



# TASASÄHKÖMOOTTORIN KÄYTTÖ JARRUTUKSESSA

Mihail Suontaus

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2015  
Sähkötekniikan  
koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sähkötekniikan koulutusohjelma  
Automaatiotekniikka

SUONTAUAS, MIHAIL:  
Tasasähkömoottorin käyttö jarrutuksessa

Opinnäytetyö 64 sivua, joista liitteitä 26 sivua  
Toukokuu 2015

---

Opinnäytetyö on tehty toimeksiantona Tampereen Särkänniemi Oy:lle. Tavoitteena opinnäytetyössä oli suunnitella kytkentä ja mitoittaa komponentit huvipuistolaitteen Kantti x Kantti autojen tasasähkömoottoreiden jarrutukseen alamäessä. Ongelmana huvilaitteessa oli autojen liian suuri nopeus alamäessä. Vauhdin hallitsematon nousu voi johtaa autojen törmäilyyn ja se aiheuttaa turhaa rasitusta auton rakenteisiin.

Työn pohjana oli lähtökohtien selvittäminen, joiden pohjalta suunniteltiin moottoreille uusi kytkentä. Kentällä tehtyjen mittauksien perusteella autojen moottorit ryntäävät alamäen aikana. Ryntäyksen seurauksena moottorit käyttäytyvät generaattorin tavoin. Suunniteltua kytkentää testattiin simulaattorin avulla ja jarrutuksen voimakkuutta Tampereen ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Ratkaisuna on kytkentä, joka ohjaa moottorin generoiman vastakkaissuuntaisen virran jarruvastuksen läpi absorboiden ylimääräistä energiaa ympäristöön.

Työn haasteena oli arvioida huvilaitteen jarrutuksen tarve alamäessä. Haasteen asettivat useat muuttuvat tekijät, joiden arviointi on hyvin hankalaa. Ratkaisuksi valittiin voimakkain mahdollinen jarrutusratkaisu. Toimeksiantajan kanssa sovittiin ratkaisun testaamisesta sekä mahdollisesta jatkokehityksestä.

---

Asiasanat: tasasähkömoottori, ryntääminen, generaattori, jarrutusvastus

## **ABSTRACT**

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

SUONTAUS, MIHAIL:  
Electric Braking Of DC Motor

Bachelor's thesis 64 pages, appendices 26 pages  
May 2015

---

The thesis was made as a commission for Tampereen Särkänniemi Ltd. The aim of the thesis was to plan a circuit and size components for DC motor electrical break in downhill for a ride named Kantti x Kantti. The problem of the ride was that the cars had too much speed in downhill. Uncontrollable rise of speed results in cars crashing and that causes unnecessary damage to the structure of the cars.

The basis of the thesis was to find out the starting point, which helped to plan a new circuit for the motors. Based on the measurements done in the field it was found out that motors over-speed during downhill. As a result from the over-speed the motors act like generators. The planned circuit was tested with simulator and the power of breaking was tested in the laboratory of Tampere University of Applied Sciences. The result is a circuit that directs the reverse current generated from the motor through a brake resistor occluding spare energy to environment.

The challenge was to evaluate the need of breaking in downhill. It was challenging because of many variables, which were difficult to measure. The result was the circuit that has the most powerful brake solution. It has been agreed with the client that the result will be tested and if there is a need for further development, it will be carried out.

---

Key words: DC motor, over-speed, generator, brake resistor

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	KANTTI X KANTTI .....	6
	2.1 Ongelma.....	8
	2.2 Jarrutus.....	11
3	TASASÄHKÖKONEET .....	12
	3.1 PMDC-moottori .....	13
	3.2 Moottorin sähköinen malli.....	13
	3.3 Moottorin mekaaninen malli.....	18
	3.4 Matlab-malli.....	19
4	RATKAISU .....	22
	4.1 Jarruvastus .....	25
	4.2 MOSFET.....	26
	4.3 MOSFETin jäähtytys .....	28
	4.4 Komponenttien valinnat ja budjetti.....	29
5	POHDINTA.....	36
	LÄHTEET .....	37
	LIITTEET .....	38
	Liite 1. Bonfiglioli DC-moottorin datasheet .....	38
	Liite 2. MOSFET datasheet.....	55

## 1 JOHDANTO

Työn tavoitteena oli suunnitella kytkentä ja mitoittaa komponentit huvipuistolaitteen Kantti x Kantti autojen tasasähkömoottoreiden jarrutukseen alamäessä. Ongelmana on autojen liian suuri nopeus alamäessä. Työ koostui tutkimus-, suunnittelu- ja testausvaiheista. Työhön kuului myös ratkaisuun tarvittavien osien budjetointi.

Opinnäytetyön tilaajana on Tampereen Särkänniemi Oy. Särkänniemi sijaitsee Tampereella osoitteessa Laiturikatu 1. Se on vuonna 1966 perustettu osakeyhtiö, joka toimii matkailualalla. Ensimmäisiä kohteita olivat planetaario ja akvaario, mutta ajan mittaan kohde- ja laitevalikoima on kasvanut. Tällä hetkellä Särkänniemessä on 35 huvilaitetta, Akvaario, Delfinaario, Planetaario, Näsinneulan näkötorni ja Sara Hildénin taidemuseo. Huvilaitteet ovat avoinna kesäsesongin aikana ja muut kohteet ovat avoinna ympäri vuoden. (Särkänniemi, 2015)

Vuonna 2013 Särkänniemi työllisti 98 vakituista työntekijä ja lisäksi 520 kausityöntekijää kesäaikana. Kävijämäärä oli noin 586 000 henkilöä. Samana vuonna yrityksen liikevaihto oli 17,8 miljoona euroa. (Särkänniemi 2015.)



KUVIO 1. Särkänniemen elämyspuiston alue (Särkänniemi 2015.)

## 2 KANTTI X KANTTI

Kantti x Kantti on yksi vanhimpia Särkänniemen laitteita. Ensimmäistä kertaa se avattiin yleisölle vuonna 1981 ja se on käytössä edelleen (Särkänniemi 2015.). Kantti x Kantti on betonielementeistä rakennettu autorata jonka ympäri pääsee tyylikkään vanhan ajan auton kyydissä. Autojen määrä radalla on vuosien vaihteessa vaihdellut, mutta viime vuosina radalla on ollut neljä autoa.



KUVA 1. Kantti x Kantti (Jpuusaari 2015.)

Autoissa on tasasähkömoottorit, jotka saavat virtansa keskellä rataa olevasta virtakiskosta. Niin kuin kuvassa 1 näkyy, auton alla menee kelkka, jonka avulla auton eturenkaat ohjataan kulkemaan radan kulkusuunnan mukaisesti. Auton alla on myös toinen kelkka, johon on asennettu hiilet. Hiilien kautta auton moottori saa virtaa radan kiskosta.

Suurimmassa osassa radan kiskoa on 48 V jännite, joka ohjaa autojen moottorit haluttuun nopeuteen. Alamäen kohdalla jännite on 22 V ja sen avulla auton nopeus määssä pyritään pitämään tarpeeksi pienenä.

Moottorit, joiden avulla autot pääsevät liikkeelle, ovat kestmagnetoituja tasasähkömoottoreita. Niiden rakennetta ja ominaisuuksia käsitellää tarkemmin luvussa kolme. Moottoreita on kahta eri mallia ja kummallekin mallille on laitettu oma vaihteisto. Vanhempi malli on niin vanha, ettei siitä löytyny muita dokumentteja kuin arvokilpi moottorin kyljessä. Kuvassa 2 on arvokilpi, josta näkyy moottorin kriittiset parametrit. Moottoriin on kiinitetty vaihteisto jonka muuntosuhde  $i$  on 13,222.



KUVA 2. Vanhemman moottorimallin arvokilpi

Uudempi moottori on hyvin samankaltainen ominaisuuksiltaan. Se on italialaisen Bonfigiolin valmistama ja tyyppi numeroltaan se on B310. Sen arvokilpi näkyy kuvassa 3. Sen lisäksi moottorin datasheet löytyy Liitteestä 1. Datasheetista löytyy muun muassa moottorin tarkat spesifikaatiot ja ulkoiset mitat. Moottoriin on kiinitetty vaihteisto jonka muuntosuhde  $i$  on 15,8.



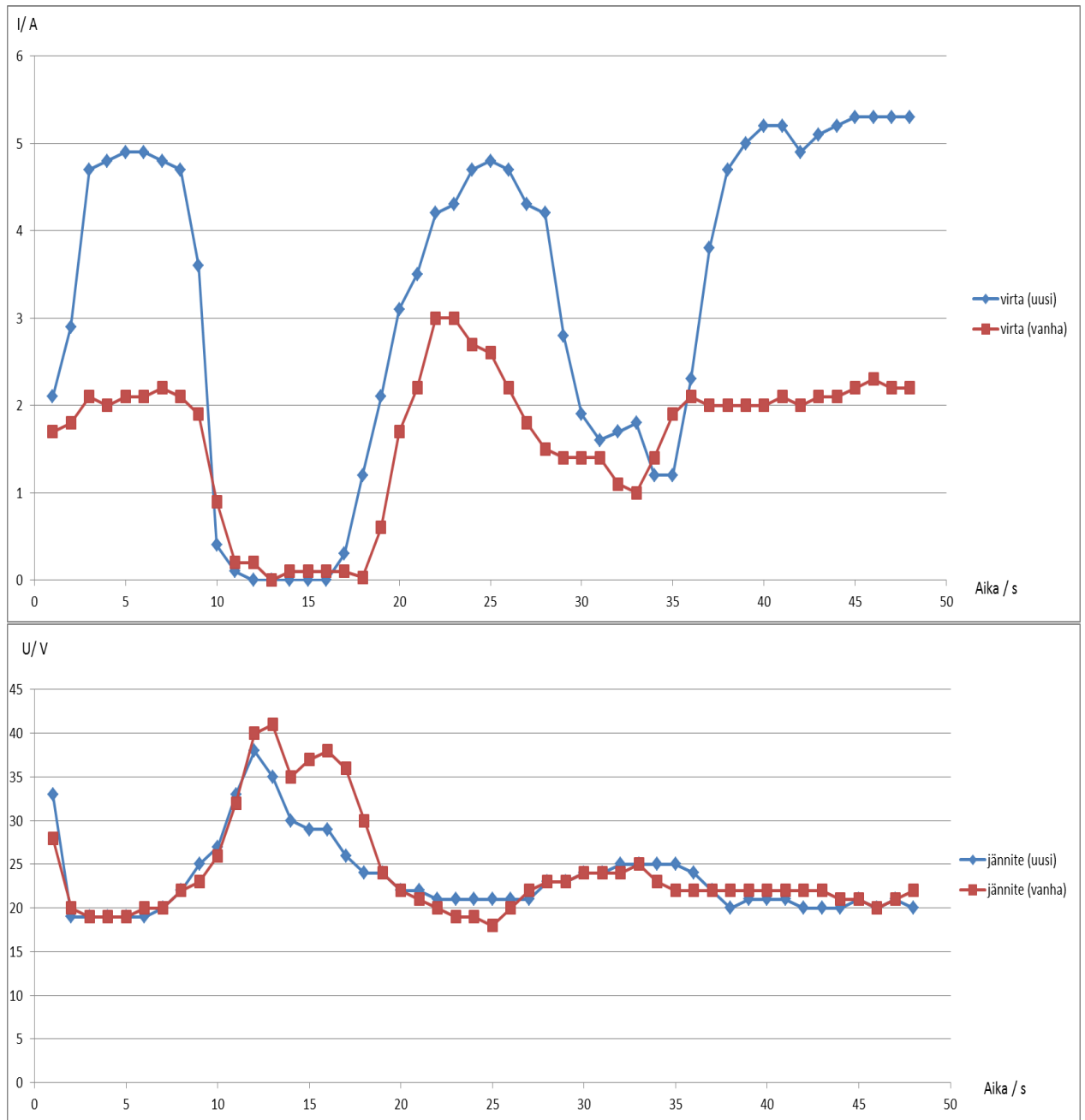
KUVA 3. Uudemman moottorimallin arvokilpi

## 2.1 Ongelma

Tämä opinnäytetyö käsittelee Kantti x Kantti –laitteen teknistä ongelmaa. Ongelma havaittiin, kun muutama vuosi sitten rataa muutettiin ja sen myötä rataan tuli alamäki. Vaikka alamäen kohdalla sähkömoottorit ohjataan reilusti pienemmällä jännitteellä kuin normaalisti, nopeudet karkaavat usein liian koviksi. Tätä työtä varten ilmiötä on tutkittu paikan päällä. Tutkimuksessa mitattiin moottorin jännitteitä sekä moottorin läpi kulkevaa virtaa autojen kulkiessa alamäen kohdalla.

Jännitteen mittaus suoritettiin Fluken yleismittarin avulla ja virran mittaus suoritettiin Fluken pihtimittarin avulla. Jotta ongelman luonne kävisi paremmin ilmi, mittareiden lukemia seurattiin kameran avulla. Tästä saadun videon perusteella pystyttiin tekemään kuvaaja. Kuvaaja luotiin jakamalla video freimeihin ja lukemalla mittareiden lukemat sekunnin välein. Tämä tapa ei ole millään tasolla tarkka jo sen takia että mittareiden päivitysnopeuksista ei ole tietoa. Mittauksen tarkoituksena olikin selvittää ongelman luonne eikä tarkkoja lukuja.

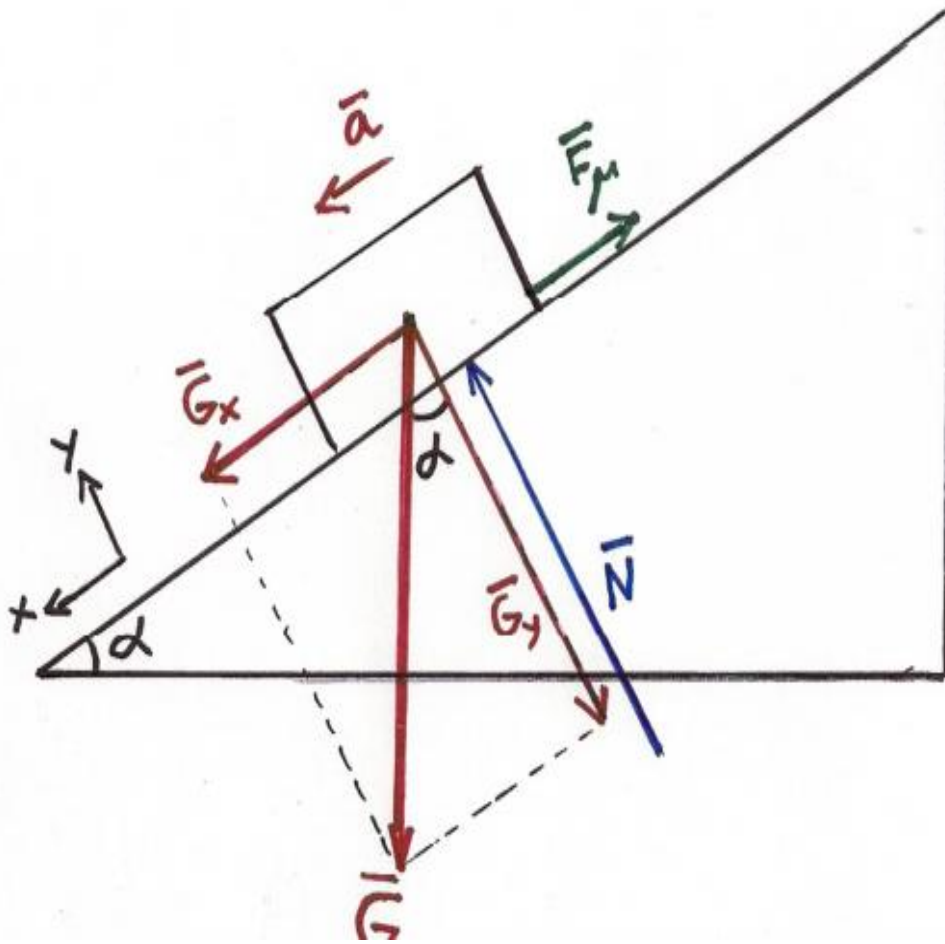
Kuviossa 1 nähdään virran ja jännitteen käyttäytyminen alamäen aikana. Mittaukset on tehty sekä vanhalla moottorimallilla että uudella. Molempien moottoreiden käyrät näyttävät samanmuotoisilta. Ainoa huomattava ero moottoreiden välillä on se, että uudempi moottorimalli käyttää huomattavasti suurempia virtoja kuin vanha moottorimalli.



KUVIO 1. Vanhan ja uuden moottorin virran ja jännitteen kuvaajat

Laitteen ongelma ilmenee kuvaajissa 10 sekunnin kohdalla ja jatkuu noin 10 sekuntia. Moottoreiden virrat putoavat 0 ampeeriin ja jännitteet nousevat 5-15 voltilla. Samalla laitteen nopeudessa oli havaittavissa huomattava nousu. Tätä ilmiötä kutsutaan moottorin ryntäämiseksi.

Ryntääminen johtuu siitä, että painovoiman aiheuttama voima voittaa kitkan aiheuttaman voiman ja moottorille tuleva kuorma on nolla tai negatiivinen. Kuviossa 2 näkyy periaatekuva kappaleeseen vaikuttavista voimista kaltevalla tasolla. Kuviossa ei oteta huomioon auton moottorin tuottamaa voimaa.



KUVIO 2. Autoon vaikuttavat voimat alamäessä

Moottorin kuorma häviää kun kaavan 1 epäyhtälö toteutuu.

$$\bar{F}\mu \leq \bar{G}_x \quad (1)$$

Kaavan 1 voi esittää myös kaavan 2 mukaisessa muodossa. Molempiin voimiin vaikuttavat kappaleen massa ja kaltevuuskulma  $\alpha$ . Sen lisäksi kitkavoimaan vaikuttaa kitkakerroin  $\mu$ . Tapauksen kannalta on valitettavaa, että kaltevuuskulma vaihtelee alamäen aikana ja kitkakertoimen arviointi on hyvin hankalaa.

$$mg \cdot \cos\alpha \cdot \mu \leq mg \cdot \sin\alpha \quad (2)$$

Kuvion 1 perusteella painovoima voittaa kitkan aiheuttaman voiman ainakin osassa alamäkeä. Ryntämisen aikana moottori ei tuota mitään voimaa, joten tilanne palaa normaaliksi vasta kun kitkan aiheuttama voima on taas suurempi kuin painovoiman aiheuttama voima.

## 2.2 Jarrutus

Moottoreiden ryntäämisen estämiseksi on päätetty suunnitella sähköinen jarrutusratkaisu. Sähköisen jarrutuksen etuina ovat taloudellisuus ja ohjauksen yksinkertaisuus. Tehokkuudella tarkoitetaan sitä, että jarrutuksessa ei ole kuluvia osia kuten mekaanisessa jarrutuksessa ja ratkaisussa käytetyt osat ovat hyvin halpoja. Myös ohjauksen toteutus on helppo, johtuen siitä että sähköisessä mallissa tilanteet jossa jarrutusta tarvitaan ilmenevät hyvin selkeästi. Jarrututarve ilmenee kun virran suunta kääntyy tai syöttöjännitteen ja moottorin päässä olevan jännitteen ero kasvaa.

Johtuen siitä, että ratkaisuksi ei vaadita jarrutusta joka pysäyttäisi auton kokonaan, sähköinen jarrutus on mahdollista toteuttaa ilman lisäjarrutusta. Yleisesti sähköistä jarrutusta käytetään esijarrutuksessa ja lopullisen pysähtymisen hoitavat muut jarrutussysteemit. Hyvä esimerkki tällaisesta jarrutusratkaisusta on junien jarrutussysteemi. Junien jarrutuksessa ensimmäisen vaiheen jarrutuksesta hoitaa sähköinen jarru. Junan moottorin tuottama teho ohjataan jarruvastuksien läpi ja näin junan moottori toimii jarruttavana generaattorina. Kun vauhti on tarpeeksi pieni loppujarrutuksen hoitavat hydrauliset jarrut.

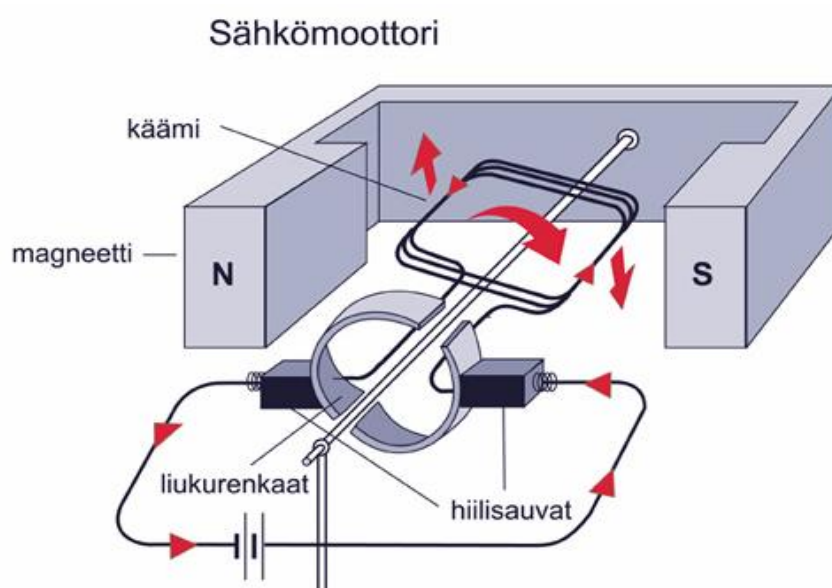
Jarrutuksessa käytetyt komponentit mitoitetaan jarrutustehon mukaan. Mekaaninen jarrutusteho riippuu jarrutusmomentista ja moottorin pyörimisnopeudesta. Tästä saadaan kaava 18, joka myös käytetään hyväksi komponenttien mitoituksessa. Valitettavasti tässä tapauksessa jarrutustehon arvioiminen on hankalaa ja perustuu niin sanotuihin hyviin arvioiteihin.

### 3 TASASÄHKÖKONEET

Tasasähkögeneraattorin ja tasasähkömoottorin rakenteet eivät käytännössä eroa toisistaan. Tämä tarkoittaa, että sama kone voi käyttäytyä sekä moottorina että generaattorina. Aivan kuin vaihtosähkökoneissakin, tasasähkökoneissa rautaosat muodostavat magneettipiirin. Koneen kehä ja napojen rautaosat voidaan tehdä täysraudasta, koska koneessa on tasakentät. Roottorin osat kuitenkin tehdään sähköleivyvistä, koska roottorin pyöriminen aiheuttaa vuon vaihtelun ja rautahäviöitä. (Korpinen 2015.)

Staattorissa olevan magnetointikämmityksen avulla luodaan pääkenttä. Käämitys on toteutettu kuparilangalla ja se on eristetty staattorista. Roottorikämmitys taas on tehty joko eristetystä kuparilangasta tai muotojohtimisesta. Roottorin käämitys luo vaihtosähköllä toimivan sähkömagneettisen vuon.

Roottori saa vaihtosähkösä muuntamalla tasasähköä vaihtosähköksi mekaanisesti. Tätä kutsutaan kommutoiniksi ja mekaanista osaa, joka hoitaa tämän tehtävän, kommutaattoriksi. Kuva 4 esittää kommutaattorin toimintaperiaatteen. Edessä näkyvät hiilisauvat, jotka koskettavat kommutaattoriliuskoja. Roottorin pyöriessä puolet kierroksesta hiili koskettaa toista liuskaa ja puolet kierroksesta toista. samalla kun liuska hiilen alla vaihtuu, roottorin vuon suunta vaihtuu.

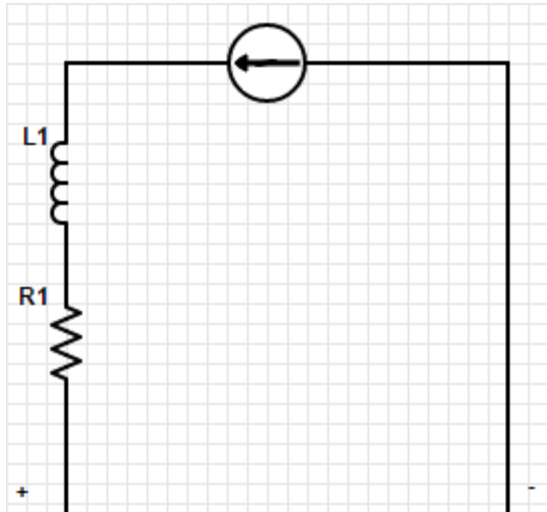


KUVA 4. Kommutaattorin toimintaperiaate (ASTEL 2015.)



välillä on se että päävuoto  $\phi$  on vakio kestopagnetoidussa koneessa toisin kuin vierasmagnetoidussa koneessa. Tämä tekee tilanteen helpoksi laskemisen kannalta.

Moottorin sähköinen malli voidaan pelkistää kuvion 3 mukaisesti. Moottoria voidaan kuvailla sarjaan kytketyn vastuksen, kelan ja virtalähteen avulla. Resistanssi edustaa ankkurikäimityksen ja kommutaattorin resistanssia. Kela edustaa ankkurikäimityksen induktanssia ja virtalähde edustaa moottorin kehittämää sähkömotorista voimaa.



KUVIO 3. Tasasähkömoottorin sähköinen malli

Moottorin teoreettisen mallin selvittämiseksi voi aloittaa vaikka sisäisestä resistanssista. Tämä voi onnistua yleismittarillakin mutta tulokset voivat olla epätarkkoja. Tarkat mittaukset voi suorittaa milliohmimittarilla ja käyttää mittaukseen muutaman minuutin, virheen pienentämistä varten.

Näin tarkkojen mittareiden puutteen vuoksi, käytettiin yksinkertaista menetelmää. Moottorin roottorikäimityksen läpi syötettiin pieni jännite niin, että moottorin roottori ei lähde liikkeelle. Samalla mitattiin moottorin läpi kulkeva virta. Näin perus kaavasta  $U=RI$  pystytään laskemaan resistanssi. Taulukosta 1 näkyvät mittaustulokset vanhalla ja uudella moottorimallilla.

TAULUKKO 1. Moottoreiden sisäisen resistanssin mittaus

	Vanha moottori			Uusi moottori	
<b>U [V]</b>	0.9	1.5	1.9	2.3	1.7
<b>I [A]</b>	1	1.94	2.16	6.1	4.7
<b>R [Ω]</b>	0.9	0.77	0.88	0.38	0.36

Koska mittaukset pystytyään suorittamaan vain siinä tapauksessa kun moottori ei pyöri, jännitteet jouduttiin pitämään hyvin pieninä. Tästä johtuen myös mittaustuloksia on hyvin vähän. Moottoreiden sisäiseksi resistanssiksi on otettu mittaustulosten keskiarvo. Toisin sanoen vanhan moottorin sisäiseksi resistanssiksi on todettu 0,85 ohmia ja uuden moottorin sisäiseksi resistanssiksi 0,37 ohmia.

Kestomagnetoidulle tasasähkögeneraattorille pätee Kirchhoffin jännitelain mukainen yhtälö 3. Tässä yhtälössä moottorin lähdejännite  $E$  on liitinjännitteen  $U$  sekä ankkurivirran  $I_a$  ja kokonaisresistanssin  $R_{kok}$  tulo summa. Kokonaisresistanssi sisältää kuorman resistanssin ja moottorin sisäisen resistanssin.

$$E = I_a R_{kok} + U \quad (3)$$

Yhtälön 3 avulla voidaan ratkaista kuormitetun generaattorin liitinjännitteen. Liitinjännitteen yhtälö näkyy alla ja sitä tullaan tarvitsemaan moottorin teoreettisessa mallintamisessa.

$$U = E - I_a R_{kok} \quad (4)$$

Tasasähkömoottorille pätee yksinkertainen yhtälö. Sähkömotorinen jännite  $E$  riippuu vakiosta  $k$ , moottorin pyörimisnopeudesta  $n$  ja magneettivuosta  $\phi$ . Vakio  $k$  esittää koneen rakenteesta riippuvaa kerrointa.

$$E = kn\phi \quad (5)$$

Koska kestomagnetoidussa koneessa  $\phi$  on vakio, voidaan kerroin  $k$  ja vakio  $\phi$  ratkaista. Tarvitaan vain sähkömotorinen jännite ja kierrosluku  $n$ .

$$k\phi = \frac{E}{n} \quad (6)$$

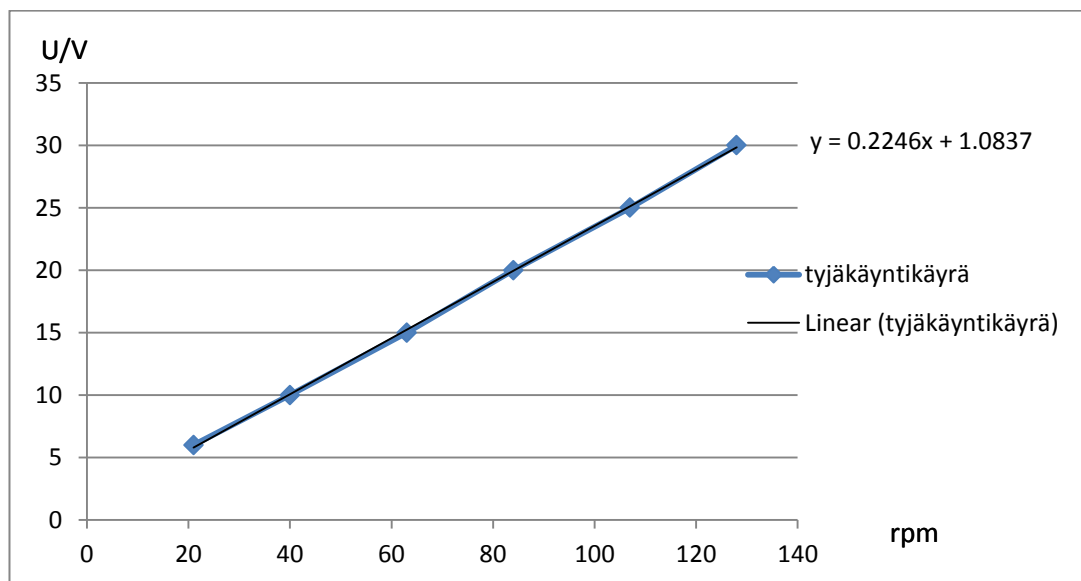
Nämä kaksi arvoa mitattiin Tampereen ammattikorkeakoulun sähkölaboratoriossa testipenkin avulla. Moottoreita pyöritettiin ilman vastusta ja näin saatiin mitattua

tyhjäkäyntijännitteet sekä kierrosluvut. Vanhemmalla moottorilla suoritetun mittauksen tulokset näkyvät taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Vanhempi moottori

Tyhjäkäyntijännite / V	Kierrosluku / rpm
6	21
10	40
15	63
20	84
25	107
30	128

Taulukon perusteella voidaan piirtää kuvaaja, josta selviää vakioiden  $k\phi$  arvo. Kuviossa 4 on esitetty tämä kuvaaja ja siihen on sovitettu suora, jonka yhtälö näkyy kuvion oikeassa yläkulmassa.



KUVIO 4. Vanhan moottorin kierrosluvun suhde tyhjäkäyntijännitteeseen

Suoran yhtälöstä nähdään suoraan  $k\phi$  arvo:

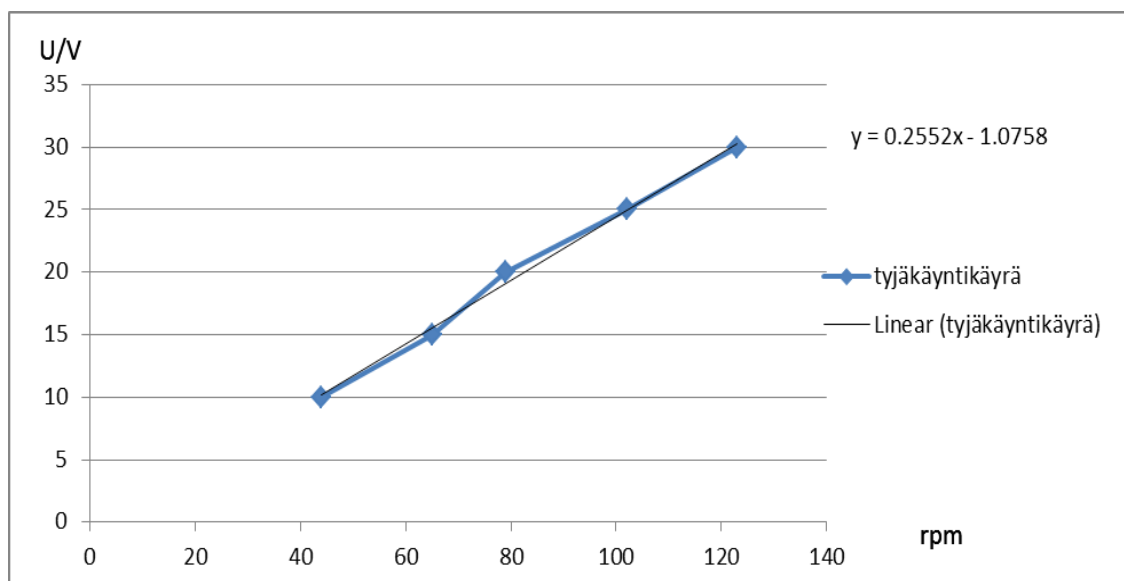
$$k\phi = 0.22 \quad (7)$$

Uudemman moottorin kanssa tehdyn mittauksen tulokset näkyvät taulukossa 3.

TAULUKKO 3. Vanhempi moottori

Tyhjäkäyntijännite /V	Kierrosluku / rpm
10	44
15	65
20	79
25	102
30	123

Taulukon avulla saadaan saman tyyppinen kuvaaja kuin kuin vanhemmalla moottorilla. Kuvaaja näkyy kuviossa 5.



KUVIO 5. Uuden moottorin kierrosluvun suhde tyjäkäyntijänniteeseen

Uuden moottorin  $k\phi$  arvoksi saadaan:

$$k\phi = 0.26 \quad (8)$$

Tasasähkökoneen kehittämä mekaaninen teho on ohmin lain mukaan:

$$P = EI \quad (9)$$

Mekaniikan lakien mukaan vääntömomentti pyörivälle liikkeelle on:

$$T = \frac{P}{2\pi n} \quad (10)$$

Yhdistämällä tehon ja momentin yhtälöt saadaan kaava:

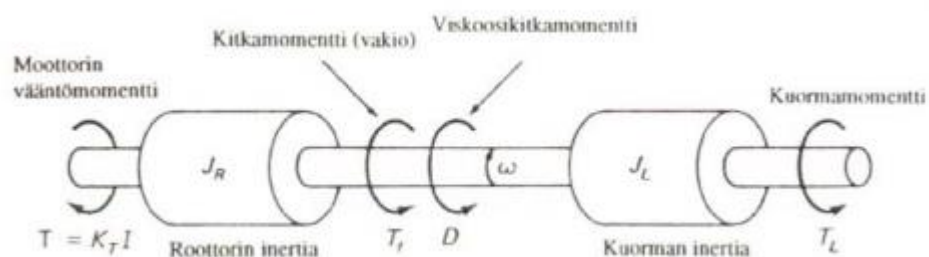
$$T = \frac{I}{2\pi} \cdot k\phi \quad (11)$$

Koska  $k$  ja  $\phi$  ovat vakioita, voidaan todeta että vääntömomentti on suoraan verrannollinen ankkurivirtaan  $I$ .

### 3.3 Moottorin mekaaninen malli

Moottorin mekaaninen malli on esitetty kuvassa 6. Niin kuin kuvassa näkyy, moottorin vääntömomenttiin vaikuttavat laitteen fyysiset ominaisuudet. Kun pyörimisnopeudessa tapahtuu muutoksia, momenttiin alkavat vaikuttamaan roottorin ja kuorman inertiat. Yleensä sähkömoottoreiden roottorin inertia on pientä verrattuna kuorman aiheuttamaan inertiaan.

Muita moottorin momenttiin vaikuttavia tekijöitä ovat kitkamomentti ja viskoosikitkamomentti. Nämä kaksi arvoa ovat moottorin rakenteista riippuvia tekijöitä. Kitka on tuttu ja helposti ymmärrettävä tekijä. Viskoosikitkalla tarkoitetaan vaimennusta, joka aiheutuu siitä kun systeemin komponentit ovat kosketuksissa nesteen kanssa. Sähkömoottorin tapauksessa tämä neste on vaihteiston öljy. Kun jäykkä kappale liikkuu nesteessä kitkan aiheuttama voima on suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen. Tästä syystä kaavassa 12 vaimennuksen  $D$  kertoimena on kulmanopeus  $\omega$ .



KUVA 6. Tasasähkömoottorin mekaaninen malli (Sähkökäytöt 2007.)

$$T = (J_R + J_L) \frac{d\omega}{dt} + D\omega + T_f + T_L \quad (12)$$

jossa

$J_R$  = roottorin hitausmomentti [kgm<sup>2</sup>]

$J_L$  = kuorman hitausmomentti [kgm<sup>2</sup>]

$\omega$  = roottorin kulmanopeus [1/s]

$D$  = vaimennus [kgm<sup>2</sup>/s]

$T_f$  = moottorin kitkamomentti [Nm]

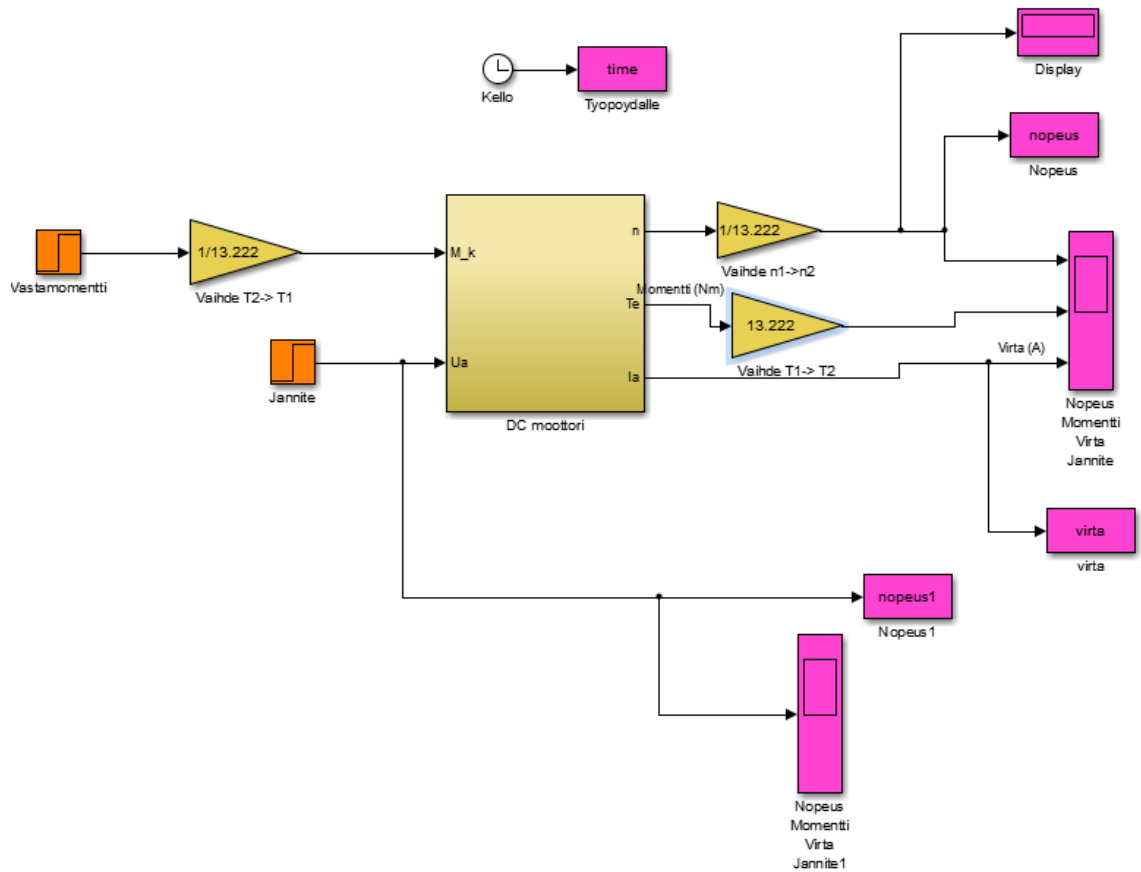
$T_L$  = kuormamomentti [Nm]

### 3.4 Matlab-malli

Edellä käydyn teorian perusteella moottorista on tehty teoreettinen malli. Moottorin toiminnan mallintamiseen käytettiin Matlab ohjelmaa. Mallin tarkoituksena oli simuloida sellaiset tilanteet joita ei pystytty toteuttamaan laboratoriossa.

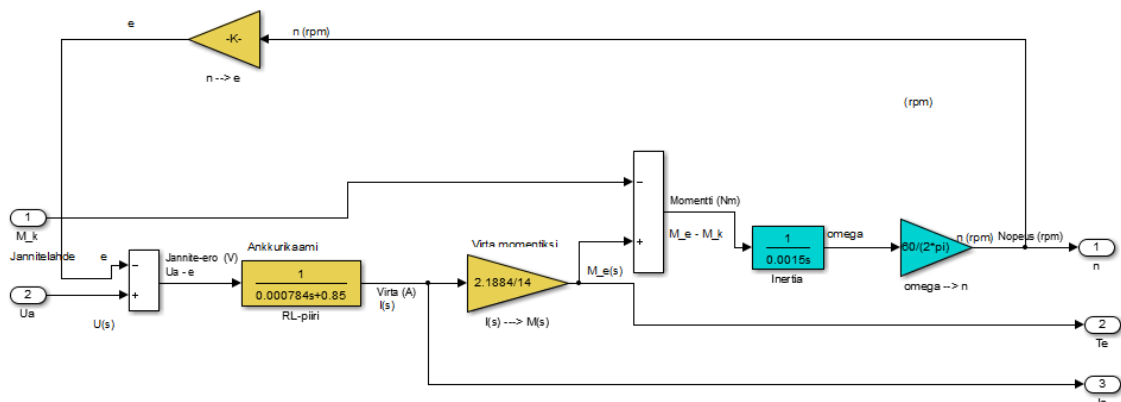
Kuviossa 6 näkyy simulink-työkalulla tehty lohkokaavio. Tässä kuviossa moottori on esitetty yhtenä lohkona. Sen vasemmalta puolelta moottorille syötetään tieto vastamomentista ja moottorille tulevasta jännitteestä. Moottorin vaihteisto huomioida vahvistuslohkoilla, joissa on vaihteiston muuntosuhde tai sen käänteisluku.

Moottorilohkon oikealta puolelta saadaan tietoja moottorin kierrosluvusta, momentista ja sen läpi kulkevasta virrasta. Kuviossa näkyvät myös lukuisat mittauslohkot.



KUVIO 6. Simulink lohkokkaavio

Kuviossa 7 näkyy moottorilohkon sisältö. Tasasähkömoottorin sisältämät lohkot noudattavat moottorin teoreettista mallia. Joitakin arvoja on jouduttu arvioimaan sen perusteella miltä simulointitulokset näyttävät. Esimerkiksi moottorin inertia ja käämityksen induktanssi ovat sellaiset arvot joita ei ollut tiedossa. Tällainen menettely oli välttämätön toimivan teoreettisen mallin saamiseksi.



KUVIO 7. Simulink DC moottorin lohkokkaavio

Taulukossa 4 näkyy laboratoriossa tehty mittaus vanhemmalle moottorimallille ja samat tulokset matlab-mallia käyttäen. Kyseessä on tyhjäkäyntimittaus eli moottorille ei annettu minkäänlaista kuormaa. Taulukossa vertaillaan moottorille tulevan jännitteen ja kierrosluvun suhdetta.

Taulukosta nähdään, että teoreettisen mallin käyttäytyminen pienimmillä kierrosluvuilla ja jännitteillä poikkeaa laboratoriossa tehdyistä mittauksista hyvin merkittävästi. Kuitenkin jo 15 voltin jännitteellä tehdyssä mittauksessa, mallin ja todellisen tilanteen välillä ei ole eroa lainkaan. Suuremmillakin jännitteillä kierrosluvun poikkeama on alle 2 prosenttia. Tämän perusteella mallia voidaan pitää melko luotettavana.

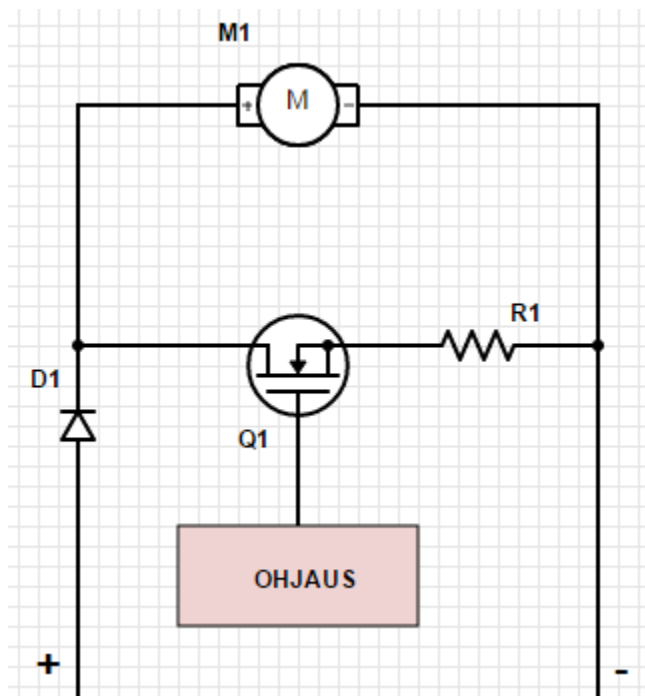
TAULUKKO 4. Vanhemman moottorin laboratoriomittausten ja matlab-mallin vertailu

Laboratorio mittaus		Teoreettinen malli		
Tyhjäkäyntijännite / V	Kierrosluku / rpm	Tyhjäkäyntijännite / V	Kierrosluku / rpm	Ero / %
6	21	6	25	19.0
10	40	10	42	5.0
15	63	15	63	0.0
20	84	20	84	0.0
25	107	25	105	-1.9
30	128	30	126	-1.6

#### 4 RATKAISU

Koska ongelman ydin on siinä, että alamässä moottori alkaa käyttäytymään generaattorin tavoin, tavoitteena on saada moottorin generoima virta kulkemaan jarrutusvastuksen läpi. Ratkaisun periaate on esitetty kuviossa 8.

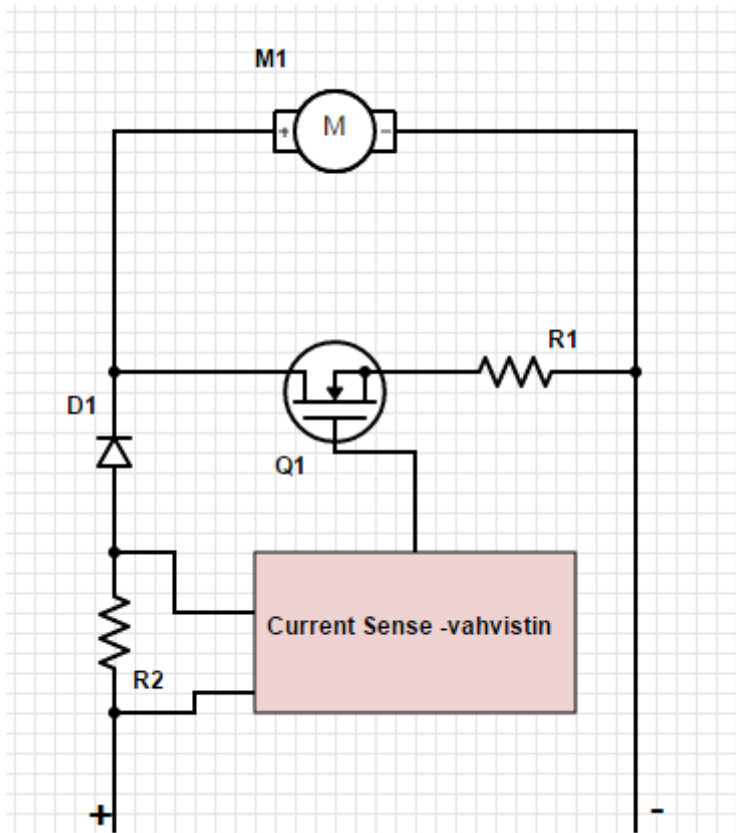
Niin kuin kuviossa 8 näkyy, piirin ideana on ohjata MOSFET:n avulla vastakkaisuuntainen virta jarrutusvastuksen R1 läpi. MOSFET sopii tähän tehtävään paremmin kuin muut transistorit, koska sen yli oleva resistanssiarvo on hyvin pieni ja hilan ohjaus tapahtuu hyvin pienillä virroilla. Pieni resistanssi takaa sen, että virta pääsee kulkemaan jarrutusvastuksen läpi ja jarrutuksen tehokkuus on mahdollisimman hyvä. Hilan ohjaus pienillä virroilla antaa enemmän vaihtoehtoja MOSFET:n ohjauksen suunnitteluun.



KUVIO 8. Ratkaisun periaate

MOSFET:n ohjauksen suunnittelussa on lähdetty liikkeelle siitä, että se olisi mahdollisimman yksinkertainen. Transistori pitää ohjata johtavaan tilaan kun virran suurus piirissä on nolla tai negatiivinen normaaliin tilanteeseen nähden. Näin on päädytty kuviossa 9 nähtävään ensimmäiseen ratkaisuun.

Ohjauksen hoitaa current sense –vahvistin eli suomeksi virran mittausvahvistin. Se mittaa piirissä kulkevan virran R2 yli olevan vastuksen jännitteen avulla. R2 voi olla pienen resistanssin omaava tehovastus.



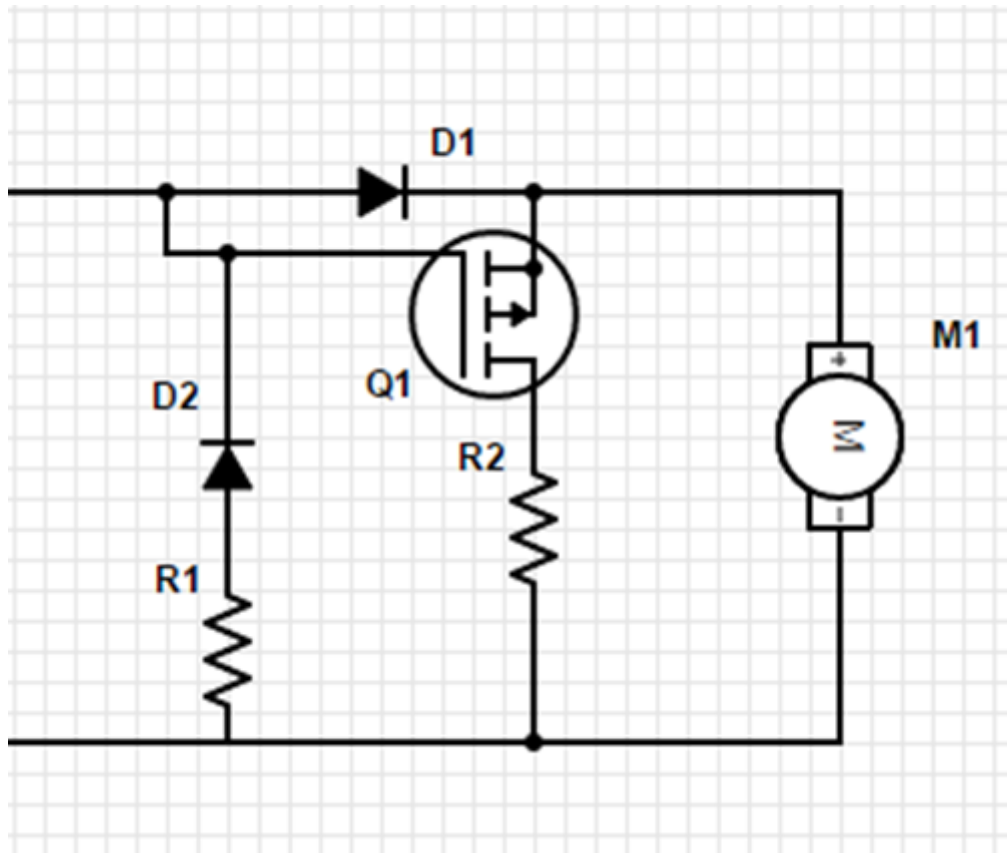
KUVIO 9. Ohjauksen periaate

Kun tähän ratkaisuun alettiin suunnittelemaan käytännön ratkaisua, kävi ilmi että sopivaa MOSFET mallia ei käytännössä valmisteta valmistusteknisistä syistä. Näin jouduttiin palaamaan alkuun ja etsimään vaihtoehtoista ratkaisua. Tuloksena syntyi kuvion 10 mukainen kytkentä.

Kytkenän idea on sama: ohjataan vastakkaisuuntainen virta jarrutusvastuksen läpi MOSFETin avulla. Tällä kertaa ohjaus perustuu jännite-eroon joka syntyy ryntäämisen aikana. Nyt MOSFET vertailee jännitteet ennen diodia D1 ja sen jälkeen. Jos jännite diodin jälkeen (moottorin puolella) on suurempi kuin ennen diodia, MOSFET alkaa johtaa. Käytännössä MOSFET ohjataan negatiivisella jännitteellä.

Kuviossa X näkyvät myös diodi D2 ja vastus R1. Niiden tarkoitus on hakea diodin D1 toiselle puolelle nollapotentiaalin hätä-seis tilanteissa. Ilman tätä, diodin toiselle puolelle jäisi kelluva nollapiste, jolloin kytkennän toimivuus ei olisi täysin varma.

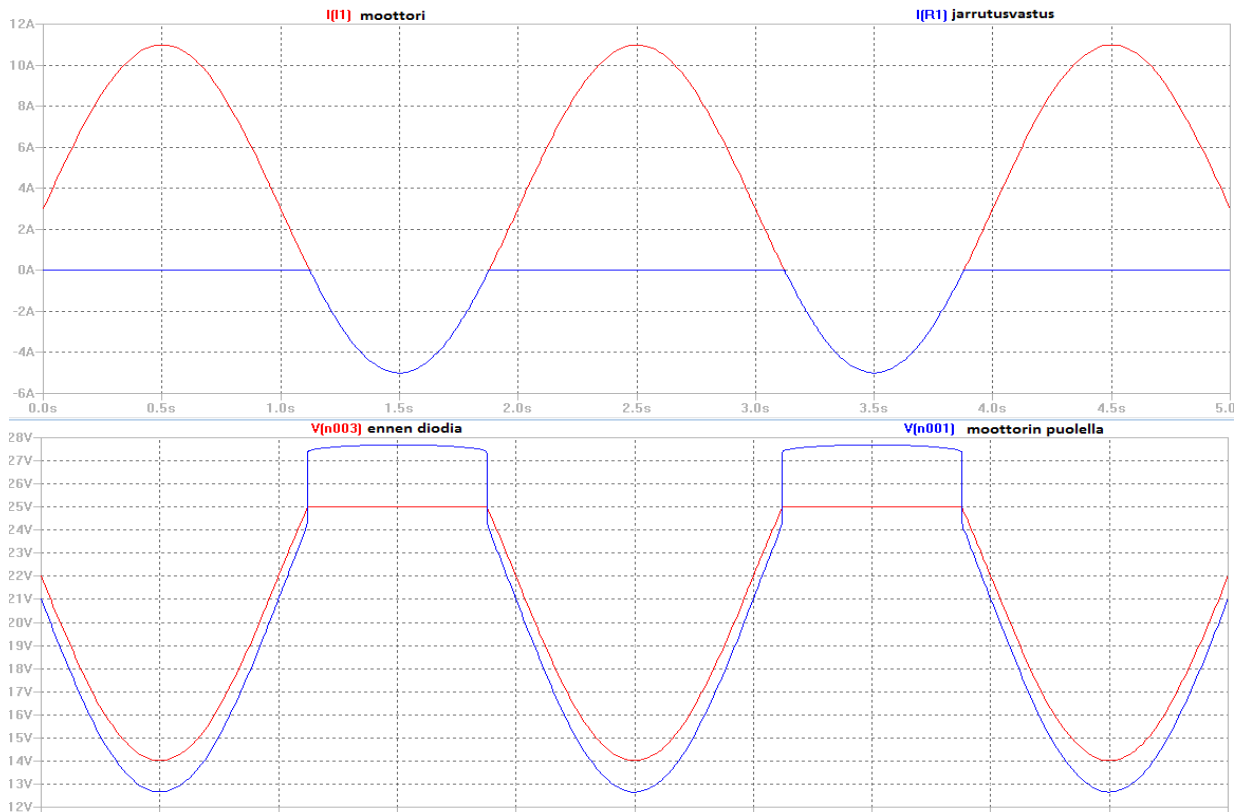
R1:ksi on valittava ison ohmiarvon omaava vastus, jotta sen läpi kulkeva virta olisi mahdollisimman pieni tilanteesta riippumatta. Diodi D2 varmistaa sen, ettei virta pääse kulkemaan sen haaran läpi.



KUVIO 10. Lopullinen ratkaisu

Ylläolevan kytkennän toimivuutta on testattu LTspice IV simulointiohjelmalla. Tulokset näkyvät kuviossa 11. Ylemmässä kuvassa punaisella on simuloitu moottorin virta. Virta on laitettu sini-muotoiseksi ja osa aallosta käy negatiivisella puolella. Tämä vastaa tilanetta, jossa moottori alkaa ryntäämään. Sinisellä nähdään jarrutusvastuksen läpi menevä virta. Kytkentä näyttää toimivan oikein, ainoastaan negatiivinen virta menee jarrutusvastuksen läpi.

Alemmassa kuvaajassa on esitetty jännitteen käyttäytyminen ennen diodia D1 ja sen jälkeen. Punaisella on jännite ennen diodia ja sinisellä on jännite diodin jälkeen. Kun virta on positiivinen, diodin yli jää pieni osa jännitteestä, joten MOSFET:n yli on silloin positiivinen jännite ja se ei johda. Kun virta kääntyy negatiiviseksi, jännite moottorin puolella alkaa nousta. Diodin toisella puolella jännite pysyy vakiona. Näin ollen MOSFET:n yli oleva jännite on negatiivinen ja MOSFET alkaa johtaa.



KUVIO 11. Kytkenän testaus simulointiohjelmalla

#### 4.1 Jarruvastus

Yksi tapa saada mikä tahansa sähkömoottori jarruttamaan, on jarruvastuksen lisääminen virtapiiriin. Kun auto menee alamäkeen, painovoima vetää autoa. Auton kiihtyessä tiettyyn nopeuteen, sähkömoottori alkaa käyttäytyä kuin generaattori. Tämän seurauksena virran suunta pyrkii kääntymään, mutta tasasuuntaussillan takia se ei pääse kulkemaan toiseen suuntaan. Näin ollen todellisuudessa virta pääsee arvoon nolla jolloin auto pääsee kulkemaan alamäkeen ilman minkäänlaisia jarruja.

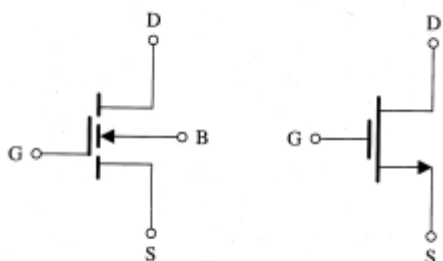


KUVA 7. Tehovastus (Elfa distrelec 2015.)

Lisäämällä piiriin jarrutusvastus, jonka läpi virta pääsee kulkemaan sen suunnan vaihtuessa, moottori voi toimia jarruna. Jarrutusvastus purkaa moottorin synnyttämää tehoa lämpönä ympäristöön. Isoille moottoreille on tehty suuria jarrutusvastuksia jotka kestävät parhaimilla kymmeniä kilowatteja. Tässä sovelluksessa moottorit ovat pieniä joten voidaan käyttää pienempiä, niin sanottuja tehovastuksia jotka kestävät muutamia satoja watteja .

## 4.2 MOSFET

MOSFET:t ovat erikoishilatransistoreita ja niiden toimintaperiaate muistuttaa tavallisia transistoreita. Suurin ero on siinä että MOSFET:ja ohjataan jännitteen avulla kun taas transistoreja ohjataan virran avulla. Kuten transistorit, MOSFET:kin voi olla joko n- tai p-tyyppiä (vrt. npn- ja pnp-transistorit). MOSFET on myös kolminapainen komponentti. Kuvassa 8 on esitetty n-tyypin MOSFET:n piirrosmerkit.



KUVA 8. N-tyypin MOSFET piirrosmerkit (Silvonen 2009.)

G on gate eli hila, S on source eli lähde ja D on drain eli nielu. Kuvan X toisessa piirrosmerkissä esiintyy myös neljäs napa joka on merkattu kirjaimella B ja tulee sanasta body eli suomeksi substraatti. Sitä ei kuitenkaan käytetä aktiivisessa toiminnassa, eikä sitä yleensä ole komponentissa fyysisenä liitoksena. (Silvonen 2009.)

Tämän lisäksi kumpikin MOSFET-tyypeistä voi olla joko avauskanavatransistori eli E-tyyppi tai sulkukanavatransistori eli D-tyyppi. MOSFET-tyyppien eroavaisuudet näkyvät taulukossa 5. Taulukossa on otettu huomioon vain olennaiset eroavaisuudet joita tässä opinnäytetyössä tullaan tarvitsemaan. (Silvonen 2009.)

TAULUKKO 5. MOSFET-tyyppien erot (Silvonen 2009.)

	e-nmosfet	d-nmosfet	e-pmosfet	d-pmosfet
Piirrosmerkki				
Kynnysjännite	$U_t > 0$	$U_t < 0$	$U_t < 0$	$U_t > 0$
Sulku tila	$U_{gs} \leq U_t$		$U_{gs} \geq U_t$	
Johtavuustila	$U_{gs} \geq U_t$		$U_{gs} \leq U_t$	
Kumpi D/S	$U_{ds} \geq 0$		$U_{ds} \leq 0$	

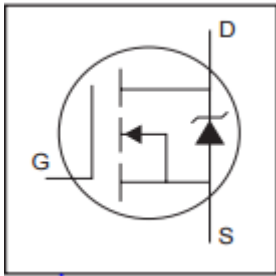
Tarkastellaan MOSFET:n käyttöä elektronisena kytkimenä. Analogisen kytkimen toiminta vastaa mekaanisen kytkimen toimintaa. Kytkin siirtää tiedon siitä, onko lähtö päällä vai pois päältä sekä tiedon jännitteen suuruudesta. Tämän takia analogisen kytkimen jännitehäviö pitää olla mahdollisimman pieni. MOSFET sopii tällaiseksi kytkimeksi erinomaisesti. Sen jännitehäviö on erittäin pieni. Se toimii kytkimenä yhtä hyvin, oli jännite negatiivinen tai positiivinen, johtuen sen symmetrisestä rakenteesta.

Kun verrataan taulukossa 5 esitetyt ominaisuudet siihen mitä ensimmäiseen ratkaisuun tarvitaan, täydellinen MOSFET tyyppi olisi p-tyypin sulkukanavatransistori. Se on johtavuustilassa kun sitä ohjataan positiivisella jännitteellä. Häätä-seis tilanteissa se olisi hyvä valinta koska MOSFET jää johtavaan tilaan vaikka ohjausjännite  $U_{gs}$  olisi nolla, johtuen siitä, että sen tyypin MOSFET:lla kynnysjännite on suurempi kuin nolla. Valitettavasti tämän tyypin MOSFET:t ovat kaikista harvinaisimpia eikä niitä juuri valmisteta.

Lopulliseen ratkaisuun sopiva MOSFET-tyyppi on p-tyypin avauskanavatransistori. Sitä ohjataan negatiivisella  $U_{gs}$  jännitteellä ja sen kynnysjännite on negatiivinen. Kaikista tärkein ominaisuus on kuitenkin se, että sitä valmistetaan ja siitä löytyy malli joka vastaa vaatimuksiin.

MOSFET:n valinnassa on huomioitava että kytkennässä mukana oleva moottori on induktiivinen komponentti. Virran suunnan vaihtuessa piiriin syntyy induktiivinen kuorma. Tällainen kuorma saattaa rikkoa MOSFET:n. Yksinkertaisin tapa suojata MOSFET:a on laittaa sen rinnalle zener-diodi. Sen ansiosta suuret jännitteet pääsevät

zener-diodin läpi. Monissa MOSFET:ssä on sisäänrakenettu zener-diodi. Tässäkin tapauksessa valinta osuu sellaiseen MOSFET:iin. Käytännössä MOSFET:n piirrosmerkki näyttää kuvan 9 mukaiselta.



KUVA 9. Otsikko (Farnell 2015.)

### 4.3 MOSFETin jäähditys

MOSFET:n käytössä pitää aina muistaa tarkistaa lämpeneekö komponentti liikaa. Jos näin tapahtuu pitää hankkia jäähdityssiili. Kannattaa huomata että datasheetissa mainittu tehonkesto komponentille tarkoittaa että komponentti kestää sen verran tehoa jäähditysratkaisun kanssa.

Tässä tapauksessa jäähditysratkaisun tarvetta lähdettiin arvioimaan laskemalla suurin virta, joka voi kulkea MOSFET:n läpi ilman että jäähditystä tarvitaan. Virta voidaan ratkaista kaavasta 13. Kaavassa oleva virran ja jännitteen tulo on kuitenkin niin pieni, että sen voi jättää huomiotta. Näin olleen virta voidaan ratkaista kaavan 14 mukaisesti.

$$P = U_{DS} \cdot I_{DS} + R_{DS} I_{DS}^2 \quad (13)$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} \quad (14)$$

Jotta yllä olevaa kaavaa pystytään hyödyntämään, pitää selvittää pari arvoa. Tehon arvo, jonka komponentti kestää ilman ylimääräistä jäähditystä ja komponentin yli olevan resistanssin arvo, kun se on johtavassa tilassa. Resistanssin arvo löytyy suoraan

MOSFETin datasheetistä, joka löytyy Liitteestä 2. Tehon arvo pitää laskea kaavan 15 avulla.

$$P = \frac{(T_{max} - T_a)}{R_{\theta JA}} \quad (15)$$

Tässä kaavassa  $T_{max}$  on datasheetistä löytyvä suurin lämpötila, jonka komponentti kestää,  $T_a$  on ympäristön lämpötila ja  $R_{\theta JA}$  on lämpökerroin tehoyksikköä kohti, jonka arvo myös löytyy datasheetistä.

$$P = \frac{(175^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})}{62^{\circ}\text{C}/\text{W}} = 2,4\text{W} \quad (16)$$

Sijoittamalla kaikki arvot kaavaan saadaan ratkaistua maksimiteho, jonka komponentti kestää ilman ylimääräistä jäähdytystä. Nyt tämä arvo voidaan sijoittaa kaavaan 17. 6,4 ampeeria on suurin mahdollinen virta jonka MOSFET kestää ilman lisjäähdytystä.

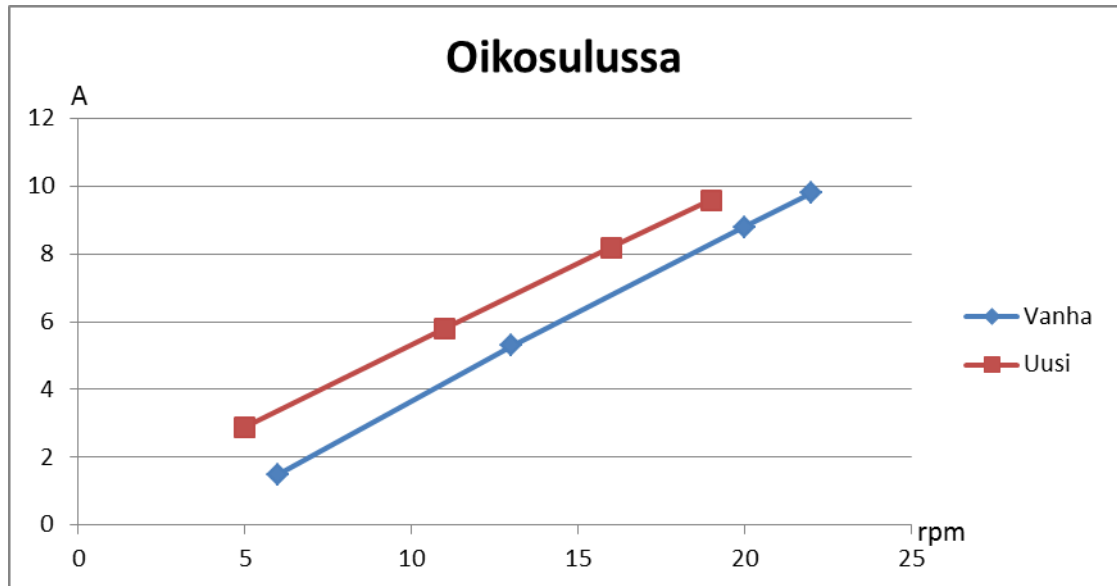
$$I_{max} = \sqrt{\frac{2,4\text{W}}{0,06\Omega}} = 6,4\text{A} \quad (17)$$

#### 4.4 Komponenttien valinnat ja budjetti

Ratkaisun komponenttien mitoituksessa on lähdetty laboratoriossa tehdyistä mittauksista liikkeelle. Kuvioissa 12, 13 ja 14 näkyvät mittaustulokset vanhalla ja uudella moottorimallilla. Kuikki kolme kuvaajaa esittävät mittausta joka on tehty niin että moottorit olivat oikosulussa, eikä moottoreille syötetty lainkaan jännitettä. Tällainen tilanne vastaa käytännössä tilanetta jossa auto on hätä-seis tilanteessa alamäessä. Tässä tilanteessa moottorit generoivat kaikista suurimmat virrat pienillä kierrosluvuilla. Tästä syystä tämä on hyvä lähtökohta komponenttien mitoittamiselle.

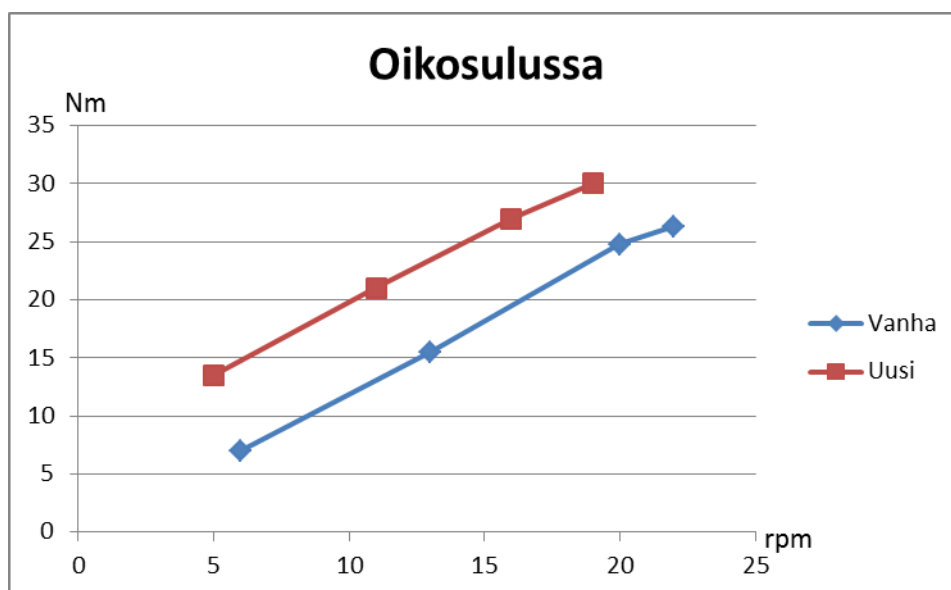
Kuviossa 12 näkyy virran käyttäytyminen kierrosluvun suhteen. Uusi moottorimalli kehittää noin 1,5 ampeeria korkeammat virrat kuin vanha moottorimalli. Virrat nousevat suoraan verrannollisesti kierroslukua nähden, niin kuin moottorin teoria antoi

ymmärtää. Mittaukset on tehty 10 ampeeriin asti, koska laboratorion johdot ja yleimittari eivät kestä suurempia virtoja. Moottorit kestävät kuitenkin suurempiakin virtoja. Vanhempi moottorimalli kestää 14 ampeerin virrat ja uudempi moottorimalli 16 ampeerin virrat.



KUVIO 12. Virran suhde kierrolukuun

Kuviossa 13 nähdään minkäläinen jarrutusmomentti syntyy kun moottoria pyöritetään oikosulussa. Vastaavasti vääntömomentin suhde kierrosnumeroon käyttäytyy lineaarisesti. Vääntömomentti nousee melko nopeasti 10 Nm tienoille.

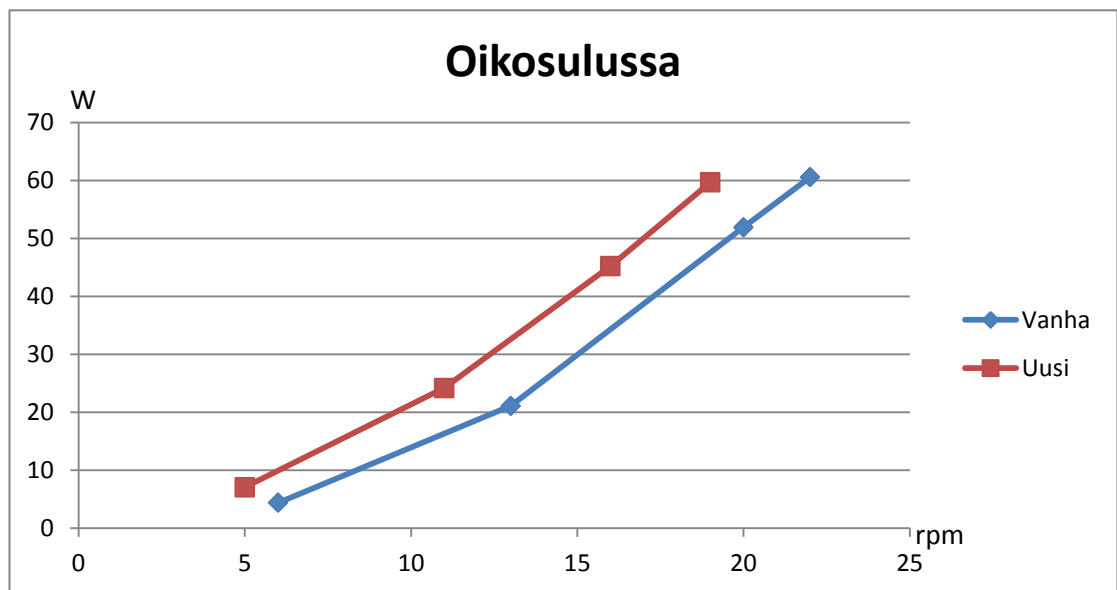


KUVIO 13. Vääntömomentin suhde kierrosnumeroon

Vääntömomentin avulla on hankalaa arvioida jarrutuksen voimakkuutta. Arvion helpottamiseksi vääntömomentti muutettiin tehoksi kaavan 18 avulla, jossa  $P$  on teho,  $T$  on vääntömomentti ja  $n$  on pyörimisnopeus kertoina sekunissa.

$$P = T2\pi n \quad (18)$$

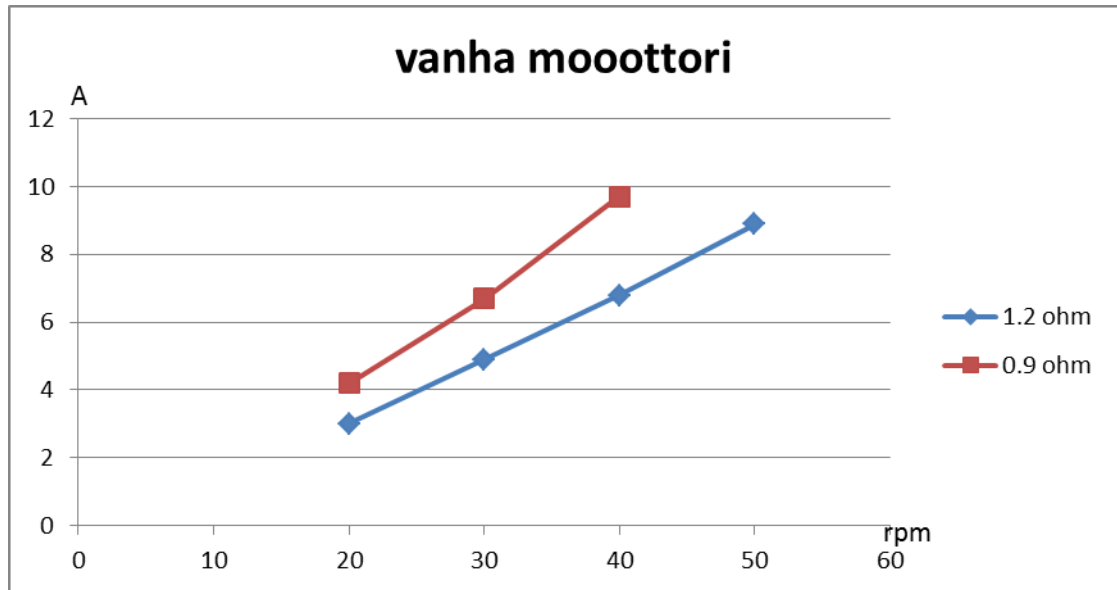
Kun vääntömomentti muunetaan kaavan 18 avulla, saadaan kuvion 14 mukainen kuvaaja. Kuviosta nähdään että jarrutusteho nousee nopeasti kierrosluvun noustessa.



KUVIO 14. Jarrutustehon suhde kierroslukuun

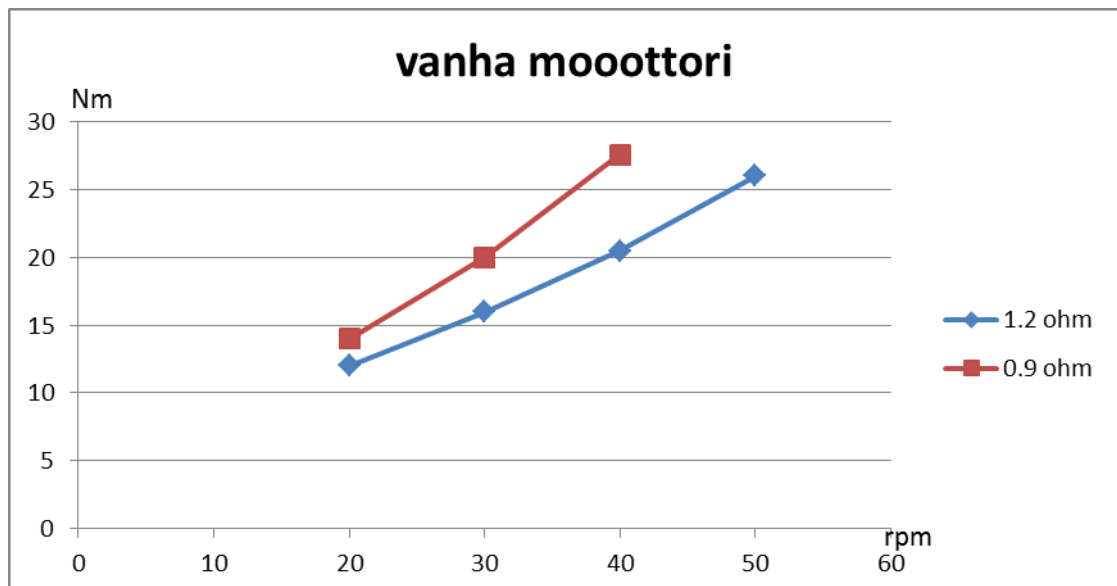
Näiden tulosten valossa ei voi olla täysin varma ettei tositilanteessa virrat voisivat nousta moottorin sallimien virtojen yli. Täsätä syystä on harkittava myös jarrutusvastuksen lisäämistä kytkentään. Kuviossa 15 on nähtävissä laboratorimittauksen tulos, jossa testattiin vanhempaa moottorimallia kun siihen oli kytketty erilaiset tehovastukset. Muuten mittaus oli samanlainen kuin moottorin oikosulkuutilassa. Kuviossa näkyy moottorin läpi kulkevan virran käyttäytyminen kierroslukuun nähden.

Kuvaajasta nähdään että virrat pienenevät sitä enemmän mitä suurempi vastus moottoriin kytketään. Jos vertaillaan Kuviota 12 ja 15 huomataan että virran suurus pienenee merkittävästi. Vertaillaan tulokset 20 rpm kohdassa. Oikosulussa moottori tuottaa noin 9 ampeerin virran, 0,9 ohmin vastuksen kanssa virran arvo on enää 4 ampeeria ja 1,2 ohmin vastuksen kanssa virta on 3 ampeerin luokkaa.



KUVIO 15. Virran suhde kierroslukuun erilaisilla jarrutusvastuksilla

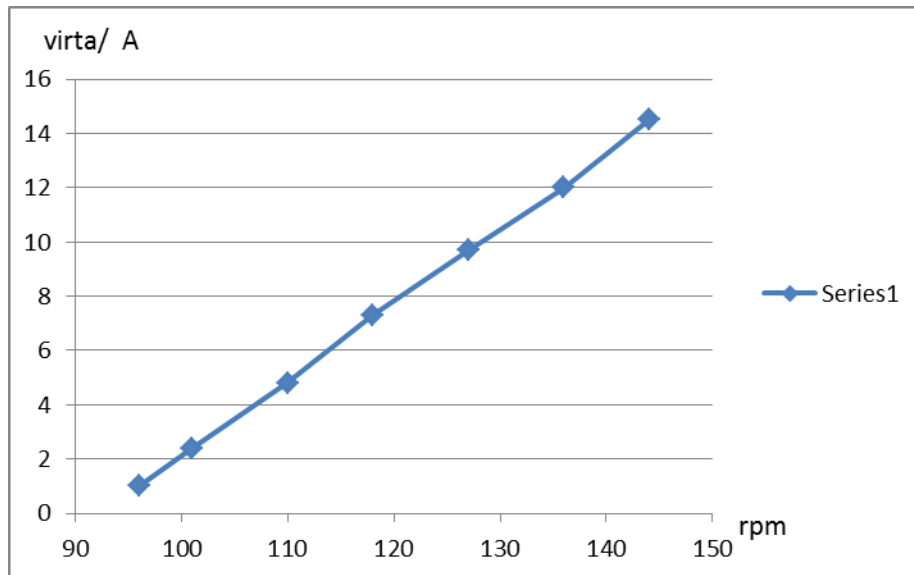
Samalla kun moottorin läpi kulkevat virrat pienenevät, jarrutusmomentti pienenee. Kun oikosulussa 20 kierroksella minuutissa vanhan moottorimallin jarrutusmomentti on 25 Nm, 0,9 ohmin vastuksen se on enää 14Nm ja 1,2 ohmin vastuksella se on 12 Nm. Jarrutusmomentti tippuu noin puoleen alkuperäisestä kun kytkentään lisätään 1,2 ohmin vastus.



KUVIO 16. Vääntömomentin suhde kierroslukuun erilaisilla jarrutusvastuksilla

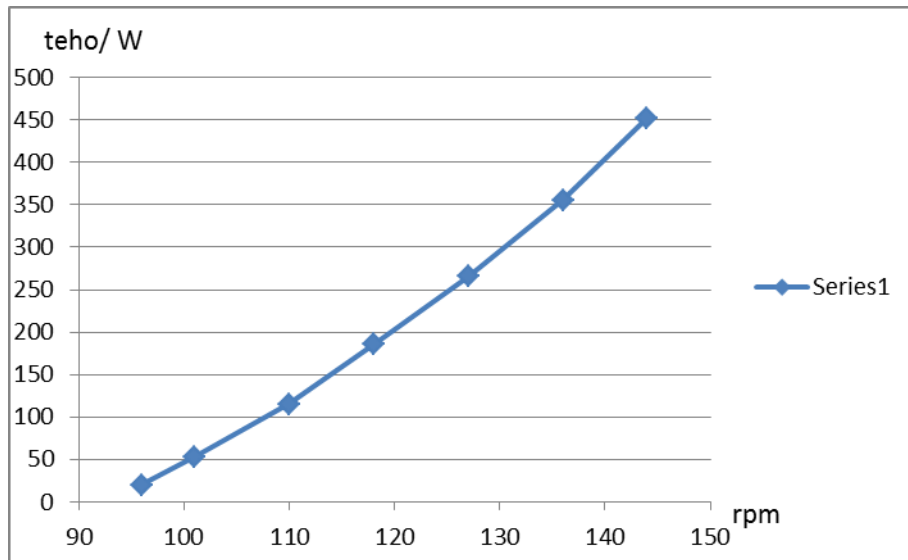
Valitettavasti valmista ratkaisussa esitettyä kytkentää ei ollut käytettävissä eikä laboratorio olosuhteissa päässy korkeimpiin virtoihin. Tästä syystä tehtiin testi

tilanteesta, jossa moottorille syötetään jännite ja negatiivinen kuorma, matlab-mallin avulla. Kuviossa 17 näkyy vanhemman moottorimallin simulaatio kun siihen syötetään 22 voltin jännite ja negatiivista kuormaa kasvatetaan tasaisesti. Moottorin jarrutusvastus on 0 ohmia eli oikosulku tila. Moottori saavuttaa sallitun maksimivirran noin 140 rpm kohdalla. Tämä vastaa sen maksiminopeutta joka saavutetaan normaalitilanteessa kun moottorille tulee 48 voltin jännite. Paikan päällä tehdyn silmämääräisen tarkkailun perusteella tällaisia nopeuksia ei saavuteta alamäessä.



KUVIO 17. Kytkenän testaus simulointiohjelmalla

Kuviossa 18 nähdään jarrutuksen teho suhteutettuna kierrosnopeuteen, joka saatiin samasta simulaatiosta kuin edellinenkin kuvaaja. Kuvaajasta nähdään että jarrutusteho kasvaa lineaarisesti kierrosluvun suhteen. Maksimivirroilla jarrutuksen teho ylittää 450 wattiin.



KUVIO 18. Kytkenän testaus simulointiohjelmalla

Taulukossa 6 nähdään tuloksien perusteella valitut komponentit ja niiden hinnat. Komponenttien jännitteen kesto on valittu sen mukaan mikä on systeemissä korkein esiintyvä jännite. Korkeimilla jännite on radan tasaisilla osuuksilla, jolloin auton moottoria ohjaa 48 voltin jännite. Jännitepiikeistä huolehtii MOSFET:n sisäänrakennettu zener-diodi.

TAULUKKO 6. Otsikko

Osa	Kuvaus	Valmistajan osanumero	Määrä	tilauskoodi	hinta/kpl	
MOSFET P	-55 V -31 A 110 W TO-220	IRF5305PBF	1	8648255	1.55	ALV 0%
Diodi	SCHOTTKY, DUAL, 30A, 120V, TO220	NTSJ30120CTG	1	2114696	1.25	ALV 0%
Diodi	DIODE, SCHOTTKY, RECTIF, 1A, 60V, DO-41	SR160	1	1861421	0.04	ALV 0%
Vastus	RESISTOR, 10K, 0.25W, 1%	MF25 10K	1	9341110	0.05	ALV 0%
Jäähdytys siili	FISCHER ELEKTRONIK HEAT SINK, TO-220, ETC, 12°C/W	SK 145/37,5 STS-220	1	4621414	2.45	ALV 0%
<b>Summa</b>					<b>5.34</b>	<b>ALV 0%</b>
Tarvittaessa:						
tehovastus	300W, 5%, 1R	WH300-1R0J1		1768251	37.93	ALV 0%

Komponenttien virran kesto on reilusti yli moottoreiden sallimman maksimivirran. Tämä johtu lähinnä siitä että kaupoissa ei ole pienempiä virtoja kestäviä komponentteja, kun jännitteen kesto on noin suuri. Diodiksi D2 on valittu huomattavasti pienempiä virtoja kestävä diodi, koska sen yli ei mene missään vaiheessa suuria virtoja. Tämä johtuu 10000 ohmin vastuksesta joka kytketään sarjaan diodin kanssa.

Siltä varalta että jarrituksen aikana virrat nousevat liian suuriksi, listaan on otettu mukaan tehovastus. Tehovastuksen resistanssiksi on valittu 1 ohmi. Testituloksien

valossa jarrutustilanteessa tämän suuruinen vastus pienentää moottorin läpi kulkevaa virtaa noin puolella. Samalla moottorin jarrutusmomentti pienenee puolella. Tämä on lähtökohtaisesti hyvä ratkaisu kytkennän jatkokehittämistä ajatellen. Vaikka tehovastuksen lisäämisen jälkeen jarrituksen teho olisi liian pieni, ilmiön lineaarisuuden takia on helppo valita varmasti sopiva tehovastus.

## 5 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella, testata ja toteuttaa huvilaitteen Kantti x Kantti jarrutus ratkaisu. Kaikkiin tavoitteisiin ei ole päästy. Muun muassa käytännön toteutus jäi tämän työn ulkopuolelle ja ohjauksen toimivuuden testaus jäi simulaattorilla testaamisen tasolle.

Työn aikana saatiin tutkittua ja todettua laitteessa oleva ongelma. Tekninen ratkaisu on saatu valmiiksi ja laboratorioissa tehtyjen mittausten perusteella pystyttiin mitoittamaan tarvittavat komponentit. Teknisen ratkaisun suunnittelun venymisen takia, aika ei riittänyt sen täysipainoiseen testaamiseen. Kuitenkin ratkaisu vaikuttaa täysin toimivalta.

Ratkaisuna on moottorin käyttö jarruttavana generaattorina. Haastavin osa ratkaisusta oli generoituneen virran ohjaaminen jarrutusvastuksen läpi. Ensimmäinen ratkaisu joka tuntui kaikista luonnollisemmalta osoittautui toteutuskelvottomaksi. Tästä syystä lopulliseen ratkaisuun päätyminen vai suunniteltua enemmän aikaa.

Opinnäytetyön suurin ongelmakohta oli Kantti x Kantti autojen jarrutustarpeen arviointi. Tämän aiheutti olosuhteiden vaihtelevuus ja tilanteen mekaniikan monimutkaisuus. Tämän takia valmiin ratkaisun kokeilu oikeissa olosuhteissa oli luonnollinen ratkaisu. Tästä on myös sovittu toimeksiantajan kanssa ja ratkaisu kokeilaan tämän kesän aikana.

## LÄHTEET

ASTEL. Sähkömoottori. Kuva. Luettu 4.4.2015

[http://www.edu.helsinki.fi/astel-ope/sahko/sahko\\_moottori.htm](http://www.edu.helsinki.fi/astel-ope/sahko/sahko_moottori.htm)

Aura, L. & Tonteri, A. 2005. Teoreettinen sähkötekniikka ja sähkökoneiden perusteet. Helsinki: Werner Söderström Oy

Bonfiglioli. BC series. Luettu 5.4.2015

[http://www.bonfiglioli.com/media/filer\\_public/ee/98/ee981dbf-15f5-4ca7-904c-463c1f69db7a/br\\_cat\\_bc-dc\\_std\\_ita-eng\\_r00\\_0.pdf](http://www.bonfiglioli.com/media/filer_public/ee/98/ee981dbf-15f5-4ca7-904c-463c1f69db7a/br_cat_bc-dc_std_ita-eng_r00_0.pdf)

Elfa distrelec. Lankavastus. Kuva. Luettu 10.4.2015

[https://www.elfaelektronikka.fi/elfa3~fi\\_fi/elfa/init.do?item=60-632-00&toc=20096](https://www.elfaelektronikka.fi/elfa3~fi_fi/elfa/init.do?item=60-632-00&toc=20096)

Farnell. International rectifier IRF5305PBF MOSFET. Luettu 12.4.2015

<http://www.farnell.com/datasheets/1720378.pdf>

Jpuusaari. Kantti x Kantti. Kuva. Luettu 12.4.2015

<http://www.jpuausaari.com/sarkanniemi/kanttixkantti/index.php?show=0>

Korpinen L. n.d. Sähkökoneet, osa 2.

[http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/10sahkokoneet\\_2osa.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/10sahkokoneet_2osa.pdf)

Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Sähkökäytöt. Kurssimateriaali. 2007

Online Electrical Engineering. Permanent Magnet DC Motor or PMDC Motor. Luettu 10.4.2015 <http://electrical4u.com/permanent-magnet-dc-motor-or-pmdc-motor/>

Silvonen, K. 2009. Elektroniikka ja puolijohdekomponentit. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press/ Otatieto

Tampereen Särkänniemi Oy. Särkänniemi. Luettu 16.5.2015 <http://www.sarkanniemi.fi/>

Wikipedia. Brushless DC electric motor. Luettu 10.4.2015

[http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless\\_DC\\_electric\\_motor](http://en.wikipedia.org/wiki/Brushless_DC_electric_motor)

**LIIETTEET**

Liite 1. Bonfiglioli DC-moottorin datasheet (Bonfiglioli, 2015)

1(17)



<b>INDICE</b>	<b>INDEX</b>	<b>pag.</b>
INTRODUZIONE	INTRODUCTION	2
CARATTERISTICHE TECNICHE	TECHNICAL FEATURES	2
ACCESSORI	ACCESSORIES	5
APPLICAZIONE SUI RIDUTTORI	APPLICATION ON GEARBOXES	6
MOTORI A CORRENTE CONTINUA SENZA VENTILAZIONE	NON VENTILATED DC MOTORS	7
MOTORI A CORRENTE CONTINUA CON VENTILAZIONE	D.C. MOTORS WITH FAN	10

## INTRODUZIONE

La BONFIGLIOLI COMPONENTS costruisce motori a corrente continua a magneti permanenti utilizzando tecniche costruttive innovative elevando così lo standard qualitativo dei prodotti. Grazie a peculiari tecnologie adottate, BONFIGLIOLI COMPONENTS ha realizzato motori con elevata corrente di smagnetizzazione particolarmente compatti, con elevate coppie e rendimenti. L'esclusivo concentratore di flusso lamellare concentra il campo magnetico e protegge da eventuali smagnetizzazioni rendendo i motori particolarmente adatti all'utilizzo con regolatori di velocità elettronici anche a tiristori. Per evitare che i magneti permanenti ceramici perdano le loro caratteristiche occorre operare come segue.

## CARATTERISTICHE TECNICHE

### NORME DI RIFERIMENTO

I motori di BONFIGLIOLI RIDUTTORI sono conformi alla normalizzazione europea ed alle norme CEI (Pubblicazione 72-1 e 72-2) DIN (42673 e 42677).

### TEMPERATURA

I motori a magneti permanenti Bonfiglioli sono adatti a funzionare nella gamma di temperatura ambiente da -20°C a +40°C. I componenti interni sono dimensionati come segue:

- Magnet permanenti: i magneti permanenti ceramici possono raggiungere la temperatura di +180°C, mentre è molto critico l'utilizzo alle basse temperature e pertanto si consiglia di non impiegare i motori a temperature ambiente inferiori a -20°C.

### VIBRAZIONI MECCANICHE

I motori possono sopportare vibrazioni fino a 2 KHz ed accelerazioni fino a 20 G con una perdita di rendimento inferiore all'1%.

### RADIAZIONI

I magneti permanenti ceramici possono essere utilizzati in ambienti radioattivi nel qual caso si consiglia di consultare il ns. ufficio tecnico.

### CAMPI MAGNETICI INTENSI

Nei motori di tradizionale concezione, i magneti permanenti ceramici possono smagnetizzarsi se immersi in un campo magnetico intenso e di polarità opposta. È pertanto conveniente utilizzare per l'alimentazione convertitori a transistor che consentono di controllare sempre la corrente assorbita dal rotore. L'applicazione di questi motori con convertitori a tiristori è comunque possibile attenendosi alle seguenti precauzioni:

- Eseguire la partenza da fermo utilizzando sempre una rampa di lancio di accelerazione.
- Utilizzando convertitori a tiristori a quattro quadranti (bidirezionali) verificare che l'albero del motore sia fermo prima di invertire il moto.

I motori a magneti permanenti di BONFIGLIOLI RIDUTTORI avendo invece una corrente di smagnetizzazione elevata, possono essere utilizzati anche in quelle applicazioni che prevedono l'alimentazione con convertitori a tiristori a 4 quadranti.

### DURATA MASSIMA DELLA MANUTENZIONE

Il collettore multilame è rinforzato da un anello interno che ne garantisce l'assoluta stabilità dimensionale ed un'alta resistenza ai sovraccarichi. Lo speciale disegno della cuffia portaspazzole, consente il montaggio di spazzole lunghe ed incorpora un sistema di molle a pressione costante che garantisce un funzionamento ottimale delle spazzole indipendentemente dallo stato di usura.

### PROTEZIONE IP54 DI SERIE

La morsetteria è protetta da un coperchio, con interposta guarnizione in gomma, che, insieme alle protezioni sulle estremità dell'albero e al disegno delle parti del motore, garantisce una protezione contro la polvere e gli spruzzi d'acqua provenienti da qualsiasi direzione.

### ISOLAMENTO CLASSE F

È ottenuto attraverso l'uso di filo isolato in classe H e l'impregnazione dell'avvolgimento rotorico con vernici e resine epossidiche che ne garantiscono l'idoneità ai climi tropicali, elevata rigidità e grande capacità di sopportare sovraccarichi o condizioni limite di lavoro fino ad una temperatura dell'avvolgimento di 155°C.

### TENSIONI

I dati riportati nelle tabelle sono ottenuti con un'alimentazione con fattore di forma 1.

### FORME COSTRUTTIVE

B3 (consultare il catalogo)	Norme IEC 72 (1971)
B5	Norme IEC 72 (1971)
B14	Norme IEC 72 (1971)

### CUSCINETTI

A sfere di qualità selezionata del tipo a doppio schermo normale o a tenuta stagna, con lubrificante interno.

### SPAZZOLE

Le spazzole sono in posizione facilmente accessibili e la loro eventuale sostituzione è semplice ed agevole. Sono in carbone o metalgrafite a seconda delle caratteristiche del motore al quale vengono applicate. Ad ogni sostituzione delle stesse è necessaria un'adeguata revisione del collettore.

## INTRODUCTION

BONFIGLIOLI COMPONENTS manufactures direct current motors with permanent magnets innovating traditional manufacturing technology in order to improve the quality standard of its products. Thanks to its special technology, BONFIGLIOLI COMPONENTS was able to develop extremely compact motors with high demagnetization current, torque and efficiency. The exclusive reed concentrator concentrates the magnetic field, acts as a protection in the event of demagnetization, and makes the motors especially suited for use with electronic speed controllers, even of thyristor-type (SCR).

## TECHNICAL FEATURES

### REFERENCE NOTES

The motors manufactured by BONFIGLIOLI RIDUTTORI comply with European and IEC standard (release 72-1 and 72-2 DIN 42673 and 42677).

### TEMPERATURE

The Bonfiglioli permanent magnet motors are suitable for operating in environment temperature range from -20°C to +40°C. The internal components are dimensioned as follows:

- Permanent magnets: the ceramic permanent magnets can reach a temperature of +180°C, while use at low temperatures is extremely hazardous. Therefore they should not be used at temperatures lower than -20°C.

### MECHANICAL VIBRATIONS AND SHOCKS

The motors can resist vibrations up to 2 KHz and acceleration up to 20 G with less than 1% efficiency loss.

### RADIATIONS

Ceramic permanent magnets may be used in radioactive environments. In this case, we recommend to contact the engineering department.

### INTENSE MAGNETIC FIELD

In traditional motors, ceramic permanent magnets can demagnetize if they are placed in a magnetic field with opposite polarity. Therefore, it is recommended to use transistor converters for power supply, so that the current absorbed by the rotor can be constantly controlled. However, the use of these motors with thyristor converters is possible, provided the following precautions are taken:

- Always start up imposing an acceleration ramp.
- When using four-quadrants (bidirectional) thyristor converters, always ensure that motor shaft is at standstill before reversing the direction of rotation.

On the contrary, permanent magnets BONFIGLIOLI motors have a high demagnetization current and can be used in those applications where power supply occurs through 4-quadrants thyristor converters.

### MAXIMUM LIFE WITH NO MAINTENANCE

The multi-segment commutator is reinforced by means of an internal ring ensuring total dimensional stability and high overload resistance. The brush holder housing is especially designed for mounting long brushes and is fitted with a constant pressure spring set ensuring optimal brush performance regardless of wear conditions.

### STANDARD IP 54

The terminal board is protected by a cover with rubber gasket, which guarantees protection against dust and water sprays coming from any direction, together with the protections on shaft ends and the design of the other motor components.

### INSULATION CLASS F

Achieved by means of class-H insulated wire and rotor winding impregnation with epoxy paints and resin, it guarantees fitness for use in tropical conditions, high dielectric strength and resistance to overload or under extreme working conditions up to 155°C winding temperature.

### VOLTAGE

The data listed in the tables are measured with nominal voltage and form factor 1.

### VERSION

B3 (see catalogue)	IEC standard 72 (1971)
B5	IEC standard 72 (1971)
B14	IEC standard 72 (1971)

### BEARING

Selected quality ball bearing with double standard shield or sealed ball bearings grease packed.

### BRUSHES

Brushes are easy to reach and can be easily and conveniently replaced. They are made of carbon or graphite-metal bond depending on the characteristics of the motor they are fitted to. Upon each brush replacement, overhaul commutator appropriately.

**COEFFICIENTI DI SERVIZIO**

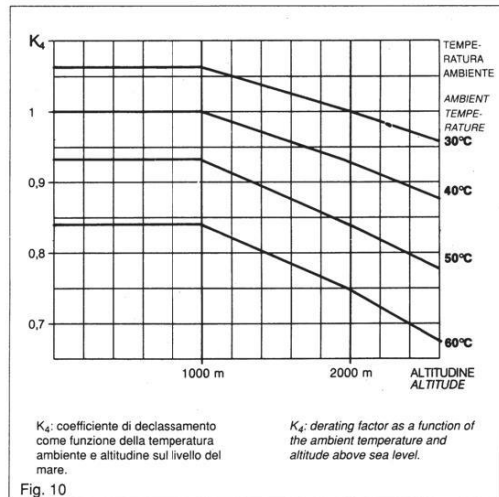
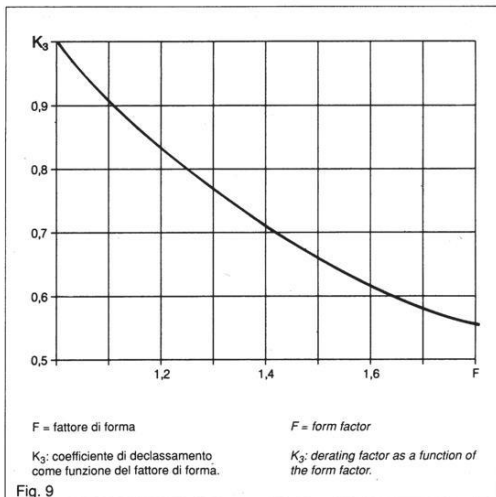
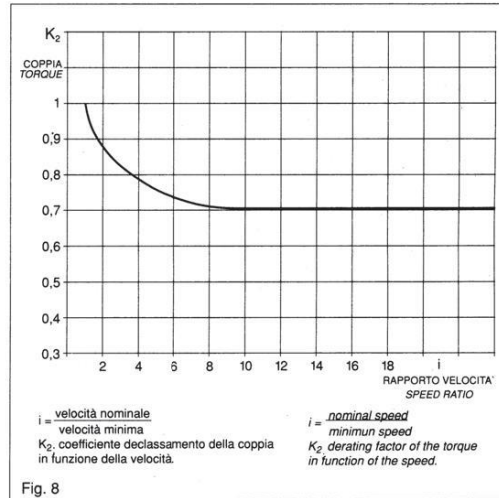
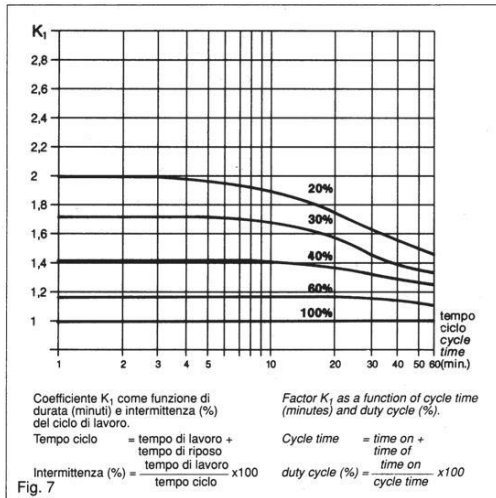
Le coppie e le potenze di catalogo dei motori possono essere aumentate o diminuite nelle pratiche applicazioni, in funzione dei seguenti parametri:

- 1) Coefficiente K1: un servizio intermittente consente al motore una dissipazione del calore anche nel periodo di pausa e quindi di erogare potenze maggiori nel periodo di lavoro. Le potenze di catalogo possono essere quindi aumentate secondo il coefficiente K1 (diagramma n. 7).
- 2) Coefficiente K2: nelle applicazioni a velocità variabile l'efficacia della ventola di raffreddamento, e quindi la capacità di dissipazione termica, diminuisce al diminuire della velocità e ciò richiede un declassamento delle coppie erogabili. La curva (diagramma n. 8) fornisce il coefficiente di declassamento K2 in funzione della velocità di funzionamento. Per i motori privi di ventilazione non si tiene conto di questo coefficiente.
- 3) Coefficiente K3: le tabelle di catalogo forniscono i valori di potenza per alimentazione a pura corrente continua (batteria), con coefficiente di forma 1. Altri dispositivi di alimentazione forniscono una alimentazione non perfettamente continua ma distorta. Il fattore di forma tiene conto di questa distorsione caratteristica del dispositivo di alimentazione prescelto.  
 FF1 per alimentazione da batteria  
 FF1,1 per alimentazione con ponte di diodi trifase  
 FF1,3÷1,5 per alimentazione con ponte di diodi monofase  
 La potenza o la coppia erogabile dal motore deve quindi essere declassata secondo il coefficiente K3 (diagramma n. 9), funzione del fattore di forma.
- 4) Coefficiente K4: i valori di potenza sono riferiti ad una temperatura ambiente minore od uguale a 40°C e ad un'altitudine massima di 1.000 metri. Per valori superiori di temperatura ad altitudine, si provvederà a declassare la potenza erogabile secondo il coefficiente K4 (diagramma 10).

**OPERATION COEFFICIENTS**

The motor torque and power values reported in the catalogue can be increased or decreased in practical applications, as a function of the following parameters:

- 1) Factor K1: intermittent operation enables the motor to dissipate heat when at rest and subsequently to deliver more power when running. Therefore, the power values listed in the catalogue can be adjusted by factor K1 (diagram no. 7).
- 2) Factor K2: in applications with variable speed, the cooling fan efficiency and therefore the heat dissipation will decrease with speed. Accordingly, the output torque will require to be derated through an appropriate factor. The curve (diagram no. 8) provides the derating factor K2 as a function of running speed. This coefficient does not apply to motors with non ventilated.
- 3) Factor K3: the catalogue tables list the power values related to pure direct current (battery) power supply with form factor 1. The current supplied by other sources is not perfectly direct, but distorted. The form factor takes into account this distortion typical of the specific feeding device.  
 FF1 power supply from battery  
 FF1,1 power supply from three-phase diode bridge  
 FF1,3 ... 1,5 power supply from single-phase diode bridge  
 The power or torque delivered by the motor must therefore be derated by factor K3 (diagram no. 9) as a function of the form factor.
- 4) Factor K4: power values refer to room temperature lower than or equal to 40°C and to a maximum altitude of 1,000 metres. For higher temperature and altitude values, the power will have to be derated by factor K4 (diagram 10).



**TIPO DI SERVIZIO**

**Servizio continuo (S1):** il motore funziona a carico costante per un tempo almeno sufficiente a raggiungere l'equilibrio termico.

**Servizio di durata limitata (S2):** il motore funziona a carico costante per un tempo limitato non sufficiente a raggiungere l'equilibrio termico. Segue poi un tempo di riposo sufficiente a far ritornare il motore a temperatura ambiente.

**Servizio intermittente periodico (S3):** il motore funziona secondo un ciclo comprendente un tempo di funzionamento a carico costante (ts) ed un tempo di riposo (tr). L'indicazione sintetica del servizio è data dal rapporto percentuale di intermittenza rispetto al periodo di tempo preso a riferimento che è normalmente di 60 min. (ad es. 15%-60 min.).

$$\text{rapporto di intermittenza} = \frac{ts}{ts+tr} \cdot 100(\%)$$

**Servizio intermittente periodico con avviamenti che influenzano il riscaldamento del motore (S4):** il motore funziona secondo un ciclo comprendente un tempo di avviamento notevole (ta), un tempo di funzionamento a carico costante (ts) e un tempo di riposo (tr).

$$\text{rapporto di intermittenza} = \frac{ta+ts}{ta+ts+tr} \cdot 100(\%)$$

In questo caso l'indicazione sintetica del servizio deve essere accompagnata dal numero di inserzioni all'ora.

**Servizio intermittente periodico con avviamento e frenata che influenzano il riscaldamento del motore (S5):** il motore funziona come il servizio S4 ma con l'aggiunta di una frenatura con mezzi elettrici.

$$\text{rapporto di intermittenza} = \frac{ta+ts+tf}{tc} \cdot 100(\%)$$

L'indicazione è pari al servizio S4.

**Servizio ininterrotto con carico intermittente (S6):** il motore funziona secondo il ciclo (tc) comprendente un tempo di funzionamento a carico costante (ts) seguito da un vuoto senza tempo di riposo (tv).

$$\text{rapporto di intermittenza} = \frac{ts}{tc} \cdot 100(\%)$$

L'indicazione è pari al servizio 3.

**Servizio intermittente periodico con avviamento e frenata che influenzano il riscaldamento del motore (S7):** il motore funziona come il servizio S5 ma senza tempo di riposo.

$$\text{rapporto intermittenza} = 100\%$$

L'indicazione è pari al servizio S4.

**Servizio interrotto periodico con cambiamento periodico della velocità (S8):** il motore funziona secondo un ciclo comprendente un tempo di funzionamento a carico costante (ts1) seguito da un tempo con diverso carico costante (ts2) e diversa velocità di rotazione.

$$\text{rapporto di intermittenza} = \frac{ta+ts}{tc} \cdot 100(\%);$$

$$\frac{tf1+ts2}{tc} \cdot 100(\%);$$

La definizione sintetica del servizio è data dalla durata di funzionamento alle varie velocità, ad esempio: 3000 rpm per 15 min.+1500 rpm per 10 min. Il tipo di servizio è indicato in targhetta.

**TYPE OF DUTY**

**Continuous duty (S1):** the motor works with dead load for a period of time, which is sufficient to reach thermal equilibrium.

**Limited duty length (S2):** the motor works with dead load for a limited period of time, which is insufficient to reach a thermal equilibrium. It is then followed by a rest period, during which the motor reaches room temperature again.

**Periodical intermittent duty (S3):** the motor follows a cycle, including an operation period with dead load (ts) and a rest period (tr). The synthetic indication of the duty is given by the intermittent percentage ratio compared to a period of time, which is usually 60 min. (for instance, 15% - 60 min.).

$$\text{intermittence ratio} = \frac{ts}{ts+tr} \cdot 100(\%)$$

**Periodical intermittent duty with starting that influence the heating of the motor (S4):** the motor follows a cycle, including a considerable starting period (ta), an operation period with dead load (ts) and a rest period (tr).

$$\text{intermittence ratio} = \frac{ta+ts}{ta+ts+tr} \cdot 100(\%)$$

In this case, the synthetic indication of the duty must be provided with the number of connections per hour.

**Periodical intermittent duty with starting and braking that influence the heating of the motor (S5):** the motor working is the same as S4 duty, with additional braking through electric devices.

$$\text{intermittence ratio} = \frac{ta+ts+tf}{tc} \cdot 100(\%)$$

The indication is the same as S4 duty.

**Continuous duty with intermittent load (S6):** the motor works according to the (tc) cycle, including an operation period with dead load (ts), followed by no load period (tv).

$$\text{intermittence ratio} = \frac{ts}{tc} \cdot 100(\%)$$

The indication is the same as S3 duty.

**Periodical intermittent duty with starting and braking that influence the heating of the motor (S7):** the motor working is the same as S5 duty, without a rest period.

$$\text{intermittence ratio} = 100\%$$

The indication is the same as S4 duty.

**Periodical continuous duty with periodical variation of speed (S8):** the motor works according to a cycle, including an operation period with dead load (ts1), followed by a period with different dead load (ts) and different rotation speed.

$$\text{intermittence ratio} = \frac{ta+ts}{tc} \cdot 100(\%);$$

$$\frac{tf1+ts2}{tc} \cdot 100(\%);$$

The synthetic definition of the duty is given by the working period at different speeds, for instance: 3000 rpm per 15 min + 1500 rpm per 10 min. The type of duty is indicated on the name plate.

6(17)

## ACCESSORI - OPTIONALS

## DINAMO TACHIMETRICA - TACHO GENERATOR

Tipo dinamo Tacho type	Tipo motore Motor type	Esecuzione meccanica Mechanical configuration	F.E.M. a 1000 rpm E.M.F. at 1000 rpm	Ondulaz. totale Total ripple	N° poli N° of poles	Corrente max Max current A	Resistenza Resistance Ohm	Induttanza Inductance mH	Inerzia rot. Rotor inertia Kgm <sup>2</sup>
AS 55/10	BC 140 BC 220 BC 310	albero cavo hollow shaft	10 V	≤ 3%	2	0.02	24	86	1.0 x 10 <sup>-3</sup>
DT 40/75	BC 120 BC 240 BC 270	albero spogente con giunto extended shaft with coupling	7.5 V	≤ 4%	2	0.05	24,5	3.3	3.92 10 <sup>-6</sup>

LE DIMENSIONI D'INGOMBRO DELLE VARIE SERIE DI MOTORI, SE EQUIPAGGIATI CON DINAMO TACHIMETRICA VARIANO COME SEGUE:  
D.C. MOTOR OVERALL DIMENSIONS WHEN EQUIPPED WITH TACHO-GENERATOR:

Tipo motore Motor type	Quota N * Dimension N * + mm	Copriventola Ø Fan cover diameter mm
BC 120	N + 65	—
BC 140	N + 65	—
BC 220	N + 65	110
BC 240	N + 51	130
BC 270	N + 51	130
BC 310	N + 65	138

\* Per la quota N vedere i disegni dei vari tipi di motori riportati nelle pagine.

\* Dimension «N» changes according to the motor types as showed on the previous page.

## FRENI - BRAKE

Tipo di motore Motor type	Tipo di freno Brake type	Coppia frenante Braking torque Nm	Tensione d'alimentazione Rated voltage VDC	Corrente assorbita Current A (25°C)	Potenza Power W	Inerzia Inertia Kgm <sup>2</sup>
BC 140	FD 03	5	24	1	24	0.15 10 <sup>-3</sup>
BC 220	56 PCC	2	24	0.6	15	0.69 10 <sup>-4</sup>
BC 240	07- neg	5	24	1	24	0.15 10 <sup>-3</sup>
BC 270	07- neg	7.5	24	0.5	12	0.65 10 <sup>-4</sup>
BC 310	FD 03	5	24	1	24	0.15 10 <sup>-3</sup>



VARIAZIONE DELLE DIMENSIONI STANDARD DEI MOTORI, SE EQUIPAGGIATI CON FRENO:  
VARIATION OF MOTORS' STANDARD DIMENSIONS, WHEN FITTED WITH BRAKE:

Tipo di motore Motor type	Quota < N > Dimension < N >	Diametro calotta copriventola Diameter of fan cowl
BC 140	N + 72 mm	
BC 220	N + 40 mm	110 mm
BC 240	N + 51 mm	130 mm
BC 270	N + 51 mm	130 mm
BC 310	N + 72 mm	138 mm


7(17)

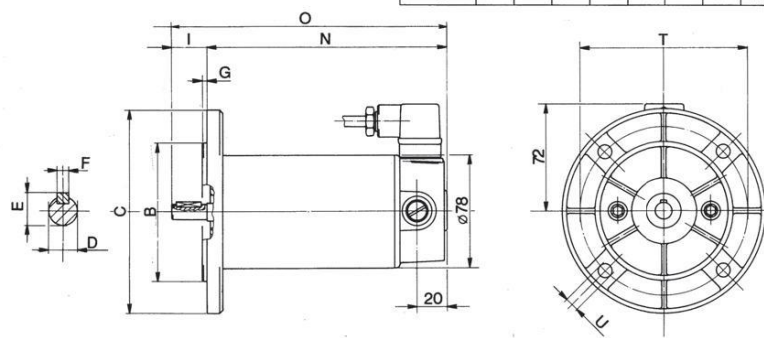
MOTORI A CORRENTE CONTINUA  
SENZA VENTILAZIONE

NON VENTILATED DC MOTORS


<b>BC110</b>										
	U	n <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	I <sub>n</sub>	Ω	L	J		
	[V]	[rpm]	[W]	[Nm]	[A]	ohm	mH	Kgm <sup>2</sup> •10 <sup>-3</sup>		
<b>BC110-180-3000-50</b>	180	3000	50	0.16	0.4	31.5	70	0.3	2	<b>a</b>
<b>BC110- 24-2800-90</b>	24	2800	90	0.3	5	0.38	1.5	0.4	3.2	<b>b</b>
<b>BC110-180-3000-90</b>	180	3000	90	0.3	0.6	14.7	40	0.4	3.2	<b>b</b>

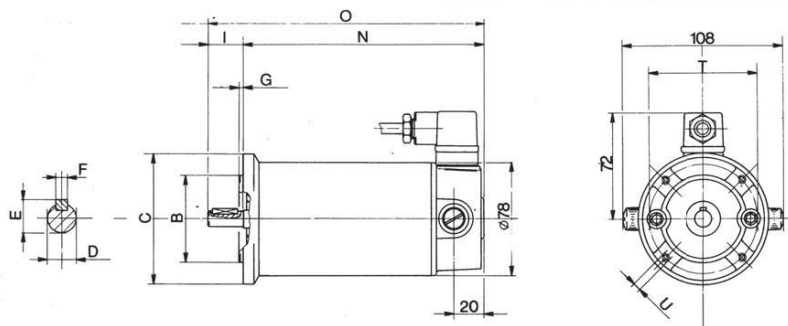
**63 B5**

	D	B	C	I	E	F	G	N	O	T	U
<b>a</b>	11	95	140	23	12.5	4	3	133	156	115	9.5
<b>b</b>								163	186		



**63 B14**

	D	B	C	I	E	F	G	N	O	T	U
<b>a</b>	11	60	90	23	12.5	4	2.5	133	156	75	M5
<b>b</b>								163	186		



8(17)

<b>BC120</b>										
	U	n <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	I <sub>n</sub>	Ω	L	J		
	[V]	[rpm]	[W]	[Nm]	[A]	ohm	mH	Kgm <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>		
BC120- 12-1300-110	12	1300	110	0.8	14	0.18	1.26	0.5	4.5	
BC120- 24-1500-110	24	1500	110		7					<b>a</b>
BC120- 48-1500-120	48	1500	120		3.4					<b>b</b>
BC120- 90-1300-110	90	1300	110		1.6	9.57	64.37			<b>b</b>
BC120- 24-2700-240	24	2700	240		14	0.18	1.26			<b>a</b>
BC120- 48-3000-240	48	3000			7					<b>b</b>
BC120- 90-3000-240	90	3000			3.4					<b>b</b>
BC120-180-2900-240	180	2900			1.6	9.57	64.37			<b>b</b>

Questi motori possono essere forniti con attacco posteriore per volantino di posizionamento.

These motors are available with adaptor for positioning hand wheel on the back side.

**63 B5**

	D	B	C	I	E	F	N	O	T	U	Z
<b>a</b>	11	95	140	23	12.5	4	185	208	115	9.5	140
<b>b</b>											130

\* 85 mm solo esecuzione (b)  
85 mm only design (b)

**63 B14**

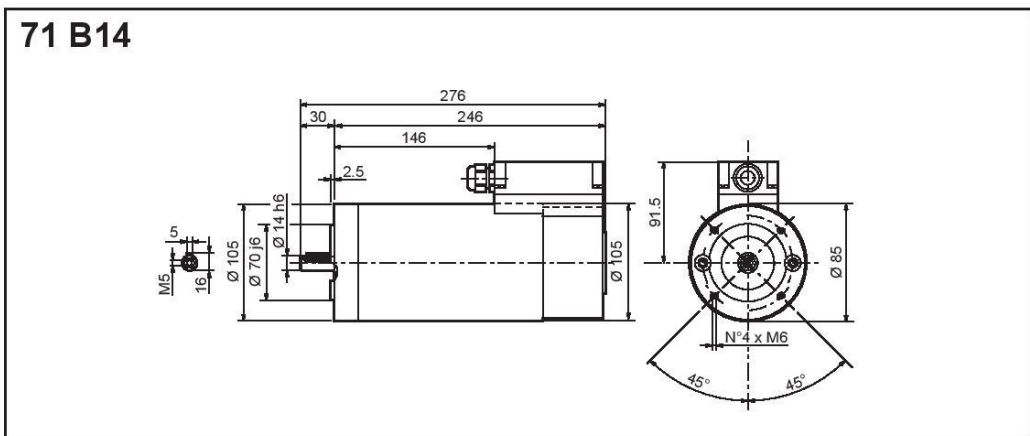
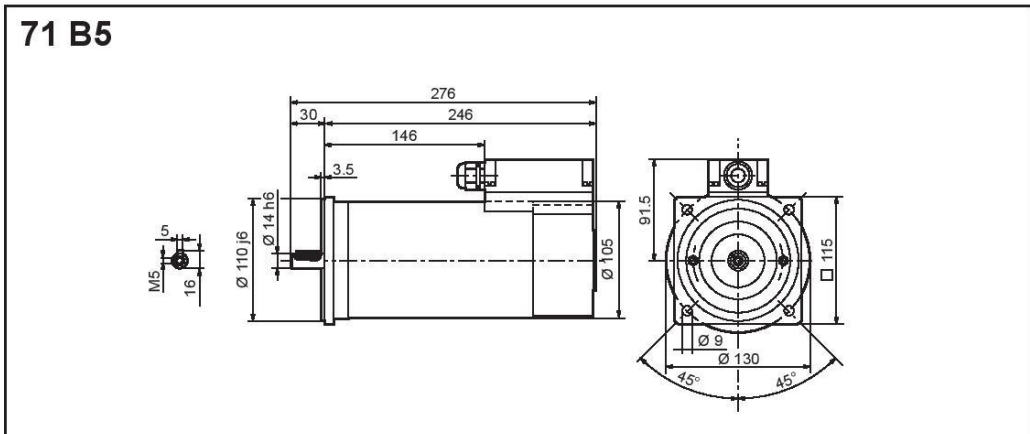
	D	B	C	I	E	F	N	O	T	U	Z
<b>a</b>	11	60	90	23	12.5	4	185	208	75	M5	140
<b>b</b>											130

\* 85 mm solo esecuzione (b)  
85 mm only design (b)

(a) esecuzione con Faston  
(b) esecuzione con connettore



(a) design with Faston connectors  
(b) design with terminal box

<b>BC140</b>										
	U	n <sub>2</sub>	P <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	I <sub>n</sub>	Ω	L	J		
	[V]	[rpm]	[W]	[Nm]	[A]	ohm	mH	Kgm <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>	Kg	
BC140- 24-1500-220	24	1500	220	1.4	13	0.32	1.6	1.2	7.8	
BC140- 36-1500-220	36				8.7	0.54	3.2			
BC140- 48-1500-220	48				6.5	0.95	5.2			
BC140- 65-1500-220	65				4.5	1.5	9			
BC140-110-1500-220	110				2.9	3.4	24			
BC140-180-1500-220	180				1.8	7.4	56			
BC140- 24-2000-300	24	2000	300	1.4	16.4	0.22	0.5	1.2	7.8	
BC140- 36-2000-300	36				11	0.4	1.1			
BC140- 48-2000-300	48				8.2	0.5	1.9			
BC140- 65-2000-300	65				6.1	0.8	3.4			
BC140-110-2000-300	110				3.6	1.8	9.4			
BC140-180-2000-300	180				2.2	4.5	24			
BC140- 24-3000-450	24	3000	450	1.4	24.6	0.1	0.4	1.2	7.8	
BC140- 36-3000-450	36				16.5	0.18	0.86			
BC140- 48-3000-450	48				12.3	0.25	1.4			
BC140- 65-3000-450	65				9.1	0.35	2.6			
BC140-110-3000-450	110				5.4	0.9	7			
BC140-180-3000-450	180				3.3	2	18			



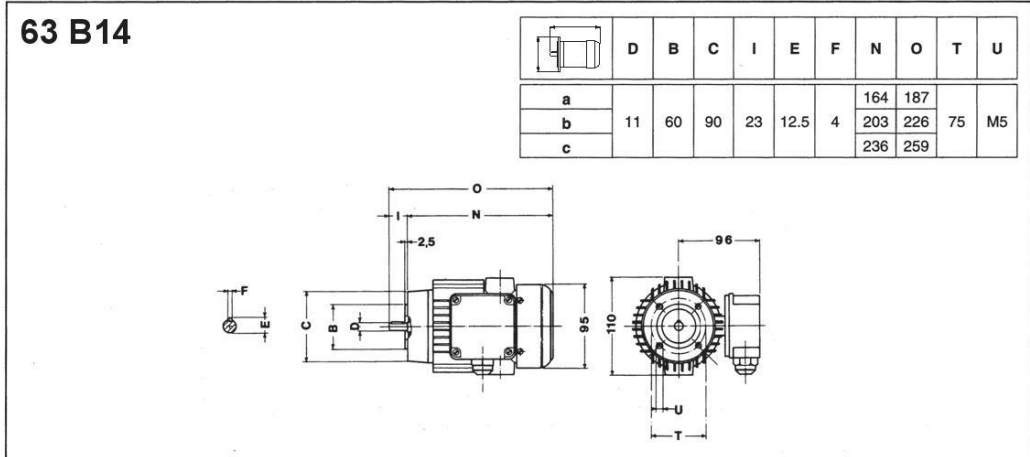
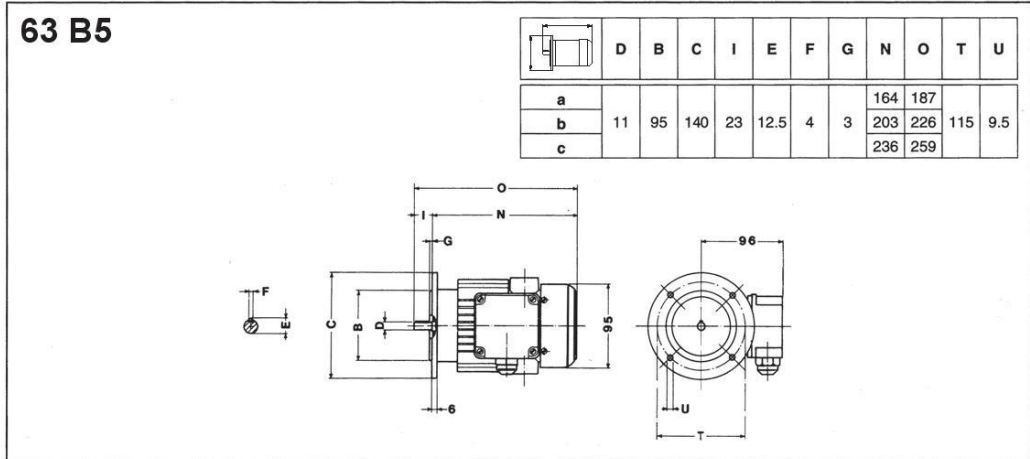
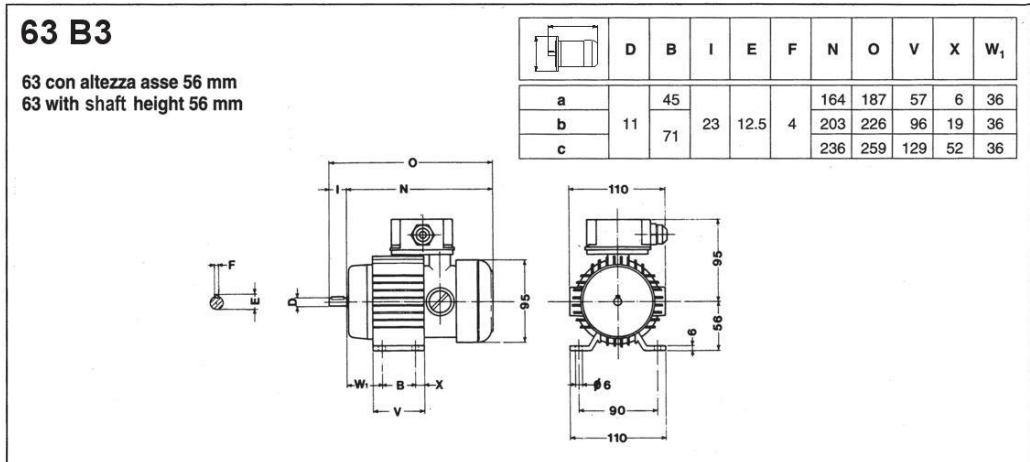
## MOTORI A CORRENTE CONTINUA CON VENTILAZIONE

## FAN COOLED DC MOTORS

<b>BC220</b>										
	U [V]	n <sub>2</sub> [rpm]	P <sub>2</sub> [W]	M <sub>2</sub> [Nm]	I <sub>n</sub> [A]	Ω ohm	L mH	J Kgm <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>		
BC220-12-1500-45	12	1500	45*	0.29	5.5	1	3	0.33	2.6	a
BC220-24-1500-45	24				2.7	2.3	12			
BC220-36-1500-45	36				1.8	3.2	27			
BC220-48-1500-45	48				1.3	6	48			
BC220-65-1500-45	65				1	11	88			
BC220-110-1500-45	110				0.6	18.8	252			
BC220-180-1500-45	180		0.3	31	640					
BC220-12-1500-95	12		95	0.60	11	0.3	0.65	0.45	3.9	b
BC220-24-1500-95	24				5.5	0.75	2.6			
BC220-36-1500-95	36				3.7	1.25	6			
BC220-48-1500-95	48				2.8	1.74	10.6			
BC220-65-1500-95	65				2	2.6	19.4			
BC220-110-1500-95	110				1.2	4.7	55			
BC220-180-1500-95	180		0.7	7.8	145					
BC220-12-1500-140	12		140	0.90	16	0.25	0.25	0.68	4.7	c
BC220-24-1500-140	24				8	0.55	1			
BC220-36-1500-140	36				5.5	0.85	2.25			
BC220-48-1500-140	48				4	1.15	4			
BC220-65-1500-140	65	3			1.6	7.4				
BC220-110-1500-140	110	1.7			2.7	21				
BC220-180-1500-140	180	1	4.3	57						
BC220-12-2000-60	12	2000	60*	0.29	7	0.6	1.7	0.33	2.6	a
BC220-24-2000-60	24				3.5	1.3	6.8			
BC220-36-2000-60	36				2.3	2.3	12			
BC220-48-2000-60	48				1.7	3.2	22			
BC220-65-2000-60	65				1.3	5.8	62			
BC220-110-2000-60	110				0.7	10	170			
BC220-180-2000-60	180		0.4	17	450					
BC220-12-2000-125	12		125	0.60	14	0.16	0.24	0.45	3.9	b
BC220-24-2000-125	24				7	0.4	1			
BC220-36-2000-125	36				4.7	0.68	2.2			
BC220-48-2000-125	48				3.5	0.94	3.9			
BC220-65-2000-125	65				2.6	1.34	7			
BC220-110-2000-125	110				1.5	2.42	20			
BC220-180-2000-125	180		0.9	4.1	54					
BC220-12-2000-190	12		190	0.90	21	0.13	0.15	0.68	4.7	c
BC220-24-2000-190	24				11	0.33	0.6			
BC220-36-2000-190	36				7	0.53	1.3			
BC220-48-2000-190	48				5.5	0.7	2.2			
BC220-65-2000-190	65	4			0.93	3.9				
BC220-110-2000-190	110	2.3			1.65	11.2				
BC220-180-2000-190	180	1.4	2.6	30						
BC220-12-3000-90	12	3000	90*	0.29	10	0.3	0.75	0.33	2.6	a
BC220-24-3000-90	24				5	0.66	3			
BC220-36-3000-90	36				3.3	1.3	6.8			
BC220-48-3000-90	48				2.5	2.3	12			
BC220-65-3000-90	65				1.8	3.2	22			
BC220-110-3000-90	110				1.1	5.7	60			
BC220-180-3000-90	180		0.6	10	170					
BC220-12-3000-190	12		190	0.60	21	0.11	0.10	0.45	3.9	b
BC220-24-3000-190	24				10	0.23	0.44			
BC220-36-3000-190	36				7	0.4	0.95			
BC220-48-3000-190	48				5	0.7	1.6			
BC220-65-3000-190	65				3.8	1	2.9			
BC220-110-3000-190	110				2.2	1.8	8			
BC220-180-3000-190	180		1.4	3.1	21					
BC220-12-3000-280	12		280	0.90	29	0.06	0.06	0.68	4.7	c
BC220-24-3000-280	24				15	0.16	0.24			
BC220-36-3000-280	36				10	0.28	0.56			
BC220-48-3000-280	48				7	0.42	1			
BC220-65-3000-280	65	5.5			0.64	1.9				
BC220-110-3000-280	110	3.2			1.18	5.5				
BC220-180-3000-280	180	1.9	2.1	14.8						


\* Questi motori possono venire forniti con albero cavo ø7 e flangia standard per attacco al riduttore VF 27 (BC...VF27)

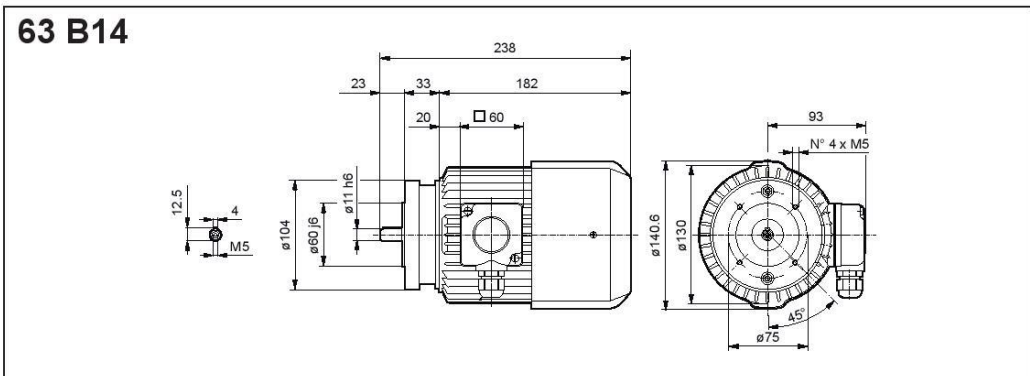
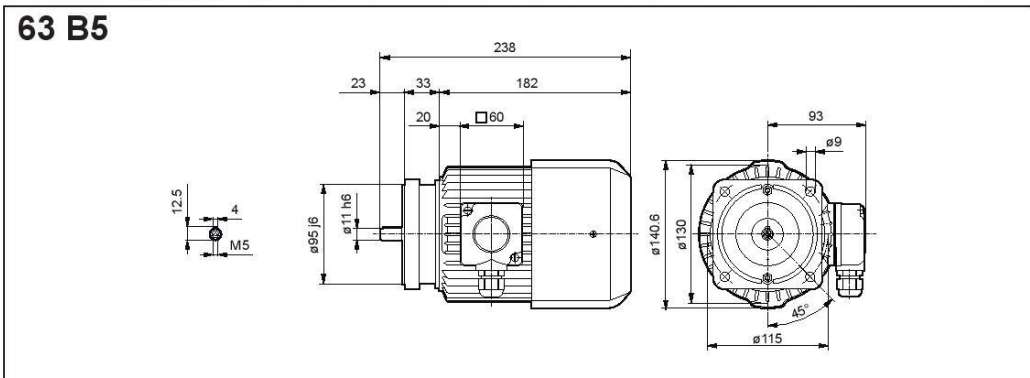
\* These motors are also available with hollow shaft dia. 7mm and standard flange for gear box type VF 27 (BC...VF27)





Esecuzione con piedi (B3) è possibile anche in associazione con B5 e B14.


Foot mounted version (B3) also available in combination with flange version B5 or B14.

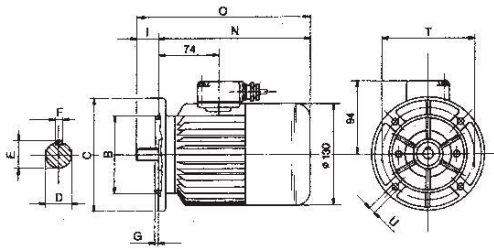
<b>BC240</b>									
	U [V]	n <sub>2</sub> [rpm]	P <sub>2</sub> [W]	M <sub>2</sub> [Nm]	I <sub>n</sub> [A]	Ω ohm	L mH	J Kgm <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>	
BC240- 12-1500-180	12	1500	180	1.0	22	0.25	0.9	0.8	6.7
BC240- 24-1500-200	24				12	0.7	3.3		
BC240- 36-1500-200	36				8	1.5	7.4		
BC240- 48-1500-200	48				6	2.2	13		
BC240- 65-1500-200	65				4.4	3.5	24		
BC240-110-1500-200	110				2.6	9.5	68		
BC240-180-1500-200	180				1.6	21	140		
BC240- 12-2000-230	12	2000	230	1.0	27	0.04	0.5	0.8	6.7
BC240- 24-2000-260	24				16	0.1	1.7		
BC240- 36-2000-260	36				10	0.2	3.8		
BC240- 48-2000-260	48				7.7	0.32	6.6		
BC240- 65-2000-260	65				5.6	0.5	12		
BC240-110-2000-260	110				3.3	5	29		
BC240-180-2000-260	180				2	13	76		
BC240- 12-3000-320	12	3000	320	1.0	37	0.02	0.06	0.8	6.7
BC240- 24-3000-400	24				23	0.06	0.8		
BC240- 36-3000-400	36				16	0.1	1.6		
BC240- 48-3000-400	48				12	0.15	2.7		
BC240- 65-3000-400	65				8.5	0.22	4.7		
BC240-110-3000-400	110				5	0.45	13		
BC240-180-3000-400	180				3.1	5.5	32		




<b>BC270</b>										
	U [V]	n <sub>2</sub> [rpm]	P <sub>2</sub> [W]	M <sub>2</sub> [Nm]	I <sub>n</sub> [A]	Ω ohm	L mH	J Kgm <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>	 Kg	
BC270- 12-1200-150	12	1200	150	1.3	22	0.16	0.93	0.5	5.6	<b>a</b>
BC270- 24-1400-150	24	1400	150		11					
BC270- 48-1500-200	48	1500	200		5					
BC270- 90-1200-170	90	1200	170		2.6	9.57	64.37			
BC270- 24-2900-370	24	2900	370		22	0.16	0.93			
BC270- 48-3000-370	48	3000	370		11					
BC270- 90-3000-370	90	3000	370		5					
BC270-180-2700-370	180	2700	370	2.6	9.57	64.37				
BC270- 12-1400-310	12	1400	310	2.2	40	0.056	0.31	0.95	9	<b>b</b>
BC270- 24-1400-370	24	1400	370		20					
BC270- 48-1500-370	48	1500	370		9					
BC270- 90-1400-370	90	1400	370		5.5	2.81	19.76			
BC270- 24-3100-750	24	3100	750		40	0.063	0.31			
BC270- 48-3000-750	48	3000	750		20					
BC270- 90-3000-750	90	3000	750		9					
BC270-180-3000-750	180	3000	750		4.9	2.81	19.76			

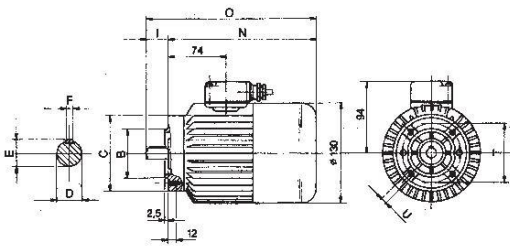
**71 B5**



	D	B	C	I	E	F	G	N	O	T	U
a	14	110	160	30	16	5	3.5	203	233	130	9.5
b								269	299		

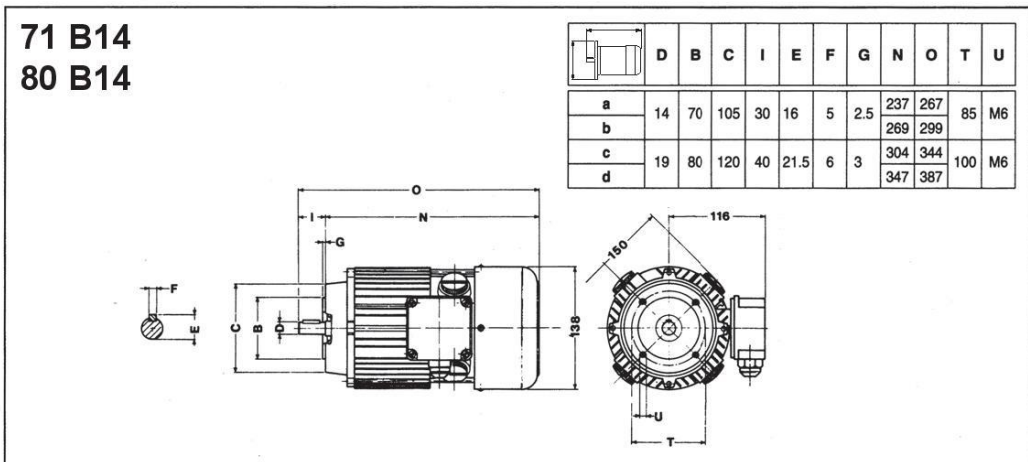
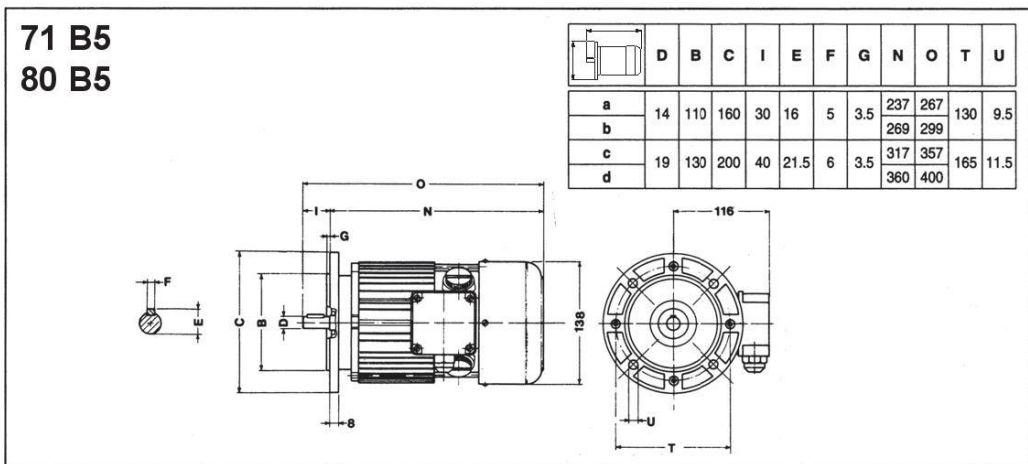
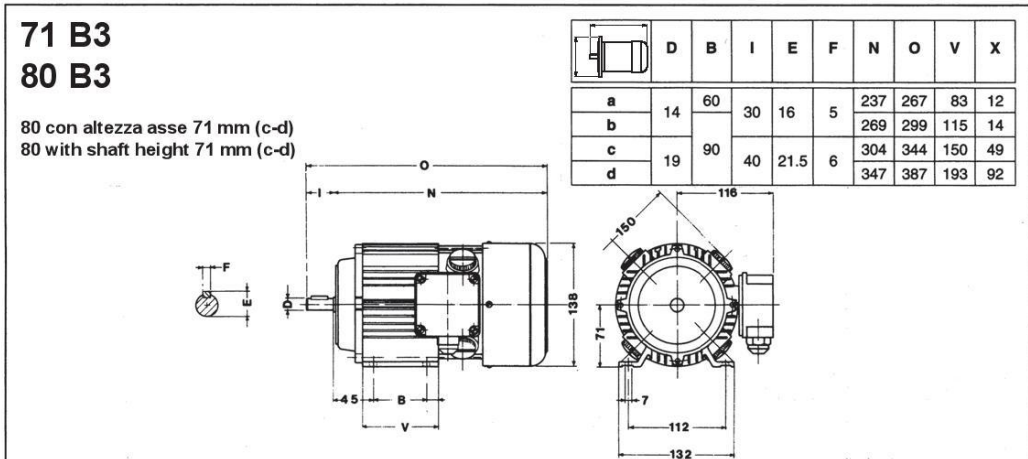


**71 B14**

	D	B	C	I	E	F	N	O	T	U
a	14	70	110	30	16	5	203	233	85	M6
b							269	299		



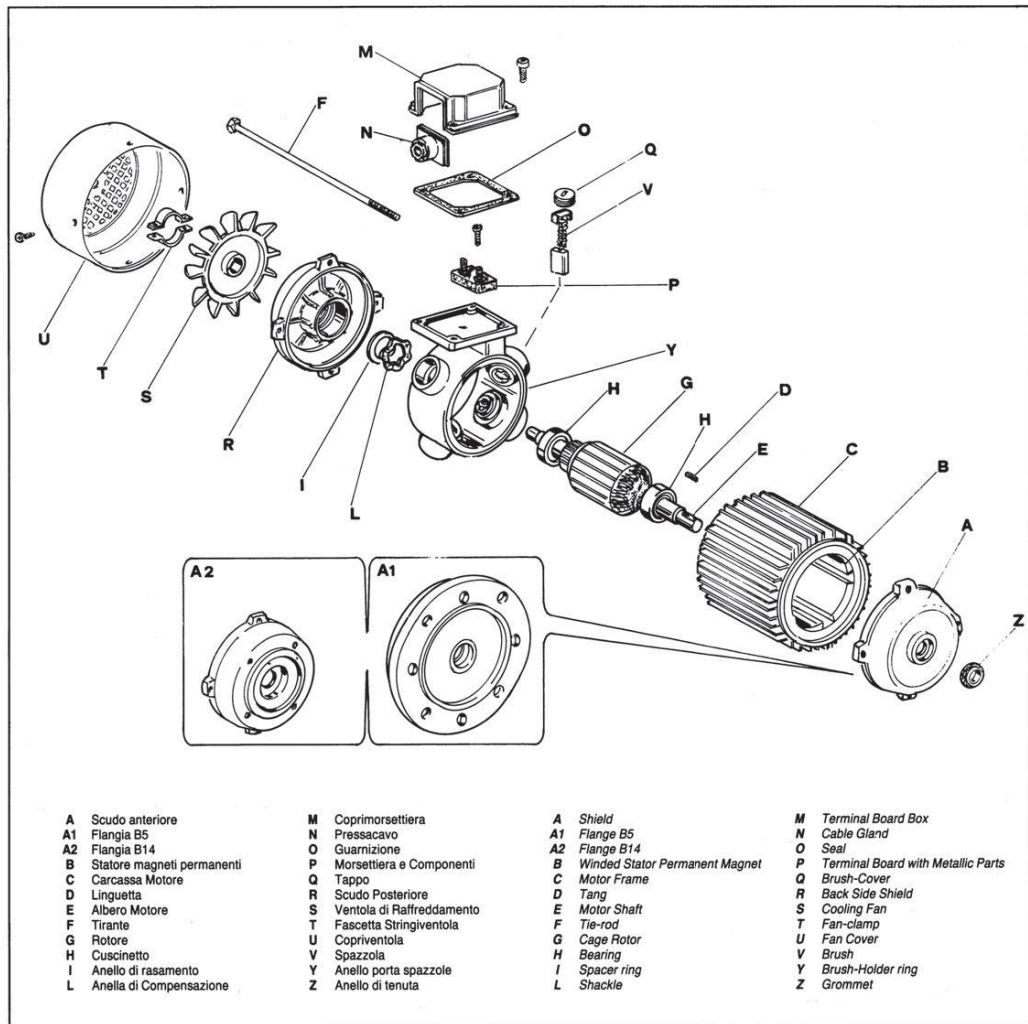
<b>BC310</b>								
	U [V]	n <sub>2</sub> [rpm]	P <sub>2</sub> [W]	M <sub>2</sub> [Nm]	I <sub>n</sub> [A]	J Kg·m <sup>2</sup> ·10 <sup>-3</sup>		
BC310-12-1500-300	12	1500	300	1.9	33.2	1.5	7.2	a
BC310-24-1500-300	24				16.6			
BC310-36-1500-300	36				11			
BC310-48-1500-300	48				8.3			
BC310-12-1500-400	12		400	2.6	44	2.2	9.4	b
BC310-24-1500-400	24				22			
BC310-36-1500-400	36				14.6			
BC310-48-1500-400	48				11			
BC310-12-1500-600	12		600	3.8	67	2.9	11	c
BC310-24-1500-600	24				33.4			
BC310-36-1500-600	36				22			
BC310-48-1500-600	48				16.7			
BC310-12-1500-700	12	700	4.5	76	5	16	d	
BC310-24-1500-700	24			38				
BC310-36-1500-700	36			25				
BC310-48-1500-700	48			19				
BC310-12-2000-400	12	2000	400	1.9	43	1.5	7.2	a
BC310-24-2000-400	24				21.5			
BC310-36-2000-400	36				14.3			
BC310-48-2000-400	48				10.3			
BC310-12-2000-550	12		550	2.6	59	2.2	9.4	b
BC310-24-2000-550	24				29.4			
BC310-36-2000-550	36				19.6			
BC310-48-2000-550	48				15			
BC310-12-2000-800	12		800	3.8	84	2.9	11	c
BC310-24-2000-800	24				42			
BC310-36-2000-800	36				28			
BC310-48-2000-800	48				21			
BC310-12-2000-950	12	950	4.5	52	5	16	d	
BC310-24-2000-950	24			34				
BC310-36-2000-950	36			26				
BC310-48-2000-950	48			26				
BC310-12-3000-600	12	3000	600	1.9	64	1.5	7.2	a
BC310-24-3000-600	24				32			
BC310-36-3000-600	36				21			
BC310-48-3000-600	48				16			
BC310-12-3000-800	12		800	2.6	84	2.2	9.4	b
BC310-24-3000-800	24				42			
BC310-36-3000-800	36				22			
BC310-48-3000-800	48				20			
BC310-36-3000-1200	36		1200	3.8	41	2.9	11	c
BC310-48-3000-1200	48				31			
BC310-36-3000-1400	36		1400	4.5	48	5	16	d
BC310-48-3000-1400	48				36			



Esecuzione con piedi (B3) è possibile anche in associazione con B5 e B14.

Foot mounted version (B3) also available in combination with flange version B5 or B14.

16(17)



110921

Questa pubblicazione annulla e sostituisce ogni precedente edizione o revisione. Ci riserviamo il diritto di apportare modifiche senza preavviso. È vietata la produzione anche parziale senza autorizzazione.

This publication supersedes and replaces any previous edition and revision. We reserve the right to implement modifications without notice. This catalogue cannot be reproduced, even partially, without prior consent.



Dal 1956 Bonfiglioli progetta e realizza soluzioni innovative ed affidabili per il controllo e la trasmissione di potenza nell'industria e nelle macchine operatrici semoventi e per le energie rinnovabili.

Bonfiglioli has been designing and developing innovative and reliable power transmission and control solutions for industry, mobile machinery and renewable energy applications since 1956.

**Bonfiglioli Riduttori S.p.A.**  
Via Giovanni XXIII, 7/A  
40012 Lippo di Calderara di Reno  
Bologna (Italy)

tel: +39 051 647 3111  
fax: +39 051 647 3126  
bonfiglioli@bonfiglioli.com  
www.bonfiglioli.com



BR\_CAT\_BC-DC\_STD\_ITA-ENG\_R00\_0

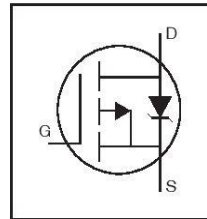
International  
**IR** Rectifier

PD - 94788

# IRF5305PbF

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated
- Lead-Free

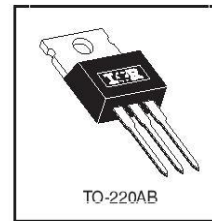


$V_{DSS} = -55V$
$R_{DS(on)} = 0.06\Omega$
$I_D = -31A$

### Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-31	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-22	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current Ⓞ	-110	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	110	W
	Linear Derating Factor	0.71	W/°C
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche EnergyⓄ	280	mJ
$I_{AR}$	Avalanche CurrentⓄ	-16	A
$E_{AR}$	Repetitive Avalanche EnergyⓄ	11	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt Ⓞ	-5.0	V/ns
$T_J$	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
$T_{STG}$	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds		
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

### Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.4	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

## IRF5305PbF

International  
IGR RectifierElectrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = -250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.034	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}$ , $I_D = -1mA$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.06	$\Omega$	$V_{GS} = -10V, I_D = -16A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	-2.0	—	-4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = -250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	8.0	—	—	S	$V_{DS} = -25V, I_D = -16A$
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	-25	$\mu A$	$V_{DS} = -55V, V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = -44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D = -16A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	13	nC	$V_{DS} = -44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	29	nC	$V_{GS} = -10V$ , See Fig. 6 and 13 ②
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	$V_{DD} = -28V$
$t_r$	Rise Time	—	66	—	ns	$I_D = -16A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	39	—	ns	$R_G = 6.8\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	63	—	ns	$R_D = 1.6\Omega$ , See Fig. 10 ②
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1200	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	520	—	pF	$V_{DS} = -25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	250	—	pF	$f = 1.0MHz$ , See Fig. 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	-31	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	-110	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	-1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = -16A, V_{GS} = 0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	71	110	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = -16A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	170	250	nC	$di/dt = -100A/\mu s$ ②

## Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. ( See fig. 11 )
- ②  $V_{DD} = -25V$ , starting  $T_J = 25^\circ\text{C}$ ,  $L = 2.1mH$ ,  $R_G = 25\Omega$ ,  $I_{AS} = -16A$ . (See Figure 12)
- ③  $I_{SD} \leq -16A$ ,  $di/dt \leq -280A/\mu s$ ,  $V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  $T_J \leq 175^\circ\text{C}$
- ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

International  
IR Rectifier

IRF5305PbF

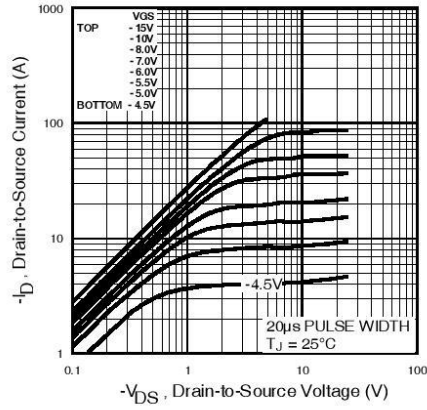


Fig 1. Typical Output Characteristics

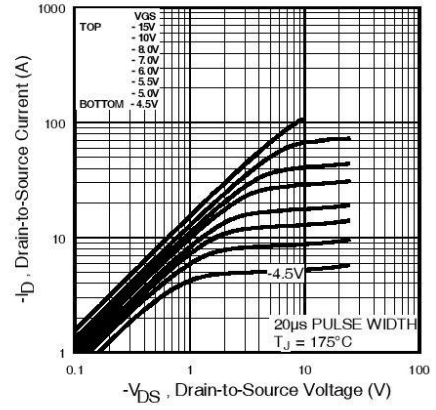


Fig 2. Typical Output Characteristics

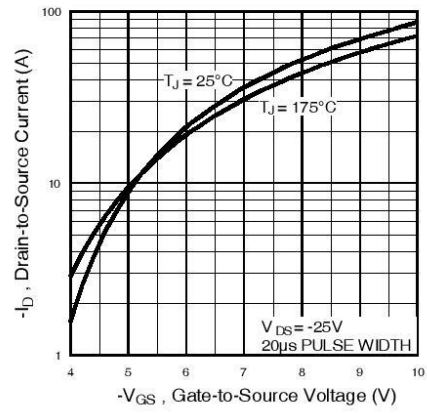


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

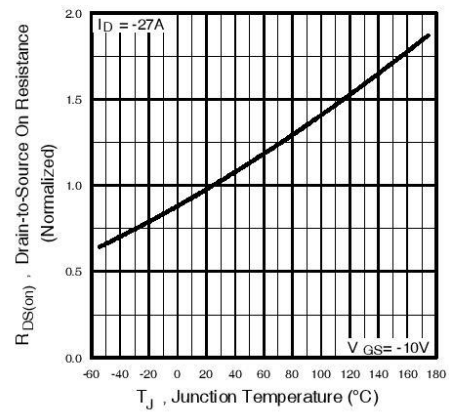
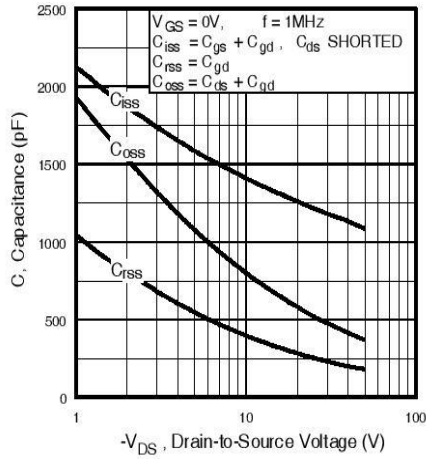


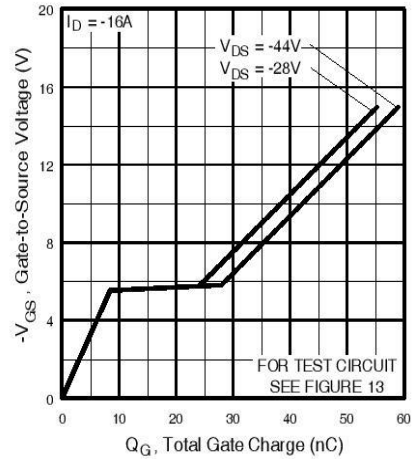
Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

# IRF5305PbF

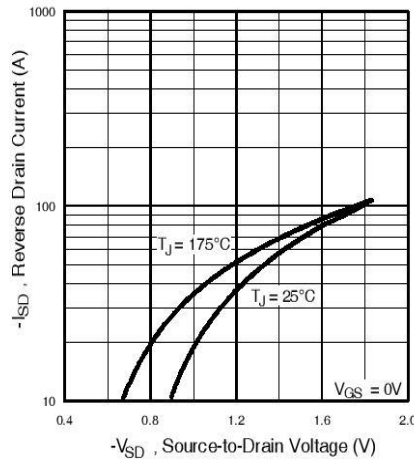
International  
IR Rectifier



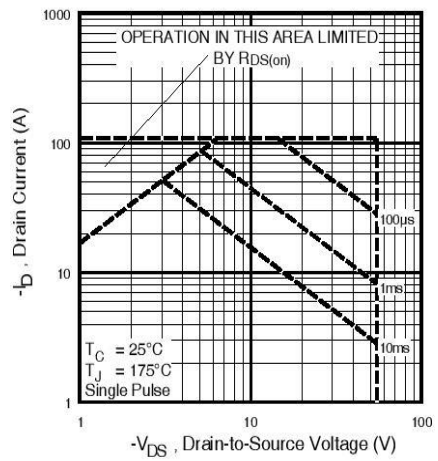
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



**Fig 6.** Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage



**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area

International  
 Rectifier

# IRF5305PbF

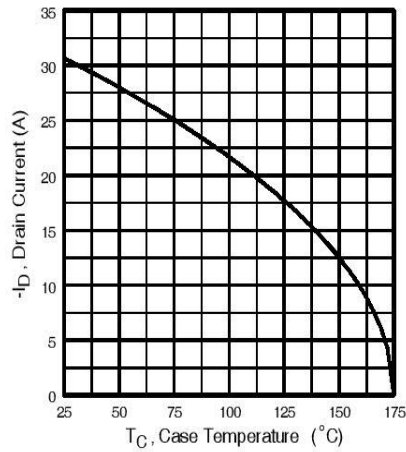


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

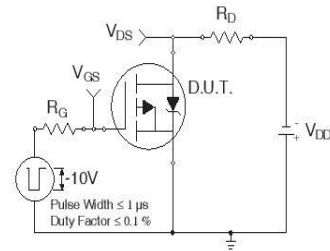


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

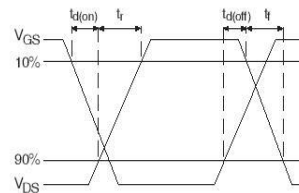


Fig 10b. Switching Time Waveforms

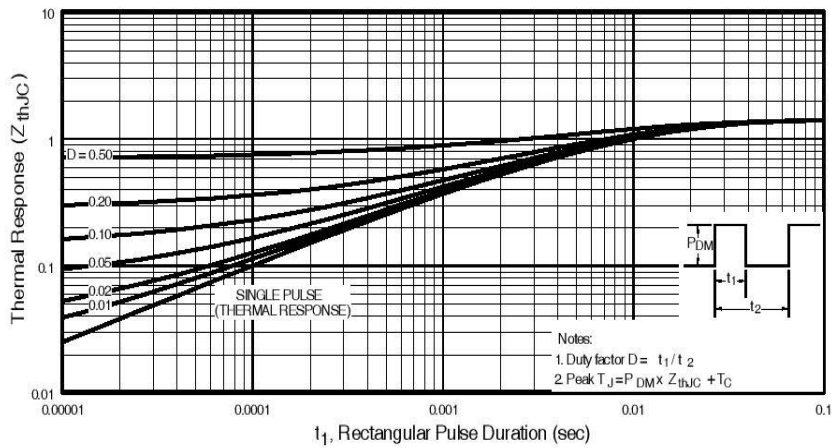


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

# IRF5305PbF

International  
**IRF** Rectifier

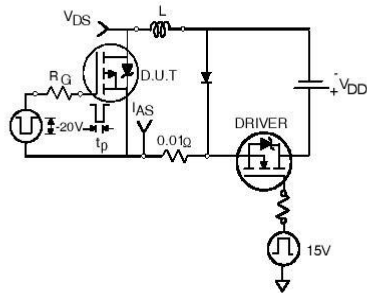


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

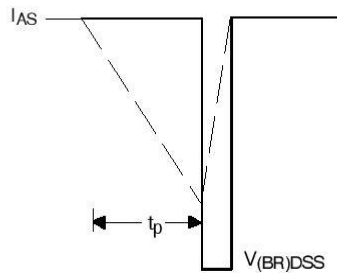


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

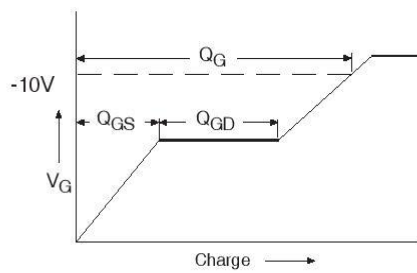


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

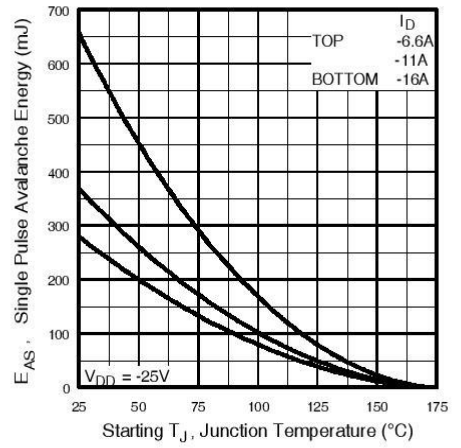


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

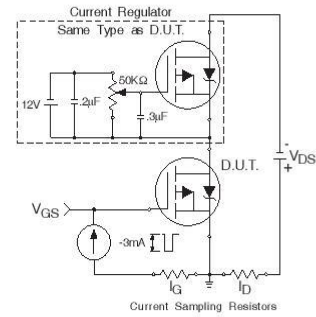
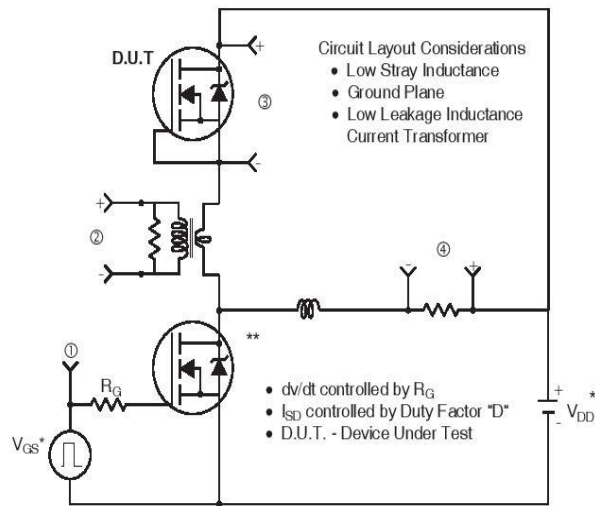


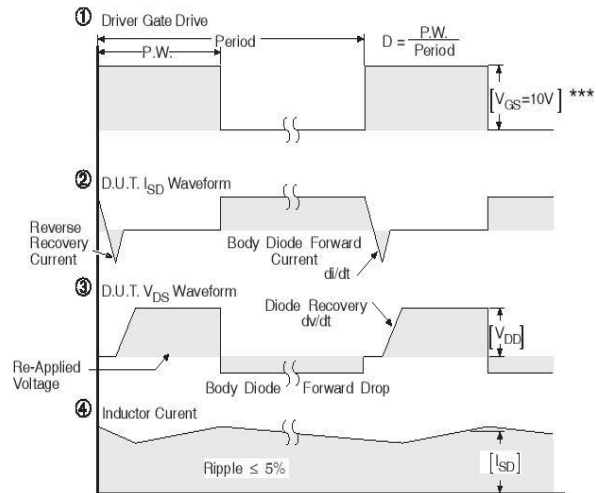
Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit



\* Reverse Polarity for P-Channel

\*\* Use P-Channel Driver for P-Channel Measurements



\*\*\*  $V_{GS} = 5.0V$  for Logic Level and 3V Drive Devices

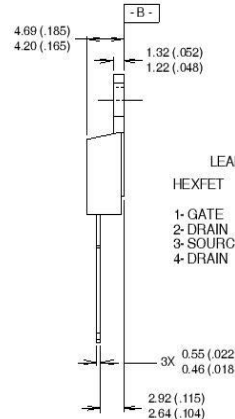
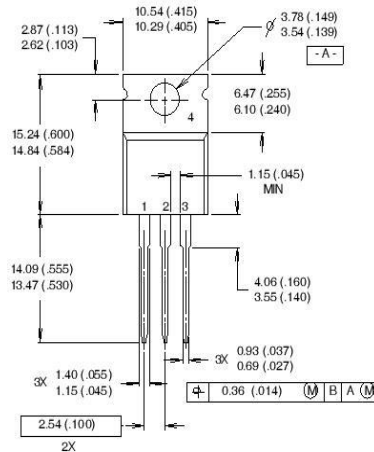
Fig 14. For P-Channel HEXFETS

# IRF5305PbF



## TO-220AB Package Outline

Dimensions are shown in millimeters (inches)



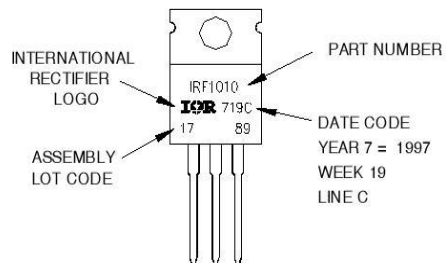
LEAD ASSIGNMENTS

HEXFET	IGBTs, CoPACK
1- GATE	1- GATE
2- DRAIN	2- COLLECTOR
3- SOURCE	3- EMITTER
4- DRAIN	4- COLLECTOR

- NOTES:
- 1 DIMENSIONING & TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
  - 2 CONTROLLING DIMENSION : INCH
  - 3 OUTLINE CONFORMS TO JEDEC OUTLINE TO-220AB.
  - 4 HEATSINK & LEAD MEASUREMENTS DO NOT INCLUDE BURRS.

## TO-220AB Part Marking Information

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010  
 LOT CODE 1789  
 ASSEMBLED ON WW 19, 1997  
 IN THE ASSEMBLY LINE "C"  
**Note:** "P" in assembly line position indicates "Lead-Free"



Data and specifications subject to change without notice.



IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105  
 TAC Fax: (310) 252-7903  
 Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information.10/03  
[www.irf.com](http://www.irf.com)