
6. ZAŠČITA ZBIRALK IN ZAŠČITE PRI ZATAJITVI DELOVANJA ODKLOPNIKOV

6.1. UVOD

Čeprav so se prve zaščite zbiralk pričele uporabljati že l. 1930, je bila njihova uporaba precej časa omejena. Uporabljali so jih predvsem tam, kjer so uporabljali absolutno selektivno zaščito vodov in je bila zato njena uporaba nujna. Na našem kontinentu pa se je pričela bolj uporabljati šele v zadnjem desetletju. Z zaščito zbiralk je v zadnjem času povezana tudi zaščita pri zatajitvi delovanja odklopnikov. Obe zaščiti namreč združuje to, da delujeta na vse odklopnike, ki so priključeni na varovani sektor zbiralk.

6.2. RAZLOGI ZA IN PROTI UVEDBI ZAŠČITE ZBIRALK

Razprave o umestnosti te zaščite niso še končane niti pri nas niti drugod. Če pride do odločitve, da je uvedba te zaščite v elektroenergetski sistem potrebna, je treba zato tudi ugotoviti, kje naj se uvede, ali naj bo kriterij samo napetostni nivo, ali naj se upošteva tudi važnost objekta, oz. nujnost neprekinjenega napajanja potrošnikov.

Poglejmo nekaj razlogov, ki so govorili oz. ne govorijo proti uvedbi te zaščite:

1. Ker so naprave, priključene na zbiralke (odklopniki, ločilke, tokovni in napetostni transformatorji, prenapetostni odvodniki), kot tudi same zbiralke grajene dovolj sigurno, nastopajo okvare na zbiralkah redko. Zato v takih primerih zadošča nekoliko zakasnjeno delovanje rezervne zaščite vodov, transformatorjev oz. generatorjev, katerih nadtokovna oz. generatorjev, katerih nadtokovna zaščita zajema tudi okvare na zbiralkah.

2. Zaščite zbiralk delujejo pogosto po nepotrebnem. Vzroki za to so predvsem:
 - a. nasičenje tokovnih transformatorjev, kateremu se zaradi visokih tokov ne moremo vedno izogniti,
 - b. prekinitve oz. kratki stiki v tokokrogih na sekundarni strani tokovnih transformatorjev,
 - c. tresljaji oz. udarci, ki lahko aktivirajo zaščito,
 - d. motnje v izklopnih tokokrogih, ki prav tako lahko povzročijo izklope vseh, na zbiralke vezanih odklopnikov.

Posebno neugodno je pri tem, da ima nepotrebno delovanje zaščite lahko za sistem precej hude posledice.

V prid uporabi zaščite zbiralk pa lahko navedemo naslednje:

1. Okvare na zbiralkah niso redke, saj je povprečno 5 do 20 okvar na zbiralko in na 100 let.
2. Delovanje v drugi stopnji distančne zaščite pri okvarah na zbiralkah je včasih zaradi stabilnosti nedopustno. Daljši izklopni čas zaščite zmanjšuje tudi dopuščeno napetost v telekomunikacijskih vodih, ki se pojavi pri zemeljskih stikih.
3. Sekcioniranje zbiralk pri okvari na eni sekciji omogoča praktično neprekinjeno napajanje potrošnikov. Po okvari v eni sekciji je po delovanju zaščite lahko izveden avtomatski preklop potrošnikov oz. napajanja na zdrave sekcije zbiralk.
4. Sodobne zaščite delujejo sigurno in hitro, lahko že po par milisekundah. Številne so že neobčutljive na nasičenje tokovnih transformatorjev. Okvare v sekundarnih tokovnih tokokrogih se takoj signalizirajo. Za delovanje se običajno uporabljata dva kriterija, ki morata biti oba izpolnjena, če naj zaščita deluje.
5. V sredjenapetostnih omrežjih, varovanih s nadtokovno zaščito, so časi izklopov zbiralk pri okvari običajno nekaj sekund, čas, v katerem lahko v oklopljenih postrojih pride pri okvari do velike škode.

6.3. VRSTE IN VZROKI OKVAR NA ZBIRALKAH

Okvare nastopajo praktično na vseh elementih, ki jih zajema zaščita zbiralk. Najbolj pogoste okvare so povezane z zemeljskim stikom, saj jih je tudi do 95%. Pri teh so najpogostejše enofazni zemeljski stiki (ca 75%), redkejši so dvofazni zemeljski stiki (ca 15%), najredkejši pa trifazni zemeljski stiki (ca 10%).

Nepravilni manevri in posegi operaterjev, predvsem odklopi ločilnik pod bremenom povzročajo kar precejšnje število okvar. Ostali vzroki okvar na zbiralkah so poleg iztrošenosti naprav predvsem atmosferske in stikalne prenapetosti, dinamične in termične preobremenitve pri kratkih stikih in pa atmosferske razmere (sneg, led, megla, vihar). Posebno pri stikalnicah

termoelektrarn in v območjih s težko industrijo povzroča pogoste okvare tudi onesnaženost atmosfere.

6.4. IZVEDBE ZAŠČIT

Posebne zaščite zbiralk delujejo predvsem na osnovi tokov v vseh odvodih oz. dovodih. Ker je velika večina okvar povezanih z nastopom zemeljskega stika, delujejo nekatere zaščite zbiralk le na residualne tokove. Bolj pogoste pa so danes zaščite, ki zajemajo vse kratke stike. Pri tem lahko trije ločeni releji primerjajo tokove v treh fazah, lahko pa primerjamo le en tok, ki je sestavljen iz vseh treh faznih tokov. Seveda ni taka zaščita pri vseh vrstah kratkih stikov enako občutljiva. Tok , sestavljen iz treh faznih tokov, dobimo lahko tudi tako, da uporabimo različne tokovne prestave v treh fazah, npr. v fazi a vzamemo prestavo 300/1A, v fazi b prestavo 400/1A, v fazi c pa 500/1A. Sekundarna navitja vseh treh transformatorjev vežemo nato paralelno.

Ker je avtomatsko sekcioniranje zbiralk pri okvari na eni sekciji za celotni sistem zelo ugodno, vse bolj pogosto uporabljamo za posamezne sekcije ločene zaščite zbiralk.

Da preprečimo nepotrebna delovanja zaščite zbiralk, običajno, kot smo že omenili, uporabljamo dva kriterija. Seveda je lahko en kriterij skupen za vse sekcije.

Kot že omenjeno, povzročajo precej težav tokovni transformatorji. Ker so tokovi pri okvarah lahko zelo visoki, so sodobne zaščite zbiralk grajene v glavnem tako, da nasičenje tokovnih transformatorjev, ko zaradi nasičenja pade lahko tok na sekundarni strani skoraj na vrednost nič, ne vpliva na njihovo delovanje.

Za zaščito zbiralk v omrežjih visokih in zelo visokih napetosti uporabljamo predvsem diferenčne zaščite s primerjavo smeri tokov. Pri diferenčnih zaščitah pa ločimo visokoimpedančne diferenčne zaščite, nizkoimpedančne stabilizirane diferenčne zaščite in pa visokoimpedančne stabilizirane diferenčne zaščite. Te se med seboj razlikujejo tudi po doseženih delovnih časih in po zahtevah za zaščitne tokovne transformatorje. Včasih pa uporabimo za zaščito zbiralk tudi distančno zaščito ostalih delov omrežja.

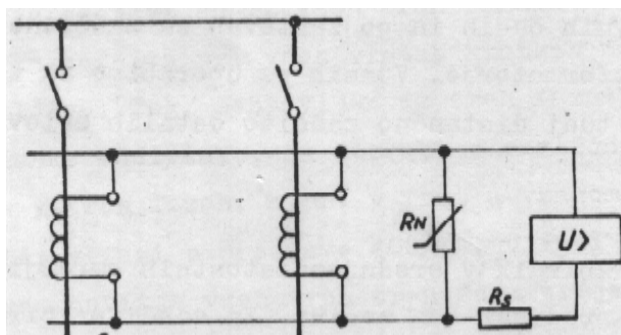
Za zaščito zbiralk v sredjenapetostnih omrežjih uporabljamo predvsem dva načina. Za zaščito zbiralk v oklopljenih postrojih uporabljamo posebno okrovno zaščito, ki deluje le pri zemeljskih stikih in je uporabna v sistemih, ki so ozemljeni z nizko impedanco.

Pri radialnih sredjenapetostnih sistemih s stopenjsko nadtokovno zaščito lahko zmanjšamo delovni čas nadtokovne zaščite pri okvari na zbiralkah s tem, da v primeru, če deluje nadtokovna zaščita odvoda, izklopimo po krajši časovni zakasnitvi dovod.

Pri opisu bodo posamezne izvedbe zaradi večje preglednosti prikazane le enofazno in za enojne zbiralke.

6.4.1. Visokoimpedančne diferenčne zaščite

Te zaščite spadajo med starejše zaščite zbiralk, a se še vedno uporabljajo. Njihova prednost je enostavnost, nedostatek pa je, da morajo biti za to zaščito ločena jedra tokovnih transformatorjev in da mora biti prestavno razmerje tokovnih transformatorjev pri vseh odcepih enako.



Sl. 6.1

Merilni rele je pri tej zaščiti vezan na vse paralelno vezane transformatorje (sl. 6.1). Glede na sorazmerno visoko uporabnost je to pravzaprav prenapetostni rele. Napetost U_R , pri kateri rele deluje, je nekoliko višja od napetosti, ki jo povzroča maksimalni tok kratkega stika, ki nastane izven zaščitene območja, na upornosti sekundarne strani tokovnega transformatorja in upornosti dovoda med tokovnim transformatorjem in relejem. Napetost delovanja releja U_R mora biti manjša od polovične napetosti točke kolena U_k zaščitnih tokovnih transformatorjev (glej poglavje 3.2.2.2.).

Diferenčni tok I_d pri katerem zaščita deluje, je običajno nekoliko nad največjim nazivnim tokom odcepa, naj pa bo tudi pod 30% minimalnega predvidenega toka kratkega stika. Tok I_R , pri katerem naj rele deluje, je od tega toka manjši za magnetilne tokove I_m vseh paralelno vezanih tokovnih transformatorjev in to pri napetosti delovanja releja:

$$I_R = I_d - n * I_m \quad (6.1)$$

S tem, da je določen tok in napetost releja, izračunamo vrednost ev. potrebnega serijskega upora R_s .

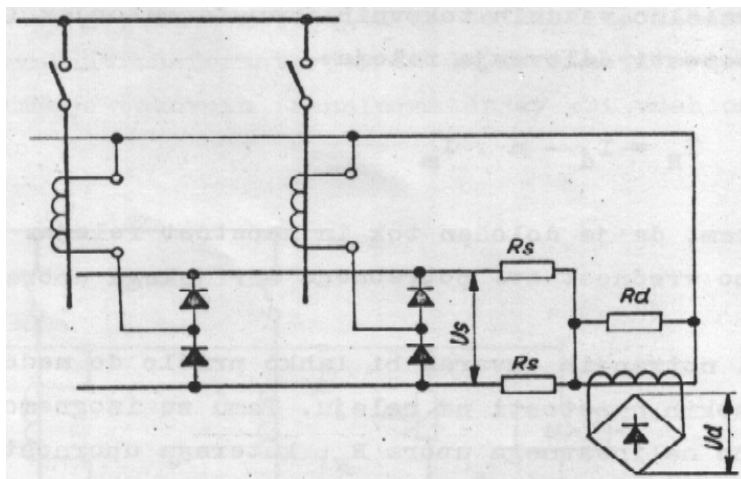
Pri notranjih okvarah bi lahko prišlo do nedopustno visokih napetosti na releju. Temu se izognemo z uporabo nelinearnega upora R_N , katerega upornost pada s tokom

$$R_N = k * I^{-\alpha} \quad (6.2)$$

Vrednost koeficienta k je pri $I_n = 1A$, npr. 450 (pri $U_R = 170V$) ali 900 (pri $U_R = 325V$), eksponenta α je pa ca 0,8. Nelinearni upor R_N vezemo z relejem paralelno.

6.4.2. Stabilizirane (nizkoimpedančne) diferenčne zaščite

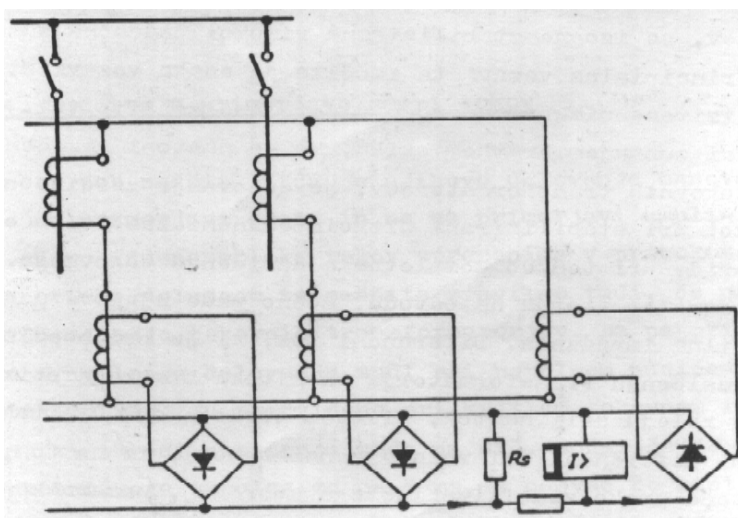
Prednost teh zaščit je v tem, da niso potrebne iste prestave vseh tokovnikov v dovodih. Stabilizacijsko (zadrževalno) vhodno napajalno veličino (tok ali napetost) dobimo z usmerjanjem. Obstojata dve izvedbi. Pri prvi izvedbi s polvalnim usmerjanjem (sl. 6.2.) je stabilizacijska napetost U_s sorazmerna vsotama tokov, ki pritekajo in ki odtekajo (pri zunanji okvari) oz. vsoti tokov, ki pritekajo (pri notranji okvari).



Sl. 6.2

Pri vezavi na sl. 6.3 pa je stabilizacija vedno sorazmerna aritmetični vsoti tokov skozi vse tokovnike. Delovna vhodna napajalna veličina (tok I_d ali pa napetost U_d) je sorazmerna diferenci sekundarnih tokov I_i , ki je enaka geometrijski vsoti vseh teh tokov.

$$I_d = \sum_{i=1}^{i=n} I_i \quad (6.3)$$



Sl. 6.3

Ker je upornost diferenčne veje nizka (zato ime nizkoimpedančna zaščita!), teče preko te veje praktično celotni diferenčni tok sekundarne strani. Popolno nasičenje tokovnih transformatorjev pri zunanjih okvarah lahko zato povzroči nepotrebno delovanje. Zato je pri teh zaščitah potrebna posebna pazljivost pri izbiri tokovnih transformatorjev.

6.4.3. Stabilizirane visokoimpedančne diferenčne zaščite

Pomanjkljivostim visokoimpedančnih nestabiliziranih zaščit, ki potrebujejo enake prestave tokovnikov na vseh odcepkih in posebna jedra za to zaščito, in pomanjkljivostim nizkoimpedančne stabilizirane zaščite, pri kateri lahko nastopi le delno nasičenje tokovnih transformatorjev, se izogne stabilizirana visokoimpedančna zaščita. Principialna vezava te zaščite je enaka vezavi stabilizirane nizkoimpedančne diferenčne zaščite (sl. 6.2). Pri zunanjem kratkem stiku, ko ne nastopi nasičenje tokovnih transformatorjev, je delovanje zaščite enako kot pri stabilizirani nizkoimpedančni zaščiti. Če pa pride pri tem do kompletnega nasičenja tokovnega transformatorja na odvodu, močno pade njegova magnetilna impedanca. Diferenčni tok, ki je pri popolnem nasičenju transformatorja enak toku kratkega stika, se v releju deli na tok, ki teče preko upora R_d (tok skozi diferenčni del releja zanemarimo!), in na tok, ki teče preko stabilizacijskega upora R_s , usmernika in preko male impedance nasičenega tokovnega transformatorja. Da zaščita v takih razmerah ne deluje, je potrebno, da je stabilizacijska napetost U_s višja od napetosti na uporu R_d . S tem je določena minimalna dopustna vrednost upornosti R_d .

Pri notranji okvari je potrebno napajati tudi vse tokovne transformatorje, ki primarno niso napajani. Nadomestno magnetilno impedanco za vse te tokovnike označimo z Z_m . Da zaščita v tem primeru deluje, mora biti tok v diferenčni veji večji od polovice celotnega diferenčnega toka. Iz tega sledi, da mora biti upornost U_d manjša od vsote upornosti Z_m in R_s

$$R_d < (Z_m + R_s) \quad (6.4)$$

Ker zaščita deluje na trenutni primerjavi napetosti U_s in U_d , lahko deluje takoj, ko razlika prekorači nastavljeno vrednost. Zato je čas zaščite 2 ms, torej prej, kot nastopi nasičenje tokovnih transformatorjev.

6.4.4. Zaščite s primerjavo smeri tokov

Prednost teh zaščit je, da je njihovo delovanje osnovano le na primerjavi smeri in ne na primerjavi amplitude. Ker sinusne oblike tokov spremenimo v pravokotniške oblike, delujejo te zaščite pravilno tudi, če nastopi nasičenje tokovnih transformatorjev. Da pa pride

do pravilnega delovanja tudi pri popolnem nasičenju tokovnikov, je predvideno pri kratkem tokovnem impulzu, ki zaradi nasičenja pade na nič, podaljšanje pravokotniškega impulza za ca 5 ms, a največ do nastopa toka nasprotne polaritete. Da lahko zaščita opravi čim prej ugotovitev okvare, se uporablja primerjava pozitivne in negativne polaritete.

Vzemimo, da ima tok v odvodu pozitivno polariteto. Pri notranji okvari lahko predpostavimo, da ne teče v nobenem odvodu tok v smeri od zbiralk. Tako morajo biti za delovanje releja pri posameznih odvodih izpolnjeni naslednji štirje pogoji:

- Tok skozi tokovnik mora biti pozitivne (negativne) polaritete.
- Skozi noben tokovnik ne sme teči tok negativne (pozitivne) polaritete.
- Vsi omenjeni pogoji morajo biti izpolnjeni vsaj nek določen čas (ca 5 ms).

Če bi imel tok v odvodu negativno polariteto, bi pa morale biti pogoj za delovanje polaritete v oklepajih.

Delovni čas zaščite je kratek (ca 10 ms). Prednost zaščite je tudi v tem, da se pri zaščiti posameznih sekcij ne preklapljajo tokovi ampak le pravokotniški impulzi.

6.4.5. Zaščite zbiralk z distančnimi releji

Kot že omenjeno, lahko uporabimo za zaščito zbiralk le distančne releje, ki pa delujejo pti okvarah v svoji 2. stopnji. Lahko pa distančni releji delujejo pri okvarah na zbiralkah tudi hitreje. Uporabljamo predvsem dva taka načina.

Prvi način uporablja prenos blokirnega signala. Tega oddajajo distančni releji, ko delujejo v podaljšan 1. stopnji. Blokirni signal prejmejo vsi distančni releji na nasprotnih straneh vodov, priključenih na iste zbiralke. Izjema je le distančni rele, ki je na drugi strani voda, na katerem je distančni rele deloval. Ker so vsi distančni releji nastavljeni v prvi stopnji preko dolžine varovanega voda, bodo pri okvari na zbiralkah vsi delovali, saj noben rele ne bo blokiral njihovega delovanja. Tak način zaščite je uporabljen pri našem 220 kV omrežju.

Pri drugem načinu pa uporabljamo neusmerjene sprožilne in usmerjene člene distančnih relejev. Kriterij za okvaro na zbiralkah je, da delujejo neusmerjeni sprožilni členi, ne deluje pa niti en usmerjeni člen distančne zaščite vodov, vezanih na zaščitene zbiralke.

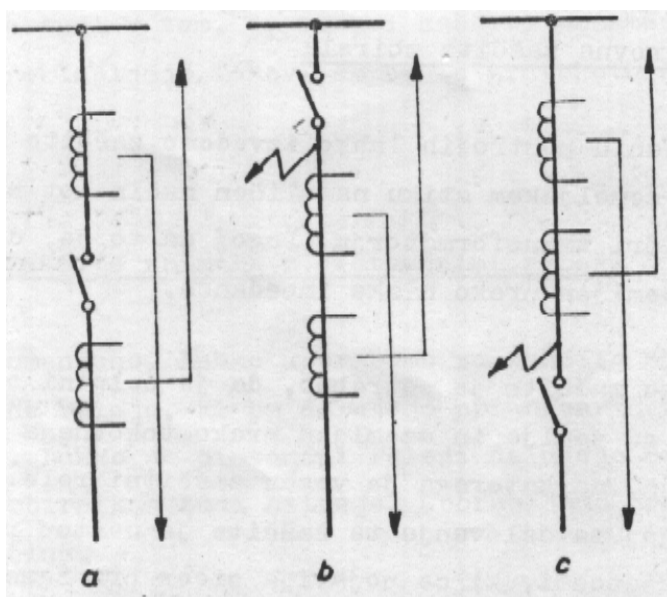
6.4.6. Okrovnna zaščita zbiralk

V oklopljenih postrojih lahko izvedemo zaščito zbiralk pri zemeljskem stiku na sličen način kot zaščito kotla pri transformatorju. Pogoj za to je, da je sistem ozemljen preko nizke impedance.

Za izvedbo zaščite je potrebno, da je celotni oklop izoliran od zemlje in ozemljen preko tokovnega transformatorja, na katerega je vezan zaščitni rele. Kot drugi pogoj za delovanje te zaščite je nastop residualne napetosti, ki se pojavlja sicer pri zemeljskih stikih v celotnem, galvansko povezanem sistemu.

6.5. NAMESTITEV TOKOVNIH TRANSFORMATORJEV

Pravilna, a redko uporabljena namestitvev tokovnikov je podana na sl. 6.4 a. Zaščitni transformator za zaščito voda je med zbiralkami in odklopnikom, transformator za zaščito zbiralk pa je na strani voda. Če uporabimo skupne tokovne transformatorje na strani odvoda (sl. 6.4 b), pride pri okvari med tokovnimi transformatorji in odklopnikom do delovanja zaščite zbiralk, čeprav bi zadoščal le izklop odklopnika. Če pa uporabimo tokovnike med zbiralkami in odklopnikom (sl. 6.4 c), pa pride pri okvari med tokovnimi transformatorji in odklopnikom do delovanja zaščite voda in se odklopnik pravilno izključi, ne deluje pa zaščita zbiralk.



Sl. 6.4

6.6. ZAŠČITA PRI ZATAJITVI DELOVANJA ODKLOPNIKOV

Kljub temu, da pogosto stalno nadziramo izklopne tokokroge in dobivamo javljanja pri kratkih stikih in pri prekinitvah teh tokokrogov in da vse pogosteje uporabljamo dve izklopni tuljavi odklopnika, ki sta napajani po možnosti iz dveh ločenih virov, prihaja do zatajitve delovanja odklopnikov (L.10). Naloga zaščite pri zatajitvi delovanja odklopnikov je,

da v primeru, če pri okvari na odcepu ni sledil izklopni komandi zaščite izklop odklopnika, izklopi vse odklopnike, ki so vezani na določen sektor zbiralk. V primeru, da te zaščite ni, pride do izklopov odklopnikov na drugi strani vodov in to šele v drugi stopnji. Torej dva nedostatka, daljši čas in izklopi v sosednjih postrojih – daljinska rezerva namesto izklopov v samem postroju – lokalna rezerva.

Zaščito sestavljajo pri vsakem odklopniku po en zaščitni rele s 3 ali 4 nadtokovnimi in enim časovnim členom in izklopni releji, ki so lahko skupni z zaščito zbiralk. Izklopni rele izključi, kot že omenjeno, pri zatajitvi delovanja odklopnika vse ostale odklopnike, vezane na isti sektor zbiralk.

Če zaščitni rele voda, transformatorja oz. generatorja deluje, se istočasno, ko dobi odklopnik izklopni impulz, vključi zaščita pri zatajitvi delovanja odklopnika.

Če pride do zatajitve delovanja odklopnika, ostanejo nadtokovni releji vzbujani dalj, kot je izklopni čas odklopnika. To pa je tudi kriterij za delovanje zaščite.

Delovanje nadtokovnih členov zaščite nastavljamo na vrednost toka, pri kateri lahko osnovna zaščita še izklopi odklopnik. Potrebno časovno zakasnitev dobimo kot vsoto najvišjega možnega izklopnega časa odklopnika, povratnega časa nadtokovnega in časovnega člena ter rezervnega časa. Pri tem je seveda želeno, da je čas izklopa čim krajši. Zato imajo običajno nadtokovni releji pri tej zaščiti posebno kratek čas, ki je običajno krajši od povratnega časa osnovne zaščite.

Vsekakor je potrebno, da zaščita pri zatajitvi delovanja odklopnika izključi ustrezne odklopnike prej kot pa deluje 2. stopnja distančne zaščite!

7. ZAŠČITA NADZEMNIH VODOV VISOKIH IN NAJVIŠJIH NAPETOSTI

7.1. UVOD

Zaščito voda visokih in najvišjih napetosti določa predvsem vloga voda v sistemu. Vodi teh napetosti so namreč deli razdelilnih omrežij kot tudi prenosnih omrežij, povezujejo pa tudi elektroenergetske sisteme med seboj interkonekcijski vodi. Razdelilni vodi povezujejo razdelilne postaje s prenosnimi postajami in so pri nas za napetost 110 kV. Prenosni vodi pa povezujejo postaje za prenos. Pri nas so to napetosti 110, 220 in 380 kV. Razdelilna kot tudi prenosna omrežja teh napetosti so pri nas običajno zankasta ali krožna (obročasta), le razdelilni vodi so tudi radialni.

Glede na potrebno moč ali pa zaradi sigurnosti povezuje posamezne postaje včasih dva, včasih pa tudi več paralelnih tokokrogov, ki so pogosto nameščeni na istih podporah (dvosistemski vod).

Razmere se predvsem v prenosnih, a tudi v razdelilnih omrežjih pogosto spreminjajo. Do tega prihaja zaradi spreminjanja oddanih moči posameznih elektrarn, zaradi spreminjanja oddanih moči posameznih elektrarn, zaradi spreminjanja porabe in pa tudi zaradi izklopov za opravljanje vzdrževalnih del. Včasih pa na razmere v sistemu vplivajo tudi razmere v sosednjih elektroenergetskih sistemih.

V vseh možnih situacijah je potrebno selektivno delovanje zaščite in to tako, da se izključi le vod, kjer je okvara oz. motnja nastala. Posledice neselektivnega izklopa ali pa, če izklop ni opravljen dovolj hitro, so lahko katastrofalne, npr. razpad povezanih elektroenergetskih sistemov. Seveda pa je potrebno pri projektiranju zaščite tudi upoštevati razmere, ki nastopijo, če zataji del zaščitnega sistema, npr. odklopnik, zaščitni rele, pomožno napajanje. Tudi v tem primeru je željeno, da ne pride do večjega razpada, čeprav se v takem

primeru razpadu ne moremo vedno izogniti. Da do tega ne pride, uporabljamo pri važnejših prenosih in interkonekcijskih vodih podvojitve delov zaščitnega sistema ali pa celo uvedemo zato dva, med seboj neodvisna zaščitna sistema.

Na zaščito bistveno vpliva tudi izvedba ozemljitve nevtralne točke. Ker so pri nas omrežja teh napetosti ozemljena, bomo obravnavali le zaščite vodov v ozemljenih sistemih.

Zaščitni sistem voda sestavljajo vedno zaščitni releji, odklopniki, medsebojne povezave in zaščitni tokovni transformatorji, običajno pa tudi zaščitni napetostni transformatorji. Ker je v nadzemnih vodih večina okvar oz. motenj prehodnega značaja, uporabljamo običajno kot del zaščitnega sistema tudi naprave za eno in tripolni ponovni vklop. Prav tako vse pogosteje uporabljamo pri zaščiti povezave koncev voda z informacijskimi kanali, ki tako postajajo del zaščitnega sistema. Tudi lokatorje mesta okvare, ki omogočajo hitro razpoznavo oddaljenosti mesta okvare, in pa osciloperturbografe, ki zabeležijo pri delovanju zaščite potek napetosti in tokov ter izklopnih impulzov in to pred, med in po okvari oz. motnji, pogosto smatramo tudi kot del zaščitnega sistema. Lahko namreč upravičeno predvidevamo, da bodo lokatorji in osciloperturbografi v bližnji bodočnosti integrirani že v sam zaščitni rele.

7.2. VRSTE, VZROKI IN POGOSTOST OKVAR IN MOTENJ

Okvare kot tudi motnje v nadzemnih vodih lahko kvalificiramo z ozirom na njihovo trajnost in z ozirom na njihov karakter.

7.2.1. Trajnost okvar in motenj

Okvare oz. motnje delimo v trajne, polprehodne in prehodne okvare oz. motnje. Trajanje okvare je potrebno odstraniti na mestu nastopa okvare. Okvare nastopajo na vodnikih, npr. utrg vodnika, ali pa na izolatorjih. Lahko pa nastopijo tudi na opremi, ki je priključena na vod, kot merilni oz. zaščitni transformatorji, odvodniki prenapetosit, dušilke, serijski kondenzatorji. Pogostost trajnih okvar je za 110 kV vode ca 1,5 do 4 okvare na 100 km in leto, za 220 kV vode 0,3 do 1,5 okvar na 100 km in leto, za 380 kV vode pa le 0,1 do 0,2 okvare na 100 km in leto.

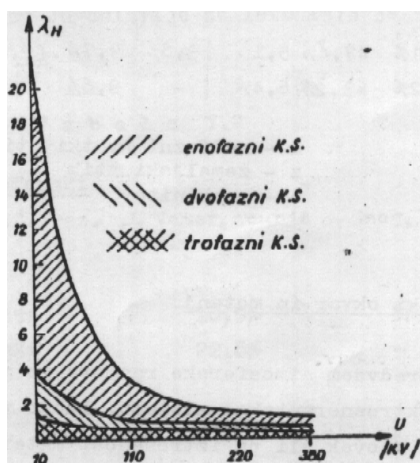
Polprehodne okvare nastopajo predvsem v srednjenapetostnih omrežjih. Zanje je značilno, da morata kratki stik in breznapetostna pavza trajati dovolj dolgo, a okvara izgine sama. Ker teh okvar v omrežju višjih napetosti praktično ni, uporabljamo tudi le enkratni ponovni vklop vodov.

Prehodne okvare oz. motnje so najpogostejše. So tudi preko 20 krat pogostejše od trajnih okvar! Ločimo jih v motnje, ki izginejo same in izklop ni potreben in pa v motnje oz.

okvare, pri katerih je potreben kratkotrajen izklop in to za čas, da se mesto okvare deionizira. Kot že omenjeno, so te okvare oz. motnje najpogostejše, saj znašajo tudi 98% vseh! Prehodne okvare oz. motnje se včasih ponavljajo v sorazmerno kratkih razmakih (ponavljajoče se okvare).

7.2.2. Karakter okvar in motenj

Z ozirom na karakter delimo okvare in motnje v serijske in paralelne oz. v enofazne, dvofazne in trifazne. Pri serijskih okvarah nastopajo prekinitev vodnikov, ki so skoraj praviloma enofazne. Pri paralelnih okvarah oz. motnjah pa nastopajo kratki stiki. Seveda lahko nastopita serijska in paralelna okvara istočasno. Informatorna pogostost trajnih kratkih stikov je v odvisnosti od nazivne napetosti podana na sl. 7.1. Seveda pa lahko nastopita serijska in paralelna okvara tudi istočasno.



Sl. 7.1

Tabela 7.1

Okvare	Enofazne			Dvofazne		Trifazne		Ostalo
	p	z	p+z	m	m+z	m	m+z	
110 kV	5,1 %	47,4 %	5,1 %	3,8 %	9,7 %	6,4 %	10,3 %	12,2 %
220 kV	3,2 %	63,2 %	6,4 %	-	9,6 %	3,2 %	12,9 %	1,5 %

m – medfazni kratki stik, z – zemeljski stik, p – prekinitev

7.2.3. Vzroki okvar in motenj

Vzroki so predvsem atmosferske razmere in pa dogajanja v samem elektroenergetskem sistemu. Lahko pa povzroči okvaro tudi človek ali pa iztrošenost materiala.

Med atmosferskimi vzroki so predvsem atmosferske praznitve. Veter in neurje povzročajo pogosto kratkotrajne kratke stike in pa poškodbe podpor. Sneg in led povzročata dodatne mehanske obremenitve, katerim vodniki niso vedno kos. Preboji nastopajo tudi zaradi onesnaženosti okolja, predvsem pri termoelektrarnah in na področju, kjer je težka industrija, megla in rose.

Okvare in motnje, ki nastajajo zaradi dogajanj v sistemu, so predvsem prenapetosti pri stikanjih in pri zemeljskih stikih, preobremenitve in pa pojavi pri nestabilnem obratovanju.

Človek povzroči okvare predvsem z nepravilnimi manipulacijami, do okvar pa pride včasih tudi pri raznih preizkusih.

Pregled porazdelitve vzrokov trajnih in prehodnih okvar in motenj za Jugoslavijo za leto 1973 je podan v tabeli 7.2 (L.7).

Tabela 7.2

Vzroki:	atmosferski				
	Atmosf.praz.	Veter, neurje	Sneg, led	Smog, rosa, megla	
110 kV	25 %	18,9 %	5 %	11,7 %	
220 kV	38 %	22,8 %	-	-	
Vzroki:	V samem sistemu		človek	Dotrajan material	Ostalo in neznano
	Preobrem.	Stabilnost			
110 kV	2,9 %	7,6 %	8 %	1,7 %	19,5 %
220 kV	3,6 %	3,8 %	-	-	31,8 %

7.3. PARAMETRI, KI VPLIVAJO NA RAZMERE PRI OKVARAH

Napetosti in tokove, ki se pri posameznih vrstah okvar pojavljajo, določajo karakteristike omrežja, katerega del je vod, karakteristike samega voda in pa upornosti na samem mestu okvare.

7.3.1. Karakteristike omrežja

Za analizo razmer pri okvarah na vodih v prenosnem omrežju lahko celotno omrežje nadomestimo z nadomestno elektromotorsko silo E in pa s po tremi nadomestnimi impedancami pozitivnega zaporedja Z_{s1} , Z_{s2} negativnega zaporedja in ničnega zaporedja Z_{s0} , ki so vezane na impedance voda in to na obeh straneh voda. Povezava impedanc je odvisna od vrste okvare. Ker se elektromotorska sila E kot tudi nadomestne impedance spreminjajo, je potrebno za izbiro zaščite in za njeno nastavitve poznati predvsem njihove maksimalne in minimalne vrednosti, ki lahko v obratovanju nastopajo. Omenjene nadomestne impedance Z_s imenujemo impedance izvora oz. sistemske impedance.

Za analizo razmer pri okvarah in motnjah na interkonekcijskih vodih je potrebno poznati za oba povezana sistema A in B nadomestni elektromotorski sili E_A in E_B kot tudi za vsak sistem vse tri nadomestne impedance zaporedij.

Za analizo razmer pri okvarah na razdelilnih vodih, ki se napajajo iz obeh strani, je potrebno poznati isto kot za prenosne vode. Če pa se napajajo le enostransko, je potrebno dodatno poznati tudi nadomestno impedanco bremena in to predvsem njeno minimalno vrednost (minimalna impedanca bremena). V kolikor pa je sistem ozemljen tudi na strani bremena, je potrebno poznati tudi nadomestno impedanco ničnega zaporedja te strani.

7.3.2. Karakteristike voda

Vod oz. del voda do mesta okvare podajamo s porazdeljenimi upornostmi le v primeru izredno dolgih vodov. Običajno zadošča nadomestno π vezje. Vrednosti povprečnih induktivnih upornosti X , ohmskih upornosti R in kapacitivnih prevodnosti B na 1 km dolžine za vodnike, ki jih uporabljamo pri nas, so podane v tabeli 7.3.

Pogosto je pri izračunih kratkih stikov dopustno, da zanemarimo vse prečne upornosti, tako, da ostaneta le vzdolžna ohmska upornost R in induktivna upornost X .

Ker so vodi grajeni nesimetrično, dobimo zaradi asimetrije in disimetrije pri simetričnih tokovih npr. pri trifaznem kratkem stiku na začetku voda napetosti vseh treh zaporedij. Vrednosti komponent napetosti negativnega zaporedja znašajo lahko nekaj odstotkov, komponente ničnega zaporedja pa dosežejo tudi do 10 % vrednosti komponent napetosti pozitivnega zaporedja. Nadalje dobimo pri simetričnih napetostih na izvoru zaradi nesimetrij tudi komponente tokov ostalih dveh simetričnih sistemov. To je potrebno upoštevati predvsem pri zaščiti, ki deluje na residualni tok ali pa na komponente tokov negativnega zaporedja. Seveda se tem vplivom lahko izognemo in sicer s transpozicijo vodnikov. Ker pa jo izvajamo šele vsakih 100 do 150 km, je zato včasih potrebno upoštevati pri nastavitvah zaščitnih relejev tudi nesimetrijo vodov.

Tabela 7.3

Cu	60	80	95	120	150
$R \Omega/\text{km} $	0,3	0,225	0,189	0,15	0,12
$U_N \text{kV} $	110	110	110	110	110
$X \Omega/\text{km} $	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
φ_k	55°	60°	64,7°	69°	73°

Al/Fe	150/25	240/40	360/57	2*240/40	490/65	2*490/65
$R \Omega/\text{km} $	0,194	0,119	0,08		0,06	0,06
$U_N \text{kV} $	110	110	110	220	220	220
$X \Omega/\text{km} $	0,4	0,4	0,4	0,41	0,317	0,44
φ_k	34°	73°	78,7°	79°	79°	82°
$B \text{S}/\text{km} $				2,57	3,65	8,88

Pri zaščiti moramo nadalje upoštevati tudi dejstvo, da niti ohmska niti induktivna upornost pozitivnega zaporedja nista konstantni. Na ohmsko upornost vpliva temperatura, predvsem obratovalna frekvenca. S temperaturo se sicer spreminja tudi povese, vendar je sprememba induktivne upornosti zaradi povesa običajno zanemarljiva. Običajno računamo, da znese sprememba induktivne upornosti zaradi odstopanja frekvence od njene nazivne vrednosti do 5%.

Še več parametrov pa vpliva na impedanco ničnega zaporedja. Poleg že omenjenega vpliva temperature in frekvence je potrebno včasih še upoštevati spreminjanje povesa (tudi do 5 %) in upornosti zemlje in to s temperaturo in z vlago. Seveda se s spreminjanjem ohmske upornosti zemlje spreminja tudi induktivna upornost. Dodatno je potrebno tudi upoštevati, da se včasih bistveno spreminja upornost zemlje vzdolž same trase voda. Prav tako lahko bistveno vpliva na impedanco ničnega zaporedja ev. ozemljitev paralelnega voda.

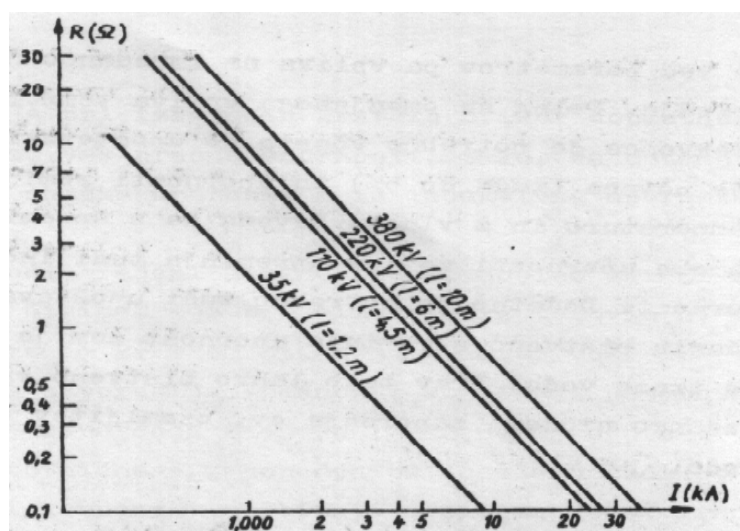
7.3.3. Upornost na mestu okvare

Pri okvarah med faznimi vodniki predstavlja upornost na mestu okvare predvsem upornost obloka. Za upornost obloka pogosto uporabljamo eksperimentalno dobljeno enačbo, ki jo je prvi zapisal Warrington in se po njem tudi imenuje. Warringtonova enačba se glasi:

$$R_f = \frac{28700 * l}{I^{1,4}} \quad (7.1)$$

l je dolžina toka v m, I je tok v A.

Enačba je prikazana za napetosti 110 kV (za razdaljo med vodniki 4,5 m), 220 kV (za razdaljo med vodniki 6 m) in za 380 kV (za razdaljo med vodniki 10 m) na sl. 7.2.



Sl. 7.2

Ker se zaradi termičnega vzgona in ev. vetra oblok podaljšuje, raste s tem tudi njegova upornost. Da je vpliv obloka čim manjši, je potrebno, da zaščita okvaro čim prej odkrije.

Pri zemeljskih stikih pa je na eni strani lahko dolžina obloka daljša, na drugi strani pa prihaja na mestu okvare še do prehodnih upornosti. V Franciji so izmerili ekstreme vrednosti upornosti pri napetosti 63 kV 150 ohmov, pri 220 kV nazivni napetosti 200 ohmov in pri 380 kV 300 ohmov. Seveda je pri teh vrednostih delovanje zaščite že problematično. Predvidevajo pa, da mora zaščita delovati pri 220 kV oz. izpod 80 ohmov pri 380 kV vodih.

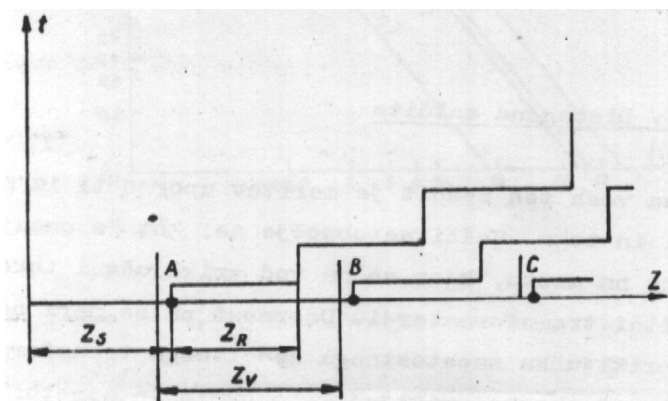
7.4. GLAVNE ZAŠČITE PRI OKVARAH

Kot glavna zaščita se uporablja predvsem distančna zaščita, nekoliko bolj omejena pa je uporaba zaščite s fazno primerjavo. Dočim ima distančna zaščita že funkcije rezervne zaščite, pa je pri zaščiti s fazno primerjavo rezervna zaščita nujna. Vsekakor pa je priporočljivo pri vodih, kjer uporabljamo podvojitev zaščit, da uporabimo poleg distančne zaščite še zaščito s fazno primerjavo.

7.4.1. Distančna zaščita

Osnova vseh teh zaščit je meritev upornosti iz napetosti in toka. Zaščitno območje se, kot že omenjeno, prične na mestu, kjer so na vod priključeni tokovni zaščitni transformatorji. Upornost pa se meri od mesta priključka napetostnega zaščitnega transformatorja na vod. Mesto priključka tokovnih in napetostnih transformatorjev imenujemo tudi relejna točka. Ker je oddaljenost od relejne točke do mesta okvare sorazmerna upornosti, uporabljamo za te releje ime distančni rele.

Ker je distančna zaščita relativno selektivna zaščita, je potrebno, da poleg meritve oddaljenosti uvedemo še čas. Da dosežemo željeno selektivnost, je lahko zakasnitev sorazmerna oddaljenosti ali pa uporabimo stopenjsko nastavitvev. Zakasnitve, ki je sorazmerna oddaljenosti, danes praktično več ne uporabljamo, čeprav pa jo lahko še zasledimo in to le v kombinaciji s stopenjsko nastavitvijo (v ZDA). Stopenjsko časovno nastavitvev kombiniramo s stopenjsko nastavitvijo upornosti. Poleg prve stopnje, ki je nastavljena na ca 70 do 90% upornosti voda, in druge stopnje, ki varuje preostali del voda in del sosednjega voda, ki delujeta selektivno, uporabljamo včasih tudi še eno ali dve dodatni stopnji, ki pa ne delujejo vedno selektivno (sl. 7.3).



Sl. 7.3

Medtem, ko deluje prva stopnja le pri okvarah v smeri vode, delujejo včasih nekatere ostale stopnje tudi pri okvarah v nasprotni smeri, saj je naloga distančne zaščite tudi rezervna zaščita za sosednje vode.

Pomembno izboljšavo delovanja distančne zaščite prinaša povezava distančnih relejev na obeh straneh voda z informacijskim kanalom, kar omogoča, da dobimo pri vseh okvarah v vodu izklop v prvi stopnji.

7.4.1.1. Meritve upornosti pri raznih vrstah okvar

Distančna zaščita je predvidena, da deluje pri vseh dvo in trifaznih kratkih stikih. Pri enofaznih kratkih stikih pa deluje le, če je nevtralna točka sistema ozemljena. Pri prekinitvah vodnikov, ki niso povezani s kratkim stikom, distančna zaščita ne deluje.

7.4.1.1.1. Trifazni kratki stik

Pri trifazni okvari na vodu dobimo pri simetrično grajenem vodu v relejni točki simetrične tokove, torej le komponente tokov pozitivnega zaporedja, in pa napetosti, ki so enake padcem napetosti, ki jih tokovi povzročajo na upornostih voda. Ker smo predpostavili simetrično grajen vod, dobimo tudi le napetosti pozitivnega zaporedja. Če upornosti na mestu okvare ne upoštevamo, je kvocient med komponento napetosti faze a (referenčna faza) pozitivnega zaporedja U_{R1} in med tokovno komponento istega zaporedja I_{R1} v relejni točki enak kvocientu fazne napetosti U_{Ra} in faznega toka I_{Ra} , predstavlja pa že impedanco pozitivnega zaporedja do mesta okvare Z_1 :

$$\frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{U_{Ra}}{I_{Ra}} = Z_1 \quad (7.2)$$

Namesto faznih napetosti oz. faznih tokov lahko vzamemo tudi razliko dveh faznih napetosti (medfazna napetost, linijska napetost, trikotna napetost) in pa razliko njunih faznih tokov (linijski tok, trikotni tok):

$$\frac{U_{Ra} - U_{Rb}}{I_{Ra} - I_{Rb}} = Z_1$$

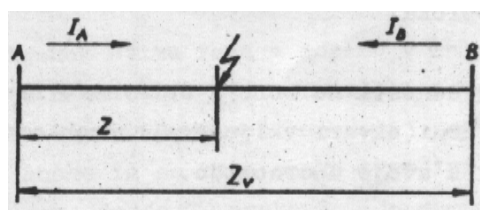
Na delovanje merilnega releja pa vpliva lahko poleg omenjenega kvocienta napetosti in toka tudi vrednost napetosti. Če naj rele deluje s predpisano točnostjo, je namreč potrebna neka minimalna napetost. Točnost se nanaša na nastavljeno vrednost prve stopnje releja, ki jo označimo z Z_r . Pri okvari na tem mestu, dobimo v relejni točki napetost, ki je odvisna od že obravnavane sistemske impedance Z_s :

$$U_R = \frac{Z_r}{Z_s + Z_r} E = \frac{1}{Z_s : Z_r + 1} E \quad (7.3)$$

Če naj rele deluje s predpisano točnostjo pri npr. $U_R = 3\%U_N$ je lahko razmerje $Z_s:Z_r$ največ 33 in to v najbolj neugodnih razmerah v omrežju, namreč pri najugodnejši konfiguraciji in pri obratovanju z minimalno močjo. S tem je določena tudi minimalna dolžina voda, ki ga lahko varujemo z distančno zaščito. Pri tem naj še omenimo, da običajno dobimo manjšo točnost tudi, če koti impedanc Z_s in Z_r niso med seboj enaki in pa, če niso enaki

karakterističnemu kotu samega releja. Seveda pa pri tem nismo upoštevali še upornosti obloka R_f . Upoštevanje te upornosti povzroči povišanje napetosti U_R v relejni točki, kar dopušča tudi večjo možno sistemsko impedanco Z_s . Upornost obloka je odvisna od toka in s tem tudi od sistemske impedance. Najvišjo upornost obloka lahko zato pričakujemo na koncu voda in pa pri največji predvideni sistemski impedanci. Najmanjša upornost obloka pa je na začetku voda, ko je tok okvare najvišji. Seveda velja to le za primer, da je vod napajan le z ene strani.

Pri dvostransko napajanem vodu pa dobimo povišanje navidezne upornosti obloka (sl. 7.4).



Sl. 7.4

Če naj priteka iz relejne točke A tok I_A , iz relejne točke B pa I_B , dobimo v relejni točki A napetost:

$$U_{RA} = I_A (Z + R_f) + I_B R_f \quad (7.4)$$

Če sta napetosti na obeh straneh voda enaki po iznosu in po smeri, meri rele v točki A navidezno upornost obloka, ki je

$$R_{fA} = R_f \frac{Z + (Z_v - Z)}{Z_v - Z} = R_f \frac{Z_v}{Z_v - Z} \quad (7.5)$$

Pri izračunu pa je potrebno še upoštevati, da se zaradi povišanja toka upornost obloka zaradi tega zmanjša.

Običajno pa napetosti na obeh straneh voda nista enaki. Če sta napetosti med seboj tudi fazno premaknjeni, dobimo med tokovoma I_A in I_B fazno premaknitev. Posledica tega je, da dobimo poleg navideznega povišanja ohmske upornosti obloka še dodatno navidezno kapacitivno komponento in to v primeru, če je bil pred okvaro pretok moči v smeri od A proti B. Če pa je smer bila obratna, pa dobimo navidezno induktivno komponento upornosti obloka.

Zaradi preglednosti ne bomo v obravnavo razmer pri dvo in enofazni okvari vključevali problemov, ki jih uvaja oblok s svojo upornostjo.

7.4.1.1.2. Dvofazni kratki stik

Če nastopi okvara med fazama b in c, dobimo v relejni točki fazna tokova I_b in I_c ter medfazno (linijsko napetost) U_{Rbc} . Vrednost te napetosti je enaka vsoti padcev napetosti, ki jih povzročajo komponente tokov pozitivnega in negativnega zaporedja v obeh fazah in to na impedancah svojih zaporedij od relejne točke do mesta okvare:

$$U_{Rbc} = (I_{1b} - I_{1c}) * Z_1 + (I_{2b} - I_{2c}) * Z_2 \quad (7.6)$$

Ker sta impedanci pozitivnega in negativnega zaporedja med seboj enaki in ker je $I_{1b} + I_{2b} = I_b$ oz. $I_{1c} + I_{2c} = I_c$, dobi gornja enačba naslednjo obliko

$$U_{Rbc} = (I_b - I_c) * Z_1 \quad (7.7)$$

Če torej pri dvofazni okvari merimo v relejni točki kvocient med linijsko napetostjo in linijskim tokom $(I_b - I_c)$, dobimo impedanco pozitivnega zaporedja do mesta okvare Z_1 .

7.4.1.1.3. Zemeljski stik

Pri zemeljskem stiku faze a dobimo v relejni točki residualno napetost U_{rsd} in residualni tok I_{rsd} . Komponente tokov vseh treh zaporedij so v tej fazi med seboj enake in so zato enake tretjini toka I_a . Z upoštevanjem, da je Z_1 enaka Z_2 , je napetost faze a v relejni točki enaka padcem napetosti, ki jih povzročajo vse tri komponente tokov na impedancah svojih zaporedij:

$$U_{Ra} = U_{R1} + U_{R2} + U_{R0} = I_1 * Z_1 + I_2 * Z_1 + I_0 * Z_0 = I_a * Z_1 + I_0 * (Z_0 - Z_1) \quad (7.8)$$

Če vstavimo za $Z_0 - Z_1$ vrednost $3 * Z_1 * k$ in za $I_0 = I_{rsd} : 3$, dobi gornja enačba naslednjo obliko:

$$U_{Ra} = (I_a + k * I_{rsd}) * Z_1 \quad (7.9)$$

Če torej merimo kvocient med fazno napetostjo in med vsoto faznega toka in residualnega toka, pomnoženega s faktorjem k, dobimo zopet impedanco pozitivnega zaporedja in to od relejne točke do mesta zemeljskega stika. Vrednost faktorja k je običajno od 0,6 (za $Z_0 : Z_1 = 2,8$) do 1 (za $Z_0 : Z_1 = 4$).

Pri dvosistemskih vodih pride pri zemeljskem stiku na enem na enem sistemu do dodatnih induciranih napetosti na tem sistemu, ki jih povzročajo tokovi na zdravem sistemu, ki jih označimo z I'' . Običajno upoštevamo le inducirane napetosti ničnega zaporedja

$(I_0'' * Z_{0m})$, ki so bistveno bolj izrazite od induciranih napetsoti ostalih dveh zaporedij. Če upoštevamo le-te komponente, je napetost na relejnem mestu:

$$U_{Ra} = I_1' * Z_1 + I_2' * Z_1 + I_0' * Z_0 + I_0'' * Z_{0m} = I_a' * Z_1 + k * I_{rsd}' * Z_1 + \frac{Z_{0m} - Z_1}{3 * Z_1} * I_{rsd}'' * Z_1$$

$$= \left(I_a' + k * I_{rsd}' + I_{rsd}'' * \frac{Z_{0m} - Z_1}{3 * Z_1} \right) * Z_1 \quad (7.10)$$

Če torej merimo kvocient med fazno napetostjo in med vsoto faznega toka, residualnega toka v tem vodu, pomnoženega s faktorjem k, in pa residualnega toka v zdravem vodu, pomnoženega z $\frac{Z_{0m} - Z_1}{3 * Z_1}$, dobimo kot prej impedanco pozitivnega zaporedja. Brez upoštevanja residualnega toka v zdravem vodu pa dobimo domet manjši od nastavljene vrednosti.

7.4.1.1.4. Dvofazni zemeljski stik

Če pride do dvofaznega in zemeljskega stika na istem mestu, lahko uporabimo za meritev linijsko napetost in linijski tok (kot pri dvofaznem stiku) ali pa fazno napetost in fazni tok, kateremu smo prišteli residualni tok, pomnožen s faktorjem k (isto kot pri enofaznem stiku). V obeh primerih namreč meri rele impedanco pozitivnega zaporedja.

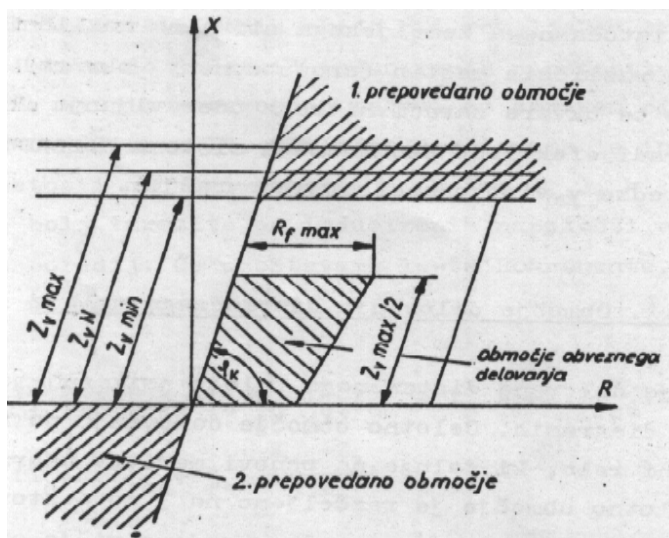
Bistveno bolj zamotane razmere pa nastopijo, če pride do istočasnega zemeljskega stika na različnih fazah in različnih mestih (cross-country okvara). Vendar so te okvare zaradi hitrega odpravljanja okvar in zaradi efektivno ozemljenega sistema sorazmerno zelo redke v visokonapetostnih omrežjih.

7.4.1.2. Območje delovanja distančnega releja

Območje delovanj distančnega releja prikazujemo v R – X diagramih. Celotno območje delovanja pokriva startni rele, ki deluje na osnovi meritev upornosti. To celotno območje je razdeljeno na 3 do 4 stopnje, pri čemer običajno, a ne vedno, zajema višja stopnja tudi celotno nižjo stopnjo. Območje, ki ga pokrivajo posamezne stopnje, je na releju nastavljivo, prav tako pa je nastavljiv tudi čas delovanja posameznih stopenj. Poleg stopenj, ki so določene z meritvami upornosti, imamo včasih še dodatne nadtokovne usmerjene kot tudi neusmerjene stopnje, ki so tudi del distančnega releja.

7.4.1.2.1. Prva stopnja

V tej stopnji mora distančni rele delovati selektivno. V diagramu na sl. 7.5 je vrisano območje, v katerem mora delovati in pa dve območji, v katerih rele ne sme delovati.



Sl. 7.5

Območje obveznega delovanja je določeno s polovično impedanco voda in z upornostjo obloka na tem mestu. Pri medfaznih okvarah izračunamo upornost obloka po Warringtonovi enačbi (en. 7.1) in to za najmanjši možni tok okvare. Pri enofaznih okvarah pa je bistveno težje predvidevati upornost na mestu okvare. Vsekakor pa lahko nastopi tudi taka upornost, da jo distančni rele ne more več zajeti, in njeno odstranitev prepustimo rezervni zaščiti. Prvo prepovedano območje delovanja je določeno z nazivno impedanco voda Z_{VN} zmanjšano za možno zmanjšanje impedance zaradi znižanja frekvence ali pa zvišanja temperature. Z zvišanjem temperature se zveča povese in zmanjša reaktanca ničnega zaporedja X_0 . Drugo prepovedano območje pa je podano z impedanco vodov, ki so vezani na iste zbiralke.

Čeprav je območje delovanja precej oddaljeno od 1. prepovedanega območja, nastopajo včasih težave. Vzroki za to so pogreški in pa upornost obloka:

1. Pogreški zaščitnih transformatorjev in distančnega releja.

Pri tokovnih zaščitnih transformatorjih lahko znaša sestavljeni pogrešek tudi do 10%. Vrednost pogreška prestave napetostnih zaščitnih transformatorjev pa znaša do 6%, kotni pogrešek pa do 6° in to pri 5% nazivne napetosti. Pogrešek distančnega releja znaša pri 3% napetosti tudi do 10%!

2. Vpliv upornosti obloka.

Ker rele ne ugotavlja dejanske vrednosti upornosti obloka v primeru, če je rele napajan tudi z druge strani voda, prihaja pogosto do nepravilnega delovanja

zaščite. Rele namreč zato ugotavlja, da je na eni strani upornost obloka večja od dejanske in da je mesto okvare bliže ali pa da je bolj oddaljeno. To namreč povzročita že obravnavani navidezni oz. kapacitivni upornosti. Upornost obloka je predvsem neprijetna pri kratkih vodih in to čeprav omogočajo sodobni releji območje prve stopnje z ohmsko upornostjo, ki je tudi 10 krat večja od nastavljene impedanace voda. Težave nastopajo tudi z zaščito vodov z vgrajenimi serijskimi kompenzacijskimi kondenzatorji, saj se tako impedanca voda občutno zmanjša.

Ločitev med 2. prepovedanim območjem in med območjem delovanja je težja, saj se območji dotikata. To območje v okolici relejne točke imenujemo mrtvo cono. Če nastopi okvara v tej coni, se namreč lahko dogodi, da napetost ni dovolj visoka, da bi zaščita pravilno delovala. Sicer zadošča pri sodobnih relejih že napetost 1%, vendar lahko pride v napetostnem tokokrogu pri okvari do induciranih napetosti, ki lahko povzročijo nepravilno delovanje zaščite.

Pri kratkih stikih v bližini relejne točke je pri visokonapetostnih vodih običajno upornost obloka dovolj visoka, da zaščita pravilno deluje. Vendar pa obstoja tudi možnost, da pri trifaznem kratkem stiku sploh ne nastopi oblok. Tak primer je, če vključimo na zbiralke ozemljen in kratko vezan vod. Pri nesimetričnih okvarah lahko uporabimo polarizacijske napetosti zdrave faze in se s tem izognemo mrtvi coni. Težje pa je pri trifaznih okvarah. Pri teh pa lahko uporabljamo napetost posebnega spominskega člena, ki nekoliko zadržuje napetost pred okvaro (s posebnim nihajnim krogom omrežne frekvence) in jo doda ustrezni napetosti. Vendar tudi spominski člen ne reši problema z vklopom kratko veznega voda. Zato včasih vežemo kratkotrajno rele na napetost zbiralk in to pred vklopom ali pa kratkotrajno po vklopu voda dopuščamo takojšnji izklop pri delovanju nadtokovnega ali pa podnapetostnega releja.

7.4.1.2.2. Druga stopnja

Medtem ko deluje prva stopnja trenutno, brez namerne zakasnitve, je delovanje druge stopnje namerno zakasnjeno. Čas zakasnitve te stopnje se je z uvedbo hitrih odklopnikov (s časom izklopa 40 ms) in hitrih relejev v prvi stopnji (čas teh se je zmanjšal od 60 ms na 15 do 25 ms), zmanjšal od 500 ms na ca 150 ms.

Druga stopnja ima dve nalogi in sicer deluje kot glavna zaščita in kot rezervna zaščita, deluje pa naj enako kot prva stopnja, vedno selektivno.

Kot glavna zaščita deluje pri okvarah na vodu, katere ni zajela prva stopnja in pa pri okvarah na zbiralkah, seveda v kolikor ni predvidena posebna zbiralnična zaščita. Z uvedbo povezave distančnih relejev na obeh straneh voda zajema rele že v prvi stopnji vse okvare v vodu, s tem pa postane tudi za preostali del voda druga stopnja rezervna.

Vsekakor pa je druga stopnja rezervna zaščita za sosednje vode in pa za zbiralnično zaščito, če je ta vgrajena. Ker ni željeno, da bi deloval rele v drugi stopnji, zavarujemo z drugo cono le do 50% najkrajšega sosednjega voda. Vendar pa se nastavljeni doseg druge cone lahko zmanjša ali pa poveča. Do zmanjšanja pride v primeru, da okvaro napajajo tudi drugi vodi. Zato se napetost na sosednjem vodu dvigne, to pa povzroči, da rele zazna impedanco, višjo od dejanske. Obratno pa se dogodi, če vod napaja poleg voda z okvaro še vode z bremeni. V tem primeru pa lahko deluje rele tudi pri okvarah, ki so dalj od nastavljenega dosega. Seveda je tak preseg delovanja nevarnejši od zmanjšanja dosega, saj lahko povzroči neselektivno delovanje zaščite, namreč istočasni izklop dveh relejev v drugi stopnji.

Ker včasih želimo na mesto daljinske rezerve lokalno rezervo v isti postaji, nastavimo delovanje releja tako, da deluje tudi v tretjem kvadrantu, torje da deluje tudi v obratni smeri in to pri okvarah na lastnih zbiralkah oz. pri okvarah v začetnem delu vodov, ki potekajo iz teh zbiralk. Seveda pa je domet v obratni smeri v tem primeru krajši od dometa v smeri voda.

7.4.1.2.3. Preostale distančne stopnje

Naloga tretje in ev. četrte stopnje je, da deluje kot rezervna zaščita pri zatajitvah ostalih zaščit. Zato ne moremo pričakovati, da bo rele vedno deloval selektivno. Kriterij za nastavitve dometa tretje in četrte cone so različni. Naj navedemo enega: tretja stopnja naj se nastavi na vrednost impedance voda, kateremu prištejemo impedanco sosednjega voda in 25% impedance podaljšanega tretjega voda.

7.4.1.2.4. Startni člen

Naloga tega člena je, da vključi časovni rele in da preklaplja merilna področja, ustrezno časovnim stopnjam. Pri novejših relejih prevzame včasih to nalogo tudi rele zadnje distančne cone. Dočim so startni členi pri srednjenapetostnih distančnih relejih nadtokovni, so pri visokonapetostnih vodih startni releji skoraj vedno releji, ki merijo upornost, le za zemeljske stike se uporabljajo včasih tudi nadtokovni releji na residualni tok. V kolikor uporabljamo le en merilni rele za vse vrste okvar, je dodatna naloga startnega člena, da veže na ta rele napetosti in toke, ustrezno nastali napaki.

Celotno območje, ki ga pokriva distančni rele in s tem tudi startni člen, ne sme nikakor segati v območje minimalnih obratovalnih impedanc na sosednjih zbiralkah kot tudi v območje kratkotrajnih dopustnih preobremenitev.

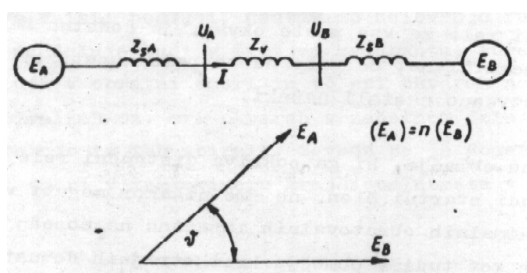
7.4.1.3. Blokiranje pri nihanju v omrežju

Ni želeno, da deluje distančna zaščita pri nihanju v omrežju. Če vod povezuje dva sistema, lahko pride med njunima nadomestnima elektromotornima silama E_A in E_B do precejšnjih faznih razlik, ki jo označimo s kotom ϑ (sl. 7.6). V tem primeru lahko pride do napetosti in tokov, katerih kvocient je manjši od nastavljene vrednosti distančnega releja. To pa lahko povzroči delovanje zaščite in to čeprav v vodu ni okvare. V tem primeru je napetost v relejni točki A enaka izrazu

$$U_A = E_A - I * Z_{sA} \quad (7.11)$$

Vrednost toka I je v tem primeru:

$$I = \frac{E_A - E_B}{Z_{sA} + Z_v + Z_{sB}} \quad (7.12)$$



Sl. 7.6

Navidezna impedanca, imenujemo jo nihajna impedanca, je torej

$$Z_n = \frac{U_A}{I} = \frac{E_A}{E_A - E_B} * (Z_{sA} + Z_v + Z_{sB}) - Z_{sA} \quad (7.13)$$

Razmerje $E_A : (E_A - E_B)$ lahko izrazimo tudi z

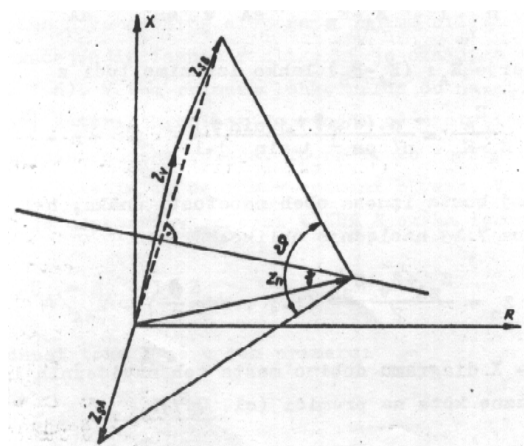
$$\frac{E_A}{E_A - E_B} = \frac{n * (\cos \vartheta + j * \sin \vartheta)}{n(\cos + j * \sin) - 1} \quad n = \frac{|E_A|}{|E_B|} \quad (7.14)$$

Če naj bosta iznosa obeh napetosti enaka, $n = 1$, dobi enačba 7.13 naslednjo obliko:

$$Z_n = \frac{Z_{sA} + Z_v + Z_{sB}}{2} \left(1 - j * \operatorname{ctg} \frac{\vartheta}{2} \right) - Z_{sA} \quad (7.15)$$

V R - X diagramu dobimo mesta teh navideznih impedanc za razne kote na premici (sl. 7.7).

Da preprečimo neželeno delovanje pri nihanju v omrežju jemljemo relej, ki s startnimi členi čim manj posegajo v 4. kvadrant. Če pa obstoja možnost, da pride do še večjih nihanj oz. da pride celo do razpada iz sinhronizma ko kot ϑ prekorači vrednost 180° , pa moramo uporabiti posebni blokirni člen, ki tako delovanje prepreči. V ta namen uporabimo poseben blokirni člen, ki je nastavljene na višjo upornost kot je upornost startnega člena. Če nastane okvara v vodu, delujeta oba člena istočasno in delovanje ni blokirano. Če pa je nihanje, se vključi najprej blokirni člen, malo za njim pa še startni člen. V tem primeru predvidevamo, da je vzrok temu nihanje in blokiramo delovanje distančnega releja za čas, ki je odvisen od predvidene frekvence nihanja, in je običajno pod 500 ms.



SI 7.7

7.4.1.4. Karakteristike delovanja distančnih relejev

Izvedba distančnega releja mora omogočati pravilno delovanje pri vseh možnih kratkih stikih: pri trifaznem kratkem stiku, pri vseh treh dvofaznih kratkih stikih, pri vseh treh enofaznih kratkih stikih, pri trifaznem stiku z zemljo in pri vseh treh dvofaznih stikih z zemljo, skupaj torje 11 možnih kratkih stikov. Prav tako mora delovati pravilno pri vseh predvidenih stopnjah.

7.4.1.4.1. Izvedbe brez preklapljanja merilnih členov 1. stopnje

Če naj opravljamo meritve brez preklapljanja, zadošča za vse omenjene možne kratke stike 6 členov in sicer 3 za dvofazne okvare in 3 za enofazne okvare. Vendar obstojajo tudi izvedbe brez preklapljanja, kjer opravi meritve za vse tri dvofazne okvare le en člen. Z direktnimi meritvami brez preklapljanja dosežemo čase od 8 do 20 ms. Prav tako omogoča večje število članov karakteristike, ki so pri dvofaznih okvarah različne od karakteristik pri enofaznih okvarah. Dočim predstavljajo pri elektromehanskih relejih posamezni členi

dejansko tudi samostojne releje, to za statične izvedbe ne velja več popolnoma, saj so številni elementi skupni več členom.

7.4.1.4.2. Izvedbe s preklapljanjem merilnega člena 1. stopnje

S preklapljanjem, ki ga opravlja startni del, lahko uporabimo le en merilni člen. Seveda ima ta člen enako karakteristiko za vse vrste okvar. Prav tako pa se podaljša čas delovanja in to pri elektromehanskih tudi za 20 ms, pri statičnih izvedbah pa za nekaj ms.

Startni del ima lahko 6 členov, če pa uporabimo preklapljanje pa ima lahko le 4 člene. V tem primeru tokovni rele na residualni tok preklopi napajanje ostalih treh členov od linijskih veličin na fazne in to napetosti kot tudi toke. To uporabimo lahko le v primeru, če ostali trije členi merijo upornosti.

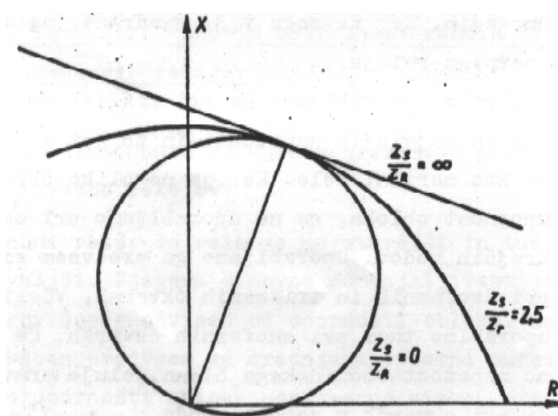
7.4.1.4.3. Karakteristike in uporabnost raznih izvedb osnovnih relejev

Pri sedanjih distančnih relejih uporabljamo predvsem naslednje izvedbe relejev:

1. Impedančni rele. Ta rele je najstarejši in tudi najenostavnejši. Njegova osnovna pomanjkljivost je, da je njegov doseg odvisen od upornosti obloka. Zato je uporaben predvsem za srednjenapetostna omrežja, kjer se upornosti obloka sorazmerno nizke, prav tako pa v teh sistemih nevtralna točka ni direktno ozemljena in zato distančni rele ni predviden, da bi deloval pri zemeljskih stikih. Seveda pa potrebuje dodatno še smerni rele.
Impedančni rele se uporablja tudi kot neusmerjeni startni rele in pa kot blokirni člen pri nihanju.
2. Premaknjeni impedančni rele. To vrsto dobimo, če premaknemo impedančni rele v smeri R osi. S tem dosežemo, da je njegovo delovanje manj odvisno od upornosti obloka. Karakteristiko premaknemo v odvisnosti od kratkostičnega kota voda in pa od predvidevane upornosti obloka. Uporabljamo ga za zaščito vodov visokih napetosti. Pri določenih vrednostih upornosti obloka dobimo preseg delovanja releja. Je precej izpostavljen nihanju v omrežju. Potrebuje tudi smerni člen.
3. Konduktančni rele. Če premaknemo impedančni rele toliko, v smeri R osi, da gre njegov krog skozi koordinatno izhodišče, dobimo konduktančni rele, ki ga uporabljamo predvsem pri srednjenapetostnih omrežjih. Ker ne sega v 3. kvadrant, ne potrebuje smernega releja.
4. Mho rele. Uporabljamo ga pri zaščiti vodov visokih in najvišjih napetosti in to kot startni in pa kot merilni rele. Ker je nekoliko občutljiv na upornost obloka, ga ne uporabljamo pri zaščiti krajših vodov. Uporabljamo ga predvsem za zaščito pri

dvofaznih in trifaznih okvarah, včasih pa ga uporabimo tudi pri enofaznih okvarah. Če mu dodamo napetost spominskega člana, deluje pravilno tudi pri okvarah v začetku voda.

5. Mho rele s popolno križno polarizacijo. Pri tej izvedbi priključimo na mho rele na mesto napetosti faze, ki je v okvari, napetost zdrave faze. Pri trifaznih okvarah ima isto karakteristiko kot mho rele, njegova karakteristika pa se spremeni pri nesimetričnih okvarah in to v odvisnosti od razmerja impedanc $Z_s:Z_r$. Če je vod priključen na neskončno močno omrežje, je vrednost tega razmerja nič. V tem primeru dobimo zopet karakteristiko mho releja. Če pa se to razmerje veča, dobi krog večji polmer. To je zaželeno, saj se z manjšanjem sistemske impedance z_s zmanjšuje tudi tok in s tem pa se veča tudi upornost obloka. Z večanjem kroga pa se občutljivost na upornost tudi manjša. Poleg tega preide krog v 3. kvadrant in zato deluje tudi pri okvarah v začetku voda rele pravilno. Zaradi teh njegovih odlik ga uporabljamo za zaščito pri dvofaznih okvarah, včasih pa tudi pri enofaznih okvarah. Enako kot mho rele, ga uporabljamo pri zaščiti vodov visokih in najvišjih napetosti (sl. 7.8).



Sl. 7.8

6. Premaknjeni mho rele. Ta rele ima središče kroga nekoliko premaknjeno proti koordinatnemu izhodišču in posega njegovo delovanje nekoliko tudi v 3. kvadrant. Uporabljamo ga včasih kot rele 2. stopnje, kot startni rele, in tudi kot blokirni rele pri nihanju in to v primeru, če je mho rele uporabljen kot startni rele.
7. Ohmski rele. Uporablja se predvsem kot reaktančni rele in kot zaslon. Z dvema ohmskima in dvema smernima relejema lahko sestavimo štiristranični rele, ki ga imenujemo poligonski rele. Reaktančni rele se uporablja pri krajših vodih in to predvsem pri zaščiti pri zemeljskih stikih. Običajno je njegova karakteristika nekoliko nagnjena in to z namenom, da ne dobimo presega delovanja pri navideznih kapacitivnih upornostih obloka.

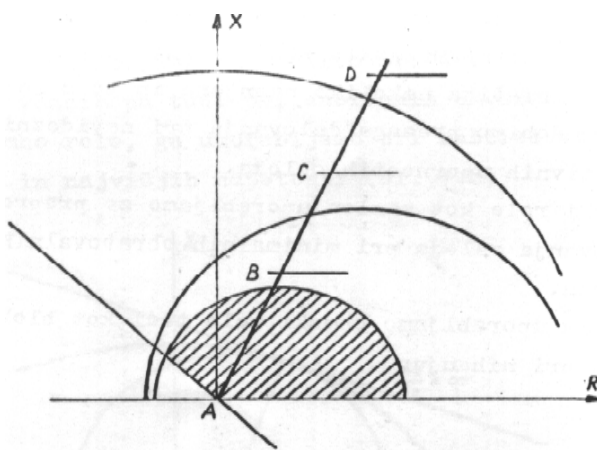
Ohmski rele kot zaslon uporabljamo za preprečitev delovanja releja pri minimalnih obratovalnih impedancah. Včasih uporabljamo ohmski rele tudi kot blokirni člen pri nihanju.

7.4.1.4.4. Primeri celotnih karakteristik nekaterih distančnih relejev

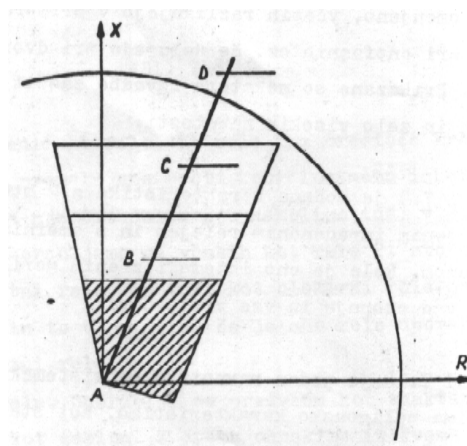
Iz že obravnavanih elementarnih relejev so sestavljene celotne karakteristike distančnih relejev. Te se, kot že omenjeno, včasih razlikujejo v primeru, če delujejo pri enofaznih oz. če delujejo pri dvofaznih okvarah. Prikazane so nekatere izvedbe zaščit za vode visokih in zelo visokih napetosti.

Na sliki 7.9 je podana karakteristika z 2 stopenjskim premaknjenim impedančnim relejem in s smernim startnim členom. Rele je enosistemski z enim merilnim členom za vse stopnje in vse vrste okvar.

Na sliki 7.10 je podan ravno tako enosistemski rele, ki pa ima poligonsko karakteristiko. Kot startni rele je uporabljen tudi smerni rele.

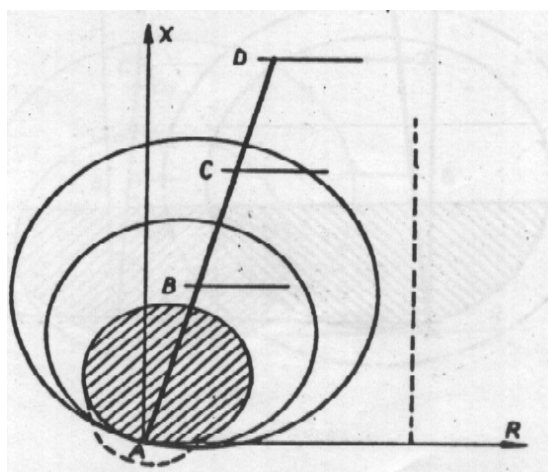


Sl. 7.9



Sl. 7.10

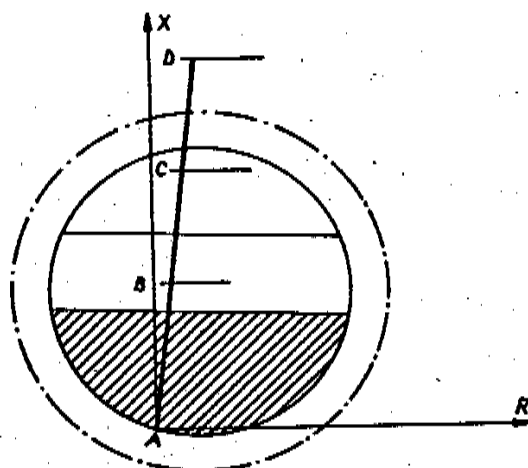
Na vseh ostalih slikah so prikazani večsistemski releji, torej releji z več merilnimi členi.



Sl. 7.11

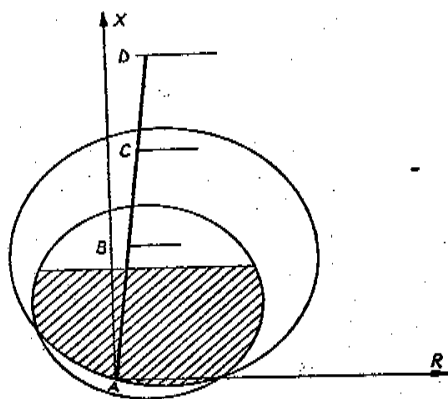
Na sl. 7.11 je podan rele, kjer imajo vsi členi, vključno startni člen, mho karakteristiko. Pri releju je črtkano vrisano področje, ki ga dobimo, če na rele prve stopnje priključimo napetost spominskega člena. Rele uporabljamo predvsem pri zaščiti srednjih in dolgih vodih, deluje pa pri dvofaznih okvarah. Če uporabimo namesto mho releja mho rele s križno polarizacijo, pa je uporaben tudi pri zaščiti enofaznih okvar. Če je predviden za zaščito pri trifaznih okvarah, ga lahko opremimo tudi z zaslonom, ki prepreči delovanje releja pri nižani obratovalni impedanci bremen. Na sliki je zaslon črtkan.

Na sl. 7.12 je narisana karakteristika releja, ki ima v prvi in drugi stopnji reaktančni rele z nekoliko nagnjeno karakteristiko. Startni rele je pa mho rele. Uporabljamo ga pri krajših vodih za zaščito pri dvofaznih okvarah, uporaben pa je tudi pri enofaznih okvarah, ne glede na dolžino. Rele je opremljen tudi z blokirnim členom, ki naj prepreči njegovo delovanje pri nihanju. Ta člen je premaknjen mho rele in je narisano črtopično.



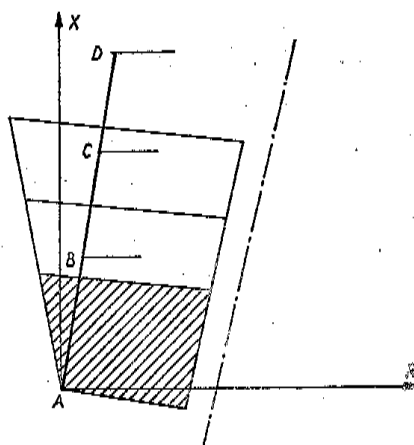
Sl. 7.12

Na sl. 7.13 se nahaja karakteristika releja, ki ima v prvi stopnji reaktančno karakteristiko, v drugi stopnji je premaknjen mho rele, ki omogoča rezervno zaščito proti lastnim zbiralkam. Rele tretje stopnje, ki je tudi startni rele, pa je mho rele.



Sl. 7.13

Na sl. 7.14 je poligonski rele, ki ima tri stopnje, namenjen pa je za zaščito pri enofaznih in trofaznih okvarah. Opremljen je tudi z zaslonom, ki omogoča blokado releja pri nihanju v omrežju.



Sl. 7.14

Naj še omenimo, da lahko uporabljamo v primeru, da so karakteristike releja v posameznih stopnjah med sabo podobne, za vsako vrsto okvare po en rele na fazo, pri čemer opravi startni rele ustrezne preklope. Če pa so karakteristike različne, pa moramo pač uporabiti več relejev.

7.4.1.5. Povezava delovanja distančnih relejev na obeh straneh voda

Pomanjkljivosti distančnih relejev sta v tem, da ne moremo varovati krajših vodov in vodov z vgrajenimi kondenzatorji (L.9) in pa, da lahko odklapljamo vod obojestransko v prvi stopnji le pri okvarah v srednjem delu voda. Preostali del pa se izklaplja v prvi stopnji le enostransko. Posledice tega so težave s stabilnostjo in pa z avtomatskim ponovnim zagonom. Tem težavam se izognemo, če povežemo delovanje distančnih relejev na obeh straneh voda.

Po telekomunikacijskih poteh lahko prenašamo izklopne komade ali pa komade za blokiranje delovanja. Nadalje lahko nastavimo doseg prve stopnje na vrednot, ki je krajša od dolžine voda, lahko pa je doseg tudi daljši od dolžine voda. Zadnji način uporabljamo pri krajših vodih.

Seveda dobimo z uporabo povezav dodatne zakasnitve, ca 20 ms. Od same izvedbe pa je odvisno, če dobimo dodatno zakasnitev pri okvarah na celotni dolžini voda ali pa le na delu voda.

Pri presojanju o odločitvi sistema povezave moramo tudi razmišljati o tem, kaj se dogodi, če pride do napačnega signala ali pa če prenos signala izpade. Nadalje je treba ugotoviti, kako deluje zaščita v primeru, če je vod že enostransko odprt ali pa če zaščita na drugi strani voda ne more delovati, npr. prenizka napetost.

7.4.1.5.1. Prenos izklopnega signala

Prenos izklopnega signala se izvede pri delovanju distančnega releja v prvi stopnji.

a. Rele je nastavljen na impedanco, manjšo od impedance voda. Ta način se v Evropi uporablja najpogosteje. Obstajajo pa tri možnosti:

1. Direktni izklop

V tem primeru delujeta releja prve stopnje na izklop odklopnikov na obeh straneh voda. Izklop je zaradi prenosa signala zakasnen le pri okvarah na delu voda.

Če uporabljamo visokofrekvenčno povezavo po energetske vodu, lahko pride pri okvari na vodu tudi do izostanka prenosa signala, kar ima lahko neljube posledice in je vsekakor pomanjkljivost tega načina. Do istega pride tudi, če rele na drugi strani ne deluje. Napačni signal povzroči vedno nepotrebno delovanje. Nadalje je potrebno, v kolikor uporabljamo enopolni ponovni vklop, prenašati na nasprotno stran tri signale, namreč za vsako fazo po enega.

2. Izklop na nasprotni strani je pogojen z delovanjem startnega releja

Pri tem načinu odpravimo zadnja dva nedostatka direktnega izklopa. Z uvedbo dodatnega kriterija se verjetnost nepotrebne delovanja občutno zmanjša, prav tako pa je potrebno prenašati za enopolni ponovni vklop le en signal, saj omogoča

razpoznavo faze, v kateri je prišlo do okvare, startni člen. Ta način je bil sprejet pri nas pri zaščiti 380 kV vodov.

3. Izklop na nasprotni strani je pogojen z delovanjem releja 2. stopnje. S tem še zmanjšamo možnost nepravilnega delovanja pri napačnem signalu.
- b. Rele je nastavljen na impedanco, večjo od impedance voda. Pri tem načinu dobimo izklop v 1. coni le, če dobimo signal iz nasprotne strani. Zato je delovanje zaščite vedno zakasnjeno za čas, potreben za prenos signala. Če signala ni, deluje rele nato v svoji 2. stopnji. Do napačnega delovanja zaradi nepotrebne signala praktično ne more priti. Ta način uporabljamo predvsem pri kratkih vodih, kjer je najkrajša nastavitev releja daljša od dolžine voda.

7.4.1.5.2. Prenos blokirnega signala

Blokirne signale pošiljamo lahko na dva načina. Pri prvem načinu pošilja distančni rele na eni strani voda blokirni signal distančnemu releju na drugi strani voda in to v primeru, da ne deluje v prvi stopnji, deluje pa njegov neusmerjeni startni člen. Pri drugem načinu pa pošilja distančni rele, ko deluje v prvi stopnji, blokirne signale vsem distančnim relejem na drugi strani vodov, ki so vezani na iste zbiralke. Izjema pri tem je le distančni rele, ki je na drugi strani istega voda. Ta način lahko uporabimo tudi za zaščito zbiralk (poglavje 6.4.5). Uporablja se sicer redko, pri nas je uporabljen pri zaščiti vseh 220 kV vodov v Sloveniji. Pri obeh načinih lahko uporabimo dve možnosti nastavitve.

Rele je lahko nastavljen na impedanco, manjšo od impedance voda. Dobimo takojšnjo delovanje pri okvari v prvi stopnji. Rele druge stopnje deluje na izklop po časovni zakasnitvi, potrebni za prenos blokirnega signala. Če signal ni, rele po omenjeni krajši zakasnitvi izklopi. Če pa signal pride, deluje lahko rele v 2. stopnji šele po svoji normalni zakasnitvi. Prednost tega načina je predvsem, če uporabljamo visokofrekvenčno povezavo po energetskega vodu, saj pri okvari na vodu ni potreben prenos blokirnega signala. Ta se namreč prenaša le po zdravem vodu. Prav tako pride do hitrega izklopa v celotni dolžini tudi v primeru, če na nasprotni strani iz kateregakoli vzroka ni deloval startni rele. Tako deluje zaščita naših 220 kV vodov pri dvo in trifaznih okvarah.

Če je rele nastavljen na impedanco, večjo od impedance voda, deluje zaščita pri okvarah v vodu v prvi stopnji in to zakasnjeno za čas, potreben za prenos blokirnega signala. Če pride blokirni signal, blokira delovanje releja v 1. stopnji. Če pa blokirni signal iz kateregakoli vzroka izostane, pride do nepotrebne delovanja zaščite.

Pri naših 220 kV vodih izključni pri enofaznih kratkih stikih ustrezni distančni rele takoj fazo, na kateri je okvara nastala, in to v podaljšani prvi stopnji. Ta zajema celotno dolžino voda, nasprotne zbiralke in pa del naslednjih vodov. Seveda lahko pride pri tem tudi do nepotrebne izklopov (neselektivno delovanje zaščite). Ker pa je uporabljen avtomatski

ponovni vklop, je tako neselektivno delovanje dopustno. Istočasno z izklopnim impulzom pa pošlje distančni rele tudi blokirne signale, ki trajajo 2 sekundi. Ti blokirni signali onemogočajo neselektivne izklope v primeru, da po ponovnem vklopu okvara še traja.

7.4.1.5.3. Načini prenašanja izklopnih oz. blokirnih signalov

Za prenašanje binarnih signalov za izklop oz. za blokiranje izklopa uporabljamo predvsem tri načine in sicer telekomunikacijske kable, visokofrekvenčno povezavo po energetskih vodih in pa brezžično povezavo.

Telekomunikacijske kable uporabljamo predvsem za krajše razdalje. Pri njih uporabljamo kot nosilce informacij enosmerni tok, izmenični tok omrežne frekvence ali pa izmenični tok zvočnih frekvenc. Prenos z enosmernim tokom uporabljamo redkeje in to predvsem zaradi napetosti, ki se pojavljajo pri zemeljskih stikih.

Najpogosteje uporabljamo visokofrekvenčno povezavo po energetskih vodih, ki jo uporabljamo tudi v druge namene. Ker nastopa skupno z okvaro na energetskem vodu, lahko tudi prekinitve prenosa signala ima, kot že omenjeno, pri tem načinu prenosa določeno prednost prenos blokirnega signala pred prenosom izklopnega signala.

V zadnjem času se uporabljajo tudi brezžične povezave. Ker prekinitve teh prenosnih poti ne sovpadajo z nastopom okvare na vodih, uporabljamo pri teh povezavah predvsem prenos izklopnega signala.

7.4.2. Zaščite s fazno primerjavo

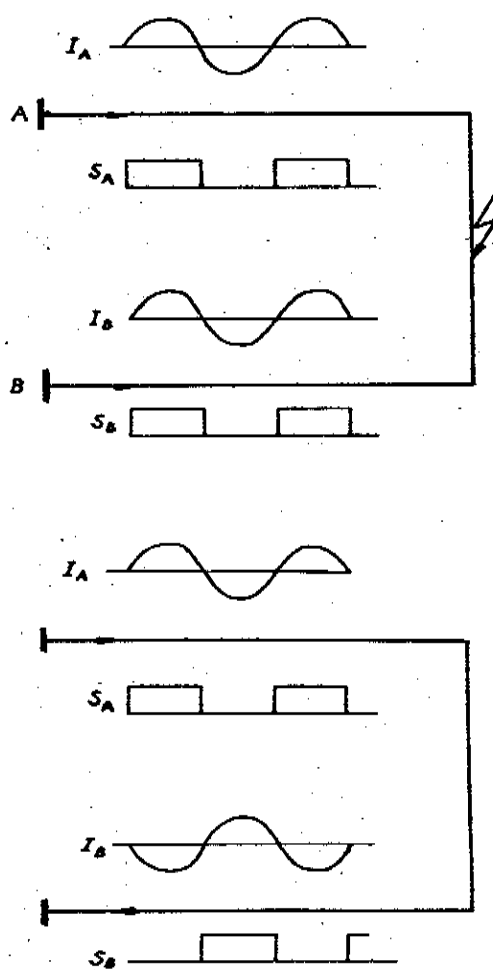
Te zaščite uporabljamo kot glavno zaščito pri okvarah na vodih visokih in najvišjih napetosti. Ker se v marsičem dopolnjujejo z distančno zaščito, se pogosto uporabljajo kot druga glavna zaščita in to predvsem v Severni Ameriki in Veliki Britaniji in to že od leta 1930. Pri tej zaščiti namreč ni problemov s kratkimi vodi, niti z vodi z vgrajenimi kondenzatorji. Prav tako te zaščite ne delujejo pri nihanju v omrežju oz. pri izpadu iz sinhronizma. Tudi inducirane napetosti ničnega zaporedja, ki se pojavljajo pri okvarah na paralelnih vodih, ne vplivajo na njihovo delovanje. Končno naj še omenimo, da za njihovo delovanje niso potrebne napetosti.

7.4.2.1. Principi delovanja

Osnovni principi te zaščite je primerjava faz tokov na obeh konceh voda. To je torej absolutno selektivna zaščita z dvema relejnima točkama na konceh voda. Zaščiteno območje je med

tokovnimi transformatorji na obeh straneh voda. Pri tej zaščiti lahko primerjamo le en polval toka (enojna primerjava). Seveda je zaščita z dvojno primerjavo lahko za pol periode hitrejša. V nadaljevanju bomo radi enostavnosti obravnavali le enojno primerjavo.

Na sl 7.15 so prikazane razmere pri okvari na vodu in pa pri okvari izven voda v smeri relejne točke B. V prvem primeru tečejo vsi tokovi v smeri okvare, v drugem primeru pa teče tok iz A v vod, v točki B pa iz voda. Ves čas, ko pri okvari teče tok v pozitivni smeri, se prenaša binarni signal tudi na nasprotno stran. Iz primerjave prejetega in lokalnega signala lahko ugotovimo, če je na vodu nastala okvara.



Sl. 7.15

Za primerjavo lahko uporabimo dva principa in sicer izklopni ali pa blokirni. Pri izklopnem principu dobimo izklop v primeru, ko dobimo istočasno oba signala: $(S_A * S_B)$. Pri blokirnem principu pa dobimo blokirni signal v primeru, če ni niti signala S_A niti signala S_B : $(\bar{S}_A * \bar{S}_B)$. Izklop se v tem primeru izvede, če je bil predhodno eden ali pa oba signala, nato pa ni niti enega signala.

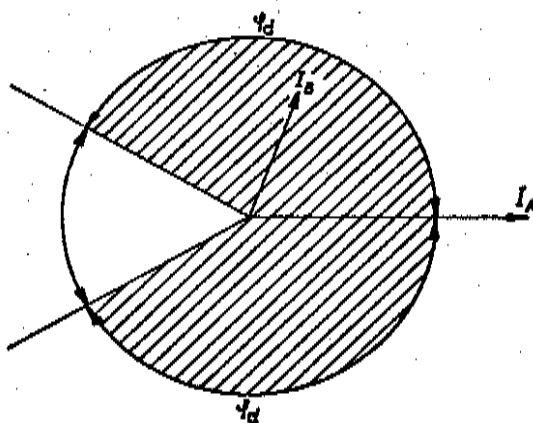
Normalno uporabljamo blokirni princip. Za prenos signala uporabljamo namreč pogosto visokofrekvenčno povezavo pa energetskih vodih. Pri okvari na vodu pa se lahko

dogodi, da je prenosna pot tudi prekinjena. Poleg tega pri tem principu deluje zaščita tudi, če na nasprotni strani zaščita zaradi prenizkega toka ni delovala.

7.4.2.2. Nastavitev kota delovanja

Pri nastavitvi kota delovanja med obema tokovoma moramo dodatno upoštevati kapacitivne tokove in pa čas prenosa. V vod pritekajo polnilni kapacitivni tokovi, ki lahko pri okvarah izven zaščenega področja povzročijo nepotrebno delovanje zaščite. Zaradi kapacitivnih tokov namreč pride do faznega premika med tokovi, ki v vod pritekajo in tokovi, ki vod zapuščajo.

Prav tako je potrebno upoštevati tudi čas prenosa signala, saj pri dolžini 100 km znaša že 0,33 ms, to pa predstavlja zakasnitev 6° . Iz omenjenih razlogov nastavljam kot delovanja φ_d na ca 150° , tako, da ne prihaja do nepotrebnih delovanj (slika 7.16).



Sl. 7.16

7.4.2.3. Trifazno tokovno sumiranje

Pri fazni primerjavi v vseh treh fazah bi bilo potrebno prenašati v obe smeri po 3 signale. Da lahko uporabimo mesto treh signalov le enega, uporabljamo posebno vezje, ki iz treh faznih tokov izlušči nov tok, sestavljen iz komponent tokov pozitivnega in negativnega zaporedja. Komponente tokov pozitivnega zaporedja se pojavijo pri vseh okvarah, dočim komponente negativnega zaporedja le pri nesimetričnih okvarah. Pri izbiri sestave moramo upoštevati, da dobimo pri okvari npr. pri zemeljskem stiku z visoko prehodno upornostjo lahko še bremenilni tok, ki je še posebej izrazit pri enostranskem napajanju in ki lahko prepreči delovanje zaščite. Da to preprečimo, nastavljam razmerje med tokovi negativnega in tokovi pozitivnega razmerja na 6 ali pa celo na višje vrednosti.

7.4.2.4. Startni rele

Ker ni želen stalni prenos informacij, aktivira zaščito posebni startni rele. Pri nesimetričnih okvarah se zaščita aktivira, če komponente negativnega zaporedja dosežejo 6 do 20% vrednosti nazivnega toka. Težje pa je pri simetrični okvari, namreč pri trifaznem kratkem stiku. Aktiviranje pri tej okvari se lahko izvede le pri toku, ki je višji od nazivnega. Lahko pa se zaščita tudi aktivira pri nenadni spremembi toka, kar je značilno za nastop okvare.

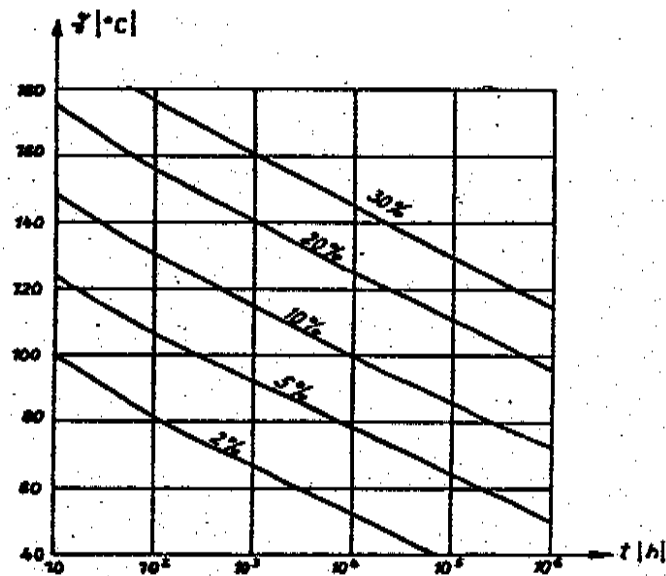
7.5. PREOBREMENITVENE ZAŠČITE

Od preventivnih zaščit uporabljamo le pir važnih visokonapetostnih vodih preobremenitvene zaščite, ki pa so lahko v precejšnjo pomoč predvsem operaterjem v centroh vodenja elektroenergetskih sistemov (L.21).

7.5.1. dovoljene temperature vodnikov

Dopuščene temperature vodnikov določata material vodnikov in pa povesi. Seveda pa je treba pri preobremenitvah upoštevati tudi druge elemente, skozi katere teče tok (spojni material, tokovni transformatorji, dušilke, stikala). Ker se pri nas uporabljajo v vodih visokih in najvišjih napetosti skoraj izključno Al/Fe vrvi, se bomo ozirali le na razmere pri njih. Poves je pogosto dimenzioniran na sorazmerno nizke temperature. V bližnji preteklosti je bila temperatura za dimenzioniranje povesa le 40°! V kolikor je vod dimenzioniran na poves pri tej temperaturi vodnika, ne sme temperatura v normalnem stanju preseči te vrednosti. V zadnjem času se je ta temperatura dvignila na 60°. V Veliki Britaniji je že sprejeta temperatura 75°, pri kateri naj bo poves še v dopustnim mejah.

Maksimalna temperatura pri Al/Fe vrveh znaša do 170°C. Pri višjih temperaturah namreč nastopajo trajne deformacije, zmanjšuje se natezna trdnost, tvorijo pase tudi tako zvane »ptičje kletke«. Seveda lahko te temperature trajajo le kratek čas, npr. pri kratkih stikih. Trajno trajajo le kratek čas, npr. pri kratkih stikih. Trajno dovoljena temperatura pa je občutno nižja. Pri nas znaša 80°. V predpisih drugih držav pa zasledimo tudi višje vrednosti. Seveda pa se z višjo temperaturo zmanjšuje tudi s časom natezna trdnost vrvi. Na sl. 7.17 je podana odvisnost med zmanjševanjem natezne trdnosti, temperaturo in časom trajanja. Na tej osnovi lahko pristopimo k določevanju dovoljene temperature, namreč z zahtevo, da naj se npr. v vodu zmanjša v njegovi življenjski dobi obratovanja (npr. 50 let) njegova natezna trdnost za 8%.



Sl. 7.17

7.5.2. Povezava med temperaturo vodnika in tokom

Povezava med temperaturo vodnika in med tokom, ki teče skozenj, je podana s toplotno bilanco med:

- toplotno energijo, ki jo dobiva z električnim tokom in s sončno radiacijo
- toplotno energijo, ki jo vodnik oddaja v okolico s sevanjem in konvekcijo in
- toplotno energijo, ki se troši za ev. segrevanje vodnika ali toplotno energijo, ki jo vodnik oddaja pri ev. ohlajevanju.

Toplotna energija, ki jo dobi vodnik od sonca, je odvisna od višine sonca, izražena v stopinjah, od čistosti zraka, od nadmorske višine in od emisijskega koeficienta vodnikove površine. Ta je pri polpoliranem vodniku 0,08, pri oksidiranem in umazanem pa kar 0,93! Sonce segreje v naših krajih Al/Fe vrv pri mirnem ozračju do okoli 8°C.

Toplotna energija, ki jo oddaja vodnik v okolico s sevanjem, je odvisna od temperature vodnika, temperature tal in temperature ozračja ter od že omenjenega emisijskega koeficienta.

Vrednost s konvekcijo oddane toplotne energije je odvisna predvsem od temperature vodnika in pa od vetra, saj je že pri hitrosti vetra 1m/s običajno enkrat večja kot pri mirujočem ozračju.

Za izračun temperature vodnika v stacionarnem stanju so že izdelani računalniški programi (L:20) za posamezne vrste vodnikov pa so izdelane tabele, kjer najdemo temperaturo vodnika pri raznih vrednostih tokov, okoliške temperature in pa hitrosti vetra.

7.5.3. Vpliv atmosferskih razmer na tokovno obremenljivost

Če želimo določiti, koliko se bo izbranemu vodniku v njegovi življenjski dobi zmanjšala njegova natezna trdnost, moramo za posamezne tokovne obremenitve predvideti čas njihovega trajanja pri določenih atmosferskih razmerah, predvsem je važna predvidena temperatura okolice in pa hitrost vetra.

Če predpostavimo, da bo tokovna obremenitev konstantna, je problem dokaj preprost. Potrebno je le poznati za mesto, kjer predvidevamo na vodu najvišjo temperaturo, povprečno število ur na leto, ko je temperatura okolice in hitrosti vetra v določenih mejah.

Hidrometeorološki zavod Slovenije je poiskal za razna temperaturna območja in območja hitrosti vetra število ur za Ljubljano v letu 1971 in to v času od 6^h do 22^h. Rezultati so podani v tabeli 7.4.

Tabela 7.4

Hitrost vetra (m/s)	Temperatura okolice					
	10°-15°	15°-20°	20°-25°	25°-30°	30°-35°	35°-40°
Do 1	537	438	157	35	4	0
1-2	249	271	229	85	17	0
2-3	125	142	135	94	27	0
Nad 3	172	244	183	135	17	3

Žal omogočajo naprave v ljubljanski meteorološki postaji le meritve vetra nad 1 m/s. Vsekakor je zanimivo, da nastopajo pri višjih temperaturah tudi močnejši vetrovi.

Pri normalnih pogonskih razmerah, ko se tokovne obremenitve precej spreminjajo, je pri predvidevanjih istočasno upoštevanje tokovne obremenitve in pa okoliških razmer vezano na precejšnje, skoraj nepremostljive težave. Zato nekateri avtorji jemljejo pri planiranju vodov okoliške razmere in tokovno obremenitev kot med sabo neodvisne spremenljivke. Često izračun poenostavljajo s tem, da predpostavljajo, da zmanjšujejo natezno trdnost le nazivni tokovi, ki da trajajo sorazmerno kratek čas (5 do 10% celotnega časa), in pa tokovi, ki le kratkotrajno prekoračujejo nazivni tok.

Če bi bil vod grajen za povs povprečno pri maksimalni, trajno dopuščeni temperaturi, bi pri referenčnih pogojih tekla nazivni tok, ki bi ravno segrel vodik na to temperaturo. Po nemških normah so referenčni pogoji ustvarjeni pri temperaturi okolice 35°C in hitrosti vetra 0,6 m/s ter maksimalni sončni radiaciji. Če so vremenski pogoji ugodnejši (nižja okoliška temperatura, večja hitrost vetra, zastrtost sonca), je lahko vodik obremenjen z občutno višjim tokom.

Kot primer naj navedemo, da ima vodik Al/Fe 240/40 mm², napet z 8,25 kp/mm (pri -5°C z dodatnim bremenom), pri temperaturi vodnika 40°C in 400 m razpetini povs 16,3 m.

Poves se poveča za ca 0,2% na stopinjo Celzija. Pri toku 2,5 A/mm² doseže vodnik pri referenčnih pogojih (temperatura okolice 35°) temperaturo 80°C. Pri nižjih temperaturah okolice je lahko tok za ca 0,8%/°C višji, če naj bo temperatura vodnika ista (80°C).

Poleg tega lahko vodnik kratkotrajno dodatno obremenjujemo zaradi njegove termične inercije v primeru, če je bil napajan predhodno s tokom, nižjim od nazivnega. Na dopuščeni čas trajanja vpliva poleg vrednosti toka pred preobremenitvijo in toka preobremenitve predvsem časovna konstanta voda. Na njeno vrednost vplivajo dimenzije vodnika in pa hitrost vetra, dočim vpliva temperatura na časovno konstanto sorazmerno malo. Pri Al/Fe 360/57 vrvi je bila izmerjena časovna konstanta pri mirnem ozračju 20,8 minute (pri -23°C) oz. 23 minut (pri -35°C), pri hitrosti vetra 8 m/s pa je bila 4,1 minute, neodvisno od temperature.

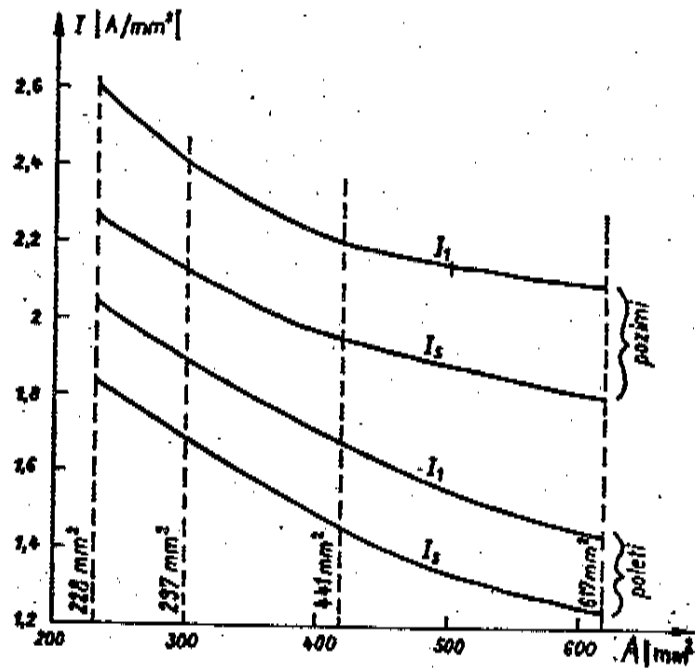
7.5.4. Izvedbe preobremenitvenih zaščit

Kot sledi iz do sedaj obravnavane problematike, bi morala idealna preobremenitvena zaščita izpolnjevati številne zahteve. Predvsem naj bi delovala na osnovi direktne ali indirektno meritve temperature vodnika.

Pri prekoračitvi trajne, še dopustne temperature vodnika, bi zaščita morala to signalizirati. Želena bi pa bilo, da bi zaščita tudi javljala še dopustno trajanje nastale preobremenitve. Če bi bilo to trajanje krajše od trajanja predvidene obremenitve, dobljene iz predvidenega dnevnega diagrama obremenitve voda, ne bi bilo potrebno nikakršno ukrepanje. Če pa bi bila preobremenitev previsoka in zato dopuščeni čas trajanja prekratek, pa bi bilo potrebno avtomatično ukrepanje zaščite ali pa ročno ukrepanje dispečerja. Pri tem prihajajo v poštev predvsem zmanjšanje odjema oz. izklopom določenih potrošnikov ali pa povišanje proizvodnje delovne sile jalove moči na strani odjema. Čas, potreben za avtomatsko ali pa daljinsko razbremenitev voda je 1 do 2 minuti, za razbremenjevanje preko telefonske zveze pa je potreben čas občutno daljši (10 do 30 minut). Če razbremenitev ne bi bila zadostna ali uspešna, bi pa bilo potrebno, da bi se vod avtomatično izključil, ko bi zaščita ugotovila, da je temperatura vodnika dosegla maksimalno, za take primere dopuščeno vrednost.

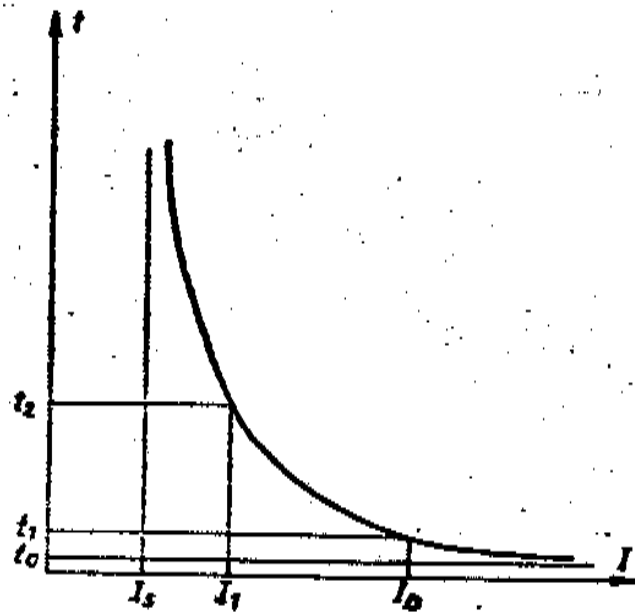
7.5.4.1. Nadtokovna zaščita

Nadtokovna zaščita omogoča le upoštevanje trenutne vrednosti toka. Vrednosti nastavitve zaščit so lahko odvisne od lastnega časa (npr. v Franciji – L.23), lahko pa od zunanje temperature. V Veliki Britaniji so npr. določene vrednosti tokov za temperature izpod 5°C, za temperature med 5°C in 18°C in pa za višje temperature. Dovoljene gostote v vodnikih so za posamezne preseke podane na sl. 7.18. Te vrednosti so sprejeli v Franciji. Spodnje vrednosti veljajo za toplejšo polovico leta, zgornje pa za hladnejšo polovico leta.



Sl. 7.18

Nadtokovne zaščite imajo običajno več stopenj. Pri prekoračitvi najnižje stopnje I_s se vključi alarm, ki opozori operaterja na nastop preobremenitve. Po določenem času t_2 (5 ali do 20 minut) sledi avtomatski izklop voda. Če je tok višji od drugega nastavljenega nivoja I_1 , deluje na izklop v času t_1 , npr. v 20 s. Pri vrednosti toka, višji od I_0 pa deluje zaščita že po času t_0 (nekaj sekund) (sl. 7.19).



Sl. 7.19

7.5.4.2. Termični posnetek

Pri tej zaščiti upoštevamo več parametrov in sicer predčasno obremenitev, okoliško temperaturo, včasih hitrost vetra in pa še sončno radiacijo. Na tej osnovi izračunavajo predvideno temperaturo vodnika, ki se pri prekoračitvi nastavljenih vrednosti javlja operaterju. Pri prekoračitvi drugega nivoja pa deluje zaščita na izklop.

7.6. REZERVNE ZAŠČITE

Ker omogoča distančna zaščita poleg glavne tudi rezervno zaščito, uporabljamo pri vodih visokih in zelo visokih napetosti predvsem rezervne zaščite, ki delujejo pri zemeljskih stikih z visoko prehodno upornostjo na mestu okvare. V ta namen uporabljamo nadtokovne, ki so priključeni na residualni tok, in smerne nadtokovne in pa močnostne releje s faznim kotom, ki so priključeni na residualno napetost in residualni tok.

7.6.1. Nadtokovni rele

Ta rele meri residualni tok v vodu. To zaščito uporabljamo le tam, kjer priteka lahko residualni tok le iz ene smeri. Z ozirom na predvideno maksimalno upornost na mestu okvare določimo nastavitev releja, ki je lahko tudi le 1% nazivnega toka. Vendar pa tako visoka občutljivost ni vedno možna, predvsem zaradi residualnih tokov v normalnem obratovanju. Vzroki zanje so nesimetrično grajeni vodi in pa pogreški tokovnih transformatorjev.

Delovanje teh relejev je običajno zakasnjeno, da namreč predhodno izključijo zemeljski stik ostale zaščite. Te zaščite stopnjujemo slično kot nadtokovne releje. Uporabljamo lahko nadtokovne, časovno odvisne releje ali pa nadtokovne, časovno neodvisne releje s časovnimi stopnjami.

7.6.2. Nadtokovni smerni releji

Če je sistem na obeh straneh voda ozemljen, moramo uporabiti kot kriterij za izklop poleg toka še smer. V ta namen uporabljamo smerne releje s karakterističnim kotom 45° oz. 60°.

Pri visokih prehodnih upornostih včasih residualna napetost v relejni točki ni dovolj visoka za delovanje smernega releja. Če je v postaji nameščen tudi močnostni transformator z ozemljenim zvezdiščem, lahko uporabimo za polarizacijo tok, ki teče skozi ozemljeno zvezdišče, lahko pa tok tudi kombiniramo z residualno napetostjo.

Pri teh zaščitah nastopajo včasih težave s selektivnostjo delovanja. Sicer lahko z računom predvidevamo zemeljskostične tokove pri zemeljskih stikih v sistemu in na tej osnovi določimo, slično kot pri distančni zaščiti, časovne stopnje za posamezne vrednosti residualnih tokov. Vendar so lahko razmere bistveno drugačne od predvidevanih in pride zato do neselektivnih delovanj zaščite. Občutljivost smernega releja je običajno 1 do 3%.

7.6.3. Močnostni rele s faznim kotom

Karakteristični kot tega releja je enako kot pri smernem releju 45° oz. 60° . Če je kot med residualnim tokom in residualno napetostjo v relejni točki enak karakterističnemu kotu, meri rele njun produkt. Vrednost tega produkta je tem večja, čim bliže je relejna točka mestu okvare. Zato uporabljamo pogosto časovno odvisne močnostne releje, ki lahko omogočajo selektivno delovanje zaščite. Pri visokoohmskih okvarah pa je selektivnost delovanja nekoliko vprašljiva. Občutljivost releja je 3%.

8. ZAŠČITA SREDNJENAPETOSTNIH VODOV

8.1. UVOD

Značilnosti zaščite srednjenapetostnih vodov so, da so zaščite enostavnejše in cenejše kot zaščite visokonapetostnih vodov in da zato običajno dopuščamo tudi daljši delovni čas, da pa so točnejše in bolj zanesljive kot zaščite nizkonapetostnih omrežij.

Srednjenapetostnih omrežij z efektivno ozemljeno nevtralno točko skoraj ni. Obstojajo pa vsi ostali načini ozemljevanja nevtralne točke. Zato lahko smatramo zemeljskostične zaščite ravno posebnost srednjenapetostnih zaščit. Obstojata namreč precejšnje število izvedb kot tudi raznih zamisli ravno na področju zemeljskostičnih relejev.

Praviloma se vsi releji napajajo preko zaščitnih transformatorjev. Le v izjemnih prilikah dopuščamo dosti manj točne primarne releje, ki so nameščeni na odklopnikih in napajani direktno s tokom primarnega omrežja.

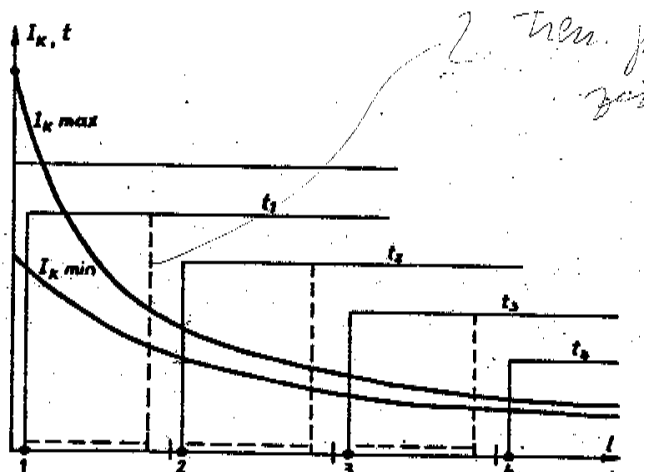
8.2. KRATKOSTIČNE ZAŠČITE

Pri nas uporabljamo skoraj izključno kratkostične zaščite s stopenjskimi časovnimi nastavitvami. Največ omrežij je radialnih, ki omogočajo uporabo nadtokovne zaščite. Pri dvostransko napajanih vodih uporabljamo smerne nadtokovne zaščite. Le pri zazankanih omrežjih z več različnimi napajališči moramo uporabljati distančne zaščite, ki pa so enostavnejše kot v visokonapetostnih omrežjih. Delujejo namreč le pri medfaznih kratkih stikih, kjer je upornost obloka običajno zanemarljiva. Ker smo distančne zaščite že obravnavali, bomo tu obravnavali le tokovne zaščite.

Absolutno selektivnih zaščit vodov pri nas skoraj ne uporabljamo in jih detajlneje zato ne bomo obravnavali. Te zaščite zahtevajo kabelsko povezavo med koncema voda, dalje posebno zbiralniško zaščito in pa še neko rezervno zaščito. Njihova prednost je, da zajemajo stike med fazami in med fazami in zemljo. Te zaščite se namreč pretežno uporabljajo v omrežjih z nevtralno točko, ozemljeno z majhno upornostjo. Prav tako je njihova prednost hitrost delovanja.

8.2.1. Nadtokovna, časovno neodvisna zaščita

V sredjenapetostnih radialnih omrežjih je to pri nas najpogosteje uporabljena zaščita. Selektivnost delovanja teh, relativno selektivnih zaščit dobimo s časovnimi stopnjami. Za pravilno delovanje te, sorazmerno enostavne in zato tudi ne predrage zaščite, so poleg ustreznih relejev potrebne pravilne nastavitve tako časa kot tudi tokov.



Sl. 8.1

8.2.1.1. Kriteriji za nastavitve

Pri nastavitvi nadtokovnih in časovnih členov je potrebno upoštevati štiri skupine parametrov in sicer karakteristike uporabljenega releja, bremenske in kratkostične tokove, ter nastavitve ostalih zaščit v omrežju. Nadtokovne zaščite namreč zajemajo celotno sredjenapetostno omrežje, lahko tudi različnih napetostnih nivojev, vključno vode, zbiralke in transformatorje.

1. Karakteristike releja, ki vplivajo na nastavitve so: povratno razmerje, povratni čas, pozitivni in negativni mejni pogrešek nadtokovnega in časovnega člena.
2. Bremenski tokovi, ki vplivajo na nastavitve so: najvišji, dalj časa trajajoči bremenski tokovi, ki tečejo skozi rele v najbolj neugodnih razmerah, npr. pri

nizkih napetostih. Poleg tega odločajo o nastavitvi tudi kratkotrajne preobremenitve, ki nastopajo po odstranitvi okvare oz. pri avtomatskem ponovnem vklopu. Če so v omrežju veliki motorji, je včasih potrebno upoštevati tudi njihov zagonski tok, trajanje zagona in ev. delovni čas zaščite motorja pri zavrtem rotorju. Pri kratkotrajnih preobremenitvah se nadtokovni rele lahko sproži, zaščita pa ne sme delovati. Željeno je, da dobimo za posamezne relejne točke krivulje, ki podajajo najvišji predvideni obremenilni tok v odvisnosti od časa trajanja.

3. Od kratkostičnih tokov je potrebno poznati predvsem najmanjši možni kratkostični tok in to tudi v območju v katerem naj zaščita kot rezervna zaščita še deluje. Minimalno območje zajema vsaj vse prve naslednje vode.
4. Od nastavitve ostalih zaščit so važne predvsem karakteristike in časovne nastavitve relejev, ki sledijo.

Na osnovi teh podatkov lahko določimo nastavitve časa in toka.

8.2.1.2. Časovna nastavitve

Najkrajšo dopustno časovno nastavitve dobimo kot vsoto naslednjih časov:

1. najdaljši nastavitveni čas releja, ki sledi,
2. pozitivni mejni pogrešek časovnega člena releja, ki sledi,
3. maksimalni delovni čas odklopnika in
4. negativni mejni pogrešek časovnega člena releja, ki ga nastavljam.

Nastavitvene stopnje so bile pri starejših odklopnikih in relejih ca 1 s, sedaj pa so z uporabo novih tipov odklopnikov in zaščitnih relejev tudi že pod 0,4 s.

8.2.1.3. Tokovna nastavitve

Najnižjo dopustno tokovno nastavitve dobimo kot vsoto:

1. najvišjega bremenskega toka in to v času nastavitve časovnega releja, zmanjšanega za njegov negativni mejni pogrešek in za povratni čas
2. razlike med nastavitvenim in popustitvenim tokom in
3. negativnega mejnega pogreška nadtokovnih relejev.

Poleg tega mora biti nastavitveni tok manjši od minimalnega kratkostičnega toka v zaščitenem območju, zmanjšanega za pozitivni mejni pogrešek.

8.2.2. Trenutna nadtokovna zaščita

Da preprečimo predolge izklopne čase, uporabljamo vse pogosteje poleg nadtokovnih, časovno neodvisnih zaščit še trenutne releje, katerih delovanje je na sl. 8.1 prikazano s črtkano črto.

Pri nastavitvah teh relejev moramo poznati maksimalni trajni kratkostični tok, ki ne more več teči skozi naslednji rele. Poznati pa moramo tudi transientni presežek samega releja. Zaradi prehodnega pojava namreč, predvsem zaradi enosmerne komponente toka kratkega stika, prihaja do tokov, ki so višji od trajnih tokov kratkih stikov (asimetrični kratki stiki). Zato bi trenutni nadtokovni rele deloval tudi pri okvarah na vodu, ki sledi. Vpliv asimetričnega kratkega stika je odvisen od tokovnih transformatorjev in od izvedbe releja. Podajamo ga s transientnim presežkom, ki je:

$$P_t = \frac{I_R - I_t}{I_t} \quad (8.1)$$

I_R je nastavitvena vrednost, I_t pa je vrednost simetričnega toka, pri kateri rele zaradi prehodnega pojava lahko že deluje. Transientni presežek je od 0,05 do 0,5.

Minimalno dopustno nastavitveno vrednost dobimo kot vsoto:

1. maksimalnega trajanja kratkostičnega toka I_k , ki ne more več teči skozi naslednji rele
2. negativnega mejnega pogreška naslednjega releja
3. pozitivnega mejnega pogreška nastavljenega releja in
4. transientnega presežka, pomnoženega s tokom nastavitve releja.

Razmerje med razliko nastavljenega vodnosti trenutnega releja I_R in tokom I_k in med tokom I_k imenujemo presežek:

$$p = \frac{I_R - I_k}{I_k} \quad (8.2)$$

Če označimo minimalno impedanco izvora z Z_s in impedanco voda z Z_v , je tok I_k

$$I_k = \frac{E}{Z_s + Z_v} \quad (8.3)$$

Če označimo dolžino voda, kjer pri kratkem stiku dobimo ravno tok I_R , z $x * Z_v$, lahko tok I_R izrazimo z naslednjo enačbo:

$$I_R = \frac{E}{Z_s + x * Z_v} \quad (8.4)$$

Iz gornjih treh enačb lahko izračunamo x , ki ga imenujemo faktor pokritja:

$$x = \frac{1 - p(Z_s : Z_v)}{p + 1} \quad (8.5)$$

Kot sledi iz enačbe, je s trenutnim relejem pokriti del voda odvisen predvsem od razmerja $Z_s : Z_v$ in pa presega p . Pokritje izgine ($x = 0$), če je:

$$Z_v = p * Z_s \quad (8.6)$$

8.2.3. Nadtokovne, časovno odvisne zaščite

Te zaščite omogočajo pri okvarah bliže izvora bistveno krajše izklopne čase. Nedostatek pa je, njihova pravilna nastavitve v vseh situacijah v mreži. Nastavitve delovnega časa releja opravljamo pri maksimalnem kratkostičnem toku, ki nastopi pri naslednjem releju. Nastavitveni čas pri tem toku je enak vsoti:

1. nastavitvenega člana naslednjega releja,
2. pozitivnega mejnega pogreška tega releja,
3. maksimalnega delovnega časa odklopnika,
4. transientnega presega nastavljenega releja in
5. negativnega mejnega pogreška nastavljenega releja.

Z ozirom na razmere v omrežju lahko izbiramo med tremi, že omenjenimi karakteristikami (poglavje 2.3.1). Tip A (standardno inverzni rele) uporabljamo normalno. Če tokovi kratkega stika med relejnimi točkami hitro upadajo, uporabljamo releje tipa 3 (zelo inverzni releji). Releje tipa C (ekstremno inverzni releji) pa uporabimo, če jim sledijo varovalke.

8.2.4. Diagrami stopnjevanja nadtokovne zaščite

Vse nastavitve nadtokovnih relejev v omrežju je treba medsebojno vskladiti, vskladiti pa jih je treba tudi z zaščito visokonapetostnega in nizkonapetostnega sistema. Pri tem nastopajo v nizkonapetostnem omrežju pogosto tudi varovalke in termični releji.

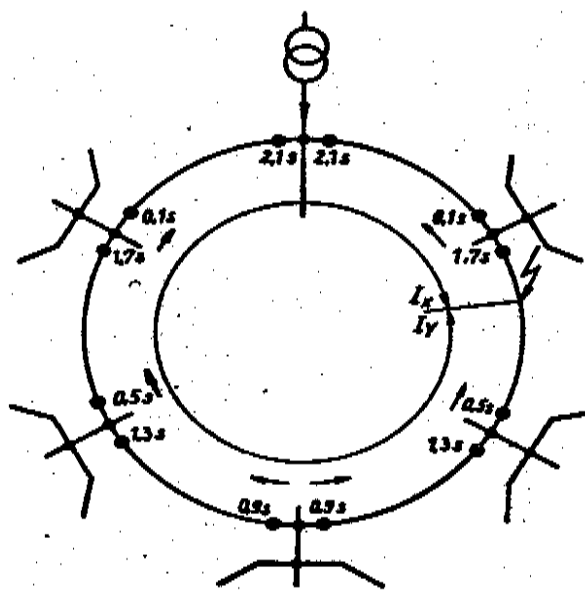
Kontrolo pravilnosti koordinacije med vsemi zaščitami opravimo najlaže v diagramih, v katere vrišemo za vse uporabljene zaščite odvisnost delovnega časa od vrednosti kratkostičnih tokov. Na absciso nanašamo delovne čase, na ordinato pa kratkostične tokove, reducirane na izbrano napetost. Včasih uporabljamo za posamezne napetostne nivoje tudi posebne tokovne skale. Krivulje za posamezne releje v različnih relejnih točkah pričnemo nanašati pri maksimalnem kratkostičnem toku, ki lahko v relejni točki nastopi.

8.2.5. Smerne nadtokovne zaščite

Te zaščite se uporabljajo pri zaščiti paralelnih radialnih vodov in krožnih in pa tudi zankastih omrežij, običajno z do dvema napajališčema. Ta omrežja so namreč sestavljena iz krožnih vodov. Elementi krožnih vodov so pa v serijo vezani vodi, ki se stikajo v konzumnih točkah, odkoder se napajajo porabniki. Konca krožnega voda sta priključena na isto ali pa na ločeno napajališče. Prednost teh omrežij pred radialnimi omrežji je v tem, da pri izklopu voda, kjer je nastala okvara, ostanejo vsi porabniki še naprej napajani.

8.2.5.1. Krožni vod

Pri zaščiti krožnih vodov (sl. 8.2) je potrebno nastaviti časovne stopnje ločeno za vsako smer napajanja in to tako kot pri radialnih vodih. Pri tem pa morajo biti nadtokovni releji v posameznih konzumnih točkah opremljeni s smernimi členi. Čeprav zadošča, če opremimo s smernim členom le tisti rele v konzumni točki krožnega voda s krajšo časovno nastavitvijo, običajno zaradi elastičnosti v obratovanju opremimo s smernimi členi vse nadtokovne člene v konzumnih točkah.



Sl. 8.2

Pri zaščiti krožnega voda z enim napajališčem pride lahko do težav pri okvari v bližini napajališča. V tem primeru se lahko dogodi, da tok iz strani, ki je opremljena z najnižjo časovno nastavitvijo, ni dovolj visok, da bi lahko povzročil delovanje zaščite. V tem primeru pa se najprej loči vod na strani napajališča, seveda z najdaljšo časovno nastavitvijo. Po tem izklopu pa se nato po najkrajši časovni nastavitvi izključi vod še z druge strani.

8.2.5.2. Paralelni vodi

Pri radialnih omrežjih pogosto uporabljamo tudi paralelne vode. Ti so pravzaprav krožni vodi z dvema vodoma in so tako tudi zaščiteni, na strani napajanja s nadtokovnim relejem, na drugem koncu pa s smernima nadtokovnimima relejema, ki sta usmerjena v smer, ki je obratna smeri normalnega napajanja. Kot v prejšnjem primeru, se tudi tu lahko dogodi, da pri okvari v bližini točke napajanja ni tok z druge strani voda dovolj visok, da bi sprožil delovanje smerne nadtokovne zaščite. Da se temu izognemo in da dobimo izklop čimprej, uporabljamo na strani napajanja tudi prečne diferenčne releje, kjer je delovni tok v samem vodu, zadrževalni tok pa tok v paralelnem vodu. Ti releji delujejo na izklop brez namerne zakasnitve.

8.2.5.3. Smerni releji

Pri omenjenih zaščitah uporabljamo 2 ali pa tudi tri smerne releje. Posamezne smerne releje priključimo običajno na en fazni tok (npr. tok faze a) in na medfazno napetost (npr. U_{ac} oz. U_{bc}), včasih pa tudi na fazno napetost (npr. na U_c). Najpogosteje vzamemo nasprotno medfazno napetost in pa karakteristični kot 45° . V tem primeru dobimo delovanje zaščite, ko tok prehiteva fazno napetost za kot manjši od 45° ali pa zaostaja za njo kot, manjši od 135° .

Pri izbiri napetosti moramo upoštevati premike med tokom in pritisnjeno napetostjo pri vseh možnih kratkih stikih, pri ozemljitvah pred ali pa za relejem ter pri raznih razmerjih med upornostjo izvora Z_s in upornostjo voda kot tudi pri različnih kratkostičnih kotih obeh impedanc. Dodatne težave pa nastopijo, če je v vodu vgrajen tudi transformator, kjer pri transformaciji dobimo tudi zasuk tokov.

8.3. ZEMELJSKOSTIČNE ZAŠČITE

Zemeljskostično zaščito določa poleg vrste omrežja (radialno, zankasto, krožno) tudi izvedba povezave nevtralne točke z zemljo.

Pri sredjenapetostnih omrežjih uporabljamo 3 načine ozemljevanja nevtralne točke. Pri omrežjih z izolirano nevtralno točko ni namenske povezave nevtralne točke z zemljo. Pri omrežjih z nevtralno točko, ozemljeno preko upora z majhno upornostjo, je običajno med zvezdiščem transformatorja in zemljo vgrajen ohmski ali pa induktivni upor. Pri resonančno kompenziranem omrežju pa je nevtralna točka zvezana z zemljo preko gasilne dušilke (petersenke), ki v glavnem kompenzira kapacitivno osnovno frekvenčno komponento toka

zemeljskega stika. Direktna ozemljitev nevtralne točke, ki je običajna pri visokih, zelo visokih in tudi pri nizkih napetostih, se, kot že omenjeno, v sredjenapetostnih sistemih skoraj ne uporablja. Zemeljskostični ima dve ali tri komponente v stacionarnem stanju, v prehodnem stanju pa dobimo še tri dodatne komponente.

8.3.1. Stacionarni in prehodni pojavi pri zemeljskih stikih

V stacionarnem stanju dobimo komponento toka osnovne frekvence, ki je določena s kapacitivno in izolacijsko upornostjo omrežja, komponento toka višjih frekvenc in pa ev. komponento toka, ki jo določa upornost med nevtralno točko omrežja in zemljo (L.22).

Komponenta toka osnovne frekvence je ca 2,8 do 3,2 A/10 kV in 100 km dolžine (pri nadzemnih vodih), oz. 50 do 180 a/10 kV in 100 km dolžine (pri kabljih), odvodni tok skozi izolacijsko upornost pa znaša pri nadzemnih vodih 4 do 15% tega, pri kabelskih pa 3 do 6%.

Komponenta toka višjih frekvenc pogosto močno niha z obremenitvijo, posebno v industrijskih omrežjih (tudi 1:10!), znaša pa v celoti 8 do 30% celotnega toka osnovne frekvence.

Upornost med nevtralno točko in zemljo daje pri omrežjih, ozemljenimi z majhno impedanco, tok od 300 do 1500 A, pri resonančno kompenziranem omrežju pa je induktivna komponenta toka dušilke enaka kapacitivni osnovni frekvenčni komponenti toka.

Pri vseh omenjenih vrednostih je bilo predpostavljeno, da je prehodna upornost na mestu okvare zanemarljiva. Dejansko pa lahko doseže tudi precej visoke vrednosti. V 20 kV nadzemnem omrežju so bile npr. pri toku 40 A že izmerjene upornosti od 130 do 260 ohmov, pri toku 10 A pa 450 do 800 ohmov!

Pri trenutni spremembi napetosti faznih vodnikov napram zemlji, predvsem pri nastopu oz. pri prekinitvi zemeljskega stika dobimo še tri dodatne komponente tokov. Na fazi, na kateri je prišlo do zemeljskega stika, pride do izpraznitve naboja na tej fazi. Velikost naboja je odvisna od trenutka nastopa okvare. Izpraznitev povzroči potujoči val, ki se odbija na mestu velike valovne upornosti (transformator oz. odprti vod). Frekvenca je od 500 do 100.000 Hz, pojav pa se izniha v 1 do 5 ms. Zaradi visokih frekvenc pojava ne moremo točno zasledovati preko tokovnih transformatorjev.

Tokove naravne frekvence dobimo pri zemeljskem stiku zato, ker dobita obe zdravi fazi trenutno novo napetost napram zemlji. Zato dobimo polnilni tok, ki teče preko induktivnosti transformatorja. Kapacitivnosti obeh zdravih faz napram zemlji in omenjena induktivnost tvorijo nihajni krog, ki niha s svojo frekvenco, ki je 70 do 4.000 Hz. Pojav se izniha po 2 do 20 ms.

Če nastopi zemeljski stik na faznem vodniku ravno v trenutku, ko je napetost na vodniku enaka potencialu zemlje in ko bi v stacionarnem stanju imeli tokovi preko kapacitivnosti in ev. preko dušilke ravno svoje maksimalne vrednosti, dobimo prehodne

pojave in sicer v induktivnostih in kapacitivnostih tokove naravne frekvence, v induktivnosti ev. dušilke pa nastopi enosmerna komponenta toka.

Značilno za vse prehodne pojave pa je, da je pri njih polariteta prvega polvala toka, ki teče v vod, enaka kot polariteta prvega polvala residualne napetosti.

Čeprav vsi trije načini ozemljitve nevtralne točke povzročajo pri stacionarnem zemeljskem stiku skoraj enake napetosti med zdravima dvema fazama in zemljo, ki so za $\sqrt{3}$ višje od nazivnih faznih napetosti, pa nastopajo velike razlike pri prehodnih prednapetostih.

Pri nekompenziranih omrežjih se pri izolacijski okvari pojavi pogosto oblok, ki gori zelo neenakomerno in povzroča zaradi fazne premaknitve med tokom in napetostjo pogosto po prekinitvi ponovne vžige, ki povzročajo lahko občutne prenapetosti in privedejo lahko tudi do preboja v zdravih fazah. Zato dopuščamo v omrežjih z nekompenzirano nevtralno točko sorazmerno nizke zemeljskostične tokove (ca 5 A). S tem je podana tudi njihova razsežnost.

Pri obsežnejših srednjenapetostnih omrežjih z višjimi zemeljskostičnimi tokovi imamo na voljo kompenzacijo kapacitivnega toka, ozemljitev faze, kjer je nastal zemeljski stik ali pa povišanje zemeljskostičnega toka, kateremu sledi takojšnji izklop voda z zemeljskim stikom.

S kompenzacijo kapacitivne komponente znižamo vrednost zemeljskostičnega toka na tok, pri katerem lok ugasne. Kljub kompenzaciji ostane še delovna komponenta toka in pa tokovi višjih frekvenc. Oblok gori zaradi teh tokov bolj mirno. Dobimo 10 do 100 krat manj vžigov kot pri nekompenziranem omrežju. Vendar je tudi tu omejitev. Lahko kompenziramo le omrežja, kjer je pred kompenzacijo zemeljskostični tok pod 500 A (pri 10 kV) oz. pod 1000 A (pri 35 kV). Vendar obstojata pri teh omrežjih dve neprijetnosti. Obratovanje z zemeljskim stikom je namreč nevarno zaradi nastopa drugega zemeljskega stika. Ta verjetnost raste s kvadratom obsežnosti omrežja. Druga nevšečnost je v tem, da se s spreminjanjem strukture spreminja tudi potreben tok kompenzacije. V kolikor pa tok kompenzacije ne prilagajamo stanju omrežja, lahko pride do nekompenziranega obratovanja in do vseh problemov, ki so s tem povezani.

Ozemljitev faze, kjer je nastal zemeljski stik, omogoča, da se vse prehodne okvare prekinejo brez izklapljanj, saj s tem preneha tudi prehodni oblok. Po krajši zakasnitvi se stikalo, ki je enopolno ozemljilo vod, odpre. Če je okvara še ostala, sledi temu izklop voda, v katerem je nastala okvara.

Pogosto pa uporabljamo ozemljitev sistema z majhno impedanco. Ta pri zemeljskem stiku občutno zmanjša prenapetosti in omogoči sigurno delovanje zaščite. Da ne ostanejo potrošniki izključeni tudi pri prehodnih okvarah, je pri nadzemnih vodih običajno uporabljen še avtomatski ponovni vklop, in to po 0,3 do 0,5 s, kateremu pa sledi po ev. neuspešnem ponovnem vklopu po časovni zakasnitvi 3 minut še enkratni poskus.

8.3.2. Karakteristične veličine zemljskostičnih relejev

Releji, ki jih uporabljamo pri zemljskostični zaščiti sredjenapetostnih omrežij, uporabljamo predvsem naslednje karakteristične veličine:

1. Residualno napetost. Rele, ki meri residualno napetost javlja nastop zemeljskega stika v omrežju.
2. Residualni tok. Releji na residualni tok omogočajo ugotovitev voda, na katerem je nastal zemeljski stik.
3. Visokofrekvenčne komponente residualnega toka. Rele, opremljen z ustreznim filtrom, meri lahko absolutno vrednost vseh visokofrekvenčnih komponent, lahko pa le eno komponento. Obstojajo pa tudi izvedbe, ki primerjajo visokofrekvenčne komponente v odvodih in javijo vod, v katerem so najmočnejše, torej vod, v katerem je nastal zemeljski stik.
4. Jalovo residualno moč, oz. smer kapacitivne komponente osnovne frekvence v residualnem toku. Značilno za te komponente v sistemih z izolirano nevtralno točko je, da potekajo iz vseh zdravih vodov v smeri mesta zemeljskega stika. Maksimalni rele na jalovo moč je napajan z residualno napetostjo omrežja in z residualnim tokom, ki teče v varovani vod. Ker se pri nastopu pojavljajo prehodni pojavi, ki lahko motijo delovanje zaščite, je potrebna zakasnitev vsaj 0,5 s.
5. Delovno residualno moč, oz. smer delovne komponente v residualnem toku. Te komponente povzročajo izolacijski tokovi v vseh vodih in pa ohmska komponenta upornosti zemljskostične impedance, tečejo pa vedno v smeri mesta zemeljskega stika. Delovanje relejev je potrebno zaradi prehodnih pojavov zakasniti od 0,5 do 5 s.
6. Smer prvega polvala residualnega toka oz. ugotovitev polaritete prvega polvala residualne napetosti in residualnega toka. Kot že omenjeno, sta obe polariteti enaki za vod, v katerem je nastal zemeljski stik. V razliko z ostalimi zaščitami je ta zaščita zelo hitra in javlja vse, tudi prehodne zemeljske stike.
7. Fazne napetosti. Pri zemeljskem stiku se napetosti v zdravih fazah dvigneta, kar je kriterij za delovanje zaščite, ki je priključena na vse tri faze napetosti. Prednost te zaščite je v tem, da omogoča prepoznavi fazo, v kateri je nastal zemeljski stik.

Poleg teh najdemo v literaturi tudi druge karakteristične veličine, ki jih pri zaščiti lahko uporabimo. Vendar v glavnem zasledimo v praksi le releje, ki delujejo na omenjene karakteristične veličine.

8.3.3. Določevanje zemeljskostičnih relejev

Na izbiro sistema zaščite in tipov zaščitnih relejev vpliva poleg izvedbe ozemljitve nevtralne točke še razsežnost omrežja in vrste vodov (kabelsko, nadzemno oz. mešano omrežje), kar določa kapacitivni zemeljskostični tok, in pa način napajanja omrežja (radialno, zankasto, krožno omrežje).

8.3.3.1. Omrežje z izolirano nevtralno točko

Pri nadzemnih in pri manjših kabelskih omrežjih uporabljamo le releje na residualno napetost, ki javljajo nastop zemeljskega stika. Pri kabelskih omrežjih večje razsežnosti (običajno celokupna dolžina kabla preko 5 km) pa uporabljamo vse pogosteje releje na residualno jalovo moč, ki delujejo na izklop. Časovno stopnjevanje je izvedeno slično kot pri nadtokovni zaščiti. Čeprav je potrebnih časovnih stopenj pri zemeljskostičnih zaščitah običajno manj kot pri nadtokovnih zaščitah, ki segajo tudi v druge napetostne nivoje, uporabljamo običajno za obe zaščiti isto zakasnitev oz. isti člen. Pri krožnih vodih dobimo kot pri nadtokovni smerni zaščiti ločeno stopnjevanje za obe smeri.

Pri mešanih omrežjih določa izvedbo dolžina kablov. Če se uporabi izklapljanje vodov pri zemeljskih stikih, se nadzemni vodi običajno po izklopu avtomatsko ponovno vklopijo in to po času 0,3 do 0,5 s. Po neuspešnem vklopu se običajno opravi še en avtomatski ponovni vklop po 3 minutah.

8.3.3.2. Omrežja z nevtralno točko, ozemljeno z majhno upornostjo

Ta način uporabljamo predvsem pri radialnih omrežjih. Kot zaščitne releje uporabljamo v tem primeru nadtokovne releje na residualni tok. Nastavljamo jih na tok 0,1 do 0,8 I_N . Pri nadzemnih vodih uporabljamo že omenjen avtomatski ponovni vklop. Običajno vzamemo pri nadtokovnih relejih za zemeljskostično zaščito iste časovne stopnje kot za nadtokovno kratkostično zaščito. Zaradi težav z ozemljitvami uporabljamo v omrežjih z nadzemnimi vodi tokove zemeljskega stika do 300 A (L.16).

Kot impedance majhnih upornosti uporabljamo reaktance, elektrolitske upore ali pa kovinske upore. Prednost reaktanc je, da je zemeljskostični tok praktično neodvisen od temperature. Nedostatek pa je, da lahko pri izklopu zemeljskega stika povzročajo visoke prenapetosti. Zato jih uporabljamo skoraj izključno tam, kjer so zemeljskostični tokovi vsaj 25% tokov pri trifaznem kratkem stiku, torej le v kabelskih omrežjih.

Pri elektrolitskih kot tudi pri kovinskih uporih je upornost odvisna od temperature upora. Pri elektrolitskem uporu upornost s temperaturo pada. Zato je pri temperaturah izpod

15°predvideno gretje elektrolita. Obratno pa je s kovinskimi upori, katerim s temperaturo upornost raste. Tako se predvideva, da se lahko njegova upornost spreminja od 83% (pri – 20°C) do 166% (pri 40°C in po opravljenem delovnem ciklusu). To je vsekakor nedostatek, prednost pa je, da ne potrebuje nege. Manjšo spreminjanje upornosti dobimo pri elektrolitskem upor, ki pa zahteva večjo nego.

8.3.3.3. Resonančno kompenzirana omrežja

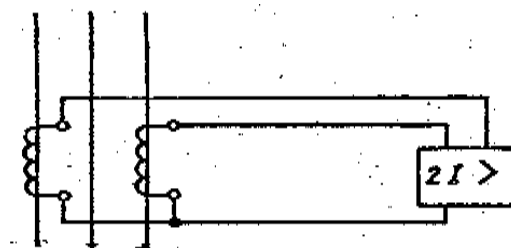
Pri teh omrežjih uporabljamo običajno releje na residualno delovno moč. Nastavljamo jih na moč do 0,5% nazivne moči. Če delovna komponenta ne doseže v omrežju potrebne vrednosti, vežemo paralelno s petersenko še ohmski upor.

Zaščitni releji ne delujejo na izklop. Podatki o njihovem delovanju se pošiljajo v center vodenja omrežja, kjer se na osnovi prejetih podatkov določi mesto zemeljskega stika. To je predvsem potrebno pri zankastih omrežjih.

Poleg že omenjenega releja se uporabljajo tudi releji na smer prvega polvala, redkeje pa releji na visokofrekvenčne komponente.

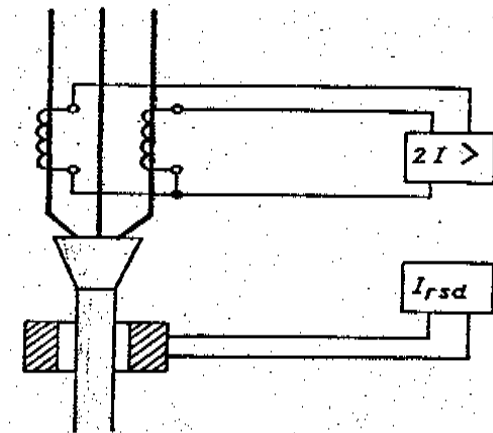
8.4. PRIKLJUČEVANJE NADTOKOVNIH KRATKOSTIČNIH RELEJEV IN TOKOVNIH NAVITIJ ZEMELJSKOSTIČNIH RELEJEV

V srednjenapetostnih omrežjih priključujemo zaščitne releje na tokovne transformatorje na naslednje načine:



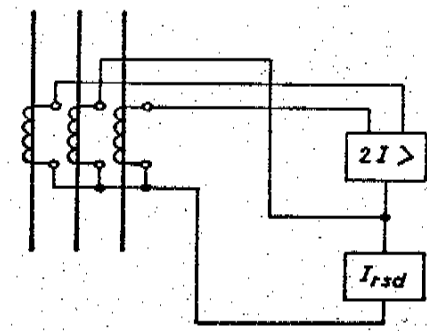
Sl. 8.3

1. dvofazna kratkostična zaščita: na dva tokovna transformatorja (sl. 8.3)



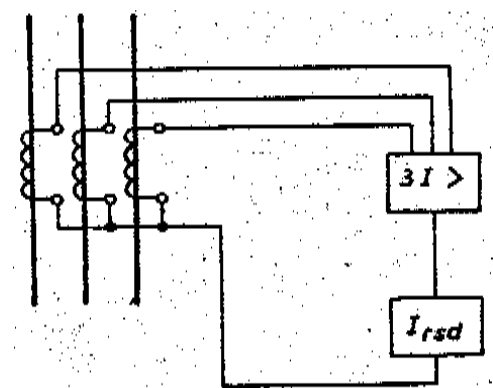
Sl. 8.4

2. dvofazna kratkostična in zemeljskostična zaščita:



Sl. 8.5

na tokovna transformatorja v dveh fazah in na objemni transformator (sl. 8.4), ali pa na tri tokovne transformatorje (sl. 8.5)



Sl. 8.6

3. trifazna kratkostična zaščita in zemeljskostična zaščita na tri tokovne transformatorje (sl. 8.6).