



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Jon Kinnunen

VOIMALAITOSMALLIN KEHITYSTYÖ TECHNOBOTHNIASSA

Tekniikka
2017

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Jon Kinnunen
Opinnäytetyön nimi	Voimalaitosmallin kehitystyö Technobothniassa
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	51 + 13 liitettä
Ohjaaja	Mikko Västi

Päättötyön tarkoituksena on tehdä suunnitelma Technobotnian LEP 1 -sähkölaboratorion voimalaitosmallin modernisoimiseksi. Työ tehdään Vaasan ammattikorkeakoululle ja Technobothnialle. Nykyisessä tilassa oleva voimalaitosmalli halutaan modernisoida, sillä tällä hetkellä siitä löytyy vanhentuneita laitteita, ylimääräisiä kytkimiä, sekä mittareiden määrää kaapin ovissa halutaan vähentää käyttämällä mittaria, joka voi näyttää samanaikaisesti useampia mitattavia suureita. Myös voimalaitosmallin kaapin ovissa oleva mimiikka halutaan modernisoida vastaamaan totuudenmukaisemmin, sitä miten voimalaitosmalli on todellisuudessa kytketty.

Suurin voimalaitosmalliin käyttöön suunniteltu muutos on se, että uudistetussa mallissa jokaista katkaisijaa ohjataan suoraan mimiikkaan tuoduilla painonappiohjauksilla ja vikojen ohjaukset on tuotu suoraan mimiikkaan omille paikoilleen. Voimalaitosmallin vanhentuneet suojareleet, tehonsäädin ja automaattitahdistin uusitaan nykyaikaisiin vastineisiin. Uusissa suojareleissä on uutena ominaisuutena synchrocheck-toiminto. Lisäksi voimalaitosmalliin suunnitellaan Ethernet-verkko helpottamaan muun muassa suojareleiden konfiguroimista. Suunnittelutyö pohjautuu asennettavien laitteiden manuaaleihin ja voimalaitosmallin piirustuksiin. Uudet kytkentäkuvat on piirretty CAD-ohjelmalla.

Voimalaitosmalliin tehtävien käyttöä parantavien muutoksien myötä sen ulkoasu ja ohjaus muuttuvat johdonmukaisemmaksi ja opiskelijoille helpommin ymmärrettäväksi.

ABSTRACT

Author	Jon Kinnunen
Title	Improvement of Power Plant Model in Technobothnia
Year	2017
Language	Finnish
Pages	51 + 13 Appendices
Name of Supervisor	Mikko Västi

The objective of the thesis was to design a plan to improve and develop the power plant model in Technobothnia laboratory. In its current state, the power plant model includes obsolete devices, unused switches and a lot of indicators that present only one value and therefore use a lot of space in the cabinet doors. The power plant model will be connected to the distributed generation model which is in the same laboratory. Therefore, the overhaul of the graphical presentation of the power plant model that is printed on its doors is required to present the electrical connections more accurately.

The designed plan includes removing and replacing the obsolete devices with modern equivalents. These obsolete devices are old protection relays, analog load sharing unit and automatic synchronizer. The modern protection relays can be connected to the Ethernet and therefore a small network is designed for them for example for configuration purposes. The control method of the power plant model changes also. In the present model, the operator can select pre-defined scenarios using a switch, which defines if the power plant model is wanted to be used in the island operation or synchronized to the grid. In the improved and modernized version of the power plant model, the switch for pre-defined scenarios is removed and the operator must know the proper sequence to open or close the switches via push buttons. Because of this, the design of lock out circuit had to be made for the switches. In the modernized model, all devices, switches and indicators are located in their own designated areas.

The purpose of the changes is to improve the user-friendliness of the power plant model and to make it more illustratable to the operator and to the students who use it in the laboratory. With the new improved graphical presentation printed on the surface of the power plant model it is easier to understand the teaching and learning situations.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	NYKYTILAN KUVAUS	7
	2.1 Rakenne ja laitteiden sijoittelu.....	7
	2.2 Laitteet	9
3	TEORIATAUSTA.....	11
	3.1 Tahtigeneraattori.....	11
	3.2 Tahtigeneraattorin tyhjäkäynti.....	12
	3.3 Tahtigeneraattorin tahdistaminen verkkoon	13
	3.4 Tahtigeneraattorin jännitteen- ja tehonsäätö.....	14
	3.5 Tehonsiirto	16
	3.6 Relesuojaus	18
	3.6.1 Tahtigeneraattorin vikatapaukset ja relesuojaus	18
	3.6.2 Blokkimuuntajan suojaaminen.....	20
	3.6.3 Mittamuuntimet.....	21
4	VOIMALAITOSMALLIN MODERNISOINTI.....	23
	4.1 Yleistä	23
	4.2 Suojauksien muutokset	24
	4.2.1 Muutokset johdutusten kannalta	24
	4.2.2 Muutokset mimiikan ja releiden valinnan kannalta	29
	4.3 Sähköjakelun muutokset	33
	4.3.1 Muutokset johdotusten kannalta	33
	4.3.2 Muutokset mimiikan kannalta.....	37
	4.4 Mallin ohjaus	42
	4.4.1 Voimakoneen ohjaus.....	43
	4.4.2 Generaattorin ohjaus	45
	4.4.3 Tahdistus	47
	4.5 Tietoliikenne	49
	4.6 Tulevaisuuden kehityskohteet.....	50
5	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	

LIITELUETTELO

LIITE 1. Ovet, ulkopuoli

LIITE 2. Ovet, ulkopuoli suurennos

LIITE 3. Lukituskaavio, voimalaitosmalli

LIITE 4. Lukituskaavio, hajautettu tuotanto

LIITE 5. Releen valintapiiri

LIITE 6. Differenssireleen alueen valinta

LIITE 7. Tahdistuspiiri

LIITE 8. Laukaisupiirit

LIITE 9. Omakäyttökuorman lähtöyksikkö

LIITE 10. Katkaisijoiden indikaatiot

LIITE 11. Releen valinnan indikaatiot

LIITE 12. Aktiivisen magnetointivirran säätimen valinta

LIITE 13. Lisättävät ja poistettavat laitteet

1 JOHDANTO

Päättötyön tarkoituksena on tehdä suunnitelma Technobothnian LEP1-laboratoriossa sijaitsevan voimalaitosmallin modernisoinnista nykyaikaiseksi ja sen liittämistä hajautetun tuotannon malliin. Työ tehdään Vaasan ammattikorkeakoululle ja Technobotnialle.

Nykyisessä tilassa oleva Technobothnian LEP1-laboratoriossa sijaitseva voimalaitosmalli halutaan modernisoida, sillä se on kokenut ajan saatossa useampia muutoksia, jotka ovat tehneet alkuperäisestä hyvin suunnitellusta layoutista hieman epäselvän. Lisäksi tällä hetkellä se sisältää vanhentuneita laitteita, ylimääräisiä kytkimiä, sekä paljon yhtä suureta näyttäviä mittareita, jotka luonnollisesti vievät paljon tilaa ja pakottavan käyttäjän katsomaan useaan eri paikkaan samanaikaisesti. Myös mimiikka täytyy modernisoida, sillä se ei vastaa todellisia kytkentöjä, kun voimalaitosmalli liitetään hajautetun tuotannon malliin. Mimiikkaa täytyy muuttaa myös sen takia, että voimalaitosmalliin suunnitellaan ja tehdään sen käyttöä ja toimintaa parantavia muutoksia. Kaikkien näiden käyttöä ja toimintaa parantavien muutoksien toivotaan auttavan opiskelijoita hahmottamaan helpommin laboratoriossa suoritettavia töitä.

Voimalaitosmallin vanhentuneet laitteet halutaan uusia nykyaikaisiin vastineisiin. Tällä hetkellä oikeanpuoleisessa ovesa, eli ohjausovessa, ovat SPAD- ja SPAGsuojareleet halutaan poistaa kokonaan käytöstä. Lisäksi vasemmanpuoleisessa ovesa, eli releovessa, ovat VAMP 210- ja VAMP 265 -suojareleet halutaan poistaa käytöstä ja korvata ne VAMP 300G-suojareleellä. Lisäksi voimalaitosmalliin halutaan lisätä Arcteq Generator Commander -suojarele. Kaikkien uusien releiden sisältämää synchrocheck -ominaisuutta halutaan myös hyödyntää uudistetussa mallissa. Myös nykyisen voimalaitosmallin tehonsäädin ja automaattitahdistin halutaan uusia, koska ne perustuvat vanhaan analogiseen säätöön ja niiden tilalle halutaan uudet digitaaliseen säätöön perustuvat vastineet.

Koska voimalaitosmalli halutaan tuoda tähän päivään, suunnittelussa on otettu huomioon myös sen tietoliikenteen parantaminen. Modernisoidun voimalaitosmallin kaikki suojareleet ovat kytkettynä tietoliikenneverkkoon.

2 NYKYTILAN KUVAUS

2.1 Rakenne ja laitteiden sijoittelu

Voimalaitosmalli on rakennettu kolmeen eri kaappiin - syöttökaappiin, tahdistuskaappiin ja relekaappiin. Tässä työssä keskitytään ainoastaan tahdistuskaappiin ja relekaappiin. Tahdistuskaapissa on kaksi ovea, joista oikeanpuoleinen on nimetty ohjausoveksi ja vasemmanpuoleinen on nimetty generaattorioveksi. Tämän kaapin vasemmalla puolella on yksiovinen relekaappi. Lisäksi malliin kuuluu voimakoneena toimiva tasavirtamoottori, tahtigeneraattori ja magnetointilaitteisto. Kuvassa 1 on esitetty tämänhetkisen voimalaitosmallin relekaapin ja tahdistuskaapin ovet.



Kuva 1. Kuvassa vasemmalta oikealle - releovi, generaattoriovi ja ohjausovi

Kuten kuvasta huomaa, ei nykyisessä tilassa olevan voimalaitosmallin laitteiden ja kytkimien sijoittelu ole täysin yhdenmukainen. Vanhat SPAD- ja SPAG-suojareleet

sijaitsevat ohjausovessa, kun taas muut suoja releet ovat releovessa. Yksittäistä suuretta mittaavia mittareita on paljon ja vaikka ne ovatkin sijoitettu voimalaitosmallin käyttöä ajatellen järkevästi, niitä voi olla vaikea katsoa yhtä aikaa. Lisäksi nykyisessä mallissa on lamppusynkronoskooppi, joka halutaan poistaa voimalaitosmallista. Mimiikassa olevien vikapaikkojen ohjaukset sijaitsevat kaukana ohjausovessa, eivätkä itse vikapaikassa ja tällä tavoin sijoitettuna menetetään havainnollisuutta. Sama tilanne on myös generaattorin staattorin maadoituksen valintakytkimen kanssa. Sen ohjauskytkin on sijoitettu ohjausoveen ja mimiikassa maadoitus on kuvattu generaattorioven alalaidassa – tähän halutaan tehdä muutos.

Voimalaitosmallin tehonsäädin DEIF Transal DGC-1T ja automaattitahdistin DEIF FAS 2 sijaitsevat ohjausovessa. Niiden sijoittelu ohjausovessa on käytön kannalta hyvä. Generaattorin magnetoimisvirran säädin ABB Unitrol 1000 sijaitsee relekaapin sisällä.

Nykyisen voimalaitosmallin voimakoneena toimii tasavirtamoottori, jonka tiedot sen arvokilven mukaan ovat seuraavanlaiset:

- tyyppi: GNAT 3613 B3
- tehot: 0,85; 5,7; 6,5 kW
- jännitteet: 56, 220, 400 V
- virta: 22, 30, 40 A.

Tasavirtamoottorin magnetointi on seuraavanlainen:

- jännite: 160, 160, 38 V
- virta: 1,4; 1,4; 0,33 A.

Voimakone tulee pysymään samana myös modernisoidussa mallissa, kuten myös siinä käytössä oleva tahtigeneraattorikin.

Nykyisen voimalaitosmallin generaattorina toimii seuraavan lainen tahtigeneraattori:

- tyyppi: HFST 4030P3 B3
- teho: 6 kVA
- käyttötapa: S1
- taajuus: 50 Hz
- jännite: 400V
- virta: 8,7 A
- kytkentä: tähti
- $\cos \varphi = 0,8$
- pyörimisnopeus: 3000 rpm.

Kone on tyypiltään sisänapakone eli magnetointi on viety ankkurille.

2.2 Laitteet

Nykyisessä voimalaitosmallissa on useita eri suojareleitä. Käytettävän suojareleen valinta tehdään kolmiasentoisella kytkimellä. Näistä releistä uusinta tekniikkaa edustaa ABB REG615-suojarele ja se on ainut suojarele, joka tulee pysymään myös uudistetussa voimalaitosmallissa. Se sisältää tarvittavat suojaukset ja ohjaukset käynnistyksen ja normaaliajon aikana tälle voimalaitosmallille. Releessä on myös tietoliikenneportti, joten se on mahdollista liittää tietoliikenneverkkoon uudessa modernisoidussa mallissa. /1/

Voimalaitosmallista löytyy myös VAMP 210 -generaattorin suojarele ja VAMP 265 -differentiaalisuojarele, jotka yhdessä sisältävät kaikki tässä voimalaitosmallissa tarvittavat suojaukset. Valitettavasti näistä releistä ei löydy sopivaa tietoliikenneporttia, joka on yhtenä vaatimuksena uudistetussa voimalaitosmallissa. Siispä nämä releet poistetaan käytöstä ja tilalle asennetaan uusi VAMP 300G -generaattorin suojarele. /2-3/

Alun perin voimalaitosmallin suojausina toimineet ABB SPAG 333 C- ja SPAD 346 C3 -suojareleet poistetaan kokonaan käytöstä. Suojauksien puolesta niistä löytyy monipuoliset suojausfunktiot, mutta ne ovat vanhentuneet tekniikaltaan ja niitä ei saataisi liitettyä tulevaan tietoliikenneverkkoon.

Nykyisessä voimalaitosmallissa on pätötehon- ja taajuudensäätimenä DEIF Transal DGC- 1T -säädin. Sillä säädetään voimakoneen ankkurijännitettä kontaktorien K32A ja K32Y avulla. Säätimelle on tuotu pätötehon mittausta generaattorilta mittamuuntimella U12. Voimalaitoksen ollessa saarekekäytössä, säädin toimii generaattorin taajuuden säätimenä. Tällöin säädin saa mittaustiedon taajuusmuuntimelta U14. Säädin perustuu vanhanaikaiseen analogiseen säätöön ja sen tilalle halutaan korvaava digitaaliseen säätöön perustuva tehonsäädin.

Automaattinen tehonsäädin on paritettu nykyisessä voimalaitosmallissa samanmerkkisen DEIF FAS 2 -automaattitahdistimen kanssa. Myös tälle laitteelle halutaan uudempi vastine modernisoituun malliin.

Tahtigeneraattorin magnetoimisvirran säätimenä toimii ABB Unitrol 1000. Generaattorin ollessa saarekekäytössä, säädin toimii generaattorin jännitteensäätimenä ja verkkoon tahdistettuna se toimii loistehonsäätimenä.

3 TEORIATAUSTA

Tässä osassa käydään läpi voimalaitosmallin peruskomponentteihin liittyvää teoriataustaa siltä osin, että on helpompi ymmärtää, mitä kukin komponentti tekee voimalaitosmallissa.

3.1 Tahtigeneraattori

Tahtikoneen staattorissa on yleensä vaihtosähkökäämitys, joka on rakenteeltaan samanlainen kuin epätahtikoneessa. Toimiessaan moottorina staattorikäämitys saa aikaan pyörivän magneettikentän, samalla tavalla kuin epätahtikonekin. Toimiessaan generaattorina, staattorikäämiin indusoituu kolmivaiheinen sähkömotorinen jännite, joka voidaan syöttää verkkoon. /4/

Tahtikoneen roottori eroaa rakenteeltaan epätahtikoneen roottorista. Tahtikoneen roottorissa on magneettinavat. Ne saadaan magneettiseksi syöttämällä niihin tasavirtaa, joka johdetaan tähän staattorin ympärillä pyörivään osaan harjojen ja liukurenkaiden kautta, tai suuremmissa koneissa harjattomasti, jolloin tasavirran syöttämiseksi käytetään induktiota. Roottori voi olla rakenteeltaan joko umpi- tai avonaparakenteinen. Umpinapapyöräistä roottoria käytetään nopeakäyntisissä ja avonaparakenteista roottoria käytetään hitaissa tahtigeneraattoreissa. /5/

Staattorin ja roottorin napaparilukujen tulee täsmätä kuten epätahtikoneessakin, sillä staattorin ja roottorin tulee niin sanotusti löytää vastinnavat, joiden väliset voimat joko antavat momentin moottorikäytössä tai vastustavat voimakonetta generaattorikäytössä. /6/

Tahtikoneen rakenteeseen kuuluu myös vaimennuskäämitys, jonka tarkoituksena on estää koneen nopeuden muutosta äkillisissä kuormituksen vaihteluissa. Vaimennuskäämi on rakennettu niin, että napakenkien läpi on viety sauvat, jotka on yhdistetty keskenään kengän molemmilta puolilta.

Tahtigeneraattori on sähkökone, joka muuttaa voimakoneen sille antaman mekaanisen tehon sähkötehoksi, jonka se edelleen syöttää sähköverkkoon. Voimakoneena voidaan käyttää vesi-, höyry- tai kaasuturpiineja tai dieselmoottoria varavoimalaitoksissa. Poikkeuksellisesti modernisoinnin kohteena olevassa voimalaitosmallissa käytetään tasavirtamoottoria, koska se on käytännöllinen

ratkaisu laboratoriossa. Generaattorin mekaaniseen rakenteeseen vaikuttaa merkittävästi käytettävän voimakoneen tyyppi. /7/

Tahtigeneraattorin taajuus ja magneettikentän synkroninen pyörimisnopeus riippuvat toisistaan aivan kuten epätahtikoneellakin kaavan 1 mukaisesti.

$$n_s = \frac{f}{p}, \text{ jossa } n_s = \text{koneen pyörimisnopeus} \quad (1)$$

f = verkon taajuus

p = koneen napapariluku

Kaavan 1 perusteella saadaan alla esitetyn taulukon 1 mukaiset pyörimisnopeudet eri napapariluvuilla, kun taajuus $f = 50$ Hz.

Taulukko 1. Generaattoreiden pyörimisnopeudet, kun taajuus $f = 50$ Hz.

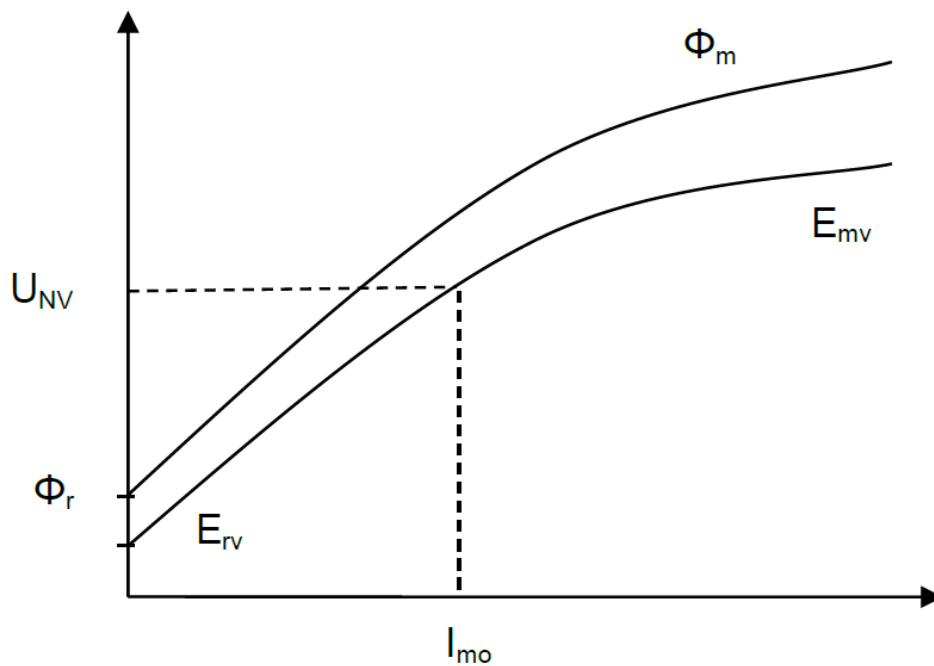
p	$\frac{n}{1/min}$	p	$\frac{n}{1/min}$	p	$\frac{n}{1/min}$	p	$\frac{n}{1/min}$
1	3000	8	375	15	200	28	107 1/7
2	1500	9	333 1/3	16	187 1/2	30	100
3	1000	10	300	18	166 2/3	32	93 3/4
4	750	11	272 8/11	20	150	34	88 4/21
5	600	12	250	22	136 4/11	36	83 1/3
6	500	13	230 1/13	24	125	38	78 18/19
7	427 4/7	14	214 2/7	26	115 5/13	40	75

Tahtikoneen roottori pyörii aina täsmälleen samalla nopeudella kuin pyörivä magneettikenttä eli se pyörii synkroninopeudella kuormituksesta riippumatta. /8/

3.2 Tahtigeneraattorin tyhjäkäynti

Tahtigeneraattori on silloin tyhjäkäynnissä, kun staattoria ei ole kuormitettu ja sen virta I on nolla. Kun tahtigeneraattorin roottoriin sijoitettuun magnetointikäymiin johdetaan magnetoimisvirta I_{m0} , joka on tasavirtaa, syntyy roottorille siihen nähden

paikallaan pysyvän magneettivuon ja sitä kutsutaan päävuoksi. Kuvassa 2 on esitetty päävuo magneetoimisvirran funktiona. Kuvassa E_{mv} on indusoitunut päälähdejännite, E_{rv} on jäännösmagnetoinnin aiheuttama vaihejännite, I_{m0} jo aiemmin mainittu magnetointivirta, Φ_m on perusmagnetoinnin aiheuttama päävuo ja Φ_r on jäännösmagnetointi. /9/



Kuva 2. Tahtigeneraattorin tyhjäkäyntikäyrät

3.3 Tahtigeneraattorin tahdistaminen verkkoon

Tahtikonetta ei voi kytkeä jännitteelliseen verkkoon epätahtikoneen tavoin ilman mitään toimenpiteitä, sillä sitä ei ole mitoitettu epätahtiin ja sen täytyy pysyä tahdissa käynnistyksen aikanakin. Jotta tahtigeneraattori voidaan kytkeä jännitteelliseen verkkoon turvallisesti niin, että tahdistuksen vuoksi ei synny suuria tasoitusvirtoja, seuraavien tahdistusehtojen tulee täytyä.

1. Verkon ja tahdistettavan generaattorin vaihejärjestyksien täytyy olla samat.
2. Verkon jännitteen ja tahdistettavan generaattorin tuottaman jännitteen täytyy olla samansuuruiset itseisarvoltaan, eikä niiden välillä saa olla vaihesiirtoa.
3. Lisäksi taajuuksien pitäisi olla mahdollisimman samat, mutta kuitenkin niin, että generaattorin taajuus on hieman suurempi kuin verkon taajuus, jotta tahdistuksessa se ei muutu vahingossa moottoriksi. /10-11/

Tahdistusehtojen täyttymiseksi suoritetaan seuraavat toimenpiteet. Vaihejärjestyksen täytyy olla verkon ja generaattorin välillä alla olevan listan mukainen:

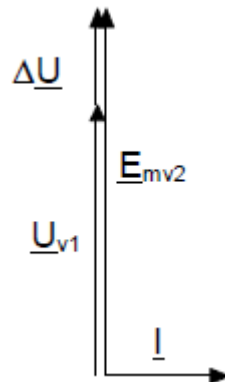
- U – L1
- V – L2
- W – L3

Yhtä suuret jännitteet saadaan säätämällä generaattorin magnetoimisvirta sellaiseksi, että se vastaa verkon jännitettä. Tämä voidaan todeta esimerkiksi kaksoisvolttimittarista. Sama taajuus saadaan säätämällä generaattoria pyörittävän voimakoneen nopeus sellaiseksi, että verkon ja generaattorin taajuudet ovat yhtä suuret. Tämä voidaan todeta esimerkiksi kaksoistaajuusmittarilla. Vaihesiirto voidaan todeta muun muassa oskilloskoopilla niin, että sillä mitataan generaattorin ja verkon puolelta pääjännitettä. Kun jännitteiden kuvaajat kohtaavat oskilloskoopin näytöllä ja ovat päällekkäin, ei generaattorin ja verkon välillä ole vaihesiirtoa. Kun kaikki ehdot täyttyvät, annetaan tahdistuskäskeä. /12-13/

3.4 Tahtigeneraattorin jännitteen- ja tehonsäätö

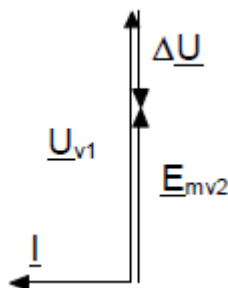
Kun generaattoria ei ole tahdistettu muuhun jännitteelliseen verkkoon, vaan se tuottaa sähköä vain omakäyttöön, toimii se saarekekäytössä. Tällöin generaattorin antamaa jännitettä voidaan säätää muuttamalla sen magnetoimisvirtaa. Kasvattamalla magnetointia generaattorin jännite kasvaa ja pienentämällä päinvastoin. Generaattorin taajuus on taas suoraan verrannollinen sitä pyörittävän voimakoneen pyörimisnopeuteen. /14/

Kun generaattori on tahdistettu muuhun jännitteelliseen verkkoon, se on verkossa tyhjäkäyntiä vastaavassa tilassa. Jos verkkoon halutaan syöttää induktiivista loistehoa ja -loisvirtaa, täytyy generaattoria ylimagnetoida. Kun generaattorin magnetointia suurennetaan, suurenee myös sen päälähdejännite E_{mv} verkon liitinjännitettä U_v suuremmaksi. Tämän seurauksena syntyy jännite $\Delta U = E_{mv} - U_v$, joka on seurausta jännitteiden suuruus erosta. Tällöin verkkoon syötetään induktiivista loistehoa ja loisvirtaa. Mitä suuremmaksi generaattorin magnetointi säädetään, sitä suuremmaksi verkkoon syötettävä loisteho muuttuu. Kuvassa 3 on esitetty tilanteen osoitindiagrammi. /15/



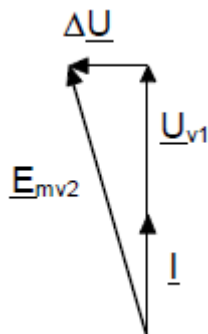
Kuva 3. Tahtigeneraattorin induktiivisen loistehon säätö

Jos verkkoon halutaan syöttää kapasitiivista loistehoa ja loisvirtaa tahdistuksen jälkeen, täytyy generaattoria alimagnetoida. Kun generaattorin magnetointia pienennetään, pienenee myös sen päälähdejännite E_{mv} verkon liitinjännitettä U_v pienemmäksi. Tämän seurauksena syntyy jännite $\Delta U = U_v - E_{mv}$ joka on seurausta jännitteiden suuruus erosta. Tällöin verkkoon syötetään kapasitiivista loistehoa ja loisvirtaa. Kuvassa 4 on esitetty tilanteen osoitindiagrammi. /16/



Kuva 4. Tahtigeneraattorin kapasitiivisen loistehon säätö

Pätötehon säätö tapahtuu muuttamalla generaattoria pyörittävän voimakoneen vääntömomenttia. Tämä voidaan tehdä voimalaitosmallissa säätämällä voimakoneena toimivan tasavirtamoottorin ankkurijännitettä. Kun ankkurijännitettä kasvatetaan, vääntömomentti kasvaa ja päinvastoin vääntömomentti pienenee ankkurijännitettä pienentäessä. Kun voimakoneen vääntömomenttia suurennetaan, myös sen kierrosnopeus hetkellisesti suurenee, jolloin generaattorin roottorin pyörimistä seuraava generaattorin päälähdejännite E_{mv} siirtyy verkon liitinjännite U_v :n edelle tehokulman δ verran. Tällöin syntyy kuvan 5 mukainen tilanne. Tällöin $\Delta U = E_{mv} - U_v$ ja virta I kasvavat. Tehokulman suuruus riippuu suoraan voimakoneen vääntömomentin suuruudesta ja mitä suuremmaksi se tulee, sitä suuremmaksi tulee myös generaattorin verkkoon syöttämä pätöteho. Kuvassa 5 on esitetty tilanteen osoitindiagrammi. /17/

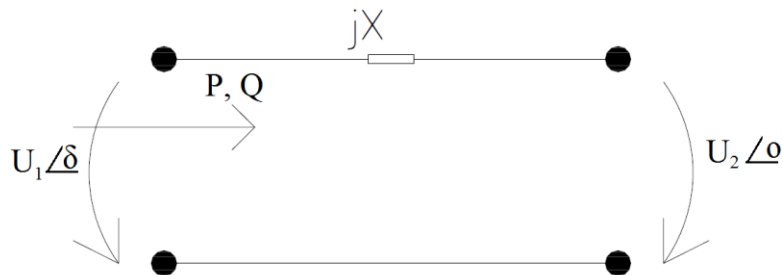


Kuva 5. Tahtigeneraattorin pätötehon säätö

3.5 Tehonsiirto

Kahden solmupisteen välillä siirtyvä teho voidaan esittää kuvan 6 mukaan.

Kuvaan on otettu mallia Sähkölaitostekniikan perusteet -kirjan 4. painoksesta.



Kuva 6. Tehon siirtyminen kahden solmupisteen välillä

Pätöteholle P on voimassa yhtälö 2. /18/

$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta, \text{ jossa} \quad (2)$$

P = pätöteho

U_1 = syöttävä jännite

U_2 = jäykkä jännite

δ = tehokulma

Loisteholle Q on voimassa yhtälö 3. /19/

$$Q = \frac{U_1^2}{X} - \frac{U_1 U_2}{X} \cos \delta, \text{ jossa} \quad (3)$$

Q = loisteho

U_1 = syöttävä jännite

U_2 = jäykkä jännite

δ = tehokulma

Pätö- ja loistehon säädön välinen oleellinen ero johtuu voimansiirtojohtojen impedansseista. Reaktanssi on kertaluokan suurempi kuin resistanssi suurjännitejohdoilla. Loisteho täytyy tuottaa mahdollisimman lähellä sen kulutusta, sillä sen siirtoon liittyvät häviöt muodostuvat suuriksi, joten sitä ei voida tehdä pitkiä matkoja. Pätötehon tuotannon paikka voidaan valita suhteellisen vapaasti sen kulutuskohteesta riippumatta ja sen pitkien matkojen siirtäminen on perusedellytys voimansiirrolle. /20/

3.6 Relesuojaus

Relesuojauksen ideana on taata kuluttajalle sähköenergian saanti mahdollisimman häiriöttömästi ja jatkuvasti. Suojarele tarkkailee jatkuvasti verkon tilaa siihen liitettyjen mittamuuntimien kautta. Tarpeen vaatiessa vikatilanteessa suojarele eristää viallisen verkon osan terveestä verkosta ohjaamallaan katkaisijoilla. Relesuojauksen on täytettävät seuraavat perusvaatimukset:

- Suojauksen on oltava selektiivinen niin, että kun vikapaikka erotetaan verkosta, mahdollisimman pieni osa verkosta jää ilman sähköä.
- Suojauksen on toimittava niin nopeasti, että häiriöstä aiheutuvat vahingot ovat pieniä ja, että voimalaitoksen yhteiskäyttö häiriintyy mahdollisimman vähän.
- Suojauksen on suojattava aukottomasti koko sähköverkostoa.
- Suojauksen pitää olla mahdollisimman yksinkertainen ja käyttövarma.
- Suojausta on voitava koestaa käyttöpaikalla käytön aikana.

Sähköverkko jaetaan erillisiin suoja-alueisiin. Suojan suoja-alue on se osa sähköverkkoa, jossa syntyneen vian vuoksi suoja toimii ja vika-alueen ulkopuolella suoja ei toimi. Suojareleiden ohjaamat katkaisijat rajoittavat näitä suoja-alueita. /21/

3.6.1 Tahtigeneraattorin vikatapaukset ja relesuojaus

Generaattorin oikosulkusuojana voidaan käyttää vakioaikaylivirtareleitä ja suurissa generaattoreissa voidaan käyttää lisäksi distanssirelettä, joka on varustettu ali-impedanssihavahtumiselimellä. Ylijännitesuojaa voidaan käyttää voimakoneen ryntäämisen estämiseksi tai tilanteessa, jossa generaattorin kuormitus katoaa nopeasti aiheuttaen jännitteen kasvamisen. Suojaus voidaan toteuttaa kaksiportaisella ylijännitereleellä ja se tarvitsee mittauksen generaattorin liitinjännitteestä. Alempi porras voidaan asettaa esimerkiksi $1,1 - 1,25 \times U_N$ ja se voi olla käänteisaikahidasteinen. Ylempi porras voidaan asettaa esimerkiksi $1,3 - 1,4 U_N$ ja siinä voidaan käyttää hyvin lyhyttä hidastusaikaa.

Taajuussuojalla voidaan erottaa generaattori verkosta ja pysäyttää se, jos taajuus kasvaa liian korkeaksi. Taajuuden mittausta tehdään generaattorin syöttämästä

staattorijännitteestä. Taajuusrele toimii parhaiten suojana, jos voimakoneen pyörimisnopeussäädin vioittuu.

Takatehosuojaa käytetään suojaamaan tilanteelta, jossa voimakoneen vikaantumisen vuoksi pätötehon suunta muuttuu generaattorin ja verkon välillä. Takatehorele mittaa siis pätötehon suuntaa jännite- ja virtamittamuuntajan avulla ja normaalissa tilanteessa tahdistetun generaattorin pätötehon suunta on generaattorista verkkoon päin.

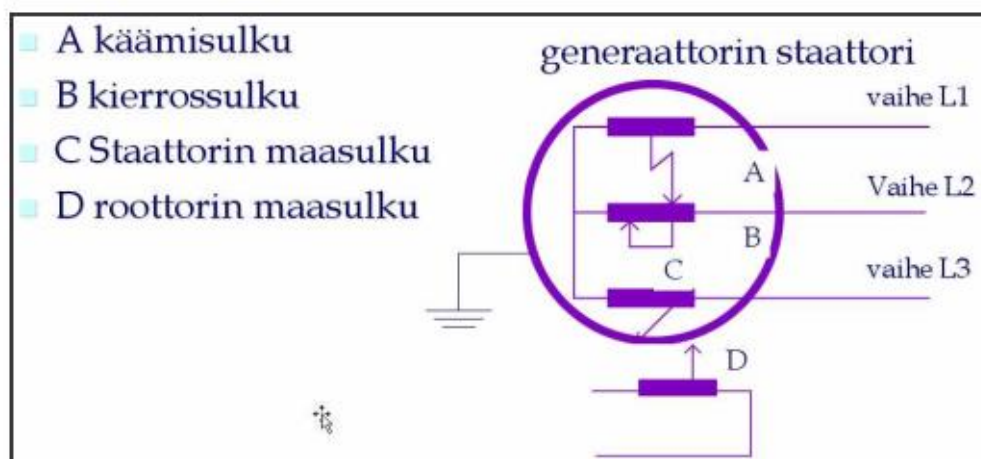
Käämisululla tarkoitetaan generaattorin sisällä olevaa vikaa, jossa staattorinkäämit ovat oikosulussa. Generaattorin nopea suojaaminen käämisulussa onnistuu differentiaali-suojafunktiolla. Tätä varten tarvitaan vaihevirran mittaukset virtamittamuuntimilla generaattorin staattorikäämityksen ja tähtipiteen väliin ja generaattorin verkon puolelle.

Kierrossululla tarkoitetaan vikatilannetta, jossa staattorikäämien välinen eriste on vioittunut. Tämä aiheuttaa virta- ja jännite-epäsymmetriaa. Kierrossulusta suojaaminen voidaan toteuttaa ylivirtareleellä, sillä kierrossulun aiheuttama potentiaaliero staattorikäämin tähtipisteiden välillä aiheuttaa tasoitusvirran. Sopiva asettelu ylivirtareleelle on esimerkiksi 5-10 % generaattorin nimellisvirrasta.

Staattorin maasululla tarkoitetaan tilannetta, jossa staattorikäämitys on oikosulussa generaattorin rungon kanssa. Tahtigeneraattorin staattorin maasulkusuojaus voidaan toteuttaa usealla tavalla. Maasta erotetussa verkossa, kun käytössä on useita tahtigeneraattoreita rinnan, voidaan maasulussa oleva generaattori löytää maasulku suuntareleellä. Tällöin voimalaitoksen kiskostossa kiinni olevan maadoitusmuuntajan tähtipistevastus asetetaan sopivalle tasolle suojauksen kannalta. Suuntarele laitetaan mittaamaan avokolmiokytkennästä verkon nollajännitettä ja kaapelivirtamuuntajalla maasulun summavirtaa. Kun käytössä on vain yksi tahtigeneraattori ja se on maadoitettu tähtipisteestään resistanssin kautta, voidaan maasulkusuojaus toteuttaa maasulun suuntareleellä. Tällöin maasulun nollajännite mitataan jännitemittamuuntajan avokolmiokytkennällä ja maasulun summavirta mitataan verkon puolelta kaapelivirtamittamuuntajalla. Summavirtamittaus on tässä tapauksessa differentiaalinen. Blokkikytkentäisen generaattorin staattorin maasulkusuojaus voidaan toteuttaa nollajännitereleellä.

Tällöin staattorin tähtipiste maadoitetaan ja maadoitusresistanssin jännite mitataan jännitemuuntajalla. Lisäksi jännitemuuntajan toisioon on kytkettävä nollijänniterele. Maadoitusresistanssi valitaan niin, että maasulkuvirta on 5 A. /22/

Tahtigeneraattorin viat voidaan siis jakaa generaattorin sisäisiin vikoihin ja verkossa tapahtuviin vikoihin. Kuvassa 7 on esitetty generaattorin sisäiset viat, jotka voivat tapahtua generaattorin staattorissa. /23/



Kuva 7. Generaattorin sisäiset viat

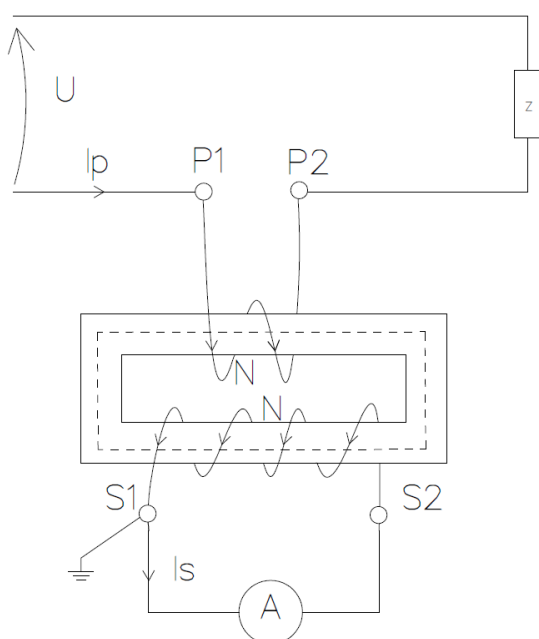
3.6.2 Blokkimuuntajan suojaaminen

Uudistetussa voimalaitosmallissa on mahdollista aiheuttaa käämisulku voimalaitosmallin ja tahdistettavan verkon välisessä blokkimuuntajassa. Yleisesti ottaen muuntajavika voi olla itse muuntajassa, käämikytkimessä tai verkossa. Muuntajan suojausalueeseen kuuluu tyypillisesti muuntajan lisäksi alueet sen ylä- ja alajännitepuolelta aina katkaisijoille saakka. Käämisululta voidaan suojautua käyttämällä differentiaalirelettä, joka mittaa vaihevirtoja muuntajan molemmilta puolilta ja laukaisee katkaisijat molemmilta puolilta, jos releelle ennakkoon asetetut kynnyksarvot ylittyvät amplitudin, vaiheen tai molempien osalta. Käämisulun sattuessa, esimerkiksi toisiokäämissä L1 ja L2 vaiheiden välillä, niiden välissä alkaa kulkea vikavirta, joka näkyy myös ensiökäämeissä lisävirtana. Ensiöpuolella näkyvät lisävirrät ovat niin suuret, että differentiaalisuojan erovirta ylittää ennakkoon asetetut kynnyksarvot ja rele laukaisee katkaisijat auki. /24/

3.6.3 Mittamuuntimet

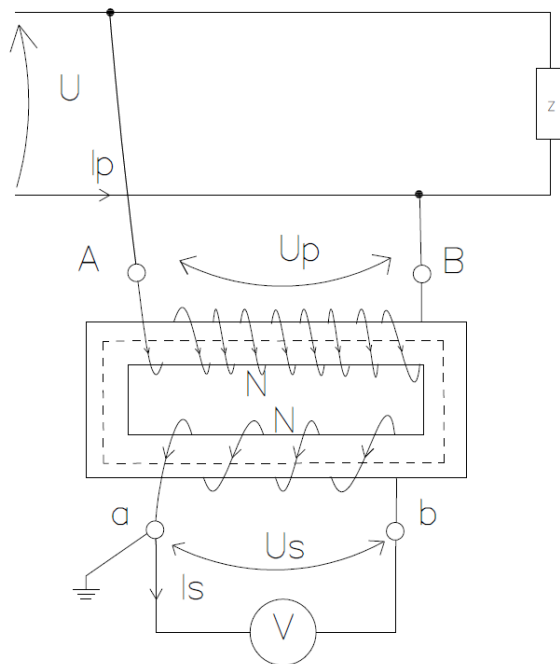
Mittalaitteet ja suojareleet tarvitsevat mittauksiaan varten mittamuuntimia. Niillä muutetaan primääriset virrat ja jännitteet mittalaitteen tai suojareleen virta- ja jännitekäämeille sopivaan arvoon.

Virta ja jännitemuuntajan tehtävänä on siis muuntaa ensiöpuolen virta mittalaitteelle tai suojareleelle sopivaan muotoon. Lisäksi se eristää toisiopiirin mitattavasta ensiöpiirin jännitteestä tai virrasta, joka saattaa olla suurjännite. Niiden avulla voidaan myös sijoittaa mittalaite tai suojarele kauaksi mittamuuntajasta ja ensiöpiiristä mitoittamalla toisiojohto sopivan mittaiseksi. Kuvissa 7 ja 8 on esitetty virta- ja jännitemuuntimien kytkentä- ja rakenneperiaate. Kuviin on otettu mallia Sähkömiehen käsikirja 2 teoksesta. /25/



Kuva 8. Virtamuuntajan kytkentä- ja rakenneperiaate

Kuvassa 8 esitetyt P1 ja P2 ovat virtamittamuuntajan ensiökäämin liitännät, sekä S1 ja S2 ovat sen toisiokäämin liitännät. Lisäksi kuvassa on esitetty sen levyrakenteinen rautasydän.



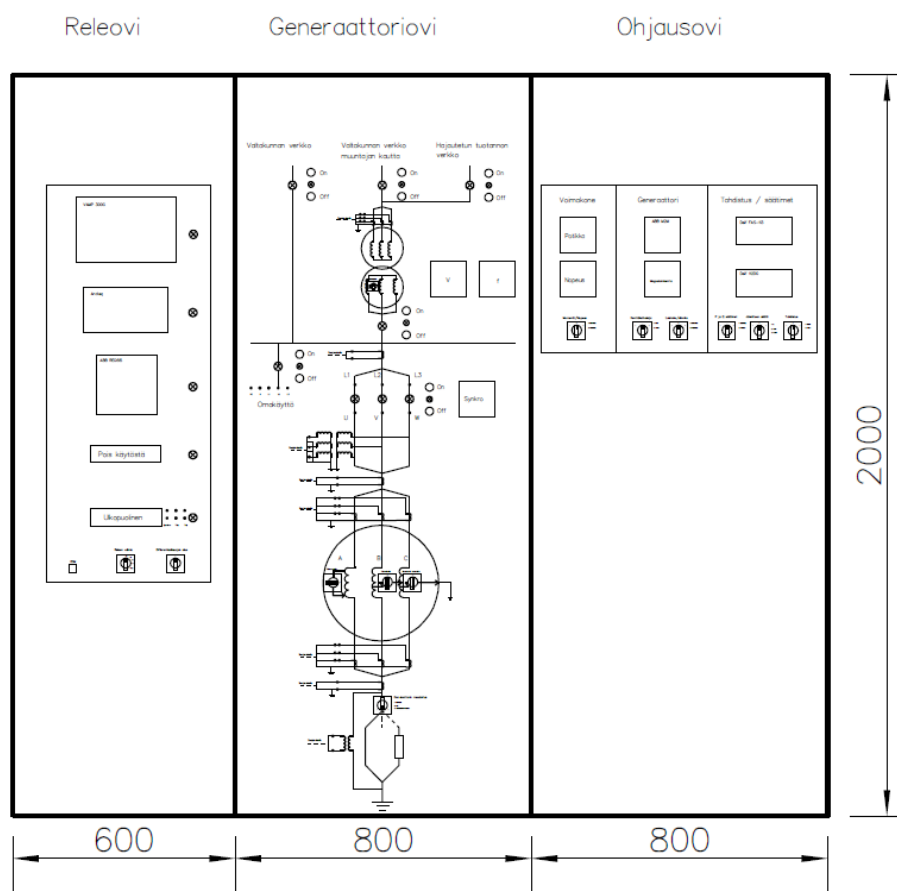
Kuva 9. Jännitemuuntajan kytkentä- ja rakenneperiaate

Kuvassa 9 esitetyt A ja B ovat jännitemittamuuntajan ensiökäämin liitännät, sekä a ja b ovat sen toisiokäämin liitännät. Lisäksi kuvassa on esitetty sen levyrakenteinen rautasydän. Sen rakenneperiaate on sama kuin voimamuuntajan, mutta se on siihen nähden erittäin pienitehoinen.

4 VOIMALAITOSMALLIN MODERNISOINTI

4.1 Yleistä

Voimalaitosmallin modernisoinnin ehdottomasti ulospäin näkyvin uudistus on sen uudelleensuunniteltu ja piirretty mimiikka generaattoriovessa. Myös releovelle ja ohjausovelle on suunniteltu isoja muutoksia. Muutokset ovat nähtävissä kuvassa 10. Verrattuna nykytilassa olevaan voimalaitosmalliin, modernisoidussa mallissa on nyt yhtenäisempi ulkonäkö. Mittareita on vähemmän ja releitä, vikoja, voimakonetta, generaattoria, tahdistusta ja säätimiä ohjaavat nokkakytkimet on sijoitettu omille merkatuille alueilleen. Havainnollisuutta on pyritty parantamaan myös sijoittamalla esimerkiksi käytössä olevan suojareleen viereen merkkilamppu osoittamaan aktiivista generaattorikatkaisijaa ohjaavaa yksikköä. Liitteissä 1 ja 2 on esitetty uudistettu voimalaitosmalli isompana.



Kuva 10. Kaapin uusi ulkonäkö.

Suunnitelman mukaan uudelleen suunniteltu ja piirretty mimiikka tulostetaan läpinäkyville tarra-arkeille ja liimataan generaattorioveen. Mittakaavana tulostetulle mimiikalle voidaan pitää CADs-ohjelmalla piirrettyä mimiikkaa, sillä kaikki sen osat on piirretty niiden oikeilla mitoillaan.

4.2 Suojauksien muutokset

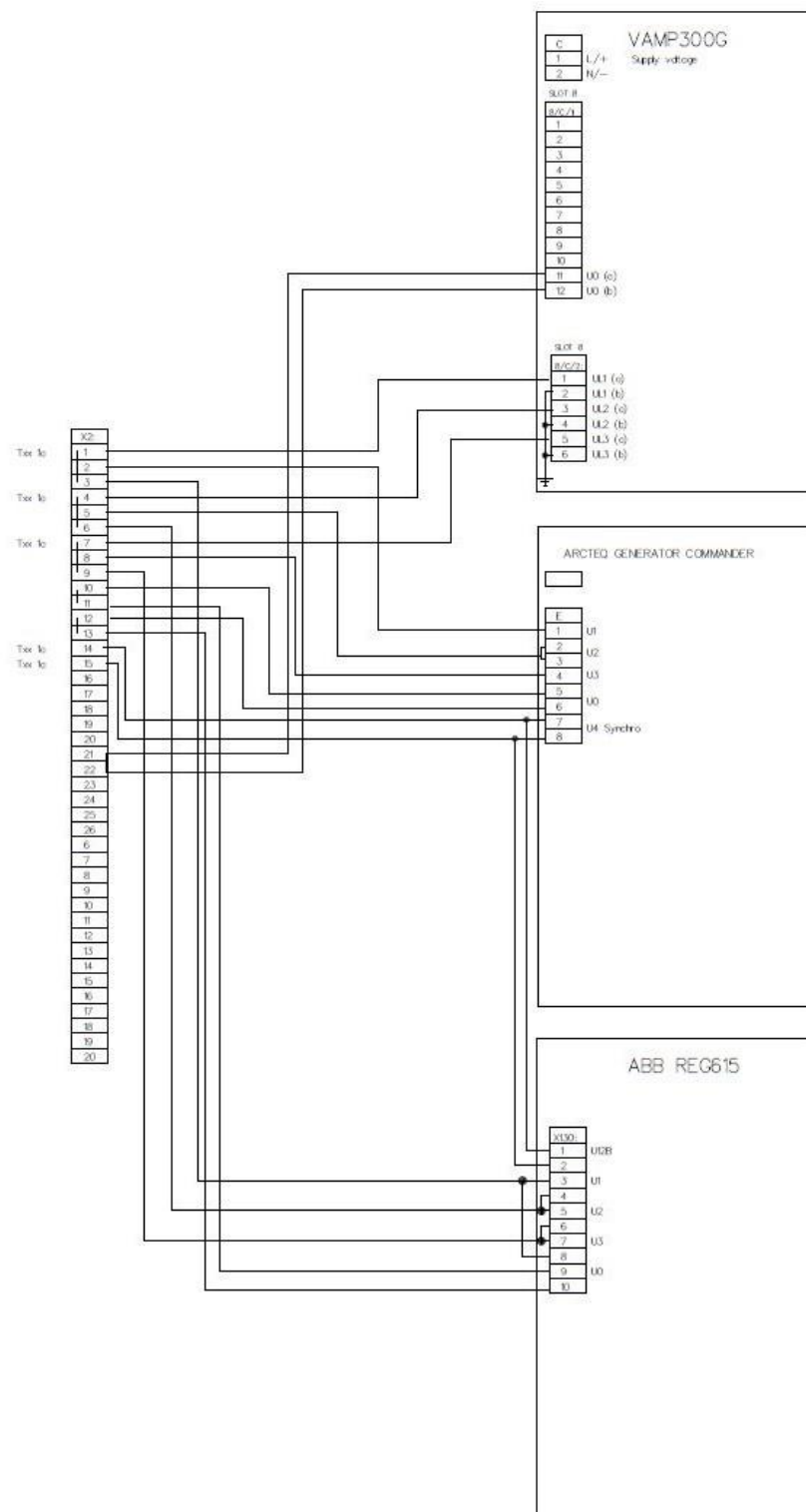
4.2.1 Muutokset johdutusten kannalta

Kaikille voimalaitosmallin lähdöille asennetaan johdonsuojakatkaisijat. Voimalaitosmallin suojaamiseen tarvitaan seuraavat jo teoriaosuudessa läpi käydyt suojausfunktiot:

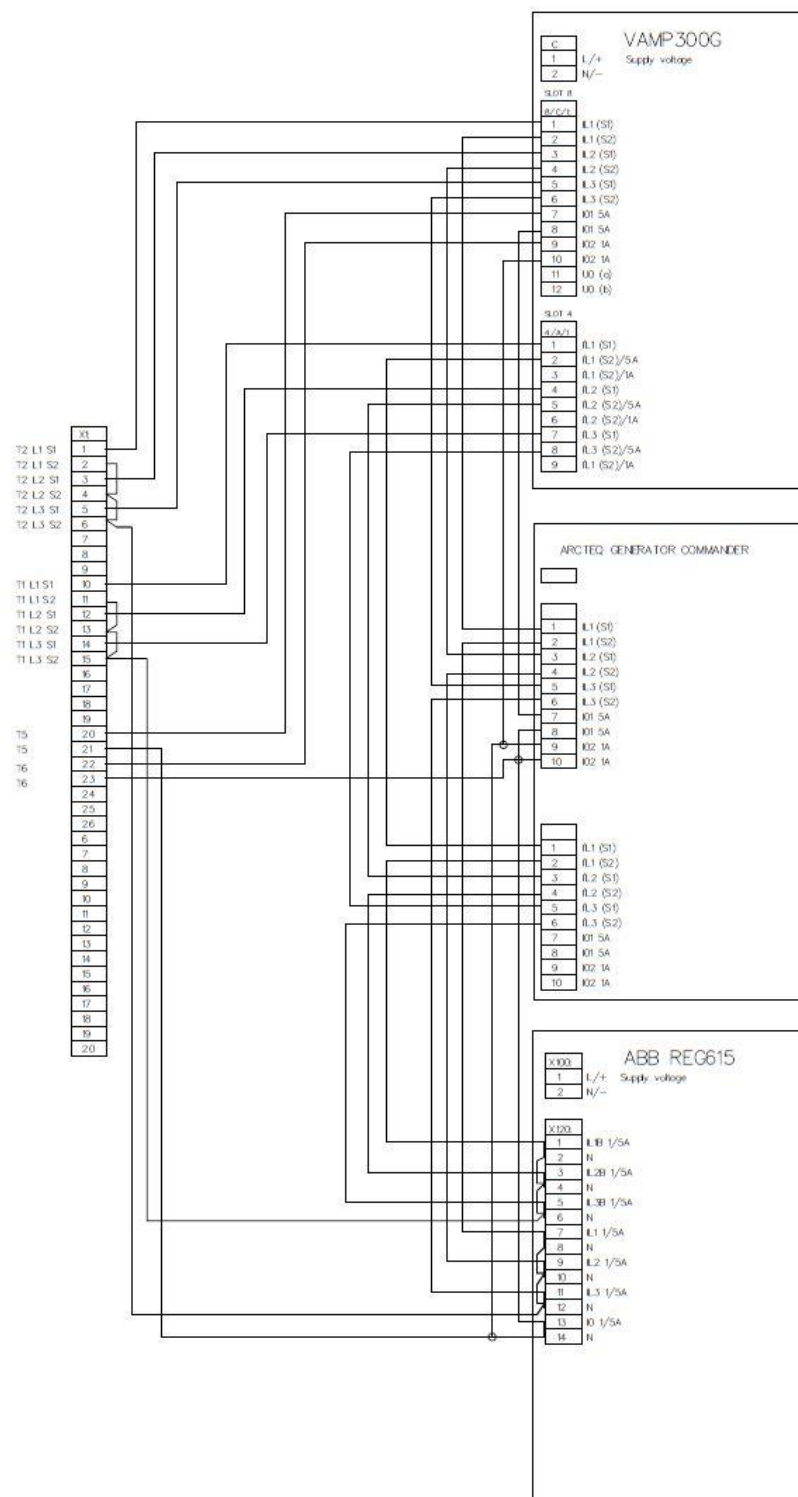
1. kaksiportainen ylijännitesuoja
2. vakioaika ylivirtasuoja
3. taajuussuoja
4. takatehosuoja
5. differentiaalisuoja
6. suunnattu nollajännite
7. nollavirta.

Uudistetun voimalaitosmallin suojareleet pystyvät toteuttamaan nämä suojafunktiot ja niitä varten ne tarvitsevat useita eri mittauksia. Jännitemittaukset ne tarvitsevat vaihejännitteistä, nollajännitteestä ja tahdistettavan verkon jännitteestä. Vastaavasti virran mittauksista ne tarvitsevat vaihevirtojen ja summavirtojen mittaukset generaattorin verkon ja staattorin tähtipisteen puolelta. Lisäksi ne tarvitsevat vaihevirtojen mittauksen uudelle differentiaalisuojan alueelle blokkimuuntajan yläpuolelta uuden vikapaikan suojaamiseen. Käyttöjännitteenä releet käyttävät 110 VAC. Kaikissa uusissa suojareleissä on myös automaattisen tahdistuksen mahdollistava Synchrocheck -ominaisuus, joka niihin halutaan käyttöön. Voimalaitosmalliin asennettavan VAMP 300G -suojareleen tarkka malli on V300G-CGATA-AACNA-B2 ja analogisia mittauksia varten siinä on 3L(5A) + 4U + 2I0 (5+1A) -kortti. Releen jännitteiden mittauksia varten on käytettävä 2LL+U0+LLY -kytkentää, jolla saadaan mitattua vaihejännitteet, U0, sekä synchrocheckin vaatiman tahdistettavan verkon jännite. Vastaavasti laitteiden manuaalien mukaan Arcteq Generator Commanderissa on käytettävä 2LL+U3+U0

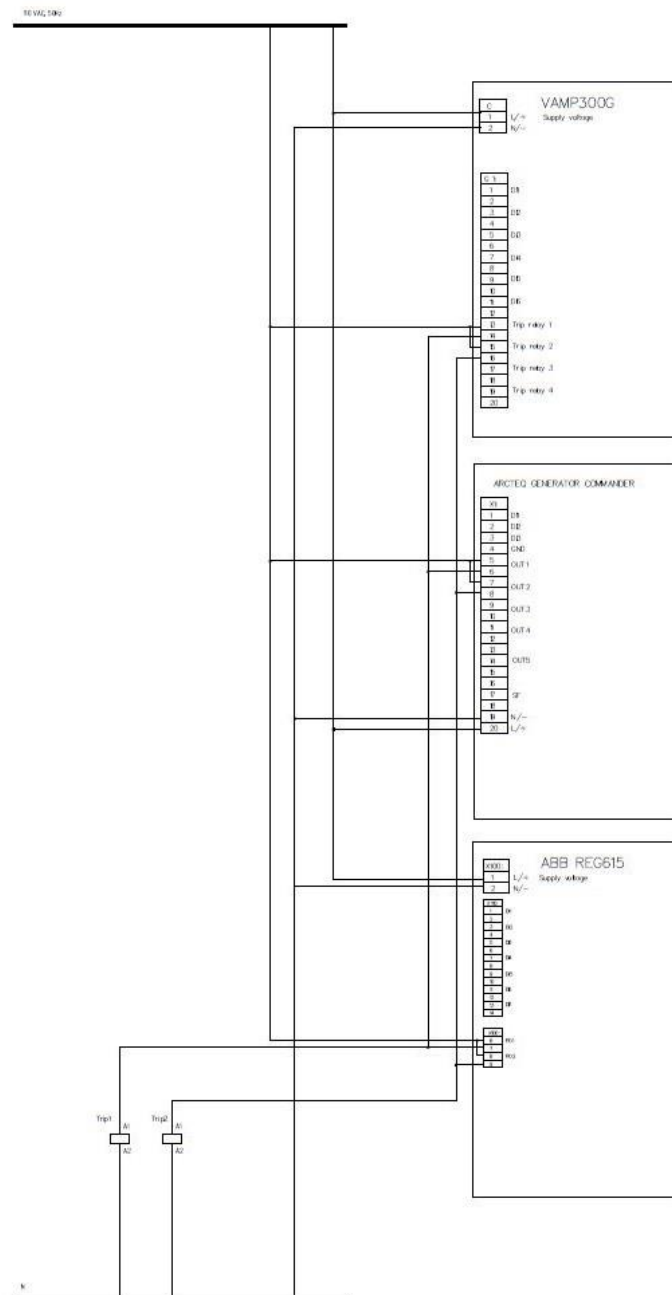
-kytkentää ja ABB REG615 -suojareleellä on käytettävä 2L + U0 + LS - kytkentää. Arcteq Generator Commanderin tarkka lajimerkki on G257F - PH0AABA – BCAAACAAA. Ohjekirjan Ordering Information -kappaleen mukaan, laitteessa on käytettävissä suojausfunktiot, magnetoinnin säätö, synkronisointi mahdollisuus, sekä PSS eli Power System Stabilizer -ominaisuus. Siinä on 10 virranmittauskanavaa, neljä jännitteenmittauskanavaa, kolme 110 voltin binäärisisääntuloa ja viisi binääriulostuloa. ABB REG615 on varustettu standardi D-konfiguraatiolla. Kuvassa 11 on esitetty releiden jännitteiden mittaukset, kuvassa 12 on esitetty niiden virranmittaukset ja kuvassa 13 on esitetty releiden sähkönsyöttö ja trip-piirit. /26-28/



Kuva 11. Releiden jännitteiden mittaukset



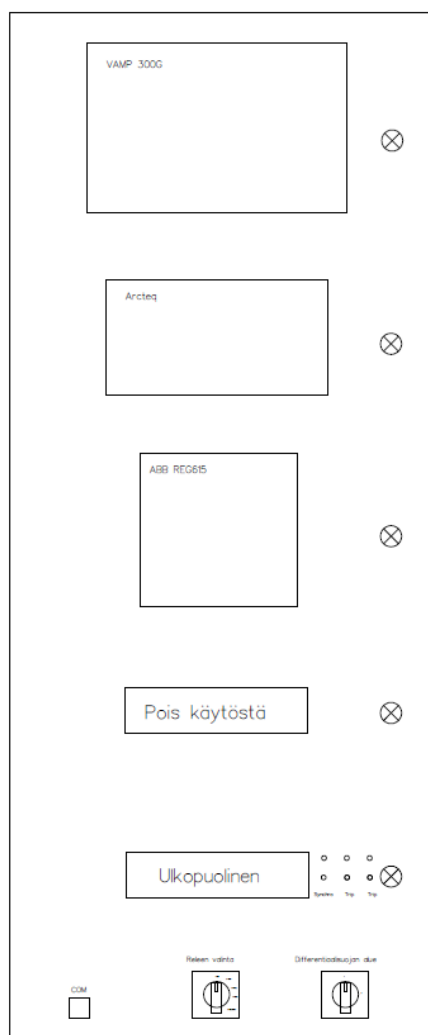
Kuva 12. Releiden virranmittaukset



Kuva 13. Relaiden sähkönsyöttö ja trip-piirit

4.2.2 Muutokset mimiikan ja releiden valinnan kannalta

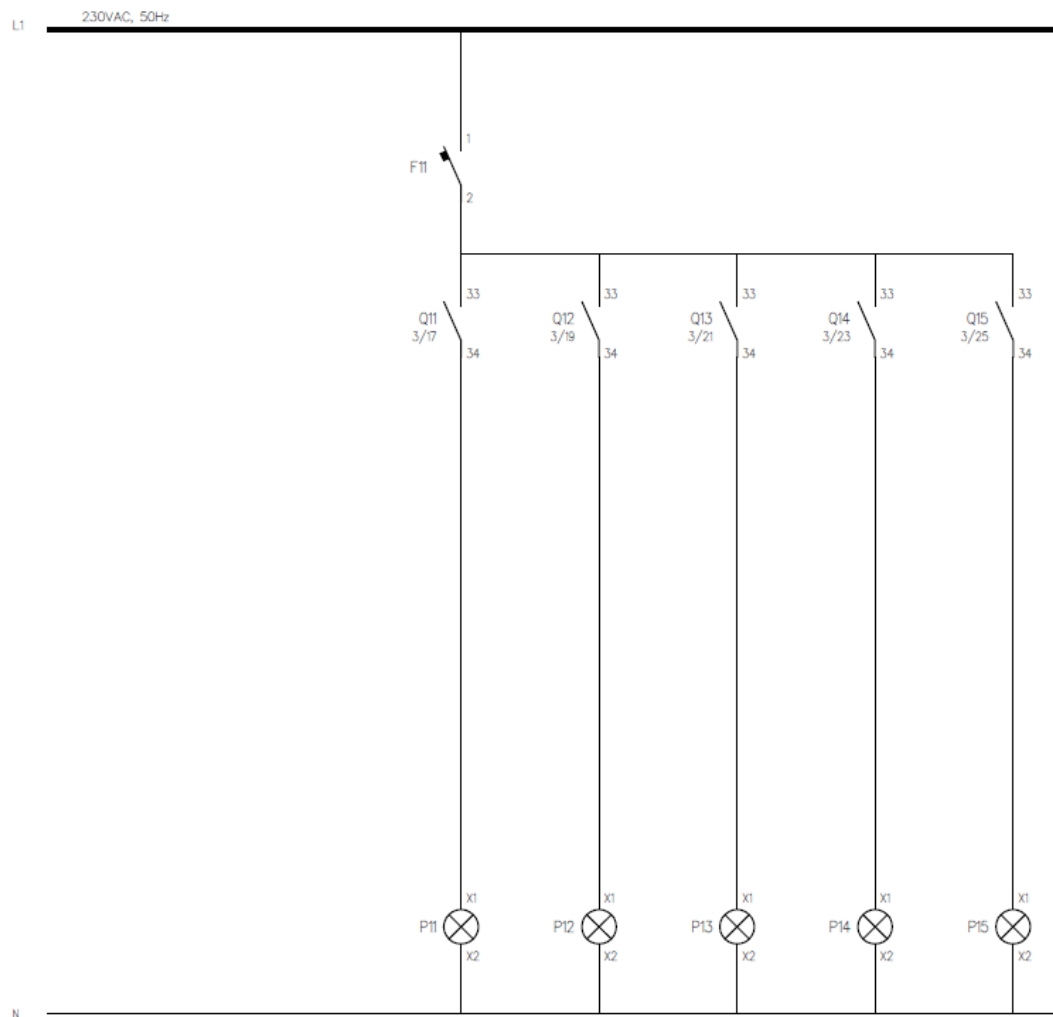
Suojareleet on suunniteltu olevan releovessa niin, että ylimmäisenä on VAMP 300G, sen alapuolella on Arcteq Generator Commander ja alimmaisena on ABB REG 615. Näiden lisäksi releoveen tulostetaan ”Pois käytöstä” ja ”Ulkopuolinen” -paikat. Ensimmäinen on itsensä selittävä, eli mikään suojarele ei ole käytössä ja jälkimmäisessä käytössä on ulkopuolinen suojarele. Tätä ulkopuolista suojarelettä varten kaapin oveen tuodaan kaksi turvaplugia synchrocheck -ominaisuudelle ja neljä turvaplugia kahdelle eri suoja-alueen trip-piirille. Kuvassa 14 on esitetty uudistetun releoven yläosan ulkoasu.



Kuva 14. Uudistetun releoven yläosa

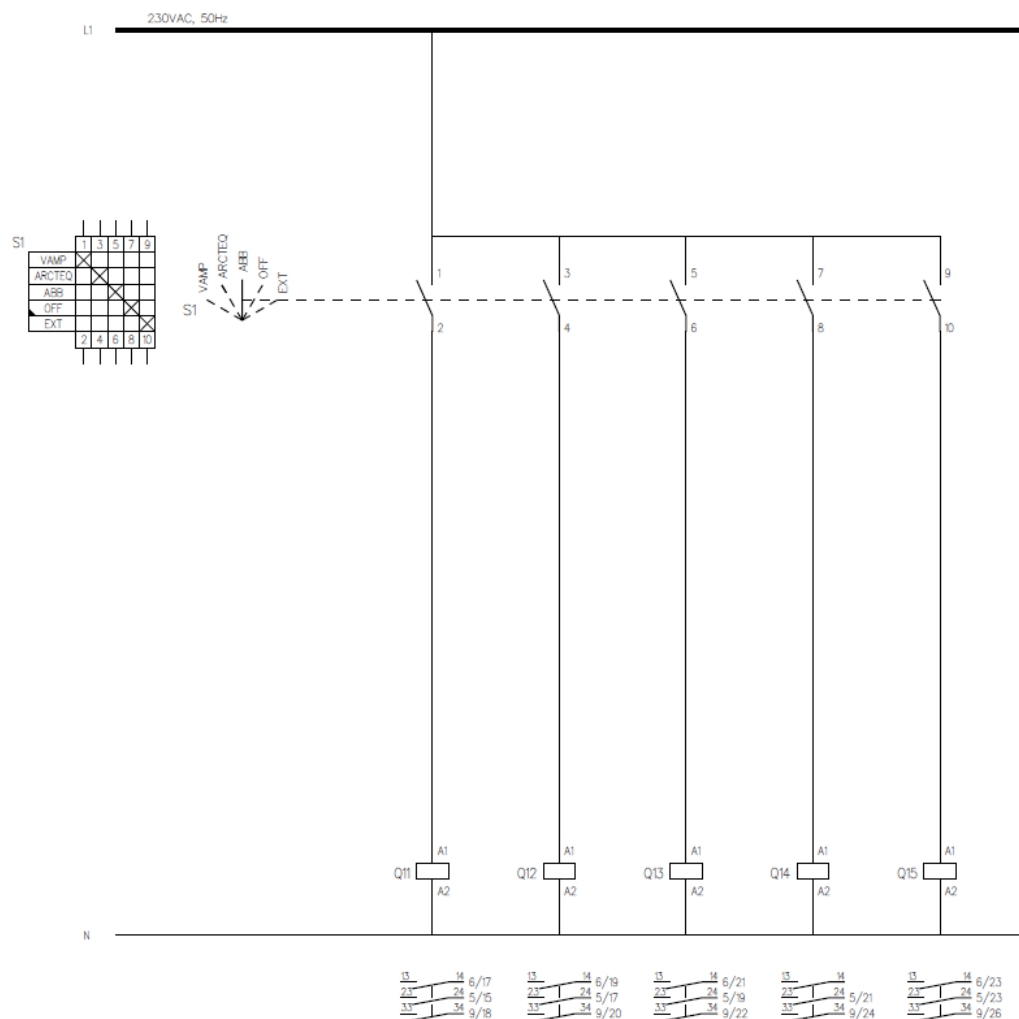
Ulkopuolisen suojareleen sähkönsyöttö on tarkoitus ottaa esimerkiksi laboratorion pöydästä tai muualta, mutta ei itse voimalaitosmallista, koska ulkopuolisen

suojareleen käyttämä syöttöjännite voi vaihdella. Kaikkien suojausvaihtoehtojen viereen oikealle on suunniteltu asennettavaksi myös merkkilamppu, joka indikoi käytössä olevan suojareleen, ja niiden kytkentä on esitetty kuvassa 15 ja liitteessä 11.



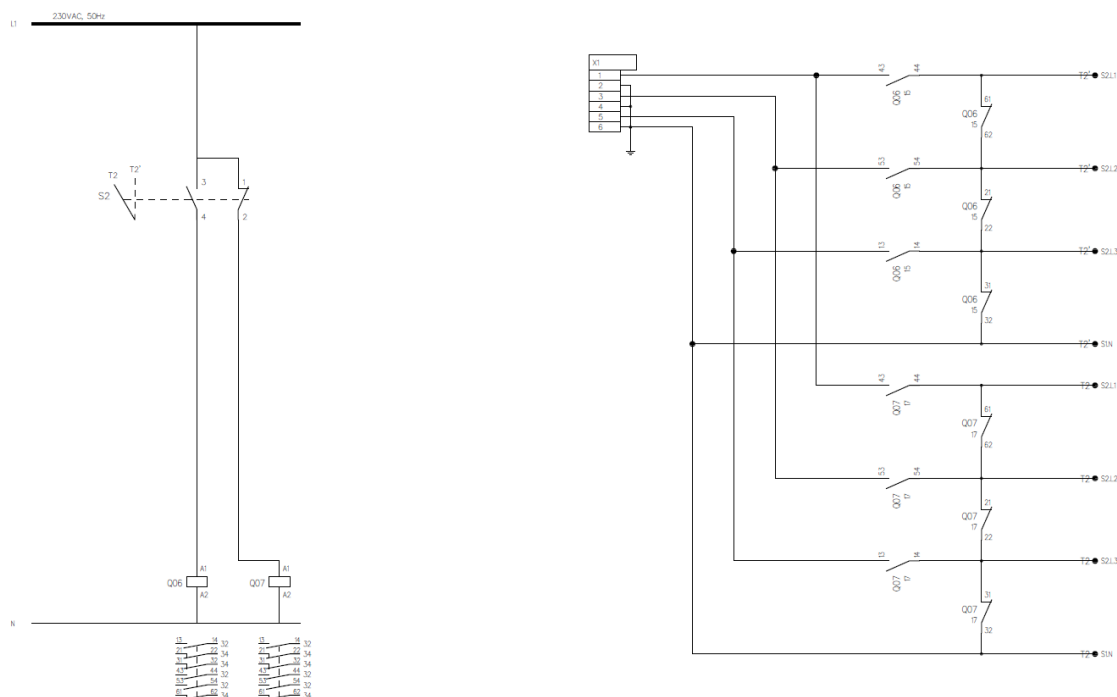
Kuva 15. Aktiivisen suojareleen indikaatioiden kytkennät

Nykytilassa olevan mallin suojareleen valintakytkin korvataan viisiasentoisella nokkakytkimellä, jolla saadaan tehtyä suojareleen valinta halutulla tavalla, ja sen kytkentä on esitetty kuvassa 16 ja liitteessä 5.



Kuva 16. Releen valintapiiri

Lisäksi releoveen sijoitetaan yksi uusi kaksiasentoinen nokkakytkin, jolla valitaan aktiivisen suojareleen differentiaalisuojauksen alue. Tämä muutos on tarpeen suojauksen toteutumisen kannalta, koska uudessa voimalaitosmallissa on mahdollista tehdä vika voimalaitoksen ja hajautetun tuotannon verkon tai valtakunnan verkon välissä olevan blokkimuuntajan alajännite puolelle. Aktiivisen suoja-alueen valinnassa on otettava huomioon, että ei käytössä olevan mittamuuntajan toisioon jää ihmiselle ja laitteille vaarallisia jänniteitä ja virtoja, jotka täytyy oikosulkea ja maadoittaa vaaratilanteiden välttämiseksi. Kuvassa 17 ja liitteessä 6 on esitetty piirit, joilla voidaan toteuttaa differentiaalisuojan alueenvalinta ja ei-aktiivisen mittamuuntajan oikosulkeminen ja maadoitus.



Kuva 17. Aktiivisen differentiaalisuojan valinta ja ei aktiivisen mittamuuntajan toision oikosulkeminen ja maadoittaminen

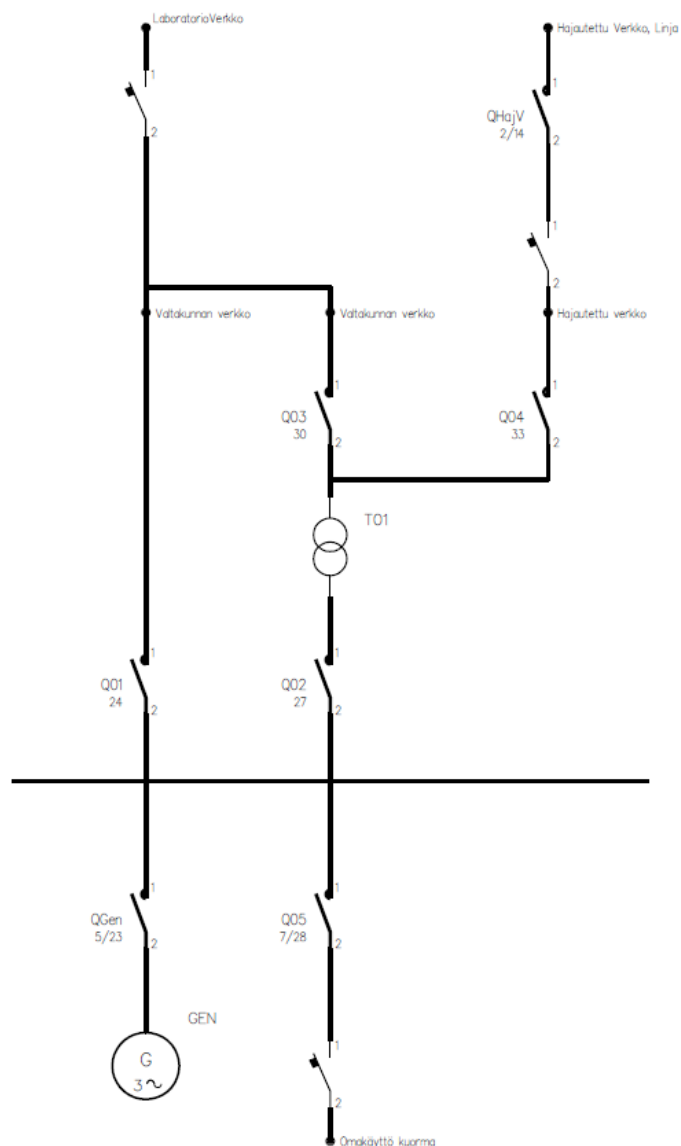
Modernisoidun voimalaitosmallin kaikki suojareleet on varustettu Ethernet-portilla takapaneelissa tietoliikennettä varten, ja näin ollen ne myös kytketään voimalaitosmallin omaan verkkoon ja kaikille määrätään oma IP-osoite. Releeseen asennetaan tietoliikenneportti, johon kytkeytymällä päästään ohjaamaan suojareleitä yhdestä pisteestä. Tällä tavoin vältetään käyttämästä releiden etupaneelissa olevia portteja, jolloin pystytään konfiguroimaan vain yhtä relettä kerrallaan. Tällä pyritään parantamaan voimalaitosmallin käyttöä. Portti on esitetty kuvassa 14.

Vanhat ABB SPAD- ja SPAG-, sekä VAMP 210- ja 265 -suojareleet poistetaan käytöstä, eikä niitä asenneta uudistettuun malliin.

4.3 Sähkönjakelun muutokset

4.3.1 Muutokset johdotusten kannalta

Kuvassa 18 ja liitteessä 3 on esitetty voimalaitosmallin pääkaavio. Uudistetussa voimalaitosmallissa on mahdollista tahdistaa suoraan valtakunnan verkkoon, valtakunnan verkkoon muuntajan kautta tai hajautetun tuotannon verkkoon muuntajan kautta. Muuntaja erottaa galvaanisesti voimalaitosmallin ja tahdistettavan jännitteellisen verkon. Lisäksi on mahdollista käyttää omakäyttökuorman lähtöä, joka on esitetty kuvassa 21 ja liitteessä 9.



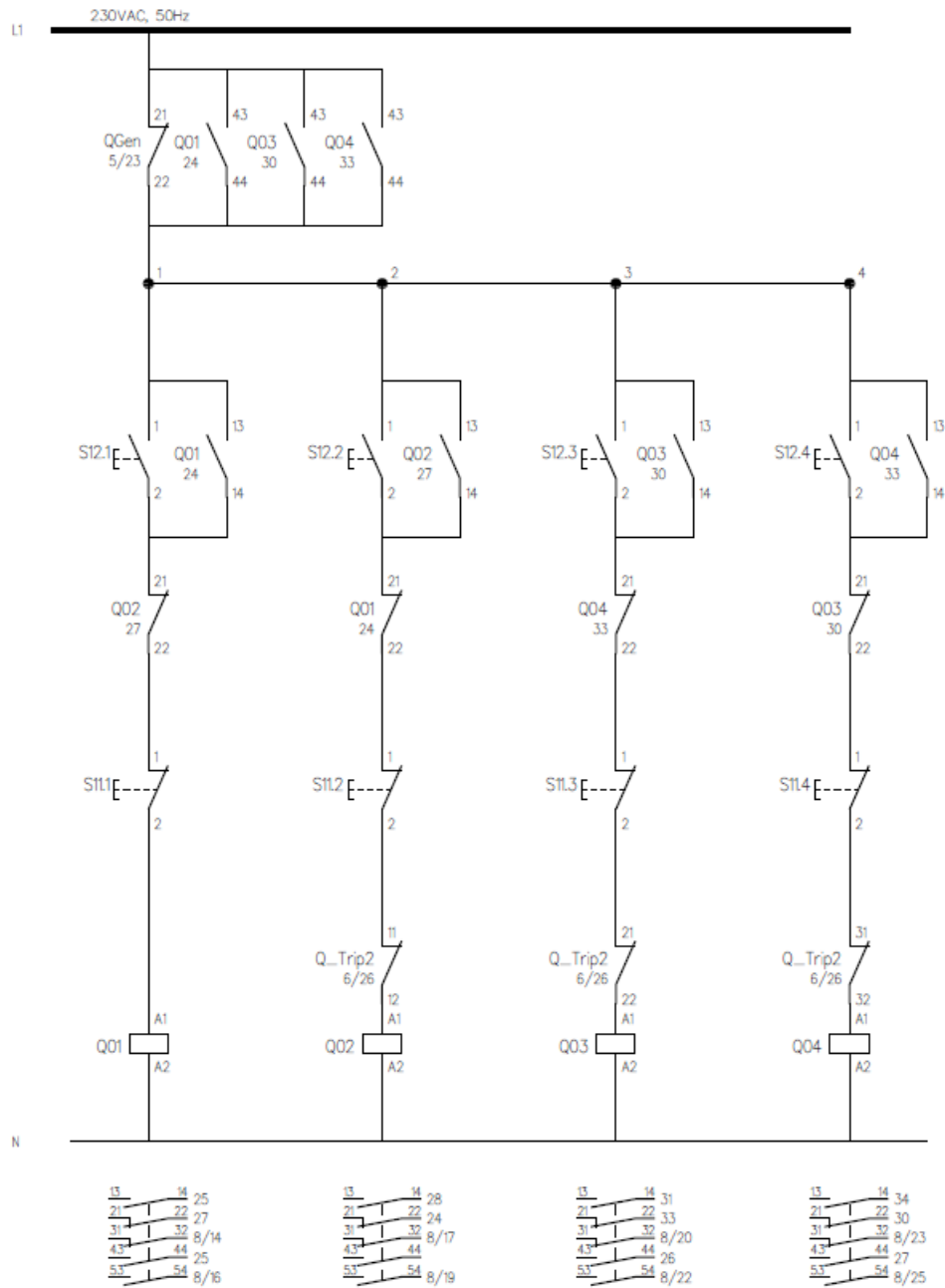
Kuva 18. Voimalaitosmallin pääkaavio

Kuten kuvasta 18 nähdään, uudistetussa mallissa käyttäjä voi siis itse ohjata painonapeilla mimiikassa esitettyjä katkaisijoita, eikä valintaa tehdä enää yhdellä nokkakytkimellä, joka kytkisi ennalta määrätyn skenaarion. Tällä pyritään siihen, että käyttäjän, joka opetustilanteessa on opiskelija, täytyy itse miettiä oikea kytkentäjärjestys käsin tahdistettaessa.

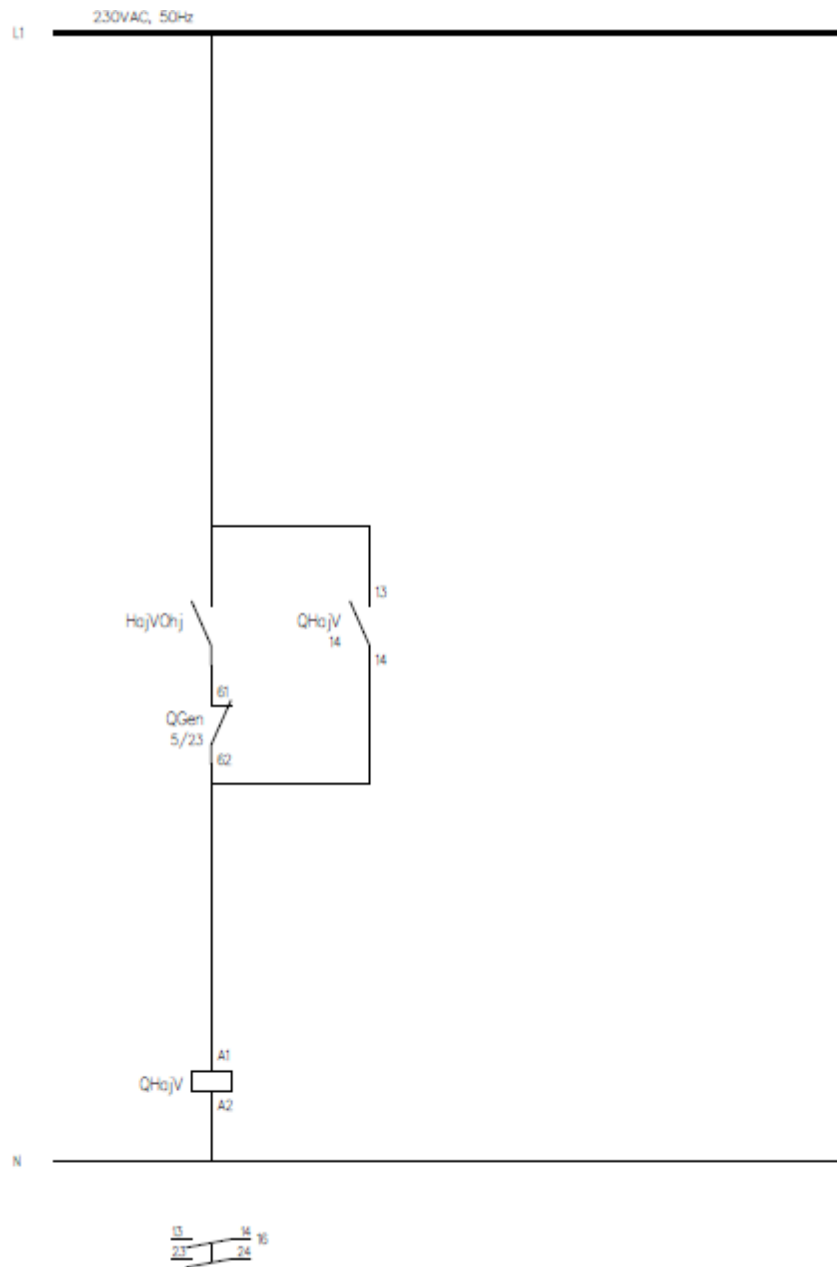
Uuden katkaisijoiden ohjaustavan vuoksi jouduttiin miettimään lukitukset, joilla estetään virheelliset kytkennät. Katkaisijat Q01 ja Q02 ovat ristiin lukitut, niin että ne eivät voi olla yhtä aikaa kiinni. Samoin katkaisijat Q03 ja Q04 ovat ristiinlukitut vastaavalla tavalla. Kuvassa 19 ja liitteessä 3 on esitetty uudistetun voimalaitosmallin katkaisijoiden lukitukset. Lukituksissa täytyi ottaa myös huomioon hajautetun tuotannon verkon linjasuojan aikatakaisinkytkentä. Hajautetun tuotannon mallin lukituskaavio on esitetty kuvassa 20 ja liitteessä 4.

Seuraavassa listassa on esitetty katkaisijoiden oikea kytkentäjärjestys verkon eri käyttötilanteissa:

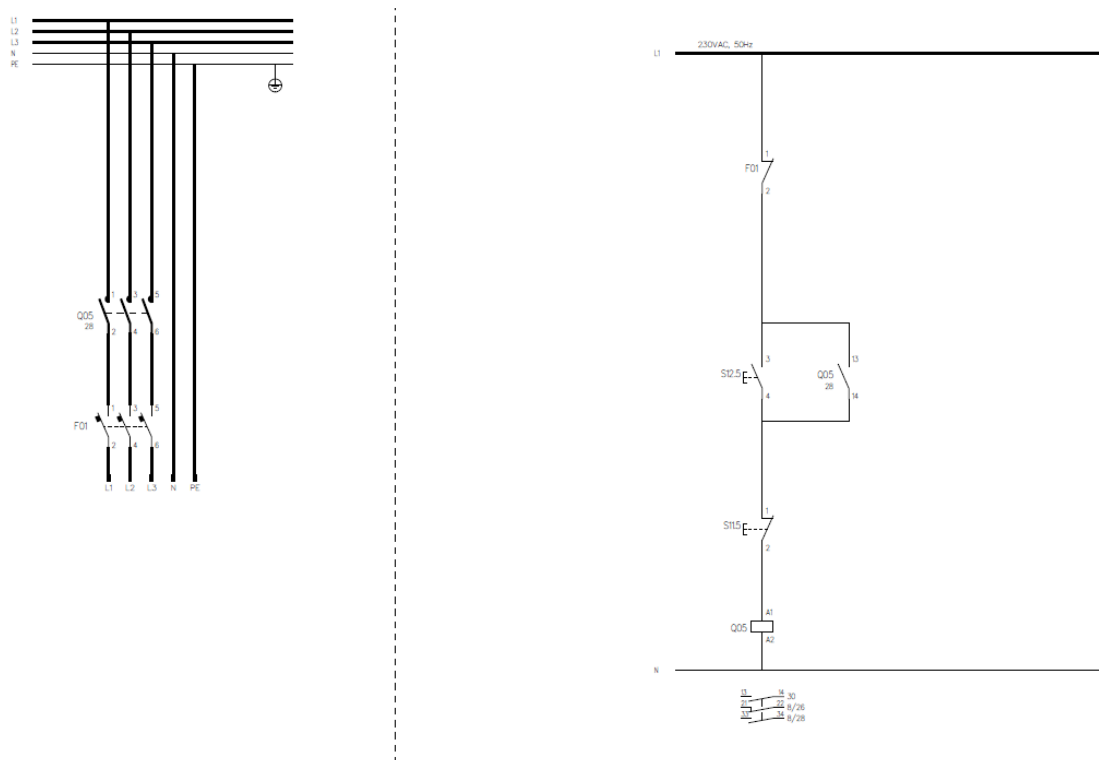
1. Kun halutaan tahdistaa suoraan valtakunnan verkkoon, varmistetaan mimiikkaan asennetuista katkaisijan asennonosoittimista, että Q02 ja Q03 ovat auki. Tämän jälkeen suljetaan Q01 ja tahdistusehtojen täytyessä Qgen:lle annetaan käsky sulkeutua.
2. Kun halutaan tahdistaa valtakunnan verkkoon muuntajan kautta, varmistetaan mimiikkaan asennetuista katkaisijan asennonosoittimista, että Q01 ja Q04 ovat auki. Tämän jälkeen voidaan sulkea Q03 ja Q02 ja tahdistusehtojen täytyessä annetaan Qgen:lle käsky sulkeutua.
3. Kun halutaan tahdistaa hajautetun tuotannon malliin, varmistetaan mimiikkaan asennetuista asennonosoittimista, että Q01 ja Q03 ovat auki. Tämän jälkeen voidaan sulkea QHajv, Q04 ja Q02. Tahdistusehtojen täytyessä annetaan Qgen:lle käsky sulkeutua.
4. Omakäyttö kuorma ohjataan katkaisijalla Q05.



Kuva 19. Lukituskaavio



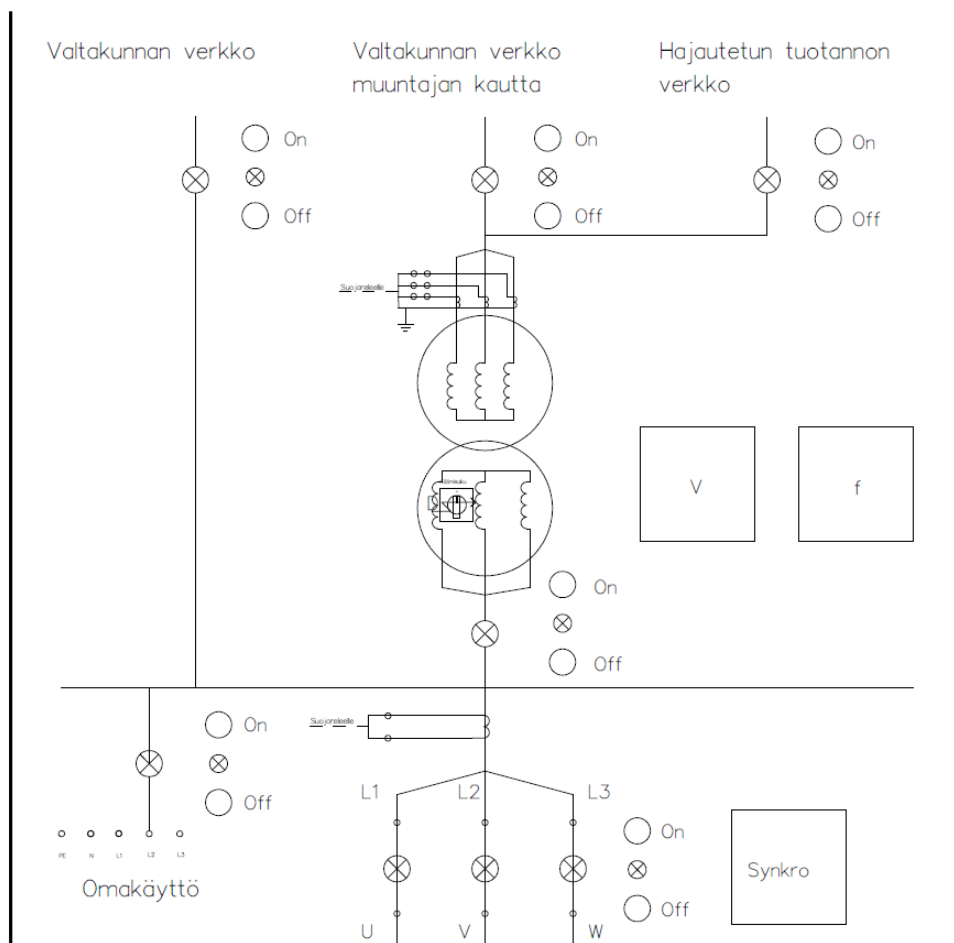
Kuva 20. Hajautetun tuotannon lukituskaavio, jossa on otettu huomioon hajautetun tuotannon mallin linjasuojan aikatakaisinkytkentä



Kuva 21. Omakäyttökuorman lähtöyksikkö

4.3.2 Muutokset mimiikan kannalta

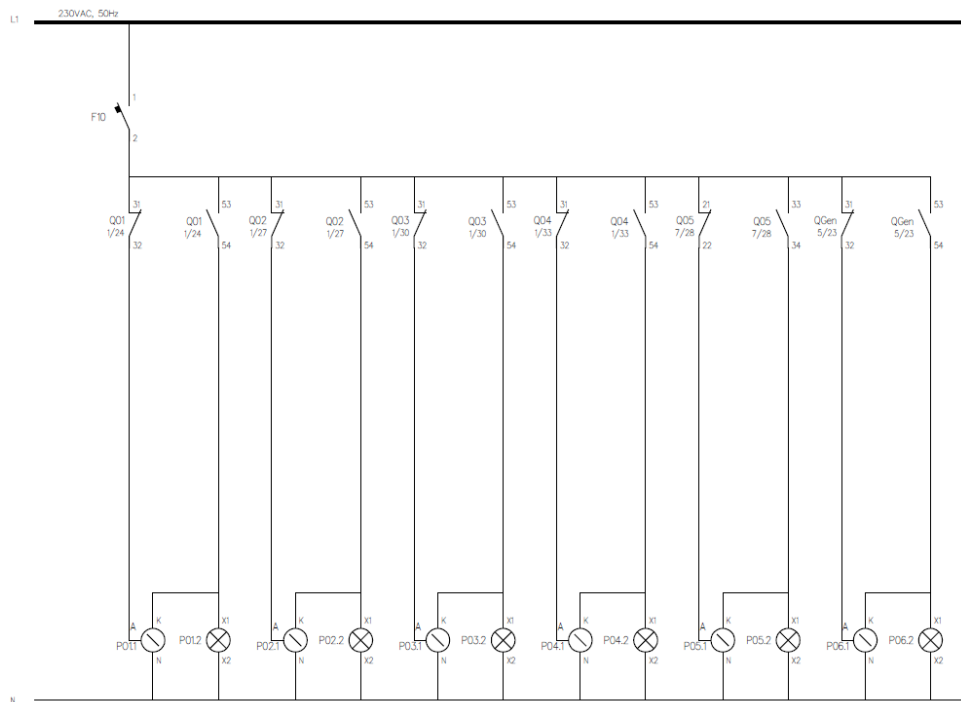
Voimalaitosmallin uudistettu sähköjakelu näkyy myös uudelleen suunnitellussa mimiikassa. Kuvassa 22 on esitetty mimiikan osa, jossa verkko yhdistyy ulkomaailmaan. Vanhaan malliin verrattuna mimiikka on huomattavasti havainnollisempi, koska siinä on nyt kuvattu selvästi yhteydet ulkomaailmaan. Mimiikassa on kuvattu myös omakäytön lähtö, jossa on turvaplugit L1, L2, L3, N -vaiheille, sekä PE suojamaalle. Mimiikassa on kuvattu myös verkkojen välissä oleva blokkimuuntaja, jonka sisällä on kuvattu uusi vikapaikka. Mimiikkaan on tuotu suoraan nyt myös aiemmin mainitut katkaisijoiden painonappiohjaukset. Niiden välissä on merkkilamppu, joka ilmaisee, että katkaisija on ohjattu kiinni. Itse katkaisijaa, ja myös sen asentoa, mimiikassa kuvaa asennonosoitin. Kun katkaisija on auki, asennonosoitin avaa mimiikassa olevan vaiheen. Kun katkaisija on kiinni, asennonosoitin yhdistää mimiikassa olevan vaiheen. Kuvassa 23 ja liitteessä 10 on esitetty merkkilamppujen ja asennonosoittimien kytkentä.



Kuva 22. Mimiikka ulkomaailmaan

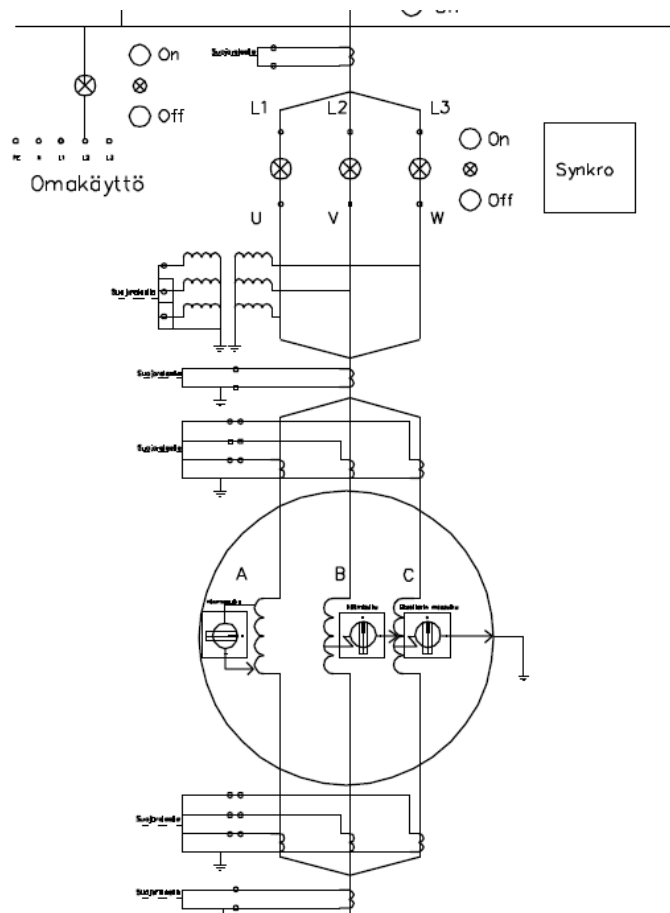
Kiskon päälle sijoitetaan kaksoisjännite- ja kaksoistaajuusmittarit, jotka käytetään hyväksi nykyisestä voimalaitosmallista. Molemmista mittareista on nähtävissä niiden mittaamat suuret sekä generaattorikatkaisijan generaattorin puolelta että tahdistettavan verkon puolelta. Näiden mittareiden avulla käyttäjä voi säätää käsin tahdistettaessa jännitteet ja taajuudet saman suuruisiksi suurin piirtein tarkasti.

Uudistettuun voimalaitosmalliin on suunniteltu myös täysin uusi vikapaikka, joka on blokkimuuntajan alajännitepuolella oleva käämisulku. Se voidaan kytkeä päälle palautuvalla nokkakytkimellä. Tämä uusi vikapaikka voidaan toteuttaa uudistettuun malliin samalla tavalla kuin se on toteutettu nykyisen voimalaitosmallin generaattorin staattorin käämisulussa. Tämän uuden vikapaikan vuoksi jouduttiin relesuojaukseen suunnittelemaan jo aiemmin läpi käyty differentiaalisuojan alueen valinta.



Kuva 23. Mimiikassa esitettyjen katkaisijoiden indikaatiot ja asennonosoitimet

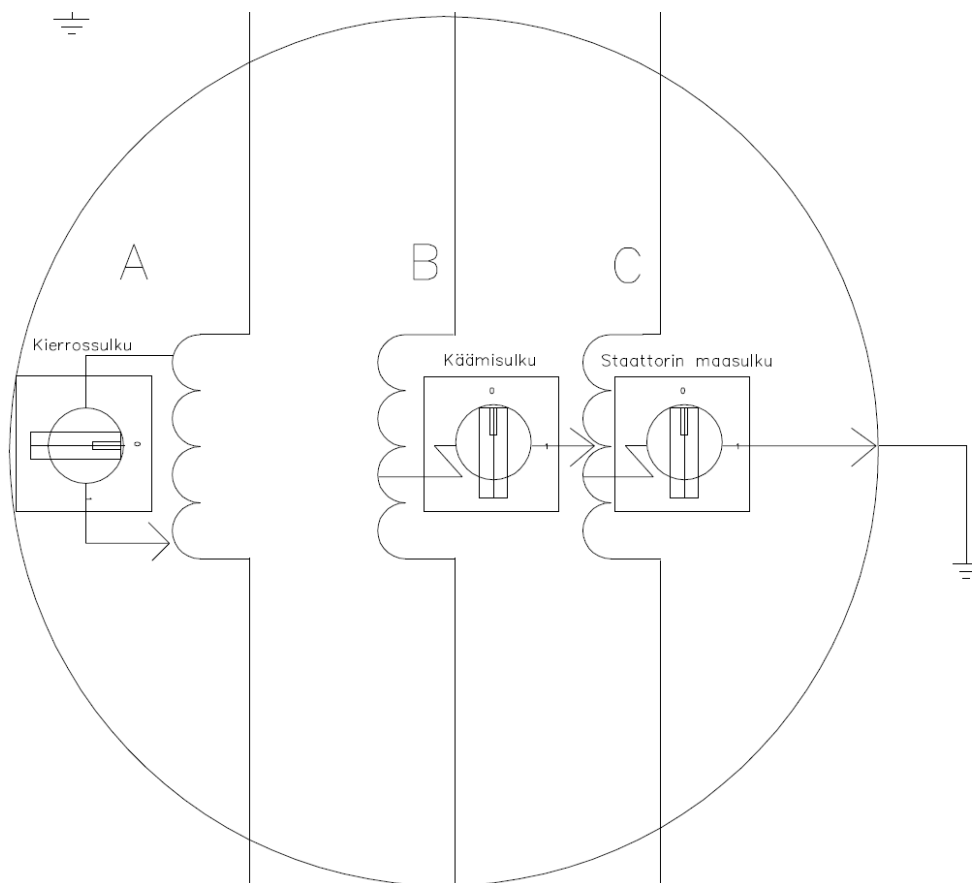
Uudistetussa mallissa generaattorin vaiheet on esitetty kolmiviivaesityksenä kiskoon saakka, kuten kuvassa 24 on esitetty.



Kuva 24. Uudistettu mimiikka kiskosta alaspäin

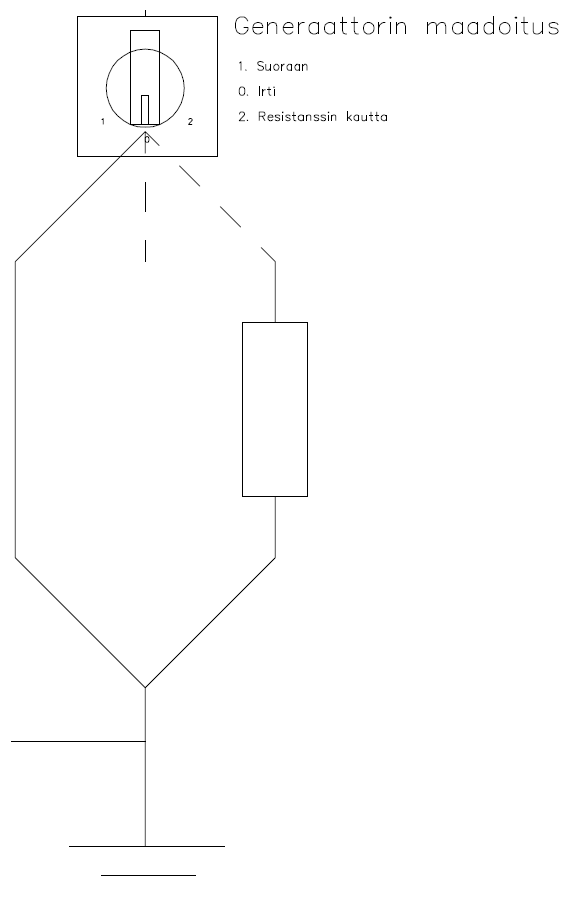
Uudessa mimiikassa itse generaattori on esitetty samassa paikassa kuin nykyisessäkin mallissa, eli keskimmäisen oven keskellä. Kuten jo aiemmin on mainittu, että nykyisessä mallissa generaattoriin tehtävät viat on esitetty generaattorin sisällä, mutta niitä ohjaavat palautuvat nokkakytkimet sijaitsevat ohjausovessa. Tähän halutaan tehdä muutos niin, että ohjaukset tuodaan suoraan vikapaikkoihin. Tällä pyritään parantamaan voimalaitosmallin käyttöä sekä tekemään siitä mahdollisimman havainnollinen opiskelijalle.

Jo teoriaosuudessa läpi käyty generaattorin sisäiset viat esitetään uudistetussa voimalaitosmallissa kunkin vikaa aktivoivan nokkakytkimen kohdalla punaisilla nuolilla. Vika kytetään päälle kääntämällä kytkintä niin, että punaisella viivalla esitetty vika yhdistyy. Kohdassa A on esitetty generaattorin kierrossulku, kohdassa B käämisulku ja kohdassa C staattorin maasulku. Alla olevassa kuvassa 25 on esitetty generaattorin vikapaikat.



Kuva 25. Generaattorin vikapaikat.

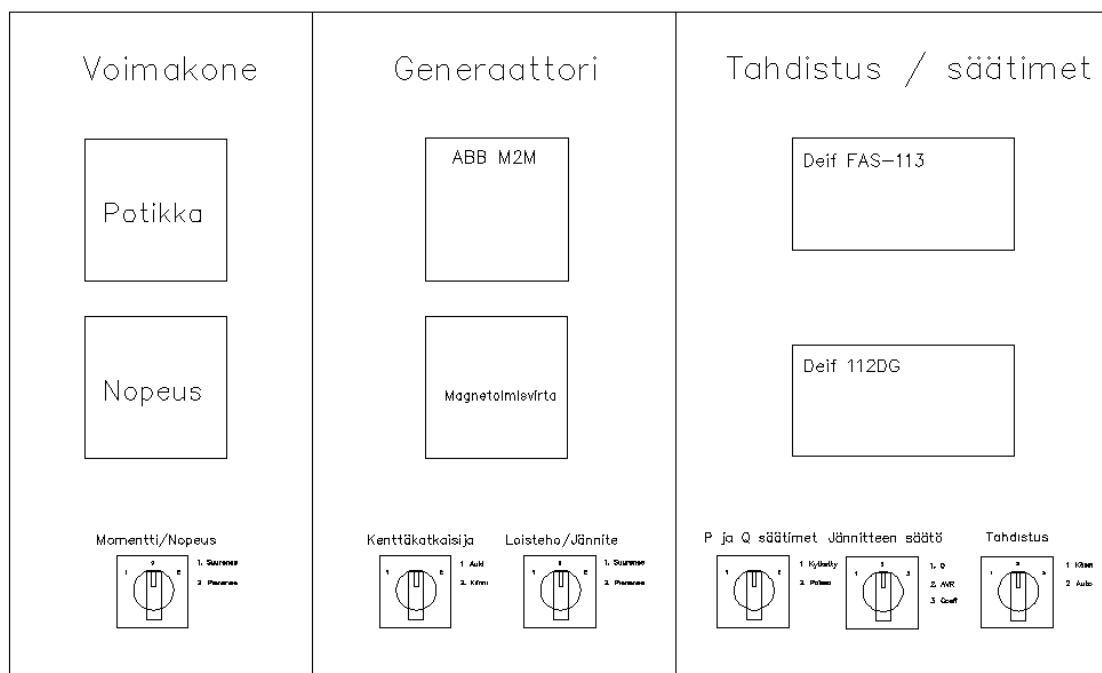
Myös generaattorin staattorin tähtipisteen maadoituksen valintakytkin siirretään ohjausovesta generaattorioven. Se sijoitetaan oven alalaitaan sille kohdalle, missä maadoitus on kuvattu mimiikassa. Tällä pyritään jälleen kerran siihen, että malli olisi mahdollisimman havainnollinen opiskelijalle. Kuvassa 26 on esitetty staattorin maadoituksen valinta.



Kuva 26. Maadoituksen valintakytkin uudessa mimiikassa.

4.4 Mallin ohjaus

Myös ohjausovi käy muodonmuutoksen uuden suunnitelman mukaan. Uudistettuun ohjausoveen toivottiin laitteiden jakaminen omille alueille, niiden käyttötarkoituksen mukaan. Nämä alueet ovat voimakone-, generaattori- ja säädin-/tahdistusalueet. Ne sisältävät vain sille alueelle kuuluvia mittauksia tai ohjauksia. Kuvassa 27 on esitetty nämä alueet.

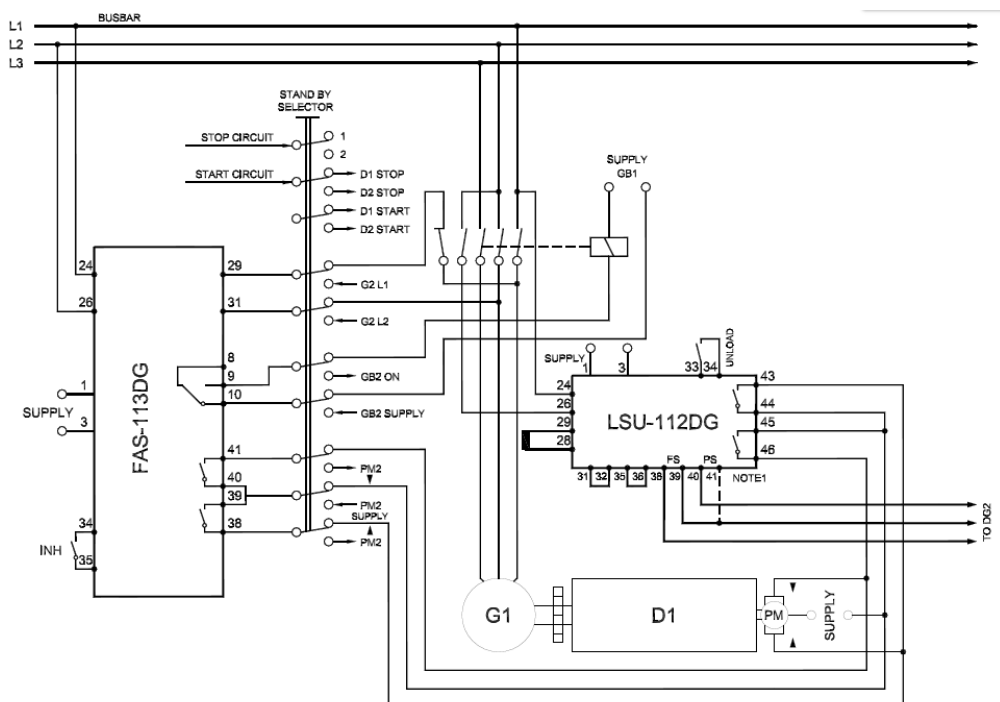


Kuva 27. Ohjausoven uudistettu näkymä

Mittareiden lukumäärää on pyritty vähentämään korvaamalla yksittäisiä suureita mittaavia mittareita ABB M2M mittarilla, joka pystyy mittaamaan jännitettä, virtaa, taajuutta, tehokerrointa, tehoa, loistehoa ja energiamittauksia. Tämä mittari korvaa vanhassa mallissa olleet pätöteho- ja loistehomittarit sekä tehokerroinmittarin.

4.4.1 Voimakoneen ohjaus

Yhtenä modernisointikohteena voimalaitosmallissa on sen nykyinen tehonsäädin. Alkutietojen mukaan nykyinen säädin perustuu analogiseen säätöön ja sen tilalle halutaan digitaaliseen säätöön perustuva vastine. Sen korvaamiseksi tutkittiin useampaa vaihtoehtoa. Voimakonetta ohjaavaksi uudeksi tehonsäätimeksi valittiin DEIF LSU-112DG, koska on korvaava tuote vanhalle DGC-1T mallille ja näin ollen sen asentaminen vanhan tilalle on luonteva. Uusi tehonsäädin voidaan kytkeä uuden automaattitahdistimen kanssa kuvan 28 mukaan. /29/



Kuva 28. Tehonsäätimen ja automaattitahdistimen kytkentä

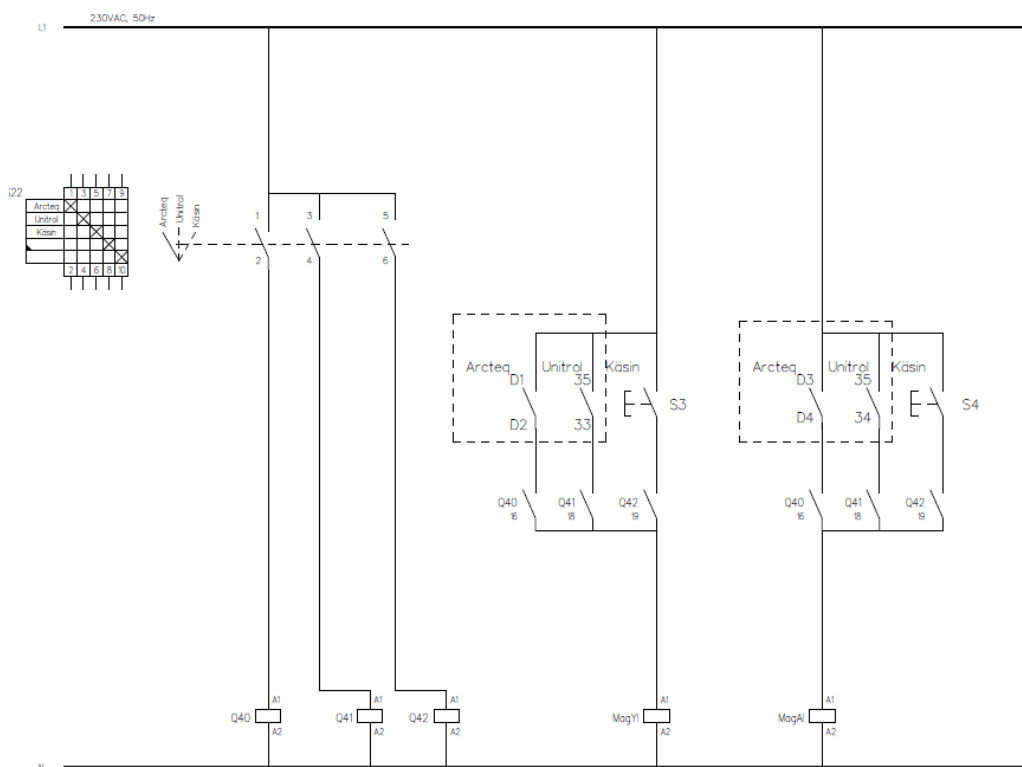
Tehonsäätimellä voidaan saarekkeessa säätää generaattorin taajuutta ja jännitteelliseen verkkoon tahdistettuna se toimii pätötehon säätimenä. Sääto tapahtuu ohjaamalla voimakoneen ankkurijännitettä kontaktorien K32A ja K32Y avulla. Kontaktori K32A:lla ohjataan ankkurijännitettä pienemmäksi ja kontaktorilla K32Y ohjataan sitä suuremmaksi. Tehonsäädintä voitaisiin myös käyttää rinnan toisten tehonsäätimien kanssa tehonjaossa, mutta tässä voimalaitosmallissa se toimii yksin. Se mittaa jännitettä ja virtaa, joista se laskee sisäisesti taajuuden ja pätötehon. Laskenta perustuu $I \times \cos\phi$ periaatteeseen. Se tarvitsee jännitteen mittauksen verkon puolelta L1 ja L2 vaiheiden välistä ja virran IL1 mittauksen. Voimakonealueelle sijoitetaan tehonsäätimelle ohjearvon nastaan 35 antava potentiometri. Säädin tulkitsee nastaan tulevan jännitteen 0,5 V – 5 V niin, että se vastaa 10 % - 100 % annettavaa tehoa. Liittimien 43 ja 44 kautta säädin saa ohjeen automaattitahdistimelta kasvattamaan voimakoneen nopeutta tehon lisäämiseksi. Liittimien 45 ja 46 kautta se saa ohjeen automaattitahdistimelta voimakoneen nopeuden pienentämiseksi tehon vähentämiseksi. /30/

Potentiometrin alapuolelle sijoitetaan vanhassa mallissakin ollut analoginen nopeusmittari, josta voidaan havaita voimakoneen nopeus.

Voimakoneen ohjaus voidaan tehdä manuaalisesti tai automaattisesti valitsemalla P- ja Q-säätimet kytkimellä haluttu tila. Kun säätimet ovat pois käytöstä, voimakoneen säätö tapahtuu käsin keskelle palautuvalla nokkakytkimellä, joka ohjaa voimakoneen ankkurijännitettä säätäviä kontakteja K32A ja K32Y.

4.4.2 Generaattorin ohjaus

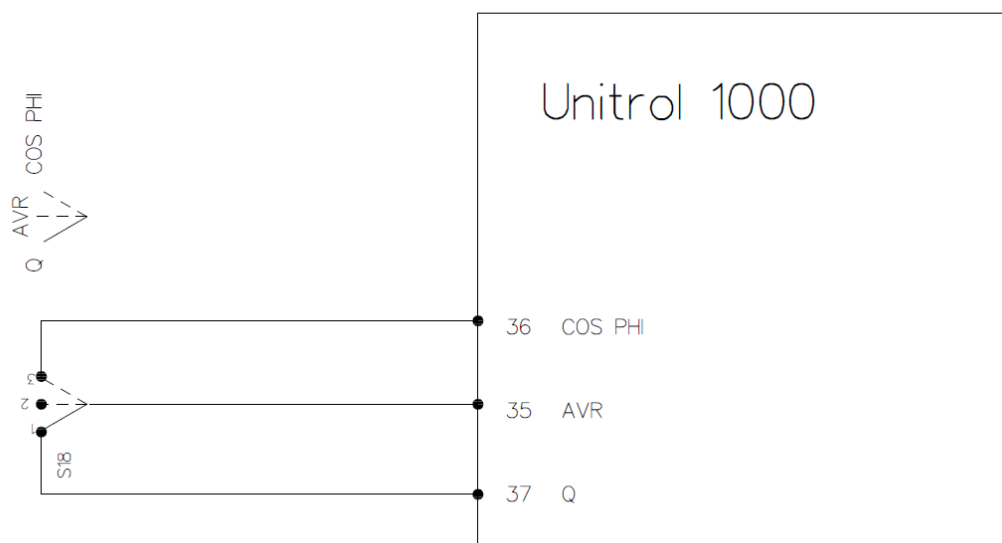
Generaattoria ohjataan samalla tavalla kuin ennenkin, eli sen magnetointivirtaa säätämällä. Uudistetussa voimalaitosmallissa on valittavissa jännitteensäätimeksi joko, ABB Unitrol 1000 -automaattinen jännitteensäädin, Arcteq Generator Commander tai käsin säätö. Aktiivisen magnetoimisvirran säätäjän valinta voidaan toteuttaa esimerkiksi kuvan 29 ja liitteen 12 mukaisella kytkennällä.



Kuva 29. Aktiivisen magnetoiminnan säätimen valinta

Käyttäjäoppaan mukaan, ABB Unitrol 1000 -automaattinen jännitteensäädin tarvitsee jännitemittauksen L1...L3 vaiheista verkon puolelta ja tämä on toteutettu T20 mittamuuntajan avulla. Lisäksi se tarvitsee virtamittauksen L2 vaiheesta ja tämä on toteutettu mittamuuntajalla T22. Jännitteensäätö voidaan valita kytkimellä S18, joko vakioloisteho-, vakiojännite- tai vakiotehokerroinsäädölle. Tieto valitusta säätötavasta tuodaan laitteelle liittimiin inputliittimiin 35-37 kolmiasentoisella

nokkakytkimellä kuvan 30 mukaan. Lisäksi laitteelle tuodaan tieto siitä, että onko magnetointi päällä, liittimiin 41 ja 42 kontaktorin K23 avulla. Liittimiin 44 ja 45 tuodaan tieto kontaktorin K3B avulla siitä, että onko generaattorikatkaisija kiinni vai auki. Sulkemalla välin liittimien 35 ja 33 välillä, laitteelle tuodaan ohje nostaa magnetointia. Vastaavasti sulkemalla välin liittimine 35 ja 34 välillä, sille tuodaan ohje laskea magnetointia. /31/



Kuva 30. Jännitteensäädön valinta Unitrol 1000

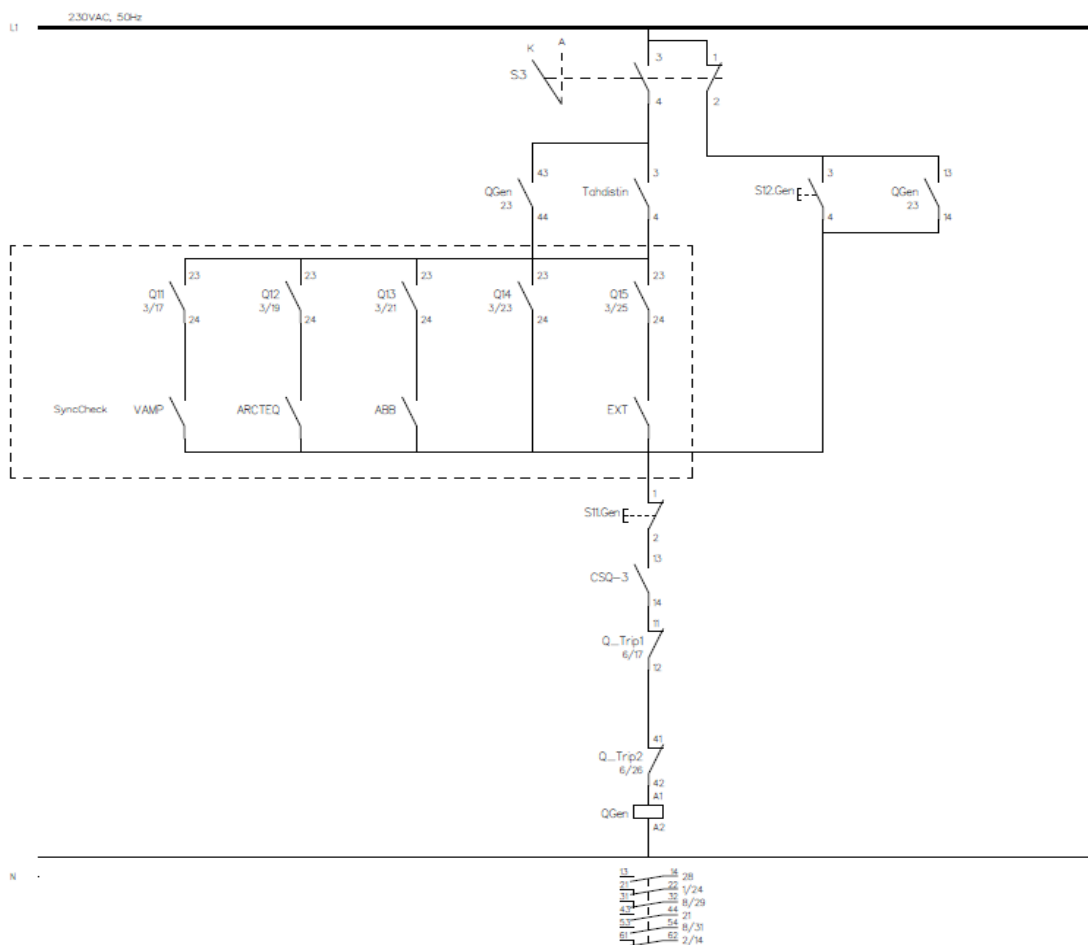
Uudistetussa voimalaitosmallissa generaattoria voidaan ohjata myös uudella Arcteq Generator Commanderilla. Magnetoimisvirran säätämiseen se tarvitsee erillisen Q-QC30 magnetoimisyksikön. Emälaitteella ja magnetoimisyksiköllä on yhdessä tarpeeksi nopeat ja tarkat mittaukset generaattorin magnetoinnin säätämiseen. Siitä löytyy useita säätömoodeja kuten vakioloistehon-, vakiojännitteen- ja vakiotehokerroinsäätö. Niiden valinta tehdään kolmiasentoisella nokkakytkimellä, jonka valitusta tilasta tuodaan tieto Arcteqin digital input -kortille samalla tavalla kuin tieto tuodaan ABB Unitrol 1000:lle.

Generaattorin magnetoimisvirtaa voi säätää manuaalisesti myös palautuvalla nokkakytkimellä, joka on sijoitettu generaattorin magnetoimisvirtaa näyttävän mittarin alle. Saarekkeessa ollessa tällä kytkimellä säädetään generaattorin

jännitettä ja verkkoon tahdistettuna, sillä säädetään verkkoon syötettyä loisivirtaa. Vasemmanpuoleisella kytkimellä ohjataan magnetointikatkaisijaa.

4.4.3 Tahdistus

Samalla, kun tehonsäädin uusitaan, on järkevää uusia myös automaattitahdistin samaan sarjaan kuuluvaksi. Koska tehonsäätimeksi valittiin DEIF 112DG, on luontevaa valita uudeksi automaattitahdistimeksi DEIF FAS 113DG, sillä ne on suunniteltu toimimaan yhdessä. Laite asennetaan ohjauskaapin oveen oikeanpuoleiselle, mustalla viivalla rajatulle alueelle tehonsäätimen päälle niin, että niiden väliin jää vähintään 50 mm tilaa. Alkutietojen mukaan vaatimuksena on, että voimalaitosmallia voidaan ajaa tahdistuksen osalta niin, että se toimii automaattisesti tai käsin ohjattuna ja valinta tehdään kaksiasentoisella nokkakytkimellä. Automaattitahdistin tarvitsee mittaustietoina taajuuden ja jännitteen generaattorikatkaisijan molemmilta puolilta. Nämä mittaustiedot voidaan ottaa vanhoilta käytössä olevilta mittamuuntimilta. Kuvassa 31 ja liitteessä 7 on esitetty tahdistuskaavio. /32/



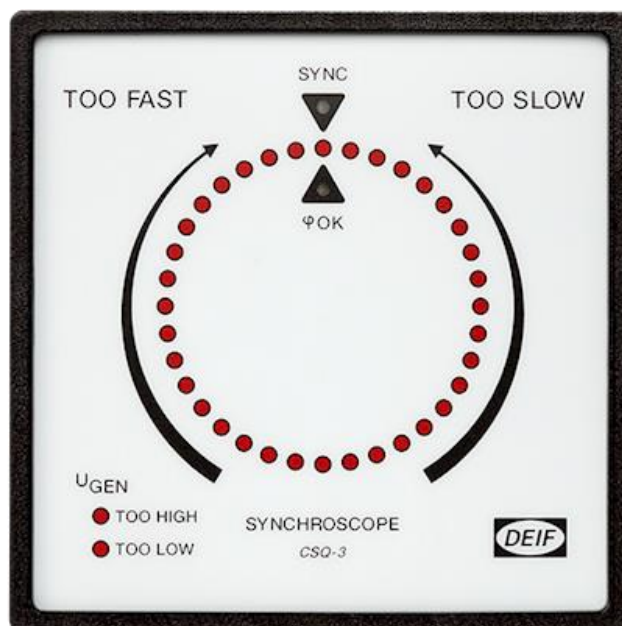
Kuva 31. Tahdistuskaavio

Tahdistuskaaviosta voi huomata, että automaattitahdistushaarassa ovat mukana nyt myös suojarleiden synchrocheck-koskettimet.

Viimeisenä tahdistusehtoja valvovana laitteena tahdistuspiirissä on DEIF CSQ-3 -synkronoskooppi, joka sijoitetaan mimiikkaan generaattorikatkaisijan viereen. Tämä laite tekee viimeisen tarkistuksen tahdistusehdoista. Sekä automaattitahdistus että käsintahdistus menevät tämän laitteen tarkistuksen läpi, ja jos tahdistusehdot ovat käyttäjän asettamissa rajoissa, annetaan generaattori katkaisijalle kiinnimenokäsky. Kuvassa 32 on esitetty kyseinen laite.

Laitteen käyttöliittymä on hyvin itsensä selittävä – punainen LED-ympyrä ilmaisee taajuuseron niin, että mitä suurempi taajuusero on, sitä nopeammin valo pyörii ympyrässä. Punaisen valon paikka ilmaisee vaihe-eron generaattorin jännitteen ja kiskon jännitteen välillä. Kun niiden välinen kulmaero on asetteluarvojen rajoissa, syttyy keltainen LED-valo $\Delta\phi$ -kolmioon. Laite tarvitsee mittaustiedot

generaattorilta ja kiskolta jännitteelle ja taajuudelle. Laitteelle asetetaan ennalta määrätyt rajat jännite-erolle, taajuudelle, ja vaihekulman erolle. Näiden toteutuessa rajoissaan, laite sulkee ”SYNC OK” koskettimen, joka ohjaa generaattorikatkaisijaa. /33/

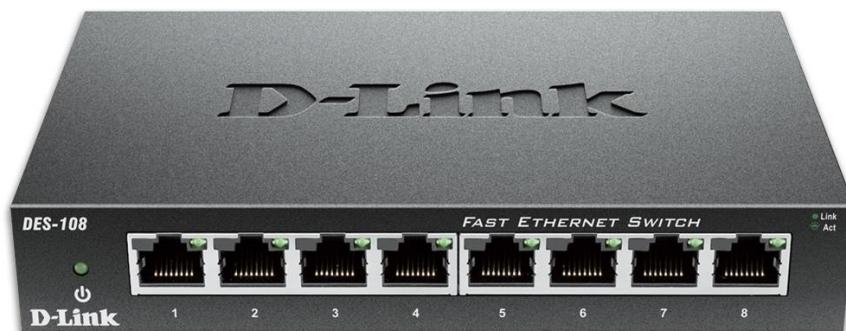


Kuva 32. DEIF CSQ-3

4.5 Tietoliikenne

Kuten jo aiemmin on mainittu, modernisoitu voimalaitosmalli halutaan liittää tietoliikenneverkkoon. Tässä vaiheessa ei tarvitse kuitenkaan vielä varautua IEC 61850 horisontaalisen kommunikaation mukaisilla kytkimillä. Riittäväksi kytkimeksi on katsottu olevan esimerkiksi 8-paikkainen 10/100M kytkin. Kytkimeen on tarkoitus liittää ABB REG615-, VAMP 300G-, Arcteq Generator Commander- suojarahitit ja relekaapin kommunikaatioportti. Lisäksi kytkimessä on oma paikka valvomolle. Tähän tarkoitukseen sopii esimerkiksi 8-porttinen D-Link -kytkin. Kytkimen sijoittamisessa on otettava huomioon, että se on kohtalaisen lähellä pistorasiaa, jotta kytkimelle saadaan tuotua sen tarvitsema käyttöjännite. Kokonsa puolesta kytkin voidaan asentaa relekaapin sisälle, sillä se on mitoiltaan

kohtalaisen pieni. Sen tarkat mitat ovat 162 x 102 x 28 mm. Kuvassa 33 on esitetty esimerkkikytkentä siihen kytkettäville laitteille.



1. VAMP 300G
2. Arcteq GC
3. REG615
4. Kommunikaatioportti
5. Kaukokäyttö/valvomo
6. Vara/laajennus
7. Vara/laajennus
8. Vara/laajennus

Kuva 33. Laitteiden kytkentä tietoliikenneverkkoon D-Link kytkimen kautta

4.6 Tulevaisuuden kehityskohteet

Tulevaisuudessa voimalaitosmalliin on mahdollista toteuttaa oppilastyönä oma tehonsäädin PLC:llä. Se mahdollistaisi esimerkiksi uudenlaisten laboratorioharjoitusten pitämisen, sen ohjelmoimiseen ei tarvitsisi käyttää laitevalmistajan erillistä ohjelmointisovellusta ja lisäksi sen liittäminen verkkoon kaukokäyttöä varten olisi helppo toteuttaa.

Tulevaisuudessa voimalaitosmallin ohjausoveen on mahdollista asentaa valvomonäyttö. Näytön tulisi olla varustettu kosketusominaisuudella. Sillä voitaisiin korvata ohjausovessa olevat mittarit ja kytkimet ohjelmoimalla sille oma

käyttöliittymä, jossa näkyisi kaikki tarvittavat mittaukset ja ohjaukset. Automaattitahdistin ja tehonsäädin voitaisiin sijoittaa kaapin sisälle.

5 YHTEENVETO

Voimalaitosmallissa oleviin kehityskohteisiin on tehty suunnitelmat niiden modernisoimiseksi. Siihen tehtävien käyttöä parantavien muutoksien myötä voimalaitosmallin ulkoasu ja ohjaus muuttuvat johdonmukaisemmaksi ja opiskelijoille helpommin ymmärrettäväksi.

Suurin voimalaitosmallin käyttöön tapahtuva muutos on se, että uudistetussa mallissa jokaista katkaisijaa ohjataan suoraan mimiikkaan tuoduilla painonappiohjauksilla ja vikojen ohjaukset on myös tuotu suoraan mimiikkaan omille paikoilleen. Lisäksi malli liitetään hajautetun tuotannon verkkoon. Ulkoasussa huomattavin muutos on itse mimiikassa, jossa voimalaitosmallin kytkentä kuvataan laajemmin kuin alkuperäisessä mallissa. Ulkoasu muuttuu myös johdonmukaisemmaksi verrattuna alkuperäiseen malliin, sillä uudistetussa mallissa laitteet on sijoiteltu niiden omille alueilleen. Kaikki suojarleet ovat omassa releovessaan ja mallin ohjaamiseen liittyvät laitteet ovat omassa ohjausovessaan. Ohjaukseen liittyvät laitteet on lisäksi vielä jaoteltu toimintonsa mukaan omille alueilleen.

Uutena ominaisuutena mallin suojarleissä on syncrocheck-toiminto ja analogiseen säätöön perustuva tehonsäädin korvataan digitaalisella vastineella. Voimalaitosmalliin asennetaan tietoliikenneverkko, johon kaikki suojarleet liitetään. Verkko mitoitetaan niin, että siihen on mahdollista liittää tulevaisuudessa myös muita laitteita. Vanhasta mallista käytetään kaikki mahdolliset kytkimet myös uuteen malliin. Tärkeimmistä uusittavista ja poistettavista laitteista on laadittu lista, joka on esitetty liitteessä 13.

LÄHTEET

/1/ Uusi suojaus generaattoreille ja hajautettuun voimantuotantoon. Viitattu 9.4.2017.

<http://www.abb.fi/cawp/seitp202/764a89ca03675fffc1257fd40036842a.aspx>

/2/ Generator protection relay VAMP 210. Viitattu 9.4.2017

<http://www.vamp.co.za/products/vamp210.html>

/3/ VAMP 210 Generator protection relay. Viitattu 9.4.2017

<https://m.vamp.fi/dmsdocument/257>

/4/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.

/5/ Lauri Aura & Antti J. Tonteri, L ja A. 1986. Sähkömiehen käsikirja 2 Sähkökoneet. 1. Painos. Porvoo. WSOY. s241

/6/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.

/7/ Lauri Aura & Antti J. Tonteri, L ja A. 1986. Sähkömiehen käsikirja 2 Sähkökoneet. 1. Painos. Porvoo. WSOY. s241

/8/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.

/9/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.

/10/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.

/11/ Lauri Aura & Antti J. Tonteri, L ja A. 1986. Sähkömiehen käsikirja 2 Sähkökoneet. 1. Painos. Porvoo. WSOY

/12/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.

- /13/ Lauri Aura & Antti J. Tonteri, L ja A. 1986. Sähkämiehen käsikirja 2 Sähkökoneet. 1. Painos. Porvoo. WS
- /14/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /15/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /16/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /17/ Verkkonen, V. 2014. Oppimateriaalinappu. *Sähkömoottorikäytöt 3 Tahtikoneet*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /18/ Jarmo Elovaara & Yrjö Laiho, J ja Y. 2001. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. Painos. Otatieto.
- /19/ Jarmo Elovaara & Yrjö Laiho, J ja Y. 2001. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. Painos. Otatieto.
- /20/ Jarmo Elovaara & Yrjö Laiho, J ja Y. 2001. Sähkölaitostekniikan perusteet. 4. Painos. Otatieto.
- /21/ Mäkinen, O. 2013. Oppimateriaalinappu. *Relesuojaus*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /22/ Mäkinen, O. 2013. Oppimateriaalinappu. *Relesuojaus*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /23/ Mäkinen, O. 2013. Oppimateriaalinappu. *Relesuojaus*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /24/ Mäkinen, O. 2013. Oppimateriaalinappu. *Relesuojaus*. Vaasan ammattikorkeakoulu.
- /25/ Lauri Aura & Antti J. Tonteri, L ja A. 1986. Sähkämiehen käsikirja 2 Sähkökoneet. 1. Painos. Porvoo. WSOY s.100-117

/26/ Arcteq Generator Commander, Instruction Manual, Revision 1.00

/27/ ABB REG615 Application Manual, 20.5.2016

/28/ VAMP 300G, User Manual, V300G/en M/A004

/29/ Load sharing relays replacement. Viitattu 9.5.2017.

<https://www.deif.no/products/dgc-1tf-and-dgc-1tb/>

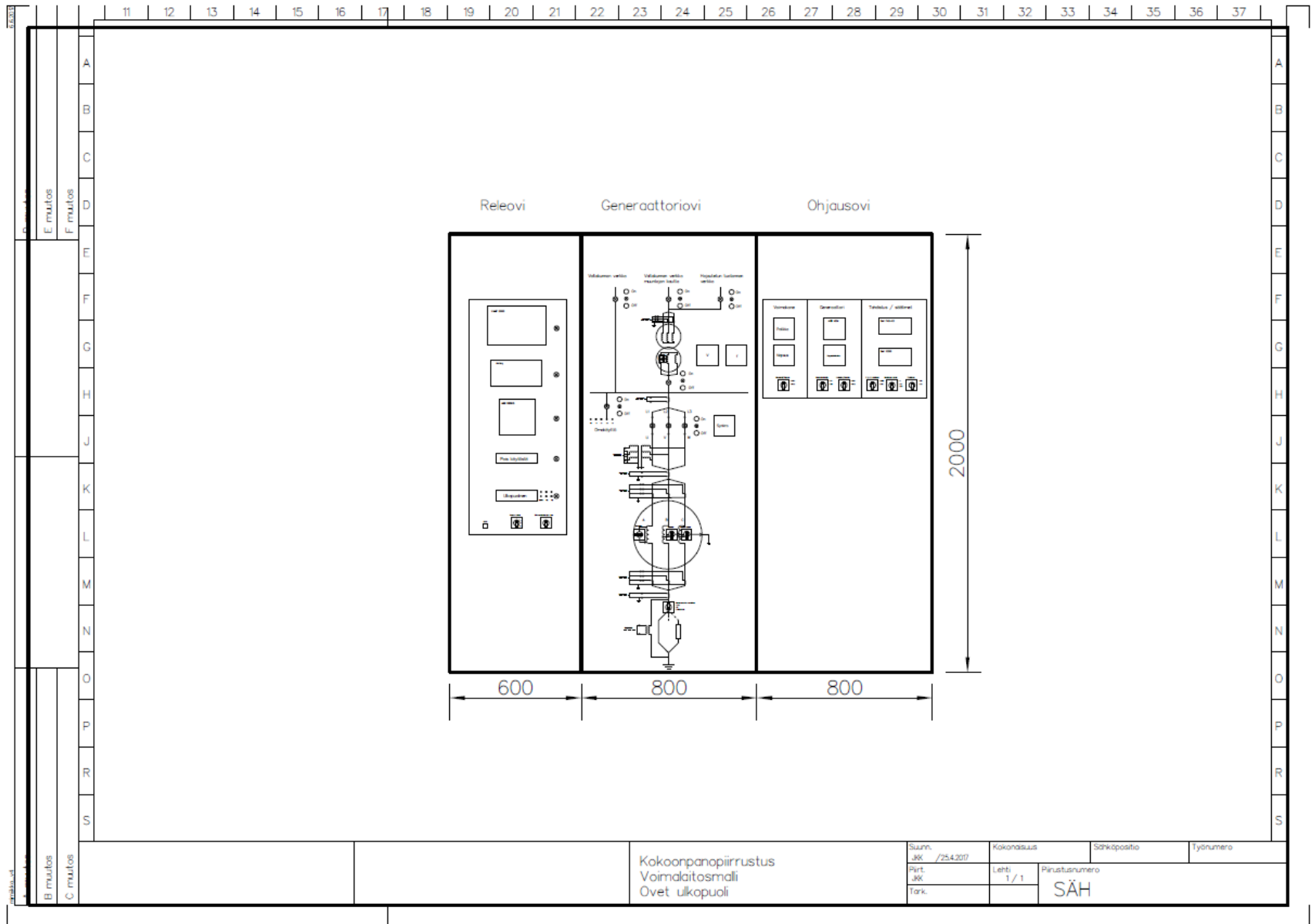
/30/ DEIF LSU-112DG Data Sheet, Document no.: 4921240118I

/31/ DEIF LSU-112DG Data Sheet, Document no.: 4921240118I

/32/ UNITROL 1000, User's Manual, Document no.: 3BHS124245 E80

/33/ DEIF CSQ-3 Data Sheet, Document no.: 4921240263H

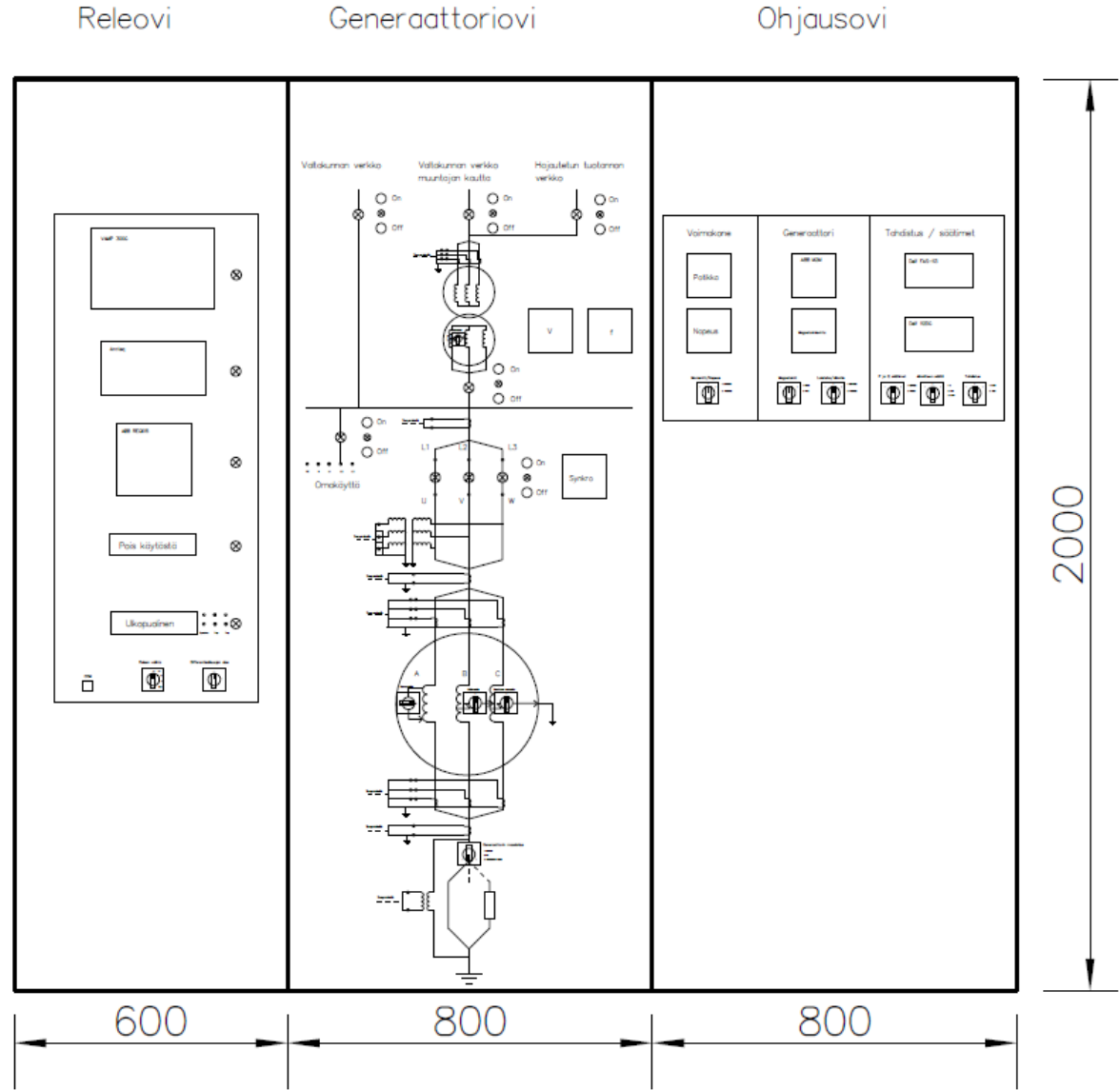
LIITE 1 Ovet, ulkopuoli



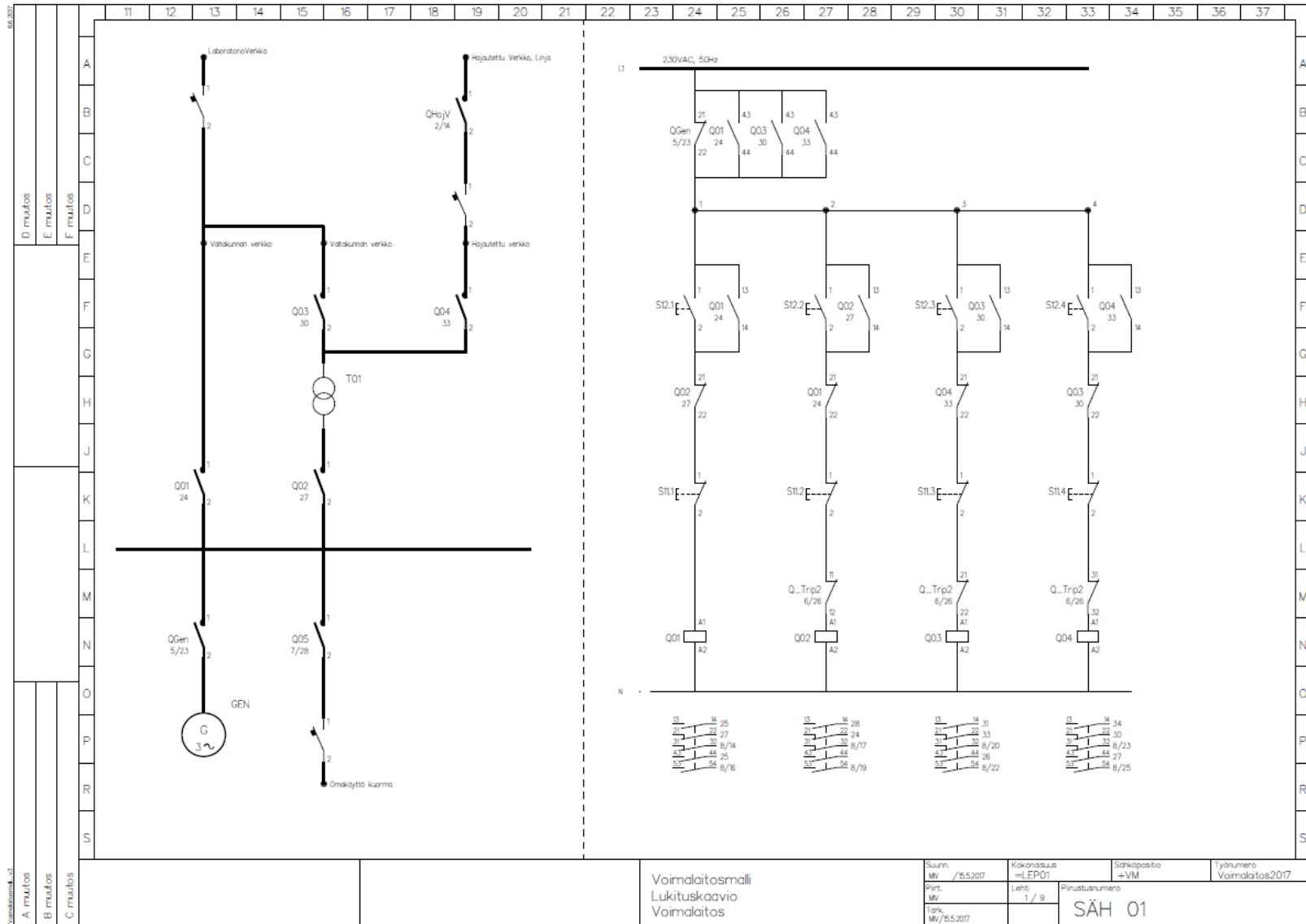
Kokoonpanopiirustus
Voimalaitosmalli
Ovet ulkopuoli

Siirt. JK /25.4.2017	Kokonaisuus	Sähköposito	Työnumero
Part. JK	Lehti: 1 / 1	Piirustusanumero	
Tark.		SÄH	

LIITE 2 Ovet, ulkopuoli suurennos



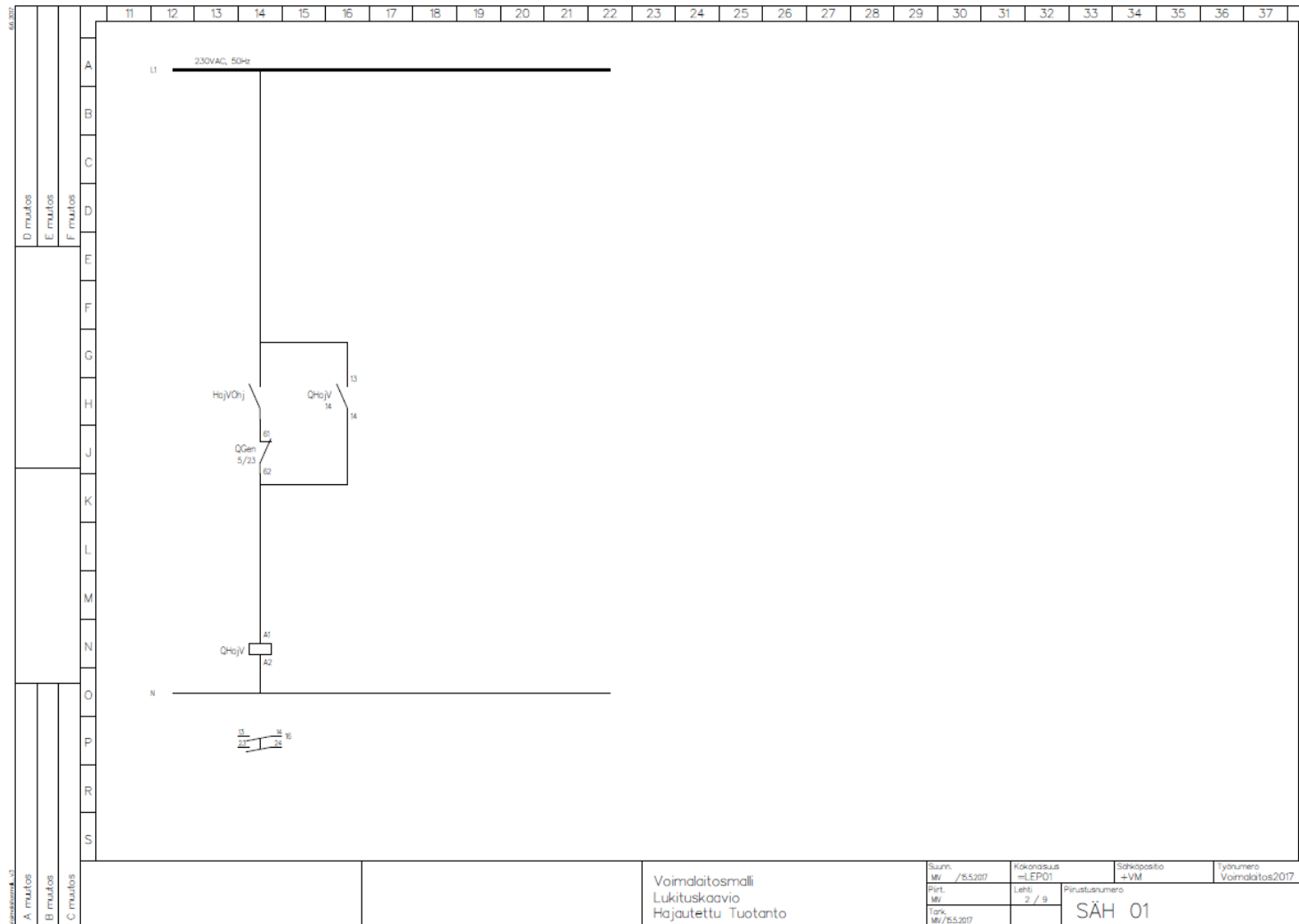
LIITE 3 Lukituskaavio, voimalaitosmalli



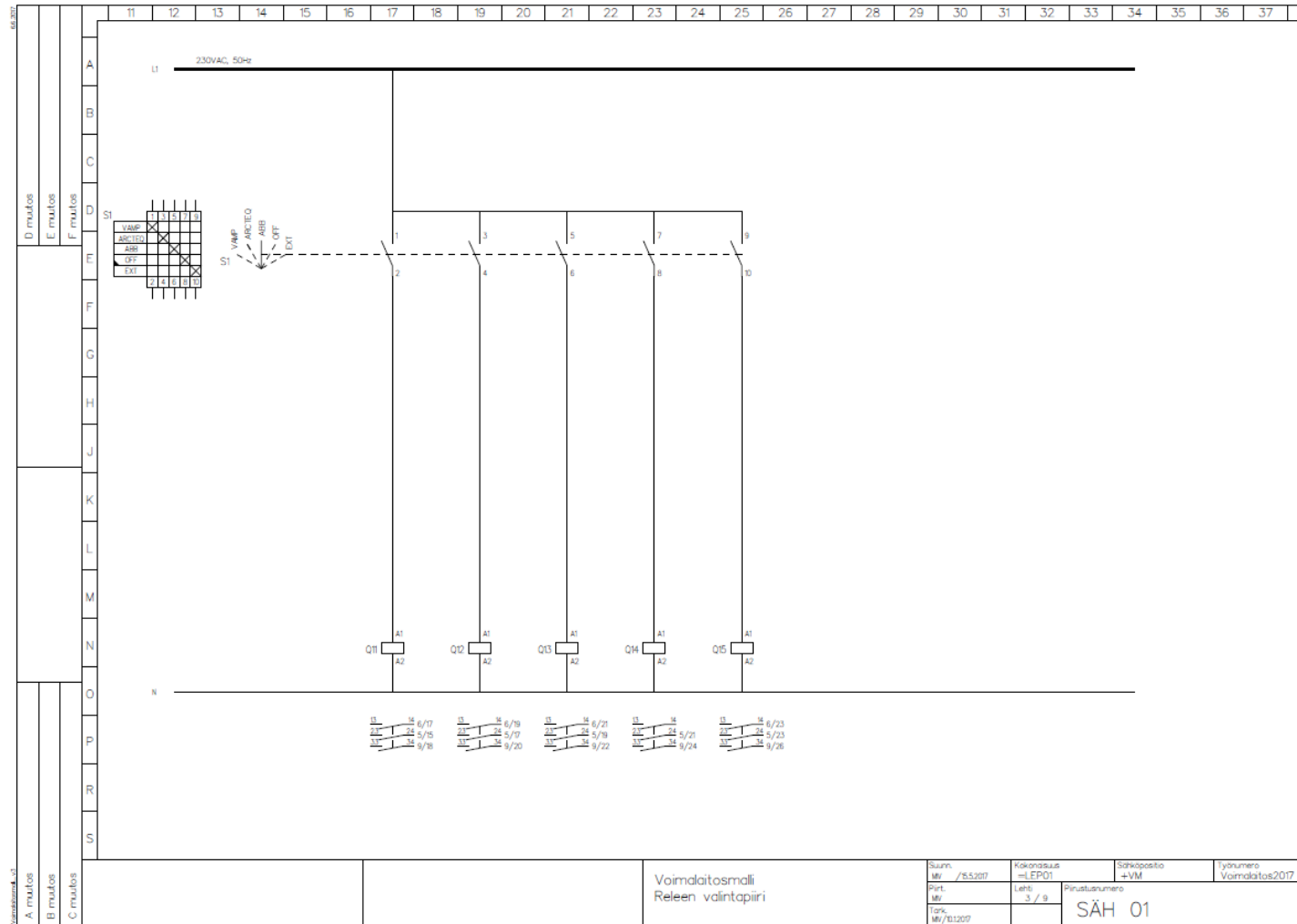
66.302
 Voimalaitosmalli
 A muutos
 B muutos
 C muutos
 D muutos
 E muutos
 F muutos

Voimalaitosmalli Lukituskaavio Voimalaitos		Suunn. M/ /65.207 Piir. M/ / Tark. M/ /65.207	Kokonaisuus =LEP01 Lehti 1 / 9	Sähköpostiosoite +VM SÄH 01	Työnumero Voimalaitos2017
--	--	--	---	-----------------------------------	------------------------------

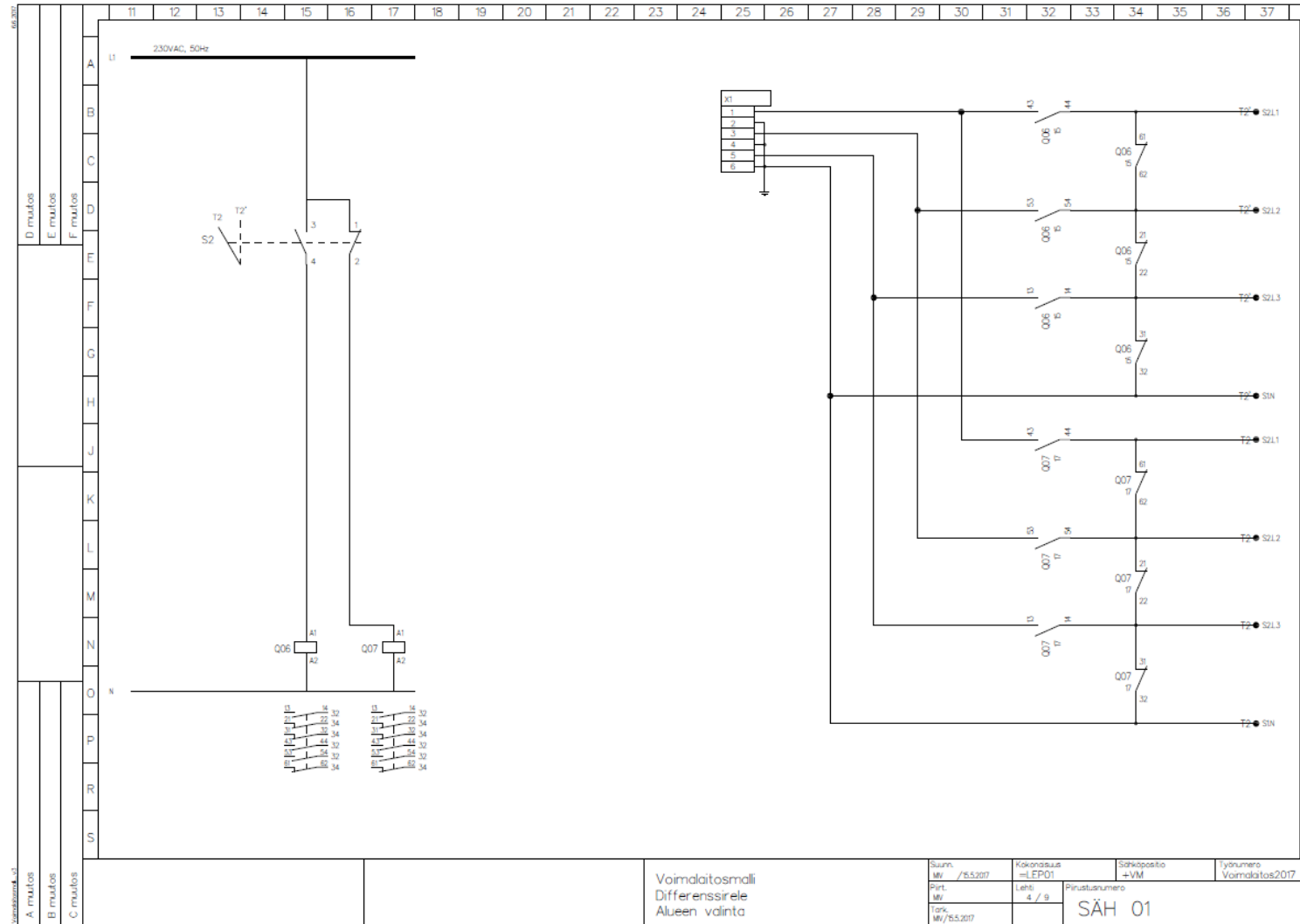
LIITE 4 Lukituskaavio, hajautettu tuotanto



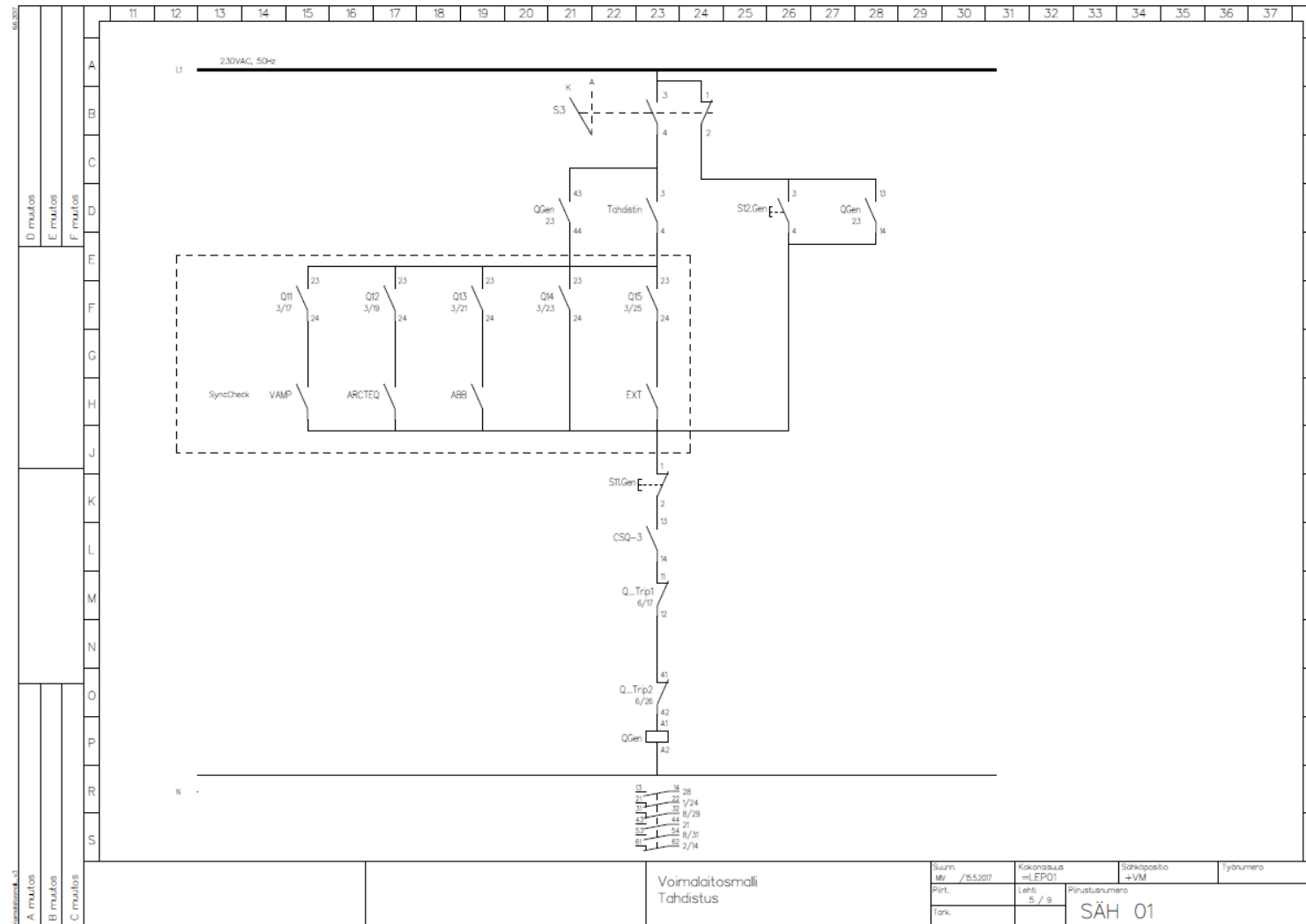
LIITE 5 Releen valintapiiri



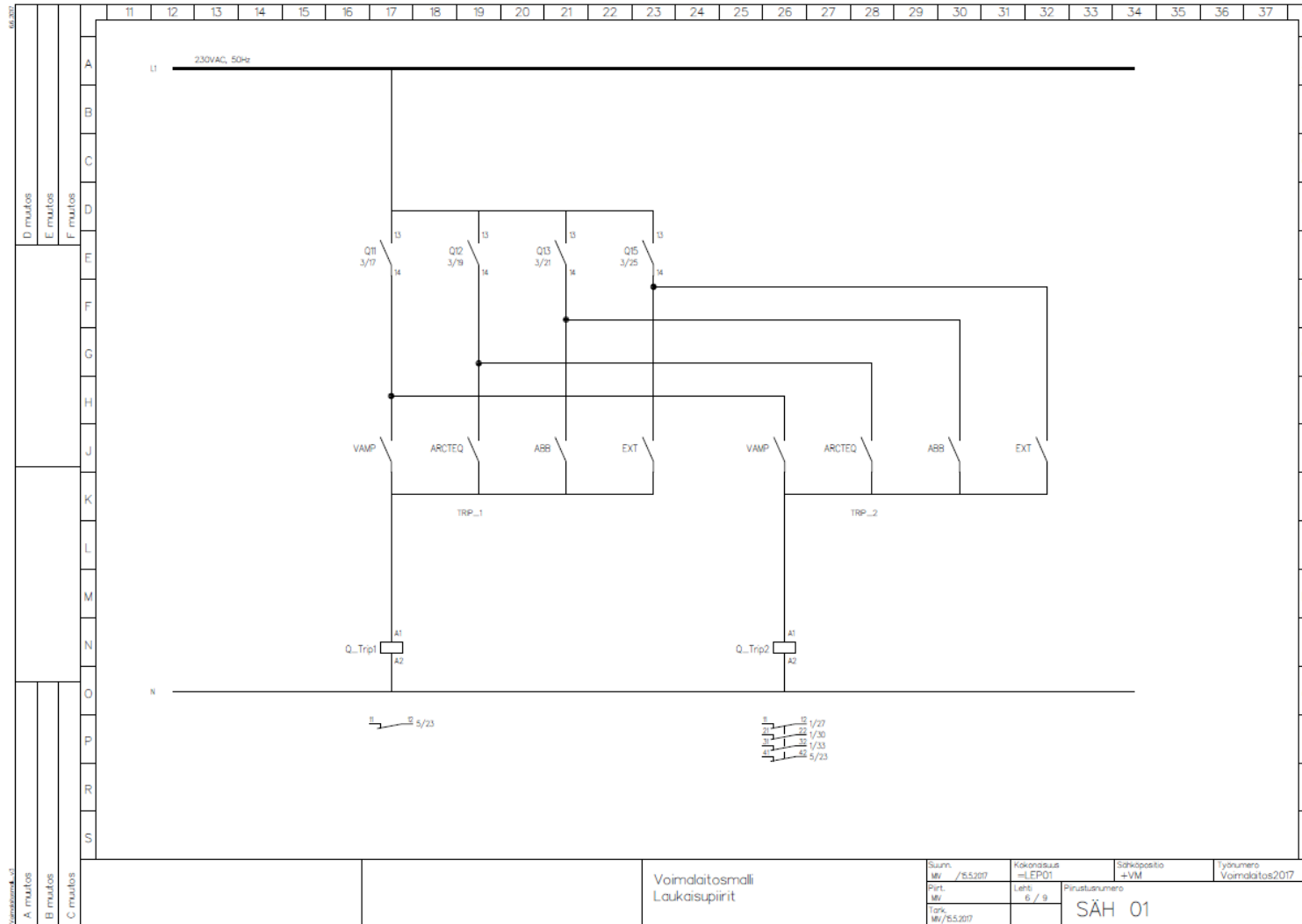
LIITE 6 Differenssireleen alueen valinta



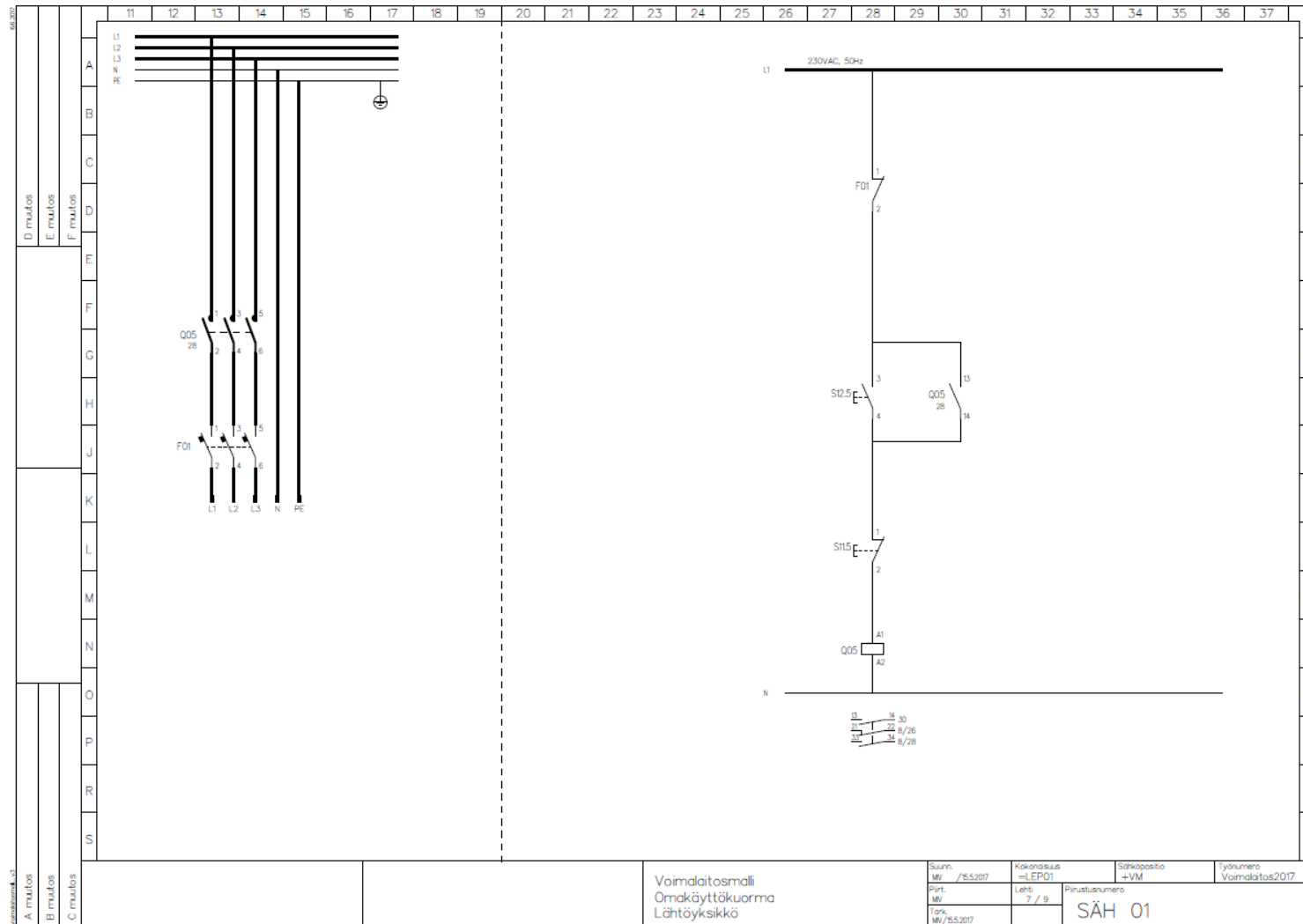
LIITE 7 Tahdistuspiiri



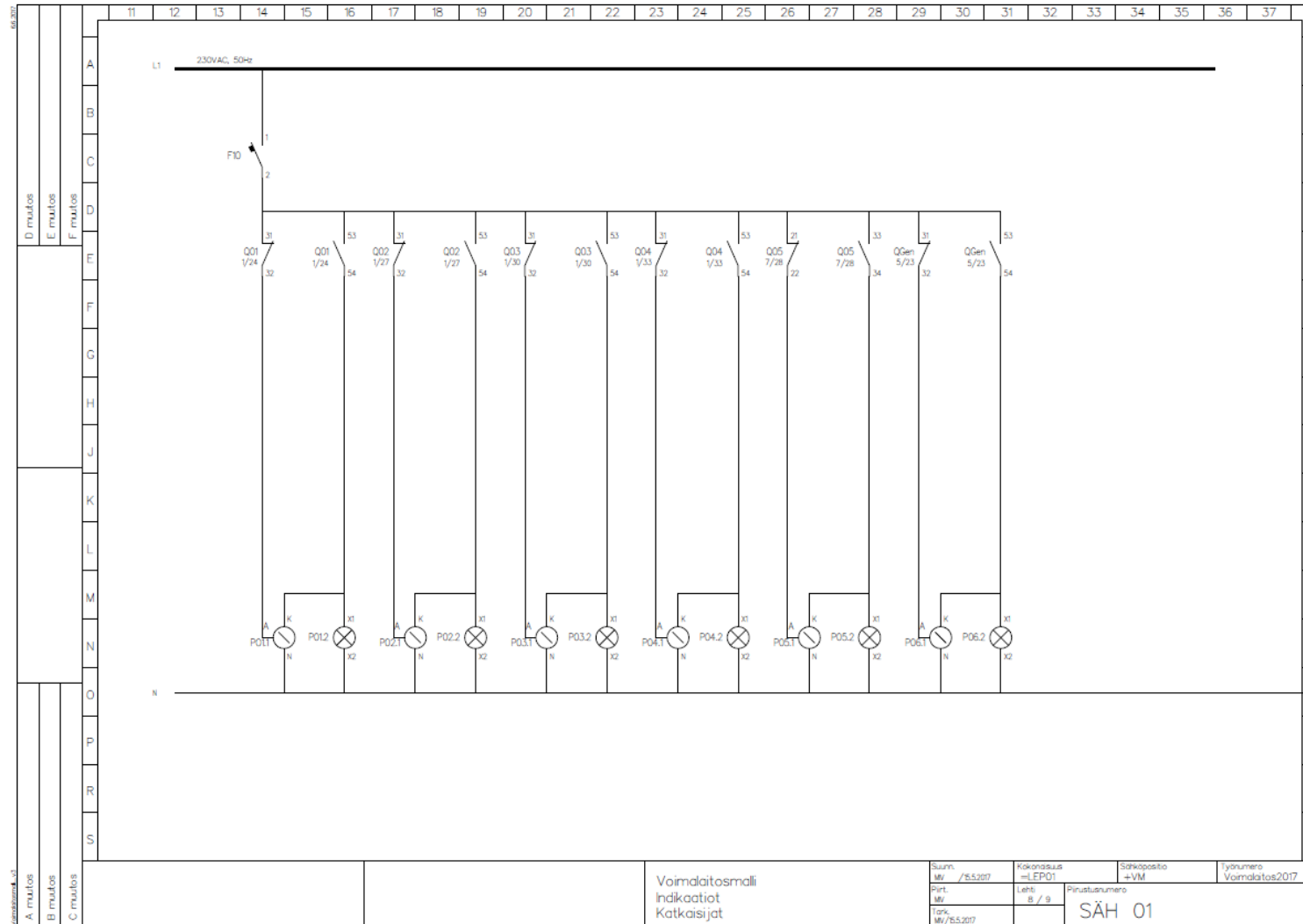
LIITE 8 Laukaisupiirit



LIITE 9 Omakäyttökuorman lähtöyksikkö



LIITE 10 Katkaisijoiden indikaatiot

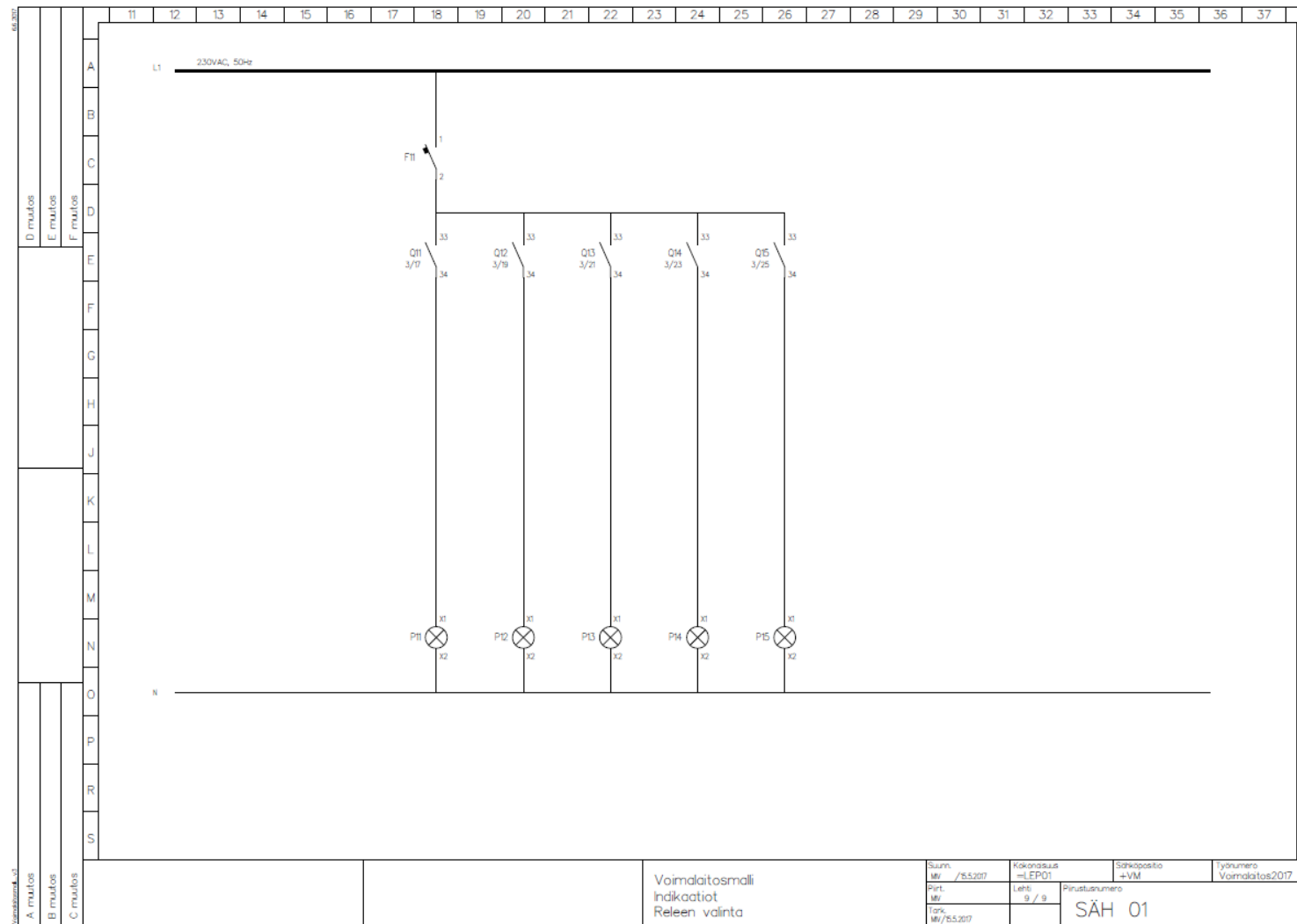


46/2017
 A muutos
 B muutos
 C muutos
 D muutos
 E muutos
 F muutos
 46/2017
 A muutos
 B muutos
 C muutos

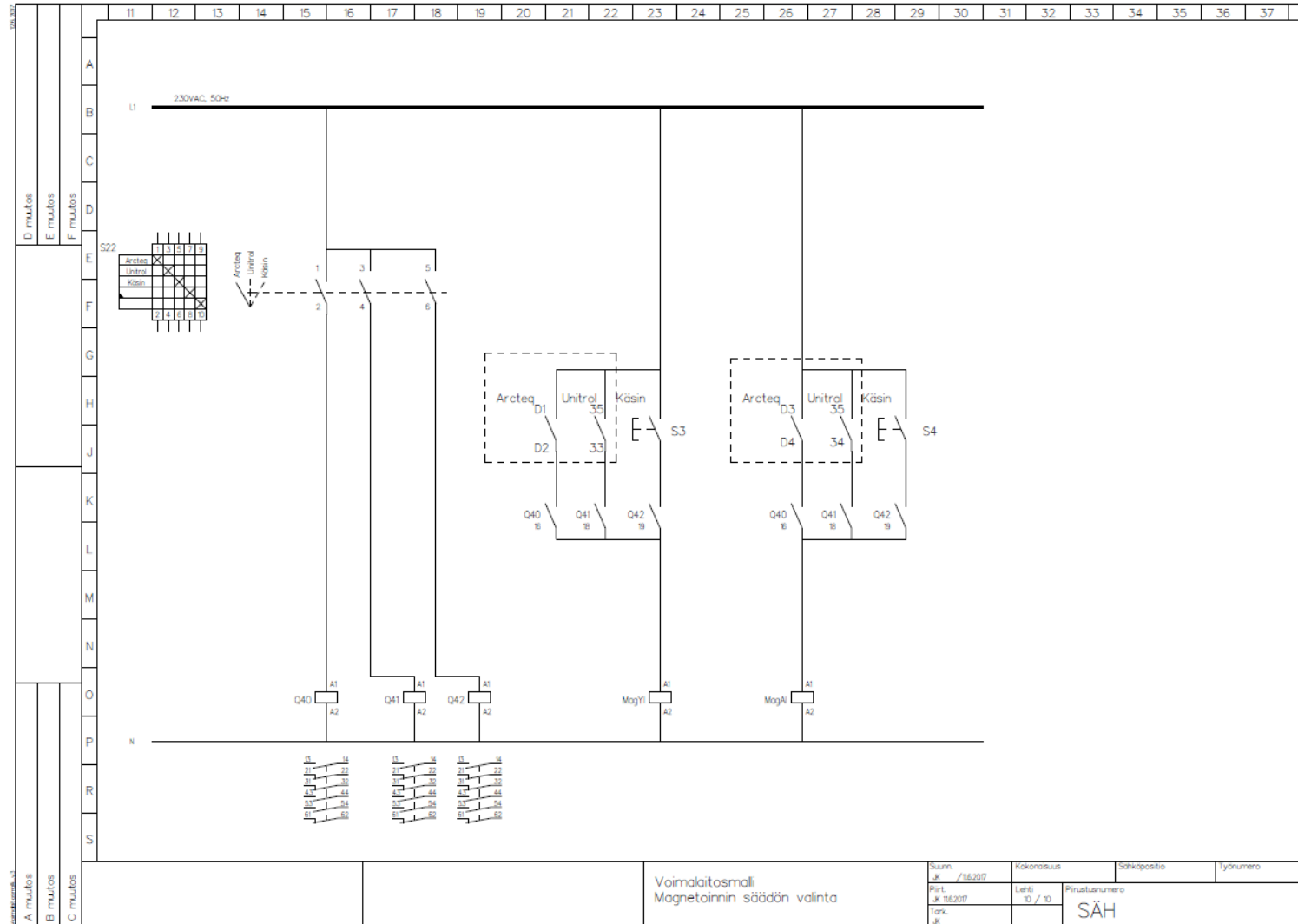
Suunn. MV /5.5.2017		Kokonaisuus =LEP01	Sähköpostio +VM	Työnnumero Voimalatas2017
Piirt. M/	Lehti B / 9	Pirstusnumero		
Tark. MV/5.5.2017	SÄH 01			

Voimalaitosmalli
Indikaatiot
Katkaisijat

LIITE 11 Releen valinnan indikaatiot



LIITE 12 Aktiivisen magneitoimisvirran säätimen valinta



LIITE 13 Lisättävät ja poistettavat laitteet

	Määrä (kpl)
Uudet laitteet:	
Vamp 300G suojarale	
Arcteq Generator Commander suojarale + QC30	1
Deif 112DG load sharing unit	1
Deif FAS 113DG automatic synchronizer	1
ABB M2M monitoimimittari	1
Voimakoneen ohje-potentiometri	1
Deif CSQ-3 synchronoscope	1
Asenoitin	8
Merkkivalo	10
Ethernetportti	1
Turvaplugi	35
Palautuva painonappi	12
5-as. nokkakytkin, releen valinta	1
	Määrä (kpl)
Poistettavat laitteet:	
ABB SPAG 333 C suojarale	1
ABB SPAD 346 C3 suojarale	1
VAMP 210 suojarale	1
VAMP 265 suojarale	1
DEIF Transal DGC - 1T	1
DEIF FAS 2	1
Lamppu synkronoskooppi	1
Vaihevirtamittari	3
Pätötehomittari + teho-tak.teh. -kytkin	1
Loistehomittari + ind. - kap. -kytkin	1
Tehokerroin mittari	1
Palautuva painonappi	4