

Elektro-Hydrostatisches Betätigungskonzept für das Bugfahrwerk eines „All Electric Aircraft“

C. Greißner, U. B. Carl

Technische Universität Hamburg-Harburg
Arbeitsbereich Flugzeug-Systemtechnik, D-21071 Hamburg

ÜBERSICHT

Fahrwerke sowie die Lenkung heutiger Verkehrsflugzeuge werden durch Konstantdrucknetze versorgt und über hydraulische Widerstände gesteuert. Im Rahmen des von der EU geförderten Forschungsprojektes Power Optimised Aircraft (POA), das auf Systemtechnologien des „All Electric Aircraft“ abzielt, sind die Fahrwerkbetätigungssysteme Gegenstand laufender Untersuchungen. Der vorliegende Artikel stellt den derzeitigen Projektstatus vor.

Einleitend werden Gründe für die Wahl des elektrohydrostatischen Wirkprinzips angegeben; der Schwerpunkt der dargestellten Untersuchung besteht in der Anwendung des EHA-Prinzips (Elektro-Hydrostatischer Aktuator) auf Bugfahrwerke. Einerseits kommen für die Betätigung von Fahrwerken Differentialzylinder zum Einsatz und andererseits versorgt eine Motor-Pumpen-Einheit mehrere Aktuatoren. Abschließend folgt die Diskussion verschiedener Ansätze zur Regelung.

Das Konzept dieser technologisch neuen Fahrwerksbetätigungssysteme wird zur Zeit, zum Nachweis seiner Steuerungs- und Regelungsfunktionen in den verschiedenen Betätigungsmoden, in ein Experimentalsystem überführt.

SCHLAGWORTE

Elektro-Hydrostatischer Aktuator (EHA); Fahrwerke; Konstantdrucknetz; Verdrängersteuerung; Widerstandssteuerung; All Electric Aircraft; Power Optimised Aircraft (POA)

1 EINLEITUNG

In heutigen Flugzeugen erfolgt die Energieversorgung der verschiedenen Betätigungssysteme am Fahrwerk (Betätigung des Fahrwerkes und der Türen sowie die Lenkung) über die von Triebwerkspumpen gespeisten Konstantdrucknetze des Flugzeuges. Während Ein- und Ausfahrsgeschwindigkeit von Fahrwerk und Türen durch Drosseln gesteuert wird, kommen für die Positionsregelung der Lenkung Servoventile zum Einsatz.

Bild 1 zeigt den prinzipiellen Aufbau des konventionellen, durch das Konstantdrucknetz gespeisten Betätigungs- und Lenksystem eines Verkehrsflugzeuges.

Dieses System wird in einer offenen Steuerkette betrieben; während Schaltventile die Bewegungsrichtung steuern, ergibt sich die Verfahrgeschwindigkeit aus den äußeren Lasten sowie den Drosselquerschnitten. Bei Variation der Lasten verändern sich dementsprechend auch die Betätigungszeiten.

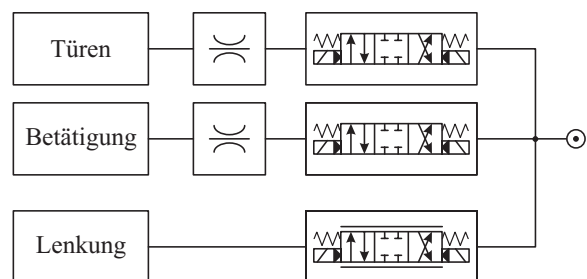


BILD 1: Steuerungs- und physikalisches Wirkprinzip konventioneller Betätigungssysteme

Im Rahmen des Projektes Power Optimised Aircraft (POA) werden Ansätze untersucht, um Primärhydrauliksysteme (von Triebwerkspumpen gespeiste Konstantdrucknetze) durch erweiterte elektrische Energieversorgungssysteme zu ersetzen. Ein Ziel des Projektes besteht darin, ein elektrisch betriebenes Antriebskonzept für Bugfahrwerke zu entwickeln.

Unter den Randbedingungen einer hohen operationellen Zuverlässigkeit, die für hydraulische Linearzylinder anstelle von mechanischen Getrieben spricht, sowie der Tatsache, dass der Leistungsbedarf von Fahrwerkbetätigungssystemen dominant in die Auslegung heutiger Hydrauliksysteme von Transportflugzeugen eingeht, wurde als Basiskonzept ein leistungsoptimiertes dezentrales hydraulisches Antriebskonzept gewählt.

Zum Einsatz kommt demzufolge das Prinzip des elektrohydrostatischen Aktuators (EHA), der aus vier parallelen, sequentiell betriebenen Aktuatoren besteht. Diese werden in einem geschlossenen Positionsregelkreis betrieben, wobei als Stellgröße der Pumpenvolumenstrom bzw. die Motordrehzahl dient. Der Systemdruck stellt sich entsprechend der Last ein und kann nur durch die Wahl der Kolbenflächen beeinflusst werden.

2 KONZEPTÜBERSICHT

Dieser Abschnitt erläutert die Auswahl eines geeigneten Konzeptes für die Betätigung und Lenkung von elektrisch versorgten Bugfahrwerken.

Unter der Restriktion einer elektrischen Versorgung können zur Betätigung des Fahrwerkes zwei prinzipielle physikalische Wirkprinzipien zum Einsatz kommen.

Auf der einen Seite kann die elektrische Energie zunächst in hydraulische und mit Hilfe von Aktuatoren dann in mechanische Energie gewandelt werden. Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit eines direkten elektromechanischen Antriebes. Dabei wird die mechanische Leistung der elektrischen Maschine mit Hilfe von Spindeln oder Getrieben zur Betätigung des Fahrwerks genutzt.

Bei Einsatz des zuletzt genannten Konzeptes ergibt sich ein erheblicher mechanischer Aufwand, um die Notbetätigung des Fahrwerkes (Free-Fall) zu gewährleisten. Zum einen müssen Kupplungen vorgesehen werden, um auch im Klemmfall einer Spindel ein Ausfahren des Fahrwerkes zu gewährleisten. Zum anderen müssen Dämpfungselemente integriert werden, um auch bei gelöster Kupplung eine kontrollierte Bewegung zu ermöglichen.

Auf Grund der genannten Nachteile wurde der elektromechanische Antrieb nicht weiter untersucht; die folgende Analyse konzentriert sich auf elektro-hydraulische Antriebe.

Das Prinzip der elektro-hydraulischen Leistungswandlung bietet den Vorteil, dass die bisherigen Aktuatoren beibehalten werden können und somit nur geringfügige Modifikationen am Fahrwerk notwendig sind. Des Weiteren kann das konventionelle Notbetätigungssystem, bestehend aus Schaltventilen und Drosselsteuerung, übernommen werden, wodurch sich das Entwicklungsrisiko für dieses neuartige Antriebskonzept in bevorstehenden neuen Flugzeugprojekten reduziert.

Wird die elektrische Energie zunächst in hydraulische gewandelt, so kann man die 6 Konzepte in Bild 2 unterscheiden. Diese teilen sich in zwei Wirkprinzipien auf:

- Widerstandssteuerung (konstanter Druck) ,
- Verdrängersteuerung (EHA-Prinzip) .

Auf der linken Seite sind Konzepte auf Basis der Widerstandssteuerung angegeben. Mit Hilfe der Stellgrößen Motordrehzahl bzw. Verdrängungsvolumen der Pumpe wird ein lokales Konstantdrucknetz gespeist. Die Geschwindigkeit des Aktuators wird wie beim konventionellen System über Drosseln gesteuert. Die drei Konzepte unterscheiden sich durch die Stellgrößen, die bei der Druckregelung zum Einsatz kommen.

Bei **Konzept 1** handelt es sich um eine konventionelle E-Pumpe; Motor und Pumpe drehen sich mit konstant hoher Drehzahl, die Druckregelung erfolgt über die Schwenkscheibe. Dabei kann der Druckregler als hydro-mechanischer Kompensator oder als digitaler Regler mit einem elektrisch angesteuerten Servoventil ausgeführt werden.

Konzept 2 basiert auf einer Drehzahlregelung der Motor-Pumpen-Einheit, so dass der Fördervolumenstrom dem benötigten Verbrauchervolumenstrom angepasst wird, um ein Konstantdrucksystem zu realisieren. Durch die Drehzahlregelung wird eine Reduzierung der Planschverluste während geringer Verbraucheraktivitäten, sowie eine Minderung der Geräuschemissionen erzielt. Nachteilig wirkt sich die geringe Dynamik des Systems aus. Hervorgerufen durch vergleichsweise große Massenträgheiten können, infolge der schaltenden Ventile auftretende, große Volumenstromänderungen nicht ausreichend kompensiert werden, sodass der Systemdruck starken Schwankungen unterliegt und Druckstöße induziert werden.

Konzept 3 vereint die Vorteile von Konzept 1 und 2 und wurde in [2] untersucht. Einerseits kann mit Hilfe der Schwenkscheibe eine adäquate Druckregelung realisiert werden. Andererseits besteht die Möglichkeit, die Pumpendrehzahl dem aktuellen Verbrauchervolumenstrom anzugleichen. Nachteilig wirkt sich der hohe Hardwareaufwand aus.

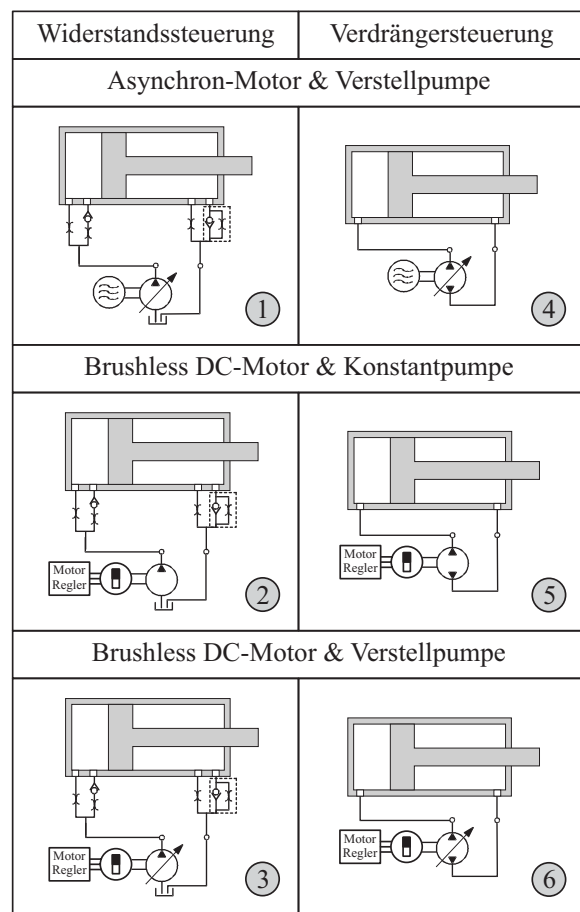


BILD 2: Elektro-hydraulische Aktuatorkonzepte

Die Konzepte 1-3 weisen den Nachteil systemimmanenter Verluste (Drosselverluste) auf. Bei Konzept 1 wird dieser Nachteil durch zusätzliche Planschverluste verstärkt. Auf Grund der konstant hohen Drehzahl treten die Verluste auch im Leerlauf oder bei geringen Volumenströmen auf.

Ohne externe Kühlung ist deshalb bei längerem Betrieb (z.B. Lenkung während Taxiing) mit thermischen Problemen zu rechnen [3].

Auf der rechten Seite von Bild 2 sind die Konzepte der Verdrängersteuerung dargestellt. Im Gegensatz zur Widerstandssteuerung wird nicht der Systemdruck auf einen konstanten Sollwert, sondern der Pumpenvolumenstrom in Abhängigkeit des gewünschten Geschwindigkeitsprofils des Aktuators geregelt. Der Systemdruck stellt sich entsprechend der Last ein; bei kleinen Lasten reduziert sich somit das Antriebsmoment der Pumpe.

Konzept 4 stellt das Pendant zur E-Pumpe dar. Durch die Schwenkscheibenregelung stellt sich eine sehr gute Dynamik ein. Auf Grund der konstant hohen Drehzahl ergeben sich jedoch auch im Leerlauf sowie im Teillastbereich hohe Planschverluste.

Bei **Konzept 5** handelt es sich um einen elektrohydrostatischen Aktuator (EHA). Diese Technologie ist seit vielen Jahren Gegenstand experimenteller Untersuchungen und wird z.B. in der Flugsteuerung des A380 [1] eingesetzt. Als Stellgröße für den Positionsregelkreis dient die Motordrehzahl.

Eine Erweiterung von Konzept 5 um eine Verstellpumpe (**Konzept 6**) ist nicht sinnvoll, da das dynamische Verhalten des EHAs ausreichend ist und der zusätzliche Hardwareaufwand somit keinen entscheidenden Vorteil bietet.

Konzeptdefinition

Für die nachfolgenden Untersuchungen wurde das Prinzip der Verdrängersteuerung nach **Konzept 5** ausgewählt. Diese bietet gegenüber der Widerstandssteuerung den Vorteil reduzierter Verluste, da Drosseln bzw. Servoventile als Steuer- bzw. Regelungskomponenten entfallen. Durch den Einsatz einer drehzahlvariablen Permanentmagnet-erregten Synchronmaschine (brushless DC-Motor) erfolgt eine weitere Reduzierung der Verluste.

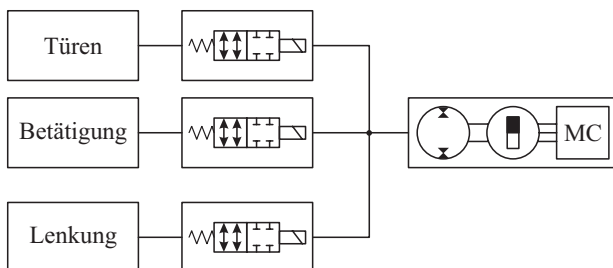


BILD 3: Elektrohydrostatisches Wirk- und Steuersystemkonzept für Bugfahrwerksysteme

Bei bisher untersuchten Flugsteuerungs-EHAs wird jeder hydraulische Aktuator von einer Motor-Pumpen-Einheit versorgt. Von dieser Systemkonfiguration wird beim Bugfahrwerk abgewichen. Durch eine eindeutige und sequentielle Abfolge (Türen öffnen, Fahrwerk ein- bzw. ausfahren, Türen schließen, Lenkung) ist es möglich, alle Aktuatoren mit nur einer Motor-Pumpen-Einheit zu versorgen. Dies bietet Vorteile hinsichtlich Gewicht, Kosten und Verfügbarkeit. Des Weiteren kann die konventionelle An-

ordnung der hydraulischen Aktuatoren wie als Randbedingung vorgegeben beibehalten werden, da die Motor-Pumpen-Einheit nicht direkt am Fahrwerk untergebracht werden muss.

Bild 3 zeigt das schematische Prinzip dieser Systemkonfiguration. Mittels einfacher Schaltventile wird jeweils ein Verbraucher mit der Motor-Pumpen-Einheit verbunden und in einem Positionsregelkreis betrieben.

3 ELEKTRO-HYDROSTATISCHES BETÄTIGUNGSPRINZIP FÜR BUGFAHRWERKE

Dieser Abschnitt gibt zunächst einen Überblick über die Funktionsweise bisher untersuchter Flugsteuerungs-EHAs. Diese werden im Folgenden zur Abgrenzung als konventionelle EHAs bezeichnet.

Verwendet man anstatt der üblichen Gleichgangzylinder Differentialzylinder, muss die hydraulische Versorgungseinheit erweitert werden. Im Anschluss wird auf die Betätigungssequenzen und Schaltlogiken der Bugfahrwerksbetätigung eingegangen.

3.1 Elektrohydrostatischer Aktuator mit Differenzvolumenkompensation

Bild 4 zeigt den schematischen Aufbau eines konventionellen EHAs, wie er z.B. in Verkehrsflugzeugen (A380) zum Einsatz kommt. Als Aktuatoren werden Gleichgangzylinder verwendet, so dass der vom Zylinder aufgenommene bzw. abgegebene Volumenstrom bis auf Leckageverluste identisch ist.

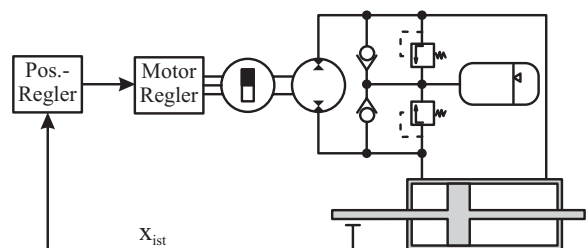


BILD 4: Konventioneller elektrohydrostatischer Aktuator (EHA)

Der in Bild 4 dargestellte Speicher kompensiert Leckagen und thermisch bedingte Volumenänderungen. Die Rückschlagventile gewährleisten, dass der Pumpeneingangsdruck nicht unter das aufgeprägte Niederdruckniveau fällt (Antikavitationsventile). Zur Absicherung des Systems sind Druckbegrenzungsventile vorgesehen.

Diese Systemkonfiguration ist jedoch nur zur Versorgung von Gleichgangzylindern geeignet. Differentialzylinder können nicht verwendet werden, da sich im Betrieb, bedingt durch unterschiedliche Querschnittsflächen von Kolben- und Ringkammer, unterschiedliche Volumenströme einstellen. Mit der in Bild 4 dargestellten Konfiguration können die auftretenden Differenzvolumenströme nicht kompensiert werden.

In [4] wird eine hydraulische Schaltung vorgestellt, die es ermöglicht das Prinzip des EHAs auch mit Differential-

zylindern zu realisieren; entspernbare Rückschlagventile kompensieren den Differenzvolumenstrom auf der Niederdruckseite.

Wird dieser Ansatz auf den bereits vorgestellten konventionellen EHA übertragen, ergibt sich die Konfiguration in Bild 5. Diese Schaltung ist in der Lage im Vier-Quadranten-Betrieb zu arbeiten:

1. Einfahren mit helfenden Lasten $F < 0, \dot{x} < 0$
2. Ausfahren mit helfenden Lasten $F > 0, \dot{x} > 0$
3. Einfahren mit Gegenlast $F > 0, \dot{x} < 0$
4. Ausfahren mit Gegenlast $F < 0, \dot{x} > 0$.

Im ersten Fall gibt der Zylinder Hydraulikflüssigkeit unter Hochdruck aus Kammer A (Kolbenkammer) in das System ab. Die hydraulische Maschine arbeitet als Motor, kann jedoch nicht den gesamten Volumenstrom auf Niederdruckniveau in die Kammer B (Ringkammer) fördern. Der Differenzvolumenstrom wird über das entspernte Rückschlagventil (1) in den Speicher geleitet.

Auch beim zweiten Fall arbeitet die elektrische Maschine im generatorischen Betrieb. Dabei ist der abgegebene Volumenstrom aus Kammer B (Hochdruck) kleiner als der von Kammer A (Niederdruck) aufgenommene. Sinkt der Druck in dieser Kammer unter das Niederdruckniveau, gibt der Speicher das im ersten Fall aufgenommene Differenzvolumen wieder ab.

Während des Einfahrvorganges unter Gegenlast (Fall 3) muss wie schon im ersten Fall das Differenzvolumen durch den Speicher aufgenommen werden. Die hydraulische Maschine arbeitet im Pumpbetrieb und fördert Hydraulikflüssigkeit unter Hochdruck in Kammer B (Ringkammer). Der von Kammer A (Kolbenkammer) abgegebene Volumenstrom wird teilweise (Differenzvolumenstrom) über das entspernte Rückschlagventil (2) in den Speicher geleitet.

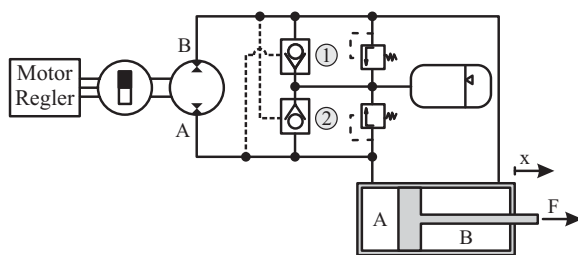


BILD 5: EHA mit Differenzvolumenkompensation

Beim Ausfahrvorgang (Fall 4) fördert die Hydraulikpumpe in Kammer A (Kolbenkammer). Da der unter Niederdruck abgegebene Volumenstrom aus Kammer B (Ringkammer) kleiner als der Fördervolumenstrom der Pumpe ist, sinkt der Druck in der Saugleitung und der Speicher gibt das aufgenommene Differenzvolumen erneut ab.

3.2 Übertragung des EHA-Prinzips auf Bugfahrwerke

Die in Abschnitt 3.1 erläuterten EHAs stellen in sich abgeschlossene Systeme dar, wobei jeweils ein Zylinder von einem Motor-Pumpen-Paket versorgt wird.

Durch einen getrennten Einbau der Aktuatoren und des EHA-Versorgungsmoduls sowie der sequentiellen Funktionsabläufe am Bugfahrwerk bietet sich die Möglichkeit, mit einer Motor-Pumpen-Einheit alle Verbraucher zu versorgen (Bild 3).

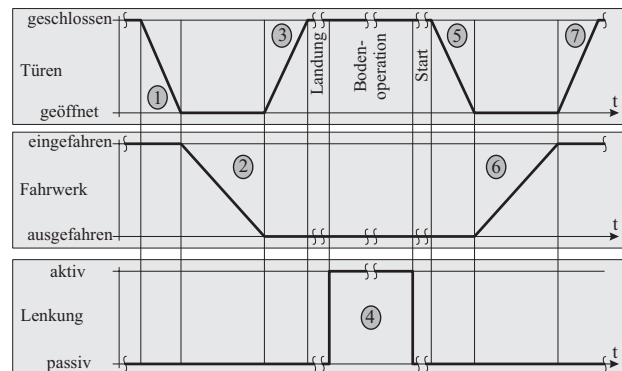


BILD 6: Funktionsablauf bei der Betätigung eines Bugfahrwerkes

Bild 6 zeigt den Funktionsablauf bei der Betätigung eines Bugfahrwerkes. Zu Beginn der betrachteten Abfolge ist das Fahrwerk eingefahren und die Türen sind geschlossen. In einem ersten Schritt werden die Türen geöffnet (1), anschließend wird das Fahrwerk ausgefahren (2) und die Türen wieder geschlossen (3). Die Lenkung kann nur während der Bodenoperation aktiviert werden (4). Die Abschnitte (5), (6) und (7) zeigen den Einfahrvorgang. Auf Grund des sequentiellen Vorganges ist es möglich, alle Aktuatoren (Tür-, Betätigungszyylinder und Lenkmotor) mit einer Motor-Pumpen-Einheit zu versorgen. Diese Maßnahme reduziert Kosten sowie Gewicht und erhöht die Verfügbarkeit. Des Weiteren sind nur geringfügige Modifikationen am Fahrwerk vorzunehmen, da die Fahrwerksarchitektur mit den hydraulischen Aktuatoren beibehalten wird.

Bild 7 zeigt den hydraulischen Aufbau der kompletten Betätigungssysteme auf Basis des vorgestellten EHA-Konzeptes für das Bugfahrwerk des A330, das Referenzflugzeug des Projektes POA. Bei dieser Konfiguration werden Tür- (3) und Fahrwerkbetätigung (4) sowie die Lenkung (5) von einer zentralen Motor-Pumpen-Einheit (1) versorgt. Das hydraulische Netz ist wie bei dem Differentialzylinder-EHA (Bild 5) aufgebaut. Zur Kompensation des Differenzvolumens sind entspernbare Rückschlagventile sowie ein Niederdruckspeicher vorgesehen (2).

Im Folgenden wird der Aufbau der einzelnen Subsysteme erläutert. Die Beschreibung von Schalt- und Free-Fall-Ventilen erfolgt unabhängig davon.

Schaltventile

Mit Hilfe der Schaltventile für das Fahrwerk (4), die Türen (3) und die Lenkung (5) können die einzelnen Betätigungssysteme unabhängig von einander zum Netz (Antriebsmodul) verbunden oder isoliert werden. Im isolierten Zustand sind die Zylinderkammern (Fahrwerk und Türen) kurzgeschlossen und mit Niederdruckniveau beaufschlagt.

Lenkung

Bei aufgeschalteter Lenkung wird dieses Teilsystem vom Hydrauliknetz (EHA-Leistungsmodul) in einem geschlossenen Regelkreis betrieben. Die Lenkaktuatoren (Push-Pull-Prinzip) werden bei passivierter oder ausgefallener Lenkung über eine Drossel verbunden (Free-Castor Mode). Dies ermöglicht den freien Radnachlauf und vermindert ein Flattern (Shimmy) des Fahrwerkes durch die Dämpfungs-drossel. Hervorgerufen durch diese Drossel kann es bei stoßartigen, von außen aufgeprägten Bewegungen (z.B. Schleppen des Flugzeuges), zu Druckspitzen bzw. Kavitation kommen. Aus diesem Grund müssen Antikavitations- und Druckbegrenzungsventile vorgesehen

werden.

Türbetätigung

Erfolgt die Versorgung des Bugfahrwerkes über das konventionelle Konstantdrucknetz des Flugzeuges, werden die geöffneten Türen während des Ein- bzw. Ausfahrtvorganges des Fahrwerkes mit Druck beaufschlagt, um eine unbeabsichtigte Schließbewegung der Türen durch Luftlasten und damit verbundenen Bauteilkollisionen zu verhindern. Da bei der Verdrängersteuerung prinzipbedingt jeweils nur ein Verbraucher versorgt werden kann, sorgt ein entsperresbares Rückschlagventil dafür, dass der Druck in den Türzylindern während des Ein- bzw. Ausfahrtvorganges des Fahrwerkes aufrecht erhalten wird und somit die Türen in geöffneter Position gesichert werden.

Die in die Zuleitungen zu den Türzylindern eingefügten Drosseln kompromittieren zwar etwas die Leistungsbedarfsminimierung dieser Systemfunktion, sind jedoch notwendig, um ein annähernd synchrones Öffnen der Türen auch bei unterschiedlichen Lasten (z.B. auf Grund von Seitenwind) zu erzielen.

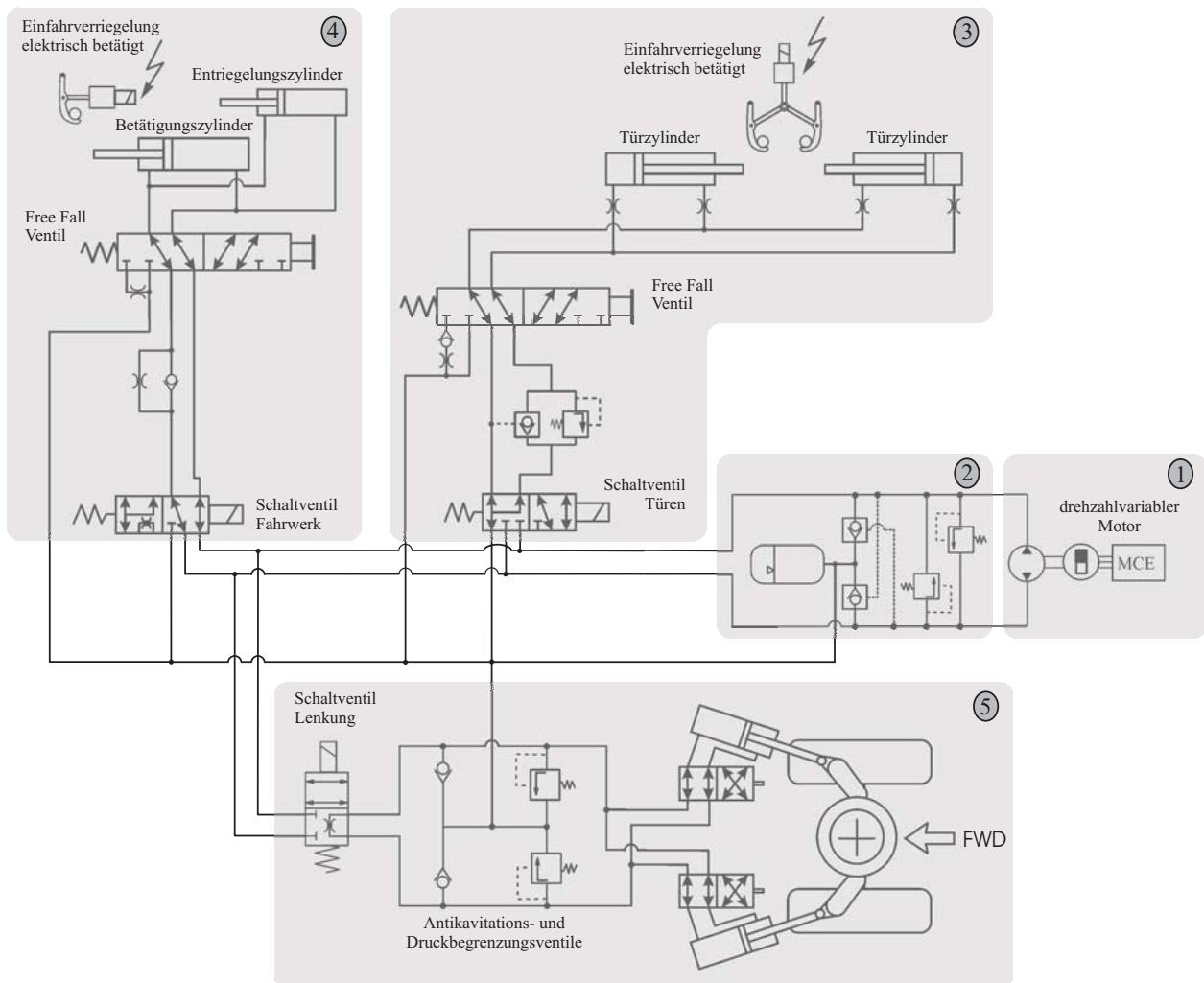


BILD 7: Hydraulikschaltplan des Bugfahrwerkes am Beispiel eines A330

Fahrwerksbetätigung

Die beim Ausfahrvorgang des Fahrwerks stets vorhandenen helfenden Lasten infolge von Lastvielfachen und aerodynamischen Kräften führen zu einer Energieaufnahme des Antriebes bei kontrollierter Bewegung und damit Umsetzung in Wärme. Geschieht dies auf der elektrischen Seite, sind große und schwere Widerstände sowie thermische Probleme vorherzusehen. Der Einsatz einer Drosselschaltung kann dies vermeiden, da die vom Fahrwerk abgegebene Energie bereits im hydraulischen System umgesetzt wird.

Free-Fall

Für das Notausfahren des Fahrwerkes sind, vergleichbar dem konventionellen System, mechanisch betätigte Schaltventile vorgesehen, die beide Zylinderkammern über Drosseln verbinden und es auf Grund von Gravitations- und aerodynamischen Kräften erlauben, das Fahrwerk auszufahren. Die Fallgeschwindigkeit kann über die Drosseln eingestellt werden. Mit Hilfe von konventionellen Endlagendämpfern wird die Anschlaggeschwindigkeit limitiert.

4 REGELUNGSANSÄTZE

Die Lenkung des Bugfahrwerkes erfolgt wie im konventionellen System in einem geschlossenen Positionsregelkreis. Als Stellgröße kommt jedoch kein Servoventil, sondern der Drehzahlregelkreis der Motor-Pumpen-Einheit zum Einsatz.

Die konventionellen Systemfunktionen Fahrwerk- und Türbetätigung werden in einer offenen Steuerkette betrieben; weg- und richtungsabhängige hydraulische Widerstände steuern die Ein- bzw. Ausfahrgeschwindigkeit (Bild 2, links).

Bei Einsatz der Verdrängersteuerung (EHA-Prinzip) werden Drosseln nur für die Free-Fall-Funktion benötigt, da normalerweise Zylinderposition und -geschwindigkeit mittels Pumpendrehzahl geregelt werden. Kann das Fahrwerk im Fehlerfall nicht geregelt ausfahren, wird die rein passive, widerstandsgesteuerte Notbetätigung (Free-Fall) mit konventioneller Endlagendämpfung wirksam.

Die Realisierung der Regelkreise erfordert die Bestimmung der Zylinderpositionen, die wie im Folgenden dargestellt sensor- oder modellbasiert erfolgen kann. Während bei der sensorbasierten Regelung für jeden Zylinder Positionssensoren benötigt werden, erfolgt die Positionsbestimmung beim modellbasierten Ansatz mit Hilfe der bekannten Motordrehzahl.

Sensorbasierte Regelung

Heutige EHAs werden in einem geschlossenen Positionsregelkreis betrieben (Bild 4); ein LVDT (Linear Variable Differential Transducer) erfasst die Position des Zylinders. Mit diesem Ansatz ist es möglich, die auf die Regelstrecke wirkenden Störungen (Lasten und Leckagen) zu kompensieren. Infolge der durch den Positionsregler vorgegebenen Geschwindigkeitstrajektorie (Bild 8) ist es möglich, unerwünschte Beschleunigungsvorgänge von E-Motor sowie von Fahrwerk und Türen zu vermeiden und die Endlagen-

geschwindigkeit zu kontrollieren.

Nachteilig bei diesem Konzept sind der hohe Sensoraufwand, da die Position jedes einzelnen Zylinders gemessen werden muss sowie die Notwendigkeit von Maßnahmen, um mögliche Sensorfehler zu erkennen.

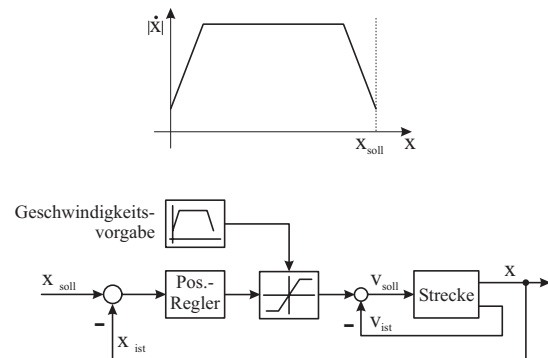


BILD 8: Geschwindigkeitsvorgabe bei sensorbasierter Regelung

Modellbasierte Regelung

Bei dem Ansatz der modellbasierten Regelung kann der Sensoraufwand deutlich reduziert werden, da die Möglichkeit besteht, die Zylinderposition aus der bekannten Motordrehzahl und einer Abschätzung der unbekannten Leckage zu bestimmen. Eben diese Abschätzung limitiert die Genauigkeit der Positionsbestimmung, so dass keine exakte Geschwindigkeitsvorgabe in Endlagennähe wie bei der sensorbasierten Regelung möglich ist.

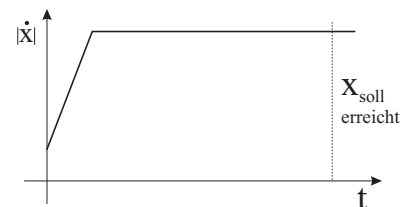


BILD 9: Geschwindigkeitsvorgabe bei modellbasierter Regelung

Wie bereits am Anfang dieses Abschnittes erläutert wurde, verfügt jedoch auch das verdrängergesteuerte System über hydraulische Endlagendämpfer. Bei Vorgabe einer konstanten Geschwindigkeit (Bild 9), kann die vorhandene Endlagendämpfung genutzt werden, um die Anschlaggeschwindigkeit zu reduzieren.

Durch die Änderung des hydraulischen Widerstandes erfolgt ein Druckanstieg im System. Ein unterlagerter Eingriff in Abhängigkeit des Ausgangsdruckes des EHA-Moduls in den Drehzahlregelkreis limitiert den Ausgangsdruck auf einen maximalen Wert, indem die Pumpendrehzahl reduziert wird; die Druckbegrenzungsventile sprechen somit nur in Ausnahmefällen an. Ist das Fahrwerk verriegelt bzw. sind die Türen in ihrer Sollposition, was durch die konventionellen Endlagenschalter detektiert wird, erfolgt die Passivierung des Systems.

5 ZUSAMMENFASSUNG

Der Artikel stellt Teilergebnisse eines im Arbeitsbereich Flugzeug-Systemtechnik, im Rahmen des EU-Projektes Power Optimised Aircraft (POA), durchgeführten Forschungsprogramms zu elektrisch versorgten Antriebssystemen für die Betätigung und Lenkung von Bugfahrwerken vor. Das Systemkonzept basiert auf dem Wirkprinzip des elektro-hydrostatischen Aktuators (EHA). Beim Betätigungssystem des Bugfahrwerkes ist es, auf Grund einer eindeutigen und sequentiellen Funktionsabfolge möglich, mehrere Aktuatoren mit einer Motor-Pumpen-Einheit zu versorgen.

Weiterführende Arbeiten werden sich mit der Validierung dieses Konzepts, einschließlich der Steuerungs- und Regelungsfunktionen sowie mit Leistungsuntersuchungen beschäftigen. Zur Zeit wird das vorgestellte Antriebskonzept in ein Experimentalsystem überführt.

ZUSAMMENARBEIT

Die Untersuchung elektrisch versorgter Antriebssysteme für Bugfahrwerke erfolgt in enger Zusammenarbeit und mit Unterstützung durch die Firma LIEBHERR AEROSPACE LINDENBERG GMBH, die Urheber der Idee dezentraler Hydraulikversorgungen von Flugzeugfahrwerken ist.

SCHRIFTTUM

- [1] DORNHEIM, M. A.: *A380 Fights Weight Growth With New Technologies*. Aviation Week & Space Technologies, 1995.
- [2] ENGELHARDT, J.; GREISSNER, C.: *Hybrid Pressure Control Concept for a Speed Variable AC Motor Pump in Aerospace Application*. 2nd PhD Symposium, Modena, Italy, 2002.
- [3] KUNZE, O.: *Eine Untersuchung zur Back-Up-Versorgung hydraulischer Ruderstellantriebe*. VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997.
- [4] RAHMFELD, R.: *Development and Control of Energy Saving Hydraulic Servo Drives for Mobile Systems*. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002.