

Projektiranje tipske transformatorske stanice 10/0,4

Petrović, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:012997>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

**PROJEKTIRANJE TIPSKE TRANSFORMATORSKE
STANICE 10/0,4**

Rijeka, rujna 2022.

Filip Petrović

02750585815

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

**PROJEKTIRANJE TIPSKE TRANSFORMATORSKE
STANICE 10/0,4**

Mentor: mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.

Rijeka, rujna 2022.

Filip Petrović

02750585815

Rijeka, 15. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**
Predmet: **Elementi elektroenergetskih postrojenja**
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Filip Petrović (0275058581)**
Studij: **Preddiplomski stručni studij elektrotehnike**

Zadatak: **Projektiranje tipske transformatorske stanice 10/0,4 kV / Design of the typical transformer substation 10/0,4 kV**

Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati elemente tipske distribucijske transformatorske stanice 10/0,4 kV. Definirati izbor i dimenzioniranje opreme. Izvršiti tehničke proračune kratkog spoja, uzemljenja i zaštite. Razraditi proces projektiranja transformatorske stanice na jednom konkretnom primjeru.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Petrović

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

Mžinić

Mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

Vlahinić

Prof. dr. sc. Saša Vlahinić

IZJAVA

Na temelju čl. 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija od siječnja 2020. izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad naslova "Projektiranje tipske transformatorske stanice 10/0,4".

Rijeka, rujan 2022.

Filip Petrović



ZAHVALA

Zahvaljujem svojoj mentorici *mr. sc. Marijani Živić Đurović*, v. pred. na podršci i brojnim stručnim savjetima prilikom pisanja završnog rada.

Zahvalio bih se i svojim kolegama u poduzeću Teh Projekt d.o.o. na podršci te na ustupanju materijala potrebnih za izradu završnog rada. Također, zahvaljujem svojoj obitelji i prijateljima na pruženoj podršci i razumijevanju tijekom pisanja završnog rada.

Sadržaj

1.	UVOD.....	1
2.	ELEKTROENERGETSKI SUSTAV REPUBLIKE HRVATSKE.....	2
2.1.	Proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj	2
2.2.	Prijenosne i distribucijske mreže u Republici Hrvatskoj.....	2
2.3.	Potrošači električne energije	4
3.	TRANSFORMATORSKA STANICA.....	6
3.1.	Dijelovi transformatorske stanice	7
3.1.1.	Transformator	7
3.1.2.	Zaštitni uređaji.....	8
3.1.3.	Prekidači	9
3.1.4.	Odvodnik munje	10
3.1.5.	Izolatori	10
3.1.6.	Sabirnica	10
3.1.7.	Kompenzacija	11
4.	PROJEKTIRANJE TRANSFORMATORSKE STANICE 10(20)/0.4..	12
4.1.	Postrojenje	13
4.1.2.	Niskonaponsko postrojenje 0,4kV	16
4.1.3.	Ormar kompenzacije	17
4.1.4.	Spojevi na srednjem naponu.....	17
4.1.5.	Spojevi na niskom naponu	18
4.1.6.	Sustav zaštite	19
4.1.7.	Mjerenje.....	20
4.1.8.	Upravljanje	21
4.1.9.	Uzemljenje.....	21
4.1.10.	Električna instalacija rasvjete i priključnica.....	23
5.	PRORAČUN KRATKOG SPOJA I KONTROLA OPREME.....	25
5.1.	Postrojenje 10(20) kV	25
5.2.	Postrojenje 0,4 kV.....	27
5.3.	Kontrola veze NN blok – energetski transformator.....	29
5.4.	Kontrola veze NN blok - kompenzacija	29
5.5.	Proračun uzemljenja	30
6.	ZAKLJUČAK.....	32
7.	LITERATURA.....	33

8.	SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLISKOM JEZIKU.....	34
9.	POPIS SLIKA.....	35

1. UVOD

Pojedinac o električnoj energiji ne razmišlja dok je ne nestane. U takvim trenucima može spoznati koliko je električna energija postala važna u svakodnevnom životu. Električna energija putuje od elektrane do krajnjeg potrošača jedinstvenom mrežom. Svi dijelovi mreže prilično su javni i lako vidljivi. Kako bi struja stigla do kućanstava, prvo treba proći kroz prijenosnu mrežu, a zatim doći do distribucijske mreže. Taj prijenos energije događa se u nekoliko faza i na mjestima koje se nazivaju transformatorske stanice.

Na početku rada analizira se elektroenergetski sustav Republike Hrvatske. Riječ je o sustavu koji kreće od izvora, odnosno od elektrana do krajnjeg korisnika. Na tom putu prolazi prijenosnim i distribucijskim mrežama te kroz transformatorske stanice koje se nalaze između dva naponska nivoa. U radu se analiziraju i transformatorska stanica, njezini dijelovi te njezine funkcije. Transformatorske stanice mogu biti građevnog tipa, što znači da su postavljene ili izgrađene na čvrstim betonskim temeljima (najčešće su i same armiranobetonske strukture). Međutim, mogu biti i stupne izvedbe u kojima se transformator postavlja na čvrsti metalni stup, pri čemu se s tog stupa dalje prenosi električna energija. Takve transformatorske stanice predviđene su za manju snagu zbog ograničenog prostora i težine koju stup može podnijeti. U završnom radu obrađuje se i projekt transformatorske stanice od armiranobetonske strukture. Za opisanu transformatorsku stanicu koristi se tipski transformator 10(20)/0,4 kV. Projekt se izrađuje na zahtjev investitora te se prema njemu dimenzionira oprema i rade proračuni kratkog spoja, uzemljenja i zaštite.

2. ELEKTROENERGETSKI SUSTAV REPUBLIKE HRVATSKE

Elektroenergetski sustav (EES) Republike Hrvatske sastoji se od proizvodnih objekata i postrojenja, prijenosnih i distribucijskih mreža te potrošača električne energije. S ciljem učinkovite opskrbe krajnjih korisnika električnom energijom taj je sustav povezan s elektroenergetskim sustavom susjednih zemalja te sa sustavima članova ENTSO-E u kojem članice čine sinkroni sustav mreže kontinentalne Europe. Kupci u Republici Hrvatskoj napajaju se električnom energijom iz elektrana na području Republike Hrvatske, ali je i učestala praksa nabave električne energije iz inozemstva. Naime, hrvatski elektroenergetski sustav ubraja se u manje sustave u Europi. Najviše proizvodnih elektrana nalazi se na jugu države odakle se kasnije električna energija prenosi na sjever te sa sjevera na jug. [1]

2.1. Proizvodnja električne energije u Republici Hrvatskoj

Proizvodnja električne energije kreće od pretvorbe različitih vrsta energije, odnosno energenata. Energenti mogu biti voda, ugljen, nuklearna energija, vjetar, sirova nafta itd. Električna energija proizvodi se u elektranama. U Republici Hrvatskoj najzastupljenije su termoelektrane i hidroelektrane, ali se električna energija proizvodi i u vjetroelektranama i solarnim elektranama. U hidroelektranama potencijalna energija vode pokreće turbinu koja je vezana na osovinu generatora u kojem se potom inducira napon. Hidroelektrane mogu biti akumulacijske, protočne i crpno-akumulacijske. Termoelektrane za proizvodnju električne energije koriste fosilna goriva. U novije vrijeme prelazi se na biootpad. Razlikuju se parne termoelektrane, termoelektrane-toplane (koje mogu istovremeno proizvoditi električnu i toplinsku energiju), plinsko-turbinske te plinsko-parne termoelektrane. [4]

HEP Proizvodnja d.o.o. nalazi se u sustavu HEP grupe čija je funkcija upravljanje djelatnostima proizvodnje električne i toplinske energije. U sklopu HEP Proizvodnje d.o.o. nalazi se 28 hidroelektrana i sedam termoelektrana. U HEP grupi osim HEP proizvodnje električnu energiju proizvodi Termoelektrana Plomin d.o.o. koja vodi računa o termoelektrani snage 210 MW. Za izgradnju i korištenje obnovljivih izvora energije kao izvora električne energije u Republici Hrvatskoj zaslužni su HEP Obnovljivi izvori energije d.o.o. [3].

HEP Grupa raspolaže s ukupno 20,2 TWh od čega je 13,731 TWh proizvedeno u elektranama koje su u vlasništvu Republike Hrvatske, dok je preostalih 6,452 TWh nabavljeno iz inozemstva.

2.2. Prijenosne i distribucijske mreže u Republici Hrvatskoj

Elektrane manjih snaga spajaju se na distribucijsku mrežu ili izravno s potrošačima, a elektrane većih snaga spajaju se na prijenosnu mrežu.

Prijenosna mreža jest mreža kojom se električna energija odvodi iz elektrane do distribucijske mreže. U prijenosnoj se mreži razmjenjuju snage elektroenergetskih sustava. Za prijenos električne energije kod prijenosnih sustava koriste se zračni i kabelski vodovi visokog napona (110 kV i više). Osim visokonaponskih vodova prijenosna mreža obuhvaća rasklopna postrojenja. Riječ je o transformatorskim stanicama koje se koriste za transformaciju električne energije jednog naponskog nivoa u drugi, stoga su prijenosne mreže ključni dio elektroenergetskih mreža. Prijenosne se mreže sastoje od:

- **zračnih i kabelskih vodova** koji služe za prijenos električne energije između dva rasklopna postrojenja – obično se koriste za prijenos električne energije na velikim udaljenostima (do nekoliko stotina kilometara)
- „**mrežnih**“ **transformatora** pomoću kojih se transformira električna energija višeg naponskog nivo u niži i obrnuto:
 - između dvije naponske razine unutar prijenosne mreže (400/220kV, 220/110kV, 400/110kV)
 - između prijenosnih mreža i distribucijske mreže (110/35kV, 110/10kV)
 - između prijenosne mreže i električnih postrojenja s velikim industrijskim potrošačima (110/6kV).

Distribucijske mreže služe za distribuiranje električne energije preuzete iz prijenosnih mreža manjih elektrana do potrošača manjih i srednjih snaga spojenih na distribucijsku mrežu. Sastoje se od zračnih i kabelskih vodova (dimenzioniranih za manje nazivne napone) te rasklopnih postrojenja (manjih nazivnih napona u odnosu na prijenosne mreže). Mogu se podijeliti u dvije skupine: [5]

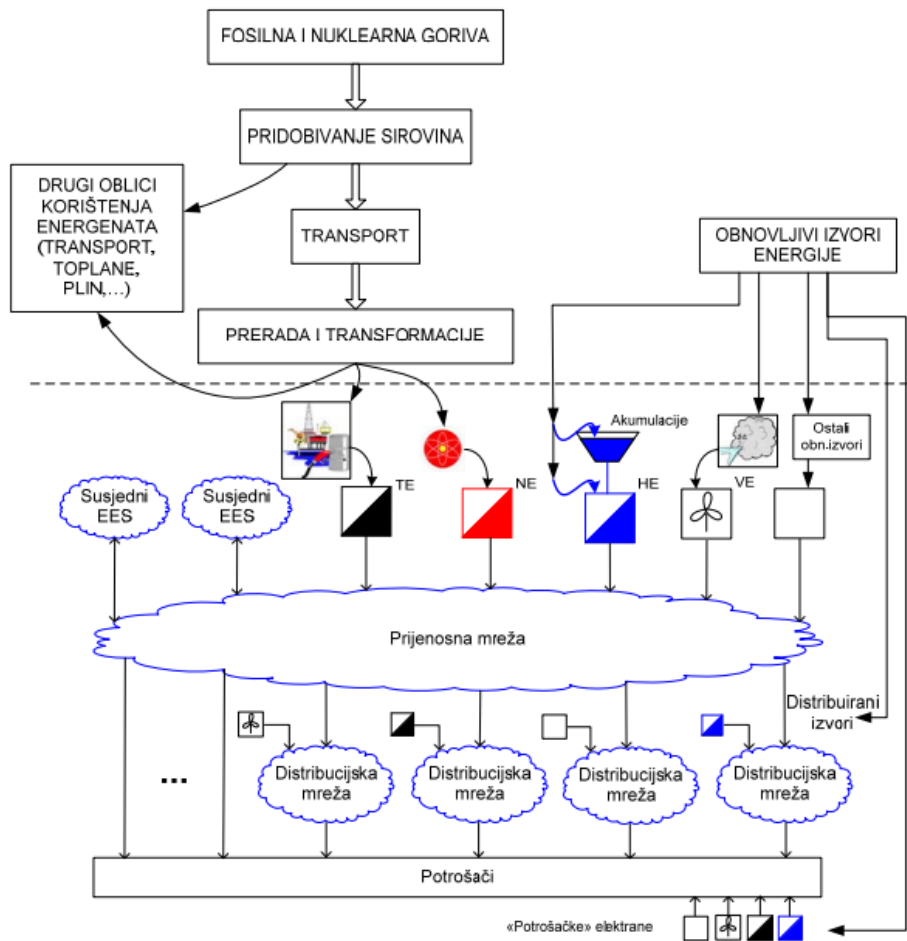
- distribucijske mreže na srednjem naponu (nazivnih napona 35kV, 20kV, 10kV)
- distribucijske mreže na niskom naponu (nazivnog napona 0.4kV).

Distribucijske mreže sastoje se od:

- **zračnih i kabelskih vodova** koji za svoju namjenu prenose električnu energiju, ali na znatno manje udaljenosti u odnosu na prijenosne mreže (do nekoliko desetaka kilometara)
- **distribucijskih transformatora** koji služe za transformiranje električne energije iz jedne naponske razine u drugu:
 - unutar distribucijskih mreža (35/10kV, 10(20)/0,4kV)
 - kada treba transformirati električnu energiju iz distribucijske mreže u postrojenje industrijskog potrošača (35/6kV, 10(20)/0,4kV).

2.3. Potrošači električne energije

Potrošači ili trošila električne energije jesu svi oni uređaji koji električnu energiju preuzimaju iz mreže te je koriste za svrhu za koju su namijenjeni. Pod potrošačima može biti obuhvaćen i dio prijenosne i distribucijske mreže, ali samo kada se promatra dio elektroenergetskog sustava određenog naponskog nivoa, dok se ostali dijelovi nižih naponskih razina karakteriziraju kao potrošači s definiranom impedancijom ili snagom. Distribucijske mreže koje se napajaju električnom energijom iz promatrane prijenosne mreže uzimaju se kao definirane impedancije koje „izlaze“ iz prijenosne mreže. [5]



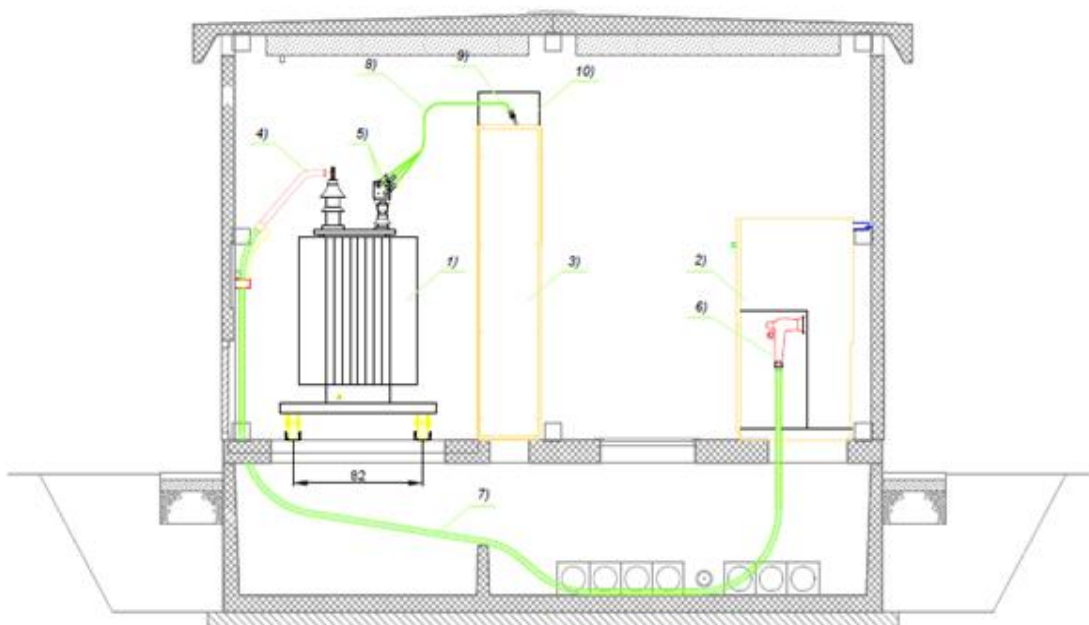
Slika 2.1. Elektroenergetski sustav

Elektroenergetska mreža može se reprezentirati kao pojednostavljeni dio elektroenergetskog sustava. Ta mreža sadrži dijelove pomoću kojih se izravno proizvodi, prenosi, distribuira i troši električna energija. Transformatorska stanica ili elektrana pripada elektroenergetskom sustavu, dok pojedinačni dio kao generator u elektrani ili blok transformator u transformatorskoj stanici pripada elektroenergetskoj mreži.

3. TRANSFORMATORSKA STANICA

Transformatorska stanica (trafostanica) je objekt ili prostor izgrađen za potrošače električne energije, a služi za povezivanje mreža različitih naponskih razina. Prilikom distribucije električne energije iz elektrane do potrošača električna energija prolazi kroz nekoliko transformatorskih stanica na različitim naponskim nivoima. Transformatorske stanice mogu biti u vlasništvu države, nekog industrijskog pogona ili privatnog kupca. Prema vrsti izrade razlikuje se nekoliko vrsta električnih postrojenja:

- transformatorske stanice u armiranim betonskim objektima
- metalom oklopljene transformatorske stanice
- transformatorske stanice za montažu na stupove.



Slika 3.1. Presjek armiranobetonske transformatorske stanice

Na početku izgradnje transformatorske stanice nužno je izraditi svu potrebnu dokumentaciju kako bi se mogle dobiti dozvole potrebne za početak rada. Osnovna dokumentacija obuhvaća elektrotehnički projekt transformatorske stanice. Elektrotehnički projekt transformatorske stanice treba sadržavati detaljne nacрте objekta s pripadajućim elementima te proračune kratkog spoja, uzemljenja i zaštite.

U osnovne dijelove koji čine kompaktnu transformatorsku stanicu ubrajaju se energetska transformatori, kabeli i sabirnice, mjerni transformatori, uzemljenje, zaštitni uređaji itd.

3.1. Dijelovi transformatorske stanice

3.1.1. Transformator

Transformator je glavni dio svake transformatorske stanice. Riječ je o pasivnoj komponenti koja prenosi električnu energiju iz jednog električnog kruga u drugi ili, pak, u više krugova. Promjenjiva struja u bilo kojoj zavojnici transformatora proizvodi različiti magnetski tok u jezgri transformatora. To inducira različitu elektromotornu silu na svim drugim zavojnicama omotanima oko iste jezgre. Primarna je podjela transformatora na sljedeće:

- **zračne transformatore** – jezgra je izgrađena od nevodljivih materijala
- **transformatore sa željeznom jezgrom** – za razliku od zračnog transformatora u tim transformatorima magnetski tok prolazi kroz željeznu jezgru.

Prema namjeni transformatori mogu biti:

- **energetski transformatori** – koriste se u transformatorskim stanicama za prijenos i transformaciju električne energije
- **mjerni transformatori** – koriste se za mjerenje struja većih vrijednosti.

Energetski (učinski) transformatori koriste se u prijenosnim i distribucijskim mrežama. Prema izvedbi se razlikuju uljni i suhi transformatori. U uljnim transformatorima namotaji se polažu u kotao, gdje se nalazi ulje za izolaciju i rasipanje topline, dok su u zračnim transformatorima namotaji okruženi zrakom. Zbog bolje izolacijske čvrstoće od zraka za transformatore veće snage koriste se uljni transformatori. Transformatorsko ulje ima dobru specifičnu gustoću pa se može koristiti kao rashladno sredstvo.

Mjerni, odnosno strujni transformatori koriste se za mjerenje struja velikih vrijednosti, odnosno struja koje se ne mogu mjeriti izravnim uključivanjem brojila zbog prekoračenja njihovih mjernih područja. Prednost je mjernih transformatora galvanska izolacija mjernih instrumenata od mjernog kruga koji je pod visokim naponom.



Slika 3.2. Energetski transformator

3.1.2. Zaštitni uređaji

Zaštitni uređaj vrsta je opreme koja se koristi u elektroenergetskim sustavima za otkrivanje nenormalnih okolnosti te poduzimanje odgovarajućih korektivnih radnji. Njima se otkrivaju različiti kvarovi te poduzimaju odgovarajuće korektivne mjere. Primjeri zaštitnih uređaja jesu odvodnici munje, zaštita od prenapona, osigurači i releji, prekidači strujnog kruga, uređaji za ponovno uključivanje itd.

Ponekad u normalnom radu elektroenergetskih sustava dolazi do poremećaja zbog prirodnih pojava (kao što su munje, vjetar ili snijeg), padajućih objekata (poput drveća) i kontakta sa životinjama. Do poremećaja može doći i zbog ljudske pogreške, odnosno zbog nesavjesnih vozača automobila i drugih cestovnih vozila, nemarnih postupaka osoblja za održavanje pogona i sl. Isto tako, normalni rad elektroenergetskih sustava mogu narušiti kvarovi na opremi koje generira sustav, odnosno prenaponi sklopki, promjene opterećenja itd.

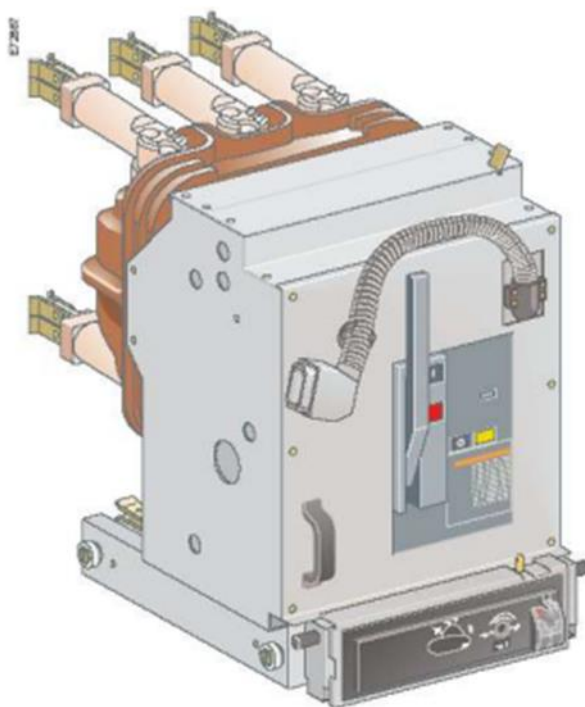
Distribucijska trafostanica je trafostanica koja distribuira električnu energiju različitim potrošačima. Postoje mnogi dolazni i odlazni krugovi u podstanici, svaki sa svojom zaštitom. Opremu koja se u trafostanici koristi za zaštitu čine prekidači, odvodnik munje, izolatori, sabirnica te sustavi kompenzacije.

3.1.3. Prekidači

Prekidač strujnog kruga temeljna je zaštitna oprema trafostanice koja se koristi za trenutno prekidanje napajanja kada dođe do kvara na prekidaču ili ploči. Taj prekidač može otkriti i ukloniti probleme u djeliću sekunde, ograničavajući štetu isključivo na mjesto kvara. Prekidači strujnog kruga prekidaju ekstremno visoke struje, odnosno struje koje mogu biti deset puta veće od uobičajenih pogonskih struja. Razlikuju se niskonaponski i visokonaponski prekidači. Visokonaponski prekidači uglavnom se koriste u trafostanicama, a niskonaponski u kućanstvima. Važni su visokonaponski prekidači koji se koriste u električnim podstanicama:

- SF6 prekidač
- vakuumski prekidač.

Zaštitni relej još je jedan važan uređaj u rasklopnom uređaju elektroenergetskog sustava. Relej detektira nenormalne uvjete i šalje signal okidanja prekidaču. Nakon što od releja primi naredbu za isključivanje prekidač strujnog kruga izolira pokvareni dio od elektroenergetskog sustava. Taj se prekidač sastoji od fiksnih i pokretnih kontakata. Kontakti su smješteni u zatvorenoj komori koja sadrži medij za gašenje luka (tekućinu ili plin) nastao između kontakata. Proizvodnja luka odgađa proces prekidanja struje, ali stvara i ogromnu toplinu. Ta toplina može oštetiti sustav ili prekidač, stoga je važno što prije u prekidaču ugasiti luk kako toplina koju stvara ne bi mogla doseći opasnu vrijednost. [7]



Slika 3.3. Srednjenaponski plinom izolirani prekidač

3.1.4. Odvodnik munje

Odvodnik munje također se koristi za zaštitu trafostanica. Taj je sigurnosni uređaj važan jer ne štiti samo vrijednu opremu, već i radnike. Djeluje tako da zaustavlja i odvodi prenapon munje u zemlju. Odvodnici munje prisutni su između voda i zemlje u blizini elektroenergetskog sustava.

3.1.5. Izolatori

Primarna je svrha izolatora zaštititi kabele ili opremu pod naponom od visokih napona te istovremeno pružiti mehaničku potporu strukturi tla. Pružanje odgovarajuće izolacije u trafostanici ključno je za opremu za zaštitu trafostanice u smislu pouzdanosti opskrbe i sigurnosti osoblja.

3.1.6. Sabirnica

Električna sabirnica određuje se kao vodič ili skupina vodiča koji se koriste za prikupljanje električne energije od ulaznih vodova i njihovu distribuciju do izlaznih vodova. Drugim riječima, električna sabirnica je vrsta električnog spoja u kojem se susreću sve ulazne i izlazne električne struje. Dakle, električna sabirnica skuplja električnu energiju na jednom mjestu. Sabirnice se

izrađuju od barka i aluminija. Mogu biti plosnatog, okruglog ili U profila ako se koriste za nazivne snage do 35 kV, odnosno mogu se izraditi kao uže ili cijev ako su namijenjene za snage veće od 35 kV.

3.1.7. Kompenzacija

Prijenos jalove snage u elektroenergetskom sustavu smanjuje kvalitetu mrežnih parametara te uzrokuje gubitke napona i djelatne snage u električnim sustavima. Kako bi se spriječile štetne pojave vezane za prijenos jalove snage u elektroenergetskim mrežama u blizini mjesta proizvodnje jalove snage koriste se sustavi kompenzacije.



Slika 3.4. Kompenzacija u vodnom polju zajedno sa sklopnicama [6]

4. PROJEKTIRANJE TRANSFORMATORSKE STANICE 10(20)/0.4

U projektu transformatorske stanice obrađuje se tipska transformatorska stanica smještena u armiranobetonskom objektu. Elektrotehničkim projektom izvodi se spajanje na srednjenaponsku mrežu investitora, smještaj te povezivanje transformatorske stanice s pripadajućim dijelovima (SN blok, energetski transformator, NN blok). Također se rješavaju problematika uzemljenja i kompenzacije te ostale specifičnosti povezane s projektiranjem transformatorske stanice. Na području na kojem je planirana izrada transformatorske stanice postoji SN mreža koja povezuje trafostanice u vlasništvu investitora. Kako postojeće trafostanice nisu dostatne za napajanje novih potrošača, javila se potreba za izgradnjom nove trafostanice koju treba uklopiti u postojeću SN mrežu.

Prije samog početka projektiranja nužno je izraditi dokumentaciju o gradnji elektroenergetskih objekata prilikom izrade transformatorske stanice 10(20)/0.4:

- treba odrediti koja će se sve oprema koristiti za siguran i neovisan rad trafostanice 10(20)/0.4
- nužno je navesti sve građevinske objekte u sklopu transformatorske stanice te objekte u samoj transformatorskoj stanici kako bi se mogao odrediti smještaj elektroenergetske opreme potrebne za neometani rad bez negativnog utjecaja na okoliš
- treba postaviti video nadzor te sustav za komunikaciju s dispečerskim centrom za siguran rad te sigurno upravljanje elementima transformatorske stanice
- treba definirati vrstu uzemljenja transformatorske stanice 10(20)/0.4 kako bi ta transformatorska stanica zadovoljila prilike u sustavu.

Kako bi projektiranje transformatorske stanice bilo uspješno, transformatorsku stanicu treba projektirati kao konačni proizvod s odgovarajućom opremom. Budući da je svaka transformatorska stanica drukčije snage, za svaku treba napraviti vlastiti tipski projekt po kojem se standardiziraju tipski sklopni blokovi, sustav izoliranih sabirnica i visokonaponskih vakumskih prekidača. Uz glavno postrojenje nužno je predvidjeti pomoćno postrojenje sa sofisticiranom zaštitnom opremom te sustav za pomoćno napajanje izmjeničnim, odnosno istosmjernim naponom. Prilikom projektiranja treba osobito paziti da sva elektrooprema i svi radovi unutar transformatorske stanice budu odrađeni u skladu s postojećim hrvatskim IEC normama i načelima struke. Elementi trafostanice trebaju zadovoljavati maksimalne uvjete opterećenja, što znači da oprema mora biti dimenzionirana za najnepovoljnije kvarove koji se mogu pojaviti u trafostanici.

Planiranje i izgradnja transformatorske stanice obuhvaća i projektnu dokumentaciju koja se treba napraviti u skladu s normama struke, uzimajući u obzir sve specifične zahtjeve namjene objekta. To je složen proces, ali upravo zbog toga treba voditi računa o zaštiti okoliša te sigurnosti i zdravlju ljudi. Tehnički dio projektne dokumentacije treba sadržavati mjere zaštite na radu i zaštite od požara, program kontrole i osiguranja kvalitete, mjere zaštite okoliša, tehnički proračun i procjenu troškova gradnje.

4.1. Postrojenje

Nužno je odrediti kako će izgledati glavno postrojenje smješteno u projektiranu zgradu namijenjenu za montažu potrebne opreme. Osim toga, treba uključiti sva spajanja koja su nužna za puštanje transformatorske stanice u pogon, spajanje elektroenergetske opreme gornjeg i donjeg naponskog nivoa te spajanje energetskog transformatora. Tijekom projektiranja transformatorske stanice važno je da sva potrebna oprema bude u skladu s hrvatskim normama, normama prema IEC standardu, načelima struke te odgovarajućim dokazima kvalitete.

4.1.1.1. Srednjenaponsko postrojenje 10(20) kV

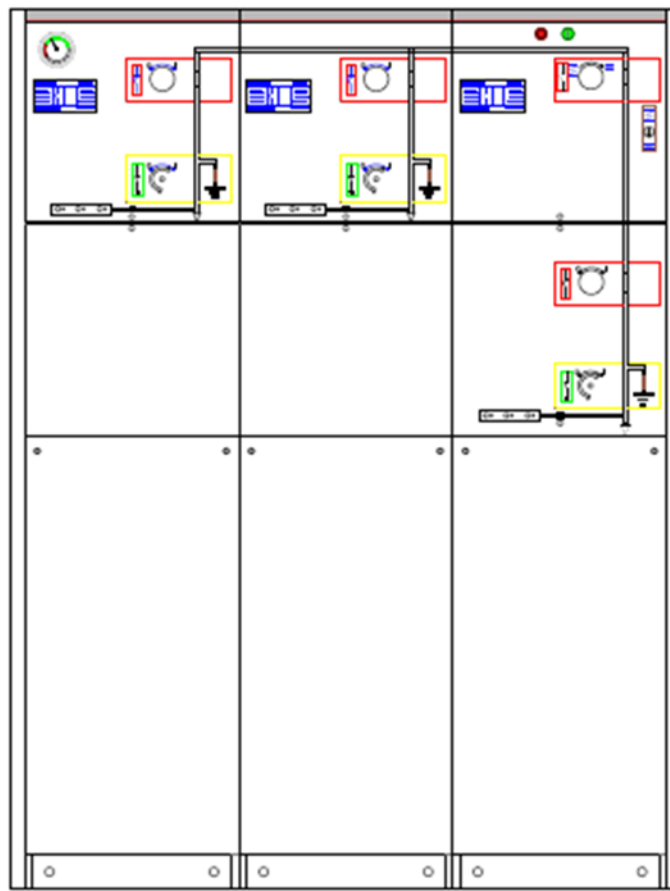
Za srednjenaponsko postrojenje 10(20) kV izabran je srednjenaponski sklopni blok koji čini kompaktno, SF6 plinom izolirano, potpuno oklopljeno i od opasnog napona zaštićeno sklopno postrojenje izvedbe „Ring Main Unit“ (RMU). Taj tip sklopnog postrojenja koristi se za distribuciju srednjeg napona. U njemu je integrirana električna oprema potrebna za spajanje mjerenje i integriranje fiksnog prekidača sa zaštitnom funkcijom transformatora. Rasklopno postrojenje je tip CCV 12/24 kV, 630 A, SafeRing, proizvodnje „ABB“. Dimenzije postrojenja su 1021 x 1336 x 865 mm.

Gledajući slijeva nadesno postrojenje ima sljedeću konfiguraciju:

+J1 - vodno polje (C)

+J2 - vodno polje (C)

+J3 - transformatorsko polje (V).



Slika 4.1. Srednjenaponsko postrojenje prikazano s prednje strane

Kako bi se što bolje iskoristio prostor u transformatorskoj stanici, sklopno postrojenje je kompaktni ormar s pristupačnim priključnicama i elementima upravljanja. Prednja strana opremljena je slijepom shemom sa signalizacijom stanja pojedinih sklopnih aparata.

Vodno polje sadrži sljedeću opremu:

- trolnu rastavnu sklopku sa zemljospojnikom nazivnog napona 24 kV, nazivne struje 630A
- kapacitivni indikator napona.

Transformatorsko polje sadrži sljedeću opremu:

- vakuumski prekidač, nazivnog napona 24 kV, nazivne struje 200 A, nazivne prekidne moći 16 kA
- rastavljač sa zemljospojnikom
- obuhvatne strujne transformatore nazivnog napona 12(24) k

- nadstrujni i kratkospojni relej
- isklopni okidač
- kapacitivni indikator napona.

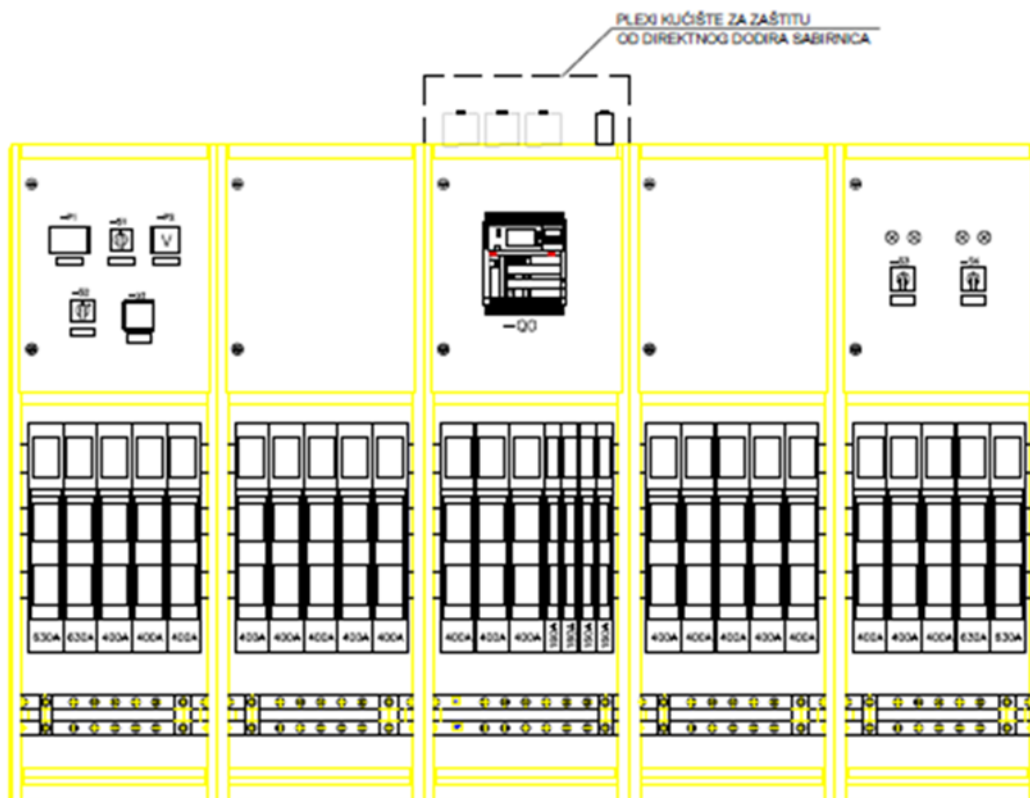
Zbog relativno velike struje koja se sklapa pomoću rastavnih sklopki upravlja se pomoću poluge. Pritom se upravljanje vrši u tri dijela: prije samog isklapanja pritisne se crveni gumb na prekidaču koji se želi iskllopiti, nakon čega se dovod automatski odvaja od sabirnice. Zatim se poluga uzemljenja prebacuje u otvoreni položaj i to okretanjem upravljačke poluge u suprotnu stranu od kazaljke na satu. Na kraju je polje uzemljeno zaključavanjem poluge na prekidaču te je prekidač izvan upotrebe dok se ne ponovi cijeli ciklus za njegovo uklapanje. Plin SF₆ služi i kao izolacija i kao medij za gašenje luka. Tlak plina kontrolira se manometrom koji se ugrađuje na prednjoj strani sklopnog bloka. Prisustvo napona signalizira se pomoću indikatora napona preko kapacitivnog djelitelja za priključak visokoomskog indikatora napona.

Osnovni tehnički podatci sredjenaponskog sklopnog bloka:

- nazivni napon	24(12) kV
- nazivna struja sabirnica	630 A
- nazivna frekvencija	50 - 60 Hz
- izolacija i medij za gašenje luka	SF ₆ plin
- nazivni podnosivi atmosferski udarni napon	125 kV
- nazivni jednominutni podnosivi napon 50 Hz	50 kV
- nazivna kratkotrajna podnosiva struja	16 kA/1s
- nazivna podnosiva vršna vrijednost struje	40 kA
- prekidna struja (vodna polja) – nazivna	630 A
- neopterećeni kabel	50 A
- zemljospojna	90 A
- kapacitivna prema zemlji	52 A
- prekidna struja (transformatorsko polje)	
- nazivna	200 A
- neopterećeni transformator	20 A
- kratkospojna	16 kA

4.1.2. Niskonaponsko postrojenje 0,4kV

Niskonaponsko postrojenje izvedeno je kao tvornički dogotovljeni i ispitani slobodnostojeći sklopni blok strukture od galvaniziranog čelika. Predviđeno je za pričvršćenje na betonski pod prostorije pomoću pričvrstnih elemenata, ukupnih dimenzija 3000 x 1905 x 400 mm (Š x V x D).



Slika 4.2. Nisko naponsko sklopno postrojenje

Sastavljeno je od pet polja (+N1, +N2, +N3, +N4, +N5), dovodnog transformatorskog polja s mjerenjem te razvodnih polja. Dovodno polje opremljeno je s trolpolnim zračnim prekidačem te tri strujna transformatora prijenosnog omjera 1500/5A, 10VA, kl. 0.5., $F_s = 5$. U gornjem dijelu ormara dovodnog polja smještene su redne stezaljke za pomoćne strujne krugove, minijaturni prekidači, relej zaštite transformatora, multimetar za mjerenje napona, struje, snage (P, Q, S), energije (radne i jalove), $\cos\phi$ itd. U donjem dijelu dovodnog polja nalaze se tri trolpolne izolirane rastavljačke pruge nazivne struje 400 A te četiri pruge nazivne struje 160 A. Ostala razvodna polja opremit će se s ukupno četiri trolpolne rastavljačke pruge nazivne struje 630 A te 16 trolpolnih rastavljačkih pruga nazivne struje 400 A. Svaka je pruga standardno opremljena priključnom kutijom sa stezaljkama za izravni priključak kabela. Priključak kabela na prugu predviđen je V-stezaljkama.

Osnovni tehnički podatci niskonaponskog sklopnog bloka:

- nazivni napon	1000 V
- nazivna struja	1600 A
- nazivna frekvencija	50 Hz
- nazivna kratkotrajna podnosiva struja	65 kA/1s
- nazivna podnosiva vršna vrijednost struje	143 kA

4.1.3. Ormar kompenzacije

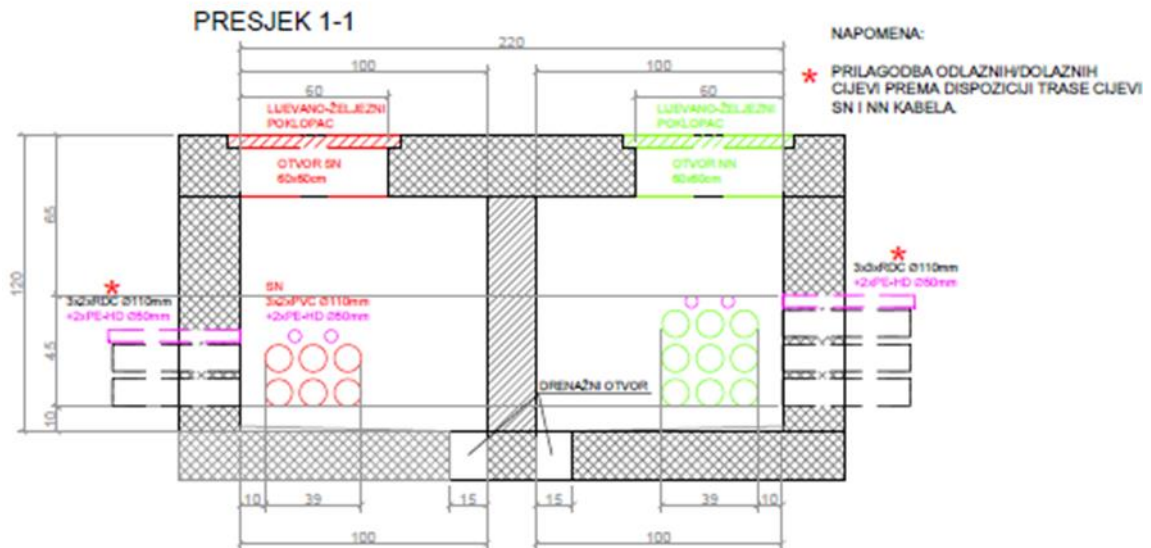
Za kompenzaciju jalove snage transformatora predviđa se slobodnostojeći limeni ormar kompenzacije 200 kVAr u sedam stupnjeva (2 x 25 kVAr + 5 x 50 kVAr) opremljen kondenzatorima, osiguračima i sklopticima te elektronskim regulatorom. Napajanje ormara kompenzacije izvodi se s razvodnog polja niskonaponskog postrojenja kabelima 3x(3x(H07V2-K 1x150 mm²)) za fazne vodiče te 2x(H07V2-K 1x150 mm²) za nul vodič. U razvodnom polju +N1 za ormar kompenzacije osigurana je jedna rastavljačka pruga 630A.

4.1.4. Spojevi na srednjem naponu

Spojni vod između transformatora i transformatorskog polja SN postrojenja izvodi se jednožilnim 12/20kV kabelima tipa i presjeka 3x(NA2XS(F)2Y, 1x70/16 mm²). Završetak kabela za priključak na transformator izvodi se standardnim izoliranim kabelskim završetcima, a za priključak na transformatorsko polje SN sklopnog bloka ekraniziranim kutnim priključkom, odnosno prema uputstvima proizvođača. Naime, prema zahtjevima proizvođača kabela polumjer savijanja kabela ne smije biti manji od 15d. Kabel se u trafo komori učvršćuje kabelskim obujmicama na konzolu pričvršćenu na zid radi osiguranja priključka na transformator. Montažu završetka i pripremu kabela treba obaviti prema uputama proizvođača, uz održavanje iznimne čistoće i pedantnost u radu.

Spajanje kabelskih stopica na vodiče kabela treba izvesti postupkom gnječenja. Kabeli se polažu u snopu povezani svakih 600 mm kako bi se spriječilo štetno djelovanje dinamičkih sila kratkog spoja.

Na 10 kV vodna polja +J1 i +J2 spajaju se kabeli tipa 3x(NA2XS(F)2Y, 1x150/25 mm²). Za prolaz dolazno/odlaznih kabela koriste se uvodnice zabetonirane na prednjoj i stražnjoj strani temelja. Prolaz kabela kroz uvodnice treba prikladno zabrtviti koristeći neki od provjerenih sustava brtvljenja. Sami kabeli položeni su po podu temeljne kade, a priključak na sklopni blok omogućen je odozdo, kroz prikladne podne otvore.



Slika 4.3. Detalji SN i NN zdenca

Nakon spajanja svih potrebnih dijelova postrojenja treba ispitati SN kabele. Ti se kabele ispituju tako da se prolazi kroz sve zadane tehničke propise te kriterije koje je postavio proizvođač kabela.

4.1.5. Spojevi na niskom naponu

Spojevi između transformatora i niskonaponskog sklopnog bloka izvode se pomoću izoliranih jednožilnih vodova tipa H07V2-K (P/FT) s odgovarajućim brojem vodiča po fazi, ovisno o nazivnoj struji NN strane transformatora. Za transformator nazivne snage 1000 kVA u ovom slučaju koristi se sljedeća konfiguracija NN spojnog voda:

- 5x(H07V2-K 1x150 mm²) za fazne vodiče
- 3x(H07V2-K 1x150 mm²) za nul vodič.

Krajevi navedenih spojnih vodova na strani energetskog transformatora izvode se pomoću standardnih pokositrenih bakrenih stopica kompresijskog tipa spojenih na izvode na transformatoru. Na strani NN sklopnog bloka kabele se na dovodnu sabirnicu NN razvoda spajaju putem kompresijskih stopica.

Kako bi se izvršio siguran i kvalitetan priključak, svi odvođi NN kabela spajaju se na osiguračku prugu pomoću V stezaljke. Sabirnice uzemljenja i nul vodiča smještene su na dnu NN bloka kako bi prilikom spajanja kabela imali najbolju preglednost ormara.

Da bi se osigurao kvalitetan prolaz odlaznih NN vodova iz transformatorske stanice prema krajnjem potrošaču, na rubu transformatorske stanice ugrađuju se uvednice koje osiguravaju

kvalitetno brtvljenje između vanjske i unutarnje strane. Za dodatnu sigurnost i kvalitetu samog prolaza kabela kroz uvodnice koristi se sredstvo za brtvljenje koje dodatno pospješuje izolaciju.

4.1.6. Sustav zaštite

Zaštita transformatora od preopterećenja i kratkog spoja djeluje na mehanizam za tropolno isključenje vakuumskog SN prekidača u transformatorskom polju. Na isklop prekidača usporedno djeluju termo protektor nadtemperaturne zaštite i elektronički relej za nadstrujnu zaštitu. Relej se priključuje na posebne obuhvatne strujne transformatore ugrađene u transformatorskom polju. Kada sekundarna struja strujnih transformatora prekorači dvostruku nazivnu vrijednost, zaštitni relej djeluje na isklopni svitak koji isklapa prekidač. Kašnjenje naponskog signala od trenutka prolaska struje prekoračenja ($2 \cdot I_n$) ovisi o veličini prekoračenja.

Najučinkovitija zaštita od preopterećenja transformatora i struje kratkog spoja jest Buholcov relej. Buholc u sebi ima dva stupnja zaštite, pri čemu je jedan signalizacija, a drugi izravno isklapa transformator iz pogona. Prilikom kratkog spoja ili preopterećenja transformatora u namotajima se zagrijava vodič, što dovodi do zagrijavanja ulja koje se zbog toga širi. Širenjem ulja u Buholcu reagira prvi stupanj zaštite (signalizacija) koji u kontrolnu sobu šalje signal upozorenja na mogući kvar. Ako je došlo do trenutnog preopterećenja, ulje će se ohladiti i vratiti relej u početni položaj. Međutim, ako je došlo do kratkog spoja i ulje se nastavi širiti, reagirat će drugi stupanj zaštite koji će automatski isključiti transformator iz mreže.

Napajanje zaštitnog releja odvija se preko strujnih transformatora obuhvatnog tipa ugrađenih na jednožilnim 20 kV energetskim kabelima tipa NA2XS(F)2Y 3x(1x70/16 mm²).

Budući da je predviđena ugradnja energetskog transformatora snage 1000 kVA, 20 kV, nazivna struja transformatora iznosi:

$$I_n = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 20}$$

$$I_n = 28,87 \text{ A}$$

Na 10 kV strani nazivna struja transformatora iznosi:

$$I_n = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10}$$

$$I_n = 57,73 \text{ A}$$

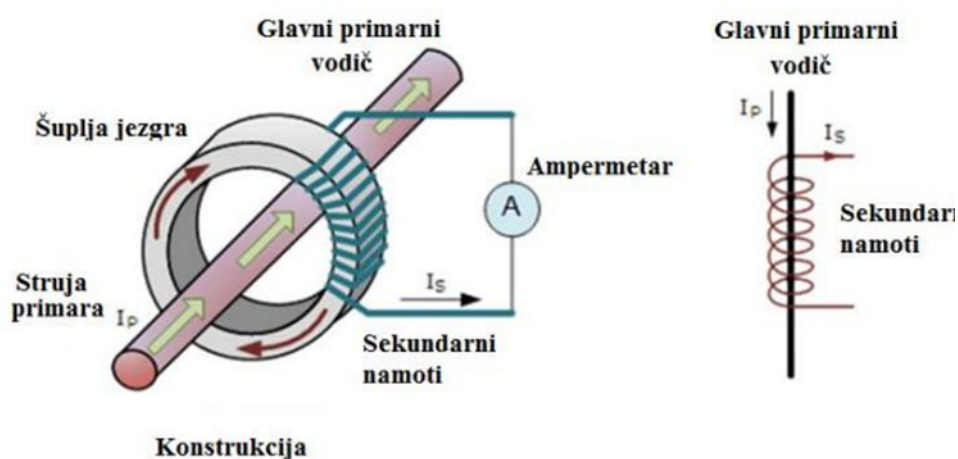
Prema dobivenim vrijednostima nazivnih struja, u skladu s uputama proizvođača sklopnog bloka, optimalno rješenje jest ugradnja strujnih transformatora tipa WIC1-W2.

4.1.7. Mjerenje

U transformatorskim stanicama mjerenjem se određuje vrijednost (ne)električnih veličina koje služe za određivanje pogonskih stanja postrojenja. U današnje vrijeme za sustavno mjerenje i interpretaciju izmjerenih vrijednosti u transformatorskim stanicama srednjeg i visokog napona koriste se pozicije polja kao tip RFX 63x, „Končar“. Kod vodnog i trafo polja fazne struje dovode se sa sekundara strujnih mjernih transformatora.

Strujni mjerni transformator vrsta je „instrumentalnog transformatora“ koji je dizajniran za proizvodnju izmjenične struje u svom sekundarnom namotu. Ta je izmjenična struja proporcionalna struji koja se mjeri u njegovom primarnom namotu. Strujni transformatori smanjuju visokonaponske struje na značajno niže vrijednosti i pružaju prikladan način sigurnog praćenja stvarne električne struje koja teče u dalekovodu izmjenične struje pomoću standardnog ampermetra. Princip rada osnovnog strujnog transformatora ponešto se razlikuje od običnog naponskog transformatora.

Za razliku od naponskog ili energetskog transformatora, strujni transformator se sastoji od samo jednog ili vrlo malog broja zavoja kao primarnog namota. Primarni namot može biti od jednog ravnog zavoja, zavojnice, teške žice omotane oko jezgre, samo vodiča ili sabirnice postavljene kroz središnju rupu.



Slika 4.4. Shematski prikaz mjerenja struje kod strujnog mjernog transformatora

Zbog vrste rasporeda strujni transformator se često naziva i serijskim transformatorom. Naime, primarni namot je u seriji s vodičem kroz koji prolazi struja i opskrbljuje opterećenje. Za potrebna mjerenja električnih veličina u trafostanici koristi se trofazni digitalni višefunkcijski mjerni instrument. Instrument mjeri, računa i pohranjuje trenutne, maksimalne, minimalne ili srednje vrijednosti napona, struja, faktora snage, $\cos \varphi$, frekvencije, snage, energije, THD-a te harmoničkih komponenti u naponu i struji za sve tri faze. Osim ovih veličina omogućuje i mjerenje i bilježenje temperature. Izmjerene vrijednosti pohranjuju se u memoriji kapaciteta 1 MB. Zabilježeni podatci jednostavno se mogu prenijeti u računalo korištenjem više vrsta komunikacijskih sučelja: RS-232, RS-485, MODBUS RTU ili korištenjem PDA koji služi kao jedinica za iščitavanje ili uređivanje postavki instrumenta.

Instrument se spaja na sekundar strujnih mjernih transformatora (5A), a naponske grane izravno na napon 230/400V.

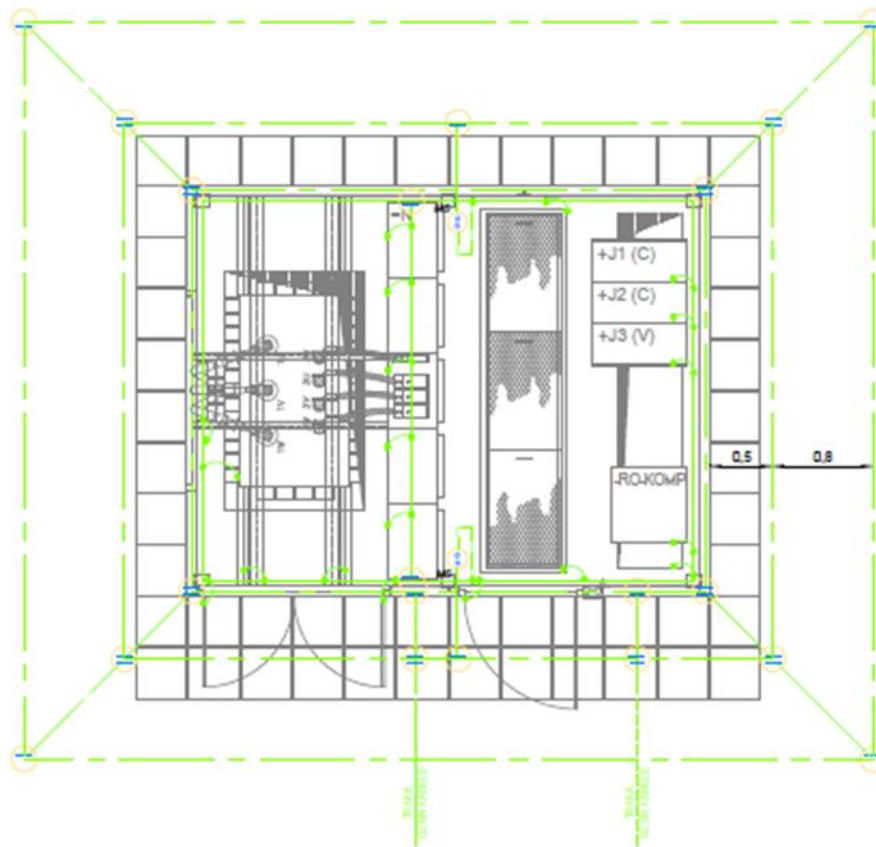
4.1.8. Upravljanje

Upravljanje opremom SN i NN razvoda izvodi se ručno s poslužne ploče. Pri tome su ispunjeni uvjeti sigurnosti manipulacije i mehaničke blokade koji onemogućuju krivu manipulaciju. Svi elementi koji su predmet bliskog i čestog dodira izolirani su i zaštićeni tako da je postignuta maksimalna zaštita od previsokog napona dodira.

Daljinski isklop prekidača omogućen je na dva načina: dovođenjem vanjskog signala nazivnog napona 230 V, 50 Hz na posebno označene priključke na releju zaštite (daljinski okidački izlaz) ili na odvojene stezaljke koje su spojene na posebni isklopni svitak (naponski svitak za daljinski isklop). Ta se opcija koristi samo na zahtjev krajnjeg korisnika.

4.1.9. Uzemljenje

Jedan od vitalnih aspekata zaštite ljudi i opreme u trafostanicama jest osiguranje odgovarajućeg sustava uzemljenja. Taj sustav povezuje neutralne vodove opreme, kućišta opreme, gromobranske stupove, odvodnike prenapona, nadzemne žice za uzemljenje te metalne strukture postavljajući ih na potencijal zemlje. Uzemljenje se izvodi kao združeno zaštitno i radno uzemljenje.



Slika 4.5. Uzemljenje transformatorske stanice

Spajanjem sabirnice uzemljenja koja se nalazi unutar transformatorske stanice s trakastim uzemljenjem koje se polaže oko betonskog dijela transformatorske stanice dobiva se zaštitno uzemljenje. Na sabirnicu uzemljenja spajaju se i metalni dijelovi koji čine konstrukciju armiranobetonskog objekta transformatorske stanice. Preko sabirnog voda uzemljuju se svi metalni dijelovi kotla energetskog transformatora i sklopnih blokova s ugrađenom elektroopremom. Svi predviđeni elektro ormari plastificirani su kako bi se maksimalno zaštitili od korozije i habanja. Zbog takve zaštite prilikom uzemljenja elektro ormara treba koristiti podloške s nazubljenim rubovima. Tako se postiže bolji spoj između uzemljivača i metalne konstrukcije. Osim toga, na sustav uzemljenja treba spojiti sljedeće elemente:

- sva vrata transformatorske stanice s fleksibilnom bakrenom pletenicom 16 mm²
- sve kableske glave (metalne dijelove)
- zaštitne plašteve kabela i ekrane energetskih kabela
- profilne nosače u transformatorskoj komori
- sve metalne dijelove konstrukcija, nosača i pokrovnih metalnih ploča
- noževe za uzemljenje u sklopu visokonaponskih sklopnih blokova
- kotao energetskog transformatora

- sekundarne strujne krugove mjernih transformatora
- odvodnike prenapona
- neutralni vodič niskonaponske mreže.

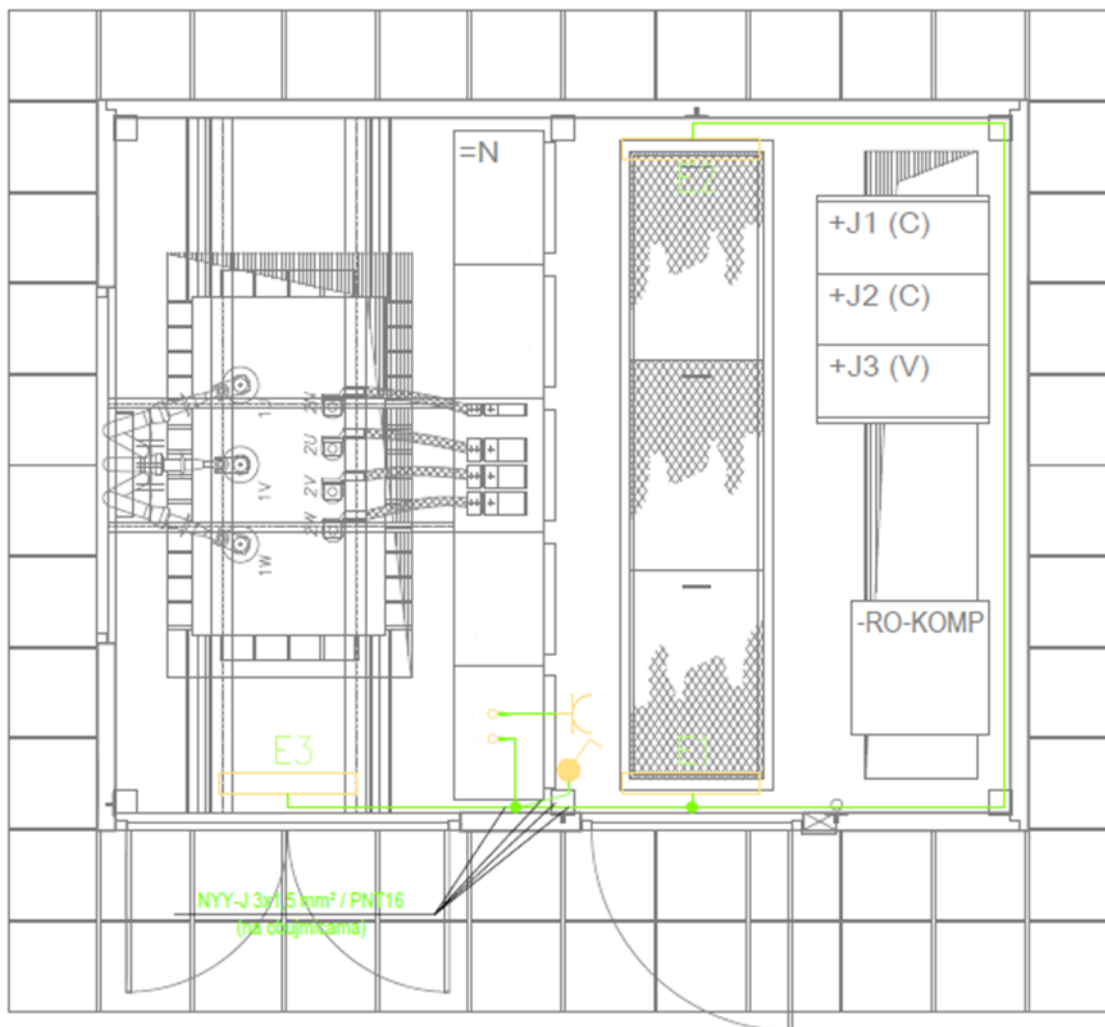
Kvalitetu izrade spojeva metalnih masa treba ispitati odgovarajućim mjerenjem i na kraju priložiti atest o valjanosti. Eventualna križanja traka uzemljivača s ostalim instalacijama nužno je izvesti u skladu s tehničkim propisima. Nakon izvedbe sustava uzemljenja treba izvršiti kontrolna mjerenja i prema potrebi korigirati uzemljivače.

Vanjski prsten uzemljivača polaže se u temelj trafostanice, drugi prsten se postavlja na 0,5 m, a treći na udaljenosti 1,3 m od temelja trafostanice. Pri tome se koristi Fe/Zn traka 40 x 4 mm kao standardno rješenje, a prema potrebi se može koristiti i Cu uže nominalnog presjeka 50 ili 70 mm². Vanjski prsten uzemljenja spaja se na sabirni vod unutarnjeg uzemljenja (Fe/Zn traka 25x4 mm) putem dva rastavna mjerna spoja.

4.1.10. Električna instalacija rasvjete i priključnica

U transformatorskoj stanici izvodi se vlastita instalacija za rasvjetu i utičnice. Instalacija transformatorske stanice izvedena je iz stezaljki smještenih ispred rastavne sklopke. Rasvjeta cjelokupnog objekta izvodi se nadgradnim svjetiljkama s LED izvorima snage 20 W, a uključuje se instalacijskom sklopkom 10 A, 250 V, smještenom neposredno uz ulazna vrata trafostanice.

U trafostanici je predviđena ugradnja servisne monofazne utičnica sa zaštitnim kontaktom, 16 A, 250 V. Ta se utičnica ugrađuje na vrata niskonaponskog sklopnog bloka.



Slika 4.6. Shema elektroinstalacija rasvjete i utičnica

5. PRORAČUN KRATKOG SPOJA I KONTROLA OPREME

5.1. Postrojenje 10(20) kV

Granična vrijednost struje kratkog spoja u mrežama nazivnog napona 24 kV iznosi 12,5 kA, što odgovara snazi kratkog spoja od 432,5 MVA. Prema tome, sva srednjenaponska električna oprema ugrađena u trafostanicu treba udovoljavati navedenim kriterijima.

Nazivni napon:	24 kV
Podnosiva vršna vrijednost struje k.s.	31,5 kA
Kratkotrajna podnosiva struja k.s. (1s)	12,5 kA

gdje je: $\chi = f\left[\frac{R}{X}\right]$ i za $R/X = 0,17$ iznosi:

$$\chi = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-\frac{3R}{X}} = 1,61 \quad (5.2)$$

Iz toga slijedi da je udarna struja kratkog spoja jednaka:

$$I_{ku} = 1,61 \cdot \sqrt{2} \cdot 12,5 = 28,46 \text{ kA} \quad (5.3)$$

Za termičko naprezanje sklopne aparature uslijed kratkog spoja mjerodavna je ekvivalentna termička struja kratkog spoja koja se računa prema izrazu:

$$I_{ekv} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad (5.4)$$

gdje je:

I_k'' - efektivna vrijednost izmjenične komponente struje kratkog spoja,

m – član određen istosmjernom komponentom struje kratkog spoja, ovisan o trajanju kratkog spoja i udarnom faktoru χ ,

n – član određen izmjeničnom komponentom struje kratkog spoja, ovisan o trajanju kratkog spoja i omjeru početne i trajne struje kratkog spoja.

Za $m = 0,05$ i $n = 0,98$, ekvivalentna termička struja kratkog spoja na 10(20) kV sabirnicama iznosi:

$$I_{ekv} = 12,5 \cdot \sqrt{0,05 + 0,98} = 12,69 \text{ kA} \quad (5.5)$$

Za 10(20) kV postrojenje izabran je tvornički proizveden SN blok sljedećih karakteristika:

- nazivni napon:	$U_n = 24 \text{ kV}$
- nazivna struja sabirnica	$I_n = 630 \text{ A}$
- nazivna struja rastavnih sklopki u vodnim poljima	$I_n = 630 \text{ A}$
- nazivna struja prekidača u trafo polju	$I_n = 200 \text{ A}$
- frekvencija	$f = 50 \text{ Hz}$
- podnosiva vršna struja	$I_{dyn} = 40 \text{ kA}$
- kratkotrajno podnosiva struja (1s)	$I_{th} = 16 \text{ kA}$

Nazivna struja na 20 kV strani iznosi:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 20} = 28,9 \text{ A} \quad (5.6)$$

Nazivna struja na 10 kV strani iznosi:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 10} = 57,7 \text{ A} \quad (5.7)$$

Kako je nazivna struja prekidača, odnosno rastavne sklopke puno veća od maksimalne nazivne struje transformatora na 10(20) kV strani ($28,9 \text{ A} (57,7 \text{ A}) < 200 \text{ A} < 630 \text{ A}$), SN blok u cijelosti zadovoljava u pogledu normalnog pogona.

U slučaju kratkog spoja na SN sabirnicama usporedbom izračunatih relevantnih struja kratkog spoja i podataka odabranog SN bloka može se zaključiti sljedeće:

- kratkotrajno podnosiva struja sklopnog bloka veća je od efektivne vrijednosti struje kratkog spoja ($16 \text{ kA} > 12,5 \text{ kA}$)
- podnosiva vršna vrijednost struje veća je od udarne struje kratkog spoja ($40 \text{ kA} > 28,46 \text{ kA}$).

Na temelju navedenog može se zaključiti kako **odabrani SN blok u cijelosti zadovoljava**.

5.2. Postrojenje 0,4 kV

Nadomjesna impedancija 20 kV mreže:

$$X_{M(20)} = \frac{1,1 \cdot U^2}{S_{k3}''} = \frac{1,1 \cdot 20^2}{432,5} = 1,017 \Omega \quad (5.8)$$

$$R_{M(20)} = 0,1 \cdot X_{M(20)} = 0,1017 \Omega \quad (5.9)$$

$$Z_{M(20)} = \sqrt{R_{m(20)}^2 + X_{m(20)}^2} = \sqrt{1,017^2 + 0,1017^2} = 1,022 \Omega \quad (5.10)$$

Nadomjesna impedancija 10 kV mreže:

$$X_{M(10)} = \frac{1,1 \cdot U^2}{S_{k3}''} = \frac{1,1 \cdot 10^2}{432,5} = 0,254 \Omega \quad (5.11)$$

$$R_{M(10)} = 0,1 \cdot X_{M(10)} = 0,0254 \Omega \quad (5.12)$$

$$Z_{M(10)} = \sqrt{R_{m(10)}^2 + X_{m(10)}^2} = \sqrt{0,254^2 + 0,0254^2} = 0,2552 \Omega \quad (5.13)$$

Impedancija mreže reducirane na 0,4 kV preko 20 kV strane:

$$Z_{m0,4} = Z_{M(20)} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 1,022 \cdot \left(\frac{0,4}{20}\right)^2 = 0,000409 \Omega \quad (5.14)$$

Impedancija mreže reducirane na 0,4 kV preko 10 kV strane:

$$Z_{m0,4} = Z_{M(10)} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = 0,2552 \cdot \left(\frac{0,4}{10}\right)^2 = 0,00040832 \Omega \quad (5.15)$$

Nadomjesni otpor transformatora nazivne snage 1000 kVA, napona kratkog spoja

$$u_{k\%} = 6 \% \quad (5.16)$$

$$Z_T = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U^2}{S_n} = \frac{6}{100} \cdot \frac{0,4^2}{1} = 0,0096 \Omega$$

Ukupni nadomjesni otpor za 20 kV iznosi:

$$Z = Z_{m0,4} + Z_T = 0,000409 + 0,0096 = 0,010009 \Omega \quad (5.17)$$

Ukupni nadomjesni otpor za 10 kV iznosi:

$$(5.18)$$

$$Z = Z_{m0,4} + Z_T = 0,000408 + 0,0096 = 0,010008 \Omega$$

Početna vrijednost struje trofaznog kratkog spoja na 0,4 kV sabirnicama za 20 kV iznosi:

$$I_k'' = \frac{1,1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1,1 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,010009} = 25,38 \text{ kA} \quad (5.19)$$

Početna vrijednost struje trofaznog kratkog spoja na 0,4 kV sabirnicama za 10 kV iznosi:

$$I_k'' = \frac{1,1 \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z} = \frac{1,1 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,010008} = 25,38 \text{ kA} \quad (5.20)$$

Zbog utjecaja transformatora mijenja se omjer R/X, odnosno faktor χ .

Za omjer R/X = 0,2, $\chi = 1,56$. (5.21)

Prema tome, udarna struja kratkog spoja iznosi:

$$I_{ku} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,56 \cdot \sqrt{2} \cdot 25,38 = 56,0 \text{ kA} \quad (5.22)$$

Ekvivalentna termička struja kratkog spoja koja je mjerodavna za termička naprezanja iznosi:

$$I_{ekv} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 25,38 \cdot \sqrt{0,05 + 0,98} = 56,8 \text{ kA} \quad (5.23)$$

Odabrano NN postrojenje sljedećih karakteristika:

- nazivni napon:	$U_n = 1000 \text{ V}$
- nazivna struja sabirnica	$I_n = 1600 \text{ A}$
- frekvencija	$f = 50 \text{ Hz}$
- podnosiva vršna struja	$I_{dyn} = 143 \text{ kA}$
- kratkotrajno podnosiva struja (1s)	$I_{th} = 65 \text{ kA}$

Nazivna struja na 0,4 kV strani iznosi:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1443,4 \text{ A} \quad (5.24)$$

Kako je nazivna struja NN sklopnog bloka veća od maksimalne nazivne struje transformatora na 0,4 kV strani ($1443,4 \text{ A} < 1600 \text{ A}$), NN blok potpuno zadovoljava u pogledu normalnog pogona.

U slučaju kratkog spoja na NN sabirnicama usporedbom izračunatih relevantnih struja kratkog spoja i podataka odabranog NN bloka može se zaključiti sljedeće:

- kratkotrajno podnosiva struja sklopnog bloka veća je od efektivne vrijednosti struje kratkog spoja ($65 \text{ kA} > 25,38 \text{ kA}$)

- podnosiva vršna vrijednost struje veća je od udarne struje kratkog spoja ($143 \text{ kA} > 56,0 \text{ kA}$).

Iz svega navedenog može se zaključiti kako **odabrani NN blok potpuno zadovoljava**.

5.3. Kontrola veze NN blok – energetski transformator

Presjek spojnog voda između SN sklopnog bloka i energetskog transformatora kontrolira se termičkim naprezanjem pri kratkom spoju.

Nazivna struja transformatora na sekundarnoj strani transformatora 1000 kVA iznosi:

$$I_n = 1443,4 \text{ A} \quad (5.25)$$

Prema podacima proizvođača kabela H07V2-K (P/FT) taj se kabel može opteretiti strujom 415 A, dok struja kratkog spoja koju podnosi kabel presjeka 150 mm^2 od 1s, uz početnu temperaturu od 90°C , iznosi 21,1 kA.

S obzirom na to da se za priključak koristi pet jednožilnih kabela presjeka 150 mm^2 po fazi, nazivna struja te konfiguracije iznosi (uzevši u obzir korekcijski faktor polaganja za temperaturu okoline $35\text{-}40^\circ\text{C}$):

$$I = 5 \cdot 415 \cdot 0,8 = 1660 \text{ A} \quad (5.26)$$

Ukupna dopuštena struja kratkog spoja iznosi:

$$I_{KS-dop} = 5 \cdot 21,1 \cdot 0,8 = 84,4 \text{ kA} \quad (5.27)$$

što je znatno više od efektivne srednje vrijednosti struje kratkog spoja koja iznosi 25,38 kA. Zbog toga se može zaključiti da odabrani kabel u cijelosti **zadovoljava**.

5.4. Kontrola veze NN blok - kompenzacija

Nazivna struja uređaja automatske kompenzacije snage 200 kVAr iznosi:

$$I_n = 300 \text{ A} \quad (5.28)$$

Prema podacima proizvođača kabela H07V2-K (P/FT) taj se kabel može opteretiti strujom 415 A, dok struja kratkog spoja koju podnosi kabel presjeka 150 mm² od 1s, uz početnu temperaturu od 90 °C, iznosi 21,1 kA.

S obzirom na to da se za priključak koriste tri jednožilna kabela presjeka 150 mm² po fazi, nazivna struja te konfiguracije iznosi (uzevši u obzir korekcijski faktor polaganja za temperaturu okoline od 35 do 40 °C):

(5.29)

$$I = 3 \cdot 415 \cdot 0,85 = 1058 \text{ A,}$$

Stoga se može zaključiti da kabel u cijelosti **zadovoljava**.

5.5. Proračun uzemljenja

Otpor rasprostiranja mrežastih uzemljivača u homogenom tlu može se procijeniti prema jednadžbi:

(5.30)

$$R_z = \frac{\rho}{2 \cdot D} + \frac{\rho}{L}$$

gdje je:

ρ - specifični otpor zemlje (200 Ω m)

D – promjer horizontalne kružne ploče čija je površina jednaka površini S koju zahvaća uzemljivač ($D = 1,128 \cdot \sqrt{S}$)

S - tlocrtna površina objekta (13,7 m²)

L – ukupna duljina trake položene u zemlju (70 m).

Otpor rasprostiranja u ovom slučaju iznosi:

$$R_z = \frac{200}{2 \cdot (1,128 \cdot \sqrt{13,7})} + \frac{200}{70} = 26,81 \Omega \quad (5.31)$$

Kako se u trafostanici izvodi združeno uzemljenje, tako je:

$$\frac{1}{R_{zdr}} = \frac{1}{R_z} + \sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \quad (5.33)$$

gdje je:

R_n – ukupni otpor uzemljivača uz SN i NN kabele.

Otpor rasprostiranja FeZn traka koje se polažu uz SN i NN kabela računa se prema izrazu za duge uzemljivače:

$$R_K = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \ln \frac{L^2}{dh} \quad (5.34)$$

gdje je:

ρ - specifični otpor zemlje (200 Ωm)

L – ukupna duljina trake položene u zemlju

d - računski promjer trake (0,0125 m)

h – dubina ukopa (0,5 m).

Prema tome, otpor uzemljivača položenog uz SN kabel ($l=190$ m)

$$R_{K(sn)} = \frac{200}{2\pi \cdot 190} \cdot \ln \frac{190^2}{0,0125 \cdot 0,5} = 2,61 \Omega \quad (5.35)$$

Konačno, uzimajući u obzir otpor rasprostiranja potencijalnog uzemljivača trafostanice, te otpor rasprostiranja ostalih uzemljivača koji su u galvanskoj vezi s uzemljivačem predmetne trafostanice može se reći da zaštitno uzemljenje trafostanice ima računsku vrijednost

$$\frac{1}{R_{zdr}} = \frac{1}{R_z} + \frac{1}{R_{K(sn)}} = \frac{1}{26,81} + \frac{1}{2,61} \quad (5.36)$$

$$R_{zdr} = 2,38 \Omega$$

S obzirom na to da u proračun zbog nepoznate duljine trase u obzir nije uzet otpor uzemljivača položenog uz NN kabele, stvarni otpor rasprostiranja bit će manji od izračunatog. Stoga je u prilagodnom projektu trafostanice nužno izvršiti proračun vrijednosti otpora rasprostiranja uzemljivača prema stvarnim vrijednostima.

6. ZAKLJUČAK

Na početku završnog rada predstavljen je elektroenergetski sustav Republike Hrvatske kako bi se lakše shvatio rad samog sustava. Poblizje je objašnjeno kako funkcionira elektroenergetski sustav koji ne čini samo mreža unutar Republike Hrvatske. Kompleksni elektroenergetski sustav Republike Hrvatske omogućuje kvalitetno i neometano opskrbljivanje hrvatskih građana električnom energijom. U Republici Hrvatskoj većina električne energije kreće od termoelektrana i hidroelektrana. Termoelektrane za svoju proizvodnju koriste fosilna goriva kao što su plin ili bio otpad, a hidroelektrane za pokretanje svoje turbine koriste vodu.

U radu je definiran i prijenos električne energije. Prijenosna mreža prvi je sustav električne energije nakon njezine proizvodnje otkuda dalje ide prema distribucijskoj mreži ili velikim potrošačima. Prilikom prelaska električne energije iz prijenosne prema distribucijskoj mreži treba smanjiti napon u transformatorskim stanicama.

Transformatorska stanica glavna je tema završnog rada te su detaljno analizirani njezini dijelovi i proces izgradnje tog objekta. Prije samog početka gradnje nužno je izraditi opsežnu dokumentaciju koja sadrži studije o potrebi gradnje transformatorske stanice. Gradnja transformatorske stanice vrlo je kompleksna, iako se možda ne čini tako. Prvo se projektira energetski transformator koji se koristi za transformaciju električne energije iz jednog naponskog nivoa u drugi. Nakon određivanja modela i vrste transformatora koji odgovara postavljenim zahtjevima, prelazi se na izbor opreme. Za srednjenaponsko postrojenje konfiguriraju se dva vodna polja i jedno transformatorsko polje koja se štite trolnom rastavnom sklopkom nazivnog napona 24 kV i nazivne struje 630A. Na niskonaponskoj strani postoji šest polja, od kojih je jedno transformatorsko polje s mjerenjem. Za mjerenje se koristi strujni mjerni transformator čija je funkcija spuštanje vrijednosti visokonaponskih struja koje protječu vodovima na vrijednostima prihvatljivim standardnim ampermetrima.

Na kraju završnog rada prikazan je proračun potreban za dimenzioniranje opreme koja se ugrađuje u transformatorsku stanicu. Proračun kratkog spoja pružio je vrijednost maksimalne vrijednosti struje kratkog spoja koja je potrebna za dimenzioniranje prekidača, sklopnih uređaja i mehaničkih naprezanja unutar vodova u vremenu prolaska struje. Uz proračun kratkog spoja napravljen je i proračun uzemljenja i zaštite, čime je projekt zaključen.

7. LITERATURA

[1] Ninoslav Holjevac: „Planiranje razvoj distribucijskih mreža“, FER Zagreb, srpanj 2013.

[2] Mladin, Tomislav, Dragoslav: „Distribucija električne energije“, Beograd, ožujak 2007.

[3] „Izvori energije“, s interneta:

<https://www.hep.hr/opskrba/trziste-elektricne-energije/trziste/izvori-energije/1385>,

(5.7.2022.)

[4] HEP operator distribucijskog sustava d.o.o.: „Desetogodišnji (2018-2027) razvoja distribucijske mreže HEP ODS-a“, Zagreb, prosinac 2017.

[5] Ranko, Damir, Ivan: „Distribucija električne energije“, FESB Split, 2008.

[6] Lagator Antonio: „Niskonaponski sklopni blok 2x1000 A s pripadajućom kompenzacijom“, FERIT Osijek, 2016.

[6] Robert, Petar: „Zaštita u elektroenergetskom sustavu“, Sveučilišni studij centar za stručne studije.

8. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLLESKOM JEZIKU

Za potrebe završnog rada izrađen je elektrotehnički projekt tipske transformatorske stanice 10(20)/0,4. Prilikom izrade projekta slijedila su se sva pravila i propisi koje je nužno zadovoljiti u projektiranju postrojenja takvog tipa. Izrađeni su proračuni kratkog spoja, uzemljenja i zaštite za dimenzioniranje opreme koja će se naknadno ugraditi. Projekt tipske transformatorske stanice izrađen je na zahtjev investitora zbog nedovoljne snage koja mu je potrebna za napajanje novih potrošača.

Ključne riječi: elektrotehnički projekt, transformatorska stanica, kratki spoj, uzemljenje, zaštita

For the purposes of this work an electrotechnical project of a type transformer station 10(20)/0.4 was created. When creating the project, all the rules and regulations that are required for the design of a plant of this type were followed. Calculations of short circuit, grounding and protection were made for dimensioning the equipment that will be installed later. The project of the typical transformer station was made at the request of the investor due to the insufficient power it needs to power new consumers.

Keywords: electrotechnical project, transformer station, short circuit, grounding, protection

9. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Elektroenergetski sustav	5
Slika 3.1. Presjek armiranobetonske transformatorske stanice	6
Slika 3.2. Energetski transformator	8
Slika 3.3. Srednjenaponski plinom izolirani prekidač	10
Slika 3.4. Kompenzacija u vodnom polju zajedno sa sklopnicima	11
Slika 4.1. Srednjenaponsko postrojenje prikazano s prednje strane	14
Slika 4.2. Niskonaponsko sklopno postrojenje	16
Slika 4.3. Detalji SN i NN zdenca.....	18
Slika 4.4. Shematski prikaz mjerenja kod strujnog mjernog transformatora	20
Slika 4.5. Uzemljenje transformatorske stanice	22
Slika 4.6. Shema elektroinstalacija rasvjete i utičnica	24