

Softver za automatizovano merenje širokopojasnih mikrotalasnih prijemnika

Dragan D. Obradović, *Member, IEEE*, Predrag S. Manojlović, *Member, IEEE*, Nemanja M. Mitrović, *Student Member, IEEE*, Siniša P. Jovanović, *Member, IEEE*, and Željko T. Bojović, *Member, IEEE*

Sadržaj — U ovom radu je opisan softver za upravljanje mernim instrumentima i njegova primena u metodama za merenje karakteristika i ispitivanje širokopojasnih mikrotalasnih prijemnika. U samom radu je detaljnije opisana organizacija softverske biblioteke za upravljanje instrumentima i softver za jednu mernu metodu.

Ključne reči — merna metoda, mikrotalasna merenja, mikrotalasni prijemnici, računarsko upravljanje instrumentima.

I. UVOD

MERNI instrumenti već duže vreme imaju mogućnost povezivanja sa PC računarima čime je omogućena realizacija kompleksnih mernih metoda koje značajno olakšavaju i ubrzavaju postupak merenja, pogotovo kada se u mernoj metodi koristi više instrumenata istovremeno i kada je potrebno upotrebiti veliki broj kalibracionih podataka [1]. PC računari se uobičajeno sa instrumentima povezuju preko GPIB (IEEE488.2), RS232, USB ili Ethernet interfejsa. U zavisnosti od tipa instrumenta, preko računara je moguće ostvariti upravljanje, konfigurisanje i očitavanje mernih rezultata sa instrumenata. U poslednje vreme su mnogi instrumenti opremljeni sa ugrađenim PC računarom od kojih neki omogućavaju dodavanje softvera prema potrebi korisnika.

Uobičajeno da se razvija poseban softver za skoro svaku metodu koji koriste određene instrumente [2]. Na tržištu postoji više softverskih okruženja [3] i softverskih biblioteka koje imaju razvojne alate za konfigurisanje i programiranje automatizovanih mernih metoda.

I pored toga što na tržištu postoje softverski alati, odlučili smo se za razvoj sopstvene biblioteke za upravljanje instrumentacijom iz sledećih razloga: potrebno je podržati dosta vrsta instrumenata različitih po nameni, generaciji i tipovima interfejsa za upravljanje, kao i za sopstveno razvijene instrumente i uređaje. Također je

Dragan D. Obradović, IMTEL-Komunikacije, Bulevar Mihaila Pupina 165B, 11070 Novi Beograd, Srbija (telefon: +381 11 311-8801, e-mail: obrad@insimtel.com)

Predrag S. Manojlović, IMTEL-Komunikacije, Bulevar Mihaila Pupina 165B, 11070 Novi Beograd, Srbija (e-mail: pedja@insimtel.com)

Nemanja M. Mitrović, IMTEL-Komunikacije, Bulevar Mihaila Pupina 165B, 11070 Novi Beograd, Srbija (e-mail: nemanja@insimtel.com)

Siniša P. Jovanović, IMTEL-Komunikacije, Bulevar Mihaila Pupina 165B, 11070 Novi Beograd, Srbija (e-mail: siki@insimtel.com)

Željko T. Bojović, IMTEL-Komunikacije, Bulevar Mihaila Pupina 165B, 11070 Novi Beograd, Srbija (e-mail: zeljko@insimtel.com)

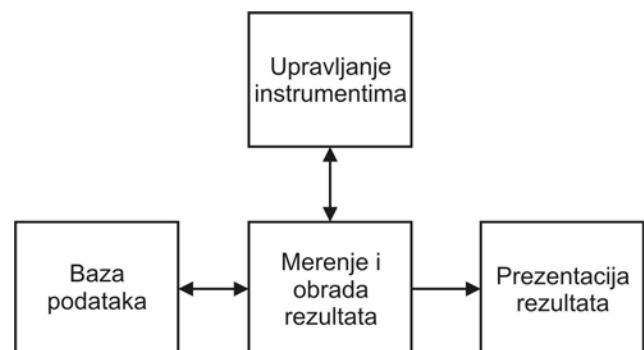
važan i faktor cene licenci komercijalnog softvara. Osnovni princip prilikom razvoja biblioteke je da se klase organizuju prema funkciji i tipu instrumenta, nezavisno od interfejsa za upravljanje. Ovako razvijena biblioteka znatno olakšava razvoj aplikacija za upravljanje instrumentima koje se razvijaju za specifične namene. U radu je prikazana softver za podršku mernim metodama za merenje karakteristika i ispitivanje širokopojasnih mikrotalasnih prijemnika.

II. SOFTVER ZA AUTOMATIZOVANO MERENJE

A. Organizacija softvera

Na sl. 1. prikazana je odnos komponenti u softverskoj aplikaciji za automatizovano merenje.

Komponenta za upravljanje instrumentima je realizovana kao biblioteka klasa, pri čemu je svaki tip instrumenta predstavljen apstraktnom klasom koja opisuje osobine i funkcije karakteristične za taj tip instrumenta, dok je implementacija za konkretne modele instrumenata skrivena u nasleđenim klasama. Prilikom razvoja koda softverske aplikacije za određenu mernu metodu, upotrebljava se apstraktna klasa za željeni tip instrumenta, dok se konkretan model bira prilikom izvršavanja i konfigurisanja aplikacije iz liste modela koji su raspoloživi u biblioteci. Na ovaj način se razvoj softvera fokusira na samu mernu metodu, a ne na povezivanje sa konkretnim modelima instrumentima.



Sl. 1. Komponente softvera za automatizovano merenje

Izmereni rezultati se smeštaju u bazi podataka da bi kasnije po potrebi mogli biti obrađeni i prezentovani. Kao baza podataka se u ovoj fazi razvija koristi Access fajl, ali se mogu koristiti po i serveri baza podataka ko što su MS SQL i MySQL. Obično se za smeštanje podataka za svaku mernu metodu koriste po dve tabele u bazi podataka. U jednu tabelu se smeštaju podaci o samom merenju i

uslovima merenja, a u drugu tabelu se smeštaju izmereni podaci.

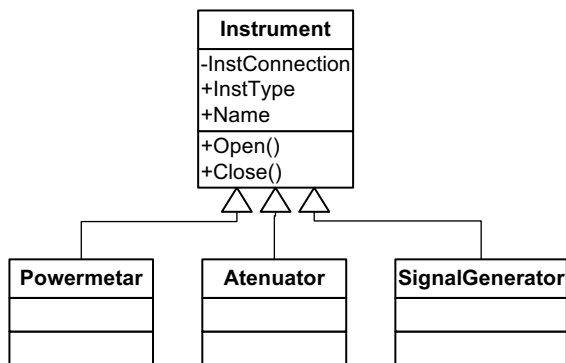
Da bi sirovi ili obrađeni rezultati merenja bili prikazani u odgovarajućoj formi, komponenta aplikacije za prezentaciju rezultata može prikazati podatke grafički ili ih izvesti u Excel fajl ili neki drugi format za njihovu kasniju analizu ili primenu. U ovoj fazi razvoja aplikacije se koristi eksterni softver za grafički prikaz Gnuplot [4] koji omogućava crtanje brojnih tipova grafika. Komandni fajlovi i fajlovi sa podacima se kreiraju iz aplikacije za softver Gnuplot koji se poziva iz aplikacije.

B. Biblioteka za upravljanje instrumentima

Da bi se izvorni kod, koji se koristi za rad sa mernim instrumentima, odvojio od koda koji se bavi mernom metodom i da bi mogao da se koristi za više različitih aplikacija, razvijena je programska biblioteka za upravljanje mernim instrumentima.

Osnovni zahtev prilikom organizacije ove biblioteke je da se klase instrumenata grupišu prema funkciji instrumenta nezavisno od interfejsa za upravljanje. Biblioteka je razvijena u programskom jeziku C# za .NET Framework [5] izvršno okruženje kao dinamička biblioteka u formi DLL fajla.

Na sl. 2. je prikazan dijagram klasa na kome se vidi da su klase za sve tipove instrumenata nasledene od bazne klase **Instrument** koja sadrži apstraktne metode **Open()** i **Close()** koje otvaraju i zatvaraju konekciju ka samim instrumentima. Ove metode se implementirane u naslednim klasama u zavisnosti od tipa instrumenta i njegovog interfejsa za upravljanje. Također, svaka klasa koja je nasledena od klase **Instrument** sadrži atribut **InstConnection** koja opisuje tip i parametre konekcije ka mernom instrumentu.

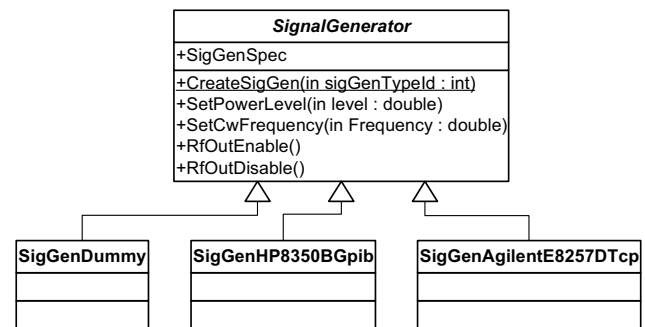


Sl. 2. Apstraktna klasa Instrument i nasledene klase tipova instrumenata

Klase za određeni tip mernog instrumenta prema funkciji imaju metode koje predstavljaju operaciju nad instrumentima i one su specifične za taj tip instrumenta. Zahvaljujući polimorfizmu kao osobini objektnog programiranja, implementacija tih metoda je u naslednim klasama koje se razvijaju za svaki model instrumenta. Na sl. 3. je prikazan dijagram klasa koji prikazuje klase koje opisuju mikrotalasne signal generatore. Za svaki model signal generatora struktura **SigGenSpec** sadrži karakteristike instrumenta (npr. maksimalne i minimalne

vrednosti parametara i mogućnosti koje su podržane), tako da ih aplikacija može koristiti.

Prilikom razvoja softvera za merenu metodu u kodu se referencira objekat bazne klase za tip instrumenta a ne za konkretan model. Mogu se izlistati svi podržani modeli instrumenta a pomoću statičke funkcije u baznoj klasi za određeni tip instrumenta kreirati objekat izabranog modela instrumenta. U primeru na sl. 3. je prikazana metoda **CreateSigGen()**. Na taj način je izbegnuta zavisnost koda aplikacije od trenutno podržanih modela instrumenata u biblioteci, tako da se u već postojećoj aplikaciji može zameniti DLL fajl biblioteke sa novijim koji ima podršku za dodatne modele instrumenata bez ponovnog prevođenja aplikacije.

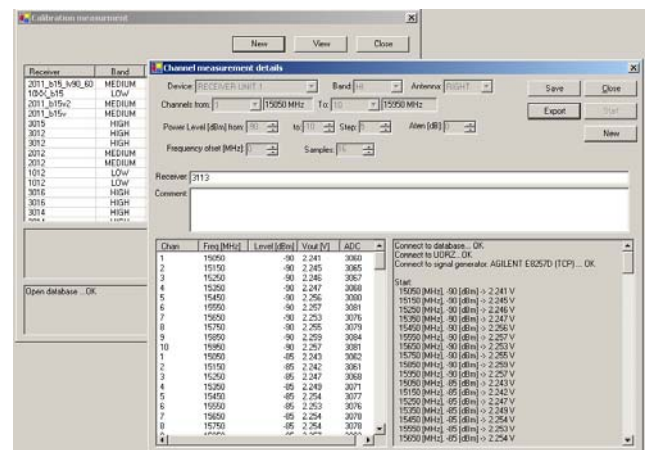


Sl. 3. Apstraktna klasa SignalGenerator i nasledene klase modela instrumenata

Ne moraju klase svih modela instrumenata da imaju konekciju ka mernoj opremi. Npr. klasa **SigGenDummy** nema vezu sa pravim signal generatorom i predstavlja virtuelni instrument i njegova upotreba je pogodna tokom razvoja aplikacije. Također, neupravljivi satenuatori mogu da sadrže kalibracione podatke, tako da se u aplikaciji za merenje može navesti njihova upotreba i na osnovu radne frekvencije i ranije unetih kalibracionih podataka odrediti stvarna vrednosti njihovog slabljenja.

C. Prikaz softvera za automatizovano merenje

Softver za automatizovano merenje je realizovan kao windows form aplikacija koja se izvršava pod .NET Framework okruženjem. Softver je kompletno razvijan u programskom jeziku C#. U okviru istog softvera je realizovana podrška za više mernih metoda, pri čemu su za svaku metodu razvijene zasebne forme (sl. 4.).



Sl. 4. Windows forme za jednu mernu metodu

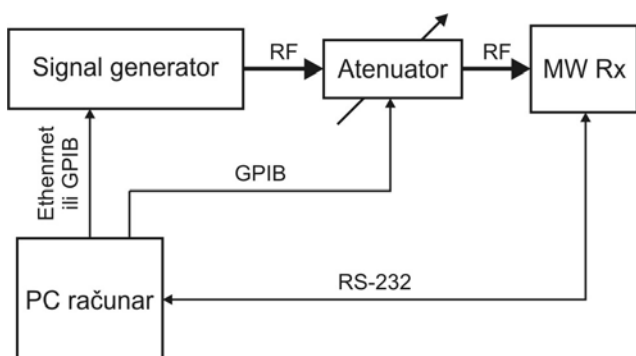
Uobičajeno je da se za jednu mernu metodu koriste dve forme. Jedna forma prikazuje listu obavljenih merenja iz iz nje se poziva druga forma koja prikazuje rezultate merenja ili se izvršava novo merenje. U okviru druge forme se prilikom novog merenja unose inicijalni podaci za merenje i izvršava sam proces merenja.

Forme koje se odnose na konfigurisanje aplikacije su zajedničke. Konfiguracioni podaci sadrže parametre potrebne za povezivanje sa instrumentima i oni se čuvaju u XML fajlovima.

III. OPIS MERNE METODE

Kod širokopojasnih mikrotalasnih prijemnika radni opseg je relativno širok u odnosu na centralnu frekvenciju i zbog toga je veoma teško održati lineranost karakteristika [6]. Zbog toga su potrebne za svaki prijemnik njegove snimljene karakteristike [7].

U prikazanom primeru merne metode, potrebno je snimiti zavisnost izlaznog napona na detektoru mikrotalasnog prijemnika od ulaznog nivoa signala u celom radnom opsegu prijemnika [8]. Blok šema merne metode za merenje i ispitivanje mikrotalasnih prijemnika za koju je razvijen opisani softver prikazan je na sl. 5. PC računar je opremljen softverom za automatizovano merenje i povezan je sa prijemnikom preko serijske RS-232 veze. Sa signal generatorom i promenljivim "step" atenuatorom PC računar može biti povezan preko GPIB ili Ethernet interfejsa u zavisnosti od konkretno upotrebljenih instrumenata.

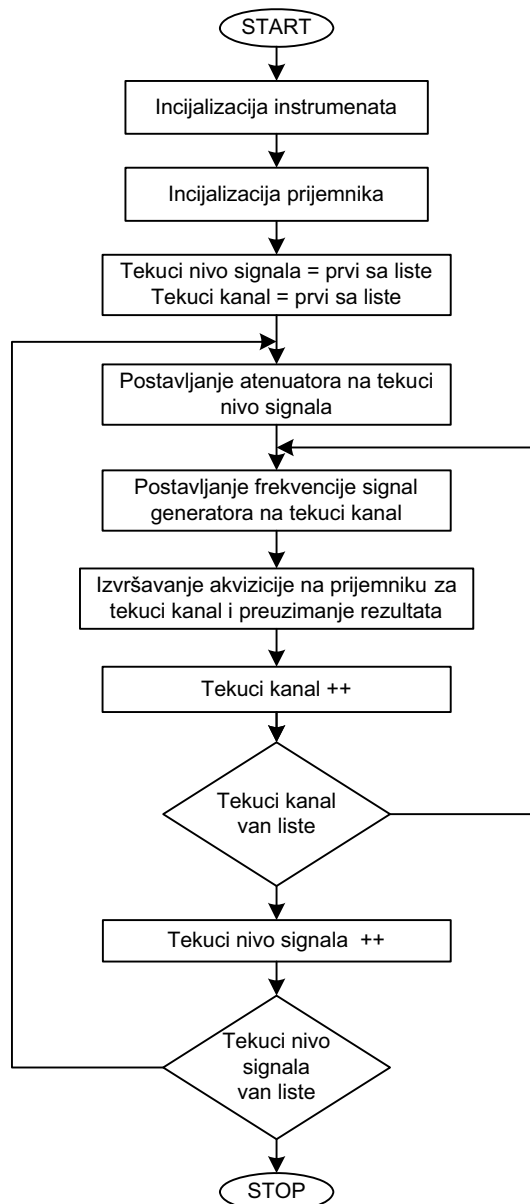


Sl. 5. Blok šema merne metode

Sastavni deo širokopojasnog mikrotalasnog prijemnika je mikrokontrolerski sklop koji upravlja sintetizatorom međufrekvencije i vrši akviziciju analognog-digitalnu konverziju signala na izlazu iz mikrotalasnog detektora. Napon na mikrotalasnem detektoru zavisi od nivoa signala na ulazu u mikrotalasni prijemnik. Ova karakteristika se može menjati u zavisnosti od radne frekvencije prijemnika koja je određena međufrekvencijom, tako da je jedan od zadataka ove metode merenje pomenutih karakteristika na svim radnim frekvencijama (kanalima), koje se kasnije mogu koristiti kao kalibracioni podaci za rad prijemnika. Zbog "digitalnog" izlaza prijemnika u formi poruka preko RS-232 interfejsa, ne može se koristiti analizator mreža koji omogućava merenje.

Na sl. 6. prikazan je dijagram toka ove merne metode. Da bi se odredile opisane karakteristike prijemnika potrebno je softver za automatizovano merenje na PC

računaru postavi prijemnik na željenu radnu frekvenciju, potom da postavi signal generator na potrebnu ulaznu frekvenciju, i da postavi promenljivi "step" atenuator tako da na ulazu u prijemnik bude željeni nivo signala. Softver prikuplja podatke od mikrokontrolera prijemnika o izmerenim vrednostima napona. Na osnovu ovako prikupljenih podataka, softver može da generiše kalibracione tabele kojio mogu da se upišu u svaki prijemnik. Na taj način se dobija kompletno automatizovana metoda za ispitivanje i kalibraciju širokopojasnih mikrotalasnih prijemnika. Ovaj postupak se ponavlja za sve frekvencijske kanale prijemnika sa različitim nivoima signala na ulazu prijemnika.



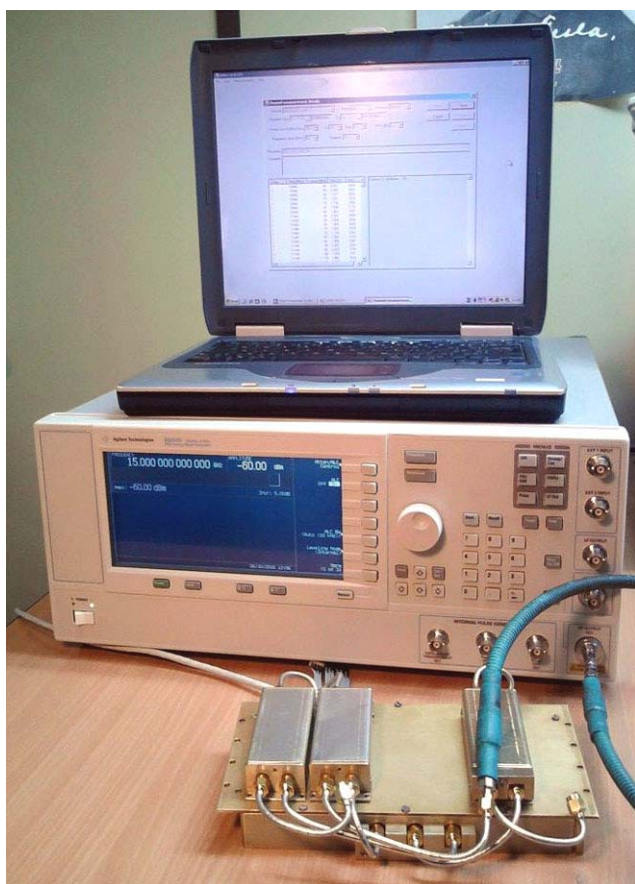
Sl. 6. Dijagram toka merne metode

IV. PRIMERI REZULATATA MERENJA

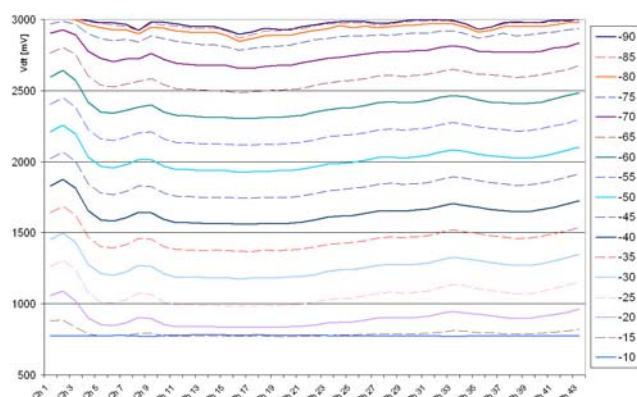
Izgled same metode prikazan je na sl. 7. Kao signal generator korišćen je instrument Agilent E8257D koji se se PC računaru povezuje preko Ethernet mreže, pošto za komunikaciju sa softverom za upravljanje koristi TCP protokol. Sam signal generator ima u sebi ugrađen "step"

atenuator sa korakom od 1 dB tako da pokriva dinamiku od preko 120 dB i zbog toga nije korišćen zaseban atenuator.

Prikazani rezultati merenja su izvršeni na mikrotalasnom širokopojasnom prijemniku koji radi u frekventijskom opsegu od 14.9 do 19.1 GHz. Na sl. 8. prikazana je zavisnost izlaznog napona iz detektora od ulaznog nivoa signala za svaki kanal sa korakom 100 MHz u obliku familije krivih po nivoima signala sa korakom od 5 dB u opsegu od -90 do -10 dBm. Na osnovu ovako dobijenih podataka može se proveriti da li su karakteristike prijemnika zadovoljavajuće po pitanju njegove dinamike i monotonosti karakteristike izlaznog napona od ulazanog nivoa u potrebnom dinamičkom opsegu.



Sl. 7. Izgled merne metode



Sl. 8. Izmerene karakteristike prijemnika

Vreme potrebno da se izvrši jedno merenje prema automatizovanoj prikazanoj metodi je oko 2-3 minute. Vreme koje je bilo potrebno za merenje bez automatizacije je iznosilo od 1 do 1.5 sata po prijemniku i to na svakom petom frekventijskom kanalu i u užem opsegu ulaznog signala (od -70 do -20 dBm).

V. ZAKLJUČAK

Glavni doprinos prikazanog softvera za automatizovanu metodu merenja širokopojasnih mikrotalasnih prijemnika je značajno skraćanje vremena potrebnog da bi se obavilo merenje. Time je omogućeno izvršavanje detaljnijih ispitivanja i otkrivanje anomalija u karakteristikama prijemnika koje su mogle lako proći neopaženo kod manuelnih metoda merenja.

Pored toga razvijena biblioteka za upravljanje instrumentima omogućava brzi razvoj softvera za nove merne metode, kao i jednostavno proširenje podrške za nove modele i tipove instrumenata.

Prikazani softver predstavlja osnovu za dalju nadradnju u pravcu povezivanja i upravljanja udaljenim instrumentima čime bi bio omogućen razvoj i realizacija mernih metoda za terenska ispitivanja na većim rastojanjima.

LITERATURA

- [1] E. Kruff, P. Packebush, "Calibration ensures accuracy," *IEEE Spectrum*, vol. 37, no. 11, pp. 66-69, Nov. 2000.
- [2] Joseph P. Keithley, "Customization is key to future instrumentation", *IEEE Spectrum*, vol. 36, no. 1, pp. 94-95, Jan. 1999.
- [3] P. Ponce-Cruz, F. D. Ramirez-Figueroa, *Intelligent Control Systems with LabVIEW*, London: Springer, 2010.
- [4] T. Williams, C. Kelley, *Gnuplot 4.4 - An Interactive Plotting Program*, 2010., Available: www.gnuplot.info
- [5] J. Albahari, B. Albahari, *C# 3.0 in a Nutshell*. 3rd ed., Sebastopol: O'Reilly Media, 2007.
- [6] M. Pirola, V. Teppati, V. Camarchia, "Microwave measurements Part I: Linear Measurements," *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, vol. 10, Issue 2, pp. 14-19, Apr. 2007.
- [7] D. Obradović, S. Jovanović, N. Mitrović, Ž. Gajić: "Realizacija obrade signala na međufrekvenciji sistema za detekciju zračenja u milimetarskom opsegu od 60 GHz", *Zbornik radova 54. Konferencije za ETRAN*, Donji Milanovac, 2010, str. MT2.4-1-4
- [8] S. Jovanović, P. Manojlović, D. Obradović, N. Mitrović: "Wideband Receiver for Signal Detection in Frequency Range from 15 to 19 GHz", *Proceedings of Papers XLV ICEST*, Vol. 1, Ohrid, FYR Macedonia, 2010, pp. 545-548.

ABSTRACT

In this paper is described software for control of measurement instruments and its applications for measurement methods and testing of wideband microwave receivers. With more details is described organization of the software library for control of instruments, and software for one measuring method.

SOFTWARE FOR AUTOMATED MEASURING OF THE WIDEBAND MICROWAVE RECEIVERS

Dragan Obradović, Predrag Manojlović, Nemanja Mitrović, Siniša Jovanović, and Željko Bojović