

**Zoran Filipović,**  
pukovnik, dipl. inž.  
**Maja Marković,**  
dipl. inž.  
**Milorad Pavlović,**  
potporučnik, dipl. inž.  
Vazduhoplovni opitni centar,  
Batajnica

## OSNOVNE PERFORMANSE PCM/FM TELEMETRIJSKIH SISTEMA ZA MERENJE PARAMETARA VAZDUHOPLOVA I FIZIOLOŠKIH KARAKTERISTIKA PILOTA\*

UDC: 621.398 : [623.746 : 358.432-55]

### Rezime:

*U radu su prezentirane osnovne performanse PCM/FM telemetrijskih sistema koji se koriste za merenje fizičkih veličina letelice i fizioloških karakteristika pilota. Sistem se sastoji od mernog podsistema koji se integriše na vazduhoplovu i kompatibilnog zemaljskog prijemnog podsistema čija je osnovna funkcija obezbeđenje prijema i obrade mernih parametara u realnom vremenu ispitivanja, kao i detaljne posleletne analize izmerenih veličina.*

*Ključne reči: PCM/FM telemetrijski sistem, merenje fizičkih veličina vazduhoplova, fiziološke karakteristike pilota.*

---

## MAIN PERFORMANCES OF PCM/FM TELEMETRY SYSTEMS FOR MEASURING AIRCRAFT PARAMETERS AND PILOT'S PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS

### Summary:

*This paper describes an overall system design and performance characteristics of a PCM/FM telemetry system for measuring aircraft parameters and pilot's physiological characteristics. The system includes both an airborne data acquisition part and a ground telemetry system for real time data processing, test control, and a data processing system for post-flight analyses.*

*Key words: PCM/FM telemetry system, measurement of aircraft parameters, pilot's physiological characteristics.*

---

### Uvod

Jedna od osnovnih karakteristika savremenih vojnih aviona je njihova opremljenost sa multipleksnom serijskom magistralom podataka. Povezivanje senzora, sistema i podsistema posredstvom ove tehnologije, omogućilo je veliki stepen automatizacije razmene informacija, upravljanja i prikazivanja, čime je po-

stignuto znatno psihofizičko rasterećenje pilota. Ispitivanje manevarskih sposobnosti i pouzdanosti ovako složenih elektronskih sistema savremenih prototipova, veoma je kompleksan i višegodišnji proces. Prototipovi letelica (aviona ili projektila) se opremaju specijalnom ispitnomernom opremom (akviziciona oprema) pomoću koje se obavljaju merenja relevantnih parametara u različitim fazama opitnih letova. Savremena ispitivanja letelica zahtevaju merenje i obradu velikog

\* Rad je saopšten na naučno-stručnom skupu TOC KoV „Ispitivanje kvaliteta sredstava NVO“, 2. decembra 2003. u Beogradu.

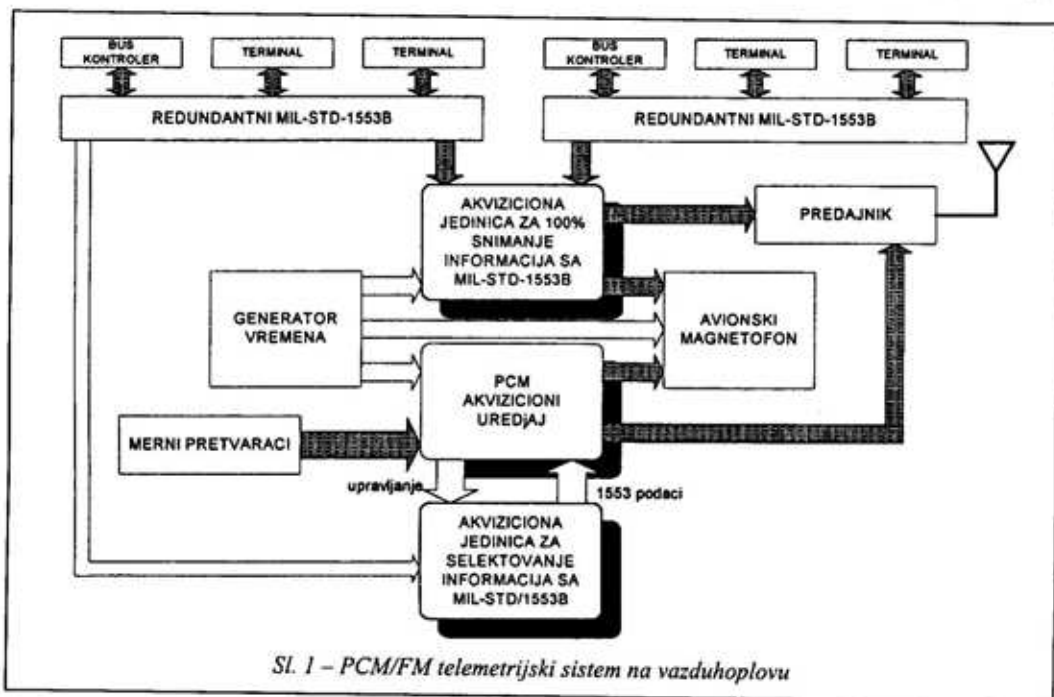
broja električnih i neelektričnih veličina. Merne fizičke veličine u ispitivanjima vazduhoplova u letu imaju veoma različitu širinu frekvencijskog spektra, počevši od dela Hz do desetine Hz, pa čak stotine kHz. Prenos izmerenih veličina sa letelice do prijemne stanice na zemlji vrši se PCM/FM (Pulse Code Modulation / Frequency Modulation) telemetrijskim multikanalnim akvizicionim sistemima.

Ovim telemetrijskim sistemom moguće je i ispitivanje fizioloških karakteristika pilota. Korišćenjem odgovarajućih biomedicinskih senzora i pretvarača mogu se dobiti informacije o radu srca, mišića, krvnom pritisku, temperaturi, stepenu „suženja“ vida (usled G opterećenja) pilota (odnosno kopilota), itd. Analogni izlazi biomedicinskih davača se digitalizuju i „utiskuju“, zajedno sa parametrima vazduhoplova, u PCM niz. Ovi podaci mogu se već u vazduhoplovu, memo-

risati na odgovarajućim magnetnim medijumima, ali se mogu i pratiti u realnom vremenu. Upravo zbog mogućnosti praćenja i fizioloških karakteristika pilota u toku leta, a ne samo vazduhoplova ili opreme, sam tok ispitivanja dobija veći stepen kvaliteta i sigurnosti.

### Arhitektura telemetrijskog PCM/FM sistema

PCM/FM telemetrijski sistemi sastoji se iz avionskog i zemaljskog podsistema. U avionskom podsistemu se pomoću većeg broja mernih pretvarača vrši konverzija neelektričnih veličina (koje se mere) u odgovarajuće električne signale, koji se zatim multipleksiraju i digitalizuju (PCM), a zatim se preko jednog ili više predajnika šalju ka zemaljskoj prijemnoj stanici (stacionarnoj ili mobilnoj – u zavisnosti od toga gde se vrše ispitivanja).



Sl. 1 – PCM/FM telemetrijski sistem na vazduhoplovu

Stacionarna i/ili mobilna prijemna stanica, pomoću dvoosne ili jednoosne parabolične antene velikog pojačanja, „prihvataju“ veoma slabe signale sa letelice i vrše obradu (u smislu inverznog procesa od onog koji se obavlja u avionskom podsistemu) i memorisanje primljenih signala.

Obrada mernih signala u realnom vremenu (real time data processing) i post-operacionalna obrada mernih parametara (post-operational data processing) predstavljaju dva osnovna režima rada telemetrijskog sistema. Obradom mernih signala u realnom vremenu dobija se uvid u merne parametre sa dovoljno malim vremenom kašnjenja od trenutka njihovog događanja. Post-operacionalna obrada mernih parametara podrazumeva njihovu detaljnu analizu (rekonstrukcija leta, najbolja procena trajektorije letelice, korelisanje svih relevantnih događaja tokom eksperimenta, pronalaženje svih neregularnosti tokom testiranja, komparacija dobijenih realnih parametara sa podacima simuliranim u različitim fazama razvoja letelice) [1].

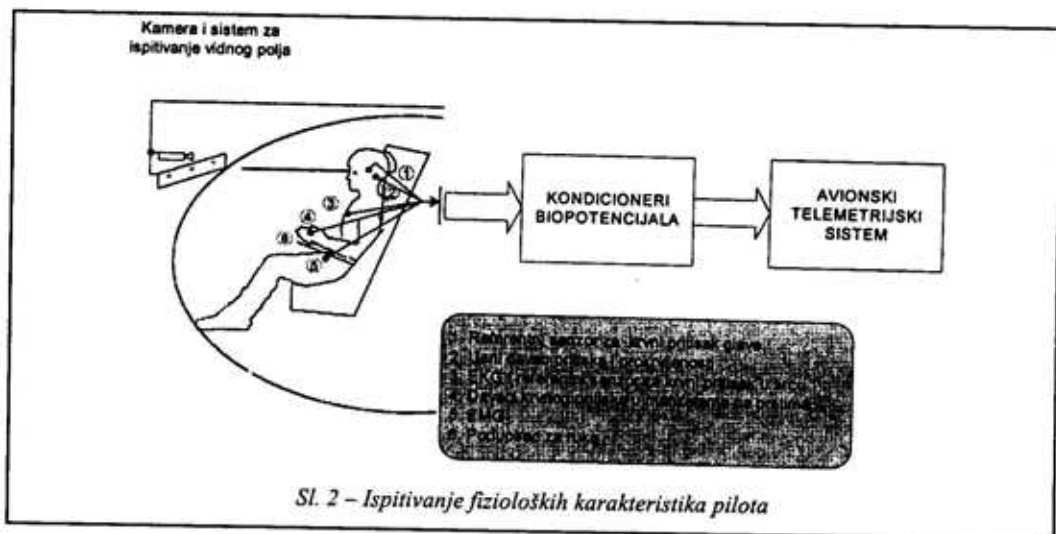
### Avionski podsistem

Na slici 1 prikazana je arhitektura avionskog dela PCM/FM telemetrijskog sistema. Integracija kompletne elektronske opreme na letelicama vrši se putem više redundantnih magistrala podataka MIL-STD-1553B (Aircraft Internal Time Division Command/Response Multiplex Data Bus specification). To je standard koji obezbeđuje maksimalnu pouzdanost razmene informacija između pojedinih elektronskih sistema i podsistema, sa brzinom prenosa podataka od 1 Mbit/s.

Avionski merni podsistem sastoji se od PCM enkodera (3,2 Mbita/s) koji omogućuje akviziciju podataka sa mernih pretvarača, pojedinih sistema samog vazduhoplova i transmisionog dela, kojim se ostvaruje prenos podataka do zemaljskog telemetrijskog podsistema. Da bi se došlo do tačnih informacija o pouzdanosti rada pojedinih komponenti integrisanog elektronskog sistema na vazduhoplovima koji su međusobno povezani magistralama podataka MIL-STD-1553B, neophodno je snimiti podatke sa njih u različitim evolucijama vazduhoplova i naknadno vršiti njihovu analizu. Ovakva ispitivanja obavljaju se direktnim instaliranjem specijalnih ispitnih uređaja za monitoring protoka informacija na magistralama. Oni nemaju mogućnost bilo kakve komunikacije sa centralnim računarom i sa ostalim sistemima na magistrali. Na osnovu IRIG (Inter Range Instrumentation Group) 106-99 standarda (Chapter 8 MIL-STD-1553 ACQUISTION FORMATTING STANDARD), postoje dva načina za akviziciju parametara sa magistrala podataka avionskog integrisanog elektronskog sistema:

– akvizicija svih podataka sa bus-a (100% full traffic bus) pomoću posebnog uređaja (Bus Data Collector), a zatim se vrši njihova konverzija u PCM format definisan po IRIG standardu;

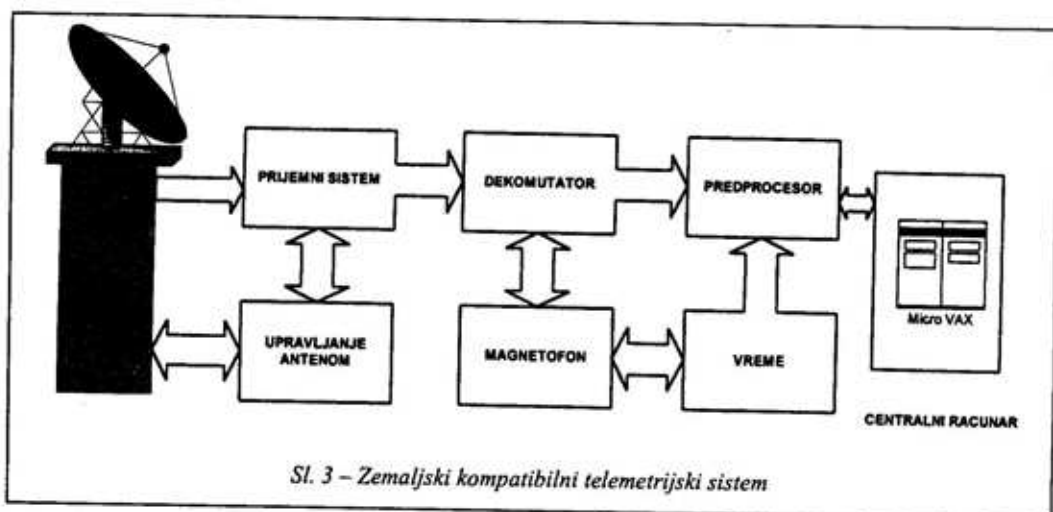
– akvizicija određenog broja parametara sa bus-a u vidu formata od 1 do 1024 reči/s. Ovu funkciju selektiranja određenog broja reči obavlja poseban uređaj (Data Selector Unit), koji vrši konverziju reči i njihovo insertiranje u generalni PCM format, koji nosi informaciju o svim mernim parametrima na



prototipu letelice. Podaci se uzimaju sa jednog od redundantnih bus-ova, a ne simultano; drugim rečima, samo je jedan bus aktivan u svakom trenutku [2].

Transmisioni podsistem se sastoji od predajnika telemetrijskog (PCM) signala i nekoliko antena. Predajnici rade u opsegu od 1435 MHz do 1545,5 MHz (L-opseg) i imaju dva izlaza različitih snaga (1 W i 10 W). Tipična konfiguracija sastoji se od dve antene, od kojih se jedna antena ugrađuje na gornju stranu

trupa (na nju se vodi izlaz predajnika od 1 W), a druga na donju stranu trupa (10 W) vazduhoplova, tako da prijemni antenski sistem za automatsko praćenje u zemaljskoj telemetrijskoj stanici uvek prima signal sa bar jedne predajne antene. Međutim, mora se voditi računa o tome da je izbor lokacija predajnih antena na letelici takav da je obezbeden siguran i neprekidan prenos mernih podataka bez menjanja aerodinamičkih karakteristika letelice [3].



## Avionski biomedicinski podsistem

Radi ispitivanja fizioloških karakteristika pilota (posebno uticaj G opterećenja) moguće je vršiti merenja pomoću biomedicinskih senzora čiji su analogni izlazni signali veoma malog naponskog nivoa (reda  $\mu\text{V}$ ). Tako mali naponskinivoi najpre se kondicioniraju (pojačavaju, filtriraju, multipleksiraju i A/D konvertuju) u posebno dizajniranom signal-kondicioneru (kondicioner biopotencijala), da bi se, zatim, takav signal insertirao u PCM kompozitni signal koji sadrži informaciju o svim mernim veličinama na vazduhoplovu. Nakon toga se signali prenose predajnim delom avionskog telemetrijskog podsistema do zemaljske prijemne stanice, što omogućava posmatranje fizioloških karakteristika pilota u realnom vremenu. Na slici 2 prikazana je principijelna šema opisanog podsistema.

Pilot borbenog aviona često je izložen velikom opterećenju (naročito u pravcu z-ose -  $G_z$ ) čiji se uticaj ublažava pomoću anti-G-odela. Tokom leta dolazi do tzv. „push-pull“ efekta koji nastaje kao posledica čestog prelaza iz negativnog opterećenja u pozitivno opterećenje (od  $-3G$  do  $+7G$ ). Uočeno je da ovakvi manevri mogu prouzrokovati udes aviona jer dovode do gubitka svesti pilota zbog smanjenja krvnog pritiska u glavi.

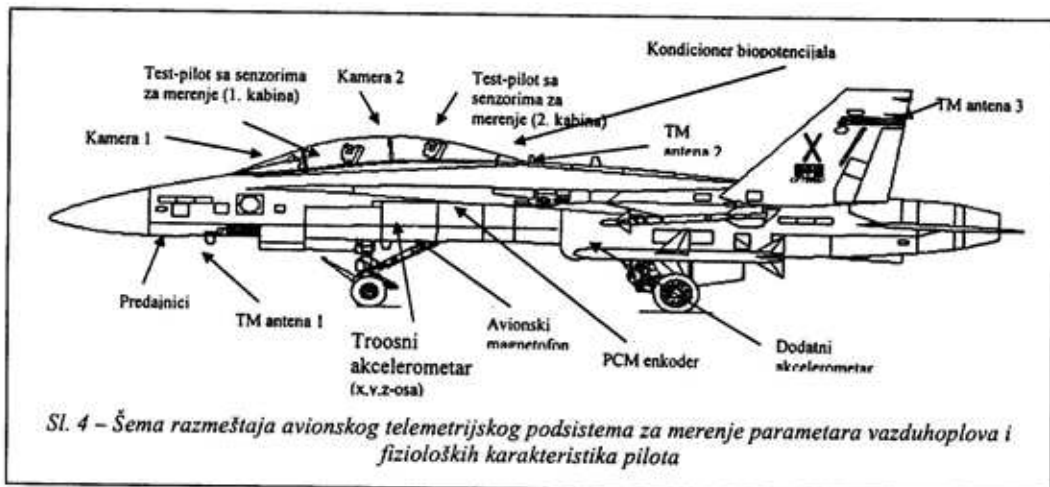
Biomedicinska merenja najčešće zahtevaju postavljanje odgovarajućih senzora na grudi (EKG – elektro-kardiogram), stomak i noge (EMG – elektromiogram), glavu i prste (merenje arterijskog krvnog pritiska) test-pilota (kopilo-

ta). Za ispitivanje se koristi i kolor videokamera kojom se snimaju pokreti očiju i mimika test-subjekta. Ovaj video signal takođe se preko predajnika video signala može u realnom vremenu slati ka prijemnoj telemetrijskoj stanici [5].

## Prijemni podsistem PCM/FM sistema

Na slici 3 prikazan je uprošćeni blok-dijagram prijemnog kompatibilnog telemetrijskog sistema. Prijemni podsistem se sastoji od dvoosnog (ili jednoosnog) antenskog sistema, dva prijemnika PCM signala i jednog diversiteta kombajnera. Prijemnici su superheterodini sa dvostrukom konverzijom (prva MF je 160 MHz, a druga MF je 20 MHz) i sklopom za automatsku kontrolu pojačanja. Moguće je korišćenje različitih oblika tehnika diversiteta: frekvencijski, fazni, prostorni, vremenski i ugaoni. Signali sa izlaza prijemnika PCM signala vode se u diversiteti kombajner optimalnog odnosa, koji ima mogućnosti simultanog predetekcijskog i postdetekcijskog kombinovanja i poboljšanje odnosa signal/šum od 2,5 dB.

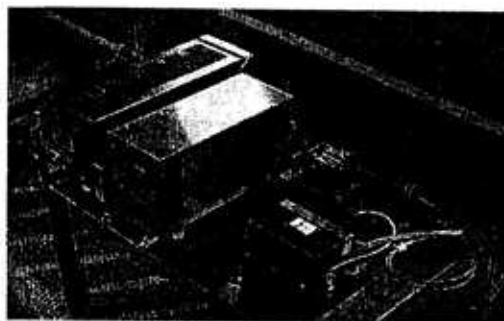
Dekomutacija i sinhronizacija PCM signala obavlja se u kompatibilnom dekomutatoru. Pretprocesor omogućuje konverziju izmerenih veličina u fizičke jedinice, sračunavanje izvedenih veličina i dekomutaciju podataka sa magistrala 1553. Centralni računar upravlja radom telemetrijske stanice omogućujući dva osnovna moda rada: obradu i prezentaciju izmerenih parametara u realnom vremenu i detaljnu obradu svih izmerenih veličina u posle-letnim analizama.



### Praktične konfiguracije PCM/FM telemetrijskog sistema

Na slici 4 prikazana je šema razmeštaja kompletnog avionskog telemetrijskog podsistema za merenje parametara vazduhoplova i fizioloških karakteristika pilota na jednom vojnom vazduhoplovu.

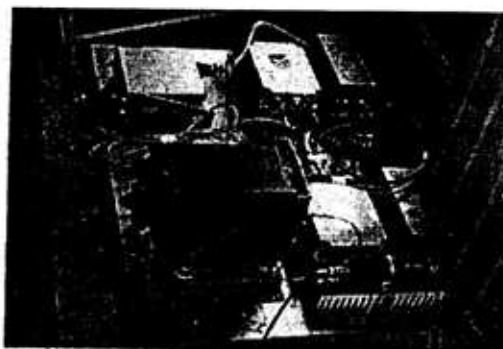
Na slici 5 prikazana je konfiguracija avionskog PCM akvizicionog sistema integrisanog na helikopteru, zajedno sa troosnim mernim pretvaračima ubrzanja i ugaonih brzina. Osnovna konfiguracija sastoji se od programabilnog akvizicionog računara i digitalnog magnetnog registratora koji omogućuje merenje oko 100 parametara.



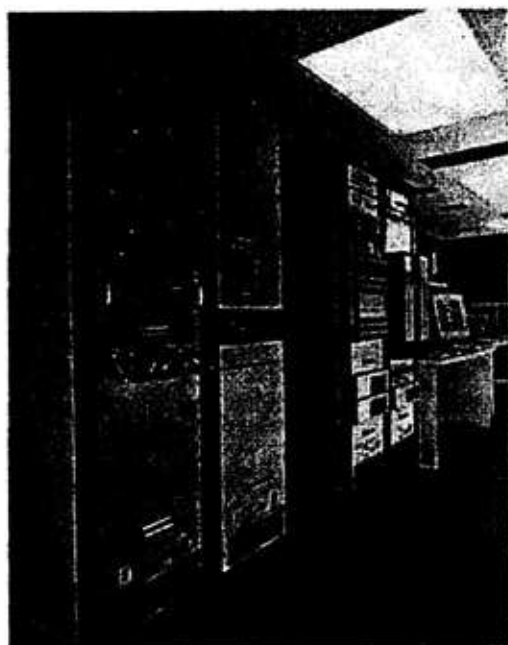
Sl. 5 – Avionski PCM akvizicioni sistem

Na slici 6 prikazana je konfiguracija transmissionnog podsistema koji je integrisan na helikopteru, i koji omogućuje istovremeni prenos kompozitnog PCM/FM telemetrijskog signala koji sadrži informaciju o velikom broju mernih veličina, i video-signalu sa kamere koja snima karakteristične detalje tokom letnih ispitivanja.

Na slici 7 prikazana je unutrašnjost mobilne telemetrijske stanice koja se sastoji od prijemnog podsistema i računarskog dela. Prijemni podsistem se sastoji od prijemne antene velikog pojačanja i više prijemnika koji omogućuju prijem i demodulaciju visokofrekventnog nosioca



Sl. 6 – Avionski transmisioni podsistem



Sl. 7 – Prijemna kompatibilna telemetrijska stanica

PCM i video-signala sa udaljenog vazduhoplova (100 km). Računarski deo omogućuje demultipleksiranje, procesiranje signala i prezentaciju mernih veličina u fizičkim jedinicama u realnom vremenu praćenja, na odgovarajućim grafičkim stanicama.

Tokom čitavog leta vrši se snimanje PCM i video signala koji se detaljno obrađuju tokom postletnih analiza upotrebom specijalnih softverskih paketa.

## Zaključak

Osnovna funkcija PCM/FM telemetrijskog sistema je omogućavanje pouzdanog i neprekidnog prenosa signala izmerenih veličina, sa letelice koja se ispi-

tuje do zemaljske prijemne stanice. Ispitivanje prototipova savremenih vojnih vazduhoplova u letu veoma je složen i dugotrajan proces, i obavlja se primenom kompleksne ispitno-merne telemetrijske opreme.

Savremena ispitivanja letelica sa posadom podrazumevaju, pored praćenja njenih relevantnih parametara, i monitoring fizioloških karakteristika pilota. To se postiže upotrebom odgovarajućih biomedicinskih senzora koji u realnom vremenu, u toku leta, daju informacije o radu srca, mišića, krvnom pritisku i temperaturi pilota, koje su naročito interesantne u specifičnim manevrima letelice a što može uticati i na krajnje propisivanje njene upotrebe.

Neadekvatan izbor komponenata telemetrijskog sistema, i nepoznavanje tehnoloških postupaka u procesu njegove aplikacije na vazduhoplovima, prouzrokuje nekvalitetno praćenje ispitivanja vazduhoplova u realnom vremenu, što je nedopustivo kod ispitivanja prototipova vazduhoplova, jer može doći do ugrožavanja bezbednosti letelice i posade.

## Literatura:

- [1] Marković, M.; Filipović, Z.; Pavlović, D.: PCM/FM telemetrijski sistemi za merenje parametara vazduhoplova i fizioloških karakteristika pilota, TELFOR 2002, Beograd, 2002.
- [2] Marković, M.; Filipović, Z.; Pavlović, D.: Dizajniranje parametara PCM/FM telemetrijskog sistema, TELFOR 2001, Beograd, 2001.
- [3] IRIG document 106-86, Telemetry Standards, Telemetry Group, Range Commanders Council, 1986.
- [4] Pavlović, M.; Filipović, Z.; Marković, M.: Merenje parametara sa magistrala podataka MIL 1553B tokom procesa ispitivanja vazduhoplova u letu, ETRAN, Teslić, 2002.
- [5] Caballero, R.: Flight Test Instrumentation of the Push-Pull Effect on a CF-18 Aircraft, ITC/USA, Las Vegas, 1999.