

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. November 2010 (04.11.2010)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/125080 A2

(51) Internationale Patentklassifikation: Nicht klassifiziert

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/055664

(22) Internationales Anmeldedatum:
28. April 2010 (28.04.2010)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2009 002 682.7

28. April 2009 (28.04.2009) DE

61/173,239 28. April 2009 (28.04.2009) US

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): AIRBUS OPERATIONS GMBH [DE/DE];
Kreetslag 10, 21129 Hamburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): GOJNY, Marcus [DE/
DE]; Chrysanderstrasse 22, 21029 Hamburg (DE).
CARL, Udo, B. [DE/DE]; Eissendorfer Winkel 9, 21077
Hamburg (DE). SACHS, Helge [DE/DE]; Bahrenfelder
Chaussee 102, 22761 Hamburg (DE).

(74) Anwalt: PECKMANN, Ralf; Reinhard, Skuhra, Weise
& Partner GbR, Friedrichstrasse 31, 80801 München
(DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD,
RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ,
DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,
SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Erklärungen gemäß Regel 4.17:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR THE RESIDUAL ANALYSIS OF A RESIDUUM TO DETECT SYSTEM ERRORS
IN THE SYSTEM BEHAVIOR OF AN AIRCRAFT

(54) Bezeichnung : EINRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR RESIDUENAUSWERTUNG EINES RESIDUUMS ZUR ER-
KENNUNG VON SYSTEMFEHLERN IM SYSTEMVERHALTEN EINES SYSTEMS EINES FLUGZEUGS

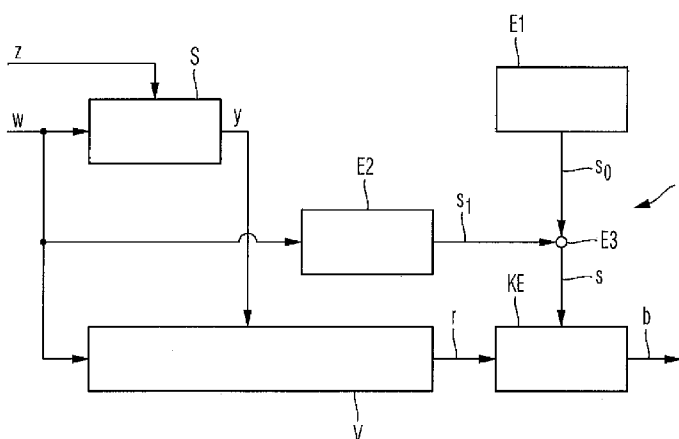


Fig. 2

(57) Abstract: The present invention provides a device and a method for the residual analysis of a residuum to detect system errors in the system behavior of an aircraft. The device for the residual analysis of a residuum comprises an apparatus to generate the residuum at least dependent on the reference variable and the system output variable, a comparator unit to provide an analytical result by comparing the residuum to a given threshold, a first unit to provide a constant threshold portion, a second unit to provide an adaptive threshold portion at least dependent on the reference value, which can change over time, and a third unit to provide the threshold by linking the constant threshold portion to the adaptive threshold portion.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



WO 2010/125080 A2



— hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, die Priorität einer früheren Anmeldung zu beanspruchen (Regel 4.17 Ziffer iii)

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

Die vorliegende Erfindung schafft eine Einrichtung und ein Verfahren zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs. Die Einrichtung zur Residuenauswertung hat eine Vorrichtung zur Residuengenerierung des Residuums zumindest in Abhängigkeit der Führungsgröße und der System-Ausgangsgröße, eine Komparator-Einheit zur Bereitstellung eines Auswerte-Ergebnisses mittels eines Vergleichs des Residuums mit einem bereitgestellten Schwellwert, eine erste Einheit zur Bereitstellung eines konstanten Schwellwertanteils, eine zweite Einheit zur Bereitstellung eines adaptiven Schwellwertanteils zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße und eine dritte Einheit zur Bereitstellung des Schwellwertes mittels einer Verknüpfung des konstanten Schwellwertanteils mit dem adaptiven Schwellwertanteil.

5 **Einrichtung und Verfahren zur Residuenauswertung eines Resi-**
 duums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten ei-
 nes Systems eines Flugzeugs

10 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Einrichtung und ein
Verfahren zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erken-
nung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines
Flugzeugs.

15 Das technische Gebiet der Erfindung betrifft die Auswertung
eines generierten Residuums zur Erkennung von Systemfehlern,
insbesondere von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszil-
lationen, im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeuges,
beispielsweise eines elektrohydraulischen Ruderstellsystems.

20 Überschreitet das generierte Residuum eine vorbestimmte
Schwelle oder Schranke, so ist ein Fehler im Systemverhalten
detektiert. Solche Systemfehler im Systemverhalten zeigen
sich in Form von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszil-
25 lationen im Eingangs-/Ausgangsverhalten des Systems.

Dabei zieht die zunehmende Komplexität von Flugzeugsteue-
rungssystemen, insbesondere digitale Flugzeugsteuerungssyste-
me, die bei größtmöglicher Redundanz vor allem verbesserte
30 Flugeigenschaften sowie eine Vielzahl an Sicherungsfunktionen
und Komfortfunktionen ermöglichen, das vermehrte Auftreten
zum Teil neuer Fehlerszenarien nach sich. Dazu zählen insbe-
sondere nahezu ungedämpfte Stellflächenoszillationen der
Stellflächen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die OFC-
35 Ursachen (OFC, Oscillatory Failure Case), welche durch Fehler
im Stellsystem selbst auftreten oder sich aus den Flugsteue-
rungsrechnern oder der zur Erfassung der flugmechanischen Ei-

genbewegung vorgelagerten Sensorik in die Aktuatorregelkreise der jeweiligen Stellsysteme fortpflanzen.

Die Vielzahl der denkbaren OFC-Szenarien umfasst dabei Fehler in Komponenten der Datenverarbeitung und der Signalverarbeitung, Softwarefehler, mechanische Defekte, beispielsweise in der Servoventilbaugruppe, oder Ausfälle von elektronischen Einzelbausteinen auf unterster Schaltkreisebene, zum Beispiel im Spannungs-Strom-Wandler.

Weitere Fehlerszenarien können sich aus Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Systemkomponenten des Aktuatorregelkreises oder des digitalen Flugsteuerungssystems ergeben.

Zur Detektion von solchen Systemfehlern ist im Rahmen eines modellbasierten Diagnoseansatzes die Generierung des Residuums zur Identifikation einer fehlerbedingten Abweichung des Realsystemverhaltens vom nominalen, fehlerfreien Systemverhalten erforderlich. Dazu zeigt die Druckschrift

US 2007/0124038 A1 eine Lösung mittels einer Anwendung eines Parallelmodells zur Schätzung einer Kolbenposition des Ruderstellsystems des Flugzeuges, welche über eine kinematische Beziehung der Position der Stellfläche entspricht.

Zur Schätzung der Kolbenposition des realen, elektrohydraulischen Ruderstellsystems ist der Ansatz eines detaillierten, nicht linearen oder eines vereinfachten linearen Parallelmodells vorgesehen, welcher in der Fig. 2 der US 2007/0124038 A1 abgebildet ist. Dabei zeigt die mit dem Bezugszeichen 19 der Fig. 2 versehene Einheit das Parallelmodell, welches die detaillierte, nicht-lineare Abbildung der realen Systemdynamik oder eine vereinfachte lineare Beschreibung beinhaltet. Als einziges Eingangssignal für das Parallelmodell 19 ist die zeitlich veränderliche Führungsvorgabe - bezeichnet mit dem Bezugszeichen 20 - für den Aktuatorregelkreis vorgesehen, welche vom Flugsteuerungsrechner eingepreßt wird. Das einzige Ausgangssignal des Parallelmodells 19

ist mit dem Bezugszeichen 29 bezeichnet und beschreibt die geschätzte zeitlich veränderliche Aktuatorkolbenposition.

In diesem Zusammenhang zeigt die Fig. 1 der vorliegenden Anmeldung ein schematisches Blockschaltbild einer herkömmlichen Vorrichtung V zur Generierung eines Residuums r .

Dabei entspricht die herkömmliche Vorrichtung V nach Fig. 1 einer verallgemeinerten Darstellung der Fig. 4 der US 2007/0124038 A1, um die auftretenden Nachteile des Standes der Technik besser darstellen zu können.

Mit Bezug auf Fig. 1 bezeichnet das Bezugszeichen z eine Störgröße, die externe Störungen auf das System S abbildet.

Das System S hat als Eingangsgröße die Führungsgröße w und stellt ausgangsseitig die System-Ausgangsgröße y bereit. Das System S ist beispielsweise ein reales elektrohydraulisches Ruderstellsystem und die System-Ausgangsgröße y entspricht einer gemessenen Verschiebung des Aktuatorkolbens des Ruderstellsystems. Zur Bereitstellung einer geschätzten System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ ist parallel zu dem System S ein Systemmodell SM angeordnet.

Der Kern des in der US 2007/0124038 A1 beschriebenen Schätzverfahrens besteht im Wesentlichen aus dem parallelen Systemmodell oder Prozessmodell, welches in Form einer mathematischen Beschreibung die Anfangswerte des Prozesses oder Systems und seine Parametrisierung bestmöglich approximiert. Das identische Eingangssignal für das System S, die Führungsgröße oder Führungsvorgabe w , ist das einzige Eingangssignals des Systemmodells SM. Gemäß der gewählten Anfangswerte und der parametrisierten Systemdynamik des definierten Systemmodells ergibt sich die geschätzte System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ des Systemmodells SM. Zur Generierung des Residuums r wird die Differenz zwischen dem zeitlich veränderlichen Systemausgangssignal y und dem geschätzten Systemausgangssignal $\hat{y}$ des System-

modells SM gebildet. Das Residuum r wird im Fall eines Überschreitens eines vordefinierten Schwellwertes zur Identifikation eines Systemfehlers verwendet.

- 5 Bei der Anwendung der in Fig. 1 skizzierten und aus der US 2007/0124038 A1 bekannten Lösung auf die spezifische Aufgabe der Erkennung von fehlerhaften Oszillationen, Drift und Transienten eines elektrohydraulischen Ruderstellsystems können folgende Probleme auftreten: Die Einstellung eines robusten
10 und dennoch hochempfindlichen Detektionsschwellwertes für das Residuum r gelingt nicht ausreichend, da externe Störungen - bezeichnet mit dem Bezugszeichen z - auftreten können, die auf das System S wirken, aber vom Systemmodell SM nicht abgebildet werden. Diese externen Störungen ergeben sich bei ei-
15 nem elektrohydraulischen Ruderstellsystem insbesondere aus Luftkräften, die auf die angetriebene Stellfläche während des Fluges wirken und das Stellsystem mechanisch belasten, zum Beispiel durch transiente Strömungen durch einmalige Ereignisse wie Böen, harmonische Störungen durch periodische Wir-
20 belablösungen oder Effekte aus der Flexibilität der umgebenden Struktur oder stochastische Störungen, insbesondere als Prozessrauschen aufgrund der aerodynamischen Wirkung von Turbulenzen. Ein weiterer Grund für die unzureichende Möglich-
keit der Einstellung des Detektionsschwellwertes liegt in der
25 permanenten Überlagerung der gemessenen Aktuatorposition als System-Ausgangsgröße y mit Messrauschen aufgrund der instrumentierten Sensorausstattung, beispielsweise der Positionsaufnehmer an der Aktuatorkolbenstange.
- 30 Weiter haben hochdynamische Veränderungen der Führungsgröße w unter Anwesenheit von Störungen ein sehr rasches, kurzfristiges Anwachsen des Residuums r zur Folge.

Des Weiteren verändert sich der Prozess oder das System S
35 durch Änderungen von Parametern oder Randbedingungen, beispielsweise Fluggeschwindigkeit, Flughöhe, Anstell- und Schiebewinkel, Temperatur, Eigenschaften des hydraulischen

Mediums des Aktuators und dergleichen, während des Betriebes oder Fluges. Diese Veränderungen wirken auf das Antwortverhalten des Systems S und damit auf die Eigendynamik des Systems S. Sie werden vom parallelen Prozessmodell oder Systemmodell SM nicht abgebildet.

Weiterhin können die Anfangswerte des Prozesses oder Systems S in praktischen Anwendungen lediglich durch ein Modell approximiert werden. Derart initiierte Abweichungen in der Systemantwort des Systemmodells SM sowie die Wirkung vernachlässigter und unbekannter Dynamik bleiben bei der aus der US 2007/0124038 A1 bekannten Lösung unkorrigiert.

Dies führt nachteiligerweise zu einem Signalanteil im Residuum, welcher eine sehr empfindliche Einstellung des Schwellwertes zur Fehlerdetektion ohne Einschränkung des überwachten Frequenzbandes ohne zusätzliche Maßnahmen erheblich erschwert.

In der US 2007/0124038 A1 (Fig. 2) ist zur Residuengenerierung durch Bildung des Differenzwertes zwischen den zeitveränderlichen Größen der gemessenen Aktuatorkolbenposition 22 und der Ausgangsgröße 29 des Parallelmodells der Subtrahierer 21 vorgesehen. Dessen Ausgangssignal 24 entspricht dem gebildeten Residuum. Weiter zeigt die mit Bezugszeichen 23 versehene Einheit ein Auswertemodul zur Auswertung des Residuums zur Fehlerdetektion.

Das Auswertemodul 23 vergleicht das Residuum 24 mit einem vordefinierten Schwellwert und zählt jede Überschreitung dieses Schwellwertes. Nach einer vorbestimmten Anzahl von gezählten Überschreitungen des vorbestimmten Schwellwertes wird ein oszillatorischer Fehlerfall festgestellt und ein Ausgangssignal 26 wird auf einen positiven logischen Wert zur Anzeige dieses Fehlers gesetzt.

Um eine gewisse Güte des Auswertemoduls 23 zu erreichen, besteht dieses aus einer seriellen Verknüpfung einer frequenzselektiven Filterbank, Einheit mit dem Bezugszeichen 27, und einer nachgeschalteten Komparatorstufe, Einheit mit dem Bezugszeichen 25, für jedes einzelne Frequenzband des Residuums 24. Die frequenzselektive Filterbank 27 besteht aus einer Parallelschaltung von Bandpassfiltern zur spektralen Trennung des Residuums 24 in vorbestimmte Frequenzbänder. Dabei bezeichnet das Bezugszeichen 28 einen Vektor der spektralen Anteile des Residuums 24 in den durch die frequenzselektive Filterbank 27 festgelegten Frequenzbändern.

Dazu umfasst die Komparatorbank 25 jeweils einen gesonderten Kanal für jede Komponente des Vektors 28, in welchem die jeweilige Komponente mit einem vordefinierten Schwellwert verglichen wird. In jedem Kanal wird der Fall der Überschreitung mittels eines Zählers vermerkt. Übersteigt die Anzahl der gezählten Überschreitungen eines Kanals eine vorab bestimmte Schranke, wird der oszillatorische Fehlerfall festgestellt und mittels des Ausgangssignals 28 angezeigt.

Bei der Anwendung dieser aus der US 2007/0124038 A1 bekannten Lösung auf die spezifische Aufgabe der Erkennung von Systemfehlern eines elektrohydraulischen Ruderstellsystems eines Flugzeuges können folgende Probleme auftreten: Die Einstellung eines robusten und dennoch hochempfindlichen Detektionsschwellwertes für das Residuum gelingt nicht ausreichend, und somit wird lediglich eine beschränkte Güte für die Überwachungsfunktion des Ruderstellsystems erreicht. Ein Grund hierfür ist unter anderem, dass hochdynamische Veränderungen der Führungsgröße oder Führungsvorgabe unter Anwesenheit von Störungen stets ein sehr rasches und kurzfristiges Anwachsen des Residuums bedingen. Diese können insbesondere durch den Betrieb in turbulenter Atmosphäre, durch Antwortverhalten flexibler Strukturen oder periodische Wirbelablösungen entstehen. Des Weiteren kann inhärentes Messrauschen des Systems diese nachteiligen Effekte zusätzlich verstärken. Um in den

jeweiligen zugeordneten Frequenzbändern keine fortwährenden Fehlalarme auszulösen, müssen die Detektionsschwellenwerte entsprechend angehoben werden, und gegebenenfalls muss die Anzahl der erforderlichen Bestätigungszyklen erhöht werden.

5 Dies hat für die Erkennung von Dauerschwingungen infolge von Systemfehlern eine stark verringerte Empfindlichkeit und weiter eine gesteigerte Erkennungszeit des Auswertemoduls zur Folge. Dies trifft insbesondere auf solche Systemfehler zu, bei denen sich ein oszillierender Anteil mit einem nominalen
10 Systemausgangssignal niedriger Frequenz überlagert.

Ein weiterer Grund für die beschränkte Güte für die Überwachungsfunktion des Ruderstellsystems liegt im Übersprechen zwischen benachbarten Frequenzbereichen, da eine exakte Trennung
15 technisch schwer realisierbar ist. Ein solches Übersprechen kann im Falle unterschiedlicher Schwellwerte vermehrt Fehlalarme auslösen.

Des Weiteren kann sich insbesondere aus dem strukturdynamischen Antwortverhalten eine Unsicherheit für die Festlegung der Grenzen der höheren Frequenzbänder in Kombination mit korrespondierenden festen Schwellwerten ergeben. Dies hat einen unmittelbaren nachteiligen Einfluss auf die zu erzielende Güte bei der Fehlererkennung im höheren Frequenzbereich.

20 Durch die Anwendung der aus der US 2007/0124038 A1 bekannten Zählmethode ist die Fehlererkennung auf die Erkennung oscillatorischer Stellsystemfehler beschränkt. Die Möglichkeit einer Erweiterung auf andere Fehlerszenarien, wie Transienten oder Kriechen, sind methodisch grundsätzlich ausgeschlossen.

25 Dieses macht für Monitorkonzepte moderner Stellsysteme nachteiligerweise eine parallele Aufstellung und Instrumentierung verschiedener spezifischer Einrichtungen zur Fehlererkennung erforderlich. Insgesamt erschwert die in der US 2007/0124038 A1 vorgeschlagene Anordnung zur Residuenauswertung
30 eine empfindliche Einstellung des Schwellwertes zur breitbandigen Fehlerdetektion ohne Einschränkung des überwachten Frequenzbandes erheblich.

Demnach ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern, insbesondere von fehlerhaften Transienten, Drift
5 oder Oszillationen, im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs zu schaffen, welche die oben beschriebenen Nachteile nicht aufweist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine Einrichtung mit
10 den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und/oder durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 gelöst.

Demgemäß wird eine Einrichtung zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern eines Systems vorgeschlagen, welches eine zeitlich veränderliche Führungsgröße
15 und eine externe Störungen abbildende Störgröße eingangsseitig empfängt und ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße bereitstellt, wobei die Einrichtung aufweist:

- eine Vorrichtung zur Residuengenerierung des Residuums zu-
20 mindest in Abhängigkeit der Führungsgröße und der System-Ausgangsgröße;
- eine Komparator-Einheit zur Bereitstellung eines Auswerte-Ergebnisses mittels eines Vergleichs des Residuums mit einem bereitgestellten Schwellwert;
- 25 - eine erste Einheit zur Bereitstellung eines konstanten Schwellwertanteils;
- eine zweite Einheit zur Bereitstellung eines adaptiven Schwellwertanteils zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße; und
- 30 - eine dritte Einheit zur Bereitstellung des Schwellwertes mittels einer Verknüpfung des konstanten Schwellwertanteils mit dem adaptiven Schwellwertanteil.

Die jeweilige Einheit, die erste bis dritte Einheit sowie die
35 Komparator-Einheit, kann hardwaretechnisch oder auch softwaretechnisch implementiert sein. Bei einer hardwaretechnischen Implementierung kann die jeweilige Einheit als Vorrich-

tung, zum Beispiel als Computer oder Mikroprozessor, Einrichtung oder auch als Teil eines Systems, zum Beispiel als Computer-System, ausgebildet sein. Bei einer softwaretechnischen Implementierung kann die jeweilige Einheit als Computerprogrammprodukt, als eine Funktion, als eine Routine, als Teil eines Programmcodes oder als ausführbares Objekt ausgebildet sein.

Des Weiteren wird ein Flugzeug mit zumindest einer wie oben beschriebenen Einrichtung vorgeschlagen.

Weiterhin wird ein Verfahren zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems vorgeschlagen, wobei das System eine zeitlich veränderliche Führungsgröße und eine externe Störungen abbildende Störgröße eingangsseitig empfängt und ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße bereitstellt, wobei das Verfahren folgende Schritte hat:

- Generieren eines Residuums zumindest in Abhängigkeit der Führungsgröße und der System-Ausgangsgröße;
- Bereitstellen eines konstanten Schwellwertanteils;
- Bereitstellen eines adaptiven Schwellwertanteils zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße;
- Bereitstellen eines Schwellwertes mittels einer Verknüpfung des konstanten Schwellwertanteils mit dem adaptiven Schwellwertanteil ; und
- Vergleichen des Residuums mit dem bereitgestellten Schwellwert zur Bereitstellung eines Auswerte-Ergebnisses.

Ferner wird ein Computerprogrammprodukt vorgeschlagen, welches auf einer programmgesteuerten Einrichtung die Durchführung eines wie oben beschriebenen Verfahrens zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems veranlasst.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt in der robusten Auswertung eines Residuums, mittels welchem das Vorliegen von

Systemfehlern, insbesondere von fehlerhaften Transienten, Kriechen, Dauerschwingungen oder Oszillationen, in einem System eines Flugzeuges, insbesondere eines elektrohydraulischen Ruderstellsystems, detektierbar ist.

5

Dabei ist erfindungsgemäß die Erkennung von vorstehend bezeichneten Systemfehlern und insbesondere die Vermeidung von falschen Anzeigen durch den erfindungsgemäßen Einsatz des adaptiven Detektionsschwellwertes sehr robust möglich.

10

Diese Güte ist in Tests mit realen Ruderstellsystemen Hardware-In-The-Loop nachgewiesen, deren Ergebnisse in Sachs, Helge: "Fault Investigation and Robust Failure Detection of Oscillatory Aircraft Actuation Systems Using Analytical Redundancy", Hamburg, Hamburg University of Technology, Aircraft Systems Engineering M-7, PhD thesis, offenbart sind.

15

Dabei werden erfindungsgemäß hochdynamische Veränderungen der Führungsvorgabe oder Führungsgröße unmittelbar über die Schwellwertanpassung mittels des adaptiven Schwellwertanteils abgebildet. Auf diese Weise werden auch dynamische Systemantworten auf Störungen erfasst, welche im Betrieb in turbulenter Atmosphäre, durch Antwortverhalten flexibler Strukturen oder periodische Wirbelablösungen entstehen können. Insbesondere gelingt dabei erfindungsgemäß die sichere und schnelle Erkennung von Systemfehlern, bei denen sich ein oszillierender Anteil mit einem nominellen Systemausgangssignal niedriger Frequenz überlagert.

20

25

Des Weiteren wird das zu erwartende, inhärente Messrauschen des Systems durch den konstanten Schwellwertanteil getrennt berücksichtigt, der vorzugsweise auf einen minimalen Wert eingestellt ist.

30

Durch die direkte Verarbeitung des Einflusses der zeitlich veränderlichen Führungsvorgabe ist es erfindungsgemäß nicht mehr erforderlich, die sich aus dem Nominalbetrieb ergebenden

35

Amplituden durch die Detektionsschwellwerte abzubilden. Für resultierende Fehleramplituden kann auf diese Weise stets eine nur durch die Prozessinstrumentierung beschränkte, minimale Fehlerschwelle über den gesamten Spektralbereich angewendet werden.

Zusätzlich ist es durch die Elimination der aus der US 2007/0124038 A1 bekannten Zählmethode erfindungsgemäß möglich, die Bestätigungszeiten erheblich zu reduzieren bzw. auf Null zu setzen. Insbesondere bei Fehlerzuständen mit Dauerschwingungen größerer Periodendauern sinkt auf diese Weise die gesamte Erkennungszeit erheblich.

Weiterhin ermöglicht die Elimination der herkömmlichen Zählmethode die Erkennung von Systemfehlern, welche nicht zu Schwingungen insbesondere der Aktuatorkolbenposition bzw. Stellfläche führen. Folglich können auch Systemfehler infolge von Transienten und Kriechen detektiert werden. Damit kann die Instrumentierung verschiedener spezifischer Einrichtungen zur Fehlererkennung deutlich reduziert werden.

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist, eine Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeuges zu schaffen, welche die oben beschriebenen Nachteile nicht aufweist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 16 und/oder durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 26 gelöst.

Demgemäß wird eine Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs vorgeschlagen, welches eine Führungsvorgabe und eine externe Störungen abbildende Störgröße eingangsseitig empfängt und aus-

gangsseitig eine System-Ausgangsgröße bereitstellt, wobei die Vorrichtung aufweist:

- ein erstes Mittel mit einem System-Modell zur Abbildung des zu überwachenden Systems, welches eingangsseitig die Führungsgröße, eine Beobachterrückführgröße und eine Störmodellgröße empfängt und abhängig davon ausgangsseitig eine geschätzte System-Ausgangsgröße bereitstellt;
- ein zweites Mittel zur Bildung eines Residuums aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße und der geschätzten System-Ausgangsgröße;
- ein drittes Mittel mit einer Beobachter-Rückführung, welche eingangsseitig das Residuum empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße zur dynamischen Korrektur des Systemmodells derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße der System-Ausgangsgröße folgt; und
- ein viertes Mittel mit einem Störmodell, welches eingangsseitig das Residuum empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße zur Abbildung der Wirkungen der externen Störungen auf das System-Modell bereitstellt.

Das jeweilige Mittel, das erste bis vierte Mittel, kann hardwaretechnisch oder auch softwaretechnisch implementiert sein. Bei einer hardwaretechnischen Implementierung kann das jeweilige Mittel als Vorrichtung, zum Beispiel als Computer oder Mikroprozessor, Einrichtung oder auch als Teil eines Systems, zum Beispiel als Computer-System, ausgebildet sein. Bei einer softwaretechnischen Implementierung kann das jeweilige Mittel als Computerprogrammprodukt, als eine Funktion, als eine Routine, als Teil eines Programmcodes oder als ausführbares Objekt ausgebildet sein.

Des Weiteren wird ein Flugzeug mit zumindest einer wie oben beschriebenen Vorrichtung vorgeschlagen.

Weiterhin wird ein Verfahren zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillatio-

nen im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs vorgeschlagen. Das System empfängt eingangsseitig eine Führungsvorgabe und eine externe Störungen abbildende Störgröße und stellt ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße bereit. Das

5 erfindungsgemäße Verfahren hat folgende Schritte:

- Bereitstellen eines System-Modells zur Abbildung des zu überwachenden Systems, welches eingangsseitig die Führungsgröße, eine Beobachterrückführgröße und eine Störmodellgröße empfängt und abhängig davon ausgangsseitig eine geschätzte

10 System-Ausgangsgröße bereitstellt;

- Bilden eines Residuums aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße und der geschätzten System-Ausgangsgröße;

- Bereitstellen einer Beobachter-Rückführung, welche eingangsseitig das Residuum empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße zur dynamischen Korrektur des Systemmodells derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße der System-Ausgangsgröße folgt; und

- Bereitstellen eines Störmodells, welches eingangsseitig das Residuum empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße zur Abbildung der Wirkungen der externen Störungen auf das System-Modell bereitstellt.

Ferner wird ein Computerprogrammprodukt vorgeschlagen, welches auf einer programmgesteuerten Einrichtung die Durchführung eines wie oben beschriebenen Verfahrens zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs veranlasst.

Das erste bis vierte Mittel bilden insbesondere eine Störbeobachter-Einheit oder einen Störbeobachter.

Der erfindungsgemäße Störbeobachter erzwingt ein Folgeverhalten des Systemmodells in Bezug auf die geschätzte System-Ausgangsgröße, beispielhaft die Kolbenposition des Ruderstellsystems. Dieses wird durch die Rückführung des Residuums

über die Beobachterrückführung auf die internen Zustände des Systemmodells erreicht. Um Störungen auf den realen Prozess oder das reale System, insbesondere durch dynamische Luftlasten und Messrauschen für das Systemmodell, zu approximieren, wird das Störmodell parallel zur Beobachterrückführung aufgestellt. Die angenäherte oder geschätzte Störwirkung, welche erfindungsgemäß als Störmodellgröße abgebildet ist, wird ebenfalls auf die internen Zustände des Systemmodells zurückgeführt. Somit wird neben dem Folgeverhalten zusätzlich eine mittelbare Wirkung der externen Störungen des Systems in der geschätzten System-Ausgangsgröße bzw. im Störbeobachteraussgang abgebildet.

Ein Vorteil der vorliegenden Erfindung liegt in der robusten Generierung eines Residuums, mittels dem das Vorliegen eines Fehlers, insbesondere in Form von fehlerhaften Transienten, Drift, Kriechen oder Oszillationen bei einem System eines Flugzeuges detektierbar ist. Die Auswertung erfolgt dann durch Vergleich des Residuums mit einem vorbestimmten Schwellwert.

Eine Einstellung robuster und hochempfindlicher Detektionsschwellwerte für das Residuum ist über die erfindungsgemäße Lösung möglich und ist mittels Tests mit realen Rudersystemen Hardware-In-The-Loop gezeigt, deren Ergebnisse in Sachs, Helge: "Fault Investigation and Robust Failure Detection of Oscillatory Aircraft Actuation Systems Using Analytical Redundancy", Hamburg, Hamburg University of Technology, Aircraft Systems Engineering M-7, PhD thesis, nachgewiesen sind.

Dabei werden externe Störungen, die auf den Prozess oder das System wirken, durch den erfindungsgemäßen Störbeobachter als Näherung abgebildet. Solche externe Störungen oder Prozessstörungen resultieren im Wesentlichen aus Luftkräften, die auf die angetriebene Stellfläche während des Betriebes wirken, insbesondere als transiente Störungen durch einmalige

Ereignisse wie Böen, harmonische Störungen durch periodische Wirbelablösungen oder Effekte aus der Flexibilität der umgebenden Struktur oder aus stochastischen Störungen wie Turbulenzen, und führen erfindungsgemäß nicht zu einer signifikanten Wirkung auf das Residuum.

Des Weiteren hat eine permanente Überlagerung der gemessenen Aktuatorposition als System-Ausgangsgröße mit Messrauschen (beispielsweise ausgedrückt durch das Signalrauschverhältnis) der Positionsaufnehmer an der Aktuatorkolbenstange) keinen signifikanten Einfluss auf das generierte Residuum.

Wie oben bereits ausgeführt, verändert sich das System oder der Prozess durch Änderungen von Parametern oder Randbedingungen während des Betriebes. Beispiele für solche veränderlichen Parameter sind die Fluggeschwindigkeit, die Flughöhe, der Anstell- und Schiebewinkel, die Temperatur, die Eigenschaften des hydraulischen Mediums des Aktuators und dergleichen. Diese Veränderungen wirken auf das Antwortverhalten und die Eigendynamik des Systems. Sie werden vom erfindungsgemäßen Störbeobachter über das erzwungene Folgeverhalten ebenfalls abgebildet und werden im Residuum damit nicht sichtbar.

Unterschiedliche Anfangswerte im System und im Systemmodell werden ebenfalls über die Beobachterrückführung minimiert. Somit haben sie keine weiteren Auswirkungen auf das erfindungsgemäß generierte Residuum.

Sind weitere Messgrößen des Systems verfügbar oder vorab sicher beschreibbar, kann das Systemmodell um diese Elemente reduziert werden. Die messbaren Größen werden als zusätzliche Eingangsgrößen dem Störbeobachter bereitgestellt. Sie erhöhen vorteilhafterweise die Güte der geschätzten System-Ausgangsgröße des Störbeobachters und minimieren weiter das Residuum.

Sind Teile des Prozesses oder des Systems fest determiniert, werden diese aus dem Störbeobachter extrahiert. Der reduzierte Störbeobachter kann sich in diesem Fall auf den Teilprozess oder auf das Teilsystem der nicht unmittelbar messbaren und/oder sicheren dynamischen Effekte reduzieren. Die Reduktion des vollständigen Störbeobachters auf einen in die feststehenden Systemgleichungen integrierten, reduzierten Störbeobachter führt zu einer weiteren Steigerung der Robustheit und damit zur Beschleunigung der Laufzeiteigenschaften des vorgeschlagenen Verfahrens.

In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Ausgestaltungen und Verbesserungen der Erfindung.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist die erste Einheit dazu eingerichtet, den konstanten Schwellwertanteil in Abhängigkeit eines zu erwartenden, inhärenten Messrauschens des Systems bereitzustellen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die erste Einheit dazu eingerichtet ist, den konstanten Schwellwertanteil in Abhängigkeit des zu erwartenden, inhärenten Messrauschens des Systems auf einen minimalen Wert einzustellen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung hat die Vorrichtung zur Residuengenerierung des Residuums zumindest ein Systemmodell zur Abbildung des zu überwachenden Systems.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung hat die Vorrichtung zur Residuengenerierung des Residuums:

- ein erstes Mittel mit einem System-Modell zur Abbildung des zu überwachenden Systems, welches eingangsseitig die Führungsgröße, eine Beobachterrückführgröße und eine Störmodellgröße empfängt und abhängig davon ausgangsseitig eine geschätzte System-Ausgangsgröße bereitstellt;

- ein zweites Mittel zur Bildung eines Residuums aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße und der geschätzten System-Ausgangsgröße;

- ein drittes Mittel mit einer Beobachter-Rückführung, welche
5 eingangsseitig das Residuum empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße zur dynamischen Korrektur des Systemmodells derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße der System-Ausgangsgröße folgt; und

10 - ein viertes Mittel mit einem Störmodell, welches eingangsseitig das Residuum empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße zur Abbildung der Wirkungen der externen Störungen auf das System-Modell bereitstellt.

15 Bei der Verbindung des Konzeptes zur Generierung des adaptiven Schwellwertes in Kombination mit dem reduzierten Störbeobachter ist in Tests mit realen Ruderstellsystemen Hardware-In-The-Loop nachgewiesen, dass die Steigerung der Güte der Fehlererkennung hierdurch erheblich ist. Dabei ist die Sensi-
20 tivität durch Senkung der Detektionsschwellen um 55 bis 90% gesteigert. Weiterhin ist die Zeit für eine Rekonfiguration des Systems nach einem Powered-Runaway-Ereignis, das heißt die Stellfläche läuft unkontrolliert mit maximaler Geschwindigkeit in ihre Endlage, nur 1/15 des gesamten, für die Re-
25 konfiguration vorgegebenen Zeitintervalls. Weiter sind resultierende dynamische Strukturbelastungen deutlich verringert.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die zweite Einheit dazu eingerichtet, den adaptiven Schwellwertanteil in
30 Abhängigkeit der zeitveränderlichen Führungsgröße und zumindest einer mittels des Systemmodells geschätzten Zustandsgröße bereitzustellen.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die zweite
35 Einheit dazu eingerichtet, den adaptiven Schwellwert in Abhängigkeit der zeitveränderlichen Führungsgröße und zumindest einer bereitgestellten Messgröße des Systems und/oder zumin-

dest einer mittels des Systemmodells geschätzten Zustandsgröße bereitzustellen.

5 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist die dritte Einheit dazu eingerichtet, den konstanten Schwellwertanteil mit dem adaptiven Schwellwertanteil zur Bereitstellung des Schwellwertes zu addieren.

10 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung setzt die Komparator-Einheit das Auswerte-Ergebnis zur Anzeige eines Systemfehlers auf einen positiven logischen Wert, falls das bereitgestellte Residuum größer als der bereitgestellte Schwellwert ist.

15 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist eine vierte Einheit vorgesehen, welche die Komparator-Einheit nach Ablauf einer vorbestimmten Bestätigungszeit aktiviert.

20 Gemäß einer weiteren bevorzugten Weiterbildung ist ein Systemfehler als ein fehlerhafter Transient, als Drift oder als eine Oszillation ausgebildet.

25 Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren der Zeichnung näher erläutert.

Von den Figuren zeigen:

30 Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer herkömmlichen Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern eines Systems eines Flugzeugs;

35 Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer Einrichtung zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Sys-

temfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;

- Fig. 3
5 ein schematisches Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Einrichtung zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;
- 10 Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;
- 15 Fig. 5 ein schematisches Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;
- 20 Fig. 6 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;
- 25 Fig. 7 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs; und
- 30 Fig. 8-12 schematische Zeitdiagramme zur Illustrierung der erfindungsgemäßen Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeuges.
- 35 In den Figuren bezeichnen dieselben Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Komponenten, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

Fig. 2 zeigt ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer Einrichtung E zur Residuenauswertung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges. Das System S empfängt eingangsseitig eine zeitlich veränderlich Führungsgröße w und eine externe Störungen abbildende Störgröße z . Abhängig davon stellt das System S ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße y bereit. Die Einrichtung E zur Residuenauswertung hat zumindest eine Vorrichtung V zur Residuengenerierung des Residuums r , eine Komparator-Einheit KE, eine erste Einheit E1, eine zweite Einheit E2 und eine dritte Einheit E3.

Die Vorrichtung V ist zur Residuengenerierung des Residuums r geeignet, wobei die Vorrichtung V das Residuum r zumindest in Abhängigkeit der Führungsgröße w und der System-Ausgangsgröße y generiert.

Die Vorrichtung V ist beispielsweise nach einem der Ausführungsbeispiele der Figuren 4 oder 5 ausgebildet.

Die Komparator-Einheit KE stellt ein Auswerte-Ergebnis b mittels eines Vergleichs des Residuums r mit einem bereitgestellten Schwellenwert s bereit.

Zur Bereitstellung des Schwellenwertes s sind die Einheiten E1 bis E3 vorgesehen.

Dabei ist die erste Einheit E1 dazu eingerichtet, einen konstanten Schwellwertanteil s_0 bereitzustellen.

Die zweite Einheit E2 ist dazu eingerichtet, einen adaptiven Schwellwertanteil s_1 zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße w bereitzustellen.

Ferner ist die dritte Einheit E3 dazu eingerichtet, den Schwellwert s mittels einer Verknüpfung des konstanten Schwellwertanteils s_0 mit dem adaptiven Schwellwertanteil s_1 bereitzustellen. Insbesondere addiert die dritte Einheit E3
5 den konstanten Schwellwert S_0 mit dem adaptiven Schwellwert s_1 zur Ausbildung des Schwellwertes s .

Die Komparator-Einheit KE setzt das Auswerte-Ergebnis b zur Anzeige eines Systemfehlers auf einen positiven logischen
10 Wert, falls das bereitgestellte Residuum r größer als der bereitgestellte Schwellwert s ist. Alternativ kann das Auswerte-Ergebnis b auch als ein Signal, beispielsweise als ein kontinuierliches Signal, ausgebildet sein, das dazu eingerichtet ist, die beiden möglichen Zustände ($r > s$ und $r \leq s$)
15 anzuzeigen.

Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Einrichtung E zur Residuenauswertung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten
20 eines Systems S eines Flugzeuges.

Das zweite Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 umfasst sämtliche Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 2, welche zur Vermeidung von Wiederholungen daher nicht erneut dargestellt werden.
25

Gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Einrichtung E ist die erste Einheit E1 dazu eingerichtet, den konstanten Schwellwertanteil s_0 in Abhängigkeit eines zu erwartenden, inhärenten Messrauschens m_r des Systems S bereitzustellen.
30

Dabei stellt die erste Einheit E1 den konstanten Schwellwert s_0 vorzugsweise auf einen minimalen Wert.
35

Weiterhin ist gemäß Fig. 3 die zweite Einheit E2 dazu eingerichtet, den adaptiven Schwellwert s_1 in Abhängigkeit der

zeitveränderlichen Führungsgröße w , zumindest einer bereitgestellten Messgröße m_g des Systems S und/oder einer mittels eines Systemmodells SM der Vorrichtung V geschätzten Zustandsgröße z_g bereitzustellen.

5

Weiter weist die Einrichtung E vorzugsweise eine vierte Einheit E_4 auf, welche dazu eingerichtet ist, die Komparator-Einheit KE nach Ablauf einer vorbestimmten Bestätigungszeit zu aktivieren. Hierzu steuert die vierte Einheit E_4 die Komparator-Einheit KE vorzugsweise mittels eines Aktivierungssignals a .

Beispiele für die Vorrichtung V zur Residuengenerierung des Residuums r sind in den Figuren 4 und 5 dargestellt.

15

Dazu ist in Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung V zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern, insbesondere von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen, im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeugs dargestellt.

Die Vorrichtung V zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges hat ein erstes Mittel 1, ein zweites Mittel 2, ein drittes Mittel 3 und ein viertes Mittel 4. Das erste bis vierte Mittel 1-4 bilden eine Störbeobachter-Einheit SB . Das System S empfängt eingangsseitig eine Führungsvorgabe w und eine Störgröße z , welche externe Störungen auf das System S abbildet. Abhängig davon stellt das System ausgangsseitig eine System-Ausgangsposition y bereit. Das System S ist beispielsweise ein elektrohydraulisches Ruderstellsystem des Flugzeuges, wobei dann die System-Ausgangsgröße y eine gemessene Verschiebung des Aktuatorkolbens des positionsgeregelten Ruderstellsystems S ist.

35

Das erste Mittel 1 hat ein System-Modell SM zur Abbildung des zu überwachenden Systems S. Das erste Mittel 1 empfängt ein-
gangsseitig die Führungsgröße w , eine Beobachterrückführgröße
 b und eine Störmodellgröße $\hat{z}$. Abhängig davon stellt das ers-
te Mittel 1 ausgangsseitig eine geschätzte System-
Ausgangsgröße $\hat{y}$ bereit (Fig. 4).

Das zweite Mittel 2 ist dazu eingerichtet, ein Residuum r aus
der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße y und der ge-
schätzten System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ zu bilden. Das zweite Mittel
2 ist beispielsweise als ein Subtrahierer ausgebildet.

Das dritte Mittel 3 ist als eine Beobachter-Rückführung L
ausgebildet. Das dritte Mittel 3 empfängt eingangsseitig das
Residuum r und stellt in Abhängigkeit des empfangenen Resi-
duums r ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße b_g zur dy-
namischen Korrektur des Systemmodells SM derart bereit, dass
die geschätzte System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ der System-
Ausgangsgröße y folgt.

Des Weiteren ist das vierte Mittel 4 mit einem Störmodell ZM
ausgestattet, welches eingangsseitig das Residuum r empfängt
und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße $\hat{z}$ zur
Abbildung der Wirkungen oder Effekte der externen Störungen
auf das System-Modell SM bereitstellt.

Die Beobachterrückführung L ist insbesondere zur dynamischen
Korrektur der inneren Zustände des System-Modells SM derart
eingestellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ der
System-Ausgangsgröße y folgt, wobei ein Abklingen einer An-
fangsstörung und ein Folgeverhalten der externen Störungen
durch eine Gewichtung der Residuen r und eine Rückführung auf
das Systemmodell SM bereitgestellt wird.

Fig. 5 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfin-
dungsgemäßen Vorrichtung V zur Residuengenerierung eines Re-
siduums r zur Erkennung von Systemfehlern, insbesondere von

fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen, im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges.

Das zweite Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 umfasst sämtliche Merkmale des ersten Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 4, welche zur Vermeidung von Wiederholungen daher nicht erneut dargestellt werden.

Gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung V hat die Störbeobachter-Einheit SB eine Beobachterrückführmatrix L zur Ausbildung der Beobachterrückführung. Dabei werden die Koeffizienten der Beobachterrückführmatrix L über einen Zustandsreglerentwurf bestimmt. Der Zustandsreglerentwurf ist beispielsweise durch eine Polvorgabe, durch einen optimalen Reglerentwurf, durch ein Entwurfsverfahren zum Entwurf robuster Rückführungen, durch lineare quadratische Schätzer (LQE; Linear Quadratic Estimator) oder durch nicht lineare Ansätze ausgebildet.

Ferner ist die Störmodellgröße $\hat{z}$ oder geschätzte Störgröße $\hat{z}$ als eine dynamische Störmodellgröße $\hat{z}$ ausgebildet, welche mittels einer Linearkombination künstlicher Systemzustände gebildet wird.

Dabei wird die dynamische Störmodellgröße $\hat{z}$ vorzugsweise mittels einer Linearkombination einer Einregel-Matrix K, eines Integrators $\frac{1}{s}$ und einer Störgrößenmatrix F gebildet. Dabei empfängt die Einregel-Matrix K das Residuum r und die Störgrößen-Matrix F stellt ausgangsseitig die Störmodellgröße $\hat{z}$ bereit. Der Integrator $\frac{1}{s}$ ist zwischen der Einregel-Matrix K und der Störgrößen-Matrix F angeordnet. In Analogie zum verallgemeinerten Zustandsvektors x des realen Systems S, bezeichnet $\hat{x}$ die Systemzustände des linearen Systemmodells SM, welche sich durch Integration mittels des Integrators $\frac{1}{s}$ aus zeitlichen Änderungen der Systemzustände $\dot{\hat{x}}$ ergeben. Diese sind die Summe der Störmodellausgangsgröße $\hat{z}$, der Beobachterrückführgröße b_g , einer über die Eingangsmatrix B gewichte-

ten Führungsgröße w sowie der über die Systemmatrix A zurückgeführten Systemzustände $\hat{x}$. Eine Multiplikation der dynamischen Systemmodellzustände $\hat{x}$ mit der Ausgabematrix C ergibt die geschätzte System-Ausgangsgröße $\hat{y}$. $\hat{x}(0)$ beschreibt den Anfangswert des linearen Systemmodells SM.

Fig. 6 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Residuenauswertung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeugs.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand des Blockschaltbildes in Fig. 6 unter Verweis auf das Blockschaltbild in Fig. 2 beschrieben. Das Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Fig. 6 hat folgende Verfahrensschritte R1 bis R5:

Verfahrensschritt R1:

Ein Residuum r wird zumindest in Abhängigkeit der Führungsgröße w und der System-Ausgangsgröße y generiert.

Verfahrensschritt R2:

Ein konstanter Schwellwertanteil s_0 wird bereitgestellt.

Verfahrensschritt R3:

Ein adaptiver Schwellwertanteil s_1 wird zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße w bereitgestellt.

Verfahrensschritt R4:

Ein Schwellwert s wird mittels einer Verknüpfung, insbesondere mittels einer Addition, des konstanten Schwellwertanteils s_0 mit dem adaptiven Schwellwertanteil s_1 bereitgestellt.

Verfahrensschritt R5:

Das Residuum r wird mit dem bereitgestellten Schwellwert s zur Bereitstellung eines Auswerte-Ergebnisses b verglichen. Liegt das Residuum r über dem bereitgestellten Schwellwert s , so ist ein Systemfehler des Systems S festgestellt.

Fig. 7 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Residuen-generierung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern, insbesondere von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen, im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges, welches eine Führungsgröße w und eine externe Störungen abbildende Störgröße z empfängt und ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße y bereitstellt.

Nachfolgend wird das erfindungsgemäße Verfahren anhand des Blockschaltbildes in Fig. 7 unter Verweis auf das Blockschaltbild in Fig. 4 beschrieben. Das Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens gemäß Fig. 7 hat folgende Verfahrensschritte S1 bis S4:

Verfahrensschritt S1:

Ein Systemmodell SM zur Abbildung des zu überwachenden Systems S wird bereitgestellt. Das Systemmodell SM empfängt ein-gangsseitig die Führungsgröße w , eine Beobachterrückführgröße bg und eine Störmodellgröße $\hat{z}$. Abhängig davon stellt das Systemmodell SM ausgangsseitig eine geschätzte System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ bereit.

Verfahrensschritt S2:

Ein Residuum r wird aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße y und der geschätzten System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ gebildet.

Verfahrensschritt S3:

5 Eine Beobachter-Rückführung L wird bereitgestellt, welche eingangsseitig das Residuum r empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße b_g zur dynamischen Korrektur des Systemmodells SM derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße $\hat{y}$ der System-Ausgangsgröße y folgt.

10

Verfahrensschritt S4:

15 Ein Störmodell ZM wird bereitgestellt, welches eingangsseitig das Residuum r empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße $\hat{z}$ zur Abbildung der Wirkungen oder Effekte der externen Störungen auf das Systemmodell SM bereitstellt.

Vorzugsweise wird bei festgestellter Verfügbarkeit einer weiteren Messgröße des Systems S die Menge der geschätzten Systemgrößen im System-Modell SM um diese erweiterte Messgröße reduziert und diese weitere Messgröße wird dem System-Modell SM als weitere Eingangsgröße direkt zugeführt.

20

25 Die Figuren 8 bis 12 zeigen schematische Zeitdiagramme zur Illustrierung der erfindungsgemäßen Residuenauswertung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern FC im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges.

30 Dem Beispiel der Figuren 8 bis 12 liegt ein Ruderstellsystem als System S mit einem ersten Aktuator - bezeichnet durch die Verschiebung des Aktuatorkolbens des ersten Aktuators als das System-Ausgangssignal y_1 - und einem redundanten zweiten Aktuator - bezeichnet durch die Verschiebung des Aktuatorkolbens des zweiten Aktuators als das System-Ausgangssignal y_2 - zugrunde.

35

Dabei zeigt Figur 8 den zeitlichen Verlauf der System-

Ausgangssignale y_1 und y_2 . Weiter zeigt Figur 9 den zeitlichen Verlauf der Störung z . Figur 10 zeigt den zeitlichen Verlauf des Residuums r und des erfindungsgemäßen Schwellwertes s . Weiter zeigen die Figuren 11 den zeitlichen Verlauf des Auswerte-Ergebnisses b sowie den zeitlichen Verlauf eines Ansteuersignals msv , das in Abhängigkeit des Auswerte-Ergebnisses b zur Auswahl des Aktuators 1 oder 2 generiert wird.

10 Wie oben bereits ausgeführt, zeigt Figur 8 den zeitlichen Verlauf der System-Ausgangssignale y_1 und y_2 . Zum Zeitpunkt $t = 17$ s steigen die System-Ausgangssignale y_1 und y_2 gemäß der Führungsvorgabe w deutlich an.

15 Weiter zeigt Figur 9 den zeitlichen Verlauf der Störung z , die einer Kraft entspricht, mit der die durch den Aktuator 1 bzw. 2 angetriebene Stellfläche des Flugzeuges belastet wird. Diese Kraft wird auch als aerodynamische Last oder Luftlast bezeichnet.

20

Weiterhin zeigt Figur 10 den zeitlichen Verlauf des Residuums r und des erfindungsgemäßen Schwellwertes s . Dabei zeigt Figur 10a eine detaillierte Darstellung der Figur 10 um den Zeitpunkt $t = 17$ s, bei dem nach Figur 8 die Führungsgröße w und damit die System-Ausgangsgrößen y_1 und y_2 sprunghaft ansteigen. Gemäß der Erfindung wird der Schwellwert s in Abhängigkeit der Führungsvorgabe w angepasst, d.h. der Schwellwert s wird in Abhängigkeit des Springens der Führungsvorgabe w angepasst und wird deshalb selbst springen (siehe Fig. 10a).

25
30 Damit wird zum Zeitpunkt $t = 17$ s gemäß Figur 11 kein Fehler detektiert, so dass $b = 0$ zum Zeitpunkt $t = 17$ s ist.

Zum Zeitpunkt $t = 25$ s tritt hingegen ein Systemfehler FC auf, der in einem Schwingen der System-Ausgangssignale y_1 und y_2 resultiert. Nachdem sich zu diesem Zeitpunkt $t = 25$ s die Führungsvorgabe w nicht ändert, wird auch der Schwellwert s nicht angepasst. Folglich wird zum Zeitpunkt $t = 25$ s das Re-

siduum r den bereitgestellten Schwellenwert s übersteigen. Dies ist im Detail in Figur 10b dargestellt.

5 Folglich wird hier gemäß Figur 11 das Auswerteergebnis b von 0 auf 1 umschalten, d.h. zum Zeitpunkt $t = 25$ s ist $b = 1$.

10 Gemäß Figur 12 wird nach Ablauf einer Bestätigungszeit BZ , die beispielsweise 2 s beträgt, ein Ansteuersignal msv von 1 auf 0 umschalten. Diese Umschaltung indiziert, dass von dem ersten Aktuator auf den zweiten Aktuator umgeschaltet wird. Damit ist zum Zeitpunkt $t = 27$ s die Rekonfiguration und damit die Umschaltung des Systems S von dem ersten Aktuator auf den zweiten Aktuator abgeschlossen.

15 Erfindungsgemäß kann die Bestätigungszeit auch auf 0 gesetzt werden, da bereits zum Zeitpunkt $t = 25$ s feststeht, dass eine Umschaltung von dem Aktuator 1 auf den Aktuator 2 notwendig ist.

20 Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele vorliegend beschrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

B e z u g s z e i c h e n l i s t e

	1	erstes Mittel
	2	zweites Mittel
5	3	drittes Mittel
	4	viertes Mittel
	a	Aktivierungssignal
	BZ	Bestätigungszeit
	b	Auswerte-Ergebnis
10	bg	Beobachterrückführgröße oder Ausgangssignal der Beobachterrückführung
	A	Systemmatrix des linearen Systemmodells SM
	B	Eingangsmatrix des linearen Systemmodells SM
	C	Ausgabematrix des linearen Systemmodells SM
15	E1	erste Einheit
	E2	zweite Einheit
	E3	dritte Einheit
	E4	vierte Einheit
	F	Störgrößenmatrix
20	KE	Komparator-Einheit
	K	Einregler-Matrix
	L	Beobachterrückführmatrix
	mg	Messgröße
	mr	Messrauschen
25	R1-R5	Verfahrensschritt
	r	Residuum
	S	System
	S1-S4	Verfahrensschritt
	SB	Störbeobachter-Einheit
30	SM	System-Modell
	FC	Systemfehler
	w	Führungsgröße
	y	System-Ausgangsgröße
	$\hat{y}$	geschätzte System-Ausgangsgröße
35	z	Störgröße
	zg	Zustandsgröße
	$\hat{z}$	Störmodellgröße

ZM	Störmodell
$\frac{1}{s}$	Integrator

5

P a t e n t a n s p r ü c h e

1. Einrichtung (E) zur Residuenauswertung eines Residuums (r) zur Erkennung von Systemfehlern eines Systems (S), welches eine zeitlich veränderliche Führungsgröße (w) und eine externe Störungen abbildende Störgröße (z) ein-
gangsseitig empfängt und ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße (y) bereitstellt, mit:
- a) einer Vorrichtung (V) zur Residuengenerierung des Residuums (r) zumindest in Abhängigkeit der Führungsgröße (w) und der System-Ausgangsgröße (y);
- b) einer Komparator-Einheit (K) zur Bereitstellung eines Auswerte-Ergebnisses (b) mittels eines Vergleichs des Residuums (r) mit einem bereitgestellten Schwellwert (s);
- c) einer ersten Einheit (E1) zur Bereitstellung eines konstanten Schwellwertanteils (s0);
- d) einer zweiten Einheit (E2) zur Bereitstellung eines adaptiven Schwellwertanteils (s1) zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße (w); und
- e) einer dritten Einheit (E3) zur Bereitstellung des Schwellwertes (s) mittels einer Verknüpfung des konstanten Schwellwertanteils (s0) mit dem adaptiven Schwellwertanteil (s1).
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Einheit (E1) dazu eingerichtet ist, den konstanten Schwellwertanteil (s0) in Abhängigkeit eines zu erwartenden, inhärenten Messrauschens (mr) des Systems (S) bereitzustellen.

3. Einrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die erste Einheit (E1) dazu eingerichtet ist, den
konstanten Schwellwertanteil (s_0) in Abhängigkeit des zu
erwartenden, inhärenten Messrauschens (m_r) des Systems
(S) auf einen minimalen Wert einzustellen.
4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die zweite Einheit (E2) dazu eingerichtet ist, den
adaptiven Schwellwertanteil (s_1) in Abhängigkeit der
zeitveränderlichen Führungsgröße (w) und zumindest einer
bereitgestellten Messgröße (m_g) des Systems (S) bereit-
zustellen.
5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorrichtung (V) zur Residuengenerierung des Re-
siduums (r) zumindest ein Systemmodell (SM) zur Abbil-
dung des zu überwachenden Systems (S) umfasst.
6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Vorrichtung (V) zur Residuengenerierung des Re-
siduum (r) aufweist:
- ein erstes Mittel (1) mit einem System-Modell (SM) zur
Abbildung des zu überwachenden Systems (S), welches ein-
gangsseitig die Führungsgröße (w), eine Beobachterrück-
führgröße (b) und eine Störmodellgröße ($\hat{z}$) empfängt und
abhängig davon ausgangsseitig eine geschätzte System-
Ausgangsgröße ($\hat{y}$) bereitstellt;
- ein zweites Mittel (2) zur Bildung eines Residuums (r)
aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße (y)
und der geschätzten System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$);
- ein drittes Mittel (3) mit einer Beobachter-
Rückführung (L), welche eingangsseitig das Residuum (r)
empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobacht-

errückführgröße (b) zur dynamischen Korrektur des System-Modells (SM) derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$) der System-Ausgangsgröße (y) folgt; und

- ein viertes Mittel (4) mit einem Störmodell (ZM), welches eingangsseitig das Residuum (r) empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße ($\hat{z}$) zur Abbildung der Wirkungen der externen Störungen auf das Systemmodell (SM) bereitstellt.

7. Einrichtung nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einheit (E2) dazu eingerichtet ist, den adaptiven Schwellwertanteil (s1) in Abhängigkeit der zeitveränderlichen Führungsgröße (w) und zumindest einer mittels des Systemmodells (SM) geschätzten Zustandsgröße (zg) bereitzustellen.

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Einheit (E2) dazu eingerichtet ist, den adaptiven Schwellwert (s1) in Abhängigkeit der zeitveränderlichen Führungsgröße (w) und zumindest einer bereitgestellten Messgröße (mg) des Systems (S) und/oder zumindest einer mittels des Systemmodells (SM) geschätzten Zustandsgröße (zg) bereitzustellen.

9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Einheit (E3) dazu eingerichtet ist, den konstanten Schwellwertanteil (s0) mit dem adaptiven Schwellwertanteil (s1) zur Bereitstellung des Schwellwertes (s) zu addieren.

10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet,

dass die Komparator-Einheit (K) das Auswerte-Ergebnis (b) zur Anzeige eines Systemfehlers auf einen positiven logischen Wert setzt, falls das bereitgestellte Residuum (r) größer als der bereitgestellte Schwellwert (s) ist.

5

11. Einrichtung nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine vierte Einheit (E4) vorgesehen ist, welche die
Komparator-Einheit (K) nach Ablauf einer vorbestimmten
Bestätigungszeit aktiviert.

10

12. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Systemfehler fehlerhafte Transienten, Drift
oder Oszillationen umfassen.

15

13. Flugzeug mit einer oder mehreren Einrichtungen (E) nach
einem der Ansprüche 1 bis 12.

20

14. Verfahren zur Residuenauswertung eines Residuums (r) zur
Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Sy-
stems (S), welches eine zeitlich veränderliche Führungs-
größe (w) und eine externe Störungen abbildende Störgrö-
ße (z) eingangsseitig empfängt und ausgangsseitig eine
System-Ausgangsgröße (y) bereitstellt, mit den Schrit-
ten:

25

- a) Generieren eines Residuums (r) zumindest in Abhängigkeit
der Führungsgröße (w) und der System-Ausgangsgröße (y);
b) Bereitstellen eines konstanten Schwellwertanteils (s0);
c) Bereitstellen eines adaptiven Schwellwertanteils (s1)
zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen
Führungsgröße (w);
d) Bereitstellen eines Schwellwertes (s) mittels einer Ver-
knüpfung des konstanten Schwellwertanteils (s0) mit dem
adaptiven Schwellwertanteil (s1) ; und

30

35

- e) Vergleichen des Residuums (r) mit dem bereitgestellten Schwellwert (s) zur Bereitstellung eines Auswerte-Ergebnisses (b).

- 5 15. Vorrichtung (V) zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems (S) eines Flugzeugs, welches eine Führungsvorgabe (w) und eine externe Störungen abbildende Störgröße (z) eingangsseitig empfängt und ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße (y) bereitstellt, mit:
- 10 a) einem ersten Mittel (1) mit einem System-Modell (SM) zur Abbildung des zu überwachenden Systems (S), welches eingangsseitig die Führungsgröße (w), eine Beobachterrückführgröße (b) und eine Störmodellgröße ($\hat{z}$) empfängt und abhängig davon ausgangsseitig eine geschätzte System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$) bereitstellt;
- 15 b) einem zweiten Mittel (2) zur Bildung eines Residuums (r) aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße (y) und der geschätzten System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$);
- 20 c) einem dritten Mittel (3) mit einer Beobachter-Rückführung (L), welche eingangsseitig das Residuum (r) empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße (b) zur dynamischen Korrektur des System-Modells (SM) derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$) der System-Ausgangsgröße (y) folgt; und
- 25 d) einem vierten Mittel (4) mit einem Störmodell (ZM), welches eingangsseitig das Residuum (r) empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße ($\hat{z}$) zur Abbildung der Wirkungen der externen Störungen auf das Systemmodell (SM) bereitstellt.
- 30
- 35 16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das System (S) ein elektrohydraulisches Ruderstellsystem des Flugzeuges ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass die System-Ausgangsgröße (y) eine gemessene Ver-
schiebung des Aktuatorkolbens des positionsgeregelten
5 Ruderstellsystems (S) oder die gemessene Stellflächenpo-
sition des Flugzeuges ist.
18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 17,
10 dadurch gekennzeichnet,
dass die Beobachterrückführung (L) zur dynamischen Kor-
rektur der inneren Zustände des Systemmodells (SM) der-
art eingestellt ist, dass die geschätzte System-
Ausgangsgröße ($\hat{y}$) der System-Ausgangsgröße (y) folgt,
15 wobei ein Abklingen einer Anfangsstörung und ein Folge-
verhalten der externen Störungen durch eine Gewichtung
der Residuen (r) und eine Rückführung auf das Systemmo-
dell (SM) bereitgestellt wird.
- 20 19. Vorrichtung nach Anspruch 18,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Beobachterrückführung (L) eine Beobachterrück-
führmatrix (L) umfasst.
- 25 20. Vorrichtung nach Anspruch 19,
dadurch gekennzeichnet,
dass Koeffizienten der Beobachterrückführmatrix (L) über
einen Zustandsreglerentwurf, insbesondere über Polvorga-
be, Optimalreglerentwurf, Entwurfsverfahren zum Entwurf
30 robuster Rückführungen, lineare quadratische Schätzer
(LQE) oder nichtlineare Ansätze, bestimmt werden.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15 bis 20,
dadurch gekennzeichnet,
35 dass die Störmodellgröße ($\hat{z}$) als eine dynamische Stör-
modellgröße ($\hat{z}$) ausgebildet ist, welche mittels einer

Linearkombination künstlicher Systemzustände gebildet ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21,

dadurch gekennzeichnet,

dass die dynamische Störmodellgröße ($\hat{z}$) mittels einer Linearkombination einer Einregel-Matrix (K), eines Integrators ($\frac{1}{s}$) und einer Störgrößen-Matrix (F) gebildet ist, wobei die Einregel-Matrix (K) das Residuum (r) eingangsseitig empfängt und die Störgrößen-Matrix (F) die Störmodellgröße (z) ausgangsseitig bereitstellt.

23. Flugzeug mit einer oder mehreren Vorrichtungen (V) nach einem der Ansprüche 15 bis 22.

24. Verfahren zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems (S) eines Flugzeuges, welches eine Führungsvorgabe (w) und eine externe Störungen abbildende Störgröße (z) eingangsseitig empfängt und ausgangsseitig eine System-Ausgangsgröße (y) bereitstellt, mit den Schritten:

a) Bereitstellen eines System-Modells (SM) zur Abbildung des zu überwachenden Systems (S), welches eingangsseitig die Führungsgröße (w), eine Beobachterrückführgröße (b) und eine Störmodellgröße ($\hat{z}$) empfängt und abhängig davon ausgangsseitig eine geschätzte System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$) bereitstellt;

b) Bilden eines Residuums (r) aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße (y) und der geschätzten System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$);

c) Bereitstellen einer Beobachter-Rückführung (L), welche eingangsseitig das Residuum (r) empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße (b) zur dynamischen Korrektur des Systemmodells (SM) derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße ($\hat{y}$) der System-Ausgangsgröße (y) folgt; und

- 5 d) Bereitstellen eines Störmodells (ZM), welches eingangsseitig das Residuum (r) empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Störmodellgröße ($\hat{z}$) zur Abbildung der Wirkungen der externen Störungen auf das System-Modell (SM) bereitstellt.
25. Verfahren nach Anspruch 24,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei Verfügbarkeit einer weiteren Messgröße des Systems (S) das System-Modell (SM) um diese weitere Messgröße reduziert wird und diese weitere Messgröße dem System-Modell (SM) als weitere Eingangsgröße zugeführt wird.
- 10
- 15 26. Computerprogrammprodukt, welches auf einer programmgesteuerten Einrichtung die Durchführung eines Verfahrens nach Anspruch 24 oder 25 veranlasst.

1/5

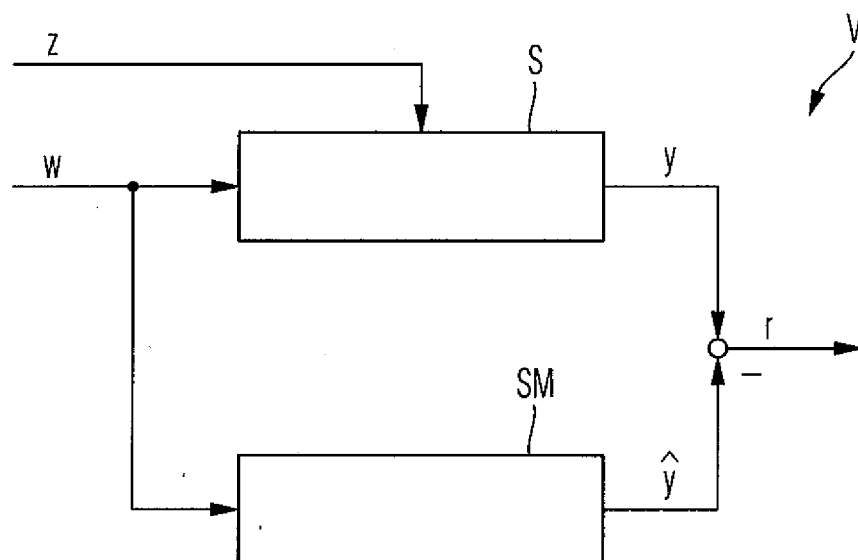


Fig. 1

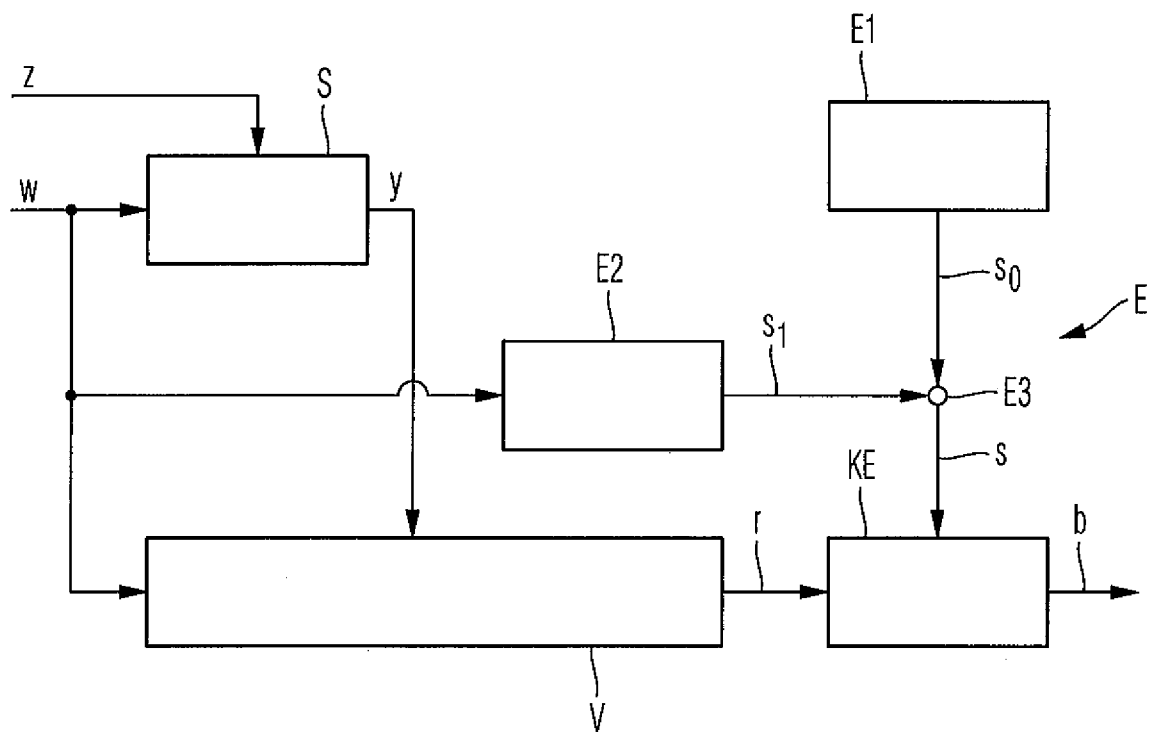


Fig. 2

2/5

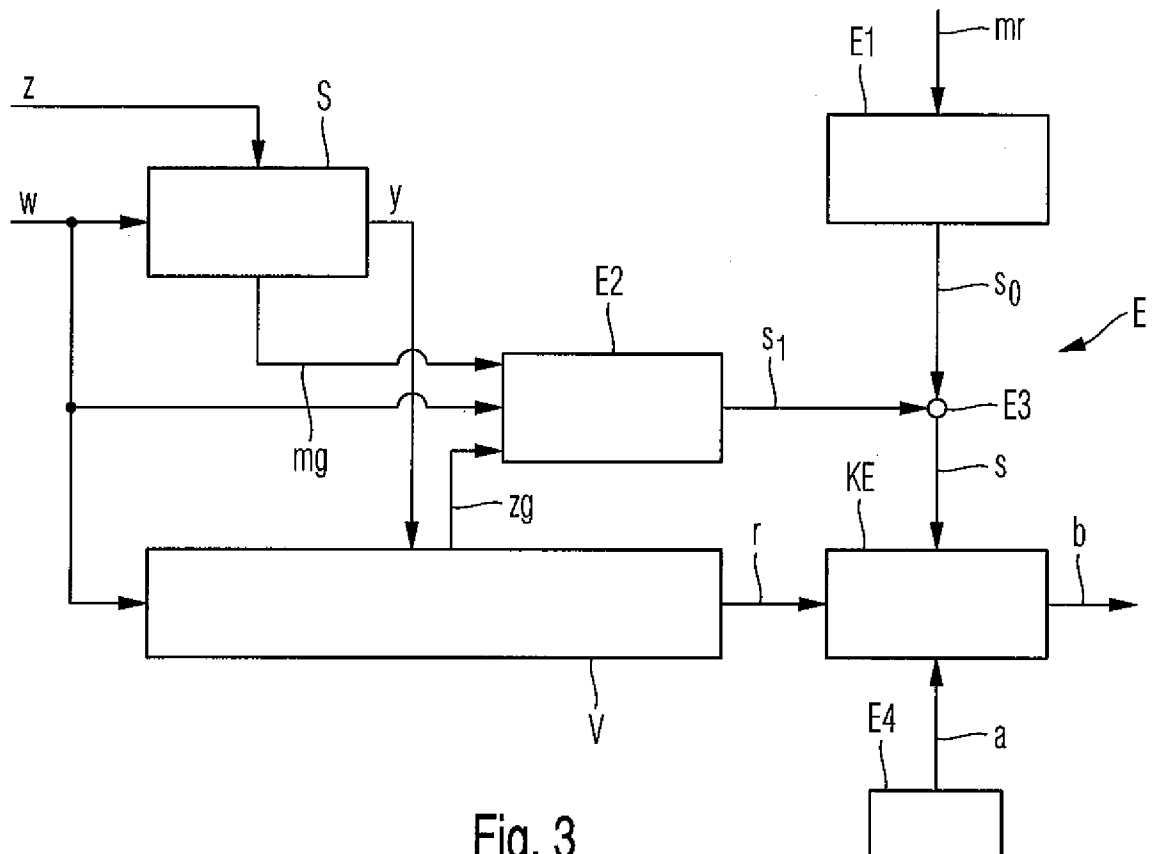


Fig. 3

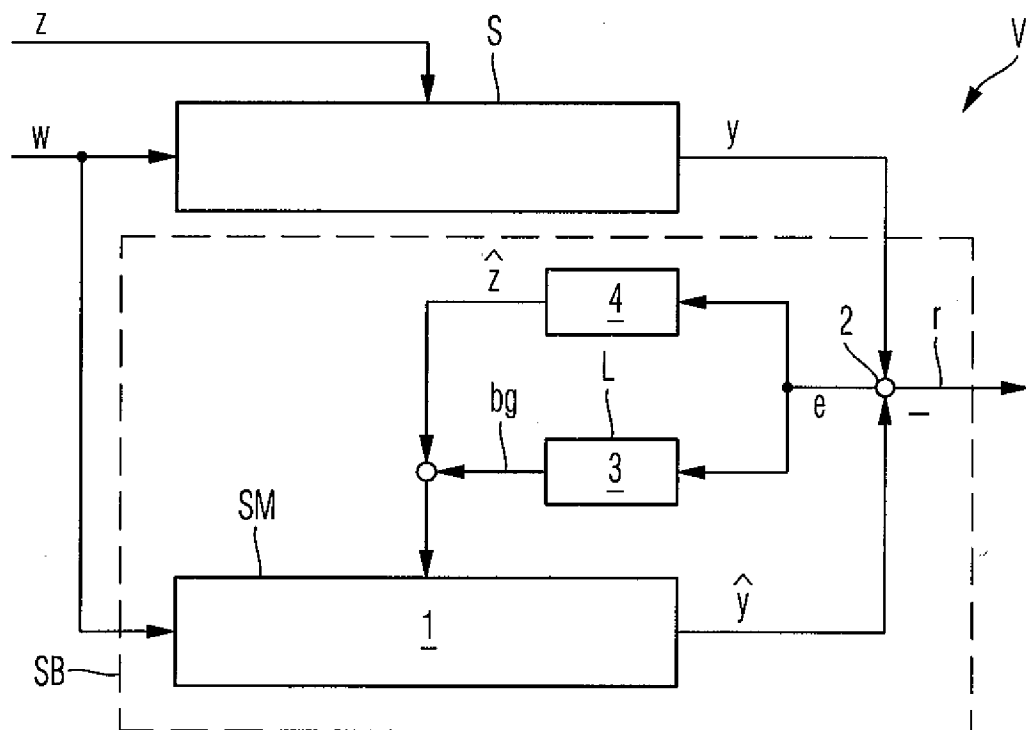


Fig. 4

3/5

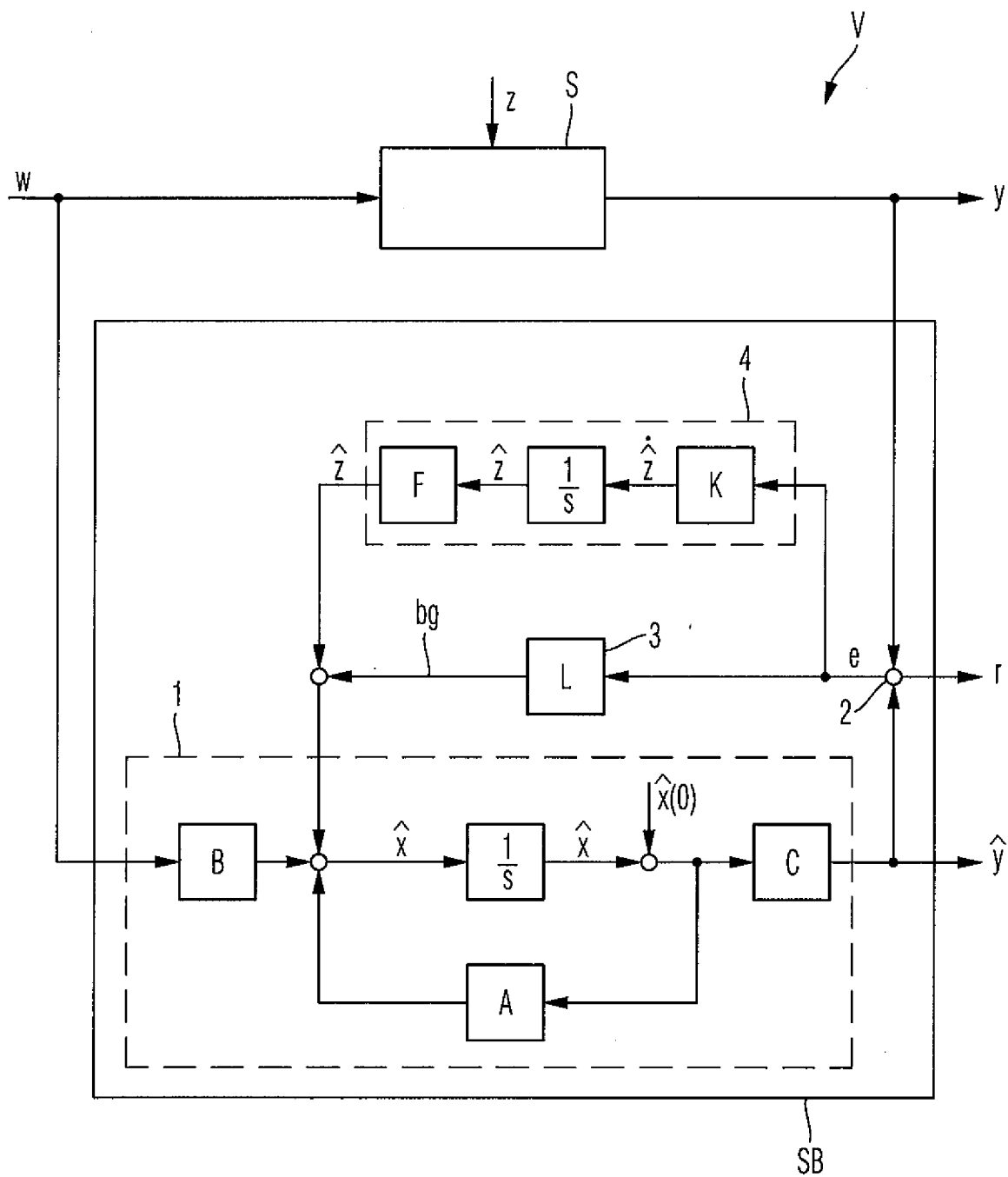


Fig. 5

4/5

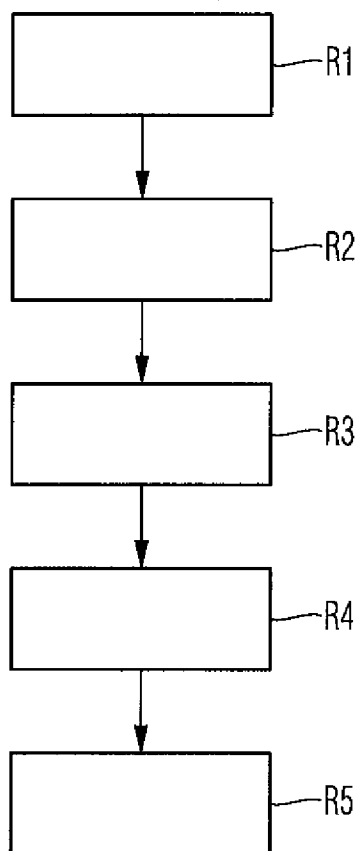


Fig. 6

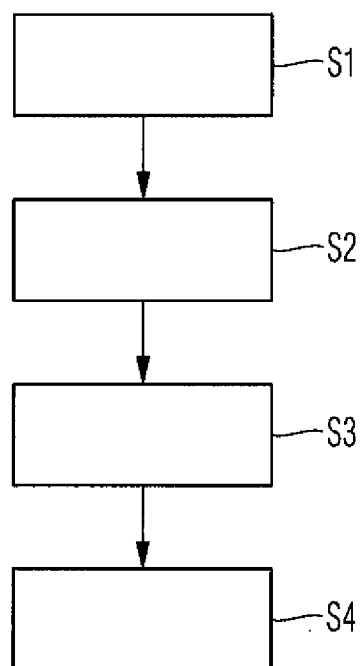


Fig. 7

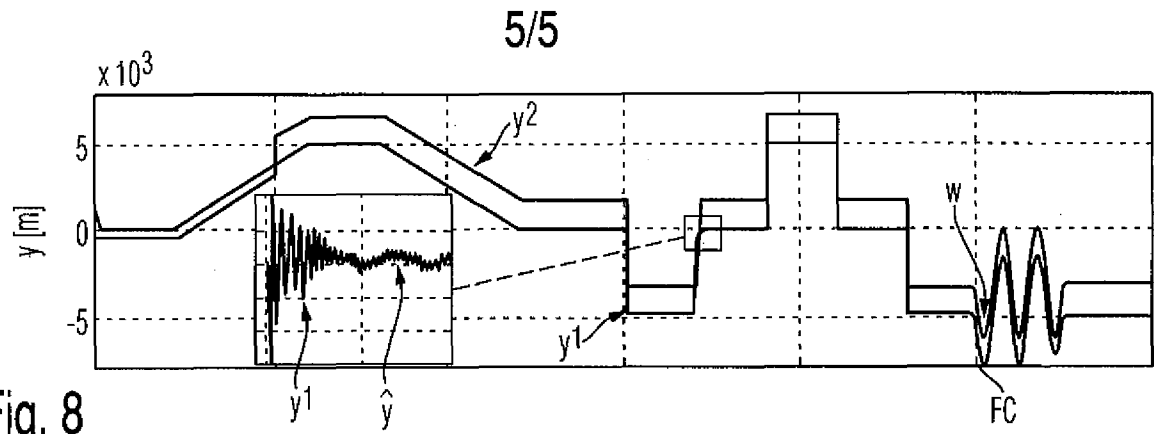


Fig. 8

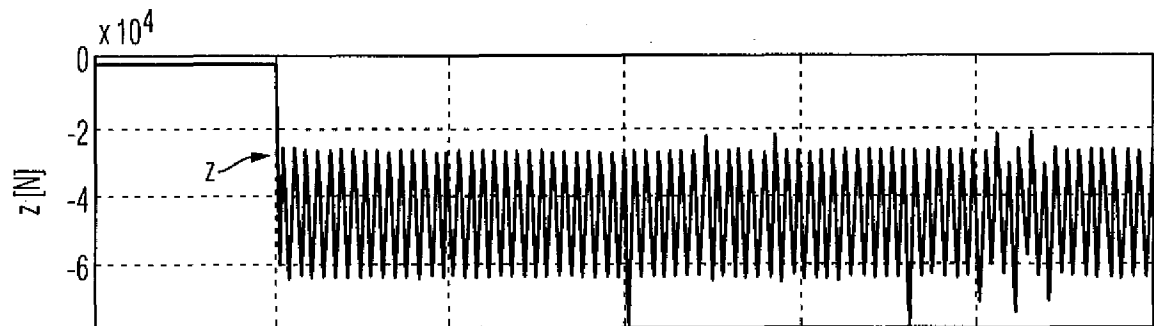


Fig. 9

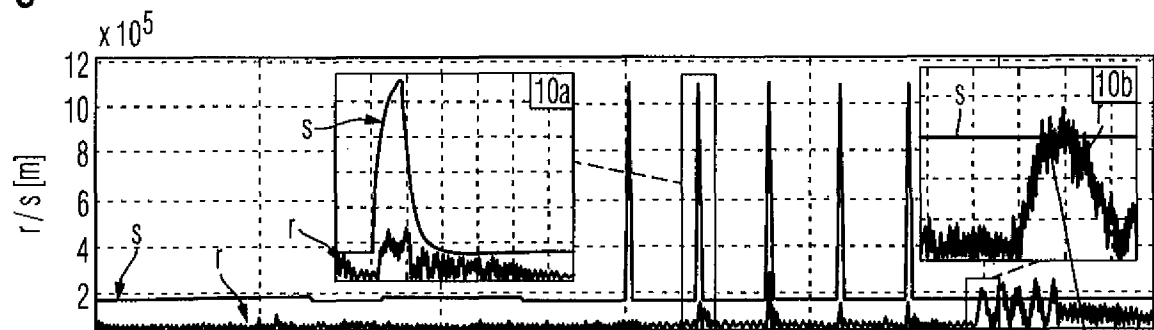


Fig. 10

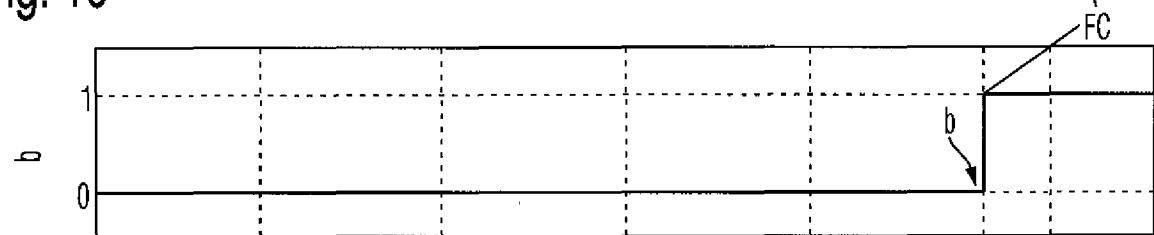


Fig. 11

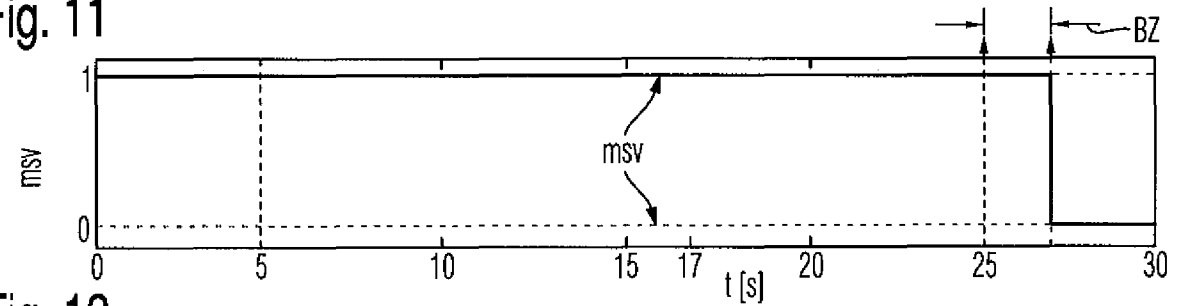


Fig. 12