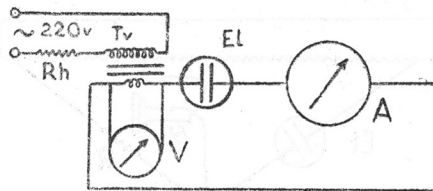


## MOST SA SUHIM ISPRAVLJAČKIM STANICAMA ZA MJERENJE OTPORA IZMJENIČNOM STRUJOM

Ž. Štalcer

Otpor se elektrolita određuje u glavnom na dva načina. a) mjerenjem napetosti i jakosti izmjenične struje, koja prolazi kroz elektrolit; i b) uspoređivanjem s poznatim otporom uz upotrebu izmjenične struje.

Određivanje otpora mjerenjem struje, koja uz stalnu napetost prolazi kroz elektrolit, vrlo je jednostavno te se sve više upotrebljava u praksi. No takovo određivanje otpora zadovoljava samo ondje, gdje se ne traži osobita točnost kod određivanja.



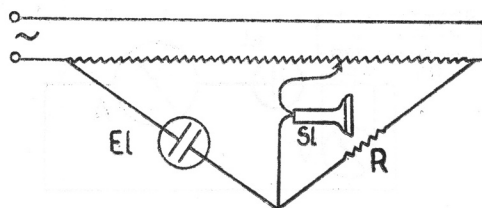
Sl. 1. A = ampermetar, El = posuda s elektrolitom, Rh = stabilizator  
Tr = transformator

Pogreška je u tom slučaju proporcionalna s promjenom napetosti izmjenične struje za vrijeme mjerenja. Napetost se obično stabilizira pomoću otporne cijevi sa željezom u vodiku (Rh) ili transformatorima za stabilizaciju. Stabilizirana napetost mijenja se za najviše  $\pm 0,5\%$  od prosječne vrijednosti. Prema tome će i pogreška nastala mjerenjem struje iznositi isto toliko. Ako se uzme u obzir, da povišenje temperature od  $1^\circ$  prouzrokuje kod elektrolita pad otpora za cca.  $2\%$ , vidi se, da će promjena otpora prilikom mjerenja uz upotrebu prosječnih termostata ( $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ) uzrokovana promjenom temperature elektrolita biti po prilici iste veličine ( $\pm 0,2\%$ ).

Velika je prednost toga načina, što se otpor može u svako vrijeme direktno očitati sa instrumenta.

Kod određivanja otpora elektrolita uspoređivanjem još se i danas najviše upotrebljava Wheatstoneov most. Upotrebom slušalica kao nul-instrumenta (Kohlrausch-ov most) postiže se, uz dobar generator izmjenične struje zvučne frekvencije točnost mjerenja od oko  $1\%$  ukupno mjenog otpora. Traženje nul-točke traje desetak sekundi, što smeta osobito kod konduktometrijske titracije. U prostorijama s jakim šumom rad je praktički nemo-

guć. Stoga se nastojalo umjesto slušalica upotrijebiti praktičniji nul-instrument. Vibracioni galvanometri i mehanički komutatori struje kod stalne frekvencije daju rezultate, koji zadovoljavaju. Kod radova sa frekvencijom iznad 1.000 Hz nisu ti aparati više pouzdani. Detektori s kristalom vrlo su nepouzdana i ako se pomoću njih uz upotrebu osjetljivih galvanometara mogu vršiti vrlo precizna mjerenja. U novije se vrijeme izrađuju tvornički aparati za mjerenja otpora izmjeničnom strujom, koji su neovisni od frekvencije struje. Kod tih je aparata upotrijebljeno tzv. magično oka koje upotrebljava se i Braunova cijev, na kojoj se može u uskom području direktno očitati nastala promjena otpora. Uz navedene se metode uvijek izmjenična struja prethodno pojača elektronskim pojačalima.



Sl. 2.

El = elektrolit

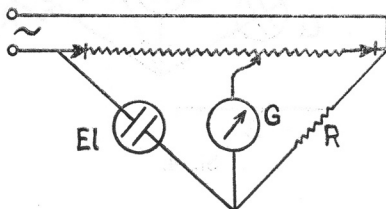
Sl = slušalica

Niti jedan od aparata za mjerenje otpora izmjeničnom strujom nije tako jednostavan i točan kao Wheatstone-ov most za mjerenje otpora istosmjernom strujom. Kod Wheatstone-ovog mosta za istosmjernu struju mogu se kao nul-instrumenti upotrebljavati galvanometri velike osjetljivosti ( $1^{\circ} = 10^{-9}$  amp.), a otklon je nul-instrumenta proporcionalan promjeni i smislu promjene otpora.

Budući da sam trebao da izvršim niz preciznih mjerenja otpora elektrolita, tražio sam metodu, koja bi mi najbolje odgovarala. Tokom raznih pokusa s aparatima, koji su mi stajali na raspolaganje, odustao sam od daljnjih pokusa i nastojao naći aparat, pomoću kojega bi se mogla vršiti precizna mjerenja i bez upotrebe specijalnih instrumenata. Nakon niza uređaja postigao sam dobre rezultate s relativno jednostavnim aparatom. Aparat radi s izmjeničnom strujom od 0—10000 Hz, dakle i sa istosmjernom strujom. Visina upotrijebljene frekvence ograničena je smetnjama, koje u ispravljačkim stanicama dolaze do izražaja kod navedene frekvence. Kod specijalnih stanica nastaju smetnje tek kod frekvence iznad 1.000.000 Hz (sirutori, westectori). Kao nul-instrument služi osjetljivi galvanometar. Točnost

mjerenja ovisi o otporu stanica i o struji, na koju galvanometar još reagira. Manje promjene otpora mogu se direktno očitati s galvanometra s istom točnošću kao i kod Wheatstone-ovog mosta za istosmjernu struju. Na taj način postaju mjerenja izmjeničnom strujom jednako točna i jednostavna kao i mjerenja otpora istosmjernom strujom. Tokom rada nastao je cijeli niz u biti istih shema.

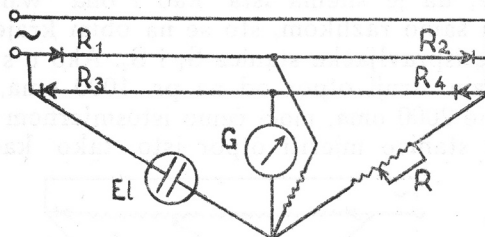
Najjednostavnija je shema sa svega dvije ispravljačke stanice. Vidi se, da je shema ista kao i ona Wheatstone-ovog mosta, s tom samo razlikom, što se na obim krajevima žičanog otpora nalaze ispravljačke stanice  $S_1$  i  $S_2$ . Ako u smjeru  $S_1 - S_2$  stanice pružaju struji otpor od na pr. 1000 oma, a otpor žice između njih je 2000 oma, moći ćemo istosmjernom strujom, koja prolazi kroz stanice mjeriti otpor isto tako kao i s Wheat-



Sl. 3.

stone-ovim mostom. Klizni kontakt ne ćemo moći pomaknuti potpuno na lijevo niti potpuno na desno zbog ondje smještenih stanica. To međutim nije nikakova pogreška budući da se zbog točnosti mjerenja ne upotrebljava krajnja desna niti krajnja lijeva strana otporne žice. Ako na pr. otpor  $R$  iznosi 1000 oma, mogu se na mostu mjeriti svi otpori od 333—3000 oma. Ako sada provodimo struju u suprotnom smjeru  $S_2 - S_1$  kroz most, otpor će stanica biti 1000 puta veći, dakle 1,000.000 oma. Uslijed toga će teći samo vrlo slaba struja kroz cijelu granu, u kojoj su smještene stanice. Ako umjesto istosmjerne struje upotrijebimo izmjeničnu struju, aparat će praktički raditi samo za vrijeme jedne polovice periode i to kao Wheatstone-ov most. U drugoj polovini periode kroz granu mosta, u kojoj su smještene stanice prolaziti će samo minimalna struja (cca  $5 \cdot 10^{-7}$  amp.). Kroz elektrolit, čiji otpor mjerimo kao i kroz otpor  $R$ , prolazi u oba smjera struja iste jakosti. Kod preciznih mjerenja s vrlo osjetljivim galvanometrom ometat će struja, koja prolazi kroz stanice u smjeru zaustave, točna mjerenja, budući da se je promijenio odnos otpora desne i lijeve grane sa stanicama. Ukupni otpor grane sa stanicama iznositi će sada  $10^6 + 2000 + 10^6$  oma. Kako se vidi, odnos desne naprama lijevoj strani u glavnom je određen otporom stanica i prilično neovisan o položaju kliznog kontakta.

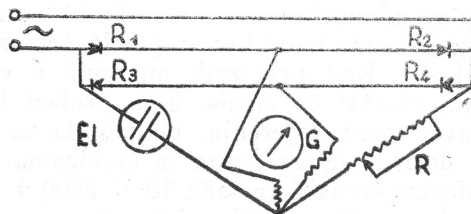
Te se smetnje daju potpuno isključiti, ako klizni kontakt postavimo točno na sredinu mosta, a mijenjamo samo otpor za uspoređivanje (sl. 4). U tom slučaju promjenom otpora stanica, uslijed promjene smjera struje, ne će doći do promjene odnosa otpora lijeve i desne grane, budući da se otpori desne i lijeve strane jednako mijenjaju. Vrlo je važno, da obje stanice jednako mijenjaju otpor promjenom smjera, učestalosti i napona struje, što se postiže dobrim izborom i naknadnom obradom stanica.



- 2 -

Sl. 4.

Upotrijebimo li ovakav most za direktno očitavanje malih promjena otpora na pr. kod konduktometrijske titracije, teći će kroz elektrolit slaba istosmjerna struja, koja dolazi kroz galvanometar. Ta se smetnja uklanja tako, da se paralelno s ispravljačkim stanicama na krajeve mosta spoji drugi par stanica u suprotnom smjeru ( $R_3$  i  $R_1$ ). Sredina te nove grane spaja se kroz otpornik čiji je otpor jednak otporu galvanometra s točkom, u kojoj se spajaju otpor  $R$  i kraj galvanometra (Sl. 4). Uslijed toga kroz sistem prolazi izmjenična struja bez istosmjerne komponente i u onom slučaju, kad kroz galvanometar prolazi slaba istosmjerna struja. Kod niske frekvence (gradska struja) kazaljka galvanometra često titra uslijed prolaza pulzirajuće struje. Da bi se to izbjeglo, spaja se galvanometar pomoću otpora tako, da struja u obje poluperiode prolazi kroz njega istim smjerom (slika 5.). Bilo bi svakako najbolje upotrijebiti

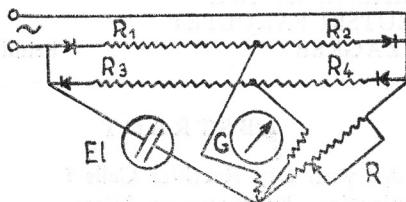


Sl. 5.

galvanometar s dva odvojena namota pomoću kojega bi se dostigla osjetljivost mosta za mjerenja otpora istosmjernom strujom.

Aparat izrađen prema sl. 5 pokazao se kao praktičan i točan u radu.

Kod izvedbe osobito preciznih modela pojavile su se poteškoće uslijed pomanjkanja većeg broja ispravljačkih stanica, jer nisam mogao naći 4 približno jednake stanice (od svega 8 što su mi stajale na raspolaganju). Smetnja, koja je time nastala, dala se otkloniti time, što sam serijski sa stanicama ukopčao otpor 50 puta veći od otpora stanice (sl. 6). Ako su naime otpori  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  i  $R_4$  sastavljeni samo od ispravljačkih stanica i ako te stanice promjenom napetosti različito mijenjaju otpor, dobiti ćemo kod promjene napetosti izvora struje pogrješku, koja je u našem slučaju iznosila cca 0,5% od ukupno mjenjenog



Sl. 6.

otpora. Nakon što sam u istu granu sa stanicama stavio otpor, koji je bio 50 puta veći od otpora stanica, promjenom odnosa otpora stanica pogrješka kod mjerenja iznosila je 50 puta manje zbog toga, što se omski otpor nije mijenjao promjenom napetosti, a promjena otpora stanica bila je prema ukupnom otporu vrlo malena. Na taj sam način postigao točnost mjerenja od cca 0,1% od ukupno mjenjenog otpora. Budući da je minimalna napetost kod kojega su stanice još dobro radile iznosila oko 0,2 volta, morao sam upotrijebiti napetost od 20 volta, da bi još na svaku stanicu došla napetost od 0,2 volta. Pokusna mjerenja sa promjenom napetosti gradske mreže od 10% (20 V.) potvrdila su moju pretpostavku.

Pokusna mjerenja sa raznim elektrolitima dala su rezultate koji zadovoljavaju. Pogrješke kod učestalih mjerenja istoga elektrolita bile su uzrokovane u glavnom promjenom temperature termostata, budući da je termostat održavao temperaturu sa točnošću od svega  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ . Mjerenja sa Siemens-ovim bifilarno motanim precizionim manganin-otpornikom pokazala su, da se kod otpora od 1000 oma registrira sa sigurnošću promjena otpora od 0,1 oma. Osobito su se lijepo dale provesti konduktometri-

ske titracije. Vršeni su i pokusi za mjerenje kapaciteta i induktiviteta, koji su dokazali, da se navedeni aparat daje uz male promjene i u tu svrhu vrlo dobro upotrijebiti.

#### ZAKLJUČAK

1. Opisan je novi most za mjerenje otpora izmjeničnom strujom od 0—10<sup>6</sup> Hz.
2. Karakteristika je mosta poseban raspored uključivanja ispravljačkih stanica, a prednost jednostavnom i pouzdanost pri radu.
3. Most u sebi sjedinjuje osjetljivost i jednostavnost mosta za mjerenje otpora istosmjernom strujom s mogućnostima, koje su dane upotrebom izmjenične struje od 0—10<sup>6</sup> Hz.

ZAVOD ZA ANORGANSKU, ANALITIČKU  
I FIZIKALNU KEMIJU  
FARMACEUTSKI FAKULTET  
ZAGREB

Primljeno 4. rujna 1949.

#### ABSTRACT

**A Bridge with Dry Rectifier Cells for Resistance  
Determinations by Means of Alternating Current**

by

Ž. Štalcer

A new bridge for the determination of resistance by means of alternating current of 0—10<sup>6</sup> Hz is described. The bridge is characterized by a special arrangement (see the figures) of rectifier cells; it has proved simple in operation and gives exact results while combining the simplicity of Wheatstone's bridge for direct current with the possibilities offered now by the use of alternating currents of 0—10<sup>6</sup> Hz.

INSTITUTE FOR INORGANIC, ANALYTICAL  
AND PHYSICAL CHEMISTRY  
FACULTY OF PHARMACY  
ZAGREB, CROATIA

[Received, September 4, 1949]