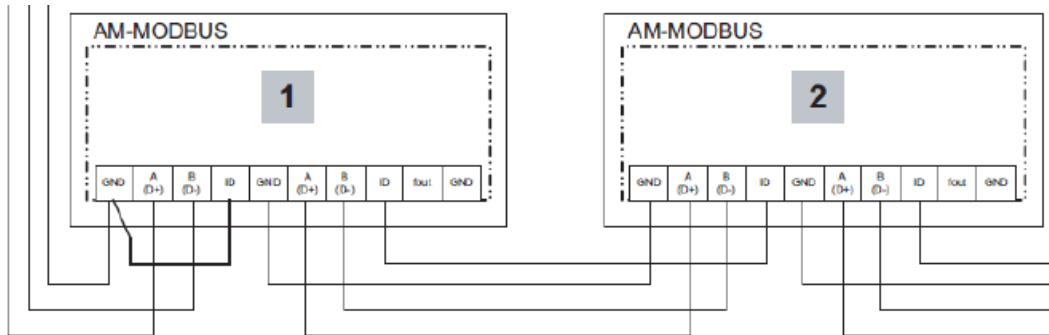
EC-moottoreiden tärkein ominaisuus on niiden säädettävyyden ja niille ei ole kehitetty ainoastaan yhtä säätömenetelmää. EC-moottoreiden säätötapa riippuu täysin valmistajasta, joka voi toteuttaa säädön mahdollisimman yksinkertaisesti, tai todella monipuolisella säätölogiikalla. Tällainen monipuolinen säätöelektronikka sisältää jo oman prosessorin.

Normaalissa EC-moottorin säädössä käytetään 0 – 10 V nopeusohjetta, jota voidaan ohjata säädettävällä potentiometrillä. Tämä on yleisin siksi, että kyseisen 10 voltin saadaan moottorin omasta ulosotosta. Moni valmistaja toimittaa puhaltimen kanssa tällaisen säätökytkimen, johon voi olla myös merkittynä numeroilla kohtia, joiden mukaan on annettu ohjeistukseen numeron toimintatiedot. Jänniteviesti toimii lineaarisesti, eli 10 voltin säädöllä moottori pyörii täysillä kierroksilla ja nolalla voltilla moottori on pysähdyksissä. Moottori lähtee kuitenkin vasta noin 1 V ohjauksella käyntiin ja pysähtyy, kun ohjauksen jännite on alle 1 voltin. Tämä luultavasti liittyy siihen, ettei moottori lähde tahattomasti liikkeelle jonkin häiriön vuoksi. Myöskään moottori ei lähde pyörimään hyvin hitaasti, vaan se alkaa pyöriä noin 10 % kierrosnopeudella ylitettyään 1 voltin rajan. EC moottoria ei voi pyörittää liian hitaasti, usein alhaisin nopeus on 10 % nimellisestä kierrosnopeudesta. Tästä hitaampi EC-moottorin pyörimisnopeus voi johtaa epätasaiseen käyntiin ja tärinään.

Toinen tapa ohjata EC-moottoria on ohjaaminen PWM-menetelmällä. PWM tulee sanoista Pulse-Width Modulation, joka tarkoittaa ohjauksignaalia, jonka taajuutta ja pulssin leveyttä muutetaan. Tärkeä etu tällaisella ohjauksella on, että kytkimenä toimiva komponentti on suurimman osan ajasta joko johtavassa tilassa tai estää virran kulun kokonaan. Näin ohjauksessa ei tapahdu suurta tehohäviötä ja laitteen hyötysuhde säilyy korkeana verrattuna edelliseen. Molempien ohjauksien kytkentä tehdään siis samoihin liittimiin.

Kolmas tapa ohjata EC-moottoria on väyläohjaus. Tätä ei välttämättä löydy jokaisesta EC-moottorista, koska sille ei aina ole tarvetta ja näin säästetään kustannuksissa. Väyläohjauksella voidaan ohjata moottoria esimerkiksi logiikan, tai tietokoneen avulla. Jos moottoreita on monia, voidaan nämä ketjuttaa väylällä yhteen ja ohjata samanaikaisesti. Valmistajasta riippuu täysin, mitä väyläjärjestelmää se käyttää. Yleinen EC-moottoreilla on Modbus RTU datanesitysmuoto. Virheitä voi sattua, jos jokin EC-moottori toimii esi-

merkiksi vaikkapa Modbus ASCII esitysmuodolla, koska nämä kaksi eivät pysty kommunikoimaan keskenään. Väylällä saadaan EC-moottoreilta tietoa suoraan monitorille, esimerkiksi tilatieto, teho, kierrosnopeus, lämpötila ja virheilmoitukset. Kuvassa 6 on esimerkki EC-moottorien väylään liittämisestä.

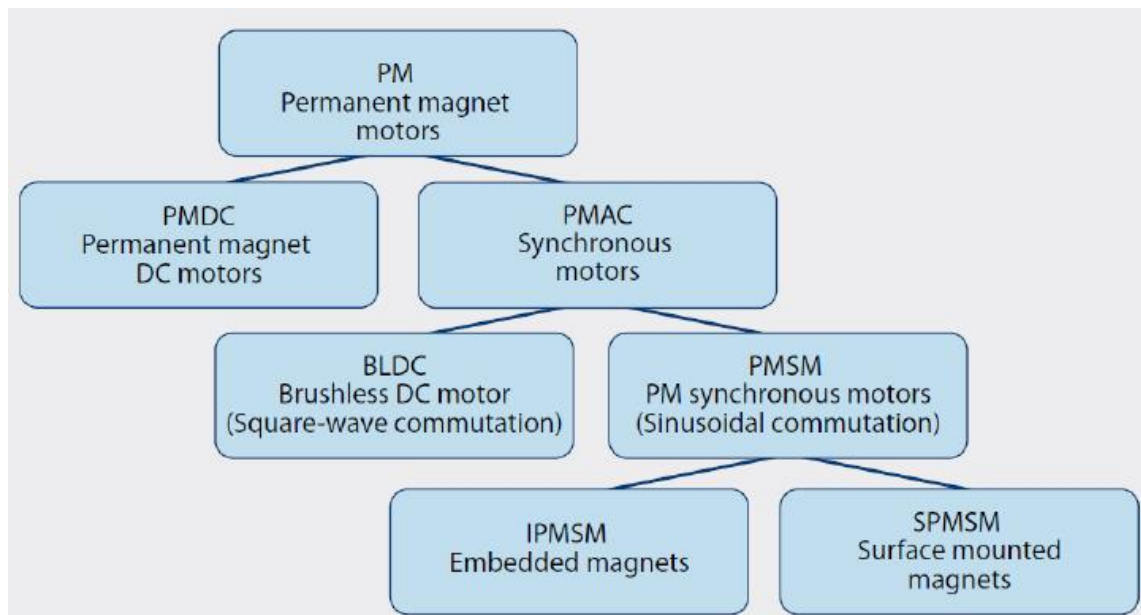


KUVA 6. Väylä-ohjauksen periaatteellinen johdotuskaavio. (Koja 2015, 8)

Kuvan 6 väylä voidaan tuoda vaikkapa kiinteistöautomaatiolta. EC-moottoreita voidaan kytkeä tähän tapaan väylään useita kymmeniä.

### 3 EC-MOOTTORIN VERTAILU

EC-moottoria kannattaa vertailla muihin moottoreihin, koska kaikilla moottoreilla on etunsa ja haittansa. EC-moottori on kaiken lisäksi tuore moottorityyppi markkinoilla, joten sitä saatetaan jopa asentaa väärin käyttöihin. Tähän kappaleeseen on valittu EC-moottorin niin kutsuttu vanhempi versio hiiliharjallinen tasavirtamoottori, perinteisin kaikista sähkömoottoreista, oikosulkumoottori sekä EC-moottoriin helposti sekaantuva kestopagneettitahtikone. Tämän kappaleen tarkoitus on siis luoda kuva kuinka EC-moottori pärjää muille sähkömoottorityypeille. Vertailua on rajattava tehon perusteella, koska EC-moottoria ei saada yli 6 kW tehoisena ja vertailu tehdään vain yhdellä EC-moottorikäytöllä. Jokaisen kappaleen alussa kerrotaan moottorista, johon EC-moottoria verrataan. Jotta kestopagneettikoneiden tunnistaminen olisi helpompaa, kuvassa 7 on esitetty kestopagneettimoottoreiden jaottelu.

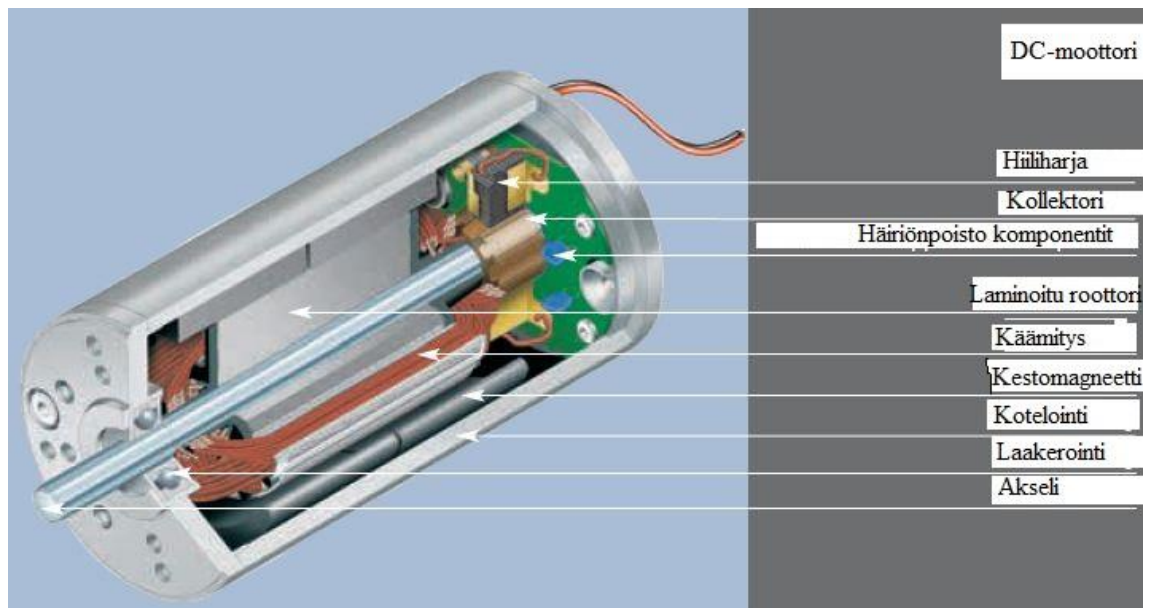


KUVA 7. Kestomagneettimoottoreiden jaottelu. (Danfoss 2011, 1)

EC-moottori on siis hiiliharjaton tasavirtamoottori, eli BLDC. Luvussa 3.1 vertailun kohteena oleva moottori on hiiliharjallinen kestopagneettitasavirtamoottori, lyhenteeltään PMDC. Ja viimeisenä vertailussa oleva moottori on EC-moottorin vaihtovirta-pari, eli kestopagneettitahtikone, lyhenteeltään PMSM. Kuvasta 7 selviää myös mitä ohjaustapaa käytetään kummassakin moottorissa.

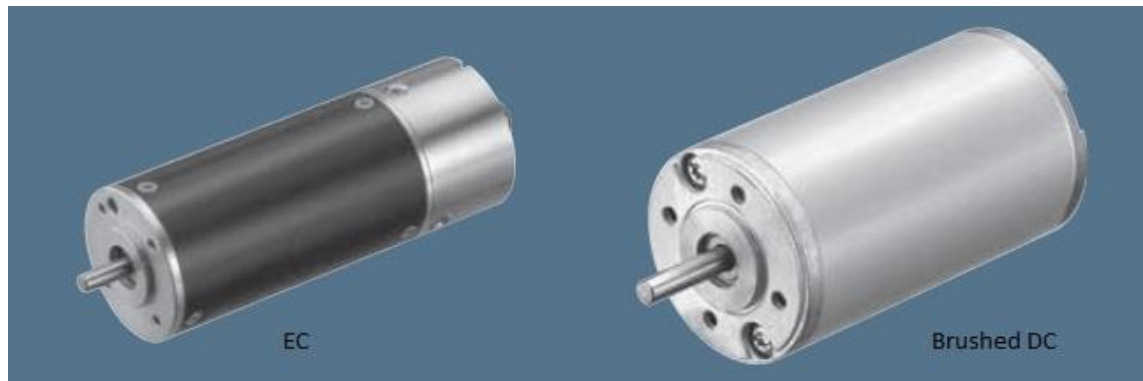
### 3.1 EC-moottorin ja PMDC-moottorin vertailu

DC-moottori, eli hiiliharjallinen tasavirtamoottori, on ollut säädettävissä sähkökäytöissä pitkään tavallisin käyttömoottori. Sen suosio on perustunut helppoon säädettävyyteen, sekä pyörimisnopeutta että vääntömomenttia voidaan helposti ohjata halutulla tavalla. Lisäksi hiiliharjallisella tasavirtamoottorilla on hyvä momentintuotto. Näitä moottoreita on edelleen runsaasti käytössä esimerkiksi paperikoneissa ja painokoneissa. Kierrosnopeutta säädellään ankkurijännitteen ohjauksella. Kuvassa 8 on tyypillinen hiiliharjallisen kestopmagneettitasavirtamoottorin rakenne.



KUVA 8. Nykyaikainen kestopmagneetoitu hiiliharjallinen DC-moottori. (Ebm-papst 2011, 11)

Hiiliharjallisia DC-moottoreita ei löydy markkinoilta enää kovin paljoa tai niiden teholuokat ylittävät EC-moottorien suurimman tehon. Vertailu tehdään siten 24 voltin nimellisjännitteellä toimivilla moottoreilla ja 0,1 Nm nimellismomentin moottoreilla. Valituiksi tuli Ebm-papst yhtiön valmistama ECI-C-42.40 B00 EC-moottori ja saman yhtiön valmistama BCI 52.30 B00 hiiliharjallinen PMDC-moottori. Kuvassa 9 on esitetty nämä moottorit.



KUVA 9. Vasemmalla EC-moottori ja oikealla hiiliharjallinen kestopagneettiasavirtamoottori (Ebm-papst 2011, 80,116)

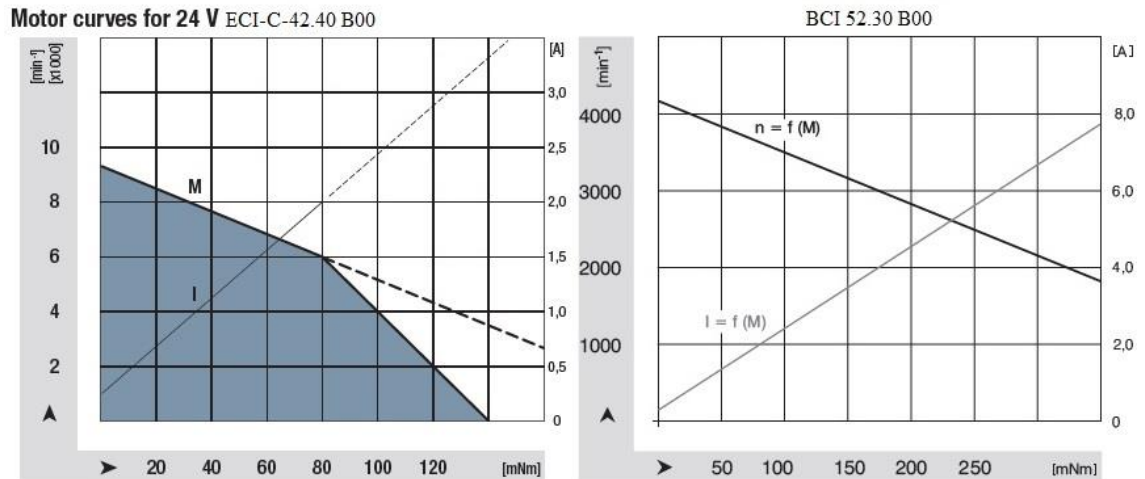
Kuvasta 9 huomataan, että näillä moottoreilla on hieman kokoeroa. EC-moottorin roottori on tässä tapauksessa staattorin sisäpuolella, jotta vertailu olisi mahdollisimman samantyyppisistä moottoreista. Valmistajan taulukoista saadaan hyvin tietoa, jotta vertailu näiden kahden välillä voidaan toteuttaa. Seuraavassa taulukossa 2 on esitetty moottorien tiedot vierekkäin vertailun helpottamiseksi.

TAULUKKO 2. EC- ja PMDC-moottorin vertailutaulukko. (Ebm-papst 2011, 80, 116)

	<b>ECI-C-42.40 B00</b>	<b>BCI 52.30 B00</b>
<b>Nimellisjännite <math>U_N</math> (V)</b>	24	24
<b>Nimellisyörimisnopeus <math>n_N</math> (rpm)</b>	5000	3600
<b>Nimellismomentti <math>T_N</math> (mNm)</b>	100	100
<b>Nimellisvirta <math>I</math> (A)</b>	3,0	2,2
<b>Nimellisakseliteho <math>P_N</math> (W)</b>	52	38
<b>Pyörimisnopeus ilman kuormaa (rpm)</b>	6300	4200
<b>Virta ilman kuormaa (A)</b>	0,25	0,3
<b>Käynnistysmomentti <math>T_s</math> (mNm)</b>	140	650
<b>Paino (kg)</b>	0,7	0,9
<b>Roottorin inertia <math>J</math> (<math>\text{kgm}^2 \cdot 10^{-6}</math>)</b>	2,3	23
<b>Sähköinen teho nimellisjännitteen ja nimellisvirran mukaan <math>P_s</math> (W)</b>	72	52,8
<b>Hyötysuhde <math>\eta</math> (<math>P_N/P_s</math>)</b>	0,72	0,72

Taulukon 2 arvoista huomataan, että EC-moottorin roottorin inertia on jopa 7 kertaa pienempi. Tämä johtuu pääosin siitä, ettei EC-moottorilla ole hiiliharjoja aiheuttamassa kitkaa roottorin akseliin. Hiiliharjallisen moottorin käynnistysvirtakin on siitä syystä suuri,

5,5 kertainen verrattuna nimelliseen. Molempien hyötysuhde laskettuna on noin 72 %. Nimellismomentti on molemmilla sama, mutta EC-moottori tuottaa enemmän akselitehoa. Näihin poikkeavuuksiin voi vaikuttaa nimellisyörimisnopeus. Jos EC-moottorin yörimisnopeutta lasketaan vertailtavan moottorin nimelliskierrosnopeuteen, alkaa myös moottorille syötettävä teho laskea. Tarkempia tietoja tehoista ei ollut annettu erilaisille kierrosnopeuksille. Kuvassa 10 on esitetty molempien moottoreiden toimintakäyrät, joista voi verrata niiden toimintaa.



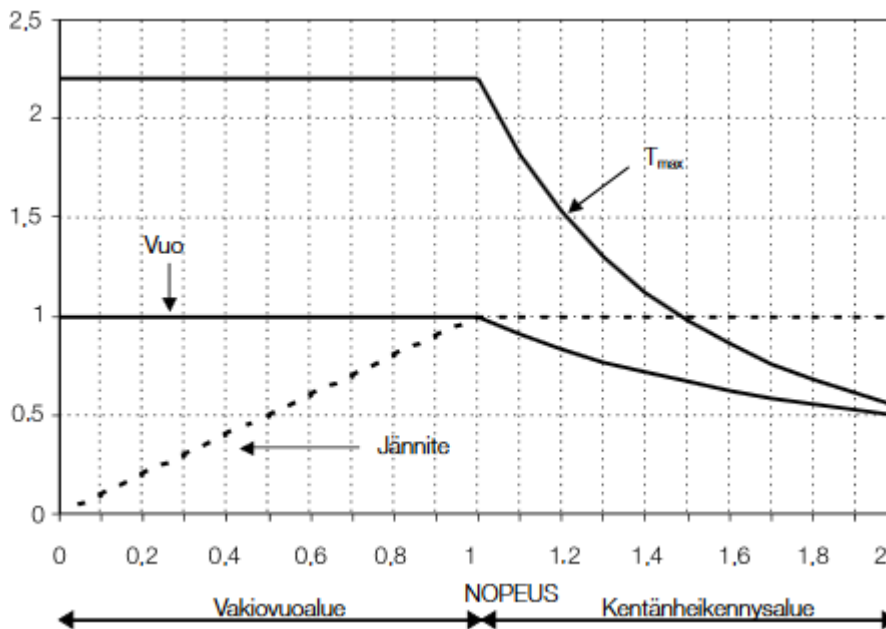
KUVA 10. Vasen EC- ja oikea PMDC-moottorin momentti kierrosnopeuden suhteen. (Ebm-papst 2011, 80, 116)

Kuvasta huomataan kuinka paljon nopeammin EC-moottori on suunniteltu yörimään verrattuna hiiliharjalliseen. Nopeusero voi selittyä hiiliharjojen puuttumisen vuoksi. Hiiliharjallisen moottorin käyrä menee pidemmälle momenttiakselilla, koska sitä voi ylikuormittaa enemmän. Katkoviivalla merkitty suora joka kulkee M käyrää pitkin, kuuluu ECI-C-42.40 B00 moottorin toimintakäyrään. Tummansininen alue on 80 W:en moottorin toiminta merkittynä samaan kuvaan.

Yhteenvetona tästä vertailusta voidaan päätellä, että EC-moottorilla voidaan toteuttaa paljon suuremmilla kierrosnopeuksilla yöritettävää momenttikuormaa. Jos taas kuormalla on suuri liikkeellelähtömomentti, on parempi käyttää hiiliharjallista moottoria. EC-moottori pärjää kuluvien osien kestävyudessa, koska siinä ei ole hiiliharjoja, eikä se vaadi käynnistäessä suuria virtoja. EC-moottorit ovat hiljaisempia kuin DC-moottorit, sillä niiden hiiliharjat pitävät ääntä ja saattavat kipinöidä.

### 3.2 EC-moottorin ja oikosulkumoottorin vertailu

Induktiomoottori, eli oikosulkumoottori on tällä hetkellä käytetyin säädettävien sähkökäyttöjen moottorityyppi. Taajuusmuuttajan ohjatessa konetta, pyörimisnopeutta voidaan säätää vapaasti jännitteen taajuutta muuttamalla. Oikosulkukoneen nopeutta voidaan nostaa hyvinkin suureksi, usein moninkertaiseksi nimellisnopeuteen nähden. Käytännön rajoittava tekijä suurimmalle sallitulle nopeudelle on koneen mekaaninen kestävyys tai kuorman momentti. Oikosulkukonetta pyöritettäessä yli nimellispöörimisnopeuden menee moottorin toimintapiste kentänheikennyskohdan toiselle puolelle. Tämä johtuu siitä, että kun jännitettä ei voida nostaa enempää, heikentyy koneen magneettivuo suuremman pyörimisnopeuden saavuttamiseksi. Tästä taas seuraa kuvaajan 4 kaltainen momentin aleneminen oikosulkumoottorin säädetyssä käytössä.



KUVAAJA 4. Maksimimomentti, -vuo ja -jännite suhteellisen nopeuden funktiona. (ABB 2001, 11)

Kuvaajasta 4 nähdään, kuinka kentänheikennysalue vaikuttaa käytettävissä olevaan momenttiin. Kuvaajan 4 maksimimomentti määräytyy oikosulkumoottorin kippimomentista, joka määrää siis ehdottoman kuormamomentin rajan. Käytännössä oikosulkumoottoria ei voida käyttää alhaisilla pyörintänopeuden arvoilla täydellä virralla, koska koneen tuuletus on alentunut ja siten kone ei kykene johtamaan häviöitä rakenteesta tarpeeksi tehokkaasti. Tällöin lämpeneminen estää moottorin kuormittamista pienillä kierroksilla. Mahdollinen

vierastuuletus voisi olla ratkaisuna, jos konetta täytyy pyörittää hitaammin. Vierastuuletuksella taas heikennetään koneen hyötysuhdetta.

Vertailussa käytetään oikosulkumoottorina 2-napaista ABB:n valmistamaa 2,2 kW konetta. EC-moottori puolestaan on Ziehl yhtiön myös 2,2 kilowatin tehoinen kone. Vertailun tarkoituksena on tarkastella, kuinka moottorit pärjäävät hyötysuhteellaan säädettyssä käytössä kierrosnopeuksien ollessa 1000 – 3000 rpm välillä. Tarkastelua ei voida tehdä kentänheikennysalueella, koska tarkastelun EC-moottoria ei saa pyörittää 3000 kierrosta minuutissa nopeampaa. Kuvassa 11 on esitetty vertailun moottorit. EC-moottorin roottori on tässä tapauksessa staattorin ulkopuolella.



KUVA 11. Ziehl EC-moottori ja ABB:n oikosulkumoottori, ei mittakaavassa. (Ziehl, 2016, 11 ja ABB 2013, 51)

Tuoteluetteloiden tiedoista on tehty näiden tiedoista pienimuotoinen taulukko. Taulukon 3 on kerätty ABB:n oikosulkumoottorin M3BP 90 SLC:n tiedot ja Ziehlin EC-moottorin MK116-ZIN.07 tiedot. Virta EC-moottorille on jouduttu redusoidaan 400 volttiin, koska se oli annettu tuoteluettelossa 380 voltin tasossa. Redusointi tehdään näiden jännitteiden suhteella. Muita arvoja ei tarvitse redusoida, jos oletetaan EC-moottorin valmistajan tekemän moottorin myös 400 voltin jännitteeseen samalla teholla. Virta 400 V tasossa saadaan redusoitua seuraavalla kaavalla 1 (Koivumäki 2011, 14).

$$I_{N400V} = I_{N380} \frac{U_{380}}{U_{400}} = 4,02A * \frac{380V}{400V} = 3,82A \quad (1)$$



TAULUKKO 3. EC- ja oikosulkumoottorin vertailutaulukko. (Ziehl 2016, 33 ja ABB 2013, 18)

	<b>MK116-ZIN.07</b>	<b>M3BP 90 SLC</b>
Nimellisjännite U (V)	400	400
Nimellispyörimisnopeus $n_s$ (1/min)	3000	3000
Nimellismomentti T (Nm)	7,0	7,2
Nimellisvirta I (A)	3,82	4,3
Hyötysuhde nimellispisteessä $\eta$ (%)	87,8	84,7
Roottorin inertia J (kgm <sup>2</sup> )	0,01332	0,0028
Paino m (kg)	8,9	25

Taulukon 3 arvoista huomataan, että hyötysuhde on EC-moottorilla 3,1 prosenttiyksikköä parempi, mutta nimellismomentti taas 0,2 Nm pienempi. Virran arvo taas on pyöristettynä 0,5 ampeeria vähemmän, vaikka koneet ovat saman tehoiset. Tämä johtunee siitä, ettei roottoria tarvitse magnetoida kestopagneettien takia.

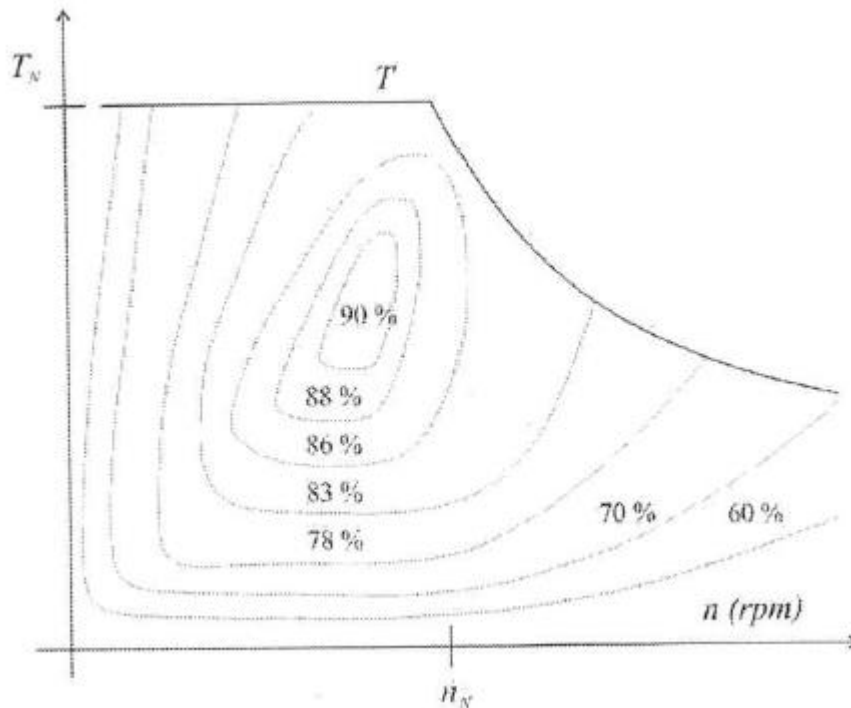
Tarkastellaan moottorien toimintaa säädetyssä käytössä. Jotta oikosulkumoottoria voidaan käyttää alle nimellisen kierrosnopeuden, sitä on syötettävä taajuusmuuttajalla. Muutakin tapoja on muuttaa oikosulkukoneen kierroksia, mutta taajuusmuuttaja on näistä yleisin. Valitaan taajuusmuuttajaksi ABB:n ACS800-01-0004-3, joka pystyy syöttämään oikosulkumoottorin nimellistehon ja virran. ABB on määrittänyt taajuusmuuttajalle runkokoon mukaan hyötysuhteet ja taajuusmuuttajalle on annettu hyötysuhde  $\eta_t = 0,98$ . Lasketaan alkuun nimellispisteessä olevat kokonaishyötysuhteet. Oikosulkumoottorille on annettu taulukossa 3 nimellispisteessä hyötysuhde  $\eta_m = 0,847$ . Taajuusmuuttajan hyötysuhde oli 0,98 ja akseliteho  $P_N$  oikosulkumoottorilla oli 2,2 kW, joten sähköinen teho  $P_S$  saadaan seuraavan kaavan 2 (Hietalahti 2011, 86) mukaisesti.

$$P_S = \frac{P_N}{\frac{\eta_m}{\eta_t}} = \frac{2200W}{\frac{0,847}{0,980}} = 2650W \quad (2)$$

Hyötysuhde  $\eta_N$  nimellispisteessä säädetyssä käytössä on laskettu kaavalla 3 (Hietalahti 2011, 86).

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_S} = \frac{2200W}{2650W} = 0,83 \quad (3)$$

EC-moottorille Ziehl oli antanut suoraan sähköisen tehon joka on 2503 W nimellispisteessä. Tähän tehoon sisältyy siis myös elektroniikan tarvitsema teho. EC-moottorin hyötysuhde on siis parempi nimellispisteessä säädettyssä käytössä. Verrataan hyötysuhteita alemmilla kierroksilla oikosulkumoottorin kuvan 12 hyötysuhdekartan avulla.



KUVA 12. Epätahtikoneen tyypillinen hyötysuhde säädettyssä käytössä. (Hietalahti 2013, 72)

Kuvassa 12 on esitetty periaatteellinen epätahtikoneen hyötysuhde säädettyssä käytössä nopeuden funktiona. Tällä voidaan suurin piirtein määrittää moottorin hyötysuhde tietylle kierrosnopeudelle. Vertailun EC-moottorille on valmistaja antanut nimellispisteen lisäksi kahdelle muulle toimintapisteelle akselitehon ja sähköisen tehon. Taulukossa 4 on lueteltu nämä tehot vertailun EC-moottorille sekä lisäksi tehot korkeamman lämpötilan käytölle.

TAULUKKO 4. Ziehl EC116 High Power akselitehot ja sähköiset tehot. (Ziehl 2016, 33)

Kierrosnopeus	$P_N$ (W) 40 °C	$P_S$ (W) 40 °C	$P_N$ (W) 60 °C	$P_S$ (W) 60 °C
1000	738	880	681	810
1500	1100	1287	1022	1188
3000	2198	2503	1979	2248

Taulukkoon 4 on lueteltu mukaan myös korkeamman ympäristön lämpötilan toimintapisteiden tehot. Tästä huomataan, että moottoria ei voida kuormittaa samalla tapaa. Tämä johtunee magneettimateriaalin magneettikentän heikentymisestä korkeammassa lämpötilassa. Vääntöä 60 °C lämpötilassa moottori antaa 6,5 Nm. Ei siis kovinkaan paljon vähempää verrattuna 40 °C:ssa toimintaan. Taulukon 4 alemman ympäristön lämpötilan tehojen arvoilla voidaan laskea hyötysuhteet vertailun EC-moottorille 1000 ja 1500 kierrosnopeuksille nimellismomentin arvolla. 1500 kierrosnopeudella hyötysuhteeksi saadaan seuraavan kaavan 4 (Hietalahti 2011, 86) mukaan.

$$\eta_{N1500} = \frac{P_{N1500}}{P_{S1500}} = \frac{1100W}{1287W} = 0,85 \quad (4)$$

Ja 1000 kierrosnopeudella hyötysuhde on seuraavan kaavan 5 (Hietalahti 2011, 86) mukainen.

$$\eta_{N1000} = \frac{P_{N1000}}{P_{S1000}} = \frac{738W}{880W} = 0,84 \quad (5)$$

Tulokset on pyöristetty kahden desimaalin tarkkuuteen. Verrataan tuloksia kuvan 12 hyötysuhdekarttaan. 1500 kierrosta on noin puolessa välissä vakiomomenttialuetta, johon 78 prosenttia käyrä osuu suunnilleen. 1000 kierroksen kohta on vastaavasti kolmannessa osassa, jonka lähellä 70 % käyrä kulkee, joten hyötysuhde on noin 72 % luokkaa. Taulukkoon 5 on kerätty saadut hyötysuhteet vertailussa käytetyistä moottoreista.

TAULUKKO 5. Vertailun moottoreiden hyötysuhteet säädettyssä käytössä.

Kierrosnopeus (rpm)	MK116-ZIN.07 (2,2 kW)	M3BP 90 SLC (2,2 kW)
3000	87,8 %	83 %
1500	85 %	78 %
1000	84 %	72 %

Tämän vertailun mukaan EC-moottori on siis hyötysuhteeltaan parempi IE2-hyötysuhde-  
luokan oikosulkumoottoriin, jota käytetään taajuusmuuttajalla. Tarkempaa vertailua kui-  
tenkin olisi hyvä tehdä esimerkiksi laboratoriomittauksilla, mutta tässä työssä ei sellaisia  
mittauksia suoriteta.

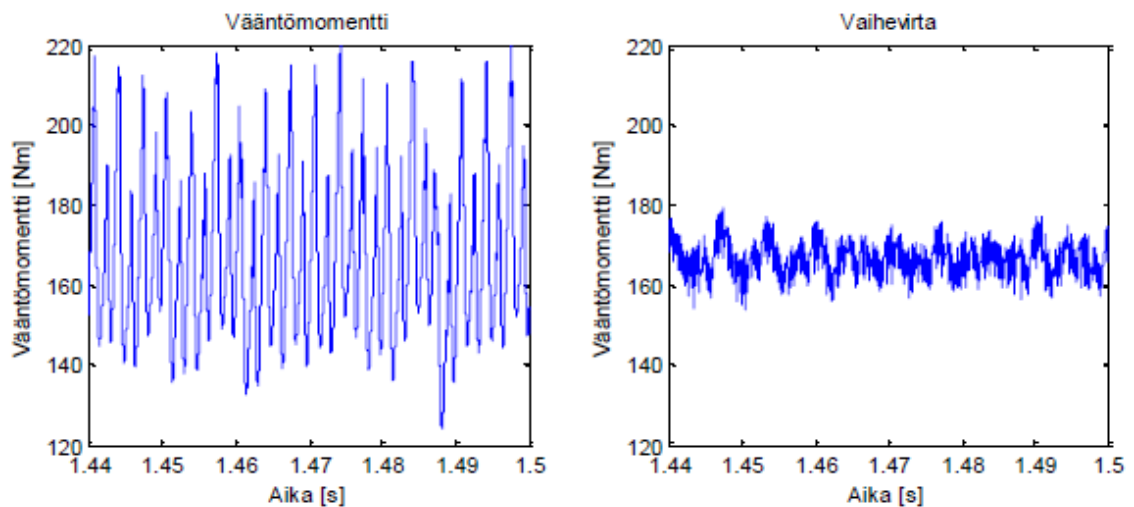
Lisäksi oikosulkumoottoria syöttävä vaihtosuuntaaja aiheuttaa ylivirtoja, jotka voivat häi-  
ritä muita laitteita. Tämän vuoksi taajuusmuuttajan ja oikosulkumoottorin väliset kom-  
ponentit ja kaapelit täytyy olla EMC yhteensopivia. Myös asennuksessa täytyy olla tark-  
koja, esimerkiksi vedonpoistossa olevassa häiriönsuojauksessa tapahtuu yleensä asennus-  
virhe. Ylivirrat myös aiheuttavat jännitesäröä, joka ei saa kasvaa liian suureksi. Tätä voi-  
daan korjata asentamalla kiskostoon yliaaltokompensointilaitteisto.

### 3.3 EC-moottorin ja kestomagneettitahtikoneen vertailu

Kestomagneettitahtikoneen staattori koostuu dynamolevystä rakennetusta levypaketista,  
joka on kiinnitetty teräsrunkoon. Staattorin levypaketissa on urat kolmivaiheista staatto-  
rikäämitystä varten. Kestomagneettitahtikoneen staattori on rakenteeltaan ja valmistus-  
tekniikaltaan samankaltainen kuin esimerkiksi epätahtimoottorin staattorikin. (Hietalahti  
2013, 112.)

Roottori rakennetaan kahdella tapaa, joko pinnalle asennetuin magneetein tai roottorin  
sisälle upotetuin magneetein. Molemmilla tavoilla saavutetaan sekä hyviä että huonoja  
ominaisuuksia. Halvin ja yleisin roottorirakenne on roottorin pinnalle asennettavat mag-  
neetit. Magneetit asennetaan yleensä liimaamalla ne roottorin pintaan. Näin saadaan myös  
roottorin halkaisijaa pienemmäksi, minkä ansiosta myös roottorin hitausmomentti on  
pieni.

Kestomagneettitahtikone, eli lyhenteeltään PMSM-moottori jaetaan siis kahteen luokkaan, IPMSM- ja SPMSM-moottoreihin kuvan 7 mukaisesti. PMSM-moottori poikkeaa EC-moottorista sen tuottaman jännitteen mukaan. PMSM-moottorin ohjaus on paljon monimutkaisempaa, mutta sille muodostetaan siniaaltomaista staattorijännitettä, jolla on omat etunsa EC-moottorin puolisuunnikasaltoon verrattuna. Esimerkiksi muodostettu syötettävä siniaaltomainen jännite tuottaa paljon vähemmän momenttisäröä. Kuvassa 13 on Jasin Khabbalin Lappeenrannan teknilliseen yliopistoon tehdystä diplomityöstä kuvaajat EC-moottorin ja PM-moottorin sähköisestä vääntömomentista ajan suhteen.



KUVA 13. Simuloidut vääntömomentit, EC-moottorin vasen ja PM-moottorin oikea (Khabbal 2014, 41)

PMSM-moottoria syötetään kaikkia kolmea vaihetta kerralla, kun taas EC-moottorilla vain kahta vaihetta kerrallaan. Tämä johtuu ohjaustavasta.

Yleisimmät markkinoilla olevat kestopagneettitahtikoneet ovat teholuokaltaan noin 0,37 – 30 kW tehoisia. Tehokkaampiakin moottoreita on olemassa, mutta vertailuun valitulla PM-moottorin valmistajalla näitä ei ollut tarjolla. Vertailuun valittiin Lafert niminen italialainen PM-moottorien valmistaja. Yhtiö tekee PM-moottorien roottoreita kahdella eri tavalla, upottamalla magneetit roottoriin sekä pinta asennetuilla magneeteilla. Kuvassa 14 on esitetty nämä kaksi tapaa.



KUVA 14. IPMSM-moottori vasemmalla ja SPMSM-moottori oikealla. (Lafert 2017, 4)

Magneettien sijoituksella voidaan vaikuttaa koneen toimintaan. Sijoittamalla magneetit roottorin pintaan saadaan roottorin kokoa pienennettyä, näin ollen roottorin inertiakin on pienempi. Taas sijoittamalla magneetit roottorin sisään voidaan säästää magneettien muodon työstämisessä ja varmistetaan niiden mekaanisen rasituksen kestosta. Pienitehoisilla alle 30 kW moottoreilla pintaan asennetut magneetit kestävät hyvin 3000 kierroksen nopeudenkin. Pinta-asennetut magneetit ovat suosittuja servokäytöissä roottorin koon pienemisen vuoksi. Kuvan 14 magneettien sijoittelu on vain esimerkki valmistajalta, magneetit sijoitetaan yleensä moottorin käyttökohteen mukaan.

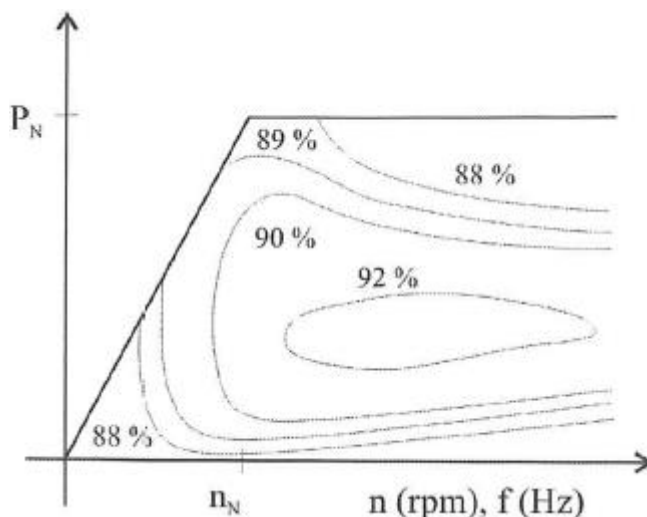
Vertailussa käytetään Lafertin valmistamaa IPMSM-moottoria. Yrityksen moottorikatalogista löytyi sopiva moottorikoko vertailuun edellisten moottorien perusteella, eli 2,2 kW tehoinen moottori. Katalogin moottorien tehot ovat samanlaisia kuin esimerkiksi ABB:n oikosulkumoottorien katalogissa. Lafertin 2,2 kW PM-moottori on IEC-moottorikoon mukaan täysin samankokoinen kuin vastaava oikosulkumoottori. Vertailussa EC-moottorina käytetään samaa kuin edellisessä kappaleessa, eli Ziehlin MK116-ZIN.07 2,2 kW moottoria. Käytetään PM-moottorina vertailussa HPI71 3000 47 moottorityyppiä, koska siihen on integroituna ohjauselektronikka, eli ylimääräistä taajuusmuuttajaa ei tarvitse ottaa vertailuun mukaan. Kerätään seuraavaan taulukkoon 6 yleiset tiedot molemmista moottoreista. Virta on redusoitu 400 V, koska valmistaja oli ilmoittanut virrat vain 380 ja 480 voltissa. Redusointi tapahtuu seuraavan kaavan 6 (Koivumäki 2012, 14) mukaan, kun oletetaan konetta saatavan myös samalla teholla 400 V tasossa.

$$I_{N400V} = I_{N380} \frac{U_{380}}{U_{400}} = 4,8A * \frac{380V}{400V} = 4,56A \quad (6)$$

TAULUKKO 6. EC-moottorin ja PM-moottorin kilpiarvoja. (Ziehl 2016, 33 ja Lafert 2017, 6)

	<b>MK116-ZIN.07</b>	<b>HPI71 3000 47</b>
Jännite (V)	400	400
Teho (W)	2200	2200
Kierrosnopeus (rpm)	3000	3000
Vääntömomentti (Nm)	7,0	7,0
Virta (A)	3,82	4,56
Hyötysuhde (%)	87,8	87,7
Huippuvääntö (Nm)	7,0	10,5
Paino (kg)	8,9	9,1

Taulukon 6 PM-moottorin arvoista huomataan, että PM-moottori on todella hyvä hyötysuhteeltaan, eikä sen oma taajuusmuuttaja huononna sitä yhtään. Jotta taas voitaisiin verrata edellisen vertailun tapaan hyötysuhteita 1000 ja 1500 kierrosnopeuden kohdalla, katsotaan hyötysuhteet kirjallisuudesta löytyvästä hyötysuhdejakaumasta kestopagneettimoottorille. Valmistajat antavat todella nihkeästi muita toimintapisteitä moottoreilleen. Kuvassa 15 on esitetty tyypillinen hyötysuhdejakauma kun kestopagneettimoottoria käytetään säädettyssä käytössä.



KUVA 15. Hyötysuhdejakauma kestopagneettimoottorille. (Hietalahti 2011, 86)

Kuvan 15 hyötysuhdeprosentti nimellispisteessä ei vastaa täysin vertailtavan moottoria. Kuvassa nimellispisteen hyötysuhde on noin 88,5 %. Jos muutetaan piste 87,7 % hyötysuhteeseen, joka on tällöin vertailtavan koneen hyötysuhde, on toiset pisteet helpompi

arvioida kuvasta. 1500 kierroksen nopeudessa hyötysuhde on noin 88,2 %. 1000 kierroksen kohdalla ollaan uloimmankin käyrän ulkopuolella, mutta silmämääräisesti voidaan olettaa sen olevan luokkaa 86,2 %. Tästä voidaan päätellä, ettei hyötysuhde huonone menettäessä alemmille kierroksille PM-moottoria käytettäessä. Tehdään vertailusta vielä taulukko, jolla voidaan verrata EC-moottorin ja PM-moottorin hyötysuhteita. Taulukossa 7 on esitetty saadut PM-moottorin hyötysuhteet ja EC-moottorin hyötysuhteet, jotka selvitettiin jo aiemmin.

TAULUKKO 7. Vertailun moottoreiden hyötysuhteet säädettyssä käytössä.

<b>Kierrosnopeus (rpm)</b>	<b>MK116-ZIN.07 (2,2 kW)</b>	<b>HPI71 3000 47 (2,2 kW)</b>
3000	87,8 %	87,7 %
1500	85 %	88,2 %
1000	84 %	86,2 %

Taulukon 7 arvoista voi huomata, että PM-moottori onkin hyötysuhteeltaan parempi. Täysin PM-moottorin hyötysuhdelukemiin ei pidä luottaa, koska tyypillisestä hyötysuhdejakauman kuvasta ei välttämättä saa tarkkoja arvoja.

### 3.4 Yhteenveto kaikista vertailuista

EC-moottorin ja hiiliharjallisen moottorin vertailussa kävi ilmi, että EC-moottoria on parempi käyttää suurilla kierrosnopeuksilla. EC-moottori ei aiheuta isoja käynnistysvirtoja. Merkittävä toiminnallinen ero on, että harjattomassa koneessa työvirta syötetään seisomaan, eli staattoriin kun perinteisessä koneessa työ- eli ankkurivirta syötetään hiiliharjojen välityksellä roottoriin. Hiiliharjallisen etuna on kuitenkin käynnistysvirrasta johtuva suurempi liikkeellelähtömomentti, joka tietyissä käytöissä on tarpeen.

EC-moottorin ja oikosulkumoottorin vertailussa selvisi, että EC-moottorilla on parempi hyötysuhde säädettyssä käytössä. Oikosulkumoottoria täytyy ohjata taajuusmuuttajalla, jolla on myös oma hyötysuhteensa. Lisäksi taajuusmuuttajalla ohjattu oikosulkumoottori täytyy kaapeloida ja kalustaa EMC yhteensopivilla tarvikkeilla. Kuitenkin oikosulkumoottorin etuna on ohituskäyttömahdollisuus, jota EC-moottorilla ei ole. Lisäksi oikosulkumoottorilla on korkeampi huippumomentti, kun taas EC-moottorin elektroniikka estää



toiminnan yli nimellisväännön. Tämä tietysti on konekohtaista, mutta vertailussa olevalla EC-moottorilla ei sallittu yhtään ylikuormitusta.

EC-moottorin ja kestopagneettitahtikoneen vertailussa selvisi, että EC-moottori ja PM-moottori ovat melkein yhtä hyviä. Hyötysuhteeltaan molemmat moottorit ovat melkein samanlaiset. Tosin laboratoriotutkimuksella saataisiin selville oikeat hyötysuhteet alle nimellisen pyörimisnopeuden. PM-moottorilla on myös huippumomentti, niin kuin kaikilla muillakin EC-moottoriin verratuilla moottorityypeillä tässä työssä. Etuja EC-moottorilla PM-moottoriin on muutamia. EC-moottori ei tarvitse erillistä taajuusmuuttajaa, sen roottorin asennon mittaus on huomattavasti yksinkertaisempi ja koko luokaltaan EC-moottori on pienempi. Taas PM-moottoreita on saatavana teholuokaltaan huomattavasti isompia. VEM valmistajan PM-moottorien suurin kestopagneettitahtimoottori on teholtaan 471 kW. EC-moottoreita on saatavana ainoastaan 5,5 kW tehoon asti.

## 4 EC-MOOTTORI SÄHKÖSUUNNITTELUSSA

Tässä osiossa käydään läpi EC-moottorin sähkösuunnittelun osuus. Osion tarkoitus on selvittää, mitä EC-moottorin piirikaavioihin tulee tehdä ja mitä kaikkea se vaatii asennukselta. Monet valmistajat ovat tehneet piirikaavioita valmiiksi eräänlaisiin saneerauskohteisiin, joissa vanha moottori vaihdetaan uuteen EC-moottoriin. Yleisesti EC-moottoreita käytetään puhallinlaitteissa, joten tämän osion suunnittelu koskee vain puhallinasennuksia. EC-moottoria kannattaa käyttää, kun halutaan mahdollisimman hyvä hyötysuhde, säädettävyys ja tilan pienennys.

### 4.1 EC-moottorin komponenttien valinta

Kun käyttökohde tiedetään, voidaan aloittaa EC-moottorin mitoitus. Mitoittaessa EC-moottoria puhallinkäyttöön on moottoriin jo valmiiksi yleensä integroituna puhallin jo itsessään. Tällöin on tiedossa jo puhalluksesta ilmavirta ja paineenkorotus laitteelle. Käyttöön siis valitaan sopiva puhallin-EC-moottoripaketti näiden tietojen mukaan.

Jos vaadittava ilmavirta ja paineenkorotus on suurempi mitä yksittäisellä EC-moottorilla voidaan toteuttaa, voidaan puhallinjärjestelmä toteuttaa EC-puhallinseinällä. Tällaisissa tapauksissa yleensä korvataan yksi iso hihnavetoinen keskipakopuhallin. Tällä järjestelyllä on suuria etuja verrattuna yksittäisiin puhaltimiin. Ensinnäkin, alkupään ja loppupään lämmönvaihtimien ja suodattimien ilmavirta saadaan tasaisemmaksi. Toiseksi, useampi pienikokoinen puhallin on helpompi asentaa ja huoltaa. Tämä vähentää järjestelmän kustannuksia ja säästää tilaa (ebm-papst 2017). Kuvassa 16 on esitetty vertailu ilmavirran tasaisuudesta ja tilasta yhden hihnavetoisen keskipakopuhaltimen korvaamisella EC-puhallinseinällä.



KUVA 16. Punainen väri kertoo ilmavirran epätasaisuudesta. (Ebm-papst 2017)

Sähköisille kytkennöille ei EC-moottoreiden tapauksessa ole EMC-vaatimuksia. EC-moottori ei aiheuta taajuusmuuttajien kaltaisia suurtaajuushäiriöitä, jolloin EC-moottorin ja jakokeskuksen kaapeli ei tarvitse olla suojattu, vaan normaali moottorikaapeli käy (Piikkilä 2012, 132). Väylä pitää kuitenkin olla parikierretty ja häiriösuojattu kaapeli väylän toiminnan varmistamiseksi. Häiriöisissä olosuhteissa myös anturit ja ohjausvirtapiirit on hyvä johdottaa häiriösuojatulla kaapelilla. Syöttökaapelin ei tarvitse olla häiriösuojattua eikä myöskään moottorin turvakytkimenkään. Samassa kaapelissa ei saa viedä verkovirta- ja ohjausjännitettä (Koja 2015).

EC-moottoreissa on yleensä integroituna ylikuormitussuoja, joten erillistä moottorinsuojakytkeä ei tarvita. Valmistajat antavat kuitenkin vaatimuksena suojata asennukset oikosuilta ja ylikuormitukselta sulakkeilla tai johdonsuojakatkaisijoilla. Sulake valitaan moottorin virran mukaan ja kaapeli mitoitetaan sulakkeen sekä olosuhteiden mukaan. EC-moottoreilla on jännitteensäätöominaisuus, joten se ei ota nimellisvirtaa suurempaa käynnistysvirtaa. Joissain moottoreissa on mahdollista ohittaa tämä ominaisuus, esimerkiksi jäätyneen tuulettimen irti saamiseksi. Jos asennuksesta haluaa vielä turvallisemman, voi tähän lähtöön käyttää 300 mA vikavirtasuojaa. Eli tarvittavat komponentit tavalliseen EC-moottorilähtöön:

- Syöttökaapeli (häiriösuojaamaton)
- Ohjauskaapeli (häiriösuojattu)
- Turvakytkin (häiriösuojaamaton)
- Johdonsuojakatkaisijat tai sulakkeet (kaapelin suojaukseen)
- Ohjausjärjestelmä (0 – 10 V, PWM, Modbus). (Koja 2015)

Erilaisia lisäkomponentteja EC-moottorikäyttöille on valmistajilta paljon. Riippuu tietenkin täysin valmistajasta, mitä kaikkea EC-puhaltimeen on asennettu. Älykkääseen järjestelmään liitettävästä kehittyneestä EC-puhaltimesta voi väylän avulla saada melkein kaiken mahdollisen tiedon, kuten esimerkiksi käyntitilan, ilman lämpötilan, moottorin lämpötilan, kierrosnopeuden, tehon, virran, ilmavirran ja ilmanlaadun. EC-moottori on mahdollista tehdä valmistajalta lisävaruste hankkimalla kaksinopeuskäyttöiseksi, jos vanhassa puhaltimessa oli tällainen toiminto ja käyttö halutaan pitää samanlaisena.

#### **4.1.1 Kaapeli**

Kaapelin valinta voidaan suorittaa SFS-6000 käsikirjan kaapelinvalintataulukoilla. Kaapelin valintaan vaikuttavat EC-moottorin virran lisäksi ulkoiset tekijät, kuten lähellä kulkevat kaapelit, asennustapa ja ympäristön lämpötila. Näiden lisäksi myös käytettävän kaapelin rakenne vaikuttaa kuormitettavuuteen. Kaapelin kuormitettavuus määritetään SFS-6000 käsikirjasta löytyvillä korjauskertoimilla. Jos mitään haittatekijöitä kaapelille ei ole, voidaan käyttää käsikirjasta löytyvää taulukkoa, jossa poikki-pinta-aloille on määritetty kuormitettavuudet asennustavan mukaan. Taulukossa 8 on esitetty kuormitettavuudet ampeereina eri asennustavoille PVC-eristetyille kaapeleille.

TAULUKKO 8. Kuormitettavuudet PVC-eristetyille kaapeleille. (SFS-6000 2012, 245)

Johtimen nimellinen poikkipinta mm <sup>2</sup>	Taulukon B.52.1 mukainen referenssiasennustapa						
	A		B		C		D
	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	kolme kuormitet- tua johdinta	kaksi kuormitet- tua johdinta	Kolme kuormitet- tua johdinta
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Kupari</b>							
1,5	14	15	16	17,5	18,5	20	26
2,5	19	20	21	24	25	29	35
4	24	27	29	32	34	38	46
6	31	34	36	40	43	49	57
10	41	46	49	55	60	67	77
16	55	60	66	73	80	90	100
25	72	79	85	95	102	119	130
35	88	97	105	118	126	146	160
50	105		125		153		190
70	133		158		195		240
95	159		190		236		285
120	182		218		274		325
150	208		–		317		370
185	236		–		361		420
240	278		–		427		480
300	316		–		492		550
<b>Alumiini</b>							
16	43		51		62		78
25	56		66		77		100
35	69		82		95		125
50	83		97		117		150
70	104		123		148		185
95	125		147		180		220
120	143		170		209		255
150	164		–		240		280
185	187		–		274		330
240	219		–		323		375
300	257		–		372		430

Jos kaapeli kulkee muiden kaapeleiden mukana tai lämpötila poikkeaa normaalista 25 °C, on käytettävä korjauskertoimia. Korjauskertoimilla määritetään suhteellinen virta, joka kaapelia rasittaa. Korjauskertoimet ovat yleensä luokkaa 0,6 – 0,9.

#### 4.1.2 Johdonsuojakatkaisija ja käynnistysvirta

EC-moottoreita ei saa vielä yli 6 kW tehoisina. Isoin virta on siis kolmivaiheisessa EC-moottorikäytössä noin 9,1 A, kun tehokerroin on EC-moottoreille tyypillinen 0,95. Tällöin suojaus toimii 10 A sulakkeella vikatilanteessa. EC-moottorin oma elektroniikka huolehtii ylikuormitussuojauksesta. Yksivaiheisia EC-moottoreita on teholuokaltaan alle kilowatin tehoisia, joten 10 A sulake käy niillekin.

Käynnistysvirta rajoittuu suurilla EC-moottoreilla magneettien kestävyysasteeseen. Jos isotehoiseen EC-moottoriin ohjataan täysi käynnistysvirta mitä se ottaisi, se demagnetois

magneetit. Siksi EC-moottorilla on käynnistysvirtaraja. EBM-papst on ilmoittanut käynnistysvirran olevan sama tai vähemmän kuin nimellisvirta (EBM-papst 2016, 7). On myös mainittu, että EC-moottori ottaa isomman käynnistysvirran kuin oikosulkumoottori ja tämä virtasysäys voisi demagnetisoida kestopagneetit. Käynnistysvirta on kuitenkin paljon pienempi pienemmissä moottoreissa, joissa on korkeampi impedanssi käämityksessä (Moorthi 2010, 752).

#### 4.1.3 Moottorin turvakytkin

Jotkin valmistajat eivät salli EC-moottorille asennettavan moottorin turvakytintä. Tämä johtuu siitä, ettei joiltakin EC-moottoreilta saa katkaista syöttöä niiden ollessa käynnissä. Jos moottori pysäytetään moottorin käydessä, voi tämä johtaa ohjauselektronikan tuhoutumiseen. Tällä kiellolla estetään siis mahdollinen väärinkäyttö. Jos valmistaja on antanut luvan laittaa moottorin turvakytimen, on tästä tehty selkeä ohjeistus miten tulee toimia kytkimen kanssa. Esimerkiksi Fläkt Woods ohjeistaa EC-moottorin käynnistyksen ja pysäytyksen tehtävän aina kun mahdollista ohjausviestillä (Fläkt Woods 2013, 7). Moottorin turvakytin tulee siis valita EC-moottorin nimellisvirran mukaan. EC-moottorin turvakytimelle ei ole EMC-vaatimuksia.

#### 4.1.4 Jännitteenalenema

Jännitteenaleneman laskeminen EC-moottorille tehdään vaihtojännitteellä seuraavien kaavojen 3 ja 4 mukaan.  $I$  on moottorin nimellisvirta,  $R$  kaapelin resistanssi metriä kohden,  $X$  reaktanssi metriä kohden ja kerroin kaksi kaavassa 3 huomioi nollajohtimen. Kaavoissa plusmerkkiä käytetään induktiivisella kuormalla ja miinusmerkkiä kapasitiivisella kuormalla.  $l$  on johdon pituus ja  $\varphi$  jännitteen ja virran välinen vaihekulma. Seuraavalla kaavalla 7 (D1 2012, 233) lasketaan yksivaiheinen jännitteenalenema.

$$\Delta U_{1\sim} = I * 2 * l * (R * \cos \varphi \pm X * \sin \varphi) \quad (7)$$

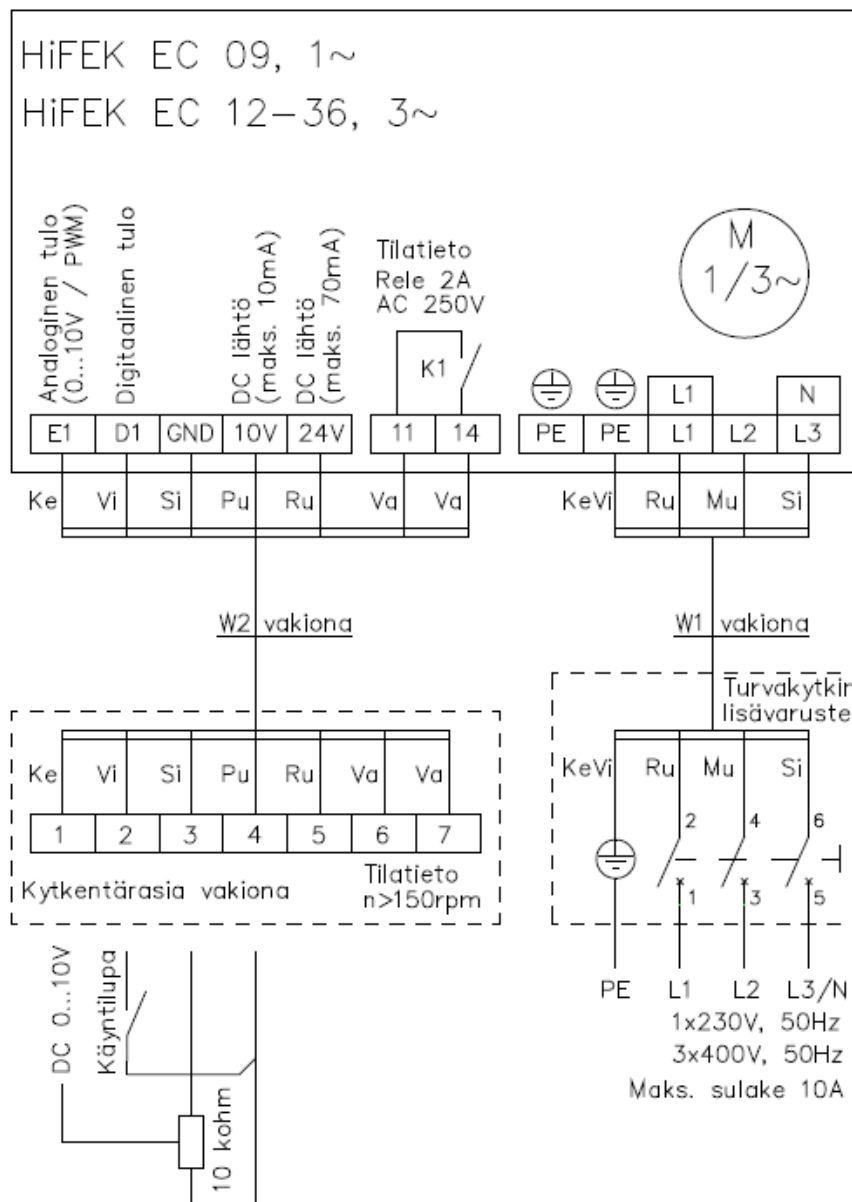
Ja kolmivaiheiselle EC-moottorikytkennälle jännitteenalenema seuraavalla kaavalla 8 (D1 2012, 233).

$$\Delta U_{3\sim} = I * l * \sqrt{3} * (R * \cos \varphi \pm X * \sin \varphi) \quad (8)$$

Jännitteenalenema moottorille on suositeltu olevan noin 1,5 – 3,0 % luokkaa.

## 4.2 Pää- ja ohjauspiirikaaviot EC-moottorille

Yhtenä opinnäytetyön tavoitteena oli tehdä EC-moottoreille piiri- ja johdotuskaaviopohjat sähkösuunnittelua varten. EC-moottorien piirikaaviot eroavat oikosulkumoottorin piirikaaviosta, kun muun muassa kontaktoreita, lämpöreleitä eikä moottorinsuojajytkintä tarvita. Kuvassa 17 on esitetty erään EC-moottorin kytkentäkaavio.



KUVA 17. EC-moottorin piirikaavio jossa pää- ja ohjauspiiri. (Koja 2015, 6)

Kuvan 17 piirikaaviosta voi huomata, että tällä EC-moottorilla on myös 24 voltin lähtö, sekä tilatietorele esimerkiksi merkkivaloa varten. Tässä EC-moottorissa on myös käyntilupatieto D1, jolla moottori voidaan pysäyttää. Tästä kuvasta puuttuu ainoastaan etusulakkeet kaapelin suojaukseen. Kuvan 17 EC-moottorista tehtiin piiri- ja johdotuskaavio AX-suunnittelun SähköCAD2016 ohjelmalla. EC-moottorina käytettiin Kojan valmistamaa HiFEK EC 36 huippuimuria. EC-moottorille mitoitettiin komponentit ja suunniteltiin piirien toiminta. Liitteen 1 sivulla 1 on esitetty EC-moottorilähdön johdotuskaavio Kojan HiFEK EC 36 koneelle ja sivulla 2 on moottorin piirikaavio.

Keskuksessa on johdonsuojakatkaisija -F1, riviliitinrimat -X0 ja -X1, Ohjauspiirin ohjaussulake -F10 ja rele -K12. Moottorin vahinkokäynnistyksen estokytkin -S2 on keskuksen ulkopuolella (puhaltimen vieressä), kytkin kaapeloidaan MMJ 4x1,5N kaapelilla. EC-moottori on esitetty suunnitelmassa tyypitettynä ja kytkennät esitettynä. -X1 riviliittimille tuodaan ohjaukseen liittyvät kaapelit ja johdotukset. Ohjauskaapelilla NOMAK 4x2x0,5+0,5 saadaan automaation valvontakeskukselle vietyä moottorin säätöön liittyvät viestit jotka ovat nopeusohje, käy-ohjaus ja käy-tieto. Kiinteistöautomaatiokeskukselta sähkökeskukselle tuodaan NOMAK 2x2x0,5+0,5 kaapeli jäätymisenestoa varten. Ohjausviestit sähkökeskukselta EC-moottorille viedään NOMAK 4x2x0,5+0,5 kaapelilla. Kaapeli kytketään moottorin päässä laitetoimittajan toimittamassa kytkentärasiaassa.

Koska EC-moottoreiden valmistajat eivät suosittele moottorin pääjännitteen katkomista, on johdotus- ja piirikaavio tehty yllä kuvatulla tavalla. Myös eri EC-moottoreiden toimittajilla kytkennät poikkeavat toisistaan, siksi pyrittiin valitsemaan sellainen kone, jota voidaan hyödyntää mahdollisimman monessa kohteessa.

Tätä kaaviota joudutaan toki muokkaamaan eri käyttötarkoituksiin, mutta kaavio toimii pohjana, johon muutokset on helppoja tehdä.



## 5 POHDINTA

Työ oli mielestäni onnistunut, sillä EC-moottorista sai tarvittavat tiedot sen rakenteesta ja ominaisuuksista. EC-moottorin oikea käsite onkin siis hiiliharjaton tasavirtamoottori, joka on ollut olemassa jo pitkän aikaa. Vasta viime aikoina magneettimateriaalien kehityksessä sitä on voitu alkaa hyödyntää suuremman tehon vaativimmissa käytöissä. Vertailussa se oli hyötysuhteeltaan parempi muihin moottoreihin verrattuna. Asennettaessa EC-moottorikäyttöä varten ei tarvitse erillistä muuttajaa, eikä se vaadi lähtöön muuta kuin sulakkeet suojaamaan kaapelia. EC-moottoreiden valmistajat ovat yleensä integroineet ylikuormasuojat moottorin elektroniikkaan. Kaapelin tai moottorin turvakytkimen ei tarvitse olla EMC suojattuja, koska muuttaja sijaitsee moottorissa itsessään. Ohjaukseltaan moottori on hyvinkin monipuolinen. Sitä voi ohjata pelkällä potentiometrin avulla, tai sen voi liittää joissakin tapauksissa jopa väylällä automaatiojärjestelmään.

Työstä hankalan teki sen, että EC-moottorista ei aloittaessa ollut mitään tietoa. Suomenkielistä materiaalia EC-moottoreista ei löytynyt alkuun ollenkaan. Hetken tutkittuani asiaa vasta selvisi, että se on sama kuin hiiliharjaton tasavirtamoottori. Tälläkään haulla ei löytynyt suomenkielistä materiaalia paljoakaan, vaan suurin osa teoriasta täytyi kääntää englanninkielisistä teoksista. Myöskään EC-moottoreiden valmistajat eivät anna tarkkaa tietoa moottorin toiminnasta, vaan ainoastaan pakollisen nimellistoimintapisteen tiedot. Vertailu muihin moottoreihin koko nopeusalueella oli vaikeaa. Moottoreille on yleensä annettu toiminnan tiedot vain nimellispisteessä, joten vertailua piti tehdä osin teoreettisilla toiminnan tyyppikaavioilla. Tämä tapa ei tietenkään anna tarkkaa tulosta moottorien vertailussa.

Jatkokehitykset tälle työlle ovat laajat. Mahdolliset laboratoriomittaukset EC-moottorille toisivat paljon tietoa moottorin toiminnasta, jota ei tällä hetkellä ole juuri yhtään. Varsinkin nykyaikaisille yli yhden kilowatin tehoisille moottoreille olisi hyvä tehdä käytännön mittauksia, koska suurin osa näiden tiedoista on vain valmistajien lupaamia nimellistoimintapisteitä. Mittauksilla voitaisiin selvittää hyötysuhde koko toiminta-alueella. Myös PM-moottorille voitaisiin suorittaa samanlaiset mittaukset, koska tämänkin moottorityypin tiedot ovat vielä vähäiset. Mittauksilla voitaisiin selvittää, kumpi näistä moottorityypeistä on kannattavampi tiettyyn käyttöön.

## LÄHTEET

ABB. 2013. Low voltage Process performance motors according to EU MEPS.

ABB Automation Group Ltd. 2001. Tekninen opas nro 7.

Annaz, F. 2014. Design and Development of Multi-Lane Smart Electromechanical Actuators. Croydon: CPI Group Ltd.

Danfoss 2011. Energy efficiency in building services technology.

D1-2012. 2012. Käsikirja rakennusten sähköasennuksesta. Helsinki: Painokurki Oy.

Ebm-papst. 2011. Drive technology for AC and DC.

Ebm-papst. 2015. EC medium pressure axial fans.

Ebm-papst. 2016. M3G150-NA02-52 Operating instructions.

Ebm-papst. 2017. Optimoidut puhallinseinät ilmanvaihtolaitteisiin. Luettu 20.3.2017.  
<http://www.ebmpapst.fi/fi/uutiset/Optimoidut-puhallinseinat-ilmanvaihtolaitteisiin>

Fläkt Woods Group. 2013. EC-moottori, asennus- ja huolto-ohje.

Fläkt Woods Group. 2015. FWG-STEC, asennus- ja huolto-ohje.

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Vantaa: Hansaprint Oy.

Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Vantaa: Hansaprint Oy.

Khabbal J. 2014. Kestomagneettitahtikonekäyttäjien erot. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.

Koivumäki V. 2012. Keski-jänniteverkon suojaustarkastelu. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö.

Koja Oy. 2015. HiFEK EC ja HiLTO EC käyttö- ja huolto-ohje sähköinen osuus.

Lafert Motors. 2017. HP series high performance motors.

Moorthi, V.R. 2010. Power Electronics – Devices, Circuits and Industrial Applications. Oxford University Press. 1. painos.

Piikkilä V. 2012. ST-Käsikirja 17, Rakennusautomaatiojärjestelmät, tietotekniset järjestelmät. Espoo: Sähköinfo Oy.

Rosenberg Ventilatoren GmbH. 2017. The Rosenberg EC-Motor.

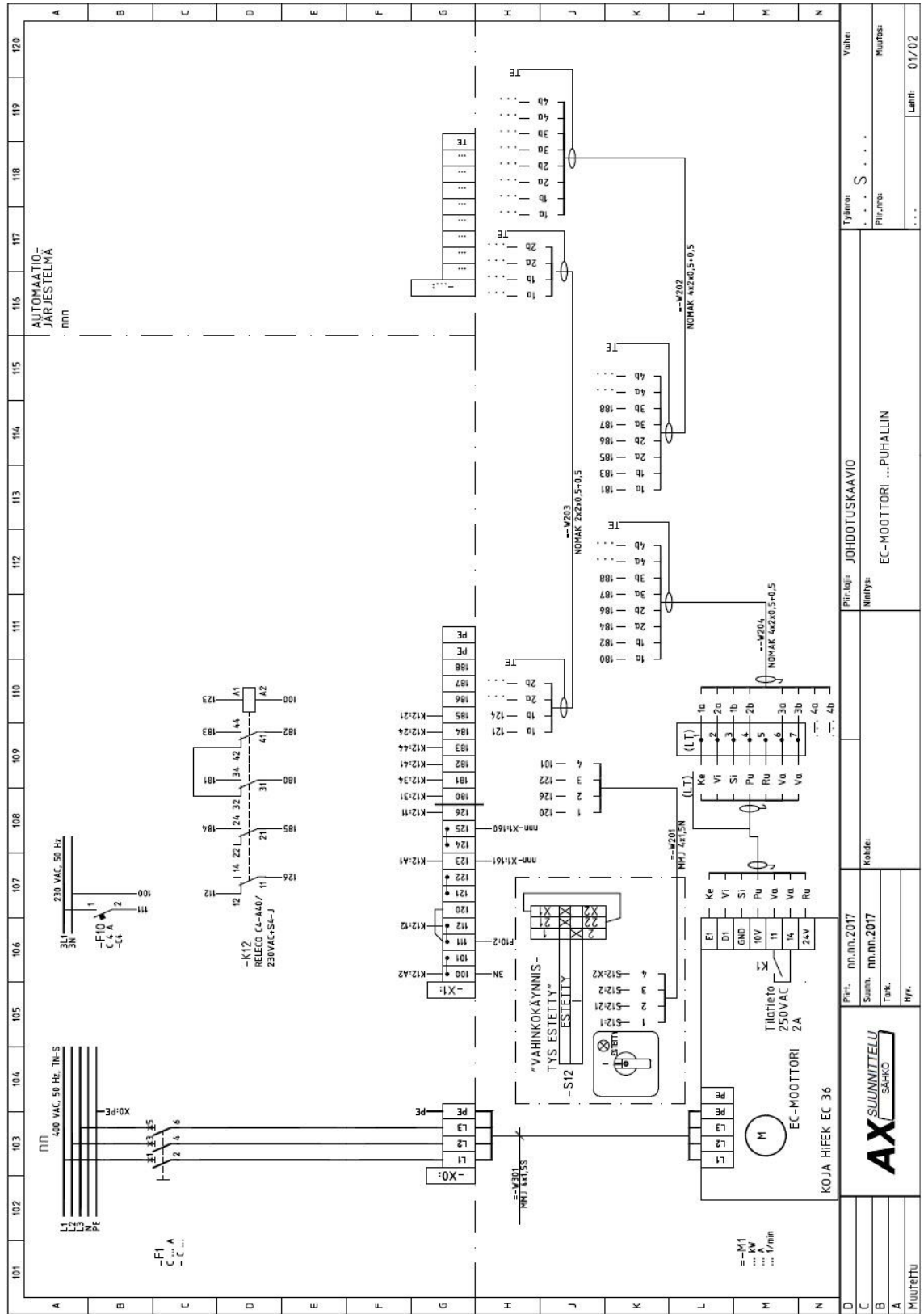
SFS-6000-5-52. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. 4. painos.

Ziehl-Abegg. 2016. ECblue High-efficiency motors.

# LIITTEET

Liite 1. HiFEK EC-36 huippuimurin johdotuskaavio

1(2)



D	Tyylireferenssi	... S ...	Vaihto
C	Piirinumero	...	Muutos
B			
A	Muutettu		Lahti: 01/02

Proj. laji	JOHDOITUSKAAVIO
Nimi	EC-MOOTTORI ...PUHALLIN
Kohde	
Proj. nro.	nn.nm.2017
Suunn.	nn.nm.2017
Tuok.	
Hyy.	



KOJIA HIFEK EC 36

Liite 1. HiFEK EC-36 huippumurin piirikaavio

2(2)

