

Softverska i hardverska podrška trofaznim mjerenjima u ED mreži

Atila Juhas¹, Platon Sovilj¹, Vladimir Vujičić²

¹ Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

² Institut tehničkih nauka Srpske akademije nauka i umetnosti, Beograd, Srbija

Sažetak— U uvodnom poglavlju je ukratko opisan problem prepoznavanja opterećenja (engl. – load) u proizvodnom procesu ili u elektrodistributivnoj (ED) mreži, kao i odgovarajući hardver. Kako je prepoznavanje opterećenja složen problem koji spada u oblast veštačke inteligencije, učenja i obuke, pokazalo se da je korisno efikasno vizuelizovati izmerene podatke i omogućiti operateru da nadgleda, analizira i unapređuje postupak prepoznavanja. Prikazani softver je dizajniran i realizovan upravo za tu namenu. On u dva nivoa rešava problem vizualizacije i, kako je praksa pokazala, predstavlja vrlo koristan i efikasan alat za navedenu namenu.

Ključne riječi — softver; hardver; merenje; stohastika; prepoznavanje opterećenja;

I. UVOD

Stohastička digitalna merena metoda (SDMM) [1] se karakteriše hardverom koji je ekstremno jednostavan, robustan, pouzdan i tačan. Ona omogućuje potpuno paralelna merenja i potpuno paralelnu obradu mernih podataka. Kako radi sa jednostavnim dvobitnim fleš AD konvertorima, ima vrlo širok propusni opseg, sa jedne strane, a ključna operacija u obradi podataka MAC (Multiply and Accumulate) se jednostavnim hardverom izvodi u jednom taktu, sa druge strane. Posledica ove činjenice je izuzetno visoka brzina obrade izmerenih podataka i visoka efektivna rezolucija izmerenih podataka u vremenskom i frekvencijskom domenu. U radu je pokazano da ona omogućuje i vrlo efikasan nadzor nad ED mrežom i tehnološkim procesima.

II. 2. UVODNO POGLAVLJE

Električna energija je najplemenitiji vid energije i, direktno ili indirektno, ključni je faktor u većini tehnoloških procesa. Direktno – kao fino regulisana mehanička energija (energija za pogon elektromotora), ili kao fino regulisana toplotna energija (energija potrebna za grejanje i hlađenje), ili kao fino regulisana hemijska energija (energija potrebna za procese elektrolize ili sinteze). Indirektno, ne manje važna, primena je u upravljačkim elementima i sistemima koji upravljaju tehnološkim procesima (regulatori, releji, snažni tranzistori, tiristori, različita elektronska kola – bilo analogna, bilo digitalna, itd.).

Ako se mere i snimaju napon, struja, snaga i energija na ulaznom napojnom vodu tehnološkog pogona, moguće je dobiti bitne informacije o tehnološkom procesu u off-line obradi snimljenih podataka. One mogu da posluže u analizi i unapređenju procesa, a posebno, u povećanju njegove ekonomičnosti. Svako opterećenje u procesu se „potpisuje“ prilikom svog uključivanja ili isključenja i to se na snimcima jasno vidi. U slučaju jednostavnijih tehnoloških procesa, sam

rukovalac to može da vidi i analizira, ako ima odgovarajući softver za vizuelizaciju. Međutim, u slučaju vrlo složenih procesa, ili mreže procesa, moraju se razvijati algoritmi prepoznavanja opterećenja, a to spada u oblast veštačke inteligencije. Inače, precizna i detaljna kontrola i upravljanje tehnološkim procesima u realnom vremenu se vrši SCADA sistemima, a to nije predmet ovog rada.

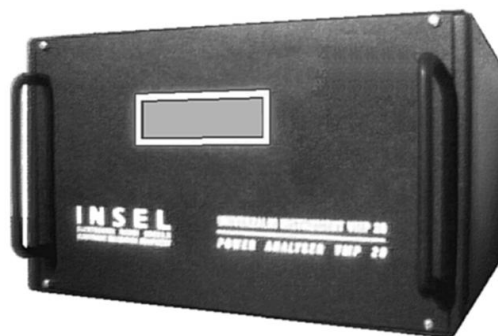
U poslednjih dvadesetak godina su se naglo razvile metode i tehnike merenja električne snage i energije i one se primenjuju u tri tipa uređaja:

- merilima kvaliteta električne energije;
- analizatorima snage i
- „pametnim“ brojilima.

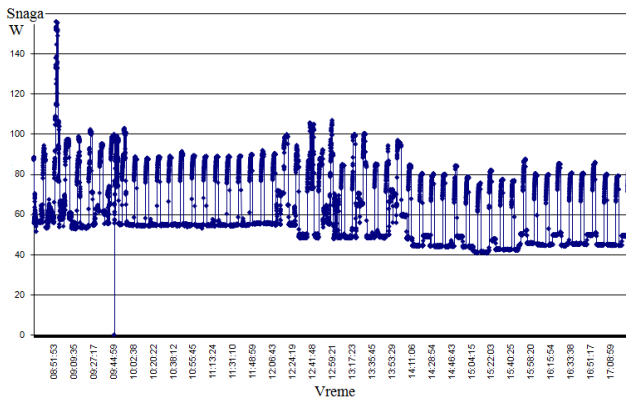
Idealno bi bilo da sva tri tipa uređaja budu objedinjena u „pametnim“ brojilima, ali bi to drastično podiglo njihovu cenu. Brojila su, inače, za dva reda veličine jeftinija od merila kvaliteta, a za red veličine od analizatora snage. Performanse, u prvom redu, brzina, preciznost i tačnost stoje u istom odnosu kao i cene.

A. INSTRUMENT VMP 20

Instrument VMP 20 je monofazni analizator snage proizveden još 1996. godine. On je kompletno domaći proizvod baziran na patentu [2], odnosno, SDMM. Direktno meri fazni napon, faznu struju, faznu aktivnu snagu i frekvenciju. Na osnovu ovih veličina se jednostavno mogu izračunati (indirektno meriti) još 6 veličina. Tokom dvadeset godina tri puta je inoviran njegov softver za podršku i najnovija verzija VMPCalc ver.2.1 je u primeni od ove godine. Tačnost merenja napona i struje je 0,5% FS, aktivne snage je 1% FS i frekvencije je 0,02% FS. Na Sl. 1 je prikazan instrument VMP 20, a na Sl. 2 je prikazan snimak prepoznatog uključivanja magnetna na uređaju za nuklearnu magnetnu rezonancu (NMR).



Sl. 1. Instrument VMP 20



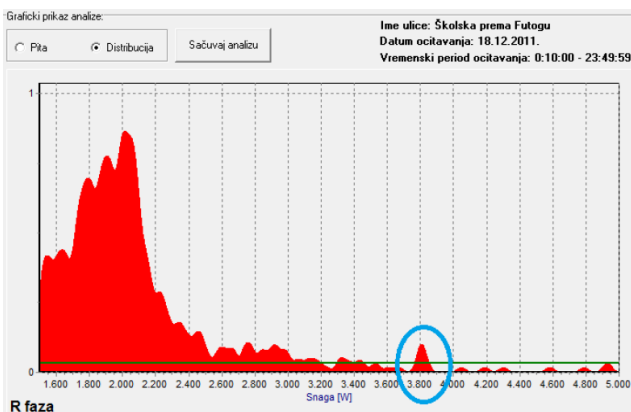
Sl. 2. Snimak uključenja magneta na uređaju za nuklearnu magnetnu rezonancu

B. INSTRUMENT MM4

Na Sl. 3 je prikazan uređaj MM4 proizveden 2013. godine. On praktično obuhvata funkcije 12 VMP 20 instrumenata četiri puta veće brzine, i predstavlja četverostruki trofazni analizator snage sa nekim elementima merenja kvaliteta električne energije [3]. Namena mu je detekcija i lociranje neregistrovane potrošnje električne energije u niskonaponskoj (NN) mreži. Ovde se radi o stotinama potrošača po vodu pa je za njega razvijen poseban softver za prepoznavanje potrošača. Na Sl. 4 je prikazan prepoznat trofazni potrošač 3x3,8 kW.



Sl. 3. Instrument MM4



Sl. 4. Prepoznavanje potrošača

C. „PAMETNA“ BROJILA

U Republici Srbiji postoji nekoliko proizvođača pametnih brojlara. Ugrađeni softver u svima njima je kompatibilan sa standardnim DLMS protokolom i nudi velike mogućnosti merenja i obračuna različitih parametara električne snage i energije. Autori su ih ispitivali u Laboratoriji za metrologiju FTN-a u Novom Sadu i uporedili ih sa VMP 20. Utvrđeno je, da mogu da se koriste kao odlični trofazni analizatori snage, odnosno za kontrolu i nadzor nad tehnološkim procesima. Ključna prednost ovih instrumenata je što su domaći, standardni, visokoserijski, odličnih metroloških i komunikacionih performansi, kao i vrlo prihvatljive cene. Za nadzor nad tehnološkim procesima treba im dodati samo PC i odgovarajući softver za podršku – trofaznu verziju VMPCalc ver.2.1: VMCalc3f+0. Operativnih iskustava sa njima autori do sad nisu imali, ali ne očekuju da će biti problema.

III. SOFTVER VMPCALC VER.2.1

A. Opis i funkcija programa

Program VMPCalc ver.2.1 je razvijen od strane prvog autora ovog rada za dodatnu obradu podataka merenih instrumentom VMP 20. Program je centralni deo softvera za obradu podataka snimljenih instrumentom VPM 20 i njihov izvoz u Excel tabele.

Monofazni instrument VMP 20 u jednoj fazi direktno meri, koristeći stohastičku digitalnu mernu metodu (SDMM), efektivne vrednosti napona i struje, aktivnu snagu i frekvenciju mrežnog napona. Izmerene vrednosti se pomoću povezanog PC računara pohranjuju u bazu podataka svake sekunde.

Program VMPCalc ver.2.1 obradom snimljenih podataka izračunava prividnu snagu, faktor snage, moduo impedanse, Fryze-ovu reaktivnu snagu, koje sa direktno merenim podacima zajedno izvozi u Excel tabele sa grafikovima.

Program VMPCalc ver.2.1, osim izvoza izmerenih i izračunatih podataka u tabele, izračunava srednje vrednosti, minimum, maksimum i standardnu devijaciju svih direktno izmerenih i izračunatih veličina, kao i maksimalne petnaestominutne prosečne vrednosti aktivne snage (vršna snaga), reaktivne snage, prividne snage i struje, koje sve zajedno snima kao kratak izveštaj obrade.

U bazi podataka je moguće uzeti proizvoljni vremenski podinterval, u kojem je moguće izračunati aktivnu energiju E_p , reaktivnu energiju E_Q i prividnu energiju E_S .

Pošto se u bazu podataka svake sekunde upisuju aktuelni mereni podaci, zapisi o snagama i -te sekunde (P_i , Q_i i S_i) brojčano su jednaki energijama za taj vremenski interval od jedne sekunde (E_{P_i} , E_{Q_i} , E_{S_i}). Energije se mogu izračunati kao prosta suma svih pojedinačnih energija unutar izabranog vremenskog intervala. Ovaj način je pogodan za računanje energija pomoću Excel tabela.

U kratkom izveštaju se koriste proračuni dobijeni programom VMPCalc ver.2.1, koji računaju srednje vrednosti aktivne snage P_{sr} , reaktivne snage Q_{sr} i prividne snage S_{sr} u vremenskom intervalu T . Energije se u ovom slučaju dobijaju

prostim množenjem srednjih vrednosti sa dužinom vremenskog intervala.

B. Korisnički interfejs programa VMPCalc ver.2.1

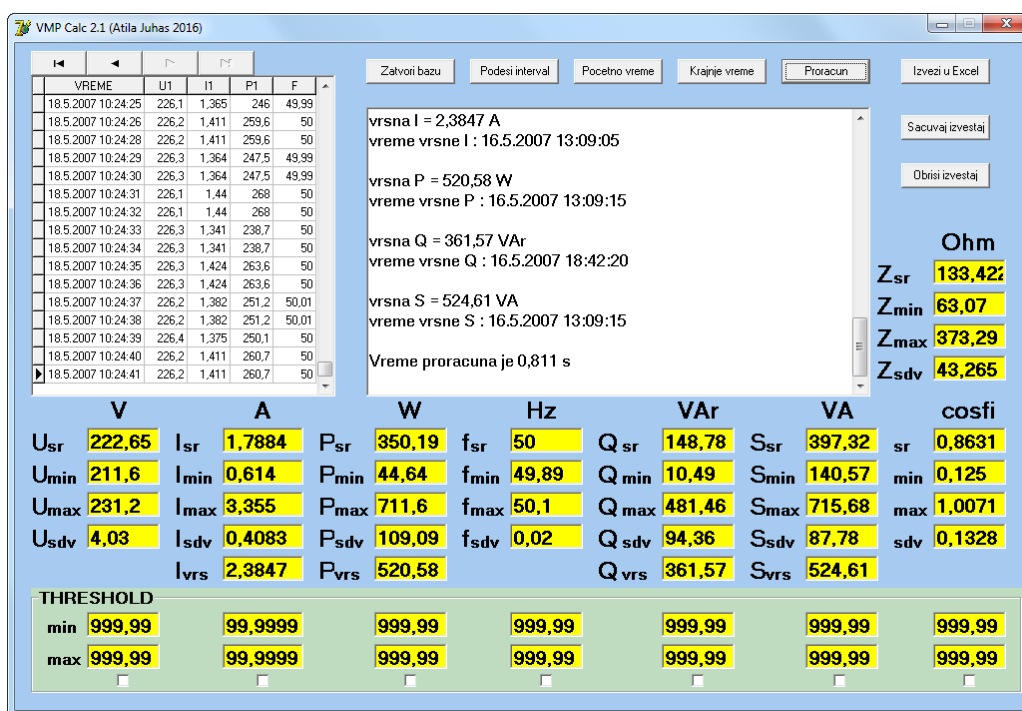
Na Sl. 5 prikazan je korisnički interfejs programa VMPCalc ver.2.1. Ispod naslovne linije nalaze se komande za korišćenje programa. Komanda „Otvori bazu“ otvara bazu podataka i vrši tabelarni prikaz cele baze u prozoru koji se nalazi ispod dugmeta. Komandama „Pocetno vreme“ i „Krajnje vreme“ se podešavaju početno i krajnje vreme intervala obrade. Komanda „Podesi interval“ nakon podešavanja granica intervala obrade vrši pripremu podataka za obradu. Nakon što je interval podešen, komanda menja naziv u „Resetuj interval“, čijim se odabirom ponovo priprema celokupna baza podataka za prikaz. Komanda „Proračun“ vrši proračun i prikaz podataka, kao i generisanje izveštaja u desnom oknu, koje je namenjeno za prikaz izveštaja. Komanda

„Izvezi u Excel“ odabrani interval podataka iz baze izvozi u Excel tabele. Komanda „Sacuvaj izveštaj“ snima izveštaj kao tekstualnu datoteku u tekućem folderu programa. Komanda „Obrisi izveštaj“ briše sadržaj prozora izveštaja.

Ispod okna za prikaz podataka iz tabele i izveštaja, nalaze se displeji za prikaz izračunatih veličina organizovanih u kolone.

Ispod displeja za prikaz izračunatih podataka, nalazi se uokvireno polje za podešavanje threshold-a. Odabirom određenih threshold-a, iz obrade se izbacuju podaci koji su ispod minimuma ili iznad maksimuma za datu veličinu. Nakon podešavanja tresholda potrebno je ponovo aktivirati komandu „Podesi interval“.

Da bi funkcionisala opcija „Izvezi u Excel“ na računaru mora biti instaliran Microsoft Office programski paket sa aplikacijom Microsoft Excel.



Sl. 5. Izgled VMPCalc ver.2.1 po završetku obrade podataka

C. Primer primene: detekcija propada napona i prorade APU-a

U ovom primeru će biti pokazana detekcija propada napona i prorade APU-a u jednoj fazi na ulazu industrijskog postrojenja.

U jutarnjim časovima 17.7.2015. napon je u vremenskom intervalu od 2 sekunde pao na 190,7V, u fazi T, što je znatno ispod dozvoljenog, odnosno desio se propad napona. Kako je napon pre i posle toga iste vrednosti, to znači da su svi potrošači ostali uključeni pre i posle tog propadnog napona. Ovaj propad pokazuje tipičnu sliku prorade APU-a. Kada APU proradi, napon pada na nulu. Postavlja se pitanje vremena na koje je podešen APU.

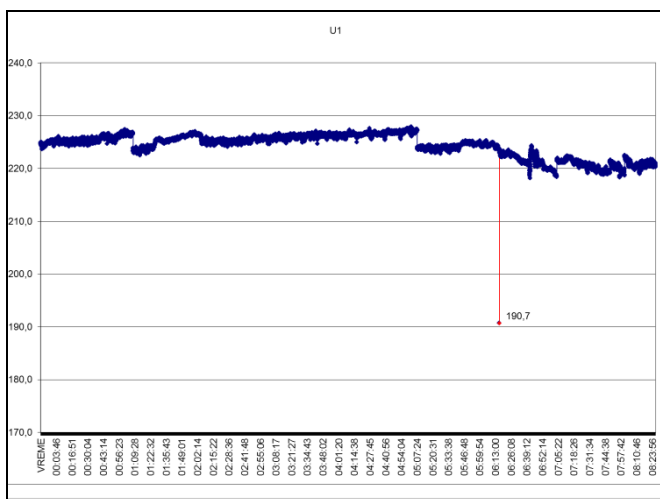
Pre i posle propada, vrednost izmerenog napona je 223,7V. Instrument je u dve sekunde izmerio napon od 190,7V. To znači, da je u dve sekunde promena srednje vrednosti napona $\Delta U = 33V$. Proradom APU-a napon pada na nulu. Ako pretpostavimo da je vreme uključenja APU-a (t) kraće od 2s, tada je zadovoljena jednačina (1) iz koje sledi (2)

$$223,7V \cdot (2s - t) = 190,7Vs \quad (1)$$

$$t = 2s - \frac{190,7Vs}{223,7V} = 0,295s \approx 0,3s \quad (2)$$

	A	B	C	D	E	F
1	DATUM	VREME	U1	I1	P1	F
22365	17.7.2015	06:16:04	223,5	0,0000	0,042	49,99
22366	17.7.2015	06:16:05	223,7	0,0000	0,042	49,99
22367	17.7.2015	06:16:06	223,7	0,0000	0,042	49,99
22368	17.7.2015	06:16:07	223,8	0,0000	0,042	49,99
22369	17.7.2015	06:16:08	223,7	0,0000	0,042	49,99
22370	17.7.2015	06:16:09	223,7	0,0000	0,042	49,99
22371	17.7.2015	06:16:10	223,5	0,0000	0,042	49,99
22372	17.7.2015	06:16:11	223,5	0,0000	0,042	49,99
22373	17.7.2015	06:16:12	223,7	0,0000	0,021	49,99
22374	17.7.2015	06:16:13	223,7	0,0000	0,021	49,99
22375	17.7.2015	06:16:14	190,7	0,0000	3,208	50
22376	17.7.2015	06:16:15	190,7	0,0000	3,208	50
22377	17.7.2015	06:16:16	223,7	0,0000	0,042	50
22378	17.7.2015	06:16:17	223,7	0,0000	0,042	50
22379	17.7.2015	06:16:18	223,7	0,0000	0,021	49,99
22380	17.7.2015	06:16:19	223,7	0,0000	0,021	49,99
22381	17.7.2015	06:16:20	223,7	0,0000	0,042	50
22382	17.7.2015	06:16:21	223,7	0,0000	0,042	50
22383	17.7.2015	06:16:22	223,7	0,0000	0,042	50
22384	17.7.2015	06:16:23	223,7	0,0000	0,042	50
22385	17.7.2015	06:16:24	223,7	0,0000	0,021	49,99
22386	17.7.2015	06:16:25	223,7	0,0000	0,021	49,99

Sl. 6. Prikaz propada napona u Excel tabeli



Sl. 7. Prikaz napona faze T sa propadom

Kako je analiza pokazala, vreme prorade APU-a je 0,3s, što je jednako standardnom podešavanju. Proverom u nadležnoj elektrodistribuciji, utvrđeno je, da je na dan 17.07.2015. na dalekovodu koji snabdeva posmatranu trafo stanicu 06:16:14 časova proradio APU u trajanju od 0,3s. Ovim je potvrđena korektnost i tačnost snimka, kao i pretpostavke o proradi APU-a.

IV. UREĐAJ MM4 I VMPCALC3F+0 VER.01

SDMM je intenzivno istraživana posle 2000. godine i otkriven je niz osobina ove metode. Posebno je istraživana njena primena u obradi signala, konkretno u primenama u ortogonalnim transformacijama [4] i u digitalnim filtrima [5] [6]. Već 2011. godine su projektovani instrumenti MM2 i MM4, dvostruki, odnosno, četvorstruki trofazni analizatori snage gde su primenjeni najnoviji rezultati u istraživanju SDMM. Početkom 2013. je „Elektrovojvodini“ isporučena

serija od 15 uređaja MM2 i 15 uređaja MM4 namenjenih detekciji i lociranju neregistrovane potrošnje električne energije u ED mreži [7][8]. Kompletan digitalni deo ovih uređaja je realizovan u jednom FPGA čipu u MM2, odnosno u dva FPGA čipa u MM4. Ovakvo integrisano rešenje je robusno, pouzdano, otporno na smetnje i pogodno za rad u teškim uslovima kakvi su u trafostanicama. Sa druge strane, FPGA rešenja su otvorena za dalji razvoj i unapređenja, što je vrlo važno kada se koristi nestandardna i još uvek do kraja neistražena metoda kakva je SDMM. Najnoviji rezultati istraživanja SDMM u merenju reaktivne snage i energije to i potvrđuju [9]. Jedan MM4 uređaj je više od 12 puta složeniji od jednog VMP 20 instrumenta. Jasno je, da softver VMPCalc ver. 2.1. ne samo da ne može biti direktno primenjen u ovom slučaju, nego mora biti temeljno rekonstruisan, doraden i unapređen. U sledeća dva podpoglavlja je u kratkim crtama prikazan unapređeni instrument MM4 i VMPCalc3F+0 ver.01, zapravo, uopšteni i unapređeni program VMPCalc ver.2.1.

A. Opis uređaja MM4

Pre nekoliko meseci je projektovano i u jednom rezervnom uređaju implementirano unapređeno rešenje instrumenta MM4. MM4 (Sl. 3) sada meri direktno 70 veličina:

1. 3 efektivne vrednosti napona (sa tačnošću 0,2 % od pune skale) [1],
2. 16 efektivnih vrednosti struje (sa tačnošću 0,2 % od pune skale)[1],
3. 12 aktivnih snaga (sa tačnošću 0,5 % od pune skale)[1],
4. 38 Furijeovih koeficijenata na učestanosti mreže (sa tačnošću 0,2 % od pune skale)[9],
5. učestanost mreže (sa tačnošću 0,02 % od pune skale) [6].

Instrument radi na sempling taktu od 0,5 MHz i ekvivalentna vršna brzina u obradi digitalnih odmeraka mu je sada 2,2 GFLOPS-a. On je sa dva USB kabla povezan sa PC računarnom za podršku. Razlog za to je dvostruk: prvi, PC omogućuje odličan vizuelni prikaz izmerenih podataka, i drugi, PC računa sve izvedene veličine, arhivira ih i/ili šalje višem hijerarhijskom nivou.

Merenje efektivne vrednosti, aktivne snage i energije, primenjeno u MM4, se vrši dvobitnim fleš AD konvertorima, na osnovu čega se može napraviti izuzetno jednostavan uređaj. MM4. Stoga, on ima vrlo mali broj izvora sistematske greške koje je lako identifikovati i eliminisati. Dakle, merenje je vrlo tačno [10]. Pošto je u pitanju fleš AD konvertor, moguće je meriti na vrlo visokom sempling taktu, pa je i preciznost vrlo velika [9]. Kako MM4 meri sumu snaga i energija, a snage i energije sadrže slučajnu grešku, moguće je primeniti centralnu graničnu teorem, pa je ukupna energija koju meri jedan MM4 $\sqrt{3 \cdot 4} \approx 3,5$ puta preciznije izmerena od, inače precizno merene pojedinačne (fazne) energije [9]. Na sempling taktu od 10MHz i na nivou od jednog dana, preciznost merenja srednje fazne snage je bolja od 0,00014% pune skale, dok je ukupna srednja snaga koju meri MM4, na nivou dana, preciznija od 0,000028% pune skale. U dinamičkom opsegu od 60 dB, što je

uobičajeno za struju, preciznost merenja srednje snage je bolja od 0,02%, ali ne od punog opsega, nego od merene vrednosti. Jasno je da se ova merenja vrše u vremenskom domenu.

Merenje harmonika, faktora izobličenja, reaktivne snage i energije takođe je bazirano na dvobitnom fleš AD konvertoru i ima sve gore navedene dobre osobine: veliku tačnost, veliku preciznost i vrlo veliku preciznost sumarnih merenja. Merenje se sada vrši u frekvencijskom domenu.

Ključno unapređenje je merenje Budeanuove reaktivne snage na osnovnoj učestanosti, koju ćemo označiti sa Q_1 . Ako su a_1 i b_1 Furijeovi koeficijenti faznog napona na učestanosti mreže, a c_1 i d_1 Furijeovi koeficijenti fazne struje na učestanosti mreže, onda je Q_1 , fazna Budeanuova reaktivna snaga na učestanosti mreže, osnovna komponenta reaktivne snage, data sa (3):

$$Q_1 = \frac{a_1 \cdot d_1 - b_1 \cdot c_1}{2} \quad (3)$$

MM4 preko izmerenih Furijeovih koeficijenata omogućuje PC-ju izračunavanje osnovne komponente 12 Budeanuovih reaktivnih snaga i time utvrđivanje prirode 12 monofaznih opterećenja: da li su induktivna, kapacitivna, mešovita, nelinearna itd. Prepoznavanje opterećenja (trošila) je time dobilo vrlo moćan kriterijum i alat, pa MM4 postaje praktično univerzalno primenljiv.

Softver VMPCalc3F+0 ver.01 obuhvata sve pobrojane funkcije VMPCalc ver. 2.1., ali trofazno, i snabdeven je, u ovoj verziji, merenjem i prikazom osnovne fazne komponente reaktivne snage. U primeru koji sledi se to jasno vidi.

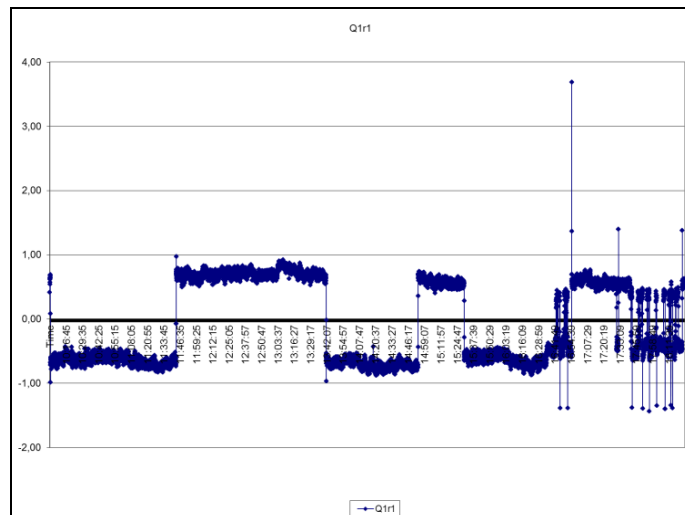
B. Primer primene: analiza rada paralelnog kapacitivnog kompenzatora

Prvu praktičnu proveru su, novi MM4 i novi softver VMPCalc3F+0 ver.01, u proveru efikasnosti kompenzacije reaktivne snage imali u jednoj fabrici procesne industrije. Za prikaz je izabrana faza R_1 na prvom trofaznom priključku.

Sl. 8. Prokazuje Budeanuovu reaktivnu snagu u fazi R_1 . Tabela 1. prikazuje kratak izveštaj i analizu snimka u obuhvaćenom vremenskom intervalu.

TABELA I. TABELARNI PRIKAZ IZVEŠTAJA ANALIZE FAZE R_1

	Unit	Average	Min	Max	Stdev
U	V	59,89	58,14	60,51	0,24
I	A	0,1276	0,1090	0,2520	0,0088
P	W	7,51	6,43	9,17	0,51
F	Hz	50,00	49,92	50,07	0,02
Q	var	1,37	0	11,43	0,28
QI	var	-0,08	-1,44	3,68	0,63
S	VA	7,64	6,51	14,65	0,53
PF	-	0,9836	0,6259	1,0070	0,0062
Z	Ω	471,586	230,714	551,101	32,897



Sl. 8. Budeanuova reaktivna snaga faze R_1

V. DISKUSIJA

Na Sl. 8 je prikazana Budeanuova reaktivna snaga u fazi R_1 , odnosno, rad paralelnog kapacitivnog kompenzatora. Srednja vrednost Budeanuove reaktivne snage na mrežnoj učestanosti, koja jedino i može da se kompenzuje paralelnim kapacitivnim kompenzatorom je, kako se vidi u Tabeli 1, -0.08 var-a i praktično je zanemarljiva. Drugim rečima: kompenzovana je. Na dužem vremenskom intervalu bi se dobio realističniji prikaz i, vrlo verovatno, još povoljniji po korisnika. Nelinearni faktor snage PF_{avg} je takođe odličan, a srednja reaktivna snaga Q_{avg} , zapravo Fryze-ova, je nešto veća od one koju meri reaktivno brojlilo, ali je to i za očekivanje, jer je Fryze-ova reaktivna snaga najveća reaktivna snaga i nju treba kompenzovati sa stanovišta elektrodistribucije. Najnoviji razvoj u toj oblasti ide u pravcu njenog kompletnog kompenzovanja [11] [12]. Kompenzatori tada postaju složeni snažni uređaji energetske elektronike. To je, gledano sa stanovišta ovog rada, ipak posebna tema.

VI. ZAKLJUČAK

U radu su prikazana tri merna instrumenta koji su rezultat domaće pameti, znanja i razvoja. Oni omogućuju, primenom odgovarajućeg, takođe domaćeg softvera, za bar red veličine jeftiniji, a ništa manje pouzdniji nadzor, ne samo u ED mreži, nego i nad tehnološkim procesima. Zbog svoje značajno niže cene, oni mogu da se koriste i kao dopunski, redundantni sistemi kada su primenjeni SCADA sistemi, veoma povećavajući robustnost i pouzdanost nadzora i kontrole.

Softver VMPCalc3F+0 ver.01., centralna tema ovog rada, je prikazan u svom razvojnom, vremenskom kontekstu, preko svog prethodnika monofaznog VMPCalc ver. 2.1, i jednog upečatljivog primera svoje primene – merenja fundamentalne komponente Budeanuove reaktivne snage. Glavni kvaliteti ovog novog softvera, odlična vizuelizacija i kratak izveštaj, odnosno kratka intuitivna i informativna analiza mernih podataka, se jasno vide u datom primeru primene. Snimak merenja u primeru je pokazao vrlo korektan rad paralelnog kapacitivnog kompenzatora. Opisani softver može biti primenjen ne samo u

slučaju primene trofaznih analizatora snage MM2 i MM4, nego i u slučaju primene pametnih brojila.

LITERATURA

- [1] V. Vujičić et al., „Low Frequency Stochastic True RMS Instrument“, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 48, no. 2, pp. 467-470, Apr. 1999.
- [2] Vladimir Vujičić, Slobodan Milovančev, „Patent P-742/95, Digitalni instrument za merenje proizvoda dva analogna periodična signala“, Zavod za intelektualnu svojinu Beograd.
- [3] Vladimir Vujičić, „Patent P-628/96, Digitalni instrument za merenje harmonika“, Zavod za intelektualnu svojinu Beograd.
- [4] V. Pjevalica and V. Vujičić „Further Generalization of Low-Frequency True- RMS Instrument“, in Proc. IMTC, May 2005, pp. 1008–1011.
- [5] A. Radonjić, P. Sovilj and V. Vujičić, “Measurement Uncertainty Bounds of DSM Method”, Proc. IEEE Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM) 2012, pp. 572-573, July 2012.
- [6] A. Radonjić, P. Sovilj and V. Vujičić, “Stochastic Measurement of Power Grid Frequency Using a Two-Bit A/D Converter”, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 63, no. 1, pp. 56-62, Jan. 2014.
- [7] V. Vujičić, Z. Mitrović, S. Galić, V. Kulpinski, „Sistem za detekciju i merenje neregistrovane potrošnje električne energije – iskustva iz primene“, Konferencija Energetika 2015, Zlatibor, mart 2015.
- [8] D. Davidović, S. Mijušković, Z. Mitrović, P. Sovilj, V. Vujičić, „Optimalni redundantni merni sistem za nadzor tokova električne snage i energije“, Konferencija Energetika 2017, Zlatibor, mart 2017.
- [9] P. Sovilj, B. Vujičić, A. Radonjić, D. Pejić, V. Vujičić, „Stochastic Measurement of Reactive Power Using a Two-Bit A/D Converter“, 21st IMEKO TC4 International Symposium and 19th International Workshop on ADC Modelling and Testing Understanding the World through Electrical and Electronic Measurement Budapest, Hungary, September 7-9, 2016.
- [10] M. Urekar et al., “Accuracy Improvement of the Stochastic Digital Electrical Energy Meter“, *Measurement*, vol. 98, pp. 139-150, Feb. 2017.
- [11] H. Lev-Ari and A. Stanković, „A Decomposition of Apparent Power in Polyphase Unbalanced Networks in Nonsinusoidal Operation“, *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 21, no. 1, pp. 438-440, Feb. 2006.
- [12] H. Lev-Ari and A. Stanković (2015, Sept.). „Electric Power Quality“, [Online] Available: http://web.eecs.utk.edu/~dcostine/ECE620/Fall2015/lectures/CURRENT_talk_combined.pdf.

ABSTRACT

The introductory chapter briefly describes the problem of load-recognition in the production process or in the power grid. As this is a complex problem that belongs to the field of artificial intelligence and learning and training, it has been useful to efficiently visualize the measured data and enable the operator to monitor, analyze and improve the recognition process. Presented software was designed and implemented exactly for this purpose. In two levels, it solves the problem of visualization and, as practice has shown, is a very useful and effective tool for this purpose.

SOFTWARE AND HARDWARE FOR SUPPORT TO THREE-PHASE MEASUREMENTS IN THE POWER GRID

Atila Juhas, Platon Sovilj, Vladimir Vujičić

juhiatti@gmail.com , platon@uns.ac.rs , vujicicv@uns.ac.rs