

Univerzitet u Beogradu
Elektrotehnički fakultet
Katedra za Mikroelektroniku i tehničku fiziku

Uputstvo za izradu laboratorijske vežbe

Predmet: Senzori i pretvarači

Naziv vežbe:

MERENJE ELEKTRIČNE PROVODLJIVOSTI RASTVORA ELEKTROLITA

Profesor:

prof. dr Peđa Mihailović

Saradnici:

Željko Janićijević

Petar Atanasijević

Beograd, maj 2020.

Teorijske osnove

Električna provodljivost elektrolita je mera sposobnosti elektrolita da obezbedi protok električne struje. Vrednost električne provodljivosti rastvora elektrolita zavisi od tipa elektrolita, koncentracije elektrolita i temperature.

Elektroliti se tipično dele na dva tipa prema stepenu disocijacije u rastvoru: **jake elektrolite** i **slabe elektrolite**. Pod disocijacijom se podrazumeva reverzibilno razlaganje molekula na jone u prisustvu molekula rastvarača.

Jaki elektroliti u rastvoru približno potpuno disosuju u jone. U razblaženim rastvorima električna provodljivost rastvora je direktno proporcionalna koncentraciji elektrolita. Međutim, pri velikim koncentracijama elektrolita, električna provodljivost dostiže plato koji je definisan graničnim provodljivostima za odgovarajuće jone.

Slabi elektroliti nikad ne disosuju u potpunosti u jone. Stepem disocijacije ovih elektrolita raste sa razblaženjem rastvora, pa je zavisnost njihove električne provodljivosti od koncentracije inherentno nelinearna. Koncentracija jona u rastvoru slabih elektrolita je uvek manja od odgovarajuće koncentracije elektrolita, i može se odrediti ukoliko je poznata konstanta disocijacije elektrolita.

U razblaženim rastvorima elektrolita, putanje jona su približno nezavisne i električna provodljivost raste zakonomerno sa porastom koncentracije u skladu sa tipom i koncentracijom elektrolita. Pri povećanju koncentracije, srednje rastojanje između katjona i anjona se smanjuje dovodeći do porasta intenziteta interjonskih interakcija. Interjonske interakcije ograničavaju i modulišu kretanje jona, što doprinosi saturaciji ili opadanju električne provodljivosti.

U većini slučajeva električna provodljivost rastvora elektrolita raste sa povećanjem temperature. Joni na višim temperaturama poseduju veću kinetičku energiju i uobičajeno se kreću kroz rastvor manje dinamičke viskoznosti. Dakle, porast električne provodljivosti se u ovom slučaju može pripisati poboljšanju pokretljivosti jona u rastvoru.

Merenje električne provodljivosti rastvora

Merenje električne provodljivosti rastvora elektrolita se izvodi posredno putem merenja otpornosti rastvora između dve pločaste ili cilindrične elektrode koje se nalaze na fiksnom rastojanju. U standardnoj postavci (v. sliku 1), elektrode uronjene u rastvor elektrolita se nalaze na rastojanju od 1 cm i priključuju se na naizmjenični sinusoidalni napon frekvencije 1 - 3 kHz da bi se izbegao efekat elektrolize, odnosno razlaganja hemijskog jedinjenja pod uticajem jednosmerne struje. Instrument koji se koristi za merenje otpornosti rastvora između elektroda naziva se **konduktometar**.

Električna otpornost R uzorka materijala je data sledećim izrazom:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

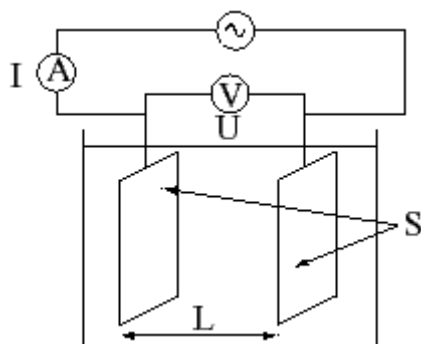
gde je ρ specifična električna otpornost, L dužina, a S površina poprečnog preseka uzorka.

S obzirom da se linije električnog polja prostiru unutar čitave zapremine rastvora elektrolita, navedeni izraz se ne može primeniti direktno na geometriju ćelije konduktometra. Da bi se prevazišao problem složene geometrije i izbegla dodatna određivanja efektivnih vrednosti L i S , obavlja se kalibracija konduktometra referentnim rastvorom poznate specifične električne otpornosti ρ^* (koja je dualna električnoj provodljivosti). Na osnovu izmerene otpornosti referentnog rastvora R^* može se izračunati efektivna vrednost količnika L/S koja se označava sa K i naziva se **konstantom ćelije**. Dakle, za opšti slučaj ćelije konduktometra pri kalibraciji referentnim rastvorom važi sledeća relacija:

$$R^* = \rho^* \cdot K.$$

Električna provodljivost nepoznatog rastvora elektrolita σ , može se odrediti na osnovu prethodne relacije kao:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{K}{R}.$$

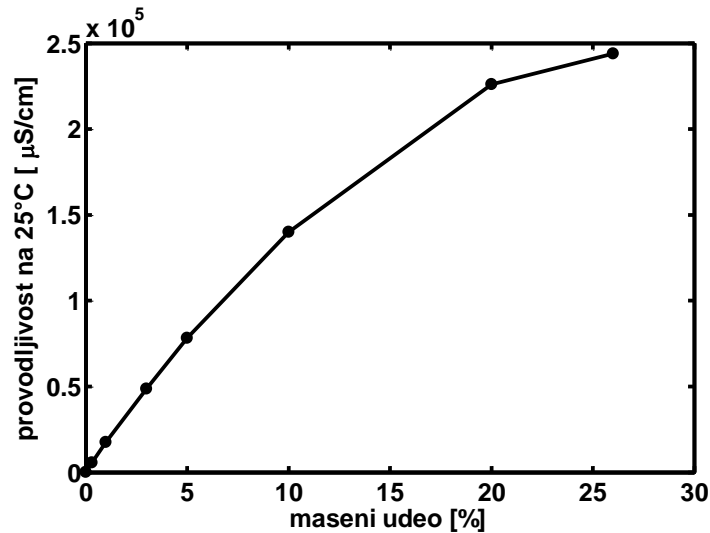


Slika 1. Šematski prikaz ćelije konduktometra

Jedinica u SI sistemu za merenje električne provodljivosti je S/m, dok se u industrijskim primenama tradicionalno koristi jedinica $\mu\text{S}/\text{cm}$. Merenje električne provodljivosti se rutinski upotrebljava u industriji kao brz, jeftin i pouzdan metod provere jonskog sadržaja rastvora. Tipičan primer industrijske primene je monitoring prečišćavanja vode. Dejonizovana voda visokog kvaliteta ima električnu provodljivost od oko $5.5 \mu\text{S}/\text{m}$, standardna voda za piće ima električnu provodljivost od $5 - 50 \text{ mS}/\text{m}$, a morska voda ima električnu provodljivost od $5 \text{ S}/\text{m}$.

Tabelarne vrednosti za električnu provodljivost rastvora elektrolita određene koncentracije se prema standardu odnose na referentnu temperaturu od $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Bez obzira na temperaturu rastvora elektrolita, zbog poređenja se rezultat merenja iskazuje kao ekvivalentna električna provodljivost na temperaturi od $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Na temperaturama bliskim sobnoj, temperaturna zavisnost se često kompenzuje linearnom relacijom koja predviđa porast električne provodljivosti sa temperaturom od $2 \text{ } \%/^\circ\text{C}$.

Primer tipične zavisnosti električne provodljivosti od koncentracije za slučaj vodenog rastvora NaCl dat je na slici 2.



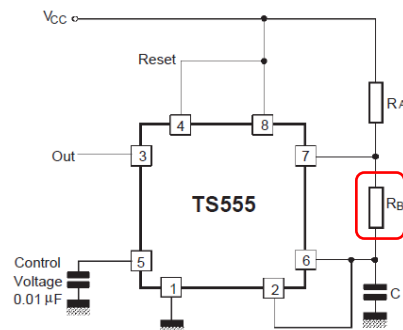
Slika 2. Kriva zavisnosti električne provodljivosti vodenog rastvora NaCl od koncentracije

Merenje električne provodljivosti rastvora elektrolita konduktometrom na bazi TS555 astabilnog multivibratora

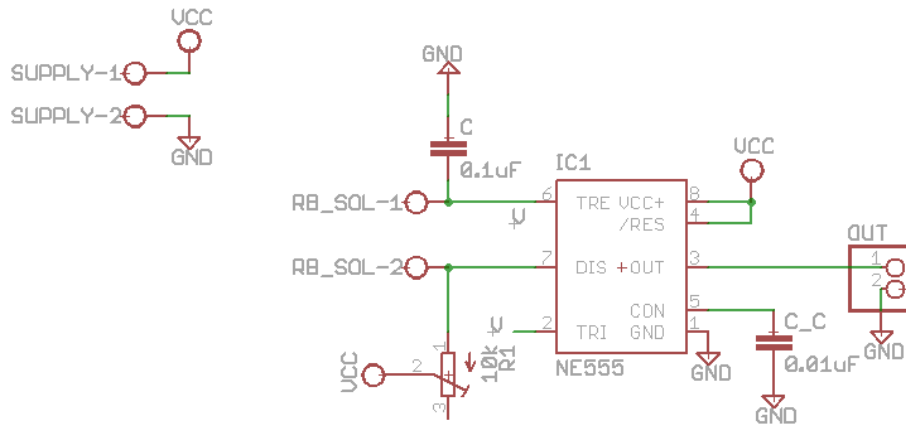
Princip rada senzora

Standardna metoda merenja električne provodljivosti rastvora elektrolita zasnovana je na primeni naizmeničnog napona i merenju struje u kolu koje sadrži rastvor elektrolita. Međutim, postoje i alternativne metode merenja provodljivosti. U laboratorijskoj vežbi upotrebljava se senzor provodljivosti čiji se princip rada zasniva na modulaciji **faktora ispunjenosti** i **frekvencije impulsa** astabilnog multivibratora. Pod faktorom ispunjenosti podrazumeva se procenat periode impulsa u kojoj je signal na visokom nivou, u odnosu na širinu celog impulsa.

Astabilni multivibrator na bazi TS555 tajmerskog kola koristi tri pasivne komponente za podešavanje faktora ispunjenosti i frekvencije pravougaonog impulsa na izlazu. Te komponente su otpornici R_A i R_B i kondenzator C (v. sliku 3). Za svrhu merenja provodljivosti otpornik R_B će biti zamenjen ćelijom konduktometra (v. sliku 4).



Slika 3. Osnovna šema 555 astabilnog multivibratora. Otpornik R_B (crveni okvir) u šemi će zameniti otpornost ćelije konduktometra.



Slika 4. Električna šema senzora za merenje provodljivosti rastvora elektrolita na bazi TS555 astabilnog multivibratora

Frekvencija pravougaonog impulsa f je data izrazom:

$$f = \frac{1.44}{(R_A + 2R_B)C}$$

dok je faktor ispunjenosti impulsa D (*duty cycle*) dat relacijom:

$$D = \frac{R_A + R_B}{R_A + 2R_B}.$$

Spisak materijala za laboratorijsku vežbu

- protobord sa postavljenim električnim kolom astabilnog multivibratora
- sonda konduktometra sa elektrodama od nerđajućeg čelika
- plastična cilindrična posuda
- demineralizovana ili dejonizovana voda
- kalibracioni rastvor poznate električne provodljivosti
- kuhinjska so
- kafena kašika

Procedura merenja

Procedura merenja se može podeliti u dva stupnja:

Kalibracija:

- 1) Priključiti protobord na napajanje $V_{cc} = 3$ V (dve AA baterije)
- 2) Povezati izlaz multivibratora sa jednim kanalom osciloskopa
- 3) Isprati sondu i posudu demineralizovanom vodom
- 4) Sipati 20 ml kalibracionog rastvora u posudu
- 5) Pričvrstiti sondu uz dno posude

- 6) Očitati vrednosti f i D sa ekrana osciloskopa
- 7) Ponoviti postupak 2)

Merenje:

- 1) Sipati 20 ml demineralizovane vode u posudu
- 2) Rastvoriti pola kafene kašike soli u demineralizovanoj vodi
- 3) Pričvrstiti sondu uz dno posude
- 4) Očitati vrednosti f i D sa ekrana osciloskopa
- 5) Dvostruko razblažiti rastvor soli (odbaciti višak razblaženog rastvora, tako da ukupna zapremina u posudi bude 20 ml)
- 6) Pričvrstiti sondu uz dno posude
- 7) Očitati vrednosti f i D sa ekrana osciloskopa
- 8) Isprati sondu demineralizovanom vodom
- 9) Ponavljati postupke 5) – 8) dok se ne obave merenja na predviđenom opsegu koncentracija
- 10) Isprati sondu i posudu demineralizovanom vodom

Na samom kraju, proveriti vrednost električne provodljivosti vode za piće iz vodovoda i uporediti je sa vrednostima iz mernog opsega.

Obrada rezultata merenja

Na osnovu očitanih vrednosti f i D sa ekrana osciloskopa, i poznatih vrednosti otpornosti i kapacitivnosti, moguće je odrediti otpornost R_B koja odgovara ćeliji konduktometra. Nakon određivanja vrednosti ekvivalentnog otpora ćelije konduktometra, moguće je odrediti električnu provodljivost rastvora elektrolita ako je poznata numerička vrednost konstante ćelije.

Vrednost konstante ćelije se izračunava na osnovu referentnog merenja ekvivalentne otpornosti ćelije konduktometra u slučaju kada je ona ispunjena standardnim rastvorom elektrolita poznate električne provodljivosti.

Nakon konverzije rezultata merenja u vrednosti električne provodljivosti, mogu se nacrtati odgovarajuće zavisnosti električne provodljivosti od frekvencije i faktora ispunjenosti impulsa.

Zadaci vežbe

1. Izračunati vrednost konstante ćelije konduktometra na osnovu kalibracionog merenja frekvencije i faktora ispunjenosti impulsa.
2. Izvesti opšte izraze za konverziju rezultata merenja (frekvencije i faktora ispunjenosti impulsa) u vrednosti električne provodljivosti.
3. Nacrtati krive zavisnosti električne provodljivosti od faktora ispunjenosti impulsa i frekvencije izlaznog signala. Ose na grafiku moraju imati jasno naznačene oznake i opseg numeričkih vrednosti.

4. Ukratko prokomentarisati dobijene krive zavisnosti iz 3. zadatka u kontekstu osetljivosti i linearnosti senzora. Ako kao kriterijume kvaliteta posmatramo samo osetljivost i linearnost senzora, da li je bolje pratiti promenu frekvencije ili faktora ispunjenosti impulsa?

Odgovore na zadatke vežbe napisati u sažetoj formi prema navedenom redosledu i priložiti u obliku kratkog referata.

Referat sa odgovorima na zadatke vežbe i eventualne sugestije u vezi sa uputstvom za izradu laboratorijske vežbe poslati na adresu: zeljkoj@etf.rs.

Reference

Sadržaj ovog uputstva zasnovan je na informacijama iz sledećih izvora:

1. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/CD00000893.pdf> (tehnička specifikacija TS555 tajmerskog kola), preuzeto 8. aprila 2015.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Conductivity_%28electrolytic%29, preuzeto 8. aprila 2015.
3. <http://myweb.wit.edu/sandinic/Research/conductivity%20v%20concentration.pdf>, preuzeto 8. aprila 2015.
4. Slavko Mentus, "Elektrohemija", Univerzitet u Beogradu, Fakultet za fizičku hemiju, Beograd 2008.

Studenti zainteresovani za detaljnije razmatranje principa rada senzora se upućuju na sledeće linkove:

https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html

<https://www.electronics-tutorials.ws/waveforms/astable.html>