

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

KRATKI SPOJ U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA

Rijeka, rujan 2016.

Edy Orešković

0069059483

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

KRATKI SPOJ U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA

Mentor: V. pred. mr. sc. Marijana Živić Đurović, dipl. ing.

Rijeka, rujan 2016.

Edy Orešković

0069059483

IZJAVA

Sukladno s člankom 9. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, od lipnja 2011., izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad prema zadatku br. 602-04/16-14/18 od 14.03.2016.

Rijeka, lipanj 2016.

Edy Orešković

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

TEHNIČKI FAKULTET

Povjerenstvo za završne ispite
prediplomskog stručnog studija elektrotehnike
Br.: 602-04/16-14/18
Rijeka, 14.03.2016.

Z A D A T A K za završni rad

Pristupnik: Edy Orešković

Matični broj: : 0069059483
Lokalni matični broj: 12800024

Naziv zadatka: **KRATSKI SPOJ U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA.**

Title (*English*): **SHORT CIRCUIT ANALYSIS IN DISTRIBUTION NETWORKS**

Polje znanstvenog područja: 2.03. Elektrotehnika
Grana znanstvenog područja: 2.03.01 elektroenergetika

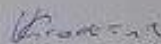
Vrste kratkih spojeva. Trofazni i jednofazni kratki spoj. Proračun kratkog spoja u srednjenaponskim distribucijskim mrežama. Proračun kratkog spoja u niskonaponskim distribucijskim mrežama. Zaštita distribucijskih mreža.

Mentor:



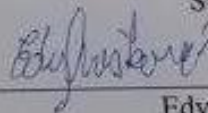
V. pred. mr. sc. Marijana Živić Đurović,
dipl.ing.

Predsjednica Povjerenstva:



Izv. prof. dr. sc. Vera Gradišnik, dipl.ing.

Student:



Edy Orešković

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. KRATKI SPOJ	2
2.1. Definicija kratkoga spoja	2
2.2. Vrste kratkih spojeva	3
2.2.1. Tropolni kratki spoj.....	5
2.2.2. Dvopolni kratki spoj	6
2.2.3. Dvopolni kratki spoj s zemljom	7
2.2.4. Jednopolni kratki spoj	8
2.3. Lociranje kratkog spoja i njegova problematika.....	9
2.4. Indikatori kratkog spoja	11
2.5. Oscilogram struje kratkog spoja.....	14
3. DISTRIBUCIJSKE MREŽE	19
3.1. Karakteristike distribucijskih mreža	19
3.2. Vrste distribucijskih mreža	22
3.3. Elementi distribucijske mreže	23
3.3.1. Nadzemni vodovi	24
3.3.2. Kabelski vodovi	25
3.3.3. Transformatori	26
3.3.4. Potrošači.....	26
4. PRORAČUN KRATKOG SPOJA U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA	27
4.1. Primjer proračuna kratkog spoja u sredjenaponskoj distribucijskoj mreži (35, 20, 10[kV]).....	27
Primjer proračuna kratkog spoja u niskonaponskoj distribucijskoj mreži (0,4 [kV])	35
Utjecaj snage transformatora na struju kratkog spoja.....	39
Primjer proračuna kratkog spoja u sredjenaponskoj distribucijskoj mreži za nadzemni vod	42
5. ZAŠTITA DISTRIBUCIJSKIH MREŽA	45
5.1. Relejna zaštita u mrežama s uzemljenom neutralnom točkom	45
5.2. Relejna zaštita u mrežama s izoliranom neutralnom točkom.....	46
6. ZAKLJUČAK	48
7. LITERATURA.....	50
POPIS SLIKA I TABLICA.....	52

1. UVOD

U ovome radu obraditi će se tema kratkog spoja u distribucijskim mrežama. Za pisanje ovoga rada istražile su se mnoge internetske stranice i neke stručne knjige, te se iskoristilo znanje stečeno iz nastavnog programa.

U prvome dijelu rada Kratki spoj dati će se definicija kratkog spoja, opisati će se što je to, koje su njegove karakteristike, značajke i posebnosti. Također će se navesti sve vrste kratkih spojeva (tropolni, dvopolni, dvopolni kratki spoj s zemljom, jednopolni) te će se one opisati. Dati će se uvid u lociranje kratkih spojeva i u njegovu problematiku, obraditi će se indikatori kratkoga spoja te će se prikazati oscilogram struje kratkoga spoja.

Iduće poglavlje naziva Distribucijske mreže pojasniti će što su to uopće distribucijske mreže, čemu služe te koje su njihove osnovne značajke. Dati će se uvid u njihove vrste, navesti će se i opisati sve vrste distribucijskih mreža te će se navesti i opisati njihovi temeljni elementi (nadzemni vodovi, kabelski vodovi, transformatori i potrošači).

U sljedećem dijelu rada Proračun kratkog spoja u distribucijskim mrežama pokazati će nam koliko iznosi struja kratkog spoja u srednjenaponskim i niskonaponskim distribucijskim mrežama te kako se ona mijenja ovisno o promjeni pojedinih parametara.

Zatim slijedi poglavlje o zaštiti distribucijskih mreža, gdje će se dati uvid u relejnu zaštitu u mrežama s uzemljenom neutralnom točkom i o relejnoj zaštiti u mrežama s izoliranom neutralnom točkom.

U zaključku će se navesti krajnja razmatranja i zaključci do kojih se došlo pisanjem ovoga rada te će se cijeli rad sumirati u jednu sažetu, logičnu cjelinu.

Također, navesti će se sva korištena literatura koja se koristila za pisanje ovoga rada te će se u svrhu preglednijeg rada navesti i popis slika, tj. ilustracija.

2. KRATKI SPOJ

U ovome poglavlju dati će se definicija kratkoga spoja i navesti će se njezine vrste te će se svaka vrsta kratkog spoja zasebno opisati. Objasniti će se postupak lociranja kratkoga spoja, navesti će se indikatori kratkoga spoja i opisati će se oscilogram struje kratkog spoja.

2.1. Definicija kratkoga spoja

Do kratkoga spoja dolazi u onome trenutku kada u distribucijskoj mreži električno naprezanje izolacije prijeđe preko električne čvrstoće izolacije. Postoji više razloga zbog čega može doći do kratkoga spoja, a najčešći su:

- došlo je do povećanja napona koji utječe na izolaciju (slučaj pojavljivanja prenapona),
- došlo je do smanjenja izolacije (slučaj doticanja vodiča za vrijeme njegova njihanja),
- došlo je do povećanja napona i smanjenja izolacije u isto vrijeme.

Kratki spojevi su najčešći kvarovi na distribucijskim elektroenergetskim mrežama. Oni mogu trajati različiti vremenski period, stoga se njegovi uzročnici mogu podijeliti na sljedeći način:

- prolazni uzročnici (prenapon, istrošena izolacija, dodirivanje za vrijeme njihanja vodiča, premoštenje nepoznatim tijelom koje gori npr. grana, životinja, ptica)
- trajni uzročnici (slomljeni izolator, prljavi izolator, pad vodiča, premoštenje nepoznatim tijelom koje ne gori). [1]

Prolazni uzročnici na mjestu kratkoga spoja stvara električni luk koji se tu zadržava čak i nakon što uzročnik nestane, sve do trenutka kada se ne isključi kompletni vod. Nakon što se vod ugasi i luk će se ugaziti, a nakon ponovnog uključanja luk se više neće pojavljivati. Na području kratkoga spoja uvijek postoji određeni otpor, i to najčešće otpor električnog luka. U slučaju da na mjestu kratkog spoja otpor ipak ne postoji tada se takav spoj naziva direktnim kratkim spojem.

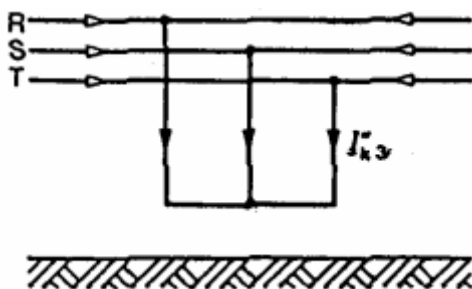
Kratki spoj za sobom donosi mnoge stvari, kao što je:

- Zbog visokih prvotnih vrijednosti struje kratkog spoja dolazi do jakih dinamičkih naprezanja između vodiča. Takva naprezanja između vodiča moguće je izbjeći na način da se vod isključi baš u onom trenutku kada dođe do kratkoga spoja. Osigurači se ne koriste često u mrežama s visokim naponima, a prekidači ne mogu dovoljno brzo isključiti vod, stoga se dinamička naprezanja veoma često javljaju pri nastanku kratkog spoja.
- Struja kratkog spoja je takva da ima mogućnost zagrijavanja vodiča. Iz tog razloga potrebno je isključiti vod prije nego se pojave termička naprezanja i prije nego dođe do uništavanja dijelova voda.
- Struja kratkog spoja ima mogućnost stvaranja smetnji u telekomunikacijskim uređajima u kojima se mogu stvoriti veoma visoki i opasni naponi. [2]
- U neposrednoj blizini kratkoga spoja dolazi do cijepanja napona.
- U slučaju kada struja kratkoga spoja prolazi kroz zemlju na samome mjestu kratkoga spoja može doći do velikih i opasnih razlika potencijala.

2.2. Vrste kratkih spojeva

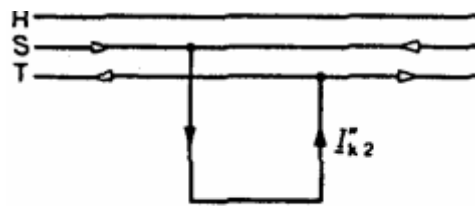
Postoji više vrsta kratkih spojeva, i to:

- trolejni kratki spoj,



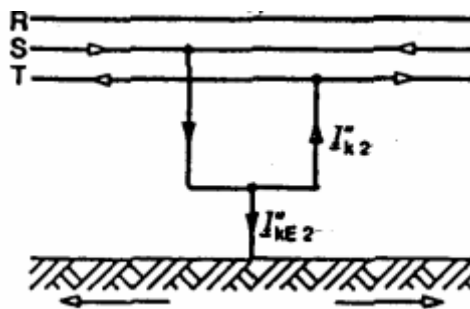
Slika 2.1. Trolejni kratki spoj [3]

- dvopolni kratki spoj,



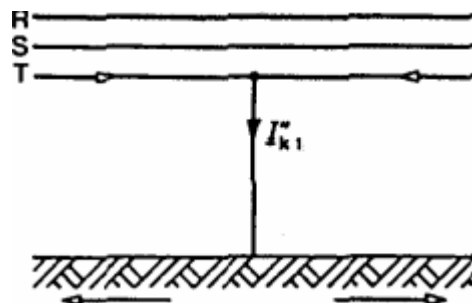
Slika 2.2. Dvopolni kratki spoj [4]

- dvopolni kratki spoj s zemljom,



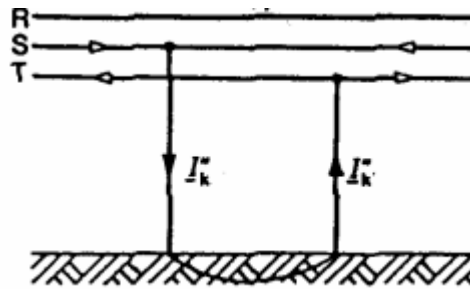
Slika 2.3. Dvopolni kratki spoj s zemljom [5]

- jednopolni kratki spoj



Slika 2.4. Jednopolni kratki spoj [6]

- i dvostruko jednopolni kratki spoj.



Slika 2.5. Dvostruko jednopolni kratki spoj [7]

2.2.1. Tropolni kratki spoj

Tropolni kratki spoj prethodno je prikazan u *Slici 2.1*. Na području kvara za njega se podrazumijevaju ove relacije:

$$V_R = V_S = V_T \quad (2.1.)$$

$$I_R + I_S + I_T = 0 \quad (2.2.)$$

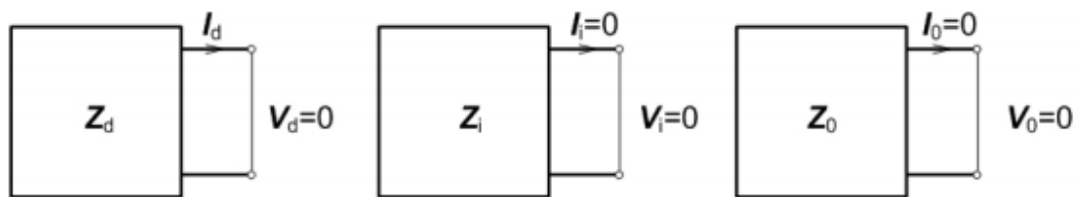
Kada se to uvrsti u temeljne jednadžbe i njihovom kombinacijom za simetrične komponente struja tada se dolazi do sljedećih relacija:

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d} \quad (2.3.)$$

$$I_i = 0 \quad (2.4.)$$

$$I_0 = 0 \quad (2.5.)$$

Tropolni kratki spoj može se prikazati i uz pomoć pojednostavljenih ekvivalentnih shema:



Slika 2.6. Pojednostavljeni prikaz trofaznog kratkog spoja ekvivalentnom shemom [8]

2.2.2. Dvopolni kratki spoj

Dvopolni kratki spoj prethodno je vidljiv iz Slike 2. Za njega vrijedi sljedeće: [9]

$$I_S + I_T = 0 \quad (2.6.)$$

$$I_R = 0 \quad (2.7.)$$

$$V_S = V_T \quad (2.8.)$$

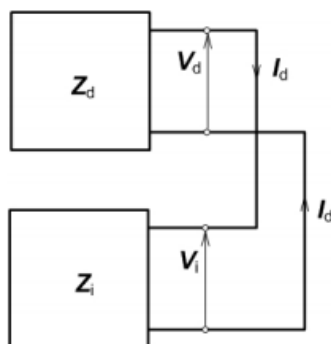
Ukoliko se to ukomponira u osnovne jednačbe tada se dobije sljedeće:

$$I_0 = 0 \quad (2.9.)$$

$$I_d = -I_i \quad (2.10.)$$

gdje vrijedi:

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i} \quad (2.11.)$$



Slika 2.7. Ekvivalentni prikaz dvopolnog kratkog spoja [10]

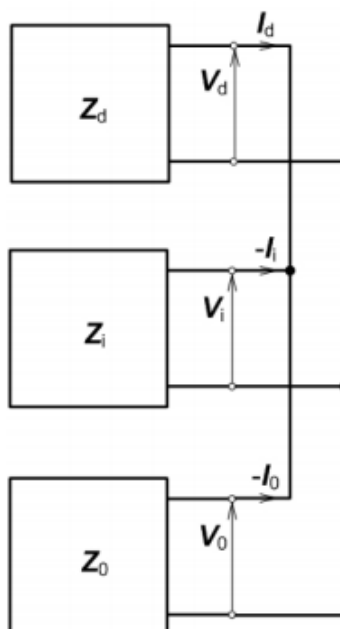
2.2.3. Dvopolni kratki spoj s zemljom

Kada je u pitanju dvopolni kratki spoj koji je spojen s zemljom za njega vrijede sljedeća pravila:

$$I_R = 0 \quad (2.12.)$$

$$V_S = 0 \quad (2.13.)$$

$$V_T = 0 \quad (2.14.)$$



Slika 2.8. Ekvivalentna shema dvopolnog kratkog spoja s zemljom [11]

Kada su u pitanju njegove simetrične komponente tada se struja može izvesti na sljedeći način:

$$I_i = -Ed \frac{Z_0}{Z_d Z_i + Z_d Z_0 + Z_i Z_0} \quad (2.15.)$$

$$I_0 = -Ed \frac{Z_i}{Z_d Z_i + Z_d Z_0 + Z_i Z_0} \quad (2.16.)$$

2.2.4. Jednopolni kratki spoj

Za jednopolni kratki spoj vrijede sljedeće vrijednosti:

$$V_R = 0 \quad (2.17.)$$

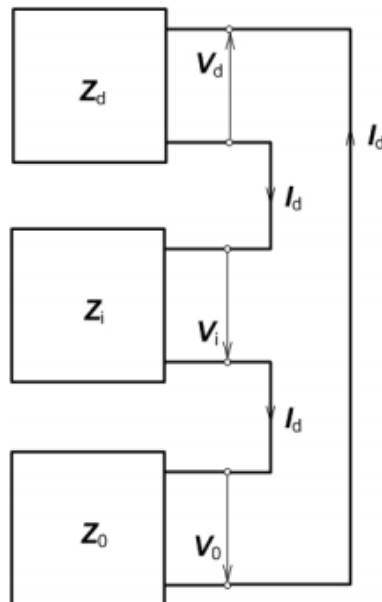
$$I_S = 0 \quad (2.18.)$$

$$I_T = 0 \quad (2.19.)$$

Izvodom tih vrijednosti dobiju se sljedeće formule:

$$I_d = I_i = I_o = \frac{1}{3} I_R \quad (2.20.)$$

$$I_d = \frac{E_d}{Z_d + Z_i + Z_o} \quad (2.21.)$$



Slika 2.9. Prikaz ekvivalentne sheme jednopolnog kratkog spoja [12]

2.3. Lociranje kratkog spoja i njegova problematika

Postoji više načina za lociranje kratkoga spoja, a uređaji koji se pritom koriste su lokatori kratkog spoja, zaštitni releji te digitalni zapisivači. Pri lociranju kratkoga spoja potrebno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

- Uređaj mora biti toliko precizan da prepozna kvar unutar dva stupa.
- Ukoliko je vidljiva malena količina podataka o kratkom spoju preciznost svejedno mora biti na visokoj razini.
- Preciznost mora biti stabilna.

Određivanje algoritama za određivanje mjesta kratkog spoja ovisno je o tome kakav se model i signal koriste. Veliki broj dosadašnjih algoritama može se podijeliti u dvije grane, one koje se baziraju na putujuće valove i one koje se baziraju na računanju impedancije. Sve metode koje se baziraju na računanju impedancije određuje se po tome da li koriste podatke s jednog kraja voda ili s oba dva kraja voda. Svaka klasifikacija može se dalje klasificirati s obzirom na korišteni model voda za period izvođenja metode u lakše ili teže metode.

Poznata je činjenica kako putujući val napona i struje nastaje u trenutku pojavljivanja kratkog spoja te on putuje od kratkog spoja do kraja voda. Metode koje se koriste na bazi putujućih valova veoma su precizne, ali su vrlo kompleksne i teško se primjenjuju. Metode koje su bazirane na mjerenju impedancije su nešto popularnije i češće se koriste iz razloga što su jednostavnije i znatno ekonomičnije. Postoji još jedna metoda koja je bazirana na visokofrekventnoj komponenti struje i napona koji nastaju zbog kratkog spoja i proizlazećih strujnih i naponskih valova. Navedena metoda je veoma kompleksna i skupa iz razloga što je za njeno izvođenje potrebno ugraditi specijalno podešene filtere koji će mjeriti komponente visokih frekvencija.

Međutim, pri lociranju kratkoga spoja često se može susresti s raznim problemima. Vodovi su najčešće u radijalnom pogonu. Sva opterećenja najčešće su spojena na odcjepe duž pojnog voda, te mogu biti jednofazni ili višefazni. U Hrvatskoj se koriste trofazni odcjepi. Sama konstrukcija voda je poprilično nehomogena iz razloga što se vodovi nadograđuju svaki puta kada dođe do novih opterećenja. [13]

Metode se mogu podijeliti na četiri glavne metode. Prva metoda uključuje tehnike koje koriste struju i napone temeljnih frekvencija. Druga metoda bazirana je na tehnikama fenomena putujućih valova. Iduća metoda temelji se na pristupu topološkim metodama, a posljednja metoda je bazirana na poznavanju mreže, tj. na znanju i iskustvu vezanom za učestalost kratkih spojeva na pojedinim dionicama. Veoma je čest slučaj korištenja kombiniranih metoda koje koriste nekoliko metoda istodobno. Većina metoda je temeljena na mjerenju impedancije korištenjem računane struje i temeljnog napona.

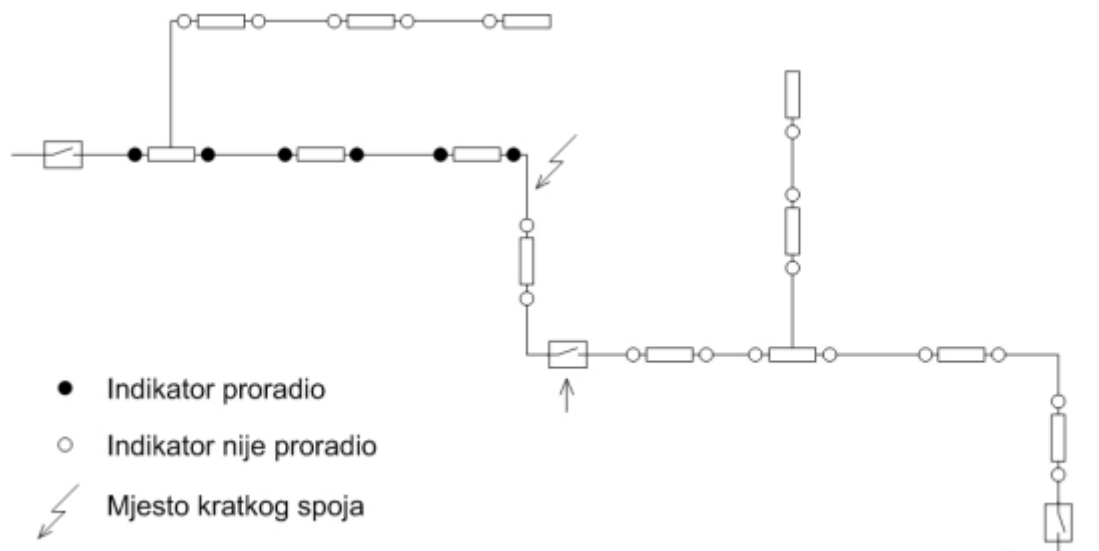
Metode koje su bazirane na putujućim valovima koriste tranzijente struja i napona uzrokovane kratkim spojem koji tada pokreće strujne i naponske valove na relaciji između kratkog spoja i kraja voda. Ovakve metode okarakterizirane su veoma skupom i kompleksnom uporabom zbog modernih i skupih uređaja koji se koriste za lociranje zemljospoja.

Praksa je takva da se većina poduzeća danas koristi računanjem impedancije kako bi se lociralo mjesto kratkoga spoja. U upotrebi su i prijenosni lokatori u off-line modu. Nedostatak prve metode je nedovoljna preciznost, dok druga metoda oduzima previše vremena i poprilično je nezgrapna.

Još jedna metoda koja se koristi je korištenje indikatora kvara na svakoj dionici voda. Ipak, ova metoda je u potpunosti beskorisna u slučaju kada je dionica duža od nekoliko kilometara. Najveći broj takvih indikatora daje indicaciju lokalno, što komplicira i čini težim samo korištenje te informacije, posebice u lošim vremenskim uvjetima. U rješavanju tog problema stvorili su se novi, moderniji indikatori koji podržavaju daljinsku komunikaciju. Ova metoda koristi se i u Hrvatskoj. [14]

2.4. Indikatori kratkog spoja

Danas se na tržištu može pronaći veliki broj uređaja koji služe za pronalazak mjesta kvara u mrežama. Ti uređaji nazivaju se indikatorima kvarova. Indikatori kvara rade na takvom principu da reagiraju na magnetsko polje koje je nastalo zbog struje koja prolazi vodom. U slučaju da struja prijeđe određenu vrijednost indikator će proraditi. Kada indikator proradi on će zasvijetliti podešenim svjetlosnim i/ili elektroničkim signalom. Takvi indikatori mogu se priključiti na kableske ili nadzemne vodove. Njihov način djelovanja prikazati će se na donjoj slici. [15]



Slika 2.10. Mreža s indikatorima kratkog spoja [16]

Postoje dvije glavne vrste indikatora kvarova:

- Univerzalni indikator kvarova. Oni se spajaju na vod putem strujnih senzora. U slučaju da je moguće daljinski upravljati tada se indikatori dodaju uz upravljačku jedinicu u sklopu dodatne ponude. Univerzalni indikatori bilježe prolaze struje višepolnih kvarova koje prelaze nekoliko stotina ampera, a mogu bilježiti i nulte struje koje imaju vrlo niske iznose od nekoliko desetaka ampera.

- Moderni indikatori sami prepoznaju kvarove kod kojih postoji spoj s zemljom. Oni se temelje na mjerenju magnetskog polja uz pomoć magnetskih jezgri.

Postoji više vrsta temeljnih izvedbi indikatora kratkog spoja, a to su:

1. Indikatori kratkog spoja s rotorskim sustavom

Na struji koja je veća od struje praga inducirano magnetsko polje jakosti H sadrži dovoljnu količinu snage da nadjača silu opruge i da pomakne rotor u poziciju prorade. Naštela vanje indikatora potrebno je napraviti ručno. Indikatori kratkog spoja s rotorskim sustavom koriste se u slučajevima odlaznih kablskih izvoda ili na sabirnicama u prekidačkom polju. Ovakvi indikatori imaju vrijednost praga od 200 do 2000 A, te im je puls namješten na 100 ms.

2. Indikatori kratkog spoja s tekućim mehanizmom

Ovaj način indikacije temelji se na tekućinama. Ovi indikatori nemaju dijelova koji se pokreću. U trenutku kada dođe do kratkoga spoja čvrsto tijelo se privlači magnetskim poljem te dolazi do zamućenja čestica u određenu boju, dok je tekućina u kojoj se čestice nalaze bistra. Čestice koje se oboje pri pojavi kratkoga spoja zadržavaju se u suspenziji između 4 do 8 sati te dokazuju pojavu kratkoga spoja. Uslijed sile gravitacije čestice će potonuti na dno te će tekućina ponovno biti bistra. Ovakav tip indikatora upotrebljava se na odlaznim kablskim pojnim vodovima ili na sabirnicama na prekidačkom polju. Vrijednosti ovih indikatora kreću se oko 400, 600 ili 1000 A, dok im je puls podeše na 200 ms.

3. Elektronički indikatori kratkog spoja s sustavom daljinskog signaliziranja

U određenim instalacijama indikatori kratkog spoja ne mogu se lako učitati. U takvim situacijama koriste se indikatori koji u sebi imaju ugrađen sustav s daljinskim signaliziranjem. Oni se sastoje od tri temeljne komponente – senzora, ožičenja i pokazivačke jedinice. Indikatorski senzori povezani su s izoliranim kabelom te pute njega oni šalju mjerne veličine do pokazivačke jedinice. Ona je povezana na pogodnom mjestu kojemu se lako može pristupiti, kao što je npr. primjer prednjeg zida kućišta prekidača. Njihove karakteristike su 200 do 2000 A, ožičenja su dugačka između 1 i 6 metara, a za indikacije se koriste bljeskajućim LED-om, rotorom ili tekućim sustavom.

4. Mehanički indikator za nadzemne vodove

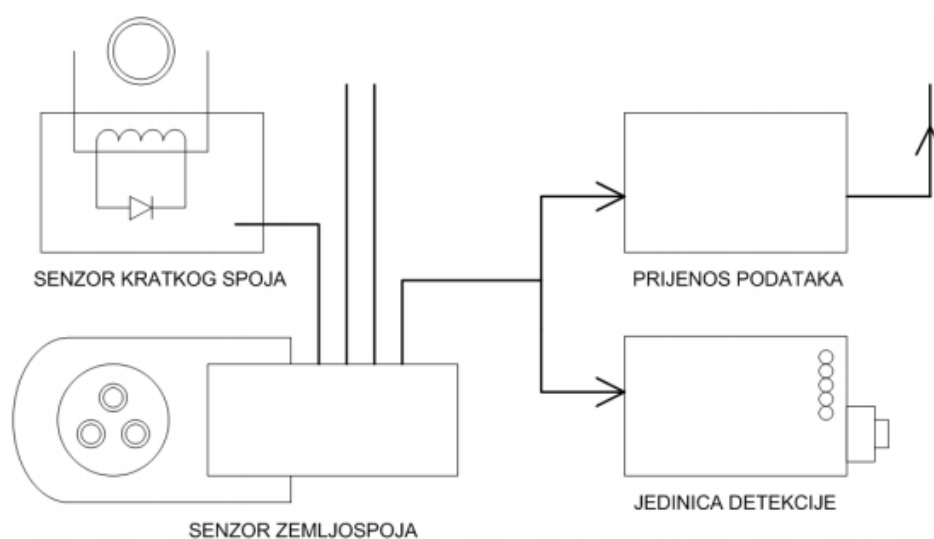
Ova vrsta indikatora može biti spojena na nadzemni vod. Indikacija kratkog spoja vrši se okretanjem cilindričnog pokazivača kojeg je moguće vidjeti iz svih smjerova, te se mijenja iz neutralne boje u crvenu. Pokazivač kratkog spoja mora biti ručno resetiran izoliranom šipkom. Indikatori se smještaju i miču pod naponom te se za to koristi posebna izolirana šipka. Njihova vrijednost kreće se između 300 i 400 A, puls im je određen na 100 ms, a vidljivost im je do 200 m što zavisi o količini danjeg svjetla.

5. Elektronički indikator za nadzemne vodove s LED ili bljeskajućim svjetlom

Kod ovih indikatora kratki spoj je moguće indicirati koristeći se svjetlom bljeskajućom LED diodom. Indikator se pokreće uz struju koja dolazi od kratkog spoja. Resetiranje je moguće postići automatskim načinom nakon što je prošao određeni zadani vremenski period. Indikator će se isključiti onog trenutka kada vod ponovno bude pod naponom te kada njegova struja dosegne jačinu struje veću od 3 A. Za napajanje ovih indikatora koriste se litijske baterije koje u prosjeku traju čak i do 15 godina. Indikatori se postavljaju i miču uz pomoć izolirane šipke. Vrijednost ovih indikatora iznosi između 200 i 2000 A, podešeno vrijeme im je 20 ms, a resetiranje traje između 2, 4 ili 8 sati. LED je u uvjetima danjeg svjetla vidljiv do 200 m udaljenosti dok je bljeskajuća svjetiljka vidljiva u mraku od 300 do 900 m.

6. Kombinirani indikatori kratkog spoja i zemljospoja za kabela mreže

Ova vrsta kombiniranih indikatora radi kada je u pitanju kratki spoj i kada je u pitanju zemljospoj. Kada se radi o kratkom spoju, njegov senzor se temelji na maloj zavojnici koja energizira LED diodu. Jačina svjetla zavisna je o magnetskom polju, koje je pak zavisno o struji koja prolazi kroz vodič. Svjetlo putuje od detektorske jedinice putem optičkog kabla, te se njegova magnituda uspoređuje s vrijednosti praga. Doljnja slika prikazati će prikaz kombiniranih indikatora. [17]

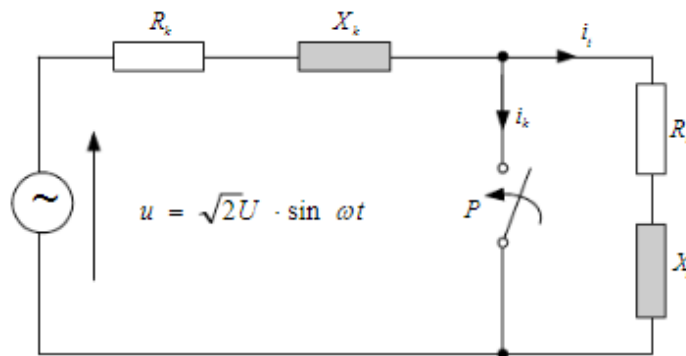


Slika 2.11. Prikaz kombiniranih indikatora [18]

Senzor za zemljospoj temelji se na jednostavnom transformatoru koji se sastoji od metalne trake koja je omotana oko faza. Senzor je na detektor spojen pomoću optičkog kabla. Prednost daljinskog očitavanja indikatora kvara je u tome što se pomoću njega skraćuje vrijeme potrebno za lociranje kvara te se također smanjuje vrijeme prekida napajanja. Ovo je posebice korisno u slučaju gradskih mreža gdje je što brže potrebno osposobiti napajanje. Većina distributivnih poduzeća već posjeduje ovakve indikatore u SN/NN transformatorskim stanicama. Ukoliko se želi ove uređaje uvesti u sustav automatizacije potrebno je jedino uvesti sustav prijenosa podataka koji se temelji na telekomunikacijskim kabelima.

2.5. Oscilogram struje kratkog spoja

Sasvim pojednostavljeni nadomjesni strujni krug prema doljnoj slici sadrži idealni izmjenični (AC) naponski izvor (s unutarnjom impedancijom jednakoju nuli, dakle s konstantnim naponom stezaljki što odgovara unutarnjoj elektromotornoj sili), prekidač P, impedanciju koja nadomješta cjelokupnu impedanciju ispred prekidača te impedanciju tereta (potrošača). [19]



Slika 2.12. Pojednostavljeni nadomjesni strujni krug [20]

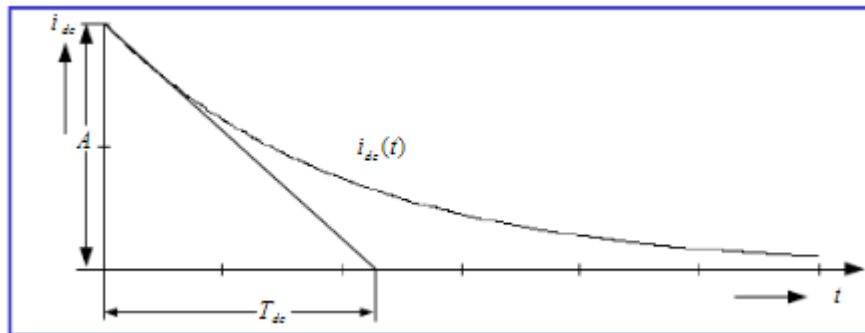
U stvarnoj mreži impedancija sadrži impedancije svih serijski spojenih elemenata u kratkospojenom strujnom krugu ispred mjesta kratkog spoja, uključujući i impedancije vodiča različitih presjeka i duljina, te impedancije generatora i transformatora u mrežama različitih napona. Pri isključenom prekidaču P u nadomjesnom strujnom krugu teče struja tereta. Uključivanje prekidača rezultira velikom strujom kratkog spoja. Struja kratkog spoja uspostavlja se u prijelazim (tranzijentnim) procesom i ovisi o djelatnom otporu i reaktanciji koji čine impedanciju. U elektroenergetskim mrežama obično je reaktancija znatno veća od djelatnog otpora. Vrijednost omjera nalazi se između 0,1 i 0,3.

Uspostavljanje struje kratkog spoja za vrijeme prijelaznog procesa ovisi o (električkoj) udaljenosti mjesta kvara o generatoru. Pod tom se udaljenošću naravno ne podrazumijeva fizička udaljenost nego vrijednost impedancije između generatora i mjesta kvara.

- Kratki spoj daleko od generatora

U najvećem broju slučajeva do kratkog spoja dolazi daleko od generatora. To znači da se kratkospojeni strujni krug priključuje na točku s krutim naponom. Realni nadomjesni naponski izvor sadrži idealni naponski izvor (s unutarnjom impedancijom jednakoj nuli) efektivne vrijednosti U koji predstavlja točku s krutim naponom.

Napon idealnog naponskog izvora jednak je naponu praznog hoda izračunatog u odnosu na točke mreže s pretpostavljenim krutim naponom, a impedancije je pak jednaka ekvivalentnoj impedanciji (tzv. impedanciji kratkog spoja) između te točke i mjesta kvara koja predstavlja impedanciju potrošača.

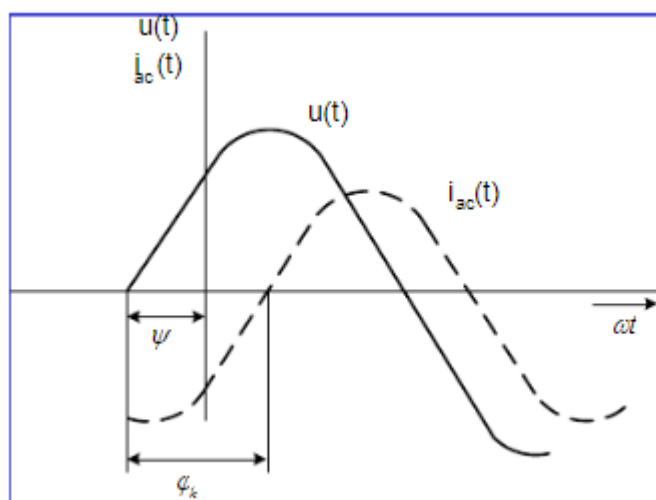


Slika 2.13. Istosmjerne komponente struje kratkog spoja [21]

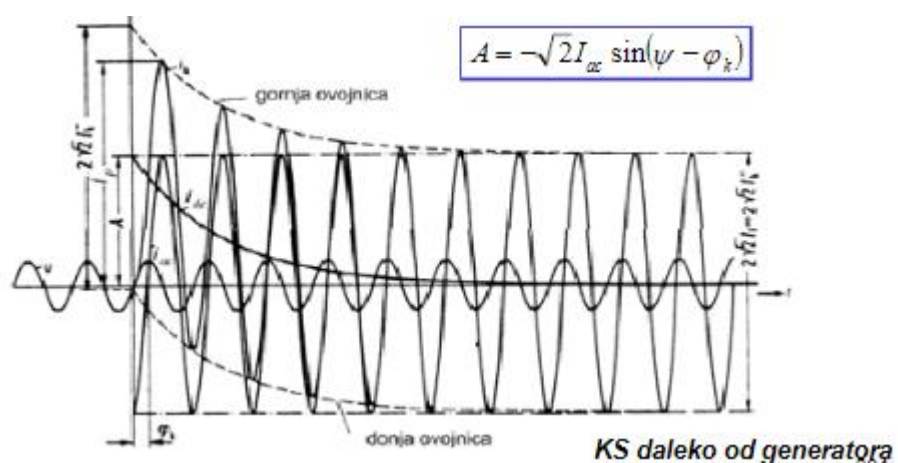
Za gore naveden prikaz istosmjerne komponente struje kratkog spoja vrijedi sljedeće:

POGONSKO SREDSTVO	VRIJEDNOST
Transformator < 1 MVA	0.003 – 0.006
Transformator > 1 MVA	0.03 – 0.1
Nadzemni vod 10 – 60 kV	0.002 – 0.005
Nadzemni vod 110 – 400 kV	0.01 – 0.03
Kabel 1 – 10 kV	≈ 0.001
Kabel 30 – 220 kV	0.003 – 0.006

Tablica 2.1. Vrijednosti istosmjerne komponente struje kratkog spoja [22]



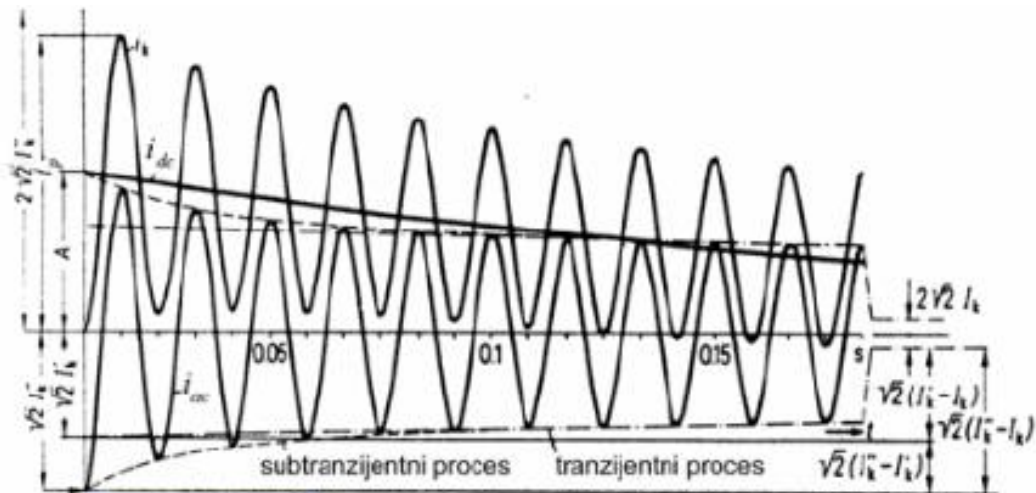
Slika 2.14. Izmjenična komponenta struje kratkog spoja [23]



Slika 2.15. Ukupna struja kratkog spoja [24]

- Kratki spoj blizu generatora

Ako do kratkog spoja dođe blizu generatora na promjenu struje kratkog spoja najveći utjecaj ima impedancija (osobito reaktancija) generatora koja u takvom slučaju dominira u kratkospojenom krugu.

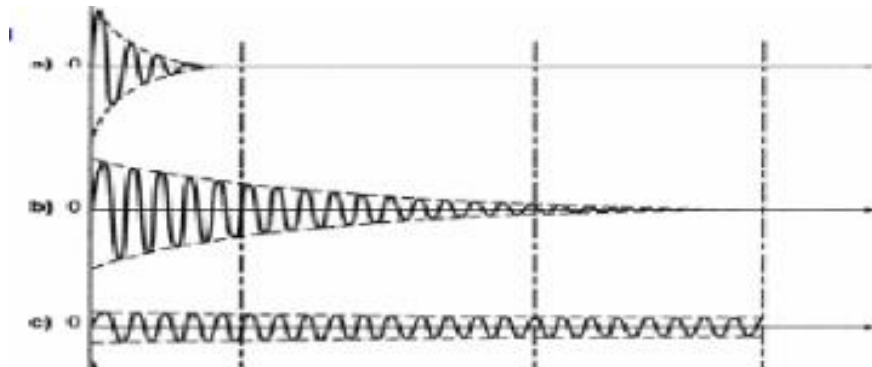


Slika 2.16. Prikaz struje kratkog spoja blizu generatora [25]

Dobrim se približenjem prijelazni proces kratkog spoja može podijeliti na tri dijeli:

1. početni (subtranzijentni),
2. prijelazni (tranzijentni),
3. ustaljeni (tzv. trajno stanje).

Njihov prikaz izgleda ovako:



Slika 2.17. Prikaz prijelaznih procesa kratkog spoja: a) početni, b) prijelazni, c) ustaljeni [26]

3. DISTRIBUCIJSKE MREŽE

U ovome poglavlju opisati će se distribucijske mreže. Pojasniti će se što su to one, koje su njihove karakteristike, koje sve vrste postoje i koji su njihovi temeljni elementi.

3.1. Karakteristike distribucijskih mreža

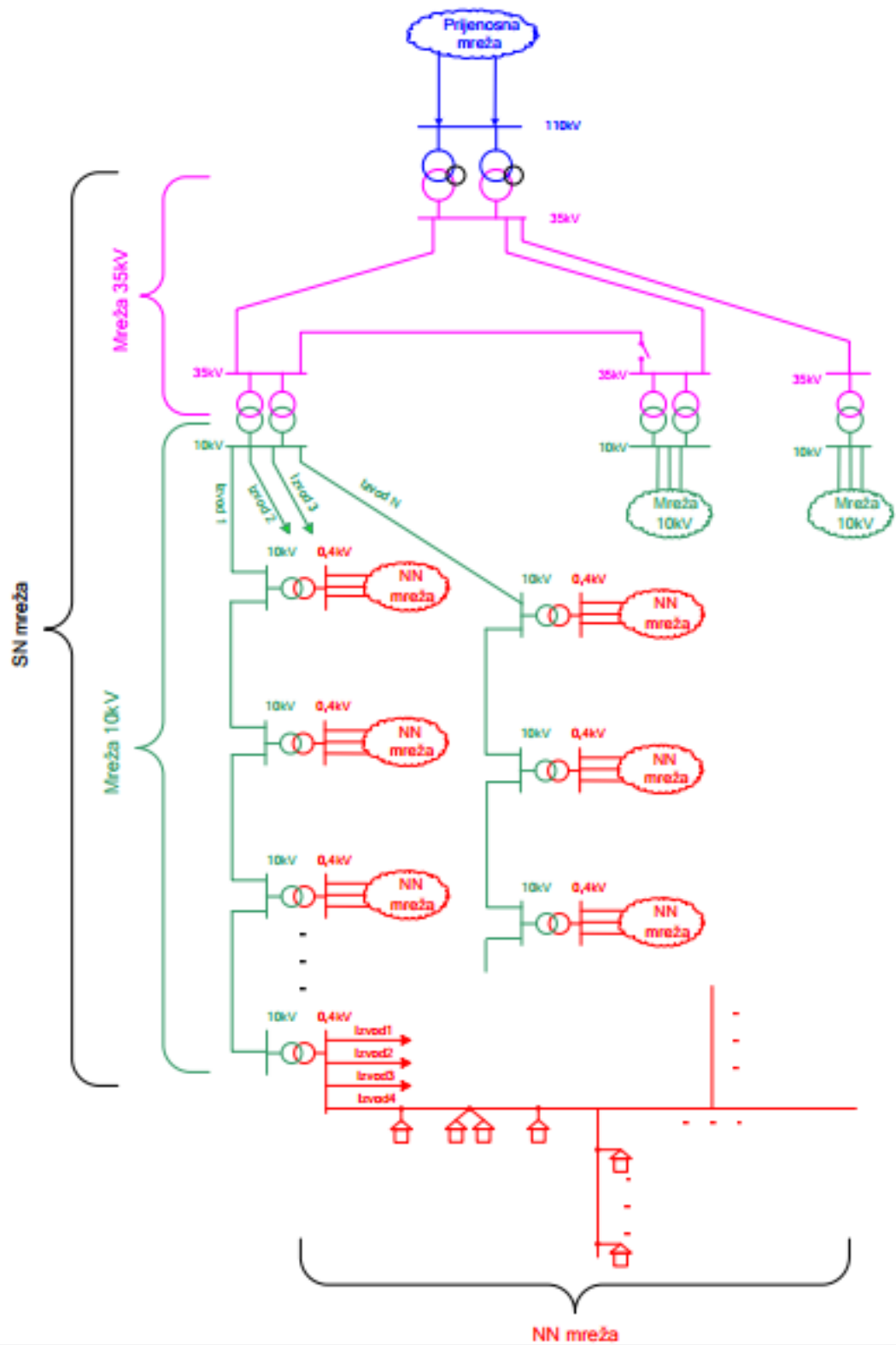
Distribucijske mreže su mreže koje preuzimaju električnu energiju iz prijenosnih mreža ili iz manjih elektrana te ju distribuiraju do potrošača koji su spojeni na distribucijsku mrežu.

Distribucijske mreže sadrže sljedeće karakteristike:

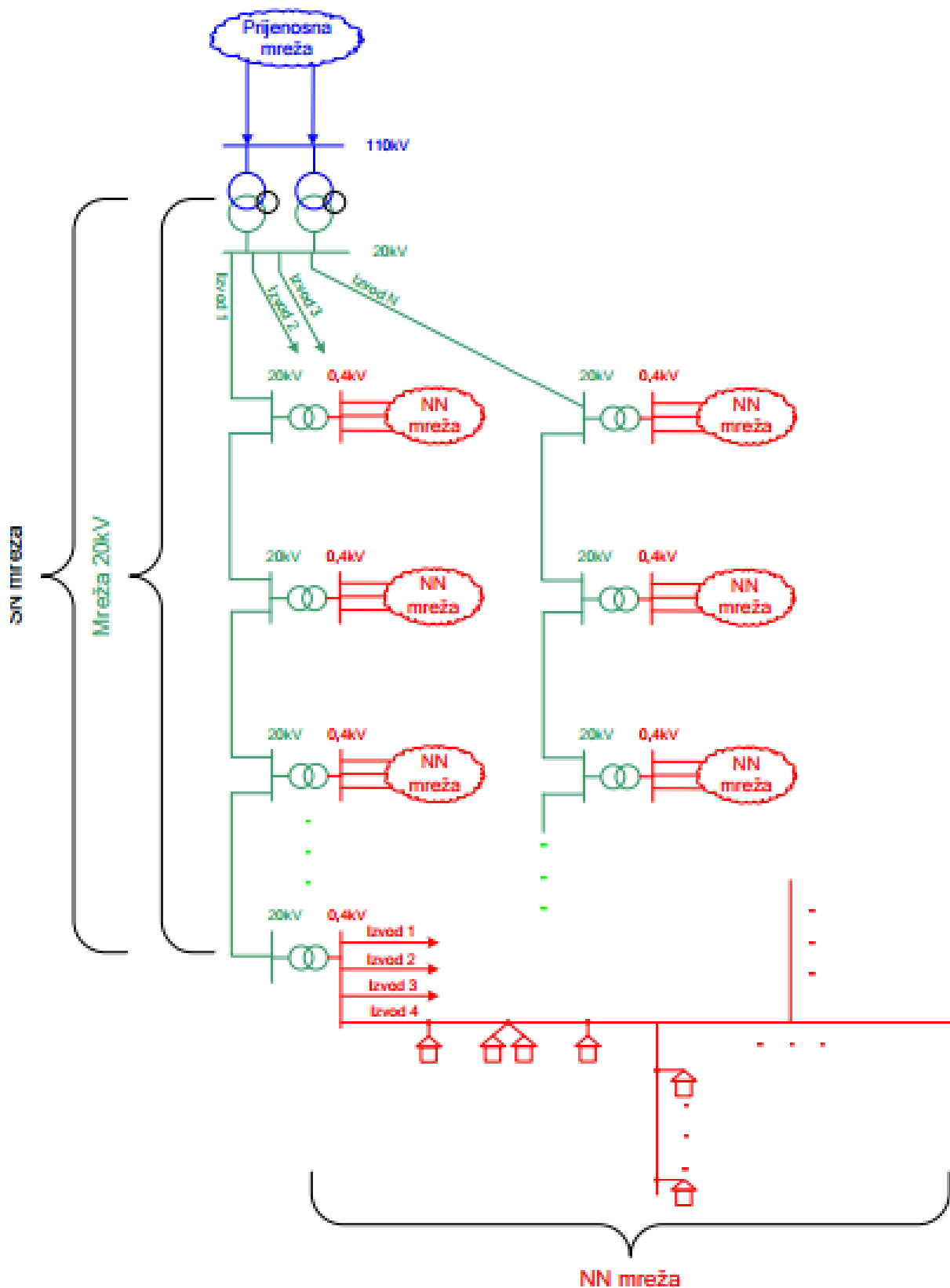
- One sadrže niže naponske razine u usporedbi s prijenosnom mrežom iz razloga što je snaga koju one prenose znatno manja od snage koju prenose prijenosne mreže. Iz tog razloga ne postoji potreba za većim naponskim nivoima.
- Distribucijske mreže prenose snagu na kratkim udaljenostima.
- Distribucijske mreže su uglavnom otvorene strukture te su zrakastog oblika, što je doprinjelo do smanjenja pogonske sigurnosti.
- Gradske distribucijske mreže su najčešće upetljane, stoga ukoliko dođe do kvara na jednomvodu postoji mogućnost napajanja iz drugog smjera. To je moguće u slučaju kada je uključeno napajanje iz jednoga smjera, a iz drugog smjera je moguće rezervno napajanje koje se pali samo po potrebi.
- Niskonaponske mreže i mreže u selima nemaju mogućnost dvostranog napajanja.
- Temeljni elementi distribucijskih mreža jednaki su kao i kod prijenosnih mreža, ali su oni osmišljeni za niže napone, stoga je i njihova izvedba jednostavnija. [27]

Temeljna struktura sredjenaponskih distribucijskih mreža može biti:

1. S dva naponska nivoa – distribucija struje prema niskom naponu odvija se putem dvije transformacije – prvo putem 35 kV-tne, a zatim preko 10 kV-tne mreže. 35 kV-tnu mrežu pogone transformatori 110/35 kV.
2. S jednim naponskim nivoom – direktnom pretvorbom 110/10 ili 110/20 miče se potreba za 35 kV-tnom mrežom. Ovakva izvedba se sve više preferira kod izrade novih mreža i kod zamjene postojećih.



Slika 3.1. Struktura distribucijske mreže s dva naponska nivoa [28]

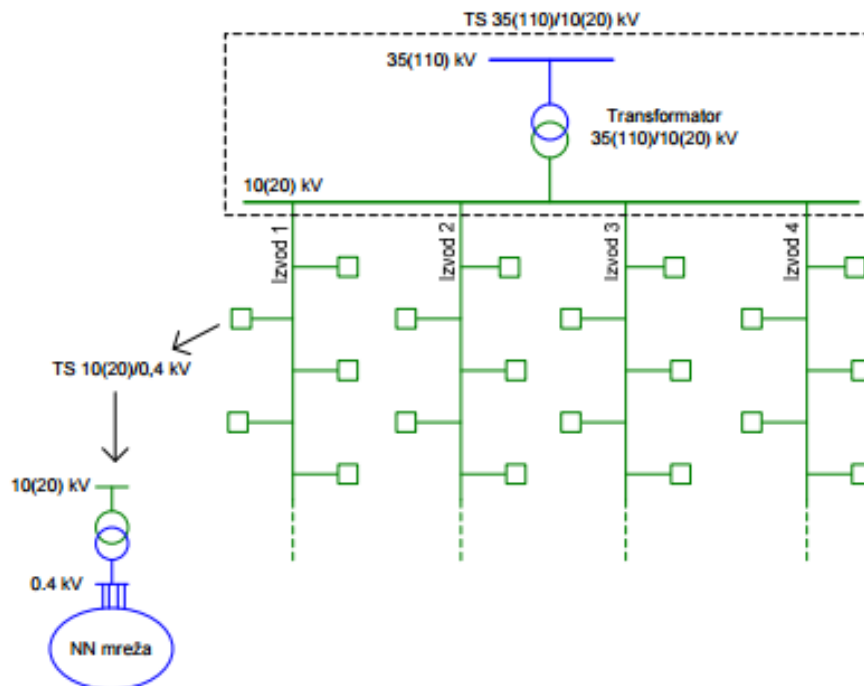


Slika 3.2. Struktura distribucijske mreže s jednim naponskim nivoom [29]

3.2. Vrste distribucijskih mreža

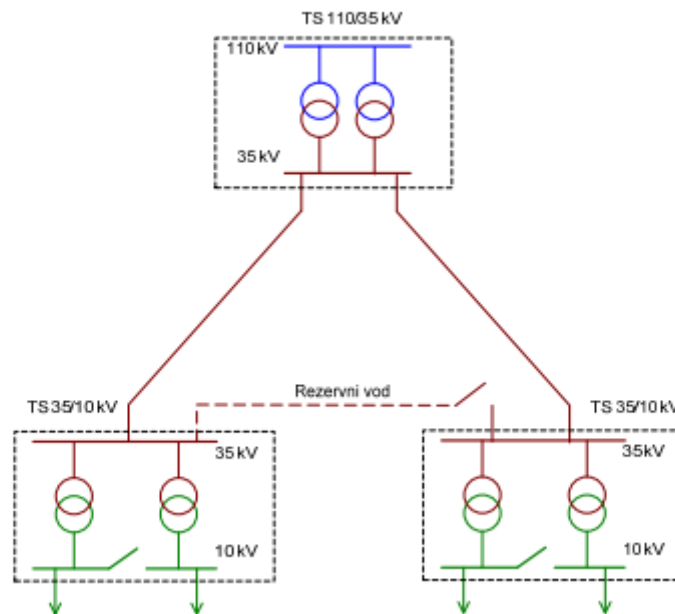
Distribucijske mreže mogu biti:

1. 10 (20) kV distribucijske mreže, koje se pak mogu podijeliti na:
 - a) jednostrano napajane mreže – napajanje je izvedivo samo iz jedne TS. Postoji više varijanti ove vrste, kao što su: zrakaste – radijalne mreže, prstenaste mreže i mreže s potpornom točkom.
 - b) dvostrano napajane mreže (takozvane L – mreže) – kod njih je napajanje izvedivo iz dvije različite TS, a one se mogu podijeliti na linijske mreže i kombinirane prstenaste i linijske mreže.



Slika 3.3. Primjer zrakaste 10(20) kV mreže [30]

2. 35(30) kV distribucijske mreže – njihova struktura zavisna je o raznim tehničkim uvjetima, o ekonomskim mogućnostima i o zahtjevima sigurnosti napajanja. One nemaju općenitu klasifikaciju, već ih se može podijeliti na zrakaste (radijalne) mreže, prstenaste mreže i linijske mreže. [31]



Slika 3.4. Prikaz prstenaste 35 kV mreže [32]

3.3. Elementi distribucijske mreže

Elementi distribucijske mreže mogu se podijeliti na nadzemne vodove, kableske vodove, transformatore i potrošače.

3.3.1. Nadzemni vodovi

Temeljni elementi nadzemnih vodova jesu:

- stup,
- fazni i zaštitni vodiči,
- izolatori,
- temelji,
- uzemljivač,
- spojni, ovjesni i zaštitni pribor.

Oni se mogu razlikovati s obzirom na:

- nazivni napon koji može varirati od 0,4 kV, 10 kV, 20 kV i 35 kV,
- broj strujnih krugova,
- materijal koji može biti od bakra, čelika ili aluminija, te od načina konstrukcije vodiča, što mogu biti žice ili užad,
- materijal i konstrukciju stupova, a oni mogu biti drveni, armiranobetonski ili čelično – rešetkasti. [33]

Stupovi služe kako bi mogli osigurati vodičima određenu visinu iznad tla. Oni su mehanički opterećeni. Drveni stupovi se danas više ne koriste, ali su veoma česti u distribucijskim mrežama gdje još nisu zamijenjeni modernijima. Stupovi od armiranog betona pokazali su se kao odličan izbor jer mogu nositi veliku težinu, dugog su životnog vijeka i ne zahtijevaju mnogo održavanja. Čelično rešetkasti stupovi su također dobar odabir no njihov nedostatak je stalna izloženost vlazi i zraku zbog čega ovi stupovi često pate od korozije.

Vodiči imaju ulogu provoditi električnu struju. Izrađeni su u obliku žica ili užadi. Oni moraju posjedovati određena svojstva, kao što su dobra vodljivost, dobra čvrstoća, mogućnost obrade, otpornost od korozije i starosti te naravno povoljna cijena. Rijetko koji materijali posjeduju sva ova svojstva, stoga se vodiči danas izrađuju od kombinacije više materijala. Najkorišteniji materijali za vodiče su aluminij, bakar, čelik i alučel.

Izolatori imaju zadaću izolirati vodiče od stupa te držati vodiče u određenom položaju. Proizvode se od porculana, steatita, kaljenog stakla i kompozitnih materijala.

Temelji pak imaju zadaću svu silu stupa prenjeti na tlo. Za to se koriste razni ukopi ili betonski nogari i betonski temelji.

3.3.2. Kabelski vodovi

Kabelski vodovi imaju nekoliko prednosti s obzirom na nadzemne vodove, kao što su npr.:

- vizualno su ugodniji promatraču,
- imaju veću pogonsku pouzdanost jer ne podliježu udarima gromova i ostalim utjecajima iz atmosfere,
- ne postoji mogućnost da ih se namjerno uništi ili ošteti.

Ipak, postoje i neki nedostaci, kao što su:

- veća cijena izvedbe,
- na njima je teže locirati kvar i potrebno je više vremena za njegovo uklanjanje nego što je to sluča kod nadzemnih vodova.

Njihovi osnovni dijelovi su fazni vodič, izolacija, ispuna, vodljivi zaslon, vanjski omotač i poluvodljivi sloj. Izrađuju se od bakra i aluminija.

Podzemni kablovi smještaju se u kabelske rovove. Tu radnju je potrebno činiti veoma oprezno i pažljivo. Postoje i podmorski kabeli koji se smještaju na dno mora posebnim brodovima. Zračni kabeli se koriste samo u posebnim uvjetima, kao što je npr. slučaj u rudnicima, tunelima i sl.

3.3.3. Transformatori

Transformatori služe za transformaciju energije. Njihovi temeljni dijelovi su:

1. željezna jezgra,
2. primarni, sekundarni i tercijarni namoti,
3. izolacija,
4. kućište transformatora,
5. dijelovi za učvršćivanje te
6. rashladni sustav.

3.3.4. Potrošači

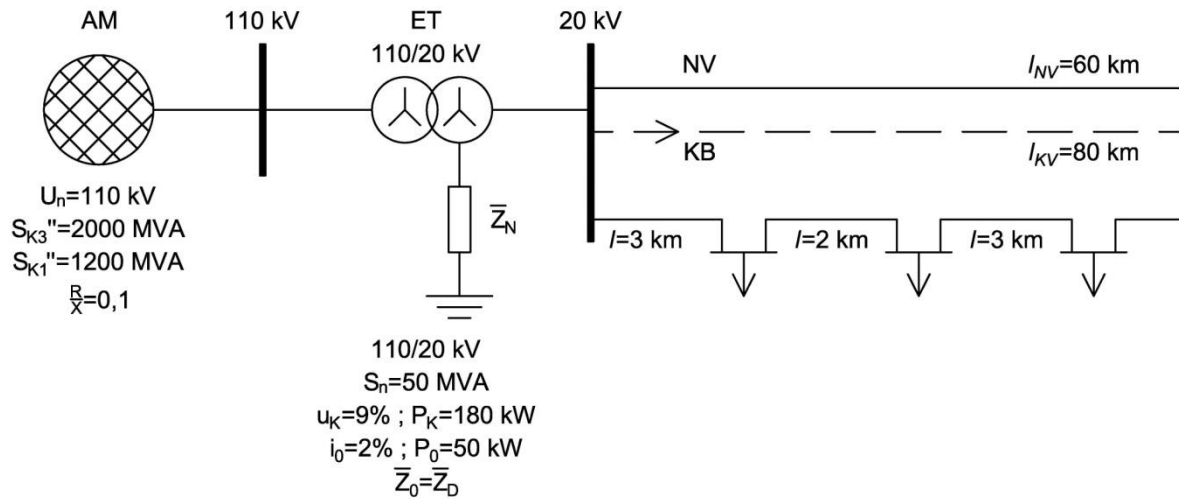
Potrošači su svi električni uređaji koji su priključeni na distribucijsku mrežu i koji troše električnu energiju koja im je potrebna za njihov rad.

Potrošači se razlikuju po nekoliko karakteristika, kao što su:

- njihovi priključci na mrežu mogu biti trofazni, dvofazni ili jednofazni,
- naponski nivo putem kojeg su spojeni na mrežu,
- tehničkim osobinama i
- tarifama.

4. PRORAČUN KRATKOG SPOJA U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA

4.1. Primjer proračuna kratkog spoja u srednjenaponskoj distribucijskoj mreži (35, 20, 10[kV])

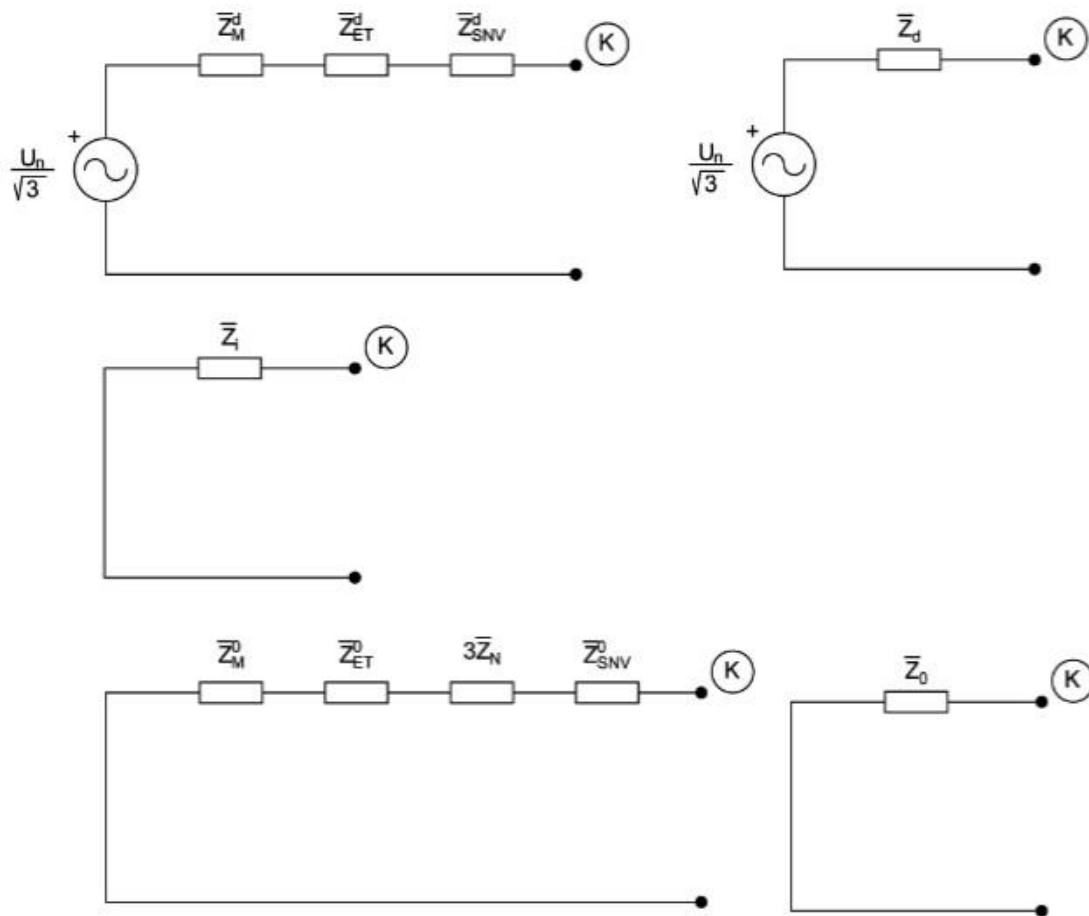


Slika 4.1. Srednjenaponska distribucijska mreža (20 [kV])

U čvoru sabirnici K srednjenaponske mreže $U_n=20[\text{kV}]$ izračunajte:

1. Struju trofaznog kratkog spoja
2. Struju jednofaznog kratkog spoja ako je neutralna točka mreže:
 - a) $\bar{Z}_N=\infty$, mreža izolirana
 - b) $\bar{Z}_N=R=30[\Omega]$, mali djelatni otpor
 - c) $\bar{Z}_N=R\|X_L$, djelomično kompenzirana mreža

Impedancije elemenata mreže u direktnom, inverznom i nultom sustavu.



Slika 4.2. Impedancije elemenata mreže u direktnom, inverznom i nultom sustavu

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_M^d + \vec{Z}_{ET}^d + \vec{Z}_{SNV}^d$$

$$\vec{Z}_i = \vec{Z}_d$$

$$\vec{Z}_0 = \vec{Z}_M^0 + \vec{Z}_{ET}^0 + 3\vec{Z}_N + \vec{Z}_{SNV}^0$$

Aktivna mreža $U_n=110[kV]$

$$X_M^d|_{110} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_{K3}''} = \frac{1.1 \cdot 110^2}{2000} = 6,655[\Omega]$$

$$R_M^d|_{110} = 0.1 * X_M^d|_{110} = 0,6655[\Omega]$$

$$\vec{Z}_M^d|_{110} = 0,6655 + j6,655[\Omega]$$

$$X_M^0|_{110} = c * U_n^2 \left(\frac{3}{S_{K1}''} - \frac{2}{S_{K3}''} \right) = 1,1 * 110^2 \left(\frac{3}{1200} - \frac{2}{2000} \right) = 19,965[\Omega]$$

$$R_M^0|_{110} = 0.1 * X_M^0|_{110} = 1,9965[\Omega]$$

$$\vec{Z}_M^0|_{110} = 1,9965 + j19,965[\Omega]$$

$$\vec{Z}_M^d|_{20} = \vec{Z}_M^d|_{110} * \left(\frac{20}{110}\right)^2 = 0,022 + j0,22[\Omega]$$

$$\vec{Z}_M^0|_{20} = \vec{Z}_M^0|_{110} * \left(\frac{20}{110}\right)^2 = 0,066 + j0,66[\Omega]$$

Energetski transformator 110/20[kV]

$$X_{ET}^d|_{20} = \frac{u_{k\%} U_n^2}{100 S_n} = \frac{9}{100} * \frac{20^2}{50} = 0,72[\Omega]$$

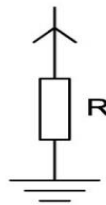
$$R_{ET}^d|_{20} = \frac{P_k U_n^2}{S_n^2} = \frac{0,18 * 20^2}{50^2} = 0,0288[\Omega]$$

$$\vec{Z}_{ET}^d|_{20} = 0,0288 + j0,72[\Omega]$$

$$\vec{Z}_{ET}^0|_{20} = 0,0288 + j0,72[\Omega]$$

Impedancija u neutralnoj točki mreže \vec{Z}_N (zvjezdlištu energetskog transformatora):

- Zvjezdlište izolirano $\vec{Z}_N = \infty$ (zemljospoj)
- Mreža uzemljena preko malog djelatnog otpora $R=30[\Omega]$



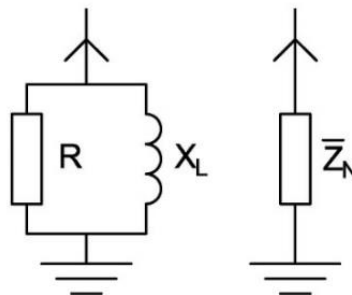
Slika 4.3. Uzemljenje mreže preko malog djelatnog otpora

- Mreža djelomično kompenzirana, mreža uzemljena preko paralelnog spoja malog djelatnog otpora i prigušnice X_L

$$R=30[\Omega]$$

$$X_L=60[\Omega]$$

$$\vec{Z}_N = R || X_L = \frac{R * jX_L}{R + jX_L} = \frac{30 * j60}{30 + j60} = 24 + j12[\Omega]$$



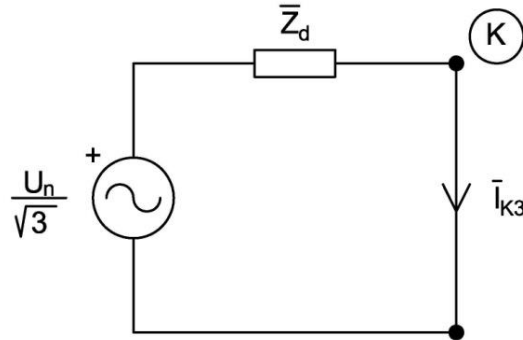
Slika 4.4. Uzemljenje mreže preko paralelnog spoja

Srednjenaponski vod SNV

$$\vec{Z}_{SNV}^d = \vec{Z}_d * l = (0,112 + j0,178) * (3 + 2 + 3) = 0,896 + j1,424[\Omega]$$

$$\vec{Z}_{SNV}^0 = \vec{Z}_o * l = (0,886 + j0,267) * (3 + 2 + 3) = 7,088 + j2,136[\Omega]$$

Tropolni kratki spoj u sabirnici K



Slika 4.5. Tropolni kratki spoj u sabirnici K

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_M^d + \vec{Z}_{ET}^d + \vec{Z}_{SNV}^d$$

$$\vec{Z}_d = 0,9468 + j2,364[\Omega] = 2,54655 \angle 68,174^\circ[\Omega]$$

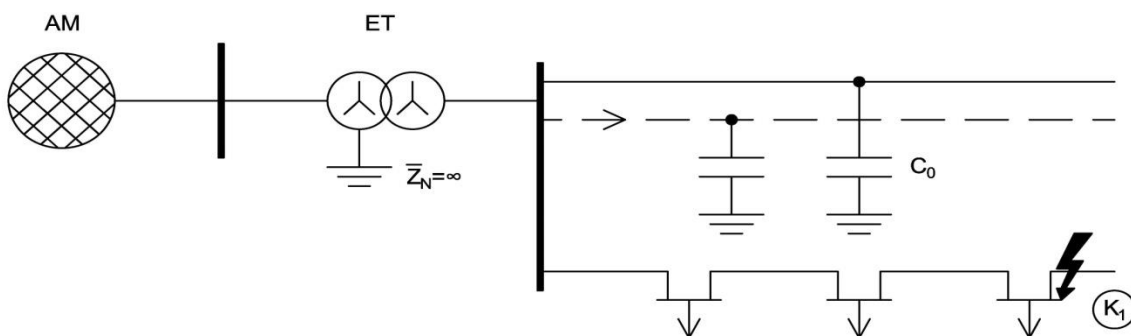
$$\vec{I}_{K3} = \frac{\vec{U}_n}{\sqrt{3} * \vec{Z}_d} = \frac{20000 \angle 0^\circ}{\sqrt{3} * 2,54655 \angle 68,174^\circ} = 4534,372 \angle -68,174^\circ[A]$$

$$\vec{I}_{K3_{MIN}} = \vec{I}_{K3} = 4534,372 \angle -68,174^\circ[A]$$

$$\vec{I}_{K3_{MAX}} = c_{MAX} * \vec{I}_{K3} = 1,1 * \vec{I}_{K3} = 4987,809 \angle -68,174^\circ[A]$$

Jednopolni kratki spoj u sabirnici K

a) Elektroenergetska mreža $U_n = 20kV$ je izolirana, zvjezdište je neuzemljeno



Slika 4.6. Izolirana elektroenergetska mreža, neuzemljeno zvjezdište

Jednopolni kratki spoj = zemljospoj

Struja jednopolnog kratkog spoja = struja zemljospoja $I_Z =$ kapacitivna struja I_C

$$\vec{I}_Z = j\vec{V}_n 3\omega \sum_{i=1}^M C_0^i$$

$$C_0^i = C_{0KB} * l_{KB} + C_{0NV} * l_{NV} = 0,34 * 10^{-6} * 80 + 4,115 * 10^{-9} * 60$$

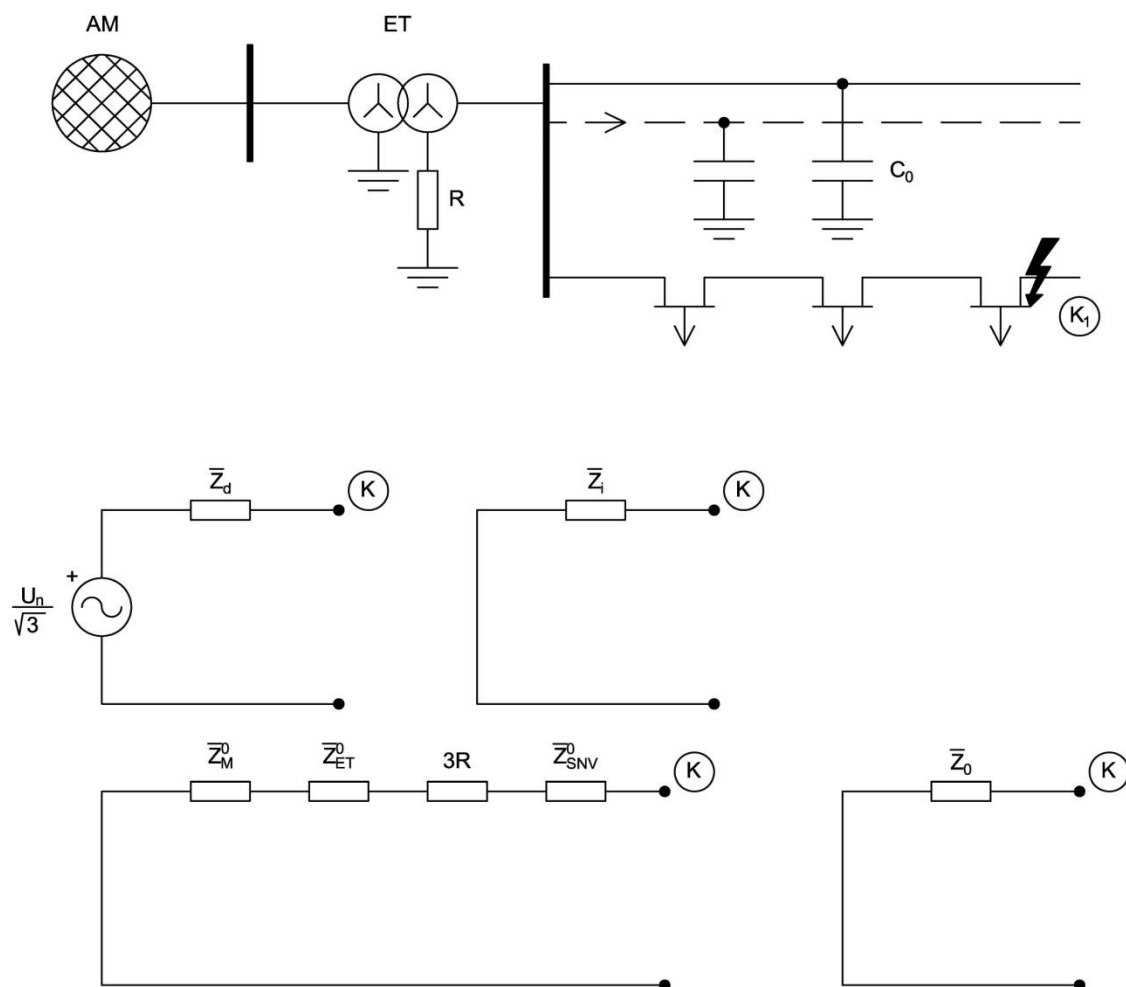
$$C_0^i = 27,4469 * 10^{-6} \left[\frac{F}{fazi} \right]$$

$$\vec{I}_Z = j * \frac{20000}{\sqrt{3}} \angle 0^\circ * 3 * 2\pi * 50 * 27,449 * 10^{-6}$$

$$\vec{I}_Z = j298,699[A] \quad I_Z = I_C = 298,699[A]$$

b) Elektroenergetska mreža $U_n = 20kV$ uzemljena preko malog djelatnog otpora

$$R = 30[\Omega], \bar{Z}_N = 30[\Omega]$$



Slika 4.7. Elektroenergetska mreža je uzemljena preko malog djelatnog otpora, impedancije mreže

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_i = 0,9468 + j2,364[\Omega]$$

$$\vec{Z}_0 = \vec{Z}_M^0 + \vec{Z}_{ET}^0 + 3R + \vec{Z}_{SNV}^0$$

$$\vec{Z}_0 = 97,1828 + j3,516[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 0,9468 + j2,364 + 0,9468 + j2,364 + 97,1828 + j3,516$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 99,0764 + j8,244[\Omega] = 99,41879 \angle 4,757^\circ[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1R} = \frac{\sqrt{3} * \vec{U}_n}{\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0} = \frac{\sqrt{3} * 20000 \angle 0^\circ}{99,41879 \angle 4,757^\circ} = 348,43529 \angle -4,757^\circ[A]$$

$$\vec{I}_{K1R} = 347,23529 - j28,89293[A]$$

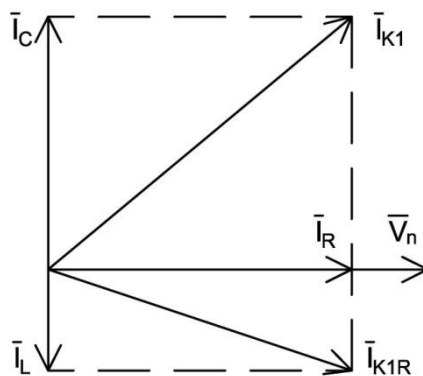
Komponenta:

$$I_R = 347,23529[A]$$

$$I_L = 28,89293[A]$$

$$\text{Kapacitivna komponenta: } \vec{I}_C = \vec{I}_Z = j298,699[A]$$

Ukupna struja jednopolnog kratkog spoja



Slika 4.8. Ukupna struja jednopolnog kratkog spoja

$$\vec{I}_{K1} = \vec{I}_{K1R} + \vec{I}_C$$

$$\vec{I}_{K1} = 347,23529 - j28,89293 + j298,99$$

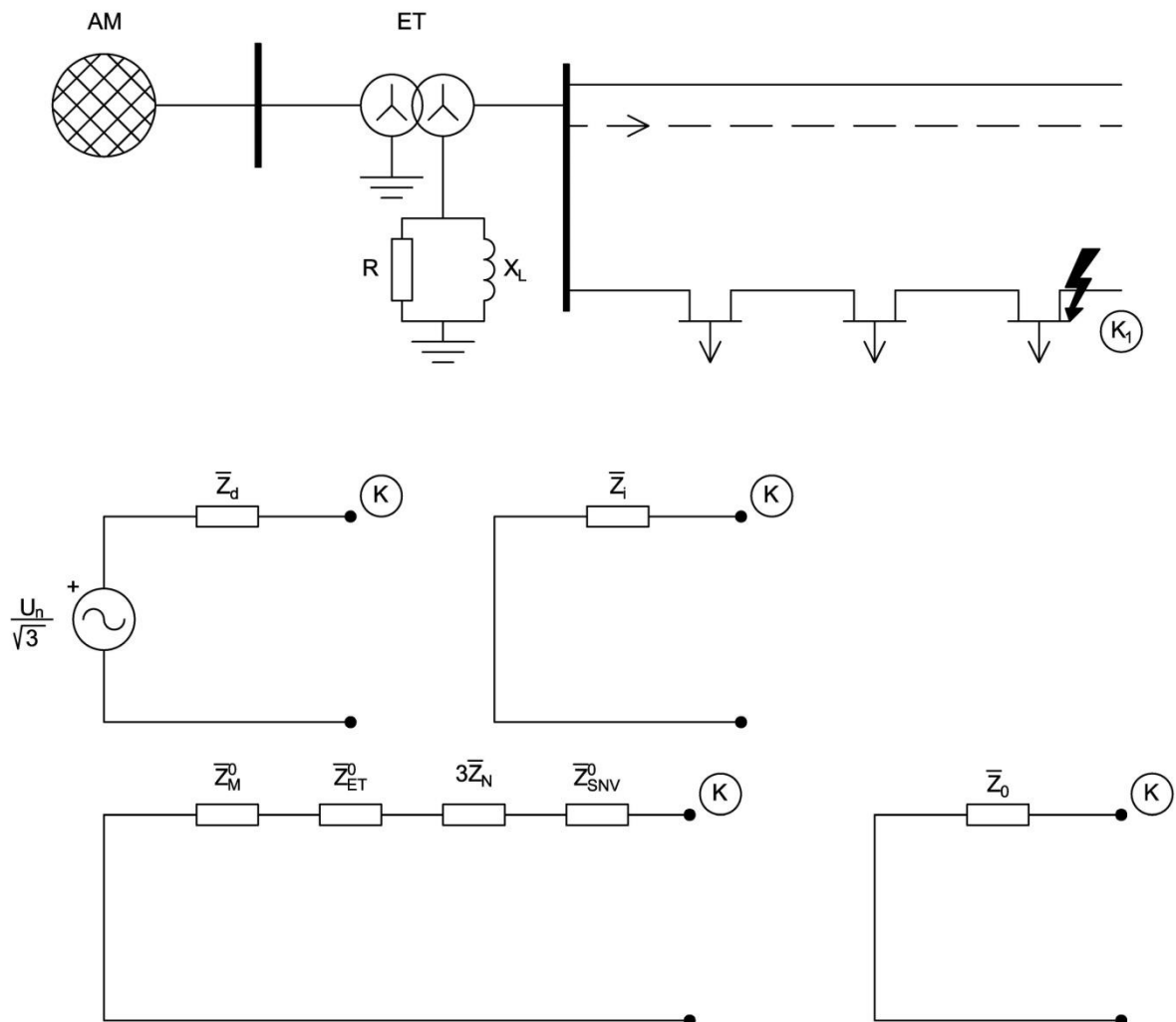
$$\vec{I}_{K1} = 347,23529 + j269,8067[A]$$

$$\vec{I}_{K1} = 439,7359 \angle 37,84764^\circ[A]$$

$$\text{Djelatna komponenta: } I_R = 347,23529[A]$$

$$\text{Kapacitivna komponenta: } I_C = 269,80607[A]$$

- c) Elektroenergetska mreža $U_n = 20kV$ je djelomično kompenzirana, neutralna točka je uzemljena preko paralelnog spoja malog djelatnog otpora $R = 30[\Omega]$ i prigušnice $X_L = 60[\Omega]$



Slika 4.9. Elektroenergetska mreža je uzemljena preko paralelnog spoja, impedancije mreže

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_i = 0,9468 + j2,364[\Omega]$$

$$\vec{Z}_0 = \vec{Z}_M^0 + \vec{Z}_{ET}^0 + 3\vec{Z}_N + \vec{Z}_{SNV}^0$$

$$\vec{Z}_0 = 0,066 + j0,66 + 0,0288 + j0,72 + 72 + j36 + 7,088 + j2,136$$

$$\vec{Z}_0 = 79,1828 + j39,516[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 0,9468 + j2,364 + 0,9468 + j2,364 + 79,1828 + j39,516$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 81,0764 + j44,244[\Omega] = 92,36295 \angle 28,62163^\circ[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1Z} = \frac{\sqrt{3} * \vec{U}_n}{\vec{Z}_d + \vec{Z}_l + \vec{Z}_0} = \frac{\sqrt{3} * 20000 \angle 0^\circ}{92,36295 \angle 28,62163^\circ} = 375,05316 \angle -28,62163^\circ [A]$$

$$\vec{I}_{K1Z} = 329,22249 - j179,65919 [A]$$

Komponente struje:

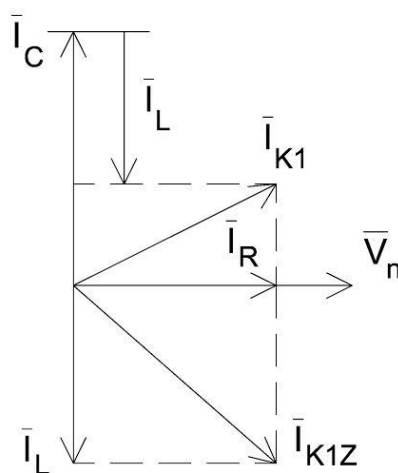
$$I_R = 329,22249 [A]$$

$$I_L = 179,65919 [A]$$

Kapacitivna komponenta:

$$\vec{I}_C = \vec{I}_Z = j298,699 [A]$$

Ukupna struja jednopolnog kratkog spoja



Slika 4.10. Ukupna struja jednopolnog kratkog spoja

$$\vec{I}_{K1} = \vec{I}_{K1Z} + \vec{I}_C$$

$$\vec{I}_{K1} = 329,22249 - j179,65919 + j298,99$$

$$\vec{I}_{K1} = 329,22249 + j119,03981 [A]$$

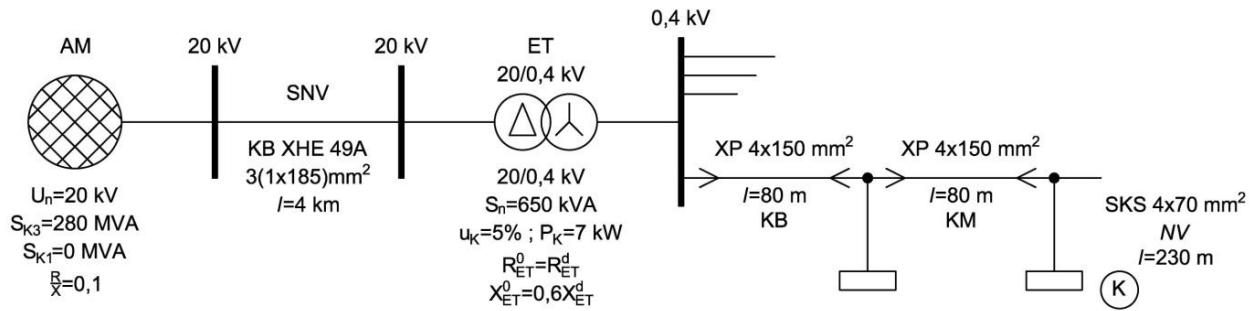
$$\vec{I}_{K1} = 350,08274 \angle 19,87891^\circ [A]$$

Komponente struje:

$$I_R = 329,22249 [A]$$

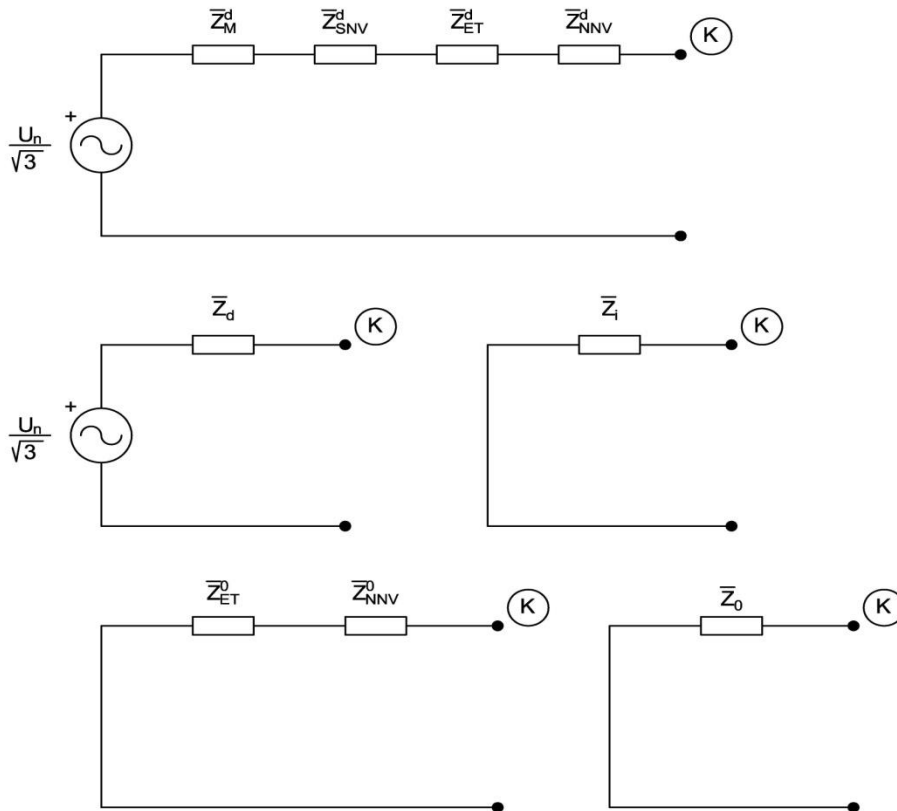
$$I_C = 119,03981 [A]$$

Primjer proračuna kratkog spoja u niskonaponskoj distribucijskoj mreži (0,4 [kV])



Slika 4.11. Niskonaponska distribucijska mreža

U sabirnici, čvoru K niskonaponske mreže izračunajte struje trofaznog i jednofaznog kratkog spoja



Slika 4.12. Impedancije elemenata mreže u direktnom, inverznom i nultom sustavu

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_M^d + \vec{Z}_{SNV}^d + \vec{Z}_{ET}^d + \vec{Z}_{NNV}^d$$

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_i$$

$$\vec{Z}_0 = \vec{Z}_{ET}^0 + \vec{Z}_{NNV}^0$$

Aktivna mreža $U_n = 20kV$

$$X_M^d|_{20} = \frac{c * U_n^2}{S_{K3}''} = \frac{1.1 * 20^2}{280} = 1,57143[\Omega]$$

$$R_M^d|_{20} = 0.1 * X_M^d|_{20} = 0,15714[\Omega]$$

$$\overrightarrow{Z_M^d}|_{20} = 0,15714 + j1,57143[\Omega]$$

$$\overrightarrow{Z_M^d}|_{0,4} = \overrightarrow{Z_M^d}|_{20} * \left(\frac{0,4}{20}\right)^2 = 0,000063 + j0,00063[\Omega]$$

Srednjenaponki vod

$$\overrightarrow{Z_{SNV}^d} = \overrightarrow{Z_d} * l = \overrightarrow{Z_d} * 4 = 0,488 + j0,712[\Omega]$$

$$\overrightarrow{Z_M^d}|_{0,4} = \overrightarrow{Z_M^d}|_{20} * \left(\frac{0,4}{20}\right)^2 = 0,000195 + j0,000285[\Omega]$$

Energetski transformator ET

$$X_{ET}^d|_{0,4} = \frac{u_{k\%} U_n^2}{100 S_n} = \frac{5}{100} * \frac{0,4^2}{0,65} = 0,01231[\Omega]$$

$$R_{ET}^d|_{20} = \frac{P_k U_n^2}{S_n^2} = \frac{0,007 * 0,4^2}{0,65^2} = 0,00265[\Omega]$$

$$\overrightarrow{Z_{ET}^d}|_{20} = 0,00265 + j0,01231[\Omega]$$

$$R_{ET}^0|_{0,4} = R_{ET}^d|_{0,4} = 0,00265[\Omega]$$

$$X_{ET}^0|_{0,4} = 0,6 * X_{ET}^d|_{0,4} = 0,00159[\Omega]$$

$$\overrightarrow{Z_{ET}^0}|_{20} = 0,00265 + j0,0159[\Omega]$$

Niskonaponski vod NNV

$$\overrightarrow{Z_{NNV}^d} = \overrightarrow{Z_{KB}^d} * l_{KB} + \overrightarrow{Z_{SKS}^d} * l_{SKS}$$

$$\overrightarrow{Z_{NNV}^d} = (0,305 + j0,085) * (0,8 + 0,8) + (0,506 + j0,088) * 0,23$$

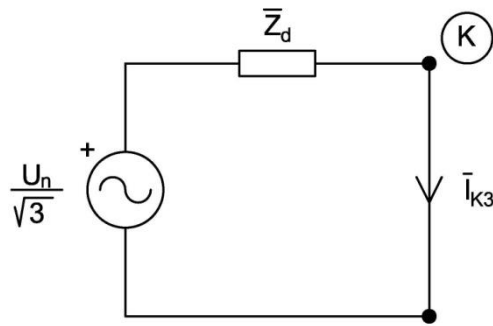
$$\overrightarrow{Z_{NNV}^d} = 0,16518 + j0,03384[\Omega]$$

$$\overrightarrow{Z_{NNV}^0} = \overrightarrow{Z_{KB}^0} * l_{KB} + \overrightarrow{Z_{SKS}^0} * l_{SKS}$$

$$\overrightarrow{Z_{NNV}^0} = (1,075 + j0,282) * (0,16) + (2,004 + j0,264) * (0,23)$$

$$\overrightarrow{Z_{NNV}^0} = 0,63292 + j0,10584[\Omega]$$

Tropolni kratki spoj u sabirnici K



Slika 4.13. Tropolni kratki spoj u sabirnici K

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_M^d + \vec{Z}_{SNV}^d + \vec{Z}_{ET}^d + \vec{Z}_{NNV}^d$$

$$\vec{Z}_d = 0,16809 + j0,04707[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d = 0,17455 \angle 15,64^\circ [\Omega]$$

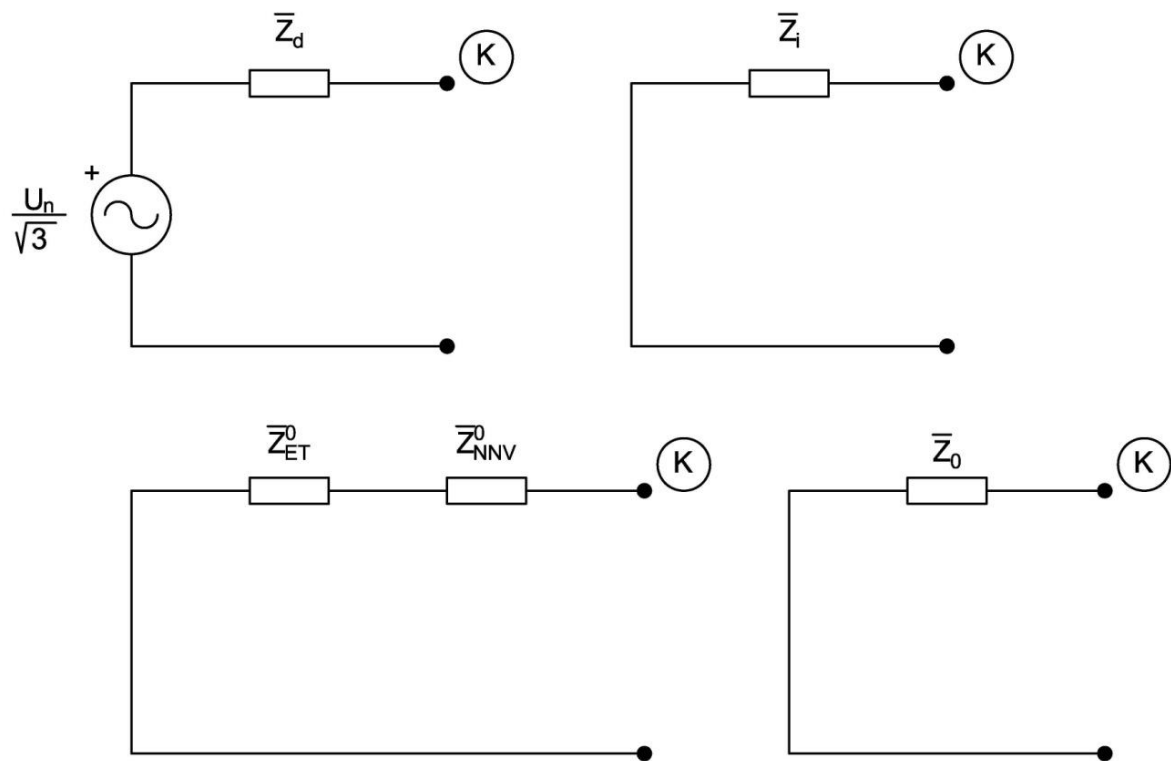
$$\vec{I}_{K3} = \frac{\vec{U}_n}{\sqrt{3} * \vec{Z}_d} = \frac{400 \angle 0^\circ}{\sqrt{3} * 0,17455 \angle 15,64^\circ} = 1323,05991 \angle -15,64^\circ [A]$$

$$\vec{I}_{K3} = 1274,0738 - j356,68659 [A]$$

$$\vec{I}_{K3_{MAX}} = c_{MAX} * \vec{I}_{K3} = 1,1 * \vec{I}_{K3} = 1455,3659 \angle -15,64^\circ [A]$$

$$\vec{I}_{K3_{MIN}} = c_{MIN} * \vec{I}_{K3} = 0,95 * \vec{I}_{K3} = 1256,9069 \angle -15,64^\circ [A]$$

Jednopolnikratki spoj u sabirnici K

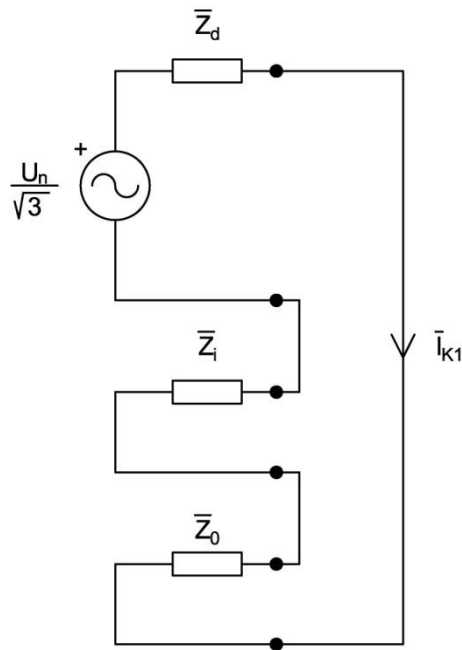


Slika 4.14. Impedancije elemenata mreže kod jednopolnog kratkog spoja

$$\vec{Z}_d = \vec{Z}_l = 0,16809 + j0,04707[\Omega]$$

$$\vec{Z}_0 = \vec{Z}_{ET}^0 + \vec{Z}_{NNV}^0$$

$$\vec{Z}_0 = 0,63557 + j0,12174[\Omega]$$



Slika 4.15. Struja jednofaznog kratkog spoja

$$\bar{Z}_d + \bar{Z}_l + \bar{Z}_0 = 0,971 + j0,21588[\Omega]$$

$$\bar{Z}_d + \bar{Z}_l + \bar{Z}_0 = 0,99544 \angle 12,52519^\circ [\Omega]$$

$$\bar{I}_{K1} = \frac{\sqrt{3} * \bar{U}_n}{\bar{Z}_d + \bar{Z}_l + \bar{Z}_0} = \frac{\sqrt{3} * 400 \angle 0^\circ}{0,99544 \angle 12,52519^\circ} = 679,42992 - j150,93941 [A]$$

$$\bar{I}_{K1} = 695,994 \angle -12,52519^\circ [A]$$

$$\bar{I}_{K1_{MAX}} = c_{MAX} * \bar{I}_{K1} = 1,1 * \bar{I}_{K1} = 756,59346 \angle -12,52519^\circ [A]$$

$$\bar{I}_{K1_{MIN}} = c_{MIN} * \bar{I}_{K1} = 0,95 * \bar{I}_{K1} = 661,19435 \angle -12,52519^\circ [A]$$

Utjecaj snage transformatora na struju kratkog spoja

Što će se dogoditi promjenom snage transformatora, odnosno kako će promjena utjecati na struju kratkoga spoja.

$$S_{n1} = 40MVA$$

$$S_{n2} = 60MVA$$

$$S_{n1} \text{ Energetski transformator } 110/20[kV]$$

$$S_{n1} = 40MVA$$

$$X_{ET|20}^d = 0,9[\Omega]$$

$$R_{ET|20}^d = 0,045[\Omega]$$

$$\overline{Z}_{ET}^d|_{20} = 0,045 + j0,9[\Omega]$$

$$\overline{Z}_{ET}^0|_{20} = \overline{Z}_{ET}^d|_{20}$$

Tropolni kratki spoj u sabirnici K

$$\overline{Z}_d = 0,963 + j2,544[\Omega] = 2,72017 \angle 69,26645^\circ[\Omega]$$

$$\overline{I}_{K3} = 4244,957 \angle -69,266^\circ[A]$$

$$a) \overline{I}_Z = \overline{I}_C = j298,699[A]$$

$$b) \overline{Z}_0 = 97,1828 + j3,696[\Omega]$$

$$\overline{Z}_d + \overline{Z}_l + \overline{Z}_0 = 99,0926 + j8,424[\Omega] = 99,45 \angle 4,859^\circ[\Omega]$$

$$\overline{I}_{K1R} = 348,32595 \angle -4,859^\circ[A] = 347,07413 - j29,50458[A]$$

$$\overline{I}_{K1} = 439,2335 \angle 37,79754^\circ[A] = 347,07413 + j269,1944[A]$$

$$c) \overline{Z}_0 = 79,199 + j39,696[\Omega]$$

$$\overline{Z}_d + \overline{Z}_l + \overline{Z}_0 = 92,46351 \angle 28,71473^\circ[\Omega]$$

$$\overline{I}_{K1Z} = 374,64526 \angle -28,71473^\circ[A] = 328,57239 - j179,99794[A]$$

$$\overline{I}_{K1} = 349,3562 \angle 19,86291^\circ[A] = 328,57239 + j118,70106[A]$$

S_{n2} Energetski transformator 110/20[kV]

$$S_{n2} = 60MVA$$

$$X_{ET}^d|_{20} = 0,6[\Omega]$$

$$R_{ET}^d|_{20} = 0,02[\Omega]$$

$$\overline{Z}_{ET}^d|_{20} = 0,02 + j0,6[\Omega]$$

$$\overline{Z}_{ET}^0|_{20} = \overline{Z}_{ET}^d|_{20}$$

Tropolni kratki spoj u sabirnici K

$$\overline{Z}_d = 0,938 + j2,244[\Omega] = 2,43216 \angle 67,3149^\circ[\Omega]$$

$$\overline{I}_{K3} = 4747,63395 \angle -67,3149^\circ[A]$$

$$a) \overline{I}_Z = \overline{I}_C = j298,699[A]$$

$$b) \overline{Z}_0 = 97,174 + j3,396[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 99,0676 + j8,124[\Omega] = 99,4\angle 4,688^\circ[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1R} = 348,50066\angle -4,688^\circ[A] = 347,33475 - j28,48305[A]$$

$$\vec{I}_{K1} = 440,066\angle 37,88184^\circ[A] = 347,33475 + j270,21595[A]$$

$$c) \vec{Z}_0 = 79,174 + j39,396[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 92,29779\angle 28,55886^\circ[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1Z} = 375,30985\angle -28,55886^\circ[A] = 329,64457 - j179,42112[A]$$

$$\vec{I}_{K1} = 350,65157\angle 19,93307^\circ[A] = 329,64457 + j119,54488[A]$$

U srednjenaponskoj distribucijskoj mreži primjećujemo da povećanjem snage transformatora poveća se i struja kratkog spoja kod jednopolnog i trolnog kratkog spoja.

Što će se dogoditi u niskonaponskoj mreži promjenom snage transformatora?

$$S_{n1} = 1500kVA$$

$$S_{n2} = 300kVA$$

$$S_{n1} \text{ ET}$$

$$X_{ET}^d|_{0,4} = 5,333 * 10^{-3}[\Omega]$$

$$R_{ET}^d|_{0,4} = 4,978 * 10^{-4}[\Omega]$$

$$\vec{Z}_{ET}^d|_{20} = 4,978 * 10^{-4} + j5,333 * 10^{-3}[\Omega]$$

$$R_{ET}^0|_{0,4} = 4,978 * 10^{-4}[\Omega]$$

$$X_{ET}^0|_{0,4} = 3,199 * 10^{-3}[\Omega]$$

$$\vec{Z}_{ET}^0|_{20} = 4,978 * 10^{-4} + j3,199 * 10^{-3}[\Omega]$$

Trolni kratki spoj u sabirnici K

$$\vec{Z}_d = 0,17071\angle 13,5817^\circ[\Omega] = 0,16594 + j0,04009[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K3} = 1352,8212\angle -13,5817^\circ[A] = 1314,99099 - j317,68525[A]$$

Jednopolni kratki spoj

$$\vec{Z}_0 = 0,63342 + j0,10904[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 0,98367\angle 11,0904^\circ[\Omega] = 0,9653 + j0,18922[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1} = 704,32189 \angle -11,09061^\circ [A] = 691,16812 - j135,48416 [A]$$

S_{n2} ET

$$X_{ET}^d|_{0,4} = 0,026667 [\Omega]$$

$$R_{ET}^d|_{0,4} = 0,01244 [\Omega]$$

$$\vec{Z}_{ET}^d|_{20} = 0,01244 + j0,026667 [\Omega]$$

$$R_{ET}^0|_{0,4} = 0,01244 [\Omega]$$

$$X_{ET}^0|_{0,4} = 7,4667 * 10^{-3} [\Omega]$$

$$\vec{Z}_{ET}^0|_{20} = 0,01244 + j7,4667 * 10^{-3} [\Omega]$$

Tropolni kratki spoj u sabirnici K

$$\vec{Z}_d = 0,18819 \angle 19,04961^\circ [\Omega] = 0,17788 + j0,06142 [\Omega]$$

$$\vec{I}_{K3} = 1298 \angle -19,04961^\circ [A] = 1227,19237 - j423,74513 [A]$$

Jednopolni kratki spoj

$$\vec{Z}_0 = 0,64536 + j0,11331 [\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_i + \vec{Z}_0 = 1,02859 \angle 13,27264^\circ [\Omega] = 1,00112 + j0,23615 [\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1} = 673,56315 \angle -13,27264^\circ [A] = 655,57135 - j154,63999 [A]$$

U niskonaponskoj mreži se također povećanjem snage transformatora povećava i struja kratkog spoja.

Primjer proračuna kratkog spoja u srednjenaponskoj distribucijskoj mreži za nadzemni vod

Kratki spoj se dogodio na istoj udaljenosti ali je riječ o 20 kV nadzemnom vodu sljedećih vrijednosti:

Uže je Al/Če 70/12

$$R = 0,43 [\Omega/km]$$

$$X = 0,9465 [\Omega/km]$$

$$\vec{Z}_d = 0,413 + j0,9465[\Omega/km]$$

$$\vec{Z}_0 = 1,239 + j2,8395[\Omega/km]$$

Srednjenaponski nadzemni vod

$$\vec{Z}_{SNV}^d = \vec{Z}_d * l = (0,413 + j0,9465) * (3 + 2 + 3) = 3,304 + j7,572[\Omega]$$

$$\vec{Z}_{SNV}^0 = \vec{Z}_0 * l = (1,239 + j2,8395) * (3 + 2 + 3) = 9912 + j22,716[\Omega]$$

Tropolni kratki spoj u sabirnici K

$$\vec{Z}_d = 3,3548 + j8,512[\Omega] = 9,14925 \angle 68,48931^\circ[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K3} = 1262,07125 \angle -68,48931^\circ[A] = 462,76974 - j1174,16694[A]$$

Jednopolni kratki spoj u sabirnici K

a)

Nadzemni kratki spoj

$$C_0^i = C_{0NV} * l_{NV} = 4,115 * 10^{-9} * 60$$

$$C_0^i = 2,469 * 10^{-7} \left[\frac{F}{fazi} \right]$$

$$\vec{I}_Z = j2,68696[A]$$

Kabelski kratki spoj

$$C_0^i = C_{0KB} * l_{KB} = 0,34 * 10^{-6} * 80$$

$$C_0^i = 2,72 * 10^{-5} \left[\frac{F}{fazi} \right]$$

$$\vec{I}_Z = j98,67069[A]$$

b)

$$\vec{Z}_0 = 100,068 + j24,096[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_l + \vec{Z}_0 = 211,12567 \angle 15,57975^\circ[\Omega] = 203,3684 + j56,704[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1R} = 164,07771 \angle -15,57975^\circ[A] = 158,04909 - j44,06789[A]$$

Nadzemni

$$\vec{I}_{K1} = 163,37655 \angle -14,67202^\circ[A] = 158,04909 - j41,38093[A]$$

Kabelski

$$\vec{I}_{K1} = 167,21537 \angle 19,05901^\circ[A] = 158,04909 - j54,6028[A]$$

c)

$$\vec{Z}_0 = 82,0068 + j60,096[\Omega]$$

$$\vec{Z}_d + \vec{Z}_l + \vec{Z}_0 = 117,55039 \angle 41^\circ [\Omega] = 88,7164 + j77,12[\Omega]$$

$$\vec{I}_{K1Z} = 294,69078 \angle -41^\circ [A] = 222,40596 - j193,33455[A]$$

Nadzemni

$$\vec{I}_{K1} = 292,935 \angle -40,60336^\circ [A] = 222,40596 - j190,64759[A]$$

Kabelski

$$\vec{I}_{K1} = 241,71399 \angle -23,05632^\circ [A] = 222,40596 - j94,66386[A]$$

Podatci kratkog spoja za kabelski vod

b)

Nadzemni

$$\vec{I}_{K1} = 348,22277 \angle -4,31595^\circ [A] = 347,23529 - j26,20597[A]$$

Kabelski

$$\vec{I}_{K1} = 354,17691 \angle 11,36239^\circ [A] = 347,23529 + j69,77776[A]$$

c)

Nadzemni

$$\vec{I}_{K1} = 373,77349 \angle -28,26007^\circ [A] = 329,22249 - j176,97223[A]$$

Kabelski

$$\vec{I}_{K1} = 339,03773 \angle -13,8203^\circ [A] = 329,22249 + j80,9885[A]$$

5. ZAŠTITA DISTRIBUCIJSKIH MREŽA

Ono što utječe na izbor zaštite distribucijskih mreža su:

- način uzemljenja zvjezdišta,
- vrsta mreže (mogu biti nadzemne, kabelske ili mješovite) te
- konfiguracija mreža.

Relejna zaštita u transformatorskim stanicama dijeli se na zaštitu transformatora i sabirnica te na zaštitu vodova. U slučaju kada je zvjezdište uzemljeno putem otpornika tada se mora ubaciti i relejnu zaštitu od jednopolnih kratkih spojeva, kako na izvodima tako i na otporniku. Zaštita mora biti funkcionalna i selektivna. Kada su u pitanju transformatorske stanice, one sadrže samo zaštitu transformatora od preopterećenja i zaštitu od kratkog spoja.

Relejnu zaštitu posebno je koristiti zajedno s sustavom automatskog ponovnog uklopa. Na taj način smanjiti će se period trajanja prekida u napajanju potrošača. I konfiguracija mreže utječe na izbor relejne zaštite. S obzirom na vrstu izvoda biraju se sustavi relejne zaštite, gdje je uvijek potrebno da zaštita pri pojavi kvara bude djelotvorna i selektivna.

5.1. Relejna zaštita u mrežama s uzemljenom neutralnom točkom

Relejna zaštita koja se nalazi u transformatorskim stanicama sastavljena je od zaštite vodova, zaštite transformatora i zaštite otpornika. Vodovi su zaštićeni od strane kratkospojne zaštite, zaštite od strujnog preopterećenja i zaštite od jednopolnih kratkih spojeva. Veće jedinice transformatora zaštićene su i diferencijalnom zaštitom. Otpornici su zaštićeni od strane nadstrujne zaštite koja je postavljena u tri stupnja. Ovakav potupak dovodi do osiguranja zaštite od kvarova na otporniku i od njegova prespajanja.

U slučajevima kada se koristi neusmjerena relejna zaštita tada njezino strujno postavljanje ne smije biti ispod određenih vrijednosti, što dovodi do toga da opisana zaštita ne može obuhvatiti kvarove kojima je prijelazni otpor veći od približno 400Ω . Veću osjetljivost može se postići uporabom usmjerene zaštite od dozemnih spojeva.

Velik broj korištene zaštite od jednopolnih kvarova baziran je na vatmetarskom principu. Prema njemu mu je za normalno funkcioniranje potrebna nulta komponente napona koju se može dobiti na otvorenom trokutu triju naponskih transformatora.

Zaštita otpornika temeljena je na zaštiti od potencijalnih kvarova na otporniku i na zaštiti od strujnog preopterećenja otpornika. Prva se zaštita provodi uz pomoć nadstrujnog releja i ona trenutačno iskopčava napojni transformator u slučaju kvara ili premosta otpornika. Informacije o dopuštenim vrijednostima struje diktira proizvođač otpornika.

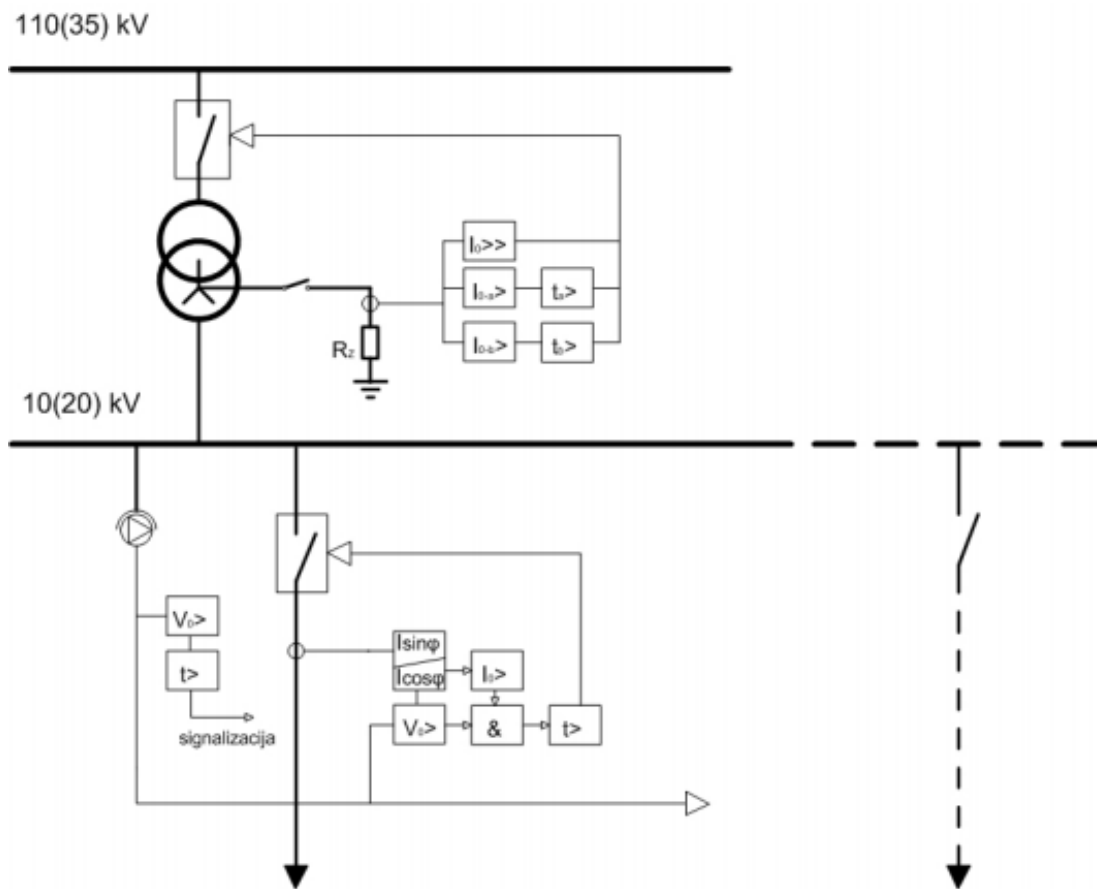
Zaštita od visokoomskih kvarova provodi se putem osjetljivih nadstrujnih releja koji imaju vremensko kašnjenje. Oni djeluju na način da isključe transformator.

Sve navedene vrste zaštite mogu se koristiti i kao rezervne zaštite od jednopolnih kvarova. Oni imaju takva strujna i vremenska podešenja koja im garantiraju potpunu selektivnost s obzirom na zaštite od jednopolnih kvarova vodova.

5.2. Relejna zaštita u mrežama s izoliranom neutralnom točkom

Mreže koje imaju izoliranu neutralnu točku zaštita je smještena u napojnim transformatorskim stanicama i ona se temelji na zaštiti vodova i transformatora te je ista kao i gore navedena zaštita. Jedina razlika između njih dvije temelji se na radnom području usmjerenih releja za zaštitu od dozemnih spojeva u $\sin \varphi$ spoju. [34]

Doljnja slika prikazati će shematski prikaz navedenih zaštita pri jednopolnim kvarovima.



Slika 5.1. Shematski prikaz zaštita kod jednopolnih kvarova [35]

6. ZAKLJUČAK

Pisanjem ovoga rada došlo se do zaključka kako je kratki spoj pojava, kvar, do kojeg dolazi u trenutku kada u distribucijskoj mreži električno naprežanje izolacije prijeđe preko električne čvrstoće izolacije. Postoji više metoda uz koje se može locirati kratki spoj, a uređaji koji se za to koriste nazivaju se lokatorima kratkoga spoja, zaštitni releji i digitalni zapisivači. Još postoje i indikatori kratkoga spoja, čija je uloga također pronaći mjesto kratkoga spoja. Postoje univerzalni indikatori kratkoga spoja i moderni indikatori koji se koriste u slučaju spoja s zemljom. Postoji nekoliko vrsta temeljnih izvedbi indikatora kratkoga spoja, kao što su: indikatori kratkog spoja s rotorskim sustavom, indikatori kratkog spoja s tekućim mehanizmom, električni indikatori kratkog spoja s sustavom daljinskog signaliziranja, mehanički indikatori za nadzemne vodove, elektronički indikatori za nadzemne vodove s LED ili bljeskajućim svjetlom te kombinirani indikatori kratkog spoja i zemljospoja za kabelske mreže.

Oscilogram struje kratkoga spoja prikazan je u ovome radu i uočeno je kako je on ovisan o tome je li se kratki spoj desio blizu ili daleko od generatora.

O distribucijskim mrežama se mnogo govorilo u ovome radu te se može reći kako su one u biti mreže koje uzimaju električnu energiju iz prijenosnih mreža ili manjih elektrana te ju distribuiraju do potrošača. Distribucijske mreže mogu biti s dva ili s jednim naponskim nivoom. Također, distribucijske mreže mogu biti 10(20) kV ili 35(30) kV. 10(20) kV distribucijske mreže mogu imati jednostrano ili dvostrano napajanje mreže, dok su 35(30) kV mreže ovisne o tehničkim uvjetima, mogućnostima i zahtjevima.

Distribucijske mreže sastoje se od nekoliko temeljnih elemenata, a to su: nadzemni vodovi, kabelski vodovi, transformatori i potrošači. Nadzemni vodovi sastoje se od stupova, faznih i zaštitnih vodiča, izolatora, temelja, uzemljivača i spojnog, ovjesnog i zaštitnog pribora. Kabelski vodovi su naspram nadzemnih ugodniji oku i imaju veću pogonsku pouzdanost, no isto tako je njihova izvedba znatno skuplja i na njima je teže locirati kvar. Transformatori, kao što im i ime govori, služe za transformaciju energije. Potrošači podrazumijevaju sve električne uređaje koji za svoj rad crpe električnu energiju.

Iz primjera proračuna kratkog spoja naučili smo cijeli postupak računanja struja troleznog i jednofaznog kratkog spoja u srednjenaponskim i niskonaponskim distribucijskim mrežama, te kako promjena snage utječe na struju kratkog spoja.

Što se tiče zaštite distribucijskih mreža, ona je veoma važna kako bi se što više moglo spriječiti kvarove i kratke spojeve. Na izbor zaštite utječe način uzemljenja zvjezdista, vrsta mreže te njena konfiguracija. Razlikuju se relejna zaštita u mrežama s uzemljenom neutralnom točkom i relejna zaštita u mrežama s izoliranom neutralnom točkom. Ove dvije vrste zaštite su gotovo iste, razlikuju se jedino s obzirom na radno područje usmjerenih releja za zaštitu od dozemnih spojeva u $\sin \varphi$ spoju.

7. LITERATURA

- [1] Mabacic, <http://mabacic.eios.hr> (datum preuzimanja 25.05.2016.)
- [2] M., Ožegović, Električne energetske mreže 1, Sveučilište u Splitu, Split, 1996.
- [3] Slika preuzeta s web stranice Riteh: <http://www.riteh.uniri.hr>
- [4] Slika preuzeta s web stranice Riteh: <http://www.riteh.uniri.hr>
- [5] Slika preuzeta s web stranice Riteh: <http://www.riteh.uniri.hr>
- [6] Slika preuzeta s web stranice Riteh: <http://www.riteh.uniri.hr>
- [7] Slika preuzeta s web stranice Riteh: <http://www.riteh.uniri.hr>
- [8] Slika preuzeta s web stranice Riteh: <http://www.riteh.uniri.hr>
- [9] M., Ivas, Lociranje kvara u razdjelnim mrežama, Magistarski rad, Zagreb, 2007.
- [10] Slika preuzeta s web stranice: <http://bib.irb.hr>
- [11] Slika preuzeta s web stranice: <http://bib.irb.hr>
- [12] Slika preuzeta s web stranice: <http://bib.irb.hr>
- [13] M., Ivas, Lociranje kvara u razdjelnim mrežama, Magistarski rad, Zagreb, 2007.
- [14] "Fault management in electrical distribution systems", Final report of the CIRED Working Group WG03 Fault Management, 1998.
- [15] M., Ožegović, Električne energetske mreže 4, Sveučilište u Splitu, Split, 2008.
- [16] Slika preuzeta s web stranice: <http://bib.irb.hr>
- [17] M., Ivas, Lociranje kvara u razdjelnim mrežama, Magistarski rad, Zagreb, 2007.
- [18] Slika preuzeta s web stranice: <http://bib.irb.hr>
- [19] D., Govedarica, Kratki spojevi, prezentacija, 2015.
- [20] Slika preuzeta s web stranice: <http://documents.tips>
- [21] Slika preuzeta s web stranice: <http://documents.tips>

- [22] Tablica preuzeta s web stranice: <http://documents.tips>
- [23] Slika preuzeta s web stranice: <http://documents.tips>
- [24] Slika preuzeta s web stranice: <http://documents.tips>
- [25] Slika preuzeta s web stranice: <http://documents.tips>
- [26] Slika preuzeta s web stranice: <http://documents.tips>
- [27] R., Goić, Distribucija električne energije, Interna skripta, Split, 2008.
- [28] Slika preuzeta s web stranice: <http://marjan.fesb.hr>
- [29] Slika preuzeta s web stranice: <http://marjan.fesb.hr>
- [30] Slika preuzeta s web stranice: <http://marjan.fesb.hr>
- [31] R., Goić, Distribucija električne energije, Interna skripta, Split, 2008.
- [32] Slika preuzeta s web stranice: <http://marjan.fesb.hr>
- [33] R., Goić, Distribucija električne energije, Interna skripta, Split, 2008.
- [34] M., Ivas, Lociranje kvara u razdjelnim mrežama, Magistarski rad, Zagreb, 2007.
- [35] Slika preuzeta s web stranice: <http://bib.irb.hr>

Knjige i radovi

1. D., Govedarica, Kratki spojevi, prezentacija, 2015.
2. Fault management in electrical distribution systems, Final report of the CIRED Working Group WG03 Fault Management, 1998.
3. M., Ivas, Lociranje kvara u razdjelnim mrežama, Magistarski rad, Zagreb, 2007.
4. M., Ožegović, Električne energetske mreže 1, Sveučilište u Splitu, Split, 1996.
5. R., Goić, Distribucija električne energije, Interna skripta, Split, 2008.

Internet stranice

1. Bib, <http://bib.irb.hr>
2. Documents, <http://documents.tips>
3. Mabacic, <http://mabacic.eios.hr>

4. Marjan, <http://marjan.fesb.hr>
5. RiTeh, <http://www.riteh.uniri.hr>

POPIS SLIKA I TABLICA

1. Slika 2.1. Tropolni kratki spoj, str. 3.
2. Slika 2.2. Dvopolni kratki spoj, str. 4.
3. Slika 2.3. Dvopolni kratki spoj s zemljom, str. 4.
4. Slika 2.4. Jednopolni kratki spoj, str. 4.
5. Slika 2.5. Dvostruko jednopolni kratki spoj, str. 5.
6. Slika 2.6. Pojednostavljeni prikaz trojednopolnog kratkog spoja ekvivalentnom shemom, str. 6.
7. Slika 2.7. Ekvivalentni prikaz dvopolnog kratkog spoja, str. 6.
8. Slika 2.8. Ekvivalentna shema dvopolnog kratkog spoja s zemljom, str. 7.
9. Slika 2.9. Prikaz ekvivalentne sheme jednopolnog kratkog spoja, str. 8.
10. Slika 2.10. Mreža s indikatorima kratkog spoja, str. 11.
11. Slika 2.11. Prikaz kombiniranih indikatora, str. 14.
12. Slika 2.12. Pojednostavljeni nadomjesni strujni krug, str. 15.
13. Slika 2.13. Istosmjerne komponente struje kratkog spoja, str. 16.
14. Slika 2.14. Izmjenična komponenta struje kratkog spoja, str. 17.
15. Slika 2.15. Ukupna struja kratkog spoja, str. 17.
16. Slika 2.16. Prikaz struje kratkog spoja blizu generatora, str. 18.
17. Slika 2.17. Prikaz prijelaznih procesa kratkog spoja: a) početni, b) prijelazni, c) ustaljeni, str. 18.
18. Slika 3.1. Struktura distribucijske mreže s dva naponska nivoa, str. 20.
19. Slika 3.2. Struktura distribucijske mreže s jednim naponskim nivoom, str. 21.
20. Slika 3.3. Primjer zrakaste 10(20) kV mreže, str. 22.
21. Slika 3.4. Prikaz prstenaste 35 kV mreže, str. 23.
22. Slika 4.1. Sredjenaponska distribucijska mreža (20 [kV]), str. 27.
23. Slika 4.2. Impedancije elemenata mreže u direktnom, inverznom i nultom sustavu, str. 28.
24. Slika 4.3. Uzemljenje mreže preko malog djelatnog otpora, str. 29.
25. Slika 4.4. Uzemljenje mreže preko paralelnog spoja, str. 29.

26. Slika 4.5. Tropolni kratki spoj u sabirnici K, str. 30.
27. Slika 4.6. Izolirana elektroenergetska mreža, neuzemljeno zvjezdište, str. 30.
28. Slika 4.7. Izolirana elektroenergetska mreža, neuzemljeno zvjezdište, str. 31.
29. Slika 4.8. Ukupna struja jednopolnog kratkog spoja, str. 32.
30. Slika 4.9. Elektroenergetska mreža je uzemljena preko paralelnog spoja, impedancije mreže, str. 33.
31. Slika 4.10. Ukupna struja jednopolnog kratkog spoja, str. 34.
32. Slika 4.11. Niskonaponska distribucijska mreža, str. 35.
33. Slika 4.12. Impedancije elemenata mreže u direktnom, inverznom i nultom sustavu, str. 35.
34. Slika 4.13. Tropolni kratki spoj u sabirnici K, str. 37.
35. Slika 4.14. Impedancije elemenata mreže kod jednopolnog kratkog spoja, str. 38.
36. Slika 4.15. Struja jednopolnog kratkog spoja, str. 39.
37. Slika 5.1. Shematski prikaz zaštita kod jednopolnih kvarova, str. 47.

Tablice

1. Tablica 2.1. Vrijednosti istosmjerne komponente struje kratkog spoja, str. 16.

SAŽETAK

Kroz ovaj rad dobio se jasan uvid u kratki spoj i distribucijske mreže. Cjelokupna tematika obrađena je na vrlo jednostavan način koji može biti jasan i bilo kome tko ne zna apsolutno ništa o ovoj temi.

Kratki spoj predstavlja neku vrstu kvara na distribucijskim mrežama kada dođe do prevelikog električnog napreznja. Takvi kvarovi su veoma nepovoljni iz razloga što za vrijeme njihova trajanja dolazi do nestanka električne energije. Upravo iz tog razloga od značajne je važnosti njihovo lociranje i što brže rješavanje, kako bi se ponovno uspostavio normalni protok električne energije, a upravo o tome ovaj rad govori.

Ključne riječi: kratki spoj, distribucijske mreže, kvar, lociranje.

ABSTRACT

Through this study we got obvious insight about short circuit and distribution network. Overall subject matter is analyzed on really simple way which one can be clear for the person who doesn't know absolutely anything about this subject.

Short circuit represents some kind of defect on the distribution network when it comes to excessive electrical strain. Such faults are very bad because during that time there is power failure. For this reason, is of substantial importance to locate and as quickly as possible to solve it, in order to restore the normal flow of electricity and the study speaks precisely about it.

Keywords: short circuit, distribution network, fault, locating.