



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 296 372 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 05 B 11/32

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) DD G 05 B / 342 375 4

(22) 02.07.90

(44) 28.11.91

(71) siehe (73)

(72) Kaschel, Joachim, Dipl.-Ing.; Eulitz, Thomas, Dipl.-Ing.; Schulze, Matthias, Dipl.-Ing.; Hofmann, Wilfried, Dr.-Ing.; Bergner, Hans, Dr.-Ing., DE

(73) Elpro AG Berlin, Rhinstraße 100, O - 1140 Berlin, DE

(54) Verfahren zur Toleranzbandregelung der Hauptregelgröße eines Regelsystems

(55) Verfahren; Toleranzbandregelung; Hauptregelgröße; Regelsystem; Umrichter; Drehstrommotor; Zwischenkreisspannung

(57) Das Verfahren ist beispielsweise einsetzbar für die Regelung der Zwischenkreisspannung der Umrichter in umrichtergespeisten Drehstromantrieben, insbesondere bei Laständerungen. Vorgeschlagen wird eine Begrenzung der auf die Regelgröße wirkenden Störgröße (w_z), indem Regler (12, 13) für die Grenzwerte des Störgrößensollwerts mit der Differenz aus dem Istwert der (Haupt)Regelgröße (x) und deren Grenzwerten ($w - \Delta w$, $w + \Delta w$) beaufschlagt werden und die I-Anteile der Regler aus einer Rückrechnung des begrenzten Störgrößensollwerts (w_z^*) abgeleitet werden. Fig. 2

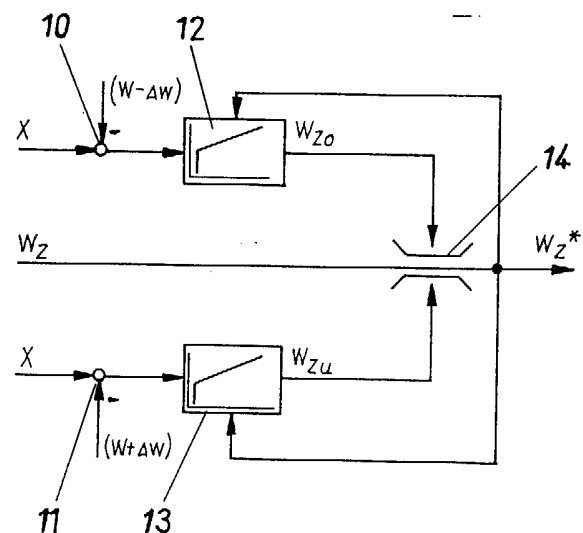


Fig. 2

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Toleranzbandregelung der Hauptregelgröße eines Regelsystems, **gekennzeichnet dadurch**, daß zusätzlich zu einer Festwertregelung einer zu regelnden Größe (x) der Soll-Wert einer steuerbaren, auf die zu regelnde Größe (x) zurückwirkenden Störgröße (w_z) desselben Regelsystems dynamisch begrenzt wird, indem Regler (12; 13) für den oberen und unteren Grenzwert (w_{zo} ; w_{zu}) des Soll-Werts der Störgröße (w_z) eingangsseitig mit der Differenz aus dem Ist-Wert der Regelgröße (x) und dem oberen bzw. unteren Grenzwert ($w - \Delta w$; $w + \Delta w$) der Regelgröße (x) beaufschlagt und die I-Anteile der Regler (12; 13) aus einer Rückrechnung des begrenzten Störgrößen-Soll-Werts (w_{z*}) abgeleitet werden.
2. Verfahren zur Toleranzbandregelung der Hauptregelgröße eines Regelsystems bei symmetrischer Toleranzbandbreite, **gekennzeichnet dadurch**, daß zusätzlich zu einer Festwertregelung einer zu regelnden Größe (x) der Soll-Wert einer steuerbaren, auf die zu regelnde Größe (x) zurückwirkenden Störgröße (w_z) desselben Regelsystems dynamisch begrenzt wird, indem ein Regler (17) für den unteren Grenzwert (w_{zu}) des Soll-Werts der Störgröße eingangsseitig mit der Differenz aus dem Ist-Wert der Regelgröße (x) und dem oberen Grenzwert ($w + \Delta w$) der Regelgröße (x) beaufschlagt, der obere Begrenzungs-Soll-Wert (w_{zo}) der steuerbaren Störgröße (w_z) durch Summation des unteren Begrenzungs-Soll-Werts (w_{zu}) und des mit dem P-Anteil seines Reglers (15) gewichteten Toleranzbandes der Regelgröße (x) gebildet wird und der I-Anteil des Reglers (17) für den unteren Grenzwert (w_{zu}) des Soll-Werts der Störgröße (w_z) aus einer Rückrechnung des begrenzten Störgrößen-Soll-Werts (w_{z*}) abgeleitet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß die Regelabweichung beider Regler (12; 13 bzw. 15; 17) durch eine dritte Größe dividiert wird, die im Zusammenhang mit der Störgröße (x_z) des Systems eine der Verbraucherleistung äquivalente Meßgröße (p) darstellt und die Streckenverstärkung der Toleranzbandregelschleife konstant hält.

Hierzu 3 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Das Verfahren ist geeignet zur Regelung der Hauptregelgröße eines Regelsystems innerhalb von vorbestimmten Grenzen und ist beispielsweise anwendbar bei der Umrichterspeisung von Drehstrommotoren. Es ist insbesondere vorteilhaft einsetzbar in der Drehstromkontraktionstechnik zur Speisung der Fahrmotoren, aber auch in Netzkupplungssystemen und komplexen Systemen zur Blindleistungskompensation.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Komplexe technische Stellglieder besitzen die Eigenschaft, daß bei Regeleingriffen auf ihre Teilsysteme gegenseitige Beeinflussungen entstehen.

So sind z. B. indirekte Umrichtersysteme mit steuerbarem Eingangs- und Ausgangsstromrichter bzgl. ihrer Zwischenkreisspannung dynamischen Schwankungen unterworfen, die sich z. B. aus den Differenzen zwischen dem netzseitigen Leistungsangebot und dem lastseitigen Leistungsbedarf aus Unterschieden in der Steuerdynamik der Teilstromrichter ergeben. Aus Elektrische Bahnen 1988, H. 7, S. 229 ist bekannt, daß durch eine gegenseitige Störgrößenaufschaltung, im Fall des eingangsseitigen Netzstromrichters durch eine Laststrom-Aufschaltung, eine Verbesserung der Regelkonstanz der Zwischenkreisspannung erreichbar ist. Allerdings erfordert dies eine genaue Ist-Wert-Erfassung des Zwischenkreis- oder Laststromes bzw. eine Verrechnung von zukünftigen Belastungskennwerten.

Eine weitere Möglichkeit zur Beherrschung ähnlich gelagerter Regelaufgaben kann durch die in der DE-OS 3517008 (G05B11/36) beschriebene „Nachgeführte Ablöseregulation“ angegeben werden. Dabei wirkt das Ausgangssignal des Hauptreglers auf die Begrenzung der weiteren Teilregler zurück, deren Ausgangssignale alle auf dieselbe Stellgröße des wirkenden Regelkreises Einfluß haben, indem sie einander ablösen.

Nachteilig ist bei dieser Variante, daß durch die Ablösung der Regler Unstetigkeiten entstehen und ein Zusatzmechanismus zur Erfüllung des Ablöseregimes erforderlich ist.

Ziel der Erfindung

Durch die Erfindung wird das Ziel verfolgt, eine Verbesserung der Konstanz der Zwischenkreisspannung auch bei dynamischen Belastungs- und Speisespannungsänderungen zu erreichen und somit zur Erhöhung der Betriebssicherheit, der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit eines Umrichtersystems beizutragen.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, durch regelungstechnische Mittel die Konstanz einer Regelgröße, z. B. der Zwischenkreisspannung eines Umrichters in einem betriebs sicheren Toleranzband zu garantieren, ohne daß zusätzliche Aufwendungen für die Meßwerterfassung entstehen.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß zusätzlich zu einer Regelschleife zur Konstantwertregelung der Regelgröße des Regelsystems der Soll-Wert einer steuerbaren Störgröße dynamisch begrenzt wird, indem die Regelgröße über einen Regler für den oberen und einen Regler für den unteren Grenzwert der Störgröße innerhalb eines Toleranzbandes geführt wird, wobei der Regler für den oberen Grenzwert eingangsseitig mit der Differenz aus dem Ist-Wert der Regelgröße und dem unteren Grenzwert der Regelgröße beaufschlagt wird, so daß ausgangsseitig der obere Begrenzungs-Soll-Wert der steuerbaren Störgröße entsteht. Der Regler für den unteren Grenzwert wird eingangsseitig mit der Differenz aus dem Ist-Wert der Regelgröße und dem oberen Grenzwert der Regelgröße beaufschlagt, so daß ausgangsseitig der untere Begrenzungs-Soll-Wert der steuerbaren Störgröße entsteht. Beide Regler besitzen PI-Verhalten. Ihre I-Anteile werden aus der Rückverrechnung des begrenzten Soll-Wertes der steuerbaren Störgröße gewonnen.

Mit einer weiteren Lösung entsteht eine vereinfachte Reglerstruktur dadurch, daß, unter Beachtung der Regelschleife für den unteren Begrenzungs-Soll-Wert, der obere Begrenzungs-Soll-Wert durch Summation des unteren Begrenzungs-Soll-Wertes und des mit dem P-Anteil des Reglers gewichteten Toleranzbandes gebildet wird.

Zur Konstanthaltung der Streckenverstärkung der Toleranzbandschleifen ist es gemäß einer weiteren Ausgestaltung vorteilhaft, die Regelabweichung für die Toleranzbandregler durch eine im Zusammenhang mit der Störgröße die Verbraucherleistung beschreibende Größe zu dividieren.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

- Fig. 1: die Grundanordnung des Regelkreises,
 Fig. 2: die vollständige Toleranzbandreglerstruktur,
 Fig. 3: die vereinfachte Toleranzbandreglerstruktur,
 Fig. 4: einen Toleranzbandregler mit konstanter Streckenverstärkung und
 Fig. 5: den Verlauf der Hauptregelgröße bei einem Soll-Wert-Sprung.

Die in Fig. 1 gezeigte Grundanordnung des Regelsystems, z. B. für ein Umrichtersystem, welches insbesondere in der Drehstromantriebstechnik weit verbreitet ist, besteht aus einem Netzstromrichter 1 mit einer zweiphasigen $16\frac{2}{3}$ -Hz-Einspeisung, einem Spannungswienkreis 2 mit einem Wienkreis Kondensator 3 und einem Filter 4, einem Maschinenstromrichter 5 mit einem Drehstrommotor 6. Die Anordnung wird auf der Netzstromrichterseite durch eine Regelschleife für die Wienkreisspannung mit dem Regelsystem 7 geregelt, dem die primäre Regelaufgabe zukommt, die Wienkreisspannung (Ist-Wert x) entsprechend einem Soll-Wert w konstant zu halten. Maschinenseitig existiert eine Regelschleife für das Motormoment mit dem Regelsystem 8.

Erfindungsgemäß wird eine Verbindung zwischen den beiden Regelkreisen dadurch hergestellt, daß ein Toleranzbandregler 9 eingeführt wird, dessen Eingangsgrößen der Soll-Wert w und der Ist-Wert x der Wienkreisspannung, die halbe Toleranzbandbreite Δw und die Führungsgröße des Motormoments sind, die für die Wienkreisspannung eine Störgröße w_z bildet, und ausgangsseitig die toleranzbandgeregelte Führungsgröße (begrenzter Störgrößen-Soll-Wert w_z^*) für das Motormoment gebildet wird.

Die Toleranzbandregler in vollständiger Ausführung zeigt Fig. 2. Danach wird in einem PI-Regler 12 für den oberen Begrenzungs-Soll-Wert w_{zo} der steuerbaren Störgröße x_z (Ist-Wert) bzw. w_z (Soll-Wert) nach Soll-Ist-Wert-Vergleich 10 zwischen dem Regelgrößen-Ist-Wert x , d. h., der Wienkreisspannung und dem unteren Grenzwert $w - \Delta w$ und Rückrechnung des begrenzten Störgrößen-Soll-Wertes w_z^* in den I-Anteil des Reglers 12 der obere Begrenzungs-Soll-Wert w_{zo} bereitgestellt. In einem Regler 13 mit ebenfalls PI-Verhalten wird nach Bildung der Regelabweichung im Soll-Ist-Wert-Vergleich 11 zwischen dem Regelgrößen-Ist-Wert x und dem oberen Grenzwert $w + \Delta w$ und Rückrechnung des begrenzten Störgrößen-Soll-Wertes w_z^* in den I-Anteil des Reglers 13 der untere Begrenzungs-Soll-Wert w_{zu} bereitgestellt.

In einer Auswahlhaltung 14 wird durch Größenvergleich des Momenten-Soll-Wertes w_z mit dem oberen und unteren Begrenzungs-Soll-Wert w_{zo} , w_{zu} der begrenzte Störgrößen-Soll-Wert w_z^* gebildet, wobei gilt

für	$w_{zo} > w_z > w_{zu}$	$w_z^* = w_z$
	$w_{zo} < w_z$	$w_z^* = w_{zo}$
	$w_{zu} > w_z$	$w_z^* = w_{zu}$

Durch diese Struktur ist es möglich, das Spannungstoleranzband in ein Momententoleranzband zu überführen, wobei die Toleranzbandänderung, bedingt durch die Reglerstruktur mit PI-Verhalten, quasikontinuierlich erfolgt. Im stationären Betrieb, d. h. $x \approx w$, ist bei symmetrisch gewähltem Toleranzband auch das Momententoleranzband symmetrisch, wenn die beiden Regler identische Parameter besitzen. Kommt es durch Störungen zu einem Absinken des Ist-Wertes x , so werden auch die durch die Begrenzungs-Soll-Werte aufgemachten Störgrößengrenzen (Begrenzungs-Soll-Werte w_{zo} , w_{zu}) reduziert, dabei nähert sich der obere Begrenzungs-Soll-Wert w_{zo} immer mehr der Störgröße w_z an. Tritt der Ist-Wert x durch das vorgegebene Toleranzband, so wird die Störgröße w_z gleich dem oberen Begrenzungs-Soll-Wert w_{zo} , so daß eine Entlastung des Netzstromrichters 1 und somit noch ausreichende Stützung der Wienkreisspannung möglich wird. Steigt der Ist-Wert x stark an, so werden beide Störgrößengrenzwerte in den negativen Bereich verschoben. Die Maschine wird zum generatorischen Bremsen veranlaßt und sichert damit die Stabilität der Wienkreisspannung.

Wird im dynamischen Betrieb, z. B. durch eine vorgelagerte Zugkraftregelung, ein Momenten-Soll-Wert-Sprung Δw_z ausgelöst, so wirkt sich dieser zunächst nur innerhalb des gewählten Toleranzbandes direkt auf den begrenzten Störgrößen-Soll-Wert w_{z*} aus. Danach wird die restliche Sprunghöhe durch die PI-Toleranzbandregler allmählich abgebaut.

Vereinfacht werden kann die Reglerstruktur, wenn ein symmetrisches Toleranzband vorausgesetzt wird. Gemäß Fig.3 ist es dann möglich, die halbe Toleranzbandbreite Δw über einen Verstärker 15 mit 2facher P-Verstärkung zu leiten, bei dem ausgangsseitig der obere Begrenzungs-Soll-Wert w_{zo} der Störgröße w_z entsteht, und die Differenz aus Regelgrößen-Ist-Wert x und dem oberen Grenzwert der Regelgröße $w + \Delta w$ über einen Soll-Ist-Wertvergleich 16 auf den PI-Regler 17 zu führen, dessen I-Anteil aus dem begrenzten Störgrößen-Soll-Wert w_{z*} zurückgerechnet wird und an dessen Ausgang der untere Begrenzungssollwert w_{zu} der Störgröße w_z gebildet wird. Beide Grenzwerte werden anschließend durch Vergleich mit dem Störgrößen-Soll-Wert w_z in der Auswahlhaltung 18 zur toleranzbandgeregelten Störgröße w_{z*} weiterverarbeitet. Um eine im gesamten Drehzahlstellbereich des Antriebes konstante Streckenverstärkung für die Toleranzbandregler zu garantieren, ist es gemäß Fig.4 erforderlich, die Regelabweichung beider Teilregler für die Grenzwerte durch eine leistungsabhängige Meßgröße p zu dividieren. Hierzu eignen sich die Ständerfrequenz, abgeleitet aus der Luftspaltleistung, bzw. die mechanische Rotorfrequenz, abgeleitet aus der mechanischen Leistung des Antriebssystems.

In Fig. 5 ist der Verlauf der Hauptregelgröße x bei einem Soll-Wert-Sprung der Störgröße w_z auf Null dargestellt. Stationär liegen die Begrenzungs-Soll-Werte w_{zo} und w_{zu} symmetrisch zum Soll-Wert der Störgröße ($w_z = w_{z*}$). Der Soll-Wert-Sprung kann nur in den dynamisch vorgegebenen Grenzen erfolgen, so daß der begrenzte Störgrößen-Soll-Wert w_{z*} gleich dem unteren Begrenzungs-Soll-Wert w_{zu} ist ($w_{z*} = w_{zu}$). Während dieses Vorganges wird die Regelgröße x in den Toleranzbandgrenzen gehalten. Erreicht der untere Begrenzungs-Soll-Wert w_{zu} den Wert Null, gilt wieder $w_{z*} = w_z = 0$. Die Begrenzungen liegen dann wieder symmetrisch zur Störgröße w_z .

Durch die Erfindung kann der Aufwand zur Spannungsstützung im Zwischenkreis verringert und die volle mechanische Belastbarkeit der Fahrstrommotoren erhalten werden.

Weitere Vorteile des vorgeschlagenen Verfahrens bestehen in:

- einer verbesserten Konstanz der Zwischenkreisspannung des Umrichtersystems,
- einer Einsparung zusätzlicher hochwertiger Meßgrößenwandler für den Belastungsstrom bzw. die Verbraucherleistung,
- einer verbesserten Regeldynamik bei Bügelspringen, Lastabwurf und Schienenstößen und
- einer Erhöhung der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems.

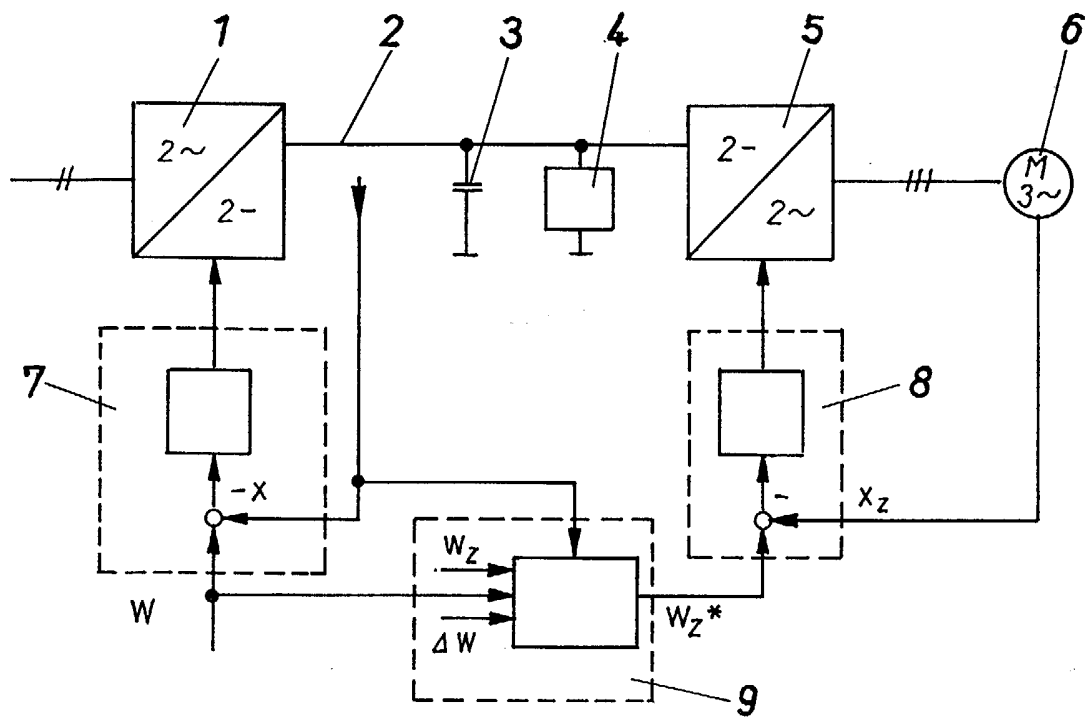


Fig. 1

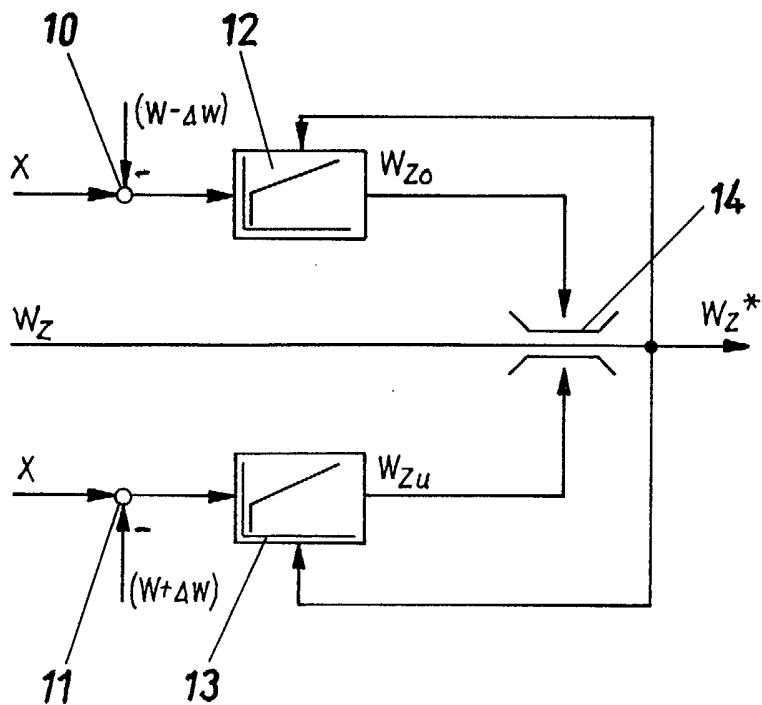


Fig. 2

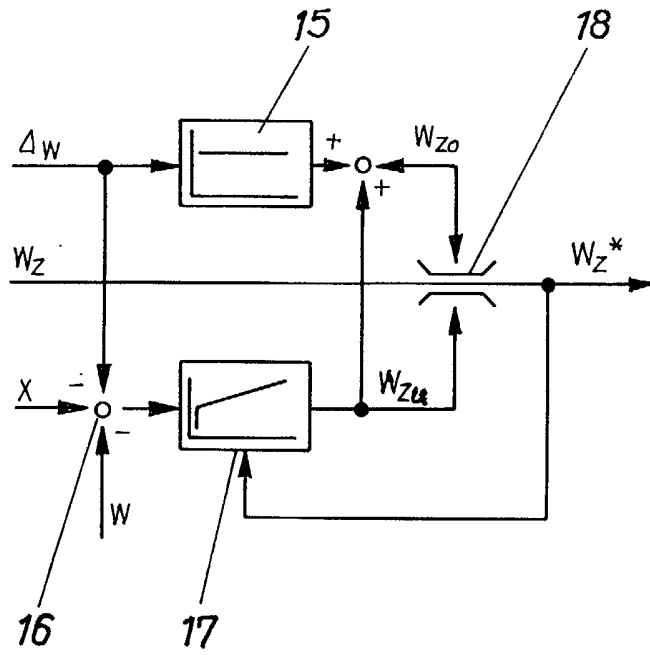


Fig. 3

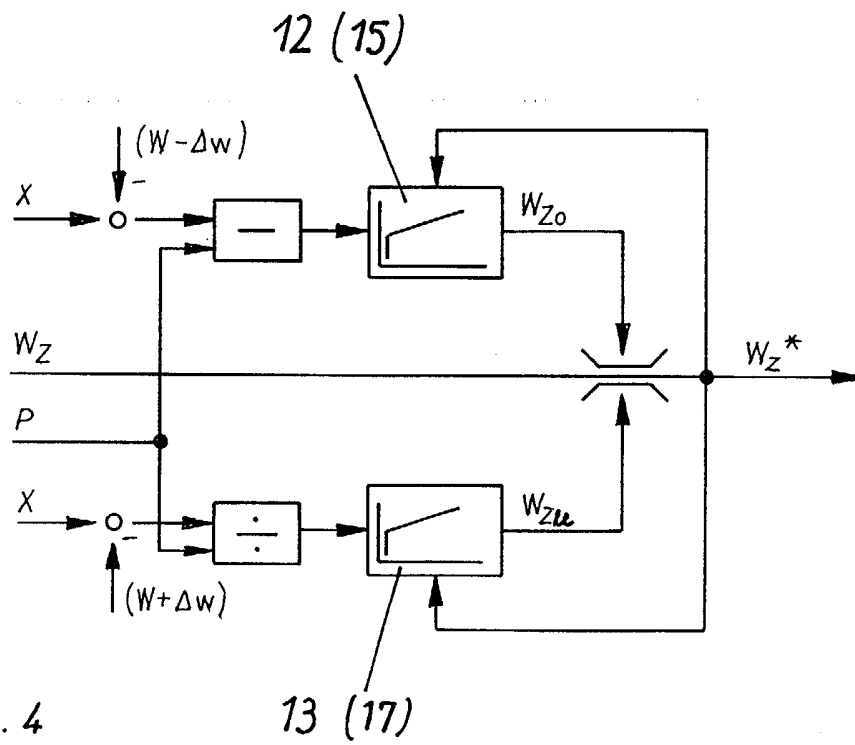


Fig. 4

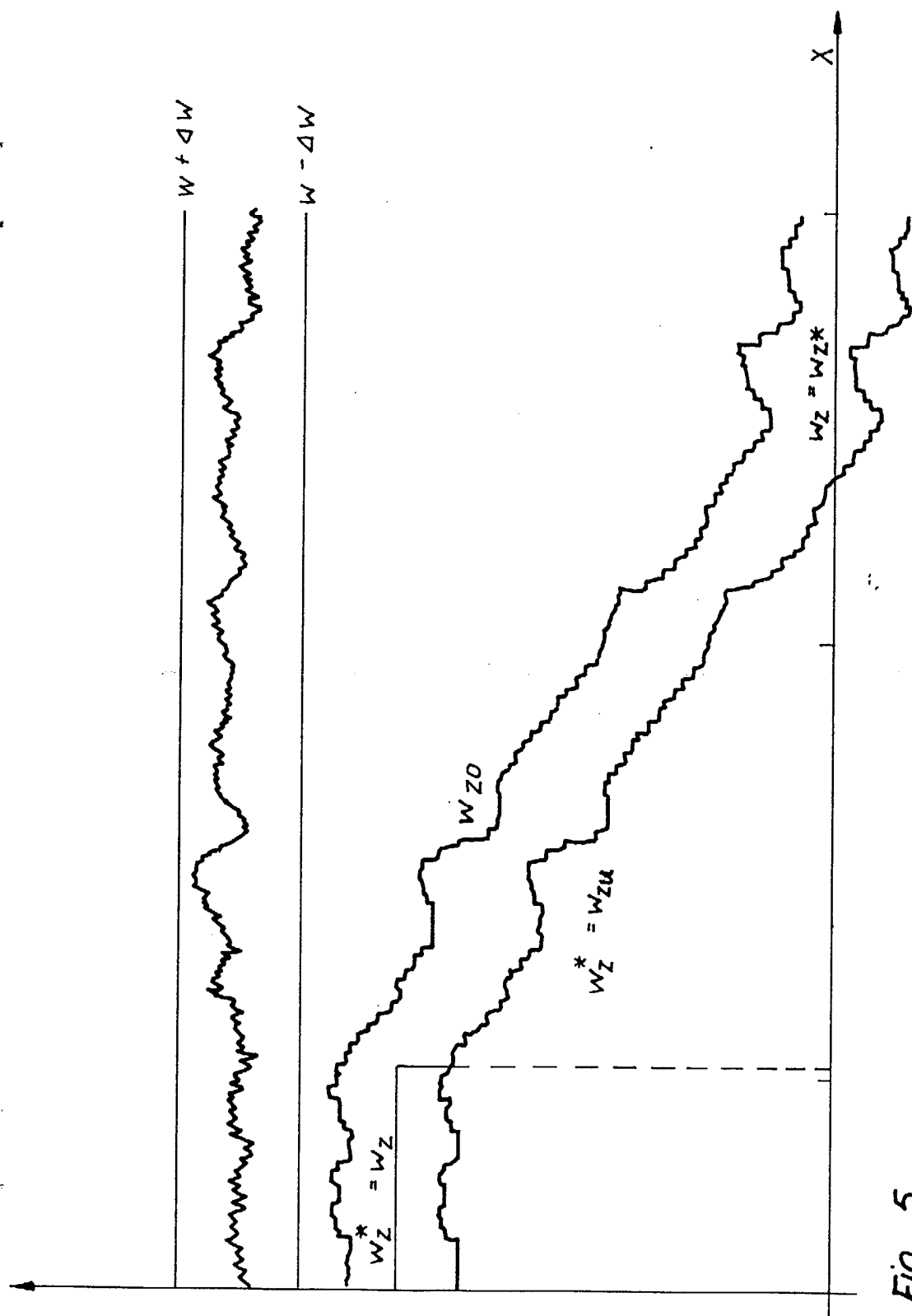


Fig. 5