PD.TVZ.HR
POLYTECHNIC & DESIGN Vol. 12, No. 3, 2024.
Mrežna inačica: ISSN 2459-6302
Tiskana inačica: ISSN 1849-1995
DOI: 10.19279/TVZ.PD.2024-12-3-04

POSTUPAK I ZAHTJEVI ZA IZRADU ELEKTROTEHNIČKOG PROJEKTA DTS 10(20)/0,4 KV

PROCEDURE AND REQUIREMENTS FOR THE DEVELOPMENT OF AN ELECTRICAL ENGINEERING PROJECT DTS 10(20)/0.4 KV

Matija Ištvanović, Stjepan Tvorić

Tehničko veleučilište u Zagrebu, Vrbik 8, 10000 Zagreb, Hrvatska

SAŽETAK

Projektiranje dvostruke srednjenaponske transformatorske stanice DTS 10(20)/0,4 kV zahtijeva interdisciplinarni pristup koji obuhvaća elektrotehničke, građevinske i sigurnosne aspekte. Proces uključuje analizu ključnih faza, počevši od zakonske regulative i propisa koji osiguravaju ispravnost i legalnost izgradnje do tehničkih specifikacija potrebne opreme. Poseban naglasak stavlja se na odabir transformatora, srednjenaponski (SN) i niskonaponski (NN) razvod, kao i sigurnosne mjere koje osiguravaju dugotrajan i pouzdan rad postrojenja. Osim tehničkih aspekata, razmatraju se i pitanja održavanja sustava, smanjenja energetskih gubitaka te optimizacije rada, čime se osigurava efikasnija distribucija električne energije i ekonomska isplativost projekta. Obuhvaćeni su tehnički podaci o transformatorima, dimenzioniranje opreme, metode uzemljenja i zaštite, kao i zahtjevi za montažu i priključke. Proračuni dimenzioniranja SN i NN postrojenja provode se kako bi se osiguralo da svi tehnički parametri zadovoljavaju standarde sigurnosti i učinkovitosti. Korištenjem suvremenih metoda i kvalitetne opreme osigurava se dugotrajan i stabilan rad transformatorske stanice u skladu s potrebama distribucijske mreže.

Ključne riječi: *dvostruka transformatorska stanica, projektiranje, transformator, sklopni blok, srednjenaponska transformatorska stanica.*

ABSTRACT

The design of a dual medium-voltage substation DTS 10(20)/0,4 kV requires an interdisciplinary approach encompassing electrical engineering, construction, and safety aspects. The process includes an analysis of key phases, starting with legal regulations and requirements that ensure the correctness and legality of construction, up to the technical specifications of the necessary equipment. Particular emphasis is placed on the selection of transformers, medium-voltage (MV) and low-voltage (LV) distribution, as well as safety measures that ensure the long-term and reliable operation of the facility. In addition to technical aspects, issues related to system maintenance, energy loss reduction, and operational optimization are considered, ensuring more efficient electricity distribution and economic feasibility. The study covers technical data on transformers, equipment sizing, grounding and protection methods, as well as installation and connection requirements. Calculations for sizing MV and LV systems are carried out to ensure that all technical parameters meet safety and efficiency standards. By applying modern methods and high-quality equipment, the long-lasting and stable operation of the substation is ensured in accordance with the needs of the distribution network.

Keywords: *double substation, design, transformer, inclined block, medium voltage substation*

1. UVOD
1. INTRODUCTION

Elektroenergetski sustav načinjen je od velikog broja elemenata koji se međusobno povezuju i sačinjavaju jednu smislenu cjelinu koja služi za proizvodnju, prijenos i distribuciju električne energije. Distribucijski sustav je najrašireniji i on je posljednja poveznica u lancu koji povezuje proizvodnju s krajnjim korisnikom, tj. potrošačem električne energije. Raširenost distribucijskog sustava je približno 30 %, što znači da je potrebno pristupiti izgradnji s detaljno razrađenim planom. Planiranje, ali i projektiranje distribucijskog sustava je veoma kompleksan i dug posao zbog financijskih troškova samog investitora, ali i samog projektanta koji prilikom projektiranja nailazi na razne vrste probleme. Uloga projektanta je od velike važnosti jer na njemu leži odgovornost za sve što se tiče same izgradnje građevine, u ovom slučaju je to transformatorska stanica, ali i daljnjega rada, te je odgovoran za bilo kakve kvarove, oštećenja ako se dokaže da je uzrok kvara isključivo greška projektanta. Distributivne transformatorske stanice u većini slučajeva su tipskog karaktera, te se snaga njihovog transformatora nalazi u granicama od 50 do 1000 kVA. Transformatorske stanice takve prirode su u stupnim ili samostojećim izvedbama. Navedena maksimalna snaga od

1000 kVA nije dovoljna za pojedina geografska područja, te je u posljednjih nekoliko godina sve češći slučaj da se u jednom dijelu naselja nalaze dvije tipske distributivne transformatorske stanice, ili dvostruka tipska transformatorska stanica. Zbog svakodnevnog povećanja potrošnje električne energije, transformatorska stanica morala bi zadovoljiti opskrbom električne energije krajnjeg korisnika sljedećih 20 godina, što je kraće nego što je radni vijek same transformatorske stanice. [1]

2. POSTUPAK PROJEKTIRANJA TRANSFORMATORSKE STANICE
2. DESIGN PROCEDURE OF A TRANSFORMER SUBSTATION

Planiranje i projektiranje elektroenergetskih objekata je proces za koji je vrlo bitno poštivati sve propise, a to vrijedi i za projektiranje transformatorske stanice. Proces projektiranja je vrlo složen i dugotrajan, stoga ga je nužno poznavati kako bi se izbjegli problemi prilikom samog projektiranja. Zakonska regulativa propisuje vrlo bitne korake koji su potrebni za dobivanje svih potrebnih dozvola za ispravnu i legalnu gradnju. Kako bi logistika ispunila svoju ulogu, važno je pratiti redoslijed unutar postupka. Zakonska regulativa daje smjernice u pristupu gradnji i ukazuje na to kako na minimum svesti poteškoće koje se mogu javiti prilikom procesa izgradnje transformatorske stanice. Ograničava ideju od provjerenog principa gradnje, ali isto tako i zbog tipizacije samog tipa građevine. Puno je zakona, pravilnika i normi vezano za projektiranje transformatorske stanice, a neki od bitnijih su Zakon o prostornom uređenju, Zakon o gradnji, Zakon o zaštiti na radu, Zakon o zaštiti od požara, Zakon o zaštiti prirode, Zakon o zaštiti okoliša, Zakon o zaštiti buke, Tehnički uvjeti za izbor i polaganje elektroenergetskih kabela nazivnog napona od 1 do 35 kV i Pravilnik o tehničkim normativima za zaštitu niskonaponskih mreža i pripadajućih transformatorskih stanica. [1] [9]

3. TRANSFORMATORSKA STANICA
3. TRANSFORMER SUBSTATION

Distributivna transformatorska stanica (DTS) ključna je za pretvorbu električne energije između različitih naponskih razina, osiguravajući stabilnu i sigurnu distribuciju. Projekt transformatorske stanice sastoji se od tri glavne cjeline: opreme unutar stanice, kabelskih vodova te građevinskog dijela. Oprema uključuje transformator, SN i NN razvod, zaštitne uređaje, sustav upravljanja, signalizaciju te uzemljenje i gromobransku zaštitu. Kabelski vodovi povezuju stanicu s elektroenergetskom mrežom i krajnjim korisnicima, dok građevinski dio obuhvaća konstrukciju, dimenzije i materijale koji osiguravaju stabilnost i dugotrajnost objekta. Primjer analizirane transformatorske stanice ima prijenosni omjer 10(20)/0,4 kV i instaliranu snagu od 2x630 kVA. Projektirana je kao samostojeći betonski objekt tipa DTS 12(24), prilagođen urbanističkom okruženju i optimiran u smislu minimalne popunjenosti prostora.

Vanjski elementi, poput eloksiranih aluminijskih vrata i ventilacijskih žaluzina, osiguravaju trajnost i smanjene troškove održavanja. Ugrađena dvokrilna vrata olakšavaju pristup i transport opreme, dok ventilacijski otvori sa žaluzinama omogućuju prirodno hlađenje. Krov od armiranog betona izveden je s nagibom za kontroliranu odvodnju oborinskih voda. Vodonepropusne uvodnice za kabele smanjuju rizik od požara i prodora vlage, dok uljne jame ispod transformatora pružaju dodatnu zaštitu od ekoloških incidenata. Kako bi se osigurala pouzdanost sustava, predviđeno je mjerno mjesto na SN strani trafostanice, a standardizirani sklopni blokovi omogućuju brzu i jednostavnu montažu na terenu. Osim toga, TN-S sustav zaštite od dodirnog napona jamči sigurnost korisnika i operatera tijekom rada i održavanja. DTS predstavlja modernu i efikasnu infrastrukturu koja osigurava pouzdanu distribuciju električne energije uz visoku razinu sigurnosti i optimiziran trošak održavanja. [2]

Energetski transformatori smješteni su u transformatorskim komorama na podesivim UNP nosačima. Hlađenje se odvija prirodnom cirkulacijom zraka kroz otvore sa žaluzinama. Pristup transformatorima omogućen je kroz vrata s bravicom ili demontažna vrata bez bravice. U transformatorsku stanicu ugrađuju se dva transformatora snage 630 kVA, naponskog omjera 10000(20000)/420/231 V, s preklopkom ±2,5 % i ±5 % za ručnu regulaciju u beznaponskom stanju. Transformatori su bez konzervatora, s kontaktnim termometrima za zaštitu od preopterećenja, i mogu raditi na 10 kV i 20 kV. Namoti su izrađeni od elektrolitskog bakra i izolirani visokokvalitetnim materijalima, pri čemu nisu direktno namotani na stup jezgre radi lakšeg servisiranja. Jezgra je od hladnovaljanog orijentiranog lima s niskim gubicima. Transformatori su ispunjeni mineralnim uljem prema normi HRN EN 60296, bez PCB-a. Provodni izolatori za vanjsku montažu izrađeni su od kvalitetnog porculana, sukladno normama HRN EN 50180 i HRN EN 50386. Zamjenjivi su bez skidanja poklopca kotla, a minimalna toplinska klasa izolacije je A. [7]

Srednjenaponsko (SN) postrojenje u nadležnosti Korisnika 1, bit će sačinjeno od sklopnih blokova, modula izoliranih plinom SF6, potpuno oklopljenih, zaštićenih od opasnog napona dodira, tvornički dogotovljenih i prethodno ispitanih, predviđenih za unutarnju ugradnju. Postrojenje se sastoji od ukupno pet polja, dva dolazna vodna polja i dva dolazna vodna polja sa spojnim poljem i zemljospojnikom, jednim mjernim poljem opremljenim strujnim i naponskim mjernim transformatorima, te jednim spojnim poljem. Za sve prekidače i rastavne sklopke predviđeno je ručno upravljanje. Osim ručnog pogona, u perspektivi, predviđena je i mogućnost upravljanja prigrađenim motorskim pogonom. Svi sklopovi i elementi glavnog strujnog puta svakog od blokova smješteni su u zajedničkom plinonepropusnom kućištu od čeličnog lima, te su međusobno i prema kućištu izolirani plinom SF6. Gašenje električnog luka vrši se u vakuumskim komorama, kako u prekidaču, tako i u rastavnim sklopkama. Plin služi samo kao izolacija, što praktično isključuje potrebu održavanja primarnog dijela električkih sklopova unutar kućišta i osigurava njenu ekološku podobnost. Svi sklopni blokovi na kabelskim odvodima, kao i na spojevima na sabirnice imaju indikatore napona u svim fazama. Visoki stupanj prevencije od mogućnosti krive manipulacije postignut je cijelim nizom mehaničkih blokada i načinom upravljanja na svim sklopnim blokovima. SN postrojenje u nadležnosti Korisnika 2, bit će sačinjeno od sklopnih blokova, plinom SF6 izoliranih potpuno oklopljenih i od opasnog napona dodira zaštićenih modula, tvornički dogotovljenih i prethodno ispitanih, predviđenih za unutarnju ugradnju. Postrojenje se sastoji od ukupno tri polja, jedno dolazno vodno polje opremljeno prekidačem i tropoložajnom rastavnom sklopkom s mogućnošću uzemljivanja i s dva transformatorska polja za transformatore s prekidačem i zemljospojnikom. [6] Niskonaponski sklopni blok namijenjen je unutarnjoj montaži za nazivni napon 400 V i frekvenciju 50 Hz. Opremljen je slijepom shemom sa signalizacijom stanja sklopnih aparata. Koristi se u mrežama s izoliranom ili uzemljenom neutralnom točkom 10(20) kV mreže. Sastoji se od transformatorskog polja, 20 odvodnih polja (400 A) i spojnog polja s prekidačem između NN blokova. Transformatorsko polje sadrži rastavnu sklopku u gornjem dijelu, dok su vodna polja opremljena tropolnim osigurač-rastavnim

sklopkama (400 A, AC 23B). Kabelski ulazi su s donje strane bloka. Sabirnički sustav (1250 A) izrađen je od bakrenih profila min. 80x10 mm, dok su N i PE vodiči presjeka 50x10 mm. Predviđen je prostor za prenaponske odvodnike i kondenzatore do 60 kVAr. Kondenzatori mogu biti pojedinačni ili paralelno spojeni, a kod NN bloka s 10 odvodnih polja ugrađuju se na zaseban stalak. Priključak faznih vodiča u transformatorskom polju omogućuje do pet kabela od 150 mm² Cu po fazi i tri za neutralni vodič. Priključci na osigurač-rastavne sklopke (400 A i 160 A) izvode se vijcima M12 i M8. Konstrukcija omogućuje zamjenu dviju osigurač-rastavnih sklopki 160 A jednom od 400 A. Kabeli se pričvršćuju obujmicama, a priključci u transformatorskom polju mogu biti horizontalni ili vertikalni. Niskonaponski sklopni blok opremljen je s 3 strujna transformatora, 1 mjerni terminal (na vratima), 1 kondenzator, 2 pomoćna releja, 1 utičnica, 5 jednopolnih automatskih prekidača, 3 odvodnika prenapona. [3] Srednjenaponski spojevi između SN aparature i primarnih stezaljki transformatora izvode se SN kabelom XHE49-A, 12/20 kV, 3x(1x70/16 mm²). Na strani transformatora koriste se kabelski završeci za unutarnju montažu i odgovarajuće stopice, dok se ekrani kabela spajaju na unutarnji prsten uzemljenja pomoću odgovarajućih stopica. Kabeli se mehanički učvršćuju obujmicama, a na SN aparaturi završavaju priključnim adapterom. Niskonaponski spojevi (NN sklopni blok-transformator) izvode se kabelima 3x(P/MT, 1x150 mm²) za faze i 2x(P/MT, 1x150 mm²) za nul-vodič. Kabeli su povezani od priključka NN na transformatoru do vrha sklopnog bloka NBO-10 te se učvršćuju plastičnim vezicama. Spojevi se ostvaruju stopicama KSB 150/14, dok se za prolaz NN vodova koriste vodonepropusne uvodnice. Kabeli se priključuju na V-stezaljke na osiguračkoj pruzi NN bloka, uz mogućnost korištenja stopica za bolji kontakt. Sabirnice (N i PE) moraju biti spojene bakrenim kratkospojnikom. [4] Upravljanje prekidačima i rastavljačima u srednjenaponskom (SN) postrojenju vrši se ručno, izravno na sklopnoj aparaturi ili putem tipkala za prekidače. Proces je jednostavan – prije upravljanja provjerava se stanje aparata na slijepoj shemi. Prekidači se uklapaju okretanjem ručice udesno, a isklapaju ulijevo. Zemljospojnici i rastavljači u transformatorskom i vodnom polju upravljaju se isključivo ručno pomoću posebne ručke. Sigurnosne blokade sprječavaju pogrešan redoslijed – zemljospojnik se ne može uključiti dok je prekidač uključen i obrnuto. Tropoložajni rastavljači u vodnim poljima iz neutralnog položaja uklapaju se okretanjem ručice udesno, dok se uzemljenje vrši okretanjem ulijevo. Stanje aparata signalizira se lokalno pokazivačima položaja na sklopnom bloku. [8] U transformatorskoj stanici izvest će se združeno uzemljenje (pogonsko i zaštitno) povezivanjem N i PE sabirnice u NN razvodnom ormaru. Zaštitno uzemljenje izvedeno je temeljnim trakastim uzemljivačem (40x4 mm) položenim u prsten unutar temelja. Povezan je na sabirni vod (30x4 mm) položen duž unutarnjih zidova na 1 m visine, na koji se spajaju svi metalni dijelovi koji mogu doći pod napon uslijed greške. Radno uzemljenje NN mreže (400/230 V) spojeno je sa zaštitnim uzemljenjem. Na uzemljenje su povezani kotao transformatora, sekundarni krugovi mjernih transformatora, metalni plaštevi kabela i konstrukcija stanice. Za noćne intervencije predviđena je rasvjeta prostora transformatora te SN i NN sklopnih blokova s minimalnom jačinom od 60 lx. Koristit će se 4 LED žarulje (E27, A60, 12 W), postavljene nadžbukno s uključivanjem pomoću sklopki uz vrata. Unutar SN i NN prostora predviđene su utičnice za alate i priključak električnih uređaja. [2] Tradicionalni razlozi zamjene opreme u transformatorskim stanicama, poput porasta opterećenja i modernizacije sustava, u budućnosti neće biti dominantni. Procjena vijeka trajanja opreme temelji se na analizi podataka iz 13 europskih zemalja, obuhvaćajući 300.000 uređaja. Prema istraživanju, srednji vijek trajanja postrojenja iznosi oko 35 godina, dok elektronička oprema traje kraće – oko 25 godina. Najduži vijek imaju vodiči, koji mogu doseći i 50 godina. Ovi podaci vrijede u normalnim uvjetima, uz pravilno održavanje i kvalitetnu izvedbu. Trafostanice koriste visokokvalitetnu opremu s minimalnim potrebama za održavanjem. Srednjenaponsko sklopno postrojenje je oklopljeno i zaštićeno, dok je niskonaponski sklopni blok tvornički testiran i spreman za ugradnju. Investitor je dužan izraditi program održavanja prema tehničkim normama, osiguravajući sigurnost i dugotrajan rad sustava. [1]

4. PRORAČUNI
4. CALCULATIONS
4.1. SN POSTROJENJE
4.1. MV SWITCHGEAR

a) Postrojenje 20 kV pod 10 kV naponom

Efektivna vrijednost izmjenične komponente udarne struje kratkog spoja (tropolna struja kratkog spoja), na 10 kV strani ograničena je na vrijednost:

I''_k = 12,5 (kA) pa snaga kratkog spoja iznosi S''_k = 216 MVA.

Udarna struja kratkog spoja (dinamička struja kratkog spoja) uz faktor koji slijedi iz omjera *R/X* = 0,1 iznosi:

$$I_{ku} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k = 1{,}76 \cdot \sqrt{2} \cdot 12{,}5 = 31{,}112 \text{ kA} \quad (1)$$

gdje je prema IEC 865-1:

$$\chi \approx 1{,}02 + 0{,}98 \cdot e^{\frac{-3R}{X}} = 1{,}746 \quad (2)$$

Trajna struja kratkog spoja (prekidna struja kratkog spoja) uz faktor redukcije μ=0,8 koji ovisi o omjeru struja i vremenu:

$$I_k = \mu \cdot I''_k = 0{,}8 \cdot 12{,}5 = 10 \text{ kA} \quad (3)$$

Efektivna vrijednost struje kratkog spoja (termička struja kratkog spoja):

$$I_{ef} = I''_k \cdot \sqrt{m+n} = 12{,}5 \cdot \sqrt{0{,}34 + 0{,}969} = 14{,}301 \text{ kA} \quad (4)$$

gdje su m i n članovi određeni istosmjernom i izmjeničnom komponentom udarne struje kratkog spoja i vrijednostima *Ik"/Ik*=1,25; *t*=0,1s (vrijeme trajanja kratkog spoja) i χ = 1,76

Tako za trajanje kratkog spoja u vremenu od 1 sekunde dobijemo:

$$I_{ef} = I''_k \cdot \sqrt{m+n} = 12{,}5 \cdot \sqrt{0{,}034 + 0{,}846} = 11{,}724 \text{ kA} \quad (5)$$

gdje su *m* = 0,034; *n* = 0,846

b) Postrojenje 20 kV pod 20 kV naponom

Efektivna vrijednost izmjenične komponente udarne struje kratkog spoja (tropolna struja kratkog spoja), na 20 kV strani ograničena je na vrijednost I''_k = 12,5 (kA) pa snaga kratkog spoja iznosi S''_k = 432 MVA.

Budući da za I''_k imamo istu vrijednost kao i na 10 kV neće se mijenjati vrijednost I_{ku}, I_k, I_{ef1sek}.

4.2. NN POSTROJENJE
4.2. LV SWITCHGEAR

Nadomjesni otpor mreže 10 kV na strani 0,4 kV

$$Z_{m0,4} = \frac{1{,}1 \cdot U_1^2}{P_k''} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = \frac{1{,}1 \cdot 10^2}{250} \cdot \left(\frac{0{,}4}{10}\right)^2 = 0{,}000704\ \Omega \quad (6)$$

nadomjesni otpor mreže 20 kV na strani 0,4 kV

$$Z_{m0,4} = \frac{1{,}1 \cdot U_1^2}{P_k''} \cdot \left(\frac{U_2}{U_1}\right)^2 = \frac{1{,}1 \cdot 20^2}{500} \cdot \left(\frac{0{,}4}{20}\right)^2 = 0{,}001408\ \Omega \quad (7)$$

Uočava se da je nadomjesni otpor mreže manji kad mreža radi pod naponom 10 kV, budući da se raspolaže transformatorom preklopive izvedbe, nužno je napraviti proračun za oba slučaja, 10 kV reducirano na sekundar transformatora $Z_{m0,4(10\ kV)}$ i 20 kV reducirano na sekundar transformatora $Z_{m0,4(20\ kV)}$. Proračun radimo za slučaj ugradnje transformatora nazivne snage 1x630 kVA. Nadomjesni otpor transformatora nazivne snage 630 kVA, napon kratkog spoja u_k = 4%:

$$Z_t = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{{U_2}^2}{P_n} = \frac{4}{100} \cdot \frac{0{,}40^2}{0{,}63} = 0{,}01016\ \Omega \quad (8)$$

a) nazivni napon primara transformatora iznosi 20 kV

Ukupni otpor:

$$Z = Z_{\text{m0,40(20)}} + Z_t = 0{,}001408 + 0{,}01016 = 0{,}0116\ \Omega \quad (9)$$

Snaga kratkog spoja na sabirnicama 0,4 kV:

$$S_{k0,4} = \frac{1{,}1 \cdot {U_2}^2}{Z} = \frac{1{,}1 \cdot 0{,}40^2}{0{,}0116} = 15{,}172 \text{ MVA} \quad (10)$$

Efektivna vrijednost izmjenične komponente udarne struje KS:

$$I''_{k0,4} = \frac{S_{k0,4}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{15{,}172}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 21{,}9 \text{ kA} \quad (11)$$

Udarna struja kratkog spoja uz faktor koji slijedi iz omjera *R/X* 0,4 k = 1,5:

$$I''_{ku0,4} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k0,4} = 1{,}5 \cdot \sqrt{2} \cdot 21{,}9 = 46{,}46 \text{ kA} \quad (12)$$

Trajna struja kratkog spoja uz faktor μ = 0,8:

$$I_{k0,4} = \mu \cdot I''_{k0,4} = 0{,}8 \cdot 21{,}9 = 17{,}52 \text{ kA} \quad (13)$$

Efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja:

$$\frac{I''_{k0,4}}{I_{k0,4}} = 1{,}25;\ k = 1{,}6; \quad \text{za} \quad t = 1 \text{ s};\ m = 0; \quad n = 0{,}87;$$

$$I_{ef1sek} = I''_{k0.4} \cdot \sqrt{m^2 + n^2} = 21{,}9 \cdot \sqrt{0^2 + 0{,}87^2} = 19{,}053 \text{ kA} \quad (14)$$

gdje su *m* i *n* članovi određeni istosmjernom i izmjeničnom komponentom udarne struje kratkog spoja i vrijednostima. Na niskonaponskoj strani energetskog transformatora

(0,4 kV) za nazivne snage 630 kVA, mogu se pojaviti struje kratkog spoja vrijednosti do 21,9 kA. Prema navedenoj vrijednosti struje kratkog spoja izvršen je i izbor električne opreme. Udarna struja kratkog spoja u 0,4 kV mreži iznosi 46,46 kA. Niskonaponski sklopni blokovi su deklarirani i atestirani za termičke struje kratkog spoja od 31,5 kA i udarne struje kratkog spoja od 66,15 kA. Prema navedenom može se zaključiti da su navedeni tehnički parametri zadovoljeni.

b) Nazivni napon primara transformatora iznosi 10 kV

Ukupni otpor:

$$Z = Z_{m0,40(10)} + Zt = 0{,}000704 + 0{,}01016 = 0{,}10864\ \Omega \quad (15)$$

Snaga kratkog spoja na sabirnicama 0,4 kV:

$$S_{k0,4} = \frac{1{,}1 \cdot {U_2}^2}{Z} = \frac{1{,}1 \cdot 0{,}40^2}{0{,}10864} = 16{,}2 \text{ MVA} \quad (16)$$

Efektivna vrijednost izmjenične komponente udarne struje KS:

$$I''_{k0,4} = \frac{S_{k0,4}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{16{,}2}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} = 23{,}38 \text{ kA} \quad (17)$$

Udarna struja kratkog spoja uz faktor koji slijedi iz omjera R/X 0,4 k=1,6:

$$I''_{ku0,4} = k \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k0,4} = 1{,}6 \cdot \sqrt{2} \cdot 23{,}38 = 52{,}9 \text{ kA} \quad (18)$$

Trajna struja kratkog spoja uz faktor μ = 0,8:

$$I_{k0,4} = \mu \cdot I''_{k0,4} = 0{,}8 \cdot 24{,}39 = 18{,}704 \text{ kA} \quad (19)$$

Efektivna srednja vrijednost struje kratkog spoja:

$$\frac{I''_{k0,4}}{I_{k0,4}} = 1{,}25;\ k = 1{,}6; \quad \text{za} \quad t = 1 \text{ s}; \quad m = 0{,}014;\ n = 0{,}846;$$

Vrijednosti za m i n u ovisnosti o trajanju kratkog spoja uzete su iz dijagrama sl. 12a i sl. 12b iz IEC 865-1 normi na stranicama 99 i 101.

$$I_{ef1sek(10)} = I''_{k0,4} \cdot \sqrt{m + n} = 23{,}38 \cdot \sqrt{0{,}014 + 0{,}846} = 21{,}68 \text{ kA} \quad (20)$$

4.3. DIMENZIONIRANJE SABIRNICA I OPREME

4.3. BUSBAR AND EQUIPMENT SIZING

Nazivna struja transformatora na primarnoj strani transformatora:

Za proračun uzimamo maksimalnu snagu transformatora koja se može instalirati u TS 630 kVA:

$$I_{n(10)} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 36{,}73 \text{ A} \quad (21)$$

$$I_{n(20)} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 20} = 18{,}187 \text{ A} \quad (22)$$

U najnepovoljnijem slučaju sabirnice su opterećene ukupnom strujom svih transformatora

priključenih preko srednjenaponskih razvoda sistemom ulaz-izlaz na jedan 20 kV izvod iz TS 110/20 kV. S obzirom na prijenosnu moć kabela kojim su povezani, srednjenaponski razvodi moraju biti dimenzionirani na minimalnu struju od 400 A. Postrojenje 20 kV projektirano je u izvedbi bloka izoliran plinom SF6, atestiranih za 25 kA/1s, što potpuno zadovoljava na predviđenom mjestu ugradnje u 10(20) kV mreži.

Spojni vodovi SN strane transformatorskog polja 10(20) kV dimenzioniraju se na nazivnu struju transformatora uvećanu za preopterećenje od 20 %, što iznosi:

$$I = \frac{S_n \cdot 1.2}{\sqrt{3} \cdot 10} = \frac{630 \cdot 1{,}2}{\sqrt{3} \cdot 10} = 43{,}64 \text{ A} \quad (23)$$

Odabran je kabel XHE 49-A, 3x(1x70/16 mm^2), koji se može teretiti trajnom strujom od 230 A.

Traženi kriterij je zadovoljen jer je 230 A > 43,64 A

Kontrola presjeka kabela s obzirom na termičko naprezanje u kratkom spoju:

- kabel XHE 49-A 3x(1x70/16 mm^2)
- isklopno vrijeme prekidača u slučaju kratkog spoja ***t* = 0,04 s**
- uz pogonsku temperaturu 90 °C i graničnu temperaturu 250 °C faktor za određivanje termičke čvrstoće iznosi C1 = 10,9 (strana 252 u priručniku KONČAR) [7]

$$A_{min} = C_1 \cdot I_t \cdot \sqrt{t_k} = 10{,}9 \cdot 12{,}5 \cdot \sqrt{0{,}04} = 27{,}25 \text{ mm}^2 \quad (24)$$

Traženi kriterij je zadovoljen jer je 70 mm^2 > 27,25 mm^2.

4.3.2. SABIRNICE 0,4 KV
4.3.2. BUSBARS 0.4 KV

Dimenzioniraju se na nazivnu struju transformatora, što iznosi:

$$I = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot 0{,}42} = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0{,}42} = 866{,}025 \text{ A} \quad (25)$$

NN sklopni blok dimenzioniran je za nazivnu struju 1600 A, te možemo reći da je i taj uvjet zadovoljen. Izabrani razvod ima sabirnice izvedene od plosnatog bakra profila 100x10 mm za fazne vodiče i 50x10 mm za nul vodič. Bakar presjeka 1000 mm2, obojen, dozvoljava trajno strujno opterećenje od 1810 A.

Spojni vodovi NN strane transformatorskog polja 10(20) kV dimenzioniraju se na nazivnu struju transformatora uvećanu za preopterećenje od 20 %, što iznosi:

$$I_{n0,4} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_2} \cdot 1{,}2 = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 0{,}4} \cdot 1{,}2 = 909{,}37 \cdot 1{,}2 = 1091{,}19 \text{ A} \quad (26)$$

Kontrola s obzirom na struju kratkog spoja

Prema podacima proizvođača struja kratkog spoja koju podnosi kabel 150 mm^2 u vremenu od 1 s uz početnu temperaturu od 90 °C iznosi 21,1 kA. Ukupna dopuštena struja kratkog spoja za 5 vodiča po fazi i faktor polaganja 0,8 iznosi:

Faktor polaganja kabela iznosi 0,8 (za temperaturu okoline 35 – 40º C)

$$\text{Idop} = 5 \cdot 21{,}1 \cdot 0{,}8 = 84{,}4 \text{ kA} \quad (27)$$

84,4 kA > 25 kA prema granskoj normi HEP-a.

Odabrana konfiguracija kabela zadovoljava.

Priključak na rastavnu sklopku u dovodu NN sklopnog bloka je izveden plosnatim bakrenim profilima ECu 2x50x10 mm za fazne vodiče i 50x10mm za neutralni vodič. Plosnati bakreni profil ECu 50x10 mm ima dopušteno strujno opterećenje od 1020 A u referentnim pogonskim uvjetima, tako da zaključujemo da odabrani niskonaponski priključak zadovoljava glede strujnog opterećenja. Struja kratkog spoja koju može izdržati navedeni profil u trajanju od jedne sekunde, a da ne dođe do prekoračenja granične temperature za bakar iznosi 21 kA iz čega se može zaključiti da odabrani profil zadovoljava glede termičke čvrstoće u uvjetima kratkog spoja.

5. ZAKLJUČAK
5. CONCLUSION

Transformatorska stanica kao i svaka građevina mora zadovoljiti sve potrebne uvjete gradnje koji su navedeni u ovom radu. Ishođenje građevinske dozvole za transformatorsku stanicu je postupak koji se sastoji od niza koraka. Uz to, potrebno je pridržavati se i propisa u vezi s projektiranjem, ali i izgradnje transformatorske stanice. Neki od propisa koji ovdje imaju ulogu su: Zakon o gradnji, Zakon o prostornom uređenju, Zakon o zaštiti od požara te Zakon o zaštiti na radu. Navedeni propisi služe kako bi se olakšao pristup projektanta zadatku i prilikom projektiranja. Sva elektrotehnička oprema mora biti u skladu s propisanim standardima kao što je samo dimenzioniranje opreme kako bi s osigurao dugotrajan i besprijekoran rad građevine, te kako krajnji potrošač ne bi imao problema prilikom korištenja električne energije. Nakon izgradnje i prije puštanja u pogon, na transformatorskoj stanici potrebno je obavezno provesti sva potrebna mjerenja kako bi se dokazalo da je transformatorska stanica spremna za rad. Dio ovog rada koji se odnosi na proračune za dimenzioniranje opreme transformatorske stanice je realan i djelo je autora kao suradnika, te tima ovlaštenih inženjera elektrotehnike. [2] [3] [4]

6. REFERENCE
6. REFERENCES

[1.] J. J. Burke, Power Distribution Engineering: Fundamentals and Applications, New York: Marcel Dekker, Inc., ISBN 0-8247-9237-8 (alk. paper), 1994.

[2.] S. A. Khaparde, S. V. Kulkarni, Transformer Engineering - Design, Tehnology and Diagnostics, CRC Press, Tylor & Francis Group, ISBN 978-1-4398-5377-1 (Hardback), 2013.

[3.] Č. Ivan, Povećanje kapaciteta niskonaponskog postrojenja u transformatorskoj stanici, Split, 2019.

[4.] N. Obradović, S. Minić, Unapređenje koncepcijskih rešenja kablovske distributivne mreže 10 i 35 kV u ED Beograd, UDK: 621.315.2 : 658.262, Beograd, 2007.

[5.] Y. Liu, J. M.Canedo, R. Escarela-Perez, J. Driesen, P. Moreno, J. C. Olivares, »Reducing Losses in Distribution Transformers,« IEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY, VOL. 18, NO.3, pp. 821-826, July 2003.

[6.] Končar - Električni aparati srednjeg napona, »Vakuumska distribucijska sklopna aparatura tip VDA,« VII izdanje, Zagreb, 2003.

[7.] V. Jurjević dipl.ing. - glavni urednik - Končar, Tehnički priručnik, V izdanje, Zagreb: Končar Elektroindustrija d.d., 1990.

[8.] I. Jurić, J. Grašo, A. Čović i Šulc »Izgradnja samostojeće transformatorske stanice TS 10(20)/0,4 kV instalirane snage transformatora 2x2000 kVA,« u HRO-CIGRE-14. savjetovanje, SO1-06, Šibenik, 2019.

[9.] Upute za projektiranje distributivnih niskonaponskih mreža, E. Mihalek, B. Filipović-Grčić, S. S. Žutobradić, D. Baldasari, IEE Zagreb, 1988/89 god

AUTORI · *AUTHORS*

• Matija Ištvanović - je magistar inženjer elektrotehnike, rođen u Koprivnici 1996. godine. Srednju školu je završio 2015. godine a diplomirao je na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu 2022. godine, gdje je stekao temeljna znanja iz područja proizvodnje, prijenosa i distribucije električne energije. Tijekom karijere, radio je na brojnim ključnim projektima, među kojima se ističu oni vezani uz transformatorske stanice, distribucijske mreže te na projektima energetske obnove zgrada javne namjene, kao što je Vrhovni sud u Zagrebu. Njegovo iskustvo obuhvaća širok spektar inženjerskih aktivnosti, uključujući projektiranje, implementaciju i optimizaciju elektroenergetskih postrojenja s posebnim naglaskom na modernizaciju i energetsku učinkovitost. Na međunarodnoj razini, sudjelovao je na projektu izgradnje tvornice lijekova u Švicarskoj, gdje je surađivao s međunarodnim timovima i stekao dragocjeno iskustvo u prilagodbi elektroenergetskih rješenja prema visokim europskim standardima kvalitete i sigurnosti. Trenutačno radi kao projektant fotonaponskih elektrana, gdje aktivno sudjeluje u razvoju naprednih rješenja za energetsku infrastrukturu. Njegov rad uključuje projektiranje i optimizaciju fotonaponskih energetskih sustava.

Korespondencija · *Correspondence*

mistvanov@tvz.hr

• Stjepan Tvorić - Stjepan Tvorić rođen je u Zagrebu 1985. godine. Srednju školu je završio 2004. godine u Vrbovcu, a diplomirao je 2009. godine na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, na temi "Modeliranje asinkronog vučnog motora metodom konačnih". Doktorirao je 2019.g. na Fakultetu elektrotehnike i računarstva u Zagrebu, na temu " OTKRIVANJE KVAROVA ROTORA KAVEZNOGA ASINKRONOGA MOTORA ANALIZOM MAGNETSKOGA POLJA U ZRAČNOM RASPORU". Tijekom studija sudjelovao je na projektu o utjecaju elektromagnetskog zračenja trafostanica na ljudsko zdravlje, naručenog od strane HEP-a kod Zavoda za osnove elektrotehnike i električna mjerenja (FER ZOEEM). Od 2009. godine bio je zaposlen kao razvojni inženjer u KONČAR – Institutu za elektrotehniku, u Zavodu za rotacijske strojeve. Od 2014. godine radi kao vanjski suradnik na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu, gdje vodi vježbe i predavanja iz predmeta Električni strojevi (I i II) te Tehnike održavanja i ispitivanja električne opreme. Krajem 2020. godine zapošljava se u vlastitoj tvrtki SIGMA INVENTUM d.o.o., a 2021.g. zapošljava se kao viši predavač na Tehničkom veleučilištu u Zagrebu. Trenutačno obnaša dužnost Pročelnika Elektrotehničkog odjela na TVZ-u. Autor je i koautor nekoliko članaka objavljenih u časopisima, zbornicima, znanstvenim i stručnim konferencijama. Član je domaće sekcije HRO CIGRE-a (unutar koje obavlja zadatke voditelja sekcije Mladi inženjeri HRO CIGRÉ, tajnik SO A1) te individualni član međunarodne organizacije CIGRE-a.

Korespondencija · *Correspondence*

stvoric@tvz.hr