



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Aleksi Petäjämäki

SINAMICS

TASAVIRTAMOOTTORIKÄYTÖN
KYTKENNÄN SUUNNITTELU,
KÄYTTÖÖNOTTO JA TESTAUS

Tekniikka
2018

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Aleksi Petäjämäki
Opinnäytetyön nimi	Sinamics tasavirtamoottorikäytön kytkennän suunnittelu, käyttöönotto ja testaus.
Vuosi	2018
Kieli	suomi
Sivumäärä	57 + 4 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Tämä opinnäytetyö tehtiin Vaasan ammattikorkeakoululle, Technobothnia laboratorioon. Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli Technobothnialle hankitun Siemens Sinamics tasavirtamoottorikäytön kytkennän suunnittelu, sekä laitteen käyttöönotto ja testaus. Laitetta tultaisiin tulevaisuudessa käyttämään sähkötekniikan laboratoriossa opetuskäytössä. Tämän uuden Siemens tasavirtamoottorikäytön tarkoitus on korvata Technobothnialla aiemmin opetuskäytössä ollut vanhempi vastaava laite.

Uuden tasavirtamoottorin käyttöönottamiseksi tutustuttiin ensin huolellisesti laitteiston käyttöohjeisiin, jonka pohjalta tehtiin tarvittavat kytkennät sekä konfiguroinnit ja näin saatiin ajettua laboratoriosta entuudestaan löytyvää tasavirtamoottoria.

Työn laboratorio-osuuden lopuksi moottoria saatiin ajettua käytön avulla halutulla tavalla AOP30 Paneelilla ja Siemens Starter ohjelmistolla. Tämän työn pohjalta opiskelijoiden pitäisi pienellä omalla tutkimisella saada käytettyä laitetta ongelmitta.

ABSTRACT

Author	Aleksi Petäjämäki
Title	The Planning, Introduction and Testing of Sinamics DCM Control Module
Year	2018
Language	Finnish
Pages	57 + 4 Appendices
Name of Supervisor	Kari Jokinen

This thesis was done for the Technobothnia Laboratories at VAMK, University of Applied Sciences. The purpose of this thesis was to plan the electrical connections for the Sinamics DCM Control Module and to configure and test drive the module. The device would later be used for teaching in electrical engineering laboratories.

To be able to use and configure the module the manuals of the module had to be studied thoroughly. Electrical connections and configurations were made according to the manuals. This way the pre-existing DC-motor found in Technobothnia could be driven with the module.

The motor at the laboratory was driven successfully with the DC-module via AOP30 operating panel and Siemens Starter software. Students should be able to use the module by using this thesis as a manual.

Keywords Sinamics DCM Control Module, DC-motor,
AOP30 operating panel and Siemens Starter software

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO	10
2	NOPEUSSÄÄDETYN DC-KÄYTÖN TEORIAA	11
	2.1 DC-moottorin rakenne.....	11
	2.2 DC-Moottorin toimintaperiaate	12
	2.3 Vierasmagnetoitu eli erillismagnetoitu moottori	14
	2.4 4Q-käyttö eli nelikvadranttikäyttö	15
	2.4.1 Nopeustakaisinkytketty tasavirtamoottorikäyttö	18
3	TUTKITTAVAN DC-MOOTORIKÄYTÖN LAITTEET.....	20
	3.1 Tasavirtamoottori.....	22
	3.2 Kuristin.....	23
	3.3 DC-Käyttö	23
	3.4 Pääpiirin ja ohjauspiirin kytkentä	26
	3.5 AOP30 Paneeli.....	28
	3.6 Technobothnia laboratorion moottoritestipenkki.....	29
4	STARTER-OHJELMISTON KÄYTTÖ	30
	4.1 Asentaminen	30
	4.2 Projektin luonti	31
	4.3 SINAMICS tasavirtamoottorikäytön konfigurointi Starterilla	35
5	OPTIMOINTIAJOT	44
6	TESTIAJOT	47
	6.1 Tyhjäkäyntikoe	47
	6.2 Ajo virtarajaa vasten	48
	6.3 Momentin nostaminen eri pyörimisnopeuksilla.	51
	6.4 Dynaaminen ja staattinen tarkkuus	53
7	YHTEENVETO JA LOPPUSANAT	56
	LÄHTEET	57
	LIITTEET	

KUVA JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. DC-Moottorin rakenne yksinkertaistettuna. /4/	11
Kuva 2. Voirralliseen sauvaan kohdistuvan voiman synty /4/	12
Kuva 3. Tasavirtamoottorin sijaiskytkentä /1/.....	13
Kuva 4. Tasavirtamoottorin momentti M, ankkurijännite U_a ja vuo ϕ nopeuden funktiona, kun I_a on vakio /1/.....	15
Kuva 5. 4Q-käyttö eli neljän neljänneksen käyttö	16
Kuva 6. 1Q-käyttö eli yhden neljänneksen käyttö	16
Kuva 7. Vastarinnan kytketyillä kuusipulssisilla tyristorisilloilla toteutettu 4Q-käyttö. /3/.....	17
Kuva 8. Pyörimisnopeuden kaskadisääto. /1/.....	19
Kuva 9. Periaatteellinen kuva tutkittavasta laitteistosta.....	21
Kuva 10. Työssä käytetty Siemensin tasavirtamoottori.	22
Kuva 11. Kuristimen valintaan käytetty taulukko. Valittiin 6RX1800-4DK01 käytön nimellisarvojen mukaan. /8/.....	23
Kuva 12. Siemensin Sinamics tasavirtamoottorikäyttö.....	24
Kuva 13. SINAMICS DC-käytön nimikilpitiedot.	24
Kuva 14. Manuaalin pohjalta piirretty testivaiheen kytkentä. /8/.....	26
Kuva 15. AOP30 ohjauspaneelin kytkentä.....	27
Kuva 16. Takometrin kytkentä /8/.....	28
Kuva 17. AOP30 ohjauspaneeli. /8/.....	28
Kuva 18. Käytetty testipenkki.	29
Kuva 19. Project Wizardin ensinäkymä.....	31
Kuva 20. Projektin nimeäminen sekä sen kuvaus.....	31
Kuva 21. Yhteystyyppin valinta.	32
Kuva 22. Properties valinnan alla olevat oletusasetukset, joita tässä työssä käytettiin.....	33
Kuva 23. Yhteyden testaus.	33
Kuva 24. Laitteen määrittely ja nimeäminen.....	34
Kuva 25. Projektin luonnin yhteenveto.....	34

Kuva 26. Projektipuu.....	35
Kuva 27. Konfiguroinnin aloitussivu.....	36
Kuva 28. Funktiomoduulien aktivointi.....	37
Kuva 29. Tilausnumero eli order number.....	37
Kuva 30. Ohjattavan tasavirtamoottorikäytön valinta.....	38
Kuva 31. Moottorin nimikilpi.....	39
Kuva 32. Sinamicsin ja moottorin käytettävät nimelliset arvot.....	39
Kuva 33. Erillisen jarrun käytön määrittely.....	40
Kuva 34. Takometrin nimeäminen ja takometrin tyyppin valinta.....	41
Kuva 35. Takometrin tarkemmat määrittelyt. Mm. Pulssiluvun valinta.....	41
Kuva 36. Magnetoitientikan jännitteen määrittely.....	42
Kuva 37. Virran, momentin sekä ramppiajan asettelut.....	43
Kuva 38. Esimerkkinä Starter-ohjelmiston ankkuripiirin virtasäätäjän asettamat arvot.....	46
Kuva 39. Ankkurijännitteen ja magnetoimisvirran muutokset pyörimisnopeuden suhteen.....	47
Kuva 40. Jännitteiden ja momentin muutos suhteessa pyörimisnopeuden muutokseen.....	48
Kuva 41. Oskilloskooppikuva ajettaessa 100rpm nimellisellä momentilla.....	49
Kuva 42. Oskilloskooppikuva ajettaessa 1000rpm nimellisellä momentilla.....	49
Kuva 43. Oskilloskooppikuva ajettaessa 1970rpm nimellisellä momentilla.....	50
Kuva 44. Oskilloskooppikuva ajettaessa 3000rpm maksimi vastamomentilla virtarajalla.....	50
Kuva 45. Tulokset 100rpm:n nopeudella.....	51
Kuva 46. Tulokset 1000rpm:n nopeudella.....	52
Kuva 47. Tulokset 1970rpm:n nopeudella.....	52
Kuva 48. Tulokset 3000rpm:n nopeudella.....	53
Kuva 49. Nopeuden värähtely momentin äkillisen tiputuksen jälkeen suurimmalla testatulla hitausmomentilla $J=1.007 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$	54

Taulukko 1. Testitulokset momenttia nostettaessa, sekä niistä lasketun dynaamisen tarkkuuden arvo.....	55
Taulukko 2. Testitulokset momenttia tipautettaessa, sekä niistä lasketun dynaamisen tarkkuuden arvo.....	55

LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

4Q-käyttö	-	Neljän neljänneksen käyttö (4 quadrant)
A	-	Ampeeri (Virran yksikkö)
AC	-	Alternative current (vaihtovirta)
DC	-	Direct current (tasavirta)
DC-käyttö	-	Sinamics Tasavitamoottorikäyttö
D_T	-	Dynaaminen tarkkuus
Hz	-	Hertsi (Taajuuden yksikkö)
I_a	-	Ankkurivirta
I_m	-	Magnetoimisvirta
J	-	Hitausmomentti jonka yksikkö $kg \cdot m^2$
Käyttö	-	Sinamics Tasavitamoottorikäyttö
L_a	-	Ankkuripiirin induktanssi
L_m	-	Magnetoimispiirin induktanssi
Moduuli	-	Sinamics tasavitamoottorikäyttö
n_{max}	-	Pyörimisnopeuden maksimiarvo
n_{min}	-	Pyörimisnopeuden minimiarvo
R_a	-	Ankkuripiirin resistanssi
R_m	-	Magnetoimispiirin resistanssi
rpm	-	Rounds Per Minute (kierrosta minuutissa)
S_T	-	Staattinen tarkkuus
U	-	Jännite (Jännitteen yksikkö)
U_a	-	Ankkurijännite

U_m	-	Magnetoimisjännite
Δn	-	Pyörimisnopeuden muutos
Δt	-	Ajan muutos

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Testikytkenä**LIITE 2.** Lopullinen kytkentä**LIITE 3.** Layout ehdotus 1/2**LIITE 3.** Layoutehdotus 2/2

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön aiheena ja tarkoituksena oli Technobothnia laboratorioon hankitun Siemens tasavirtamoottorikäytön kytkennän suunnittelu, sekä laitteen käyttöönotto ja testaus. Laitetta tulisi tulevaisuudessa käyttää sähkötekniikan laboratoriossa opetuskäytössä.

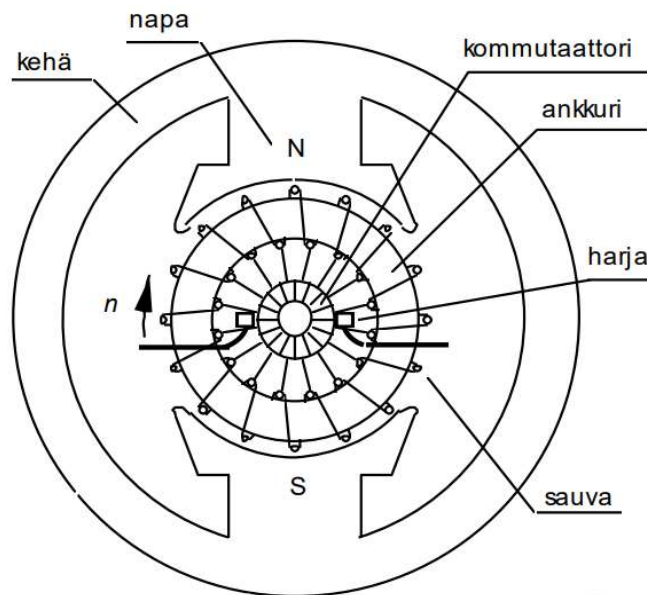
Tämän uuden Siemens tasavirtamoottorikäytön tarkoitus oli korvata Technobothnilla aiemmin opetuskäytössä ollut vanhempi vastaava laite.

Tässä opinnäytetyössä tullaan käsittelemään tasavirtamoottorin sekä tasavirtamoottorikäytön perusteita ja teoriaa, laitteiston kytkentöjä sekä tasavirtamoottorikäytön testausta.

2 NOPEUSSÄÄDETYN DC-KÄYTÖN TEORIAA

2.1 DC-moottorin rakenne

Tasavirtamoottori koostuu staattorikehästä, navoista, kommutaattorista ja sen hiiliharjoista, ankkurin rautasydäimestä ja ankkurin käämityksestä. Kokonaisuudessaan moottori on kuvan 1 mukainen. Rakenne vaihtelee moottorista riippuen, mutta toimintaperiaate on sama. Pyöriviä osia ovat kommutaattori ja ankkuri, johon siis kuuluvat ankkurin rautasydän ja siihen käämitty kuparikäämi. Paikallaan olevia osia ovat staattorikehä, kommutaattorin harjat, joiden avulla virta johdetaan kommutaattorin kautta ankkuriin, sekä navat, jotka muodostuvat napavarresta, napakengästä sekä magneetokäämityksestä. Kehässä ja navoissa on ennen käytetty massiivista rautaa, mutta nykyään käytetään pääasiassa dynamolevyjä. Sama pätee myös ankkuriin ja napakenkiin /4-5/.



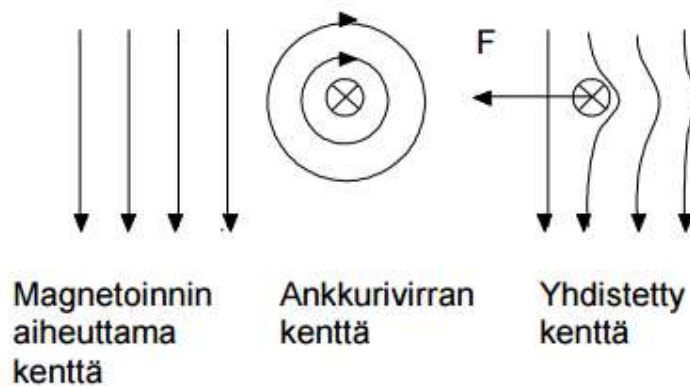
Kuva 1. DC-Moottorin rakenne yksinkertaistettuna. /4/

2.2 DC-Moottorin toimintaperiaate

Tasavirtamoottorin toiminta perustuu yhtälöön:

$$F = I \cdot l \cdot B \quad (1)$$

, jossa F on yksittäiseen sauvaan vaikuttava voima, I on sauvan virta, l on sauvan pituus ja B magneettivuon tiheys. Yhtälö 1 pätee, kun sauva on kohtisuorassa vuota vastaan. Moottorissa on paikoillaan oleva magnetointi ja samaan aikaan ankkuriin aiheutetaan virta, mikä synnyttää ankkurin käämeihin voimavaikutuksen. Moottorin napojen ns. tuloreunaan syntyy magneettivuon tihentymä mikä aiheuttaa ankkurin käämeihin voiman ja koska magneettikenttä pyrkii aina mahdollisimman homogeeniseen tilaan minimoimalla energian. Jos kyseessä on generaattori, tihentymä on napojen poistumispuolella /4-5/.



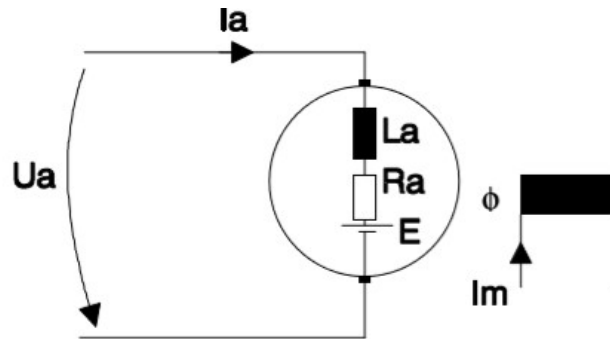
Kuva 2. Virralliseen sauvaan kohdistuvan voiman synty /4/.

Kun ankkuri pyörii magnetoimiskäämin aiheuttamassa magneettikentässä, siihen indusoituu jännite, joka on verrannollinen ankkurin pyörimisnopeuteen ja magneettivuon suuruuteen. Tästä saadaan yhtälö:

$$E = k \cdot n \cdot \phi \quad (2)$$

, jossa E on indusoitunut jännite, n on pyörimisnopeus ja ϕ on vuo.

Jotta tasavirtamoottorin toimintaa ja sen sähköisiä ominaisuuksia voidaan tutkia tarkemmin, johdetaan siitä kuvan 3 mukainen sijaiskytkentä, jossa R_a on ankkuripiirin resistanssi, L_a on ankkuripiirin induktanssi ja ϕ on magneetoimiskäämin aiheuttama vuo.



Kuva 3. Tasavirtamoottorin sijaiskytkentä /1/.

Sijaiskytkennästä voidaan johtaa yhtälö:

$$U_a = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{di_a}{dt} + E \quad (3)$$

, jossa U_a on jännite, R_a on ankkuriresistanssi, I_a on ankkurivirta, L_a on ankkurin induktanssi ja E on syntyvä vastajännite.

Kun moottorin on pysyvässä tilassa eli pyörii vakiomomentilla ja -nopeudella, voidaan olettaa että $\frac{di_a}{dt} = 0$. Tästä voidaan johtaa yhtälö:

$$U = E - R_a I_a = k_n \phi - I_a R \quad (4)$$

, josta pyörimisnopeuden yhtälöksi saadaan:

$$n = \frac{U_a - R_a I_a}{k \phi} \quad (5)$$

Yhtälöstä 5 voidaan huomata, että tasavirtakoneen pyörimisnopeuteen voidaan vaikuttaa ankkurijännitettä, magneettivuota tai ankkuripiirin resistanssia säätämällä. Koska ankkurin vastuksen säätäminen ei ole järkevää, säädetään yleensä ankkurijännitettä, kunnes jännite on nimellisjännitteessä.

Säädön helpon toteutuksen lisäksi ankkurijännite on lineaarinen ja mahdollistaa suuren säätöalueen. Jos halutaan pyörittää moottoria yli nimellinopeuden, pitää pienentää magneettivuota pienentämällä magnetoimisvirtaa I_m .

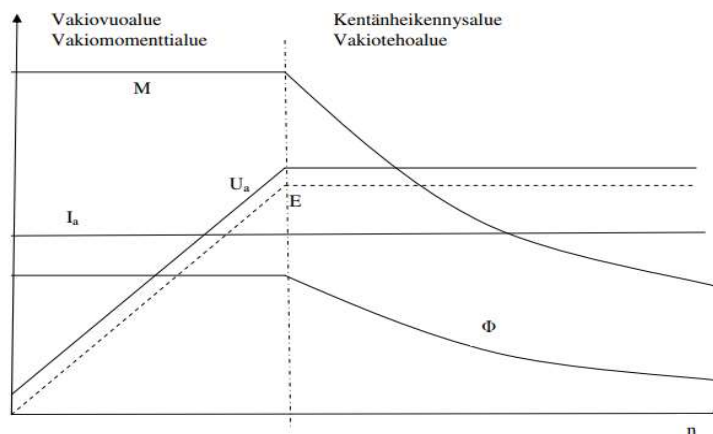
Tasavirtamoottorin akselilta tuleva vääntömomentti voidaan kirjoittaa muotoon:

$$M = C \cdot I_a \cdot \phi \quad (6)$$

, jossa M on momentti, I_a ankkurivirta ja ϕ on vuo. Yhtälöstä 6 voidaan todeta momentin olevan verrannollinen ankkurivirran ja vuon tuloon /1,4/.

2.3 Vierasmagnetoitu eli erillismagnetoitu moottori

Erillismagnetoidussa tasavirtamoottorissa magneettiin on oma syöttö, mikä mahdollistaa vuon säätämisen magnetoitijännitteen ja sitä kautta magnetoitivirran avulla. Kun vuon vahvuuteen pystytään vaikuttamaan, voidaan sen avulla säätää niin momenttia kuin pyörimisnopeuttakin, kuten yhtälöistä 5 ja 6 todettiin. Tasavirtamoottorikäytöllä ohjataan tyypillisesti juuri erillismagnetoitua moottoria. Käytännölliseksi erillismagnetointi tulee etenkin, kun moottoria halutaan ajaa yli nimellisen nopeuden. Kuten aiemmin todettiin, voidaan moottorin pyörimisnopeuteen vaikuttaa säätämällä magnetoitua. Tämä havainnollistetaan hyvin kuvassa 4. Kuten samaisessa kuvassa voidaan nähdä ankkurijännite kasvaa lineaarisesti nimelliseen jännitteeseen asti, jolloin myös pyörimisnopeus on nimellinen. Kun pyörimisnopeus on alle nimellisen tai nimellinen ja magnetoitivirta vakio, on ankkurivirta ja tällöin myös momentti vakio, ja kuten jo yhtälöstä 6 todettiin, on momentti verrannollinen ankkurivirtaan.

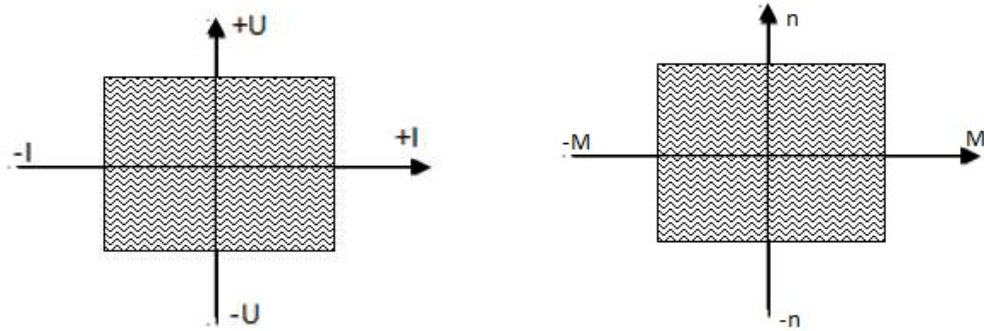


Kuva 4. Tasavirtamoottorin momentti M , ankkurijännite U_a ja vuo Φ nopeuden funktiona, kun I_a on vakio /1/.

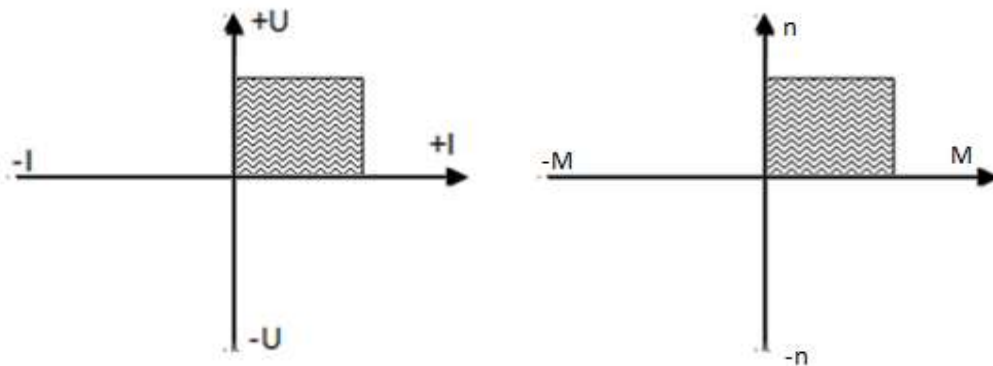
Kun nopeutta säädetään nollan ja nimellisnopeuden välillä, tehdään se siis ankkurijännitteen avulla ylittämättä kuitenkaan moottorin nimellisjännitettä. Jos nopeutta halutaan lisätä nimellistä ankkurivirtaa ylittämättä, tulee magnetointia heikentää ja näin pyörimisnopeutta saadaan lisättyä. Kun pyörimisnopeus ylittää nimellisen pyörimisnopeuden mennään kentänheikennysalueelle. Tällöin tulee kuitenkin ottaa huomioon, että momentin tulee olla pienempi kuin nimellinen tai muutoin ankkurivirta kasvaa liian suureksi /1/.

2.4 4Q-käyttö eli nelikvadranttikäyttö

4Q-käytöllä eli neljän neljänneksen käytöllä tarkoitetaan moottorikäyttöä, jolla pystytään muuttamaan tasavirtamoottorin pyörimisnopeuden sekä vääntömomentin suuntaa (**Kuva 5**). Tässä tapauksessa 4Q-käyttö oli toteutettu käyttäen kuusipulssisia vastarinnankytkettyjä tyrsistorisiltoja, josta esimerkki kuvassa 7. Koska tasavirtamoottoreissa moottorin momentti on suoraan verrannollinen ankkurivirtaan ja pyörimisnopeus on ankkurijännitteestä riippuva, neljännekset voidaan esittää myös suuntaajan antaman virran ja jännitteen suhteen /1-3/.



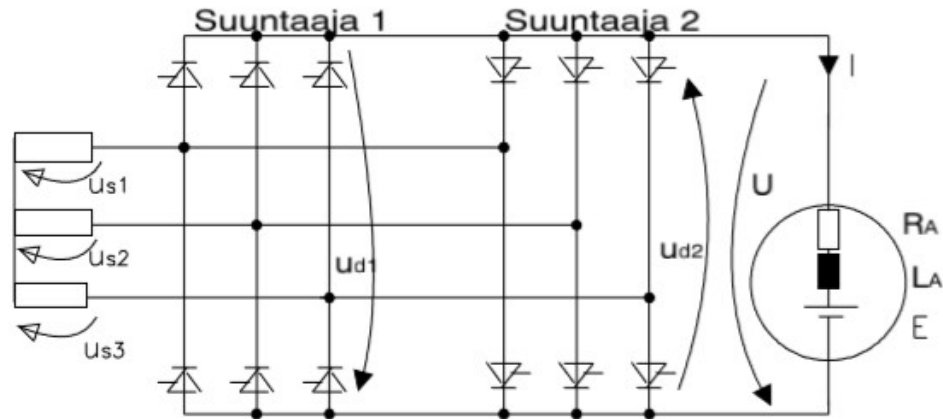
Kuva 5. 4Q-käyttö eli neljän neljänneksen käyttö



Kuva 6. 1Q-käyttö eli yhden neljänneksen käyttö

Ero esimerkiksi 1Q-käytön ja 4Q-käytön välillä on se, että 1Q käytössä jännitteellä ja virralla voi olla ainoastaan positiivisia arvoja. Kun jännitteen ja virran suuntaa voidaan muuttaa, moottorin momenttiin pystytään vaikuttamaan ankkurivirran kautta ja moottorin pyörimisnopeuteen ja suuntaan jännitteen avulla. Tällöin pystytään toteuttamaan siis 4Q- eli nelikvadranttikäyttö. Tällöin moottoria voidaan pyörittää molempiin suuntiin, ja moottori pystyy jarruttamaan niin sanotulla hyötyjarrutuksella, jolloin liike-energia voidaan vaihtosuunnata syöttävään sähköverkkoon.

Momentin suuntaa voidaan muuttaa muuttamalla magnetointivirran suuntaa tai ankkurivirran suunta. Koska ankkurivirran muuttaminen on nopeampi ja helpompi toteuttaa, on sen säätäminen yleisempää [1-3/].



Kuva 7. Vastarinnan kytketyillä kuusipulssisilla tyristorisilloilla toteutettu 4Q-käyttö. /3/

Yksinkertaisin ja käytetyin tasasuuntaaja on 6-pulssinen kolmivaiheinen diodisilta, joka muodostuu kuudesta diodista. Diodi on elektroniikassa käytetty puolijohde. Tämän järjestelmän avulla vaihtojännite on mahdollista tasasuunnata eli muuntaa tasajännitteeksi. Diodisillat ovat yksinkertaisia ja niillä on korkea hyötysuhde. Diodi sillalla ei ole kuitenkaan mahdollista vaikuttaa tasajännitteen arvoon sillä se on riippuvainen vaihtojännitteen amplitudista. Tämän takia tasavirtamoottorikäytöissä käytetään tyristorisilloja, jotka ovat vastarinnan kytketty (**Kuva 7.**). Tyristorin etuna diodiin nähden, on sen ohjattavuus, sillä tyristoria voidaan ohjata hilapulssien avulla. Koska tasavirtamoottorin pyörimisnopeutta muutetaan säätämällä sille syötettävää tasajännitettä, on tyritoreilla toteutettu suuntaaja parempi. Tyristorisuuntaajan ohjaukskulmalla tarkoitetaan tyristorin hilavirtapulssin antoviivettä kulma-asteikolla verrattuna diodisuuntaajan diodin syttymishetkeen. Suuntaajan antaman jännitteen keskiarvo eli tasakomponentti noudattaa seuraavaa yhtälöä:

$$U_{di\alpha} = U_{di} \cdot \cos(\alpha) \quad (7)$$

, jossa U_{di} = diodisuuntaajan jännite, $U_{di\alpha}$ = tyristorisuuntaajan tuottama jännite ja α = ohjaukskulma /6-7/.

2.4.1 Nopeustakaisinkytketty tasavirtamoottorikäyttö

Tasavirtamoottorin nopeudensäätö tapahtuu takaisinkytkennän avulla, jolloin säätäjään syötetään tieto moottorin pyörimisnopeudesta moottorissa olevasta takometristä. Näin pystytään reaaliaikaisesti vertaamaan moottorin todellista pyörimisnopeutta annettuun ohjearvoon. Jos esimerkiksi moottorin vastamomentti kasvaa yli moottorin akselimomentin, nopeuden oloarvo pienenee alle ohjearvon liikeyhtälön mukaisesti:

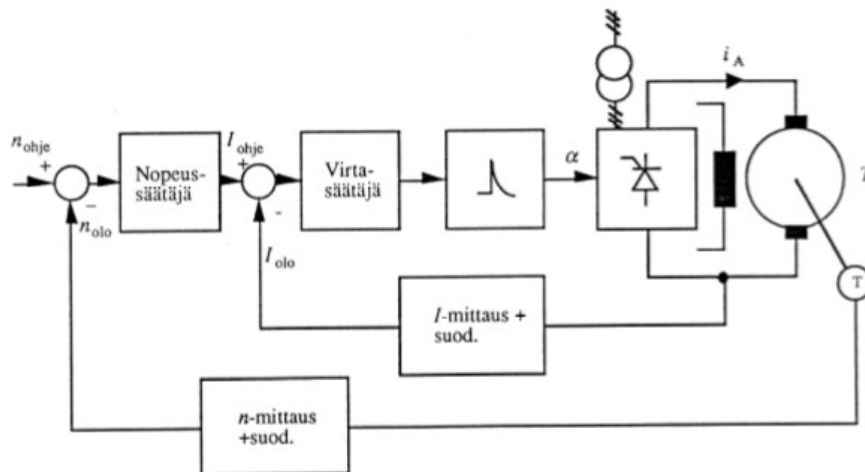
$$M - M_v = J \frac{d\omega}{dt} = 2\pi J \frac{dn}{dt} \quad (8)$$

, jossa M on moottorin akselimomentti, M_v on vastamomentti, J on akselille vaikuttava hitausmomentti, ja n moottorin nopeus.

Tästä saadaan:

$$\frac{dn}{dt} = \frac{M - M_v}{2\pi} \quad (9)$$

Kun kuvan 8 mukaisessa säätöpiirissä nopeuden oloarvo pienenee nopeussäätäjä nostaa virta- eli momenttisäätäjän ohjearvoa, jolloin virtasäätäjä suuntaajan ohjauskulmaa muuttamalla nostaa ankkurijännitettä ja ankkurivirtaa. Tällöin jonkin ajan kuluttua saavutetaan tasapainotila, jolloin moottorin todellinen nopeus vastaa ohjearvoa sekä akselimomentti ja vastamomentti ovat yhtä suuret. /1,3/.



Kuva 8. Pyörimisnopeuden kaskadisäätö. /1/

Kuvan 8 mukaisessa niin sanotussa kaskadisäädössä nopeussäätösilmukan sisällä on virta- eli momenttisäätösilmukka. Virtasäättäjän sisääntulona toimii nopeussäätäjältä tuleva virtaohje, sekä virtamittauksella saatu virran oloarvo. Nopean virtasäättäjän ansiosta esimerkiksi verkon syöttöjännitteen häiriöt, pystytään korjaamaan nopeasti vaikuttamatta merkittävästi pyörimisnopeuteen /1/.

3 TUTKITTAVAN DC-MOOTORIKÄYTÖN LAITTEET

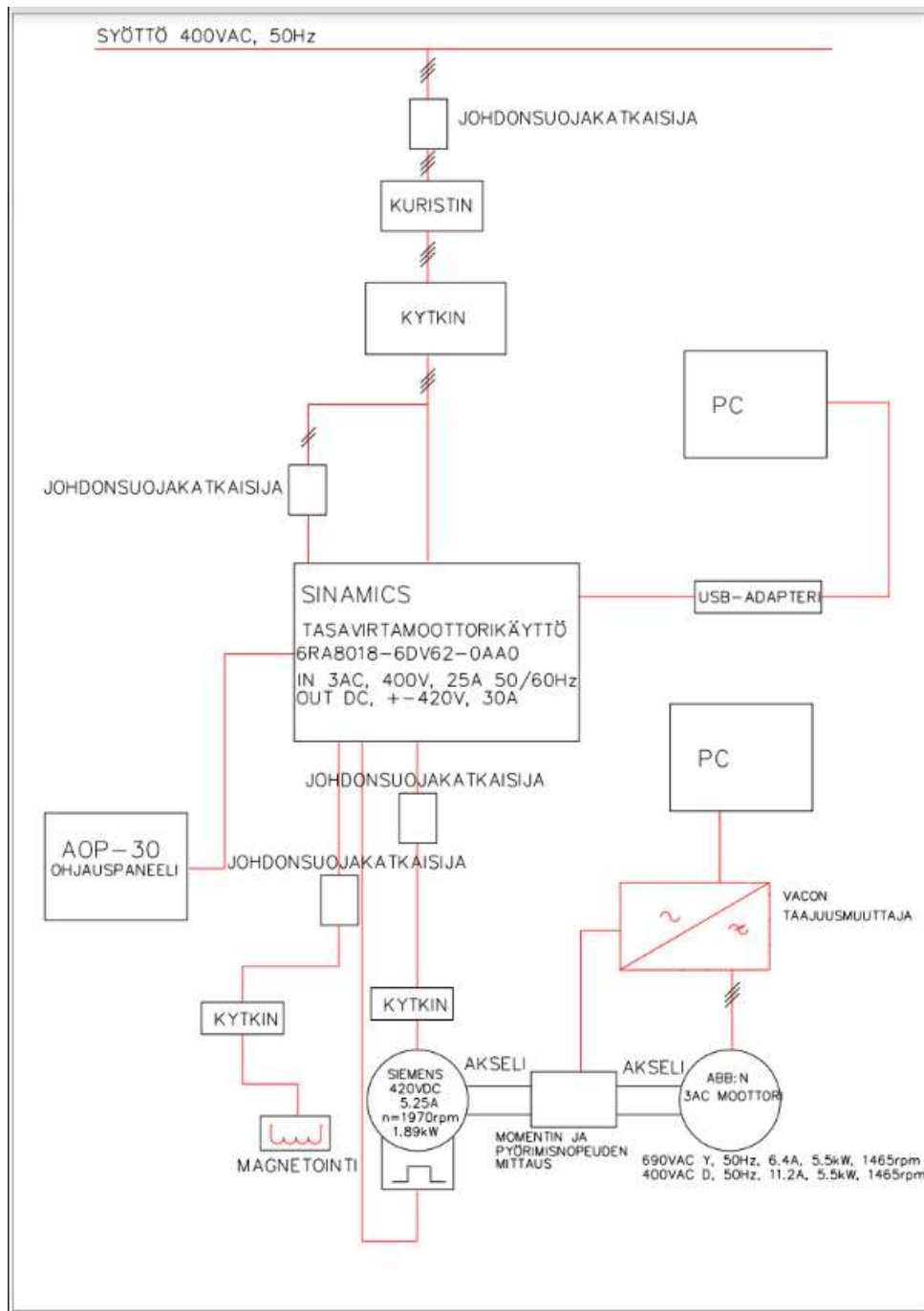
Työssä käytettävää laitteistoa oli paljon josta osa oli uutta ja osa laboratorion ennestä löytyvää. Jotta tutkittavaa laitteistoa eli tasavirtamoottorikäyttöä, sekä sillä ohjattavaa moottoria saatiin testattua kunnolla, turvallisesti ja että sen toimintaa valvottua halutusti oli virtapiirissä mukana paljon yleismittareita, joiden avulla tarkkailtiin virran ja jänniteen käyttäytymistä. Käytettiin myös paljon kytkimiä, joiden avulla voitiin varmistaa haluttujen osien jännitteettömyys kytkennän muutoksia tehdessä. Laitteisto on esitetty perjaattellisesti kokonaisuutena kuvassa 9.

Tutkittava uusi laitteisto ja ohjelmisto:

- Sinamics tasavirtamoottorikäyttö
- AOP30 ohjauspaneeli
- Starter-ohjelmisto, konfigurointi ja ajo
- USB-adapteri.

Työssä apuna käytetty ja laboratorion entuudestaan löytyvä laitteisto:

- Siemens tasavirtamoottori
- laboratorion löytyvä testipenkki (**kuva 18.**) johon kuuluvat:
 - ABB 3-vaihemoottori M3AA 1 32 M 4
 - Vacon taajuusmuuttaja moottorin ohjausta varten
 - mittauspiste momentille ja pyörimisnopeudelle
 - tietokone
 - hitausmassakiekot
- 3- ja 1-vaihekytkimiä
- Fluken ja Agilentin yleismittareita
- c-tyypin 6A:n ja 2A:n johdonsuojakatkaisijoita.



Kuva 9. Periaatteellinen kuva tutkittavasta laitteistosta.

3.1 Tasavirtamoottori

Käytetty moottori on Siemensin valmistama teollisuustason vierasmagnetoitu tasavirtamoottori, jonka kilpiarvot:

- ankkurijännite 420V
- ankkurivirta 5,25A
- nimellinen pyörimisnopeus 1970rpm
- teho 1,89kW
- magnetointijännite 310V
- magnetointivirta 0,3A



Kuva 10. Työssä käytetty Siemensin tasavirtamoottori.

Kuvassa näkyvä moottori on vierasmagnetoitu, joten magnetointia pystyttiin ohjamaan käytöllä halutusti mentäessä esimerkiksi kentänheikennysalueelle. Moottoriin asennettu takometri oli Hubnerin digitaalinen POG 9 D 600 takometri, jonka kilpiarvot:

- jännite +9V – 30V
- 600 HTL

3.2 Kuristin

Syöttävän verkon ja suuntaajan väliin kytkettiin kursistin. Kuristinta tarvittiin pienentämään sen aiheuttamaa verkkojännitteen säröitymistä ja verkkovirran yliaaltoja. Kuristin valittiin tutkittavan DC-käytön nimellisten tietojen mukaan käytön manuaalista.

Line reactor selection list

Table 6- 4 3-phase line reactors, rated voltage = 400 VAC, uk = 4%

Article number	Rated current	Inductance	Copper losses	Total losses	SCCR	Weight	Rated insulation voltage
6RX1800-4DK00	13 A AC	2.315 mH	22.8 W	33.1 W	2.0 kA (20 ms)	2.9 kg	600 V
6RX1800-4DK01	25 A AC	1.158 mH	30.8 W	53.2 W	5.0 kA (20 ms)	4.4 kg	600 V
6RX1800-4DK02	51 A AC	0.579 mH	43.5 W	73.2 W	6.5 kA (100 ms)	10.9 kg	600 V

Kuva 11. Kuristimen valintaan käytetty taulukko. Valittiin 6RX1800-4DK01 käytön nimellisarvojen mukaan. /8/

Kuristimen nimelliset arvot:

- 400 VAC
- 25A AC
- häviöt 53,2W

3.3 DC-Käyttö

DC-käyttö jota tässä työssä käyttöön otettiin ja tutkittiin, on Siemensiltä ostettu Sinamics tasavirtamoottorikäyttö. Tämä käyttö on pienimmästä päästä, mutta oli siltikin hieman ylimitoitettu tässä työssä käytettyyn tasavirtamoottoriin nähden. Laitteen jäähdytys hoidetaan passiivisesti. Käytössä on myös tuuletinpaikat, jotka saa tilata erikseen. Tutkittavan oleva käyttö ei kuitenkaan ollut niin sanottu karvalakkimalli vaan lisälaitteistoa oli kattavasti, kuten AOP30 ohjauspaneeli.



Kuva 12. Siemensin Sinamics tasavirtamoottorikäyttö.



Kuva 13. SINAMICS DC-käytön nimikilpiedot.

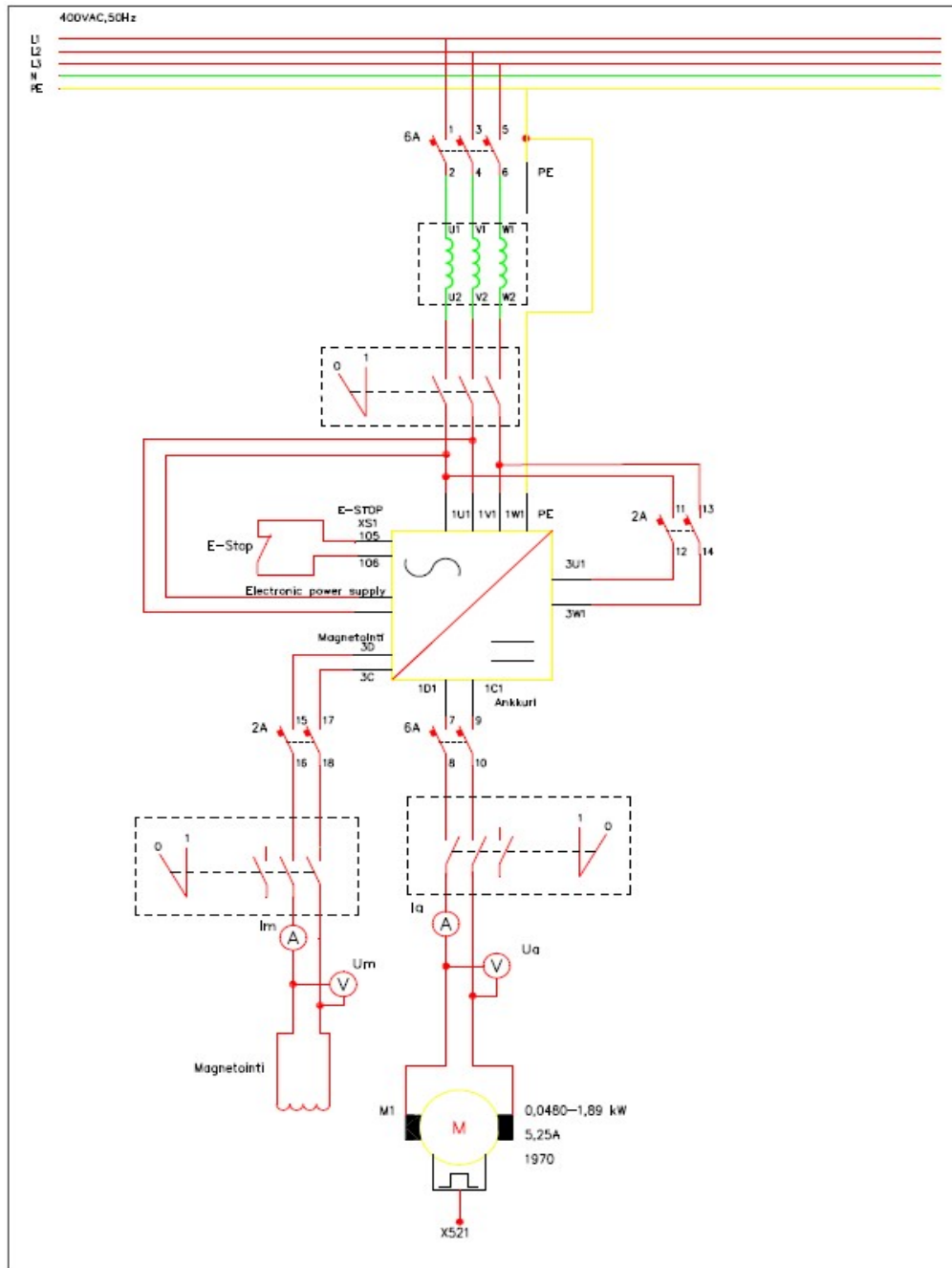
Nimikilpiedot listattuna:

- pääpiirin syöttö:
 - jännite 400V3AC
 - virta 25A
 - taajuus 50/60Hz

- pääpiirin ulostulo:
 - jännite $\pm 420\text{VDC}$
 - virta 30A
- ohjauspiirin syöttö:
 - jännite 400V2AC
 - virta 5A
 - taajuus 50/60Hz
- ohjauspiirin ulostulo:
 - jännite 325VDC
 - virta 5A

3.4 Pääpiirin ja ohjauspiirin kytkentä

Laboratoriotestejä varten rakennettavan pääpiirin kytkennän suunnittelu oli helppoa manuaalista löytyvän piirikaavion pohjalta.

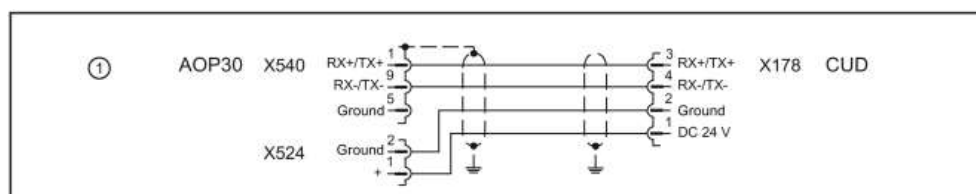


Kuva 14. Manuaalin pohjalta piirretty testivaiheen kytkentä. /8/

Pääpiirin kytkennät toteutettiin käyttöönottovaiheessa pääasiassa banaaniliittimillä sekä omilla 2.5 mm² johtimilla tehdyistä kytkennöistä syötön puolella. Ohjauspiiriin ja takometrin kytkentöihin käytettiin pääasiassa 0.75/1.5 mm johtimia.

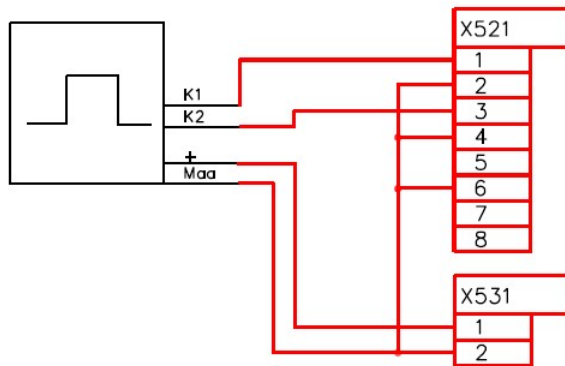
Pääpiirin syöttö otettiin laboratoriopöydän 3-vaihetulosta ja tuotiin kuristimien ja 6A:n johdonsuojakatkaisijoiden läpi Sinamicsin pääpiirin syöttöön. Ohjauspiiriin syöttö otettiin pääsyöttöpiiristä kahden vaiheen väliltä kuristimilta ja myös tähän väliin laitettiin 2A:n johdonsuojakatkaisijat turvallisuuden takaamiseksi sekä rikkoutumisen estämiseksi mahdollisessa vikatilanteessa.

Kun tarpeelliset kytkennät saatiin suoritettua ja käyttö toimimaan halutulla tavalla, kytkettiin käytön moottorisyötöstä johtimet Siemensin tasavirtamoottoriin. Myös moottorin ja käytön välissä käytettiin johdonsuojakatkaisijoita. Tässä vaiheessa kytkettiin myös moottorin takometri käytön takometrisisääntuloon sekä AOP30 käyttöpaneeli, jonka käyttöjännite saatiin käytöltä.



Kuva 15. AOP30 ohjauspaneelin kytkentä

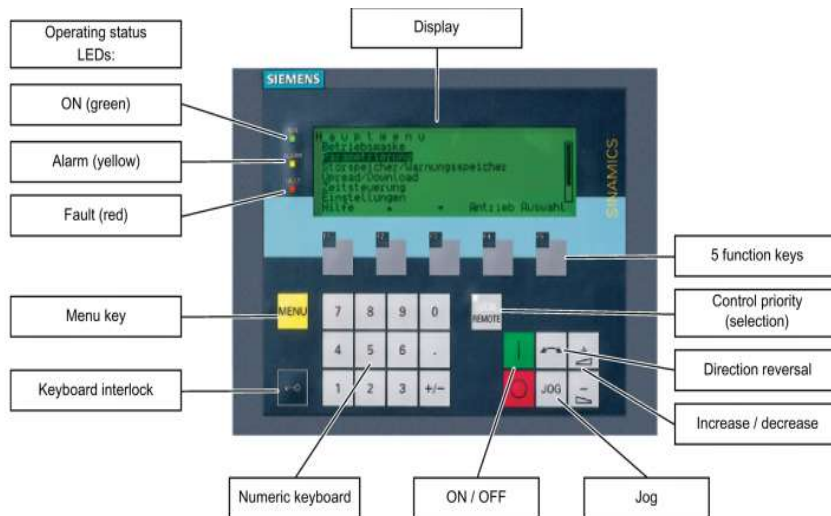
AOP30 ohjauspaneelin kytketä hoitui käyttäen mukana tullutta kaapelia, joten varsinaisia kytkentöjä ei tarvinnut tehdä. /8/



Kuva 16. Takometrin kytkentä /8/.

3.5 AOP30 Paneeli

Sinamics tasavirtamoottorikäytön mukana tuli AOP30 ohjauspaneeli (**Kuva 17.**), jolla käyttö voitiin karkeasti konfiguroida ja tämän jälkeen myös varovasti ajaa moottoria tarkasti ja jatkuvasti jännite- ja virtamittareita seuraten. Varsinaisessa käytössä paneeli on lähinnä monitorointia varten. Käyttöliittymän näkymää pystytään muokkaamaan halutunlaiseksi paneelin omista asetuksista ja esimerkiksi pyörimisnopeuden esittämistapaa voi vaihdella graafisen ja numeerisen välillä.

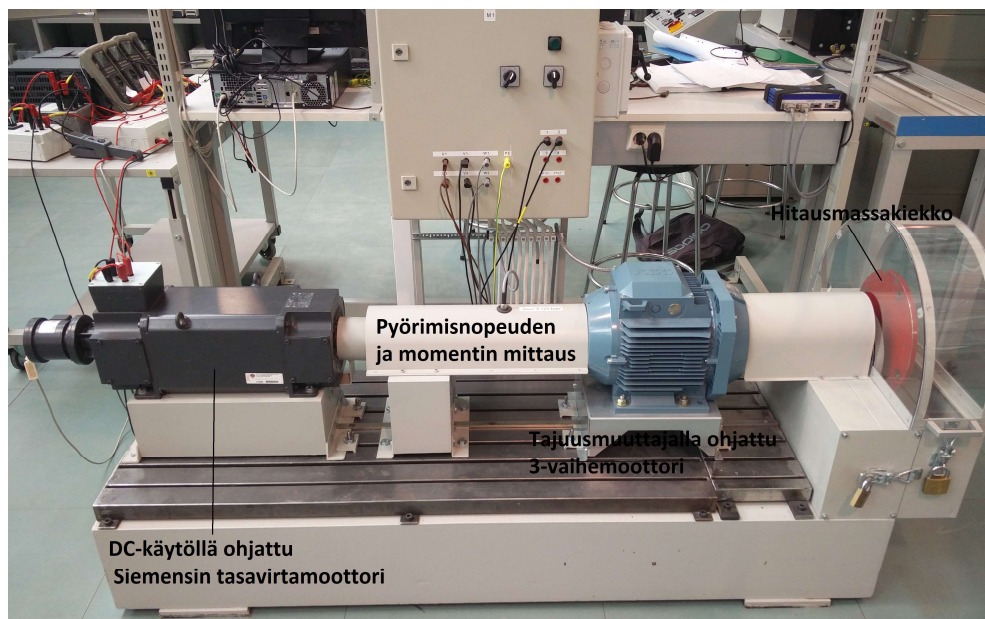


Kuva 17. AOP30 ohjauspaneeli. /8/

Kun moottoria ajettiin ensimmäistä kertaa, kaikki tehtiin paneelin kautta. Paneelin kautta tehtävän konfiguroinnin aikana paneeliin syötettiin mm. DC-käytön omat nimellistiedot, moottorin kilpiarvot sekä takometrin jännitteet ja pulssimäärät. Laitteiston arvojen syöttämisen jälkeen aseteltiin myös tiettyjä raja-arvoja, kuten pyörimisnopeus ja virtaraja.

3.6 Technobothnia laboratorion moottoritestipenkki

Optimointi- ja testiajot suoritettiin laboratorion löytyvällä ABB:n 3-vaihemoottorilla ja sitä ohjattavalla Vaconin taajuusmuuttajalla varustetulla testipenkillä (**Kuva 18.**). Testipenkissä olevalla kiinteällä akselilla on samassa myös pyörimisnopeuden ja momentin mittaus, joita molempia pystyttiin valvomaan ja tallentamaan järjestelmään liitettyllä tietokoneella. DC-käytöllä ajettava moottori siis kiinnitettiin testipenkkiin, jossa se yhdistettiin akselin avulla testipenkin moottoriin, jolla voitiin luoda testattavalle moottorille vastamomenttia. Hitausmomentin suuruutta voitiin muuttaa lisäämällä tai vähentämällä teräskiekoja akselille.



Kuva 18. Käytetty testipenkki.

4 STARTER-OHJELMISTON KÄYTTÖ

Sinamics Starter on DC-käyttöjen parametrisointiin, käyttöönottoon, vianmääritykseen ja ajamiseen tarkoitettu ohjelmisto. Ohjelmistolla on pyritty tekemään helpoksi uuden laitteiston käyttöönotto. Jos käyttö on oikein mitoitettu ohjattavan moottorin suhteen, se mahdollista helpon käyttöönoton automaattisten optimointiajojen avulla. Valitettavasti tässä tapauksessa DC-käyttö oli hieman ylimitoitettu, mikä aiheutti optimointiajojen osittaisen epäonnistumisen. Ohjelmisto on tavallaan muiden Siemensin ohjelmistojen, kuten Step-7:n kaltainen. Yhtäläisyyksiä oli mm. käyttäjäystävällisyydessä.

4.1 Asentaminen

Starter-ohjelman asennus oli hyvin yksinkertainen toimenpide. Asennusohjelma ladattiin Siemensin kotisivuilta, käyttäen koulun tunnuksia, osoitteesta <https://support.industry.siemens.com/cs/document/26233208/sinamics-micromaster-starter?dti=0&pnid=13437&lc=en-WW>.

Asennusohjelman käynnistämisen jälkeen seurattiin ohjelman antamia ohjeita ja valittiin ohjelmiston osat mitkä haluttiin asentaa. Tässä tapauksessa asennettiin pelkästään Starter ohjelmisto ilman mitään lisäosia. Itse ohjelma antoi ymmärtää myös kattavan online helpin asentamisen olevan mahdollista, mutta sitä ei jostain syystä löytynyt, joten ohjelman käyttö opeteltiin ilman kunnollista manuaalia.

Kun ohjelma oli onnistuneesti asennettu koneelle, asennettiin myös USB-ajurit. USB-adapteri on Siemensin SIMATIC S7 PC ADAPTER USB A2. Ajurit löytyivät adapterin mukana tulleelta levyltä. Myös niiden asennus oli hyvin yksinkertainen prosessi, kunhan seurasi asennusohjelman antamia ohjeita. Itse USB-adapterin kytkeminen oli myös helppoa. Tietokoneesta vedettiin USB-johto adapteriin, jonka sarjaportista RS-232 kaapeli kytkettiin tasavirtamoottorikäytön ainoaan sarjaporttiin.

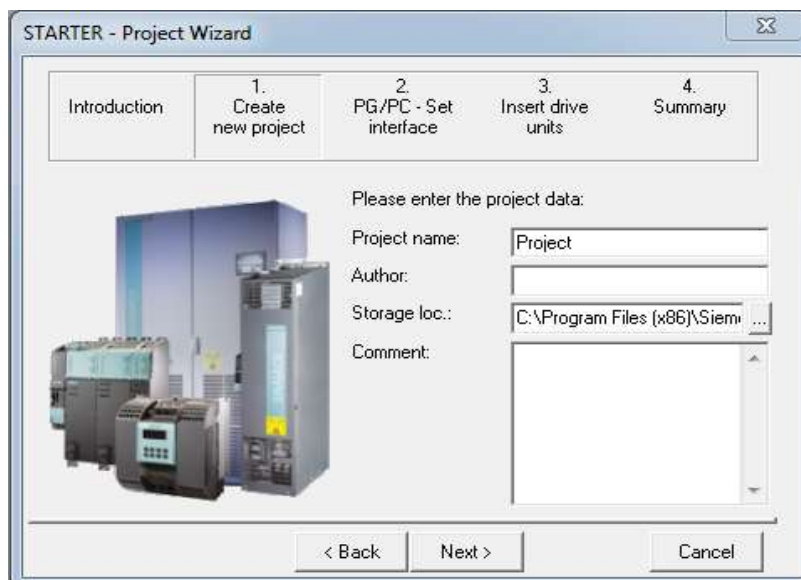
4.2 Projektin luonti

Helpoin tapa käyttöönottaa ja konfiguroida käyttö on Starterin Project Wizardin avulla.



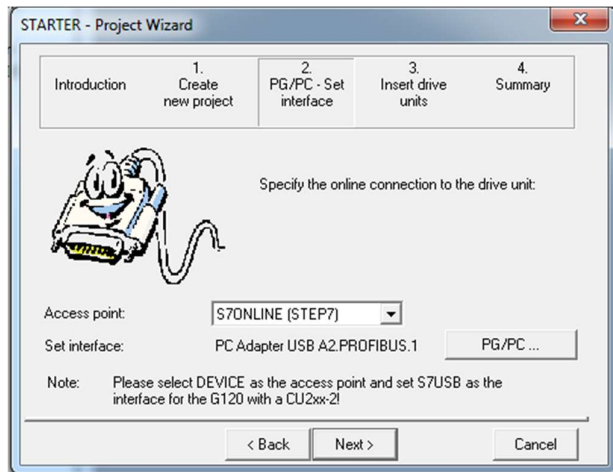
Kuva 19. Project Wizardin ensinäkymä.

Valittiin Arrange drive units offline, jolloin päästiin valitsemaan laitteistoa avautuvasta valikosta.



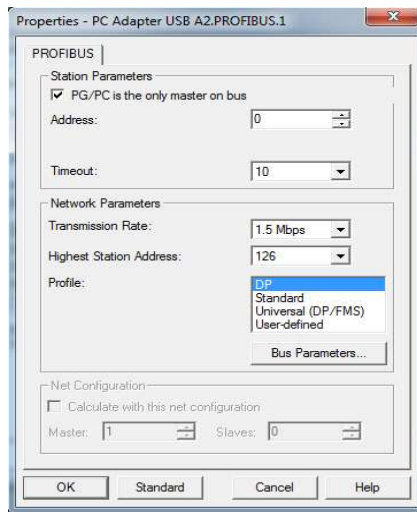
Kuva 20. Projektin nimeäminen sekä sen kuvaus.

Projektin nimeämisen ja sen luojan määrittämisen jälkeen valittiin PC:n ja Sinamicsin välisen yhteyden tyyppi. Access pointiksi valittiin S7ONLINE (STEP7) manuaalin suositteleman ohjeen mukaan. Sovitin tyyppiksi valittiin PC Adapter USB A2. PROFIBUS.1.

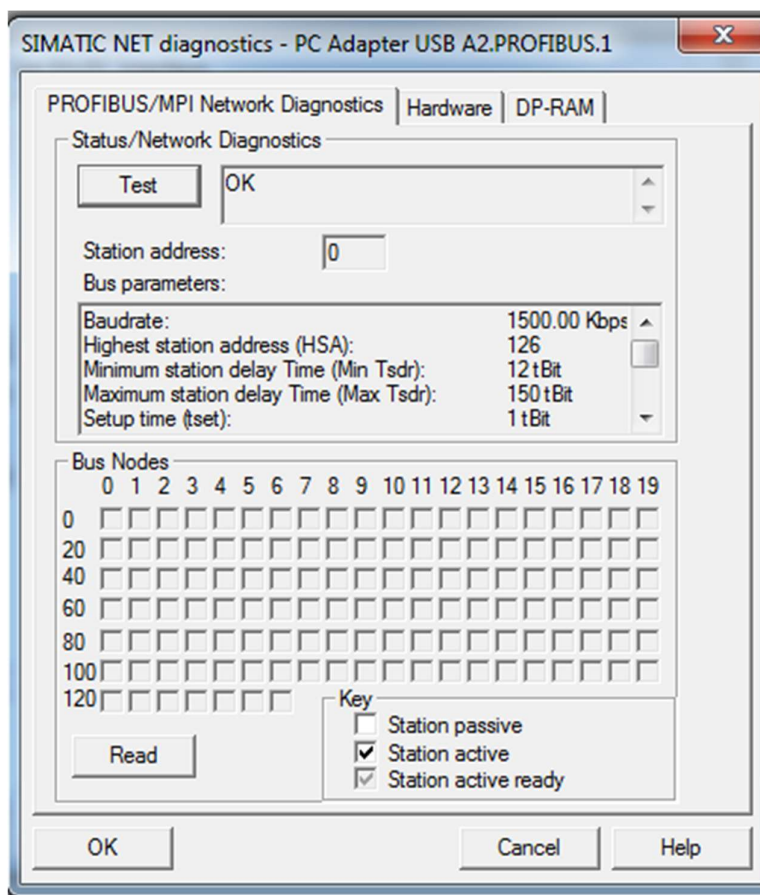


Kuva 21. Yhteystyyppin valinta.

Yhteyden tyyppin valitsemisen jälkeen yhteys voitiin määritellä ja testata PG/PC valinnan alla olevista välilehdistä. Sen alla olivat properties ja diagnostics valinnat, joissa voitiin määritellä esim. osoitteen ja yhteysnopeuden säädöt, sekä testata yhteyden toimivuus ja nopeus (**Kuva 21.**). Tässä työssä käytettiin ohjelman määrittelemiä oletusasetuksia, jotka voidaan nähdä kuvassa 13.

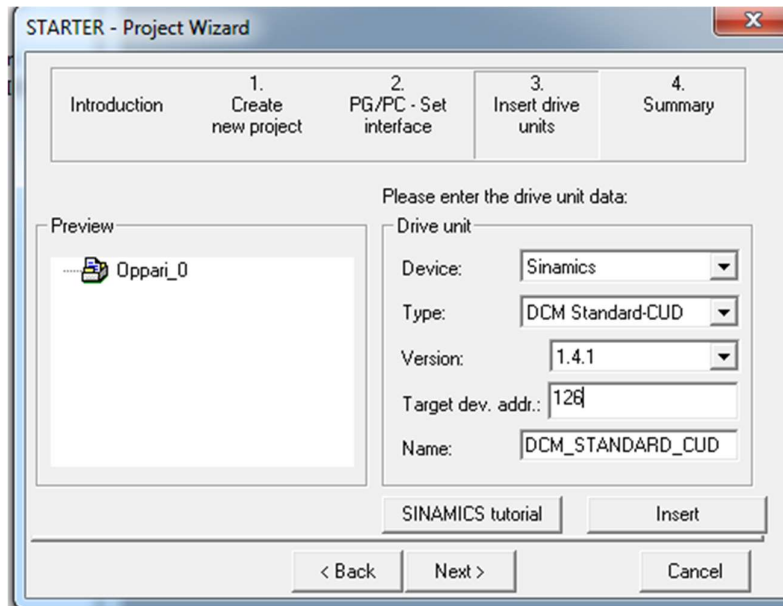


Kuva 22. Properties valinnan alla olevat oletusasetukset, joita tässä työssä käytettiin.

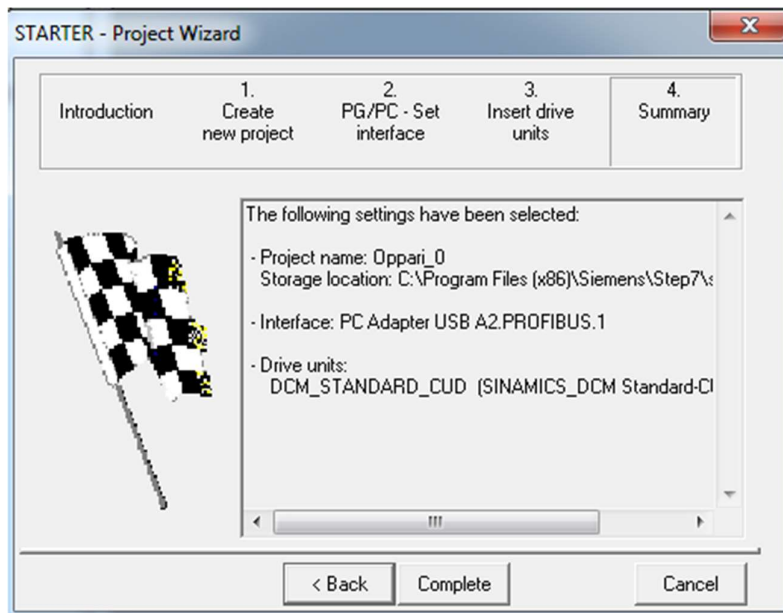


Kuva 23. Yhteyden testaus.

Seuraavaksi määriteltiin millaista ja mitä versiota kyseisestä laitteesta ajetaan ja määriteltiin laitteen osoite, jonka oletusasetus on 126. Käytettiin siis sitä. Tässä kohtaa myös nimettiin ohjattava laite halutusti.



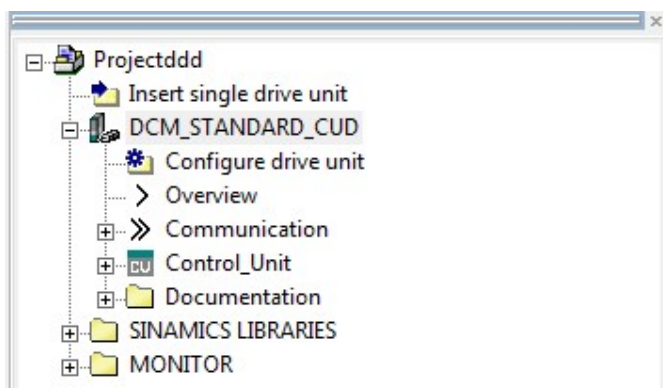
Kuva 24. Laitteen määrittely ja nimeäminen.



Kuva 25. Projektin luonnin yhteenveto.

4.3 SINAMICS tasavirtamoottorikäytön konfigurointi Starterilla

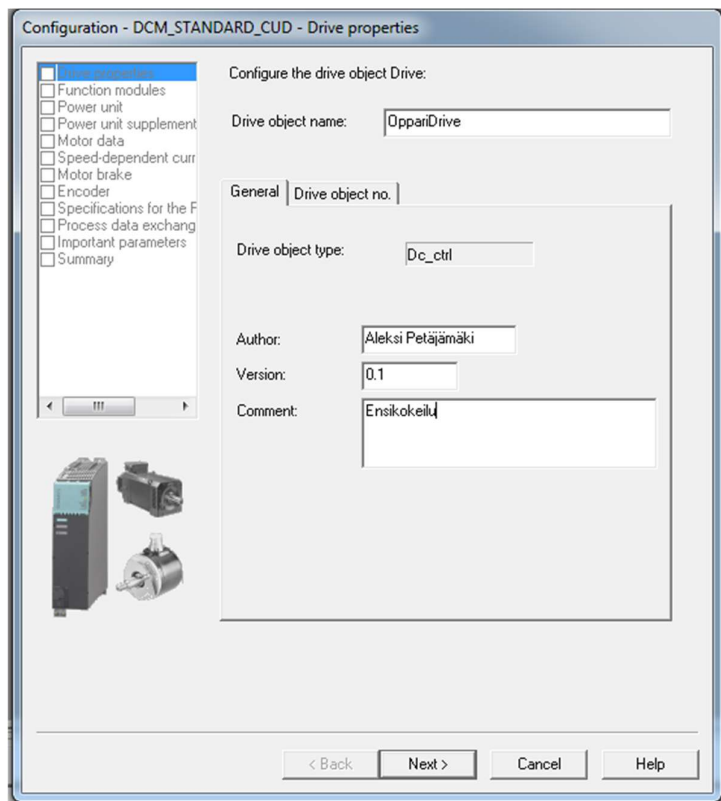
Projektin luomisen jälkeen siirryttiin laitteiston eli tasavirtamoottorikäytön sekä ajettavan moottorin konfigurointiin. Uuden projektin luomisen jälkeen ohjelman projektipuu näyttää samalta kuin alla olevassa kuvassa.



Kuva 26. Projektipuu.

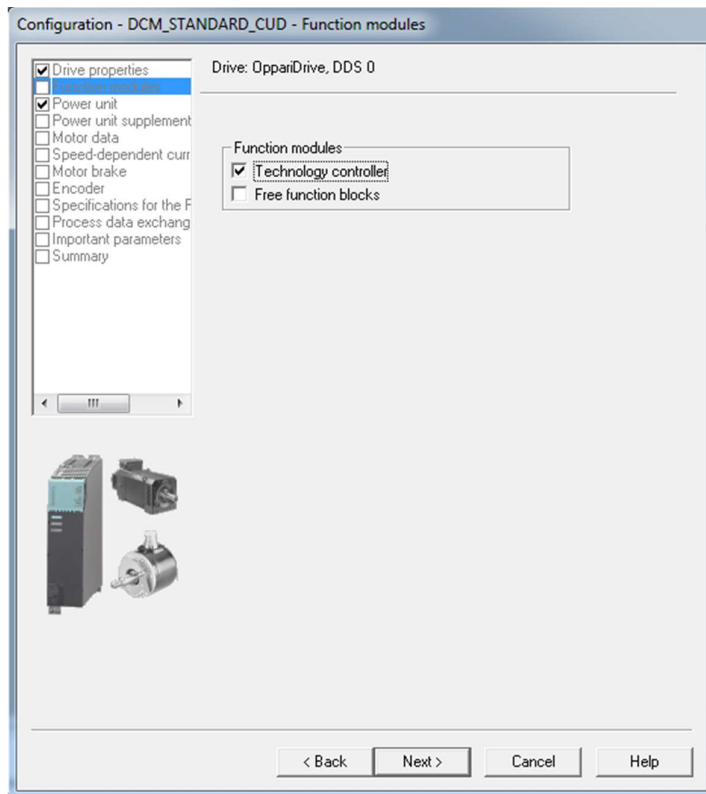
Tästä valikosta valittiin Configure drive unit, joka avaa konfigurointi asetukset, jossa määritellään sekä Sinamicsin ja moottorin nimelliset arvot sekä konfiguroitiin takometri. Kaikki tarvittavat tiedot saatiin Sinamicsin, moottorin ja takometrin nimikilvistä.

Konfiguroinnin ensimmäisessä vaiheessa määriteltiin käytölle nimeksi Sinamics Drive. Tässä kohtaa nimettiin myös käytön tekijä sekä ohjelman versionumero, sekä voitiin kommentoida projektia (**kuva 27**).



Kuva 27. Konfiguroinnin aloitussivu.

Seuraavassa vaiheessa voitiin haluttaessa aktivoida funktiomoduleita, joita ei tässä työssä kuitenkaan tarvittu (**kuva 28.**). Funktio blokeilla olisi esimerkiksi voinut luoda omia ajofunktioita.

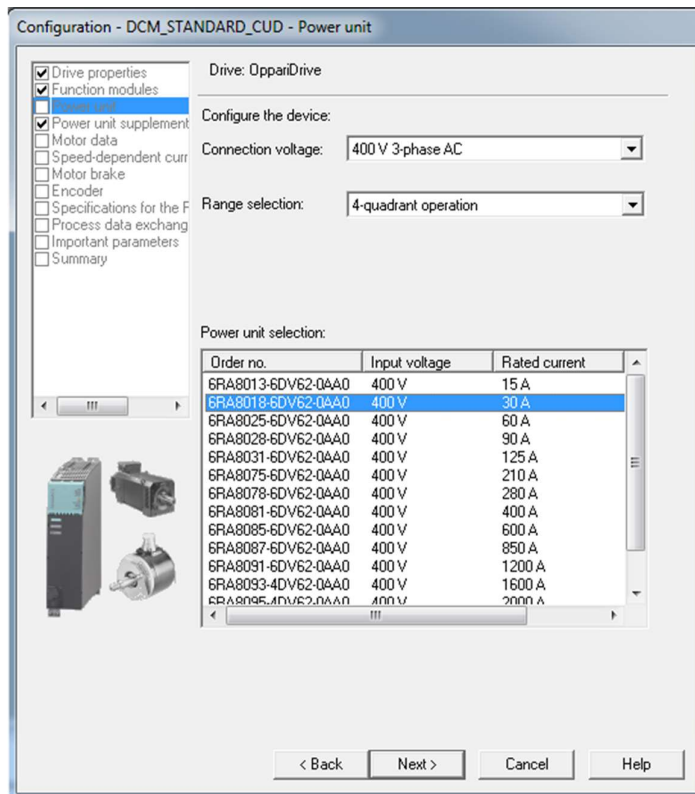


Kuva 28. Funktiomoduurien aktivointi.

Kolmannessa vaiheessa valittiin ohjelman tarjoamasta listasta kyseisessä projektissa käytettävä tasavirtamoottotikäyttö. Käyttö valittiin sen nimikilvessä olevan tilausnumeron perusteella.



Kuva 29. Tilausnumero eli order number.

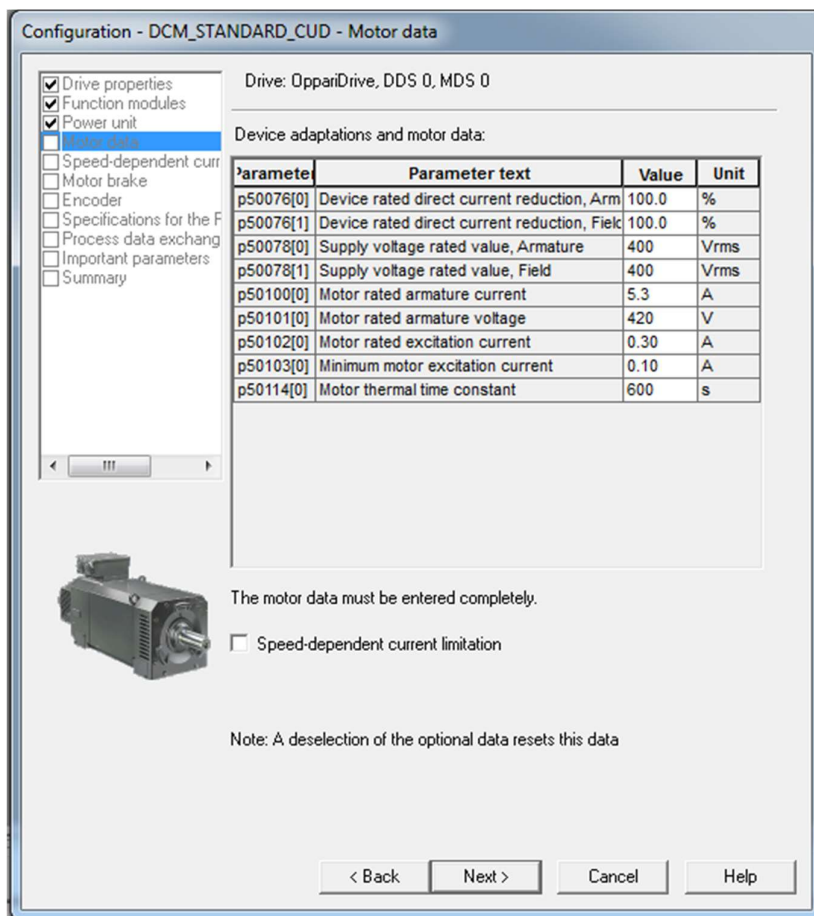


Kuva 30. Ohjattavan tasavirtamoottorikäytön valinta.

Neljännessä vaiheessa syötettiin Sinamics tasavirtamoottorikäytön sekä käytettävän tasavirtamoottorin nimellisarvot. Nimelliset arvot olivat tässä tapauksessa kuvan 20 mukaiset.

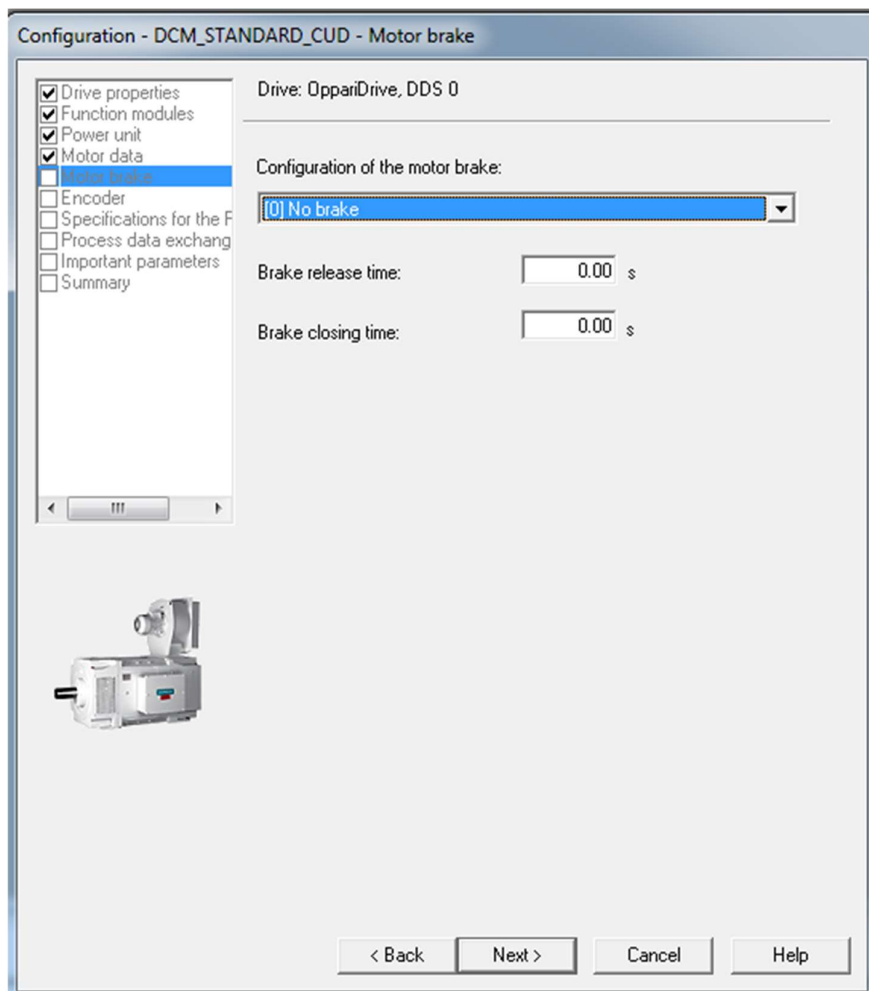


Kuva 31. Moottorin nimikilpi.



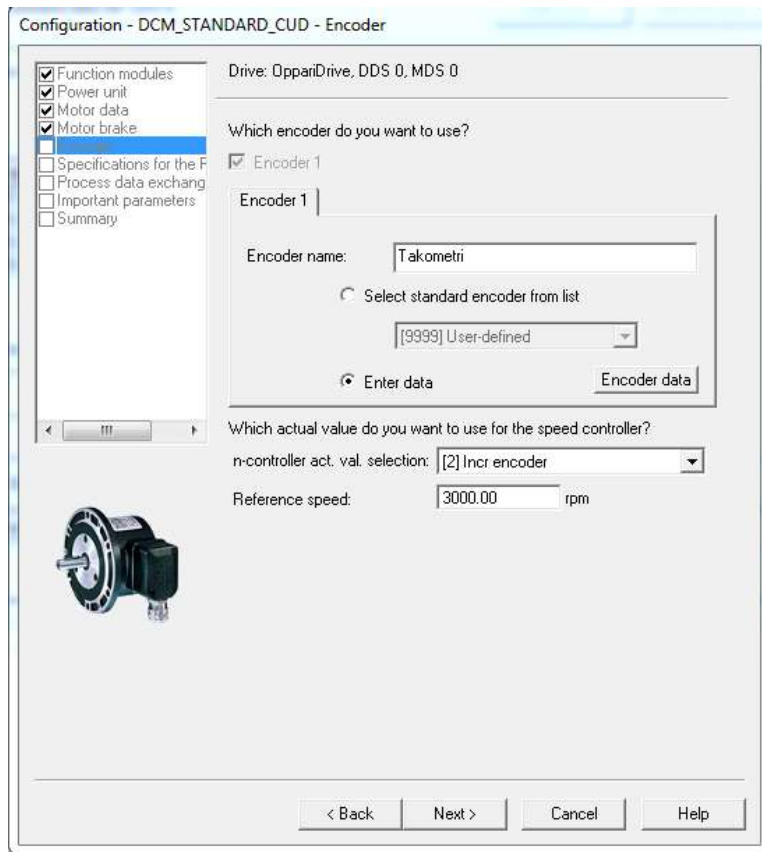
Kuva 32. Sinamicsin ja moottorin käytettävät nimelliset arvot.

Seuraavassa vaiheessa pystyttiin määrittelemään erillisen jarrun asetukset. Tässä kyseisessä projektissa ei käytetty minkäänlaista jarrua, joten valittiin ”ei jarrua” asettelu kuvan 33 mukaisesti.

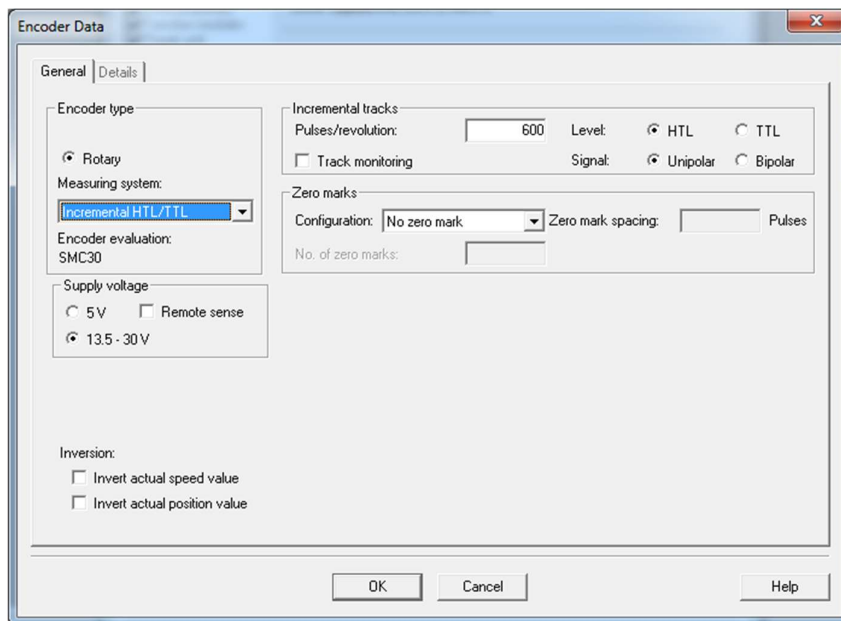


Kuva 33. Erillisen jarrun käytön määrittäminen.

Kuudennessa kohdassa määriteltiin moottorin enkooderin eli takometrin asennus. Ensimmäiselle annettiin kuvaava nimi kuten Takometri. Sen jälkeen valittiin encoder kohdasta lähimpänä oikeaa oleva valmis asennus. Kun esiasennus oli valittu, aktivoitiin Enter data valinta, jonka jälkeen valmiita asennuksia pystyttiin muuttamaan halutusti. Asennukset olivat pulssilukua lukuun ottamatta oikein. Valmiissa asennuksessa pulssiluvuksi oli määritetty 1024, joka muutettiin 600:n. Moottorin nimellinen pyörimisnopeus on 1970 r/min, mutta jos sitä haluttiin ajaa kentänheikennysalueella, tuli referenssinopeus asettaa esimerkiksi 3000:een r/min. Referenssinopeus tarkoittaa siis käytännössä maksimipyörimisnopeutta, johon moottori voidaan ajaa.

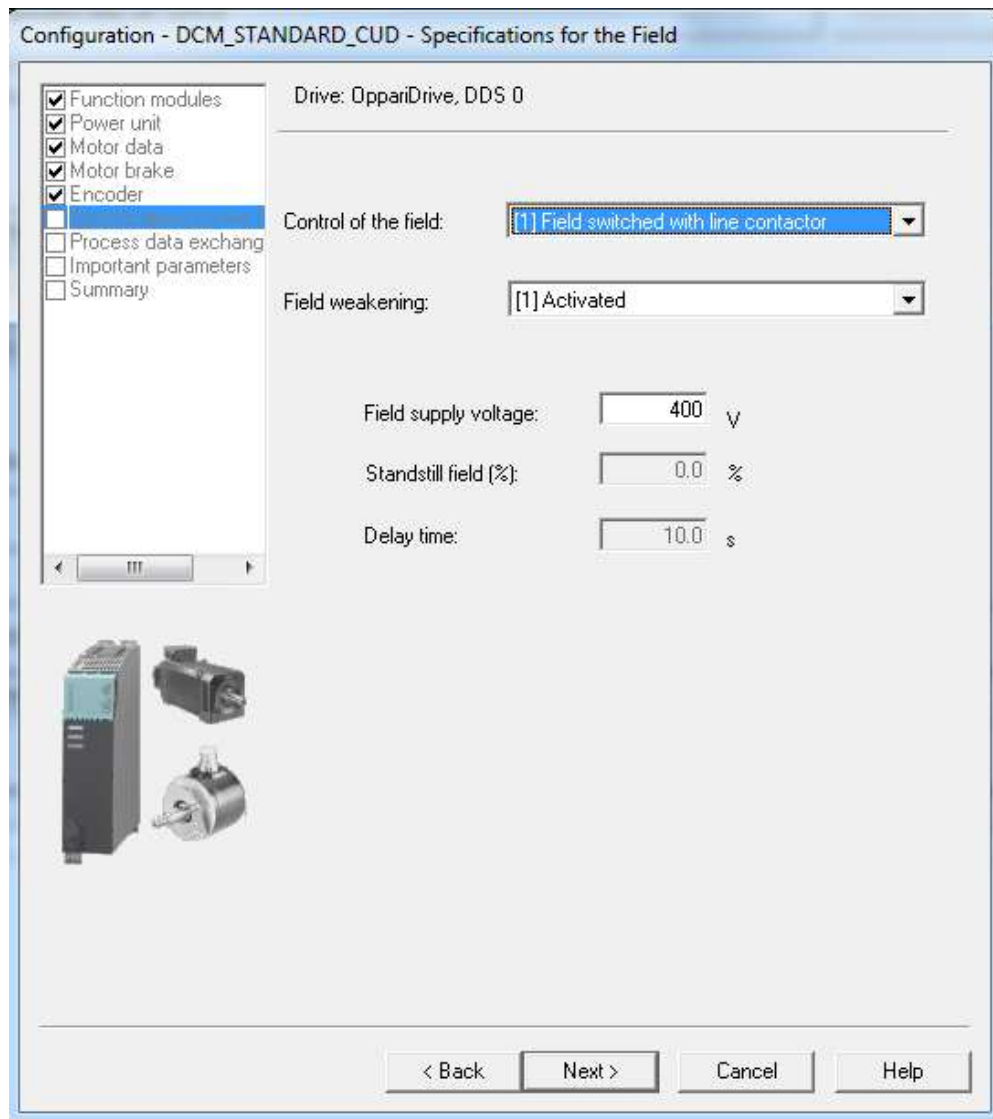


Kuva 34. Takometrin nimeäminen ja takometrin tyyppin valinta

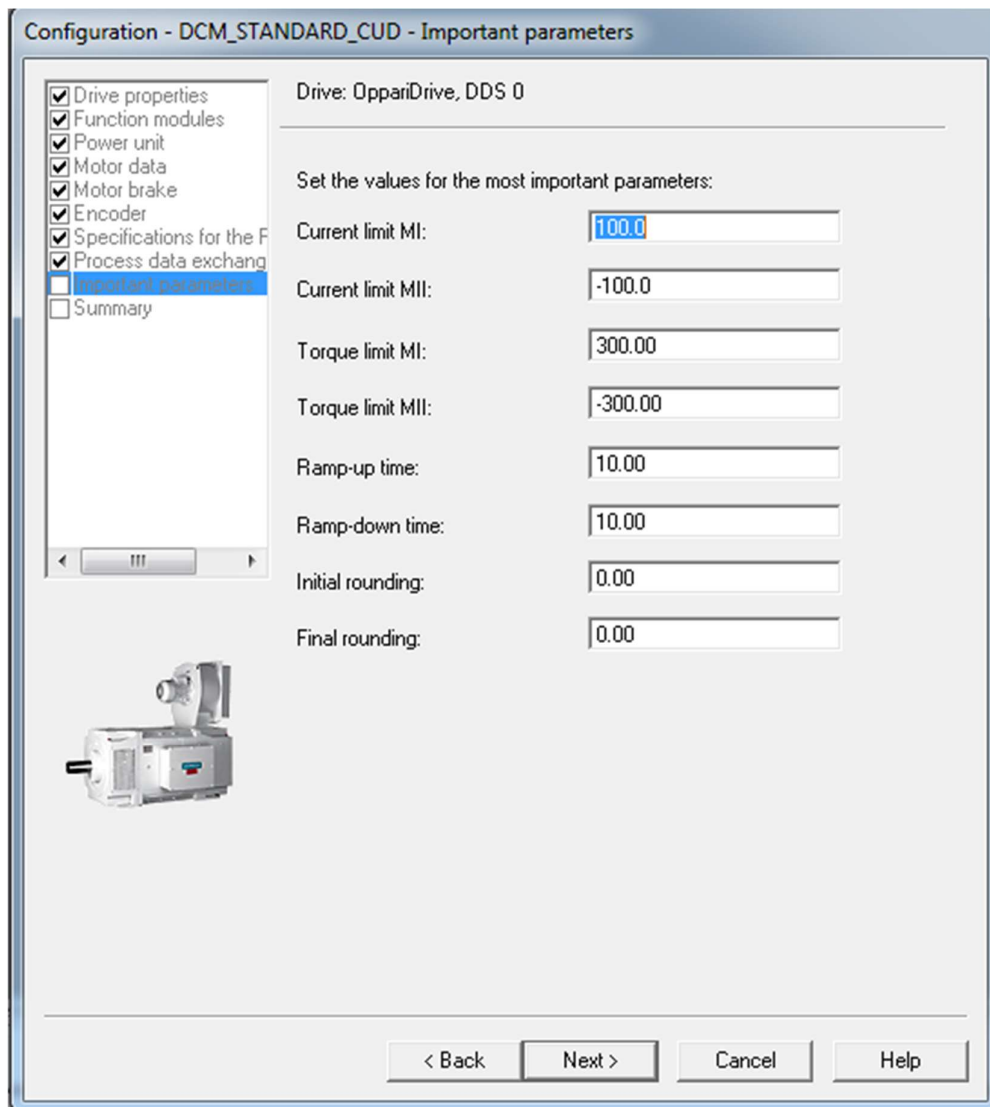


Kuva 35. Takometrin tarkemmat määrittelyt. Mm. Pulssiluvun valinta

Takometrin määrittämisen jälkeen aseteltiin kentänheikennysajon asetuksia (Kuva 36.). Valittiin kentän ajotavaksi kontaktoriajo. Kun laitetta ajettiin ensimmäisiä kertoja, kenttää pidettiin päällä jatkuvasti estäen näin koneen ryntäämistä, jos jokin meni vikaan.



Kuva 36. Magnetointikentän jännitteen määrittely



Kuva 37. Virran, momentin sekä ramppiajan asettelut

5 OPTIMOINTIAJOT

Kun tarvittavat asetelut ja konfiguroinnit saatiin ohjelmistopuolella valmiiksi, aloitettiin optimointiajot, joiden avulla käyttö pyrkii määrittelemään ajettavan moottorin sähköisiä arvoja kuten $R_{a:n}$, $L_{a:n}$ sekä vahvistuskertoimia ja integroimisaikoja nopeus- ja virtasäätäjälle. Optimointiajot pystyttiin ajamaan AOP30 paneelilla ja Starter-ohjelmistolla. Molemmat tavat todettiin toimiviksi, mutta ohjelmiston asettelemia arvoja pystytään tarkemmin tutkimaan ja muokkaamaan vain Starter-ohjelmiston kautta. Käyttö mittasi esimerkiksi ajettavan moottorin vastusarvoja sekä mekaanista vastusta kuten kitkaa sekä roottoriin tulevan liike-energian käyttäytymistä. Nämä ajot eivät kuitenkaan antaneet käytettävälle moottorille sopivia arvoja, sillä käyttö on hieman ylimitoitettu tälle kyseiselle tasavirtamoottorille. Esimerkiksi juuri vahvistuskerrointa jouduttiin jälkikäteen muutamaa pienemmäksi käsin. Sopiva vahvistuskerroin määriteltiin oskilloskoopin avulla tutkimalla ankkurijännitteen ja -virran värähtelyrajaa. Tämä tehtiin nostamalla kerrointa moottorin käydessä nimellisellä momentilla, kunnes virta ja jännite alkoivat värähdellä. Optimointiajoihin kuuluvat alla olevat vaiheet ja pitää tehdä luetellussa järjestyksessä. Ainoastaan nopeussäätäjän optimointiajossa on hyvä olla lopuksi ajettava mekaaninen kuorma. Muissa optimointiajoissa se ei ole pakollinen.

- ankkurivirtasäätäjän induktiivisen kuorman mittaus ja optimointi
- magneetoimispiirin virtasäätäjän optimointi
 - kesto 1 minuutti tai enemmän
 - määrittelee automaattisesti seuraavat parametrit:
 - magnetointipiirin resistanssi
 - magnetointipiirin induktanssi
 - magnetointipiirin virtasäätäjän vahvistuskertoimen
 - magnetointipiirin virtasäätäjän integroimisajan
 - magnetointipiirin induktanssin vaikutuskertoimen.
- ankkuripiirin virtasäätäjän optimointi
 - kesto noin 1 minuutti
 - määrittelee automaattisesti seuraavat parametrit:
 - ankkuripiirin resistanssin
 - ankkuripiirin induktanssin
 - ankkuripiirin epälineaarisen kertoimen induktanssille
 - suodattimen induktanssin 12-pulssikertoimelle
 - suodattimen induktanssin vähennyskertoimen
 - suodattimen resistanssin 12-pulssikeroimelle
 - ankkuripiirin virtasäätäjän vahvistuskertoimen
 - ankkuripiirin virtasäätäjän integroimisajan
- nopeussäätäjän optimointi
 - kesto vähintään 6 sekuntia
 - määrittelee automaattisesti seuraavat parametrit:
 - nopeussäätäjän vahvistuskertoimen
 - nopeussäätäjän integroimisajan

- nopeuden ohjearvon pehmennysaikavakion
 - nopeussäätäjän kiihdytysajan
- magnetointikentänsäätäjän optimointi
 - kesto noin 1 minuutti
 - määrittele automaattisesti seuraavat parametrit:
 - moottorin magnetointikentän karakteristiikan
 - magnetointikentänsäätäjän vahvistuskertoimen
 - magnetointikentänsäätäjän integroimisajan
- kitkan karakteristiikan tallennus
 - kesto noin 1 minuutti
 - määrittele automaattisesti seuraavat parametrit:
 - kitkan karakteristiikan

[25] Closed-loop armature current control

Configure the following parameters before the optimization run:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p51800	Power unit topology position	[0] Parallel interface not active	

Status: [0] No optimization run

The following parameters are determined or changed by the optimization run:

Parameter	Parameter text	Value	Unit
p50110[0]	Armature circuit resistance	4.752	ohm
p50111[0]	Armature circuit inductance	68.768	mH
p51591[0]	Armature inductance reduction factor	100	%
p50155[0]	Closed-loop armature current control P gain	0.39	
p50156[0]	Closed-loop armature current control integral time	0.017	s

126:2 CDS: [0] (Activ) DDS: [0] (Activ) MDS: [0] (Active)

Kuva 38. Esimerkkinä Starter-ohjelmiston ankkuriipiirin virtasäätäjän asettamat arvot.

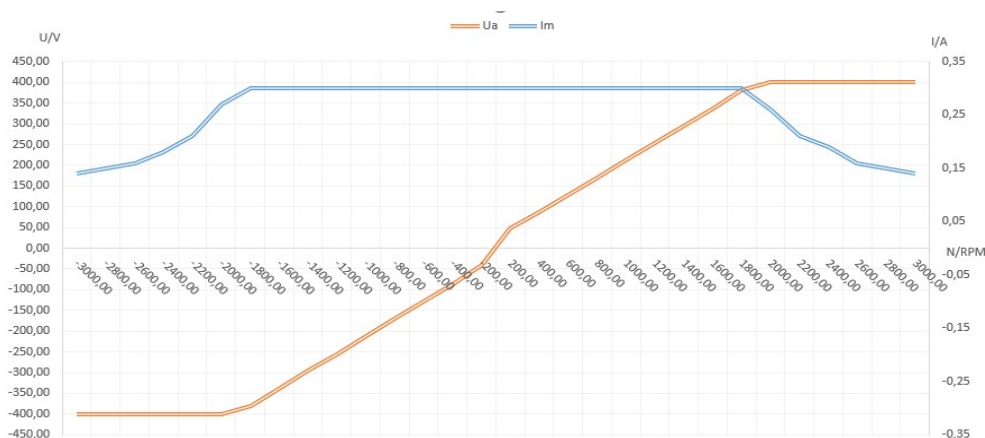
Kuten jo aiemminkin mainittiin ja kuvassa 38 nähdään, jouduttiin ankkurivirran virtasäätäjän vahvistuskerroin asettelemaan käsin ennen kuin muita optimointiajoja pystyttiin ajamaan, sillä moottori ei käynyt kunnolla ja jyrisi jännitteen ja virran värähtelyn vuoksi.

6 TESTIAJOT

Kun moottori saatiin käyttäytymään halutulla tavalla, aloitettiin testiajot ja katsottiin, kuinka hyvin tasavirtamoottorikäyttö todellisuudessa toimii eri tilanteissa. Asetteluihin tehtiin pieniä hienosäätöjä myös läpi testiajojen. Testiajojen aikana tehtiin mm. tyhjäkäyntikoe, momentin kanssa ajoa sekä katsottiin kuinka nopeasti ja hyvin käyttö pystyy reagoimaan nopeisiin momentin muutoksiin.

6.1 Tyhjäkäyntikoe

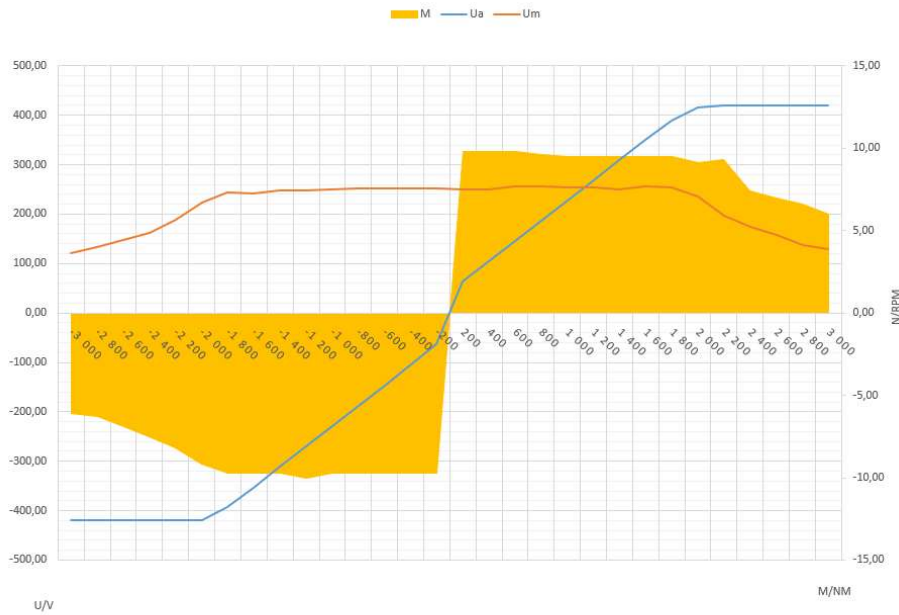
Tyhjäkäyntikoe suoritettiin ensimmäisenä, jotta varmistuttiin, että moottori pyöri halutulla tavalla ja että kaikki on konfiguroinnin osalta mennyt hyvin, ennen kuin moottorille laitetaan kuormaa ja virrat kasvavat. Tyhjäkäyntikoe ajettiin -3000rpm:n ja 3000rpm:n nopeuden välillä 200rpm:n askelluksella. Kaikki arvot muuttuivat johdonmukaisesti, joten voitiin todeta, että kaikki toimii halutulla tavalla. Pääasiassa tässä keskityttiin ankkurijännitteen ja magnetoimivirran muutoksiin eri pyörimisnopeuksilla, myös kentänheikennysalueella. Testi antoi odotetut tulokset ja vastasi jo aiemmin läpikäytyä teoriaa Kuten yhtälö 6 ennusti tyhjäkäyntikokeesta kerätyn datan pohjalta nähdään (**kuva 39.**), että magnetoimivirta alkoi pudota siirryttäessä kentänheikennysalueelle.



Kuva 39. Ankkurijännitteen ja magnetoimivirran muutokset pyörimisnopeuden suhteen.

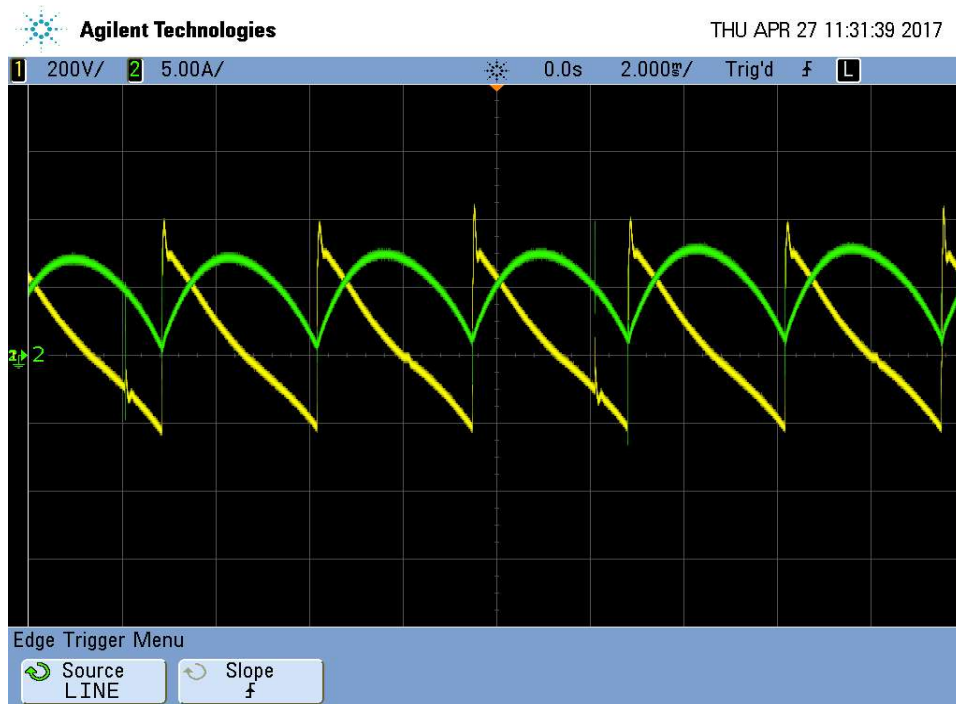
6.2 Ajo virtarajaa vasten

Tässä kokeessa moottorin ankkurivirraksi säädettiin moottorin nimellinen virta eli n. 5,3A muuttamalla moottorilla ajettavaa kuormaa eli mitattiin momentti, johon päästään virtarajalla. Nopeutta säädeltiin taas -3000rpm ja 3000rpm välissä 200rpm askelluksella.

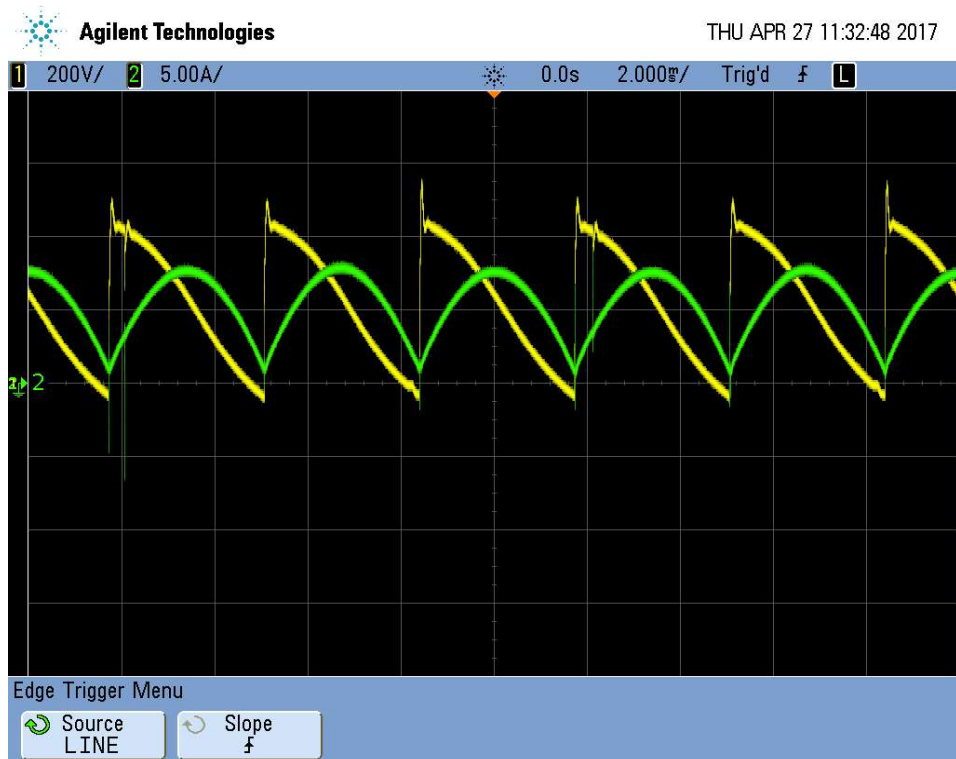


Kuva 40. Jännitteiden ja momentin muutos suhteessa pyörimisnopeuden muutokseen.

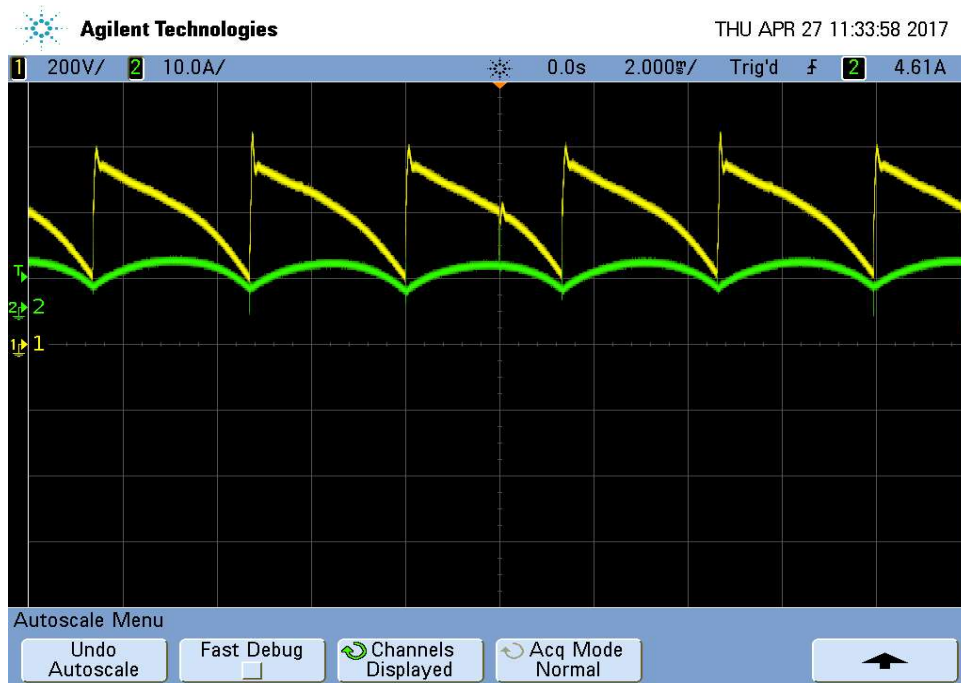
Kuten kuvasta 40 voidaan todeta, momentti lähti tippumaan, kun siirryttiin kentänheikennysalueelle, koska käyttö pienensi magnetoimisvirtaa, jotta ankkurivirta pysyisi vakiona. Pystyttiin siis toteamaan, että yhtälö 6 ja käytännön testi tukevat toisiaan.



Kuva 41. Oskilloskooppikuva ajettaessa 100rpm nimellisellä momentilla.



Kuva 42. Oskilloskooppikuva ajettaessa 1000rpm nimellisellä momentilla.



Kuva 43. Oskilloskooppikuva ajettaessa 1970rpm nimellisellä momentilla.

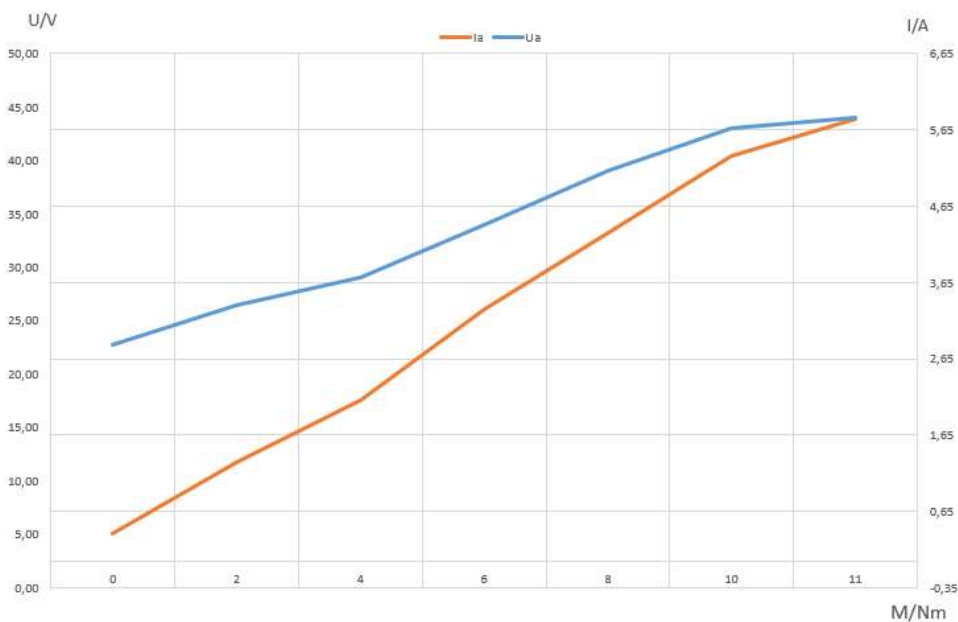


Kuva 44. Oskilloskooppikuva ajettaessa 3000rpm maksimi vastamomentilla virtarajalla.

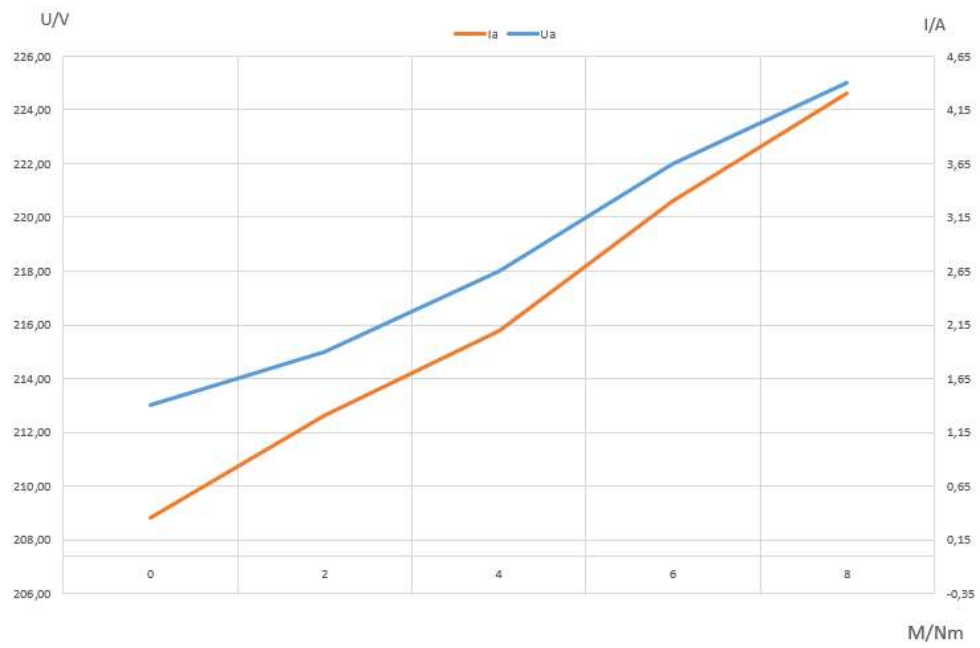
Kuvissa 41-44 on esitetty ankkurivirta (vihreänä) ja ankkurijännite (keltaisena) pyöritettäessä moottoria eri pyörimisnopeuksilla nimellisvirralla. Kuten kuvista nähdään, nopeutta voidaan säätää ankkuripiirin suuntaajan ohjauskulmalla säätämällä ankkurijännitteen keskiarvoa. Kuvassa 44 nopeudella 3000 rpm on ankkurijännite nimellinen, eli sama kuin kuvan 43 nimelliskojeudella, jolloin nopeuden lisäys on saatu pienentämällä magnetointia.

6.3 Momentin nostaminen eri pyörimisnopeuksilla.

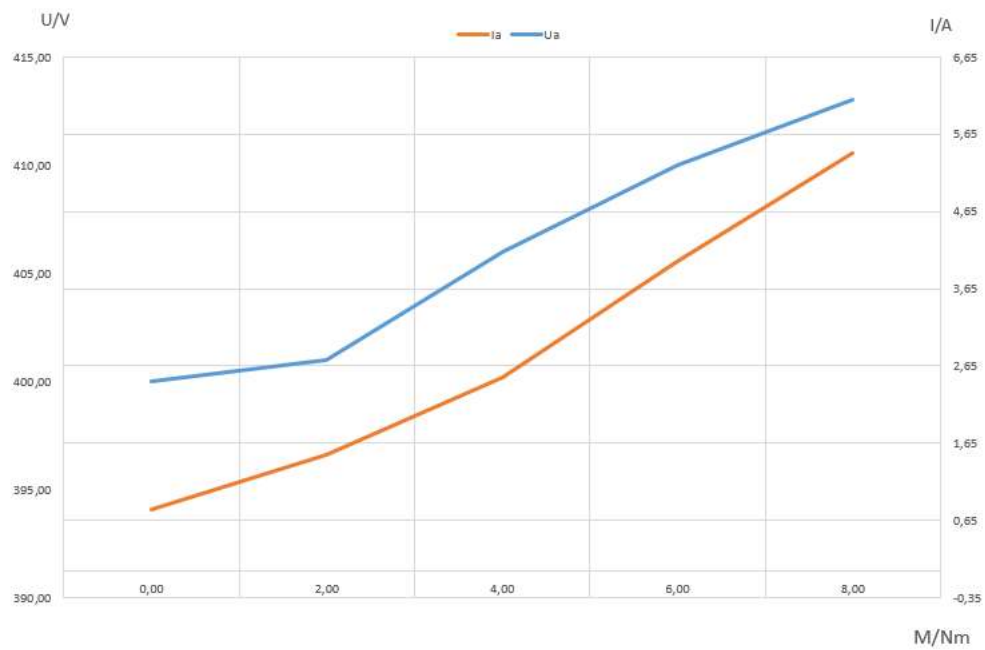
Tässä testissä moottoria ajettiin 100:n, 1000:n, 1970:n (nimellinen) ja 3000:n kierroksen pyörimisnopeuksilla, samalla kun momenttia nostettiin tasaisesti. Tarkoituksena oli seurata jännitteiden ja virtojen käyttäytymistä. Käyttö pystyi pitämään todellisen pyörimisnopeuden tarkasti ohjearvossa myös kentänheikennysalueella. Momentin nostaminen lopetettiin, jos ankkurivirta nousi yli 5.8A:n, joka jo sekin ylittää nimellisen virran 0,55 ampeerilla. Testistä saatiin kuvien 45-48 mukaiset tulokset.



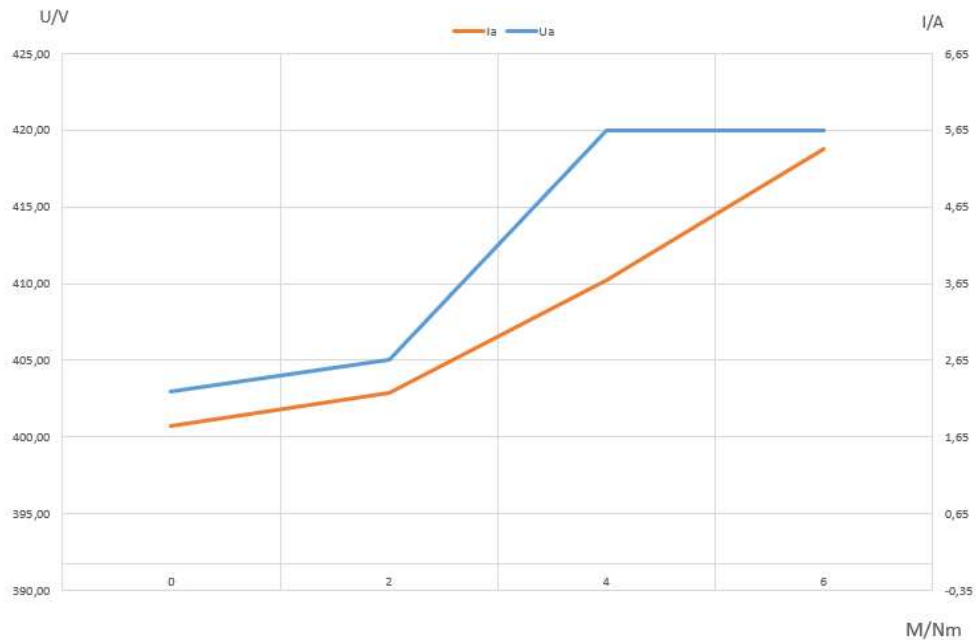
Kuva 45. Tulokset 100rpm:n nopeudella.



Kuva 46. Tulokset 1000rpm:n nopeudella.



Kuva 47. Tulokset 1970rpm:n nopeudella.



Kuva 48. Tulokset 3000rpm:n nopeudella.

Testeissä ei huomattu mitään ongelmia. Moottori pyöri halutulla tavalla ja arvot pysyivät asetetuissa rajoissa. Huomataan, että moottorin momentti nousee kutakuinkin lineaarisesti ankkurivirran funktiona, kuten kappaleen 2.2 teorian mukaan pitääkin tapahtua.

Jotta pyörimisnopeus säilyy ohjearvossaan, pitää ankkurijännitettä nostaa ankkurivirran aiheuttaman jännitehäviön $R_a \cdot I_a$ vuoksi. Mielenkiintoista oli huomata, että magnetointivirta tippui vähän jo nimellisessä pyörimisnopeudessa ennen kentänheikennysalueelle menoa. Käyttö ei myöskään välillä tahtonut nostaa ankkurivirtaa aivan nimelliseen eli 5,25 ampeeriin. Mittaustulokset olivat jälleen johdonmukaisia ja voitiin todeta, että ne mukailivat teoriaa.

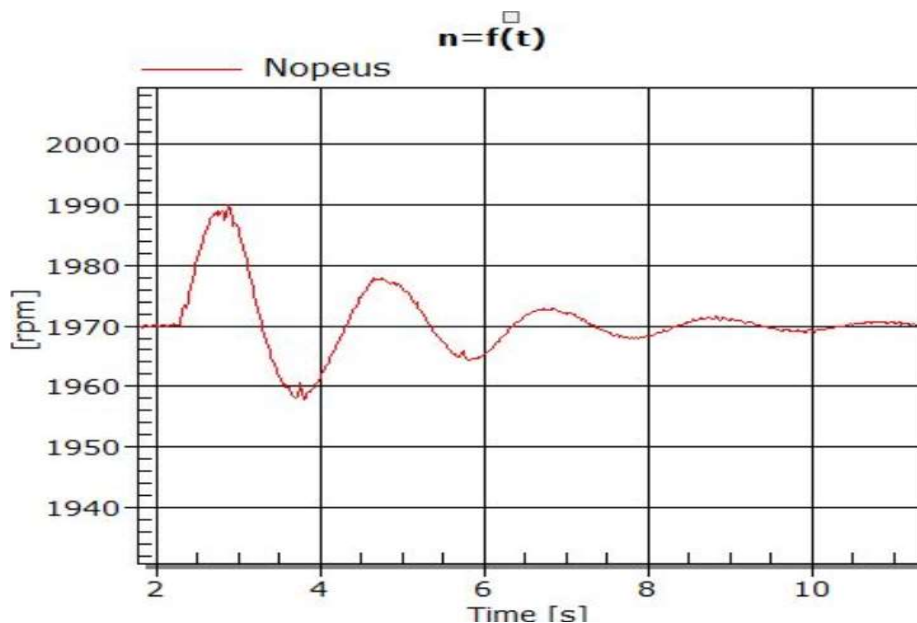
6.4 Dynaaminen ja staattinen tarkkuus

Staattinen tarkkuus tarkoittaa yksinkertaisesti käytölle annetun nopeusohjeen ja todellisen pyörimisnopeuden eroa stabiilissa kuormitustilanteessa. Dynaaminen tarkkuus eli nopeuden muutoksen aikaintegraali puolestaan tarkoittaa tasavirtamoottorikäytön kykyä pitää pyörimisnopeus annetussa ohjearvossa

vastamomentin muuttuessa äkillisesti. Tätä testattiin liittämällä ajettava moottori testipenkkiin, jossa on toinen taajuusmuuttajalla ajettava sähkömoottori ja samassa akselistossa massakiekkaja, joiden avulla saadaan akselille haluttu määrä hitausmomenttia lisäämällä tai vähentämällä kiekkoja. Moottoria ajettiin nimellisellä momentilla ja pyörimisnopeudella.

Taajuusmuuttajalla ohjattavan moottorin vastamomentti nostettiin ja laskettiin askelmaisesti suoraan tasavirtamoottorikäytöllä ajettavan moottorin nimelliseen momenttiin. Tulokset taltioitiin testipenkillä olevalla tietokoneella, josta saatiin momentin ja pyörimisnopeuden käyrät. Näistä kuvaajista pystyttiin karkeasti laskemaan moottorin dynaaminen tarkkuus. Tämän testin aikana virta- ja nopeussäätäjän asetuksia jouduttiin vielä hienosäätämään. Muutoksien ansiosta staattinen tarkkuus parani 4rpm ja dynaaminen tarkkuus 0,04%.

Dynaaminen tarkkuus voidaan laskea kaavalla $D_T = \frac{\sum A}{n_N} \cdot 100\%$, jossa $A = \frac{1}{2} \cdot \Delta n \cdot t$ eli karkeasti kuvajaan nopeuden muutoksen takia muodostuvien kolmioiden pinta-alojen summa. Kun hitausmomenttia lisättiin, värähtelyn määrä kasvoi huomattavasti, jolloin myös dynaaminen tarkkuus kärsi.



Kuva 49. Nopeuden värähtely momentin äkillisen tiputuksen jälkeen suurimmalla testatulla hitausmomentilla $J=1.007 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$.

Taulukko 1. Testitulokset momenttia nostettaessa, sekä niistä lasketun dynaamisen tarkkuuden arvo.

J/kg*m ²	n _{max}	n _{min}	Δn ja S _t	t _{alku}	t _{loppu}	Δt	ΣA	D _T /‰s
0,125	1970	1926	44	0,92	1,64	0,72	15,84	0,80
0,418	1970	1943	27	0,58	1,84	1,26	17,01	0,86
1,007	1970	1952	18	0,82	2,60	1,78		
1,007	1973	1970	3	2,60	3,64	1,04	19,50	0,990
1,007	1970	1967	3	3,64	4,56	0,92		
1,007	1971	1970	1	4,56	5,64	1,08		

Taulukko 2. Testitulokset momenttia tipautettaessa, sekä niistä lasketun dynaamisen tarkkuuden arvo.

J/kg*m ²	n _{max}	n _{min}	Δn ja S _t	t _{alku}	t _{loppu}	Δt	ΣA	D _T /‰s
0,125	2009	1970	39	1,18	1,92	0,74	14,43	0,732
0,418	1994	1970	24	0,92	1,58	0,66		
0,418	1970	1958	12	0,16	2,22	2,06	21,74	1,104
0,418	1975	1970	5	2,22	2,80	0,58		
1,007	1984	1970	14	2,34	3,30	0,96		
1,007	1970	1958	12	3,30	4,30	1,00		
1,007	1976	1970	6	4,30	5,36	1,06	20,92	1,062
1,007	1970	1964	6	5,36	6,38	1,02		
1,007	1972	1970	2	6,38	7,36	0,98		
1,007	1970	1968	2	7,36	8,34	0,98		

Dynaamista tarkkuutta saatiin parannettua ensimmäisiin testeihin jonkin verran muttei merkittävästi. Vaikka käyttö saatiin mielestäni hyviin säätöihin ei tarkkuus ollut paras mahdollinen. Kuten jo aiemminkin on kerrottu, on tämä kyseinen käyttö ehkä hieman ylimitoitettu tässä työssä käytettävälle moottorille, mikä aiheuttaa joitain ongelmia optimoinnin kanssa. Tästä johtuen esimerkiksi dynaamista tarkkuutta ei saatu kovin hyvälle tasolle.

7 YHTEENVETO JA LOPPUSANAT

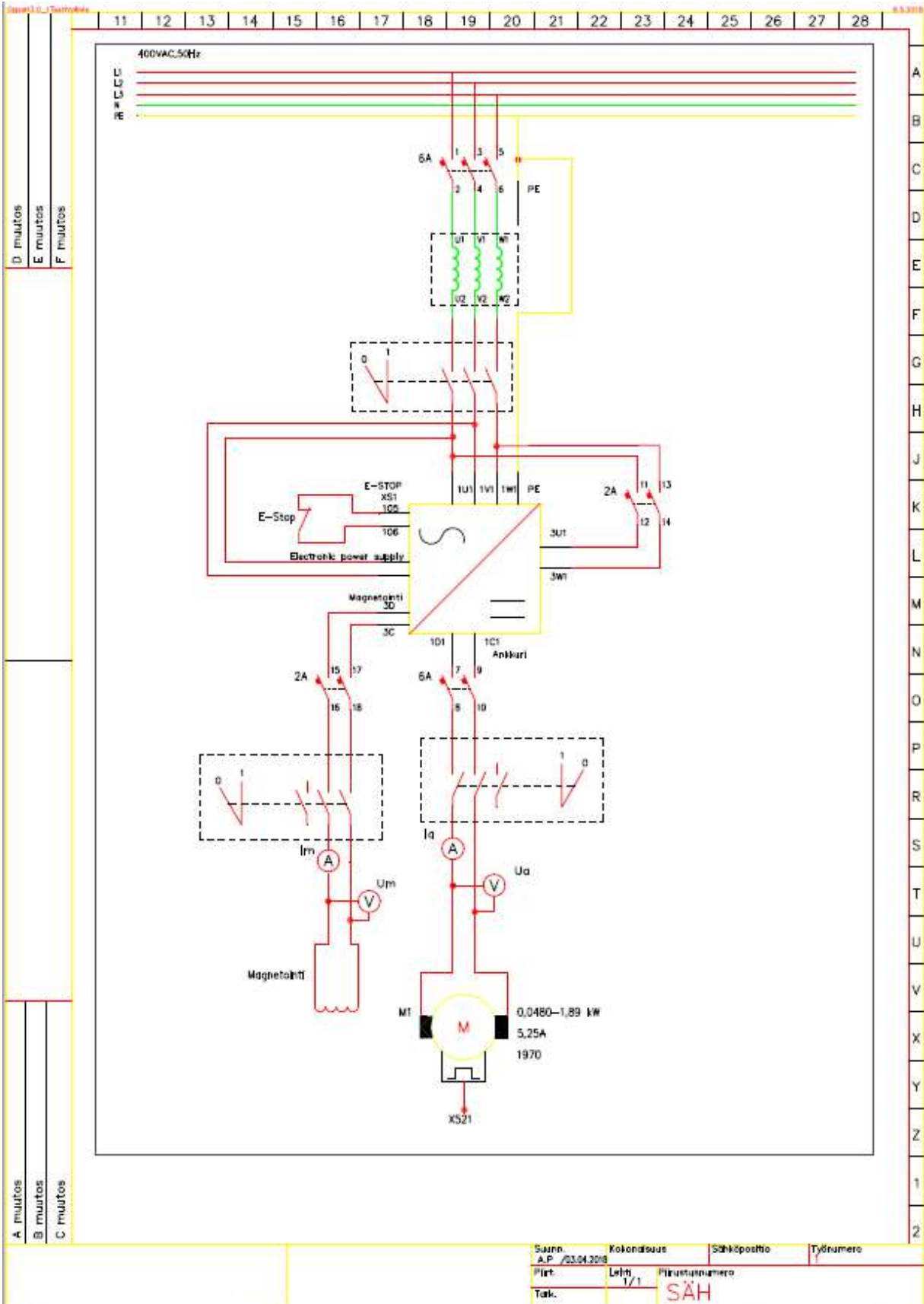
Voidaan todeta, että uusi käyttö saatiin toimimaan ainakin melkein täysin halutulla tavalla. Ennen kuin laitetta otetaan opetuskäyttöön, on sen käyttöön, ohjekirjoihin ja ominaisuuksiin syytä perehtyä huolella. Ohjelmiston käyttö oli melko yksinkertaista joitain vastusteluja huomioon ottamatta. Ohjelman käyttöä helpotta aiempi kokemus Siemensin ohjelmistoista.

Testikytkennät ja mittaustulokset ovat dokumentoituna tässä opinnäytetyössä. Lisäksi liitteenä on suurpiirteinen ehdotus laitteiston eli käytön, kuristimen, AOP30 paneelin sekä tarvittavien johdonsuojakatkaisijoiden ja liittimien layoutista. Tarkoituksena kuitenkin on, että nämä kaikki tullaan asentamaan samaan kotelointiin.

LÄHTEET

- /1/ VAMK, Moottorikäyttöjen säätö, Kari Jokinen
- /2/ VAMK, Suuntaajatekniikka, Kari Jokinen
- /3/ VAMK, Moottorikäyttöjen ohjaus ja suojaus, Kari Jokinen
- /4/ VAMK/Sähkökoneet/Vesa Verkkonen
- /5/ VAMK/Tahtikoneet/Vesa Verkkonen
- /6/ Niiranen J (1999) Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Otatieto, Helsinki, ISBN: 951-672-270-9.
- /7/ Rekola J (2009) Kolmitasoiset suuntaajat tasasähköjakelussa, Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto.
- /8/ SIMAMICS drives, SINAMICS DCM, DC Converter

LIITE 1

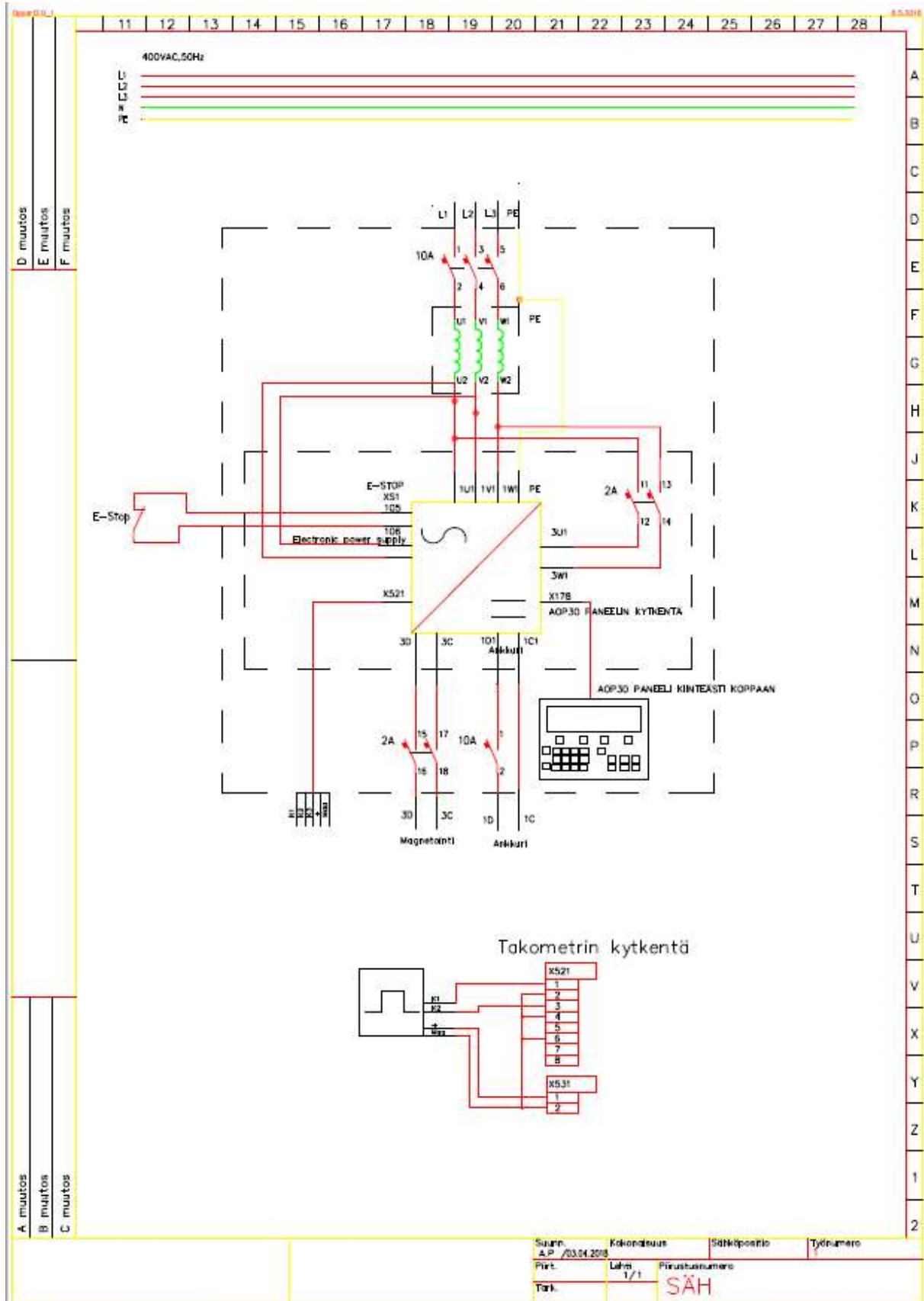


A muutokset
B muutokset
C muutokset

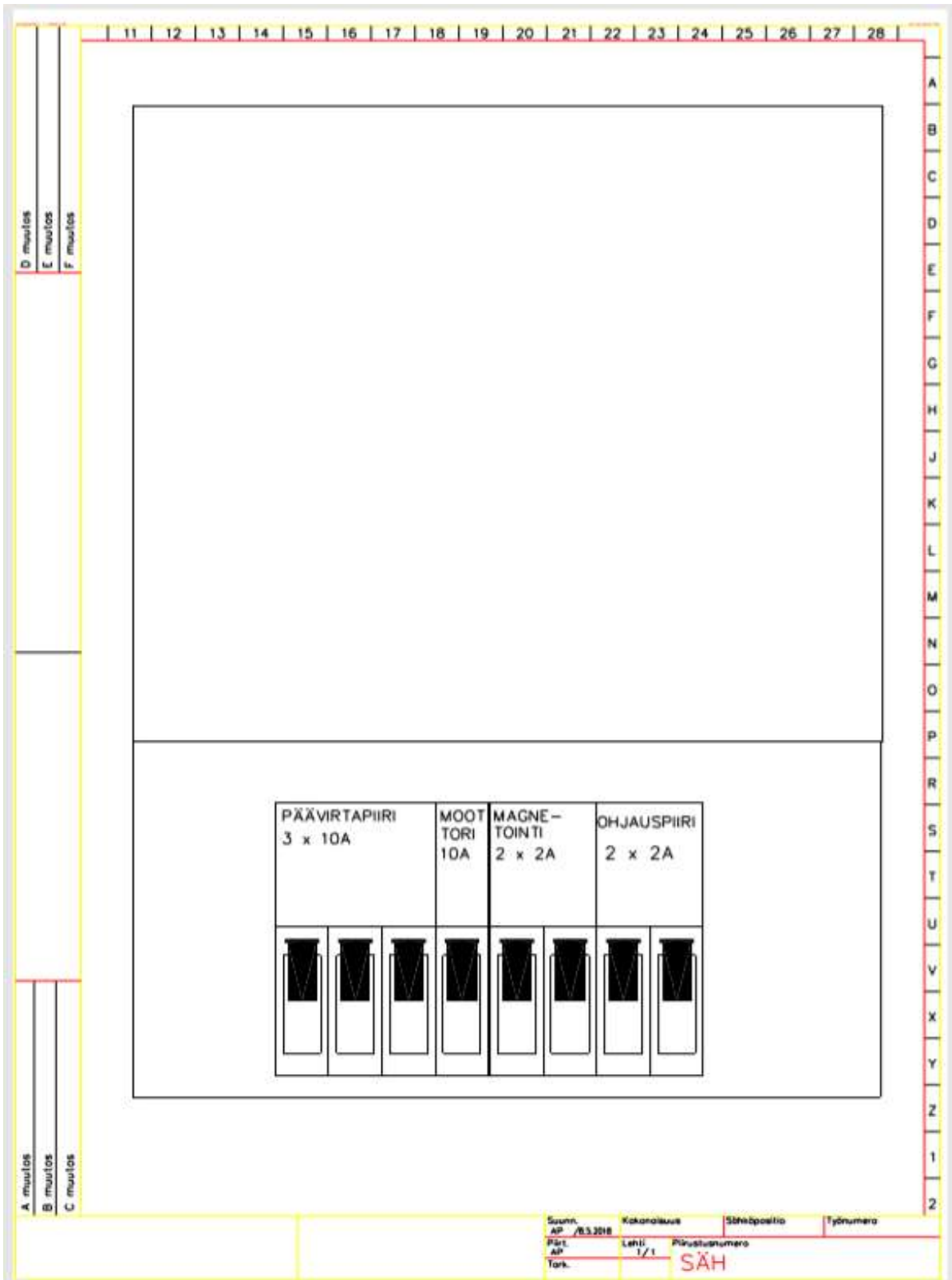
D muutokset
E muutokset
F muutokset

Suunn.	Kokonaisuus	Sähköpiirros	Työnumero
A.P. /23.04.2018			
Piirt.	Lehti	Piirustusnumero	
Tak.	1/1	SÄH	

LIITE 2



LIITE 3



LIITE 4

