

Unapređenje sistema za napajanje pametnih brojila električne energije

Milenko Marinko, Marjan Urekar, *Member, IEEE*

Apstrakt—U ovom radu je predstavljena ideja za poboljšanje sistema za napajanje pametnih brojila električne energije. Cilj poboljšanja ovog sistema jeste da se upotrebom različitih elektronskih komponenti smanji nivo smetnji, tj. izobličenja signala. Pored smanjenja nivoa smetnji će se eliminisati i svi mogući spoljni uzroci, a samim tim ćemo smanjiti i mogućnost greške merenja potrošene električne energije.

Ključne reči—Pametna brojila; elektroenergetski sistem; električna energija; izobličenja signala

I. UVOD

Većina svetskih sistema za isporuku električne energije ili mreža je napravljeno pre jednog veka. Iako su napravljene male izmene sistema, da bi se zadovoljila rastuća potražnja, električna mreža funkcioniše na isti način na koji je funkcionisala i pre. Energija teče preko mreže, od elektrane do potrošača, a pouzdanost je obezbeđena očuvanjem viška kapaciteta. Ovakvim načinom upravljanja je nastao sistem koji uz saobraćaj spada među najveće zagađivače životne sredine.

Elektroenergetski sistem u Srbiji se nije značajno menjao u poslednje vreme, iako još uvek funkcioniše dobro, potrebno ga je nadograditi i usavršiti. Tehnološki napredak je značajno uticao na naš način života, ali i na povećanje zagađenosti životne sredine, kao i na potrošnju električne energije. Glavni zadatak je da se pronađe način kako da se zadovolje energetske potrebe potrošača, ali tako da se obnovljivi izvori električne energije integrišu u postojeći elektroenergetski sistem.

Obnovljivi izvori električne energije su promenljivi i nemaju konstantnu proizvodnju, pa je iz tog razloga potrebno da se uravnoteže ponuda i potražnja, kada imamo nedostatak energije ili višak u proizvodnji. U naprednim infrastrukturama ovo se može postići upotrebom pametnih brojila. Razvoj pametnih elektroenergetskih mreža donosi brojne prednosti koje korisniku omogućavaju lakše korišćenje i trošenje električne energije.

Sastav pametne elektroenergetske mreže obezbeđuje veću pouzdanost i efikasnost u radu, vrlo je prilagodljiv i

pouzdaniji je od tradicionalnih elektroenergetskih mreža.

Najvažnija komponenta pametnih elektroenergetskih mreža je pametno brojilo. Cilj ovog rada je da se objasni način funkcionisanja pametnih brojila, kao i razvoj sistema za njihovo napajanje.

II. PAMETNA BROJILA

Napredno merenje je glavna odlika naprednih mreža, ono značajno doprinosi smanjenju troškova električne energije, smanjenju zagađenja životne sredine jer se povećava broj obnovljivih izvora energije, itd. Glavni element sistema za napredno merenje je pametno brojilo.

Pametno brojilo je izraz koji opisuje nove elektronske uređaje za merenje električne energije, koji će vrlo brzo zameniti stara elektromehanička brojila. Pametna brojila beleže potrošnju električne energije u razmacima od sat vremena ili manje i razmenjuju tu informaciju na dnevnoj bazi sa alatom za praćenje i naplatu. Ovde imamo uspostavljanje dvosmernog protoka podataka između potrošača i distributera električne energije, tako da se podaci šalju komunikacionom mrežom koja može uključivati elektroenergetske vodove, radio veze ili veze mobilne telefonije.



Sl. 1 – Primer pametnog brojila [9]

Treba napomenuti da stara elektromehanička brojila imaju nekoliko mana zbog kojih se i teži ka promeni i modernizaciji. Ova elektromehanička brojila su neefikasna, zbog toga što elektroprivreda mora slati radnike od kuće do kuće da očitavaju ovakva brojila. Sama brojila su sklona nepreciznostima, a njihovo očitavanje i unošenje podataka u bazu je takođe podloga za greške. Jedan od glavnih izvora

Milenko Marinko-Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Republika Srbija, (email: milenkomarinko93@gmail.com).

Marjan Urekar-Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Republika Srbija, (email: urekarm@uns.ac.rs),

gubitaka energije u sistemu je i „nameštanje“ brojila za smanjenje količine potrošene energije. Ova brojila se mogu lako manipulirati za izmenu očitavanja potrošnje, zbog toga što nema daljinskog upravljanja i kontrole funkcionalnosti. Bez detaljnih informacija o električnoj potrošnji, korisnici će imati manje mogućnosti za smanjenje ili prebacivanje korišćenja energije, a samim tim i manje mogućnosti uštede energije. Zbog svih ovih razloga se razvila nova generacija pametnih električnih brojila, koja će potrošačima pružiti sve one mogućnosti koje nemaju kod standardnih elektromehaničkih brojila.

Osim veće kontrole, pametna brojila distributerima električne energije omogućavaju i veću fleksibilnost, što znači da se tokom dana može menjati cena električne energije u odnosu na potrošnju. Ovo bi potrošače podstaklo da koriste električne aparate u vreme pada potrošnje i cene električne energije. Neka sprovedena istraživanja su pokazala da na ovaj način dolazi do smanjenja potrošnje električne energije približno za 7 %, a tokom vršne potrošnje za 15 %. Mišljenje je da bi na taj način potrošači smanjili svoje račune do 10 % na godišnjem nivou, dok bi distributerima smanjenje potrošnje tokom vremena vršne potrošnje omogućilo veću stabilnost elektroenergetskog sistema.

III. OPIS PAMETNOG BROJILA

Pametno brojilo je elektronski uređaj koji beleži važne informacije kao što je potrošnja električne energije, frekvencija i nivoi napona, struje i faktora snage. Korisna strana ovih brojila je što prenose potrošaču informacije o ponašanju potrošnje, pa potrošač može da ima sve važne informacije o potrošnji. Kod pametnih brojila se beleži potrošnja električne energije i redovno se izveštava u kratkim intervalima tokom dana. Ova brojila omogućavaju dvosmernu komunikaciju između brojila i centralnog sistema.

Pametna brojila – Smart meters su smeštena u prostorima potrošača, da bi se mogle razmenjivati informacije između potrošača i kontrolnog centra. Pametno brojilo korisniku pruža sledeće mogućnosti:

- Pravovremene podatke o potrošnji električne energije i proizvedenoj električnoj energiji
- Očitavanje brojila na lokalnom nivou, a i na daljinu
- Interkonekcija (međupovezanost) između izvora električne energije za distribuisanu proizvodnju itd...

Princip rada elektronskih brojila se bazira na množenju uzetih uzoraka struje i napona u određenim vremenskim razmacima i njihovom sabiranju. Ova brojila pomoću elektronskih sklopova obavljaju množenje napona i struje i njihovu integraciju.

Tehnologiju pametnih brojila čine:

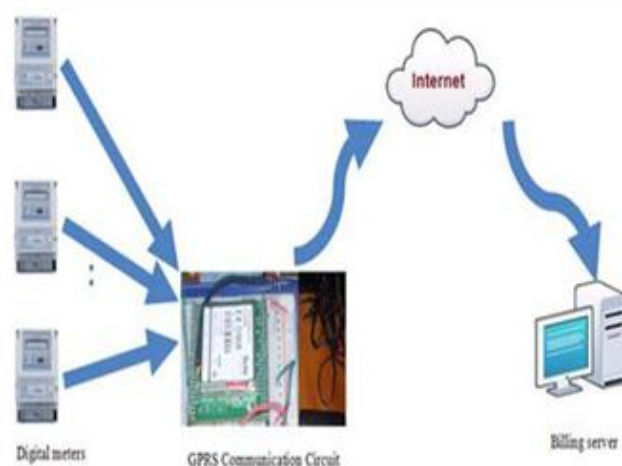
- Integrirana komunikaciona infrastruktura koja omogućava dvosmernu razmenu informacija i snage u realnom vremenu
- Napredni merni uređaji (uključujući naprednu mernu infrastrukturu) koji beleže i razmenjuju detaljnije informacije o korišćenju energije

- Senzori i sistemi nadzora u mreži koji proveravaju protok energije u sistemu i parametre mreže
- Automatske kontrole koje otkrivaju i popravljaju kvarove na mreži i pružaju rešenje za samopopravak mreže
- Napredne sklopke i kablovi koji poboljšavaju parametre mreže
- IT sistemi sa integrisanim aplikacijama i analizom podataka

Distribuciona mreža sa ugrađenim pametnim brojilima omogućava razvoj električnih vozila, tehnologije skladištenja i čuvanja energije, pametnih uređaja i pametnih zgrada, alata za upravljanje energije namenjene potrošačima, mikromreža, distribuiranih energetske resursa, obnovljivih izvora energije, itd.

IV. DALJINSKO OČITAVANJE BROJILA

Daljinsko očitavanje brojila ili *AMR (Automatic Meter Reading)* je tehnologija za daljinsko prikupljanje podataka o potrošnji nekog energenta, najčešće je to električna energija, plin ili voda. Ovo očitavanje se vrši upotrebom telefonske, radio ili „Power line“ (elektroenergetska mreža) veze. Podaci se očitavaju pomoću dobro opremljenih brojila, a nakon toga se putem spomenutih načina (telefon, radio frekvencija, PLC) prenose do operatera. Očitavanje ovakvih brojila se može izvršiti pojedinačno, po zahtevu korisnika (bez fizičkog kontakta sa brojilom) ili daljinski, prema unapred definisanim pravilima, korišćenjem adekvatnog softvera. Kod ovih sistema je potreban hab (mrežni uređaj) koji se postavlja u blizini transformatorske stanice i služi za prikupljanje podataka iz odgovarajuće opremljenih brojila koja se nalaze u domaćinstvima i industriji. Dalje se podaci iz haba prenose do centralne jedinice distributera korišćenjem telefonske linije, optičkog medija ili bežično.



Sl.2 – Arhitektura AMR sistema [10]

Ovaj način očitavanja brojila omogućava distributerima električne energije da povećaju svoju efikasnost, smanje troškove i poboljšaju kvalitet usluga koje pružaju korisnicima. Ovi sistemi omogućavaju i dodatne usluge kao što su fleksibilne tarife, upravljanje potrošnjom energije, itd.

Prednosti uvođenja sistema za daljinsko očitavanje

- Smanjenje troškova očitavanja – dosadašnji način zahteva veliki broj radnika za ručno očitavanje, čime se povećavaju i troškovi preduzeća
- Analiza potrošnje energenata – mogućnost štednje kroz praćenje potrošačkih navika
- Mogućnost očitavanja teško dostupnih brojila – u najvećem broju slučajeva je brojilo smešteno unutar poseda (kuće ili stana) i na teško dostupnom mestu, pa pristup brojilu nije baš uvek moguć, što znači da radnik koji očitava brojilo nekad mora i više puta da obilazi jedno isto mesto, čime se povećavaju i troškovi očitavanja
- Poboljšanje usluga i zadovoljstvo potrošača – u tržišnom okruženju zadovoljstvo kupaca je jedna od najvažnijih komponenti poslovanja. Dosadašnji način obračuna potrošnje električne energije se zasnivao na izdavanju računa koji se temeljio na proceni, što je dovodilo do stalnih žalbi potrošača, zahteva za ispravkom obračuna, itd. AMR sistem daljinskog očitavanja brojila omogućava češća očitavanja, a obračun se zasniva na stvarnoj potrošnji, povećava se tačnost očitavanja brojila zbog smanjenja grešaka uzrokovanih ljudskim faktorom, omogućava se dobijanje upozorenja o mogućim kvarovima na mernim uređajima, itd.
- Smanjenje vremenskog perioda od očitavanja do obračuna
- Mogućnost detekcije pokušaja krađe električne energije i otkrivanja krađe – brojila unutar sistema daljinskog očitavanja zapisuju pojedine događaje u svoju knjigu događaja, koja se kod određenih tipova brojila može parametrizovati i definisati, dok je kod drugih tipova brojila skup događaja koji se zapisuju fabrički određen. Isti događaj ima različitu vrednost koda i definisan je od strane proizvođača brojila. Ovo je razlog što se svi događaji koje pojedino brojilo registruje zapisuju u bazu, a od mnoštva različitih zapisanih događaja kod otkrivanja krađe je najvažniji događaj skidanje poklopca sa priključnica brojila
- Limitiranje priključne snage
- Upravljanje brojilima, odnosno potrošnjom električne energije – mogućnost daljinskog uključenja ili isključenja potrošača
- Kontrola merenja – prikupljanje podataka o prekidima napajanja, strujama, naponima i opterećenjima pojedinih faza, faznim pomacima i faktorima snage
- Potrošači imaju mogućnost pristupa mernim podacima, upravljanja vršnim opterećenjem, itd.

V. DIZAJN NAPAJANJA ZA PAMETNA BROJILA

Dizajneri napajanja za pametna brojila se suočavaju sa raznim problemima. Osim tipičnih problema, kao što je energetska efikasnost, treba da uzmu u obzir i pitanja kao što su prevare, ali i pravilan rad u slučaju kvara na isporuci električne energije.

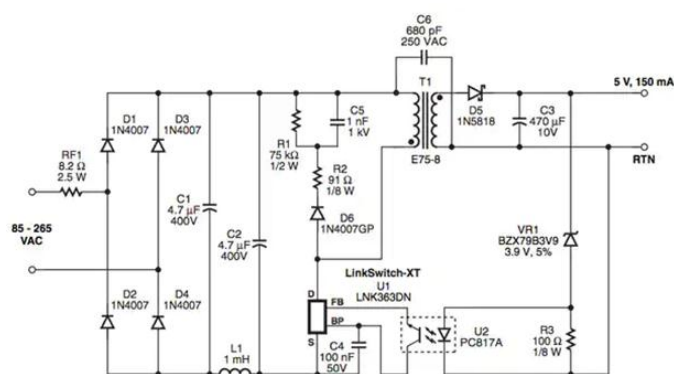
Pametna brojila moraju da budu u mogućnosti da podrže 32-bitne mikroprocesore i sa većom memorijom, kako bi mogli da obezbede kriptografske karakteristike, kao i preciznija merenja upotrebe i ažuriranja podataka putem bežične komunikacije. U slučaju da nastane prekid isporuke električne energije, pametno brojilo treba da bude u stanju da šalje obaveštenja elektrodistribuciji, zahtevajući korišćenje rezervne energije.

Jedan od ključnih problema sa kojim se dizajneri pametnih brojila suočavaju je ometanje. Jedna od metoda koja se koristi na brojilima električne energije je ometanje merenja strujnih transformatora. Transformator koji se koristi za detekciju struje se vrlo lako može zasiti upotrebom jakih magneta, sprečavajući na taj način merač da oseti promenu struje.

Mnogi prekidači za napajanje su koristili male transformatore sa feritnim jezgrom koji su jeftini i efikasni, ali i podložni jakim magnetnim poljima. Zasićenje jezgra transformatora dovodi do prekomernih strujnih situacija koje mogu uzrokovati škodljivo preopterećenje MOSFET-a u prekidačkom napajanju. U tom trenutku će se merač verovatno isključiti dok se ne zameni napajanje.

LinkSwitch-XT familija uređaja kompanije *Power Integrations* ima ugrađenu zaštitu od prekomerne struje.

U kolu prikazanom na slici 3, transformator je napravljen tako da obezbedi dovoljnu induktivnost za napajanje i da isporuči potrebnu snagu i ako je njegovo jezgro zasićeno. Dioda D1-D4 se koriste za ispravljanje mrežnog ulaza naizmenične struje. U kompletu sa kondenzatorima C1 i C2, inductor L1 je deo "pi" filtera koji se koristi da smanji elektromagnetne smetnje. Napon od 1,1 V preko LED diode u U1 i Zener diode VR1, sumira potrebni izlazni napon, koji je u ovom slučaju 5V.



Sl.3 – Šema strujnog kola za napajanje pametnog brojila [6]

VI. UNAPREĐENJE SISTEMA ZA NAPAJANJE PAMETNOG BROJILA

Elektronska šema ovog sistema je projektovana u programu *KiCad*. *KiCad* je besplatan softverski program koji se koristi za dizajniranje šema električnih kola, kao i za izradu štampanih ploča (*Printed Circuit Board*).

Strujno kolo za napajanje pametnog brojila prikazano na slici 3 ima mogućnost "poboljšanja", tj. unapređenja. Ideja ovog rada jeste da se ovo napajanje poboljša na taj način što ćemo smanjiti nivo smetnji, tj. izobličenja signala koji ulazi u brojilo.

Ovo se može postići zamenom postojećih delova ovog strujnog kola, određenim elektronskim komponentama i dodavanjem nekih elemenata, koji su neophodni da bi ovo kolo radilo na način koji nam je potreban. Unapređenje postojećeg sistema je prikazano na slici 4.

Unapređenje sistema za napajanje ćemo postići tako što ćemo umesto kondenzatora C3 na sekundaru transformatora, dodati još jedan "pi" filter, koji će sačinjen od kondenzatora C6 i C7 i induktora L2, još više smanjiti elektromagnetne smetnje.

Elektronski filter jeste filter za obradu signala, koji je dostupan u obliku električnog kola. Glavna funkcija filtera je da dozvoli DC komponentu opterećenja filtera i blokira AC komponentu na izlazu ispravljača. Zbog toga ćemo na izlazu filtera imati stabilan jednosmerni napon. Pi filter je ustvari jedna vrsta filtera koji ima blok sa dva priključka i tri terminala koji uključuje tri elementa gde svaki element uključuje dva terminala. Model kola će biti u obliku slova „pi“, a elementi koji se koriste u kolu su kondenzatori i jedan induktor. Važnost pi filtera jeste ustvari da se postigne jednosmerni napon bez talasa, međutim ovaj filter je efikasniji dok eliminiše talase zbog toga što uključuje dodatni kondenzator na ulaznoj oblasti kola.

U ovom slučaju ćemo na izlazu iz diode D6, na prvom kondenzatoru C6 imati testerasti signal napona, koji je dosta veliki i ta veličina može da dovede do oscilovanja ili uništenja potrošača. Uvođenjem pi filtera u kolo, ćemo višestruko smanjiti taj dobijeni testerasti signal, zbog toga što se zavojnica ponaša tako da sa većom frekvencijom imamo i veći otpor za naizmenični signal.

To se vidi iz formule za induktivni otpor:

$$R_L = \omega * L$$

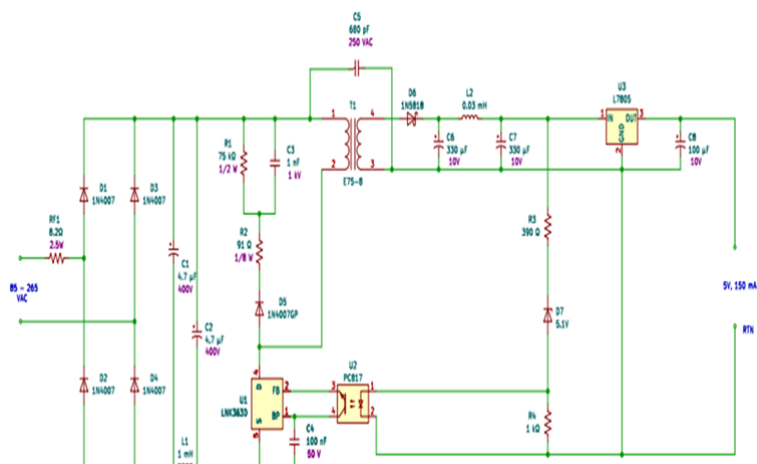
gde je, $\omega = 2 * \pi * f$

f-frekvencija naizmenične struje

Zatim dodajemo i regulator tj. stabilizator napona L7805, da bi se postigao potreban naponski nivo od 5V, koji nam služi za napajanje brojila. Da bi stabilizator napona mogao da radi, potrebno je da postojeću Zener diodu sa naponom 3,9 V zamenimo Zener diodom od 5,1 V i tada ćemo imati napon od 6,2V na ulazu u stabilizator napona. Ono što je još potrebno jeste da se stabilizator napona zaštiti od oscilovanja, što ćemo postići dodavanjem kondenzatora C8 na izlaz iz IC kola.

Ovakvo formirano kolo će nam omogućiti da dobijemo, što

je moguće stabilniji napon, zbog toga što sam brojač potrošnje električne energije zahteva stabilan napon koji neće uticati na promenu stanja brojača. Sa promenom napona, može doći do usporenja brojača, pa dolazi do mogućnosti da se izbroji manja potrošnja, a u slučaju da se napon poveća, može doći do toga da brojač izbroji više impulsa, pa bi u tom slučaju i potrošnja bila predstavljena kao veća. Ovakvo kolo će eliminisati sve moguće spoljne uzroke, osim onog signala koji je potreban da brojilo meri. Samim tim ćemo automatski smanjiti i mogućnost greške.



referentnog napona iz AREF pina Arduino Nano sistema. Dobijeni napon prikazujemo na četvorocifrenom sedmosegmentnom displeju CA56-12CGKWA, kao jedan od podataka koji se prikazuju na brojilu.

VII. ZAKLJUČAK

Na kraju rada možemo zaključiti da je sistem koji je bio u početku radio dobro i uspešno obavljao određene zadatke, ali smo uvidom u šemu napajanja ovog pametnog brojila došli do zaključka da iako je ovaj sistem i do sad radio dobro, može da se unapredi pa da radi i bolje i tačnije.

Unapređenje postojećeg sistema za napajanje pametnog brojila je ostvareno na taj način što smo zamenili neke komponente postojećeg kola i dodali neke nove elemente. Na taj način smo smanjili nivo smetnji, tj. izobličenja signala koji ulazi u brojilo. Na kraju rada možemo zaključiti da je poboljšanje sistema uspešno izvedeno i da zadovoljava prvobitno planirane potrebe. Ovako unapređen sistem će nam pored primarnog zadatka, da stabilizuje signal i smanji nivo smetnji, po automatizmu smanjiti mogućnost greške merenja.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: "Istraživanja u cilju unapređenja nastavnog procesa i razvoja naučno-stručnih oblasti Departmana za energetiku, elektroniku i telekomunikacije"

LITERATURA

- [1] I. Novosel, D. Žigman, Smart grids-Napredne elektroenergetske mreže
- [2] <https://infoteh.etf.ues.rs.ba/zbornik/2017/radovi/STS/STS-3.pdf>
- [3] <https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A1488/datastream/PDF/view>
- [4] <https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A2168/datastream/PDF/view>
- [5] D. Žgela, Uloga naprednih brojila u pametnim mrežama
- [6] <https://www.digikey.com/en/articles/power-supply-design-for-smart-meters>
- [7] <https://www.kicad.org/>
- [8] Arduino. [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>.
- [9] <https://www.meterandcontrol.com/products/ami-devices/sx402/>
- [10] <https://www.digikey.com/en/blog/amr-system-based-on-grps-technology>

ABSTRACT

This paper presents an idea for improving the system for powering smart electricity meters. The goal of improving this system is to reduce the level of interference by using different electronic components, i.e. signal distortions. In addition to reducing the level of interference, all possible external causes will be eliminated, and thus we will reduce the possibility of errors in the measurement of consumed electricity.

Development of a system for powering smart electricity meters

Milenko Marinko, Marjan Urekar