

8. MOSNE MJERNE METODE

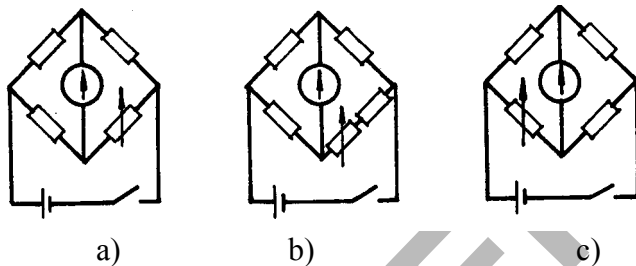
8.1. OSNOVNI PRINCIPI MJERNIH MOSTOVA

U povijesti razvoja metoda za određivanje udaljenosti do mjesta kvara na telekomunikacijskim i energetskim kabelima - najstarije su mosne mjerne metode, koje se zato često i nazivaju - klasičnim metodama. Pomoću njih se brzo i jednostavno određuje oko 85% kvarova na kabelima. Najjednostavniji i najčešće korišten je Wheatstoneov most za mjerenje otpora (po engleskom fizičaru i konstruktoru prvih električnih telegrafa - Charles Wheatstone, 1802-1875). Najveći broj metoda za određivanje mjesta kvara na kabelima temelji se na mjerenju otpora. Takav most je korišten i kao temelj razvoja raznih varijanti mjernih metoda, od kojih su najpoznatiji Murrayev most (konstruiran 1858. godine u vrijeme polaganja transatlantskog telekomunikacijskog kabela). Vareljev most koji je konstruiran nekoliko godina kasnije, i dr.

Na sl. 8.1 prikazani su spomenuti mjerni mostovi:

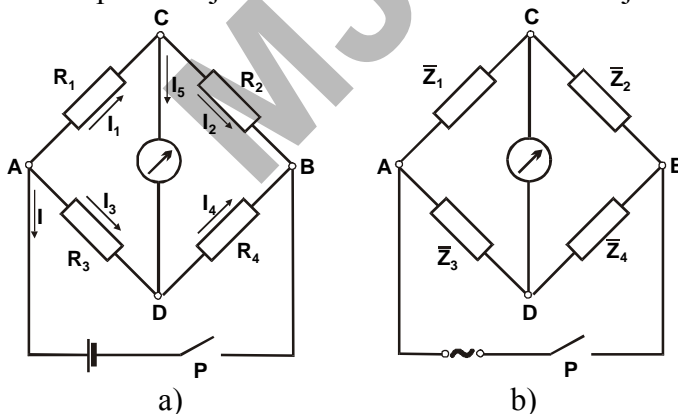
- a - Wheatstoneov most se koristi za mjerenje električnog otpora petlje, električnog otpora izolacije vodiča i mjerenje nekih vrsta kvarova.
- b - Vareljev most se koristi za mjerenje električnog otpora pojedinačnih vodiča, razlike otpora, a također i za mjerenje nekih vrsta kvarova.
- c - Murrayev most se najviše koristi za mjerenje kvarova.

Princip njihovog rada se temelji na uravnoteženju, kojom prilikom kroz dijagonalu mosta ne teče struja, a što se indicira nulnim položajem kazaljke indikatora. Ovaj princip će detaljnije biti objašnjen na primjeru Wheatstoneovog mosta.



Sl. 73.1 - Primjeri mernih mostova: a - Wheatstoneov mjerni most, b - Vareljev mjerni most, c - Murrayov merni most

Na sl. 8.2 pokazan je Wheatstoneov most za istosmjernu (a) i izmjeničnu (b) struju.



Sl. 8.2 - Wheatstoneov most - za istosmjernu struju, b - za izmjeničnu struju

Serijski vezani otpornici R_1 , R_2 , R_3 i R_4 čine grane mosta na koji je u točkama A i B (dijagonala A-B) priključen izvor istosmjernog napona (sl. 8.2a). Između točaka C i D (dijagonala C-D) priključen je galvanometar.

Interesantan je slučaj kada su otpornici R_1 , R_2 , R_3 i R_4 odabrani tako da je struja u dijagonali mosta s galvanometrom jednaka nuli ($I_5=0$), a to je uvjet ravnoteže mosta. Uzimajući u obzir ovaj uvjet, primjenom prvog Kirchoffovog zakona za čvorove C i D (po kome je zbroj svih struja u jednom čvoru jednak nuli) dobiva se:

- za čvor C:

$$I_1 - I_5 - I_2 = 0$$

$$I_1 - I_2 = 0$$

$$I_1 = I_2$$

- za čvor D:

$$I_3 + I_5 - I_4 = 0$$

$$I_3 - I_4 = 0$$

$$I_3 = I_4$$

Da bi se zadovoljio uvjet $I_5 = 0$, moraju biti jednaki potencijali točkaka C i D, a to znači da je:

$$U_C = U_D$$

Temeljem prethodnog u točki A, koja je zajednička za grane R_1 i R_3 , očividno je da su razlike potencijala:

$$U_{AC} = U_A - U_C$$

i:

$$U_{AD} = U_A - U_D$$

moraju biti jednake:

$$U_{AC} = U_{AD}$$

Primjenom Ohmovog zakona posljednja relacija dobiva oblik:

$$R_1 I_1 = R_3 I_3$$

Slično razmatranje primjenjuje se na točku B, koja je zajednička granama s R_2 i R_4 , uzimajući u obzir da je $V_C = V_D$, dobiva se:

$$U_{BC} = U_{BD}$$

odnosno:

$$R_2 I_2 = R_4 I_4$$

Iz strujnih jednadžbi dobivamo uvjet ravnoteže mosta:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

odnosno:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

U praktičnoj primjeni, otpor u jednoj grani obično je nepoznat, a u ostalim granama (u jednoj ili u svim ostalim granama) su poznati promenjivi otpori. Ako se pretpostavi:

$$R_x = R_1$$

u stanju ravnoteže mosta, dobiva se nepoznati otpor:

$$R_x = \frac{R_2}{R_4} R_3$$

Ukoliko se u granama Wheatstoneovog mosta nalaze impedancije koje mogu biti induktivnog ili kapacitivnog karaktera, a most se napaja iz izvora izmjenične struje, uvjet ravnoteže je:

$$\bar{Z}_1 \bar{Z}_4 = \bar{Z}_2 \bar{Z}_3$$

gdje su:

$$\bar{Z}_1 = R_1 + jX_1$$

$$\bar{Z}_2 = R_2 + jX_2$$

$$\bar{Z}_3 = R_3 + jX_3$$

$$\bar{Z}_4 = R_4 + jX_4$$

Kako bi uvjet ravnoteže bio u potpunosti zadovoljen, mora se uzeti u obzir i fazni pomak između struje i napona na koji utječe karakter impedancije. U općem slučaju je:

$$\bar{Z} = Z(\varphi)$$

Zamjenom varjabli u jednadžbi za uvjet ravnoteže ona dobiva oblik:

$$Z_1(\varphi_1) \cdot Z_4(\varphi_4) = Z_2(\varphi_2) \cdot Z_3(\varphi_3)$$

Usklađivanjem apsolutnih vrijednosti impedancija i faznih pomaka postiže se ravnoteža mosta, odnosno:

$$\bar{Z}_1 \bar{Z}_4 = \bar{Z}_2 \bar{Z}_3$$

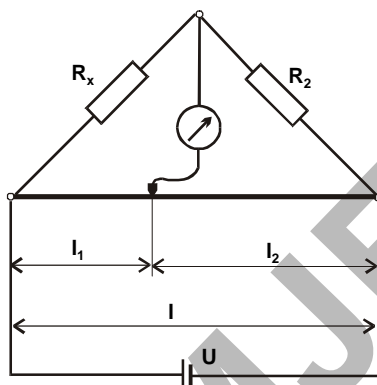
$$\varphi_1 + \varphi_4 = \varphi_2 + \varphi_3$$

Prethodna analiza pokazuje kako je teorija mjernih mostova relativno jednostavna. Međutim, u realnim terenskim uvjetima njihova primjena je otežana, jer su kabeli izloženi različitim utjecajima (elektromotorne sile polarizacije u zemlji, strani naponi koji potječu od elektromagnetskih polja energetske uređaja i dr.). Također, bitan utjecaj na rezultat mjerenja imaju nehomogenost vodiča i temperatura, a to se u praksi ne može se eliminirati. Osim toga, na granicu primjene i točnost mosnih mjernih metoda odlučujuću ulogu imaju veličine prijelaznih otpora na mjestu kvara, vrst napajanja mjernog mosta, kao i pogreška koju unosi sam instrument.

Ako se, na primjer, mjerni most napaja istosmjernom strujom, mogu se mjeriti kvarovi čiji je prijelazni otpor $< 100 \text{ M}\Omega$ pri otporu petlje $> 100 \Omega$, s greškom u rezultatu od $\approx 1\%$. Pri mjerenju prekida pomoću mjernog mosta napajano izmjeničnom strujom može se očekivati pogreška do 2% od mjerene dužine kabela.

Temeljem izloženog može se pokazati kako mosne metode služe uglavnom za grubo određivanje udaljenosti do mjesta kvara.

Za pogonska mjerenja i mjerenja u signalnoj tehnici (npr. mjerenje otpora izoliranog odsjeka na željeznici - tamburica) često se koristi Wheatstoneov most s kliznom žicom, prikazan slikom sl. 8.2a.



Sl. 8.2a. - Wheatstoneov most s kliznom žicom

Nepoznati otpor dobiva se iz uvjeta ravnoteže mosta, a očitava se na skali:

$$R_x = R_2 \frac{l_1}{l_2}$$

Granice pogrešaka ovakve izvedbe mosta je od $\pm 0.5\%$ do $\pm 2,5\%$.

Thomsonov most

Za mjerenje malih otpora koristi se dvostruki most po Thomsonu, gdje su odstranjenu utjecaji priključnih vodova i prijelaznih otpora na spojnim mjestima, a prikazan je shemom na sl.8.2b.

Uvjeti ravnoteže mosta:

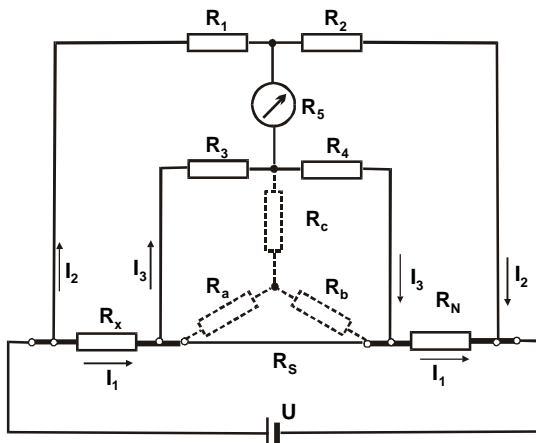
$$I_2 R_1 = I_1 R_x + I_3 R_3$$

$$I_2 R_2 = I_1 R_N + I_3 R_4$$

$$I_3 = I_1 \frac{R_S}{R_3 + R_4 + R_S}$$

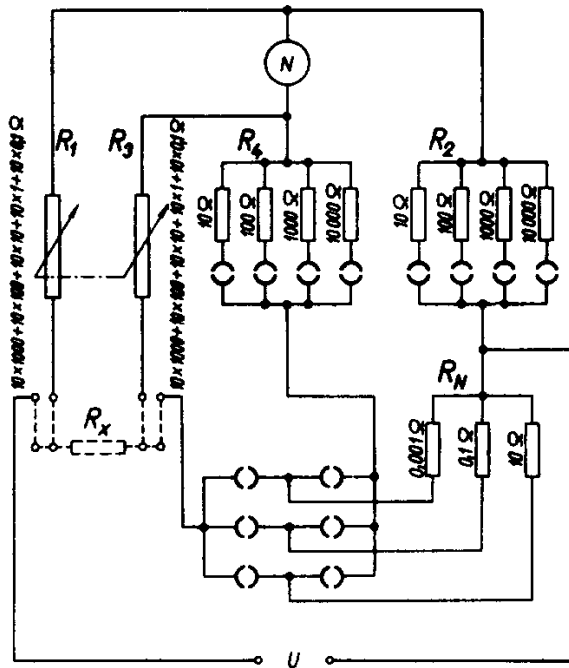
$$\text{Kada je } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

$$R_x = R_N \frac{R_1}{R_2}$$



Sl. 8.2b - Thomsonov most

Precizni laboratorijski Thomsonov most ima mogućnost jednostavnog prespajanja u Wheatstoneov, s granicama pogrešaka koje ne prelaze preko $\pm 0,01\%$, a ima veliki raspon mjernog područja, kako je prikazano slikom sl. 8.2c.



Sl. 8.2c - Shema laboratorijskog Thomsonovog mosta

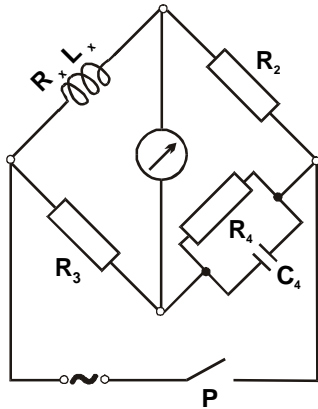
Mostovi za mjerenje impedancije

Kao što je ranije navedeno Wheatstoneov most napajan izmjeničnom strujom omogućuje mosnom metodom usporedbu impedancija s prikladnim elementima grana mosta.

Mostovi za mjerenje induktiviteta

Maxwelov most

Ukoliko se želi mjeriti nepoznati realni induktivitet s pripadajućim otporom primjenjuje se Maxwelov most prikazan slikom 8.2d.



Sl. 8.2.d Maxwellov most

Iz uvjeta ravnoteže mosta, nepoznati induktivitet se može izračunati iz:

$$L_x = C_4 R_2 R_3,$$

a otpor:

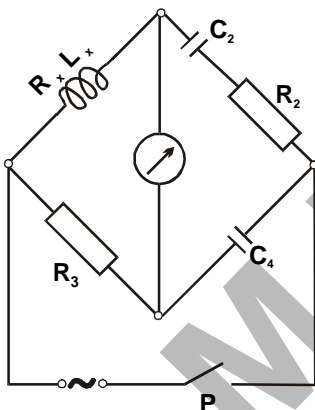
$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}.$$

Također se može izmjeriti faktor dobrote svitka:

$$Q = \omega \frac{L_x}{R_x} = \omega C_4 R_4$$

Owenov most

Slično Maxwellovom mostu za mjerenje nepoznatog induktiviteta rabi se Owenov most prikazan slikom 8.2e.



Sl. 8.2e - Owenov most

Nepoznati induktivitet se može izračunati iz:

$$L_x = C_4 R_2 R_3,$$

a otpor:

$$R_x = R_3 \frac{C_4}{C_2}.$$

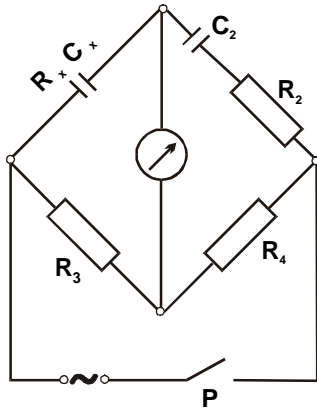
Također se može izmjeriti faktor dobrote svitka:

$$Q = \omega C_2 R_2$$

Mostovi za mjerenje kapaciteta

Wienov most

Ukoliko se želi mjeriti nepoznati realni kapacitet s pripadajućim otporom primjenjuje se Wienov most prikazan slikom 8.2f.



Sl. 8.2f. Wienov most

Iz uvjeta ravnoteže mosta, nepoznati kapacitet se može izračunati iz:

$$C_x = C_2 \frac{R_4}{R_3},$$

a otpor:

$$R_x = R_2 \frac{R_3}{R_4}.$$

Također se može izmjeriti faktor dobrote kondenzatora $\text{tg } \delta$:

$$\text{tg } \delta = \frac{R_x}{\frac{1}{\omega C_x}} = \omega C_x R_x = \omega C_2 R_2$$

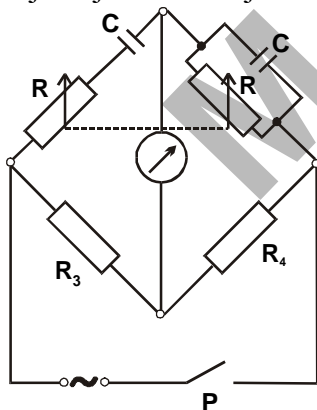
Za niskofrekventne pretplatničke kabele radni kapacitet parice ne smije biti veći od 50 nF/km na 800 Hz, a tipična vrijednost za parice s termoplastičnom izolacijom je 35 nF/km

Mostovi za mjerenje frekvencije

Ukoliko u granama mosta imamo poznate impedancije možemo tražeći uvjete ravnoteže mosta odrediti frekvenciju izvora priključenog na most.

Robinsonov most

Za mjerenje frekvencije često se koristi Robinsonov most prikazan slikom 8.2.g.

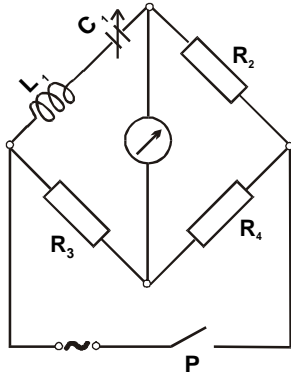


Sl. 8.2.g. - Robinsonov most

Kod ovog mosta identičnost impedancije prve i druge grane se ostvaruje dvostrukim kliznim otpornicima koji su mehanički vezani. Za ravnotežu je nužno da je $R_3=R_4$, a nepoznata frekvencija je tada:

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

Rezonancijski most



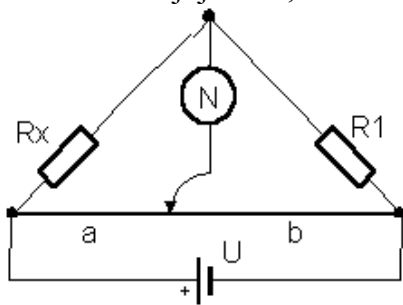
Sl. 8.2h - Rezonancijski most

Ravnoteža mosta se postiže promjenjivim kondenzatorom C_1 i jednim od otpora iz ostalih grana, a nepoznata frekvencija je tada:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

PRIMJER

U Wheatstoneovom mostu s kliznom žicom duljine $l=0,5$ m ravnoteža je postignuta u položaju kliznika za koji je $a=0,1$ m. Koliki je iznos nepoznatog otpora R_x ako je $R_1=1000 \Omega$?



Rješenje: Klizna žica zamjenjuje otpore R_3 i R_4 .

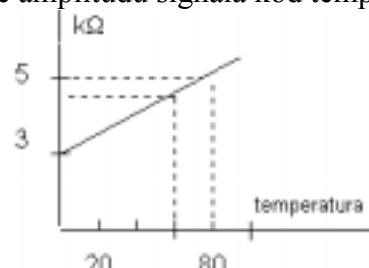
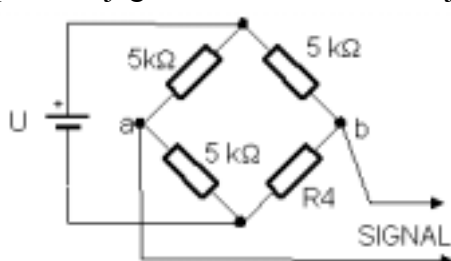
Ako je otpor žice po jedinici duljine $K \Omega/m$ tada je $R_3=Ka$ i $R_4=K(l-a)$ odnosno $R_4=Kb$

$$\text{Ako je } R_1=1000, l=0,5, a=0,1 \quad R_x = R_1 \frac{a}{l-a}$$

$$R_x=250 \Omega$$

Umjesto očitavanja duljina a odnosno b na skali se može označiti omjer a/b . Time je nepoznati otpor = očitavanje skale puta R_1 . Takva skala je nelinearna (zgusnuta pri krajevima). Očitavanje je točnije ako se ravnoteža postigne oko sredine klizne žice. Proširenje mjernog opsega postiže se sa različitim otporima R_2 i odgovarajućom preklopkom. U tehničkoj izvedbi se umjesto ravne klizne žice koristi žica namotana na okrugli bubanj. Time je postignuto kružno pomicanje kliznika. Područje primjene Wheatstoneovog mosta je od $0,1 \Omega$ pa do nekoliko $M\Omega$

U mostu prema slici otpornik R_4 je temperaturni senzor tj. njegov otpor ovisi o temperaturi prema dijagramu sa slike. Izračunajte amplitudu signala kod temperature od 60 stupnjeva.



$$U := 6V$$

napon između a i b je

$$U_s := \frac{U}{5+5} \cdot 5 - \frac{U}{(5+4,5)} \cdot 4$$

$$U_s = 0,158$$

Signal se može koristiti za mjerenje ili regulaciju temperature. Za mjerenje napona u ovom slučaju treba rabiti visokoomski voltmetar kojemu se na skali gdje je $0,158$ V napiše 60 stupnjeva. Ovdje se most koristi kao neuravnoteženi most. Mjera neuravnoteženosti odgovara temperaturi.

8.2. MJERENJE PARAMETARA KABELA

8.2.1. Neprekidna električna kontrola otpora izolacije kabela

Neprekidnom kontrolom otpora izolacije vodiča registrira se njen pad ispod propisane granice i interventnim mjerama se pronalazi neispravan kabel. Pravovremenim otklanjanjem kvarova, naročito onih čije je djelovanje postepeno i koji se manifestiraju postepenim padom otpora izolacije - sprečavaju se teže posljedice koje bi mogle dovesti čak i do prekida TT prometa. Uređaji za neprekidnu električnu kontrolu ispravnosti grupe kabela putem automatske kontrole otpora izolacije, pokraj drugih elemenata, sadrže priključni, mjerni, alarmni i napojni sklop. Kod međumjesnih kabela i kabela mrežnih grupa, kontrolnici se postavljaju u završnom ormaru, u skladu sa Tehničkim uvjetima za završni ormar, a kod kabela mjesnih mreža na pogodnom mjestu u glavnom razdjelniku.

8.2.2. Sistem plinske kontrole

Drugi način neprekidne kontrole stanja na kabelu je sistem plinske kontrole sa stalnim protokom plina. Pomoću ovog sistema ispunjava se plinom određenog pritiska u kabelu prostor ograničen njegovim plaštem, uključujući i njegov pribor (suhi zrak ili dušik). Ovo omogućuje da se u slučaju pojave propustljivosti kabela spriječi prodiranje vode i vlage do jezgre kabela. Sistem plinske kontrole sadrži grupu za snabdjevanje kabela plinom, grupu za razvod i signalizaciju, kao i uređaj za određivanje mjesta propustljivosti plašta.

Sistemi plinske kontrole sa stalnim protokom plina primjenjuju se obavezno na telefonskim koaksijalnim kabelima, a po potrebi i na simetričnim NF i VF kabelima (za veće daljine) koji su od posebnog značaja.

8.2.3. Mjerenje otpora izolacije pomoću megaom-metra

Pomoću megaom-metra može se jednostavno i brzo ispitati kvaliteta otpora izolacije vodiča kabela, i to u sljedećim slučajevima:

- Kada je spoj sa zemljom, otpor izolacije se mjeri između plašta (zemlje) i svakog pojedinačnog vodiča, pri čemu su vodiči na daljem kraju kabela otvoreni.
- U slučaju međusobnog dodira vodiča, otpor izolacije između pojedinačnih vodiča mjeri se pri otvorenim daljim krajevima kabela.
- Utvrđivanje prekida vodiča obavlja se mjerenjem otpora izolacije između svakog pojedinačnog vodiča i plašta (zemlje) kabela, ali su u ovom slučaju vodiči na daljem kraju kabela kratko spojeni i uzemljeni.

Kako megaom-metri imaju istosmjerni ispitni napon od 100 V ili 500 V, njihova primjena na energetskim kabelima može dovesti do pogrešnih rezultata zbog malog ispitnog napona. Zbog toga se kod energetskih kabela izolacija ispituje pomoću višeg napona. Ovaj ispitni napon je veći od nominalnog i njegova veličina je utvrđena odgovarajućim propisima.

Za pretplatničke kabele s polietilenskom izolacijom, otpor izolacije na 20 °C mjeren istosmjernim naponom najmanje 100 V ne smije biti manji od 5 GΩkm, a za kabele s papirnozračnom izolacijom manji od 20 GΩkm.

Prema propisima o izgradnji i održavanju telekomunikacijskih pretplatničkih i spojnih mreža s metalnim vodičima završna električna mjerenja i kontrolna periodička električna mjerenja obavezno predviđaju mjerenje otpora izolacije parice. Ovdje su predviđena tri mjerenja:

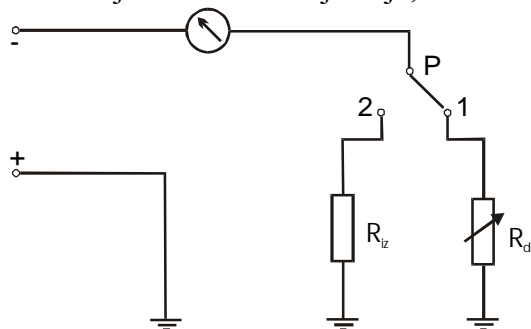
1. mjerenje otpora izolacije žile *a* prema *b* spojenoj sa svim ostalima i plaštem kabela,
2. mjerenje otpora izolacije žile *b* prema *a* spojenoj sa svim ostalima i plaštem kabela i
3. mjerenje otpora izolacije žile *a* prema *b* odvojenoj od svih ostalih spojenih s plaštem kabela

Otpor izolacije parice otvorene s oba kraja se očitava 1 minutu nakon priključka ispitnog napona, odnosno završetka svih prijelaznih stanja u četvorki.

Dielektrična čvrstoća se ispituje izmjeničnim naponom frekvencije 50 Hz: 500 V_{ef} između žila parice i 2kV između žile i metalnog plašta kabela. Ispitivanje traje 2 minute nakon uključenja napona.

8.2.4. Mjerenje otpora izolacije metodom usporedbe struja

Principijelna shema ovog mjerenja prikazana je na sl. 8.3. Za takvo mjerenje je potreban osjetljivi galvanometar i dekadna otporna kutija na kojoj se odredi referentan otpor R_D . Potrebno je obaviti dva mjerenja, i to na sljedeći način:



Sl. 8.3 Shema. mjerenja otpora izolacije metodom usporedbe struja

Prvo mjerenje. Preklopnik se postavi u položaj 1, u kome je referentni otpornik dekadne kutije serijski priključen s instrumentom. U ovom slučaju kazaljka galvanometra će imati otklon α_1 , koji je jednak:

$$\alpha_1 = \frac{U}{R_D}$$

Drugo mjerenje. Preklopnik se prebaci u položaj u kojem je otpor izolacije priključen serijski s instrumentom i kazaljka galvanometra pokazuje otklon α_2 koji je jednak:

$$\alpha_2 = \frac{U}{R_{iz}}$$

Nakon završenih mjerenja može se napisati relacija:

$$R_{iz} \cdot \alpha_2 = R_D \cdot \alpha_1$$

iz koje je otpor izolacije R_{iz} vodiča jednaka:

$$R_{iz} = R_D \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

8.2.5. Mjerenje otpora izolacije preko kapaciteta kabela

Kako je prilikom mjerenja velikih otpora izolacije otklon kazaljke galvanometra vrlo mali, kabel se može koristiti kao kondenzator, tako što se »puni« pomoću istosmjerne struje. Ovo mjerenje se obavlja na sljedeći način:

Najprije se kabel puni do napona U_1' . Poslije vremena t_1 preko svojeg otpora napon će sporo opadati do vrijednosti U_1 . Poslije toga kabel se ponovo puni do prvobitne veličine napona, tako što je napon ponovnog punjenja $U_2 = U_1$. Istovremeno se, paralelno sa kabelom, priključi otpornik čiji je otpor R , i preko njega će se kabel prazniti do napona $U_2' = U_1'$ za vrijeme t_2 . Kako je otpor R daleko manji od otpora izolacije kabela, drugo pražnjenje će trajati kraće, tako da je $t_2 < t_1$.

Otpor izolacije vodiča se izračunava iz sljedeće formule:

$$R_{iz} = \frac{R \cdot t_1}{t_2} - R$$

odnosno:

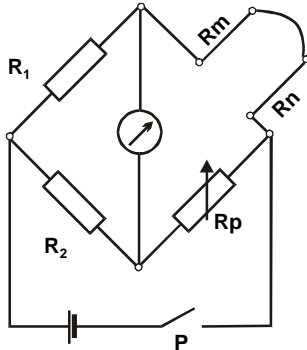
$$R_{iz} = R \left(\frac{t_1}{t_2} - 1 \right)$$

Kod ove metode naponi se moraju mjeriti pomoću statičkih voltmetara ili voltmetara s ugrađenim pojačalom i tranzistorom sa efektom polja (FET) na ulazu (veliki ulazni otpor).

8.2.6. Mjerenje otpora priključnih vodiča

U rezultatima mjerenja treba uvijek obaviti korekciju zbog utjecaja otpora priključnih vodiča. Ovaj utjecaj je naročito jako izražen kada se mjeri kraća kabela dužina i kada su priključni vodiči dugački.

Shema ovog mjerenja prikazana je na sl. 8.4 (to je u stvari Wheatstoneov most). Otpori otpornika R_1 i R_2 su konstantni, a R_p je promjenjivi otpornik pomoću kojega se uravnotežuje most. Granu CB čine kratko spojeni priključni vodiči čiji su otpori respektivno R_m i R_n . U dijagonali C-D nalazi se nul-indikator.



Sl. 8.4 — Shema mjerenja otpora priključnih vodiča

Kada je mjerni most uravnotežen, imamo slijedeći odnos otpora grana mjernog mosta:

$$\frac{R_1}{R_2} \cdot R_p = R_m + R_n$$

Ako se uzme da je $n = \frac{R_1}{R_2}$ i zamjeni, dobićemo:

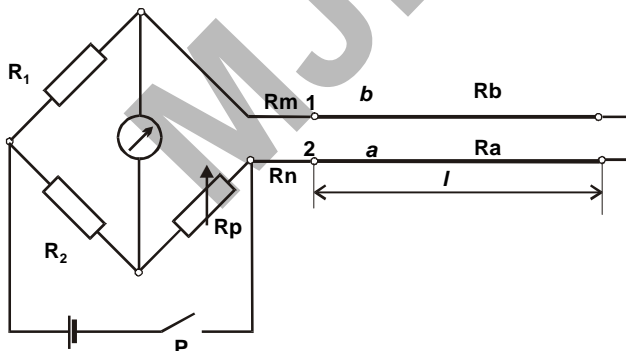
$$n R_p = R_m + R_n$$

U slučaju kada otpornici R_1 i R_2 jednaki, tada je $n=1$, pa dobijemo:

$$R_p = R_m + R_n$$

8.2.7. Mjerenje otpori vodiča u petlji (parice)

Ovo mjerenje se obavlja istim mjernim mostom, a za ovaj slučaj prikazano je na sl. 8.5, gdje su:



Sl. 8.5 Shema mjerenja otpora vodiča u petlji (parice.)

R_m, R_n - otpor priključnih vodiča,

R_a, R_b - otpor vodiča a i b parice,

R_p - otpor promjenjivog otpornika za uravnoteženje mosta.

Kako se preko priključnih mjernih vodiča spajaju vodiči a i b jedne parice, isti se na drugom kraju kabela kratko spoje. Kada je mjerni most uravnotežen, odnos otpora u granama mosta iznosi:

$$R_1 \cdot R_p = R_2 (R_m + R_b + R_a + R_n)$$

odnosno, ako je:

$$R_p = R_m + R_n + R_a + R_b$$

dobiva de otpor petlje:

$$R_{pt} = R_p - (R_m + R_n)$$

Prema tehničkim uvjetima za telekomunikacijske kabele otpori petlje za vodiče standardnog presjeka prikazani su tablicom 1.

Tablica 1.

Promjer vodiča (mm)	Vrijednost otpora petlje	
	Maksimalna pojedinačna (Ω/km)	Maksimalna srednja (Ω/km)
0,4	300	290
0,6	130	126
0,8	73,2	72

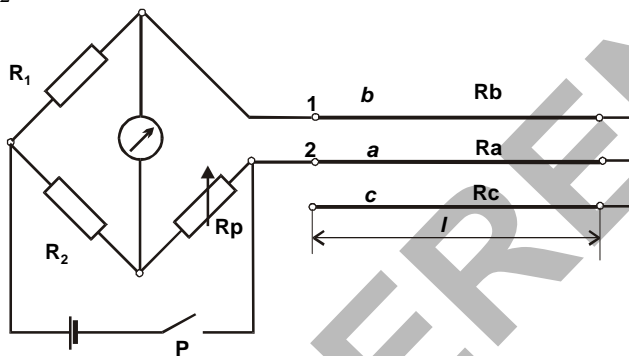
8.2.8. Mjerenje otpora pojedinačnih vodiča simetrične parice metodom tri petlje

Za ovo mjerenje koristimo vodič c kao pomoćni vodič. Shema mjerenja je prikazana na sl. 8.6. Vodiči a , b i c su na drugom kraju kabela kratko spojeni. Pretpostavka je da su otpori sva tri vodiča različiti, odnosno:

$$R_a \neq R_b \neq R_c$$

i da je:

$$R_1 = R_2$$



Sl. 8.6 Shema mjerenja otpora pojedinačnih vodiča simetrične parice metodom tri petlje

Potrebno je obaviti tri mjerenja:

Prvo mjerenje. Na most se priključuju vodiči a i b , a zatim se obavi uravnoteženje mosta. Kada je mjerni most uravnotežen, dobiva se:

$$R_{p1} = R_a + R_b$$

Drugo mjerenje. Sada se priključe vodiči a i c , i nakon uravnoteženja mosta dobiva se slijedeća jednadžba:

$$R_{p2} = R_a + R_c$$

Treće mjerenje. Na kraju se priključuju vodiči b i c , pa uravnoteženjem mosta kao u prethodnim slučajevima može se napisati slijedeća jednadžba:

$$R_{p3} = R_b + R_c$$

Dobiveni sistem linearnih jednadžbi s tri nepoznanice R_a , R_b i R_c i tri poznate veličine R_{p1} , R_{p2} i R_{p3} otpora promjenjivog otpornika, koje se dobivaju u uravnoteženim stanjima mjernog mosta u sva tri slučaja, rješava se i dobivaju se izrazi za proračun otpora vodiča a , b i c :

$$R_a = \frac{1}{2}(R_{p1} + R_{p2} - R_{p3})$$

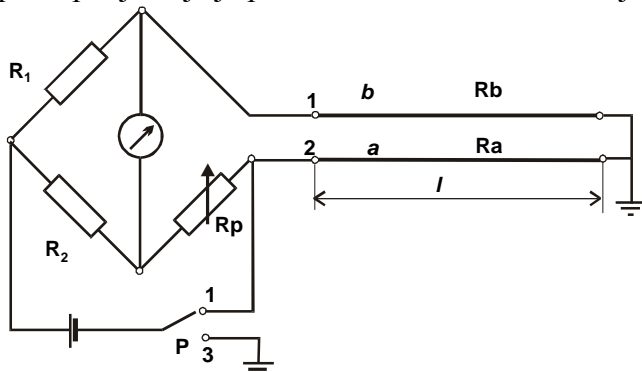
$$R_b = \frac{1}{2}(R_{p1} + R_{p3} - R_{p2})$$

$$R_c = \frac{1}{2}(R_{p2} + R_{p3} - R_{p1})$$

Ukoliko je poznat uzdužni otpor vodiča, mogu se provjeriti podaci o poprečnom presjeku i dužini vodiča u kabeu.

8.2.9. Mjerenje otpora pojedinačnih vodiča metodom uzemljene petlje

Ovaj princip mjerenja je prikazan na sl. 8.7. Potrebno je obaviti dva mjerenja, i to:



Sl. 8.7 Shema mjerenja otpora pojedinačnih vodiča metodom uzemljene petlje

Prvo mjerenje. Stavljamo preklopnik P u položaj 1, uravnotežimo mjerni most i dobivamo slijedeću jednadžbu ravnoteže mjernog mosta:

$$R_{p1} = R_a + R_b$$

Drugo mjerenje. Za ovo mjerenje preklopnik P se prebaci u položaj 3 i za uvjet ravnoteže mosta dobiva se jednadžba:

$$R_{p2} = R_a - R_b$$

Rješavanjem jednadžbi oba mjerenja dobivaju se izrazi za izračunavanje otpora vodiča a i b :

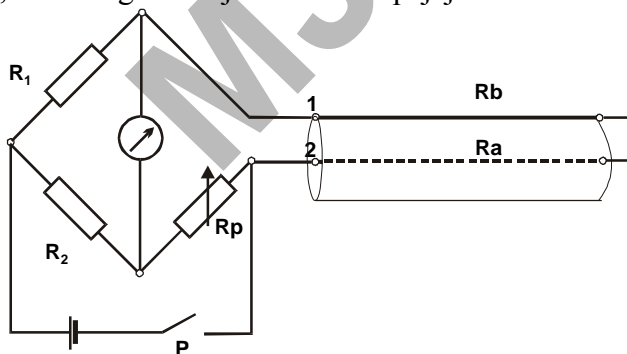
$$R_a = \frac{1}{2}(R_{p1} + R_{p2})$$

$$R_b = \frac{1}{2}(R_{p1} - R_{p2})$$

gdje su R_{p1} i R_{p2} veličine otpora koji se dobivaju na promjenjivom otporniku R_p u stanjima ravnoteže mosta.

8.2.10. Merenje otpora petlje koaksijalne parice

Kao što pokazuje sl. 8.8. na jednom kraju koaksijalne parice se priključuju unutrašnji i vanjski vodič, a na drugom kraju kratko se spajaju.



Sl. 8.8.- Shema mjerenja otpora petlje koaksijalne parice

Kada je most uravnotežen, jednadžba ravnoteže glasi:

$$R_1 \cdot R_p = R_2 \cdot (R_a + R_b)$$

te se dobije se otpor petlje koaksijalne parice:

$$R_{pk} = R_p = R_a + R_b$$

gdje je R_p , kao i u prethodnim mjerenjima, veličina otpora promjenjivog otpornika za uravnoteženje mjernog mosta.

Ovo mjerenje ne daje pravo stanje kaksijalne parice, te se u praksi ne izvodi.

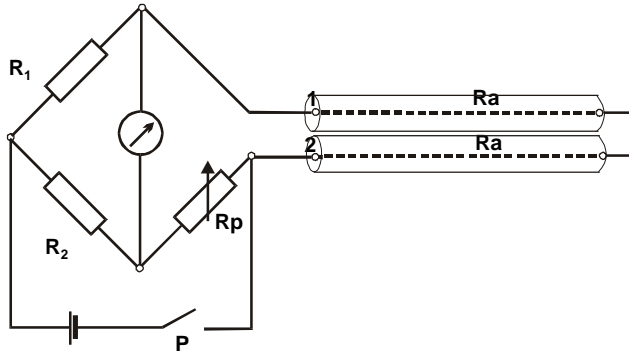
8.2.11. Mjerenje otpora unutarnjeg i vanjskog vodiča koaksijalne parice

Za ovo mjerenje treba imati na raspolaganju dvije koaksijalne parice identične konstrukcije, čiji su unutarnji i vanjski vodiči homogeni.

Na sl. 8.9 prikazan je način povezivanja kada se obavlja mjerenje otpora unutarnjih vodiča koaksijalnih parica.

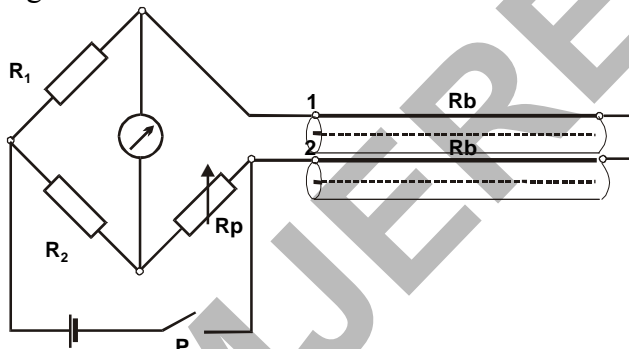
Kada je most uravnotežen, jednadžba ravnoteže glasi:

$$R_a = \frac{R_{p1}}{2}$$



Sl. 8.9 Shema mjerenja otpora unutarnjeg vodiča koaksijalne parice

Na sličan način, kao na sl. 8.10, na mjerni most se priključuju vanjski vodiči koaksijalnih parica koji su na daljnjem kraju kratko spojeni. Jednadžba ravnoteže mjernog mosta u ovom slučaju glasi:



Sl. 8.10 Shema mjerenja otpora vanjskog vodiča koaksijalne parice

$$R_1 \cdot R_{p2} = R_2 \cdot 2R_b$$

odakle je:

$$R_b = \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{R_{p2}}{2} = n \cdot \frac{R_{p2}}{2}$$

Za $n=1$ je:

$$R_b = \frac{R_{p2}}{2}$$

Standardne veličine otpora male koaksijalne parice 1,2/4,4 su slijedeće:

1. otpor unutarnjeg vodiča $\leq 16,5 \text{ } \Omega/\text{km}$
2. otpor vanjskog vodiča $\leq 7,5 \text{ } \Omega/\text{km}$,

a za normalnu koaksijalnu parice 2,6/9,5 su:

1. otpor unutarnjeg vodiča $\leq 3,45 \text{ } \Omega/\text{km}$
2. otpor vanjskog vodiča $\leq 2,45 \text{ } \Omega/\text{km}$

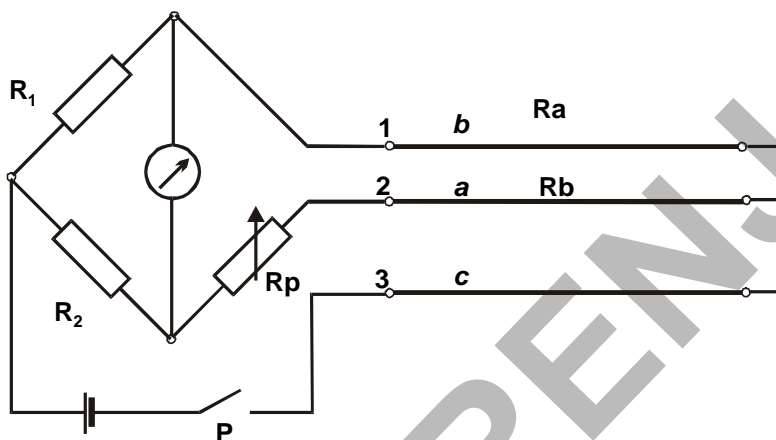
8.2.12. Mjerenje razlika otpora vodiča

Do sada se polazilo od pretpostavke kako su vodiči simetrične parice idealni i da imaju jednake otpore. Međutim, u praksi ovi otpori nisu jednaki, tako da postoji određena razlika otpora koja se definira:

$$\Delta R = R_a - R_b$$

Ako je razlika otpora mala, ona se može zanemariti, jer ne utječe na kvalitetu prijenosa. Međutim, loši lemnji spojevi, spojevi vodiča različitih presjeka, vodiča s različitom izolacijom, korozija i oštećenja izolacije dovode na tim mjestima do veće razlike otpora i ugrožavanja kvalitete prijenosa.

Razlika otpora se mjeri se Wheatstoneovim mostom napajanim istosmjernom strujom, korištenjem pomoćnog vodiča (sl. 8.11) ili metodom uzemljene petlje, ako ne postoji mogućnost osiguranja pomoćnog vodiča (sl. 8.12). U oba slučaja uvjet ravnoteže mjernog mosta je:

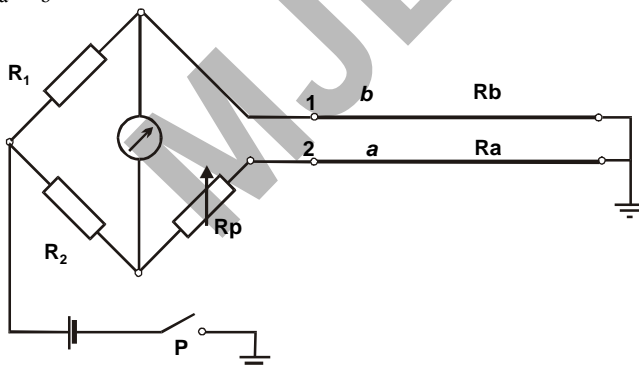


Sl. 8.11 Shema mjerenja razlike otpora vodiča korištenjem pomoćnog vodiča

$$R_1(R_p + R_b) = R_2 \cdot R_a$$

Ako se kao i u dosadašnjim mjerenjima uzme da je $R_1 = R_2$, dobiva se:

$$R_p = R_a - R_b$$



Sl. 8.12 — Shema mjerenja razlike otpora vodiča metodom uzemljene petlje

Otpor promjenjivog otpornika R_p (za uravnoteženje mjernog mosta) u stanju ravnoteže mjernog mosta je mjera veličine razlike otpora, odnosno:

$$\Delta R = R_p = R_a - R_b$$

Na priključaku 2 nalazi se vodič b , za koji se pretpostavlja da ima manji otpor od vodiča a . Ako se most ne može uravnotežiti, vodiči a i b trebaju zamijeniti mjesta, tako da je tada:

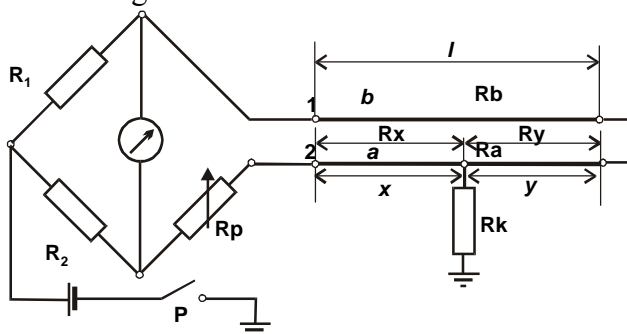
$$\Delta R = R_b - R_a$$

Razlika otpora između žila parica za pretplatničke kabele ne smije biti veća od $0,6 \Omega$ na standardiziranoj dužini 425 m, za sve presjeka vodiča, a u mjernim listama se označava s + ako je otpor žile a veći od žile b , odnosno s - u obrnutom slučaju..

8.3. MOSNE MJERNE METODE ZA ODREĐIVANJE UDALJENOSTI DO MJESTA SMANJENE IZOLACIJE IZMEĐU VODIČA, ODNOSNO VODIČA I PLAŠTA TELEKOMUNIKACIJSKIH KABELA

8.3.1. Varleyeva mjerna metoda

Ova metoda je pogodna za mjerenje na kratkim kabelima, kada je prijelazni otpor na mjestu kvara do 10 MΩ. Za mjerenje je potreban jedan pomoćni ispravni vodič čiji je otpor jednak otporu oštećenog vodiča.



Sl. 8.13 - Shema mjerenja pomoću Varleyeve mjerne metode

Kada je most uravnotežen, jednačba ravnoteže glasi:

$$R_1 (R_p + R_x) = R_2 (R_a + R_y)$$

Veličina otpora od početka kabela do mjesta oštećenja, odnosno udaljenost od mjesta priključka mjernog mosta do mjesta kvara je:

$$R_x = \frac{R_a + R_b - nR_p}{n + 1}$$

gdje su:

$$n = \frac{R_1}{R_2}$$

R_a - otpor pomoćnog vodiča,

R_b - otpor oštećenog vodiča,

R_p - otpor promjenjivog otpornika kada je most uravnotežen.

Ako je $n = 1$, jednačba dobija oblik:

$$R_x = \frac{R_a + R_b - R_p}{2}$$

Jednačba se može dalje pojednostaviti u slučaju da vodiči a i b imaju jednake otpore:

$$R_x = R - \frac{R_p}{2}$$

Ako se uzme u obzir homogenost vodiča b, onda vrijedi odnos:

$$\frac{R}{l} = \frac{R_x}{l_x}$$

Oдавde se dobiva udaljenost od početka kabela do mjesta kvara:

$$l_x = \frac{R_x}{R} \cdot l$$

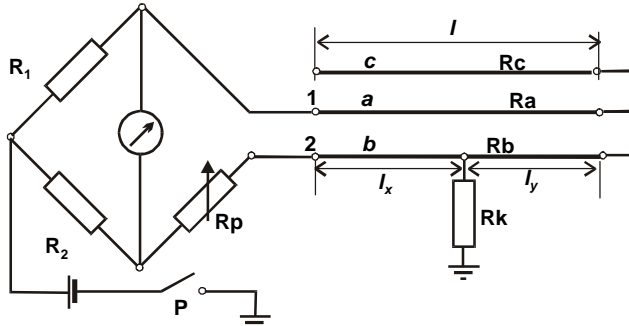
Zamjenom se dobiva:

$$l_x = \frac{R_a + R_b - R_p}{2R} \cdot l$$

Za homogeni vodič jednadžba glasi:

$$l_x = \left(l - \frac{R_p}{2R} \right) \cdot l$$

Točnost se može povećati kada se mjerenje obavlja pomoću dva pomoćna vodiča, kao što je prikazano na sl. 8.14.



Sl. 8.14 - Shema mjerenja pomoću Varleyeve metode korištenjem pomoćnog vodiča

Razmotrimo slučaj kada pomoćni vodiči a i c imaju različite otpore, odnosno:

$$R_a \neq R_c$$

U ovom slučaju treba obaviti dva mjerenja (na već opisan način).

Prvo mjerenje. Na mjerni most priključuje se oštećeni vodič b i pomoćni vodič a. Iz odnosa ravnoteže mosta dobiva se otpor vodiča b od početka kabela do mjesta kvara:

$$R_{x1} = \frac{R_a + R_b - R_p}{2}$$

Sada se na mjerni most priključuje oštećeni vodič b i pomoćni vodič c, pa se dobiva:

$$R_{x2} = \frac{R_a + R_c - R_p}{2}$$

Od dobivenih rezultata određuje se srednja vrijednost:

$$R_x = \frac{R_{x1} + R_{x2}}{2}$$

Za homogeni oštećeni vodič i ovdje može se koristiti jednadžba za izračunavanje udaljenosti do mjesta kvara. Ovdje se može koristiti i poznati obrazac za otpor vodiča:

$$R = \sigma \cdot \frac{l}{s}$$

gde su:

σ - specifična električna vodljivost materijala od kojeg je izrađen vodič,

s - poprečni presjek vodiča,

l - dužina vodiča.

Iz otpora na dužini l_x slijedi:

$$l_x = \frac{s \cdot R}{\sigma}$$

Napomena: Radi jednostavnosti nije uzet u obzir utjecaj priključnih vodiča. Iz prethodno iznesenog, Varleyeva metoda pogodna je za mjerenje na kraćim kabelima, pa je neophodno u rezultatima mjerenja obaviti odgovarajuće korekcije zbog utjecaja priključnih vodiča. Ukoliko oštećeni i pomoćni vodič imaju različite presjeke, ili se kvar nalazi u blizini daljeg kraja vodiča, moguće je ne postizanje ravnoteže mosta. U tom slučaju treba primijeniti neku drugu metodu (npr. Grafovu metodu mjerenja u tri točke).

8.3.2. Murrayova mjerna metoda

Kod ove, za razliku od Varleyeve metode, prijelazni otpor klizača promjenjivog otpornika ne utječe na rezultat mjerenja. Ova metoda je poslužila kao osnovica za realizaciju mnogih varijanti mjernih metoda.

Murrayova metoda se primjenjuje za određivanje mjesta kvara na kabelima dužine > 100 m i kada je prijelazni otpor do $10 \text{ M}\Omega$. Da bi se ova metoda mogla primjeniti, neophodno je zadovoljiti sljedeće uvjete:

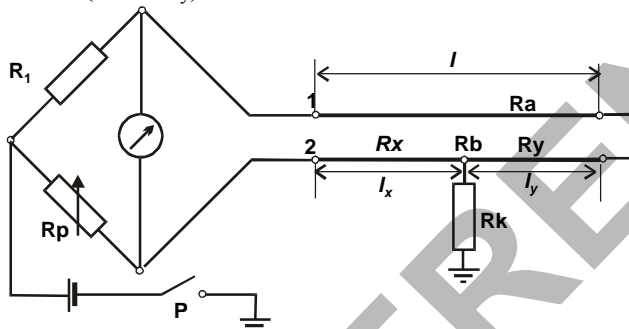
- na raspolaganju imati jedan ispravan vodič,
- otpor izolacije ispravnog vodiča treba biti 1000 puta veći od otpora izolacije oštećenog vodiča:

$$\frac{R_{ii}}{R_{io}} \geq \frac{1000}{1}$$

- ispravan i oštećeni vodič moraju biti homogeni, istog presjeka i dužine. Stoga, ukoliko je moguće, najpogodnije je ako su iz iste parice ili četvorke.

Princip mjerenja prikazan je na sl. 8.15. Prije početka mjerenja treba ispitati otpor izolacije pojedinačnih vodiča i time provjeriti ispunjavanje navedenih uvjeta. Jednadžba ravnoteže tada je:

$$R_p \cdot R_x = R_l (R_a + R_y)$$



Sl. 8.15 - Shema mjerenja pomoću Murrayove mjerne metode

Očigledno je da je:

$$R_b = R_x + R_y$$

Eliminiranjem se R_y slijedi:

$$R_p \cdot R_x = R_l (R_{pt} - R_x)$$

odakle je:

$$R_x = \frac{R_l \cdot R_{pt}}{R_p + R_l}$$

Uz pretpostavku homogenosti vodiča, veličina otpora oštećenog vodiča do mjesta kvara je:

$$R_x = \frac{2R \cdot R_l}{R_p + R_l}$$

Kako je za homogeni vodič:

$$\frac{l_x}{l} = \frac{R_x}{R}$$

odakle je:

$$l_x = l \frac{R_x}{R}$$

Udaljenost l_x od početka kabela do mjesta kvara je:

$$l_x = 2l \frac{R_l}{R_p + R_l}$$

Ako imamo na raspolaganju dva pomoćna vodiča koji zadovoljavaju uvjete za primjenu Murrayove metode, onda se mogu obaviti respektivno dva mjerenja s po jednim pomoćnim vodičem, a zatim se izračuna srednja vrijednost R_x , kao kod Varleyeve metode.

Dobiveni rezultat mjerenja s početka kabela treba se potvrditi mjerenjem s kraja kabela, jer je moguće dobiti različite dužina oštećenog vodiča $l \neq l_x + l_y$. U tom slučaju obavezno je mjerenjem s kraja kabela obaviti odgovarajuću korekciju dužine oštećenog vodiča, čime se točnije određuje mjesto kvara.

Prilikom mjerenja na pupiniziranim kabelima moraju se uzeti u obzir otpori pupinskih svitaka i umjetnih vodova, tako da je u ovom slučaju otpor petlje jednak:

$$R_{pt} = R_{pp} - R_{pk} - R_{uv}$$

gdje su:

R_{pp} - otpor priključene parice,

R_{pk} - otpor Pupinskog svitka,

R_{uv} - otpor umjetnog voda.

8.3.3. Grafova metoda mjerenja u tri točke

Grafova mjerna metoda mjerenja u tri točke je jedna od najtočnijih mostovskih metoda, koja se ostvaruje neznatnim izmjenama na Murayovom mostu. Greška u rezultatu mjerenja je oko 1 %, što znači da bi prilikom mjerenja na dužini od 500 m odstupanje bilo $\pm 0,5$ m. Grafova metoda mjerenja u tri točke može se koristiti za mjerenje na proizvoljnim dužinama kabela, ali najbolje rezultate daje na dužinama manjim od 500 m.

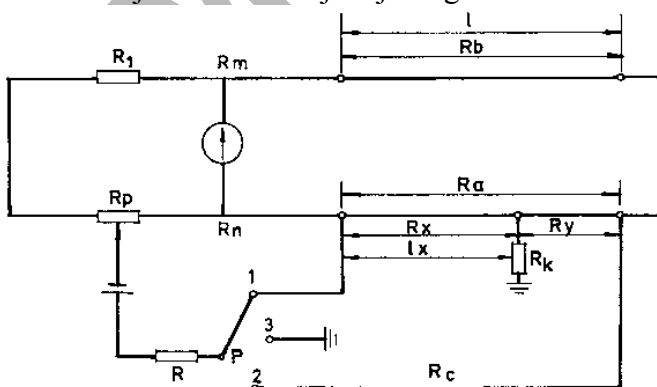
Da bi se ova metoda mogla primjeniti, potrebno je zadovoljiti slijedeće uvjete:

- Potrebna su dva pomoćna vodiča čija dužina i poprečni presjek, pa prema tome i otpor, ne moraju biti isti kao kod oštećenog vodiča.
- Otpor izolacije pomoćnih vodiča mora biti 1000 puta veći od otpora izolacije oštećenog vodiča, odnosno:

$$\frac{R_{ii}}{R_{io}} \geq \frac{1000}{1}$$

Način priključka mjernog mosta na mjereni kabel prikazan je na sl. 8.16, gde su pokraj poznatih referentnih oznaka sa R_m i R_n označeni otpori priključnih vodiča koji u ovom slučaju moraju biti uzeti u obzir.

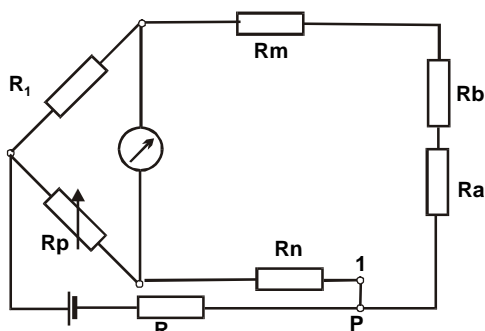
Potrebno je obaviti tri mjerenja i to za položaje 1, 2 i 3 preklopnika P. Za sva tri slučaja mjerni most se uravnotežuje pomoću promjenjivog otpornika R_p i evidentiraju vrijednosti R_{p1} , R_{p2} , R_{p3} u sva tri slučaja uravnoteženja mjernog mosta.



Sl. 8.16 - Shema mjerenja u tri točke po Grafovoj metodi

Na sl. 3.17 prikazana je ekvivalentna shema mjernog mosta kada je preklopnik u položaju 1. Jednadžba ravnoteže mjernog mosta u ovom slučaju glasi:

$$\frac{R_1}{R_{p1}} = \frac{R_m + R_b + R_a}{R_n}$$



Sl. 8.17 - Ekvivalentna shema mjernog mosta kod mjerenja u tri točke pri položaju 1 preklopnika P

odnosno:

$$\frac{R_1}{R_{p1}} = \frac{R_m + R_b + R_x + R_y}{R_n}$$

gdje su:

R_1 - poznati otpor grane mosta,

R_m, R_n - otpori mjernih vodiča,

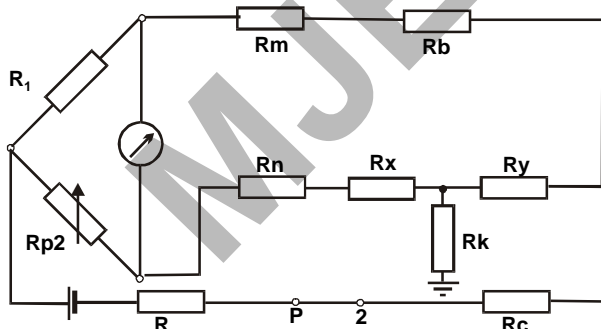
$R_a = R_x + R_y$.

Veličina otpora promjenljivog otpornika R_p , kada je most uravnotežen pri položaju 1 preklopnika P, jednaka je:

$$R_{p1} = \frac{R_1 R_n}{R_m + R_b + R_x + R_y}$$

Ekvivalentna shema mjernog mosta, kada je preklopnik P u položaju 2, prikazana je na sl. 8.18, a jednačba ravnoteže u ovom slučaju glasi:

$$\frac{R_1}{R_{p2}} = \frac{R_n + R_b}{R_n + R_a}$$



Sl. 8.18 - Ekvivalentna shema mjernog mosta kod mjerenja u tri točke pri položaju 2 preklopnika P

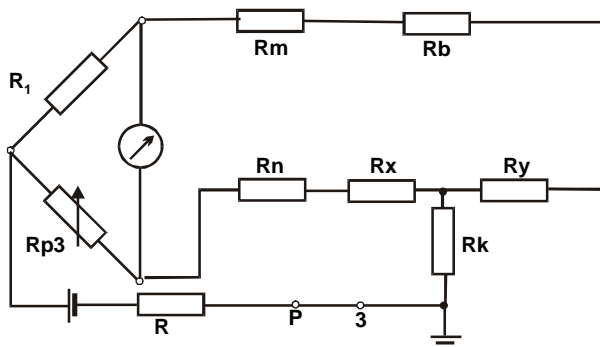
odnosno:

$$\frac{R_1}{R_{p2}} = \frac{R_m + R_b}{R_n + R_x + R_y}$$

odakle je R_{p2} , kada je most uravnotežen pri položaju 2 preklopnika P, jednak:

$$R_{p2} = \frac{R_1 (R_n - R_x - R_y)}{R_m - R_b}$$

Na kraju se preklopnik P postavlja u položaj 3 i mjerni most se uravnoteži pomoću promjenljivog otpornika R_p . Ekvivalentna shema mjernog mosta u ovom slučaju ima izgled kao na sl. 8.19.



Sl. 8.19 - Ekvivalentna shema mjernog mosta kod mjerenja u tri točke pri položaju 3 preklopnika P

Jednadžba ravnoteže mjernog mosta je:

$$\frac{R_1}{R_{p3}} = \frac{R_m + R_b + R_y}{R_n + R_x}$$

odakle je:

$$R_{p3} = \frac{R_1(R_n + R_x)}{R_n + R_b + R_y}$$

Rješavanjem jednadžbi dobiva se udaljenost od mjesta mjerenja, odnosno od početka kabela do mjesta kvara:

$$l_x = \frac{(R_{p2} - R_{p1})(R - R_{p3})}{(R_{p3} - R_{p1})(R + R_{p2})}$$

Ukoliko kod nekog od prethodna tri mjerenja nije moguće postići uravnoteženje mosta, tada treba vodičima *a* i *b* zamijeniti mjesta i obratiti pažnju na promjenu simbola u jednadžbama za ravnotežu mjernog mosta. Kada zbog kvara svi vodiči u kabele imaju smanjenu izolaciju, potrebno je pomoćni vodič posebno položiti.

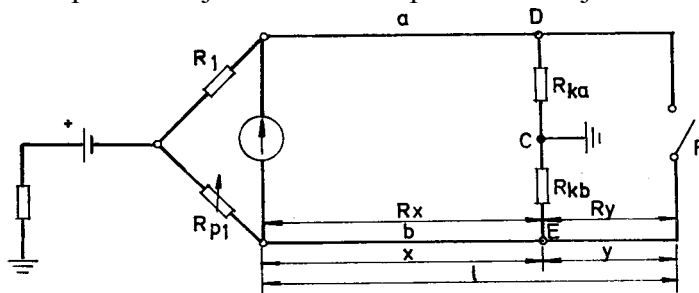
Grafova metoda mjerenja u tri točke je pogodna za primjenu kada je prijelazni otpor na mjestu kvara $R_k \leq 10 \text{ M}\Omega$, a otpor petlje $R_{pt} \leq 10 \Omega$.

8.3.4. Kupfmilerova (Kupfmüller) mjerna metoda

Primjenjuje se kada je u pitanju dodir svih vodiča u kabele, kada je prijelazni otpor $0,1 \text{ M}\Omega$ do $10 \text{ M}\Omega$, dok dužina kabela može biti proizvoljna. Uvjeti koji trebaju biti zadovoljeni za primjenu ove metode su slijedeći:

- Za mjerenje nisu potrebni pomoćni vodiči, već se mjerenje obavlja pomoću dva oštećena vodiča koji moraju imati različite prijelazne otpore. Prijelazni otpor jednog vodiča mora biti najmanje dva puta veći od prijelaznog otpora drugog oštećenog vodiča.
- Ukupni prijelazni otpor oba vodiča mora biti bar 100 puta veći od otpora njihove petlje.

Na sl. 8.20 prikazana je shematski Kupfmilerova mjerna metoda, gdje su:



Sl. 8.20 - Shema mjerenja pomoću Kupfmilerove mjernje metode

R_{p1} - veličina otpora promjenljivog otpornika za uravnoteženje mosta kada je preklopnik P otvoren,

R_{ka}, R_{kb} - prijelazni otpori vodiča a i b na mjestu kvara,

R_x - veličine otpora vodiča a, odnosno b od početka kabela do mjesta kvara,

R_y - otpori vodiča a, odnosno b od mjesta kvara do kraja a kabela,

x - udaljenost od početka kabela do mjesta kvara,

y - udaljenost od mjesta kvara do kraja kabela,

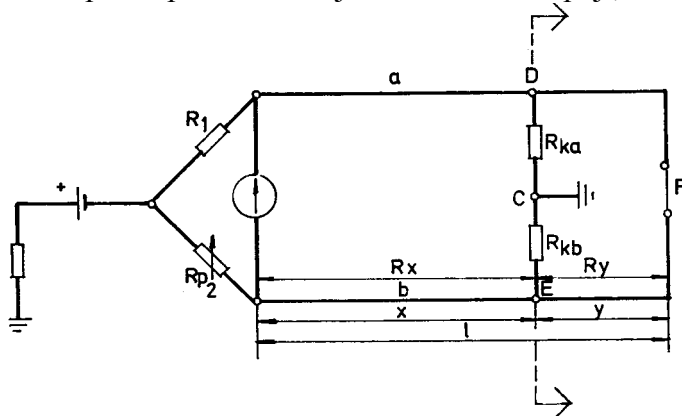
l - dužina kabela,

R_1 - poznati otpor grane mosta.

Kada je mjerni mast uravnotežen, jednadžba ravnoteže glasi:

$$R_x = \frac{R_{p1} R_{ka} - R_1 R_{kb}}{R_1 - R_{p1}}$$

Sada se preklopnik P na kraju kabela kratko spoji, kao što je prikazano na sl. 8.21, gdje je:



Sl. 8.21 - Shema mjernog mosta po metodi Kupfmilera kada je preklopnik P zatvoren

R_{p2} - veličina otpora otpornika za uravnoteženje mosta kada je most uravnotežen pri kratko spojenom preklopniku.

Pri proračunu grana mosta u ravnotežnom stanju, potrebno je dio označen strelicama, desno od točaka C, D, E, transformirati iz trokuta u ekvivalentnu zvijezdu, te se dobiju ekvivalentni otpori spoja u zvijezdu:

$$R_D = \frac{R_{ka} \cdot 2(R_1 - R_x)}{R_{ka} + R_{kb} + 2(R_1 - R_x)}$$

$$R_E = \frac{R_{kb} \cdot 2(R_1 - R_x)}{R_{ka} + R_{kb} + 2(R_1 - R_x)}$$

$$R_C = \frac{R_{ka} \cdot R_{kb}}{R_{ka} + R_{kb} + 2(R_1 - R_x)}$$

Kada je most uravnotežen, jednadžba ravnoteže glasi:

$$\frac{R_1}{R_{p2}} = \frac{R_x + R_D}{R_x + R_E}$$

Rješavanjem jednadžbi dobivamo udaljenost od početka kabela do mjesta kvara:

$$l_x = 2l \frac{\frac{R_1}{R_{p1}} - \frac{R_1}{R_{p2}}}{\left(\frac{R_1}{R_{p1}} - 1\right) \left(\frac{R_1}{R_{p2}} + 1\right)}$$

gdje uz pretpostavku da su vodiči homogeni vrijedi odnos:

$$\frac{l_x}{l} = \frac{R_x}{R}$$

Kada je kvar uslijed prisustva vode u kabelu, dobiveni rezultati će varirati. U tom slučaju je potrebno preklopnik P otvarati i kratko spojati više puta u određenim vremenskim intervalima i pritom evidentirati veličine R_{p1} i R_{p2} . Pojedinačne vrijednosti ili parovi vrijednosti koje znatno odstupaju - ne treba uzeti u obzir. Preporučuje se ovaj postupak ponoviti bar 25 puta u vremenskim intervalima od po 25 s. Od dobivenih mjerenih vrijednosti izračunavaju se srednje vrijednosti na slijedeći način:

$$\overline{R}_{p1s} = \frac{R_{p11} + R_{p12} + \dots + R_{p1n}}{n} = \frac{\sum R_{p1n}}{n}$$

$$\overline{R}_{p2s} = \frac{R_{p21} + R_{p22} + \dots + R_{p2n}}{n} = \frac{\sum R_{p2n}}{n}$$

Dobivene srednje vrijednosti se unose u jednadžbu za izračunavanje udaljenosti mjesta kvara od mjesta mjerenja, odnosno od početka kabela:

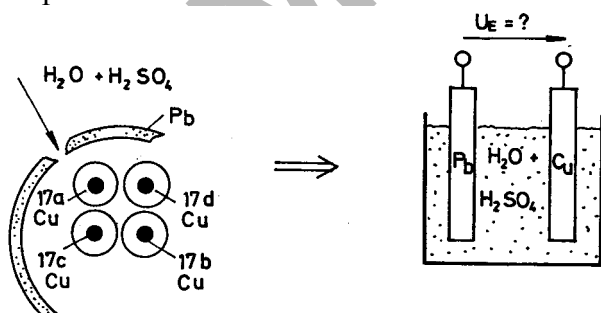
$$l_x = 2l \frac{\frac{R_1}{\overline{R}_{p1s}} - \frac{R_1}{\overline{R}_{p2s}}}{\left(\frac{R_1}{\overline{R}_{p1s}} - 1\right) \left(\frac{R_1}{\overline{R}_{p2s}} + 1\right)}$$

8.3.5. Kupfmilerova mjerna metoda s formiranjem elektrolitičkog napona na mjestu kvara

Kako bi se ova metoda mogla primjeniti, potrebno je zadovoljiti slijedeće uvjete:

- Nije neophodan nijedan ispravan vodič. Svi vodiči u kabelu mogu imati podjednako smanjeni otpor izolacije (slučaj prodora vlage).
- Oba vodiča koji se koriste za mjerenje iz istog su kabela, tj. homogeni su i imaju iste otpore.
- Kabel treba imati metalni plašt, a plašt i vodiči neophodno je da su od različitih metala.

Poznato je da voda koja prodre u kabel nije kemijski čista, već sadrži otopinu kemijskih spojeva kiselog ili lužnatog karaktera. Na mjestu kvara dolazi do elektrokemijske reakcije, uslijed čega se javlja razlika potencijala U_E . Na sl. 8.22 ova pojava je pokazana primjerom papirno-zračne izolacije vodiča kabela s olovnim plaštom, u koji je prodrla voda koja sadrži sumpornu kiselinu.

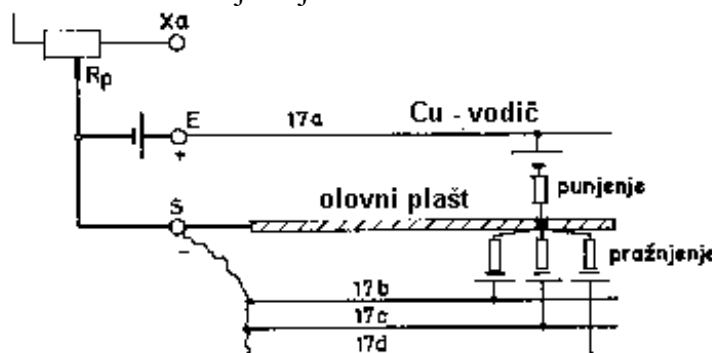


Sl. 8.22 - Ekvivalentna baterija prouzročena prodorom vode u kabel sa olovnim plaštom

Potencijalna razlika na mjestu kvara ovisit će o vrsti metala koji su pod utjecajem vode. U ovom slučaju, na mjestu kvara između bakrenih vodiča i olovnog omotača nastaje napon od + 0,22 V, a kod kabela sa aluminijskim omotačem napon je -2 V.

Ovako dobivena »baterija« može se iskoristi kao izvor za napajanje mosta. Međutim, prije početka mjerenja neophodno je »isprazniti« sve naponske izvore onih vodiča koji se ne koriste za mjerenje. Ovo se postiže na taj način što se preko vodiča, koji odaberemo kao sastavni dio »baterije«, određeno vrijeme priključi eksterni izvor istosmjernog napona od 100

V. Pod djelovanjem eksternog naponskog izvora (sl. 8.23) element koji, na primjer, stvara vodič 17a i koji će se kasnije koristiti za mjerenje »puni« se, a ostali vodiči koji su uzemljeni »prazne« se. Poslije određenog vremena imamo u kabelu dovoljno jak naponski izvor koji se može iskoristiti za mjerenje.



Sl. 8.23 - Princip stvaranja naponskog izvora u kabelu

Napon eksternog izvora, treba biti 100 V i dovoljno je da je priključen oko 10 minuta. Nakon što je na opisani način obavljeno formiranje naponskog izvora u kabelu, mjerenje se vrši priključivanjem mjernog mosta (sl. 3.26). Krajevi kabela se točno u određenim vremenskim intervalima otvaraju i kratko spajaju, te se formiraju tablično rezultati mjerenja R_{p1} i R_{p2} .

U početku mjerenja napon formiranog izvora naglo pada, uslijed čega rezultati mjerenja jako odstupaju. Nakon 5 do 10 mjerenja napon se stabilizira i ostale vrijednosti se također unose u rezultate. Izračunavanjem srednjih vrijednosti rezultata mjerenja i zamjenama u jednadžbi određuje se udaljenost l_x od početka kabela do mjesta kvara primjenom izraza:

$$l_x = \frac{\frac{R_1}{\bar{R}_{p1s}} - \frac{R_1}{\bar{R}_{p2s}}}{\left(\frac{R_1}{\bar{R}_{p1s}} - 1\right) \left(\frac{R_1}{\bar{R}_{p2s}} + 1\right)}$$

gdje su:

\bar{R}_{p1s} - srednja vrijednost veličine otpora promjenjivog otpornika za uravnoteženje mosta, kada je most uravnotežen i krajevi kabela kratko spojeni,

\bar{R}_{p2s} - srednja vrijednost veličine otpora promjenjivog otpornika za uravnoteženje mosta, kada je most uravnotežen i krajevi kabela otvoreni,

R_1 - poznati otpor grane mosta.

8.4. PRIMJERI MJERNIH KOVČEGA ZA ISTOSMJERNA MJERENJA NA KABELIMA

Kabelski mjerni kovčeg je multifunkcionalan instrument, a upotrebljava se za istosmjerna mjerenja na kabelima i za određivanje mjesta kvarova i pogrešaka prvenstveno na telekomunikacijskim kabelima, ali se uspješno rabi i na energetskim kabelima.

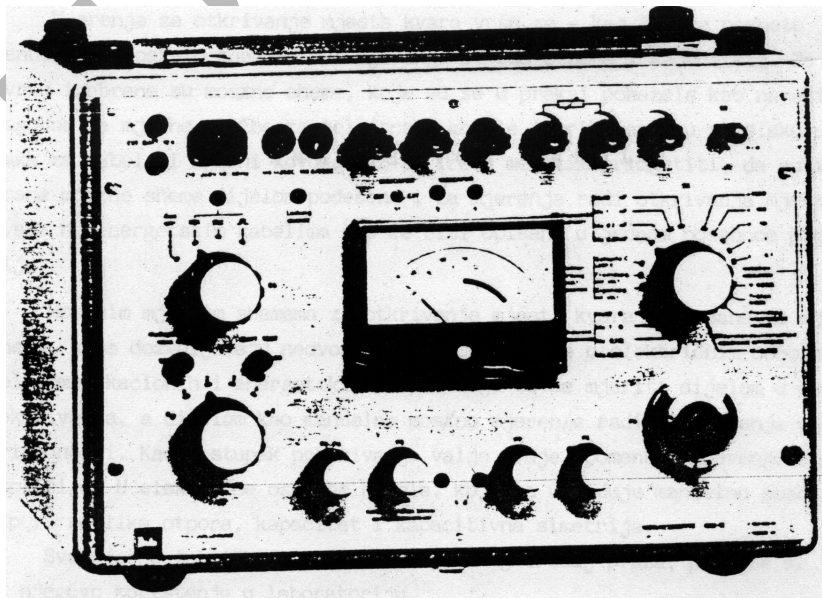
Ovaj instrument, profesionalne izrade, neizostavan je kod pogonskih i završnih mjerenja primarnih parametara telekomunikacijskih kabela. Određivanje mjesta kvara na kabelu, najveća je odlika mjernog kovčega, a određuje se mjerenjem otpora i kabela uporabom mosnih spojeva. Iz velikog broja postojećih mosnih spojeva odabiru se oni, koji su se u praksi pokazali najdjelotovnijima. Veliki broj mjernih slogova predstavljaju oni spojevi, koji se odnose na određivanje mjesta kvara na telekomunikacijskim kabelima. U mnogim tehničkim pojedinostima korištena su iskustva pojedinih mosnih spojeva.

Jedan od najstarijih mjernih kovčega, korištenih u nas, je svakako instrument EFK-1 proizvod tvornice "Hartman & Braun. Kabelski mjerni kovčeg EFK-1 prikazan je slikom 8.1.



Slika 8.24. Mjerni kovčeg "Hartman & Braun" EFK-1

Modernija izvedba kabelskog mjernog kovčega, predstavljena je instrumentom KMK-VI tvornice "Felten & Guilleame. Ovaj kabelski kovčeg je tako konstruiran, da se s minimumom posluživanja mogu obaviti mjerenja u nizu, koja se kod mjerne ekipe ta telekomunikacijske kabele često nastavljaju jedno za drugim. Mosnim metodama za otkivanje mjesta kvara pridane su mjerne sheme koje dozvoljavaju nedvosmisleno pokazivanje električnih parametara kabela, koji se djelomice mjere u obliku direktnog pokazivanja, a djelomice kao ručno mosno mjerenje radi utvrđivanja mjerene vrijednosti. Ovaj mjerni kovčeg prikazan je slikom 8.25.



Slika 8.25. Kabelski mjerni kovčeg "Felten & Guilleame" KMK-VI

Jedan od najmodernijih mjernih kovčega je Uređaj za testiranje kabela KMK7 tvornice Seba-Dynatronic, To je kompjuteriziran, automatski balansiran mjerni most za određivanje udaljenosti mjesta greške s ugrađenim test-programima za kontrolu (održavanje) kabela. Najveća prednost ovog instrumenta je kontinualno automatsko podešavanje mosta i mogućnost povezivanja s PC računalom za pohranu i obradu izmjerenih rezultata.

KMK7 je mali (portable), masivni instrument jednostavan za rukovanje. Mjerni most za lokaciju greške proširen je mjernim programima koji daju jasan prikaz karakteristika telekomunikacijskog ili energetskog kabela koji se testira i prikazivanje mjesta greške na LCD (displej na bazi tekućih kristala).

Programi za kontrolu kabela uključuju mjerenje otpora izolacije, otpora petlje i razliku otpora, kapaciteta, kapacitivne asimetrije te napona smetnji (interferencije) kako izmjenične tako i istosmjernje struje. Pojedina mjerenja se odabiru iz glavnog izbornika, dok se mjerenje otpora izolacije, otpora petlje i DC lokacija greške mogu pozvati direktno odgovarajućom tipkom na tastaturi.

Kabelski mjerni kovčeg je prikazan slikom 8.26.



Slika 8.26. Kabelski mjerni kovčeg "Sebatel" KMK 7

Za sve tipova mjernih kovčega priložene su potrebne upute za rukovanje, tako da se korisnik ove vrste instrumenata mora obavezno upoznati s njima i izvježbati se u uporabi. Također je važno napomenuti da su osnovne mjerne sheme prikazane na poklopcu kovčega.