

PRIPREMILI: BRANKO PRENTIĆ, dip. el. inženjer
GORJANA ČERANIĆ, dip. el. inženjer

PRIRUČNIK^v

(ZBIRKA PITANJA I PROPISA)

ZA POLAGANJE STRUČNOG ISPITA I ISPITA RADNE
OSPOBLJENOSTI RADNIKA KOJI RADE NA POSLOVIMA
TEHNIČKOG RUKOVODENJA, TEHNIČKOG NADZORA I
RUKOVANJA ODREĐENIM ENERGETSKIM
POSTROJENJIMA

NIŠIĆ 1995.

OSNOVI ELEKTRIČNIH MJERENJA I ZAŠTITE

UVOD U ELEKTRIČNA MJERENJA

Ozbiljno bavljenje elektrotehnikom podrazumjeva poznavanje elektrotehničkih pojava i veličina kvalitativno i kvantitativno, tj. po njihovoj prirodi i vrednosti. Stoga je veoma korisno proučavati osnove elektrotehnike i električnih mjerenja kroz jedinstveni predmet.

Bez podataka dobijenih mjerenjem čovek ne bi mogao razumjeti pojave u prirodi. Mjerenja su neophodna kako za razvoj prirodnih i tehničkih nauka tako i za razvoj industrije. Značajna su takođe i mjerenja koja se vrše radi održavanja i kontrole procesa proizvodnje. Pravilno održavanje postrojenja i pogona zahtjeva neprekidno mjerenje radi sigurnosti i blagovremene opravke neispravnih uređaja. Da bi se gradivo koje je izloženo u ovom poglavlju moglo razumjeti, potrebno je upoznati neke osnovne pojmove i terminu koje ćemo koristiti na sledećim stranicama.

Veličina je svojstvo materije i prirodnih pojava kojom se može odrediti količina. To ja zapravo sve ono što može da se merja: sila, brzina, pritisak, zapremina, temperatura, jačina struje, električni otpor, lepota, inteligencija itd. Veličine mogu biti *mjerljive*, *odredljive* i *ocenljive*. *Mjerljive* su one na koje se može primeniti zakon jednakosti i sabiranja. Na primjer: masa, dužina, jačina struje itd. *Odredljive* su one na koje se može primeniti zakon jednakosti, ali ne i sabiranja. Na primjer: temperatura, potencijal itd. *Ocenljive* veličine su one na koje se ne može primeniti ni zakon jednakosti niti zakon sabiranja, već se može vršiti samo procena subjektivne prirode. Na primjer: lepota, glupost, inteligencija itd.

Jedinice veličina su tačno određene količine veličina, tj. njihove mjere. Razlikujemo dve vrste jedinica: *osnovne* i *izvedene*. Ima sedam osnovnih jedinica, i to: za dužinu — metar, za masu — kilogram, za vreme — sekunda, za jačinu struje — amper, za apsolutnu temperaturu — kelvin, za jačinu svetlosti — kandela, za količinu supstance — mol. *Izvedene* jedinice su one koje se dobijaju iz odgovarajućih odnosa osnovnih jedinica. Na primjer: brzina ima jedinicu — metar/sekundu, zapremina — metar kubni, snaga — vat itd. Oznake za jedinice su odgovarajuće propisane skraćeno.

Etaloni su naprave koje se izrađuju s posebnom pažnjom da bi fizički predstavljale jedinice pojedinih veličina. Opšta ime je odlika da su nezavisni od spoljnih činilaca, kao na primjer od geografske širine, temperature, vremena itd.

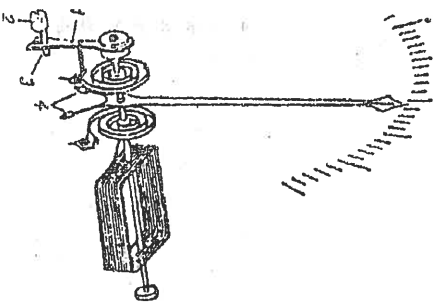
Izmjeriti neku veličinu znači uporediti je sa tačno određenom količinom iste vrste koja je uzeta za jedinicu mjere i utvrditi koliko se puta odgovarajuća jedinica sadrži u njoj. Dakle, *rezultat* mjerenja se sastoji iz dva činioca. Prvi je broj, a drugi oznaka jedinice veličine koja se mjeri. Na primjer: 3g, 5m, 0,2A itd.

U zavisnosti od načina dobijanja rezultata, mjerenja se dele na: *direktna* i *indirektna* (posredna). Kod *direktnih mjerenja* tražena vrednost električne veličine određuje se neposredno (direktno) na osnovu pokazivanja mjernog instrumenta (npr. mjerenje struje ampermetrom, napona — voltmetrom, snage — vatmetrom itd.). Kod *indirektnih mjerenja* tražena vrednost električne veličine nalazi se na osnovu poznate funkcionalne zavisnosti između te veličine i veličina koje se dobijaju direktnim mjerenjima (npr. određivanje električne otpornosti na osnovu pokazivanja ampermetra i voltmetra).

Električni mjerni instrumenti su naprave koje imaju zadatak da proizvedu signal pristupačan čulima čoveka koji mjeri, a koji predstavlja rezultat mjerenja. To su, zapravo, uređaji koji služe za neposredno mjerenje električnih veličina kao što su

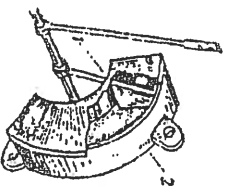
jačina struje, napon, otpornost, učestalost (frekvencija) itd. Možemo ih podeliti u dve velike grupe: u prvoj su *nižerni instrumenti sa direktnim očitavanjem*, a u drugoj *nižerni instrumenti koji dovode do rezultata putem poređenja nepoznatih vrednosti sa etalonskim vrednostima*. Prema fizikom principu na kome je rad instrumenta zasnovan, električni instrumenti se mogu podeliti na veliki broj grupa koje su pregledno prikazane u tabeli 1. U istoj tabeli date su i oznake na instrumentima koje upućuju rukovoca na ispravnu upotrebu instrumenta.

Kod električnih nižernih instrumentata nižerna veličina najčešće deluje neposredno ili posredno na pokretni deo instrumenta i pokreće ga zajedno sa kazaljkom. Skretanje pokretnog dela i kazaljke mora zavisiati od vrednosti veličine koja se meri, odnosno položaj koji kazaljka zauzme po zaokretanju mora nam dati informaciju o vrednosti merene veličine.

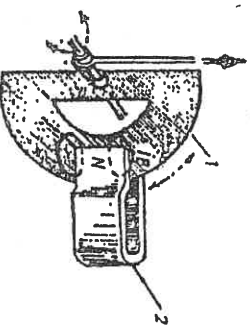


Sl. 1.1. Kretni sistem električnog nižernog instrumenta na primjeru instrumenta sa kretnim navojem

To se može postići ukoliko postoji otporni momenat koji se suprotstavlja kretanju pokretnog dela instrumenta: kada kazaljka stane, imamo ravnotežu kretanog i otpornog momenta. Otporni momenat obično ostvaruju spiralne opruge ili torzione trake i žice vrlo osjetljivih instrumentata (npr. kod galvanometara sa obešenim kretnim sistemom). Po završetku mjerenja spiralne opruge vraćaju kazaljku instrumenta na nulu i ujedno služe za dovod i odvod struje. Pri tome se vodi računa da opruge budu postavljene tako da deluju jedna protiv druge, kao što je prikazano na slici 1.1. Momenti obe opruge su u ravnoteži kada je kazaljka na nuli, odnosno kada ne postoji kretni momenat. Ako kazaljka ne stoji na nuli, a mjerenje se ne vrši, pomoću zavrtnja 2 na slici 1.1 kazaljka se može vratiti na nulu. Uparene opruge koriste se za kompenzaciju posledica koje nastaju kao razlog promene dužine usled zagrevanja. Uticaj gravitacije na tačnost mjerenja suzbija se pomoću ekscentrično postavljanih malih tegova 4 (sl. 1.1). Pri



(a)



(b)

Sl. 1.2. Prigušivači oscilacija: a) vazdušni, b) elektromagneti

uključenju ili isključenju, ili pak kada se vrednost merene veličine naglo promeni, kretni sistem instrumenta treba što pre da zauzme nov položaj ravnoteže. Oscilacije kazaljke oko ravnotežnog položaja nisu poželjne, jer mogu biti dugotrajne. Zbog toga se u instrument ugrađuju prigušivači oscilacija (sl. 1.2).

Konstanta instrumenta (K_I) za izabrani domaćaj jeste vrednost merene veličine za svaki podatak na skali instrumenta. Vrednost konstante dobija se kao količnik izabranog domaćaja (X_D) i maksimalnog skretanja a_{max} (ukupnog broja podeoka skale):

$$K_I = \frac{X_D}{a_{max}}$$

a sama vrednost merene veličine dobija se kao proizvod konstante K_I i broja podeoka za koji je kazaljka skrenula (α):

$$X = K_I \alpha$$

Greške mjerenja su neizbežne jer se ni jedno mjerenje ne može obaviti sa apsolutnom tačnošću. Naše je, međutim, da ih svedemo na najmanju moguću mjeru, kako bismo sa sigurnošću mogli da garantujemo donju i gornju granicu greške. Tačna vrednost merene veličine nalazi se između tih granica. Razlika između merene vrednosti koja se dobija kao rezultat mjerenja X_{mer} i tačne vrednosti $X_{tač}$ naziva se apsolutna greška (ΔX):

$$\Delta X = X_{mer} - X_{tač}$$

Apsolutna greška ima jedinicu veličine koja se meri. Međutim, potpuniji podatak o tačnosti mjerenja dobijamo ukoliko uvedemo tzv. *relativnu grešku* (ε), koja predstavlja odnos apsolutne greške i tačne vrednosti veličine koja se meri:

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X_{tač}}$$

Relativna greška se često izražava u procentima:

$$\varepsilon[\%] = \frac{\Delta X}{X_{tač}} \cdot 100$$

Na primer, apsolutna greška $\Delta I = 1$ [A] će pri mjerenju jačine struje daleko više ugoziti tačnost mjerenja ukoliko je tačna vrednost reda desetine ampera, nego ako je tačna vrednost struje koja se meri reda stotine ampera.

Instrumenti koji imaju klase tačnosti: 0,1, 0,2 i 0,5 su precizni instrumenti, a oni koji imaju klasu tačnosti 1, 1,5, 2,5 i 5 nazivaju se pogonski instrumenti.

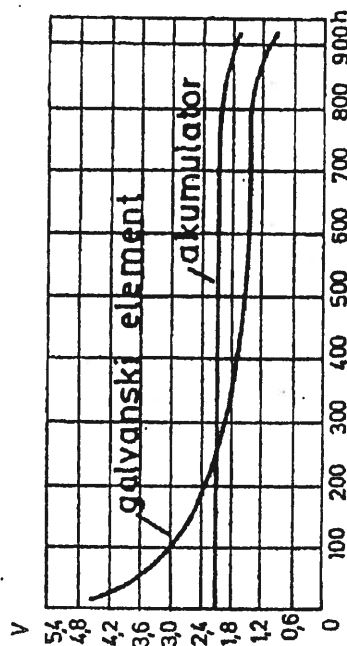
Prilbor za električna mjerenja

Najveći broj električnih veličina koje se mere manifestuje se tek pri proticanju struje. Da bismo obavili neko mjerenje, moramo imati mjereno kolo koje obrazujemo ili dopunjujemo određenim priborom koji čine: *izvori struje za mjerenje, otpornici, navoji, kondenzatori, prebacaci, prekidači, ubacaci, tasteri, kontaktori, usmjerivači elementi* itd. Razumljivo je da mnogi od pomenutih elemenata mogu imati i druge

namene u električnom kolu, ali mi ćemo posmatrati samo njihovu ulogu u električnim mjerenjima.

Izvori struje. Izvor struje bira se prema potrebnom naponu i struji (pri čemu treba voditi računa o vrednostima napona i struje, njihovoj stabilnosti, a naravno i o tome da li je struja jednosmjerna ili naizmjenična). Tako, na primjer, pri mjerenju dielektrične čvrstoće izolacije potreban nam je izvor napona reda nekoliko desetina kilovolta, dok je pri mjerenju otpornosti običnih prijemnika dovoljan izvor napona od nekoliko volti ili, pak, pri mjerenju induktivnosti moramo koristiti naizmjeničnu struju, dok je za mjerenje električne otpornosti bolje koristiti jednosmjernu struju.

Izvori jednosmjerne struje. Baterije (suvi galvanski elementi) koriste se najčešće za napajanje prenosnih instrumenata. Izrađuju se veoma različitih vrednosti napona, a snaga im je mala. Akumulatori imaju tu prednost što daju znatno jače struje i mogu da se pune. Oni, međutim, poseduju i jedno loše svojstvo: ukoliko nisu hermetički zatvoreni, imaju štetna isparenja. Zbog toga pri rukovanju akumulatorima u zatvorenom prostoru treba obezbediti dobru ventilaciju. Galvanski elementi su jeftiniji od akumulatora, ali zato akumulatori duže zadržavaju normalan napon, kao što je to prikazano na slici 1.5.



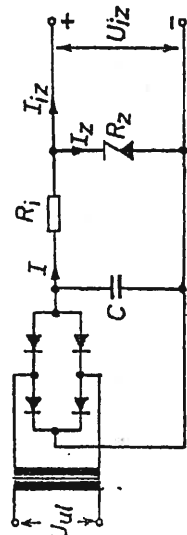
Sl. 1.5 Poređenje napona akumulatora i galvanskih elemenata u toku praznjenja

Usmjeravače usmjeravaju naizmjeničnu struju u jednosmjernu. Razvoj poluprovodničke tehnologije omogućuje izradu usmjeravača veoma stabilnog jednosmjernog napona koji se može regulisati u širokom opsegu. Većina usmjeravača priključuje se na gradsku mrežu, a na svom izlazu daje jednosmjernan napon različitih nivoa. Usmjeravače skoro uvek imaju transformator koji primarni napon mreže smanjuje na željenu vrednost, pa se tek tako dobijeni skundarni naizmjenični napon usmjerava. Usmjeravanje se vrši pomoću poluprovodničkih elemenata. Pulsacije tako dobijenog napona otklanjaju se upotrebnom odgovarajućih električnih filtera koji se sastoje od kombinacije kondenzatora, induktivnih kalemova (navoja) i otpornika. Tako dobijen jednosmjernan napon treba često stabilizovati, jer napon mreže na koji je usmjeravač priključena može prilično da varira. Stabilizacija se najčešće sprovodi posebnim elektronskim kolima napravljenim u integralnoj tehnici ili pomoću klasičnih rešenja sa Zenerovim diodama (sl. 1.6). Moderne laboratorijske usmjeravače imaju veoma

stabilan napon sa odstupanjima čak ispod stotog dela procenta (0,01%). Snage ovih usmjeravača retko prelaze 500 [W], a izlazne struje nekoliko desetina ampera.

Među izvorima jednosmjerne struje u laboratorijama električnih mjerenja posebno mjesto zauzima *etalon napona* — *Vetstonov normalni element*, koji se odlikuje veoma stabilnim naponom čija je vrednost $U_w = 1,0183$ [V]. Ovaj izvor se sme opteretiti samo slabim kratkotrajnim strujama da bi napon duže vreme zadržao etaloniranu vrednost.

Mehanički generatori jednosmjerne struje koriste se kada su potrebne veće snage. U laboratorijskim uslovima najčešće služe za napajanje jednosmjernih motora. Mogu da se koriste i kao električne kočnice pri ispitivanju električnih mašina.



Sl. 1.6. Usmjeravač sa stabilizacijom napona

Izvori naizmjenične struje. Kao izvor naizmjenične struje najčešće koriste *gradsku mrežu* čija je učestalost 50 [Hz]. Nominalna vrednost prostog (faznog) napona je 220 [V], a združenog (međufaznog) — 380 [V]. Dozvoljena odstupanja vrednosti napona iznose $\pm 10\%$, dok su dozvoljene promene učestalosti $\pm 0,5\%$. Naizmjenični napon u laboratorijama električnih mjerenja obično se reguliše pomoću autotransformatora, čiji ćemo način rada i konstrukciju podrobnije razmatrati u IX odeljku.

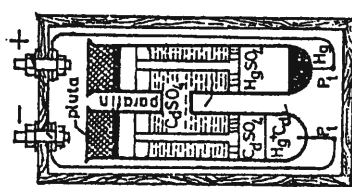
Mehanički generatori naizmjenične struje imaju mogućnost regulacije napona i učestalosti u širokim opsezima. Napon se uglavnom podešava promenom pobudne struje induktora, dok se učestalost podešava regulacijom brzine obrtanja pogonskih motora generatora.

Elektronski izvori u poslednje vreme sve više potiskuju mehaničke generatore u laboratorijama, jer imaju sledeće prednosti: malih su dimenzija, nemaju obrtnih delova, poseduju veliku stabilnost, imaju lakšu regulaciju potrebnih veličina itd. Najpoznatiji oblici izvođenja ovih izvora su: *sinusni oscilatori*, *generatori promenljive učestalosti*, *etaloni učestalosti* itd.

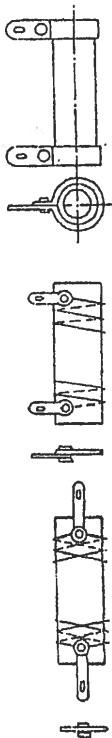
Otpornici su naprave u kojima se električna energija pretvara u toplotu. Prave se uglavnom od metalne žice ili od ugljenika, mada postoje i „vodeni“, tj. *tečni elektrolitički otpornici*. *Žičani otpornici* su najčešće napravljeni tako što se otporna žica namota na valjak od izolacionog materijala (sl. 1.8).

Da bi se izbegla kapacitivnost i induktivnost, otporni namotaji se motaju *biflarno* (sl. 1.9).

Ugljeni otpornici se obično koriste za manje snage u elektronskim kolima.



Sl. 1.7. Etalon električnog napona — Vetstonov element

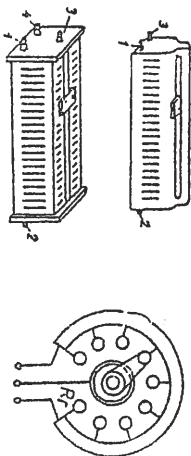


Sl. 1.8. Različiti oblici žičanih otpornika



Sl. 1.9. Bifilarno motan otpornik

Otpornici se u električnim mjerenjima koriste za obrazovanje mjernih kola poznate otpornosti i za podešavanje napona i struje. Postoje *stalni* i *promjenjivi* otpornici. *Promjenjivi* žičani otpornici imaju klizač ili preklopnu ručicu. Klizač omogućuje kontinualnu promenu otpornosti (sl. 1.10), dok preklopna ručica ostavlja skokovitu promenu otpornosti (sl. 1.11). *Promjenjivi ugljeni otpornici* imaju klizač ili se promena otpornosti postiže promenom pritiska na ugljene ploče od kojih je ovakav otpornik načinjen. Promena otpornosti kod *tečnih otpornika* postiže se većim ili manjim uranjanjem elektroda u elektrolit.

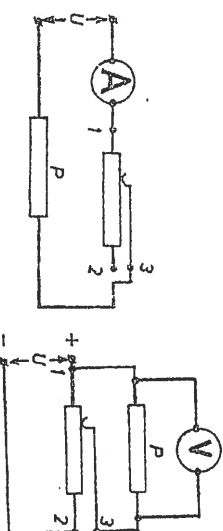


Sl. 1.10. Različite konstrukcije regulatornog otpornika sa klizačem

Sl. 1.11. Regulatorni otpornik sa ručicom

Promjenjive otpornike koji služe za podešavanje jačine struje zovemo *reostati* a one koji služe za podešavanje napona — *potencijometri*.

Reostat je najčešće žičani promjenjivi otpornik sa jednim ili više klizača. Reostat se uključuje u kolo redno sa ostalim elementima, tako što se koristi klizač i jedan stalni kraj (sl. 1.12a). Uzimanjem većeg otpora, pomjeranjem klizača u jednu stranu,

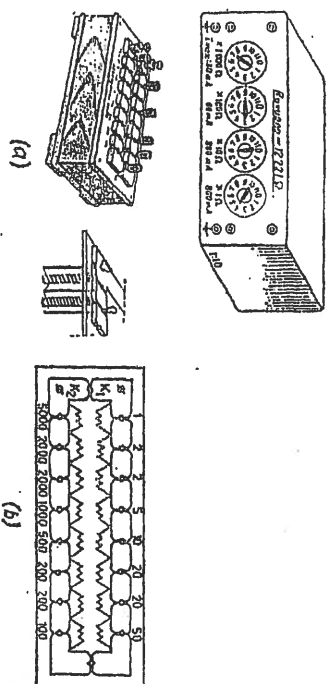


Sl. 1.12. Regulatorni otpornici a) Reostatsko (redno) vezivanje regulatornog otpornika b) Potencijometarsko vezivanje regulatornog otpornika

struja u kolu se smanjuje i obrnuto. Za regulaciju veoma jakih struja koriste se tečni reostati, dok se za mala opterećenja koriste ugljeni reostati.

Potencijometar vezujemo u kolo (sl. 1.12b) tako što njegova dva kraja vezemo na izvor, a klizač i jedan kraj na prijemnik. Pomjeranjem klizača prema zajedničkom kraju izvora i prijemnika napon na prijemniku se smanjuje i obrnuto — pomjeranjem klizača prema kraju koji je vezan samo za izvor, napon na prijemniku raste i može dostići najvišu vrednost napona izvora. Ukoliko istim pomjeranjima klizača odgovara ista promena otpornosti potencijometra, kažemo da se radi o *linearnom* potencijometru. U praksi se često koristi *logaritamski* potencijometar kod kojeg otpornost u početku lagano raste, a zatim za iste pomjeraje klizača raste sve brže.

Kulije otpornosti su promjenjivi otpornici kod kojih se otpornost menja u skokovima i to obično 0,1—1—10—100—1000 itd. oma. Kod njih se promena otpornosti vrši pomoću ručica ili čepova (sl. 1.13).

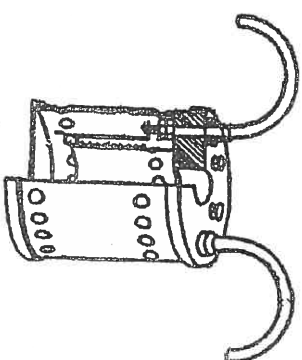


Sl. 1.13. Kulija otpornosti sa ručicama i čepovima a) spoljni izgled i b) shematski prikaz

Vrednost uključene otpornosti u kolo kod dekadnih kulija je uvek tačno poznata, dok kod promjenjivih otpornika sa klizačem nije.

Posebno važni otpornici u električnim mjerenjima su *etaloni*. Oni imaju to svojstvo da im je otpornost nezavisna od temperature i drugih spoljnih čimbenika, jer su napravljeni od visokokvalitetne legure mangana. Koriste se u laboratorijama za mjerenja koja zahtevaju veoma visoku tačnost. Izgled laboratorijskog etalona otpornosti dat je na slici 1.14.

Kalemovi (navoji) se koriste kao pribor samo u kolima naizmenične struje. Razlog je čemo upoznati kasnije. Naime, *osnovna karakteristika kalemova je njegova sopstvena induktivnost* a ispoljava se onda kada se kroz kalem propusti naizmenična struja ili pri bilo kakvoj drugoj promeni struje. Ako su na istom valjku namotana dva ili više navoja, možemo govoriti i o *međusobnoj induktivnosti* kalemova. Postoje *kalemovi sa stalnom* i *promenljivom induktivnošću*. Obično su kalemovi sa stalnom induktivnošću



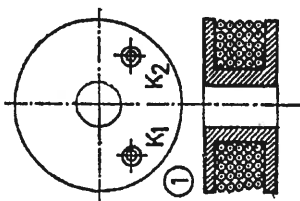
Sl. 1.14. Primer spoljnog izgleda etalona otpornosti

(sl. 1.15) oni koji imaju samo jedan navoj, dok oni sa promenljivom induktivnošću imaju dva ili više manjih navoja.

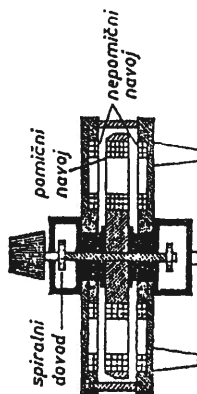
Do pojave međusobne induktivnosti dolazi kada su na valjak od izolacionog materijala namotana dva galvanski odvojena navoja, okarakterisana svojim sopstvenim induktivnostima. Dejstvo jednog navoja na drugi okarakterisano je koeficijentom međusobne indukcije M :

$$M = k \sqrt{L_1 L_2},$$

gde su L_1 i L_2 sopstvene induktivnosti navoja, a k koeficijent koji zavisi od međusobnog položaja navoja.



Sl. 1.15. Kalem stalne induktivnosti



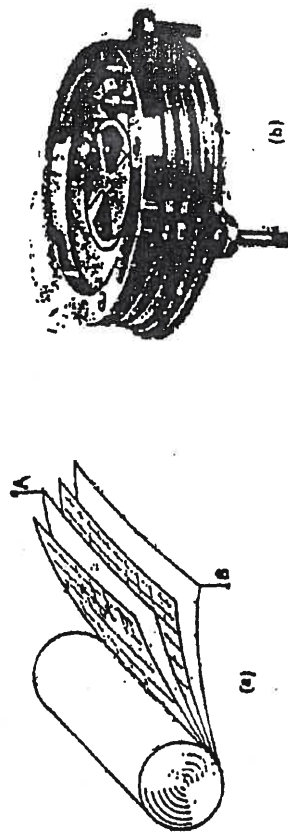
Sl. 1.16. Kalem promenljive induktivnosti

Promenljivu međusobnu induktivnost postižemo tako što podesimo da se položaj jednog navoja može menjati u odnosu na drugi, kao što je predstavljeno na slici 1.16.

Ako bi se dva navoja još i galvanski vezala, dobio bi se navoj sa promenljivim koeficijentom samoindukcije. Ova promena se može vršiti u opsegu od $L_{min}=L_1+L_2$ do $L_{max}=L_1+L_2+2M$ u zavisnosti od toga da li su fluksevi navoja saglasni ili suprotni.

Pri radu sa kalemovima treba obratiti pažnju da u blizini nema predmeta od feromagnetnih materijala u kojima bi se mogle indukovati vihorne struje koje remete tačnost mjerenja.

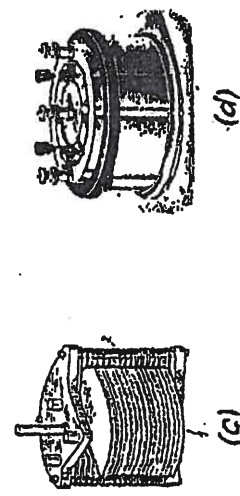
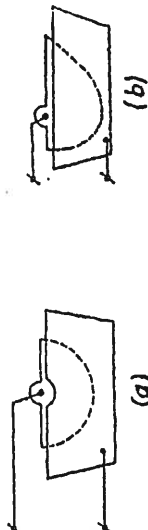
Kondenzator je naprava koja se sastoji od dve metalne obloge različitih oblika između kojih je smešten dielektrik. Osnovno svojstvo kondenzatora je njegova kapacitivnost. Postoje kondenzatori sa stalnom i promenljivom kapacitivnošću. Kondenzatori sa stalnom kapacitivnošću prave se u obliku valjka ili sistema ploča sa vazduhom kao dielektrikom. Za veće kapacitete kao dielektrik koristi se papir impregniran parafrinskim uljem. U tom slučaju se najpre naprave trake od aluminijumske folije i impregniranog papira. Papirne i aluminijumske trake se zatim naizmenično postavljaju jedna na drugu i zajedno savijaju u rolnu (sl. 1.17a), tako da ceo sistem ima oblik valjka iz kojeg su izvedeni krajevi provodnika A i B koji su spojeni sa odgovarajućim aluminijumskim oblogama. Zbog tačnosti mjerenja, tj. da bi se sprečio uticaj stranih polja i spoljašnjih kapacitivnosti, kondenzatori se smeštaju u



Sl. 1.17. Kondenzatori sa stalnom kapacitivnošću a) sa papirnim dielektrikom, b) etalon kondenzator sa vazduhom kao dielektrikom

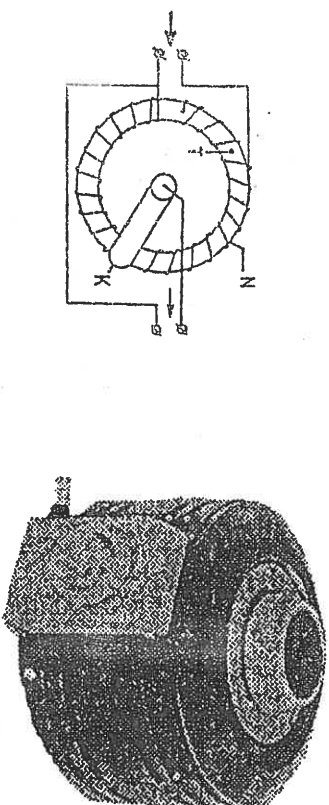
Kada se menja položaj jedne obloge u odnosu na drugu, menja se i kapacitet kondenzatora. Tako nastaju kondenzatori sa promenljivom kapacitivnošću. Na slici 1.18a) i 1.18b) vidimo da u zavisnosti od oblika pokretne obloge možemo napraviti tzv. linearne i logaritamske kondenzatore. Kod linearnih kondenzatora kapacitet se menja ravnomjerno sa zakretanjem pokretne ploče, dok su kod logaritamskih kondenzatora promene kapaciteta u početku velike i nagle, a kasnije za isti ugao zakretanja sve manje i manje. I ovde se obično koristi sistem od više paralelnih ploča. Spoljni izgled ovih kondenzatora prikazan je na slici 1.18c).

Slično kutijama otpornosti, postoje i kutije kapacitivnosti. I ovde se kapacitivnost menja pomoću ručica ili pomoću čepova. Spoljni izgled kutije kapacitivnosti prikazan je na slici 1.18d). Pošto ima vazdušni dielektrik i veoma je precizno napravljena, ova kutija se koristi kao etalon.



Sl. 1.18. Kondenzatori sa promenljivom kapacitivnošću a) skica linearnog kondenzatora, b) skica logaritamskog kondenzatora, c) spoljni izgled pločastog promenljivog kondenzatora i d) spoljni izgled etalona kutije kapacitivnosti

Regulacioni transformatori su pogodni kao izvori naizmjenične struje u laboratorijskim mjerenjima, jer se dobija širok opseg vrednosti napona sa neprekidnom (kontinualnom) promjenom od 0 do 500 [V]. To su obično *autotransformatori* kod kojih je omogućena promena izlaznog napona. Osnovni delovi regulacionog transformatora su: torus od feromagnetnog materijala, namotaji od bakarne lakom izolovane žice i klizač koji se kreće duž namotaja kao na slici 1.19a. Spoljni izgled transformatora prikazan je na slici 1.19b).



Sl. 1.19. Regulacioni transformator: a) skica sastavnih delova, b) spoljni izgled

Za fine promene napona koriste se takozvana kaskadna spreaga koju čine dva ili više promenljivih transformatora u stepenastom spoju. Autotransformator i kaskadna spreaga detaljnije su opisani u članku IX 6.

Prekidači, skretnice, tasteri, ubacaci itd. su elementi kola koji služe za uključivanje i isključivanje pojedinih delova kola, zatim za promenu smjera struje, za premošćavanje strujnih navoja instrumenta radi zaštite od prejake struje itd.

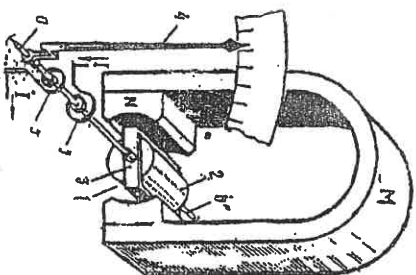
Mjerenje jednosmjernih struja, jednosmjernih napona i električne otpornosti instrumentom sa kretnim navojem. Proširenje mjernog domaćaja

Osnovne odlike instrumenata sa kretnim navojem. Instrument sa kretnim navojem je elektromagnetna naprava koja služi za mjerenje velikog broja električnih veličina na osnovu pokazivanja jačine struje koja protiče kroz navoj.

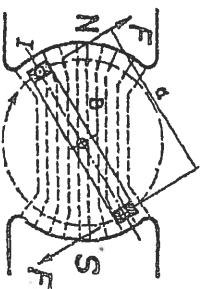
Rad instrumenta zasnovan je na magnetnom dejstvu električne struje, koje se, kao što znamo, manifestuju pojavom mehaničke sile elektromagnetne prirode na provodnike sa strujom koji se nalaze u magnetnom polju. Kod ovog instrumenta provodnik kroz koji protiče struja namotan je na aluminijumski ram u obliku navoja koji je postavljen između polova *stalnog magneta M* (sl. 1.20). Elektromagnetne sile koje deluju sa aktivne strane navoja u navoji obrazuju spreg sila čiji momentat pokreće navoj zajedno sa *osovinom* na kojoj se nalaze *kazaljka* i *dve spiralne opruge* koje služe za stvaranje otporne sprege i za dovođ struje u navoj. Kada kroz navoj prestane da teče struja, opruge vraćaju kazaljku na nulu. Vraćanje kazaljke na nulu, kao i postavljanje u ravnotežni položaj bez oscilacija, omogućuje *aluminijumski ram*

na koji je navoj namotan. Ram ima, u stvari, ulogu indukcionog elektromagnetnog priгушivača oscilacija.

Polni nastanci stalnog magneta obrazuju valjkastru šupljinu u koju se smešta *valjak od mekog gvožđa*, da bi se u vazdušnom prostoru (međugvoždju) ostarilo *radijalno (zrakasto) magnetno polje*. Veoma je važno da magnetno polje bude baš radijalno, pošto se na taj način omogućuje da skala instrumenta bude linearna. Objasnimo tu činjenicu uz pomoć slike 1.21. Magnetna indukcija *B* u svakoj tački međugvožđa, kuda se zapravo kreću aktivne strane dužine *l*, ima pravac normalan (radijalan) na površinu omotača gvozdenog valjka. Primajući pravilo tri prsta desne ruke za određivanje pravca elektromagnetnih sila (videti sl. 2.4c), možemo konstatovati da je smjer sile u svakoj tački međugvožđa tangencijalno usmjeren u odnosu na kružnu putanju obrtanja navoja. Zbog toga ja akrik sprege sila *a* stalan tokom cele putanje kretanja navoja i u svakom položaju jednak sa štrinom navoja. Izraz za kretni momentat sprege je:



Sl. 1.20. Skica instrumenta sa kretnim navojem



Sl. 1.21. Uz objašnjenje načina rad instrumenta sa kretnim navojem

$$M = F \cdot a.$$

Intenzitet elektromotorne sile $F = NBIl$ u ovom slučaju zavisi samo od jačine struje *I*, jer su sve ostale veličine (*N*, *B*, i *l*) stalne. Zamenom ovog izraza za silu u obrazac (1.5) dobijamo:

$$M = a NBIl.$$

Proizvod aNB obeležavamo slovom *k*, kako bismo naglasili da je konstantan (stalan), pa je:

$$M = k I.$$

Razumljivo je da će se kretni navoj kretati sve dok otporni momentat opruga

$$M_{op} = c \cdot \alpha,$$

koji je sve veći što je skretanje (α) veće, ne dostigne vrednost kretnog momenta (M), tj.

$$M_{\text{ot}} = M.$$

U tom ravnotežnom stanju ($c \alpha = kD$) vidimo da skretanje navoja i kazaljke direktno zavisi od jačine struje kroz navoj. Oдавде sledi da je izraz za struju:

$$I = \frac{c}{k} \alpha = K \alpha,$$

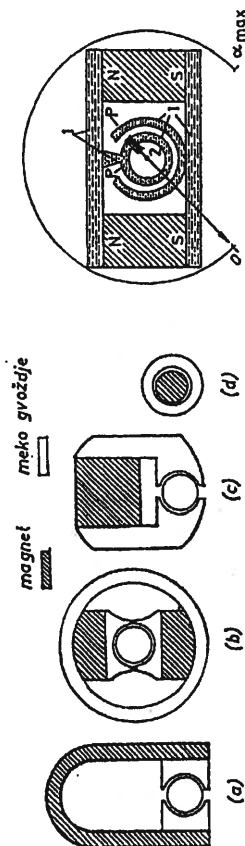
$$K_i = c/k.$$

Kažemo da je jačina struje direktno srazmjerna kretanju navoja i kazaljke instrumenta, a koeficijent strazmjernosti K nazivamo *strujna konstanta*.

Instrument se kretnim navojem može da mjeri samo jednosmjernu struju, jer promena snijera struje ima za posledicu promenu snijera obrtanja navoja. Zbog toga na priključnim krajevima instrumenta stoje oznake polariteta „+“ i „-“.

Razvoj tehnologije izrade stalnih magneta omogućio je da se umesto glomaznih potkovičastih magneta danas koriste stalni magneti manjih dimenzija koji su vrlo postojani i sa jakom magnetnom indukcijom (od 0,6T do 1,2T). Od savremenih feromagnetnih legura za proizvodnju stalnih magneta pomenimo alnico-čelike (AlNi-Co), koji se lju ili sinterišu.

Skice nekih češćih konstrukcionih varijanti prikazane su na slici 1.22.



Sl. 1.22. Skice konstrukcionih varijanti magnetnog kola instrumenta sa kretnim navojem

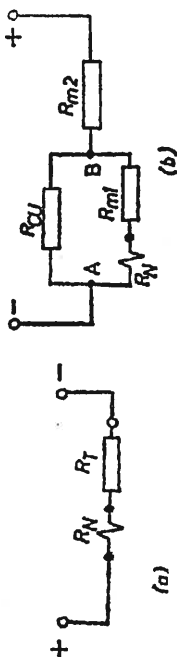
Sl. 1.23. Instrument sa kretnim navojem i skalom od 270°

Kod varijanti a, b, c i d skala instrumenta obuhvata ugao od 90°. Međutim, zbog malih dimenzija instrumenta, skala je i pored linearnosti teško čitljiva. U varijanti na slici 1.23 postignuto je kretanje navoja za ugao i do 300°.

Instrumenti sa kretnim navojem ubrajaju se među najbolje analogne instrumente, jer imaju sledeća dobra svojstva: visoku tačnost, veliku osetljivost, linearnost skale, malu sopstvenu potrošnju, aperiodično zaustavljanje kazaljke (bez oscilacija oko ravnotežnog položaja), dobru zaštitu od uticaja stranih magnetnih polja itd.

Loše svojstvo im je što se direktno ne koriste za mjerenje naizmenične struje, već se ova mora prethodno usmeriti.

Uticaj temperature na tačnost mjerenja suzbija se upotrebom kompenzacionih otpornika (sl. 1.24).



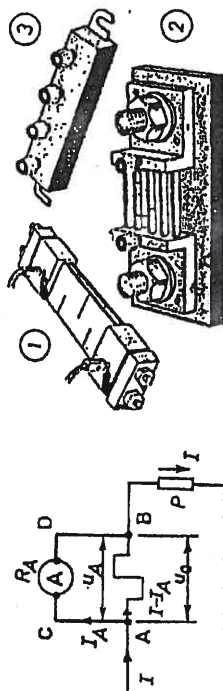
Sl. 1.24. Temperaturna kompenzacija: a) R_T — otpornik sa negativnim temperaturnim koeficijentom, b) R_{m1} R_{m2} R_{Cu} — kombinacija bakarnomanganinskih otpornika

Precizni laboratorijski instrumenti klase tačnosti 0,1, 0,2 i 0,5 dok su grubiji pogonski instrumenti klase tačnosti 1,5 do 2,5.

Instrumenti sa kretnim navojem imaju široku primenu pri mjerenju mnogih elektromagnetnih veličina. Međutim, ovde ćemo objasniti njihovu primenu pri mjerenju struje, napona i električne otpornosti.

Ampermetar sa kretnim navojem. Instrument sa kretnim navojem ima ulogu ampermetra onda kada je vezan na red sa prijemnikom čiju struju mjerimo. Za puno skretanje kazaljke dovoljno je da protiče vrlo mala struja kroz navoj instrumenta (od 0,1 od 100 mA). Ako želimo da mjerimo jače struje, paralelno sa ampermetrom moramo da vežemo otpornik (sl. 1.25), radi proširenja njegovog domaćaja mjerenja. Otpornik koji u tu svrhu dodajemo ampermetru naziva se *otoka*.

Otoke se prave od konstantana ili manganina, pravougaonog ili okruglog poprečnog preseka (sl. 1.26).



Sl. 1.25. Proširenje domaćaja mjerenja ampermetra pomoću otoke

Sl. 1.26. Tri vrste otoke (spoljni izgled)

Ako nekim ampermetrom čija unutrašnja otpornost iznosi R_A želimo da mjerimo struju koja je veća od domaćaja mjerenja samog ampermetra, moramo izabrati odgovarajuću otoku. Radi lakšeg utvrđivanja vrednosti struje koja se mjeri, otokama se pridružuje broj m (moć umnožavanja otoke), koji pokazuje koliko je puta veća struja koja se mjeri od one koja teče kroz navoj ampermetra:

$$m = \frac{I}{I_A}$$

Obično se vodi računa o tome da moć umnožavanja bude cео broj, radi lakšeg izračunavanja mjerene struje.

Na slici 1.25, vidimo da struja kroz ampermetar I_A može da se izrazi kao:

$$I_A = \frac{U_A}{R_A},$$

dok struja prijemnika I predstavlja ukupnu struju kroz ampermetar i otoka:

$$I = \frac{U_A}{\frac{R_A R_0}{R_A + R_0}}.$$

Dejjenjem jednačine (1.10) jednačinom (1.9) zaključujemo da moć umnožavanja posmatranog ampermetra:

$$m = \frac{R_A + R_0}{R_0}$$

zavisi od otpornosti otko R_0 .

Podšavanje otpornosti otko na željenu vrednost postiže se struganjem ili zasecanjem trake ili žice od kojih se otko pravi.

Otpornost otko proračunava se na osnovu podataka za unutrašnju otpornost ampermetra (R_A), struje punog skretanja navoja (I_A) i strujnog domašaja (I_D) koji se želi postići. S obzirom na paralelnu vezu ampermetra i otko, napon im je zajednički, pa je:

$$I_A \cdot R_A = (I_D - I_A) \cdot R_0,$$

Za potrebnu otpornost otko dobijamo:

$$R_0 = \frac{I_A}{I_D - I_A} \cdot R_A.$$

Iz izraza za R_0 vidimo da otpornost otko i struja željenog domašaja stoje u obrnutoj srazmjeri, tj. za veće domašaje otpornost otko je manja.

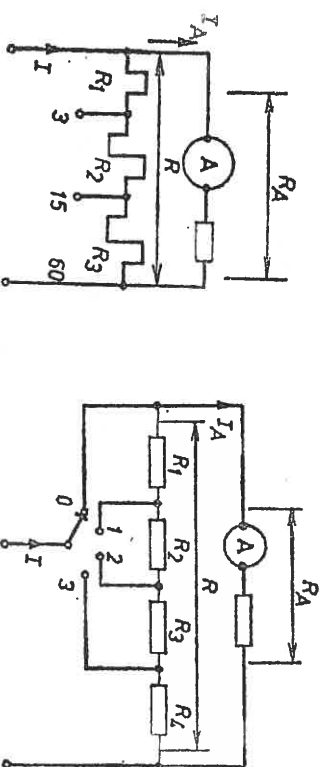
Otko mogu biti ugrađene u ampermetar, zatim podešene da se nataknu na krajeve ampermetra ili odvojene. Za vezu odvojenih otko sa ampermetrom upotrebljavaju se vezni gajtani čiji je otpor obuhvaćen pri proračunu otpora otko. Ako se promene precisi i dužine veznih gajtana, javlja se greška u mjerenju koja može biti velika. Zbog ovoga, za odvojene otko fabrike daju pripadajuće vezne provodnike.

Ampermetar sa više domašaja mjerenja. Otko se najčešće ugrađuje u kućište ampermetra tako da ima izvođe za više domašaja mjerenja (ampermetar sa ugrađenom univerzalnom otkom).

Izbor domašaja mjerenja, u zavisnosti od konstrukcionog rešenja, vrši se izborom drugog priključnog kraja (sl. 1.27) ili postavljanjem preklopnika u željeni položaj (sl. 1.28).

Univerzalna otko za ampermetar sa više domašaja mjerenja proračunava se tako da svaki naredni domašaj bude bar dva puta veći od prethodnog, a pri tom se vodi računa da konstanta instrumenta bude ceo broj, tj. da se što lakše i brže dođe do rezultata mjerenja.

Univerzalna otko zatvara kolo preko navoja, pa se pogodnim izborom njene ukupne otpornosti mogu potpuno izbjeći oscilacije kazaljke pri zauzimanju ravnotežnog položaja. Na taj način se izbegava upotreba aluminijumskog rama, pa kretni navoj postaje lakši, a instrument osjetljiviji i tačniji.



Sl. 1.27. Ampermetar sa ugrađenom univerzalnom otkom kod kojeg se domašaj menja izborom drugog priključnog kraja

Sl. 1.28. Ampermetar sa ugrađenom univerzalnom otkom kod kojeg se domašaj menja preklapnom ručicom

Znati izmeriti jačinu struje pomoću ampermetra znači uneti ga ispravno vezati i očitati njegovo pokazivanje. Ispravno vezati ampermetar znači izabrati domašaj za struju tako da bude veći ili jednak sa strujom koja se mjeri, a potom ampermetar povezati redno sa prijemnikom. Mjerene vrednosti struje sa ampermetra očitavaju se tako što se najpre izračuna konstanta ampermetra K_A :

$$K_A = \frac{I_D}{\alpha_{\max}},$$

gde je α_{\max} pun broj podeoka na skali; zatim se očita broj podeoka za koji kazaljka skrene i mjerena struja se dobija kao proizvod:

$$I = K_A \alpha.$$

Osnovno je za dobar ampermetar da ne utiče na struju koja se mjeri. Zato, budući da se vezuje redno sa prijemnikom, njegova unutrašnja otpornost R_A mora da bude zanemarljivo mala u odnosu na otpornost prijemnika, jer mala unutrašnja otpornost znači smanjenje gubitka snage u ampermetru:

$$P_A = R_A I^2.$$

Voltmetar sa kretnim navojem. Voltmetar mjeri napon između tačaka na koje su priključeni njegovi krajevi (U_0). Znači, da bismo mjerili napon nekog prijemnika U_p , voltmetar mora biti vezan paralelno s njim. Tada je $U_0 = U_p$.

Skretanje kazaljke voltmetra zavisi od njegove struje I_v . Pošto skretanje treba da zavisi samo od mjerene napona U_v , unutrašnja otpornost voltmetra R_v mora biti stalna, tj. $R_v = K$, jer je po Omovom zakonu:

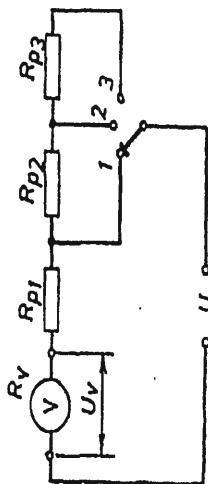
$$U_v = R_v I_v = K I_v.$$

Slično tome, i za napon domašaja možemo da pišemo:

$$U_D = R_v I_{v\max}.$$

Iz obrasca (1.18) proizilazi zaključak da istom instrumentu domašaj za napon možemo da povećavamo (proširimo područje mjerenja voltmetra) povećanjem unutrašnje otpornosti voltmetra R_v . To postižemo vezivanjem dodatnih otpornosti redno

sa voltmetrom. Savremeni prenosni voltmetri obično su napravljeni tako da se izborom drugog priključnog kraja ili pomoću preklopnika (sl. 1.29) može izabrati željeni domaćaj.



Sl. 1.29. Voltmetar se više domaćaja mjerenja

Naponska osjetljivost voltmetra izražava se količnikom unutrašnje otpornosti i maksimalnog napona koji se njime može mjeriti, tj. brojem oma po voltu. Na primjer voltmetar maksimalnog domaćaja $U_D = 250$ [V] i unutrašnje otpornosti $R_{1V} = 250\,000$ [Ω] ima naponsku osjetljivost R_{1V} .

$$R_{1V} = \frac{R_V}{U_D} = \frac{250\,000}{250} \left[\frac{\Omega}{V} \right] = 1000 \left[\frac{\Omega}{V} \right]$$

Vrednost naponske osjetljivosti voltmetra kreće se u širokim granicama, od 20 do 30 000 [$\frac{\Omega}{V}$]. Iz podataka za R_{1V} možemo izračunati i struju punog skretanja $I_{Vmax} = 1/R_{1V}$; tako, na primjer, za voltmetar čije je osjetljivost $R_{1V} = 1\,000$ [$\frac{\Omega}{V}$] struja punog skretanja iznosi $I_{Vmax} = 1$ [mA].

Kod voltmetra sa više domaćaja mjerenja, kao i kod ampermetra, potrebno je najprije odrediti njegovu konstantu K_V koja se, ukoliko nije napisana na instrumentu, za svaki domaćaj mjerenja računa po obrascu:

$$K_V = \frac{U_D}{\alpha_{max}}$$

gde je α_{max} pun broj podeoka na skali.

Mjereni vrednost napona U dobijamo kao proizvod broja podeoka (α), za koju kazaljka skrene, i konstante voltmetra (K_V):

$$U = K_V \cdot \alpha$$

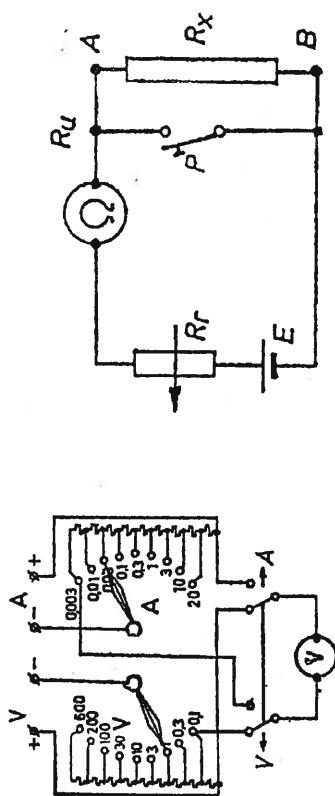
Pošto se isti instrument može koristiti za mjerenje struje i napona, u praksi se prave tzv. voltampermetri (sl. 1.30), kod kojih su ugrađeni i zaštitni otpori i univerzalna otoka.

Omometar sa kretnim navojem. Prema Omovom zakonu, električna otpornost izražava se količinom napona i struje: $R = U/I$. Zato, ako je napon U stalan, nepoznatu otpornost možemo mjeriti ampermetrom čija je skala baždarena u omima. Ako je, pak, struja stalna, voltmetar vezan na krajeve nepoznate otpornosti ponaša se kao omometar.

Zbog veoma česte potrebe mjerenja električne otpornosti, napravljeni su *omometri* kao posebni električni mjerne instrumenti koji direktno pokazuju vrednost mjerenje električne otpornosti.

Prema načinu veze instrumenta i mjerenje otpornosti, razlikujemo dve vrste omometra: *omometar sa redno vezanom otpornošću* i *omometar sa paralelnom vezanom otpornošću*.

Omometar sa redno vezanom otpornošću sadrži bateriju EMS E zanemarljive unutrašnje otpornosti, regulacioni otpornik otpornosti R_r i instrument sa kretnim navojem unutrašnje otpornosti R_u , koji su u odnosu na nepoznatu otpornost R_x vezani prema shemi na slici 1.31.



Sl. 1.30. Voltampermetar za jednosmjernu struju sa 9 domaćaja mjerenja napona i struje

Sl. 1.31. Omometar sa redno vezanom

Pošto se baterija vremenom „troši“, tj. njena EMS opada, potrebno je najprije overiti omometar za postojeći napon.

Zapravo, pri zatvorenom tasteru T, koji tada simulira priključenu otpornost od $R_x = 0$ [Ω], struja kroz instrument iznosi:

$$I_1 = \frac{E}{R_u + R_r}$$

Dok je taster T zatvoren pomoću regulacionog otpornika R_r , dovede se kazaljka otpornika na pun otklon α_{max} , tako da je $I_1 = I_{max} = K_I \alpha_{max}$.

Posle toga otpuštamo taster T, čime se u kolo izvora uključuje i otpornost R_x , pa će struja kroz instrument biti:

$$I_2 = \frac{E}{R_u + R_r + R_x}$$

Kako je struja kroz instrument ujedno i struja kroz nepoznatu otpornost:

$$I_2 = I_x = k \cdot \alpha_x,$$

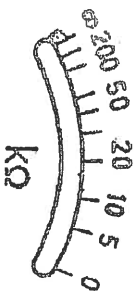
matematičkim transformacijama pomenutih jednačina možemo da dođemo do izraza za nepoznatu otpornost u obliku:

$$R_x = (R_u + R_r) \left(\frac{\alpha_{\max}}{\alpha_x} - 1 \right).$$

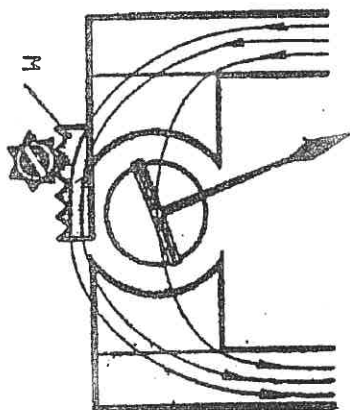
Iz formule (1.26) vidimo da su nepoznata otpornost R_x i skretanje kazaljke α_x u obrnutoj stranimjeri, tj. što je otpornost R_x veća, skretanje α_x je manje. Iz toga zaključujemo da se i skala ovakvog dometa (sl. 1.32) mora baždariiti naopako: zdesna nalevo. Naime, za $R_x = 0$, $\alpha_x = \alpha_{\max}$ a za $R_x = \infty$, $\alpha_x = 0$.

Na slici 1.32 i na osnovu obrasca (1.26), vidimo da skala instrumenta nije linearna. To otežava očitavanje i smanjuje tačnost mjerenja. Da bi se taj nedostatak ublažio, prave se omometri sa različitim domaćajem mjerenja na čitavom delu skale. Omometar sa redno vezanom otpornošću namenjen je uglavnom za mjerenje većih otpornosti, od 10^2 do 10^6 [Ω], jer bi pri mjerenju manjih otpornosti tekla velika struja kroz bateriju i ona bi se brzo istrošila.

Overavanje omometra (podešavanje kazaljke na nulu), osim pomoću regulacionog otpornika, može se vršiti i magnetnom otokom (sl. 1.33). Pomoću magnetne oboke slabi se i pojačava magnetna indukcija (B) u međugvožđu, pa se time menja i vrednost struje punog skretanja.



Sl. 1.32. Skala omometra sa redno vezanom otpornošću

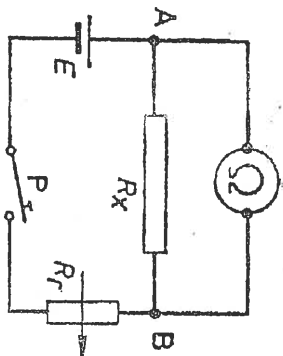


Sl. 1.33. Magnetna otoka

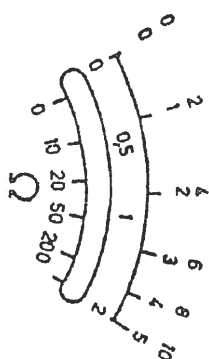
Omometar sa paralelno vezanom otpornošću (sl. 1.34) koristi se za mjerenje malih otpornosti u opsegu od 1 do 100 [Ω]. Skala ovog instrumenta (sl. 1.35) počinje sleva nadesno, jer je u slučaju kratkog vezivanja priključnih krajeva $R_x=0$ i kroz navoj instrumenta ne teče struja. Naime, provodnik kojim spajamo krajeve ponaša se kao otoka čiji je otpor nula.

Otvaranjem priključnih krajeva $R_x = \infty$, kroz instrument protiče struja koju uglavnom ograničava otpor R_r . Pomoću njega možemo podešiti da skretanje na skali bude maksimalno. Ovaj postupak se naziva *overavanje omometra* i vrši se pre svakog mjerenja, jer napon izvora nije stalan. Umesto regulacionog otpornika, za istu svrhu može se koristiti i magnetna otoka, samo što u tom slučaju umesto struje kroz navoj, podešavamo magnetnu indukciju u međugvožđu.

Razumljivo je da će priključenje nekog otpornika konačne otpornosti R_x izazvati skretanje kazaljke za ugao manji od α_{\max} , pa pošto je skala (sl. 1.35) baždarena u ommu, predstoji nam direktno očitavanje vrednosti nepoznate otpornosti.



Sl. 1.34. Omometar sa paralelno vezanom otpornošću



Sl. 1.35. Skala omometra sa paralelno vezanom otpornošću

INTERNACIONALNI SISTEM JEDINICA SI

Razvojem fizike razvijali su se i koristili, a i danas se primenjuju, različiti sistemni jedinica. To je stvaralo ogromne teškoće svima koji su se bavili fizikom kao naučnom disciplinom, a pravilo je određene smetnje i u međunarodnom komuniciranju. Zbog toga se nametnula potreba za uvođenjem jedinstvenog sistema jedinica. Velika zasluga u realizaciji ove ideje pripada italijanskom profesoru Dordiju (G. Giorgi, 1871—1950.) koji je još 1901. godine predložio sistem sa četiri osnovne veličine: dužina, masa, vreme i električna otpornost. Pri tome je kao jedinice predložio metar, kilogram, sekunda i om. Međunarodna elektrotehnička komisija je 1935. godine usvojila ovaj predlog uz izmenu: umesto električne otpornosti kao osnovna veličina uzeta je jačina električne struje i njena jedinica za mjerenje amper. MKSA (metar, kilogram, sekunda i amper) sistem je deo internacionalnog sistema jedinica koji se obeležava kao SI sistem (prema francuskom nazivu *Système International*). U SI sistemu pored osnovnih jedinica MKSA sistema uvedene su i sledeće osnovne jedinice: za temperaturu — kelvin (K), za intenzitet osvetljenja — kandela (cd), za količinu materije — mol (mol).

Sistem SI preporučen je za upotrebu na XI generalnoj konferenciji za tegove i mjere održanoj 1960. godine. U našoj zemlji obavezna je primena ovog sistema od 31. XII 1980. godine.

Dužina, kao osnovna fizička veličina, obeležava se simbolom l . Njena jedinica u *metar* (m) definiše se u SI sistemu kao: dužina 1650763,73 talasnih dužina u vakuumu radijacije koja odgovara neporemećenom prelazu između nivoa 2p10 i 5d5 atoma kriptona 86.

Masa m ima za jedinicu *kilogram* (kg) i predstavlja masu valjka od platine i iridijuma (pramijeru) utvrđenu još 1889. godine.

Vreme t ima jedinicu *sekunda* (s) i to je vreme trajanja 9192631770 perioda zračenja koja odgovara prelazu između dva hiperfina nivoa osnovnog stanja cezijuma 133.

Jačina struje I ima za jedinicu *amper* (A) — jačinu stalne struje koja pri prolazu kroz dva paralelna pravolinijska provodnika beskonačno dugačka, zanemarljivog poprečnog preseka, koji se nalaze na međusobnom rastojanju od jednog metra u vakuumu, izaziva silu od $2 \cdot 10^{-7}$ N po metru dužine provodnika.

Peta osnovana jedinica SI sistema *kelvin* služi kao jedinica za mjerenje temeprature i definiše se kao 273,16-ti deo termodinamičke temperature trojne tačke vode.

Kandela, jedinica za mjerenje jačine svetlosti, predstavlja jačinu svetlosti koju u upravnim pravcu zrači površina od $1/600000$ kvadratnog metra crnog tela na temperaturi očvršćavanja platine pod pritiskom od 101325 paskala.

Jedinica za mjerenje količine materije *mol* je količina materije sistema koji sadrži toliko elementarnih jedinica koliko ima atoma u 0,012 kilograma ugljenika 12.

MJERENJA U ELEKTRIČNIM POSTROJENJIMA

Pod mjerenjem u električnom postrojenju podrazumevamo mjerenja koja se stalno vrše pomoću instrumenata priključenih na sekundarne stezaljke strujnih transformatora. Ta mjerenja nazivaju se pogonskim. Klasa tačnosti pogonskih instrumenata zavisi od značaja postrojenja.

Električna brojila su isključivo klase tačnosti 0,5 (radna i jalova energija), pa se preko njih i vrši obračun energije. Klasa tačnosti drugih instrumenata je obično 1,5 ili pak veća.

Mjerenje struje

Struju mjerimo ampermetrima, koji su skoro redovno priključeni na sekundarnu stranu strujnih transformatora. U dalekovodnom polju struju mjerimo samo u jednoj od faza, jer je dalekovod približno simetrično opterećen. Na slici je prikazano mjerenje struje u jednoj i u sve tri faze.

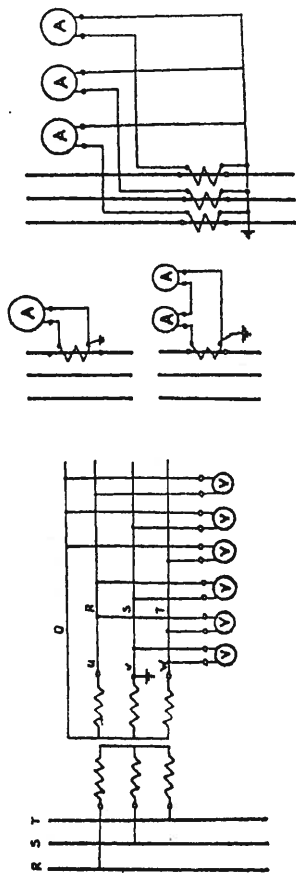
Mjerenje napona

Za mjerenje napona u postrojenju služe voltmetri — pokazani i registrujući, koji su redovno priključeni na sekundarne stezaljke naponskih transformatora, bilo onih u mjernom polju, bilo onih u dalekovodnim poljima. Mjerenje tri liniska i tri fazna napona možemo ostvariti pomoću šest voltmetara, priključenih na sekundarne stezaljke naponskih transformatora. Vidi sliku na sledećoj strani.

Jednostavnije je mjerenje sva tri liniska i sva tri fazna napona pomoću samo jednog voltmetra i voltmetarske preklapke.

Mjerenje radne snage

Za mjerenje radne snage u postrojenju upotrebljava se vatmetar sa dva sistema, koji se zbog toga i naziva dvosistemski vatmetar. Strujna grana vatmetra priključuje



Mjerenje tri liniska i tri fazna napona pomoću šest voltmetara

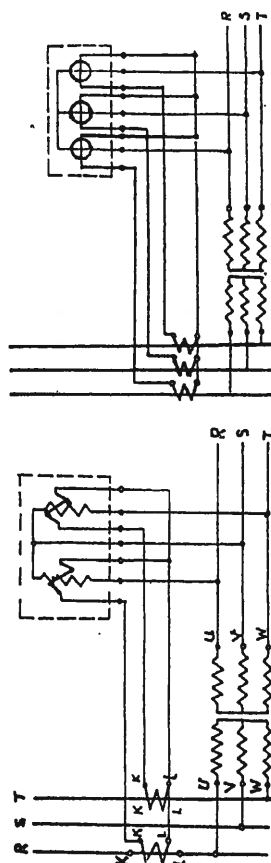
Priključak ampermetra u postrojenju

se na sekundarnu stranu strujnih transformatora, a naponska grana na sekundarnu stranu naponskih transformatora, kao što se vidi na slici.

Tačnost mjerenja dvosistemskog vatmetra zavisi od načina uzemljenja zvezdišta transformatora, odnosno mreže.

— ako je zvezdište (nul—tačka) izolovano, dvosistemski vatmetar tačno pokazuje snagu u trofaznom sistemu, jer je suma struja u sve tri faze jednaka nuli, što je uslov za ispravan rad dvosistemskog vatmetra.

— kod mreže sa direktno uzemljenim zvezdištem i u mrežama uzemljenim preko prigušnice (zvezdište) dvosistemski vatmetar neće pokazivati tačnu vrednost snage, ako je jedna od faza u zemljospoju.



Priključak dvosistemskog vatmetra

Priključak trosistemskog vatmetra

Mjerenje jalove snage

Za mjerenje jalove snage u postrojenju upotrebljavamo varmetar. Varmetar je izveden na isti način kao i vatmetar, što znači da dvosistemski ili trosistemski instrumentat za mjerenje snage može poslužiti i za mjerenje radne i za mjerenje jalove snage.

$$C = \frac{I_1}{i_1} \cdot \frac{U_1}{u_1}$$

gde je: I_1/i_1 prenosni odnos strujnog transformatora.
 U_1/u_1 je prenosni odnos naponskog transformatora za koje je brojilo baždareno.
 Što se tiče priključka nema nikakve razlike između brojila jalove energije i varmetra.

MJERENJE FREKVENCE

Za mjerenje frekvencije upotrebljavamo u postrojenju frekvencionetre. Ovi instrumenti se izvođe isključivo kao pokazni, dok se registrujući frekvencionetar upotrebljava frekvencionetar sa kazaljkom. Mjerno područje im je od 46 do 54 Hz, klase tačnosti 0,5 Hz.

Nazivni napon frekvencionetra je najčešće 100V, što znači da se oni priključuju na sekundarnu stranu naponskih transformatora.

MJERNI TRANSFORMATORI

Da bi se izbeglo neposredno vezivanje aparata, instrumenata na vodove visokog napona, upotrebljavaju se mjerni transformatori.

Mjerni transformatori se primenjuju za odvajanje mjernih, signalnih i zaštitnih krugova od visokog napona i svođenje mjerne jedinice na vrednost pogodnu za mjerenje, za ispravan rad instrumenata kao i za pravilan rad releja.

Mjerni transformatori treba da ispunjavaju sledeće uslove:

- da imaju veliku dielektričnu čvrstoću
- da imaju veliku otpornost na udarne prenapone
- da obezbeđuju veliku preciznost aparata
- da imaju veliku otpornost na struje kratkog spoja
- da su relativno malih dimenzija.

Razlikujemo strujne i naponske mjerne transformatore.

Strujni mjerni transformatori — imaju za zadatak da struje visokog napona i velikih jačina transformišu u struje nižeg napona i malih jačina, odnosno na vrednosti, koje se mogu lako mjeriti. Korišćenjem ovih transformatora štitimo mjerne i regulacione instrumente. Isto tako obezbeđena je potpuna bezbednost radniku radi povremene kontrole ili pak kakve popravke, jer se radi o malim naponima.

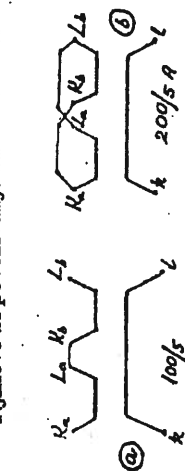
Strujni mjerni transformatori su jednofazni, čiji se primar vezuje na red sa potrošačima, dok se sekundar povezuje sa instrumentima, koji mogu da budu: mjerni, regulacioni ili za signalizaciju.

Kod strujnog transformatora može da dođe do preteranog zagrevanja, kao i do pojave velikih napona, koji mogu da budu čak i opasni po život radnika. Otuđa mjerni strujni transformatori moraju na niskoj strani da budu uvek povezani sa instrumentima, ili da sekundar mora da bude kratko spojen.

Primarna struja može da bude od 5 do 2000 A a sekundarna je od 5 do — odnosno 1 A. Jačina struje do 5 A za napone do 35 kV, dok je za više napone jačina struje 1A.

Strujni transformatori mogu da se prespajaju: na red ili u paralelu i to na primarnoj strani. Tako transformator 2 x 100/5 A može da se koristi za prenosni odnos 100/5 A kao i za 200/5 A.

Njihovo bi povezivanje bilo kao na slici:



Po istom postupku mogu da se prespoje strujni mjerni transformatori 4 x 100/5 A. Na primarnoj strani za: 100/5 A; 200/5 A ili 400/5 A.

Strujni transformatori imaju oznake na svojim krajevima slovima latinič i to: na primarnoj strani su velika slova K i L, dok su na sekundarnoj ista, ali mala slova k i l.

Strujni mjerni transformatori mogu da budu izvedeni sa različitim priključcima kao što je to prikazano u sledećoj tabeli.

Strujni transformatori moru da se uzemlje i to oni metalni delovi, koji nisu pod naponom. Uvek se uzemljava i jedna sekundarna strana i to je obično stezaljka k/1k, 2k itd./.

Strujni transformatori mogu da budu: suvi i sa izolacijom pomoću ulja.

Kod suvih strujnih transformatora izolacija je vazduh, vlaknaste materije, presovane smole ili porculan. Ovi transformatori se izrađuju za napone do 35 kV i to kao potporni, štapasti i provodni.

OZNAKE PRIKLJUČAKA ZA STRUJNE TRANSFORMATORE

izrada	oznaka	schema
s jednim jezgrom	primarna stezaljka K, L sekundarna stezaljka k, l	
prespojiv na primarnoj strani	istovrsne stezaljke za serijsko-paralelno spajanje, sa indeksom a, b, c, d.	
sa odvojcima od primarnog ili sekundarnog namotaja	kraj namotaja je L1 i l1. Ostali odvojcji su sa indeksima...2,3...	
sa dva ili više jezgara	sekundarne stezaljke nose broj jezgra na kojoj se namotaj nalazi.*	

* Jezgra 1 ima najveću tačnost, ili uz jednaku tačnost manju snagu, ili uz jednaku snagu 1 manji nadstrujni broj n.

Druga vista sa izolacijom pomoću ulja izrađuju se kao potporni za sve standardne napone. Namotaji ovih transformatora su potopljeni u sudu sa uljem.

Tip
Vrste

AOP—10	otvoreni suvi
AKU—12	maloulnji
APA—12	epoksidni — potporni
ASA—12	epoksidni — štapni
ADA—38	epoksidni — provodni
AKU—38v	maloulnji potporni za spojinu montažu
APU—123	uljni potporni
APU—245	uljni potporni sa dva jezgra za spojinu montažu

NAPONSKI MJERNI TRANSFORMATORI

Izračunu se kao i transformatori snage sa razlikom u tome, što je naponski njemni transformator slabo opterećen, kako bi greška pri mjerenju bila što manja.

I kod ovih transformatora postoje primarni i sekundarni namotaji.

Sekundarni napon je 100 V kod dvopolno izolovanih, odnosno $100/\sqrt{3}$ V kod jednopolno izolovanih.

Primarni naponi imaju standardne vrednosti.

Standardne vrednosti nazivnih snaga su sledeće: 10, 15, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 300, 600 i 900 VA.

Kao i strujni mjerni transformatori, tako i naponski mogu da budu: suvi i uljini kao i dvopolno i jednopolno izolovani.

Suvi kao i uljni imaju izolaciju identičnu sa izolacijom strujnih mjernih transformatora.

Dvopolno izolovani ima dva visokonaponska priključka, dok jednapolno izolovani ima samo jedan visokonaponski priključak. Drugi kraj visokonaponskog namotaja spaja se sa metalnim kućištem i uzemljava.

Dvopolno izolovani naponski transformator upotrebljava se za mjerenje samo linjskih napona.

Dvopolno izolovani izrađuju se za napone do 35 kV, a jednopolno izolovani za sve standardne napone. Jednopolno izolovani može da ima dva namotaja na sekun-

daru. Drugi namotaj služi za mjerenje napona zvezdišta prema zemlji, a spreže se u otvoreni trougao.

Ako se koristi naponski kapacitivni transformator za napon 380 kV, onda na ovaj transformator može da se priključi VF uređaj. Ukoliko se ovaj priključak ne upotrebi za priključenje VF uređaja, mora da se uzemlji.

Krajevi dvopolno izolovani mernih transformatora na primaru obeležavaju se velikim slovima U i V, a na sekundaru slovima u i v. Priključnica na sekundaru "v" obavezno mora da se uzemlji.

izrada	oznaka	schema
Dvopolno izolovani		
neprespojiv bez odvajanja	primarne U, V sekundar u, v	
prespojiv na primarnom strani	istovremene stezajke za serijsko-paralelno spajanje. Oznake indeksa a, b, c.	
sa odvojenim krajevima na primarnom ili sekundarnom namotaju	indeksi 1, 2, 3... idu prema manjem broju zavoja.	
Jednopolno izolovani naponski transformatori		
s mjernim namotom i pomoćnim namotom za dojavu zemljospoja	primarne stezajke U i X; sekundarne stezajke: mjerni namot u, x pomoćni nam. e, n	
sa dva sekundarna mjerna namota	sekundarne stezajke prvog namota sa indeksom 1—Uj, u1, x1 drugog namota: u2, x2	

U tabeli je prikazano označavanje priključaka za naponske mjerne transformatore.

Uzemljenje se kod jednofaznih transformatora vrši na stezaljkama: X, x i n. Za mjerenje sva tri linjska napona za napone do 35 kV, koriste se dvopolni izolovani naponski transformatori u spoju „V“. Za više napone ovo se ne sme koristiti. Naponski mjerni transformatori u pogonu krajevi sekundara mogu da budu otvoreni ili preko njih vezati potrošače. Ne smeju nikada da se kratko spoje, jer bi došlo do pregorevanja namotaja.

Zaštita od preopterećenja ostvaruje se preko osigurača, koji se postavljaju na primaru za napone do 35 kV. Za više napone od 35 kV ne primenjuju se osigurači. Na sekundarnoj strani obavezno se postavljaju osigurači, radi zaštite od preopterećenja.

Za napone preko 35 kV primenjuju se naponski transformatori samo sa jednim namotajem na sekundaru spregnuti u zvezdu, jer su mreže preko 35 kV direktno uzemljene preko otpora male vrednosti i svaki zemljospoj predstavlja kratki spoj.

Naponski transformatori nisu izloženi termičkim i dinamičkim naprezanjima, pa se otuda i ne vrše takva proveravanja.

Pomoću mjernih naponskih i strujnih transformatora mogu da se vrše odgovarajuća mjerenja: napona, struje i snage i to na visokonaponskom delu. Tako kod mjerenja utroška električne energije, može da se mjerenje vrši preko dva dvopolna izolovana naponska transformatora, koji koriste tri faze i dva strujna mjerna transformatora, koji su priključeni na dve faze... Isto tako mogu da se koriste i po tri naponska i tri strujna mjerna transformatora, radi mjerenja utroška električne energije na visokonaponskoj strani preko odgovarajućeg brojala.

ELIMINACIJA STATIČKIH NAELEKTRISANJA

Nakupljanje statičkih naelektrisanja u industriji, u određenim tehnološkim procesima može se preduprediti:

1. Uzemljenjem provodljivih delova mašina i uređaja;
2. Antistatičkim prepariranjem površina materijala koji se obrađuju;
3. Vlaženjem atmosfere i materijala koji se obrađuje;
4. Povećanjem provodnosti materijala koji se obrađuje;
5. Avivažom i mašćenjem materijala koji se obrađuje i
6. Eliminacijom naelektrisanja upotrebom raznih vrsta eliminatora.

Uzemljenje provodljivih delova mašina i uređaja je dovoljna mjera da se nakupljeno naelektrisanje na tim delovima odvede u zemlju. Ova mjera je potpuno efikasna za sve delove koji imaju malu specifičnu otpornost i sa kojih se naelektrisanje može prazniti samo sa jednom elektrostatičkom varnicom. Za odvođenje statičkih naelektrisanja sa dielektričnih materijala ne može se koristiti uzemljenje jer su nosioci naelektrisanja atomi ili molekuli materijala sa visokom omotnom otpornosti (naelektrisan svaki 10^{-5} atoma).

Prema važećem Pravilniku o tehničkim normativima za zaštitu od statičkog elektriciteta („Službeni list SFRJ“, broj 62/73) otpornost uzemljivača mora biti istovetna otpornosti uzemljivača gromobranske instalacije. Ovi zahtevi su preterani, jer se pouzdano zna da su struje pražnjenja veoma male, reda nekoliko desetina μA , ali u sklopu zaštite oblikovanjem potencijala ovi su zahtevi opravdani.

U prostorijama koje su ugrožene od eksplozivnih smeša, za odvođenje statičkih naelektrisanja koriste se antistatički podovi, prema zahtevima JUS G.E0.050 (maksimalna otpornost iznosi $5 \cdot 10^4 \Omega$). U ovim prostorijama je neophodno odrediti i donju granicu otpornosti, jer veoma mala otpornost može obezbediti varnicu dovoljne energije za paljenje eventualno prisutne eksplozivne smeše.

U prostorijama u kojima statičko naelektrisanje može štetno uticati na elektonske komponente (pošte, računarski centri i sl.) podovi prema navedenom standardu moraju obezbediti antistatičnost (otpornost se mora kretati od minimuma $5 \cdot 10^4 \Omega$ do maksimuma $10^8 \Omega$).

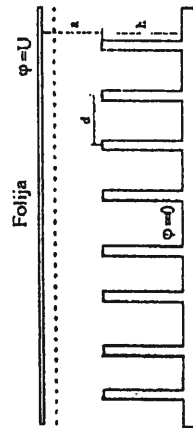
Povećanjem vlažnosti vazduha u proizvodnim procesima, obezbeđuje se mogućnost, da se na površini materijala kondenzuje tanak film vlage koji povećava površinsku provodnost materijala, čime se odvođenje statičkih naelektrisanja ubrzava. Kod nekih materijala vlaženje ne povećava površinsku provodnost, pa se ovakav način odvođenja statičkih naelektrisanja ne može koristiti.

U tekstilnoj industriji, kod obrade vlakana različitog porekla, koristi se kao mjera za sprečavanje nastajanja statičkih naelektrisanja avivaža i mašćenje. Avivažom i mašćenjem vlakana, vlakna se prevlače tankim slojem antistatičkog materijala koji onemogućuje naelektrisanje, a ujedno se smanjuje kontaktna površina materijala koji se obrađuje sa rotirajućim delovima mašina, na kojima se materijal obrađuje.

Antistatičko prepariranje je mjera borbe protiv naelektrisanja materijala, u određenim tehnološkim procesima, kojom se elektroizolacioni materijali, inkorporiranim provodljivim materijalima, pretvaraju u provodljive materijale, čime se sprečava nastajanje statičkih naelektrisanja. Poznato je da laki benzin, koji je dobar izolator, i koji se dobro elektrise u svim operacijama pretakanja, filtriranja, transporta i slično, odnosno u svim operacijama u kojima je ozbježena turbulencija i razdvajanje pojedinih slojeva međusobno, postaje dobar provodnik ako mu se doda 4% etilalkohola, a samim tim se sprečava njegovo naelektrisanje. Ova mjera se koristi kod ispitivanja Boš pumpe. Za benzine različitog porekla, srednje frakcije, koriste se sintetizovani „antistatik“ aditivi koji su prema mnogim propisima drugih država obavezni. JUS standard je prihvatio njegovo obavezno dodavanje u mlazno gorivo GM-1.

U pogonima u kojima se preraduju materijali, sa kojih se naelektrisanje ne može odvesti navedenim mjerama, ili ne može sprečiti naelektrisanje, koriste se eliminatori (jonizatori) statičkih naelektrisanja.

Za eliminaciju statičkih naelektrisanja najpovoljniji su eliminatori statičkog naelektrisanja sa linearnom (sl. 3) ili površinskom rešetkom, jer imaju izvanredne strujno-naponske karakteristike. Njihov rad zavisi od elektrostatičkog polja koje nastaje od generisanih statičkih naelektrisanja na materijalu koji se obrađuje. Efikasnost eliminacije je utoliko veća ukoliko je veća količina naelektrisanja.



Slika 3 — Poprečni presek pasivnog eliminatora

ZAŠTITNE MJERE OD DODIRA ELEKTROPROVODNIH DELOVA POD NAPONOM

Razlozi i načini primene zaštitnih mjera. U objektu gde su izgrađene električne instalacije čovek je stalno prisutan, kao učesnik u tehnološkom procesu koji se u njemu odvija. Zbog toga postoji realna opasnost da se u toku tog učesća, delovi njegovog tela nađu na različitim potencijalima i da kroz telo protokne električna struja. Ako bi ta struja bila veća jačine, čovek bi mogao da bude i usmrćen. Da do toga ne bi došlo, preduzimaju se razne zaštitne mjere, o kojima će u ovom poglavlju biti reči.

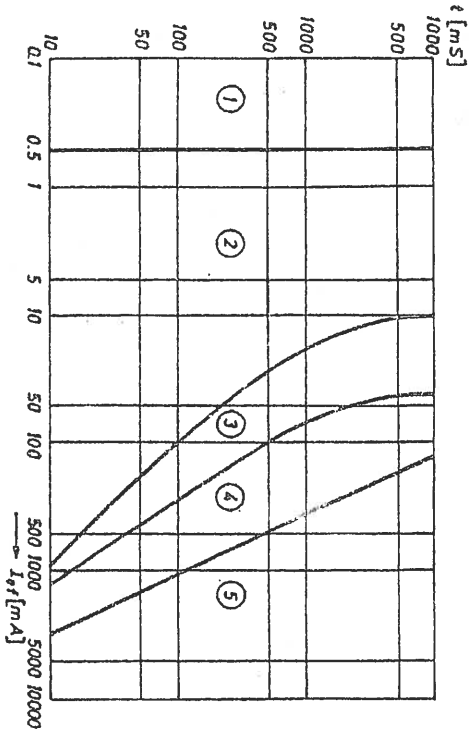
Najgori, ali zato i najčešći slučajevi su kada se potencijalna razlika stvori između ruku ili između ruke i tačke oslonca. Ta potencijalna razlika se naziva napon dodira. Posledica ovakvog dodira je da će se u strujnom kolu formirane struje kroz čovečije telo naći i samo srce.

Ne tako opasan slučaj, a i manje verovatan je, kada se potencijalna razlika stvori između nogu, za vreme hoda. Takva potencijalna razlika se naziva napon koraka. Srce se u ovom slučaju neće naći u strujnom kolu formirane struje. Obzirom da je u instalacijama niskog napona do 1000 V sasvim mala verovatnoća da se formira napon koraka opasan po čoveka, on se u ovom kursu neće ni obrađivati.

Struja veće jačine koja protiče kroz čovečije telo izaziva razne patofiziološke poremećaje i fibrilaciju samog srca. Opasna jačina struje je određena i prema dužini njenog trajanja.

Na sl. 7.1. dati su grafići opasnih jačina struje u zavisnosti od dužine njenog trajanja, koji su iskazani u dokumentu IEC-a 364.

U objektu gde se nalaze električne instalacije čovek može da dođe u dodir sa elektroprovodnim delovima instalacija koji su u normalnim uslovima na različitim



Sl. 7.1. — Opasna jačina struje u zavisnosti od njenog trajanja; oblast (1) — nema posledica, (2) — obično nema patofizioloških opasnih posledica, (3) — obično nema opasne fibrilacije srca, (4) — fibrilacija srca moguća (50% verovatnoća), (5) — opasna fibrilacija srca.

potencijalima između sebe ili u odnosu na zemlju, ili pak, koji mogu da dođu na različite potencijale samo u slučaju greške, pre svega na električnoj izolaciji. Zaštitne mjere koje se sprovode da do toga ne dođe, mogu se iskazati u najkraćem:

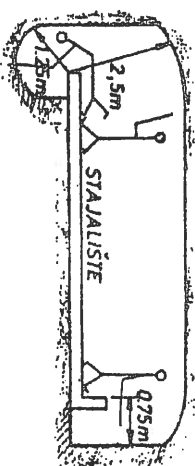
— (I) zaštitne mjere protiv dodira elektroprovodnih delova koji se normalno nalaze na različitim potencijalima između sebe i prema zemlji, sastoje se u onemogućavanju da do dodira dođe, električnim izolovanjem i odvajanjem tih delova fizičkim pregradama ili, ograničavanjem jačine struje ispod vrednosti opasne po život; — (II) zaštitne mjere protiv dodira elektroprovodnih delova koji mogu da se nađu na različitim potencijalima između sebe i prema zemlji kada dođe do greške, sastoje se u ograničavanju jačine struje greške ispod vrednosti opasne po život, ili brzom automatskom odvajanju od napona delova električne instalacije gde se greška javila.

U našoj stručnoj praksi dodir tačaka različitog potencijala rukama ili rukom i nogom, naziva se „dodir delova pod naponom“, pa će se taj naziv nadalje upotrebljavati u ovom tekstu, imajući na umu da on obuhvata oba slučaja.

Zaštitne mjere protiv dodira elektroprovodnih delova koji se normalno nalaze pod naponom. Zaštitne mjere protiv dodira elektroprovodnih delova koji se normalno nalaze pod naponom su: električno izolovanje, fizičko odvajanje ovih delova od okoline i primena malih napona.

Prve dve mjere su konceptijski tako postavljene da se onemogućiti sam dodir, dok treća mjera ide ka tome da smanji jačinu struje ako do dodira ipak dođe.

Električno izolovanje, prostorno i fizičko odvajanje. Kao prva mjera koja se sprovodi u cilju sprečavanja dodira jeste da se svi elektroprovodni delovi koji se normalno nalaze pod naponom električki izoluju od okoline odgovarajućom električnom izolacijom. Nažalost, to nije uvek moguće, pa se moraju primenjivati i druge mjere.



Sl. 7.2. — Granična rastojanja koja čovek može da dohvati rukom bez obzira na svoj položaj prema stajalištu.

Druge često primenjivane mjera jeste prostorno odvajanje delova pod naponom izvan dohvata čovečije ruke. Granične razdaljine iza kojih čovek ne može da ih dohvati, date su na Sl. 7.2. Postavljanjem ovih delova iza ovih razdaljina, obezbeđena je potrebna zaštitna mjera.

Treća često primenjivana mjera je postavljanje delova pod naponom iza fizičkih pregrada (u ormara, u kutije, u pregradi itd.). Na takav način se onemogućava da čovek dođe u dodir sa elektroprovodnim delovima električnih instalacija koji se normalno nalaze pod naponom. Međutim, često je i pored svega potrebno do tih delova doći u cilju neke intervencije. U takvim slučajevima se mora obezbediti da se pre uklanjanja pregrade taj deo električnih instalacija mora odvojiti od napona, odnosno da se pregrada ne može ukloniti dok se ne izvrši odvajanje od napona. Takva dodatna mjera se naziva „blokiranje“. Nažalost, postoje električne instalacije gde se neće moći, iz tehnoloških razloga, izvršiti odvajanje od napona dela električnih instalacija gde će se vršiti neka intervencija, na primer zamena topljivog umetka u osiguraču. U takvim

slučajevima se ti delovi moraju električki izolovati postavljanjem elektroizolacionih pregrada, da se odvoje delovi pod naponom, ili postavljanjem elektroizolacionog tepiha na stajalište.

Primena malih napona. Smanjenje jačine struje ispod opasne vrednosti u slučaju da do dodira dođe, moguće je izvesti smanjenjem nazivnog napona u tom delu električnih instalacija ili ograničenjem energije izvora. Ova druga mjera nije još detaljno razrađena, pa se neće u ovom poglavlju detaljnije objašnjavati.

Smanjenje nazivnog napona u delu električnih instalacija izvodi se pomoću transformatora. Po dokumentu IEC-a 364 smatra se da su naponi ispod 50 V, a u izuzetnim slučajevima ispod 25 V takvi naponi, koji ne mogu biti uzrok proticanja kroz čovečije telo struje opasne jačine ni u kakvim uslovima. Najčešće se u te svrhe koriste standardne vrednosti napona od 48 V, 24 V i 12 V. Tako na primer, prenosna svetiljka za rad u vlažnim kanalima, metalnim cevima, kotlovima, koristi napon od 24 V, dok se za dečje električne igranke čak koristi napon od 12 V.

Transformator koji se koristi za dobijanje malih napona, mora biti posebne konstrukcije. Primar i sekundar moraju biti fizički odvojeni jedan od drugog, ili ako moraju biti jedan pored drugog ili jedan preko drugog, između njih se mora postaviti jedan elektroprovodni deo, takozvani „ekran“, na koga se moraju primeniti mjere zaštite koje se koriste u delu električnih instalacija primarnog napona. Umesto ekrana moguće je koristiti i pojačanu električnu izolaciju.

Ova posebnost u konstrukciji se zahteva da se onemogući da usled proboja između namota, sekundarni kraj dođe na primarni napon, u kom slučaju bi zaštitna mjera primene malog napona bila izgubljena.

Ako je transformator za dobijanje malih napona izrađen na napred opisan način, nikakve dodatne zaštitne mjere nije potrebno sprovođiti.

Sam transformator, koji može biti stabilan ili prenosan, kao električna komponenta spada u pogledu mjera zaštite u deo instalacija primarnog napona. Zbog toga će se štititi istim načinima koji se primenjuju u tom delu električnih instalacija, na primer dodatnim električnim izolovanjem ili povezivanjem kućišta na zaštitni vod.

Zaštitne mjere protiv dodira elektroprovodnih delova koji mogu zbog greške doći pod napon. Zaštitne mjere protiv dodira elektroprovodnih delova koji mogu zbog greške doći pod napon su: dodatno električno izolovanje, izolovani prostori, električno ili galvansko odvajanje i automatsko brzo odvajanje dela električnih instalacija gde je greška nastala od napona.

Prve tri mjere su konceptijski tako postavljene, da se merom onemogućuje pojava struje greške, kako kroz bilo koji elektroprovodni deo tako i kroz čovečije telo.

Četrta mjera ima potpuno suprotnu koncepciju. Kod nje se nastoji da struja greške bude što veća, da bi delovala neka od električnih zaštitnih (strujnih) komponenti, koje bi brzo odvojile taj deo električnih instalacija od napona.

Dodatno izolovanje. Ova mjera zaštite se sastoji u sledećem. Električna izolacija elektroprovodnih delova koji se stalno nalaze pod naponom, određena prema nazivnoj vrednosti toga napona, pojačava se sa još jednim slojem koji pored električnih ima dobra i mehanička svojstva. Pored toga i sami konstruktivni delovi električnih komponenta ili prijemnika, izrađuju se od elektroizolacionog materijala, koji ima dobre konstruktivne karakteristike. Na taj način je izbegnuta pojava elektroprovodnih delova koji bi usled greške mogli da dođu pod napon. Kao primer spomenimo razvodne ormare ili telo električne bušilice, koji mogu da se izrade od elektroizolacionog materijala.

Primena ove mjere zaštite, mora biti na komponenti ili prijemniku posebno označena simbolima koji su prikazani na sl. 7.3.

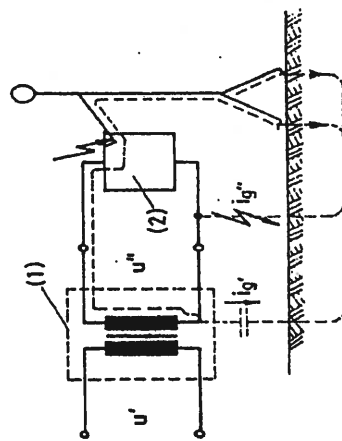


SL 7.3. — Oznake za dodatno električno izolovanje: a) izolovanje samo prema nazivnom naponu, b) preko električne izolacije iz a) postavljen elektroprovodni oklop, c) osim izolacije pod a) postavljena dodatna električna izolacija sa boljim mehaničkim osobinama, d) preko električne izolacije iz a) i c) postavljen elektroprovodni oklop.

Izolovani prostori. Prostor koji je električki izolovan od okoline (zemlje) električnom izolacijom koja ima otpor bar 50 K Ω , smatra se izolovanim prostorom. U ovakvom prostoru dodir rukom elektroprovodnog dela koji se zbog greške može naći pod naponom, neće imati posledicu proticanje kroz telo prema osloncu struje opasne jačine. Međutim, da bi se onemogućilo i proticanje struje opasne jačine između ruku, takvi delovi se moraju nalaziti na rastojanjima koja su veća od rastojanja koje može da se obuhvate rukama. To rastojanje je 2m. Ovim rastojanjima moraju da budu obuhvaćeni i svi oni elektroprovodni delovi koji se nalaze na potencijalu zemlje, kao na primer instalacija centralnog grejanja, instalacija vodovoda itd.

Električno ili galvansko odvajanje. Ova mjera se sastoji da se delovi električnih instalacija (strujna kola) povežu na napon preko induktivne sprege, odnosno preko jednog transformatora. Ta mjera se primenjuje za posebne otežane uslove u delu objekta: za prostore objekta sa izuzetno dobrim elektroprovodnim osobinama okružujućih površina. U takvom slučaju ako se greška pojavi i čovek dođe u dodir sa delom koji je došao pod napon zbog nje, kroz njegovo telo neće proteći struja opasne jačine jer će biti ograničena velikom vrednošću (kapacitivne) imedanse prema zemlji sekundarnog kola, uključujući i sekundarnog transformatora. Ovo jasno proizilazi iz električnog ekvivalentnog kola, koje je prikazano na sl. 7.4.

Međutim, vrednost te imedanse je velika samo u slučaju malih snaga transformatora i kratkih strujnih kola u sekundarnom delu. Kod transformatora većih snaga, vrednost ove imedanse se smanjuje, zbog čega je ova mjera zaštite primenljiva samo za snage transformatora kojoj odgovara struja po fazi u sekundaru do 16 A. Pored ovog ograničenja, ova mjera je iz istih razloga primenljiva i na transformatore



SL 7.4. — Električno ili galvansko odvajanje: 1 — transformator za odvajanje, 2 — prijemnik, ig — kapacitivna struja greške, ig' — struja greška ako bi došlo do oštećenja električne izolacije provodnika.

*ciji primarni napon ne prelazi vrednost od 500 V, a sekundarni vrednost od 380 V.

Ova mjera zaštite gubi svoj smisao, ako bi zbog greške na izolaciji, sekundarno kolo u bilo kom delu došlo u galvansku vezu sa zemljom. Tada bi naknadni dodir sa bilo kojim delom koji se našao pod naponom, bilo u normalnom pogonu, bilo zbog greške, izazvao pricanje struje kroz čovečije telo opasne jačine.

Zbog toga se izradi sekundarnog kola mora posvetiti posebna pažnja. Način izrade je regulisan „Propisima o izradi električnih instalacija“.

Klasican primer primene otkriva mjere zaštite je napajanje priključaka električnog brijača u kupatilima. Prenosi odnos takvog transformatora je 1.

Automatsko odvajanje od napona. Ova mjera se sastoji u odvajanju od napona dela električnih instalacija gde je nastala greška. Taj deo električnih instalacija može biti jedno strujno kolo, deo električnih instalacija koje pripadaju jednom razvodnom mestu ili čitave instalacije u jednom objektu. Ovaj poslednji slučaj se odnosi na stan, kao jednu tehnološku celinu.

Odvajanje od napona se može izvoditi topljenjem topljivog umetka osiguravača ili pomoću nekog automatskog prekidača na koji deluje struja greške. Zbog toga je uslov za egzistenciju otkriva zaštite, da struja greške bude dovoljno velika da izazove ovo odvajanje. Zbog toga je proveru jačine ove struje obavezna.

Kada se radi o zaštitnoj mjeri od dodirnog napona koji bi se zbog greške mogao javiti na elektroprovodnim delovima koji nisu normalno pod naponom, moraju se ovi delovi povezati u strujno kolo tako da u slučaju pojave greške, kroz topljivi osigurač ili zaštitni deo automatskog prekidača protokne struja greške dovoljne jačine, a da pri tome ovi delovi u normalnim uslovima ne budu pod naponom.

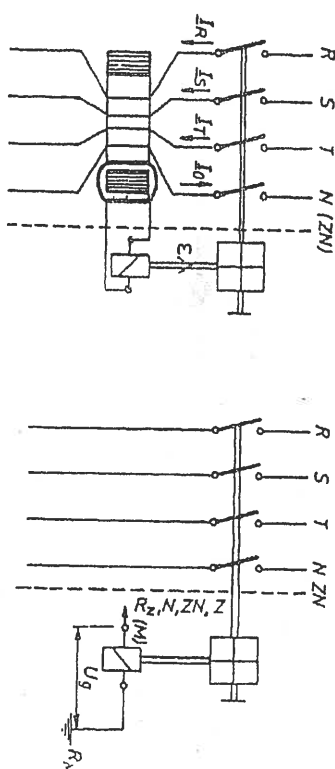
Kod primene ove zaštitne mjere svi elektroprovodni delovi električnih komponenta ili prijemnika koji normalno nisu pod naponom (njihova kućišta), moraju se povezati na jedan električni provodnik koji će imati zaštitnu funkciju i zato se naziva „zaštitni provodnik“ i uvek se obeležava žuto-zelenom bojom. Drugi kraj ovog zaštitnog provodnika povezuje se na nulti provodnik električnih instalacija (N) ili sa zemljom (T), preko nekakvog uzemljenja.

Neutralna tačka sekundara poslednjeg transformatora u prenosnom sistemu koji obuhvata deo distributivne mreže i električne instalacije u objektu, može biti direktno uzemljena (T) ili izolovana (I). Kada je uzemljena, neutralni vod ima značenje nultog voda. Smatra se da je neutralna tačka transformatora izolovana od zemlje i onda kada se sa njom povezuje impedansom vrlo velike vrednosti. Ako bi sa dva slova, od kojih prvo znači način povezivanja neutralne tačke transformatora sa zemljom, a drugo način povezivanja zaštitnog provodnika, označili moguće kombinacije koje se javljaju kod nas, onda bi mogli zaštitni sistemi izgledati ovako:

- TT zaštitno uzemljenje,
- TN nulovanje, i
- IT zaštitni vod.

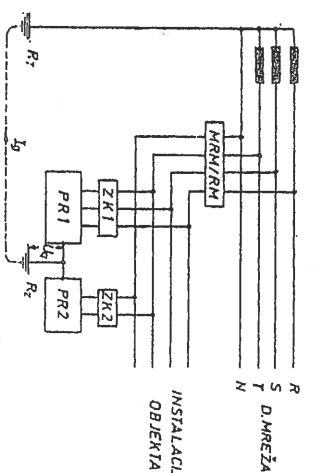
Pored ova tri osnovna zaštitna sistema protiv napona dodira nastalog usled greške, koriste se i dva dopunska koja se koriste kada proveru pokazuje da struja greške neće biti dovoljne jačine da izazove brzo odvajanje od napona, a u tom periodu zaštitni vod može u odnosu na zemlju da dođe pod napon veći od dozvoljenog koji iznosi 65 V. To su mjere primene ZAŠTITNOG STRUJNOG PREKIDAČA ZS, koji radi na principu nultog zbira dolazećih po fazama i odlazećih po nulom vodi struja i ZAŠTITNOG NAPONSKOG PREKIDAČA ZN, koji radi na principu ograničenja

napona u zaštitnom vodu u odnosu na okolnu zemlju. Način rada ovih prekidača šematski je prikazan na sl. 7.5.



Sl. 7.5. — Tropolna električna šema a) i ZN b) zaštitnih prekidača, koji se koriste kao dopunska zaštitna mjera kod sistema TT i TN, prekidač ZS, i TT, IT i IT prekidač ZN. Kod sistema TN, zaštitni provodnik se mora postaviti izvan ZS prekidača (isprekidana linija); I_g^* — struja isključenja ZS prekidača; U_g^* — napon isključenja ZN prekidača.

Zaštitno uzemljenje (TT). Mjera zaštite protiv napona dodira usled greške zaštitnim uzemljenjem sastoji se u povezivanju zaštitnog provodnika sa zaštitnim uzemljenjem. Ono može da se izradi kao pojedinačno ili zajedničko, u kom slučaju se dovodi do razvodnog ormara najvišeg hijerarhijskog nivoa gde se vezuje za posebno za to ugrađenu sabirnicu, pa se od nje dalje razvodi sve do prijemnika putem zaštitnih provodnika.



Sl. 7.6. — Tropolna električna šema sistema zaštite od previsokog napona greške zaštitnim uzemljenjem (TT), RT — radno uzemljenje transformatora, RZ — zaštitno uzemljenje, U_g — napon greške, I_g — struja greške, PR — prijemnik, ZK — zaštitna komponenta.

Sistem zaštitnog uzemljenja je šematski prikazan na sl. 7.6.

Kada se greška prema zemlji javi, formira se strujno kolo kroz zemlju, između radnog uzemljenja transformatora i eventualno drugih uzemljenja, ako se ona javljaju duž nultog voda i zaštitnog uzemljenja. Zaštita će biti efikasna, ako je struja greške veća od struje potrebne za brzo odvajanje od napona (unutar 200 ms) topljenjem topljivog umetka osiguravača ili otvaranjem prekidača sa nekom zaštitnom komponentom po struji, a da pri tome napon dodira uzemljivača zaštitnog uzemljenja ne bude veći od dozvoljenog napona,

koji je kod nas ograničen na $U_d \leq 65$ V. Ovaj uslov bi se mogao iskazati analitički, nejednačinom

$$R_z I_d \leq R_z I_g \leq U_d$$

gde su I_d — struja brzog topljenja topljivog umetka kod osigurača ili struja brzog otvaranja prekidača sa prekostrujnom vremenski nezavisnom zaštitom $I_d = k I_n$, gde je k konstruktivna veličina,

I_g — strujna greške,
 R_z — otpor rasprostiranja uzemljivača zaštitnog uzemljenja,
 U_d — dozvoljena veličina napona na mestu greške.

Iz nejednačine (7.1.) se može izvesti uslov za potrebnu minimalnu vrednost otpora rasprostiranja uzemljivača zaštitnog uzemljenja.

On glasi

$$R_z \leq \frac{U_d}{k I_n}$$

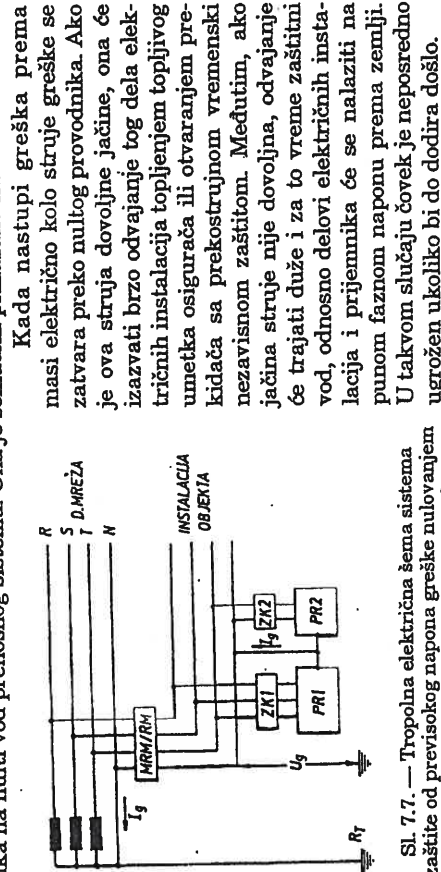
gde su: I_n — nazivna struja topljivog umetka ili zaštitne strujne komponente prekidača.

k — konstanta isključenja za 200 ms, koja se uzima iz Propisa...

Ukoliko bi se pokazalo da zbog ograničenog prostora ili loših elektroprovodnih osobina okolnog zemljišta nije moguće izraditi uzemljenje potrebnih vrednosti otpora rasprostiranja, mora se koristiti neka od spomenutih dopunskih mjera, upotreba prekidača ZS ili ZN.

Kod upotrebe prekidača ZN, jedan njegov kraj se vezuje za zaštitni provodnik, a drugi kraj na posebno izrađeno uzemljenje koje treba da ima otpor rasprostiranja oko 800 Ω , a pri tome mora biti udaljeno od zaštitnog uzemljenja najmanje 10 m.

Nulovanje (TN). Ova mjera zaštite sastoji se u povezivanju zaštitnog provodnika na nulti vod prenosnog sistema. Ona je šematski prikazana na sl. 7.7.



Sl. 7.7. — Tropolna električna šema sistema zaštite od previsokog napona greške nulovanjem (četrovodični sistem TN—C; Rf — radno uzemljenje transformatora, Ug — napon greške, Ig — strujna greške, PR — prijemnik, ZK — zaštitna komponenta).

(nulti vod—transformator—fazni vod). Zbog toga se uslov brzog odvajanja može iskazati nejednačinom:

$$I_d \leq I_g = \frac{U_f}{Z_0}$$

gde su: I_d — struja brzog topljenja topljivog umetka osigurača ili struja brzog otvaranja prekidača sa prekostrujnom vremenski nezavisnom zaštitom ($I_d = k I_n$, gde je k konstruktivna veličina),

I_g — strujna greške,
 Z_0 — impedansa kola nulovanja,
 U_f — fazni napon.

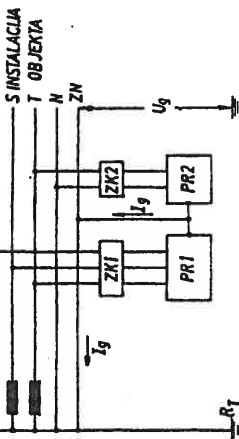
Ako bi se proverom očekivane jačine struje ustanovilo da je ona isuviše mala i da će zbog toga prekidanje biti sporije, može se primeniti dopunska mjera zaštite, primenom ZS i ZN prekidača.

Primena nulovanja kao zaštitne mjere ima i neke svoje ozbiljne mane. Naime, ako bi u pogonu došlo do prekida nultog voda između transformatora i dela električnih instalacija gde se sprovodi ova zaštitna mjera, pored toga što bi došlo do prekida prenosa električne energije do jednofaznih prijemnika, nulti vod bi iza prekida došao pod fazni napon prema zemlji, u kom slučaju bi čovek bio posebno ugrožen.

Da bi se smanjila verovatnoća da do prekida nultog voda dođe, ovakva mjera zaštite je dozvoljena samo u slučaju kada je presek nultog provodnika veći od 10 mm². Pored toga, sprovodi se i dopunska mjera zaštite. Nulti vod se uzemljuje na više mesta dalje od transformatorske stanice i to tako, da otpor rasprostiranja svakog uzemljenja bude manji ili najviše jednak 5 Ω a ukupni otpor svih uzemljenja manji ili najviše jednak 2 Ω .

Ovakav sistem zaštite, koji se još naziva i četvorovodični sistem nulovanja i obeležava se sa TN—C, primenjuje se samo pod gore opisanim uslovima. Pored toga, nulti provodnik koji u njemu ima ulogu i zaštitnog provodnika, mora se zbog toga obeležiti žuto-zelenom bojom.

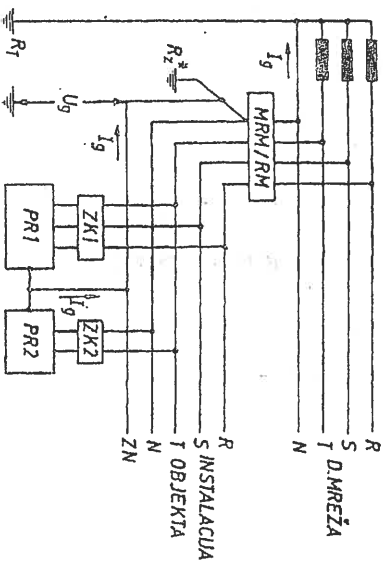
Da bi se sistem zaštite nulovanjem mogao koristiti i u električnim instalacijama sa manjim presecima provodnika, a da se pri tome izbegnu negativne posledice prekidanja nultog provodnika, stvoren je petovodični sistem nulovanja. On se obeležava oznakom TN—S. Ovaj sistem je šematski prikazan na sl. 7.8.



Sl. 7.8. — Tropolna električna šema sistema zaštite od previsokog napona greške nulovanjem (petovodični sistem TN—S; Rf — radno uzemljenje transformatora, Ug — napon greške, Ig — strujna greške, PR — prijemnik, ZK — zaštitna

što se gubi kada bi došlo do prekida zaštitnog voda u bilo kom zaštitnom sistemu. Kod TN—S sistema, koji se primenjuje za sve preseke nultog provodnika, radna nula zadržava svoju osnovnu funkciju i obeležava se svetlo plavom bojom, dok se zaštitni vod (zaštitna nula) obeležava žutozelenom bojom.

U sistemu zaštite nulovanjem, postoji i jedan hibridni sistem. On se primenjuje u objektima ili njihovim delovima gde presek provodnika nije dovoljan da bi se primenio sistem TN—C, a sam objekat nema svoju transformatorsku stanicu, da bi se mogao primeniti sistem nulovanja TN—S. On se odlikuje u sledećem. U sistemu TN—C na mestu gde se presek nultog provodnika smanji ispod granične vrednosti od 16 mm², formira se petoprovodnički sistem nulovanja TN—S, na način da se sa radne nule izdvoji zaštitna. Kako sam sistem TN—C, koji je osnovni za ovaj hibridni, zahteva uzemljenje nultog provodnika na više mesta dalje od transformatorske stanice, zgodno je ovako uzemljenje, uz sve napred nabrojane uslove, izvesti baš na mestu odvajanja. Ovakav hibridni sistem se obeležava oznakom TN—C—S i šematski je prikazan na sl. 7.9.



Sl. 7.9. — Tropolna električna šema sistema zaštite od previsokog napona greške nulovanjem (hibridni sistem TN—C—S); R_T — radno uzemljenje transformatora, R_Z* — radno uzemljenje nultog provodnika na mestu odvajanja provodnika zaštitne nule (ZN), U_g — napon greške, I_g — struja greške, PR — prijemnik, ZK — zaštitna komponenta.

nijera koristi nulovanje nije dozvoljeno istovremeno koristiti i zaštitno uzemljenje, ako ono nije spojeno sa nulnim provodnikom.

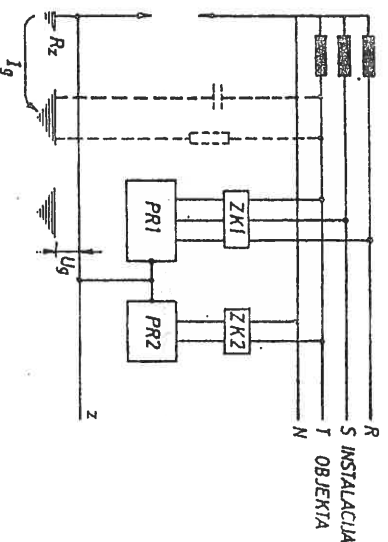
Presek nultog provodnika je zavisian od preseka faznog, i određen je Propisima... **Sistem zaštitnog voda (IT).** Sistem zaštitnog voda primenjuje se u onim objektima koji imaju svoju transformatorsku stanicu u kojoj neutralna tačka nije iz raznoraznih razloga uzemljena, ili je uzemljena preko impedanse velike vrednosti. U takvom sistemu zaštitni vodovi električnih komponenta i prijemnika povezuju se na jedan zajednički zaštitni vod koji je uzemljen. Kao zajednički zaštitni vod može da posluži i vodovodna instalacija. Ovakav sistem je šematski prikazan na sl. 7.10.

Pošto ovaj hibridni

sistem u jednom delu ima radnu i zaštitnu nulu u jednom provodniku, a u drugom delu u dva, ove funkcije se posebno obeležavaju. U delu TN—C četvoroprovodničkom sistemu provodnik radne i zaštitne nule obeležava se žuto-zelenom bojom, dok se u TN—S, radna nula obeležava svetlo-plavom bojom a zaštitna žuto-zelenom.

Prilikom prelaska sa jednog na drugi sistem mora se posebno voditi računa o povezivanju radne i zaštitne nule.

Postupak provere uslova nulovanja isti je za sva tri sistema. U instalacijama gde se kao zaštitna



Sl. 7.10. — Tropolna električna šema zaštite od previsokog napona greške sistemom zaštitnog voda (sistem IT); R_Z — zaštitno uzemljenje, U_g — napon greške, I_g — struja greške.

koji deluje merni pretvarač kvaliteta električne izolacije prema zemlji u ovom delu električnih instalacija, ZS ili ZN prekidač. U slučaju primene ZN prekidača, jedan njegov kraj se vezuje za zaštitni vod a drugi za merno uzemljenje.

Kod ovog sistema se koristi sistem signalizacije pojave greške i pre isključenja, kao obaveštenje da se nešto desilo, kako bi se izvršile pripreme za otklanjanje greške, čim se ukaže prilika da se taj deo ručno odvoji od napona.

Zbog ovakvih osobina ovaj sistem zaštite se primenjuje uvek kada bi zaustavljanje tehnološkog procesa u objektu, zbog pojave greške na električnim instalacijama, izazvalo neke negativne posledice po proces. Na primer, takvi se sistemi koriste u porzištima, hemijskoj industriji itd.

Načini zaštite objekata na zemlji od atmosferskog pražnjenja. Kako se ne može sprečiti naelektrisanje delova atmosfere i njen indukcioni uticaj na elektroprovodne delove na zemlji, zaštita od pražnjenja mora biti organizovana na neki drugi način. Kao najefikasniji pokazao se način da se ovaj indukcioni uticaj ne smanjuje nego da se povećava, ali na mestima gde to želimo i gde izazvano pražnjenje neće prouzročiti nikakvu štetu niti će ugroziti živa bića na zemlji. To se postiže na način da se oko objekta postavljaju elektroprovodni delovi dobre provodnosti prema kojima će rezultantno polje imati najveću jačinu. Na sl. 10.4. prikazana su tri najčešće korišćena načina.

U prvom slučaju oko objekta se postavlja kavez izrađen od dobrog elektroprovodnog materijala. Ovaj kavez se povezuje sa uzemljenjem, tako da se struja pražnjenja odvođa u zemlju. U drugom slučaju na najvišem objektu postavlja se elektroprovodni deo u vidu šiljka na kome je gustina naelektrisanja najveća i prema kome je rezultantno polje najjače. I ovaj šiljak se povezuje sa zemljom sa istim ciljem. U trećem slučaju, na najvišem objektu postavlja se elektroprovodni deo, oko koga se vrši intenzivna veštačka jonizacija atmosfere, pomoću nekog radioaktivnog izvora. Na ovakav način se predodređuje kanal atmosferskog pražnjenja.

Ako u ovakvom sistemu

dođe do greške prema zemlji, jačina struja greške će biti mala. Ona je određena veličinom prirodne impedanse prema zemlji kod sistema čija je neutralna tačka izolovana ili veličinom impedanse kojom je neutralna tačka spojena sa zemljom. Zbog toga, električne instalacije koje se štite ovom

merom, ne moraju odmah biti odvojene od napona, sve dok je jačina struja greške ispod određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

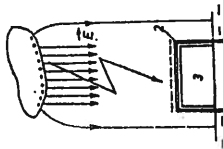
određene vrednosti ili je napon dodira na zaštitnom vodu manji od dozvoljenog. Kada se ove granične vrednosti premaše, mora doći do odvajanja. Za ovo se može koristiti prekidač na

Električne instalacije izgrađene sa ciljem da štite objekte na zemlji od atmosferskog pražnjenja, nazivaju se gromobranske zaštitne instalacije.

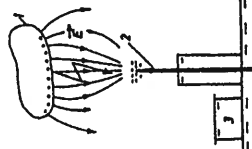
Gromobranske zaštitne instalacije. Gromobranska zaštitna instalacija, čiji su principi dejstva objašnjeni u prethodnom poglavlju, sastoji se od nekoliko osnovnih delova. Ti delovi su: hvataljke, odvodni, uzemljenje i dopunski pribor.

Hvataljke su elektroprovodni delovi postavljeni na delu objekta prema očekivanom pravcu atmosferskog pražnjenja, obično na krovu, i imaju zadatak da prihvate na objektu već nalaze, ako su dovoljnih dimenzija, kao na primer metalni krovovi, ili se oni postavljaju isključivo u te svrhe.

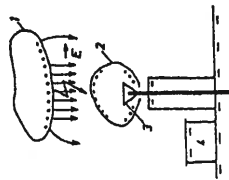
Odvodi su elektroprovodni delovi koji spajaju hvataljke sa uzemljenjem. Služe da struju atmosferskog pražnjenja sprovedu u zemlju. Kao odvodni mogu poslužiti metalni delovi objekta koji se na objektu već nalaze, ako su dovoljnih dimenzija i galvaniski dobro spojeni, kao na primer metalni stubovi, armatura betonskih stubova ukoliko je varena, ili se oni postavljaju isključivo u te svrhe. Odvodi mogu biti glavni i pomoćni. Između sebe se razlikuju samo po dimenzijama — preseku provodnog dela. Na primer, oluci za odvod atmosferske vode mogu se koristiti kao pomoćni odvodi.



Sl. 10.4a. — Atmosfersko pražnjenje na elektroprovodni deo objekta posebno izgrađen za to u vidu kaveza oko objekta, prema kome je rezultantno elektrostatičko polje najjače; 1 — naelektrisani deo atmosfere; 2 — elektroprovodni kavez oko objekta; 3 — objekat koji se štiti.



Sl. 10.4b. — Atmosfersko pražnjenje na elektroprovodni deo objekta posebno izgrađen za to u vidu šiljka, na čijem vrhu je rezultantno elektrostatičko polje izuzetno jako; 1 — naelektrisani deo atmosfere; 2 — elektroprovodni šiljak; 3 — objekat koji se štiti.



Sl. 10.4c. — Atmosfersko pražnjenje na elektroprovodni deo objekta posebno izgrađen za to, oko koga je izvršena veštačka jonizacija atmosfere i time predodređen kanal atmosferskog pražnjenja: 1 — naelektrisani deo atmosfere prirodnim putem; 2 — naelektrisani deo atmosfere veštački; 3 — elektroprovodni deo objekta; 4 — objekat koji se štiti.

Struja kod atmosferskog pražnjenja ima poseban oblik i vrlo kratko traje, tako da se ne može govoriti o ustaljenom stanju električnog polja oko uzemljivača. Zbog toga se kod uzemljivača koji se koriste u ovakve svrhe uvodi definicija jednog novog otpora, koji se naziva udarni otpor rasprostiranja, koji je u stvari otpor okoline uzemljivača čeonom obliku struje atmosferskog pražnjenja (impulsna struja).

Dopunski pribor su: stezaljke i varovi, koje služe za povezivanje elektroprovodnih delova koji sačinjavaju gromobransku zaštitnu instalaciju i rastavni ili nižerni spoj, koji služi da poveže odvod sa zemljovodom i na kome može da se izvrši nižerenje električnog otpora rasprostiranja uzemljenja.

Obzirom na obim ovoga kursa, u ovom poglavlju će biti opisana u najkraćim crtama samo gromobranska zaštitna instalacija izrađena u vidu kaveza.

Kavez ili mreža koja se izrađuje oko objekta mora biti takva da dimenzije otvora ne budu veće od 20 m. On se obično izrađuje od gvozdenih, pocinkovanih traka, koje se postavljaju oko objekta oslonjene na držače — potpore raznih oblika, koji su prilagođeni obliku i materijalu njihovog oslonca. Rastojanje između potpora na krovu je od 1 do 1,5 m a na zidovima 2 m. Presek ovih traka mora biti najmanje 60 mm^2 za izradu delova kaveza izvan zemlje, ali ne tanjim od 3 mm; najmanje 100 mm^2 za izradu delova kaveza u zemlji, ali ne tanjih od 3,5 mm. Najčešće se za te svrhe koriste standardne gvozdenne i pocinkovane trake dimenzija $20 \times 3 \text{ mm}$ i $25 \times 4 \text{ mm}$.

Kod objekata čija površina osnove nije veća od 20 m^2 , gromobranska zaštitna instalacija se može izraditi samo sa jednim odvodom. Za veće objekte, broj odvoda mora da bude veći. On se određuje tako da se sledeći obim objekta na svakih započetih 20 m postavlja po jedan novi odvod. Ovi odvodi se izrađuju postavljanjem elektroprovodne trake u cevi u zidu, na zid ispod maltera i na zid na potpore. Prilikom izrade odvoda mora se voditi računa prilikom formiranja krivina koja prate krivine objekta, da kroz njih protiču struje velike jačine koje izazivaju velika elektrodinamička naprezanja.

Uzemljenje gromobranskih zaštitnih instalacija. Uzemljenje se kod gromobranskih zaštitnih instalacija obično izvodi pomoću površinskih trakastih i dubinskih cevni uzemljivača, kao pojedinačnih, ili kada je to potrebno koriste se složeni uzemljivači, sastavljeni od ovih.

Obzirom na poseban oblik struje atmosferskog pražnjenja koja se javlja kroz uzemljivač, uvodi se nova definicija njegovog otpora rasprostiranja. To je udarni otpor rasprostiranja uzemljivača, koji se suprotstavlja takrom obliku struje. Vrednost ovog otpora je vremenski promenljiva veličina. Njena početna vrednost, za $t=0$, može biti veća ili manja od vrednosti posle dovoljno dugog vremena, koja je jednaka vrednosti otpora rasprostiranja u ustaljenom stanju.

Do pojave vremenski promenljivog otpora koji se suprotstavlja struji atmosferskog pražnjenja dolazi iz sledećeg razloga.

Brzina prostiranja takve struje kroz uzemljivač je ograničena. Iznosi samo $1/3$ brzine prostiranja svetlosti. Zbog toga u prvim trenucima njenog proticanja nije angažovana čitava aktivna dužina uzemljivača, nego samo delovi neposredno uz zemljovod. Kada čelo talasa stigne do kraja uzemljivača, udarni otpor rasprostiranja dobija vrednost otpora rasprostiranja uzemljivača u ustaljenom stanju. Zbog ove pojave, dugački uzemljivači su nepodesni za ovu namenu.

Da li će početna vrednost ovoga vremenski promenljivog otpora imati veću ili manju vrednost od otpora rasprostiranja u ustaljenom stanju, zavisiće od nekoliko

faktora. Zavisice od oblika uzemljivača, oblika i jačine temena impulsne struje, posebno od brzine prirastaja struje, i kvaliteta okolnog zemljišta.

Ako je brzina prirastaja struje velika, a oblik uzemljivača nepodesan, na primjer sa puno krivina, i induktivni otpor samog uzemljivača će se suprotstavljati proticanju struje kroz njega. U tom slučaju, početna vrednost udarnog otpora rasprostiranja će biti veća. Nasuprot tome, ako je jačina temena impulsne struje atmosferskog pražnjenja velika, oko uzemljivača se stvara električno polje velike jačine, odnosno javlja se veliki gradijent potencijala, pa može da dođe do proboja kroz zemlju. Da li će do ovog proboja doći, zavisice i od kvaliteta okolnog zemljišta. Ako pak do proboja dođe, smanjuje se početna vrednost udarnog otpora rasprostiranja. Pojava proboja će imati veće efekte ako je vrednost specifičnog električnog otpora okolnog zemljišta veća.

Udarni otpor rasprostiranja se može iskazati jednačinom:

$$R_d = KR$$

gde su: R_d — udarni otpor rasprostiranja,

R — otpor rasprostiranja u ustaljenom stanju, i

K — udarni koeficijent.

Kod izrade uzemljenja za gromobransku zaštitu instalaciju, treba težiti da vrednost udarnog otpora rasprostiranja bude jednaka ili nešto veće od otpora rasprostiranja u ustaljenom stanju. Ako bi ona bila manja, dolazilo bi do odbijanja talasa jer bi vrednost otpora u toku vremena rasla, zbog čega bi se javili penapioni na uzemljenju. Zbog toga pri izradi ovih uzemljenja treba da važe sledeća pravila.

U zemljištima male vrednosti specifičnog električnog otpora rasprostiranja, do ~ 50 Ω m treba koristiti pojedinačne dubinske uzemljivače, na primjer cevne, jer je pri tim uslovima vrednost udarnog otpora rasprostiranja samo nešto malo manja od vrednosti otpora rasprostiranja u ustaljenom stanju, tako da se praktično može uzeti da su jednaki, odnosno može se uzeti da je $K=1$. Vrednost udarnog koeficijenta K date su u tablici 10.1.

Tablica 10.1.

Vrsta uzemljivača	Vrednost za K				
	ρ [Ω m]				
	50	100	300	500	1000
Cevni dužine $L=(2-3)$ m	0,95	0,8	0,6	0,4	0,35

Podaci iz literature SSSR-a

Kod zemljišta većih vrednosti specifičnog električnog otpora, većih od 50 Ω m treba koristiti površinski trakasti uzemljivač, kao pojedinačni ili složen sastavljen od traka.

Kod pojedinačnog površinskog trakastog uzemljivača, kada nema proboja, udarni otpor rasprostiranja jednak je njegovoj karakterističnoj impedansi. Njena vrednost mora biti jednaka ili veća od otpora rasprostiranja u ustaljenom stanju. Brojne vrednosti udarnog koeficijenta za traku date su u Tablici 10.11.

Tablica 10.11. Vrednost za K

Vrsta uzemljivača	ρ [Ω m]				
	50	100	300	500	1000
Traka dužine L [m] sa zemljovodom na jednom kraju	2,5	0,95	0,8	0,6	0,4
	10	1,12	0,9	0,7	0,5
	20	1,1	0,9	0,7	0,6
	30	1,4	1,0	0,8	0,7
	40	1,75	1,7	1,3	0,9

Podaci iz literature SSSR-a

Da bi se u svakom konkretnom slučaju dobila tražena vrednost udarnog otpora rasprostiranja, a da ona pri tome bude jednaka ili nešto veća od otpora rasprostiranja, često će se morati pribegavati izradi složenih uzemljivača.

RELEJ

Relej je uređaj na koji deluje promena nujernih veličina, a koji kad proradi električno upravlja drugim uređajima. Pri tome se vrlo malim snagama može delovati na velike snage.

Primarni relej je takav relej na čiji elektromagnet ili termički uređaj mjerena veličina deluje neposredno. Na sekundarni relej mjerena veličina deluje preko nujernih transformatora.

Prekostrujni releji

Prekostrujni releji se izrade kao elektromagnetni releji:

- sa preklapnom kotvom,
- okretnom kotvom i
- vlačnom kotvom.

Kod prekostrujnog releja sa preklapnom kotvom reguliše se radna vrednost struje, a povratno pero istovremeno služi za vraćanje kotve u prvobitan položaj kod prestanka uzbuđ.

Relej sa okretnom kotvom prikazuje proticanje struje, jednake ili veće od radne, kroz strujni namotaj koji je priključen na sekundarnu stranu strujnog transformatora, zakrenuće se okretna kotva i zatvoriti radni kontakt čime je omogućena signalizacija kvara i isključenja strujnog kruga u kvaru.

Dok se kod prekostrujnog releja sa okretnom kotvom kotva vraća u početni položaj pomoću torzionog pera, dotle se kod prekostrujnog releja sa vlačnom kotvom, kotva vraća u početni položaj sama od sebe zbog vlastite težine.

Prekostrujni releji poseduju obično uređaj za podešavanje, kojim se vrednost radne struje može na jednoj skali podešavati u odnosu 1 : 3. To se postiže ili promenom broja namotaja strujnog namota ili promenom sile povratnog pera, kao kod releja sa preklapnom kotvom.

PREKOSTRUJNI NEZAVISNI VREMENSKI RELEJI

Sa prekostrujnim neusporenim reljima se ne može postići selektivna zaštita mreže, a samim tim ni dobra zaštita, jer je selektivnost jedan od uslova za dobru zaštitu. Ovo se najbolje da videti na jednom primeru radijalne mreže, koja je štićena prekostrujnim reljima. Ukoliko dođe do kratkog spoja istovremeno će proraditi prekostrujni releji tako da će doći do isključenja sklopki. Time će čitava mreža biti isključena, što nije dobro, jer zaštita nije radila selektivno tj. nije isključila samo deonicu u kvaru.

Zaštita bi bila selektivna onda kada bi delovao samo prvi relej i time bi bio isključen samo prvi vod od mesta kvara. Sa neusporenim vremenskim prekostrujnim reljima se očigledno ne može postići selektivna zaštita.

Ukoliko na tu istu radijalnu mrežu, ali ovog puta štićena sa prekostrujnim nezavisnim reljima, izazovemo kratak spoj možemo sa sigurnošću da tvrdimo da će prije svih releja delovati najbliži relej jer njegovo vreme okidanja (1 sekunda) manje od vremena okidanja drugog releja (1,5 sekundi) i trećeg releja (2 sekunde).

Prema tome, sa prekostrujnim nezavisnim vremenskim reljima, mrežu možemo zaštititi selektivno.

PREKOSTRUJNI ZAVISNI VREMENSKI RELEJI

Pored prekostrujnih nezavisnih postoje i prekostrujni zavisni vremenski releji. Kod velikih jačina struje kratkog spoja vreme prekidanja releja je vrlo malo (gotovo jednako nuli), dok je kod malih struja kvara, na primer kod preopterećenja, vreme prekidanja releja vrlo veliko. Ovi prekostrujni zavisni vremenski releji rade na indukcijom i termičkom principu.

Princip rada indukcijom releja

Ploču od aluminijuma ili bakra pokreće pogonsko jezgro sa strujnim namotajima, koji se priključuje na sekundarne strane strujnog transformatora. Kada kroz strujni namotaj protiče veća struja od radne vrednosti, relej se aktivira tako da kontakti put-vreme bude vrlo kratko i utoliko je vreme kraće ukoliko je jača struja.

Prekostrujni zavisni vremenski releji, koji rade na indukcijom principu, upotrebljavaju se samo za zaštitu motora i kondenzatorskih baterija, dok se za zaštitu vodova i transformatora ne mogu upotrebljavati.

Princip rada termičkog releja

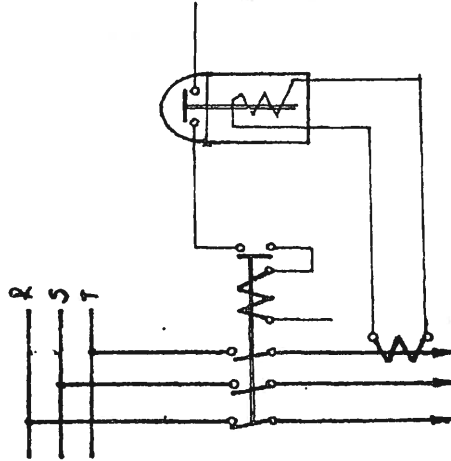
Termički releji ili kako ga mnogi nazivaju toplinski relej izvodi se za priključak na strujne transformatore i služe za zaštitu motora, ispravljača, transformatora i generatora od preopterećenja.

Principijelna izgradnja — izvedba termičkog releja sastoji su u ovome: U releju se nalaze dve bimetalne trake od kojih je jedna grejana sekundarnom strujom strujnog transformatora. Ukoliko struja prekorači radnu vrednost, saviće se strujom grijana bimetalna traka, čime se zatvara kontakt koji se nalazi u okidnom krugu sklopke. Kad se zagrejana bimetalna traka ohladi, vратиće se u početni položaj.

Na slici je prikazan priključak termičkog releja u jednofaznoj izvedbi. Pri upotrebi termičkih releja potrebno je stalno imati na umu da oni ne štite od kratkog spoja, nego samo od preopterećenja. Ako je zvezdište štice objekta direktno uzemljeno, primenjuju se termički releji trofazne izrade.

Na donjoj slici je prikazan priključak termičkog releja, koji je jednofazno izveden:

Slobodni izvodi gore prikazanog termičkog releja priključuju se na pomoćni izvor jednosmerne struje to jest na plus i minus pol akumulatorske baterije.



NAPONSKI RELEJI

Princip rada

Naponski releji se izvode na isti način kao i strujni releji, sa tom razlikom što se kalem naponskog releja priključuje na sekundarnu stranu naponskih transformatora. Naponski releji se izvode kao prenaponski ili kao podnaponski.

Prenaponski releji deluju kada se prekorači radna vrednost, dok podnaponski releji deluju kada se dostigne ili podbaci radna vrednost napona. Prenaponski relej deluje na isti način kao i prekostrujni releji, dok podnaponski relej radi na principu vage i upotrebljava se za zaštitu motora od niskog napona ili od nestanka napona.

JAVLJANJE ZEMLJOSPOJA

Dobar pogon električnih mreža zahteva, sem selektivne zaštite od kratkog spoja i zaštitu od zemljospoja. Za javljanje zemljospoja na mreži mogu se iskoristiti sledeće tri pojave, koje karakterišu zemljospoj ma gde se on pojavio duž mreže:

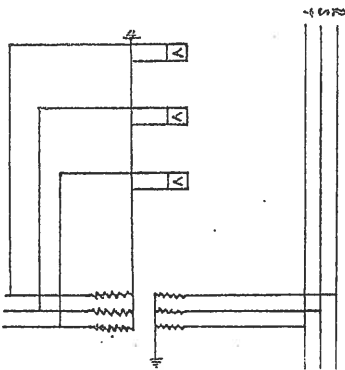
- napon između voda koji je u zemljospoju i zemlje opada, što znači da je manji od faznog napona.
- napon između zdravih vodova — koji nisu u zemljospoju i zemlje povećava se, tako da je veći od faznog napona.
- između zvezdišta i zemlje pojavljuje se napon, koji se naziva zemni napon zvezdišta jer geometrijski zbir faznih napona nije više jednak nuli.

Ukoliko je zemljospoj totalan, odnosno takav da je na mestu zemljospoja prelazni otpor između voda i zemlje jednak nuli, onda je napon faze koja je u zemljospoju jednak nuli, naponi druge dve faze jednak je linjskom, a zemni napon zvezdišta jednak je faznom.

Najjednostavnije je otkriti zemljospoj na mreži pomoću 3 volmetra, koji mere fazne napone. Prilikom zemljospoja na jednomvodu, na volmetru koji meri fazni napon tog voda, kazaljka će pokazivati napon manji od faznog, a na ostala dva volmetra kazaljka će pokazivati napon veći od faznog. Na taj način možemo saznati da li na mreži postoji zemljospoj i, ako postoji koja je od faza u zemljospoju.

Iz gornjeg poglavlja se vrlo jednostavno vidi kako je pokazivanje vodova u zemljospoju ostravreno na najbolji način, ipak to nije dovoljno, jer zemljospoj možemo otkriti samo stalnim posmatranjem navedenih instrumenata.

Zbog toga se u postrojenjima, pored ova tri volmetra smeštena na komandnoj ploči, upotrebljava optička i zvučna signalizacija zemljospoja. Prema tome, sa prenaponskim relejima, trubom, signalnom svetiljkom i pomoću tri volmetra ostvarujemo potpunu signalizaciju zemljospoja, a istovremeno saznajemo koja je od faza u zemljospoju. Zvučna signalizacija — truba javlja i nastanak i nestanak zemljospoja.



Gornja slika prikazuje kako se može otkriti zemljospoj pomoću tri volmetra.

Usmjereni releji

Usmjereni releji ustanovljavaju smjer struje odnosno snage u štitenom delu postrojenja i deluju na ostale zaštitne uređaje na taj način da im omogućavaju ili onemogućavaju delovanje. Usmjereni releji deluju kada energija teče od sabirnice, a ne deluje kada energija teče prema sabirnicama. Priključuju se na strujne i naponske transformatore, a izvode se tro-polno, najčešće se izvode kao elektrodinamički releji. Usmjereni releji se retko upo-

trebljava kao samostalni relej, već uglavnom kao sastavni delovi nekog zaštitnog uređaja. U mrežama napajanih sa obe strane vremenski releji u sebi sadrže usmjereni član, koji im omogućava da deluju to jest da se aktiviraju samo ako energija ide od sabirnice. Na taj način usmjereni releji, već prema svom spoju, omogućavaju ili onemogućavaju delovanje zaštitnog uređaja.

DISTANTNI RELEJI

Princip rada

Distantni releji — distantna zaštita su zaštitni releji kod kojih okidno vreme zavisi od udaljenosti kvara od distantnog releja. Kao mera služi prividni otpor, jalo vi otpor ili radni otpor štitenog uređaja, odnosno štitenog voda. Ukoliko je kvar udaljeniji, izmereni otpor će biti veći, pa će utoliko veće biti okidno vreme releja. Kako je otpor srazmjeran sa dužinom voda to je okidno vreme takođe srazmjereno sa udaljenošću kvara. Odatle i potiče naziv distantni relej. Struja kratkog spoja obično protiče kroz više dalekovoda i transformatorskih stanica i elektrana usled čega se aktivira više distantnih releja. Do aktiviranja — okidanja sklopke će dovesti samo onaj distantni koji izmeri najmanji otpor to jest najmanju udaljenost od mesta kvara, a to je onaj relej koji ima najkraće vreme okidanja. Ostali releji neće reagovati, jer je isključen strujni krug kroz koji je proticala struja kratkog spoja. Distantni relej mora obavezno i usmjereni član, koji će mu omogućiti delovanje samo onda kada energija teče od sabirnice. Prema vrsti otpora koga merimo, distantne releje načelno delimo na:

— impedantne, koji mere prividni otpor

$$Z = \frac{U}{I}$$

— reaktantne, koji mere reaktivni otpor

$$X = \frac{U}{I} \sin \varphi$$

— rezistantne, koje mere radni otpor

$$R = \frac{U}{I} \cos \varphi$$

Impedantni releji, preko strujnog i naponskog kalama, kontrolišu momentalni odnos pogonskog napona i pogonske struje. Kratak spoj u mreži karakteriše se velikom strujom i istovremenim sniženjem napona. Odnos napona i struje u kratkom spoju je znatno manji od istog odnosa u normalnom pogonu.

Prema tome zaštita je selektivno delovala i isključuje samo onu deonicu, koju je neophodno bilo isključiti to jest onu deonicu na kojoj se desio kratak spoj.

VREMENSKI DISTANTNI RELEJI

Vremenske karakteristike distantnih releja pokazuju zavisnost vremena okidanja releja o udaljenosti kvara. Postoje tri vrste vremenskih karakteristika:

- neprekidne,
- stepenaste i
- mešovite.

Kod distantnih releja sa neprekidnim vremenskim karakteristikama prekidno vreme raste sa udaljenošću kvara, dok je okidna karakteristika sa stepenastim relejom stepenovana. Stepenaste karakteristike — vremenske se odabiraju tako da pri kvarovima u prvom području relej deluje u najkraćem mogućem vremenu, dok će u kvaru u drugom području delovati sa nešto dužim okidnim vremenom. Releji će delovati pri kvarovima u trećem području samo onda ako u sledećoj stanici zataji distantni relej. Distantni releji sa mešovitim karakteristikama predstavljaju sredinu između distantnih releja sa neprekidnim i distantnih releja sa stepenastim karakteristikama. Distantni releji sa stepenastim vremenskim karakteristikama imaju najkraća okidna vremena i danas se najviše upotrebljavaju.

Impedantni releji se primenjuju u srednjenaponskim mrežama, dok se rezistentni releji upotrebljavaju kod vodova najviših napona. Rezistentni releji upotrebljavaju kod vodova najviših napona. Rezistentni releji se vrlo retko upotrebljavaju u praksi.

Na kraju napominjemo da se u veoma razgranatim zatvorenim mrežama kvalitetna zaštita može, praktično i jedino ostvariti pomoću distantnih releja.

DIFERENCIJALNA ZAŠTITA

Princip rada

Diferencijalni releji su zaštitni releji, koji upoređuju istovrsne i istovremene veličine i mere njihovu razliku. Spoj diferencijalnog releja je takav da je normalnom pogonu kroz relej ne protiče nikakva struja, dok u slučaju kvara kroz relej protiče dovoljno velika struja, tako da se diferencijalni relej uzbudi i da impuls za isključenje sklopke. Diferencijalni releji mogu biti:

- uzdužni, ako upoređuju i mere struju na početku i na kraju šticenog dela postrojenja.
- poprečni, ako na istom kraju upoređuju i mere struje u dva ili više vodova.

Danas se samo upotrebljavaju uzdužni diferencijalni releji za zaštitu transformatora i generatora. Diferencijalni releji se priključuju na sekundarne strane strujnih transformatora.

Diferencijalni relej mora delovati i dati impuls za isključenje sklopke ako se u šticeinom području pojavi kvar — kratak spoj i ne sme delovati ako se kvar pojavi (dogodi) van šticeinog područja, pa ma kakve bile struje kvara.

Možemo reći da će diferencijalni relej reagovati kod kratkih spojeva u šticeinom području i to bez obzira da li je kratak spoj napajan sa jedne ili sa obe strane. Diferencijalni relej neće okinuti ako kvara uopšte nema ili ako se desio izvan šticeinog dela.

Prorada struje diferencijalnog releja se podešava od 30 do 50% nominalne struje (sekundarne). Tako na primer za sekundarnu struju od 5 A iznosi 1,5 do 2,5 A.