

## 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 čelija 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 elektrohemiskog 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 elektrohemiskih 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 olovnih 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. Integrисани 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 elektrohemiske izvore energije, koji oslobođaju električnu energiju na kontrolisan način. Tabela 1 daje neke od osnovnih karakteristika iz literature [2], za primarne izvore i akumulatore, 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 prosutti.

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.

Tabela 1 Izabrane karakteristike primarnih baterija i akumulatora [2]

Tip ćelije	Nominalni napon [V]	Minimalni napon [V]	Radna temperatura [°C]
Cink-karbonska (Leklanševa)	1,5	0,8	-6 - 54
Mangan-dioksid-cinkana (alkalna)	1,5	0,8	-28 - 54
Nikl-kadmijumska	1,2	1	-40 - 55
Nikl-metal-hidridna	1,2	1	-20 - 50
Olovna	2	1,7 - 1,8	-40 - 50
Litijum-jonska	3,7	2,9	-10 - 60

### 3. PUNJAČ AKUMULATORA

Postoji više tipova punjača za akumulatore. Pogodan odnos između složenosti punjača i kvaliteta punjenja akumulatora, nudi upravo punjač konstantnog napona sa ograničenom strujom punjenja. Ovakav punjač je pogodan za punjenje olovnih hermetički zatvorenih akumulatora, jer se mogu neograničeno dugo puniti određenim naponom, bez štetnih posledica, a ograničena jačina struje u početnoj fazi punjenja štiti akumulator (i punjač) od prekomernog zagrevanja i ključanja elektrolita.

Preporuka dobre prakse je da struja punjenja iznosi 10% brojne vrednosti nominalnog kapaciteta akumu-

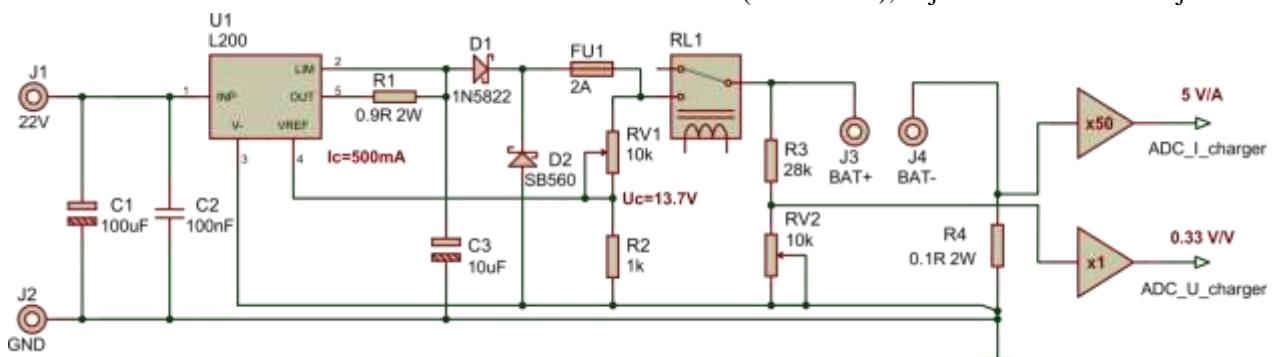
latora. Na primer, akumulator, čiji je kapacitet  $C = 7 \text{ Ah}$ , treba da se puni strujom jačine 0,7 A.

#### 3.1. Praktična realizacija punjača

Osnovna namena ovog uređaja je merenje kapaciteta olovnih hermetičkih akumulatora nazivnog napona od 12 V i kapaciteta 7 Ah, koji rade u stacionarnom režimu (standby režim ili čekanje u pripravnosti). ‘Stacionarni’ režim rada u nazivu, označava da izvor čeka u pripravnosti odn. da je rezervni [2]. Ovi akumulatori se često koriste u uređajima za besprekidno napajanje računara i opreme (eng. UPS – Uninterruptible Power Supply uređaji), alarmnih centrala, kao i drugih uređaja, čiji je rad neophodan i nakon nestanka mrežnog napajanja. Integrисани punjač je dimenzionisan na osnovu ovih parametara. Omo-gućeno je punjenje akumulatora nezavisno od merenja kapaciteta.

Punjač puni akumulator konstantnim naponom od 13,7 V, što odgovara preporuci proizvođača za temperaturni opseg od 20°C do 25°C [3]. Struja punjenja je ograničena na oko 500 mA, što odgovara 1/14 C. Usled gubitaka, potrebno je oko 18 h da se dostigne 90% kapaciteta. Softver na računaru prati struju punjenja, koja nakon dostizanja napona 13,7 V opada i kada bude manja od 14 mA (što je 0,002 C), prekida se punjenje i akumulator se smatra napunjениm.

Centralni element punjača je monolitno integrisano kolo L200 (slika 1), koje služi za regulisanje napona i struje [4]. Izrađuje se u formi petopinskog kućišta (Pentawatt®), koje se montira na hladnjak.



Slika 1- Praktična realizacija punjača, sa regulisanjem napona i ograničavanjem jačine struje [4]

Ovo kolo ima integriranu zaštitu od previsokog ulaznog napona (do 60 V, maksimalno), prekostrujuću zaštitu (do 2 A, maksimalno), zaštitu od previsoke temperature i prevelike snage.

Na pin 1 kola L200 se dovodi ulazni napon (maksimalno 40 V). Pin 3 je zajednička masa. Na pin 4 se dovodi kontrolni napon za regulisanje izlaznog napona kola. Ovaj kontrolni napon se dobija na delitelju napona, koga čine trimer potenciometar od 10 kΩ (RV1 na sl. 1), i otpornik R2, vrednosti 1 kΩ. Na

pinu 5 se dobija stabilisani napon sa strujnim limitom. Postavljanjem otpornika  $R_1 = 0,9 \Omega$  između pinova 2 i 5, pri jačini struje od 500 mA, stvara se pad napona od 0,45 V. Ovaj napon se dovodi na komparator (pin 2 kola L200), pomoću koga se ograničava maksimalna jačina struje na izlazu kola (pin 5 kola L200, na slići 1). Vrednost izlaznog napona se dobija po formuli:

$$U_{izlazni} = U_{ref} \left( 1 + \frac{RV1}{R2} \right). \quad (1)$$

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  $R_2=1\text{ k}\Omega$  vrednost otpornika, za  $RV1$  je potrebna vrednost oko 3,9 k $\Omega$ , pa je postavljen trimer potenciometar od 10 k $\Omega$  (slika 1).

Za ograničavanje struje na maksimalno 500 mA potreban je otpornik od 0,9  $\Omega$ , 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 doveđe 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 napon na šotki diodi D1 i osiguraču FU1.

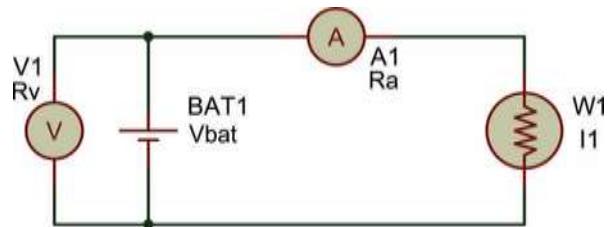
Relej RL1 (slika 1) služi za uključivanje i isključivanje akumulatora u kolo punjača i njime upravlja mikrokontroler. Mikrokontroler sprečava da se uključi relez RL1, ukoliko je napon na priključcima punjača 0 V. Ovaj napon se javlja kada akumulator nije povezan, kada su priključni kablovi pogrešno povezani 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  $R3 = 28\text{ k}\Omega$  i trimer potenciometar,  $RV2=10\text{ k}\Omega$ . Trimer potenciometar,  $RV2$ , 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 („spoј idealne diode“). Dioda propušta samo pozitivan napon na izlaz, čime se štiti ulaz A/D konvertora.

Struja punjenja akumulatora meri se pomoću šant otpornika  $R4$ , vrednosti 0,1  $\Omega$ . Otpornik  $R4$  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 „spoј idealne diode“, radi zaštite A/D konvertora od negativnog izlaznog napona.

#### 4. MERAČ KAPACITETA AKUMULATORA

Merenje kapaciteta akumulatora se izvodi pomoću voltmetra i ampermetera, uz priključeno veštačko opterećenje  $W1$ . Šema povezivanja je data na slici 2.



Slika 2 - Kolo za merenje kapaciteta akumulatora [1]

Napon akumulatora se meri voltmetrom  $V1$ , unutrašnje otpornosti  $Rv$ . Konstantna jačina struje  $I_1$  se meri ampermetrom  $A1$ , unutrašnje otpornosti  $Ra$ . Struja  $I_1$  se postavlja na željenu jačinu, a chronometrom 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 ( $Rv > 100\text{ k}\Omega$ ), struja koja protiče kroz njega se može zanemariti u odnosu na struju koja protiče kroz opterećenje. Unutrašnja otpornost  $Ra$  ampermетra  $A1$  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  $A1$  i minimalne otpornosti  $W1$ ) nije veći od željene struje veštačkog opterećenja. Tada se koristi manja struja opterećenja, ili ampermeter 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:

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

pri čemu je  $t$  vreme pražnjenja akumulatora u časovima, a  $I_1$  struja pražnjenja, izražena u amperima.

Kapacitet u vat časovima se izračunava po formuli:

$$C_{\text{wh}} = I_1 \cdot V_{1S} \cdot t, \quad (4)$$

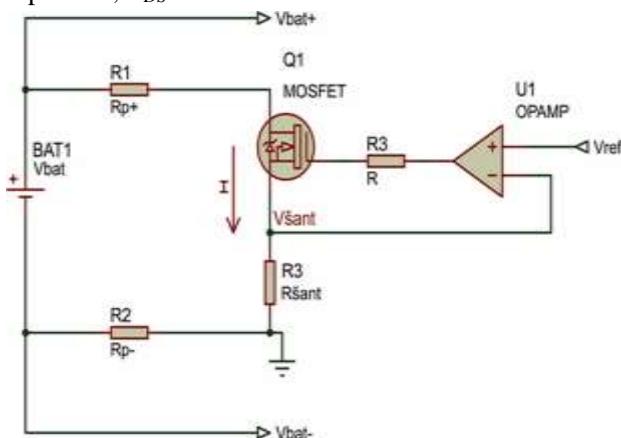
pri čemu je  $V_{1S}$  aritmetička sredina izmerenih napona  $V_1$ . Ova formula se može koristiti samo kada su intervali između dva merenja približno jednaki i kada postoji veliki broj merenja, inače se može dobiti pogrešna vrednost za  $C_{\text{wh}}$ .

Praktično se može izmeriti samo  $C_{\text{Ah}}$ , a za merenje  $C_{\text{wh}}$  je potrebno koristiti digitalne multimetre, koji imaju mogućnost slanja izmerenih vrednosti na računar, digitalne merače napona sa memorijom (eng. Logger) ili instrumente sa pisačem. Kako bi se izbegla ova složena postavka mernog lanca, koriste se uređaji specijalno namenjeni za merenje kapaciteta akumulatora.

#### 4.1. Princip rada veštačkog opterećenja

Veštačko opterećenje predstavlja potrošač promenljive otpornosti, kroz koji protiče struja konstantne jačine. Na bateriju se veštačko opterećenje povezuje priključnim kablovima sopstvene otpornosti  $R_1 = R_{p+}$  i  $R_2 = R_{p-}$  (slika 3). Veštačko opterećenje čine  $R_3$  otpornik i aktivni element, n-kanalni MOSFET Q1. Prilikom proticanja struje  $I$ , nastaje pad na ponu na šantu  $R_3$ ,  $V_{\text{šant}}$ , pozitivan u odnosu na tačku nultog potencijala.

Napon  $V_{\text{šant}}$  se dovodi na invertujući ulaz,  $(-)$ , operacionog pojačavača, čime se zatvara negativna povratna sprega (slika 3). Na neinvertujući ulaz,  $(+)$ , operacionog pojačavača, dovodi se referentni napon,  $V_{\text{ref}}$ , kojim se podešava jačina struje. Operacioni pojačavač teži da izjednači napone na svojim ulazima, tako da će pad na ponu na  $R_3$  biti jednak referentnom naponu  $V_{\text{ref}}$ . Ovo se postiže promenom napona na gejtu MOSFET-a, čime se menja njegova ekvivalentna otpornost,  $R_{DS}$ .



Slika 3 - Principijelna šema veštačkog opterećenja [1]

Prilikom proticanja struje  $I$  stvara se pad na ponu i na priključnim kablovima, otpornosti  $R_{p+}$  i  $R_{p-}$ , što

znači da bi nastala greška, kada bi se napon merio na priključcima veštačkog opterećenja. Kako bi se ova greška izbegla, napon se meri direktno na priključcima akumulatora. Ovaj metod priključivanja mernih kablova se naziva Kelvinov spoj sa četiri kontakta, dva naponska i dva strujna, slike 3 i 4.

Priklučni vodovi za merenje napona su povezani na naponske ulaze veštačkog opterećenja, koji imaju visoku ulaznu impedansu, stoga kroz njih protiče struja reda mikroamperra, pa se pad na ponu na ovim priključnim vodovima može zanemariti. Ukupan pad na ponu na priključnim kablovima (opterećenja na akumulator) dat je izrazom:

$$V_p = I \cdot (R_{p+} + R_{p-}), \quad (5)$$

odakle sledi da, pri jačini struje od 2,5 A i pri ukupnom otporu priključnih vodova od  $0,1 \Omega$ , pad na ponu na njima iznosi 250 mV. Napon  $V_{\text{bat}+}$  na pozitivnom priključku, pozitivan je u odnosu na referentnu tačku za potencijal (tačku nultog potencijala, slika 3):

$$V_{\text{bat}+} = I \cdot (R_1 + R_3) + V_{DS,Q1}. \quad (6)$$

Pad na ponu  $V_{\text{bat}-}$ , na priključnom vodu  $R_2 = R_{p-}$ , je negativan. Pad na ponu na šant otporniku  $R_{\text{šant}}$  je:

$$V_{\text{šant}} = I \cdot R_3 = I \cdot R_{\text{šant}}. \quad (7)$$

#### 4.2. Praktična realizacija veštačkog opterećenja

Akumulator se na veštačko opterećenje povezuje dvema Kelvinovim štipaljkama. Pozitivan pol akumulatora se povezuje na priključke uređaja  $+U_{\text{BAT}}$  i  $+I_{\text{BAT}}$ , za napon i struju, redom, a negativan na  $-U_{\text{BAT}}$  i  $-I_{\text{BAT}}$  priključke (slika 4).

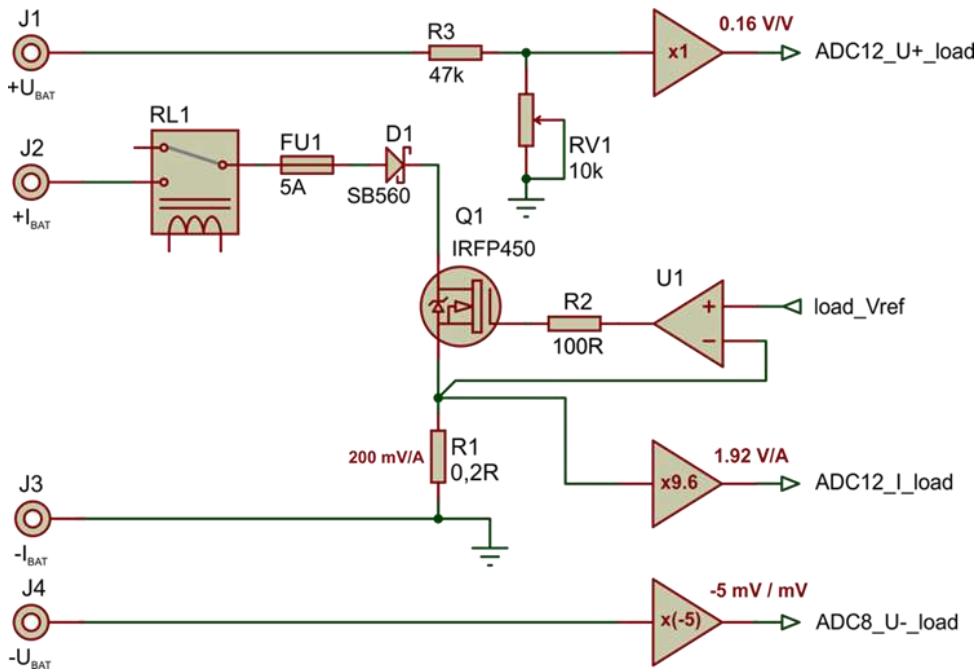
Napon sa naponskog priključka  $+U_{\text{BAT}}$  se dovodi na delitelj napona  $R_3$  i  $RV1$  (na slici 4), čiji je izlaz povezan na operacioni pojačavač jediničnog pojačanja. Na izlazu pojačavača se dobija napon od 0,16 V po voltu napona, dovedenog na  $+U_{\text{BAT}}$ . Napon iz pojačavača se dovodi na kanal AIN0 A/D konvertora ADS1115.

Napon sa priključka  $-U_{\text{BAT}}$  predstavlja pad na ponu na priključnom kablu, kojim je akumulator povezan za strujni priključak,  $-I_{\text{BAT}}$ . Napon  $-U_{\text{BAT}}$  je negativan i on se inverte i pojačava operacionim pojačavačem pojačanja 5, nakon čega se dovodi na kanal AN0 A/D konvertora, koji je sastavni deo PIC mikrokontrolera.

Sabiranjem apsolutnih vrednosti napona  $+U_{\text{BAT}} (\geq 0)$  i  $-U_{\text{BAT}} (\leq 0)$ , dobija se pravi napon akumulatora, koji se testira,  $U_{\text{BAT}}$ :

$$U_{\text{BAT}} = |+U_{\text{BAT}}| + |-U_{\text{BAT}}|. \quad (8)$$

Pozitivan strujni priključak  $+I_{\text{BAT}}$  je povezan na relj, kojim se akumulator uključuje u kolo veštačkog opterećenja, na slici 4.



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

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

Sors (Source) MOSFET-a snage Q1 je povezan preko šanta 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 U1, 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 linearног појачања). 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  $0,2 \Omega$ , 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 vazdušnim hlađenjem. U ovom slučaju, mogu da se zanemare otpor osigurača,  $R_o$ , i otpor  $R_r$ , između kontaktata releja RL1.

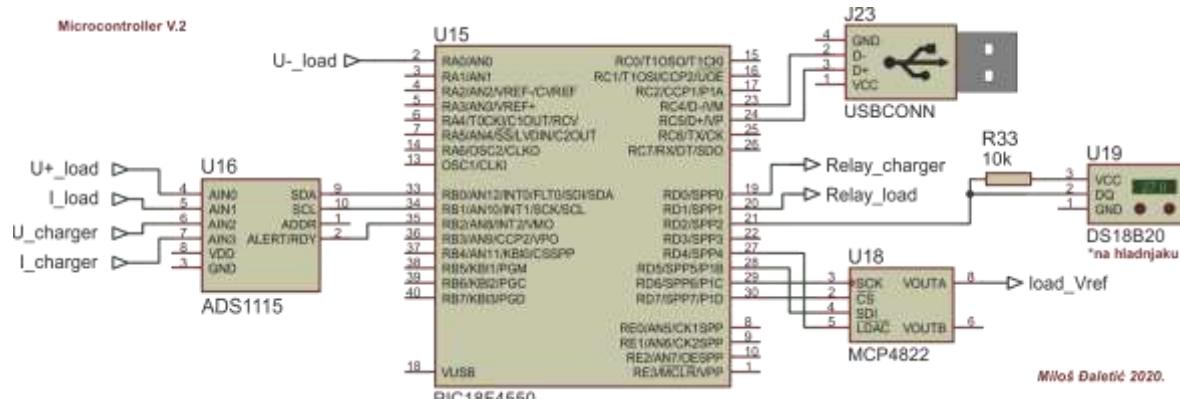
## 5. MIKROKONTROLER

Mikrokontroler (MCU) ovde upravlja periferijskim 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 integriran USB transiver [6], pa nije potreban dodatni hardver za USB komunikaciju.

Na slici 5 je prikazan mikrokontroler sa periferijskim 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 integriranog 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

Relej za uključivanje akumulatora u kolo punjača kontroliše se pinom RD0, a relej 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 rese-tuje i releji punjača i veštačkog opterećenja se isklju-čuju. 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 kontrolisu 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, integriranog ADC, i četiri kanala periferijskog 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 računarcem.

## 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).

Status: Uredaj je prikljucen		Punjac je uključen		Vestacko opterecenje je uključeno		21:57:54 03.09.2017.	
<b>Punjac</b>				<b>Vestacko opterecenje</b>			
Napon:	13,683	V		Napon (+):	12,250	V	Kapacitet:
Jacina struje:	79	mA		Pad napona (-):	0,8	mV	14,1 mAh
Snaga:	1,08	W		Napon:	12,251	V	172,2 mWh
Kapacitet:	12,6	mAh		Jacina struje:	0,100	A	Pocetno vreme:
	172,6	mWh		Snaga:	1,22	W	Trajanje:
⇒ Punjenje		Temperatura:		26,7	°C	Ponisti merenje	
Pocetno vreme:	21:49:23	Zadata jacina struje:	100	mA	Postavi		
Trajanje:	00:08:31,8	Minimalni napon:	10,6	V		Izlaz	
Ponisti merenje		⇒ Vestacko opterecenje		Milos Djaletic 2017.			

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

U zaglavljima 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 energetskog kapaciteta punjenja. Punjenje se uključuje odabirom opcije „Punjjenje“. 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 energetskog 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 celija, uz približno 1,76 V po celiji, daje  $\approx 10,6$  V).

Veštačko opterećenje se uključuje odabirom istimene opcije, nakon čega se ispisiće 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 obradivati. Tako je moguće dobiti i razne grafike zavisnosti napona, stuje, 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 veštač-kog 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 upotrebnji vek 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.

Uredaj, 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.
- [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: <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/7436/0/0/l200.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://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>

## SUMMARY

### DIGITAL BATERY CAPACITY METER WITH BATERY 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