

Univerza v Ljubljani
Fakulteta *za elektrotehniko*



Vrste kratkih stikov

Seminarska naloga

pri predmetu
Razdelilna in industrijska omrežja

Avtor: Nejc Novak, dipl. inž. el. (UN)

Mentor: prof. dr. Grega Bizjak, univ. dipl. inž. el.

Ljubljana, študijsko leto 2016/2017

Kazalo:

1	Uvod	3
2	Nastanek kratkega stika	4
2.1	Kratek stik blizu generatorja	5
2.2	Kratek stik daleč od generatorja	7
3	Vzroki za nastanek kratkih stikov	8
4	Vrste kratkih stikov	10
5	Razlike med kratkimi stiki	11
5.1	Tripolni kratki stik	11
5.2	Dvopolni kratki stik	12
5.3	Dvopolni kratki stik z dotikom zemlje	13
5.4	Enopolni zemeljski stik	14
6	Računanje kratkih stikov	15
6.1	Steglichova metoda	15
6.1.1	Postopek računanja	16
7	Preprečevanje in odpravljanje kratkih stikov	19
8	Delovanje kratkostične opreme	20
9	Zaključek	21
10	Vprašanja	22
11	Domača naloga	23
12	Viri in literatura	26

1 Uvod

Kratek stik se zgodi, ko se sklence električni tokokrog, ki omogoča toku potovanje vzdolž nenamerne poti, večinoma kjer je upornost zelo majhna. To se lahko zgodi zaradi okvare opreme ali pa zaradi človeške napake. Vzrok je lahko naraščaj napetosti čez prebojno trdnost izolacije, zaradi staranja izolacije se lahko zniža njena prebojna trdnost ali pa nastane stik zaradi zmanjšanja impedance tokokroga. Zaradi zelo nizke upornosti, so tokovi, ki stečejo ob kratkem stiku, zelo veliki. Tak pojav v napravah ali omrežju ni zaželen, saj velik tok pomeni velike izgube in segrevanje, to pa pomeni uničenje elektroenergetske opreme. Nenazadnje je lahko takšne vrste okvara tudi za človeka, uporabnika, nevarna.

Kratek stik je relativno pogost pojav v elektroenergetskem omrežju, zato mora biti le to dimenzionirano in ustrezno zaščiteno, da preživi in odpravi tovrstno napako. Poznavanje velikosti kratkih stikov je zelo pomembno pri dimenzioniranju in načrtovanju omrežja. Vsi elementi omrežja morajo biti izbrani tako, da se v primeru napake ne poškodujejo in da po prekinitvi kratkega stika, lahko nemoteno normalno obratujejo naprej. Prenesti morajo velike termične in dinamične obremenitve, saj je tok ob kratkem stiku lahko večkratnik nazivnega toka.

Ker je tok kratkega stika odvisen od mesta okvare oziroma upornosti »novega« tokokroga, so v nekaterih primerih tokovi lahko tudi veliko manjši. Tudi ti obremenjujejo naprave in so za ljudi in živali lahko usodni, zato jih mora kratkostična zaščita zaznati in odklopiti. To pomeni, da moramo pri načrtovanju omrežja poznati tudi najmanjši možni tok kratkega stika.

Kratke stike lahko delimo še na kratkotrajne, katerih je okoli 70-80% in na trajne. Kratkotrajni so v primeru napake v sistemu, ki se sama odpravi. Zaščitna oprema mora tak pojav zaznati, tok odklopiti in po prehodu okvare, tok avtomatsko spet vključiti. Pri trajnih kratkih stikih je okvara ponavadi resnejša, potrebna je intervencija pooblaščenih oseb za odpravo napake.

2 Nastanek kratkega stika

Kot je že omenjeno, se kratek stik zgodi, ko se sklone tokokrog vzdolž nenamerne poti. V večini primerov to pomeni, da se tokokrog zaključi pred porabniki, kar pomeni zelo majhno upornost in posledično velike tokove.

Začetna velikost toka kratkega stika je odvisna od stanja toka v času nastanka okvare. V najbolj neugodnem primeru, kratek stik nastopi v času, ko je signal toka v njegovem maksimumu ali minimumu. V tem primeru je lahko udarni tok, to je temenska vrednost začetnega toka, ki je posledica enosmerne komponente toka, za $2 \cdot \sqrt{2}$ večji od kratkostičnega toka. Enosmerna komponenta toka nastane zaradi induktivnosti omrežja v primeru, če nastane kratek stik v trenutku, ko signal toka ni ravno v nevtralni točki.

Začetna vrednost enosmerne komponente toka je

$$i(t) = \frac{V_0}{\omega L} \cos \varphi$$

Pri čemer je φ kotni zamik, ki označuje, kdaj nastopi kratek stik.

Enosmerna komponenta eksponentno upada po časovni konstanti

$$T_\alpha = \frac{L}{R}$$

Kjer je L induktivnost, R pa upornost zanke.

2.1 Kratek stik blizu generatorja

Če kratek stik nastopi blizu generatorja, to pomeni da je $I_{IK} \geq 2 \cdot I_{IN}$, poleg enosmerne komponente kratkostični izmenični tok lahko dokaj natančno razdelimo še na:

- Subtranzientni del I_{IK}
- Tranzientni del I_{IK}
- Trajni del I_{IK}

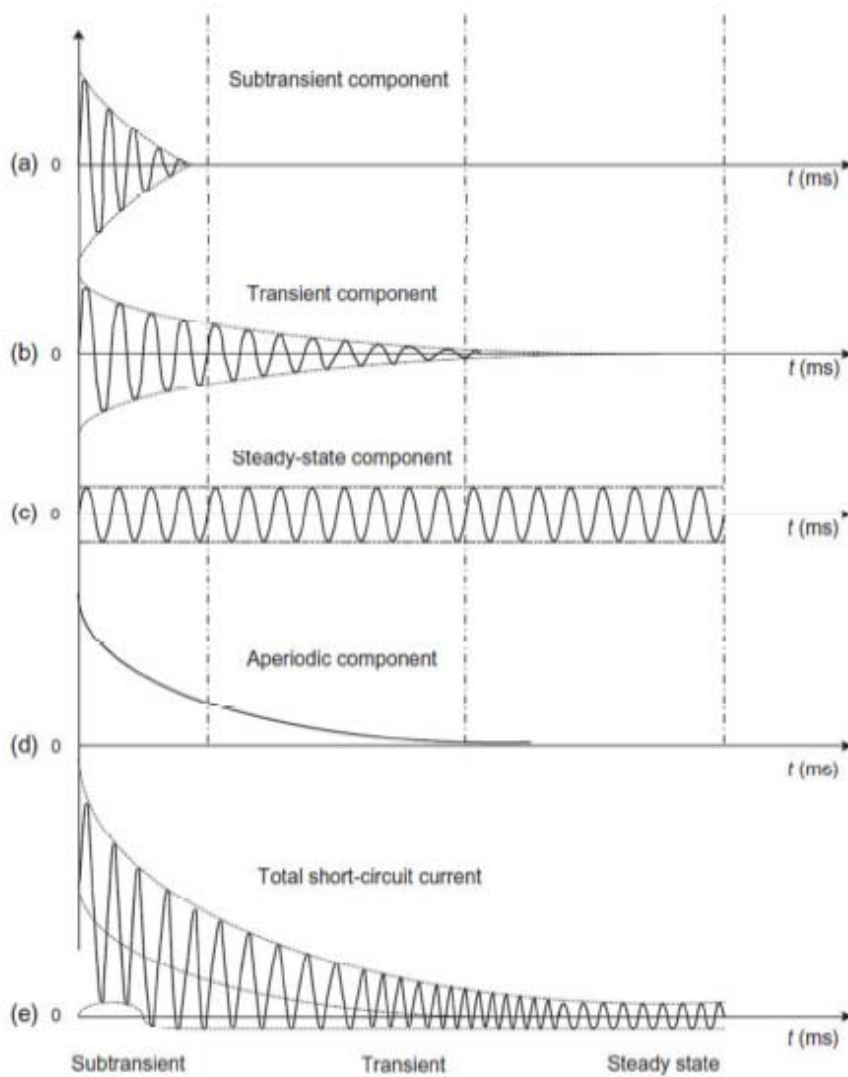
Ta potek kratkostičnega toka je vezan na nastopajoči elektromagnetni pojav in nasičenje v generatorju ter na posredni vpliv napetosti. Za predstavitev in izračun kratkostičnih razmerij, se v praksi izhaja iz konstante napetosti in predpostavke, da je iznihajoči pojav kratkostičnega toka odvisen od naraščajoče generatorske reaktance. Ker se v prvem trenutku ob nastopu kratkega stika fluks v generatorju zaključuje po zraku, je reaktanca generatorja na videz zelo majhna. V roku nekaj milisekund se fluks ponovno začne zaključevati po jedru in se v roku nekaj sekund reaktanca zviša na realno vrednost.

Pripadajoče reaktance označujemo enako kot tokovna območja in sicer kot :

- Sinhronska reaktanca X_d
- Tranzientna reaktanca X'_d
- Subtranzientna reaktanca X''_d .

Vsaki od teh reaktanc pa pripada časovna konstanta, po kateri upada:

- Časovna konstanta sinhronske reaktance T_d
- Časovna konstanta tranzientne reaktance T'_d
- Časovna konstanta subtranzientne reaktance T''_d .



Slika 1: Komponente kratkostičnega toka.

Subtranzientna komponenta:

$$i''(t) = V_{lmax} [1/(X_{1d}') - 1/X_{1d}] e^{(-t/T_{1d}')} \cos(\omega t + \varphi)$$

Tranzientna reaktanca:

$$i'(t) = V_{\frac{t}{T_d'}} \frac{1}{\max\left[\frac{1}{X_{1d}'} - \frac{1}{X_{1d}}\right]} \cos(\omega t + \varphi)$$

Trajni del:

$$i(t) = \frac{V_{max}}{X_{1d}} \cos(\omega t + \varphi)$$

Enosmerni del:

$$i_{1a}(t) = -V_{lmax}/(X_{1d}') e^{(-t/T_{1a}')} \cos \varphi$$

kjer je V_{max} maksimalna fazna napetost na mestu kratkega stika.

Vse te komponente se skupaj seštejejo in dobimo časovni potek kratkostičnega toka. Na sliki 1 vidimo, da enosmerna, tranzientna in subtranzientna komponenta toka hitro upadejo in nam ostane samo še trajni del.

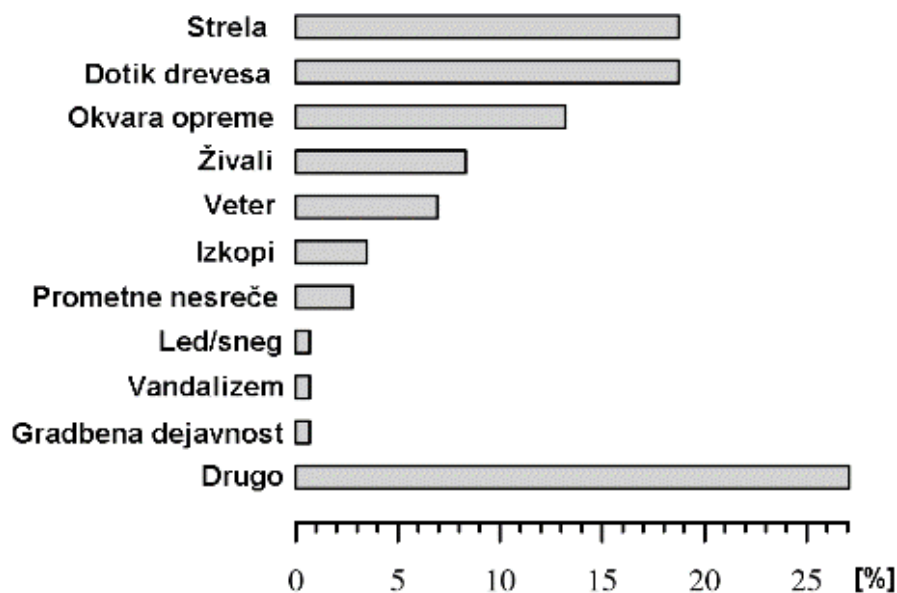
2.2 Kratek stik daleč od generatorja

Ker je lahko pot od mesta kratkega stika do generatorja zelo dolga, je upornost takšne poti lahko visoka in posledično je tok kratkega stika manjši. Za kratek stik daleč od generatorja se smatra, ko je tok začetnega kratkega stika $I_{1K} \leq 2 \cdot I_{1N}$. Tukaj ne upoštevamo več nasičenja generatorja, torej je kratkostični tok sestavljen samo iz enosmerne in trajne komponente.

3 Vzroki za nastanek kratkih stikov

Za nastanek kratkih stikov imamo lahko veliko različnih vzrokov. Nad nekaterimi nimamo vpliva, to so večinoma naravne nesreče, drugi so namerni, nekateri pa nastanejo zaradi slabega vzdrževanja trase.

Na naslednji sliki so prikazani najpogostejši vzroki za nastanek kratkih stikov. Po številu najbolj izstopajo kratki stiki zaradi vremenskih vplivov, kot so strele, veter, led in sneg. Teh je kar okrog 40%.



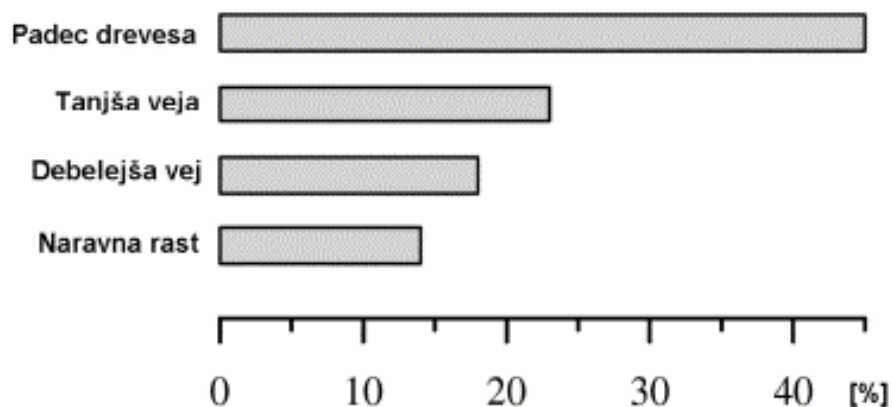
Slika 2: Glavni vzroki za nastanek kratkih stikov.

Število kratkih stikov se bistveno poveča ob hudih nevihtah, kjer veter lahko podre drevo na vodnike, lahko nanese veje in predmete in s tem povzroči medfazni kratki stik ali še pogosteje zemeljski stik. Kratkotrajne stike zaščita sama prekine in ob koncu kratkega stika, ko se na primer veja odmakne, avtomatika spet vklopi napetost.

Strele povzročajo veliko kratkih stikov na distribucijskih vodih zaradi prenapetosti, saj nimajo nobenih direktnih varoval pred strelami. Ostala oprema, kot so transformatorji in kablovodi, pa imajo ponavadi prenapetostne odvodnike za zaščito pred tovrstnimi okvarami.

Pod težo žleda in snega popustijo stebri in vodi padejo na tla, kjer lahko pride do raznovrstnih kombinacij kratkih stikov. Obstaja tudi posreden vpliv ledu, če naprimer ta podere drevo v bližini vodov, ki pade na elektroenergetsko infrastrukturo in jo uniči.

Eden glavnih vzrokov, da pride do kratkega stika, je drevje. Do kratkega stika pride, če drevje ali grmičevje zraste v neposredni bližini vodnikov in se sčasoma dotakne voda. Večina takšnih stikov je kratkotrajnih, saj čez vejo steče tok, ki jo zakuri in s tem skrajša, da potem ni več v stiku z vodnikom. Takšne napake elektroenergetsko omrežje samo zazna in tudi odpravi. Možno je tudi, da na vodih zaradi vetra pristane veja, katera stakne 2 fazi skupaj. Nastane kratkotrajni dvofazni kratek stik. Če je veja tanjša, jo tok, ki steče skozi njo, zakuri in odtrani. Če pa je debelejša, lahko povzroči večje težave, saj se ne bo kar tako sama odstranila. Če drevo podre vode ali drug del energetskega omrežja, imamo lahko tudi opravka s trajnim kratkim stikom, katerega pa morajo pooblaščen delavci v čimkrajšem času sanirati.



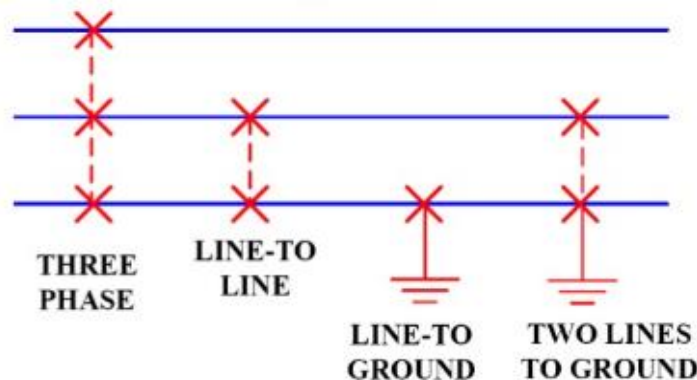
Slika 3: Okvare povzročene s strani dreves.

Če pogledamo samo kratke stike, ki jih povzročijo drevesa, je kar 50 % takšnih, ko drevo pade na vode. To skupaj predstavlja 10 % kratkih stikov, ki bi jih lahko odpravili z rednejšim vzdrževanjem tras, ali pa s širšim golim območjem ob daljnovidih.

4 Vrste kratkih stikov

Ker imamo trifazno elektroenergetsko omrežje, imamo vedno speljane po 3 vodnike skupaj. Zaradi fizične bližine vodnikov, lahko pride do različnih kombinacij stikov med vodniki ali med vodniki in zemljo, katera ravno tako prevaja električni tok. Tako poznamo štiri običajne vrste kratkega stika in sicer:

- Tripolni kratki stik
- Dvopolni kratki stik
- Enopolni zemeljski stik
- Dvopolni kratki stik z dotikom zemlje.



Slika 4: Vrste kratkih stikov.

Tripolni kratki stik je najhujši stik, saj pride do največjih tokov v vseh treh faznih vodnikih. Zaradi tega se ga uporablja pri načrtovanju zaščite za omrežje, saj vsaka komponenta mora preživeti tudi največje tokove. Je edini simetrični kratki stik. Zaradi tega je tudi edini, ki ni odvisen od dotika z zemljo, saj se celoten tok zaključuje po treh faznih vodnikih. Tovrstni pojav ni prav pogost. Ker se vsi vodi dotaknejo skupaj, je napetost med fazami enaka 0.

Dvopolni kratki stik je podoben kot tripolni, ampak v tem primeru se dotakneta samo dva fazna voda. Ta kratki stik je nesimetričen, saj vsota tokov ni 0, enosmerna komponenta pa nima poti, kjer bi se zaključila.

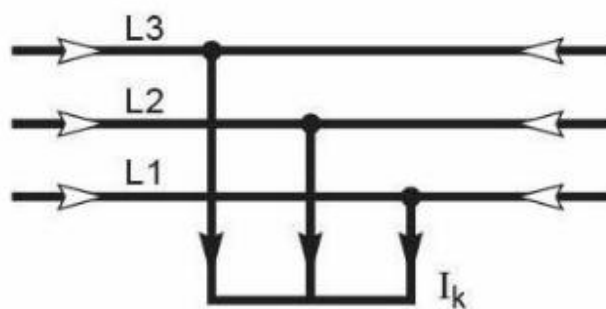
Dvopolni kratki stik z dotikom z zemljo se zgodi, če se dva voda dotakneta med sabo, vse skupaj se pa dotakne še zemlje. Takšnih okvar je v praksi še nekoliko več kot samo dvopolnih kratkih stikov.

Enopolni zemeljski stik se zgodi, če nam ena faza pride v stik z zemljo. Ta kratki stik je v praksi najpogostejši. Do njega pride ob poškodbah daljnovodov, ko le ti padejo na tla, ali ko se tok iz voda preko drevesa zaključí z zemljo. Tok seveda lahko steče le v primeru, če je transformator ozemljen in je s tem tokovna zanka zaprta.

5 Razlike med kratkimi stiki

5.1 Tripolni kratki stik

Simetričen tripolni kratek stik je najhujši kratek stik, saj pri tem pride do največjih kratkostičnih tokov v vseh treh fazah.



Slika 5: Simetrični tripolni kratki stik.

Ker so vse faze sklenjene, je napetost na vseh fazah enaka:

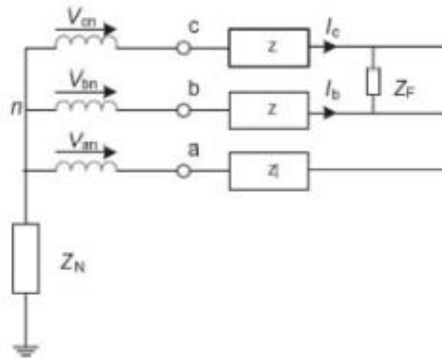
$$V_a = V_b = V_c = 0$$

Tok ki steče, pa je odvisen od impedance omrežja in sicer:

$$I_{k3P} = V_f / Z_1$$

Kjer je V_f fazna napetost in Z_1 sofazna impedanca. Kot vidimo na velikost toka kratkega stika vpliva samo sofazna komponenta impedance omrežja.

5.2 Dvopolni kratki stik



Slika 6: Dvopolni kratki stik.

Kot je razvidno iz slike 4, nični tok nima poti, da bi se zaključil čez zemljo. To pomeni, da je nični tok $I_0 = 0$. Enačbe, ki opisujejo to vrsto napake so:

$$I_a = 0, I_b = -I_c, V_b - V_c = Z_F I_b.$$

Kjer so V_b in V_c fazne napetosti faz b in c. Z_F je impedanca na mestu kratkega stika.

S pomočjo metode simetričnih komponent in uporabo zgornjih razmerij dobimo fazno napetost:

$$V_f = I_{a1}(Z_1 + Z_2 + Z_F)$$

In tok, ki steče med okvaro v vodnikih:

$$I_b = I_F = -\sqrt{3} I_{a1}$$

Kratkostični tok je tako:

$$I_{K2P} = (\sqrt{3} V_{1f}) / (Z_1 + Z_2 + Z_F).$$

Za primere, ko v omrežju ni rotirajočih storjev in je $Z_1 = Z_2$ ter če predpostavimo, da je dodatna impedanca na mestu okvare enaka 0, velja enačba za tok:

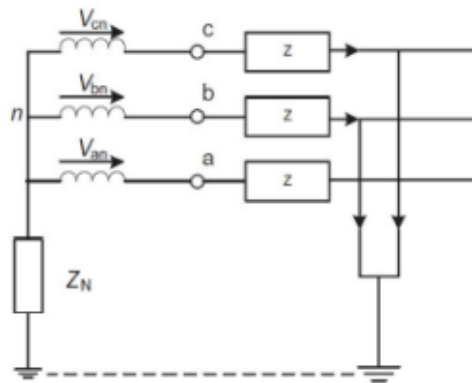
$$I_{K2P} = \sqrt{3}/2 I_{K3P}$$

napetost pa je:

$$V_b = V_c = 0 \text{ in}$$

$$V_a = V_n \frac{2 \cdot Z_2}{Z_1 + Z_2} = V_f$$

5.3 Dvopolni kratki stik z dotikom zemlje



Slika 7: Dvopolni kratki stik z dotikom zemlje.

Z naslednjimi enačbami opišemo stanje sistema:

$$I_a = 0, V_b = 0, V_c = 0.$$

S pomočjo metode simetričnih komponent in uporabo zgornjih razmerij dobimo:

$$I_b = j\sqrt{3}V_f \frac{\alpha Z_2 - Z_0}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$$

$$I_c = -j\sqrt{3}V_f \frac{\alpha^2 Z_2 - Z_0}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$$

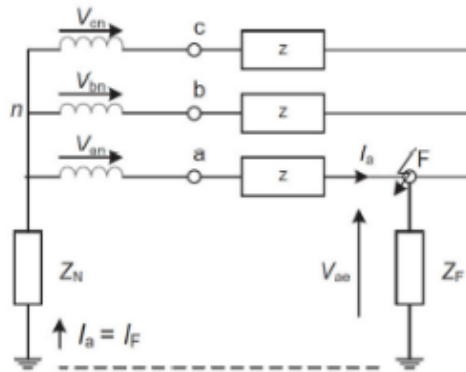
Tok, ki teče iz dveh faz na zemljo je seštevek tokov iz okvarjenih faz:

$$I_{1K2PZ} = I_b + I_c = 3V_f \frac{Z_2 - Z_0}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} = 3I_0$$

Napetost na tretjem vodu pa je:

$$V_a = 3V_f \frac{Z_2 Z_0}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1}$$

5.4 Enopolni zemeljski stik



Slika 8: Enopolni zemeljski stik.

Pri enopolnem zemeljskem stiku veljajo naslednji pogoji:

$$V_a = 0, I_b = 0, I_c = 0.$$

Z uporabo metode simetričnih komponent in zgornjih razmerij dobimo (upoštevali smo, da je impedanca Z_F kar enaka 0):

$$3I_{1\alpha} = I_a + \alpha I_b + \alpha^2 I_c = I_a$$

$$3I_{2\alpha} = I_a + \alpha^2 I_b + \alpha I_c = I_a$$

$$3I_0 = I_a + I_b + I_c = I_a$$

$$I_1 = I_2 = I_0$$

$$V_a = V_f - I_1 Z_1 - I_2 Z_2 - I_0 Z_0 = 0$$

Upoštevamo, da so vsi toki isti ter izrazimo ta tok:

$$I_{1KZS} = (3V_{1f}) / (Z_1 + Z_2 + Z_0)$$

Enopolni zemeljski stik se zaključuje samo čez zemljo, kar pomeni, da tok steče čez ozemljitveno impedanco na sekundarju transformatorja. Ker vsi izračuni temeljijo na enopolni nadomestni shemi, v praksi pa imamo samo eno ozemljitveno impedanco, v izračunu vzamemo trikratnik ozemljitvene impedance. To impedanco moramo upoštevati pri izračunu zemeljskostičnega toka in sicer jo prištejemo vsoti simetričnih impedanc:

$$I_{KZS} = (3V_f) / (Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_N)$$

Napetosti na zdravih vodnikih pa sta:

$$U_b = V_f \left[a^2 - \frac{a^2 Z_1 + a Z_2 + Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \right] m$$

$$U_c = V_f \left[a - \frac{a Z_1 + a^2 Z_2 + Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \right]$$

6 Računanje kratkih stikov

V prejšnji točki naloge je bilo predstavljeno računanje kratkostičnih veličin s pomočjo metode simetričnih komponent, ki temelji na osnovi razcepa nesimetričnega sistema na tri simetrične: sofazni, prostifazni in nični sistem. To metodo določa IEC standard za računanje kratkostičnih veličin v omrežju. Včasih pa ne potrebujemo natančnih izračunov. Takrat lahko uporabimo Steglichovo metodo oziroma metodo reduciranih padcev napetosti, s katero lahko na hiter in enostaven način dobimo dovolj dobre rezultate. Rezultat izračuna po tej metodi se napram rezultatu izračuna po metodi simetričnih komponent razlikuje nekje v območju 10%.

6.1 Steglichova metoda

S to metodo lahko izračunamo le simetrični tripolni kratki stik, kateri ponavadi predstavlja največjo kratkostično obremenitev v omrežju. Iz tripolnega kratkega stika lahko hitro dobimo velikost udarnega toka, ki predstavlja za elemente izziv za fizično trdnost.

Metoda uporablja procentualne padce napetosti na posameznem elementu v omrežju, reducirane na 1 MVA moči. Vse elemente nadomestimo s padci napetosti pri neki moči.

u – padec napetosti v procentih pri nazivnem toku

S_N - nazivna moč

u^2 – reduciran padec napetosti v procentih

$$\frac{u^2}{u} = \frac{S_{1MVA}}{S_N}$$

Če vzamemo za $S_{1MVA} = 1 \text{ MVA}$, dobimo reduciran padec napetosti:

$$u^r = \frac{u}{S_N}$$

6.1.1 Postopek računanja

1. Vsakemu elementu posebej določimo reduciran procentualni padec napetosti, glede na nazivne podatke.

Generator:

$$[u^r]_{1G} = [x^r]_{1d} / S_N$$

Transformator:

$$u^r_{tr} = \frac{u_k}{S_N}$$

Vod:

$$u^r_v = \frac{Z_v \cdot 100}{U_N^2}$$

Pri čemer je Z_v absolutna vrednost impedance voda.

Toga mreža:

$$[u^r]_{1tm} = (100 \cdot c) / [S^r]_{1k}$$

Pri čemer je faktor c korelacijski faktor in sicer:

- c = 1,1 za maksimalen KS na visoki napetosti
- c = 1 za minimalen KS na visoki napetosti
- c = 1,05 za maksimalen KS na nizki napetosti
- c = 0,95 za minimalen KS na nizki napetosti

2. Ko reduciramo vse elemente, moramo transformirati omrežje.

Vsak element nadomestimo s pravokotnikom, ki ga v primeru, da je element aktiven (toga mreža, generator) šrafiramo. Nadomestna shema sedaj zglada kot shema uporovega vezja.

Pri tem upoštevamo nekaj pravil kot pri uporovnih vezjih:

- Pri zaporednih elementih omrežja se procentualne padce napetosti seštevata.

Primer: $W_{gr}^f = W_g^f + W_{cr}^f$

- Pri vzporedni vezavi elementov omrežja, se padci napetosti seštejejo kot vzporedno vezani upori.

Primer: $W_{gr}^f = \frac{W_g^f \cdot W_{cr}^f}{W_g^f + W_{cr}^f}$

Če se združita aktiven in pasiven element vezja, se nastali element smatra kot aktiven.

3. Po transformaciji omrežja sledi izračun kratkostične moči, kratkostičnega toka in udarnega toka.

Začetno kratkostično moč izračunamo po enačbi:

$$[S^*]_{jk} = (100 \cdot c) / w^f$$

To ni dejanska moč na elementih, ampak posredna vrednost za izračun kratkostičnega toka. Ta moč je na vseh zaporednih elementih ista, preko nje pa izračunamo kratkostični in udarni tok na posameznem elementu.

Začetni kratkostični tok:

$$I_k = \frac{S_k}{\sqrt{3}U_N}$$

Udarni tok:

$$I_{uk} = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot I_k$$

Udarni tok je maksimalna temenska vrednost toka ob nastanku kratkega stika.
Če imamo shemo z vzporednimi elementi, lahko vpeljemo krožno moč S_{k0} . Velja, da je napetost v zanki enaka 0.

Primer izračuna krožne moči:

Imamo dva vzporedna elementa (u_1 in u_2). Predpostavimo, da po enem teče kratkostična moč (npr. po u_2), za drugega pa v zanko vpeljemo krožno moč. Ta teče čez drugi element v nasprotni smeri kot kratkostična moč.

Če upoštevamo, da je vsota napetosti v zanki enaka 0, dobimo:

$$S_{k0} \cdot u_1 + (S_{k0} - S_{k2}) \cdot u_2 = 0$$

Iz enačbe izrazimo in izračunamo krožno moč, ki teče čez element 1 in je dejanska moč na tem elementu. Moč na 2. elementu pa dobimo, če od kratkostične moči čez ta element odštejemo krožno moč.

7 Preprečevanje in odpravljanje kratkih stikov

Možnost nastanka kratkih stikov ne moremo popolnoma odpraviti, lahko pa jih zmanjšamo z ustreznimi izolacijami in vzdrževanjem elementov v sistemu, ter rednim čiščenjem daljnovodnih tras.

Obstaja več vrst ukrepov za zmanjšanje možnosti nastanka kratkih stikov. Za vsak vzrok posebej lahko najdemo kak način, s katerim bi to možnost zmanjšali.

Posledice udarov strel lahko omilimo z ustreznimi prenapetostnimi odvodniki, iskrišči, varovalkami. Da strela nebi zadela fazne vodnike, se na vrhu stebra montira ustrezne prevodne jeklenice.

Posledice dotika vodnikov z drevesom in nanešenih vej se lahko omili z rednejšim čiščenjem trase ali pa s širšo traso. Če v okolici ni drevja, le ta ne more pasti na daljnovode. Problem nastane, ker je teh tras ogromno in bi takšno delo zahtevalo veliko časa in denarja. Zato je bolj smiselno čistiti potencialno nevarnejše trase oziroma tiste, kjer bi okvara povzročila večje stroške zaradi nedobavljene energije.

Kratki stiki, predvsem na kabelskih omrežjih, lahko nastanejo zaradi neustrezno označene trase kabla, pri kakšnih večjih gradbenih delih ali izkopih. To preprečimo z označevanjem trase kablov na površju zemlje, oziroma z močnejšo fizično zaščito kablov.

Zaščita pred živalimi je lahko na dveh nivojih. Ena možnost je, da živalim preprečimo dostop do dotične opreme z raznimi ograjami, druga pa je, če že pridejo do opreme, da je le ta ustrezno izolirana, da se prepreči možnost nastanka kratkega stika.

Preprečevanje okvar zaradi prometnih nesreč se lahko lotimo na veliko načinov. Najučinkovitejši je pasivni način. To je, da opremo postavimo dovolj daleč od prometnih površin. Če to ni mogoče, je najbolj enostavno, da v območju ogrožene opreme uredimo omejitve hitrosti. Opremo lahko zaščitimo tudi z zaščitnimi betonskimi bloki. V širšem smislu pa bi lahko varnost opreme zagotovili z boljši vozniško kulturo in ozaveščanjem ljudi.

8 Delovanje kratkostične opreme

Kratkostična zaščita je zelo pomemben del elektroenergetskega omrežja, saj izklaplja uničujoče mnogokratnike nazivnega toka. Med kratkim stikom običajno steče zelo velik tok, ki termično obremenjuje vse elemente v omrežju. Namen kratkostične zaščite je, da te tokove zazna in čimprej izklopi, da ne pride do poškodb elementov. Ker je lahko upornost zanke v primeru kratkega stika daleč od generatorja velika, morajo biti zaščitne naprave nastavljene tako, da tudi tovrstno okvaro odkrijejo in odpravijo. V nasprotnem primeru so naprave prekomerno obremenjene, kar se kaže v krajših življenjskih dobah in prekomernem segrevanju, ki ponazarja izgube. Zaščita mora biti dovolj občutljiva, da zazna tudi minimalne kratke stike, ki lahko prinesejo nevšečnosti v sistemu. Biti mora zanesljiva, delovati mora vedno, v vseh pogojih, za kar mora biti redno vzdrževana. Pomembne so tudi časovne nastavitve zaščite oziroma časovni zamiki odklopov. Nastavljena mora biti tako, da odklopi samo okvarjeni del omrežja in to čim hitreje po nastanku kratkega stika. Če se prva najbližja zaščita na kratki stik ne odzove v predvidenem času, mora izključiti naslednji, bolj oddaljeni element v omrežju. Poznamo različne vrste zaščite, bolj ali manj uspešne in seveda tudi cenejše in dražje. Tudi tukaj velja ekonomski optimum, torej, da ni vedno najboljša najdražja rešitev.

Kratkostična zaščita torej mora biti:

- Hitra,
- Zanesljiva,
- Dovolj občutljiva,
- Selektivna,
- Ekonomična.

Poznamo več elementov s katerimi varujemo sistem pred kratkim stikom. Cilj teh elementov je čimbolj hitro in učinkovito prekiniti tok kratkega stika. Ob tem naletimo na problem, saj je omrežje induktivnega značaja in toka ne moremo v trenutku prekiniti. Ob razklenitvi tokokroga lahko pride do obloka, katerega moramo ustrezno ugasniti.

Primer zaščitnih elementov:

- Varovalke – prekinejo KS tok, hladijo oblok, ga podaljšajo, dovajajo svež zrak
 - Talilne
 - Eksplozivne
- Odklopniki – gašenje obloka
 - Vakumski
 - Oljni
 - Zračni
 - SF₆
- APV odklopniki – z avtomatskim ponovnim vklopom

- Instalacijski odklopniki – avtomatske varovalke

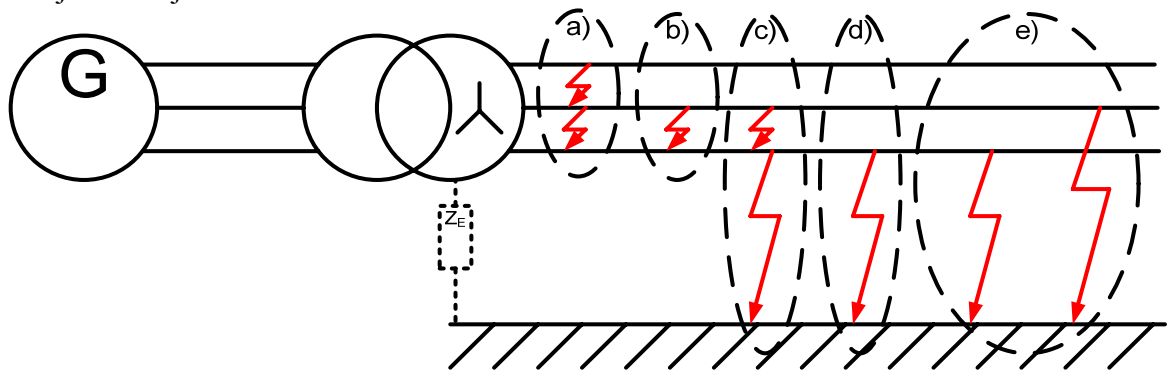
9 Zaključek

Poznavanje kratkih stikov je ključnega pomena za načrtovanje omrežja in njegove zaščite. Poznati moramo tako maksimalni kot minimalni kratki stik. Maksimalni tok termično obremenjuje naprave, zato morajo biti le te ustrezno dimenzionirane, da vse okvare preživijo in po prekinitvi nemoteno delujejo naprej. Ker je lahko upornost zanke v primeru kratkega stika daleč od generatorja velika, morajo biti zaščitne naprave nastavljene tako, da tudi tovrstno okvaro odkrijejo in odpravijo. V nasprotnem primeru so naprave prekomerno obremenjene, kar se kaže v krajšanju življenske dobe in na izgubah.

10 Vprašanja

1. Katere vrste kratkih stikov poznamo, narišite tudi ustrezne sheme?

- Tripolni kratki stiki
- Dvopolni kratki stiki
- Dvopolni zemeljski stiki
- Enopolni zemeljski stiki
- Dvojni zemeljski stiki



2. Kaj so glavni vzroki kratkih stikov v omrežju?

- Strela
- Dotik drevesa
- Okvara opreme
- Živali
- Veter

3. Kako preprečimo ali odpravimo kratke stike?

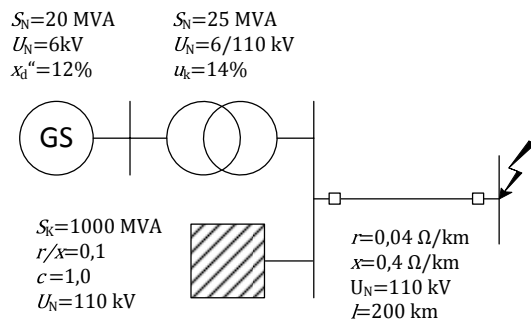
- Prenapetostni odvodniki, iskrišča, varovalke
- Redno čiščenje tras
- Redno vzdrževanje opreme
- Zaščitna izolacija opreme in ograje za živali
- Primerno označevanje trase kablovodov

4. Kako deluje kratkostična zaščita?

Prekine kratkostični tok z odklopom kontaktov in poskrbi za gašenje oblaka.

11 Domača naloga

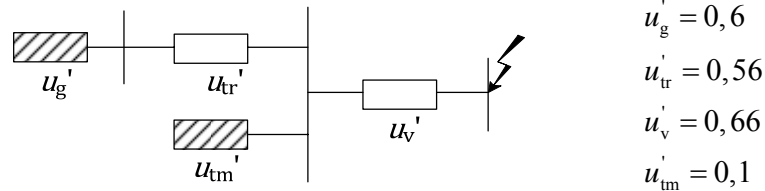
V spodaj narisanim omrežju določite vse toke in moči ob tripolnem kratkem stiku na označenem mestu z uporabo metode z reduciranimi procentualnimi padci napetosti.



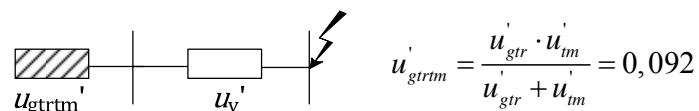
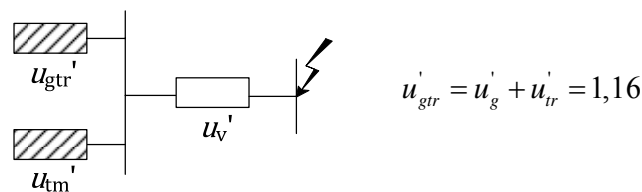
REŠITEV:

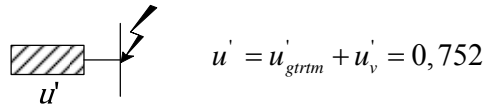
-

Nadomestna shema:



V tem primeru bomo uporabili preračun kratkostičnih veličin po elementih. Najprej izračunamo skupni procentualni padec napetosti.



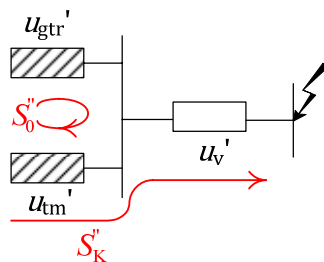


$$S''_K = \frac{c \cdot 100}{u'} = \frac{1,1 \cdot 100}{0,752} = 146,3 \text{ MVA}$$

$$I''_K = \frac{S''_K}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{146,3}{\sqrt{3} \cdot 110} = 0,77 \text{ kA}$$

$$I_u = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I''_K = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,77 = 1,96 \text{ kA}$$

Ko določimo kratkostične moči in tokove na mestu kratkega stika, se lahko lotimo računanja krožne moči, iz katere bomo določili kratkostične moči, ki tečejo po posameznih elementih omrežja, to je po generatorju, transformatorju in togi mreži.



$$S_0'' \cdot u_{grt}' + (S_0'' - S_K'') \cdot u_{tm}' = 0$$

$$S_0'' (u_{grt}' + u_{tm}') - S_K'' \cdot u_{tm}' = 0$$

$$S_0'' (u_{grt}' + u_{tm}') = S_K'' \cdot u_{tm}'$$

$$S_0'' = S_K'' \cdot \frac{u_{tm}'}{u_{grt}' + u_{tm}'}$$

$$S_0'' = 146,3 \text{ MVA} \cdot 0,1 \frac{1}{1,16 + 0,1} = 11,61 \text{ MVA}$$

Iz krožne moči izračunamo tokove po posameznih elementih.

$$S_g'' = S_{tr}'' = S_0'' = 11,61 \text{ MVA}$$

$$I_{Kg}'' = \frac{S_g''}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{11,61 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 6 \text{ kV}} = 1,12 \text{ kA}$$

$$I_{ug} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{Kg}'' = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,12 \text{ kA} = 2,85 \text{ kA}$$

$$I_{Ktr-p}'' = I_{Kg}''$$

$$I_{Ktr-s}'' = \frac{S_{tr}''}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{11,61 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 110 \text{ kV}} = 0,061 \text{ kA} = 61 \text{ A}$$

$$I_{utr-s} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{Ktr-s}'' = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 61 \text{ A} = 155 \text{ A}$$

$$S_{tm}'' = S_K'' - S_0'' = 134,69 \text{ MVA}$$

$$I_{Ktm}'' = \frac{S_{tm}''}{\sqrt{3} \cdot U_N} = \frac{134,69 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 110 \text{ kV}} = 0,71 \text{ kA} = 710 \text{ A}$$

$$I_{utm} = \chi \cdot \sqrt{2} \cdot I_{tm}'' = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 710 \text{ A} = 1807 \text{ A}$$

12 Viri in literatura

- [1] Abdelhay A. Sallam, Om P. Malik, Electric Distribution Systems, IEEE Press, 2011
- [2] Tom A. Short, Electric Power Distribution Handbook, CRC Press, 2004
- [3] Rafael Mihalič, zapiski s predavanj, Motnje v EES
- [4] Valentin Ažbe, zapiski z vaj, Motnje v EES
- [5] <http://leon.fe.uni-lj.si/media/uploads/files/Pedagosko%20delo%20Cepin/KRATKISTIKI.pdf>
(20. 4. 2017)