



ICES  
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Elektroenergetika

Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne  
instalacije

## **ZAMENJAVA GENERATORSKE ZAŠČITE G1 V MHE ZADLAŠČICA**

Mentor: mag. Jože Kragelj, univ. dipl. inž. el.  
Somentor: mag. Miha Leban, univ. dipl. inž. el.

Kandidat: Darij Kogoj

Ljubljana, marec 2021

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorjema Jožetu Kraglju iz višje strokovne šole ICES in Mihu Lebanu iz družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o. za ponujeno strokovno pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se družbi Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o. za odobritev in izvedbo študija.

Zahvaljujem se tudi lektorici Poloni Hadalin Baša, univ. dipl. slov, ki je diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

## IZJAVA

Študent Darij Kogoj izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Jožeta Kraglja, univ. dipl. inž. el., in somentorja mag. Miha Lebana, univ. dipl. inž. el.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne \_\_\_\_\_

Podpis: \_\_\_\_\_

## **POVZETEK**

V diplomskem delu sem opisal izvedbo zamenjave generatorske zaščite male hidroelektrarne Zadlaščica, pri kateri sem tudi sodeloval. Delo vsebuje splošno dejavnost družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o., zgradbo in sestavo male hidroelektrarne Zadlaščica ter potek del zamenjave zaščite, kar zajema pregled projektne dokumentacije, demontažo stare zaščite, montažo nove zaščite, pregled in izračun zaščitnih funkcij ter izvedbo sekundarnih, primarnih in funkcionalnih preizkusov. Obstoječa zaščita generatorja je bila elektrostatična in iz časa izgradnje elektrarne 1989, zato je bila zamenjava nujno potrebna. Kakovostna zaščitna naprava in redno funkcionalno preizkušanje zaščite nam zagotavljata dolgo življenjsko dobo agregata. Nepravilno delovanje zaščitnega sistema povzroča škodo tudi zaradi izpada proizvodnje male hidroelektrarne. Zaščitne releje v omari električne zaščite 1CHA se je odstranilo in nadomestilo z dvema zaščitnima terminaloma (IED) tipa ABB REG630 z enako konfiguracijo, vendar z različnimi nastavitvami.

## **KLJUČNE BESEDE**

- mala hidroelektrarna
- numerični rele (IED)
- generatorska zaščita
- zaščitni rele

## **ABSTRACT**

A generator power system protection retrofit in a small hydro power plant Zadlaščica, that I took part in, is described in the thesis. There is a general presentation of the Soške elektrarne Nova Gorica company, power plant design and parts explanation and description of the steps necessary for the power system protection retrofit. The retrofit consisted of a review of electrical drawings, old electrostatic power system protection dismantling, new protection relays montage, a review and calculation of protection functions with secondary, primary and functional tests. The original protection system was still an electrostatic one, the same age as the powerplant construction, dating in 1989. The retrofit was necessary. Power system protection relays of high quality together with periodical functional testing are mandatory for trouble less generator operation. We dismantled electrostatic protection relays in the cubicle 1CHA and replaced them with two modern numerical relays (IED) type ABB REG630 with the same configuration but different settings.

## **KEYWORDS**

- small hydro power plant
- numerical relay (IED)
- generator protection
- protection relay

## KAZALO

1	UVOD .....	1
2	SOŠKE ELEKTRARNE NOVA GORICA D.O.O. IN MALA HIDROELEKTRARNA ZADLAŠČICA.....	2
2.1	Elektrarne družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o. ....	2
2.2	Mala hidroelektrarna Zadlaščica.....	3
2.3	Tehnični opis elektrarne .....	7
3	ZAŠČITA GENERATORJEV IN BLOKOV TRANSFORMATOR - GENERATOR .....	17
4	ZAŠČITA MHE ZADLAŠČICA.....	21
4.1	Opis stanja zaščite pred obnovo .....	21
4.2	Stanje po obnovi zaščite .....	22
4.3	Izklopna matrika zaščitnih terminalov .....	26
4.4	Blok shema delovanja zaščite .....	28
4.5	Kontrola izklopnih tokokrogov.....	30
5	PREGLED IN IZRAČUN ZAŠČITNIH FUNKCIJ .....	31
5.1	Diferenčna zaščita bloka in generatorja.....	31
5.2	Kratkostična zaščita generatorja .....	31
5.3	Pretokovna zaščita generatorja .....	32
5.4	Podimpeđančna zaščita .....	32
5.5	Zaščita pri izpadu vzbujanja .....	33
5.6	Zaščita pri izpadu iz sinhronizma .....	36
5.7	Zaščita pri nesimetriji .....	36
5.8	Statorska zemeljskostična zaščita .....	37
5.9	Prenapetostna zaščita.....	37
5.10	Zaščita pri povratni moči .....	38
6	IZVEDBA PRIMARNIH IN FUNKCIJONALNIH PREIZKUSOV .....	38
6.1	PRIMARNI PREIZKUSI TOKOVNIH INSTRUMENTNIH TRANSFORMATORJEV.....	38
6.1.1	Preizkusi tokovno instrumentnega transformatorja v 6,3 kV generatorskemu polju in 20 kV transformatorskemu polju .....	39
6.2	PRIMARNI PREIZKUSI NAPETOSTNIH INSTRUMENTNIH TRANSFORMATORJEV.....	42
6.2.1	Preizkusi NIT v 6,3 kV generatorskem polju .....	43
6.3	FUNCIONALNI PREIZKUSI GENERATORJA.....	44
6.3.1	Pri stoječem generatorju .....	44
6.3.2	Obratovanje v praznem teku .....	49
6.3.3	Obratovanje na mreži.....	51
7	ZAKLJUČKI.....	55
8	LITERATURA IN VIRI .....	56

KAZALO SLIK.....	6
KAZALO TABEL .....	7
KRATICE IN AKRONIMI .....	7
SEZNAM SIMBOLOV .....	8
PRILOGE .....	57

## KAZALO SLIK

Slika 1: Elektrarne SENG (Vir: SENG).....	2
Slika 2: MHE Zadlaščica (Vir: lasten) .....	3
Slika 3: Zajetje Zadlaščice (Vir: lasten).....	5
Slika 4: Enočrtna shema MHE Zadlaščica (Vir: SENG) .....	6
Slika 5: Kroglasti zasun s turbino (Vir: lasten).....	7
Slika 6: Podatkovna tablica generatorja (Vir: lasten).....	8
Slika 7: Generator z vzburjanjem (Vir: lasten).....	10
Slika 8: Celici 1BAG in 1BAB (Vir: lasten) .....	11
Slika 9: Blok transformator (Vir: lasten) .....	12
Slika 10: 20 kV celice (Vir: lasten) .....	12
Slika 11: Transformator lastne rabe (Vir: lasten).....	14
Slika 12: Releji zaščite (Vir: lasten)      Slika 13: Omara 1CHA (Vir: lasten) .....	21
Slika 14: Izgled omare +1CHA (Vir: SENG).....	22
Slika 15: Levo zaščitni rele TA, desno zaščitni rele TB (Vir: lasten).....	23
Slika 16: rele BF (Vir: lasten) Slika 17: Obnovljena omara zaščite 1CHA (Vir: lasten) .....	26
Slika 18: Blok shema delovanja zaščite (Vir: SENG) .....	29
Slika 19: Karakteristika delovanja zaščite iz tovarniške dokumentacije (Vir: SENG).....	34
Slika 20: Karakteristika delovanja zaščite pred izpadom vzburjanja (Vir: SENG).....	35
Slika 21: TIT na odvodu 20 kV (Vir: lasten) .....	40
Slika 22: Izvod generatorja (Vir: lasten).....	40
Slika 23: Zvezdišče generatorja (Vir: lasten).....	41
Slika 24: Primarni preizkusi s CT Analyzerjem (Vir: lasten) .....	41
Slika 25: Priključna shema CPC100 meritev tokovne prestave (Vir: lasten).....	42
Slika 26: Priključna shema CT Analyzer meritev Rct, tokovne prestave in magnetilne karakteristike (Vir: lasten) .....	42
Slika 27: Priključna shema CPC 100 meritev napetostne prestave (Vir: lasten).....	43
Slika 28: Preizkusi zaščit s preizkusno napravo OMICRON CMC 256-6 (Vir: lasten) .....	45
Slika 29: Priklop variaka v celici AJA2 in premostitev statorskega navitja na 6 kV strani (Vir: lasten).....	46
Slika 30: Premostitev statorskega navitja in priklop variaka na 20 kV strani (Vir: lasten) .....	47

Slika 31: Pri IB = 17 A (približno) (Vir: lasten).....	48
Slika 32: Pri IB = 35 A (približno) (Vir: lasten).....	49
Slika 33: Posnetek delovanja zaščite v živo na TA pri znižani nastavitvi prenapetostne zaščite in praznem teku (Vir: lasten) .....	50
Slika 34: Posnetek delovanja zaščite v živo na TA, pri znižani nastavitvi pretokovne zaščite (Vir: lasten).....	51
Slika 35: Posnetek testa pretokovne zaščite v živo pri znižani nastavitvi na TB (Vir: lasten) .....	52
Slika 36: Posnetek delovanja diferenčne zaščite generatorja na TA (Vir: lasten)....	53
Slika 37: Izvedba mostičkov na sponkah (Vir: lasten) .....	53
Slika 38: Posnetek delovanja diferenčne zaščite bloka na terminalu TB (Vir: lasten) .....	54

## KAZALO TABEL

Tabela 1: Razporeditev led signalov zaščitnega terminala TA.....	24
Tabela 2: Razporeditev led signalov zaščitnega terminala TB.....	25
Tabela 3: Izklopna matrika zaščitnih terminalov .....	27
Tabela 4: Legenda angleško-slovenskih izrazov (Vir: lasten) .....	34
Tabela 5: T1 odvod AJA2 - 20 kV VN blok transformatorja generatorja (Vir: lasten)39	
Tabela 6: T2 na sponkah generatorja (Vir: lasten) .....	40
Tabela 7: T3 v zvezdišču generatorja (Vir: lasten).....	41
Tabela 8: T4 na sponkah generatorja.....	43
Tabela 9: T5 v zvezdišču generatorja.....	43

## KRATICE IN AKRONIMI

EES – elektroenergetski sistem  
 MHE – mala hidroelektrarna  
 VN – visoka napetost  
 TR – transformator  
 TIT – tokovni instrumentni transformator  
 NIT – napetostni instrumentni transformator  
 PAS – avtomatski prenos podatkov  
 TA – zaščitni terminal A  
 TB – zaščitni terminal B  
 HMI – vmesni človek stroj  
 CV – center vodenja  
 $I_2$  – inverzna komponenta toka  
 $I_d$  – diferenčni tok



OVE – obnovljivi viri energije  
SENG – Soške elektrarne Nova Gorica  
HE – hidroelektrarna  
IED – Intelligent Electronic Device  
SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition  
LED – Light-emitting diode

## **SEZNAM SIMBOLOV**

$\underline{U}$  – fazor napetosti, enote V  
 $\underline{Z}$  – fazor impedance, enote  $\Omega$   
 $\underline{U}_k$  – kratkostična napetost transformatorja  
 $\underline{X}$  – reaktanca, enote  $\Omega$   
 $\underline{S}$  – navidezna moč, enote VA, kVA, MVA  
 $\underline{P}$  – delovna moč, enote var, kvar, Mvar  
 $\underline{Q}$  – jalova moč, enote w, kW, MW

# 1 UVOD

Cilj procesa vzdrževanja je ohranjanje elektroenergetskih postrojev v stanju, v katerem lahko opravljajo svojo nalogo in s tem doseganje visoke obratovalne pripravljenosti oz. razpoložljivosti proizvodnih enot kot celote s čim manjšimi stroški.

To dosežemo s:

- preprečevalnim vzdrževanjem naprav, postrojev in objektov;
- rednimi pregledi in kontrolami ter stalnim nadzorom stanja naprav;
- zgodnjim odkrivanjem napak, preden te povzročijo izpade proizvodnje ali materialno škodo;
- posodobitvijo naprav in objektov;
- hitrim in učinkovitim interventnim vzdrževanjem v primeru nepredvidenih napak in defektov, ki lahko povzročijo ali so že povzročile obratovalno nepripravljenost proizvodnih enot;
- skrbnim nadzorom in analizo delovanja zaščitnih naprav.

Razlog za zamenjavo zaščite v mali hidroelektrarni (MHE) Zadlaščica je predvsem v zastarelosti obstoječega sistema. Naloga zaščite je prav v tem, da v primeru okvare omili materialno škodo, izpad proizvodnje in prepreči ogrožanje zdravja ljudi in življenj ter obratovanje agregata ob motnjah v elektroenergetskem sistemu (EES). Nenormalne razmere nastanejo zaradi preobremenitev, nesimetrične obremenitve, čezmernega segrevanja stroja, izostanka vzbujanja ... Tako okvaro čim hitreje in selektivno izločimo.

Pri normalnem obratovanju zaščita ne sme delovati. Električna zaščita generatorjev oz. agregatov v MHE Zadlaščica je stara več kot 30 let in je še elektrostatične izvedbe. Poleg zmanjšane funkcionalnosti in zanesljivosti v primerjavi s sodobnimi numeričnimi zaščitnimi sistemi predstavlja zaščitni sistem v MHE Zadlaščica težavo tudi z vidika zagotavljanja rezervnih delov.

Z obnovo je nova oprema zamenjala vse funkcionalnosti stare opreme, pridobila pa je dodatne funkcionalnosti, kot so:

- zajem oscilografij in dogodkovnih list ob raznih okvarah;
- samodejni prenos dogodkov v sistem PAS SENG;
- možnost daljinskega dostopa do relejev;
- samo-diagnostika relejev (watch dog);
- dodatne zaščitne funkcije;
- lokalni vmesnik HMI z dodatnimi analognimi meritvami.

## 2 SOŠKE ELEKTRARNE NOVA GORICA D.O.O. IN MALA HIDROELEKTRARNA ZADLAŠČICA

### 2.1 Elektrarne družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o.

Osnovna dejavnost družbe Soške elektrarne Nova Gorica d.o.o (SENG) je proizvodnja električne energije iz področja obnovljivih virov energije (OVE) v hidroelektrarnah na povodju Soče. Leta 2018 je SENG obeležil že 70-letnico uspešnega poslovanja, vzdrževanja in razširjenja hidroelektrarn na svojem območju. Soča in njeni pritoki danes poganjajo črpalno hidroelektrarno v Avčah, 5 velikih in 23 malih hidroelektrarn.



Slika 1: Elektrarne SENG  
(Vir: SENG)

Velike elektrarne, katerih instalirana moč je večja od 10 MW, obratujejo vse na reki Soči in na leto proizvedejo 450 GWh električne energije. To so elektrarne HE Dobljar 1 (1939), HE Plave 1 (1940), HE Solkan (1984), HE Dobljar 2 in Plave 2 (obe 2002).

V HE Dobljar je bila izvedena rekonstrukcija agregatov in opreme z zaključkom leta 2014, v HE Plave 2 pa leta 2017.

Črpalna hidroelektrarna Avče obratuje od leta 2009 in je prva ter za zdaj edina črpalna hidroelektrarna v Sloveniji. V strojnici je zgrajen 80 m visok jašek premera 18 m. V njem je nameščen reverzibilni agregat (črpalna/turbinska in motor/generator) z varspeed tehnologijo. Moč črpalke/turbine znaša 185 MW v generatorskem režimu in 180 MW v črpalnem režimu. Agregat je izveden tako, da omogoča spreminjanje

hitrosti vrtenja od  $-4$  do  $+4$  nazivne hitrosti 600 vrtljajev na minuto (varspeed). To omogoča večje prilagajanje razmeram v EES in razpoložljivi količini vode.

Družba SENG ima 23 malih hidroelektrarn, kar je največje število v Sloveniji. Kar tri so umeščene v Triglavski narodni park, in sicer Zadlaščica, Log ter Plužna. Male hidroelektrarne se nahajajo na celotnem povodju reke Soče, na Idrijci, Tolminki, Vipavi in na številnih manjših vodotokih.

Največja med njimi je MHE Zadlaščica, najmanjša MHE Jelenk, najstarejša MHE Možnica, najnovejša pa MHE Kneža, ki je začela obratovati leta 2018. MHE Kneža je v celoti plod domačega znanja – od ideje, načrtovanja, projektiranja, nadzora do izvedbe.



*Slika 2: MHE Zadlaščica  
(Vir: lasten)*

V bližini elektrarne HE Solkan so tudi vzdrževalne delavnice SENG (po novem Operativa SENG). Ekipo sestavljajo strojni in elektrovezdrževalci, ki skrbijo za vse potrebne letne revizije, remonte, obnove ter nadgradnje v velikih in malih hidroelektrarnah SENG v sodelovanju s strokovnimi službami ter zunanjimi izvajalci. Delavnice so dobro opremljene za strojna in elektrovezdrževalna dela. Tako lahko vzdrževalne službe uspešno izvajajo dela in preizkuse na objektih SENG.

## **2.2 Mala hidroelektrarna Zadlaščica**

Hidroelektrarna in vodovod Zadlaščica je dvonamenski objekt, ki služi za proizvodnjo električne energije in dobavo pitne vode za del Občine Tolmin.

Objekt zajetja je lociran pod planino Razor, od koder voda po skoraj 3 km dolgem tlačnem cevovodu odteka v dolino, kjer je zgrajena elektrarna z dvema agregatoma. Poleg elektrarne je v isti zgradbi tudi črpališče za tolminski vodovod s tremi črpalkami, ki zmorejo skupaj prečrpavati 100 l/s vode.

Elektrarna je lokalno avtomatizirana, vendar jo je mogoče daljinsko voditi z območnega centra vodenja Soških elektrarn Nova Gorica (OCV SENG). Objekt stoji v zaščitenem področju Triglavskega narodnega parka, zato je bilo treba pri snovanju in izgradnji objekta upoštevati, da je ta čim manj opazno vključen v prostor.

Kot začetek izgradnje elektrarne se upošteva 29. 9. 1986, ko se je začela izgradnja zajetja elektrarne. Začetek del na trasi cevovoda in strojnici je bil 11. 11. 1986. Izgradnja daljnovoda je potekala od septembra 1987 do maja 1988. Zagon prvega agregata je bil v maju 1989, drugega pa v juliju 1989. Zagon prvega agregata lahko štejemo kot začetek obratovanja vodovoda Tolmin z vodo iz Zadlaščice, čeprav se je začela dobava vode preko reducirane postaje že v januarju 1989.

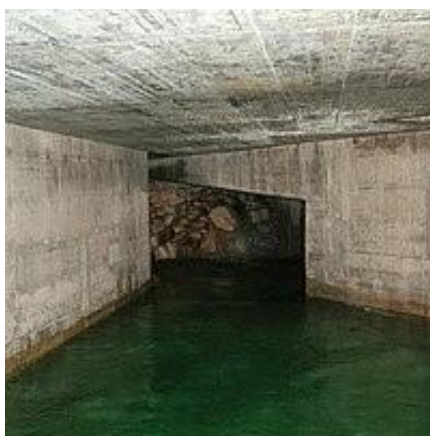
Strojnica je locirana na koti 338,50 m v strugi Zadlaščice, nizvodno od mostu »Jurca« čez Zadlaščico in vzvodno od sotočja desnega pritoka Jelovščice z Zadlaščico.

Strojnična stavba je dvoetažna konstrukcija. Sestavlja jo turbinsko-generatorski prostor z montažnim platojem, črpališčem, telemehanskim prostorom in priročno delavnico s skladiščem na nivoju strojničnega platoja ter pomožni tehnološki prostori v zgornji etaži.

Odvod vode izpod turbine je urejen tako, da del vode odteka v bazen črpališča pitne vode in bazen hladilne vode, ostala voda pa prosto odteče v strugo Zadlaščice. Na zgornji etaži strojnice so v ločenih požarnih prostorih montirani blok transformatorja 6,3/20 kV, 20 kV stikališče in transformator lastne rabe.

Zajetje je osnovano tako, da zadovoljuje potrebe tolminskega vodovoda in hidroelektrarne. Locirano je na najnižji koti izvira (778,5 m n. m.). Objekt zajetja je razdeljen na dva dela, in sicer na zajezni ter vtočni del.

Izvir je zajezen s 3,5 m visokim in 5 m dolgim jezom, z vtočno napravo na desnem bregu. Zajemni objekt je dimenzioniran za zajem 2,2 m<sup>3</sup>/s vode. Zajeta voda priteka skozi odprtino širine 3,10 m v bazen s prostornino 300 m<sup>3</sup>. V tem delu je izveden tudi vtok v cevovod in talni izpust ter prostor za hidromehansko in elektrostrojno opremo zajetja.



Slika 3: Zajetje Zadlaščice  
(Vir: lasten)

### OSNOVNI PODATKI MHE ZADLAŠČICA

Lokacija: Zadlaz-Žabče

Vodotok: Zadlaščica

Srednji letni pretok:  $sQ_s = 1,21 \text{ m}^3/\text{s}$

Instalirani pretok:  $Q_i = 2,22 \text{ m}^3/\text{s}$

Neto padec pri  $Q_i$ :  $H_n = 414,8 \text{ m}$

Dolžina cevovoda:  $L = 2881 \text{ m}$

Parametri cevovoda: 1000/900/800 mm

Turbine: 2 × Pelton

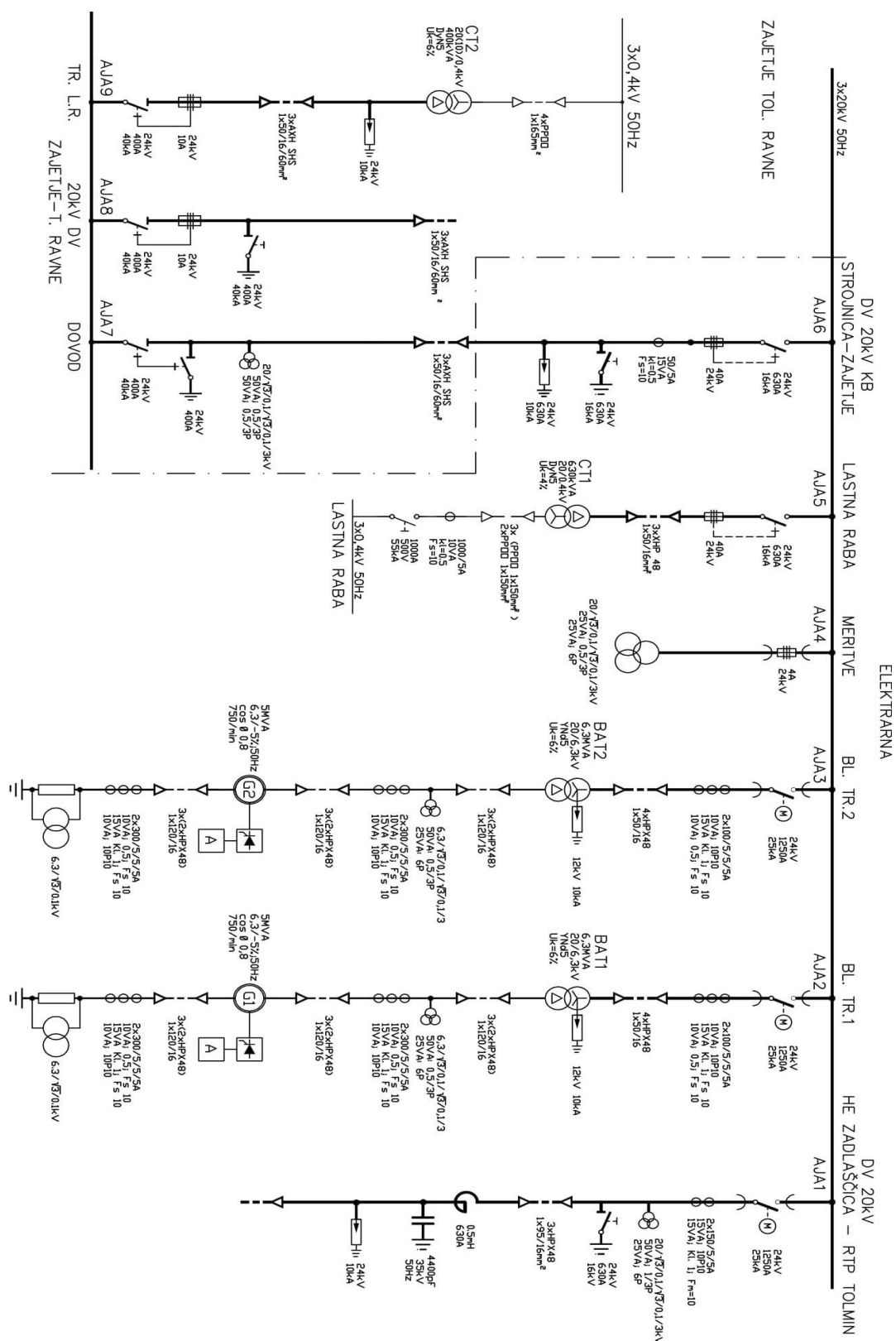
Generator: 2 × trofazni sinhroni samovzbudni

Nazivni vrtljaji:  $n_n = 750 \text{ o/min}$

Instalirana moč:  $P_i = 2 \times 4000 \text{ kW}$

Srednja letna proizvodnja: 35 GW h Zadlaščica

Priključek na mrežo: 20 kV DV Zadlaščica – RTP Tolmin



Slika 4: Enočrtna shema MHE Zadlaščica  
(Vir: SENG)

## 2.3 Tehnični opis elektrarne

### TURBINSKA OPREMA

V MHE Zadlaščica sta vgrajeni dve dvošobni Peltonovi turbini s horizontalno gredjo. Vsaka je konstruirana za naslednje nazivne podatke:

Neto padec: 414,0 m

Nazivni pretok: 1,11 m<sup>3</sup>/s

Nazivna moč: 4000 kW

Nazivni vrtljaji: 750 min<sup>-1</sup>

Vrtljaji pri pobegu: 1350 min<sup>-1</sup>

Tip turbine: TP 2 1.080/113 (Litostroj)

Gonilnik turbine je pritrjen neposredno na podaljšek generatorske gredi.



*Slika 5: Kroglasti zasun s turbino  
(Vir: lasten)*

Predturbinski zaporni organ je kroglasti zasun premera  $\Phi = 500$  mm, ki je izdelan za nazivni tlak 6,4 MPa. Zasun se zapira normalno pri zaprtih vtočnih šobah, v primeru sproženja zaščite agregata, ki zahteva hitro zaustavitev (STOP V SILI) pa tudi pod maksimalnim pretokom.

Zaradi nevarnosti vodnega udara v cevovodu je hitrost zapiranja zasuna omenjena tako, da 75 % zasuka traja približno 20 s, zadnji del pa približno 30 s.

Pred odpiranjem kroglastega zasuna se z vodo napolni prostor s šobami preko obtočnega cevovoda. Na njem sta ročni zasun in električno krmiljen zasun, ki je vključen v sekvence start-stop avtomata.

Turbinski regulator sestavljajo: elektronski regulator za vodne turbine tipa MER Litostroj, upravljalna enota za regulacijo dvošobne Peltonove turbine, oljetlačna naprava s 400 l olja po agregatu in pomožne naprave regulatorja. Turbinski regulator omogoča zagon agregata, sinhronizacijo, regulacijo hitrosti, paralelno ali



otočno obratovanje, regulacijo po nivoju, ročno nastavljanje obremenitve, normalno zaustavitev agregata z razbremenitvijo po delovni moči in ustavitev agregata v sili.

## OPREMA HLADILNEGA SISTEMA GENERATORJA

Odvzem toplote hladilnemu mediju – zraku rotorja in statorja se izvaja z dvema hladilnikoma, v katerih kroži hladilna voda. Hladilnika sta na ohišju statorja.

Hladilni medij in tudi mazalni medij ležajev je ležajno olje, hlajeno s kroženjem hladilne vode v hladilniku. Ta je nameščen ob rezervoarju olja mazalnega sistema ležajev.

Za hlajenja generatorja in ležajev služita dve vertikalni črpalki (ena je kot rezerva), ki črpata potrebno količino vode iz bazena hladilne vode, v katerega je izveden dotok vode iz sifona agregatov.

Potrebna količina hladilne vode po agregatu znaša: hlajenje generatorja – 0,0105 m<sup>3</sup>/s in hlajenje ležajev – 0,0005 m<sup>3</sup>/s.

## GENERATORSKA OPREMA

Peltonovi turbini s horizontalno gredjo poganjata dva trifazna sinhrona generatorja, katerih nazivni podatki so:

- nazivna moč: 5 MVA,
- nazivna napetost: 6,3 kV,
- faktor moči  $\cos\varphi$ : 0,8,
- frekvenca: 50 Hz,
- nazivni vrtljaji: 750 min<sup>-1</sup>,
- ubežni vrtljaji: 1350 min<sup>-1</sup>,
- razred izolacije: F,
- zvezdišče: ozemljeno preko zvezdiščnega upora,
- oblika: D 6,
- hlajenje: IVW37A71,
- tip: SB 2470-8 (R. Končar)



Slika 6: Podatkovna tablica generatorja  
(Vir: lasten)

Gonilnik turbine je pritrjen neposredno na generatorjevo gred tako, da turbina nima svojih ležajev in vse radialne in aksialne sile prenašajo generatorjevi ležaji.

Generatorska gred je enovita za celoten agregat, saj je nanjo poleg rotorja generatorja nasajen tudi gonilnik turbine. Skladno s tem sta izvedena dva drsna samo mazalna ležaja in nameščena na obeh straneh rotorja generatorja. Mazanje ležajev se izvaja z mazalnim oljem, zbranim v rezervoarju nosilca ležaja. Mazalno olje služi tudi za hlajenje ležajev, zato odteka iz rezervoarjev nosilca ležaja v rezervoar mazalnega in hladilnega sistema s prostim padcem. Dovod olja na ležaje je izveden prisilno s črpalko mazalnega olja.

Mazalni in hladilni sistem ležajev predstavljajo rezervoar olja, filter, hladilnik, črpalka ležajnega olja in sistem oljevodov.

Količina ležajnega olja po agregatu znaša 800 l.

Za preprečitev prevelikega padca temperature statorja iz rotorja generatorja in s tem zmanjšanja možnosti kondenza in staranja izolacije so v generatorjih vgrajeni grelci. Ti so vključeni v sekvence start-stop avtomata in se ob zagonu agregata izključijo, ob zaustavitvi pa vključijo. Vzdrževanje konstantne temperature približno 30 °C mirujočega generatorja je izvedeno samodejno s termostati.

Vzbujanje je izvedeno v brezkontaktni tehniki z rotirajočimi diodami. Na podaljšanji generatorjevi gredi je nameščen izmenični vzbujalnik, katerega statorski tok regulira samodejni regulator napetosti s tiristorskim usmernikom. Energijo za vzbujanje daje prigrajeni generator s permanentnimi magneti, tako da sistem neodvisnega vzbujanja omogoča zagon in vzbuditev do nazivne napetosti tudi brez prisotnosti omrežne napetosti (black start). Vzbujalni sistem z regulatorjem napetosti omogoča otočno obratovanje na ločeno omrežje in paralelno obratovanje z EES. Regulatorju napetosti so prigrajene dodatne enote, kot so omejevalnik minimalnega vzbujalnega toka, omejevalnik maksimalnega vzbujalnega toka, omejevalnik maksimalnega statorskega toka in digitalni nastavljalnik napetosti.

Obseg ročne nastavitve napetosti je  $\pm 5\%$   $U_n$ .

Tiristorski usmernik z napetostnim regulatorjem, demagnetizacijo in dodatnimi enotami je v omari, ki stoji poleg ostalih upravljalnih omar v sklopu glavnega upravljalnega mesta v strojnici elektrarne.



*Slika 7: Generator z vzbujanjem  
(Vir: lasten)*

## **OPREMA HLADILNEGA SISTEMA AGREGATA**

Odvzem toplote hladilnemu mediju – zraku rotorja in statorja se izvaja z dvema hladilnikoma, v katerih kroži hladilna voda. Hladilnika sta na ohišju statorja.

Hladilni medij in tudi mazalni medij ležajev je ležajno olje, hlajeno s kroženjem hladilne vode v hladilniku. Ta je nameščen ob rezervoarju olja mazalnega sistema ležajev.

Za potrebe hlajenja generatorja in ležajev služita dve vertikalni črpalki (ena je kot rezerva), ki črpata potrebno količino vode iz bazena hladilne vode, v katerega je izveden dotok vode iz sifona agregatov.

Potrebna količina hladilne vode po agregatu znaša: hlajenje generatorja – 0,0105 m<sup>3</sup>/s in hlajenje ležajev – 0,0005 m<sup>3</sup>/s.

## **6,3 KV OPREMA**

6,3 kV celici sta dve po agregatu ter predstavljata zvezdišče generatorja z ozemljilnim uporom in merilnimi transformatorji ter odvod z generatorja z merilnimi transformatorji. Celice so nameščene v dveh posebnih prostorih ob skladišču in delavnici.



Slika 8: Celici 1BAG in 1BAB  
(Vir: lasten)

## BLOK TRANSFORMATORJA

Proizvedena energija vsakega generatorja se z generatorskega napetostnega nivoja 6,3 kV preko pripadajočega blok transformatorja transformira na napetostni nivo omrežja 20 kV. Blok transformator stoji v svojem zaprtem boksu v podaljšku prostora VN stikališča. Priključki na 6,3 kV in 20 kV strani so izvedeni s kabli, ki v trafo bokse vstopajo skozi talne odprtine. Pod transformatorjem je oljni lovilec in oljna jama, ki je dimenzionirana za celotno količino olja (približno 2.900 kg). Oljna lovilca pod transformatorji sta povezana s skupno oljno jamo, nameščeno pod podaljškom dovoznega platoja.

Podatki transformatorja so naslednji:

- tip: 2TBN 6300-38/E,
- nazivna moč: 6300 kVA,
- višja napetost:  $20 \text{ kV} \pm 2 \times 2,5 \%$ ,
- nižja napetost: 6,3 kV,
- kratkostična napetost:  $u_k = 6,2 \%$ ,
- vezna skupina: YNd5,
- hlajenje: ONAN.



*Slika 9: Blok transformator  
(Vir: lasten)*

## **20 KV OPREMA**

20 kV stikališče je sestavljeno iz šestih predfabriciranih pločevinastih celic: daljnovodna celica – AJA1, dve generatorski celici – AJA2, AJA3; merilna celica – AJA4; celica lastne rabe – AJA5 in celica zajetja – AJA6.



*Slika 10: 20 kV celice  
(Vir: lasten)*

Celice so sestavljene iz osnovnih delov:

- zbiralnični del,
- stikalni prostor,

- kabelski prostor,
- omarica z merilnimi, zaščitnimi, krmilnimi, napajalnimi in signalnimi napetostmi.

Celici AJA5 in AJA6 imata vse dele fiksne. Pri celicah AJA1, AJA2 in AJA3 so odklopniki in pri AJA4 merilna garnitura, ki so izvedeni v izvlekljivi izvedbi.

Odklopnik ali merilno garnituro izvlečemo iz celice v neaktivnem stanju, vendar s priklopljenimi vsemi pomožnimi napetostmi. To pomeni, da so odklopniki izklopljeni, pri merilni garnituri pa izvlečene varovalke VN. Izvlečen del hkrati predstavlja tudi vidno ločljiva mesta za eventualna dela na napravah. V ta namen in za preizkušanje odklopnikov je predviden servisni položaj naprave.

Stanje izvlekljivega dela celice je signalizirano na posamezni celici.

Pred ozemljitvijo naprav, ki jih spajajo posamezni deli 20 kV celic, je treba vedno postaviti izvlekljivi del celice v servisni položaj.

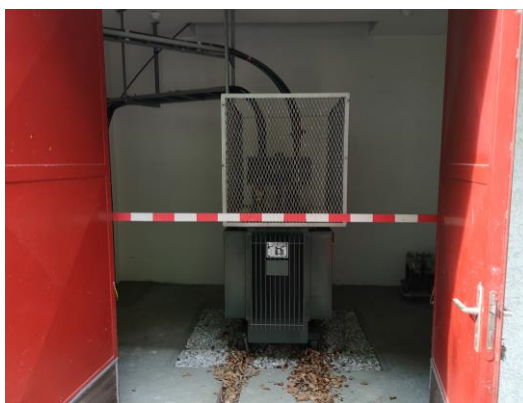
Vsi priključki so kabelski s spodnje strani. Izvodni kabel iz stikališča poteka do zunanje fasade strojnice, kjer je preko nosilnega vpetja izveden priključek na prvi drog 20 kV daljnovoda.

## **OPREMA LASTNE RABE**

Porabnike 0,4 kV lastne rabe strojnice napaja trifazni oljni transformator s parametri:

- tip: 3TBN v630-24X/D,
- nazivna moč: 630 kVA,
- višja napetost:  $20 \text{ kV} \pm 2 \times 2,5 \%$ ,
- nižja napetost: 0,4 kV,
- kratkostična napetost:  $u_k = 4 \%$ ,
- vezna skupina: Dy5,
- hlajenje: ONAN.

Transformator lastne rabe je v transformatorskem prostoru v prizidku strojnice. Opremljen je z lovilcem olja, ki je speljan v skupno oljno jamo.



*Slika 11: Transformator lastne rabe  
(Vir: lasten)*

Glavni razvod 0,4 kV lastne porabe je nameščen v štirih omarah na generatorsko turbinskem prostoru. Napajanje porabnik se vrši iz enojnih neseccioniranih zbiralk. Vsi priključki so kabelski s spodnje strani omare. Priključki porabnikov na glavni razvod 0,4 kV lastne porabe so porazdeljeni:

- odvodi za črpališče in posebne porabnike so v omari BFA1,
- dovod s transformatorja lastne porabe je v omari BFA2,
- odvodi porabnikov skupnih naprav so v omari BFA3,
- odvodi porabnikov skupnih naprav so v omari BFA3,
- odvodi za tehnološko lastno rabo, hladilno vodo in drenažo so v omarici BFA4.

Razvodi za porabnike skupnih naprav so izvedeni v razdelilcih strojnice ter v celicah in omarah.

Razvodi porabnikov tehnološke lastne rabe agregatov so izvedeni v turbinskih omarah.

Razvodi za hladilno vodo so izvedeni v omari hladilne vode in drenaže.

Brezprekinitveni sistem napajanja predstavljajo naprave enosmerne napetosti 110 V DC z usmernikom BTM, akumulatorska baterija BTB in omara razvoda enosmerne napetosti BTS, naprave razsmerjene napetosti 220 V AC z razsmernikom BRV in omara razvoda razsmerjene napetosti BRB. Namen teh naprav je zagotavljanje stalnega vira energije za najnujnejše porabnike elektrarne. Preklop napajanja teh porabnikov je brezprekinitveni.

Vse naprave so izvedene v omarah s kabelskimi priključki s spodnje strani, razen akumulatorske baterije, ki je v posebnem akumulatorskem prostoru.

Omari enosmerne napetosti sta v generatorsko turbinskem prostoru, omari razsmerjene napetosti pa v telemehanskem prostoru.

## **OPREMA DRENAŽE STROJNICE**

Naprave drenaže elektrarne prečrpavajo vse odvečne vode strojnice, ki se zbirajo v drenažnem jašku, v strugo Zadlaščice.

Drenaža je izvedena z:

- dvema črpalkama,
- merilnimi napravami višine drenažne vode,
- avtomatiko za krmiljenje drenažnih črpalk glede na potrebno količino prečrpavanja drenažne vode.

Avtomatika drenažnih črpalk je locirana v omari drenažnega in hladilnega sistema. V primeru previsoke drenažne vode deluje zaščita drenaže na izklop agregatov po hitri zapori 1.

## **ODKAPNO OLJE AGREGATOV**

Vse odkapno olje turbinskih naprav se zbira v skupni posodi agregatov, ki jo je treba občasno prazniti. Kritična višina olja v zbiralni posodi odkapnega olja je signalizirana.

## **OPREMA UPRAVLJANJA ELEKTRARNE**

Naprave za upravljanje obsegajo:

- Ročno mehanske naprave, ki so nameščene na napravah samih ali so deli naprav.
- Krmilne naprave, ki predstavljajo relejske sklope za izvajanje posameznih funkcij ali sekvenc. Locirane so v samih napravah ali v omarah upravljanja.
- Naprave avtomatike predstavljajo posamezne avtomate ali regulatorje, izvedene v relejski tehniki ali elektroniki. Locirani so v omarah upravljanja.

Posluževanje teh naprav je omogočeno s:

- kazalčnimi instrumenti,
- signalnimi svetilkami,
- tipkami,
- preklopkami,
- nastavljalniki,
- sinhronizacijskimi instrumenti.



## NAPRAVE UPRAVLJANJA SKUPNIH NAPRAV

Naprave so izvedene v elektromehanski ali ročno mehanski tehniki, in sicer:

- za vodostansko loputo in obtočni cevovod lopute v omari CDC na zajetju. Daljinsko upravljanje lopute je izvedeno tudi iz strojnice;
- za 20 kV odklopnike v 20kV celicah AJA1, AJA2 in AJA3. Posluževanje daljnovodnega odklopnika se prvenstveno z osrednjega mesta upravlja z omare CBA1 in tudi celice AJA1. Aktivacija generatorskih odklopnikov je vključeno v sekvence start-stop avtomata;
- manipulacija 20 kV odklopne ločilnike je ročno-mehansko iz celic AJA 5, AJA 6, AJA7, prav tako pa tudi ozemljitvenih nožev iz celic AJA1, AJA6, AJA7;
- za 0,4 kV lastno rabo razvoda so komande v omarah lastne rabe;
- za naprave brezprekinitvenega sistema napajana iz omar usmernika in razvoda enosmerne in razsmerjene napetosti;
- za naprave hladilne vode in drenaže z omare PAY.

## OPREMA KRMILJENJA IN LOKALNE AVTOMATIKE AGREGATOV

Predstavljajo jo sklopi krmilnih relejev, posamezni avtomati in regulatorji. Zajemajo:

- Start-stop avtomat v relejski tehniki, nameščen v omarah 1 CUA in 2 CUA. Posluževanje je izvedeno z omare CBA1. Posamezne sekvence pa lahko izvajamo z omar 1 CUA in 2 CUA.
- Elektronska turbinska regulatorja Mer sta nameščena v omarah 1CHE in 2CHE. Posluževanje je vključeno v sekvence start-stop avtomata.
- Regulatorja napetosti YGUF 001 sta nameščena v omarah vzbujalnega sistema 1MKC in 2MKC. V teh omarah so nameščeni tudi limiterji rotorskega in statorskega toka ter relejski sklopi za upravljanje vzbujalnega sistema. Lokalno posluževanje vzbujalnega sistema je iz omar 1MKC in 2MKC. Posluževanje vzbujalnega sistema je vključeno v sekvence start-stop avtomata.
- Regulator jalove moči APJ – 110 X je nameščen v omarah 1(2) MKC. Lokalno posluževanje je omogočeno z omare CBA1A. Vključen je v sekvence start-stop avtomata preko vklopa odklopnika.
- Samodejni sinhronizator NAS 6103 je v omari CBA1 in je lokalno posluževan z nje. Posluževanje je vključeno v sekvence start-stop avtomata.
- Sklop relejev, instrumentov in tip za ročno sinhronizacijo agregatov je v omari CBA1.

## ZAŠČITNI SISTEM

Zaščitni sistem spremlja stanje naprav na osnovi izmerjenih obratovalnih veličin  $u$ ,  $i$ ,  $f$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $Z$  ter pri prekoračitvi nastavljenih sprožilnih vrednostih izda komando za izkop odklopnika in zaustavitev agregata.

Naprave električnih zaščit so v:

- omari CHB – za skupne naprave,
- omarah 1(2) CHA – agregata,
- v tokokrogih posameznih 20 kV naprav in naprav lastne rabe.

Naprave mehanskih zaščit so v:

- omarah 1(2) CHE turbinskih naprav (za agregate),
- omarah posameznih skupnih naprav.

### **OPOZORILA IN SIGNALIZACIJA**

Večina mehanskih zaščit agregatov in transformatorjev deluje v dveh stopnjah. Delovanje zaščite v prvi stopnji le opozarja na nastalo motnjo pri obratovanju naprav in še ni nevarna za okvaro naprave. Opozorilo le opozarja na nenormalno stanje naprave v obratovanju in ne izklaplja naprave ali zaustavlja agregata.

Ob nastopu opozorila je treba, glede na to, na kaj se opozorilo nanaša, takoj odpraviti vzrok signala. Če to ni možno, je treba agregat zaustaviti.

Delovanje zaščit agregatov je razvidno iz tabele zaščit in signalizacije agregatov.

## **3 ZAŠČITA GENERATORJEV IN BLOKOV TRANSFORMATOR - GENERATOR**

Vsak generator obratuje na omrežju, zato mora biti njegova zaščita usklajena z zaščito omrežja. Selektivnost mora biti zagotovljena tako pri okvarah v omrežju kot pri okvarah na generatorju.

Zaščito delimo na:

- preventivno zaščito, ki preprečuje nenormalna stanja na napravah,
- zaščito, ki mora element izklopiti, tj. če okvara nastane na agregatu.

Preventivne zaščite generatorjev in blokov generator-transformator opozorijo na nevarno stanje, ki lahko nastane zaradi previsoke temperature strojev oz. delov na njem, previsoke napetosti, nesimetrične obremenitve ali izostanka vzburjanja. Vse te zaščite delujejo na izklop generatorskega odklopnika.

Preventivnih zaščit v sklopu obnove ni bilo.

## **ZAŠČITA PRI PREVISOKI TEMPERATURI AGREGATA**

Vzroki za previsoke temperature na agregatu so lahko preobremenitev agregata, okvara na hladilnem sistemu, okvara ležajev in še nekateri drugi vzroki.

Za zaščito strojev pred previsoko temperaturo uporabljamo termične releje in termosonde (Pt100).

## **PRENAPETOSTNA IN PODNAPETOSTNA ZAŠČITA**

Prenapetosti nastanejo pri večjih razbremenitvah, samovzbujanju agregata pri kapacitivni obremenitvi, povečanem številu vrtljajev generatorja in napakah na napetostnem regulatorju.

Prenapetostni releji merijo fazne napetosti in so po navadi zgrajeni tako, da pri določeni prenapetosti in časovnem obdobju izklopijo generator in razvzbudijo generator. Pri povišani napetosti pa izvedejo izklop takoj. Takim relejem pravimo dvostopenjski releji. Dovoljene vrednosti prenapetosti in časovne zakasnitve izklopa določa proizvajalec stroja.

## **ZAŠČITA PRI NESIMETRIČNI OBREMENITVI**

Nesimetrične obremenitve generatorjev nastanejo predvsem zaradi prekinitve ene od faz na daljnovodu, odklopniku, ločilniku ali kakšnem slabem spoju.

Prekinitve ene od faz ima za posledico pojav inverzne komponente tokov. Ti tokovi povzročajo v generatorju levo vrtilno polje, zato se v rotorju inducirajo napetosti dvojne frekvence, ki povzročajo tokove in močno segrevanje rotorja. Nesimetrična obremenitev povzroča tudi zaviranje stroja in vibracije na njem.

Za merilo prekinitve faze uporablja zaščita pri nesimetriji pojav inverznih tokov. Uporabimo tokovni rele, ki je priključen na fazne tokove preko filtra, ki prepušča samo inverzno komponento. Zaščita se navadno izvede dvostopenjsko, tako da v primeru manjših nesimetrij rele samo signalizira, pri večjih nesimetrijah pa z določenim časovnim zamikom, odvisno od časovne konstante segrevanja, deluje na izklop generatorja.

## **ZAŠČITA PRI PODVZBUJANJU**

Ta zaščita ščiti generator pred asinhronskim delovanjem in segrevanjem, ki je lahko posledica podvzbujanja. Karakteristika zaščitnega releja se mora čim bolj prilegati obratovalnemu diagramu generatorja v podvzbujenem območju. Kadar delovna

točka preide prek relejne karakteristike, menimo, da je eno od meril za izklop generatorja izpolnjeno.

## **ZAŠČITA PRI POVRATNI ENERGIJI**

Zaščita ščiti turbino pred segrevanjem in mehanskimi poškodbami.

Prva naloga, ki jo mora opraviti zaščita pri povratni energiji je, da izklopi odklopnik, kadar je delovala hitra zapora in je smer delovne energije v generator. Izklop speljemo prek časovnega člana s krajšo zakasnitvijo, da ne bi pri hitrih spremembah obtežb generatorja prišlo do delovanja releja.

Druga naloga pa je, da izklopi odklopnik tudi, če ni okvare na turbini in hitra zapora ni delovala. To se lahko zgodi, ko voda neha pritekati v turbino in začne generator delovati kot motor. V tem primeru bo rele, ki ščiti generator in turbino, po določeni nastavljeni časovni zakasnitvi izklopil odklopnik generatorja.

## **DIFERENČNA ZAŠČITA**

Pri kratkih stikih in stikih med navitji uporabljamo diferenčno zaščito. Zaščita deluje na principu primerjave faznih tokov na strani zvezdišča in na strani sponk generatorja. Kadar v generatorju ni napake, so toki v posameznih fazah v zvezdišču in na sponkah generatorja po velikosti enaki in v protifazi. Pri kratkem stiku v generatorju oz. v območju med tokovnimi transformatorji nastane diferenca tokov, ki jo meri diferenčni rele. Če je diferenčni tok večji od nastavljene vrednosti IED, deluje na izklop odklopnika, demagnetizacijo in hitro zaporo turbine.

## **STATORSKA ZEMELJSKOSTIČNA ZAŠČITA**

Pri funkciji zaščite pri zemeljskem stiku zajemamo navitje statorja. Posledice, ki nastanejo pri preboju statorskega navitja do železnega jedra (ozemljen del), lahko povzročijo veliko materialno škodo, če zaščita ne deluje pravočasno.

Statorske zemeljskostične zaščite pred zemeljskimi stiki ščitijo generator in pripadajočo 6,3 kV opremo agregata vključno s 6,3 kV navitjem blok transformatorja. Področje ščitenja ne vključuje zvezdišča in prvih 5 % navitja generatorja.

Glavna statorska zemeljskostična zaščita je »statorska 95-% zemeljskostična zaščita«, ki za meritev uporablja residualno napetost v zvezdišču generatorja. Zaščita je izvedena na zaščitnem terminalu TB in ima največjo občutljivost. Kot redundanca tej je na terminalu TB izvedena tudi »statorska 3U0 zemeljskostična zaščita«, ki deluje na podlagi t. i. meritve »odprti trikot« na statorskem izvodu.

V primeru okvare zaščitnega terminala TB, je dodatno na terminalu TA izvedena tudi »statorska zemeljskostična backup zaščita«. Ta deluje s pomočjo računske vrednosti residualne napetosti na podlagi faznih vrednosti napetosti. Občutljivost te zaščite je nižja od zaščit, izvedenih na terminalu TB.

## **ZAŠČITA TRANSFORMATORJEV**

Za zaščito transformatorjev pri medfaznih kratkih stikih uporabljamo diferenčno zaščito. Kot rezervno zaščito uporabljamo pretokovno zaščito, ki je tudi rezervna zaščita pri zatajitvah relejev na odvodih, ki jih transformator napaja. Delovati mora tudi pri kratkih stikih na zbiralkah, kadar ni posebne zaščite zbiralk.

Zaščita pri preobremenitvi transformatorja je vključena v IED; dodatno pa imamo zaščito pri preobtežbi v avtonomnih zaščitah TR (temperatura olja, navitij in železnega jedra).

## **PODIMPEDANČNA ZAŠČITA**

Podimpedančna zaščita se uporablja kot rezervna zaščita agregata. Deluje na principu merjenja razmerja napetosti in toka generatorja. Izvedena je v dveh impedančnih stopnjah. Aktivira se lahko že v fazi zagona generatorja na kratek stik. V drugi impedančni stopnji se lahko aktivira tudi ob kratkih stikih na 20 kV zbiralkah ali bližini elektrarne.

## **KRATKOSTIČNA ZAŠČITA**

Kratkostična zaščita ščiti pred kratkimi stiki predvsem 20 kV zbiralke elektrarne. Kratke stike znotraj območja ščitenja bi morala zaznati diferenčna zaščita bloka pred aktivacijo kratkostične zaščite. Služi tudi kot rezervna zaščita v primeru zatajitve diferenčne zaščite.

## **PRETOKOVNA ZAŠČITA**

Pretokovna zaščita ščiti agregat pred preobremenitvijo. Na zaščitnem terminalu TA je izvedena na podlagi meritev generatorskih tokov, na terminalu TB pa na podlagi tako generatorskih kot tudi 20 kV tokov.

## 4 ZAŠČITA MHE ZADLAŠČICA

### 4.1 Opis stanja zaščite pred obnovo

Zaščite generatorja 1 so se nahajale v omari +1CHA. V njej so bile zaščite izvedene z naslednjimi releji:

- diferenčna zaščita bloka generator-transformator z elektrostatičnim zaščitnim relejem Iskra TFD20 (D1.101),
- statorska 95-% zaščita z relejem Iskra TFI 1220 (D9.101),
- prenapetostna zaščita z relejem Iskra TFU1220 (D9.131),
- pretokovna-podnapetostna zaščita z relejem Iskra TZI 1030 (D5.101),
- zaščita pri povratni moči z relejem Iskra TFP 4000 (D13.101).

V omari zaščite posameznega agregata so bile tudi kontrole posameznih izklopnih tokokrogov. Pred obnovo vzbujalnega sistema so bile v omari 4 kontrole izklopnih tokokrogov:

- kontrola izklopnega tokokroga 20kV generatorskega odklopnika (D13.149.101),
- kontrola izklopnega tokokroga hitre zapore 2 (D13.149.301),
- kontrola izklopnega tokokroga vzbujanja (D13.149.107),
- kontrola izklopnega tokokroga kontaktorja vzbujanja (D13.149.307).

Z zamenjavo vzbujalnega sistema je bil rele KIT D13.149.107 odstranjen. Rele KIT D13.149.307 pa po menjavi vzbujalnega sistema ne kontrolira več izklopnih tokokrogov, ko je generatorski odklopnik vključen.

V omari zaščite posameznega agregata je tudi termoslika generatorja (etaža D17) in razni pomožni releji (releji za potrebe delovanja plinskega releja, kontaktnega termometra transformatorja, termoslike ipd.) v etaži D33.



Slika 12: Releji zaščite  
(Vir: lasten)



Slika 13: Omara 1CHA  
(Vir: lasten)

## 4.2 Stanje po obnovi zaščite

Vse elektrostatične zaščitne releje v omari električne zaščite 1CHA se je odstranilo in nadomestilo z dvema zaščitnima terminaloma (IED) tipa ABB REG630 z enako konfiguracijo, a z različnimi nastavitvami. Zaščitna terminala TA in TB agregata 1 se nahajata v etaži D9. Izgled omare zaščite +1CHA z elementi je prikazan na Sliki 14.

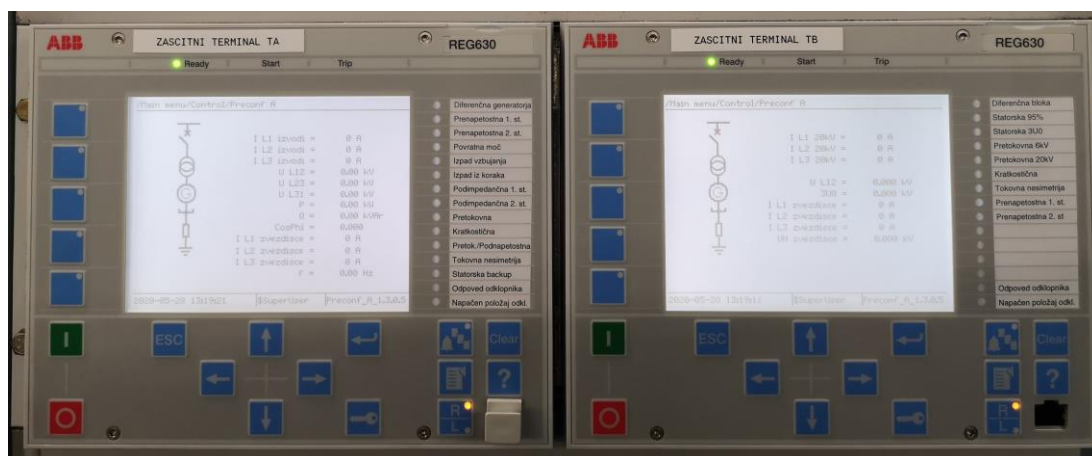
	01	07	13	19	25	31	37	43	49	55		
1												
5												
9	REG630 TA				REG630 TB							D9.101.101 Zaščitni terminal TA - ABB REG630 D9.101.131 Zaščitni terminal TB - ABB REG630
13	RTXP24-CD					RTXP24-CH			101		D13.101.101 Preizkusna vtičnica terminala TA - ABB RTXP24-CD D13.101.131 Preizkusna vtičnica terminala TB - ABB RTXP24-CH D13.149.101 Kontrola izklopljnih tokokrogov generatorskega odklopnika D13.149.301 Kontrola izklopljnih tokokrogov HZ2	
									301			
17	MXI 203										D17.101 Termoslika MXI 203	
21											D33.101.101 Pomožni rele - Plinski rele 1.stopnja - Alarm D33.101.301 Pomožni rele - Kontaktni termometer 1.stopnja - Alarm D33.101.107 Pomožni rele - Plinski rele 2.stopnja - Izklop in alarm D33.101.307 Pomožni rele - Kontaktni termometer 2.stopnja - Izklop in alarm	
25											D33.101.113 Pomožni rele - Temperaturna zaščita generatorja - Izklop D33.101.313 Pomožni časovni rele termičnega nadzora agregata D33.101.119 Pomožni rele - Temperaturna zaščita generatorja - Alarm D33.101.319 Pomožni rele - prosti	
29											D33.101.125 Pomožni rele - Temperaturna zaščita generatorja - Izklop D33.101.325 Pomožni rele - Temperaturna zaščita generatorja - Alarm D33.101.131 Pomožni časovni rele termičnega nadzora agregata D33.101.331 Pomožni rele - prosti	
33	101	107	113	119	125	131	137	143	149	155	D33.101.137 Pomožni rele - prosti D33.101.337 Pomožni rele - prosti	
	301	307	313	319	325	331	337	343	349	355	D33.101.143 Pomožni rele - prosti D33.101.343 Pomožni rele - prosti	
37											D33.101.149 Pomožni rele - prosti D33.101.349 Pomožni rele - prosti D33.101.155 Pomožni rele - prosti D33.101.355 Pomožni rele - prosti	

Slika 14: Izgled omare +1CHA  
(Vir: SENG)

ABB REG630 zaščitni rele omogoča visoko funkcionalnost in prilagodljivost zaščite generatorjev. Rele je zasnovan kot glavna zaščita za generator in blok transformator. Spada med moderne numerične zaščitne releje oz. inteligentne zaščitne naprave (Intelligent Electronic Device – IED). Njihovo delovanje temelji na mikroprocesorski tehnologiji in programski opremi ter se uporabljajo za izvajanje ene ali več funkcij. IED so vsestranske naprave, ki poleg zaščitnih funkcij omogočajo tudi funkcije daljinskega nadzora in vodenja, meritev in lokalne avtomatike, ter omogočajo povezavo na sistem za nadzor, vodenje in zajemanje podatkov – SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). Omogočajo samonadzor (watch dog), kar pomeni, da v primeru okvare releja, rele javi napako. Zaščitna releja z možnostjo enake konfiguracije se je vgradilo zato, ker na ta način ni treba zagotavljati dveh različnih rezervnih zaščitnih terminalov. V primeru okvare enega od zaščitnih terminalov je treba agregat kljub temu zaustaviti, saj se zaščitne funkcije v terminalih ne prekrivajo v celoti. Oba zaščitna terminala sta nameščena v omari 1CHA.

Na zaščitnem terminalu TA so naslednje zaščitne funkcije:

- diferenčna zaščita generatorja,
- trifazna prenapetostna zaščita,
- zaščita pri povratni moči,
- zaščita pred izpadom vzbujanja,
- podimpedančna zaščita,
- trifazna pretokovna zaščita,
- trifazna pretokovno-podnapetostna zaščita,
- trifazna kratkostična zaščita,
- statorska zemeljskostična zaščita (računska vrednost  $3U_0$  kot redundanca zaščiti na TB),
- zaščita pri odpovedi odklopnika.



Slika 15: Levo zaščitni rele TA, desno zaščitni rele TB  
(Vir: lasten)



Tabela 1: Razporeditev signalov LED zaščitnega terminala TA

LED	Opis
1	Diferenčna generatorja
2	Prenapetostna 1. st.
3	Prenapetostna 2. st.
4	Povratna moč
5	Izpad vzbujanja
6	Izpad iz koraka (sinhronizma)
7	Podimpeđančna 1. st.
8	Podimpeđančna 2. st.
9	Pretokovna
10	Kratkostična
11	Pretokovno-podnapetostna
12	Tokovna nesimetrija
13	Statorska (backup)
14	Odpoved odklopnika
15	Napačen položaj odklopnika

Na drugem zaščitnem terminalu TB so naslednje funkcije:

- diferenčna zaščita bloka,
- trifazna pretokovna zaščita,
- trifazna kratkostična zaščita,
- zaščita pri tokovni nesimetriji,
- statorska 95-% zaščita,
- prenapetostna zaščita (samo ena medfazna meritev),
- zaščita pri odpovedi odklopnika.

Tabela 2: Razporeditev signalov LED zaščitnega terminala TB

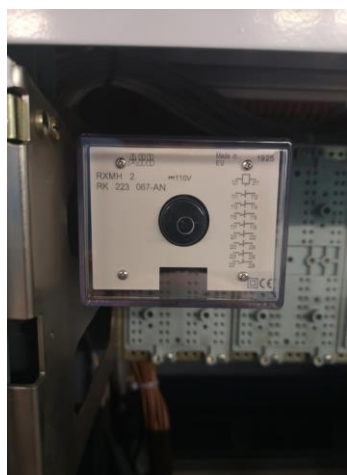
LED		Opis
1		Diferenčna zaščita bloka
2		Statorska 95-%
3		Statorska 3U0
4		Pretokovna 6 kV
5		Pretokovna 20 kV
6		Kratkostična
7		Tokovna nesimetrija
8		Prenapetostna 1. st.
9		Prenapetostna 2. st.
10		
11		
12		
13		
14		Odpoved odklopnika
15		Napačen položaj odklopnika

Zaščitni rele ABB REG 630 omogoča tudi izvedbo 100-% statorske zaščite na podlagi meritve 3. harmonske komponente v zvezdišču generatorja, a so meritve na objektu pokazale, da je delež 3. harmonske komponente generatorja prenizek za zanesljivo delovanje omenjene zaščite.

Termoslika generatorja ni bila predmet obnove in se je ohranila na istem mestu v omari +1CHA.

V posamezni omari generatorske zaščite se je izvedla zamenjava vseh spončnih letev (razen spončnih letev termoslike) ter dodalo novo spončno letev za potrebe nove signalizacije.

Za potrebe izvedbe zaščite pri odpovedi odklopnika se je namestilo močnostni rele »BF« skupaj s pripadajočimi sponkami. Namestilo se ga je v omari električnih zaščit skupnih naprav +CHB.



Slika 16: rele BF  
(Vir: lasten)



Obnovljena omara zaščite 1CHA  
(Vir: lasten)

### 4.3 Izklopna matrika zaščitnih terminalov

Izklopna matrika zaščitnih terminalov ponazarja legendo delovanja zaščit posameznega terminala (TA in TB). Kot je razvidno iz Tabele 3, vse zaščitne funkcije v obeh zaščitnih terminalih izklopijo generatorski odklopnik, aktivirajo hitro zaporo 2 in prožijo izklop vzburjanja (demagnetizacije) generatorja. Zaščita pri odpovedi odklopnika dodatno izklopi tudi odklopnik 20 kV daljnovođa AJ1-Q0 ter generatorski odklopnik sosednjega generatorja skupaj s hitro zaporo 2 in izklopom vzburjanja.

Tabela 3: Izklopna matrika zaščitnih terminalov

Zaščitna funkcija:	Izklop generatorskega stikala	HZ2	Izklop vzbujanja	HZ2 G1, HZ2 G2, izklop AJA1-Q0	Signalizacija
<b>Zaščitni terminal TA (ABB REG630)</b>					
Diferenčna generatorja	X	X	X		X
Prenapetostna 1. st.	X	X	X		X
Prenapetostna 2. st.	X	X	X		X
Povratna moč	X	X	X		X
Izpad vzbujanja	X	X	X		X
Izpad iz koraka	X	X	X		X
Podimpedančna 1. st.	X	X	X		X
Podimpedančna 2. st.	X	X	X		X
Pretokovna	X	X	X		X
Kratkostična	X	X	X		X
Pretokovno-podnapetostna	X	X	X		X
Tokovna nesimetrija	X	X	X		X
Statorska	X	X	X		X
Odpoved odklopnika	X	X	X	X	X
<b>Zaščitni terminal TB (ABB REG630)</b>					
Diferenčna zaščita bloka	X	X	X		X
Statorska 95-%	X	X	X		X
Statorska 3U0	X	X	X		X
Pretokovna 6 kV	X	X	X		X
Pretokovna 20 kV	X	X	X		X
Kratkostična	X	X	X		X
Tokovna nesimetrija	X	X	X		X
Prenapetostna 1. st.	X	X	X		X
Prenapetostna 2. st.	X	X	X		X
Odpoved odklopnika	X	X	X	X	X

#### 4.4 Blok shema delovanja zaščite

Blok shema delovanja zaščite na Sliki 18 prikazuje priključno shemo analognih veličin tokovno instrumentnih transformatorjev (TIT) in napetostno instrumentnih transformatorjev (NIT) ter izklopnih tokokrogov.

Terminal A je priključen v izvodni celici generatorja (celica 1BAB) za meritev toka za: diferenčno zaščito generatorja, zaščito pri povratni moči, izpad vzburjanja, izpad iz koraka, podimpedančno prve in druge stopnje ter pretokovno/podnapetostno zaščito.

Terminal A je priključen v zvezdišču generatorja (celica 1BAG) za meritev toka za: zaščito pri odpovedi odklopnika, tokovno nesimetrijo, kratkostično, pretokovno in diferenčno zaščito generatorja. Enake meritve potrebuje tudi terminal B, in sicer za pretokovno 6 kV in diferenčno zaščito bloka.

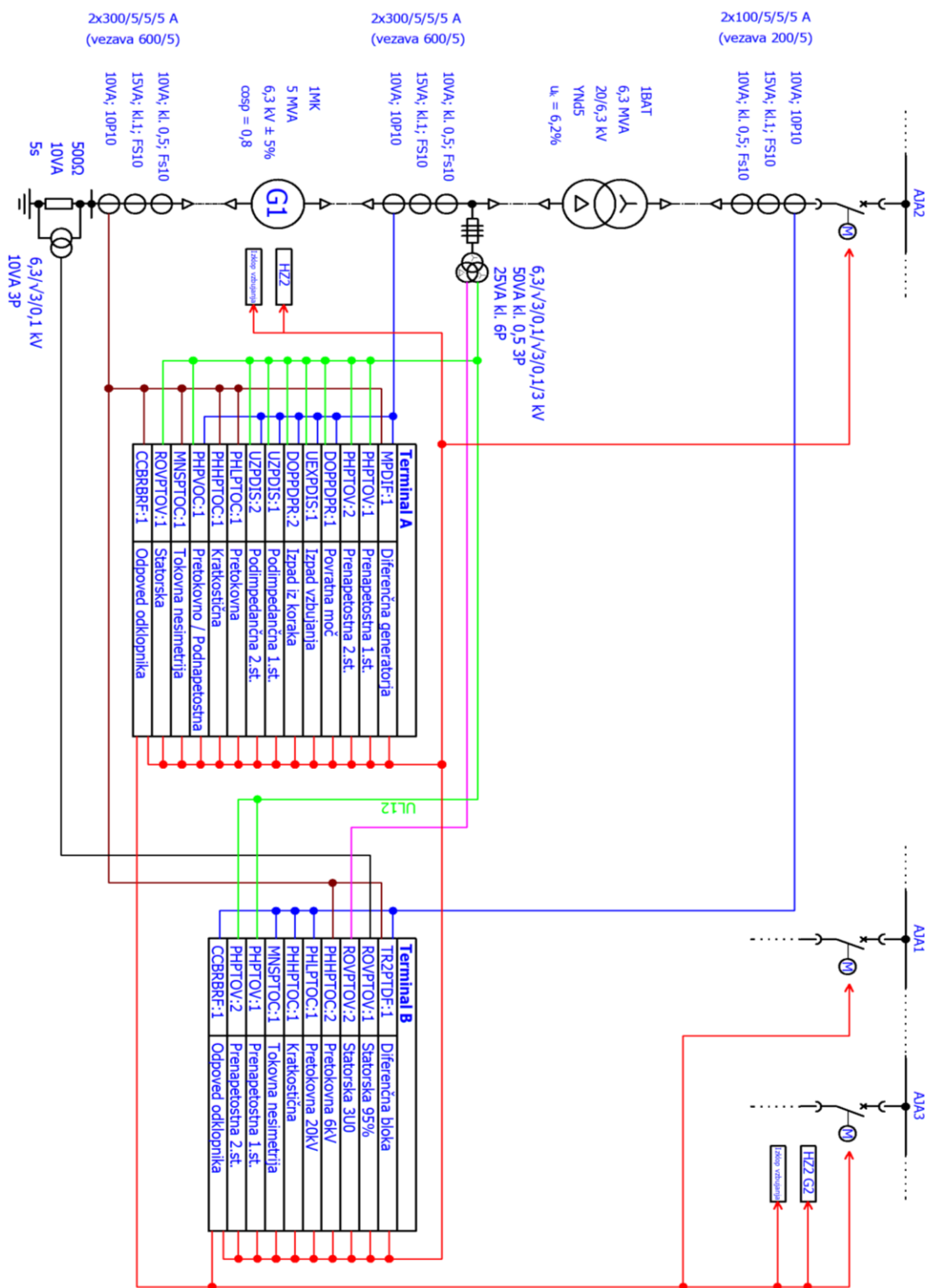
Terminal A je priključen v izvodni celici generatorja (celica 1BAB) za meritev napetosti za: prenapetostno zaščito prve in druge stopnje, povratno moč, izpad vzburjanja, izpad iz koraka (sinhronizma), podimpedančno prve in druge stopnje, pretokovno podnapetostno in statorsko zaščito.

Terminal B pa ravno tako v izvodni celici generatorja meri eno medfazno meritev napetosti za prenapetostno zaščito prve in druge stopnje.

Terminal B za statorsko 95-% je priključen v zvezdišču generatorja (celica 1BAG).

Terminal B uporablja še meritve toka v 20 kV generatorski celici (celica AJA2), in sicer za diferenčno zaščito bloka, pretokovno 20 kV, kratkostično zaščito, tokovno nesimetrijo in odpovedjo odklopnika.

Vse zaščitne funkcije terminala A in terminala B delujejo na izklop 20 kV odklopnika bloka generatorja 1 (celica AJA 2), izklop vzburjanja in HZ2. V primeru odpovedi odklopnika, dodatno deluje zaščita še na izklop odklopnika v celici AJA1 (daljnovod 20kV), izklop odklopnika generatorja 2 v celici AJA 3, izklop vzburjanja in HZ2 generatorja 2.



Slika 18: Blok shema delovanja zaščite  
(Vir: SENG)

## 4.5 Kontrola izklopnih tokokrogov

### KONTROLA IZKLOPNEGA TOKOKROGA ODKLOPNIKA BLOK-GENERATORJA (GENERATORSKEGA ODKLOPNIKA)

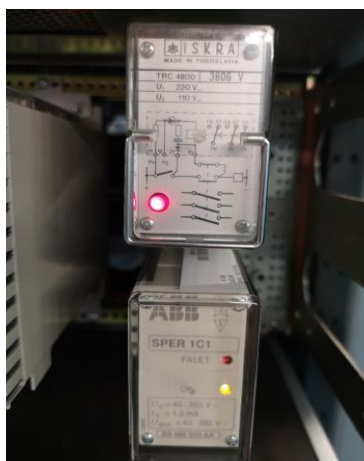
Nadzor izklopnega tokokroga odklopnika blok generatorja (generatorskega odklopnika) je izveden z relejem KIT Iskra TRC 4800 (projektna oznaka: D13.149.101). Normalno sveti na releju KIT rdeča lučka. To pomeni, da izklopni tokokrog ni prekinjen.

Kadar pride do prekinitve izklopnega tokokroga, rdeča lučka ugasne. V tem primeru se prižge na lokalni signalizaciji lučka št. 115 (G1) oz. 215 (G2). V sistem vodenja pride zapis: »Kontrola izklopnih tokokrogov stikala bloka – aktivna«.

### KONTROLA IZKLOPNEGA TOKOKROGA HZ2

Nadzor izklopnega tokokroga hitre zapore 2 je izveden z relejem KIT ABB SPER 1C1 (projektna oznaka: D13.149.301). Normalno sveti na releju KIT signal LED »OK«.

Kadar pride do prekinitve izklopnega tokokroga, sveti na releju KIT rdeč signal LED »FAULT«. V tem primeru se prižge na lokalni signalizaciji lučka št. 117 (G1) oz. 217 (G2). V sistem vodenja pride zapis: »Kontrola izklopnih tokokrogov za hitro zaporo – aktivna«.



Slika 18: Releja kontrole izklopnih tokokrogov G – odklopnika in HZ2  
(Vir: lasten)

## 5 PREGLED IN IZRAČUN ZAŠČITNIH FUNKCIJ

### 5.1 Diferenčna zaščita bloka in generatorja

Diferenčna zaščita bloka ščiti transformator ter generator pri medfaznih in medovojnih stikih. Diferenčna zaščita primerja tok na 20 kV strani transformatorja in tok na 6,3 kV strani – v zvezdišču generatorja. V normalnem stanju morata biti toka na obeh straneh, ob upoštevanju prestave TIT in vezne skupine transformatorja, enaka po velikosti in v protifazi. V primeru okvare na bloku transformator-generator ali vmesnih kabelskih povezav pride do diferenčnega toka. Zaščita deluje brez zakasnitve skladno z izklopno matriko zaščitnih terminalov.

Pred obnovo je bila na MHE Zadlaščica na posameznem agregatu izvedena samo diferenčna zaščita bloka z nastavitvijo diferenčnega toka  $I_d=0,2$ . Takšno vrednost se je ohranilo tudi po zamenjavi zaščitnih terminalov.

Po obnovi se je vgradilo tudi diferenčno zaščito generatorja, ki je lahko bolj občutljiva, saj nanjo ne vplivajo v tolikšni meri napake zaradi različnih prestav TIT in prestava blok transformatorja.

Nastavitev delovanja diferenčne zaščite generatorja je  $I_d = 0,1$ .

### 5.2 Kratkostična zaščita generatorja

Kratkostična zaščita ščiti blok generator-transformator pred kratkimi stiki. Za okvare blok generator-transformator je to rezervna zaščita diferenčni zaščiti.

Za natančen izračun oz. revizijo nastavitve kratkostične zaščite, potrebujemo med drugim tudi vrednost subtranzientne vzdolžne reaktance generatorja  $X_d''$ . Ker s točnim podatkom ne razpolagamo in ga tudi nismo mogli pridobiti, korekten izračun kratkostičnih razmer ni mogoč.

Kratkostično zaščito se je zato nastavilo v skladu z obstoječimi nastavitvami.

Pred obnovo je v sklopu generatorskih zaščit implementirana kratkostična zaščita znotraj pretokovno-podnapetostnega releja. Ta s svojo nastavitvijo ni povzročala neželenih izpadov agregatov, zato se je predpostavilo, da je nastavitev primerna. Kratkostična zaščita deluje na podlagi meritve toka v zvezdišču generatorja. Z vidika selektivnosti je bolj primerno, da omenjena zaščita deluje na podlagi meritev TIT na sponkah generatorja, če je kratkostični prispevek omrežja večji od kratkostičnega prispevka generatorja. Ker s podatkom subtranzientne vzdolžne reaktance



generatorja  $X_d''$  ne razpolagamo, ne moremo potrditi razmerja kratkostičnih prispevkov, zato se je način merjenja kratkostične zaščite ohranil.

Dodatno se je izvedlo tudi kratkostično zaščito na terminalu TB in to na podlagi meritev 20 kV toka.

Kratkostična zaščita je nastavljena na:

$I_{>} = 13,8$  A sekundarno; 0,1 s.

To ustreza:  $600/5 \times 13,8$  A = 1656 A (tok na 6,3 kV strani) oz.:  $1656$  A  $\times$   $6,3/20$  = 522 A (tok na 20 kV strani).

Na terminalu TB se je omenjena zaščita izvedla z meritvami na 20 kV strani, na terminalu TA pa z meritvami toka v zvezdišču generatorja.

### 5.3 Pretokovna zaščita generatorja

Pretokovna zaščita ščiti agregat pri preobremenitvi. Na zaščitnem terminalu TA je izvedena na podlagi meritev generatorskih tokov, na terminalu TB pa na podlagi tako generatorskih kot tudi 20 kV tokov.

Pretokovna zaščita generatorja je na TA izvedena na enak način in z enakimi nastavitvami, kot je bilo to pred obnovo. To je na podlagi meritev toka v zvezdišču. Kot redundanca pretokovni zaščiti na TA je izvedena tudi pretokovna zaščita na TB z meritvami v zvezdišču generatorja z enakimi nastavitvami. Dodatno je na TB izvedena tudi pretokovna zaščita na podlagi 20 kV toka z nastavitvami, ki so nekoliko večje, saj je navidezna moč blok transformatorja enaka 6,3 MVA, navidezna moč generatorja pa je 5 MVA.

Nastavitev pretokovne zaščite na TA je 4,6 A sekundarno, 3 s.

To ustreza primarnemu toku 552 A na 6,3 kV strani oz.  $1,2 \times$  nazivni tok generatorja.

Pretokovno zaščito na TB se je na podlagi meritve 20 kV TIT nastavilo na vrednost  $1,1 \times$  nazivni tok transformatorja, kar ustreza 200 A oz. 5 A sekundarno. To je ekvivalentno toku 635 A na generatorski strani. Časovno zakasnitev omenjene zaščite se je prav tako nastavilo na 3 s.

### 5.4 Podimpedančna zaščita

Podimpedančna zaščita je zaščita, ki zazna medfazne okvare na električnem postroju agregata že v fazi zagona, in sicer pred sinhronizacijo. Hkrati predstavlja

tudi redundanco diferenčni in kratkostični zaščiti. V 2. impedančni stopnji lahko štiti delno tudi 20 kV zbiralke. Uporablja se kot rezerva zaščite agregata.

Podimpedančno zaščito se je izvedlo samo na zaščitnem terminalu TA, ki ima izvedene meritve vseh trifaznih napetosti generatorskega napetostnega nivoja. Uporabila se je meritev toka na sponkah generatorja.

Osnova za izračun nastavitvev podimpedančne zaščite predstavlja impedanca transformatorja. Impedanca blok transformatorja s 6,3 kV strani je enaka ( $Z_{TR} \approx X_{TR}$ ):

$$X_{tr} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{tr}} = \frac{6,2}{100} \cdot \frac{(6,3kV)^2}{6,3MVA} = 0,391\Omega$$

Prva stopnja podimpedančne zaščite je nastavljena na približno 70 % vrednosti impedance blok transformatorja:

$$Z_1 = 0,7 \cdot X_{tr} = 0,7 \cdot 0,391 \Omega = 0,274 \Omega.$$

Časovna zakasnitev prve stopnje je:

$$t_1 = 0,3 \text{ s.}$$

Drugo stopnjo podimpedančne zaščite je nastavljena na približno 120 % vrednosti impedance blok transformatorja:

$$Z_2 = 1,2 \cdot X_{tr} = 1,2 \cdot 0,391 \Omega = 0,469 \Omega.$$

Časovna zakasnitev druge stopnje je:

$$t_2 = 2,5 \text{ s.}$$

Impedančna nastavitvev zaščitne funkcije je nastavljena v % glede na impedanco generatorja ( $Z_B$ ). Bazna impedanca v zaščitnem releju je enaka:

$$Z_B = U_n / \sqrt{3} I_n = 6,3 \text{ kV} / \sqrt{3} \times 458 \text{ A} = 7,95 \Omega.$$

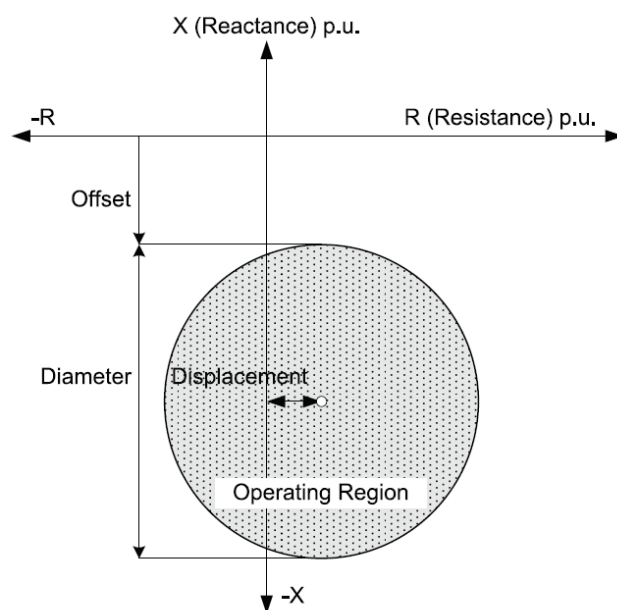
1. stopnja zajema 3 % impedance generatorja. To je enako 0,239  $\Omega$ .

2. stopnja je nastavljena na 6 %  $Z_B$ . To je enako 0,477  $\Omega$ .

## 5.5 Zaščita pri izpadu vzbujanja

Zaščita pri izpadu vzbujanja štiti generator pred obratovanjem brez vzbujanja oz. nezadostnim vzbujanjem, kar lahko vodi do izpada generatorja iz koraka ali do pregrevanja. Zaščita deluje na podlagi merjenja reaktance generatorja.

Zaščita je nastavljena v skladu s priporočili, navedenimi v navodilih zaščitnega terminala. Karakteristika zaščitne funkcije je prikazana na Sliki 19.



Slika 19: Karakteristika delovanja zaščite iz tovarniške dokumentacije  
(Vir: SENG)

Tabela 4: Legenda angleških in slovenskih izrazov (Vir: lasten)

ANGLEŠKI JEZIK	SLOVENSKI JEZIK
Reactance	Reaktanca
Resistance	Upornost
Offset	Odmik
Diameter	Premer karakteristike
Displacement	Premik
Operating region	Področje delovanja zaščite

Zamik karakteristike (*Offset*) je nastavljen na priporočeno vrednost, ki je enaka –  $X_d'/2$ . Točna vrednost tranzientne vzdolžne reaktance generatorja ni znana. Z e-mail dopisom Končarju smo pridobili informativno vrednost, ki naj bi znašala 36 %.

Nastavitev *Offset* je tako enaka –18 %.

Premer karakteristike (*Diameter*) je nastavljena na priporočeno vrednost, ki naj bi bila enaka sinhronski vzdolžni reaktanci generatorja  $X_d$ .

Z neposredno vrednostjo sinhronske vzdolžne reaktance generatorja ne razpolagamo, je pa iz poročila Končarja ob spuščanju generatorja v pogon (Protokol ispitivanja, 1989) mogoče razbrati magnetilni tok rotorja med preizkusom kratkega

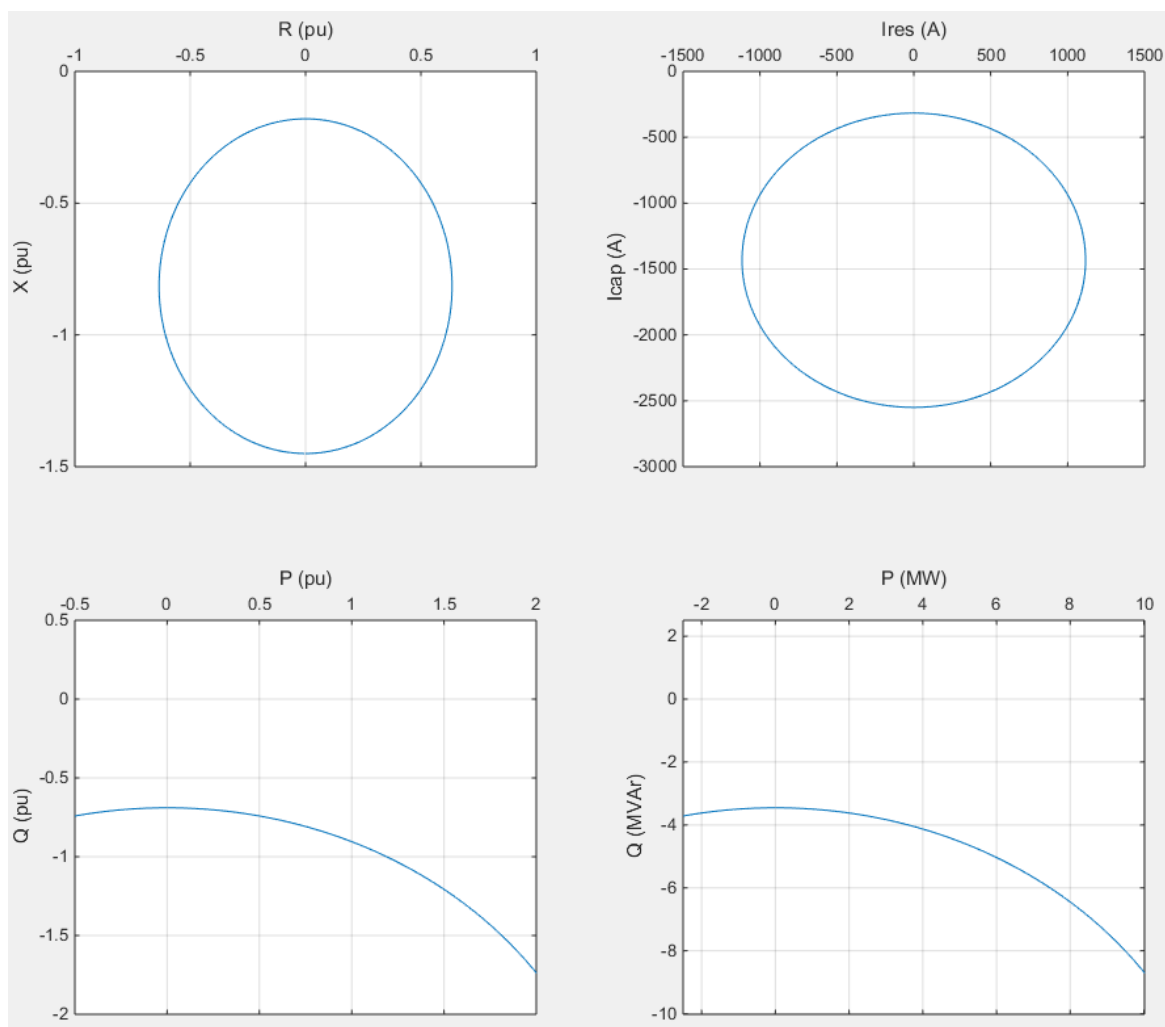
stika in magnetilni tok rotorja med preizkusom prostega teka. Iz razmerja med  $I_{mk}$  in  $I_{m0}$  je mogoče izračunati omenjeno reaktanco.

2.3 kapacitivni otpor po fazi ..... ohma, kapacitet po fazi .....					
3. kratki spoj $I_{nom} = 458,2$ A = 100%	$A = 100\%$	$I_{mk} = 9,59$ A = 12%	$A = 12\%$	$I_{m0} =$	diagram broj:
4. prazni hod $U_{nom} = 6300$ V = 100%	$V = 100\%$	$I_{m0} = 455$ A = 100%	$A = 100\%$	$I_{mk} =$	
5. ontorećenie					

$$X_d = I_{mk} / I_{m0} = 127 \%$$

Nastavitev Diameter se je nastavilo na vrednost 127 %.

Časovna zakasnitev funkcije je 3 s.



Slika 20: Karakteristika delovanja zaščite pred izpadom vzbujanja (Vir: SENG)

Na Sliki 20 je prikazana omenjena karakteristika v impedančnem, tokovnem in diagramu moči z vstavljenimi izračuni oz. pridobljenimi vrednostmi premera karakteristike (Diameter) 127 % in odmika (Offset) 18 %.

Zaščita pri izpadu vzbujanja je aktivna v območju notranjosti kroga (območje delovanje zaščite).

## 5.6 Zaščita pri izpadu iz sinhronizma

Zaščita pri izpadu iz sinhronizma je izvedena s pomočjo funkcije zaščite pri povratni moči.

Kadar pride do izpada generatorja iz sinhronizma, se njegovo stanje ciklično menja iz podvzbujenega/nadvzbujenega in hkrati v motorski/generatorski režim.

Karakteristika funkcije zaščite pri povratni moči je nastavljena tako, da zazna stanje generatorja, ko je ta hkrati v podvzbujenem in motorskem režimu.

Predlagana nastavitvev:  $S = 40 \%$ ,  $-120^\circ$ ,  $t = 0,1 \text{ s}$ .

Delovanje zaščite pri izpadu iz sinhronizma se običajno nastavlja tako, da ta deluje samo na generatorski odklopnik, s čimer je mogoča hitra ponovna sinhronizacija stroja iz prostega teka. Ker pa ponovna sinhronizacija stroja v prostem teku ni mogoča iz CV, temveč samo zagon stroja v mirovanju, tovrstno delovanje ni smiselno, zato deluje ta zaščita tudi na HZ2.

## 5.7 Zaščita pri nesimetriji

Zaščita pri nesimetriji ščiti generator pred nesimetričnimi tokovi, ki povzročajo pregrevanje rotorja. Nastavljena je tako, da se funkcija vzbudi pri vrednosti 0,05 komponente  $I_2$  (inverzna komponenta toka) glede na nazivni tok. Delovanje funkcije se izvede z inverzno karakteristiko tipa A, pri čemer je:

- $t_{\min} = 6 \text{ s}$
- nastavitvev:  $I_2 > = 0,05 \times I_{B1}$  ( $I_{B1}$  – bazni tok).

Upošteva se, da je  $I_{B1} = 458 \text{ A}$ .

Iz tega sledi:  $I_2 > = 22,9 \text{ A}$ .

## 5.8 Statorska zemeljskostična zaščita

Statorske zemeljskostične zaščite ščitijo generator pri zemeljskih stikih generatorja in pripadajoče povezave 6,3 kV, vključno s 6,3 kV navitjem blok transformatorja. Področje ščitenja ne vključuje zvezdišča in prvih 5 % navitja generatorja.

Statorska 95-% zaščita je bila na MHE Zadlaščica pred obnovo izvedena na podlagi meritve napetosti v zvezdišču generatorja, z nastavitvami:

$U_{95N} = 5 \text{ V}$  sekundarno;  $t = 0,3 \text{ s}$ .

Omenjena funkcija z enakimi nastavitvami je izvedena na terminalu TB.

Ker je na sponkah generatorja na razpolago meritev residualne napetosti generatorja z vezavo »odprti trikot« in ker imamo na zaščitnem terminalu TB dodatni prosti napetostni vhod, se kot redundančno izvede statorsko zaščito tudi na podlagi omenjene meritve (potrebna je samo izvedba nove kableske povezave).

Funkcijo poimenujemo kot statorska  $3U_0$  zaščita z nastavitvami:

$3U_0 = 10 \%$ ,  $t = 0,5 \text{ s}$ .

Kot redundanco statorskima zaščitama na TB izvedemo tudi statorsko zaščito na TA. Ker tam ni na voljo prostih napetostnih vhodov, ki jih zasedajo meritve fazne napetosti, izvedemo funkcijo na podlagi računске vrednosti residualne napetosti. Takšna funkcija ni tako natančna kot neposredna meritev, tako da bo nastavitev še nekoliko višja. To je 17 %,  $t = 1,5 \text{ s}$ .

## 5.9 Prenapetostna zaščita

Prenapetostna zaščita ščiti generator in transformator skupaj s pripadajočo opremo pred previsokimi napetostmi. Obstoječe nastavitve prenapetostne zaščite so ustrezne, najverjetneje tudi podane in priporočene s strani proizvajalca tako, da se je nastavitve ohranilo. Pred obnovo je bila 1. stopnja prenapetostne zaščite izvedena samo na podlagi meritve medfazne napetosti  $U_{L12}$ , druga stopnja prenapetostne zaščite pa je bila izvedena na podlagi meritve medfazne napetosti  $U_{L23}$ .

Na zaščitnem terminalu TA, ki razpolaga z meritvami vseh treh faznih napetosti, se je izvedlo obe stopnji prenapetostne zaščite na podlagi vseh treh medfaznih napetosti.

Kot redundanco se je tudi na terminalu TB izvedlo prenapetostno zaščito v dveh stopnjah, toda le na podlagi meritve medfazne napetosti  $U_{L12}$ , saj dodatnih napetostnih vhodov na TB ni na voljo.

Pri nastavitvi prenapetostne zaščite se upošteva, da je  $U_{B1} = 6,3$  kV (nazivna napetost).

Za prenapetostno zaščito 1. stopnje je nastavitev:  $1,2 \times U_{B1}$ ;  $t = 1,5$  s.

Iz tega sledi, da je nastavitev 1. stopnje prenapetostne zaščite:

$1,2 \times 6,3$  kV = 7,56 kV s časovno zakasnitvijo  $t = 1,5$  s.

Za prenapetostno zaščito 2. stopnje je nastavitev:  $1,3 \times U_{B1}$ ,  $t = 0,05$  s.

Iz tega sledi, da je nastavitev druge stopnje prenapetostne zaščite:

$1,3 \times 6,3$  kV = 8,19 kV s časovno zakasnitvijo  $t = 0,05$  s.

## 5.10 Zaščita pri povratni moči

Zaščita pri povratni moči ščiti turbino pred delovanjem v motorskem režimu. Deluje na podlagi merjenja delovne moči. Izvedena je enako, kot je bila pred obnovo in primerljivim tokovnim pragom delovanja.

Pri nastavitvi zaščite pri povratni moči se upošteva  $S_{B1} = 5$  MVA (bazna moč agregata) pri  $\cos\phi = 0,8$ ;  $P = 4$  MW.

Za zaščito povratne moči agregata je nastavitev: 2 %  $S_{B1}$ ,  $t = 0,05$  s.

Iz tega sledi, da je nastavitev zaščite pred povratno močjo:

2 % od 5 MVA  $\rightarrow$  0,1 MW s časovno zakasnitvijo  $t = 0,05$  s.

# 6 IZVEDBA PRIMARNIH IN FUNKCIJONALNIH PREIZKUSOV

## 6.1 PRIMARNI PREIZKUSI TOKOVNIH INSTRUMENTNIH TRANSFORMATORJEV

TIT niso bile predvideni za zamenjavo, zato so morali biti opravljeni primarni preizkusi polaritete, prestavnih razmerij in pogreška. Preizkuse smo opravili v vseh navitjih in vseh fazah. Testi so se izvajajo v skladu standardi IEC 61869-1, IEC 61869-2, IEC 61869 -3: 2007. Navedeni standard opisuje teste, ki se izvajajo na TIT in splošne zahteve za delovanje TIT.

### 6.1.1 Preizkusi tokovno instrumentnega transformatorja v 6,3 kV generatorskem polju in 20 kV transformatorskem polju

Na vseh TIT se je primarno injektiralo različne tokove v posamezne faze in se na zaščitnih terminalih TA in TB ter na merilnih instrumentih in števcih kontroliralo ustrezen tok glede na prestavo TIT. Posamezna jedra so namenjena za števce, meritve in zaščito. Kontroliralo se je tudi pripadnost jeder posameznega TIT. Pripadnost jeder se je ugotavljala z mostičenjem sekundarnega navitja TIT, kar je izničilo tokove pripadajočemu jedru na terminalih TA in TB oz. na merilnih instrumentih in števcih.

Pomembno je, da je zaščita oz. zaščitni rele vezan na ustrezno jedro TIT. Pri tem je pomemben podatek faktor sigurnosti ( $F_s$ ). Ker želimo, da bi priključeni zaščitni rele na tokovnik pravilno deloval tudi pri velikih tokovih, izberemo tokovnik z večjim  $F_s$ . Od teh transformatorjev pričakujemo zelo natančno transformacijo s čim manjšim popačenjem tudi največjih okvarnih tokov, kar nam zagotavlja točno in pravilno delovanje zaščite.  $F_s$  je lahko 5, 10 15 ali 20 in nam pove večkratnik nazivnega primarnega toka, pri katerem bo pri obremenitvi primarnega navitja sestavljen pogrešek manjši ali enak 5 oz. 10 % za razred točnosti 5 P ali 10 P. V našem primeru je zaščitna oznaka 10P10 kar pomeni 10 P sestavljen pogrešek, 10 pa mejni faktor točnosti (pri 10-kratni vrednosti nazivnega primarnega toka bo sestavljen pogrešek 10 %).

Tabela 5: T1 odvod AJA2 – 20 kV VN blok transformatorja generatorja (Vir: lasten)

Proizvajalec	Končar, Zagreb				
Tip	INA2-24				
1. jedro Primar/sekundar	2 × 100 vezava 200 A/5 A	10 VA	Kl. 0,5 FS10	števci	
2. jedro Primar/sekundar	2 × 100 vezava 200 A/5 A	15 VA	Kl. 1 FS10	meritve	
3. jedro Primar/sekundar	2 × 100 vezava 200 A/5 A	10 VA	10P10	zaščita	

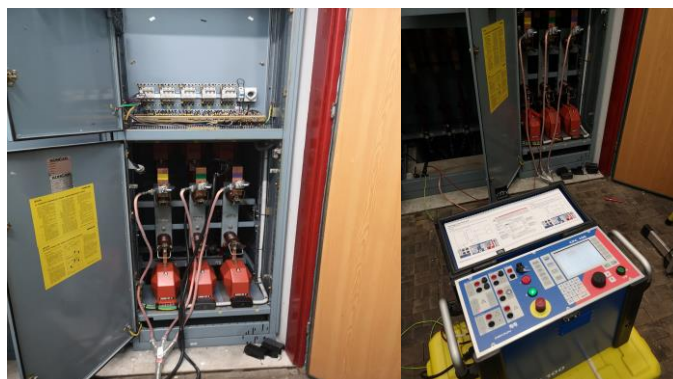




Slika 21: TIT na odvodu 20 kV  
(Vir: lasten)

Tabela 6: T2 na sponkah generatorja (Vir: lasten)

Proizvajalec	Končar, Zagreb			
Tip	INA2-24			
1. jedro Primar/sekundar	2 × 300 vezava 600 A/5 A	10 VA	Kl. 0,5 FS10	števci
2. jedro Primar/sekundar	2 × 300 vezava 600 A/5 A	15 VA	Kl. 1 FS10	meritve
3. jedro Primar/sekundar	2 × 300 vezava 600 A/5 A	10 VA	10P10	zaščita



Slika 22: Izvod generatorja  
(Vir: lasten)

Tabela 7: T3 v zvezdišču generatorja (Vir: lasten)

Proizvajalec	Končar, Zagreb			
Tip	INA2-24			
1. jedro Primar/sekundar	2 × 300 vezava 600 A/5 A	10 VA	Kl. 0,5 FS10	števci
2. jedro Primar/sekundar	2 × 300 vezava 600 A/5 A	15 VA	Kl. 1 FS10	meritve
3. jedro Primar/sekundar	2 × 300 vezava 600 A/5 A	10 VA	10P10	zaščita

Slika 23: Zvezdišče generatorja  
(Vir: lasten)

Primarni preizkusi polaritete, prestavnih razmerij in pogreška so opravljeni s preizkusno opremo CPC 100 in CT Analyzer.

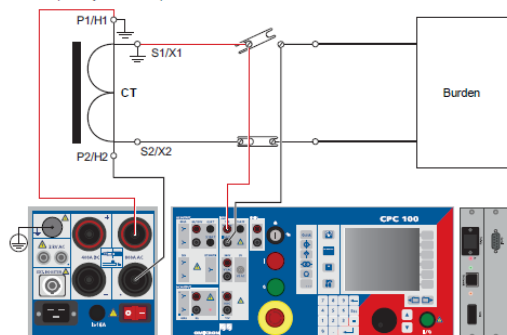
Slika 24: Primarni preizkusi s CT Analyzerjem  
(Vir: lasten)

## Current transformer

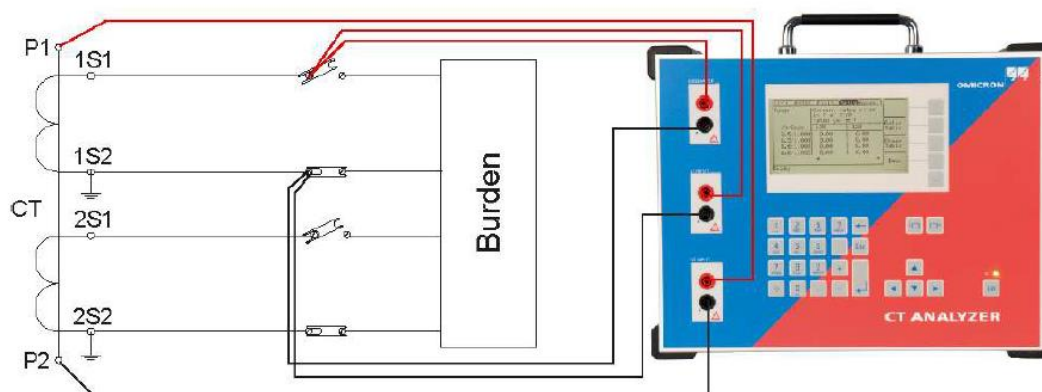
CPC 100 User Manual

### CTRatio (and Burden)

Use the CTRatio test card to measure a current transformer's ratio and burden with injection on the CT's primary side with up to 800 A from AC OUTPUT.



Slika 25: Priključna shema CPC100 meritev tokovne prestave (Vir: lasten)



Slika 26: Priključna shema CT Analyzer meritev  $R_{ct}$ , tokovne prestave in magnetilne karakteristike (Vir: lasten)

Rezultati so bili znotraj zahtevanih toleranc (priloge 1, 2, 3).

## 6.2 PRIMARNI PREIZKUSI NAPETOSTNIH INSTRUMENTNIH TRANSFORMATORJEV

NIT niso bili predvideni za zamenjavo, zato so morali biti opravljeni primarni preizkusi polaritete prestavnih razmerij in pogreška. Preizkuse smo opravili v vseh navitjih in vseh fazah. Testi so bili izvedeni v skladu standardi IEC 61869-1, IEC

61869-2, IEC 61869-3: 2007. Navedeni standard opisuje teste, ki se izvajajo na NIT in splošne zahteve za delovanje NIT.

### 6.2.1 Preizkusi NIT v 6,3 kV generatorskem polju

Tabela 8: T4 na sponkah generatorja

Proizvajalec		Končar, Zagreb				
Tip	4V-PA1-1	A-N	6300/v3 V			
1. navitje		a – n	100/v3 V	50 VA	Kl. 0,5 3P	zaščita
2. navitje		da – dn	100/3 V	25 VA	6P	zaščita

Tabela 9: T5 v zvezdišču generatorja

Proizvajalec		Končar, Zagreb				
Tip	4V-PA1-1	A-N	6300/v3 V			
1. navitje		a – n	100 V	10 VA	3P	zaščita

Primarni preizkusi polaritete, prestavnih razmerij in pogreška so se opravili s preizkusno opremo CPC 100.

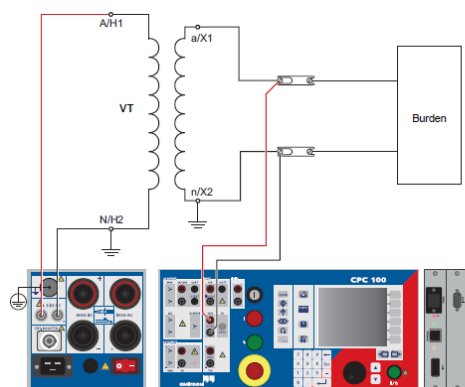
Na vseh NIT se je primarno injektiralo različne napetosti v posamezne faze in se na zaščitnih terminalih TA in TB ter na merilnih instrumentih kontroliralo ustrezno napetost glede na prestavo NIT.

#### Voltage transformer

CPC 100 User Manual

##### VTRatio

Use the VTRatio test card to measure a voltage transformer's ratio with injection on the VT's primary side with up to 2 kV from AC OUTPUT.



**DANGER**  
Death or severe injury caused by high voltage or current

- Do not connect the CPC 100 output to the secondary side of the VT. This will cause hazardous voltages on the primary side
- For VT ratio measurement, connect the CPC 100 output to the primary side of the VT.

Correction factor for V prim: 1/3 and 1/3: Correction factors for V sec: 1/3 and 1/3

Nominal primary voltage: 10000.0 V

Nominal secondary voltage: 100.0 V

Primary injection:  1/3  1/2

Output frequency: 50.00 Hz

Measured primary voltage: V prim: 2.000 LV

Secondary voltage measured at V1 AC, and its phase angle relative to the measured V prim: V sec: 20.087 V [0.26°] Manual Input

Ratio: 10000.0 / 3 100.43 / 3 [0.433 %]

Polarity: OK

Assessed n/a

Ratio and deviation in %

Polarity:  
OK = phase I sec - phase I prim / = -45° < 0° < +45°  
NOTOK = all other cases

Slika 27: Priključna shema CPC 100 meritev napetostne prestave (Vir: lasten)

Rezultati so bili znotraj zahtevanih toleranc (priloga 4).

## 6.3 FUNCIONALNI PREIZKUSI GENERATORJA

### 6.3.1 Pri stoječem generatorju

#### Preizkusi delovanja zaščitnih signalov terminalov TA in TB

S preizkusno napravo OMICRON CMC 256-6 se je simuliralo delovanje signalov zaščitnih terminalov (sekundarni preizkusi).

Na zaščitnem terminalu TA se je simuliralo naslednje delovanje zaščit:

- diferenčna zaščita generatorja,
- prenapetostna zaščita generatorja, 1. st.,
- prenapetostna zaščita generatorja, 2. st.,
- zaščita pri povratni moči,
- zaščita pri izpadu vzbujanja,
- zaščita pri izpadu iz sinhronizma,
- podimpedančna zaščita, 1. st.,
- podimpedančna zaščita, 2. st.,
- pretokovna zaščita,
- kratkostična zaščita,
- pretokovno-podnapetostna zaščita,
- zaščita pri tokovni nesimetriji,
- statorska zaščita,
- zaščita pri odpovedi odklopnika.

Na zaščitnem terminalu TB pa se je simuliralo naslednje delovanje zaščit:

- diferenčna zaščita bloka,
- statorska 95-% zaščita,
- statorska 3U0 zaščita,
- 6 kV pretokovna zaščita,
- 20 kV pretokovna zaščita,
- kratkostična zaščita,
- zaščita pri tokovni nesimetriji,
- prenapetostna zaščita generatorja, 1. st.,
- prenapetostna zaščita generatorja, 2. st.,
- zaščita pri odpovedi odklopnika.

Protokoli sekundarnega preizkusa zaščitnega sistema so v Prilogi 5.

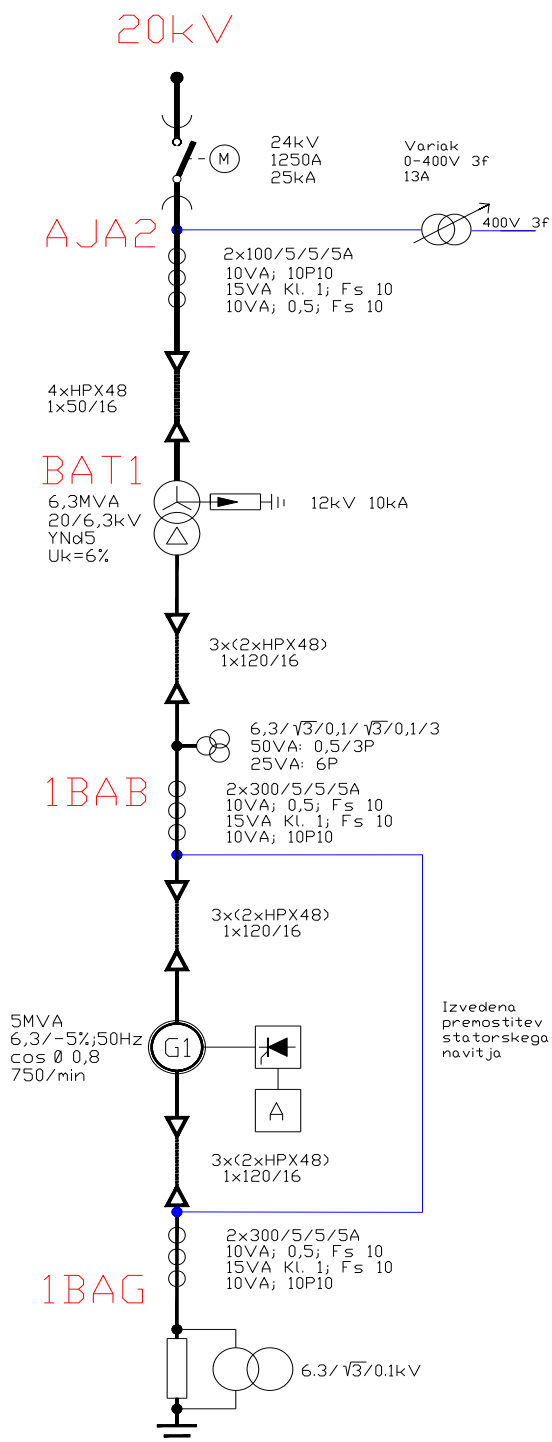


Slika 28: Preizkusi zaščit s preizkusno napravo OMICRON CMC 256-6  
(Vir: lasten)

Pri preizkušanju delovanju posameznih zaščitnih funkcij terminala TA in TB se je ob aktivaciji zaščite kontroliralo:

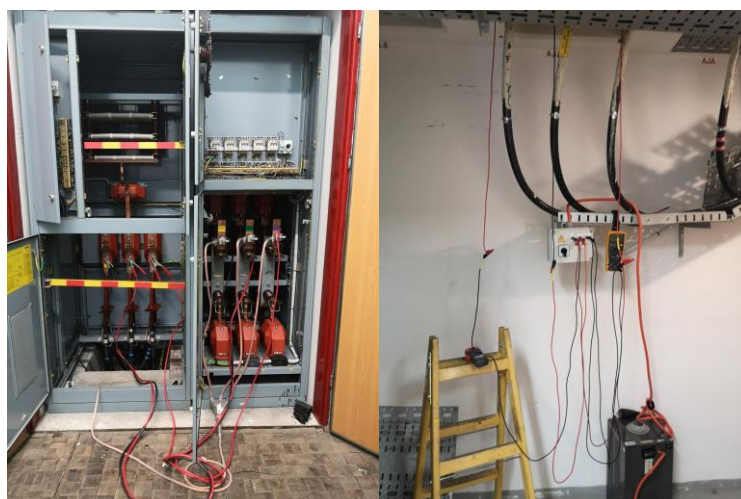
- časovni odziv vseh treh oz. štirih izklopilnih kontaktov posameznega IED (izklop generatorskega odklopnika, aktivacija HZ2, izklop vzbujanja in aktivacija BF releja),
- prihod posameznega signala zaščite v CV SENG,
- prihod posameznega signala zaščite v SCADO,
- prihod posameznega signala v lokalno signalizacijo,
- svetlobna signalizacija (pripadajoče lučke delovanja posamezne zaščite na terminalu),
- delovanje zvočnega signala (hupa ob aktivaciji zaščite).

**Preizkus kratkega stika transformatorja in preizkus stabilizacije diferenčne zaščite bloka in generatorja**



Slika 29: Priklop variaka v celici AJA2 in premostitev statorskega navitja na 6 kV strani  
(Vir: lasten)

Kot je razvidno iz Slike 29, se je kratek stik transformatorja izvedlo na 6 kV strani. Samega kratkega stika ni bilo treba izvesti, saj ga zagotavlja zvezdišče generatorja v celici 1BAG. Treba je bilo premostiti statorsko navitje z ustreznimi izoliranimi kablji med vsemi tremi posameznimi fazami v 6 kV celicah 1BAB in 1BAG. V celici 1BAG se je priklopilo na P1 tokovnega merilnega transformatorja, v celici 1BAB pa na P2 tokovnega merilnega transformatorja posamezne faze.



*Slika 30: Premostitev statorskega navitja in priklop variaka na 20 kV strani  
(Vir: lasten)*

Variak se je priklopilo v celici AJA2 na P1 TIT. Tako teče celoten tok preko 20 kV TIT.

Za višino napetosti in velikost toka variaka se je izvedlo izračun preizkusa kratkega stika z variakom, za katerega se je potrebovalo osnovne podatke variaka in blok transformatorja.

Podatki trifaznega variaka so:

- vhodna napetost  $U_{VH} = 380 \text{ V}$ ,
- izhodna napetost  $U_{izh} = 0\text{--}470 \text{ V}$ ,
- nazivni tok variaka  $I_{nV} = 13 \text{ A}$ .

Podatki blok transformatorja so:

- primarna napetost  $U_{pr} = 20 \text{ kV}$ ,
- sekundarna napetost  $U_{sek} = 6,3 \text{ kV}$ ,
- navidezna moč TR S = 6,3 MVA,
- kratkostična napetost  $U_k = 6,2 \%$ ,
- nazivni tok na 20 kV strani  $I_{n20kV} = 181,9 \text{ A}$ .



Napetost, ki požene nazivni tok 181,9 A na 20 kV strani transformatorja znaša:

$$U_k \times U_{pr} = 6,2 \% \times 20 \text{ kV} = 1,24 \text{ kV}.$$

Z variakom bi pri napetosti 470 V pognali tok:

$$U_{\text{variak}}/1,24 \text{ kV} \times I_{n20kV} = 470\text{V}/1,24 \text{ kV} \times 181,9 \text{ A} = 68,9 \text{ A}.$$

Ta tok presega nazivni tok variaka, zato je treba izračunati, pri kateri napetosti bi skozi 20 kV navitje transformatorja pognali nazivni tok variaka 13 A.

$$U = 1,24 \text{ kV} \times 13\text{A}/181,9 \text{ A} = 88,6 \text{ V}$$

Tako dobimo pri napetosti 88,6 kV na 20 kV strani naslednje tokove:

- primarni 20 kV tok: 13 A,
- primarni 6,3 kV tok:  $13 \text{ A} \times 21/6,3 = 43,3 \text{ A}$ ,
- sekundarni tok 20 kV TIT:  $13 \text{ A} \times 5/200 = 0,325 \text{ A}$ ,
- sekundarni tok 6,3 kV TIT:  $43,3 \times 5/600 = 0,361 \text{ A}$ .

Glede na izračunano vrednost napetosti variaka, se je postopoma dvigovalo trifazno napetost od 0 do 88,6 V. Ob višanju napetosti se je sočasno spremljalo tudi tok na variaku oz. 20 kV strani, dokler ni dosegel vrednosti 13 A. Na 6 kV strani je tekel tok vrednosti približno 43,4 A.



Slika 31: Pri IB = 17 A (približno)  
(Vir: lasten)



Slika 32: Pri  $IB = 35\text{ A}$  (približno)  
(Vir: lasten)

bloka in transformatorja. Dvigovanje kratkostičnega toka skozi transformator je povzročilo večanje stabilizacijskega toka diference zaščite, pri čemer so ostali diferenčni tokovi enaki nič.

Kot je razvidno iz zgornjih dveh slik, se z večanjem kratkostičnega toka skozi transformator večja tudi stabilizacijski tok posameznih faz diference zaščite, diferenčni tokovi pa ostajajo enaki kljub večanju stabilizacijskega toka.

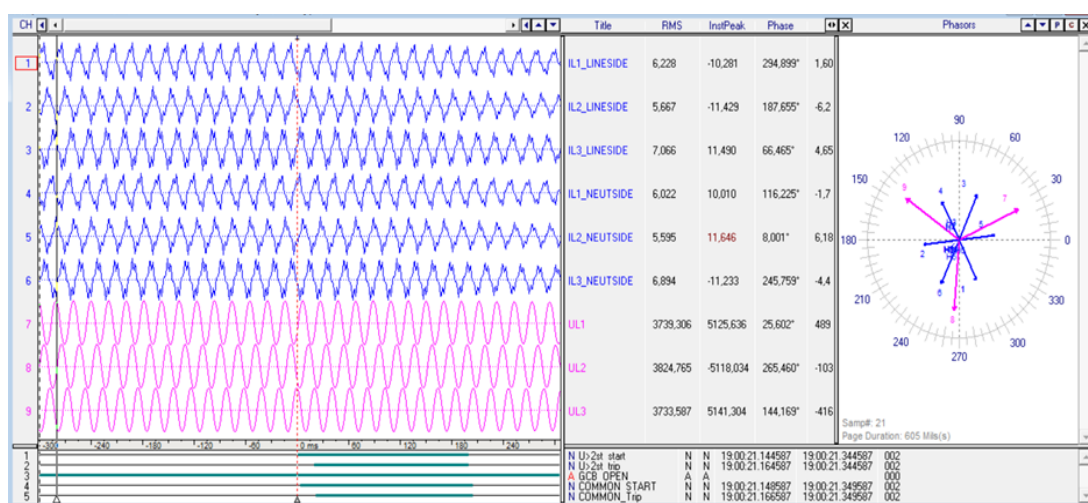
Na zaščitnem terminalu TA so diferenčni (ID-n) in stabilizacijski tokovi (IB-n) prikazani v primarnih amperih, saj so tokovniki v zvezdišču in izvodu generatorja enaki tako, da je mogoča neposredna primerjava veličin.

Na zaščitnem terminalu TB pa so diferenčni (ILn-diff) in stabilizacijski tokovi (ILn-bias) prikazani v p. u. oz. odstotnih vrednostih, saj neposredna primerjava veličin, zaradi prestave in vezne skupine TR, ni mogoča.

Na zgornjih slikah prikazane meritve nakazujejo, da sta diference zaščiti sparametrirani pravilno in da so usmerjenosti TIT skladne z nastavitvami terminalov.

### 6.3.2 Obratovanje v praznem teku

**Preizkus delovanja prenapetostne zaščite v živo na terminalu TA pri znižani nastavitvi prenapetostne zaščite in praznem teku**



Slika 33: Posnetek delovanja zaščite v živo na TA pri znižani nastavitvi prenapetostne zaščite in praznem teku  
(Vir: lasten)

Na Sliki 33 je posnetek delovanja zaščite v živo na TA pri znižani nastavitvi prenapetostne zaščite in praznem teku.

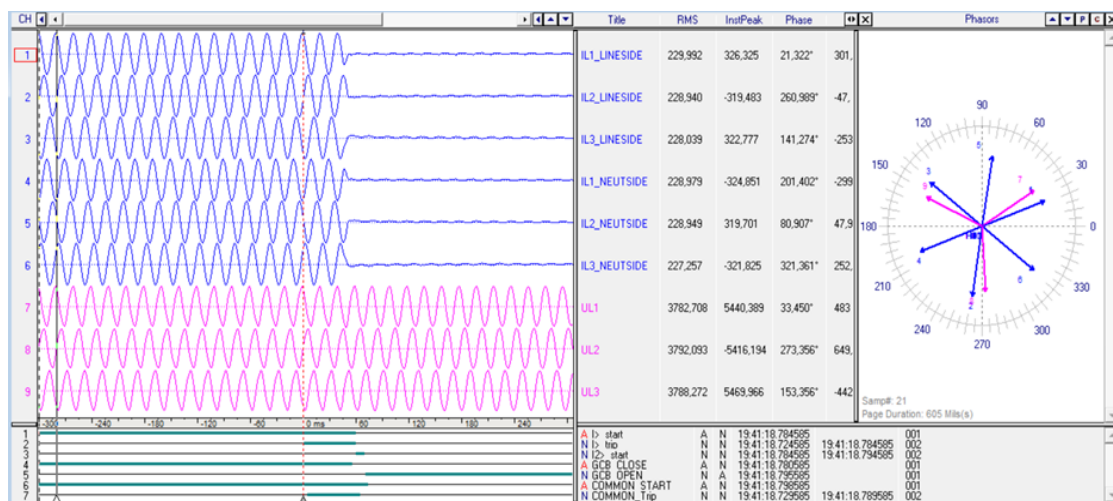
Nastavitev funkcije PHPTOV: 2 je bila 1,05 p. u.

Generator je bil vzbujen v praznem teku. Počasni dvig napetosti do 105 odstotkov je povzročil aktivacijo prenapetostne zaščite.

Zaščitni terminal je posnel oscilografijo dogodka, ki je prikazana na Sliki 33. Prvih šest kanalov prikazuje tok v zvezdišču in na sponkah generatorja, ki predstavlja magnetilni tok transformatorja. Kanali 7, 8 in 9 prikazujejo fazne napetosti.

### 6.3.3 Obratovanje na mreži

#### Preizkus delovanja pretokovne zaščite v živo na terminalu TA



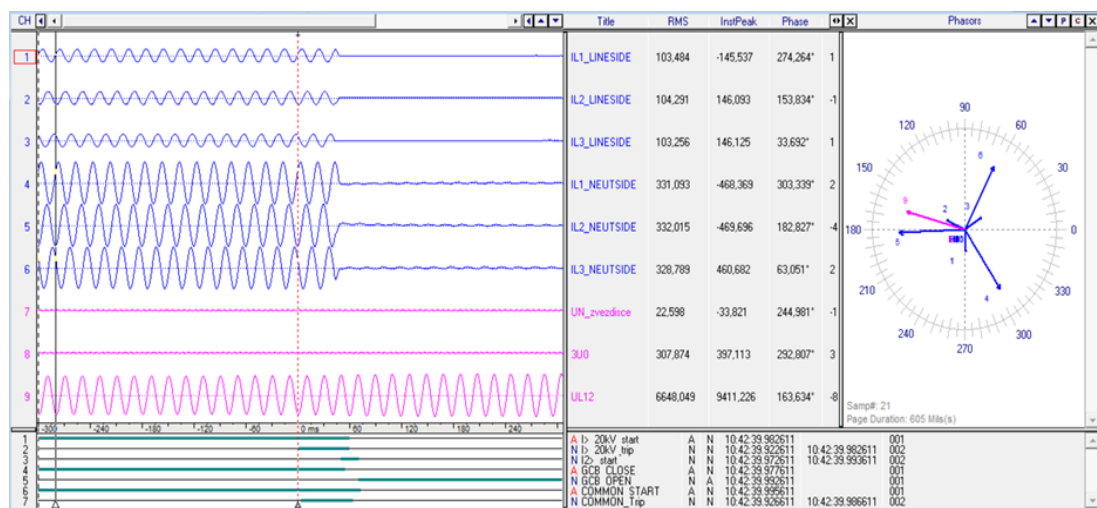
Slika 34: Posnetek delovanja zaščite v živo na TA, pri nižani nastavitvi pretokovne zaščite  
(Vir: lasten)

Na Sliki 34 je posnetek delovanja zaščite v živo na TA, pri nižani nastavitvi pretokovne zaščite.

Funkcija PHLPTOC:1 je bila nižana na 0,5 p. u. To je ekvivalentno približno 230 A.

Agregat je bil sinhroniziran na omrežje. Pri postopnem dviganju moči generatorja in toku 230 A je delovala pretokovna zaščita. Zaščita je aktivirala izklop odklopnika, izklop vzbujanja in HZ2.

## Preizkus delovanja pretokovne zaščite v živo pri znižani nastavitvi na terminalu TB



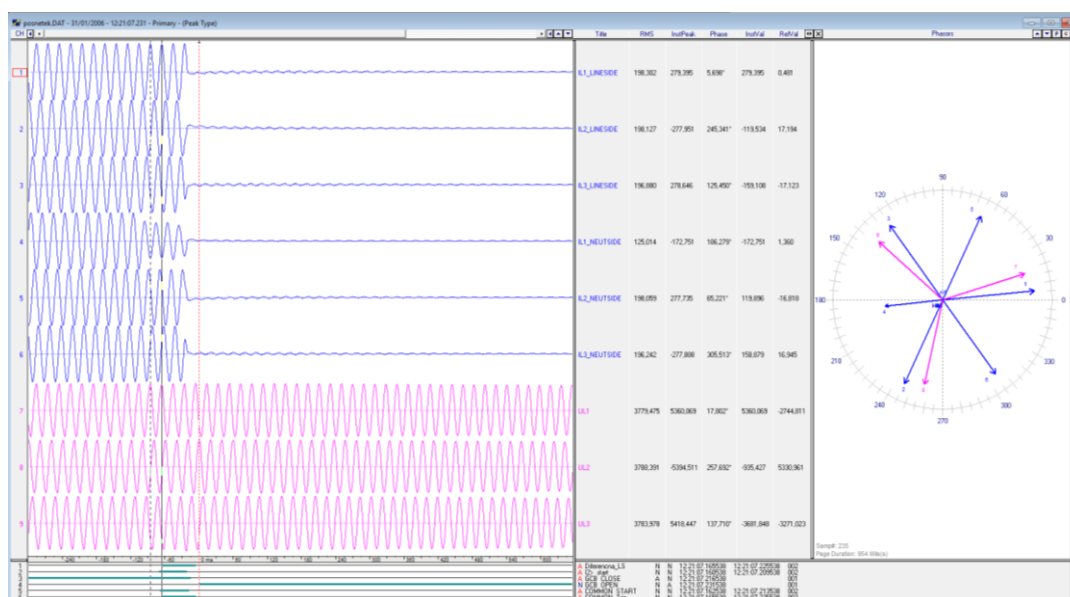
Slika 35: Posnetek testa pretokovne zaščite v živo pri znižani nastavitvi na TB  
(Vir: lasten)

Na Sliki 35 je posnetek testa pretokovne zaščite v živo pri znižani nastavitvi na TB. Funkcija PHLPTOC:1 je bila znižana na 0,55 p. u.

To ustreza toku približno 320 A.

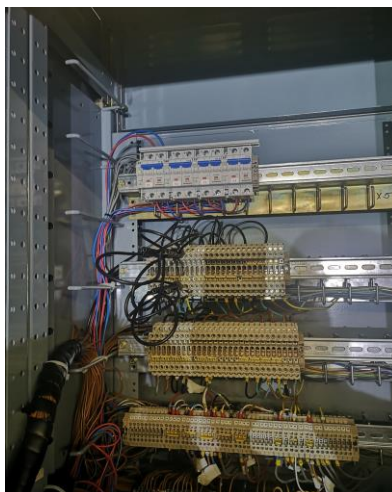
Agregat je bil sinhroniziran na omrežje. Pri postopnem dviganju moči generatorja in toku 230 A je delovala pretokovna zaščita. Zaščita je aktivirala izklop odklopnika, izklop vzbujanja in HZ2.

## Preizkus delovanja diferenčne zaščite generatorja na terminalu TA



Slika 36: Posnetek delovanja diferenčne zaščite generatorja na TA  
(Vir: lasten)

Na Sliki 36 je posnetek delovanja diferenčne zaščite generatorja na TA. Simulacija se je izvedla z mostičenjem sponk -X1: 11-17 v omari 2CHA.



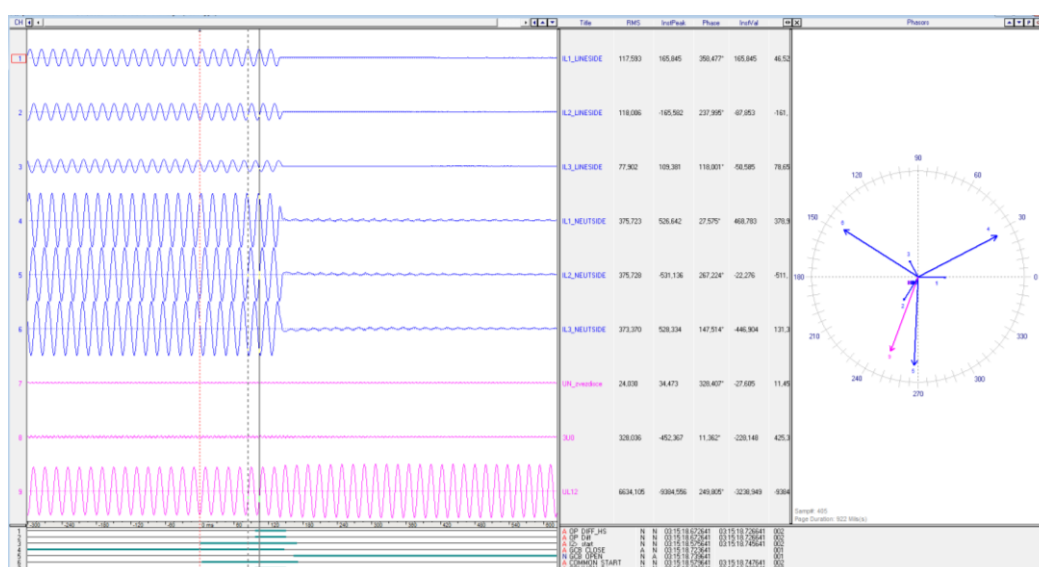
Slika 37: Izvedba mostičkov na sponkah  
(Vir: lasten)

Agregat je bil sinhroniziran na omrežje. Pri postopnem dviganju moči generatorja in toku 200 A je bilo v omari 2CHA izvedeno mostičenje sponk X1:11-17, kar je povzročilo diferenco tokov in aktivacijo diferenčne zaščite generatorja. Zaščita je

aktivirala izklop odklopnika, izklop vzbujanja in HZ2. Zaščitni terminal je posnel oscilografijo dogodka, ki je prikazana na Sliki 36. Prvih šest kanalov prikazujejo tok v zvezdišču in na sponkah generatorja. Kanali 7, 8 in 9 so fazne napetosti.

Mostičenje sponk je dejansko nadomestilo defekt generatorja. Del toka je namesto skozi tokovni vhod zaščite tekkel skozi izvedene mostičke na sponkah, kar je povzročilo diferenco toka in aktivacijo zaščite. Tok skozi rele je še vedno tekkel, vendar manjše vrednosti (IL1\_Neutside).

### Preizkus delovanja diferenčne zaščite bloka na terminalu TB



Slika 38: Posnetek delovanja diferenčne zaščite bloka na terminalu TB  
(Vir: lasten)

Na Sliki 38 je posnetek delovanja diferenčne zaščite bloka na terminalu TB. Simulacijo se je izvedlo z mostičenjem sponk -X1:6 in 7 v omari 2CHA.

Agregat je bil sinhroniziran na omrežje. S postopnim dviganjem moči generatorja in toka na vrednost približno 118 A na 20 kV strani transformatorja (na 6,3 kV strani pa približno 376 A) ter mostičenjem sponk, je bila povzročena diferenca tokov. Delovanje diferenčne zaščite bloka je povzročilo izpad agregata iz omrežja, izklop odklopnika, izklop vzbujanja in HZ2. Zaščitni terminal je posnel oscilografijo dogodka, ki je prikazana na Sliki 38.

Mostičenje sponk je dejansko nadomestilo defekt na transformatorju. Del toka je namesto skozi tokovni vhod zaščite tekkel skozi izvedene mostičke na sponkah, kar je povzročilo aktivacijo zaščite. Diferenca toka je jasno vidna na IL3 na 20 kV strani,

ki znaša 78 A, IL1 in IL2 pa 118 A (približno). Tok skozi rele je še vedno tekkel, vendar manjše vrednosti.

## 7 ZAKLJUČKI

Obstoječa zaščita generatorja je bila elektrostatična in iz časa izgradnje elektrarne 1989, zato je bila zamenjava nujno potrebna. Kakovostna zaščitna naprava in redno funkcionalno preizkušanje zaščite nam zagotavljata dolgo življenjsko dobo agregata. Nepravilno delovanje zaščitnega sistema povzroča škodo tudi zaradi izpada proizvodnje male hidroelektrarne. Zaščitne releje v omari električne zaščite 1CHA se je odstranilo in nadomestilo z dvema zaščitnima terminaloma (IED) tipa ABB REG630 z enako konfiguracijo, vendar z različnimi nastavitvami. Razlog za zamenjavo zaščite v MHE Zadlaščica je predvsem v zastarelosti obstoječega sistema. Naloga zaščite je prav v tem, da v primeru okvare omili materialno škodo, izpad proizvodnje in prepreči ogrožanje zdravja ljudi in življenj ter obratovanje agregata ob motnjah v EES. Nenormalne razmere nastanejo zaradi preobremenitev, nesimetrične obremenitve, čezmernega segrevanja stroja, izostanka vzbujanja ... Tako okvaro čim hitreje in selektivno izločimo.

Pri normalnem obratovanju zaščita ne sme delovati. Električna zaščita generatorjev oz. agregatov v MHE Zadlaščica je stara več kot 30 let in je še elektrostatične izvedbe. Poleg zmanjšane funkcionalnosti in zanesljivosti v primerjavi s sodobnimi numeričnimi zaščitnimi sistemi predstavlja zaščitni sistem v MHE Zadlaščica težavo tudi z vidika zagotavljanja rezervnih delov.

Z obnovo je nova oprema zamenjala vse funkcionalnosti stare opreme, pridobila pa je dodatne funkcionalnosti, kot so:

- zajem oscilografij in dogodkovnih list ob raznih okvarah,
- samodejni prenos dogodkov v sistem PAS SENG,
- možnost daljinskega dostopa do relejev,
- samo-diagnostika relejev (watch dog),
- dodatne zaščitne funkcije,
- lokalni vmesnik HMI z dodatnimi analognimi meritvami.

Stroški zamenjave zaščitnega sistema blok generator-transformator so bili skladni z načrtovanimi. Posebej pomembno je poudariti, da smo obnovo izvedli v lastni režiji – od idejne zasnove, projektne dokumentacije, demontaže, montaže nove opreme in ožičenja do potrebnih preizkusov. Pri sodelovanju sem pridobil veliko koristnih izkušenj in znanja na področju zaščitnih sistemov najnovejših tehnologij.



## 8 LITERATURA IN VIRI

Elektroenergetski sistemi / Alojz Razpet, Tehnična založba Slovenije, 2001.

Hrovatin, J. (2001). Elementi elektroenergetskih sistemov (EES).

Hvala, G. Sistemska obratovalna navodila CV SENG, Nova Gorica, 2003.

Mladovan, M. HE Zadlaščica – obratovalna navodila za posluževanje naprav. Nova Gorica, 1995.

Obratovalna navodila električne zaščite generatorja in blok TR Zadlaščica, SENG 2019.

Prepeluh, F., Kragelj, J., & Majcen, A. (2013). Zaščita elektroenergetskih sistemov. Ljubljana: Interno gradivo ICES.

Ravnikar, I. (2007). Električne instalacije. Ljubljana: Tehnična založba Slovenije.

Soške elektrarne Nova Gorica v trajnostnem zavezništvu z naravnimi obnovljivimi viri Soče in njenega Posočja, SENG d. o. o.

Štruc, S. (2000). Relejna zaščita elektroenergetskih sistemov. Ljubljana, Slovenija: Elektro Slovenije, ICES Višja strokovna šola za elektroenergetiko.

## **PRILOGE**

Priloga 1: Rezultati meritev TIT L1 1s1-1s2

Priloga 2: Rezultati meritev TIT L1 2s1-2s2

Priloga 3: Rezultati meritev TIT L1 3s1-3s2

Priloga 4: Rezultati meritev NIT L1 L2, L3

Priloga 5: Zapisnik o preizkušanju zaščitnih terminalov TA in TB

## Priloga 1: Rezultati meritev TIT L1 1s1-1s2

**Test Report**

Date/Time: 2020-06-02, 13:42:57

File Name: A:\g2-zvL1s1.xml

<b>Assessments:</b>	<b>Auto</b>	<b>Manual</b>
	OK	

**Location**

<b>Company:</b>	<b>SENG</b>	<b>Country:</b>	<b>SLOVENIJA</b>
<b>Station:</b>	<b>mHE Zadlaščica</b>	<b>Feeder:</b>	<b>G2 zvezdišče</b>
<b>Phase:</b>	<b>L1</b>	<b>IEC-ID:</b>	

**CT Nameplate**

<b>Manufacturer:</b>	<b>KONČAR</b>	<b>Tap:</b>	
<b>Type:</b>	<b>INA3-12</b>	<b>Core Number:</b>	<b>1</b>
<b>Serial Number:</b>		<b>Optional 1:</b>	
<b>Ratio:</b>	<b>600:5</b>	<b>Core Type:</b>	<b>Metering CT</b>
<b>Frequency:</b>	<b>50Hz</b>	<b>Class:</b>	<b>1-FS 10 ext. 120% (60044-1)</b>
<b>Nominal Burden:</b>		<b>Operating Burden:</b>	

**Equipment**

<b>Test Device:</b>	<b>CT-Analyzer</b>	<b>Software Version:</b>	<b>4.30 (12-12-06 09:40)</b>
<b>Serial Number:</b>	<b>GK698B</b>	<b>Hardware Version:</b>	<b>01/00/08/05/00/11</b>

## Test Settings:

**Primary Current I-pn:** 600.00A  
**Secondary Current I-sn:** 5.000A  
**Frequency:** 50Hz

**Nominal Burden:** 12.500VA cos  $\varphi$ : 0.800  
**Operating Burden:** 12.500VA cos  $\varphi$ : 0.800

**Applied Standard:** 60044-1  
**Class:** -  
**Rct:** 0.197 $\Omega$  (75.0°C)

**Core Type:** Metering CT

**Multiplying Factor for Ratio Assessment:** 1.000  
**Delta compensation:** Ratio 1

## Assessments:

Parameter	Auto	Manual
Class	OK	
Rct	n/a	
... $\varepsilon$	OK	
... $\Delta\varphi$	OK	
FS	OK	
FSi	OK	
Burden		

## Burden:

**Status Info:** No results  
**Overload:** no

## Resistance

### Secondary Winding:

**R-meas:** 162.6m $\Omega$       **T-meas:** 21.0°C  
**R-ref:** 197.0m $\Omega$       **T-ref:** 75.0°C

## Ratio:

### Results with operating burden:

<b>Used Burden:</b>	12.500VA cos φ: 0.800
<b>Used I-p:</b>	600.00A
<b>Ratio:</b>	600.0 : 4.992
<b>Deviation:</b>	-0.160%
<b>ε-c:</b>	0.283%
<b>RCF:</b>	1.00160
<b>N:</b>	119.33
<b>Phase:</b>	7.03min
<b>Polarity:</b>	OK

### Results with nominal Burden:

Burden VA / cos φ	Current ratio error in % at % of rated current							
	1.0 %	5.0 %	10 %	20 %	50 %	100 %	120 %	200 %
12.50 / 0.800	-4.612	-2.184	-1.462	-0.900	-0.409	-0.160	-0.109	-0.021
6.25 / 0.800	-2.853	-1.370	-0.894	-0.514	-0.141	0.037	0.076	0.165
3.13 / 1.000	-0.656	-0.365	-0.192	-0.032	0.150	0.241	0.262	0.310
1.56 / 1.000	-0.385	-0.210	-0.080	0.053	0.206	0.288	0.304	0.348

Burden VA / cos φ	Phase displacement in minutes at % of rated current							
	1.0 %	5.0 %	10 %	20 %	50 %	100 %	120 %	200 %
12.50 / 0.800	158.21	60.57	38.61	24.54	12.65	7.03	5.86	4.51
6.25 / 0.800	140.61	57.38	37.63	24.32	13.45	8.39	7.26	4.86
3.13 / 1.000	149.07	67.72	46.88	32.00	19.08	12.85	11.57	8.55
1.56 / 1.000	130.93	60.17	41.84	28.69	17.19	11.52	10.42	7.71

NOTE: Measurements with '!' have reduced accuracy. Accuracy only guaranteed on non-gapped cores.

## Excitation:

Used Standard: 60044-1

### Results:

<b>Kr:</b> 72%	<b>Lm:</b> 368.4mH
	<b>Ls:</b> 225.0μH

### Knee Points:

Standard	V	I
IEC 60044-1	13.41V	215.7mA
IEC 60044-6	12.56V	327.6mA

### Results with nominal Burden:

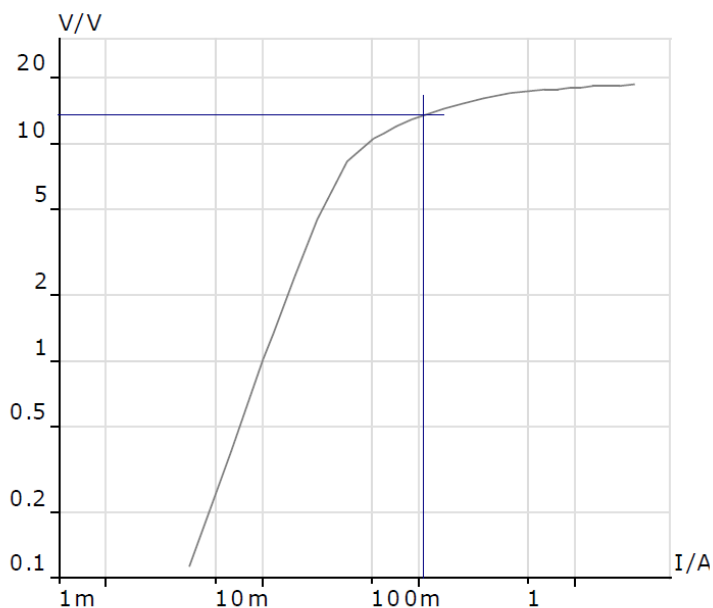
<b>Burden:</b>	12.500VA cos φ: 0.800
<b>FS:</b>	>5.81
<b>FSi:</b>	5.45
<b>Ts:</b>	0.6172s

### Results with operating burden:

<b>Burden:</b>	12.500VA cos φ: 0.800
<b>FS:</b>	>5.81
<b>FSi:</b>	5.45
<b>Ts:</b>	0.6172s

Excitation Table:

Actual Values		
UCTrms	ICTrms	L
18.60V	4.895A	5.6mH
18.43V	3.875A	7.1mH
18.30V	3.153A	8.9mH
18.18V	2.604A	11.0mH
18.06V	2.189A	13.5mH
17.92V	1.848A	16.4mH
17.75V	1.549A	20.0mH
17.55V	1.285A	24.2mH
16.87V	772.0mA	41.5mH
16.09V	520.8mA	61.6mH
15.27V	381.7mA	84.2mH
14.44V	291.6mA	107.6mH
13.61V	227.6mA	133.9mH
12.78V	180.6mA	164.2mH
11.97V	146.0mA	198.4mH
11.19V	121.1mA	235.4mH
10.47V	104.1mA	270.7mH
8.193V	70.81mA	368.4mH
4.468V	44.62mA	334.4mH
2.434V	32.10mA	248.4mH
1.324V	23.58mA	182.1mH
1.002V	20.29mA	155.9mH
0.386V	12.80mA	96.2mH
0.209V	9.439mA	70.1mH
0.113V	6.909mA	51.4mH



## Priloga 2: Rezultati meritev TIT L1 2s1-2s2

**Test Report**

**Date/Time:** 2020-06-02, 13:51:34  
**File Name:** A:\zadlascica\g2-zvL1s2.xml

**Assessments:** **Auto** **Manual**  
OK

**Location**

**Company:** SENG **Country:** SLOVEIJA  
**Station:** mHE Zadlaščica **Feeder:** G2 zvezdišče  
**Phase:** L1 **IEC-ID:**

**CT Nameplate**

**Manufacturer:** KONČAR **Tap:**  
**Type:** INA3-12 **Core Number:** 2  
**Serial Number:** **Optional 1:**

**Ratio:** 600:5 **Core Type:** Metering CT  
**Frequency:** 50Hz **Class:** 0.5S-FS 10 ext. 120% (60044-1)  
**Nominal Burden:** **Operating Burden:**

**Equipment**

**Test Device:** CT-Analyzer **Software Version:** 4.30 (12-12-06 09:40)  
**Serial Number:** GK698B **Hardware Version:** 01/00/08/05/00/11

## Test Settings:

**Primary Current I-pn:** 600.00A  
**Secondary Current I-sn:** 5.000A  
**Frequency:** 50Hz

**Nominal Burden:** 12.500VA cos  $\varphi$ : 0.800  
**Operating Burden:** 12.500VA cos  $\varphi$ : 0.800

**Applied Standard:** 60044-1  
**Class:** -  
**Rct:** 0.228 $\Omega$  (75.0°C)

**Core Type:** Metering CT

**Multiplying Factor for Ratio Assessment:** 1.000  
**Delta compensation:** Ratio 1

## Assessments:

Parameter	Auto	Manual
Class	OK	
Rct	n/a	
... $\epsilon$	OK	
... $\Delta\varphi$	OK	
FS	OK	
FSi	OK	
Burden		

## Burden:

**Status Info:** No results  
**Overload:** no

## Resistance

### Secondary Winding:

**R-meas:** 187.9m $\Omega$       **T-meas:** 21.0°C  
**R-ref:** 227.6m $\Omega$       **T-ref:** 75.0°C



## Ratio:

### Results with operating burden:

<b>Used Burden:</b>	12.500VA cos $\varphi$ : 0.800
<b>Used I-p:</b>	600.00A
<b>Ratio:</b>	600.0 : 5.0043
<b>Deviation:</b>	0.085%
<b><math>\epsilon</math>-c:</b>	0.226%
<b>RCF:</b>	0.99915
<b>N:</b>	119.28
<b>Phase:</b>	6.87min
<b>Polarity:</b>	OK

### Results with nominal Burden:

Burden VA / cos $\varphi$	Current ratio error in % at % of rated current							
	1.0 %	5.0 %	10 %	20 %	50 %	100 %	120 %	200 %
12.50 / 0.800	-1.141	-0.431	-0.265	-0.133	-0.004	0.085	0.107	0.147
6.25 / 0.800	-0.595	-0.077	0.040	0.124	0.211	0.260	0.272	0.306
3.13 / 1.000	0.074	0.284	0.335	0.370	0.402	0.414	0.418	0.426
1.56 / 1.000	0.144	0.332	0.378	0.409	0.437	0.449	0.452	0.458

Burden VA / cos $\varphi$	Phase displacement in minutes at % of rated current							
	1.0 %	5.0 %	10 %	20 %	50 %	100 %	120 %	200 %
12.50 / 0.800	52.32	27.45	21.65	16.73	10.95	6.87	5.86	4.42
6.25 / 0.800	45.96	22.99	18.07	14.34	10.07	7.25	6.48	4.59
3.13 / 1.000	51.00	24.88	19.61	15.85	11.83	9.31	8.65	6.90
1.56 / 1.000	46.26	21.65	16.82	13.56	10.20	8.08	7.57	6.10

NOTE: Measurements with '!' have reduced accuracy. Accuracy only guaranteed on non-gapped cores.

## Excitation:

Used Standard: 60044-1

### Results:

<b>Kr:</b>	70%	<b>Lm:</b>	456.1mH
		<b>Ls:</b>	229.5 $\mu$ H

### Knee Points:

Standard	V	I
IEC 60044-1	13.66V	150.1mA
IEC 60044-6	12.66V	215.4mA

### Results with nominal Burden:

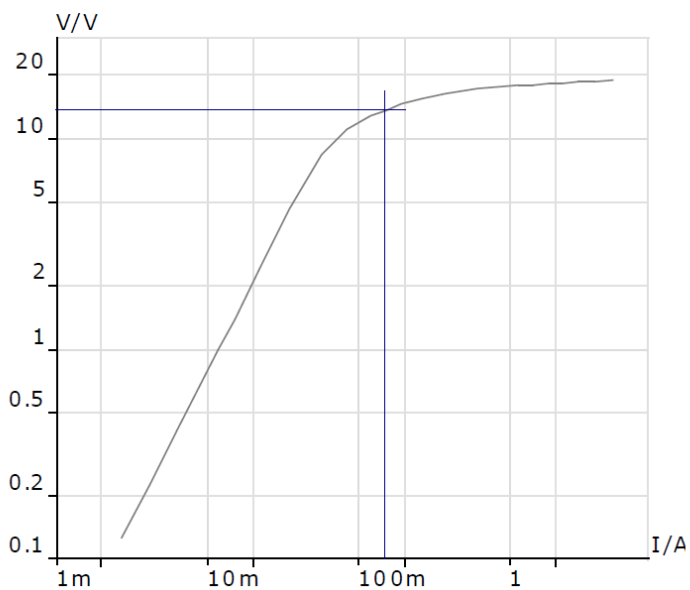
<b>Burden:</b>	12.500VA cos $\varphi$ : 0.800
<b>FS:</b>	>5.68
<b>FSi:</b>	5.35
<b>Ts:</b>	0.7267s

### Results with operating burden:

<b>Burden:</b>	12.500VA cos $\varphi$ : 0.800
<b>FS:</b>	>5.68
<b>FSi:</b>	5.35
<b>Ts:</b>	0.7267s

Excitation Table:

Actual Values		
UCTrms	ICTrms	L
18.99V	4.825A	5.8mH
18.80V	3.635A	7.6mH
18.64V	2.804A	10.0mH
18.51V	2.239A	13.0mH
18.35V	1.812A	16.6mH
18.16V	1.455A	21.1mH
17.92V	1.145A	26.9mH
17.20V	615.3mA	50.4mH
16.35V	373.5mA	84.7mH
15.47V	259.8mA	122.5mH
14.57V	193.7mA	163.2mH
13.66V	150.2mA	208.9mH
12.76V	120.2mA	258.8mH
11.90V	99.37mA	311.5mH
11.07V	84.69mA	361.9mH
10.35V	74.86mA	403.0mH
8.435V	56.69mA	484.3mH
4.635V	34.61mA	442.0mH
2.547V	23.04mA	357.8mH
1.399V	15.21mA	295.1mH
1.001V	11.87mA	264.8mH
0.417V	6.378mA	207.1mH
0.229V	4.143mA	174.0mH
0.126V	2.718mA	144.7mH



## Priloga 3: Rezultati meritev TIT L1 3s1-3s2

**Test Report**

**Date/Time:** 2020-06-02, 13:57:33  
**File Name:** A:\zadlascica\g2-zvL1s3.xml

**Assessments:** **Auto** **Manual**  
OK

**Location**

**Company:** SENG **Country:** SLOVENIJA  
**Station:** mHE Zadlaščica **Feeder:** G2 zvezdišče  
**Phase:** L1 **IEC-ID:**

**CT Nameplate**

**Manufacturer:** KONČAR **Tap:**  
**Type:** INA3-12 **Core Number:** 3  
**Serial Number:** **Optional 1:**

**Ratio:** 600:5 **Core Type:** Protection CT  
**Frequency:** 50Hz **Class:** 5P-5 (60044-1)  
**Nominal Burden:** **Operating Burden:**

**Equipment**

**Test Device:** CT-Analyzer **Software Version:** 4.30 (12-12-06 09:40)  
**Serial Number:** GK698B **Hardware Version:** 01/00/08/05/00/11

**Test Settings:**

**Primary Current I-pn:** 600.00A  
**Secondary Current I-sn:** 5.000A  
**Frequency:** 50Hz

**Nominal Burden:** 10.000VA  $\cos \varphi$ : 0.800  
**Operating Burden:** 10.000VA  $\cos \varphi$ : 0.800

**Applied Standard:** 60044-1  
**Class:** 5P - 5  
**Rct:** 0.731 $\Omega$  (75.0°C)

**Core Type:** Protection CT

**Multiplying Factor for Ratio Assessment:** 1.000  
**Delta compensation:** Ratio 1

**Assessments:**

Parameter	Auto	Manual
Class	OK	
Rct	n/a	
... $\varepsilon$	OK	
... $\Delta\varphi$	OK	
... $\varepsilon$ -c	OK	
ALF	OK	
ALFi	OK	
Burden		

**Burden:**

**Status Info:** No results  
**Overload:** no

**Resistance****Secondary Winding:**

**R-meas:** 603.3m $\Omega$       **T-meas:** 21.0°C  
**R-ref:** 730.8m $\Omega$       **T-ref:** 75.0°C

**Ratio:****Results with operating burden:**

<b>Used Burden:</b>	10.000VA cos $\varphi$ : 0.800
<b>Used I-p:</b>	600.00A
<b>Ratio:</b>	600.0 : 5.0029
<b>Deviation:</b>	0.057%
<b><math>\epsilon</math>-c:</b>	0.309%
<b>RCF:</b>	0.99943
<b>N:</b>	119.29
<b>Phase:</b>	9.63min
<b>Polarity:</b>	OK

**Results with nominal Burden:**

Burden VA / cos $\varphi$	Current ratio error in % at % of rated current							
	1.0 %	5.0 %	10 %	20 %	50 %	100 %	120 %	200 %
10.00 / 0.800	-1.741	-0.742	-0.476	-0.257	-0.059	0.057	0.082	0.127
5.00 / 0.800	-1.151	-0.429	-0.235	-0.073	0.075	0.163	0.182	0.225
2.50 / 1.000	-0.563	-0.143	-0.020	0.086	0.184	0.243	0.255	0.287
1.25 / 1.000	-0.503	-0.104	0.013	0.112	0.207	0.263	0.275	0.305

Burden VA / cos $\varphi$	Phase displacement in minutes at % of rated current							
	1.0 %	5.0 %	10 %	20 %	50 %	100 %	120 %	200 %
10.00 / 0.800	113.38	50.75	35.92	25.22	15.16	9.63	8.48	6.69
5.00 / 0.800	109.37	49.33	35.42	25.28	15.82	10.52	9.39	6.86
2.50 / 1.000	112.08	51.49	37.50	27.18	17.57	12.21	10.97	8.23
1.25 / 1.000	108.09	49.45	36.04	26.14	16.92	11.82	10.65	8.01

NOTE: Measurements with '!' have reduced accuracy. Accuracy only guaranteed on non-gapped cores.

**Excitation:**

Used Standard: 60044-1

**Results:**

<b>Kr:</b> 68%	<b>Lm:</b> 633.8mH
	<b>Ls:</b> 521.3 $\mu$ H

**Knee Points:**

Standard	V	I
IEC 60044-1	21.59V	204.2mA
IEC 60044-6	20.21V	305.4mA

**Results with nominal Burden:**

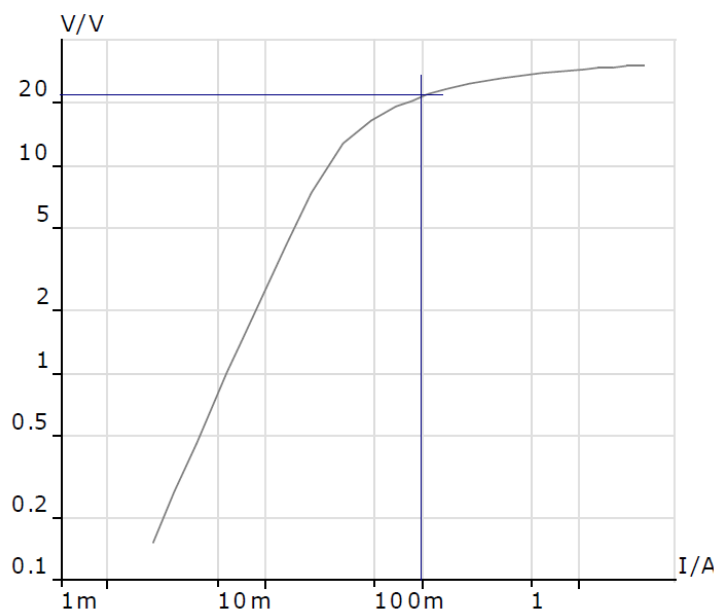
<b>Burden:</b>	10.000VA cos $\varphi$ : 0.800
<b>ALF:</b>	5.42
<b>ALFi:</b>	5.17
<b>Ts:</b>	0.6032s

**Results with operating burden:**

<b>Burden:</b>	10.000VA cos $\varphi$ : 0.800
<b>ALF:</b>	5.42
<b>ALFi:</b>	5.17
<b>Ts:</b>	0.6032s

**Excitation Table:**

Actual Values		
UCTrms	ICTrms	L
30.41V	5.240A	9.1mH
29.93V	4.061A	11.7mH
29.60V	3.270A	14.7mH
29.27V	2.666A	18.4mH
28.91V	2.167A	22.9mH
27.72V	1.171A	42.1mH
26.36V	640.8mA	77.4mH
24.96V	408.7mA	121.0mH
23.50V	288.7mA	174.5mH
22.02V	218.8mA	228.4mH
20.53V	171.5mA	286.2mH
19.10V	137.6mA	349.1mH
17.70V	112.9mA	417.3mH
16.45V	95.57mA	486.4mH
12.69V	63.03mA	664.6mH
7.326V	39.49mA	618.4mH
4.228V	27.77mA	497.0mH
2.439V	19.91mA	397.5mH
1.407V	14.30mA	317.3mH
1.004V	11.58mA	273.4mH
0.467V	7.411mA	199.9mH
0.266V	5.335mA	157.0mH
0.153V	3.871mA	123.2mH



## Priloga 4: Rezultati meritev NIT L1, L2, L3

## \HSE\SENG ZADLASCICA\L1.xml:

**Test Device:** CPC  
**Serial Number:** EG543F (V1)  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:41:41  
**Overall assessment:** n/a

## Test Cards Overview:

Test Card	Type	Date/Time	Results	Assessment	Overload
Quick 1	Quick	03/02/2020 12:40:25	no	n/a	no
VTRatio 1	VTRatio	03/02/2020 12:41:00	yes	n/a	no

## Test Cards:

## Quick 1:

**Card Type:** Quick  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:40:25  
**Overload:** no  
**Assessment:** n/a  
**Range:** OFF

## VTRatio 1:

**Card Type:** VTRatio  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:41:00  
**Overload:** no  
**Assessment:** n/a  
**Range:** AC 2kV  
**Nominal values:**  
**V prim.:** 6300/ $\sqrt{3}$  V  
**V sec.:** 100.0/ $\sqrt{3}$  V  
**Frequency:** 50.00 Hz  
**V test:** 2000.0 V  
**Automatic:** yes  
**Results:**  
**V prim.:** 1999.66 V 0.00 °  
**V sec.:** 31.872 V 0.10 °  
**Ratio:** 6300/ $\sqrt{3}$  V:100.4142/ $\sqrt{3}$  V 0.41 %  
**Polarity:** OK

## \HSE\SENG ZADLASCICA\L2.xml:

**Test Device:** CPC  
**Serial Number:** EG543F (V1)  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:45:09  
**Overall assessment:** n/a

## Test Cards Overview:

Test Card	Type	Date/Time	Results	Assessment	Overload
Quick 1	Quick	03/02/2020 12:40:25	no	n/a	no
VTRatio 2	VTRatio	03/02/2020 12:44:29	yes	n/a	no
VTRatio 1	VTRatio	03/02/2020 12:41:00	yes	n/a	no

## Test Cards:

## Quick 1:

**Card Type:** Quick  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:40:25  
**Overload:** no  
**Assessment:** n/a  
**Range:** OFF

## VTRatio 2:

**Card Type:** VTRatio  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:44:29  
**Overload:** no  
**Assessment:** n/a  
**Range:** AC 2kV  
**Nominal values:**  
**V prim.:** 6300/ $\sqrt{3}$  V  
**V sec.:** 100.0/ $\sqrt{3}$  V  
**Frequency:** 50.00 Hz  
**V test:** 2000.0 V  
**Automatic:** yes  
**Results:**  
**V prim.:** 1999.56 V 0.00 °  
**V sec.:** 31.912 V 0.08 °  
**Ratio:** 6300/ $\sqrt{3}$  V:100.5461/ $\sqrt{3}$  V 0.55 %  
**Polarity:** OK

## VTRatio 1:

**Card Type:** VTRatio  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:41:00  
**Overload:** no  
**Assessment:** n/a  
**Range:** AC 2kV  
**Nominal values:**  
**V prim.:** 6300/ $\sqrt{3}$  V  
**V sec.:** 100.0/ $\sqrt{3}$  V  
**Frequency:** 50.00 Hz  
**V test:** 2000.0 V  
**Automatic:** yes  
**Results:**  
**V prim.:** 1999.66 V 0.00 °  
**V sec.:** 31.872 V 0.10 °  
**Ratio:** 6300/ $\sqrt{3}$  V:100.4142/ $\sqrt{3}$  V 0.41 %  
**Polarity:** OK



## \HSE\SENG ZADLASCICA\L3.xml:

**Test Device:** CPC  
**Serial Number:** EG543F (V1)  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:48:10  
**Overall assessment:** n/a

## Test Cards Overview:

Test Card	Type	Date/Time	Results	Assessment	Overload
Quick 1	Quick	03/02/2020 12:45:30	no	n/a	no
VTRatio 1	VTRatio	03/02/2020 12:47:14	yes	n/a	no

## Test Cards:

## Quick 1:

**Card Type:** Quick  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:45:30  
**Overload:** no  
**Assessment:** n/a  
**Range:** OFF

## VTRatio 1:

**Card Type:** VTRatio  
**Date/Time:** 03/02/2020 12:47:14  
**Overload:** no  
**Assessment:** n/a  
**Range:** AC 2kV  
**Nominal values:**  
**V prim.:** 6300/ $\sqrt{3}$  V  
**V sec.:** 100.0/ $\sqrt{3}$  V  
**Frequency:** 50.00 Hz  
**V test:** 2000.0 V  
**Automatic:** yes  
**Results:**  
**V prim.:** 1999.54 V 0.00 °  
**V sec.:** 31.880 V 0.07 °  
**Ratio:** 6300/ $\sqrt{3}$  V:100.4442/ $\sqrt{3}$  V 0.44 %  
**Polarity:** OK

## Priloga 5: Zapisnik o kontroli električne zaščite po obnovi sistema

Za:	mHE Zadlaščica
-----	----------------

**ZAPISNIK O KONTROLI ELEKTRIČNE ZAŠČITE PO OBNOVI SISTEMA**

**objekt:** mHE Zadlaščica  
**naprava:** GENERATOR 1  
**prisotni:** /  
**datum:** 28.05.2020  
**št. DN:** 40011558

**Program preizkušanja**

	Vrsta preizkušanja	dne
2.1	Preizkus karakteristik zaščitnih naprav	28.05.2020
2.2	Kontrola signalizacije	28.05.2020
2.3	Preizkus delovanja zaščite v živo	06.03.2020
2.4	Kontrola meritev med obratovanjem	28.05.2020
2.5	Nastavitve releja TA in TB	28.05.2020

**UGOTOVITVE**

V skladu s protokolom so bile preizkušene vse električne zaščite. Zaščitni releji delujejo pravilno ter v skladu z nastavitvami.

Nova Gorica, 5.6.2020

Služba za el. zaščito:

Miha Leban



Priloga:

1. Osnovni podatki
2. Merilni protokol


  
 Osenske elektrarne  
 Nova Gorica d.o.o.

## 1. Osnovni podatki

<b>Generator</b>	
Proizvajalec: Rade Končar; Tip: SB2470-8; Tov. št.: 14443; Un: 6.300 V; Pn: 5.000 kVA; In: 458,2 A; cos $\varphi$ : 0,8; n: 750 obr/min	
<b>Transformator</b>	
Proizvajalec: Rade Končar; Tip: 2TB6300/38E; Tov. št: 533644; Un: 6,3 / 20,5 kV; Pn: 6.300 kVA; In: 578 / 182 A; vezava: Yd5; uk: 6 %	
<b>Merilni transformatorji</b>	
TMT - zvezdišče:	2x300 / 5 / 5 / 5 A (vezava 600/5) 10VA / 0,5FS10 15VA / kl.1; FS10 10VA / 10P10
TMT - statorski izvodi:	2x300 / 5 / 5 / 5 A (vezava 600/5) 10VA / 0,5FS10 15VA / kl.1; FS10 10VA / 10P10
TMT – celica AJA02:	2x100 / 5 / 5 / 5 A (vezava 200/5) 10VA / 0,5FS10 15VA / kl.1; FS10 10VA / 10P10
NMT – statorska stran:	6300/√3/100/√3/100/3 V 50VA kl. 0,5 3P 25VA kl. 6P
NMT – zvezdišče:	6300/√3/100 V 10VA 3P

<b>Zaščitni terminali</b>	
<b>Omara: +1CHA</b>	
1. zaščitna terminala TA (D9.101.101) in TB (D9.101.131) proizvajalec: ABB; tip: REG 630; Order number: UBGAABABABAZAANBXD Tov. Št.: 1VHR91486051 (TA) Tov. Št.: 1VHR91486048 (TB)	
<b>Razporeditev zaščitnih funkcij po terminalih</b>	
TA:	TB:
87G - diferenčna zaščita generatorja 59:1 - prenapetostna zaščita - 1. stopnja 59:2 - prenapetostna zaščita - 2. stopnja 32 - zaščita pred povratno močjo 40 - zaščita pred izpadom vzbujanja 78 - zaščita pred izpadom iz koraka 21:1 - podimpedančna zaščita 1.stopnja 21:2 - podimpedančna zaščita 2.stopnja 51 - pretokovna zaščita 50 - kratkostična zaščita 51/27G - pretokovna/podnapetostna zaščita 46 - zaščita pred nesimetrijo 59N - statorska zemeljskostična backup zaščita 50BF - zaščita pred odpovedjo odklopnika	87GT - diferenčna zaščita bloka 59N - statorska 95% zemeljskostična zaščita 59N - statorska 3U0 zemeljskostična zaščita 51 - pretokovna zaščita 6kV 51 - pretokovna zaščita 20kV 50 - kratkostična zaščita 46 - zaščita pred nesimetrijo 59:1 - prenapetostna zaščita - 1. stopnja (UL12) 59:2 - prenapetostna zaščita - 2. stopnja (UL12) 50BF - zaščita pred odpovedjo odklopnika
<b>Preizkusni sistem</b>	
OMICRON; tip: CMC256-6; ser. št.: FD164M	

## 2. Merilni protokol

## 2.1 Preizkus karakteristik zaščitnih naprav

<b>TERMINAL TA</b>						
IB1=458A; UB1=6,3kV; SB1=5,00MVA UBR1=3.642kV						
Izklopi sponke:	Izklop odklopnika	-D13.101.101: 8B				
	HZ2	-D13.101.101: 9B				
	Izklop vzbujanja	-D13.101.101: 10B				
	Odpoved odklopnika	-D13.101.101: 11B				
<b>87G Diferenčna zaščita generatorja</b>						
IED funkcija: MPDIF:1						
Nastavitev: 0,1xIB1			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov	izvod generatorja			zvezdišče generatorja		
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/15B	IL3/17B	IL1/19B	IL2/21B	IL3/23B
pritegne (A)	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39	0,39
izklopilni časi						
vzbujanje (A)	t(s)	t(s)	t(s)	t(s)	t(s)	t(s)
0,50	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>59:1 Prenapetostna zaščita 1.st.</b>						
IED funkcija: PHPTOV:1						
Nastavitev: 1,2xUB1; 1,5s			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov						
napetost / sponke PV	UL1 / 4B		UL2 / 5B		UL3 / 6B	
	UL1, UL2		UL2, UL3		UL3, UL1	
pritegne / spusti (V)	69,3 / 66,2		69,3 / 66,2		69,3 / 66,2	
izklopilni časi						
vzbujanje (V)	t(s)		t(s)		t(s)	
70	1,50		1,50		1,51	
<b>59:2 Prenapetostna zaščita 2.st.</b>						
IED funkcija: PHPTOV:2						
Nastavitev: 1,3xUB1; 0,05s			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov						
napetost / sponke PV	UL1 / 4B		UL2 / 5B		UL3 / 6B	
	UL1, UL2		UL2, UL3		UL3, UL1	
pritegne (V)	75,1		75,1		75,1	
izklopilni časi						
vzbujanje (V)	t(s)		t(s)		t(s)	
76	0,04		0,05		0,06	
<b>32 Zaščita pred povratno močjo</b>						
IED funkcija: DOPDPR:1						
Nastavitev: 2%SB1; 6s			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov						
tok / sponke PV	IL1/13B		IL2/15B		IL3/17B	
napetost / sponke PV	UL1 / 4B		UL2 / 5B		UL3 / 6B	
pritegne (A)	0,08					
izklopilni časi						
vzbujanje (A)	t(s)					
0,1	6,01					

<b>40 Izpad vzbujanja</b>			
IED funkcija: UEXPDIS:1			
Nastavitev: diameter=127%Zb1; offset=-18%Zb1, displacement=0%Zb1; 3,0s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/15B	IL3/17B
napetost / sponke PV	UL1 / 4B	UL2 / 5B	UL3 / 6B
vzbujanje	t(s)		
1,25A 90°; 28,87V	/		
1,35A 90°; 28,87V	3,02s		
<b>78 Zaščita pred izpadom iz koraka</b>			
IED funkcija: DOPDPR:2			
Nastavitev: 40%SB1; 60°; 0,1s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/15B	IL3/17B
napetost / sponke PV	UL1 / 4B	UL2 / 5B	UL3 / 6B
vzbujanje	t(s)		
1,50A 120°; 57,74V	/		
1,55A 120°; 57,74V	0,12		
<b>21:1 Podimpedančna zaščita 1.st.</b>			
IED funkcija: UZPDIS:1			
Nastavitev: 3%Zb1; 0,3s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/15B	IL3/17B
napetost / sponke PV	UL1 / 4B	UL2 / 5B	UL3 / 6B
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
3,81A; 1,80V	/		
3,81A; 1,65V	0,31		
<b>21:2 Podimpedančna zaščita 2.st.</b>			
IED funkcija: UZPDIS:2			
Nastavitev: 6%Zb1; 2,5s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/15B	IL3/17B
napetost / sponke PV	UL1 / 4B	UL2 / 5B	UL3 / 6B
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
3,77A; 3,5V	/		
3,77A; 3,3V	2,51		
<b>51 Pretokovna zaščita</b>			
IED funkcija: PHLPTOC:1			
Nastavitev: 1,2xIB1; 3,0s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/19B	IL2/21B	IL3/23B
pritegne/spusti (A)	4,6/4,3	4,6/4,3	4,6/4,3
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
4,8 A	3,0	3,0	3,0

<b>50 Kratkostična zaščita</b>			
IED funkcija: PHHPTOC:1			
Nastavitev: 3,61xIB1; 0,1s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/19B	IL2/21B	IL3/23B
pritegne (A)	13,7	13,8	13,8
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
14,0A	0,11	0,12	0,12
<b>51/27G Pretokovno / Podnapetostna zaščita</b>			
IED funkcija: PHPVOC:1			
Nastavitev: 1,00-2,62xIB1; 0,62-1,00XUB1 1,6s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/15B	IL3/17B
napetost / sponke PV	UL1 / 4B	UL2 / 5B	UL3 / 6B
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
3,85 A; 35V	1,61		
3,85 A; 36,4V	/		
3,75 A; 35V	/		
5,2 A; 40V	1,61		
5,2 A; 41V	/		
4,9 A; 40V	/		
10,1A; 57,7V	1,61		
9,9A; 57,7V	/		
<b>46 Nesimetrija</b>			
IED funkcija: MNSPTOC:1			
Nastavitev: I2>=0,05xIB1, Inv. Curve A, tmin=6s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/19B	IL2/21B	IL3/23B
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
I2 = 3,81A	6,0		
I2 = 2,00A	18,2		
<b>59N Statorska zemeljskostična backup zaščita</b>			
IED funkcija: ROVPTOV:1			
Nastavitev: 17%UBR1; 1,5s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
napetost / sponke PV	UL1 / 4B	UL2 / 5B	UL3 / 6B
izklopilni časi			
vzbujanje (V)	t(s)		
U0 = 14,5%	/		
U0 = 18,3%	1,50		

<b>TERMINAL TB</b>						
IB1=182A; IB2=577A; UB1=6,3kV; UBR1=3.642kV; UBR2=3.642kV						
Izklopi sponke:	Izklop odklopnika			-D13.101.131: 8B		
	HZ2			-D13.101.131: 9B		
	Izklop vzbujanja			-D13.101.131: 10B		
	Odpoved odklopnika			-D13.101.131: 11B		
<b>87T Diferenčna zaščita bloka</b>						
IED funkcija: TR2PTDF:1						
Nastavitev: 0,2xIB			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov		20kV stran			zvezdišče generatorja	
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/14B	IL3/15B	IL1/17B	IL2/18B	IL3/19B
pritegne / spusti (A)	0,91/0,85	0,91/0,85	0,91/0,85	1,67/1,55	1,67/1,55	1,67/1,55
izklopilni časi						
vzbujanje (A)	t(s)	t(s)	t(s)	t(s)	t(s)	t(s)
1,0	0,04	0,04	0,04	-	-	-
1,7	-	-	-	0,04	0,04	0,04
<b>59N Statorska 95% zemeljskostična zaščita</b>						
IED funkcija: ROVPTOV:1						
Nastavitev: 5%UBR1; 0,3s			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov						
napetost / sponke PV	UN / 2B, 3B					
pritegne / spusti (V)	5,1/4,3					
izklopilni časi						
vzbujanje	t(s)					
Un = 5,5V	0,31					
<b>59N Statorska 3U0 zemeljskostična zaščita</b>						
IED funkcija: ROVPTOV:2						
Nastavitev: 10%UBR2; 0,5s			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov						
napetost / sponke PV	U <sub>3U0</sub> / 4B, 5B					
pritegne / spusti (V)	10,1/9,3					
izklopilni časi						
vzbujanje	t(s)					
Un = 10,5V	0,50					
<b>51 Pretokovna zaščita 6kV</b>						
IED funkcija: PHHPTOC:2						
Nastavitev: 0,96xIB2; 3,0s			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov						
tok / sponke PV	IL1/17B		IL2/18B		IL3/19B	
pritegne/spusti (A)	4,7/4,4		4,7/4,4		4,7/4,4	
izklopilni časi						
vzbujanje	t(s)					
4,9 A	3,0		3,0		3,0	
<b>51 Pretokovna zaščita 20kV</b>						
IED funkcija: PHLPTOC:1						
Nastavitev: 1,10xIB1; 3,0s			Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzbujanja, signalizacija			
Rezultati preizkusov						
tok / sponke PV	IL1/13B		IL2/14B		IL3/15B	
pritegne/spusti (A)	5,1/4,8		5,1/4,8		5,0/4,8	
izklopilni časi						
vzbujanje	t(s)					
5,2 A	3,0		3,0		3,0	

<b>50 Kratkostična zaščita</b>			
IED funkcija: PHHPTOC:1			
Nastavitev: 2,86xIB1; 0,1s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzburjanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/14B	IL3/15B
pritegne (A)	13,0	13,0	13,0
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
13,5A	0,11	0,11	0,11
<b>46 Nesimetrija</b>			
IED funkcija: MNSPTOC:1			
Nastavitev: I2>=0,05xIB1, Inv. Curve A, tmin=6s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzburjanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
tok / sponke PV	IL1/13B	IL2/14B	IL3/15B
izklopilni časi			
vzbujanje	t(s)		
I2 = 4,55A	6,0		
I2 = 2,00A	25,8		
<b>59:1 Prenapetostna zaščita 1.st.</b>			
IED funkcija: PHPTOV:1			
Nastavitev: 1,2xUB1; 1,5s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzburjanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
napetost / sponke PV	UL12 / 6B, 7B		
pritegne / spusti (V)	120,0 / 114,6		
izklopilni časi			
vzbujanje (V)	t(s)		
121	1,51		
<b>59:2 Prenapetostna zaščita 2.st.</b>			
IED funkcija: PHPTOV:2			
Nastavitev: 1,3xUB1; 0,05s		Delovanje: Izklop odklopnika, HZ2, Izklop vzburjanja, signalizacija	
Rezultati preizkusov			
napetost / sponke PV	UL12 / 6B, 7B		
pritegne (V)	129,9		
izklopilni časi			
vzbujanje (V)	t(s)		
131	0,06		



## 2.2 Kontrola signalizacije

Ime signala	
Zadlaščica - Agr.1 diferenčna zaščita bloka, generatorja	✓
Zadlaščica - Agr.1 pretokovna, pretokovna-podnapetostna zaščita	✓
Zadlaščica - Agr.1 zaščita pred odpovedjo odklopnika	
Zadlaščica - Agr.1 statorska 95%	✓
Zadlaščica - Agr.1 zaščita pred povratno močjo	✓
Zadlaščica - Agr.1 prenapetostna 1. stopnja, 2. stopnja	✓
Zadlaščica - Agr.1 zaščita pred nesimetrijo	✓
Zadlaščica - Agr.1 podimpedančna, kratkostična zaščita	✓
Zadlaščica - Agr.1 zaščita pred izpadom vzbujanja, izpadom iz sinhronizma	✓
Zadlaščica - Agr.1 izpad vzbujanja	✓
Zadlaščica - Agr.1 izpad iz sinhronizma	✓
Zadlaščica - Agr.1 kratkostična zaščita	✓
Zadlaščica - Agr.1 podimpedančna zaščita	✓
Zadlaščica - Agr.1 okvara zaščitnega terminala TA	✓
Zadlaščica - Agr.1 okvara zaščitnega terminala TB	✓

## 2.3 Preizkus delovanja zaščite v živo

Preizkus delovanja zaščite v živo je bil izveden z aktivacijo diferenčne zaščite generatorja. Pri obratujočem generatorju se je premostilo meritve TMT na sponkah -X1:11-17. Aktivirala se je diferenčna zaščita generatorja in povzročila izklop generatorskega odklopnika, vzbujanja in aktivacijo HZ2.