



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ville Kotala

VEO RESERVE DRIVE— SÄHKÖSUUNNITTELU

Tekniikka
2019

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Ville Kotala
Opinnäytetyön nimi	VEO Reserve drive -sähkösuunnittelu
Vuosi	2019
Kieli	suomi
Sivumäärä	49 + 5 liitettä
Ohjaaja	Kari Jokinen

Opinnäytetyössä tutkitaan taajuusmuuttajien käyttövarmuuden parantamista, sen käyttökohteita ja kannattavuutta. Tarkoituksena on esittää ja perustella suunnitelma järjestelmästä, jolla pystytään kahdentamaan taajuusmuuttaja niin, että se ei vaikuta olemassa olevaan syöttävään keskukseseen tai halutessa uuden keskuksen toteutukseen ja että korvaava taajuusmuuttaja voi olla eri valmistajalta. Järjestelmä suunniteltiin kriittisiä sovelluksia varten, joissa taajuusmuuttajan rikkoutuminen voi tuoda paljon taloudellista tappiota. Järjestelmä on tarkoitettu vain sellaisille sovelluksille, jotka kestävät lyhyen keskeytyksen ennen kuin varataajuusmuuttaja kytkeytyy rikkoutuneen taajuusmuuttajan tilalle.

Esisuunnittelu toteutettiin tutkimalla aineistoa teollisuuden sovellutuksista, automaatiosta, standardeista ja erinäisten laitteiden manuaaleista. Käytössä olivat myös VEO:n toimittamien projektien suunnitteludokumentaatiot. Suunnittelu toteutettiin kolmelle eri tapaukselle ja neljälle eri virtaportaalle. Piirustukset tehtiin Eplan- ja AutoCAD-suunnitteluohjelmilla. Laskuissa käytettiin Excel- taulukkolaskentaohjelmaa.

Opinnäytetyössä saatiin aikaiseksi suunnitteludokumentit, joiden avulla voidaan suunnitella asiakkaille kahdennettuja taajuusmuuttajakäyttöjä. Kahdennetun järjestelmän hankintahinta saatiin pidettyä pienimmillä kokoluokilla edullisena ja järjestelmä vartenotettavana vaihtoehtona taajuusmuuttajien käyttövarmuuden lisäämiseksi.

ABSTRACT

Author	Ville Kotala
Title	VEO Reserve drive – Electrical design
Year	2019
Language	Finnish
Pages	49 + 5 Appendices
Name of Supervisor	Kari Jokinen

The thesis studies the operational reliability of the frequency converters, its applications and profitability. The purpose is to represent and justify the design of the system, which can be used for duplex frequency converter so it does not affect existing switchgear or if desired the implementation of a new switchgear and the substitutive frequency converter can be by a different manufacturer.

The preliminary planning was made by examining material of industrial applications, automation, standards and several hardware manuals. The planning documents of the previous projects delivered by VEO were also available for use. Planning was made for three different cases and four different current steps. Schemes were made with Eplan and AutoCAD design software. The related calculations were made with the Excel spreadsheet computation software.

As a result of the thesis the planning documents were made, which can be used to design duplex frequency converter starters for customers. The purchase price of the duplex system for small size categories were able to keep affordable and the system as a potential way to add operational reliability to frequency converters.

Keywords Frequency converters, electrical design, critical applications, operational reliability

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOLUETTELO

LIITELUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

1	JOHDANTO	9
2	YRITYKSEN ESITTELY	10
3	TYÖN RAJAUS	11
4	KÄYTTÖKOhteET	12
4.1	Yleistä	12
4.2	Kriittiset sovellukset	12
4.2.1	Polttoainejärjestelmä	13
4.2.2	Jäähdytysjärjestelmä	14
5	TAAJUUSMUUTTAJA	15
5.1	Yleistä	15
5.2	Taajuusmuuttajan käyttövarmuuden parantaminen	16
5.2.1	VACON DriveSynch	16
5.2.2	ABB ACH550 Redundant Drives	17
6	OHJAUS JA SÄÄTÖ YLEISESTI	19
6.1	Avoin ja suljettu säätöpiiri	19
6.2	PID-säädin	20
6.3	Mittaus	20
7	TARVE	21
7.1	Käytettävyys	21
7.2	Yleisimmät taajuusmuuttajan viat	22
7.3	Huolto	22
7.4	Korjaus	23
8	VAATIMUKSET JA TOIMINTA	24
8.1	Yleistä	24

8.2	Toimintavaatimukset.....	24
8.3	Toimintakuvaus.....	26
9	SUUNNITTELU	29
9.1	Esisuunnittelu.....	29
9.2	Sähkösuunnittelu.....	30
9.2.1	Pääkaavio	30
9.2.2	Piirikaavio	31
9.2.3	Laitevalinnat.....	33
9.2.4	Mitoitus	34
9.2.5	EMC	40
9.2.6	STO-toiminto	41
9.2.7	Merkkikoodit.....	42
9.2.8	Varaosat.....	42
9.2.9	Optiot	42
9.2.10	Layout	43
9.2.11	Asennusohje	43
9.2.12	Sähkötyöturvallisuus	44
9.1	Kustannustehokkuus	44
9.2	Automaatiosuunnittelu	45
10	YHTEENVETO	46
	LÄHTEET.....	47
	LIITTEET	49

KUVA- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuva 1. Kolakuljettimen rakenne /1/.....	13
Kuva 2. Kiertovesipumppu.....	14
Kuva 3. Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan pääpiiri /5/	15
Kuva 4. PWM-ohjatun taajuusmuuttajan jännitteet /5/	16
Kuva 5. DriveSynch-esimerkkikonfiguraatio.....	17
Kuva 6. ABB ACH550 Redundant Drives.....	18
Kuva 7. Suljettu säätöpiiri	19
Kuva 8. PID-säädin	20
Kuva 9. Tilanne 1	26
Kuva 10. Tilanne 2	27
Kuva 11. Tilanne 3	28
Kuva 12. ABB ACS880-01	29
Kuva 13. ABB AI/O -kytkentä lämpötilamittauksille /10/.....	31
Kuva 14. STO-toiminto ja turvarele takaisinkytkennällä.....	41
Kuva 15. Merkkikoodiavain.....	42
Kuva 16. Kokoonpanokuva	43
Kuva 17. Hintojen nousu.....	44
Taulukko 1. DriveSynch-ohjauksia.	17
Taulukko 2. VACON 100-huoltotaulukko.	23
Taulukko 3. ABB taajuusmuuttajien lämpöantureiden kytkennät.....	32
Taulukko 4. ABB ACS880-tehotaulukko /10/.....	35
Taulukko 5. VACON 100-tehotaulukko /11/.	35
Taulukko 6. ACS880-sulakkeet.....	36
Taulukko 7. VACON 100-sulakkeet.	37
Taulukko 8. ABB ACS880-vähimmäiskaapelikoot /10/.	38
Taulukko 9. Virtaportaat.....	39
Taulukko 10. Laite- ja kaapelivalinnat.	40

LIITELUETTELO**LIITE 1.** Osaluettelot**LIITE 2.** Pääkaaviot**LIITE 3.** Piirikaaviot**LIITE 4.** Kokoonpanokuvat**LIITE 5.** Asennusohje

LYHENTEET JA MERKINNÄT

EMC	Electromagnetic compatibility, sähkömagneettinen yhteensopivuus
AI/AO	Analog Input/Output, analoginen tulo/lähtö
DI/DO	Digital Input/Output, digitaalinen tulo/lähtö
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor, jänniteohjattu puolijohde
MTBF	Mean Time Between Failures, vikaantumisväli
MTTR	Mean Time To Repair, korjausaika
PWM	Pulse Width Modulation, pulssinleveysmodulaatio
STO	Safe Torque Off, vääntömomentin aikaan saavan energiasyötön katkaisu
Λ	Vikatiheys

1 JOHDANTO

Työ tilattiin VEO Oy:ltä kesällä 2018. Tämän työn tarkoitus on suunnitella ja tutkia teollisuuden ja voimalaitosten prosesseihin soveltuvaa seinälle asennettavien taajuusmuuttajien käytettävyyden parantamista kriittisiin sovelluksiin. Tavoitteena on saada taloudellista hyötyä asiakkaille varmentamalla järjestelmää kustannustehokkaasti ja nostamalla käytettävyyden tasoa.

Lisäksi työssä käydään läpi voimalaitos- ja taajuusmuuttajatekniikkaa, sekä eri komponenttien ominaisuuksia siltä osin kun se on oleellista. Työssä käytetään hyödyksi jo opittuja taitoja sähkötekniikasta ja alan kirjallisuutta. Suunnittelu on tehty sen pohjalta, kuinka monta moottoria ja kuinka monta taajuusmuuttajaa tarvitaan. Yhden moottorin ja kahden taajuusmuuttajan tilannetta kutsutaan tässä työssä tilanteella 1. Kahden moottorin ja kolmen taajuusmuuttajan tilannetta tilanteella 2 ja viimeistä tilannetta, jossa moottoreita voi olla kolme tai useampi ja varataajuusmuuttajia yksi, kutsutaan nimellä tilanne 3. Selkeyden vuoksi tilanne 3:n suunnittelu on tehty tässä työssä kolmella moottorilla. Tilanteiden lisäksi työssä jaotellaan suunnitelmat neljään virtaportaaseen. Tässä työssä tarkastellaan selkeyden vuoksi vain 400 voltin TN-S-järjestelmää.

Esisuunnittelussa esitetään olemassa olevat vaihtoehdot sekä niiden hyödyt ja haitat. Suunnittelu sisältää sähköpiirustukset ja toimintakuvauksen. Automaatio-ohjelmointi ja testaus simuloimalla toteutettiin erillisenä työnä.

2 YRITYKSEN ESITTELY

VEO Oy on vuonna 1989 perustettu sähköalan yritys, joka toimittaa automaatio- ja sähköistysratkaisuja energia-, prosessi-, ja laivanrakennusteollisuudelle. VEOlla on toimipisteitä Suomessa Vaasassa, Seinäjoella, Rovaniemellä, Tampereella ja Paimiossa. Ulkomailla konttoreita on Ruotsissa, Norjassa ja Englannissa. Pääkonttori ja tehdas sijaitsevat Vaasassa. VEO:n organisaatio koostuu kolmesta liiketoimintayksiköstä, jotka ovat sähkönjakelu, teollisuus ja voimantuotanto. Yritys työllistää 450 henkilöä.

Päätuotteet VEOlla ovat VEDA 5000-pienjännitekojeisto, VEBA-kiskosilta, Vector-keskijännitekojeisto, sähköasemat sekä automaatio- ja käyttöratkaisut. Tuotteet rakennetaan Vaasassa ja lisenssillä Englannissa VEO:n yhteistyökumppani I.C Electrical Ltd:n tehtaalla. Tuotteiden lisäksi VEO tarjoaa käyttöönottoja sekä asiantuntijapalveluita.

3 TYÖN RAJAUS

Tässä työssä keskitytään teollisuuden ja voimalaitosten kriittisiin sovelluksiin, mutta tutkielmaa voidaan soveltaa myös muihin käyttöihin. Työn aiheena oleva järjestelmä tarvitsee toimiakseen logiikkaohjelman, jonka suunnittelu ja toteutus on toteutettu erillisenä työnä. Logiikkaohjelmaa varten luotiin yhdessä automaatio-suunnittelusta vastaavan kanssa toimintakuvaus, jonka pohjalta sähkö- ja automaatio-suunnittelu toteutettiin. Järjestelmän tarkemmat vaatimukset ja rajaukset on esitetty luvussa 8.

Työ sisältää seuraavat dokumentit

- pääkaaviot kaikille tilanteille
- piirikaaviot kaikille tilanteille
- osaluettelot kaikille virtaportaille ja tilanteille
- kokoonpanokuvat kaikille virtaportaille ja tilanteille
- asennusohje

Liitteet on poistettu tilaajan toivomuksesta.

4 KÄYTTÖKOHTEET

4.1 Yleistä

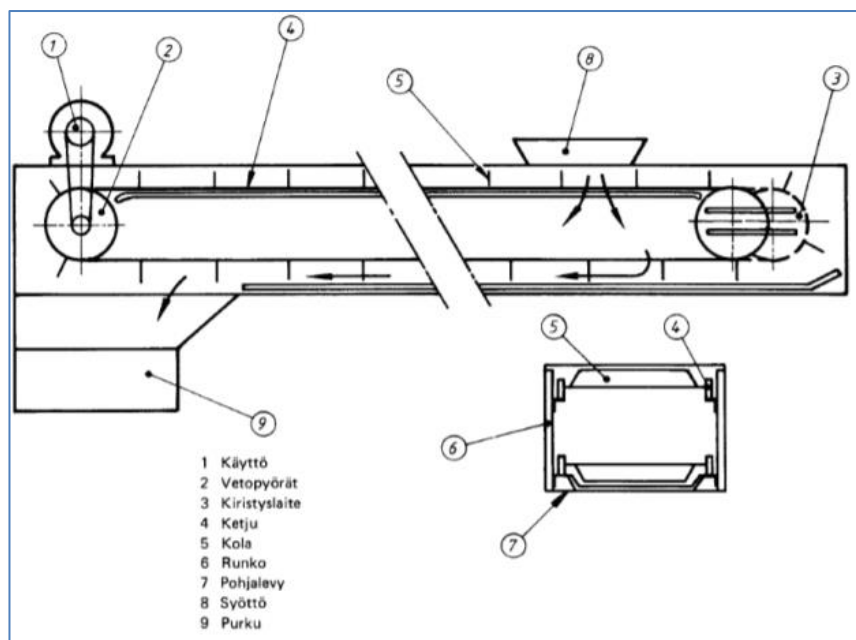
Järjestelmän ensisijaiseksi käyttökohteeksi valittiin kohteet, joissa järjestelmästä olisi eniten hyötyä. Tällaisia ovat kohteet, joita ei voida kahdentaa prosessin kautta ja joiden kahdentamisella voidaan laitoksen käytettävyyttä nostaa. Ohjaavan taajuusmuuttajan vaihtumisesta aiheutuu lyhyt keskeytys, joka ei saa häiritä käytettävää sovellusta. Tätä tutkielmaa voidaan käyttää jatkossa hyödyksi sähkösuunnittelussa projekteissa.

4.2 Kriittiset sovellukset

Voimalaitoksissa kriittisiksi sovelluksiksi voidaan sanoa sovelluksia, joiden keskeytyminen voi johtaa tuotantokatkoihin. Alla esitetty yleisimpiä kriittisiä sovelluksia.

4.2.1 Polttoainejärjestelmä

Järjestelmä koostuu useista laitteista, jotka kuljettavat polttoainetta kattilaan. Laitteet vaihtelevat riippuen laitoksen koosta ja käytetystä polttoaineesta. Jokainen polttoainejärjestelmä sisältää kuitenkin polttoaineenkuljettimia, tällaisia ovat mm. hihna- ja kolakuljettimet ja ruuvipurkaimet. Suuret kuljettimet ovat erittäin harvoin kahdennettu prosessissa niiden korkean hankintahinnan ja tilavaatimuksen takia. Kuvassa 1 esitetty kolakuljettimen rakenne.



Kuva 1. Kolakuljettimen rakenne /1/.

Polttoaineen kuljettamisen keskeytys aiheuttaa tuotantokatkon, koska tuotantoon tarvittavaa energiaa ei pystytä tuottamaan. Turvallisuuden vuoksi palamisilman riittävyys suhteessa polttoaineeseen on varmistettava kaikissa olosuhteissa. Tämä varmistetaan ristikytkemällä polttoainevirtauksen ja ilmavirtauksen säädöt. /2/ Varmennusta voidaan parantaa entisestään taajuusmuuttajan kahdennuksella.

4.2.2 Jäähdytysjärjestelmä

Jäähdytysjärjestelmää voidaan pitää kriittisenä sovelluksena, koska se on oltava käytössä aina laitoksen käynnissä ollessa. Sen toiminnan kannalta on pumppujen oltava kunnossa. Pumppujen tehtävä on ylläpitää jäähdytysilman tai nesteen kiertoa. Pumput ovat usein kahdennettu, mutta mikäli se ei ole ollut mahdollista tai käytettävyyttä halutaan muuten nostaa, on taajuusmuuttajan kahdennus tähän so-
piva sovellus. Kuvassa 2 Grundfossin valmistama kiertovesipumppu



Kuva 2. Kiertovesipumppu.

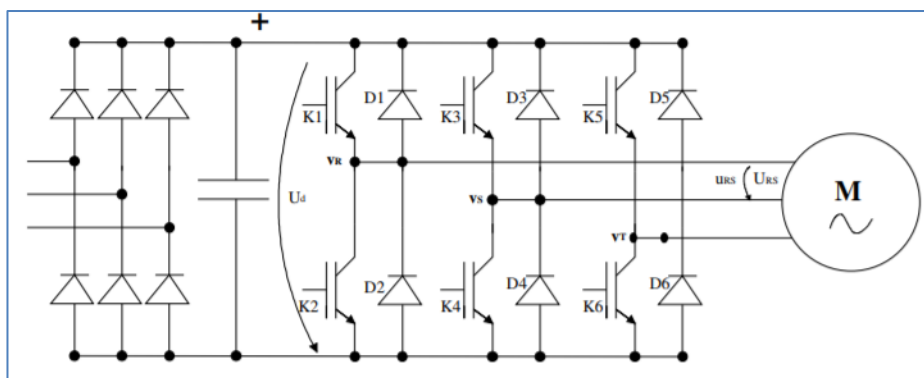
5 TAAJUUSMUUTTAJA

Taajuusmuuttajat voidaan jakaa kahteen luokkaan, välipiirillisiin ja suoriin. Välipiirillisissä vaihtosähköverkon sähkö muutetaan ensin tasasähköksi ja sitten pilkottaan vaihtosähköksi. Suorilla tarkoitetaan yleisesti syklokonventtereita, mutta niitä ei käsitellä tässä työssä. /3/ Tässä työssä käytetään ja tutkitaan yleisesti sähkölaitoksissa käytössä olevia pienjännitteisiä, välipiirillisiä taajuusmuuttajamalleja.

5.1 Yleistä

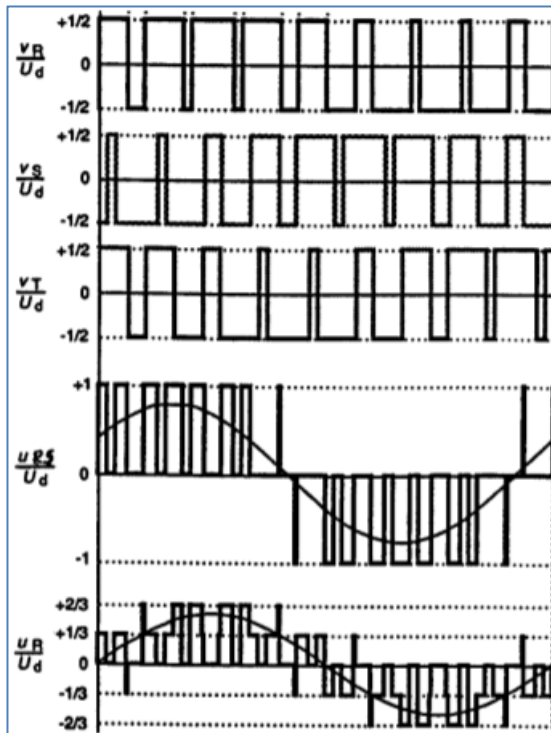
Teollisuus- ja voimalaitoksissa taajuusmuuttajaa käytetään säätämään oikosulkumoottorin pyörimisnopeutta. Nykyiset taajuusmuuttajat pystytään ohjelmoimaan logiikkojen tapaan suorittamaan säätöjä ja loogisia toimintoja ym. /4/

Kuvassa 3 on esitetty välipiirillisen taajuusmuuttajan pääpiiri. Kuvassa vasemmalta oikealle on kolmivaiheinen tasasuuntaaja, joka muuttaa vaihtovirran ja –jännitteen tasavirraksi ja –jännitteeksi diodeilla. Keskellä on tasajännitevälipiiri, joka toimii sähköenergian välivarastona ja viimeisenä vaihtosuuntaaja (ts. invertteri), joka muuntaa tasasähkön toivotuksi vaihtosähköksi IGBT-transistoreilla.



Kuva 3. Jännitevälipiirillisen taajuusmuuttajan pääpiiri /5/.

Taajuusmuuttaja muuttaa tasasähkön vaihtosähköksi pulssileveysmodulaatiolla, eli PWM:lla, jolla säädetään ja muutetaan lähtöjännitteen pulssikuviota ja siten sen tehollisarvoa. Kuvassa 4 taajuusmuuttajan jännitteet ja miten ne on pilkottu.



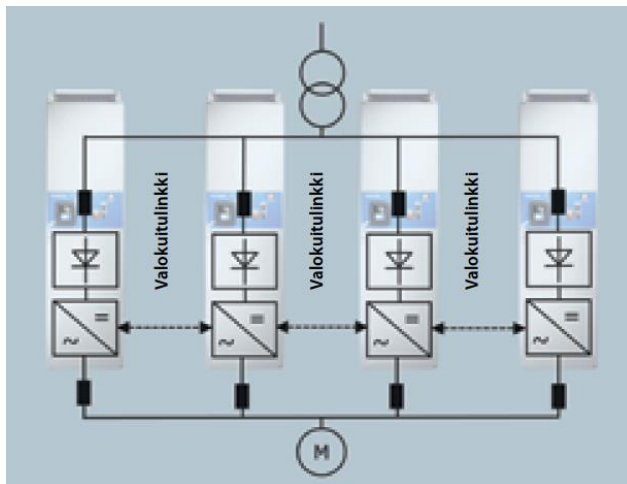
Kuva 4. PWM-ohjatun taajuusmuuttajan jännitteet /5/.

5.2 Taajuusmuuttajan käyttövarmuuden parantaminen

Eri taajuusmuuttajavalmistajat tarjoavat omia ratkaisujaan taajuusmuuttajien käyttövarmuuden parantamiseen. Tässä luvussa käydään läpi kahden yleisimmän valmistajan tuotteiden perusteet. Mikään tarjolla oleva järjestelmä ei ole vakio, vaan suunnitellaan aina tapauskohtaisesti käyttötarkoituksen mukaan.

5.2.1 VACON DriveSynch

VACON DriveSynch on Danfossin ohjausratkaisu, joka on suunniteltu Vaconin NX-malleille ja tyypillisesti yli 1 MW tehoisten moottoreiden ohjaamiseen /6/. Kuvassa 5 esimerkki DriveSynch-konfiguraatiosta.



Kuva 5. DriveSynch-esimerkkikonfiguraatio.

Järjestelmä on moduulirakenteinen ja laajennettavissa. Kokonaistehoa voidaan kasvattaa yhdistelemällä taajuusmuuttajia. Tällöin, jos esimerkiksi 1 MW:n moottoria halutaan ohjata neljällä taajuusmuuttajalla niin, että yhden taajuusmuuttajan putoaminen sallitaan, on jokainen taajuusmuuttaja teholtaan 330 kW. Taulukossa 1 esimerkkejä DriveSynch-ohjauksista.

DriveSynch on suunniteltu tehokkaammille käytöille ja eroaa toimintaperiaatteeltaan ja ominaisuuksiltaan tässä työssä käsiteltävistä tilanteista.

Taulukko 1. DriveSynch-ohjauksia.

Verkköjännite	Taajuusmuuttajan tyyppi	Kuormitettavuus					Moottorin akseliteho		Runkokoko	Mitat ja paino L x K x S (mm)/kg
		Pieni (+40 °C)		Suuri (+40 °C)		Maksimi- virta I _s [A]	Syöttöjännite 400 V			
		Jatkuva nimellis- virta I _n [A]	10 %:n ylivirta [A]	Jatkuva nimellis- virta I _n [A]	50 %:n ylivirta [A]		10 %:n ylikuorm. P [kW]	50 %:n ylikuorm. P [kW]		
380–500 V 50/60 Hz	2 x NXC 1150 S A 2 L 0 SSF	2150	2365	1940	2910	3492	1200	1100	2 x FR13	1606 x 2275 x 605/1350
	2 x NXC 1300 S A 2 L 0 SSF	2470	2717	2185	3278	3933	1350	1100		
	2 x NXC 1450 S A 2 L 0 SSF	2755	3031	2470	3705	4446	1500	1350		
	3 x NXC 1150 S A 2 L 0 SSF	3278	3605	2936	4403	5284	1800	1500	3 x FR13	1606 x 2275 x 605/1350
	3 x NXC 1300 S A 2 L 0 SSF	3705	4076	3278	4916	5900	2000	1800		
	3 x NXC 1450 S A 2 L 0 SSF	4133	4546	3705	5558	6669	2250	2000		

5.2.2 ABB ACH550 Redundant Drives

ABB tarjoaa LVI-sovelluksiin suunnattua kahdennettua järjestelmää, joka toteutetaan kahdella ACH550-taajuusmuuttajalla. Tehoalueet järjestelmälle on ~3,7–149 kW. Järjestelmään kuuluu kaksi analogista sisään- ja ulostuloa ja 6 digitaalista sisääntuloa. /7/ Kuvassa 6 valokuva järjestelmästä.



Kuva 6. ABB ACH550 Redudant Drives.

Tässä järjestelmässä taajuusmuuttajat on asennettu yhteen kaappiin, jossa ovesta merkkivalot, taajuusmuuttajien ja käsiohjauksen valintakytkimet, ohjauspaneelit sekä pääkytkin. Toiminnaltaan järjestelmä muistuttaa tässä työssä suunniteltua järjestelmää tilanteessa 1, jossa signaalit myös kopioidaan järjestelmän sisällä varataajuusmuuttajaan. Tätä järjestelmää ei kuitenkaan ole suunniteltu tässä työssä käsiteltäviin olosuhteisiin ja kaapin koko vaatisi enemmän tilaa kuin tässä työssä suunnitellut järjestelmät.

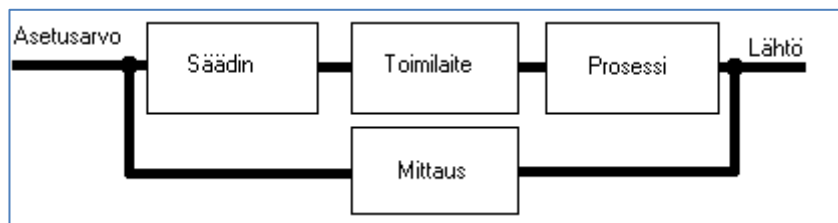
6 OHJAUS JA SÄÄTÖ YLEISESTI

Kaikki teolliset prosessit tarvitsevat säätöä ja ohjausta ainakin jossain määrin. Sääto voi tapahtua manuaalisesti ohjaustoimenpiteenä tai automaattisen säätimen tekemänä säätönä. Ohjauksella tarkoitetaan, että järjestelmälle annetaan ennalta määritetty ohjaussignaali ilman, että tiedetään prosessin mitattua arvoa. Sädöllä tarkoitetaan prosessista mitatun arvon perusteella tehtyä automaattista säätöä. Säätojärjestelmiä käytetään ulkopuolisten muutosten tai toisen säätöjärjestelmän aiheuttamien muutoksien vaikutuksen eliminointiin.

6.1 Avoin ja suljettu säätöpiiri

Avoimella säätöpiirillä tarkoitetaan toimilaitteen käsinohjausta, eli takaisinkytkentälenkki ei ole käytössä. Käsinohjausta käytetään esimerkiksi prosessikokeita tehdessä tai jos automaattinen ohjaus ei ole mahdollinen.

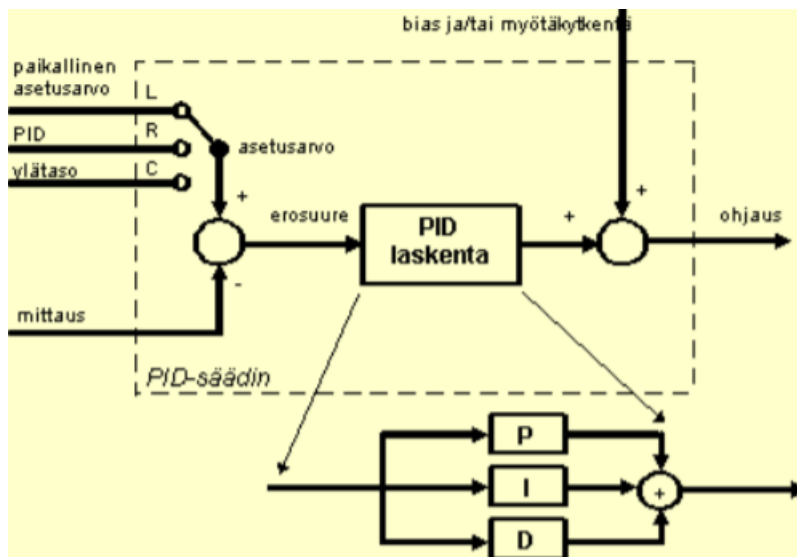
Takaisinkytketyssä, eli suljetussa säätöpiirissä asetusarvoa muutetaan mitatun lähtöarvon mukaan. Kuvassa 7 on esitetty suljetun säätöpiirin toimintaperiaate.



Kuva 7. Suljettu säätöpiiri.

6.2 PID-säädin

Teollisissa sovelluksissa säätimeksi valitaan lähes poikkeuksetta PID-säädin (Proportional-Integral-Derivative). PID-säätimestä voidaan käyttää useita eri yhdistelmiä kuten P-, PI-, ja PD-säätimiä. Kuvassa 8 esitetty PID-säätimen signaalit ja periaatteellinen rakenne.



Kuva 8. PID-säädin

PID-säädin koostuu seuraavista osista:

- P-osa, suhdetermi
- I-osa, integroiva termi
- D-osa, derivoiva termi. /8/

6.3 Mittaus

Jotta säätö olisi mahdollista, on suureita pystyttävä mittaamaan. Erilaisia mitattavia suureita teollisuusoloissa ovat mm. paine, pinnankorkeus, lämpötila, virtaus ja erilaiset päästöt. Mittaus tapahtuu mittausantureilla, jotka lähettävät mitatun suureen analogia- tai digitaalisignaalin säätimelle.

7 TARVE

Asiakkaan kannalta on oleellista, että laitoksen käyttöaste on korkea, eikä turhia keskeytyksiä tule. Voimalaitosten suunnittelun kannalta on huomioitava sopimuksissa määritelty vaadittu käyttöaste asiakkaan puolelta. Käyttöasteen nostamiseksi erinäisiä komponentteja kahdennetaan.

Yleisimmät taajuusmuuttajamallit teollisuus- ja voimalaitosolosuhteissa ovat pienemmän teholuokan, tyypillisesti max. 37 kW taajuusmuuttajat. Laitoskohtaisia eroja on kuitenkin jonkin verran riippuen laitoksen teholuokasta, tekniikasta ja käytössä olevista sovelluksista. Tästä syystä myös taajuusmuuttajista johtuvat viat ovat yleisimpiä näissä alemmissa teholuokissa. Teollisuudessa taajuusmuuttajat voidaan jakaa korjattaviin ja ei-korjattaviin. Usein juuri max. 37 kW tehoiset taajuusmuuttajat kuuluvat jälkimmäiseen, koska uuden vastaavan ostaminen ja asentaminen on järkevämpää kuin vian etsiminen ja korjaaminen.

Työtä voidaan käyttää jatkossa hyödyksi sähkösuunnittelussa ja sitä voidaan soveltaa erinäisiin tarpeisiin.

7.1 Käytettävyys

Laitevalmistajat ilmoittavat vikaantumisvälin, joka ilmoitetaan usein vikatiheytenä tai vikataajuutena λ eli vikojen määrä/käyttötunti. Käytettävyys A voidaan määritellä kaavalla:

$$\frac{MTBF}{MTBF+MTTR} * 100\% = A \quad (1)$$

Missä MTBF tarkoittaa vikaantumisväliä ja MTTR korjausaikaa. Esimerkiksi jos taajuusmuuttaja, jonka MTBF on ilmoitettu olevan 600 000 tuntia ja teollisuusoloissa keskimääräinen korjausaika, joka voidaan olettaa olevan 2 tuntia. Täten:

$$\frac{600\,000}{600\,000+2} * 100 = 99.99966667\% \quad (2)$$

Tämä tarkoittaa että ko. laite voi olla vikaantunut ~2.9 tuntia vuodessa. MTBF-arvoa ei tosin voida käyttää seinälle asennettavien taajuusmuuttajien kohdalla,

koska rikkoutuneen tilalle asennetaan yleensä uusi ja jos vanha saadaan korjattua, se siirretään joko varastoon tai muualle käytettäväksi /9/.

7.2 Yleisimmät taajuusmuuttajan viat

Teollisuusoloissa yleisimpiä vikoja, jotka johtavat taajuusmuuttajan toimimattomuuteen ovat mm:

- puhallinviat
- piirikortin viat
- liitinviat
- kytkinkomponenttien viat.

Näiden vikojen ilmenemistä edesauttavat huono ilmanlaatu sekä liiallinen lämpökuorma. /9/ Taajuusmuuttajan kahdennus vähentäisi taajuusmuuttajien kytkinkomponenttien vioista johtuvia keskeytyksiä prosessissa.

7.3 Huolto

Taajuusmuuttajien valmistajat toimittavat laitteille huolto-ohjeet, jotka sisältävät suosituksia huoltoväleistä ja huoltotoimista. Huoltosuositukset eroavat jonkin verran riippuen valmistajasta. Taulukossa 2 Danfoss VACON 100-taajuusmuuttajan huoltotaulukko. Voimalaitos- ja teollisuusolosuhteissa huollot pyritään tekemään aina seisakkien aikana, jolloin laitoksen prosessi on osittain tai kokonaan pysäytetty.

Taulukko 2. VACON 100-huoltotaulukko.

Huoltoväli	Huoltotehtävä
Säännöllisesti	Tarkista liittimien kiristysmomentit. Tarkista suodattimet.
6–24 kk (Väli on erilainen eri ympäristöissä.)	Tarkista verkkokaapelin liittimet, moottorikaapelin liittimet ja ohjausliittimet. Varmista, että puhallin toimii oikein. Varmista, että liittimissä, kokoojakiskoissa tai muissa pinnoissa ei ole korroosiota. Tarkista ovisuodattimet, jos laite on asennettu kaappiin.
24 kk (Väli on erilainen eri ympäristöissä.)	Puhdista jäähdytuselementti ja jäähdytystunneli
3–6 v	Vaihda IP54-mallin sisäinen puhallin.
6–10 v	Vaihda pääpuhallin.
10 v	Vaihda reaaliaikakellon paristo.

7.4 Korjaus

Taajuusmuuttajan mennessä rikki tilalle asennetaan yleensä uusi tai rikkoutunut korjataan. Tätä varten laitoksilla on omia tai ulkoistettuja asentajia, jotka kriittisissä tilanteissa hälytetään paikalle. Esimerkkitilanteessa taajuusmuuttaja menee yöllä rikki, asentaja hälytetään paikalle ja uusi asennetaan. Vian korjaamiseen sen ilmenemisestä saattaa pahimmillaan kulua 3-4 tuntia, riippuen monista eri tekijöistä. Paikalle hälytetty asentaja maksaa aina normaalia enemmän ja taajuusmuuttajavika tulee yritykselle kalliiksi.

8 VAATIMUKSET JA TOIMINTA

8.1 Yleistä

Kahdennuksen lisääminen pitää onnistua tarvittaessa ilman muutoksia uuteen tai jo olemassa olevaan keskukseen. Muita kriteerejä ovat, että järjestelmän on pysyttävä vuorottelemaan taajuusmuuttajia niiden valmistajasta riippumatta, eikä ylimääräisiä hälytyksiä, johtuen taajuusmuuttajan vaihdosta, saa syntyä.

8.2 Toimintavaatimukset

Toimintavaatimukset suunniteltiin ennen sähkösuunnittelun aloitusta automaatio-suunnittelijan kanssa ja sen pohjalta tehtiin automaatio-ohjelmointi. Logiikkaohjelma toimii VACON 100 ja NX-sarjojen ja ABB:n ACS880-sarjan taajuusmuuttajilla.

Laitevalinnat on esitelty luvussa 9.3.3.

Yleisesti kaikista tilanteista: Vika täytyy olla taajuusmuuttajasta johtuva, että taajuusmuuttajaa voidaan vaihtaa. Esimerkiksi moottorin ylikuormittuessa vaihtoa ei voi, eikä saa tapahtua. Logiikkaohjelman täytyy seurata piirin valmiutta, johon kuuluvat kuormakytkimen ja ohjausten automaationsulakkeen tilatieto. Logiikkaohjelman täytyy seurata myös kenttäväylän toimintaa. Taajuusmuuttajan ajautuessa vikatilaan, piirin ollessa epäkunnossa tai taajuusmuuttajan pudotessa pois kenttäväylältä, logiikkaohjelman pitää vaihtaa automaattisesti varataajuusmuuttaja käyttöön tai pysäyttää järjestelmä.

Tiedonsiirto tapahtuu logiikkaohjelmalta Profibus- tai Profinet-kenttäväylän kautta taajuusmuuttajille. Haluttu taajuusmuuttaja ohjataan käyttöön kontaktorien avulla. Logiikkaohjelma suunnitellaan ohjaamaan taajuusmuuttajien relelähtiä, jotka ohjaavat kontaktoreita taajuusmuuttajan vaihtotilanteessa.

Taajuusmuuttajia on voitava vuorotella tarvittaessa, sekä vaihtoautomaatiikan toimittava vikatilanteessa kaikkien järjestelmässä olevien taajuusmuuttajien kohdalla, esim. varataajuusmuuttajaa ajetaan ja tähän tulee vika, automaatio vaihtaa ta-

kaisin alkuperäiseen taajuusmuuttajaan, jos alkuperäisessä taajuusmuuttajassa ei ole vikaa. Taajuusmuuttaja täytyy voida asettaa myös huoltotilaan, mikä pakottaa ohjauksen vaihtumaan toiseen taajuusmuuttajaan.

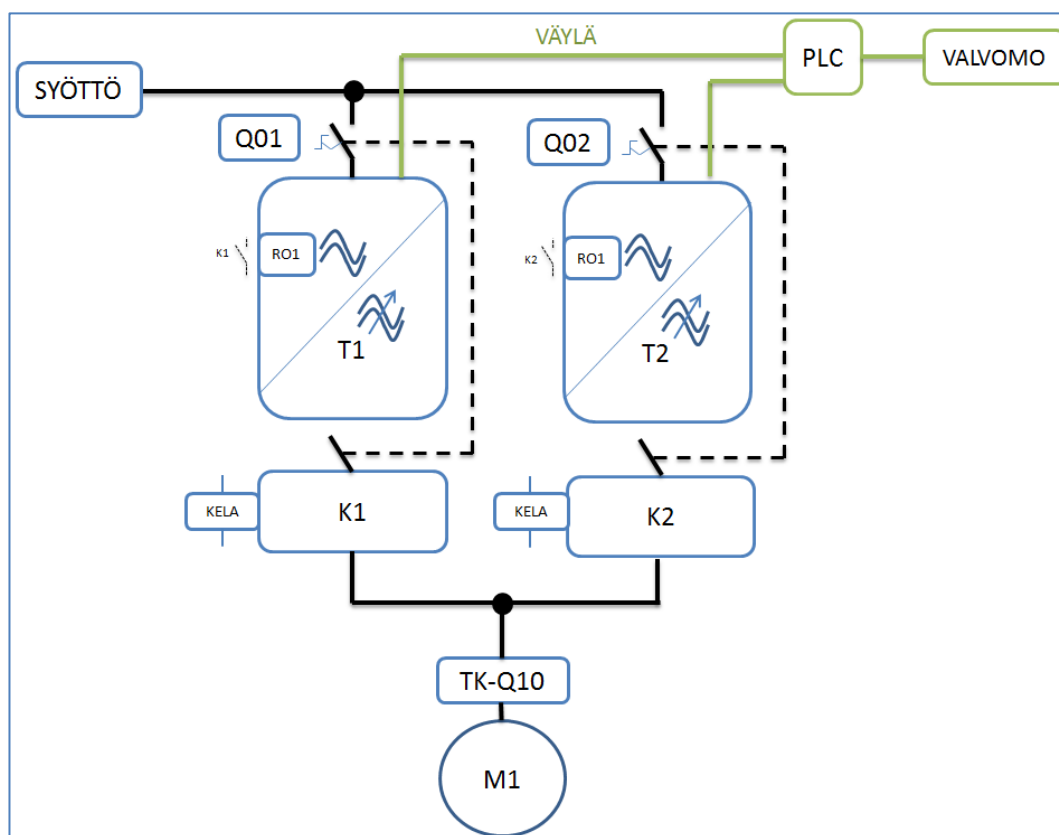
Useamman taajuusmuuttajakäytön tilanteessa logiikkaohjelmalla täytyy olla tieto siitä, mitkä taajuusmuuttajat ovat käytössä ja mikä on varalla. Minkä tahansa taajuusmuuttajan täytyy voida olla varalla, mutta vain varataajuusmuuttajan voi vaihtaa minkä tahansa moottoriohjauksen käyttöön. Useampi kuin yksi taajuusmuuttaja yhdelle moottorille ei saa olla kytkettynä missään tilanteessa samaan aikaan.

Samassa käytössä täytyy olla moottorien koko ja käyttötarkoitus sama. Taajuusmuuttajan automaattiseen vaihtotilanteeseen luodaan kaksi vaihtoehtoa. Taajuusmuuttajan vaihto moottorin pysähdyttyä ensin kokonaan tai taajuusmuuttajan vaihto moottorin vielä pyöriessä, kontaktorien vaihdon välissä täytyy kuitenkin olla viive molemmissa vaihtotilanteissa.

Jokaisella taajuusmuuttajalla täytyy olla kuormakytkin, jotka erottavat taajuusmuuttajan syöttö- ja lähtöpuolelta.

8.3 Toimintakuvaus

Tilanne 1: 1 kpl taajuusmuuttajalla T1 ohjataan moottoria M1. Taajuusmuuttaja T2 varalla. Molemmat taajuusmuuttajat ovat jatkuvasti syötettyinä samasta syö-
töstä. Kuvassa 9 esitetty tilanteen 1 toimintaperiaate.

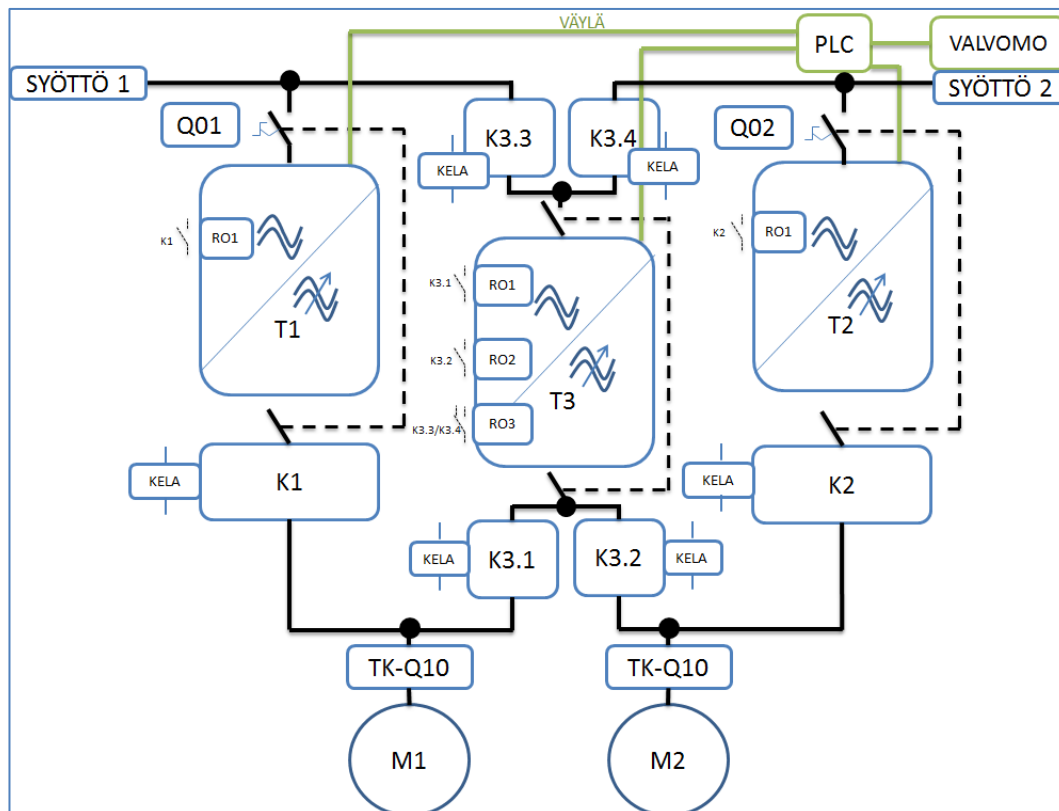


Kuva 9. Tilanne 1.

Normaalitilassa T1 taajuusmuuttajan RO1 relelähde on päällä ja jos T1 tulee vika avautuu sen relelähde ja K1 avautuu ja moottori pysähtyy tarvittaessa. Pienen viiveen jälkeen varataajuusmuuttajan relelähde RO1 kytkeytyy, joka kytkee kontaktorin K2 kelan, joka kytkee T2:n T1:n tilalle ja moottori käynnistyy uudelleen.

Tilanne 2: 2 taajuusmuuttajalla T1 ja T2 ohjataan moottoreita M1 ja M2. Taajuusmuuttaja T3 varalla. Molemmat aktiiviset taajuusmuuttajat jatkuvasti syötet-

tyinä omista syötöstä. Varalla olevan taajuusmuuttajan T3 syötöksi voidaan valita T1:n tai T2:n syöttö. Kuvassa 10 tilanteen 2 toimintaperiaate.

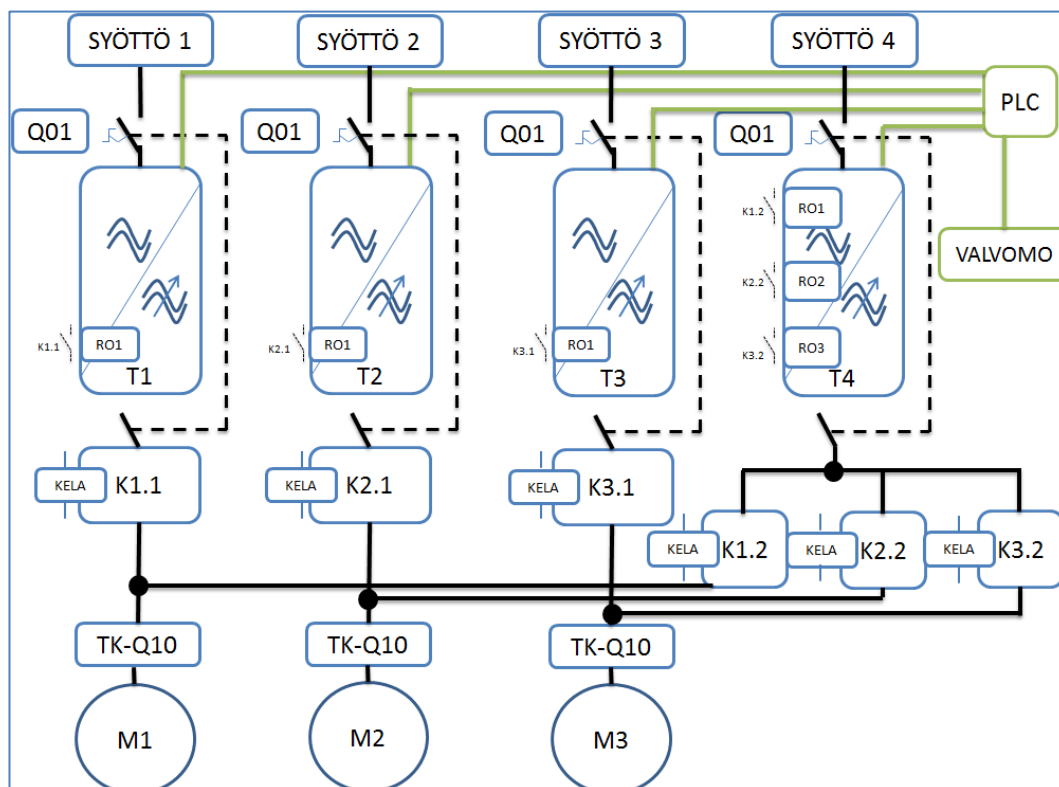


Kuva 10. Tilanne 2.

Jos T1 tai T2 tulee vika, avautuu vikaantuneen taajuusmuuttajan relälähtö RO1 ja vikaantunutta taajuusmuuttajaa ohjaava kontaktori avautuu. Varataajuusmuuttajan relälähtö RO1 tai RO2 kytkeytyy riippuen siitä, kumpi taajuusmuuttajista on vikaantunut, mikä kytkee kontaktorin K3.1 tai K3.2 kelan, joka kytkee T3 viallisen taajuusmuuttajan tilalle. Varataajuusmuuttajan syöttöä ohjataan relälähdöllä RO3, joka kytkee kontaktorin K3.3 (syöttö 1) tai K3.4 (syöttö 2) kelan.

Tilanne 3: 3 kpl taajuusmuuttajilla T1-T3 ohjataan moottoreita M1–M3. Yksi taajuusmuuttaja T4 varalla. Jokaisella taajuusmuuttajalla on oma erillinen syöttö.

Jos T1-T3 tulee vika, avautuu viallisen taajuusmuuttajan relelähdtö RO1 ja vikaantunutta taajuusmuuttajaa ohjaava kontaktori avautuu. Varataajuusmuuttajan relelähdoistä RO1–RO3 kytkeytyy se, missä on ohjaus vaihdosta vikaantuneen taajuusmuuttajan tilalle, mikä kytkee kontaktorin K1.2–K3.2 kelan, joka kytkee T4:n viallisen taajuusmuuttajan tilalle. Kuvassa 11 tilanteen 3 toimintaperiaate.



Kuva 11. Tilanne 3.

9 SUUNNITTELU

Suunnittelu toteutettiin seinälle asennettaville taajuusmuuttajille. Näitä ovat mm. ABB ACS880-01-sarja, sekä Danfoss VACON NXP- ja 100-sarja. Runkokoot ABB:lla ovat R1–R9 ja Danfossilla MR4–MR9(100-sarja) ja FR4–FR9 (NXP/C). Laitteet ovat automaatioväyläliitännäisiä. Kuvassa 12 esitetty ABB:n ACS880-01-sarjan taajuusmuuttaja.



Kuva 12. ABB ACS880-01

9.1 Esisuunnittelu

Koska kahdennus oli toteutettava riippumatta taajuusmuuttajan valmistajasta, ei ohjauksen suunnittelussa voitu käyttää taajuusmuuttajien ohjauskorttien liittämistä yhteen, eikä taajuusmuuttajien master/slave-ominaisuutta. Suunnittelussa olisi ollut mahdollisuus ohjata taajuusmuuttajia IO:lla, mutta niitä päätettiin olla käyttämättä, jotta niitä voitaisiin hyödyntää muuten. Tästä syystä työ päätettiin toteuttaa käyttäen hyödyksi väylää, taajuusmuuttajien relelähtöjä, kontakteita ja omaa logiikkaohjelmaa. Esisuunnittelussa otettiin huomioon taajuusmuuttajien samanaikaisten käynnistysten estot.

9.2 Sähkösuunnittelu

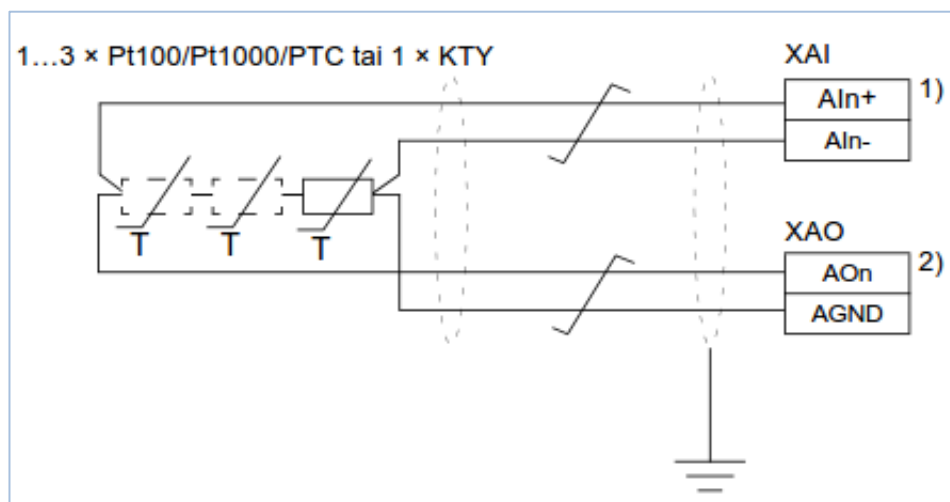
Sähköpiirustuksiin sisältyvät pääkaavio, piirikaavio, asennusohje ja johtosarjojen tuotantokuva. Sähköpiirustukset toteutettiin Eplan-suunnitteluohjelmalla. Ensin suunniteltiin kotelon päävirtapiiri ja taajuusmuuttajille tarvittavat tiedot kentältä. Tässä tapauksessa turvakytkimien, valintakytkimien ja moottoreiden termistoreiden liittynät, jonka jälkeen kontaktoreiden ohjaukset ja tarvittavat tiedot automaatiojärjestelmään.

9.2.1 Pääkaavio

Pääkaavion tarkoitus on esittää suunnitellun järjestelmän tekniset tiedot, pääpiirit ja niiden komponentit nimellisvirtoineen. Jokaiselle tapaukselle piirrettiin oma pääkaavio, missä oli esitetty virtaportaiden välillä olevat eroavaisuudet. Pääkaaviot piirrettiin Eplan-suunnitteluohjelmalla.

9.2.2 Piirikaavio

Piirikaaviossa esitetään komponenttien kytkentä ja ohjauksen tarkempi toimintaperiaate. Piirikaavio suunniteltiin niin, että se olisi mahdollisimman kattava. Taajuusmuuttajavalmistajien erilaiset ulkoiset liitännät piti ottaa huomioon. Piirikaaviosta toteutettiin kaikki em. tilanteet ja lämpötilan mittauksien vaihtoehdot PT100:lla ja PTC-termistoreilla. Kuvassa 13 ABB:n ACS880 hardwaremanuaalista kytkentä PT100:lle. Lämpötilatieto PT100:lta kytketään analogia I/O:lle, PTC-kytkentä voidaan toteuttaa +24V ja DI6 välillä tai erillisellä lisäkorilla. Taulukossa 3 lämpöantureiden sallitut kytkennät ABB:n taajuusmuuttajilla.



Kuva 13. ABB AI/O -kytkentä lämpötilamittauksille /10/.

Taulukko 3. ABB taajuusmuuttajien lämpöantureiden kytkennät.**Lämpöanturien sallittu kytkentä (ei ATEX moottorit)**

Tilanne	PTC kytkentä	PT100 kytkentä
Moottori vahvennetulla eristyksellä missä anturit ovat vahvennetun eristyksen piirissä. Esim. ABB moottoreilla tämä toteutuu aina valittaessa +405 optio.	Voidaan kytkeä suoraan taajuusmuuttajan ohjauskortille (+24V ja DI6 välille).	Voidaan kytkeä suoraan taajuusmuuttajan ohjauskortille (AI ja AO välille).
Jos taajuusmuuttajaa ohjataan pelkästään paneelilta eikä käytössä ole mitään I/O tuloa/lähtöä ja/tai kenttäväylämoduulia.	Voidaan kytkeä suoraan taajuusmuuttajan ohjauskortille (+24V ja DI6 välille).	Voidaan kytkeä suoraan taajuusmuuttajan ohjauskortille (AI ja AO välille).
Jos yllä olevat kohdat eivät toteudu ACS880-01 ja -04 taajuusmuuttaja	FPTC-01 +L536 Tai FPTC-02 +L537 (ATEX) Tai FAIO-01 +L525	FAIO-01 +L525
Jos yllä olevat kohdat eivät toteudu ACS880-07 taajuusmuuttaja	Termistorirele +L505 Tai FPTC-01 +L536 Tai FPTC-02 +L537 (ATEX) Tai FAIO-01 +L525	PT100 rele +L506 jos haluat vain kosketintiedon. Tai FAIO-01 +L525 jos halutaan lukea lämpötilat taajuusmuuttajasta.
Jos yllä olevat kohdat eivät toteudu ACS580-01 taajuusmuuttaja	CMOD-02 +L523	Vain ulkoisen PT100 releen kautta mikä kytketään automaatioon tai taajuusmuuttajan DI tulolle.
Jos yllä olevat kohdat eivät toteudu ACS380-04 taajuusmuuttaja	Vain ulkoisen termistorireleen kautta mikä kytketään automaatioon tai taajuusmuuttajan DI tulolle.	Vain ulkoisen PT100 releen kautta mikä kytketään automaatioon tai taajuusmuuttajan DI tulolle.

Koska Danfossin taajuusmuuttajissa lämpötilan mittaus toimii samalla periaatteella, lukuun ottamatta tilannetta, jossa PT100:n kytkeminen ei onnistu AI/AO-kytkennällä, voidaan näiden kytkentöjä käyttää myös Danfossin taajuusmuuttajissa. Molempien valmistajien kytkennöissä on huomioitava, että lämpötilan mitattu tieto on monistettava, eikä sitä siksi voida kytkeä suoraan taajuusmuuttajaan.

Piirikaavio jaettiin kolmeen osaan; teho-osaan, kotelon ohjauksiin ja ohjausyksikön, eli taajuusmuuttajan ulkoisiin ohjauksiin. Piirikaavio toteutettiin pääkaavion tavoin myös Eplan-suunnitteluohjelmalla.

9.2.3 Laitevalinnat

Laitevalinnoissa tärkeitä kriteereitä olivat laitteiden hinta, hyvä toimivuus teollisuusympäristöissä ja kuinka yleisiä laitteet olivat. Kontaktoreiksi valittiin tästä syystä Schneider Electricin LC1-sarja 230 VAC-keloilla ja kytkimiksi ABB:n OT-sarjan 6-napaiset erotuskytkimet. Kytken valintaan vaikutti myös se, että taajuusmuuttajan erotus päävirrasta voitiin tehdä yhdellä kytkimellä ja tällä tavoin saatiin säästettyä tilaa kotelosta. Johdonsuojakatkaisijoiksi valittiin ABB:n S-sarja. Metallisten ohjauskoteloiden valmistajiksi valittiin Rittal sopivien hintojen ja laajan valikoimansa ansiosta. Myös muita valmistajia käytettiin, että kaikille virtaportaille saatiin oikean kokoinen ohjauskotelo. Kaikissa laitteissa oli lisäksi huomioitava käytetty jännite. Kaikissa laitteissa suositettiin standardisoitua DIN-kiskoasennusta, mutta tämä ei ollut mahdollista suuremmilla virroilla laitteiden koon takia.

Kaikki laitevalinnat on esitetty osaluettelossa (LIITE 1).

Riippuen moottorin lämpötilan mittaustavasta ja suojasta, tarvitaan sen mukaiset komponentit. Lämpötilatiedon kopiointiin PTC-antureilla käytettiin ABB:n CM-MSS.22S-termistorirelettä. Samaa relettä käytetään, jos lämpötilatietoa ei jostain syystä haluta tuoda taajuusmuuttajalle, vaan pelkkä lämpötilan suojaus termistorireleellä riittää. PT100-antureita varten tarvittiin PR electronicsin 5115 ohjelmoitavalla viestilaskin, jolla signaalit saatiin tuplattua.

Kaapeloinnissa käytettiin taajuusmuuttajavalmistajien suosituksia. Tästä syystä relelähtöjen kaapelointi toteutettiin Lapp Groupin Ölflex Classic 110 CY:llä. Instrumenttikaapelointi Drakan NOMAKilla ja tehokaapelointi Prysiam Groupin MCMK:lla. Tarkemmat kaapelikoot on esitetty piirikaavioissa sekä seuraavassa luvussa.

9.2.4 Mitoitus

Järjestelmä suunniteltiin eri virtaportaisiin. Virtaportaat tehtiin taajuusmuuttaja-valmistajien teho- ja sulaketaulukkoita vertaamalla. Lisäksi laitteiden hinnan nousua tarkasteltiin. Taulukossa 4 ABB:n ACS880-tehotaulukko ja taulukossa 5 Danfossin 100-sarjan tehotaulukko.

Taulukko 4. ABB ACS880-tehotaulukko /10/.

$U_N = 400 \text{ V}$										
02A1-5	R1	2,1	3,1	2,1	0,75	1,8	2,0	0,55	1,7	0,55
03A0-5	R1	3,0	4,1	3,0	1,1	2,6	2,8	1,1	2,1	0,75
03A4-5	R1	3,4	5,6	3,4	1,1	2,9	3,2	1,1	3,0	1,1
04A8-5	R1	4,8	6,8	4,8	1,5	4,2	4,6	1,5	3,4	1,1
05A2-5	R1	5,2	9,5	5,2	2,2	4,5	5,0	2,2	4,8	1,5
07A6-5	R1	7,6	12,2	7,6	3,0	6,6	7,2	3,0	5,2	2,2
11A0-5	R1	11,0	16,0	11,0	4,0	9,5	10,4	4,0	7,6	3,0
014A-5	R2	14	21	14	5,5	12	13	5,5	11	4,0
021A-5	R2	21	29	21	7,5	18	19	7,5	14	5,5
027A-5	R3	27	42	27	11	23	26	11	21	7,5
034A-5	R3	34	54	34	15	29	32	15,0	27	11
040A-5	R4	40	64	40	18,5	35	38	18,5	34	15
052A-5	R4	52	76	52	22	45	49	22	40	18,5
065A-5	R5	65	104	65	30	56	62	30	52	22
077A-5	R5	77	122	77	37	67	73	37	65	30
096A-5	R6	96	148	96	45	83	91	45	77	37
124A-5	R6	124	178	124	55	107	118	55	96	45
156A-5	R7	156	247	156	75	135	148	75	124	55
180A-5	R7	180	287	180	90	156	171	90	156	75
240A-5	R8	240	350	240	110	208	228	110	180	90
260A-5	R8	260	418	260	132	225	247	132	240*	110
361A-5	R9	361	542	361	200	313	343	160	302	160
414A-5	R9	414	542	414	200	359	393	200	361 **	200

Taulukko 5. VACON 100-tehotaulukko /11/.

Tehoalue 380-500 V / VACON® 100 INDUSTRIAL, VACON® 100 FLOW

Verkkojännite 380-500 V, 50-60 Hz	Moduulitaajuusmuuttaja	Käapitetty taajuusmuuttaja	Pieni ylikuormitus -INDUSTRIAL, -FLOW			Suuri ylikuormitus -INDUSTRIAL			Maksimi-virta I _s (2s) [A]	Koko-luokka
			Kuormitet-tavuus		Moottorin akseliteho	Kuormitet-tavuus	Moottorin akseliteho			
			40 °C jatkuva virta I _{cont} [A]	400 V syöttöteho 40 °C LO [kW]			480 V NEMA /NEC teho 40 °C LO [HP]	50 °C Jatkuva virta I _{Hour} [A]		
Taajuusmuuttajan tyyppi										
VACON 0100-3L-0003-5-xxxx			3,4	1,1	1,5	2,6	0,75	1	5,2	MR4
VACON 0100-3L-0004-5-xxxx			4,8	1,5	2	3,4	1,1	1,5	6,8	
VACON 0100-3L-0005-5-xxxx			5,6	2,2	3	4,3	1,5	2	8,6	
VACON 0100-3L-0008-5-xxxx			8	3	4	5,6	2,2	3	11,2	
VACON 0100-3L-0009-5-xxxx			9,6	4	5	8	3	4	16	
VACON 0100-3L-0012-5-xxxx			12	5,5	7,5	9,6	4	5	19,2	MR5
VACON 0100-3L-0016-5-xxxx			16	7,5	10	12	5,5	7,5	24	
VACON 0100-3L-0023-5-xxxx			23	11	15	16	7,5	10	32	
VACON 0100-3L-0031-5-xxxx			31	15	20	23	11	15	46	
VACON 0100-3L-0038-5-xxxx			38	18,5	25	31	15	20	62	
VACON 0100-3L-0046-5-xxxx			46	22	30	38	18,5	25	76	MR6
VACON 0100-3L-0061-5-xxxx			61	30	40	46	22	30	92	
VACON 0100-3L-0072-5-xxxx			72	37	50	61	30	40	122	MR7
VACON 0100-3L-0087-5-xxxx			87	45	60	72	37	50	144	
VACON 0100-3L-0105-5-xxxx			105	55	75	87	45	60	174	MR8
VACON 0100-3L-0140-5-xxxx	*	-ED	140	75	100	105	55	75	210	
VACON 0100-3L-0170-5-xxxx	*	-ED	170	90	125	140	75	100	280	
VACON 0100-3L-0205-5-xxxx	*	-ED	205	110	150	170	90	125	340	
VACON 0100-3L-0261-5-xxxx	*	-ED	261	132	200	205	110	150	410	
VACON 0100-3L-0310-5-xxxx	*	-ED	310	160	250	251	132	200	502	MR9
VACON 0100-3L-0385-5-xxxx	**	-ED	385	200	300	310	160	250	620	
VACON 0100-3L-0460-5-xxxx	**	-ED	460	250	350	385	200	300	770	MR10
VACON 0100-3L-0520-5-xxxx	**	-ED	520	250	450	460	250	350	920	
VACON 0100-3L-0590-5-xxxx	**	-ED	590	315	500	520	250	450	1040	
VACON 0100-3L-0650-5-xxxx	**	-ED	650	355	500	590	315	500	1180	MR12
VACON 0100-3L-0730-5-xxxx	**	-ED	730	400	600	650	355	500	1300	
VACON 0100-3L-0820-5-xxxx	**	-ED	820	450	700	730	400	600	1460	
VACON 0100-3L-0920-5-xxxx	**	-ED	920	500	800	820	450	700	1640	
VACON 0100-3L-1040-5-xxxx	**	-ED	1040	560	900	920	500	800	1840	
VACON 0100-3L-1180-5-xxxx	**	-ED	1180	630	1000	920	500	800	1840	

* IP00, IP21 ja IP54
** IP00

Taulukoissa nimellisjännite on 400 V, mutta koska kaapelien koot ja tehoalueet eivät vaihdelleet merkittävästi eri jännitteiden ja taajuusmuuttajavalmistajien välillä, voidaan tätä tarkastelua käyttää myös muissa jännitteissä, mikäli suojauksen mitoitus otetaan huomioon. ABB:n ACS880-sulaketaulukkoa (Taulukko 6.) ja Danfoss VACON 100-sulaketaulukkoa (Taulukko 7.) käytettiin myös mitoituksen perusteena. Lisäksi mitoittamiseen käytettiin VACON NX:n sulaketaulukkoa.

Taulukko 6. ACS880-sulakkeet.

gG-sulakkeet (yksi sulake vaihetta kohden)								
Taajuus- muutta- jan tyyppi ACS880- 01...	Min. oiko- sulku- virta ¹⁾	Tulo- virta	Sulake					
	A	A	A	A ² s	V	Valmistaja	Tyyppi	IEC- koko
087A-3	1 000	87	100	63 600	500	ABB	OFAF000H100	000
105A-3	1 300	105	125	103 000	500	ABB	OFAF000H125	00
145A-3	1 700	145	160	185 000	500	ABB	OFAF000H160	00
169A-3	3300	169	250	600000	500	ABB	OFAF0H250	0
206A-3	5500	206	315	710000	500	ABB	OFAF1H315	1
246A-3	6400	246	355	920000	500	ABB	OFAF1H355	1
293A-3	7800	293	425	1300000	500	ABB	OFAF2H425	2
363A-3	9400	363	500	2000000	500	ABB	OFAF2H500	2
430A-3	10200	430	630	2800000	500	ABB	OFAF3H630	3
U_N = 500 V								
02A1-5	17	2,1	4	53	500	ABB	OFAF000H4	000
03A0-5	40	3,0	6	110	500	ABB	OFAF000H6	000
03A4-5	40	3,4	6	110	500	ABB	OFAF000H6	000
04A8-5	80	4,8	10	355	500	ABB	OFAF000H10	000
05A2-5	80	5,2	10	355	500	ABB	OFAF000H10	000
07A6-5	120	7,6	16	700	500	ABB	OFAF000H16	000
11A0-5	120	11,0	16	700	500	ABB	OFAF000H16	000
014A-5	200	14	25	2 500	500	ABB	OFAF000H25	000
021A-5	250	21	32	4 500	500	ABB	OFAF000H32	000
027A-5	350	27	40	7 700	500	ABB	OFAF000H40	000
034A-5	400	34	50	15 400	500	ABB	OFAF000H50	000
040A-5	500	40	63	21 300	500	ABB	OFAF000H63	000
052A-5	800	52	80	37 000	500	ABB	OFAF000H80	000
065A-5	1 000	65	100	63 600	500	ABB	OFAF000H100	000
077A-5	1 000	77	100	63 600	500	ABB	OFAF000H100	000
096A-5	1 300	96	125	103 000	500	ABB	OFAF000H125	00
124A-5	1 700	124	160	185 000	500	ABB	OFAF000H160	00
156A-5	3300	156	250	600000	500	ABB	OFAF0H250	0
180A-5	5500	180	315	710000	500	ABB	OFAF1H315	1
240A-5	6400	240	355	920000	500	ABB	OFAF1H355	1
260A-5	7000	260	400	1100000	500	ABB	OFAF2H400	2
361A-5	10200	361	630	2800000	500	ABB	OFAF3H630	3
414A-5	10200	414	630	2800000	500	ABB	OFAF3H630	3

Taulukko 7. VACON 100-sulakkeet.

Kokoluokka	Tyyppi	IL [A]	Sulake (gθ/gL) [A]	Verkko, moottori ja jarruvastuskaapeli i* Cu [mm ²]	Liitäntäkaapelikoko	
					Verkkokaapeli n liitin [mm ²]	Maadoitusliitin [mm ²]
MR4	0003 2—0004 2 0003 5—0004 5	3.7—4.8 3.4—4.8	6	3x1.5+1.5	1-6 kiinteä 1-4 säikeellinen	1-6
	0006 2—0008 2 0005 5—0008 5	6.6—8.0 5.6—8.0	10	3x1.5+1.5	1-6 kiinteä 1-4 säikeellinen	1-6
	0011 2—0012 2 0009 5—0012 5	11.0—12.5 9.6—12.0	16	3x2.5+2.5	1-6 kiinteä 1-4 säikeellinen	1-6
MR5	0018 2 0016 5	18.0 16.0	20	3x6+6	1-10 Cu	1-10
	0024 2 0023 5	24.0 23.0	25	3x6+6	1-10 Cu	1-10
	0031 2 0031 5	31.0 31.0	32	3x10+10	1-10 Cu	1-10
MR6	0038 5	38.0	40	3x10+10	2,5-50 Cu/Al	2.5-35
	0048 2 0046 5	48.0 46.0	50	3x16+16 (Cu) 3x25+16 (Al)	2,5-50 Cu/Al	2.5-35
	0062 2 0061 5	62.0 61.0	63	3x25+16 (Cu) 3x35+10 (Al)	2,5-50 Cu/Al	2.5-35
MR7	0075 2 0072 5	75.0 72.0	80	3x35+16 (Cu) 3x50+16 (Al)	6-70 mm ² Cu/Al	6-70 mm ²
	0088 2 0087 5	88.0 87.0	100	3x35+16 (Cu) 3x70+21 (Al)	6-70 mm ² Cu/Al	6-70 mm ²
	0105 2 0105 5	105.0	125	3x50+25 (Cu) 3x70+21 (Al)	6-70 mm ² Cu/Al	6-70 mm ²
MR8	0140 2 0140 5	140.0	160	3x70+35 (Cu) 3x95+29 (Al)	Pultin koko M8	Pultin koko M8
	0170 2 0170 5	170.0	200	3x95+50 (Cu) 3x150+41 (Al)	Pultin koko M8	Pultin koko M8
	0205 2 0205 5	205.0	250	3x120+70 (Cu) 3x185+57 (Al)	Pultin koko M8	Pultin koko M8

Teho ja sulaketaulukon lisäksi tarvittiin tieto millaiset tehokaapelit taajuusmuuttajille vähintään tarvitaan. Taulukossa 8 on esitelty ACS880-taajuusmuuttajamallin vähimmäiskaapelikoot.

Taulukko 8. ABB ACS880-vähimmäiskaapelikoot /10/.

Taajuus- muuttajan tyyppi ACS880- 01-	Runko- koko	IEC ¹⁾	
		Kuparikaapelin tyyppi	Alumiinikaapelin tyyppi
		mm ²	mm ²
04A0-3	R1	3 × 1,5	-
05A6-3	R1	3 × 1,5	-
07A2-3	R1	3 × 1,5	-
09A4-3	R1	3 × 1,5	-
12A6-3	R1	3 × 1,5	-
017A-3	R2	3 × 6	-
025A-3	R2	3 × 6	-
032A-3	R3	3 × 10	-
038A-3	R3	3 × 10	-
045A-3	R4	3 × 16	3 × 35
061A-3	R4	3 × 25	3 × 35
072A-3	R5	3 × 35	3 × 50
087A-3	R5	3 × 35	3 × 70
105A-3	R6	3 × 50	3 × 70
145A-3	R6	3 × 95	3 × 120
169A-3	R7	3 × 120	3 × 150
206A-3	R7	3 × 150	3 × 240
246A-3	R8	2 × (3 × 70) ³⁾	2 × (3 × 95)
293A-3	R8	2 × (3 × 95) ³⁾	2 × (3 × 120)
363A-3	R9	2 × (3 × 120)	2 × (3 × 185)
430A-3	R9	2 × (3 × 150)	2 × (3 × 240)

Vertailemalla eri valmistajien taulukoita huomattiin, että valmistajien runkokoot, tehot ja kaapelien vähimmäispoikkipinnat olivat samanlaisesti porrastettu. Tällä tarkistelulla valittiin suunniteltavaksi taulukossa 3 virtaportaat 2,7–22 A, 29–41 A, 55–97 A ja 132 A. Tällä portauttamisella helpotetaan myös mahdollisesti myöhemmin tulevia muutoksia asiakkaan moottoreissa ja taajuusmuuttajissa. Taulukossa 9 on esitetty valitut virtaportaat ja tarkasteltavat taajuusmuuttajat.

Taulukko 9. Virtaportaat.

Virtaporras	Moottorin In(A)	ABB ACS880 In(A)	Danfoss 100 In(A)	Danfoss VACON NXP/C In(A)
1.	2,7	3	3	3
	3,6	4,8	4	4
	4,9	5,2	5	5
	6,5	7,6	8	7
	8,5	11	9	9
	11,5	14	12	12
	15,5	21	16	16
	22	27	23	22
2.	29	34	31	31
	35	40	38	38
	41	52	46	45
3.	55	65	61	61
	66	77	72	72
	80	96	87	87
	97	124	105	105
4.	132	156	140	140

Laitevalmistajien manuaaleissa on omat suositukset mitoituksiin kuin myös eri teollisuuden toimijoilla. Esimerkkinä paperitehtaiden pumppu- ja puhallinkäytöt, jotka on pääasiassa mitoitettu raskaan käytön mukaan, missä moottorin 1,5 kertainen nimellisvirta toteutuu korkeintaan 1 min ajan ja 5 min välein 40 °C asteessa. Mitoituksen suositukset ovat suuntaa antavia ja vaihtelevat paljon ympäristön ja sovellutuksen mukaan. Tässä työssä mitoitus on tehty laitevalmistajien suositusten mukaisesti normaalikäyttöön.

Taulukossa 10 on esitetty eri virtaportaiden tehokaapeleiden, kytkimien ja kontaktoreiden valinnat.

Taulukko 10. Laite- ja kaapelivalinnat.

Virtaporras	ABB	Schneider	Kuparikaapelin tyyppi mm ²	ABB ACS880 In(A)	Danfoss VACON NXP/C In(A)	Danfoss VACON 100 In(A)
	OT_F6	LC1_				
1.	32	D32P7	3 × 1,5	3	3	3
				4,8	4	4
				5,2	5	5
				7,6	8	7
				11	9	9
			3 × 6	14	12	12
				21	16	16
			3 × 10	27	23	22
2.	63	D65AP7		34	31	31
			3 × 16	40	38	38
			3 × 25	52	46	45
3.	125	D150P7	3 × 35	65	61	61
				77	72	72
			3 × 50	96	87	87
			3 × 95	124	105	105
4.	160*	F185	3 × 120	156	140	140
*2 x OT160P3EV3P						

9.2.5 EMC

EMC tulee sanoista Electromagnetic compatibility, joka tarkoittaa sähkömagneettista yhteensopivuutta. Suunnittelussa EMC oli otettava huomioon, koska tällöin vältetään järjestelmään kohdistuvista sähkömagneettisista häiriöistä. EMC:stä on säädetty EU-direktiivi, jota pitää noudattaa. Se sisältää vaatimuksia siitä, että laitteet on rakennettava siten, etteivät ne kehitä sähkömagneettista häiriötä jotka estäisivät muita laitteita toimimasta tarkoituksenmukaisesti ja, että itse laite sietää sähkömagneettisia häiriöitä niin, että se pystyy toimimaan tarkoituksenmukaisesti.

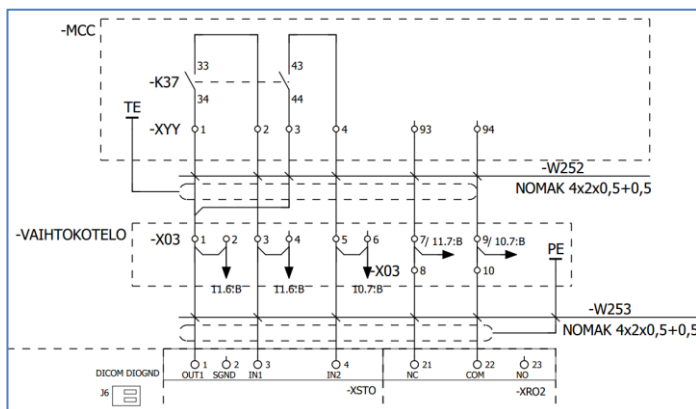
Sähkömagneettisia häiriöitä estettiin seuraavin keinoin:

- metallisella kotelolla, joka maadoitettiin
- suojatuilla kaapeleilla
- ohjauksen ja taajuusmuuttajan etäisyydet pidettiin tarpeeksi suurina
- eri jännite- ja signaalitasoja ei niputettu yhteen
- kaapeleiden suojavaipan asentamisella 360-asteisella liitoksella metallirunkoon.

9.2.6 STO-toiminto

STO eli Safe Torque Off, vääntömomentin aikaan saavan energiasyötön katkaisu on taajuusmuuttajan toiminto, jota voidaan käyttää luomaan turva- tai valvontapiirit, jotka pysäyttävät taajuusmuuttajan vaaratilanteessa. Kun STO-toiminto on aktiivinen, estää se taajuusmuuttajaa luomasta moottorin pyörittämiseen tarvittavaa vääntömomenttia. /10/

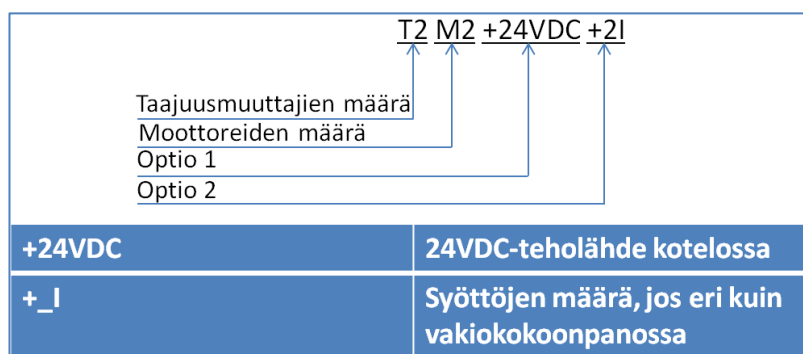
ABB:n taajuusmuuttajissa STO-toiminto sisältyy vakio-ohjauskorttiin ja Danfosin taajuusmuuttajiin vaaditaan lisäkortti. Molemmissa taajuusmuuttajissa STO-toiminto perustuu samaan toimintaperiaatteeseen, jossa kaksi eri tuloa on oltava kytkettynä +24 V signaaliin. STO-toiminnon kanssa käytetään yleensä turvareleitä. Turvareleen ja STO-toiminnon kytkentä ABB:n ACS880-taajuusmuuttajalla kuvassa 14. Kytkenässä käytetään relelähtöä turvareleen takaisinkytkentänä.



Kuva 14. STO-toiminto ja turvarele takaisinkytkennällä.

9.2.7 Merkkikoodit

Järjestelmää varten suunniteltiin omat merkkikoodit, joilla asiakkaat voivat tilata järjestelmän. Merkkikoodit perustuvat eri virtaportaisiin ja tilanteisiin. Kuvassa 15 esitetty lajimerkkiavain, jossa selitettynä eri merkkikoodien merkit.



Kuva 15. Merkkikoodiavain

9.2.8 Varaosat

Varaosiksi tähän järjestelmään valittiin ne osat, jotka kuluvat nopeiten. Tällaisia olivat vaihtoja tekevät vaihtokontaktorit. Asiakkaalle tarjotaan järjestelmän myynnin yhteydessä myytävän kokoluokan kontaktoreita saman verran kuin järjestelmässä on. Halutessaan asiakas voi kuitenkin ostaa vain puolet, esimerkiksi jos asiakkaan varasto on rajallinen.

9.2.9 Optiot

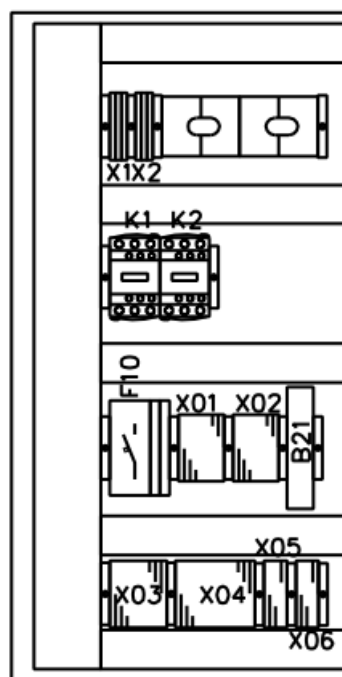
Optioita suunnitellaan ja tarjotaan asiakkaiden tarpeiden mukaan. Yksi tällainen on 24 VDC-jännitteen toteuttaminen kytkentäkotelossa, mikäli 24VDC-jännitettä ei saada muualta. Teholähde tällaisissa tilanteissa on Phoenix contactin QUINT-PS/1AC/24DC/ 3.5. Jos tarkoituksena on syöttää useampaa taajuusmuuttajaa, tehölähteeksi valitaan QUINT-PS/1AC/24DC/ 20. Teholähteet mitoitetaan aina tarvittavien taajuusmuuttajien määrän mukaan.

Toinen optio sisältää oman syötön molemmille taajuusmuuttajille tilanteessa 1. Tällöin syöttävässä keskuksessa pitää olla oma lähtö varataajuusmuuttajalle suoji-neen. Tätä optiota suositellaan jos ollaan toteuttamassa uutta keskusta.

Kolmantena optiona on tilanteelle 3 vaihtoehto modulaariseen järjestelmään. Tällöin voidaan helposti lisätä uusi taajuusmuuttaja, joka halutaan kahdentaa. Tätä optiota suositellaan, mikäli taajuusmuuttajien määrän tiedetään tulevaisuudessa kasvavan.

9.2.10 Layout

Kokoonpanokuvaa alettiin suunnitella, kun kaikki komponentit ja virtaportaat oli valittu. Kotelo valittiin laitteiden mukaan kokoonpanokuvasuunnittelun yhteydessä, jolloin laitteiden fyysiset mitat olivat helposti hahmotettavissa. Kuvassa 16 kokoonpanokuva virtaportaasta 1 ja tilanteesta 2.



10 x SZ 2843.160
2 x SZ 2843.400

Kuva 16. Kokoonpanokuva

9.2.11 Asennusohje

Asennuksia varten toteutettiin asennusohje, jonka tarkoitus on helpottaa asentamista työmaalla. Asennusohjeessa on mainittu miten asentaminen suoritetaan sekä suosituksia (LIITE 5).

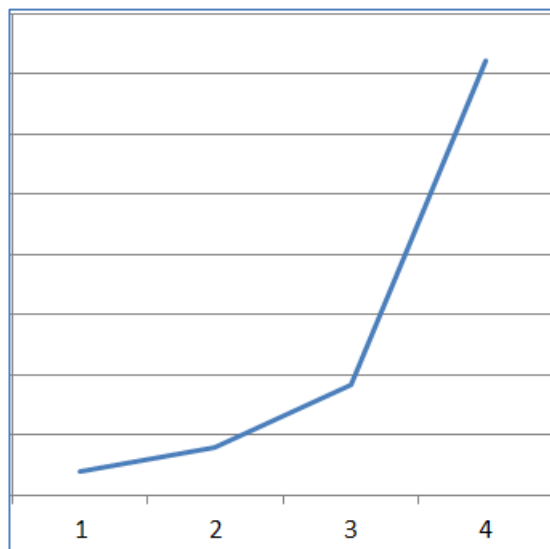
9.2.12 Sähköturvallisuus

Sähköturvallisuus otettiin huomioon tekemällä em. asennusohje, sekä noudattamalla standardin SFS6002 säädöksiä. Järjestelmää saa asentaa vain henkilö, joka on opastettu työtä koskeviin säädöksiin, vaatimuksiin ja yrityksen ohjeisiin. Nämä ohjeet on kerrattava työn kuluessa, mikäli työ kestää pitkään tai on vaativa. Henkilön on myös käytettävä asianmukaisia työkaluja ja työvaatteita, sekä olosuhteiden vaatimia henkilösuojaimia. Henkilö on perehdytettävä asennukseen ennen työn aloitusta./13/

9.1 Kustannustehokkuus

Kahdennettavien taajuusmuuttajien myötä tarvittavien laitteiden määrä kasvaa. Vastaavasti suuremmissa virtaportaisissa laitteiden hinta kasvaa. Edellä esitettyjen tilanteiden ja laitteiden hinnat laskettiin Excelillä ja niitä vertailtiin.

Kuvassa 17 esitetyn kaavio, miten järjestelmän hinta nousee eri virtaportaiden välillä.



Kuva 17. Hintojen nousu

Kaaviosta on jätetty hinnat pois tietosuojasyistä, mutta siitä ilmenee hyvin miten järjestelmän hinta nousee mentäessä isoimpaan virtaportaaseen. Hinnankasvu on samanlainen riippumatta siitä, mikä tilanne on kyseessä.

9.2 Automaatiosuunnittelu

Automaatiosuunnittelu toteutettiin Siemens TIA-Portal-ohjelmalla S7-1500 ohjelmoitavalle logiikalle. Automaatiosuunnittelua edelsi toimintavaatimusten ja kuvauksen tekeminen, joka on esitetty luvussa 8.2. Toteutettu ohjelma pystyy turvallisesti vaihtamaan rikkoutuneen taajuusmuuttajan toiseen.

10 YHTEENVETO

Työn tuloksena saatiin tehtyä suunnitteludokumentit, joita VEO voi käyttää suunnitellessa asiakkaille kahdennettuja taajuusmuuttajakäyttöjä. Laajuudeltaan työ oli tarpeeksi laaja kattamaan ison osan nykyisistä pienen kokoluokan taajuusmuuttajakäytöistä. Tuotettuja dokumentteja on helppo muokata asiakkaiden tarpeiden mukaan.

Työtä tehdessäni opin etsimään tietoa laajasti eri lähteistä. Aikaansaannos olisi voinut olla vielä paljon laajempikin, mutta siitä huolimatta tämän pohjalta voidaan tulevaisuudessa suunnitella tehokkaammin kahdennettuja taajuusmuuttajakäyttöjä. Jatkossa erinäisiä tilanteita voidaan mahdollisesti tutkia vielä lisää ja tehtyyn ohjelmaan ja järjestelmään voidaan tehdä lisäyksiä tarpeen mukaan.

Taajuusmuuttajien vikoja oli jo tutkittu jonkin verran, mutta ratkaisuja käyttövarmuuden parantamiseksi tässä työssä käytyihin olosuhteisiin ei juuri ollut. Tulevaisuudessa taajuusmuuttajien käyttö oletettavasti kasvaa ja tätä myötä kiinnostus niiden kahdentamiseen.

LÄHTEET

/1/ SFS 4200. Kuljettimet. 2000. Helsinki: Suomen standardisoimisliito. 107 s.

/2/ Joronen, T., Kovács, J & Majanne, Y. 2007. Voimalaitosautomaatio. 1. painos. Helsinki. Suomen automaatioseura ry.

/3/ Niiranen, J. 1999. Sähkömoottorikäytön digitaalinen ohjaus. Helsinki. Hakapaino Oy.

/4/ Ylivainio, M. *Sähkötoimilaitteista*. Luentomateriaali. Vaasan ammattikorkeakoulu. 2001.

/5/ Jokinen, K. *Tehoelektroniikka*. Luentomateriaali. Vaasan ammattikorkeakoulu. 2018.

/6/ Danfoss. Valintaopas. 2017. Viitattu 14.3.2019. VACON NXP- ja VACON NXC-taajuusmuuttajat – 0,55 kW–2 MW.

http://files.danfoss.com/download/Drives/DKDDPB905A120_NXP_NXC.pdf

/7/ ABB. Esite. 2013. Viitattu 29.3.2019. Drives for HVAC – ACH550 5 to 200 HP Redundant Drives.

<https://library.e.abb.com/public/a9644d7cc8bb5eaa85257b350066cabd/ACH550-EOPF01U-EN.pdf>

/8/ Harju, T & Marttinen, A. Sääätötekniikan koulutusmateriaali 2000. Control-CAD.

/9/ Kiiski, T. 2012. Taajuusmuuttajien luotettavuus, huollettavuus

ja kunnossapito teollisessa ympäristössä. Diplomityö. Tampe-

reen teknillinen korkeakoulu.

/10/ ABB. Laiteopas. 2017. Viitattu 13.3.2019. ACS880-01 taajuusmuuttajat (0,55...250 kW, 0,75...350 hv).

https://library.e.abb.com/public/86ac21c012164a8cb0f7f6ada2c4ea85/FI_ACS880_01_HW_M_A5_screen.pdf

/11/ Danfoss. Valintaopas. 2016. Viitattu 30.3.2019. VACON 100 – 0,55–800 kW.

http://files.danfoss.com/download/Drives/DKDDPB906A320_VACON_100_LR.pdf

/12/ Jokinen, K. *Moottorikäyttöjen säätö*. Luentomateriaali. Vaasan ammattikorkeakoulu. 2017.

/13/ SFS 6002. Sähkötyöturvallisuus. 2015. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto. 69 s.

LIITTEET

Liitteet poistettu tilaajan toivomuksesta.