

UDK: 623.462: 623.466(047)=861  
COSATI: 16-04, 14-02, 17-07

# Analiza signala vođenja i upravljanja pri letnim ispitivanjima protivoklopne rakete

Dr Miodrag Kobilarev, dipl.inž.<sup>1)</sup>

Prikazan je proces letnih ispitivanja sistema protivoklopne rakete za male daljine. Letna ispitivanja lansiranjem rakete na nepokretni cilj su izvršena radi provere njenih spoljnobalističkih parametara, sistema vođenja i upravljanja i ostalih funkcija rakete pomoću ultrabrzih filmskih i TV kamera i digitalnog akvizicionog sistema.

*Glavne reči:* Vođena raketa, letna ispitivanja, slobodni žiroskop, sistem za upravljanje vektorom potiska, analiza signala.

## Korišćene oznake i simboli

$F$	– potisak
$U_{TB}$	– napon termalne baterije
$U_{SRM}$	– napon pripale startnog raketnog motora
$\varphi$	– ugaoni položaj rakete oko uzdužne ose
$\varphi_s$	– širina sektora komande
$\varphi_{sr}$	– sredina sektora komande
D	– signal ugaonog položaja sa žiroskopa
DAS	– digitalni akvizicioni sistem
GIK	– generator impulsne komande
IC	– infracrveni
K	– signal komande
MRM	– marševski raketni motor
ND	– nišanski durbin
POVR	– protivoklopna vođena raketa
SRM	– startni raketni motor
TB	– termalna baterija
TTK	– taktičko-tehničke karakteristike
TTZ	– taktičko-tehnički zahtevi
TV	– televizija
UBK	– ultrabrza kamera
UVL	– uređaj za vođenje i lansiranje
UVP	– upravljanje vektorom potiska
V	– signal vertikale sa žiroskopa
VR	– vođena raketa

## Uvod

LETNA ispitivanja sistema vođene rakete (VR) vrše se posle uspešnih "off-line" simulacija, laboratorijskih i statičkih ispitivanja. Letna ispitivanja su najsloženija, sveobuhvatna, najznačajnija i najskuplja, ali jedina omogućuju proveru funkcija VR u projektovanim ambijentnim i taktičkim uslovima radi verifikacije postavljenih taktičko-tehničkih zahteva (TTZ) i donošenja odluke o sudbini programa razvoja.

Program i cena letnih ispitivanja zavise od cilja i obima ispitivanja. Zato je dobro planiranje i izvršenje ovih ispitivanja ključno za uspešan završetak programa razvoja sistema VR. Planiranje obuhvata: detaljan plan ispitivanja, broj potrebnih opita, cenu svakog opita i raspoloživost

poligona.

Nekada su se skoro sva ispitivanja sistema VR svodila na letna ispitivanja, mada se mnogo više dragocenih podataka i rezultata merenja moglo da dobije parcijalnim ispitivanjima podsistema VR. Ovo je bila posledica neiskustva i nepoznavanja sistema VR, nedovoljnih i neadekvatnih laboratorijskih kapaciteta, nedostatka brzih računara za potrebe simulacija i neiskustva u organizovanju i sprovođenju opitno-eksperimentalne delatnosti u oblasti statičkih ispitivanja.

Danas je situacija drugačija. Letna ispitivanja kao završna, služe za verifikaciju taktičko-tehničkih karakteristika (TTK) sistema i kruna su:

-Ispitivanja simulacijom u kojima računar izvršava operacije u zatvorenoj petlji vođenja sistema VR, bilo da se radi o simulaciji leta (putanje), lansiranja, HIL (Hardware In the Loop) simulaciji, emulaciji i dejstva na cilj.

-Laboratorijskih i statičkih ispitivanja u kojima su prethodno identifikovane i verifikovane karakteristike i performanse pojedinih podsistema VR.

Obim ispitivanja je danas, takođe, značajno proširen i obuhvata:

1. Letna ispitivanja u fazi lansiranja rakete kada se proveravaju: sekvenca lansiranja, dejstvo plamena i pritiska produkata sagorevanja raketnih motora na lanser ili strelca i početni letni parametri rakete, a to su: položaj rakete posle lansiranja, brzina, ugaona brzina itd. Za ova ispitivanja nisu potrebni svi podsistemi rakete.
2. Letna ispitivanja kojima se lansiranjem raketa identifikuju TTK i proveravaju postavljeni TTZ sistemu VR, uključujući i dejstvo rakete na cilju.
3. Letna ispitivanja sa kompletnim vođenjem kojima se raketa navodi na pokretni, daljinski vođeni, cilj bez posade, radi verifikacije TTK sistema VR u taktičkim i ambijentalnim uslovima što vernijim onima na ratištu.
4. Ispitivanja VR u vezanom letu kada se raketa ne lansira, ali se proveravaju sve funkcije lansera i rakete pre i u fazi lansiranja, zahvata i praćenja cilja.

Obim i program ispitivanja zavise od složenosti sistema taktičke VR, koja zavisi od daljine, brzine, zaštite i mane-

<sup>1)</sup> Vojnotehnički institut VJ, 11000 Beograd, Katanićeva 15.

varskih sposobnosti cilja, sistema vođenja i upravljanja, manevarskih sposobnosti rakete i promene ambijentalnih uslova u toku misije. Zato su najsloženiji sistemi vođenih raketa vazduh-vazduh, a najjednostavniji sistemi protivoklopnih vođenih raketa (POVR).

Za prikupljanje i registraciju podataka u toku letnih ispitivanja koriste se:

1. Teodoliti za snimanje putanje leta rakete i izračunavanje aksijalne brzine i ubrzanja, kao i bočnog ubrzanja rakete kao odziva na zadatu komandu.
2. Dopler radari za merenje brzine i ubrzanja.
3. Digitalni akvizicioni sistemi (DAS) koji se direktno priključuju na merna mesta u lanseru ili komunikacioni kanal lanser-raketa gde su merni signali dostupni.
4. Telemetarski predajnici koji snimaju signale na raketi u toku leta i šalju baznom akvizicionom sistemu na zemlji.
5. "Crna kutija" DAS koji snima signale na raketi u toku leta, iz koje se posle pada rakete, podaci očitaju a zatim obrađuju.
6. Ultrabrzne kamere i brza TV, kojima se prate lansiranje i let rakete. Na snimcima se može da proveriti da li su neke operacije pravilno urađene, kao i da se odredi vreme njihovog trajanja i karakteristične dužine i uglovi.

Na ovom mestu su prikazana letna ispitivanja sistema POVR, čiji je kratak opis dat u nastavku rada.

### Opis sistema protivoklopne rakete

Sistem vođenja POVR je poluautomatski, komandni. Raketa leti po putanji koju definiše strelac, nišaneći na cilj kroz durbin čiju osu strelac drži na silueti cilja pomoću krsta končanice.

Optički koordinatork meri odstupanje rakete od nišanske linije na osnovu položaja trasera koji se nalazi u krilnom odseku rakete i zrači ka koordinatork. Nišanski durbin (ND) i koordinatork rakete nalaze se na bliskom rastojanju u kućištu UVL, a optičke ose su im paralelne. Zato se nišanske linije definisane tačkama: krst končanice ND-cilj i centar slike CCD senzora-cilj, praktično poklapaju. U slici CCD senzora u koordinatork, raketa se vidi kao svetla mrlja, lik trasera, čije rastojanje od centra slike, cilja, treba minimizirati. Računar u IC koordinatork digitalizuje sliku CCD senzora, određuje položaj lika trasera i računa komande u funkciji rastojanja lika trasera od centra slike CCD senzora, [1]. Ove se komande prvo koriguju u uskladniku, a zatim ih generator impulsne komande (GIK) pretvara u povorku širinski modulisanih impulsa, [2,3], i preko komunikacionog kanala, mikrokabla, šalje ka raketi.

Upravljački sistem na raketi, snažni sistem za upravljanje vektorom potiska (UVP), [4,5], izvršava primljene komande i usmerava raketu ka željenoj putanji.

Odsek MRM čine: MRM, sistem za UVP i kapotaž za vezu sa odsekom bojeve glave.

Letna ispitivanja prikazanog sistema POVR su izvršena lansiranjem rakete na nepokretan cilj.

### Letna ispitivanja sistema POVR

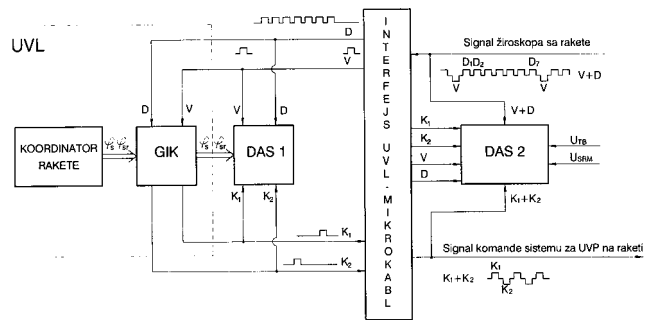
Letna ispitivanja sistema POVR su složena i obuhvataju:

- merenje spoljnobalističkih parametara rakete: putanje, brzine, aksijalnog i bočnog ubrzanja,
- proveru sistema vođenja i upravljanja raketom,
- proveru funkcija osiguravajuće-armirajućeg mehanizma i dejstva bojeve glave na cilj,

– proveru ostalih elemenata rakete i UVL.

Cilj letnih ispitivanja, prikazanih u ovom radu, je bio:

Provera sistema vođenja i upravljanja PO raketom primenom DAS, priključenih preko konektora na merna mesta u UVL i komunikacioni kanal UVL - raketa, sl.1.



Slika 1. Blok šema merenja

U cilju provere sistema vođenja i upravljanja raketom, digitalni akvizicioni sistem DAS 1 je bio priključen na ulaze i izlaze generatora impulsne komande (GIK) gde su snimljeni signali dati u tabeli 1, a DAS 2 na komunikacioni kanal UVL - raketa, izlaz TB i pripalu SRM, kao u tabeli 2.

Tabela 1. Signali koje registruje DAS 1

Na ulazu u GIK			
Redni broj	Naziv	Iz	Oznaka
1	Širina sektora komande 16-o bitna reč	računara koordinatork	$\phi_s$
2	Sredina sektora komande 16-o bitna reč	računara koordinatork	$\phi_r$
3	Signal "vertikale" rakete	komunikacionog kanala UVL-raketa	V
4	Signal na svakih 45° ugaonog položaja rakete	komunikacionog kanala UVL-raketa	D
Na izlazu iz GIK-a			
Redni broj	Naziv	Ka	Oznaka
5	Komandni signal za prvi par interceptora sistema za UVP	komunikacionom kanalu UVL-raketa	K <sub>1</sub>
6	Komandni signal za drugi par interceptora sistema za UVP	komunikacionom kanalu UVL-raketa	K <sub>2</sub>

Tabela 2. Signali koje registruje DAS 2

Na ulazu u komunikacioni kanal ka UVL			
Redni broj	Naziv	Iz	Oznaka
1	Bipolarni signal žiroskopa	žiroskopa	V+D
2	Unipolarni signal "vertikale"	interfejsa UVL-raketa	V
3	Unipolarni signal na svakih 45° ugaonog položaja rakete	interfejsa UVL-raketa	D
Na izlazu iz komunikacionog kanala ka raketi			
Redni broj	Naziv	Ka	Oznaka
4	Pozitivni komandni signal za prvi par interceptora	interfejsu UVL-raketa	K <sub>1</sub>
5	Pozitivni komandni signal za drugi par interceptora	interfejsu UVL-raketa	K <sub>2</sub>
6	Bipolarni komandni signal	sistemu za UVP na raketi	K <sub>1</sub> +K <sub>2</sub>
Ostali signali			
Redni broj	Naziv		Oznaka

7	Napon termalne baterije	$U_{TB}$
8	Napon pripale SRM	$U_{SRM}$

Koordinator rakete određuje položaj trasa u odnosu na centar slike (cilj) CCD senzora i svakih 40ms računa nove komande i u obliku dve 16-bitne reči šalje na ulaz GIK-a, sl.2, koji zadate komande generiše u obliku širinski moduliranih impulsa. Pošto je sistem za upravljanje na raketi snažni sistem za UVP, [4,5], izlaz koordinatora su zadate komande izražene u polarnim koordinatama  $\varphi_s$  i  $\varphi_{sr}$ . Intenzitet ili moduo komande se izražava preko širine sektora  $\varphi_s$  (ugao od  $0^0$  do  $180^0$ ) u prvom 16-bitnoj reči, a pravac i smer komande izražen preko ugla  $\varphi_{sr}$ , simetrale sektora  $\varphi_s$  u kome je jedan od dva para interceptora sistema za UVP uključen, je u drugom 16-bitnoj reči.

GIK na osnovu zahtevanih komandi  $\varphi_s$  i  $\varphi_{sr}$  i ugaonog položaja rakete  $\varphi$  izmerenog slobodnim žiroskopom, generiše signale komandi  $K_1$  i  $K_2$  u obliku pozitivnih impulsa, sl.2. U interfejsu UVL - raketa generiše se bipolarni signal komande  $K_1+K_2$  i preko mikrokabla šalje sistemu za UVP na raketi, sl.2. Prednjom ivicom ovih impulsa interceptori sistema za UVP se uključuju, a zadnjom ivicom isključuju. Pozitivni impulsi  $K_1$  bipolarnne komande upravljaju radom prvog, a negativni impulsi  $K_2$  radom drugog para interceptora sistema za UVP.

Slobodnim žiroskopom se meri ugaoni položaj rakete koja rotira u toku leta, a zaleće se i odbravljuje pre lansiranja rakete pamteći pravac vertikalne zemlja-nebo u smeru zemlje. Signal žiroskopa V+D je bipolarn: pozitivni impulsi D se generišu na svakih  $45^0$  ugaonog položaja rakete, a negativan impuls V odgovara "vertikali" u smeru zemlje, sl.2. U interfejsu UVL - raketa od bioplarnog signala V+D se generišu odvojeno pozitivni signali "vertikale" V i ugaonog položaja D, koji zasebno ulaze u GIK, [2,3], sl.1.

Na ovaj način DAS 1 nadgleda rad GIK-a, koordinatora i žiroskopa, a DAS 2 interfejsa UVL-raketa, napon termalne baterije za napajanje rakete električnom energijom, pripaljanje SRM i deo hardvera UVL, jer signale V, D,  $K_1$  i  $K_2$  snima na drugim mernim mestima u odnosu na DAS 1, sl.1.

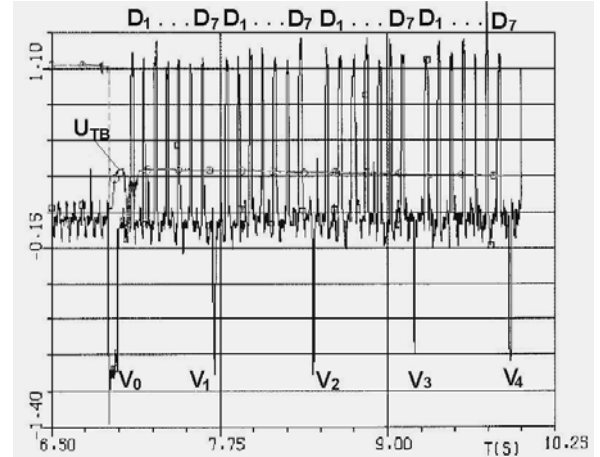
Odziv sistema za UVP na komandni signal  $K_1+K_2$  snimljen je ultrabrzom kamerom (UBK), smeštenom iza rakete, kojom se raketa zumira u toku leta ka cilju. Izduvni mlazovi MRM se na snimcima ne vide kada sistem za UVP ne izvršava komande. Kada su interceptori uključeni, mlazovi MRM su svetli i na filmu jasno vidljivi, pa se na ovaj način čak može proveriti i koeficijent izvršene komande, [2].

Na sl.2a je prikazan bipolarni signal žiroskopa V+D, gde su sa  $V_0, V_1, V_2$  itd. prikazane "vertikale" rakete od kada je termalna baterija izašla na radni režim,  $U_{TB}$  na sl.2a, pa redom za svaki obrtaj rakete. Na istoj slici su sa  $D_1-D_7$  obeleženi ugaoni položaji rakete na svakih  $45^0$  između dve "vertikale" rakete.

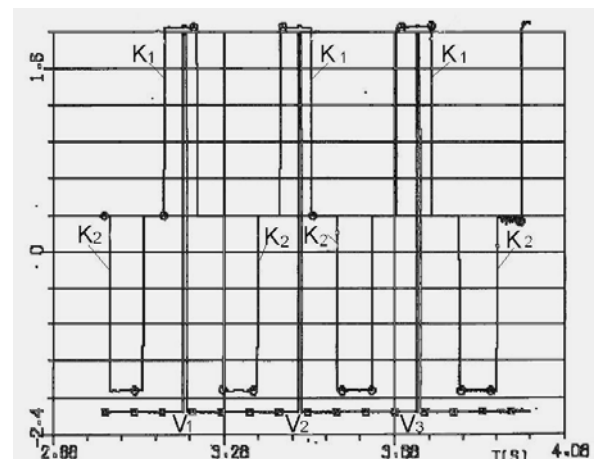
Na sl.2b je prikazan bipolarni signal  $K_1+K_2$  koji se kroz mikrokabl šalje sistemu za UVP na raketi. Komanda je "na gore" pa su zato signali  $K_1$  zadati oko "vertikale" za  $0^0$  u smeru zemlje prvom paru interceptora, a signali  $K_2$  oko  $V+180^0$  takođe u smeru zemlje drugom paru interceptora sistema za UVP. Signali komandi  $K_1$  i  $K_2$  su zadati sa prednjačenjem od 7ms da bi se kompenzovalo kašnjenje sistema za UVP pri izvršenju komandi, [4,5]. Na sl.2b su sa

V označene "vertikale" rakete izmerene sistemom DAS 2.

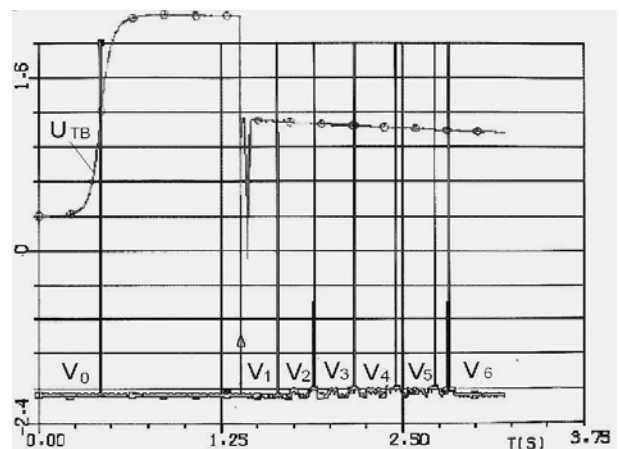
Na sl.2c je prikazan izlazak na radni režim napona termalne baterije  $U_{TB}$  i početak rada žiroskopa, koji se zaleteo, odbravio, i počeo da generiše prvu "vertikalnu" rakete u lansirnoj cevi  $V_0$ , kada je dobio potreban električni napon od TB, a zatim i ostale "vertikale" kada raketa započne da rotira, pošto se SRM pripali.



a)



b)

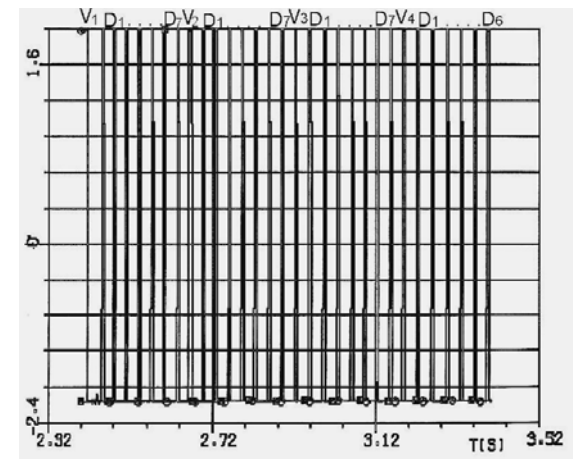


c)

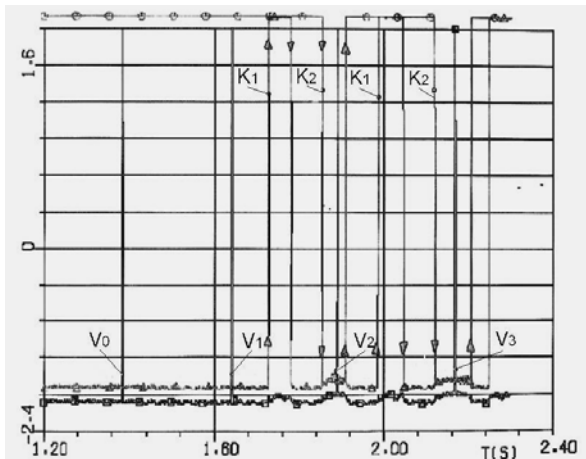
Slika 2. Izmereni signali (DAS 2): a) bipolarni signal žiroskopa V+D; b) bipolarni signal komande  $K_1+K_2$  "na gore"; c) napon TB

Na sl.3a su prikazani unipolarni signali V i D na ulazu u

GIK, a na sl.3b su prikazani unipolarni signali komandi  $K_1$  i  $K_2$  "na gore", i signali "vertikale", slično kao na sl.2b, ali izmereni sistemom DAS 1 na izlazu iz GIK-a.



a)



b)

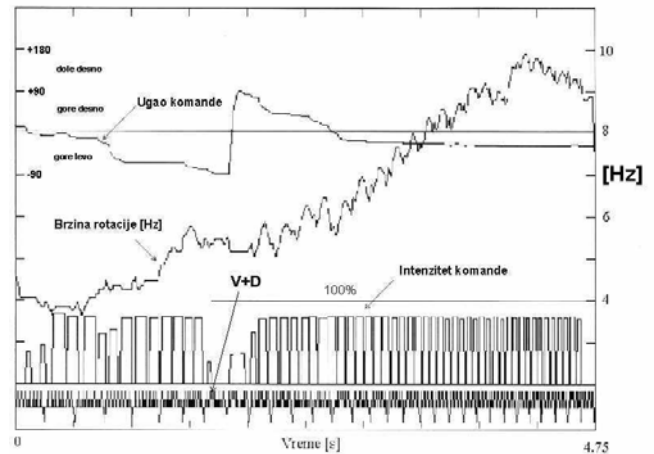
Slika 3. Izmereni signali (DAS 1): a) signal vertikale V i položaja D; b) signali komandi  $K_1$  i  $K_2$  "na gore" i vertikale V

Na sl.4 su prikazani obrađeni rezultati letnih ispitivanja sistema POVR. Signal V+D, kao i na sl.2a, određuje ugao položaja rakete oko uzdužne ose  $\varphi$ . On je poslužio da se izračuna promena rotacije rakete oko podužne ose u funkciji vremena na sl.4, kao  $f = \frac{1}{T}$  [Hz], gde je T vreme između sukcesivnih impulsa V i D izraženo u [s].

Iz izmerenih signala komandi  $K_1$  i  $K_2$  na izlazu iz GIK-a i interfejsa UVL - raketa, sl.3b odnosno sl.2b, izračunat je intenzitet i ugao komande na sl.4. Intenzitet komande je proporcionalan širini sektora  $\varphi_s = \varphi_2 - \varphi_1$ , a ugao komande sredini sektora  $\varphi_{sr} = \frac{\varphi_s}{2}$  u kome je sistem za UVP uključen,

gde su  $\varphi_1$  odnosno  $\varphi_2$  ugaoni položaji rakete pri kojima se interceptori sistema za UVP uključuju odnosno isključuju, [2]. Uglovi  $\varphi_1$  odgovaraju prednjim ivicama, a uglovi  $\varphi_2$  zadnjim ivicama signala komandi sa sl.3b i sl.2b. Intenzitet

komande 100% je za  $\varphi_s = \pi$ .



Slika 4. Rezultati letnih ispitivanja sistema POVR

Analizom filmskog materijala UBK i video traka brze TV je izvršena provera izvršenja svake zadate komande u toku leta rakete.

### Zaključak

Letna ispitivanja prikazanog sistema POVR su izvršena lansiranjem rakete na nepokretni cilj, u cilju provere sistema vođenja i upravljanja raketom primenom DAS, priključenih preko konektora na merna mesta u UVL i komunikacioni kanal UVL-raketa.

DAS1 je nadgledao rad GIK-a, koordinatora rakete i žiroskopa, a DAS 2 interfejsa UVL-raketa, napona TB, pripaljivanje SRM i deo hardvera UVL. Na osnovu izmerenog signala žiroskopa izračunata je brzina rotacije rakete u funkciji vremena leta. Moduo, pravac i smer zadatih komandi je izračunat iz zadatih signala komande na izlazu iz GIK-a, a provera izvršenih komandi je urađena analizom filmskog materijala UBK.

### Literatura

- [1] KOBILAREV,M., LAZIĆ,R., NIKITVIĆ,B. Prikaz algoritma za određivanje položaja trasera i zaštiti lokatora od ometanja, *Naučnotehnički pregled*, 1995, vol.45, no.1-2, p.50-56.
- [2] KOBILAREV,M., LAZIĆ,R. Prilog upravljanju protivoklopnim raketama, *Naučnotehnički pregled*, 1998, vol. 48, no.1, p.17-23.
- [3] KOBILAREV,M. Realizacija i ispitivanje generatora impulsne komande protivoklopne rakete, *Naučnotehnički pregled*, 2000, vol.50, no.4-5, p.112-117.
- [4] KOBILAREV,M., BJELOGRLIĆ,Z. Identifikacija parametara snažnog sistema za upravljanje vektorom potiska protivoklopne rakete, *Naučnotehnički pregled*, 1999, vol. 49, no.4, p.3-7.
- [5] KOBILAREV,M. Dinamička analiza snažnog sistema za upravljanje vektorom potiska protivoklopne rakete, *Naučnotehnički pregled*, 2000, vol.50, no.6, p.5-11.

Rad primljen: 9.1.2001.god.

