

OIKOSULKUMOOTTORIN VALINTA JA MITOITUS



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Valkeakoski, kevät 2017

Esa Parviainen

Esa Parviainen

VALKEAKOSKI

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Tekijä	Esa Parviainen	Vuosi 2017
Työn nimi	Oikosulkumoottorin valinta ja mitoitus	
Työn ohjaaja	Raine Lehto	

TIIVISTELMÄ

Sähkömoottori on erilaisten mekaanisten liikeratojen tuottajana oikein valittuna, mitoitetuna ja suojattuna erittäin energiatehokas laite.

Useat sähkö- ja automaatioalalle valmistuneet ”uudet” asentajat ovat kovin vähän päässeet tutustumaan moottorikäyttöihin, joten raportin tarkoitus on johdattaa lukija moottorikäytön perusteisiin.

Momenttilähteenä sähkömoottori on kehityskaarensa alusta asti ollut tehokas väline erilaisiin sovelluksiin. Raportin tavoite on avata moottorikäytön mekaanista rakennetta ja sähköisiä ominaisuuksia mahdollisimman johdonmukaisesti ja selkeästi.

Tukena tässä työssä on käytetty koulutusalan oppikirjoja, laitevalmistajien painettuja- sekä verkkojulkaisuja. Käytännön näkökulma asioihin muodostuu kirjoittajan omasta työhistoriasta.

Kuvateksteissä mainitut tekijän nimeä osoittavat laitekohtaiset tutkimukset on suoritettu omassa ”laboratoriossa”, kuten myös raportissa käytetyt tietokonesimuloinnit.

Moottorikäyttöä suunniteltaessa tai vikaantuneen moottorin tilalle uutta vaihdettaessa tärkeä osa-alue on koneen ohjaus ja suojaus.

Tässä raportissa tarkastellaan kaikkia tarvittavia komponentteja erikseen ja siinä järjestyksessä, kuten ne käytännössä esiintyvät sähköverkosta moottoriin päin tarkasteltuna.

Raportissa tarkastellaan lyhyesti myös taajuusmuuttajan rakennetta.

Avainsanat Ohjaus, suojaus, simulointi, piirikaavio, staattori, roottori

Sivut 44 s. + liitteet 8 s.

Valkeakoski
Degree Programme in Automation Engineering

Author	Esa Parviainen	Year 2017
Subject of Bachelor's thesis	Selection and dimensioning of an asynchronous motor	
Supervisors	Raine Lehto	

ABSTRACT

An electric motor is, when properly selected, fixed and secured as a producer of different mechanical motion a very energy-efficient device. Many new graduates working as installers in the electrical and automation sector are very rarely familiarized with electrical engine appliances. This report is intended to guide the reader to the basics of using an asynchronous motor.

As a source of torque the electric motor has been an effective device for different applications since the beginning of its evolution. The objective of this project was to disclose the mechanical structure and electrical properties of the motor drive as consistently and clearly as possible.

As support in this work the author used from the field textbooks, as well as online publications. The practical aspect of things is derived from the author's own work history.

The author's name has been mentioned as a source with several images to show the device-specific studies that have been carried out in his own "laboratory", just as the computer simulations used in the report.

An important aspect of motor operation planning or when replacing a failed motor is the control and protection of the motor.

This report looks at all the necessary components separately and in the order as they exist in practice, viewed from the power supply to the motor. The report also briefly examines the structure of the variable frequency drive.

Keywords Control, protection, simulation, diagram, stator, rotor

Pages 44 p. + appendices 8 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	OIKOSULKUMOOTTORI.....	2
2.1	Moottorin runko	3
2.2	Staattori	4
2.3	Roottori.....	5
2.4	Moottorin häviöt.....	6
3	OIKOSULKUMOOTTORIN MALLINTAMINEN	7
3.1	Koneen sähköisiä ominaisuuksia	7
3.2	Oikosulkukoneen käynnistäminen	8
4	MOOTTORIN OHJAUS	11
4.1	Moottorikäytön etukojeet	11
4.1.1	Oikosulkusuojaus	11
4.1.2	Tehon ohjaus	15
4.1.3	Ylivirtasuojaus.....	18
4.2	Releohjaukset	22
4.3	Taajuusmuuttajakäyttö	27
5	MOOTTORIN VALINTA	29
5.1	Asennusasennot.....	31
5.2	Moottorin käyttötavat	32
5.3	Moottorin leimausarvot.....	33
6	MOOTTORIN MITOITUS	35
6.1	Pumppumoottorin mitoitus.....	35
6.2	Puhallinmoottorin mitoitus.....	38
7	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	43

Liitteet

Liite 1	Simulink-lohkokaavio
Liite 2	Simulink-parametrit
Liite 3	Moottorin suorakäynnistys
Liite 4	Moottorin tähti-kolmio ohjauspiiri
Liite 5	Moottorin tähti-kolmio päävirtapiiri
Liite 6	Moottorin suunnan vaihto
Liite 7	Moottorin 2-nopeus ohjauspiiri
Liite 8	Moottorin 2-nopeus päävirtapiiri

1 JOHDANTO

Sähkömoottori on erilaisten mekaanisten liikeratojen tuottajana oikein valittuna, mitoitettuna ja suojattuna erittäin energiatehokas laite. Useat sähkö- ja automaatioalalle valmistuneet ”uudet” asentajat ovat kovin vähän päässeet tutustumaan moottorikäyttöihin, tämän raportin tarkoitus on johdattaa lukija moottorikäytön perusteisiin.

Momenttilähteenä sähkömoottori on historiansa alusta asti ollut tehokas väline erilaisiin sovelluksiin. Raportin tavoite on avata moottorikäytön mekaanista rakennetta ja sähköisiä ominaisuuksia mahdollisimman johdonmukaisesti ja selkeästi.

Kiinteistöautomaatiossa moottorikäytöt ovat keskeinen osa-alue energiatehokkuuden näkökulmasta tarkasteltuna, ilmastointijärjestelmät vaativat laadukkaan sisäilman aikaan saamiseksi oikein mitoitettun koneen ohjauksineen.

Moottorikäyttöä suunniteltaessa tai vikaantuneen moottorin tilalle uutta vaihdettaessa tärkeä osa-alue on koneen ohjaus ja suojaus.

Tässä raportissa tarkastellaan tarvittavia komponentteja erikseen ja siinä järjestyksessä, kuin ne esiintyvät sähköverkosta moottoriin päin tarkasteltuna.

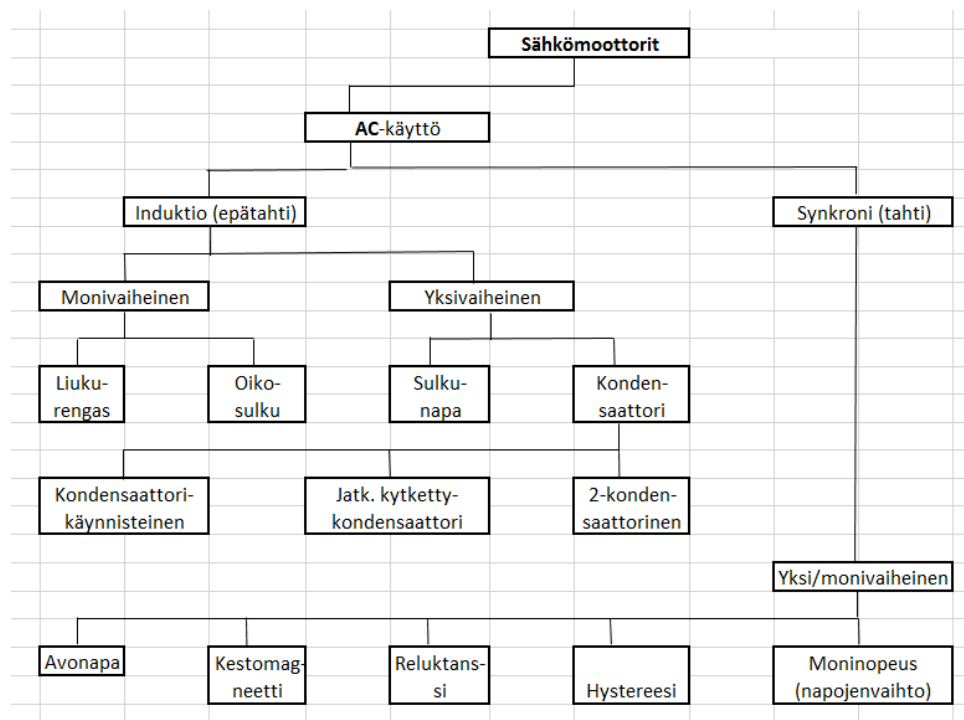
Raportti esittelee lyhyesti myös taajuusmuuttajan rakenteen ja nopeussäädetyt käytön hyödyn.

2 OIKOSULKUMOOTTORI

Oikosulkumoottorin keksijänä pidetään serbialais-syntyistä Nikola Teslaa, joka 1880-luvulla kehitti ja patentoi pitkälti nykymoottoreissakin käytössä olevan rakenteen.

Sähkömoottori mullisti teollistuvaa maailmaa ja sen keksimisen jälkeen siitä on tullut erittäin käytännöllinen tapa muuntaa sähköenergiaa mekaaniseksi energiaksi eri teollisuudenalojen sekä talotekniikan käyttökohteissa.

Sähkömoottorista on tarjolla markkinoilla lukuisia sovelluksia, kuten kaaviosta 1 voidaan havaita.



Kaavio 1. Markkinoilla olevat AC-käyttöön soveltuvat sähkömoottorit ja niiden sovellukset (Fonselius, 2011)

Oikosulkumoottori (kuva1), josta myös käytetään nimitystä: epätahtimoottori tai induktiomoottori on yksinkertaisen rakenteensa ansiosta edullinen ja luotettava ja siksi yleisimmin käytetty moottorityyppi (Hietalahti 2013, 34).

Tätä kyseistä konetyyppiä voidaan käyttää hyvin monenlaisissa sovelluksissa, esimerkkeinä mainittakoon tuotantolinjastot, kuljettimet ja työstöko-

neet. Koska tämä moottori soveltuu hyvin myös taajuusmuuttaja ohjaukseen, on se erinomainen ratkaisu pumppu ja puhallinkäyttöön.



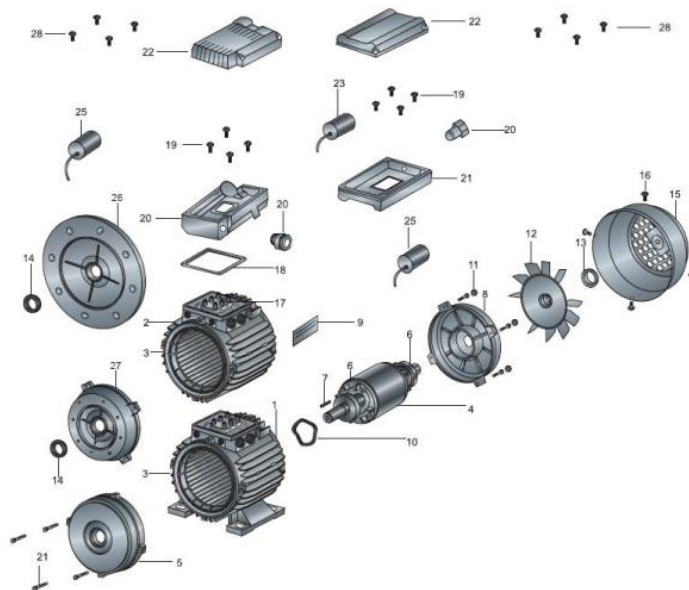
Kuva 1. Oikosulkumoottori (ABB n.d)

2.1 Moottorin runko

Runko on valumenetelmällä valmistettu tai kokoon puristettu suojakuori, jonka sisäpuolelle on kiinnitetty staattori, josta tarkemmin luvussa 2.2. Materiaaleina rungon valmistuksessa käytetään alumiinia, teräslevyä tai valurautaa.

Runkoon ulkopuolelle on muotoiltu jäähdytysrivat, joiden kautta moottorin sisällä syntyvä lämpö saadaan johdettua ympäröivään ilmaan (Hieta-lahti 2013, 18).

Rungossa on moottorin kiinnittämiseksi jalat tai laippa sekä kytkentäkotello, jossa moottorin käämitys voidaan kytkeä ohjauksen kautta syöttävään sähköverkkoon kaapelin avulla. Oikosulkumoottorin rakenne selviää tarkemmin alla olevasta räjäytyskuvasta (kuva 2).

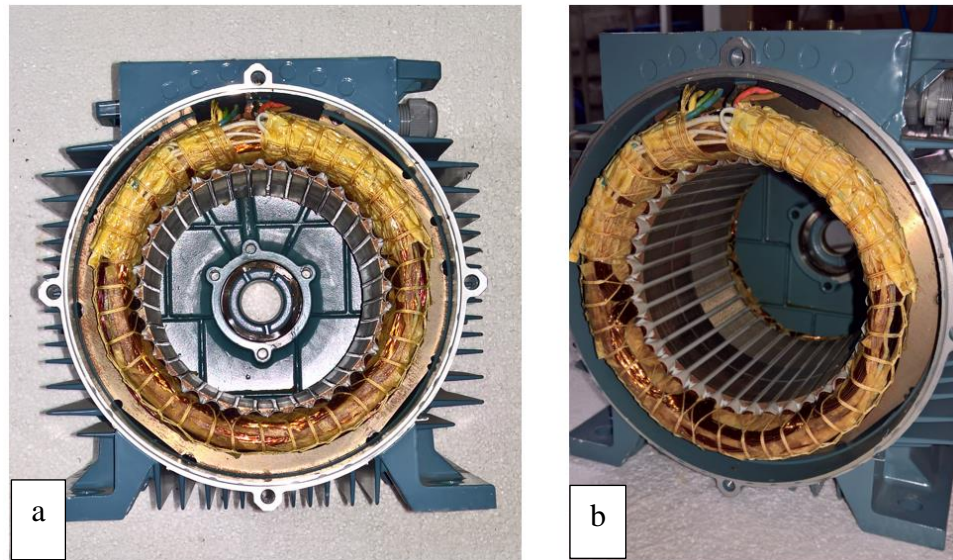


1. Runko B3
2. Runko B5 tai B14
3. Staattorikäämi
4. Roottori ja akseli
5. Päätykilpi D-pää
6. laakerit
7. Kiila
8. Päätykilpi N-pää
9. Arvokilpi
10. Ponejousi
11. Kiinnityspultit
12. Tuuletinsiipi
13. Lukkorengas
14. Akseliliiviste
15. Tuuletinsuoja
16. Kiinnitysruuvit
17. Liitinalusta
18. Tiiviste
19. Kiinnitysruuvit
20. Kaapeliholkki
21. Liitinkotelo
22. Liitinkotelon kansi
- 23 & 25 Kondenssaattori (1- moott.)
26. Laippa B5
27. Laippa B14
28. Kiinnitysruuvit

Kuva 2. Moottorin räjäytyskuva (Moves)

2.2 Staattori

Kuten edellä luvussa 2.1 esitettiin, on staattori (kuva 3) osa koneen runkoa, se on rungon sisäpuolelle kiinnitetty eristetyistä rautakiekosta käämitystä varten uritettu osa. Staattorin uriin on sijoitettu käämitys, tämän käämituksen kautta määritetään napapariluku ja se määrittää moottorin nimellisen pyörimisnopeuden.



Kuva 3. kolmivaihemoottorin staattori kuvattuna ilman roottoria a) edestä b) sivulta (E. Parviainen).

Moottorin nimellinen pyörimisnopeus määräytyy sen napapariluvun mukaan, oikosulkumoottorilla on jättämä - tästä johtuu myös nimitys epätahtimoottori - ja sen nopeus määritellään laskennallisesti:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} * 100 \% \quad (1)$$

jossa s on jättämä, n_s on staattorikentän pyörimisnopeus ja n on roottorin pyörimisnopeus.

Oikosulkumoottori toisin kuin tahtimoottori ei siis koskaan pyöri täsmälleen verkon taajuudella. (Hietalahti 2013, 35.)

Taulukossa 1. yleisimpien moottoreiden napapariluvut, staattorikentän nopeus sekä roottorin nopeus jättämä huomioituna.

Taulukko 1. Oikosulkumoottorin jättämä (E. Parviainen)

Oikosulkumoottorin nopeus/jättämä				Jättämä 2-5%	
Napaluku	Napapariluku	Verkon taajuus (Hz)	rpm	Todellinen nopeus	
2	1	50	3000	2940	2850
4	2	50	1500	1470	1425
6	3	50	1000	980	950
8	4	50	750	735	712,5

Normaali kuormituksella koneen jättämä on 2-5 %, jos kuormitus lisääntyy esim. mekaanisista syistä johtuen niin moottorin nopeus laskee ja roottorisauvoihin (rakenne tarkemmin luvussa 2.3) indusoituu suurempi jännite ja virta, sähköinen vääntömomentti myös kasvaa tässä tilanteessa. Moottorin pyörimisnopeus laskee, kunnes syntyy ns. uusi momenttitasapaino. Näin siis, jos mekaniikka, johon moottori on kytketty ei ole vikaantunut. (Hietalahti 2013, 35.)

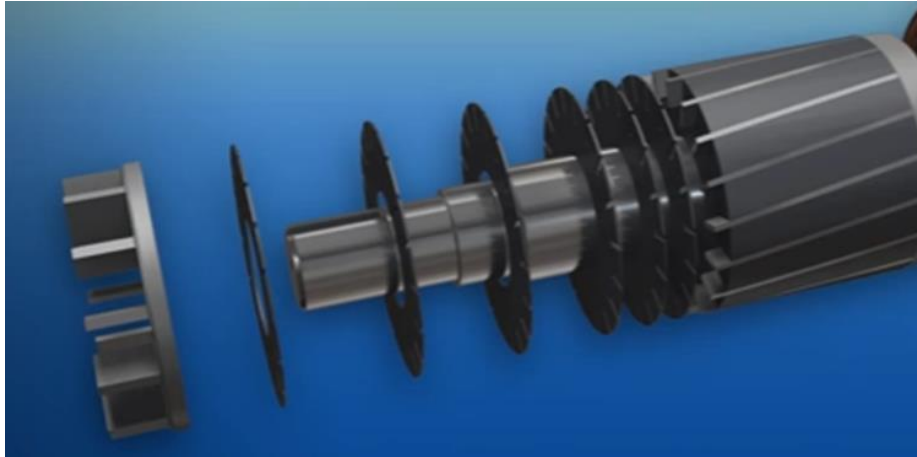
2.3 Roottori

Oikosulkumoottorin pyörivä osa on roottori, josta myös käytetään nimitystä ankkuri. Roottori muodostuu oikosulkuhäkistä (kuva 4), se on yleensä valmistettu kupari tai alumiini sauvoista, jotka on yhdistetty oikosulkurenkailla molemmista päistään, tästä tulee nimitys oikosulkumoottori.



Kuva 4. Oikosulkuhäkki, jossa roottorisauvat ja oikosulkurenkaat (LearnEngineering)

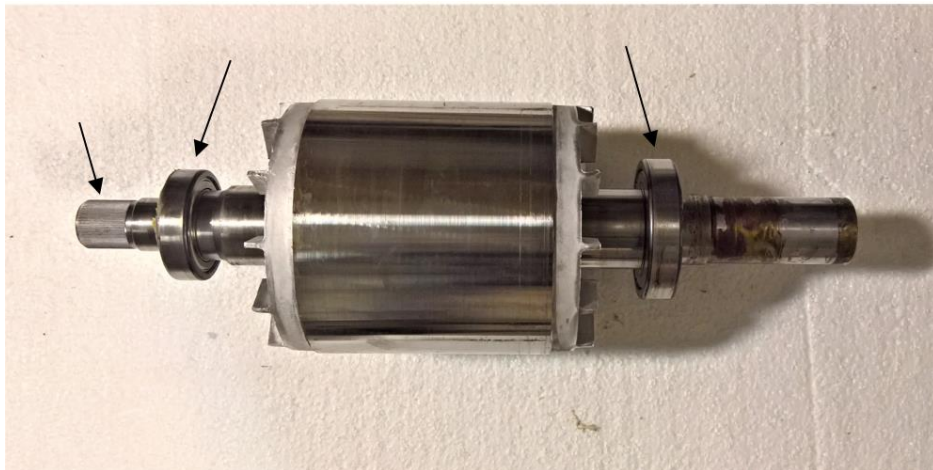
Häkin sisällä on kuvan 5 osoittamalla tavalla eristettyjä yhteen laminoituja rautalevyjä, jotka yhdessä häkin kanssa muodostavat roottorikämin.



Kuva 5. Kuvassa rautalevyt, jotka muodostavat roottorikäännyksen (Yaskava)

Roottori kiinnittyy moottoriin laakereiden (kuva 6) välityksellä, joita on kaksi: N-pään- ja D-pään-laakeri. D-pää tarkoittaa moottorin sitä päätä, jossa akseli on näkyvässä ja johon mekaaninen kuorma kytketään. N-pää on moottorin se osa, jossa koneen jäähdytyspuhallin sijaitsee koteloituna.

Kuvassa 6 on nähtävissä myös akselissa oleva uritus, johon moottorin tuuletin kiinnittyy.

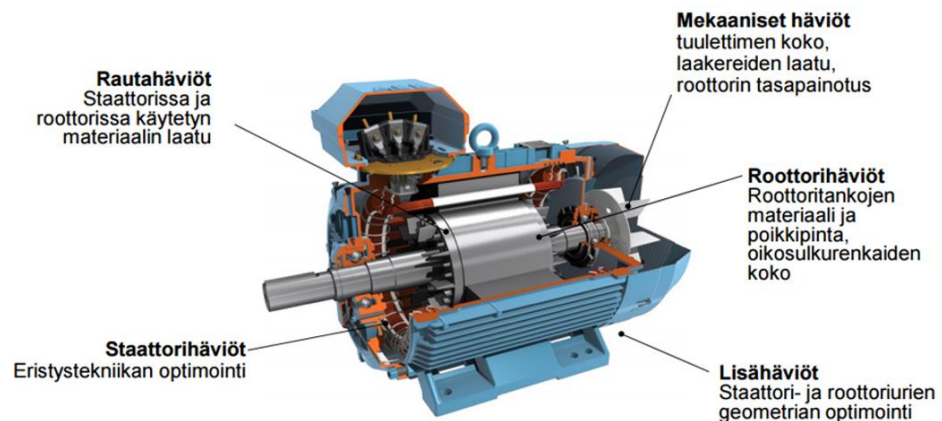


Kuva 6. Kolmivaihemoottorin roottori jossa osoitettuna nuolilla laakerit ja uritus puhallinta varten (E. Parviainen).

2.4 Moottorin häviöt

Kuten Hietalahti kirjassaan (2013, 29) esittää, niin sähkömoottoria käytettäessä syntyy luonnollisesti erilaisia häviöitä, näistä johtuen hyötysuhde on aina pienempi kuin 1. Häviöitä aiheuttaa lämpeneminen, joka tapahtuu pääosin käännyksessä. Jonkin verran lämpenemistä syntyy myös laake-

reissa, joka aiheutuu kitkasta. Kuva 7 havainnollistaa moottorissa syntyviä häviöitä.



Kuva 7. Moottorin häviöt (ABB)

3 OIKOSULKUMOOTTORIN MALLINTAMINEN

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu moottorin sisällä pyörivään magneettikenttään ja sen aikaansaamaan induktioon. Moottori tuottaa em. syistä johtuen voimakkaita häiriöitä syöttävään sähköverkkoon. Tässä luvussa tutustutaan moottorin magneettikenttiin sekä simuloidaan sen käynnistäminen.

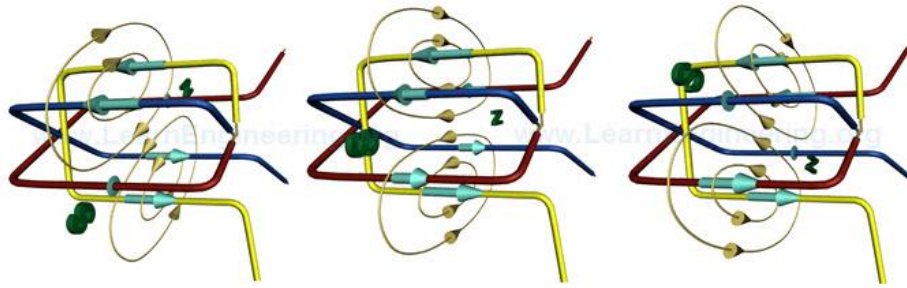
3.1 Koneen sähköisiä ominaisuuksia

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu magneettikentän ja siinä olevan virrallisen johtimen välisiin vuorovaikutuksiin. Staattoriin sijoitettujen käämitysten ja sähköverkon 50 Hz:n taajuudella vaihtelevan vaihtovirran avulla induktiolain mukaisesti indusoituu virta roottoriin.

Roottorivirtapiiriin muodostunut virta aiheuttaa staattorin magneettikentässä ollessaan voimavaikutuksen ja saa siten roottorin akseleineen pyörimään staattorin magneettikentän mukana. (Power & Automation 3/2009.)

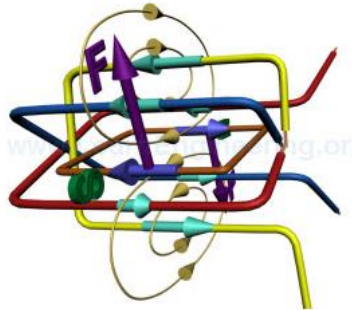
Virrallisen johtimen ympärille muodostuu magneettikenttä, joka on 90° kulmassa virran kulkusuuntaan nähden. Tämän seurauksena staattoriin saadaan pyörivä magneettikenttä kolmivaihekäämityksen avulla.

Kuvassa 8 esitetään kolmivaihemoottorin staattorikäämitys yksinkertaisesti ja virran kulkusuunnat sekä magneettikentän suunta.



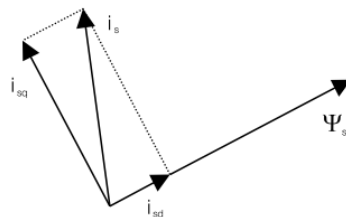
Kuva 8. Kolmivaiheinen staattorikäänitys, jossa virran ja magneettikentän kulkusuunnat. Kuvasta voidaan havaita myös kentän pyörimisliike (LearnEngineering)

Kuvassa 9 staattorin sisällä on roottoria kuvaava oikosulkusilmukka, johon indusoituu staattorin magneettikentän aikaan saama virta. Tämä virta puolestaan magnetoi roottorin ja saa aikaan voimavaikutuksen, joka pakottaa roottorin pyörimään.



Kuva 9. Roottorisilmukka staattorin sisällä ja magneettikenttien voimavaikutukset (LearnEngineering)

Oikosulkumoottorin sähköverkosta ottama virta (kuva 10 vektoripiirros), sisältää kaksi eri komponenttia: pätövirta (i_{sq}), joka tuottaa moottorin antaman momentin ja loisvirta (i_{sd}), joka moottorin magnetointiin tarvitaan.



Kuva 10. Moottorin staattorivirta (i_s) koostuu pätövirrasta (i_{sq}) ja loisvirrasta (i_{sd}). ψ_s staattorivuon tunnus (ABB)

3.2 Oikosulkukoneen käynnistäminen

Koska moottori on voimakkaasti induktiivinen kuorma sähköverkon suuntaan, aiheuttaa se käynnistyessään 4 ... 8 kertaisen virtasykäyksen nimellisvirtaansa nähden (Hietalahti 2013, 43).

Raskaissa käytöissä moottorin ottamaa käynnistysvirtaa voidaan rajoittaa mm. tähti-kolmiokäynnistyksellä tai pehmokäynnistimillä, joissa toiminta perustuu käynnistysjännitteen ja virran alentamiseen ennen moottorin saavuttamaa nimellistä pyörimisnopeutta.

Kolmio kytkennässä moottorin jokaisen käämin yli vaikuttaa verkon jännite, virta jaetaan kahden rinnakkaisen käämin välillä $1/\sqrt{3}$ verkkovirtaan verrattuna. Jos kaikkien käämitysten impedanssi on Z , niin rinnakkaisten käämitysten yhteisimpedanssi on $Z/\sqrt{3}$.

Kun moottori kytketään tähteen, kytketään käämit sarjaan ja tällöin impedanssi on $\sqrt{3}/Z$, tästä saadaan:

$$\frac{\sqrt{3}Z}{Z/\sqrt{3}} = 3 \quad (2)$$

Joka on 3 kertaa kolmiokytkennän impedanssi. Koska jännite on sama, on tähtikytkennän virta kolmasosa kolmiokytkennän virrasta. (ABB.)

Käynnistyksen aikana moottorin tuottama momentti ei ole vakio vaan se muuttuu kuvan 11 mukaisella tavalla ja on suuruudeltaan 2-3,5 kertainen nimellismomenttiin verrattuna (Hietalahti 2013, 44).

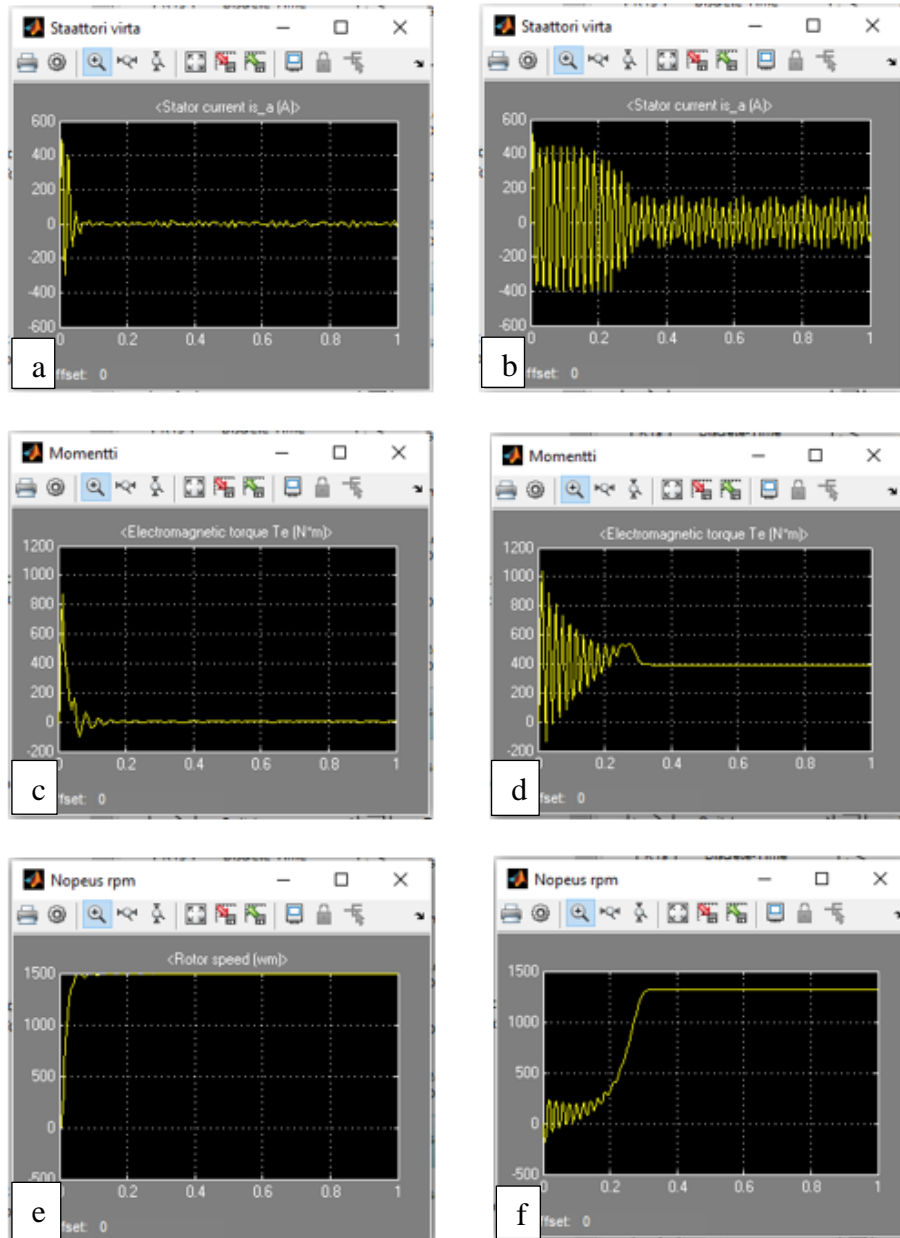
Kuvasta 11, jossa Matlab-ohjelmalla on simuloitu 1500 rpm / 15 kW:n moottorin käynnistäminen, voidaan havaita, että jättämä on kuormittamattomana lähes nolla ja maksimi kuormalla 10,4 %. Edelleen on kuvasta nähtävissä, että momentti ja virta ovat suurimmillaan aivan käynnistyksen alussa. Liitteissä 1 ja 2 on esitetty käytetyn ohjelman lohkokaavio ja objektien parametrit.

Kuvan 11 b pitkä käynnistysvirtasykäys johtuu siitä, että maksimi kuormalla moottoriin vaikuttava hitausmomentti on suuri ja sen vauhtiin saaminen kestää pidempään.

Kuvan 11 d tapauksessa esiintyvä voimakas värähtely käynnistyksen alkaessa johtuu jännitteen kytkeytymisessä tapahtuvasta muutoksesta ja virran vaimenevasta tasavirtakomponentista (Hietalahti 2013, 49).

Kuvassa 11 e on kuormittamattoman moottorin nopeus, jossa jättämä lähes nolla. Tilanteessa, jossa moottorin nopeus on sama kuin staattorikentän nopeus, moottorin induktio häviää ja moottorin vääntömomenttimomentti on 0. Oikosulkumoottorilla sen rakenteesta johtuen näin ei kuitenkaan tapahdu. (Hietalahti 2011, 62.)

Kuvassa 11 f nähdään, kuinka jättämä kasvaa, kun moottorilla on maksimi kuormitus (15 kW:n moottorin maksimi kuorma on 393 Nm). Jos kuormitusta vielä tästä lisätään, niin moottori ei enää käynnisty.



Kuva 11. Staattorivirta (a ja b), momentti (c ja d), roottorin jättämä (e ja f). Vasemmanpuoleisissa kuvissa kuormittamaton moottori ja oikeanpuoleisissa kuvissa maksimi kuormituksella oleva moottori (E. Parviainen).

Kuvasta 10 a ja b havaittavalla ominaisuudella virran suhteen on merkittävä vaikutus ohjauskomponenttien mitoitukseen moottorin toiminnan kannalta.

Tilanteessa, jossa koneen akseli ei pääse pyörimään, ottaa moottori jatkuvasti suurta virtaa ja sen käämitys ylikuumentuu. (Hietalahti 2013, 44.)

Oikein mitoitetut suojaukseen tarkoitetut komponentit kytkevät moottorin irti verkosta ennen kuin se vaurioituu, tästä tarkemmin luvussa 4.

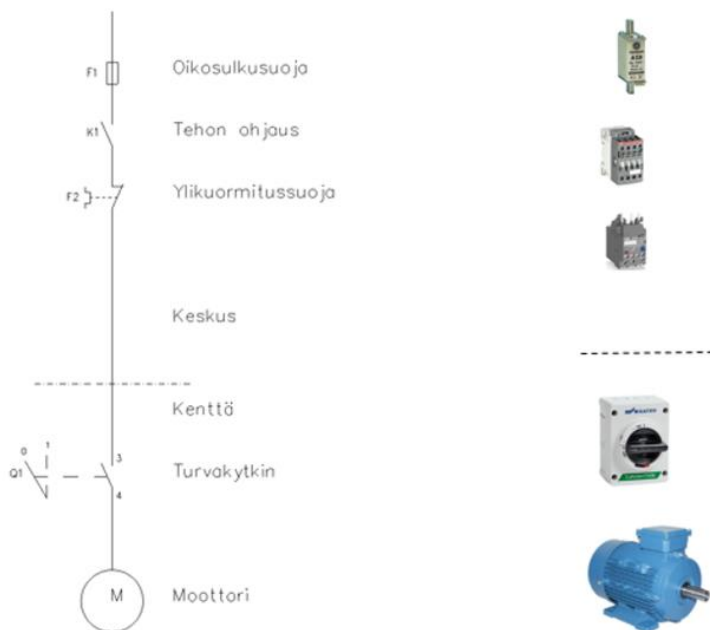
4 MOOTTORIN OHJAUS

Oikosulkumoottorin ohjaus voidaan toteuttaa joko releohjauksella tai taajuusmuuttajalla, josta käytetään myös nimitystä säädetty käyttö. Releohjaukset kuvataan tarkemmin luvussa 4.2 ja taajuusmuuttajakäyttö luvussa 4.3.

4.1 Moottorikäytön etukojeet

Tässä luvussa käsitellään moottorikäytön ohjauskeskukseen tarvittavia kytkinlaitteita, joilla moottori voidaan käynnistää ja pysäyttää sekä moottorin suojaukseen tarvittavia komponentteja.

Jotta moottori voidaan kytkeä sähköverkkoon, tarvitsee se ohjauksen ja suojauksen toteuttamiseksi oikeanlaiset etukojeet. Kuvassa 12 on esitetty suoraikäytön periaatteellinen kytkentäkuva ja ko. piirin komponentit.



Kuva 12. Vasemmalla kuvassa moottorin suoraikäynnistyksen ja oikealla kuvattuna komponentit keskukselta moottorille. (Hietalahti 2013, 151, ABB, SKS)

Moottorikäytön virtapiirikaaviot jaetaan kahteen ryhmään, ohjauspiiri ja päävirtapiiri. Ohjauspiirissä kuvataan moottorin kytkeminen käyntiin ja pois, varo- ja turvapiirit sekä tarvittavat merkkilamput. Päävirtapiiri kuvaa oikosulkusuojauksen, tehon ohjauksen, turva erotuksen ja moottorin.

4.1.1 Oikosulkusuojaus

Päävirtapiirin oikosulkusuojaukseen voidaan käyttää tulppasulaketta, kahvasulaketta, johdonsuojakatkaisijaa tai kompaktikytkintä. Ohjauspiirin

suojauksessa kysymykseen tulee joko tulppasulake tai johdonsuojakatkaisija.

Suojauksen tehtävänä on tunnistaa vikatilanteet, joissa piirin impedanssi laskee esim. vikaantuneen eristyksen tai virheellisen kytkennän johdosta aiheuttaen oikosulun. Moottorikäytössä ei ole suotavaa, että oikosulkusuojaus toimii ylikuormitusten yhteydessä. (Hietalahti 2013, 176.)

Moottoripiiriin oikosulkusuojaukselta valittaessa, tulee ottaa huomioon käynnistysvirta ja mahdollinen uudelleen käynnistyminen, jolloin sulake on jo valmiiksi lämmin (Hietalahti 2013, 177).

Yleiset vaatimukset oikosulkusuojan mitoittamiseksi:

- Oikosulkusuojan (momenttilaukaisun) on toimittava nopeasti virran arvolla, joka on $0,8 \times$ virtapiirin pienin mahdollinen oikosulkuvirta.
- Kunkin osajohtimen on erikseen kestävä termisesti piirin suurin mahdollinen oikosulkuvirta.

Virran katkaisuaika oikosulku tilanteessa saa olla enintään 5 s. Johtimien poikkipinnan ollessa suurempi kuin 120 mm^2 kuparilla tai 150 mm^2 alumiinilla, voidaan kolme tai useampi eristepäällysteinen johdin kytkeä rinnan. Tällöin pitää kuitenkin jokainen johdin erikseen varustaa ylivirtasuojalla johtimen molemmissa päissä. (Hietalahti 2013, 178.)

Kahvasulakkeiden toimintaa kuvaavien kirjaintunnusten merkitys:

Ensimmäinen kirjain ilmaisee katkaisualueen:

g = koko alueen kattava katkaisukyky, sekä oikosulku- että ylikuormitus-suojaksi soveltuva sulake

a = osa-alueen kattava katkaisukyky, vain oikosulkusuojaukseen soveltuva

Toinen kirjain ilmaisee käyttökohteen:

G = johdon suojaukseen tarkoitettu sulake

M = moottorin suojaukseen tarkoitettu sulake

Kirjain yhdistelmien merkitys:

gG = yleiskäyttöön tarkoitettu sulake, johdon ylikuormitus- ja oikosulkusuojaukseen

aM = moottoripiiriin suojaukseen, katkaisukyky käsittää vain tietyn alueen

gM = moottoripiiriin sulake, katkaisukyky käsittää koko virta-alueen

Taulukoissa 2, 3 ja 4 kahvasulakkeiden toiminta-ajat ja kokoluokitukset.

Taulukko 2. gG-kahvasulakkeiden toiminta-ajat (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07)

Sulake I_n/A	I_{nf}	I_f	t/h
$I_n \leq 4$	$1,5 \times I_n$	$2,1 \times I_n$	1
$4 < I_n < 16$	$1,5 \times I_n$	$1,9 \times I_n$	1
$16 \leq I_n \leq 63$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	1
$63 < I_n \leq 160$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	2
$160 < I_n \leq 400$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	3
$400 < I_n$	$1,25 \times I_n$	$1,6 \times I_n$	4

Taulukossa I_n tarkoittaa sulakkeen nimellisvirtaa, I_{nf} on kestorajavirta (sulake ei saa toimia ajassa t) ja I_f on sulamisrajavirta (sulakkeen tulee toimia ajassa t).

Taulukko 3. aM-kahvasulakkeiden toiminta-ajat (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07)

	$4 I_n$	$6,3 I_n$	$8 I_n$	$10 I_n$	$12,5 I_n$	$19 I_n$
Suurin toiminta - aika t_{max}	-	60 s	-	-	0,5 s	0,1 s
Pienin sulamisai- ka t_{min}	60 s	-	0,5 s	0,2 s	-	-

Taulukko 4. Kahvasulakkeiden koot ja nimellisvirrat (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07)

Koko	Alusta I_n / A	<u>gG</u> / 500 V	<u>gG</u> 690 V	<u>aM</u> / 500 V	<u>aM</u> / 690 V
		I_n / A	I_n / A	I_n / A	I_n / A
00	160	100/160	100	160	160
0	160	160	100	160	100
1	250	250	250	250	250
2	400	400	315	400	400
3	630	630	500	630	630
4	1000	1000	800	1000	1000
4a	1250	1250	1000	1250	1250

Kahvasulakkeen (kuva 13) pääosat ovat runkolieriö, sulakehiekkä ja toimivana osana on sulakeliuska tai lanka, jonka rakenteen ja mitoituksen avulla voidaan säädellä sulakkeen toimintaominaisuuksia. Sulakehiekan tehtävänä on sitoa valokaassa syntyvä energia. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, 211, 212.)



Kuva 13. Kahden eri valmistajan eri kokoiset kahvasulakkeet (www.sahkonumerot.fi)

Kevyemmissä käytöissä voidaan päävirtapiirin oikosulkusuojaus toteuttaa johdonsuojakatkaisijaa tai mekaanista moottorinsuojakytä käyttämällä. Jälkimmäinen tapa ei vaadi erillistä ylivirtasuojausta ja se sopii pienten työstökoneiden ja kuljetinhihnojen yhteyteen, jolloin sillä voidaan toteuttaa myös käynnistys ja pysäytys.

Johdonsuojakatkaisijoita (kuva 14) valmistetaan kuormitus tavasta riippuen eri laukaisukäyrillä, nämä kuvataan taulukossa 5. Moottorikäytössä, jo-

ka on voimakkaasti induktiivinen ja siten aiheuttaa suuren käynnistysvirta-
sykäyksen täytyy tämä ottaa huomioon. Moottorilähdön suojauksessa on
pääsääntöisesti tarkoituksenmukaista käyttää vähintään C-laukaisukäyrän
omaavaa johdonsuojakatkaisijaa. Isommilla moottoreilla ja raskaammissa
käytöissä, kuten luokkien S3-S5 tapauksissa, joissa tapahtuu paljon läm-
penemistä, kysymykseen tulee D-käyrän omaava katkaisija.



Kuva 14. Kuvassa on kahden eri valmistajan johdonsuojakatkaisijat, vasemmalla 16 A C-
käyrän katkaisija ja oikealla 32 A johdonsuoja (<http://www.sahkonumerot.fi/3268866/>)

Taulukossa 5 esitetään standardin mukaiset laukaisukäyrät, laukaisuajat,
nimellisvirrat ja koestusvirrat käytössä oleville johdonsuojakatkaisijoille.

Taulukko 5. Laukaisuajat (ABB)

standardi		laukaisukäyrä ja nimellisvirta		Terminen laukaisu ²⁾		Magneettinen laukaisu ³⁾			
				koestusvirrat: pitorajavirta	laukaisu- rajavirta	laukaisu- aika	koestusvirrat: pitorajavirta	laukaisu- rajavirta	laukaisu- aika
DIN VDE 0641/T 11	B	6 ... 63 A		$1.13 \cdot I_n$	$1.45 \cdot I_n$	> 1 h < 1 h	$3 \cdot I_n$	$5 \cdot I_n$	> 0.1 s < 0.1 s
	C	0.5 ... 63 A		$1.13 \cdot I_n$	$1.45 \cdot I_n$	> 1 h < 1 h	$5 \cdot I_n$	$10 \cdot I_n$	> 0.1 s < 0.1 s
	D	0.5 ... 63 A		$1.13 \cdot I_n$	$1.45 \cdot I_n$	> 1 h < 1 h	$10 \cdot I_n$	$20 \cdot I_n$	> 0.1 s < 0.1 s
DIN VDE 0660/9.82	K	0.5 ... 63 A		$1.05 \cdot I_n$	$1.2 \cdot I_n$	> 1 h < 1 h	-		
DIN VDE 0660 8/69 Osa 1 ⁴⁾				$1.05 \cdot I_n$	$1.2 \cdot I_n$ $1.5 \cdot I_n$ $6.0 \cdot I_n$	> 2 h < 2 h ³⁾ < 2 min. ³⁾ > 2 s (T1)	$8 \cdot I_n$	$12 \cdot I_n$	> 0.2 s < 0.2 s
DIN VDE 0660/9.82	Z	0.5 ... 63 A		$1.05 \cdot I_n$	$1.2 \cdot I_n$	> 1 h < 1 h	-		
DIN VDE 0660 8/69 Osa 1 ⁴⁾				$1.05 \cdot I_n$	$1.2 \cdot I_n$ $1.5 \cdot I_n$ $6.0 \cdot I_n$	> 2 h < 2 h ³⁾ < 2 min. ³⁾ > 2 s (T1)	$2 \cdot I_n$	$3 \cdot I_n$	> 0.2 s < 0.2 s

¹⁾ Magneettisen pikalaukaisijan laukaisu- ja koestusvirrat ovat voimassa taajuuksilla 16 2/3 ... 60 Hz. Taajuuksien poikkeuksella tai tasavirralla arvot vaihtelevat alla merkityn kertoimen mukaan.

²⁾ Termiset laukaisut kalibroidaan ympäristön lämpötilaan; Z- ja K -käyrillä 20 °C, B- ja C -käyrillä 30 °C. Korkeammissa ympäristön lämpötiloissa arvot alenevat noin 6%:lla jokaista 10 °C lämpötilan nousua kohden.

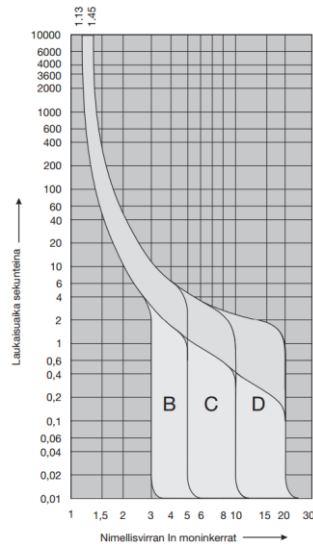
³⁾ Käyttölämpötila ($I_n > 1$ h jälkeen tai, kun tiedossa, 2 h).

⁴⁾ DIN VDE 0660/9.69 -standardi ei ole vuoden 1986 jälkeen enää voimassa, mutta siihen viitataan silti sen sisältämien täydellisten laukaisukäyrätietojen takia.

kerroin noin-arvo	Vaihtovirta			Tasavirta
	100 Hz	200 Hz	400 Hz	
	1.1	1.2	1.5	1.5

Terminen laukaisu toimii taajuuksista riippumatta.

Kuvassa 15 esitetään laukaisukäyrät B, C ja D ryhmien johdonsuojakatkaisijoille, josta on havaittavissa, kuinka ne kestävät hetkellisiä ylivirtoja.



Kuva 15. B, C ja D ryhmän johdonsuojien laukaisukäyrät (Hager)

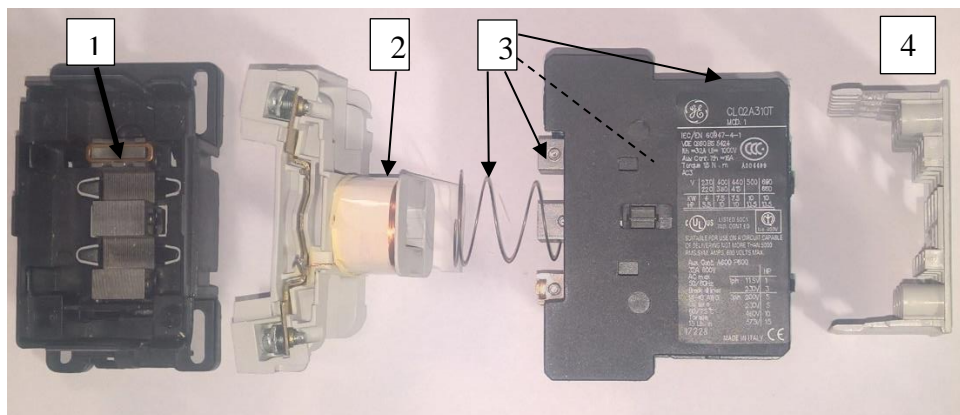
4.1.2 Tehon ohjaus

Tässä luvussa esitellään moottorin ohjaukseen tarkoitettuja mekaanisia laitteita, joita säätelee SFS-EN 60947-4-1 standardi.

Moottorikäytössä tärkeä käyttötoimenpide on käynnistäminen ja pysäyttäminen, tähän tarkoitukseen on olemassa sähkömekaaninen kytkin (kontaktori).

Kontaktorissa (kuva 16) on seuraavat osat:

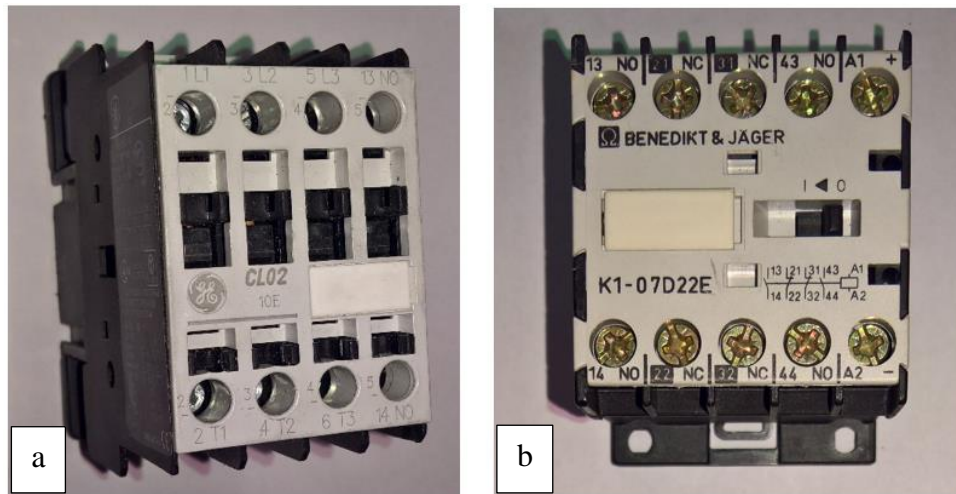
1. rautasydän
2. kela, johon kytketään ohjauspiirin vaihe- ja nollajohdin
3. kosketinmoduuli, jossa rautasydän, palautusjoussi, koskettimet sekä ruuviliittimet päävirtapiiriin johtimille
4. sormisuojailevy



Kuva 16. Kontaktorin rakenne (1) rautasydän, (2) kela, (3) kosketinmoduuli, (4) sormisuojailevy (E. Parviainen)

Kontaktori (kuva 17) poikkeaa releestä, jota käytetään ohjauspiirissä periaatteessa siten, että kontaktorin koskettimet kestävät suurempia tehoja ja kosketinmerkinnät ovat erilaiset. Kontaktoriin voidaan kiinnittää apukos-

kettimia, joiden avulla voidaan esim. ohjauslogiikalle tai käyttäjälle välittää sen tilatieto. (Hietalahti 2013, 172.)



Kuva 17. Kontaktori kuvassa a, jossa nähtävissä pääkosketinten lisäksi yksi apukosketin (NO) ja vasemmalla kuvassa b on rele, jossa on kaksi sulkeutuvaa ja kaksi avautuvaa kosketinta (E. Parviainen)

Kontaktorin valinta perustuu AC-käyttöluokkiin (taulukko 6), jotka ilmaisevat sen koskettimien kykyyn kestää käynnistys- ja katkaisuvirtaa.

Tärkeätä on, että kontaktorin käyttöluokka valitaan kohdelaitteen mukaan. Kontaktorin arvokilvestä (kuva 18 a), joka on ”leimattu” sen kylkeen käy ilmi esim. apukosketinten toiminta (NO/NC), AC-luokka, tehonkesto, jännitealueet ja virrankatkaisukyky.

On myös erittäin tärkeä selvittää se, onko kyseinen kontaktori tarkoitettu 230 V 50 Hz jännitteelle vai pienemmille ohjausjännitteille tai DC-piiriin (kuva 18 b).



Kuva 18. Kontaktorin arvokilpi (a), josta nähtävissä sen käyttöluokka ja tehonkestoisuus. Kuvassa b, nuoli osoittaa kohdan, josta voi lukea kelajännitteen (E. Parviainen)

Oikosulkumoottori on voimakkaasti induktiivinen kuorma, joten sen ohjauksessa tulee käyttää AC-3 tai AC-4 luokkaan suunniteltuja kontaktoreita. Yleensä kontaktori kannattaa mitoittaa siten, että se on yhtä kokoluokkaa suurempi kuin ohjattava moottori, kuvassa 19 erikokoisia kontaktoreita. Näin mitoittuna kontaktori kestää pidempään ja tulee sitä kautta edullisemmaksi. (Hietalahti 2013, 173.)



Kuva19. Vasemmalla kuvassa 7,5 kW:n kontaktori, keskellä 25 kW:n kontaktori ja oikealla 90 kW:n kontaktori (OEM, Radekondar).

Taulukko 6. Käyttöluokat (SFS-EN-4-1, 28)

Virtalaji	Käyttöluokat	Lisäluokkamerkintä	Tyypillinen sovellutus
AC	AC-1	Yleinen käyttö	Ei induktiiviset tai lievästi induktiiviset kuormitukset, vastusuunit
	AC-2		Liukurengasmootorit: käynnistys, poiskytkentä
	AC-3		Oikosulkumoottorit: käynnistys, pyörivän moottorin poiskytkentä ^a
	AC-4		Oikosulkumoottorit: käynnistys, vastavirtajarrutus, nykäyskäyttö
	AC-5a	Virranrajoitin Hehkulangalla varustettu	Purkauslamppujen kytkentä
	AC-5b		Hehkulamppujen kytkentä
	AC-6a		Muuntajien kytkentä
	AC-6b		Kondensaattoriparistojen kytkentä
	AC-7a ^c		Kotitalouslaitteiden ja vastaavien sovellutusten lievästi induktiiviset kuormitukset
	AC-7b ^c		Kotitaloussovellutusten moottorikuormat
	AC-8a		Hermeettisten jäähdytysmoottorikompressorien ^b ohjaus, kun ylikuormituslaukaisimien palautus on käsikäyttöinen
AC-8b	Hermeettisten jäähdytysmoottorikompressorien ^b ohjaus, kun ylikuormituslaukaisimien palautus on automaattinen		
DC	DC-1	Hehkulangalla varustettu	Ei induktiiviset tai lievästi induktiiviset kuormitukset, vastusuunit
	DC-3		Sivuvirtamoottorit: käynnistys, vastavirtajarrutus, nykäyskäyttö
	DC-5		Tasavirtamoottorien dynaaminen jarrutus Sarjamoottorit: käynnistys, vastavirtajarrutus, nykäyskäyttö
	DC-6		Tasavirtamoottorien dynaaminen jarrutus Hehkulamppujen kytkentä

^a AC-3-luokkaa voidaan käyttää satunnaiseen nykäyskäyttöön tai vastavirtajarrutukseen rajoitettuina aikajaksoina kuten koneen asennuksen yhteydessä. Tällaisten rajoitettujen aikajaksojen aikana ei toimintojen lukumäärä saa ylittää viittä minuutissa tai kymmentä kymmenessä minuutissa.

^b Hermeettinen jäähdytyskompressorimoottori on yhdistelmä, johon kuuluu kompressorin ja moottorin, jotka kumpikin ovat samassa kotelossa ilman ulkoisia aksleita tai akseliivisteitä ja moottori toimii jäähdytysaineena.

^c Käyttöluokkien AC-7a ja AC-7b osalta, katso IEC 61095.

Käyttöluokkia on huomattavasti taulukossa mainittuja enemmän, mutta tässä on esitetty vain kontaktoreita koskevat käyttöluokat.

Kontaktorin virran kytkentä- ja katkaisukyky on siis keskeinen asia sen kestävyden kannalta. Oikosulkumoottorin käynnistin piiriin oikein mitoi-

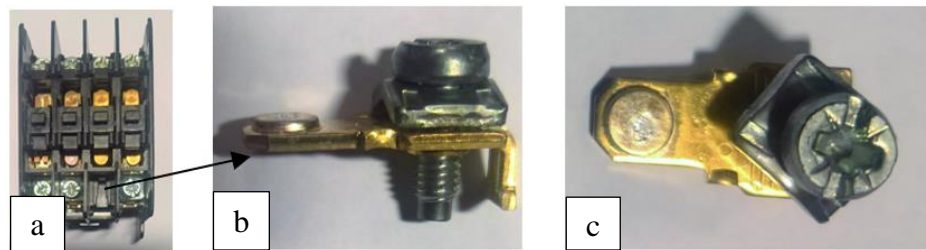
tetulta kontaktorilta edellytetään noin miljoonan toimintakerran elinikää. (Hietalahti 2013, 174.)

Koskettimien kestoikään vaikuttaa mm. kosketuskohdan pinta-ala ja pinnoitemateriaali, seuraavassa luettelossa on esitetty koskettimille asetettuja vaatimuksia:

- pieni ja muuttumaton kosketusvastus
- hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky
- pieni metallien siirtyminen
- pieni hitsaantumisvaara
- hyvä kulumiskestävyys
- vähäinen oksidoituminen ja sulfatoituminen
- hyvä valokaarikestävyys

Kaikkia em. vaatimuksia ei useimmiten pystytä yhtä aikaa toteuttamaan, joten käyttötarkoitus ja olosuhteet määrittävät tärkeysjärjestyksen. (Hietalahti 2013, 151.)

Koskettimen kosketuskohdassa aiheutuu ns. ahtausresistanssi, joka johtuu siitä, että pinta-ala on siinä kohdassa pienempi ja se aiheuttaa myös lämpenemistä. Kuvassa 20 näkyy kontaktorin koskettimet, joista on irrotettu yksi tarkastelua varten ja siinä on nähtävissä valokaarista aiheutunutta pinnoitteen kulumista.



Kuva 20. Kontaktorin koskettimet kuvassa a, joista yksi on irrotettu kuva b ja siinä on havaittavissa valokaaren aiheuttamaa kulumista kuva c (E. Parviainen)

4.1.3 Ylivirtasuojaus

Usein moottori on jouduttu asentamaan sellaiseen toiminta ympäristöön, jossa esiintyy kosteutta, pölyä, tärinää, lämpöä tai kaikkia näitä yhdessä. Myös moottorin laakerit sekä mekaniikka, jota moottori ohjaa voi vikaantua ja aiheuttaa ylikuormitusta ja sitä kautta liiallista lämpenemistä moottorissa.

Liiallinen lämpeneminen puolestaan heikentää käämityksen eristystä ja voi aiheuttaa moottorin rikkoutumisen ennen kuin oikosulkusuojaus toimii.

Tällaisia tilanteita varten täytyy päävirtapiiri varustaa ylivirtasuojalla, jonka tehtävä on katkaista moottoripiiriin syöttöjännite ennen suurempia vaurioita.

Erittäin vaativissa olosuhteissa on syytä valita sellainen moottori, johon tehtaalla on staattori käämitykseen asennettu PTC-termistori, tästä tarkemmin luvussa 5.

Ylivirtasuojauksen toteuttamiseen on useita erilaisia kojeita, joten valinnassa täytyykin ottaa huomioon moottorin käyttötarkoitus. Raskaissa käytöissä, suurilla virroilla voidaan suojaus toteuttaa esim. kompaktikatkaisijalla (kuva 21), joka toimii samalla myös oikosulkusuojana.



Kuva 21. Kaksi eri kokoista ja erilaisella suojareleellä varustettua kompaktikatkaisijaa (Schneider Electric)

Moottorinsuojakatkaisijat (kuva 22) ovat samankaltaisia kuin kompaktikatkaisijat toimintaperiaatteeltaan, mutta ne on suunniteltu pienitehoisten käyttöjen suojaamiseen.



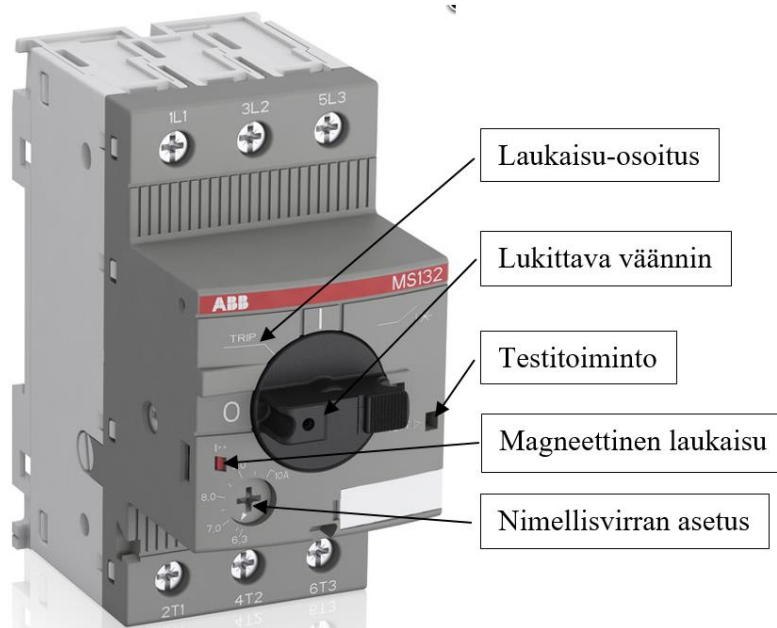
Kuva 22. Kuvassa eri valmistajien moottorinsuojakatkaisijoita, joista vasemmanpuoleiset ovat varustettu painettavalla viritysmekanismilla ja oikeanpuoleiset ovat varustettu kierrettävällä viritysmekanismilla (www.sahkonumerot.fi)

Moottorinsuojakatkaisija on rakenteeltaan täysin mekaaninen, siinä on bimetallicielementti, joka reagoi ylikuormitukseen ja sähkömagneettinen pikalaukaisu vastaavasti oikosulkutilanteisiin (Hietalahti 2013, 162).

Kompaktikatkaisijassa on elektroninen suojarele valvomassa edellä mainittuja tilanteita.

Kun moottorille valitaan ylivirtasuojaja, niin sen oikean toiminnan kannalta on oleellista, että se säädetään oikealla tavalla (kuva 23). Releen tai suojakytkimen asetusvirta tulee säätää siten, että se on lähellä moottorin nimellisvirtaa, hiukan sen yläpuolella.

Perusasetteluvirraksi otetaan usein moottorin nimellisvirta. Jos halutaan olla varovaisia, asetellaan rele kuormitusvirran mukaan.



Kuva 23. Moottorinsuojakytkimen asettelu (ABB)

Lämpöreleet (kuva 24) ovat kolminapaisia releitä ja niitä on sekä mekaanisia, että elektronisia. Mekaaniset releet toimivat moottorinsuojakatkaisijan tapaan bi-metallielementtien avulla.

Lämpörele kytketään kontaktoriin ja sen apukoskettimet ovat ohjauspiirissä, joista toinen on avautuva katkaisten ohjauspiirin ylikuormitustilanteessa ja toinen kärki on sulkeutuva, se antaa hälytystiedon esim. valvomoon. (Hietalahti 2013, 165.)

Moottorin virta kulkee bi-metallilaukaisinelementtien läpi ja lämmittää niitä suoraan ja välillisesti. Ylikuormitustapauksissa bi-metallielementit taipuvat kuumenemisen seurauksena ja laukaisee releen, jolloin apukosketin vaihtaa asentoa katkaisten ohjausvirtapiiriin. (ABB)



Kuva 24. Kuvassa vasemmalla on elektroninen lämpörele, jonka laukaisuluokka on valittavissa ja kuvassa oikealla on mekaaninen lämpörele, jonka laukaisuluokka on 10 (Siemens)

Jotta moottorin ylikuormitussuojaus toimii vaaditulla tavalla, täytyy releen lämpenemisaikavakio olla sama kuin moottorilla (Hietalahti 2013, 164).

Usein ohjauskeskus, jossa lämpörele sijaitsee, on eri paikassa kuin suojattava moottori, tästä johtuen ympäristön lämpötila saattaa olla erilainen releen ja moottorin kohdalla. Tällaisissa tilanteissa moottori täytyy suojata lämpötilakompensoidulla releellä, ko. releeseen on lisätty ylimääräinen bimetalliliuska, joka reagoi vain ympäristön lämpötilaan. (Hietalahti 2013, 165.)

Elektronisen lämpöreleen valinnassa tulee huomioida, että niissä on sellaisia, jotka eivät tarvitse ulkoista virtalähdettä (virtamuuntajaa) sekä sellaisia, jotka sen tarvitsevat toimiakseen.

Elektronisen lämpöreleen etu mekaaniseen lämpöreleeseen verrattuna on laajempi virran asetusalue, tarkkuus, korkeampi käyttölämpötila-alue sekä mahdollisuus valita laukaisuluokka (ABB).

Moottorilla on erilaisia käyttötapoja (tarkemmin luvussa 5) ja kuormitus olosuhteita, niistä johtuen aiheutuu sen sisällä eri tavoin lämpenemistä. Tällaiset tilanteet eivät kuitenkaan saa aiheuttaa kohtuutonta haittaa ohjattavaan mekaniikkaan tai prosessiin. Tämän takia on standardissa 60947-4-1, sivulla 30 on määritelty eri laukaisijat (taulukko 7).

Taulukko 7. Laukaisuluokat (SFS 60947-4-1)

Laukaisuluokka	Laukaisuaika T_p sekunneissa ala-kohdan 8.2.1.5.1, taulukon 3, sarakkeen D mukaan ^a	Laukaisuaika T_p kohdassa 8.2.1.5.1 määritetyissä olosuhteissa, taulukko 3, sarake D tiukemmille toleranssille (toleranssialue E) ^a
	s	s
2	–	$T_p \leq 2$
3	–	$2 < T_p \leq 3$
5	$0,5 < T_p \leq 5$	$3 < T_p \leq 5$
10 A	$2 < T_p \leq 10$	–
10	$4 < T_p \leq 10$	$5 < T_p \leq 10$
20	$6 < T_p \leq 20$	$10 < T_p \leq 20$
30	$9 < T_p \leq 30$	$20 < T_p \leq 30$
40	–	$30 < T_p \leq 40$

^a Valmistajan on lisättävä laukaisuluokkiin kirjain E osoittamaan yhdenmukaisuutta alueen E kanssa.

HUOM. 1 Releen lajista riippuvat laukaisuehdot esitetään kohdassa 8.2.1.5.

HUOM. 2 Roottorivastuskäynnistimen ylikuormitusrele on tavallisesti kytketty staattoriin. Tämän vuoksi se ei voi oikosulkusuojata tehokkaasti roottoripiiriä eikä erityisesti vastuksia (jotka vikatapauksessa vahingoittuvat paljon helpommin kuin roottori tai kytkinlaitteet). Valmistajan ja käyttäjän on erikseen sovittava roottoripiirin suojauksesta (ks. mm. alakohta 8.2.1.1.3).

HUOM. 3 Kaksiportaisessa käynnistimessä käynnistysmuuntajaa tarvitaan normaalisti vain käynnistykseen. Tämän vuoksi ylikuormitusrele ei voi oikosulkusuojata sitä tehokkaasti vikatapauksessa käynnistymisen aikana. Valmistajan ja käyttäjän on erikseen sovittava käynnistysmuuntajan suojauksesta (katso mm. alakohta 8.2.1.1.4).

HUOM. 4 Valitaan alempi T_p :n arvo, jotta erilaiset lämmityselementin ominaisuudet ja valmistajan toleranssit olisivat mahdollisia.

Standardi määrittelee myös kaikkien edellä esiteltyjen komponenttien turvallisuutta koskevat vaatimukset koordinaatioluokittain seuraavasti:

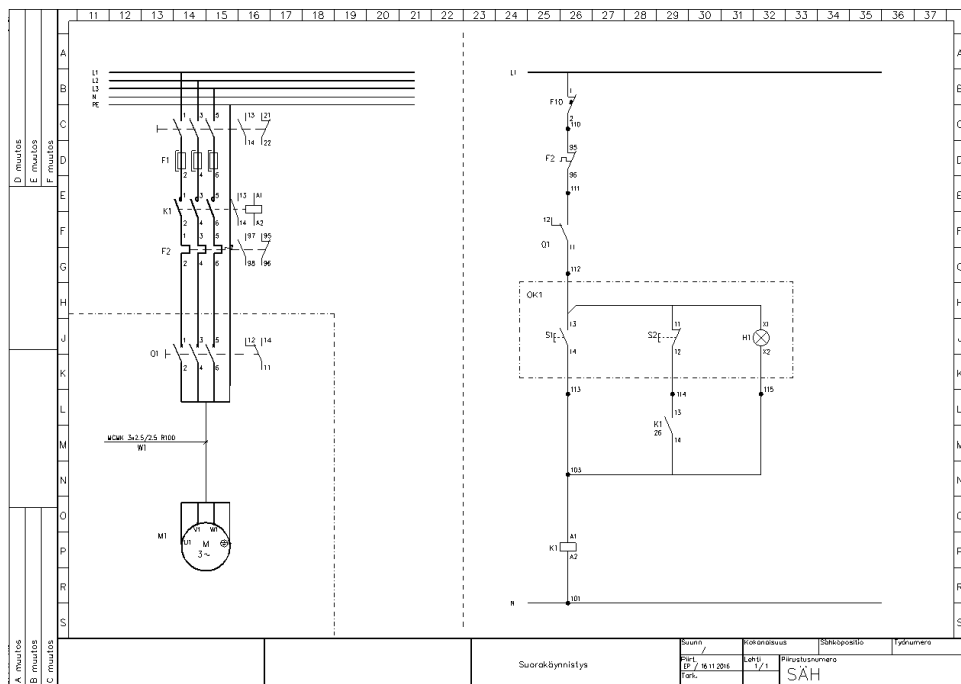
Kontaktori, oikosulkusuojauslaite ja lämpörele ohjaavat ja suojaavat moottoreita ylikuormitukselta ja oikosuluilta koordinaatioluokkien 1 ja 2 (IEC 60947-4-1 / EN 60947-4-1) mukaisesti. Nämä koordinaatioluokat määrittävät odotetun toiminnan seuraavasti:

Tyyppi 1: oikosulkutilanteessa kontaktori tai käynnistin ei vaaranna ihmisiä tai laitteita, eikä se pysty toimimaan ilman korjausta tai osien vaihtoa.

Tyyppi 2: oikosulkutilanteessa kontaktori tai käynnistin ei vaaranna ihmisiä tai laitteita, ja se pystyy toimimaan jälkepäin. Kosketinten kiinnihitsautumisen riski on hyväksyttävä.

4.2 Releohjaukset

Moottorin suorakäynnistymisen (kuva 25) lisäksi releohjauksilla voidaan toteuttaa tähti-kolmio käynnistys ja suunnan vaihto, releillä voidaan toteuttaa myös kaksinopeus käynnistys, jolloin tarvitaan moottoriksi kaksikämmimoottori tai Dahlander-moottori (tarkemmin luvussa 5).



Kuva 25. Kolmivaihemootorin suorakäynnistys, jossa vasemmalla on päävirtapiiri ja oikealla ohjauspiiri. Liitteessä 3 tarkempi kuva (E. Parviainen)

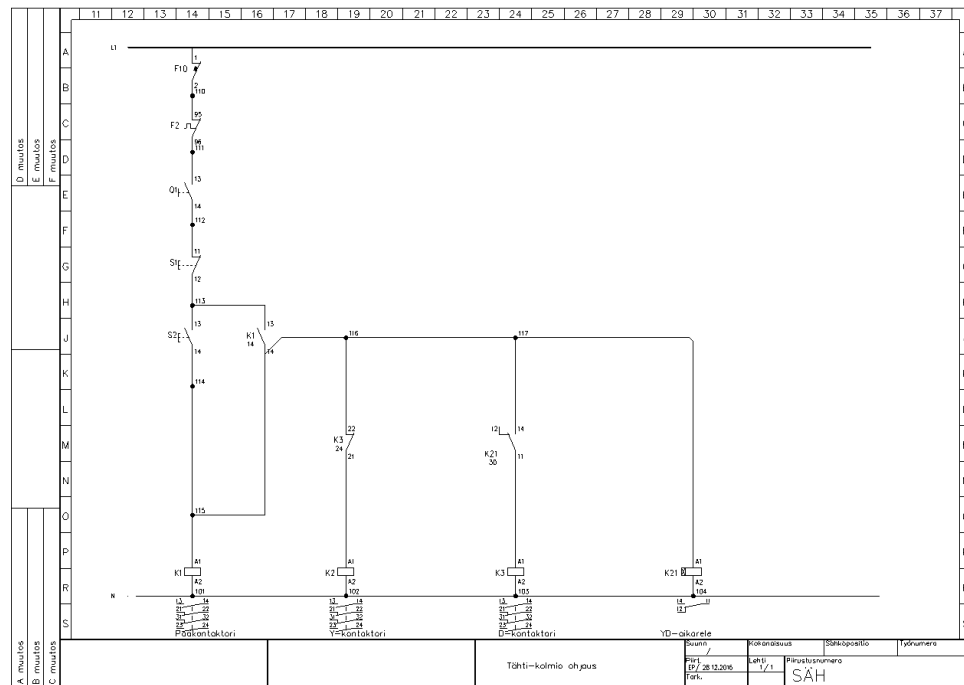
Moottorikäyttö sellaisissa tilanteissa, joissa ei ole tarvetta nopeussäätöön, rakennetaan tyypillisesti releohjauksella. Tällaisia ovat mm. yksinkertaiset työstökoneet kuten sirkkelit, vannesahat ja tasohöylät. On myös ilmastoinnin tilapäiseen tehostamiseen tarvittavia poisto- ja huippuimureita, joita on tarkoituksen mukaista ohjata tällä tavoin.

Edellä mainituissa työstökoneissa on käynnistyksen aikana hitausmomentti niin suuri, että käynnistysvirran rajoittamiseksi täytyy moottori käynnistää ensin tähtikytkennässä ja sen saavutettua täysi pyörimisnopeutensa, kytketään se kolmioon.

Kuvassa 26 kuvattu tähti-kolmio kytkennän ohjauspiiri, jossa pää kontaktori K1 on vetäneenä koko moottorin käynnissä olo ajan, K2 vetää yhtä aikaa K1:n kanssa, jolloin moottori on tähtikytkennässä. Vetohidastetun aikareleen K21 ohjaamana vetää K3 ja kytkee moottorin kolmiokytkentään samalla katkaisten K2:n virtapiirin, tällöin moottori on täydessä nopeudessa ja kolmiokytkennässä, kunnes se pysäytetään S1 painikkeella.

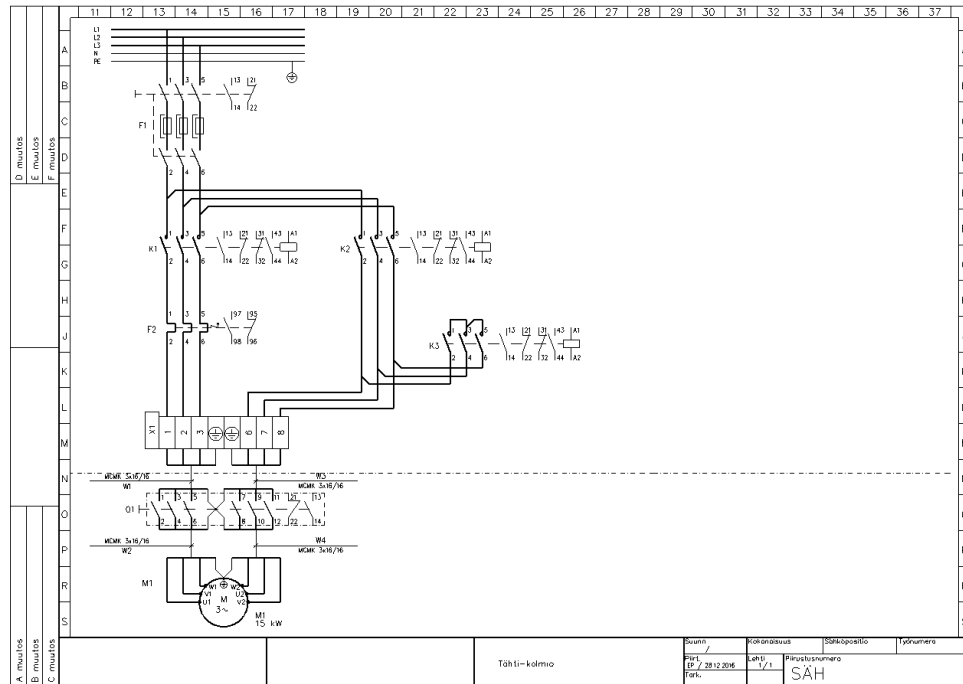
Kontaktoreiden apukoskettimet toimintoiheen ja numeroineen on merkitty nollakiskon alapuolelle, jossa on myös jokaisen kontaktorin tarkoitusta osoittava teksti.

Kontaktoreiden apukoskettimet toimintoiheen ja numeroineen on merkitty nollakiskon alapuolelle, jossa on myös jokaisen kontaktorin tarkoitusta osoittava teksti.



Kuva 26. Kolmivaihemoottorin ohjauspiiri tähti-kolmio käynnistyksessä, aikarele K21 ohjaa käynnistyksen aikaisen toiminnan. Liitteessä 4 tarkempi kuva (E. Parviainen)

Päävirtapiirissä (kuva 27) esitetään oikosulkusuojaus (F1), ylivirtasuojaus (F2), turvaerotus (Q1), kontaktoreiden pää- ja apukoskettimet (K1, K2, K3), moottorin kaapelointi ja moottorin teho.

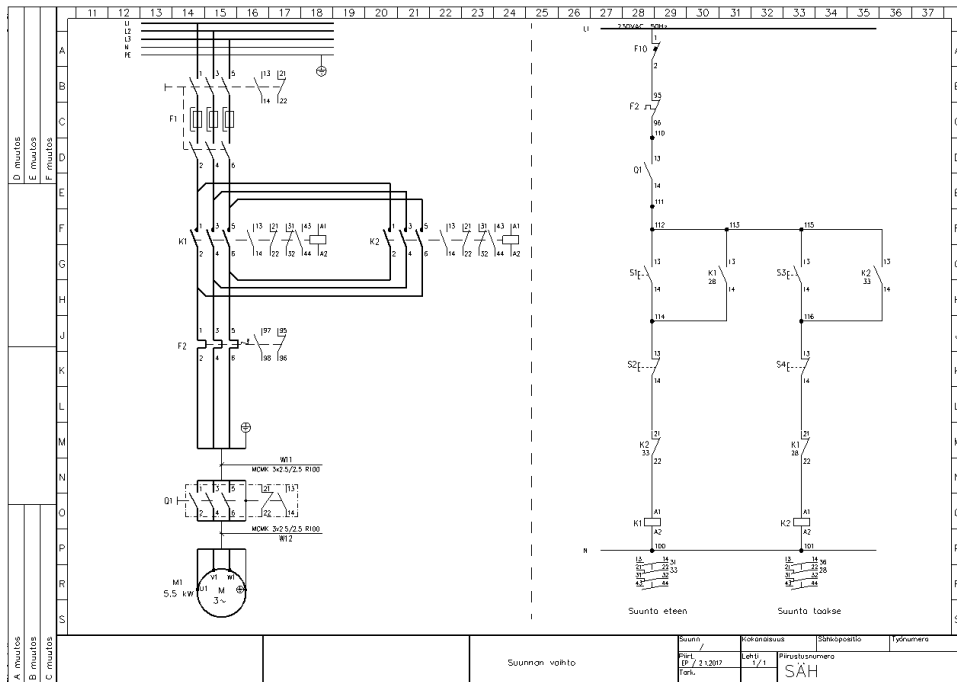


Kuva 27. Tähti-kolmio käynnistyksen päävirtapiiri, josta selviää kontaktoreiden pää- ja apukoskettimet, moottorin kaapelointi ja moottorin teho. Liitteessä 5 tarkempi kuva (E. Parviainen)

Moottorin pyörimissuunnanvaihto toteutetaan vaihtamalla kahden vaiheen (minkä tahansa kolmesta vaiheesta) kytkentäpaikkaa keskenään. Ohjauksessa tämä tapahtuu kuvan 28 päävirtapiirikaavion mukaan kontaktorin K2 pääkoskettimien kautta.

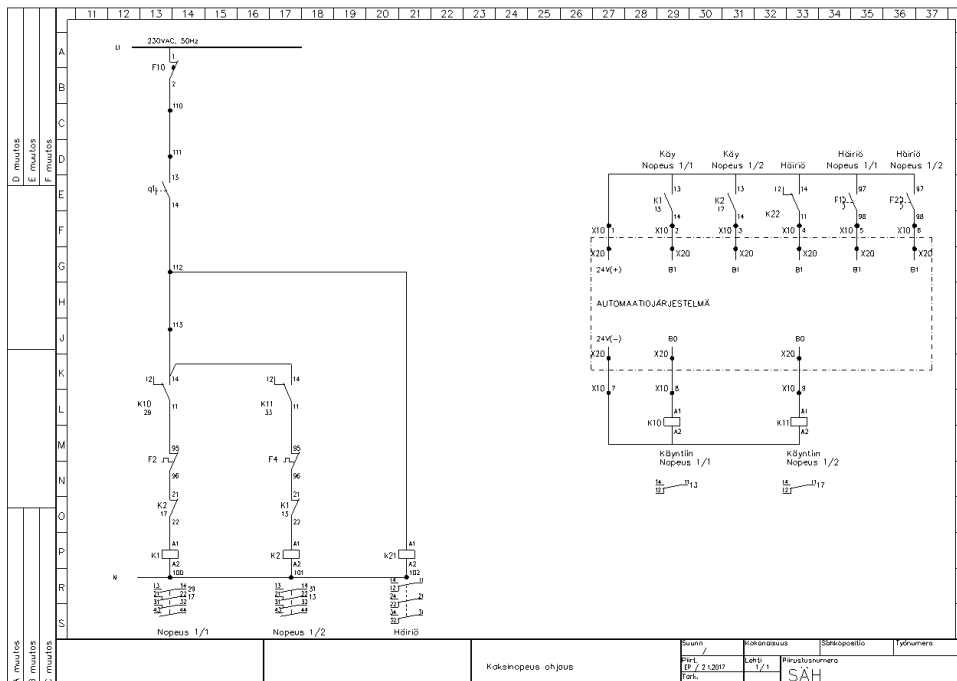
Kun ohjauspiirin S3 painiketta painettaessa kontaktori K2 (suunta taakse) vetää, vaihtuu vaiheen yksi johdotus vaiheeksi kolme ja vaiheen kolme johdotus vaiheeksi yksi.

Ohjauspiirissä kontaktoreiden K1 ja K2 avautuvat koskettimet (21-22) muodostavat sähköisen ristiin lukituksen, jonka tehtävänä on estää molempien suuntien samanaikainen käynnistys.



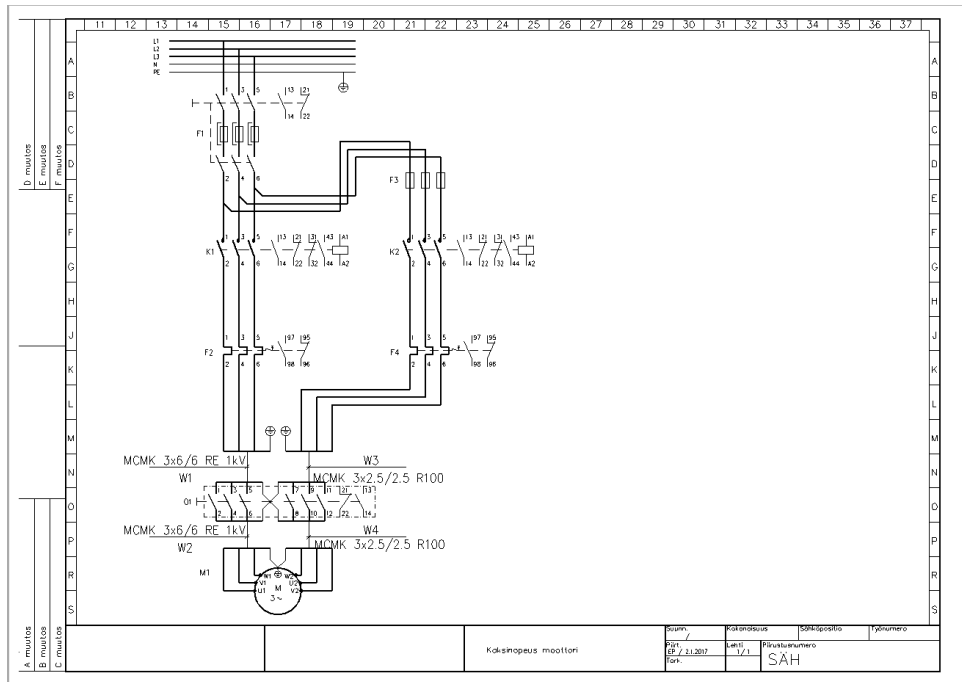
Kuva 28. Moottorin suunninvaihtokytkeä, jossa vasemmalla päävirtapiiri ja siinä kontaktori K2, jonka johdotuksessa havaitaan vaiheiden vaihto. Oikealla kuvassa ohjauspiiri, jossa K1 ja K2 avautuvat koskettimet estävät suunnan vaihdon vauhdissa. Liitteessä 6 tarkempi kuva (E. Parviainen)

Ilmastoinnin tehostuksessa käytettävissä huippuimureissa on vielä yleinen kaksinopeus ohjaus, tässä ohjaustavassa tarvitaan, kuten edellä on mainittu kaksinopeusmoottori. Kuvassa 29 on kuvattu ohjauspiiri, jossa lisäksi esitetty automaatiojärjestelmään menevät moottorin käyntitiedot sekä sieltä tulevat moottorin toimintaa ohjaavat piirit.



Kuva 29. Kaksinopeusmoottorin ohjaus, vasemmalla nopeusohjaus ja oikealla kuvaus automaatiojärjestelmään menevistä tilatiedoista ja sieltä tulevista ohjaustiedoista. Liitteessä 7 tarkempi kuva (E. Parviainen)

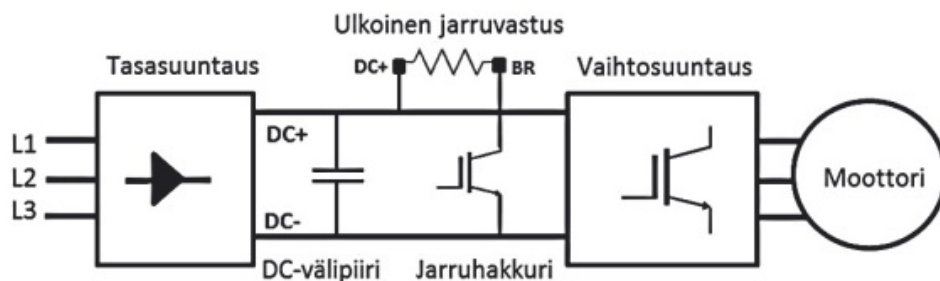
Kaksinopeusmoottorin nopeudet vaativat kumpikin oman suojauksen ja kaapeloinnin johtuen käämitysten erilaisista suoritearvoista (kuva 30).



Kuva 30. Kaksinopeusmoottorin päävirtapiiri kaapelimerkintöineen. Tässä on huomattava, että kummallakin nopeudella täytyy olla oma oikosulku- ja ylivirtasuojaus eri tehosta johtuen. Liitteessä 8 tarkempi kuva (E. Parviainen)

4.3 Taajuusmuuttajakäyttö

Taajuusmuuttaja on laite, jolla voidaan säätää moottorin pyörimisnopeutta portaattomasti. Taajuusmuuttajan verkosta ottama virta kulkee ensin tasasuuntaus-sillan läpi välipiiriin. Välipiiri toimii energiavarastona kuormitusmuutosten varalta ja siinä toteutetaan myös moottorin jarrutus. Viimeisenä on vaihtosuuntaaja, joka on toteutettu transistoreilla (IGBT). Signaali vaihtosuunnataan pulssileveysmodulaation keinoin. Kuvassa 31 on esitetty taajuusmuuttajan rakenne.



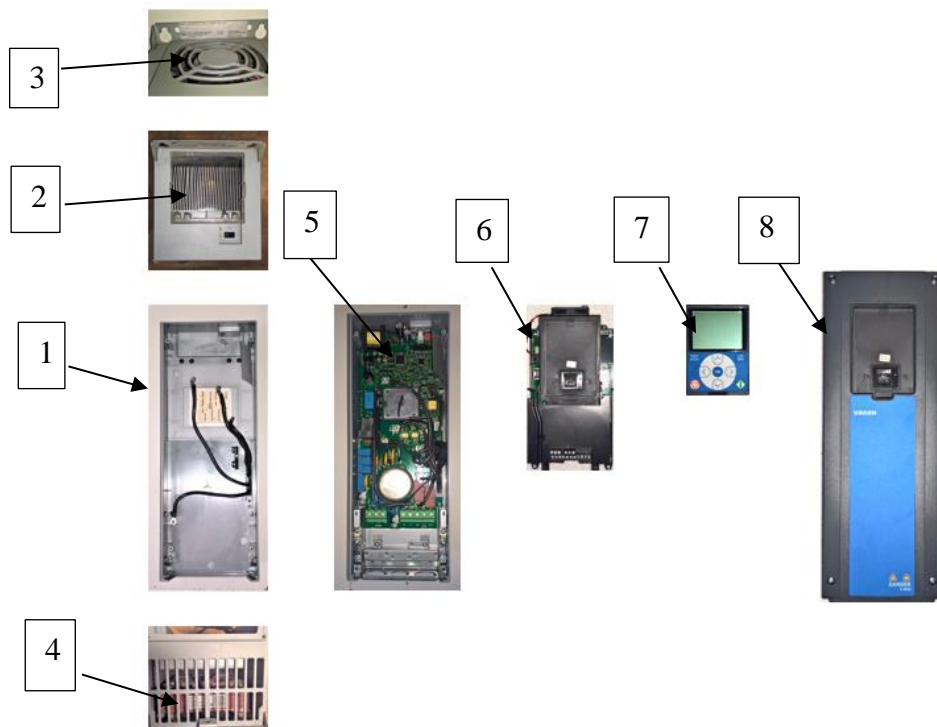
Kuva 31. Taajuusmuuttajan periaatekuva (SKS)

Taajuusmuuttajia käytetään tilanteissa, joissa edellytetään moottorin pyörimisnopeuden säätämistä. Tällaisia ovat esim. talotekniikassa ilmastointi

järjestelmät, vesikiertoiset lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmät sekä teollisuudessa erilaiset kuljettimet.

Taajuusmuuttajalla voidaan säätää moottorin nopeus kulloistakin tarvetta vastaavaksi, näin säästyy energiaa, koska ei tarvitse käyttää kuristimia. Yhden taajuusmuuttajan ohjaukseen voidaan liittää useampia moottoreita, tällöin on kuitenkin jokainen moottori erikseen suojattava ylivirralla.

Kuvassa 32 esitetään taajuusmuuttajan rakenne jossa seuraavat osat: runko (1), jossa sijaitsee DU/dt-suodatin (kuvassa näkyvät johtimet tulevat jäähdytyskanavassa olevalta suodattimelta. Jäähdytys rivat (2). Jäähdytyspuhallin (3). DU/dt-suodatin (4), DU/dt-suodin vähentää vaihe- ja verkkojännitteiden vaihtelua ja siten myös käämitysten sisäistä jänniterasitusta. Suodin vähentää myös nk. yhteismuotoisia virtoja ja laakerivirtoja. Tehoosa (5), johon kytketään taajuusmuuttajan tehonsyöttö ja moottorin tehonsyöttö. Ohjausyksikkö (6), jossa mm. kytkentäliittimet ohjauskaapelia varten. Ohjauspaneeli (7), jossa määritellään tarvittavat parametrit. Suojakotelo (8).



Kuva 32. Taajuusmuuttajan rakenne: (1) runko, (2) jäähdytysrivat, (3) jäähdytyspuhallin, (4) DU/dt-suodatin, (5) tehoyksikkö, (6) ohjausyksikkö, (7) ohjauspaneeli, (8) suojakotelo (E. Parviainen)

Taajuusmuuttaja korvaa moottorikäytössä usein kaikki ohjauskeskuksen komponentit oikosulkusuojausta (sulakkeita) lukuun ottamatta. Sitä voidaan ohjata joko paikallisesti sen omasta ohjauspaneelistä tai kaapeloinnin kautta automaatiojärjestelmästä.

Taajuusmuuttajan valinnassa on syytä huomioida, että sen nimellisvirran on oltava vähintään sama kuin ohjattavan moottorin. Tämä siitä johtuen, että parametreja syötettäessä taajuusmuuttaja ei tunne sellaisia arvoja, jotka ylittävät sen tehonsyöttökapasiteetin.

Käytännössä kannattaa valita sellainen taajuusmuuttaja, jonka nimellisvirta on hiukan suurempi, kuin ohjattavan moottorin.

Taajuusmuuttajan rakennetta säätelee SFS-EN 60204-1 ja SFS-EN 61800-5-1 turvallisuusstandardi sekä SFS-EN 61800-3 sähkömagneettista yhteensopivuutta (EMC) koskeva standardi (SFS 6000).

Koska taajuusmuuttaja on laite, joka aiheuttaa yliaaltoja sähköverkkoon, on maadoitukset suoritettava oikein. Verkkokaapeloinnissa tulee käyttää MCMK tai MCCMK-tyyppistä kaapelia (kuva 33), jossa suojavaipan alla on konsentrisen suojajohdin, näin pystytään toteuttamaan EMC-standardin edellyttämä 360° maadoitus.



Kuva 33. Vasemmalla MCMK, jossa konsentrisen suojajohdin ja oikealla MCCMK, jossa lisäksi nuolen osoittama kuparifolio EMC-suojana (Draka)

Sellaisissa tapauksissa, joissa taajuusmuuttajaa ohjataan muualta kuin sen omasta ohjauspaneelista, esim. automaatiojärjestelmän kautta, tulee kaapelina käyttää tiiviillä pieni-impedanssisella suojavaipalla varustettua kaapelia.

Edellä mainitun kaltaisia hyvin suojattuja kaapeleita ovat esim. JAMAK, NOMAK (kuva 34), joista ensin mainittu on vaipan alla olevan suojan lisäksi parisuojattu.

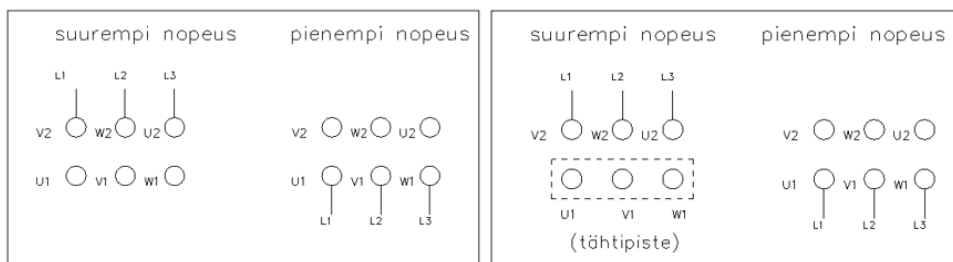


Kuva 34. Vasemmalla JAMAK, jossa jokainen johdinpari erikseen suojattu ja oikealla NOMAK, joka on parikierretty ja siinä vain vaipan alla folio (E. Parviainen)

5 MOOTTORIN VALINTA

Kaksinopeusmoottori on oikosulkumoottori, jonka staattori muodostuu joko kahdesta eri napaluvulle rakennetusta käämityksestä tai yhdestä käämi-

tyksestä, jonka kytkentää voidaan muuttaa(Dahlander). Kuvassa 35 on esitetty kaksikäämimoottorin ja Dahlander-moottorin kytkentä tavat.



Kuva 35. Kuvassa vasemmalla kaksikäämimoottorin kytkentäkotelon ohje ja oikealla Dahlander-moottorin kytkentäohje (Moves)

Kaksikäämimoottorissa kummallakin käämityksellä on oma suoritearvo, joka täytyy huomioida moottorin suojuuksessa. Moottorin arvokilvessä on mainittu kummankin nopeuden vastaavat arvot (kuva 36).

ABB Motors		CE			
3~ Motor M2AA 132 S		Cl. F	IP 55		
IEC 34-1					
3G AA 138 229-ADA					
No.					
V	Hz	r/min	kW	A	cos φ
380-400 Y	50	1460	4,5	9,5	0,85
380-400 Y	50	985	1,5	5,1	0,64
6208 2Z/C3				6206 2Z/C3	48 kg
194 006-5					

Kuva 36. Kaksinopeusmoottorin arvokilpi, josta nähdään, että kumpikin nopeus ottaa verkosta erilaisen tehon ja siten myös virran. Nämä seikat on myös huomioitava moottorin suojuuksessa ja kaapeloinnissa (E. Parviainen)

5.1 Asennusasennot

Asennusasento on keskeinen asia, joka tulee ottaa huomioon moottorikäyttöä suunniteltaessa tai vaihdettaessa uusi moottori vikaantuneen tilalle.

IEC 34-7 normi määrittelee asennusasennot (taulukko 8) ja niitä kuvataan IM merkinnällä, jossa käytetään kahta koodia: koodi I ja koodi II.

Esimerkki koodin II merkinnästä: IM 1 00 1, jossa ensimmäinen numero kuvaa koneen rakennetyyppiä, seuraavat kaksi numeroa asennusasentoa ja viimeinen numero akselin päälukua. (Hietalahti 2013, 18.)

Taulukko 8. Kuvitettuna oikosulkumoottorin asennusasennot ja IM-koodimerkinnot (ABB)

	Koodi I/Koodi II					
Jalkamoottori.	IM B3 IM 1001	IM V5 IM 1011	IM V6 IM 1031	IM B6 IM 1051	IM B7 IM 1061	IM B8 IM 1071
						
Laippamoottori, suuri laippa	IM B5 IM 3001	IM V1 IM 3011	IM V3 IM 3031	*) IM 3051	*) IM 3061	*) IM 3071
						
Laippamoottori, pieni laippa	IM B14 IM 3601	IM V18 IM 3611	IM V19 IM 3631	*) IM 3651	*) IM 3661	*) IM 3671
						
Jalka- ja laippamoottori, jalat, suuri laippa	IM B35 IM 2001	IM V15 IM 2011	IM V36 IM 2031	*) IM 2051	*) IM 2061	*) IM 2071
						
Jalka- ja laippamoottori, jalat, pieni laippa	IM B34 IM 2101	IM V17 IM 2111	IM 2131	IM 2151	IM 2161	IM 2171
						
Jalkamoottori, kaksi akselinpäätä	IM 1002	IM 1012	IM 1032	IM 1052	IM 1062	IM 1072
						

*) Ei mainittu IEC 60034-7 -standardissa.

Yleisimmät käyttöasennot moottoreilla ovat B3 (jalka-asennus), B5 (laippa-asennus), B35 (jalka/laippa-asennus) ja V15 (laippa-asennus pystyyn).

5.2 Moottorin käyttötavat

Sähkömoottoreille on määritelty käyttötavat, koska erilaiset käytöt vaativat erilaisia ominaisuuksia ja suojausta. (Hietalahti 2013, 20)

Seuraavassa (ABB 2000-07, s 454) kuvataan moottorin käyttötavat S1 ... S10:

S1, jatkuva käyttö: kone toimii vakiokuormituksella niin pitkän ajan, että loppulämpötila saavutetaan.

S2, lyhytaikainen käyttö: kone toimii vakiokuormituksella määrätyn, niin lyhyen ajan, että loppulämpötilaa ei saavuteta. Suositellaan käyttöaikoja 10, 30, 60, 90 min. Leimaus esim. S2 60 min.

S3, jaksollinen ajoittaiskäyttö: käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Ajoittaiskäyttökerroin on 15, 25, 40 tai 60 %. Jakson pituus on 10 min.

S4, jaksollinen käynnistyskäyttö: käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä seisonta-aika. Tässä käytössä moottori pysähtyy luonnollisella tavalla hidastuen tai mekaanisella jarrulla, jolloin moottori ei rasitu termisesti.

Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Leimaus esim. S4 - 40 % - 120 c/h - J_M . J_M on moottorin hitausmomentti (kgm^2) ja c/h on jaksojen määrä tunnissa.

S5, jaksollinen käynnistys- ja jarrutuskäyttö: käyttö koostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella, jarrutus-aika ja seisonta-aika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Leimaus esim. S5 - 40 % - 120 c/h - J_M . (Ks. kohta S4)

S6, pysähtymätön ajoittaiskäyttö: käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella sekä tyhjäkäyntiaika. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Leimaus esim. S6 40 %

S7, keskeytymätön käynnistys- ja jarrutusikäyttö: käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja, joista jokaiseen kuuluu käynnistysaika, toiminta-aika vakiokuormituksella sekä jarrutusaika. Jarrutus tapahtuu sähköisesti (esim. vastavirtajarrutus). Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana. Leimaus esim. S7 - 500 c/h - J_M

S8, pysähtymätön määräjaksollinen käyttö: käyttö muodostuu sarjasta keskenään samanlaisia jaksoja. Jokaiseen jaksoon kuuluu toiminta-aika vakiokuormituksella määrättyllä nopeudella, jota välittömästi seuraa toiminta-aika toisella nopeudella ja toisella vakiokuormituksella. Pyörimisnopeuksia voi olla kaksi tai useampia. Loppulämpötilaa ei saavuteta jakson aikana.

S9, käyttö vaihtelevalla kuormalla ja nopeudella: käyttö muodostuu sallitulla käyttöalueella tapahtuvista kuorman ja nopeuden vaihteluista, jotka yleensä eivät ole jaksollisia. Tämä käyttö sisältää usein tapahtuvia ylikuormituksia, jotka voivat merkittävästi ylittää nimelliskuorman.

S10, käyttö vaihtelevalla vakiokuormalla: käyttöjakso muodostuu enintään neljästä osajaksosta erisuurella vakiokuormalla. Käyttöaika kullakin vakiokuormalla on niin pitkä, että loppulämpötila saavutetaan.



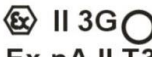
Jos moottorin käyttötapa on sellainen, että se aiheuttaa huomattavaa lämpenemistä tai ympäristön lämpötila huomattavan korkea. Tällöin tulee kysymykseen sellainen moottori, jossa staattorikäännytykseen on asennettu PTC-termistori suojaamaan yllälämpenemiseltä. Termistorilla on tällöin omat kytkentäliitimet moottorin kytkentäkotelossa.

5.3 Moottorin leimausarvot

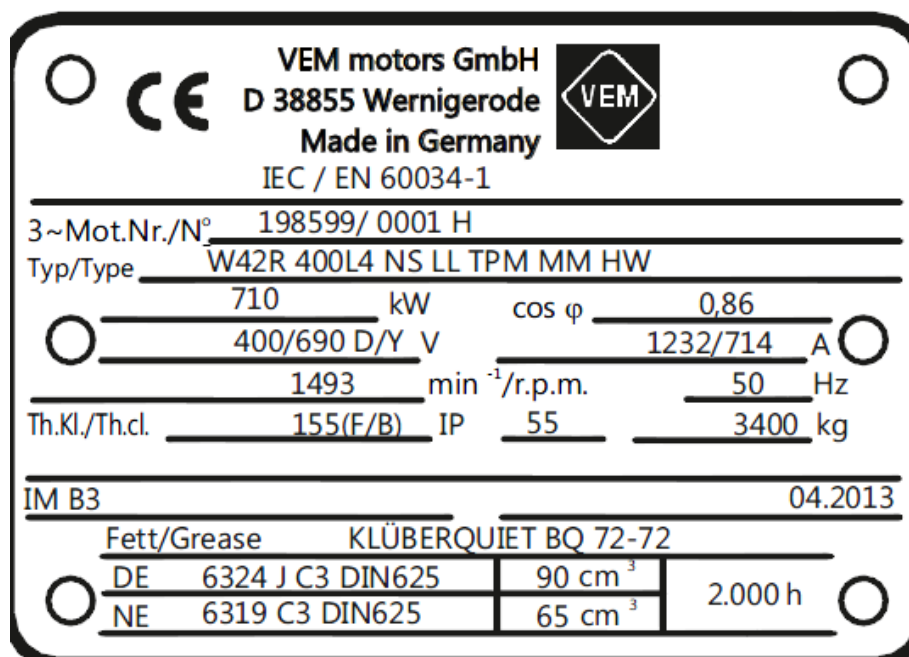
Oikosulkumoottorin arvokilpeen (kuva 37 ja 38) leimataan moottorin rakenne- ja sähköiset tiedot:

- Verkkoon kytkentä: 1~ tai 3~, osoittaa sen, onko moottori kytkettävissä yksivaiheiseen vai kolmivaiheiseen verkkoon.
- Teho: P_N ilmoitetaan kilowatteina(kW) on akselilta saatava teho.
- Jännite: U ilmoitetaan voltteina (V) usein kahdelle eri alueelle (400/690) tai (230/400) sekä kytkentätapa (D/Y) kummallekin jännitteelle.
- Moottorin virta: I_N on moottorin verkosta ottama virta nimelliskuormalla, ilmoitetaan myös molemmille kytkentätavoille.
- Tehokerroin: Cos φ on näennäistehon ja pätötehon suhde.
- Kytkentätaajuus: 50Hz / 60 Hz

- Nopeus: n_n on akselin todellinen nopeus (rpm) jättämä huomioon.
- Hyötysuhde: η (%) on moottorin akselilta saadun tehon ja sähköverkosta otetun tehon osamäärä ($P_{\text{anto}} / P_{\text{otto}}$).
- Kotelointi: IP luokka, useimmiten 55, voi olla myös Ex (kuva 33).
- Kiinnitystapa: Ks. taulukko 8
- Laakerit: D- ja N-pään laakerityyppi
- Moottorin massa (kg)

		VEM motors GmbH D 38855 Wernigerode Made in Germany						Th.Kl./Th.cl./Cl.th. 155 (F)	
3~Mot.Nr./N°/M. 189979/0001		IE2-WE1R 132 S2		Ex nA II T3		IP 55 65		kg	
V	Hz	cos ϕ	A	%	min ⁻¹ /r.p.m./rev/m			kW	
230/400 Δ/Y	50	0,86	18,0/10,4	IE2-88,6	2925			5,5	
Umrichterbetrieb/Converter feeding/Alim. par convertisseur									
<input type="radio"/>	29/50 Δ/Y	5	0,89	16,5/9,5	<input type="radio"/>	210			0,35
<input type="radio"/>	230/400 Δ/Y	50	0,86	18,2/10,5	<input type="radio"/>	2915			5,5
IM B3						09.2011			
Fett/Grease/Graisse									
<input type="radio"/>	DE 6308 ZZ C3 DIN625	-	cm ³			-	h		
<input type="radio"/>	NE 6308 ZZ C3 DIN625	-	cm ³			-	h		

Kuva 37. Kolmivaihemoottorin arvokilpi, kytkentä jännite 230/400 V. Tällainen moottori voidaan kytkeä 230 V:n jännitteellä ainoastaan 1-vaihe taajuusmuuttajan ohjauksessa 3- vaiheisesti (VEM)



Kuva 38. Kolmivaihemoottorin arvokilpi, josta nähdään, että se tulee kytkeä 400 v jännitteeseen kolmiokytkennällä ja 690 V jännitteeseen tähtikytkennällä (VEM)

6 MOOTTORIN MITOITUS

Moottorikäytön mitoituksen perustana tulee käyttää kuormituksen vaatimuksia, jonka olennaisia tietoja ovat moottorilta vaadittava momentti ja haluttu pyörimisnopeus tai säädetyssä käytössä nopeusalue (Hietalahti 2012, 3).

Lisäksi tulee tarkastaa käytettävän verkon kapasiteetti, taajuus ja kaapelointi.

6.1 Pumpumoottorin mitoitus

Pumpun tehoksi sen arvokilvessä on mainittu 45 kW ja sen nopeudeksi mainitaan 2000 rpm. Sopivan moottorin löytämiseksi kyseiseen käyttöön täytyy suorittaa seuraavat laskutoimitukset (ABB Tekninen opas 7, 25):

Kuormamomentti kaavan 3 mukaisesti, T_K on:

$$T_K = \frac{60 P_k}{2\pi n} = \frac{60 \cdot 45000}{2\pi \cdot 2000} = 215 \text{ Nm} \quad (3)$$

Vaadittavan nopeuden perusteella valitaan 3000 rpm moottori, joka tässä tapauksessa pyörii alinopeudella. On syytä kiinnittää huomio myös siihen,

että moottorin jäähtyminen on riittävä. Moottorin kuormitettavuus (kaava 4) on laskenut noin 95 % :n nimellisestä, T_e on:

$$T_e = \frac{T_k}{\mu} = \frac{215}{0,95} = 226 \text{ Nm} \quad (4)$$

Moottorin teho lasketaan (kaavan 5) mukaan seuraavasti saadun momentin T_e mukaan:

$$P_e \geq \frac{2\pi n}{60} T_e = \frac{2\pi \cdot 3000}{60} * 226 = 71 \text{ kW} \quad (5)$$

Valmistajan taulukosta (taulukko 9) katsotaan sopiva moottori. Tässä tapauksessa löytyy 75 kW:n moottori, jonka leimausarvot ovat: Jännite 400 V, virta 131,22 A, Cos ϕ 0,89 ja nopeus 2930 rpm.

Taulukko 9. 2-napaisten moottoreiden valintataulukko (SKS Group)

Moottori	Teho kW	Virta A 400 V	Nopeus (rpm)	Hytöisyys 100 % kuormalla	Tehokerroin cos Φ	Ts / Tn	Is / In	Äänen-voimakkuus dB(A)	Paino (kg)
T1C 801-2	0,75	2,06	2838	72,1	0,73	2,2	5	71	13,5
T1C 802-2	1,1	2,90	2836	75	0,73	2,2	5	71	14,6
T1C 90S-2	1,5	3,79	2842	77,2	0,74	2,2	5	75	18,0
T1C 90L-2	2,2	5,04	2835	79,7	0,79	2,2	5,5	75	22,0
T1C 100L-2	3	6,56	2841	81,5	0,81	2,3	5,5	79	30,6
T1C 112M-2	4	8,58	2900	83,1	0,81	2,4	6	79	38,2
T1C 132S1-2	5,5	11,16	2895	84,7	0,84	2,3	6	83	57,2
T1C 132S2-2	7,5	14,81	2900	86	0,85	2,3	6,4	83	62,0
T1C 160M1-2	11	20,83	2910	87,6	0,87	2,3	6,3	87	111,0
T1C 160M2-2	15	28,06	2908	88,7	0,87	2,3	6,8	87	118,3
T1C 160L-2	18,5	33,60	2912	89,3	0,89	2,3	7	87	134,8
T1C 180M-2	22	39,69	2920	89,9	0,89	2,3	7,2	92	152,8
T1C 200L1-2	30	53,64	2915	90,7	0,89	2,3	7	95	218,1
T1C 200L2-2	37	65,80	2920	91,2	0,89	2,3	7,2	95	230,0
T1C 225M-2	45	78,70	2920	91,7	0,90	2,3	7	97	303,0
T1C 250M-2	55	97,85	2930	92,2	0,88	2,2	7,8	97	391,2
T1C 280S-2	75	131,22	2930	92,7	0,89	2,1	7,8	99	530,0
T1C 280M-2	90	155,21	2930	93	0,90	2,1	7,7	104	572,0
T1C 315S-2	110	189,09	2940	93,3	0,90	2	7,7	104	862,0
T1C 315M-2	132	223,93	2940	93,5	0,91	2	7,6	104	996,0
T1C 315L1-2	160	273,57	2945	93,8	0,90	2	7,8	104	1055,0
T1C 315L2-2	200	345,07	2945	94	0,89	2	7,9	104	1080,0
T1C 355M-2	250	426,54	2945	94	0,90	2	7,8	111	1770,0
T1C 355L-2	315	543,48	2945	94	0,89	2	7,8	111	1900,0

Saatujen arvojen perusteella voidaan nyt kaavan 6 esittämällä tavalla laskea moottorin nimellinen momentti (T_N):

$$T_N = \frac{60 P_k}{2\pi n} = \frac{60}{2\pi} * \frac{75000}{2930} = 244 \text{ Nm} \quad (6)$$

Moottoria tullaan ohjaamaan taajuusmuuttajalla, joten moottorin verkosta ottama virta ($I_{s,k}$) täytyy vielä laskea (kaava 7) ja se saadaan kaavasta:

$$I_{s,k} = \frac{T_k}{T_N} * I_N = \frac{216}{244} * 131,22 \text{ A} = 121 \text{ A} \quad (7)$$

Kuten luvussa 4.3 esitettiin, taajuusmuuttajan valinnassa on syytä huomioida, että sen nimellisvirran on oltava vähintään sama kuin ohjattavan moottorin. Tässä tapauksessa voidaan valita taulukosta 10 esim. ACS550-01-157A-4 tai ACS550-01-180A-4, jälkimmäisen kohdalla virransyöttö riittää myös raskaaseen käyttöön valitulla moottorilla.

Taulukko 10. Taajuusmuuttajan valintataulukko (ABB)

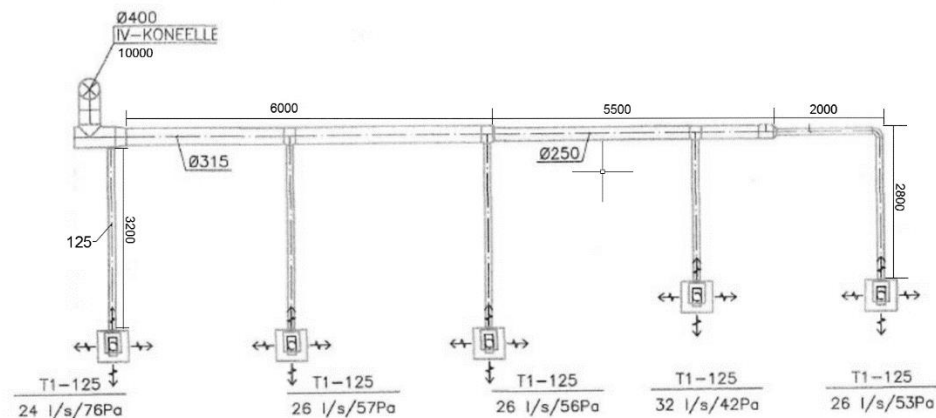
Nimellisarvot						Tyypikoodi	Runko- koko
Normaali käyttö			Raskas käyttö				
P_N kW	P_N hp	I_{2N} A	P_{hd} kW	P_{hd} hp	I_{2hd} A		
1,1	1,5	3,3	0,75	1	2,4	ACS550-01-03A3-4	R1
1,5	2	4,1	1,1	1,5	3,3	ACS550-01-04A1-4	R1
2,2	3	5,4	1,5	2	4,1	ACS550-01-05A4-4	R1
3	4	6,9	2,2	3	5,4	ACS550-01-06A9-4	R1
4	5,4	8,8	3	4	6,9	ACS550-01-08A8-4	R1
5,5	7,5	11,9	4	5,4	8,8	ACS550-01-012A-4	R1
7,5	10	15,4	5,5	7,5	11,9	ACS550-01-015A-4	R2
11	15	23	7,5	10	15,4	ACS550-01-023A-4	R2
15	20	31	11	15	23	ACS550-01-031A-4	R3
18,5	25	38	15	20	31	ACS550-01-038A-4	R3
22	30	45	18,5	25	38	ACS550-01-045A-4	R3
30	40	59	22	30	45	ACS550-01-059A-4	R4
37	50	72	30	40	59	ACS550-01-072A-4	R4
45	60	87	37	50	72	ACS550-01-087A-4	R4
55	100	125	45	75	96	ACS550-01-125A-4	R5
75	125	157	55	100	125	ACS550-01-157A-4	R6
90	150	180	75	125	156	ACS550-01-180A-4	R6
110	150	205	90	125	162	ACS550-01-195A-4	R6
132	200	246	110	150	192	ACS550-01-246A-4	R6
160	200	290	132	200	246	ACS550-01-290A-4	R6

Tässä esimerkkitapauksessa ei mitoituksessa ollut mainintaa putkiston rakenteesta, joten sen aiheuttamia painehäviöitä ei voitu laskea. Painehäviöitä syntyy mutkissa, supistuksissa ja nousuissa. Painehäviöiden laskemista varten täytyy tietää putkiston eri osien paikallisvastuskertoimet, joista luvussa 6.2 taulukossa 12 esitetty likimääräiset arvot.

6.2 Puhallinmoottorin mitoitus

Tässä luvussa mitoitetaan kuvan 39 esittämään tuloilma-putkistoon sopivan kokoinen moottori. Kyseessä on tuloilmakone, jota ohjataan taajuusmuuttajalla. Kanavissa on kunkin venttiilin edessä ilmamäärän säädin ja jokaisessa toimistossa on lämpötila- ja CO₂-anturi sekä läsnäolotunnistin. Automaatiojärjestelmä ohjaa taajuusmuuttajaa sen mukaan, mikä on kulloinenkin ilmanvaihdon tarve.

Moottori mitoitetaan maksimikäyttöä ajatellen ja putkistossa olevien supistusten ja mutkien painehäviöt täytyy laskea sen lisäksi, että venttiilien aiheuttamat painehäviöt on kuvassa annettu.



Kuva 39. Tuloilmaputkisto, jossa ilmoitettu vaadittavat ilmamäärät venttiilien kohdalla sekä putkien pituudet ja halkaisijat.

Putkisto sisältää kolme 90° mutkaa, joiden paikallisvastuskertoimet (taulukko 14) ovat 0,3 näiden lisäksi on yksi L-mutka, jonka kerroin on 1,5. Putkistossa olevat supistukset aiheuttavat myös painehäviöitä ja niiden paikallisvastuskertoimet ovat 0,7.

Tuloilmakoneen täytyy kyetä tuottamaan 0,134 m³/s, joka on venttiilien yhteenlaskettu ilmamäärä.

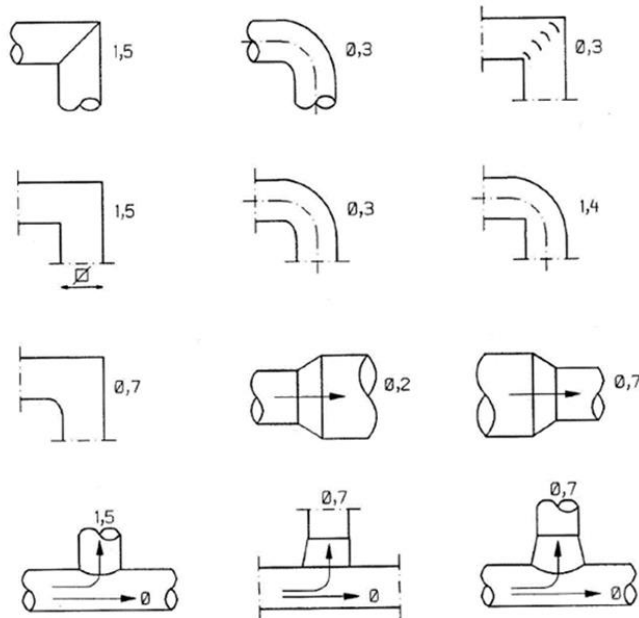
Jotta painehäviöt voitiin selvittää, täytyi ensin laskea virtausnopeus (v) kussakin putkiston osassa kaavan 8 avulla. Tulokset on esitetty taulukossa 11.

$$v = \frac{qv}{A} \quad (8)$$

Taulukko 11. Virtausnopeudet Putkiston eri osissa (E. Parviainen)

Virtausnopeus	m/s
IV-koneelta kerrokseen ø400 putki	1,07
Kerroksessa ø315 putki	1,42
Kerroksessa ø250 putki	1,18
1. tsto ø125 putki	1,95
2. tsto ø125 putki	2,11
3. tsto ø125 putki	2,11
4. tsto ø125 putki	2,60
5. tsto ø125 putki	2,11

Taulukko 12. Tavanomaisimpien kanavien likimääräisiä paikallisvastuskertoimia (Ilmastointitekniikka 1994, 125)



Tämän jälkeen voitiin painehäviöt laskea mutkissa ja supistuksissa kaavan 9 avulla, jossa ξ on paikallisvastuskerroin, ρ on ilman tiheys/m³ (1,3 kg/m³) ja v on virtausnopeus.

$$\Delta p_{\xi} = \frac{1}{2} \xi \rho v^2 \quad (9)$$

Taulukossa 13 on saadut tulokset painehäviöistä kussakin mutkassa ja supistuksessa.

Taulukko 13. Lasketut painehäviöt putkiston eri kohdissa (E. Parviainen)

Kohde	Painehäviöt / Pa
90° mutka IV-koneelta	0,20
90° mutka kerroksessa	0,20
L-mutka kerrokseen	1,03
Supistus /1. tsto	0,48
1. tsto venttiili	76,00
Supistus / ø315mm putki	0,48
Supistus / 2. tsto ø125 putki	0,48
2. tsto venttiili	57,00
Supistus / 3.tsto ø125 putki	0,48
3. tsto venttiili	56,00
Supistus / ø250mm putki	0,89
Supistus / 4.tsto ø125 putki	0,66
4. tsto venttiili	42,00
Supistus / ø125mm putki	0,66
90° mutka 5. tsto	0,87
5. tsto venttiili	53,00
	290,43 Pa

Ilmastointijärjestelmä toimii staattisessa tilassa siten, että siihen puhallettu ilmamäärä tulee samassa ajassa venttiileistä ulos. Tällaisessa säädetyssä järjestelmässä tilavuusvirta vaihtelee tilojen käyttöasteen mukaan ja puhaltimen pyörimisnopeutta säätämällä saavutetaan haluttu paine ja tilavuusvirta.

Tilavuusvirrat (q_v) putkiston eri osissa laskettiin kaavan 10 mukaan, jossa A on putken poikkipinta-ala ja v on virtausnopeus putkessa. Taulukossa 14 on saadut tilavuusvirrat putkiston eri osissa.

$$q_v = Av \quad (10)$$

Taulukko 14. Tilavuusvirrat systeemin eri osissa (E. Parviainen)

Putken ø	Tilavuusvirta/m3
400	0,134
315	0,110
250	0,058
125	0,024
125	0,026
125	0,026
125	0,032
125	0,026

Valmistajan ilmoittama hyötysuhde puhaltimille vaihtelee 50 ja 70 % välillä. Kyseinen puhallin on kiilahihnakäyttöinen, jolloin tehon ollessa alle 10 kW tulee moottori mitoittaa kertoimella 1,2. Puhaltimen tehon ollessa yli 10 kW tulee kertoimena käyttää 1,15.

Varmuuskertoimena käytetään tässä tapauksessa 30 % :n tehostusvaraa.

Saatujen tulosten perusteella päästiin laskemaan moottorilta vaadittava teho kaavan 11 mukaan, jossa η on hyötysuhde, q_v on tilavuusvirta ja p on kokonaispainehäviöt putkistossa.

$$P_w = \frac{1}{\eta} q_v p = \frac{1}{0,5} * 2,9 * 290,4 \approx 1,7 \text{ kW} \quad (11)$$

Moottorin tehoksi saatiin 1,7 kW, joten saatuun tulokseen täytyy laskea lisäksi kaavan 12 mukaan vielä valmistajan ilmoittama kerroin, joka on alle 10 kW:n puhaltimelle (1,2) ja varmuuskerroin (30 %).

$$P_{w2} = 1,7 \text{ kW} * 1,2 * 1,3 = 2,63 \text{ kW} \quad (12)$$

Moottorilta vaadittavaksi tehoksi saatiin 2,63 kW, taulukon 15 mukaan moottoriksi valitaan 3 kW moottori, jonka pyörimisnopeus on 2880 rpm ja nimellisvirta 5,88 A.

Taulukko 15. moottorin valintataulukko (SKS Group)

Moottori	Teho (kW)	Virta A 400 V	Nopeus (rpm)	Hyötysuhde 100 % kuormalla	Teho-kerroin $\cos \Phi$	Ts / Tn	Is / In	Paino (kg)
MS2 801-2	0,75	1,75	2840	77,4	0,80	2,9	5,8	8,7
MS2 802-2	1,1	2,42	2850	80	0,82	3,5	6,8	10,5
MS2 90S-2	1,5	3,20	2850	81,4	0,83	3,5	6,9	13,1
MS2 90L-2	2,2	4,54	2860	83,2	0,84	4,1	7,9	15,0
MS2 100L-2	3	5,88	2880	84,6	0,87	3,4	7,8	24,2
MS2 112M-2	4	7,54	2890	86	0,89	2,7	7,5	25,8
MS2 132S1-2	5,5	10,2	2900	87,2	0,89	2,4	7,7	43,8
MS2 132S2-2	7,5	13,8	2910	88,1	0,89	2,6	8,4	48,0
MS2 160M1-2	11	19,9	2930	89,4	0,89	2,4	7,6	77,5
MS2 160M2-2	15	26,9	2930	90,3	0,89	2,6	8	92,3
MS2 160L-2	18,5	32,6	2940	90,9	0,90	3	9	104,3
MS2 180M-2	22	38,6	2950	91,3	0,90	2,6	8,5	126,4
MS2 200L1-2	30	52,3	2950	92	0,90	2,4	8	144,0
MS2 200L2-2	37	64,1	2950	92,5	0,90	2,5	8,5	151,0

Puhaltimen inertia täytyy ottaa huomioon moottoria valittaessa ja se voidaan laskea ($J = \frac{1}{2}mr^2$), kun tiedetään puhaltimen halkaisija ja paino. Inertia vaikuttaa aina käynnistys, hidastus ja kiihdytys tilanteissa. Taajuusmuuttajassa tämä huomioidaan parametrien valinnalla siten, että kiihdytys ja hidastus aikoja (rampeja) voidaan säätää 0,0-1800,00 s välillä, vuojarutuksen aikana suora momentinsäätö varmistaa, että jarrutus voidaan tehdä tietyn nopeusrampin mukaisesti (ABB Tekninen opas 8, 13).

Taajuusmuuttajan valinnassa pätee samat periaatteet, jotka esitettiin luvussa 6.1 ja samaa valintataulukkoa voidaan soveltaa.

7 YHTEENVETO

Sähkömoottori on teollisuudessa ja talotekniikassa oikein valittuna, mitoitettuna ja suojattuna erittäin monikäyttöinen laite. Useat sähkö- ja automaatioalalle valmistuneet ”uudet” asentajat ovat kovin vähän päässeet tutustumaan moottorikäyttöihin. Tämän raportin tarkoitus oli johdattaa lukija moottorikäytön perusteisiin ja esittää menetelmät, joilla moottori esim. pumppu- ja puhallinkäyttöön mitoitettiin.

Moottorin mitoituksessa on olennaista selvittää syöttävän sähköverkon taajuus, jännite ja kapasiteetti. Lisäksi täytyy selvittää moottorin käyttötarkoitus ja käyttötapa sekä moottorilta vaadittava momentti ja myös, onko nopeusohjaus tarpeen. Näiden tietojen perusteella voidaan valita oikeanlaiset ohjauskomponentit sekä suojaus ja kaapelointi.

Moottorin käynnistämistä erilaisilla kuormituksilla simuloitiin MatLab-ohjelmalla. Raporttiin liitettiin grafiikat (virta, momentti ja nopeus) kuormittamattomasta moottorista ja nimelliskuormalla käynnistetystä moottorista. Releohjaukset ovat vielä yleisiä ja raportissa käsiteltiin lyhyesti tämä aihe piirikaavioineen.

Taajuusmuuttajan toimintaperiaate ja mekaaninen rakenne tuotiin suppeasti esille. Lopuksi raportissa mitoitettiin moottori laskennallisesti sekä pumppu- että puhallinkäyttöön. Käytännössä on olemassa PC-ohjelmia (esim. Siemens Drivesize), joilla mitoitus voidaan suorittaa.

Tulevaisuudessa, kun ohjausjärjestelmät lisääntyvässä määrin siirtyvät älykkääseen verkkoon (I4.0 ja IoT), täytyy moottorikäyttöihin lisätä antureita, jotta automaatiojärjestelmän kautta saataisiin reaaliaikainen tieto koneen toiminnasta ja kunnosta. Mittaustiedon keräämiseksi ja analysoimiseksi on olemassa ohjelmia, kuten esim. LabVIEW.

LÄHTEET

ABB. Moottorin häviöt
Haettu 5.10.2016
<http://www.abb.com/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>

ABB. Lämpörele
Haettu 28.11.2016
<http://www.abb.fi/product/seitp329/3a6d410be311cdfec1256ffe00467f2c.aspx>

ABB. oikosulkusuojaus
Haettu 4.12.2016
<https://library.e.abb.com/public/6b2e3b61cdc65b49c2256e7e0026aeb4/1S CC400004C1801.pdf>

ABB. Tähti-kolmio käynnistys
Haettu 1.1.2017
https://library.e.abb.com/public/d11f99611045fef8c125796e00473a8a/OP AS%20Pehmokaynnistys%201FI12_01.pdf

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07

Fonselius, J. 2011. Servokäyttöjen perusteet (AEL kurssikansio)

Halminen, E. Kuvaja, O. Köttö, R. 1994. Ilmastointitekniikka.
Rakennusalan Kustantajat RAK
Kustantajat Sarmala Oy

Hager. Laukaisukäyrä
Haettu 4.12.2016
<http://www.utu.eu/sites/default/files/attachments/johdonsuojakatkaisijat-tekniset-tiedot-11fi0211.pdf>

Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. 1. painos
Vantaa. AMK-Kustannus Oy.

Hietalahti, L. 2012. Säädetyt sähkömoottorikäytöt. 1. painos
Vantaa. AMK-Kustannus Oy.

Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. 1. painos
Vantaa. AMK-Kustannus Oy.

Kinnunen, J. 2014. Moottoreiden hyötysuhteet
ABB Oy.

LearnEngineering. Roottori
Haettu 8.12.2016
<http://www.learnengineering.org/2013/08/three-phase-induction-motor-working-squirrel-cage.html>

Moves, käyttö- ja huolto-ohje

Haettu 16.12.2016

http://www.moves.fi/web_documents/moves_moottoreiden_k_ytt_-_ja_huolto-ohje.pdf

Mäkinen, M & Kallio, R. 2004. Teollisuuden sähköasennukset.

Keuruu. Otava.

OEM Automatic. Kontaktori

Haettu 1.12.2016

http://www.oem.fi/Tuotteet/Keskus/Moottorilahtokomponentit/Kontaktorit/Kontaktorit_13-18_5_kW/2373486-1762703.html

Prysmian Group. Kaapeli

Haettu 3.1.2017

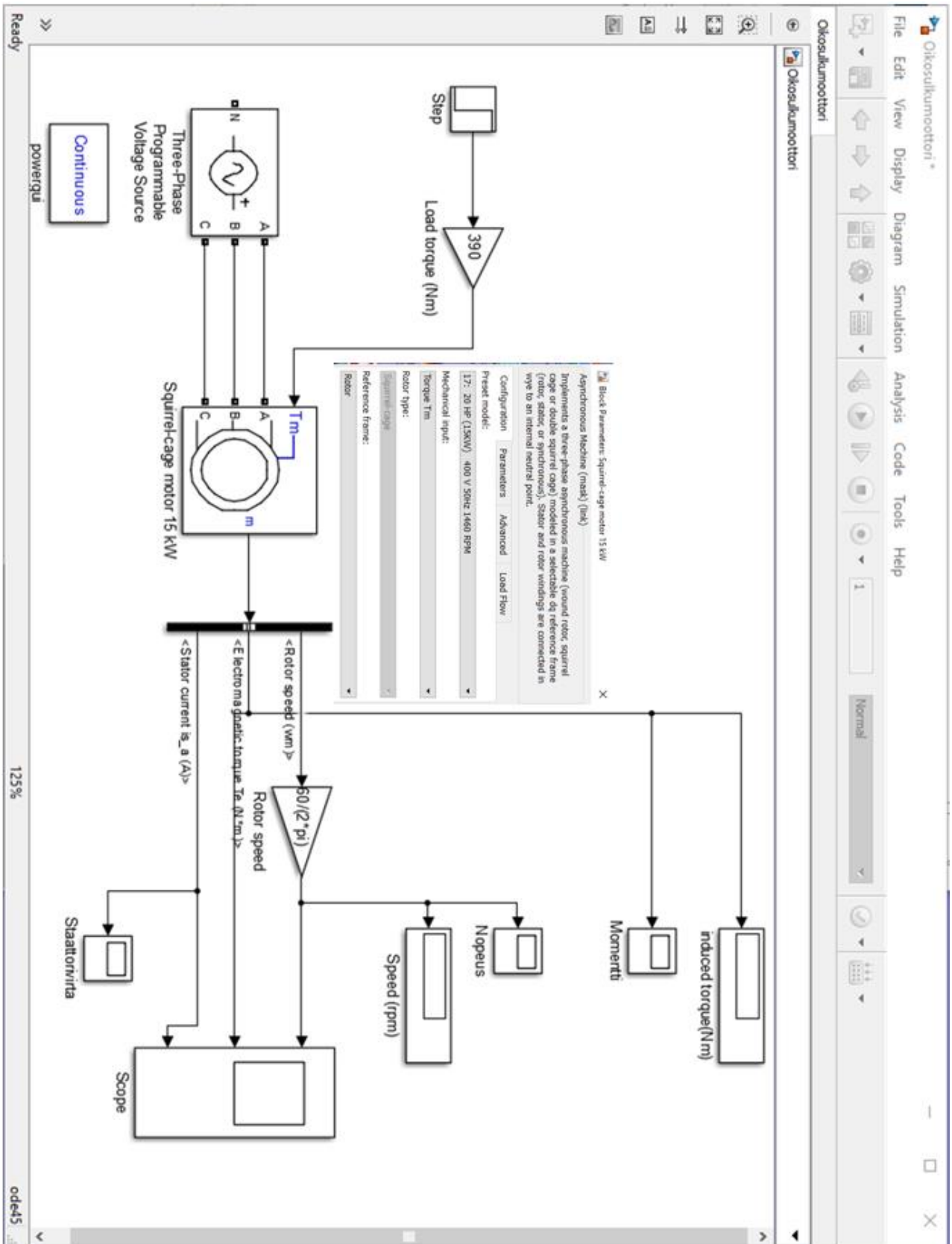
www.draka.fi

RADE CONCAR. Kontaktori

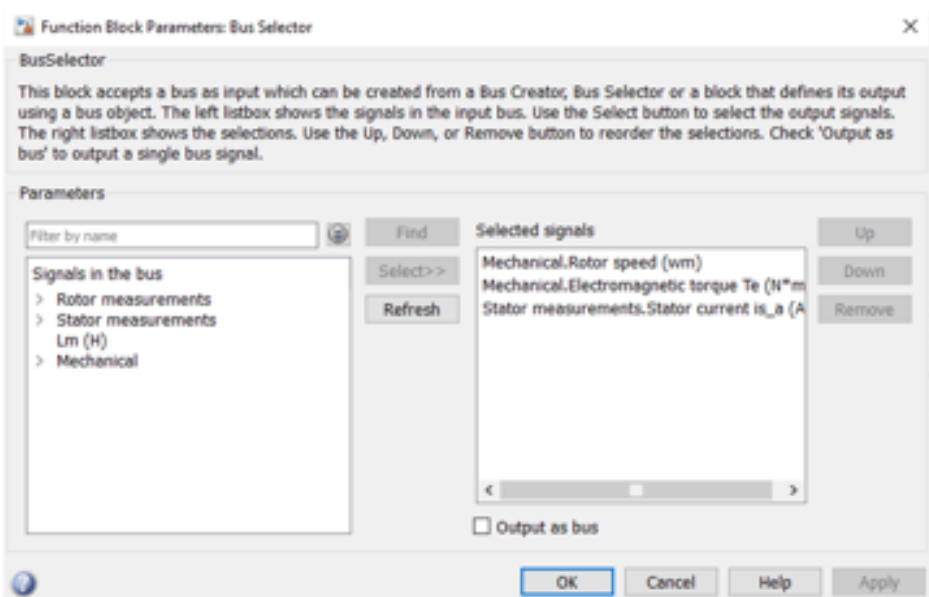
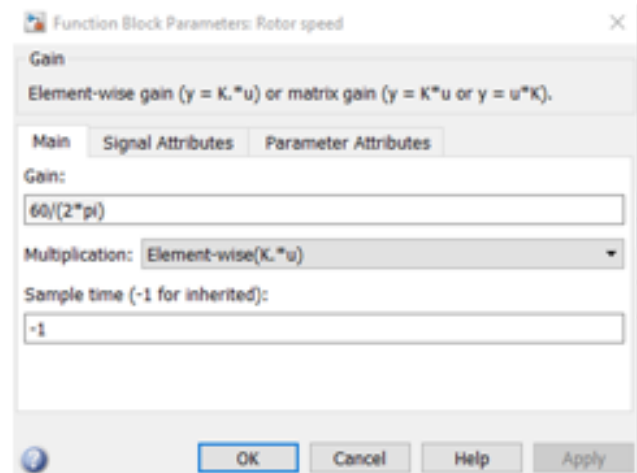
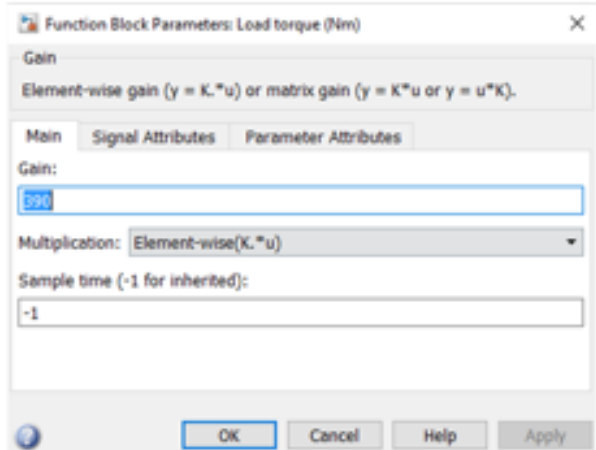
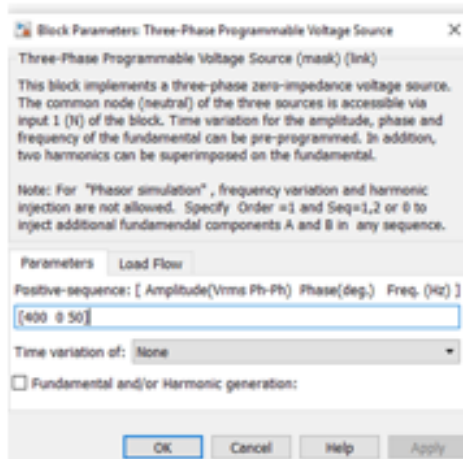
Haettu 3.12.2016

<http://www.radekoncar.com.mk/CNM170.html>

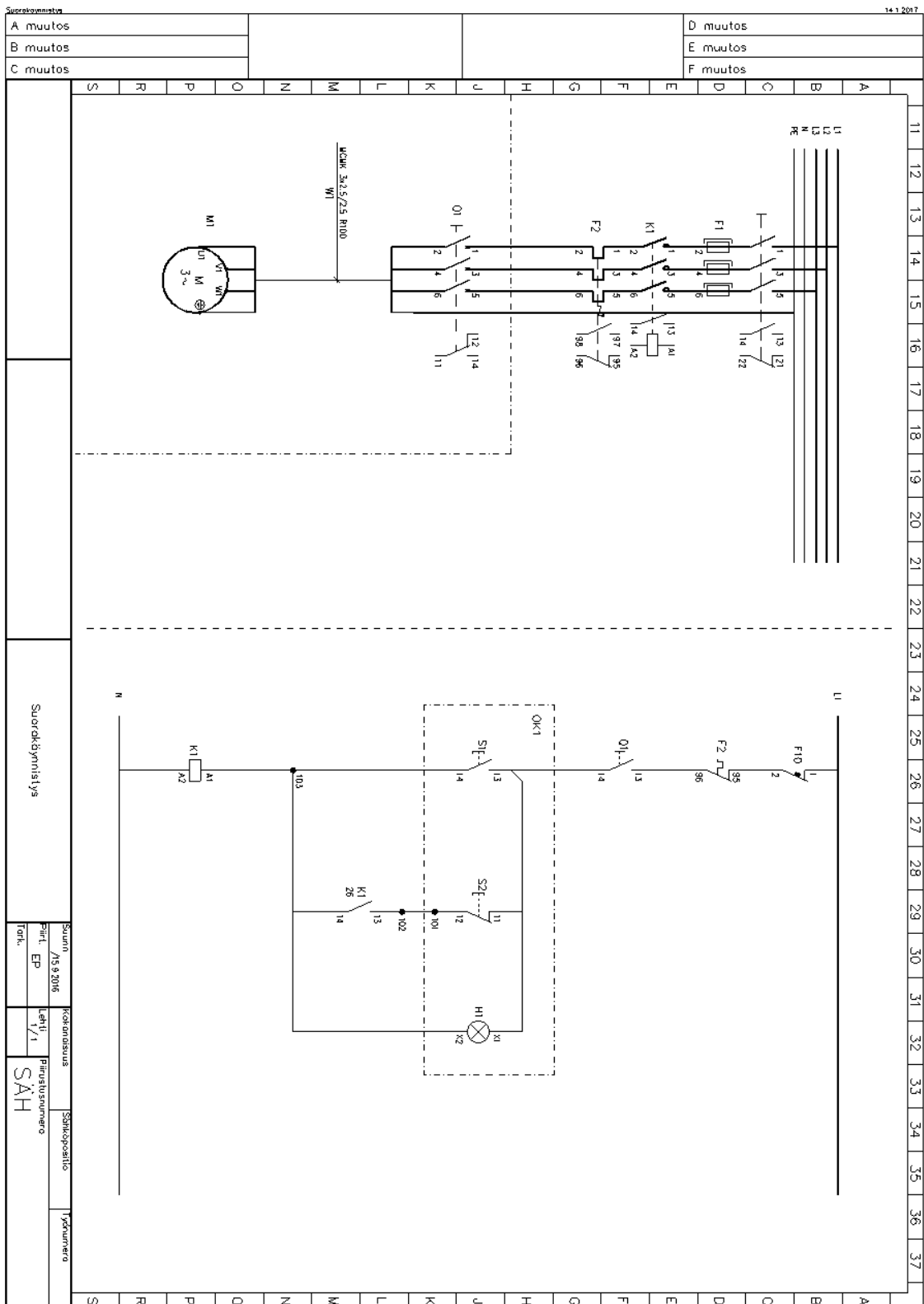
SIMULINK-LOHKOKAAVIO



PARAMETRIT SIMULINK- JA SIMSCAPE OBJEKTEIHIN

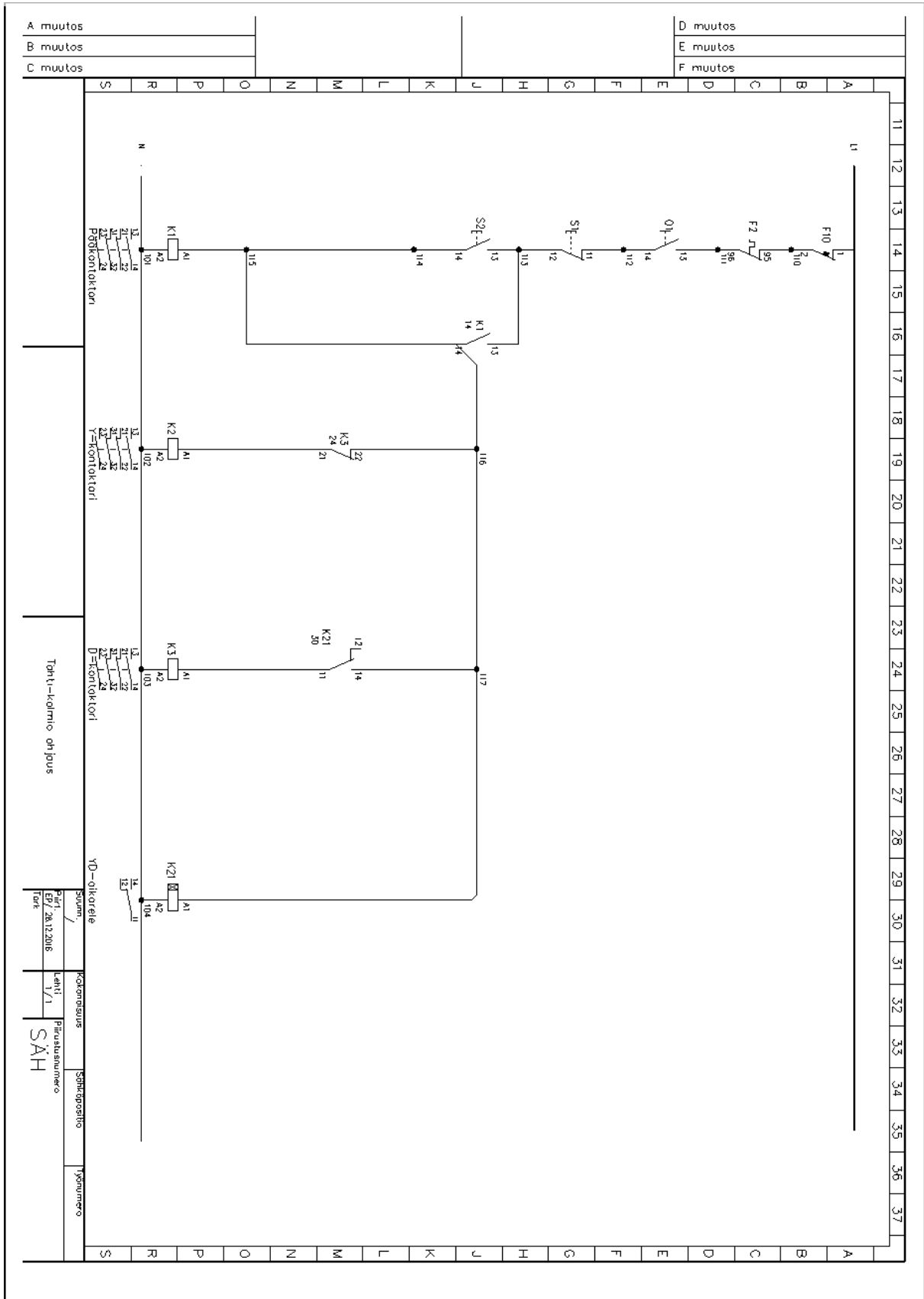


MOOTTORIN SUORAKÄYNNISTYS

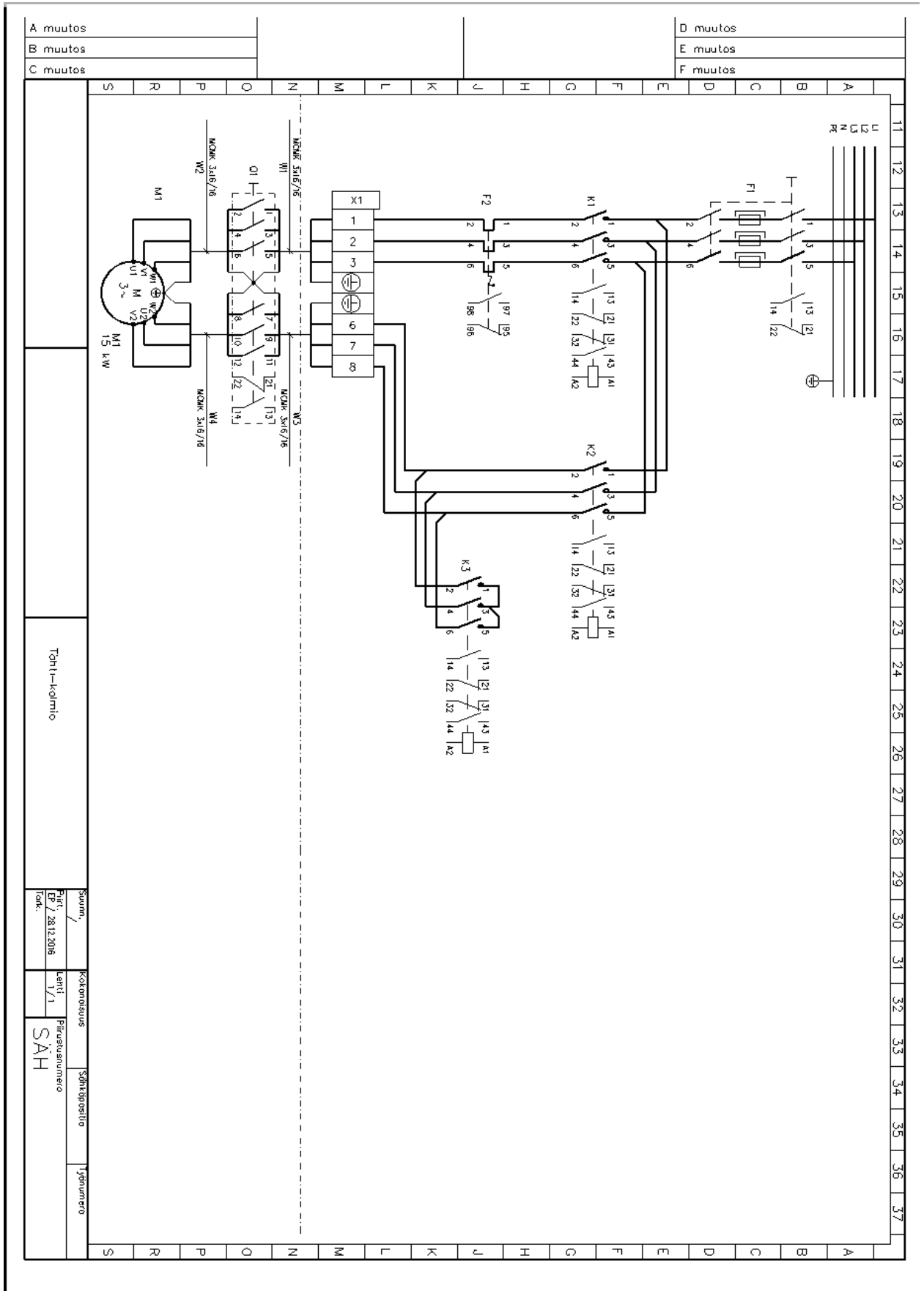


Suuri	/15 9/2006	Kokonaissuus	Sähköpostiosoite	Työnumero
Siirt.	EP	Lehti		
Tark.		1/1		
SÄH				

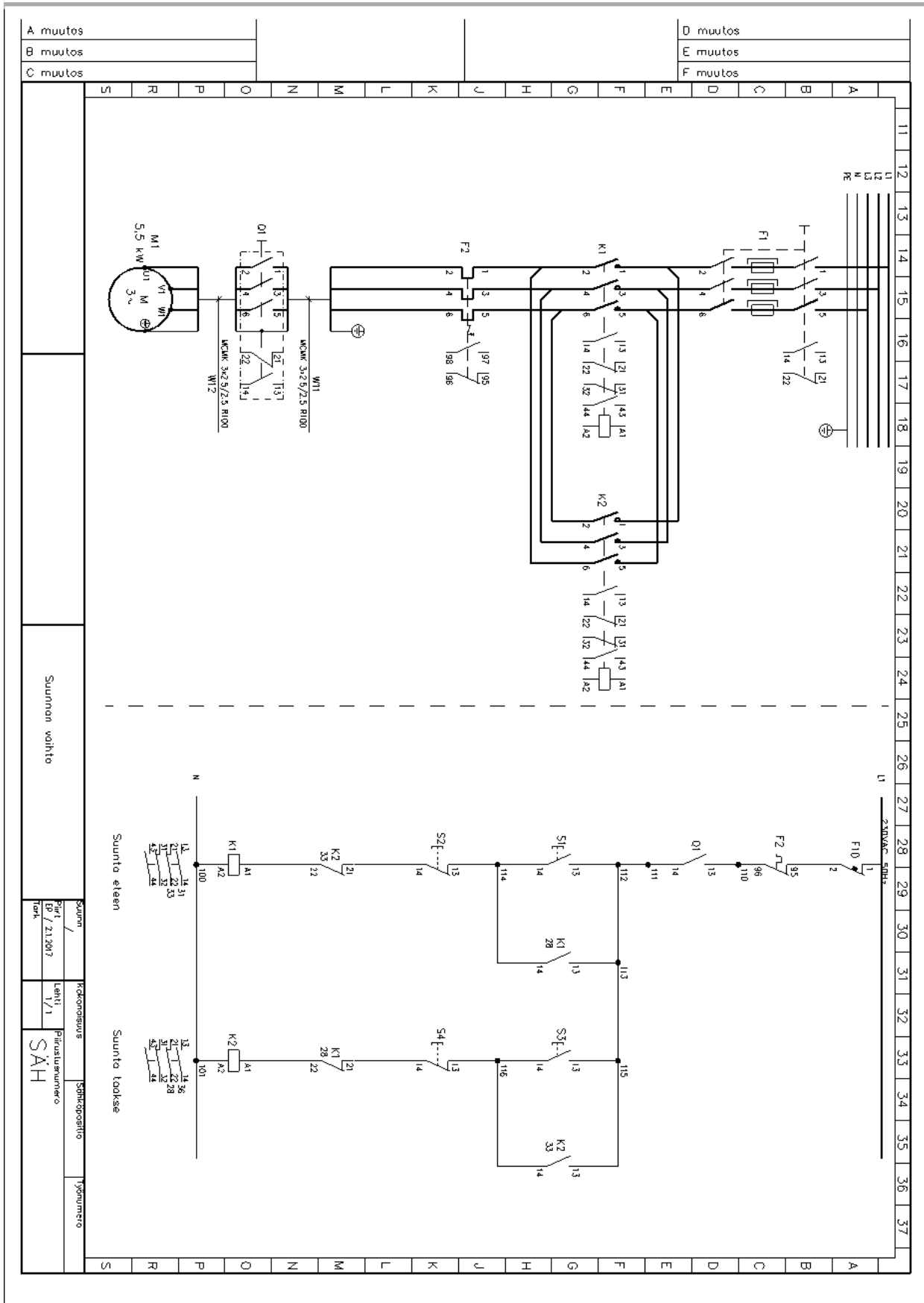
TÄHTI-KOLMIO OHJAUSPIIRI



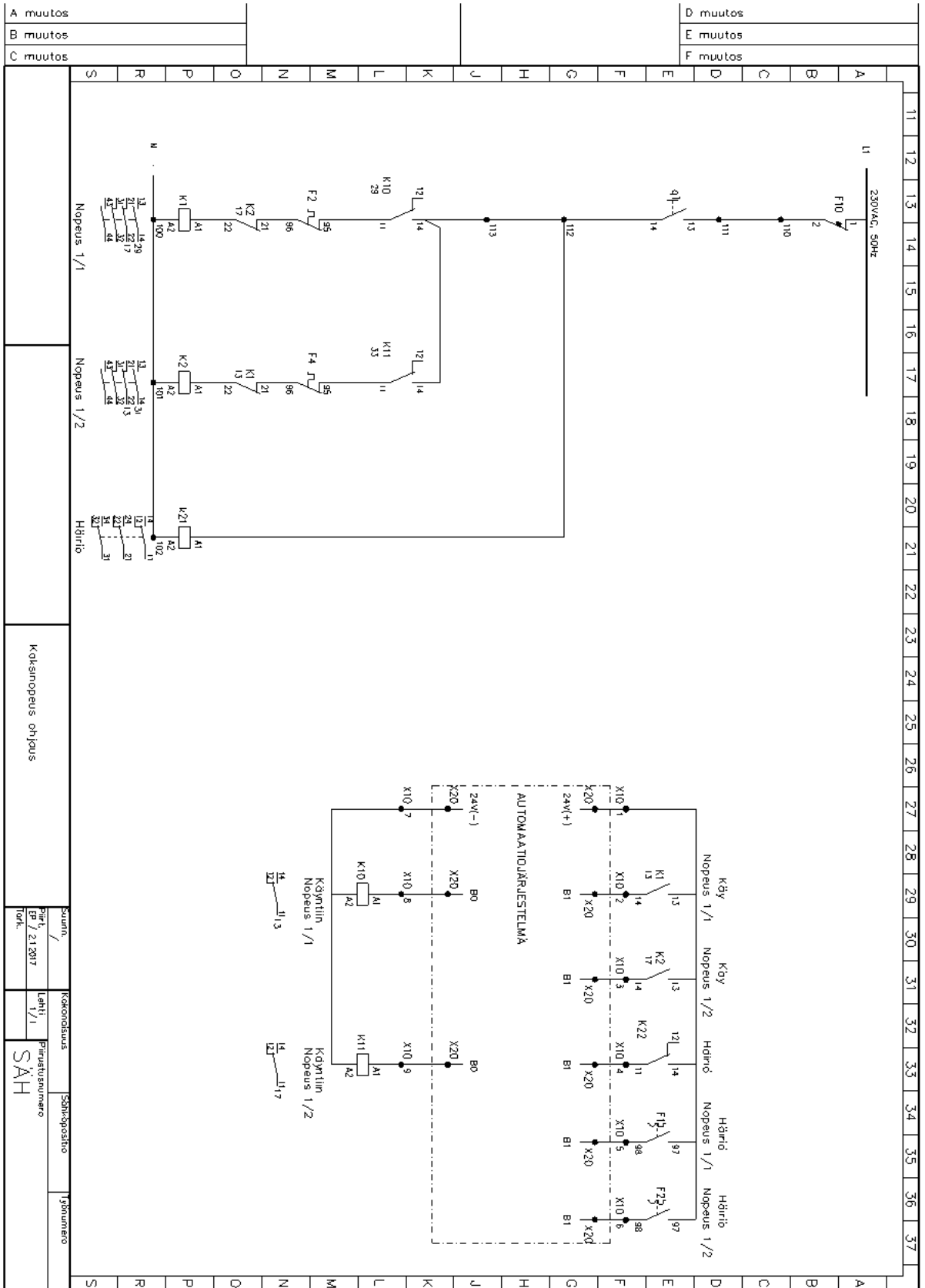
TÄHTI-KOLMIO PÄÄVIRTAPIIRI



SUUNNANVAIHTO



KAKSINOPEUS OHJAUSPIIRI



A muutos
B muutos
C muutos

D muutos
E muutos
F muutos

Kaksinopeus ohjaus

suunn.	kokonaisuus	Sähköpiirros	lajinumero
Proj. / 21.2017	Lehti / 1/1	Projekti / SÄH	

KAKSINOPEUS PÄÄVIRTAPIIRI

