

Razvoj grafičkog okruženja sistema za praćenje dinamike distributivne mreže

Stefan Čubonović, Mihajlo Tatović i Aleksandar Ranković

Univerzitet u Kragujevcu
Fakultet tehničkih nauka u Čačku
Čačak, Srbija

stefan.cubonovic@ftn.kg.ac.rs, mihajlo.tatovic@ftn.kg.ac.rs, aleksandar.rankovic@ftn.kg.ac.rs

Sažetak — Sistem za nadgledanje širokog područja (*Wide Area Monitoring System* – WAMS) predstavlja sistem za prikupljanje, obradu i prikazivanje podataka dobijenih iz sinhrofazorskog uređaja (u ovom radu iz μ PMU – *Micro Phasor Measurement Unit*) i koristi se za širokopojasno praćenje elektroenergetskog sistema (EES-a) sa visokom pouzdanošću i brzinom vremena ažuriranja podataka. Značajne promene u savremenoj distributivnoj mreži (DM) doprinele su potrebi za razvojem ovakvog sistema i u tom delu mreže. U ovom radu je prikazan razvoj grafičkog okruženja sistema za praćenje dinamike DM u softverskom alatu LabVIEW. Detaljno je opisan način programiranja blok dijagrama i dizajniranja prednjeg panela programa i kao takav upoređen je sa jednim komercijalnim programom.

Ključne riječi – WAMS; LabVIEW; μ PMU; distributivna mreža; grafički kod.

UVOD

Elektroenergetski sistem (EES) se svakim danom susreće sa novim problemima i izazovima za koje je neophodno pronaći rešenja. Ta rešenja doprinose njegovom razvoju i usmeravaju ga konceptu koji se naziva pametna mreža (*Smart grid*). Pametna mreža se može definisati kao inteligentni sistem koji čini skup komunikacija, informacionih tehnologija i energetske infrastrukture [1]. Neizostavni deo takvog sistema jeste PMU i prikaz rezultata merenja dobijenih iz istog.

Uporedo sa razvojem prethodnog koncepta, razvijali su se i softverski alati, pa se laboratorijski virtuelni instrumenti mogu napraviti uz posedeovanje računara, odgovarajućeg softvera i iskustva u radu sa njim.

Značaj WAMS tehnologije je donedavno bio neophodan u prenosnoj mreži i vrlo retko u DM. Tradicionalne DM su se sastojale isključivo od pasivnih elemenata, ali se ovakav koncept promenio u proteklih nekoliko decenija [2]. Razlog ove promene je sve veći broj distribuiranih generatora, rezervnih sistema napajanja, sistema za akumuliranje električne energije, pametnih uređaja i električnih vozila, odnosno savremena DM je postala aktivna. Da bi se održalo optimalno stanje ovakve mreže neophodno je njeno praćenje u realnom vremenu.

I. POTREBA ZA WAMS-OM U DISTRIBUTIVNOJ MREŽI

Potreba za WAMS-om nastala je kao posledica rešavanja problema SCADA/EMS sistema (*Supervisory Control And Data Acquisition/Energy Management System*), a koji se odnosio na veliku vremensku rezoluciju merenih signala, koja je između jedne i deset sekundi. WAMS obezbeđuje vremenski sinhronizovane podatke na svakih 20 ms (za sistem od 50 Hz), a svaki odabirak je sinhronizovan prema kordinisanom univerzalnom vremenu (*Coordinated Universal Time* – UTC) [3]. Ovako dizajniran sistem pruža mogućnost signaliziranja i predviđanja relativno opasnih režima rada nadležnim službama za operativno upravljanje EES-om u realnom vremenu, kao i mogućnost analize realnih problema.

Jedan od realnih problema koji se javlja u DM je očuvanje radikalnosti. Da bi se izbegli uzroci nastanka ovog problema neophodno je konstantno praćenje dinamike ovog dela mreže. Međutim, često je pored radikalnosti mreže potrebno ispuniti i ostale zahteve koji se tiču očuvanja stabilnosti, smanjenja gubitaka aktivne snage i balansiranja potrošnje. Prethodno navedeno dovodi do rekonfiguracije DM što može dovesti do razlike u amplitudama i faznim stavovima napona u transformatorskim stanicama. Očigledna je potreba za jeftinijim uređajima za merenje fazora [4] - μ PMU koji će obezbediti merenje ovih veličina u DM, metoda za optimalnu postavku ovakvih uređaja u DM [5] i sistema za praćenje dinamike DM [6].

II. BLOK DIJAGRAM LABVIEW PROGRAMA

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) je „G“ programski jezik, gde se programiranje vrši povezivanjem grafičkih ikona, a ne pisanjem komandi u vidu tekstualnog koda [7]. Koristi se za razvoj automatizovanih sistema za istraživanje, validaciju i testiranje proizvodnje [8]. Osnovna namena LabVIEW-a je virtuelna instrumentacija. Karakteristično za sam softverski alat je što blokovi izgledom asociraju na njihovu ulogu. Dakle, svaki blok predstavlja određenu funkciju, a povezivanjem blokova kreira se željeni program – virtuelni instrument.

Blok dijagram je programski kod i namenjen je programeru. Programiranje u blok dijagramu vrši se

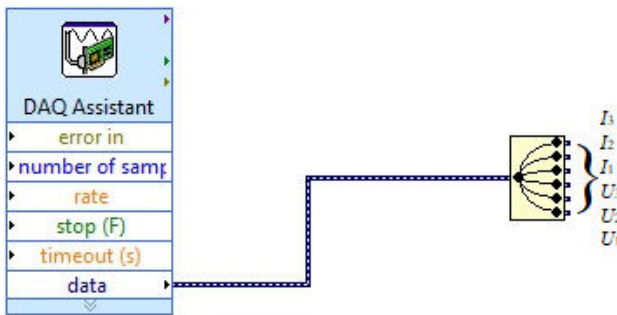
povezivanjem terminala i mnogobrojnih funkcija iz palete programa (*Functions palette*).

Program opisan u ovom radu urađen je u verziji LabVIEW 2018.

Da bismo grafički prikazali merene signale, neophodno je izvršiti analognu-digitalnu konverziju signala. Mereni signali dobijeni su uz pomoć National Instruments akvizicionog sistema (akvizicionih modula):

- I. NI 9225: naponski modul sa 3 naponska kanala,
- II. NI 9227: strujni modul sa 4 strujna kanala.

Ovo je omogućeno zahvaljujući posebnoj *Data Acquisition (DAQ) Assistant* biblioteci LabVIEW-a za akviziciju podataka. Način povezivanja *DAQ Assistant* bloka sa blokom za raspodelu signala (*Split signals*) prikazan je na Sl. 1. Signal na izlazu *DAQ Assistant* bloka (*data*) predstavlja objedinjene signale koje dobijamo iz akvizicionih modula. Pomenuti signali se dovode do bloka za raspodelu signala, a redosled signala na izlazu odgovara redosledu definisanom u *DAQ Assistant* konfiguraciji i to od 0, za I_3 , do 5, za U_1 . Zbog toga blok za raspodelu signala ima jedan ulaz i šest izlaza koja predstavljaju tri strujna i tri naponska signala koja dolaze iz akvizicionih modula.



Slika 1. Blok dijagram dovođenja signala preko bloka *DAQ Assistant*-a u LabVIEW i način na koji se signali dalje odvođe

Ovi signali, naponski i strujni, sa izlaza bloka za raspodelu signala se dalje dovode na tri grafička koda za prikaz:

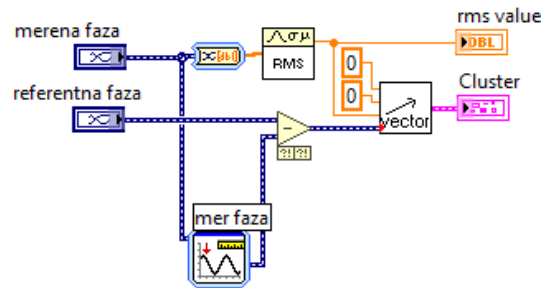
- 1) Fazorskog dijagrama,
- 2) Trenutnih vrednosti,
- 3) Frekvencije i snage.

III. GRAFIČKI KOD ZA PRIKAZ FAZORSKOG DIJAGRAMA.

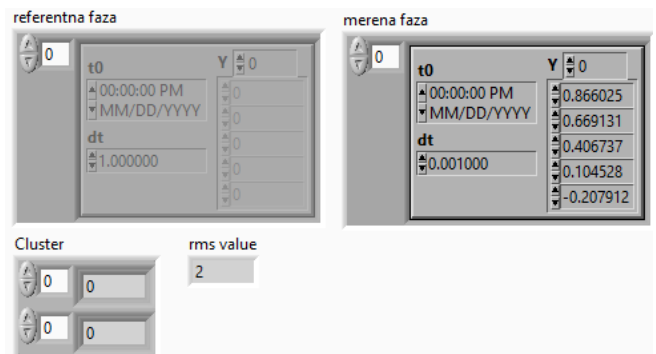
Ovaj grafički kod se primenjuje i za naponske i za strujne signale i koristi se za kreiranje i prikaz fazorskog dijagrama u prednjem panelu programa.

U realizaciji koda korišćena je biblioteka *Tone Measurements*, koja se koristi za definisanje faznog stava referentnog signala, u odnosu na koji se vrši ispravan prikaz faznog stava strujnih signala. Kreiran je i potprogram

(*Phase*) koji poredi referentni i mereni fazni stav. Blok dijagram i prednji panel potprograma prikazani su na Sl. 2 i 3, respektivno.

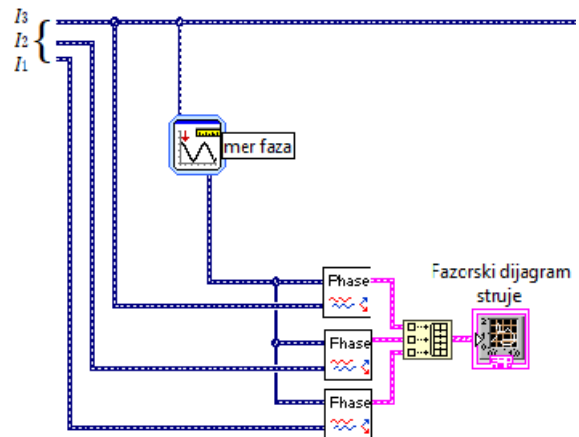


Slika 2. Blok dijagram potprograma *Phase*



Slika 3. Prednji panel potprograma *Phase*

Konačan izgled grafičkog koda za prikaz fazorskog dijagrama struja prikazan je na Sl. 4. Da bi se kreirao fazorski dijagram napona isti grafički kod se koristi i za naponske signale.

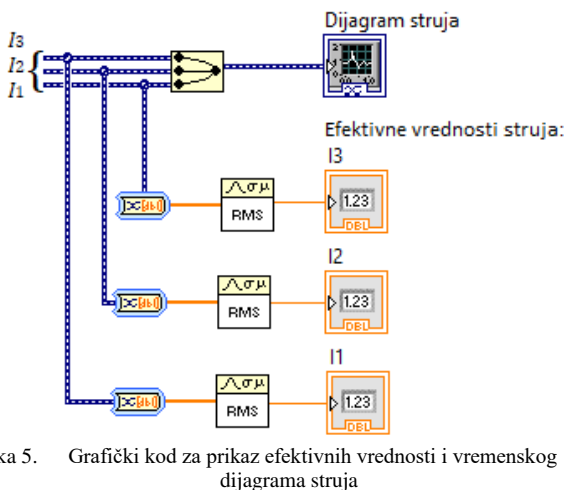


Slika 4. Grafički kod za prikaz fazorskog dijagrama struja

IV. GRAFIČKI KOD ZA PRIKAZ TRENUTNIH VREDNOSTI

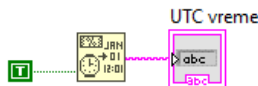
Primenom ovog koda omogućen je prikaz efektivnih vrednosti i vremenski dijagram napona i struja u realnom vremenu. Prvi deo koda se odnosi na pojedinačne signale struje ili napona dovedene u blokove za proračun efektivne

vrednosti (RMS) i potom na numeričke identifikatore (*Numeric Indicators*). U drugom delu programa se preko bloka za raspodelu signala strujni signali za sve tri faze dovode do grafičkog identifikatora (*Graph Indicators*). Deo grafičkog koda za prikaz efektivnih vrednosti i vremenskog dijagrama struja dat je na Sl. 5.



Slika 5. Grafički kod za prikaz efektivnih vrednosti i vremenskog dijagrama struja

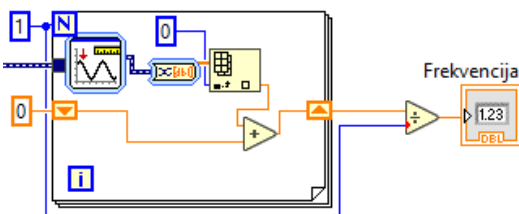
Koncept μ PMU-a podrazumeva da su sinhrofazorska merenja okarakterisana preciznim vremenskim odbircima gde se talasi napona i struja vremenski sinhronizuju sa UTC vremenom. UTC je vreme koje za jednu vremensku zonu kasni u odnosu na naše vreme tokom zimskog računanja vremena, odnosno dve vremenske zone tokom letnjeg računanja vremena. Grafički kod za prikaz UTC vremena dat je na Sl.6.



Slika 6. Grafički kod koji omogućava prikaz UTC vremena

V. GRAFIČKI KOD ZA PRIKAZ FREKVENCIJE I SNAGE

Frekvencija je još jedan bitan parametar koji utiče na stabilnost rada EES-a, pa je njen prikaz od izuzetnog značaja. Za programiranje grafičkog koda (Sl. 7) je potreban samo vremenski tok jedanog od šest strujnih ili naponskih signala, koje dobijamo merenjem, na osnovu koga se može odrediti frekvencija u mreži. U našem slučaju je kao ulazni signal za grafičko programiranje iskorišćen strujni signal I_3 .



Slika 7. Grafički kod za prikaz frekvencije sistema

Tokom merenja su kao potrošači upotrebljene tri inkandescentne sijalice, odnosno potrošači sa faktorom snage $\cos\phi = 1$. Uzimajući u obzir ovu činjenicu, za dobijanje aktivne, reaktivne i prividne snage koristi se program koji se kreira pomoću biblioteke koda sa osnovnim matematičkim operacijama i naponskih i strujnih signala dobijenih merenjem.

VI. GRAFIČKI KOD ZA PRIKAZ LOKACIJE μ PMU-A I GEOGRAFSKOG PODRUČJA

WAMS pored prikaza fazorskog dijagrama i dijagrama trenutnih vrednosti pruža mogućnost prikaza geografskog područja DM u kojoj su instalirani μ PMU-i. Ovo pored prikaza tačne lokacije μ PMU-a omogućava i lakše praćenje dinamike sistema pomoću vizuelnih i akustičnih signala. U ovom radu su μ PMU i WAMS (računar na kome je izvršena njegova simulacija) na istoj lokaciji. Da bismo u LabVIEW-u prikazali ovu lokaciju korišćena je mogućnost lociranja samog računara, a potom je na prednji panel doveden samo prikaz stranice internet pretraživača. To je omogućeno pomoću grafičkog koda prikazanog na Sl.8.



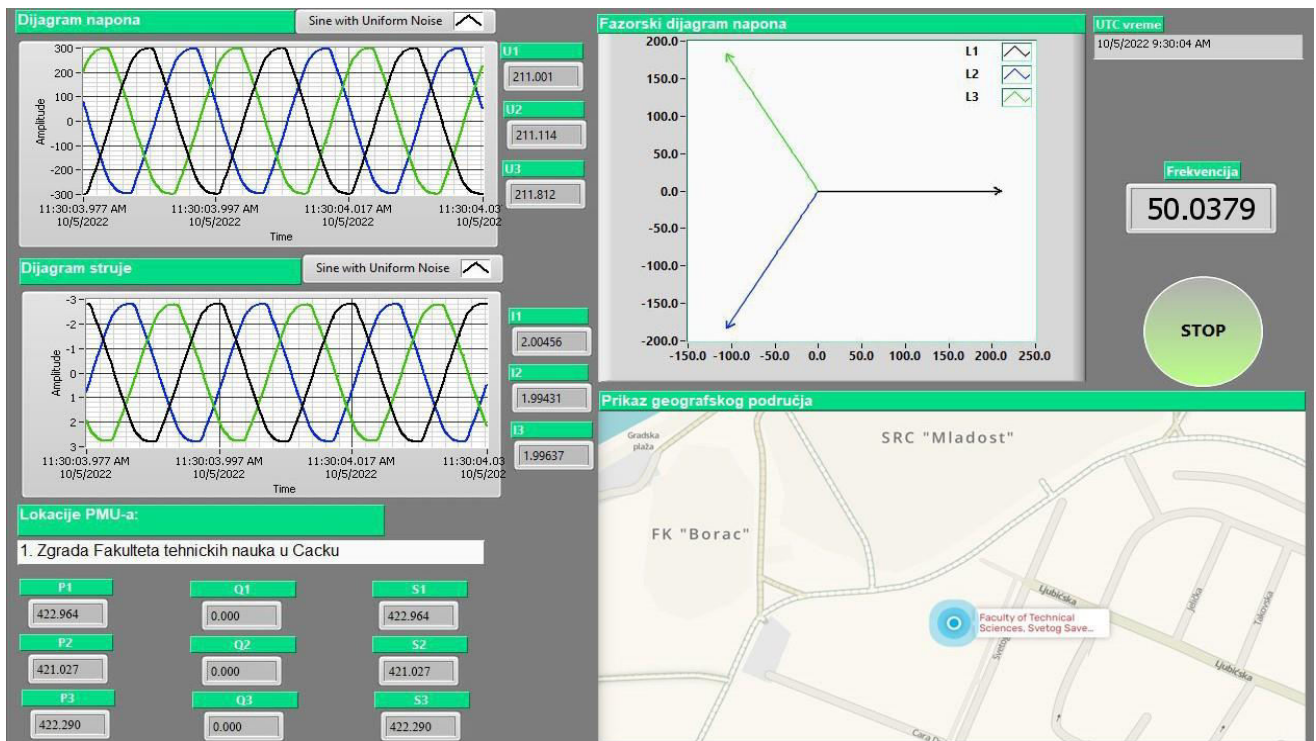
Slika 8. Grafički kod za prikaz lokacije μ PMU-a i geografskog područja

VII. IZGLLED PREDNJEG PANELA WAMS-A

Sam izgled prednjeg panela sistema nije univerzalan i može se dizajnirati po želji korisnika. Zbog velikog broja informacija koje treba prikazati korisnički interfejs se može podeliti u više delova ili prozora. Što je veći broj μ PMU-a to je baza prikupljenih podataka veća, a samim tim je i više veličina koje treba prikazati. U našem radu su analizirani podaci dobijeni iz jednog mernog mesta, pa su podaci od interesa smešteni u jednom delu grafičkog interfejsa. Merenje je izvršeno za tri faze DM niskog napona, a prikazani su sledeće veličine (Sl. 9):

- 1) Efektivne vrednosti napona i struje,
- 2) Dijagram napona i struje u realnom vremenu,
- 3) Aktivna, reaktivna i prividna snaga,
- 4) Fazorski dijagram napona,
- 5) UTC vreme i frekvencija mreže,
- 6) Prikaz geografskog područja.

Poređenja radi, na Sl. 10 prikazan je prednji panel jednog WAMS-a koji se koristi u komercijalnim prenosnim mrežama [9].



Slika 9. Izgled prednjeg panela WAMS-a u LabVIEW-u



Slika 10. Izgled prednjeg panela komercijalnog WAMS-a u prenosnoj mreži

VIII. BUDIĆIRAZVOJ WAMS-A

U budućem razvoju programa za praćenje dinamike DM u merni sistem biće uključena GPS tehnologija i veći broj μ PMU-a. Uvođenjem GPS tehnologije postigli bismo sinhronizaciju merenja koja dolaze iz više različitih mernih tačaka, kao i tačne koordinate instaliranih μ PMU-a u samoj mreži.

Sa integracijom pametnih tehnologija i distribuiranih izvora energije u DM, koje su najčešće bazirane na primeni invertera, promena brzine frekvencije (ROCOF – *Rate Of Change Of Frequency*) postaje bitan parametar [10]. Promena brzine frekvencije izračunava se kao:

$$ROCOF = \frac{df}{dt} . \quad (1)$$

i predstavlja još jednu bitnu stavku koju bi trebalo prikazati u WAMS-u.

ZAKLJUČAK

Sa ciljem da se stvori pogodan prikaz rezultata dobijenih iz sinhrofazorskih uređaja za DM i da se pokaže kako se na jednostavan i jeftin način može izvršiti kreiranje grafičkog okruženja za praćenje dinamike DM nastao je ovaj rad. U radu je prikazan način na koji se u softverskom alatu LabVIEW programira grafički kod za prikaz efektivnih vrednosti napona i struje, dijagrama napona i struje, aktivnih, reaktivnih i prividnih snaga, fazorskog dijagrama napona i struje, učestanosti mreže i prikaza geografskog područja. Takođe, ovim se omogućava prikaz rezultata u realnom UTC vremenu. Ovaj rad predstavlja samo početak razvoja WAMS-a koji bi se uz svoja dalja usavršavanja navedena u poglavlju VIII mogao koristiti u različite svrhe, kao simulacija realnog nadzora DM.

LITERATURA

- [1] V. Mijailović, „Distribuirani izvori i sistemi za distribuciju električne energije“, Akademska misao Beograd, 2019.
- [2] A. Stanisavljević, „Nova metoda detekcije propada napona u mreži sa distribuiranim generatorima“, doktorska disertacija, 2018.
- [3] V. B. Bečajac, „Optimalna postavka sinhrofazorskih uređaja za obezbeđenje potpune opservabilnosti primenom metode Grebnerove baze“, doktorska disertacija, 2020.
- [4] A. Angioni, G. Lipari, M. Pau, F. Ponci, A. Monti, „A Low Cost PMU to Monitor Distribution Grids“, IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), Liverpool, UK, 2017.
- [5] E. Dusabimana, S. G. Yoon, „A Survey on the Micro-Phasor Measurement Unit in Distribution Networks“, Special Issue Integration of Distributed Intelligent Energy Grid, 2020.
- [6] D. Šošić, „Rekonfiguracija distributivne mreže primenom metode jednostrukog zatvaranja petlji“, INFOTEH Jahorina, 2016.
- [7] J. César Rodríguez-Quíñonez, O. Real-Moreno, „Graphical Programming Using LabVIEW™: Fundamentals and advanced techniques“, The Institution of Engineering and Technology, 2022.
- [8] <https://www.ni.com/en-rs/shop/labview.html> - preuzeto 11. 1. 2023.
- [9] <https://selinc.com/products/5702/> - preuzeto 20. 12. 2022.

- [10] T. Baškarad, I. Kuzle, N. Holjevac, I. Ivanković i N. Zovko, „ROCOF importance in electric power systems with high renewables share: A simulation case for Croatia“, MODPOWER 2020.

ABSTRACT

Wide Area Monitoring System (WAMS) is a system for collecting, processing and displaying data obtained from a synchrophasor device (at this paper μ PMU - Micro Phasor Measurement Unit) and is used for broadband monitoring of the power system with high reliability and speed of data update time. Significant changes in the modern distribution network contributed to the need for the development of such a system in that part of the network as well. This paper presents the development of the graphical environment of the system for monitoring the dynamics of the distribution network in the LabVIEW software tool. The method of programming the block diagram and designing the front panel of the program is described in detail and as such it is compared with a commercial program.

DEVELOPMENT OF THE GRAPHICAL ENVIRONMENT OF THE SYSTEM FOR MONITORING THE DYNAMICS OF THE DISTRIBUTION SYSTEM

Stefan Čubonović, Mihajlo Tatović and Aleksandar Ranković