



B&B
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Elektroenergetika
Modul: Elektroenergetska učinkovitost in električne
instalacije

ZAMENJAVA GENERATORSKIH ZAŠČIT IN ZAŠČITE LOČILNEGA MESTA V MHE HUBELJ

Mentor: mag. Jože Kragelj, univ. dipl. inž. el.

Kandidat: Andrej Kete

Somentor: mag. Miha Leban, univ. dipl. inž. el.

Lektor/ica: Irena Šinkovec, učiteljica slovenskega jezika in književnosti

Ajdovščina, april 2024

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorjem, in sicer Jožetu Kraglju, Antonu Majcnu, Francu Prepeluhu, Georgiu Zlatarevu iz višje strokovne šole B&B in Mihi Lebanu iz družbe Soške elektrarne Nova Gorica d. o. o., za sodelovanje pri projektu in za strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi družbi Soške elektrarne Nova Gorica d. o. o. za ponujeno možnost in izvedbo študija.

Zahvaljujem se tudi lektorici Ireni Šinkovec, učiteljici slovenskega jezika in književnosti, ki je diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

IZJAVA

Študent Andrej Kete 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 avtorskih in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomskem delu sem opisal izvedbo zamenjave generatorskih zaščit in zaščito ločilnega mesta ob rekonstrukciji male hidroelektrarne Hubelj. Delo vsebuje njeno zgradbo in sestavo ter potek del zamenjave zaščit, kar zajema pregled projektne dokumentacije, montažo nove zaščite, pregled in izračun zaščitnih funkcij ter izvedbo funkcionalnih preizkusov.

Obstoječe zaščite generatorja 1 in 2 so bile izvedene z zaščitnimi releji, tipa ABB SPAG 331C. Ker se je izvajala kompletna rekonstrukcija mHE Hubelj, vključno z menjavami primarne opreme, in ker so zaščitni releji že stari, poleg tega tudi obstoječa zaščita ne dosega nivoja ščitenja, kot se danes pričakuje za generatorje takšnih moči, je bila predvidena njihova menjava. S tem smo pridobili tudi nove zaščitne funkcije in dodatne funkcionalnosti ter možnost daljinskega nadzora in konfiguracij IED.

Obstoječa zaščita odcepa je bila izvedena z zaščitnim relejem MS UM30-A. V sklopu rekonstrukcije mHE Hubelj so bila pridobljena nova soglasja za priključitev, ki podajajo nove zahteve glede zaščite ločilnega mesta. Ker zahtev z obstoječo zaščito ločilnega mesta ni mogoče izpolniti, je bila potrebna tudi menjava zaščite ločilnega mesta.

Vse elektrostatične zaščitne releje posameznega generatorja in ločilnega mesta smo odstranili in nadomestili z zaščitnimi terminali, tipa ABB REG615.

KLJUČNE BESEDE

- mala hidroelektrarna
- rekonstrukcija
- električna zaščita
- elektrostatični releji
- numerični releji (IED)

ABSTRACT

In my thesis I described the replacement of the generator protection and loss of mains protection during the reconstruction of the Hubelj small hydropower plant. The work describes the structure and composition of the Hubelj small hydropower plant and the process of the protection replacement. This includes the review of the project documentation, the installation of the new protection, the review and calculation of the protection functions, and the performance of functional tests.

The existing protections of the generators 1 and 2 was realised with ABB SPAG 331C protective relays. Since the small hydro power plant Hubelj is being completely rebuilt, the primary equipment will be replaced. Furthermore, because the protection relays are old, and the existing protection does not achieve a sufficient level of protection expected for generators of this capacity nowadays it is also planned to replace them. This will provide new protection functions and additional functionalities, as well as the possibility of remote control and configurations of the IEDs.

The existing protection of the loss of mains protection was implemented with the MS UM30-A protection relay. As part of the reconstruction of the small hydro power plant Hubelj, a new connection permit were obtained, which provided new requirements for the protection of the disconnection point. The existing loss of mains protection did not meet the requirements, so it was necessary to implement a loss of mains protection as well.

All electrostatic protection relays of the individual generator and of mains protection will be removed and replaced with ABB REG615 protection terminals.

KEYWORDS

- small hydro power plant
- reconstruction
- numerical relay
- protection relay
- loss of mains protection

KAZALO

1	UVOD	1
2	SOŠKE ELEKTRARNE NOVA GORICA D. O. O. IN MALA HIDROELEKTRARNA HUBELJ	2
2.1	Elektrarne družbe Soške elektrarne Nova Gorica d. o. o.....	2
2.2	Mala hidroelektrarna Hubelj	3
2.3	Tehnični Opis Elektrarne.....	6
2.3.1	Turbinska oprema	6
2.3.2	Generatorja	8
2.3.3	Strojna oprema	9
2.3.4	Elektro oprema.....	10
3	ZAŠČITA MHE HUBELJ	15
3.1	Opis stanja zaščite pred obnovo	15
3.2	Stanje zaščite po obnovi	16
4	IZRAČUN NASTAVITEV ZAŠČITNIH FUNKCIJ.....	19
4.1	Generator 1.....	19
4.2	Generator 2.....	26
4.3	Zaščita ločilnega mesta	32
4.4	Otočno obratovanje.....	35
5	IZVEDBA PRIMARNIH IN FUNKCIONALNIH PREIZKUSOV	37
5.1	Program spuščanja v pogon – zaščita generatorja 1.....	37
5.2	Program spuščanja v pogon – zaščita ločilnega mesta	46
6	FUNKCIONALNI PREIZKUSI ZAŠČIT	51
6.1	Preizkus generatorskih zaščit	51
6.2	Preizkus zaščite ločilnega mesta	51
7	NADZOR ZAŠČITNIH TERMINALOV	52
8	ZAKLJUČEK	54
9	LITERATURA IN VIRI	55
10	PRILOGE	56

KAZALO SLIK

Slika 1: MHE Hubelj	4
Slika 2: Enopolna shema mHE Hubelj	5
Slika 3: Gonilnik turbine mHE Hubelj	7
Slika 4: Star in nov generator mHE Hubelj	9
Slika 5: Zaščitni rele, tipa ABB SPAG 331C	15
Slika 6: Zaščitni rele, tipa MS UM30-A	16
Slika 7: Zaščitni rele, tipa ABB REG615	17
Slika 8: Karakteristika zaščitne funkcije	22
Slika 9: Karakteristika delovanja zaščite pri podvzbujanju	23
Slika 10: Karakteristika zaščitne funkcije	29
Slika 11: Karakteristika delovanja zaščite pri podvzbujanju	29
Slika 12: Preizkus zaščit s preizkusno napravo OMICRON, CMC 356	37
Slika 13: Prikaz hierarhije nadzornega sistema SDM600	52
Slika 14: Nadzorna aplikacija zaščitnih terminalov	53
Slika 15: Posnetek delovanja zaščite ločilnega mesta pri podnapetostni zaščiti	53

KAZALO TABEL

Tabela 1: Osnovni podatki elektrarne	4
Tabela 2: Tehnični podatki turbine 1	6
Tabela 3: Tehnični podatki turbine 2	6
Tabela 4: Tehnični podatki generatorjev	8
Tabela 5: Nazivne generatorske veličine vzbujanja	10
Tabela 6: Tehnične karakteristike generatorskih stikal	11
Tabela 7: Tehnični podatki bloka TR1	13
Tabela 8: Tehnični podatki bloka TR2	13
Tabela 9: Tehnični podatki transformatorja LR	14
Tabela 10: Prikaz LED-signalov na generatorskih zaščitnih relejih	18
Tabela 11: Prikaz led signalov na zaščitnem releju ločilnega mesta	18
Tabela 12: Izhodiščni podatki za izračun kratkostičnih razmer	19
Tabela 13: Izhodiščni podatki za izračun kratkostičnih razmer	26
Tabela 14: Nastavitve napetostno–frekvenčnih zaščit	34
Tabela 15: Zahteve za zemeljskostično zaščito	34
Tabela 16: Program spuščanja v pogon generator 1 in generator 2	46
Tabela 17: Program spuščanja v pogon zaščite ločilnega mesta	50

KRATICE IN AKRONIMI

EES – elektroenergetski sistem
mHE – mala hidroelektrarna
EZ – električna zaščita
NN – nizka napetost
SN – srednja napetost
TR – transformator
LR– lastna raba
PLK – programsko logični krmilnik
TIT – tokovni instrumentni transformator (TMT)
NIT – napetostni instrumentni transformator (NMT)
CV – center vodenja
PCV – protokol konverter
 I_2 – inverzna komponenta toka
 I_d – diferenčni tok
OVE – obnovljivi viri energije
SENG – Soške elektrarne Nova Gorica
HE – hidroelektrarna
IED – Intelligent Electronic Device
DO – distribucijski operater
EM – elektroenergijski modul
LM – ločilno mesto
PPM – prevzemno – prodajno mesto
APV – avtomatski ponovni vklop
SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition
ADSL – (Asymmetric Digital Subscriber Line) je model tehnologije DSL, ki omogoča hitrejše prenašanje podatkov
PLK – programibilni logični krmilnik

SEZNAM SIMBOLOV

\underline{U} - fazor napetosti, enote V
 \underline{I} - fazor toka, enote A
 \underline{Z} - fazor impedance, enote Ω
 \underline{U}_K - kratkostična napetost transformatorja, v %
 \underline{X} - reaktanca, enote Ω
 \underline{S} - navidezna moč, enote: VA, KVA, MVA
 \underline{P} - delovna moč, enote: W, kW, MW
 \underline{Q} - jalova moč, enote: VAR, kVAR, MVAR
 I_2 - inverzna komponenta toka
 ΔI - diferenčni tok (I_{dif})

1 UVOD

Elektrarna na Hublju je bila zgrajena leta 1931. V 85 letih obratovanja so objekti in določena oprema dotrajani in potrebni rekonstrukcije. Poleg časovne dotrajanosti je objekt podvržen obsežnim poškodbam na derivacijskem sistemu (tlačnem cevovodu), ki so v največji meri posledica plazju. Plazenje terena se je v času dogajalo zelo enakomerno in relativno počasi, kar je dopuščalo obdobje rekonstrukcije derivacij in skoraj nemoteno obratovanje elektrarne v njeni dosedanji življenjski dobi.

Po letih 1992-1996 je bila izvedena ponovna njena rekonstrukcija. Njen obseg je bil obravnavan glede na ugotovljeno stanje objektov in opreme ter njihovo potrebo po sanaciji ali zamenjavi.

Del električne opreme je bil obnovljen po sklopih ali je bil zamenjan (nazadnje leta 2011). Preostali del opreme pa je v obratovanju od izgradnje elektrarne. Zanesljivost in izkoristek stare opreme je bistveno slabši v primerjavi z novo opremo.

To je tudi razlog za zamenjavo obeh generatorjev, ki z vzbujalnim sistemom obratujeta že od same izgradnje HE, kar pomeni, da sta bila dimenzionirana za omrežno frekvenco 42 Hz, danes pa obratujeta z omrežno frekvenco 50 Hz.

Prav tako je bilo potrebno zamenjati vso staro električno zaščito.

Poleg tega ni več dosegala nivoja ščitenja, kot se danes pričakuje za tako močne generatorje.

2 SOŠKE ELEKTRARNE NOVA GORICA D. O. O. IN MALA HIDROELEKTRARNA HUBELJ

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 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. Danes poganjajo Soča in njeni pritoki črpalno hidroelektrarno v Avčah, 5 velikih in 23 malih hidroelektrarn.

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

V HE Doblar je bila izvedena rekonstrukcija agregatov in opreme ob zaključku leta 2014, v HE Plave 1 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 (črpalka/turbina 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, to je 600 vrtljajev na minuto (varspeed). To omogoča večje prilagajanje razmeram v EES in razpoložljivi količini vode. Varspeed stroj pa omogoča določeno mero regulacije moči črpanja.

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.

V bližini elektrarne HE Solkan so tudi vzdrževalne delavnice SENG (po novem Operativa SENG). Ekipo sestavljajo strojni in elektro vzdrževalci, ki skrbijo za vse potrebne letne revizije, remonte, obnove ter nadgradnje v velikih in malih hidroelektrarnah SENG, to je v sodelovanju s strokovnimi službami ter zunanjimi izvajalci.

Delavnice so dobro opremljene za strojna in elektro vzdrževalna dela. Tako lahko vzdrževalne službe uspešno izvajajo dela in preizkuse na objektih SENG.

2.2 Mala hidroelektrarna Hubelj

Hidroelektrarna Hubelj pri Ajdovščini izkorišča vodni potencial vodotoka Hubelj. Leži ob vznožju Gore, 1 km iz Ajdovščine. Elektrarna je začela obratovati spomladi 1931 in je bila takrat najzmogljivejša elektrarna na Primorskem. Predstavljala je glavni vir električne energije za področje Ilirske Bistrice, Postojne, Ajdovščine, Idrije in Gorice, prvotno pa je bila namenjena oskrbovanju tekstilne industrije v Ajdovščini.

Voda doteka iz zajetja pri izviru Hublja. Od tu doteka voda po dovodnem kanalu v majhen bazen, nato pa po tlačnem cevovodu do turbin v elektrarni. Ker pretok vodotoka Hubelj ni konstanten v vseh letnih časih, najnižji je v poletnih sušnih mesecih, sta agregata različnih velikosti.

V strojnici sta nameščeni dve Francisovi turbini s horizontalno osjo. Skupna nazivna moč obeh agregatov je 2,5 MW. Leta 1994 in 1995 sta bili turbini iz leta 1931 obnovljeni in delujeta še danes. Leta 2012 je bila izvedena rekonstrukcija in avtomatizacija agregatov; vključevala je s start-stop avtomatiko, to je z nadrejenim turbinskim regulatorjem.

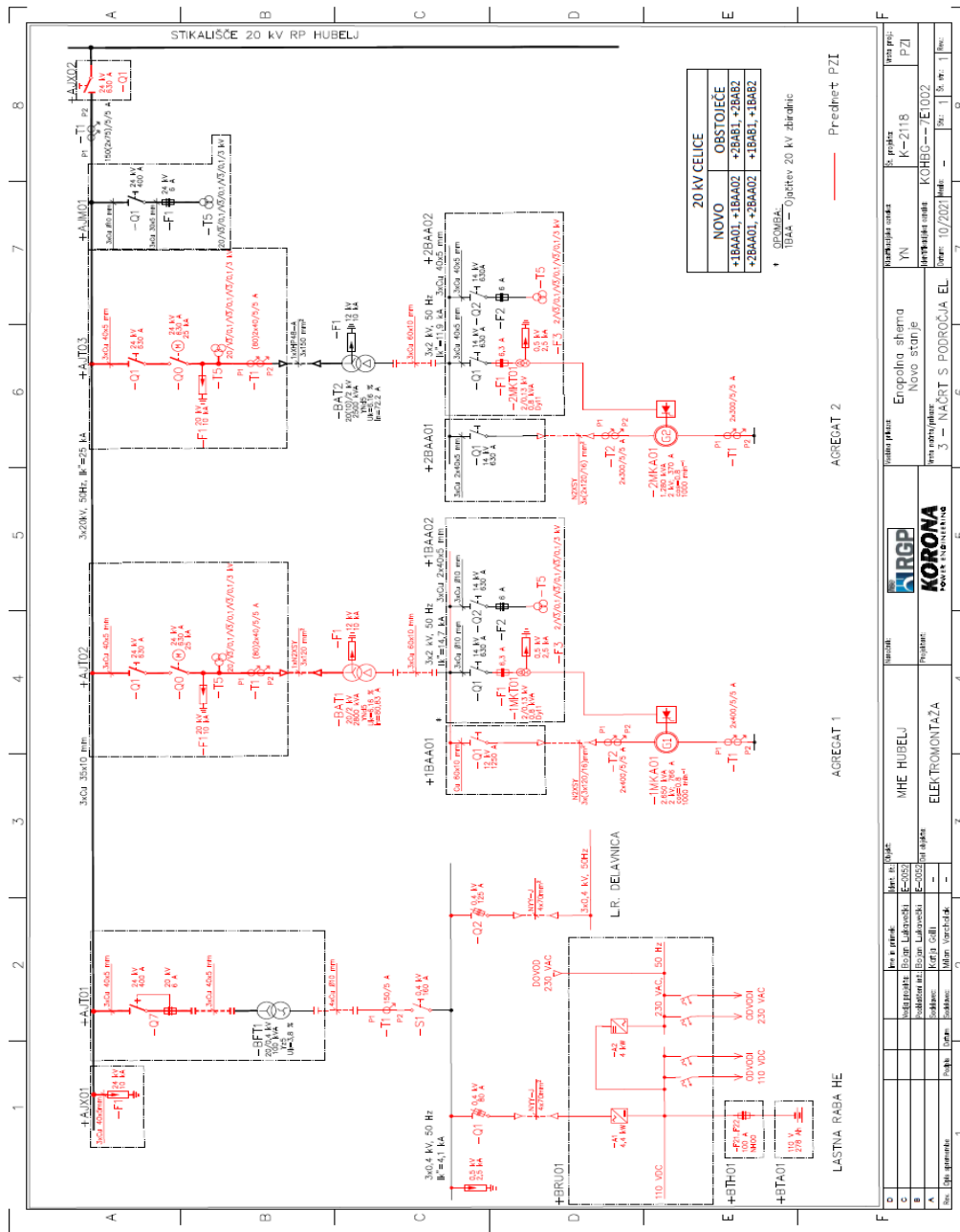
Celotna elektrarna je bila leta 2022 deležna obsežnejše prenove, in sicer obstoječi cevovod se je v celoti zamenjalo z novim, deloma se je spremenila tudi njegova trasa. Obnovil in povečal se je dovodni kanal, vendar ne v celoti. Zamenjana sta bila oba generatorja ter transformator močnejšega agregata. Obnovljena je ostala elektro oprema. Poleg tega se je v strojnici dodatno vgradilo tudi vzporedni ventil na cevovodu, ki zmanjšuje v primeru nenadnih zaustavitev prelivanje vode v prelivni kanal.



Slika 1: mHE Hubelj
(Lastni vir)

Lokacija	Ajdovščina
Vodotok	Hubelj
Obratovalna kota v bazenu	218,9 m n. m.
Padavinsko področje	Nanos, Trnovski gozd
Nazivna moč na pragu HE	2,5 MW
Moč na pragu HE po soglasju za priključitev	2,6 MW
Maksimalni instaliran pretok HE	3,15 m ³ /s
Minimalni pretok HE	0,26 m ³ /s
Srednji letni pretok Qs	3,15 m ³ /s
Ekološko sprejemljivi pretok Qes	0,12 m ³ /s
Neto padec	Agregat 1: 104,8 m
	Agregat 2: 107,9 m
	Agregat 1 + 2: 100,3 m

Tabela 1: Osnovni podatki elektrarne
(Lastni vir)



Slika 2: Enopolna shema mHE Hubelj (SENG, 2022)

Opomba: rdeče obarvani deli enopolne sheme so bili predmet rekonstrukcije.

2.3 Tehnični Opis Elektrarne

2.3.1 Turbinska oprema

V mHE Hubelj sta vgrajeni dve Francisovi turbini, različnih velikosti, s horizontalno gredjo.

Turbina 1	
Proizvajalec	RIVA Milano
Letnik	1931
Leto obnove	1994, 2022
Mehanska moč	1900 kW
Tip	TF 0,53/139
Nazivni padec	104.8 m
Nazivni pretok	2,25 m ³ /s
Minimalni pretok Qmin (Pgmin)	0,62 m ³ /s
Nazivni obrati	1000 min ⁻¹
Ubežni vrtljaji	1656 min ⁻¹

*Tabela 2: Tehnični podatki turbine 1
(Lastni vir)*

Turbina 2	
Proizvajalec	RIVA Milano
Letnik	1931
Leto obnove	1995, 2022
Mehanska moč	900 kW
Tip	TF 0,4-16,6
Nazivni padec	107,9 m
Nazivni pretok	1,17 m ³ /s
Minimalni pretok Qmin (Pgmin)	0,26 m ³ /s
Nazivni obrati	1000 min ⁻¹
Ubežni vrtljaji	1656 min ⁻¹

*Tabela 3: Tehnični podatki turbine 2
(Lastni vir)*



Slika 3: Gonilnik turbine mHE Hubelj
(Lastni vir)

V strojnici sta montirani dve Francis-spiralni turbini s horizontalno osjo, na kateri je vztrajnik, ki vzdržuje konstantno število vrtljajev v primeru spreminjanja obremenitve pri otočnem obratovanju. Turbini sta v celoti montirani na betonske temelje. Os turbine in rotor generatorja podpirajo trije drsni ležaji, in sicer en turbinski ter dva generatorska ležaja. Pred vtokom v spiralo so še razbremenilni ventil, obtočni ventil in pred turbinski krogelni zasun. Iz tlačnega cevovoda prihaja voda preko spirale turbine na vodilne lopaticice, in sicer s tlakom cca. 11 bar.

Vodilnik turbine ima 12 lopatic, zunaj povezanih med seboj s posebnimi ojnici, tako da tvorijo celotno verigo. Tako dosežemo istočasno enakomerno odpiranje in zapiranje vseh vodilnih lopatic. Vodilni lopatici št. 2 in 6 imata podaljšani ročici, na kateri sta vezana droga za upravljanje. Preko vzvoda deluje nanju servomotor vodilnika turbine.

Gonilnik turbine je iz nerjavečega jekla in je enostransko vpet. Gonilnik turbine 1 ima 13 lopatic, turbine 2 pa 15 lopatic.

Razlika med turbino 1 in 2 je v izvedbi krmilnega servomotorja vodilnika turbine. Turbini 1 in 2 paralelno obratujeta z maksimalno močjo 2500 kW nap ragu HE pri padcu 101,3 m.

2.3.2 Generatorja

Ob rekonstrukciji sta bila stara generatorja zamenjana z novima, to je s trifaznima sinhronima generatorjema, proizvajalca AEM iz Nemčije. Posamezen generator je izdelan v izvedbi brez ščetk, z dograjenim vzbujalnim sistemom za vzbujanje generatorjev v brezkontaktni tehniki in z digitalnim napetostnim regulatorjem. Statorsko navitje je izdelano iz elektrolitskega bakra in izolirano s termostabilnimi materiali, klasificirani v razred F. Za kontrolo segrevanja so v generator vgrajene Pt 100 uporabne temperaturne sonde. Generator je opremljen z drsnimi ležaji na obeh straneh. Ima podaljšano gred na pogonski strani tako, da je na pogonski strani pritrjen vztrajnik in gonilnik turbine. Hlajenje generatorja 1 in ležajev je vodeno z vodo iz cevovoda HE. Generatorska ležaja sta na obeh straneh drsne izvedbe v oljni kopeli in povezana s hladilnim sistemom. Generatorski priključni kabli (energetski in signalni) potekajo od generatorja po kabelski kineti do SN stikališča in do omar upravljanja.

Generator 1 (star)		Generator 1	
Tip	D 110/6	SFN 630 I6	
Nazivna moč	1900 kVA	2650kVA	
cos φ	0,8	0,8	
Napetost	2kV	2 kV	
Frekvenca	50Hz	50 Hz	
Hitrost vrtenja	1000 min ⁻¹	1000 min ⁻¹	
Število polov	6	6	
Nazivni tok	550 A	765 A	
Hladilni sistem	Zračno hlajen	Vodno hlajen	
Generator 2 (star)		Generator 2	
Tip	Wr 56 D	SFH 560 S6	
Nazivna moč	950 kVA	1280 kVA	
cos φ	0,8	0,8	
Napetost	2kV	2 kV	
Frekvenca	50 Hz	50Hz	
Hitrost vrtenja	1000 min ⁻¹	1000 min ⁻¹	
Število polov	6	6	
Nazivni tok	274 A	274 A	
Hladilni sistem	Zračno hlajen	Zračno hlajen	

Tabela 4: Tehnični podatki generatorjev
(Lastni vir)



Slika 4: Star in nov generator mHE Hubelj
(Lastni vir)

2.3.3 Strojna oprema

Razbremenilni ventil

Razbremenilna ventila, ki se nahajata med krogelnim zasunom in spiralo turbine, delujeta v primeru nenadnega izpada agregata in razbremenita cevovod pred previsokim tlakom.

Krogelni zasun

Pred vsako turbino je montiran krogelni zasun, ki je med obratovanjem odprt, ter se po obratovanju zapre, in sicer preko uteži. Odpira se po izenačitvi vodnega tlaka med ventilom in turbino s pomočjo hidravličnega cilindra (oljni tlak -HPU).

Ventil vzporednega izpusta

Ventil za vzporedni izpust skrbi za preprečevanje prelivanja vode iz zgornjega bazena v prelivni kanal in omogoča praznjenje bazena preko tlačnega cevovoda. Priklučen je na zadnji odcep razdelilnega kosa tlačnega cevovoda. Nameščen je v strojnici nad talno ploščo, iztočna cev je potopljena v spodnji vodi iztočnega kanala. Ventil je hidravlično krmiljen. Pred ventilom je servisni ventil DN 800, PN16.

Naprave za hladilno vodo

Za hlajenje mazalnega olja ležajev je izveden v strojnici sistem hladilne vode ob napravah. Hladilno vodo odvzamemo iz tlačnega cevovoda (odcep na baypassu) in jo vodimo skozi vzporedno postavljena filtra. Filter očistimo, tako da zapremo ventila na vstopu in izstopu iz filtra, nato odpremo pokrov. Mrežo iz filtra otresemo v za to

pripravljeno posodo za odpadke ter izpustimo umazano vodo. Ko je mreža očiščena, jo postavimo v filter in zapremo pokrov, nato odpremo oba ventila. Napajalna sistema sta medsebojno povezana. Pri obeh agregatih hladimo turbinski ležaj in oba generatorska ležaja. Pri agregatu 1 je dodatno izveden hladilni sistem hlajenja generatorja.

2.3.4 Elektro oprema

Vzbujalni sistem

Vzbujalni sistem v mHE Hubelj je sestavljen iz rotirajočega usmernika in regulatorja napetosti. Napaja se iz 2kV zbiralk preko transformatorja. Srednje napetostni transformator je nameščen v celici 1BAB2 za generator 1 ter 2BAB2 za generator 2, ki se nahajata v stikališču, druga oprema je v omari 1E (2E), v komandnem prostoru. Regulator napetosti, sestavni del vzbujalnega sistema, in regulira generatorsko napetost v mejah $\pm 10\%$ od nazivne napetosti generatorja (2 kV). Na podlagi meritev generatorske napetosti in tokov skrbi regulator za stabilno delovanje generatorja v praznem teku in pri obratovanju, in sicer na mreži.

Tu lahko izbiramo med tremi režimi delovanja, in sicer po:

- SONDSEE karakteristiki jalove moči J-S1;
- regulaciji jalove moči in
- regulaciji $\text{tg } \varphi$.

Režima regulacija jalove moči in $\text{tg } \varphi$ se uporabljata samo izjemoma pri testiranjih in na izrecno zahtevo systemskega operaterja.

Osnovni tehnični podatki	Generator 1	Generator 2
Vzbujalna nazivna napetost	48,3 V	81 V
Vzbujalni nazivni tok	5,1 A	3,7A

*Tabela 5: Nazivne generatorske veličine vzbujanja
(Lastni vir)*

Želena vrednost napetosti generatorja v praznem teku oziroma referenco izbranega regulatorja, ko je generator sinhroniziran z mrežo, nastavimo s tipkami VIŠJE/NIŽJE. Instrumenti na omari prikazujejo trenutne vrednosti napetosti vzbujanja in napetost generatorja, izraženo v odstotkih. Upravljanje z vzbujalnim sistemom in regulatorjem napetosti je izvedeno tudi daljinsko iz omare 1CNA01 za generator 1 in 2CNA01 za generator 2, ročno in avtomatsko.

Lastna raba 0,4 kV

Lastna raba elektrarne se napaja iz zbiralk 20 kV preko transformatorja 20/0, 4 kV, in sicer v celici +AJT01. Omara lastne rabe se nahaja poleg številne omare. Iz lastne rabe elektrarne se napajata tudi bazen in zajetje.

Generatorski stikali

Nova vgrajena generatorska odklopnika sta vakumske izvedbe, proizvajalca ABB, tip: VD4. Odklopnika sta sposobna odklapljanja generatorja v primeru preobremenitev in kratkih stikov. Ti imajo vgrajen podnapetostni sprožilnik. V primeru izpada krmilne napetosti so sposobni odklopiti generator brez zunanje energije. Na sprednji strani je vsak odklopnik opremljen s tipko za vklop in izklop ter s prikazom položaja odklopnika in stanja vzmeti.

Proizvajalec	ABB
Tip	VD 4 24.06.25
Napetost	24 kV
Nazivni tok	630 A
Kratkotrajni zdržni tok	25 kA
Trajanje kratkega stika	3 s

*Tabela 6: Tehnične karakteristike generatorskih stikal
(Lastni vir)*

Sistem vodenja elektrarne

Sistem vodenja elektrarne je sestavljen iz petih podsistemov:

- sistem vodenja agregata 1,
- sistem vodenja agregata 2,
- sistem skupinskega upravljanja,
- sistem upravljanja vtočne zapornice,
- sistem upravljanja zapornice na bazenu.

Posamezen sistem vodenja agregata je izveden z digitalnim krmilnikom S7-300 in je namenjen upravljanju Francisovega turbinskega agregata. V sklopu sistema so turbinski regulator, sekvenčni avtomat in operatorski panel TP1200. PLK je povezan po mreži (Ethernet) z operatorskim panelom, PLK-jem skupnih sistemov, PLK-jem vtočne zapornice in PLK-jem zapornice na bazenu in PCV-koncentratorjem za daljinski nadzor. PLK je s procesom povezan preko digitalnih in analognih vhodnih in izhodnih modulov. Na PLK so, med drugim, priključeni merilni pretvorniki električnih veličin, dajalniki pozicije vodilnika, dajalnik tlaka hidravličnega olja in dajalnik vodnega tlaka v spirali.

Turbinski regulator opravlja regulacijo vrtilne hitrosti v prostem teku, moči in nivoja v paralelnem obratovanju ter frekvence v otočnem obratovanju.

Start-stop avtomat izvaja avtomatski zagon in zaustavitev agregata po ustrezni sekvenci.

Zagon oziroma zaustavitev agregata se izvede na omari + CNA01, in sicer s pritiskom tipke START (-S13) oziroma STOP (-S14). Urgentno se zaustavi s tipko URGENTNA ZAUSTAVITEV (-S1). V avtomatu so zajete vse potrebne zaščite, ki preprečujejo nepravilna stanja, ki bi ogrožala varnost delovanja agregata.

Operaterski panel je namenjen lokalnemu nadziranju funkcij agregata, izbiri načina obratovanja, nastavljanju referenc in parametrov regulatorja. Na operaterskem panelu se kronološko beležijo dogodki in napake (alarmi) agregata.

Zbiralke In stikališče 20 kV

Generatorja oddajata svojo energijo preko blok transformatorjev 2/20 kV na zbiralke 20 kV.

20 kV stikališče obsega 6 celic:

- celica AJX01, v njej se nahajajo prenapetostni odvodniki;
- celica AJT01 transformatorja, lastne rabe 20/0,4 kV 100 kVA, je opremljena z odklopnim ločilnikom in varovalkami;
- celica AJT02, blok transformatorja 1, je opremljena z ločilnikom, odklopnikom, prenapetostnimi odvodniki, napetostnimi in tokovnimi instrumentnimi transformatorji;
- celica AJT03, blok transformatorja 2, je opremljena z ločilnikom, odklopnikom, prenapetostnimi odvodniki, napetostnimi in tokovnimi instrumentnimi transformatorji;
- merilna celica AJM01 je opremljena z napetostnimi instrumentnimi transformatorji, ločilnikom in varovalkami;
- celica AJX02 je opremljena z ločilnikom in služi za vzdolžno ločitev 20 kV stikališča elektrarne z 20 kV stikališčem RP-Hubelj.

Blok transformatorja

Ob rekonstrukciji novih generatorjev, večjih moči, se je novi blok, transformator, vgradil v generator 1. Obstoječi blok, transformator generatorja 1, pa se je vgradil v generator 2. Proizvedena energija posameznega generatorja se iz generatorskega napetostnega nivoja 2 kV preko blok transformatorja transformira na napetostni nivo omrežja 20 kV. V blok transformatorja sta vgrajena, vsak v svojem transformatorskem boks, in se nahajata v stikališču objekta. Povezave na 2 kV in 20 kV strani so izvedene z bakrenimi zbiralnicami. Pod vsakim transformatorjem je oljni lovilec, ki je povezan v skupno oljno jamo, nameščeno od objekta, to je ob dovozni poti.

Blok TR-agregata 1 – 2/20 kV	
Proizvajalec	GBE Italija
Moč	2800 kVA
Napetost	20±2×2,5%/2 kV
Vezava	YNd5
Kratkostična napetost	6,36 %
Frekvenca	50 Hz
Hlajenje	ONAN
Leto izdelave	2022

Tabela 7: Tehnični podatki bloka TR1
(Lastni vir)

Blok TR-agregata 2 - 2/20 kV	
Proizvajalec	ENERGOINVEST Ljubljana
Moč	2500 kV A
Napetost	20 (10)/2 kV
Vezava	YNd5
Kratkostična napetost	6,16 %
Frekvenca	50
Hlajenje	ONAN
Leto izdelave	1993

Tabela 8: Tehnični podatki bloka TR2
(Lastni vir)

Oprema za lastno rabo

Porabnike 0,4 kV za lastno rabo objekta napaja oljni transformator, nameščen v 20 kV stikališču.

Transformator je opremljen z odcepnim stikalom, s katerim lahko spreminjamo napetost primarja, in sicer v razponu 20±2×2,5 % kV. Zaščita transformatorja je izvedena z odklopnim ločilnikom in varovalkami. Ob delovanju udarne varovalke igle se izvede tripolni izklop z odklopnim ločilnikom.

Transformator za lastno rabo – 20/0,4 kV	
Proizvajalec	ENERGOINVEST Ljubljana
Moč	100 kVA
Napetost	20/0,4 kV
Vezava	Yzn5
Kratkostična napetost	3,81 %
Primarni tok	2,88 A
Sekundarni tok	144,3 A
Frekvenca	50
Hlajenje	ONAN
Leto izdelave	1993

Tabela 9: Tehnični podatki transformatorja LR
(Lastni vir)

Daljinski nadzor

HE Hubelj je lokalno avtomatizirana in daljinsko nadzorovana mala hidroelektrarna. Daljinski nadzor in video nadzor se izvajata iz CV SENG Nova Gorica. V mHE Hubelj je za potrebe daljinskega vodenja instaliran koncentrador PCV-Hubelj opremljen MOXA UC8420. Preko ADSL povezave posreduje vse podatke iz podrejenih postaj v PCV- center, nato v CV SENG, to je po protokolu IEC 60870-5-104.

Na PCV so priklopljene naprave:

- Siemens S7 agregata, 1 krmilnik z digitalnimi in analognimi vhodi
- Siemens S7 agregata, 2 krmilnika z digitalnimi in analognimi vhodi
- Siemens S7 skupne naprave, krmilnik z digitalnimi in analognimi vhodi

3 ZAŠČITA MHE HUBELJ

3.1 Opis stanja zaščite pred obnovo

Zaščite generatorja 1 in 2 so se nahajale v omarah +1CNA01 in +2CNA01 ter so bile izvedene z zaščitnimi releji tipa ABB SPAG 331C.

SPAG 331C je numerična relejna zaščita, ki se je uporabljala predvsem za generatorje malih in srednje velikih moči ter njihovih pogonov.

Enota za zaščito generatorja se je vgrajevala predvsem v malih hidroelektrarnah, termo elektrarnah in drugih stacioniranih elektrarnah, kjer so generatorji priključeni na omrežje preko blok transformatorja.

Releji so bili primerni za zaščito generatorjev, na katerih so se zahtevale naslednje zaščitne funkcije:

- zaščita pred povratno močjo
- visoka in nizka nastavljena prenapetostna zaščita
- visoka in nizka nastavljena nadtokovna zaščita
- kratkostična zaščita
- zemeljskostična zaščita.

V rele je bil vgrajen sofisticiran sistem nadzora s samodejno diagnozo, ki poveča zanesljivost sistema.



Slika 5: Zaščitni rele, tipa ABB SPAG 331C
(ABB,2023)

Zaščita odcepa se je nahajala v omari +CNP01 in je bila izvedena z zaščitnim relejem MS UM30-A.

MS UM30-A je večnamenski napetostno-frekvenčni rele, ki se je vgrajeval kot element za zaščito odcepa in je nudil naslednje zaščitne funkcije:

- pod / nad napetostno zaščito
- pod / nad frekvenčno zaščito
- zemeljskostično zaščito U0



Slika 6: Zaščitni rele, tipa MS UM30-A
(ABB,2023)

3.2 Stanje zaščite po obnovi

Hydroelektrarna Hubelj je bila v zadnjem letu deležna obsežnejše rekonstrukcije, v tem sklopu je bilo potrebno zamenjati vso električno zaščito, saj je bila stara in ni dosegala nivoja ščitenja, ki se pričakuje za generatorje, takšnih moči.

Vse numerične releje posameznega generatorja smo odstranili in nadomestili z zaščitnim terminalom IED, tipa ABB REG615. Z enakim tipom zaščitnega releja smo zamenjali tudi zaščito ločilnega mesta. Za zaščito tega bi lahko vgradili tudi manj zmogljiv rele, a je z vidika zagotavljanja rezervnih delov bolj racionalno, da tudi zaščito ločilnega mesta izvedemo z enakim relejem kot generatorski zaščiti.

REG615 je namenski zaščitni terminal (IED), ki se uporablja za zaščito generatorjev, manjših moči; je tudi rezervna zaščita za generatorje srednjih moči in distribucijskega omrežja.

Rele je zasnovan kot glavna zaščita za generator in za blok transformator. Spada med moderne numerične zaščitne releje oz. inteligentne zaščitne naprave (Intelligent Electronic device -IED). Delovanje relejev temelji na mikroprocesorski tehnologiji in enotni programski opremi ter lahko izvajajo eno funkcijo ali več. IED so vsestranske naprave. Omogočajo tudi funkcije daljinskega nadzora in vodenja, lokalne avtomatike, meritve, zajem podatkov in vodenje preko sistema SCADA (Supervisory Control And

Data Acquisition). Releji imajo vgrajen samonadzor (watch dog), kar pomeni, da v primeru okvare, javijo napako.



Slika7: Zaščitni rele, tipa ABB REG615
(Lastni vir)

V sklopu generatorske zaščite so vgrajene naslednje zaščitne funkcije:

- trifazna prenapetostna zaščita,
- povratna moč,
- zaščita pred izpadom vzbujanja,
- zaščita pred izpadom iz koraka,
- trifazna pretokovna zaščita,
- trifazna kratkostična zaščita (20 kV strani),
- zaščita pred tokovno nesimetrijo,
- statorska zemeljskostična zaščita.

LED:	Opis
1	Pretokovna
2	Kratkostična
3	Pretokovna - podnapetostna
4	Zemeljskostična
5	Nesimetrija
6	Izpad vzbujanja
7	Izpad iz koraka
8	Povratna moč
9	Prenapetostna
10	Kontrola izklopilnega tokokroga 1
11	Kontrola izklopilnega tokokroga 2

*Tabela 10: Prikaz LED-signalov na generatorskih zaščitnih relejih
(Lastni vir)*

V sklopu ločilnega mesta so vgrajene naslednje zaščitne funkcije:

- trifazna prenapetostna zaščita v dveh stopnjah,
- trifazna podnapetostna zaščita v dveh stopnjah,
- nadfrekvenčna zaščita,
- podfrekvenčna zaščita,
- zemeljskostična zaščita,
- zaščita pred prekomerno delovno močjo v DO (distribucijsko omrežje).

LED:	Opis
1	Prenapetostna 1 st.
2	Prenapetostna 2 st.
3	Podnapetostna 1 st.
4	Podnapetostna 2 st.
5	Nadfrekvenčna
6	Podfrekvenčna
7	Zemeljskostična
8	P> 1. stopnja
9	P> 2. stopnja
10	
11	Otočno obratovanje

*Tabela 11: Prikaz led signalov na zaščitnem releju ločilnega mesta
(Lastni vir)*

4 IZRAČUN NASTAVITEV ZAŠČITNIH FUNKCIJ

4.1 Generator 1

Izračun kratkostičnih razmer:
izhodiščni podatki:

Podatki omrežja	
Sk [MVA]	146
Podatki blok transformatorja	
Sn [MVA]	2,8
U1 [kV]	20
U2 [kV]	2
Uk [%]	6,36
Podatki generator	
Sn [MVA]	2,65
Xd" [%]	9,1
cosφ _n	0,8
Faktor napetosti	1,1

Tabela 12: Izhodiščni podatki za izračun kratkostičnih razmer
(Lastni vir)

Izračun prispevka generatorja ob kratkem stiku na 20 kV oziroma 2 kV zbiralnicah:

Izračun subtranzientne impedance generatorja:

$$Z_{G20kV}'' = X_d'' \frac{U_n^2 [kV^2]}{S_{nG} [MVA]} K_G = 0,091 \frac{20^2 \cdot 10^6}{2,65 \cdot 10^6} \cdot 0,8873 = 12,1836 \Omega$$

$$Z_{G2kV}'' = X_d'' \frac{U_n^2 [kV^2]}{S_{nG} [MVA]} K_G = 0,091 \frac{2^2 \cdot 10^6}{2,65 \cdot 10^6} \cdot 0,8873 = 0,1218 \Omega$$

K_G – Korekcijski faktor

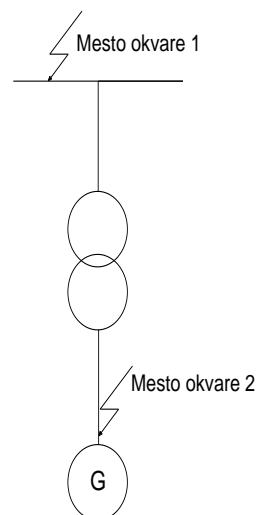
Z_G – Impedanca generatorja

X_d'' – Subtranzientna reaktanca generatorja

$\sin\varphi_n$ – Faktor moči generatorja

Pri čemer je:

$$K_G = \frac{1}{1 + X_d'' \sin\varphi_n} = \frac{1}{1 + 9,1 \cdot \sin 0,8} = 0,8873$$



Izračun impedance blok transformatorja:

Z_T – Impedanca transformatorja

U_n – Nazivna napetost TR

S_{nT} – Nazivna moč TR

k – Faktor napetosti

U_k – Kratkostična napetost TR

Z'' – Skupna impedanca

$$Z_{T_{20kV}} = k \frac{U_n^2 [kV^2]}{S_{nT} [MVA]} u_k = 1,1 \frac{20^2 \cdot 10^6}{2,8 \cdot 10^6} \cdot 0,0636 = 9,9943 \Omega$$

$$Z_{T_{2kV}} = k \frac{U_n^2 [kV^2]}{S_{nT} [MVA]} u_k = 1,1 \frac{2^2 \cdot 10^6}{2,8 \cdot 10^6} \cdot 0,0636 = 0,0999 \Omega$$

Skupna impedanca je enaka seštevku obeh impedanc.

$$Z''_{\Sigma_{20kV}} = Z''_G [\Omega] + Z''_T [\Omega] = 12,1836 + 9,9987 = 22,1778 \Omega$$

$$Z''_{\Sigma_{2kV}} = Z''_g [\Omega] + Z''_T [\Omega] = 0,1218 + 0,0999 = 0,2217 \Omega$$

Kratkostični prispevek generatorja na 3-polni kratek stik se izračuna po enačbi:

(Mesto okvare1)

I'' – Kratkostični prispevek toka

$$I''_{K3F_{20kV}} = k \frac{U_n [kV]}{\sqrt{3} \cdot Z''_{\Sigma} [\Omega]} = 1,1 \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22,1778} = 0,57 \text{ kA}$$

$$I''_{K3F_{2kV}} = k \frac{U_n [kV]}{\sqrt{3} Z''_{\Sigma} [\Omega]} = 1,1 \frac{2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,2217} = 5,7 \text{ kA}$$

Rezultat: 0,57 kA – tok na 20 kV strani, 5,7 kA – tok na 2 kV strani.

To je tok v subtranzientnem času, in sicer brez upoštevanja enosmerne komponente toka.

Izračun prispevka omrežja na generatorju ob kratkem stiku:

(Meso okvare 2)

Z_M – Impedanca omrežja

S_k – Kratkostična moč

Z_{Σ} – Skupna impedanca

Izračun impedance SN-omrežja:

$$Z_M = \frac{U_n^2 [kV]}{S_k [MVA]} k = \frac{20^2 \cdot 10^6}{146 \cdot 10^6} 1,1 = 3,0136 \Omega$$

Skupna impedanca je enaka seštevku impedanc omrežja in transformatorja:

$$Z_\Sigma = Z_M [\Omega] + Z_T [\Omega] = 3,0136 + 9,9943 = 13,0079 \Omega$$

Prispevek omrežja na 2 kV zbiralnicah v primeru tripolnega kratkega stika:

$$I_{K3F} = k \frac{U_n [kV]}{\sqrt{3} Z_\Sigma [\Omega]} = 1,1 \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 13,0079} = 0,976 \text{ kA}$$

Rezultat: 0,976 kA – tok na 20 kV strani

To je tok brez upoštevanja enosmerne komponente toka.

Kratkostična zaščita generatorja 1

Na podlagi že izračunanih vrednosti smo nastavili kratkostično zaščito.

Kratkostično funkcijo smo implementirali na podlagi meritve 20 kV TMT. Tako zaščita zazna tudi kratke stike v blok transformatorju.

Kratkostično zaščito smo nastavili na vrednost toka, ki ga generator ni zmožen oddati v omrežje. S tem zagotovimo, da ne bi prihajalo do neželenih izpadov agregata ob kratkih stikih, ki se v omrežju izključijo z daljnovodnimi in drugimi zaščitami.

Po drugi strani moramo kratkostično zaščito nastaviti pod vrednost kratkostičnega toka, ki naj bi ga prispevalo omrežje, in sicer ob kratkem stiku v generatorju oziroma 2 kV nivoju posameznega agregata.

Iz že izvedenih izračunov izhaja, da je prispevek iz omrežja enak vsaj 0,967 kA, pri čemer pa naj generator nikoli ne bi oddal v omrežje več kot 0,57 kA (tok na 20 kV nivoju).

Kratkostično zaščito smo potemtakem nastavili na vrednost 0,65 kA primarno oziroma 40,6 A sekundarno, z zakasnitvijo 100 ms. Prestava TMT: 80/5 A

$I_{>>}$ – Kratkostični tok

PTT – Prestava TMT

$$I_{>>} = \frac{I_{>>} [A]}{PTT} = \frac{650}{16} = 40,6 \text{ A}$$

Nastavitev:

$I_{>>} = 40,6 \text{ A}$, sekundarno; 0,1 s

Pretokovna zaščita generatorja 1

Nazivni tok generatorja 1 je enak 765 A. Zaščito smo nastavili na vrednost 1,2X, s časovno zakasnitvijo 3 s. To je enako 918 A, primarno, oziroma 5,74 A, sekundarno.

Nastavitev:

I>(2 kV) = 6,22 A; 3 s

Kot redundanco pretokovni zaščiti, ki je izvedena na podlagi 2 kV meritve toka, smo izvedli še pretokovno zaščito na podlagi meritve 20 kV toka, z nekoliko višjo nastavitvijo toka in časa. Zaščito smo nastavili na vrednost $1,3 \cdot I_n$ generatorja, s časovno zakasnitvijo 4 s. To ustreza toku 99,5 A na 20 kV nivoju oziroma 6,22 A, sekundarno.

Nastavitev:

I>(20 kV)=6,22 A; 4 s

Podimpedančna zaščita

Zaščitni rele mHE Hubelj ABB REG615, to je v konfiguraciji D, ne omogoča implementacije podimpedančne funkcije tako, da je ni mogoče izvesti. Ker pa je to edina zaščita, ki ščiti generator v fazi zagona, smo izvedli alternativo, to je pretokovno-podnapetostno zaščito.

Pretokovno-podnapetostna zaščita generatorja 1

Pretokovno-podnapetostno zaščito smo izvedli z naslednjimi nastavitvami:

Start value: 1,3 x in generatorja = 1,24 x in TMT

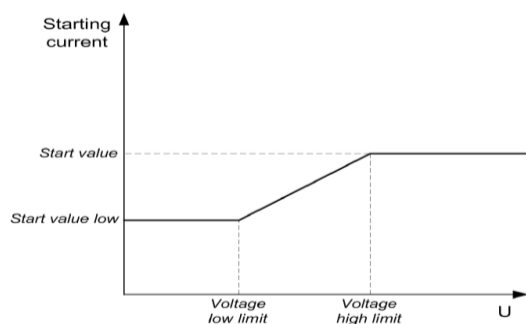
Start value low: 0,1

Voltage low limit: 0,01

Voltage high limit: 0,9

T=3 s

Karakteristika zaščitne funkcije

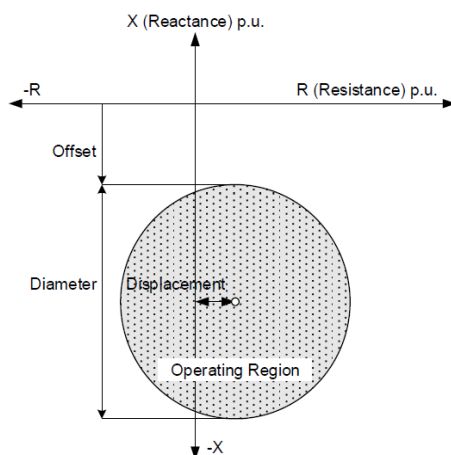


Slika 8: Karakteristika zaščitne funkcije
(SENG, 2022)

S takšnimi nastavitvami je generator ščiten tudi v primeru zagona agregata na kratek stik.

Zaščita pred izpadom vzbujanja

Zaščito pred izpadom vzbujanja smo nastavili v skladu s priporočili, navedenimi v navodilih zaščitnega terminala.



Slika 9: Karakteristika delovanja zaščite pri podvzbujanju (SENG,2022)

Zamik karakteristike (Offset) smo nastavili na priporočeno vrednost, ki je enaka:

$$\frac{-X_d'}{2} = \frac{-17,2\%}{2} = -8,6\%$$

Nastavitev Offset je tako enaka -8,6 %.

Premer karakteristike (Diameter) smo nastavili na priporočeno vrednost, ki naj bi bila enaka sinhronski vzdolžni reaktanci generatorja X_d .

$$X_d = 164\%$$

Nastavitev Diameter je tako 164 %.

Nastavitve v releju REG615 se vnašajo glede na bazno impedanco, pogojeno s prestavo TMT. Nastavitve zaščite pred izpadom vzbujanja pa so vezane na impedanco generatorja.

Potrebno je izvesti preračun:

bazna impedanca, določena s prestavo TMT, je enaka:

$$Z_n = \frac{U_n[V]}{\sqrt{3} \cdot I[A]} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 800} = 1,44 \Omega$$

Impedanca generatorja je:

U_G – Napetost generatorja

S_G – Nazivna moč generatorja

$$Z_G = \frac{U_G^2[kV]}{S_G[MVA]} = \frac{2^2 \cdot 10^6}{2,65 \cdot 10^6} = 1,509 \Omega$$

Po priporočilih se zaščita nastavi tako:

$$Offset = \frac{x'_d}{2} = \frac{-17,2\%}{2} = -8,6\% = -0,086 \times 1,509 \Omega = -0,13 \Omega$$

$$Diameter = X_d = 164\% = 1,64 \times 1,509 \Omega = 2,48 \Omega$$

V funkciji vrednotimo nastavlje glede na bazno impedanco, določeno s prestavo TMT:

$$Offset = \frac{Offset[\Omega]}{Z_n[\Omega]} = \frac{-0,13}{1,44} = -0,090 \Rightarrow -9,0\%$$

$$Diameter = \frac{Diameter[\Omega]}{Z_n[\Omega]} = \frac{2,48}{1,44} = 1,72 \Rightarrow 172\%$$

Časovna zakasnitev funkcije naj bo **2 s**.

Po priporočilih je zaščita nastavljena na:

Offset = -9,0 %

Diameter = 172 %

Časovna zakasnitev funkcije je **2 s**.

Zaščita pred izpadom iz sinhronizma

Zaščito pred izpadom iz sinhronizma smo izvedli s pomočjo funkcije zaščite pred povratno močjo.

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

Funkciji zaščite pred povratno močjo smo nastavili karakteristiko tako, da bo zaznala stanje generatorja, ko se bo ta nahajal hkrati v podvzbujenem in motorskem režimu.

Predlagana nastavitvev: $S=40\%$ (glede na nazivno moč generatorja), -120° , $t = 0,1s$.

Tokovna nesimetrija

Zaščito pred tokovno nesimetrijo smo nastavili tako, da se funkcija vzbudi pri vrednosti 0,05 inverzne komponente I_2 glede na nazivni tok. Delovanju funkcije smo izvedli inverzno karakteristiko, pri čemer je minimalni čas delovanja 6 s.

Statorska zemeljskostična zaščita

Statorska 95 % zaščita je bila na mHE Hubelj pred obnovo izvedena z nastavitvijo 35 % oz. 35 V, sekundarno in z zakasnitvijo 0,5 s.

Razlog za tako visoko nastavitev je bila tudi v visoki in stalno prisotni residualni napetosti, katere vzrok ni bil zemeljski stik.

Z obnovo je bil obnovljen tudi del 2 kV postroja in zamenjani tudi 2 kV napetostni merilni transformatorji tako, da predvidevamo, da se bodo izboljšale razmere glede stalno prisotne residualne napetosti.

Predlagamo nastavitev 10 % oz. 10 V sekundarno s časovno zakasnitvijo 1s. Če bi se še vedno pojavljale residualne napetosti neznanega vzroka, bi bilo potrebno nastavitev ustrezno korigirati.

Prenapetostna zaščita

V sklopu rekonstrukcije mHE Hubelj smo pridobili tudi novo soglasje za priključitev. Posledično je potrebna tudi zamenjava zaščite ločilnega mesta, saj z obstoječo zaščito MS UM30-A ni mogoče izvesti zaščitnih funkcij v skladu z novimi zahtevami SONDSEE, to je za shemo Uf-B.

2. stopnja prenapetostne zaščite mora biti, in sicer v sklopu zaščite ločilnega mesta, nastavljena na vrednost $1,15 \times U_n$, 1. stopnja pa na vrednost $1,11 \times U_n$, pri čemer mora imeti 1. stopnja časovno zakasnitev 2 s.

Sinhronski generator potrebuje neodvisno prenapetostno zaščito tako, da je generator ščiten pred prenapetostmi tudi v fazi zagona. Da dosežemo selektivnost proti zaščiti ločilnega mesta, izvedemo prenapetostno zaščito: 1. stopnjo z nastavitvijo: $1,2 \times U_n$ in časovno zakasnitvijo 2,5 s ter 2. stopnjo z nastavitvijo $1,3 \times U_n$ in časovno zakasnitvijo 0,4 s.

Povratna moč

Zaščito pred povratno močjo nastavimo na vrednost 2 % S_n in časovno zakasnitvijo 5 s.

$$P_{-} = 2\% \cdot S_n [MVA] = 0,02 \cdot 2,65 = 0,053 MVA$$

4.2 Generator 2

Izračun kratkostičnih razmer:

Podatki omrežja	
Sk [MVA]	146
Podatki blok transformatorja	
Sn [MVA]	2,5
U1 [kV]	20
U2 [kV]	2
Uk [%]	6,16
Podatki generator	
Sn [MVA]	1,28
Xd" [%]	9,7
cosφn	0,8
Faktor napetosti	1,1

Tabela 13: Izhodiščni podatki za izračun kratkostičnih razmer
(Lastni vir)

Izračun prispevka generatorja ob kratkem stiku na 20 kV oziroma 2 kV zbiralnicah:

Izračun subtranzientne impedance generatorja:

$$Z_{G20kV}'' = X_d'' \frac{U_n^2 [kV]}{S_{nG} [MVA]} K_G = 0,097 \frac{20^2 \cdot 10^6}{1,28 \cdot 10^6} \cdot 0,8807 = 26,6962 \Omega$$

$$Z_{G2kV}'' = X_d'' \frac{U_n^2 [kV]}{S_{nG} [MVA]} K_G = 0,097 \frac{2^2 \cdot 10^6}{1,28 \cdot 10^6} \cdot 0,8807 = 0,2669 \Omega$$

K_G – Korekcijski faktor

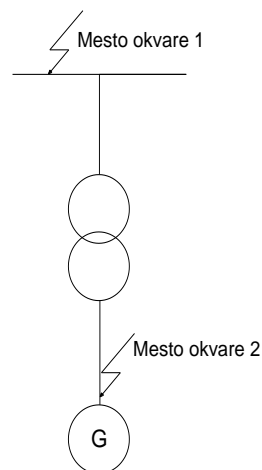
Z_G – Impedanca generatorja

X_d'' – Subtranzientna reaktanca generatorja

$\sin\varphi_n$ – Faktor moči generatorja

Pri čemer je:

$$K_G = \frac{1}{1 + X_d'' \sin\varphi_n} = \frac{1}{1 + 9,7 \cdot \sin 0,8} = 0,8807$$



Izračun impedance blok transformatorja:

$$Z_{T_{20kV}} = k \frac{U_n [kV]}{S_{nT} [MVA]} u_k = 1,1 \frac{20^2 \cdot 10^6}{2,5 \cdot 10^6} \cdot 0,0616 = 10,8416 \Omega$$

$$Z_{T_{2kV}} = k \frac{U_n [kV]}{S_{nT} [MVA]} u_k = 1,1 \frac{2^2 \cdot 10^6}{2,5 \cdot 10^6} \cdot 0,0616 = 0,1084 \Omega$$

Skupna impedanca je enaka seštevku obeh impedanc.

$$Z''_{\Sigma_{20kV}} = Z''_G + Z''_T = 26,6962 + 10,8416 \Omega = 37,5378 \Omega$$

$$Z''_{\Sigma_{2kV}} = Z''_{g[\Omega]} + Z''_{T[\Omega]} = 0,2669 + 0,1084 = 0,3754 \Omega$$

Kratkostični prispevek generatorja na 3-polni kratek stik se izračuna po enačbi:

(Mesto okvare 1)

$$I''_{K3F_{20kV}} = k \frac{U_n [kV]}{\sqrt{3} Z''_{\Sigma} [\Omega]} = 1,1 \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 37,5378} = 0,33 \text{ kA}$$

$$I''_{K3F_{2kV}} = k \frac{U_n [kV]}{\sqrt{3} Z''_{\Sigma} [\Omega]} = 1,1 \frac{2 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,3754} = 3,3 \text{ kA}$$

Rezultat: 0,33 kA – tok na 20 kV strani, 3,3 kA – tok na 2 kV strani.

To je tok v subtranzientnem času, brez upoštevanja enosmerne komponente toka.

Izračun prispevka omrežja na generatorju ob kratkem stiku:

Izračun impedance SN-omrežja:

$$Z_M = \frac{U_n^2 [kV]}{S_k [MVA]} k = \frac{20^2 \cdot 10^6}{146 \cdot 10^6} 1,1 = 3,0136 \Omega$$

Skupna impedanca je enaka seštevku impedanc omrežja in transformatorja.

$$Z_{\Sigma} = Z_M [\Omega] + Z_T [\Omega] = 3,0136 + 10,8416 = 13,8552 \Omega$$

Prispevek omrežja v primeru tri-polnega kratkega stika na 2 kV zbiralnicah:

(Mesto okvare 2)

$$I_{K3F} = k \frac{U_n [kV]}{\sqrt{3} Z_{\Sigma} [\Omega]} = 1,1 \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 13,8552} = 0,917 \text{ kA}$$

Rezultat: 0,917 kA – tok na 20 kV strani

To je tok, ne da bi upoštevali njegove enosmerne komponente.

Kratkostična zaščita generatorja 2

Na podlagi izračunanih vrednosti je mogoče nastaviti kratkostično zaščito. Kratkostično funkcijo bomo implementirali na podlagi meritve 20 kV TMT. Tako zazna zaščita tudi kratke stike v blok transformatorju.

Kratkostično zaščito nastavimo na vrednost toka, ki ga generator ni zmožen oddati v omrežje. S tem zagotovimo, da ne bi prihajalo do neželenih izpadov agregata ob kratkih stikih, ki se izključijo z daljnovodnimi in drugimi zaščitami v omrežju.

Po drugi strani moramo kratkostično zaščito nastaviti pod vrednost kratkostičnega toka, ki naj bi ga prispevalo omrežje ob kratkem stiku v generatorju oziroma 2 kV nivoju posameznega agregata.

Iz izvedenih izračunov izhaja, da je prispevek iz omrežja enak vsaj 0,917 kA, pri čemer pa naj generator nikoli ne bi oddal v omrežje več kot 0,33 kA (tok na 20 kV nivoju). Kratkostično zaščito potemtakem nastavimo na vrednost **0,4 kA, to je** primarno, oziroma 25 A, sekundarno, to je z zakasnitvijo **100 ms**. Prestava TMT: 80/5 A

$$I_{>>} = \frac{I_{>>}}{PTT} = \frac{400}{16} = 25 \text{ A}$$

Nastavitev:

I_{>>} = 25 A, sekundarno; 0,1 s

Pretokovna zaščita generatorja 2

Nazivni tok generatorja 2 je enak 370 A. Zaščito smo nastavili na vrednost 1,2X in s časovno zakasnitvijo 3 s. To je enako 444 A, primarno, oziroma 3,7 A, sekundarno.

Nastavitev:

I_{>(2 kV)} = 3,7A; 3 s

Kot redundanco pretokovni zaščiti, izvedeni na podlagi 2 kV meritve toka, smo izvedli še pretokovno zaščito na podlagi meritve 20 kV toka, to je z nekoliko višjo nastavitvijo toka in časa. Zaščito smo nastavili na vrednost $1,3 \cdot I_n$ generatorja s časovno zakasnitvijo 4 s. To ustreza toku 48,1A na 20 kV nivoju oziroma 6,0 A, sekundarno.

Nastavitev:

I_{>(20 kV)}=6,0 A; 4 s

Podimpedančna zaščita

Zaščitni rele mHE Hubelj, ABB REG615, v konfiguraciji D, ne omogoča implementacije podimpedančne funkcije tako, da te ni mogoče izvesti. Ker pa je to edina zaščita, ki ščiti generator v fazi zagona, smo izvedli kot alternativo pretokovno-podnapetostno zaščito.

Pretokovno-podnapetostna zaščita generatorja 2

Pretokovno-podnapetostno zaščito smo izvedli z naslednjimi nastavitvami:

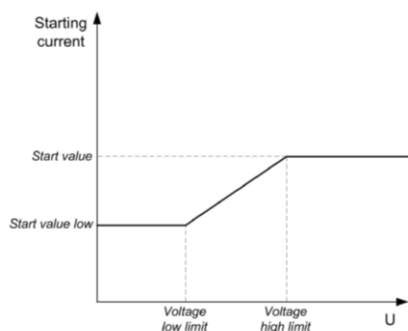
Start value: $1,3 \times$ in generatorja = $0,8 \times$ in TMT

Start value low: 0,1

Voltage low limit: 0,01

Voltage high limit: 0,9

T=3 s

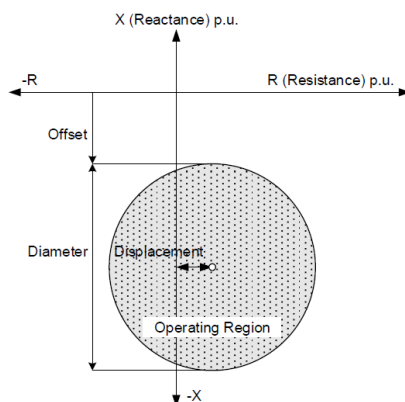


Slika 10: Karakteristika zaščitne funkcije
(SENG,2022)

S takšnimi nastavitvami je generator ščiten tudi v primeru zagona agregata na kratek stik.

Zaščita pred izpadom vzbujanja

Zaščita pred izpadom vzbujanja se nastavi v skladu s priporočili, navedenimi v navodilih zaščitnega terminala. Karakteristika zaščitne funkcije je prikazana na Sliki 11.



Slika 11: Karakteristika delovanja zaščite pri podvzbujanju
(SENG, 2022)

Zamik karakteristike (Offset) smo nastavili na priporočeno vrednost, ki je enaka:

$$\frac{-X_d'}{2} = \frac{-15,5\%}{2} = -7,75\%$$

Nastavitev Offset je tako enaka – 7,75 %.

Premer karakteristike (Diameter) smo nastavili na priporočeno vrednost, ki naj bi bila enaka sinhronski vzdolžni reaktanci generatorja X_d .

$$X_d = 181\%$$

Zamik karakteristike (Offset) smo nastavili na priporočeno vrednost, ki je enaka:

Nastavitev Offset je tako enaka – 7,75 %.

Premer karakteristike (Diameter) smo nastavili na priporočeno vrednost, ki naj bi bila enaka sinhronski vzdolžni reaktanci generatorja X_d .

Nastavitev Diameter je tako 181 %.

Nastavitve v releju REG615 se vnašajo glede na bazno impedanco, pogojeno s prestavo TMT, nastavitve zaščite pred izpadom vzbujanja pa so vezane na impedanco generatorja.

Potrebno je izvesti preračun.

Bazna impedanca, določena s prestavo TMT, je enaka:

$$Z_n = \frac{U_n[V]}{\sqrt{3} \cdot I[A]} = \frac{2000}{\sqrt{3} \cdot 600} = 1,92 \Omega$$

Impedanca generatorja je:

$$Z_G = \frac{U_G^2}{S_G} = \frac{2kV^2}{1,28MVA} = 3,125 \Omega$$

Po priporočilih se zaščita nastavi tako:

$$Offset = \frac{X_d'}{2} = \frac{-15,5\%}{2} = -7,75\% = -0,0775 \times 3,125 \Omega = -0,242 \Omega$$

$$Diameter = X_d = 181\% = 1,81 \times 3,125 \Omega = 5,66 \Omega$$

V funkciji se vrednosti nastavlja glede na bazno impedanco, določeno s prestavo TMT:

$$Offset = \frac{-0,242 \Omega}{1,92 \Omega} = -0,126 \Rightarrow \mathbf{12,6\%}$$

$$\text{Diameter} = \frac{5,66 \Omega}{1,92 \Omega} = 2,94 \Rightarrow \mathbf{294 \%}$$

Časovna zakasnitev funkcije naj bo **2 s**.

Zaščita pred izpadom sinhronizma

Zaščito pred izpadom iz sinhronizma smo izvedli s pomočjo funkcije zaščite pred povratno močjo.

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

Funkciji zaščite pred povratno močjo smo nastavili karakteristiko tako, da bo zaznala stanje generatorja, ko se bo ta nahajal hkrati v podvzbujenem in motorskem režimu.

Predlagana nastavitvev: $S=40 \%$ (glede na nazivno moč generatorja) -120° , $t = 0,1 \text{ s}$.

Tokovna nesimetrija

Zaščito pred tokovno nesimetrijo smo nastavili tako, da se funkcija vzbudi pri vrednosti $0,05$ inverzne komponente I_2 glede na nazivni tok. Delovanje funkcije smo izvedli z inverzno karakteristiko, pri čemer je minimalni čas delovanja 6 s .

Statorska zemeljskostična zaščita

Statorska 95% zaščita je bila na mHE Hubelj pred obnovo izvedena z nastavitvijo 35% oz. 35 V sekundarno in z zakasnitvijo $0,5 \text{ s}$.

Razlog za tako visoko nastavitvev je bila tudi v visoki in stalno prisotni residualni napetosti, katere vzrok ni bil zemeljski stik.

Z obnovo je bil obnovljen tudi del 2 kV postroja in zamenjan tudi 2 kV napetostni merilni transformatorji tako, da predvidevamo, da se bodo razmere, glede stalno prisotne residualne napetosti, izboljšale.

Predlagamo nastavitvev 10% oz. 10 V sekundarno, to je s časovno zakasnitvijo 1 s . Če se bodo še vedno pojavljale residualne napetosti, neznanega vzroka, bo nastavitvev potrebno ustrezno korigirati.

Prenapetostna zaščita

Prenapetostna zaščita generatorja 2 je nastavljena po istih zahtevah kot zaščita generatorja 1.

2. stopnja prenapetostne zaščite, in sicer v sklopu zaščite ločilnega mesta, mora biti nastavljena na vrednost $1,15 \times U_n$, 1. stopnja pa na vrednost $1,11 \times U_n$, pri čemer mora imeti 1. stopnja časovno zakasnitev 2 s .

Sinhronski generator potrebuje neodvisno prenapetostno zaščito tako, da je ščiten pred prenapetostmi tudi v fazi zagona. Da dosežemo selektivnost proti zaščiti

ločilnega mesta, izvedemo prenapetostno zaščito **1. stopnjo** z nastavitvijo: $1,2 \times U_n$ in časovno zakasnitvijo **2,5 s** ter **2. stopnjo** z nastavitvijo $1,3 \times U_n$ in časovno zakasnitvijo **0,4 s**.

Povratna moč

Zaščito pred povratno močjo nastavimo na vrednost 2 % S_n in časovno zakasnitvijo 5 s.

$$P- = 2\% \cdot S_n [MVA] = 0,02 \cdot 1,28 = 0,026 MVA$$

4.3 Zaščita ločilnega mesta

Najpomembnejša funkcija zaščite ločilnega mesta je, da zagotovi ob izpadu odcepa, kjer je priključena elektrarna, zaustavitev agregata. S tem prepreči, da bi v primeru delovanja APV prišlo do ne sinhronizirane spojitve agregata in omrežja, ki bi lahko imela za naprave uničujoče posledice.

Opis in zahteve po SONDSEE

Ločilno mesto je skupek naprav, ki s svojim delovanjem ščiti omrežje pred škodljivimi vplivi proizvodne naprave in prav tako ščiti proizvodno napravo pred škodljivimi vplivi iz omrežja. Škodljiv vpliv je po SONDSEE definiran kot vpliv na naprave v smislu:

- skrajševanje življenjske dobe,
- uničenje postroja ali naprave,
- motenje v obratovanju,
- poslabšanje kakovosti napetosti in podobno.

Ločilno mesto ni varnostni element, ki bi omogočal dovolj varno ločitev za potrebe dela na napravah, ampak nam služi le kot naprava, katere namen je, da zanesljivo loči proizvodno napravo od distribucijskega omrežja.

V našem primeru je to ob raznih vzdrževalnih delih in ob napakah na SN-stikalnih napravah in pripadajoči opremi.

Izklop se mora izvršiti z namenom, da se zaščiti druge uporabnike distribucijskega omrežja pred vplivi proizvodne naprave in se zaščiti proizvodno napravo pred škodljivimi vplivi iz omrežja.

Po SONDSEE mora ločilno mesto obvezno zadoščati naslednjim zahtevam:

- nahajati se mora med PPM in EM;
- meritev parametrov omrežja: napetost (U), frekvenca napetosti (f) in tok (I) se obvezno izvaja med PPM in ločilnim mestom (LM);
- ločilno mesto je obvezno opremljeno s preklopko in stikalom ločilnega mesta, s katerima lahko manipulira samo DO;

- naprave ločilnega mesta morajo biti narejene tako, da zdržijo pričakovan kratkostični tok;
- omogočena mora biti signalizacija;
- vse naprave ločilnega mesta in njihova namestitve morajo zadoščati zahtevam Pravilnika o elektromagnetni združljivosti.

Vsako ločilno mesto se smatra kot ena proizvodna naprava. Dejanska moč ločilnega mesta je lahko večja od njene proizvodne moči. Tak primer je takrat, ko uporabnik sistema, to je preko stikalne naprave ločilnega mesta, tudi odjema energijo iz omrežja za svoje potrebe in je ta večji od dejanske vsote instaliranih delovnih moči vseh generatorjev tega ločilnega mesta.

Iz proizvodne moči ločilnega mesta pa izhajajo vsi drugi pogoji za obratovanje proizvodne naprave. Že vgrajene naprave za ločitev od omrežja, ki jih običajno dobavljajo proizvajalci generatorjev, so lahko definirane kot ločilno mesto, vendar morajo zadoščati vsem zahtevam. Kljub vsemu se stikalnih elementov in funkcij ne sme poljubno razporejati znotraj internega omrežja, ampak v določenem in predpisanem vrstnem redu.

Vrstni red stikalnih elementov in funkcij pri popolnoma porazdeljenem ločilnem mestu, gledano iz omrežja DO proti EM, je naslednji:

- zaščita pred prekomerno delovno močjo v omrežje DO,
- kratkostična zaščita ločilnega mesta,
- zaščita pred preobremenitvijo ločilnega mesta,
- mesto za lokalni ali daljinski izklop proizvodne naprave (preklopka LM),
- zemeljskostična zaščita ločilnega mesta,
- napetostne in frekvenčne zaščite LM.

Nastavitve zaščite ločilnega mesta

Zaščito ločilnega mesta smo nastavili v skladu z na novo pridobljenim soglasjem za priključitev, ki zahteva usklajenost napetostnih in frekvenčnih zaščit z zahtevami SONDSEE, in sicer za tip proizvodne naprave Uf-B. Čas delovanja zaščit nastavimo za 0,1 s krajše, kot je to zahtevano v SONDSEE, saj je potrebno upoštevati še odzivni čas odklopnika.

Napetostno-frekvenčna zaščita Uf-B

Zahteve nastavitve napetostno-frekvenčnih zaščit ločilnega mesta PN se uporabljajo za PN, tip B-moči, to je od vključno 10 kW do 5 MW, ki so priključene v NN ali SN-omrežje.

Parameter	Najdaljši dovoljen čas delovanja (s)	Nastavitve
Prenapetostna zaščita (stopnja 2)	0,2	$U_n + 15 \%$
Prenapetostna zaščita (stopnja1)	2,0	$U_n + 11 \%$
Podnapetostna zaščita (stopnja1)	2,0	$U_n - 15 \%$
Podnapetostna zaščita (stopnja2)	0,2	$U_n - 30 \%$
Nadfrekvenčna ^a	0,2	52 Hz
Podfrekvenčna ^a	0,2	47 Hz

Tabela 14: Nastavitve napetostno–frekvenčnih zaščit
(SONDSEE, 2023)

Zahtevane nastavitve zaščit:

- Prenapetostna zaščita 1. stopnje: $1,11xU_n$; 1,9 s
- Prenapetostna zaščita 2. stopnje: $1,15xU_n$; 0,1 s
- Podnapetostna zaščita 1. stopnje: $0,85xU_n$; 1,9 s
- Podnapetostna zaščita 2. stopnje: $0,7xU_n$; 0,1s
- Nadfrekvenčna zaščita: $1,04 \times f_n$; 0,1s
- Podfrekvenčna zaščita: $0,94 \times f_n$; 0,1s

Zemeljskostična zaščita:

Proizvodne naprave, ki imajo prevzemno predajno mesto na SN-napetostnem nivoju, morajo obvezno imeti izvedeno zemeljskostično neusmerjeno zaščito. Ta pogoj velja ne glede na to, ali je ločilno mesto na SN-napetostnem nivoju ali pa na lastni napetosti generatorja. Priporočeno je, da je zemeljskostična zaščita izvedena tako, da meri $3 U_0$ (vezava odprtega trikotnika napetostnih merilnih transformatorjev).

Zahteve iz SODSEE:

Parameter	Najdaljši dovoljen čas delovanja (s)	Nastavitev
Zemeljskostična zaščita	$T_{ZS \text{ rtp}} + 5 \text{ s}$	$3 U_0 = 0,25 \times U_{SN}$
$T_{ZS \text{ rtp}}$: čas, v katerem zemeljskostična zaščita v RTP zazna zemeljski stik in izklopi okvarjen izvod. Ta je pri RTP-jih z resonančno ozemljeno nevtralno točko transformatorja 110 kV/20 kV, lahko je tudi nekaj 10 sekund.		

Tabela 15: Zahteve za zemeljskostično zaščito
(SONDSEE, 2023)

Zemeljskostična zaščita mora delovati na odklopnik ali drug stikalni element ločilnega mesta. Ko zemeljski stik ni več detektiran, parametri omrežne napetosti pa so v mejah (ni aktivna nobena od napetostnofrekvenčnih zaščit), gre lahko proizvodna naprava v ponovno sinhronizacijo z omrežjem. Z zemeljskostično zaščito se dodatno prepreči neželjeno otočno obratovanje v pogojih zemeljskega stika, vendar mora biti izklopilni čas zaščite dovolj dolg, da se prepreči neselektivne izpade vseh proizvodnih naprav. Zemeljskostična zaščita v RTP mora biti vedno hitrejša od zemeljskostične zaščite v proizvodnih napravah.

Nastavitev zemeljskostične zaščite:

Od distributerja smo pridobili informacije o predvidenem trajanju obratovanja z zemeljskim stikom.

Ko se ob zemeljskem stiku U_0 trajno poveča za 30 % U_n , se po 3 s vključi upor -R (80 Ω), to je do odprave zemeljskega stika, ki pa naj ne bi trajal več kot 570 s.

Nastavitev 30 % 3 U_0 , 4 s

Zaščita pred prekomerno delovno močjo v DO:

V soglasju za priključitev HE na omrežje je bila od distributerja podana zahteva za dograditev nove zaščitne funkcije (zaščita pred prekomerno delovno močjo), ki preprečuje oddajo večje delovne moči, kot jo določa soglasje za priključitev, ki je trenutno 2,6 MW. V izpeljavi je nov postopek pridobivanja soglasja za priključitev, ki predvideva večjo priključno moč HE.

Izračun nastavitve prekomerno oddane delovne moči HE glede na primarni tok TMT:

U_{mf} – Medfazna napetost

I_{TMT} – Primarni tok TMT

$$S = \sqrt{3} \cdot U_{mf} [kV] \cdot I_{TMT_{PR}} [kA] = \sqrt{3} \cdot 2 \cdot 0,8 = 2,7 MVA$$

4.4 Otočno obratovanje

MHE Hubelj ima tudi možnost otočnega obratovanja, ki bi lahko, v primeru daljšega izpada omrežja, oskrbovala z električno energijo, to je pod posebnimi pogoji, vnaprej določen krog porabnikov.

V ta namen je v omari +CNP01 vgrajena preklopka za izbiro načina obratovanja paralelno / otočno. V normalnem obratovanju je preklopka postavljena v paralelni položaj, kar pomeni, da deluje zaščita ločilnega mesta po zahtevah in navodilih SONDSEE in v skladu s soglasjem za priključitev.

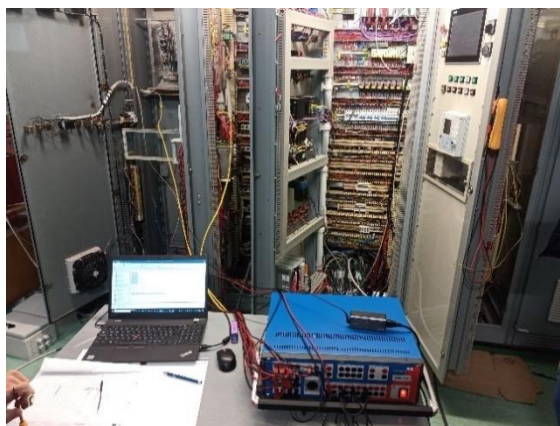
V primeru, da preklopko prestavimo v položaj, to je otočno, ta v zaščitnem releju aktivira drugi set parametrov. Ti dopuščajo večja odstopanja frekvence za daljši čas, saj frekvenca bistveno bolj niha v otočnem obratovanju. Osnovne nastavitve frekvenčnih zaščit bi bile prestroge za takšen način obratovanja.

Ob normalnem obratovanju omrežja so dopustna nihanja frekvence od 47,0 Hz do 52 Hz, v otočnem pa se ta nihanja frekvence lahko gibljejo ± 5 Hz.

5 IZVEDBA PRIMARNIH IN FUNKCIONALNIH PREIZKUSOV

Večina TMT in NMT je bilo med rekonstrukcijo mHE zamenjanih, zato je bilo potrebno opraviti primarne kontrolne preglede in preizkuse novo vgrajenih NMT in TMT. Kontrolnih preizkusov prestavnih razmerij in pogoškov ni bilo potrebno izvesti, saj nam je dobavitelj priložil merilne liste o novo vgrajeni opremi, zato je sledil celovit pregled in kontrola pravilno izvedenega ožičenja in montaže opreme.

Primarne teste smo izvedli po že prej sestavljenem programu spuščanja v pogon stikalnih naprav v SN-stikališču in generatorjev s pripadajočo opremo. Teste smo izvajali z uporabo preizkusne naprave Omicron, CMC 356, ter v živo s simuliranjem rizičnih stanj in okvar na napravah in omrežju.



Slika 12: Preizkus zaščit s preizkusno napravo OMICRON, CMC 356
(Lastni vir)

5.1 Program spuščanja v pogon – zaščita generatorja 1

Preizkus:	Rezultat preizkusa:
Primarni preizkusi TMT in NMT:	
Preizkusi 20 kV TMT 2x40/5 A v celici +AJT02:	
Pregled izvedbe ozemljitve in usmerjenosti TMT 20 kV v celici +AJT02 za fazo L1	
Pregled oznake sekundarnih sponk TMT 20 kV v celici +AJT03 za fazo L1	
Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 80/5	Prestava v fazi L1, nastavljena na 80/5 A

Primarno injiciranje toka v fazo L1 20 kV TMT v celici +AJT02	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L1B Odčitek toka: 10/20 A
	Pravilen odčitek toka na analizatorju SIEMENS PAC3220
	Preizkusni tok [A]: 10/20 A
Preizkus zaščitnih jeder 20 kV TMT v celici + AJT02 za potrebe zaščite: faza L1 Primarno injiciranje toka v fazo L1 20 kV TMT v celici +AJT02, nakar se izvede mostiček na sponkah 2s2-2s1 TMT-ja (zaščitno navitje).	Tok na zaščitnem terminalu – vhod 1L1B pade na vrednost cca. 0.
	Preizkusni tok [A]: 10 A
Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 80/5	Prestava v fazi L1, nastavljena na 80/5A
Primarno injiciranje toka v fazo L2 20 kV TMT v celici +AJT02	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L2B Odčitek toka: 10/20 A
	Pravilen odčitek toka na analizatorju: SIEMENS PAC3220
	Preizkusni tok [A]: 10/20 A
Preizkus zaščitnih jeder 20 kV TMT v celici + AJT02 za potrebe zaščite: faza L2 Primarno injiciranje toka v fazo L2 20 kV TMT v celici +AJT02, nakar se izvede mostiček na sponkah 2s2-2s1 TMT-ja (zaščitno navitje).	Tok na zaščitnem terminalu – vhod 1L1B pade na vrednost cca. 0.
	Preizkusni tok [A]: 10 A
Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 80/5	Prestava v fazi L3, nastavljena na 80/5 A
Primarno injiciranje toka v fazo L3 20 kV TMT v celici +AJT02	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L3B Odčitek toka: 10/20 A
	Pravilen odčitek toka na analizatorju SIEMENS PAC3220
	Preizkusni tok [A]: 10/20 A

Preizkus zaščitnih jeder 20 kV TMT v celici + AJT02 za potrebe zaščite: faza L3 Primarno injiciranje toka v fazo L3 20 kV TMT v celici +AJT02, nakar se izvede mostiček na sponkah 2s2-2s1 TMT-ja (zaščitno navitje).	Tok na zaščitnem terminalu – vhod 1L3B pade na vrednost cca. 0.
	Preizkusni tok [A]: 10 A
Preizkusi 2 kV TMT 2x400/5 A v celici +1BAA01: -T1	
Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 800/5	Prestava v fazi L1, nastavljena na 800/5 A
	Prestava v fazi L2, nastavljena na 800/5 A
	Prestava v fazi L3, nastavljena na 800/5 A
Primarno injiciranje toka v fazo L1 2 kV TMT v celici +1BAA01-T1	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L1 Odčitek toka: 20 A
	Pravilen odčitek sekundarnega toka v omari vzbujalnega sistema s tokovnimi kleščami na sponkah 2E-sponka 11 in 12, na napravi -A1 NES (merilno jedro) Odčitek toka: 0,125 A
	Preizkusni tok [A]: 20
Preizkus zaščitnih jeder 2 kV TMT v celici +1BAA01-T1 za potrebe zaščite: faza L1 Primarno injiciranje toka v fazo L1 2 kV TMT-T1 v celici +1BAA01, nakar se izvede mostiček na sponkah 2s1 in 2s2 TMT-ja (zaščitno navitje).	Tok na zaščitnem terminalu – vhod 1L1 pade na vrednost cca. 0. Enak test, izveden tudi za navitje 1s1 in 1s2 oz. vzbujalni sistem.
	Sekundarni tok, izmerjen s tokovnimi kleščami na sponkah 11 in 12 (merilno jedro), se ne spremeni.
	Preizkusni tok [A]: 20
Primarno injiciranje toka v fazo L2 2 kV TMT v celici +1BAA01-T1	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L2 Odčitek toka: 20 A
	Pravilen odčitek sekundarnega toka v omari vzbujalnega sistema s tokovnimi kleščami na sponkah 2E-sponka 13 in 14 na napravi -A1 NES (merilno jedro) Odčitek toka: 0,125 A
	Preizkusni tok [A]: 20
Preizkus zaščitnih jeder 2 kV TMT v celici +1BAA01-T1 za potrebe zaščite: faza L2	Tok na zaščitnem terminalu – vhod 1L2 pade na vrednost cca. 0. Enak test, izveden tudi za navitje 1s1 in 1s2 oz. vzbujalni sistem.

Primarno injiciranje toka v fazo L2 2kV TMT-T1 v celici +1BAA01, nakar se izvede mostiček na sponkah 2s1 in 2s2 TMT-ja (zaščitno navitje).	Sekundarni tok izmerjen s tokovnimi kleščami na sponkah 13 in 14 (merilno jedro) se ne spremeni.
	Preizkusni tok [A]: 20
Primarno injiciranje toka v fazo L3 2 kV TMT v celici +1BAA01-T1	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L3 Odčitek toka: 20 A
	Pravilen odčitek sekundarnega toka v omari vzbujalnega sistema s tokovnimi kleščami na sponkah, 2E-sponka 15 in 16, na napravi -A1 NES (merilno jedro) Odčitek toka: 0,125 A
	Preizkusni tok [A]: 20
Preizkus zaščitnih jeder 2 kV TMT v celici +1BAA01-T1 za potrebe zaščite: faza L3	Tok na zaščitnem terminalu – vhod 1L3 pade na vrednost cca. 0. Enak test je izveden tudi za navitje 1s1 in 1s2 oz. vzbujalni sistem.
	Sekundarni tok, izmerjen s tokovnimi kleščami na sponkah 15 in 16 (merilno jedro), se ne spremeni.
Primarno injiciranje toka v fazo L3 2 kV TMT-T1 v celici +1BAA01, nakar se izvede mostiček na sponkah 2s1 in 2s2 TMT-ja (zaščitno navitje).	Preizkusni tok [A]: 20
Preizkusi 2 kV TMT 2x400/5 A v celici +1BAA01: -T2	
Pregled izvedbe ozemljitve in usmerjenosti TMT 2 kV v celici +1BAA01 (vse tri faze)	
Pregled oznake sekundarnih in primarnih sponk TMT 2 kV v celici +2BAA01 (vse tri faze)	
Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 800/5	Prestava v fazi L1, nastavljena na 800/5 A
	Prestava v fazi L2, nastavljena na 800/5 A
	Prestava v fazi L3, nastavljena na 800/5 A
Primarno injiciranje toka v fazo L1 2 kV TMT v celici +1BAA01-T2	Pravilen odčitek toka na vhodu E1-E2 – Simeas Odčitek toka: 0,25 A s kleščami oz. 40 A na zaslonu
	Preizkusni tok [A]: 40
	Pravilen odčitek toka na kontrolnem števcu v +CFB
Primarno injiciranje toka v fazo L2 2 kV TMT v celici +1BAA01-T2	Pravilen odčitek toka na vhodu E3-E4 – Simeas Odčitek toka: 0,125 A s kleščami oz. 20 A na zaslonu

	Preizkusni tok [A]: 20
	Pravilen odčitek toka na kontrolnem števcu v +CFB
Primarno injiciranje toka v fazo L3 2 kV TMT v celici +1BAA01-T2	Pravilen odčitek toka na vhodu E5-E6 – Simeas Odčitek toka: 0,125 A s kleščami oz. 20 A na zaslonu
	Preizkusni tok [A]: 20
	Pravilen odčitek toka na kontrolnem števcu v +CFB
Preizkus 2 kV NMT v celici +1BAA02	
Fizični pregled ožičenja NMT-jev do pripadajočih instalacijskih odklopnikov.	
Na primarno stran 2 kV NMT-ja –T5 v fazi L1 se pripelje napetost vrednosti nekaj % nazivne. Kot napetostni vir se uporabi napravo Omicron, CMC 356.	Vklop instalacijskega odklopnika +12CNA01-F9 → prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UL12 in UL13 kažeta 0,6 kV
Vsi instalacijski odklopniki sekundarjev NMT so izključeni.	Prikaz napetosti je pravilen
Preizkusna napetost: 600V	Vstavljanje vezice v PV 2B prekine napetost. → prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – U0, kaže 0,2 kV
	Vstavljanje vezice v PV23B oz. 24 B prekine napetost.
Na primarno stran 2 kV NMT-ja –T5 v fazi L2 se pripelje napetost vrednosti nekaj % nazivne. Kot napetostni vir se uporabi napravo Omicron, CMC 356.	Vklop instalacijskega odklopnika +12CNA01-F9 → prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UL12 in UL23 kažeta 0,6 kV
Vsi instalacijski odklopniki sekundarjev NMT so izključeni.	Prikaz napetosti je pravilen.
Preizkusna napetost: 600V	Vstavljanje vezice v PV 3B prekine napetost. → prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – U0, kaže 0,2 kV
	Vstavljanje vezice v PV23B oz. 24B prekine napetost.

<p>Na primarno stran 2 kV NMT-ja –T5 v fazi L3 se pripelje napetost vrednosti nekaj % nazivne.</p> <p>Kot napetostni vir se uporabi napravo Omicron, CMC 356.</p> <p>Vsi instalacijski odklopniki sekundarjev NMT so izključeni.</p> <p>Preizkusna napetost: 600 V</p>	Vklop instalacijskega odklopnika +12CNA01-F9
	→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UL23 in UL13 kažeta 0,6 kV
	Prikaz napetosti je pravilen.
	Vstavljanje vezice v PV 4B prekine napetost.
	→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – U0, kaže 0,2 kV
Vstavljanje vezice v PV23B oz. 24B prekine napetost.	
Preizkus delovanja kontrole izklopnega tokokroga odklopnika +AJT02-Q0 in preizkus delovanja BI numeričnih relejev	
Izključiti odklopnik +AJT02-Q0	Pri izključenem odklopniku +AJT03-Q0 morajo biti na binarnih vhidih numerične zaščite naslednja stanja:
	-X110:BI1 = "1" -X110:BI2 = "0"
	Pravilen položaj odklopnika na sinoptični shemi zaščitnega terminala
	Lučke LED indikacije KIT 1 in KIT 2 ne svetijo
Vključiti odklopnik +AJT02-Q0	Pri vključenem odklopniku +AJT02-Q0 morajo biti na binarnih vhidih numerične zaščite naslednja stanja:
	-X110:BI1 = "0" -X110:BI2 = "1"
	Pravilen položaj odklopnika na sinoptični shemi zaščitnega terminala
	Lučke LED indikacije KIT 1 in KIT 2 svetijo z zeleno.
Izvlačenje žice iz priključka 9B preizkusne vtičnice	LED lučka KIT 1 se obarva v rdečo
	Prihod signala " kontrola izklopnih tokokrogov ..."
Opomba: odklopnik +AJT02-Q0 mora biti vklučen .	Prihod signala " kontrola izklopnih tokokrogov ..." na WEBSCADO.
	LED lučka KIT 2 se obarva v rdeče.

Izvlačenje žice iz priključek 11B preizkusne vtičnice	Prihod signala " kontrola izklopnih tokokrogov ...?"
Opomba: odklopnik +AJT02-Q0 mora biti vklučen .	Prihod signala " kontrola izklopnih tokokrogov ..." na WEBSCADO.
Preizkusi delovanja signalov zaščitnega terminala	
S preizkusno napravo se simulira delovanje pretokovne zaščite generatorja.	Prihod signala " <i>pretokovna, pretokovno-podnapetostna</i> " v sistem vodenja.
	Prihod signala " <i>pretokovna, pretokovno-podnapetostna</i> " na WEBSCADO.
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
S preizkusno napravo se simulira delovanje zaščite pred tokovno nesimetrijo.	Prihod signala " <i>tokovna nesimetrija, zemeljskostična</i> " v sistem vodenja.
	Prihod signala " <i>tokovna nesimetrija, zemeljskostična</i> " na WEBSCADO.
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
S preizkusno napravo se simulira delovanje zemeljskostične zaščite.	Prihod signala " <i>tokovna nesimetrija, zemeljskostična</i> " v sistem vodenja.
	Prihod signala " <i>tokovna nesimetrija, zemeljskostična</i> " na WEBSCADO.
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
S preizkusno napravo se simulira delovanje prenapetostne zaščite.	Prihod signala " <i>prenapetostna</i> " v sistem vodenja.
	Prihod signala " <i>prenapetostna</i> " na WEBSCADO.
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
S preizkusno napravo se simulira delovanje zaščite pred izpadom vzbujanja.	Prihod signala " <i>izpad vzbujanja, izpad iz sinhronizma</i> " v sistem vodenja.
	Prihod signala " <i>izpad vzbujanja, izpad iz sinhronizma</i> " na WEBSCADO.
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
S preizkusno napravo se simulira delovanje zaščite pred povratno delovno močjo.	Prihod signala " <i>povratna moč</i> " v sistem vodenja.
	Prihod signala " <i>povratna moč</i> " na WEBSCADO.
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.

S preizkusno napravo se simulira delovanje kratkostične zaščite.	Prihod signala "kratkostična zaščita" v sistem vodenja.
	Prihod signala "kratkostična zaščita" na WEBSCADO.
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
Preizkusi delovanja signalov in izklopov, ki so mogoči pred zagonom agregata.	
Preizkusi delovanja izklopov iz zaščitnega terminala.	
Vklopiti generatorski odklopnik AJT02-Q0 Na zaščitnem releju izvedemo mostiček -X100: 16-18. To je test delovanja na 1. izklopilno tuljavo.	Izklop generatorskega odklopnika
Vklopiti generatorski odklopnik AJT02-Q0 Na zaščitnem releju izvedemo mostiček -X100: 20-24. To je test delovanja na 2. izklopilno tuljavo.	Izklop Q0
Vklopiti generatorski odklopnik AJT02-Q0 HZ2 ne sme biti aktivna. Na zaščitnem releju izvedemo mostiček -X100: 6-7.	
Preizkusi po vzpostavitvi vzbujenega prostega teka agregata	
Preverjanje pravilnosti meritev napetosti	Napetosti na vseh treh napetostnih analognih vseh vhodih zaščitnega terminala so v okviru nazivnih vrednosti.
Zagon agregata v vzbujeni prosti tek. Ločilka +AJT02-Q1 je ločena.	Meritev residualne napetosti - analogni vhod UN na zaščitnem terminalu je malo večja od nič. Izmerjena vrednost: cca 6 V po montaži upora 180 ohm, to je v odprti trikot.
Meritev vrtilnega polja	Vrtilno polje na sponkah 2 kV meritve zaščitnega releja je desno.
Preizkus delovanja zemeljskostične zaščite v živo	

Izvedba zemeljskega stika v 2 kV celici. Počasno dvigovanje napetosti.	Aktivacija zemeljskostične zaščite in HZ2.
Preizkus delovanja prenapetostne zaščite v živo	
	Počasno dvigovanje napetosti. Aktivacija prenapetostne zaščite generatorja pri 2,14 kV.
Prenastavitev prenapetostne zaščite PHPTOV1 iz 1,2xUn na 1,07XUn	
Ponovna nastavitev zaščite PHPTOV1 na 1,2XUn	
Preizkusi po sinhronizaciji	
Preverjanje pravilnosti meritev tokov	2 kV tokovi na analognih vhidih zaščitnega terminala so ustrezne velikosti.
Nadaljnji preizkusi se izvedejo po sinhronizaciji generatorja.	20 kV tokovi na analognih vhidih zaščitnega terminala so ustrezne velikosti.
Preizkus delovanja zaščite pred povratno močjo v živo	
Pri obratujočem agregatu izvesti zapiranje vodilnika.	Aktivacija zaščite pred povratno močjo.
	Prihod signala " <i>povratna moč</i> " v lokalno signalizacijo.
	Prihod signala " <i>povratna moč</i> " na WEBSCADO
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
	Aktivacija hitre zapore 2 (HZ2).
	Izklop vzbujačnega sistema.
Izklop generatorskega odklopnika.	
Preizkus delovanja pretokovne zaščite v živo	
Test se izvede pri nižani nastavitvi.	Aktivacija pretokovne zaščite.

Prvotna nastavitev: PHLPTOC1:1: 1,15xIn Prenastavimo na: PHLPTOC1:1: 0,58xIn = 464 A, primarno.	Prihod signala "Pretokovna, podnapetostna ..." v lokalno signalizacijo.
	Prihod signala "Pretokovna, podnapetostna ..." na WEBSCADO
	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.
	Aktivacija hitre zapore 2 (HZ2).
	Izklop vzbujačnega sistema.
	Izklop generatorskega odklopnika.
Povrnitev nastavitev na: PHLPTOC1:1: 1,15xIn.	
Preizkus delovanja zaščite pred izpadom vzbujanja v živo	
Test se izvede pri znižani nastavitvi.	Aktivacija zaščite pred izpadom vzbujanja
Prvotna nastavitev: UEXPDIS1:1: diameter=172 % Zn	Prihod signala "Izpad vzbujanja" v lokalno signalizacijo.
Prenastavimo na: UEXPDIS1:1: diameter=450 % Zn	Na zaščitnem terminalu se prižge pripadajoča LED lučka.

Tabela 16: Program spuščanja v pogon generator 1 in generator 2
(Lastni vir)

5.2 Program spuščanja v pogon – zaščita ločilnega mesta

Preizkus:	Rezultat preizkusa:
Preizkusi in pregledi ožičenja	
Preizkusi 20 kV TMT 2x75/5 A v celici +AJX02-T1	
Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 150/5	Prestava v fazi L1, nastavljena na 150/5 A Pregled, izveden s tokovnim testom
Primarno injiciranje toka v fazo L1 20 kV TMT v celici +AJX02	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L1
	Pravilen odčitek sekundarnega toka s tokovnimi kleščami na sponkah +CMJ04-X3:10
	Preizkusni tok [A]: 15/30/A
Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 150/5	Prestava v fazi L2, nastavljena na 150/5A Pregled, izveden s tokovnim testom
Primarno injiciranje toka v fazo L2 20 kV TMT v celici +AJX02	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L2
	Pravilen odčitek sekundarnega toka s tokovnimi kleščami na sponkah +CMJ04-X3:12
	Preizkusni tok [A]: 15/30/A

Pregled izvedbe prestave TMT-ja na 150/5	Prestava v fazi L3, nastavljena na 150/5A Pregled, izveden s tokovnim testom
Primarno injiciranje toka v fazo L3 20 kV TMT v celici +AJX02	Pravilen odčitek toka na zaščitnem terminalu – vhod 1L3
	Pravilen odčitek sekundarnega toka s tokovnimi kleščami na sponkah +CMJ04-X3:14
	Preizkusni tok [A]: 15/30/A
Preizkus 20 kV NMT v celici +AJM01	
Na primarno stran 20 kV NMT-ja –T6 v fazi L1 se pripelje napetost, vrednosti nekaj % nazivne. Kot napetostni vir se uporabi napravo Omicron, CMC 356. Preizkusna napetost: 600 V	→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UL1
	Izklop instalacijskega odklopnika +CMJ04-F7 → odhod merilne napetosti z vhoda – UL1
	Vklop instalacijskega odklopnika -F8 → prihod merilne napetosti na +2CNA01-X2:13 (sinhronizacija)
	Vklop instalacijskega odklopnika -F6 → prihod merilne napetosti na +2CNB01-1E:32 (vzbujalni sistem)
Na primarno stran 20 kV NMT-ja –T6 v fazi L2 se pripelje napetost, vrednosti nekaj % nazivne. Kot napetostni vir se uporabi napravo Omicron, CMC 356. Preizkusna napetost: 600 V	→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UL2
	Izklop instalacijskega odklopnika +CMJ04-F7 → odhod merilne napetosti z vhoda – UL2
	Vklop instalacijskega odklopnika -F8 → prihod merilne napetosti na +2CNA01-X2:14 (sinhronizacija)
	Vklop instalacijskega odklopnika -F6 → prihod merilne napetosti na +2CNB01-1E:33 (vzbujalni sistem)
Na primarno stran 20 kV NMT-ja –T6 v fazi L3 se pripelje napetost, vrednosti nekaj % nazivne. Kot napetostni vir se uporabi napravo Omicron, CMC 356. Preizkusna napetost: 600 V	→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UL3
	Izklop instalacijskega odklopnika +CMJ04-F7 → odhod merilne napetosti z vhoda – UL1

<p>Na primarno stran 20 kV NMT-ja –T6 med fazi L1-L2 se pripelje napetost, vrednosti nekaj % nazivne.</p> <p>Kot napetostni vir se uporabi napravo Omicron, CMC 356.</p> <p>Preizkusna napetost: 600 V</p>	<p>Prihod sekundarne napetosti 3 V na sponke +CNB01 +1E: 33-32 (vzbujalni sistem)</p>
	<p>→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UN</p> <p>Vklop -F10 → prihod merilne napetosti na +CFB -OM:7</p> <p>→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal vhod – UN</p> <p>Vklop -F10 → prihod merilne napetosti na +CFB -OM:8</p> <p>→ prihod merilne napetosti na zaščitni terminal Vhod – UN Vklop -F10 → prihod merilne napetosti na +CFB -OM:9</p>
Preizkus BI numeričnih relejev	
<p>Izključiti odklopnik +AJT02-Q0 -G1</p>	<p>Pri izključenem odklopniku +AJT02-Q0 morajo biti na binarnih vseh numerične zaščite naslednja stanja:</p> <p>-X130:BI1 = "1" -X130:BI2 = "0"</p>
<p>Vključiti odklopnik +AJT02-Q0 -G1</p>	<p>Pri vključenem odklopniku +AJT02-Q0 morajo biti na binarnih vseh numerične zaščite naslednja stanja:</p> <p>-X130:BI1 = "0" -X130:BI2 = "1"</p>
<p>Izključiti odklopnik +AJT03-Q0 -G2</p>	<p>Pri izključenem odklopniku +AJT03-Q0 morajo biti na binarnih vseh numerične zaščite naslednja stanja:</p> <p>-X130:BI3 = "1" -X130:BI4 = "0"</p>

Vključiti odklopnik +AJT03-Q0 -G2	Pri vključenem odklopniku +AJT03-Q0 morajo biti na binarnih vseh numerične zaščite naslednja stanja: -X130:BI3 = "0" -X130:BI4 = "1"
Preizkus delovanja na odklopnik +AJT03-Q0	
Preizkus delovanja na 1. izklopilno tuljavo	
S testno napravo smo na zaščitni rele narivali normalno napetost. Na preizkusni vtičnici smo premostili PV 6A-6B – delovanje na 1. izklopilno tuljavo. Nato smo prekinili narivanje napetosti.	Prišlo je do aktivacije podnapetostne zaščite in izklopa odklopnika AJT03-Q0.
Preizkus delovanja na odklopnik +AJT02-Q0	
Preizkus delovanja na 1. izklopilno tuljavo	
S testno napravo smo na zaščitni rele narivali normalno napetost. Na preizkusni vtičnici smo premostili PV 7A-7B – delovanje na 1. izklopilno tuljavo. Nato smo prekinili narivanje napetosti.	Prišlo je do aktivacije podnapetostne zaščite in izklopa odklopnika AJT02-Q0.
Preizkusi delovanja signalov zaščite ločilnega mesta	
Izvedba mostička za simulacijo signala nad/pod frekvenčne zaščite – X110:S03	Prihod signala " <i>zaščita odcepa – podnadirfrekvenčna</i> " v lokalno signalizacijo. Prihod signala " <i>zaščita odcepa – podnadirfrekvenčna</i> " na WEBSCADO.
Izvedba mostička za simulacijo signala pre/pod napetostne zaščite – X110:S02	Prihod signala " <i>zaščita odcepa pre-podnapetostna</i> " v lokalno signalizacijo. Prihod signala " <i>zaščita odcepa pre-podnapetostna</i> " na WEBSCADO.
Izvedba mostička za simulacijo signala zemeljskostične zaščite – X110:S01	Prihod signala " <i>zaščita odcepa, zemeljskostična</i> " v lokalno signalizacijo. Prihod signala " <i>zaščita odcepa, zemeljskostična</i> " na WEBSCADO.
Izvlačenje žice -X100:5 iz zaščitnega releja.	Prihod signala " <i>zaščita odcepa, okvara releja</i> " v lokalno signalizacijo. Prihod signala " <i>zaščita odcepa, okvara releja</i> " na WEBSCADO.
	Prihod signala " <i>zaščita pred prekomerno oddano delovno močjo</i> " v lokalno signalizacijo.

S preizkusno napravo se simulira delovanje zaščite pred prekomerno oddano delovno močjo.	Prihod signala " zaščita pred prekomerno oddano delovno močjo " na WEBSCADO.
Preizkusi po sinhronizaciji	
Preverjanje pravilnosti meritev tokov	
Test podnapetostne zaščite v živo	Prihod signala " zaščita odcepa pre-podnapetostna " v lokalno signalizacijo
Vstavljanje vezic v PV 2, 3, 4 preizkusne vtičnice ločilnega mesta. Obratoval je samo G1. Izvedeno: 13.1. 2023 ob 13:42:49	Prihod signala " zaščita odcepa pre-podnapetostna " na WEBSCADO
	Izklop Q0 G1
	Aktivacija HZ2 G1
	Po 3 min izvedba APS – ponovni avtomatski start G1. Podatek od Dušana: APS je 3 minute.
Test podnapetostne zaščite v živo z obema agregatoma	Prihod signala " zaščita odcepa pre-podnapetostna " v lokalno signalizacijo
Vstavljanje vezic v PV 2, 3, 4 preizkusne vtičnice ločilnega mesta. Obratovala G1 in G2. Izvedeno: 13.1. 2023, ob 14:32:58	Prihod signala " zaščita odcepa pre-podnapetostna " na WEBSCADO
	Izklop Q0 G1
	Izklop Q0 G2
	Aktivacija HZ2 G1
	Aktivacija HZ2 G2
	Po 3 min izvedba APS – ponovni avtomatski start G1 in G2 Podatek od Dušana: APS je 3 minute.
Test zaščite pred prekomerno oddano delovno močjo v živo	Po 2 minutah izklop odklopnika G2
Oba agregata sta oddajala moč 2750 kw. Izvedeno 13. 1. 2023, ob 14:48:03	Aktivacija HZ2 G2
	Agregat 1 obratuje dalje
Test preklopke SODO v živo	Izklop obeh agregatov
Aktivacija preklopke SODO Izvedeno 13.1. 2023, ob 15:04	Prihod signalizacije na WEBSCADO
Preverjanje pravilne usmerjenosti usmerjenih zaščitnih funkcij.	
Preverjanje pravilne usmerjenosti zaščite pred prekomerno delovno močjo.	

Tabela 17: Program spuščanja v pogon zaščite ločilnega mesta
(Lastni vir)

6 FUNKCIONALNI PREIZKUSI ZAŠČIT

6.1 Preizkus generatorskih zaščit

S preizkusno napravo OMICRON, CMC 356, smo simulirali delovanje signalov zaščitnih relejev.

Na zaščitnih relejih ABB REG615 G1 in G2 smo preizkušali delovanje naslednjih zaščit:

- Pretokovna zaščita I>
- Pretokovna zaščita 2 kV I>
- Pretokovna zaščita 20 kV I>>
- Kratkostična zaščita 20 kV I>>
- Pretokovna/podnapetostna zaščita I>U<
- Tokovna nesimetrija I2>
- Povratna moč P-
- Zaščita pred izpadom iz sinhronizma
- Zaščita pred izpadom vzbujanja x<
- Prenapetostna zaščita U>
- Prenapetostna zaščita U>>
- Zemeljskostična zaščita 3 U0>

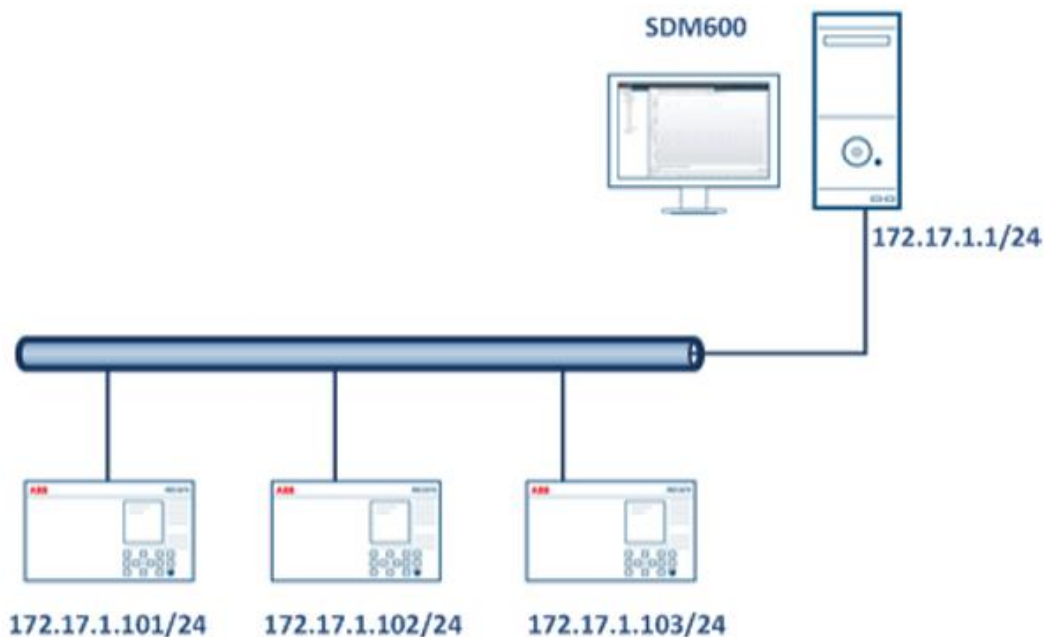
6.2 Preizkus zaščite ločilnega mesta

Na zaščitnem releju ABB REG615 ločilnega mesta smo preizkušali delovanje naslednjih zaščit:

- Prenapetostna zaščita 1. st. U>
- Prenapetostna zaščita 2. st. U>>
- Podnapetostna zaščita 1. st. U<
- Podnapetostna zaščita 2. st. U<<
- Podfrekvenčna zaščita f<
- Nadfrekvenčna zaščita f>
- Podfrekvenčna zaščita 2. st. f<<
- Nadfrekvenčna zaščita 2. st. f>>
- Zemeljskostična zaščita 3 U₀

7 NADZOR ZAŠČITNIH TERMINALOV

Zaščitni releji opravljajo ključno delo pri spremljanju proizvodnega, distribucijskega in prenosnega omrežja, vendar pa, da zagotovimo njihovo pravilno delovanje in stalno posodabljanje, je potrebna primerna nadzorna oprema.



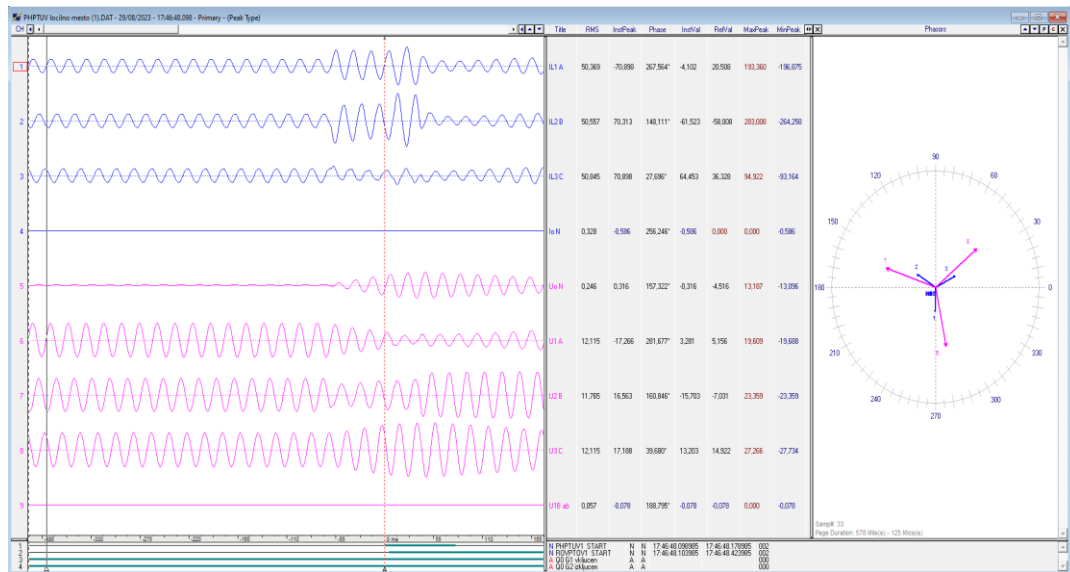
Slika 13: Prikaz hierarhije nadzornega sistema SDM600 (ABB,2023)

Nadzor zaščitnih terminalov REG615 v mHe Hubelj in tudi že v nekaterih drugih objektih se izvaja s pomočjo aplikacije SDM600, ki preko vmesnika IEC omogoča pošiljanje podatkov iz ene naprave (npr. IED) v več drugih, tudi na oddaljeni lokaciji. To pomeni, da nam lahko IED iz omrežja, v katerem se nahaja, preko virtualnega serverja SDM600 podaja na naš računalnik zaznana stanja in zabeležene dogodke.

Komunikacija lahko poteka po optičnem ali bakrenem omrežju, kar nam omogoča nadzor tudi nad starejšimi IED in tam, kjer še ni možnosti uporabe optičnega omrežja. Tako ima lahko skrbnik EZ stalni vpogled in nadzor nad napravami IED ter možnost daljinskih konfiguracij in nastavitev v aplikaciji PCM600 preko istih ethernet vrat, ki se jih, v našem primeru, skrbnik EZ ne posluhuje.

The screenshot shows the SENG monitoring application interface. It features a navigation menu on the left with options like 'SENG', 'HE', 'mHE Hubelj', and 'mHE'. The main area displays a table of events with columns for 'EVENT DATE (UTC)', 'EVENT DATE (Local time)', 'DEVICE', 'TYPE', 'TRIGGER CHANNEL', 'FILE NAME', and 'ACTIONS'. The table lists various events from September 2022 to September 2023, including 'ROVPTOVI_START' and 'PHPTUVI_START' events triggered by devices like 'Hubelj - G2' and 'Hubelj - Locilno mesto'. At the bottom, there are buttons for 'LAST YEAR', 'LAST MONTH', 'LAST WEEK', and 'LAST DAY', along with a date range indicator '14/09/2022 - 14/09/2023'.

Slika 14: Nadzorna aplikacija zaščitnih terminalov (SENG,2023)



Slika 15: Posnetek delovanja zaščite ločilnega mesta pri podnapetostni zaščiti (Lastni vir)

8 ZAKLJUČEK

Električna zaščita v mali hidroelektrarni Hubelj je bila v času rekonstrukcije v celoti zamenjana z novo, ker je bila prejšnja zastarela in ni več dosegala nivojev zahtevanega ščitenja ter ni vsebovala zahtevanih funkcij z novim soglasjem za priključitev na omrežje.

V sklopu zamenjave električnih zaščit in pripadajoče primarne opreme sta bila zamenjana zaščitna releja ABB SPAG 331C generatorja 1 in 2, in sicer v omarah +CNA01 in +2CNA01, z novima IED ABB REG615. Zamenjan je bil rele ločilnega mesta MS UM30-A, to je v omari +CNP01, z IED relejem ABB REG615.

Električna zaščita nam zagotavlja dolgo življenjsko dobo agregatov in pripadajoče opreme, zato je pomembno, da deluje brezhibno in učinkovito. Za zanesljivo delovanje pa so potrebna redna periodična testiranja delovanja in pregledi pripadajoče opreme. V večini smo glavne preizkuse in testiranja izvedli že v fazi testnih zagonov in sinhronizacije agregatov na omrežje ter jih zaključili pred pričetkom testnega obratovanja mHE Hubelj. Vse opravljene meritve in rezultati preizkusa zaščit so zabeleženi v poročilih o preizkusu električnih zaščit. (Priloge: 5–7)

Ob rekonstrukciji je nova oprema prevzela vse funkcionalnosti stare opreme ter nam ponudila nove možnosti, kot so:

- zajem oscilografij in dogodkov ob raznih okvarah;
- samodejni prenos dogodkov in oscilografij na aplikacijo SDM600;
- možnost daljinskih nastavitev in konfiguracij IED;
- dodatne zaščitne funkcije, na primer samonadzor ...

Pomembno je tudi poudariti, da sem sodeloval pri celotni izvedbi, in sicer od idejne zasnove, priprave projektne dokumentacije ter izvedbe funkcionalnih testiranj in meritev s pomočjo službe za el. zaščito SENG.

Z izvedbo projektiranja, parametriranja, izračunov, preizkusov in spuščanja v pogon je bilo vse izvedeno v lastni režiji SENG. S tem smo znižali stroške projekta.

Za potrebe zaščite ločilnega mesta bi lahko vgradili tudi manj zmogljiv rele, a je z vidika zagotavljanja rezervnih delov bolj racionalno, da smo tudi zaščito ločilnega mesta izvedli z enakim relejem kot generatorski zaščiti.

9 LITERATURA IN VIRI

Hrovatin, J. (2001). *Elementi elektroenergetskih sistemov (Interni vir)*. Ljubljana: ICES – Višja strokovna šola za elektroenergetiko.

Štruc, S. (2001). *Relejna zaščita elektroenergetskih sistemov (Interni vir)*. Ljubljana: ICES - Višja strokovna šola za elektroenergetiko.

J. Schlabach, J.(2005). *Short-circuit Currents, Institution of Engineering and Technology*, London: United Kingdom

SENG d.o.o. (2023). *Obratovalna navodila mHe Hubelj (interni vir)*. Nova Gorica: Soške elektrarne Nova Gorica.

ABB. (2023). *Generator and interconnection protection REG615 IEC*. Pridobljeno 1. 10. 2023 z naslova <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/protection-relays/power-generator-protection-and-control/generator-and-interconnection-protection-reg615-iec>

ABB. (2023). *Generator protection relay SPAG 331 C*. Pridobljeno 1. 10. 2023 z naslova <https://new.abb.com/medium-voltage/digital-substations/protection-relay-services/legacy-relays-and-related-devices-and-tools/generator-protection-relay-spag-331-c>

ABB. (2023). *System Data Manager SDM600*. Pridobljeno 15. 11. 2023 z naslova <https://library.e.abb.com/public/0d43153295bb4bf59f16d6defbb310ce/SDM600%20User%20manual.pdf?x-sign=aWubeNt/w0qDgGN0T7/hop0aTOx8StpqGUKI+0hGZP34K86CucMdgA4ITalmD9Wx>

ELES, SONDSEE. (2007-2024). *Sistemska obratovalna navodila za distribucijski sistem električne energije (SONDSEE)*. Pridobljeno 2.10.2023 z naslova <https://www.sodo.si/sl/kdo-smo/zakonodaja/sondsee>

10 PRILOGE

Priloga 1: Primer merilnega lista TMT

Priloga 2: Izjava o skladnosti TMT

Priloga 3: Primer merilnega lista NMT

Priloga 4: Izjava o skladnosti NMT

Priloga 5: Poročilo o preizkusu zaščit G1

Priloga 6: Poročilo o preizkusu zaščit G2

Priloga 7: Poročilo o preizkusu zaščite ločilnega mesta

Priloga 1: Primer merilnega lista TMT

KONČAR Kondar - Instrument Transformers, Inc.		MERILNI PROTOKOL TOKOVNEGA TRANSFORMATORJA CURRENT TRANSFORMER TEST REPORT				Sl. delo: No.: M212276 Leto: Year: 2021					
Naročnik: Purchaser: C&G d.o.o. LJUBLJANA		Order No: Contract No: 356-36791		Preiskufano po: Tested in acc. with: IEC 61869-2							
TOKOVNI TRANSFORMATOR CURRENT TRANSFORMER		Tip Type: INA2-24		SI 01-14-003		Sr. No.: 42114908/21					
24 / 50 / 125 kV		Raz. Izolacije Cl. of ins.: B		Frekv. Freq: 50 Hz		I _{10/10y} : 4-8/10-20 kA ict: 2x60 A					
1 2x40/5 A		1S1-1S2		5 VA		r.l. cl.: 0,5FS10 ext: 120 %					
2 2x40/5 A		2S1-2S2		5 VA		r.l. cl.: 5P 10 ext: %					
3 A				VA		r.l. cl.: ext: %					
4 A				VA		r.l. cl.: ext: %					
						Skupaj Total mass: 22 kg					
PREIZKUS IZOLACIJE NAVITJA Z ZDRUŽENO NAPETOSTJO - POWER-FREQUENCY WITHSTAND TESTS											
1. VN navitje proti NN navitjem in ozem. delom H.V. winding against L.V. windings and earthed parts		50 kV		Trajanje Duration: 1 min		Frekv. Freq: 50 Hz					
NN navitje proti NN navitjem in ozem. delom L.V. winding against L.V. windings and earthed parts		3 kV		Trajanje Duration: 1 min		Frekv. Freq: 50 Hz					
2. MERITEV DELNIH RAZELEKTRENIJ PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENT				POGOJI OKOLJA AMBIENT CONDITION							
U (kV)		28,8		16,6		Temperatura Temperature: 23 °C					
PD (pC)		< 50		< 20		Vlaga Humidity: 36 %					
3. PREIZKUS IZOLACIJE Z INDUCIRANI NAPETOSTJO - Prema IEC 61869-2, točka 7.3.204 INTERTURN OVERVOLTAGE TEST – According to IEC 61869-2, clause 7.3.204											
Ob odprtem primarnem navitju pri nazivnem toku 50 Hz izmerjena je inducirana napetost: The measuring value of induced voltage, with the primary winding open-circuit at rated secondary current of 50 Hz is:											
4. 1S1-1S2		13,3 V		2S1-2S2		17,2 V					
5. MERJENJE POGREŠKOV DETERMINATION OF ERRORS											
$\frac{I}{I_n}$		1S1-1S2			2S1-2S2						
S (VA)		E (%)		$\Delta\phi$ (°)		S (VA)		E (%)		$\Delta\phi$ (°)	
1,2		+0,30		+2,7							
1,0		+0,29		+3,0							
0,2		+0,27		+4,7							
0,05		+0,21		+8,3							
0,01											
5. 1,2		+0,16		+1,0		-0,18		+3,3			
1,0		+0,15		+1,6							
0,2		+0,09		+3,1		5					
0,05		-0,03		+5,8							
0,01											
EQUIPMENT: 1. Bridge ZERA WM1000i; No. 070000104; 26030 PTB 19. 2. Etalon Končar, NNST-200, 92000003, 26049 PTB 19.											
3. Burden N.Tesla, SO-2, 022/88, 532/18 KIET: Differential measuring method											
Upornost sekundarnega navitja pri 75 °C Secondary winding resistance at 75 °C				R _{2S1-2S2} = 0,094 Ω							
Sestavljena pogreška/Composite error				E _c < 1,0 %							
6. Polariteta preizkušana po označitvem: in najdeno OK. Polarity was tested according to markings: and found OK.											
ZAKLJUČEK: Transformator je uspešno prešel sva preiskusovanja u skladu sa Publikacijom IEC 61869-2 CONCLUSION: Transformer satisfactory passed the tests in accordance with Publication IEC 61869-2											
Zagreb, 8.12.2021.		Izvršil: Tested by: Škvorc		Potrdil: Approved by: Cukman		Zig laboratorija: Checked by:					
06-216/1											

Priloga 2: Izjava o skladnosti TMT



KONČAR – Mjerni transformatori d.d.,
Josipa Mokrovića 10
10 090 Zagreb, Republika Hrvatska

**IZJAVA O SKLADNOSTI
DECLARATION OF CONFORMITY**

Izdana na podlagi odločbe o odobritvi sistema kakovosti št. 6418-21/2021/7, ki ga je izdal Urad RS za meroslovje dne 14.07.2021.

Issued on the base of the Certificate of the approved quality system of the manufacturer No. 6418-21/2021/7, approved by the Metrology institute of the Republic of Slovenia on 14.07.2021.

**KONČAR – Mjerni transformatori d.d., Josipa Mokrovića 10,
10 000 Zagreb, Republika Hrvatska (ident. št. 393)**

S polno odgovornostjo izjavlja, da je merilo:
Declares with the whole responsibility, that the instrument:

Tokovni merilni transformator za električne števec - instrumentni transformator
Current measuring transformer for the electrical energy meters – instrument transformer

Proizvajalec (Manufacturer)	KONČAR - Mjerni transformatori d.d.
Oznaka tipa merila (Type, model)	INA2-12
Uradna oznaka (official mark)	SI 01-14-003
Številka certifikata o odobritvi tipa merila in datum izdaje certifikata: No of type approval certificate and date of approval	5111-018/00-05 30.11.2001.
Tovarniška številka: Manufacturer number	42004508
Izdelan in preiskujen po: Produced and tested in accordance with:	IEC 61869-2

Ustreza in je v skladu s tipom merila, ki je določen v certifikatu o odobritvi tipa merila 5111-018/00-05 in dodatkom št. 6411-16/2021/4 z dne 3.8.2021. ter meroslovnimi zahtevami določenimi v Pravilniku o meroslovnih zahtevah za merilne transformatorje za električne števec (Uradni list RS, št. 30/02 in 28/06).

Corresponds to the production model described in the Certificate of the type approval No. 5111-018/00-05 and appendix No. 6411-16/2021/4 dated 3.8.2021. and fulfills the metrological requirements defined in the Regulation of metrological requirements for the measuring transformers for the electrical counters (Official gazette of the R. of Slovenia, No. 30/02 and 28/06).

Zagreb, 3.12.2021.

-----Marko Čukman, B.Sc. (Eng)-----
(ime in priimek pooblaščenice osebe)
(name and family name of the authorized person)

Priloga 3: Primer merilnega lista NMT

KONČAR Končar - Instrument transformers, Inc.		MERILNI PROTOKOL NAPETOSTNOG TRANSFORMATORJA				Št. dela: M212333	
		VOLTAGE TRANSFORMER TEST REPORT				Part no.: Godina: 2021 Year:	
Naročnik: Purchaser: C&G d.o.o. LJUBLJANA		Št. pogodbe: Contract No: 356-36791		Preiskušano po: Tested against: IEC 61869-3			
NAPETOSTNI INSTRUMENTNI TRANSFORMATOR VOLTAGE TRANSFORMER		A-N		2000/√3		V	
Št. No. 51002895/21		1a-1n		100/√3 V		5 VA raz. cl. 0,2	
Tip Type 4VPA1-12		SI 01-14-004		2a-2n		100/√3 V	
3,6 / 10 / 40 kV		Raz. iz. Cl. ins. B		da-dn		100/3 V	
1,9/8h		Frekv. Freq. 50 Hz		Skupaj Mass 22 kg		5 VA raz. cl. 3P	
PEIZKUS IZOLACIJE NAVITJA Z ZDRUŽNO NAPETOSTJO - POWER-FREQUENCY WITHSTAND TESTS							
1. VN navitje proti NN navitjem in ozem. delom H.V. winding against L.V. windings and earthed parts		3 kV		Trajanje Duration 1 min		Frekv. Freq. 50 Hz	
N.N. navitje proti NN navitjem in ozem. delom L.V. winding against L.V. windings and earthed parts		3 kV		Trajanje Duration 1 min		Frekv. Freq. 50 Hz	
2. PREISKUS IZOLACIJE Z INDUCIRANO NAPETOSTJO - INDUCED OVERVOLTAGE WITHSTAND TEST							
Napetost Voltage 10 kV		Frekv. Freq. 150 Hz		Trajanje Duration 40 sec.			
3. MERITEV DELNIH RAZELEKTRINJ PARTIAL DISCHARGE MEASUREMENTS				MERITEV FAKTORA DIELEKTRICNIH GUBITAKA AMBIENT CONDITION			
U (kV)		4,3		2,5		Temperatura Temperature 24 °C	
PD (pC)		< 50		< 20		Vlažnost Humidity 33 %	
4. MERJENJE POGREŠKOV DETERMINATION OF ERRORS							
U U _n		1a-1n		2a-2n		da-dn	
S(VA)		ε (%) Δφ (°)		S(VA) ε (%) Δφ (°)		S(VA) ε (%) Δφ (°)	
0,05						+0,14 +12,2	
0,8		+0,08 +8,3		+0,06 +8,1			
1,0		+0,08 +8,5		+0,06 +8,3		+0,23 +9,6	
1,2		+0,08 +8,7		+0,06 +8,5			
1,9						+0,11 +14,9	
0,05						-0,18 +14,4	
0,8		-0,09 +9,1		-0,12 +8,9			
1,0		-0,09 +9,3		-0,12 +9,1		-0,08 +11,6	
1,2		-0,09 +9,5		-0,12 +9,3			
1,9						-0,21 +17,3	
OPREMA ZA MERITEV : 1. Most ZERA WM1000U; No. 070000048; 23675 PTB 18. 2. Etalon Siemens, VTO I 55, 6B/22478, 23705 PTB 18 3. Teret Končar, VB-2, 035/07, 531/18 KIET. 4. Teret Končar, Ue-T1, MU-1595, 443/18 KIET., Diferencijalna mjerna metoda							
5. Polaritet preiskušen nasproti označitev : preiskušeno pravilno stanje. Polarity was tested according to markings: and found OK.							
PRIMJEDBA / REMARKS:							
ZAKLJUČAK: Transformator je uspješno prošel sva preiskusovanja u skladu sa Publikacijom IEC 61869-3 CONCLUSION: Transformer satisfactory passed the tests in accordance with Publication IEC 61869-3							
Zagreb, 7.12.2021.		Izvršil: Tested by: Jbraković		Potvrdil: Approved by: Čukman		Žig laboratorija: Checked by:	

Priloga 4: Izjava o skladnosti NMT



KONČAR – Mjerni transformatori d.d.,
Josipa Mokrovića 10
10 090 Zagreb, Republika Hrvatska

**IZJAVA O SKLADNOSTI
DECLARATION OF CONFORMITY**

Izdana na podlagi certifikata o odobritvi sistema kakovosti št. 6418-21/2021/7, ki ga je izdal Urad RS za meroslovje dne 14.7.2021.

Issued on the base of the Certificate of the approved quality system of the manufacturer No. 6418-21/2021/7, approved by the Metrology institute of the Republic of Slovenia on 14.7.2021.

**KONČAR – Mjerni transformatori d.d., Josipa Mokrovića 10,
10 000 Zagreb, Republika Hrvatska (ident. št. 393)**

S polno odgovornostjo izjavlja, da je merilo:
Declares with the whole responsibility, that the instrument:

Napetostni merilni transformator za električne števec - instrumentni transformator
Voltage measuring transformer for the electrical energy meters – instrument transformer

Proizvajalec (Manufacturer)	KONČAR - Mjerni transformatori d.d.
Oznaka tipa merila (Type, model)	4VPA1-12
Uradna oznaka (official mark)	SI 01-14-004
Številka certifikata o odobritvi tipa merila in datum izdaje certifikata: No of type approval certificate and date of approval	5111-037/00-03 30.11.2001.
Tovarniška številka: Manufacturer number	51002895

Ustreza in je v skladu s tipom merila, ki je določen v certifikatu o odobritvi tipa merila 5111-037/00-03 in dodatkom št. 6411-15/2021/4 z dne 3.8.2021. ter meroslovnimi zahtevami določenimi v Pravilniku o meroslovnih zahtevah za merilne transformatorje za električne števec (Uradni list RS, št. 30/02 in 28/06).

Corresponds to the production model described in the Certificate of the type approval No. 5111-037/00-03 and appendix No. 6411/15/2021/4 dated 3.8.2021. and fulfils the metrological requirements defined in the Regulation of metrological requirements for the measuring transformers for the electrical counters (Official gazette of the R. of Slovenia, No. 30/02 and 28/06.

Zagreb, 7.12.2021.

-----Marko Čukman, B.Sc. (Eng)-----
(ime in priimek pooblaščenice osebe)
(name and family name of the authorized person)

Priloga 5: Poročilo o preizkusu zaščit G1

**ZAPISNIK O PREIZKUSU FUNKCIONALNOSTI
ELEKTRIČNE ZAŠČITE PO REKONSTRUKCIJI HE**

Objekt: mHE Hubelj
Naprava: Generator 1
Prisotni: /
Datum: 12. 1. 2023
Št. DN: /

Program preizkušanja

	Vrsta preizkušanja	dne
2.1	Preizkus karakteristik zaščitnih naprav	11.1. 2023
2.2	Kontrola signalizacije	11.1. 2023
2.3	Preizkus delovanja zaščite v živo	12.1. 2023
2.4	Kontrola meritev med obratovanjem	12.1. 2023
2.5	Nastavitve releja	12.1. 2023

UGOTOVITVE

V skladu s protokolom so bile preizkušene vse električne zaščite. Zaščitni rele deluje pravilno in v skladu z nastavitvami.

Nova Gorica, 16. 1. 2023

Služba za el.
zaščito:

Miha Leban

Prilogi:

1. Osnovni podatki
2. Merilni protokol

1. Osnovni podatki

Podatki generatorja	
Proizvajalec: AEM; Tip: SFH 630 L6; tov. št: 3021 00046; Un: 2 kV; Sn: 2650 kVA; In: 765 A; cos p: 0,8; n: 1000 obr/min	
Merilni transformatorji	
NMT	2000/ $\sqrt{3}$ / 100/ $\sqrt{3}$ / 100/ $\sqrt{3}$ / 100/3 V
TMT – 20 kV	2X40/5/5A 5VA 5P10 (vezava 80/5)
TMT – 2 kV	2X400/5/5A 5VA 5P10 (vezava 800/5)
Zaščitni terminal	
Omara: +1CNA01	
1. zaščitni terminal –F101 Proizvajalec: ABB; tip: REG 615; Order number: HBGDBCADABC1BNN11G Tov. št.: 1VHR91654733 $U_{pomožna}$: 48-250 VDC $I_n = 1$ oz. 5 A $U_n = 100$ V	
Preizkusni sistem	
OMICRON; tip: CMC356; ser. št.: CN159P	

2. Merilni protokol

2.1 Preizkus karakteristik zaščitnih naprav

Opomba: Nastavitve vseh funkcij so relativne glede na prestavo TMT in ne glede na navidezno moč generatorja.		
Sponke:	Delovanje na HZ2	PV 8 B
	Izklop odklopnika Q0 (delovanje na izklopilno tuljavo 1)	PV 9 B
	Izklop odklopnika Q0 (delovanje na izklopilno tuljavo 2)	PV 11 B
	UL1	PV 2 B
	UL2	PV 3 B
	UL3	PV 4 B
	N	PV 5 B
	UN	23 B
	N	24 B
	IL1 20 kV	PV 17 B
	IL2 20 kV	PV 18 B
	IL3 20 kV	PV 19 B
	IN 20 kV	PV 20 B

	IL1 2 kV	PV 13 B	
	IL2 2 kV	PV 14 B	
	IL3 2 kV	PV 15 B	
	IN 2 kV	PV 16 B	
Pretokovna zaščita 2 kV I>			
IED-funkcija: PHLPTOC1:1			
Nastavitev: 1,15xI _n ; 3 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Faza	L1	L2	L3
Pritegne (A)	5,8	5,8	5,8
Izklopilni časi (s) pri 5,9 A	3,02	3,02	3,03
Pretokovna zaščita 20 kV I>			
IED funkcija: DPHLPDOC1:1			
Nastavitev: 1,24xI _n ; 4 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Faza	L1	L2	L3
Pritegne (A)	6,25	6,25	6,25
Izklopilni časi (s) pri 6,4 A	4,02	4,02	4,03
Kratkostična zaščita 20 kV I>>			
IED-funkcija: DPHHPDOC1:1			
Nastavitev: 8,1xI _n ; 0,1 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Faza	L1	L2	L3
Pritegne (A)	40,6	40,6	40,6
Izklopilni časi (s) pri 41,0 A	0,12	0,12	0,12
Pretokovno/podnapetostna zaščita I>U<			
IED-funkcija: PHPVOC1:1			
Nastavitev: Start value 1,24xI _n ; Start value low 0,10xI _n ; Voltage high limit 0,90 xU _n ; Voltage low limit 0,01 xU _n ; 3s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Vzbujanje	t (s)		
46,3V; 5,56 A	/		
46,0V; 5,56 A	3,01		
23,2V; 3,00 A	/		
23,0V; 3,00 A	3,01		
5,8V; 1,076 A	/		
5,7V; 1,076 A	3,01		
Tokovna nesimetrija I2>			
IED-funkcija: MNSPTOC:1			

Nastavitev: $0,05xI_n$; Inv. Curve A, $k=5$	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
$I_2=2,390 A/3$	182,6
Povratna moč P-	
IED-funkcija: DOPDPR1:1	
Nastavitev: $0,02xS_n$; 5s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne (mA)	100
Izklopilni čas (s) pri 120 mA	5,01
Zaščita pred izpadom iz sinhronizma	
IED-funkcija: DOPDPR2:2	
Nastavitev: $0,56xS_n$; 60° ; 0,1s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Izklopilni časi	
Vzbujanje (A)	t (s)
2,75A @120°	/
2,85A @120°	0,12
Zaščita pred izpadom vzbujanja X<	
IED-funkcija: UEXPDIS1:1	
Nastavitev: Diameter: 172 % Z_n ; Offset: -9 % Z_n ; 2 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
2.75A @ 90°	/
2.77A @ 90°	2,02

Prenapetostna U>	
IED-funkcija: PHPTOV1:1	
Nastavitev: $1,2xU_n$; 2,5 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne UL 12 (V)	69,4
Pritegne UL 23 (V)	69,4
Pritegne UL 31 (V)	69,4
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
UL12=69,6 V	2,52
UL 23=69,6 V	2,53
UL13=69,6 V	2,53
Prenapetostna U>>	

IED-funkcija: PHPTOV2:2	
Nastavitev: 1,3xU _n ; 0,4s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne UL 12 (V)	75,2
Pritegne UL 23 (V)	75,2
Pritegne UL 31 (V)	75,2
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
UL12=75,4 V	0,42
UL 23=75,4 V	0,43
UL13=75,4 V	0,42
Zemeljskostična 3U0>	
IED-funkcija: ROVPTOV1:1	
Nastavitev: 0,1xU _n ; 1,0s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne UL12 (V)	10,1
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
3 U0=9,5 V	/
3 U0=10,5 V	1,02

2.2 Kontrola signalizacije

Signalizacija deluje pravilno.

2.3 Preizkus delovanja zaščite v živo

Opravljen je bil preizkus zaščite pred povratno močjo v živo. Pri obratujočem generatorju smo zaprli vodilnik. Prišlo je do aktivacije zaščite pred povratno močjo, ki je povzročila izklop generatorskega odklopnika in HZ2 agregata.

Priloga 6: Poročilo o preizkusu zaščit G2

**ZAPISNIK O PREIZKUSU FUNKCIONALNOSTI
ELEKTRIČNE ZAŠČITE PRED SPUŠČANJEM V POGON**

Objekt: mHE Hubelj
Naprava: Generator 2
Prisotni: /
Datum: 11.1. 2023
Št. DN: /

Program preizkušanja

	Vrsta preizkušanja	Dne
2.1	Preizkus karakteristik zaščitnih naprav	11.1. 2023
2.2	Kontrola signalizacije	11.1. 2023
2.3	Preizkus delovanja zaščite v živo	22.12. 2022
2.4	Kontrola meritev med obratovanjem	11.1. 2023
2.5	Nastavitve releja	11.1. 2023

UGOTOVITVE

V skladu s protokolom so bile preizkušene vse električne zaščite. Zaščitni rele deluje pravilno in v skladu z nastavitvami.

Nova Gorica, 16.1. 2023

Služba za el.
zaščito:

Miha Leban

Prilogi:

1. Osnovni podatki
2. Merilni protokol

1. Osnovni podatki

Podatki generatorja	
Proizvajalec: AEM; Tip: SFH 560 S6; tov. št: 3021 00045; Un: 2 kV; Sn: 1280 kVA; In: 370 A; cos p: 0,8; n: 1000 obr/min	
Merilni transformatorji	
NMT	2000/ $\sqrt{3}$ / 100/ $\sqrt{3}$ / 100/ $\sqrt{3}$ / 100/3 V
TMT – 20 kV	2X40/5/5A 5VA 0,5 FS10; 5P10 (vezava 80/5)
TMT – 2 kV	2X300/5/5A 5VA 5P10 (vezava 600/5)
Zaščitni terminal	
Omara: +2CNA01	
<p>3. zaščitni terminal –F101 Proizvajalec: ABB; tip: REG 615; Order number: HBGDBCADABC1BNN11G Tov. Št.: 1VHR91654732 $U_{pomožna}$: 48-250 VDC $I_n = 1$ oz. 5 A $U_n = 100$ V</p>	
Preizkusni sistem	
OMICRON; tip: CMC356; ser. št.: CN159P	

2. Merilni protokol

2.1 Preizkus karakteristik zaščitnih naprav

Opomba: nastavitve vseh funkcij so relativne glede na prestavo TMT in ne glede na navidezno moč generatorja.		
Sponke:	Delovanje na HZ2	PV 8 B
	Izklop odklopnika Q0 (delovanje na izklopilno tuljavo 1)	PV 9 B
	Izklop odklopnika Q0 (delovanje na izklopilno tuljavo 2)	PV 11B
	UL1	PV 2 B
	UL2	PV 3 B
	UL3	PV 4 B
	N	PV 5 B
	UN	23 B
	N	24 B
	IL1 20 kV	PV 17 B
	IL2 20 kV	PV 18 B
	IL3 20 kV	PV 19 B
	IN 20 kV	PV 20 B

	IL1 2 kV	PV 13 B	
	IL2 2 kV	PV 14 B	
	IL3 2 kV	PV 15 B	
	IN 2 kV	PV 16 B	
Pretokovna zaščita 2 kV I>			
IED-funkcija: PHLPTOC1:1			
Nastavitev: 0,74xI _n ; 3s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Faza	L1	L2	L3
Pritegne (A)	3,75	3,75	3,75
Izklopilni časi (s) pri 3,8 A	3,02	3,03	3,02
Pretokovna zaščita 20 kV I>			
IED-funkcija: DPHLPDOC1:1			
Nastavitev: 0,60xI _n ; 4s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Faza	L1	L2	L3
Pritegne (A)	3,05	3,05	3,05
Izklopilni časi (s) pri 3,1 A	4,02	4,02	4,03
Kratkostična zaščita 20 kV I>>			
IED-funkcija: DPHHPDOC1:1			
Nastavitev: 5,0xI _n ; 0,1s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Faza	L1	L2	L3
Pritegne (A)	25,2	25,2	25,2
Izklopilni časi (s) pri 25,4 A	0,12	0,12	0,12
Pretokovno/podnapetostna zaščita I>U<			
IED funkcija: PHPVOC1:1			
Nastavitev: Start value 0,8xI _n ; Start value low 0,10xI _n ; Voltage high limit 0,90 xU _n ; Voltage low limit 0,01 xU _n ; 3s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2		
Rezultati preizkusov			
Vzbujanje	t (s)		
46,3V; 3,605 A	/		
46,0V; 3,605 A	3,01		
23,2V; 2,304 A	/		
23,0V; 2,304 A	3,02		
5,8V; 0,854 A	/		
5,7V; 0,854 A	3,01		
Tokovna nesimetrija I2>			
IED-funkcija: MNSPTOC:1			

Nastavitev: $0,05xI_n$; Inv. Curve A, $k=5$	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
$I_2=1,55A/3$	183,4
Povratna moč P-	
IED-funkcija: DOPDPR1:1	
Nastavitev: $0,02xS_n$; 5 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne (mA)	100
Izklopilni čas (s) pri 120 mA	5,02
Zaščita pred izpadom iz sinhronizma	
IED-funkcija: DOPDPR2:2	
Nastavitev: $0,36xS_n$; 60° ; 0,1 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Izklopilni časi	
Vzbujanje (A)	t (s)
1,75 A @ 120°	/
1,85 A @ 120°	0,12
Zaščita pred izpadom vzbujanja X<	
IED-funkcija: UEXPDIS1:1	
Nastavitev: Diameter: 294 % Z_n ; Offset: -13 % Z_n ; 2s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
1.6 A @ 90°	/
1.65 A @ 90°	2,02

Prenapetostna U>	
IED-funkcija: PHPTOV1:1	
Nastavitev: $1,2xU_n$; 2,5s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne UL12 (V)	69,4
Pritegne UL23 (V)	69,4
Pritegne UL31 (V)	69,4
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
UL12=69,6 V	2,52
UL 23=69,6 V	2,53
UL13=69,6 V	2,53
Prenapetostna U>>	
IED-funkcija: PHPTOV2:2	

Nastavitev: 1,3xU _n ; 0,4 s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne UL 12 (V)	75,2
Pritegne UL 23 (V)	75,2
Pritegne UL 31 (V)	75,2
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
UL 12=75,4 V	0,42
UL 23=75,4 V	0,43
UL 13=75,4 V	0,43
Zemeljskostična 3U0>	
IED-funkcija: ROVPTOV1:1	
Nastavitev: 0,1xU _n ; 1,0s	Delovanje: izklopilna tuljava 1 in 2, HZ2
Rezultati preizkusov	
Pritegne UL12 (V)	10,1
Izklopilni časi	
Vzbujanje	t (s)
3 U0=9,5 V	/
3 U0=10,5 V	1,02

2.2 Kontrola signalizacije

Signalizacija deluje pravilno.

2.3 Preizkus delovanja zaščite v živo

Opravljen je bil preizkus zaščite pred povratno močjo, v živo. Pri obratujočem generatorju smo zaprli vodilnik. Prišlo je do aktivacije zaščite pred povratno močjo, ki je povzročila izklop generatorskega odklopnika in HZ2 agregata.

Priloga 7: Poročilo o preizkusu zaščite ločilnega mesta

ZAPISNIK O PREIZKUSU FUNKCIONALNOSTI ELEKTRIČNE ZAŠČITE PO REKONSTRUKCIJI HE

Objekt: mHE Hubelj
Naprava: Ločilno mesto
Prisotni: Ivan Šverko
Datum: 16.1. 2023

Program preizkušanja

	Vrsta preizkušanja	Dne
2.1	Preizkus karakteristik zaščitnih naprav	13.1. 2023
2.2	Kontrola signalizacije	16.1. 2023
2.3	Funkcionalni preizkus delovanja zaščite	13.1. 2023
2.4	Kontrola meritev med obratovanjem	16.1. 2023
2.5	Nastavitve releja	13.1. 2023

UGOTOVITVE

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

Nova Gorica, 16.1. 2023

Služba za el. zaščito:

Miha Leban

Prilogi:

1. Osnovni podatki
2. Merilni protokol

1. Osnovni podatki

Merilni transformatorji	
NMT	$\frac{20000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}} / \frac{100}{3} V$
TMT – AJX02	2X75/5/5A 5VA 5P10 (vezava 150/5)
Zaščitni terminal	
Omara: +CNP01	
3. Zaščitni terminal –F101 Proizvajalec: ABB; tip: REG 615; Order number: HBGDBCADABC1BNN11G Tov. št.: 1VHR91697830 $U_{pomožna}$: 48-250 VDC $I_n = 1$ oz. 5 A $U_n = 100$ V	
Preizkusni sistem	
OMICRON; tip: CMC356; ser. št.: CN159P	

2. Merilni protokol

2.1 Preizkus karakteristik zaščitnih naprav

Sponke	Izklop generatorskega odklopnika generatorja 1	PV 6 B
	Izklop generatorskega odklopnika generatorja 2	PV 7 B
	Aktivacija HZ2 (3) generatorja 1	PV 9 B
	Aktivacija HZ2 (3) generatorja 2	PV 11 B
	UL1	PV 2 B
	UL2	PV 3 B
	UL3	PV 4 B
	N	PV 5 B
	UN	PV 23 B
	N	PV 24 B
	IL1	PV 13 B
	IL2	PV 14 B
	IL3	PV 15 B
	IN	PV 16 B

Prenapetostna zaščita 1. stopnja U>	
IED-funkcija: PHPTOV1:1	
Nastavitev: 1,11xU _n ; 1,9s (Setting group 1 in 2)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Prategne / spusti (V)	64,2 / 61,5

Vzbujanje	t (s)
UL1, UL2, UL3 = 64,7 V	1,92
Prenapetostna zaščita 2. stopnja U>>	
IED-funkcija: PHPTOV2:2	
Nastavitev: 1,15xU _n ; 0,1 s (Setting group 1 in 2)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne (V)	66,5
Vzbujanje	t (s)
UL1, UL2, UL3 = 69,3V	0,12

Podnapetostna zaščita 1. stopnja U<	
IED-funkcija: PHPTUV1:1	
Nastavitev: 0,85xU _n ; 1,9s (Setting group 1 in 2)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne / spusti (V)	49,1 / 51,1
Vzbujanje	t (s)
UL1, UL2, UL3 = 46,2 V	1,92

Podnapetostna zaščita 2. stopnja U<<	
IED-funkcija: PHPTUV2:2	
Nastavitev: 0,7xU _n ; 0,1s (Setting group 1 in 2)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne (V)	40,4
Vzbujanje	t (s)
UL1, UL2, UL3 = 37,5 V	0,12

Podfrekvenčna zaščita f<	
IED-funkcija: FRPFRQ2:2	
Nastavitev: 0,94xf _n = 47 Hz; 0,1s (Setting group 1 – paralelno obratovanje) 0,90 xf _n = 45 Hz; 5 s (Setting group 2 – otočno obratovanje)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne / spusti (Hz)	47,00 / 47,05 (paralelno obratovanje)
	44,95/45,05 (otočno obratovanje)
Vzbujanje	t (s)
46,8 Hz	0,17 (paralelno obratovanje)
44,8 Hz	4,99 (otočno obratovanje)

Nadfrekvenčna zaščita f>	
IED-funkcija: FRPFRQ1:1	

Nastavitev: 1,04xf _n = 52 Hz; 0,1s (Setting group 1 – paralelno obratovanje) 1,10 xf _n = 55 Hz; 5s (Setting group 2 – otočno obratovanje)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne / spusti (Hz)	52,00 / 51,90 (paralelno obratovanje)
	55,00/54,90 (otočno obratovanje)
Vzbujanje	t (s)
52,1 Hz	0,10 (paralelno obratovanje)
55,1 Hz	5,00 (otočno obratovanje)
Podfrekvenčna zaščita 2. st. f<<	
IED-funkcija: FRPFRQ4:4	
Nastavitev: blokirana (Setting group 1 – paralelno obratovanje) 0,80 xf _n = 40 Hz; 0,2 s (Setting group 2 – otočno obratovanje)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2(3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne (Hz)	40,00 (otočno obratovanje)
Vzbujanje	t (s)
39,8 Hz	0,24 (otočno obratovanje)

Nadfrekvenčna zaščita 2.st. f>>	
IED-funkcija: FRPFRQ3:3	
Nastavitev: blokirana (Setting group 1 – paralelno obratovanje) 1,20 xf _n = 60 Hz; 0,2 s (Setting group 2 – otočno obratovanje)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne (Hz)	60,10 (otočno obratovanje)
Vzbujanje	t (s)
60,1 Hz	0,20 (otočno obratovanje)
Zemeljskostična zaščita U0	
IED-funkcija: ROVPTOV1:1	
Nastavitev: 0,3xU _n 4 s (Setting group 1 in 2)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 (3) generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Pritegne (V)	30,10
Vzbujanje	t (s)
30,5 V	4,02

Zaščita pred povratno delovno močjo (zaščita pred prekomerno delovno močjo v omrežje) P-	
IED-funkcija: DOPDPR1:1	
Nastavitev: 0,52xS _n 120 s – izklop G2; 130 s – izklop G1 (Setting group 1 in 2)	Delovanje: izklop odklopnika generatorja 1 in 2, aktivacija HZ2 generatorja 1 in 2
Rezultati preizkusov	
Vzbujanje	t (s)
2,55 A	/
2,65 A	120 s (izklop G2) / 130 s (izklop G1)

Opomba: nastavitve izklopilnih časov zaščit ločilnega mesta so za 100 ms krajše od zahtev v SONDSEE, saj je potrebno upoštevati še odzivni čas odklopnika.

2.2 Kontrola signalizacije

Signalizacija deluje pravilno.

2.3 Funkcionalni preizkus delovanja zaščite

Izvedena sta bila dva testa delovanja zaščite ločilnega mesta, v živo.

Prvič smo izvedli test aktivacije podnapetostne zaščite. Ko sta obratovala oba generatorja na mreži, smo z vstavljanjem vezic v preizkusno vtičnico zaščite ločilnega mesta odvzeli zaščitnemu releju merilno napetost. Prišlo je do aktivacije podnapetostne zaščite, ki je izključila oba generatorskega odklopnika in aktivirala HZ2 obeh generatorjev. Po povratku merilne napetosti in po pretečenem času je prišlo do ponovnega avtomatskega starta agregatov.

Drugi test je bil test zaščite pred prekomerno oddano delovno močjo v omrežje. V kanalu med bazenom in zajetjem elektrarne smo vzpostavili vodne pogoje, pri katerih je bilo za kratek čas mogoče preseči delovno moč 2750 kW. Ko smo presegli omenjeno delovno moč, je prišlo po 120 sekundah do aktivacije 1. stopnje omenjene zaščite in aktivacije HZ2 ter izklopa generatorskega odklopnika agregata 2. Ker je delovna moč takrat padla pod vrednost 2000 kW, do aktivacije druge stopnje ni prišlo.