

# VIŠEHIJERARHIJSKI SISTEM ZA PRAĆENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE

Marko Cvetković, Milun Jevtić, *Elektronski fakultet Niš*

**Sadržaj** – U ovom radu prikazan je višehijerarhijski sistem za praćenje potrošnje električne energije do nivoa republike. Predloženi sistem bi trebao da, osim daljinskog očitavanja brojila potrošnje električne energije, omogući i daljinsko podešavanje i nadzor potrošnje električne energije. U radu je predložena arhitektura sistema sa pet nivoa hijerarhije. Diskutovane su mogućnosti realizacije komunikacionih puteva, a razmotren je i problem zaštite sistema od neovlašćenog pristupa.

## 1. UVOD

U današnje vreme u svetu se uočava rastuća potreba za poboljšanjem usluga i povećanjem efikasnosti preduzeća za distribuciju električne energije. Teži se uvođenju novih tehnologija u cilju automatizacije distribucionih sistema, koja zahteva relativno male investicije, a donosi veliku prednost, kako kroz efikasnije iskorišćenje postojećih kapaciteta, tako i kroz efikasnije poslovanje. Tehnološka dostignuća u oblasti elektronike, telekomunikacija i informatike pružaju velike mogućnosti za potpunu automatizaciju distribucionih sistema, koja bi između ostalog obuhvatila sisteme daljinskog upravljanja i nadzora potrošnje električne energije, daljinskog očitavanja i automatskog izdavanja računa.

U skladu sa pomenutim tendencijama u svetu, u okviru projekta tehnološkog razvoja republike Srbije, na Elektronskom fakultetu u Nišu razvijeno je integrisano kolo – Integrisani merač potrošnje električne energije (IMPEG), koji će poslužiti kao osnova za realizaciju republičkog sistema daljinskog praćenja potrošnje električne energije. Ovaj čip bio bi srž novih brojila potrošnje električne energije (BPEE), koja bi, osim merenja potrošnje, imala i mogućnost komunikacije, koja je neophodna za realizaciju funkcija daljinskog očitavanja, podešavanja i nadzora. Krajnji cilj projekta je realizacija sistema u kome će biti moguće sa centralizovanog mesta očitavati BPEE, postavljati parametre i nadgledati potrošnju električne energije od nivoa individualnih potrošača do nivoa republike. U ovom radu daćemo osvrt na mogućnost realizacije takvog sistema u Srbiji.

## 2. ARHITEKTURA SISTEMA

Sistem za snabdevanje potrošača električnom energijom može se podeliti na tri nivoa: visokonaponski (110 – 380 kV), srednjenaponski (10 – 30 kV) i niskonaponski nivo (0.4 kV). Svaki od ovih nivoa predviđen je za premošćavanje određenih rastojanja, dok se njihova međusobna veza ostvaruje pomoću transformatora, i to tako da gubici pri prenosu energije budu što je moguće manji. Namena visokonaponskog nivoa je prenos električne energije od proizvođača do elektrodistribucionih preduzeća, i tom prilikom se premošćuju udaljenosti od nekoliko desetina do nekoliko stotina kilometara. Osnovna namena srednjenaponskog nivoa prenosa je snabdevanje ruralnih područja, manjih

gradova, kao i pojedinih većih industrijskih objekata, dok je niskonaponski nivo namenjen za distribuciju električne energije do krajnjih potrošača.

Kada je u pitanju realizacija sistema za praćenje potrošnje električne energije u Srbiji od interesa su srednjenaponski i niskonaponski nivo, s obzirom da pripadaju domenu distribucije električne energije. U republičkom sistemu za distribuciju električne energije ne postoji jedinstven elektrodistribucionni centar, već postoji više preduzeća, zaduženih za distribuciju električne energije u određenim geografskim oblastima (Elektrodistribucija Niš – Niški region, Elektrodistribucija Beograd – područje grada Beograda, Elektrovojvodina itd.). S obzirom da ova preduzeća svojom delatnošću pokrivaju relativno velike teritorije, ona u svom sastavu imaju pogone, locirane u većim mestima, koji predstavljaju tačke od kojih počinje srednjenaponski nivo prenosa, a time i domen distribucije električne energije. Primer je JP Elektrodistribucija Niš, sa pogonima u Nišu, Pirotu i Prokuplju.

Ovakva struktura sistema za distribuciju električne energije nameće i odgovarajuću topologiju sistema za praćenje potrošnje električne energije. Mi smo predvideli da sistem ima pet hijerarhijskih nivoa:

- 1) Centralno nadzorno mesto (CNM);
- 2) Kontrolno mesto na nivou distribucije (KMND);
- 3) Regionalna kontrolna stanica (RKS);
- 4) Lokalna kontrolna stanica (LKS);
- 5) Pametno električno brojilo (PEB);

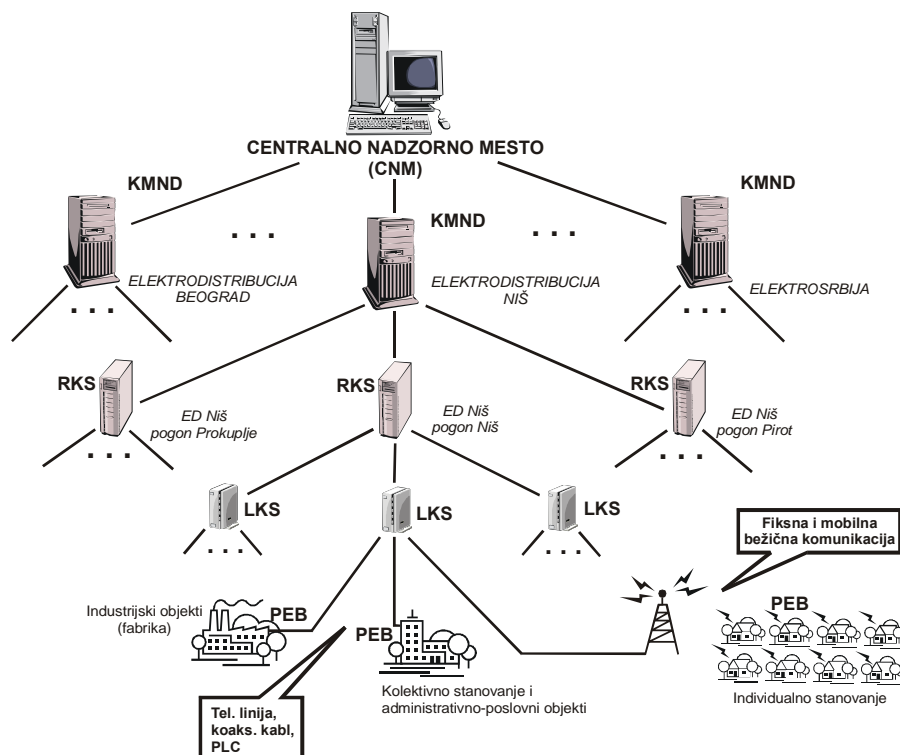
Topologija predloženog sistema prikazana je na Sl. 1, a u daljem tekstu ćemo objasniti uloge pojedinih nivoa.

Uloga PEB je merenje potrošnje aktivne i reaktivne električne energije,  $\cos\varphi$  i dr. Pored IMPEG-a koji predstavlja centralni uređaj u PEB, neophodno je da PEB ima i komunikacioni interfejs, kako bi se obezbedila razmena poruka između njega i LKS. U dosadašnjim fazama projekta razvijen je prototip IMPEG-a, koji osim toga što obavlja funkciju merenja potrošnje električne energije, ima integrisan i komunikacioni kontroler, koji obezbeđuje funkciju komunikacije preko dvožičnog serijskog bus-a [1]. Međutim, ovakav vid komunikacije predviđen je za prenos podataka između integrisanih kola, i to na kratkim rastojanjima. U cilju obezbeđivanja veze između dvožičnog serijskog bus-a i medijuma za prenos podataka do LKS potrebno je implementirati i dodatni komunikacioni interfejs.

Predviđeno je da LKS bude stacionirana u transformatorskim stanicama za snabdevanje krajnjih potrošača električnom energijom. Ona zapravo predstavlja koncentrator koji sakuplja podatke sa svih PEB vezanih za tu transformatorsku stanicu. Realizacija samog LKS će dosta zavisiti od odabranog komunikacionog medijuma, a time i

\* Ovaj rad je finansiran sredstvima Ministarstva za nauku, tehnologije i razvoj Republike Srbije u okviru projekata IT1.05.0077.A

tipa komunikacije. Na Sl. 1 su naznačeni i neki vidovi komunikacije u zavisnosti od tipa potrošača.



Sl.1. Topološka struktura sistema

RKS bi bila stacionirana u pogonima elektrodistribucionih preduzeća, koji se, kako je navedeno, najčešće nalaze u većim mestima (primer: Elektrodistribucija Niš – pogon Niš). Uloga RKS je da sakuplja sve podatke sa LKS i da ih u odgovarajućem formatu šalje dalje ka KMND.

KMND bi bila locirana u gradovima u kojima je sedište elektrodistribucionog preduzeća (npr. Niš za Elektrodistribuciju Niš). Na ovom mestu vrši se akvizicija podataka sa svih RKS, prikupljeni podaci se formatiraju i dalje prenose ka CNM. Veza između KMND i CNM treba da podržava veće brzine prenosa, pošto su i paketi podataka koji se prenose veći nego kada se obavlja prenos između čvorova na nižim hijerarhijskim nivoima.

Na vrhu je centralni čvor ovog sistema - CNM, računar koji obavlja funkcije upravljanja i nadzora celokupnog sistema. On omogućava ovlašćenom operateru da obavlja daljinsko očitavanje trenutne potrošnje, praćenje i iniciranje promena parametara pojedinih PEB, daljinsko uključivanje i isključivanje potrošača. Ovakav sistem podrazumeva i vođenje baza podataka – primarna baza za parametre PEB, za informacije o korisnicima i za istoriju konfiguracije mreže vode se u CNM, dok je distribuirana sekundarna baza podataka na nivou KMND. Osim toga neophodno je i postojanje grafičkog korisničkog interfejsa koji će da daje jednostavnu mogućnost pregleda potrošnje po oblastima ili individualnim PEB-ima. Sa ovog mesta se iniciraju periodični ili korisnički zahtevi za očitavanje potrošnje, kao i automatsko izdavanje računa.

### 3. KOMUNIKACIONI PODSISTEM

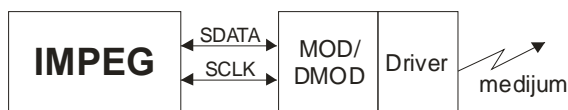
U sistemu sa ovakvom hijerarhijskom strukturom jedan od najvažnijih problema je vezan za realizaciju komunikacije između pojedinih čvorova. Kada je u pitanju komunikacija u

delu sistema od CNM, pa preko KMND i RKS, sve do LKS, najjednostavnije i najisplativije je da se ovaj deo komunikacionog podsistema realizuje kao deo neke javne mreže. Međutim, najveći problem je deo mreže koji se odnosi na komunikaciju LKS i PEB, koji bi zbog sigurnosti i zaštite sistema od neovlašćenog pristupa trebalo da bude realizovan kao privatna mreža. Tu se otvaraju problemi izbora načina komunikacije i medijuma za prenos podataka.

U predloženom sistemu podaci se mogu prenositi preko velikog broja različitih medijuma, uključujući upređenu paricu, energetski kabl, satelitski kanal, koaksijalni kabl ili radio frekvenciju. Komunikacioni kontroler IMPEG-a, kako je pomenuto, obezbeđuje komunikaciju preko dvožičnog serijskog bus-a, zbog čega je neophodno obezbediti i interfejs između ovog bus-a i odabranog medijuma. Kola za interfejs mogu biti implementirana unutar samog PEB ili kao dodatni uređaj koji se spolja povezuje na PEB. Opšti blok-dijagram povezivanja IMPEG-a na odabrani medijum dat je na Sl. 2.

IMPEG, koji predstavlja centralnu jedinicu PEB, ima zadatak da meri veličine vezane za potrošnju električne energije i da izmerene vrednosti smešta u odgovarajuće 24-bitne reči memorije na čipu. Uloga modulatora/demodulatora i drajvera je prilagođavanje signala za slanje preko odgovarajućeg medijuma. Pojedinačnim PEB-ima pristupa se preko 24-bitne adrese, jedinstvene za svaki PEB.

U ovom odeljku daćemo osnovne karakteristike tri tipa komunikacije koji ne zahtevaju dodatno ožičavanje (bar ne u većoj meri) i samim tim iziskuju manje troškove pri realizaciji. To su žičani prenos, bežični prenos (*wireless communication*) i komunikacija kroz energetska mreža (*power line communication - PLC*).



Sl. 2. Povezivanje IMPEG-a na komunikacioni medijum

#### a) Žičani prenos

Pod žičanim prenosom ovde smatramo tipove prinosa koji kao medijum koristi žičane veze namenjene isključivo za komunikaciju (upredena parica, koaksijalni kabl). Ovi medijumi se koriste u realizaciji komunikacionih mreža već dosta dugo, a proizvodi koji podržavaju ovaj vid komunikacije su brojni. Zbog toga je osnovna prednost primene ovih tehnologija relativno jednostavna realizacija komunikacione mreže.

Kada je reč o upotrebi upredene parice osnovni problem je potreba za dodatnim ožičavanjem, što poskupljuje realizaciju. Međutim, realizacija *bus* topologije na korisničkom kraju mreže (što je pogodno za lokacije gde je veći broj brojila grupisan na jednom mestu, na primer. stambena zgrada na Sl. 1), je pomoću upredene parice prilično jednostavna i ne bi zahtevala previše ulaganja. Drugo, eventualno rešenje ovog problema bi moglo biti korišćenje postojećih telefonskih linija. Takvo rešenje je implementirano u SAD pri realizaciji nacionalnog sistema za nadzor kvaliteta i pouzdanosti električne energije *I-Grid* [2], sistema koji ima drugačiju namenu (nadzor kvaliteta ispruke električne energije), ali sličnu strukturu kao sistem predložen u ovom radu.

S druge strane, rastući trend u svetu je korišćenje kablovskih veza, namenjenih prvenstveno za prenos video signala (kablovska TV), i u druge svrhe – višestruke telefonske linije, pristup internetu i dr. Kod nas ova tehnologija nije još uvek sasvim zaživela, ali poslednjih godina zapaža se veliki napredak u ovim primenama. Iako je kablovski prenos atraktivan prvenstveno u smislu obezbeđivanja kvalitetnijeg Internet pristupa nego preko *dial-up* modema, neprekidna aktivna veza tokom celog dana otvara mogućnost primene kablovskog prenosa i u predloženom sistemu. To je naročito pogodno za primenu u oblastima sa kolektivnim stanovanjem.

#### b) Bežični prenos

Osnovna prednost bežičnog pristupa je to što nema potrebe za dodatnim ožičavanjem, što daje posebnu pogodnost u oblastima gde su brojila postavljena na relativno velikim rastojanjima jedno od drugog (ruralna područja, individualno stanovanje u gradovima i sl.), gde bi uvođenje novih žičanih veza za komunikaciju predstavljalo skup i složen posao. Bežični prenos već ima primenu u sistemima praćenje potrošnje električne energije i to na dva načina: u vidu mobilnih i fiksnih bežičnih sistema.

Kod mobilnih bežičnih sistema, BPEE se očitavaju pomoću uređaja za očitavanje koji se kreće određenom trasom, bilo pomoću vozila ili tako što ga nosi radnik koji vrši očitavanje. U fiksnim bežičnim sistemima, BPEE šalju podatke o potrošnji fiksnoj kontrolnoj jedinici, odakle se podaci šalju dalje ka *host* računaru. Na ovaj način eliminisani su troškovi angažovanja radnika i upotrebe vozila za proces

očitavanja, ali je s druge strane neophodno fiksnu kontrolnu jedinicu locirati tako da postoji optička vidljivost između nje i svakog komunikacionog uređaja iz BPEE. U tom slučaju uređaj koji omogućava komunikaciju BPEE sa spoljnim svetom nije deo samog BPEE, nego je sa njim povezan kablom i najčešće postavljen na krov objekta u cilju obezbeđivanja nesmetane komunikacije sa kontrolnom jedinicom.

Bilo da se radi o fiksnim ili mobilnim bežičnim sistemima sistemima, prvo pitanje koje se postavlja je vezano za opseg frekvencija koji može da se koristi u te svrhe. Za to je potrebno da se donese čvrsta zakonska regulativa koja bi osim toga što bi definisala deo spektra koji može da se koristi za potrebe bežičnog očitavanja BPEE, definisala i maksimalne nivoe izračene snage.

#### c) PLC

PLC (*Power Line Communication*) zadnjih godina doživljava dinamičnu ekspanziju. Napredne energetske usluge koje se danas nude na svetskom tržištu uključuju i daljinsko očitavanje BPEE, a mnoge svetske kompanije koje se bave distribucijom električne energije, kao i proizvođači opreme iz ove oblasti se snažno zalažu da upravo PLC bude vid komunikacije u ovim primenama. Stalna veza kompanije za distribuciju električne energije sa potrošačima preko energetskih kablova i vodova omogućava relativno laku i jeftinu realizaciju komunikacije preko ovog medijuma. Ono što pruža posebnu pogodnost kada je u pitanju realizacija sistema za praćenje potrošnje električne energije je činjenica da, u dosadašnjem razvoju PLC, upravo srednjenaponski nivo predstavlja osnovu za obezbeđivanje PLC usluga [3]. To znači da je čitavu komunikacionu mrežu od KMND do samih PEB moguće realizovati na ovaj način, dok bi komunikacija sa CNM bila obezbeđena npr. preko optičkog kabla.

U realizaciji PLC jedan od osnovnih problema je zračenje energetskih linija pri prenosu signala visoke frekvencije. Postoji evropski standard koji definiše frekventne opsege dozvoljene za prenos putem PLC, kako zračenje ne bi uticalo na okolinu [4]. Ono što predstavlja izuzetnu povoljnost je da se brzine prenosa potrebne za daljinsko očitavanje BPEE mogu ostvariti u okviru trenutno dozvoljenog opsega (CENELEC opseg) [3]. U svetu već postoje sistemi za daljinsko očitavanje koji koriste PLC. Od njih je najveći italijanski *Contatore Elettronico* [5], a treba pomenuti još i *Turtle Systems 2*, *EMETCON DLC* i *TWACS* [6].

Generalno, svaki tip komunikacije ima svoje tehničke prednosti i nedostatke, i ne postoji jedno tehnološko rešenje koje je idealno za zadovoljavanje svih potreba. Zbog toga se može zaključiti da je za realizaciju sistema za praćenje potrošnje električne energije potrebno u sistem implementirati više različitih tehnologija, kako bi se ostvarila neophodna optimizacija celokupnog sistema.

## 4. ZAŠTITA OD NEOVLAŠĆENOG PRISTUPA

Kada se govori o realizaciji sistema za daljinsko očitavanje pitanje zaštite sistema od neovlašćenog pristupa se nameće kao jedno od najvažnijih. Zaštita uvek predstavlja kompleksno pitanje kada je potrebno projektovati sistem u kome se komunikacija obavlja preko nekog zajedničkog medijuma (npr. bežični prenos ili PLC).

Sistem za praćenje potrošnje električne energije bi u okviru usluga koje nudi trebalo da obezbedi i Internet pristup korisnicima radi očitavanja stanja svog brojila. Međutim, neophodno je, naravno, zaštititi PEB od neovlašćene promene njegovih parametara, gde se, kada se govori o parametrima PEB-a, misli se na sadržaj internih registara i memorijskih reči IMPEG-a. S obzirom da bi se Internet pristup pri očitavanju PEB-a od strane potrošača obavljao preko servera u okviru samog sistema za praćenje potrošnje električne energije, zaštita bi se mogla obezbediti standardnim metodama, koje su već dugo prisutne u Internet tehnologijama (*firewall*, ograničeni pristup, kriptografija).

Međutim, poseban problem predstavlja zaštita PEB od neovlašćenog pristupa iz dela privatne mreže, tj. iz dela gde su povezani LKS i PEB. Najjednostavniji i najsigurniji način zaštite je jednostavno onemogućiti funkciju daljinskog upisa u registre PEB. U tom slučaju bi bilo dozvoljeno samo daljinsko očitavanje PEB, dok bi za promenu internih parametara (npr. promena tarifnog sistema i sl.) i dalje bilo neophodno fizičko prisustvo ovlašćenog operatera. Kako se time gubi jedna značajna funkcija sistema – daljinsko podešavanje PEB, može se reći da ovaj način zaštite nije sasvim odgovarajući.

S druge strane moguće je primeniti i jedan drugačiji vid zaštite, koji bi imao ulogu detekcije pokušaja neovlašćenog pristupa. Naime, za opisani sistem može se predvideti i mogućnost da se osim potrošnje može očitati i informacija o statusu PEB. Najpogodnije bi bilo kada bi se statusna informacija očitavala kad god se očitava potrošnja, s tim da je moguće, na zahtev, očitati i samo statusnu informaciju. Na ovaj način bi se moglo detektovati slučaj da se korisnik usluga koji je isključen sa mreže neovlašćeno priključio, ili slučaj da na nekom PEB nije došlo do promene tarife koja je inicirana sa CNM. Ovo rešenje bi zahtevalo da se na nivou RKS vrši arhiviranje svih događaja koji se mogu detektovati do tog nivoa, kako bi se zabeležili pokušaji neovlašćenog pristupa i u skladu s njima preduzele potrebne mere.

Na kraju vredi napomenuti da izbor PLC kao metode za komunikaciju može da, u kombinaciji sa nekom od kriptografskih metoda, da veoma dobre rezultate u domenu zaštite sistema. Ovo proizilazi iz same prirode energetskog kabla kao medijuma i korišćenja metoda adaptivne modulacije (npr. višenivojska QAM). U ovom tipu modulacije parametri modulacije po nosiocu se u realnom vremenu prilagođavaju slabljenju kanala i nivou šuma, s ciljem da se postigne što manja ušestranost bitske greške. S druge strane energetski kabl uslovljava i to da su frekventni odziv kanala i SNR različiti za svaki par čvorova, tako da su i modulacioni parametri primenjeni za dati par čvorova jedinstveni [7]. To znači da treći neovlašćeni učesnik u komunikaciji koji želi da demoduliše signal mora da prvo ima veći SNR od prijemnika, a zatim i da zna parametre modulacije. U svakom drugom slučaju nivo šuma bi bio previše visok da bi se obavila pouzdana demodulacija.

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu predložena je topološka struktura sistema za praćenje potrošnje električne energije do nivoa republike sa pet nivoa hijerarhije. Ovakav sistem bi obezbedio brojne pogodnosti, kako za korisnike tako i za elektrodistribuciona preduzeća. Funkcije daljinskog očitavanja brojila i automat-

skog izdavanja računa smanjuje troškove angažovanja osoblja i opreme za ove poslove. S druge strane smanjuje se verovatnoća greške u očitavanjima i na taj način znatno redukuje i broj žalbi korisnika usluga. Osim toga, moguće je praćenje potrošnje na teritoriji čitave republike, a time i detekcija trenutnih preopterećenja u mreži, kao i efikasnije predviđanje maksimalne potrošnje u datim vremenskim periodima. Na kraju, mogućnost daljinskog upravljanja omogućava jednostavnu promenu tekućih i uvođenje novih tarifnih sistema koji bi podstakli racionalniju potrošnju.

Primena žičanog, bežičnog ili PLC prenosa će naravno zavisiti od konkretnih uslova pri tehničkoj realizaciji ovog sistema. Međutim, može se reći, da primena PLC kao još uvek nedovoljno iskorišćenog vida komunikacije priža dosta dobru perspektivu, kako zbog relativno jednostavne i jeftine realizacije, tako i kada je u pitanju zaštita od neovlašćenog pristupa.

U radu su razmotreni i problemi i mogućnosti ostvarenja zaštite sistema od neovlašćenog pristupa. Tome je potrebno posvetiti veliku pažnju pošto će realizacija valjanog i efikasnog sistema zaštite dati ogroman doprinos efikasnosti celokupnog sistema distribucije električne energije.

## LITERATURA

- [1] M. Cvetković, M. Jevtić, M. Dimitrijević, "I<sup>2</sup>C-Like Communication for the Power Meter IC", *accepted for 24<sup>th</sup> Conference on Microelectronics – MIEL 2004*.
- [2] W. E. Brumsickle et al., "Operational Experience with a Nationwide Power Quality and Reliability Monitoring System", *submitted for IEEE-IAS 2003 Annu. Meeting*, <http://www.softswitch.com/literature.htm>.
- [3] N. Pavlidou et al., "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends", *IEEE Communications Magazine*, vol. 41 No. 4, pp. 34-40, April 2003.
- [4] Klaus Dostert, *Powerline Communications*, Prentice Hall PTR, 2001.
- [5] [www.echelon.com](http://www.echelon.com)
- [6] C. H. K. Goh, "A Current Study of Automatic Meter Reading Solutions via Power Line Communications", <http://wpweb2k.gsia.cmu.edu/ceic/publications.htm>.
- [7] J. Abad et al., "Extending Power Line LAN Up to the Neighborhood Transformer", *IEEE Communications Magazine*, vol. 41 No. 4, pp. 64-70, April 2003.

**Abstract** – In this paper a nation-wide multihierarchical system for electrical energy consumption monitoring is presented. Besides providing remote energy meter reading, proposed system should also provide remote tuning and energy consumption monitoring. The system architecture with five hierarchical levels is proposed in the paper. The possibilities for realizing communication are discussed, as well as securing system from unauthorized access.

## A MULTIHIERARCHICAL SYSTEM FOR ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION MONITORING

Marko Cvetković, Milun Jevtić