



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Virumaa Kolledž

ENEFIT 140 ALAJAAMA 6/0.4 kV
ELEKTRIVARUSTUSE KAASAJASTAMINE
ENEFIT 140 SUBSTATION 6/0.4 kV
ELECTRICAL MODERNISATION

LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Andrei Kazaritski

Üliõpilaskood: 143508RDPR

Juhendaja: Jüri Utt

Kohtla-Järve, 2021

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse-või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetel

"....." 2021

Juhendaja:

/allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."2021

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina _____ Andrei Kazaritski _____ (autori nimi) (sünnikuupäev:07.11.1984.....)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Enefit 140 alajaama 6/0,4 kV elektrivarustuse kaasajastamine

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on _____ Jüri Utt _____,

(juhendaja nimi)

1.1 Reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 Üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.

_____ (allkiri)

15.05.2021 _____ (kuupäev)

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane, Andrei Kazaritski

Õppekava, peeriala: RDPR06/09-Energiatehnika

Juhendaja(d): lektor, Jüri Utt, juri.utt@taltech.ee

Konsultant:

1.1.1.1 Lõputöö teema:

Eesti keeles: Enefit 140 alajaama 6/0,4 kV elektrivarustuse kaasajastamine

Inglise keeles: Enefit 140 substation 6/0,4 kV electrical modernisation

1.1.1.2 Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kehtiva elektrisüsteemi analüüsimine
2. Olemasoleva probleemi väljaselgitamine
3. Vajaliku arvutuste teostamine
4. Kaasajastamise lahenduse väljatöötamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Elektrivarustuse algandmete kogumine	01.02.2021
2.	Uue elektrivarustuse arvutus ja valimine	01.03.2021
3.	Lõputöö kirjutamine	01.04.2021

Töö keel: eesti **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....."..... 20.. a

Üliõpilane: Andrei Kazaritski..... "....."..... 20.. a
/allkiri/

Juhendaja: Jüri Utt..... "....."..... 20.. a
/allkiri/

Konsultant: "....."..... 20.. a
/allkiri/

Programmijuht: Veronika Shirokova..... "....."..... 20...a
/allkiri/

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. ALAJAAMA OLEMASOLEV ELEKTRIVARUSTUS	7
2. TARBIJATE KOORMUS	8
3. SOBIVA ELEKRTISKEEMI VALIK.....	10
4. REAKTIIVVÖIMSUSE KOMPENSEERIMINE	12
4.1. Kondensaator patarei võimsuse arvutus	12
4.2. Reguleeritav kondensaator patarei seade.....	14
4.3. VarSet Easy 250 kVAr	14
5. JÕUTRAFO 6/0,4 KV.....	16
5.1. Jõutrafo Trihal 1250 kVA	18
5.2. Kehtiva jõukaabli sobivus	18
5.3. Pinge langus	19
6. LÜHISVOOLU ARVUTAMINE	20
6.1. Automaat lüliti valik	22
7. JÕUTRAFO DIFERENTSIAALKAITSE	24
7.1. Jõutrafo diferentsiaalkaitse rele Sepam P3T32	25
8. ELEKTRIENERGIA ARVESTUS	27
KOKKUVÕTE	29
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	31
Lisa 1 Ühe soojusseade elektritarbijad	32
Lisa 2 Masterpact NT12H1-1250 A elektridiagrammid	33
Lisa 3 Varset easy ühendus	34
Lisa 4 Varplus logic vl6/vl12 elektriühendus	35
Lisa 5 Voolutrafo Δ -Y ühendus	36
Lisa 6 Voolutrafo Y-Y ühendus	37
Lisa 6 Sepam P3T32 lüliti juhtimine.....	38
Lisa 7 Sepam P3T32 elektriühendus	39
Lisa 8 Sepam P3T32 Funktsionaal vaade	40

SISSEJUHATUS

Selles lõputöös vaadeldakse tööstusalajaama 6/0,4 kV kaasajastamise võimalust Enefit 140 ettevõttes kehtiva elektrivarustuse arvesse võttes.

Autori arvamusel on vaadeldavas alajaamas võimalik vahetada vananenud elektrivarustuse uue vastu, mis on töökindlam, ohutum hooldamisel ja ökonoomsem kasutades uusi tehnoloogiaid. Samuti on võimalik paigaldada lisaelektrivarustuse, mille abil saab tulevikus elektrienergia kulusid vähendada ja tõsta kaitse taset.

Selles lõputöös tehakse alajaama tegeliku koormuse arvutus, et välja uurida kasutatava elektrivarustuse vastavust taotletud võimsuse suhtes; pakutakse muuta kehtiva elektriskeemi uue elektriskeemi kasuks, et vähendada lati ja kaitselülite koormusvoolu. Analüüsitakse kehtiva jõutransformaatori võimsust, et kontrollida selle vastavust kogu tarvitite toitmisele; analüüsitakse alajaama jõutrafo ülekoormuse taluvusvõimet erinevates olukordades enne tehtud arvutuste alusel. Tehakse kehtiva 6 kV toitekaablite pingelanguse arvutus. Tehakse analüüs ja vaadeldakse lisavarustuse paigaldamise võimalust alajaama reaktiivvõimsuse kompenseerimiseks, et vähendada koormusvoolusid ja kulusid reaktiivenergia katmiseks. Teostatakse lühisvoolu ja löökvoolu arvutus, mille alusel valitakse kaitselüliteid. Pakutakse rakendada tänapäevase jõutrafo diferentsiaalkaitse, mis põhineb Sepam P3T32 terminalil. Elektrienergia mõõtmiseks ja kontrollimiseks rakendatakse elektriarvesti Power Logic ION6200.

1. ALAJAAMA OLEMASOLEV ELEKTRIVARUSTUS

Tööstusalajaam 6/0,4 kV toidab ettevõtte Enefit 140 elektrivarustuse, mida kasutatakse osaliselt põlevkivi õli tootmisel. Enefit 140 on kaks soojusseadet ja need töötavad teineteisest sõltumatult. Alajaam koosneb kahest rööbiti ühendatud jõutrafoost TMГ11 166/6, mis töötavad paralleelselt ja reserveerivad teineteist avarii juhul. Normaalsel toimimisel töötab iga jõutrafo eraldi ja toidab oma soojusseadet. Selle jõutrafo nimivõimsus on 1600 kVA.

Need jõutrafood on primaarmähise poolt ühendatud toitealajaamaga kaabli 6 kV AAШB 3*95 abil, mille pikkused on 800 m ja 1000 m kahe trafo jaoks. Iga jõutrafo toidab oma latti 0,4 kV, millega on ühendatud soojusseadme tarvitid 0,4 kV. Jõutrafo ja lati vahel, madalpinge osas, on paigaldatud automaatkaitselülitid Masterpact NT08H1, mille kaitsevõime lühisvoolu korral on kuni $I_{cu}=42$ kA. Sellist kaitselülitit kasutatakse samuti reservlülitina lati 0,4 kV vahel avarii korral.

Alajaamas 6/0,4 kV kasutatakse enamasti vananenud elektrivarustust lati ja jõutrafo kaitseks, elektromagnetreele alusel. Selle asemel võib pakkuda kaasaegset jõutrafo diferentsiaalkaitse digiseadet, mis võib avarii korral kiiresti välja lülitada ainult ühe jõutrafo, aga teine jätkab tööd. Reservlülitid tagab omalt poolt toite kahe soojusseadme jaoks ühest jõutrafoost.

Alajaamas 6/0,4 kV puudub reaktiivvõimsuse kompenseerimisseade, mis võib kasulik olla, et koormusvoolude ja reaktiivenergia kulusid vähendada. Reguleeritava reaktiivvõimsuse kompenseerimisseadme abil võib alajaama kasutegurit tõsta, mis omakorda vähendab koormusvoolusid kasutataval elektrivarustusel.

2. TARBIJATE KOORMUS

Enne elektrivarustuse valimist tasub teada, millist koormust peavad elektrijuhtivad osad tegelikult kandma. Sellel juhul arvestatakse koormusena tootmises vahetult kasutatavad elektrimootorid, mis keeravad erineva võimsusega pumпасid, ventilaatoreid ja kompressoreid ning nimetatakse tarvitiks. Kõik tarvitid on jagatud kahe ühtlasi töötava soojusseadme vahel. Iga elektritarviti omab avariijuhiks paralleelset reservis olevat elektritarviti. Peatarviti ja reservtarviti ei tööta üheaegselt, vaid lühiaegselt vajaduse alusel. Reservtarviti ei osale edasises arvutuses ja kujutab endast koormuse lisategurit.

Kindla ja ohutu töö jaoks on tootmises ettenähtud kaks paralleelset töös olevat jõutrafo. Iga jõutrafo toidab üheaegselt oma soojusseadme elektritarviteid ning avarii korral reserveerib teist soojusseadet reservlülituse abil. Selle jaoks peab iga jõutrafo taluma ka teise soojusseadme kogu koormust, ligikaudu kahekordset koormust.

Elektrimootori nimiaktiivvõimsus (P_n) on määratud tootja poolt. Nende andmete alusel võib leida ka reaktiiv- (Q) ja näivvõimsust (S) kasutades alltoodud valemeid.

- P – aktiivvõimsus (kW):

$$P = \frac{P_n}{\eta} \times 100; \quad (2.1)$$

P_n – tootja määratud elektrimootori nimiaktiivvõimsus (kW)

η – kasutegur (%)

- S – näivvõimsus (kVA):

$$S = \frac{P}{\cos \varphi}; \quad (2.2)$$

P – aktiivvõimsus (kW)

$\cos \varphi$ – võimsustegur, faasinihe

- Q – reaktiivvõimsus (kVAr):

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}; \quad (2.3)$$

- Koormusvool (A):

$$I_{\text{arv}} = \frac{P}{\sqrt{3} \times U_n \times \cos \varphi}; \quad (2.4)$$

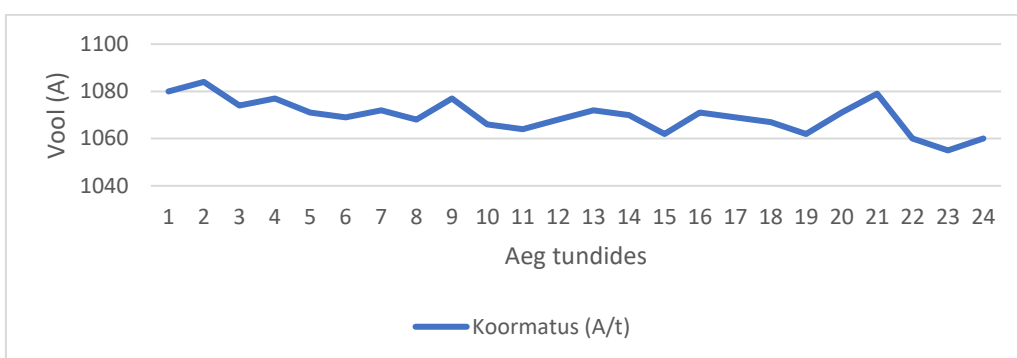
U_n – liinipinge, pinge kahefaasivahel (kV)

Tarviti #1	U _n (kV)	P _n (kW)	η (%)	P(kW)	cos φ	S(kVA)	Q(kVAr)	I _{arv} (A)
Kokku:	0.4	820	90	903	0.86	1059	542	1528.0

Joonis 2.1 Ühe soojusseadme elektritarbijad ([Lisa 1](#))

Tabelist 1 on näha, et ühe soojusseadme kogu koormus on $I_{max1}=1528$ A. Sellist koormust peab kandma esimene jõutrafo ning samasugust koormust peab kandma ka teine jõutrafo $I_{max2}=1528$ A. Avariijuhtudel kui üks jõutrafo sai väljalülitatuks, siis teine jõutrafo peab kandma kahekordset koormust $I_{max}=3056$ A toites juba kaks tehnoloogilist soojusseadet.

Tehnoloogilise soojusseadme elektritarbijad ei tööta täisvõimsusega kogu aeg. Normaalsel toimimisel moodustab koormuse koefitsient ligikaudu $kk=0,7$ kogu võimsusest. Seda näitab elektriseadme ööpäeva mõõdetud koormusgraafik faktiliste andmete põhjal (graafik 1).



Joonis 2.2 Elektriseadme ööpäeva koormusgraafik

- Koormatus arvutuslik I_a :

I_a – koormus aritmeetiline keskmine 24 tunni jooksul

$$I_a = 1069.6 \text{ A}$$

- Koormatuse koefitsient:

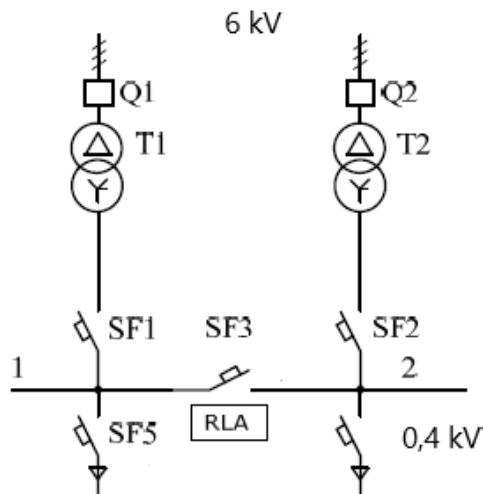
$$kk = \frac{I_a}{I_{max}} = \frac{1069.6}{1528} = 0.7; \quad (2.5)$$

Nende andmete alusel võib järgmise elektrivarustuse valikut alustada alajaama 6/0,4 kV jaoks:

- Reaktiivvõimsuse kompenseerimisseade
 - Jõutrafo
 - Jõutrafo diferentsiaal kaitse
 - Sektsiooni automaatlüliti
 - Arvesti

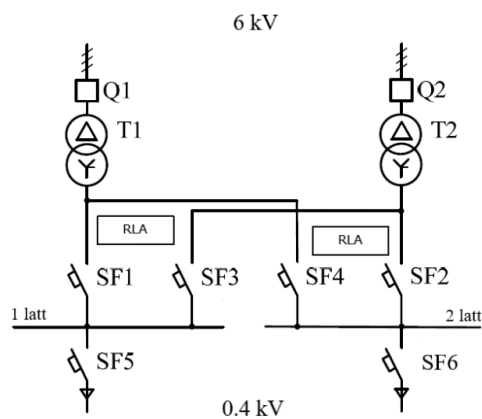
3. SOBIVA ELEKTRISKEEMI VALIK

Kehtiva alajaama skeem (vt Joonis 3.1) koosneb kahest rööbiti ühendatud jõutrafast T1 ja T2, mis asuvad alaliselt töötavate tarvitite koormuse all. Need jõutrafad on ühendatud D/Y-11 skeemi järgi ja toidavad eraldi iga oma latti. Latid on omakorda eraldatud teineteisest reservlülitiga. Avarii korral, kui reservlülit SF3 teostab ühenduse kahe latti vahel, peab reservliini kaitselüliti ja lattu olema võimekas kahekordse koormuse tagada, et varustada väljalülitatud liin elektrienergiaga.



Joonis 3.1 Elektriskeem ühe reservlülitiga

Kasutades teist elektriskeemi (vt Joonis 3.2) võib voolukoormust vähendada nii kaitselülitis (SF1, SF2) kui ka latis. Sellel juhul võib madalama pinge osas 0,4 kV paigaldada kaks ristlülitit (SF3, SF4). Selle skeemi järgi väheneb koormus nii lülititele kui ka latile. [1]



Joonis 3.2 Elektriskeem kahe reservlülitiga

Koormusvool I_T , mida võib üks jõutrafo taluda normaaltoimimisel täiskoormusega:

$$I_T = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U_{sm}}; \quad (3.1)$$

$$I_T = \frac{1600000}{\sqrt{3} \times 400} = 2309,4 \text{ A}; \quad (3.2)$$

Kus,

P_n – jõutrafo nimivõimsus

U_{sm} – jõutrafo sekundaarmähise pingeline

See tähendab, et üks jõutrafo võib olla koormatud kuni 2309,4 A normaaltoimimisel. Samuti on teada, et jõutrafo võib olla ka ülekoormatud. Sel juhul väheneb jõutrafo kestvalt lubatud tööaeg. Et jõutrafo ei oleks ülekoormatud, võib oletada, et avariirežiimis ei ületaks kahekordne koormus trafo nominaalkoormust. Sellel juhul peab ühe automaatlüliti nimivool I_L olema kaks korda jõutrafo nimivoolust I_T vähem (3.3).

$$I_L = \frac{I_T}{2} = \frac{2309,4}{2} = 1154,7 \text{ A}; \quad (3.3)$$

Nende andmete alusel võib valida automaatlüliti Masterpact NT12H1 - 1250 A (vt Joonis 3.1) Schneider Electric tootja poolt. Selle automaatlüliti nimivool peab olema $I_L=1250\text{A}$.



Joonis 3.1 Masterpact NT12H1 - 1250 A [2]

Masterpact NT12H1 - 1250 A elektridiagrammid [[Lisa 2](#)]

Rohkem infomaterjali automaatlüliti valikust ja selle parameetritest on peatükis 6.

4. REAKTIIVVÕIMSUSE KOMPENSEERIMINE

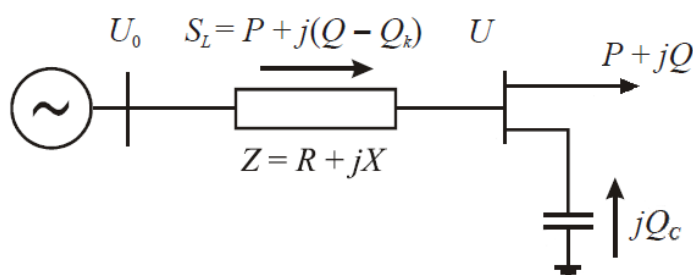
Aktiivvõimsuse kõrval vajavad paljud elektriseadmed reaktiivvõimsust, mis on vajalik elektromagnetvälja tekitamiseks. Reaktiivvõimsust tarvivad sünkroonmasinad, asünkroonmootorid, trafod, muundurid, keevitusagregaadid ja muud seadmed.

Reaktiivvõimsust edastada pole elektrivõrgus otstarbekas, kuna see suurendab energiakadusid ja pingelangu. Otstarbekam on reaktiivvõimsust toota kohapeal reaktiivvõimsuse tarbija lähedal. Kadude vähenemise kõrval suureneb sel juhul ka liinide läbilaskevõime ja trafode võimsus ning paraneb pinge kvaliteet. Reaktiivvõimsuse kohaliku kompenseerimise mõju võimsus- ja pingekaole illustreerib joonis 4.1, kus tarbija juurde on ülesseatud kompenseerimisseade võimsusega Q_c . Elektriliinis edastatav võimsus on sel juhul $\underline{S}_L = P + j(Q - Q_c)$ ning võimsus- ja pingekadu avaldub valemitega:

$$\Delta P = \frac{P^2 + (Q - Q_c)^2}{U_n^2} \times R; \quad (4.1)$$

$$\Delta U = \frac{PR + (Q - Q_c)X}{U_n}; \quad (4.2)$$

On ilmne, et kaod on minimaalsed, kui $Q_c = Q$, ehk kogu vajalik reaktiivvõimsus genereeritakse kohapeal. Vältida tuleb ülekompanseerimist, kus $Q_c > Q$. Sel juhul suureneb taas vool liinis ja suurenevad liinikaod ning seatakse ohtu koormuse stabiilsus. [3]



Joonis 4.1 [3]

4.1. Kondensaator patarei võimsuse arvutus

Reaktiivvõimsuse kompenseerimiseks kasutatakse kondensaatorpatareid. Sellel juhul on võimsustegurit tarvis tõsta kuni $\cos\varphi_2 = 0,95$.

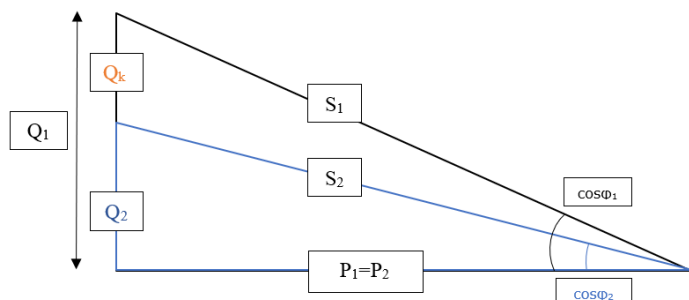
Algandmed:

$$P_1 = 903 \text{ kW}$$

$$Q_1 = 542 \text{ kVAR}$$

$$S_1 = 1059 \text{ kVA}$$

Vajalike arvutuste jaoks kasutatakse võimsuste kolmnurka (vt Joonis 3.2), kus graafiliselt saab näha projekteeritava ja olemasoleva reaktiivvõimsuse suurusi. Selle reaktiivvõimsuste vahe on kompenseerimiseks vajav reaktiivvõimsus Q_k .



Joonis 4.2 Võimsuste kolmnurk

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{903}{1059} = 0.85; \quad (4.3)$$

$$\tan\varphi_1 = \frac{Q_1}{P_1} = \frac{542}{903} = 0.6; \quad (4.4)$$

Kui $\cos\varphi_2 = 0,95$ siis:

$$\tan\varphi_2 = \sqrt{\frac{1}{\cos^2\varphi} - 1} = \sqrt{\frac{1}{0,95^2} - 1} = 0.33; \quad (4.5)$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 \times \tan\varphi_1 - P_1 \times \tan\varphi_2 = 903 \times 0.6 - 903 \times 0.33 = 243,8 \text{ kVAr}; \quad (4.6)$$

Arvutuste alusel tuleb kompenseerida reaktiivvõimsus suurusega $Q_k=243,8$ kVAr. Reaktiivvõimsust võib kompenseerida kondensaatorpatarei abil laias ulatuses. Sellel juhul meile sobib reguleeritav kondensaatorpatarei Schneider Electric tootjalt VarSet Easy reaktiivvõimsuse kompenseerimise võimega kuni 250 kVAr.

Aktiiv võimsus ühe lati peal ei muutu, siis:

$$P_2 = P_1 = 903 \text{ kW};$$

Järelikult:

$$Q_2 = P_2 \times 0,33 = 903 \times 0,33 = 298 \text{ kVAr}; \quad (4.7)$$

$$S_2 = \frac{P_2}{0,95} = \frac{903}{0,95} = 950,5 \text{ kVA}; \quad (4.8)$$

Koormusvool ühe lati peal pärast kondensaator patarei paigaldamist (2.7):

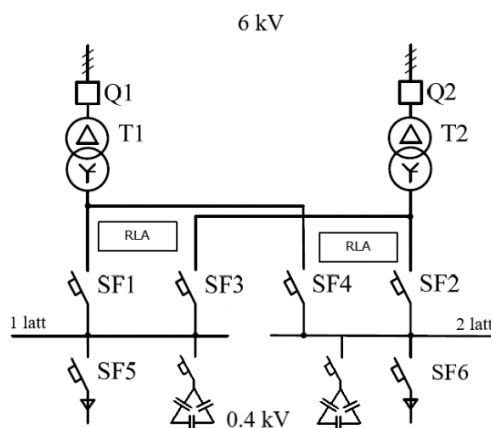
$$I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3} \times U_{\text{nom}}} = \frac{950,5}{\sqrt{3} \times 0,4} = 1372 \text{ A}; \quad (4.9)$$

4.2. Reguleeritav kondensaator patarei seade

Reguleeritav kondensaator patarei seade (vt Joonis 4.3) tagab vajaliku võimsusteguri püsimist kõrge täpsusega ja laias reaktiivvõimsuse kompenseerimise ulatuses. Jälgib reaktiivvõimsuse muutust koormatud elektrivõrgus ning vastava $\cos\varphi$ tähendusega. Välistab reaktiivvõimsuse genereerimist elektrivõrku. Välistab ülepinge, mis ilmub võrgus mittereguleeritava kompenseerimiseseadme kasutamise puhul ülekompenseerimise tõttu. Visuaalselt võib jälgida kompenseeritava võrgu kõiki peamisi parameetreid.

Majanduslik kasu reguleeritava kondensaatorpatarei seade kasutuselevõtmist kujuneb järgmisest koostisosadest:

1. Reaktiivenergia maksu kokkuhoid
2. Elektrienergia kadude vähenemine jõukaablites voolude vähenemise kaudu
3. Võimalus raha kokku hoida jõukaablite ristlõige vähenemise kaudu projekteerimise lõikes



Joonis 4.3 Kondensaator patarei ühendus pea lati peal

Ammendava kondensaator patarei ühenduse skeemi võib leida lisas 3 [\[Lisa 3\]](#).

4.3. VarSet Easy 250 kVAr

VarSet Easy on komplektne seade reaktiivvoolude vähenemise ning elektrienergia kokkuhoiu jaoks.

Komplekti kuulub:

- 1) Kontroller VarPlus LogicVL6/VL12 Modbus protokolliga [\[Lisa 4\]](#)
- 2) Jõu kondensaatorid EasyCan 400 V - 50 Hz, 2x25 + 4x50 kVAr
- 3) Kaitse lüliti Easypact CVS630F 500A, 36kA, 415 VAC
- 4) Trafo 400/230 B

5) Voolu trafo 5 VA – sekundaar mähise vool 1 A või 5 A

Kaitse lüliti kompenseerimisseadme ja toiteallika vahel

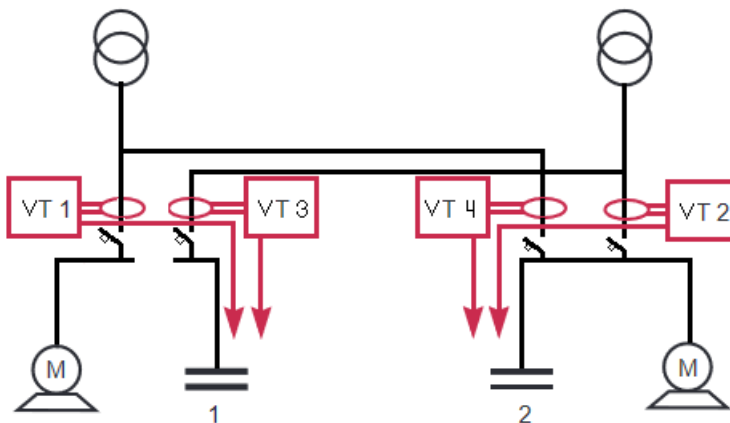
Kondensaatorpatarei sisendisse tuleb paigaldada automaatkaitseüliti Easypact (vt Joonis 4.4). See kaitseüliti katkestab ühenduse pealati ja kondensaatorpatarei seadme vahel ülekuumenemise juhul ning seadme teenindamise ajal. Seadme termorelee ühendatakse otse kaitseüliti sõltumatu vabasti juurde.



Joonis 4.4 Kompenseerimisseade ühendus [4]

Voolu mõõtmine võimsusteguri automaatparandamise jaoks

Voolutrafo ühendatakse toiteliiniga, mis on ühine kondensaatorpatarei seadme ja tarviti jaoks, mis mõõdab vooluväärtust lati peal jõutrafo ja tarviti vahel. Voolutrafo paigaldatakse lati peale jõutrafo fiidri ja kondensaatorpatarei seadme vahel (vt Joonis 4.5).

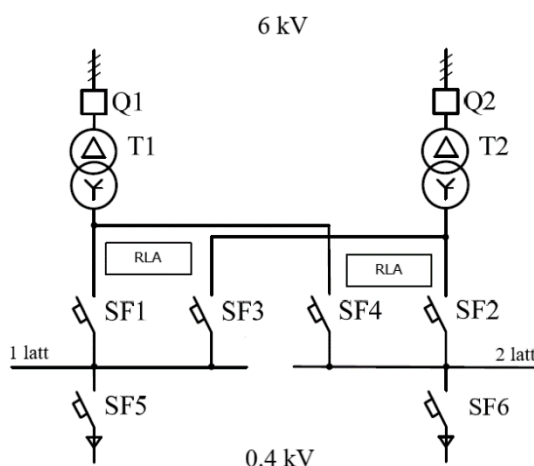


Joonis 4.5 Voolutrafo ühendus kondensaatorpatarei juhul [5]

5. JÕUTRAFO 6/0,4 KV

Alajaamades kasutatakse laialdaselt kolmefaasiliste trafode rööpühendust, mis suurendab tarbijate elektrienergiaga varustamise kindlust. Rööbiti saab tööle panna trafod, millel on sama pingeniivo ja mähistel sama lülitusrühm. Vastasel juhul tekivad trafodes ühtlustusvoolud, mis on kahjulikud. Kõikide tarvitite koormus jagatakse jõu trafode vahel võrdselt [6].

Kui on teada esialgne koormuse suurus, tuleb välja arvutada jõutrafo võimsust ning selle võime koormust taluda avariirežiimis. Juhul kui üks jõutrafo T1 läheb katki, siis teine jõutrafo T2 peab kandma mõlema soojusseade koormuse. Normaaltoimimisel viibivad mõlemad jõutrafad koormuse all ning toidavad iga oma latti eraldi (vt Joonis 5.1).



Joonis 5.1 Jõutrafo ühendusskeem

On teada, et ühe tehnoloogiasoojusseadme nominaalkoormus on 1540,5 A ning see kulub ühele latile. Järelikult ühe jõutrafo arvutuslik võimsus, et toita kaks samasugust soojusseadet, peab olema mitte vähem kahekordset nimikoormust $S_{T(arv)}=2134,6$ kVA (5.1):

$$S_{T(arv)} = 2 \times I_{nom} \times \sqrt{3} \times U_{nom} = 2 \times 1540,5 \times \sqrt{3} \times 0,4 = 2134,6 \text{ kVA} \quad (5.1)$$

Kus,

$S_{T(arv)}$ – jõutrafo arvutuslik võimsus avariirežiimis (kVA)

I_{nom} – ühe tehnoloogia soojusseadme nimikoormus (A)

U_{nom} – pinge jõutrafo sekundaar mähisel (kV)

Jõutrafo arvutuslik võimsus reaktiivvõimsuse kompenseerimisel (5.2):

$$S_{T(arv)} = 2 \times I_{nom} \times \sqrt{3} \times U_{nom} = 2 \times 1372 \times \sqrt{3} \times 0,4 = 1901,6 \text{ kVA} \quad (5.2)$$

Jõutrafo arvutuslik võimsus $kk=0,7$ (5.3):

$$S_{T(0,7)} = 0,7 \times S_{T(arv)} = 0,7 \times 2134,6 = 1494,2 \text{ kVA} \quad (5.3)$$

Jõutrafo arvutuslik võimsus reaktiivvõimsuse kompenseerimisel ja $kk=0,7$ (5.4):

$$S_{T(0,7)} = 0,7 \times S_{T(arv)} = 0,7 \times 1901,6 = 1331,1 \text{ kVA} \quad (5.4)$$

k – jõutrafo koormuse tegur (5.5):

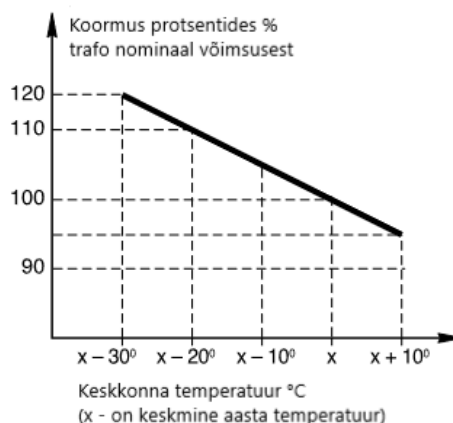
$$k = \frac{S_{Tarv}}{S_{Tnom}}; \quad (5.5)$$

	$S_{T(arv)}$, (kVA)	$k_{(1,0)}$	I_T , (A)	$S_{T(arv) 0,7}$, (kVA)	$k_{(0,7)}$	$I_{T (0,7)}$, (A)
Enne kompenseerimist	2134,6	1,33	3081	1494,2	0,93	2156,7
Pärast kompenseerimist	1901,6	1,19	2744	1331,1	0,83	1921,3

Tabel 5.1 Jõutrafo koormuse teguri muutus avarii režiimis

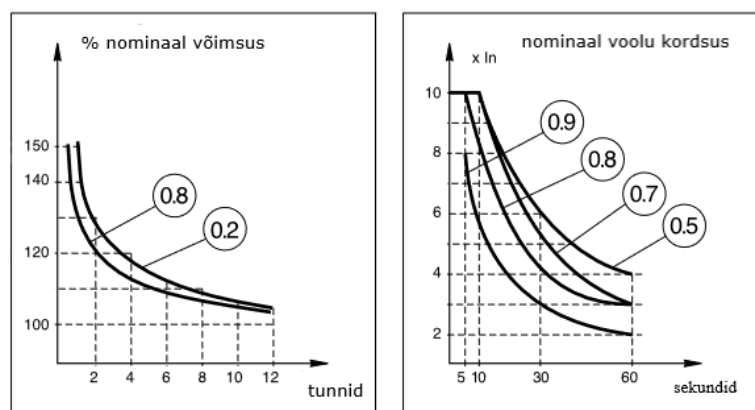
Nagu tabelist 5.1 näha, jõutrafo koormus on 1331,1–2134,6 kVA ulatuses ja jõutrafo koormuse tegur on 0,83–1,33 ulatuses. Reaktiivvõimsuse kompenseerimisel võib paigaldada vähema nimivõimsusega jõutrafo, näiteks 1250 kVA, kuid kehtival jõutrafol on olemas võimsuse varu, mis vastab taotletud nõuetele.

Jõutrafo võime ülekoormust taluda oleneb konstruktiivse eripärasest ja väliskeskonna temperatuurist (vt Joonis 5.2).



Joonis 5.2 Lubatud alaline jõu trafo koormus väliskeskonna temperatuurist sõltuvalt [7]

Joonisel on näidatud väliskeskonna temperatuuri $x=40^\circ\text{C}$ ja jõutrafo ülekoormuse võime sõltuvus. Avarii juhul, kui jõutrafo kannab kõige suuremat koormust $S_{T(arv)}=2134,6 \text{ kV}$ ja koormuse tegur on $k=1.33$ võib jõutrafo töötada 1-2 tunni jooksul (vt Joonis 5.3).



Joonis 5.3 Jõutrafo ülekoormatuse võimalus aja järgi [7]

5.1. Jõutrafo Trihal 1250 kVA

Alternatiivse lahendusena kehtiva jõutrafo vahetamiseks võib olla kuiv jõutrafo Trihal valisolatsiooniga nimivõimsusega 1250 kVA. Selline jõutrafo eeliseks on kõrge ohutuse tase ja minimaalne keskkonna mõju. Epoksüvaigust isolatsiooni rakendamine jätab välja õlide kasutamist, mis vähendab tuleohtu ilma tootmiskadudeta. Kuvisolatsiooniga jõutrafod sobivad paigaldamiseks kõrge ohutuse tasemega objektidel [8].

Vähema nimivõimsusega jõutrafo võib töötada normaaltoimimisel ökonoomsemaks kehtiva jõutrafo ТМГ11 166/6 võrreldes. Juhul, kui jõutrafo toidab ainult üht soojusseadet ning kehtib reaktiivvõimsuse kompenseerimisseade, siis selle trafo koormatus jääb 0,53-0,76 ulatuses. Avarii juhul talub selline jõutrafo koormust vastavalt tema karakteristikutele (vt Joonis 5.2 ja 5.3).

5.2. Kehtiva jõukaabli sobivus

Iga jõutrafo primaarmähis toidab jõukaablit ААШВ 3*95 nimivooluga 6kV. Jõukaabli pikkused on 800 m ja 1000 m. Kindla ja ohutu fiidrite töö jaoks tuleb teha arvutused niimikormuse taluvuse sobivusest (5.2.1).

$$I_n = \frac{P_T}{\sqrt{3} \times U_n}; \quad (5.2.1)$$

$$I_n = \frac{1600000}{\sqrt{3} \times 6000} = 154 \text{ A}; \quad (5.2.2)$$

Selle jõu kaabli kestvalt lubatud vool normaaltoimimisel:

- õhus 194 A
- maas 192 A

Selleks, et jõukaabel ei kuumeneks, peab kestvalt lubatud vool olema suurem kui alajaama koormus. Vastasel juhul kuumeneb jõukaabel üle, mis võib tekitada lühise. Selleks, et jõukaabel ei lähe kuumaks peab olema täidetud tingimus (5.2.3):

$$I_{\text{kaabel}} \geq I_n \quad (5.2.3)$$

Kus,

I_{kaabel} – kaabli kestvalt lubatud vool (A)

I_{nom} – koormusvool (A)

Antud jõukaabel võib alajaama nominaal koormuse taluda.

5.3. Pinge langus

Selleks, et elektrienergia kvaliteet ei halveneks tuleb arvutada jõukaablite pingelangus. Kaabli ААШВ 3*95 pinge langus kolmefaasilises elektrivõrgus teostatakse (5.3.1) valemi abil:

- X – kaabli induktiivtakistus 0,083 Ом/км
- R – kaabli aktiivtakistus 0,326 Ом/км

$$\Delta U = \frac{PR + (Q - Q_c)X}{U_n}; \quad (5.3.1)$$

Kus,

ΔU – pinge langus

U_n – nimipinge primaarmähisel

Q_c – reaktiivvõimsuse kompenseerimise suurus

	800 м	%	1000 м	%
Enne reaktiivvõimsuse kompenseerimist	45,2 V	0,75	56,5 V	0,94
Pärast reaktiivvõimsuse kompenseerimist	42,8 V	0,71	53,2 V	0,88

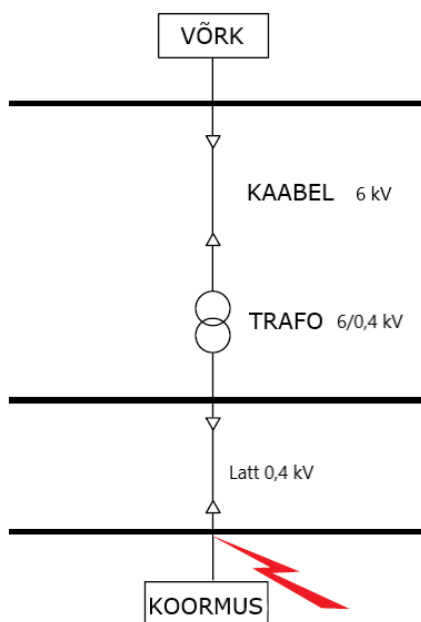
Tabel 5.1 Pinge languse muutus Q_c sõltuvalt

Tabelist 5.1 on näha, at reaktiivvõimsuse kompenseerimise seadet kasutades, väheneb ka pinge kadu kaablites. Suhteline pingekadu kaablites ei ületa üht protsenti.

6. LÜHISVOOLU ARVUTAMINE

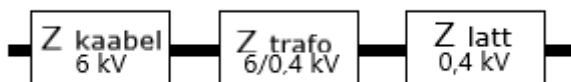
Lühisvoolu (I_k) arvutamine on vajalik elektrivarustuse valimisel ning elektrielementide (latis, isolaatorid, kaablid) elektrodünaamilise ja termilise taluvuse kontrollimisel, kaitse aparaatide seadistamisel. [9]

Vaatleme elektrivõrku (vt Joonis 6.1) kus toimus lühis madalpinge latis. Antud elektrivõrk võib kujutada elektriskeemina, kus iga elektrielement asendatud aktiiv- ja induktiivtakistusega.



Joonis 6.1 Elektrivõrk

Selle elektrivõrgu ülesehitus võib kujutada jadamisi ühendatud elemendina, seega saame ekvivalentse aseseemi (vt Joonis 6.2), mis lubab arvutada kogu ekvivalentse takistuse kuni rikke punktini. Elektrivõrgu näivtakistus kuni rikke punktini on ekvivalentse takistuse summa.



Joonis 6.2 Ekvivalentne elektrivõrk

$$Z_{\Sigma k} = Z_{kaabel} + Z_{trafo} + Z_{latt}; \quad (6.1)$$

Pärast ekvivalentse takistuse $Z_{\Sigma k}$ (6,1) määramist kuni rikke punktini võib arvutada kolmefaasilise lühisvoolu suuruse I_k (6,2) valemi abil:

$$I_k = \frac{C \times U_{nom}}{\sqrt{3} \times \Sigma Z_{ZK, ZT, ZL}}; \quad (6.2)$$

Kolmefaasilist lühist vaadeldakse tavaliselt nagu riket, mis tekitab kõige kõrgemad voolud. Pöörlevate masinate puudumisel, kui nende mõju ei arvestata, selline suurus kajastab lühisvoolu püsiväärtust elektrivõrgus. Sellise lühisvoolu väärtuse alusel valitakse kaitseaparatuurid ja nende väljalülituse võime.

Jõutrafo näivtakistus:

Jõutrafo näivtakistus Z_T võib arvutada kasutades selle nominaalnäitarvud (6.3) valemi abil:

$$Z_T = \frac{U_{k\%} \times U_{sm}^2}{100 \times S_{T\ n\ i\ m\ i}}; \quad (6.3)$$

kus,

U_{sm} – sekundaarmähise pingeline (V)

$S_{T\ n\ i\ m\ i}$ – trafo näivvõimsus (VA)

$U_{k\%}$ - lühise pingeline (%)

Kaabelliinid 6 kV ning madalpinge jaotuslatt 0,4 kV:

Nende elementide takistus sõltub erinevatest mõjuritest, mis mõjuvad elektriliini aktiiv- ja induktiivtakistusele. Need takistuse näitarvud määratakse kaabli tootja poolt ning esitatakse suhtarvuga pikkuse ühiku kohta. Liini näivtakistus leitakse valemi (6.4) abil:

$$Z_k = l \times \sqrt{R_k^2 + X_k^2}; \quad (6.4)$$

Kus,

R_k – kaabel liini aktiivtakistus (Ohm)

X_k – kaabel liini reaktiivtakistus (Ohm)

L_k – kaabelliini pikkus (m)

Kaabelliini aktiiv- ja reaktiivtakistuse näitajad peavad olema viidud sama pingeline väärtusele, mida kasutatakse lühisvoolude arvutamisel. Seos kõrgemale pingeline U_1 viidud näivtakistuse Z_1 ja madalamale pingeline U_2 viidud näivtakistuse Z_2 vahel määratakse ülekande suhte abil K_{ekv} (6.5):

$$K_{ekv} = \frac{U_1}{U_2}; \quad (6.5)$$

Kust leidub, et

$$Z_{ekv} = \frac{Z_k}{K^2}; \quad (6.6)$$

Lühisvoolu arvutus

1) Kaabli 6 kV näiv takistus (Z_k):

$$L = 1000 \text{ m}$$

$$R_K = 0,000326 \text{ Ohm/m}$$

$$X_K = 0,000083 \text{ Ohm/m}$$

$$Z_{K 6000 \text{ V}} = 1000 \times \sqrt{0,000326^2 + 0,000083^2} = 0,3364 \text{ Ohm}$$

$$K_{ekv} = \frac{6000}{400} = 15;$$

$$Z_{ekv 400 \text{ V}} = \frac{0,3364}{15^2} = 0,0015 \text{ Ohm}$$

2) Trafo näivtakistus (Z_T):

$$S_{T \text{ nom}} = 1600 \text{ kVA}$$

$$U_{k\%} = 6 \%$$

$$U_{sm} = 0.4 \text{ kV}$$

$$Z_T = \frac{6 \times 400^2}{100 \times 1600000} = 0,006 \text{ Ohm};$$

3) Lati 0,4 kV näivtakistus (Z_L):

$$L = 20 \text{ m}$$

$$R_L = 0.000029 \text{ Ohm/m [10]}$$

$$X_L = 0.000015 \text{ Ohm/m [10]}$$

$$Z_L = 20 \times \sqrt{0.000029^2 + 0.000015^2} = 0,00065 \text{ Ohm}$$

4) Kogu elektrisüsteemi näivtakistuse leidmine ($\Sigma Z_{ZK,ZT,ZL}$):

$$\Sigma Z_{ZK,ZT,ZL} = 0,0015 + 0,006 + 0,00065 = 0,00815 \text{ Ohm};$$

5) Kolmefaasiline lühisvool (I_k):

$$c = 1,1$$

$$I_k = \frac{c \times U}{\sqrt{3} \times \Sigma Z_{ZK,ZT,ZL}} = \frac{1,1 \times 400}{\sqrt{3} \times 0,00815} = 31170 \text{ A} = 31,2 \text{ kA};$$

Koefitsient C on vajalik selle pärast, et arvestada mõne nähtuse, mis pole arvestuses kasutusele võetud. Näiteks pinge muutus ajal, puutetakistuse muutus jõutrafo klemmidel, siirdeprotsessid elektrimasinate rootorites (generaatorid ja elektrimootorid).

6.1. Automaat lüliti valik

Automaatlüliti valitakse selle väljalülitamise näitajate järgi.

Nominaalväljalülitamise piirväärtus I_{cu} – on lühisvoolu ajal lühisvoolu kehtiv perioodilise moodustaja suurus, mille automaatlüliti on võimeline välja lülitada.

$$I_{cu} > I_k \quad (6.1.1)$$

Automaatlüliti nominaalsisselülitamise võime lühise ajal I_{cm} on maksimaalne oodatav lühisvoolu suurus, mille tekkimise ajal automaatlüliti peaks sisse lülitama. Automaatlüliti vahelduvvoolu väärtus lühise tingimusel peab olema mitte vähem kui tema nominaalväljalülitamise piirväärtus korrutatud „n“ koefitsiendiga (6.1.2):

$$I_{cm} = n \times I_{cu} \quad (6.1.2)$$

See väärtus I_{cm} peab suhteliselt olema võrdne löökvooluga lühise alguses, mõõdetud automaatlüliti paigaldamise kohas. Tingimus (6.1.3) peab olema täidetud:

$$I_{cm} > I_{lök} \quad (6.1.3)$$

$$I_k = 31,2 \text{ kA}$$

Lühise löökvool arvutatakse (6.1.4) valemi abil:

$$I_{lök} = k \times \sqrt{2} \times I_k \quad (6.1.4)$$

$$k = 1,02 + 0,98 \times e^{-\frac{3 \times R}{X}} \quad (6.1.5)$$

$$R = R_K + R_T + R_L = \frac{0,000326 \times 1000 \text{ m}}{15^2} + 0,0016 + 0,000029 \times 20 \text{ m} = 0,0036 \text{ Ohm} \quad (6.1.6)$$

$$X = X_K + X_T + X_L = \frac{0,000083 \times 1000 \text{ m}}{15^2} + 0,0058 + 0,000015 \times 20 = 0,0065 \text{ Ohm} \quad (6.1.7)$$

$$I_{lök} = 1,02 + 0,98 \times 2,7^{\frac{-3 \times 0,0036}{0,0065}} \times \sqrt{2} \times 31,2 = 53,2 \text{ kA} \quad (6.1.8)$$

7. JÕUTRAFO DIFERENTSIAALKAITSE

Diferentsiaal kaitse rakendatakse jõutrafoodes ja autotrafoodes enamasti peamiseks ja kiiretoimeliseks trafo kaitseks. Jõutrafo rööpühendusel diferentsiaal kaitse tagab kiire ja selektiivse väljalülitamist kaitsetsoonis.

Toimuv ilma viivituseeta diferentsiaal kaitse tagab ainult vigastusi saanud jõutrafo väljalülitamise. Diferentsiaal kaitse rakendamiseks paigaldatakse voolutrafod jõutrafo primaar- ja sekundaarmähise külgedest. Voolutrafode sekundaar mähised ühendatakse diferentsiaalskeemi järgi ja nendega rööbiti ühendatakse voolu rele.

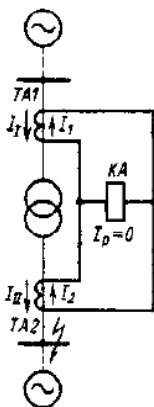
Sellel juhul kasutatakse jõutrafo mähise ühendamise skeemi täht-kolmnurk $\Delta/Y-11$. Voolud tähte ühenduse osast ja voolud kolmnurka ühenduse osast on nihutatud 30° omavahel. Voolude nurga nihe moodustab voolude tasakaalu puuduse diferentsiaalkaitse relees, mida ei saa kompenseerida keerdu arvu valides. Voolude nurganihe kompenseeritakse voolutrafode sekundaarmähise kolmnurka ühendamisega jõutrafo mähise tähte ühenduse poolt, aga voolutrafode sekundaarmähise tähte ühendusega jõutrafo mähise kolmnurka ühenduse poolt (vt. Lisa 5). Juhul, kui voolu trafod ühendatakse kolmnurga skeemi järgi, siis koormus voolutrafodele kasvab kolm korda. Kaasaegsed elektroonikaseadmed lubavad kõik voolutrafod ühendada täht skeemi järgi (vt. Lisa 6).

Jõutrafol voolu läbimisel koormusevool või lühisvool relees võrdub:

$$I_p = I_1 - I_2 \quad (7.1)$$

Võttes arvesse ülaltoodud tingimusi ning jõutrafo magneetimisvoolu eirates, mis normaaltoimimisel omab madala väärtuse, võib arvata, et primaarvoolud ($I_I = I_{II}$) ja sekundaarvoolud $I_1 = I_2$ on võrdsed (vt Joonis 7.1).

$$I_p = I_1 - I_2 = 0 \quad (7.2)$$



Joonis 7.1. Voolude summa võrdub nulliga diferentsiaal kaitstes

Juhul, kui diferentsiaalkaitse on paigaldatud õigesti ning volutrafad omavad kokkulangevaid iseloomustusi, siis volutrafodes koormusvoolu või välise lühisvoolu läbimisel, vool relees puudub ning diferentsiaal kaitse ei reageeri sellele režiimile.

Voolutrafode iseloomustuste kokkusobimatuse tõttu ei ole sekundaarvoolud võrdsed $I_1 \neq I_2$, seejärel voolureeles tekib voolude tasakaalu nihke,

$$I_P = I_1 - I_2 = I_{\text{nihke}} \quad (7.3)$$

Selleks, et diferentsiaalkaitse ei tekiks voolu tasakaalu nihkest, selle toime vool peab olema kõrgem,

$$I_{\text{toime}} = k \times I_{\text{nihke}} \quad (7.4)$$

Lühisvoolu tekkimisel jõutrafo mähisel või teisel kohal volutrafode vahel muutub voolu suund I_{I1} ja I_2 vastupidiseks. Vool relees võrdub:

$$I_P = I_1 + I_2 \quad (7.5)$$

või

$$I_P = \frac{I_1}{k_1} + \frac{I_2}{k_2} = \frac{I_P}{k_1} \quad (7.6)$$

Lühisvoolu tekkimisel diferentsiaalkaitse piirkonnas toimub voolureeles täislühisvool, mis on jagatud volutrafo ülekande teguriga. Selle voolu mõju all toimub relee kaitse ning lülitab rikke saanud jõutrafo välja [11].

Voolu- ja pingetrafode käsitlemisel tuleb silmas pidada, et volutrafo talitus on lähedane lühistalitlusele ja pingetrafo talitus trafo tühijooksutalitlusele. Selletõttu peab volutrafo sekundaarmähis olema lühistatud ja pingetrafo sekundaarmähis tühijooksul ning vältida tuleb igal juhul volutrafo tühijooksutalitlust ja pingetrafo lühistalitlust [12].

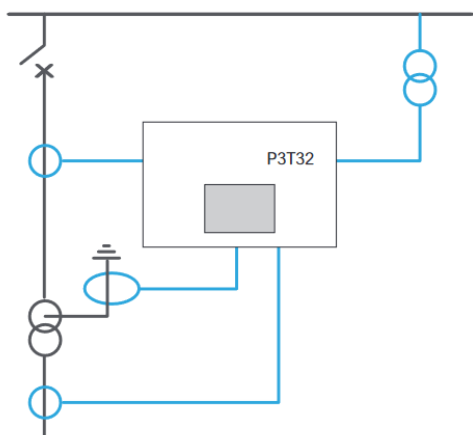
7.1. Jõutrafo diferentsiaalkaitse relee Sepam P3T32

Sepam P3T32 (vt. Joonis 7.1) jõutrafo diferentsiaal kaitse relee on rakendatav kesk pinge jaotusvõrgus.



Joonis 7.1 relee Sepam P3T32

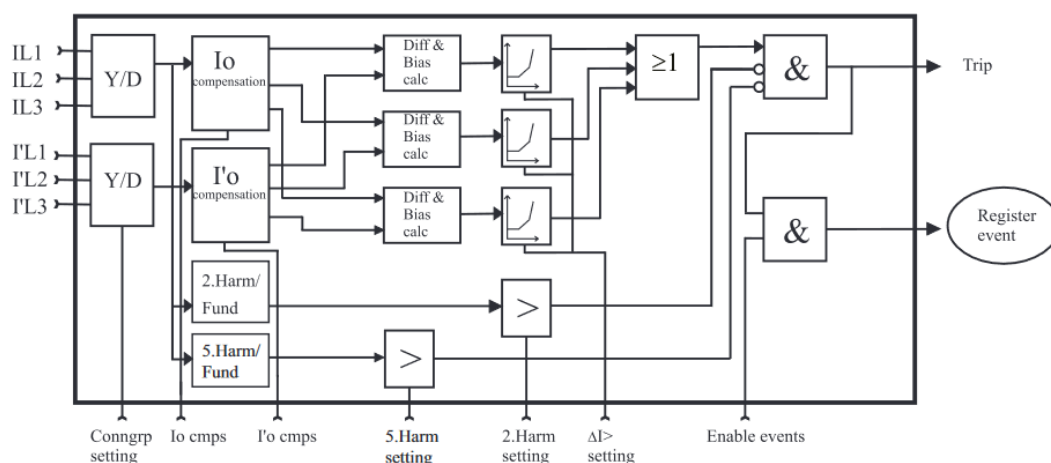
See digirelee mõõdab voolusid jõutrafo primaarmähisel ja sekundaarmähisel voolutrafo abil ja võrdleb saadud voolude tähendused (vt Joonis 7.2). Juhul kui mõõdetud voolude tähendused ületavad tuntu tähenduse, relee annab käsku ühendust katkestada.



Joonis 7.2 Jõutrafo diferentsiaalkaitse ja maksimaalvoolu kaitse maalühise vastu Sepam P3T32 alusel [13].

Relee tagab automaatlüliti juhtimisfunktsiooni. Lahklüliteid ja koormuslüliteid võib samuti juhtida relee esipaneelist või automaatjuhtimissüsteemi abil või SKADA abil [Lisa 6]. Relees on realiseeritud funktsionaalprogrammeerimise võimalused, näiteks omavahelise blokeeringu skeem.

Voolutrafod (kuni 6 tk) valitakse jõutrafo primaar- ja sekundaarnimivoolude alusel.



Joonis 7.3 Plokk-skeem diferentsiaal kaitse aste

Relee Sepam P3T32 ühendusskeem [Lisa 7]

Sepam P3T32 funktsionaal vaade [Lisa 8]

8. ELEKTRIENERGIA ARVESTUS

Arvesti Power Logic ION6200 (vt. Joonis 8.1) on kõrge kvaliteediga elektrienergia mõõtmisseade. ION6200 on võimeline mõõtmised teha väga laia ulatuses, mille täpsuse aste on 0,5S (IEC, ANSI): pinge, vool, võimsus, koormus, elektrienergia, võimsustegur ja sagedus. Selline arvesti pakub väga hea moderniseerimise võimaluse analoogmõõtmisseadmete vahetuseks.



PowerLogic ION6200

Joonis 8.1 Power Logic ION6200 elektrienergia arvesti

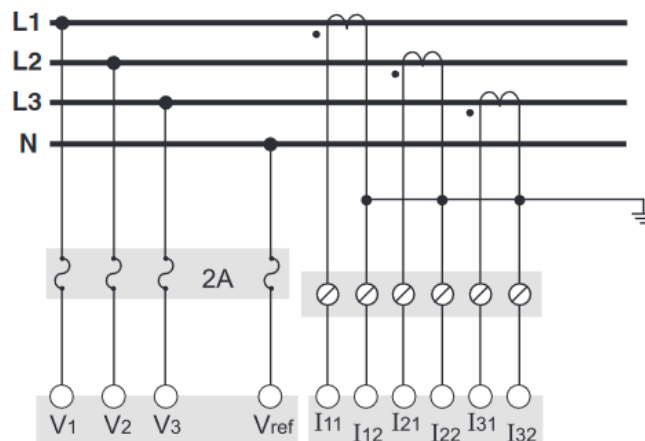
Power Logic ION6200 aitab elektrienergia kulusid vähendada ja elektriseadmete kasutamise optimeerida. Andmete vahetus Modbus protokollil abil on mõeldud alajaama optimaaljuhendamiseks ning tootlikkuse tõstmiseks. [14]

Power Logic ION6200 rakendamine:

- Kadude, koormuse ja efektiivsuse analüüs
- Elektrienergia arvestus ning kulude jaotus

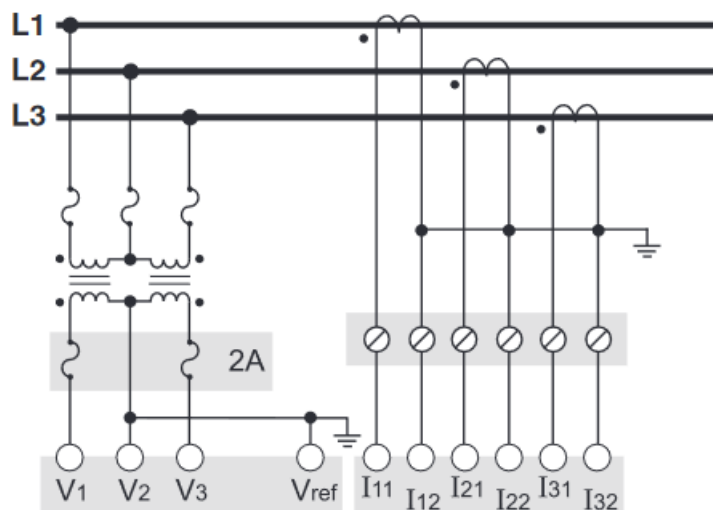
Power Logic ION6200 on võimalik ühendada elektrivõrku (400 V) kahel viisil:

1) Otseselt (vt. Joonis 8.2)



Joonis 8.2 Power Logic ION6200 elektrivõrku ühendus otseselt [14]

2) Läbi pinge trafo (vt. Joonis 8.3)



Joonis 8.3 Power Logic ION6200 elektrivõrkku ühendus otseselt [14]

Mõõdetav vahelduvvoolu pinge 60-400 V L-N, 103,5-690 L-L

Juhul, kui on vaja rohkem mõõtmisi korraldada, Power Logic ION6200 lubab kasutusala laiendada, lisades rohkem arvesteid ahelatele.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli analüüsida Enefit 140 tööstusalajaama 6/0,4 kV kehtiva elektrivarustuse ja teha ettepanekut selle kaasajastamiseks. Lõputöö käigus vaadeldakse erinevaid variante tööstusalajaama uue elektriseadmega varustamiseks olemasoleva elektrivarustuse asemel ning pakutakse paigaldada elektriseadmeid, mis võib rakendamisest kasu tuua. Lõputöö ülesandeks on näidata, et uue elektrivarustuse paigaldamine teeb alajaama töid tõhusamaks ja ohutumaks.

Lõputöö alguses on esitatud alajaama algandmed, mille alusel võib selle alajaama koormusgraafikut koostada ja uue elektrivarustuse valikut teha. Alajaama algandmete alusel selgitakse välja milline elektrivarustus võib taotletud koormust taluda. Lõputöö käigus analüüsitakse kehtiva jõutrafo tootlikkust ning pakutakse madala võimsuse jõutrafo seoses reaktiivvõimsuse kompenseerimiseseadme rakendamisega. Olemasolevas alajaamas puudub reaktiivvõimsuse kompenseerimise seade, mille kasutamine vähendab koormust kaasatud elektrivarustusele ja vähendab kulusid elektrienergia katmiseks. Lõputöö autor annab ülevaade tegeliku reaktiivvõimsuse suurusest ning selle võimsuse kompenseerimisest.

Uue elektrivarustuse hulka kuulub samuti jõutrafo diferentsiaalkaitse. Jõutrafo diferentsiaalkaitse digi seade Sepam P3T32 tagab kiire ja selektiivse kaitse ning juhib automaatlüliti. See kaitse seade on hästi rakendatav elektriseadmetes ning on hea vahetuse võimetus vananenud elektromagnet rele asemel.

Käesoleva lõputöö käigus vaadeldakse kaitselülite valikut seoses elektriskeemi muudatustega madalpinge osas. Automaat kaitselüliti valitakse selle nimiparameetrite järgi ning selle lühisvoolu taluvuse võime alusel. Automaat lüliti lühisvoolu pidamise parameetrid kirjeldatud autori poolt.

Lõputöös esitatud kaasajastamise elektriseadmeid võib rakendada kehtivas alajaamas täies ulatuses. Tänu kaasaegsete tehnoloogiate kasutusse võttele, võib kehtiva elektrivarustus muuta töökindlaks, ökonoomseks ja ohutuks teeninduse ajal.

Autori arvamusel lõputöös püstitatud ülesanded on täidetud ning valitud elektrivarustus võib rakendada antud alajaamas. Kehtiva alajaama võib samuti edasi arendada, rakendades elektriseadmeid mikroprotsessorjuhtimisel.

SUMMARY

The aim of this thesis was to analyse the current electrical equipment of 6/0.4 kV Enefit 140 industrial substation and to make a proposal for its modernization. During the thesis, there are different options are considered for providing the industrial substation with new electrical equipment instead of the existing electrical equipment, that may bring benefit from the implementation. The task of the thesis is to show that the installation of new electrical equipment makes the operation of the substation more efficient and safer.

At the beginning of the dissertation the initial data of the substation are presented. Based on this data is possible to schedule the load of this substation and a new electrical equipment can be selected. Based on the initial data of the substation, it is determined which electrical equipment can withstand the requested load. During the thesis, the productivity of the valid power transformer is analysed, and a low power transformer is offered in connection with the implementation of the reactive power compensation device. The existing substation does not have a reactive power compensation device, the use of which reduces the load on the included electrical equipment and reduces the cost of covering electricity. The author of the dissertation gives an overview of the volume of the actual reactive power and the compensation of this power.

The new electrical equipment also includes differential protection for the power transformer. The power transformer differential protection digital device Sepam P3T32 provides fast and selective protection and controls the automatic switch. This protection device is well applicable in electrical equipment and is a good replacement for an outdated electromagnetic relay.

During this thesis, the selection of circuit breakers is considered due to changes in the wiring diagram for low voltage. The circuit breakers are selected according to its rated parameters and its short circuit withstand capacity. The circuit breaker short circuit maintenance parameters described by the author.

The modernization electrical equipment presented in the thesis can be fully implemented in the valid substation. Thanks to the introduction of modern technologies, the current electrical equipment can be made reliable, economical, and safe during service.

In the opinion of the author, the tasks set in the thesis have been fulfilled and the selected electrical equipment can be applied in this industrial substation. The existing substation can also be further developed by implementing electrical equipment under microprocessor control.

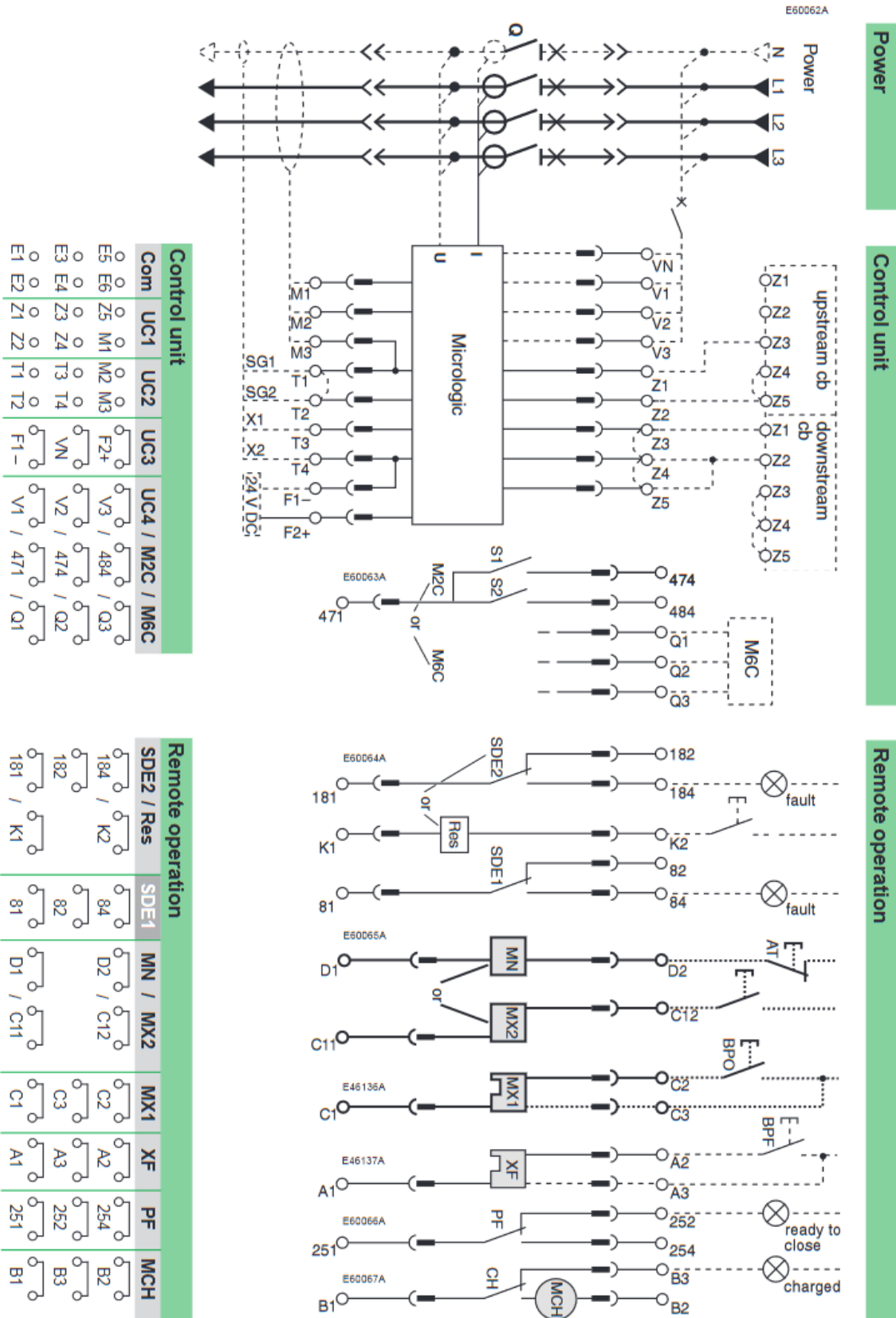
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] Ершов А.М. Сопоставление схем коммутации, защиты и автоматики на стороне низшего напряжения трансформаторных подстанций напряжением 6–10/0,4 кв. [Online] <http://www.electrik.org/forum/index.php?act=attach&type=post&id=54716> (veebiartikkel)
- [2] Circuit breaker Masterpact NT12H1 - 1250 A. [Online] <https://download.schneider-electric.com> (tootja veebilehekülg)
- [3] Meldorf M., Kilter J. Keskpinge võrgud. Tallinn. 2008
- [4] Reaktiivvõimsuse kompenseerimise seade automaatlüliti [Online] <https://download.schneider-electric.com> (tootja veebilehekülg)
- [5] Voolu trafo ühendus kondensaator patarei juhul. [Online] <https://download.schneider-electric.com> (lk. 91) (tootja veebilehekülg)
- [6] K. Janson, Elektrimasinate alused, TTÜ, 2017
- [7] Schneider Electric. Trihal jõutrafo. [Online] <https://download.schneider-electric.com> (tootja veebilehekülg)
- [8] Schneider Electric kataloog 2018. Trihal. [Online] <https://download.schneider-electric.com> (tootja veebilehekülg)
- [9] ABB. Выбор электрооборудования при проектировании трансформаторных подстанций среднего/низкого напряжения. PDF.
- [10] Schneider Electric. Canalis KTC 1000-6300 A. [Online] <https://download.schneider-electric.com> (lk. 151) (tootja veebilehekülg)
- [11] Гловацкий В. Г., Пономарев И. В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей, 218 lk. 2003 (raamat)
- [12] Meldorf, M., Tammoja, H., Treufeldt, Ü., Kilter, J. Jaotusvõrgud. Tallinn. 2007. (raamat)
- [13] Schneider Electric. Power Logic Easergy P3. [Online] <https://download.schneider-electric.com> (tootja veebilehekülg)
- [14] Schneider Electric. Power Logic ION6200. [Online] <https://download.schneider-electric.com> (tootja veebilehekülg)

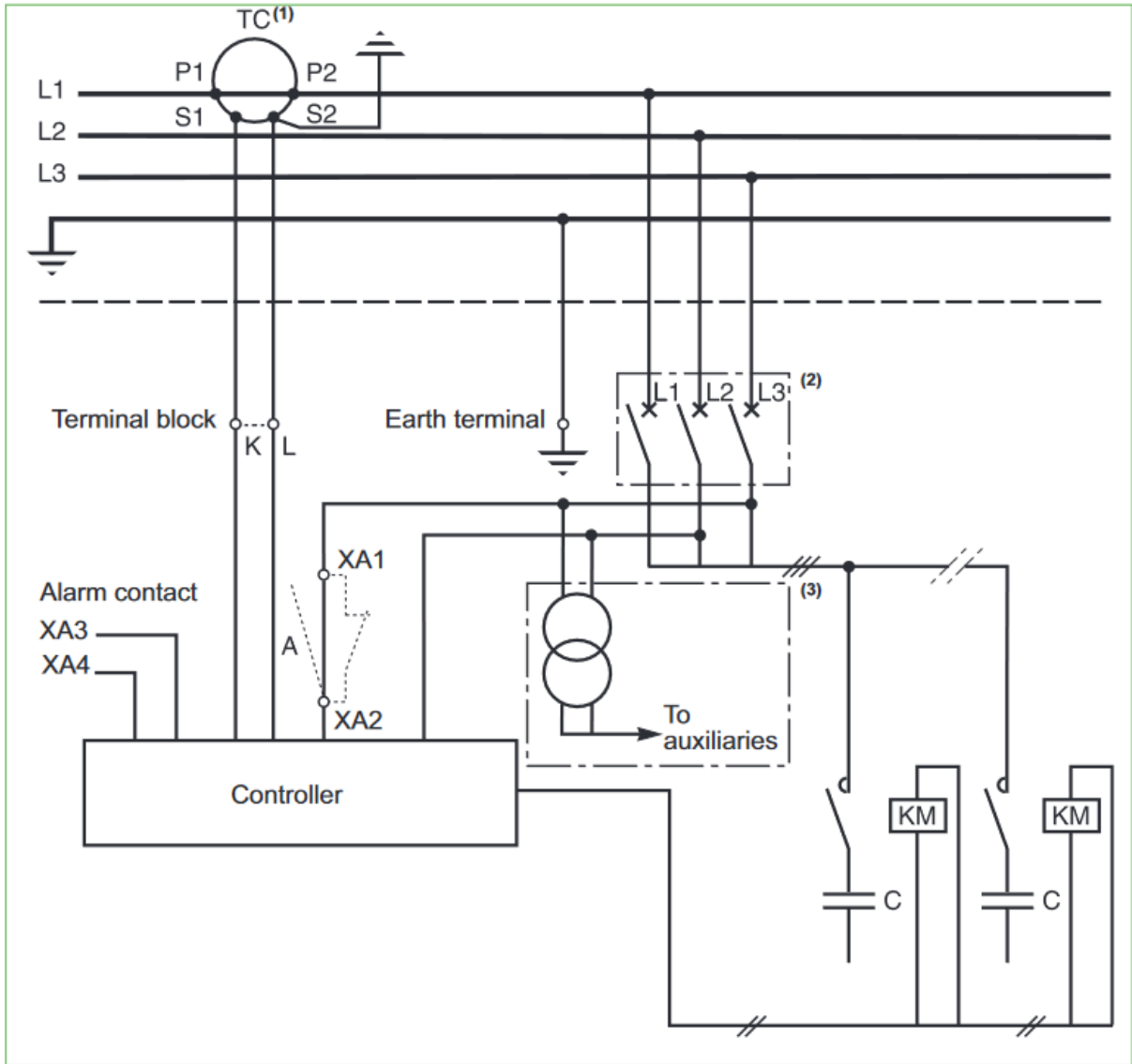
Lisa 1 Ühe soojusseade elektritarbijad

Tarviti	Un(kV)	Pn(kW)	η (%)	P(kW)	cos φ	S(kVA)	Q(kVAr)	I(A)
1	0.4	75	94.4	79.4	0.9	88.3	38.5	127.4
2	0.4	37	92.5	40.0	0.9	44.4	19.4	64.2
3	0.4	30	93.2	32.2	0.88	36.6	17.4	52.8
4	0.4	15	91.1	16.5	0.89	18.5	8.4	26.7
5	0.4	14	90	15.6	0.9	17.3	7.5	24.9
6	0.4	14	90	15.6	0.9	17.3	7.5	24.9
7	0.4	15	90	16.7	0.83	20.1	11.2	29.0
8	0.4	11	91	12.1	0.89	13.6	6.2	19.6
9	0.4	13	91	14.3	0.89	16.1	7.3	23.2
10	0.4	13	91	14.3	0.89	16.1	7.3	23.2
11	0.4	30	93	32.3	0.88	36.7	17.4	52.9
12	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
13	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
14	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
15	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
16	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
17	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
18	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
19	0.4	24	87	27.6	0.87	31.7	15.6	45.8
20	0.4	90	89	101.1	0.8	126.4	75.8	182.4
21	0.4	37	91.1	40.6	0.74	54.9	36.9	79.2
22	0.4	37	91.1	40.6	0.74	54.9	36.9	79.2
23	0.4	37	91.1	40.6	0.74	54.9	36.9	79.2
24	0.4	160	94	170.2	0.9	189.1	82.4	273.0
Kokku:		820		903		1059	542	1528.0

Lisa 2 Masterpact NT12H1-1250 A elektridiagrammid

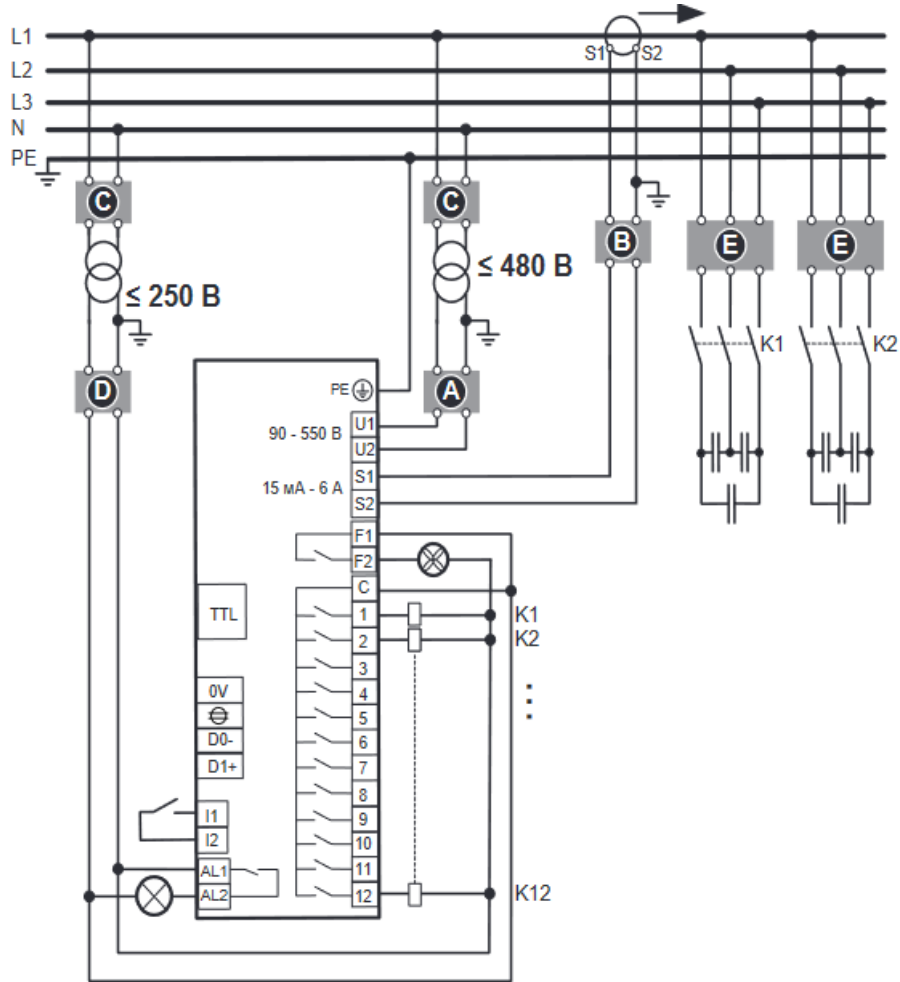


Lisa 3 Varset easy ühendus

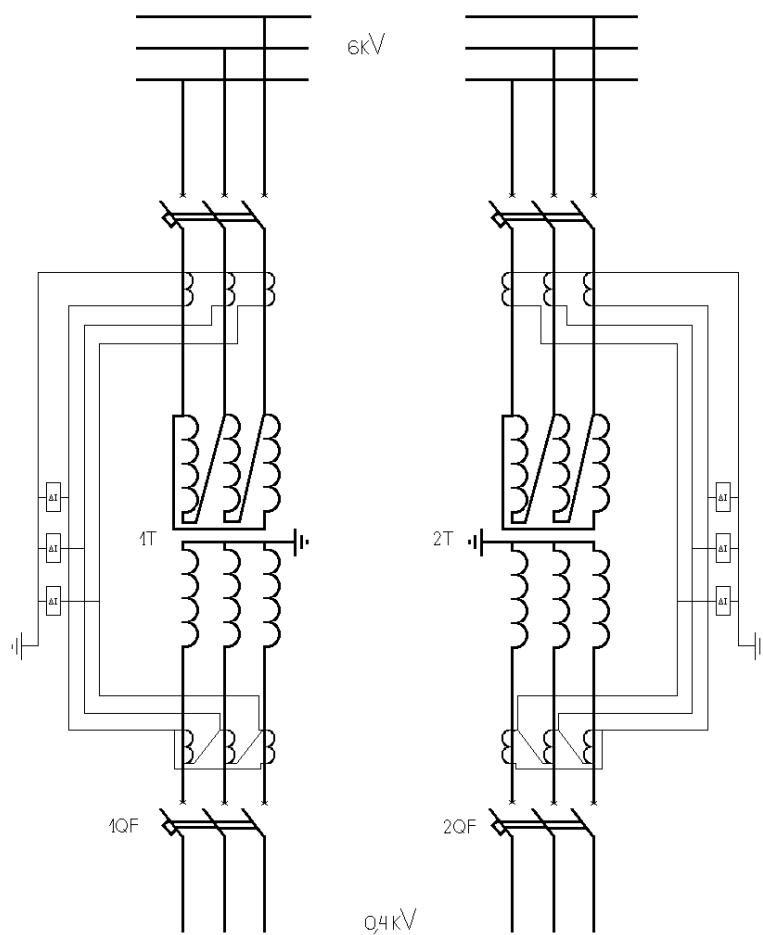


[6]

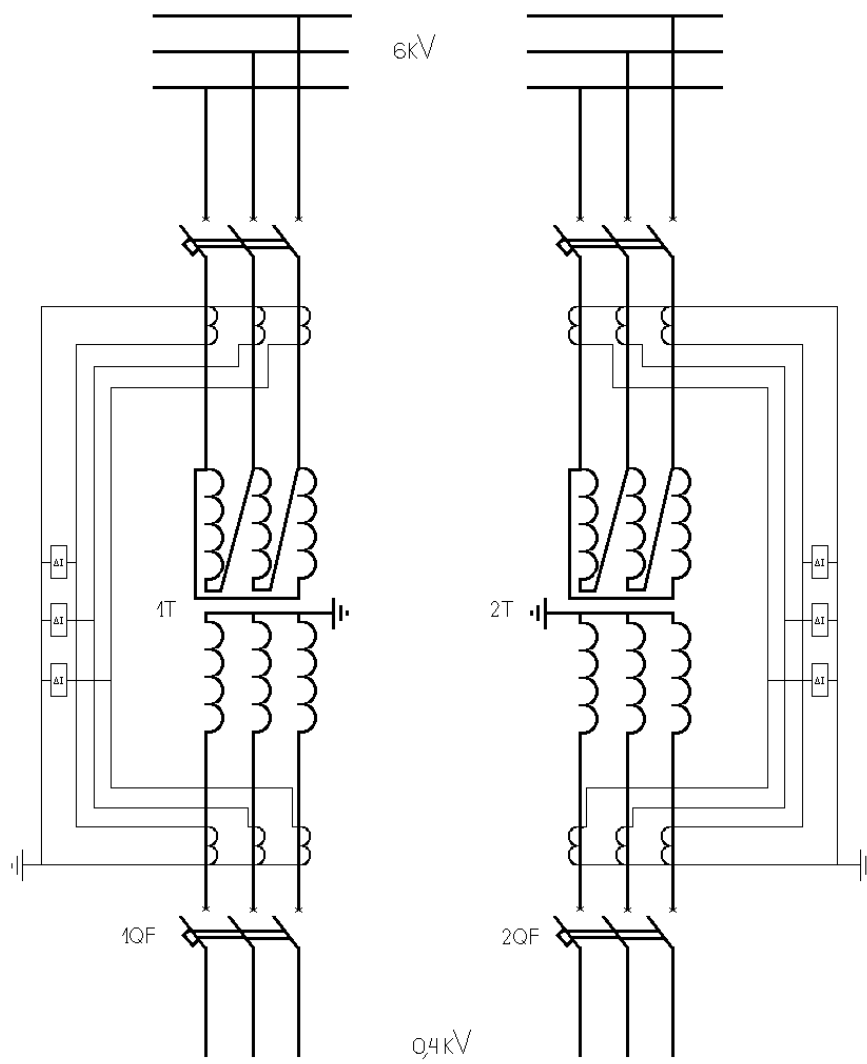
Lisa 4 Varplus logic v16/v12 elektrühendus



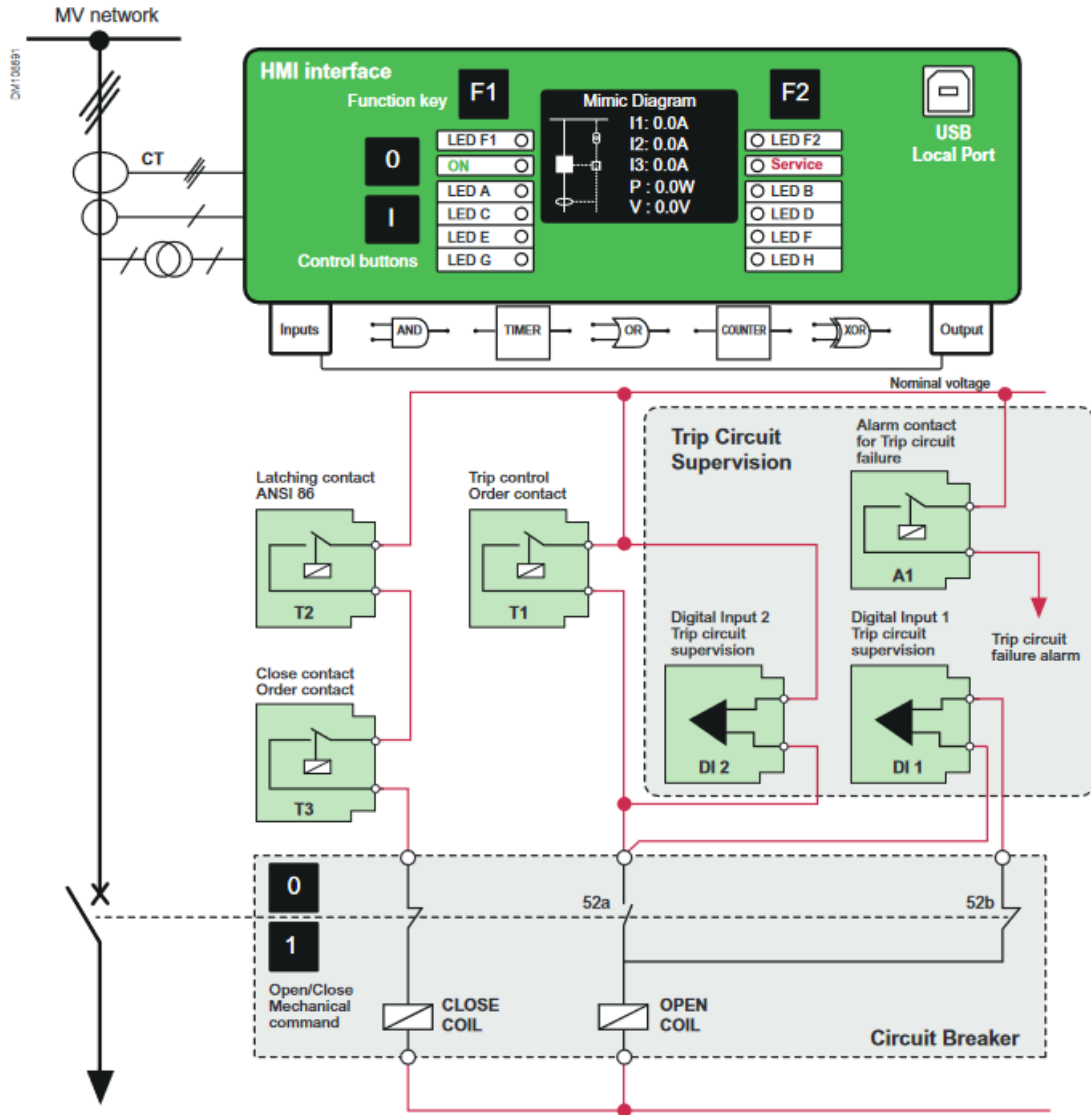
Lisa 5 Voolutrafo Δ -Y ühendus



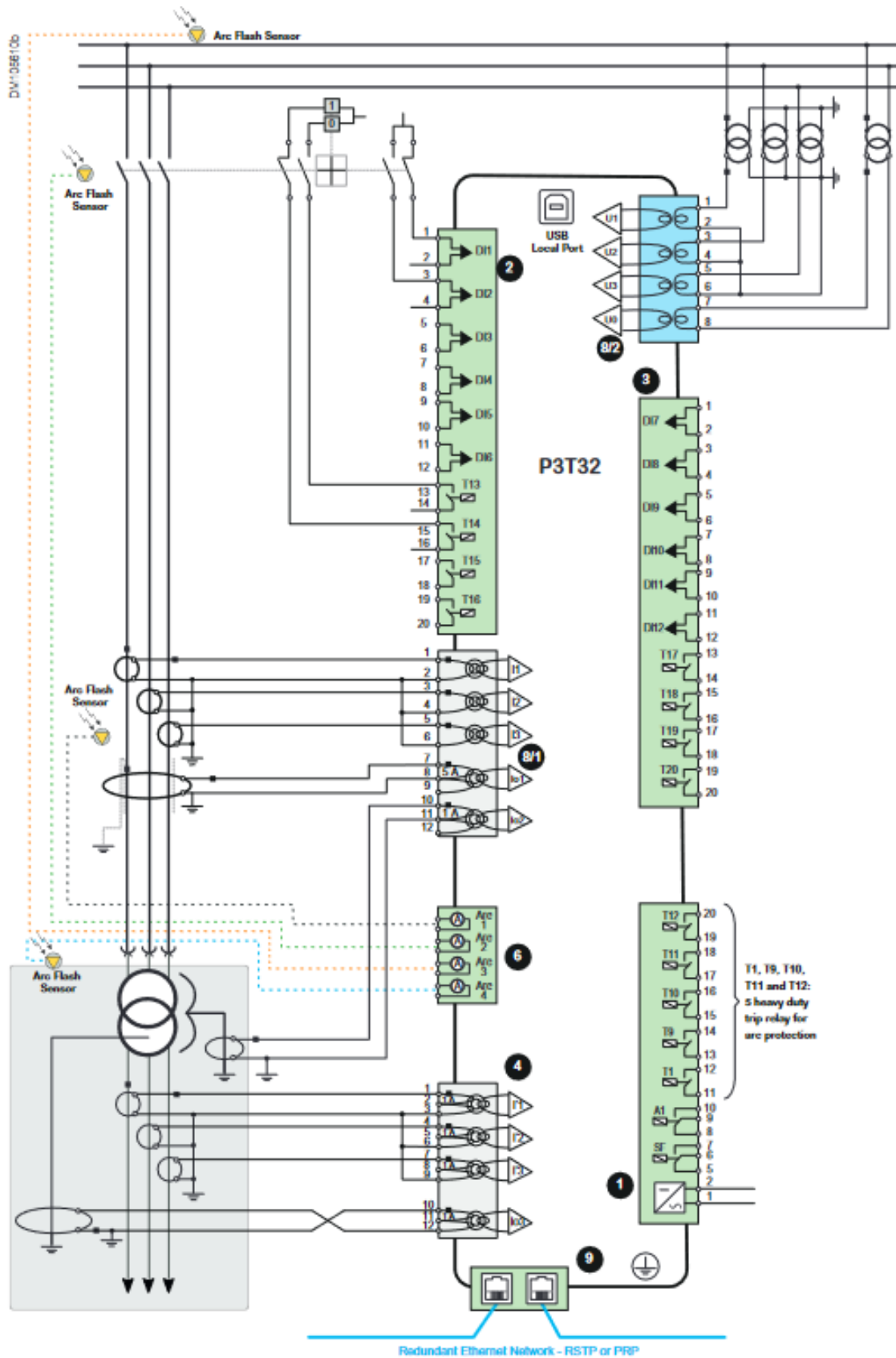
Lisa 6 Voolutrafo Y-Y ühendus



Lisa 6 Sepam P3T32 lüliti juhtimine



Lisa 7 Sepam P3T32 elektrühendus



Lisa 8 Sepam P3T32 Funktsional vaade

