

Jedno rešenje inteligentne strujne utičnice u pametnoj kući

Boris A. Radin, Vukašin A. Nuhijević, Nebojša U. Pjevalica

Sadržaj — U ovom radu je opisano jedno rešenje inteligentne strujne utičnice sa mogućnostima kao što je merenje potrošnje (merenje aktivne i reaktivne snage), uključanje i isključenje potrošača i fazna regulacija snage potrošača. Korisnička aplikacija na PC računaru sa kojom utičnica komunicira pomoću bežičnog protokola SimpliTI na 2,4 GHz služi za očitavanje merenja i upravljanje utičnicom.

Glavne reči — bežična komunikacija, fazna regulacija, kontrola potrošača, merenje potrošnje, pametna kuća, protokol SimpliTI.

I. UVOD

STAMBENI objekat sa ugrađenim inteligentnim računarskim sistemom koji obavlja razne poslove nadzora, automatizacije i merenja u cilju povećanja bezbednosti, komfora i energetske efikasnosti popularno se naziva pametna kuća. U svetu kakav je danas, u kome postoji sve veća potreba za energijom i gde raste svest o potrebi za očuvanjem prirode, koncept pametne kuće se sve više razvija i poboljšava. Merenje potrošnje i inteligentnije upravljanje potrošačima omogućavaju smanjenje troškova i povećanje komfora i sigurnosti, što podstiče i ekonomski opravdava razvoj uređaja koji se bave tim problemom.

Funkcije koje bi inteligentna strujna utičnica trebalo da obavlja su:

- uključanje i isključenje potrošača, struja potrošača do 10A,
- merenje potrošnje,
- fazna regulacija snage potrošača koji može biti otpornog (grejači, sijalice) ili induktivnog tipa (motori),
- bežična sprega sa kontrolnom korisničkom aplikacijom koja se izvršava na PC računaru.

Kontrolna korisnička aplikacija bi trebalo da ima jednostavan i intuitivan izgled sa grafičkim prikazom potrošnje. Poželjno je da postoji mogućnost pristupa aplikaciji putem Interneta čime se omogućava kontrola uređaja na daljinu.

Rad je organizovan u 5 poglavlja. U II poglavlju je dat opis fizičke arhitekture sistema, u III poglavlju je ukratko

Ovaj rad je delimično finansiran od strane Ministarstva za nauku Republike Srbije, projekat 12004, od 2008. godine.

B. A. Radin, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-21-4801201; e-mail: boris.radin@rt-rk.com).

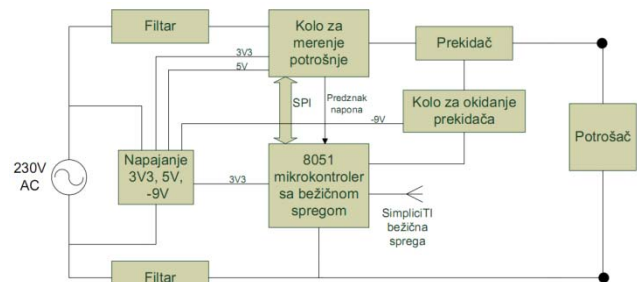
V. A. Nuhijević, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-21-4801185; e-mail: vukasin.nuhijevic@rt-rk.com).

N. U. Pjevalica, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija (telefon: 381-21-4801186; e-mail: nebojsa.pjevalica@rt-rk.com).

opisan bežični protokol SimpliTI i u IV poglavlju su opisani USB primopredajnik za PC računaru i korisnička aplikacija za upravljanje utičnicom.

II. FIZIČKA ARHITEKTURA UREĐAJA

Fizička arhitektura uređaja se može podeliti na nekoliko logički zaokruženih celina. To su napajanje, mikrokontroler, kolo za merenje potrošnje, prekidač i kolo za okidanje prekidača, filter za smanjenje konduktivnih smetnji i antena za radio komunikaciju. Na Sl.1 prikazana je principska šema uređaja sa pomenutim logičkim celinama.



Sl. 1. Principska šema uređaja

A. Napajanje

Pošto je uređaj konstruisan da bude smešten unutar utičnice tako da korisnik nema nikakvog fizičkog kontakta s njim, napajanje može biti galvanski neizolovano što eliminiše potrebu za transformatorom i pojeftinjuje uređaj. Međutim, zbog specifične konstrukcije kola za okidanje prekidača koji zahteva negativan napon, upotrebljen je transformator sa dva sekundarna namotaja. Nakon ispravljanja Grecovim kolom na raspolaganju su +8,5V i -8,5V. Pozitivan napon je stabilisan linearnim regulatorima na 3,3V i 5V za napajanje mikrokontrolera i kola za merenje potrošnje.

B. Mikrokontroler

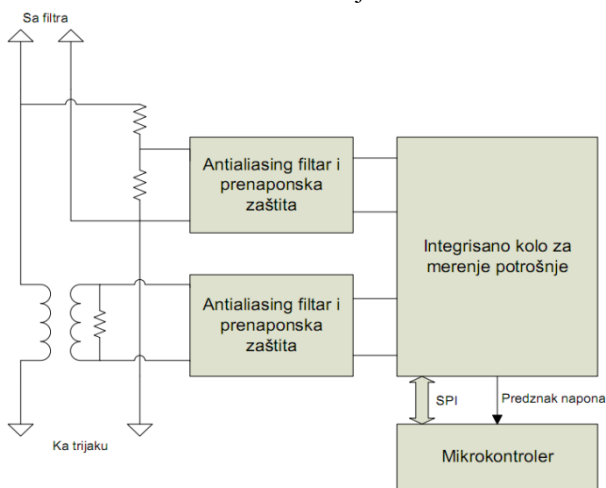
Zbog potrebe za radio komunikacijom potrebno je koristiti neki savremeni mikrokontroler koji u sebi sadrži radio sistem. Može se koristiti i posebno integrisano kolo koje je zaduženo za radio komunikaciju, ali to je skuplje rešenje. U predstavljenom uređaju koristi se sistem u integrisanom kolu SoC (System on Chip) sa 8051 poboljšanom mikrokontrolerskom jedinicom, primopredajnom radio jedinicom na 2,4GHz sa podrškom za protokol SimpliTI, 32kB fleš memorije za smeštanje programske podrške koju je moguće programirati u sistemu, 4 kB RAM memorije, 12-to bitnim A/D pretvaračem sa 8 multipleksiranih ulaza, dve USART jedinice, 4 tajmera/brojača i napajanjem od 2V do 3.6V. Radi na učestanosti od 26 MHz.

Zadaci mikrokontrolera su da pomoću serijske četvorožične spregne SPI (*Serial Peripheral Interface*) komunicira sa kolom za merenje potrošnje, upravlja kolom za okidanje prekidača, komunicira sa kontrolnom korisničkom aplikacijom koristeći bežični protokol SimpliCI, kojoj šalje rezultate merenja i od koje prima odgovarajuće komande.

C. Kolo za merenje potrošnje

Potrošnja se može meriti merenjem struje i napona pomoću A/D pretvarača koje poseduje mikrokontroler - SoC. Međutim, postoje integrisana kola koja su projektovana za merenje potrošnje, pa korišćenje takvog kola pojednostavljuje ceo uređaj.

Kolo za merenje potrošnje, prikazano na Sl.2, sastoji se od integrisanog kola za merenje potrošnje, antialiasing filtera, kola za prilagođenje signala i prenaponsku zaštitu na ulazima A/D pretvarača integrisanog kola, i transformatora za merenje struje sa prenosnim odnosom 1:40 i maksimalnom merenom strujom od 10 A.



Sl.2. Kolo za merenje potrošnje

Integrisano kolo za merenje potrošnje je integrisani sistem koji sadrži dva $\Delta\Sigma$ A/D pretvarača, sisteme za računanje snage, kalibraciju, faznu kompenzaciju i SPI spregu. Projektovan je da precizno meri trenutnu vrednost struje i napona, računa efektivnu vrednost struje i napona, računa trenutnu, aktivnu i reaktivnu snagu. Na jednoj od nožica daje informaciju o polaritetu mrežnog napona koja služi za sinhronizaciju mikrokontrolera sa mrežnom učestanošću. Radi na učestanosti od 4,096 MHz.

Za merenje jačine struje potrošača neophodno je koristiti transformator za galvansko odvajanje. Ukoliko bi struja bila merena strujnim šantom, struja gejtja koja okida trijak bi bila merena takođe, što bi dovelo do sistematske greške merenja [1].

Efektivna vrednost struje I_{rms} se računa za N izmerenih trenutnih vrednosti struje I_n prema jednačini

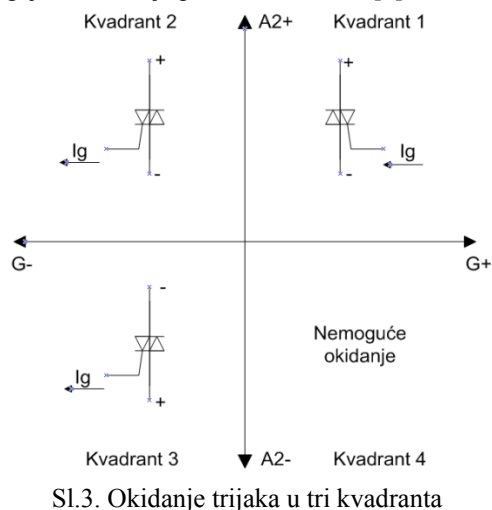
$$I_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} I_n^2}{N}} \quad (1)$$

Isto važi i za računanje efektivne vrednosti napona.

D. Prekidač i kolo za okidanje prekidača

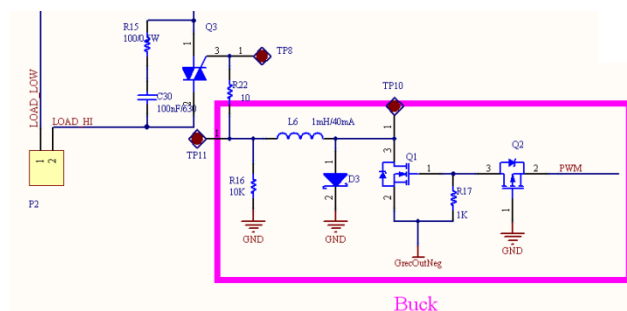
Posebna pažnja posvećena je izboru komponente koja će obavljati ulogu prekidača. Mogućnosti su: elektromagnetni rele, poluprovodnički rele (*SSR – solid*

state relay) i trijak. Zbog zahteva za faznom regulacijom i niskom cenom izabran je trijak odgovarajućih karakteristika. Pomenuta komponenta ima maksimalnu dozvoljenu efektivnu vrednost struje od 16A i malu vrednost struje gejtja od 10 mA potrebne za okidanje trijaka. Zbog konstrukcije koja omogućava okidanje trijaka tako malom vrednošću struje gejtja, nije moguće okidanje u četvrtom kvadrantu, te zbog toga trijak mora biti okidan u drugom i trećem kvadrantu, negativom strujom gejtja, kao što je prikazano na Sl.3 [2].



Sl.3. Okidanje trijaka u tri kvadranta

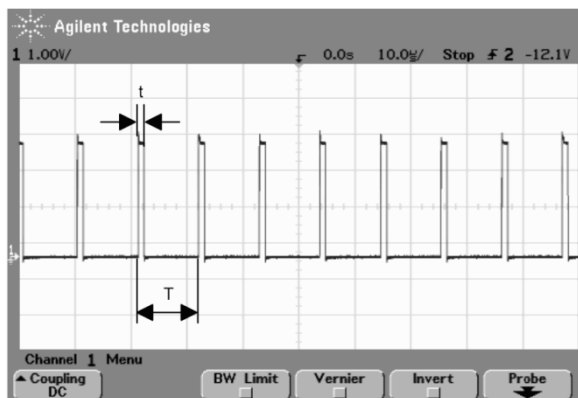
Za okidanje trijaka u drugom i trećem kvadrantu konstruisan je DC/DC IŠM (Impulsno Širinska Modulacija – *PWM Pulse Width Modulation*) pretvarač prikazan na Sl.4 [3]. Tačka sa nazivom *GrecOutNeg* je napon od -8,5V. Izgled signala sa nazivom *PWM* na električnoj šemi prikazan je na Sl.5.



Sl.4. Električna šema DC/DC IŠM pretvarača

Ideja je da se faktorom popunjenosti IŠM signala DC/DC pretvarača koji radi u neprekidnom režimu podešava jačina struje gejtja, pa se on zapravo ponaša kao strujni generator. Time je obezbeđena velika energetska efikasnost kola za okidanje trijaka i manje opterećenje napajanja. Trijak se okida neprekidnom strujom, što eliminiše problem uključivanja trijaka pri malim strujama potrošača [4], [5].

Programskom podrškom mikrokontrolera se upravlja strujom gejtja trijaka, pa je moguće implementirati različite algoritme za regulaciju snage potrošača, npr. fazna regulacija koja je pogodna za sijalice, ili regulacija propuštanjem celog broja poluperioda koja ne generiše strujne impulse u mrežu.



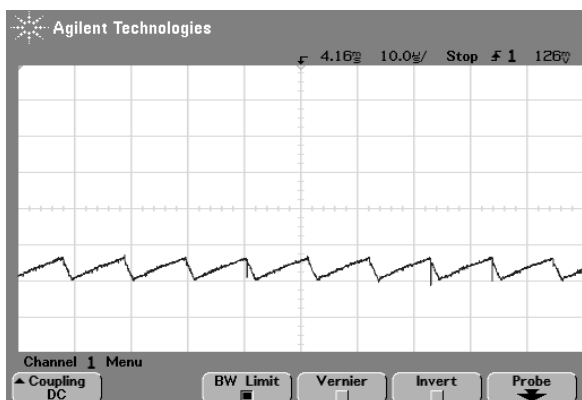
Sl.5. Izgled PWM signala

Perioda PWM signala je T , a t je trajanje impulsa. Odnos t i T je faktor popunjenosti i označava se sa D . Jednačina koja povezuje jačinu struje gejta I_g , faktor popunjenosti, induktivnost L i ulazni napon $V_i = G_{rec} OutNeg$ je

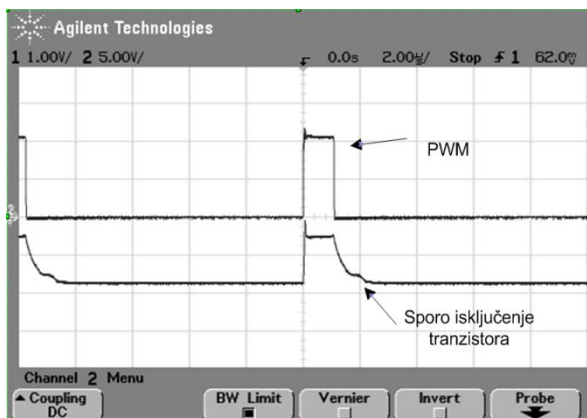
$$\Delta I_g = \frac{V_i}{L} T D (1 - D) \quad (2)$$

Učestanost PWM signala je oko 100 kHz, sa faktorom popunjenosti oko 0,15.

Na Sl.6 je prikazan izgled signala struje gejta trijaka. Na osnovu jednačine (2) i izvedenog merenja prikazanog na Sl.6, određuje se tačan faktor popunjenosti potreban za generisanje odgovarajuće jačine struje potrebne za okidanje trijaka.



Sl.6. Izgled signala struje gejta trijaka.



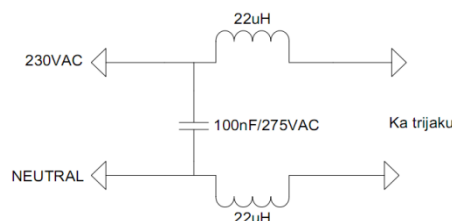
Sl.7. Izgled PWM signala i napona gejta tranzistora Q1

Na Sl.7 prikazani su signali PWM i napon gejta tranzistora Q1. Uočava se sporo isključenje tranzistora Q1, pa je potrebno tu grešku uračunati pri generisanju PWM signala. Problem se može rešiti promenom vrednosti otpornika R17, ili dodavanjem induktivnosti na red sa tim otpornikom.

Kada se trijak koristi za upravljanje induktivnim potrošačima, napon i struja potrošača nisu u fazi. Pošto se trijak isključuje kad struja potrošača padne na nulu, pri isključenju dolazi do naglog porasta napona na trijaku [6], [7]. Da bi se umanjio nagib primenjenog napona i osiguralo pravilno isključenje trijaka potrebno je koristiti zaštitno dV/dt kolo, tzv. snaber (*snubber*) kolo. Ono se sastoji od otpornika i kondenzatora povezanih redno, pa zajedno povezanih paralelno sa A1 i A2 krajevima trijaka. Vrednost kapacitivnosti i otpornosti zavisi od induktivnosti potrošača. Snaber kolo je prikazano na Sl.4, čine ga R15 i C30 [8].

E. Filtar

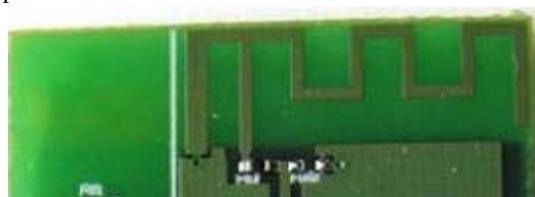
Filtar za potiskivanje konduktivnih smetnji nastalih zbog naglih impulsa struje pri faznoj regulaciji snage potrošača prikazan je na Sl.8.



Sl.8. Filtar za potiskivanje konduktivnih smetnji

F. Antena

Proizvođač mikrokontrolera preporučuje nekoliko vrsta antena koje se mogu koristiti za bežičnu spregu pomoću protokola SimpliciTI na 2,4 GHz, a to su štap antena, antena u integrisanom kolu i antena na štampanoj ploči [9]. Ovde je izabrana antena na štampanoj ploči jer ne poskupljuje uređaj i ima dobre karakteristike [10]. Antena je prikazana na Sl.9.



Sl.9. Antena na štampanoj ploči

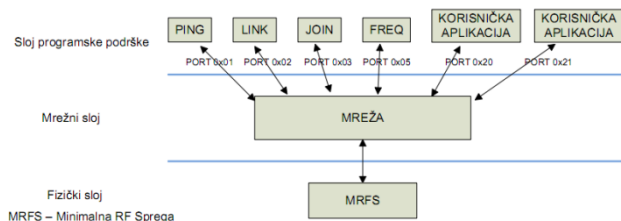
III. BEŽIČNA SPREGA

SimpliciTI je protokol koji formira mrežu ravnopravnih čvorišta (*peer to peer*). Podržava dve osnovne topologije: topologiju isključivo ravnopravnih čvorišta i topologiju zvezde u kojoj jedno čvorište mreže ima ulogu razvodnika. Ovde je korišćena osnovna topologija isključivo ravnopravnih čvorišta jer je najjednostavnija a dovoljna za ispravno funkcionisanje uređaja. U zavisnosti od potrebe moguće je jednostavno izmeniti programsku podršku mikrokontrolera tako da se formira topologija zvezde [11].

Na Sl.10 su prikazani logički nivoi protokola

SimpliciTI.

Fizički sloj predstavlja radio sa svim fizičkim komponentama koje su potrebne za njegovo funkcionisanje.



Sl.10. Logički slojevi protokola SimpliciTI

Sloj mreže upravlja prijemnim i predajnim redovima i otprema okvire podataka na njihova odredišta. Odredište je uvek aplikacija određena brojem Porta, ekvivalentno ideji TCP/IP porta. Port je dodatak adresi, zaglavljuje okvira se skida a preostali primljeni podaci se šalju aplikaciji koja se nalazi na određenom Portu.

U sloju programske podrške se nalazi implementacija interakcije nekog senzora/aktuatora sa okolinom, koji korišćenjem komandi protokola SimpliciTI komunicira sa drugim uređajem.

IV. USB PRIMOPREDAJNIK ZA PC RAČUNAR I KORISNIČKA APLIKACIJA

Da bi utičnicom bilo moguće upravljati, potreban je drugi uređaj koji podržava bežični SimpliciTI protokol. Najjednostavnije za korisnika sistema je da ima mali USB uređaj koji priključi na USB priključak PC računara i pokrene kontrolnu aplikaciju. Srž USB uređaja čini mikrokontroler - SoC koji ima identične karakteristike sa opisanim mikrokontrolerom uz dodatak sistema za USB komunikaciju. Operativni sistem PC računara prepoznaje ovaj uređaj kao još jedan RS232 periferni uređaj.

Upravljačka korisnička aplikacija grafički prikazuje izmerenu potrošnju sa osvežavanjem svake sekunde. Posедуje dugmiće kojima se zadaju komande utičnici. Komande su uključi utičnicu, isključi utičnicu, izbor načina regulacije snage potrošača (propuštanjem perioda ili faznom regulacijom) i procenat dozvoljene snage potrošača.

V. ZAKLJUČAK

Uređaj je projektovan tako da omogući upravljanje potrošačima otpornog i induktivnog tipa. Eliminacija zahteva za faznom regulacijom ili ograničavanje samo na potrošače otpornog tipa pojednostavilo bi uređaj. Moguće je namenski konstruisati utičnicu samo za određene vrste potrošača. Upotreba transformatora je povećala fizičke dimenzije uređaja, tako da bi naredna verzija uređaja mogla biti projektovana sa prekidačkim napajanjem uz pažnju da takvo napajanje ne izazove smetnje i poremeti rad radio komunikacije. Takvo napajanje eliminiše potrebu za tako velikim transformatorom, pa bi dimenzije uređaja bile manje.

LITERATURA

- [1] V. Bego, *Mjerenja u elektrotehnici*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1975.
- [2] AN439, *Snubberless and logic level TRIAC behavior at turn-off*, Application Note.pdf, www.st.com
- [3] B. Dokić, *Energetska elektronika: pretvarači i regulatori*, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Banjaluci, Banjaluka, 2000.
- [4] AN303, *Thyristors and TRIACs: latching current*, Application Note.pdf, www.st.com
- [5] AN302, *Thyristors and TRIACs: holding current - an important parameter*, Application Note.pdf, www.st.com
- [6] AN307, *USE OF TRIACS ON INDUCTIVE LOADS*, Application Note.pdf, www.st.com
- [7] AN308, *TRIAC analog control circuits for inductive loads*, Application Note.pdf, www.st.com
- [8] AN437, *RC snubber circuit design for TRIACs*, Application Note.pdf, www.st.com
- [9] AN058, *Antenna Selection Guide (Rev. A)*, Application Note.pdf, Texas Instruments, www.ti.com
- [10] AN043, *Small Size 2.4 GHz PCB Antenna (Rev. D)*, Application Note.pdf, www.ti.com
- [11] *SimpliciTI Overview (Rev. B)*, technical document.pdf, www.ti.com

ABSTRACT

In this paper an intelligent power supply outlet is described with work performances such as measuring of power consumption (measuring of active and reactive power), switching on/off a consumer and power phase regulation of a consumer. Measured consumption reading and outlet control and monitoring are performed by an application on a PC which communicates with outlet using the SimpliciTI wireless protocol at 2,4 GHz.

AN INTELLIGENT POWER SUPPLY OUTLET AS A SOLUTION IN SMART HOUSE

Boris A. Radin, Vukašin A. Nuhijević, Nebojša U. Pjevalica