

**Paperikoneen linjakäyttöjen
modernisoinnin esisuunnittelu**
Kaipolan paperikone 6

Olli Vaheri

Opinnäytetyö
Joulukuu 2019
Tekniikan ala
Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Sähkötekniikka

Tekijä(t) Vaheeri, Olli	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä Joulukuu 2019
	Sivumäärä 74	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Paperikoneen linjakäyttöjen modernisoinnin esisuunnittelu Kaipolan paperikone 6		
Tutkinto-ohjelma Insinööri (AMK), sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma		
Työn ohjaaja(t) Olli Väänänen		
Toimeksiantaja(t) UPM-Kymmene Oyj		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin Kaipolan paperitehtaan konelinjalle kuusi. Työn tavoitteena oli selvittää paperikoneella käytössä olevien linjakäyttöjen elinkaarien tila ja se, minkälaisia toimenpiteitä linjakäyttöille ja sen ohjausjärjestelmälle on tehtävä. Kyseessä oli esiselvitystyö, joten selvityksen pohjalta mahdollisesti suoritettavat toimenpiteet eivät sisällyneet opinnäytetyöhön. Työn tarkoituksena ei ollut nostaa suorituskykyä, vaan ylläpitää nykyistä.</p> <p>Työssä selvitettiin eri käyttöjen toimintatavat, elinkaarien tilat ja se, kuinka modernisointi kannattaisi tehdä. Työssä selvitettiin käytössä olevien varaosien määrä ja osien kulutus sekä arvioitiin riskejä, joita olisi edessä ilman minkäänlaisia toimenpiteitä.</p> <p>Työn aineistona käytettiin laitevalmistajien teknisiä dokumentteja ja ohjeita, joiden avulla selvitettiin laitteistojen toiminta ja elinkaaret. Aineistona käytettiin myös tehtaalla käytössä olevaa SAP-toiminnanohjausjärjestelmää sekä yrityksen työntekijöitä, joiden avulla selvitettiin varaosien lukumäärä ja arvioitiin jäljellä olevaa elinkaarta varaosien kulutuksen kautta.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin toteutusmalliehdotus, kuinka paperikoneen käyttöjä ja niiden ohjausjärjestelmää kannattaisi lähteä modernisoimaan. Ehdotuksena esitettiin, että nykyiset DC-käytöt modernisoidaan vanhoihin kaappeihin ja SELMA 2-ohjausjärjestelmä vaihdetaan uuteen järjestelmään. SAMI STAR AC -erilliskäytöt uusitaan kokonaisuuksina ja johtotelojen syöttöryhmä sekä SAFUI-vaihtosuuntaajat uusitaan.</p> <p>Nykyisillä varaosilla ja ammattitaidolla pärjätään vielä joitain vuosia, mutta riskit suurille laiterikoille ja pitkille tuotantokatkoksille ovat suuret. Suuren riskiprofiilin ja modernisoinnin keston takia modernisoinnin tarkempi suunnittelu tulisi aloittaa saman tien.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Paperikone, linjakäyttö, sähkökäyttö, ohjausjärjestelmä, DC-käyttö, elinkaari, SELMA2, SELE1000		
Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)		

Author(s) Vaheri, Olli	Type of publication Bachelor's thesis	Date December 2019 Language of publication: Finnish
	Number of pages 74	Permission for web publication: x
Title of publication Preliminary design of the modernization of paper machines sectional drives Kaipola Paper machine 6		
Degree programme Bachelor's Degree programme in Electrical and Automation Engineering		
Supervisor(s) Olli Väänänen		
Assigned by UPM-Kymmene Oyj		
Abstract <p>The thesis was made for paper machine six at UPM's Kaipola Factory. The purpose of the thesis was to find out the life cycle of sectional drives and control system of the paper machine and what kind of arrangements they need. The thesis was a preliminary study, so any actions that might be taken based on the study were not included in the thesis. The target of the study was not to improve performance but maintain the current performance.</p> <p>The thesis investigated working methods of different drives, their life cycles and how the modernization should be done. The study examined the number of spare parts available, usage of the parts and risks that would be encountered without any action being taken.</p> <p>The material for the study was collected from manufacturers datasheets and manuals, which were used to determine the functions and life cycles of the equipment. The SAP ERP system and specialists of the company were used to estimate the remaining life cycle through the usage of spare parts.</p> <p>The final outcome of the thesis is an implementation model proposal on how sectional drives and a paper machine control system should be modernized. The proposal sets out that the current DC drives should be modernized into the old cabinets and that the SELMA 2 control system should be replaced with a new one. The SAMI STAR AC drives, the lead roll supply unit and SAFUI inverters should be replaced with new ones.</p> <p>With the existing spare parts and skills, the drives will survive for some years, but the risk of major equipment malfunctions and long production interruptions are high. Because of high risk profile and the duration of the modernization, the modernization process should be started immediately.</p>		
Keywords/tags (subjects) Paper machine, sectional drive, electric drive, control system, DC drive, life cycle, SELMA2, SELE1000		
Miscellaneous (Confidential information)		

Sisältö

1	Johdanto	5
1.1	Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset	5
1.2	Menetelmä	6
1.3	UPM Kaipolan paperitehdas.....	6
2	Paperikoneen rakenne.....	7
3	Säädetyt sähkömoottorikäytöt	9
3.1	Käytöt ja käyttöjen tyypit	9
3.2	DC-käytöt.....	13
3.2.1	DC-käytöt teollisuudessa	13
3.2.2	DC-linjakäyttöjen rakenne paperiteollisuudessa.....	14
3.2.3	Suojaukset.....	22
3.2.4	DC-moottorit.....	23
3.2.5	SELE 1000 -tasavirtakäytön säätäjä	28
3.3	AC-käytöt	33
3.3.1	Historia.....	33
3.3.2	Taajuusmuuttaja	33
3.3.3	Oikosulkumoottori.....	35
4	Ohjausjärjestelmä	37
5	Nykytilan kartoitus	40
5.1	Nykyinen kokonaisuus.....	40
5.2	Elinkaaren hallinta	40
5.3	Laitteiden elinkaaren vaiheet ja huoltotoimenpiteet	43
5.3.1	DC-käyttöjen huoltotoimenpiteet.....	43
5.3.2	Tyristorisillat	44

	2
5.3.3 DC-moottorit.....	45
5.3.4 SELE 1000 -käyttöjen säätäjä	46
5.3.5 Tehdyt toimenpiteet.....	47
5.3.6 AC-käyttöjen huoltotoimenpiteet	48
5.3.7 AC-Käytöt	49
5.3.8 AC-moottorit.....	50
5.3.9 Ohjausjärjestelmä	51
6 Modernisointi.....	52
6.1 Modernisoinnin tavoitteet	52
6.2 DC-käytöt.....	53
6.3 AC-käytöt	54
6.4 Ohjausjärjestelmä.....	55
7 Malliehdotus	55
8 Pohdinta.....	56
Lähteet	58
Liitteet.....	61
Liite 1. Linjakäyttökokonaisuus	61
Liite 2. SELE 1000 liitännät	62
Liite 3. SELE 1000 ohjauslohkot.....	63
Liite 4. SELE 1000 ohjauslogiikka	64
Liite 5. ABB ACS880 ulkoiset liitännät	65
Liite 6. Oikosulkumoottorin käämitykset	66
Liite 7. PK6 ohjearvoketju.....	67
Liite 8. SELMA 2 -järjestelmien välinen tiedonsiirto	70
Liite 9. Linjakäyttöistä kerätyt tiedot.....	71
Liite 10. Linjakäyttöjen varaosat.....	72

Liite 11.	Linjakäyttöjen syöttöryhmät.....	73
Liite 12.	Johtotelaryhmien kokonaisuus	74

Kuviot

Kuvio 1.	Paperikoneen rakenne	8
Kuvio 2.	Säädetyin sähkömoottorikäytön toimintakuva.....	10
Kuvio 3.	Erilliskäytön havainnekuva	11
Kuvio 4.	Ryhmäkäytön havainnekuva	12
Kuvio 5.	Linjakäytön havainnekuva	13
Kuvio 6.	Syöttöryhmän 5A1 piirikaavio	15
Kuvio 7.	PK6 hätäseis-ohjaukset.....	16
Kuvio 8.	DC-käytön magnetointipiiri ja kentänkäntökontaktorit.....	18
Kuvio 9.	Kolmivaiheinen tyristorisilta ja jännitteen muodostuminen	20
Kuvio 10.	DC-moottorin jäähdytysilmasyöttö ja takometri	21
Kuvio 11.	Käyttöjen suojaustavat.....	22
Kuvio 12.	Tasavirtamoottorin rakenne	24
Kuvio 13.	Johtimeen vaikuttava sähkömotorinen voima.....	25
Kuvio 14.	Tasavirtakoneen magnetointikämmitykset.....	26
Kuvio 15.	SGEA 1000 piirikortti ja liittimet.....	29
Kuvio 16.	Taajuusmuuttajan rakenne	34
Kuvio 17.	Vaihtosuuntaajan pulssin modulointi	35
Kuvio 18.	SELMA 2 järjestelmäkaappi	38
Kuvio 19.	Video-SELMA:n näyttö ja näppäimistö.....	39
Kuvio 20.	ABB elinkaaren hallinta	40
Kuvio 21.	Alaviiran vetotelan vanha käyttö ja uusi retrofit vierekkäin.....	48

Taulukot

Taulukko 1.	Yleisimmin käytetyt verkko- ja moottorijännitteet DC-käytöissä	19
Taulukko 2.	SELE 1000:n taskit	30

Taulukko 3. Tyristorisiltojen varaosat	45
Taulukko 4. Konelinjan moottorit ja varastosaldot.....	45
Taulukko 5. SELE 1000-säätäjän korttien varaosat	47
Taulukko 6. Johtotelaryhmien käyttöjen komponentit	50
Taulukko 7. AC-moottorit ja varastosaldot	51

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta, tavoitteet ja rajaukset

Tässä opinnäytetyössä käsitellään Kaipolan paperitehtaan PK6 linjakäyttöjä ja niiden ohjausjärjestelmää. Nykyinen linjakäyttöjärjestelmä sekä sen ohjausjärjestelmä ovat suurimmaksi osaksi alkuperäisiä paperikoneen käynnistysvuodelta 1987 ja ne ovat elinkaarensa päässä. Linjakäytöt pyörittävät paperikoneen teloja, joita pitkin paperi kulkee valmistusprosessissa ja ilman toimivia linjakäyttöjä, ei paperia voida valmistaa.

Työn tarkoituksena oli tutkia, mikä on nykyisen linjakäyttöjärjestelmän tila ja kuinka sen elinkaarta voitaisiin parantaa. Työssä tuli myös selvittää nykyinen laitekanta modernisointia varten. Työn tarkoituksena ei ollut parantaa paperikoneen tuotantotehokkuutta, vaan varmistaa nykyisessä tehokkuudessa pysyminen myös tulevinä vuosina. Vanhojen ja vikaantuvien linjakäyttöjen kanssa on ollut paljon ongelmia ja tehtaalla ollaan huolissaan linjakäyttöjärjestelmän ja sen toiminnasta ymmärtävien ammattilaisten ikääntymisestä. Koska käyttöjen suorituskykyä, kuten ajonopeutta, ei ole tarkoitus nostaa, voi kannattavin ratkaisu olla nykyisessä järjestelmässä pysyminen ja rahojen käyttäminen tulevien vikojen korjauksiin. Työ rajattiin käsittelemään konelinjan sähkökäyttöjä, joita ohjataan SELMA 2 käyttöjen ohjausjärjestelmällä. Opinnäytetyö keskittyi ainoastaan paperikoneeseen, eikä jälkikäsittelyn käyttöjä huomioitu. Opinnäytetyön linjakäyttökokonaisuus on avattu liitteessä 1.

Nykyisen järjestelmän tilan määrittämisessä käytettiin avuksi laitevalmistajien tilaluokituksia, varaosien saatavuutta, järjestelmään tulleiden häiriöiden määrää ja laajuutta sekä korjauskustannuksia ja käytettävyyttä. Laitteiston tilaa tulevaisuudessa yritettiin arvioida myös henkilöhaastattelujen avulla. Aineistona käytettiin SAP-toiminnanohjausjärjestelmää, josta löytyy tietoa varaosatilanteesta, vikailmoitusten määrät sekä kustannukset. Järjestelmään on myös tallennettu dokumentit ja piirikaaviot laitteista.

1.2 Menetelmä

Opinnäytetyö toteutettiin kehittämistutkimuksena. Kehittämistutkimus lähtee muutostarpeesta, jonka tuloksena syntyy jokin kehitystuotos. Kehittämistutkimus ei ole oma tutkimusmenetelmänsä, vaan siinä yhdistyy joukko eri tutkimusmenetelmiä, joten se on monimenetelmäinen tutkimusote. Kehittämistutkimuksessa yhdistyy kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia menetelmiä. Kehittämistutkimuksen taustalla on aina teoria, johon tutkimuksessa nojataan ja lisäksi kehittämistutkimus vaatii tutkimuksellista otetta. (Kananen 2012, 19.)

Työssä pyritään selkeästi vaikuttamaan prosessin luotettavuuteen ja tutkimaan mitkä ovat oikeat keinot luotettavuusparannuksen aikaansaamiseksi, joten kehittämistutkimus oli looginen valinta. Tutkimuskysymykset joihin opinnäytetyön tuli vastata ovat:

- Mitkä ovat riskit, jos nykyisiin linjakäyttöihin ei investoida?
- Minkälaiseen linjakäyttöjen kokonaisuuteen järjestelmä kannattaa päivittää?

1.3 UPM Kaipolan paperitehdas

UPM:n liiketoiminta koostuu kuudesta liiketoiminta-alueesta, jotka ovat UPM Communication Papers, UPM Biorefining, UPM Energy, UPM Raflatac, UPM Specialty Papers ja UPM Plywood. Koko yrityksen tavoitteena on olla biometsäteollisuuden edelläkävijä kaikilla kuudella liiketoiminta-alueellaan ja rakentaa kestävää, innovaatioveitoista ja kiinnostavaa tulevaisuutta. Yhtiössä työskentelee kansainvälisesti yli 19 000 henkilöä, tuotantoa on 12 maassa. Liikevaihto on noin 10 miljardia euroa vuosittain ja tulos on kasvava. Yritys on julkinen pörssiyritys, jonka osakkeet on listattu Helsingin pörssiin. (UPM Tietoa meistä n.d.)

Yritys, johon opinnäytetyö tehtiin, on tarkemmin UPM Communication Papers Oy ja siellä Kaipolan paperitehdas. Yritys valmistaa graafista paperia mainontaan ja julkaisuihin sekä koti- ja toimistokäyttöön. UPM Communication Papersilla on 15 eri paperitehdasta Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Yrityksen asiakkaita ovat maailmanlaajuisesti eri kustantajat, vähittäismyyjät, painotalot ja jakelijat. Se on graafisen paperin tuotannossa 8,2 miljoonan tonnin vuosituotannollaan ja noin 8000 työntekijällään

maailman markkinajohtaja. UPM Communication Papers Oy:n liikevaihto on noin 4,7 miljardia euroa ja pääkonttori sijaitsee Saksassa. (UPM Communicatio Papers n.d.)

Kaipolan tehdas on ollut toiminnassa vuodesta 1952 asti ja ensimmäinen paperikone käynnistyi Kaipolassa vuonna 1954. Vuonna 1987 otettiin käyttöön Valmetin toimittama PK6, joka oli valmistuttuaan maailman suurin LWC -paperikone (light weight coated paper). PK6 valmistaa vuosittain noin 260 000 tonnia kevyesti päällystettyä paperia, jota käytetään esimerkiksi aikakauslehdissä ja suoramainontatuotteissa ympäri maailmaa. (Kaipolan Paperitehdas n.d.) Konelinjan maksimi ajonopeus on 1650 m/min ja leveys 8,45 m. Kone tuottaa täydellä teholla ajaessaan paperia $20 \text{ km}^2/\text{vrk}$. Koneen valmistamien kevyesti päällystettyjen paperilaatujen paksuus on 45 - 65 g/m^2 välillä.

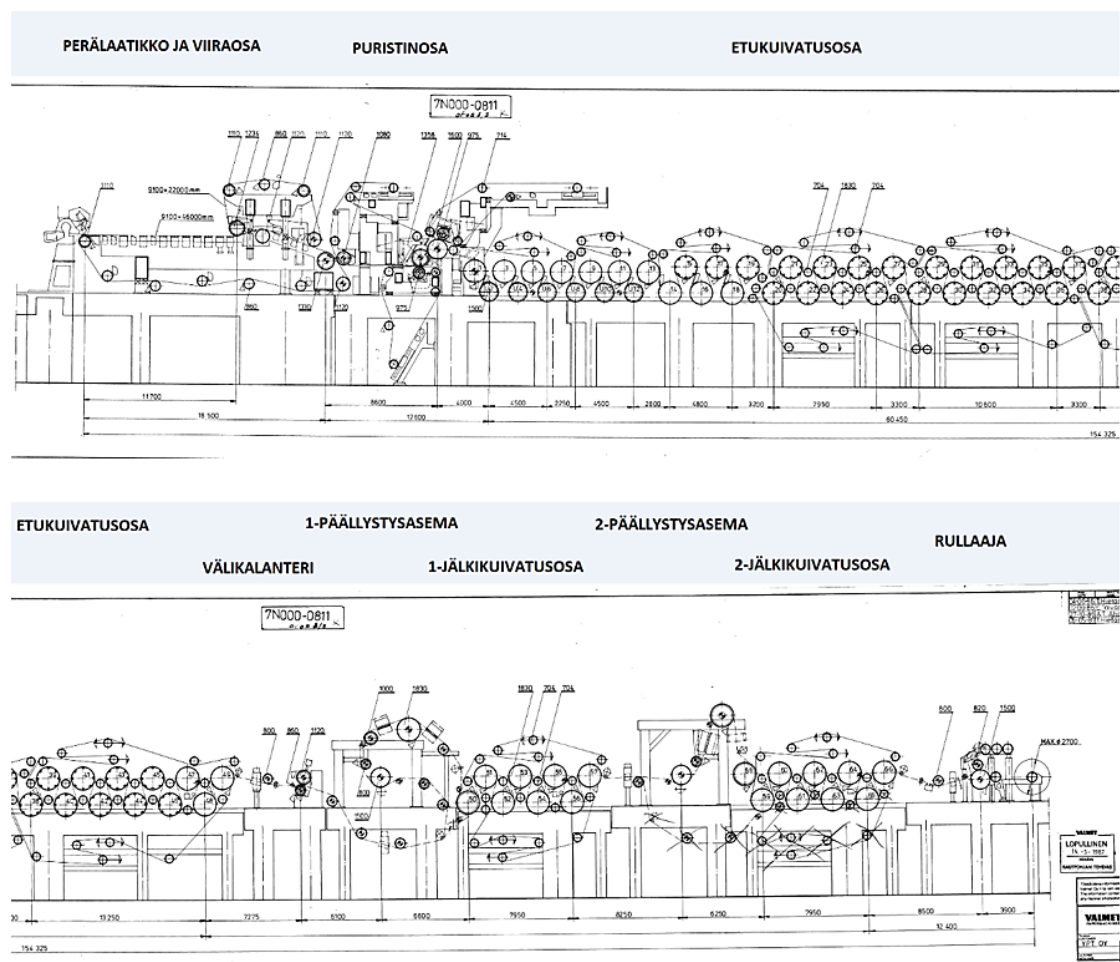
2 Paperikoneen rakenne

Paperikone on pitkä kokonaisuus, joka pitää sisällään useita eri työvaiheita, ennen kuin valmis paperi on valmiina toimitettavaksi asiakkaille. Paperikone alkaa perälaatikolla, jonka tehtävänä on syöttää erittäin vetinen paperimassa tasaisena ja hyvälaatuisena viiraosalle. Viiraosalla osa vedestä poistuu viirakudoksen läpi ja massa jatkaa tasaisena paperirainana kohti puristinosaa. Puristinosan tarkoitus on puristamalla poistaa vettä ja tiivistetään rainaa, jotta se kestää siirron kuivatusosalle. Kuivatusosalla rainasta poistetaan vettä haihduttamalla niin paljon, että paperi on tarpeeksi kestävä rullattavaksi. Näiden toimien lisäksi paperia voidaan esimerkiksi kiillottaa kalanteroimalla ja päällystää konelinjasta ja halutusta paperista riippuen. Kaipolan PK6:n valmistama pohjapaperi kalanteroidaan, sekä päällystetään kevyesti molemmilta puolilta ennen tampuurille rullausta. (KnowPap n.d.)

PK6 käsittää märästä päästä kuivaan päähän luetellen seuraavat osat: perälaatikko, viiraosa, puristinosa, etukuivatusosa (kuivatusryhmät 1 - 6), välikalanteri, 1-päällystysasema, 1-jälkikuivatusosa (7. kuivatusryhmä), 2-päällystysasema, 2-jälkikuivatusosa (8. kuivatusryhmä) ja rullaaja.

Paperikoneen jälkeen paperitehtaassa on usein jälkikäsitteily osasto, jossa voi olla mm. välirullain, superkalanteri, pituusleikkuri ja pakkauskone. Kaipolan paperikone 6 jälkeen konesalissa on välirullain, kaksi superkalanteria, kaksi pituusleikkuria ja automatisoitu pakkauskone. Vasta pakkauskoneelta lähtevät rullat ovat valmiita asiakkaille toimitettavaksi.

Kuviosta 1 nähdään PK6 rakenne pääpiirteittäin. Kuva on alkuperäisestä suunnitelmasta vuodelta 1987, joten koneeseen on tapahtunut pieniä muutoksia tähän päivään mennessä, kuten viiraosan päivitys vuonna 1996 (SAP ERP -järjestelmä n.d.). Paperikoneen rakenne tulee silti kuvassa hyvin esiin.



Kuvio 1. Paperikoneen rakenne (SAP ERP -järjestelmä n.d.)

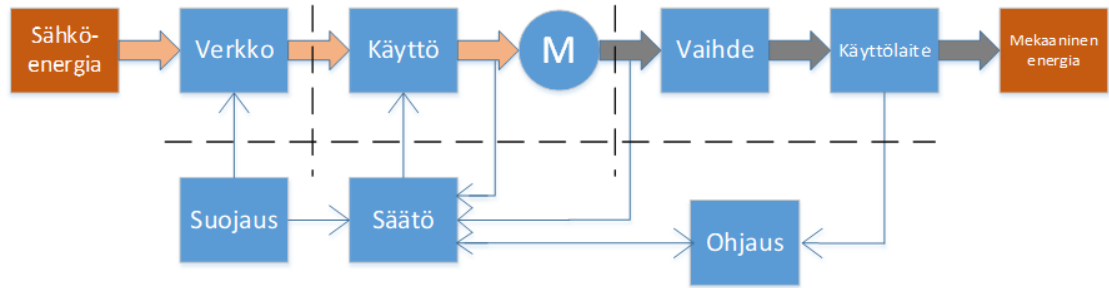
Edellä mainittujen paperikoneen osien lisäksi, paperikoneen ajettavuutta parantamassa on paperinjohtoteloja. Johtotelojen tarkoitus konelinjalla on auttaa paperirataa kulkemaan paperikoneessa. Johtotelat voivat kannatella ja ohjata rainaa puristimelta toiselle, kuivatusryhmäväleissä ja kalantereiden yhteydessä. Johtotelojen ei ole tarkoitus antaa vauhtia radalla, mutta ne eivät saa olla jarruttamassakaan rataa. Tämän takia johtotelaryhmät ovat samassa ohjausjärjestelmässä käyttöjen kanssa, jolloin vauhti saadaan määriteltyä sopivaksi.

3 Säädetty sähkömoottorikäytöt

3.1 Käytöt ja käyttöjen tyypit

Säädetty sähkömoottorikäyttö eli sähkökäyttö tarkoittaa kokonaisuutta, johon kuuluu käytön syöttölaitteisto, säätöjärjestelmä sekä käyttömoottori. Sähkökäytön tarkoitus on muuttaa sähköistä energiaa annettuja ohjearvoja noudattaen mekaaniseksi energiaksi. Taloudellisen kannattavuuden, energiansäästöominaisuuksien ja monipuolisempien ohjausmahdollisuuksien vuoksi säädettyjä sähkökäyttöjä ovat lisääntyneet verkoissa vuosikymmenien aikana ja syrjäyttäneet vastaavat säätämättömät käytöt. Varsinkin teollisuuden tuotantolaitoksissa säädettyjä sähkömoottorikäyttöjä ovat keskeisiä komponentteja. (Hietalahti 2012, 1.)

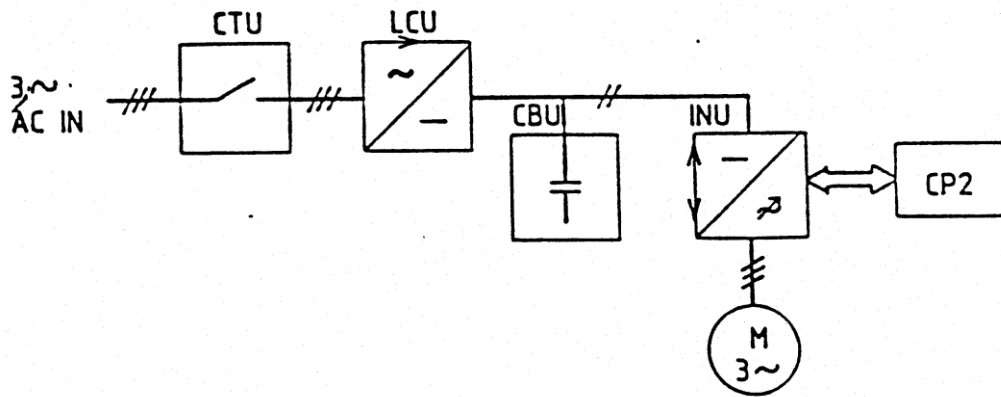
Säädetyin sähkömoottorikäytön yleinen rakenne on kuvion 2 mukainen. Järjestelmällä kolme tärkeää rajapintaa, jotka on rajattu kuviossa mustalla katkoviivalla. Ensimmäinen rajapinta on sähköverkon kohdalla. Yleinen sähköverkko voi myös puuttua ja tällöin energia otetaan akustoista tai muusta energiavarastosta. Seuraava rajapinta löytyy moottorin akselilta, jolla moottori liitetään tarvittavaan käyttölaitteeseen. Käyttölaitteen ja moottorin välissä voi olla vaihteisto muuttamassa moottorin kierrokset käyttölaitteelle sopivammiksi. Kolmas ja viimeinen rajapinta on mahdollistamassa kytkeytymisen ulkopuoliseen ohjaus- tai automaatiojärjestelmään. Ohjaus- tai automaatiojärjestelmä ohjaa sähkökäyttöä toimimaan halutulla tavalla. (Mts. 1-2.)



Kuvio 2. Säädetyn sähkömoottorikäytön toimintakuva (Hietalahti 2012, 1, muokattu)

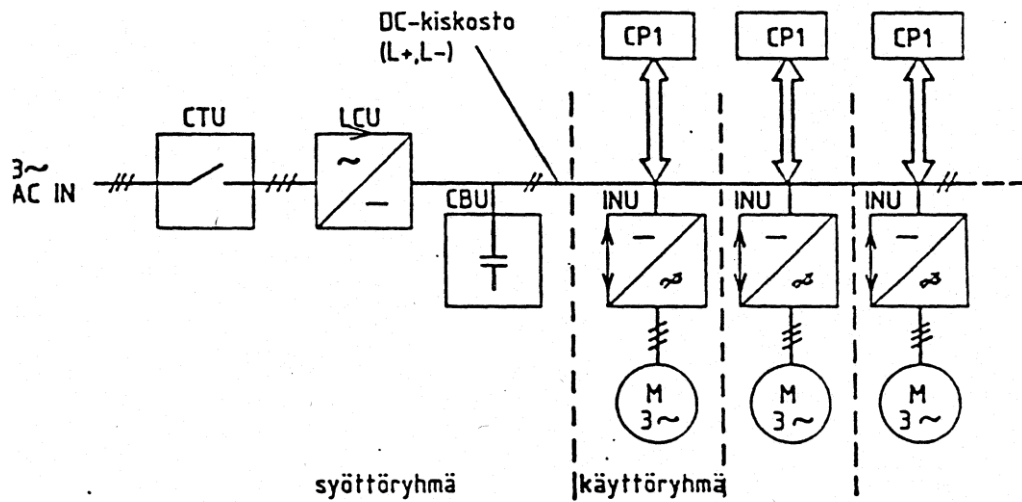
Säädettyä sähkömoottorikäyttöä pystytään käyttämään hyvin usein myös säädettynä generaattorikäyttönä, jossa mekaanista energiaa muutetaan järjestelmän kautta sähköenergiana sähköverkkoon. Generaattorikäyttöjä on jatkuvasti ja hetkellisesti verkkoon syöttäviä. Jatkuvasti syöttäviä ovat esimerkiksi voimalaitoksissa ja vesivoimaloissa olevat generaattorikäytöt ja hetkellisesti verkkoon syöttäviä esimerkiksi verkkoon jarruttavat liikennevälinekäytöt, kuten sähköautot. (Mts. 2.)

Sähköiset käyttösovellukset on yleisesti jaettu kolmeen ryhmään rakenteidensa mukaisesti. Nämä ovat nimeltään erilliskäyttö, ryhmäkäyttö ja linjakäyttö. Yleisin käyttötyyppi näistä on erilliskäyttö (ks. kuvio 3). Tämä käyttö sisältää yhden syötön, yhden tasasuuntaajan sekä yhden vaihtosuuntaajan ja näillä syötetään yhtä tai useampaa moottoria. Jos moottoreita on useimpia, niitä ei voida erikseen säätää, vaan ne kulkevat samoilla parametreilla. Kahden oikosulkumoottorin pyörimisnopeuksien ero riippuu tällöin vain kuormituksista. Erilliskäytöt ovat yleisiä esimerkiksi yksittäisissä pumppu- ja puhallinkäytöissä, joissa energiantarve pienenee nopeuden pienentyessä. Erilliskäyttöjä löytyy teollisuuden tuotantolaitoksilta useita. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 28; Nieminen 2013, 1.)



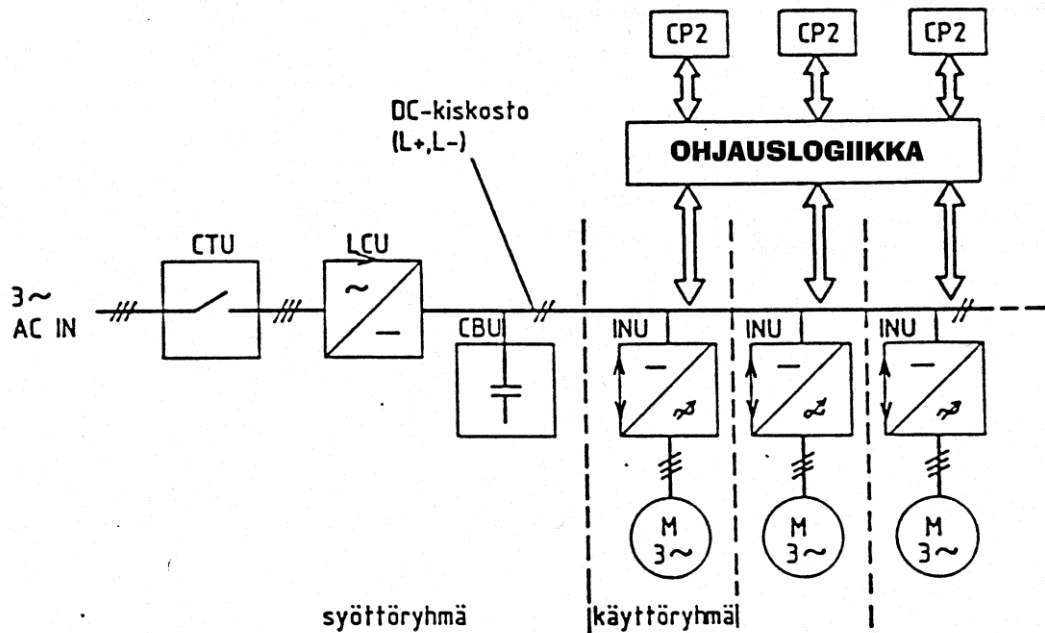
Kuvio 3. Erilliskäytön havainnekuva (Nieminen 2013, 2)

Ryhmäkäytöstä puhutaan, kun kyseessä on usean erilliskäytön yhdistelmä, joilla on yhteinen kontaktoriyksikkö, verkkosuuntaaja ja energiavaraisto (ks. kuvio 4). Eri käyttöryhmät ovat toisiinsa loogisesti kytkettyinä. Jossain ryhmäkäytöissä riittää pelkästään ryhmäkohtainen paikallisojhaus, mutta toisaalta joku käyttösovellus voi vaatia tarkkaakin automaattiohjausta, jotta jokainen ryhmä toteuttaa tarkasti niille vaaditut tehtävät. Esimerkki ryhmäkäytöstä voisi olla vaativa nosturikäyttö, jossa nosturin eri liikkeistä vastaa kolme erillistä moottoria. Kaikki moottorit voivat toimia yhtä aikaa ja yhden moottorin toiminta voi vaikuttaa toisiin, jos kohteessa on esimerkiksi joitakin kiellettyjä nostopaikkoja. Käyttöjen tarvitsee olla siis tietoisia toisten käyttöjen liikkeistä. Tämä vaatii usein sovelluskohtaisen logiikan, joka on kaikille käyttöryhmille yhteinen. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 28; Nieminen 2013, 3.)



Kuvio 4. Ryhmäkäytön havainnekuva (Nieminen 2013, 3)

Linjakäyttö (ks. kuvio 5) on kyseessä silloin, kun kullakin käyttöryhmällä on oma vaihtosuuntaaja, mutta syöttö jaetaan käyttöryhmille koko linjalle yhteisen syöttöyksikön kautta. Verkossa olevien laitteiden osalta linjakäyttö ei eroa ryhmäkäytöstä, mutta linjakäytössä käytöt ovat toisiinsa yhdistettynä mekaanisesti esimerkiksi yhteisen viiran tai paperiradan kautta. Tämän takia käyttöryhmien säädöt ovat riippuvaisia toisistaan ja ryhmillä pitää olla yhteinen ohjauslogiikka. Linjakäytön ohjaukseen käytetään koko linjakäytölle yhteistä digitaalista säätäjää, joka liitetään käyttöryhmille nopealla optisella linkillä tai sarjaliikenteellä. Linjakäytöt ovat yleisiä paperikoneissa ja muissa suurissa kokonaisuuksissa, joissa useita moottoreita tarvitsee säätää tarkasti. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 28; Nieminen 2013, 4.)



Kuvio 5. Linjakäytön havainnekuva (Nieminen 2013, 4)

3.2 DC-käytöt

3.2.1 DC-käytöt teollisuudessa

DC-käyttöjen eli tasavirtakäyttöjen suosio on perustunut niiden helppoon ja edulliseen säädettävyyteen, sillä sekä pyörimisnopeutta että vääntömomenttia pystytään helposti ohjailemaan. Tasavirtakäyttöjä on käytetty paljon tarkkaa nopeudensäätöä vaativissa laitteissa, kuten paperikoneissa tai metalliteollisuudessa. Tasavirtakäyttöjen nopeudensäädön tarkkuus on noin 0,01–0,3 % nimellisnopeudesta, sen mukaan onko järjestelmä staattisessa vai dynaamisessa eli kiihtyvässä tilassa. Tarkkuuteen vaikuttavat myös käytettävät pulssianturit. Tasavirtakäyttöjen säädettävyys perustuu usein ankkurijännitteen ja -virran säätöön. Tasavirtamoottorin pyörimisnopeus on lähes suoraan verrannollinen ankkurijännitteeseen ja ankkurivirtaa kasvattamalla saadaan vääntömomenttia kasvatettua (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 17, 22). Näin ollen pyörimisnopeuden ja vääntömomentin säätämiseksi ei magnetointivirtaan tarvitse koskea kummassakaan tilanteessa, vaan se voidaan pitää vakiona. (Hietalahti 2012, 23; ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 31)

Pyörintänopeuden eli käytännössä ankkurijännitteen ohjaukseen käytetään useimmiten tyristorisiltoja, joiden sytytyskulmaa säätämällä saadaan haluttu jännitetaso aikaiseksi. Haluttu pyörintänopeuden ohjearvo saadaan nopeuden ohjearvoketjusta tai prosessitiedoista ja nopeuden oloarvo pulssianturilta. Vääntömomentin säätöön tarvittava virran oloarvo saadaan vaihtosähköpuolelta virtamuuntajilta ja virran ohjearvo nopeuden säätövahvistimelta. (Hietalahti 2012, 23.)

Tasavirtakäyttöjen helpon säädettävyyden vastapainona tasavirtamoottorit ovat mekaanisesti monimutkaisia ja täten niiden hankintahinta on korkea. Lisäksi moottorit lämpenevät ja tarvitsevat ulkopuolista jäähdytysilmaa sekä nopeuden takaisinkytkennän ohjausta varten. Moottoreiden hiiliharjat ja kommutaattorit kuluvat jatkuvasti käytössä, joten ne tarvitsevat säännöllistä huoltoa. (Mts. 23.)

3.2.2 DC-linjakäyttöjen rakenne paperiteollisuudessa

DC-käyttöjen rakenne on suhteellisen yksinkertainen. Se muodostuu seuraavista pääosista:

- syöttöryhmä/vaihtosähkösyöttö
- katkaisija tai kontaktori
- tasasuuntaaja
- käytön säätäjä
- tasasähkömoottori
- takometri
- jäähdytysilmapuhaltimet.

Syöttöpiirit (-ryhmät)

Syöttöryhmä voi syöttää yhtä tai useampaa sähkökäyttöä. Syöttöpiiri käsittää pää- ja ohjauspiirit. Syöttöpiirikohtaisen ohjauksen muodostuksen ja ohjausreleistyksen lisäksi syöttöryhmään usein kuuluvat koko koneen ja käynnistyshälytyksen ohjauspiirit, sekä hätäseispiiri. Ohjausreleistyksen tehtävänä on jakaa syöttö- ja ohjauspiireistä tulevia toimintakäskyjä syöttöpiiriin kytketyille käyttöryhmille. Releistys avaa käyttöryhmän pääkontaktorin/-katkaisijan, jos esimerkiksi

- jäähdytysilman toiminnassa on häiriö
- voitelujärjestelmässä on häiriö
- kiskoston ylijännitesuojauspiirin sulakkeita valvova suojakytkin on lauennut

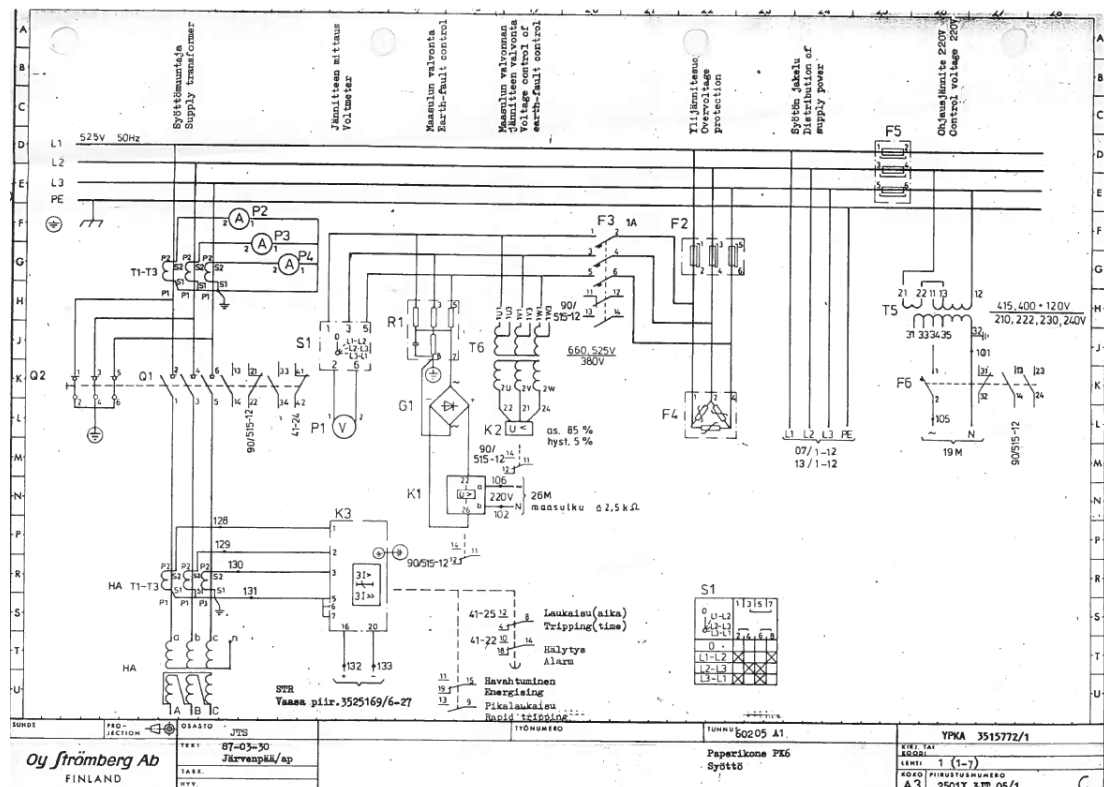
- maasulku on kestänyt kauemmin kuin aikareleen asetteluraja.

Syöttöpiirin ja koko koneen ohjauspiirin yleisimmät hälytykset ovat

- ohjaus- tai pääpiirin suojakytkin lauennut
- annettu hätäseisäytyskäsky
- järjestelmässä maasulku
- häiriö jäädytysilman valvonnassa.

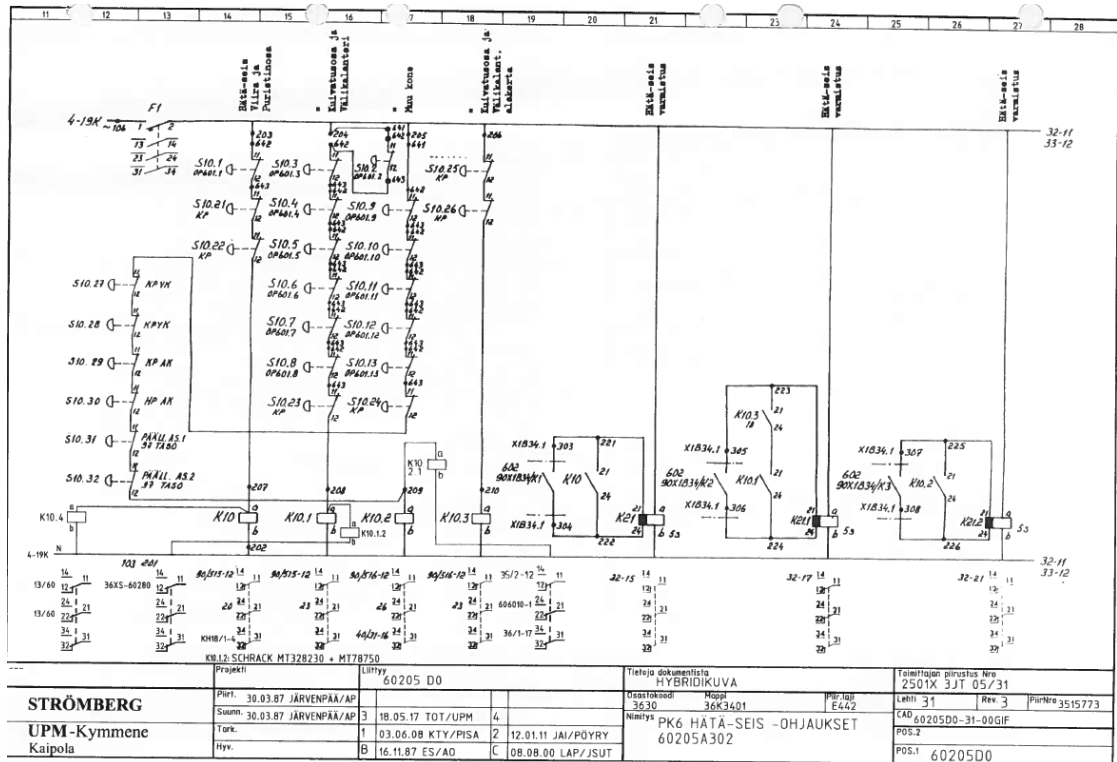
(Partanen 1987.)

PK6:n DC-linjakäytöt muodostuvat kuudesta syöttöryhmästä, 5A1–5A6. Kuviossa 6 näkyy syöttöryhmän 5A1 piirikaavio. Syöttöryhmä syöttää 1. pyörrepuhdistuspumpun sekä 1. puristimen uratelan käyttäjää. Syöttöryhmä saa sähkönsä 10/0,5 kV HA-muuntajalta. Piirikaaviosta näkyy maasulun valvonta, ylijännite- ja ylivirtasuojaus sekä syöttöryhmän ohjausjännitteen muodostuminen. Syöttöryhmän ohjauspiirit saavat syöttönsä kokoomakiskostoon kytkettyjen oikosulkusuojien ja ohjauspiirien syöttömuuntajien kautta (Partanen 1987).



Kuvio 6. Syöttöryhmän 5A1 piirikaavio (Järvenpää 1987)

Syöttöryhmään sisältyy myös hätäseis-releistys. PK6 on jaettu neljään hätäseisosi-
oon, jotka ovat viira- ja puristinosa, kuivatusosa ja välikalanteri sekä muu kone. Yh-
teensä hätäseis-painikkeita on 25 kpl. Hätäseispainiketta painaessa pysähtyy se osio
koneesta, josta hätäseispainike on painettu. Konelinjan hätäseis-ohjaukset on esi-
tetty kuviossa 7.



Kuvio 7. PK6:n hätäseis-ohjaukset (Järvenpää 1987)

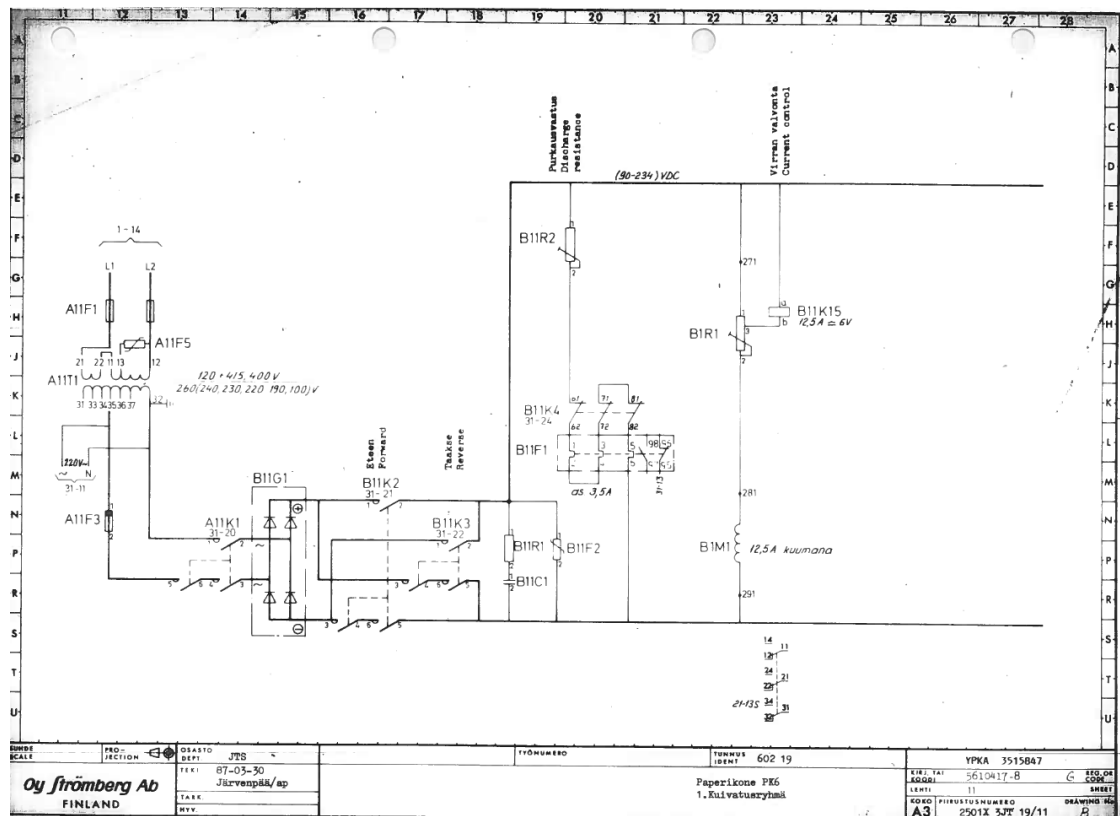
Vaihtosähkösyöttö

Vaihtosähkösyöttö tuodaan yleensä syöttöpiiriin keskuksessa olevan pääerottimen
kautta keskuksen kokoomakiskoon. Avaamalla pääerotin katkaistaan kokoomakiskos-
ton ja kiskostoon kytkettyjen käyttöryhmien jännitesyötöt, lukuun ottamatta lukitus-
koskettimien kautta keskuksen tulevia vieraita ohjausjännitteitä.

Käyttöryhmä saa vaihtosähkösyöttönsä joko keskuksen takaosassa olevilta kokooma-
kiskoilta tai kaapelisyöttönä sähkökeskuksen ulkopuolelta. Vaihtosähköpiiriin suojaus
on toteutettu syöttötavasta riippumatta sulakkeilla tai katkaisijan ylivirtareleillä. (Par-
tanen 1987.)

Käyttöryhmän keskukseen sijoitetun pääerotin (erotin, kytkinvaroke tai kuorma-kytkin) avaamisella voidaan varmistua pääpiirien jännitteettömyydestä keskuksessa tehtävien töiden aikana (ei poista vieraita ohjausjännitteitä). Mikäli pääerotin avataan virrallisena, ohjaa sen apukosketin myös pääkontaktorin/-katkaisijan auki. Pääkontaktoria ei voida ohjata kiinni, mikäli pääerotin on auki. (Partanen 1987.)

DC-moottoreiden magnetointipiirit saavat vaihtosähkösyöttönsä pääkontaktorin (-katkaisijan) jälkeen oikosulkusuojien, jännitemuuntajien ja tasasuuntausyksikön kautta. Magnetointipiirin jännitteen karkea-asettelu tehdään moottorin magnetointijännitteen mukaan vaihtosähköpuolen jännitemuuntajalla. Tämä jännite tasasuunnataan ja asetellaan sopivaksi asetteluvastuksilla. Magnetointipiirin tasasähköpuolelle on kytketty yhden tasasähkökoneen magnetointikäämit. Ohjauskortti pyrkii pitämään käyttöryhmän nopeuden vakiona. Jos tasasähkökoneen magnetointi häviää, sen vääntömomentti pienenee voimakkaasti. Tällöin käyttöryhmä pysähtyy ja moottorit jäävät virrallisena seisomaan, mikä vahingoittaa koneen kommutaattoria. Tämän estämiseksi moottorin magnetointia valvotaan releellä, joka antaa käytölle pysähtymiskäskyn, jos magnetointivirta alittaa tietyn arvon. Magnetointipiirissä on suunnanvaihtokontaktorit, joilla käytöt saadaan pyörimään toiseen suuntaan. Kuviossa 8 on esitetty 1. kuivatusryhmän magnetointipiiri, jossa näkyy myös suunnanvaihtokontaktorit. (Partanen 1987.)



Kuvio 8. DC-käytön magnetointipiiri ja kentänkäntökontaktorit (Järvenpää 1987)

Tasasuuntaussillat

Tasasuuntaajina suurissa tasavirtakäytöissä käytetään kertaliipaistavia tyristorisilloja. Tyristori päästää sähköä lävitseen, kun se saa hilalleen positiivisen ohjauspulssin ja lakkaa johtamasta virran laskiessa kyseiselle tyristorille ominaisen pitovirtarajan alle. Vaihtosähköverkon luonnollinen virran kääntyminen, pysäyttää tyristorin johtamasta. Tyristorin saama ohjauspulssi nimitetään yleisesti liipaisu- tai syytyspulssiksi. (Rapo 2014, 11.) Pulssit tulevat SELE 1000 -säätäjältä tyristorisillalle pulssivahvistimien SGCP 1000 kautta.

Johtamattomaan suuntaan tyristori kestää jopa kymmenenkertaisen oikosulkuvirran tyristorin nimellisvirtaan nähden (Repo 2014, 12). Pulsseja ja niiden ohjauskulmaa muuttamalla saadaan haluttu jännitetaso ja virta. Jos ohjauskulmaa kasvatetaan (johtavaa aikaa viivästetään), kuormalle syötetty teho laskee. Ohjauskulman ollessa 0–90° silta toimii tasasuuntaajana. Tyristorisilta voidaan säätää myös toimimaan vaihtosuuntaajana, jos ohjauskulmaa muutetaan alueelle 90–120°. Tällöin tasavirtako-

neesta saadaan generaattori, joka jarruttaa työntäen jännitettä verkkoon. Jarruttavissa tasasähkökäytöissä on usein erillinen tyristorisilta jarrutusta varten. (Rapo 2014, 20.)

Jokaisella vaiheella on oma tyristoriparinsa, joiden avulla vaiheen eri puolijaksot voidaan tasasuunnata. Kolmivaiheisen vaihtovirran tasasuuntaamiseen tarvitaan siis kuusi tyristoria. Kerrallaan johtavina on kaksi tyristoria. Kukin tyristori johtaa siniaaltoja 120 verkkoastetta ja jokaisen tyristorin ”vastahaara” alkaa johtamaan 60 verkkoasteen jälkeen. (Rapo 2014, 17.)

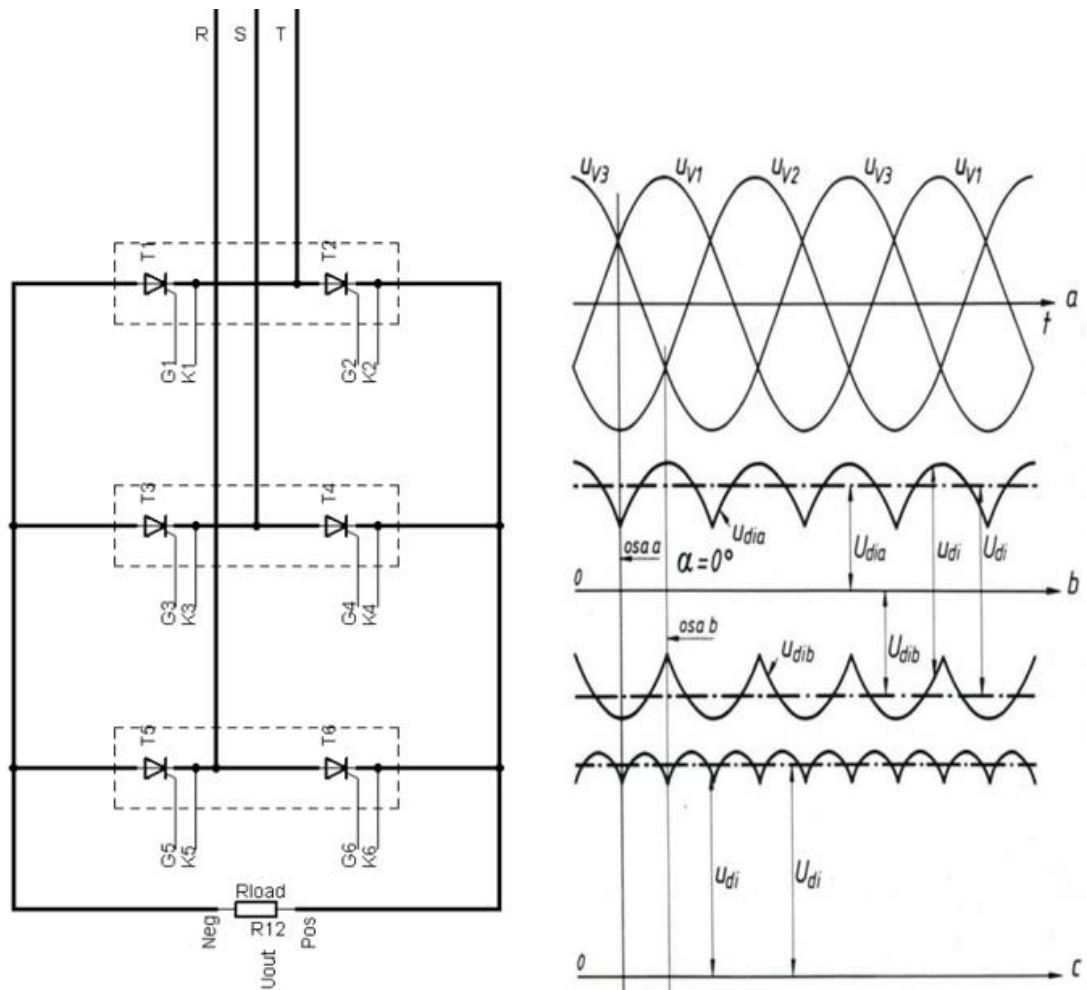
Myös uusimmat DC-käytöt perustuvat tyristoritasasuuntaukseen (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 30). Yleisimpiä teollisuuden DC-moottoreissa käytettäviä verkko- ja moottorijännitteitä on listattu taulukkoon 1. Verkkojännite on pienempi kuin moottorijännite, koska tasasuuntauksessa pystytään käyttämään vaihtosähkön huippuarvot hyödyksi. Suurimmat jännitteet saadaan silloin, kun sillan ylemmän puolen tyristorit kytkivät vuorotellen aina suurimmasta vaihejännitteisestä sillasta jännitteen positiiviseen kiskoon ja alimmat tyristorit vastaavasti pienimmän vaihejännitteen omaavan sillan jännitteen negatiiviseen kiskoon.

Taulukko 1. Yleisimmin käytetyt verkko- ja moottorijännitteet DC-käytöissä

Verkkojännite (V)	Moottorijännite (V)
380	440
525	600
660	750

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 30).

PK6:lla 525V tehollisarvoinen vaihtojännite muutetaan 0-600VDC moottorijännitteeksi. Kuviossa 9 käy ilmi tyristorien kytkentä ja tasajännitteen muodostuminen.



Kuvio 9. Kolmivaiheinen tyristorisilta ja jännitteen muodostuminen (Rapo 2014, 17)

Takometrillä mitataan moottorin pyörimisnopeutta. Paperikoneella käytössä olevissa absoluuttiantureissa on herkkyys 1024 tai 2048 asematietoa/pulssia yhdellä kierroksella (SAP ERP -järjestelmä n.d.). Ohjauskortti laskee näitä pulsseja ja antaa jatkuvan asema- ja suuntatiedon järjestelmään. Takometri vaaditaan, jotta ohjausjärjestelmä pystyy vertaamaan moottorin todellista pyörimisnopeutta annettuun ohjearvoon. Jos takometriltä tuleva takaisinkytkentä ei vastaa ohjearvoa, on moottorille lähtevää ankkurivirtaa tai -jännitettä muutettava, kunnes haluttu tasapainotila saavutetaan. Takometri saa jännitesyöttönsä tyristorisillan säätäjältä. (Partanen 1987.)

Jäähdytysilmapuhaltimet pitävät huolen, että käyttöryhmien tyristorisuuntaajien tai moottoreiden lämpötila ei pääse kasvamaan liian suureksi. Tyristorisuuntaajan puhallin sijaitsee käyttöryhmän käyttökaapin päällä. Puhallin saa syöttönsä käytön päävir-

tapiiristä kahvasulakkeiden kautta. Tasavirtakoneet tarvitsevat ulkopuolisen jäähdytysilman toisin kuin oikosulkumoottorit, joissa on päädyssä tuuletin ja moottorin kuoren jäähdytysrivat. Tasavirtakoneisiin puhalletaan viileää ilmaa koneen toiseen päätyyn, joka kulkee koko moottorin läpi poistuen toisessa päädyssä olevista ritilöistä. Näiden puhallinmoottoreiden ylivirtasuoja (lämpörele) asetellaan puhallinmoottorin nimellisvirran mukaan. Lauennut lämpörele aiheuttaa käyttöryhmien pääkontaktorien/-katkaisijoiden avautumisen. Kuviossa 10 näkyy, kuinka jäähdytysilma on tuotu moottorin kuvasta kauempan päättyyn ja lämmin ilma poistuu etualalla näkyvän ritilän läpi pois. Moottorin perässä näkyy myös takometri. (Partanen 1987.)

Jäähdytysilmaksi suositellaan hiiliharjojen, kommutaattorin ja käämitysten kannalta pölytöntä ja muutenkin puhdasta yli 10°C asteista ilmaa, jonka kosteus on n. 4 - 15 g/m³. Ilman ominaisuuksien laatuun ja tasalaatuisuuteen tulee kiinnittää sitä enemmän huomiota mitä tärkeästä moottorista on kyse. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 17, 22.)



Kuvio 10. DC-moottorin jäähdytysilmasyöttö ja takometri

3.2.3 Suojaukset

Jokainen käyttö on suojattu oikosulkuja ja ylikuormitustilanteita varten joko kytkinvarokkeella ja kontaktorilla tai kuormakytkimellä ja pienjännitekatkaisijalla. Konelinjan pienimmät käytöt (<600 A) ovat varustettu kontaktorilla ja suuremmat (>600 A) katkaisijalla. (SAP ERP -järjestelmä n.d.) Molemmat suojaustavat on esitetty kuviossa 11. Moottorikäyttöjen katkaisijat on varustettu aina alijännitereleellä, joka laukaisee katkaisijan, jos jännite katkaisijalta häviää. Näin estetään moottorien tahaton käynnistyminen esimerkiksi sähkökatkojen jälkeen.



Kuvio 11. Käyttöjen suojaustavat

Tasasähkökäyttöjen komponentit kuten tyristorisillat suojataan ylijännitteitä vastaan. Komponenttivalmistajat ilmoittavat em. laitteille jännitekestoisuuden esimerkiksi 2,5x nimellisjännite. Ylijännitesuojan mitoituksen tulee olla sellainen, että se leikkaa kiskostossa mahdollisesti esiintyvät ylijännitepiikit siten, ettei komponenttien jänni-

tekestoisuutta ylitetä. Asettelen tulee kestää kiskostossa esiintyvät magneettienergian purkaukset esimerkiksi tyhjäkävän syöttömuuntajan kytkentätilanteet. Ylijännitesuojauspiirin oikosulkusuojana toimivien sulakkeiden kuntoa valvotaan sulakkeiden rinnalle kytketyn suojakytkimen avulla. Jos jokin sulakkeista on ylijännitetilanteessa palanut, kasvaa suojakytkimen kautta kulkeva virta niin suureksi, että suojakytkin laukeaa ja aiheuttaa apukoskettimensa avautuessa käyttöryhmien pääkontaktorien/-katkaisijoiden avautumisen. Tasasähkökoneen ylikuormitussuojina toimii SELE 1000 -säätäjän ohjelma, joka seuraa moottorin ottamaa virtaa ja oikosulkusuojauksena tyristorisillan sulakkeet. (Partanen 1987.)

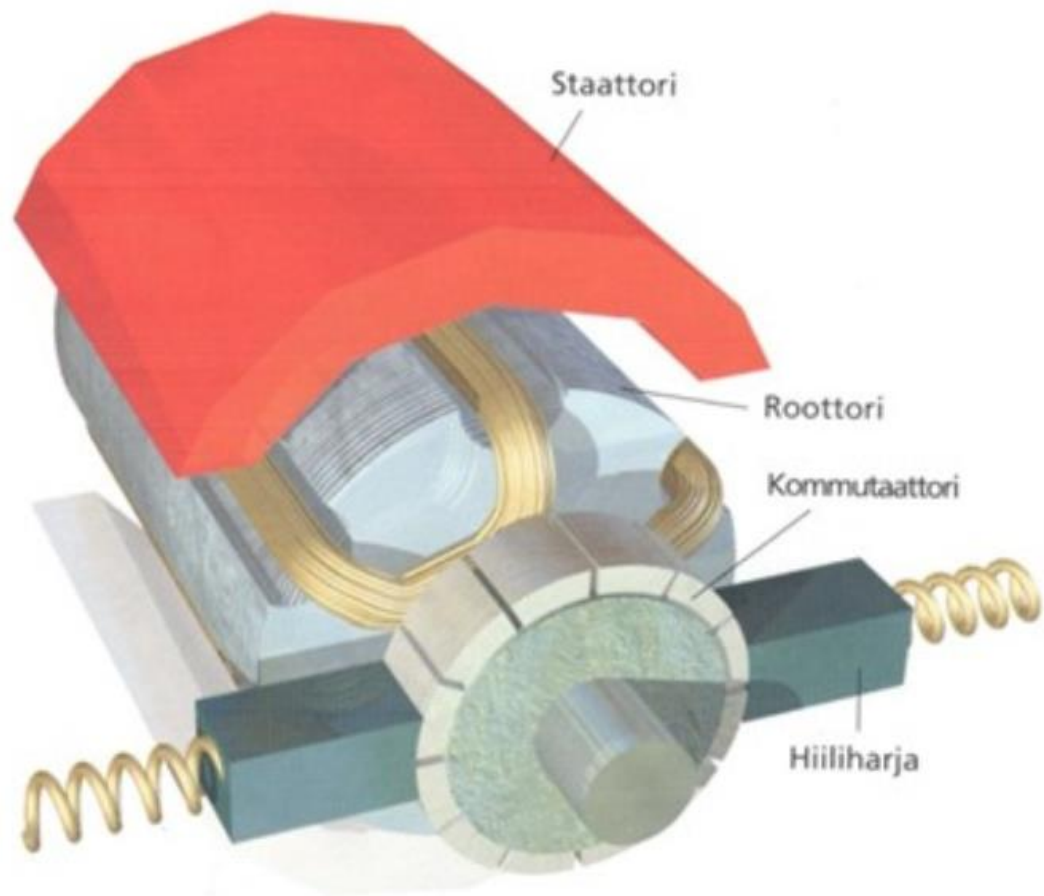
Maasulun valvonnassa on käytössä keinotekoinen nollapiste, joka soveltuu käytettäväksi käyttömaadoittamattomassa järjestelmässä. Keinotekoisien nollapisteen jännitettä tarkkaillaan jännitereleen avulla maata vasten. Kun maasulkupaikan ja keinotekoisien nollapisteen kautta kulkeva virta aiheuttaa tarkkailujännitteen nousun jännitereleen havahtumisarvoon, käynnistyy jännitereleen aikareleen laskenta (asettelu max. 5 s). Jos tarkkailujännite on ylhyällä vielä asetteluaajan kuluttua, suorittaa aikarele hälytyksen ja laukaisee käyttöryhmien pääkontaktorit (-katkaisijat). (Partanen 1987.)

3.2.4 DC-moottorit

Tasavirtakoneet ovat olleet erittäin suosittuja säädetyissä moottorikäytöissä niiden helpon säädettävyyden ansiosta. Tasavirtamoottorin rakenne poikkeaa huomattavasti tahti- ja oikosulkumoottoreiden rakenteesta, koska tasavirtakoneet eivät tarvitse kiertokenttää toimiakseen. Koneen rautaosat muodostavat koneen magneetikentälle magneetti-piirin. Magneettivuot koneessa ovat tasakenttiä, jonka takia koneen kehä ja napojen rautaosat voidaan tehdä täysraudasta. Tasavuon takia rajoittavia pyörrevirtoja ei em. osiin synny. Roottori sen sijaan pyörii tasamagneetikentässä ja altistuu muuttuvalle magneettivuolle. Roottorin rautaosat ovat koottu useista ohuista rautalevyistä pyörrevirtojen minimoimiseksi. (Hietalahti 2011, 35.)

Tasavirtamoottorin toiminta perustuu eristetyistä kiilanmuotoisista kupariliuskoista tehtyyn pyörivään sylinterimäiseen kommutaattoriin. Koneen roottorille on sijoitettu

ns. ankkuri, johon hiiliharjojen välityksellä syötetään koneen nimen mukaisesti tasavirtaa. Käämitykset kommutaattorille on kytketty siten, että jokaiseen liuskaan on liitetty yhden vyyhdin alku- ja toisen loppupää. Koneen ulkokehän seisovaan osaan eli staattoriin on sijoitettu koneen magnetointi. Magnetointi voidaan toteuttaa joko kes- tomagneeteilla tai magneettinavoilla, jotka on ympäröity magnetoivalla käämityksellä. Kun käämitykselle syötetään tasavirtaa, syntyy napoihin tasavuo, joka leikkaa ankkurikäännyksiä. Tasavirtamoottorin rakenne on esitetty kuviossa 12. (Mts. 35.)

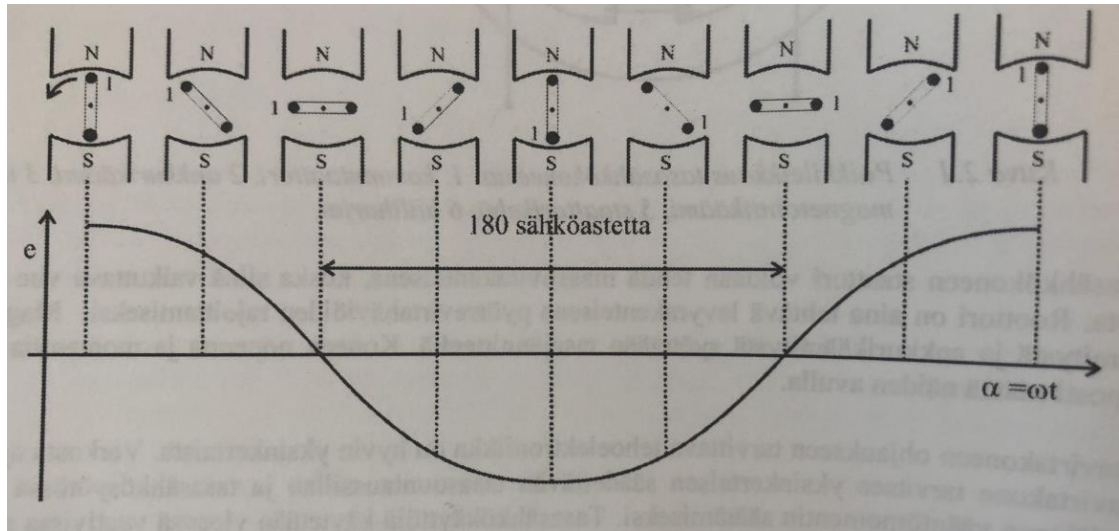


Kuvio 12. Tasavirtamoottorin rakenne (Karvonen n.d.)

Matemaattisesti tasavirtamoottorin toiminta perustuu kaavaan 1:

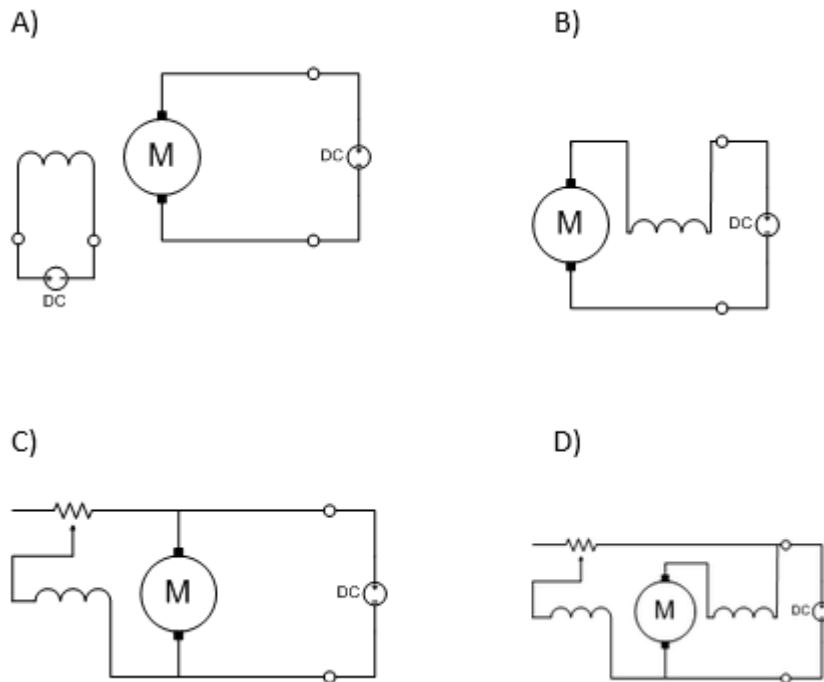
$$F = B \cdot I \cdot l \quad (1)$$

, jossa F on johtimen tuottama voima, B magneettikentän vuontiheys, I johtimen virta ja l johtimen pituus magneettikentän alueella. Kuviossa 13 nähdään kuinka yhden johdinkierukan asento magneettivuossa vaikuttaa siihen kohdistuvaan sähkömotoriseen voimaan. (Hietalahti 2011, 37.)



Kuvio 13. Johtimeen vaikuttava sähkömotorinen voima (Hietalahti 2011, 36)

Tasasähkökoneet jaetaan neljään eri ryhmään magnetointitavan perusteella. Eri magnetointitavoilla koneen ominaisuudet muuttuvat. Magnetointikäilyksen tarvitsema tasavirta voidaan ottaa joko koneen navoilta, jolloin puhutaan itsemagnetoinnista tai ulkoisesta tasavirtalähteestä, jolloin puhutaan vierasmagnetoinnista. Itsemagneetoivat koneet jaetaan vielä sivu-, sarjavirta- ja komppoundikoneisiin magnetointikäilyksen kytkennän mukaan. Kuviossa 14 on esitetty eri magnetointikäilysten kytkennät. (Mts. 42 - 49.)



Kuvio 14. Tasavirtakoneen magnetointikäimitykset. A) Vierasmagnetoitu B) Sarjakäämi C) Rinnankäämi D) Kompoudikäimitys (Tasavirtamoottori n.d.)

Näistä moottoreista puhutaan yleisesti kenttäkäämitettyinä tasavirtamoottoreina. Vaihtoehto staattorin kenttäkäämitykselle on kestopagneetit. (Tasavirtamoottori n.d.)

Vierasmagnetoidussa tasasähkökoneessa magnetointikäimitystä syötetään ulkopuolisesta säädettävästä virtalähteestä ja näin magnetoinnin suuruutta voidaan säätää lähes rajattomasti. Vierasmagnetoidun tasasähkökoneen etuihin kuuluu, että staattorin magneettivuota voidaan säätää erikseen ja esimerkiksi heikentää vuota nimellisenopeuden yläpuolella olevalla kentänheikennysalueella. Koneita voidaan siis ajaa nimellisenopeutta kovemmalla nopeudella, mutta vain jos magnetointia heikennetään kääntäen verrannollisesti nopeuden nousuun nähden. Jos magnetointi pidetään vakiona, kasvaa ankkurijännite nimellistä suuremmaksi, jota moottori ei ole tehty kestämään. (Hietalahti 2011, 44.)

Sekä magnetoinnilla että ankkurivirralla voidaan vaikuttaa koneen momenttiin, mutta usein magnetointi pidetään vakiona ja momenttia säädetään ankkuripiirin jännitettä ohjaamalla. Ankkurijännite on lähes suoraan verrannollinen pyörimisnopeuteen (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 17, 22). Moottorin pyörimisnopeutta voidaan

säätää muuttamalla ankkuripiirin syöttöjännitettä, magnetointivirtaa tai ankkuripiirin resistanssia. Jos näitä suureita ei muuteta, nopeus alenee lievästi kuormituksen kasvaessa. (Hietalahti 2011, 44.)

Paperiteollisuuden DC-käytöissä käytetään useimmiten kenttäkäämitettyjä ja vierasmagnetoituja tasavirtamoottoreita. Kenttäkäämitetyllä moottorilla tarkoitetaan sitä, että moottorin staattorikehän magnetointi on toteutettu sähkömagneeteilla, eikä kestopagneeteilla. Kenttäkäämitettyjä DC-moottoreita on neljänlaisia, mutta paperikoneilla usein käytössä ovat vierasmagnetoidut DC-moottorit, joiden magnetointivirta otetaan muualta kuin koneen navoilta. (Partanen 1987.) Vierasmagnetoidulla moottorilla on hyvät pyörimisnopeuden ja vääntömomentin säätöominaisuudet, koska sekä magnetoinnilla että ankkurivirralla voidaan vaikuttaa koneen momenttiin. (Hietalahti 2011, 44).

Moottoreiden magnetointipiiri saa vaihtosähkösyöttönsä samasta vaihtosähkösyötöstä kuin käyttöryhmäkin. Syöttö magnetointipiirille otetaan käyttöryhmän pääerottimen, tai pienemmissä käytöissä kytkinvarokkeen jälkeen oikosulkusuojien kautta. Magnetointipiirin jännitteen karkea-asettelu tehdään vaihtosähköpuolella olevalla muuntajalla. Tämä jännite tasasuunnataan ja asetellaan tasasähkökoneille sopivaksi käyttökohtaisilla asetteluvastuksilla. Käyttöjen magnetointipiirissä, joka on esitetty kuviossa 8, näkyy magnetointipiirin vaihto- ja tasasähköpuolet. Säättäjä pyrkii pitämään käyttöryhmän nopeuden vakiona. Jos tasasähkökoneen magnetointi häviää jostain syystä, sen vääntömomentti pienenee voimakkaasti. Tällöin käyttöryhmä normaalisti pysähtyy ja moottorit jäävät seisomaan virrallisina, jolloin tasasähkökoneen kommutaattori voi vioittua. Tämän estämiseksi käyttöryhmän johtomoottorin magnetointia valvotaan releellä, joka antaa ryhmälle pysähtymiskäskyn, jos magnetointivirta alittaa tälle asetetun arvon. (Partanen 1987.)

Tasasähkökoneen momentti ($T = C * I_a * \Phi$) on riippuvainen koneen vakiokertoimesta C , ankkurivirrasta I_a ja magneettivuosta Φ (Hietalahti 2011, 37). Jos ankkurivirran tai magneettivuon suunta muuttuu, muuttuu myös momentin suunta. Raskaan huimamassan omaavissa käyttöryhmissä jarrutukseen, sekä käyttöryhmissä, joissa tarvitaan käyttökohteen molemmin suuntaista pyörittämistä, voi terpeelliseksi tulla kentän kääntö. Kentän kääntö toteutetaan vaihtamalla tasasuuntaajan tasasähköpuolen napaisuutta, jolloin tasasähkökoneen magnetointikään läpi kulkevan virran

suunta muuttuu ja tämän takia myös magneettivuon suunta vaihtuu. (Partanen 1987.) Kentän kääntö kontaktoreilla magnetoinnin kääntö voidaan tehdä hyvin nopeasti ja vaivattomasti. Kentän kääntö kontaktorit näkyvät kuviossa 8.

3.2.5 SELE 1000 -tasavirtakäytön säätäjä

3.2.5.1 Rakenne ja toiminta

Konelinjalla käytetään tasavirtamoottoreiden tyristorisuuntaajien ohjaukseen Strömbergin SELE 1000 -säätäjää, joka sisältää mikroprosessoridun ohjauskortin SGEA 1000, moottorisillan pulssivahvistimen SGCP 1000 ja riviliitinkortin SGHF 1000. SELE 1000 sisältää kaksi kaksisuuntaista sarjaliikennekanavaa. Sarjaliikennemuoto on asynkroninen eli sarjaliikenne kulkee yhdellä signaalilla kuhunkin suuntaan. Sarjaliikennekanavan kautta SELE 1000:lle annetaan tarvittavat tiedot

- ohjeavot: kuten nopeus-, momentti- ja kenttäohjeet
- ohjauskäskyt: kuten ajo, seis, estosuuntaus ja laukaisun kuittaus
- parametrit: kuten säätövahvistukset, virtarajat ja säätökytkentävalinnat

Saman sarjaliikennekanavan avulla SELE 1000:lta luetaan seuraavat tiedot

- oloarvoja raportoitavaksi koneenkäyttäjille tai säätötarkoituksiin
- diagnostiikkatietoja koneenkäyttäjille
- mittauspistetietoja kunnossapidon käyttöön

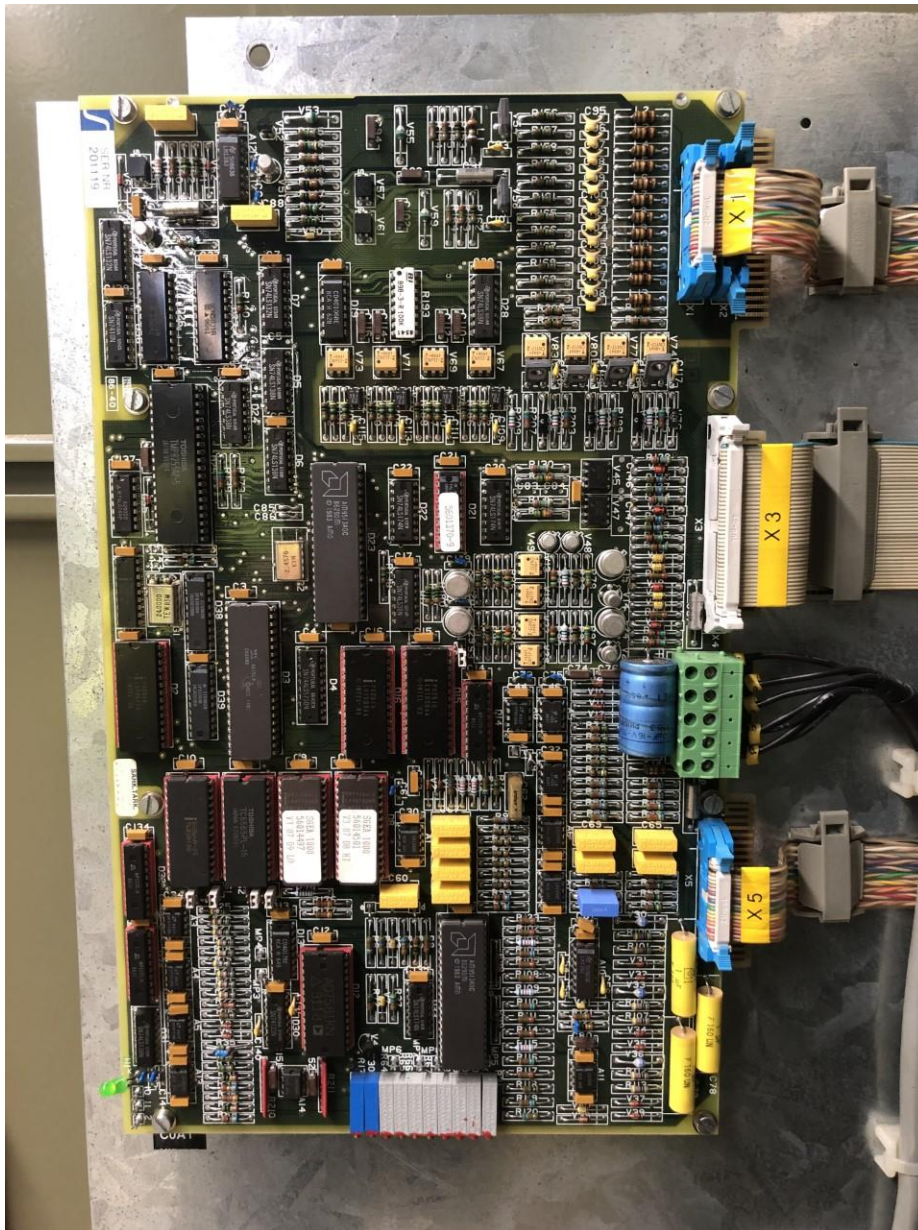
(SELE 1000 Ohjauskortin toimintaselostus 1985. Strömberg.)

Kaikilla järjestelmän suureilla on osoite 1, 2, ..., 255. Osan suureista SELE 1000 tallentaa EEPROM muistiin, joka säilöö suureet jännitekatkosten ajaksi. Näiden EEPROM:lle tallennettujen suureiden perässä on "TEE", kun taas parametrit, joita ei tallenneta, on suureen perässä "T". Kun käytössä on normaalitila (parametri 008T > 0), tapahtuu talletus automaattisesti määräajoin ja jos jotain EEPROM-parametria halutaan päivittää useammin sarjakanavaa pitkin, tulee normaalitilan olla pois päältä (parametri 008T = 0). (SELE 1000 Tasavirtakäytön ohjauskortti 1985. Strömberg.)

SELE 1000:n liittimet ovat (ks. Kuvio 15)

X1 20 napainen nauhakaapeliliitin tyristorisillan pulssivahvistimille.

- X2 20 napainen nauhakaapeliliitin generaattorisillan pulssivahvistimelle, joka ei tässä järjestelmässä ole käytössä. (kuviossa 15 liittimen X1 alla)
- X3 40 napainen nauhakaapeliliitin takometriitäntää, sarjaliikennettä ja loogisia tuloja, sekä lähtöjä varten.
- X4 Ruuviliittimet apujännitteitä varten (+5V, +15V ja -15V).
- X5 20 napainen nauhakaapeliliitin tahdistusjännitettä ja virtatakaisinkytkentää varten.



Kuvio 15. SGEA 1000 piirikortti ja liittimet

Proessorin kapasiteetti jaetaan käyttöjärjestelmän ohjelman toimesta eri toiminnolle ja ohjelma määrittelee niille tarpeelliset suoritusvälit ja prioriteetit. Ohjelma jakautuu erilaisiin ”taskeihin”. Taskit käsittää yhden tai useampia toimintoja, jotka suoritetaan peräkkäin samalla prioriteettitasolla. Taskin voi keskeyttää ainoastaan toinen taski, jonka prioriteettitaso on korkeampi. Taskit näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. SELE 1000 taskit

Aikaväli (ms)	Heräte	Toiminta
-	Ylivirtakeskeytyks	Ohjaa virran nolnaan ja avaa kontaktorin 20 ms kulluttua
-	Alijännitekeskeytyks	Poistaa pulssit
0.64	AD-muunnos valmis	Lukee virran oloarvon muuntimelta
1	Kellopulssilaskuri	Sarjaliikennepiirien nollaus ja hardware watch dog -ohjelma
2	1 ms:n taski	Laskee sytytyspulssien ajat sekä sillanvaihtologiikka. Lisäksi virran oloarvon laskenta ja virtasäätö
4	2 ms:n taski joka toinen kerta	Digitaal- ja analogiatulojen luku ja suoto, trendien keruu sekä mittaus ja D/A muuntimen kirjoitus
20	2 ms:n taski	Lukitukset ja vikalogiikka, nopeudensäätö, virran ja momentin suoto, sarjaliikennesanomien käsittely, EEPROM-päivitys
100	20 ms:n taski	Ohjauslogiikka ts. start, stop, magnetoinnin ohjaus, lämpömalli
200	100 ms:n taski	Vikalogiikka, verkkojakson pituuden laskenta ankkurijännitteen laskenta sekä raportointi
400	200 ms:n taski	Online debugger sekä linjan 1 sanomaliikenne CP II:lle
Taustataski	Apujännitteen tulo	LSI-piirien initialisointi, parametrien luku EEPROM:sta

(SELE 1000 Tasavirtakäytön ohjauskortti 1985.)

3.2.5.2 SELE 1000:n liitännät:

Tyristorihjaukset:

Moottorisillan pulssivahvistimen ohjaus tapahtuu liittimen X1 kautta ja mahdollisen generaattorisillan pulssivahvistimen ohjaus liittimeltä X2 (SELE 1000 tasavirtakäytön ohjauskortti 1985). Liittimen navat näkyvät liittessä 2.

Digitaalitulot:

Neljä digitaalituloa tulee kortille liittimen X3 kautta. Tulojännite on 13-28 V (ac tai dc) ja virta <20 mA. Digitaalituloilla saadaan tiedot pääkontaktorin hälytyksestä, laukaisusta, pääkontaktori kiinniolosta ja magnetoinnista. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X3:15-22).

Digitaalilähdöt:

Digitaalilähtösignaalit ovat 24 V ja 150 mA. Lähtöjä on neljä kappaletta ja niiltä lähtee seuraavat tiedot: pääkontaktorin kiinnio, magnetoinnin syöttö kiinni, magnetointi eteen ja magnetointi taakse. Lähdöt kulkevat liittimen X3 kautta. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X3:5-12).

Sarjaliikennekanavat:

Sarjaliikennettä varten kortista löytyy kaksi lähtöä ja kaksi tuloa, jotka kaikki toimivat 24 V ja 20 mA signaaleilla. Lähdöt ovat virtarajoitettuja ja niille on säätökortilla kytkin liikennenopeuden asettelua varten. Tyypillisesti käytetty nopeus on 4800 baudia. Kummallekin tulolle löytyy sekä virranrajoitusvastuksella että ilman olevat navat. Sarjaliikenne kulkee liittimen X3 kautta. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X3:23, 25-32).

Takometritulot:

Takometreiltä tulee kaksi 15 mA virtapulssisignaalia, jotka ovat 90 asteen vaihesiirrossa keskenään. Ensimmäisestä virtapulssisignaali jonosta lasketaan pulssien nousevat reunan ja pulssireunojen väliset ajat, joiden avulla pyörintänopeus lasketaan. Toista pulssijonoa käytetään suunnan ilmaisuun. Virtapulssisignaalit löytyvät liittimeltä X3. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X3:33-36).

Syöttöjännitteet:

Kortilta löytyy syöttöjännitteet +-15 V ja +5 V jännitteillä. +15 V sekä -15 V navat syöttävät virtaa 0,2 A ja +5 V navasta saa virtaa ulos 1,6 A. Kummallekin jännitetasolle löytyy oma 0 V napa. Syöttöjännitteet saadaan ulos liittimen X4 kautta. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X4:1-6).

Olovirran mittaus:

Ankkurivirta mitataan virtamuuntajilla. Suuntaajan nimellistasavirta kerrottuna muuntosuhteella tulee olla 0,7...1,3 A. Tämä virtatieto muutetaan riviliitinkortilla olevien tasasuuntaajan ja kuormitusvastuksen (8 ohm) avulla tasajännitesignaalksi. Ylivirtasignaali (I.O.C) muodostuu, jos nimellisvirran 3,5 kertainen arvo (virtamuuntajan muuntosuhde huomioiden) ylitetään. Tämä arvo vastaa 28 V nimellisjännitettä tulo liittimellä (X5:5,6). Signaali muutetaan digitaaliseksi ankkurivirran säätöä varten siten, että 10 V jännitettä vastaa digitaaliluku 1000. Olovirran mittaus löytyy liittimeltä X5. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X5:5,6).

Tahdistusjännitteet:

Tahdistusjännite saadaan kolmivaiheisena tahdistusmuuntajan tähteen kytketystä toisista (vaihejännite 9-25 V). Se ohjaa komparaattorien kautta kolmea laskuria, joista pystyy lukemaan ajan kustakin jännitteen positiivisesta nollanohituksesta. Jännite tasasuunnataan ja mikäli jokin vaiheista ei toimi tai verkkojännite on tippunut alle 200 VAC, antaa komparaattori alijännitesignaalin UMIN. Analogiatulot löytyvät liittimeltä X5. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X5:7-9).

Analogiatulot:

Säätäjäkortilla on yhteensä neljä analogiakanavaa. Näistä kolme on samanlaista, joiden sisääntuloissa on difrentiaalityyppiset vahvistinasteet. Tulojännite on +- 10 V ja kuormitusvirta 1 mA. Neljäs analogiakanavan sisääntulojännitealue on +- 2 V ja kuormitusvirta samainen 1 mA. Analogiatulot löytyvät liittimeltä X5. (Mt.) Liittimen navat näkyvät liitteessä 2 (X5:11-18).

Analogialähdöt:

Analogialähtönä on +- 10 V jännitesignaali, jonka kuormitettavuus on 5 mA. Analogialähtö on tarkoitettu magnetoinnin ohjaamiseen ja se toimii niin yksi kuin kaksi polarisenakin. Analogialähtö tulee liittimen X5 kautta (X5:19,20). Säätökortin mittapisteiltä 10 ja 11 voidaan myös mitata D/A muunnettu analogialähtö, jonka lähtöjännite on -10-0 V. Kuormitettavuus on 5 mA. (Mt.) Liittimet löytyvät liitteestä 2.

3.2.5.3 Ohjaus

Tietoliikennesanomalla voidaan asettaa joissain osoitteessa (1T,...,255T) oleva muuttaja tai parametri. Tietoliikenteellä voidaan myös kysellä osoitteissa olevia arvoja. Tietoliikenne perustuu ASCII-merkkeihin. Sanomassa lähetetään aina kaksi osoitettavaa A0 ja A1 sekä neljä tietotavua D0-D3, jotka ovat ASCIIHEKSA-lukuja. SELE 1000 kortilla on kaksi samanlaista tietoliikennekanavaa. Kummallakin sarjaliikennekanavalla on kahdeksan lohkoa, jotka voidaan asetella raportoimaan taulukkosuureita sarjakanavien kautta. (SELE 1000 tasavirtakäytön ohjauskortti 1985.)

SELE 1000 -säätäjässä on 16 ohjauslohkoa, joiden avulla haluttu ajonopeus määrittyy. Lohkojen avulla mm. valikoidaan haluttu ohjaustapa ja kuorman jako, asetetaan haluttu nopeusohje ja kiihdytysrampit, valitaan momenttisäädön ja nopeussäädön väliltä yms. Ohjauslohkot on esitetty liitteessä 3. Ohjauslogiikka (ks. liite 4) on yksi 16 ohjauslohkosta. (Mt.)

3.3 AC-käytöt

3.3.1 Historia

Jos säädettävissä tasasähkökäytöissä syöttöjärjestelmä on yksinkertainen ja tasasähkömoottorit monimutkaisia, on AC-käytöissä asetelma usein täysin toisinpäin. Helposti säädettävät tasavirtamoottorit ovat rakenteeltaan niin monimutkaisia ja hintavia, että 1970-luvulta asti on pohdittu miten edullista ja yksinkertaista oikosulkumoottoria pystyttäisiin taajuusmuuttajan avulla säätämään tasavirtamoottorin tavoin. Oikosulkumoottorin säädettävyys on ollut vaikeaa, koska moottorin käyttäytyminen ei ole täysin lineaarista. Taajuusmuuttajat kehittyivät kovasti 1990-luvulla ja siitä asti ovat AC-käytöt yleistyneet räjähdysmäisesti. (Hietalahti 2012, 23.)

3.3.2 Taajuusmuuttaja

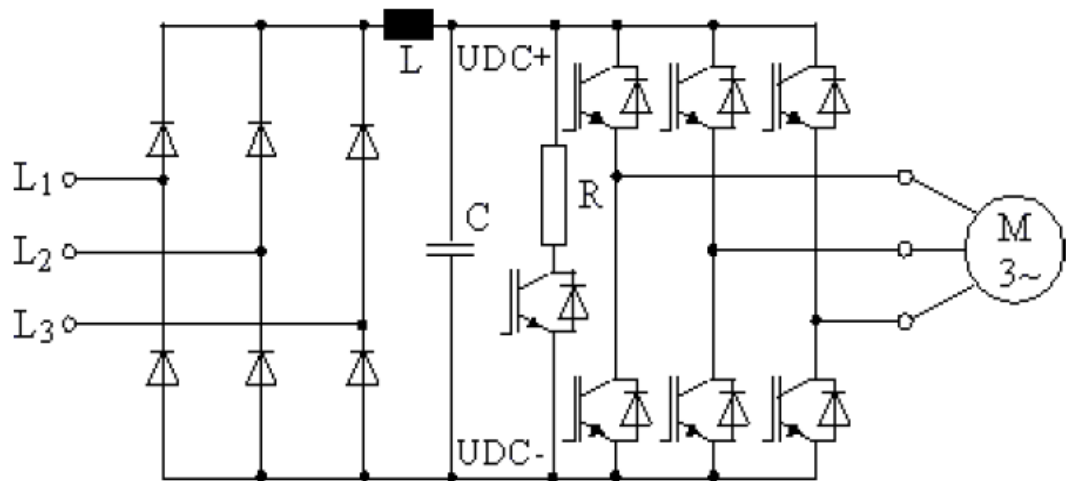
Taajuusmuuttajia on kahdenlaisia: välipiirillisiä ja suorita taajuusmuuttajia. Välipiirillisessä taajuusmuuttajassa syötetty vaihtosähkö tasasuunnataan energiavarastoon ja siitä muunnetaan uudestaan vaihtosähköksi. Suorissa taajuusmuuttajissa tätä välivaihdetta ei ole, vaan syötetty vaihtosähkö pilkkotaan suoraan haluttuun taajuuteen

ja jännitteeseen puolijohdekytkimien avulla. Suurin osa nykyisistä taajuusmuuttajista on välipiirillisiä. Välipiiri voidaan toteuttaa joko jännitevälipiirinä tai virtavälipiirinä. Jännitevälipiiri on näistä yleisempi ratkaisu ja siinä energiavarastona toimii kondensaattoripatteri. Virtavälipiirissä varastona toimii kelan induktanssi. Virtavälipiirilliset taajuusmuuttajat toimivat ainoastaan yhden moottorin ohjauksissa. Molemmissa välipiiriratkaisuissa on usein mukana tasoituskuristin, jonka tarkoituksena on tasoittaa tasajännitteen muutoksia. (ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 17; Hakala 2015, 2.)

Taajuusmuuttajien pääpiiri koostuu usein seuraavista osista ja ne on esitetty kuviossa 16.

- tasasuuntaaja
- välipiiri
- vaihtosuuntaaja

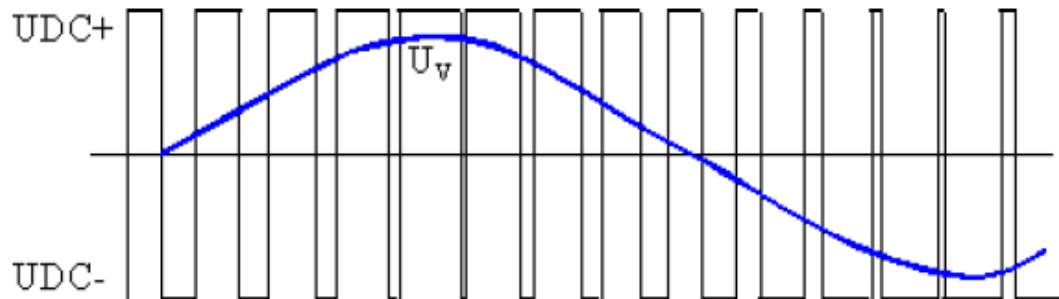
Lisäksi rakenteeseen kuuluu mahdollisesti myös ohjaus-, suojaus- ja/tai mittauspiirit. Tasasuuntaajan tarkoituksena on tasasuunnata taajuusmuuttajaa syöttävä vaihtojännite diodisillalla välipiirille. Tasasuuntaus toteutetaan usein 6-pulssisella diodisillalla, mutta tasasuuntaukseen voidaan käyttää myös transistoreja tai tyristorisiltoja kuten DC-käytöissä. (Hakala 2015, 2.)



Kuvio 16. Taajuusmuuttajan rakenne (Sähkömoottorikäytöt n.d AEL)

Vaihtosuuntaaja vaihtosuuntaa välipiirin tasajännitteen haluttuun vaihtojännitteeseen, sekä taajuuteen. Vaihtosuuntaaja muodostuu usein kuudesta tyristorista tai kuudesta IGBT-transistorista. Nykyisissä vaihtosuuntaajissa IGBT-

transistorit ovat yleisempi vaihtoehto. Vaihtosuuntaus perustuu tasajännitteen pilkkomiseen ja pilkkottujen pulssien leveyden modulointiin. Kuviossa 17 näkyy pulssin leveyden modulointi – PWM (Pulse Width Modulation). (Hietalahti 2013.)



Kuvio 17. Vaihtosuuntaajan pulssin modulointi (Sähkömoottorikäytöt n.d. AEL)

Taajuusmuuttajan ohjaus- ja säätöpiirit ohjaavat vaihtosuuntaajien transistoreja halutun jännitteen ja taajuuden aikaansaamiseksi. Piirit vastaanottavat taajuusmuuttajalle tulevia viestejä ja lähettävät niitä eteenpäin transistoreille. Taajuusmuuttajan tulevat ja lähtevät viestit liitetään taajuusmuuttajien liitäntäkortille. Esimerkiksi ABB:n ACS880 taajuusmuuttajan liitännät näkyvät liitteessä 5.

3.3.3 Oikosulkumoottori

Yleisin teollisuudessa käytetty sähkömoottori on oikosulkumoottori, mutta AC-moottorikäyttöjä on myös tahti- ja kestopagneettimoottoreilla. PK6:n kaikki vaihtosähkömoottorit ovat oikosulkumoottoreita. Oikosulkumoottoreiden yleisyyteen teollisuuskäytössä ovat johtaneet niiden yksinkertainen ja vankka rakenne joka tarkoittaa edullista hankintahintaa ja pitkää käyttöikää. Lisäksi koneen hyötysuhde on hyvä ja huoltokustannukset pienet, joten kustannukset pysyvät kurissa hankintainvestoinnin jälkeenkin. Nämä kun yhdistetään oikosulkumoottorin soveltuvuuden vaativiin ympäristöolosuhteisiin ja useisiin käyttötarkoituksiin on valta-asema teollisuudessa oikeutettu. Kolmivaiheista oikosulkumoottoria voidaan käyttää myös generaattorina sellaisenaan, mutta kone on yleisempi moottorikäyttönä. (Hietalahti 2011, 59; ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 11.)

Oikosulkumoottorin isänä pidetään Nikola Teslaa, joka 1880-luvulla kehitti vielä nykyisissä koneissakin olevan rakenteen (Kortelainen 2009). Kolmivaiheisen epätahtikoneen pääosat muodostuvat ulkokehän staattorista ja staattorin sisällä pyörivästä roottorista. Molempiin on johdotettu käämitykset liitteen 6 esimerkin mukaisesti. Käämiksi kutsutaan yhdelle vaiheelle kuuluvaa staattorikäämityksen osaa. Käämin voi muodostaa yksi tai useampi vyyhti. Urassa olevaa vyyhdin osaa kutsutaan vyyhdin sivuksi ja koneen päässä olevaa osaa vyyhdin otsaksi. Vaihtovirta kytketään staattorin käämeille, jolloin käämien virralliset johtimet aiheuttavat ympärilleen magneettikentän. Sykkivän vaihtovirran ja käämien asettelun ansiosta magneettikenttä pyörii staattorin kehällä. Staattorin pyörivän magneettikentän vuoviivat leikkaavat roottorissa olevat käämit, joiden roottorisauvoihin muodostuu roottorivirta. Virran ja pyörivän magneettikentän välinen voimavaikutus saa roottorin liikkeelle. Roottori lähtee pyörimään aina samaan suuntaan kuin magneettikenttä. Roottori ei koskaan saavuta magneettikentän pyörimisnopeutta, vaan niiden välillä on aina pieni jättämä. Jos roottori pyörisi samaa nopeutta kentän kanssa, ei roottorin sauvoihin muodostuisi pyörintää synnyttävää momenttia. (Korpinen 2008, SÄHKÖKONEET osa 1.)

Oikosulkumoottorin toiminta perustuu sähkötehon siirtämiseen staattorista roottoriin sähkömagneettisen induktion avulla. Tämän takia oikosulkumoottorista käytetään myös nimitystä induktiomoottori. Induktion ansiosta moottorista puuttuu suora galvaaninen yhteys pyörivän roottorin ja sähköverkon väliltä. Toimintaperiaatteensa vuoksi induktiomoottori on siis hyvin läheistä sukua muuntajan kanssa. (Hietalahti 2011, 60.)

Moottorin magneettikentän nopeus (n_s) määräytyy moottorin napapariluvusta (p) ja syöttävän verkon taajuudesta (f) kaavan 2 mukaan:

$$n_s = 60 \frac{f}{p} \quad (2)$$

Suomen verkkotaajuudella (50Hz) moottorien tahtinopeudet laskevat napaparimäärän kasvaessa seuraavasti 3000, 1500, 1000, 750, 600...(rpm). Todelliset pyörimisnopeudet jäävät suurilla moottoreilla alle prosentin päähän tahtinopeudesta, mutta pienillä moottoreilla suurella kuormituksella jättämä voi olla jopa yli kymmenen prosenttia. (Hietalahti 2011, 57-61.)

Pyörimisnopeus n voidaan laskea kaavalla 3:

$$n = \frac{f}{p} - \Delta n = n_s - \Delta n, \quad (3)$$

jossa f = syöttötaajuus

p = moottorin napapariluku

Δn = absoluuttinen jättämä

$n_s = f_1 / p$ = tahtinopeus

(ABB:n TTT-käsikirja 2000-07, luku 18, 11.)

4 Ohjausjärjestelmä

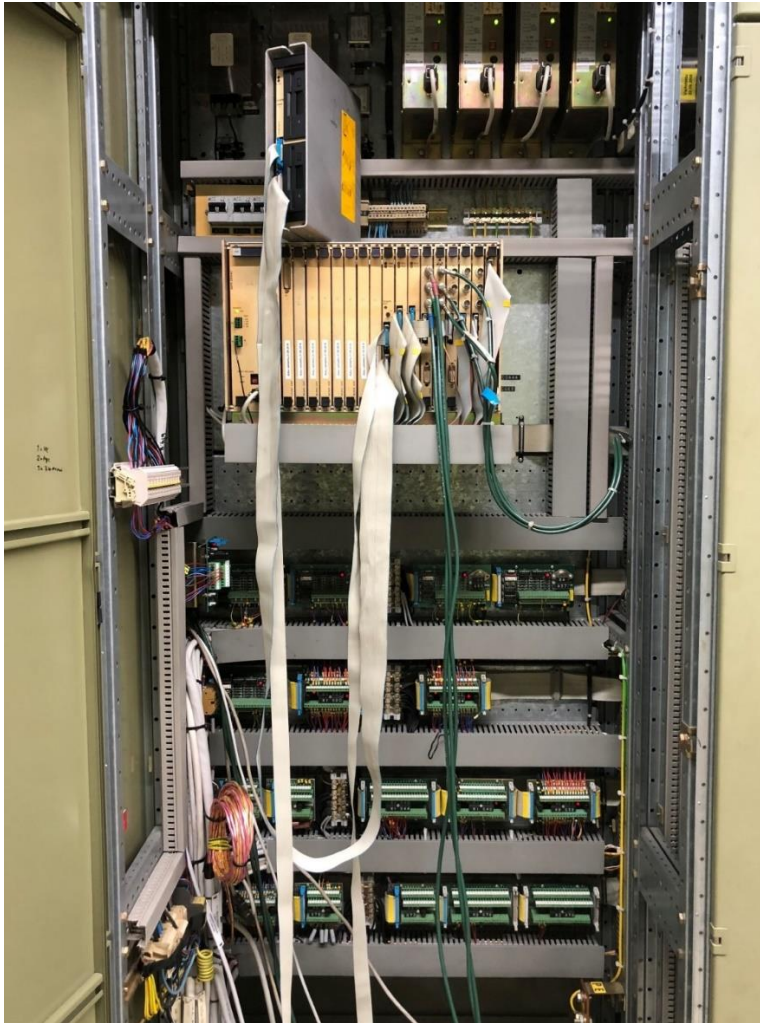
Sähkökäyttöjen ohjausjärjestelmänä on Kymi-Strömberg Oy:n suunnittelema ja valmistama SELMA 2. Järjestelmä on kehitetty teollisuuskäyttöön ja sen kaikki prosessisignaalit on erotettu galvaanisesti tai suurohmisesti ohjauslogiikasta. (SELMA 2 Laiteseloste 1985.)

SELMA 2 perustuu 16-bittiseen mikroprosessoriin 8086 ja aritmetiikkaprosessoriin 8087, kellotaajuus on 5 Mhz. Muistia järjestelmässä on 64 kt/cpu ja EEPROM muistikortilla 3*192 kt. (SELMA 2 Laiteseloste 1985.)

Järjestelmä muodostuu seuraavista osista

- 19" kehikoista tai kehikosta, joissa sijaitsevat elektroniikkakortit ja niiden vaatimat apujännitelähteet
- prosessiliitäntämekaniikka
- prosessijännitelähteistä
- kojekoteloista, käämeistä yms.

Alla olevassa kuviossa 18 näkyy yksi kolmesta SELMA 2 järjestelmäkaapista. Kaapissa yläreunassa on prosessijännitelähteet, keskellä yksi 19" korttikehikko ja alareunassa prosessiliitäntämekaniikka eli riviliitinkortteja.



Kuvio 18. SELMA 2 järjestelmäkaappi

Koneessa on erikseen prosessi-SELMA ja video-SELMA. Prosessi-SELMA pitää sisäl-
lään kaikki moottoriohjaukset ja niiden säätöpiirit. Sen tehtävänä on kerätä tietoa
prosessista, käsitellä sitä halutulla tavalla ja ohjata hallussaan olevien tietojen avulla
käyttöjä. Ohjaus seuraa hyvin tarkkaan ohjearvoketjua, joka on esitetty liitteessä 7.
Prosessi-SELMA:n liityntä tapahtuu sarjaliikenteellä. Järjestelmän ohjelmointi tapah-
tuu valmiiden toimintalohkojen arvoja muuttamalla. (SELMA 2 Laiteseloste 1985.)

Video-Selma on laitteistoltaan hyvin samanlainen prosessi-Selman kanssa. Lisänä
prosessi-Selmaan verrattuna ovat video-ohjain ja monitorit näppäimistöineen. Video-
Selmalta pystytään operoimaan muutoksia koneen ohjaukseen operointinäppäimis-
töltä. Video-SELMAsta näkee järjestelmän kuva-, trendi-, hälytys- ja ilmoitussivut. Vi-
deo-SELMA:n trendipiirtojen tiedonkeruuväli on 1 sekunti. Prosessi-SELMA ei käyttä-

jän arjessa näy samalla tavalla kuin video-SELMA. Prosessi-SELMA välittää tiedot video-SELMALLE ja käyttäjä operoi ainoastaan video-SELMAA. Järjestelmien välinen tiedonsiirto on esitetty liitteessä 8. SELMA näyttö ja näppäimistö on esitetty kuviossa 19. (SELMA 2 Laiteseloste 1985.)



Kuvio 19. Video-SELMA:n näyttö ja näppäimistö

5 Nykytilan kartoitus

5.1 Nykyinen kokonaisuus

Kaipolan paperikoneen PK6:n käytöt on toteutettu pääsääntöisesti ABB Strömbergin DC-linjakäyttöillä. Konelinjalla on käytössä 24 DC-linjakäyttöä kuudessa eri käyttöryhmässä, 5 AC-erilliskäyttöä ja 21 johtotelaa neljässätoista AC-käyttöryhmässä. Kaikkia näitä ohjataan SELMA 2 -ohjausjärjestelmällä. Havainnekuva linjakäyttörakenteesta on esitetty liitteessä 1.

Opinnäytetyötä varten selvitin nykyisen linjakäyttökokonaisuuden ja kokosin niistä taulukot. Listat kokonaisuudesta lähetettiin myös laitetoimittajille, jotta ne pystyivät laskemaan oikean tehoiset komponentit tarjouksiinsa. Kaikki kerätyt tiedot on esitetty liitteissä 9-12.

5.2 Elinkaaren hallinta

Konelinja on rakennettu pääsääntöisesti ABB:n ja sen edeltäjän Strömbergin tekniikalla. ABB jakaa tuotteensa elinkaaren mukaan neljään eri vaiheeseen: Active, Classic, Limited ja Obsolete. ABB:n suomennotukset vastaavista ovat aktiivinen, klassinen, rajoitettu ja vanhentunut. Elinkaarirakenne on esitetty kuviossa 20.



Kuvio 20. ABB-tuotteiden elinkaaren hallinta (Hajautettujen ohjausjärjestelmien Lifecycle Policy-ohjelma n.d.)

Tämä elinkaaren hallintamalli auttaa ennakoimaan laitteiden ja järjestelmien päivittämistä ja mahdollistaa niiden jatkuvan evoluution. Eri vaiheissa ABB tarjoaa erilaisia palveluja ja tukea laitteiston omistajalle. Tavoitteena on, että kaikki järjestelmät pysyvät käytettävänä mahdollisimman pitkään, mikä mahdollistetaan yksittäisten komponenttien ja tuotteiden kulkeutumisella elinkaaren eri vaiheiden

läpi ja elinkaaren loputtua päivittämällä ne uudella teknologialla tai tuotteilla. (Hajautettujen ohjausjärjestelmien Lifecycle Policy-ohjelma n.d.)

ABB:n lupaus tuotteidensa saatavuudesta on seuraava:

ABB ei poista aktiivisesta myynnistä mitään tuotetta tai tuoteperhettä, ennen kuin sille on saatavana vastaava korvaava tuote. Kun tuote on poistettu aktiivisesta myynnistä, ABB jatkaa tuotteen tukipalveluja vielä vähintään 10 vuoden ajan. Poikkeuksena voivat olla tuotteet, joihin ABB ei enää saa komponentteja tai tekniikkaa. (Hajautettujen ohjausjärjestelmien Lifecycle Policy-ohjelma n.d.)

Tämän vähintään 10 vuoden tukikauden aikana ABB ilmoittaa viimeisestä ostomahdollisuudesta vähintään 12 kuukautta ennen valmistuksen lopettamisesta. Tämänkin jälkeen ABB:n tarkoituksena on tuottaa tukipalveluja, niin kauan kuin asiakkailla on siihen merkittävää tarvetta. Tukipalveluilla tarkoitetaan kenttäpalveluja, korjaamista sekä varaosien tuottamista. (Mt.)

Aktiivinen vaihe

Tuotteen ensimmäinen vaihe, kun se tulee markkinoille ja sitä aletaan myymään, on aktiivinen vaihe. Vaiheen kesto vaihtelee teknologian kehityksen, markkinaolosuhteiden ja tarvittavien laite- ja ohjelmistokomponenttien saatavuuden mukaan. Tyypillisesti vaihe kestää 5–10 vuotta. Tässä vaiheessa tuotteen kehitys on aktiivista, siihen luodaan uusia toimintomahdollisuuksia ja käytettävissä on täydet ABB:n elinkaari- palvelut, varaosat ja kunnossapitoaineistot. Ilmoitus tuotteen poistamisesta aktiivisesta vaiheesta annetaan viimeistään 12 kuukautta ennen seuraavaan vaiheeseen siirtymistä. Ilmoitusta ei anneta, jos tuotteen korvaaja on muodoltaan, ympäristöltään ja toiminnoiltaan täysin vastaavanlainen. (Mt.)

Aktiivisessa vaiheessa varaosien saanti on täysin turvattua. Uusia varaosia valmistetaan jatkuvasti ja mitään vaaraa varaosien saamisen suhteen ei ole. (Mt.)

Classinen vaihe

Aktiivista vaihetta seuraa klassinen vaihe, joka kestää tyypillisesti 7–10 vuotta. Klassisen vaiheen aikana kunnossapito rajoittuu tyypillisesti tuotteiden vaihtoon komponenttien saatavuuden päätymisen tai tuotteen vakavien toimintaan vaikuttavien piilevien ongelmien vuoksi. Vaiheen aikana järjestelmiä voidaan täydentää tai päivittää,

jolloin niiden suorituskyky ja käyttöikä paranevat. Klassisessa vaiheessa kaikki ABB:n elinkaari- ja varaosapalvelut, kunnossapitoaineistot ovat käytettävissä samaan tapaan kuin aktiivisessa vaiheessakin. (Mt.)

Tuotteiden myynnin päättyminen sisältyy klassiseen vaiheeseen. ABB ilmoittaa tuotteen myynnin päätymisestä vähintään 12 kuukautta etukäteen. Aikaväli saattaa myös olla lyhyempi, jos tuotteen myynnin loppumiseen vaikuttaa ABB:n alihankkijan ilmoitus komponenttien loppumisesta. Kun tuotteen myynti, tuoteorganisaation tuki ja valmistus loppuvat tarkoittaa se myös klassisen vaiheen loppumista. (Mt.)

Varaosien saanti on täysin turvattu klassisessa vaiheessa. Uusia varaosia valmistetaan ja vaaraa varaosien loppumiselle ei ole. Varaosien saanti jatkuu kymmenen vuoden ajan siitä, kun tuote on siirtynyt klassiseen vaiheeseen. (Mt.)

Rajoitettu vaihe

Elinkaaren kolmas vaihe on rajoitettu vaihe. Kolmannessa vaiheessa uusia osia ei enää myydä eikä varaosia enää valmisteta, mutta niitä voi olla varastoissa vielä jäljellä. Rajoitettu vaihe kestää tyypillisesti 3–5 vuotta. Rajoitetun vaiheen tuotetuki rajoittuu kenttäpalveluun, korjaamotyöhön ja kunnostettuihin varaosiin. Varaosapalvelut toimivat niin kauan, kun komponentteja ja materiaaleja on saatavilla ja kunnostettujen osien osuus näistä kasvaa koko ajan. Palveluorganisaatio vastaa tuotteiden tuesta niin kauan kuin se on teknisesti ja taloudellisesti mahdollista. (Mt.)

Rajoitetun vaiheen kesto pitenee, jos käyttökelpoisia laitteita palautuu käytöstä aktiivisesti. Klassisesta vaiheesta rajoitettuun vaiheeseen siirtymistä voidaan joustaa hiukan sen mukaan, kuinka paljon laitteistoa on saatavilla. ABB tavoitteena on, että klassisen ja rajoitetun vaiheen kesto olisi yhteensä vähintään kymmenen vuotta. (Mt.)

ABB suosittelee, että rajoitetun vaiheen aikana alettaisiin suunnittelemaan laitteiston päivittämistä uudella tekniikalla, ennen kuin tuotteen tuki päättyy. Varaosia on rajoitetussa vaiheessa saatavilla, mutta uusia varaosia ei enää valmisteta. Varaosavaraosia täydennetään kunnostetuilla varaosilla ja lisäksi asiakkaalle tarjotaan korjaus- ja kunnostuspalveluita. Rajoitetussa vaiheessa varaosien tuki on siis vielä turvattu. (Mt.)

Vanhentunut vaihe

Elinkaaren neljäs ja viimeinen vaihe on vanhentunut vaihe, johon siirrytään, kun palveluorganisaatio toteaa, että tukea ei ole enää mahdollista tai taloudellista antaa. Tuotteen siirtymisestä viimeiseen vaiheeseen ilmoitetaan vähintään kuusi kuukautta etukäteen. Vanhentuneen tuotteen vaiheessa ABB ei takaa enää mitään varmuutta varaosien tai palveluiden saatavuudelle. Palveluita tuotetaan kuitenkin siihen asti, kun osia tai komponentteja on saatavilla. (Mt.)

5.3 Laitteiden elinkaaren vaiheet ja huoltotoimenpiteet

5.3.1 DC-käyttöjen huoltotoimenpiteet

Kaipolan PK6 on rakennettu 1986–1987 ja, kuten siihen aikaan oli yleistä, päädyttiin konelinjalla DC-linjakäyttöihin. DC-syöttöryhmän huoltotoimenpiteitä ovat lämpökuvaus, käyttöjen puhallinhuolto, käyttöä syöttävän katkaisijan huolto ja hätäseis piirien testaus. Lämpökuvaus tehdään vuosittain ja hätäseis testaukset kahden vuoden välein. Tyristorisilloille tehtäviä huoltotoimenpiteitä ovat lämpökuvaus, tyristorien kunnan mittaaminen ja siltojen pesu. Tyristorien mittaamista, painepesurilla pesemistä ja tämän jälkeen uunissa kuivaamista tehdään aina tarvittaessa. Lämpökuvaus tehdään vuosittain, puhallin ja katkaisijahuollot tehdään viiden vuoden välein. (SAP ERP-järjestelmä n.d.)

SELE 1000 -säätäjän teholahteiden jännitteitä tarkkaillaan vuosittain. Säätäjän ohjaukskortin parametrit varmuuskopioidaan vuosittain ja uusien versio tallennetaan EEPROM:lle. Säätäjän korteille ei tehdä muita ennakkohuoltoja, vaan kortit vaihdetaan ongelmien tultua ja vioittunut kortti lähetetään huoltoon. Kaikkia vioittuneita kortteja ei saada huollossakaan korjattua, vaan ne vähenevät jatkuvasti.

DC-moottoreiden huoltotoimenpiteitä on tehtaalla hiilihuolto, pulssianturin vaihto ja mahdollisten laakerivaurioiden kuuntelu. Pulssianturit vaihdetaan niiden rikkoutuessa tai ennakkohuoltomaisesti viiden vuoden välein. Hiilihuolto tehdään kuukausittain. Samassa yhteydessä mitataan eristysresistanssi ja puhdistetaan moottorit hiili-

pölystä ja muista epäpuhtauksista. Hiilihuollossa mitataan hiilien kulumat ja vaihdetaan liian lyhyet hiilet. Toimenpiteet merkitään taulukkoon, jota seuraamalla voidaan ennakoida moottorien rikkoutumista. Vialliset moottorit vaihdetaan heti tilaisuuden tullen ja lähetetään huollettavaksi. DC-moottorin huolto maksaa huollon laajuuden ja moottorin mukaan noin 3 000-10 000€. Huolto voi sisältää seuraavia toimenpiteitä:

- vastaanottotarkastus
- osien normaali puhdistus ja kuivaus
- kaikkien osien tarkastus
- kommutaattorin sorvaaminen, uraaminen ja viistäminen
- käämitysten välikoestus
- laakereiden uusiminen
- hiiliharjojen ja maadoitusharjan tarkastus/vaihto
- hiiliharjanpitimien tarkastus/vaihto
- koekäyttö ja loppukoestus
- maalaus

5.3.2 Tyristorisillat

Tyristorisillat ovat hyvin mekaanisia ja sisältävät vain vähän elektroniikkaa. Tyristorisillat ovat erittäin pitkäikäisiä ja niiden poistumat erittäin pientä. Poistuma on muutamia siltoja vuosikymmenittäin. Käytössä olevia tyristorisilloja ei enää valmisteta. Siltoja on SAP-järjestelmän mukaan hyvin rajoitetusti, mutta niitä on kerätty sähkötiloihin ja varastoihin useita kappaleita kutakin. Käytettävissä olevat tyristorisillat on listattu alla olevaan kuvaan. Näillä saadaan turvattua, jos nykyisiä siltoja hajoaa. Siltoja myös vapautuu suljetuilta paperikoneilta ja muilta konelinjoilta, jotka päivittävät käyttöjä uusiin. Riskiä tyristorisiltojen loppumiselle ei ole keskipitkällä aikavälillä näkyvissä. Tyristorisillat on listattu taulukkoon 3. Välivarastossa olevat sillat tarkoittavat sellaisia siltoja, jotka eivät ole missään kirjanpidossa, vaan ne ovat paikallisen kunnossapidon omissa käsissä sähkötilojen lattioilla tai muualle varastoituna.

Taulukko 3. Tyristorisiltojen varaosat

Nimike	Tyristorisillat	Välivarasto	SAP
18678597	SLJZ705P14	6	1
18678575	SLJZ705N14	3	1
18678587, 18352683	SLJF165A3	4	2
10018750	SLJF165 A32	7	5
18524391, 10026665	SLJF355G12	4	5

5.3.3 DC-moottorit

Uusia tämän kokoluokan DC-moottoreita ei juuri valmisteta enää, joten niitä on maailmalla ainoastaan rajoitetusti. Suhteellisen yksinkertaisen rakenteensa ansiosta ne ovat pitkäikäisiä hyvin huollettuna ja rikkoutuessaankin, niistä saadaan hyvin kunnostettua käyttökelpoisia. Täysin käyttökelvottomaksi koneita muuttuu hyvin harvoin. Yleensä käyttökelvottomaksi kone muuttuu koneen syttyessä ilmieliekkeihin esimerkiksi hiilihuollon laiminlyönnin takia hiilien kuluessa loppuun. (Siukola 2019) UPM tasolla puhutaan noin yksi moottori/vuosi poistumasta. (Gustafsson 2019)

Kyseisellä konelinjalla on käytössä kahdeksaa erikokoista DC-moottoria ja jokaista niistä löytyy UPM:n varastoista muutamia kappaleita. Konelinjalla käytössä olevat moottorit ja niiden määrät listattuna taulukkoon 4.

Taulukko 4. Konelinjan moottorit ja varastosaldot

Laite	Teho (kW)	Jännite (V)	Virta (A)	RPM	Koneita linjalla	SAP Suomi	SAP ulkomaat	Kunnostuksessa
GPAU4535	90	600DC	163	1500-1800	1	5	1	
GPAU5034	120	600DC	215	1500-1800	1	5	1	1
GPAU5638	190	600DC	340	1500-1800	6	3	2	1
GRAU6345	330	600DC	580	1500-1800	4	5	2	
GRAU7142	440	600DC	773	1500-1700	2	6	2	1
GRCU8040	630	600DC	1100	1500-1800	5	3	2	
GRCU9045	810	600DC	1415	1350-1500	3	8	3	
GRCU11235	1000	600DC	1750	1000-1100	1	2	2	

DC-moottoreita myös vapautuu lisää käyttöön sitä myöten, kun paperikoneita suljetaan. Muutamia isoimpia koneita on myös odottamassa kalliimpaan remonttiin (~100 k€) menoa, jos lisätarve näille tulee. (Siukola 2019)

Nykyiset moottoripedit on rakennettu nykyisille moottoreille, mutta jos moottoreiden suhteen tulee tiukkaa, voidaan petimuutoksilla käyttöpaikkoihin vaihtaa muun tyyppisetkin moottorit. Näin voidaan välttää esimerkiksi moottorin kallis remontti. Petimuutoksien hinta on moottorin ison remontin hintaan nähden marginaalinen (~5 k€). (Hänninen 2019)

Gustafssonin mukaan DC-moottoreiden loppuminen ei ole ongelma tulevaisuudessa. Nykyisellä poistumalla, varastoilla ja tulevaisuudessa käyttöön vapautuvilla koneilla selvittää karkealla arviolla noin 30 vuotta.

5.3.4 SELE 1000 -käyttöjen säätäjä

SELE 1000 -säätäjässä käytetään kolmea eri korttia: SGEA 1000, SGCP 1000 ja SGHF 1000. Näistä jokainen on ABB:n mukaan vanhentuneessa tilassa, ja varaosien saannista ei ole mitään takeita. Monimutkaisen ja vaativan rakenteensa takia ne ovat käyttöjen kaikista herkimmät laitteet rikkoutumaan. Korttien rikkoutumisia tulee muutamia vuosittain kyseisellä konelinjalla. Ohjaukortti SGEA 1000 on näistä yleisin rikkoituja.

Toisin kuin esimerkiksi DC-moottoreiden suhteen, säätäjiä on erilaisia käytössä eri paperikoneilla, mikä aiheuttaa ongelmia varaosien vapautumisen suhteen. Monilla konelinjoilla, kuten Kaipolan PK7:lla on käytössä hiukan uudempi SELE 1001 säätäjä, jonka kortit eivät käy SELE 1000 -korttien tilalle. PK6:n lisäksi SGEA 1000 -korttia on SAP:in mukaan UPM:llä käytössä ainoastaan Chapellen tehtaalla ja Kymin vara-automaatiojärjestelmässä.

Kortteja on joitain kappaleita varastoissa, mutta suurista määristä ei puhuta. Kortit on listattu taulukkoon 5. Välivarastossa olevat kortit ovat kerätty käytöstä poistetuista järjestelmistä toimivina ja niitä ei ole kirjattu mihinkään varaston saldoihin.

Taulukko 5. SELE 1000 -säätäjän korttien varaosat

Nimike	Kortti	Välivarasto	SAP suomi	Kunnostuksessa
18679352, 18535828	SGEA 1000	9	4	2
18352638, 10016709	SGCP 1000	12	12	2
18679370, 10020083	SGHF 1000	9	5	6

5.3.5 Tehdyt toimenpiteet

DC-käyttöjen suhteen ensimmäiset liikkeet on jo tehty, kun kuusi kappaletta DC-käyttöjä on päivitetty DCS880:ksi retrofit tekniikalla. Retrofit tarkoittaa, että uusi tasavirtakäyttö asennetaan vanhan kaapin sisään, jolloin pystytään uudelleenkäyttämään vanhasta käytöstä syöttökiskosto, kontaktori tai katkaisija, eikä vanhoja moottorikaapelointeja tarvitse jatkaa. Retrofit-kitti sisältää myös liittynnän vanhaan ohjausjärjestelmään. Retrofit-paketin etuja kokonaan uuteen laiteasennukseen verrattuna on

- pienemmät tuotekustannukset, koska kaikkia osia kuten kaapistoja ja kaapeleita ei tarvitse uusia
- pienemmät suunnittelukustannukset, koska kaikkia osia ei tarvitse mitoittaa uudelleen
- pienemmät työkustannukset, koska osien purkaminen ja kasaaminen vie vähemmän aikaa
- kaapit pysyvät samassa paikassa, jolloin kaapeleita ei tarvitse käänellä
- joustava aikataulutus, koska käyttöjen uusinta voidaan jakaa helposti osiin

Kuviossa 21 näkyy välikalanterin alatelan käyttö ennen ja jälkeen modernisoinnin. Kuviossa ei näy viereinen kaappi, jossa sijaitsivat käytön SELE 1000 -säätäjä, syöttökiskosto sekä katkaisija. Käytön säätäjä ja tyristorisillat purettiin uusinnan yhteydessä varaosiksi.



Kuvio 21. Alaviiran vetotelan vanha käyttö ja uusi retrofitit vierekkäin

Tämän uusinnan ansiosta saatiin kriittisiä varaosia jäljelle jääneille käytöille ja voidaan rauhassa suunnitella muiden käyttöjen uusintaa. Varaosat on huomioitu opinäytetyön varaosaluetteloissa. Samalla saatiin kokemusta käyttöjen uusinnasta ja käyttöönotosta.

Uusinnasta saatujen ja varastoissa olevien varaosien kanssa tilanne DC-käyttöjen suhteen on kohtalainen, mutta toimenpiteitä tulevien vuosien aikana on tehtävä.

5.3.6 AC-käyttöjen huoltotoimenpiteet

AC-syöttöryhmien huoltotoimenpiteitä ovat lämpökuvaus ja puhallinhuollot. Lämpökuvaukset tehdään vuosittain ja havaintoihin puututaan. Puhallinhuolto tehdään viiden vuoden välein. Lisäksi syöttöryhmät tarkastetaan silmämääräisesti lämpökuvauksen yhteydessä.

AC-moottoreita lähetetään huollettavaksi samalla tavalla kuin DC-moottoreitakin. Käytäntönä on ollut, että alle 30kW moottorit rikkoutuessaan romutetaan ja sitä suuremmat lähetetään huollettavaksi. Myös moottorin tyyppi ja saatavuus/korvattavuus vaikuttaa päätökseen. Erillisiä sovittuja huoltoja AC-moottoreille ei ole muita kuin laakereiden kunnon kuuntelu, mutta jos koneet pääsevät likaantumaan suuresti, putsaetaan ne päällisin puolin ja varsinkin tuuletusrilän kohdalta.

5.3.7 AC-Käytöt

AC-käyttöjä on konelinjalla käytössä muutamia erilaisia. Käytössä olevia käyttöjä ovat: ACS880, ACS800, ACS600, SAMI STAR ja SAMI-F.

Konelinjalla on käytössä kolme SAMI STAR erilliskäyttöä, joita ohjataan linjakäyttöjen kanssa yhteisen ohjausjärjestelmän avulla. Ne ovat perän syöttöpumpuilla 1 ja 2, sekä alaviiran vetotelan toisella moottorilla. Kaikki kolme erilliskäyttöä pyörittävät ABB:n HXR 500LM4 1000 kW moottoria. SAMI STAR on julistettu 1.1.2017 vanhentunut tilaan. ABB suosittelee korvaamaan taajuusmuuttajan tuotelinjan uudemmallalla tuotteella tai Retrofit:illä. (SAMI STAR Product life cycle statement 2017.)

Puristimen imutelalla on käytössä ACS800-07 erilliskäyttö. ACS-07 taajuusmuuttajan elinkaaristatus on muuttunut 1.7.2017 aktiivisesta tilasta klassiseen tilaan. Tuote on tarkoitus pitää klassisessa tilassa vuoden 2029 loppuun asti. ABB ei suosittele mitään toimenpiteitä tuotteelle. (ACS800-04/07 Product life cycle statement 2017.) Alaviiran vetotelalla on käytössä ABB:n ACS880-07 erilliskäyttö. ACS880 on ABB:n uusin ja kehittynein taajuusmuuttaja ja se on aktiivisessa tilassa.

Johtoteloja PK6:lla on yhteensä 21 kappaletta ja ne on jaettu 14 johtotelaryhmään. Yhdellä johtotelaryhmällä voi olla johtoteloja yhdestä kolmeen. Järjestelmä on rakennettu Strömbergin SAMI-F ryhmäkäytöllä, jonka komponentit on listattu taulukkoon 6.

Taulukko 6. Johtotelaryhmien käyttöjen komponentit

Nimitys	Tyyppi	Tiedot	Valmistaja
Syöttömuuntaja GM04	KT-640	690/400V, 250kVA	Trafotek
Kontaktoriyksikkö	SAFUL 400F415	400KVA, 415V, 610A	Strömberg
Tasasuuntausyksikkö	SAFUD 400F415	400KVA, 415V, 540A	Strömberg
Energiavarasto	SAFUB 250F415	250KVA, 415V, 240A	Strömberg
Vaihtosuuntaaja	SAFUI 100F415	100KVA, 415V, 152A	Strömberg

Vaihtosuuntaajia on päivitetty vuoden 2012 jälkeen varaosien vähentyessä ABB:n ACS800 sarjan inverttereihin. Vanhoja SAFUI vaihtosuuntaajia on jäljellä neljä kappaletta ja niistä kaksi ohjaa kahta johtotelaa. Uusituissa ACS800 sarjan inverttereissä yksi invertteri ohjaa aina yhtä johtotelan moottoria.

SAMI-F on määritelty ABB:n mukaan vanhentunut tilaan. Vaihtosuuntaajat ryhmällä ovat vanhoja Strömbergin aikaisia SAFUI:ta (5 kpl) tai myöhemmin retrottuja ABB:n ACS800 vaihtosuuntaajia (14 kpl). Vanhat SAFUI:t ovat vanhentunut tilassa. ACS800-X04 sarjan modulit ovat siirtyneet klassiseen vaiheeseen 1.7.2017. Tuote on tarkoitus pitää klassisessa tilassa vuoden 2029 loppuun asti. ABB ei suosittele mitään toimenpiteitä ACS800 vaihtosuuntaajille. (ACS800 multidrives, air-cooled Product life cycle statement 2017.) Johtotelaryhmien vaihtosuuntaajien uusimisen yhteydessä on pyritty siihen, että yksi vaihtosuuntaaja ohjaa yhtä johtotelan käyttöä. Jäljellä olevat 5 kpl SAFUI vaihtosuuntaajaa ohjaavat yhteensä seitsemää johtotelan moottoria.

Johtotela 35 on erilliskäyttö. Sen taajuusmuuttaja ACS601 on ollut vanhentuneessa tilassa 1.1.2014 asti. ABB suosittelee laitteen päivittämistä ACS800 tai ACS880 sarjaan. (ABB ACS601/611 Life Cycle Status Statement 2014.)

5.3.8 AC-moottorit

Vaihtovirtamoottoreita on käytössä perän syöttöpumpuissa (2kpl), alaviiran veto- ja imutelalla, puristimen imutelalla ja johtotelaryhmillä (23kpl). Yhteensä vaihtovirtamoottoreita on konelinjalla 28 kpl. AC-moottorit ovat nykyisin korvanneet DC-moottorit suurimmaksi osaksi ja niitä valmistetaan jatkuvasti lisää. Jos jotain tiettyä

tyyppiä ei enää valmisteta, löytyy tilalle korvaava tuote. Huonoimmassa tilanteessa joudutaan tekemään petimuutoksia, jotta saadaan uusi vaihtovirtamoottori paikoilleen. Eli toisin kuin DC-moottoreiden kanssa, niin mitään vaaraa AC-moottoreiden loppumisen suhteen ei ole.

Ainoa AC-moottoreiden suhteen huomioitava asia on, että ennen vuotta 1996 valmistetut HXR lankakäämitetyt koneet eivät kestä uusia taajuusmuuttajia, ellei niitä ole käämitty huollon yhteydessä uusiksi. PK6:lla on kaksi vuoden 1996 HXR konetta ja runkonumeron mukaan toinen koneista on uudelleen käämitty vuonna 2009 ja toinen niistä on alkuperäinen ”lankakone”. Varaosina varastossa on yksi HXR kone ja se on vuodelta 2017, joten varaosakone toimii hyvin uusien käyttöjen kanssa. Käytössä olevat moottorit on listattu taulukkoon 7.

Taulukko 7. AC-moottorit ja varastosaldot

Laite	Teho (kW)	Jännite	Virta (A)	RPM	Koneita linjalla	SAP Suomi	SAP ulkomaat
ABB HXR 500LM4	1000	690AC	987	1494	4	1	2
1LA1 503-4PK00 SIEMENS	1100	690AC	1080	1491	1	1	

5.3.9 Ohjausjärjestelmä

SELMA 2 järjestelmä on siirtynyt vanhentuneeseen tilaan 1.1.2017 alkaen, joten mitään takuita varaosien tai ammattitaidon puolesta järjestelmälle ei enää ole. ABB suosittelee järjestelmän uusimista heidän uusimpaan ohjausjärjestelmäänsä AC800xA. (ABB SELMA 2 mapped Product Life Cycle Announcement 2017.)

SELMA 2 on ollut käytössä koneen rakentamisesta alkaen. Ongelma SELMA 2-järjestelmässä on, että seuraavaa sukupolvea ei ole olemassa. Kun ABB perustettiin, kilpailivat Asea, Strömberg ja BBC kenen järjestelmän kehitystä jatkettaisiin ja voittaja oli Asea. Tämän takia SELMA:n varaosia ja osajia on erittäin rajoitetusti käytettävissä. Varaosien saatavuus pienenee koko ajan ja jäljellä olevien varaosien hinta sekä niiden korjauskustannukset nousevat jatkuvasti. Varaosia on jonkin verran varastoissa,

mutta niiden toimivuudesta ei ole täyttä varmuutta. Järjestelmän osaajat vähenevät koko ajan, mutta vielä toistaiseksi järjestelmän kanssa on pärjätty. Järjestelmä on ollut suhteellisen vähävikainen ja suurempia ongelmia ei ole ollut, mutta jos jotain suurempaa kävisi voi ongelmia syntyä varaosien ja osaamisen kannalta. Järjestelmän vanhetessa vikojen määrä tulee oletettavasti nousemaan ja saman aikaisesti osaajia siirtyy pikkuhiljaa eläkkeelle.

6 Modernisointi

6.1 Modernisoinnin tavoitteet

Käyttöjen modernisoinnin tavoitteena ei ole tehon tai nopeuden nosto, vaan ne on tarkoitus pitää nykyisillään. Käyttöjen määrää ei ole tarvetta muuttaa, mutta 8. kuivausryhmän huovanvedon käyttöä ei lähdetä modernisoimaan, koska sille ei ole ollut konelinjalla mitään käyttöä kymmeneen vuosiin. Modernisoinnin tavoitteena on varmistaa tuotannon tehokkuus myös tulevaisuudessa ja välttää suunnittelemattomat koneen käyttökatkot. Tuotantovarmuuden maksimoinnilla ja kunnossapitokustannusten minimoinnilla on suuri merkitys paperikoneen kilpailukyvyyn suhteen taistelussa kutistuvia paperimarkkinoita vastaan. Uudella ohjausjärjestelmällä saadaan tuotettua myös tarkempaa ja laadukkaampaa informaatiota koneen käyttäjien ja kunnossapidon tarpeisiin. Vaihtoehtona on myös pysytellä nykyisessä järjestelmäkokonaisuudessa, mutta se täytyisi tehdä perustellusti, jottei tulevaisuudessa vanhat käytöt jää ilman varaosia ja osaavia ammattilaisia.

Modernisoinnissa on huomioitava laskeva paperimarkkina, sekä yhtiön (Communication Papers) pienet investointivarat. Yhtiön tavoitteena on tuottaa hyvää kassavirtaa konsernin kasvun keihäänkärjille investoitavaksi ja kaikki omat investoinnit vähentävät jäljelle jäävää kassavirtaa (Strategia n.d.)

Modernisoinnin vaativa huoltoseisokki tulee huomioida tarkkaan kokonaisuutta miettiessä. Kuukauden mittainen huoltoseisokki ei ole mahdollinen, sillä tuotannolliset tappiot olisivat liian suuret. Normaalisissa tilanteissa paperikone seisoo yhden päi-

vän kuukaudessa ja muutaman kerran vuodessa on hiukan pidempiä seisokkeja. Toimittajien ensisijainen toive olisi tehdä modernisointi yhdessä pitkässä huolto-seisokissa, mutta tuotannolle tämä on huono vaihtoehto.

6.2 DC-käytöt

Pitkällä aikavälillä DC-moottoreiden ylläpito tulee jo pelkästään hiilihuoltojen takia kalliimmaksi kuin AC-moottoreiden, mutta keskipitkällä aikavälillä tilanne on toinen. Konelinja on rakennettu DC-käyttöille, joten vaihto AC-käyttöihin vaatisi todella suuren investoinnin. AC-käyttöihin vaihtaminen edellyttäisi, että kaikki muuntajat, sähkökeskukset, moottorit ja moottoripedit uusittaisiin. Nykyiset muuntajat ovat 10/0,525kV jännitetasoille, joten muuntajat menisivät vaihtoon tai olisi käytettävä kalliita erikoismoottoreita. Käytännössä käyttöille pitäisi tehdä uusi sähkötila, jotta keskuksia pystyttäisiin asentamaan ilman paperikoneen pitkäaikaista pysäyttämistä. Uuden sähkötilan seurauksena myös kaikki kaapeloinnit menisivät uusiksi.

Uusien moottoreiden hankkiminen ja nykyisten petien muutokset sopivaksi kävisi myös erittäin kalliiksi. Kokonaisuutena investoinnin suuruus kasvaisi liian suureen kokoluokkaan ja se ei maksaisi itseään koskaan takaisin. Jos paperikone olisi tarkoitus rakentaa uudestaan tai paperin kysyntä olisi täysin varmaa seuraavaksi 50 vuodeksi, päädyttäisiin DC-käyttöjen muuttamiseen AC-käyttöiksi, mutta näin iso investointi nykypäivänä ei maksa itseään koskaan takaisin. Tämä käytännössä pakottaa pysyttelemään DC-käytöissä jatkossakin. DC-käytöissä pysyminen ei ole ongelma, jos käytöt saadaan päivitettyä nykypäiväisiksi.

Vaihtoehtoja DC-käyttöjen modernisoinniksi on mielestäni kolme:

- täysin uudet tasavirtakäyttökaappikokonaisuudet
- retrofit-kit asennettuna vanhoihin kaappeihin
- retrofit-kit digitalisaatio, jossa ainakin suurimmat tyristorisillat säilytetään.

Uudet käyttökaapit ovat reilusti pienempiä kuin vanhat kaapit ja jos haluttaisiin säästää tilaa sähkötiloissa, saataisiin käytöt uusilla kaapeilla pienempään tilaan. Jos näin

tehtäisiin, tulisi nykyiset kaapeloinnit jatkaa uusille kaapeille, mikä on työlästä ja hintavaa. Jos kaapit asennetaan nykyisten kaappien paikoille, ei saavuteta mitään etua Retrofit-ratkaisuun verrattuna, koska vanhat kaapit ovat hyvässä kunnossa.

Käytön digitaalisointi tarkoittaa kokonaisuutta, jossa vanhaan kaappiin asennetaan uusi käyttö ja kaikki sen ohjauskomponentit, mutta tyristorisillat jäävät vanhasta käytöstä. Tyristorisiltojen varaosia löytyy tehtaalta hyvin siihen nähden, kuinka vähän niitä menee rikki, joten esimerkiksi suurimpien käyttöjen tyristorisiltojen uusiminen ei välttämättä ole kannattavaa. Tyristorisiltojen uudelleenkäyttö pienentää investoinnin kokoluokkaa.

6.3 AC-käytöt

Konelinjan AC-erilliskäytöissä edellisessä luvussa mainitut suuret muutostyöt on tehty jo vuosia sitten. Käyttöjä varten rakennettiin uusi erillinen sähkötila, uudet muuntajat ja kaikki kaapeloinnit käännettiin uusille käytöille. Sähkötilassa olevat erilliskäytöt ACS880/800 eivät vaadi toimenpiteitä niiden ollessa vielä Active/Classic -tilassa.

Sähkötilan kolme SAMI-STAR erilliskäyttöä ovat sen sijaan uusimisen tarpeessa. Vaihtoehtoja uusimiselle on päivittää erilliskäytöt kokonaisuudessaan, tai modernisoida Retrofit-paketilla. Retrofit-paketissa kaapiston kaikki nykyiset sisäiset osat korvataan uusilla nykyaikaisilla osilla, mutta kaapistot ja kaapelit voidaan käyttää uudelleen. Molemmissa ratkaisuissa on puolensa, mutta tässä tilanteessa kokonaan uudet kaapistot voisivat olla parempi ratkaisu, koska se vähentää paikan päällä tehtävää työtä, kun kaapit voidaan kalustaa tehtaalla kokonaisuudessaan. Sähkötilassa on iso haalausluukku, josta kaappeja voidaan siirrellä. Tehtaalla seisokin aikaiseksi työksi jäisi ainoastaan vanhojen kaappien irrottaminen, kaappien siirtäminen ulos, uusien kaappien paikoilleen laittaminen ja kytkeminen vanhoihin syöttöihin ja moottorikaapeleihin.

Johtotelaryhmien syöttöryhmä (pl. syöttöryhmän syöttömuuntaja), vanhat SAFUI-vaihtosuuntaajat (5kpl) ja retrofit-tekniikalla toteutettu erilliskäyttö ACS601 vaativat toimenpiteitä johtotelojen toiminnan varmistamiseksi. ACS800-vaihtosuuntaajat

(14kpl) ovat Classic-tilassa eivätkä vaadi toimenpiteitä. Vaihtoehdot johtotelaryhmien kunnostamiseksi ovat kokonaan uuden kokonaisuuden rakentaminen tai syöttöryhmän ja SAFUI-vaihtosuuntaajien uusiminen vanhoihin kaappeihin. Johtotelan 35 erilliskäyttö ACS601 on Obsolete-tilassa ja vaatii uusimisen.

6.4 Ohjausjärjestelmä

Ohjausjärjestelmän kanssa eletään suuren riskin kanssa. Ohjausjärjestelmällä on pärjätty, mutta tulevaisuus on hyvinkin epävarma. Uuden ohjausjärjestelmän kanssa epävarmuutta tulevaisuudesta ei olisi ja sen lisäksi uudesta järjestelmästä saataisiin aiempaa monipuolisempaa ja tarkempaa diagnostiikkaa käyttäjille. Modernien ohjausjärjestelmien ohjaukset kulkevat digitaalisessa muodossa väyliä pitkin ja ne on helppo avata yksittäisiin ohjausbitteihin ja -sanoihin. Näitä sanoja voidaan tallentaa tarvittavalla nopeudella ja näin pystytään jälkikäteen seuraamaan mitä prosessissa on milläkin hetkellä tapahtunut. Monesti esimerkiksi konelinjan katkon yhteydessä olisi hyvä päästä katsomaan mitä tapahtumia ennen katkoa on tapahtunut. Uuden ohjausjärjestelmän ansiosta jokainen napin painallus on mahdollista selvittää jälkikäteen. Kaikilla laitetoimittajilla on oma ohjausjärjestelmänsä, mutta ohjausjärjestelmäksi voidaan valita myös kolmannen osapuolen järjestelmä.

Toisen projektin myötä konelinjalle on tulossa käyttöön Honeywell Experion-automaatiojärjestelmä ja yksi vaihtoehto SELMA 2 päivittämiseksi on rakentaa käyttöjen ohjausjärjestelmä Experionin päälle. Lopulliseen päätökseen ohjausjärjestelmästä vaikuttaa sekä hinta että käytettävyys.

7 Malliehdotus

Ehdotukseni konelinjan linjakäyttöjen modernisoinniksi on seuraava:

- DC-käytöt modernisoidaan vanhoihin kaappeihin. Voidaan toteuttaa myös digitalisaationa, jossa vanhat tyristorisillat ja kuristimet uudelleen käytetään. Yhteensä 17 kpl
- SAMI-STAR erilliskäytöt uusitaan kokonaisuuksinaan. Yhteensä 3 kpl

- Ostetaan joko yksi uusi HXR 500 LM4 moottori lankakäämityn koneen tilalle tai DU/DT suodin, jolla saadaan vanha moottori kestävämmään
- Johtotelaryhmien syöttöryhmän uusinta joko vanhaan kaappiin tai kokonaan uudella syöttöryhmällä
- Johtotelaryhmien vanhojen SAFUI vaihtosuuntaajien vaihto uusiin. Yhteensä 7 kpl
- SELMA 2 ohjausjärjestelmän uusiminen kokonaisuudessaan laitetoimittajan ohjausjärjestelmällä tai Honeywell Experionilla
- Häätäseis-piirin uusinta joko uudella turvareleistyksellä tai suojalogiikalla. Häätäseis-kytkimet kaapeloitava kahdennettuna

Uusinnan toteutus on kannattavinta tehdä mahdollisimman lyhyessä seisokissa. Kaikista paras vaihtoehto olisi yksi yksittäinen alle viikon mittainen seisokki. Toinen vaihtoehto olisi toteutus kahdessa viiden vuorokauden mittaisessa huoltoseisokissa, joista ensimmäinen ajoittuisi vuoden 2021 alkuun ja toinen tästä esimerkiksi puolen vuoden päähän. Ensimmäisessä erässä uusittaisiin ohjausjärjestelmä, AC-erilliskäytöt, johtotelaryhmät ja osa DC-käytöistä. Seuraavaan seisokkiin jäisi loppujen DC-käyttöjen uusiminen. Lopulliseen päätökseen vaikuttaa konelinjan tilauskanta, huoltoseisokitarve ja se kuinka lyhyessä ajassa laitetoimittaja pystyy uusinnan tekemään.

Uusi ohjausjärjestelmä käyttää kommunikointiin Profibus- tai Profinet-väyläyhteyttä ja vanha SELMA käyttää sarjaliikennettä. Tämä tarkoittaa sitä, että ensimmäisessä vaiheessa uusitut käytöt saadaan suoraan uuden ohjausjärjestelmän perään, mutta vanhat käytöt eivät pysty kommunikoimaan suoraan uuden ohjausjärjestelmän kanssa. Puolen vuoden siirtymävaiheen aikana uuden ohjausjärjestelmän ja vanhojen DC-käyttöjen välillä käytettäisiin protokollamuuntimia, jotka muuntavat kommunikointiprotokollan käytöille sopivaksi.

8 Pohdinta

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää UPM Kaipolan tehtaan PK6:n sähkökäyttöjen ja ohjausjärjestelmän nykyinen tila, sekä miettiä, millä toimenpiteillä järjestelmää olisi modernisoitava, jotta turvataan tuotanto myös tulevaisuudessa. Myös nykyisellä järjestelmällä jatkaminen oli huomioitava ja selvitetävä kuinka pitkälle nykyisillä käytöillä pärjättäisiin. Työ rajoittui käyttöjen ohjausjärjestelmän SELMA 2 ohjaamiin käyttöihin paperikoneella. DC-linjakäyttöjen lisäksi siihen sisältyy AC-erilliskäyttöjä, johtotelaryhmät ja reunateräleikkurit.

Nykyinen järjestelmä on pääsääntöisesti ABB:n tai sen edeltäjän Strömbergin valmistamia. ABB on määritellyt laitteilleen niiden elinkaaren tilan, mutta tarkkaa elinkaarta on vaikea määritellä. Valmistajan antama elinkaaren vaihe on suuntaa antava, sillä todelliseen elinkaaren määrittelemiseen vaikuttavat myös yrityksen omat resurssit ja varaosat. Elinkaareen vaikuttavat myös olosuhteet, joissa laitteet ovat olleet. Kaipolassa sähkökäytöt ja ohjausjärjestelmä ovat olleet jatkuvasti ilmastoidussa sähkötilassa, mikä pidentää elinkaarta. Toisaalta UPM:llä ei ole enää yhtä vanhoja DC-käyttöjä juurikaan jäljellä, vaan muut laitokset, joilla on näin vanhoja käyttöjä ovat ryhtyneet toimenpiteisiin käyttöjen modernisoimiseksi.

Modernisoinnin suunnittelussa yhtenä tärkeimpänä asiana oli selvittää, pärjätäänkö DC-järjestelmän kanssa tulevaisuudessa vai onko konelinjalla siirryttävä kokonaan AC-käyttöihin. Selvitykseni mukaan DC-moottoreita on riittävästi nykyiset varastot ja koneiden poistumat huomioon ottaen. Tämän pohjalta en näe järkevänä ratkaisuna lähteä muuttamaan DC-käyttöjä AC-käytöiksi. Tämä ratkaisu ei toisi mitään tuotannollista parannusta ja pelkkä hiilihuolloissa säästäminen ei kata AC-käytöiksi vaihtamisesta syntyviä kustannuksia. Jos jokin yksittäinen positio halutaan tulevaisuudessa vaihtaa AC-käytöksi, on sitä varten tehtävä tarkempi selvitys tarkoin kustannuslaskelmin.

DC-käyttöjen heikoin kohta järjestelmässä on SELE 1000 -käytön säätäjä ja sen eri kortit. Ensiapuna on uusittu kuusi kappaletta DC-käyttöjä Retrofit-tekniikalla ja näistä on saatu varaosia, joilla pärjätään toistaiseksi, mutta muidenkin käyttöjen uusinta tulee nopeasti ajankohtaiseksi. Näkisin, että nykyisillä käytöillä ja varaosilla pärjätään vielä muutamia vuosia, mutta modernisointi on aloitettava jo nyt sen keston ja riskien takia.

Lähteet

- ABB ACS601/611 Frequency Converters. 2014. Life Cycle Status Statement. ABB:n verkkosivut. Viitattu 17.9.2019 <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS1000044777&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB ACS800 multidrives, air-cooled. 2017. Product life cycle statement. ABB:n verkkosivut. Viitattu 17.9.2019. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS10000572199&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB ACS800-04/07. Life cycle statement. 2017. ABB:n verkkosivut. Viitattu 17.9.2019. <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS10000572197&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB ACS880-01 -taajuusmuuttajat. 2017. Laiteopas ABB industrial drives. ABB:n verkkosivut. Viitattu 19.9.2019 https://library.e.abb.com/public/86ac21c012164a8cb0f7f6ada2c4ea85/FI_ACS880_01_HW_M_A5_screen.pdf
- ABB SELMA 2 mapped. 2017. Product Life Cycle Announcement. ABB:n verkkosivut. Viitattu 17.9.2019 <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS10000044932&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. N.d. Luku 17: Moottorit ja generaattorit. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/17_Moottorit%20ja%20generaattorit.pdf
- ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. N.d. Luku 18: Sähkömoottorikäytöt. http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/18_S%84hk%94moottorik%84yt%94t.pdf
- Gustafsson, H. 2019. Sähkömoottoreista vastaava insinööri. UPM. Puhelinhaastattelu DC-moottoreiden tulevaisuudesta. 8.1.2019.
- Hajautettujen ohjausjärjestelmien Lifecycle Policy-ohjelma. N.d. ABB:n verkkosivut. Viitattu 24.3.2019. <https://new.abb.com/control-systems/fi/palvelut/elinkaarenhallinta>
- Hakala, T. 2015. Taajuusmuuttajien koeajopenkki. Insinööryö, AMK. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Automaatiotekniikan koulutusohjelma. Viitattu 2.11.2019. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/88812/Opinnaytetty%20Hakala%20Tero.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hietalahti, L. 2011. Muuntajat ja sähkökoneet. Tampere: Tammertekniikka
- Hietalahti, L. 2012. Sädetyt sähkömoottorikäytöt. Tampere: Tammertekniikka
- Hietalahti, L. 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Tammertekniikka

Hänninen, A. 2019. Mekaanisen kunnossapidon aluemestari. UPM. Keskustelu sähkömoottoreiden petimuutoksista 3.9.2019.

Järvenpää, AP. 1987. Linjakäyttöjen piirikaaviot. Oy Strömberg Ab. Sisäinen materiaali PK6 sähkötilassa.

Kaipolan paperitehdas. N.d. Artikkelit Wikipediassa. Viitattu 3.12.2018.

https://fi.wikipedia.org/wiki/Kaipolan_paperitehdas

Kananen, J. 2012. Kehittämistutkimus opinnäytetyönä. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja -sarja. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Karvonen, M. N.d. Sähkökoneet. Viitattu 18.11.2019.

<https://slideplayer.fi/slide/2030352/>

KnowPap. N.d. Paperivalmistuksen selainpohjainen oppimisjärjestelmä. VTT Industrial Systems. Versio 20.0. Viitattu 2.11.2019

http://www.knowpap.com/extranet/suomi/knowpap_system/user_interfaces/tuotantoprosessit/papvalm.htm

Korpinen, L. 2008. Sähkövoimatekniikkaopetus. Kirjottajan omilla verkkosivuilla. Viitattu 13.02.2019 <http://leenakorpinen.com/fi/julkaisut/opetusaineistoja/>

Kortelainen, A. 2009. Sähkömoottorin hyötysuhteella on väliä. Power&Automation-lehti 3/2009. Verkkojulkaisu ABB:n nettisivuilla. Viitattu 25.1.2019.

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/9324577570fc2313c125765e002bfcd2.aspx>

Nieminen, J. 2013. Käyttöjen ohjaussovellukset. Vaasan ammattikorkeakoulun sähkötekniikkaosaston kurssimateriaali. www.cc.puv.fi/~jun/Sk/Sklu1_051213.docx

Partanen, P. 1987. Strömberg YPT KAIPOLA PK6, VR6, URK61, PL61, PL62, SK61, SK62 Sähkökäytön käyttö- ja huolto-ohjeet. FI versio 1. Sisäinen materiaali PK6 sähkötilassa.

Rapo. S. 2014. 3-vaiheisen tyristorisuuntaajan suunnittelu ja toteutus. Opinnäytetyö. Tampereen ammattikorkeakoulu. Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma. Viitattu 1.10.2019. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/82929/Rapo_Simo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

SAMI STAR Life cycle statement. 2017. ABB:n verkkosivuilta. ABB:n verkkosivut. Viitattu 17.9.2019 <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=4FPS10000103091&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>

SAP ERP-järjestelmä. N.d. UPM:n käyttämä ERP-järjestelmä. Sisäinen materiaali toiminnanohjausjärjestelmästä.

SELE 1000 Ohjauskortin toimintaselostus. 1985. Strömberg. Sisäinen materiaali PK6 sähkötilassa.

SELE 1000 Tasavirtakäytön ohjauskortti. 1985. Strömberg. koodi FI 5351702-1 B. Sisäinen materiaali PK6 sähkötilassa.

SELMA 2 Laiteseloste. 1985. Strömberg koodi FI 5350668-2 C. Sisäinen materiaali PK6 sähkötilassa.

Siukola, A. 2019. Automaatiokunnossapidon aluemestari. UPM. Keskustelu DC-moottoreiden tulevaisuudesta. 3.9.2019.

Strategia. N.d. UPM. Yhtiön strategian esittely omilla verkkosivuilla. Viitattu 8.11.2019. <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/strategia/>

Sähkömoottorikäytöt. N.d. AEL. Action Experience Learning koulutusmateriaali.

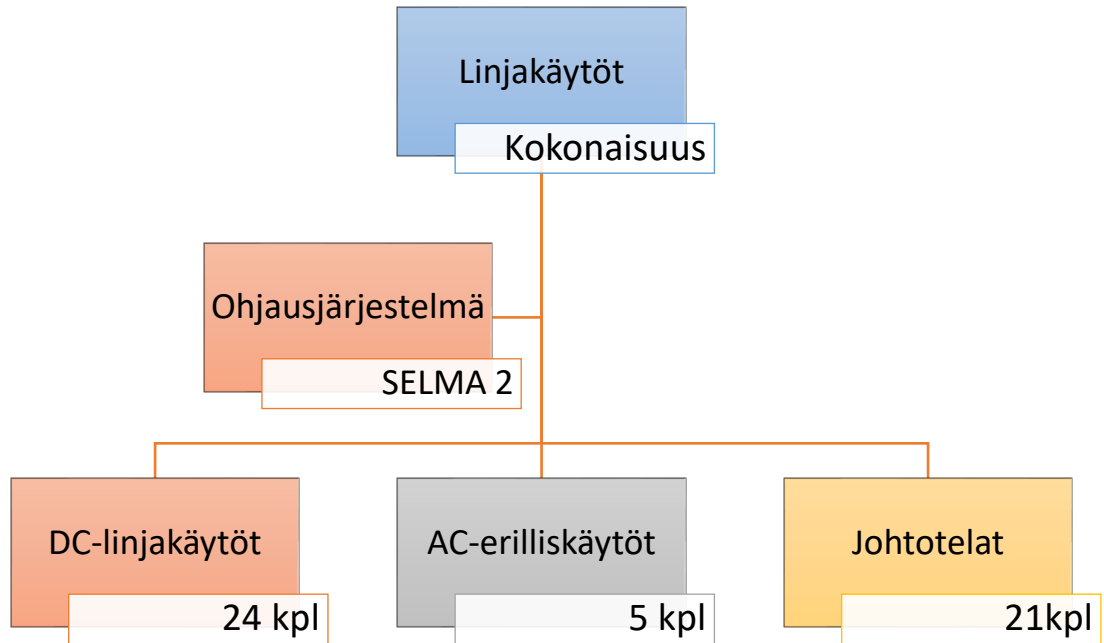
Tasavirtamoottori. N.d. Artikkelit Wikipediassa. Viitattu 3.12.2018. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tasavirtamoottori>

Tietoa meistä. N.d. UPM. Yhtiön esittely omilla verkkosivuilla. Viitattu 3.12.2018. <https://www.upm.com/fi/tietoa-meista/>

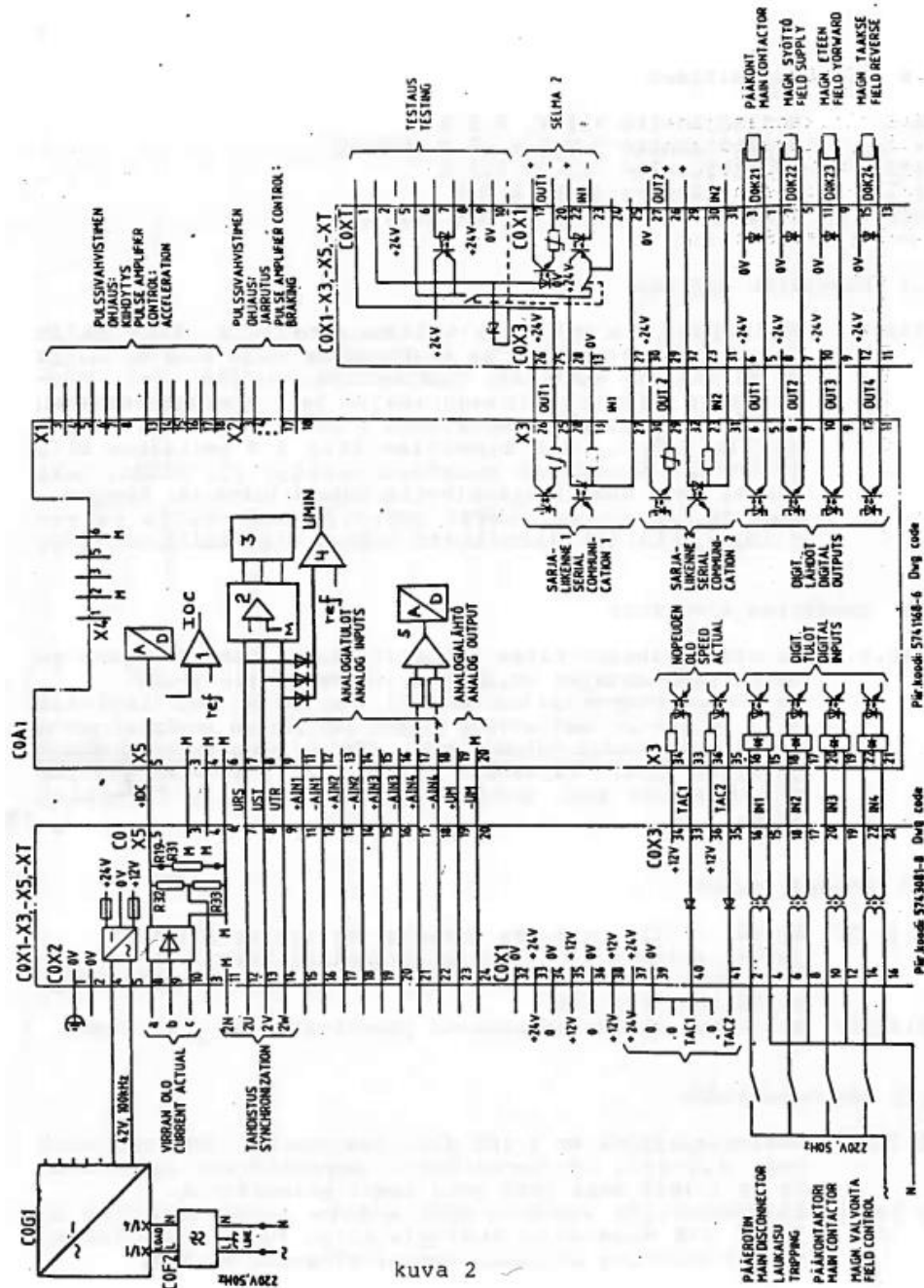
UPM Communication papers. N.d. UPM. Yhtiön esittely omilla verkkosivuilla. Viitattu 3.12.2018. <https://www.upm.com/fi/liiketoiminnot/upm-communication-papers/>

Liitteet

Liite 1. Linjakäyttökokonaisuus



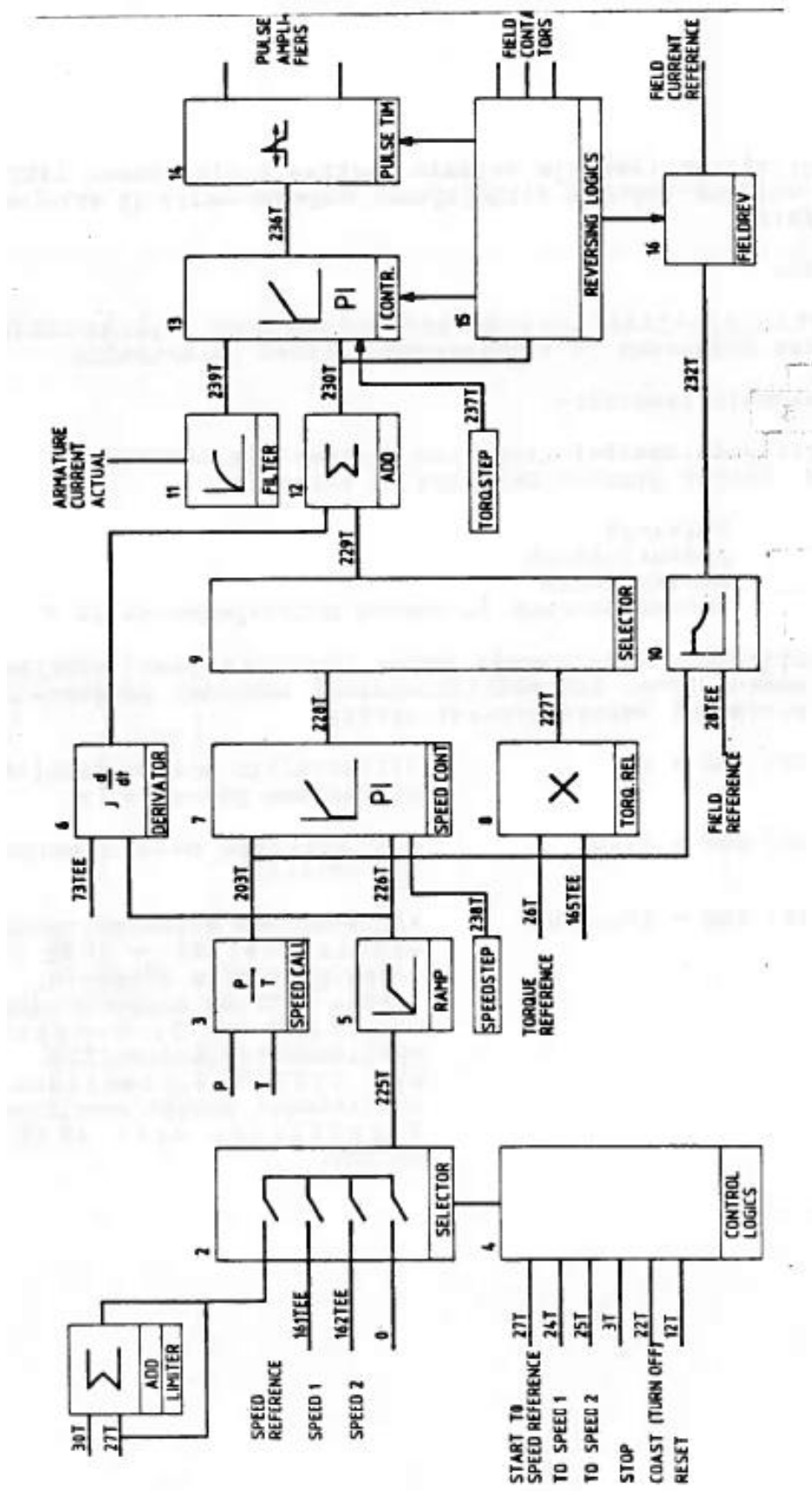
Liite 2. SELE 1000 liittännät (SELE 1000 Tasavirtakäytön ohjaukscortti. 1985)



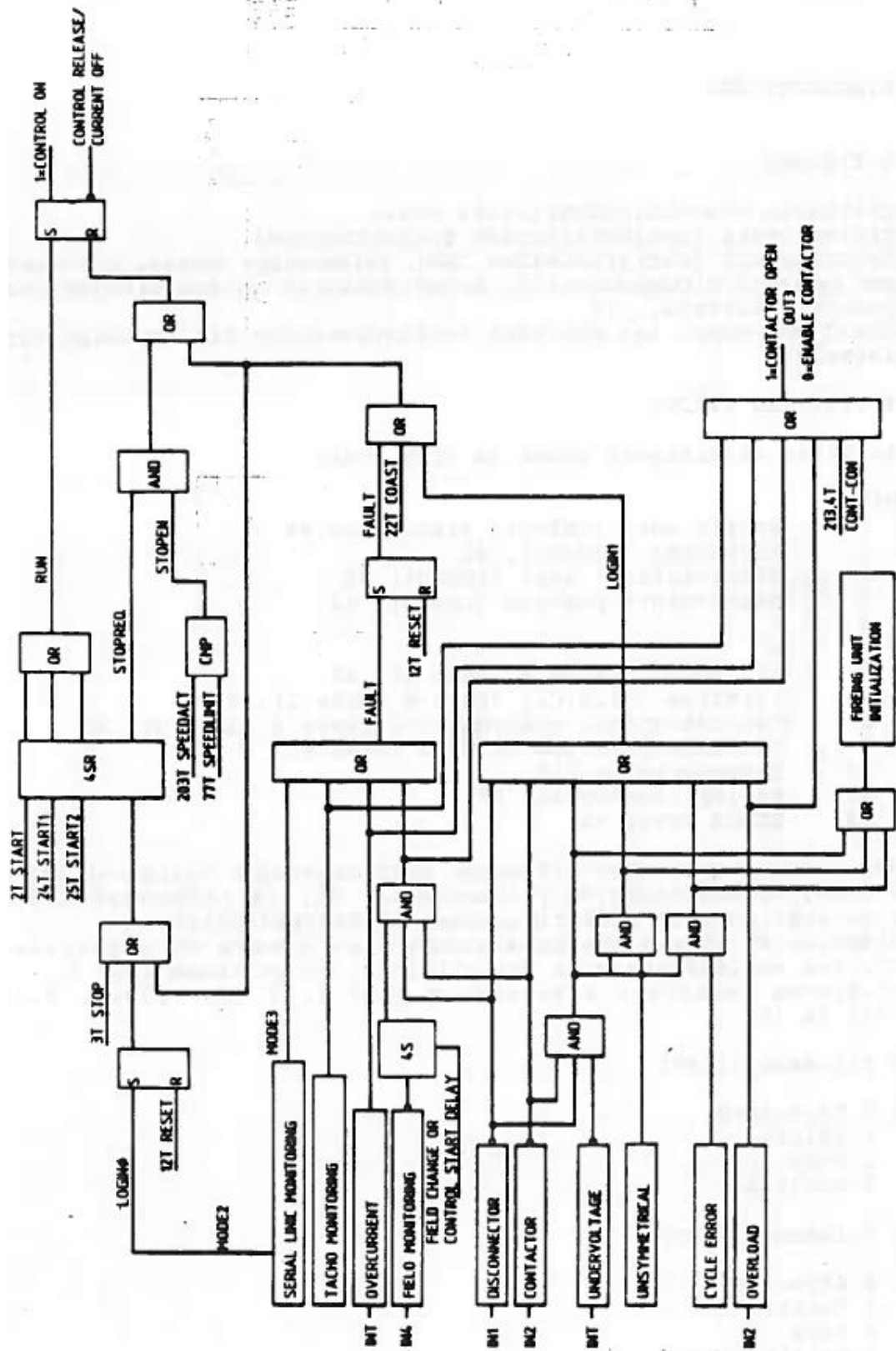
kuva 2

SELE 1000 liittännät

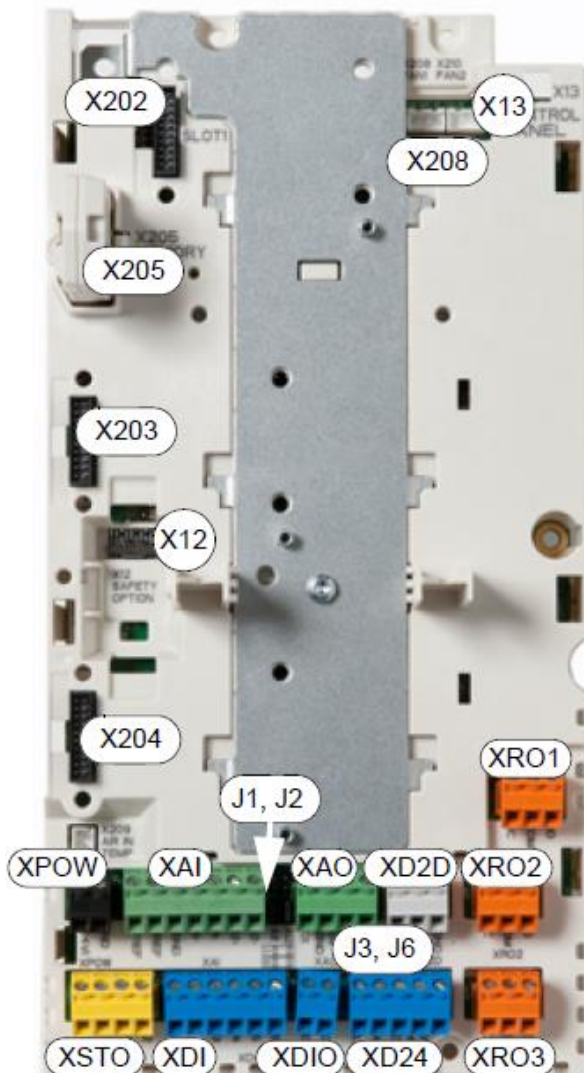
Liite 3. SELE 1000 ohjauslohkot (SELE 1000 Tasavirtakäytön ohjauskortti. 1985)



Liite 4. SELE 1000 ohjauslogiikka (SELE 1000 Tasavirtakäytön ohjauskortti. 1985)



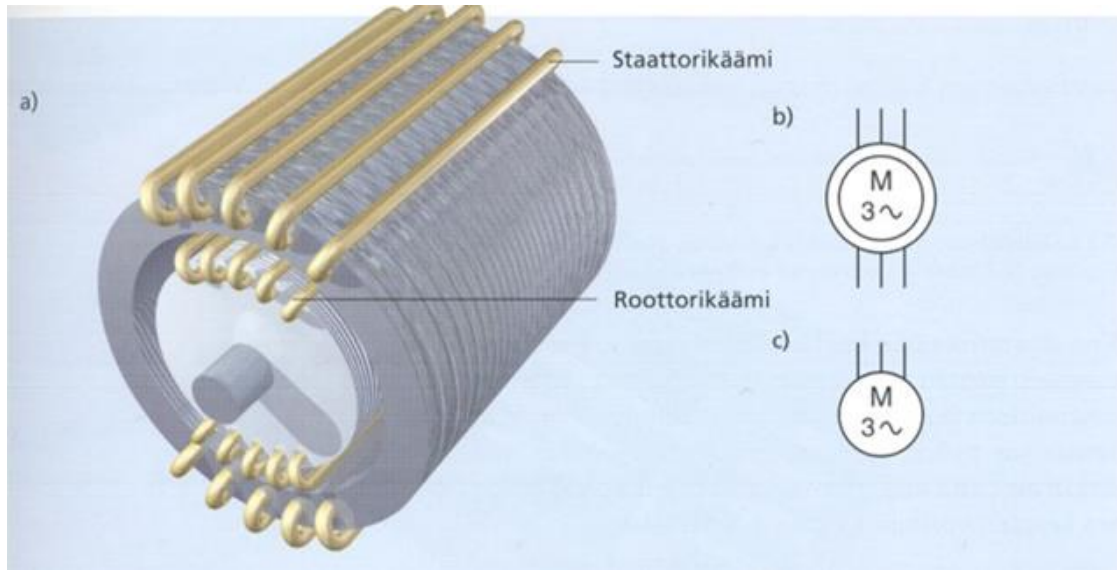
Liite 5. ABB ACS880 ulkoiset liitännät (ABB ACS880 taajuusmuuttajat laiteopas. 2017)



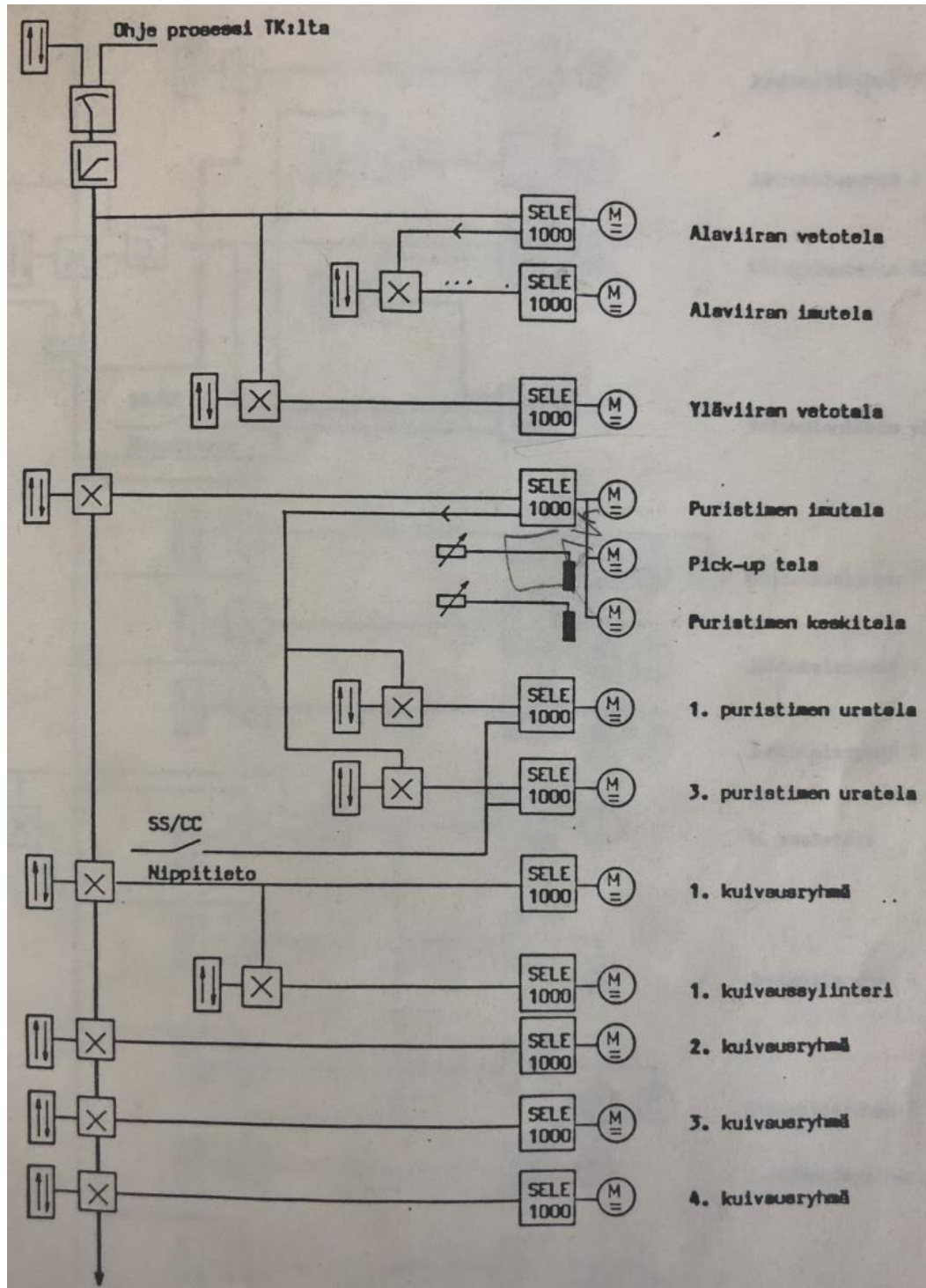
Kuvaus

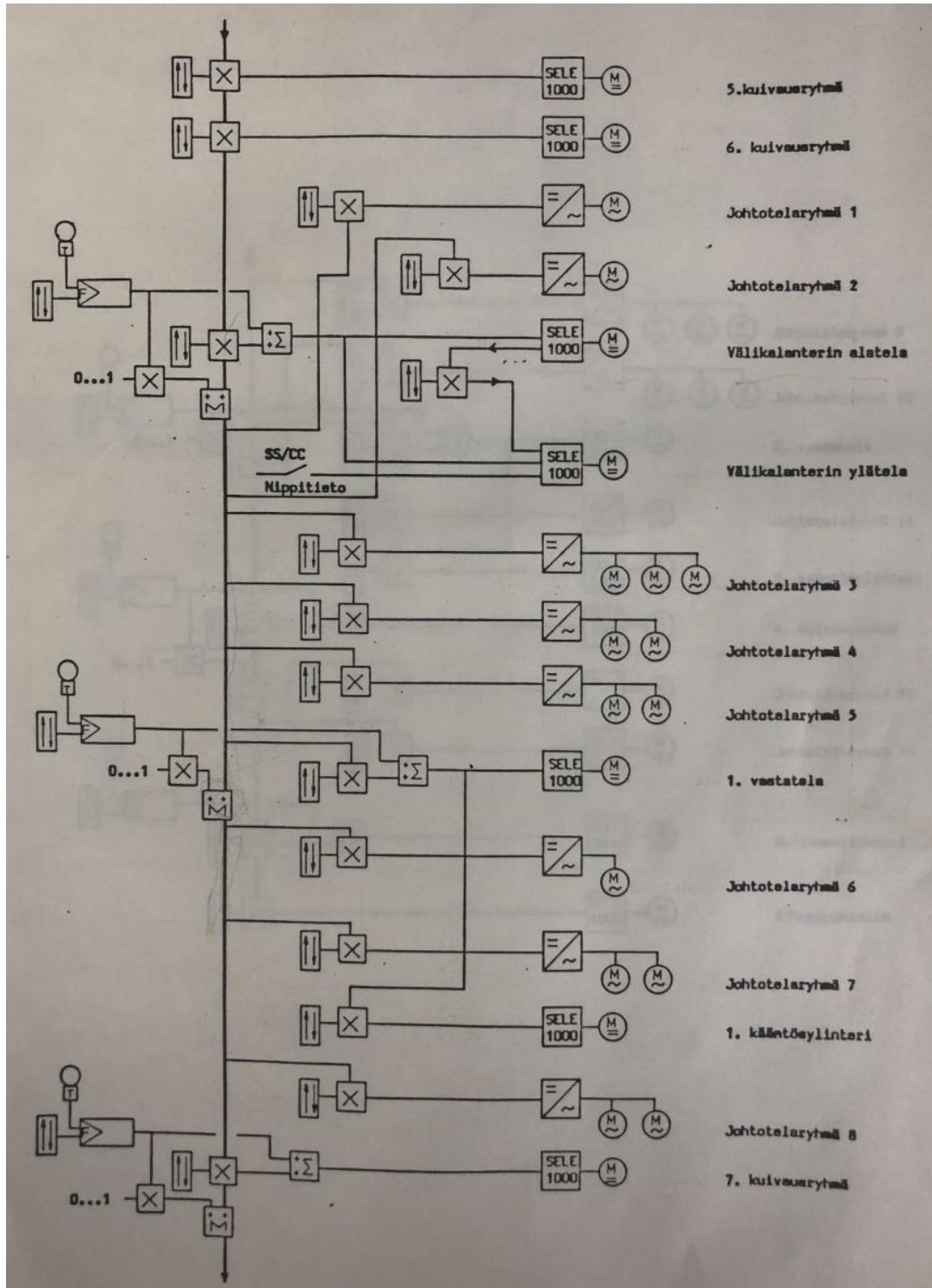
XPOW	Ulkoinen syöttö
XAI	Analogiatulot
XAO	Analogialähdöt
XD2D	Taajuusmuuttajien välinen liitäntä
XRO1	Relelähtö 1
XRO2	Relelähtö 2
XRO3	Relelähtö 3
XD24	Käynnistyksen lukitusliitäntä (DIIL) ja +24 V -lähtö
XDIO	Digitaalitulot/-lähdöt
XDI	Digitaalitulot
XSTO	Safe torque off -liitäntä
X12	Turvatoimintomodulien liitin (valinnainen)
X13	Ohjauspaneelin liitäntä
X202	Lisäkorttipaikka 1
X203	Lisäkorttipaikka 2
X204	Lisäkorttipaikka 3
X205	Muistiyksikön liitäntä
X208	Lisäjäähdytyspuhaltimen liitäntä
J1, J2	Jännitteen/virran valinnan siirtoliittimet (J1, J2) analogiatuloille
J3, J6	Taajuusmuuttajien välisen liitännän päätevastuksen siirtoliitin (J3), yhteisen digitaalitulon maan valinnan siirtoliitin (J6)

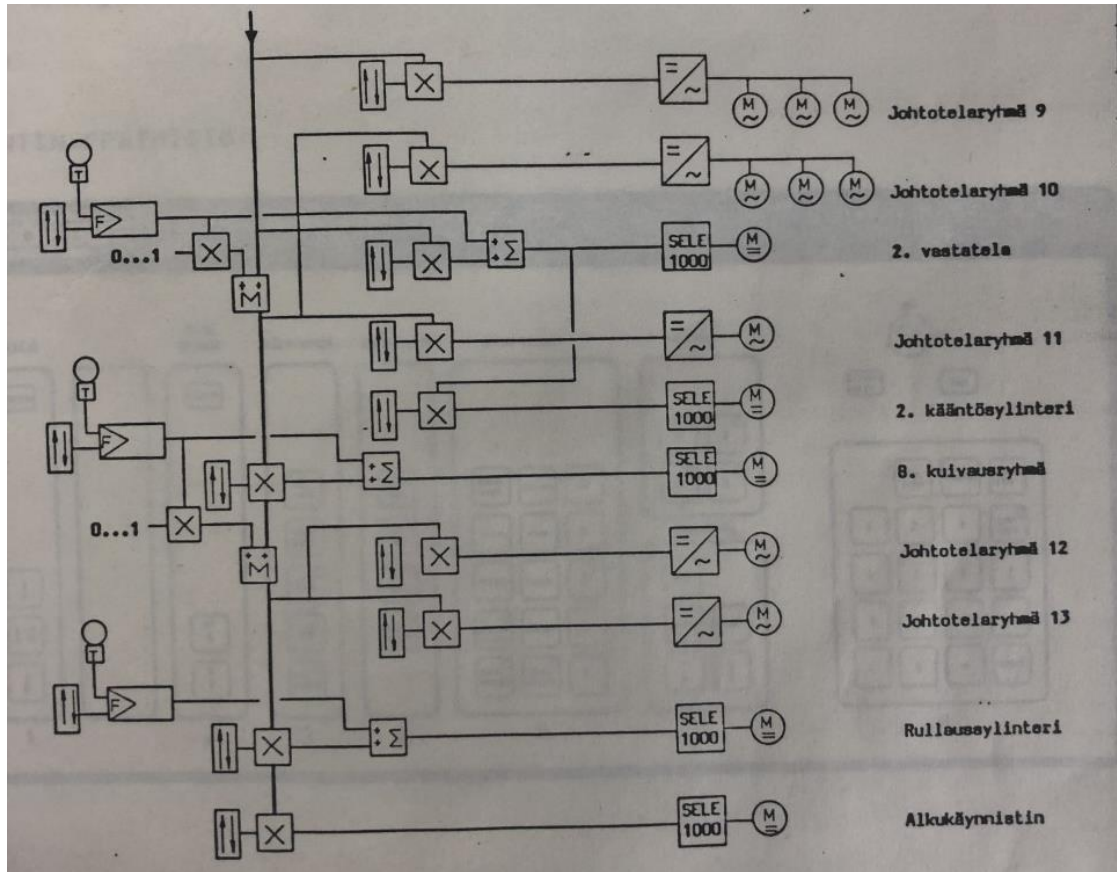
Liite 6. Oikosulkumoottorin käämitykset (Karvonen n.d.)



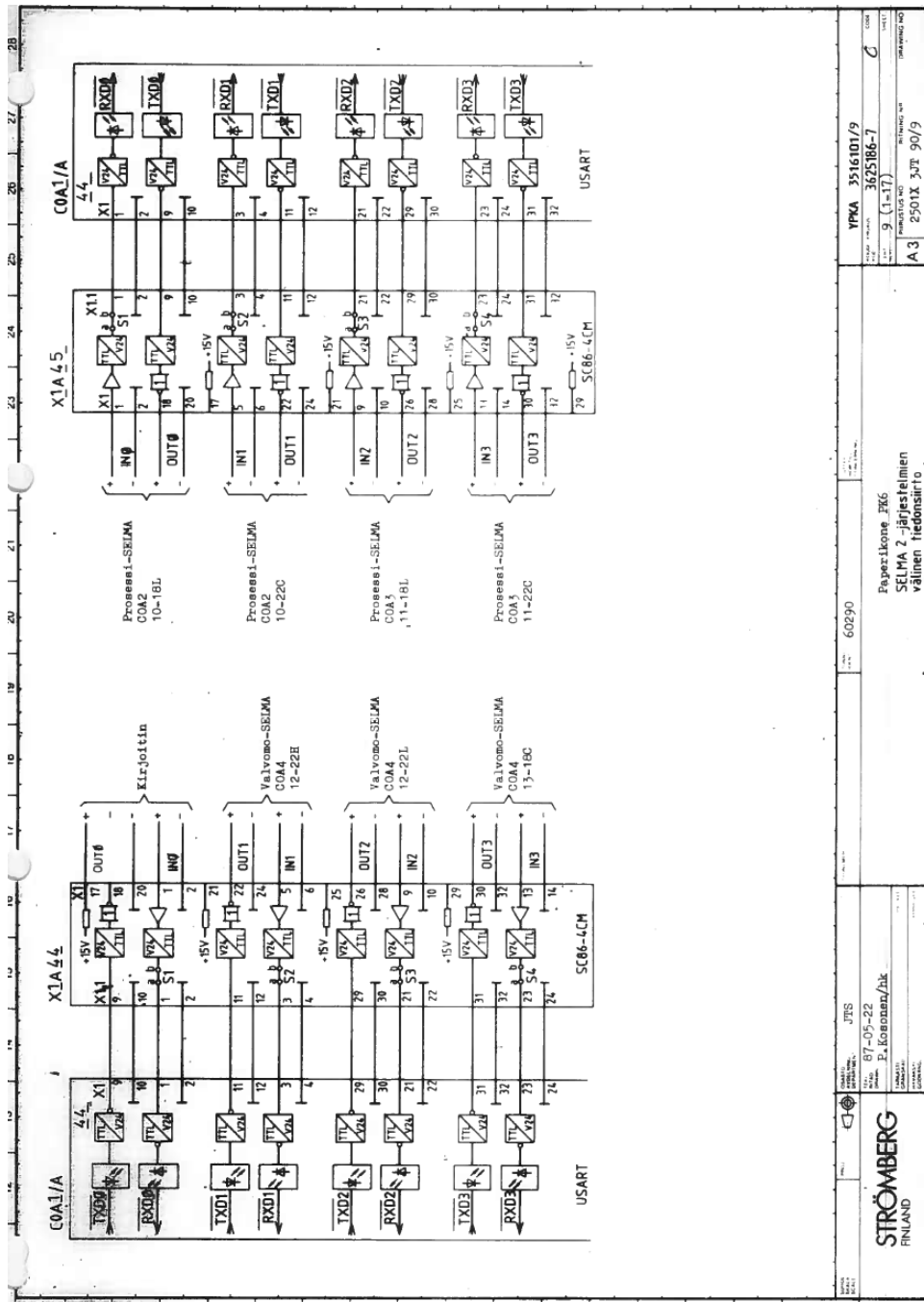
Liite 7. PK6 ohjearvoketju (Strömberg SELMA 2 Laiteseloste. 1987)







Liite 8. SELMA 2 -järjestelmien välinen tiedonsiirto (Strömberg SELMA 2 Laiteseloste. 1987)



YKKA 3516101/9	60290	JTIS	STRÖMBERG FINLAND
3625186-7		87-05-22	
9 (1-17)		P. Kosonen/uk	
A3 2501X 3UT 90/9			
Paperikone FK6 SELMA 2 -järjestelmien välinen tiedonsiirto			

Liite 10. Linjakäyttöjen varaosat

DC-moottorit											
Nimike	Laitte	Teho (kW)	Jännite	Virta (A)	RPM	Koneita linjalla	SAP Suomi	SAP ulkomaat	Kunnostus sessa	Kunnostus ulkomaat	Odottaa kunnostusta
18980412, 18939881, 18569488,	GPAU4535	90	600DC	163	1500-1800	1	5	1			
19902646, 18980510, 18772628,	GPAU5034	120	600DC	215	1500-1800	1	5	1	1		
18980358, 1853931, 18420975,	GPAU5638	190	600DC	340	1500-1800	6	3	2	1		2
18980419, 18772630, 18526168,	GRAU6345	330	600DC	580	1500-1800	4	5	2			1
18351554, 18772632, 18939901,	GRAU7142	440	600DC	773	1500-1700	2	6	2	1	3	
11709643, 18351490, 18420984,	GRCU8040	630	600DC	1100	1500-1800	5	3	2			9
11709642, 10005740, 18351516,	GRCU9045	810	600DC	1415	1350-1500	3	8	3		2	5
11716551	GRCU11235	1000	600DC	1750	1000-1100	1	2	2		2	1
AC-moottorit											
Nimike	Laitte	Teho (kW)	Jännite	Virta (A)	RPM	Koneita linjalla	SAP Suomi	SAP ulkomaat	Kunnostus sessa	Kunnostus ulkomaat	Odottaa kunnostusta
11716327	ABB HXR 500LM4	1000	690AC	987	1494	4	1	2			
18977093	1LA1 503-4PK00 SIEMENS	1100	690AC	1080	1491	1	1				
Tyristorisillat											
Nimike	Tyristorisillat	Välivarasto	SAP								
18678597	SLJZ705P14	6	1								
18678575	SLJZ705N14	3	1								
18678587, 18352683	SLJF165A3	4	2								
10018750	SLJF165 A32	7	5								
18524391, 10026665	SLJF355G12	4	5								
Kortit											
Nimike	Kortti	Välivarasto	SAP suomi	Kunnostus keessa	SAP ulkomaat						
18679352, 18535828	SGEA 1000	9	4	2	5						
18352638, 10016709	SGCP 1000	12	12	2	5						
18679370, 10020083	SGHF 1000	9	5	6	2						

Liite 11. Linjakäyttäjien syöttöryhmät

SYÖTTÖRYHMÄT		Kaipola	Olli Vaheari 15.12.2018				
Linja	Sähkötili	positio	Sovellus	Laitetunnus	Laite	Eroin? Poistetaan?	Huoltr
PK6	36ST01		Syöttö 5A1	60205A102	SPAJ 3C5 J3		2001
PK6	36ST01	365225	1.Pyörrepuhd. Pumppu	60207	SACE E2N 20	Pois	2018
PK6	36ST01	366261	1. Puristimen uratela	60216	SACE E2N 20	Pois	2018
PK6	36ST01		Syöttö 5A2	60205A202	SPAJ 3C5 J3		2001
PK6	36ST01	366155	Vara	60213b	SACE E2N 12		2009
PK6	36ST01	366155	Vara	60213a	SACE E2N 12		2009
PK6	36ST01	366156	Ylävirran vetotela	60214	SACE E2N 20	Pois	2018
PK6	36ST01		Syöttö 5A3	60205A302	SPAJ 3C5 J3		2001
PK6	36ST01	366154	Virranvetotela M2	60211	SACE E2N 20	Ei poisteta	2018
PK6	36ST01	366263	Pick-up/keskitela	60215	SACE E2N 12	Ei poisteta	2018
PK6	36ST01		Syöttö 5A5	60205A502	SPAJ 3C5 J3		2001
PK6	36ST01	366311	6. Kuivatusryhmä	6022402	SACE E2N 20	Pois	2018
PK6	36ST01	366310	5. Kuivatusryhmä	6022302	SACE E2N 12	Pois	2018
PK6	36ST01	366309	4. Kuivatusryhmä	6022202	SACE E2N 12	Pois	2018
PK6	36ST01	366308	3. Kuivatusryhmä	6022102	OKYM 7W22		
PK6	36ST01	366412	Välikalantin alätela	6022601	SACE E2N 12	Pois	2018
PK6	36ST01	366411	Välikalantin ylätela	6022501	OKYM 4W22		
PK6	36ST01	366633	1. Vastatela	6022701	OKYM 5W22		
PK6	36ST01		Syöttö 5A4	60205A402	SPAJ 3C5 J3		2001
PK6	36ST01	366305	1. Kuivatusylinteri	6021801	OKYM 5W22		
PK6	36ST01	366306	1. Kuivatusryhmä	6021902	OKYM 7W22		
PK6	36ST01	366307	2. Kuivatusryhmä	6022002	OKYM 7W22		
PK6	36ST01	366264	3. Puristimen ylätela	60211	SACE E2N 20	Pois	2018
PK6	36ST01		Syöttö 5A6	60205A602	SPAJ 3C5 J3		2001
PK6	36ST01	366313	8. Kuivatusryhmä	6023203	SACE E2N 12	Pois	2018
PK6	36ST01	366312	7. Kuivatusryhmä	6022902	SACE E2N 12	Pois	2018
PK6	36ST01	366643	2. Vastatela	6023001	OKYM 5W22		
PK6	36ST01	366823	Rullaussylinteri	6023301	OKYM 7W22		
PK6	36ST01		Alkukäynnistin	6023401	OKYM 4W22		
PK6	36ST04	366263	Puristimen imutela	60215-U1			2018
PK6	36ST04	366155	Alaviiran imutela		SACE E3S 16		2017
PK6	36ST04	366154	alaviiran vetotela M2	60212	MERIN GERIN M16 N		2018
PK6	36ST04	365226.81	Peränsyöttöpumppu 1	60208	MERIN GERIN M16 N		2018
PK6	36ST04	365226.82	Peränsyöttöpumppu 2	60209	MERIN GERIN M16 N		2018

Liite 12. Johtotelaryhmien kokonaisuus

Johtotelaryhmä	Johtotie	Taluu	Selmaach	Moottori	IEC	Teho kW	Virta (A)	RPM	Jämiä (V)	Takoa pinta	Takoa käytössä	Tamulla RTAC-01	Lampelaita yksikön johdotus	Johtotelaryhmittäasonaustieto	Nimitys	Tyyppi	Tiedot	Vainistaja
1	366625	18 ACS800	Suoraan	M3BP 280SMB 10 IMB3	200SMB 55	37			380 x	x	x	x				KT-640	690/400V, 250kVA	Tralotek
2	366626	19 ACS800	Suoraan	M3BP 200 MLB 4	200SMB 55	30	58	1470	380 x	Ei	Ei	Ei	x			SAFUI 400F415	400kVA, 415V, 610A	Stromberg
3	366627	22 ACS800	Yhteinen	HXURE 45565 B3	225M 60	22	55	586	380 x	x	x	Ei	x			SAFUI 400F415	400kVA, 415V, 540A	Stromberg
	366628	23	Yhteinen	HXURW 45565 B3	225M 60	22	55	586	380 x	Ei	Ei	Ei	x			SAFUB 250F415	250kVA, 415V, 240A	Stromberg
4	366630	25 ACS800	Suoraan	HXURE 45565 B3	225M 60	22	55	586	380 x	x	x	Ei	x			SAFUI 100F415	100kVA, 415V, 152A	Stromberg
	366631	26 ACS800	Suoraan	HXURW 45565 B3	225M 60	22	55	586	380 x	Ei	Ei	Ei	x			SAFUI 100F415	100kVA, 415V, 152A	Stromberg
5	366632	27 ACS800	Suoraan	M3BP 200 MLA 4 IMB3	200M 55	30	54,8	1483	380 x	Ei	Ei	Ei	x					
	366629	36 ACS800	Suoraan	HXURW 405AZ B3	200M 55	30			380 x	Ei	Ei	Ei	x					
6	366635	38 SAFUI100F415	Suoraan	M2BA 280SMB 10 B3		37			380 x	x	x	x						
7	366614	35 ACS800	Suoraan	M3BP 200 MLA 4	60034-1	30	55,3	1480	380 x	Ei	Ei	Ei	x					
	366636	31 ACS800	Yhteinen	HXURW 405AZ B3	200M 55	30	59	1470	380 x	Ei	Ei	Ei	x					
8	366637	32 SAFUI100F415	Yhteinen	HXURE 45565 B3	225M 60	22	55	586	380 x	x	x	Ei	Ediossa x					
	366639	34	Yhteinen	HXURW 45565 B3	225M 60	22	55	586	380 x	Ei	Ei	Ei	Ediossa x					
9	366641	43 ACS800	Suoraan	HXUR 405AZ B3		30	59	1470	380 x	Ei	Ei	Ei	Ei					
	366650	47 ACS800	Suoraan	HXUR 405AZ B3		30	59	1470	380 x	Ei	Ei	Ei	Ei					
	366642	39 ACS800	Suoraan	M3BP200MLA4	60034-1	30	55,3	1480	380 x	Ei	Ei	Ei	x					
10	366642	38 ACS800	Suoraan	HXURE 45565 B3		22	55	586	380 x	x	x	x	x					
11	366645	42 SAFUI100F415	Suoraan	HXURE 56265 B3		37	80	587	380 x	x	x	Ei	Ediossa x					
12	366870	49 ACS800	Suoraan	HXURE 45565 B3		22	55	586	380 x	x	x	x	x					
13	366871	50 ACS800	Suoraan	HXUR 45562 B3	225M 60	55	108	1475	380 x	x	x	Ei	x					
35	366638	35 ACS800	Suoraan	HXURW 45565 B3	225M 60	22	55	586	380 x	x	x	Ei	Ediossa x					
				Yhteensä 21 kpl														
Reinarteriallekkurit	6023601																	
HP	AOA1	ACS800-01-0004-3				0,9	2,5	3000	380									
KP	AOA2	ACS800-01-0004-3				0,9	2,5	3000	380									

Olli Vaehri 15.12.2018