Mr Miodrag Vasiljević,
major, dipl. inž.

MERE ZAŠTITE U ELEKTROENERGETSKOM OBEZBEĐENJU

U članku su obrađene sve vrste zaštite od previsokog do-
dirnog napona, uz poseban osvrt na to kom tipu NN mreže
po svojoj suštini pripadaju. Takođe, navode se i ograniče-
nja upotrebe tih mera.

Svi navedeni problemi analizirani su u odnosu na njihovu
primenu u mrežama koje možemo sresti i u Vojsci Jugo-
slavije, iz čega proističu i određeni zaključci. U članku ima
puno ilustracija (slika) koje se kod nas retko mogu naći u
literaturi, posebno u onoj koja se eventualno bavi ovom pro-
blematikom u VJ.

Uvod

Kada govorimo o merama zaštite u
elektroenergetskom (EEn) sistemu, mi-
slimo, pre svega, na zaštitu od indirek-
tnog napona dodira, pod čim se pod-
razumeva dodir delova nekog pogon-
skog sredstva koji u normalnom reži-
mu rada nisu pod naponom već se taj
napon može na njima pojaviti samo
usled greške (kvara). To je potrebno po-
seбно istaći jer postoji i zaštita od di-
rektnog dodira, koja tretira zaštitu od
dodira delova pogonskih sredstava ko-
ja jesu u normalnom pogonu pod na-
ponom (aktivni strujni krugovi). Za nas,
u Vojsci Jugoslavije, značajne su obe
zaštite. Zato ćemo dati pregled tih me-
ra sa svim najvažnijim osobinama, nji-
hovu primenu i kritičku analizu.

Zaštita od direktnog dodira

Aktivni strujni krugovi pogonskih
sredstava, koji su za vreme pogona pod
naponom, moraju biti zaštićeni izola-
cijom ili moraju biti nedostupni za slu-
čajni dodir. Zaštita od direktnog (slu-
čajnog) dodira aktivnih delova provodi
se na sledeće načine [1, 2]:

- zatvaranjem,
- položajem, i
- rasporedom.

Zatvaranje se provodi raznim pre-
gradama, rešetkama, poklopcima, i sl.,
koje onemogućavaju da čovek nepaž-
njom dodirne delove pod naponom.

Zaštita položajem provodi se stav-
ljanjem »aktivnih delova« (delova pod
naponom) izvan čovekovog domašaja
(najčešće ruke). To, konkretno, znači da
se neizolovani delovi pogonskih sred-
stava moraju nalaziti na visini od 2,5 m
od mogućeg čovekovog stajališta, a u
horizontalnom smeru ili naniže na uda-
ljenosti 1,25 m.

Zaštita rasporedom obuhvata mere
kojima se aktivni delovi raspoređuju
unutar nekog postrojenja ili uređaja,
tako da se onemogući direktan dodir
bez upotrebe nekog alata.

Sve navedene mere, najčešće kao
kombinacija, prisutne su i kod nas u VJ.

Zaštita od indirektnog dodira

Suština zaštitnih mera u EEn sis-
temu odnosi se upravo na ovu vrstu za-
štite. No, da bi se ona mogla potpuno
razumeti potrebno je, pre toga, nešto
više reći o nekim pojmovima koji se
ovde koriste i susreću.

*Tipovi niskonaponskih (NN)
mreža*

Koja će se zaštita od indirektnog
dodira primeniti zavisi upravo od tipa

niskonaponske mreže. Sam pojam nn mreže je, inače, vezan za naponski nivo do 1 kV nazivnog napona, a to je napon koji se sreće kod trošila, a, isto tako, i kod naših pogonskih sredstava i uređaja u VJ. Postoje sledeća tri tipa nn mreža [1, 2]:

— TT mreža (slova TT su početna slova latinske reči terre, što znači — zemlja, pa nam ta slova govore da su i el. izvor i masa pogonskog sredstva uzemljeni);

Sl. 1 — Tipovi mreža

— TN mreža (N je početno slovo latinske reči neutre, što znači — neutralno, pa sada ti simboli govore da je el. izvor uzemljen, a da je pogonsko sredstvo »nulovano«), i

— IT mreža (I je početno slovo latinske reči isole, što znači — izolovano,

pa sada ti simboli označavaju mrežu kod koje je izvor izolovan, a masa pogonskog sredstva uzemljena).

Svi ovi tipovi mreža prikazani su na slici 1.

Zaštitne mere od indirektnog dodira

U NN mrežama primenjuju se sledeće vrste zaštite od indirektnog dodira:

- zaštitno uzemljenje;
- strujna zaštitna sklopka (ZS ili FI sklopka);
- naponska zaštitna sklopka (ZN ili FN sklopka);
- nulovanje;
- sistem zaštitnog voda, i
- kontrolnici izolacije.

Sl. 2 — Uzemljeno pogonsko sredstvo sa domesnom shemom

Sve ove zaštitne mere imaju zaštitni vod. No, pored njih, postoje i zaštitne mere bez zaštitnog voda, i to:

- zaštitno izolovanje,
- primena malog napona, i
- zaštitno odeljivanje.

Ove zaštitne mere nisu vezane za pojedine tipove NN mreža.

Zaštitno uzemljenje

Ova vrsta zaštite primenjuje se u TT i IT mrežama. Kod TT mreže izvedeno je posebno pogonsko uzemljenje (uzemljenje el. izvora) i posebno uzemljenje trošila zaštitnim vodom, a kod IT mreže je razlika samo u tome što je električni izvor izolovan. Da bi objasnili ovu vrstu zaštite, pogledajmo sledeću sliku (sl. 2) jedne TT mreže [1]:

Na ovoj slici oznake imaju sledeće značenje: U — fazni napon, R — trošilo, R_z — zaštitno uzemljenje, R_k — otpor na mestu kvara, $R_{\check{c}}$ — otpor čovečijeg tela, R_{st} — otpor stajališta, R_p — pogonsko uzemljenje, R_{L3} — otpor jedne faze, R_N — otpor neutralnog voda, xR — otpor dela trošila gde je došlo do kvara, I_k — struja kvara, I_z — struja kroz zemlju, $I_{\check{c}}$ — struja kroz čovečije telo, $I_{Rz} = I_z - I_{\check{c}}$, U_d — dodirni napon i U_k — napon greške.

Ne ulazeći u izvođenje, napisaćemo samo formulu za struju I_z [1, 3]:

$$I_z = \frac{U (xR + R_N)}{(R_{L3} + R - xR) (xR + R_N) + (R_k + R_x + R_p) (R_{L3} + R + R_N)} \quad (1)$$

gde je:

$R_x = R_z$ u paraleli sa $(R_{\check{c}} + R_{st})$. Ukoliko se u ovom izrazu zanemare R_{L3} i R_N , što je sasvim realno u odnosu na druge vrednosti otpora, i uzme najnepovoljnija situacija da je $x=1$ (do kvara došlo na početku trošila), dolazi se do sledeće relacije za struju I_z :

$$I_z = U / (R_k + R_x + R_p), \text{ pa je onda}$$

$$I_{\check{c}} = \frac{U}{(R_k + R_{\check{c}} + R_{st} + R_p) + (R_{\check{c}} + R_{st}) (R_k + R_p) / R_z} \quad (2)$$

Najnepovoljniji slučaj bi se dogodio kada bi bilo $R_{st}=0$ (tlo na kome se stoji provodno) i $R_k=0$ (potpuna provodnost na mestu kvara). Tada je iz 2:

$$I_{\check{c}} = U / \{ (R_{\check{c}} + R_p) + R_{\check{c}} R_p / R_z \} \quad (3)$$

Ovaj izraz je vrlo interesantan, jer sada možemo iz njega uočiti nekoliko važnih stvari [1]:

— za idealno uzemljeno trošilo $R_z=0$, sledi da je $I_{\check{c}}=0$;

— praktično, isti rezultat dobija se i kada je idealno izolovano stajalište ($R_{st}=\infty$) ili kada je trošilo izvedeno od dobrog izolovanog materijala ($R_k=\infty$);

— ako se uzme da je otpor $R_{\check{c}}=1600$ oma, $R_p=2$ oma (što je realno), $U=220$ V i $I_{\check{c}}=0.03$ A (što se smatra stujom koja nije opasna po čoveka), dobije se iz izraza (3) da je:

$$R_z \leq \frac{I_{\check{c}} R_{\check{c}} R_p}{U - I_{\check{c}} (R_{\check{c}} + R_p)} \leq 0.56 \text{ oma} \quad (4)$$

što je vrednost koju je gotovo nemoguće postići na terenu.

— ako je R_z beskonačno veliki otpor — nema uzemljenja, onda je iz (3):

$$I_{\check{c}} = U / (R_{\check{c}} + R_p) = 220 / (1600 + 2) = 0.14 \text{ A} \quad (5)$$

što je nedopustiva vrednost struje.

Iz svega toga sledi nekoliko važnih zaključaka:

1° OVA ZAŠTITNA MERA MOŽE SE USPEŠNO KORISTITI KOD TT MREŽA SAMO AKO ONE NISU »PREJAKE«, ODNOSNO AKO NEMAJU TROŠILA VELIKE SNAGE KOJA BI UZIMALA VELIKU STRUJU.

Ako se pogleda slika 2, može se uočiti da je vrednost R_z određena pri-

bližno relacijom: $R_z \leq U_d/I_a$, gde je I_a struja aktiviranja zaštitnog organa (osi-

Kod IT mreža (sl. 4) [1] može se izvesti sledeći izraz za struju $I_{\check{c}}$:

$$I_{\check{c}} = \frac{3U}{R_{\check{c}}} \times \left\{ (1/R_i^2) / [(1/R_{\check{c}} + 3/R_i) + 9\omega^2 C^2] \right\}^{1/2} \quad (7)$$

gurača npr.) koja je jednaka kI_n (k — faktor čija vrednost zavisi od upotrebljenog zaštitnog organa, a I_n — nazivna struja zaštitnog organa). Prema tome, ako je u pitanju jaka mreža sa trošilima velike snage koja uzima veliku struju biće i I_a veliko, pa će biti potreban mali R_z da ne bi došlo do pojave velikog napona dodira U_d .

PRIMER: [3] $U_d = 50$ V, $k = 3.5$ (brzi instalacioni osigurači) i $I_n = 16$ A sledi da je potreban $R_z \leq \frac{50}{3.5 \times 16} \leq 0.9$

oma, što je teško postići

2° BILO KAKVO UZEMLJENJE JE BOLJE NEGO DA GA UOPŠTE NEMA.

3° POGONSKO UZEMLJENJE, TAKOĐE, MORA IMATI MALU VREDNOST DA BI BIO ZADOVOLJEN USLOV $R_p = 50/(kI_{n\max})$, GDE SE SADA RAČUNA SA STRUJOM ZAŠTITNOG ORGANA KOJI ŠTITI NAJJAČE TROŠILO U MREŽI.

4° AKO JE ZAŠTITA IZVEDENA PREKO ZAJEDNIČKOG UZEMLJIVAČA (SPOJ ZAŠTITNOG I POGONSKOG UZEMLJENJA SA PROVODNOM VODOVODNOM MREŽOM [1] NPR. — SL. 3) ONDA SE MOŽE VIDETI DA ĆE TADA R_z BITI MOGUĆE IZVESTI LAKŠE:

$$R_{pz} \leq U/kI_n, \text{ gde je } R_{pz} = R_p + R_z \quad (6)$$

Odavde se može lako odrediti vrednost za R_z ako se uzmu realne vrednosti za $R_p = 2$ oma, $U = 220$ V, $k = 3.5$ (brzi instalacioni osigurači) i $I_n = 16$ A (npr.):

$R_z \leq 220/(3.5 \times 16) - 2 = 1.92$ oma, što se sigurno lakše može postići nego u slučaju pojedinačnog uzemljivača (1°). Dakle, rešenje sa zajedničkim uzemljivačem je povoljnije.

Sl. 3 — Spoj zaštitnog i pogonskog uzemljenja sa provodnom vodovodnom mrežom

gde je:

R_i — izolacioni otpor, C — kapacitet prema zemlji i $\omega = 2\pi f$ (f je frekvencija struje u mreži i obično je 50 Hz).

Sl. 4 — IT mreža

Kod nadzemnih i instalacionih vodova je $C \approx 0$, pa je $I_{\check{c}} = 3U/(R_i + 3R_{\check{c}})$. Za neke realne vrednosti $U = 220$ V, $R_{\check{c}} = 1600$ oma i $I_{\check{c}} \leq 0.03$ A bilo bi:

$$R_i \geq (3U - 3I_{\check{c}}R_{\check{c}})/I_{\check{c}} \geq 17200 \text{ oma}$$

Ako je, pak, R_i beskonačno velik, a C ne možemo zanemariti, onda je izraz za $I_{\check{c}}$ sledeći:

$$I_{\check{c}} = \frac{3U\omega C}{(9R_{\check{c}}^2\omega^2 C^2 + 1)^{1/2}} \quad (8)$$

Za IT mrežu, takođe, možemo dati neki zaključak u odnosu na ovu zaštitu, a on bi bio da: U IT MREŽAMA MORAJE BITI IZUZETNO DOBRO IZVEDENA IZOLACIJA.

— OGRANIČENJA UPOTREBE —

Kod TT mreža ova vrsta zaštite može se koristiti samo slaba trošila a kod IT mreža mora se voditi računa da bude dobro izvedena izolacija.

Strujna zaštita sklopa

Zaštita strujnom zaštitnom sklopom je mera koja se, po svojoj prirodi, pre svega, koristi kod TT mreža, ali ćemo videti da se može upotrebiti i kod ostalih tipova mreža uz određene modifikacije [3]. To je važno znati jer je ovo jedna od najefikasnijih i najsigurnijih mera zaštite.

Sl. 5 — Strujna zaštitna sklopka (FI)

Sl. 6 — Princip delovanja FI sklopke

njih mera zaštite. Princip delovanja ove sklopke prikazan je na slikama 5 i 6 [1].

Kao što se vidi, u nekom trofaznom sistemu kalem obuhvata provodnike kroz koje protiču električne struje. Kod ravnomerno opterećenog trofaznog sistema njihov zbir je jednak nuli, pa je ukupni fluks, takođe, nula, te nema magnetisanja jezgra a ni indukovanja elektromotorne sile u sekundarnom kolu elektromagneta koji bi isključio strujni krug. No, kada se ravnoteža poremeti usled kvara na trošilu, te odvođenja dela struje kroz zemlju (sl. 6), ukupni fluks više nije nula već se javlja neka razlika (diferencija), usled čega dolazi do indikacije ems u navojku elektromagneta koji aktivira kotvu koja isključuje kontakte sklopke. Na ova jnačin je isključeno i trošilo sa mreže. Zbog toga što ova sklopka deluje na principu razlike struje (odnosno fluksa) u elektromagnetu naziva se i diferencijalna strujna zaštitna sklopka.

Inače, tipkalo T na slici 5 ima zadatak da omogući aktiviranje FI sklopke onda kada mi sami želimo da prekontrolišemo njen rad (što je sa slike sasvim jasno).

Kao podatak na sebi ova sklopka ima vrednost nazivne struje i podatak o struji diferencije koja je aktivira. Struje diferencije za koje se rade ove sklopke (I_{kn}) su: 0.03; 0.3 i 0.5 A. Odatle sledi važan zaključak koji, zapravo, i daje osnovni kvalitet ovoj vrsti zaštite, a taj je:

— VREDNOST OTPORA UZEMLJENJA KOJU JE POTREBNO POSTIĆI KOD TT MREŽA DA BI OVA VRSTA ZAŠTITE BILA EFIKASNA JE DALEKO VEĆA (samim tim lakše izvodljiva) NEGO KOD ZAŠTITE ZAŠTITNIM UZEMLJENJEM (što je bila osnovna mana te zaštite).

To se lako može pokazati na sledećem primeru:

— iz poznate relacije da je $R_z \leq U_d / I_a$, a pošto je ovde $I_a = I_{kn}$, sle-

di da je potrebno izvesti da R_z bude 1667 ($I_{kn}=0.03$ A), 167 ($I_{kn}=0.3$ A) ili 100 oma ($I_{kn}=0.5$ A). [3]

Ova zaštitna mera može se upotrebiti i kod ostala dva tipa mreže, ali sa određenim izmenama [1.3]. Kod TN mreže (sl. 7) ova se mera može primeniti, ali pod uslovom da se izvede dodatno uzemljenje. Ukoliko se to ne bi izvelo onda bi se struja greške vratila kroz sklopku, pa je ona ne bi ni registrovala, odnosno ne bi se pojavio fluks koji treba da dovede do indukcije ems i aktiviranja sklopke.

Sl. 7 — Upotreba FI sklopke kod TN mreže

Sličan problem se javlja i kod IT mreže. Da bi se ovde stvorili uslovi da struja greške bude odvedena kroz zemlju, odnosno da bi se zatvorio strujni krug ove struje, mora se na izvoru (zvezdištu) napraviti neki otpor. Ali, da bi ova mreža ostala IT, taj »otpor« ne može biti ma kakav već jasno samo prividni, znači impedanca određene vrednosti. Pod tim se podrazumeva da zvez-

dište ostane »izolovano«, a da istovremeno postoje uslovi za provod struje greške. Ova vrsta zaštite se kod nas ne koristi, ali postoji, i to kao glavna mera, Francuskoj npr [3].

— OGRANIČENJA UPOTREBE —

Prvo ograničenje upotrebe je upravo ono što se odnosi na primenu ove zaštitne mere kod mreža TN i IT.

Drugo o čemu treba voditi računa jeste da otpor izolacije mora imati dovoljno veliku vrednost da ne bi došlo do pojave struje greške i kada kvara nema. Ta vrednost bi bila:

$$R_{i_{min}} = U/I_{kn}, \text{ te za standardne vrednosti } I_{kn} \text{ bi bilo } 7333,733 \text{ ili } 440 \text{ oma.}$$

Treće ograničenje se odnosi na to da kod projektovanja instalacija treba izbegavati da se jedna ovakva sklopka upotrebi za zaštitu većeg broja trošila. Dva su razloga za to: prvo, što bi u slučaju kvara na jednom trošilu iz pogona ispala i ostala, a drugi što uređaji imaju neke manje izolacione struje koje protiču prema zemlji, ali koje u sumi mogu već poprimiti vrednosti struja aktiviranja [1].

Sl. 8 — U slučaju dvostrukog kvara sklopka neće delovati

Četvrto ograničenje odnosi se na to da u slučaju dvostrukog kvara blizu trošila (sl. 8) najverovatnije ova zaštita neće reagovati [1, 3].

Naponska zaštitna sklopka

Ova vrsta zaštite primenjuje se i kod TN i kod TT mreže, dakle u kombinaciji sa nulovanjem ili zaštitnim uzemljenjem. Izgled sklopke je dat na slici 9 [3].

Sl. 9 — Naponska zaštitna sklopka (FN)

Sklopka treba da deluje kada dođe do pojave napona na kućištu trošila, koji »tera« struju kroz zaštitni vod i kalem R_{kl} do pomoćnog uzemljivača R_{pom} . Pri tome je struja vrlo malih iznosa. Glavna prednost ove zaštite je relativno velika vrednost otpora uzemljenja R_{pom} koja se zahteva. Na primer, za uobičajenu vrednost aktiviranja sklopke od 0.04 A i $R_{kl}=400$ oma, uz $U_d=50$ V se dobija:

$$R_{pom} = \frac{U_d - I_a \times R_{kl}}{I_a} = 850 \text{ oma} \quad (9)$$

Preporučuje se da ova vrednost ne prelazi 800 oma.

ZN sklopka mora biti zaštitno izolovana, što se postiže ugradnjom sklopke u izolaciono kućište. Inače, i ova sklopka (vidi sliku) ima tipku za kontrolu ispravnosti kao i ZS sklopka.

— OGRANIČENJA UPOTREBE —

Prvo što treba znati jeste da se R_{pom} ne sme nalaziti u naponskom levku drugih uzemljivača, jer bi u tom

slučaju moglo doći do pojave napona na kućištu ili do pogrešnog okidanja sklopke. To, praktično, znači da od najbližeg uzemljivača R_{pom} treba da bude udaljen 10—20 m.

Drugo ograničenje odnosi se na to da se ne sme premostiti kalem otpornosti R_{kl} , eventualnim vezivanjem na nulti provodnik, jer tada sklopka najverovatnije neće delovati ili se, pak, može pojaviti napon na masi.

Nulovanje

To je zaštitna mera kod koje je vrlo važno osigurati dovoljno veliku struju kroz strujnu petlju kvara i zaštitni organ najbliži mestu kvara, kako bi zaštitni organ delovao i izbacio vod iz pogona. S obzirom na to, bilo bi [1]:

$$I_p \geq I_a = k I_n,$$

gde je:

I_p struja prekida (ostale veličine su ranije definisane).

Da bi to bilo ispunjeno, mora postojati mali otpor petlje kvara.

Da bi imali dovoljno veliku struju, ukupni otpor uzemljenja mora imati vrednost $R_p \leq 2.0$ oma, što je dobijeno pod uslovom da je $U_d=50$ V, $R_k=5$ oma (to je minimalna vrednost). Pri tome je značajno znati i dužinu do koje je ova zaštita efikasna i koja se naziva kritičnom dužinom. Ona se dobija iz izraza [1]:

$$Z = U/I_p \Rightarrow Z \leq U/I_p = U/k I_n \quad (10)$$

Ovde je Z impedancija kratkospojne petlje, koja je, uglavnom, radnog karaktera, pa vredi:

$$2 \times \rho l / S \leq U/k I_n \Rightarrow l_{kr} \leq \frac{U S}{2 k I_n} \quad (11)$$

Znači, za mesta kvara na većoj udaljenosti od l_{kr} , ova zaštita je neefikasna.

Pošto je ovde neutralni vod uzemljen (otud naziv nul vod ili »nula«), on se mora održavati na što nižem potencijalu bliskim nuli. To znači da mora biti uzemljen na kraju svake deonice od 200 m. Jedan od načina da se održi niski potencijal jeste i poboljšanje simetrije opterećenja. Takođe, ukupni otpor uzemljenja u prečniku 200 m oko izvora (trafostanice) mora biti do 5 oma.

Treba strogo voditi računa da se nulvod ne prekida ni na jednom mestu, jer bi u tom slučaju (slika 10) pogonsko sredstvo dobilo na masi pun fazni napon. Zato se zabranjuje i stavljanje osigurača u nulvod.

Sl. 10 — Prekid nulvoda — fazni napon na nulvodu

Nulovanje zaštitnim vodom na ulazu u neki objekat izvodi se kao na slici 11 [1]:

— OGRANIČENJA UPOTREBE —

Strogo je zabranjeno istovremeno koristiti zaštitno uzemljenje i nulovanje (slika 12). Tada se može na svim trošilima koja su nulovana pojaviti previsok dodirni napon [1].

Sl. 11 — Nulovanje sa zaštitnim vodom

Sl. 12 — Opasnost upotrebe nulovanja i zaštitnog uzemljenja na istoj mreži

PRIMER: ako je neko trošilo dobro uzemljeno sa $R_z = 1 \text{ om}$, uz $R_p = 2 \text{ oma}$ biće: $I_p = U / (R_p + R_z) = 73.3 \Rightarrow U_d = I_p R_p = 146.6 \text{ V}$ i taj se napon prenosi duž celog neutralnog voda.

Takođe se mora voditi računa da ne dođe do istovremenog dodira trošila šticećenog nulovanjem i onog šticećenog izolovanim stajalištem (ili zaštitnim uzemljenjem), jer će se onda premostiti direktno fazni napon. Zato treba izbegavati upotrebu priključnica sa i bez zaštitnog kontakta u istoj prostoriji.

Sistem zaštitnog voda

Bez obzira na to što će na kraju biti data analiza zaštitnih mera s posebnim naglaskom na one mere koje su VJ najznačajnije, treba odmah reći da su sve mere vezane za IT mrežu od posebnog značaja. Tim pre se to odnosi na

Sl. 13 — Sistem zaštitnog voda

one zaštitne mere koje su upravo specifične samo za IT mrežu. To se, naravno, odnosi i na sistem zaštitnog voda. Sam princip zaštite je prikazan na slici 13.

Ovde se povezuju sva kućišta sa metalnim konstrukcijama objekata ili sa vodovodnom instalacijom ili, pak, sa uzemljivačem čiji je zadatak da se sve dovede na potencijal zemlje i ne sme se poistovetiti sa uzemljivačem kod TT mreže. Pri tome otpor uzemljenja sabirnog zaštitnog voda ne sme biti veći od 20 oma. Ukoliko je to neizvodljivo mora se postaviti zaštitni relej koji će isključiti celu instalaciju ako se pojavi veći napon od 50 V između sabirnog voda i zemlje. Ova zaštita zahteva kontrolu izolacije prema zemlji koja se provodi zvučno i svetlosno.

Ova vrsta zaštite koristi se kod instalacija kojima je nulta tačka strogo izolovana, a to je, uglavnom, kod manjih mreža koje su nama posebno interesantne npr. (elektroagregati).

— OGRANIČENJA UPOTREBE —

Ovde ne postoji nešto što bi predstavljalo posebno ograničenje upotrebe sem što treba istaći da u slučaju dvostrukog kvara ova zaštita nije efikasna, što je inače karakteristično za IT mrežu uopšte.

Kontrolnici izolacije

Ova mera prikazana je na slici 14, a slična je prethodnoj. Naime, pošto se radi o istom tipu mreže, gde se ona koristi kao i prethodna mera, jasno da će postojati velika sličnost među njima. Kod IT mreže u slučaju zemljospoja jedne faze neće se ništa dogoditi, jer strujni krug nema gde da zatvori. No, dobro je znati da se to ipak dogodilo, po red ostalog i zbog toga što se tada fazni napon može pojaviti na neutralnom provodniku kod četvorovodnih sistema. U tu svrhu upravo se i koriste kontrol-

nici izolacije koji mere izolacioni otpor (izolacioni nivo) i signaliziraju opasnost ili prekidaju glavni strujni krug.

Sl. 14 — Kontrolnik izolacije

Naravno, signalizacija se daje i kada vrednost izolacionog nivoa padne ispod određene vrednosti. Inače, sama vrednost otpora izolacije se utvrđuje prema struji kroz čovekov organizam koja kod ovakvih sistema ima vrednost [1]:

$$I_{\text{č}} = 3U / (R_{\text{iz}} + 3R_{\text{č}}) \quad (12)$$

Zaštitno izolovanje

Sada će biti objašnjene mere koje nisu isključivo vezane za pojedini tip mreže već se mogu primeniti posebno ili u kombinaciji sa drugim merama. Jedna od takvih mera je i zaštitno izolovanje. Za ovu vrstu zaštite analiziraćemo sliku 15.

Struja kroz čovekov organizam određena je naponom i otporom i u ovom slučaju, uz $R_{\text{z}} = \infty$, iznosi približno:

$$I_{\text{č}} = U / (R_{\text{k}} + R_{\text{č}} + R_{\text{st}} + R_{\text{p}}), \quad (13)$$

Da bismo smanjili ovu struju, realno možemo uticati na R_{st} i R_{k} . Na otpor mesta kvara R_{k} može se uticati poboljšanjem izolacije samog kućišta (mase), a na otpor stajališta R_{st} boljom izolacijom podloge. Pri tome treba na-

Sl. 15 — Neuzemljeno pogonsko sredstvo sa nadomesnom shemom

glasiti da lična sredstva zaštite (rukavice, čizme, i sl.) spadaju u dopunska zaštitna sredstva. Neki autori u dopunska sredstva ubrajaju i podloge, jer ih smatraju nepouzdanim [2]. Ova vrsta zaštite je najefikasnija ako se primeni na samo trošilo i njegove strujne krugove, a svakako se može preporučiti kao dopunska mera gde god je to moguće. No, moramo odmah napomenuti da se ne treba zanositi da ona može da zameni neku od osnovnih zaštitnih mera karakterističnih za pojedine tipove mreža.

— OGRANIČENJA UPOTREBE —

Kombinovanje ove mere sa zaštitnim uzemljenjem treba izbegavati. Ako je u istoj prostoriji s izolacionim podom više trošila koja su nadohvat ruke treba međusobno spojiti njihova kućišta (mase), što predstavlja izjednača-

vanje potencijala. Takođe, kod ove vrste zaštite moraju biti izolovani svi vodljivi delovi koji su u spoju sa zemljom, a nadohvat su ruke.

Primena malog napona

Sam pojam malog napona određen je na osnovu toga što se zna da je iznos struje opasne po čoveka 0.03 A, a da vrednost otpora čovekovog organizma iznosi cca 1600 oma. Iz toga sledi da je dozvoljeni napon:

$$U_d = I_{\check{c}} \times R_{\check{c}} = 48 \text{ V, odnosno} \quad (14)$$

50 V standardizovano

Prema tome, primena malog napona do najviše 42 V (može biti i 24 ili 12 V) po svojoj prirodi isključuje mogućnost izlaganja prevelikoj struji. Ova zaštita provodi se na taj način što ne postoji nikakva galvanska veza između mreže niskog napona i strujnih krugova malog napona. Zato se, kao izvori malog napona, javljaju:

- sigurnosni transformatori;
- pretvarači s električki odvojenim namotima;
- akumulatori, i
- galvanski elementi.

Jasno je da je i ova mera interesantna za VJ.

Kod sigurnosnih trafoa su primar i sekundar potpuno odeljeni izolacionom pregradom, a sekundarni strujni krugovi su neuzemljeni. Priključnice na sekundarnom delu su takve da u njih mogu da uđu samo specijalni utikači. Ova mera se često koristi kod nas u terenskim uslovima za napajanje slabih trošila i rasvete, a pri tome je sav instalacioni pribor izrađen za naponski nivo do 250 V.

— OGRANIČENJA UPOTREBE —

Kao izvor malog napona ne smeju se koristiti: autotransformatori, delitelji napona, ispravljači napajani iz au-

totrafoa i delitelja i pretvarači sa zajedničkim namotima [1,].

Nedostatak ove mere jeste što je zbog konstrukcionih i ekonomskih razloga ograničena snaga izvora na 5 kVA.

Zaštitno odeljivanje

Ova mera izvodi se, uglavnom, transformatorima nazivnog odnosa transformacije 1:1 uz galvansko odvajanje primarnog i sekundarnog namota. Pri tome se zaštita bazira na tome da u slučaju kvara stujni krug nema gde da se zatvori (slično kao kod IT mreže). To ilustruje slika 16.

Sl. 16 — Zaštitno odeljivanje

Odeljivački trafoi moraju imati čvrsto postavljenu priključnicu uz mogućnost priključka jednog trošila do max. 16 A. Pri tome najviši linijski napon na primeru sme da bude 500 V, a na sekundaru 380 V. Priključnica na sekundaru mora da bude bez zaštitnog kontakta.

— OGRANIČENJE UPOTREBE —

U slučaju zemljospoja priključnog voda, uz istovremeni kvar na trošilu,

postoji mogućnost zatvaranja strujnog kruga, pa je otuda bitno koliko je veliki otpor stajališta sa svim dopunskim otporima.

Zaštitne mere u EEnOb VJ

Kada govorimo o zaštitnim merama u elektroenergetskom obezbeđenju VJ, treba znati koji je tip mreže zastupljen, odnosno koji je izvor električne energije korišćen za njeno napajanje [5]. Kao izvori električne energije u VJ se koriste: hemijski izvori električne energije (HIEE) i elektroagregati. Pri tome se misli na autonomne izvore koji se, uglavnom, koriste u terenskim uslovima rada, naime jasno je da se u stacionarnim uslovima rada koristi distributivna mreža. Ovde se, takođe, ne govori o električnim izvorima kao što su, eventualno, ispravljači i pretvarači, jer ih možemo smatrati kao »posrednike« u napajanju između mreže i trošila.

Kada je izvor električne energije HIEE, primarni ili sekundarni (akumulatori) svejedno, onda je svakako u pitanju mali napon koji ne prelazi 50 V. Kada je u pitanju elektroagregat (EA) kao izvor električne energije, onda je to izvor sa neuzemljenim zvezdištem, pa imamo tipičan primer IT mreže [5].

Zaključak

Može se konstatovati da postojeće rešenje zaštite od indirektnog dodira u mrežama VJ zadovoljava. No, ipak, s tim u vezi treba istaći još neke aspekte ovog problema.

Potrebno je razmotriti i zaštitu pomoću strujne zaštitne sklopke koja bi bila prilagođena za IT mrežu [3]. U tom smislu može se koristiti iskustvo koje postoji u električnoj distributivnoj mreži Francuske. Naime, prilagođenje o kome je reč ogleda se u tome da se na zvezdište transformatora (kao

izvora) veže impedancija Z_t prema zemlji, pa je onda struja greške:

$$I_g = U_g / 3Z_t \quad (15)$$

gde je:

$U_g = U / \sqrt{3}$, dok je uslov za uspešno delovanje zaštite $I_g > I_a$ (pogledati deo koji se odnosi na FI sklopku !) [3].

Pored ovih vrsta zaštite treba još naglasiti da u obzir mogu doći i zaštitne mere bez zaštitnog voda, kao što su izolacija i galvansko odvajanje pomoću odvojenih transformatora. Izola-

cija kao zaštitna mera treba da se koristi inače kao dopunska mera, bez obzira na osnovnu vrstu zaštite koja je, eventualno, primenjena.

Poseban problem može da predstavlja, u smislu zaštite od indirektnog dodira, priključenje na distributivnu mrežu u nekim vanrednim prilikama. Tu se, pre svega, misli na korišćenje razvoda sa elektroagregata čija se razvodna tabla koristi u te svrhe. Tada je obavezno da se zaštitne mere usklade, i tada treba poznavati karakteristike zaštitnih mera koje se primenjuju u distributivnoj mreži.

Literatura:

- [1] Vjekoslav Srb, Električne instalacije i niskonaponske mreže (Tehnička knjiga — Zagreb, 1982).
- [2] Dragutin Lj. Petrović, Električne instalacije (Tehničk knjiga — Beograd, 1981).
- [3] Vasiljević Miodrag, Izbor kabela i tipa mreže za rad u posebnim uslovima (magistarski rad — ETF Zagreb, 1986).

- [4] Nikola Lj. Nikolić, Opasnost i zaštita električne struje (Institut za dokumentaciju zaštite na radu — Niš, 1979).
- [5] — — — — —, Elektroagregati (TU SSNO — Beograd, 1970).