

TRENDY V INTEGRÁCIÍ RIADENIA LIETADLA A POHONNEJ JEDNOTKY

DEVELOPED TREND INTEGRATED CONTROL AIRCRAFT AND PROPULSION

František Martinec¹

Anotácia: Článok sa zaoberá trendami integrácie palubných systémov lietadiel a integráciou palubných systémov.

Kľúčové slová: elektrický, regulácia, integrácia, lietadlo, pohonná jednotka

Anotation: Paper solve routing developed trend aircraft systems and integrated aircraft systems.

Key words: electrical, control, integrated, aircraft, propulsion

ÚVOD

V poslednom desaťročí vývoj elektrických a elektronických zariadení nadobudol značný rozvoj. Toto umožnilo plniť zložité úlohy, ktoré sú riešené na palube lietadla i s kooperáciou medzi jednotlivými systémami a to podľa vhodných regulačných zákonov. Táto spolupráca je daná nielen výberom vhodných regulačných systémov, ale aj spoľahlivým zásobovaním elektrickou energiou.

Integrovanú avioniku je možné uviesť ako systém na palube lietadla zdokonaľujúci pilotáž lietadla a súčasne plniaci i ďalšie funkcie na palube lietadla v prospech najefektívnejšieho splnenia akejkoľvek úlohy technicky realizovanej elektronickými a elektrickými prostriedkami. Úlohou integrovaného avionického systému je:

- plynulé zhromažďovanie všetkých dostupných informácií o lete lietadla,
- filtrácia a overovanie informácií,
- získavané informácie spracováva na odpovedajúce povely, riadiace signály (pre riadenie lietadla a pohonnej jednotky) a informácie pre osádku i veliteľské stanovište,
- plniť za pilota rutinné úlohy riadenia letu,
- zobrazovať osádke potrebné údaje v potrebnom okamihu,
- riadi a kontroluje činnosť palubných zariadení,
- navádza zbrane, robí prieskum a ruší protivníka,
- varuje osádku pred hroziacim nebezpečenstvom (pred stretom nepriateľa, zásahom raketou, zachytenie rádiolokátorom a pod.) a plní aj ďalšie úlohy.

Jednou z častí integrovanej avioniky je integrovaný systém riadenia pohonnej jednotky a lietadla.

¹ Ing. František Martinec, Ph.D., VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojná, Ústav Letecké dopravy, 17. listopadu 15/2172, 708 33, Ostrava – Poruba, Tel.: +420 596 99 1761, E-mail: františek.martinec@vsb.cz

Všeobecnou vlastnosťou integrovaných systémov automatického riadenia je schopnosť spracovania veľkého množstva rôznych informácií. Z toho dôvodu sa vyberajú aj technické prostriedky pre systémy automatického riadenia. Najvhodnejšie technické prostriedky sa ukazujú elektronické číslicové systémy, ktoré sú schopné riešiť pomerne zložité algoritmy riadenia s veľkou rýchlosťou, výmenou informácií so systémami riadenia letu, získať vysokú presnosť riadenia a riešiť hierarchiu všetkých riadiacich systémov. Vzájomné prepojenie jednotlivých systémov pre prenos informácie sa realizuje pomocou optických spojovacích vlákien, ktoré sú odolné voči rôznym poruchám.

2. ČLOVEK V SYSTÉME RIADENIA LIETADLA A POHONNEJ JEDNOTKY

Človek - pilot je ústredným členom v uzavretom systéme riadenia pilotovaného lietadla. On prijíma a odpovedajúcim spôsobom spracováva neusporiadaný tok prvotných informácií, pričom stanovuje a zadáva potrebné riadiace pôsobenia. Z hľadiska princípov technickej kybernetiky pilot plní funkciu regulačného i zadávacieho člena. Teda môžeme povedať, že pilot sa nachádza na základnej – prvej úrovni pri riešení letových úloh. Na druhej úrovni sú prvky riadenia lietadla, ako napríklad páka riadenia lietadla, páka ovládania pohonnej jednotky, pedály riadenia. Na tretej úrovni sú palubné systémy a prístrojové vybavenie, potrebné pre let v rôznych prevádzkových podmienkach. Sem, patria systémy a agregáty zabezpečujúce navigáciu, informáciu o polohe v priestore a kurze, rádiovybavenie pre let v zložitých podmienkach. Na ďalšej úrovni sa nachádza prvý stupeň – základnej automatizácie, ktorá zabezpečuje základné funkcie autopilota, ktorými sú stabilizácia polohy lietadla, kurzu, výšky a pod. Nenahraditeľným systémom je automat ťahu (regulátor ťahu motora a rýchlosti lietadla). Úroveň jednoduchej integrácie leží v rovine, v ktorej sa začína aplikovať číslicová technológia systémov riadenia. Na tejto úrovni sa funkcie riadenia lietadla stávajú pre pilota už abstraktnými. Každá funkcia sa zabezpečuje podľa vlastnej zostavy algoritmov – podľa určených pravidiel, funkčnosť systému sa pilotovi indikuje prístrojovo alebo obrazovými symbolmi na displeji. Ako príklad je možné uviesť automatické systémy navedenia na pristátie, zmeny výšky letu. Na úrovni zložitej integrácie automatika vykonáva rad zásahov a činností, ktoré nie sú vždy jednotlivo zobrazované osádke.

Proces riadenia lietadla je doprevádzaný zložitou rozumovou činnosťou pilota (sumáciou a diferencovanie, filtrácia a výber postupujúcej informácie, integrácia, logické operácie) a tiež mechanickým pôsobením na riadiace prvky lietadla a riadiace prvky pohonných jednotiek. Pre riadenie lietadla sú to mechanizované systémy a automatizované systémy ovládané tlačítkami a riadiacimi pákami. Pre pohonné jednotky sú to mechanizované a automatizované systémy riadené obyčajne od pák ovládania motorov. K počtu dôležitých vlastností, ktoré je potrebné vziať do úvahy pri analýze stability systémov:

- pilot – systém riadenia – lietadlo
- pilot – systém riadenia – pohonná jednotka
- lietadlo – integrovaný systém automatického riadenia – pohonná jednotka
môžeme považovať:

- schopnosť sledovať iba tie signály, ktoré prichádzajú s určitou frekvenciou (0-3 Hz), tzn. že je obmedzená doba sledovania,
- schopnosť odpovedať iba na vonkajšie signály, ktorých úroveň je vyššia ako je prah citlivosti vnímania jeho orgánov, tzn. že existuje v niektorých prípadoch prah necitlivosti,
- oneskorená reakcia na vonkajšie podnety,
- prerušovaný (diskrétny) charakter reakcie,
- schopnosť logickej filtrácie vonkajších signálov,
- schopnosť dávkovania riadiacich pôsobení na riadený objekt,
- schopnosť reagovať nielen na odchýlku parametrov ale aj na ich integrál odchýlky parametrov, čo odpovedá diferencijným a integračným článkom,
- schopnosť zosilniť regulačnú veličinu pre kompenzáciu vlastného oneskorenia, čo odpovedá zotrvačnému členu,
- schopnosť prispôsobivosti za určitý čas na zmenené podmienky t.j. vlastnosť adaptácie.

Použitie systémov automatického riadenia na súčasných lietadlách nevylučujú absolútne pilota – operátora z procesu riadenia. Automatika ho iba oslobodzuje od plnenia takých operácií, ktoré nemôže realizovať s dostatočnou rýchlosťou a presnosťou, a tiež od veľkého počtu jednoduchých operácií unavujúcich jeho pozornosť a zaberajúcich čas. Je známe, že psychofyziológické možnosti človeka môžu byť znázornené dynamickým modelom, t.j. matematickým popisom zákonov jeho činnosti.

Zvyšovanie stupňa automatizácie procesov prebiehajúcich na palube lietadla na jednej strane znižuje záťaž pilota a odľahčuje ho od plnenia druhotných úloh, ale súčasne vedie k rastu objemu informácií, ktoré sa musia spracovávať v reálnom čase.

3. INTEGROVANÝ SYSTÉM RIADENIA LETECKÝCH MOTOROV

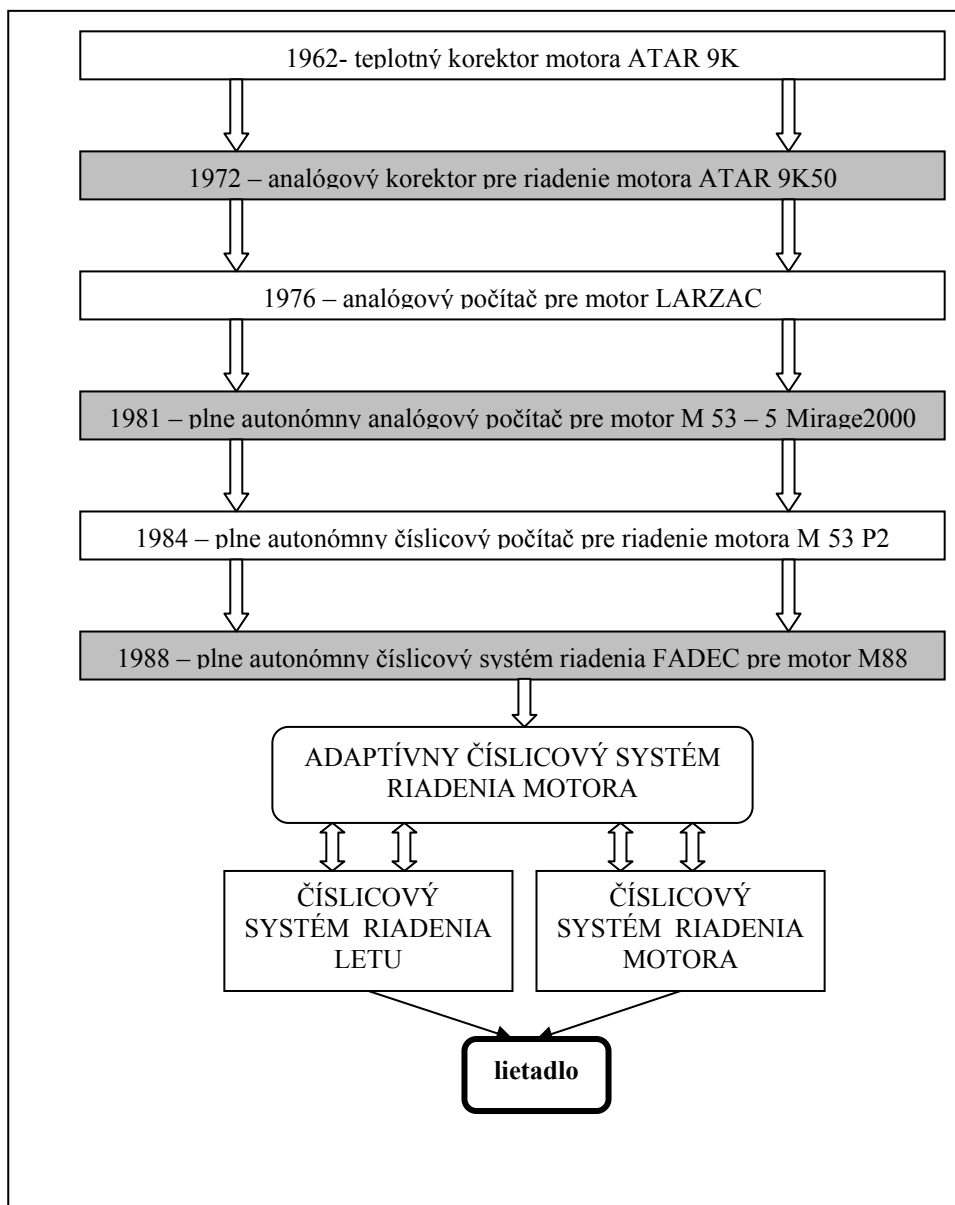
Na vývoji leteckých motorov sa podieľajú celé generácie leteckých konštruktérov, ktorých snahou je neustále zvyšovanie ich spoľahlivosti, efektívnosti prevádzky a v súčasnej dobe i splnenie stále prísnejších ekologických požiadaviek. Tento vývoj vedie k snahe o uplatnenie nových technológií, materiálov, nových koncepčných riešení, a tiež aj k rozvoju systémov riadenia a regulácie leteckých turbokompresorových motorov (LTKM) a riadenia procesov, ktoré v nich prebiehajú.

3.1 Princíp integrovaných systémov

Systémy zjednoteného riadenia časti motora, režimov práce motora a režimov letu lietadla, cieľom ktorých je najefektívnejšie splnenie úlohy letu nazývame integrované systémy riadenia motora. Stupne integrácie používané na palube lietadla sú:

- integrácia jednotlivých častí motora,
- integrácia motora a vstupného ústrojenstva,
- integrácia pohonnej jednotky ako celku a lietadla.

Použitie integrovaných systémov automatického riadenia zahŕňa okrem riadenia aj diagnostiku a kontrolu systémov automatického riadenia ale aj pohonnej jednotky, zvyšuje jej spoľahlivosť a prevádzkové vlastnosti.



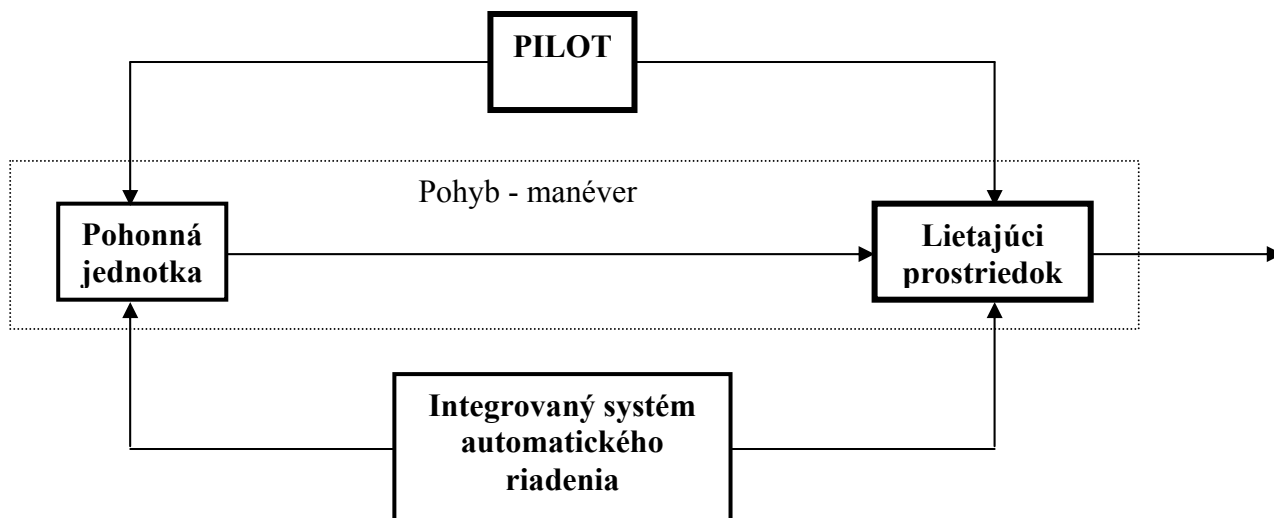
Zdroj: Autor

Obr.1 - Vývoj elektronických systémov riadenia na lietadle

3.2 Predmet integrovaného systému automatického riadenia (ISAR)

Lietadlo pohybujúce sa v priestore riadené pilotom zahŕňa v sebe lietajúci prostriedok a pohonnú jednotku – letecký motor obr.2. Každá z týchto častí má svoje vlastnosti a tomu odpovedá filozofia riadenia. Predmetom integrovaného systému riadenia je riešenie väzby pre optimálne riadenie lietajúceho prostriedku i pohonnej jednotky. Každú časť môžeme popísať

vhodným matematickým aparátom – stavovým priestorom a potom analyzovať vlastnosti týchto častí a ich vzájomnú väzbu.



Zdroj: Autor

Obr. 2 - Predmet ISAR

Požiadavky na riadiace a regulačné systémy vyplývajú predovšetkým z vlastností objektu riadenia - LTKM. Medzi základné funkcie, ktoré regulačné systémy musia plniť je možné zaradiť nasledujúce - ovládanie motora, regulácia jeho parametrov a ich obmedzovanie. Ovládanie, t.j. voľbu režimu motora (a teda aj jeho ťahu), uskutočňuje pilot pomocou páky ovládania motora v závislosti na predpokladanom manévri, alebo podľa momentálnej letovej situácie. Reguláciou LTKM rozumieme druh riadenia, pri ktorom sa zvolené parametre motora udržiavajú (regulujú) na vopred stanovených hodnotách, teda motor pracuje v zvolenom režime.

V prvých - klasických plne hydromechanických regulačných systémoch LTKM sa prejavovali nedostatky, ktoré do značnej miery znižovali kvalitu motorov, zvlášť hľadiska rýchlosti a presnosti regulácie. Bolo to spôsobené napríklad nepresným nastavením ťahu z dôvodu mechanických vôli, veľkou hmotnosťou hydromechanickej časti, malým počtom regulovaných parametrov a pod. Preto spoločne s rozvojom konštrukcie moderných motorov dochádzalo zároveň i k rozvoju ich elektrických a elektronických regulačných systémov. Nahradením klasickej riadiacej sústavy sústavou elektrickou a elektronickou bolo možné vylúčiť nevýhody mechanického prenosu, zvýšiť presnosť nastavovania regulačných prvkov pohonnej jednotky, ako aj zvýšiť počet regulačných prvkov k zabezpečeniu komplexnejšej a precíznejšej regulácie LTKM a tým zabezpečiť vyššiu spoľahlivosť systémov regulácie.

Prvé elektronické prvky riadenia LTKM sa objavili v osemdesiatych rokoch. Veľkým krokom vpred v rozvoji systémov riadenia motorov bol prenos všetkých výpočtových funkcií na elektronické zariadenia (1981). Na lietadle MIRAGE 2000 bol inštalovaný plne autonómny analógový blok riadenia motora M53-5. V roku 1984 bol uvedený do

prevádzky číslicový blok riadenia pre motor M53-P2. Nasledujúca generácia plne autonómnych číslicových blokov riadenia rozpracovaných pre motor M88 zabezpečila realizáciu všetkých funkcií riadenia motora bez obmedzenia, dokonca aj pri vzniku porúch jednotlivých prvkov systému systém FADEC (Full Authority Digital Engine Control) a tiež systémy riadenia lietadla AFCS (Automatic Flight Control Systems).

Použitie elektroniky a zvlášť číslicovej techniky prinieslo do regulačných systémov motorov novú kvalitu. Medzi hlavné prínosy tohto riešenia patrí:

- zníženie hmotnosti systému riadenia - úplné vyradenie zložitých hydromechanických zariadení (okrem dodávacieho uzla a dávkovacej ihly),
- väčšia komplexnosť riadenia - aplikácia zákonov číslicovej regulácie umožňuje vytváranie predtým nerealizovateľných funkcií s uplatnením rôznych kritérií optimálneho riadenia a rešpektovanie termodynamických požiadaviek, čo vedie k riadeniu podľa komplexných parametrov (počet regulovaných parametrov u hydromechanicky riadených systémov riadenia LTKM býva od 3 do 7, pričom viacanálové číslicové systémy riadenia LTKM umožňujú zvýšiť ich počet na 12 až 16),
- zvýšenie statickej presnosti regulácie jednotlivých parametrov (napríklad presnosť otáčok kompresora z $\pm 0,5\%$ na $\pm 0,1\%$, presnosť otáčok ventilátora z $\pm 0,7\%$ na $\pm 0,15\%$, presnosť regulácie teploty za turbínou z -12 K na $+5\text{ K}$),
- zvýšenie spoľahlivosti, životnosti a ekonomiky prevádzky pohonnej jednotky lietadla (dokonalejší systém riadenia vedie k odstráneniu náhodných a systematických preťažení a k presnejšiemu vymedzeniu jeho pracovných režimov),
- jednoduchšie zálohovanie, technika obsluhy a opráv a možnosti využitia autodiagnostiky.

Pri návrhu zákonov riadenia LTKM je nutné vychádzať zo skutočnosti, že základné fyzikálne zákony, ktorými sa riadia fyzikálne procesy v nich prebiehajúce sú termodynamické. Dôležitou úlohou pri vytváraní číslicového elektronického systému riadenia je rozpracovanie matematického modelu. Požiadavka vypracovania zložitejšieho programového riešenia algoritmov riadenia s cieľom zjednodušenia technického vybavenia sa javí ako neakceptovateľná. Je nevyhnutné vytvoriť vyvážený hardwarový i softwarový systém, čo umožňuje využiť modulové systémy a programovacie jazyky vyššej úrovne. Veľkou výhodou softvérového návrhu riadenia LTKM je relatívne jednoduchá možnosť zmeny charakteristík a algoritmov systému riadenia. Spoľahlivosť elektronických regulačných systémov nie je určená iba spoľahlivosťou použitých elektronických prvkov, ale závisí aj od spoľahlivosti vysielačov, akčných členov a spojení. Prenos informácií v riadiacom systéme je možné realizovať pomocou vysoko spoľahlivých optických vlákien. V prípade poruchy v spojení medzi jednotlivými obvody môže celý systém regulácie zabezpečovať záložný obvod, v ktorom sa nepredpokladá existencia viacerých porúch. Stredná doba bezporuchovej činnosti je približne 3000 hodín. Túto hranicu je možné dosiahnuť použitím moderných elektronických prvkov a mikroprocesorov so zálohovaním základných obvodov a automatickým udržiavaním činnosti regulátora pri vzniku čiastkových porúch. Zavedenie číslicových systémov riadenia leteckých motorov vyžaduje riešenie celého komplexu

problémov so zameraním na ich spoľahlivosť a bezpečnosť, vrátane nového - systémového prístupu k problematike riadenia LTKM vôbec.

Nezanedbateľnou stránkou popisovaného riešenia číslicových systémov riadenia leteckých turbokompresorových motorov je ich programové vybavenie. Jeho úlohou je zabezpečiť všetky požadované funkcie, potrebné pre riadenie, reguláciu, kontrolu, obsluhu a celkovú prevádzku systému. Ide najmä o nasledujúce funkcie:

- zabezpečenie samostatnej činnosti počítača v reálnom čase (program monitor),
- riadenie celej činnosti spojenej s činnosťou pohonnej jednotky (spustenie regulačného programu, diagnostiky, testov, pomocných programov atď.),
- regulačná funkcia vo všetkých požadovaných režimoch,
- diagnostická funkcia (tzv. vnútorná diagnostika),
- riešenie otázok spoľahlivosti,
- číslicový záznam činnosti,
- číslicová filtrácia signálov,
- logická filtrácia signálov,
- uloženie potrebných pomocných matematických funkcií (funkčné závislosti, zložitejšie výpočty, atď.),
- uloženie konštánt potrebných pre riadiacu funkciu.

ZÁVER

Integrácia lietadla a pohonnej jednotky zohráva v systémoch riadenia. Pri kompletnom vertikálnom vedení lietadla umožňuje využívať optimalizačné programy riadenia a potom systém vypočítava optimálnu cestovnú hladinu a určuje najlepšie kombinácie nastavenia riadenia motora – napr. riadenia ťahu a rýchlosti v priebehu stúpania a klesania.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) LAZAR, T., a kol.. *Tendencie vývoja a praxe palubných elektronických systémov a ich modelovania*. [Výskumná správa kvÚ MO SR PT 9304/2]. VLA Košice KAZS, 1998.
- (2) MARTINEC, F. *Elektrické systémy riadenia leteckých turbokompresorových motorov*. Časopis ASR Apológia, 10/1996,
- (3) MARTINEC, F. *Číslicové systémy riadenia leteckých motorov*. Zborník II. Medzinárodnej vedeckej konferencie „Letectvo budúcnosti“, Sekcia II., VVLŠ Košice, 1996.
- (4) MARTINEC, F. *Aircraft's digitally controlled power management system*. Zborník vedeckých prác 1/1995, VVŠL Košice, 1995.