

IZRADA KABINETSKE VARIJANTE PRIMARNOG I SEKUNDARNOG MOTRILAČKOG RADARA

Mirko Jukl

Tehničko veleučilište u Zagrebu

Sažetak

U ovom članku (radu) dan je kratki opis integriranog motrilačkog radarskog sustava, koji se sastoji od primarnog (PSR - Primary Surveillance Radar), oznake LP 23 M2 i sekundarnog motrilačkog monoimpulsnog radara (SSR - Secondary Surveillance Radar), oznake RSM 970, a koji je do kraja 2012. godine bio u operativnoj uporabi u HKZP (Hrvatska kontrola zračne plovidbe). Od navedenog radarskog sustava na TVZ-u (Tehničko veleučilište u Zagrebu) u 2013. godini izrađena je kabinetska varijanta motrilačkog radara za potrebe održavanja laboratorijskih vježbi iz predmeta Radarski sklopovi i Radarski sustavi te za dodatno obrazovanje svih onih koji rade ili žele raditi na uporabi ili na održavanju radarskih sustava koji se koriste u OS RH, MUP-u, HKZP-u, DHMZ-u (Državnom hidrometeorološkom zavodu) i trgovačkoj mornarici. Radarski kabinet je prilagođen za provedbu nastavnog procesa i omogućuje proširivanje mogućnosti nadogradnjom novih podsustava.

Ključne riječi: *kabinetska varijanta motrilačkog radara, PSR, SSR, laboratorijske vježbe*

Abstract

In this paper (work) is a short description of the integrated surveillance radar system, which consists of a primary (PSR - Primary Surveillance Radar) radar with markings LP 23 M2 and a secondary single impulse radar (SSR - Secondary Surveillance Radar) with markings RSM 970, which by the end of 2012 was in service in the Croatian air traffic control. The above mentioned radar system was used in 2013 to build an academic variant of the surveillance radar in polytechnic of Zagreb for holding laboratory exercises and additional education for those that operate, will operate or maintain radar systems in Armed Forces of Croatia, Ministry of Internal Affairs, the Croatian air

traffic control, Meteorological and Hydrological Services or merchant navy. The radar cabinet is suited for holding classes and is expandable by upgrading subsystems.

1. Uvod

U HKZP do kraja 2012. godine u 24 - satnoj operativnoj uporabi na radarskom položaju (RP) Kurilovec (Velika Gorica) bio je integrirani motrilački radarski sustav, koji su činili primarni i sekundarni radar. Oba radara nabavljena su od francuske tvrtke Thomson CSF i tijekom uporabe nekoliko puta modernizirani. Navedeni radari su kao duo sustav (dva PSR i dva SSR), bili integrirani u zajednički motrilački radarski sustav, a podatke o detektiranim s PSR i identificiranim s SSR ciljevima automatski su prenosili u operativno središte HKZP-a. Na temelju podataka o ciljevima dobivenim od ovog i ostalih radarskih sustava na drugim lokacijama u Republici Hrvatskoj u operativnom središtu HKZP-a (ATC – Automatic traffic center) formiran je jedinstveni trag za svaki detektirani i praćeni cilj. U Tablici 1 dani su osnovni tehnički podaci radarskog sustava.

Na slici 1 prikazane su antene radarskog sustava na RP Kurilovec i dane su pojednostavljene blok sheme PSR-a i SSR-a.

Kao što je prikazano na slici 1 PSR koristi dva odašiljača i dva prijemnika. Svaki odašiljač preko T/R (transmitter/receiver) skretnice i antene s vremenskim pomakom i na različitim frekvencijama, istim vremenom trajanja i s određenom impulsnom frekvencijom unutar dijagrama zračenja osvjetljava radarske ciljeve u prostoru motrenja. Prednosti ovakve izvedbe su povećani maksimalni domet, smanjeni gubici zbog fluktuacije signala od ciljeva i uvjeta propagacije za različite frekvencije te smanjene mogućnosti od nenamjernog i namjernog ometanja. Osim toga na ovaj način osiguran je redundantni rad tako da u

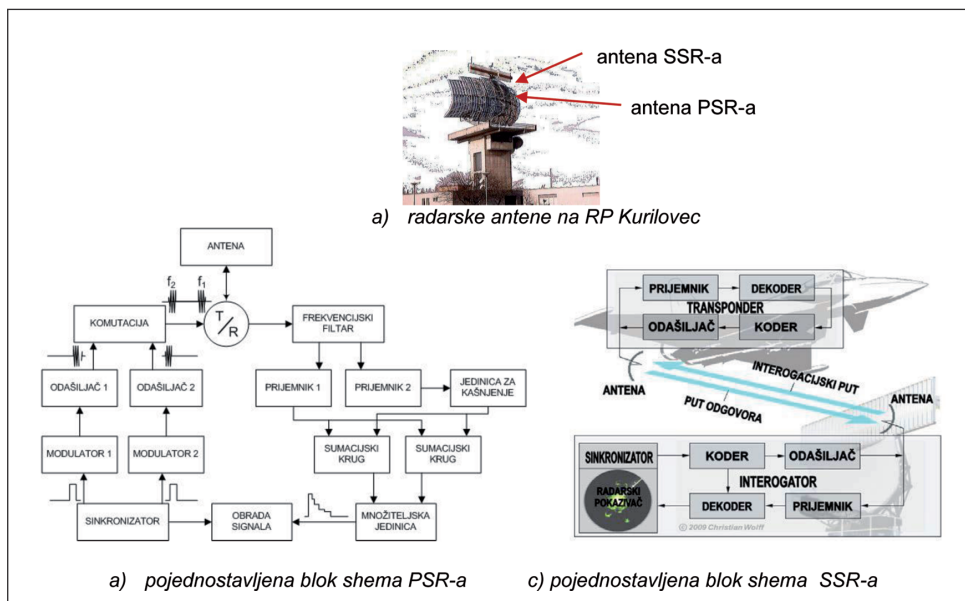
Tablica 1. Osnovni tehnički podaci motrilačkog radarskog sustava LP 23M2 i RSM 970

Redni broj	Tehnički podaci	LP 23M2 (PSR)	RSM 970 (SSR)
1.	Maksimalni domet u slobodnom prostoru	210 Nm	210 Nm
2.	Frekvencija	13 00 MHz, L- band 1345 MHz	1030 MHz - predaja 1090 MHz - prijem
3.	Antena	parabolična	veći broj dipola
4.	Širina dijagrama antene po azimutu	1,4°	2,45°
5.	Širina dijagrama antene po elevaciji	37°	41 °
6.	Pojačanje antene	30 dB	27dB, kanal sume
7.	Brzina rotacije antene	5 okr./min	5 okr./min
8.	Impulsna snaga predajnika	2,2 MW	1,7 kW
9.	Vrsta predajnika	magnetronski	poluvodički
10.	Širina predajnog impulsa	3,2 μs	Modovi rada: 1,2,3/A,B,C,D (0,8 – 30,25) μs
11.	Rezolucija	- azimut 1,4°	- azimut 0,6°, - visina 360 ft
12.	Impulsna frekvencija	(300 – 400) Hz	(300 – 400)Hz
13.	Osjetljivost prijemnika	do - 108 dBm	do – 80 dBm
14.	Međufrekvecija	30MHz	60MHz
15.	Propusno područje prijemnika	- lin 1,6 MHz - log (1,3 -1,9) MHz	+/- 8 MHz

slučaju kvara jednog od odašiljača ili prijemnika radarski sustav može nastaviti rad, ali uz nešto smanjenje tehničke značajke.

Interogator SSR-a generira kodirani signal upita i preko svojeg odašiljača i antene upućuje ga u prostor motrenja. Transponder, koji se nalazi na letjelici prima i dešifrira primljeni upit te

na drugoj radnoj frekvenciji upućuje kodirani signal odgovora koji prima prijemnik SSR-a, detektira daljinu i azimut cilja, a visinu cilja i druge važne podatke pročita iz kodirane poruke koja je definirana određenim modom rada. Svakom kooperativnom cilju (cilj opremljen s transponderom), koji je detektiran s PSR-om



Slika 1. Pojednostavljene blok sheme radarskog sustava na RP Kurilovec

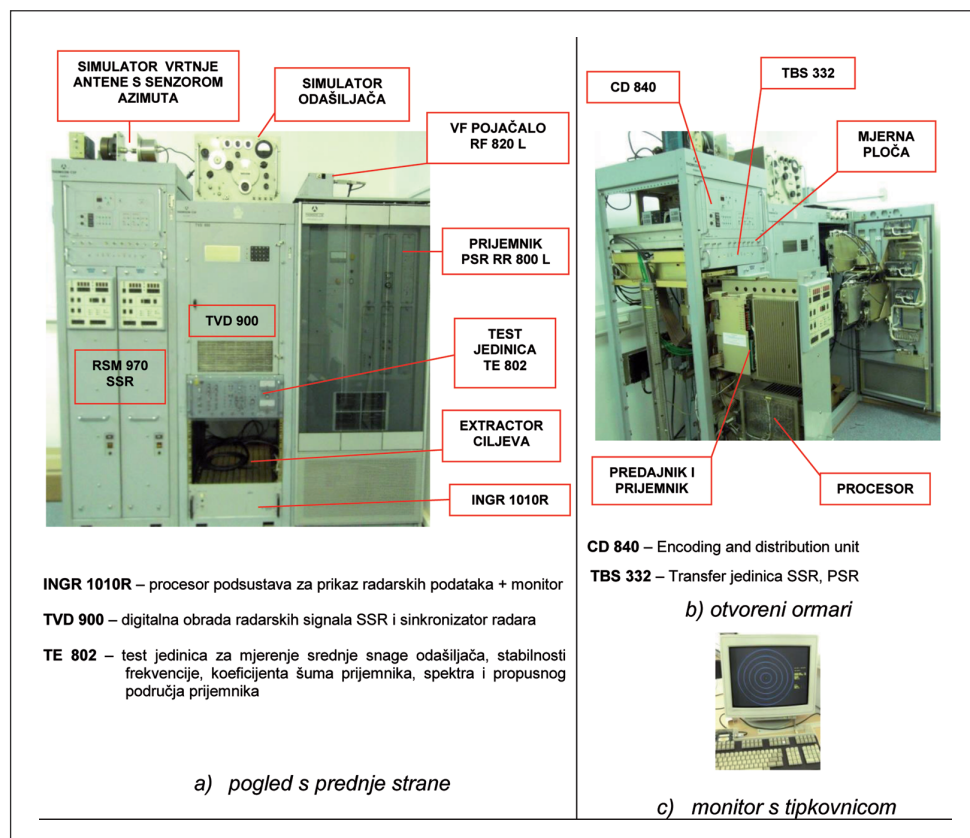
pridodaje se odgovor od SSR-a čime se postiže velika vjerojatnost detekcije ciljeva i sigurnost nadzora zračnog prostora.

Budući da HKZP više ne koristi gore opisani radarski sustav, TVZ (Tehničko veleučilište u Zagrebu) je u 2013. godini zatražilo od HKZP da doniraju određene podsustave PSR-a i SSR-a, mjerne instrumente i opremu, kako bi se izradila kabinetska varijante primarnog i sekundarnog motrilačkog radara. Tijekom 2013. vanjski suradnici TVZ su uz minimalne troškove za TVZ izradili kabinetsku varijantu radara za potrebe podizanja kvalitete nastavnog procesa iz područja VF i radarske tehnike.

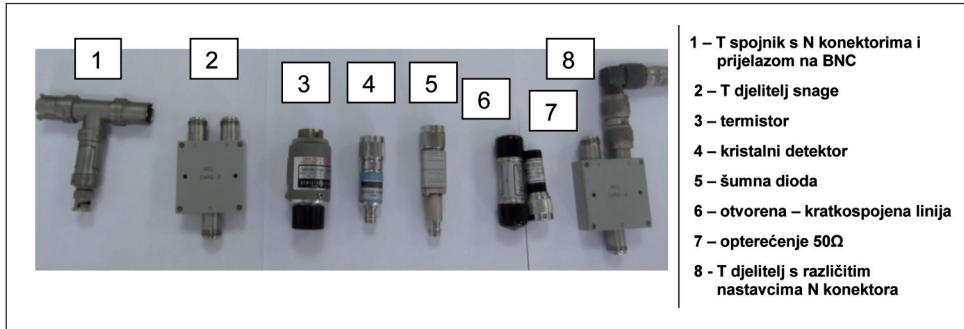
3. Ciljevi i faze izrade kabinetske varijante

Cilj izrade kabinetske varijante radara je podignuti kvalitetu nastavnog procesa iz predmeta Radarski sklopovi na stručnom studiju KIRT-a (komunikacijsko informacijsko računalna tehnologija) i iz predmeta Radarski sustavi na specijalističkom studiju elektrotehničkog smjera TVZ-a, kao i stvoriti mogućnosti za dodatno školovanje tehničkog i operativnog osoblja, koje radi ili želi raditi na tehničkom održavanju ili operativnoj uporabi radarskih

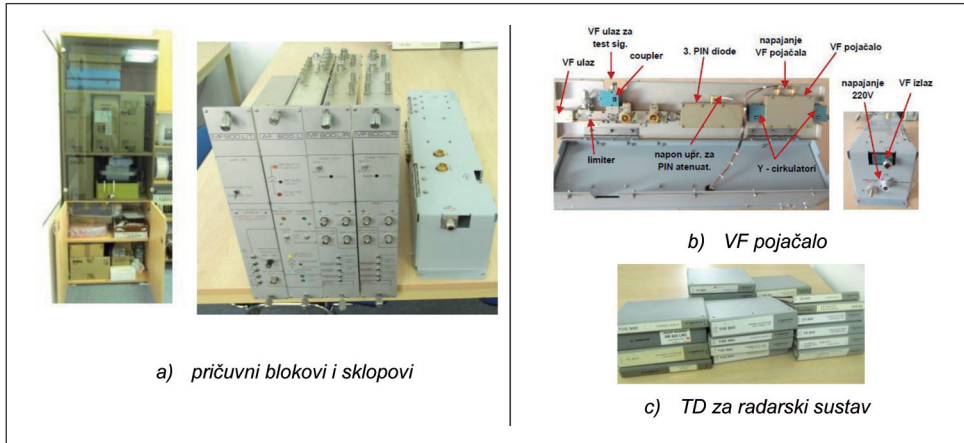
sustava. (npr. sve grane Hrvatske vojske; HKZP; DHMZ - Državni hidrometeorološki zavod; MUP i trgovačka mornarica). Za postizanje postavljenog cilja bilo je potrebno od podsustava motrilačkog radara LP 23 M2 i sekundarnog monoimpulsnog motrilačkog radara RSM 970, koji su prije bili u operativnoj uporabi u HKZP-u, izraditi kabinetsku varijantu motrilačkog radara za potrebe provedbe laboratorijskih vježbi na stvarnom radarskom sustavu. Kroz realizaciju kabinetske varijante radara bilo je nužno provesti potrebne modifikacije na određenim radarskim podsustavima radi pojednostavljenja uporabe, tehničkog održavanja i provedbe laboratorijskih vježbi s raspoloživim i u budućnosti nabavljenim mjernim instrumentima i mjernom opremom, te radi stvaranja mogućnosti za buduću nadogradnju i modernizaciju s novim podsustavima. Pored provedbi laboratorijskih vježbi kabinetska varijanta radara omogućuje prikaz realnih signala na radarskom prijemniku PSR-a i primo-predajniku SSR-a što se može koristiti kao demo prikazi tijekom provedbe predavanja određenih tematskih cijelina iz navedenih predmeta ili u budućnosti dodatnom školovanju (obrazovanju). Na slici 2 prikazana je kabinetska varijanta radara.



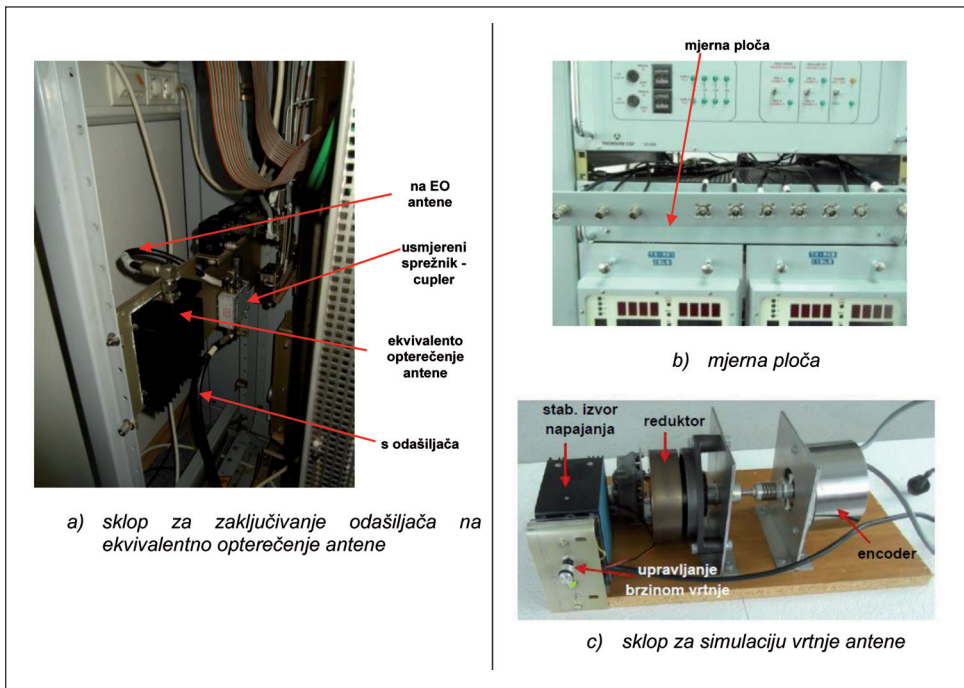
Slika 2. Kabinetska varijanta motrilačkog radara



Slika 3. Mikrovalne komponente za mjerenja



Slika 4. Pričuvni blokovi, sklopovi i TD za radarski sustav



Slika 5. Sklopovi izrađeni za potrebe kabinetske varijante radara

Do sada su realizirane četiri od sedam planiranih faza realizacije: 1. faza - nabava, transport i postavljanje radarskih podsustava i opreme u VF kabinet TVZ-a broj 1207; 2. faza - integracija radarskog prijemnika RR 800 LM i digitalne obrade radarskih signala TVD 900; 3. faza - integracija

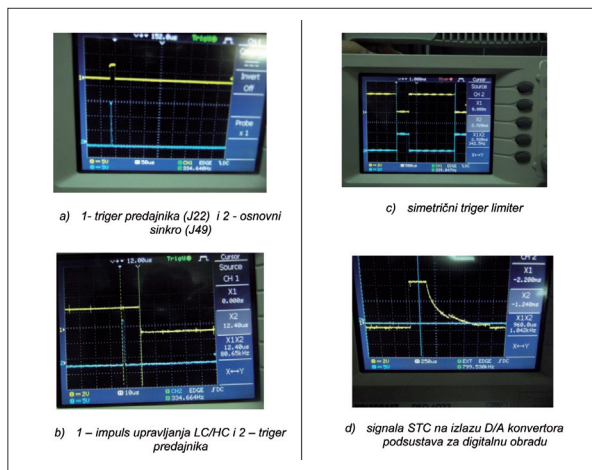
sekundarnog motrilačkog radara RMS 970 i 4. faza - integracija podsustava za prikaz radarskih podataka ING-1010R. Planiraju se još sljedeće faze: 5. faza - integracija ekstraktora ciljeva; 6. faza - izrada simulatora radarskog odašiljača za PSR i 7. faza - izrada simulatora radarskih ciljeva.

Na slici 3 prikazane su mikrovalne komponente, koje se koriste za mjerenja, a na slici 4 pričuveni blokovi i sklopovi i tehnička dokumentacija (TD) za radarski sustav.

Za mjerenje snage, radne frekvencije, frekvencijskog spektra, stvarnog izgleda i širine predajnih impulsa izrađen je sklop za zaključivanje odašiljača SSR-a na ekvivalentno opterećenje antene preko usmjerenog spreznika (coupler). Preko coupler-a oslabljeni za 20dB signal odašiljača vodi se na mjernu ploču, koja je posebno izrađena za kabinetsku varijantu radara. Na slici 5 prikazani su sklop za zaključivanje odašiljača na ekvivalentno opterećenje antene, mjerna ploča na kojoj su izvedeni svi najvažniji signali koji se mjere na SSR-u i sklop za simulaciju vrtnje antene kako bi se mogao prikazati prostor motrenja na radarskom pokazivaču u polarnom koordinatnom sustavu (prikaz daljine i azimuta ciljeva).

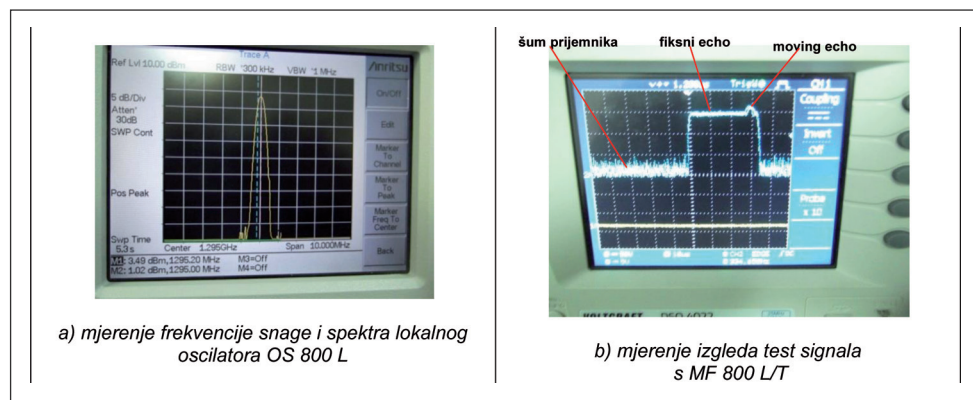
4. Mogućnosti mjerenja na kabinetskoj varijanti motrilačkog radara

Sadašnja izvedba kabinetske varijante PSR-a ima podsustav radarskog prijemnika i podsustav digitalne obrade radarskih signala. Podsustav prijemnika ima zajedničko ulazno VF pojačalo, lokalni oscilator, balansni mješač i međufrekvencijsko (MF) predpojačalo iza kojeg se MF signal vodi na kanal amplitudne i kanal fazne obrade signala (za selekciju pokretnih ciljeva iz primljenog eho signala). U kanalu za amplitudnu obradu MF signal se pojačava u logaritamskom MF pojačalu, detektira amplitudnim detektorom i nakon video pojačala odvodi u podsustav za digitalnu obradu signala. Kanal fazne obrade ima dva linearna MF pojačala (I i Q kanal) za kvadraturnu obradu signala i

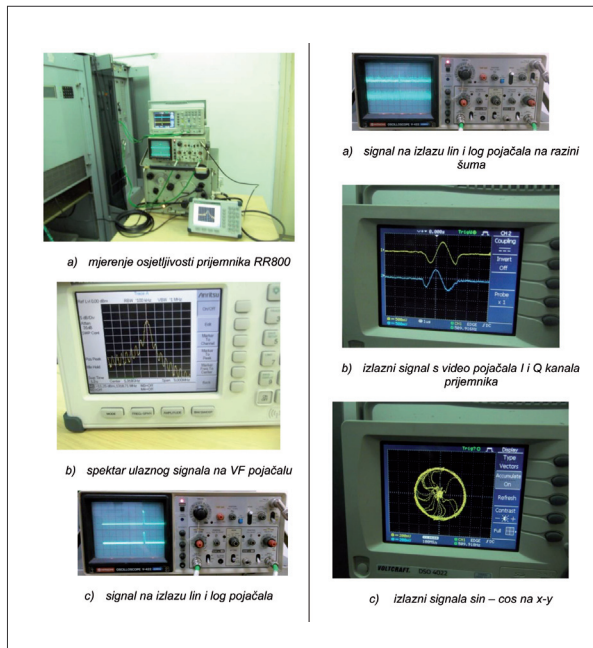


Slika 7. Mjerenja sinkro impulsa na TVD 900 i na mjernoj ploči prijemnika TB1404

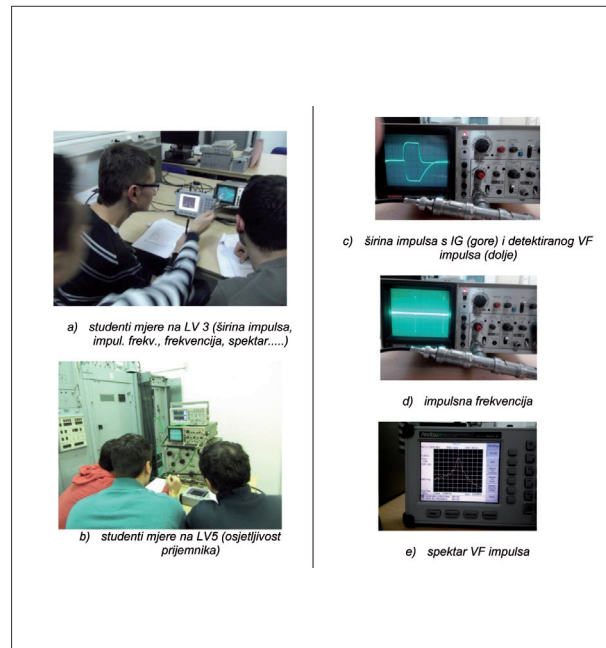
koherentni oscilator koji pamti fazu poslanog impulsa odašiljača u svakom impulsnom periodu. Fazna razlika između primljenog eho signala i faze signala odašiljača detektira se u faznim detektorima I i Q kanala prijemnika. Nakon video pojačala I i Q signali vode se na podsustav za digitalnu obradu video signala PSR-a. Digitalnom obradom poboljšava se detekcija ciljeva u prisutnosti fiksnih i pokretnih smetnji te izdvajanje stvarnih pokretnih ciljeva. Navedena zadaća se ostvaruje kroz: A/D konverziju sirovog radarskog video signala; MTD (moving target detection) filtriranje signala korištenjem većeg broja filtera za različite brzine smetnji i stvarnih ciljeva; CFAR (Constant-False-Alarm-Rate) detekcije prisutnosti; korelaciju i ekstartkciju ciljeva; video integraciju i generiranje signala adaptivnog STC-a (Sensitive time control) za upravljanje slabljenjem PIN atenuatora na ulazu u VF pojačalo. Osim navedenih funkcija podsustav za digitalnu obradu generira sinkro impulse koji služe za sinkronizaciju rada svih podsustava PSR-a.



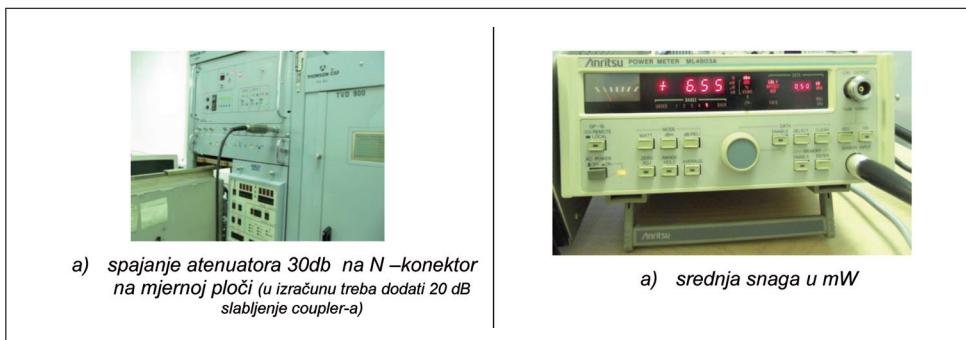
Slika 6. Mjerenja na lokalnom oscilatoru i mjerenja test signala



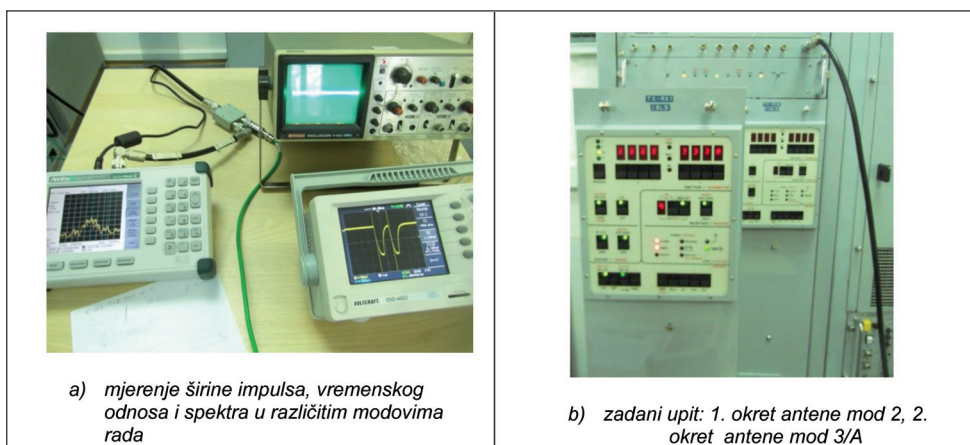
Slika 8. Mjerjenje osjetljivosti prijemnika i signala na izlazu I i Q signala



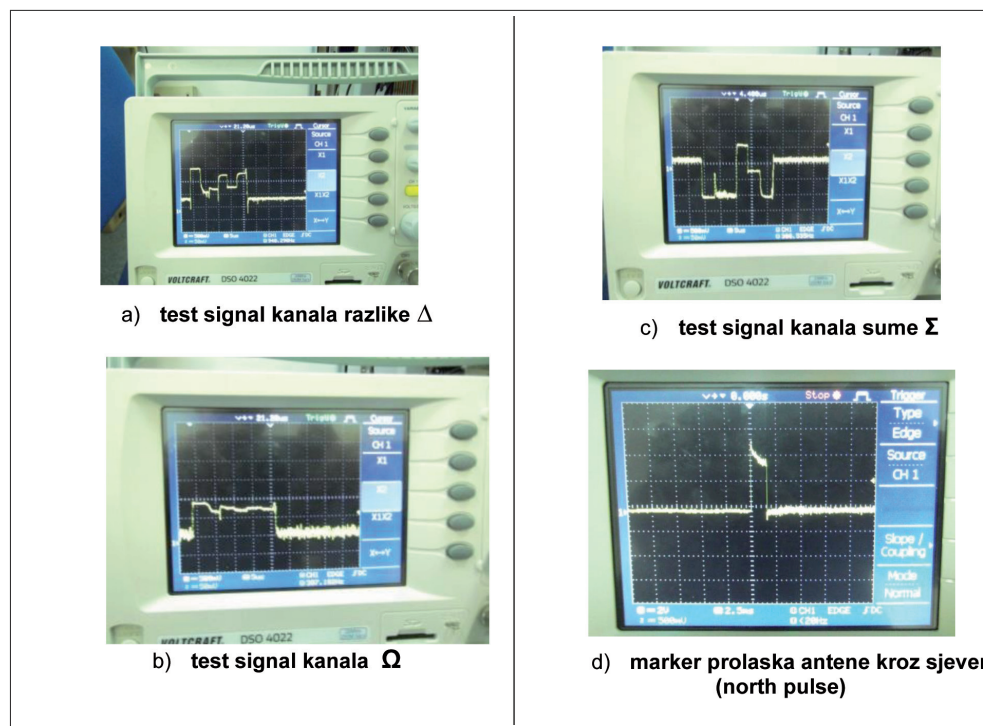
Slika 9. Studenti mjere na laboratorijskim vježbama u zimskom semestru 2013/14



Slika 10 Mjerjenje srednje snage odašiljača SSR-a



Slika 11. Mjerjenje širine impulsa, vremenskog rasporeda i frekvencijskog spektra impulsa za 3/A mod rada



Slika 12. Mjerenje test signala na prijemnicima SSR-a i markera prolaska antene kroz sjever

PSR u svom sastavu ima blok za generiranje fiksnog i pokretnog cilja na određenoj daljini, koji se dovodi na ulaz VF pojačala i služi za stalnu provjeru ispravnosti rada prijemnika i digitalne obrade, koja upravlja s radom test jedinice po unaprijem zadanim parametrima (samo fiksni cilj; fiksni i pokretni zajedno; pokretni; jedan ili 16 pokretnih ciljeva). Osim toga ima i blok test jedinice koja omogućuje: mjerenje koeficijenta šuma i propusnog područja prijemnika; mjerenje snage i stabilnosti frekvencije odašiljača.

Na PSR-u se mogu mjeriti i snimati: parametri svih impulsa za sinkronizaciju; sinali za upravljanje s STC-om; parametri signala lokalnog oscilatora; osjetljivost, dinamika, propusno područje i koeficijent šuma logaritamskog i linearnog prijemnika. Nakon izrade simulatora odašiljača bit će moguće mjeriti: frekvenciju; frekvencijski spektar; širinu VF impulsa simulatora odašiljača; impulsni period; područje rada podsustava za automatsku regulaciju frekvencije, faziranje koherentnog oscilatora i mjerenje Dopplerove frekvencije na I i Q kanalu prijemnika. Na slikama 6 do 9 su prikazana neka mjerenja i slike snimljenih signala na PSR-u.

SSR ima odašiljač (interogator) i monoimpulsni prijemnik tako da se mogu provesti mjerenja svih parametara odašiljača za različite modove rada i parametri radarskog prijemnika. Na slikama 10 do 12 su prikazana neka mjerenja i slike snimljenih signala na SSR-u.

5. Zaključak

Od profesionalnog i skupog motrilačkog radarskog sustava, koji je bio do konca 2012. godine u operativnoj uporabi u HKZP, uz provedbu određenih modifikacija usješno je izrađena kabinetska varijanta motrilačkog radara. Na kabinetskoj varijanti radara već je u zimskom semestru ak. 2013/14 sa studentima održano nekoliko laboratorijskih vježbi iz predmeta Radarski sklopovi i Radarski sustavi. Nakon realizacije preostale tri faze, koje su navedene u 2. točki ovog članka, proširiti će se mogućnosti za provedbu dodatnih laboratorijskih vježbi i stvoriti mogućnosti za dopunsko osposobljavanje osoblja koje već radi ili želi raditi na održavanju ili uporabi različitih radarskih sustava.

6. Preporučena literatura

- Tehnička dokumentacija za uporabu i održavanje PSR-a (LP 23M2)
- Tehnička dokumentacija za uporabu i održavanje SSR-a (RSM 970)

AUTOR



Mirko Jukl

Rođen je u Dolcima, općina Orahovica, Republika Hrvatska. Osnovnu školu završio je u Orahovici, a srednju elektro-tehničku u Osijeku. Diplomirao je 1980. godine na Tehničkoj vojnoj akademiji u Zagrebu i stekao zvanje diplomirani inženjer elektrotehnike za specijalističko područje vođenih raketnih sustava. U 1985. godine završio je poslijediplomski studij - specijalizaciju za radarsko-računarsku tehniku. Do domovinskog rata radio je na održavanju radarskih sustava u samovoznom raketnom sustavu za protuzračnu obranu KUB- M i u Centru vojnotehničkih škola u Zagrebu. Od 2013. godine umirovljeni je brigadir Oružanih snaga Republike Hrvatske (OS RH), koji je od početka Domovinskog rata (1991. godine) radio u različitim ustrojbenim cjelinama MORH-a vezanim za razvoj, praćenje proizvodnje i

ispitivanje borbenih i trenažnih raketnih i radarskih sustava, sredstava i opreme za potrebe opremanja OS RH. Navodimo samo neke projekte kao što su: razvoj i proizvodnja samovoznog raketnog sustava PZO S-10 CRO; razvoj radarskog daljinomjera za S-10 CRO; razvoj motrilačkog radara MAR M93. Bio je čelnik Povjerenstva za završna testiranja (SAT Site Acceptance test) američkog radarskog sustava «Enhanced Peregrine» iz projekta „MORE“ i čelnik Povjerenstva za završna testiranja američkog radarskog sustava FPS-117 iz projekta „NEBO“ (od 2003. do 2007. – izrada Programa SAT za svaku radarsku lokaciju, provedba testiranja i ocjena sustava). Od 2008. godine bio je voditelj Projektnog tima „NEBO“ i zamjenik voditelja Projektnog tima NATINADS (NATO Integrated Air Defense System), te član mnogih projektnih timova i stručnih skupina. Kao vanjski suradnik i predavač radi na TVZ-u od 1995. godine.