

Digitalni merač kapaciteta i punjač akumulatora

MILOŠ V. ĐALETIĆ, Univerzitet u Beogradu,

Institut za nuklearne nauke „Vinča”,
Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu
životne sredine „Zaštita“, Beograd

NADA V. RATKOVIĆ KOVAČEVIĆ, Akademija tehničkih strukovnih studija,
Odsek Kompjutersko-mašinsko inženjerstvo, Beograd

Stručni rad

UDC: 621.355-026.52

DOI: 10.5937/tehnika2205571D

U radu je razvijen i prikazan digitalni merač kapaciteta akumulatora, sa integrisanim punjačem. Takođe, razvijen je i upravljačko / kontrolni softver za mikrokontroler ovog uređaja i PC računar, kako bi se podaci dobijeni merenjem, dalje mogli obrađivati i upoređivati, korišćenjem nekog od programa za tabelarna izračunavanja. Zbog široke primene elektro-hemijskih izvora, bilo primarnih, bilo akumulatorskih, izuzetno je važno poznavati i meriti njihov kapacitet. Merenje kapaciteta primarnih ćelija pomaže pri odabiru najpovoljnijeg rešenja (u skladu sa odnosom cene i kapaciteta) za napajanje prenosivih uređaja. Merenjem kapaciteta akumulatora, može se utvrditi njihovo stanje i da li su spremni za dalju eksploataciju, a i proveriti kapacitet novih akumulatora, na primer, radi upoređivanja sa podacima u tehničkoj dokumentaciji proizvođača.

Ključne reči: akumulator, analogna elektronika, merenje kapaciteta elektrohemijskog izvora, mikrokontroler, punjač akumulatora, veštačko opterećenje

1. UVOD

Ovaj rad je nastao iz potrebe za jednostavnim, dovoljno tačnim i pre svega jeftinim uređajem za merenje kapaciteta primarnih elektrohemijskih izvora i akumulatora. Razvijen je i opisan takav uređaj – digitalni merač kapaciteta i punjač akumulatora, poboljšanje u odnosu na razvijen u [1]. Realizovano je merenje kapaciteta i punjenje stacionarnih hermetičkih olovni akumulatora, kakvi se često koriste, na primer, u sistemima za besprekidno napajanje računara i računarskih sistema, ili sistema, koji moraju imati visoku pouzdanost i garantovanu raspoloživost [1].

Uređaj, razvijen i prikazan u radu, povezuje se na računar. Posebno je razvijen softver, pomoću kojeg se na računaru prate svi neophodni parametri punjenja i pražnjenja. Na kraju se dobija vrednost kapaciteta akumulatora, na osnovu koje se može oceniti u kakvom je stanju testirani akumulator - da li je još upo-

trebljiv ili ne.

Ovde razvijeni i opisani uređaj, može da se koristi za testiranje akumulatora nominalnog kapaciteta do 12 Ah i napona do 24 V, maksimalnom strujom opterećenja 2,5 A. Integrisani punjač se koristi za punjenje akumulatora nominalnog napona 12 V i kapaciteta do 12 Ah [1].

2. O BATERIJAMA I AKUMULATORIMA

Baterije i akumulatori svrstavaju se u elektro-hemijske izvore energije, koji oslobađaju električnu energiju na kontrolisan način. Tabela 1 daje neke od osnovnih karakteristika iz literature [2], za primarne izvore i akumatore, čiji se kapaciteti mogu meriti uređajem, koji je predmet i rezultat rada.

Hermetički olovni akumulatori imaju elektrolit, absorbovan mikroporoznim separatorima, izrađenim od staklenih mikrovlakana, kao i u pločama akumulatora, tako da nema tečnosti, koja se može prosuti.

Na kućištu, koje je hermetički zatvoreno, postoje sigurnosni ventili, koji omogućavaju otpuštanje gasa. Gas može da se stvori ukoliko se akumulator puni naponom višim od propisanog (napon ispuštanja gasa). Akumulator se, prilikom eksploatacije, može postaviti u bilo koji položaj.

Adresa autora: Miloš Đaletić, Univerzitet u Beogradu, Institut za nuklearne nauke „Vinča”, Laboratorija za zaštitu od zračenja i zaštitu životne sredine „Zaštita“, Beograd, Mike Petrovića Alasa 12-14

e-mail: djaletic@vinca.rs

Rad primljen: 27.01.2022.

Rad prihvaćen: 26.10.2022.

Referentni napon, U_{ref} u (1) ima tipično vrednost od 2,77 V (min 2,64 V, max 2,86 V). Vrednost maksimalne jačine struje se podešava otpornikom R_1 :

$$I_{max} = \frac{U_{5-2}}{R_1} \quad (2)$$

Referentni napon za regulisanje struje, U_{5-2} u (2), je oko 0,45 V (min 0,38 V, max 0,52 V). Sledi da za izlazni napon od 13,7 V i $R_2=1$ k Ω vrednost otpornika, za RV1 je potrebna vrednost oko 3,9 k Ω , pa je postavljen trimer potenciometar od 10 k Ω (slika 1).

Za ograničavanje struje na maksimalno 500 mA potreban je otpornik od 0,9 Ω , snage minimalno 0,6 W, kako bi se njegovo samozagrevanje svelo na minimum, a time i promena njegovog otpora, kao i promena maksimalne jačine struje usled toga. Ova struja se propušta kroz šotki diodu D1 (1N5822), koja sprečava pražnjenje akumulatora kroz regulator, kada regulator nije pod naponom. Osigurač FU1 (do 2 A, „brzi“) i šotki dioda D2 (SB560) čine zaštitu od povezivanja akumulatora na napon pogrešnog polariteta. U slučaju pogrešnog priključivanja, dioda premosti kolo regulatora kratkom vezom i tada kroz osigurač poteče struja jačine veće od dozvoljene, što dovede do prekida strujnog kola. Nakon osigurača je povezan delitelj napona, kojim se zatvara povratna sprega za regulisanje izlaznog napona regulatora. Ovim se kompenzuje ukupni pad napona na šotki diodi D1 i osiguraču FU1.

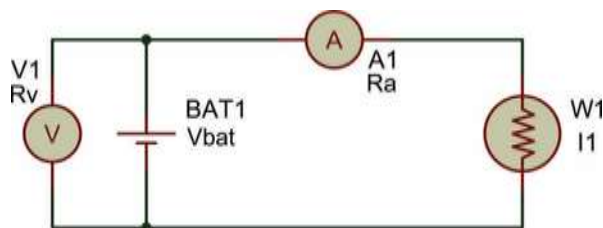
Releji RL1 (slika 1) služi za uključivanje i isključivanje akumulatora u kolo punjača i njime upravlja mikrokontroler. Mikrokontroler sprečava da se uključi relej RL1, ukoliko je napon na priključcima punjača 0 V. Ovaj napon se javlja kada akumulator nije povezan, kada su priključni kablovi pogrešno povezani na suprotne polove akumulatora ili, ređe, ako je akumulator neispravan. Softver prati napon i struju punjenja, pa ako se prekorače zadate maksimalne vrednosti (13,9 V i 0,6 A, redom), akumulator se isključuje iz kola punjača i prijavljuje se greška.

Napon akumulatora se meri preko razdelnika napona, kojeg čine otpornik $R_3 = 28$ k Ω i trimer potenciometar, $RV_2=10$ k Ω . Trimer potenciometar, RV_2 , se podešava tako da napon na izlazu delitelja bude jednak trećini merenog napona. Izlaz delitelja je spojen na sleditelj napona, koga čini operacioni pojačavač, napajan simetričnim naponom. Na izlaz, unutar sleditelja napona, postavljena je direktno polarisana signalna dioda (nije prikazana na slici 1). Napon koji se dobija nakon nje se odvodi na invertujući ulaz operacionog pojačavača unutar sleditelja napona (nije prikazan na slici 1), čime se zatvara povratna sprega. Ovakav spoj kompenzuje pad napona na diodi („spoj idealne diode“). Dioda propušta samo pozitivan napon na izlaz, čime se štiti ulaz A/D konvertora.

Struja punjenja akumulatora meri se pomoću šant otpornika R_4 , vrednosti 0,1 Ω . Otpornik R_4 je povezan u Kelvinov spoj, tako da je jedan njegov naponski kraj doveden u nultu tačku potencijala (referentnu tačku za potencijal), a drugi naponski kraj se dovodi na operacioni pojačavač, kojim se napon pojačava 50 puta. Tako se na izlazu dobija napon od 5 V po amperu struje punjenja. I ovde se na izlazu koristi „spoj idealne diode“, radi zaštite A/D konvertora od negativnog izlaznog napona.

4. MERAČ KAPACITETA AKUMULATORA

Merenje kapaciteta akumulatora se izvodi pomoću voltmetra i ampermetra, uz priključeno veštačko opterećenje W_1 . Šema povezivanja je data na slici 2.



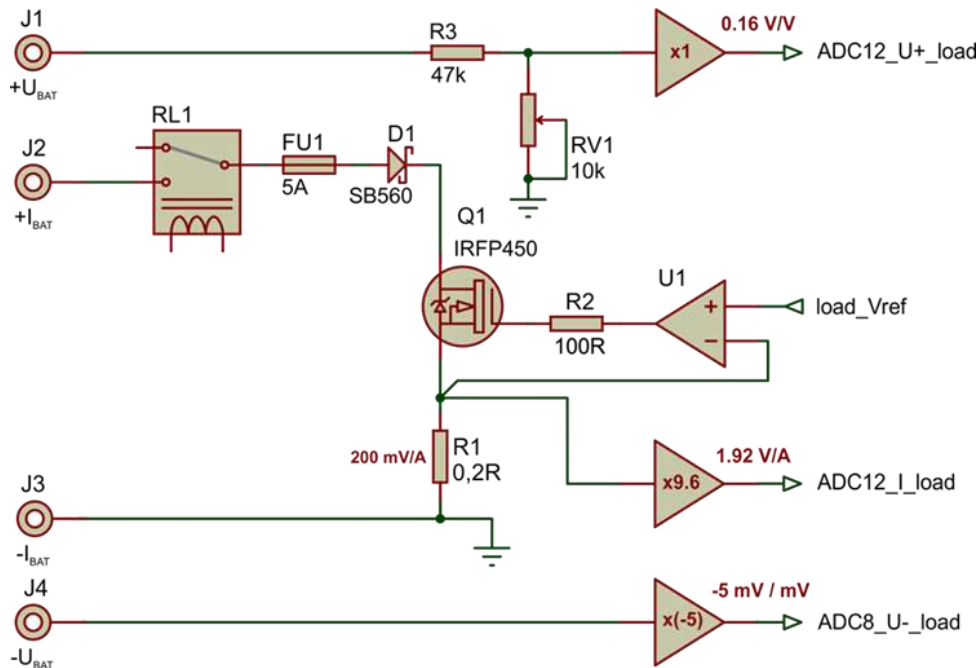
Slika 2 - Kolo za merenje kapaciteta akumulatora [1]

Napon akumulatora se meri voltmetrom V_1 , unutrašnje otpornosti R_v . Konstantna jačina struje I_1 se meri ampermetrom A_1 , unutrašnje otpornosti R_a . Struja I_1 se postavlja na željenu jačinu, a hronometrom se meri vreme pražnjenja. Kada napon na akumulatoru padne ispod graničnog napona za dati akumulator, merenje se prekida. Potrebno je obezbediti konstantnu jačinu struje I_1 , što se lako postiže korišćenjem aktivnog veštačkog opterećenja (opisanog u odeljku, 4.1).

U jednakim vremenskim intervalima tabelarno se zapisuju vrednosti struje, napona i vremena očitavanja. Ukoliko se koristi voltmetar velike ulazne otpornosti ($R_v > 100$ k Ω), struja koja protiče kroz njega se može zanemariti u odnosu na struju koja protiče kroz opterećenje. Unutrašnja otpornost R_a ampermetra A_1 i otpornost priključnih kablova, kojima se elementi kola povezuju, ne utiču na merenja, osim ako količnik napona akumulatora i ukupne otpornosti u strujnoj grani kola (suma otpornosti priključnih vodova, unutrašnje otpornosti A_1 i minimalne otpornosti W_1) nije veći od željene struje veštačkog opterećenja. Tada se koristi manja struja opterećenja, ili ampermetar manje unutrašnje otpornosti, kao i priključni kablovi većeg poprečnog preseka.

Nakon merenja je potrebno izračunati kapacitet akumulatora [2]. Kapacitet izražen u amper-časovima, prilikom pražnjenja akumulatora strujom konstantne jačine, dobija se korišćenjem formule:

$$C_{Ah} = I_1 \cdot t \quad (3)$$



Slika 4 - Uprošćena šema praktične realizacije veštačkog opterećenja [1]

Releji je povezan preko osigurača na dregn (Drain) n-kanalnog MOSFET-a snage, Q1 (eng. Power MOSFET) [5]. Releji, upravljani mikrokontrolerom, uključuje i isključuje akumulator u ili iz kola veštačkog opterećenja.

Sors (Source) MOSFET-a snage Q1 je povezan preko šant otpornika R1 na strujni priključak $-I_{BAT}$.

Šant otpornik stvara pad napona od 200mV po amperu struje, koja protiče kroz njega. Ovaj napon se dovodi na operacioni pojačavač, čije je pojačanje 9,6, a izlaz povezan na kanal AIN1 A/D konvertora ADS1115, kojim se meri jačina struje veštačkog opterećenja.

Napon na AIN1 iznosi 1,92 V po amperu jačine struje opterećenja. Napon sa šanta se dovodi i na invertujući ulaz operacionog pojačavača U1, čime se zatvara povratna sprega za regulisanje jačine struje kroz veštačko opterećenje. Referentni napon $load_Vref$, koji se dobija na izlazu D/A konvertora (DAC), nakon delitelja napona, dovodi se na neinvertujući ulaz operacionog pojačavača U1 i njime se zadaje jačina struje opterećenja. Napon od 1,000 V na izlazu DAC zadaje struju od 625 mA.

Izlaz kola U1 pobuđuje gejt (Gate) MOSFET-a snage, Q1, koji radi u linearnom režimu (u režimu pojačavača linearnog pojačanja). Promenom napona na gejtu, menja se i otpornost između drejna i sorsa, što čini da je MOSFET „aktivni“ otpornik, koji ograničava struju u kolu veštačkog opterećenja. Na Q1 se disipira najveći deo snage, kojom je opterećen akumulator. Pri naponu punog akumulatora od 13,8 V, uz maksimalnu struju od 2,5 A, snaga disipirana na Q1 je:

$$P_{Q1} = U_{DS,Q1} \cdot I = (U_{BAT} - (R_p + R_1 + R_o + R_r) \cdot I - U_{D1}) \cdot I \quad (9)$$

Ako se za ukupni otpor priključnih vodova, označen $R_p = R_{p+} + R_{p-}$, uzme vrednost od 0,2 Ω , za otpor šanta $R_1 = 0,2 \Omega$, i pad napona na šotki diodi D1, $U_{D1} = 0,5 V$, dobija se da je snaga disipirana na Q1, $P_{Q1} = 30,75 W$. MOSFET Q1 je zato montiran na aluminijumski hladnjak sa vazдушnim hlađenjem. U ovom slučaju, mogu da se zanemare otpor osigurača, R_o , i otpor R_r , između kontakata releja RL1.

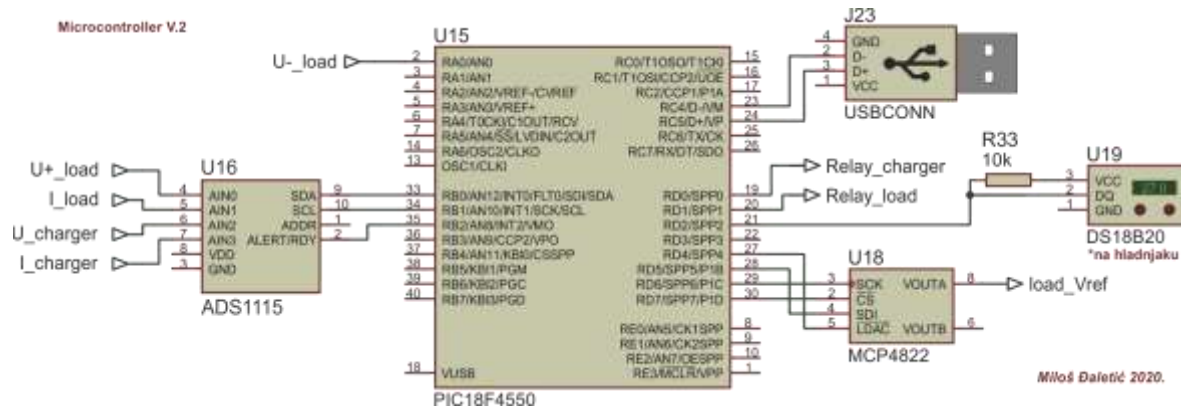
5. MIKROKONTROLER

Mikrokontroler (MCU) ovde upravlja perifernim modulima (ADC, DAC, DS18B20...) i sakuplja podatke od njih. Takođe, obezbeđuje komunikaciju između ovih modula i softvera na PC računaru, putem USB (eng. *Universal Serial Bus*).

Izabran je *Microchip PIC* mikrokontroler 18F4550, jer ima integrisan USB transiver [6], pa nije potreban dodatni hardver za USB komunikaciju.

Na slici 5 je prikazan mikrokontroler sa perifernim modulima. A/D konvertor ADS1115 je povezan na port B.

D/A konvertor MCP4822 je povezan na četiri linije porta D. Na pin 2 porta D (odn. RD2) je povezan digitalni senzor temperature DS18B20. Koristi se i jedan kanal integrisanog 10-bitnog A/D konvertora za merenje pada napona na negativnom priključnom vodu veštačkog opterećenja. Napajanje mikrokontrolera vrši se sa posebnog regulatora napona 5 V.



Slika 5 - Uprošćena šema veze mikrokontrolera 18F4550 sa perifernim modulima

Relaj za uključivanje akumulatora u kolo punjača kontroliše se pinom RD0, a relaj veštačkog opterećenja pinom RD1. Mikrokontroler koristi kristalni oscilator frekvencije 20 MHz. Kako bi se obezbedio neprekidan rad *MCU*, uključen je automatski reset u slučaju prekida rada *PIC* mikrokontrolera (WDT – Watch Dog Timer).

Ukoliko dođe do gubitka komunikacije mikrokontrolera sa programom na računaru, *MCU* se resetuje i releji punjača i veštačkog opterećenja se isključuju. Tada se i akumulatori isključuju iz kola punjača i veštačkog opterećenja, čime se štite od oštećenja. Program za mikrokontroler obavlja redom sledeće operacije:

- izlazi, koji kontrolišu releje za punjač i veštačko opterećenje, postavljaju se na nizak logički nivo i time su releji isključeni;
- u D/A konvertor (DAC) se upisuje vrednost nula i tada struja ne protiče kroz opterećenje;
- inicijalizuje se USB konekcija i ulazi se u glavnu petlju, koja prima podatke, vrši merenja i šalje izmerene vrednosti računaru, preko USB veze;
- podaci, primljeni na računar, su stanja releja i vrednost jačine struje veštačkog opterećenja, koja

se upisuje u DAC, ukoliko ta vrednost nije već upisana;

- mere se naponi i struje punjača i veštačkog opterećenja, čitanjem vrednosti sa jednog kanala, integrisanog ADC, i četiri kanala perifernog A/D konvertora i vrednost temperature hladnjaka, digitalnim senzorom temperature;
- nakon merenja, vrednosti se šalju računaru.

Ceo ovaj proces se nalazi unutar glavne petlje, koja se ponavlja i održava se neprekidna komunikacija sa računarem.

6. OPIS PROGRAMA ZA RAČUNAR

Komunikacija između personalnog računara i uređaja ostvarena je preko USB konekcije i vrši se protokolom HID (eng. Human Interface Device). Program za računar je napisan korišćenjem paketa Microsoft Visual Studio. Minimalni zahtevi u vezi platforme za pokretanje su: operativni sistem Windows 98 SE (ili noviji) i USB port. Program upravlja uređajem, prima izmerene vrednosti, obrađuje ih i snima na hard disk. Program ima samo glavnu korisničku formu, na kojoj su svi bitni elementi grupisani u tri celine (slika 6).



Slika 6 - Izgled ekrana menija programa za upravljanje uređajem [1]

U zaglavlju na vrhu forme su prikazani statusi: uređaja, punjača, veštačkog opterećenja i trenutno vreme i datum. Leva trećina odn. kolona forme je rezervisana za kontrolu i prikaz podataka, vezanih za režim punjača, a desno, u dve trećine forme su dve kolone za veštačko opterećenje.

Odeljak vezan za punjač prikazuje izmerene vrednosti: napona akumulatora i jačine struje punjenja, te na osnovu njih izračunava vrednosti: snage, nominalnog i energetske kapaciteta punjenja. Punjenje se uključuje odabirom opcije „Punjenje“. Ispisuje se kada je punjenje započeto i počinje merenje trajanja punjenja. Brojači kapaciteta i vremena se poništavaju dugmetom „Ponisti merenje“ (slika 6).

Odeljak vezan za veštačko opterećenje, prikazuje izmerene vrednosti: napona akumulatora i jačinu struje pražnjenja, te na osnovu njih izračunava vrednosti: snage, nominalnog i energetske kapaciteta testiranog izvora. Meri se i temperatura hladnjaka na koji su postavljeni tranzistori veštačkog opterećenja, kako bi se u slučaju premašivanja zadate temperature, opterećenje isključilo i zaštitilo od pregrevanja. Jačina struje pražnjenja postavlja se upisivanjem vrednosti u polje „Zadata jačina struje“ i pritiskom na dugme „Postavi“ (slika 6).

Minimalni napon pri kome se prekida pražnjenje se upisuje u polje „Minimalni napon“. Vrednost 10,6 V, data za minimalni napon u tabeli 1, bila je zadavana ovde, u programu za merenje kapaciteta (za 6 ćelija, uz približno 1,76 V po ćeliji, daje $\approx 10,6$ V).

Veštačko opterećenje se uključuje odabirom istomene opcije, nakon čega se ispisuje početno vreme i počinje merenje trajanja snimanja. Svake sekunde, od uređaja se dobijaju novi podaci i vrši se proračun kapaciteta. Svi izmereni podaci se automatski čuvaju u tekstualnim fajlovima, koji se mogu otvoriti pomoću nekog od programa za tabelarna izračunavanja i dalje obrađivati. Tako je moguće dobiti i razne grafike zavisnosti napona, struje, snage i kapaciteta, bilo punjenja, bilo pražnjenja. Snimljene karakteristike, koje demonstriraju ispravnost rada uređaja, prikazane su u [1]. Po potrebi, preciznost merenja se može i povećati.

U slučaju gubitka veze računara sa uređajem, veza se automatski ponovo uspostavlja, kada se uređaj restartuje.

Fotografija uređaja u toku rada je prikazana na slici 7. Istovremeno se određuje kapacitet akumulatora sa leve strane, dok se puni drugi akumulator, priključen desno, na slici 7. Na prednjem panelu (slika 7), vide se, sa leva na desno: USB kabl, prekidač za uključivanje, četiri priključka veštačkog opterećenja ($+U_{BAT}$, $+I_{BAT}$, $-I_{BAT}$, $-U_{BAT}$), dva priključka punjača (+ i -), glavni mrežni prekidač i mrežni kabl za napajanje uređaja.

Akumulator levo na slici 7 je povezan na veštačko opterećenje Kelvinovim štipaljkama, a onaj desno - na punjač, običnim štipaljkama.



Slika 7 - Fotografija uređaja u toku rada [1]

7. ZAKLJUČAK

Broj uređaja, koji koriste akumulatorsko napajanje se povećava i očekuje se da će dalje rasti u narednim godinama. Odbačene akumulatorske baterije predstavljaju zagađivače okoline. Zato je važno proceniti da li upotrebnost akumulatora istekao, da se toksični otpad ne bi nepotrebno prebrzo uvećavao.

Izabran je tip akumulatora, kakvi se koriste u sistemima za besprekidno napajanje računara i računarskih sistema, mernih instrumenata i sistema, pomoćnog osvetljenja, alarmnih centrala, kao i mnogih drugih uređaja ili sistema, koji moraju imati visoku pouzdanost, garantovanu raspoloživost i napajanje bez prekida.

Uređaj, koji je razvijen i ovde prikazan, ispunjava zahteve tehničke specifikacije i osnovne uslove za punjenje i merenje kapaciteta akumulatora. Tačnost je zadovoljavajuća, a može se poboljšati korišćenjem D/A konvertora više rezolucije, kao i varijabilnog razdelnika napona za merenje napona akumulatora, čiji se kapacitet meri.

Softver, razvijen za računar, prikazuje podatke, relevantne za rad uređaja. Podaci se snimaju u realnom vremenu, i smeštaju u fajlove, radi kasnije obrade. Snimljeni podaci se lako naknadno obrađuju programima za tabelarna izračunavanja. Softver je kompatibilan i sa računarima starije generacije, čime im produžava upotrebnu vrednost.

LITERATURA

- [1] Đaletić M, *Digitalni merač kapaciteta i punjač akumulatora*, završni rad (osnovne strukovne studije), mentor N. Ratković Kovačević, Požarevac, Visoka tehnička škola strukovnih studija Požarevac, 2017.

- [2] Memišević I, Beoković M. *Elektrohemijski izvori energije i punjači akumulatora*, Admiral Books, Beograd, 2006. Dostupno na: <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/7436/0/0/1/1200.pdf>
- [3] *Vision CP1270 Datasheet* [Internet]. [citirano 04. 01. 2022.]. Dostupno na: <http://baterias.com.ar/pdf/vision/CP1270.pdf>
- [4] *L200 Adjustable voltage and current regulator Datasheet*, [Internet]. 2000. [citirano 04. 01. 2022.]. Dostupno na: <http://www1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>
- [5] *IRFP450 Power MOSFET Datasheet*, [Intern-et]. 2008. [citirano 04. 01. 2022.]. Dostupno na: <http://www.vishay.com/docs/91233/91233.pdf>
- [6] *Microchip PIC18F4550 Datasheet*, 2006. [Int-ernet]. [citirano 04. 01. 2022.]. Dostupno na: <http://www1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

SUMMARY

DIGITAL BATTERY CAPACITY METER WITH BATTERY CHARGER

In this paper, a digital battery capacity meter with an integrated battery charger is developed and built. Also, the software used to control and monitor the microcontroller of the device from the PC has been developed, so that the data obtained from measurement can be processed and compared further using one of the available spreadsheet software packages. Due to the widespread use of electrochemical energy sources, whether primary ones or of the battery type, it is extremely important to know and measure their actual capacity. Primary cell capacity measurement helps in selecting the most appropriate solution (with respect to the cost/ capacity ratio) for powering portable or mobile devices. By measuring the capacity of the used battery, its condition and capability of further exploitation can be determined. Measuring capacity can provide verification of the data in the manufacturer's specifications, for example, in order to compare measurements and confirm statements in technical documentation.

Key Words: *analog electronics, battery, battery charger, DC load, measuring of electro-chemical source capacity, microcontroller*