

**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U
TRAVNIKU**

**FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA TRAVNIK U
TRAVNIKU**

ZAVRŠNI RAD

**KARAKTERISTIKE I IZBOR OPREME ZA
DISTRIBUTIVNE TRAFOSTANICE**

Mentor:

Prof. dr. sc. Miladin Jurošević

Student:

Senaid Avdić

Travnik, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POJAM I OSNOVNI ZNAČAJ DISTRIBUTIVNE MREŽE	2
2.1 Struktura distributivnih mreža.....	4
2.2 Trafostanice	4
2.2.1 Distributivne trafostanice	5
2.2.1.1 Trafostanice SN/NN	5
2.2.1.2 Trafostanice SN/SN.....	10
2.2.1.3 Trafostanice VN/SN.....	12
2.2.2 Glavno postrojenje, postrojenje 35kV i postrojenje 10(20)kV	12
2.2.2.1 Postrojenje 35 kV	12
2.2.2.1.1 Prekidači u postrojenju 35kV	13
2.2.2.1.2 Mjerni transformatori u postrojenju 35kV	13
2.2.2.1.3 Uzemljivači u postrojenju 35kV	14
2.2.2.1.4 Odvodnici prenapona postrojenju 35kV	14
2.2.2.2 Postrojenje 10(20) kV	15
2.2.2.2.1 Prekidači u postrojenju 10(20)kV.....	15
2.2.2.2.2 Mjerni transformatori u postrojenju 10(20)kV	16
2.2.2.2.3 Uzemljivači u postrojenju 10(20)kV	17
2.2.2.2.4 Odvodnici prenapona u postrojenju 10(20)kV	17
2.2.2.3 Energetski transformatori	18
2.2.2.3.1 Transformatori 35/10,5(21) kV.....	18
2.2.2.3.2 Transformatori 10(20)/0,4 kV.....	18
2.2.2.3.3 Priključci energetskih transformatora	18
2.2.2.4 Postrojenje za uzemljenje neutralne tačke 10(20) kV	19
2.2.2.5 Priključak na 35 kV i 10 kV mrežu	19
2.2.2.6 Zaštita postrojenja	19
2.2.2.7 Pogonsko mjerjenje	22
2.2.2.8 Pomoćno napajanje.....	22
2.2.2.9 Razvod izmjeničnog napona 400/231V, 50Hz.....	22

2.2.2.10 Uzemljenje u postrojenju.....	23
3. IZBOR I DIMENZIONISANJE OPREME ZA DISTRIBUTIVNE TRAFOSTANICE	23
3.1 Izbor i dimenzionisanje opreme za 10(20)kV sklopne blokove.....	23
3.1.1 Prekidači u 10(20)kV sklopnim blokovima	23
3.1.2 Zemljospojnik u 10(20)kV sklopnim blokovima.....	24
3.1.3 Mjerni strujni transformatori u 10(20)kV sklopnim blokovima	24
3.2 Izbor i dimenzionisanje opreme za 35 kV sklopne blokove.....	25
3.2.1 Prekidač u 35kVsklopnim blokovima	25
3.2.2 Zemljospojnik u 35kV sklopnim blovokima	26
3.2.3 Mjerni strujni transformatori u 35kV sklopnim blokovima.....	26
4. PRIMJER STUBNE TRAFOSTANICE.....	27
4.1 Energetski transformator	27
4.1.1 Osnovne tehničke karakteristike energetskih transformatora	32
4.1.2 Osnovne naznačene karakteristike energetskih transformatora	34
4.1.3 Prijelazne pojave kod energetskog transformatora	35
4.2 Osnovni parametri i elementi distrubitivnih stubnih transformatorskih stanica.....	35
4.2.1 Osnovni tehnički uslovi	35
4.2.2 Tipovi stubnih transformatorskih stanica.....	35
4.2.3 Dimenzionisanje opreme stubnih transformatorskih stanica	36
4.2.4 Stablo stuba, konzole i nosači stubne transformatorske stanice	36
4.2.5 Rastavno mjesto za vidno odvajanje stubne transformatorske stanice od visokonaponske mreže	36
4.2.6 Stub stubne transformatorske stanice.....	37
4.2.7 Zaštita stubnih transformatorskih stanica.....	38
4.2.7.1 Zaštita energetskih transformatora u STS-a	38
4.2.7.2 Zaštita priključaka (izvoda) niskog napona.....	39
4.2.7.3 Uzemljenje stubnih transformatorskih stanica	39
4.2.7.4 Uzemljivač zaštitnog uzemljenja.....	39

4.3	Karakteristike električne opreme stubnih transformatorskih stanica.....	39
4.3.1	Razvod visokog napona stubnih transformatorskih stanica	39
4.3.2	Razvod niskog napona stubnih transformatorskih stanica.....	40
4.3.3	Razvodni ormari.....	40
4.3.4	Polje za javno osvjetljenje.....	40
4.3.5	Niskonaponski priključci i veze	41
4.3.6	Ostala oprema i pribor stubnih transformatorskih stanica	41
5.	ZAKLJUČAK.....	42
	LITERATURA	43
	PRILOZI.....	44

1. UVOD

Elektroenergetski sistem sastoji se od proizvodnje, prijenosa, distribucije te potrošnje električne energije čija je svrha pouzdana i kvalitetna opskrba električnom energijom.

Vrtnjom generatora dolazi do proizvodnje električne energije te se postiže napon do 25kV. Nakon što je električna energija proizvedena u generatoru, ona prolazi kroz transformator koji pretvara napon od 25kV u napon od 1500kV zbog toga što je prijenos učinkovitiji što su naponi prijenosa viši. Nakon same proizvodnje električne energije u elektranama ona se dalje distribuiše kupcima. Iz prijenosnog sistema pomoću distribucijskih transformatora snaga usmjerava kroz srednjenaoponsku i niskonaoponsku distribucijsku mrežu prema potrošačima na nižem naponu.

Trafostanice su dio sistema koji služi za prijenos električne energije. Njihov zadatak je transformacija napona sa višeg naponskog nivoa na niži ili obrnuto. Podizanjem napona moguće je prenijeti istu snagu s manjom jačinom struje. Struja manje jačine omogućava smanjenje prereza vodiča i uzrokuje manje padove napona na dugačkim vodovima, jer je pad napona proporcionalan jačini struje kroz vodič. Zbog toga, električna energija isporučena iz elektrana na visokom naponu od 20 kV transformiše se na vrlo visoki napon 200kV, 400kV te visokonaoponskim dalekovodima prijenosi do mjesta potrošnje.

Transformatorske stanice 35/10(20) kV su dio distribucijskog sistema te snižavaju napon na 10(20) kV. Nakon toga se električna energija isporučuje u naselja ili u blizinu naselja pomoću kablova ili vodova do manjih transformatorskih stanica koje smanjuju napon na potrebnih 230 V za jednofaznu, odnosno 400 V za trofaznu struju. Značaj distributivnih trafostanica prvenstveno je u tome što se na niskom naponu (400 odnosno 380 V) napaja velika većina kupaca. Osim toga, izgradnja i održavanje niskonaoponske mreže i trafostanica 10/0.4 kV, s obzirom na veličinu odnosno njihovu brojnost u jednom EES-u, predstavlja najznačajniji dio distribucijske djelatnosti.

Cilj i zadatak završnog rada

Opis distributivne mreže i elektroenergetske opreme. Opis distributivnih trafostanica i njihova primjena u seoskim i gradskim područjima. Izbor transformatora prema snazi i mjestu ugradnje te ostale opreme: prekidači, rastavljači, zaštita transformatora te mjerjenje električne energije. Primjer stubne TS 10/0.4 sa svom opremom.

2. POJAM I OSNOVNI ZNAČAJ DISTRIBUTIVNE MREŽE

Distribucija kao pojam može da se definije kao postupak koji slijedi nakon same proizvodnje električne energije, odnosno kao složeni sistem u kom djeluju ljudi i kompanije kako bi ostvarili ciljeve ukupnog distribucijskog sistema. Distributivna mreža služi za distribuciju električne energije do krajnjih kupaca, a na nju mogu biti priključene manje elektrane iz kojih distributivna mreža preuzima dio električne energije. Također, ova mreža preuzima električnu energiju iz prijenosne mreže u transformatorskim stanicama. Transformatorske stanice vrše transformaciju napona sa 110 na 35, 30, 20 ili 10 kV. Distributivna mreža napaja se, tj. preuzima električnu energiju iz prijenosne mreže u transformatorskim stanicama VN/SN tj. 110/35(30)(20)(10)kV i služi za distribuciju električne energije do krajnjih (srednjih i malih) kupaca. Dio električne energije ova mreža preuzima i iz manjih elektrana koje su priključene na distributivnu mrežu.

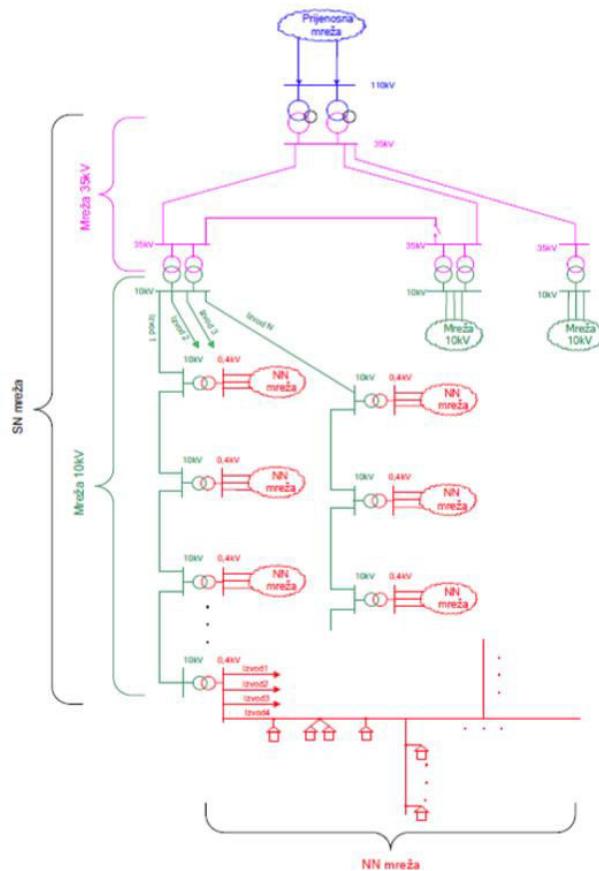
Osnovne karakteristike distributivnih mreža su:

- Niže naponske razine u odnosu na prijenosnu mrežu ($Un < 110 \text{ kV}$), budući da je snaga koju prenose daleko manja od snaga koju prenosi prijenosna mreža, tako da nema potrebe za visokim naponskim nivoima
- Prijenos snage u distributivnoj mreži odvija se na manjim udaljenostima
- Distributivne mreže su većim dijelom otvorene strukture i imaju zrakasti oblik čime je smanjena pogonska sigurnost (u odnosu na prijenosnu mrežu), što je motivisano prvenstveno ekonomskim razlozima.
- Srednjenaopnske gradske distributivne mreže su uglavnom upetljane, tako da je u slučaju kvara jednog voda ili transformatora moguće osigurati napajanje iz drugog smjera, s tim da je u pogonu uključeno napajanje samo iz jednog smjera, a napajanje iz drugog smjera je rezervno koje se uključuje u slučaju potrebe.
- Niskonaponske mreže i „seoske“ srednjenaopnske mreže nemaju mogućnost dvostranog napajanja.
- Glavni elementi distributivnih mreža su isti kao i kod prijenosnih mreža. Jedina razlika je da su projektovani za manje nazivne napone, tako da je izvedba jednostavnija.

Osnovna struktura SN distributivne mreže može biti:

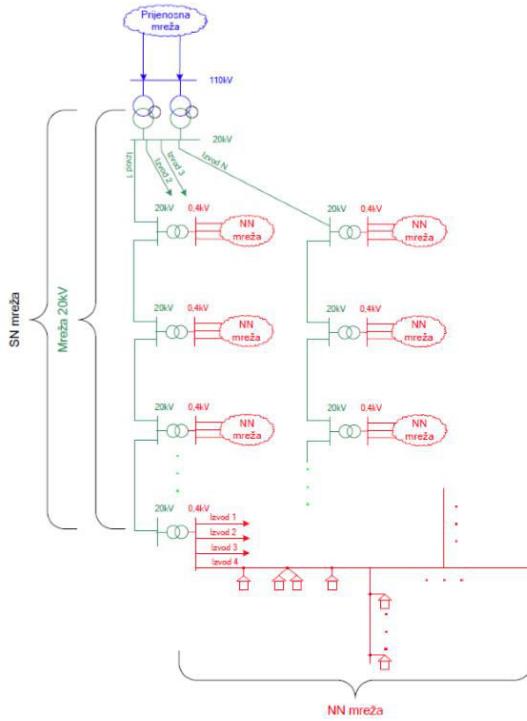
- 1) *Sa dva naponska nivoa* (najčešće 35-10kV, a na nekim područjima 30-10 kV),

- 2) S jednim naponskim nivoom (10kV ili 20kV) na način da se direktnom transformacijom 110/10 ili 110/20 kV eliminiše potreba za 35 kV-tnom mrežom, tj. izbjegnuta je transformacija 35/10(20) kV.



Slika 1. Distributivna mreža sa dva naponska nivoa¹

¹[Izvor: <http://p.calameoassets.com/131021151458-e868e68be7ad8c06c01a6d6ef49cf653/p1.jpg>]



Slika 2. Distributivna mreža sa jednim naponskim nivoom

2.1 Struktura distributivnih mreža

Distributivne mreže najčešće se nalaze u izvedbi zrakaste mreže s potpornom tačkom dok u gradovima mogu biti prstenaste i linijske mreže u radijalnom pogonu s više potporni tačaka.

- *Radijalne niskonaponske mreže*-jedan od najjednostavnijih i ekonomičnijih izvedbi mreža koje se najčešće koriste. Glavni problem, odnosno nedostatak je kada dođe do kvara u nekom segmentu mreže automatski se prekida napajanje kompletne grane u kojoj se dogodio kvar. Ova niskonaponska mreža je po strukturi ista kao prstenasta odnosno linijska mreža od 10kV pa ima mogućnost rezervnog napajanja iz iste ili susjedne trafostanice. U redovnom radu poveznice sa susjednom trafostanicom su isključene a prilikom kvara se uključuju tako da bi se određena teritorija grada mogla napajati.
- *Petljasta niskonaponska mreža*-koristi se u područjima velikih opterećenja odnosno gdje ima puno potrošača koji žele sigurnu isporuku električne energije te se u svakom trenutku može priključiti u svaki čvor ove mreže bio to samo jedan potrošač ili grupa potrošača.

2.2 Trafostanice

Trafostanice su dio sistema koji služi za prijenos električne energije. Njihov zadatak je promjena napona sa višeg na niži ili obrnuto. Ako je napon viši bit će manje gubitaka u transportu električne energije te se zbog toga transport obavlja na višim naponima od onih napona koji su prisutni kod kupaca. U svako naselje se dovodi više vrsta napona koji se unutar ili u blizini samog naselja smanjuje na

potrebnih 230V za jednofaznu odnosno 400V za trofaznu struju pomoću trafostanica. Povezuju srednjenaponsku i niskonaponsku mrežu odnosno snižavaju napon sa 10 na 0.4kV a ponekad i 35 na 0.4kV. Također, povezuju i snižavaju napon prijenosne mreže (VN) napona 110 na 35(20) kV na srednjenaponsku mrežu (SN) odnosno distributivnu mrežu.

2.2.1 Distributivne trafostanice

Distributivne trafostanice su one koje povezuju:

- srednjenaponsku i niskonaponsku mrežu (SN/NN, tj. 10/0.4kV, 20/0.4 kV i vrlo rijetko 35/0.4kV),
- dvije srednjenaponske mreže (SN/SN, tj. 35/10kV ili 35/20kV),
- visokonaponsku (prijenosnu) i srednjenaponsku distributivnu mrežu (VN/SN, tj. 110/35kV, 110/20kV ili 110/10kV).

2.2.1.1 Trafostanice SN/NN

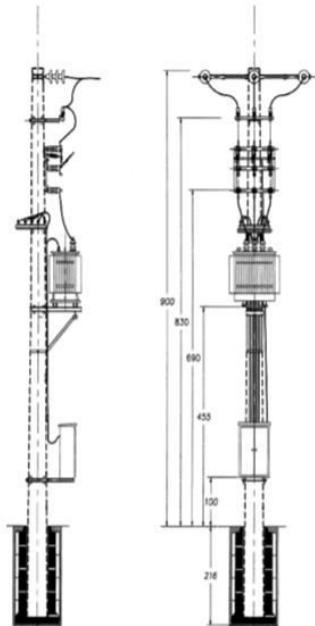
Trafostanice SN/NN redovno se rade kao tipski proizvodi, a mogu biti:

- „*stubne*“ (postavljene na posebno izvedenom stubu nadzemne 10(20) kV-tne mreže)-koriste se u nadzemnim mrežama i manje su snage (50-250kVA)
- *izgrađene u posebnom građevinskom objektu*-koriste se u kablovskim (gradskim) mrežama, veće su snage (400-1000kVA, 2x630 kVA, 2x1000 kVA,...), a najčešće se izvode kao:
 - tzv. „tornjić“-stare izvedbe o kontejnerska trafostanica (KTS)
 - kontejnerska betonska trafostanica (KBTS)
 - montažna (armirano) betonska trafostanica (MBTS)
 - integrisana unutar zgrade ili građena kao poseban objekt

Mogu imati jedan ili više transformatora 10(20)/0.4 kV, a osnovni elementi su:

- *građevinski dio odnosno noseći stup*
- *srednjenaponsko postrojenje (srednjenaponski sklopni blok) sa običnim ili učinskim rastavljačima*-može biti klasično (zrakom izolirano) ili SF6 postrojenje te odvodnicima prenapona ako je priključak sa zračne mreže
- *niskonaponsko postrojenje (niskonaponski sklopni blok)*-najčešće s prekidačem u trafo polju i osiguračima u vodnim poljima te uređajima za mjerjenje, zaštitu itd.
- *pomoćni sistemi* (sistem istosmjernog napajanja, rasvjeta, klimatizacija i sl.)

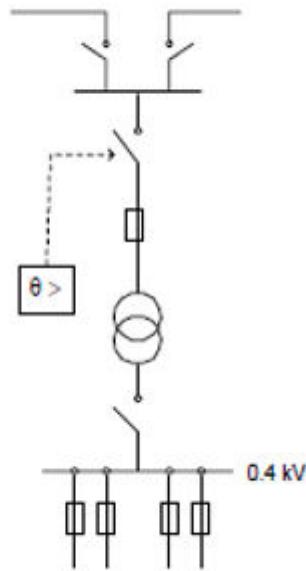
Najčešća izvedba trafostanice je *stubna trafostanica*. Koriste se za manju snagu (50-250 kVA) na posebno izvedenom stubu nadzemne 10(20) kV mreže. Sastoji se od nosećeg stuba, gromobranske zaštite i sistema uzemljenja. Mogu imati jedan ili više uljnih ili suhih transformatora snage 50-1000 kVA.



*Slika 3. Stubna trafostanica*²

Trafostanice u građevinskom objektu mogu imati jedan ili više transformatora 10(20)/0.4kV s jednostavnim sistemom zaštite. Svaki transformator napaja po jednu grupu niskonaponskih izvoda. Ako dođe do kvara, može napajati sve niskonaponske izvode ukoliko ima dovoljno snage ili se termičkom zaštitom štiti od preopterećenja .

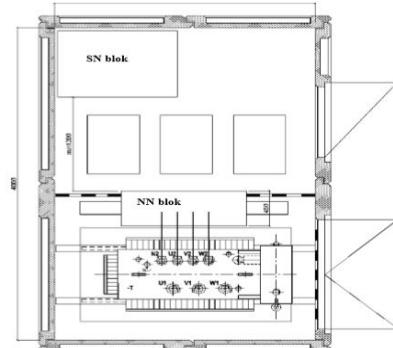
²[Izvor: <http://www.ebb.rs/images/proizvodi/STS/STUBNA-TRANSFORMATORSKA-STA.gif>]



Slika 4. Trafostanica 10(20)/0.4 kV³

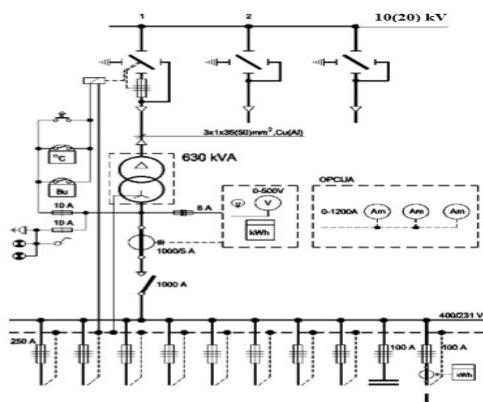
Postrojenja srednjeg napona u trafostanicama (VN/SN i SN/SN) mogu biti izvediva na tri načina:

- Sa jednostrukom sabirnicom,
- Sa sekcionarnim jedostrukim sabirnicama,
- Sa dvostrukim sabirnicama i pomoćnim sabirnicama

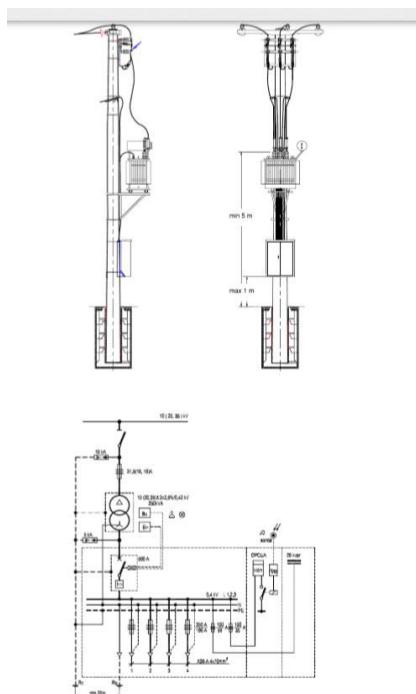


Slika 5. Dispozicija TS 10(20) kV („gradska“)

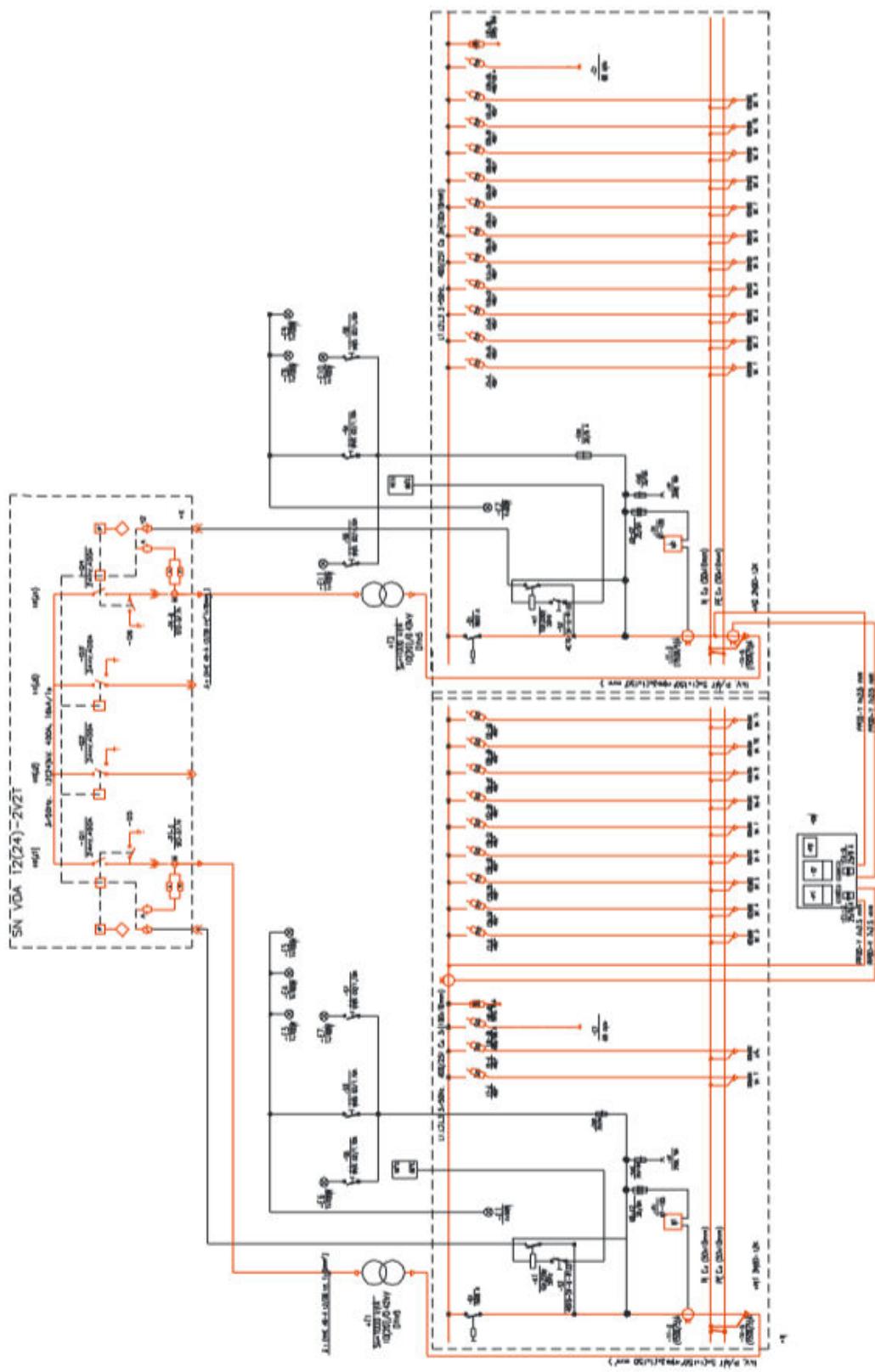
³[Izvor: http://s3.paperzz.com/store/data/005185946_1-9a2aebabb1ec7c86037243d5f7a658c9.png]



Slika 6. Jednopolna shema TS 10(20) kV („gradska“)



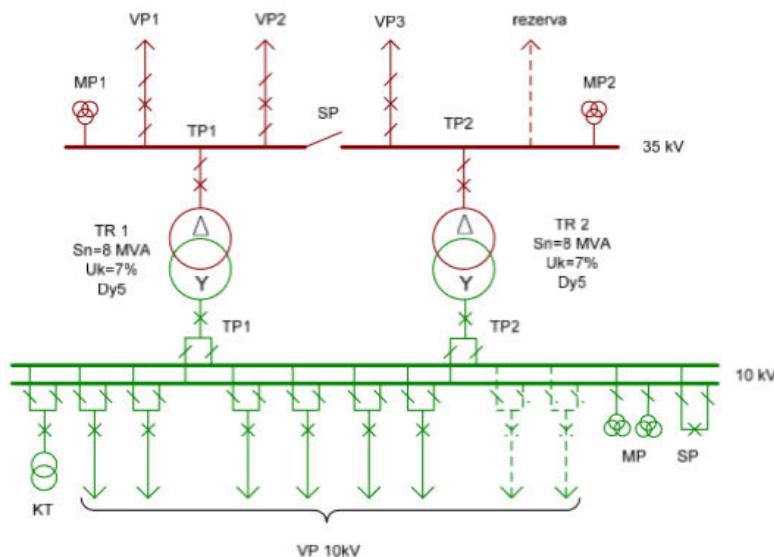
Slika 7. Izvedba stubne trafostanice TS 10(20) kV i jednopolna shema



Slika 8. Primjer: jednopolna shema TS 10(20)kV FESB

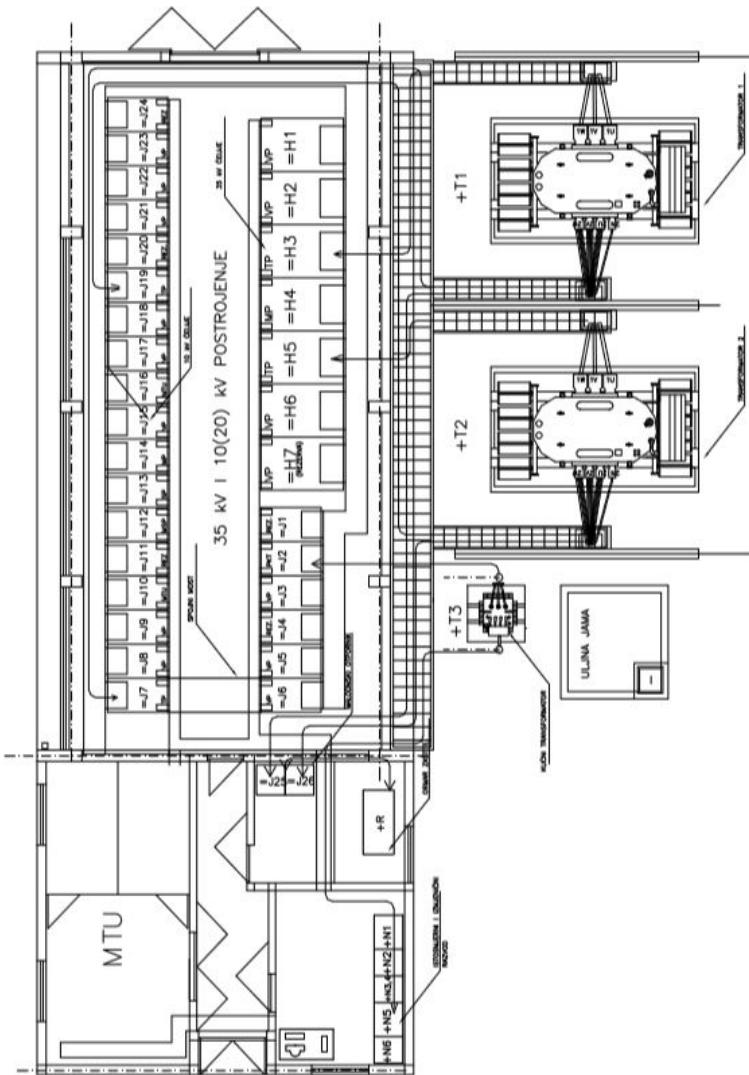
2.2.1.2 Trafostanice SN/SN

Trafostanice SN/NN (35/10 kV, 35/20 kV) ne rade se kao tipski proizvodi, ali je oprema najčešće standardizovana, kao i jednopolne sheme, osim kod složenih gradskih trafostanica velike instalisane snage. Redovno imaju dva transformatora 35/10(20) kV (ponekad jedan ili tri) pojedinačne snage 2.5-16 MVA grupe spoja Dy5 ili Yd5. U slučaju da napajaju veliku kablovsku mrežu, zvezdište transformatora se uzemljuje preko otpornika ili prigušnice za uzemljenje. Oba SN postrojenja mogu biti izvedena kao SF6 ili zrakom izolirana, a izvedba sabirnica može biti: jednostrukе, jednostrukе sekcionisane sa sekcijskim rastavljačem ili dvostrukе.

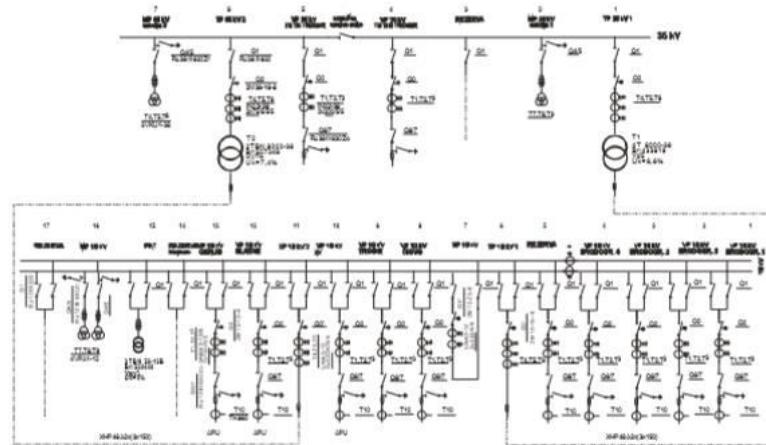


Slika 9. Primjer TS 35/10(20) kV s jednostrukim sekcionisanim sabirnicama 35 kV i dvostrukim sabirnicama 10 kV

Osim SN postrojenja i transformatora, elementi TS 35/10(20) kV su i građevinski dio, sistem uzemljenja i gromobranske zaštite, sistem za daljinsko upravljanje, sistem izmjeničnog i istosmjernog napajanja, pomoćni sistemi (rasvjeta, klimatizacija, protupožarna oprema i dr.).



Slika 10. Dispozicija gradske TS 35/10(20) kV



Slika 11. Jednopolna shema TS 35/10(20) kV

2.2.1.3 Trafostanice VN/SN

Trafostanice VN/NN (110/35 kV, 110/10 kV, 110/20 kV) imaju funkciju napajanja SN distributivne mreže, a ne rade se kao tipski proizvodi. Oprema je najčešće standardizovana, kao i jednopolne sheme kod većine jednostavnih trafostanica.

Postrojenje 110 kV je otvorenog tipa ili zatvorenog tipa (GIS). Redovno imaju dva transformatora 110/x kV (ponekad jedan ili tri) pojedinačne snage 20 ili 40 MVA u TS 110/10(20) kV, odnosno 40, 31.5 ili 63 MVA u TS 110/35 kV, grupe spoja YNynd5 (tronamotajni transformatori, tercijar obično naponskog nivoa 10kV i nije opterećen). Zvezdište transformatora je kruto uzemljeno na primarnoj strani, a na sekundarnoj strani je uzemljeno preko otpornika ili prigušnice za uzemljenje. Izvedba sabirnica može biti: jednostrukе sekcionisane sa sekcijskim rastavljačem, dvostrukе i dvostrukе s pomoćnim sabirnicama.

2.2.2 Glavno postrojenje, postrojenje 35kV i postrojenje 10(20)kV

Glavno postrojenje je smješteno u zgradu postrojenja prilagođenu i pripremljenu za montažu odabrane opreme. Obuhvaćena su sva potrebna spajanja energetskim kablovima elektroenergetske opreme novog postrojenja gornjeg i donjeg naponskog nivoa kao i energetskih transformatora. Sva odabrana elektrooprema mora biti u skladu s važećim normama, IEC normama, pravilima struke i potrebnim dokazima kvalitete. Nazivni parametri postrojenja moraju zadovoljavati najveće uslove opterećenja, uzimajući u obzir dozvoljena preopterećenja te potrebne rezerve za siguran rad u srednjenačkoj elektroenergetskoj mreži.

2.2.2.1 Postrojenje 35 kV

Postrojenje treba biti projektovano za rad u srednjenačkoj distributivnoj mreži sljedećih tehničkih karakteristika:

- zrakom izolovano, metalom oklopljeno, unutrašnja montaža s izvlačivim prekidačem,
- sabirnice, izolovane i jednostrukе za nazivnu struju 1250 A i kratkotrajnom podnosivom strujom 16kA (1s),
- nazivni napon 38kV,
- nazivna frekvencija 50Hz,
- nazivna trajna struja 1250A pri temperaturi okoline 40°C,
- nazivna dinamička struja 40kA (odnosno prema proračunima),
- nazivna termička struja kratkog spoja (1s) 16kA,
- nazivni podnosivi jednominutni napon, frekvencije 50Hz, 70kV
- nazivni podnosivi atmosferski udarni napon 170kV
- sistem, trofazni sa uzemljenim zvezdištem ograničene struje na 300A

Projektom je potrebno predvidjeti postrojenje 35kV prolazne izvedbe, sastavljeno od jedne sekcije, montirane u nizu, na prethodno pripremljenu podlogu. Opremljeno je za mogućnost posluživanja sa prednje i zadnje strane i svi priključci

su kablovski. Sastavljeno je od šest savremenih, tipskih, tvornički završenih sklopnih blokova, sa jednim izolovanim sistemom sabirnica nazivne struje 1250A i izvlačivim prekidačima vakumske izvedbe. U sekciji 35 kV postrojenju po namjeni i funkciji predviđjeti :

- Trafo polje 35 kV 2 bloka
- Vodno polje 35 kV 4 bloka

Projektom treba predviđjeti ugradnju dva vodna polja, a za dva rezervna vodna polja ostaviti prostor za naknadnu dogradnju. Sklopni blokovi se projektuju za nazivne struje odvoda 630 A. U zavisnosti od namjene i funkcije sklopnog bloka opremiti ih: prekidačima, mjernim transformatorima, uzemljivačima ili odvodnicima prenapona.

2.2.2.1.1 Prekidači u postrojenju 35kV

Prekidači u postrojenju 35 kV moraju biti vakumski, montirani na izvlačivim kolicima, opremljeni sa opružnim pogonskim mehanizmima na elektromotorni pogon, uklopnim i isklopnim svicima te relejom protiv pumpanja za istosmjerni napon 110V. U svim poljima treba predviđjeti prekidače nazivne struje 1250A i nazivne struje i sklopa 16kA. Prekidači trebaju biti opremljeni propisanom mehaničkom signalizacijom i ugrađenim signalnim sklopakama, ugrađenim brojačem radnih ciklusa i konektorskim priključkom. Kolica na kojima je montiran prekidač trebaju imati „radni“ i „test“ položaj sa signalizacijom oba položaja i svim potrebnim mehaničkim i električnim blokadama krivih manipulacija.

2.2.2.1.2 Mjerni transformatori u postrojenju 35kV

Strujne mjerne transformatore u postrojenju 35kV treba predviđjeti epoksidne izvedbe i montirane u sve tri faze. Primarne struje sa mogućnostima prespajanja odrediti po zahtjevima pojedinih polja, a sekundarne struje su 5 A. Broj, snage i klase tačnosti sekundarnih jezgri treba odabrati po zahtjevima polja.

Karakteristike	Oznaka	1. jezgra	2. jezgra
Nazivna primarna struja	$I_{pn}(A)$	75-150	75-150
Nazivna sekundarna struja	$I_{sn}(A)$	5	5
Razred točnosti	kI.	0,2S	5P10
Prošireni mjeri opseg	ext. (%)	120	
Nazivna trajna termička struja	$I_{cth}(A)$	$1,2 \times I_n$	$1,2 \times I_n$
Faktor sigurnosti	FS	10	
Nazivna snaga	$S_n(VA)$	10	30

Tabela 1. Strujni mjeri transformatori za TP 35 kV, Um= 38 kV, 2 75/5/5 A

Karakteristike	Oznaka	1. jezgra	2. jezgra
Nazivna primarna struja	$I_{pn}(A)$	200-400	200-400
Nazivna sekundarna struja	$I_{sn}(A)$	5	5
Razred točnosti	kI.	0,5	5P20
Prošireni mjerni opseg	ext. (%)	120	120
Nazivna trajna termička struja	$I_{cth}(A)$	$1,2 \times I_n$	$1,2 \times I_n$
Faktor sigurnosti	FS	10	
Nazivna snaga	$S_n(VA)$	10	15

Tabela 2. Strujni mjerni transformatori za VP 35 kV , Um= 38 kV, 2 200/5/5A

U svim vodnim poljima 35 kV potrebno je projektovati ugradnju naponskih mjernih jednopolno izolovanih transformatora, epoksidne izvedbe, montirane u sve tri faze. Moraju imati sekundarno dva namota gdje je jedan namot potrebno predvidjeti za pogonsko mjerjenje i usmjerjenje zaštite, a drugi za otvoreni trougao. U krug ovog namota treba predvidjeti otpornik za sprečavanje ferorezonancije.

Karakteristike	Oznaka	Iznos	
Nazivna frekvencija	$f_a(Hz)$	50	
Nazivni primarni napon	$U_{pn}(kV)$	$35/\sqrt{3}$	
Nazivni faktor napona/trajanje	V_f	1,9/8 h	
Nazivni sekundarni napon	$U_{sn}(V)$	$100/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$
Nazivna snaga	$S_n(VA)$	25	25
Razred točnosti	kl.	0,5/3P	6P
Granična termička snaga	$S_{gt}(VA)$	200	100

Tabela 3. Tehničke karakteristike naponskih mjernih transformatora

2.2.2.1.3 Uzemljivači u postrojenju 35kV

U sva vodna polja je potrebno predvidjeti uzemljivač potrebne nazivne struje, a pogon uzemljivača predvidjeti s prednje strane sklopnog bloka, opremiti ga mehaničkom blokadom kolica prekidača u „test“ položaju istovremeno blokirajući kolica u „test“ položaju sastavljenim noževima uzemljivača. Također, potrebno je ostvariti elektromehaničku blokadu uzemljivača zbog moguće prisutnosti napona na kablu.

2.2.2.1.4 Odvodnici prenapona u postrojenju 35kV

Odvodnike prenapona u postrojenju 35kV potrebno je projektovati u skladu s normama, u dovodnim vodnim poljima, gdje ima prelazaka sa zračnih dalekovoda 35 kV. Na portalima vanjskih spojeva energetskih transformatorima treba predvidjeti

ugradnju odvodnika prenapona. Odabrani odvodnici trebaju biti metal-oksidne izvedbe.

2.2.2.2 *Postrojenje 10(20) kV*

Postrojenje 20 kV sa kompletnom ugrađenom elektroopremom treba biti projektovano za siguran rad u uslovima povezanosti s distribucijskom mrežom srednjeg napona. Ovdje je potrebno projektovati izvedbu od savremenih, tipskih, tvornički dovršenih sklopnih blokova, opremljenih za kablovske priključke. Sklopne blokove treba kompletirati u jednoj sekciji, montiranoj nasuprot 35 kV postrojenju. Sekcija se sastoji od deset sklopnih blokova, od čega prema funkciji u postrojenju, sekciju treba opremiti sa:

- 2 zasebna sklopna bloka za dovodna transformatorska polja za spoj na energetske transformatore napona transformacije 35/10,5(21) kV
- 7 vodnih polja kompletiranih za kablovske izlaze
- 1 zasebnim sklopnim blokom za spoj na kućni transformator 10(20)/0,4 kV. Ovaj blok treba projektovati sa kolicima na kojima su osigurači.

Tvornički završeni tipski sklopni blokovi moraju biti opremljeni vakumskim prekidačima izvlačive izvedbe. Pojedine tipske blokove treba povezati izolovanim sabirnicama nazivne struje 1250 A.

Postrojenje treba biti sljedećih tehničkih karakteristika :

- Zrakom izolovano, metalom oklopljeno, unutrašnja montaža s izvlačivim prekidačem,
- Sabirnice, izolovane i jednostrukе za nazivnu struju 1250 A i 16 kA,
- Nazivni napon 20 kV,
- Maksimalni radni napon 24 kV,
- Nazivna frekvencija 50 Hz,
- Nazivna trajna struja pri temperaturi okoline 40° C dovoda iz transformatorskog polja 20 kV minimalno: 1250 A, a prema proračunima električnih veličina, kao i struja, odnosno snaga kratkih spojeva o odvodnih vodnih polja 20 kV, minimalno: 630 A,
- Nazivna termička struja kratkog spoja (1s) u dovodnim transformatorskim poljima i ostalim poljima 16 kA,
- Nazivna dinamička struja 40 kA,
- Nazivni podnosivi jednominutni napon, frekvencije 50 Hz, 50 kV,
- Nazivni podnosivi atmosferski udarni napon 125 kV,
- Sistem uzemljenja neutralne tačke s izolovanim zvezdишtem u početnom radu,

2.2.2.2.1 *Prekidači u postrojenju 10(20)kV*

Prekidači u sklopnim blokovima postrojenja 20 kV trebaju biti vakumski, montirani na izvlačiva kolica, opremljeni sa opružnim pogonskim mehanizmima sa

elektromotornim pogonom napinjanja opruga, sa uklopnim i isklopnim svicima te relejom protiv pumpanja za istosmjerni napon 110 V. Trebaju biti opremljeni propisanom mehaničkom signalizacijom i sa ugrađenim signalnim sklopkama, ugrađenim brojačem radnih ciklusa i konektorskim priključkom. Kolica na kojim je montiran prekidač trebaju imati „radni“ i „test“ položaj sa signalizacijom oba položaja i svim potrebnim mehaničkim i električnim blokadama krivih manipulacija.

U svim poljima treba projektovati prekidače nazivne struje 800 A i nazivne isklopnne struje 16 kA, odnosno odabir istih odrediti prema proračunima. Zbog specifičnosti zaštite i upravljanja pogonski mehanizam prekidača u ovim poljima treba opremiti sa jednim uklopnim i jednim isklopnim svitkom za istosmjerni napon 110 V.

2.2.2.2.2 Mjerni transformatori u postrojenju 10(20)kV

Strujne mjerne transformatore predviđjeti epoksidne izvedbe i montirane u sve tri faze. Primarne struje sa mogućnostima prespajanja, odrediti po zahtjevima pojedinih polja, a sekundarne struje su 5 A. Broj, snage i klase tačnosti sekundarnih jezgri odabrati po zahtjevima polja i to:

Karakteristike	Oznaka	1. jezgra	2. jezgra	3. jezgra
Nazivna primarna struja	$I_{pn}(A)$	200-400	200-400	200-400
Nazivna sekundarna struja	$I_{sn}(A)$	5	5	5
Razred točnosti	kl.	0,5S	5P20	10P10
Prošireni mjerni opseg	ext. (%)	120		
Nazivna trajna termička struja	$I_{cth}(A)$	$1,2 \times I_n$	$1,2 \times I_n$	$1,2 \times I_n$
Faktor sigurnosti	FS	10		
Nazivna snaga	$S_n(VA)$	10	30	30

Tabela 4. Strujni transformatori za TP 35/21(10,5) kV, Um=24 kV, 2×200/5/5/5 A

Karakteristike	Oznaka	1. jezgra	2. jezgra
Nazivna primarna struja	$I_{pn}(A)$	100	100
Nazivna sekundarna struja	$I_{sn}(A)$	5	5
Razred točnosti	kl.	0,5S	5P10
Prošireni mjerni opseg	ext. (%)	120	
Nazivna trajna termička struja	$I_{cth}(A)$	$1,2 \times I_n$	$1,2 \times I_n$
Faktor sigurnosti	FS	10	
Nazivna snaga	$S_n(VA)$	10	15

Tabela 5. Strujni transformatori za VP 35/21(10,5) kV, Um=24 kV, 2×150/5/5A

U oba transformsarska polja dovodi sa transformatora 35/10(20) kV, treba da se projektuju za ugradnju naponskih mjernih jednopolno izolovanih transformatora,

epoksidne izvedbe, montirane u sve tri faze. Isti trebaju imati sekundarno dva namota gdje je jedan namot za pogonska mjerena, a drugi za otvoreni trougao.

Karakteristike	Oznaka	Iznos	
Nazivna frekvencija	$f_n(\text{Hz})$	50	
Nazivni primarni napon	$U_{pn}(\text{kV})$	$10/\sqrt{3}$ ($20/\sqrt{3}$)	
Nazivni faktor napona/trajanje	V_f	1,9/8 h	
Nazivni sekundarni napon	$U_{sn}(\text{V})$	$100/\sqrt{3}$	$100/\sqrt{3}$
Nazivna snaga	$S_n(\text{VA})$	25	25
Razred točnosti	kl.	0,5/3P	6P
Granična termička snaga	$S_{gt}(\text{VA})$	200	100

Tabela 6. Tehničke karakteristike naponskih mjernih transformatora

U slučaju da ovakvi uslovi naponskih mjernih transformatora uglavnom preklopive izvedbe onemogućavaju veličinom ugradnju, potrebno je projektovati naponske mjerne transformatore odvojeno za potrebe pogonskog napona 10 kV, odnosno 20 kV.

Potrebno je predvidjeti ugradnju otpornika za sprečavanje ferorezonancije. Transformatore treba montirati na posebna kolica koja su izvlačive izvedbe. Primarno ih treba štititi od kratkih spojeva sa visokonaponskim osiguračima, kojima na postoljima treba predvidjeti i signalnu sklopku pregaranja osigurača. Proračunom je potrebno dokazati kako snage namotaja naponskih i strujnih mjernih transformatora zadovoljavaju obzirom na priključene terete.

2.2.2.2.3 Uzemljivači u postrojenju 10(20)kV

Projektovani sklopni blokovi u odvodnim vodnim poljima i polju kućnog transformatora moraju imati montirane tropolne noževe za uzemljenje za nazivnu kratkotrajnu podnosivu struju kruga za uzemljenje (1s) 1000 A. Noževi moraju imati ručni pogonski mehanizam koji je ugrađen na prednjoj strani bloka, s montiranim svim elektromehaničkim blokadama prema kolicima prekidača i prekidaču. Položaj noževa mora imati signalizaciju mehaničkim markerima i signalnu sklopku za električnu signalizaciju. Pogoni ovih uzemljivača moraju imati elektromagnetnu blokadu, koja će omogućiti sastavljanje i rastavljanje uzemljenja u slučaju ostvarenja svih prepostavki da se to može napraviti, uključujući i blokadu sastavljana uzemljivača zbog moguće prisutnosti napona na dolaznom kablu.

2.2.2.2.4 Odvodnici prenapona u postrojenju 10(20)kV

Odvodnike prenapona u postrojenju 10(20)kV treba projektovati u skladu s normama, u dovodnim transformatorskim poljima i poljima kućnih transformatora. Potrebno je i planirati montiranje istih na svim odvodima kod kojih na određenim dionicama postoje prijelazi na zračnu mrežu. Izabrani odvodnici moraju biti metal oksidne izvedbe.

2.2.2.3 Energetski transformatori

2.2.2.3.1 Transformatori 35/10,5(21) kV

Za transformaciju energije na niži napon predviđena je ugradnja dva energetska transformatora sljedećih tehničkih karakteristika :

- Napon transformacije 35/10,5(21) kV s preklopom za ručnu regulaciju napona,
- Snaga 8 MVA,
- Spoj Dyn5,
- Hlađenje uljem i prirodnom cirkulacijom zraka,
- Uslov za paralelni rad,
- Spoljašnja montaža

Gradevinskim projektom predviđeni su prostor, temelji, tankvani za prihvatanje i odvod ulja i uljna jama za energetske transformatore nazivnih snaga 8 MVA.

2.2.2.3.2 Transformatori 10(20)/0,4 kV

Za potrebe vlastite potrošnje u trafostanici predviđen je kućni transformator. Montirati ovaj transformator je potrebno u posebnu prostoriju u zgradi postrojenja. Odabrani transformator treba biti primarno prespojiv za rad na pogonskom naponu 10kV, odnosno 20kV po prelasku na isti. Nazivnu snagu treba projektovati tako da zadovolji ukupnu potrebu vlastite potrošnje cijele trafostanice. Tehničke karakteristike izabranog transformatora za potrebe vlastite potrošnje su :

- Napon transformacije: 10(20)/0,4kV,
- Snaga: 50kVA,
- Grupa spoja: Yzn5,
- Hlađenje uljem i prirodnom cirkulacijom zraka,
- Unutrašnja montaža

Transformator serijske proizvodnje predviđa se za rad i na otvorenom prostoru uz najvišu dnevnu temperaturu 40°C i nadmorsku visinu do 1000m.

2.2.2.3.3 Prikљučci energetskih transformatora

Projektom je predviđena ugradnja energetskih kablova za spojeve:

- 1) Primar energetskih transformatora 35/10(20)kV, pojedinačnih snaga 8MVA sa pripadnim transformatorskim poljem 35kV u izgrađenom 35kV postrojenju,
- 2) Sekundara energetskih transformatora 35/10(20)kV, pojedinačnih snaga 8MVA sa pripadnim transformatorskim poljem 10(20)kV u izgrađenom 20kV postrojenju. Kablovi moraju biti potrebnog presjeka za napon 10kV i kasnije za napon 20kV. Gradevinskim projektom vrši se planiranje za svaki transformator, izgradnju posebnih čeličnih portalata izgrađenih na posebnim temeljima i u neposrednoj blizini energetskih transformatora. Portalni se štite

od korozije vrućim cinčanjem. Na ove portale je potrebno priključiti cijevnim bakrom primare, a plosnatim sekundare energetskih transformatora. Na cijevnim i plosnatim vodovima treba predvidjeti posebne T-priklučke za spajanje dopunskih uzemljenja, a bakrene vodove sa spojevima na adekvatan način izoliranjem zaštiti od dodira malih životinja,

- 3) Treba projektovati energetske kablove za priključke primarne strane kućnog transformatora na odgovarajuće polje postrojenja 10(20)kV. Projektovani kablovi moraju biti potrebnog presjeka i odabrani za pogonski napon 20kV
- 4) Potrebno je projektovati sekundarne niskonaponske priključne kablove do novog razvodnog ormara kućne potrošnje

2.2.2.4 Postrojenje za uzemljenje neutralne tačke 10(20) kV

Za postrojenje za uzemljenje neutralne tačke 10(20)kV potrebno je predvidjeti prostor u sklopu parcele gdje će biti izgrađena zgrada za smještaj postrojenja. Za uzemljenje neutralne tačke potrebno je primijeniti sistem uzemljenja koji se sastoji od otpornika za struju zemljospaja od 50A i diskretno podesive prigušnice zavisne od kapacitivne struje zemljospaja. Diskretna podesiva prigušnica treba imati mogućnost podešenja impedancije u beznaponskom stanju u više stepeni. Dok kapacitivna struja ne pređe zakonom propisane maksimalne vrijednosti postrojenje će imati izolovanu neutralnu tačku.

2.2.2.5 Priklučak na 35 kV i 10 kV mrežu

Za sva 35kV vodna polja potrebno je predvidjeti kablovski priključak i postavljanje cijevi u temeljima zgrade postrojenja sa ubetoniranim specijalnim kablovskim uvodnicama. Također, potrebno je prirediti podloge da se građevinskim projektom predvide cijevi ispod prometnica i ulazi kablova u prostor i za rezervna vodna polja.

Na isti način u krugu trafostanice potrebno je predvidjeti ulaze svih priključnih kablova za spojeve dovoda sa transformatorskog polja i odvoda na 10 kV mrežu, ostavljajući prolaze i za sva rezervna vodna polja 10(20) kV. Sve postojeće kablove 10kV mreže treba uvesti u polja. Sve kablove 10kV koji su trostruki treba pretvoriti u jednostrukе s odgovarajućim prijelazima i uvesti ih u 10(20)kV postrojenje. Minimalni presjek kablova kojim će se napraviti prijelaz je 150mm², a trebaju biti za 20kV naponski nivo.

2.2.2.6 Zaštita postrojenja

Prenaponsku zaštitu u trafostanicu i njenoj okolini treba projektovati metalno-oksidnim odvodnicima prenapona, a kablovske izlaze zaštititi u skladu s normama. Svi sklopni blokovi, 35kV i 10(20)kV, treba da budu opremljeni sa zaštitom od električnog luka, ugrađujući fotosenzore na mjestima u glavnom postrojenju gdje može doći do pojave električnog luka. Zaštita od električnog luka projektuje se tako da je selektivna s obzirom na mjesto pojave i da isključuje dovod energije, kada je

evidentiran električni luk u sabirničkom prostoru. Uređaji za zaštitu od električnog luka moraju imati signalizaciju prorade i signalizaciju unutrašnjeg kvara uređaja.

Postrojenja 35kV i 10(20)kV potrebno je opremiti mikroprocesorskom numeričkom zaštitom. Strujne krugove prema ovom uređaju potrebno je provesti preko odgovarajuće 24-polne ispitne utičnice. Numerički, mikroprocesorski, zaštitni uređaj, kao integralni sklop funkcija: upravljanja, zaštite, signalizacije, mjerena i pamćenja događaja, u pojedinim poljima treba predvidjeti:

1) *vodna polja 35kV* opremiti terminalima polja sa mogućnostima:

- trofazna nadstrujna, usmjerena i neusmjerena zaštita s podesivim vremenskim zatezanjima,
- trofazna kratkospojna, usmjerena i neusmjerena zaštita, s podesivim vremenskim zatezanjima,
- zemljospojna zaštita s podesivim vremenskim zatezanjima,
- usmjerena zemljospojna zaštita s mogućnošću izbora,
- kontrola i signalizacija podnapona, prenapona i napona U_0
- automatski ponovni uklop APU-brzi i spori,
- kontrola krugova isključenja i otkaza prekidača,
- kontrola otkaza prekidača s djelovanjem na isklop dolaska energije u slučaju prorade zaštite dotičnog vodnog polja 35kV,
- blokada neusmjerenih zaštita u drugim vodnim poljima 35kV uslijed prorade usmjerenih zaštita u bilo kojem vodnom polju 35kV,
- brojanje isključenja prekidača od strane zaštite,
- samonadzor ispravnosti,
- upravljanje lokalno i daljinsko jednim sklopnim uređajem sa mogućnošću izbora i daljinskom signalizacijom o izabranom režimu,
- blokade na razini polja,
- lokalna i daljinska signalizacija stanja rasklopnih uređaja,
- lokalna i daljinska signalizacija prorade zaštite po vrsti prorade,
- komunikacijski priključci za spojeve optičkih i žičnih kablova,
- prihvatanje binarnih signala u polju,
- pogonsko mjerjenje struje radne jalove snage i energije uz mogućnost evidentiranja energije na staničnom računaru,
- zapisnik kvara na koji je reagovala zaštita,
- određivanje lokacije kvara na koji je reagovala zaštita

Na poljima treba biti ugrađena posebna grebenasta preklopka za mogućnost isklopa APU-a, izbor lokalno-daljinski treba biti predviđen na samom terminalu polja.

2) *transformatorska polja 35kV* opremiti s diferencijalnom zaštitom, a u terminalima polja predvidjeti:

- diferencijalnu zaštitu s podesivim vremenskim članom,
- trofaznu nadstrujnu zaštitu s podesivim vremenskim članom,

- trofaznu kratkospojnu zaštitu s podesivim kratkospojnim članom,
- zemljospojnu zaštitu s podesivim vremenskim članom,
- isključenje proradom Bucholz i temperaturne zaštite transformatora te signalizacijom istih,
- ostala oprema kao kod vodnih polja 35kV

Prorada zaštita u transformatorskom polju treba isključiti transformator primarno i sekundarno. Lokalni-daljinski isklop 35kV strane treba isključiti i 10kV stranu transformatora. Izbor lokalno-daljinski treba biti predviđen na samom terminalu polja.

- 3) *vodna polja 10(20)kV*-odabratи terminale polja opremljene sa:
 - trofazna usmjerena i neusmjerena nadstrujna zaštitu s podesivim vremenskim zatezanjima,
 - trofazna usmjerena i neusmjerena kratkospojna zaštitu s podesivim vremenskim zatezanjima,
 - zemljospojna zaštitu s podesivim vremenskim zatezanjima,
 - usmjerena osjetljiva zemljospojna zaštitu sa mogućnošću daljinskog izbora-automatski ponovni uklop APU - brzi i spori,
 - ostala oprema kao kod vodnih polja 35kV

Na poljima treba biti ugrađena posebna grebenasta preklopka za mogućnost isklopa APU-a, izbor lokalno-daljinski treba biti predviđen na samom terminalu polja.

- 4) *transformatorsko polje 10(21)kV*-odabratи terminale polja opremljene sa:
 - trofazna nadstrujna zaštitu sa podesivim vremenskim članom,
 - trofazna kratkospojna zaštitu sa podesivim vremenskim članom,
 - zemljospojna zaštitu sa podesivim vremenskim članom,
 - svim drugim vidovima opreme kao što je za vodna polja 10(20)kV
- 5) *polje kućnog transformatora 10(20) kV*

VN osiguračima predviđa se zaštita od kratkih spojeva kućnog transformatora. Potrebno je riješiti zaštitu od sklopnih prenapona i električnog luka kod manipulacija kolicima i izabrati optimalno rješenje numeričke zaštite kako bi se u polju kućnog transformatora ostvarile funkcije:

- kontrola napona, selektovanih iz naponskih mjernih transformatora ugrađenih u transformatorska polja 10kV i signalizacija prenapona i podnapona u 10(20) kV postrojenju,
 - signalizacija položaja kolica, uzemljivača,
 - lokalna i daljinska signalizacija izgaranja VN osigurača,
 - komunikacijski priključci za spojeve optičkih i žičnih kablova,
 - prihvata binarnih signala u polju
- 6) *zaštita sabirnica 35 i 10 kV*

Logičkim povezivanjem svih terminala polja na svakoj naponskoj razini projektirati zaštitu sabirnica.

- 7) *zaštita otpornika i prigušnice uzemljenja nultačke 10(20) kV:*
 - nadstrujna zaštita sa podesivim vremenskim članom,
 - zaštita od visokoomskog kvara sa podesivim vremenskim članom,
 - lokalna i daljinska signalizacija stanja sa dva rasklopna uređaja,
 - upravljanje lokalno i daljinsko jednim sklopnim uređajem s mogućnošću izbora i daljinskom signalizacijom o izabranom,
 - prihvati binarnih signala sa otpornika i prigušnice za uzemljenje,
 - komunikacijski priključci za spojeve optičkih i žičnih kablova
- 8) *zaštita od električnog luka*-potrebno je projektovati zaštitu od električnog luka tako da štiti svoju celiju u kojoj se nalazi prekidač te da štititi sabirnički dio iskapčanjem dolaska energije.

2.2.2.7 *Pogonsko mjerjenje*

Pogonsko mjerjenje sa pokaznim instrumentima struje potrebno je predvidjeti na svakom sklopnom bloku i napona na vodnim poljima 35kV i transformatorskim poljima 10(20)kV. Istovremeno treba mjeriti struje, napone, radnu i jalovu snagu lokalno na terminalima polja sklopnih blokova i daljinski na računaru u DC-u.

U transformatorskim poljima 10(20)kV i svim odvodnim vodnim poljima 10(20)kV predvidjeti mjerjenje aktivne i reaktivne energije za ugradnju brojila. U transformatorskim poljima 10(21)kV i u vodnim poljima 10(20)kV samo treba pripremiti do priključnih letvi, dok će se brojila prema potrebi naknadno ugrađivati. Za mjerjenje vlastite potrošnje trafostanice potrebno je predvidjeti ugradnju brojila aktivne i reaktivne energije u sve tri faze niskonaponskog dijela. Brojila trebaju biti pripremljena i povezana da se mjereni rezultati mogu očitati daljinski.

2.2.2.8 *Pomoćno napajanje*

Pomoćnim napajanjem potrebno je obuhvatiti razvod izmjeničnog napona 400/231V, 50Hz, te ispravljanje, akumulisanje i razvod istosmjernog napona 110V. Sve razvodne ormare pomoćnog napona smjestiti u zasebnu izgrađenu prostoriju uz prostoriju glavnog postrojenja. Građevinskim projektom predvidjeti prostoriju za smještaj pomoćnog postrojenja i povezivanje kablovskim kanalima.

2.2.2.9 *Razvod izmjeničnog napona 400/231V, 50Hz*

Za potrebe napajanja kupaca u transformatorskoj stanicici (rasvjeta, utičnica, grijanja, ispravljača i drugih) potrebno je predvidjeti kućni transformator napona 10(20)/0.4kV odgovarajuće snage da zadovolji potrebe potrošnje. Za potrebe napajanja kupaca treba predvidjeti slobodnostojeći razvodni ormar opremljen na svim sklopnim i zaštitnim uređajima, te pogonsko mjerjenje napona i struje pokaznim instrumentima. Prenaponsku zaštitu treba projektovati ugradnjom odvodnika prenapona u razvodni ormar. Kućni transformator se spaja na sklopni blok 10(20)kV

jednožičnim kablom 20kV s aluminijskim vodom potrebnog presjeka, a na sekundarnoj strani do razdjelnika četverožičnim kablom potrebnog presjeka.

2.2.2.10 *Uzemljenje u postrojenju*

U postrojenju je potrebno predvidjeti propisana uzemljenja za rad glavnog postrojenja, sigurnost osoblja, te za zaštitu od atmosferskih pražnjenja unutar trafostanice, zgrade postrojenja te izvan vanjske ograde. Također, potrebno je ugraditi temeljni uzemljivač u zgradi postrojenja i u temeljima vanjske ograde trafostanice. Uzemljivač i zemljovode treba predvidjeti sa bakarnim užetom potrebnih dimenzija. Uzemljenje je potrebno dimenzionisati tako da osigura propisanu raspodjelu potencijala u postrojenju, trafostanicu i oko nje, siguran i nesmetan rad i opsluživanje postrojenja i nakon uzemljenja 10(20)kV mreže preko ograničavača struje zemljospoja. Treba predvidjeti i povezivanje sa uzemljenjem svih metalnih površina i armatura svakog pojedinog građevinskog objekata u trafostanicu.

3. IZBOR I DIMENZIONISANJE OPREME ZA DISTRIBUTIVNE TRAFOSTANICE

3.1 Izbor i dimenzionisanje opreme za 10(20)kV sklopne blokove

3.1.1 Prekidači u 10(20)kV sklopnim blokovima

Karakteristike izabranog prekidača za transformatorsko i sekcijsko polje uključuju sljedeće:

- nazivni napon 24kV,
- nazivni pogonski napon 10(20)kV,
- nazivna frekvencija 50Hz,
- nazivna struja 2500A (> 1155A),
- podnosivi izmjenični napon 50Hz; 1 min. 50kV,
- podnosivi udarni napon 1,2/50 μ s 125kV,
- kratkotrajna struja 25kA, 1s (> 9,32 kA – za 10kV),
- kratkotrajna struja 25kA, 1s (> 4,66 kA – za 20kV),
- nazivna uklopna moć 62,5kA (> 23,65 kA – za 10kV),
- nazivna uklopna moć 62,5kA (> 11,83 kA – za 20kV),
- nazivna prekidna moć 25kA,
- s motornooprutnjim pogonskim mehanizmom,
- motor snage 150W, 110V s naponskim okidačem za isklapanje, 250W, 110V s naponskim okidačem za uklapanje, 250W, 110V

Karakteristike koje ima odabrani prekidač za vodno polje i polje kućnog transformatora su:

- nazivni napon 24kV,

- nazivni pogonski napon 10(20)kV,
- nazivna frekvencija 50Hz,
- nazivna struja 800A,
- podnosivi izmjenični napon 50Hz; 1min. 50kV,
- podnosivi udarni napon $\frac{1.2}{50}[\mu s]125[kV]$,
- kratkotrajna struja $16[kA]1[s](> 9.32[kA])$ za $10[kV]$
- kratkotrajna struja $16[kA]1[s](> 4.66[kA])$ za $20[kV]$
- nazivna uklopna moć:
 - $40[kA](> 23.65[kA])$ za $10[kV]$
 - $40[kA](> 11.83[kA])$ za $20[kV]$
- nazivna prekidna moć 16kA
- s motornooprugim pogonskim mehanizmom
- motor snage 150W, 110V
 - s naponskim okidačem za isklapanje, 250W, 110V
 - s naponskim okidačem za uklapanje, 250W, 110V

Može se zaključiti da izabrani prekidači u potpunosti zadovoljavaju.

3.1.2 Zemljospojnik u 10(20)kV sklopnim blokovima

U sklopne blokove vodnih polja kućnih transformatora su ugrađeni zemljospojnici tipa Z-24 koji su prilagođeni za ugradnju u sklopni blok. Nazivna kratkotrajna podnosiva struja zemljospojnika je 16kA i veća je od maksimalne struje tropolnog kratkog spoja na mjestu ugradnje $I_{k3-10} = 9.32[kA]$.

U sklopne blokove transformatorskih polja i sekcijskog polja su ugrađeni zemljospojnici tipa Z-24 koji su prilagođeni za ugradnju u sklopni blok. Nazivna kratkotrajna podnosiva struja zemljospojnika je 25kA i veća je od maksimalne struje tropolnog kratkog spoja na mjestu ugradnje $I_{k3-10} = 9.32[kA]$. Može se zaključiti da ugrađeni zemljospojnici u potpunosti zadovoljavaju.

3.1.3 Mjerni strujni transformatori u 10(20)kV sklopnim blokovima

U sklopne blokove TS 10(20)kV se ugrađuju strujni mjerni transformatori. Dopuštena struja kratkog spoja i nazivna kratkotrajna termička struja kroz 1s iznosi $25[kA]$, odnosno $16[kA]$. S obzirom da je $25[kA](16[kA]) > 9.32[kA]$ može se zaključiti da ugrađeni mjerni strujni transformator zadovoljava s obzirom na termička i dinamička naprezanja u slučaju kvara. Za izbor strujnih transformatora za transformatorska polja uzimaju se sljedeće vrijednosti:

- nazivni napon 24 kV,
- nazivni prijenosni omjer, snaga i klasa,

$$1. \text{ jezgra: } 600 - 1200 / 5[A]10[VA]; \text{ kl. } 0.2[S], F_s = 10$$

2. jezgra: $600 - 1200 / 5[A] \cdot 10[VA]$; kl. $0.5[S]$, $F_s = 10$

3. jezgra: $600 - 1200 / 5[A] \cdot 30[VA]$; 5P20

4. jezgra: $600 - 1200 / 5[A] \cdot 30[VA]$; 5P20

- trajna termička struja,
- nazivna kratkotrajna termička struja 25 kA , 1s

Prilikom izbora strujnih mjernih transformatora za sekcijsko polje u obzir se uzimaju sljedeće vrijednosti:

- nazivni napon 24kV ,
- nazivni prijenosni omjer, snaga i klasa,

1. jezgra: $600 - 1200 / 5[A] \cdot 10[VA]$, kl. $0.5[S]$, $F_s = 10$

2. jezgra: $600 - 1200 / 5[A] \cdot 30[VA]$; 5P20

- trajna termička struja,
- nazivna kratkotrajna termička struja 25kA , 1s

Prilikom izbora strujnih mjernih transformatora u vodnim poljima uzimaju se vrijednosti kako slijedi:

- nazivni napon 24kV ,
- nazivni prijenosni omjer, snaga i klasa

1. jezgra: $2 \times 150 / 5[A] \cdot 10[VA]$; kl. $0.5[S]$, $F_s = 10$

2. jezgra: $2 \times 150 / 5[A] \cdot 10[VA]$; 5P20

- trajna termička struja,
- nazivna kratkotrajna termička struja 16kA , 1s

3.2 Izbor i dimenzionisanje opreme za 35kV sklopne blokove

3.2.1 Prekidač u 35kV sklopnim blokovima

Izabrani prekidač za transformatorsko i vodno polje:

- nazivni napon 38kV ,
- nazivni pogonski napon 35kV ,
- nazivna frekvencija 50Hz ,
- nazivna struja 1250A ($> 132\text{ A}$),
- podnosivi izmjenični napon 50 Hz ; 1 min. 70kV ,
- podnosivi udarni napon $1,2/50\text{ }\mu\text{s} 170\text{kV}$,
- kratkotrajna struja 16kA , 1s ($> 7,4\text{kA}$),
- nazivna uklopna moć 40kA ($> 20\text{kA}$),
- nazivna prekidna moć 16kA ,
- s motornooprutnim pogonskim mehanizmom,

- motor snage 150W, 110V,
- s naponskim okidačem za isklapanje, 250W, 110V,
- s naponskim okidačem za uklapanje, 250W, 110V

Može se zaključiti da izabrani prekidači u potpunosti zadovoljavaju.

3.2.2 Zemljospojnik u 35kV sklopnim blovokima

U 35kV sklopne blokove vodnih polja ugrađuje se zemljospojnik tipa Z-38 koji je prilagođen za ugradnju u sklopni blok. Nazivna kratkotrajna podnosiva struja zemljospojnika je 16 kA i veća je od struje tropolnog kratkog spoja na mjestu ugradnje $I_{k3-35} = 7.4[kA]$. Nazivna podnosiva udarna struja zemljospojnika iznosi 40 kA i veća je od udarne struje kratkog spoja na mjestu ugradnje zemljospojnika $I_{k3-35} = 20[kA]$.

3.2.3 Mjerni strujni transformatori u 35kV sklopnim blokovima

U sklopne blokove se ugrađuju strujni mjerni transformatori koji imaju sljedeću vrijednost dopuštenih struja kratkog spoja: nazivna kratkotrajna termička struja kroz 1s iznosi 16kA. S obzirom da je $16[kA] > 7.4[kA]$, može se zaključiti da ugrađeni mjerni strujni transformator zadovoljava s obzirom na termička i dinamička naprezanja u slučaju kvara.

Prilikom izbora strujnih mjernih transformatora za transformatorska polja prate se sljedeći parametri:

- nazivni napon 35kV,
- nazivni prijenosni omjer, snaga i klasa
 1. jezgra: $2 \times 75/5[A]10[VA]$; kl. 0.5[S], $F_s = 10$
 2. jezgra: $2 \times 75/5[A]15[VA]$; 5P20
 3. jezgra: $2 \times 75/5[A]30[VA]$; 5P20
- trajna termička struja,
- nazivna kratkotrajna termička struja 16kA, 1s

Kada se vrši izbor strujnih mjernih transformatora u vodnim poljima, u obzir se uzimaju parametri kako slijedi:

- nazivni napon 35kV,
- nazivni prijenosni omjer, snaga i klasa
 1. jezgra: $2 \times 200/5[A]10[VA]$; kl. 0.5[S], $F_s = 10$
 2. jezgra: $2 \times 150/5[A]15[VA]$; 5P20
- trajna termička struja,
- nazivna kratkotrajna termička struja 16kA, 1s

4. PRIMJER STUBNE TRAFOSTANICE

Date su karakteristike *stubnih transformatorskih stanica* 10/0.4kV, 20/04kV, 35/0.4kV naznačenih snaga energetskih transformatora 100kVA, 250kVA i 400kVA. U primjeru su istaknute konstrukcione i tehničke karakteristike, ekonomске prednosti i nedostaci. *Stubne transformatorske stanice (STS)*, namijenjene su za napajanje električnom energijom prigradskih naselja, seoskih domaćinstava, vikend naselja, industrijskih objekata. Osnovni element svake stubne transformatorske stanice je *energetski transformator (ET)*.

4.1 Energetski transformator

Transformator je statički aparat koji pomoću elektromagnetne indukcije pretvara jedan sistem naizmjeničnih struja u jedan ili više sistema naizmjeničnih struja iste učestanosti i obično različitih vrijednosti napona i struja.



Slika 12. Energetski transformator⁴

U pogledu konstrukcije sastoji od:

- *Magnetno jezgro*-izrađeno je od visokokvalitetnog, hladnovaljanog, superjentisanog lima visokog magnetnog permeabiliteta, niskog koeficijenta histerezisa sa niskim jediničnim gubicima i strujama magnećenja. Jezgro je stubnog tipa, kružnog poprečnog presjeka. Magnetno kolo transformatora se gradi od tankih transformatorskih limova da bi se gubici uslijed vihornih struja sveli na što manju mjeru. Standardne debljine su 0.30 do 0.35 mm. Materijal limova je čelik koji je legiran sa silicijumom koji poboljšava magnetne osobine čelika u pogledu gubitaka i magnetnog otpora. Pri izradi i konstrukciji treba voditi računa da se limovi postave tako da linije magnetnog fluksa idu u pravcu valjanja. Na svakoj tabli lima sa jedne strane se lijevi tanka hartija ili stavlja sloj emajla ili vodenog stakla, a ponekad se ta strana lima termički obrađuje jednom ili više puta, tako da lim oksidira pri čemu sloj oksida djeluje kao izolator, tako da su pojedini limovi koji čine

⁴[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksplotacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

magnetno jezgro međusobno izolovani. Pošto su namotaji najčešće okrugli, površina presjeka treba da bude takvog oblika da se krug kog čine namotaji ispuní što više limovima pa je presjek stubova stepenastog oblika.

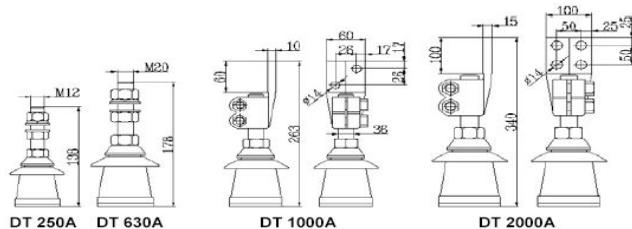


Slika 13. Poprečni presjek magnetnog jezgra⁵

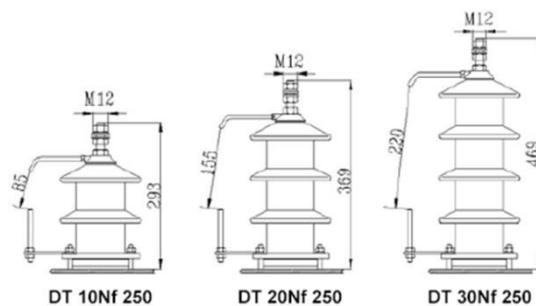
- *Namotaji-konstrukcija* im zavisi od naznačenih vrijednosti struja i napona transformatora. Namotaji transformatora izrađeni su od elektrolitičkog bakra, materijala koji ima mali električni otpor. Svi namotaji moraju biti izrađeni tako da ne samo pri naznačenom radu nego i pri trenutnim kratkim spojevima i prenaponima, izdrže sva mehanička, termička i električna naprezanja kojima mogu biti izloženi. Izolovani su kvalitetnom papirnom izolacijom ili sintetičkim lakom, a postavljeni koncentrično oko stubova magnetnog jezgra. Glavna izolacija izoluje namotaje međusobno, prema jezgru i ostalim dijelovima. Namotaji NN postavljeni su unutar VN namotaja bliže jezgru. Izrađeni su kao cilindrični, a namotani od profilne, papirom izolovane bakarne žice za snage do 250kVA ili tanke bakarne folije za snage veće od 250kVA što znatno povećava otpornost transformatora na naprezanje u kratkom spolu. Namotaji VN postavljeni su spolja i izrađeni su kao cilindrični, višeslojni ili presloženi namotaji od okrugle, lakom izolovane ili profilne papirom izolovane bakarne žice.
- *Transformatorski sud i poklopac*-robuse konstrukcije. Transformatorski sud je kvalitetno zavaren što obezbjeđuje njegovu nepropustljivost i mehaničku čvrstoću, tako da izdržava, bez trajnih deformacija naprezanja u eksploataciji i transportu. Transformatorski sud je izrađen od kvalitetnog čelika, a njegov konstruktivni oblik zavisi od načina hlađenja i direktno je njegova posljedica. Spoj suda sa poklopcem se izvodi zavarivanjem ili pomoću zavrtnjeva i zaptivača od kvalitetnog dugotrajnog materijala. Poklopac transformatora treba da je izrađen tako da omogućava lahko oticanje vode ka spoljašnjim stranicama i da gas razvijen u sudu usmjerava prema otvoru za Buholc relej.
- *Pomoćni dijelovi i pribor*

⁵[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksploatacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

- *Izolaciono ulje*-sva izolaciona ulja su hidroskopna. Sa porastom vlage opadaju izolaciona svojstva ulja pa se mora voditi računa o njenom sadržaju u ulju. Ako sadržaj vlage u ulju pređe određeni iznos neophodna je regeneracija i sušenje ulja. Transformatorsko ulje ima najmanje četiri funkcije u transformatorima. Obezbeđuje izolaciju i hlađenje i pomaže u gašenju luka. Rastvara gasove koji nastaju zbog snižavanja nivoa ulja, zbog vlage i gasova iz papirne izolacije. Posmatranje rastvorenih gasova u ulju i ostale karakteristike ulja daju najvrednije informacije o stanju transformatora.
- *Provodni izolatori (priključci transformatora)*-na poklopcu transformatorskog suda nalaze se provodni VN i NN izolatori. Konstrukcija transformatorskog izolatora zavisi od njegovog naznačenog radnog napona. Moraju biti tako ugrađeni da su mesta njihovog dodira sa poklopcom potpuno zaptivena. Na izolatore se dovode krajevi namotaja. Za napone do 35kV upotrebljavaju se izolatori u porculanskom kućištu koje je ispunjeno transformatorskim uljem.



Slika 14. Niskonaponski priključci⁶



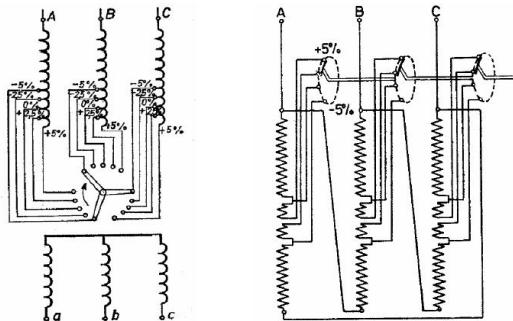
Slika 15. Visokonaponski priključci⁷

Transformatori su opremljeni bezteretnim regulatorima za regulaciju napona na strani visokog napona. Regulacija napona se vrši u beznaponskom stanju, okretanjem glave regulatora u odgovarajući položaj. Glava regulatora nalazi se na površini ploče transformatora. Regulacija kod trofaznih distributivnih transformatora

⁶[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksplotacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

⁷[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksplotacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

se vrši simultano na sve tri faze. Pored regulatora, preklopivi distributivni transformatori opremljeni su i prebacacem napona. Glava prebacaca nalazi se na povrsini ploce transformatora. Izbor napona vrši se u beznaponskom stanju. Izbor naponskog nivoa vrši se postavljanjem glave prebacaca u odgovarajući položaj.



Slika 16. Regulator napona za spregu primara zvijezda i trougao⁸

Konzervator je postavljen iznad transformatorskog suda i montiran je nosačima na poklopac. Konzervator je povezan sa transformatorskim sudom pomoću cijevi oblika „S”, u koju se umeće Buholc relej ili međukomad ako se ovaj relej ne ugrađuje. Dimenzionisan je tako da prihvati promjene zapremine ulja pri promijeni temperature od -25°C do +115°C.

Na natpisnoj pločici se nalazi fabrički broj energetskog transformatora, naznačene veličine i osnovni podaci o energetskom transformatoru, električne šeme energetskog transformatora, tabela u kojoj su za sve izvode dati podaci o naponu, struji i snazi. Osim glavne natpisne pločice, energetski transformator mora da ima i pločice sa potrebnim podacima i za pomoćnu opremu. Na transformatorskom sudu treba da jasno bude istaknut fabrički broj energetskog transformatora.

ZNAK I NAZIV PREDUZEĆA							
	kVA	Tip	STNA 16-10	Broj			
1.	10.800		Frekv.	50 Hz	God.	1967	
2.	10.200		Si	30/10	Vrst.	TS	
3.	10.000	400/230	Spoj.	Y=5	Hlad.	N	
4.	0.980		uk	4.4 %	KL izol.		
5.	9.500		Ikn	1	T _A	618 G	
6.	23.1	597	Uje	14 t	T _{ukj}	4.8 t	

Slika 17. Natpisna pločica transformatora 10/0.4kV⁹

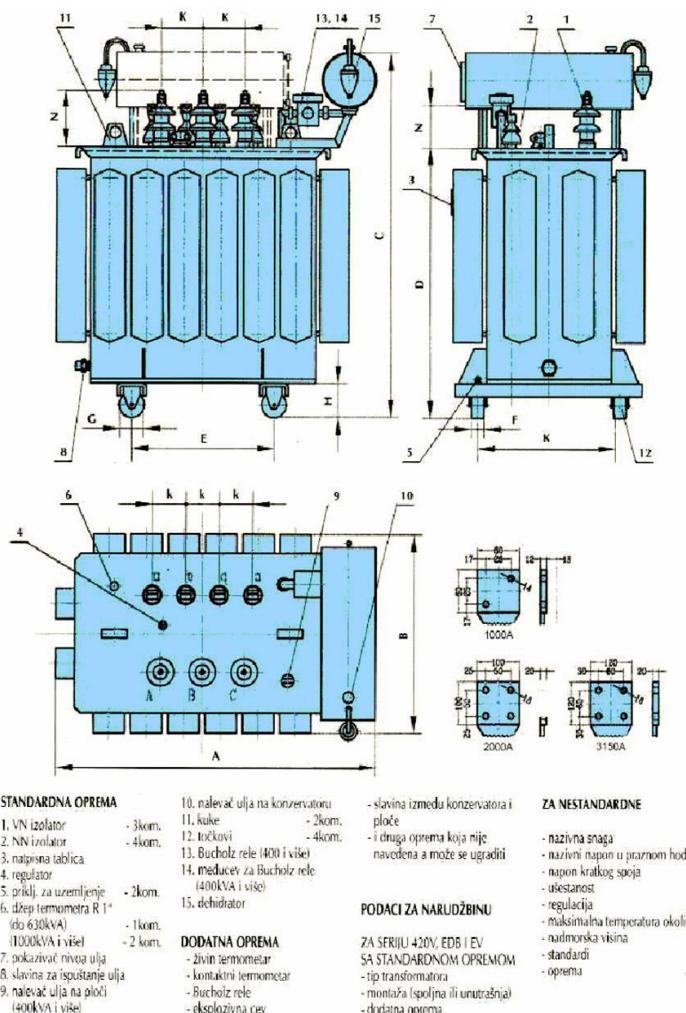
Na poklopцу transformatora je predviđeno mjesto ili džep za termometar da bi se mogla stalno kontrolisati temperatura ulja u njegovom najtoplijem sloju odnosno ispod poklopca. Džep termometra omogućava instalaciju živinih ili kontaktnih termometara. Prije instalacije ovih uređaja džep termometra treba do pola napuniti

⁸[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksplatacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

⁹[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksplatacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

transformatorskim uljem. Neiskorišten džep treba dobro zatvoriti i tako spriječiti ulazak vode. Ukoliko bi voda dospjela u njega, led nastao na niskim spoljašnjim temperaturama bi mogao nanijeti štetu svojim širenjem.

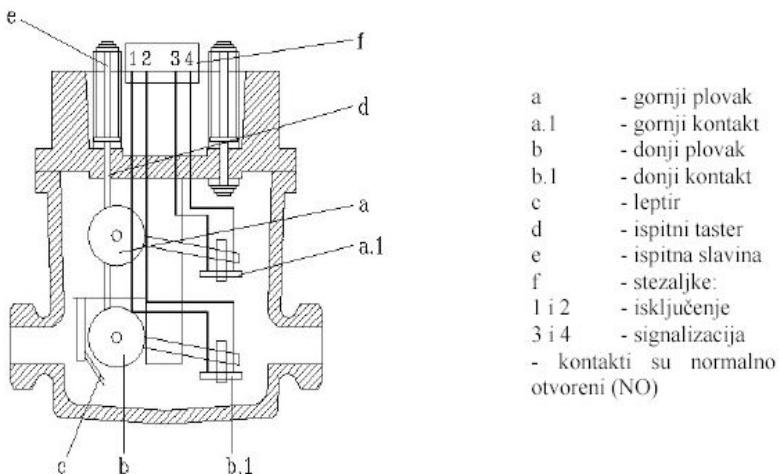
Dehidrator zraka nalazi se sa strane dilatacionog suda tako da u dilatacionalni sud ulazi dovoljno suh zrak čime se održava potrebna dielektrična čvrstoća transformatorskog ulja. Dehidrator se ugrađuje na transformatore sa konzervatorom. Služi za sušenje zraka. Napunjen je silikagelom koji prilikom strujanja vlažnog zraka kroz dehidrator vezuje za sebe vlagu i mijenja boju. Silikagel je plave boje kad je suh, dok navlažen poprima ružičastu boju. Kada silikagel promijeni boju 2/3 svoje zapremine, treba ga osušiti ili ako je to potrebno zamijeniti novim.



Slika 18. Pomoći dijelovi i pribor transformatora¹⁰

Zaštitni uređaj uljnih transformatora je *Buholc relanj*. Nalazi se između konzervatora i transformatorskog suda. On detektuje kvarove unutar transformatorskog suda praćenjem fluktacija nivoa transformatorskog ulja. Buholc relanj ukazuje na kvar unutar transformatora uz pomoć zvučne i svjetlosne signalizacije. Konstrukcija Buholca treba da bude otporna na zemljotres.

¹⁰[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksploracija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]



Slika 19. Buholc reljej i dijelovi¹¹

U zavisnosti od konstrukcije transformatora postoje razne vrste pokazivača nivoa ulja. Energetski transformator sa konzervatorom sa bočne strane ima ugrađen pokazivač nivoa ulja. Magnetni pokazivač nivoa ulja se ugrađuje na transformatore sa konzervatorom i pokazuje nivo ulja u transformatoru. Kod hermetički zatvorenih uljnih transformatora se ugrađuje vertikalni magnetni pokazivač nivoa ulja.

Kao jedan od elemenata za zaštitu hermetički zatvorenih transformatora koristi se *ventil nadpritisaka* ili *sigurnosni ventil*. On radi na taj način da svojim reagovanjem omogućava isticanje transformatorskog ulja i na taj način oslobođa nadpritisak nastao uslijed različitih kvarova unutar transformatora što će spriječiti trajnu deformaciju transformatorskog suda. Ventil je podešen da reaguje na pritise iz opsega od 0.03MPa do 0.04MPa.

4.1.1 Osnovne tehničke karakteristike energetskih transformatora

Za rad u elektrodistributivnoj mreži naznačenog napona 10kV; 20 kV i 0.4 kV, predviđen je trofazni uljni energetski transformator sa odvojenim namotajima, za vanjsku upotrebu. Ovakav transformator se koristi u STS-a.

Naznačena snaga važi za trajan pogon, naznačenu frekvenciju 50Hz i glavni izvod namotaja višeg napona. Glavni izvod je izvod maksimalne struje. Za trasformatore 10/0.4kV, 20/0.4kV i 20(10)/0.4kV u elektrodistributivnoj mreži koriste se naznačene snage 50kVA, 100kVA, 160kVA, 250kVA, 400kVA, 630kVA i 1000kVA. STS se najčešće realizuju za snage energetskog transformatora od 100 do 400kVA. Sa povećanjem snage energetskog transformatora se povećavaju i dimenzije i masa trasformatora pa je realizovanje STS-e većih snaga energetskog transformatora iz tih razloga otežano, jer je mjesto montaže stub.

Primar i sekundar trofaznih energetskih transformatora mogu biti spregnuti u zvijezdu (oznaka Y) ili u trougao (oznaka D) i pri tom može da se izabere bilo koja sprega za primar i bilo koja sprega za sekundar nezavisno od sprege primara. Sprega

¹¹[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksploracija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

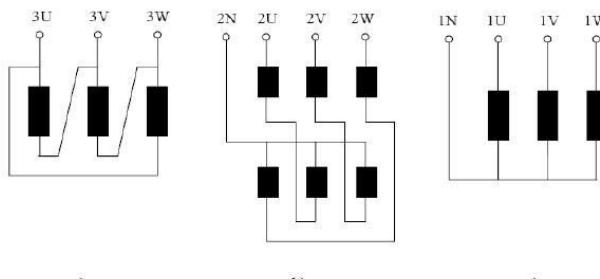
u slomljenu zvijezdu (oznaka z) se isključivo koristi za NN namotaje. Uz vrstu sprege je potrebno definisati i grupu sprege (satni broj), a to je fazni stav između primarnih i sekundarnih napona istoimenih faza.

Prema važećim standardima priključne stezaljke, odnosno provodni izolatori, označavaju se sa slovnim oznakama U, V, W, N. Ispred slovne oznake za pojedinu fazu se stavljuju brojčane oznake za označavanje visine napona namotaja:

- „1“-VN namotaj,
- „2“-NN namotaj kod dvonamotajnih transformatora, odnosno SN namotaj kod tronamotajnih
- „3“-NN namotaj kod tronamotajnih transformatora.

Krajevi namotaja se označavaju brojnim oznakama „1“ za početak i „2“ za kraj i to poslije slovne oznake. U STS-a upotrebljavaju se energetski transformatori sljedećih sprega:

- za naznačene snage trasformatore do 160kVA Yzn5,
- za naznačene snage transformatora veće od 160kVA Dyn5,
- za preklopive transformatore 20(10)/0.4kV Y(Y)zn5 za naznačene snage do 160kVA, a D(D)yn5 za naznačene sene veće od 160kVA.



Slika 20. Primjer označavanja trofaznih namotaja: a) NN namotaj spojen u trougao b) NN namotaj spojen u slomljenu zvijezdu c) VN namotaj spojen u zvijezdu¹²

Naponi kratkog spoja energetskog transformatora su:

- za naznačene snage transformatora do 630kVA-4%,
- za naznačene snage transformatora preko 630kVA-6%.

Za obilježavanje vrste hlađenja usvojen je zapis sa četiri velika latinična slova, od kojih prvo i drugo obilježavaju vrstu i način strujanja rashladnog sredstva koje je u dodiru sa namotajem, respektivno, dok se treće i četvrto odnose na vrstu i način strujanja rashladnog sredstva u dodiru sa spoljnjim hladnjakom, ako ga ima.

Jednolika izolacija namotaja koristi se za transformatore napona do 35kV, tako da svi krajevi koji su spojeni na stezaljke imaju prema zemlji isti podnosivi napon industrijske frekvencije. Stepeni izolacije su:

¹²[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksplotacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

- transformatori 10/0.4 kV LI 75 AC 28 / AC 3,
- transformatori 20/0.4 kV LI 125 AC 50 / AC 3,
- preklopivi transformator 20(10)/044 kV LI 125 AC 50 / AC 3.

Slovna oznaka LI označava podnosivi atmosferski udarni napon, a AC podnosivi naizmjenični napon industrijske frekvencije pri čemu se napon mjeri u kilovoltima.

4.1.2 Osnovne naznačene karakteristike energetskih transformatora

Naznačeni napon U_n je napon na koji se transformator priključuje ili koji se pojavljuje u praznom hodu između stezaljki transformatora. Za trofazni namotaj to je napon između linijskih priključaka. Odnos između naznačenog napona jednog i naznačenog napona drugog namotaja određuje naznačeni odnos transformacije.

Naznačena snaga S_n je dogovorena vrijednost prividne snage u kVA ili MVA, koja je osnova za projekat, deklarisanje, ispitivanje i određivanje naznačene struje transformatora. Dvonamotajni transformatori imaju jednaku naznačenu snagu koja je po definiciji naznačena snaga transformatora. Kod transformatora sa više od dva namotaja definiše se naznačena snaga određenog para namotaja.

Naznačena struja I_n je struja kroz linijsku stezaljku transformatora čija je vrijednost određena naznačenom snagom i naznačenim naponom. Za jednofazne transformatore važi:

$$I_n = \frac{S_n}{U_n} \quad (1)$$

Gubici praznog hoda P_0 , mjere se ogledom praznog hoda. P_0 je aktivna snaga koju transformator uzima kada je na jedan namotaj priključen naznačeni napon naznačene frekvencije, a svi ostali namotaji su otvoreni. Dominantan izvor P_0 su gubici u jezgru i odatle potječe uobičajeni naziv gubici u željezu. Ukupni gubici u željezu su zbir gubitaka uslijed histerezisa i vihornih struja.

$$P_{Fe} = P_h + P_v \quad (2)$$

Gubici zbog tereta P_t mjere se ogledom kratkog spoja. P_t je aktivna snaga koju uzima transformator pri naznačenoj frekvenciji kada kroz linijske stezaljke jednog namotaja teče naznačena struja, uz kratko spojene stezaljke drugog namotaja.

S obzirom da najveći dio gubitaka zbog tereta ostaje u namotajima, često se još nazivaju i *gubici u namotajima* ili *gubici u bakru*. Zavise od kvadrata opterećenja i temperature namotaja.

Struja praznog hoda I_0 je efektivna vrijednost struje koja prolazi kroz linijski priključak jednog namotaja, kada je pri naznačenoj frekvenciji priključen naizmjenični napon, a drugi namotaj ili namotaji otvoreni.

Impedansa kratkog spoja (jednog para namotaja) je ekvivalentna redna impedansa Z_k u omima, pri naznačenoj frekvenciji i referentnoj temperaturi između priključaka jednog namotaja određenog para kada su priključci drugog namotaja kratko spojeni, a preostali su namotaji otvoreni.

Napon kratkog spoja u_k određuje se ogledom kratkog spoja kao napon U_k koji je potrebno priključiti na linijske stezaljke da bi potekla naznačena struja uz kratko spojene stezaljke drugog namotaja. Obično se izražava u procentima naznačenog napona kao:

$$U_k = \frac{U_k}{U_n} \cdot 100\% \quad (3)$$

Pad napona U je aritmetička razlika napona praznog hoda jednog namotaja i napona na stezaljkama istog namotaja pri određenom opterećenju i faktoru snage. U izvjesnim slučajevima u praksi taj pad napona može da bude i negativan pa se kaže da se radi o promijeni napona.

4.1.3 Prijelazne pojave kod energetskog transformatora

Električna, mehanička i termička naprezanja koja se javljaju u prijelaznim stanjima mogu da ugroze funkcionisanje i izazovu značajna oštećenja transformatora. Tri najčešća slučaja pri kojima dolazi do prijelaznih procesa kod energetskih transformatora su:

- uključenje neopterećenog transformatora (u praznom hodu),
- udarni kratak spoj,
- prenaponi u kolu transformatora

4.2 Osnovni parametri i elementi distributivnih stubnih transformatorskih stanica

4.2.1 Osnovni tehnički uslovi

STS je slobodnostojeća stubna transformatorska stanica koja se formira od prefabrikovanih elemenata koji omogućavaju brzu i jednostavnu montažu, a izrađuju se od materijala koji ne zahtjevaju posebno održavanje. Stub i ostala oprema STS treba da budu takvih dimenzija i težina da ne zahtjevaju veće autodizalice i specijalna vozila za transport i montažu.

4.2.2 Tipovi stubnih transformatorskih stanica

Prilikom izbora instalisane snage energetskog transformatora, tj. izbora tipa STS mora se voditi računa, pored ostalog, da se preko niskonaponske mreže prenese odgovarajuća snaga uz pad napona od najviše 5% na kraju voda. Tri osnovna tipa STS čija se primjena preporučuje su:

- STS 100, za instaliranu snagu ET-a do 100kVA,
- STS 250, za instaliranu snagu ET-a do 250kVA,

- STS 400, za instalisanu snagu ET-a do 400kVA.

4.2.3 Dimenzionisanje opreme stubnih transformatorskih stanica

Cjelokupna oprema u STS dimenzioniše se prema maksimalno dozvoljenim vrijednostima trofaznih simetričnih struja (snaga) kratkog spoja od najmanje:

- 12kA (750MVA) na sabirnicama 35kV,
- 14.5kA (500MVA) na sabirnicama 20kV,
- 14.5kA (250MVA) na sabirnicama 10kV,
- 16kA (11MVA) na sabirnicama 0.4kV.

4.2.4 Stabla stuba, konzole i nosači stubne transformatorske stanice

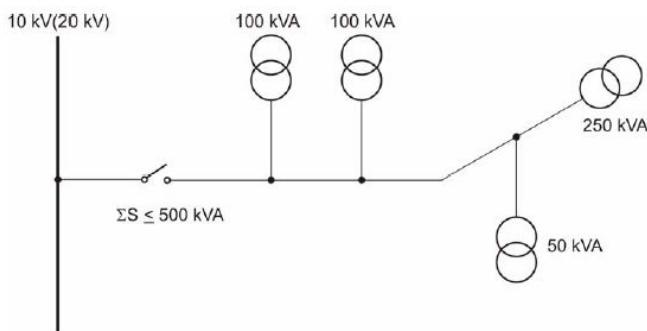
Za izradu stabla stuba, konzola i nosača stubne transformatorske stanice se koriste materijali koji ne podržavaju gorenje i koji ne zahtjevaju posebno održavanje. Primjer ovakvih materijala je beton, a i legura aluminijuma i čelika.

4.2.5 Rastavno mjesto za vidno odvajanje stubne transformatorske stanice od visokonaponske mreže

Rastavno mjesto za vidno odvajanje STS od visokonaponske mreže može da bude:

- Pojedinačno-na samom stubu STS,
- Grupno-na posebnom stubu, preko linijske sklopke-rastavljača naznačene trajne struje 200A i naznačene moći prekidanja pri faktoru snage 0.7 reda najmanje 31.5 A na naponu 10 kV, odnosno najmanje reda 16A na naponu 20kV, pri čemu se preko sklopke-rastavljača može napajati više transformatorskih stanica čija ukupna instalirana snaga ne smije preći 500kVA.

U mreži 35kV rastavno mjesto je obavezno pojedinačno, na stubu STS. Veza iz razvodnog ormana STS sa niskonaponskom mrežom izvodi se sa četiri niskonaponska izvoda i izvodom za javno osvjetljenje, po potrebi za STS 250 i STS 400, a kod STS 100 sa jednim niskonaponskim izvodom.



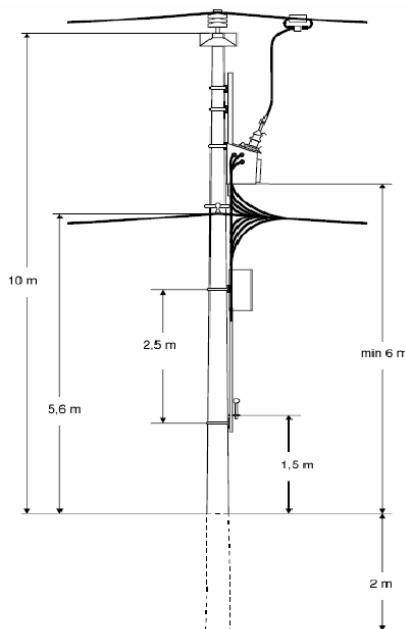
Slika 21. Grupno rastavno mjesto za više STS¹³

¹³[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksploracija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

4.2.6 Stub stubne transformatorske stanice

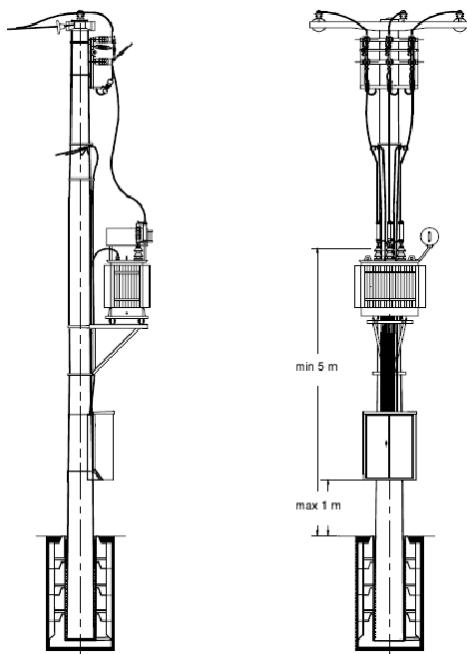
Stub STS treba da ispunjava zahtjeve tehničkih propisa za izgradnju nadzemnih elektroenergetskih vodova, zahtjeve tehničkih preporuka. Temelj stuba STS je betonski. Preporučuje se upotreba prefabrikovanih temelja, ali je dozvoljena i izrada temelja na licu mjesta. U slučaju da je stablo stuba STS metalno, treba da se sastoji od najviše tri dijela koji se sklapaju na licu mjesta. Dužina stuba STS treba da bude tolika da na mjestu montaže budu zadovoljeni zahtjevi u pogledu dozvoljenih sigurnosnih visina i udaljenja.

Za STS 250 i STS 400 može da se upotrijebi stub koji je specijalno urađen za nošenje opreme STS, sa unaprijed montiranim elementima kojima se omogućava jednostavna montaža opreme i energetskih transformatora, a po potrebi i platforma za posluživanje. Dozvoljena je i upotreba stuba koji se normalno koristi u mreži 0.4kV, 20kV ili 35kV ako ispunjava uslove koje STS ima u mreži, kada se energetski transformator i ostala oprema montiraju pomoću posebnih nosača, konzola, obujmica.



Slika 22. Šematski raspored opreme STS 100¹⁴

¹⁴[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksploracija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]



Slika 23. Šematski raspored opreme STS 250 i 400¹⁵

Konstrukcija stuba može da se upotrijebi za nošenje opreme STS ako je nominalna sila stuba veća od zbira rezultantne vršne sile koja potiče od visokonaponskih i niskonaponskih vodova koji se priključuju na STS i horizontalne vršne sile koja potiče od energetskog transformatora dok se za praktične proračune utjecaj ostale opreme na vršnu silu zanemaruje. Iz razloga sigurnosti pri skidanju energetskog transformatora, vrijednost rezultantne vršne sile koja potiče samo od visokonaponskih i niskonaponskih vodova ne smije da bude veća od nominalne sile stuba, što je slučaj bez prisustva energetskog transformatora. Vrijednost horizontalne vršne sile koja potiče od energetskog transformatora u smjeru montaže energetskog transformatora, izražena u dekanjutnima (daN), približno je jednaka vrijednosti naznačene snage energetskog transformatora izražene u kilovoltamperima (kVA). Prihvatanje provodnika niskonaponskih vodova na stub STS izvodi se na visini od najmanje 5.6m iznad tla.

4.2.7 Zaštita stubnih transformatorskih stanica

4.2.7.1 Zaštita energetskih transformatora u STS-a

Energetske transformatore u stubnim transformatorskim stanicama treba zaštiti od kratkih spojeva, od preopterećenja i od atmosferskih prenapona. Zaštita energetskih transformatora od kratkih spojeva u STS 100 izvodi se na strani niskog napona pomoću prekostrujnih okidača. Energetski transformatori od preopterećenja u STS 100 mogu se zaštiti uz pomoć okidača preopterećenja kao i „preventivnom“ zaštitom koja se ostvaruje redovnim praćenjem opterećenja konzuma koji napaja

¹⁵[Izvor: Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksplotacija EES“-Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.]

STS. Od atmosferskih prenapona energetski transformator u STS 100 je moguće zaštititi pomoću zaštitnih iskrišta na visokonaponskim provodnim izolatorima energetskih transformatora, a sa strane niskog napona pomoću odvodnika prenapona.

Zaštita energetskih transformatora u STS 250 i STS 400 od kratkih spojeva se izvodi pomoću visokonaponskih visokoučinskih (VV) osigurača. Od preopterećenja energetski transformatori u STS 250 i STS 400 se mogu zaštititi pomoću termostata ili kontaktnog termometra. Ako energetski transformator ne posjeduje termostat ili kontaktni termometar, obavezna je primjena okidača preopterećenja na prekidaču. Energetski transformator u STS 250 i STS 400 od atmosferskih prenapona se štiti pomoću odvodnika prenapona. Energetski transformator sa konzervatorom treba da ima Buholcov relaj koji djeluje na NN prekidač i signališe nestanak ulja, a ukoliko je to transformator bez konzervatora, onda treba da ima ventil nadpritiska.

4.2.7.2 Zaštita priključaka (izvoda) niskog napona

Zaštita izvoda (priključaka) niskog napona, uključujući i izvod za javno osvjetljenje, kao i zaštita kondenzatora izvodi se visokoučinskim osiguračima.

4.2.7.3 Uzemljenje stubnih transformatorskih stanica

Uzemljenje u STS dimenzioniše se i izvodi prema TP-7. Ako stubna transformatorska stanica radi u visokonaponskoj mreži sa uzemljenom neutralnom tačkom, u STS se izvode posebni uzemljivači za zaštitno i radno uzemljenje na međusobnom rastojanju od najmanje 20m. Ukoliko STS radi isključivo u visokonaponskoj mreži sa izolovanom neutralnom tačkom, onda se koristi združeno uzemljenje, tako što se izvede uzemljivač zaštitnog uzemljenja na koji se priključuje neutralni provodnik niskonaponske mreže.

4.2.7.4 Uzemljivač zaštitnog uzemljenja

Uzemljivač zaštitnog uzemljenja izvodi se pomoću dvije konture sa štapnim uzemljivačima u tjemenima spoljašnje konture. Prva kontura se postavlja na udaljenje od 1m od stuba i na dubinu od 0.5 m, dok se druga kontura postavlja na udaljenje od najmanje 1m od prve konture i na dubinu od 0.8m. Na uzemljivač zaštitnog uzemljenja se preko voda za uzemljenje vezuje: konstrukcija stuba, kućište energetskog transformatora, kućište kondenzatora, uzemljenje odvodnika prenapona, kao i ostali metalni dijelovi naprava koji ne pripadaju strujnom kolu. Spajanje metalnih dijelova koji ne pripadaju strujnim kolima sa vodom za uzemljenje izvodi se pomoću pocinkovanog čeličnog užeta. Dužina užeta treba da bude takva da se spriječi formiranje „petlje”.

4.3 Karakteristike električne opreme stubnih transformatorskih stanica

4.3.1 Razvod visokog napona stubnih transformatorskih stanica

Razvod visokog napona STS 100 čini spojni materijal i pribor, za direktni priključak energetskog transformatora na vod 10kV ili 20kV. Odvajanje energetskog transformatora sa visokonaponske mreže izvodi se preko razvezivih stezaljki, a

preporučuje se korištenje linijske sklopke-rastavljača kao zbirnog rastavnog mjesta. Spojni materijal i pribor čine: Al/Fe uže presjeka najmanje kao visokonaponski vod, potporni ili kapasti izolatori, priključne stezaljke za dva vijka i odgovarajuće papučice. Razvod visokog napona STS 250 odnosno STS 400 sačinjavaju: tropolni rastavljač naznačenog napona 12kV, 24kV i 38kV, naznačene trajne struje 200A, tri odvodnika prenapona naznačenog napona 12kV, 24kV i 38kV i naznačene struje 10kA. Odvodnici prenapona se montiraju između visokoučinskih osigurača i rastavljača. Na taj način se efikasno štiti energetski transformator od atmosferskih prenapona, a zamjena oštećenja je moguća bez isključenja napojnog voda. Razvod visokog napona STS 250 odnosno STS 400 sačinjavaju i tri visokonaponska visokoučinska osigurača naznačenog napona 12kV, 24kV i 38kV i naznačenih struja topljivih umetaka.

4.3.2 Razvod niskog napona stubnih transformatorskih stanica

Razvod niskog napona stubnih transformatorskih stanica se sastoji od razvodnog ormara niskog napona, tri odvodnika prenapona 500V, 5kA koji se priključuju što bliže priključnim stezaljkama energetskog transformatora i kablovskih priključaka za energetski transformator i za niskonaponski vod.

4.3.3 Razvodni ormar

Razvodni ormar se izvodi od čvrstog materijala koji ne podržava gorenje i ne zahtjeva neko posebno održavanje (poliester, pocinkovani lim, aluminijum i slično). Izvođenje razvodnog ormara treba da je takvo da je onemogućeno prodiranje prašine i kiše. Razvodni ormar se po pravilu postavlja na stub ili u sklopu konstrukcije stuba, tako da se manipulacije sa prekidačem i ostalim elementima u ormaru izvode sa tla. Dozvoljava se da se razvodni ormar STS 250 ili STS 400 izvede kao poseban slobodnostojeći razvodni ormar montiran odvojeno u blizini stuba na pogodnom mjestu koje omogućava najpovoljniji rasplet niskonaponskih vodova, urađen od izolacionog materijala. U razvodni ormar STS 100 montira se prekidač za naznačenu trajnu struju 250A, naznačeni napon 400V sa okidačima preopterećenja (termički okidači) i prekostrujnim (elektromagnetnim) okidačima.

4.3.4 Polje za javno osvjetljenje

Polje za javnu rasvjetu može da bude u sastavu razvodnog ormara ili u posebnom ormaru, a sastoji se od:

- tri visokoučinska osigurača sa osnovama za naznačeni napon 400V i naznačenu struju 100A, sa topljivim umecima naznačenih struja 35A,
- trofaznog direktnog brojila $10[A] - 40[A]; 3 \times 230/400[V]$ -po potrebi,
- tropolnog kontaktora za naznačenu struju 63A, sa naponskim okidačem za naznačeni napon 250V, 50Hz,
- foto releja sa sondom, uklopnog sata, MTK prijemnika ili RTK prijemnika,
- preklopke ručno-automatski, 250V, 10A

4.3.5 Niskonaponski priključci i veze

Priključne veze od energetskog transformatora do niskonaponskog razvoda i od niskonaponskog razvoda do niskonaponskog voda, izvode se kablom tipa XP00-A, PP00-A ili CKC-om tipa X00-a, odnosno odgovarajućim žilama koje su dobijene raspletanjem žila CKC-a. Priključni kablovi se polažu po konstrukciji STS i učvršćuju obujmicama, a svaki kabl mora da bude obilježen natpisnom pločicom ili slično. Ovi kablovi moraju da budu mehanički zaštićeni do visine 1.8m iznad tla. Obujmice jednožilnih kablova treba da su od neferomagnetnih materijala (plastika, bakar, aluminijum).

4.3.6 Ostala oprema i pribor stubnih transformatorskih stanica

U razvodnom ormaru na pogodnom mjestu treba da se postavi jednopolna šema, upustvo za prvu pomoć i sigurnosna pravila. Na razvodni ormar i konstrukciju stuba treba da se postave opomenske tablice za visoki napon, a na konstrukciju stuba još i broj (naziv) transformatorske stanice. Preporučuje se da se postavi i posebna tablica na koju se upisuje tip izvedenog uzemljenja i vrijednosti otpornosti uzemljenja koje ne smiju da se prekorače. Protivpožarni aparati se ne postavljaju već su njima snabdjevena vozila ekipa koje izvode manipulacije u mreži. Isto se odnosi i na zaštitnu opremu koja se koristi pri manipulacijama: izolacionu motku, izolacione čizme, prijenosne naprave za uzemljavanje i kratko spajanje.

5. ZAKLJUČAK

Kroz ovaj rad na temu „Karakteristike i izbor opreme za distributivne trafostanice“ bilo je moguće upoznati se sa strukturu distribucijske mreže, pobliže niskonaponske distribucijske mreže i njihove strukture, trafostanice i distribucijske mreže 35(30) i 10(20)kV. Prijenos velikih snaga vrši se pri visokom naponu kako bi se smanjili gubici električne energije koji su većinom uslovljeni veličinom električne struje. Kako proizvodnja i potrošnja električne energije nisu moguće na tako visokom naponu koriste se transformatorske stanice uz pomoć kojih se električna energija preuzeta iz mreže jednog napona transformiše i predaje mreži drugog naponskog nivoa. Transformatorska stanica 35/10(20)kV povezuje mrežu naponskog nivoa 35kV s mrežom naponskog nivoa 10kV. Vezana je posredno ili neposredno na 35kV sabirnice trafostanice 110/35 kV, odakle se putem kablovskih ili zračnih dalekovoda 35kV napaja energijom. Transformisana električna energija predaje se izvodima 10kV. Mrežom 10 kV napajaju se potrošači pomoću trafostanice 10/0,4kV ili neposredno.

Kao primjer detaljnijeg definisanja transformatorskih stanica uzete su stubne transformatorske stanice koje se odlikuju jednostavnom konstrukcijom, velikom brzinom montaže bez posebno komplikovane opreme, zadovoljavajućim stepenom sigurnosti i pouzdanošću. To je distributivna transformatorska stanica koja se koristi za napajanje prigradskih naselja, seoskih domaćinstava, vikend naselja i industrijskih objekata. Osnovna prednost ovih trafostanica u odnosu na ostale je jeftinije i lakše obezbjeđenje lokacije za postavljanje, posebno ako se zna da se za montažu mogu koristiti i već postojeći stubovi u elektrodistributivnoj mreži. Svaki uređaj u elektroenergetskom sistemu ima svoju ulogu i bez jednog od tih elemenata sistem bi bio nepotpun i ne bi mogao normalno funkcionisati zbog čega je potrebno redovno vršiti pregled i prema propisima održavati odnosno mijenjati dijelove ako se nadzire njihov krajnji vijek trajanja.

LITERATURA

- Knjige, udžbenici i priručnici:
 - Jovan Nahman-Razvodna postrojenja
 - Franjo Božuta-Automatski zaštitni uređaji elektroenergetskih postrojenja
 - Marijan Kalea-Transformatorske stanice 35/10 kV
- Seminarski, završni i naučni radovi:
 - Stjepan Duspara-Projektiranje i proračun transformatorske stanice 35/10(20)kV-diplomski rad-Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija-sveučilišni diplomski studij-Osijek, 2017.
 - Vučićević Milosav-Seminarski rad iz predmeta „Eksploracija EES“- Stubne transformatorske stanice-Čačak, decembar 2016.
- Internet izvori:
 - https://bib.irb.hr/datoteka/392133.Bojcic-Mestrovic_2009.pdf
(Preuzeto: 17.5.2019. 22:09h)
 - http://www.deling.ba/eng/index_files/katalogts.pdf
(Preuzeto: 17.5.2019. 22:34h)
 - http://www.foti.co.rs/index.php?option=com_content&view=article&id=80&Itemid=82 (Preuzeto: 20.5.2019. 21:50h)
 - <https://www.scribd.com/doc/296386921/Distributivne-transformatorske-stanice> (Preuzeto: 19.5.2019. 18:30h)

PRILOZI

SLIKE

<i>Slika 1.</i> Distributivna mreža sa dva naponska nivoa.....	3
<i>Slika 2.</i> Distributivna mreža sa jednim naponskim nivoom.....	4
<i>Slika 3.</i> Stubna trafostanica	6
<i>Slika 4.</i> Trafostanica 10(20)/0.4 kV	7
<i>Slika 5.</i> Dispozicija TS 10(20) kV („gradska“).....	7
<i>Slika 6.</i> Jednopolna shema TS 10(20) kV („gradska“)	8
<i>Slika 7.</i> Izvedba stubne trafostanice TS 10(20) kV i jednopolna shema.....	8
<i>Slika 8.</i> Primjer: jednopolna shema TS 10(20)kV FESB	9
<i>Slika 9.</i> Primjer TS 35/10(20) kV s jednostrukim sekcionisanim sabirnicama 35 kV i dvostrukim sabirnicama 10 kV	10
<i>Slika 10.</i> Dispozicija gradske TS 35/10(20) kV	11
<i>Slika 11.</i> Jednopolna shema TS 35/10(20) kV	11
<i>Slika 12.</i> Energetski transformator.....	27
<i>Slika 13.</i> Poprečni presjek magnetnog jezgra	28
<i>Slika 14.</i> Niskonaponski priključci	29
<i>Slika 15.</i> Visokonaponski priključci	29
<i>Slika 16.</i> Regulator napona za spregu primara zvijezda i trougao	30
<i>Slika 17.</i> Natpisna pločica transformatora 10/0.4kV	30
<i>Slika 18.</i> Pomoćni dijelovi i pribor transformatora	31
<i>Slika 19.</i> Buholc relej i dijelovi.....	32
<i>Slika 20.</i> Primjer označavanja trofaznih namotaja: a) NN namotaj spojen u trougao b) NN namotaj spojen u slomljenu zvijezdu c) VN namotaj spojen u zvijezdu.....	33
<i>Slika 21.</i> Grupno rastavno mjesto za više STS	36
<i>Slika 22.</i> Šematski raspored opreme STS 100	37
<i>Slika 23.</i> Šematski raspored opreme STS 250 i 400	38

TABELARNI PRIKAZI

<i>Tabela 1.</i> Strujni mjerni transformatori za TP 35 kV, Um= 38 kV, 2 75/5/5 A	13
<i>Tabela 2.</i> Strujni mjerni transformatori za VP 35 kV , Um= 38 kV, 2 200/5/5A.....	14
<i>Tabela 3.</i> Tehničke karakteristike naponskih mjernih transformatora.....	14

Tabela 4. Strujni transformatori za TP 35/21(10,5) kV, Um=24 kV, 2×200/5/5/5 A 16

Tabela 5. Strujni transformatori za VP 35/21(10,5) kV, Um=24 kV, 2×150/5/5A ... 16

Tabela 6. Tehničke karakteristike naponskih mjernih transformatora..... 17

BILJEŠKE
