



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 061 036.7**
(22) Anmeldetag: **28.04.2009**
(43) Offenlegungstag: **28.04.2011**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **31.03.2016**

(51) Int Cl.: **G05B 23/02 (2006.01)**
B64C 13/00 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(62) Teilung aus:
10 2009 002 682.7

(73) Patentinhaber:
Airbus Operations GmbH, 21129 Hamburg, DE

(74) Vertreter:
**isarpatent Patentanwälte Behnisch, Barth,
Charles, Hassa, Peckmann & Partner mbB, 80801
München, DE**

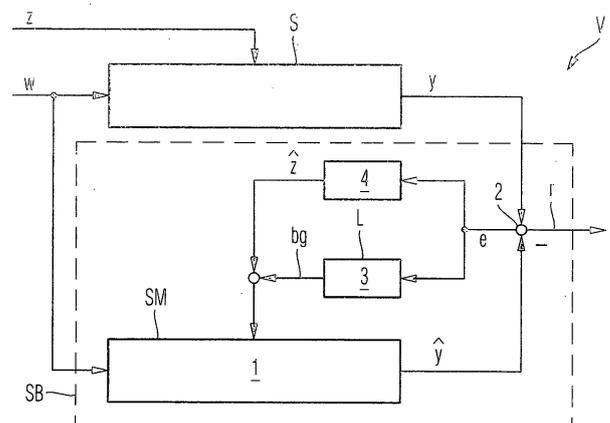
(72) Erfinder:
**Gojny, Marcus, 21029 Hamburg, DE; Carl, Udo
B., 21077 Hamburg, DE; Sachs, Helge, 22761
Hamburg, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2005 018 980 A1
US 2007 / 0 067 078 A1
US 2007 / 0 124 038 A1

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs, und Flugzeug**

(57) Hauptanspruch: 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:

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;
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});
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
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.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeuges. Die vorliegende Erfindung betrifft ferner ein Flugzeug.

[0002] Das technische Gebiet der Erfindung betrifft die Auswertung eines generierten Residuums zur Erkennung von Systemfehlern, insbesondere von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen, im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeuges, beispielsweise eines elektrohydraulischen Ruderstellsystems.

[0003] 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 Oszillationen im Eingangs-/Ausgangsverhalten des Systems.

[0004] Dabei zieht die zunehmende Komplexität von Flugzeugsteuerungssystemen, insbesondere digitale Flugzeugsteuerungssysteme, die bei größtmöglicher Redundanz vor allem verbesserte Flugeigenschaften sowie eine Vielzahl an Sicherungsfunktionen und Komfortfunktionen ermöglichen, das vermehrte Auftreten zum Teil neuer Fehlerszenarien nach sich. Dazu zählen insbesondere nahezu ungedämpfte Stellflächenoszillationen der Stellflächen. Von besonderer Bedeutung sind dabei die OFC-Ursachen (OFC, Oscillatory Failure Case), welche durch Fehler im Stellsystem selbst auftreten oder sich aus den Flugsteuerungsrechnern oder der zur Erfassung der flugmechanischen Eigenbewegung vorgelagerten Sensorik in die Aktuatorregelkreise der jeweiligen Stellsysteme fortpflanzen.

[0005] 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 Schaltungsebene, zum Beispiel im Spannungs-Strom-Wandler.

[0006] Weitere Fehlerszenarien können sich aus Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Systemkomponenten des Aktuatorregelkreises oder des digitalen Flugsteuerungssystems ergeben.

[0007] 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.

[0008] 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.

[0009] In diesem Zusammenhang zeigt die **Fig. 1** der vorliegenden Anmeldung ein schematisches Blockschaltbild einer herkömmlichen Vorrichtung V zur Generierung eines Residuums r.

[0010] 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.

[0011] Mit Bezug auf **Fig. 1** bezeichnet das Bezugszeichen z eine Störgröße, die externe Störungen auf das System S abbildet.

[0012] 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.

[0013] 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 Systemmo-

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

[0014] 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 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 einem 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 Wirbelablösungen 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 Möglichkeit der Einstellung des Detektionsschwellwertes liegt in der permanenten Überlagerung der gemessenen Aktuatorposition als System-Ausgangsgröße y mit Messrauschen aufgrund der instrumentierten Sensorausstattung, beispielsweise der Positionsaufnehmer an der Aktuatorkolbenstange.

[0015] Weiter haben hochdynamische Veränderungen der Führungsgröße w unter Anwesenheit von Störungen ein sehr rasches, kurzfristiges Anwachsen des Residuums r zur Folge.

[0016] Des Weiteren verändert sich der Prozess oder das System S durch Änderungen von Parametern oder Randbedingungen, beispielsweise Flugeschwindigkeit, 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.

[0017] 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.

[0018] 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.

[0019] 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.

[0020] 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.

[0021] 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.

[0022] 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 Fehler-

fall festgestellt und mittels des Ausgangssignals **28** angezeigt.

[0023] 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. 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 Systemausgangssignal niedriger Frequenz überlagert.

[0024] Ein weiterer Grund für die beschränkte Güte für die Überwachungsfunktion des Ruderstellsystems liegt im Übersprechen zwischen benachbarten Frequenzbereichen, da eine exakte Trennung technisch schwer realisierbar ist. Ein solches Übersprechen kann im Falle unterschiedlicher Schwellwerte vermehrt Fehlalarme auslösen.

[0025] 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. Durch die Anwendung der aus der US 2007/0124038 A1 bekannten Zählmethode ist die Fehlererkennung auf die Erkennung oszillatorischer Stellsystemfehler beschränkt. Die Möglichkeit einer Erweiterung auf andere Fehler Szenarien, wie Transienten oder Kriechen, sind methodisch grundsätzlich ausgeschlossen. Dieses macht für Monitor-konzepte moderner Stellsysteme nachteiligerweise eine parallele Aufstellung und Instrumentierung ver-

schiedener spezifischer Einrichtungen zur Fehlererkennung erforderlich. Insgesamt erschwert die in der US 2007/0124038 A1 vorgeschlagene Anordnung zur Residuenauswertung eine empfindliche Einstellung des Schwellwertes zur breitbandigen Fehlerdetektion ohne Einschränkung des überwachten Frequenzbandes erheblich.

[0026] Die US 2007 0067078 A1 beschreibt ein System und ein Verfahren zur Überwachung des Zustands von Sensoren in integrierten Stabilitätssteuersystemen von Fahrzeugen. Das System verwendet eine Vielzahl von Modellen zur Generierung von Schätzwerten der Ausgangssignale der Sensoren basierend auf aktuellen Sensormessungen. Ferner werden Residuen als Differenz zwischen dem gemessenen Wert und jedem der Schätzwerte eines spezifischen Sensors generiert. Diese Residuen werden mit einem Schwellwert verglichen, um zu bestimmen, ob ein Fehler- 10 flag für jedes Residuum gesetzt werden soll oder nicht. Falls das gesetzte Fehlerflag eines Residuums für jeden Sensor ein spezifisches Muster aufweist, dann wird von diesem Sensor ein Fehler ausgegeben.

[0027] Die DE 10 2005 018 980 A1 bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Fehlerdiagnose mechatronischer Systeme. Die Fehlerdiagnose dieser mechatronischen Systeme erfolgt auf der Basis der Analyse vorhandener Regelungsstrukturen. Auf der Basis dieser Regelungsstrukturen werden Residuensignale **20** aus den Regelungsstrukturen gewonnen und es erfolgt eine Fehleranalyse, Fehlerparametrierung und Fehlerselektion.

[0028] 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.

[0029] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 und/oder durch ein Flugzeug mit den Merkmalen des Patentanspruchs 9 und/oder durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10 gelöst.

[0030] Demgemäß wird eine Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeuges vorgeschlagen, welches eine Führungsvorgabe und eine externe Störungen abbildende Störgröße eingangsseitig empfängt und ausgangsseitig 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.

[0031] 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.

[0032] Des Weiteren wird ein Flugzeug mit zumindest einer wie oben beschriebenen Vorrichtung vorgeschlagen.

[0033] Weiterhin wird ein Verfahren zur Residuen-generierung zur Erkennung von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen 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 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 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.

[0034] Das erste bis vierte Mittel bilden insbesondere eine Störbeobachter-Einheit oder einen Störbeobachter.

[0035] 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.

[0036] 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.

[0037] Eine Einstellung robuster und hochempfindlicher Detektionsschwellwerte für das Residuum ist über die erfindungsgemäße Lösung möglich und ist mittels Tests mit realen Ruderstellsystemen 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.

[0038] Dabei werden externe Störungen, die auf den Prozess oder das System wirken, durch den erfindungsgemäßen Störbeobachter als Näherung abge-

bildet. 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.

[0039] 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.

[0040] 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.

[0041] Unterschiedliche Anfangswerte im System und im Systemmodell werden ebenfalls über die Beobachterrückführung minimiert. Somit haben sie keine weiteren Auswirkungen auf das erfindungsgemäß generierte Residuum.

[0042] 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.

[0043] 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 vorgelegten Verfahrens.

[0044] In den Unteransprüchen finden sich vorteilhafte Ausgestaltungen und Verbesserungen der Erfindung.

[0045] Die Erfindung wird im Folgenden anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beiliegenden Figuren der Zeichnung näher erläutert.

[0046] Von den Figuren zeigen:

[0047] Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer herkömmlichen Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern eines Systems eines Flugzeugs;

[0048] Fig. 2 ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer Einrichtung zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;

[0049] Fig. 3 ein schematisches Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Einrichtung zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;

[0050] Fig. 4 ein schematisches Blockschaltbild eines ersten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;

[0051] Fig. 5 ein schematisches Blockschaltbild eines zweiten Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;

[0052] Fig. 6 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs;

[0053] Fig. 7 ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zur Residuengenerierung zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeugs; und

[0054] Fig. 8–Fig. 12 schematische Zeitdiagramme zur Illustration der erfindungsgemäßen Residuenauswertung eines Residuums zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems eines Flugzeuges.

[0055] In den Figuren bezeichnen dieselben Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Komponenten, soweit nichts Gegenteiliges angegeben ist.

[0056] 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.

[0057] 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.

[0058] Die Vorrichtung V ist beispielsweise nach einem der Ausführungsbeispiele der Fig. 4 oder Fig. 5 ausgebildet.

[0059] Die Komparator-Einheit KE stellt ein Auswerte-Ergebnis b mittels eines Vergleichs des Residuums r mit einem bereitgestellten Schwellenwert s bereit.

[0060] Zur Bereitstellung des Schwellenwertes s sind die Einheiten E1 bis E3 vorgesehen.

[0061] Dabei ist die erste Einheit E1 dazu eingerichtet, einen konstanten Schwellwertanteil s_0 bereitzustellen.

[0062] Die zweite Einheit E2 ist dazu eingerichtet, einen adaptiven Schwellwertanteil s_1 zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße w bereitzustellen.

[0063] 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 den konstanten Schwellwert s_0 mit dem adaptiven Schwellwert s_1 zur Ausbildung des Schwellwertes s .

[0064] Die Komparator-Einheit KE setzt das Auswerte-Ergebnis b zur Anzeige eines Systemfehlers auf einen positiven logischen 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 $r \leq s$) anzuzeigen.

[0065] Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer Einrichtung E zur Residuenauswertung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges.

[0066] 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.

[0067] Gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der 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.

[0068] Dabei stellt die erste Einheit E1 den konstanten Schwellwert s_0 vorzugsweise auf einen minimalen Wert.

[0069] 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.

[0070] Weiter weist die Einrichtung E vorzugsweise eine vierte Einheit E4 auf, welche dazu eingerichtet ist, die Komparator-Einheit KE nach Ablauf einer vorbestimmten Bestätigungszeit zu aktivieren. Hierzu steuert die vierte Einheit E4 die Komparator-Einheit KE vorzugsweise mittels eines Aktivierungssignals a .

[0071] Beispiele für die Vorrichtung V zur Residuengenerierung des Residuums r sind in den Fig. 4 und Fig. 5 dargestellt.

[0072] 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 Flugzeuges dargestellt.

[0073] 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 S ausgangsseitig eine System-Ausgangsposition y bereit. Das System S ist beispielsweise ein elektrohydraulisch

sches Ruderstellsystem des Flugzeuges, wobei dann die System-Ausgangsgröße y eine gemessene Verschiebung des Aktuatorkolbens des positionsgeregelten Ruderstellsystems S ist.

[0074] Das erste Mittel **1** hat ein System-Modell SM zur Abbildung des zu überwachenden Systems S . Das erste Mittel **1** empfängt eingangsseitig die Führungsgröße w , eine Beobachterrückführgröße b und eine Störmodellgröße \hat{z} . Abhängig davon stellt das erste Mittel **1** ausgangsseitig eine geschätzte System-Ausgangsgröße \hat{y} bereit (**Fig. 4**).

[0075] Das zweite Mittel **2** ist dazu eingerichtet, ein Residuum r aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße y und der geschätzten System-Ausgangsgröße \hat{y} zu bilden. Das zweite Mittel **2** ist beispielsweise als ein Subtrahierer ausgebildet.

[0076] 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 Residuums r ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße b_g zur dynamischen Korrektur des Systemmodells SM derart bereit, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße \hat{y} der System-Ausgangsgröße y folgt.

[0077] 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.

[0078] 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 Anfangsstörung und ein Folgeverhalten der externen Störungen durch eine Gewichtung der Residuen r und eine Rückführung auf das Systemmodell SM bereitgestellt wird.

[0079] **Fig. 5** zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung V zur Residuengenerierung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern, insbesondere von fehlerhaften Transienten, Drift oder Oszillationen, im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges.

[0080] 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.

[0081] 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.

[0082] 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.

[0083] 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 Störgrößenmatrix 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 gewichteten Führungsgröße w sowie der über die Systemmatrix A zurückgeführten Systemzustände \hat{x} . Eine Multiplikation der dynamischen Systemmodellzustände \hat{x} mit der Ausgangsmatrix C ergibt die geschätzte System-Ausgangsgröße \hat{y} . $\hat{x}(0)$ beschreibt den Anfangswert des linearen Systemmodells SM .

[0084] **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 Flugzeuges.

[0085] 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:

[0086] Ein Residuum r wird zumindest in Abhängigkeit der Führungsgröße w und der System-Ausgangsgröße y generiert.

Verfahrensschritt R2:

[0087] Ein konstanter Schwellwertanteil s_0 wird bereitgestellt.

Verfahrensschritt R3:

[0088] Ein adaptiver Schwellwertanteil s_1 wird zumindest in Abhängigkeit der zeitlich veränderlichen Führungsgröße w bereitgestellt.

Verfahrensschritt R4:

[0089] 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:

[0090] Das Residuum r wird mit dem bereitgestellten Schwellwert s zur Bereitstellung eines Auswerte-Ergebnisses b verglichen.

[0091] Liegt das Residuum r über dem bereitgestellten Schwellwert s , so ist ein Systemfehler des Systems S festgestellt.

[0092] Fig. 7 zeigt ein schematisches Ablaufdiagramm eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Residuengenerierung 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.

[0093] 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:

[0094] Ein Systemmodell SM zur Abbildung des zu überwachenden Systems S wird bereitgestellt. Das Systemmodell SM empfängt eingangsseitig 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:

[0095] Ein Residuum r wird aus der Differenz zwischen der System-Ausgangsgröße y und der geschätzten System-Ausgangsgröße \hat{y} gebildet.

Verfahrensschritt S3:

[0096] Eine Beobachter-Rückführung L wird bereitgestellt, welche eingangsseitig das Residuum r empfängt und abhängig davon ausgangsseitig die Beobachterrückführgröße bg zur dynamischen Korrektur des Systemmodells SM derart bereitstellt, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße \hat{y} der System-Ausgangsgröße y folgt.

Verfahrensschritt S4:

[0097] 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.

[0098] Vorzugsweise wird bei festgestellter Verfügbarkeit einer weiteren Messgröße des Systems S die Menge der geschätzten Systemgrößen im Systemmodell SM um diese erweiterte Messgröße reduziert und diese weitere Messgröße wird dem Systemmodell SM als weitere Eingangsgröße direkt zugeführt.

[0099] Die Fig. 8 bis Fig. 12 zeigen schematische Zeitdiagramme zur Illustrierung der erfindungsgemäßen Residuenauswertung eines Residuums r zur Erkennung von Systemfehlern FC im Systemverhalten eines Systems S eines Flugzeuges.

[0100] Dem Beispiel der Fig. 8 bis Fig. 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.

[0101] Dabei zeigt Fig. 8 den zeitlichen Verlauf der System-Ausgangssignale y_1 und y_2 . Weiter zeigt Fig. 9 den zeitlichen Verlauf der Störung z . Fig. 10 zeigt den zeitlichen Verlauf des Residuums r und des erfindungsgemäßen Schwellwertes s . Weiter zeigen die Fig. 11 den zeitlichen Verlauf des Auswerte-Ergebnisses b sowie den zeitlichen Verlauf eines Ansteuersignals msv , das in Abhängigkeit des Auswer-

te-Ergebnisses b zur Auswahl des Aktuators 1 oder 2 generiert wird.

[0102] Wie oben bereits ausgeführt, zeigt **Fig. 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.

[0103] Weiter zeigt **Fig. 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.

[0104] Weiterhin zeigt **Fig. 10** den zeitlichen Verlauf des Residuums r und des erfindungsgemäßen Schwellwertes s . Dabei zeigt **Fig. 10a** eine detaillierte Darstellung der **Fig. 10** um den Zeitpunkt $t = 17$ s, bei dem nach **Fig. 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**). Damit wird zum Zeitpunkt $t = 17$ s gemäß **Fig. 11** kein Fehler detektiert, so dass $b = 0$ zum Zeitpunkt $t = 17$ s ist.

[0105] 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 Residuum r den bereitgestellten Schwellenwert s übersteigen. Dies ist im Detail in **Fig. 10b** dargestellt.

[0106] Folglich wird hier gemäß **Fig. 11** das Auswertergebnis b von 0 auf 1 umschalten, d. h. zum Zeitpunkt $t = 25$ s ist $b = 1$.

[0107] Gemäß **Fig. 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.

[0108] 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.

[0109] Obwohl die vorliegende Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsbeispiele vorliegend be-

schrieben wurde, ist sie darauf nicht beschränkt, sondern auf vielfältige Weise modifizierbar.

Bezugszeichenliste

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

Patentansprüche

1. 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:

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 aus-

gangsseitig eine geschätzte System-Ausgangsgröße (\hat{y}) bereitstellt;

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});

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

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.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das System (S) ein elektrohydraulisches Ruderstellsystem des Flugzeuges ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die System-Ausgangsgröße (\hat{y}) eine gemessene Verschiebung des Aktuatorkolbens des positionsgeregelten Ruderstellsystems (S) oder die gemessene Stellflächenposition des Flugzeuges ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beobachterrückführung (L) zur dynamischen Korrektur der inneren Zustände des Systemmodells (SM) derart eingestellt ist, dass die geschätzte System-Ausgangsgröße (\hat{y}) der System-Ausgangsgröße (y) folgt, wobei ein Abklingen einer Anfangsstörung und ein Folgeverhalten der externen Störungen durch eine Gewichtung der Residuen (r) und eine Rückführung auf das Systemmodell (SM) bereitgestellt wird.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beobachterrückführung (L) eine Beobachterrückführmatrix (L) umfasst.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass Koeffizienten der Beobachterrückführmatrix (L) über einen Zustandsreglerentwurf, insbesondere über Polvorgabe, Optimalreglerentwurf, Entwurfsverfahren zum Entwurf robuster Rückführungen, lineare quadratische Schätzer (LQE) oder nichtlineare Ansätze, bestimmt werden.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störmodellgröße (\hat{z}) als eine dynamische Störmodellgröße (\hat{z}) ausgebildet ist, welche mittels einer Linearkombination künstlicher Systemzustände gebildet ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, **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.

9. Flugzeug mit einer oder mehreren Vorrichtungen (V) nach einem der Ansprüche 1 bis 8.

10. 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

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.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **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.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

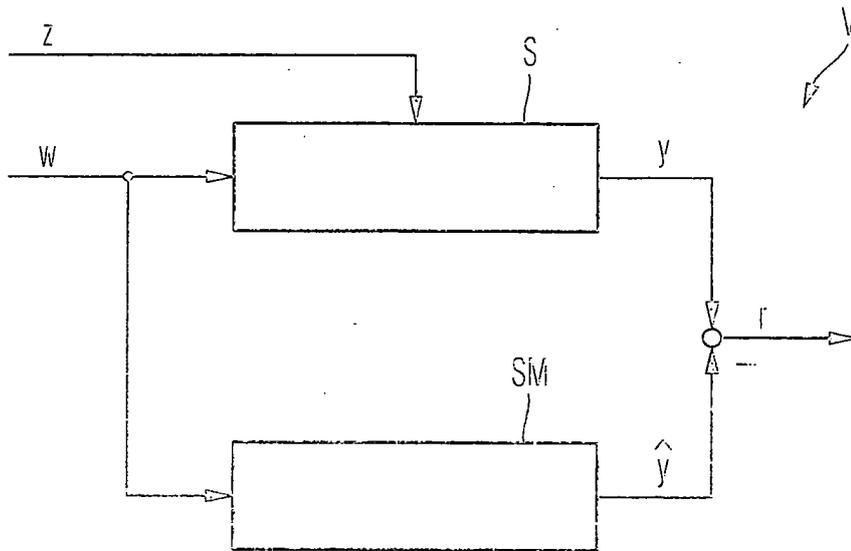


Fig. 1

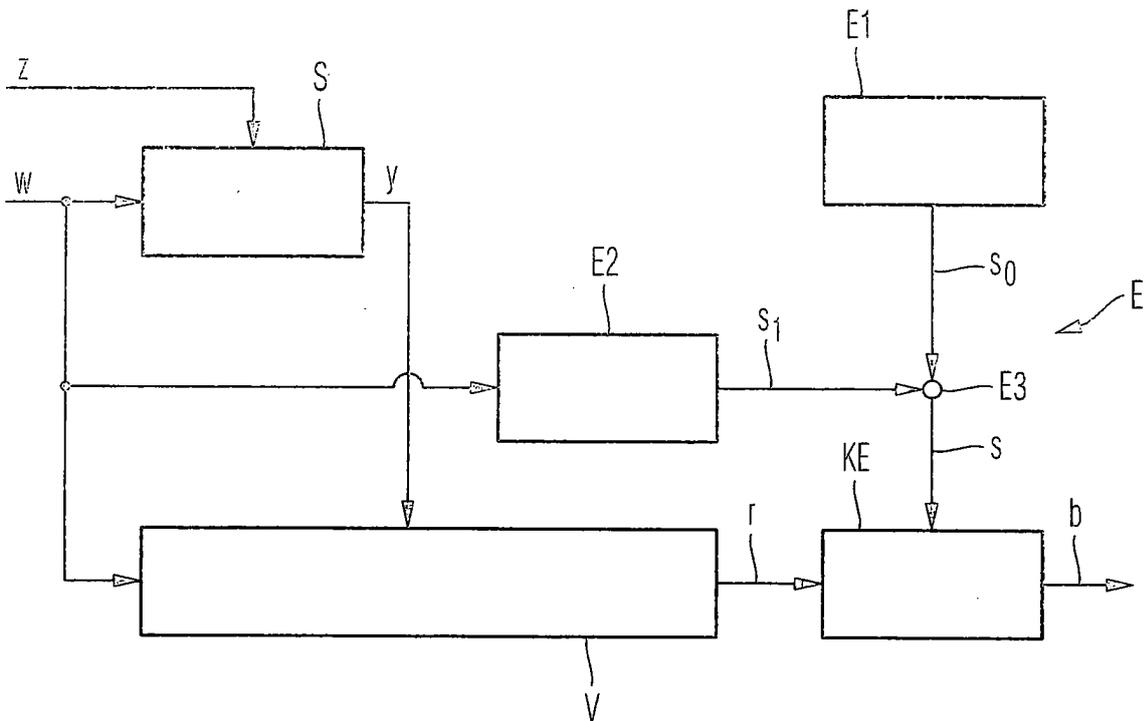


Fig. 2

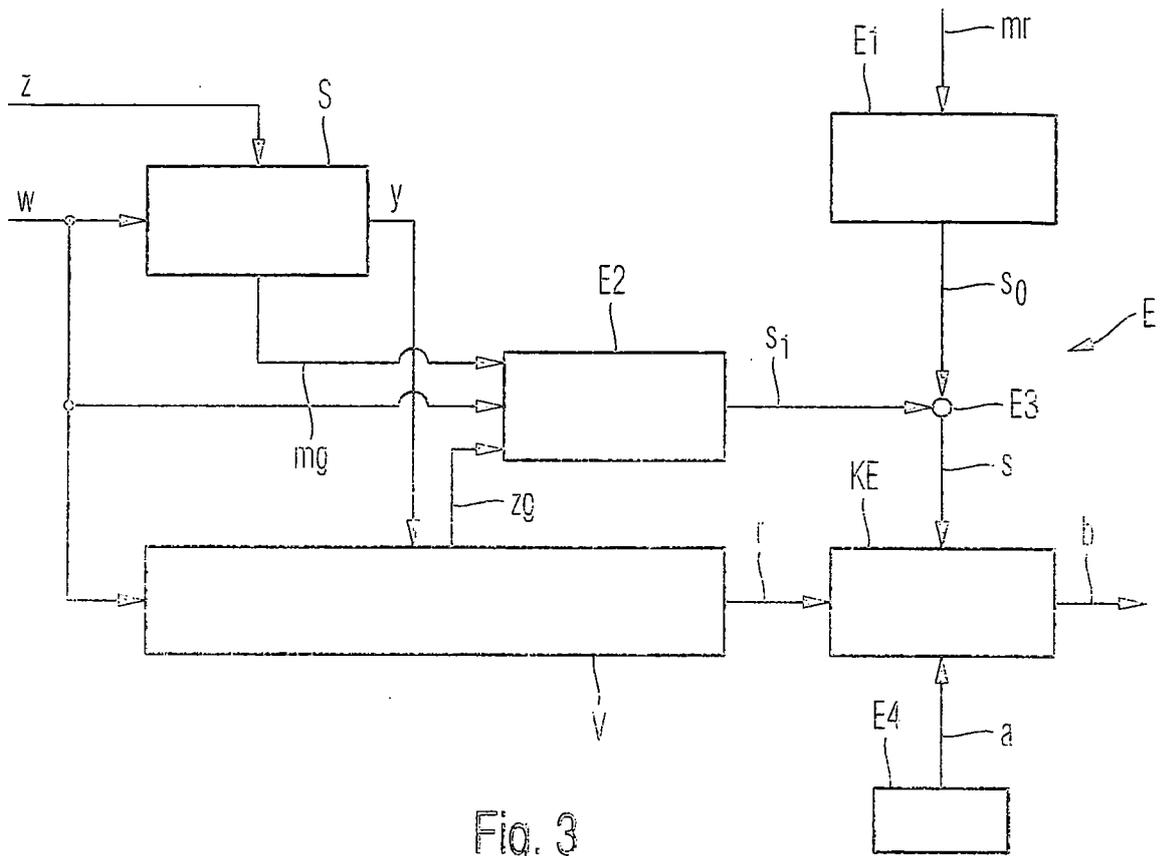


Fig. 3

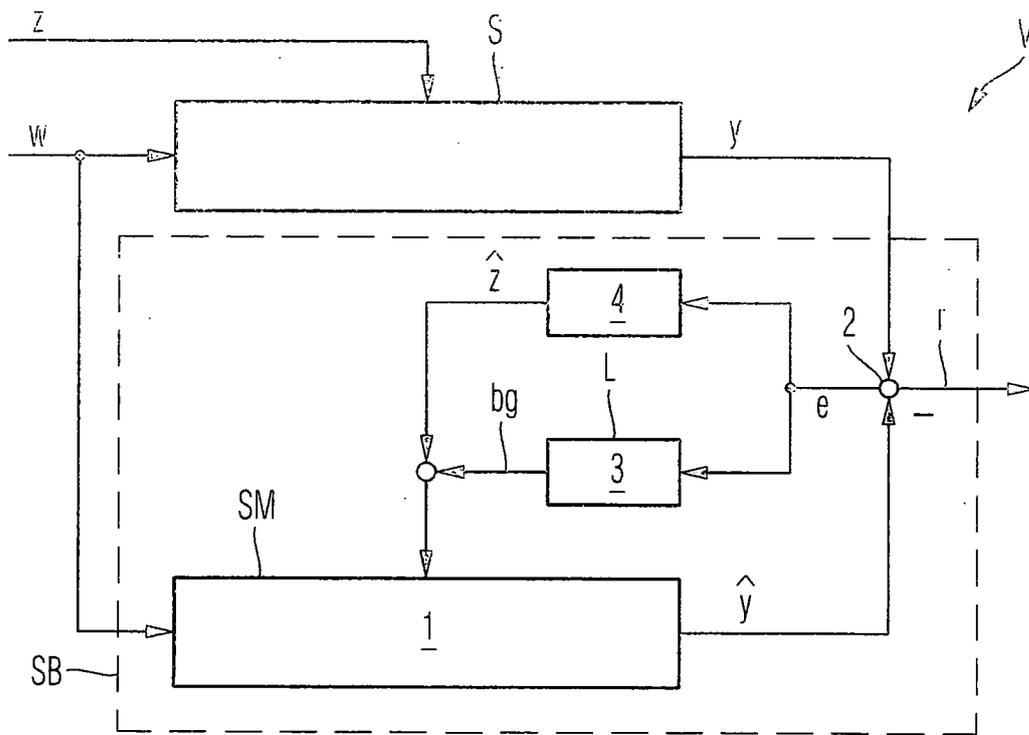


Fig. 4

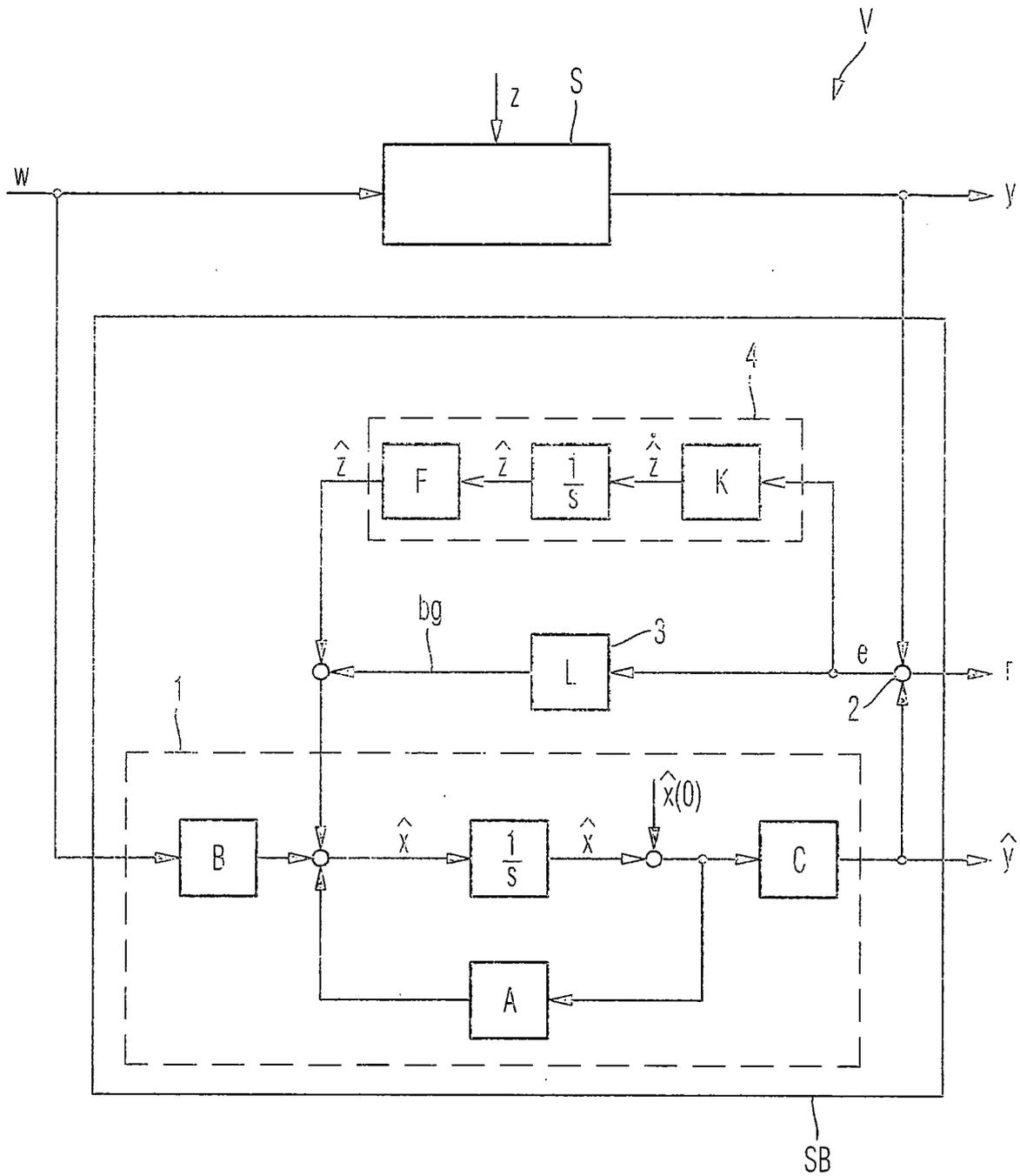


Fig. 5

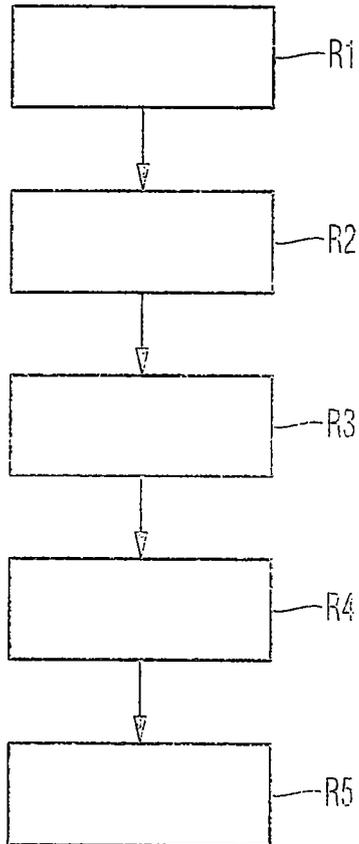


Fig. 6

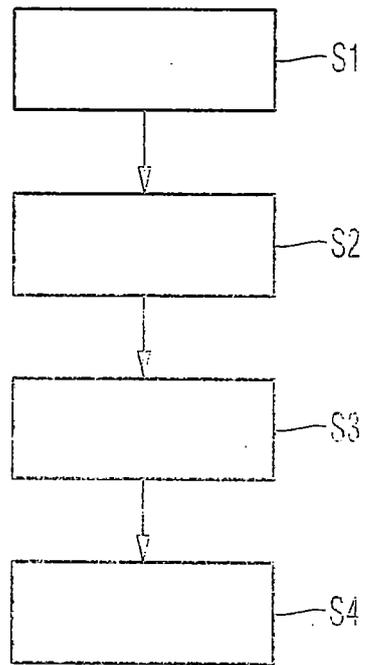


Fig. 7

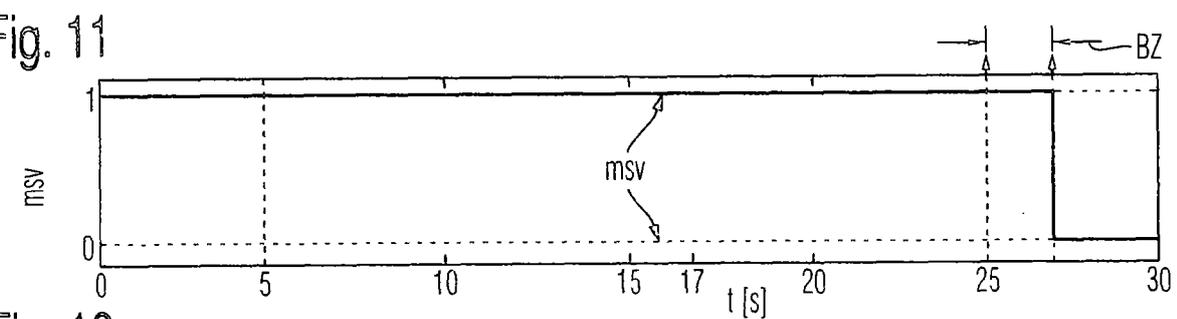
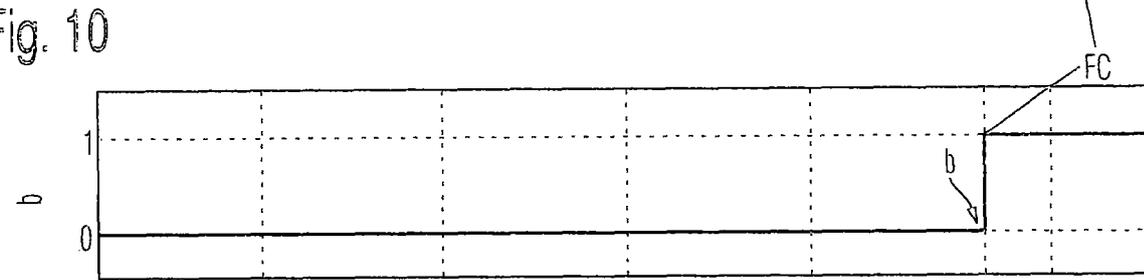
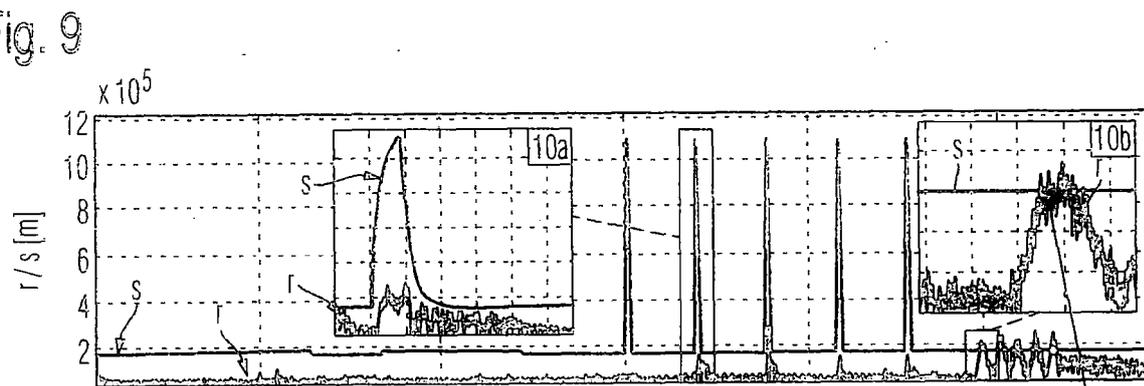
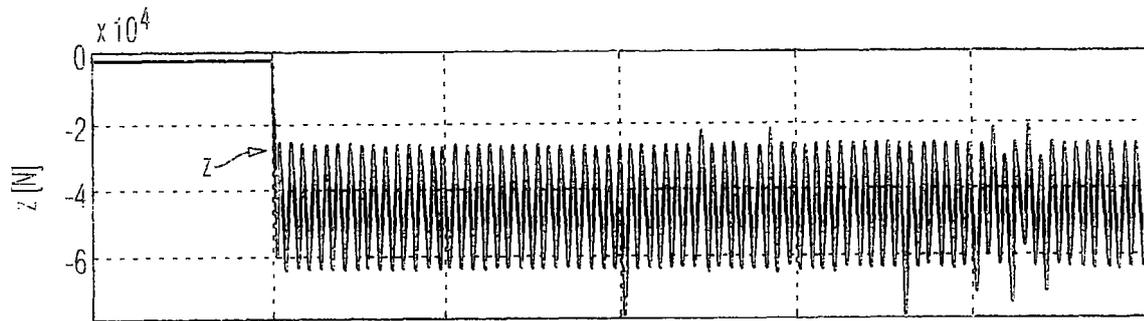
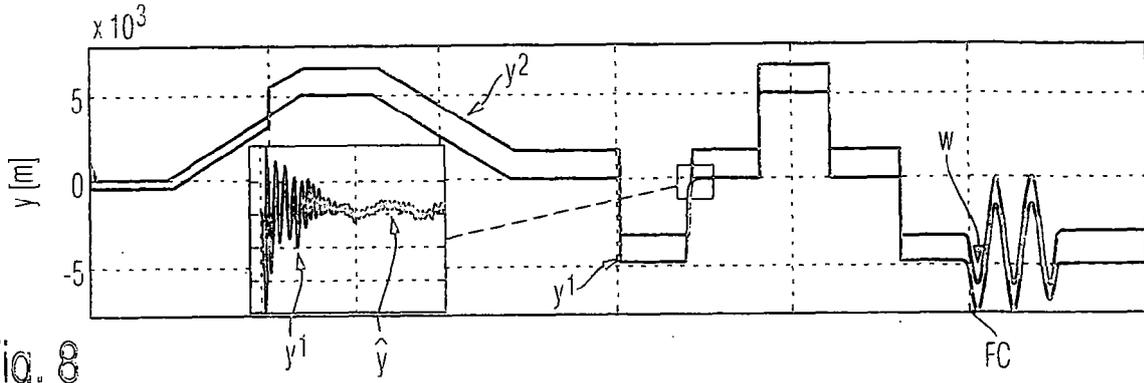


Fig. 12