



IL FADEC

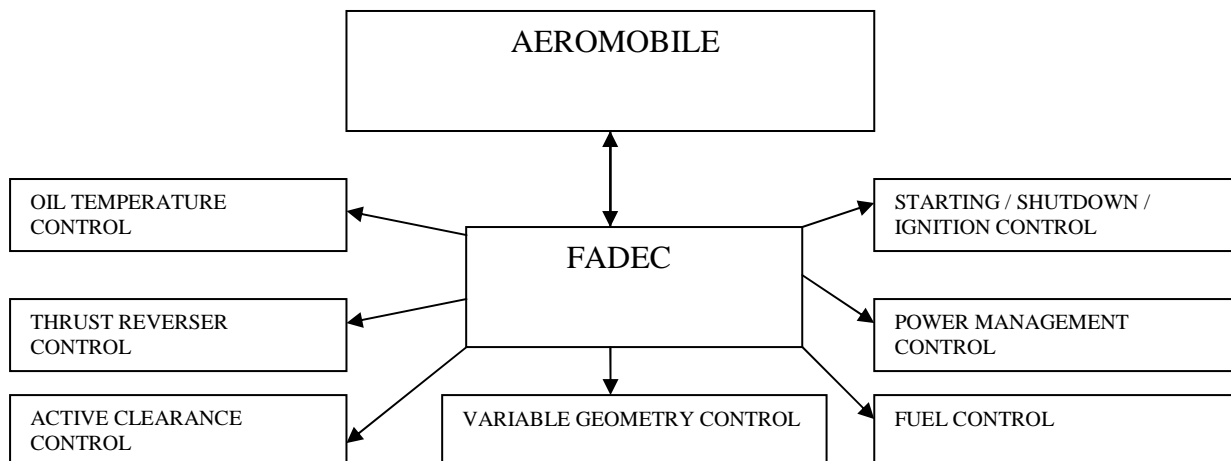
GENERALITA'

Quando si discute di motori di nuova generazione, spesso si sente parlare di controllo tramite FADEC. Con questo approfondimento vogliamo spiegare cos'è, quali sono i suoi scopi e in base a cosa opera questo sistema. Lo scopo del lavoro è di fornire un'introduzione generale ma comunque completa, lasciando poi al lettore che lo desidera l'approfondimento di aspetti più dettagliati riguardo questo vastissimo argomento.

Il FADEC (acronimo di Full Authority Digital Engine Control) è un sistema elettronico computerizzato che controlla il funzionamento del motore in tutte le sue fasi operative. Lavora in stretto contatto con gli altri sistemi dell'aeroplano e, oltre a supervisionare il motore, fornisce anche all'aereo le informazioni per le indicazioni in cockpit e monitorizza le condizioni del motore, facilitando la manutenzione e la ricerca di problemi.

In particolare, il FADEC si occupa di:

- Power management (cioè la gestione della spinta in base ai comandi e alle informazioni ottenute, sia in manuale che in autothrust)
- Gas generator control (controllo del generatore di gas)
- Engine limit protection (protezione del motore affinché i parametri non superino i limiti imposti)
- Automatic and manual engine start (il FADEC controlla e gestisce tutta la procedura di avviamento)
- Thrust reverser control (controllo degli inversori di spinta)
- Engine parameters transmission for cockpit indication (fornisce all'aereo i parametri per le indicazioni in cockpit)
- Transmission of engine condition monitoring parameters (trasmette i parametri di controllo delle condizioni del motore)
- Detection, isolation, memorization of its internal system failures (rileva, isola e memorizza i guasti relativi al suo sistema interno)
- IDG cooling system (controllo del raffreddamento degli Integrated Drive Generator)



FADEC purpose

L'utilizzo del FADEC sui motori di nuova generazione permette notevoli vantaggi rispetto ai sistemi di controllo elettromeccanici tradizionali. La gestione del motore in tutte le sue fasi di funzionamento permette un'ottimizzazione delle prestazioni nelle varie fasi del volo, una gestione ottimale della spinta, una notevole riduzione dei consumi e delle emissioni inquinanti, dovuti ad una maggiore efficienza. Lo stretto controllo sul motore impedisce il superamento dei limiti, ad esempio di EGT o di velocità di rotazione, preservando lo stato del motore: inoltre le sue capacità di monitoraggio e memorizzazione dei guasti facilitano gli interventi di manutenzione. Riassumendo, ecco quali sono i vantaggi principali derivanti dall'uso di questo sistema:

- Maggior efficienza, con incremento delle performance e riduzione dei consumi.
- Protezione del motore dal superamento dei limiti.
- Ridondanza in caso di failure.
- Gestione e controllo del motore durante l'avviamento, con abort immediato della procedura in caso di problemi (es: hot start).
- Integrazione con gli altri sistemi dell'aeromobile.
- Facilita la manutenzione e il rilevamento dello stato del motore.
- Riduce il carico di lavoro dell'equipaggio, prendendosi carico della gestione del motore e segnalando immediatamente le anomalie.

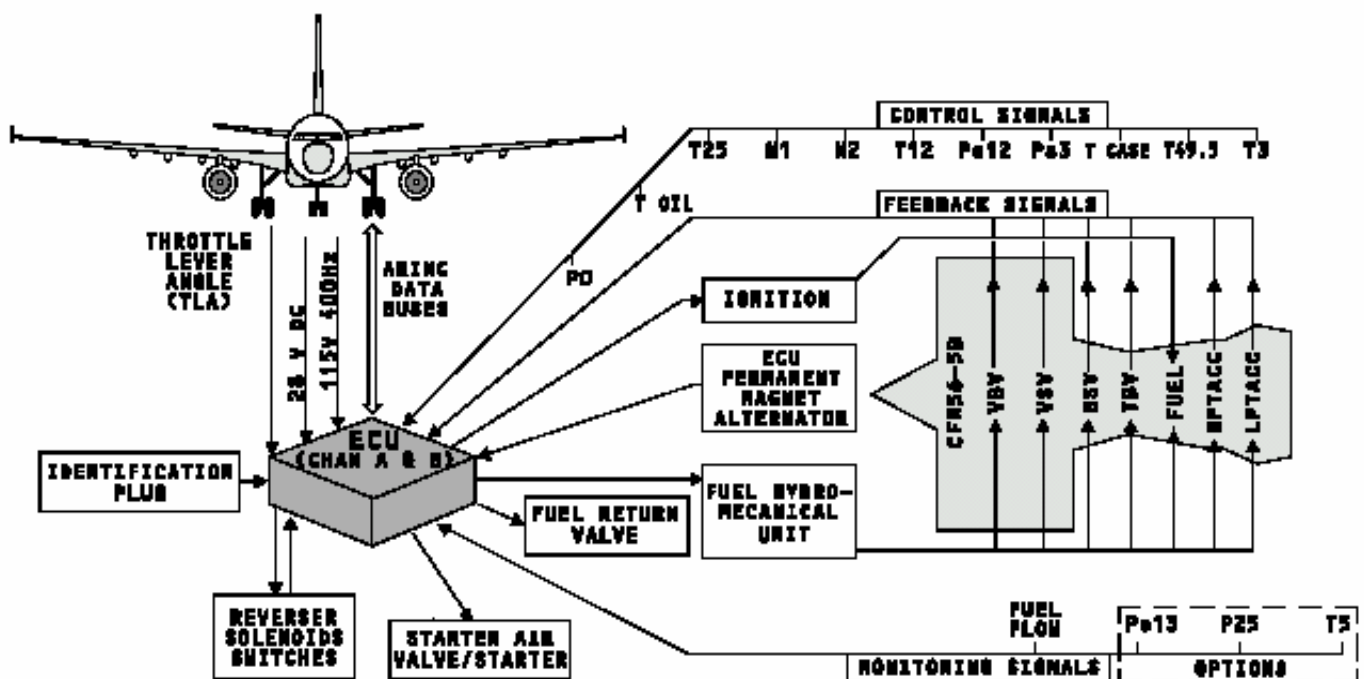
E' importante rilevare un aspetto fondamentale: grazie al controllo che il FADEC esercita sulle parti fondamentali del motore, sulle bleed valve, sugli statori a geometria variabile, sui sistemi di active clearance control, possiamo avere una gestione molto migliorata dei transitori a cui è sottoposto il motore, fasi che sono notoriamente molto delicate da gestire per un sistema tradizionale. La gestione dei transienti è la parte più difficile che un sistema di questo tipo è chiamato a svolgere, in un momento in cui il motore è sottoposto a stress aerodinamico notevole. Sistemi come le VBV (Variable Bleed Valve) e le VSV (Variable Stator Vanes) fanno in modo che il motore non stalli durante un transitorio, come ad esempio da TO Thrust a Climb Thrust, allontanando il più possibile la curva dei giri del motore dallo Stall Margin.

ARCHITETTURA DEL SISTEMA

COMPONENTI FONDAMENTALI

Il sistema FADEC è composto da questi elementi fondamentali:

- **ECU (Electronic Control Unit)**, a doppio canale, che si può intendere come il "cervello" del sistema. Essa riceve i dati dai vari sensori, li elabora, invia i segnali elettrici di comando all'HMU, riceve i segnali di feedback, scambia dati con gli altri sistemi dell'aeromobile.
- **HMU (Hydro Mechanical Unit)**, che riceve e converte i segnali elettrici provenienti dall'ECU in pressione idraulica.
- Componenti periferici, come valvole, attuatori e sensori, che inviano dati all'ECU, eseguono i comandi, trasmettono i feedback di posizione all'ECU.



FADEC Components

La figura soprastante (riferita al FADEC del CFM56-5B) rappresenta bene il sistema e tutti i parametri ricevuti e controllati da esso. Oltre a ricevere l'alimentazione e l'informazione dell'angolo di manetta (TLA), riceve:

- P0 (Ambient static pressure)
- Toil (Temperatura olio)
- T25 (HP compressor inlet air temperature)
- N1 (Low pressure rotor rotational speed)
- N2 (High pressure rotor rotational speed)
- T12 (Fan inlet total air temperature)
- Ps12 (Fan inlet static air pressure)
- Ps3 (Compressor discharge static air pressure)
- Tcase (HP turbine case temperature)
- T49.5 (Exhaust gas temperature)
- T3 (HP compressor discharge air temperature)
- Fuel Flow
- Ps13 (Fan outlet static air pressure)
- P25 (HP compressor inlet air pressure)
- T5 (Low pressure turbine discharge total air temperature)

Tramite l'HMU comanda (ricevendo poi i rispettivi segnali di feedback):

- VBV (Variable Bleed Valve)
- VSV (Variable Stator Vane)
- BSV (Burner Staging Valve)
- TBV (Transient Bleed Valve)
- RAC/SB (Rotor Active Clearance /Start Bleed)
- HPTACC (High Pressure Turbine Active Clearance Control)
- LPTACC (Low Pressure Turbine Active Clearance Control).

Come si può vedere dalla figura comanda inoltre l'ignition system.

Il sistema è costruito per essere completamente ridondante, in modo da essere il più possibile sicuro e affidabile. L'ECU è composta da due canali indipendenti, tutti gli input sono doppi ad eccezione di alcuni parametri di monitoraggio o indicazione che sono singoli.

Ogni canale dell'ECU è indipendente, ma sono operativi contemporaneamente: entrambi i canali ricevono gli input e li processano, ma solo il canale attivo (active channel) fornisce i comandi in uscita (l'altro è chiamato stand-by channel).

Il FADEC è un sistema di tipo BITE (Built In Test Equipment); rileva e memorizza eventuali failure o combinazioni di esse per determinare lo stato di ogni canale e trasmettere i maintenance data all'aereo.

La selezione Active/Stand by è stabilita dall'ECU ad ogni avvio e durante l'operatività, in base allo stato di ogni canale: ogni canale rileva il suo stato e il canale con la "stato" migliore è il canale attivo. Se lo stato dei canali è identico, si alternano ad ogni engine start.

Se un canale è fuori uso e l'altro non può eseguire una determinata funzione, la funzione controllata si pone automaticamente in "fail safe" position.

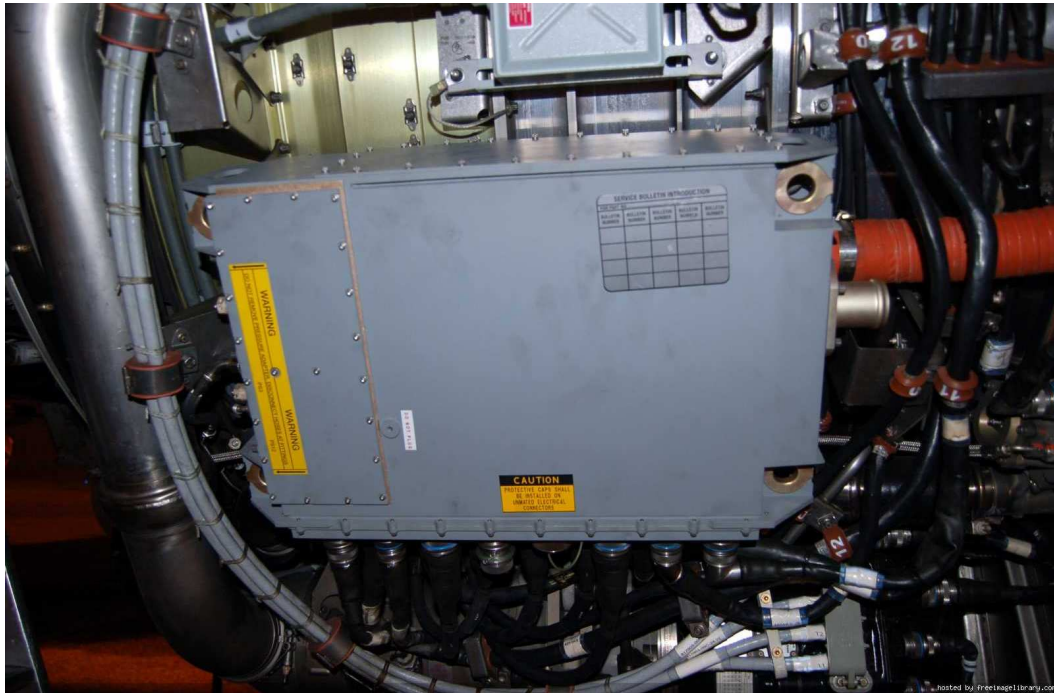
Per approfondire l'argomento, il metodo migliore è prendere in esame un reale sistema FADEC. Analizziamo quindi il sistema FADEC che equipaggia i propulsori CFM56-5B.

Il CFM56-5B è un moderno turbofan, con un by-pass ratio da 5,4:1 a 6:1 a seconda delle versioni. E' prodotto da CFM International, presenta un architettura twin-spool, offre un range di spinta da 22.000 a 33.000 lbs. Equipaggia le macchine della famiglia A320 (A318, A319, A320, A321).

IL SISTEMA FADEC DEL CFM56-5B

Come già specificato nell'introduzione, il FADEC gestisce il motore in tutti i suoi aspetti, controlla il motore in tutte le sue fasi operative, si interfaccia con gli altri sistemi dell'aeromobile e monitorizza i vari parametri.

L' ECU (Electronic Control Unit) è il computer che gestisce il sistema FADEC. L'ECU è a doppio canale, ed è sistemata sul motore, sul fan inlet case, in posizione "Ore 4". Presenta uno chassis in alluminio, fissato con quattro vibration isolators.



ECU del CFM56-5B

Il FADEC su questo motore controlla le seguenti funzioni:

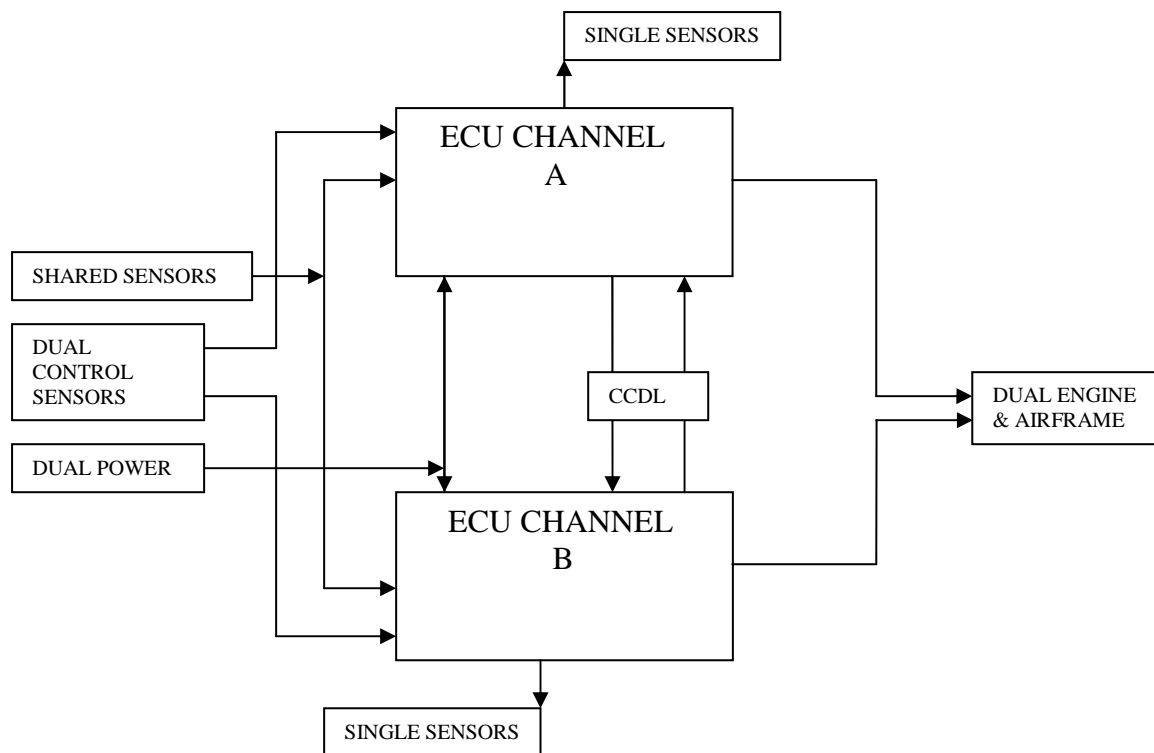
- Fuel control regulation
- Power management control
- Burner Staging Valve control (BSV)
- Fuel Return Valve control (FRV)
- Variable Bleed Valve control (VBV)
- Variable Stator Vane control (VSV)
- Transient Bleed Valve control (TBV)
- High Pressure Turbine Active Clearance Control (HPTACC)
- Low Pressure Turbine Active Clearance Control (LPTACC)

Si interfaccia inoltre con i vari sistemi dell'aeromobile per

- Gestire l'avvio del motore sia in automatico che in manuale
- Controllo dei reverse
- Autothrust
- Engine indication
- Engine maintenance data
- Condition monitoring data

L'ECU è alimentata da un alternatore dedicato, quando N2 è superiore al 12%, ed è alimentata dall'aereo per lo starting, come backup e per l'alimentazione nei test a terra quando il motore è spento.

Il FADEC è totalmente ridondante, costituito da due canali indipendenti, con doppi ingressi e doppie uscite; il passaggio automatico da un canale all'altro elimina qualsiasi interruzione in caso di failure.



Schema dell'ECU del CFM56-5B

Tutti i controlli in ingresso sono doppi (ad eccezione di alcuni parametri secondari che sono singoli), per aumentare la tolleranza ai guasti i parametri sono scambiati tra i due canali dentro l'ECU tramite il Cross Channel Data Link. Per incrementare l'affidabilità del sistema tutti gli inputs di un canale sono disponibili all'altro attraverso il CCDL (Cross Channel Data Link), permettendo ad entrambi i canali di restare operativi anche se dovesse venire a mancare un input importante ad un canale.

Tutte le uscite dell'ECU sono doppie: solo il canale in controllo attivo invia i segnali ai vari utilizzatori (attuatori, motori, solenoidi, ecc.), l'altro canale (in stand by) è usato come verifica incrociata.

L'ECU è un sistema BITE (Built In Test Equipment), che provvede ad inviare informazioni e effettuare test tramite l'MCDU (Multipurpose Control and Display Unit), dando la possibilità di individuare eventuali failure e permettendo comunque di passare il controllo dal canale difettoso a quello funzionante. Esiste poi un ulteriore livello di sicurezza: se ad esempio un canale è fuori uso e il canale in controllo non può governare una funzione, questa è portata automaticamente in fail safe position. Ad esempio, se un canale è in avaria e il canale in controllo non è in grado di controllare la posizione della VBV, la valvola viene portata in posizione fail safe open.

Per svolgere le sue funzioni l'ECU si deve interfacciare con gli altri elaboratori dell'aereo, direttamente o tramite l'EIU (Engine Interface Unit), che è un interfaccia concentratore tra i sistemi dell'aereo e il FADEC; c'è un EIU per ogni motore, installata nell'avionic bay.

L'ECU riceve input dai seguenti sistemi:

- Landing Gear Control and Interface Unit (LGCIU)
- Air Data Inertial Reference Units (ADIRU)

- Flight Control Unit (FCU)
- Environmental Control System Computers (ECS)
- Centralized Fault Display Interface Unit (CFDIU)
- Cockpit engine controls including Throttle Lever Angle (TLA), fire and anti-ice systems.

Ed invia output a :

- Bleed air Monitoring Computers (BMC)
- Electronic Control Box (ECB)
- Flight Warning Computers (FWC)
- Display Management Computers (DMC)
- Flight Management and Guidance Computers (FMGC)
- Centralized Fault Display Interface Unit (CFDIU)

Il FADEC, come detto, gestisce la spinta dei motori ed ottimizza le performance. Oltre all'ECU ci sono dei componenti periferici ed una serie di sensori usati per controllo e monitoring del motore. L'ECU è in relazione con gli altri sistemi attraverso l'EIU. I parametri primari (N1, N2, Fuel Flow, EGT) sono acquisiti direttamente dall'ECAM (Electronic Centralized Aircraft Monitoring), i secondari dall'ECAM attraverso l'EIU.

Come abbiamo detto c'è un EIU per motore nell'avionic bay, collegata con la rispettiva ECU.

Esaminiamo ora le principali operazioni svolte:

- **POWER MANAGEMENT.** Il FADEC provvede ad un controllo automatico della spinta e a calcolarne i limiti. Può operare in due modi: manuale, che dipende dall'angolo delle manette, o Autothrust, che dipende dall'Autothrust Function generata dall'Autoflight System. Ci sono anche due modalità idle: minimum idle e approach idle (quest'ultima ottenibile solo con Slats estesi). Il regime di idle sarà modulato fino all'approach idle in dipendenza di questi fattori: Air Conditioning demand, Wing Anti-Ice and Engine Anti-Ice demand, Oil Temperature.
- **ENGINE LIMIT PROTECTION.** Il FADEC provvede ad una protezione dall'overspeed per N1 e N2, in modo da prevenire il superamento dei limiti di certificazione. Inoltre attua un monitoraggio continuo dell'EGT.
- **ENGINE SYSTEM CONTROL.** Il funzionamento ottimale del motore è ottenuto controllando:
 - Fuel Flow
 - Compressor Airflow and Turbine Clearance

Proprio la gestione ottimale dei flussi all'interno del propulsore è uno dei compiti più importanti e delicati che il sistema deve attuare, come anticipato prima, soprattutto nei transitori. Con il FADEC e la sua azione su VBV e VSV si ha quindi un maggior controllo sullo stallo del compressore. Il controllo attivo della clearance delle turbine (HPTACC e LPTACC) permette di controllare e mantenere sempre a livelli ottimali la clearance esistente tra le palette della turbina e il carter della turbina stessa. Tutto ciò permette al motore di lavorare in maniera il più possibile efficiente in tutte le condizioni che può incontrare durante il suo esercizio.

- **STARTING AND IGNITION CONTROL.** Il FADEC controlla e supervisiona tutta la procedura di avvio del motore, monitorizzando i parametri, in particolare N1, N2 e EGT, abortendo o ripetendo la procedura in caso di necessità.
- **THRUST REVERSER.** Il FADEC controlla e supervisiona il funzionamento dei Thrust Reverse: in caso di malfunzionamento essi vengono messi in stow.

INTERFACCE ECU

ECU CHANNEL INPUTS

Il canale A riceve i parametri anemometrici per il calcolo della spinta dall'ADIRS (Air Data Inertial Reference System) e i segnali dall'aeromobile per il controllo dei motori dall'EIU. Riceve anche il segnale dalla Throttle Control Unit e dai vari sensori sul motore.

Il canale B riceve gli stessi inputs da ADIRS, EIU, Throttle Control Unit e sensori sul motore.

ECU CHANNEL A OUTPUTS

Tramite bus ARINC, l'output dell'ECU viene inviato a:

- Engine Interface Unit (EIU)
- Flight Warning Computers (FWCs)
- Display Management Computers (DMCs)
- Flight Management and Guidance Computers (FMGCs) and Data Management Computer (DMU)

Il canale A provvede poi ad inviare l'output ai vari Torque Motor (TC) e solenoidi, per il controllo del motore.

ECU CHANNEL B OUTPUTS

Il canale B provvede agli stessi output del canale A verso i computers dell'aereo (attraverso un'altra rete di bus), oltre che ai vari dispositivi per il controllo del propulsore. Il Canale B non fornisce l'uscita per il DMU.

ECU ELECTRICAL POWER SUPPLY CONTROL

L'ECU è alimentata dall'impianto elettrico dell'aereo quando i motori sono spenti, da un ECU Permanent Magnet Alternator (PMA) quando gli stessi sono in funzione. Si hanno diverse possibilità:

- $N2 < 12\%$: entrambi i canali sono alimentati indipendentemente dall'aereo tramite 28V DC attraverso l'EIU, in modo tale da permettere il check a terra automatico del FADEC prima dell'avvio dei motori, l'avvio dei motori, l'alimentazione fino al raggiungimento del 12% N2.

- $N_2 > 12\%$: al raggiungimento di questo regime, l'ECU è alimentata dal Permanent Magnet Alternator (PMA). Il PMA alimenta entrambi i canali con una corrente AC trifase; due trasformatori rettificatori provvedono a creare la corrente 28V DC per l'alimentazione dei canali A e B. In caso di failure del PMA, l'ECU automaticamente viene alimentata, come back up, dai 28V DC dell'aereo tramite EIU.

Il FADEC è automaticamente disattivato a terra, attraverso l'EIU, dopo lo spegnimento del motore. L'alimentazione dell'ECU viene tagliata in caso di azionamento dell'Engine Fire Push Button.

Per propositi di manutenzione e per l'MCDU Engine Test, l'ENGINE FADEC GROUND POWER Panel permette di ripristinare l'alimentazione all'ECU a terra a motori spenti.

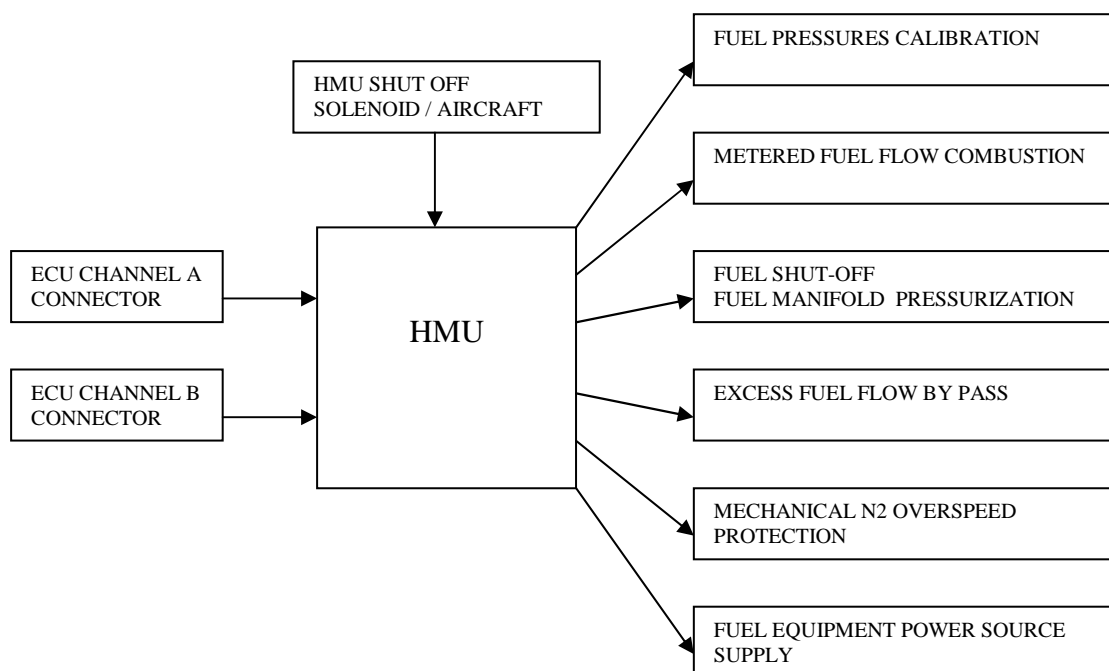
HMU (Hydro Mechanical Unit)

Come detto all'inizio, l'HMU trasforma i segnali provenienti dall'ECU in pressione idraulica. E' sistemata sulla scatola degli accessori, affiancata alla fuel pump.

Le funzioni dell'HMU si possono riassumere in:

- Internal calibration of fuel pressures
- Metered fuel flow for combustion
- Fuel shut off e fuel manifold pressurization
- Mechanical N2 overspeed protection
- Excess fuel flow by pass
- Fuel equipment power source supply

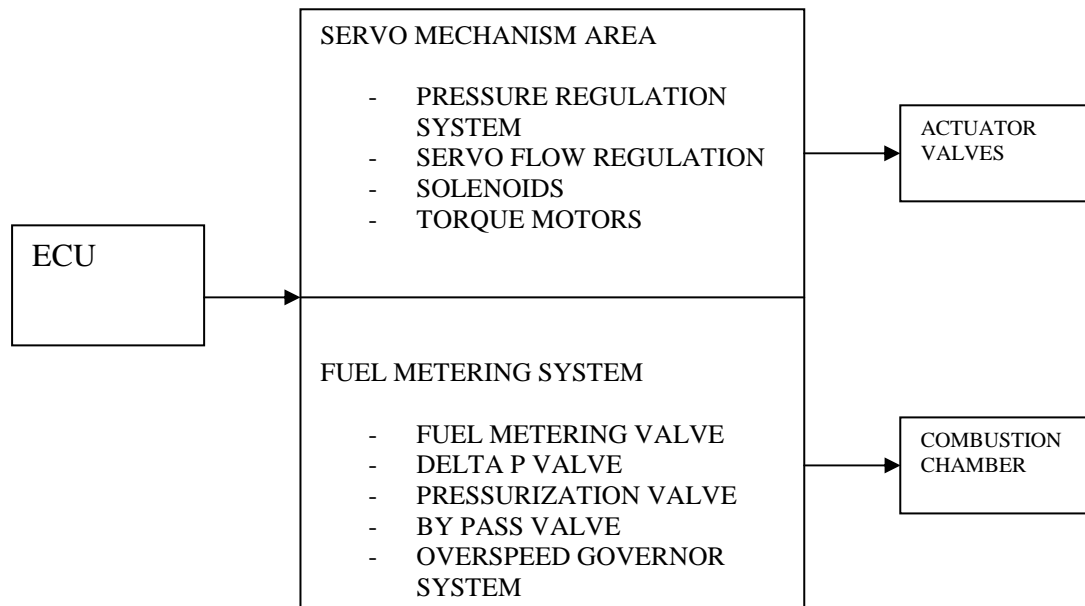
L'Hmu presenta due connettori per i canali A e B dell'ECU, e un connettore per il solenoide dello Shut-off .



HMU Purpose

Internamente l'HMU è formata da due sottosistemi:

- Fuel metering system and overspeed governor system.
- Servo mechanism area, che include il Pressure Regulation System, Servo Flow Regulation System, Solenoid Valves e Torque Motors, per mandare il fuel alle varie valvole e attuatori del motore, che azioneranno i vari dispositivi come VBV, VSV, LPTCC, HPTCC, ecc.. , come visto prima.



HMU Design

Tramite 6 Torque Motors (TM) avviene il controllo di:

- FMV (Fuel Metering Valve)
- VSV (Variable Stator Vane)
- VBV (Variable Bleed Valve)
- TBV (Transient Bleed Valve)
- HPTCC e LPTCC (High and Low Pressure Turbine Clearance Control).

Tramite due solenoidi si controlla la BSV (Burner Staging Valve) e l'AC shut-off valve signal generator (questo solenoide, che agisce sulla Shut Off Valve per lo spegnimento del motore, non è comandato dall'ECU, ma direttamente dalla Master Lever in Cockpit)

CONCLUSIONI

Con questo lavoro si è voluto dare una panoramica generale sul sistema FADEC, sui suoi scopi, i vantaggi che presenta rispetto ad un controllo elettromeccanico tradizionale, la sua architettura generale.

Nonostante l'argomento sia vastissimo, crediamo comunque di essere riusciti a fornire le basi generali del funzionamento di questo sistema e i principi fondamentali. L'importanza che i sistemi di tipo FADEC rivestono nei propulsori moderni è molto grande, e lo sarà ancora di più in futuro. La gestione ottimale del motore in ogni condizione di funzionamento permessa da questo sistema, ha consentito un incremento delle performance dei motori, una notevole riduzione dei consumi, una minore emissione di inquinanti. Inoltre ha facilitato anche il compito dei tecnici addetti alla manutenzione, incrementando complessivamente l'affidabilità dei propulsori.

ACKNOWLEDGMENT

Alcune immagini di questo approfondimento sono proprietà di Airbus Industrie e pertanto ne è vietata la riproduzione.

Alcune immagini di questo approfondimento sono proprietà di CFM International e pertanto ne è vietata la riproduzione.

Paolo "JT8D"
Copyright 2008 Md80.it



