



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ



Милорад Вукадиновић

**Једно решење бежично контролисане
прикључнице за праћење потрошње
електричне енергије**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2012



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР :	
Идентификациони број, ИБР :	
Тип документације, ТД :	Монографска документација
Тип записа, ТЗ :	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР :	Дипломски – мастер рад
Аутор, АУ :	Милорад Вукадиновић
Ментор, МН :	проф. др Вељко Малбаша
Наслов рада, НР :	Једно решење бежично контролисане прикључнице за праћење потрошње електричне енергије
Језик публикације, ЈП :	Српски / латиница
Језик извода, ЈИ :	Српски
Земља публикавања, ЗП :	Република Србија
Уже географско подручје, УГП :	Војводина
Година, ГО :	2012.
Издавач, ИЗ :	Ауторски репринт
Место и адреса, МА :	Нови Сад; трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, ФО : (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	10/39/0/0/19/2/0
Научна област, НО :	Електротехника и рачунарство
Научна дисциплина, НД :	Рачунарска техника
Предметна одредница/Кључне речи, ПО :	мерење снаге, праћење потрошње електричне енергије, ЗигБее, кућна аутоматизација
УДК	
Чува се, ЧУ :	У библиотеци Факултета техничких наука, Нови Сад
Важна напомена, ВН :	
Извод, ИЗ :	У раду је описано једно решење електричне прикључнице као дела система кућне аутоматизације. Прикључница има могућност константног праћења потрошње електричне енергије, као и укључења и искључења прикљученог потрошача. Спрега са осталим уређајима је употребом бежичне везе, конкретно ЗигБее протокола.
Датум прихватања теме, ДП :	Октобар 2012.
Датум одбране, ДО :	Октобар 2012.
Чланови комисије, КО :	Председник: др Милош Живанов
	Члан: др Иштван Пап
	Члан, ментор: др Вељко Малбаша
	Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monographic publication
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	Master Thesis
Author, AU :	Milorad Vukadinović
Mentor, MN :	PhD Veljko Malbaša
Title, TI :	A solution of wirelessly controlled outlet for monitoring of electrical energy consumption
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian
Country of publication, CP :	Republic of Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2012.
Publisher, PB :	Author's reprint
Publication place, PP :	Novi Sad, Dositeja Obradovica sq. 6
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	10/39/0/0/19/2/0
Scientific field, SF :	Electrical Engineering
Scientific discipline, SD :	Computer Engineering, Engineering of Computer Based Systems
Subject/Key words, S/KW :	power measurement, monitoring of electrical energy consumption, ZigBee, home automation
UC	
Holding data, HD :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, N :	
Abstract, AB :	In this paper realisation of an electrical outlet as a part of home automation system is described. Outlet has a possibility of constant monitoring of electrical energy consumption, and also it can turn on or off the appliance attached. It is connected wirelessly with other devices using ZigBee protocol.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	October 2012.
Defended on, DE :	October 2012.
Defended Board, DB :	President: PhD Miloš Živanov
	Member: PhD Ištvan Papp
	Member, Mentor: PhD Veljko Malbaša
	Menthor's sign

	УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА	Број:
	21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6	
	ЗАДАТАК ЗА МАСТЕР РАД	Датум:

(Податке уноси предметни наставник - ментор)

СТУДИЈСКИ ПРОГРАМ:	Енергетика, електроника и телекомуникације
РУКОВОДИЛАЦ СТУДИЈСКОГ ПРОГРАМА:	проф. др Вељко Малбаша

Студент:	Милорад Вукадиновић	Број индекса:	Е1 22/2011
Област:	Микропроцесорска електроника		
Ментор:	проф. др Вељко Малбаша		
НА ОСНОВУ ПОДНЕТЕ ПРИЈАВЕ, ПРИЛОЖЕНЕ ДОКУМЕНТАЦИЈЕ И ОДРЕДБИ СТАТУТА ФАКУЛТЕТА ИЗДАЈЕ СЕ ЗАДАТАК ЗА МАСТЕР РАД, СА СЛЕДЕЋИМ ЕЛЕМЕНТИМА: - проблем – тема рада; - начин решавања проблема и начин практичне провере резултата рада, ако је таква провера неопходна;			

НАСЛОВ МАСТЕР РАДА:

Једно решење бежично контролисане прикључнице за праћење потрошње електричне енергије

ТЕКСТ ЗАДАТКА:

1) Реализовати физичку архитектуру и програмску подршку бежично контролисане електричне прикључнице. 2) За бежичну комуникацију употребити РФ модул ОБЛО регулатора јачине светлости који користи ЗигБее протокол. 3) Омогућити константно праћење потрошње прикључених уређаја. 4) Омогућити интеграцију прикључнице у ОБЛО систем. 5) Извршити проверу рада прикључнице у реалним условима.

Руководилац студијског програма:	Ментор рада:

Примерак за: О - Студента; О - Ментора
--

Zahvalnost

Mojoj porodici, za bezgraničnu podršku.

SADRŽAJ

1. Uvod.....	1
2. Opis OBLO sistema	2
2.1 Razvoj OBLO sistema.....	2
2.2 Sadašnji izgled OBLO sistema.....	3
3. Zadatak rada.....	5
4. Teorijske osnove	7
4.1 Merenje potrošnje uređaja.....	7
4.2 ZigBee bežična komunikacija	8
5. Analiza zahteva i mogućih rešenja	10
5.1 Kućište uređaja.....	10
5.2 Izbor prekidačkog elementa	11
5.3 Merenje potrošnje električne energije.....	13
5.4 Napajanje priključnice.....	15
5.5 ZigBee modul.....	15
6. Fizička arhitektura priključnice	16
6.1 Realizacija napajanja priključnice.....	16
6.2 Izbor odgovarajućeg relea i pobudnog kola	17
6.3 Integrisano kolo za merenje snage CS5463	18
6.4 ZigBee modul.....	19
7. Programska podrška priključnice.....	21
7.1 Zadaci mikrokontrolera	21
7.2 Algoritam programske podrške	25
7.3 Realizacija programske podrške.....	27

7.4	Protokol komunikacije između OHM-a i priključnice	29
8.	Rezultati testiranja	32
9.	Zaključak	36
10.	Literatura.....	38

SPISAK SLIKA

Slika 2.1 Prvobitni OBLO sistem	3
Slika 4.1 Primer topologije ZigBee mreže	9
Slika 5.1 Izgled kućišta uređaja	10
Slika 5.2 Prekidač sa MOSFET i Grecovim spojem dioda.....	11
Slika 5.3 AC prekidač sa MOSFET-ovima.....	12
Slika 6.1 Blok šema fizičke arhitekture realizovane priključnice.....	16
Slika 6.2 Prekidačko napajanje sa LNK 304 integrisanim kolom	17
Slika 6.3 Pobudno kolo relea	18
Slika 6.4 Blok šema specijalizovanog kola za merenje snage CS5463	19
Slika 6.5 Primer šeme povezivanja CS5463	19
Slika 6.6 Blok šema mikrokontrolera CC2530	20
Slika 7.1 Prikaz sadržaja lokacije namenjene smeštanju rezultata	24
Slika 7.2 Algoritam glavne programske funkcije	25
Slika 7.3 Algoritam glavne programske funkcije (nastavak).....	26
Slika 7.4 Slojevit organizacija programske podrške	27
Slika 7.5 Ponašanje sistema u slučaju izostanka potvrde prijema ili izostanka izveštaja	30
Slika 7.6 Ponašanje sistema u slučaju izostanka zahteva ili podatka iz memorije	31
Slika 8.1 Izgled gotove priključnice	32
Slika 8.3 Izgled dela datoteke sa rezultatima iz trajne memorije mikrokontrolera.....	33
Slika 8.4 Relativna greška priključnice pre i posle korekcije rezultata merenja	34
Slika 8.5 Upoređivanje rezultata merenja tri priključnice i VMP 20.....	35

SKRAĆENICE

AC	- <i>Alternating Current</i> , Naizmenična struja
ADC	- <i>Analog to Digital Converter</i> , Analogno digitalni konvertor
BJT	- <i>Bipolar Junction Transistor</i> , Bipolarni tranzistor
DC	- <i>Direct Current</i> , Jednosmerna struja
IGBT	- <i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i> , Tranzistor koji predstavlja spoj MOSFET i BJT tranzistora (poseduje dobre osobine i jednog i drugog)
L	- <i>Line</i> , Fazni provodnik
LAN	- <i>Local Area Network</i> , Lokalna računarska mreža
LED	- <i>Light Emitting Diode</i> , Dioda koja emituje svetlost
MOSFET	- <i>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor</i> , vrsta tranzistora sa efektom polja
N	- <i>Neutral</i> , Neutralni provodnik
OHM	- <i>OBLO Home Manager</i> , Centralna jedinica za upravljanje OBLO sistemom
PIR	- <i>Passive InfraRed</i> , Pasivni infracrveni senzor
RTC	- <i>Real Time Clock</i> , Generator realnog vremena
SoC	- <i>System-On-chip</i> , Sistem u integrisanom kolu

1. Uvod

Razvoj elektronike, uz neprestanu težnju da se smanji potrošnja električne energije, doveo je do pojave velikog broja uređaja čija je osnovna namena ušteda električne energije na nivou jedne zgrade. Pomenuti uređaji su najširu primenu našli u okviru „pametnih kuća“. Time je omogućeno da svaka kuća doprinese unapređenju zaštite životne sredine, tj. smanjenju zagađenja životne sredine uzrokovanog proizvodnjom električne energije.

Tema ovog rada je unapređenje postojećeg uređaja, „pametne“ priključnice. Pametna priključnica poseduje osobinu merenja snage priključenog potrošača na zahtev. Maksimalna snaga priključenog potrošača je 300W, moguća je fazna regulacija snage potrošača i komunikacija sa ostalim uređajima upotrebom ZigBee protokola. Kao što je poznato, veća ušteda energije se ostvaruje ukoliko efikasno upravljamo potrošačima veće snage. Prema tome, potrebno je promeniti fizičku arhitekturu i programsku podršku pametne priključnice kako bi se obezbedilo upravljanje potrošnjom potrošača velike snage (preko 1kW), zatim konstantno praćenje potrošnje priključenog uređaja, smanjenje zagrevanja samog uređaja i smanjenje emitovanih elektromagnetnih smetnji.

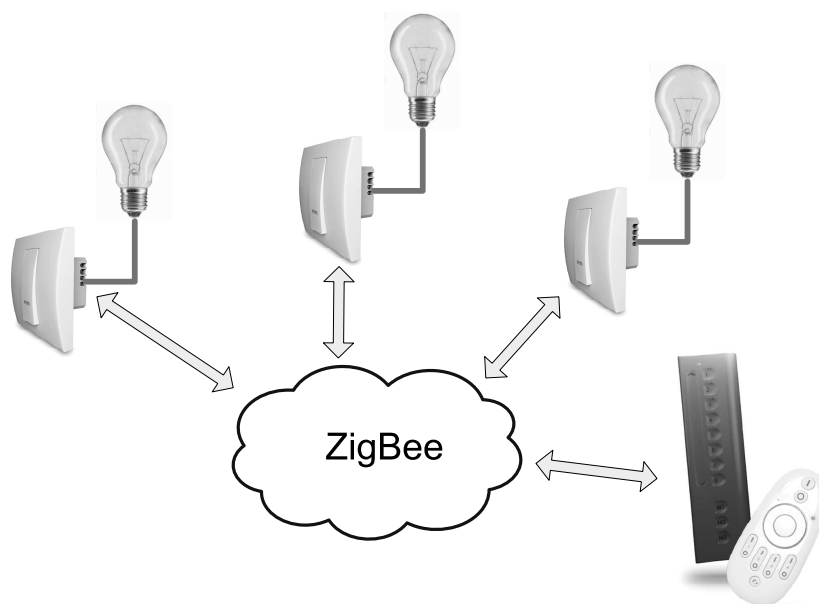
Rad je podeljen na deset celina. Nakon uvodnog dela dat je opis OBLO sistema unutar koga se nalazi i pametna priključnica, čije je unapređenje potrebno. Sledeća celina sadrži definisanje zadataka rada, nakon čega sledi razmatranje teorije povezane sa merenjem potrošnje uređaja i funkcionisanjem ZigBee protokola. Nakon analize zahteva i mogućih rešenja, dat je opis realizovane fizičke arhitekture i programske podrške uređaja, kao i rezultati testiranja uređaja. U Zaključku su dati osvrt na zadatak rada, uspešnost realizacije i pravci daljeg razvoja. Poslednje poglavlje sadrži spisak literature koja je korišćena prilikom realizacije uređaja.

2. Opis OBLO sistema

Koncept OBLO sistema je zasnovan na ideji o međusobnoj komunikaciji između čoveka i uređaja koji ga okružuju kako bi se poboljšali uslovi života, povećala bezbednost i životni prostor učinio zanimljivijim. Takođe, pored svega navedenog, bitna karakteristika OBLO koncepta je i ušteda električne energije. OBLO koncept predviđa i određen vid inteligencije koju bi sistem posedovao, odnosno sistem bi mogao sam da, na osnovu unapred definisanih naredbi koje bi se izvršavale u zavisnosti od rezultata očitavanja određenih senzora (npr. PIR senzora), uključuje ili isključuje određene potrošače kako bi se povećala ušteda električne energije bez direktnog uticaja korisnika. Poboljšanja na polju bezbednosti se sastoje u mogućnosti isključenja potrošača kada dođe do preopterećenja, pošto sistem konstantno prati potrošnju svih povezanih uređaja. Prema tome, OBLO koncept predstavlja sistem koji omogućava vezu između korisnika i električnih uređaja u njegovom okruženju, konkretno u njegovom domu (videti [1], [2]).

2.1 Razvoj OBLO sistema

Prvobitno, OBLO sistem se sastojao od daljinskog upravljača i regulatora jačine svetlosti koji međusobno komuniciraju bežičnom vezom, upotrebom ZigBee protokola. Pomenuti sistem je mogao da upravlja sa osam grupa od po osam sijalica. Pored podešavanja trenutne jačine svetlosti, postoji i mogućnost pamćenja određenih podešavanja i njihovo kasnije pozivanje. Osnovni OBLO sistem je prikazan na slici 2.1.



Slika 2.1 Prvobitni OBLO sistem

Dodavanjem pametnih priključnica, koje takođe imaju mogućnost bežične komunikacije upotrebom ZigBee protokola u sistem, proširuju se mogućnosti sistema. Sada je moguće pomoću daljinskog upravljača isključiti ili uključiti bilo koji potrošač koji kontroliše pametna priključnica. Takođe, u slučaju da je snaga priključenog uređaja u nekom trenutku veća od granice koju je definisao korisnik, dolazi do automatskog isključenja potrošača.

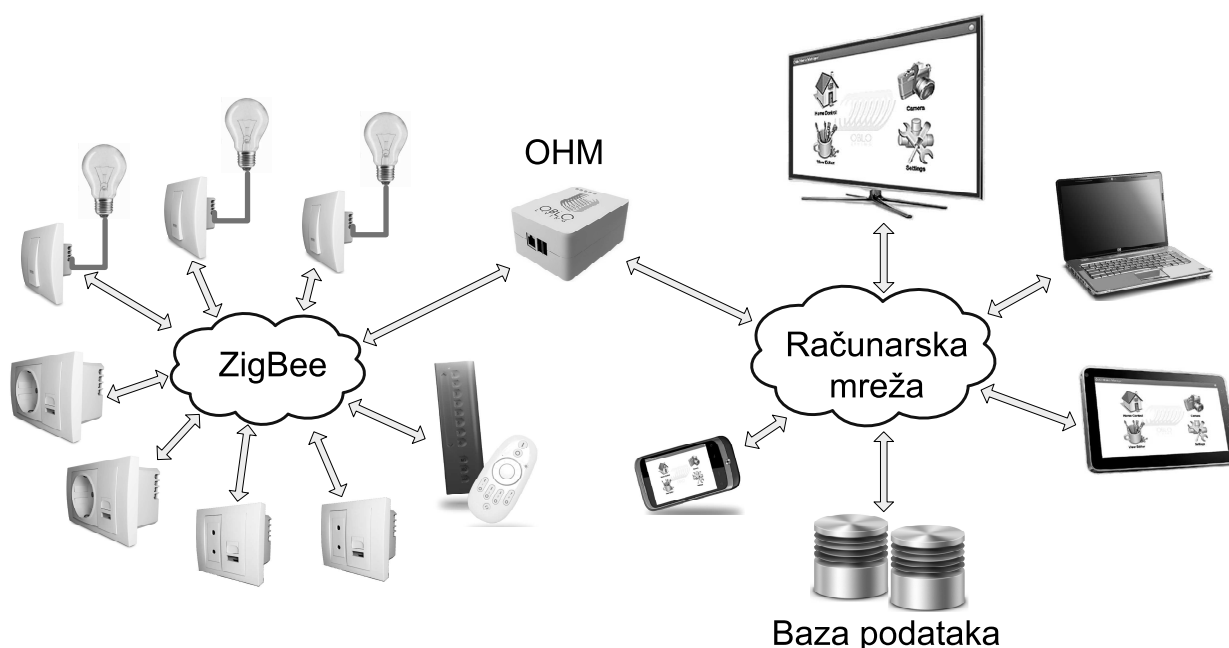
Sledeći korak u razvoju OBLO sistema bio je dodavanje centralne jedinice Oblo Home Manager-a (OHM), uređaja koji vrši nadzor i upravljanje OBLO sistemom. OHM je povezan sa ostalim uređajima bežičnom vezom upotrebom ZigBee protokola, a povezan je i na računarsku mrežu (LAN, internet). Time je omogućeno upravljanje i nadzor OBLO sistema pomoću bilo kog uređaja koji ima pristup računarskoj mreži (računar, mobilni telefon i sl), a mogućnosti sistema su višestruko povećane. Ukoliko je računarska mreža internet, korisnik može u svakom trenutku da pomoću svog mobilnog telefona proveri da li je slučajno zaboravio da isključi neki uređaj u kući, ili da uključi neki uređaj, npr. bojler, kada krene kući sa posla. Takođe, u svakom trenutku korisnik može proveriti potrošnju bilo kog uređaja u kući.

Ukoliko se podesi, OHM može nakon unapred definisanog vremena da šalje izveštaje o potrošnji na udaljeni računar upotrebom interneta, tako da ih je moguće sa bilo kog mesta na planeti pogledati.

2.2 Sadašnji izgled OBLO sistema

Sve bržim razvojem televizora, odnosno dodavanjem novih funkcija televizoru, kao što je povezivanje na računarsku mrežu, otvorila se mogućnost iskorišćenja velikog televizijskog ekrana za prikaz stanja OBLO sistema i upravljanje istim. Takođe, moguće je jednim daljinskim

upravljačem kontrolisati sve uređaje u kući. Sadašnji izgled OBLO sistema prikazan je na slici 2.2.



Slika 2.2 Sadašnji izgled OBLO sistema

Kao što se na slici 2.2 vidi OHM je sa uređajima kao što su televizor, prenosivi računar, računar na kome se nalazi baza podataka, tablet i mobilni telefon povezan putem računarske mreže. Pomenuta računarska mreža može biti LAN koja obuhvata samo stan ili kuću korisnika i tada bilo koji uređaj koji ima pristup LAN-u može da komunicira sa ostalim uređajima unutar mreže. Time je omogućeno korisniku da, npr. dok uživa u gledanju televizijskog programa, istovremeno upotrebom daljinskog upravljača podesi i osvetljenost prostorije u skladu sa sadržajem programa (romantični film, prenos nekog sportskog događaja i sl.). Takođe, pomenuta računarska mreža može biti i internet. Tada je moguće upotrebom npr. mobilnog telefona uključiti ili isključiti uređaje u stanu ili kući bez obzira gde se korisnik nalazi. Kao primer može se uzeti uključivanje grejanja tako da kad korisnik stigne u stan ili kuću temperatura prostorija je dostigla željenu vrednost. Time se povećava komfor uz istovremenu uštedu električne energije (izbegnuta je situacija u kojoj se korisnik nalazi u hladnim prostorijama dok se ne postigne željena temperatura, a nema potrebe da grejalica bude konstantno uključena).

3. Zadatak rada

Postojeća pametna priključnica poseduje sledeće osobine:

- Radni napon: 230V/50Hz,
- Potrošnja: ~40mA pri 7 V DC,
- Protokol bežične komunikacije: ZigBee,
- Maksimalna snaga priključenog potrošača: 300W,
- Kućište dimenzija 22,2 mm x 47,9 mm x 41,5 mm,
- Prekidački element: triak,
- Mogućnost merenja snage na zahtev OHM-a,
- Mogućnost fazne regulacije snage priključenog potrošača.

S obzirom na to da je prekidački element triak, usled nemogućnosti podešavanja nagiba rastuće ivice struje prilikom uključenja potrošača, javljaju se značajne elektromagnetne smetnje.

Nova priključnica treba da zadrži pojedine osobine postojeće priključnice (u nastavku SO_300W), kao što su radni napon, protokol bežične komunikacije i naravno veličina kućišta, kako bi mogla lako da se uklopi u OBLO sistem i da bez izmena može da zameni SO_300W. Takođe, za realizaciju nove priključnice potrebno je koristiti ZigBee modul koji je razvijen za potrebe SO_300W i regulatora jačine svetlosti. Što se tiče ostalih osobina nove priključnice, potrebno je povećati maksimalnu snagu priključenog potrošača što je više moguće, smanjiti sopstvenu potrošnju, smanjiti smetnje koje emituje uređaj, smanjiti zagrevanje kompletne priključnice i izmeniti programsku podršku kako bi se omogućilo konstantno praćenje potrošnje električne energije i praćenje faktora snage priključenog uređaja. Priključnica treba da poseduje i mogućnost uključenja i isključenja potrošača, kako bežičnim putem, tako i pritiskom na taster, koji se nalazi na prednjoj masi priključnice.

Unapređenje bezbednosti se ogleda u konstantnom praćenju snage koja se razvija na priključenom potrošaču i isključenju potrošača ukoliko snaga pređe unapred podešenu granicu. Priključnica treba da poseduje i prethodno opisnu osobinu.

Pored pomenutih tehničkih zahteva, potrebno je izvršiti i optimizaciju cene komponenata i troškova proizvodnje kako bi priključnica bila što pogodnija za masovnu proizvodnju.

4. Teorijske osnove

4.1 Merenje potrošnje uređaja

Merenje potrošnje električne energije je veoma značajno kako zbog pravilnog upravljanja proizvodnjom i distribucijom električne energije, tako i zbog naplaćivanja utrošene električne energije od strane krajnjih korisnika.

Ukoliko se na priključke nekog monofaznog potrošača dovede naizmenični napon $u(t)$ doći će do uspostavljanja struje $i(t)$ kroz potrošač. Snaga koja se u bilo kom trenutku razvija na potrošaču jednaka je proizvodu vrednosti struje i napona u tom trenutku, tj.

$$p(t) = i(t) \cdot u(t). \quad (4.1)$$

Ukoliko se pretpostavi da je potrošač linearan i da je dovedeni napon sinusoidalnog oblika, odnosno:

$$u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t), \quad (4.2)$$

tada će i struja biti sinusoidalnog oblika:

$$i(t) = \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega \cdot t - \theta), \quad (4.3)$$

pri čemu su U i I efektivne vrednosti pomenutih veličina, ω kružna frekvencija, θ je fazni ugao, a t je vreme. Tada je trenutna vrednost snage u nekom trenutku jednaka:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t) = \sqrt{2} \cdot U \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega \cdot t - \theta) = 2UI \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \sin(\omega \cdot t - \theta), \quad (4.4)$$

što nakon primene trigonometrijskih identiteta postaje [3]:

$$p(t) = UI \cos \theta \cdot [1 - \cos(2\omega t)] - UI \sin \theta \cdot \sin(2\omega t). \quad (4.5)$$

U prethodnom izrazu, prvi član predstavlja vrednost snage koja se razvija na rezistivnom elementu, a drugi deo predstavlja snagu koja se razvija na reaktivnom elementu. Snaga koja se razvija na reaktivnom elementu u suštini predstavlja brzinu promene energije koja se razmenjuje

između generatora i reaktivnih elemenata. Na osnovu prethodnog izraza definišu se pojedine vrste snaga od kojih su najznačajnije: aktivna, reaktivna i prividna snaga. Aktivna snaga predstavlja korisnu snagu koja se predaje potrošaču i jednaka je srednjoj vrednosti prvog člana u izrazu 4.5. Reaktivna snaga predstavlja maksimalnu vrednost drugog člana izraza 4.5 i opisuje razmenu energije između generatora i reaktivnih elemenata. Prividna snaga je jednaka proizvodu efektivnih vrednosti struje i napona i daje maksimalno moguće odstupanje vrednosti trenutne od vrednosti aktivne snage. Na osnovu prethodnih objašnjenja dolazi se do zaključka da postoje aktivna, reaktivna i prividna energija.

Faktor snage predstavlja odnos aktivne i prividne snage i govori kakvog je tipa potrošač (pretežno rezistivan ili pretežno reaktivan). Kako se u domaćinstvu uglavnom koriste potrošači sa visokim vrednostima faktora snage (oko jedan), elektrodistribucija od domaćinstava naplaćuje samo potrošenu aktivnu energiju. Priključnica koja je tema ovog rada namenjena je upotrebi u kući, pa prema tome značajno je da tačno meri aktivnu energiju koja se i naplaćuje od krajnjeg korisnika.

Aktivna energija koju uređaj preuzme iz elektrodistributivne mreže u intervalu od t_1 do t_2 se računa kao:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt. \quad (4.6)$$

gde $p(t)$ predstavlja vrednost aktivne snage u trenutku t . Nakon prelaska u digitalni domen integral postaje suma, pa ukoliko se koriste digitalna kola za merenje snage sledi da je za merenje potrošnje aktivne energije potrebno sabirati vrednosti aktivne snage tokom vremena ili naći srednju vrednost aktivne snage u nekom intervalu i pomnožiti je sa datim intervalom.

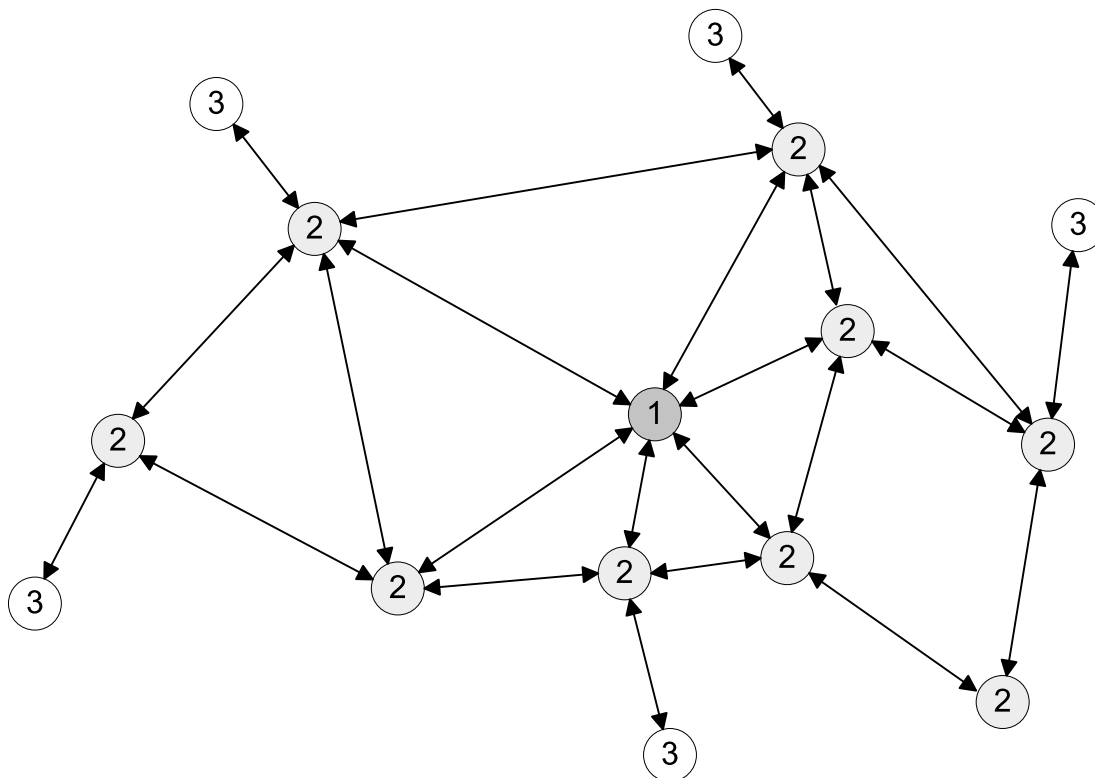
4.2 ZigBee bežična komunikacija

ZigBee je protokol bežične komunikacije optimizovan za uređaje sa malom potrošnjom unutar sistema kućne automatizacije.

ZigBee mreža je samokonfigurišuća, multi-hop mreža najčešće sa baterijski napajanim uređajima. Multi-hop znači da razmena informacija između dva uređaja zavisi od rasporeda i funkcije drugih uređaja u mreži. Kako bi razmena informacija između uređaja koji čine ZigBee mrežu bila moguća, svaki uređaj u mreži pored osnovne funkcije mora da realizuje i neke funkcije povezane sa radom mreže. Mrežne funkcije uređaja zavise od tipa uređaja unutar ZigBee mreže.

Uređaj unutar ZigBee mreže može biti: koordinator, ruter ili krajnji uređaj. Primer topologije ZigBee mreže dat je na slici 4.1. Čvor označen brojem jedan predstavlja koordinator, čvorovi označeni brojem dva rutere, a čvorovi označeni brojem tri krajnje uređaje. Svaka ZigBee

mreža se sastoji od uređaja koji je koordinator i više uređaja koji mogu biti ruteri ili krajnji uređaji. Funkcija uređaja povezana sa održavanjem mreže ne ograničava koje još funkcije može da obavlja pomenuti uređaj.



Slika 4.1 Primer topologije ZigBee mreže

Koordinator je prvi uređaj u mreži, on osniva mrežu, bira kanal koji će se koristiti i identifikator mreže. Nakon osnivanja mreže, koordinator se ponaša kao ruter (ili čak može biti uklonjen iz mreže) zahvaljujući načinu funkcionisanja ZigBee mreže.

Funkcije rutera su: omogućavanje drugim uređajima da se uključe u mrežu i multi-hop rutiranje, a takođe ruter mora da omogući i komunikaciju krajnjim uređajima koji su na njega direktno povezani. Za rutere se očekuje da budu stalno aktivni zbog svoje funkcije, pa su zbog toga najčešće priključeni na stalno napajanje, npr. na mrežni napon (230V/50Hz) preko stabilizatora. Ruter čuva poruke namenjene krajnjim uređajima koji su na njega direktno povezani dok oni ne izađu iz režima smanjene potrošnje i ne zatraže da obrade pristigle poruke. Istovremeno, ruter preuzima na sebe slanje poruka od krajnjih uređaja ka nekom čvoru mreže, što omogućava krajnjem uređaju da ode u režim smanjene potrošnje energije, čime se produžava vek baterije pa krajnji uređaj može da funkcioniše upotrebom baterijskog napajanja veoma dugo.

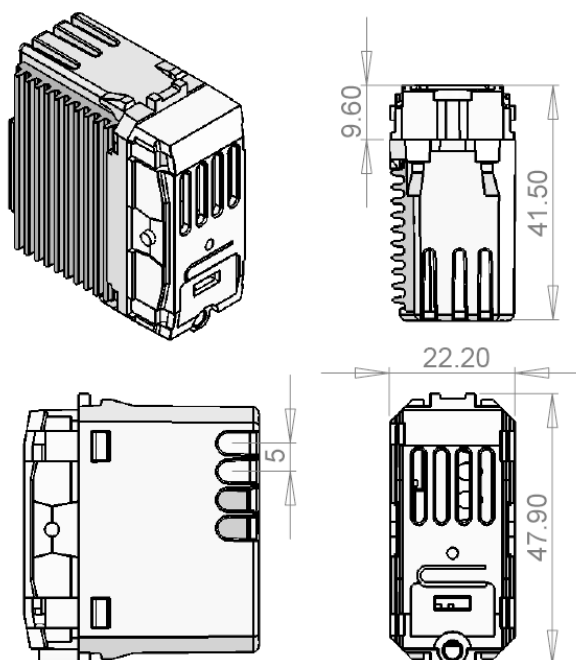
Krajnji uređaj je oslobođen bilo kakvog zadatka povezanog sa održavanjem mreže, što mu omogućava da bude u stanju niske potrošnje energije, i da samo po potrebi pređe u aktivno stanje, obavi svoje zadatke i vrati se u stanje smanjene potrošnje.

5. Analiza zahteva i mogućih rešenja

U ovom poglavlju biće data analiza zahteva i predložena moguća rešenja koja zadovoljavaju zahteve. Biće objašnjeno i zašto je neko rešenje usvojeno za realizaciju uređaja.

5.1 Kućište uređaja

Celokupan uređaj treba da stane u kućište prikazano na slici 5.1 kako bi bez problema stara priključnica mogla da se zameni novom. Kućište sadrži i rebrasti hladnjak na jednoj svojoj strani, kao što se može videti na slici.



Slika 5.1 Izgled kućišta uređaja

Pošto je kućište veoma malih dimenzija, prilikom izbora prekidačkog elementa treba posebno obratiti pažnju na njegovo zagrevanje kako ne bi došlo do pregrevanja i uništenja

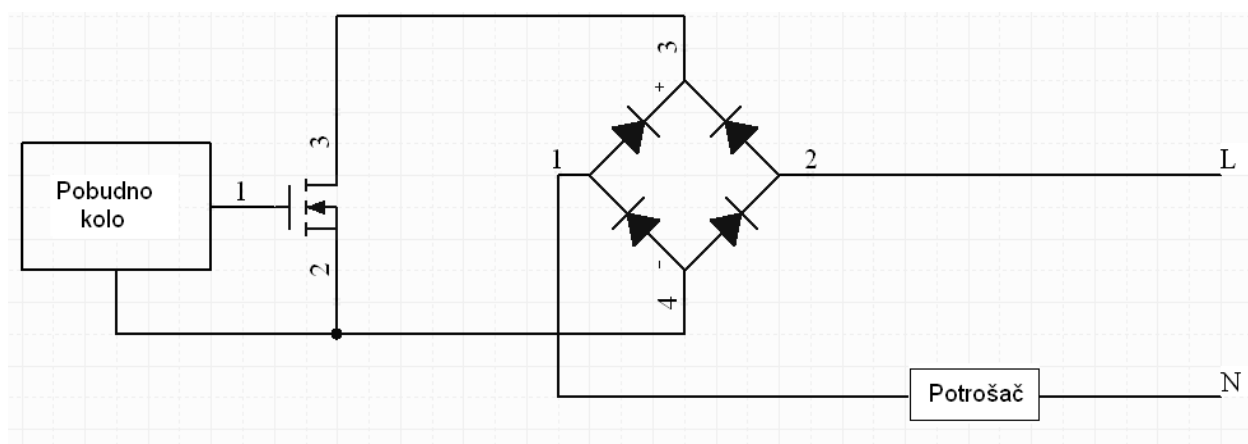
uređaja. Prema standardu Sklopke za fiksne električne instalacije u domaćinstvu i slične instalacije [4] maksimalno dozvoljena promena temperature metalnih delova kućišta uređaja je 40 K. Nakon merenja izvršenih za postojeću priključnicu zaključuje se da je maksimalna snaga koju sme da odaje prekidački element pričvršćen na hladnjak u kućištu sa slike 5.1, a da standard bude zadovoljen, oko 3W. Pomenuti podatak treba uzeti u obzir prilikom izbora prekidačkog elementa.

5.2 Izbor prekidačkog elementa

Zahtev za povećanje maksimalne snage koja se može kontrolisati priključnicom, kao i veličina kućišta, uslovljavaju izbor prekidačkog elementa. Kako je maksimalna snaga uređaja u domaćinstvu 3,6 kW kao prekidački elementi mogu se iskoristiti triaci, elektromehanički ili poluprovodnički relei, MOSFET ili IGBT u konfiguraciji AC prekidača ili uz upotrebu dioda u Grecovom spoju.

Prednost triaka u odnosu na ostale pomenute prekidačke elemente je veoma mala cena, ali mane su značajno zagrevanje i potreba za snaber kolom. Maksimalna snaga koju triak može da prekida uslovljena je kućištem i hladnjakom na koji je triak postavljen. Analizom triaka različitih proizvođača, dolazi se do zaključka da je maksimalna snaga koja se može prekidati ovim elementom ukoliko se nalazi u pomenutom kućištu i na pomenutom hladnjaku oko 600 W, a da pri tom budu zadovoljeni tehnički standardi. Takođe, dimenzije elemenata u snaber kolu za pomenutu snagu su značajne u odnosu na veličinu kućišta priključnice. Zbog svega navedenog, triak nije odgovarajuće rešenje za prekidački element priključnice.

Prekidač sa MOSFET-om i Grecovim spojem dioda prikazan je na slici 5.2. Umesto MOSFET-a u šemi sa slike 5.2 može se upotrebiti i IGBT.

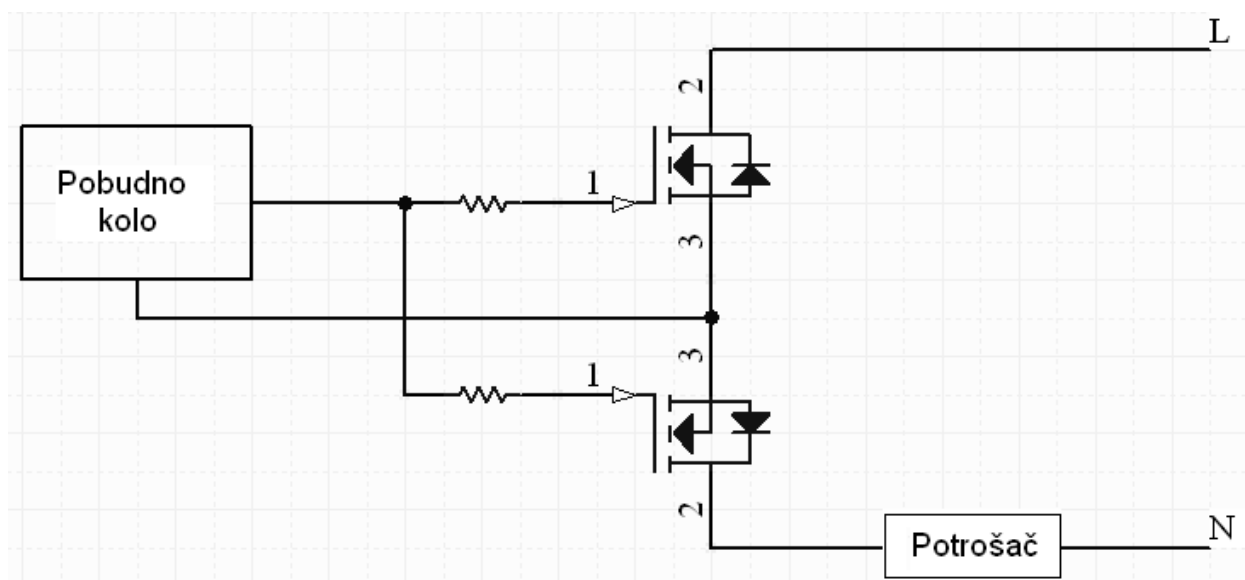


Slika 5.2 Prekidač sa MOSFET i Grecovim spojem dioda

Prednost ovog rešenja, kao i ostalih rešenja sa poluprovodničkim elementima je velika vrednost struje koju mogu da izdrže u kratkim vremenskim intervalima, što je veoma značajno

prilikom uključenja snažnih potrošača kao što su motori. Mana prekidačkog kola sa slike 5.2 je značajno zagrevanje dioda u Grecovom spoju usled struje koja protiče kroz njih i koja je jednaka struji potrošača. Takođe, diode za velike struje su i značajnih dimenzija u odnosu na kućište priključnice, a i cena im je visoka. Prema tome, ni ovo rešenje nije odgovarajuće za prekidački element priključnice.

AC prekidač sa MOSFET-ovima prikazan je na slici 5.3. I ovde se umesto MOSFET-ova mogu upotrebiti IGBT.



Slika 5.3 AC prekidač sa MOSFET-ovima

Mane ovog rešenja su: relativno komplikovano pobudno kolo i značajno zagrevanje za struje preko 3 A. Takođe, upotreba dva prekidačka elementa povećava cenu uređaja. Zbog problema sa zagrevanjem i cene ni ovo rešenje nije dobro za prekidanje struje priključnice.

Poluprovodnički relei imaju slične osobine kao i MOSFET-i u konfiguraciji AC prekidača, s tim da im je pobudno kolo jednostavnije, ali su im i dimenzije veće za istu snagu. Poluprovodnički relei za snage preko 1 kW ne mogu stati u kućište priključnice, pa prema tome ni ovo rešenje nije dobro za prekidački element.

Elektromehanički rele zahteva jednostavno kolo pobude, a takođe ima i malu otpornost kad je uključen (reda desetak $m\Omega$), tako da je zagrevanje relea kad je u uključenom stanju manje od kritične vrednosti koja je navedena u prethodnom odeljku, tj. od 3 W. Mana rešenja sa releom je ta da ne postoji mogućnost fazne regulacije snage potrošača, pošto je rele veoma spora komponenta (vremena uključenja i isključenja su mu reda 5 ms). Pošto u priključnicu možemo uključiti bilo kakav uređaj koji se napaja naizmeničnom strujom, bolje je da i ne postoji mogućnost fazne regulacije da ne bi zbog korisnikove nepažnje došlo do problema u radu priključenog uređaja usled korisnikove želje da smanji potrošnju uređaja faznom regulacijom. Takođe, mana relea u odnosu na ostale komponente je i ta što je, zbog mehaničkih delova koji su

podložni habanju, njegovo trajanje najčešće oko 100 000 uključenja/isključenja. Ali ukoliko se usvoji da se prosečno u toku dana rele uključi ili isključi oko 10 puta, dobijamo da je radni vek relea u ovakvom uređaju duži od 27 godina, što je zadovoljavajuće za ovaj tip uređaja.

Nakon obavljene analize povezane sa izborom prekidačkog elementa priključnice, zaključak je da postavljene zahteve (najveća snaga prekidanja, najmanje zagrevanje) najbolje zadovoljava elektromehanički rele.

5.3 Merenje potrošnje električne energije

Električna priključnica koja je instalirana u domaćinstvu treba da meri aktivnu električnu energiju, jer je to energija koja se naplaćuje od strane elektrodistribucije. Aktivna električna energija predstavlja proizvod srednje aktivne snage u nekom intervalu vremena i tog intervala, kao što pokazuje formula:

$$W = P \cdot t \quad (5.1)$$

pri čemu je:

$$P = \frac{1}{kT} \int_{\tau}^{\tau+kT} p \cdot dt \quad (5.2)$$

gde je W električna energija, P srednja vrednost snage uređaja, p trenutna vrednost snage uređaja, k ceo broj iz skupa prirodnih brojeva i T perioda naizmeničnog signala. Dakle, potrebno je pratiti snagu uređaja tokom vremena kako bi izračunali njegovu potrošnju.

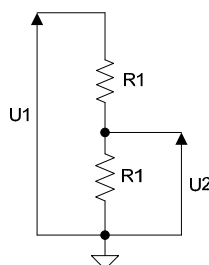
Merenje snage uređaja se može obaviti na više načina, ali s obzirom na veličinu kutije priključnice, moguća rešenja su: merenje snage pomoću ADC i mikrokontrolera ili upotrebom specijalizovanih kola za merenje snage.

Za merenje snage pomoću ADC-a potrebna su dva ADC-a koja istovremeno vrše konverziju analognog u digitalni signal. Jedan ADC bi služio za konverziju signala struje potrošača, u stvari naponskog signala na otporniku za merenje struje potrošača, a drugi za merenje napona na potrošaču. Nakon konverzije potrebno je pomnožiti dobijene rezultate kako bi dobili snagu potrošača u tom trenutku. Sledi da je za ovakav način merenja pored ADC-a potreban i mikrokontroler koji bi vršio množenje signala i računanje potrošnje. Kako je već u zadatku rada navedeno, potrebno je pri realizaciji priključnice koristiti postojeći ZigBee modul koji koristi mikrokontroler CC2530 kompanije Texas Instruments. Pomenuti kontroler bi mogao da se iskoristi da obavlja potrebna izračunavanja, ali je pitanje da li bi sa narednim nadogradnjama softvera navedeni osmobarbitni mikrokontroler stigao da obavlja sve potrebne radnje u realnom vremenu. Ukoliko bi koristili drugi kontroler i dva ADC-a to bi zauzelo dosta prostora na PCB-u, a i poskupelo bi izradu uređaja. Moguće rešenje je korišćenje

mikrokontrolera koji u sebi već poseduju dva nezavisna ADC-a, međutim, mikrokontroleri sa takvim svojstvima su trenutno značajno skuplji od specijalizovanih kola za merenje snage.

Što se tiče specijalizovanih kola za merenje snage potrošača, u vreme pisanja ovog rada postojala je široka paleta pomenutih kola od različitih proizvođača. Specijalizovana kola za merenje snage monofaznih potrošača se međusobno razlikuju po vrednosti napona napajanja, broju mernih ulaza, načinu prikaza rezultata, mogućnostima povezivanja sa mikrokontrolerima i sl. Međutim, zajedničko za sva specijalizovana kola za merenja snage, zbog njihovog načina rada, je potreba za određenim prilagodnim kolima kako bi signali napona i struje potrošača mogli biti obrađeni. Prilagodno kolo koje se koristi za merenje napona je naponski razdelnik prikazan na slici 5.4 čiji je izlaz u funkciji od ulaza dat sledećom formulom:

$$U_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_1 \quad (5.3)$$



Slika 5.4 Naponski razdelnik

Za prilagođenje strujnog signala koriste se šant-otpornici, naponski transformatori ili Rogovski kalemovi (videti [5]). Sve pomenute metode služe za konverziju struje u napon, a koja će se konkretno metoda primenjivati zavisi od vrednosti jačine struje i dozvoljenog zagrevanja. Za šant-otpornik potrebno je uzeti otpornik dovoljno male vrednosti tako da napon na njemu bude u okviru dozvoljenog napona za dato kolo za merenje snage, a da snaga koja se razvija na otporniku ne uništi otpornik. Ova metoda se koristi za struje do 20A. Za veće vrednosti struje koristi se strujni transformator koji u zavisnosti od prenosnog odnosa može da meri i preko 100A. Problem sa ovom metodom je postojanje gvozdеног jezgra koje unosi nelinearnosti pri kraju opsega. Treća metoda, Rogovski kalem, je veoma slična strujnom transformatoru, ali ima prednosti u odnosu na njega. Prvo, to je elastična struktura koja se može nesmetano obaviti oko provodnika, a drugo zbog načina motanja manje su smetnje i linearniji je od prethodne metode.

Opseg merenja snage kod specijalizovanih kola za merenje snage se podešava izborom vrednosti elemenata prilagodnih stepeni, jer izlaz kola je u stvari procenat od maksimalne vrednosti snage koju data konfiguracija može da izmeri.

Nakon analize osobina specijalizovanih kola za merenje snage od različitih proizvođača kao što su Cirrus Logic (videti [6]), ST microelectronics (videti [7]), Analog Devices (videti [8]),

i Microchip (videti [9]), zaključak je da je za realizaciju priključnice najpogodnije kolo CS5463 kompanije Cirrus Logic. Pomenuto kolo je usvojeno za realizaciju uređaja zbog male cene, jednostavnog podešavanja i jednostavnog povezivanja sa mikrokontrolerom.

5.4 Napajanje priključnice

Projektovanje dobrog napajanja je veoma važno za pravilan i pouzdan rad svakog uređaja. Kako pametnu priključnicu čine komponente koje zahtevaju niske napone napajanja (3,3 V i 5 V) kao moguće rešenje moglo bi da se upotrebi baterijsko napajanje. Međutim, zbog male veličine kućišta, kao i zbog dostupnosti 230 V direktno iz elektrodistributivne mreže ovakav vid napajanja se odbacuje kao opcija.

Druga mogućnost je upotreba transformatora za snižavanje mrežnog napona i linearnih stabilizatora za regulaciju napona. Zbog veličine transformatora i njegove cene i ovo rešenje se odbacuje.

Sledeća mogućnost je upotreba kapacitivnih ili rezistivnih napajanja direktno povezanih na mrežni napon. Pomenute realizacije napajanja imaju veoma malu cenu, ali i nizak stepen iskorišćenja, veliko zagrevanje i značajnu talasnost. Ova napajanja imaju veoma loš dinamički odziv, ali su pogodna za potrošače sa konstantnom potrošnjom reda ~20 mA. Kako modul za ZigBee komunikaciju u trenucima slanja podataka bežičnom vezom zahteva i do 30 mA, pomenute realizacije napajanja se pokazuju neodgovarajućim.

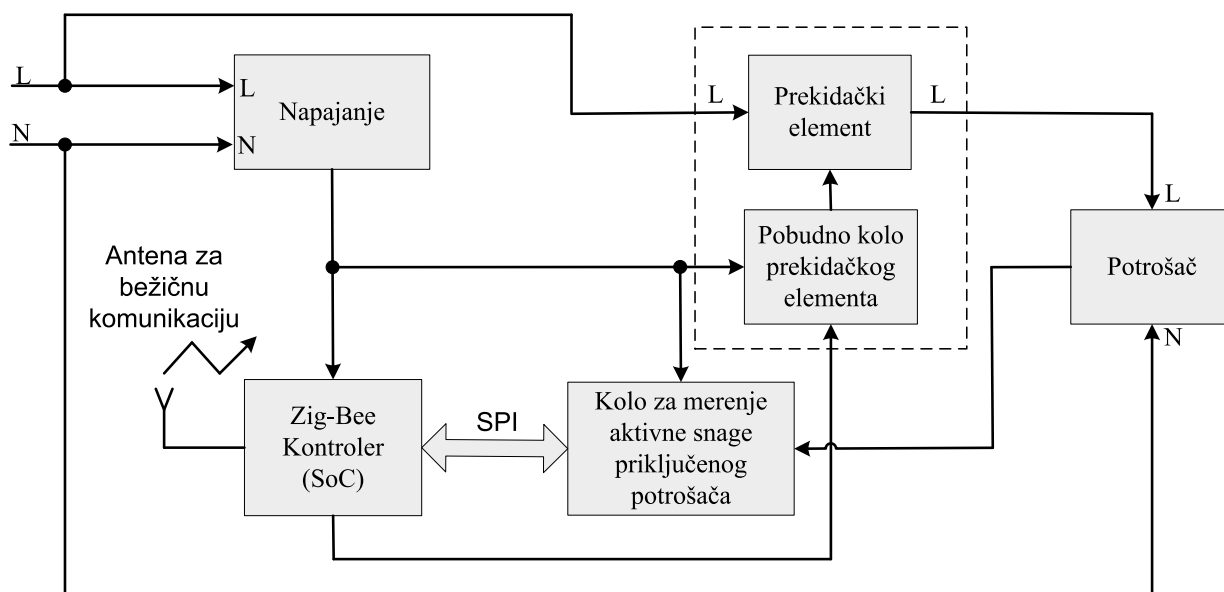
Prekidačka napajanja male snage u konfiguraciji za snižavanje napona se pokazuju kao dobro rešenje za napajanje priključnice. Imaju visok stepen iskorišćenja, malo zagrevanje, zadovoljavajuću talasnost i zadovoljavajući dinamički odziv. Dakle, za napajanje priključnice treba upotrebiti prekidačko napajanje koje snižava napon.

5.5 ZigBee modul

Kao što je napomenuto, za realizaciju bežične komunikacije priključnice treba upotrebiti ZigBee modul razvijen za OBLO regulatore jačine svetlosti i prethodnu verziju OBLO pametne priključnice. Pomenuti modul biće detaljnije opisan u narednom poglavlju.

6. Fizička arhitektura priključnice

U ovom poglavlju biće opisana realizacija fizičke arhitekture priključnice. Blok šema priključnice prikazana je na slici 6.1.



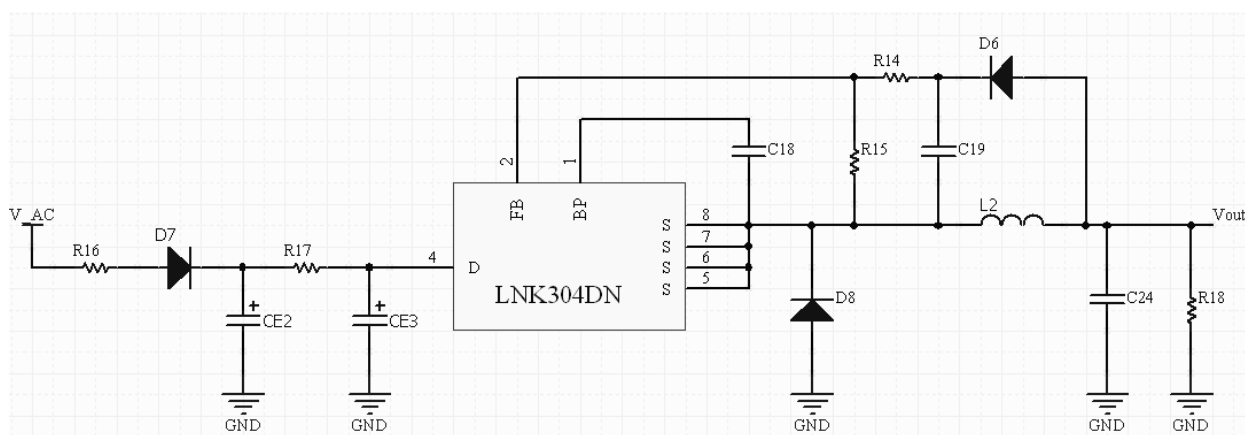
Slika 6.1 Blok šema fizičke arhitekture realizovane priključnice

6.1 Realizacija napajanja priključnice

U prethodnom odeljku zaključeno je da je za napajanje priključnice najpogodnije koristiti prekidački regulator za sniženje napona. Naponi koji su potrebni za rad priključnice su: 3,3 V i 5 V. Dakle potrebna su dva regulatora. Međutim, bolje rešenje je prekidačkim regulatorom napon od 230 VAC pretvoriti u nizak DC napon (oko 7 V) koji je pogodan za rad linearnih regulatora koji će na svom izlazu dati potrebne napone za rad priključnice. Pomenuto rešenje je i jeftinije od rešenja sa dva prekidačka regulatora.

Analizom potrošnje i potreba pojedinih delova priključnice došlo se do zaključka da prekidački regulator napajanja treba da obezbedi minimum 80mA struje pri naponu od 7V, tj. za rad priključnice potrebno je napajanje koje može minimalno da isporuči oko 0,56 W snage. Prekidački regulator sa potrebnim osobinama moguće je realizovati u diskretnoj tehnici, a moguće je upotrebiti i rešenja sa integrisanim kolima kompanija Power Integrations ili ST Microelectronics.

Prekidački regulator realizovan je upotrebom integrisanog kola LNK 304 kompanije Power Integrations. Pomenuto kolo je usvojeno za realizaciju napajanja zbog jednostavnije realizacije nego u diskretnoj tehnici, dobre dokumentacije povezane sa pomenutim kolom i izvanredne tehničke podrške proizvođača. Prekidački regulator je realizovan, tj. vrednosti električnih komponenta su određene po uputstvima datim u dokumentu [10]. Električna šema realizovanog napajanja prikazana je na slici 6.2.



Slika 6.2 Prekidačko napajanje sa LNK 304 integrisanim kolom

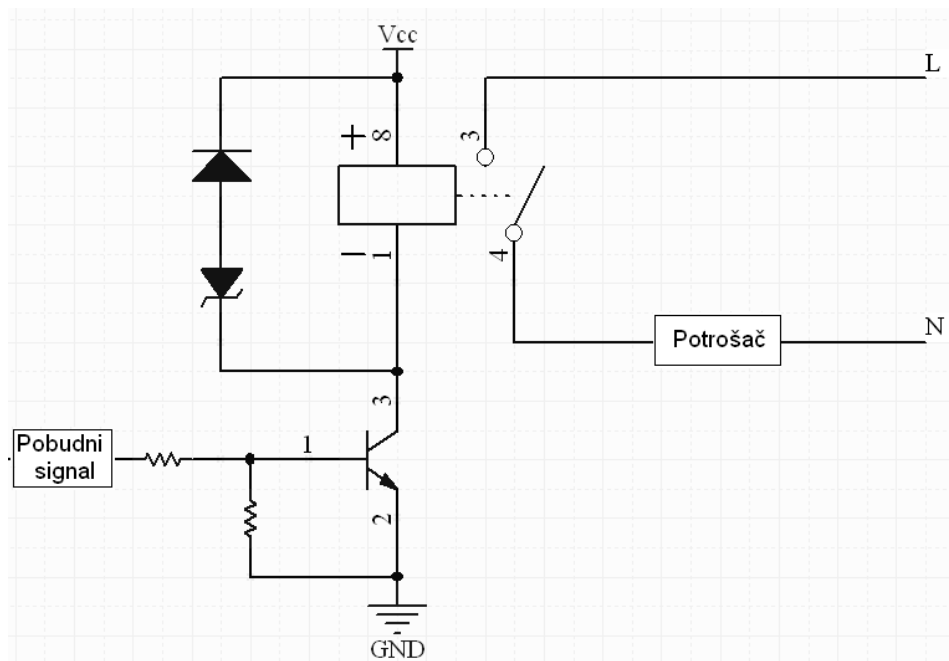
Izlaz prekidačkog regulatora se vodi na ulaze linearnih regulatora koji na svojim izlazima daju napone od 3,3 V i 5 V potrebne za napajanje ostalih elektronskih komponenta kola. Izuzetak je rele, čija kotva i pobudno kolo se direktno napajaju iz prekidačkog regulatora kako bi se izbegle smetnje u radu mikrokontrolera i kola za merenje snage prilikom uključenja relea.

6.2 Izbor odgovarajućeg relea i pobudnog kola

Nakon analize rasporeda držača u kućištu u koje štampana ploča treba da se postavi dolazi se do zaključka da je maksimalna visina relea koji može stati u kućište priključnice 10 mm. To je veoma suzilo izbor relea, pa je za realizaciju priključnice odabran OMRON-ov rele G6C serije čija kotva zahteva 200 mW za uključivanje relea. Pomenuti rele je izabran za realizaciju priključnice jer može da prekida najveću struju (10 A), ima najmanji otpor u uključenom stanju i najjeftiniji je u odnosu na ostale releje koji su visine do 10 mm.

Kolo koje služi za uključivanje i isključivanje ovog relea sastoji se od tranzistora, dva otpornika, jedne ispravljačke i jedne Zener diode. Signal koji upravlja radom kola daje

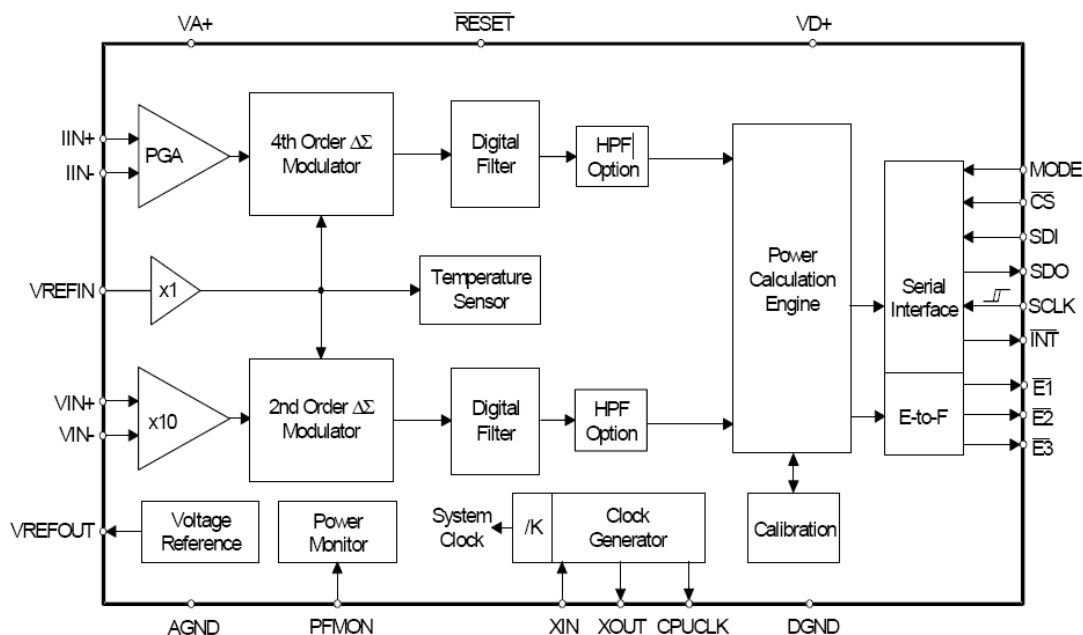
mikrokontroler preko nekog od svojih digitalnih pinova. Taj signal se preko otpornika vodi na bazu tranzistora koji u stvari uključuje ili isključuje rele. Zener dioda i ispravljačka dioda služe da zaštite tranzistor od prenapona koji se mogu javiti prilikom isključenja relea, kao i da ubrzaju isključenje relea čime se produžava njegov radni vek [11]. Šema pobudnog kola relea data je na slici 6.3.



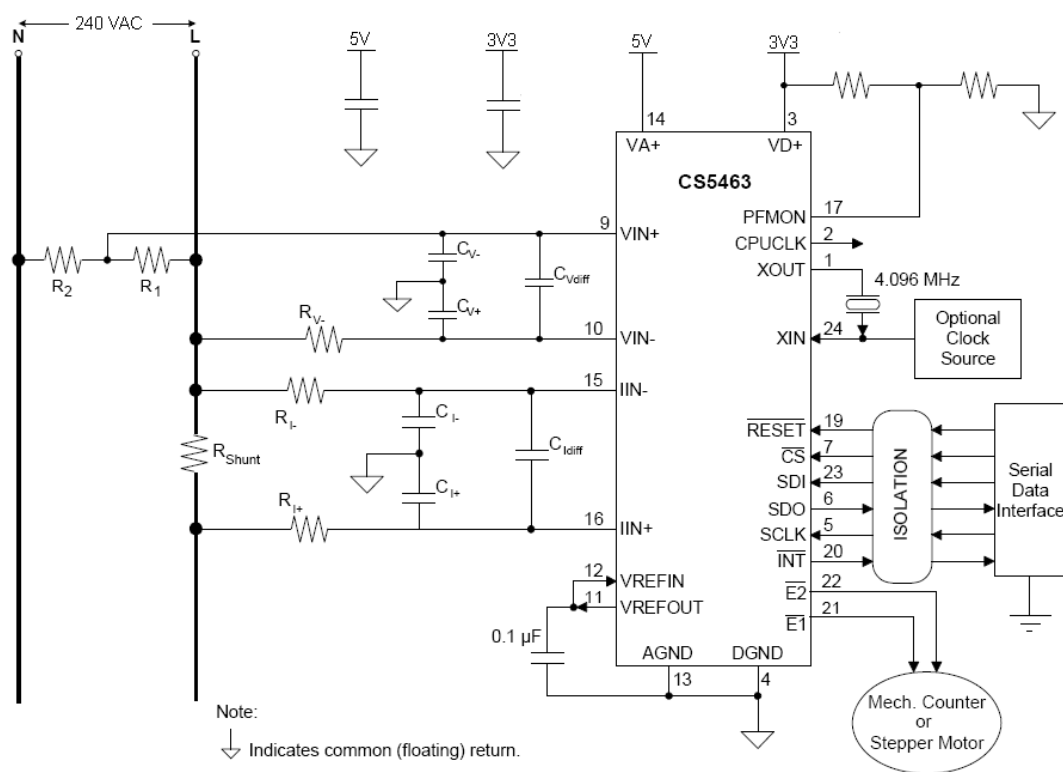
Slika 6.3 Pobudno kolo relea

6.3 Integrirano kolo za merenje snage CS5463

Integrirano kolo CS5463 [12] je proizvod kompanije Cirrus Logic čija je osnovna namena precizno merenje trenutne vrednosti struje i napona, računanje efektivnih vrednosti struje i napona i računanje trenutne aktivne i reaktivne snage. Integrirano kolo CS5463 poseduje dva $\Delta\Sigma$ ADC-a, deo za izračunavanje snaga, konvertor snaga u frekvenciju i prilagođenje za serijsku komunikaciju. Blok šema integrisanog kola CS5463 je prikazana na slici 6.4, a primer šeme povezivanja prikazan je na slici 6.5. Da bi kolo vršilo merenja potrebno je da se na njegovim ulazima dovedu naponi u opsegu ± 0.25 V. Potrebni naponi su obezbeđeni izborom elemenata prilagodnih kola. Integrirano kolo CS5463 kao što je napomenuto ranije, rezultate merenja daje u obliku procenata maksimalno moguće vrednosti merene veličine (snage, struje ili napona).



Slika 6.4 Blok šema specijalizovanog kola za merenje snage CS5463



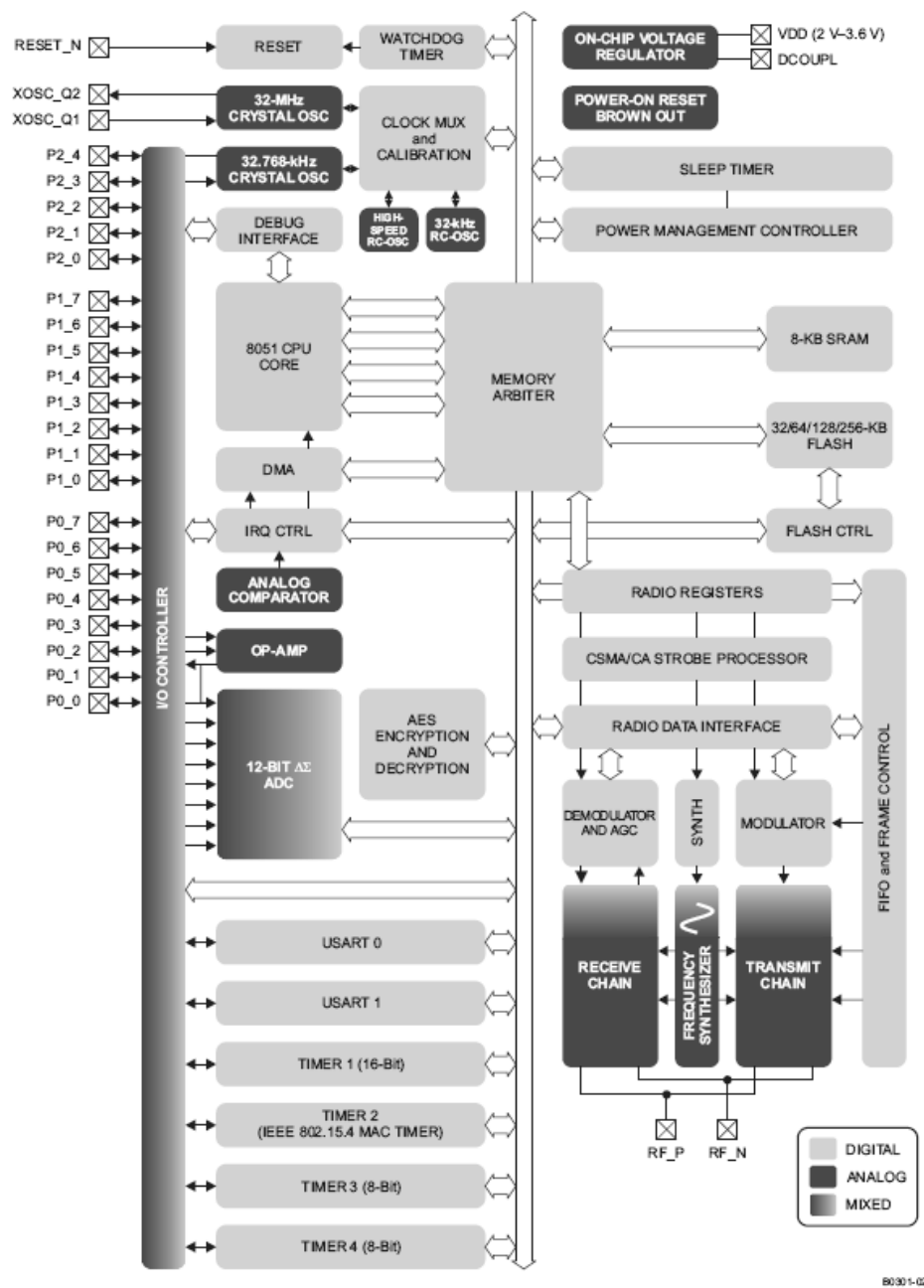
Slika 6.5 Primer šeme povezivanja CS5463

6.4 ZigBee modul

ZigBee modul razvijen za potrebe OBLO regulatora jačine osvetljenja predstavlja PCB na kome se nalaze mikrokontroler CC2530 koji upotrebom PCB antene obavlja bežičnu komunikaciju, zatim dve LED za prikaz stanja uređaja i dva tastera za ručno zadavanje pojedinih

komandi uređaju. Funkcije tastera i LED su podesive u zavisnosti od konkretnog uređaja u kome se modul nalazi.

Mikrokontroler CC2530 [13] je proizvod kompanije Texas Instruments. To je sistem u integrisanom kolu (SoC), baziran na unapređenom 8051 mikroprocesorskom jezgru. Osnovna namena su mu uređaji koji mogu bežično da komuniciraju na frekvenciji od 2,4 GHz upotrebom ZigBee protokola. Posедуje 8 kB SRAM memorije, 256 kB programske memorije, integrisani RF primopredajnik, 12-to bitni ADC, DMA kontroler i četiri brojača. Blok šema mikrokontrolera je prikazana na slici 6.6.



Slika 6.6 Blok šema mikrokontrolera CC2530

7. Programska podrška priključnice

Programska podrška priključnice, odnosno mikrokontrolera CC2530 je napisana upotrebom programskog jezika C, prevodioca IAR C/C++ za 8051 (*IAR C/C++ Compiler for 8051*) i razvojnog okruženja IAR Embedded Workbench Evaluation. Zadaci koje treba da obavlja mikrokontroler tokom rada su sledeći:

- Učestvovanje u održavanju ZigBee mreže,
- Izvršavanje korisnikovih naredbi (uključiti/isključiti),
- Zaštita uređaja od preopterećenja,
- Komunikacija sa OHM-om,
- Vremensko usklađivanje sa OHM-om,
- Praćenje potrošnje priključenog uređaja,
- Pamćenje rezultata merenja ukoliko OHM trenutno nije prisutan u mreži (nestanak napajanja OHM-a).

Prethodno navedeni zadaci se odnose na rad priključnice ukoliko je priključnica u mreži u kojoj postoji OHM (bez obzira da li je trenutno aktivan). Ukoliko se priključnica nalazi u mreži u kojoj ne postoji OHM, broj zadataka se redukuje samo na prva tri.

7.1 Zadaci mikrokontrolera

U nastavku su detaljno opisani ranije nabrojani zadaci koje treba da obavlja mikrokontroler tokom rada, kao i način na koji ih mikrokontroler izvršava.

Osnovni zadaci uređaja povezani sa održavanjem ZigBee mreže su: uspostavljanje ZigBee mreže, pronalaženje putanja između čvorova mreže i prijem i slanje poruka u skladu sa unapred definisanim formatom. Veliki deo posla povezan sa održavanjem mreže je urađen u primerima koji su dostupni na internetu i koji se preporučuju kao osnova za dalji razvoj programske podrške

uređaja unutar ZigBee mreže. Prema tome, prva stavka sa liste zadataka je rešena preuzimanjem početnog koda sa interneta.

Naredbe korisnika koje priključnica izvršava su uključivanje ili isključivanje. Pomenute naredbe moguće je zadati priključnici putem tastera koji se nalaze na prednjoj strani maske priključnice, ili bežično, upotrebom daljinskog upravljača ili OHM-a. Ukoliko se naredba šalje bežično, bez obzira od koga je poslata, deo poruke koji govori o funkciji poruke mora biti isti. Nakon promene stanja priključnice (uključivanje ili isključivanje potrošača), šalje se poruka potvrde uređaju koji je poslao zahtev (OHM ili daljinski upravljač).

Što se tiče zaštite od preopterećenja, treba dozvoliti preopterećenje samo u kratkom intervalu vremena prilikom uključenja uređaja kao što su motori ili grejači. Kako integrisano kolo za merenje snage šalje izmerene vrednosti svake sekunde, podešeno je da dozvoljeno preopterećenje može da traje od jedne do dve sekunde. Pod preopterećenjem se u slučaju realizovane priključnice podrazumeva situacija u kojoj je izmerena vrednost snage uređaja veća od maksimalne vrednosti koju je korisnik podesio. Ukoliko korisnik ne podesi nijednu vrednost, priključnica će porediti izmerene rezultate sa unapred definisanom vrednošću koja je upisana prilikom programiranja priključnice i koja iznosi 1,5 kW. Kada dođe do preopterećenja, mikrokontroler isključuje priključeni uređaj i upotrebom jedne LED signalizira korisniku da se na priključenom uređaju u prethodnom intervalu od dve sekunde razvila veća snaga od dozvoljene. Nakon što se otkloni uzrok preopterećenja, uređaj je moguće uključiti samo pritiskom na taster. Odabrano je da se ponovno uključivanje može izvršiti samo tasterom kako bi korisnik morao da dođe do priključnice i vidi šta je uzrok preopterećenja.

Poruke koje razmenjuju priključnica i OHM se mogu podeliti u sledećih pet grupa:

- Naredbe korisnika (uključi/isključi potrošač),
- Poruke za usklađivanje OHM-a i priključnice u vremenu,
- Poruke povezane sa podešavanjima priključnice za rad sa OHM-om
- Slanje trenutno aktivnog izveštaja o izmerenim vrednostima snage i faktora snage,
- Slanje izveštaja o izmerenim vrednostima snage i faktora snage koji su sačuvani u memoriji mikrokontrolera.

Sve poruke koje se razmenjuju između OHM-a i priključnice imaju sličan format, odnosno sve se sastoje iz dela koji je odgovoran za prosleđivanje poruke odgovarajućem čvoru i odgovarajućoj funkciji u programu, dela za kontrolu ispravnog prijema poruke i dela koji je definisan od strane programera i zavisao je od funkcije koju poruka obavlja u sistemu (poruka-izveštaj, poruke za podešavanje, naredbe korisnika uređaja i sl).

Vremensko usklađivanje priključnice i OHM-a se vrši kako bi krajnji korisnik pored podatka o potrošnji imao i podatak o vremenu kada je zabeležena izmerena potrošnja.

Vremensko usklađivanje je potrebno jer priključnica ne poseduje RTC, odnosno ona nema predstavu o trenutnom vremenu. Kako je moguće podesiti CC2530 da meri vreme, potrebno mu je samo dati referentnu tačku od koje da počne sa merenjem vremena, i to nakon svakog restarta priključnice u slučaju nestanka napajanja. Dakle, priključnica nakon restarta šalje zahtev OHM-u za informaciju o trenutnom vremenu. Po dobijanju informacije o trenutnom vremenu, priključnica nastavlja sa slanjem izveštaja o potrošnji, pri čemu u svaki izveštaj pored vrednosti srednje snage izmerene u podešenom intervalu vremena i trajanja intervala vremena (množenjem prethodne dve vrednosti dobijamo potrošnju u pomenutom intervalu vremena), i vrednosti faktora snage, dodaje i vreme kada je izveštaj poslat. Takođe, periodično, jednom dnevno, se šalje trenutno vreme priključnici i bez prethodnog zahteva kako bi se smanjila greška prilikom merenja vremena od strane priključnice.

Kako je po zahtevu zadatka potrebno konstantno pratiti potrošnju uređaja, treba osmisлити mehanizam, odnosno način rada priključnice ukoliko je OHM prisutan u mreži, a trenutno nije dostupan (npr. nestanak napajanja OHM-a). U takvoj situaciji priključnica treba da pamti rezultate merenja i da ih kasnije po prijemu informacije da je OHM dostupan, prosledi. Za realizaciju ovog zadatka upotrebljena je trajna memorija mikrokontrolera. Prema arhitekturi CC2530 upis podataka u trajnu memoriju mikrokontrolera moguć je samo u blokovima od po četiri bajta, a brisanje je omogućeno samo u blokovima od 2 kB. Primer koda koji je dostupan na internetu i preporučen za razvoj programske podrške uređaja koji koriste ZigBee, od koga se krenulo prilikom realizacije priključnice, već poseduje neku vrstu organizacije trajne memorije za smeštaj podataka kao što su očitavanja senzora i sl. Međutim, pomenuti sistem nije pogodan za upisivanje velikog broja podataka istog formata, jer svakom podatku pridružuje određeni broj bajtova informacija koje ga karakterišu i služe za njegovo lakše pronalaženje u memoriji, što povećava potreban broj memorijskih lokacija za smeštaj pomenute količine podataka. Ukoliko za smeštaj rezultata merenja koristimo uvek isti memorijski prostor, odnosno isti skup memorijskih lokacija, i ukoliko se podaci uvek zapisuju u istom formatu, dolazi se do zaključka da je bolje realizovati novu organizaciju memorije koja će biti povezana samo sa smeštajem rezultata merenja umesto korišćenja postojeće. Prvo je potrebno odrediti koji će se sve podaci upisivati u trajnu memoriju, kako bi se odredila veličina bloka za upis kao umnožak četiri bajta. Usvojeno je da se ceo memorijski prostor namenjen smeštanju rezultata podeli na lokacije od po 16 bajtova tako da jedna lokacija predstavlja jedan izveštaj o potrošnji. Takođe, veličina lokacije od 16 bajtova je veoma pogodna za računanje vrednosti pokazivača na nju, jer je 16 stepen broja dva, pa se množenje ili deljenje svodi samo na pomeranje sadržaja registra u levu ili desnu stranu za četiri bita. Sadržaj jedne lokacije prikazan je na slici 7.1.

2 B		2 B		2 B		2 B		2 B		6 B	
Podaci za kontrolu ispravnosti lokacije		Srednja vrednost snage		Faktor snage		Trajanje perioda merenja		Redni broj upisa		Prostor rezervisan za budući razvoj	

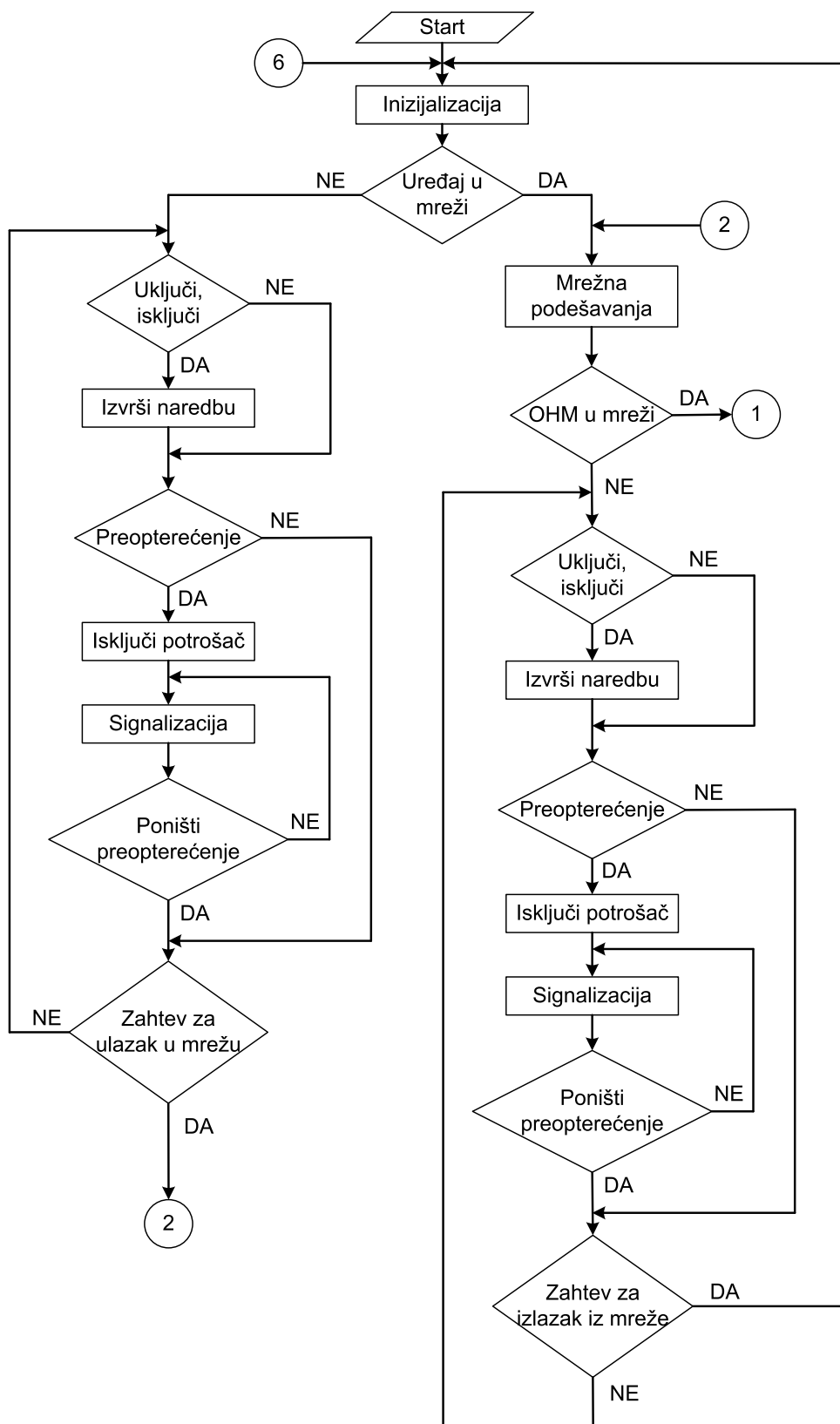
Slika 7.1 Prikaz sadržaja lokacije namenjene smeštanju rezultata

Kao što se vidi sa slike 7.1, pored srednje snage, faktora snage i trajanja perioda merenja, tj. pored podataka potrebnih za izračunavanje potrošnje, nalaze se još i podatak o rednom broju izveštaja, zatim podaci za kontrolu ispravnosti memorijske lokacije i prostor od šest bajtova koji je rezervisan za potrebe budućeg razvoja priključnice. Podatak o rednom broju je značajan prilikom slanja sačuvanih izveštaja OHM-u, jer ukoliko se nalazi više priključnica u sistemu povezanih sa OHM-om, OHM može da čita podatke od svake priključnice u blokovima kako bi ravnomerno opteretio mrežu, odnosno kako bi izbegao zagušenje dela mreže usled prebacivanja velikog broja podataka. Takođe, OHM može brže da obrađuje podatke ako stižu u manjim blokovima, a ukoliko dođe do nepravilnog rasporeda pristizanja izveštaja usled slanja uzastopnih poruka različitim putanjama kroz mrežu, OHM će lako rekonstruisati prvobitan raspored. Prema tome, nakon prijavljivanja dostupnosti OHM-a u mreži, OHM zahteva podatke od priključnica tako što traži izveštaj sa određenim rednim brojem upisa. Redni broj upisa je značajan i radi prikaza podataka krajnjem korisniku. Može se desiti da i priključnica i OHM privremeno ostanu bez napajanja. Ukoliko se napajanje priključnice pre pojavi od napajanja OHM-a, tada priključnica gubi referentnu tačku za merenje vremena, jer je OHM trenutno neaktivan pa ne može doći do vremenskog usklađivanja. Tada CC2530 pročita redni broj poslednjeg upisanog podatka i nastavlja dalje sa radom kao da nije bilo prestanka napajanja. Dakle, OHM na osnovu rednog broja upisa i poslednjeg primljenog podatka sa poznatim vremenom prijema naknadno slaže izveštaje o potrošnji u bazi podataka. Ovim se približno očuvava informacija o vremenu kad je zabeležena izmerena potrošnja.

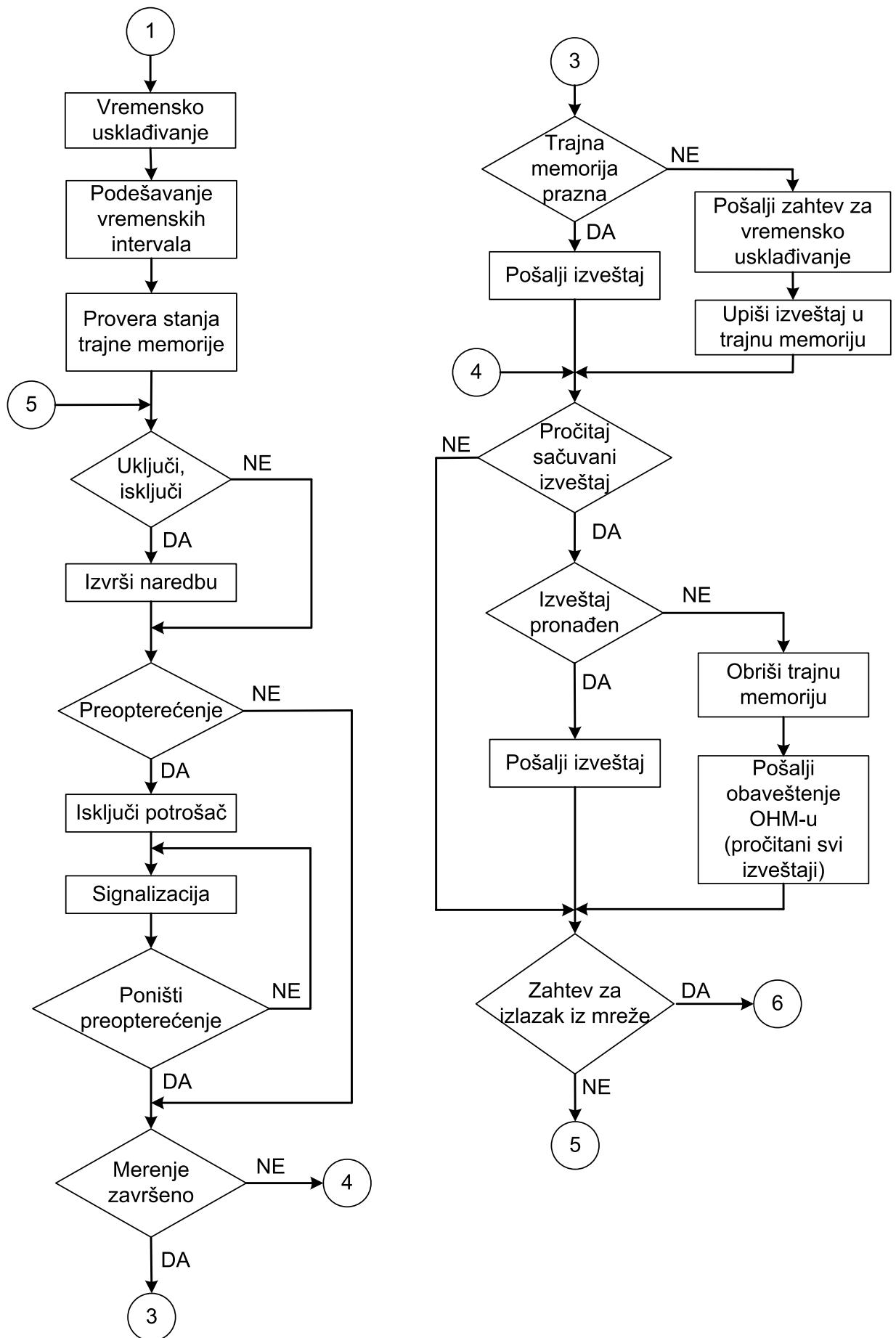
Što se tiče polja za kontrolu ispravnosti lokacije, ono je uvedeno zbog načina rada realizovanih funkcija koje obavljaju upis i čitanje rezultata merenja iz trajne memorije. Funkcija za upis izveštaja nalazi prvu slobodnu lokaciju u memoriji i upisuje podatke. Nakon toga ih isčitava i upoređuje sa onim što je potrebno upisati. Ukoliko se podaci razlikuju, funkcija preskače tu lokaciju i upisuje na sledeću slobodnu. Pomenuti postupak se ponavlja dok se podaci ispravno ne upišu u memoriju. Ovim se rešava problem neispravnih lokacija u trajnoj memoriji. Dakle, polje za kontrolu ispravnosti govori da li je lokacija slobodna za upis i da li su nakon upisa podaci validni.

7.2 Algoritam programske podrške

Nakon detaljne analize načina rada priključnice, dolazi se do algoritma programske podrške mikrokontrolera prikazane na slikama 7.2 i 7.3.



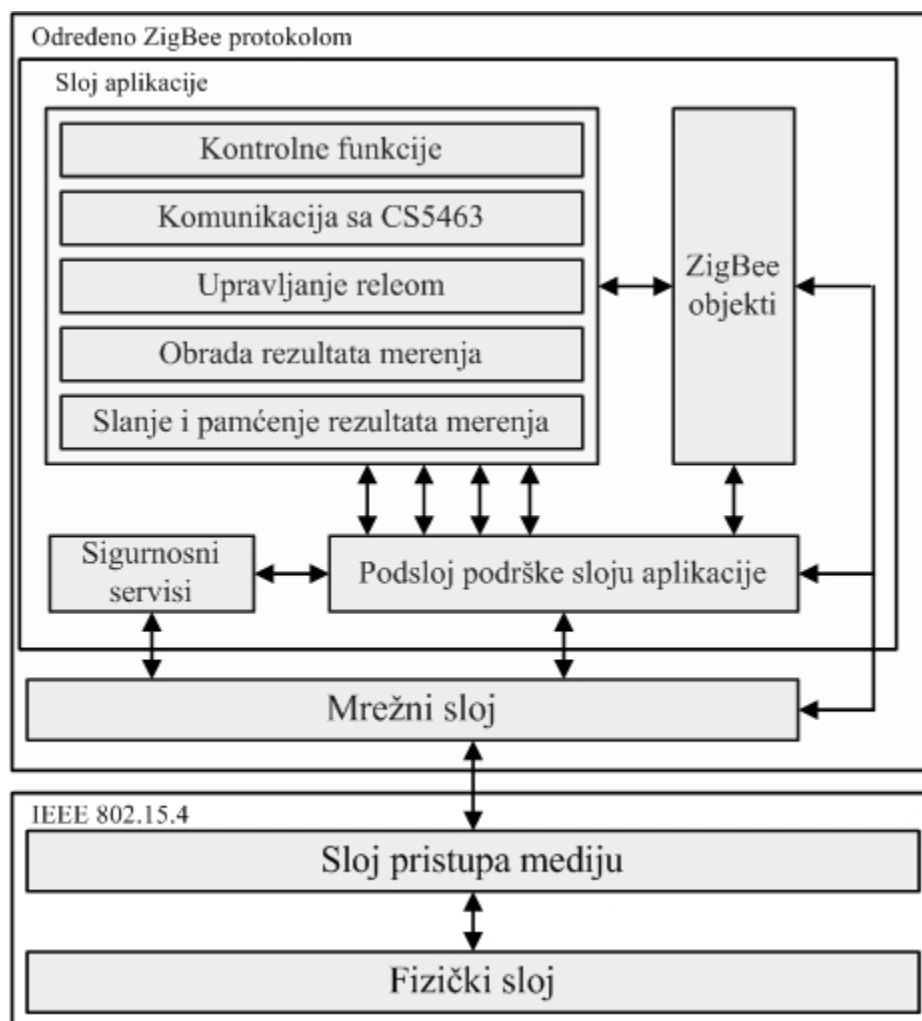
Slika 7.2 Algoritam glavne programske funkcije



Slika 7.3 Algoritam glavne programske funkcije (nastavak)

7.3 Realizacija programske podrške

Kao što je ranije napomenuto, osnova za razvoj programske podrške preuzeta je sa interneta. Pomenuti izvorni kod koji je preuzet sa interneta je višeslojno organizovan u skladu sa ZigBee protokolom. Kao što je predviđeno i preporučeno, potrebne funkcije za rad priključnice realizovane su unutar sloja aplikacije. Tako su sloju aplikacije sada dodate funkcije za rad sa tasterima i LED, odnosno kontrolne funkcije, zatim deo za komunikaciju sa CS5463 (podešavanje CS5463 i očitavanje rezultata merenja), deo za uključivanje i isključivanje relea, deo za obradu rezultata merenja i zaštitu od preopterećenja i deo za slanje i pamćenje rezultata merenja. Opisana organizacija je prikazana na slici 7.4.



Slika 7.4 Slojevit organizacija programske podrške

Kako je unutar programske podrške izvršena podela funkcija prema delu procesa na koji se odnose, svaka grupa funkcija objedinjena je u posebnoj datoteci izvornog koda.

Kontrolne funkcije služe za rad sa tasterima i LED. One detektuju stanja tastera, broj pritisaka tastera i trajanje pritisnutog stanja tastera čime je omogućeno zadavanje različitih

komandi priključnici. Takođe, upotrebom LED daju informaciju korisniku o trenutnom stanju priključnice (traženje ZigBee mreže, normalan rad, preopterećenje i sl).

Funkcije zadužene za komunikaciju sa CS5463 izvršavaju zadatke kao što su:

- Podešavanje komunikacione sprege između CS5463 i CC2530,
- Podešavanje parametara merenja (broj ciklusa, indikacija kraja merenja, opseg ulaznih signala CS5463 i sl) i
- Očitavanje rezultata merenja.

Pozivanje funkcija iz prethodne grupe uslovljeno je trenutnim stanjem priključnice (pojava napajanja, normalan rad, priključnica unutar mreže sa OHM-om i sl).

Grupa funkcija za upravljanje releom služe za uključivanje i isključivanje priključenog potrošača i izveštavanje OHM-a o promeni stanja potrošača.

Funkcije za obradu rezultata merenja preuzimaju rezultate merenja od CS5463 u obliku procenata maksimalno moguće vrednosti merene veličine (aktivne snage ili faktora snage), vrše izračunavanje vrednosti merene veličine u odgovarajućim jedinicama ili u obliku bezdimenzionalne veličine, zatim usrednjavanje vrednosti aktivne snage u intervalu podešenom od strane korisnika i korekciju dobijenih rezultata merenja na osnovu funkcije za korekciju. Takođe, ukoliko je izmerena vrednost aktivne snage potrošača veća od dozvoljene, pomenute funkcije isključuju potrošač i signaliziraju preopterećenje.

Nakon dobijanja obrađenih rezultata od strane prethodno pomenutih funkcija, funkcije za slanje i pamćenje rezultata vrše slaganje dobijenih rezultata u pakete koji se šalju OHM-u ukoliko je dostupan. Ukoliko OHM trenutno nije dostupan, ove funkcije smeštaju rezultate merenja u trajnu memoriju mikrokontrolera. Takođe, one služe i za pronalazak odgovarajućih rezultata merenja u trajnoj memoriji mikrokontrolera, nalaženje prve slobodne lokacije za upis rezultata i upis i čitanje rezultata merenja iz trajne memorije. Prema tome, ove funkcije služe za slanje izveštaja i upravljanje trajnom memorijom mikrokontrolera koja je namenjena smeštanju rezultata.

Pored pomenutih grupa funkcija dodatih u sloju aplikacije za rad priključnice veoma je značajno ponašanje sistema prekida realizovanog unutar programske podrške, kao i brzina izvršavanja prekidnih rutina. Kao i kod svih uređaja zasnovanih na mikrokontrolerima koji treba da imaju što brži odziv, i ovde se nastojalo da prekidne rutine budu veoma brze i obavljaju samo vremenski kritične operacije. Takođe, prekidne rutine signaliziraju glavnoj funkciji da izvrši obradu podataka preuzetih u prekidnoj rutini upotrebom odgovarajuće funkcije. Time je postignuta zadovoljavajuća brzina rada i zadovoljavajuć odziv priključnice.

7.4 Protokol komunikacije između OHM-a i priključnice

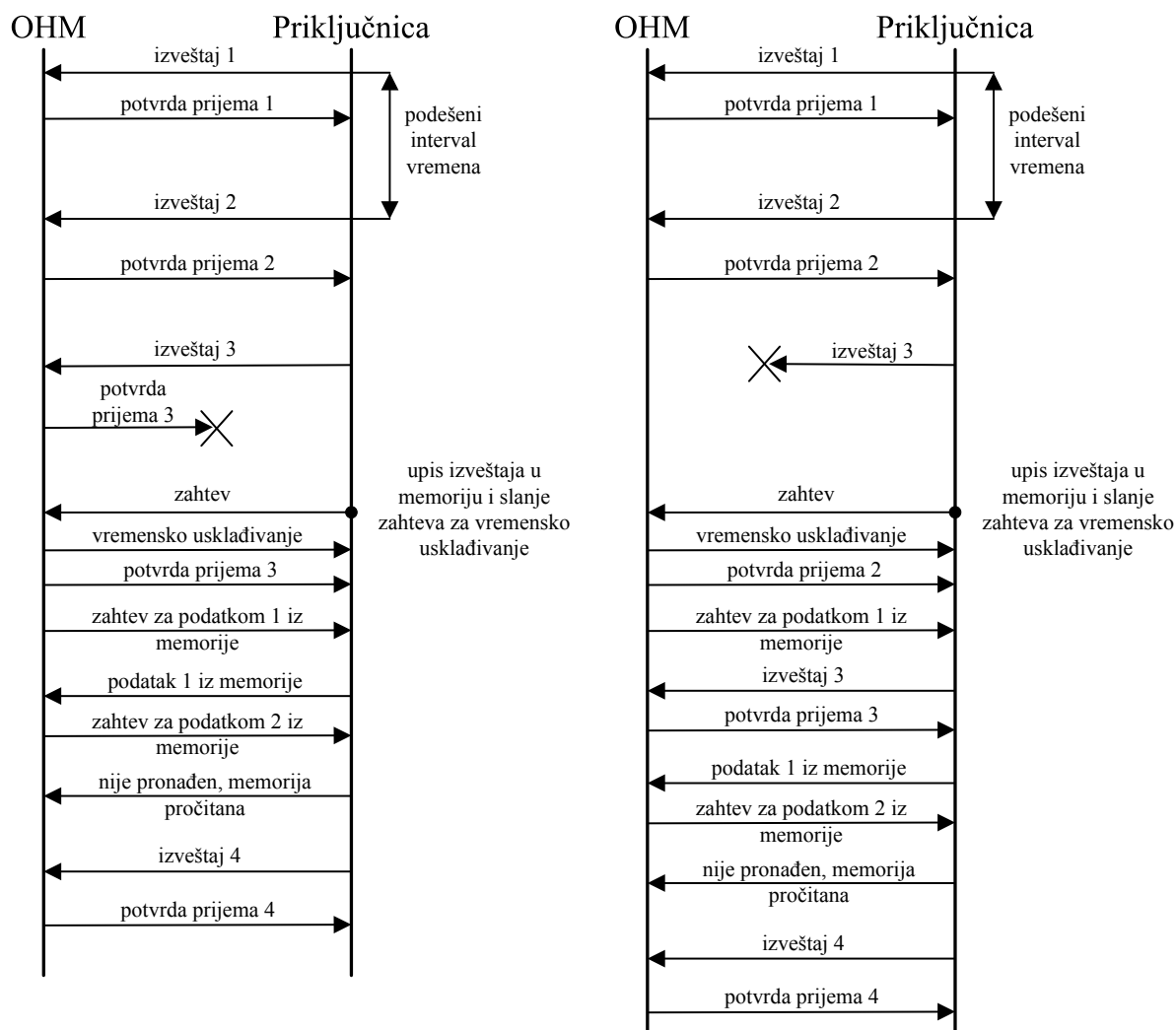
Poruke koje razmenjuju OHM i priključnica upotrebom ZigBee mreže su opisane ranije. Ove poruke i redosled njihovog slanja čine jednostavan protokol komunikacije između OHM-a i priključnice. Veoma je bitno proučiti komunikaciju između OHM-a i priključnice u slučaju neregularnih situacija, odnosno u slučaju izostanka očekivanog odgovora ili izveštaja. Treba napomenuti da je izostanak poruka veoma redak usled zahtevanog ponašanja uređaja unutar ZigBee mreže (potvrđivanje prijema poruke, ponovno slanje i sl.), ali je moguć.

Izostanak naredbe korisnika ne predstavlja problem jer će korisnik videti da naredba nije izvršena i poslaće je ponovo. Kao što je rečeno, verovatnoća da se to desi je mala, ukoliko nema kvara u sistemu.

Priključnica i OHM su podešeni tako da odmah po pojavljivanju napajanja pošalju zahtev za vremenskim usklađivanjem. Priključnica neće slati podatke OHM-u sve dok se ne obavi vremensko usklađivanje. Zbog toga, ukoliko je OHM trenutno neaktivan, priključnica će slati periodično zahtev za usklađivanje u trenutcima upisa podataka u trajnu memoriju mikrokontrolera. Time je postignuto da ukoliko izostane vremensko usklađivanje zbog nekog nepredviđenog događaja nakon jednog intervala upisa podataka u trajnu memoriju sigurno će do njega doći.

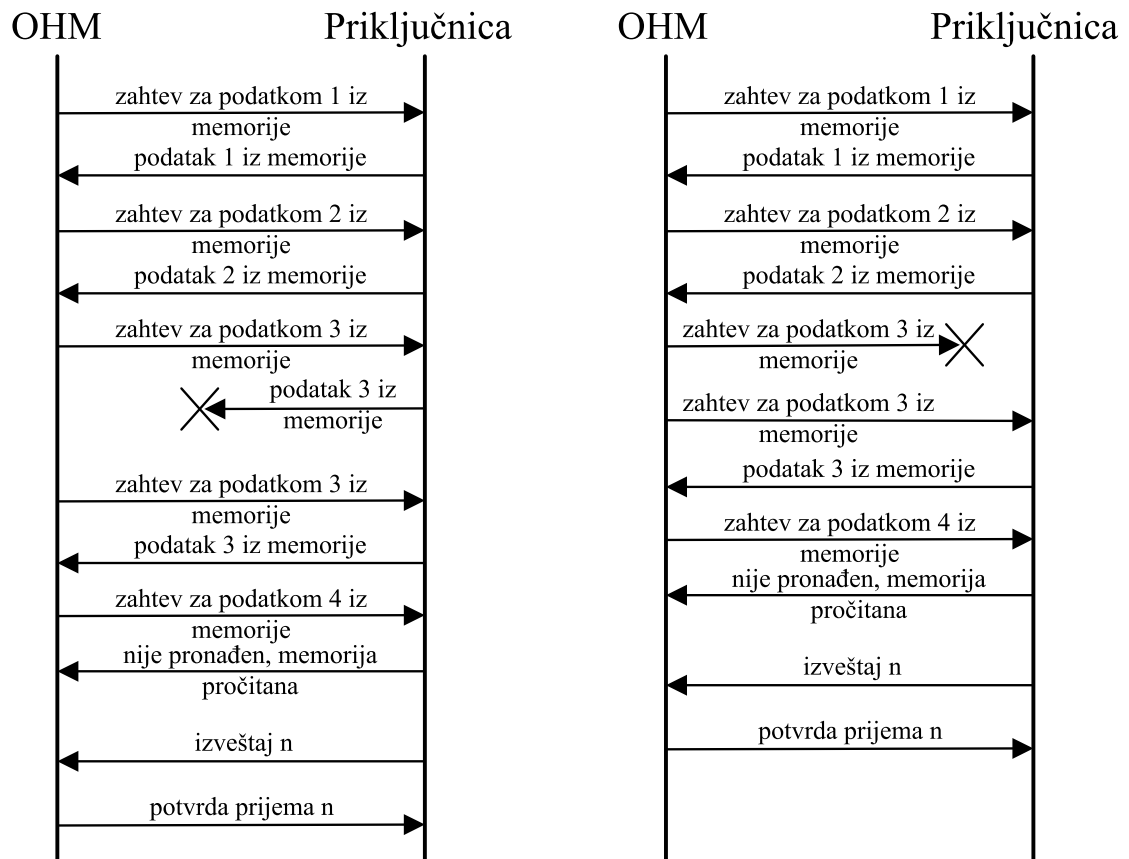
Priključnica po uključenju u ZigBee mrežu već poseduje podrazumevane parametre za rad sa OHM-om, tako da ako izostane neka od poruka sa podešavanjem parametra, koristiće se podrazumevana vrednost parametra. Već nakon prijema prvog izveštaja OHM će shvatiti da treba ponovo poslati podešavanja, tako da opisana situacija ne predstavlja problem. Kako se nova podešavanja odmah upisuju u trajnu memoriju mikrokontrolera, ukoliko dođe do restarta priključnice učitace se sačuvana podešavanja i priključnica nastavlja sa normalnim radom.

Priključnica šalje izveštaj nakon podešenog intervala vremena. OHM potvrđuje prijem svakog izveštaja slanjem priključnici poruke koja sadrži vreme kad je izveštaj poslat. Ukoliko potvrdi izostane, ili izveštaj ne stigne do OHM-a, izveštaj se čuva u radnoj memoriji kontrolera. Naredni izveštaji se upisuju u trajnu memoriju mikrokontrolera, i prilikom svakog upisa se šalje zahtev za vremensko usklađivanje sa OHM-om. Po prijemu tog zahteva, OHM ako je aktivan, šalje odgovor na zahtev, kao i potvrdu prijema poslednjeg izveštaja. Na osnovu te potvrde priključnica proverava da li je prethodno poslati izveštaj primljen i ako nije šalje ga ponovo. Nakon toga sledi slanje izveštaja sačuvanih u trajnoj memoriji kontrolera. Kada OHM pročita sve izveštaje iz trajne memorije, priključnica nastavlja sa normalnim radom. Opisano ponašanje je prikazano na slici 7.5.



Slika 7.5 Ponašanje sistema u slučaju izostanka potvrde prijema ili izostanka izveštaja

Slanje izveštaja sačuvanih u trajnoj memoriji mikrokontrolera zahteva OHM. Pri tome OHM šalje redni broj željenog izveštaja. Nakon što je cela trajna memorija pročitana, dolazi do njenog brisanja i postavljanja vrednosti rednog broja izveštaja na nulu o čemu se obaveštava OHM. Time je sprečeno da dođe do gubitka podataka ukoliko dođe do restarta OHM-a ili priključnice tokom čitanja izveštaja iz trajne memorije. Ukoliko neki od izveštaja izostane, OHM će ponoviti zahtev za njegovo slanje. Ponašanje sistema u slučaju da izostane zahtev od strane OHM-a ili izveštaj od strane priključnice prikazano je na slici 7.6.



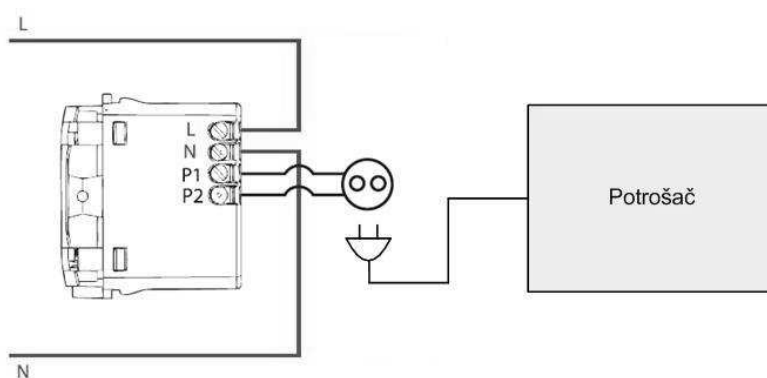
Slika 7.6 Ponašanje sistema u slučaju izostanka zahteva ili podatka iz memorije

8. Rezultati testiranja

Nakon realizacije prototipa uređaja izvršena su testiranja. Pored testiranja ponašanja uređaja u realnom okruženju i rada sa OHM-om, izvršena su i testiranja tačnosti merenja snage i faktora snage. Za testiranje ponašanja priključnice potrebno je montirati uređaj u kutiju, podesiti OHM i priključiti potrošač. Izgled gotove priključnice prikazan je na slici 8.1, a šema povezivanja je data na slici 8.2.



Slika 8.1 Izgled gotove priključnice



Slika 8.2 Šema povezivanja priključnice

Nakon dovođenja napajanja priključnici, proveren je rad priključnice bez prisustva OHM i daljinskog upravljača. Zadavane su komande uključenja i isključenja, a zatim je namerno izazvano preopterećenje priključnice. Potom je u mrežu dodat OHM i poslat je set komandi priključnici koje se odnose na razna podešavanja, kao i komande uključenja i isključenja. Namerno je ukinuto napajanje OHM-u ili priključnici posebno i istovremeno, kako bi se videlo ponašanje priključnice i celog sistema u ovakvim slučajevima. Takođe, ponovo je namerno izazvano preopterećenje, kako bi se proverio zahtev za ponašanjem priključnice u pomenutoj situaciji. Nakon toga je u mrežu dodat i daljinski upravljač, kao i još jedna priključnica. Ponovljeni su testovi sa uključivanjem i isključivanjem priključnice, kao i test preopterećenja. U svim prethodnim testovima priključnica se ponašala u skladu sa unapred postavljenim zahtevima.

Potrebno je izvršiti i proveru načina rada priključnice u slučaju da je OHM trenutno neaktivan, odnosno da nije u mogućnosti da prihvati i obradi izveštaj o potrošnji. U tu svrhu priključnica je podešena da šalje izveštaje o potrošnji OHM-u svakih 30 sekundi, a ukoliko je OHM nedostupan, tada priključnica nakon intervala od 60 sekundi upisuje izveštaje u trajnu memoriju mikrokontrolera kako bi kasnije OHM mogao da ih pročita. Nakon podešavanja priključnice, OHM-u je ukinuto napajanje. OHM je bio neaktivan oko 3 sata i tada mu je ponovo dovedeno napajanje. Kao što je pretpostavljeno priključnica i OHM su nakon uključenja OHM-a razmenili pakete podataka koji su nosili informacije o potrošnji uređaja dok je OHM bio neaktivan. Pomenute informacije su dostupne korisniku u tekstualnoj datoteci koju je kreirao OHM i čiji je deo prikazan na slici 8.3.

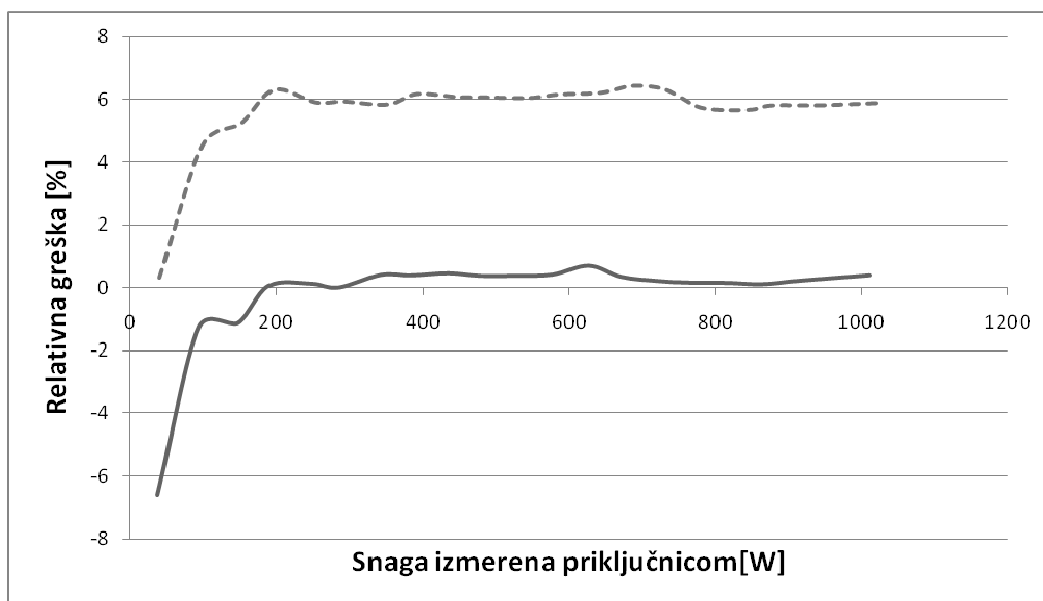
Timestamp	Source device	Active power	Power Factor	Time Interval
25/Sep/2012 14:32:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:33:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:34:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:35:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:36:20	12	71	996	60
25/Sep/2012 14:37:20	12	97	999	60
25/Sep/2012 14:38:20	12	97	999	60
25/Sep/2012 14:39:20	12	97	999	60
25/Sep/2012 14:40:20	12	97	999	60
25/Sep/2012 14:41:20	12	97	999	60
25/Sep/2012 14:42:20	12	97	999	60
25/Sep/2012 14:43:20	12	43	994	60
25/Sep/2012 14:44:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:45:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:46:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:47:20	12	0	0	60
25/Sep/2012 14:48:20	12	27	993	60
25/Sep/2012 14:49:20	12	96	999	60
25/Sep/2012 14:50:20	12	96	999	60

Slika 8.3 Izgled dela datoteke sa rezultatima iz trajne memorije mikrokontrolera

Prilikom prethodnog testa kao potrošač je upotrebljena sijalica sa užarenim vlaknom snage 100W. Pomoću tastera na prednjoj masici priključnice sijalica je nekoliko puta upaljena i ugašena tokom testa što se vidi na slici 8.3. Takođe, na slici 8.3 primećujemo da je vrednost faktora snage u granicama od nula do 1000. Ovo su vrednosti koje šalje priključnica OHM-u (zbog lakše

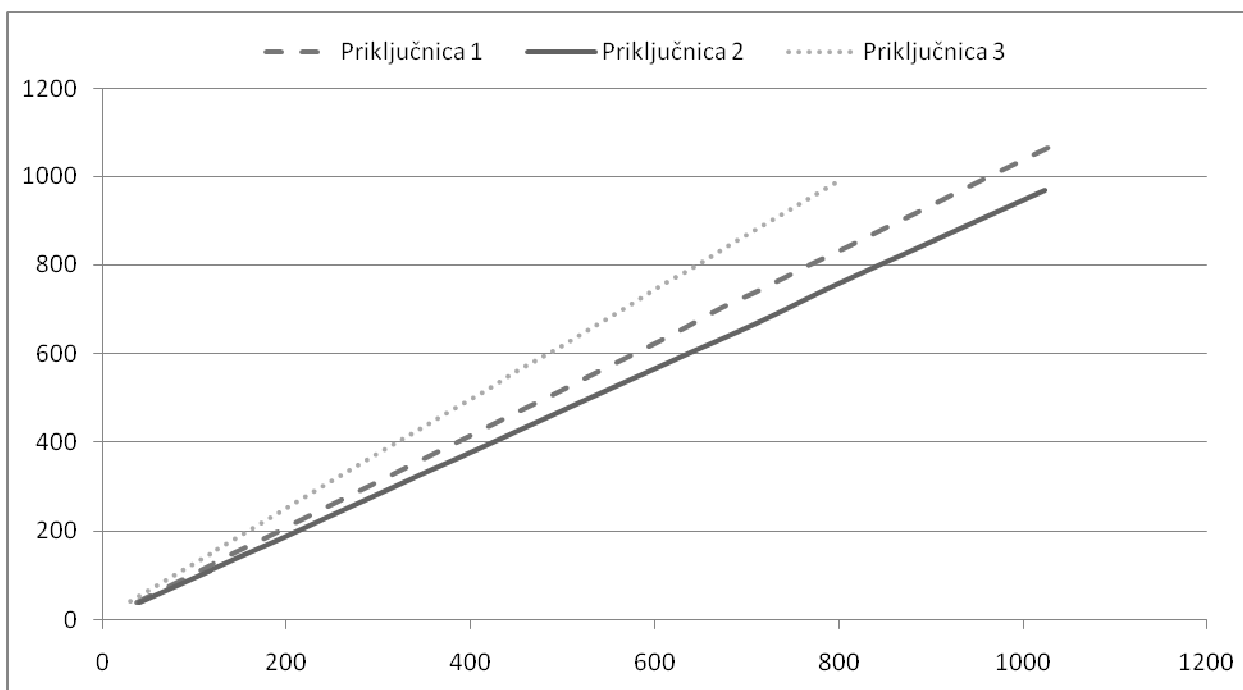
obrade rezultata), a OHM ih tumači i prikazuje korisniku 1000 puta manjim da bi se dobila realna informacija o faktoru snage.

Nakon testova ponašanja priključnice u realnom okruženju izvršeni su testovi tačnosti merenja snage i faktora snage. Za pomenuta merenja potreban je instrument koji takođe meri pomenute veličine sa što većom tačnošću koji će poslužiti kao referenti. U tu svrhu iskorišćen je univerzalni instrument VMP 20 kompanije INSEL. VMP 20 meri i na svom displeju prikazuje četiri veličine: efektivnu vrednost napona i struje, aktivnu snagu i faktor snage. Tačnost uređaja je 2% od pune skale za merenje faktora snage, a 0,5% od pune skale za merenje struje i napona. Dakle, priključnica i VMP 20 su tako povezani da oboje mere snagu i faktor snage istog uređaja. Kako je priključnica namenjena merenju potrošnje, odnosno merenju srednje snage u nekom intervalu vremena i tog intervala, podešeno je da taj interval traje pet sekundi. Prilikom merenja snage kao potrošač su poslužile sijalice različitih snaga koje su paralelno vezivane kako bi se povećala snaga priključenog potrošača. Nakon izvršenih merenja i obrade rezultata dobijen je grafik prikazan isprekidanom linijom na slici 8.4.



Slika 8.4 Relativna greška priključnice pre i posle korekcije rezultata merenja

Kao što se vidi sa slike relativna greška iznosi oko 6% od referentne vrednosti. Nakon upoređivanja merenja tri priključnice sa merenjem VMP 20, dobijeni su grafici prikazani na slici 8.5. Prilikom crtanja grafika na x osu (apscisu) su postavljeni rezultati merenja dobijeni od priključnica, a y osu (ordinatu) rezultati merenja dobijeni od VMP 20.



Slika 8.5 Upoređivanje rezultata merenja tri priključnice i VMP 20

Sa slike 8.5 se vidi da se upotrebom linearne funkcije za korekciju merenja priključnice može povećati tačnost merenja priključnice. Nakon dodavanja linearne funkcije za korekciju rezultata merenja priključnice, ponovljena su merenja za priključnicu jedan, na koju se odnosi grafik prikazan isprekidanom linijom na slici 8.4 i dobijen je grafik prikazan punom linijom na slici 8.4. Greška je sada smanjena i u opsegu snaga preko 50 W iznosi manje od 2% od referentne vrednosti. Za opseg snaga do 50 W greška je oko 6,5% zbog vrednosti greške mikrokontrolera pri zaokruživanju na cele brojeve koja je uporediva sa rezultatima merenja.

Kako je po standardu IEC 60669 priključnica namenjena i za uključivanje i isključivanje motora čiji je faktor snage minimalno 0,6, izvršena su merenja faktora snage pomoću priključnice i referentnog instrumenta. Faktor snage je menjan u opsegu od 0,5 do 0,95 pri čemu je i snaga potrošača menjana. Rezultati merenja su pokazali da priključnica meri faktor snage u pomenutom opsegu sa maksimalnom relativnom greškom od 5% u odnosu na referentnu vrednost, što je zadovoljavajuće.

9. Zaključak

U radu je opisana realizacija prototipa bežično kontrolisane priključnice za praćenje potrošnje električne energije. Priključnica je deo OBLO sistema kućne automatizacije opisanog u drugom poglavlju. Realizacija priključnice zahtevala je usavršavanje i sticanje znanja iz oblasti projektovanja elektronskih kola, projektovanja štampanih ploča, programiranja mikrokontrolera, merenja električnih veličina, kao i upoznavanje sa standardima povezanim sa klasom električnih uređaja kojoj pripada realizovana priključnica. Svi zadaci postavljeni na početku rada, osim zahteva za smanjenje sopstvene potrošnje priključnice, su uspešno rešeni. Smanjenje potrošnje priključnice u odnosu na SO_300W nije postignuto zbog odluke da se koristi rele kao prekidački element. Pošto je i sa releom potrošnja priključnice oko 0,5 W, pomenuti problem nije od velikog značaja.

Među zahtevima koji su postavljeni na početku rada je i zadovoljavanje tehničkih propisa povezanih sa realizovanom priključnicom i omogućavanje isplative proizvodnje velikog broja uređaja, odnosno optimizacija cene komponenata i troškova proizvodnje. Od samog početka realizacije prototipa posebna pažnja je posvećena prethodno pomenutim zahtevima. Nakon analize standarda koji se odnose na priključnicu, dodati su elementi koji služe za zaštitu same priključnice, kao i za zaštitu uređaja čija se potrošnja kontroliše. Posebna pažnja posvećena je smanjenju smetnji koje uređaj emituje. Takođe, projektovanje štampane ploče je izvršeno u skladu sa zahtevima standarda i preporukama na osnovu iskustva starijih kolega. Međutim, za potvrdu ispunjenja tehničkih propisa povezanih sa priključnicom potrebno je izvršiti merenja specijalizovanom mernom opremom koja autoru nije bila dostupna, pa pomenuti zahtev ostaje kao zadatak koji treba rešiti u budućnosti. Što se tiče optimizacije cene komponenata i troškova proizvodnje, prilikom realizacije priključnice potrebno je bilo napraviti kompromis između cene i željenih tehničkih karakteristika komponenata. Takođe, velika pažnja je posvećena realizaciji

priključnice upotrebom komponenata koje se već koriste u drugim uređajima unutar OBLO sistema kako bi se smanjila cena potrebnih komponenata.

Smernice za dalje unapređenje priključnice leže u boljem iskorišćenju mogućnosti integrisanog kola za merenje snage i u korišćenju novije verzije ZigBee protokola. Kako pomenuto integrisano kolo pored aktivne snage i faktora snage može da meri i reaktivnu i prividnu snagu, kao i efektivne vrednosti napona i struje otvara se mogućnost da pored merenja potrošnje električne energije i nabrojanih električnih veličina, korisnik može da ima uvid i u kvalitet isporučene električne energije. U tom slučaju potrebno je iskoristiti mogućnost za kalibraciju integrisanog kola za merenje snage na fizičkom nivou kako bi se smanjila cena troškova proizvodnje i ubrzala sama proizvodnja. Takođe, upotrebom novije verzije ZigBee protokola moguće je povećanje pouzdanosti rada uređaja na mrežnom nivou.

Unapređenje fizičke arhitekture uređaja ogleda se u unapređenju napajanja same priključnice kako bi se poništila buka prisutna kod pojedinih prototipova priključnice usled načina rada napajanja. Što se tiče unapređenja programske podrške, ono se pored upotrebe novije verzije ZigBee protokola ogleda i u ponavljanju merenja za vrednosti snage manje od 50 W i poboljšanju korekcije rezultata merenja u ovom opsegu.

10. Literatura

- [1] OBLO, official site, <http://www.oblo.rs/sr/o-nama/oblo> (7.9.2012.)
- [2] V. Nuhijević, S. Vukosavljev, B. Radin, N. Teslić, M. Vucelja: *An Intelligent Home Networking System*, IEEE International Conference on Consumer Electronics – Berlin (ICCE Berlin), 2011.
- [3] *IEEE Trial Use Standard Definitions for Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions*, Trial-use standard, Januar 2000.
- [4] *Sklopke za fiksne električne instalacije u domaćinstvu i slične instalacije*, 30. 7. 2010. http://www.iss.rs/standard/?natstandard_document_id=25804 (5. 9. 2012.)
- [5] *Rogovski kalem*, http://en.wikipedia.org/wiki/Rogowski_coil, (7.9.2012.)
- [6] *Energy measurement*, Cirrus Logic, http://www.cirrus.com/en/products/energy_measurement.html (7.9.2012.)
- [7] *Application-specific interfaces*, ST Microelectronics, <http://www.st.com/internet/analog/subclass/397.jsp> (7.9.2012.)
- [8] *Energy measurement*, Analog Devices, <http://www.analog.com/en/analog-to-digital-converters/energy-measurement/products/index.html> (7.9.2012.)
- [9] *Energy measurement products*, Microchip, <http://www.microchip.com/ParamChartSearch/chart.aspx?branchID=11029&mid=11&lang=en&pageId=79>, (7.9.2012.)

-
- [10] *AN37 – LinkSwitch-TN Family Design Guide*, Power Integrations,
<http://www.powerint.com/sites/default/files/product-docs/an37.pdf> (9.9.2012.)
- [11] *The application of relay coil suppression with DC relays*,
http://relays.te.com/appnotes/app_pdfs/13c3311.pdf 6. 9. 2012)
- [12] *CS5463, Single Phase, Bi-directional Power/Energy IC*, Cirrus Logic,
http://www.cirrus.com/en/pubs/proDatasheet/cs5463_F3.pdf (10.9.2012.)
- [13] Texas Instruments, *CC2530, A true System-on-Chip Solution for 2.4-GHz IEEE 802.15.4 and ZigBee Applications*, <http://www.ti.com/lit/ds/symmlink/cc2530.pdf>, (10.9.2012.)
- [14] *AN954, Transformerless Power Supplies: Resistive and Capacitive*, Microchip,
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00954A.pdf> (9.9.2012.)