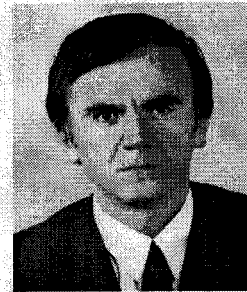


## ARHITEKTURA MIKROPROCESORSKOG SISTEMA UPRAVLJANJA VAZDUHOPLOVNIM MOTORIMA

### ARCHITECTURE OF MICROPROCESSOR CONTROL SYSTEMS IN AVIATION ENGINES

Prof.dr Dragoljub Vujić, dipl.inž.

Vojnotehnički institut, 11132 Žarkovo, Ratka Resanovića 1



**REZIME** – Razmatrane su dve redundantne arhitekture sistema upravljanja primenjene na savremenim borbenim avionima. Takođe, prikazan je i neredundantan sistem upravljanja, koji željenu pouzdanost može da ostvari primenom različitih nivoa udvajanja pojedinih komponenata podistema.

**Ključne reči:** Avionski motor, elektronski sistem upravljanja, arhitektura mikroprocesorskog sistema upravljanja

**ABSTRACT** - This paper deals with two redundant control system architectures applied on modern fighter aircraft. A nonredundant engine control system whose desired reliability can be established using different levels of the redundancy of subsystems components, is presented, too.

**Key words:** Aviation engine, electronic control system, architecture of microprocessor control systems

#### 1. UVOD

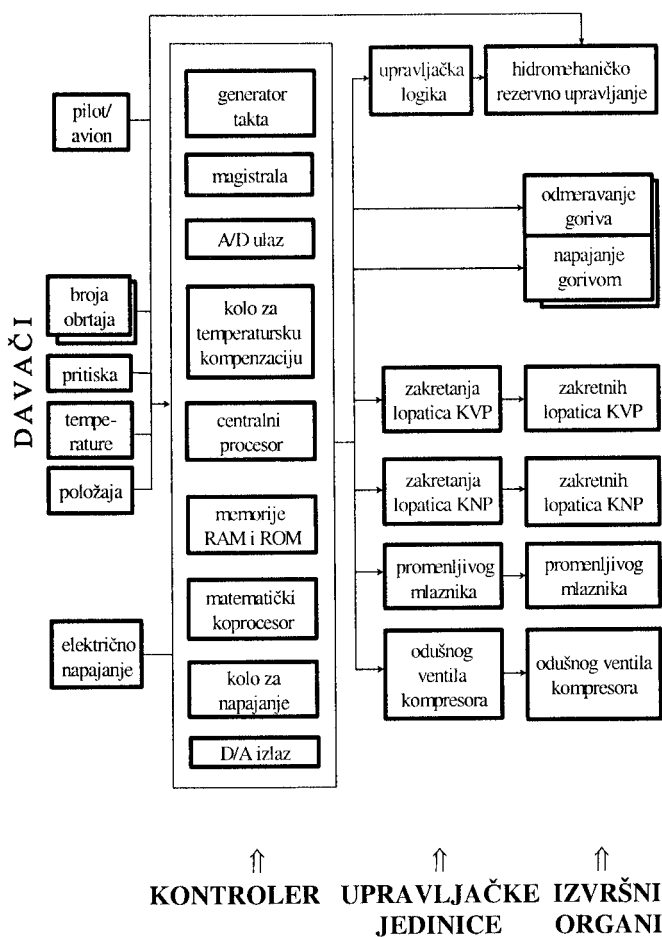
Kod savremenih aviona, posebno kod onih za vjnu primenu, sve je prisutniji zahtev u pogledu povećanja njihovih performansi. Kod motora ovih aviona primenjuje se promenljiva geometrija lopatica kompresora, u novije vreme se upravlja vektorom potiska i opšta je težnja za smanjenjem dimenzija i mase. Ovi zahtevi su neminovno doveli do povećanja broja ulaznih i izlaznih parametara za čije upravljanje je potreban moćan digitalni računar. Iskustvo s višestrukim ulazima i izlazima, odnosno s tzv. multivarijabilnim sistemima je pokazalo da je izvođenje kompletnog hidrauličkog upravljačkog sistema gotovo nemoguće. Ispunjenje skoro svih zahteva koji se postavljaju pred sadašnje i buduće avione omogućavaju samo električni sistemi upravljanja u digitalnoj tehnologiji.

U našoj domaćoj, naučno-stručnoj literaturi iz ove oblasti, ima veoma malo radova. Osnovni koncept sistema elektronskog upravljanja turbomlaznim motorima i primer praktične realizacije sistema na lovcima F-15 i F-16 dati su u [1,2]. U [3] se razmatra uticaj konfiguracije elektronskih sistema upravljanja na pouzdanost i održavanje turbomlaznih motora. Ovde je učinjen pokušaj da se predstavi globalna arhitektura mikroprocesorskog sistema upravljanja i posebno razmotre konfiguracije dual i tripleks sistema.

#### 2. KONFIGURACIJA ELEKTRONSKIH SISTEMA UPRAVLJANJA

U opštem slučaju, bazni sistem čine: davači (broja obrtaja, pritiska, temperature i položaja), kontroler, upravljačke jedinice izvršnih organa (drajveri), izvršni organi (aktuatori) i upravljačka logika (sl.1).

Davači pritiska, temperature i broja obrtaja daju informacije kontroleru o stanju motora koje predstavljaju ulazne parametre sistema upravljanja. Davači položaja se nalaze na aktuatorima i deo su povratne sprege sistema upravljanja. Kontroler se sastoji od: generatora takta (oscilatora), magistrale, A/D i D/A konvertora, kola za temperatursku kompenzaciju, centralnog procesora, memorije RAM i ROM, matematičkog koprocesora i kola za napajanje. Upravljačke jedinice izvršnih organa (drajveri) regulišu rad aktuatora u zavisnosti od njihove dinamike. Skup drajvera čine: pumpa goriva i regulator protoka goriva, drajveri aktuatora za zakretanje lopatica kompresora niskog i visokog pritiska, drajveri aktuatora promenljivog mlaznika i odušnog ventila kompresora. Aktuatori (za zakretanje lopatica i kompresora visokog pritiska



Slika 1. Konfiguracija baznog sistema upravljanja

- KVP, promenljivog mlaznika i sistema za odvođenje vazduha), kao izvršni organi, direktno utiču na promene upravljanih veličina. Blok upravljačke logike detektuje otkaz komponente ili celog elektronskog sistema i upravljanje turbomlaznog motora prebacuje na rezervni, hidromehanički sistem.

U cilju povećanja pouzdanosti vrši se selektivno udvajanje komponenata sistema upravljanja. Na taj način obezbeđuje se rad sistema i pored otkaza neke od komponenti. Takvi sistemi koji dopuštaju otkaz poznati su kao *fault tolerant systems*. U konkretnom slučaju, prikazanom na sl.1, radi se o tzv. baznom sistemu kod koga su udvojeni samo davači obrtaja, i drajveri za odmeravanje i napajanje gorivom.

### 3. ARHITEKTURA MIKROPROCESORSKOG SISTEMA UPRAVLJANJA

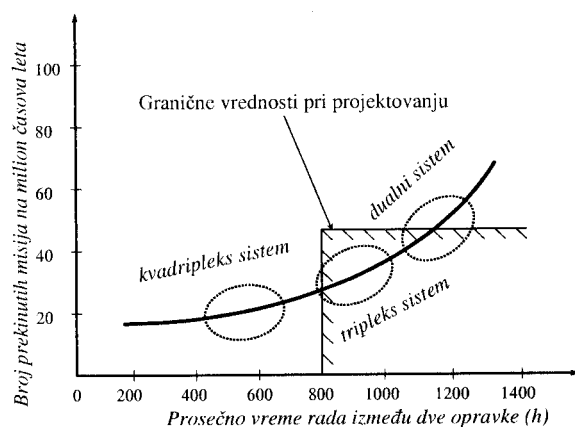
U zavisnosti od nivoa udvajanja mikroprocesorske jedinice elektronskog sistema upravljanja,

razlikuju se: dual, tripleks i kvadrupleks sistemi. Izbor jednog od navedenih sistema predstavlja kompromis između zahtevane pouzdanosti i faktora troškova.

Kod dualnog sistema udvojeni su mikroprocesor na dva odvojena kanala, udvojeni davači i drajveri izvršnih organa.

Kod tripleks sistema utrostručen je mikroprocesor na tri kanala, udvojeni su davači, a utrostručeni drajveri.

Kvadrupleks sistemi imaju učetvorostručen mikroprocesor na četiri kanala, udvojene davače i učetvorostručene drajvere.



Na sl.2 prikazan je dijagram izbora sistema upravljanja u zavisnosti od broja prekinutih misija i prosečnog vremena rada između dve opravke. Granične vrednosti (šrafirane linije) kod projektovanja sistema definisane su sa: prosečnim vremenom rada sistema od 800 časova između dve opravke i sa 50 prekinutih misija na milion časova leta. Zaključuje se da početne zahteve zadovoljavaju dualni i tripleks sistemi upravljanja. Ova dva sistema su realizovale firme *Pratt & Whitney* (dualni) i *General Electric* (tripleks).

#### 3.1 Arhitektura dualnog sistema

Sistem se sastoji od dva asinhrona kanala od kojih svaki ima svoje davače, ulazno-izlazne kontrolore (UIK), dvostruke mikroprocesore (MP). Podsystemi aktuatora sastoji se od zakretnog motora sa udvojenim kalemovima i servoventila sa udvojenom povratnom granom. Strukturna blokšema data je na sl.3. Ovakva konfiguracija ima

Slika 2. Dijagram izbora sistema upravljanja

dve potpuno odvojene upravljačke kutije, smeštene na različitim stranama motora, koje omogućuju nesmetan rad motora čak i u slučaju da se jedna kutija ošteti. UIK objedinjuje više funkcija:

A/D i D/A konverziju, digitalne signale šalje u MP, vrši međusobnu razmenu podataka sa drugim MP, kontroliše rad izvršnih organa prema zakonima sintetizovanim u MP.

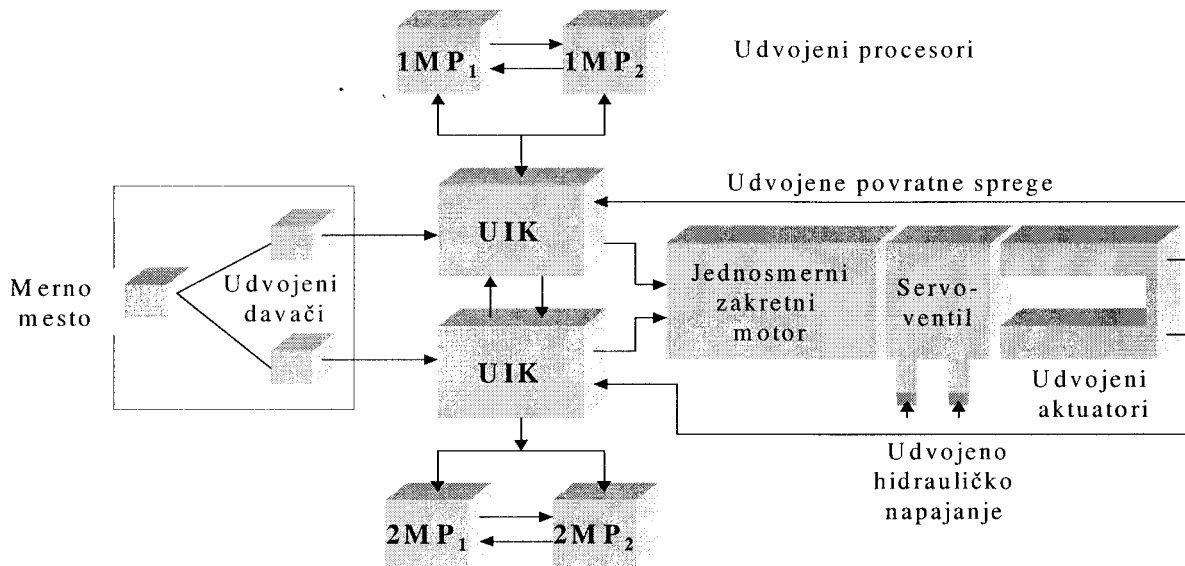
Kako kanali rade asinhrono, signali sa davača jednog kanala neće biti istovetni sa signalima drugog kanala, pa otuda ni zakoni upravljanja po kanalu neće biti isti. Kao posledica ovoga, je da udvojeni kalemovi na zakretnom motoru ne dobijaju iste signale. Ovo se rešava putem tzv. trim-balans kola, koje se nalazi na svakom kanalu, i nuluje ili balansira kanale. Za vreme rada kontrolera aktivno je samo jedno balans kolo, dok se drugo nalazi na stand by režimu. U slučaju otkaza trim-balans kola na kanalu, automatski se to kolo isključuje i aktivira drugo.

Detekcija kvara na ulazu u dualni mikroprocesor, pri radu motora, sastoji se: iz provere opsega davača i provere odnosa veličina koje daju

provere još uvek ne omogućava procesoru da utvrdi koji davač netačno radi. *Pratt&Whitney* je razvio detekcioni filter koji služi da to tačno odredi. Detekcija kvara na izlazu iz dualnog mikroprocesora, pri radu motora, obuhvata sledeće provere: opseg i odnos veličina davača povratne sprege, trim-balans kola, kontinualnost rada zakretnog motora. Provera opsega i odnosa veličina davača povratne spege vrši se na isti način kao i pri detekciji kvara na ulazu u mikroprocesor.

Ukoliko trim-balans kolo pređe granicu, pri pokušaju da izjednači signale za zakretni motor, upravljačka logika odabira onu petlju koja daje sigurnije uslove za rad motora.

Detekcija kvara dualnog mikroprocesora, pri radu motora, obuhvata sledeće: samoproveru rada (built-in-test), izlaznog takta (watching timer), uzajamnu kontrolu MP i UIK, upoređivanje izlaznih signala procesora na istom kanalu (bit-for-bit). Ulazi



Sl.3 Konfiguracija dualnog sistema

davači. Procesor prati vrednosti parametara koje daje davač i ako one izađu iz predviđenog (mogućeg) opsega, automatski se rad prebacuje na drugi kanal.

Provera parametara upoređivanjem vrši se na taj način što procesor prati vrednosti koje daje grupa davača na istom kanalu. Vrednosti parametara sa davača procesor upoređuje sa vrednostima u memoriji, za određeni režim rada motora. Ukoliko odnosi parametara nisu zadovoljeni upravljanje se prepušta drugom kanalu. Međutim, ovakav način

u procesore na istom kanalu su isti, pa otuda i izlazi moraju biti istovetni. Ukoliko to nije slučaj, znači da je došlo do kvara na nekom od procesora i taj kanal se isključuje.

### 3.2 Arhitektura tripleks sistema

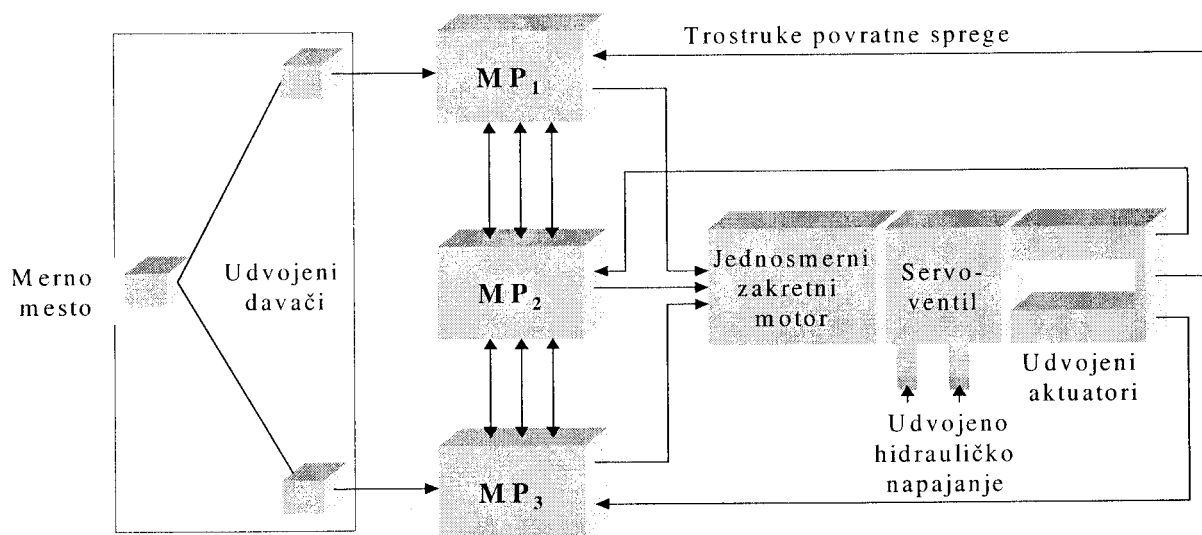
Sistem se sastoji od: udvojenih davača, tripleks procesora, trostrukih namotaja zakretnog motora, udvojenih aktuatora i trostruke povratne sprege (sl.4). Osnovna razlika između dualnog i tripleks

sistema je u tome, što kod tripleks sistema sva tri procesora rade sinhronizovano sa potpuno identičnim setom podataka i sa vrlo intenzivnom razmenom podataka između kanala. Kod dualnog sistema svaki kanal radi sa svojim setom davača i sa minimalnom razmenom podataka sa drugim kanalom.

Tripleks procesor se programira kao simpleks tako da za iste ulaze, zakoni upravljanja koji se u njemu sintetizuju treba da budu isti. Kada se ta identičnost potvrdi onda svaki kanal propušta 1/3 potrebne struje prema zakretnom motoru.

ni potrebno, s obzirom da kanali rade sinhronizovano.

Kako se vrši detekcija kvara mikroprocesora pri radu motora? Signali pre nego što uđu u procesor prolaze kroz kolo za izbor, gde se vrši njihovo poređenje. Ukoliko je sve u redu međusobno identični signali ulaze u procesor. Ako jedan od signala nije identičan sa ostala dva, smatra se da je taj pretvarač pokvaren i isključuje se, a u procesore ulaze signali sa ostala dva pretvarača. Slično se dešava i na izlazu iz procesora. Kola za poređenje



Sl.4 Konfiguracija tripleks sistema

Detekcija kvara na ulazu u tripleks mikroprocesor, pri radu motora, obuhvata proveru opsega davača i proveru odnosa signala dva ili više signala. Kao i kod dualnog sistema prvo se vrši provera opsega, a zatim upoređivanje signala. Prilikom poređenja vrednosti koje daju dva davača, na istom mestu, treba da budu u okviru neke tolerancije, a njihova srednja vrednost uzima se za stvarno izmerenu. Ako to nije slučaj, vrši se upoređivanje izmerenih parametara sa svakog davača sa memorisanim vrednostima, iz aerodinamičkog modela u realnom vremenu, za date uslove. Onaj davač čija se vrednost nalazi u toleranciji sa vrednošću iz memorije, usvaja se kao dobar i njegova vrednost smatra realnom.

Detekcija kvara na izlazu iz tripleks mikroprocesora, pri radu motora, vrši se na isti način kao kod dualnog sistema. Jedino se ne pojavljuje trimbalans kolo u hardverskoj realizaciji pošto ono nije

upoređuju signale izlaza i ako je neki različit od ostala dva taj procesor se isključuje. U tom slučaju na svaki namotaj zakretnog motora dolazi 1/2 potrebne struje.

#### 4. ZAKLJUČAK

Prikazana je arhitektura dva redundantna mikroprocesorska sistema, primenjena za upravljanje turboblaznim motorima. Reč je o dualnom i tripleks sistemima koji obezbeđuju rad sistema i pored otkaza neke od komponenti. U slučaju otkaza elektronike, upravljačka logika automatski uključuje rezervni, hidromehanički sistem koji omogućava da se nastavi rad na osnovnom, tzv. besforsažnom režimu. Izloženi koncept redundantnih sistema upravljanja može da posluži kao osnova za projektovanje sličnih sistema od kojih se zahteva visoka pouzdanost. A takvih primera ima. Uostalom, mnoge tehnologije su prvo razvijene i osvojene za potrebe

vojske, pa tek onda su našle širu primenu u ostalim oblastima.

## LITERATURA

- [1] Vujić D., Osnovni koncept sistema elektronskog upravljanja turbomlaznim motorima, *Naučno-tehnički PREGLED*, vol.XLVIII, br.5, pp.39-44, 1998.
- [2] Vujić D., Prilog elektronskom upravljanju turbomlaznim motorima, *Međunarodni naučno-stručni skup, Vazduhoplovstvo 97*, Zbornik radova, 11-12 decembar, Sava Centar, Beograd, pp.C43-C48,1997.
- [3] Vujić D., Uticaj konfiguracije elektronskih sistema upravljanja na pouzdanost i održavanje turbomlaznih motora, *XXV jubilarni jugoslovenski simpozijum o operacionim istraživanjima SYM-OP-IS 98*, Zbornik radova, Herzeg Novi, pp.531-534, 21-24. Septembar 1998.
- [4] Landy J.R., Yonke A.W., Stewart F.J., Development of HIDECA Adaptive Engine Control Systems, *Transactions of the ASME*, Vol.109, pp.146-151, 1987.
- [5] Timothy J.L., Microprocessor-based Engine Control, *23th Joint Propulsion Conference*, AIAA 87, June 29-July 2, San Diego, California, 1987.
- [6] Warner E.D, Hermann H.W., Reliability Design Study for a Fault-Tolerant Electronic Engine Control, *18th Joint Propulsion Conference*, June 21-23, Cleveland, Ohio, 1982.
- [7] Raymond G., Experience of One UK Electronic Equipment Supplier With Bite on Engine/Flight Control Over the Past Ten Years-Part 2, Part 3, *Aircraft Engineering*, October, pp.10-14, November, pp.10-17, 1986.
- [8] Robinson K., Engine Controls for Integrated Aircraft Systems, *Aircraft Engineering*, pp.8 12, April 1986.
- [9] Szuch R.J, Advancements in Real-Time Engine Simulation Technology, *18th Joint Propulsion Conference*, AIAA-82-1075, June 21-23, Cleveland, Ohio, 1982.
- [10] Richard K.S., State of the art for digital avionics controls, *AGARD Conference Proceedings No.272, Advances in guidance and control systems using digital techniques*, Ottawa, Canada, pp.1'1-1'20, 8-11 May 1979.
- [11] Terry F., High Technology in Service, *Aircraft Engineering*, pp.2-7, March 1988.
- [12] Fisher A.V., Engine controls for the 1990s, *SBAC Symposium*, Rolls-Royce Papers, pp.1-5, Belgrade, 1987.

STP

Preduzeće STP Beograd osnovano je 1990. godine. Bavi se projektovanjem, konstruisanjem, izradom i montažom sledeće opreme:

- kotlova
- toplih i hladnih posuda pod pritiskom
- razmenjivača toplote tipa cevi u omotaču
- parionica za drvo
- postrojenja za ekstrakciju bilja
- kalonfen i vazdušni razmenjivači toplote
- sušare za drvo, voće i bilje

Kontakt: info@stp.co.yu

Adresa: Pancevački put 20  
11210 Beograd  
Srbija  
Yugoslavia

Telefon: +381-11-2711-740  
+381-11-2711-860

STP — Beograd Company was founded in 1990. It deals with projecting constructing, manufacturing, and assembling of the following equipment:

- Boilers
- Hot and cold high pressure vessels
- Heat exchangers of the pipes in jacket type
- Steam dryers
- Factories for plants extraction
- Boiling plates and air heat exchangers
- Dryers for wood, fruits and plants