

SYSTEMKOMPONENTEN FÜR DEN BARRACUDA ENTWICKLUNG EINES FLIGHT CONTROL COMPUTERS UND DER SCHUBDÜSE

R. Hierlwimmer / Dr. M. Metscher / G. Weber
MTU Aero Engines GmbH
Dachauer Straße 665
80995 München

1. ÜBERSICHT

Im Rahmen des Barracuda Projekts ist die MTU für verschiedene Systemkomponenten von der EADS ausgewählt worden. Dies beinhaltet die Entwicklung und Bereitstellung des Flight Control Computer FCC, die Entwicklung und Bereitstellung der Schubdüse sowie die Bereitstellung des Triebwerks JT15D-5C und triebwerkstechnische Unterstützung in der Flugerprobung.

Als Entwicklungs- und Herstellbetrieb von Flugtriebwerken im militärischen Bereich und Triebwerkskomponenten im zivilen Bereich, war MTU für die Bereitstellung des Triebwerks prädestiniert. Auch in der Entwicklung der Schubdüse konnte die MTU ihre Kompetenz auf diesem Gebiet unter Beweis stellen. Neuland wurde in der Entwicklung des FCC betreten. Allerdings konnte auch hier die MTU ihre Erfahrung im Bereich der Triebwerksregelung und deren Geräte nutzen, um ein artverwandtes Gerät wie den FCC zu entwickeln.

2. DIE ENTWICKLUNGSAKTIVITÄTEN UND DEREN HERAUSFORDERUNGEN

Das Barracuda Projekt bediente sich soweit als möglich vorhandener Systemkomponenten. Allerdings waren weder für den FCC noch für die Schubdüse passende Komponenten verfügbar und bedurften somit einer Neuentwicklung.

2.1. Herausforderungen bei der FCC Entwicklung

Das Projekt Barracuda bedient sich sehr stark bestehender Systemkomponenten im Bereich der Elektronik / Avionik. Ein bestehender Flight Control Computer konnte jedoch nicht direkt eingesetzt werden, da eine Anpassung der Schnittstellen notwendig gewesen wäre. Der zur Verfügung stehende Einbauraum, sowie die Gewichtsanforderungen forderten ein innovatives Design, welches so nicht als Standard vorhanden war.

Mit seinen Erfahrungen im Bereich der Triebwerksregelung, konnte die MTU ein innovatives

Konzept entwickeln, welches so für den Barracuda umgesetzt wurde.

Integration von genügend Rechenleistung und das Handling der Interfaces waren eine der Entwicklungsherausforderungen in dem FCC Projekt. Technologien wie sie im Bereich der Triebwerksregelung in Anwendung sind haben direkt Einfluss auf die Reglertopologie genommen. Erfahrungen welche die MTU im Bereich sicherheitskritischer Anwendungen im automotive Bereich erarbeitet hat, haben maßgeblich zum Thema Design to Cost beigetragen. Die modulare Struktur und die Konfigurierbarkeit der elektronischen Geräte-Hardware haben dazu beigetragen, daß der Regler optimal in dem System Einzug gefunden hat. SW Entwicklungsmethoden kamen aus aktuellen Projekten (wie TP400 / A400M Triebwerk) zum Einsatz und führten dazu, daß die Programmiersprache C die Programmiersprache ADA für dieses Projekt abgelöst hat.

2.2. Herausforderung bei der Schubdüsenentwicklung

Da MTU auch als Triebwerkszulieferer für die Bereitstellung des Triebwerks und der Düse verantwortlich war, mussten auch die speziellen Anforderungen an den Barracuda berücksichtigt werden.

Die UCAV-spezifische Anwendung mit dem oben liegenden Triebwerkseinlauf erfordert eine sehr lange, umlenkende Düse. Im Rahmen der Auslegung derselben wurden umfangreiche forced response-Rechnungen zur mechanischen Absicherung und Strömungsrechnungen zur Bewertung der Umlenkung durchgeführt. Die Bauweise und eine Zusammenfassung der Analyseergebnisse werden vorgestellt

3. DER FLIGHT CONTROL COMPUTER FCC

In den bei MTU vorhandenen Triebwerksprogrammen, konnte sich MTU ein tief greifendes Know How im Bereich von sicherheitskritischen Regelsystemen aufbauen und dies anhand seiner Produkte unter Beweis stellen. Zu diesen Produkten zählen unter anderem:

- Elektronische Geräte in Triebwerksregelsystemen

- ❑ Elektronische Geräte für sicherheitskritische Applikationen im automotive Bereich

In beiden Bereichen existieren heute Produkte, bei denen MTU die Konzepterstellung, Entwicklung, Qualifikation und Fertigung durchgeführt hat.

All diese Technologien haben die Entwicklung und Auslegung des FCC stark beeinflusst. Heute ist bei MTU ein Produkt vorhanden, welches zu der Leistung heutiger FCC vergleichbar ist und dies zu sehr wirtschaftlichen Bedingungen.

Dies alles konnte nur durch die konsequente Anwendung moderner Elektronik und effizienter Entwicklungsprozesse in der elektronischen Hardware Entwicklung, der mechanischen Konstruktion und der Softwareentwicklung erzielt werden.

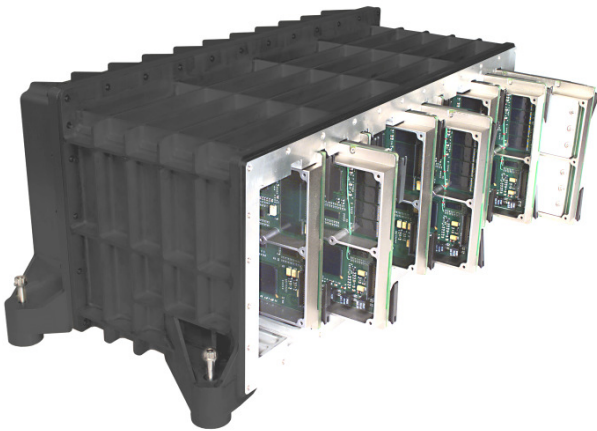


BILD 1. MTU Flight Control Computer

Folgende Kapitel geben einen Überblick welche Technologien aus anderen Projekten bei der Entwicklung Einzug gehalten haben und wie diese umgesetzt wurden.

3.1. Triebwerkstechnologie im Flight Control Computer (FCC)

Die Regel- sowie die Überwachungsfunktionalitäten in Triebwerksprogrammen werden heute noch in verschiedenen Geräten innerhalb der ECM Systeme umgesetzt, wobei die Überwachungsfunktionalität überwiegend auf Daten des Regelsystems angewiesen ist. Diese Tatsache und die drohende Abkündigung von Bauteilen, veranlasste die MTU ein Gerät zu entwickeln, welches beide Funktionalitäten in einem Gerät vereint. Das Ergebnis ist die DECMU (Digital Engine Control and Monitoring Unit) wie im BILD 2 dargestellt. Regelung und Überwachung realisiert in einem Gerät bedeutet vor allem, dass sich die Lebensdauerkosten, das Risiko der Abkündigung von Bauteilen, Gewicht und notwendiges Einbauvolumen deutlich reduzieren. Darüber hinaus verbessert sich die Systemzuverlässigkeit.



BILD 2. Digital Engine Control and Monitoring Unit – DECMU

Mit diesem Produkt wurden Basistechnologien entwickelt die heute standardmäßig in neuen Entwicklungen und auch im FCC verwendet werden. Diese sind überwiegend auf der funktionellen Seite angesiedelt:

- ❑ Hoher Grad an digitaler Signalverarbeitung
- ❑ Konfigurierbare digitale Regelkreise
- ❑ Konfigurierbare digitale Ausgangsstufen
- ❑ Einsatz der Programmiersprache C in sicherheitskritischen Anwendungen

3.1.1. Systemauslegung

Wie bereits Eingangs erwähnt hat MTU ein integriertes System für Regelung und Überwachung in einer LRU entwickelt. Prinzipiell unterscheiden sich integrierte ECM Systeme nicht von konventionellen, heute bestehenden Systemen. Der Hauptunterschied besteht in der Integration der beiden Geräte ECU und EMU zur ECMU (Engine Control and Monitoring), wie in BILD 3 aufgezeigt.

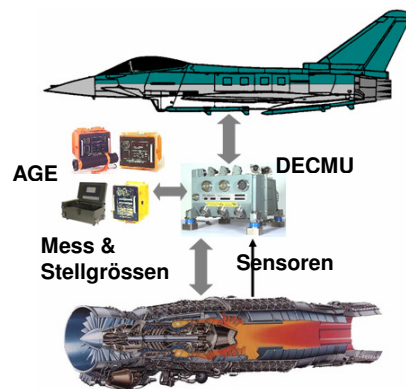


BILD 3. Integriertes ECM System

Die Integration der beiden Geräte zur ECMU ziehen folgende Systemvorteile nach sich:

- ❑ Senkung der Lebensdauerkosten
- ❑ Senkung des Risikos von Abkündigung elektronischer Bauteile
- ❑ Einsparung von Gewicht
- ❑ Einsparung von Einbauvolumen

- Erhöhung der Systemzuverlässigkeit

Diese Systemvorteile sollten auch in der Entwicklung des FCC berücksichtigt werden. Das wiederum hat zur Folge, dass der FCC eine offene Architektur bietet um verschiedenste Funktionalitäten zu implementieren. Die DECMU bietet eine solche Architektur, so wurde die EMU auf Computersystemen integriert, welche auch für die Regelung verwendet wurden. Die Interfaces konnten auf den vorhandenen Modulen zur Eingangssignalaufbereitung integriert werden und die Schnittstellen zu den Bodendienstgeräten sind identisch zu denen der Regelung.

3.1.2. Triebwerkstechnologieprojekte

Darüber hinaus waren zusätzliche Technologien notwendig, die in Technologieprojekten erarbeitet wurden.

So ist MTU im Silence® Projekt beteiligt in dem MTU den Regler für ein aktives Schallunterdrückungssystem entwickelt hat. Auch in diesem Projekt konnten zukunftsweisende Technologien entwickelt werden:

- Kosteneffiziente Gehäusefertigung
- Schnelle digitale Signalverarbeitung
- Schnelle serielle digitale Datenverbindungen
- Optimiertes / integriertes EMV Design

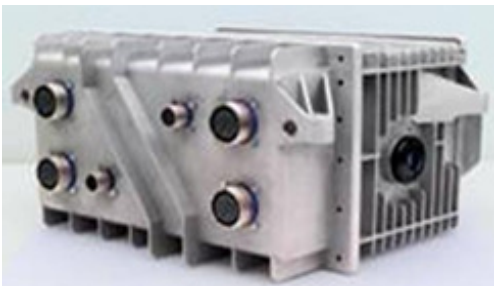


BILD 4. Technologieunterstützung

3.2. Automotive Technologie

Im Bereich der Kraftfahrzeuge werden aktuell X-By Wire Anwendungen, wie Break by Wire oder Steer by Wire untersucht, welche einer hohen sicherheitstechnischen Kritikalität unterliegen. Während die Automobilindustrie diese Bereiche heute mit rein mechanischen oder hydromechanischen Systemen abdeckt, werden hier im Luftfahrtbereich schon seit mehr als 20 Jahren elektronische Systeme eingesetzt.

Die sicherheitstechnischen Anforderungen sind absolut vergleichbar wie die aus sicherheitskritischen Luftfahrtanwendungen. Dennoch stehen automotiv Projekte unter hohem Kostendruck bei der Beschaffung von entsprechenden Teilen und Geräten. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, musste MTU neue Wege in der Aufbautechnologie beschreiten. Dieses Know How hat auch Einzug in den Barracuda FCC gefunden und konnte somit die Gerätekosten deutlich minimieren.

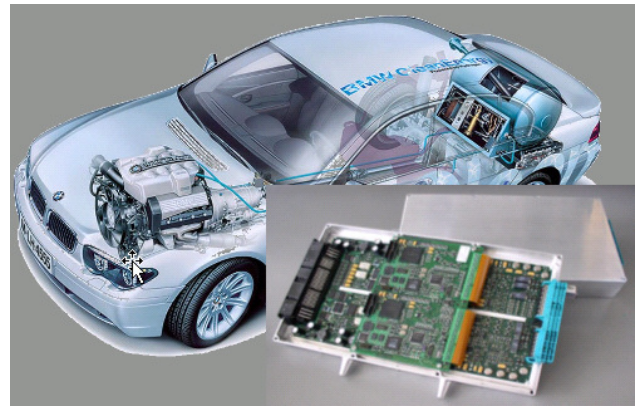


BILD 5. Wasserstofftankregler (Kooperation mit der Firma Atena)

3.3. Die FCC Reglerarchitektur

Die Reglerarchitektur bietet ein offenes Design an, welches viele Freiheitsgrade offen lässt. Es ist somit in Hand des Kunden EADS an welchen Schnittstellen dieser eingreifen will.

Da sicherheitskritische Anwendungen stets mehrkanalige Systeme sind trägt auch die Gesamtarchitektur dessen Rechnung. Abgeleitet vom zweikanaligen Design der Triebwerksregler hat man den FCC um einen dritten Kanal erweitert. Jeder dieser Kanäle ist von identischer Architektur und der Datenaustausch zwischen den Baugruppen Stromversorgung, Computermodul und Input/Output Modul geschieht rein über serielle Verbindungen.

Computer und Input/Output Modul können beliebig ergänzt werden um zusätzliche Rechenleistung oder Schnittstellenkapazität zu erhalten.

Auch auf Seiten der elektronischen Module hat man ein offenes Design angestrebt um eine möglichst hohe Flexibilität zu erhalten. So besitzt auch das Input/Output Modul Intelligenz in Form von Computerleistung die zur digitalen Signalverarbeitung, Implementierung von unterlagerten Regelkreisen und zur Auslagerung von Algorithmen aus dem Computer verwendet werden kann.

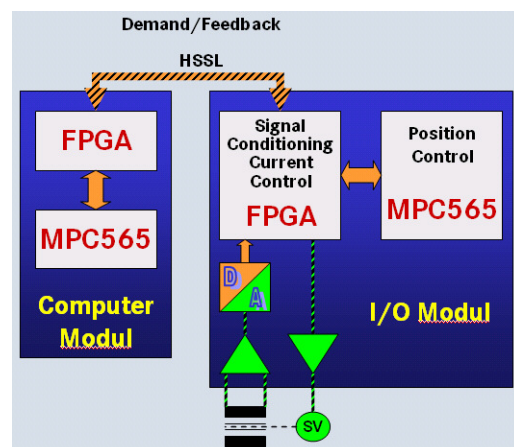


BILD 6. FCC Architektur

Dieser Aufbau und die Konfigurierbarkeit über das Gerät

erlauben der EADS die Konzentration auf die applikationsspezifischen Belange. Unterlagerte Funktionalitäten wie Positionsregelung von Aktuatoren, sind von der Applikationssoftware getrennt und von MTU integriert worden.

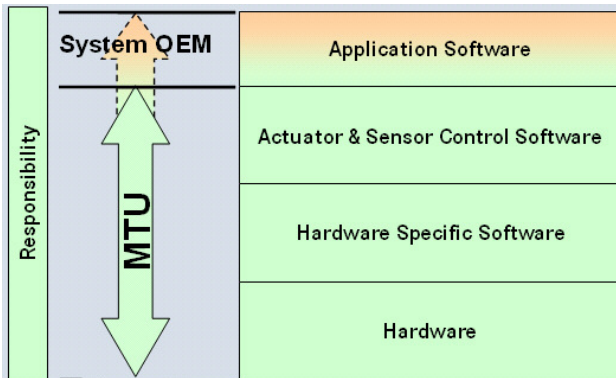


BILD 7. Aufgabenverteilung innerhalb des Geräts

3.4. Elektronik Entwicklung

Heutige Triebwerksregler sind in ihrer Aufbautechnologie so konfektioniert, dass fast ausschließlich MIL qualifizierte Bauteile zum Einsatz kommen. Diese Bauteile treiben allerdings die Herstellkosten enorm in die Höhe, welche außerhalb des Zielbereichs von UAV Anwendungen liegt. Der MTU hilft hier die Erfahrung die in den automotive Anwendungen gesammelt wurden.

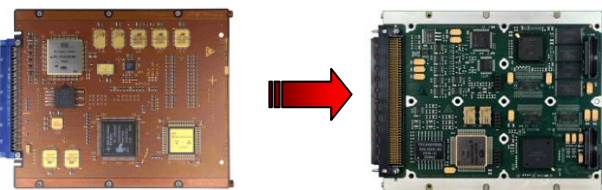


BILD 8. DECMU Computer → FCC Computer

Die Elektronik des FCC ist vollständig mit COTS Komponenten (Components off the Shelf) realisiert. Um eine hohe Packungsdichte zu erreichen wurden wo immer möglich BGA Bauteile eingesetzt. Auf Seiten der EMV Festigkeit kamen Technologien zum Tragen welche im Silence® Projekt erarbeitet wurden. Die EMV Filterung ist direkt in das Design des Interconnect Moduls mit Filterelementen integriert und wurde für die Fertigung optimiert.

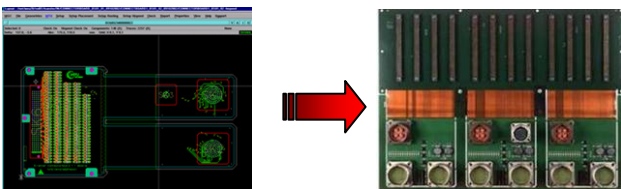


BILD 9. EMV gerechtes Design

Dennoch sind auch in diesem Bereich noch einige Herausforderungen zu bewältigen, wie die Langzeitzuverlässigkeit, sowie der Einsatz von elektronischen Komponenten außerhalb ihres spezifizierten Temperaturbereichs. Diesen neuen Anforderungen trägt

MTU heute schon Rechnung und befasst sich schon mit zukünftigen modularen Reglern, welche eine Weiterentwicklung des heutigen FCC darstellen.

Das komplette Gerät ist gegen die Anforderung der RTCA-DO-160 qualifiziert und war Mitte 2005 abgeschlossen. Zur Erlangung der mechanischen Integrität für die mechanischen Tests, wie z.B. Vibration, wurden die elektronischen Module mit einem Aluminiumrahmen versteift. Allerdings haben nachträglich durchgeführte Versuche aufgezeigt, dass dies aufgrund der steifen Platinenarchitektur nicht nötig gewesen wäre.

3.5. Produktion und Produktpflege

Modularität bedeutet auch, dass die Module über verschiedene Anwendungen einsetzbar sind. Dies hat den positiven Effekt, dass Stückzahlen erhöht werden, was sich dann positiv auf die Produktionskosten auswirkt.

Eine große Aufmerksamkeit wurde auch der Obsolescence Problematik beigemessen. Durch den extrem hohen Grad an Digitalisierung, wurden konsequent elektronische Bauteile eingespart. Auch werden in diesem Design nur bevorzugte Bauteile eingesetzt, welche auch in anderen MTU Produkten Verwendung finden. Die MTU Bauteiledatenbank unterliegt selbst einem ständigen Obsolescence Management.

Durch die Verwendung von standardisierten Schnittstellen können, im Fall von Redesigns aufgrund nicht vermeidbarer Obsolescence, Module ausgetauscht werden ohne jedes Mal ein komplettes Redesign mit entsprechend aufwendiger Qualifikation durchzuführen. Solange das Modul in seiner Architektur und den Schnittstellen nicht geändert wird sollte eine Qualifikation auf Modullevel ausreichen.

3.6. Software Entwicklung

Seit dem Jahr 2000 ist die Programmiersprache ANSI C für sicherheitskritische Systeme (Safer-C) etabliert. Obwohl ADA von der Sprachdefinition selbst fehlersicherer ist, gab es zwei gute Gründe, eine ANSI C-Umgebung einzusetzen:

- Breitere Unterstützung moderner Prozessoren
- Verfügbarkeit von AutoCode Generatoren

Gerade der zweite Punkt "AutoCode Generierung" verspricht eine schnellere Software Entwicklung vom Design über Implementierung hin zur Verifikation. AutoCode bedeutet, dass ein Regler oder ein System modelliert wird (z.B. in Matlab/Simulink) und der C-Source Code für die Zielhardware automatisch aus dem Modell generiert werden kann. Zudem erleichtert die Verwendung der Testszenarien aus der Design- und Validierungsphase die Software Verifikation.

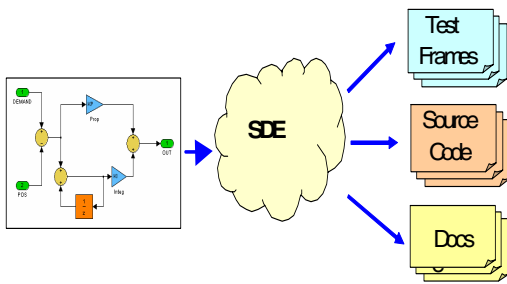


BILD 10. Matlab/Simulink Model

MTU setzt diese Umgebung heute für die Entwicklung von Triebwerksreglern als auch für sicherheitskritische Systeme im Bereich Automotiv ein.

Wie in Bild 9 aufgezeigt, sind verschiedene SW Levels zu entwickeln.

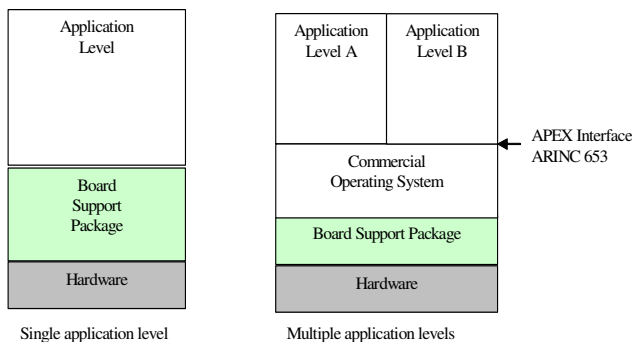


BILD 11. Software Konzepte

Im Rahmen des Leistungsfortschritts bei den Prozessoren stellt sich natürlich die Frage, ob ein Prozessor nicht mehrere Aufgaben bearbeiten kann. Auch Aufgaben, die unterschiedliche Sicherheitslevel haben und damit mit verschiedenen Aufwänden zertifiziert werden müssen.

Für zukünftige Entwicklungen von Systemen / Software für Triebwerksregler wird untersucht, ob die Aufgaben wie z.B. Engine Controlling, Monitoring, Protection, Data Logging usw. auf einem Prozessor mit Hilfe eines ARINC 653 kompatiblen Betriebssystems ausgeführt werden können.

Entkapselt man die IO Verarbeitung (Input/Output) in ein separates IO Hardware Modul, so ergibt sich sowohl für den Triebwerksregler als auch für den Flight Control Computer ein äquivalentes Bild für das Basissystem. Der Unterschied zwischen den Reglern liegt dann prinzipiell nur noch in der Applikations – Software und im Systemkonzept, wie die Gesamtarchitektur z.B. Redundanzpfade, Skalierbarkeit und IO Verarbeitung in das System eingebracht wird.

3.7. Testsysteme

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass die Gesamtarchitektur des FCC die etablierten Testkonzepte der MTU unterstützt. Testsysteme sind ein nicht zu vernachlässigender Kostenfaktor in der Entwicklung, Qualifikation und späteren Produktion der Geräte.

Der FCC ist mit entsprechenden seriellen Datenleitungen hoher Bandbreite ausgestattet um Testdaten an das Testsystem zu senden. Dies erfolgt unabhängig von der Applikationssoftware und bedarf somit keiner Abstimmung zwischen Anwender und MTU. Auf Seiten MTU muss auch somit keine zusätzliche Testsoftware erstellt werden.

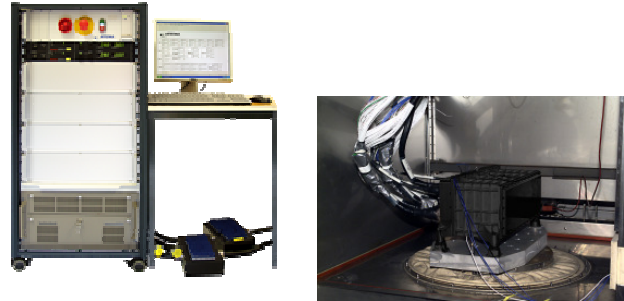


BILD 12. Testsystem mit FCC in der Klimakammer (Qualifikationstest)

3.8. Leistungen des FCC

Ende 2003, mit Abschluss der Spezifikation, startete MTU mit der Entwicklung des FCC, welcher bereits nach neun Monaten als B-Modell (Form, Fit und Function kompatibel, aber noch nicht vollständig qualifizierbar) zur Verfügung stand.

Das C-Modell welches entsprechend qualifiziert ist und eine Flugfreigabe für den Barracuda besitzt wurde in dieser extrem kurzen Zeit (unter zwei Jahre) entwickelt um den Bedarf für aktuelle Programme zu decken.

Der komplette dreikanalige Regler hat ein Gewicht von unter 16 kg, mit dem Potential dieses Gewicht weiter zu minimieren.. Durch die konsequente Minimierung von elektronischen Bauteilen konnte eine extrem gute Zuverlässigkeit erreicht werden. So wurden z.B. zur Vermeidung von ARINC Interface Chips die Funktionalität in einen Prozessor verlagert.

Die folgenden Unterkapitel beschreiben die Leistungsfähigkeit des FCC und beziehen sich stets auf die Leistung eines Kanals, d.h. all die aufgeführten Funktionalitäten, Rechenleistung und Schnittstellen sind im Gerät dreimal vorhanden.

3.8.1. Rechenleistung und digitale Schnittstellen

Die folgende Auflistung der Funktionalitäten und Rechenleistungen sind auf einem Computermodul integriert und auch die gelisteten digitalen Schnittstellen werden von diesem Modul abgedeckt.

- Zwei Prozessor System (MPC 565 basierend)
- Watch Dog Timer & Real Time Clock
- 16 MByte Flash + 2 MByte SRAM
- Lane Select Logic
- 2 redundante Mil Bus1553 Systeme

- 8 Arinc429 Links
- 9 Discrete Inputs
- 2 RS485 + 2 RS422 Schnittstellen

3.8.2. I/O Kapazität

Wie bei dem Computer Modul sind auch alle Ein- und Ausgänge des Reglers auf einem Modul pro Kanal konzentriert:

- Ein Prozessor System (MPC 565 basierend)
- Watch Dog Timer & Real Time Clock
- 14 VDT Eingänge
- 3 Potentiometer Eingänge
- 2 Frequenz Eingänge
- 2 PT 100/500 Eingänge
- 1 Thermo couple Eingang
- 1 Messbrücken Eingang
- Supply Voltage Überwachung
- 1 Spannungs Eingang (Engine Control)
- 4 High Side Ausgänge
- 1 Low Side Ausgang
- 2 RS232 Schnittstellen
- Versorgung von 14 VDTs und 3 Potentiometer
- 9 Torque Motor Treiber

4. TRIEBWERKSINTEGRATION UND DÜSE

4.1. JT15D-5C / BARRACUDA

Der EADS-UCAV-Demonstrator ist mit dem Triebwerk JT15D-5C ausgerüstet. Für dieses Triebwerk wurde seitens MTU Aero Engines eine Schubdüse mit festem Austrittsquerschnitt ausgelegt. Folgende Arbeiten wurden im Rahmen der Auslegung durchgeführt:

- Konstruktion
- Strukturanalytische Auslegung (Schwingungsanalyse, forced response Rechnungen, Analyse der Flansche und Bolzen)
- CFD-Rechnung zur Berechnung des Abströmwinkels bei maximalem Schub und Bewertung der Temperaturannahmen bei der Strukturanalyse

Als Folge des Flugzeugkonzepts mit einem oben liegenden Einlauf muß der Schub innerhalb der Düse umgelenkt werden. Dadurch entstehen hohe Flanschlasten, die – Überlagert vom Eigengewicht der Düse und den damit verbundenen g-Lasten - nahe an den Limit-Loads des Triebwerks liegen.

4.2. Konstruktion

Auf Grund der hohen Anforderung aus strukturmechanischer Sicht kombiniert mit der Anforderung an ein sehr geringes Gewicht seitens des Kunden, wurde eine Umsetzung der Düse in TiCu/ Titan unumgänglich. Da TiCu erheblich bessere Eigenschaften bezüglich der Verformbarkeit hat als Titan, wurde im Bereich der Blechbestandteile TiCu gewählt. Beide Werkstoffe lassen sich miteinander verschweißen. Die Düse besteht aus zwei Teilen, damit der Aufwand zur Fertigung von Vorrichtungen möglichst gering gehalten werden kann, was vor dem Hintergrund einer Prototypenentwicklung sinnvoll ist.



BILD 13. Düse vor Auslieferung

4.3. Strukturmechanische Auslegung

Im Rahmen der strukturmechanischen Auslegung wurden eine umfangreiche Schwingungsanalyse und eine forced-response-Analyse durchgeführt.

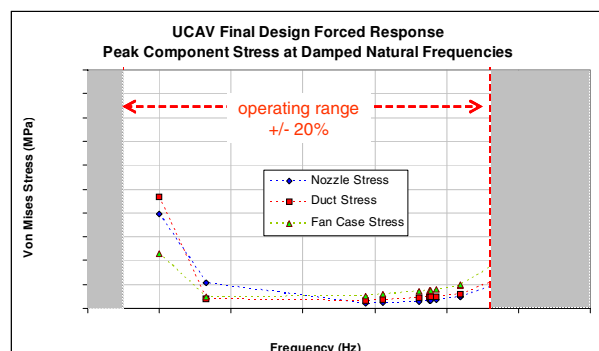


BILD 14. Forced response analyse

Mit Hilfe von Finite-Elemente-Rechnungen wurden die Peak-Spannungen für angeregte Schwingungen ermittelt. Die ermittelten Spannungsniveaus sind innerhalb der

zulässigen Grenzen für die verwendeten Materialien.

Aufgrund der durchgeführten Analysen wird die Düse aus Sicht der Festigkeit als unkritisch bewertet.

Auf Basis der Ergebnisse aus den Festigkeitsrechnungen wurde die Verschiebung der Düse berechnet. Auch diese sind innerhalb der vom Kunden vorgegebenen Limits.

4.4. CFD-Untersuchung

Mit Hilfe detaillierter Berechnungen wurden das Umlenkverhalten, die Druckverluste und die Wandtemperaturen der Düse ermittelt. Die ersten Punkte waren für die Performance des Systems der letzte Punkt für die strukturmechanische Auslegung von Bedeutung.

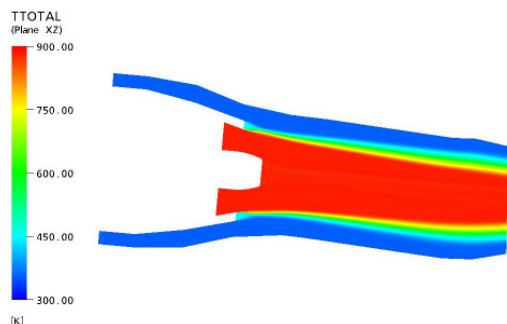


BILD 15. Totaltemperaturen in der Düse

Ti und TiCu haben nur beschränkte Reserven im Einsatz bei hohen Temperaturen. Wegen der großen Düsenlänge musste die Ausmischung der beiden Gasströme und damit der Temperaturanstieg im Wandbereich der Düse bewertet werden. BILD 15 zeigt eindrücklich, dass die Ausmischung keine signifikante Rolle spielt und dadurch keine Einschränkungen für Einsatz von Werkstoffen mit geringen Temperaturreserve bestehen.

4.5. Vorteile für das Barracuda Projekt

Durch die enge Zusammenarbeit von MTU, PWC und EADS bei der Definition der Anforderungen an Gewicht und Umlenkungseigenschaften konnte eine Leichtbaudüse definiert werden die trotz der großen Länge an ein bestehendes Triebwerk angebaut werden konnte und sowohl im Hinblick auf die Triebwerksleistung als auch unter strukturmechanischen Gesichtspunkten alle Anforderungen erfüllen konnte.

5. UNTERSTÜTZUNG DES FLUGVERSUCHS

Zum intensiven Kennenlernen des für das UCAV vorgesehenen Triebwerks JT15D-5C organisierte MTU mit P&WC einen Kurs mit theoretischem und mit praktischem Teil. Hierzu traf eigens ein Übungstriebwerk im MTU Manching Engine Shop ein, an dem alle praktischen Übungen stattfanden.

Das eigentliche Flugtriebwerk machte im EADS-Werk Augsburg seine ersten Einbauversuche und erhielt später

in Manching in Vorbereitung der Inbetriebnahme eine in Canada frisch kalibrierte Brennstoffzumeßeinheit und die von MTU ausgelegte, konstruierte und gefertigte Düse. Zur MTU-Betreuung gehörte im Rahmen der Inbetriebnahme auch ein Test des kompletten Antriebssystems, also Triebwerk plus Starter, Generator und Hydraulikeinheit, am Prüfstand in Ludwigsfelde.

Wie bei jedem neuen Fluggerät standen auch hier zunächst Bodenläufe auf dem Versuchsprogramm, d.h. Überprüfung aller Systeme bei laufendem Triebwerk sowie deren Interaktion und Kommunikation. Unter anderem gehört auch ein Performance Check des Triebwerks samt Überprüfung aller charakteristischen Parameter dazu. Das verwendete Triebwerk eines Serienstandards umfasst jedoch – anders als Entwicklungstriebwerke – keine Flight Test Instrumentation, daher war die Performance Überprüfung auf wenige Parameter wie Drehzahlen und Temperaturen begrenzt.

An den Schnittstellen Flugzeug – Triebwerk war weiterhin die korrekte aerodynamische Funktion des Lufteinlaufs zu verifizieren, als auch die ausreichende Schwingungsdämpfung der eigens für den Anwendungsfall BARRACUDA neu konstruierten, umlenkenden MTU-Düse. Nach entsprechenden Messungen und Anpassungen am Fluggerät konnten jeweils Systemfreigaben erfolgen, bis schließlich die ersten Taxi-Tests im EADS Flight Test Center Manching stattfanden.

Nachdem sich gezeigt hatte, daß das Triebwerk vortrefflich funktioniert und der Nachweis der erfolgreichen Antriebsintegration erbracht war, kam der Zeitpunkt, an dem die Unterstützung der MTU für EADS auf das Maß zurückging, das dem eines erfolgreichen Triebwerksherstellers für einen zufriedenen und ebenso erfolgreichen Airframer entspricht.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Vorhandene Technologien, Kenntnisse und Entwicklungsfähigkeiten haben MTU in die Lage versetzt, ein attraktiver Entwicklungs- und Beschaffungspartner von Systemkomponenten für den Barracuda zu sein. Dies hat sich in der Entwicklung des Flight Control Computer FCC sowie in der Entwicklung der Schubdüse gezeigt.

Die Systemkomponenten konnten in äußerst kurzer Zeit entwickelt werden und das unter Einhaltung aller Anforderungen und zur vollsten Zufriedenheit des Kunden EADS. Für ein serienreifes Produkt bedarf es in beiden Fällen noch einer Nachentwicklung, dennoch sind entscheidende Technologieaspekte weitgehend erprobt um diese in ein serienreifes Produkt über zu führen.

Wir bedanken uns bei Pratt & Whitney Canada für die umfassende Unterstützung bei der Integration des Triebwerks und bei der Auslegung der Düse.