

ZORAN STEVIĆ  
MIRJANA  
RAJČIĆ-VUJASINOVIĆ

Tehnički fakultet u Boru,  
Univerzitet u Beogradu,  
Bor

STRUČNI RAD

541.13.08 + 543.552 + 543.51

## SISTEM ZA ELEKTROHEMIJSKA ISPITIVANJA NA BAZI PC I LabVIEW PAKETA

*U radu je opisan sistem za elektrohemijaska merenja baziran na PC računaru i softverskom paketu LabVIEW. Dat je pregled poznatih elektrohemijaskih metoda i parametara, počev od merenja potencijala i najjednostavnijih (hronopotencijometrija i hronoamperometrija), preko galvanostatske i potencios-tatske metode, Dirakove naponske, nagibne naponske i nagibne strujne ekscitacije pa do ciklične voltametrije i spektroskopije elektrohemijiske impedancije, kao najsloženijih. Poslednja naznačena metoda prilagođena je me-renju na sistemima koji sadrže vrlo visoke kapacitivnosti, što je postalo aktuelno tek sa pojavom elektrohemijaskih superkondenzatora. Za generisa-nje signala i praćenje odziva ispitivanog elektrohemijaskog sistema razvijen je merno-upravljački sistem na bazi PC P4 računara. Hardverski deo pored ra-čunara obuhvata komercijalni AD-DA konvertor i spoljašnji interfejs za obradu analognih signala koji je rezultat sopstvenog razvoja. Platforma za softver za predviđene merne metode bio je paket LabVIEW, koji važi za viso-ki standard u svetu merne tehnike i virtuelnih instrumenata. Razvijeni sistem je baždaren, testiran i poređen sa drugim sistemima. Na Tehničkom fakultetu u Boru u stalnoj je upotrebi jedan ovakav sistem.*

Postoji niz standardnih metoda za ispitivanje elektrohemijaskih sistema [1–10]. Ovde će biti opisana realizacija najvažnijih standardnih metoda na sistemu baziranom na PC računaru i softverskoj platformi LabVIEW.

Merno-upravljački interfejs i softver koji su rezultat sopstvenog razvoja u ovom trenutku omogućavaju primenu sledećih elektrohemijaskih metoda ispitivanja:

1. Merenje potencijala otvorenog kola
2. Hronopotencijometrija
3. Hronoamperometrija
4. Galvanostatska metoda
5. Potencios-tatska metoda
6. Dirakova naponska ekscitacija
7. Nagibna strujna ekscitacija
8. Nagibna naponska ekscitacija
9. Ciklična voltametrija
10. Spektroskopija elektrohemijiske impedancije

Posebno treba istaći spektroskopiju elektrohe-mijiske impedancije (electrochemical impedance spe-ctroscopy – EIS), kod koje su postignute performanse koje se analognom tehnikom nisu mogle postići (do-nja granična učestanost je  $1\mu\text{Hz}$ ) [11].

### HARDVER

Za generisanje signala i praćenje odziva ispiti-vanog elektrohemijaskog sistema razvijen je merno-upravljački sistem na bazi PC P4 računara. Hardverski deo pored računara obuhvata komercijal-

ni ADDA konvertor i spoljašnji interfejs za obradu analognih signala [12–14].

Za ADDA konverziju upotrebljen je komerci-jalno dostupan konvertor Burr-Brown PCI-20428 W [15]. On sadrži 16 analognih ulaznih kanala sa 12-bitnom konverzijom i dva analogna izlazna kanala, ta-kođe sa 12-bitnom konverzijom.

**Merni interfejs** je sklop koji je za potrebe na-ponskih i strujnih ispitivanja elektrohemijaskih sistema bilo neophodno dizajnirati sa sledećim karakteristi-kama:

- dva upravljačka naponska ulaza  $\pm 10\text{ V}$
- jedan merni strujni ulaz  $\pm 20\text{ mA}$
- jedan naponski izlaz  $\pm 10\text{ V}$  za ulaznu struju  $\pm 20\text{ mA}$
- jedan naponski izlaz za praćenje referentnog poten-cijala
- otpornost ulaza za referentnu elektrodu veća od  $10^{12}\ \Omega$
- jedan troelektrodni izlaz za elektrohemijasku ćeliju sa ručnim izborom:
  - naponski u opsegu  $\pm 1\text{ V}$  ili  $\pm 10\text{ V}$  sa mogućnošću superponiranja malog signala u opsegu  $\pm 10\text{ mV}$
  - strujni u opsegu  $\pm 1\text{ A}$

Navedeni zahtevi ostvareni su sklopom čija je blok šema data na slici 1.

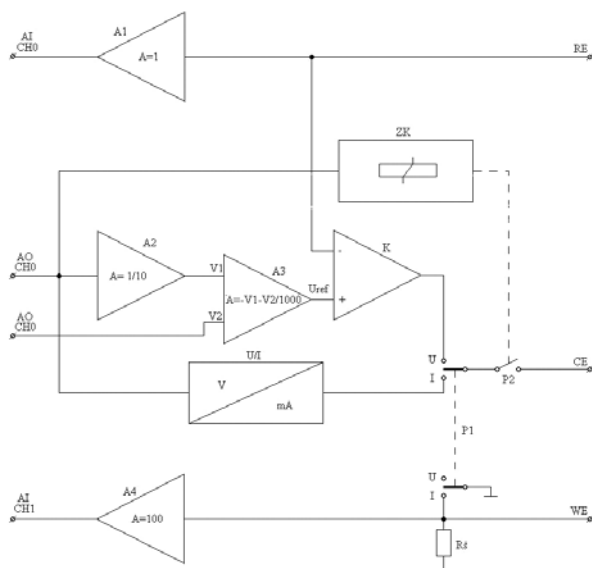
Zadati oblik naponskog signala dovodi se sa analognog izlaza – kanal 0 (AO – CH0) na oslabljivač  $A_2$  i posle deljenja sa 10 sabira sa drugim upravljač-kim naponom (AO – CH1) oslabljenim 1000 puta, ta-ko da se na izlazu sabirača  $A_3$  formira  $U_{\text{ref}} = -V_1 - V_2/1000 = -V_{\text{CH0}}/10 - V_{\text{CH1}}/1000$  čime se postiže mogućnost izlaza  $\pm 1\text{ V}$  (ili  $\pm 10\text{ V}$ , ako se premosti oslabljivač  $A_2$ ) sa superponiranim  $\pm 10\text{ mV}$  (za uprav-ljačke napone  $\pm 10\text{ V}$ ). Izlazni pojačavač – kompara-tor K postavlja taj isti napon na svom izlazu u odnosu na referentnu elektrodu (RE). Radna elektroda (WE) je praktično uzemljena (preko mernog otpornika Rš),

Adresa autora: Z. Stević, Univerzitet u Beogradu, Tehnički fakultet u Boru, Ul. VJ 12, 19210 Bor

E-mail: zstevic@tf.bor.ac.yu

Rad primljen: Januar 20, 2006.

Rad prihvaćen: Mart 20, 2006.



Slika 1. Blok šema interfejsa  
Figure 1. Block scheme of the interface

pa se zato kontraelektroda (CE) negativno polarise kada se želi pozitivna polarizacija radne u odnosu na kontra elektrodu.

Zaštitno kolo (ZK) prati napon na AO-CH0 i drži isključen kontakt releja (P<sub>2</sub>) do inicijalizacije AD-DA ploče i uspostavljanja radnog režima. Na taj način je merna ćelija zaštićena od nekontroliranih struja do inicijalizacije sistema, odnosno startovanja ekscitacije.

Za slučaj strujnog režima predviđen je konvertor (U/I) čiji odnos 100 mA/1V obezbeđuje izlaznu struju  $\pm 1$  A za upravljački napon  $\pm 10$  V. Izbor režima vrši se ručno preklopnikom P1. Podsklopovi opisane blok šeme standardno su izvedeni, uz posebnu pažnju posvećenu ulaznoj otpornosti priključka RE.

Za postizanje velike ulazne otpornosti pojačavači A1 i K posebno su izvedeni na jednoj odvojenoj pločici, a upotrebljeni su operacioni pojačavači sa velikom ulaznom otpornošću.

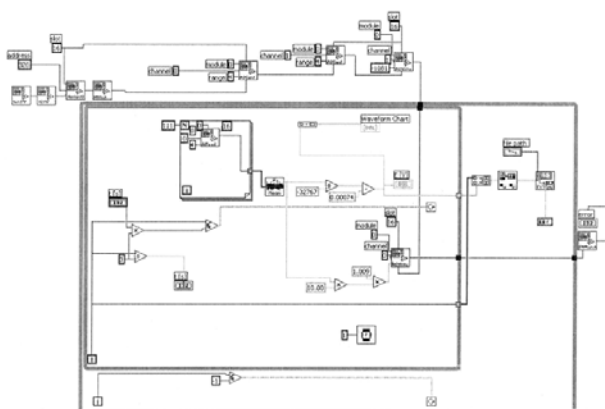
## SOFTVER

Platforma za pisanje aplikacija za predviđene merne metode bio je paket LabVIEW (National Instruments) [16–20], koji važi za visoki standard u svetu merne tehnike i virtuelnih instrumenata. LabVIEW je baziran na principu virtuelnih instrumenata sa grafičkim korisničkim interfejsom. To znači da programer aplikacije bira ponuđene "instrumente" za ulaz, obradu i izlaz signala, a takođe i za grafičke prikaze za snimanje rezultata. Paket sadrži ulazne jedinice sa izborom pojačanja, digitalne filtre, limitere, "prozore" učestanosti, generatore standardnih oblika napona, analizador spektra, FFT (brza Furijeova transformacija), aritmetičke operacije, integrator, diferencijator, komparatore, vremenska kašnjenja i mnoge druge blokove (virtuelne instrumente).

- Grafički korisnički interfejs ima dva prozora:
- Kontrolni panel – za kontrolu i praćenje procesa
  - Šema aplikacije – prikazuje upotrebljene virtuelne instrumente, veze između njih, tok signala i detekciju grešaka.

## Šema aplikacije

Korišćenjem grafičkog interfejsa uradene su aplikacije za sve navedene elektrohemijske metode, a na slici 2, kao primer, prikazana je šema aplikacije u LabVIEW paketu za galvanostatsku metodu.



Slika 2. Dijagram aplikacije za galvanostatsku metodu  
Figure 2. Application diagram for the galvanostatic method

U delu inicijalizacije upotrebljeni su sledeći blokovi:

- Init SW** – softverska inicijalizacija
- 428W** – inicijalizacija ploče
- AssignIO** – naznačenje ulaza–izlaza
- HW Init** – hardverska inicijalizacija
- Slot** – izbor slotu adrese ploče
- Address** – izbor adrese u okviru slotu
- AO Conf** – konfiguracija izlaza
- Channel** – broj kanala
- Module** – broj modula
- Range** – opseg napona (= 4 za  $\pm 10$  V)

Očitavanje napona vrši se na kanalu AI CH0 i posle usrednjavanja, korigovanja i umanjenja za uneti mirujuć napon ( $E_{\text{mir}}$  [V]) dobija se nadnapon kao odziv na galvanostatsku ekscitaciju. On se prikazuje na indikatoru  $\eta$  [V] i na dijagramu u funkciji vremena.

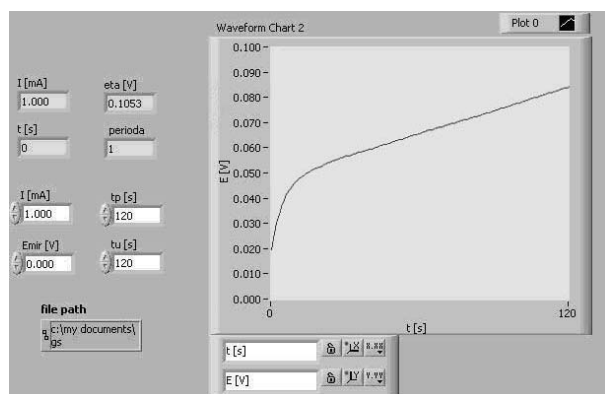
Intenzitet struje zadaje se naponom na izlazu bloka **AOWrite** u odnosu 1 V / 100 mA. Konvertor napona u struju hardverski je rešen u okviru spoljašnjeg interfejsa.

Trajanje galvanostatskog impulsa zadaje se kontrolom  $t_p$  [s], poredi sa aktuelnim vremenom i **IF** blokom definiše kraj impulsa. Merenje relaksacionog nadnapona se nastavlja do dostizanja zadatog ukupnog vremena  $t_u$  [s], kako je to regulisano komparatorima i uslovom za zaustavljanje **WHILE** petlje.

## Kontrolni paneli

### Galvanostatska metoda

Na svim kontrolnim panelima postoje polja za unos zadatih parametara, prikaz aktualnih brojnih vrednosti i grafički prikaz. Na slici 3 prikazan je kontrolni panel za galvanostatsku metodu sa poljima za zadavanje struje,  $I$  [mA], trajanja pulsa,  $t_p$  [s], potencijala otvorenog kola (mirujućeg potencijala),  $E_{\text{mir}}$  [V], ukupnog vremena,  $t_u$  [s], kao i indikatorima aktualne struje, nadnapona i vremena. Na panelu je još i grafički prikaz jednog primera snimljene galvanostatske krive,  $E = f(t)$ . Kriva se odmah pojavljuje na ekranu, a potom se može snimiti pod izabranom putanjom i nazivom fajla. Fajl će sadržati podatke o snimljenoj krivoj tako da se oni mogu kasnije pozvati i prikazati u bilo kom opsegu pojedinačno ili u kombinaciji sa drugim krivama. Moguće je, takođe, očitati koordinate svake tačke na krivoj, postaviti tangentu na deo krive, odrediti njen nagib, odsečak na  $\eta$ -osi i slično.



Slika 3. Kontrolni panel za galvanostatsku metodu  
Figure 3. Control panel for galvanostatic method

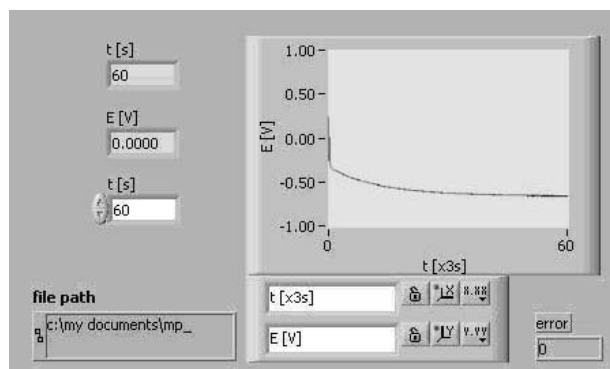
### Merenje potencijala otvorenog kola

Za merenje potencijala radne elektrode, odnosno napona u odnosu na referentnu elektrodu uradenu je aplikacija sa jednim ulaznim kanalom (AI CH0). Predviđeno je da ćelija, odnosno kontraelektroda, bude isključena sa napajanja za vreme merenja potencijala, pa je zato na izlazu za kontraelektrodu (AO CH0) postavljen napon jednak izmerenom ulaznom kako bi se izbegao prelazni režim kod uključivanja ćelije.

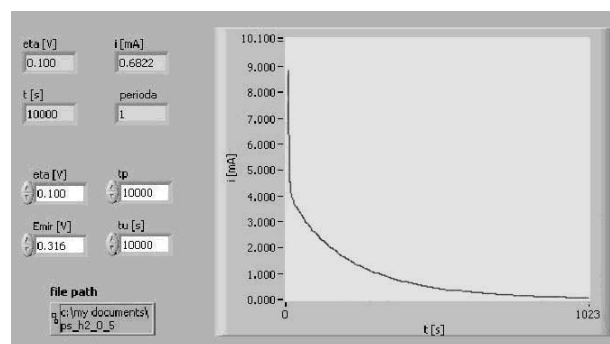
Na slici 4 prikazan je kontrolni panel za merenje potencijala otvorenog kola. Jedini parametar koji se zadaje je trajanje merenja. U toku merenja na cifarskom displeju prikazuje se potencijal  $E$  [V], a trenutna vrednost napona transformiše se u niz i prikazuje kao grafik  $E = f(t)$ . Po završenom merenju dobijeni podaci se snimaju na definisanu adresu.

### Potenciostatska metoda

Na slici 5 prikazan je kontrolni panel za potenciostatsku metodu sa poljima za zadavanje intenziteta



Slika 4. Kontrolni panel za merenje potencijala otvorenog kola  
Figure 4. Control panel for open circuit potential measurement



Slika 5. Kontrolni panel za potenciostatsku metodu  
Figure 5. Control panel for potentiostatic method

i trajanja naponskog impulsa, potencijala otvorenog kola i ukupnog vremena, kao i indikatorima aktualnih veličina, uz grafički prikaz  $I = f(t)$ .

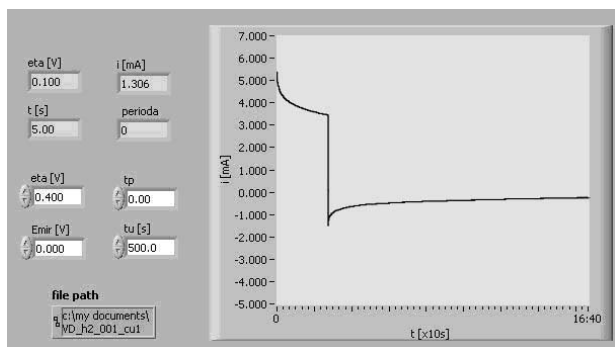
Pošto se radi sa dužim vremenima, prihvatljivo je jedno očitavanje u sekundi što dozvoljava veće usrednjavanje a time i tačnije merenje. Trajanje pulsa definiše se zadatim  $t_p$  i IF blokom, a ukupno vreme eksperimenta zadatim  $t_u$  i uslovom zaustavljanja **WHILE** petlje.

Kod svih naponskih metoda je očitavanje struje na prvom kanalu, a zadavanje napona na nultom izlaznom kanalu.

### Dirakove ekscitacije

Za pretpostavljeno ekvivalentno električno kolo posmatranog elektrohemijskog sistema i kratak (Dirakov) naponski impuls analiza prelaznog režima pokazuje da se pojedini parametri sistema mogu odrediti brže i jednostavnije u odnosu na druge metode. Vremenska konstanta je daleko manja nego kod galvanostatske metode, tako da se kraćim eksperimentom (uz manju destrukciju elektrode) dolazi do parametara sistema.

Panel sa kontrolama za zadavanje intenziteta i trajanja naponskog impulsa, potencijala otvorenog kola i ukupnog vremena, kao i indikatorima aktualnih veličina, uz grafički prikaz  $I = f(t)$  prikazan je na slici 6 i sličan je kao i kod potenciostatske metode, sa-



Slika 6. Kontrolni panel za Dirakovu naponsku ekscitaciju  
Figure 6. Control panel for Dirac voltage excitation control

mo što je vreme trajanja impulsa reda veličine milisekundi do jedne sekunde. Kod ove metode kao i kod svih metoda kod kojih se zadaje napon, očitava se struja odziva, usrednjava i prikazuje na cifarskom indikatoru i na dijagramu u funkciji vremena.

Slično naponskoj, moguće je primeniti strujnu ekscitaciju kratkim (Dirakovim) impulsom i pratiti odziv (nadnapon  $\eta$ ) u funkciji vremena. Međutim, analiza prelaznog režima za usvojeni model pokazuje da se dobijaju praktično iste vremenske konstante prve i druge faze pražnjenja, kao kod galvanostatske metode pri punjenju. Uz to izraz za nadnapon u drugoj fazi je znatno složeniji, tako da ova metoda ne daje nikakva poboljšanja. Naprotiv, bila bi složenija i manje tačna.

#### Nagibna strujna ekscitacija

Za ovu metodu na kanalu AI CH0 očitava se napon odziva, usrednjava, koriguje, i prikazuje cifarski i na dijagramu u funkciji vremena.

Intenzitet struje zadaje se linearnim porastom napona na izlazu AOWrite. To se postiže WHILE petljom u kojoj se za zadato  $dI/dt$ , početnu i završnu struju izračunava trenutna vrednost struje, odnosno zadati napon za ulaz u interfejs sa konvertotrom 100 mA / 1 V. Sa dva nova IF bloka ostvarena je funkcija prilagođenja broja očitavanja u sekundi shodno trajanju eksperimenta.

Na slici 7 prikazan je panel sa kontrolama za zadatu početnu i krajnju struju, nagiba  $dI/dt$  i potencijal otvorenog kola, kao i indikatorima aktuelnih vrednosti sa grafičkim prikazom promene nadnapona u vremenu.

#### Ciklična voltametrij

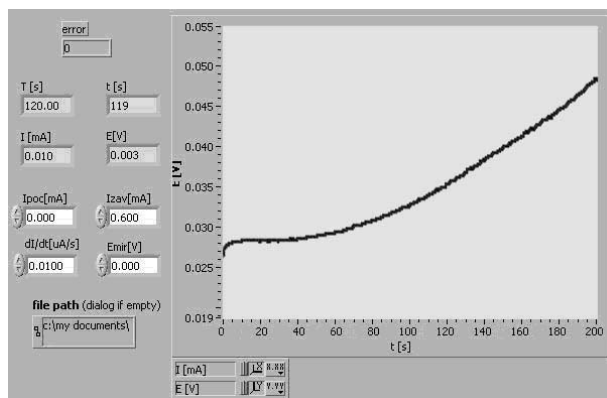
Kod ove metode (slika 8) merenje struje (kanal AI CH1) i zadavanje izlaznog napona (kanal AO CH0) su slični kao kod potenciostatske metode, s tim što se trenutna vrednost napona izračunava kao:

$$E = k \cdot t + E_{\text{poč}} \quad \text{za } t \leq t_1$$

i

$$E = -k \cdot t + 2E_{\text{zav}} \quad \text{za } t > t_1$$

gde su:  $E$  – trenutna vrednost napona;  $t$  – vreme,  $k = dE/dt$  – zadata brzina promene napona,  $t_1$  – trajanje

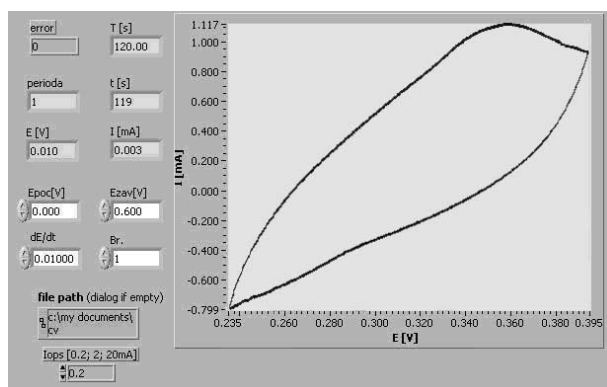


Slika 7. Kontrolni panel za nagibnu strujnu ekscitaciju  
Figure 7. Control panel for current sweep excitation

porasta napona,  $E_{\text{poč}}$  – početna vrednost napona,  $E_{\text{zav}}$  – završna vrednost napona.

Poručanje AIRead bloka bira se shodno postavljenom mernom opsegu struje ( $A = 20/I_{\text{ops}}$ ). Broj merenja u sekundi i broj usrednjavanja podešavaju se shodno trajanju eksperimenta pomoću dva IF bloka.

Na slici 8 prikazan je panel sa kontrolama za zadavanje mernog opsega struje, brzine promene napona, početne i krajnje vrednosti napona, kao i indikatorima aktuelnih vrednosti i grafičkim prikazom  $i = f(E)$



Slika 8. Kontrolni panel za metodu ciklične voltametrije  
Figure 8. Control panel for cyclic voltammetry

#### Spektroskopija elektrohemijske impedancije

Ova metoda razlikuje se od ranije opisanih metoda po tome što se pre merenja na izlazu postavlja DC napon dovoljno dugo da se uspostavi stacionarni režim, pa tek onda počinje merenje struje kao odziv na složenu ekscitaciju (superponirani naizmenični napon reda milivolta na DC nivo do 1 V).

Uspostavljanje DC režima rešeno je FOR petljom sa AOWrite, odnosno AO CH0.  $E_{\text{DC}}$  je zadati jednosmerni napon, a  $t_0$  je zadato vreme trajanja režima.

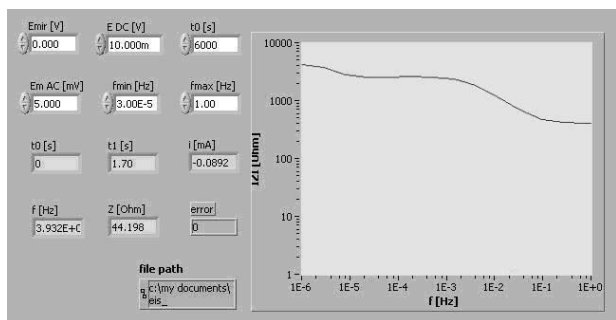
Po isteku DC režima startuje unutrašnja WHILE petlja u kojoj se generiše trenutna vrednost nai-

zmeničnog napona zadate amplitude  $E_{mAC}$  i izračunate frekvencije (AOWrite, CH1). Frekvencija se računa u spoljašnjoj petlji po oktavama, počev od zadate  $f_{min}$  do zadate  $f_{max}$ . Najniža učestanost može biti  $1\mu\text{Hz}$  (izuzetno niska učestanost koju komercijalni uređaji ne nude), a najviša 50 Hz (što je nedostatak koji se može izbeći bržim računarom).

Generisani naizmenični napon superponira se sa već postavljenim DC naponom i zajedno čine ekscitaciju elektrohemijskog sistema.

Struja odziva (koja u kvazistacionarnom režimu takode ima oblik sinusoide sa DC komponentom) meri se na kanalu AI CH1, usrednjava i vodi u blok **min/max**. Iza tog bloka se izračunava usrednjena maksimalna vrednost naizmenične komponente napona ekscitacije i tako dobija modul impedanse sistema koji se pamti i grafički prikazuje u funkciji logaritma frekvencije (Bodeov dijagram impedancije).

Na slici 9 prikazan je panel sa kontrolama za zadanje  $E_{DC}$ ,  $t_0$ ,  $E_{mAC}$ ,  $f_{min}$ ,  $f_{max}$  i  $E_{mir}$ , kao i indikatorima aktuelnih vrednosti i dijagramom  $|Z| = f(f)$  u logaritamskoj razmeri.



Slika 9. Kontrolni panel za spektroskopiju elektrohemijske impedancije

Figure 9. Control panel for electrochemical impedance spectroscopy

## REALIZACIJA SISTEMA

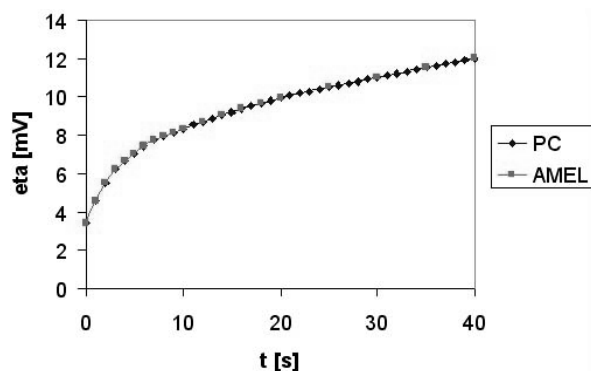
Na slici 10 prikazana je fotografija sistema za elektrohemijska merenja koji je instaliran i koristi se za istraživanja u ovoj oblasti na Tehničkom fakultetu u Boru. Na fotografiji je umesto elektrohemijske ćelije prikazan njen fizički model koji se koristi za testiranje samog sistema i metoda merenja.

Sistem je baždaren mernim instrumentima visoke tačnosti koji se inače koriste za overu laboratorijskih mernih instrumenata (PRIMA B7-21A, PRIMA B7-38 i PHILIPS 5712).

Postignuta je greška merenja manja od 0,5% na svim opsezima, a izvršeno je i poređenje sa komercijalnim galvanostatom-potenciostatom AMEL 551, kao i sa rezultatima simulacija u paketu ORCAD. Za ilustraciju dobrog poklapanja rezultata dobijenih na opisanom sistemu sa drugim rezultatima na slici 11 prikazana je galvanostatska kriva za halkozin u rastvoru  $1\text{M H}_2\text{SO}_4 + 0,1\text{M CuSO}_4$ , a na slici 12 potenciostatska kriva za isti elektrohemijski sistem.

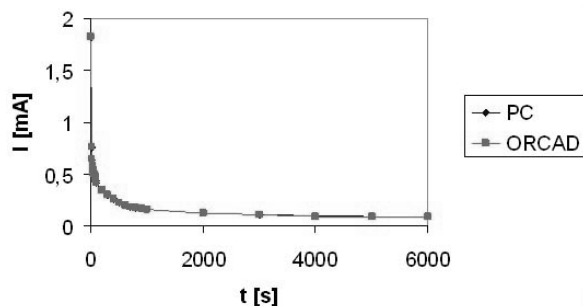


Slika 10. Fotografija sistema za elektrohemijska merenja  
Figure 10. Photograph of the electrochemical measurement system



Slika 11. Galvanostatska kriva za halkozin u rastvoru  $1\text{M H}_2\text{SO}_4 + 0,1\text{M CuSO}_4$  pri ekscitaciji  $0,5\text{mA}$ , PC – rezultati dobijeni na opisanom sistemu; AMEL – rezultati dobijeni na komercijalnom sistemu.

Figure 11. Galvanostatic curve obtained for chalcocite in  $1\text{M H}_2\text{SO}_4 + 0,1\text{M CuSO}_4$  using a current intensity of  $0,5\text{mA}$ ; PC – result obtained using the system described in the paper; AMEL – results obtained using a commercial system.



Slika 12. Potenciostatska kriva za halkozin u rastvoru  $1\text{M H}_2\text{SO}_4 + 0,1\text{M CuSO}_4$  pri ekscitaciji  $20\text{mV}$ , PC – rezultati dobijeni na opisanom sistemu; ORCAD – rezultati dobijeni simulacijom

Figure 12. Potentiostatic curve for chalcocite in  $1\text{M H}_2\text{SO}_4 + 0,1\text{M CuSO}_4$  obtained using an excitation voltage of  $20\text{mV}$ ; PC – result obtained using the system described in the paper; ORCAD – results obtained by simulation.

## LITERATURA

- [1] F. Scholz, *Electroanalytical methods: guid to experiments and application*, Web reference: <http://www.chemweb.com/arforms?fid=31>
- [2] Th. Christen, Ch. Ohler, Optimizing energy storage devices using Ragone plots, *Journal of Power Sources* **110**, 1 (2002) 107–116.
- [3] S.A. Brazill, Sh.E. Bender, N.E. Hebert, J.K. Cullison, E.W. Kristensen and W.G. Kuhr, Sinusoidal voltammetry: a frequency based electrochemical detection technique, *Journal of Electroanalytical Chemistry* **531**, 2 (2002) 119–132.
- [4] I.L. Skryabin, G. Evans, D. Frost, G. Vogelmann, J.M. Bell, Testing and control issues in large area electrochromic films and devices, *Electrochimica Acta* **44** (1999) 3203–3209.
- [5] P.C. Butler, J.F. Cole, P.A. Taylor, Test profiles for stationary energy-storage applications, *Journal of Power Sources* **78**, 1–2 (1999) 176–181.
- [6] A.D. Pasquier, I. Plitz, J. Gural, S. Menocal and G. Amatucci, Characteristics and performance of 500 F asymmetric hybrid advanced supercapacitor prototypes, *Journal of Power Sources* **113**, 1 (2003) 62–71.
- [7] Конденсаторы. Методы измерения электрических параметров. Общие положения. ГОСТ 21315.0–75, Издательство стандартов, 1976
- [8] C. Emmenegger, P. Mauron, P. Sudan, P. Wenger, V. Hermann, R. Gallay, A. Zuttel, Investigation of electrochemically double-layer (ECDL) capacitors electrodes based on carbon nanotubes and activated carbon materials, *Journal of Power Sources*, Web reference: <http://www.elsevier.com/locate/jpowsour>
- [9] N. Khan, N. Mariun, M. Zaki, L. Dinesh, Transient analysis of pulsed charging in supercapacitors, TEN-CON 2000, Kuala Lumpur, Malaysia, September, 2000, Proceedings 3, 193–199.
- [10] G.P. Dai, M. Liu, D.M. Chen, P.X. Hou, Y. Tong, H.M. Cheng, Electrochemical charge-discharge capacity of purified single-walled carbon nanotubes, *Electrochemical and Solid-State Letters* **5**, 4 (2002) E13–E15
- [11] *Intelligent control systems and signal processing 2003* / ed. by A.E.B. Ruano, M.G. Ruano, P.F. Fleming, Web reference: <http://www.elsevier.com>
- [12] R.J. Bozeman, System of memorizing maximum values, US Patent No: 5539402
- [13] M. Rajčić-Vujasinović, Z. Stanković, Z. Stević, The consideration of the electrical circuit analogous to the copper or copper sulfide/electrolyte interfaces based on the time transient analysis, *Elektrokhimiya* **35**, 3 (1999) 347–354.
- [14] X. Andrieu, L. Josset, Bifunctional electrode for an electrochemical cell or a supercapacitor and a method of producing it. Patent: Accumulateurs Fixes et de Traction S A SAFT FR, US Patent No: 5811205
- [15] BUR-BROWN COMPANY, Master Link Software Libraries, Intelligent Instrumentation Inc., Tucson, USA, 2000
- [16] National instruments, LabVIEW development guidelines, NI Corporation, 2000
- [17] National instruments, Integrating the internet into your measurement system, DataSocket technical overview, NI Corporation, 2000
- [18] National instruments, LabVIEW analysis concepts, NI Corporation, 2000
- [19] National instruments, LabVIEW getting started with Labview, NI Corporation, 2000
- [20] National instruments, LabVIEW measurements manual, NI Corporation, 2000

## SUMMARY

## SYSTEM FOR ELECTROCHEMICAL INVESTIGATIONS BASED ON A PC AND THE LabVIEW PACKAGE

(Professional paper)

Zoran Stević, Mirjana Rajčić-Vujasinović  
University of Belgrade, Technical Faculty in Bor, Serbia

This paper describes an electrochemical research system based on the LabVIEW computer software package. An overview of well known electrochemical methods, such as potential measurements, chronopotentiometry, chronoamperometry, cyclic voltammetry and EIS is given. Electrochemical impedance spectroscopy has been adapted for systems containing large capacitances. For signal generation and recording of the response of the investigated electrochemical cell, a measurement and control system was developed, based on a PC P4 computer. The rest of the hardware consists of a commercially available AD-DA converter and an external interface for analog signal processing. The interface is a result of the authors own research. The software platform for the desired measurement methods is LabVIEW package, which is regarded as a high standard in the area of modern virtual instruments. The developed system was adjusted, tested and compared with other commercially available systems. One such system is in constant use at the Technical Faculty in Bor.

Key words: Electrochemical Measurements • Measurement system • Electrochemical Impedance Spectroscopy • Cyclic Voltammetry •

Ključne reči: Elektrohemijska merenja • Merni sistem • Spektroskopija elektrohemijske impedancije • Ciklična voltometrija •