

PROTOTIP M85

VIRTUALNI INSTRUMENT ZA MERENJE SNAGE PO STANDARDU IEEE 1459-2010

Odgovorno lice: dr Josif Tomić
Autori rešenja: dr Josif Tomić, dr Milan Vidaković, dr Miodrag Kušljević,
dr Vladimir Vujičić, dr Miloš Živanov, dr Miloš Slankamenac.
Razvijeno u okviru projekata: TR32019 i III43008
Godina: 2012.

1. Oblast tehnike na koju se merni instrument odnosi

Predloženi prototip mernog instrumenta pripada oblasti mernih uređaja koji se koriste za merenja na elektroenergetskoj mreži. Praktično je realizovan prototip monofaznog mernog uređaja za merenje snaga po standardu IEEE 1459-2010. U dokumentaciji su dati i rezultati eksperimentalnih merenja koji potvrđuju visok kvalitet realizovanog mernog instrumenta. Realizovani uređaj je poboljšani i unapređeni prethodni merni uređaj i predstavlja nastavak višegodišnjih istraživanja iz oblasti merenja i analize u elektroenergetskim sistemima.

2. Realizacija

U okviru projekta praktično je realizovan merni instrument za merenje električnih veličina i indikatora kvaliteta električne energije definisanih standardom IEEE 1459-2010. Struktura se sastoji od dva razdvojena sistema koji omogućavaju udaljeno praćenje parametara preko Interneta. Na serverskoj strani se nalazi merni sistem realizovan u LabVIEW programskom paketu koji vrši akviziciju signala napona i struje i šalje čiste odbirke preko Interneta do nekog stacionarnog ili mobilnog uređaja koji radi na Android platformi. Na tom udaljenom uređaju se vrši sračunavanje spektra naponskog i strujnog signala i računaju komponente snaga i indikatori kvaliteta mrežnog napona, na osnovu definicija datih u standardu IEEE 1459-2010. Za estimaciju spektra je korišćena brza Furijeova transformacija (Fast Fourier Transformation - FFT) koja je realizovana u Java programskom jeziku. Svi parametri signala, rezultati spektralne analize i rezultati sračunavanja snaga se mogu pratiti u grafičkom obliku preko ekrana udaljenog uređaja u realnom vremenu. Podaci se do korisnika šalju bežično korišćenjem GPRS modema i TCP/IP protokola. U cilju procene rada mernog sistema izvršena su praktična merenja harmonijskog spektra struje i napona invertora, napajanog preko solarnog panela.

Prototip ovog mernog uređaja je realizovan na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu na Katedri za električna merenja u čijoj laboratoriji je izvršena i verifikacija mernog uređaja.

3. Korisnici usluga

Razvijeni prototip ovog mernog uređaja je u eksperimentalnoj upotrebi u Elektrovojvodini u Novom Sadu i tamo se koristi za merenje kvaliteta električne energije. Ovaj merni uređaj se može koristiti i za edukaciju studenata iz predmeta u kojima se obrađuje digitalna obrada mernih signala. Merni uređaj se može upotrebiti i u pogonima gde se koriste obnovljivi izvori električne energije (vetro generatori, solarne elektrane, ...) gde može pratiti kvalitet dobijene energije.

4. Tehnički problem

Zbog svojih mnogobrojnih prednosti, energetska elektronika se sve više koristi u uređajima u industriji ali i u uređajima za komercijalnu upotrebu, kao što su: televizori, PC računari, monitori, štedljive sijalice, uređaji za bezprekidno napajanje i drugi. Nelinearne karakteristike ovakvih uređaja prouzrokuju ozbiljno zagađenje harmonicima. Ovi uređaji proizvode nesinusoidalni oblik struje kada su

pobuđena sinusoidalnim naponom. Merni instrumenti koji se zasnivaju na klasičnoj teoriji elektroenergetskih sistema i koji su projektovani za sinusoidalne signale mogu dati greške prilikom merenja u nesinusoidalnim uslovima. IEEE standard 1459-2010, daje definicije za merenje snage i energije i njihovu dekompoziciju u cilju projektovanja i upotrebe mernih instrumenata u nesinusoidalnim, balansiranim i nebalansiranim uslovima. Definicije snaga po standardu IEEE 1459-2010 zahtevaju poznavanje vrednosti harmonika, ali ne preciziraju koje metode se moraju koristiti za harmonijsku analizu signala. U literaturi je prisutno nekoliko algoritama za harmonijsku analizu.

Klasični merni instrumenti koji mere kvalitet električne energije nisu u mogućnosti da prate veoma brze promene koje se dešavaju u merenjima i standardizaciji ovih pojava a sa druge strane im je veoma otežan pristup informacionim tehnologijama, čije promene se gotovo trenutno dešavaju na tržištu. Kod virtualne instrumentacije ovakvi problemi su znatno manji jer su korisnici u stanju sami da definišu svoje zahteve u pogledu merenja a pošto se merni sistem zasniva na PC računaru, sve ono što je novo i kvalitetno u informacionim tehnologijama veoma lako se uključuje u merni sistem. Ovo je posebno izraženo kod implementacije merenja na daljinu gde je primena savremene telekomunikacione opreme neophodna.

Potreba za udaljenim merenjima u novije vreme postala je sve intenzivnija. Udaljena merenja predstavljaju merenja određenih fizičkih veličina na teško pristupačnim mestima, u industriji gde su visoke temperature ili koncentracija štetnih i otrovnih gasova velika, kao i na mestima gde ne postoji u potpunosti izgrađena infrastruktura. Solarne elektrane, vetro generatori kao i sistemi za praćenje parametara životne sredine spadaju u ovakve sisteme, gde je udaljeno bežično merenje neophodno. Internet i mobilna telefonija mogu da omoguće ovakva merenja bez nekih velikih zahteva u tehničkom i finansijskom smislu. U suštini, najčešće je potrebno vršiti kontinualna merenja a da čovek pri tome može a i ne mora biti prisutan na datom mestu. Ovo podrazumeva da sistem treba da radi bez greške, pouzdanost sistema mora da bude na izuzetno visokom nivou, a samim tim sistem mora da bude osposobljen da ukoliko dođe do otkaza nekog dela opreme, sistem mora da bude u stanju da ovaj otkaz registruje.

U ovom radu prikazana je realizacija jednog složenog mernog sistema zasnovanog na virtualnoj instrumentaciji, koji vrši merenja na elektroenergetskom sistemu a rezultati merenja su dostupni preko Interneta. Korisnici rezultate merenja mogu preuzimati u realnom vremenu, preko svojih stacionarnih ili mobilnih uređaja (mobilni telefoni, iPad uređaji, PC i Tablet računari) korišćenjem aplikacije koja je realizovana u Java programskom paketu na Android platformi.

5. Osnovne definicije IEEE Std. 1459-2010

Pretpostavimo da su napon i struja definisani sledećim vremenskim funkcijama:

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 0}^{\infty} V_h \sin(h\omega t + \alpha_h) \quad (1)$$

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 0}^{\infty} I_h \sin(h\omega t + \beta_h) \quad (2)$$

gde su $v(t)$ i $i(t)$ trenutne vrednosti napona i struje, V_h i I_h su efektivne (Root Mean Squared - RMS) vrednosti napona i struje harmonika h , a α_h i β_h su faze napona i struje harmonika h .

Osnovna ideja IEEE standarda 1459-2010 sastoji se u deljenju snage na osnovni, fundamentalni, i preostali, nefundamentalni deo. Odgovarajuća RMS vrednost napona je:

$$V_{RMS} = \sqrt{V_1^2 + \sum_{h \neq 1} V_h^2} = \sqrt{V_1^2 + V_h^2} \quad (3)$$

i struje:

$$I_{RMS} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{h \neq 1} I_h^2} = \sqrt{I_1^2 + I_h^2} \quad (4)$$

Aktivna snaga u sistemu se definiše kao:

$$P = P_1 + P_h \quad (5)$$

gde je aktivna fundamentalna snaga data kao:

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (6)$$

a θ_1 je fazna razlika između naponskog i strujnog signala prvog harmonika. Harmonijska aktivna snaga je:

$$P_h = \sum_{h \neq 1} V_h I_h \cos \theta_h \quad (7)$$

Fundamentalna reaktivna snaga se definiše kao:

$$Q_1 = V_1 I_1 \sin \theta_1 \quad (8)$$

Prividna snaga se definiše kao:

$$S = V_{RMS} I_{RMS} \quad (9)$$

dok je fundamentalna prividna snaga:

$$S_1 = V_1 I_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} \quad (10)$$

Fundamentalna aktivna, reaktivna i prividna snaga imaju najveću važnost u energetici zato što definišu smer protoka energije kroz energetski sistem. Nefundamentalna prividna snaga definiše se kao distorzija napona i struje i data je izrazom:

$$S_N = \sqrt{S^2 - S_1^2} \quad (11)$$

Neaktivna snaga se zatim definiše kao:

$$N = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (12)$$

Nefundamentalna prividna snaga prouzrokovana harmonijskim izobličenjima koja su proizvedena ili apsorbovana od strane potrošača sastoji se od tri komponente:

$$S_N^2 = D_I^2 + D_V^2 + S_H^2 = (V_1 I_H)^2 + (V_H I_1)^2 + (V_H I_H)^2 \quad (13)$$

Prva komponenta, strujna distorziona snaga D_I , predstavlja povećanje snage kada je naponski izvor idealno sinusoidalno i to je obično dominantna komponenta. Druga komponenta, naponska distorziona snaga D_V , predstavlja efekat koji je izazvan izobličenjem napona na sabirnicama. Treća komponenta, harmonička prividna snaga S_H , predstavlja snagu dobijenu međusobnim množenjem harmonika napona i struja. Ona se dalje može podeliti na ukupnu harmoničku aktivnu snagu i ukupnu harmoničku neaktivnu snagu:

$$S_H^2 = P_H^2 + D_H^2 \quad (14)$$

Svaka komponenta nefundamentalne prividne snage može se dobiti pomoću ukupnog harmonijskog izobličenja (THD) napona i struje. THD se definiše kao količnik RMS vrednosti viših harmonika i RMS vrednosti osnovnog harmonika. THD struje i THD napona su:

$$THD_I = I_H / I_1 \quad (15)$$

$$THD_V = V_H / V_1 \quad (16)$$

dalje je:

$$D_I = THD_I S_1 \quad (17)$$

$$D_V = THD_V S_1 \quad (18)$$

$$S_H = THD_I THD_V S_1 \quad (19)$$

Faktor snage definisan je kao odnos aktivne i prividne snage:

$$PF = P/S = (P_1 + P_H)/S \quad (20)$$

a faktor snage osnovnog harmonika kao:

$$PF_1 = P_1/S_1 \quad (21)$$

Na kraju se harmonijsko zagađenje mreže (harmonic pollution) može definisati kao odnos nefundamentalne prividne snage i fundamentalne prividne snage kao:

$$HP = S_N/S_1 \quad (22)$$

U Tabeli 1. dat je pregled električnih veličina koje se mere po IEEE standardu 1459-2010 u jednofaznim nesinusoidalno opterećenim sistemima. Veličine (snage) su podeljene na svoj fundamentalni (50Hz) i nefundamentalni karakter kome pripadaju.

Tabela 1.

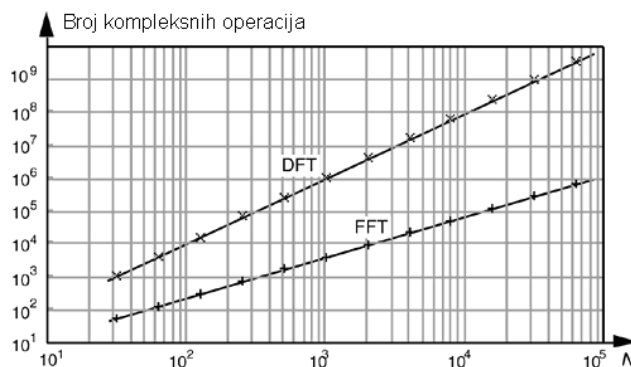
Veličina (snaga)	Kombin.	Fundament.	Nefundament.
Prividna VA	S	S_1	S_N, S_H
Aktivna W	P	P_1	P_H
Reaktivna VAR	N	Q_1	D_I, D_V, D_H
Faktor snage	$PF=P/S$	$PF_1=P_1/S_1$	
Harm. zagađenje			S_N/S_1

6. Harmonijska analiza

Metoda koja se veoma često koristi kod merenja amplitude osnovnog i viših harmonika u elektroenergetskoj mreži je diskretna Furijeova transformacija (Discrete Fourier Transformation - DFT). Međutim, zbog svojih prednosti najčešće se koristi brza Furijeova transformacija (FFT) koja je u stvari samo numerički efikasan algoritam za računanje diskretne Furijeove transformacije. FFT ima i lošu osobinu da zahteva sinhronizaciju frekvencije uzorkovanja sa frekvencijom signala. U slučaju da taj uslov nije ispunjen, javlja se efekat curenja spektra (leakage effect).

Neposredna primena DFT algoritma sa N uzoraka zahteva oko N^2 složenih operacija i dugotrajan je proces izračunavanja. Međutim, kada je veličina sekvence stepena funkcija čija je osnova broj 2, $N=2^m$, za $m = 1,2,3,\dots$ možemo da računamo DFT sa približno $N \log_2(N)$ operacija. Ovo omogućava mnogo brže izračunavanje DFT transformacije i literatura za digitalnu obradu signala ovakve algoritme naziva brzim Furijeovim transformacijama. FFT nije ništa drugo nego brži algoritam za izračunavanje DFT funkcije kada je broj uzoraka jednak stepenoj funkciji čija je osnova broj 2. U nekim slučajevima FFT može da se primeni i za drugačije dužine sekvenci odabiranja. Ovakva analiza se koristi za signale koji nisu periodični ili im je period signala nepoznat, pa se onda pri primeni FFT algoritma javljaju greške koje se mogu ispraviti korišćenjem prozorskih funkcija. Takođe je moguće i diskretizovani signal dopunjavati nulama, da bi se dobila odgovarajuća dužina sekvence signala. Prednost FFT algoritma je u brzini i memorijskoj efikasnosti, jedino što dužina ulazne sekvence mora biti jednaka stepenoj funkciji čija je

osnova broj 2. U suštini, DFT algoritam može efikasno da izračuna harmonijski spektar za sve dužine sekvenci, ali je sporiji od FFT algoritma i koristi više memorije, zato što mora da čuva međurezultate tokom obrade. Na Slici 1. je prikazano poređenje broja složenih operacija koje su potrebne za izračunavanje DFT algoritma i radiks 2 FFT algoritma u zavisnosti od broja uzoraka N .



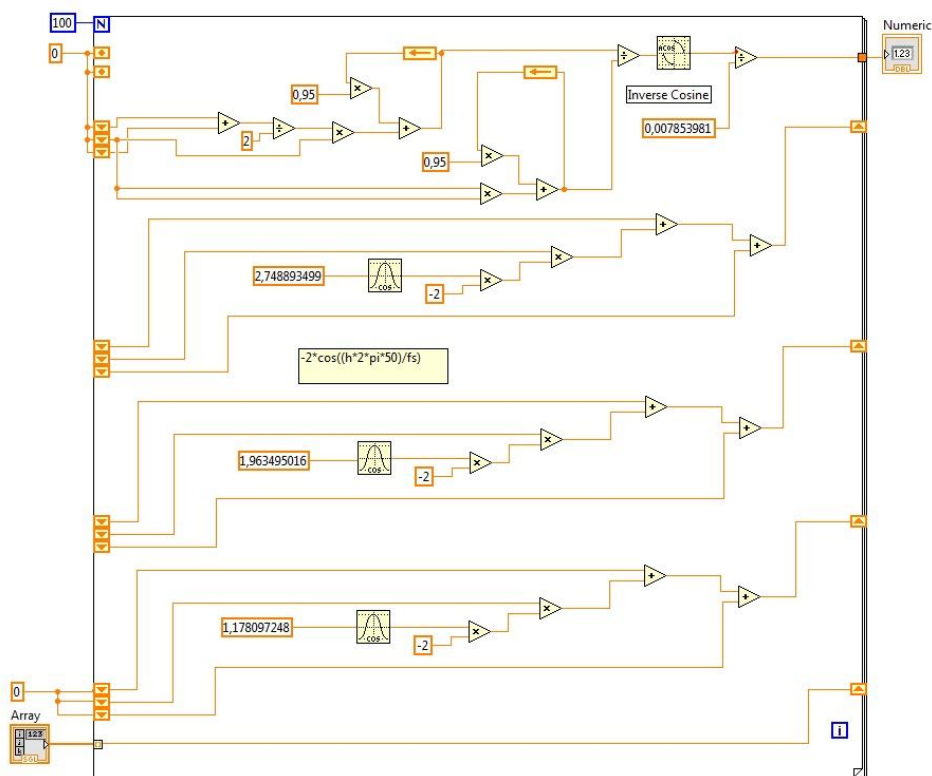
Slika 1. Broj kompleksnih operacija kod DFT i radiks 2 FFT u zavisnosti od N

Pored metoda za merenje harmonika na bazi diskretne Furijeove transformacije, veći broj algoritama koristi ortogonalne komponente signala dobijene pomoću dva ortogonalna FIR filtera. Frekventna karakteristika filtera treba da ima nule za frekvencije neželjenih harmonika i jedinično pojačanje za frekvenciju harmonika koji se meri. Kaskadna struktura je posebno pogodna za implementaciju FIR filtera. Na žalost, ove metode su često veoma spore ukoliko sadrže kaskadne strukture a druge su dosta vremenski i matematički zahtevnije jer imaju potrebu za sračunavanjem koeficijenata u svakoj iteraciji.

Pošto LabVIEW programski paket sadrži u svojoj biblioteci matematičkih funkcija već gotov i izuzetno brz FFT algoritam, ovaj virtualni instrument je realizovan sa tom funkcijom. Prilikom realizacije ovog mernog instrumenta, da bi se izbegla mogućnost curenja spektra, pre računanja harmonika se sračunava vrednost frekvencije mrežnog signala i na osnovu nje se uzima odgovarajući broj uzoraka. Na ovaj način se frekvencija sempliranja sinhronizuje sa frekvencijom ulaznog signala. LabVIEW za sračunavanje harmonika koristi radiks 2 FFT algoritam. Bez obzira što je ovaj algoritam davno otkriven, on se zbog svoje efikasnosti, preciznosti i brzine izračunavanja i dalje veoma mnogo koristi. LabVIEW programski paket ga sadrži u svojoj osnovnoj varijanti i optimizovan je po brzini i jednostavnosti korišćenja do krajnjih granica. Zbog toga ga veliki deo inženjera koji koriste LabVIEW program i dalje rado koriste.

7. Merenje frekvencije

Kao što je već rečeno, FFT algoritam je veoma osetljiv na promenu mrežne učestanosti. Pošto se ne može računati da će frekvencija mreže uvek biti 50 Hz potrebno je realizovati programski blok za sračunavanje stvarne vrednosti. Na osnovu dobijene vrednosti, vršeno je programsko podešavanje brzine uzorkovanja, koja je inicijalno bila postavljena na 6400 Hz. Za realizaciju ove metode potrebno je uzeti samo tri sukcesivna odbirka. Pošto je ovaj algoritam veoma osetljiv na izobličenja signala, poseban značaj dat je filtriranju ulaznog signala. Filter se koristi da umanja efekat prisustva šuma i da eliminiše uticaj DC komponente i harmonika. Takođe je iskorišćena efikasna metoda za on-line sintezu digitalnih filtera sinusoidalnog signala i data je zatvorena forma za računanje koeficijenata filtera. Ovo je vrlo efikasna i precizna metoda za merenje frekvencije elektroenergetskog sistema, sa greškom ispod 0.0025Hz za SNR=60dB. Predloženi algoritam je pogodan za primene u realnom vremenu. Frekventna karakteristika filtera ima nule na frekvencijama viših harmonika i jedinično pojačanje na osnovnoj frekvenciji. Kako frekvencija nije konstantna, koeficijenti filtera se moraju računati tokom merenja. Kompletan filter je realizovan kao kaskada ovih modula. Na Slici 2. prikazan je blok diagram realizovanog potprograma za sračunavanje frekvencije elektroenergetske mreže.



Slika 2. PodVI za merenje frekvencije

8. GPRS prenos podataka

GSM sistem (Global System for Mobile Communications) predstavlja globalni sistem mobilnih telekomunikacija. Ovaj servis pruža podršku mobilnim sistemima za bankarsko poslovanje, telemetrijskim aplikacijama kao i sistemima za medicinsku pomoć, vatrogascima, taxi službama i policiji. Jedno od najaktuelnijih pitanja razvoja GSM mreže je i pitanje realizacije prenosa podataka. GPRS (General Packet Radio Service) je standard za prenos podataka na bazi komutacije paketa. Uvodjenjem GPRS sistema u postojeću infrastrukturu javne mobilne telefonske mreže (Public Land Mobile Network, PLMN) operatori pružaju svojim pretplatnicima veoma efikasan pristup spoljnim mrežama baziranim na IP i X.25 protokolu. Paketski prenos podataka je mnogo efikasniji, pošto više korisnika može istovremeno da koristi iste resurse. GPRS sistem zapravo uvodi Internet servise u GSM mreže i omogućava digitalni protok zasnovan na radio komunikaciji. Ovakav način dodeljivanja i korišćenja resursa omogućava pogodnost konstantnog *on-line* pristupa mreži. Brzina prenosa podataka je uslovljena kvalitetom modema koji ukazuje na maksimalan broj kanala za prenos podataka. Na brzinu takođe može da utiče i položaj korisnika u odnosu na baznu stanicu kao i opterećenost bazne stanice. U zonama gde je signal mreže lošiji, korisnik će imati nešto manju brzinu prenosa. Isto tako i u oblastima opterećenim velikim brojem poziva, brzina prenosa može biti nešto manja usled smanjenog broja kanala koji mogu biti dodijeljeni korisniku. Umesto da, kao kod komutacije vodova, korisniku bude otvoren kanal prema provajderu koji bi bio samo njegov, podaci se dele na pakete fiksne dužine koji, mešajući se sa paketima drugih trenutno aktivnih korisnika, putuju do cilja i tamo se sklapaju u originalnu poruku. Maksimalna brzina prenosa korišćenjem osnovnog servisa iznosi 53.6 Kbps. Pošto je ovo veoma interesantna i komercijano isplativa oblast mobilne telefonije pojavili su se i dosta napredniji protokoli koji nude znatno veće brzine prenosa. EDGE (Enhanced Data rates for Global Evolution) je sistem ubrzanog prenosa podataka preko GSM mreže. EDGE mreža omogućava prenos podataka brzinama do 296 Kbps prilikom preuzimanja podataka i 236 Kbps prilikom slanja podataka. Takođe, tu postoji i HSPA+ (Evolved High Speed Packet Access) unapređenje mobilnih mreža treće generacije, takozvana 3G mreža. Ova tehnologija za prenos podataka omogućava brzine do 42 Mbps kod preuzimanja podataka odnosno 5.7 Mbps kod slanja podataka. O ovome bi trebalo povesti računa kod izrade novih mernih instrumenata jer se sve ove opcije vrlo jednostavno implementiraju u virtualne instrumente. Sve novo i poboljšano u IT industriji vrlo lako se može iskoristiti u realizaciji sistema za udaljeni nadzor i merenje. Naravno, nije

uopšte neophodno da inženjeri koji se bave realizacijom aplikacija u LabVIEW programu budu do tančina upoznati sa radom ovakvih telekomunikacionih struktura ali je neophodno da ih razumeju i da znaju na koji način je moguće da ih implementiraju za svoje potrebe.

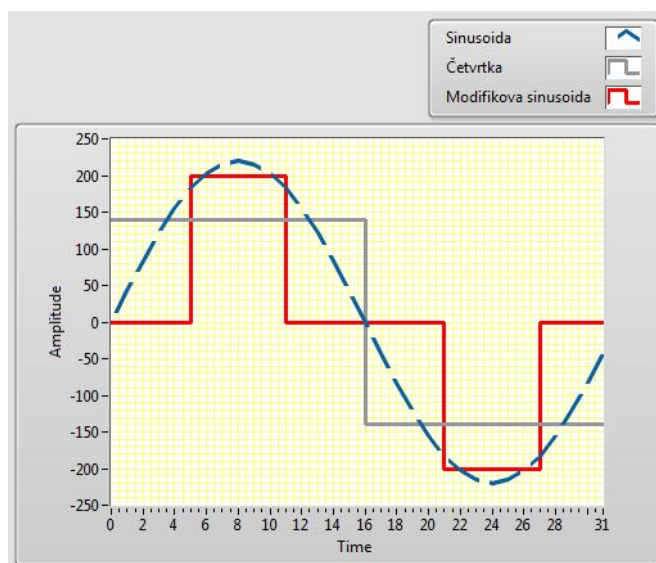
U ovoj aplikaciji iskorišćen je GSM modem GM862 kompanije Telit koji sa računarom komunicira preko rs232 protokola. Telit GM862 je *quad-band* EGSM modem koji radi na četiri učestanosti 850/900/1800 i 1900MHz. Na Slici 3. prikazan je izgled GSM modema Telit GM862. Karakterišu ga niska cena, visok kvalitet izrade, pouzdanost i prošireni temperaturni opseg rada. Sa procesorom komunicira preko klasičnih AT komandi.



Slika 3. Izgled GSM modema Telit GM862

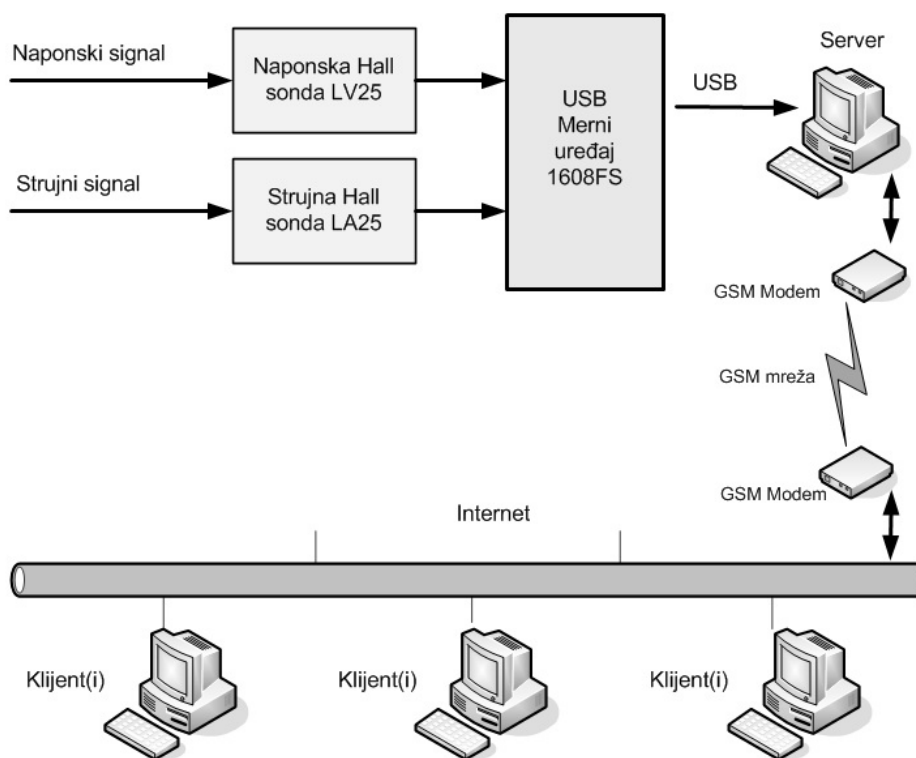
9. Praktična realizacija merenja

Autonomni energetske sistemi se najčešće sastoje od solarnog panela, punjača akumulatora, invertora i elektronske opreme koju je potrebno napajati. Solarni paneli mogu biti različitih snaga i to prvenstveno zavisi od potrošnje uređaja. Punjači akumulatora ne dozvoljavaju da se akumulatori prepune a takođe ne dozvoljavaju da se akumulatori u potpunosti isprazne jer bi to dovelo do njihovog fizičkog uništenja. Napon akumulatora je najčešće 48V dok je jačina struje ograničena brojem solarnih panela. Takođe, ovi uređaji imaju i funkciju da zaštite akumulatore od kratkog spoja i to najčešće obavljaju tako što koriste otpornike-šantove preko kojih mere struju pražnjenja akumulatora. Veoma važan deo ovog sistema su i invertori koji pretvaraju jednosmernu struju u naizmeničnu korišćenjem pogodnih elektronskih sklopova. U principu, postoje tri vrste ovih uređaja i oni se razlikuju po tome kakav oblik naponskog signala generišu na svom izlazu. Od toga im zavisi i cena. Najkvalitetniji i najskuplji su invertori koji na svom izlazu daju sinusoidalni naponski signal. Drugu grupu čine oni koji na svom izlazu generišu modifikovanu sinusoidu i oni se najčešće koriste u jeftinijim sistemima manje snage. Najjeftiniji su oni iz treće grupe koji na svom izlazu generišu četvrtke i oni se dosta retko koriste. Oblik ovih naponskih signala prikazan je na Slici 4.



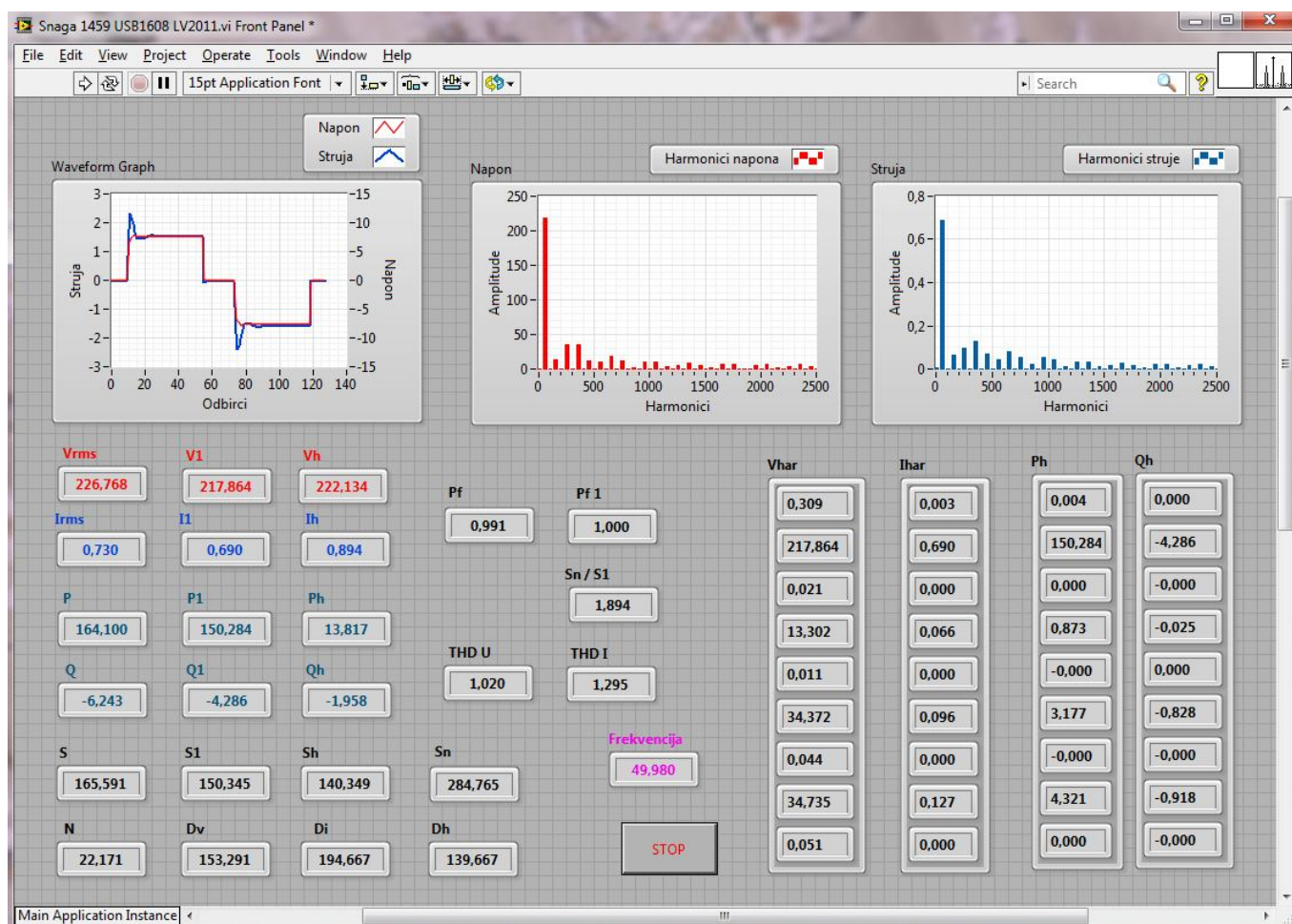
Slika 4. Naponski signali na izlazu invertora

U ovom slučaju radi se o invertoru male snage (600W) koji na svom izlazu daje naponski signal oblika modifikovane sinusoide. Dobre osobine ovih uređaja su mala cena i jednostavna izrada. U loše osobine spadaju, veoma izobličen naponski signal bogat harmonicima, kao i nemogućnost detektovanja tačnog prolaska signala kroz nulu. Pojednim potrošačima kao što su: računari, telekomunikaciona oprema, hi-fi audio uređaji, osetljiva i precizna merna oprema, televizori i manji motori ovo može biti neprihvatljivo. U cilju merenja ovih karakteristika realizovan je merni sistem koji je pratio harmonijska izobličenja, u realnom vremenu, u zavisnosti od potrošnje elektronske opreme. Blok šema mernog sistema prikazana je na Slici 5.



Slika 5. Blok šema mernog sistema

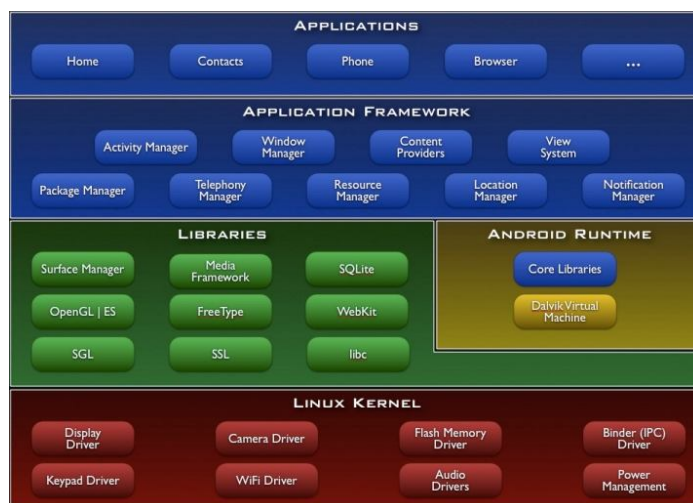
Strujni i naponski signali se dovode preko Holovih sondi oznaka LA25 i LV25 do USB mernog modula, oznaka MC 1608FS. Ovaj merni moduo sadrži u sebi osam 16-bitnih AD konvertora, maksimalne brzine uzorkovanja od 40Ksps. Ovi AD konvertori imaju mogućnost istovremenog trigerovanja, što je veoma bitno kod merenja snaga zbog tačnosti merenja. Nakon akvizicije i matematičke obrade, rezultati se prikazuju na monitoru Laptop računara, snimaju na hard disk i šalju na zahtev do udaljenih korisnika, korišćenjem TCP/IP protokola. Na Slici 6. dat je izgled front panela realizovanog virtualnog instrumenta, sa svim izmerenim vrednostima. U ovom slučaju inverter je bio opterećen jednim termogenim potrošačem od 150W i jednom štedljivom sijalicom od 15W. Na front panelu instrumenta su grafički prikazani oblik struje i napona kao i harmonijski sastav. Date su takode i numerički vrednosti snaga koje su pri tom sračunate. Sa Slike 6. se može videti da ove invertore karakteriše veoma visok sadržaj harmonika napona i struje i da se sa priključivanjem nelinearnih potrošača situacija samo pogoršava. Ukoliko bi se nastavilo sa priključivanjem dodatnih nelinearnih potrošača postojala bi mogućnost pregrevanja pojedinih uređaja i njihovog fizičkog uništenja. Da bi se to sprečilo omogućeno je zainteresovanim korisnicima koji su tu opremu i postavili, da udaljeno prate dešavanja na energetske autonomnoj stanici. Korisnici ne moraju biti kod svojih stacionarnih PC računara, da bi dobili ove informacije, već njih mogu da dobiju putem svojih mobilnih telefona u svakom trenutku. Potrebno je samo da imaju mobilni telefon, koji radi na Android platformi i da imaju ovu aplikaciju realizovanu u Java programu instaliranu na svom mobilnom telefonu.



Slika 6. Izgled front panela virtualnog instrumenta

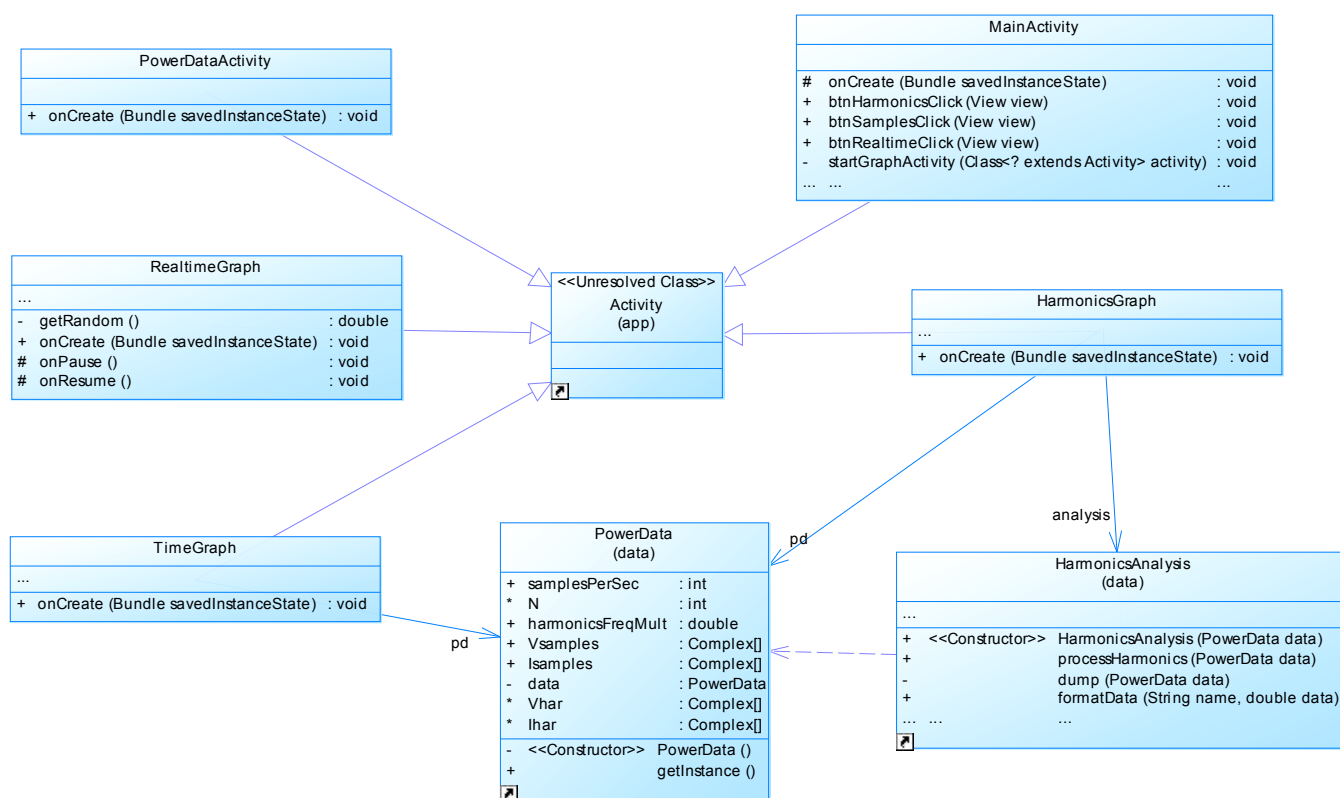
10. Android uređaj kao virtualni instrument

Android uređaji su embedded uređaji sa Android operativnim sistemom. Ovaj operativni sistem omogućava izvršavanje aplikacija napisanih u programskom jeziku Java, u multitasking okruženju. Iako je prvobitno bio osmišljen za mobilne telefone, danas se ovaj operativni sistem nalazi u širokom spektru uređaja, počev od tablet računara, televizora, uređaja za reprodukciju multimedijalnih sadržaja i sl. Android operativni sistem se sastoji iz više slojeva, kao što je prikazano na Slici 7.



Slika 7. Softverski slojevi Android OS-a

Na dnu arhitekture nalazi se Linux 2.6 jezgro koji sadrži drajvere od kojih je najvažniji drajver za međuprocenu komunikaciju (IPC – Inter Process Communication) koji služi za razmenu podataka između različitih procesa ili unutar istog procesa. Iznad njega se nalaze biblioteke razvijene u programskom jeziku C i C++, kao i Java virtualna mašina. Iznad njih se nalaze biblioteke razvijene u programskom jeziku Java, koje koriste aplikacije takođe napisane u programskom jeziku Java. Android uređaji imaju ugrađenu podršku za pristup računarskoj mreži, bilo preko WiFi priključka, bilo preko Ethernet priključka. Uz inovativan korisnički interfejs, koji prepoznaje pokrete prstima po ekranu, to omogućava veoma jednostavno i intuitivno korišćenje aplikacija. Ovakve karakteristike omogućavaju Android uređajima da budu jednostavni i efektni virtualni merni sistemi. Realizacija Android-baziranog virtualnog uređaja se može uraditi na dva načina: da se merne sonde spoje direktno na Android uređaj (preko USB porta), ili da se Android uređaj preko mrežne konekcije veže na PC računar koji odrađuje akviziciju. Trenutno je prva varijanta podržana na manjem broju uređaja (ali ovaj broj raste), a drugu varijantu može svaki Android uređaj da podrži. Posebna pogodnost je što su i Java i Android programski paketi besplatni i za njih postoji već gotov veliki broj open-source aplikacija. Pošto ovi mobilni uređaji postaju sve kvalitetniji i složeniji, očekuje se da broj aplikacija napisanih za njih značajno poraste. Android organizacija virtualnog mernog uređaja je prikazana na Slici 8.



Slika 8. Dijagram klasa aplikacije virtualnog mernog uređaja na Android platformi

Osnovna klasa je *MainActivity*, koja predstavlja glavni ekran aplikacije. Klasa *HarmonicsAnalysis* realizuje FFT algoritam od odbiraka dobijenih sa računara koji je obavio akviziciju. Odbirci se dobavljaju preko Interneta i smeštaju u klasu *PowerData*. Klasa *RealtimeGraph* realizuje prikaz oblika signala napona i struje u realnom vremenu. Klasa *HarmonicsGraph* prikazuje harmonike napona i struje u trenutku poziva. Klasa *PowerDataActivity* prikazuje sve parametre snaga, napona i struje, sračunate po standardu IEEE 1459-2010.

Analiza započinje realizacijom FFT algoritma nad odbircima struje i napona. Nakon toga se sračunavaju svi parametri snaga. Primer računanja aktivne i reaktivne snage preko harmonika je dat u Listingu 1 i realizovan je u Java programu.

```

Ph = new double[len];
Qh = new double[len];
for (int i = 0; i < len; i++) {
    Ph[i] = 4
        * data.Vhar[i].abs()
        * data.Ihar[i].abs()
        * Math.cos(
            data.Vhar[i].getArgument()
            - data.Ihar[i].getArgument());
    Qh[i] = 4
        * data.Vhar[i].abs()
        * data.Ihar[i].abs()
        * Math.sin(
            data.Vhar[i].getArgument()
            - data.Ihar[i].getArgument());
}

```

Listing 1. Računanje aktivne i reaktivne snage harmonika

Rezultati koji se mogu vizualizovati u vidu grafika su pripremljeni i prikazani na način kao što je dato u Listingu 2.

```

for (int i = 0; i < len; i++) {
    graphViewDataV[i] = new
        GraphViewData(
            i * pd.harmonicsFreqMult,
            analysis.Vh[i]);
}
GraphViewSeries exampleSeries = new
    GraphViewSeries(
        "Voltage harmonics",
        new GraphViewStyle(Color.RED, 10),
        graphViewDataV);

GraphView graphView = new BarGraphView(
    this,
    "Voltage harmonics"
);
graphView.addSeries(series);
graphView.setShowLegend(true);
graphView.setViewport(1, (len - 1) *
    pd.harmonicsFreqMult);
graphView.setScrollable(true);
graphView.setScalable(true);

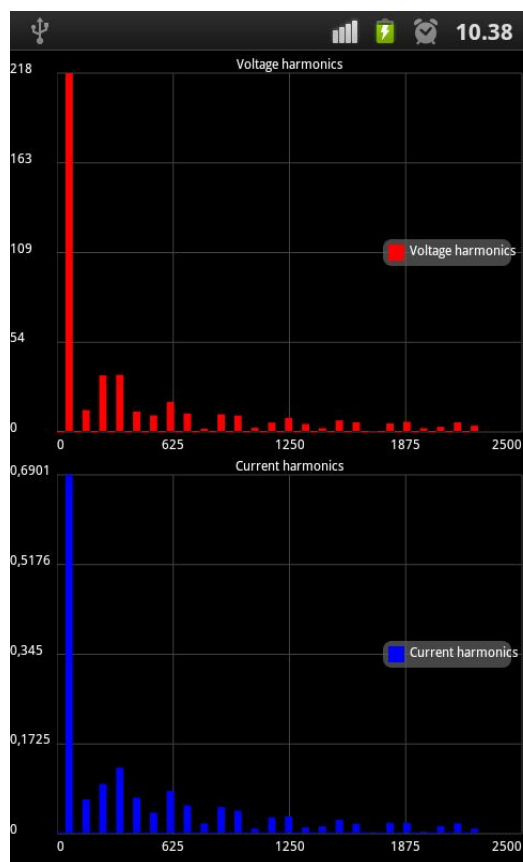
```

Listing 2. Vizualizacija vrednosti harmonika napona

Grafici signala i harmonika su prikazani na Slici 9. i Slici 10. dok su izračunate numeričke vrednosti snaga, napona i struje dati na Slici 11.



Slika 9. Izgled naponskog i strujnog signala



Slika 10. Harmonici napona i struje

Vrms:226.767	V1:217.864	Vh:245.947	
Irms: 0.730	I1: 0.690	Ih: 0.973	
Pf: 0.993	Pf1: 1.000	Sn/S1: 2.027	
P:164.424	P1:150.284	Ph: 14.141	
Q: -6.230	Q1: -4.286	Qh: -1.944	
THDU: 1.129	THDI: 1.410		
S:165.589	S1:150.345	Sh:138.188	Sn:304.716
N: 19.608	Dv:169.724	Di:212.014	Dh:137.463

Slika 11. Vrednosti snaga, napona i struje, sračunati po standardu IEEE 1459-2010.

11. Zaključak

U poslednje vreme alternativni izvori električne energije dobijaju sve više na značaju. Elektronske komponente i uređaji koji se pritom koriste ne moraju uvek da zadovoljavaju najviše standarde, iz prostog razloga što to poskupljuje njihovu cenu. Ovo se posebno odnosi na invertore koji transformišu jednosmerni napon u naizmenični. Da bi se sprečili negativni efekti potrebno je pratiti stanje u sistemu korišćenjem nekog od standarda za kvalitet električne energije. Ovo se posebno odnosi na sisteme koji se spajaju na elektroenergetski sistem. U ovom radu prikazana je realizacija prototipnog virtualnog mernog sistema koji meri snage po standardu IEEE 1459-2010. Zainteresovani korisnici dobijaju rezultate merenja putem Interneta. Korisnici na svojim mobilnim telefonima ili tabletima treba da imaju instaliranu i za ovu priliku realizovanu Java aplikaciju na Android programskoj platformi. Različiti korisnici mogu imati specifične aplikacije na svojim Android uređajima, jer se čisti odbirci šalju do korisnika. Merenje i akvizicija signala su urađeni u LabVIEW programskom paketu korišćenjem USB mernog modula MC 1608FS. U dokumentu su prikazani i rezultati merenja na jednom autonomnom energetsom sistemu napajanom solarnom energijom. Mereni su parametri napona, struje i snaga na izlazu iz invertora. Dobijeni rezultati pokazuju da neodgovarajući i jeftini invertori stvaraju velike i nedozvoljene vrednosti harmonika a sa priključivanjem nelinearnih potrošača, ova situacija se dodatno pogoršava.



1962

УНИВЕРЗИТЕТ У БАЊОЈ ЛУЦИ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

Патре 5
78000 Бања Лука
Република Српска
Босна и Херцеговина

Централа: +387 (0)51 221 820
Деканат: +387 (0)51 221 824
Факс: +387 (0)51 211 408
E-mail: office@etfbl.net
Web: www.etfbl.net

Катедра за електроенергетику
www.energetika.etfbl.net

Број: KEA 1212201201
Датум: 12.12.2012.

Мишљење о техничком рјешењу

„Прототипни мјерни инструмент М85 за мјерење снаге по стандарду *IEEE 1459-210*“

Предложени прототип мјерног инструмента служи за мјерење параметара квалитета електричне енергије у електроенергетској мрежи. Практично је реализован прототип монофазног мјерног уређаја за мерење снага по стандарду *IEEE 1459-210*. Реализовани уређај омогућава квалитетну анализу догађања у напојној мрежи ради анализе и подизања квалитета испоручене електричне енергије потрошачима. Развијени прототип овог мјерног уређаја је реализован на Факултету техничких наука у Новом Саду на Катедри за електрична мјерења у чијој лабораторији је извршена и верификација мјерног уређаја. Уређај је реализован у оквиру пројеката TR32019 и III43008.

У документацији су дати и резултати експерименталних мјерења који потврђују употребљивост и висок квалитет реализованог мјерног инструмента. Из резултата мјерења добијених са терена закључује се да пројектовани уређај у потпуности испуњава захтјеве за мјерење и анализу квалитета електричне енергије. Инструмент је робустан и задовољавајуће прецизан, а очитане вриједности параметара електричне енергије лако се преносе до корисника и тамо даље обрађују. Структура се састоји од два раздвојена система који омогућавају удаљено праћење параметара преко Интернета. На серверској страни се налази мјерни систем реализован у *LabVIEW* програмском пакету којим се врши аквизиција сигнала напона и струје, и који шаље чисте одбирке до неког стационарног или мобилног уређаја који ради на Андроид платформи. На удаљеном уређају се врши срачунавање спектра напонског и струјног сигнала и рачунају компоненте снага и индикатори квалитета мрежног напона, а на основу дефиниција датих у стандарду *IEEE 1459-210*. За естимацију спектра је коришћена брза Фуријеова трансформација (*Fast Fourier Transformation - FFT*) која је реализована у Јава програмском језику. Сви параметри сигнала, резултати спектралне анализе и резултати срачунавања снага се могу пратити у графичком облику преко екрана удаљеног уређаја у реалном времену. Подаци се до корисника шаљу бежично коришћењем *GPRS* модема и *TCP/IP* протокола.

У циљу процјене перформанси мјерног система извршена су практична мјерења хармонијског спектра струје и напона добијених на излазу из инвертора, напајаног преко соларног панела.

Развијени прототип овог мјерног уређаја је у експерименталној употреби у Електровојводици у Новом Саду и тамо се користи за мјерење параметара квалитета електричне енергије. Овај мјерни уређај се може користити и за едукацију студената из предмета у којима се обрађује дигитална обрада мјерних сигнала. Мјерни уређај се може употријебити и у погонима гдје се користе обновљиви извори електричне енергије (вјетро генератори, соларне електране, ...) гдје може да прати квалитет добијене енергије.

МИШЉЕЊЕ РЕЦЕНЗЕНТА

Виртуални инструмент за мјерење снаге је нови мјерни инструмент и припада области мјерних уређаја који се користе за мјерења на електроенергетској мрежи. Овај мјерни инструмент је у потпуности пројектован и израђен од стране наведених аутора. Увидом у техничку документацију очигледно је да аутори овог рјешења имају значајно искуство у овој области мјерења, које су уградили у развој прототипа новог уређаја. Планира се употреба у електродистрибуцији као и на ФТН у Новом Саду за едукацију студената из дигиталне обраде мјерних сигнала.

На основу приложене документације за техничко рјешење „Виртуални инструмент за мјерење снаге по стандарду *IEEE 1459-2010*“ и претходно наведених чињеница, предлажем Наставно-научном вијећу Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду да пријављено техничко решење прихвати као:

Техничко рјешење – Прототип мјерног инструмента (М85)

Шеф Катедре


доц. др Петар Матић

Dr Božidar Dimitrijević, red. prof.

Recenzija tehničkog rešenja
Prototipni merni instrument (M85)

VIRTUALNI INSTRUMENT ZA MERENJE SNAGE PO STANDARDU IEEE 1459-2010

autori

dr Josif Tomić, dr Milan Vidaković, dr Miodrag Kušljević,
dr Vladimir Vujičić, dr Miloš Živanov, dr Miloš Slankamenac

Prikazani merni instrument baziran je na savremenim kompjuterskim rešenjima i alatima, u konkretnom slučaju na virtualnoj instrumentaciji tipa LabView i predstavlja poboljšano i unapređeno tehničko rešenje prethodno realizovanog merača snage, kao nastavak višegodišnjih istraživanja iz oblasti merenja i analize parametara snage u elektroenergetskim sistemima. Prototip ovog mernog uređaja je realizovan i verifikovan u laboratoriji Katedre za Električna merenja na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, a u okviru projekata Ministarstva prosvete i nauke TR32019 i III43008. Na osnovu datih eksperimentalnih rezultata merenja, pokazano je da karakteristike ovog mernog instrumenta zadovoljavaju propisani standard IEEE 1459-2010. Razvijeni prototip ovog mernog uređaja je u eksperimentalnoj upotrebi u Elektrovojvodini u Novom Sadu i koristi se za merenje standardnih parametara kvaliteta električne energije.

Praktičan značaj instrumenta kao prototipa tehničkog rešenja je u obezbeđenju efikasnosti daljinskog praćenja tokova električne energije u distributivnoj mreži, čime se obezbeđuje i održava propisani kvalitet i energetska efikasnost u isporuci i potrošnji električne energije. Primenjene su savremene tehnike akvizicije signala napona i struje, priprema i slanje uzorkovanih podataka u distribuiranom mernom sistemu od servera do stacionarnih ili mobilnih punktova koji je baziran na tzv. Android platformi. Na osnovu procenjenog spektra električnih signala u prijemnim stanicama izračunavaju se potrebni parametri električne snage višeharmonijskog signala i utvrđuju propisane komponente kvaliteta električne energije saglasno propisanim standardima. Za procenu spektra primenjena je brza Furijeova transformacija reorganizovane u Java programskom jeziku. Odgovarajući podaci u grafičkom i tabelarnom obliku su kontinuirano pod monitorskim nadzorom prijemnika, odakle se korisniku distribuiraju bežičnim putem posredstvom GPRS modema i Internet TCP/IP protokola.

Mišljenje i predlog

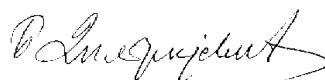
Realizovani prototip instrumenta za merenje parametara električne snage u distributivnoj mreži predstavlja savremeno rešenje bazirano na informaciono-komunikacionim tehnikama i kompjuterskim alatima za uzorkovanje parametara mernog signala, njihovu bežičnu distribuciju do prijemnih punktova u kojima se izračunavaju potrebne komponente merene snage i prenose bežičnim putem do korisnikaposredstvom GPRS modema i Internet TCP/IP protokola, uz obezbeđenje monitorsko praćenje grafičkih i tabelarnih podataka raspoloživih u svakom trenutku.

Na bazi uvida u konkretno rešenje i raspoložive dokumentacije, predlažem Nastavno-naučnom veću Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu da prikazano rešenje mernog uređaja pod nazivom **Virtualni instrument za merenje snage po standardu IEEE 1459-2010**, prihvati kao

Tehničko rešenje – Prototip mernog instrumenta (M85)

Novi Sad, 11.12.2012. godine

Recenzent
dr Božidar Dimitrijević, red. profesor





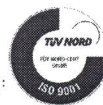
УНИВЕРЗИТЕТ
У НОВОМ САДУ



ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ НАУКА

Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад, Република Србија
Деканат: 021 6350-413; 021 450-810; Централна: 021 485 2000
Рачуноводство: 021 458-220; Студентска служба: 021 6350-763
Телефакс: 021 458-133; e-mail: ftndean@uns.ac.rs

ИНТЕГРИСАН
СИСТЕМ
МЕНАџМЕНТА
СЕРТИФИКОВАН ОД:



Наш број: 01.сл

Ваш број:

Датум: 2013-01-30

ИЗВОД ИЗ ЗАПИСНИКА

Наставно-научног већа Факултета техничких наука у Новом Саду, на 4. редовној седници одржаној дана 30.01.2013. године, донело је следећу одлуку:

-непотребно изостављено-

Тачка 15.1.17.: Питања научноистраживачког рада и међународне сарадње / верификација нових техничких решења

Одлука

На основу позитивног извештаја рецензената верификује се
техничко решење (M84) под називом:

**ПРОТОТИП ВИРТУАЛНОГ ИНСТРУМЕНТА ЗА МЕРЕЊЕ СНАГЕ ПО
СТАНДАРДУ ИЕЕЕ 1459-2010.**

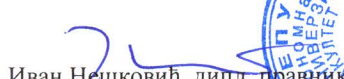
Аутори техничког решења: др Јосиф Томић, Милан Видаковић, Миодраг Кушљевић, проф. др Владимир Вујичић, проф. др Милош Живанов, др Милош Сланкаменац.

-непотребно изостављено-

Записник водила:


Јасмина Димић, дипл. правник

Тачност података оверава:
Секретар


Иван Нешковић, дипл. правник

Декан


Проф. др Раде Дорословачки

