



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Timi Partanen

Koestusgeneraattoreiden relejärjestelmän modernisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

28.12.2018

Tekijä Otsikko	Timi Partanen Koestusgeneraattoreiden relejärjestelmän modernisointi
Sivumäärä Aika	64 sivua + 5 liitettä 28.12.2018
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Käyttöpäällikkö Jaakko Virtanen Lehtori Sampsa Kupari
<p>Insinööriyön tarkoituksena oli tehdä selvitystyö Helsingin Pitäjänmäen ABB Motors & Generators -tehtaan kellarikerroksen koestusgeneraattoreiden G12 ja G13 nykyisistä suojausjärjestelmistä eli relejärjestelmistä. Koestusgeneraattoreilla syötetään koekenttiä, joissa koestetaan sähkömoottoreita. Koekentillä tehdään sähköisiä ja mekaanisia testejä, jotka raskaita myös koestusgeneraattoreita. Koestettavissa sähkömoottoreissa voi myös ilmetä vikatilanteita, jotka voivat pahimmassa tapauksessa tuhota generaattorin. Näiden asioiden lisäksi nykyisten suojausjärjestelmien releiden varaosien saatavuus on heikentynyt ja osa käytetyistä suojausjärjestelmistä on teknisen käyttöikänsä päässä, jonka takia järjestelmät haluttiin uusia varmemmiksi, moderneimmiksi järjestelmiksi.</p> <p>Selvitystyö aloitettiin etsimällä generaattoreiden suojaukseen liittyvää kirjallisuutta ja yleistä teoriaa. Generaattoreiden suojaukseen liittyvän teorian ymmärtämisellä oli suuri rooli työn etenemisessä, jotta voitiin ymmärtää kyseisen suojausjärjestelmän toiminta ja tehdä sen perusteella selvitys. Kirjallisuuden ja yleisen teorian perusteella tehtiin selvitys nykyisistä suojausjärjestelmistä.</p> <p>Insinööriyön lopputuloksena saatiin kattava selvitys generaattoreiden nykyisistä suojausjärjestelmistä, jonka perusteella generaattoreiden suojausjärjestelmien releet voidaan korvata uusilla, moderneilla releillä.</p> <p>Tätä insinööriyötä voidaan käyttää tulevaisuudessa muiden generaattoreiden suojausjärjestelmien modernisoimiseen.</p>	
Avainsanat	Generaattori, suojaus, rele, suojausjärjestelmä

Author Title	Timi Partanen Modernization of the Testing Generators Protection Systems
Number of Pages Date	64 pages + 5 appendices 28 December 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Professional Major	Electric Power Engineering
Instructors	Jaakko Virtanen, Maintenance Manager Sampsa Kupari, Senior Lecturer
<p>This study was made for ABB Motors & Generators Helsinki Pitäjänmäki factory. The aim of the study was to map out the protection systems for testing generators G12 and G13. The testing generators are used to supply test fields, where electrical motors are tested.</p> <p>Generator protection systems consists of various relays. Relays currently used in the generators' protection systems are out of their lifespan and their spare parts are no longer widely available. That is why a better, modern protection system is in place for both generators. Mapping out the currently used protection systems started with finding relevant books and technical data for basic generator protection principles. Because generator protection in general is a wide concept, basic knowledge about protection relays working principles was important to learn to understand the existing systems configurations. Based on the literature and data a mapping of the existing protection systems was made.</p> <p>As a result for this study, a sufficient mapping of the existing protection systems was made and new modern protection systems for the generators could be planned and new relays bought.</p> <p>This study can be used for protection relay system modernization projects in the future.</p>	
Keywords	Generator, protection, relay, protection system

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Tahtigeneraattorit	2
2.1	Rakenne	2
2.2	Toimintaperiaate	3
2.3	Magnetointitavat	6
2.4	Yleisimmät vikatilanteet	8
3	Olemassa olevia reletyyppejä generaattoreiden suojaukseen	9
3.1	Releiden toimintaperiaate yleisesti	9
3.2	Ylivirtareleet	9
3.3	Yli- ja alijännitereleet	11
3.4	Distanssireleet	11
3.5	Taajuusreleet	12
3.6	Differentiaalireleet	12
3.7	Suunta- ja tehoreleet	14
3.8	Epäsymmetriareleet	15
3.9	Tahdistusreleet	16
4	Mittamuuntajien tehtävä relesuojauksessa	17
4.1	Virtamuuntaja mittamuuntajana	17
4.2	Jännitemuuntaja mittamuuntajana	22
5	Generaattorin suojaustapoja	26
5.1	Staattorin suojaus	26
5.2	Roottorin suojaus	30
6	Generaattoreiden nykyisten suojausjärjestelmien selvittäminen	32
6.1	Erillisreleiden asetusarvojen hakeminen	33
6.2	Kytkinryhmien tulkinta	33
6.3	Alkuseelvitys järjestelmästä	34

6.4	Ylivirtarele SPAJ 131C	36
6.5	Tahdissaolon valvoja SPAU 140C	38
6.6	Nollajänniterele SPAU 110C	39
6.7	Jänniterele SPAU 1G100J	42
6.8	Moottorinsuojarele SPAM 150C	44
6.9	Differentiaalirele SPAD 330C	53
7	Tiivistelmä käytetyistä suojaustoiminnoista	57
7.1	Suojaustoimintojen siirtäminen REM 543 -monitoimireleisiin	59
7.2	Ylijäävät releet ja uudet hankinnat	60
8	Yhteenveto	61
	Lähteet	62
	Liitteet	
	Liite 1. Generaattorin G12 järjestelmän yleiskuva	
	Liite 2. Generaattorin G13 järjestelmän yleiskuva	
	Liite 3. Releiden kytkentäkaaviot G12	
	Liite 4. Releiden kytkentäkaaviot G13	
	Liite 5. Releiden kytkinryhmien selostukset	

Lyhenteet ja määritelmät

ANSI	American National Standards Institute. Amerikkalainen standardointiorganisaatio.
IEC	International Electrotechnical Commission. Kansainvälinen standardiorganisaatio.
A	Magneettivuon kohtaama pinta-ala.
B	Magneettivuon tiheys.
cos ϕ	Tehokerroin.
E	Käämiin indusoitunut jännitteen tehollisarvo.
ext%	Virta-alueen laajennuskerroin.
$f <$	Alitaajuus, taajuusreleen porras.
$f >$	Ylitaajuus, taajuusreleen porras.
f	Pyörimistaajuus.
f	Vaihtosähkön taajuus.
f_l	Virtavirhe.
F_s	Mittarivarmuuskerroin.
f_U	Jännitevirhe.
H	Magneetikentän voimakkuus.
$I >$	Virran aikalaukaisu, ylivirtareleen porras.
$I >>$	Virran hetkellislaukaisu, ylivirtareleen porras.
I	Sähkövirta.
I'_s	Ensiöön redusoitu toisiovirta.
$I <$	Alivirtaelimen havahtumistaso.
I_0	Maasulkuelimen havahtumisvirtataso.
I_0	Tyhjäkäyntivirta.
I_d	Differentiaalireleen erovirta.
I_{dyn}	Dynaaminen mitoitusvirta.
I_p	Ensiövirran tehollisarvo.
I_p	Ensiövirta.
I_{pn}	Ensiön nimellisvirta.
I_{pt}	Tarkkuusrajavirta.
I_s	Suojattavan kohteen käynnistysvirta.
i_s	Toision hetkellisvirta.

I_{sn}	Toision nimellisvirta.
I_{th}	Terminen mitoitusvirta.
I_v	Differentiaalireleen vakavointivirta.
I_0	Suojattavan kohteen täyttä kuormaa vastaava virta-asettelu.
k_c	Pidennetyin jäähtymisaikavakion kerroin.
k_t	Tarkkuusrajakerroin.
kW	Kilowatti.
kV	Kilovoltti.
l	Magneettiin pituus.
N	Käämin kierrosluku.
p	Ylikuormituselimen lämpenemäkäyrien painotuskerroin.
p	Tahtigeneraattorin napaparien lukumäärä.
rpm	Kierrosta minuutissa.
S_n	Nimellistaakka.
T	Jakson aika.
$t_<$	Alivirtaelimen toiminta-aika.
$t_>$	Alempi aika-asetteluporras.
$t_{>>}$	Ylempi aika-asetteluporras.
t_0	Maasulkuelimen toiminta-aika.
t_{6x}	Suurin sallittu suojattavan kohteen jumiaika.
t_s	Suojattavan kohteen käynnistysaika.
t_{Δ}	Epäsymmetriaelimen toiminta-aika.
$U_>$	Jännitteen aikalaukaisu, ylijännitereleen alempi porras.
$U_{>>}$	Jännitteen aikalaukaisu, ylijännitteen ylempi porras.
$U_{>>>}$	Jännitteen hetkellislaukaisu, ylijännitteen hetkellisporras.
U	Jännite.
U'_s	Ensiöön redusoitu toisiojännite.
$U_{0>}$	Alempi nollajänniteporras.
$U_{0>>}$	Ylempi nollajänniteporras.
U_p	Ensiöjännite.
U_{pn}	Ensiön nimellisjännite.
U_s	Toisiojännite.
U_{sn}	Toision nimellisjännite.
W	Watti.
V	Voltti.

VA	Voltiampeeri.
Z_{2n}	Toision nimelliskuormitusimpedanssi eli varsinainen nimellistaakka.
α	Vaihekulma.
δ	Kulmavirhe.
ΔI	Epäsymmetriaelimen havahtumistaso.
$\Delta \Sigma t_s$	Käynnistyksen valvojan laskurin purkunopeus.
ϵ_c	Yhdistetty virhe.
θ_a	Ylikuormituselimen hälytysrajataso.
θ_i	Ylikuormituselimen uudelleenkäynnistyslupataso.
Σt_{si}	Käynnistyksen valvojan laskurin raja-arvo.
ϕ	Magneettivuo.
n_s	Tahtigeneraattorin roottorin pyörimisnopeus.
ξ_k	Staattorin käämikerroin.
μ	Aineen permeabiliteetti.
μ_0	Tyhjiön permeabiliteetti.
μ_r	Aineen suhteellinen permeabiliteetti.

1 Johdanto

Helsingin Pitäjänmäen ABB Motors & Generators -tehtaalla koestetaan sähkömoottoreita koekentillä, joihin saadaan sähkönsyöttö tehtaan kellarikerroksen koestusgeneraattoreilta. Koekentillä tehdään sähköisiä ja mekaanisia testejä sähkömoottoreille, jotka raskaita myös koestusgeneraattoreita. Koestettavissa sähkömoottoreissa voi myös ilmetä vikatilanteita, jotka voivat pahimmassa tapauksessa heijastua koestusgeneraattoreille ja tuhota koestusgeneraattorin. Tämän takia koestusgeneraattorit pitää suojata hyvin suojarileillä, jotka estävät koestusgeneraattoreiden tuhoutumisen vikatilanteissa.

Tällä hetkellä generaattoreiden käytössä olevat suojarileet ovat vanhoja ja ne halutaan uusia sekä selventää suojausjärjestelmiä moderneilla monitoimireleillä. Monitoimireleet ovat kompakteja ratkaisuja suojausjärjestelmiin ja ne toimivat digitaalisena. Tämän ansiosta monitoimireleet ovat nopeita ja luotettavia.

Insinööriyön aiheena on tehdä selvitys Helsingin Pitäjänmäen ABB Motors & Generators -tehtaan kellarikerroksen koekentän generaattoreiden G12 ja G13 suojausjärjestelmien eli relejärjestelmien nykyisestä kokoonpanosta. Selvityksen perusteella tehdään tarvittavat hankinnat uusille suojausjärjestelmille.

Suomen ABB:n Motors & Generators -yksikkö Helsingin Pitäjänmäellä valmistaa energiatehokkaita sähkömoottoreita ja generaattoreita. Tällä hetkellä ABB:n sähkömoottoreiden ja generaattoreiden liiketoiminta Suomessa työllistää noin 1520 henkilöä ja maailmanlaajuisesti noin 14 000 henkilöä. [1.]

2 Tahtigeneraattorit

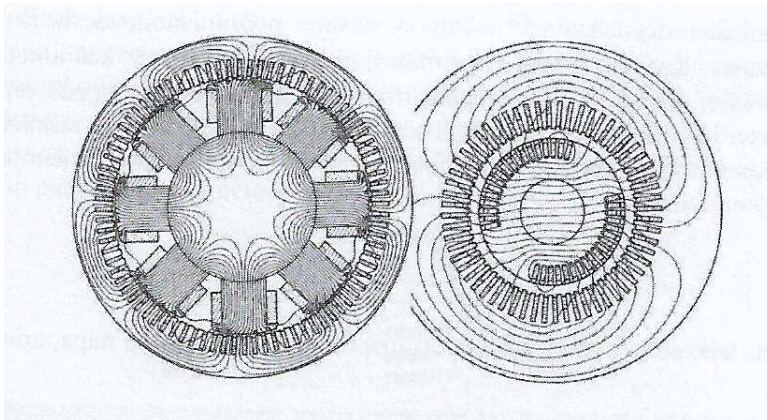
Tahtigeneraattori on vaihtosähkökone, joka muuttaa mekaanisen energian sähköenergiaksi. Tahtikone-nimitys tulee siitä, että koneen roottori pyörii staattorissa pyörivän magneettikentän kanssa samalla nopeudella. [2, s.241.]

2.1 Rakenne

Tahtigeneraattorin rakenne koostuu staattorista ja roottorista. Staattori on suunniteltu periaatteellisesti samankaltaisesti kuin epätahtikone eli kolmivaihekäämitystekniikalla, mutta roottorin käämitys on tasasähköllä magnetoitu tai käytetty kestmagneetteja. Näiden lisäksi siihen kuuluu myös magnetointilaitteisto, jonka rakenne riippuu roottorin magnetointitavasta. [2, s.241.]

Avonapa- ja umpinaparoottorit

Tahtikoneen roottori voi olla joko avonapa- tai umpinaparakenteinen (kuva 1). Avonapaisia roottorirakenteita käytetään usein pyörimisnopeuden ollessa hidas (esimerkiksi vesivoimalaitokset), kun taas umpinapaisia roottorirakenteita käytetään usein nopeissa pyörimisnopeuden omaavissa tilanteissa (esimerkiksi höyry- ja kaasuturbiinilaitoksissa). [2, s.241.]



Kuva 1. Tahtikoneen roottorirakenteet ja magneettikentät, vasemmalla avonapa-, oikealla umpinaparoottori. [3, s.47.]

2.2 Toimintaperiaate

Tahtigeneraattoriin kytketty voimakone pyörittää generaattorin magnetoitua roottorikäymitystä, jolloin syntyy muuttuvaa magneettivuota. Muuttuvat magneettivuoviivat leikkaavat staattorin käämitystä roottorin pyöriessä, jonka ansiosta staattoriin indusoituu sinimuotoinen lähdejännite kaavan 1 mukaisesti [3, s.47.]:

$$E = \frac{2\pi f}{\sqrt{2}} \xi_k N \phi \quad (1)$$

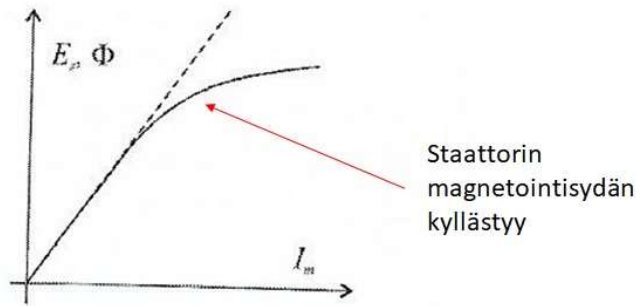
E on käämiin indusoitunut jännitteen tehollisarvo
 f on pyörimistaajuus
 ξ_k on staattorin käämikerroin
 N on käämin kierrosluku
 ϕ on magneettivuo.

Kaavasta 1 voidaan huomata, että tahtigeneraattorista saatava jännite on riippuvainen pyörimistaajuudesta ja magneettivuon suuruudesta. Pyörimistaajuus voidaan laskea kaavan 2 mukaisesti [3, s.48.].

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

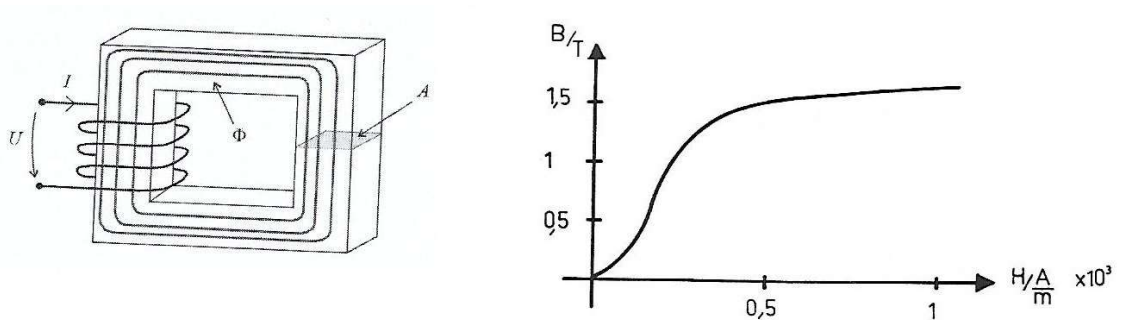
f on pyörimistaajuus
 n_s on tahtigeneraattorin roottorin pyörimisnopeus
 p on tahtigeneraattorin napaparien lukumäärä.

Kaavaa 1 voidaan havainnollistaa tarkemmin kuvan 2 avulla. Kuvasta havaitaan, että pyörimisnopeuden ollessa vakio magnetointivirtaa säätämällä voidaan kasvattaa lähdejännitteen suuruutta [3, s.48]. Lähdejännitteen maksimipiste saavutetaan magneettisydämen kyllästymispisteessä.



Kuva 2. Tahtigeneraattorin staattorin indusoitunut lähdejännite magnetointivirran funktiona. [3, s.48.]

Magneettisydän kyllästy, kun magnetointivirtaa kasvattamalla nostetaan magneettikentän voimakkuutta ja ferromagneettisen aineen alkeisalueiden magneettipartikkelit saadaan järjestykseen [3, s.88]. Ferromagneettisten aineiden, esimerkiksi rauta, permeabiliteetti riippuu aineen magneettivuon tiheydestä [7, s.123]. Permeabiliteetti tarkoittaa aineen kykyä johtaa magneettikenttää [10, s.236].



Kuva 3. Vasemmalla magneettivuon kulkeutuminen rautasydämessä [3, s.87] ja oikealla magneettisydämen kyllästymiskäyrä [7, s.123].

Magneettisydämen kyllästyminen voidaan esittää matemaattisesti kaavojen 3–6 ja kuvan 3 avulla seuraavasti:

$$H = \frac{NI}{l} \quad (3)$$

H on magneettikentän voimakkuus
 N on käämin kierrosten määrä
 I on käämin läpi kulkeva sähkövirta
 l on magneettipiirin pituus.

Rautasydämälle käämille pätee:

$$\phi = \frac{\mu A}{l} NI \quad (4)$$

ϕ on magneettivuo
 μ on aineen permeabiliteetti
 A on magneettivuon kohtaama pinta-ala
 l on magneettiin pituus
 N on käämin kierrosten määrä
 I on käämin läpi kulkeva sähkövirta.

Tiedetään myös, että:

$$B = \frac{\phi}{A} \quad (5)$$

B on magneettivuon tiheys
 ϕ on magneettivuo
 A on magneettivuon kohtaama pinta-ala.

sekä:

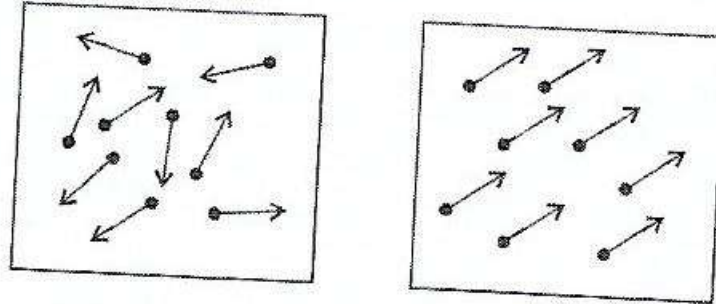
$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H \rightarrow \mu_r = \frac{B}{H \mu_0} \quad (6)$$

B on magneettivuon tiheys
 μ on aineen permeabiliteetti
 μ_0 on tyhjiön permeabiliteetti
 μ_r on aineen suhteellinen permeabiliteetti.

Nostamalla käämin läpi kulkevan sähkövirran suuruutta kaavoissa 3 ja 4 saadaan käämin muodostamaa magneettikenttää suurennettua ja sitä kautta myös magneettivuo kasvaa magneettisydämessä. Kaavasta 5 voidaan päätellä, että magneettivuon kasvaessa myös magneettivuon tiheys kasvaa. Kaavan 6 perusteella huomataan, että magneettisen aineen suhteelliseen permeabiliteettiin vaikuttaa magneettivuon tiheys ja magneettikentän voimakkuus [3, s.87–89].

Magneettikentän voimakkuuden saavuttaessa tietty suuruus, magneettikentässä olevan aineen alkeisalueiden magneettipartikkelit ovat kääntyneet magneettikentän suuntaiseksi (kuva 4), jolloin magneettivuon tiheys ei enää kasva magneettisydämessä ja

rauta on saavuttanut kyllästymistilan [13, s.75]. Suhteellinen permeabiliteetti kertoo kuinka monta kertaa paremmin aine johtaa magneettikenttää kuin tyhjiö (ilma) [10, s.236].



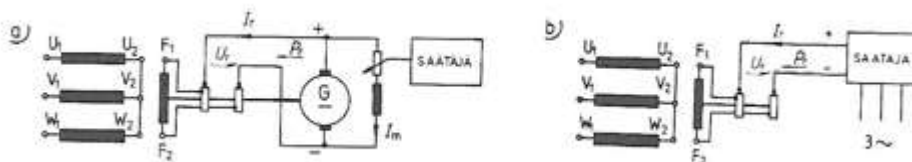
Kuva 4. Raudan magneettipartikkeiden järjestäytyminen alkeisalueilla [3, s.88].

2.3 Magnetointitavat

Tahtigeneraattorien magnetointitapoja on olemassa kahdenlaisia: harjallinen tai harjaton magnetointi. Harjallisissa koneissa magnetointi toteutetaan hiiliharjojen tai liukurenkaiden avulla. Harjattomissa koneissa magnetointi toteutetaan erillisellä vaihtosähkögeneraattorilla. Magnetointia säätää sille tarkoitettu säätöyksikkö. [2, s.247.]

Harjallinen magnetointi ja liukurenkaat

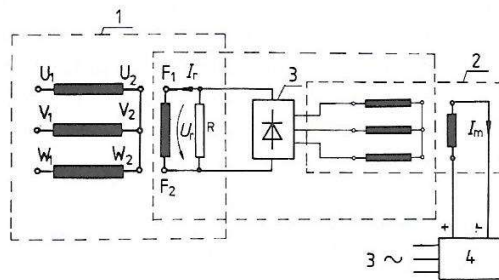
Harjallisessa magnetoinnissa (kuva 5) tahtigeneraattorin roottorin magnetointivirta voidaan ottaa ulkoisesta tasasähkölähteestä tai vaihtosähkölähteestä [2, s.245].



Kuva 5. Harjallisen magnetoinnin periaatekuvat, jossa a) tasasähkögeneraattori koneen roottorissa ja b) vaihtosähkölähteestä. [2, s.245]

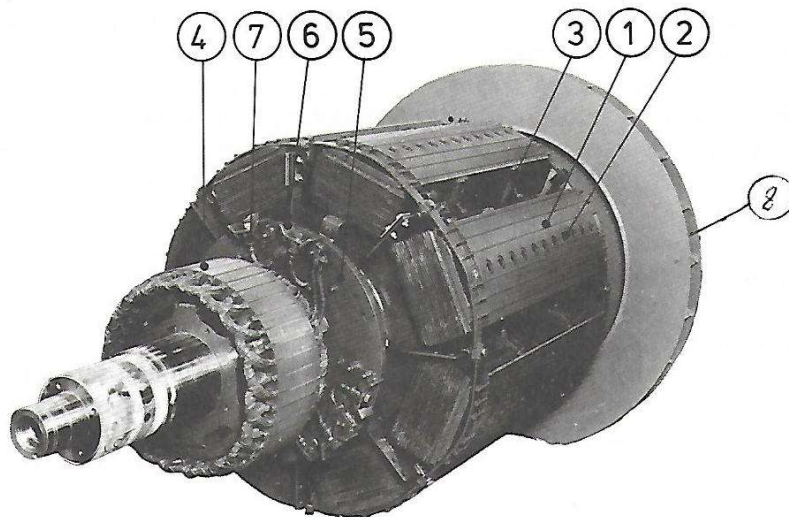
Harjaton magnetointi (apulaitteisto)

Harjattomassa magnetoinnissa (kuva 6) pääkoneen roottorin magnetointivirta saadaan erillisestä vaihtosähkögeneraattorista eli magnetointikoneesta. Pääkoneen roottorin pyöriessä magnetointikoneen staattoriin tuodaan tasavirtaa. Kun roottori pyörii, tämä virta indusoi magnetointikoneen roottoriin vaihtojännitteen, joka tasasuunnataan diodisillan avulla tasasähköksi pääkoneen roottorin magnetoimiseksi. [2, s.247.]



Kuva 6. Harjattoman tahtikoneen magnetointi, jossa 1) pääkone, 2) magnetointikone, 3) diodisilta ja 4) säätäjä. [2, s.246.]

Kuvassa 7 on esitettyä harjattoman tahtigeneraattorin roottorin rakenneosat.



Kuva 7. Harjaton tahtigeneraattorin roottori, jossa 1) magneettinapa, 2) navan kiinnitysruuvi, 3) napakäämin tuki, 4) magnetointikoneen roottori, 5) diodien kannatinrakenne, 6) diodien jäähdytysselementti, 7) diodi ja 8) tuuletin. [2, s.246.]

2.4 Yleisimmät vikatilanteet

Tässä osiossa luetellaan tahtigeneraattoreiden yleisimpiä vikatilanteita normaalikäytössä lähteiden [4, s.374–377] ja [5, s.713–746] perusteella. Kyseinen listaus on valittu koestamon olosuhteisiin suhteutettuna, jossa ylijännite ja -virta johtuvat enimmäkseen generaattorin magnetointisäädön käyttäjästä.

- käämin eristeen pettäminen
- maasulku vaihekäämin ja rungon välillä
- staattorin/roottorin ylikuumentuminen
- ylijännite
- ylivirta
- magnetoinnin säätö (yli- ja alimagnetointi)
- kierrossulku kahden saman vaihejohtimen välillä (harvinainen)
- epäsymmetrinen kuorma.

3 Olemassa olevia reletyyppejä generaattoreiden suojaukseen

3.1 Releiden toimintaperiaate yleisesti

Releet, jotka on tarkoitettu nimenomaan suojaustoimenpiteisiin, toimivat niihin kytkettyjen mittaussuureiden muutosten kautta tarkkailemalla niitä. Otetaan esimerkkinä suoja-rele, joka on asennettu suojaamaan jotain kohdetta ja sille on asetettu jokin tietty toiminta-arvo. Kun suojattavassa kohteessa tapahtuu jokin sähköisen arvon muutos, joka ylittää tai alittaa, riippuu reletyypistä, asetellun toiminta-arvon, rele havahtuu ja antaa käskyn erilliselle toimiyksikölle sulkea tai rajoittaa suojeltavan kohteen toimintaa. Kun sähköisen arvon muutos palaa normaalitoimintatilaan, rele myös palautuu tietyn ajan kulluttua normaalitilaan. Reletyyppejä on kolmenlaisia: sähkömekaanisia, staattisia ja nykyaikaisia mikroprosessorireleitä.

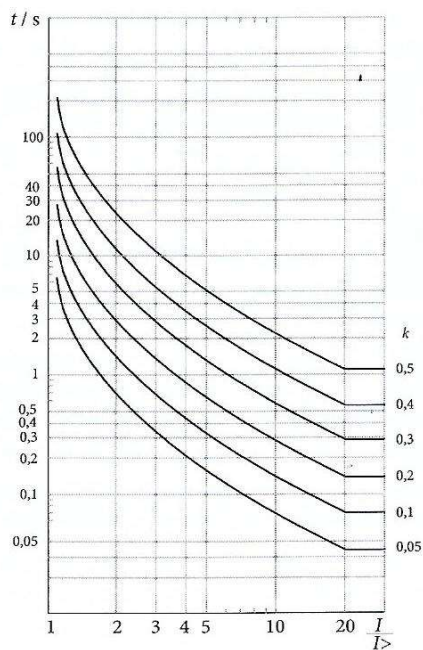
Sähkömekaaniset releet toimivat nimensä mukaisesti sähkömekaanisesti, eli reagoivat esimerkiksi magneettikentän kasvuun virran kasvaessa, joka liikuttaa relettä. Sähkömekaanisia releitä ei enää hankita niiden epätarkkuuden ja koon vuoksi. Staattisissa releissä ei ole mekaanisia osia, vaan ne toimivat puolijohteilla. Näitäkään releitä ei myöskään enää hankita, johtuen niiden herkkyydestä ylijännitteille sekä siitä, että ne tarvitsevat jatkuvasti elektronisten osien korjausta ja huoltoa. Mikroprosessorireleet ovat nimensä mukaisesti mikroprosessoripohjaisia ohjelmoitavia releitä, joissa on monta eri mitta- ja suojausmahdollisuutta. Mikroprosessorireleillä voidaan kätevästi sulauttaa joukko yksittäisiä releitä yhdeksi isoksi releeksi, mutta vaikeutena on asetteluiden ohjelmointi. [4, s.344–345.]

3.2 Ylivirtareleet

Ylivirtarele toimii, kun releen valvoma virran arvo ylittää sille asetellun toiminta-arvon. Ylivirtareleitä on kahdenlaisia, vakioaikaylivirtareleitä sekä käänteisaikaylivirtareleitä. Vakioaikareleissä laukaisuaika on sama eikä muutu virran suuruuden mukaan, käänteisaikareleissä taas voidaan säätää laukaisuaikaa havahtumisvirran mukaan. [4, s.346.]

Vakioaikaylivirtarele havahtuu mitattavan virran ylittäessä asetteluarvon ja toimii tietyn asetteluajan kuluessa. Rele palautuu normaalitilaan, kun mitattava virran arvo on laskeutunut riittävästi asetteluarvosta. Ylivirtareleissä on kaksi porrasta, aikalaukaisu $I >$ ja hetkellislaukaisu $I >>$. Portailta voidaan vaikuttaa laukaisuasetteluiden nopeuteen. [6.]

Käänteisaikaylivirtareleen toimintahidastus on virtaan nähden käänteinen eli rele laukaisee suurivirtaiset viat nopeammin kuin pienivirtaiset. Käänteisvaikutuksen jyrkkyys voidaan valita IEC 60255-3 -standardin mukaisilta standardikäyryiltä, jota havainnollistaa kuva 8.



Kuva 8. Käänteisaikaylivirtareleen käyrät. Kuvassa VERY INVERSE – käyrät. Pystyakselilla laukaisuaika, vaakakselilla vikavirran ja havahtumisasetteluvirran suhde. k on aikakerroin. [4, s.347]

Taulukko 1. IEC 60255-3 -standardin mukaiset parametrit käyrien jyrkkyyksille. [4, s.347.]

Käyrän jyrkkyys	A	p
NORMAL	0,14	0,02
VERY INVERSE	13,5	1
EXTREMELY INVERSE	80	2
LONG TIME INVERSE	120	1

Laukaisuaika käänteisaikaylivirtareleelle voidaan laskea kaavalla 7 sekä käyttämällä taulukon 1 mukaisia kertoimia [4, s.346].

$$t_{TRIP} = \frac{Ak}{\left(\frac{I}{I_>}\right)^p} \quad (7)$$

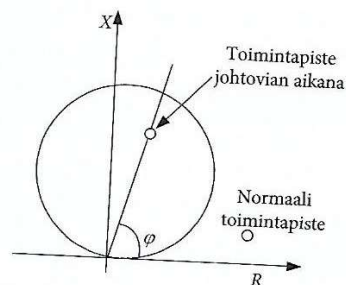
I on verkon vikavirta
 $I_>$ on releelle aseteltu havahtumisvirta
 A ja p ovat kertoimia
 k on aikakerroin, joka löytyy kuvasta 8.

3.3 Yli- ja alijännitereleet

Yli- ja alijännitereleet mittaavat nimensä mukaisesti jännitteen arvoa. Kun jännitteen arvo ylittää tai alittaa asetetun arvon releessä, rele havahtuu ja antaa käskyn eteenpäin ohjausyksikölle jatkotoimista. Ylijännitereleissä on yleensä kolme porrasta, aikalaukaisuporras $U_>$ ja hetkellislaukaisuporrast $U_>>$ sekä $U_>>>$. [6.]

3.4 Distanssireleet

Distanssireleet perustuvat laskettuun impedanssin suuruuteen. Distanssirele laskee suojattavan kohteen impedanssin ja vian suunnan virran ja jännitteen arvoilla sekä näiden vaihesiirtokulman avulla [4, s.348]. Distanssireleen asettelussa käytetään ympyräkuviosta RX-koordinaatistoa (kuva 9), jonka avulla releelle voidaan asettaa toimintalueita. Distanssirele toimii silloin, kun lasketun impedanssin suuruus osuu tietylle asettelualueelle [16, s.208].



Kuva 9. Ympyräkuvioiden distanssireleen toimintadiagrammi RX-koordinaatistossa [4, s.350].

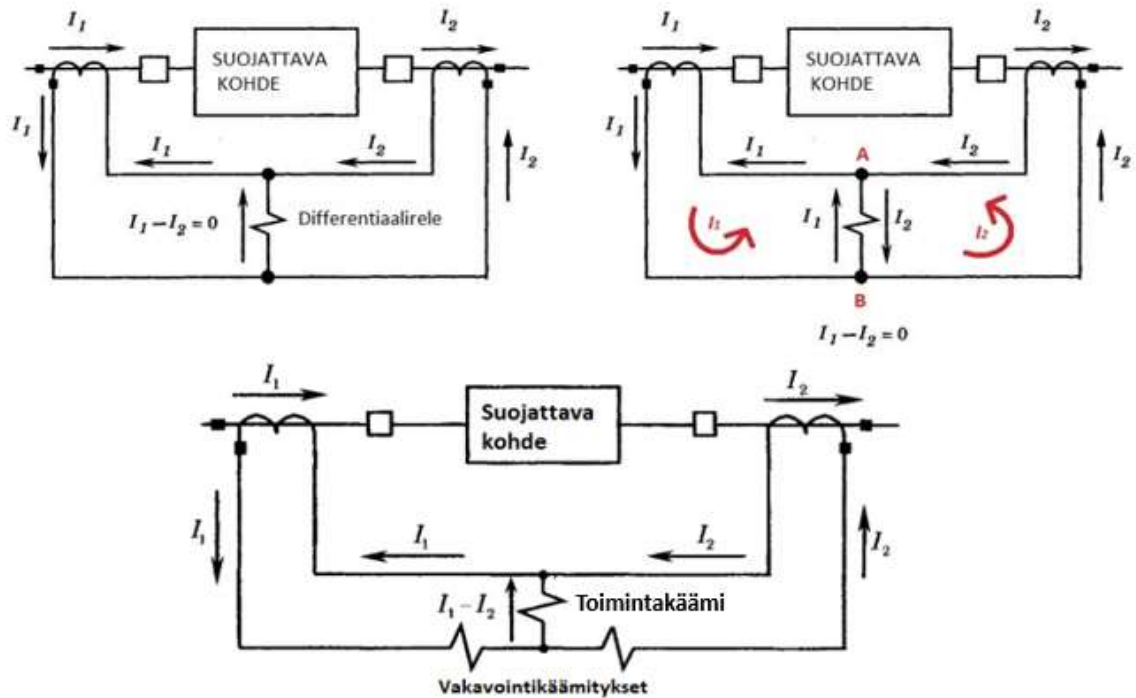
3.5 Taajuusreleet

Taajuusreleet valvovat generaattorin syöttämän vaihtojännitteen taajuutta ja toimii, kun taajuusarvo poikkeaa releelle asetellusta arvosta. Porrasmerkinnät taajuusreleille ovat yleensä ylitaajuus $f >$ ja alitaajuus $f <$. [6.]

3.6 Differentiaalireleet

Differentiaalireleen toiminta perustuu kahden eri pisteen mittaamiseen suojattavasta kohteesta virtamuuntajien avulla. Rele mittaa suojattavan kohteen mitatuista pisteistä saapuvan sähkövirran sekä lähtevän sähkövirran suuruudet ja vertailee niitä toisiinsa Kirchhoffin virtalain perusteella eli solmupisteeseen saapuvien virtojen summan täytyy olla nolla, jota havainnollistaa kuva 10. Jos kaikki on hyvin suojattavalla kohteella, virtojen suuruudet tulisi olla samat ja laskusta pitäisi tulla nolla. Vikatilanteissa virtojen suuruudet eivät ole samat, koska osa saapuvasta sähkövirrasta voi kiertää esimerkiksi eristeaurion kautta maahan, jolloin differentiaalireleen kautta kulkevien virtojen erotuksesta tulee jokin muu kuin nolla, jolloin rele havaitsee tämän muutoksen ja antaa laukaisukäskyn katkaisijoille, jotka katkaisevat sähkönsyötön suojattavasta kohteesta. Laukaisukäskyn antaminen differentiaalireleessä riippuu releen asetteluarvoista. [5, s.70–71.]

Differentiaalireleiden käyttöönottamisessa tulee kiinnittää suurta huomiota virtamuuntajien valintaan, jotta virtamuuntajista saataisiin tarpeeksi tarkat mittauservat differentiaalireleelle. Virtamuuntajan mittaustarkkuuteen voivat vaikuttaa esimerkiksi valmistusvirheet [5, s.71].



Kuva 10. Differentiaalireleen toimintaperiaate, ylhäällä vasemmalla yleiskuva, oikealla Kirchhoffin virtalain avulla esitetty toimintaperiaate ja alhaalla vakavoitu versio. [5, s.70].

Suojattavan kohteen ulkopuolisten vikojen aiheuttamat turhat laukaisut voidaan eliminoida käyttämällä vakavoitua differentiaalirelettä (kuva 10). Vakavoidussa differentiaalireleessä on toimintakäämin lisäksi vakavointikäämitys, joka pyrkii sähkömagneettisesti vastustamaan releen toimintakäämin ohjaaman laukaisukoskettimen sulkeutumista. [5, s.70.]

Vakavoidun differentiaalireleen käämityksien merkityksellä releen toiminnan kannalta on se, että vikatilanteessa toimintakäämi pyrkii sulkemaan releen laukaisukoskettimen, kun taas vakavointikäämitys pyrkii avaamaan laukaisukoskettimen. Normaalitilanteessa mitatut virrat kulkevat vakavointikäämityksien läpi, ja jos niiden läpi kulkevat virrat ovat samansuuruisia, ne kumoavat toisensa eikä toimintakäämin läpi kulje virtaa. Vikatilanteessa vakavointikäämityksien läpi kulkevat virrat ovat erisuuruisia, mikä aiheuttaa sen, että toimintakäämin läpi kulkee nyt virtaa. Jotta rele laukaisisi vikatilanteessa, toimintakäämin läpi kulkevan virran tulee olla suurempi kuin vakavointikäämityksien läpi kulkevan virran, eli toisin sanoen toimintakäämin läpi kulkevan virran aiheuttaman sähkömag-

neettisen vaikutuksen tulee olla suurempi kuin vakavointikämmityksen läpi kulkevan virran aiheuttaman sähkömagneettisen vaikutuksen, joita havainnollistavat kaavat 8 ja 9. [5, s.70–71.]

Normaalissa ja vakavoidussa differentiaalireleessä toimintakäämin läpi kulkeva virta, toiselta nimeltään erovirta, lasketaan kaavalla 8 [5, s.70–71].

$$I_d = I_1 - I_2 \quad (8)$$

I_d on erovirta
 I_1 on ensimmäinen mitattava virta
 I_2 on toinen mitattava virta.

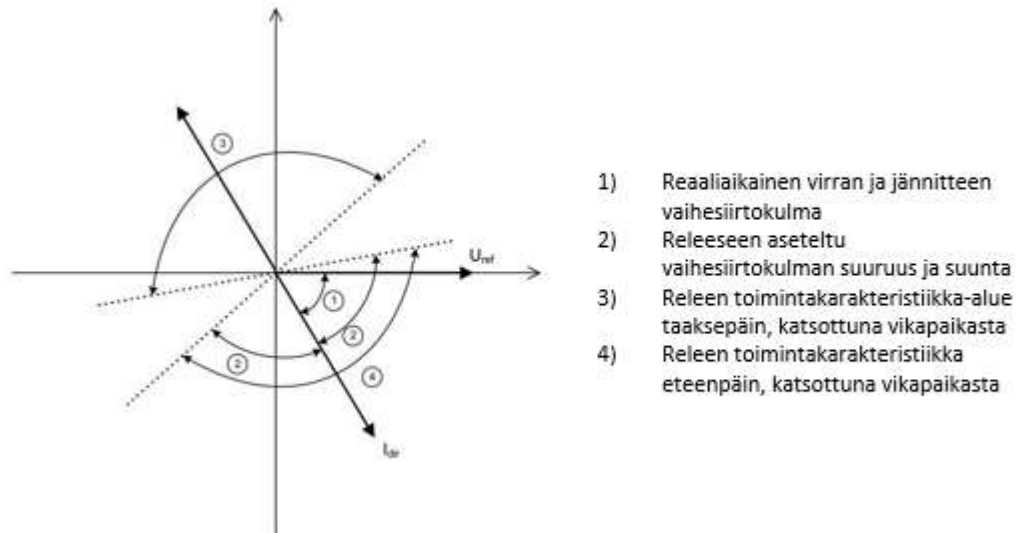
Vakavoidussa differentiaalireleessä vakavointikämmityksen virta, toiselta nimeltään vakavointivirta, lasketaan kaavalla 9 [5, s.70–71].

$$I_v = \frac{I_1 + I_2}{2} \quad (9)$$

I_v on vakavointivirta
 I_1 on ensimmäinen mitattava virta
 I_2 on toinen mitattava virta.

3.7 Suunta- ja tehoreleet

Suuntareleet mittaavat sähkövirran ja jännitteen välisen vaihesiirtokulman suuntaa ja suuruutta ja vertaavat sitä releeseen asetettuun virta- tai jännitereferenssiin (kuva 11). Suuntarele havahtuu, kun vaihesiirtokulma on asetellulla alueella. Tehorele mittaa generaattorin syöttävän tehon suuntaa ja niitä käytetään generaattorisuojauksessa moottori-käytön havaitsemiseen. [5, s.57; 15, s.33–34.]



- 1) Reaaliaikainen virran ja jännitteen vaihesiirtokulma
- 2) Releeseen aseteltu vaihesiirtokulman suuruus ja suunta
- 3) Releen toimintakarakteristiikka-alue taaksepäin, katsottuna vikapaikasta
- 4) Releen toimintakarakteristiikka eteenpäin, katsottuna vikapaikasta

Kuva 11. Suuntareleen toimintakarakteristiikkaesimerkki. [14, s.195.]

3.8 Epäsymmetriareleet

Epäsymmetriareleitä, esimerkiksi vastakomponenttirelettä, käytetään generaattorin epäsymmetrian havaitsemiseen. Vastakomponenttirele havaitsee staattorissa niin sanotun vääransuuntaisen virtakomponentin, jonka avulla se havahtuu. [5, s.726–727.]

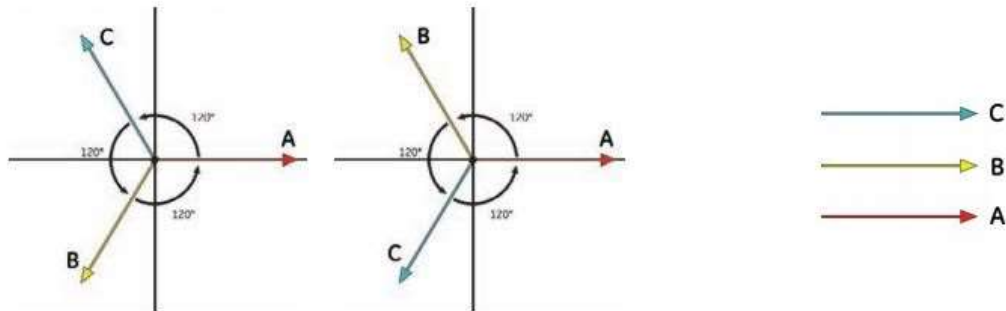
Kolmivaihejärjestelmissä vääransuuntaiset virtakomponentit eli vastakomponentit aiheuttavat pyörivissä koneissa vastakkaissuuntaisen magneettivuon, joka vastustaa koneen päävuota [9, s.446].

Epäsymmetrinen järjestelmä voidaan jakaa kolmeen symmetriseen komponenttiin jännitteelle ja virralle [11; 9]:

- positiiviset komponentit (myötäkomponentit)
- negatiiviset komponentit (vastakomponentit) ja
- nollakomponentit.

Myötäkomponentteja esiintyy symmetrisissä järjestelmissä, vastakomponentteja sekä nollakomponentteja epäsymmetrisissä järjestelmissä. Nollakomponentteja esiintyy vain,

jos kolmivaihejärjestelmä on maadoitettu tähtipisteestä [9, s.420]. Kuvassa 12 myötäkomponenttien vaihejärjestys on A-B-C ja vaihekulmat ovat 120 astetta, vastakomponenteilla taas vaihejärjestys on A-C-B ja vaihekulmat ovat 120 astetta. Nollakomponentit ovat samanvaiheisia keskenään. [11; 9.]



Kuva 12. Kolmivaihejärjestelmän komponentit, vasemmalla myötäkomponentit, keskellä vastakomponentit ja oikealla nollakomponentit. [11.]

3.9 Tahdistusreleet

Tahdistusreleitä käytetään silloin, kun generaattori halutaan liittää sähköverkkoon, jossa on jo muita generaattoreita. Jotta tahdistusrele toimisi, on ehdoiksi määritelty [2, s.265], että

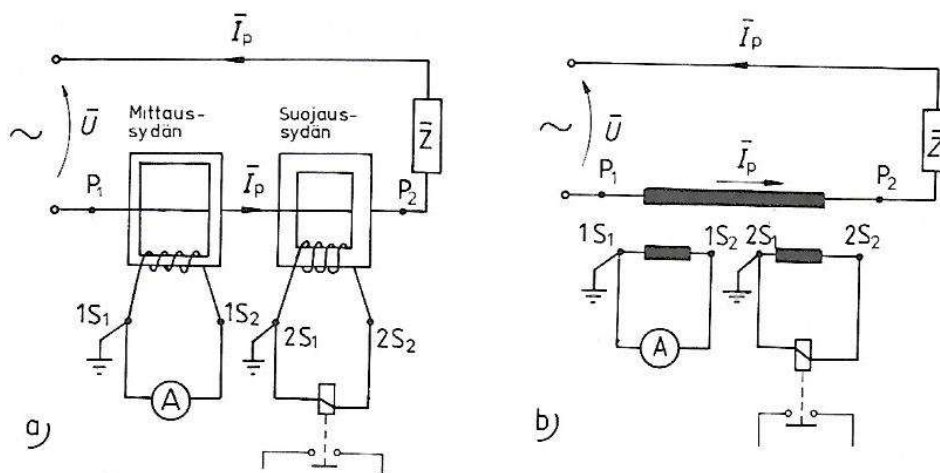
- generaattorin ja sähköverkon erottavan katkaisijan molemmin puolin olevien jännitteiden arvon on oltava lähes yhtä suuret
- jännitteiden vaihekulmien on oltava samat
- jännitteiden taajuuksien on oltava samat ja
- generaattoreiden vaihejärjestyksen pitää olla samat.

4 Mittamuuntajien tehtävä relesuojauksessa

Mittamuuntajia käytetään silloin, kun ei voida normaalitilanteissa mitata suoramittauksena sähköisiä arvoja. Mittamuuntajilla voidaan muuntaa mitattava sähkösuure sopivan suuruiseksi esimerkiksi releille, jotka kestävät vain pieniä jännitteitä ja virtoja.

4.1 Virtamuuntaja mittamuuntajana

Virtamuuntaja koostuu ensiö- ja toisiokäämityksestä. Toisiokäämityksiä voi olla useampia kuin yksi, mitä havainnollistaa kuva 13, eli virtamuuntajaa voidaan käyttää sekä mittaukseen että suojaukseen samanaikaisesti. Tärkein tehtävä virtamuuntajilla on toistaa vikavirtoja mahdollisimman tarkasti suojalaitteille. [2, s.103–107.]

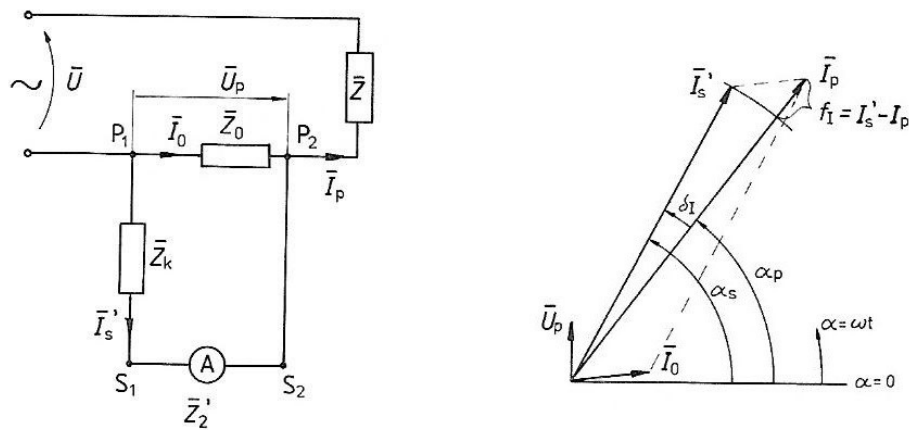


Kuva 13. Kaksisydämisen virtamuuntajan rakenne, jossa a) periaatteellinen rakenne ja b) kytkentä. [2, s.106.]

Mittaukseen käytettävää rautasydäntä kutsutaan mittausydämeksi ja suojaukseen käytettävää suojausydämeksi. Mittauskäämille ominaista on hyvä tarkkuus ja rautasydämen nopea kyllästyminen. Tämä johtuu siitä, että mittauskäämin tehtävänä on myös suojata sen toisioliittimiin kytkettyjä mittareita. Suojuskäämin rautasydämelle ominaista on suuri kyllästymispiste, johtuen siitä, että suojauskäämin täytyy toimittaa riittävän tarkka arvo mittausarvosta suojausreleille, joka varmistaa releiden toimimisen oikein. [2, s.103–107.]

Virtamuuntajan mittaustarkkuuteen vaikuttavat seuraavat tekijät.

Virtamuuntajan mittausrvirheet voidaan jakaa kahteen eri virheeseen, virtavirheeseen ja kulmavirheeseen, joita havainnollistaa kuva 14. Kuvasta havaitaan, että tyhjäkäyntivirta I_0 aiheuttaa virtamuuntajan virheet, koska ensiöön redusoitu toisiovirta ei ole sama kuin ensiöpiirin virta, johtuen niiden itseisarvojen sekä vaihekulmien eroavaisuuksista. [2, s.104–105.]



Kuva 14. Tyhjäkäyntivirran aiheuttamat virheet virtamuuntajan tarkkuuteen. Vasemmalla virtamuuntajan sijaiskytkentä, oikealla osoitinpiirros. [2, s.104.]

Virtavirhe voidaan laskea kaavalla 10. [2, s.105.]

$$f_I = 100 \frac{I'_s - I_p}{I_p} \% \quad (10)$$

f_I on virtavirhe
 I'_s on ensiöön redusoitu toisiovirta
 I_p on ensiövirta.

Kulmavirhe eli ensiöön redusoidun toisiovirran ja ensiövirran vaihekulmien ero lasketaan kaavalla 11 [2, s.105]. Kulmavirhe ilmoitetaan kulmaminuutteina. Kulmaminuutti tarkoittaa 1/60-osaa asteesta [12].

$$\delta_l = \alpha_s - \alpha_p \quad (11)$$

δ_l on kulmavirhe

α_s ensiöön redusoidun toisiovirran vaihekulma

α_p ensiövirran vaihekulma.

Virtamuuntajan mittaussydämille ja suojaussydämille määritetään virheiden maksimiarvot, joita havainnollistavat taulukko 2. Taulukossa ylemmän taulukon virherajat pätevät mittaussydämen tarkkuusluokituksille 0,1–1 taakan ollessa 25–100 % nimellistaakasta sekä tarkkuusluokituksille 3 ja 5 taakan ollessa 50–100 % nimellistaakasta ja alemman taulukon virherajat pätevät suojaussydämille silloin, kun ensiövirta ja taakka ovat nimellisiä. [2, s.105.]

Nimellistaakka tarkoittaa suurinta kuormitusimpedanssia, jolla virtamuuntajaa voidaan kuormittaa ja virtamuuntaja pysyy luvutulla tarkkuusluokituksella. Nimellistaakka ilmoitetaan näennäistehona, joka voidaan laskea kaavalla 12. [2, s.105]

$$S_n = I_{sn}^2 Z_{2n} \quad (12)$$

S_n on nimellistaakka

I_{sn} on toisioin nimellisvirta

Z_{2n} on toisioin nimelliskuormitusimpedanssi eli todellinen nimellistaakka

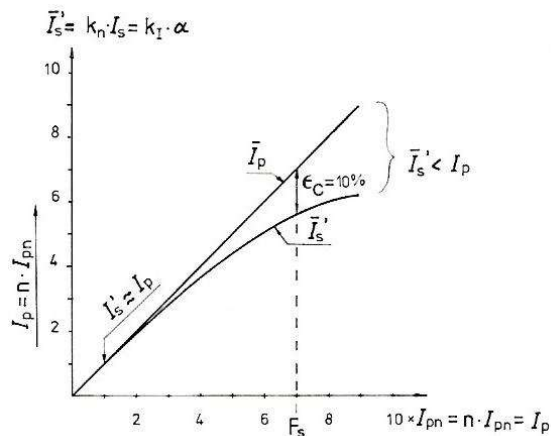
Taulukko 2. Virtamuuntajan mittaussydämen tarkkuusluokat (ylempi taulukko), jossa a on taakan prosentuaalinen osuus nimellistaakasta ja suojaussydämelle määritellyt sallitut virherajat (alempi taulukko). [2, s.105–106.]

Virtamuuntajan tarkkuusluokka	$\pm f_1/\%$					$\pm \delta_l/^\circ$			
	$I_p = a \times I_{pn}$					$I_p = a \times I_{pn}$			
	$a = 0,1$	0,2	0,5	1,0	1,2	$a = 0,1$	0,2	1,0	1,2
0,1	0,25	0,2		0,1	0,1	10	8	5	5
0,2	0,5	0,35		0,2	0,2	20	15	10	10
0,5	1,0	0,75		0,5	0,5	60	45	30	30
1	2,0	1,5		1,0	1,0	120	90	60	60
3			3,0						
5			5,0		5,0				

Virtamuuntajan tarkkuusluokka	$\pm f_1/\%$	$\pm \delta_l/^\circ$
	$I_p = I_{pn}$ ja $S = S_n$	$I_p = I_{pn}$ ja $S = S_n$
5 p	1	60
10 p	3	—*)

Mittarivarmuuskerroin ja tarkkuusrajakerroin

Kuten jo aikaisemmin mainittiin, mittaussydämen tehtävänä on mittauksen lisäksi suojella siihen kytkettyjä mittareita ylivirroilta. Tämän takia mittaussydän suunnitellaan niin, että kohtuullisen suuri ensiövirta kyllästäisi rautasydämen ylivirtatilanteessa ja toisiopiirin virta ei enää kasvaisi vaarallisen suureksi. Tätä havainnollistaa kuva 15. Tästä ominaisuudesta käytetään nimitystä mittarivarmuuskerroin F_s , joka ilmoittaa kuinka moninkertaisella ensiön nimellisvirralla yhdistetty virhe eli ensiöön redusoidun toisiovirran eroavaisuus ensiövirrasta on vähintään 10 %. Mitä pienempi varmuuskerroin on, sitä paremmin virtamuuntaja suojaa siihen kytkettyjä mittalaitteita. [2, s.107.]



Kuva 15. Mittarivarmuuskertoimen F_s määrittäminen sekä rautasydämen kyllästyminen [2, s.107].

Suojaussydämen käämin tehtävänä on toistaa riittävän tarkasti mitta-arvoja suojalaitteille kyllästyttä suurillakaan ylivirroilla. Tästä ominaisuudesta käytetään nimityksiä tarkkuusrajakerroin ja tarkkuusrajavirta. Tarkkuusrajakerroin tarkoittaa tarkkuusrajavirran ja nimellisensiövirran suhdetta, joka voidaan laskea kaavalla 13. [2, s.107.]

$$k_t = \frac{I_{pt}}{I_{pn}} \quad (13)$$

k_t on tarkkuusrajakerroin
 I_{pt} on tarkkuusrajavirta
 I_{pn} on nimellisensiövirta.

Tarkkuusrajavirta on ensiövirran arvo, jolla yhdistetyn virheen suuruus on enintään 5 % suojaussydämen luokitukselle 5P ja 10 % luokitukselle 10P. Suojaukseen käytettävän virtamuuntajan luokituksia merkitään esimerkiksi 5P15 tai 10P15, jotka tarkoittavat, että yhdistetyn virheen suuruus on 15-kertaisella ensiövirran nimellisarvolla enintään 5 % tai 10 %. Yhdistetyn virheen suuruus voidaan laskea kaavalla 14. [2, s.107.]

$$\epsilon_c \approx \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{I_{pn}}{I_{sn}} x i_s - i_p \right)^2 dt} \approx 100 \frac{I_0}{I_p} \quad (14)$$

ϵ_c on yhdistetty virhe
 I_0 on tyhjäkäyntivirta
 I_p on ensiövirran tehollisarvo
 I_{pn} on nimellisensiövirta
 I_{sn} on nimellistoisiovirta
 i_s on toision hetkellisarvo
 i_p on ensiön hetkellisarvo
 T on jakson aika.

Tärkeimmät kilpiarvot

Virtamuuntajan tärkeimmät kilpiarvot ovat standardin IEC 60044-1 perusteella seuraavat [8.]:

- Terminen mitoitusvirta I_{th} . Tarkoittaa suurinta ensiövirtaa, jonka virtamuuntaja kestää 1 s ajan termisesti vahingoittumatta toisiokäämit oikosuljettuina.
- Dynaaminen mitoitusvirta I_{dyn} . Ilmoittaa, kuinka suuren ensiössä kulkevan virran aiheuttamat voimat virtamuuntaja kestää vahingoittumatta toisiokäämit oikosuljettuina.
- Eristystaso. Tarkoittaa virtamuuntajan eristeiden jännitekestoisuutta tietyllä ylijännitteellä.
- Nimellisjännite. Tarkoittaa jännitetasoa, jossa virtamuuntajaa on tarkoitus käyttää.
- Mitoitustaajuus. tarkoittaa taajuutta, jossa virtamuuntajaa on tarkoitus käyttää.
- Mitoitusensiövirran I_{pn} standardiarvoja ovat 10 – 12,5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 A. Alleviivatut arvot suositeltuja.
- Virta-alueen laajennuskerroin ext %. Tarkoittaa kerroinarvoa, jonka avulla määritetään suurin ensiövirran arvo, jolla virtamuuntajaa voidaan ylikuormittaa, jolla lämpenemät eivät ylitä annettuja arvoja.
- Mitoitustoisiovirta I_{sn} . Tarkoittaa toisiovirran arvoa, standardiarvoja 1 A, 2 A ja 5 A.

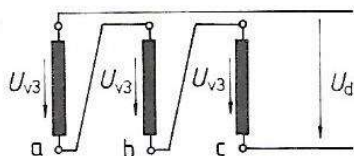
- Mitoitustaakka S_n . Tarkoittaa suurinta kuormitusimpedanssia, jolla virtamuuntajaa voidaan kuormittaa kyseessä olevassa tarkkuusluokassa. Ilmoitetaan näennäistehona. Standardiarvoja ovat 2,5 – 5 – 10 – 15 ja 30 VA.
- Tarkkuusluokka. Ilmaisee, kuinka paljon virtamuuntajan toisiovirta saa heittää annetuista nimellisarvoista.
- Mittarivarmuuskerroin tai tarkkuusrajakerroin.

4.2 Jännitemuuntaja mittamuuntajana

Jännitemuuntaja koostuu ensiö- ja toisiokäämityksestä ja ne ovat yksivaiheisia. Jännitemuuntajatyyppejä on kahta erilaista, induktiivisia ja kapasitiivisia. Kuten virtamuuntajat, jännitemuuntajat jaetaan myös mittaus- ja suojausmuuntajatyypeiksi.

Jännitemuuntajissa on yleensä vain yksi toisiokäämitys, jolla voidaan toteuttaa sekä mittaus- että suojaustoiminnot. Suojuskäämiä voidaan käyttää sekä suojaukseen että mittaukseseen mutta avokolmiokäämiä ei. Avokolmiokäämitys tarkoittaa käämistä, joka kytetään kolmioon, mutta yksi kolmion kulmista jätetään auki (kuva 16) ja avonaisesta kulmasta voidaan mitata maasulkuja. [8]

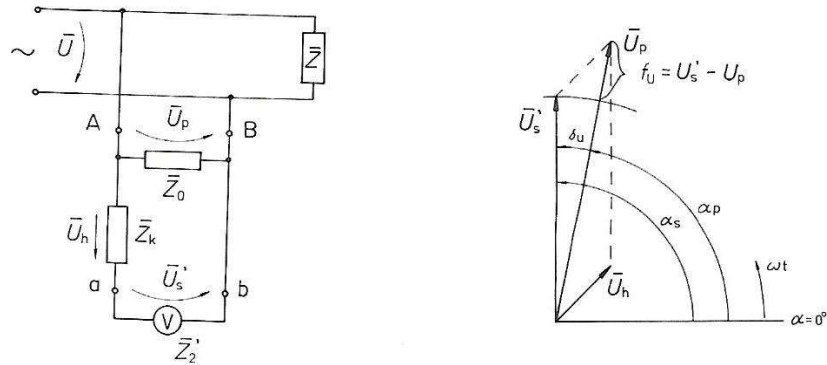
Maasulkuja mitattaessa avokolmiosta induktiivisella jännitemuuntajalla voi verkon kapasitiivisen ja jännitemuuntajan epälineaarisen induktiivisen reaktanssin välille syntyä resonanssi, toiselta nimeltään ferroresonanssi, ja se voi syntyä vain, jos piirissä on rautasydäminen käämitys. Ferroresonanssissa induktiivinen reaktanssi vastaa kapasitiivista reaktanssia eli virtaa vastustava vaikutus on lähes olematon, joka johtaa virran ja jännitteen kasvamiseen hallitsemattomasti reaktanssien muodostamalla resonanssitaajuudella. Resonanssitilannetta voidaan hallita asentamalla vaimennusvastus avokolmion rinnalle. [24.]



Kuva 16. Avokolmiokäämityksen kytkentä. [2, s.64.]

Jännitemuuntajan mittaustarkkuuteen vaikuttavat seuraavat tekijät.

Jännitemuuntajan mittausrvirheet voidaan jakaa kahteen eri virheeseen, jännitevirheeseen ja kulmavirheeseen, joita havainnollistaa kuva 17. Kuvasta havaitaan, että jännitehäviö U_h aiheuttaa jännitemuuntajan mittausrvirheet, koska ensiöön redusoidun toisiojännitteen pitäisi olla samansuuruinen ensiojännitteen kanssa. [2, s.121.]



Kuva 17. Jännitemuuntajan virheiden havainnollistaminen. Vasemmalla jännitemuuntajan si-jaiskytkentä, oikealla osoitinpiirros. [2, s.121 – 122.]

Jännitevirhe voidaan laskea kaavalla 15. [2, s.121.]

$$f_U = 100 \frac{U_s' - U_p}{U_p} \% \quad (15)$$

f_U on jännitevirhe

U_s' on ensiöön redusoitu toisiojännite

U_p on ensiön jännite.

Kulmavirhe voidaan laskea toisiopiirin redusoidun jännitteen ja ensiöpiirin jännitteen vaihekulmien erotuksella kaavalla 16, ja se ilmoitetaan kulmaminuutteina. [2, s.122.]

$$\delta_U = \alpha_s - \alpha_p \quad (16)$$

δ_U on kulmavirhe

α_s on toisiopiirin redusoidun jännitteen vaihekulma

α_p on ensiöpiirin jännitteen vaihekulma.

Mittaukseen tarkoitetuille jännitemuuntajille pätevät sallitut virherajat taulukossa 3 vasemmalla ja ne pätevät, kun jännite on 80–120 % nimellisjännitteestä ja taakka on 25–100 % nimellistaakasta. Suojaukskäämille pätevät mittaukskäämille sallittujen virherajojen lisäksi taulukossa 3 oikealla määritellyt sallitut virherajat. [2, s.128.]

Nimellistaakka lasketaan kaavalla 17. [2, s.123.]

$$S_n = \frac{U_{sn}^2}{Z_{2n}} \quad (17)$$

S_n on nimellistaakka

U_{sn} on toisioson nimellisjännite

Z_{2n} on toisioson kuormitusimpedanssi eli varsinainen nimellistaakka.

Taulukko 3. Jännitemuuntajan mittaukskäämin sallitut virherajat (vasemmalla) ja suojauskäämin ja avokolmiokäämin sallitut virherajat (oikealla). [2, s.122.]

Jännitemuuntajan tarkkuusluokka	$\pm f_U / \%$	$\pm \delta_U /$
0,1	0,1	5
0,2	0,2	10
0,5	0,5	20
1	1,0	40
3	3,0	—

Luokka	Jännitevirhe $\pm \%$	Kulmavirhe $\pm \text{min}$
3P	3,0	120
6P	6,0	240

Tärkeimmät kilpiarvot

Jännitemuuntajan tärkeimmät kilpiarvot ovat standardin IEC 60044-2 perusteella seuraavat [8.]:

- Eristystaso. Tarkoittaa jännitemuuntajan jännitekestoisuutta eli jännitemuuntajan eristeen kestämistä tietyllä ylijännitteellä.
- Mitoitustaajuus. Tarkoittaa taajuuden arvoa, jossa jännitemuuntajaa voidaan ja on tarkoitus käyttää.
- Mitoitusensiöjännite U_{pn} . Tarkoittaa ensiöjännitteen arvoa, jossa jännitemuuntajaa on tarkoitus käyttää, mitattaessa pääjännitettä merkataan pääjännitteenä, mitattaessa esimerkiksi vaihejännitettä merkataan $U_{pn} \cdot \sqrt{3}$.
- Mitoitusjännitekerroin. Mitoitusjännitekertoimen ja mitoitusensiöjännitteen tulo ilmoittaa suurimman ensiöjännitteen, jolla jännitemuuntajaa on voitava käyttää tietyn ajan ja jännitemuuntaja pysyy tarkkuusluokassaan.

- Mitoitustoisiojännite U_{sn} . Tarkoittaa toisiojännitteen arvoa, jonka mukaan mittarit ja suojalaitteet valitaan, Suomessa yleisesti käytössä 100 V, merkkaus tapahtuu ensiökäämin kytkennän perusteella (taulukko 4).
- Mitoitustaakka S_n . Pienin kuormituksen impedanssi, jolla jännitemuuntajaa voidaan kuormittaa kyseessä olevassa tarkkuusluokassa. Ilmoitetaan näennäistehona, standardiarvoja ovat 10 – 15 – 25 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 400 – 500 VA.
- Tarkkuusluokka. Ilmaisee, kuinka paljon jännitemuuntajan toisiojännite saa heittää annetuista nimellisarvoista.
- Muuntosuhde. Jännitemuuntajan ensiöjännitteen suhde toisiojännitteeseen.

Jännitemuuntajan muuntosuhdetta merkitään mitoitusensiöjännitteen, -toisiojännitteen ja jännitemuuntajan ensiökäämin kytkentätavan perusteella [8.]:

- Pääjännitteen mittaus ja toisiossa mittauskäämi $\rightarrow U_{pn} | U_{sn}$.
- Yhden vaiheen mittaus maan väliltä ja toisiopuolella mittaus- ja avokolmiokäämi $\rightarrow U_{pn} / \sqrt{3} | U_{sn} / \sqrt{3} | U_{sn} / 3$.
- Verkon tähtipisteen ja maan välinen mittaus sekä toisiopuolella suojauskäämi $\rightarrow U_{pn} / \sqrt{3} | U_{sn}$.

Taulukossa 4 on havainnollistettu jännitemuuntajien kilpiarvomerkitöjä.

Taulukko 4. Mitoitustoisiojännitteen kilpiarvomerkitöjä, joista alleviivatut arvot Suomessa yleisesti käytössä. [8.]

	Ensiökäämi kytketty kahden vaiheen väliin tai verkon tähtipisteen ja maan väliin.	Ensiökäämi kytketty vaiheen ja maan väliin
Mittaus- ja suojauskäämeille	<u>100 V</u> , 110 V ja 200 V	<u>100/√3 V</u> , 110 /√3 ja 200 /√3 V
Avokolmiokäämille		<u>100/3 V</u> , 110 /3 ja 200/3 V

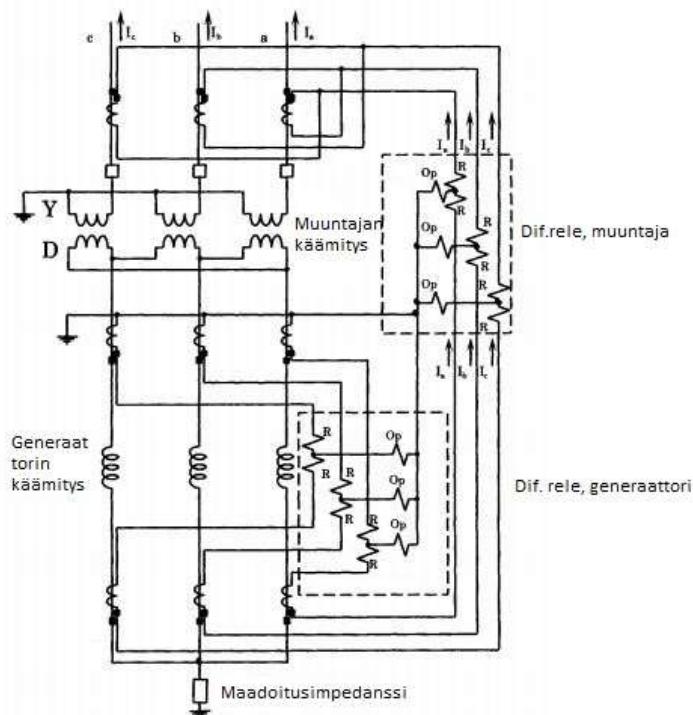
5 Generaattorin suojaustapoja

5.1 Staattorin suojaus

Tässä osiossa kerrotaan tahtigeneraattorin staattorin suojaukseen liittyviä toimenpiteitä ja suojauksessa käytettäviä suojauslaitteita.

Staattorin oikosulkusuojaus

Staattorin oikosulkusuojaus toteutetaan pääsääntöisesti differentiaalireleillä (kuva 18), ja toissijaisena suojana toimii ylivirtarele. Differentiaalireleellä voidaan havaita kolmivaiheiset oikosulut, kahden vaiheen väliset oikosulut, kahden vaiheen väliset maasulut sekä joitain maasulkuja. Staattorin oikosulut kehittyvät yleensä maasuluiksi, ja riippuen generaattorin maadoitustavasta, differentiaalirele ei havaitse niitä. [5, s.716–717.]

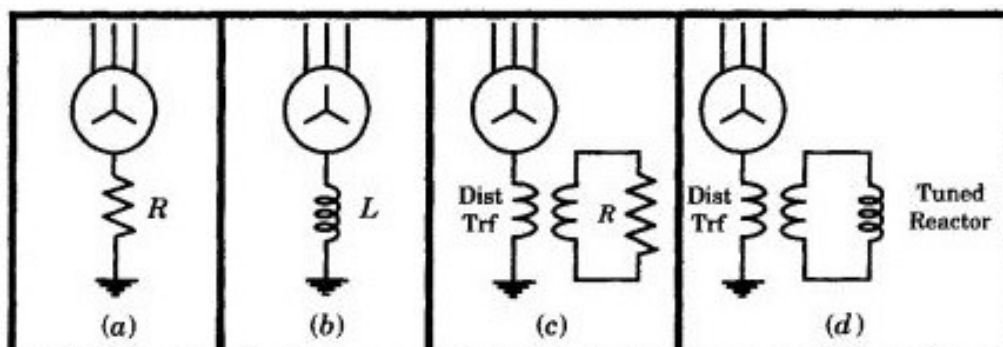


Kuva 18. Differentiaalireleitä generaattorin ja muuntajan suojauksessa [5, s.716].

Maasulkusuojaus

Generaattorien staattorikäimityksen yleisin vika on vaiheen ja maan välillä tapahtuva oikosulkuvika, toiselta nimeltään maasulku. Maasulkuvikojen aiheuttamia suuria virtoja voidaan lieventää erilaisilla maadoitustavoilla (kuva 19). Näitä tapoja ovat

- suuri-impedanssinen maadoitus
- matalaresistanssinen maadoitus ja
- reaktanssimaadoitus.



Kuva 19. Generaattorin yleisimpiä maadoitustapoja, jossa a) tähtipisteen suora maadoitus vastuksen avulla, b) tähtipisteen suora maadoitus induktiivisen reaktanssin avulla, c) tähtipiste maadoitettu jakelumuuntajan kautta, jonka toisiossa vastus ja d) tähtipiste maadoitettu jakelumuuntajan kautta, jonka toisiossa reaktori. [5, s.722.]

Maadoitus suuren impedanssin avulla voidaan toteuttaa kahdella tavalla, suuren resistanssin tai säädettävän reaktorin eli virran rajoittamiseen käytettävän kelan avulla. Molemmissa tavoissa käytetään jakelumuuntajaa, jonka ensiöjännite valitaan generaattorin pääjännitteen mukaan ja toisiojännite käytettävien releiden mukaan. [17, s.5.]

Jakelumuuntajan toisiopiiriin kytketään joko vastus tai säädettävä reaktori. Käytettäessä vastusta saadaan maasulkuvirta pienennettyä muutamia ampeereihin, kun taas reaktorin avulla saadaan maasulkuvirta tiputettua <1 ampeerin luokkaan. Toinen vaihtoehto vastukselle on kytkeä suuri vastus suoraan generaattorin tähtipisteen ja maan väliin, mutta tämä vaihtoehto on huomattavasti kalliimpi, koska joudutaan ostamaan vastus, jonka ohmimäärä on huomattavasti suurempi sekä vastuksen eristystaso joudutaan nostamaan kestävämmäksi. [17, s.33–34.]

Näiden maadoitustapojen tehtävänä on siis rajoittaa maasulkuvirta hyvin pieneksi. Haittana tästä seuraa se, että staattoriin sijoitettu differentiaalirele ei havaitse maasulkuvirtoja, koska ne ovat niin pieniä. Sen takia varasuojana käytetään herkkää aikahidastettua ylijänniterelettä, joka sijoitetaan jakelumuuntajan toisiopiiriin vastuksen tai reaktorin rinnalle. Hetkellislaukaisuylivirtarelettä voidaan myös käyttää pää- tai varasuojana ja se sijoitetaan joko suoraan tähtipisteen ja maan väliin tai jakelumuuntajan toisiopiiriin, mutta vain silloin, kun käytetään resistanssia maadoituksessa, koska reaktorin rajoittama maasulkuvirta on niin pieni. [17, s.34–35.]

Matalaresistanssisessa maadoituksessa kytketään pieni vastus suoraan generaattorin tähtipisteen ja maan väliin. Vastuksen resistanssi valitaan niin, että generaattorin yksivaiheinen maasulkuvirta saadaan rajoitettua riittävän suureksi, 1,5-kertaiseksi generaattorin nimellisvirrasta maksimissaan, jolla mahdollistetaan differentiaalireleen osittainen toiminta maasuluissa. Differentiaalireleen varasuojana käytetään suunnattua ylivirtarelettä. [17, s.36.]

Reaktanssimaadoituksessa maasulkuvirrat ovat hyvin suuria, noin kolmivaiheisen maasulun suuruisia, ja ne mahdollistavat differentiaalireleen toimimisen melkein kaikissa maasulkuvioissa. Differentiaalireleen varasuojana käytetään myös suunnattua ylivirtarelettä. [17, s.36.]

Kierrossulkusuojaus

Kierrossulku tarkoittaa staattorin käämityksessä tapahtuvaa kahden samassa vaiheessa olevan johtimen välistä kosketusvikaa. Kierrossuluille ominaista on suuri virta ja ne voivat aiheuttaa tulipalovaaran. Kierrossulkua ei voida suojata differentiaalireleellä, koska se ei havaitse sitä, riippuen releen asetteluarvoista. Kierrossulut ovat harvinaisia ja kehittyvät usein maasuluiksi, jonka takia niiden suojaamiseksi käytetään maasulkusuojia. [5, s.724–725.]

Ylikuormitussuojaus

Tahtigeneraattorin suojaamiseksi käytetään lämpötilamittauslementtejä, joiden avulla mahdolliset ylikuormitustilanteet voidaan eliminoida. Ylikuormitussuojaus voidaan toteuttaa esimerkiksi asentamalla lämpötilamittauslementtejä staattorin käämitykseen tai mitaamalla jäähdytysjärjestelmän sisään- ja ulostulolämpötilan välisiä eroja. Ylikuormitussuoja voi lähettää hälytyskäskyn tai katkaisukäskyn. Ylikuormitustilanteita voi olla esimerkiksi [5, s.725.]:

- ylikuorma
- jäähdytysjärjestelmän pettäminen tai
- huonot liitännät staattorissa.

Ylivirtareleitä, joissa on hetkellislaukaisu ja aikahidasteinen laukaisu, käytetään myös staattorin ylikuormituksen valvomisessa.

Ylijännitesuojaus

Ylijännitetilanteet generaattoreissa johtuvat salamoiden ja kytkentäpiikkien lisäksi magnetointilaitteiston viallisesta toiminnasta. Kuten jo aikaisemmin havaittiin luvussa 2.3, tahtigeneraattorin magnetointia säätää säätöyksikkö. Jos säätöyksikkö on viallinen, se saattaa nostaa magnetointivirran suureksi, jonka myötä generaattorin jännite kasvaa. Ylijännitesuojauksessa käytetään ylijännitereleitä, jotka asetellaan yleensä niin, että aikahidasteinen katkaisu tapahtuu 110 % nimellijännitteestä ja hetkellisessä laukaisussa 130–150 % nimellijännitteestä. [5, s.726.]

Epäsymmetriasuojaus

Tahtigeneraattorin epäsymmetrinen kuormitus aiheuttaa vastakomponenttivirtoja staattorin käämitykseen ja niiden suojaamiseen käytetään epäsymmetriareleitä. Nämä virrat näkyvät myös roottorissa nimellistajuudeltaan kaksinkertaisina virtoina, jotka aiheuttavat roottorin lämpenemistä. Epäsymmetriakuormituksen aiheuttavat [5, s.726.]:

- yhden vaiheen aukeaminen
- katkaisijan yksi vaihe jää auki tai
- staattorikämmityksen vika.

5.2 Roottorin suojaus

Tässä osiossa on kerrottu tahtigeneraattorin roottorin suojaukseen liittyviä toimenpiteitä ja suojauksessa käytettäviä suojauslaitteita.

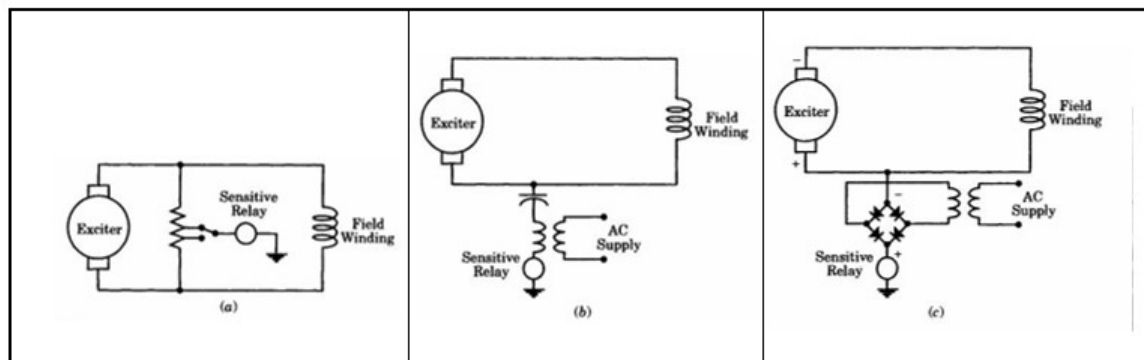
Roottorin maasulkusuojaus

Roottorin maasulku tapahtuu yleensä magnetointilaitteiston kautta. Yksi maasulku roottorikämmityksessä ei ole vaarallinen, mutta jos toinen maasulku tapahtuu, se muuttuu magnetointikämmityksen kierrossulkuviaksi. Roottorin maasulkusuojaus voidaan toteuttaa kolmella eri tavalla: jännitteenmittaustavalla, AC-injektoinnilla tai DC-injektoinnilla (kuva 20). [5, s.730–731.]

Jännitteenmittaustavassa roottorin maasulun mittausta tapahtuu nimensä mukaisesti jännitemittauksena magnetointilaitteen ulostulojännitteen välille asetellun vastuksen ja maan väliltä. Roottorikämmityksessä tapahtuva maasulku havahduttaa mittausreleen. [5, s.730.]

AC-injektoinnissa roottorikämmitykseen syötetään matalataajuista pulssiaaltoa (1–3 Hz) roottorikämmitykseen kondensaattorin kautta. Roottorikämmityksen maadoittuessa maasulkuvirta muodostaa täydellisen virtapiirin ja maasulkurele havahtuu. Huono puoli tässä tavassa on, että osa virrasta kulkee tahtigeneraattorin laakereille ja aiheuttaa eroosiota. [5, s.731.]

DC-injektoinnissa tasasuuntaussilta kytketään niin, että tasasuuntaussillan positiivinen napa on kytketty maahan päin ja negatiivinen napa magnetointikämmipiiriin. Oikosulku missä tahansa magnetointikämmityksen pisteessä muodostaa täydellisen virtapiirin releen maadoituksen kautta. Tässä käytetään herkkää maasulkuvirtarelettä, mutta ei niin herkkää, että rele laukaisee normaalit eristeen vuotovirrat. Releen läpi kulkevan virran suuruutta rajoittaa tasasuuntaussillan suuri impedanssi. [5, s.731.]



Kuva 20. Roottorin maasulkuvikojen mittaustavat, jossa a) jännitteenmittaustapa, b) AC-injektiotapa ja c) DC-injektiotapa. [5, s.730]

Magnetointisuojaus

Magnetoinnin menetys roottorissa aiheuttaa tahtigeneraattorissa ryntäysilmiön, jossa koneen magneettikentät eivät pyöri samalla nopeudella ja verkko ei enää jarruta roottoria. Roottorin pyöriessä eri tahtiin staattorin magneettikentän kanssa roottoriin indusoituu suuria virtoja, joiden kautta roottori voi pahimmassa tapauksessa sulaa. Indusoituneita virtoja voidaan ehkäistä vaimennuskäämeillä, jotka sijoitetaan roottorin napakäämitysten läheisyyteen. Vaimennuskäämit on suunniteltu ottamaan indusoituneet virrat vastaan ennen roottorikäämityksiä ja näin ollen suojaamaan roottorikäämityksiä. Magnetointisuojauksessa käytetään ympyräkuvioisia distanssireleitä. [5, s.732.]

Roottorin ylinopeussuojaus

Roottorin ylinopeussuojauksessa käytetään ryntäyssuojia ja itse generaattorin ylinopeussuojauksessa ylitaajuusrelettä. Kuten luvussa 2.2 havaittiin, generaattorin muodostama jännite riippuu pyörimisnopeudesta. Ylinopeus täten aiheuttaa myös ylijännitteen, joten ylijännitereleitä voidaan myös käyttää ylinopeussuojauksessa. [5, s.737.]

6 Generaattoreiden nykyisten suojausjärjestelmien selvittäminen

Relesuojauksen modernisoinnin aloittamiseksi kartoitetaan nykyisen järjestelmien rakenne, käytetyt releet, releiden asetteluarvot sekä kytkinryhmien asetellut ja niiden merkitys releiden toiminnan kannalta. Kartoitus tehdään vain itse generaattorien kohdalta. Asetteluarvojen selittäminen ja releisiin tutustuminen on hyvin tärkeää, jotta voidaan paremmin ymmärtää releiden toimintaa ja asetuservojen siirtäminen modernimpaan järjestelmään helpottuu. Kytkeinryhmien selostukset tehdään vain ryhmien SG1 ja SGF perusteella, muiden ryhmien toimintaa ei katsota hyödylliseksi tässä työssä.

Tarkoituksena siis on, että niin kutsutut erillisreleot otettaisiin pois käytöstä (kuva 21) ja niiden suojaustoiminta siirrettäisiin kaupallisesti saatavilla oleville monitoimireleille.



Kuva 21. Yleiskuva generaattorien kennostoista, vasen puolisko G12 kennosto, oikea puolisko G13 kennosto.

6.1 Erillisreleiden asetusarvojen hakeminen

Releiden asetusarvot voidaan hakea kahdella tavalla: manuaalisesti releiden ohjauspaneelin kautta tai releiden sarjaliityntäväylän kautta. Sarjaliityntäväylän kautta haettaessa tietoja tarvitaan erillinen apulaite, tässä tapauksessa tietokone, jonka ohjelmiston avulla releiden asetusarvot voidaan kerätä talteen. Asetusarvot päätettiin hakea manuaalisesti, koska se oli helpommin toteutettavissa oleva ratkaisu.

6.2 Kytkinryhmien tulkinta

Kytkinryhmät ovat releissä joko fyysisiä kytkimiä tai laitteen sisällä olevia ohjelmoitavia kytkimiä ja niillä voidaan ohjelmoida releen suojaustoimintoja tai ottaa niitä pois käytöstä. Kytkinryhmien avulla voidaan myös selvittää nykyisen suojausjärjestelmän käytössä olevat suojaustoiminnot.

Jokaisella kytkimellä on oma painoarvonsa, joka kerrotaan kytkimen asennon numerolla (0 tai 1). Lasketut tulot summataan ja niistä saadaan tarkistussumma, ja sillä voidaan nimensä mukaisesti tarkastaa, ovatko kytkimien asennot varmasti oikeassa asennossa (taulukko 5). Releet, joissa ei ole fyysisiä kytkimiä, ilmoittavat vain tarkistussumman, jonka perusteella pitää päätellä kytkimien asennot.

Taulukko 5. Kytkinryhmien tulkintaesimerkki.

Kytkimen numero	Kytkimen asento (esimerkki)	Painoarvo	Tuloarvo
1	1	1	1
2	1	2	2
3	0	4	0
4	1	8	8
5	0	16	0
6	1	32	32
7	1	64	64
8	0	128	0
Tarkistussumma		255	107

6.3 Alkuseelvitys järjestelmästä

Generaattoreiden G12 ja G13 suojarelejärjestelmät (liitteet 1 ja 2) koostuvat erillisreleistä sekä yhdestä monitoimireleestä per generaattori (taulukko 6). Taulukosta huomataan, että järjestelmät ovat melkein identtiset. Kennojen tunnuksukset ovat BH generaattorille G12 ja BJ generaattorille G13.

Taulukko 6. Generaattoreiden suojauksessa käytetyt erillisreleet.

G12	G13	Tuotemerkki	Kenno
Ylivirtarele	Ylivirtarele	SPAJ 131C	BH03 ja BJ03
Tahdissaolon valvoja	Tahdissaolon valvoja	SPAU 140C	BH03 ja BJ03
Nollajänniterele	Nollajänniterele	SPAU 110C	BH04 ja BJ06
Jänniterele 2kpl	Jänniterele	SPAU 1G100J3	BH04, BH06 ja BJ05
Moottorinsuojarele 2kpl	Moottorinsuojarele 2kpl	SPAM 150C	BH06, BH07, BJ05 ja BJ06
Differentiaalirele 2kpl	Differentiaalirele 2kpl	SPAD 330C	BH06, BH07, BJ05 ja BJ06
Monitoimirele	Monitoimirele	REM 543	BH03 ja BJ03

Generaattoreita pyörittävänä voimakoneena on käytetty tyypin AMB 630L6P BSFH -sähkömoottoreita, joiden kilpiarvot löytyvät taulukosta 7.

Taulukko 7. Voimakoneiden kilpiarvot.

Sähkömoottorityyppi	AMB 630L6P BSFH
Teho [kW]	1436-4350
Tehokerroin cosφ	0,88-0,86
Pyörimisnopeus [rpm]	324-1440
Jännite [V]	1089-3300
Virta [A]	900-920
Taajuus [Hz]	16,5-72,5
Kytöntätapa	Y (tähti)
Valmistusvuosi	1994

Generaattorityyppinä on käytetty kahta erilaista generaattoria ja niiden kilpiarvot löytyvät taulukosta 8. Generaattori G12 on tyypin AMG 1120ZB06 PSB -generaattori, joka on valmistettu vuonna 2007, kun taas generaattori G13 on tyypin HSSUL 21/1203 -generaattori vuodelta 1994. Molemmat generaattorit ovat korkeajännitegeneraattoreita ja ge-

neraattoreissa on kaksoiskäämitys, joka on mahdollista kytkeä keskijännitekojeiston kytkimien avulla yhdeksi käämitykseksi tähteen tai kolmioon tai kahtena eri käämityksenä tähteen tai kolmioon.

Taulukko 8. Generaattoreiden kilpiarvot.

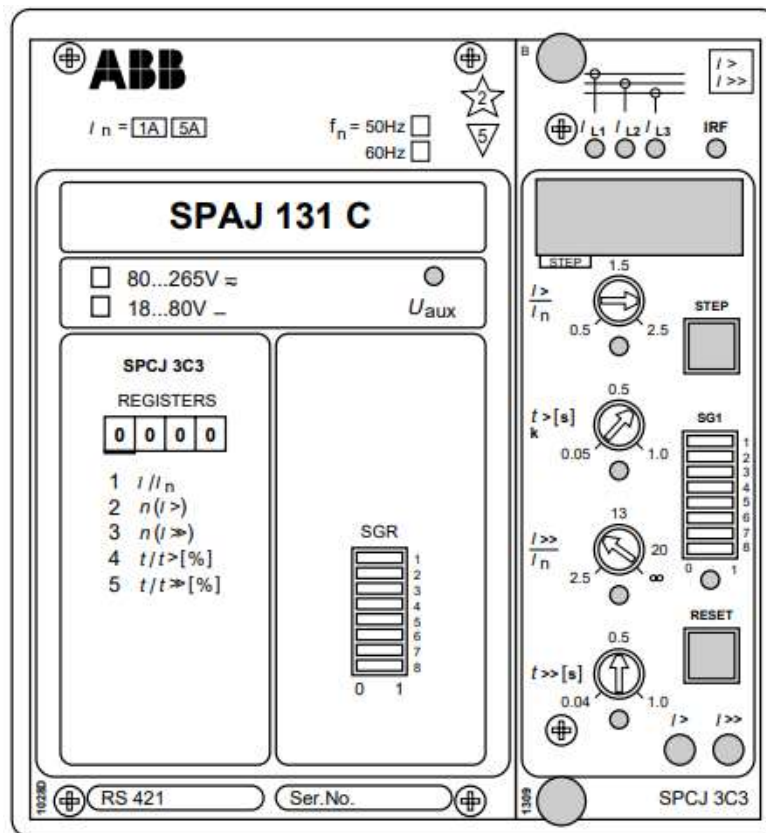
Generaattorityyppi	G12	G13
	AMG 1120ZB06 PSB	HSSUL 21/1203
Teho [kVA]	30000	24000
Pyörimisnopeus [rpm]	1200	
Nimellisjännite [V]	15000	
Nimellisvirta [A]	1155	923
Nimellistaajuus [Hz]	60	
KytKentätapa	Y / D / YY / DD	
Valmistusvuosi	2007	1994
Magnetointijännite [V]	400	165
Magnetointivirta [A]	225	577

KytKentöjen muuttaminen vaikuttaa generaattorien käyttöjännitteiden ja -virtojen lisäksi mittaustuloksiin ja näin ollen myös mittaustuloksiin, jotka pitää ottaa huomioon asettaessa laukaisuarvoja releille. Taulukko 9 havainnollistaa kytKentöjen muutoksien vaikutusta sähköisiin arvoihin.

Taulukko 9. KytKentätävän vaikutus jännitteeseen ja virtaan.

KytKentätapa	Vaihejännite	Pääjännite	Vaihevirta	Päävirta
Y	$\frac{\text{Pääjännite}}{\sqrt{3}}$	$\text{Vaihejännite} \times \sqrt{3}$	$\text{Vaihevirta} = \text{päävirta}$	
D	$\text{Vaihejännite} = \text{pääjännite}$		$\frac{\text{Päävirta}}{\sqrt{3}}$	$\text{Vaihevirta} \times \sqrt{3}$

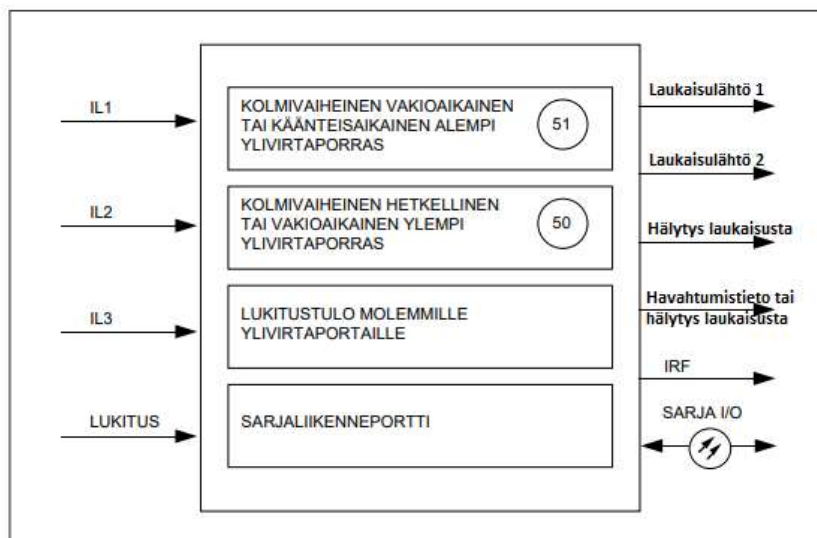
6.4 Ylivirtarele SPAJ 131C



Kuva 22. Ylivirtareleen käyttöpaneeli. [18.]

Ylivirtasuojauksessa on käytetty kolmivaiheista SPAJ 131C -ylivirtarelettä (kuva 22), joka koostuu alemmasta $I>$ ja ylemmästä $I>>$ laukaisuportaasta, joiden havahtumis- ja laukaisusignaaleja voidaan ohjata ylivirtareleen lähtöreleille SGR -kytkinryhmän asetteluilla. Kytkinryhmällä SG1 voidaan ohjelmoida ylivirtamoduulin laukaisuportaiden toimintoja (kuva 23) ja molemmat laukaisuportaat voidaan lukita ulkoisella lukitussignaalilla eli releen toiminta estetään. [18.]

Alemman portaan $I>$ aika-asettelu $t>$ voidaan asettaa vakioaika- tai käänteisaikavii-veiseksi ja käänteisaikakäyrät noudattavat IEC 60255-3 -standardia. Ylempi porttas $I>>$ käyttää aika-asettelussa $t>>$ vakioaika- tai hetkellislaukaisua sekä asetteluarvo voidaan kaksinkertaistaa, joka mahdollistaa kuorman kytkentätilanteiden aiheuttamien vikalaukaisujen eliminoimisen. [18.]



Kuva 23. Ylivirtareleen mahdolliset ohjaus- ja suojaustoiminnot. Ympyröity numero on ANSI-tunnus suojaustoiminnolle [18.].

Käytössä olevat asetteluarvot ja kytkinryhmien asennot

Käytössä olevien ylivirtareleiden mittauslähteet on selvitetty seuraavasti:

- (Liite 3.1) Generaattorin G12 kennon BH03 ylivirtarele mittaa kennossa BH03 olevien virtamuuntajien T1–T3 suojauskäämityksistä.
- (Liite 4.1) Generaattorin G13 kennon BJ03 ylivirtarele mittaa kennossa BJ03 olevien virtamuuntajien T1–T3 suojauskäämityksistä.

Ylivirtareleiden laukaisuportaiden tämänhetkinen asettelu on tehty taulukon 10 mukaisesti.

Taulukko 10. Ylivirtareleiden laukaisuportaiden käytössä olevat asetteluarvot ja mahdolliset asettelualueet.

Laukaisuportaiden asetteluarvot	Kenno		Asettelualue
	G12	G13	
	BH03	BJ03	
$I > x I_n$	1,12	1,19	$0,5 \dots 2,5 x I_n$
$t >$	12,5	5,4	0,05...1 s, 0,5...10 s tai 5...100 s
$I >> x I_n$	2,40	2,00	$2,5 \dots 20 x I_n$ tai $0,5 \dots 4 x I_n$
$t >>$	0,56	0,50	0,04...1 s, 0,4...10 s tai 4...100 s

Ylivirtareleiden toiminta on ohjelmoitu kytkinryhmien SGR ja SG1 avulla taulukon 11 mukaisesti ja niiden määritelmät löytyvät liitteestä 5.1. Kytkinryhmän SG1 perusteella ylivirtareleiden alemmat portaat toimivat vakioaikatoimintaisena ja ylempien portaiden asetteluarvoa ei kaksinkertaisteta.

Taulukko 11. Ylivirtareleiden SGR- (vasemmalla) ja SG1 (oikealla) -kytkinryhmien asettelut.

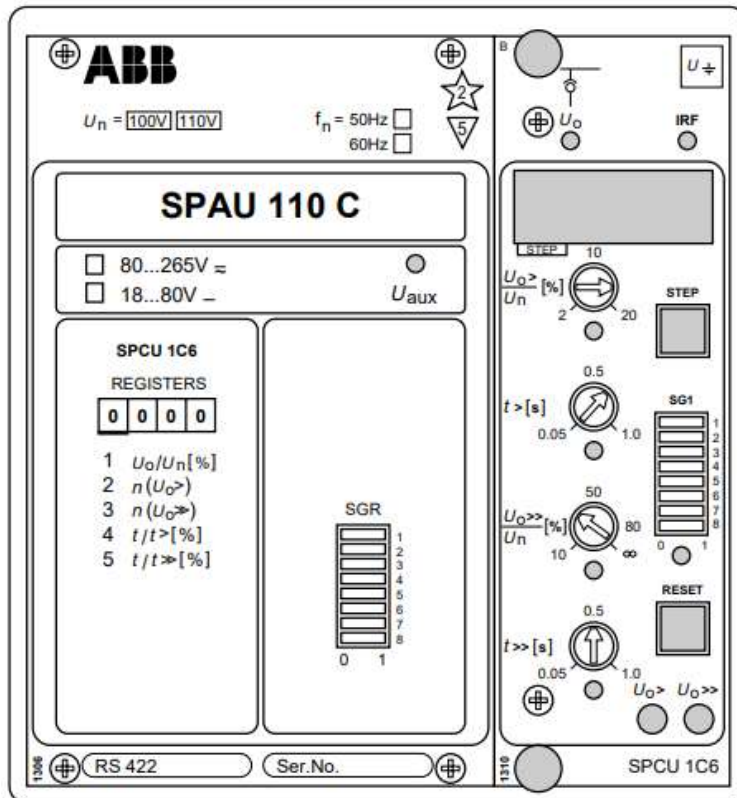
Kytkin (SGR)	Kenno	
	G12	G13
	BH03	BJ03
	Kytkimen asento	
SGR/1	1	1
SGR/2	1	1
SGR/3	1	1
SGR/4	0	0
SGR/5	1	1
SGR/6	1	1
SGR/7	1	1
SGR/8	0	0

Kytkin (SG1)	Kenno	
	G12	G13
	BH03	BJ03
	Kytkimen asento	
SG1/1	1	1
SG1/2	1	0
SG1/3	0	0
SG1/4	1	1
SG1/5	0	0
SG1/6	1	1
SG1/7	0	0
SG1/8	0	0
Tarkistussumma	43	41

6.5 Tahdissaolon valvoja SPAU 140C

Järjestelmän kartoituksessa havaittiin, että tahdissaolon valvojien toiminta on jo siirretty monitoimireleiden hoidettavaksi, joten niistä ei tässä työssä kerrota enempää. Liitteissä 3.2 ja 4.2 näkyy tämänhetkinen tilanne.

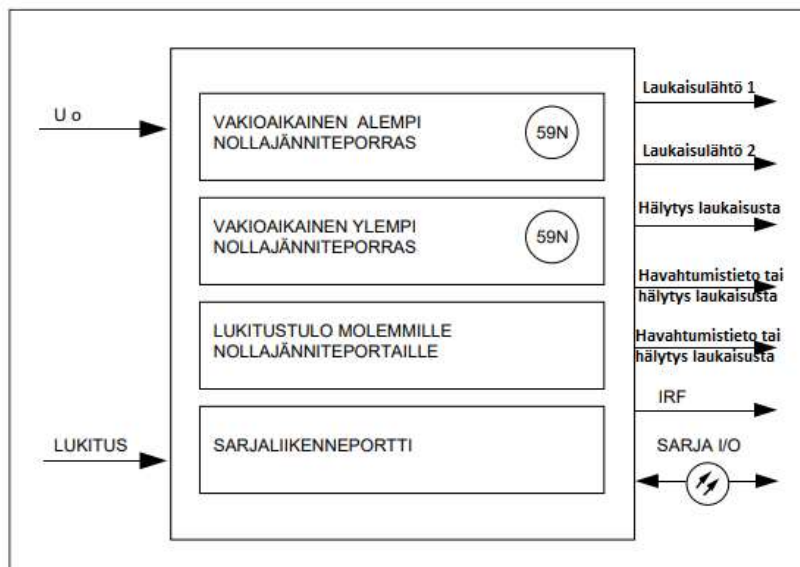
6.6 Nollajänniterele SPAU 110C



Kuva 24. Nollajännitereleen käyttöpaneeli. [19.]

Generaattoreiden maasulkusuojauksessa on käytetty SPAU 110C -nollajännitereleitä (kuva 24), jossa on vakioaikainen alempi $U_o>$ ja ylempi $U_o>>$ nollajänniteporras sekä molemmille aika-asetusportaat $t>$ ja $t>>$ ja molempien portaiden toiminta voidaan estää tuomalla releeseen ulkoinen lukitussignaali (kuva 25). Nollajänniterele on tarkoitettu maasta erotetuille tai vastuksen/kuristimen kautta maadoitetun verkon ja generaattorin suojaksi ja rele toimii ylijännitereleen tavoin. SGR -kytkinryhmällä ohjelmoidaan releen laukaisujen ja hälytysten ryhmittelyä ja SG1 -kytkinryhmällä releen laukaisuportaiden toimintoja. [19]

Nollajännitereleiden ja niitä syöttävien jännitemuuntajien suojana on käytetty ferroresonanssin vaimennusvastusta, jonka tarkoitusperiaate on selitetty tarkemmin alaluvussa 4.2.



Kuva 25. Nollajännitereleen mahdolliset ohjaus- ja suojaustoiminnot. Ympyröity numero on ANSI-tunnus suojaustoiminnolle. [19.]

Käytössä olevat asetteluarvot ja kytkinryhmien asennot

Käytössä olevien nollajännitereleiden mittauslähteet on selvitetty seuraavasti:

- (Liite 3.3) Generaattorin G12 kennon BH04 nollajänniterele mittaa kennossa BH04 olevien jännitemuuntajien T4–T6 avokolmiosta.
- (Liite 4.7) Generaattorin G13 kennon BJ06 nollajänniterele mittaa kennossa BJ06 olevien jännitemuuntajien T4–T6 avokolmiosta.

Käytössä olevien nollajännitereleiden laukaisuportaat on aseteltu taulukon 12 mukaisesti.

Taulukko 12. Nollajännitereleiden käytössä olevat asetteluarvot ja mahdolliset asettelualueet.

Laukaisuportaiden asetteluarvot	Kenno		Asettelualue
	G12	G13	
	BH04	BJ06	
$U_0 > / U_n$	2,00	2,00	2...20 % x U_n tai 10...100 % x U_n
$t >$	0,50	0,50	0,05...1 s, 0,5...10 s tai 5...100 s
$U_0 >> / U_n$	9,50	9,50	10...80 % x U_n tai 2...16 % x U_n
$t >>$	0,50	0,50	0,05...1 s, 0,5...10 s tai 5...100 s

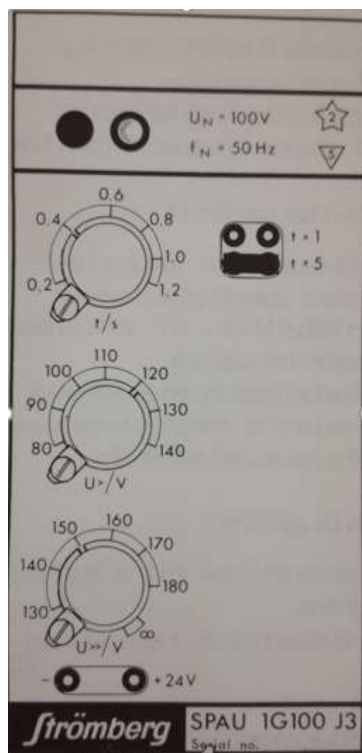
Nollajännitereleiden toiminta on ohjelmoitu kytkinryhmien SGR ja SG1 avulla taulukon 13 mukaisesti ja niiden määritelmät löytyvät liitteestä 5.2. Koska kytkinryhmällä SG1 muutetaan vain nollajännitereleiden laukaisualueiden asettelualueita, niistä ei tarvita erillistä toiminnan selvitystä.

Taulukko 13. Nollajännitereleiden SGR- (vasemmalla) ja SG1 (oikealla) -kytkinryhmien käytössä olevat asettelut.

Kytkin (SGR)	Kenno	
	G12	G13
	BH04	BJ06
	Kytkimen asento	
SGR/1	1	1
SGR/2	1	1
SGR/3	1	1
SGR/4	0	0
SGR/5	1	1
SGR/6	0	0
SGR/7	1	1
SGR/8	1	1

Kytkin (SG1)	Kenno	
	G12	G13
	BH04	BJ06
	Kytkimen asento	
SG1/1	0	0
SG1/2	0	0
SG1/3	0	0
SG1/4	1	1
SG1/5	0	0
SG1/6	1	1
SG1/7	0	0
SG1/8	0	0
Tarkistus- summa	40	40

6.7 Jänniterele SPAU 1G100J



Kuva 26. Jännitereleen käyttöpaneeli. [20]

Generaattoreiden ylijännitesuojauksessa on käytetty SPAU 1G100J3 -ylijännitereleitä (kuva 26), joissa on havahtumisporras $U >$ sekä hetkellislaukaisuporras $U >>$ ja havahtumisportaan laukaisuaikaa t voidaan säätää pikalaukaisuksi (0,2...1,2 s alue) tai hidastetuksi laukaisuksi (1...6 s alue) potentiometrin ja aluevalintapistikkeen avulla. Aluevalintapistikkeen puuttuessa laukaisuaika on hidastetun laukaisualan puolella.

Havahtumisporras toimii vakioaikaperiaatteella. Hetkellislaukaisuporras toimii välittömästi mitatun jännitteen ylittäessä asetteluvaron ja porras voidaan poistaa kokonaan käytöstä valitsemalla ∞ -alue potentiometrillä. Releellä ei ole ohjelmoitavia kytkinryhmiä, joten tämänhetkinen toiminta voidaan selvittää helposti. [20.]

Käytössä olevat asetteluarvot

Käytössä olevien ylijännitereleiden mittauslähteet on selvitetty seuraavasti:

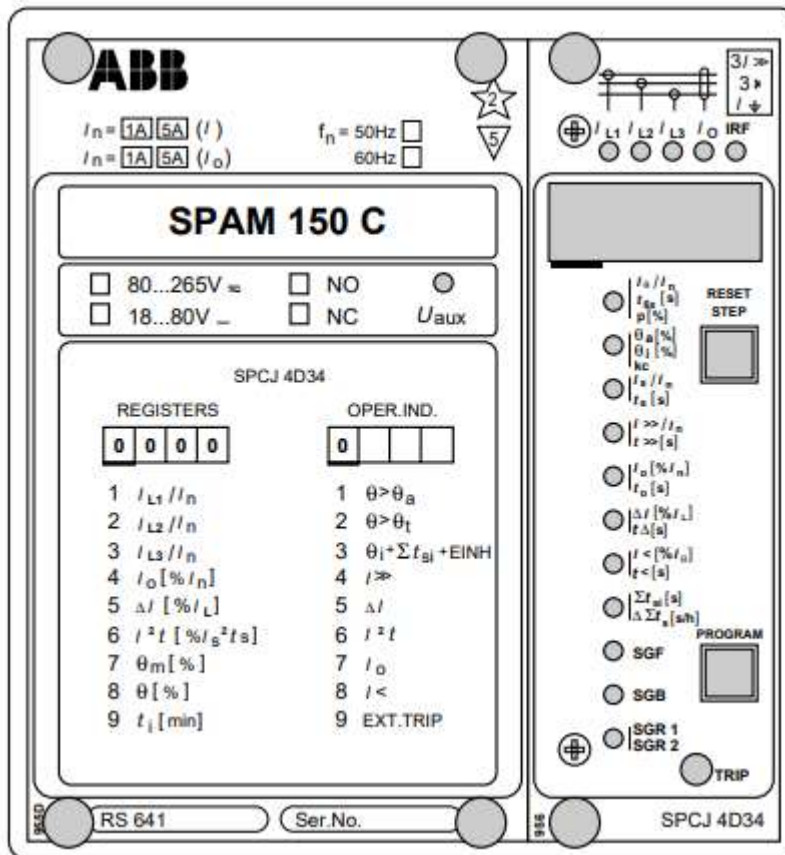
- (Liite 3.3) Generaattorin G12 kennon BH04 ylijänniterele mittaa kennossa BH04 olevien jännitemuuntajien T4 ja T5 väiltä.
- (Liite 3.4) Generaattorin G12 kennon BH06 ylijänniterele mittaa kennossa BH06 olevan jännitemuuntajan T4 avulla.
- (Liite 4.3) Generaattorin G13 kennon BJ05 ylijänniterele mittaa kennossa BJ04 olevan jännitemuuntajan T4 avulla.

Käytössä olevien ylijännitereleiden laukaisuportaat on aseteltu taulukon 14 mukaisesti.

Taulukko 14. Ylijännitereleiden käytössä olevat asetteluarvot ja mahdolliset asettelualueet.

Laukaisuportaiden asetteluarvot	Kenno			Asettelualue
	G12		G13	
	BH04	BH06	BJ05	
t ja pistokkeen paikka	1 s ja t x 1	1 s ja t x 1	1 s ja t x 1	0,2...1,2 s tai 1...6 s ja t x 1 tai t x 5
$U>$	95 V	95 V	95 V	80...140 V
$U>>$	130 V	130 V	130 V	130...180 tai ∞ V

6.8 Moottorinsuojarele SPAM 150C

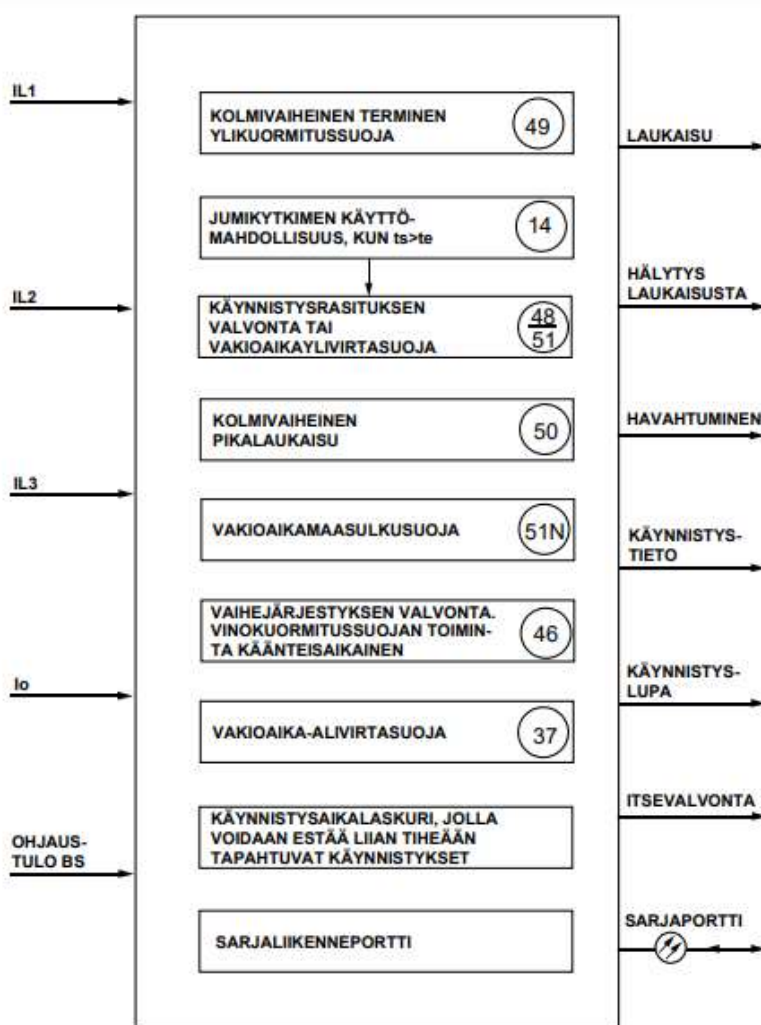


Kuva 27. Moottorinsuojareleen käyttöpaneeli. [21]

Moottorinsuojareleen SPAM 150C:n (kuva 27) pääkäyttötarkoituksena on epätahti- ja tahtimoottoreiden monitorimisuojaus, mutta relettä voidaan myös käyttää suojauskoh-teissa, joissa tarvitaan 1–3 -vaiheista ylivirtasuojausta, ylikuormitussuojausta tai suun-taamatonta maasulkusuojausta. Rele kytketään mittaamaan suojattavan kohteen vaihe-
virtoja sekä nollavirtaa ja releen toiminta perustuu näytteiden ottamiseen virroista, joita rele vertailee keskenään. [21.] Huomioitavaa käytössä olevista moottorinsuojareleistä on se, että ne on kytketty suojaamaan nimenomaan generaattoreiden molempia käämityk-siä eikä nollavirtaa mitata.

Moottorinsuojarele SPAM 150C on monipuolinen suojarele, joka koostuu useista suo-
jaustoiminnoista (kuva 28) eli suojauselimistä, joihin kuuluu ylikuormitus-, käynnistyksen
valvonta-, oikosulku-, maasulku-, vaihe-epäsymmetria-, vaihejärjestyksen valvonta- ja

alivirtaelin sekä näiden toimintoja voidaan ohjelmoida kytkinryhmällä SGF. Elimet sisältävät kolmivaiheisen termisen ylikuormitussuojan, hetkellisen tai vakioaikahidastaisen oikosulkuportaon, käänteisaikatoimintaisen verkon epäsymmetriasuojan ja vaihekatkosuojan, vaihejärjestyksen valvojan, vakioaikaisen tai hetkellisen maasulkusuojaus, alivirtasuojaus sekä sähkömoottorin käynnistyksen ja käytön valvonnan. Näitä suojaustoimintoja voidaan estää laukeamasta tuomalla releeseen ulkoinen lukitussignaali ja lukituksia ohjelmoidaan kytkinryhmällä SGB. Releen omia laukaisureleitä ohjelmoidaan kytkinryhmillä SGR1 ja SGR2. Kaikki releen toiminnan kannalta mainitut kytkinryhmät eivät ole fyysisiä kytkimiä, vaan laitteen sisällä olevia ohjelmoitavia kytkimiä. [21.]



Kuva 28. Moottorinsuojareleen mahdolliset ohjaus- ja suojaustoiminnot. Ympyröity numero on ANSI-tunnus suojaustoiminnolle. [21]

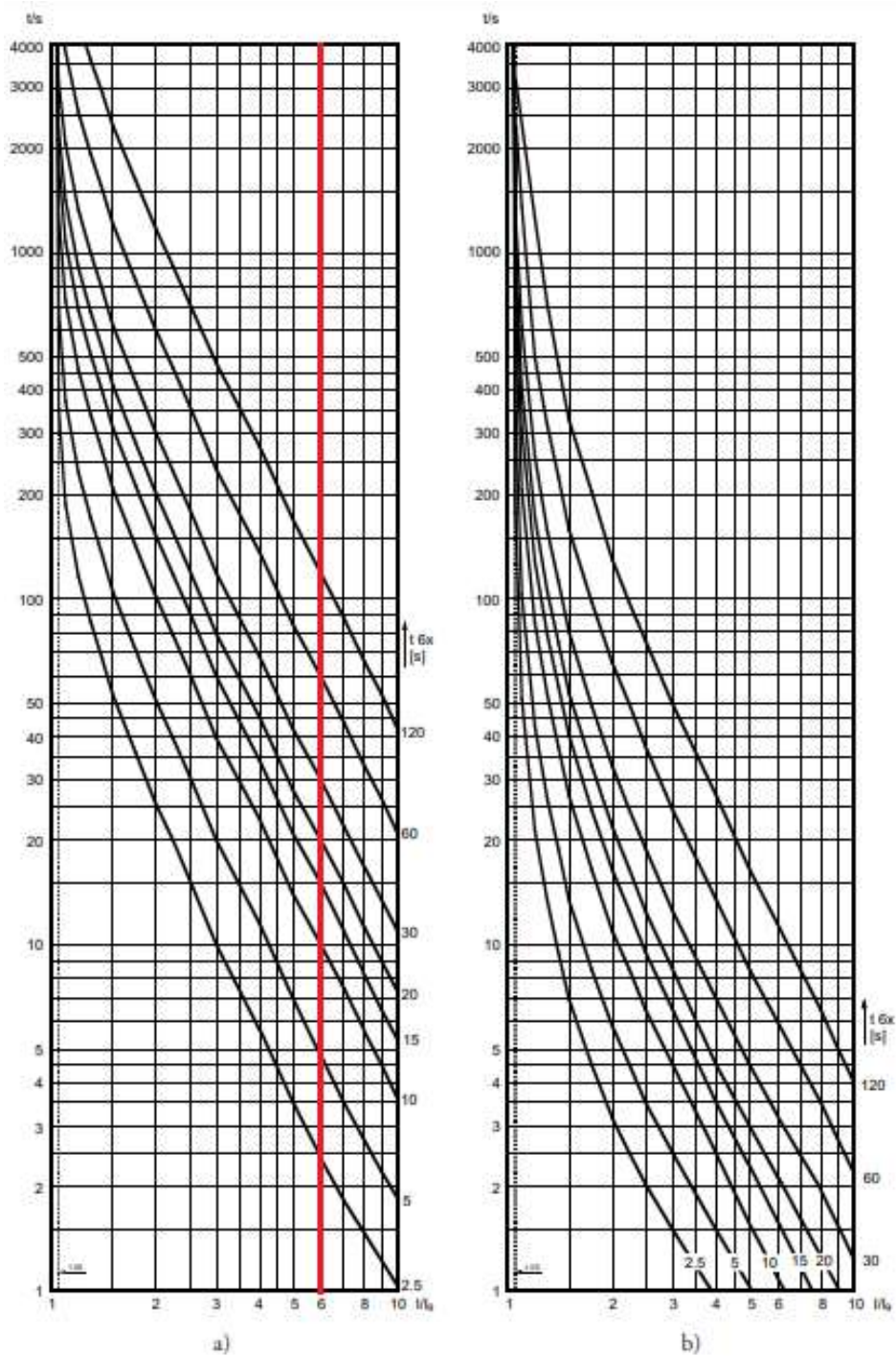
Ylikuormituselin

Ylikuormituselimellä on kaksi asetteluosuutta, joista ensimmäinen on moottorin nimelliskuormituksen asetteluvirta I_θ , jolla määritellään ylikuormituselimen termisen laukaisutason θt ja toinen sallitun jumiajan asettelu-aika $t_{\delta x}$ eli moottorin sallittu aika kuormitusvirran ollessa nimellisarvolla mutta moottorin roottori ei pyöri. Jumiaika-asettelu määrittää releen laukaisun toiminta-ajan kuormitusvirran ollessa kuusinkertainen asetteluvirrasta I_θ kylmälle moottorille (kuvan 29 laukaisukäyrästä a). [21]

Ylikuormituselin laukeaa, jos kuormitusvirran aiheuttama suojattavan kohteen lämpeneminen ylittää asetteluvirran I_θ määrittelemän termisen laukaisutason θt rajan. Termisen laukaisun jälkeen rele jää laukaisutilaan niin kauan, kunnes ylikuormituselimen lämpenemä on laskenut asetteluarvon θ_i alle, jonka jälkeen moottori voidaan käynnistää uudelleen. Rele hälyttää, kun ylikuormituselimen lämpötila ylittää asetellun hälytysrajan θ_a . [21.]

Ylikuormituselimellä on kaksi eri lämpötilafunktiota, toinen valvoo virran vaihteluita ja tarvittaessa laukaisee, toinen valvoo suojattavan kohteen lämpenemishistoriaa pitkältä aikaväliltä. Asetteluarvolla p määritetään ylikuormituselimen lämpötilafunktioiden muodostamien laukaisukäyrien (kuva 29) laukaisurajoja. [21.]

Rele tulkitsee suojattavan moottorin tai generaattorin pysähtyneeksi, kun sen kuormitusvirta on laskenut alle 12 % nimelliskuormitusvirrasta I_θ . Tämä huomioidaan releen toiminnan kannalta siten, että jäähtymisaikavakioa pidennetään pidemmäksi kuin lämpenemisaikavakio, jonka määrää asettelu $t_{\delta x}$. Pidennetty jäähtymisaikavakio saadaan kertomalla lämpenemisaikavakio kertoimella K_c , joka määrittää moottorin tai generaattorin jäähtymisnopeuden. [21.]



Kuva 29. Ylikuormituselimen laukaisukäyrästöt, jossa a) on kylmän moottorin laukaisukäyrästö ja $p = 20 \dots 100 \%$ ja b) on kuormitetun moottorin käyrästö ja $p = 100 \%$. Punainen viiva kertoo t_{6x} määrittämät laukaisu-arvot. [21.]

Käynnistyksen valvontaelin

Käynnistyksen valvontaelin toimii kahdella eri tavalla, vakioaikaylivirtaperiaatteella tai termiseen rasitukseen perustuvalla valvonnalla. Vakioaikaylivirtaperiaatteessa mitataan sähkömoottorin käynnistysvirtaa, jonka pitää ylittää asetteluarvo I_s , jotta rele tulkitsee moottorin käynnistyneeksi ja moottorin ylivirran tulee laskea ajan t_s kuluessa normaaliksi käyntivirraksi, toisin sanoen moottorin tulee käynnistyä ajassa t_s , muuten rele laukeaa. Termisessä rasitusperiaatteessa rele valvoo sähkömoottorin käynnistymistä kaavalla $I_s^2 \times t_s$, joka vastaa moottorin normaalia termistä rasitusta käynnistyksen aikana. Kaavassa I_s asetetaan moottorin valmistajan ilmoittamaa käynnistysvirtaa vastaavaksi arvoksi ja t_s asetetaan moottorin normaaliksi käynnistysajaksi. Tätä asetelua rele käyttää referenssitasona. Moottorin käynnistymisen jälkeen rele laskee samalla kaavalla mitattua käynnistysvirtaa ja käynnistykseen kuluneen ajan avulla käynnistyksen aiheuttamaa termistä kuormitusta ja vertaa sitä asetettuun tasoon. Kytkinryhmää SG4 käytetään käynnistyksen valvontaelimen toiminnan ohjelmoimiseen. [21.]

Rele tallentaa moottoreiden käynnistysajan käynnistysaikarekisteriin. Rekisterin pituus määräytyy moottorivalmistajan ilmoittamasta sallitusta käynnistysmäärästä ja käynnistysajasta. Esimerkiksi jos on mainittu, että moottorille sallitaan kaksi 60 s käynnistystä kahden tunnin sisällä, asetellaan Σt_{si} arvoksi $2 \times 60 \text{ s} = 120 \text{ s}$. Jos rekisterin sisältö ylittää asetellun enimmäiskäynnistystason Σt_{si} , rele estää moottorin käynnistysyritykset. Lisäksi asetellaan käynnistysaikarekisterin purkunopeus $\Delta \Sigma t_s$, josta käy ilmi, kuinka nopeasti käynnistysaikarekisteriin tallentunut käynnistysaika häviää releen rekisteristä. Edellisen esimerkin perusteella rekisterin purkuaika aseteltaisiin seuraavasti $120 \text{ s} / 2 \text{ h} = 60 \text{ s/h}$. [21.]

Oikosulkuelin

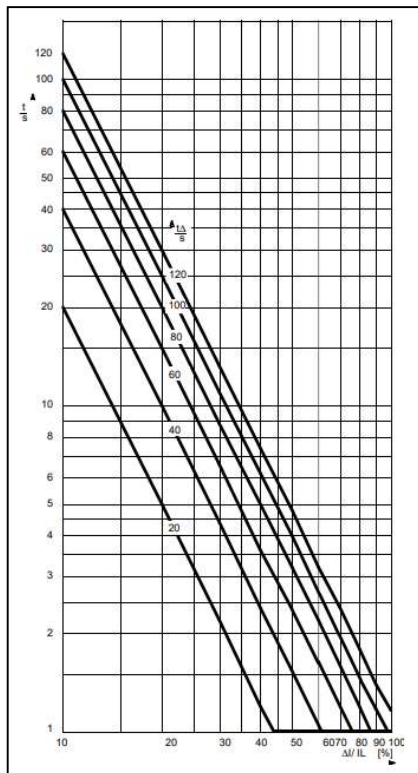
Oikosulkuelin toimii normaalin ylivirtareleen tavoin, eli jonkin mitatun vaihevirran ylittäessä asetteluarvo $I_{>>}$ ja ollessa ylittyneenä tietyn asetteluajan $t_{>>}$ rele laukaisee. Asetteluarvolle $I_{>>}$ voidaan tarvittaessa määrittellä kaksinkertaistus, joka toimii moottorin käynnistystilanteissa ja sillä voidaan estää virhetoiminnot. Haluttaessa oikosulkuelin voidaan ottaa pois käytöstä asettelemalla $I_{>>}$ -portaan arvolle ∞ -arvo. [21.]

Maasulkuelin

Maasulkuelin mittaa nollavirtaa yksittäisen kaapelivirtamuuntajan tai virtamuuntajien summakytken avulla. Summakytkenä muodostetaan kytkemällä eri vaiheiden virtamuuntajien toisiopiirit rinnan. Maasulkuelin toimii ylivirtareleen tavoin, eli kun mitattava virta ylittää havahtumisportaan $I_0 >$ asetteluarvon ja on ylittyneenä tietyn asetteluajan $t_0 >$, rele laukaisee ja porräs voidaan lukita ulkoisella lukitussignaalilla. [21.]

Vaihe-epäsymmetriaelin

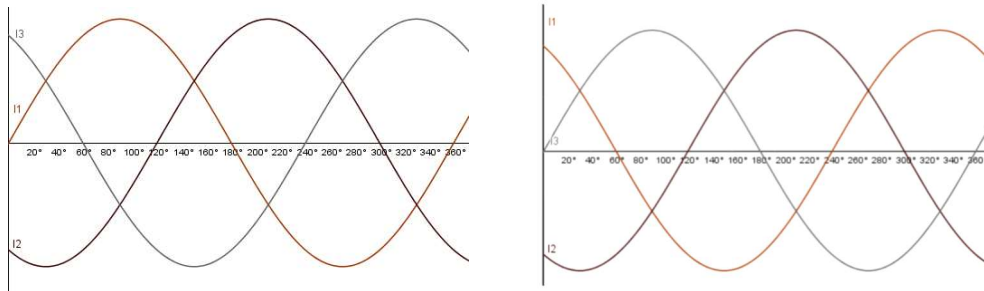
Vaihe-epäsymmetriaelin (kuva 30) mittaa generaattorin tuottaman kolmivaiheverkon epäsymmetriaa mittaamalla suurinta ja pienintä vaihevirtaa jokaisesta vaiheesta. Epäsymmetriaelin havahtuu ja käänteisaikatoiminto käynnistyy, kun jonkin vaiheen mitattu epäsymmetria ylittää asetteluarvon ΔI . Epäsymmetriaelimen laukeamisen toiminta-aika riippuu asetteluajasta $t\Delta$ ja epäsymmetrian suuruudesta. Käytettäessä pienintä ΔI asetteluarvoa (10 %), releen toiminta-aika on sama kuin aseteltu aika. [21.]



Kuva 30. Epäsymmetriaelimen käänteisaikakäyrästä. [21.]

Vaihejärjestyksen valvontaelin

Vaihejärjestyksen valvontaelin valvoo eri vaiheiden aaltomuotoja, tässä tapauksessa positiivisia puoliaaltoja (kuva 31). Valvontaelin valvoo positiivisten puoliaaltojen ilmestymisjärjestystä, ja sen mukaisesti pääättelee vaihejärjestyksen. Väärässä järjestyksessä saapuvat positiiviset puoliaallot havahduttavat valvontaelimen ja antaa laukaisusignaalin alle sekunnissa. [21.]



Kuva 31. Vaihejärjestys U-V-W vasemmalla ja vaihejärjestys W-V-U oikealla.

Alivirtaelin

Alivirtaelin suojaa äkillisiltä kuorman menetyksiltä, ja se antaa laukaisusignaalin, kun suojattavan kohteen mitattava kuormitusvirta laskee asetusarvon $I <$ alapuolelle ja mitattu kuormitusvirta pysyy asetteluportaan alapuolella asetteluajan $t <$. Asetusarvo $I <$ asetellaan prosentuaalisesti nimelliskuormituksen asetteluvirrasta I_{θ} . [21.]

Käytössä olevat asetteluarvot, suojauselimet ja kytkinryhmien asennot

Käytössä olevien moottorinsuojareiden mittauslähteet on selvitetty seuraavasti:

- (Liite 3.5) Generaattorin G12 kennon BH06 moottorinsuojarele mittaa kennossa BH05 olevien virtamuuntajien T4–T6 suojauskäämityksistä.
- (Liite 3.7) Generaattorin G12 kennon BH07 moottorinsuojarele mittaa kennossa BH07 olevien virtamuuntajien T1–T3 suojauskäämityksistä.
- (Liite 4.4) Generaattorin G13 kennon BJ05 moottorinsuojarele mittaa kennossa BJ.05 olevien virtamuuntajien T1–T3 suojauskäämityksistä.
- (Liite 4.6) Generaattorin G13 kennon BJ06 moottorinsuojarele mittaa kennossa BJ06 olevien virtamuuntajien T1–T3 suojauskäämityksistä.

Käytössä olevien moottorinsuojareleiden laukaisuportaat ja tarkistussummat on aseteltu taulukon 15 mukaisesti.

Taulukko 15. Moottorinsuojareleiden käytössä olevat asetteluarvot ja mahdolliset asettelualueet sekä kytkinryhmien tarkistussummat. Käytössä olevat asetteluarvot värikoodattu.

	Laukaisuportaiden asetteluarvot	Kenno		Asettelualue
		G12	G13	
		BH06 ja BH07	BJ05 ja BH06	
Oletussuoja	I_{θ}	0,92	0,74	0,50...1,50 x I_n
	t_{6x}	2,0	2,0	2...120 s
	p	100	100	20...100 %
	θ_a	95	95	50...100 % θt
	θ_i	80	80	20...80 % θt
	k_c	5	5	1...64 x t_{iamp}
Valinnaissuojat	I_s	1,25	1	1...10 x I_n
	t_s	1	1	0,3...80 s
	$I >>$	1,39	1,2	0,5...20 x I_n ja ∞
	$t >>$	0,4	0,4	0,04...30 s
	I_0	1	1	1...100 % I_n
	t_0	0,05	0,05	0,05...30 s
	ΔI	40	40	10...40 % I_L ja ∞
	$t\Delta$	20	20	20...120 s
	$I <$	-	-	30...80 % I_{θ} tai - (pois päältä)
	$t <$	2	2	2...600 s
Oletustoiminto	Σt_{si}	210	10	5...500 s
	$\Delta \Sigma t_s$	2	2	2...250 s/h
	SGF	17	17	0...255
	SGB	196	196	0...255
	SGR1	27	27	0...255
	SGR2	44	44	0...255
	SG4	Ei käytössä		0...7

Koska releen kytkinryhmät ovat releen sisällä olevia ohjelmoitavia kytkimiä ja rele ilmoittaa niiden asennot vain tarkistussumman kautta, joudutaan kytkimien asennot päättämään itse tarkistussumman avulla. Päätellyt asennot ovat taulukossa 16 ja niistä työn kannalta tärkein on SGF-kytkinryhmä. SG4-kytkinryhmä ei ole käytössä.

Kytkinryhmän SGF perusteella moottorinsuojareleiden suojauselimistä on käytössä

- ylikuormitussuoja
- oikosulkusuoja (ylivirtasuoja)
- vaihe-epäsymmetriasuoja ja
- käynnistyksen termisenä valvontatapana I_s - ja t_s -periaate.

Suojauselimien käyttämät asetusarvot on merkitty taulukkoon 15 värikoodeittain, jossa sininen on ylikuormitussuoja, punainen oikosulkusuoja, vihreä vaihe-epäsymmetriasuoja ja keltainen käynnistyksen valvonta.

Taulukko 16. Kytkinryhmien SGF, SGB, SGR1 ja SGR2 asennot.

Kytkin	SGF-kytkimen asento	Painoarvo	Arvo
SGF/1	1	1	1
SGF/2	0	2	0
SGF/3	0	4	0
SGF/4	0	8	0
SGF/5	1	16	16
SGF/6	0	32	0
SGF/7	0	64	0
SGF/8	0	128	0
	Tarkistussumma	255	17

Kytkin	SGB-kytkimen asento	Painoarvo	Arvo
SGB/1	0	1	0
SGB/2	0	2	0
SGB/3	1	4	4
SGB/4	0	8	0
SGB/5	0	16	0
SGB/6	0	32	0
SGB/7	1	64	64
SGB/8	1	128	128
	Tarkistussumma	255	196

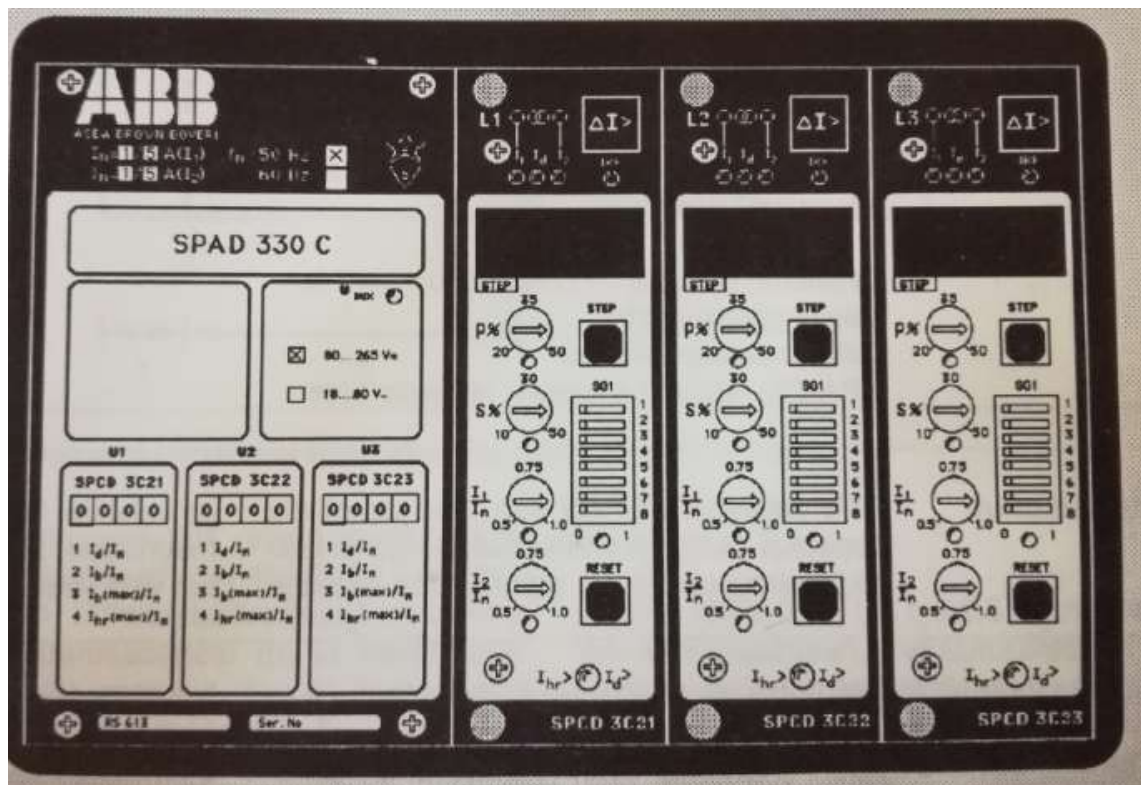
Kytkin	SGR1-kytkimen asento	Painoarvo	Arvo
SGR1/1	1	1	1
SGR1/2	1	2	2
SGR1/3	0	4	0
SGR1/4	1	8	8
SGR1/5	1	16	16
SGR1/6	0	32	0
SGR1/7	0	64	0
SGR1/8	0	128	0
	Tarkistussumma	255	27

Kytkin	SGR2-kytkimen asento	Painoarvo	Arvo
SGR2/1	0	1	0
SGR2/2	0	2	0
SGR2/3	1	4	4
SGR2/4	1	8	8
SGR2/5	0	16	0
SGR2/6	1	32	32
SGR2/7	0	64	0
SGR2/8	0	128	0
	Tarkistussumma	255	44

6.9 Differentiaalirele SPAD 330C

Differentiaalisuojauksessa on käytetty kolmivaiheista vakavoitua differentiaalirelettä SPAD 330C (kuva 32), jonka toimintaperiaate on selostettu luvussa 3.6 ja se sisältää erovirtaportaan I_d , pikalaukaisuportaan $I_d >>$ sekä laukaisuportaan I_{hr} , jonka toiminta perustuu toiseen harmoniseen yliaaltoon.

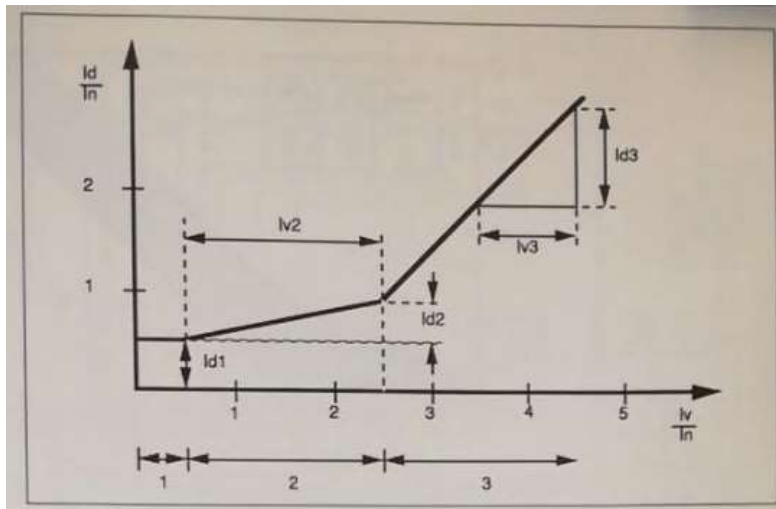
Rele on tarkoitettu käytettäväksi käämi- ja kierrossulkusuojaukseen kaksikämmimuuntajille ja generaattori-muuntajayksiköille, ja releessä on muuntajan kytkentäryhmän kompensointimahdollisuus, jota voidaan ohjelmoida kytkinryhmällä SG1. [22.] Käytössä olevat differentiaalireleet on kytketty suojaamaan ainoastaan generaattorin molempia staattorikämmityksiä.



Kuva 32. Differentiaalireleen käyttöpaneeli. [22.]

Suojausalueen ulkopuoliset viat ja virtamuuntajien valmistusvirheet aiheuttavat virtamuuntajien mittausvirheitä. Näiden releelle aiheuttamien virhetoimintojen takia rele on vakavoitu kuormitusvirran suhteen eli vakavoitu differentiaalirele tarvitsee suuremman

erovirran suuremmilla kuormitusvirroilla toimiakseen eli erovirran tulee olla suurempi kuin vakavointivirran, jotta rele laukaisisi (kuva 33). [22.]



Kuva 33. Vakavoidun differentiaalireleen teoreettinen laukaisukäyrä. [22.]

Vakavoidun differentiaalireleen asetteluarvojen merkitykset releen toimintakäyrään on selostettu kuvan 33 avulla seuraavasti:

- Vakavoitu differentiaalirele laskee erovirran kaavalla $I_d = I_1 - I_2$ ja vakavointivirran kaavalla $I_v = (I_1 + I_2)/2$.
- Potentiometrillä p säädetään erovirtaportaan $I_d >$ laukaisuarvoa eli ominaiskäyrän pystysuoraa akselia prosentuaalisesti nimellisvirrasta eli $p = I_{d1}/I_n$.
- Potentiometrillä s säädetään erovirran muutoksen suuruutta suhteessa kuormitusvirran muutokseen eli ominaiskäyrän jyrkkyyttä eli $s = I_{d2}/I_{v2}$.

Kuvassa 33 alueella 1 releen erovirran laukaisurajaa säättää pelkästään potentiometri p . Aluetta sanotaan perusasettelualueeksi, ja sitä käytetään turhien laukaisujen estämiseksi muuntajien tyhjäkäynnissä aiheutuvista erovirroista. Alueella 2 säädetään käyrän jyrkkyyttä eli havahtumissuhdetta potentiometrillä s eli sitä, kuinka suuri erovirran muutoksen tulee olla suhteessa kuormitusvirran muutokseen laukaisun toteutumiseksi. Alueella 3 ominaiskäyrän jyrkkyys on vakio eli $s = 100\%$ eli potentiometrillä p lisättäessä laukaisuun vaadittavaa erovirran suuruutta kasvaa myös vakavointivirta samassa suhteessa. [22.]

Releen käyttöpaneelin potentiometreillä I_1/I_n ja I_2/I_n voidaan korjata virtamuuntajien muuntosuhteita, jotta saadaan tarkempia mittausrvoja. Differentiaalireleissä tarkkuus on hyvin tärkeä asia, jotta mahdolliset vikatilanteet saadaan suljettua pois releen normaalista toiminnasta. Tarkkuudella voidaan myös vaikuttaa releen havaitsemiskykyyn kierrossululle. [22.]

Kytettäessä muuntajaa verkkoon voi aiheutua suuri kytkentävirtasysäys, jonka takia erovirtaporras $I_d >$ laukaisisi aina. Tämän ehkäisemiseksi releessä on releen toiminnan lukitus, jonka toiminta perustuu kytkentävirtasysäyksen aiheuttaman erovirran toiseen harmoniseen yliaaltoon. Ominaisuus toimii, kun yliaalto ylittää releeseen asetellun harmonisen lukitusrajan I_{hr} , joka asetellaan 10–20 % erovirrasta. [22.]

Harmonisia yliaaltoja aiheutuu epälineaarisista kuormista, eli kuormista, joiden virta ei ole sinimuotoista. Harmoniset yliaallot ovat perustaajuuden kerrannaisista laskettavia taajuuksia, jotka aiheuttavat perustaajuuden (esim. 50 Hz tai 60 Hz) vääristymistä. Harmonisia yliaaltoja syntyy eniten muuntajista, epäsymmetrisistä kuormituksista sekä tehoelektronikan laitteista. Harmonisen yliaallon taajuus on sen järjestysluku kertaa perustaajuus, eli esimerkiksi jos perustaajuus on 50 Hz, on 2. harmonisen yliaallon taajuus $50 \text{ Hz} \times 2 = 100 \text{ Hz}$, 3. harmonisen yliaallon taajuus $50 \text{ Hz} \times 3 = 150 \text{ Hz}$ ja niin edelleen. [25; 26.]

Käytössä olevat asetteluarvot ja kytkinryhmien asennot

Käytössä olevien differentiaalireleiden mittauslähteet on selvitetty seuraavasti:

- (Liite 3.4) Generaattorin G12 kennon BH06 differentiaalirele mittaa kennossa BH04 olevien virtamuuntajien T1–T3 ja kennossa BH05 olevien virtamuuntajien T4–T6 mittauskäämityksistä
- (Liite 3.6) Generaattorin G12 kennon BH07 differentiaalirele mittaa kennossa BH07 olevien virtamuuntajien T1–T3 ja kennossa BH05 olevien virtamuuntajien T1–T3 mittauskäämityksistä
- (Liite 4.3) Generaattorin G13 kennon BJ05 differentiaalirele mittaa kennossa BJ05 olevien virtamuuntajien T1–T3 ja kennossa BJ06 olevien virtamuuntajien T7–T9 mittauskäämityksistä
- (Liite 4.5) Generaattorin G13 kennon BJ06 differentiaalirele mittaa kennossa BJ06 olevien virtamuuntajien T1–T3 ja kennossa BJ04 olevien virtamuuntajien T1–T3 mittauskäämityksistä.

Käytössä olevien differentiaalireleiden laukaisuportaat ja tarkistussummat on aseteltu taulukon 17 mukaisesti.

Taulukko 17. Differentiaalireleiden käytössä olevat asetteluarvot ja mahdolliset asettelualueet.

Laukaisuportaiden asetteluarvot	Kenno				Asettelualue
	G12		G13		
	BH06	BH07	BJ05	BJ06	
$(I_d >) I_{hr}$	15	15	15	15	10...20 % I_d
$(I_d >) p$	20	20	20	20	20...50 % $x I_n$
$(I_d >) s$	10	10	10	10	10...50 %
$I_d >>$	25	25	25	25	20...30 $x I_n$
I_1/I_n	1	1	1	1	0,5...1 $x I_n$
I_2/I_n	1	1	1	1	0,5...1 $x I_n$

Differentiaalireleiden toiminta on ohjelmoitu kytkinryhmän SG1 avulla taulukon 18 mukaisesti ja kytkinryhmän määritelmät löytyvät liitteistä 5.5 ja 5.6. Kytkinryhmän asettelu määrää differentiaalireleiden kytkentäkompensoinnin, joka on tällä hetkellä aseteltu kompensoimaan Yy0-, Yy6-, Dd0- ja Dd6 -kytkentäryhmiä.

Taulukko 18. Differentiaalireleiden SG1-kytkinryhmien käytössä olevat asetellut.

Kytkin (SG1)	Kenno			
	G12		G13	
	BH06	BH07	BJ05	BJ06
	Kytkimen asento			
SG1/1	0	0	0	0
SG1/2	1	1	1	1
SG1/3	0	0	0	0
SG1/4	0	0	0	0
SG1/5	1	1	1	1
SG1/6	0	0	0	0
SG1/7	1	1	1	1
SG1/8	0	0	0	0

7 Tiivistelmä käytetyistä suojaustoiminnoista

Tähän lukuun on tiivistetty molempien generaattorien suojausjärjestelmä kytkinryhmien perusteella. Luettelossa on kerrottu suojaustoiminto, suojauksen käyttämät laukaisupor-
taat sekä itse suojauksen suorittava laite:

- kolmivaiheinen suuntaamaton vakioaikainen ylivirtasuojaus, $I >$ ja $I >>$ portaat (yli-
virtarele)
- vakioaikainen suuntaamaton nollajännitesuojaus / maasulkujännitesuojaus, $U_0 >$
ja $U_0 >>$ portaat (nollajänniterele)
- ylijännitesuojaus, $U >$ ja $U >>$ portaat (jänniterele)
- ylikuormitussuojaus (moottorinsuojarele)
- oikosulkusuojaus, $I >>$ porrastus (moottorinsuojarele)
- epäsymmetriasuojaus (moottorinsuojarele)
- käynnistyksen terminen suojaus (moottorinsuojarele)
- vakavoitu erovirtasuojaus staattoreiden molemmille käämityksille (differentiaali-
rele) ja
- tahdistuksen valvonta (REM 543).

REM 543 -monitoimirele on tarkoitettu pienien ja keskikokoisten generaattoreiden ja tah-
timootoreiden sekä suurten epätahtimootoreiden suojaus-, ohjaus-, mittaus- ja valvon-
talaitteeksi. Jännite- ja virranmittaus voidaan toteuttaa tavallisten mittamuuntajien tai jän-
nite/virtasensorien avulla. [23.] Monitoimireleessä on monta suojaustoimintoa, jotka on
luetteloitu suojaustarpeen perusteella taulukkoon 19. Suojaustoimintojen tiivistelmästä
päättelyä käytössä olevat monitoimireleet pystyvät hoitamaan jokaisen tämänhetkisen

erillisreleen toiminnan, mutta kaikkia toimintoja ei voida pistää tämänhetkisten monitoimireleiden hoidettavaksi johtuen liian monesta mittaustulon tarpeesta monitoimireleelle. Tämän takia sovittiin ABB:n releasiantuntijan kanssa kokouksen, jossa käytiin läpi, mitkä tietyt releet halutaan siirtää käytössä oleviin monitoimireleisiin ja mitä muille releille tehdään.

Taulukko 19. REM 543 -monitoimireleen mahdolliset suojaustoiminnot. [23.]

Suojaustoiminnot	Asetustunnus	IEC-tunnus	ANSI-tunnus
Oikosulut			
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuoja, alempi porras	NOC3Low	3I>	51
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuoja, ylempi porras	NOC3High	3I>>	50/51/51B
Kolmivaiheinen suuntaamaton ylivirtasuoja, hetkellisporras	NOC3Inst	3I>>>	50/51B
Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuoja, alempi porras	DOC6Low	3I>-->	67
Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuoja, ylempi porras	DOC6High	3I>>-->	67
Kolmivaiheinen suunnattu ylivirtasuoja, hetkellisporras	DOC6Inst	3I>>>-->	67
Jänniteriippuvainen ylivirtasuoja, alempi porras	VOC6Low	I(U)>	51V
Jänniteriippuvainen ylivirtasuoja, ylempi porras	VOC6High	I(U)>>	51V
Kolmivaiheinen ali-impedanssisuoja, alempi porras	UI6Low	Z<	21G
Kolmivaiheinen ali-impedanssisuoja, ylempi porras	UI6High	Z<<	21G
Vakavoitu generaattorin erovirtasuoja	Diff6G	3ΔI> ja 3ΔI>>	87G
Maasulut			
Suuntaamaton maasulkusuoja, alempi porras	NEF1Low	I0>	51N
Suuntaamaton maasulkusuoja, ylempi porras	NEF1High	I0>>	50N/51N
Suuntaamaton maasulkusuoja, hetkellisporras	NEF1Inst	I0>>>	50N
Suunnattu maasulkusuoja, alempi porras	DEF2Low	I0>-->	67N/51N
Suunnattu maasulkusuoja, ylempi porras	DEF2High	I0>>-->	67N
Suunnattu maasulkusuoja, hetkellisporras	DEF2Inst	I0>>>-->	67N
Suuri-impedanssinen, rajoitettu maasulkusuojaus	REF1A	ΔI0>	87N
Summajännitesuoja, alempi porras	ROV1Low	U0>	59N
Summajännitesuoja, ylempi porras	ROV1High	U0>>	59N
Summajännitesuoja, hetkellisporras	ROV1Inst	U0>>>	59N
Ylikuormitus ja epäsymmetrinen kuormitus			
Kolmivaiheinen terminen ylikuormitussuoja	TOL3Dev	3θ>	49G
Epäsymmetrian ja vaihejärjestyksen valvonta, alempi porras	NPS3Low	I2>	46
Epäsymmetrian ja vaihejärjestyksen valvonta, ylempi porras	NPS3High	I2>>	46
Yli- ja alijännite			
Kolmivaiheinen ylijännite, alempi porras	OV3Low	3U>	59
Kolmivaiheinen ylijännite, ylempi porras	OV3High	3U>>	59
Kolmivaiheinen alijännite, alempi porras	UV3Low	3U<	27
Kolmivaiheinen alijännite, ylempi porras	UV3High	3U<<	27
Ali- ja ylitaajuus			
Ali- tai ylitaajuus, porras 1-5	Freq1St1-5	f< / f>	81U/81O
Yli- ja aliteho			
Kolmivaiheinen suunnattu ylitehosuoja, porras 1-3	OPOW6St1-3	P>--> / Q>-->	32P/32Q
Kolmivaiheinen aliteho- tai takatehosuoja, porras 1-3	UPOW6St1-3	P< / P> <--	32
Yli- ja alimagnetointi			
Ylimagnetointisuoja, alempi porras	OE1Low	U/f>	24
Ylimagnetointisuoja, ylempi porras	OE1High	U/f>>	24
Kolmivaiheinen alimagnetointisuoja, alempi porras	UE6Low	X<	40
Kolmivaiheinen alimagnetointisuoja, ylempi porras	UE6High	X<<	40
Lisätoiminnot			
Tahdissaolon valvonta/jännitteen valvonta porras 1-2	SCVCSt1-2	ΔU, Δf, Δφ	25

7.1 Suojaustoimintojen siirtäminen REM 543 -monitoimireleisiin



Kuva 34. REM 543 -monitoimirele. [23.]

Kokouksessa päätimme, että moottorinsuojareleet pidetään vielä generaattoreiden käytössä niiden hyvän kunnon ja varaosien saatavuuden takia, generaattoreiden toista käämitystä suojaavat differentiaalireleet siirretään nykyisiin REM 543 -monitoimireleisiin (kuva 34), jotka sisältävät jo tahdistuksen valvonnan ja muille releille hankitaan uusi monitoimirele. Uudeksi monitoimireleeksi molempien generaattoreiden muille releille valittiin kaksi kappaletta REG 615 -monitoimirelettä. REG 615 -monitoimirele (kuva 35) on tarkoitettu suojaamaan nimenomaan generaattoreita ja verkon liityntäpisteitä ja se sisältää samoja suojaustoimintoja kuin REM 543 -monitoimirele [27]. Etuna uudessa REG -releessä verrattuna REM -releeseen on sen pieni koko, jonka ansiosta se voidaan sijoittaa helposti jonkin siirrettävän releen tilalle generaattoreiden kennostoissa.

Muut releet, jotka siirretään uusiin REG 615 -monitoimireleisiin, ovat

- nollajännitereleet
- jännitereleet ja
- generaattoreiden ensimmäistä käämitystä suojaavat differentiaalireleet.



Kuva 35. REG 615 – monitoimirele. [27.]

7.2 Ylijäävät releet ja uudet hankinnat

Koska differentiaalireleet tarvitsevat monta virranmittauspaikkaa monitoimireleissä, ylivirtareleille ei ollut enää mittauspaikkoja vapaana nykyisille REM -monitoimireleille ja uusille REG -monitoimireleille. Tämän takia ylivirtareleille päädyttiin valitsemaan korvauksiksi suojalaitteeksi REF 615 -monitoimirele (kuva 36), jos ylivirtareleet halutaan uusia modernimmaksi suojalaitteeksi. REF -monitoimirele sisältää myös samoja toimintoja kuin REM -releet ja sen pääasiallinen käyttötarkoitus on sähköasemien ja teollisuuden kytkinlaitosten ja laitteiden suojaus [28].

Yhteenvetona uusia monitoimireleitä siis hankittiin kaksi kappaletta REG 615 -monitoimireleitä sekä tarvittaessa kaksi kappaletta REF 615 -monitoimireleitä ylivirtareleille. Releet asennetaan ja konfiguroidaan myöhemmässä vaiheessa.



Kuva 36. REF 615 -monitoimirele. [28]

8 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli tehdä koestamon koestusgeneraattoreiden G12 ja G13 suojausjärjestelmistä selvitys, josta käy ilmi nykyiset käytetyt suojausjärjestelmät ja niiden toiminnot. Työ aloitettiin selvittämällä generaattoreihin liittyvää yleistä teoriaa ja sitä, mitä generaattoreiden suojaaminen käytännössä tarkoittaa sekä generaattorien suojaamiseen liittyvien suojauslaitteiden toiminta- ja käyttöperiaatteet.

Insinööritöiden lopputuloksena saatiin kattava selvitys koestamon koestusgeneraattoreiden G12 ja G13 nykyisistä suojausjärjestelmistä ja selvityksen perusteella uusi, modernimpi järjestelmä voitiin suunnitella ja uudet korvaavat monitoimireleet voitiin valita. Uudemmallalla järjestelmällä saadaan parempi luotettavuus toiminnan kannalta. Uudet monitoimireleet toimitetaan myöhemmässä vaiheessa ja niiden asennuksen ja konfiguroinnin jälkeen suoritetaan testaus, jotta varmistetaan, että uudet järjestelmät toimivat halutulla tavalla.

Työn kannalta haastavaa oli aiheeseen tutustuminen, johtuen siitä, että generaattoreiden suojaus on aihealueena hyvinkin laaja. Erilaisia suojaustapoja on monia, ja niiden kaikkien ymmärtäminen vie aikansa.

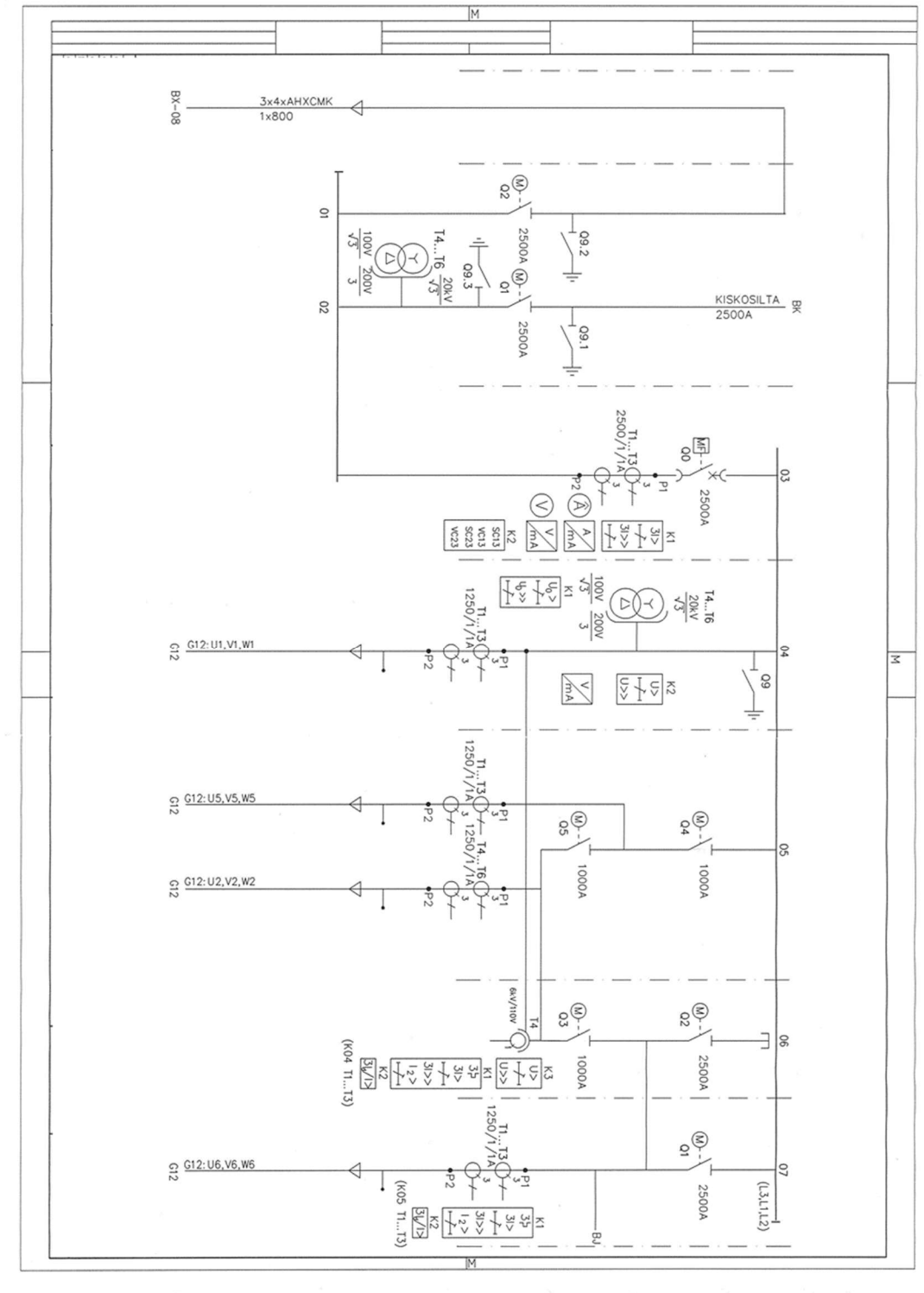
Lähteet

- 1 ABB lyhyesti. 2018. Verkkoaineisto ABB. <<https://new.ABB.com/fi//abb-lyhyesti/suomessa/yksikot/motors-and-generators>>. Luettu 10.9.18
- 2 Aura Lauri, Tonteri Antti J. 1985. Sähkämiehen käsikirja 2: Sähkökoneet. Porvoo: WSOY.
- 3 Hietalahti, Lauri. 2013. Sähkövoimatekniikan perusteet. Vantaa: Tammertekniikka.
- 4 Elovaara Jarmo, Haarla Liisa. 2011. Sähköverkot 2. Helsinki: Otatieto.
- 5 Anderson, P.M. 1999. Power System Protection.
- 6 Kupari, Sampsa. 2017. Luentomoniste.
- 7 Aura Lauri, Tonteri Antti J. 1986. Sähkämiehen käsikirja 1: Teoreettinen sähkötekniikka. Porvoo: WSOY.
- 8 ABB TTT-käsikirja. Verkkoaineisto. <www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/10_1_Mittaus-%20ohjaus-%20ja%20suojalaitteet.pdf>. Luettu 17.9.2018
- 9 Grainger John J, Stevenson William D. 1994. Power System Analysis.
- 10 Ahoranta Jukka. 2009. Sähkötekniikka. Porvoo: WSOY.
- 11 Protection Basics, Introduction to Symmetrical Components. Verkkoaineisto. <www.gegridsolutions.com/smartgrid/Dec07/7-symmetrical.pdf>. Luettu 18.9.2018
- 12 Kulmaminuutin määritelmä. Verkkoaineisto. <<http://www.wolframalpha.com/input/?i=arc+minute>>. Luettu 18.9.2018
- 13 Mäkelä Mikko, Mäkelä Riitta, Siltanen Olavi. 2000. Insinööriopetuksen Fysiikka 2. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- 14 ABB REG-670 Application Manual. Verkkomateriaali. <https://library.e.abb.com/public/16818da0b445aafbc1257767005953fd/1MRK502016-UEN_C_en_Application_manual__Generator_Protection_IED_REG_670_1.1.pdf>. Luettu 24.9.18

- 15 Mason C. Russel. 2015. The Art & Science of Protective Relaying.
- 16 Blackburn J. Lewis, Domin Thomas J. 2007. Protective Relaying Principles and Applications Third Edition.
- 17 IEEE Std C37.102. 2006. IEEE Guide for AC Generator Protection.
- 18 SPAJ 131C Ylivirtarele, käyttöohje ja tekninen selostus. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/3f251ca9b6c12de7c2256c7e004628b6/FM_SPAJ131C_FI_BCA.pdf>. Luettu 2.10.2018
- 19 SPAU 110C Nollajänniterele, käyttöohje ja tekninen selostus. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/a9a799b7068a549ec2256c7e00529ead/FM_SPAU110C_FI_BAA.pdf>. Luettu 4.10.2018
- 20 SPAU 1G100J3 Jänniterele, käyttöohje ja tekninen selostus.
- 21 SPAM 150C Moottorinsuojarele, käyttöohje ja tekninen selostus. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/6314ee0a5dfa9dcbc2256c7e005575b9/FM_SPAM150C_FI_BAA.pdf>. Luettu 4.10.2018
- 22 SPAD 330C Differentiaalirele, käyttöohje ja tekninen selostus.
- 23 REM 543 – konekennoterminaali, tuoteopas. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/604005c9977b9ce4c12577c9002be2e8/REM54_tob_755725_FId.pdf>. Luettu 4.10.2018
- 24 Ferroresonanssin määritelmä. Verkkoaineisto. <<http://www.icrepq.com/icrepq07/317-valverde.pdf>>. Luettu 16.10.18
- 25 Harmonisten yliaaltojen esiintyminen. Verkkoaineisto. <http://www.oamk.fi/~kurki/automaatio-labrat/TTT/04_0_S%84hk%94n%20laatu.pdf>. Luettu 14.10.18
- 26 Harmonisten yliaaltojen selitys. Verkkoaineisto. <<https://www.electronics-tutorials.ws/accircuits/harmonics.html>>. Luettu 14.10.18

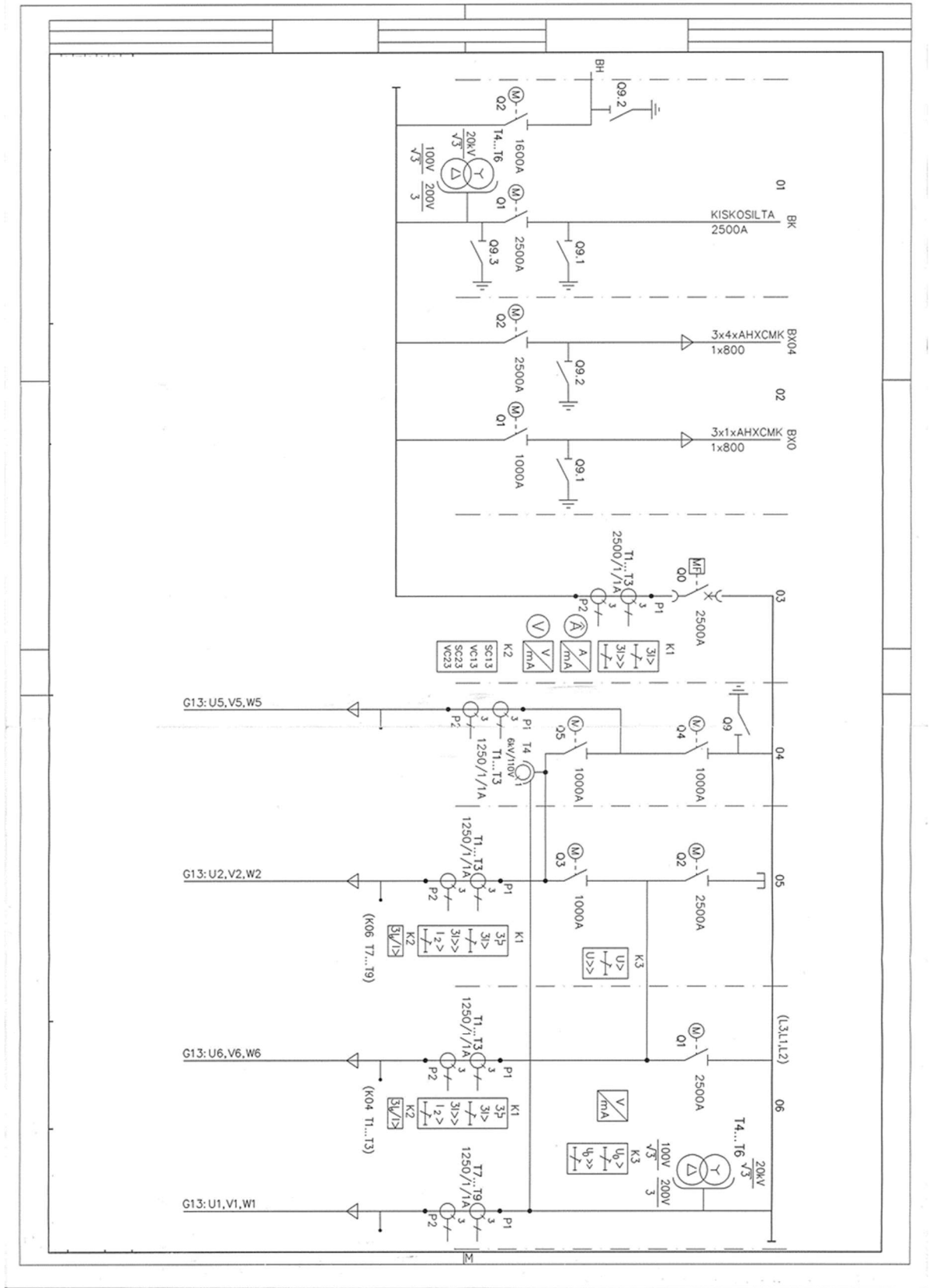
- 27 REG 615 – konekennotermiinaali, tuoteopas. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/9fa11eff0f8043b4908fbd895f1a3e5d/REG615_appl_758272_ENa.pdf>. Luettu 7.11.18
- 28 REF 615 – konekennotermiinaali, tuoteopas. Verkkoaineisto. <https://library.e.abb.com/public/63f24f53d4a84effc12577f20036a373/RE_615_oper_756792_Flc.pdf>. Luettu 7.11.18

G12 yleiskuva



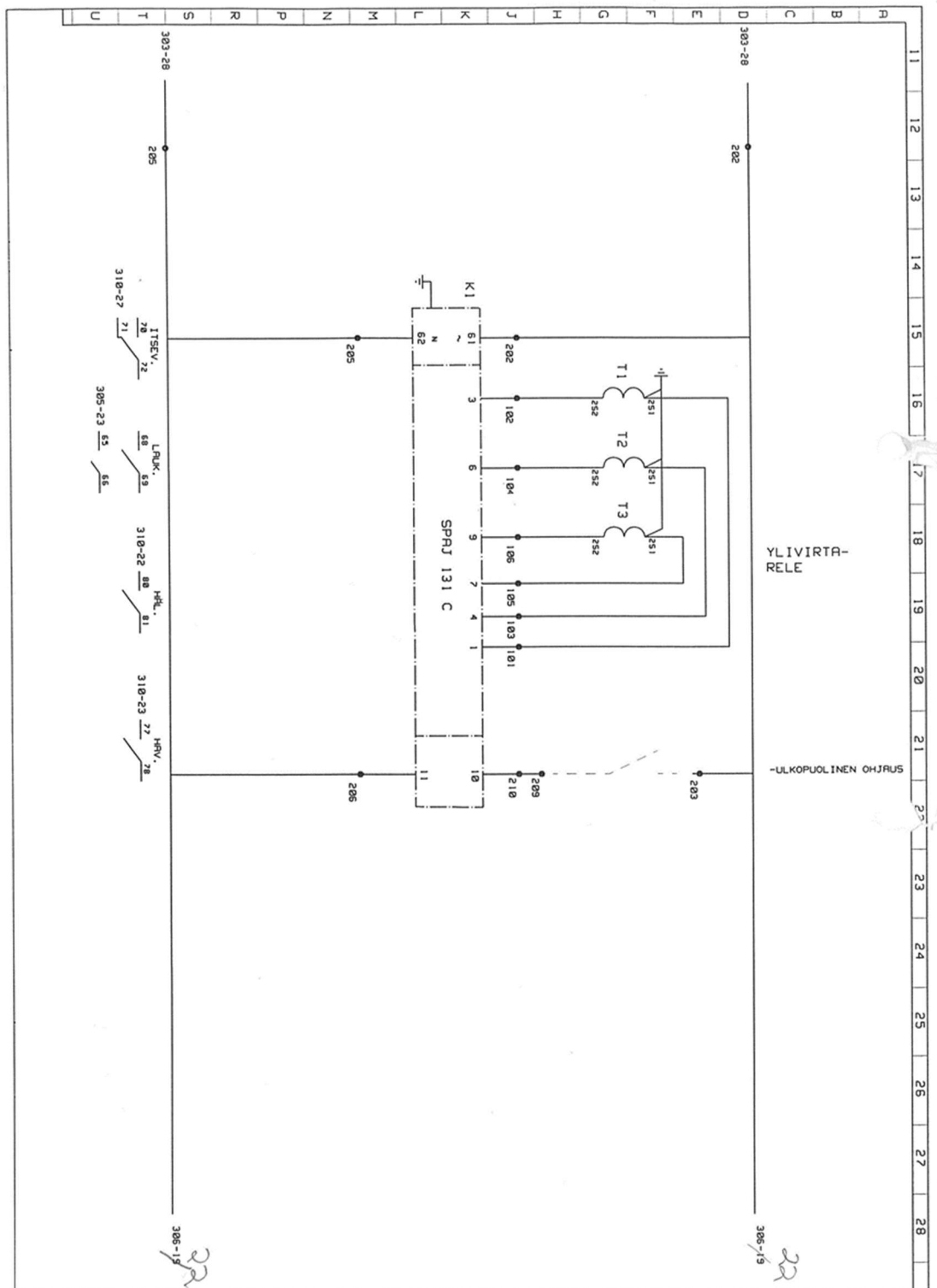
G13 yleiskuva

G13 yleiskuva



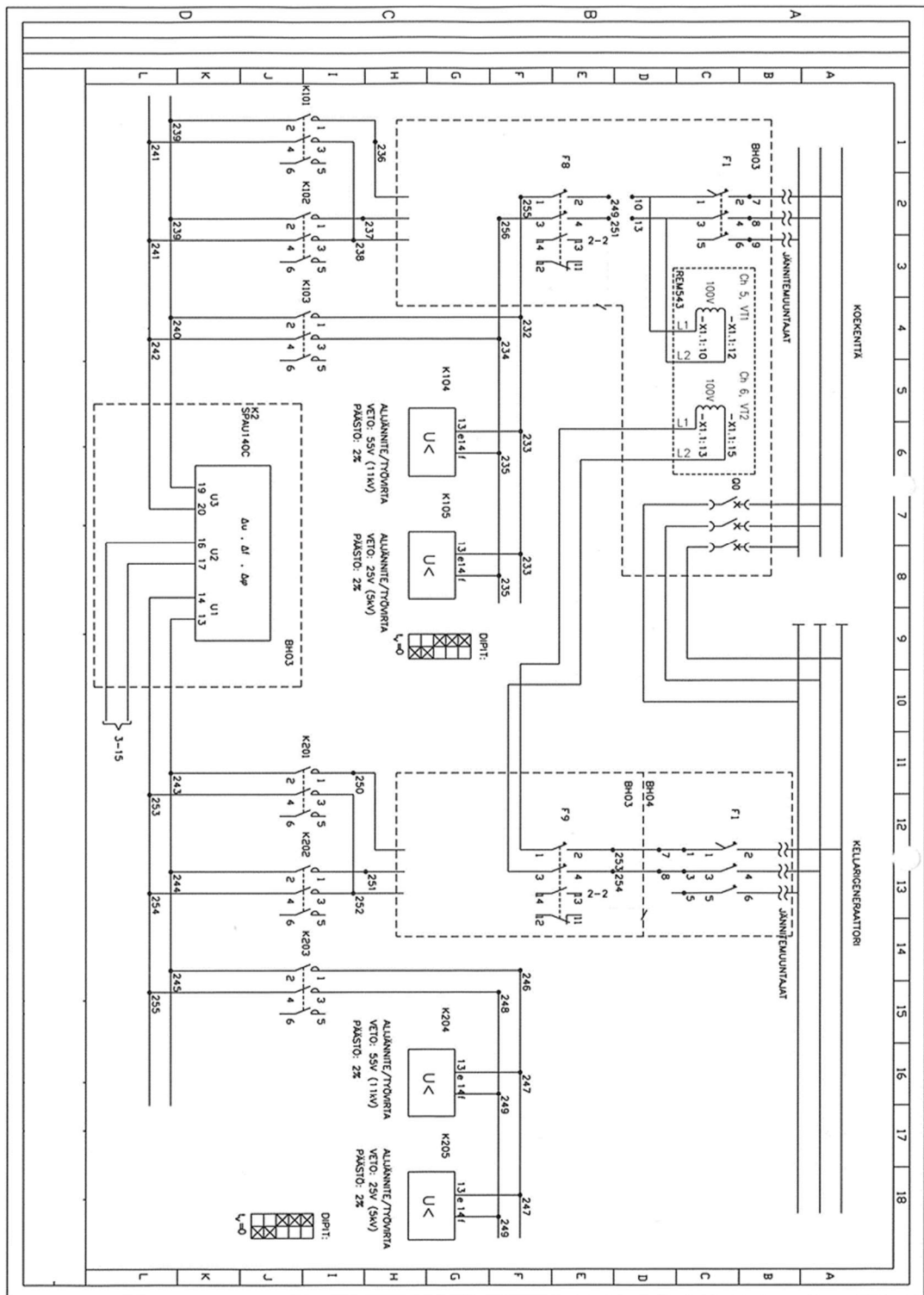
Releiden kytkentäkaaviot G12

Releiden kytkentäkaaviot, G12, kenno BH03, ylivirtarele



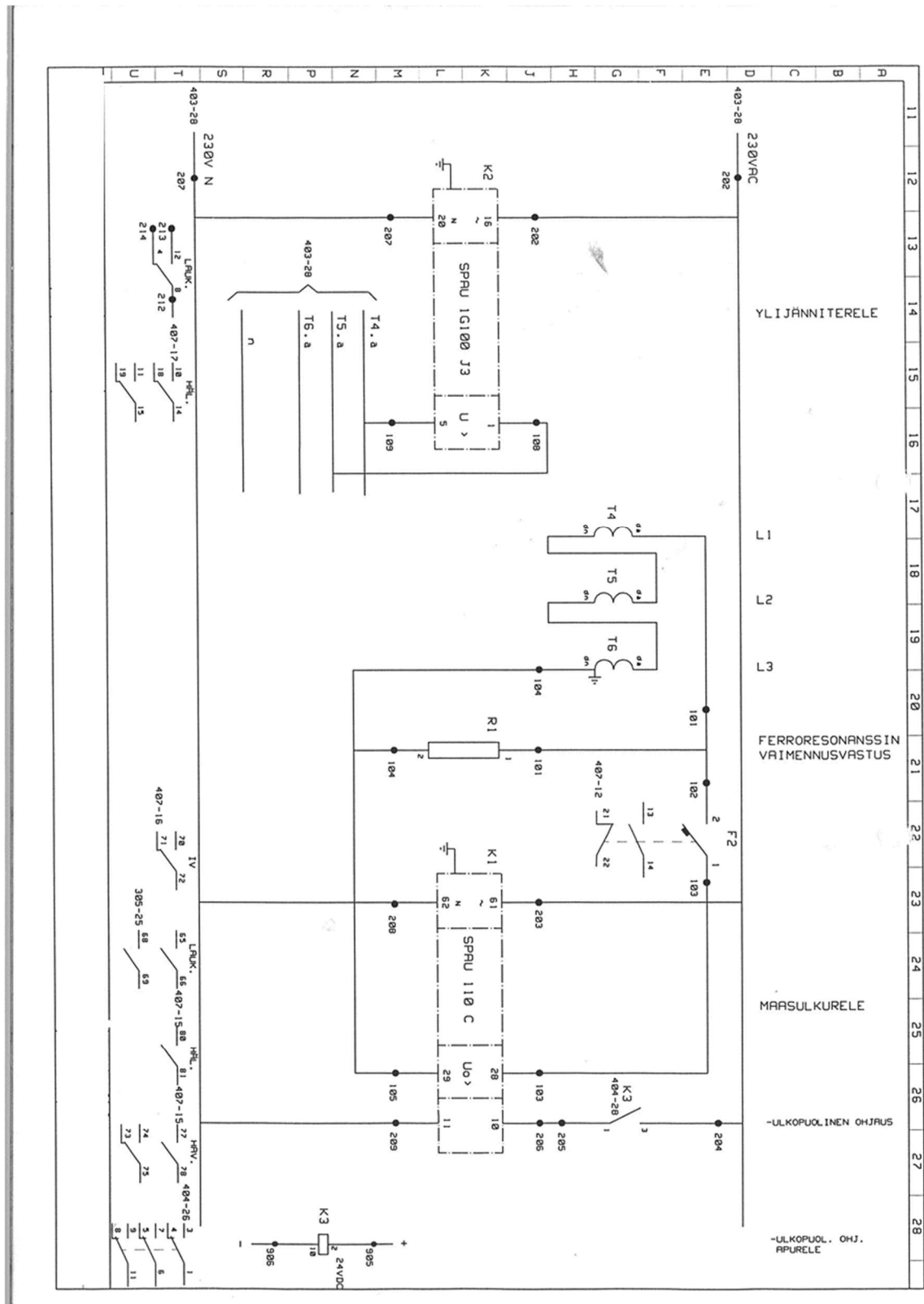
Releiden kytkentäkaaviot G12

Releiden kytkentäkaaviot, G12, kenno BH02, tahdistus



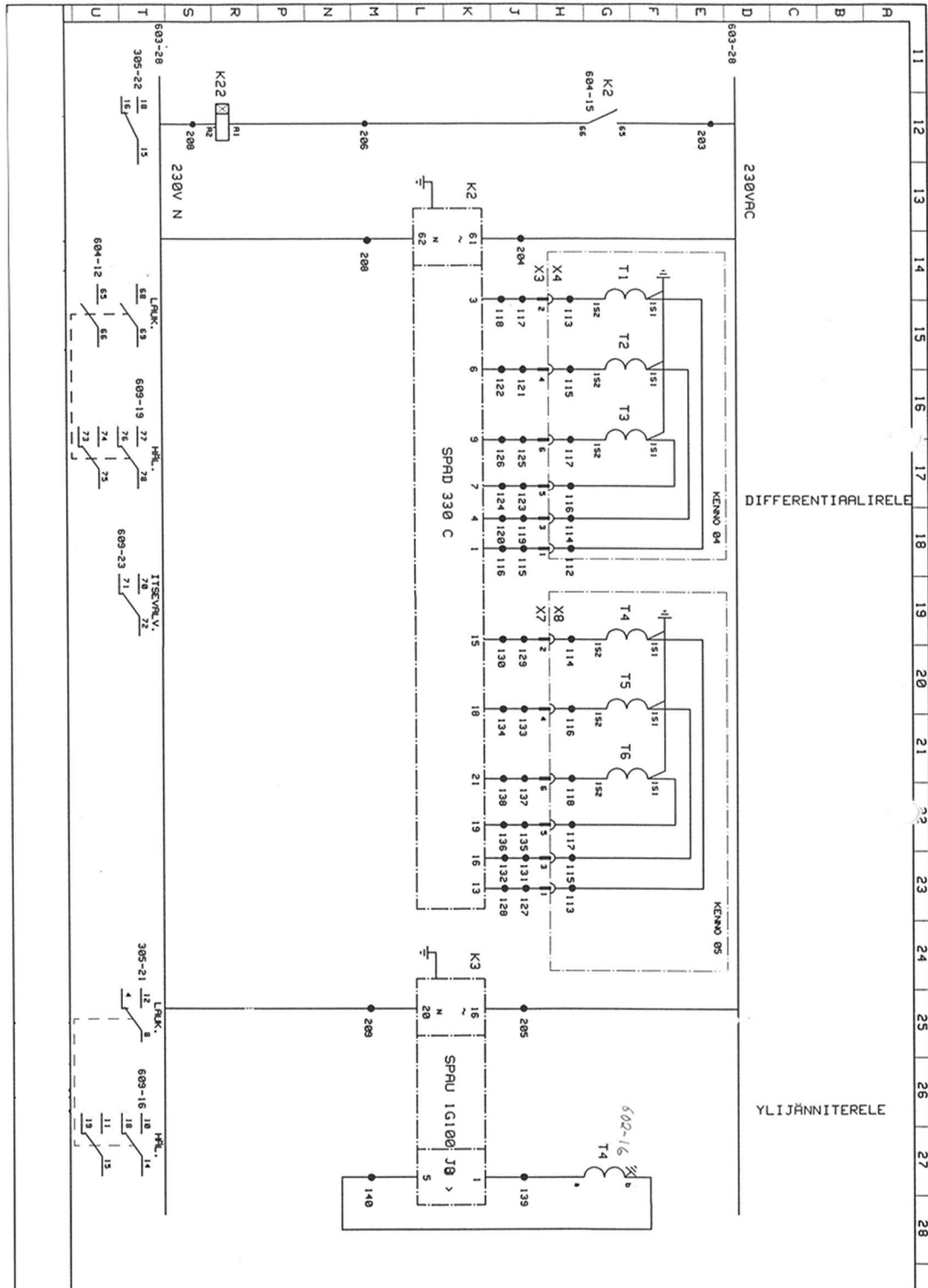
Releiden kytkentäkaaviot G12

Releiden kytkentäkaaviot, G12, kenno BH04, jänniterele ja nollajänniterele



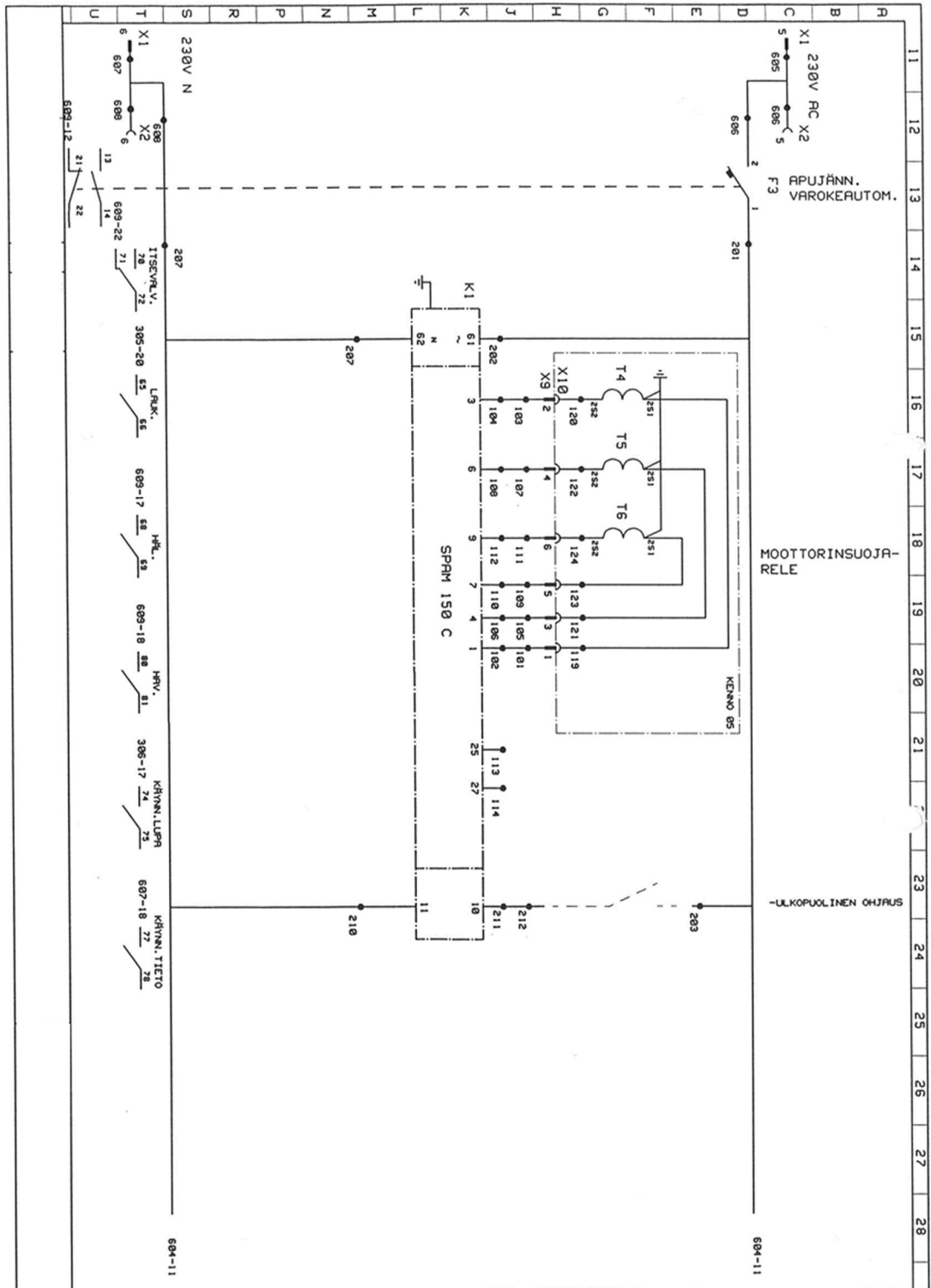
Releiden kytkentäkaaviot G12

Releiden kytkentäkaaviot, G12, kenno BH06, jänniterele ja differentiaalirele



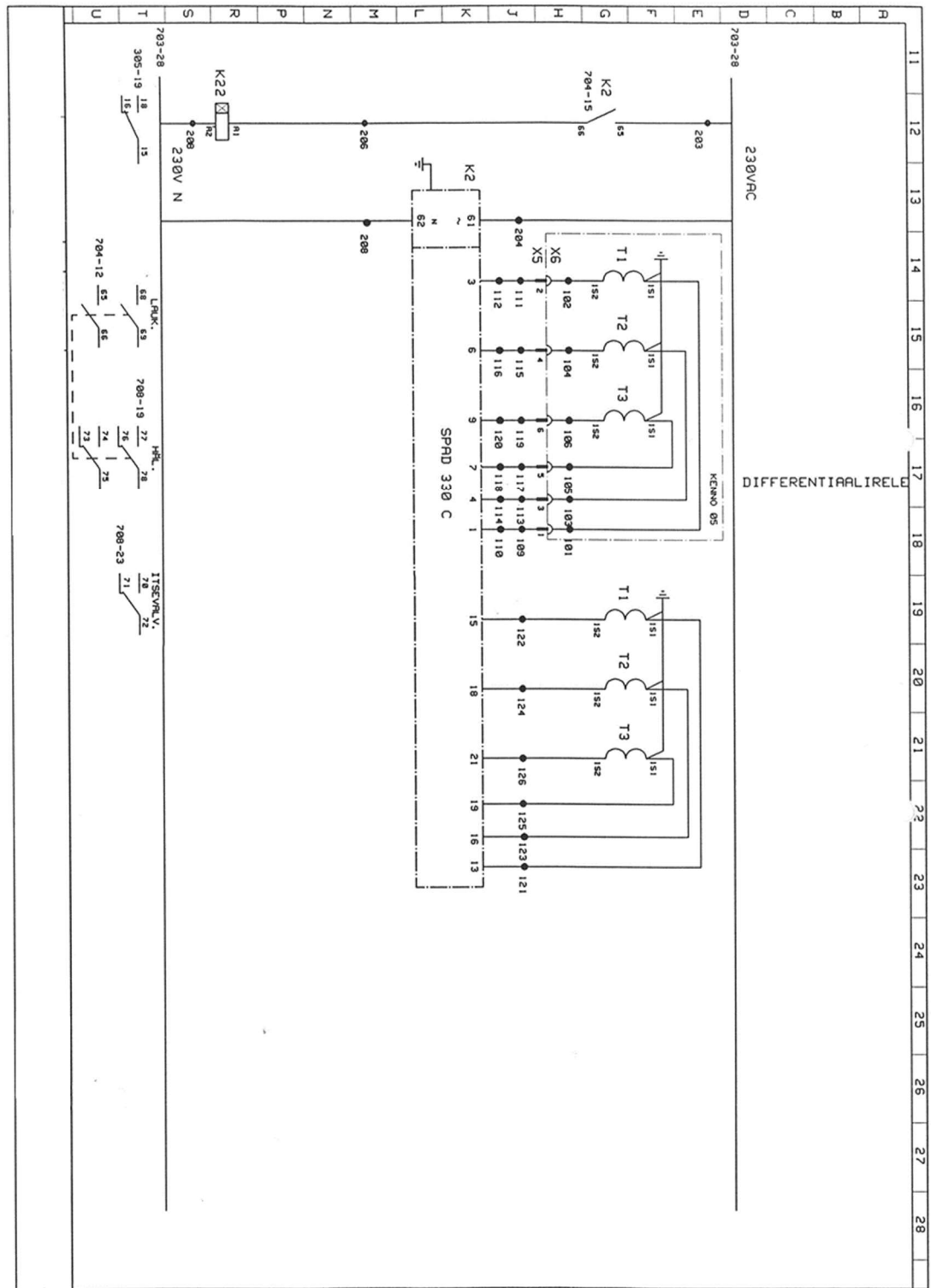
Releiden kytkentäkaaviot G12

Releiden kytkentäkaaviot, G12, kenno BH06, moottorinsuojarele



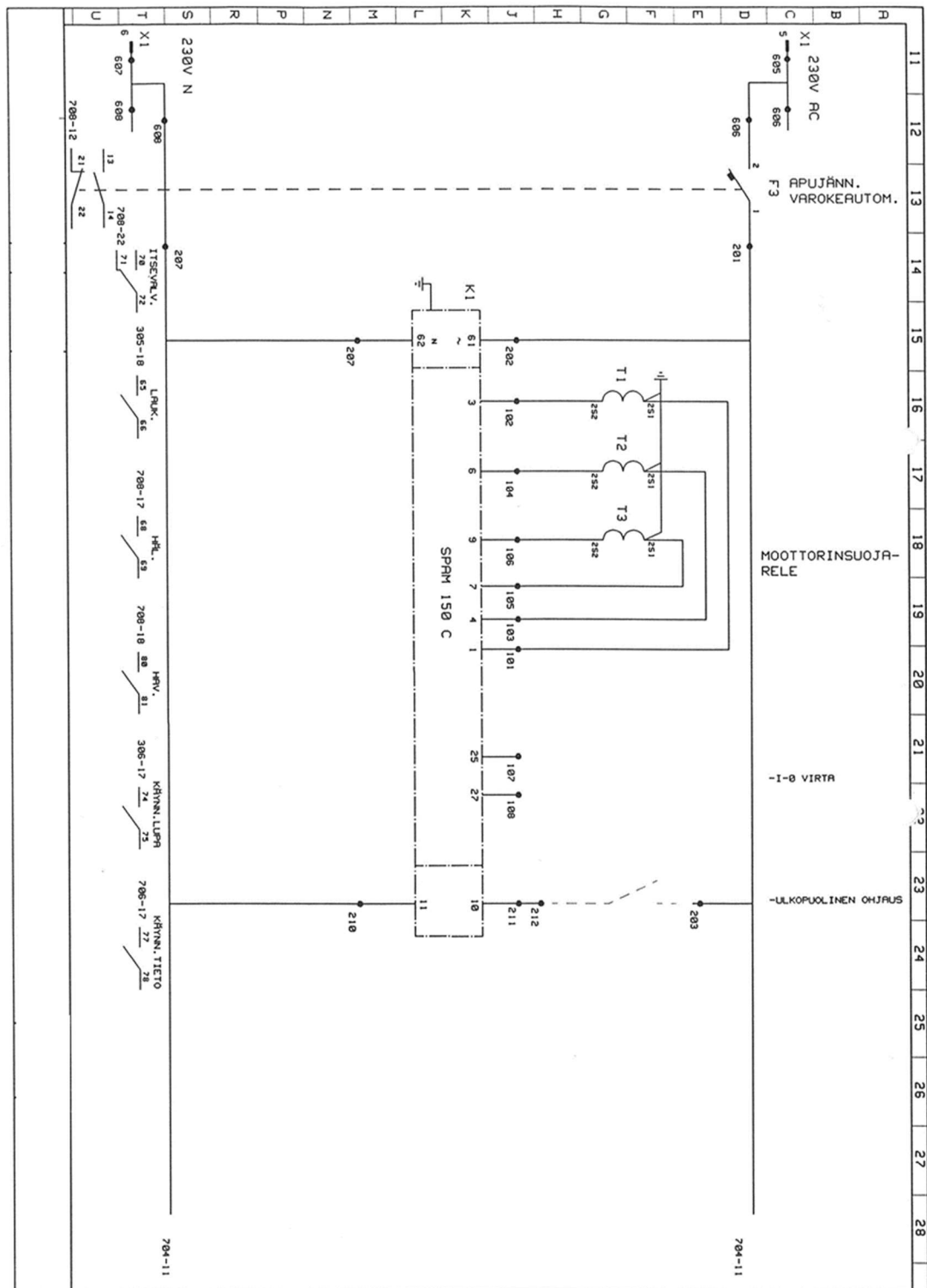
Releiden kytkentäkaaviot G12

Releiden kytkentäkaaviot, G12, kenno BH07, differentiaalirele



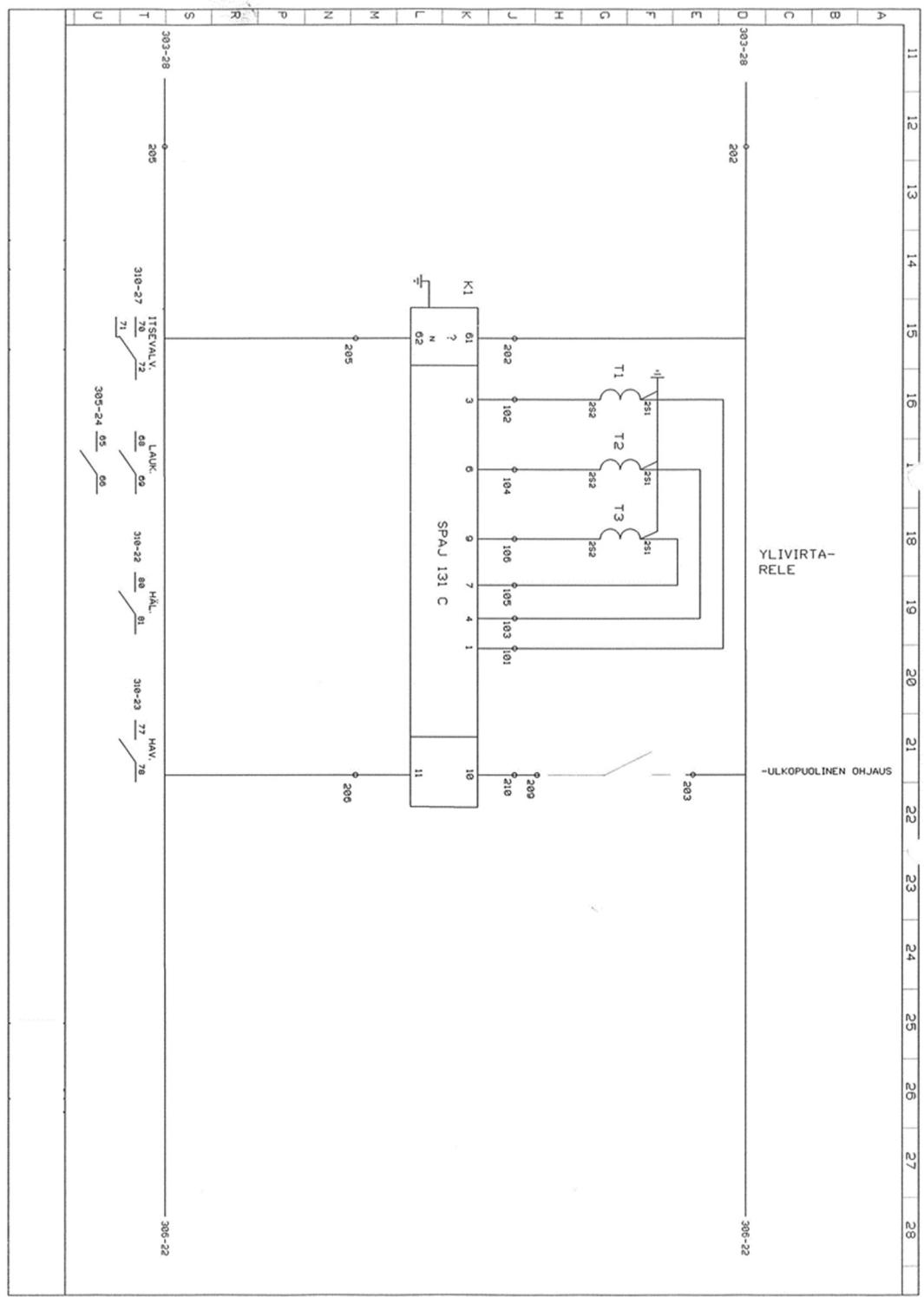
Releiden kytkentäkaaviot G12

Releiden kytkentäkaaviot, G12, kenno BH07, moottorinsuojarele



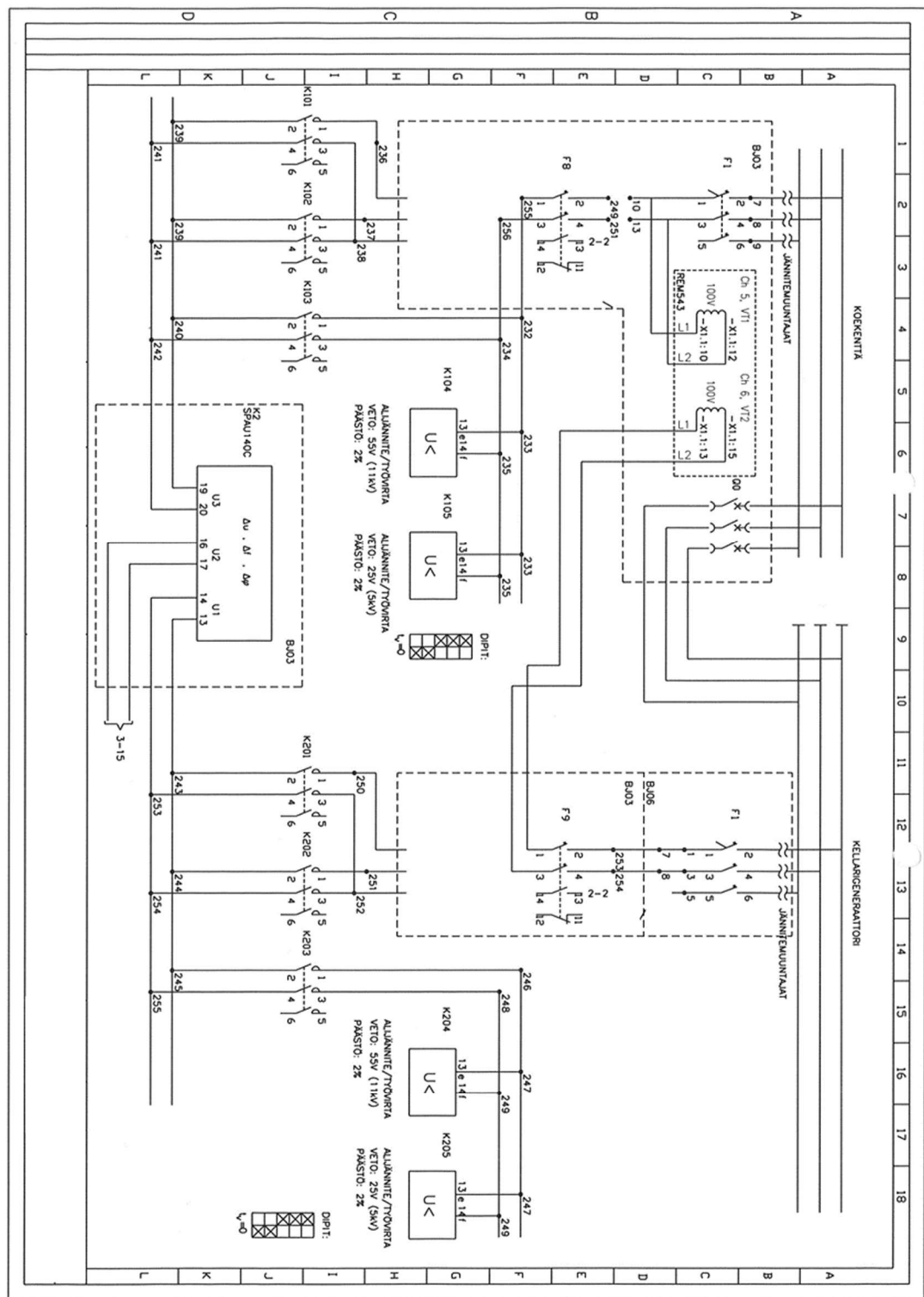
Releiden kytkentäkaaviot G13

Releiden kytkentäkaaviot, G13, kenno BJ03, ylivirtarele



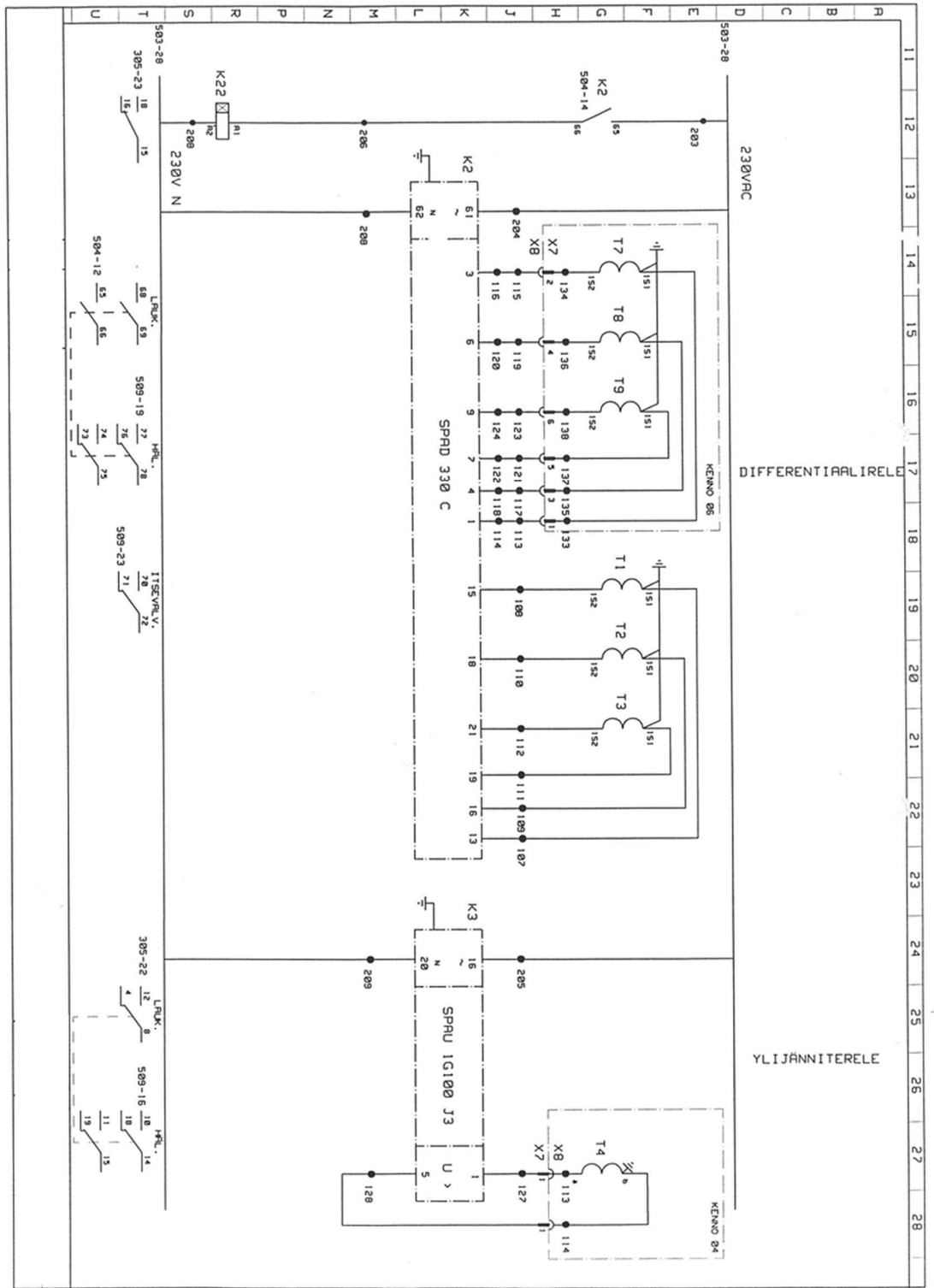
Releiden kytkentäkaaviot G13

Releiden kytkentäkaaviot, G13, kenno BJ02, tahdistus



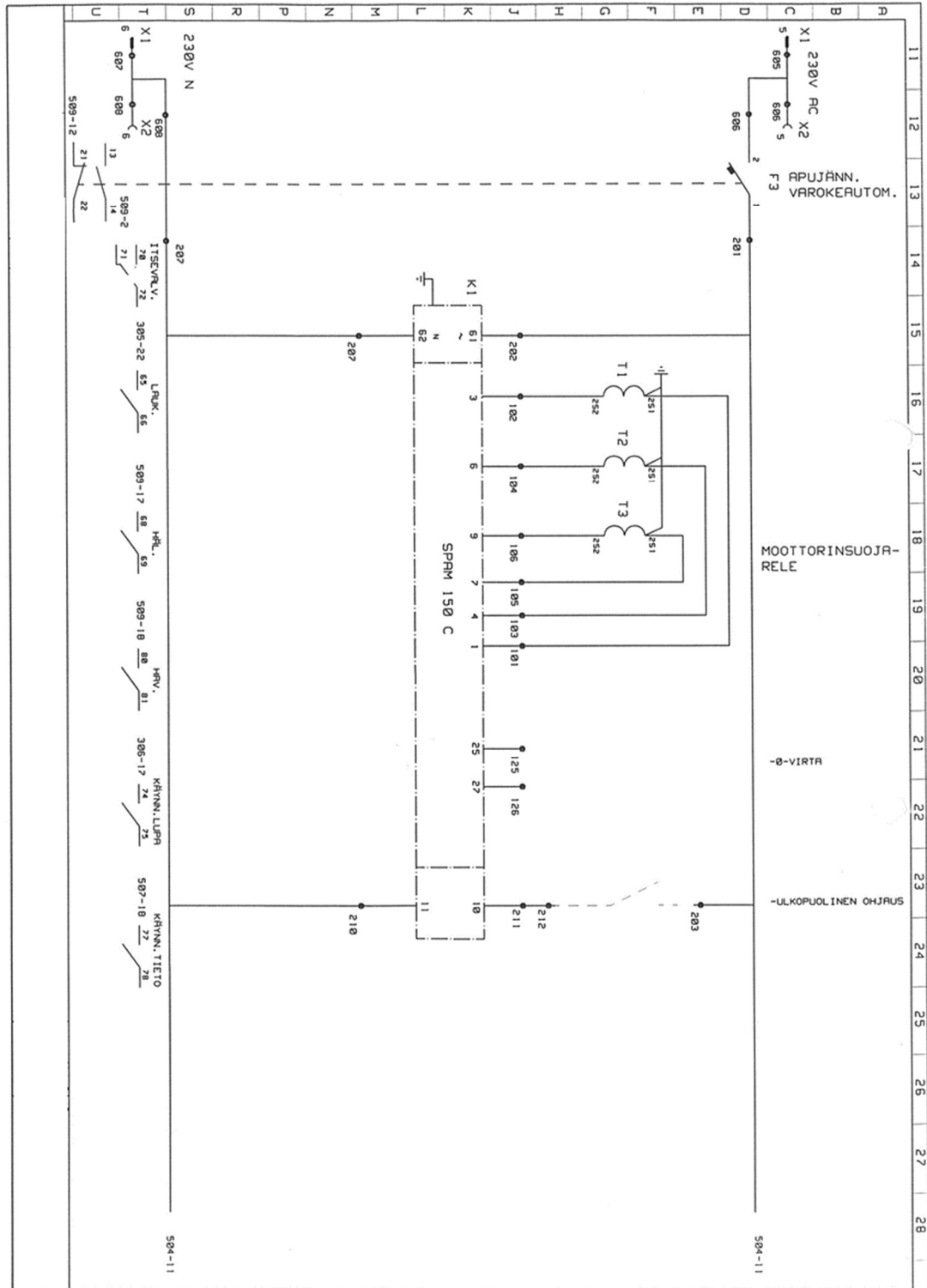
Releiden kytkentäkaaviot G13

Releiden kytkentäkaaviot, G13, kenno BJ05, ylijänniterele ja differentiaalirele



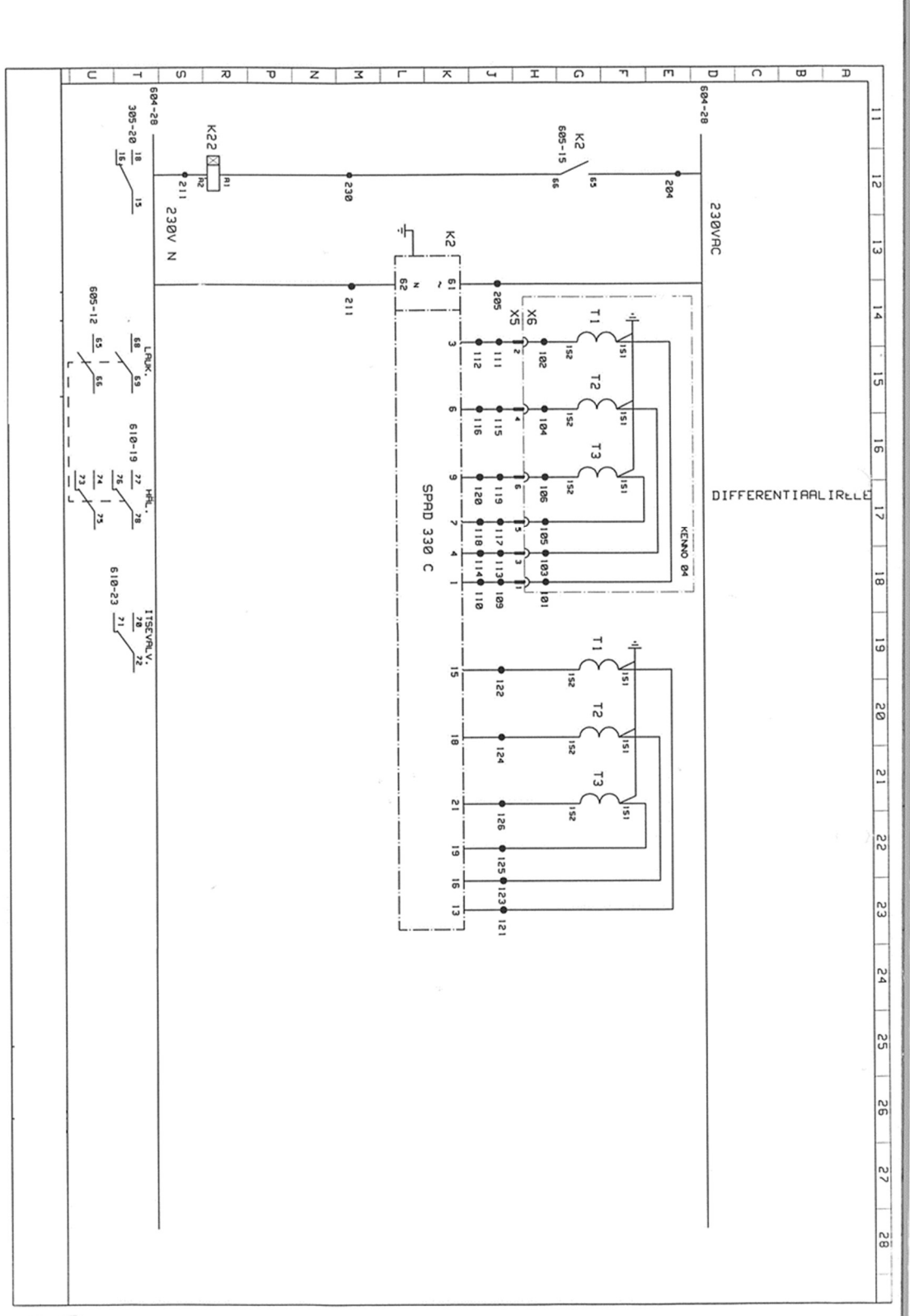
Releiden kytkentäkaaviot G13

Releiden kytkentäkaaviot, G13, kenno BJ05, moottorinsuojarele



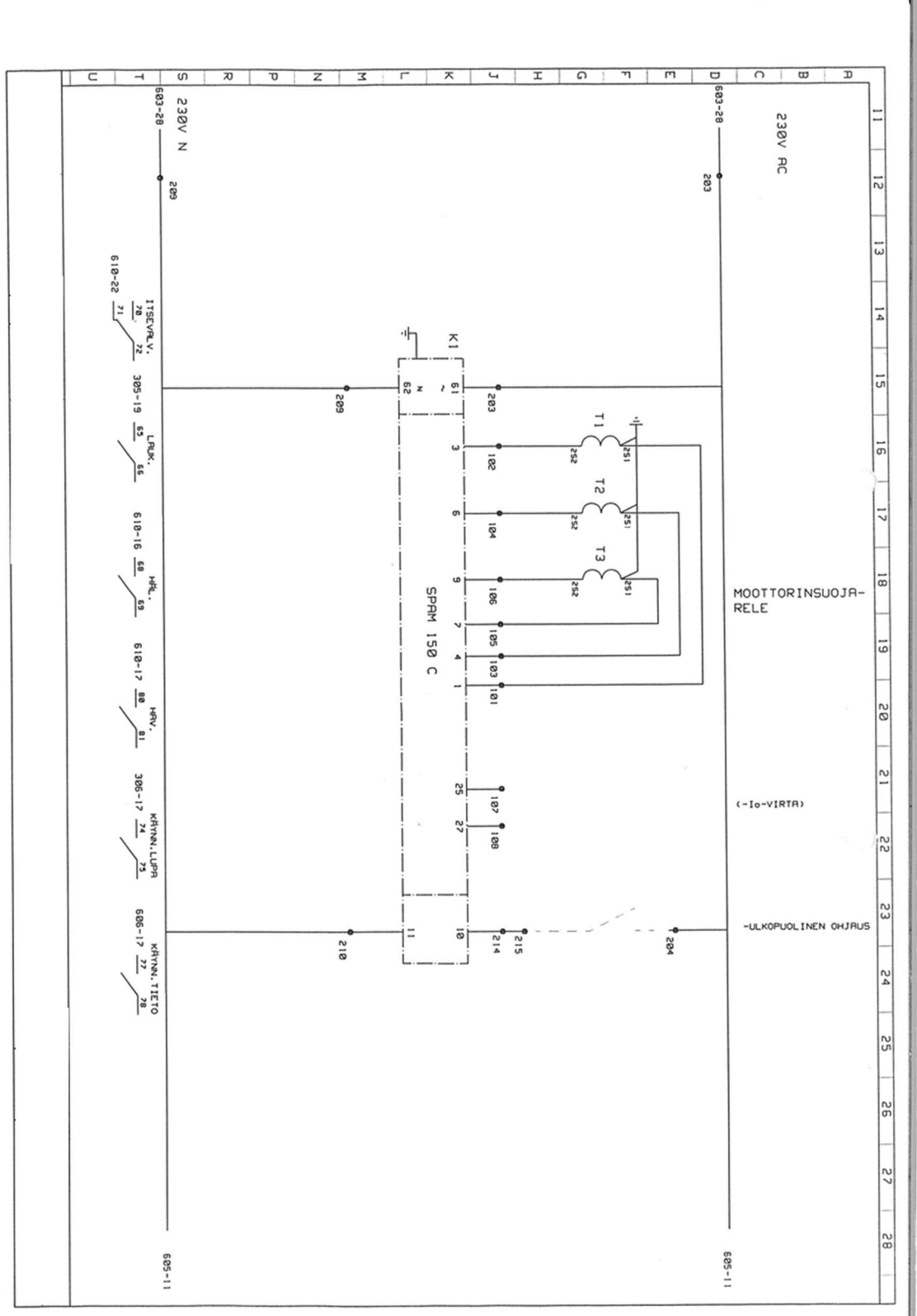
Releiden kytkentäkaaviot G13

Releiden kytkentäkaaviot, G13, kenno BJ06, differentiaalirele



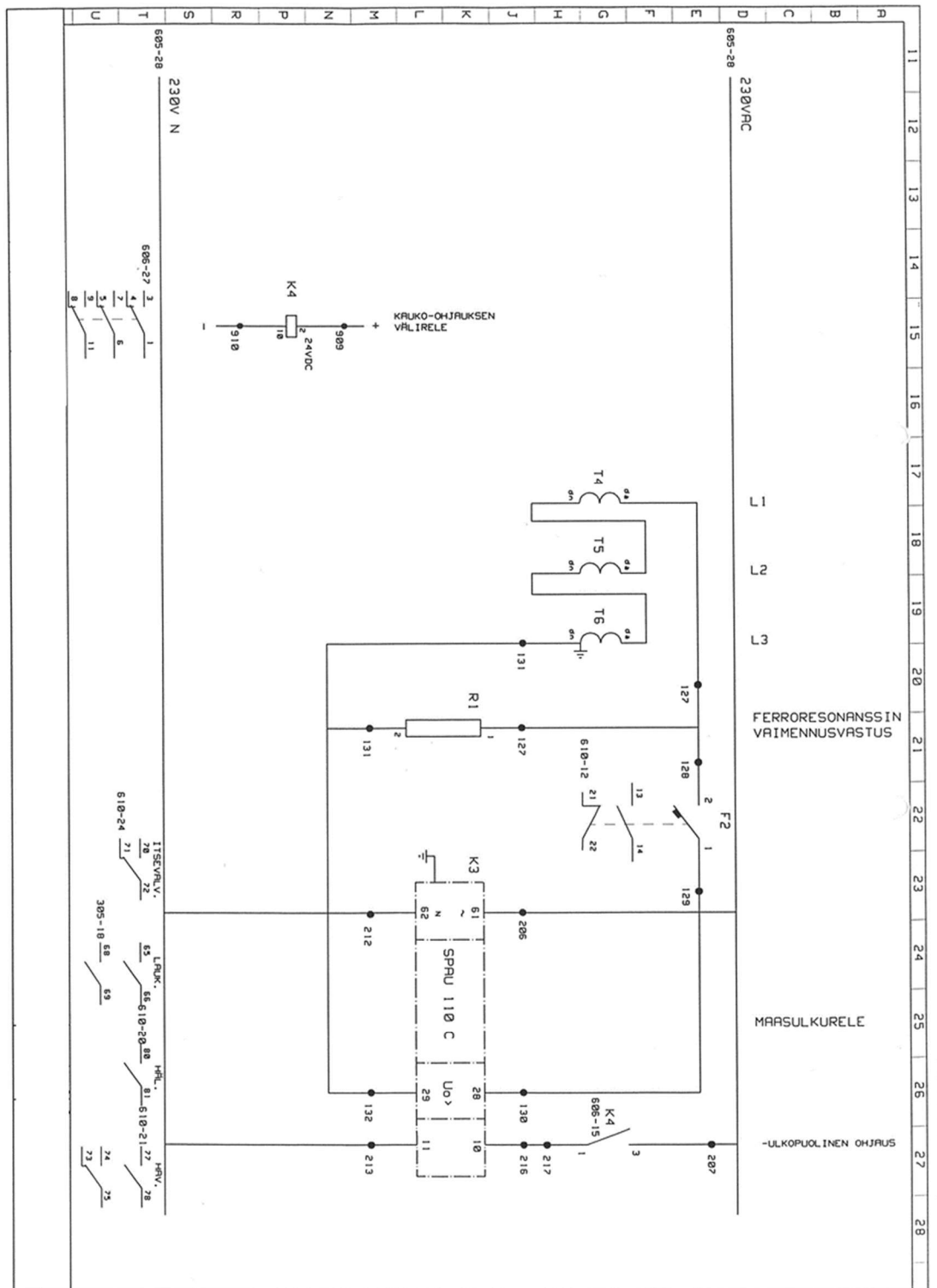
Releiden kytkentäkaaviot G13

Releiden kytkentäkaaviot, G13, kenno BJ06, moottorinsuojarele



Releiden kytkentäkaaviot G13

Releiden kytkentäkaaviot, G13, kenno BJ06, nolajänniterele



Releiden kytkinryhmien selostukset

Ylivirtareleen kytkinryhmien SG1 ja SGR määritelmät

Kytkin	Toiminta																																													
SG1/1 SG1/2 SG1/3	<p>Kytkimellä SG1/3 valitaan, toimiiko I>-porras vakio- vai käänteisaikatoiminnassa. Vakioaikatoiminnassa kytkimillä SG1/1 ja SG1/2 määritellään laukaisuajan τ asettelualue. Käänteisaikatoiminnassa kytkimillä SG1/1 ja SG1/2 valitaan käytettävä ominaiskäyrästä.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>SG1/1</th> <th>SG1/2</th> <th>SG1/3</th> <th>Toimintatapa</th> <th>Laukaisuaika τ tai ominaiskäyrästä</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Vakioaika</td> <td>0,05...1,00 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>Vakioaika</td> <td>0,5...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>Vakioaika</td> <td>0,5...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>Vakioaika</td> <td>5...100 s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>Käänteisaika</td> <td>Extremely inverse</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>Käänteisaika</td> <td>Very inverse</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>Käänteisaika</td> <td>Normal inverse</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>Käänteisaika</td> <td>Long time inverse</td> </tr> </tbody> </table>	SG1/1	SG1/2	SG1/3	Toimintatapa	Laukaisuaika τ tai ominaiskäyrästä	0	0	0	Vakioaika	0,05...1,00 s	1	0	0	Vakioaika	0,5...10,0 s	0	1	0	Vakioaika	0,5...10,0 s	1	1	0	Vakioaika	5...100 s	0	0	1	Käänteisaika	Extremely inverse	1	0	1	Käänteisaika	Very inverse	0	1	1	Käänteisaika	Normal inverse	1	1	1	Käänteisaika	Long time inverse
SG1/1	SG1/2	SG1/3	Toimintatapa	Laukaisuaika τ tai ominaiskäyrästä																																										
0	0	0	Vakioaika	0,05...1,00 s																																										
1	0	0	Vakioaika	0,5...10,0 s																																										
0	1	0	Vakioaika	0,5...10,0 s																																										
1	1	0	Vakioaika	5...100 s																																										
0	0	1	Käänteisaika	Extremely inverse																																										
1	0	1	Käänteisaika	Very inverse																																										
0	1	1	Käänteisaika	Normal inverse																																										
1	1	1	Käänteisaika	Long time inverse																																										
SG1/4	<p>Laukaisusignaalien TS1 ja TS2 itsepidon valinta.</p> <p>Kun SG1/4=0, laukaisusignaalit palautuvat perustilaansa (=lähtörele päästää), kun toiminnan aiheuttanut mittaussignaali palautuu alle havahtumiskynnyksen. Kun SG1/4=1, laukaisusignaalit jäävät aktiivitilaansa (=lähtörele vetäneenä), vaikka mittaussignaali laskee alle havahtumiskynnyksen. Laukaisusignaalit palautetaan tällöin perustilaansa releen etupaneelista painamalla samanaikaisesti STEP- ja RESET-painiketta tai kaukokäytön kautta komennolla V101. Käytettäessä kuittauksen STEP- ja RESET-painikkeita myös muistiin rekisteröityneet tiedot nollautuvat. *)</p>																																													
SG1/5	<p>Pikalaukaisuportaan asetteluarvon automaattisen kaksinkertaistamisen valinta suojauskohdetta verkkoon kytkettäessä eli ns. käynnistystilanteessa.</p> <p>Kun SG1/5=0, asetteluarvoa ei kaksinkertaisteta. Kun SG1/5=1, I>>-portaan asetteluarvo kaksinkertaistuu automaattisesti käynnistystilanteessa. Tämä mahdollistaa pikalaukaisuportalle kytkentäsysäysvirtaa alemman asetteluarvon käytön</p>																																													
SG1/6	<p>Pikalaukaisuportaan asettelalueen valinta.</p> <p>Kun SG1/6=0, asettelualue on $2,5...20 \times I_n + \infty$, ääretön. Kun SG1/6=1, asettelualue on $0,5...4 \times I_n + \infty$, ääretön. Kun asettelualueeksi valitaan $0,5...4 \times I_n$, ylivirtarelemoduuli sisältää kaksi lähes identtistä virtaporrasta, jolloin moduulia voidaan käyttää kuormanpudotukseen. Pikalaukaisuporras voidaan asetella pois käytöstä kääntämällä asettelupotentiometri asentoon ∞, jolloin näytössä on kolme lyhyttä viivaa, - - -.</p>																																													
SG1/7 SG1/8	<p>Pikalaukaisuportaan laukaisuajan τ asettelalueen valinta</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>SG1/7</th> <th>SG1/8</th> <th>Laukaisuaika τ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,04...1,00 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0,4...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0,4...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>4...100 s</td> </tr> </tbody> </table>	SG1/7	SG1/8	Laukaisuaika τ	0	0	0,04...1,00 s	1	0	0,4...10,0 s	0	1	0,4...10,0 s	1	1	4...100 s																														
SG1/7	SG1/8	Laukaisuaika τ																																												
0	0	0,04...1,00 s																																												
1	0	0,4...10,0 s																																												
0	1	0,4...10,0 s																																												
1	1	4...100 s																																												

Kytkin	Toiminto	Tehdas-asettelu
SGR/1	Ohjaa laukaisujen lukitusignaalin ylivirtamoduulille	1
SGR/2	Ohjaa I>>-portaan havahtumissignaalin lähtöreleelle D	1
SGR/3	Ohjaa I>-portaan havahtumissignaalin lähtöreleelle D	1
SGR/4	Ohjaa I>>-portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle D	1
SGR/5	Ohjaa I>>-portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle C	1
SGR/6	Ohjaa I>>-portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle A	1
SGR/7	Ohjaa I>-portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle C	1
SGR/8	Ohjaa I>-portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle B	1

Releiden kytkinryhmien selostukset

Nollajännitereleen kytkinryhmien SG1 ja SGR määritelmät

Kytkin	Toiminta															
SG1/1 SG1/2	<p>$U_0>$-portaan laukaisuviiveen asettelalueen valinta</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>SG1/1</th> <th>SG1/2</th> <th>Laukaisuaika $t>$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,05...1,00 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0,5...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0,5...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>5...100 s</td> </tr> </tbody> </table>	SG1/1	SG1/2	Laukaisuaika $t>$	0	0	0,05...1,00 s	1	0	0,5...10,0 s	0	1	0,5...10,0 s	1	1	5...100 s
SG1/1	SG1/2	Laukaisuaika $t>$														
0	0	0,05...1,00 s														
1	0	0,5...10,0 s														
0	1	0,5...10,0 s														
1	1	5...100 s														
SG1/3	Ei käytössä. Oltava asennossa 0															
SG1/4	<p>Laukaisusignaalien TS1 ja TS2 itsepidon valinta.</p> <p>Kun $SG1/4=0$, laukaisusignaalit palautuvat perustilaansa (=lähtörele päästää), kun toiminnan aiheuttanut mitraussignaali palautuu alle havahtumiskynnyksen.</p> <p>Kun $SG1/4=1$, laukaisusignaalit jäävät aktiivitilaansa (=lähtörele vetäneenä), vaikka mitraussignaali laskee alle havahtumiskynnyksen. Laukaisusignaalit palautetaan tällöin perustilaansa releen etupaneelista painamalla samanaikaisesti STEP- ja RESET-painiketta tai kaukokäytön kautta komennolla V101. Käytettäessä kuittauksen STEP- ja RESET-painikkeita, myös muistiin rekiteröityneet tiedot nollautuvat</p>															
SG1/5	<p>$U_0>$-portaan havahtumisarvon asettelalueen valinta.</p> <p>Kun $SG1/5=0$, asettelualue on $2...20\% \times U_n$ Kun $SG1/5=1$, asettelualue on $10...100\% \times U_n$</p>															
SG1/6	<p>$U_0>>$-portaan havahtumisarvon asettelalueen valinta.</p> <p>Kun $SG1/6=0$, asettelualue on $10...80\% \times U_n + \infty$ Kun $SG1/6=1$, asettelualue on $2...16\% \times U_n + \infty$</p> <p>Ylempi toimintaporras voidaan asettaa pois käytöstä kääntämällä asettelupotentiometri asentoon ∞, jolloin näytössä on kolme lyhyttä viivaa, - - -.</p>															
SG1/7 SG1/8	<p>$U_0>>$-portaan laukaisuajan $t>>$ asettelalueen valinta</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>SG1/7</th> <th>SG1/8</th> <th>Laukaisuaika $t>>$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0,05...1,00 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0,5...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0,5...10,0 s</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>5...100 s</td> </tr> </tbody> </table>	SG1/7	SG1/8	Laukaisuaika $t>>$	0	0	0,05...1,00 s	1	0	0,5...10,0 s	0	1	0,5...10,0 s	1	1	5...100 s
SG1/7	SG1/8	Laukaisuaika $t>>$														
0	0	0,05...1,00 s														
1	0	0,5...10,0 s														
0	1	0,5...10,0 s														
1	1	5...100 s														

Kytkin	Toiminto	Tehdasasettelu
SGR/1	Ohjaa laukaisujen lukitussignaalin nollajännitemoduulille	1
SGR/2	Ohjaa $U_0>>$ -portaan havahtumissignaalin lähtöreleelle D	1
SGR/3	Ohjaa $U_0>$ -portaan havahtumissignaalin lähtöreleelle D	1
SGR/4	Ohjaa $U_0>>$ -portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle D	1
SGR/5	Ohjaa $U_0>>$ -portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle C	1
SGR/6	Ohjaa $U_0>>$ -portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle A	1
SGR/7	Ohjaa $U_0>$ -portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle C	1
SGR/8	Ohjaa $U_0>$ -portaan laukaisusignaalin lähtöreleelle B	1

Releiden kytkinryhmien selostukset

Moottorinsuojareleen kytkinryhmien SGF ja SGB määritelmät

Kytkin	Toiminta	Tehdas- asettelu	Käyttäjän asettelu	Paino- arvo								
SGF/1	Oikosulkusuoja käytössä tai poiskytkettynä. 0 = Oikosulkusuoja poiskytkettynä, jolloin näytössä näkyy "- - -" 1 = Oikosulkusuoja käytössä	1		1								
SGF/2	Oikosulkusuojan havahtumisarvon kahdennus moottorin käynnistyksissä. 0 = Ei havahtumisarvon kahdennustoimintoa 1 = Havahtumisarvon kahdennustoiminto mukana	1		2								
SGF/3	Maasulkuelimien laukaisun estävän virran asettelu moottorin täyden kuorman asetteluvirran I ₀ kerrannaisena seuraavan mukaisesti:	0		4								
SGF/4		0		8								
		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>SGF/3 = 0</td> <td>SGF/3 = 1</td> </tr> <tr> <td>SGF/4 = 0</td> <td>ei estoa</td> <td>esto 4 x I₀ virralla</td> </tr> <tr> <td>SGF/4 = 1</td> <td>esto 6 x I₀ virralla</td> <td>esto 8 x I₀ virralla</td> </tr> </table>		SGF/3 = 0	SGF/3 = 1	SGF/4 = 0	ei estoa	esto 4 x I ₀ virralla	SGF/4 = 1	esto 6 x I ₀ virralla	esto 8 x I ₀ virralla	
	SGF/3 = 0	SGF/3 = 1										
SGF/4 = 0	ei estoa	esto 4 x I ₀ virralla										
SGF/4 = 1	esto 6 x I ₀ virralla	esto 8 x I ₀ virralla										
SGF/5	Epäsyyntriaelin käytössä tai poiskytkettynä. 0 = Suoja ei käytössä, näytössä näkyy "- - -" 1 = Suoja käytössä	1		16								
SGF/6	Vaihejärjestyksen valvoja käytössä tai poiskytkettynä 0 = Valvoja ei käytössä, näytössä näkyy "- - -" 1 = Valvoja käytössä	1		32								
SGF/7	Lämpörasituksen valvontaan perustuva käynnistys-senvälvonta, I _s ² x t _s tai I _s & t _s -periaatteella. 0 = I _s & t _s -periaate 1 = I _s ² x t _s -periaate	1		64								
SGF/8	Alivirtaelin käytössä tai poiskytkettynä. 0 = Alivirtaelin ei käytössä, näytössä näkyy "- - -" 1 = Alivirtaelin käytössä	0		128								
Kytkinryhmän SGF tarkistussumman tehdasasettelu, joka releeseen on asetettu koestuksen yhteydessä.				115								

Kytkin	Toiminta	Tehdas- asettelu	Käyttäjän asettelu	Paino- arvo
SGB/1	Kun SGB/1 = 1 oteraan jumi tieto moottorin kierros- lukuvartijalta releelle. Tätä ominaisuutta käytetään pääasiallisesti ExE-tyyppisten moottorien yhteydessä, kun moottorin sallittu jumiaika on lyhyempi kuin sen käynnistysaika.	0		1
SGB/2	Kun SGB/2 = 1 on moottorin uudellenkäynnistys ulkoisella ohjauksella estetty. Voidaan käyttää kun moottorin uudellenkäynnistys halutaan sitoa johonkin ulkoiseen automatiikkaan.	0		2
SGB/3	Kun SGB/3 = 1 voidaan epäsymmetriaelimen toi- minta estää ulkoisella ohjauksella BS. Kun lukitus poistuu toimii elin normaalilla toiminta-ajallaan. Voidaan käyttää esim. toiminnan estoon, kun moot- tori on kytketty pehmeäkäynnistimeen.	0		4
SGB/4	Kun SGB/4 = 1 voidaan maasulkuelimien toiminta estää ulkoisella ohjauksella BS. Kun lukitus poistuu, toimii elin normaalilla toiminta-ajallaan. Voidaan käyttää esimerkiksi estettäessä turhia pehmo- käynnistimistä tai virtamuuntajien kylästämisestä johtuvia laukaisuja.	0		8
SGB/5	Kun SGB/5 = 1 voidaan ulkoinen laukaisukäsky johtaa lähtöreleelle A. Tätä ominaisuutta käyttäen voidaan ulkoiset suojareleet liittää laukaisulinjaan. Huom! SPCJ-yksikkö ei anna hälytystä laukaisuusta, se on saatava ulkoisen suojareleen koskettimelta.	0		16
SGB/6	Kun SGB/6 = 1 voidaan rele kuitata käsin ulkoisella kuitauspainikkeella. Samalla kuitauspainikkeella voidaan kuitata kaikki aseman releet. Toinen mah- dollisuus on johdottaa kuitaus jollekin automaatio- järjestelmälle.	0		32
SGB/7	Lähtöreleen itsepito oikosulku-, maasulku- ja epä- symmetriasuojan lauetta. Kun SGB/7 = 0 palaa lähtörele perustilaansa, eli lähtörele päästää kun toiminnan aiheuttanut mittauus suure laskee alle ha- vahtumistasonsa. Kun SGB/7 = 1 jää laukaisusignaali voimaan, eli lähtörele jää vetäneeksi, vaikka mittauus suure laskee alle havahtumistasonsa. Laukaisureleen palautus on esitetty jaksossa "Suojauselimien selostukset".	0		64
SGB/8	Laukaisureleen itsepito toiminnan jälkeen aiheutta- vasta suojarele-elimistä riippumatta. Kun SGB/8 = 0 palaa lähtörele perustilaansa, eli lähtörele päästää kun toiminnan aiheuttanut mittauus suure laskee alle havahtumistasonsa. Kun SGB/8 = 1 jää laukaisusignaali voimaan, eli lähtörele jää vetäneeksi vaikka mittauus suure laskee alle havahtumistasonsa. Laukaisureleen palautus on esitetty jaksossa "Suojauselimien selostukset".	0		128
Kytkinryhmän SGB tarkistussumman tehdasasettelu, joka releeseen on asetettu koestuksen yhteydessä.				0

Releiden kytkinryhmien selostukset

Moottorinsuojareleen kytkinryhmien SGR1, SGR2 ja SG4 määritelmät

Valintakytkinryhmä SGR1

Kytkin	Toiminto	Tehdas- asettelu	Käyttäjän asettelu	Paino- arvo
1	Kun SGR1/1 = 1 on ylikuormituselimen esihälytys johdettu lähtölinjaan SS2	1		1
2	Kun SGR1/2 = 1 on ylikuormituselimen laukaisu johdettu lähtölinjaan SS2	0		2
3	Kun SGR1/3 = 1 on jumisuojan laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS2	0		4
4	Kun SGR1/4 = 1 on oikosulkuelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS2	0		8
5	Kun SGR1/5 = 1 on epäsymmetriaelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS2	0		16
6	Kun SGR1/6 = 1 on maasulkuelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS2	0		32
7	Kun SGR1/7 = 1 on alivirtaelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS2	0		64
8	Kun SGR1/8 = 1 on maasulkuelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan TS2	1		128
Kytkinryhmän SGR1 tarkistussumman tehdasasettelu, joka releeseen on asetettu koestuksen yhteydessä.				129

Valintakytkinryhmä SGR2

1	Kun SGR2/1 = 1 on ylikuormituselimen esihälytys johdettu lähtölinjaan SS1	0		1
2	Kun SGR2/2 = 1 on moottorin käynnistystieto johdettu lähtölinjaan SS1	1		2
3	Kun SGR2/3 = 1 on oikosulkuelimen havahtumis-signaali johdettu lähtölinjaan SS1	0		4
4	Kun SGR2/4 = 1 on ylikuormituselimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS3	1		8
5	Kun SGR2/5 = 1 on jumisuojaelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS3	1		16
6	Kun SGR2/6 = 1 on epäsymmetriaelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS3	1		32
7	Kun SGR2/7 = 1 on maasulkuelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS3	1		64
8	Kun SGR2/8 = 1 on alivirtaelimen laukaisusignaali johdettu lähtölinjaan SS3	1		128
Kytkinryhmän SGR2 tarkistussumman tehdasasettelu, joka releeseen on asetettu koestuksen yhteydessä.				250

Kytkin	Toiminto	Tehdas- asettelu	Käyttäjän asettelu	Paino- arvo
1	Kytkeitä SG4/1 käytetään silloin, kun käynnistys- valvonnan toimintaperiaatteeksi on asetettu $I_s^2 \times t_s$ (SGF/7 = 1). Kun SG4/1=0, rele laskee $I_s^2 \times t_s$ -arvoa käynnistys- tilanteessa. Käynnistystilanne määritellään tilanteena, jossa vaihevirrat nousevat alle 60 ms:ssa $0,12 \times I_0$ alittavasta arvosta $1,5 \times I_0$ ylittävään arvoon. Käynnistystilanne päättyy vaihevirtojen alittaessa 100 ms ajaksi tason $1,25 \times I_0$. Kun SG4/1=1, rele aloittaa $I_s^2 \times t_s$ -arvon laskemisen havahtumisvirran I_s ylittyessä.	0		1
2	Kun SG4/2=1, uudelleenkäynnistys lupatieto TS1 ei ole käytössä.	0		2
3	Kun SG4/3=1, on I_s -portaan havahtumissignaali johdettu suoraan lähdölle SS1.	0		4
Kytkinryhmän SG4 tarkistussumman tehdasasettelu, joka releeseen on asetettu koestuksen yhteydessä.				0

Releiden kytkinryhmien selostukset

Differentiaalireleen kytkinryhmän SG1 määritelmät tähtikytkennälle

Kytkeäryhmän
sovitus

Taulukko 1. Muuntajan kytkentäryhmän sovi-
tus, kun muuntajan yläjännitepuoli on kytketty
tähteen.

Kytkeäryhmän SG1 kytkimet 1...6							Muuntajan kytkentäryhmä		Releen kytkentäryhmä	
1	2	3	4	5	6	Tarkistus- summa (1)	I (2)	II (3)	Yläjännite- puoli	Alajännite- puoli
0	0	0	0	0	0	0	Yy6	Yy0	Yy0	Yy0
1	0	0	0	0	0	1	YNd7	YNd1	Yd1	Yy0
0	1	0	0	0	0	2	YNd11	YNd5	Yd5	Yy0
1	1	0	0	0	0	3	Yy0	Yy6	Yy6	Yy0
0	0	1	0	0	0	4	YNd1	YNd7	Yd7	Yy0
1	0	1	0	0	0	5	YNd5	YNd11	Yd11	Yy0
0	1	1	0	0	0	6	Yd5	Yd11	Yy0	Yd1
1	1	1	0	0	0	7	YNyn6	YNyn0	Yd1	Yd1
0	0	0	1	0	0	8	YNyn10	YNyn4	Yd5	Yd1
1	0	0	1	0	0	9	Yd11	Yd5	Yy6	Yd1
0	1	0	1	0	0	10	YNyn0	YNyn6	Yd7	Yd1
1	1	0	1	0	0	11	YNyn4	YNyn10	Yd11	Yd1
0	0	1	1	0	0	12	Yd1	Yd7	Yy0	Yd5
1	0	1	1	0	0	13	YNyn2	YNyn8	Yd1	Yd5
0	1	1	1	0	0	14	YNyn6	YNyn0	Yd5	Yd5
1	1	1	1	0	0	15	Yd7	Yd1	Yy6	Yd5
0	0	0	0	1	0	16	YNyn8	YNyn2	Yd7	Yd5
1	0	0	0	1	0	17	YNyn0	YNyn6	Yd11	Yd5
0	1	0	0	1	0	18	Yy0	Yy6	Yy0	Yy6
1	1	0	0	1	0	19	YNd1	YNd7	Yd1	Yy6
0	0	1	0	1	0	20	YNd5	YNd11	Yd5	Yy6
1	0	1	0	1	0	21	Yy6	Yy0	Yy6	Yy6
0	1	1	0	1	0	22	YNd7	YNd1	Yd7	Yy6
1	1	1	0	1	0	23	YNd11	YNd5	Yd11	Yy6
0	0	0	1	1	0	24	Yd11	Yd5	Yy0	Yd7
1	0	0	1	1	0	25	YNyn0	YNyn6	Yd1	Yd7
0	1	0	1	1	0	26	YNyn4	YNyn10	Yd5	Yd7
1	1	0	1	1	0	27	Yd5	Yd11	Yy6	Yd7
0	0	1	1	1	0	28	YNyn6	YNyn0	Yd7	Yd7
1	0	1	1	1	0	29	YNyn10	YNyn4	Yd11	Yd7
0	1	1	1	1	0	30	Yd7	Yd1	Yy0	Yd11
1	1	1	1	1	0	31	YNyn8	YNyn2	Yd1	Yd11
0	0	0	0	0	1	32	YNyn0	YNyn6	Yd5	Yd11
1	0	0	0	0	1	33	Yd1	Yd7	Yy6	Yd11
0	1	0	0	0	1	34	YNyn2	YNyn8	Yd7	Yd11
1	1	0	0	0	1	35	YNyn6	YNyn0	Yd11	Yd11

- 1) Tähän kytkimien 1...6 tarkistussummaan on lisättävä kytkimien 7 ja 8 arvot verrattaessa tarkistussummaa releen näyttämään.
- 2) I viittaa virtamuuntajien peruskytkentään I - maadoitukset sisä- tai ulkopuolella, vrt. sovellutusesimerkit 1 ja 3, seloste "Differentiaalirele SPAD 330 C" 34 SPAD 4F11.
- 3) II viittaa virtamuuntajien peruskytkentään II - maadoitukset sisä- ja ulkopuolella, vrt. sovellutusesimerkki 2, em. seloste.

Releiden kytkinryhmien selostukset

Differentialireleen kytkinryhmän SG1 määritelmät kolmiokytkennälle

Taulukko 2. Muuntajan kytkentäryhmän sovit-
tus, kun muuntajan yläjännitepuoli on kytketty
kolmioon.

Kytkinryhmän SG1 kytkimet 1...6							Muuntajan kytkentäryhmä	Releen kytkentäryhmä		
1	2	3	4	5	6	Tarkistus- summa (1)	I (2)	II (3)	Yläjännite- puoli	Alajännite- puoli
0	0	0	0	0	0	0	Dd6	Dd0	Yy0	Yy0
1	0	0	0	0	0	1	Dy7	Dy1	Yd1	Yy0
0	1	0	0	0	0	2	Dy11	Dy5	Yd5	Yy0
1	1	0	0	0	0	3	Dd0	Dd6	Yy6	Yy0
0	0	1	0	0	0	4	Dy1	Dy7	Yd7	Yy0
1	0	1	0	0	0	5	Dy5	Dy11	Yd11	Yy0
0	1	1	0	0	0	6	Dyn5	Dyn11	Yy0	Yd1
1	1	1	0	0	0	7	Dd6	Dd0	Yd1	Yd1
0	0	0	1	0	0	8	Dd10	Dd4	Yd5	Yd1
1	0	0	1	0	0	9	Dyn11	Dyn5	Yy6	Yd1
0	1	0	1	0	0	10	Dd0	Dd6	Yd7	Yd1
1	1	0	1	0	0	11	Dd4	Dd10	Yd11	Yd1
0	0	1	1	0	0	12	Dyn1	Dyn7	Yy0	Yd5
1	0	1	1	0	0	13	Dd2	Dd8	Yd1	Yd5
0	1	1	1	0	0	14	Dd6	Dd0	Yd5	Yd5
1	1	1	1	0	0	15	Dyn7	Dyn1	Yy6	Yd5
0	0	0	0	1	0	16	Dd8	Dd2	Yd7	Yd5
1	0	0	0	1	0	17	Dd0	Dd6	Yd11	Yd5
0	1	0	0	1	0	18	Dd0	Dd6	Yy0	Yy6
1	1	0	0	1	0	19	Dy1	Dy7	Yd1	Yy6
0	0	1	0	1	0	20	Dy5	Dy11	Yd5	Yy6
1	0	1	0	1	0	21	Dd6	Dd0	Yy6	Yy6
0	1	1	0	1	0	22	Dy7	Dy1	Yd7	Yy6
1	1	1	0	1	0	23	Dy11	Dy5	Yd11	Yy6
0	0	0	1	1	0	24	Dyn11	Dyn5	Yy0	Yd7
1	0	0	1	1	0	25	Dd0	Dd6	Yd1	Yd7
0	1	0	1	1	0	26	Dd4	Dd10	Yd5	Yd7
1	1	0	1	1	0	27	Dyn5	Dyn11	Yy6	Yd7
0	0	1	1	1	0	28	Dd6	Dd0	Yd7	Yd7
1	0	1	1	1	0	29	Dd10	Dd4	Yd11	Yd7
0	1	1	1	1	0	30	Dyn7	Dyn1	Yy0	Yd11
1	1	1	1	1	0	31	Dd8	Dd2	Yd1	Yd11
0	0	0	0	0	1	32	Dd0	Dd6	Yd5	Yd11
1	0	0	0	0	1	33	Dyn1	Dyn7	Yy6	Yd11
0	1	0	0	0	1	34	Dd2	Dd8	Yd7	Yd11
1	1	0	0	0	1	35	Dd6	Dd0	Yd11	Yd11

- 1) Tähän kytkimien 1...6 tarkistussummaan on lisättävä kytkimien 7 ja 8 arvot verrattaessa tarkistussummaa releen näyttämään.
- 2) I viittaa virtamuuntajien peruskytkentään I - maadoitukset sisä- tai ulkopuolella, vrt. sovellutusesimerkki 4, seloste "Differentialirele SPAD 330 C" 34 SPAD 4F11.
- 3) II viittaa virtamuuntajien peruskytkentään II - maadoitukset sisä- ja ulkopuolella, vrt. sovellutusesimerkki 5, em. seloste.