



Flugmechanik 2 WS 03/04

Datum: 06.02.2004

Bearbeitungszeit: 180 Minuten

Name:		Vorname:	
Matrikelnummer.:			
Punkte:	von 71	Note:	

1. Klausurteil

ohne Unterlagen, 27 Punkte, 60 Minuten

1.1) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in deutscher Sprache.

1. state space
2. state equation
3. stability derivative
4. transfer function
5. assumption
6. short period oscillation
7. phugoid
8. rolling subsidence mode
9. dutch roll mode
10. control loop
11. BODE plot
12. aircraft control

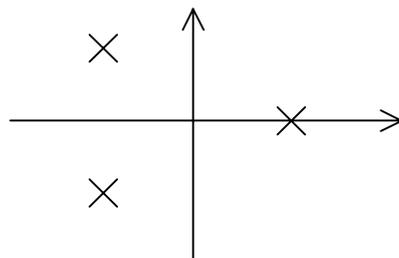
1.2) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in englischer Sprache. Schreiben Sie deutlich, denn falsche oder unleserliche Schreibweise ergibt Punktabzug!

1. Stabilität
2. Steuerbarkeit
3. Stabilitätsachsensystem
4. Systemmatrix
5. Stabilitätsbeiwerte
6. Eigenwert
7. Eigenvektor
8. s-Ebene
9. Spiralbewegung
10. Böe
11. Wurzelortskurve
12. Frequenzantwort

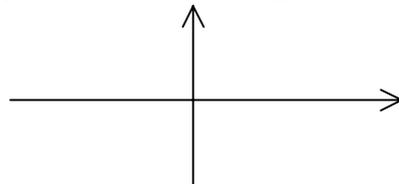
- 1.3) Wann ist ein Flugzeug getrimmt?
- 1.4) Wie ist das Stabilitätsachsensystem ausgerichtet?
- 1.5) Nennen Sie die EULER-Winkel!
- 1.6) Ergänzen Sie bitte die folgende Tabelle mit den Namen von Variablen der Flugdynamik:

U			L
		Y	
W	R		

- 1.7) Welches Vorzeichen hat (nach unserer Definition) ein Höhenruderausschlag nach unten? Wie lautet unsere Merkregel dazu?
- 1.8) Wie lautet die Zustandsgleichung?
- 1.9) Wie ist der Stabilitätsbeiwert X_u definiert?
- 1.10) Welche Bedeutung hat der Stabilitätsbeiwert M_{δ_E} ?
- 1.11) Welches Vorzeichen erwarten Sie für den Stabilitätsbeiwert M_{δ_E} ? Begründung!
- 1.12) Gegeben ist die Differentialgleichung $a \ddot{x} + b \dot{x} + c x = 0$. Alle Anfangswerte sind Null. Wie lautet die Gleichung im Bildbereich nach der LAPLACE-Transformation?
- 1.13) Welche Annahmen über den Flug liegen der Zustandsraumdarstellung zugrunde (nach der Art der Darstellung in der Vorlesung)?
- 1.14) Die Flugzeugbewegung kann in die Längs- und die Seitenbewegung aufgeteilt werden. Geben Sie jeweils die Eingangs- und die Ausgangsgrößen dieser beiden Bewegungen an!
- 1.15) Wie findet man die charakteristische Gleichung aus der Übertragungsfunktion?
- 1.16) Ein System ist gekennzeichnet durch folgende Polverteilung in der komplexen s-Ebene. Ist das System stabil? Begründung!



- 17.) Zeichnen Sie qualitativ die Polverteilung der Seitenbewegung eines konventionellen Flugzeugs!



- 18.) Wie ist der Control Anticipation Parameter (CAP) definiert? In welchem Zusammenhang ist der CAP von Bedeutung?
- 19.) Zeichnen Sie einen einfachen Regelkreis mit Regler, Strecke und Sensor! Benennen Sie die regelungstechnischen Größen!
- 20.) Sie sollen einen einfachen Regler entwerfen, der dafür sorgt, dass die Flügel des Flugzeugs im Geradeausflug horizontal bleiben. Welche Größe wählen Sie als Führungsgröße und welche als Regelgröße?

2. Klausurteil

 mit Unterlagen dazu PC mit MATLAB/Simulink, 44 Punkte, 120 Minuten

Aufgabe 2.1 (10 Punkte)

Die Boeing 747-200 ist im Reiseflug charakterisiert durch folgende Parameter und Beiwerte:

Flughöhe: 12200 m; Machzahl: 0.8; Fluggeschwindigkeit: 250 m/s

$$X_u = 0.0002 \quad Z_q = -1.57 \quad M_q = -0.339$$

$$X_w = 0.039 \quad Z_{\delta_E} = -5.46 \quad M_{\delta_E} = -1.160$$

$$X_{\delta_E} = 0.44 \quad M_u = -0.00006$$

$$Z_u = -0.07 \quad M_w = -0.003$$

$$Z_w = -0.317 \quad M_{\dot{w}} = -0.0004$$

Hinweis: Die Beiwerte sind in SI-Einheiten gegeben.

- a) Wie lautet die Systemmatrix \mathbf{A} der Längsbewegung in allgemeiner Form? Wie sind die Elemente von \mathbf{A} definiert? Wie lautet \mathbf{A} mit den konkreten Zahlenwerten dieser Aufgabe? Der Zustandsvektor sei dabei

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix} .$$

- b) Wie lautet die charakteristische Gleichung der Längsbewegung?
- c) Berechnen Sie die Eigenwerte der Längsbewegung! Ordnen Sie die bekannten Eigenformen der Längsbewegung den Eigenwerten zu! Welche Eigenschaft zeigt die Phygoide hier?

Aufgabe 2.2 (13 Punkte)

Die Systemmatrix \mathbf{A} der Seitenbewegung der Boeing 747-200 im Reiseflug lautet:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -0.056 & 0 & -1 & 0.0392 \\ -1.05 & -0.47 & 0.39 & 0 \\ 0.6 & -0.032 & -0.115 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{bei einem Zustandsvektor } \vec{x} = \begin{bmatrix} \beta \\ p \\ r \\ \phi \end{bmatrix} .$$

- a) Berechnen Sie die Eigenwerte der Seitenbewegung! Ordnen Sie die bekannten Eigenformen der Seitenbewegung den Eigenwerten zu! Welche Eigenformen sind stabil, welche sind instabil?
- b) Berechnen Sie die Frequenz und die Dämpfung, die Zeitkonstante oder die Zeit bis zur Verdopplung (time to double) der Eigenwerte aus a) – je nachdem welche Rechnung auf den jeweiligen Eigenwert zutrifft.
- c) Bewerten Sie die Eigenwerte nach a) zusammen mit den Ergebnissen aus b) gemäß Mil-F-8785 C!

Aufgabe 2.3 (15 Punkte)

Die Boeing 747-200 fliegt im Reiseflug in einen Jetstream ein und wird dadurch plötzlich (!) von einer Längs-Böe von hinten getroffen. Die Längs-Böe hat eine Stärke von 20 m/s.

- a) Wie lautet der Zähler der vollständigen Übertragungsfunktion (ohne weitere Vereinfachungen), mit der die Änderung der Flughöhe (h) des Flugzeugs aus dieser Böenanregung berechnet werden kann?
- b) Wie lautet der Nenner der vollständigen Übertragungsfunktion (ohne weitere Vereinfachungen)?
- c) Erstellen Sie eine Simulink-Modell um die beschriebene Flugsituation zu simulieren. Skizzieren Sie das Blockschaltbild auf Papier!

Hinweis zu den Teilen a), b) und c): Es ist MATLAB/Simulink egal ob Sie eine Übertragungsfunktion mit Variablen oder mit konkreten Zahlen spezifizieren. Aus diesem Grunde ist es auch bei diesen Aufgabenteilen ohne Bedeutung. Suchen Sie immer nach der einfachsten und schnellsten Lösung. Schauen Sie doch einmal auf das Ergebnis von Aufgabe 2.1 b).

- d) Führen Sie die Simulation durch. Beschreiben Sie das Simulationsergebnis (machen Sie eine Skizze des Plots auf Papier). Interpretieren Sie das Ergebnis. Was bedeutet das, was Sie als Plot sehen?

Aufgabe 2.4 (6 Punkte)

- a) Welches Ruder wird eingesetzt, um einen koordinierten Kurvenflug zu erreichen? Mit welchem Standardanzeigegerät im Cockpit überwacht der Pilot, dass eine koordinierte Kurve geflogen wird? Welcher Parameter ist ungleich Null, wenn der Kurvenflug nicht koordiniert erfolgt?
- b) Um den Pilot beim koordinierten Kurvenflug zu entlasten soll ein ganz einfacher Regler entworfen werden. Unterbreiten Sie einen Vorschlag für diesen einfachen Regler und skizzieren Sie den Regelkreis! Benennen Sie die Regelgröße (Istwert), die Stellgröße und den Wert der Führungsgröße (Sollwert)!