

PROJEKTOVANJE SATA REALNOG VREMENA U INTEGRISANOM MERAČU POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

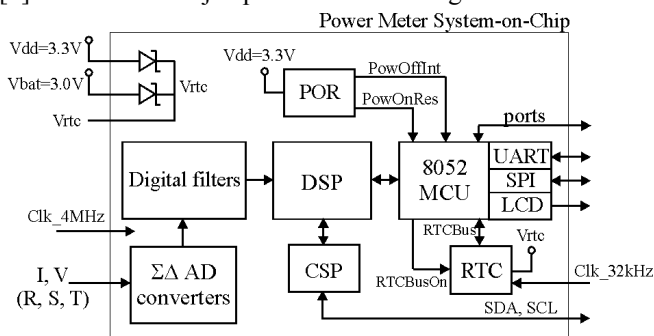
Dejan Stevanović, Borisav Jovanović, Miljana Sokolović, Predrag Petković, *Elektronski fakultet, Niš*

Sadržaj – U ovom radu izloženo je rešenje sata realnog vremena (*Real-Time Clock - RTC*) koji je ugrađen u kolo Integrisanog Merača Potrošnje Električne energije (*IMPEG2*). Informacija o realnom vremenu sastoji se od sledećih delova: broja sekundi, minuta, sati, dana u nedelji, dana u mesecu, broja meseca i godine. RTC je moguće kontrolisati preko mikrokontrolera koji je sastavni deo merača potrošnje energije. Kolo je realizovano u CMOS 0.35 μ m tehnologiji korišćenjem alata iz Cadence paketa za projektovanje integrisanih kola.

1. UVOD

Moderni uređaji za merenje potrošnje električne energije obično se realizuju kao jedinstveno integrisano kolo, pri čemu obavljaju funkcije više uređaja. Takvo jedno kolo predstavlja i Integrisani merač potrošnje električne energije – IMPEG2. Ovo kolo prihvata na ulazu trenutne vrednosti struje i napona u analognom obliku, a kao rezultat daje parametre signala energetske mreže. Kolo sadrži analogne blokove (AD konvertore, Power-On-Reset kola itd.), i digitalna kola za procesiranje signala (filtre, DSP blokove, mikrokontroler). Integrisani merači potrošnje mogu da budu monofazni ili trofazni zavisno od toga da li mere signale struje i napona samo jedne [1] ili sve tri faze trofaznog energetskog sistema [2].

U ovom radu izloženo je rešenje sata realnog vremena (*Real-Time Clock - RTC-a*) koji je ugrađen u kolo IMPEG2 [3]. Na slici 1 data je opšta blok šema ovog sistema.



Slika 1. Blok šema IMPEG2 kola

Čip na osnovu trenutnih vrednosti ulazne struje i napona računa njihove efektivne vrednosti, aktivnu, reaktivnu i prividnu snagu, frekvenciju, faktor snage, aktivnu i reaktivnu energiju. Za to je potrebno imati i analogne i digitalne delove. Kao što se sa Sl.1 vidi, analogne blokove čine Sigma Delta AD konvertori [4] i Power-On-Reset kolo. Digitalni deo čipa sastoji se od digitalnih filtara [5], DSP bloka [6] koji izračunava sve pomenute parametre energetske mreže, bloka serijske komunikacije CSP, 8052 mikrokontrolera [7] koji ima više perifernih jedinica (3 paralelna porta, drajvere za LCD displej i SPI interfejs).

Rad je organizovan u pet poglavlja. Naredno poglavlje opisuje strukturu sata realnog vremena. U trećem poglavlju opisana je kontrola rada RTC preko ugrađenog mikrokontrolera. Četvrto poglavlje posvećeno je hardverskoj implementaciji časovnika i sadrži rezultate verifikacije usvojenog rešenja. Zaključak je dat u petom poglavlju.

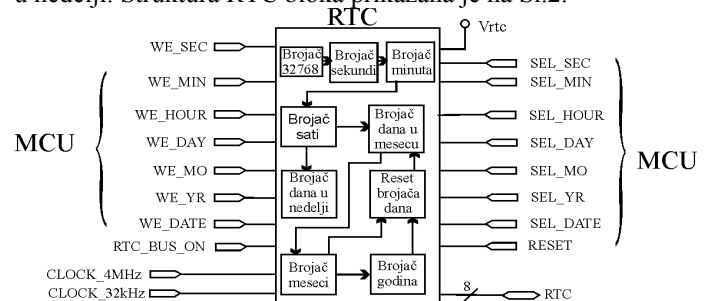
2. STRUKTURA SATA REALNOG VREMENA

Sat realnog vremena koji je sastavni deo čipa IMPEG2 ima ugrađenu funkciju kalendara. Zato informacija o realnom vremenu sadrži: broj sekundi, minuta, sati, dana u mesecu, broja meseca, godine i dana u nedelji. Pri tome, kolo RTC-a mora da detektuje prestupne godine.

Za razliku od ostalih blokova čipa, RTC blok mora da ima neprekidno napajanje. Osnovni napon napajanja čipa iznosi $V_{dd}=3.3V$, a dobija se na izlazu regulatora napona (van čipa) vezanog za napon mreže. Da bi se obezbedilo neprekidno napajanje, postoji i dodatno napajanje iz baterije $V_{bat}=3V$ koje se koristi isključivo za napajanje RTC-a. Način formiranja napajanja, Vrtc, za RTC blok prikazan je na slici 1. U slučaju prekida mrežnog napona i nestanka napajanja Vdd, RTC se napaja iz baterije. Kada se uspostavi Vdd, RTC se ponovo napaja iz osnovnog kola napajanja.

Predviđeno je da RTC blok radi u sprezi sa ugrađenim mikrokontrolerom 8052. Posredstvom mikrokontrolera čita se stanje RTC, a, po potrebi, postavljaju se, odnosno podešavaju vrednosti realnog vremena. U narednom poglavlju biće opisan način kontrole sata realnog vremena preko asemblerskih instrukcija.

Sat se pobuđuje osnovnim taktom od 32768Hz iz koga se generiše informacija o trajanju jedne sekunde da bi se odgovarajućim brojačima odredile trenutne vrednosti broja minuta, sati, dana u mesecu, broja meseci, godina kao i dana u nedelji. Struktura RTC bloka prikazana je na Sl.2.



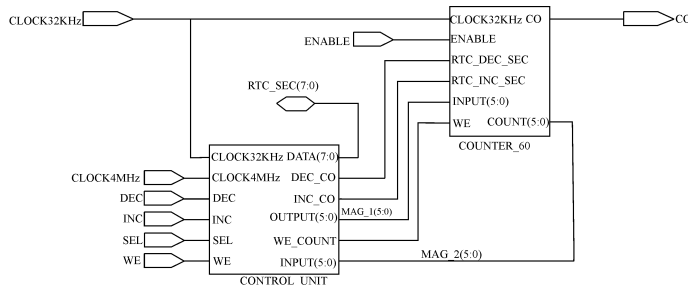
Slika 2. Struktura bloka RTC-a

Naziv svakog brojača na Sl.2 jednoznačno definiše njegovu funkciju i ulogu u realizaciji RTC-a. Izuzetak predstavlja brojač 32768 čija je funkcija da frekvenciju od 32768 Hz (koju kolo dobija iz oscilatora) pretvori u takti signal frekvencije od 1Hz. Signal frekvencije 1Hz vodi se na ENABLE ulaz brojača sekundi. Svi brojači koji su sastavni

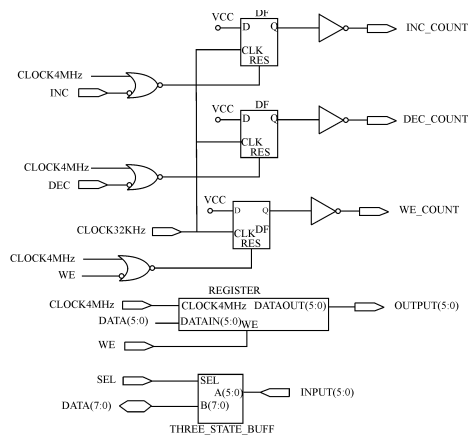
deo RTC-a inkrementiraju svoje stanje samo ako izlazni signal prenosa prethodnog brojača bude u stanju logičke jedinice. Izlazni signal prenosa prethodnog brojača predstavlja dozvolu inkrementiranja za naredni brojač u nizu.

Mikrokontroler 8052 kontroliše rad RTC kola signalima za dozvolu upisa We_X i dozvolu čitanja Sel_X gde je $X \in \{sec, min, hr, day, date, mo, yr\}$.

Strukture svih brojača u RTC bloku su slične i sastoje se od kontrolne logike i binarnog brojača. Unutrašnja struktura bloka brojača sekundi prikazana je na Sl. 3.



Slika 3. Kolo brojača sekundi



Slika 4 Kontrolna jedinica brojača sekundi

Na ulazni port brojača sekundi $CLOCK32KHz$ dovodi se taktni signal frekvencije 32768Hz koji se koristi za rad binarnog brojača $COUNTER_60$. Na port $CLOCK4MHz$ dovodi se taktni signal od 4.194304 MHz koji služi za sinhronizaciju prenosa podataka između RTC-a i mikrokontrolera. Ulazni signali DEC , INT , SEL , WR potiču iz logike mikrokontrolera. SEL se koristi prilikom čitanja sadržaja brojača RTC-a, dok WR prilikom upisa u RTC. 8-bitni podatak prenosi se između mikrokontrolera i RTC-a preko magistrale $RTC_SEC(7:0)$. Postavljanjem signala DEC i INC na nivo logičke "1", sadržaj brojača $COUNTER_60$ se smanjuje ili uvećava za 1. Izlazni port CO predstavlja dozvolu inkrementiranja narednom brojaču za minute.

Na sličan način realizovana su i ostala brojačka kola (brojač minuta, brojač sati, brojač dana u nedelji, brojač dana u mesecu, brojač meseci, brojač godina). Ostali brojači razlikuju se od brojača sekundi u tome što nemaju mogućnost za dekrementiranje i inkrementiranje.

Kontrolna jedinica brojača sekundi (Sl.4) sastoji se od: tri D flip flopa, jednog registra, jednog trostatičnog bafera i tri NOR kola. Ona se koristi za sinhronizaciju prenosa informacija između mikrokontrolera koji radi na 4MHz i brojača koji rade na 32kHz.

3. KONTROLA SATA REALNOG VREMENA

Posredstvom asemblerskih instrukcija upravlja se radom sata realnog vremena. Da bi se objasnila kontrola RTC-a potrebno je pre toga objasniti organizaciju memorije mikrokontrolera.

Organizacija memorije 8052 mikrokontrolera slična je onoj koja postoji kod standardnih industrijskih 8052 mikrokontrolera. Memorija je podeljena na:

- programsku memoriju koja je implementirana kao SRAM memorijski blok kapaciteta 8kB
- eksternu memoriju za podatke koja se sastoji od SRAM bloka kapaciteta 2kB i dodatnog memorijskog prostora
- interne memorije za podatke koja je podeljena između specijalnih funkcijskih registara i SRAM bloka kapaciteta 256B.

MCU 8052 može da adresira do 64kB eksterne memorije (od adrese 0x0000 do 0xFFFF), ali, samo deo ovog adresnog prostora postoji fizički unutar čipa. Lokacije od adrese 0x0000 do 0x07FF deo su SRAM memorijskog bloka kapaciteta 2kB. Postoji i dodatni memorijski prostor čiji su deo registri RTC-a (od adrese 2015h do 201Ch).

Sadržaju sata realnog vremena mikrokontroler pristupa kao što pristupa svojoj eksternoj memoriji za podatke. Tabela 1 daje vezu između vrednosti adrese eksterne memorije za podatke i konkretnog registra RTC-a (za sekunde, minute, sate, dane u mesecu, rednog broja meseca, broja godine i dana u nedelji). Informacije u registrima prikazane su kao binarne vrednosti.

Tabela 1: Deo eksterne memorije predviđen za RTC

Adresa	Sadržaj registra
2015	RTC SEC(5:0)
2016	RTC MIN(5:0)
2017	RTC HR(4:0)
2018	RTC DAY(2:0)
2019	RTC DATE(4:0)
201A	RTC MON(3:0)
201B	RTC YEAR(7:0)
201C	Rtc dec sec Rtc inc sec

Mikrokontroler upisuje podatak u eksternu memoriju asemblerskim naredbama $MOVX @Ri, A$ ili $MOVX @DPTR, A$. Informacije iz eksterne memorije čitaju se naredbama $MOVX A, @Ri$ ili $MOVX A, @DPTR$. Specijalni funkcijski registar $USR2$ koristi se za smeštanje 8 viših bitova adrese dok se nižih 8 bitova smešta u registar Ri mikrokontrolera. Adresa registra $USR2$ je BfH .

Primeri asemblerskih instrukcija koje se koriste za postavljanje vrednosti u registar za sekunde RTC-a i čitanje istog registra RTC-a dati su u tabelama 2 i 3.

Tabela 2: Resetovanje registra za sekunde RTC-a .

```

mov DPL, #015h
mov DPH, #020h
mov A, #00h
movx @ DTPR, A

```

Tabela 3: Čitanje registra za sekunde RTC-a .

```

mov DPL, #015h
mov DPH, #020h
movx A, @ DTPR, A
mov SEKUNDE, A

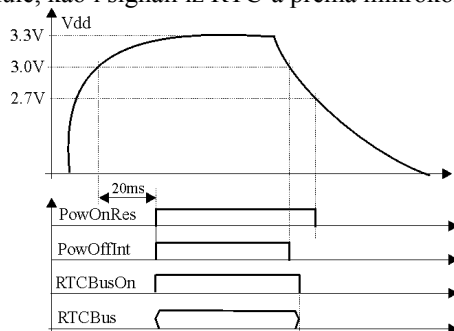
```

Dva bita - RTC_DEC_SEC (na adresi 201C i bit poziciji 1) i RTC_INC_SEC (na istoj adresi 201C i bit poziciji 0) služe za korekciju vremena. Kada se asemblerskim programom ovi bitovi setuju, sadržaj sata realnog vremena se dekrementira ili inkrementira za jednu sekundu. Ako se zna temperaturni koeficijent kristala kvarca, firmver mikrokontrolera može uzeti u obzir odstupanje i korigovati vreme ako je potrebno. Kontrolni bitovi RTC_DEC_SEC i RTC_INC_SEC resetuju se automatski nakon izvršenja operacija inkrementiranja i dekrementiranja.

RTC blok ima dodatno baterijsko napajanje koje se koristi samo u odsustvu osnovnog napajanja Vdd. Kolo treba da bude pod stalnim napajanjem kako se ne bi izgubila informacija o vremenu. Potrebno da RTC kolo ima minimalnu potrošnju. Zbog toga, kolo koristi taktni signal frekvencije od samo 32kHz. Pored toga, kolo je isprojektovano tako da tokom prelaska sa osnovnog na baterijsko napajanje potrošnja kola bude minimalna. Ako bi, recimo, neki od signala interfejsa MCU-RTC bio postavljen u stanje logičke jedinice u trenutku gubitka napajanja, naponski nivo tog signala spuštao bi se od 3.3V do 0V. U prelaznom stanju, CMOS kola RTC-a kojima je taj signal ulazni, trošila bi daleko više nego tokom svog normalnog rada. Postoji i opasnost da se greškom upiše nova vrednost u RTC. Da bi se sve ovo izbeglo potrebno je pre gubitka napajanja spustiti izlazne signale mikrokontrolera na interfejsu ka RTC-u na nivo logičke nule.

Kontrola prelaska sa osnovnog Vdd na baterijsko napajanje Vbat ostvarena je preko mikrokontrolera i PowerOnReset kola čija je funkcija proširena.

Pored PowerOnReset signala, PowerOnReset kolo generiše PowerOffInterrupt signal. PowerOffInterrupt postaje jednak nuli kada napon Vdd opadne ispod 3.0V (Sl. 5). Signal PowerOffInterrupt predstavlja jedan od prekidnih signala mikrokontrolera. Na opadajuću ivicu ovog signala mikrokontroler izvršava prekidnu rutinu u kojoj može, recimo, da upiše informaciju o nestanku napajanja u neku eksternu EEPROM memoriju. Čitaju se registri RTC-a i preko serijske magistrale podaci se upisuju u serijski EEPROM čip. Na kraju prekidne rutine, mikrokontroler postavlja signal RTCBusOff (Sl.1 i Sl.5) na nulu kojim se i signali mikrokontrolera prema RTC-u spuštaju na nivo logičke nule, kao i signali iz RTC-a prema mikrokontroleru.

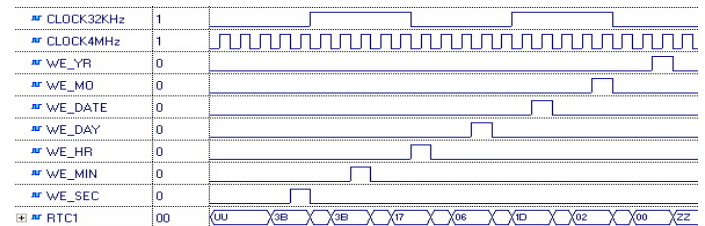


Slika 5. Prelazak sa osnovnog na baterijsko napajanje

4. REZULTATI SINTEZE I SIMULACIJE

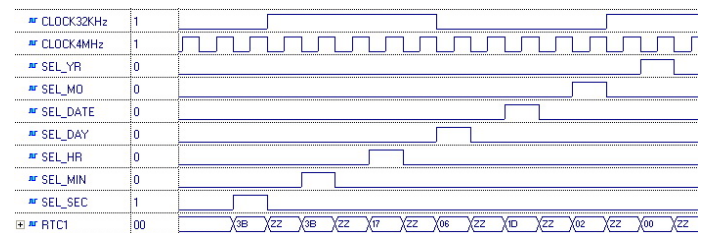
Nakon projektovanja RTC-a, potrebno je bilo verifikovati ispravnost njegovog rada. Provera ispravnosti obavljala se posle svake faze projektovanja – nakon opisa u VHDL-u, postupka sinteze, razmeštaja i rutiranja veza. Na slikama 6, 7 i 8 prikazani su neki od dobijenih rezultata.

Mikrokontroler komunicira sa RTC kolom pomoću RTCI magistrale i signala za čitanje i upis stanja brojača RTC-a Sel_X , We_X , gde je $X \in \{sec, min, hr, day, date, mo, yr\}$. Na Sl.6 prikazana je inicijalizacija RTC-a. Mikrokontroler izvršava asemblerske naredbe i generiše signale We_X za upis. Signali We_x predstavljaju signale dozvole upisa informacija u brojače RTC-a. Podaci se prenose preko RTCI magistrale. Prozivajući brojač po brojač, mikrokontroler definiše početnu vrednost svakog brojača. S obzirom da se razmena informacija između RTC kola i mikrokontrolera vrši preko jedne magistrale, u jednom trenutku je moguće da se na magistrali RTCI nalazi stanje samo jednog brojača. Slanjem kontrolnog signala Sel_X , čita se sadržaj odgovarajućeg brojača.



Slika 6. Upis informacija u brojače RTC kola

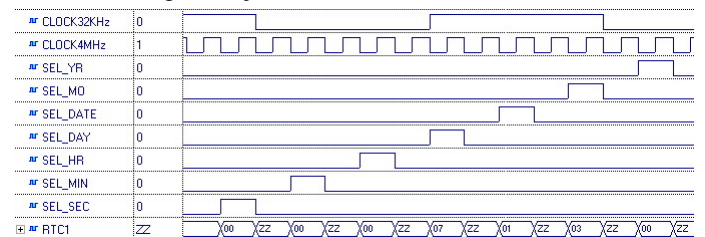
Na Sl. 7 prikazana je operacija čitanja sadržaja svih brojača nakon njihove inicijalizacije. Stanja na RTCI magistrali na Slikama 6 i 7 su ista, što potvrđuje ispravnost postupka upisa i čitanja.



Slika 7. Čitanje brojača RTC kola

Na slici 8 prikazan je slučaj kada svi brojači u RTC-u menjaju stanje sa nailaskom nove sekunde.

Najpre, brojač sekundi uveća stanje za jedan, a zatim i svi ostali brojači u nizu. Sadržaj svih brojača čita se komandnim signalima $Sel_X=1$. Verifikacija inkrementiranja stanja svih brojača potvrđena je uvidom u stanje magistrale RTCI kao što prikazuje Sl. 8.



Slika 8. Čitanje brojača RTC kola posle inkrementiranja

Pri projektovanju RTC kola korišćen je programski paket Active-HDL, dok su sinteza i simulacija nakon sinteze urađeni alatima BuildGates i NCSim iz Cadence paketa [8]. Razmeštaj i rutiranje veza urađeni su alatom First Encounter. Za realizaciju ovog kola korišćena je CMOS 0.35µm tehnologija standardnih ćelija AMIS 0.35 [7]. Ukupna površina RTC kola, nakon razmeštaja i rutiranja veza je 0.21 mm².

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predloženo je rešenje integrisanog sata realnog vremena (Real-Time Clock - RTC-a), koji je deo druge generacije Integrisanog Merača Potrošnje Električne Energije. Sat realnog vremena istovremeno obavlja i funkciju kalendara čime se obezbeđuju informacije o danima u nedelji, danima u mesecu, mesecima i godinama. Sve ove informacije mogu da se programiraju preko mikrokontrolera koji je takođe sastavni deo čipa. Kolo realizovano u CMOS 0.35 μ m tehnologiji zauzima površinu od 0.21 mm².

ZAHVALNOST

Rezultati prikazani u ovom radu ostvareni su u okviru projekta TR 6108.B čiju je realizaciju finansiralo Ministarstvo nauke Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] ADE7169F16, Single-Phase Energy Measurement IC Documentation, Analog Devices, 2006
- [2] 71M6513/71M6513H 3-Phase Energy Meter IC Documentation, TDK Semiconductors, 2006
- [3] Petković, P., Litovski, V.: Koncept integrisanog meraca potrosnjeelektricne energije, *Proc. of 13th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON POWER ELECTRONICS*, Novi Sad, 02.11.-04.11., 2005, T4-4.6, pp.1-5
- [4] Milovanović D., Savić M., Nikolić M., *Second-Order Sigma-Delta Modulator In Standard CMOS Technology*, Proceedings of XLVIII Conf. ETRAN, pp. 17-20, 2004, Čačak, Serbia
- [5] Marinković M., Anđelković B., Petković P., *Compact Architecture of Digital Decimation Filters in Solid-State*

Energy Meter, Proceedings of VI Simp. of Industrial Electronics INDEL, pp 84-89, November 2006, Banjaluka, Republic Srpska

- [6] Jovanovic B., Damnjanović M., Petković P., *Digital Signal Processing for an Integrated Power Meter*, Proceedings of 49. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universitat Ilmenau, Ilmenau, Germany, vol. 2, pp. 190-195, September 2004
- [7] Jovanovic B., Petković P., Damnjanović M., *Serial Port Interface For Microcontroller Embedded into Integrated Power Meter*, Proceedings of the Sixteenth International Scientific and Applied Science Conference - Electronics EL'2007, Sozopol, Bulgaria, pp. 103-108.
- [8] AMI Semiconductor CMOS 0.35 μ m Technology Documentation
- [9] Cadence Documentation, 2007

Abstract – A solution for RTC circuit that is implemented into Integrated Power-Meter circuit is presented in this paper. The information about the real time consists of: number of seconds, minutes, hours, days in the week, days in the month, month, years. Their current status can be controlled by the microcontroller that is internal part of the power-meter IC. This circuit is realized in CMOS 0.35 μ m technology, using Cadence design tools.

RTC DESIGN FOR THE INTEGRATED POWER-METER

Dejan Stevanović, Borisav Jovanović, Miljana Sokolović,
Predrag Petković