

(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  
2. Oktober 2003 (02.10.2003)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 03/081348 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G05B 13/02

(DE). HAGUET, Magalie [FR/FR]; 6 rue Henri Cahn, F-94360 Bry sur Marne (FR).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE03/00793

(22) Internationales Anmeldedatum:  
12. März 2003 (12.03.2003)

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 13 533.9 26. März 2002 (26.03.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

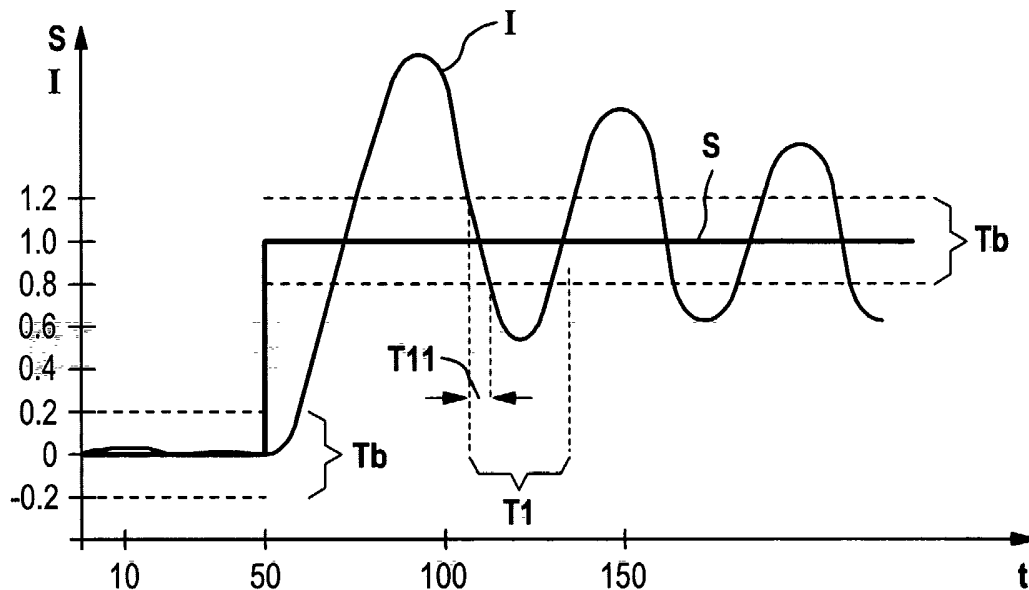
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): WENDELBERGER, Klaus-Walter [DE/DE]; Eichenweg 26, 91322 Gräfenberg

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD AND CONTROLLER FOR THE ADAPTIVE CONTROL OF AT LEAST ONE COMPONENT OF A TECHNICAL PLANT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND REGLER ZUR ADAPTIVEN REGELUNG MINDESTENS EINER KOMPONENTE EINER TECHNISCHEN ANLAGE



(57) Abstract: The invention relates to a method in which at least one component of a technical plant is controlled by means of a PI controller. The actual value of the regulating parameter is continuously determined during operation of the plant and the amplification factor ( $K_p$ ) of the PI controller is altered depending on the time relationship of the actual value (I), until the actual value (I) remains with a tolerance band ( $T_b$ ) relative to the set value (S). The invention further relates to a controller (R) for carrying out said method.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 03/081348 A1



DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW, ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE,

- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

---

**(57) Zusammenfassung:** Verfahren und Regler zur Regelung mindestens einer Komponente einer technischen Anlage. Bei einem erfindungsgemäßen Verfahren wird mindestens eine Komponente einer technischen Anlage mittels eines PI-Reglers geregelt, wobei während des Betriebs der technischen Anlage laufend der Istwert der Regelgröße bestimmt und der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) des PI-Reglers in Abhängigkeit vom zeitlichen Verhalten des Istwerts ( $I$ ) verändert wird, bis der Istwert ( $I$ ) innerhalb eines Toleranzbandes ( $T_b$ ) bezüglich des Sollwerts ( $S$ ) verbleibt. Ein erfindungsgemäßer Regler ( $R$ ) dient zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

## Beschreibung

## VERFAHREN UND REGLER ZUR ADAPTIVEN REGELUNG MINDESTENS EINER KOMPONENTE EINER TECHNISCHEN ANLAGE

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung mindestens einer Komponente einer technischen Anlage sowie einen entsprechenden Regler.

10

Ausgangspunkt ist dabei ein konventionelles Regelungskonzept, wonach eine Regelgröße einer Komponente der technischen Anlage mittels eines PI-Reglers möglichst gut auf einem Sollwert der Regelgröße gehalten werden soll. Der PI-Regler ermittelt dabei aus der Differenz des Sollwerts und des Istwerts der Regelgröße (Regelabweichung) einen Stelleingriff auf einen der Komponente zugeordneten Aktor, so dass die Regelgröße den gewünschten Sollwert zum einen möglichst schnell und genau erreicht und zum anderen sich im Verlauf der Regelung möglichst wenig von diesem Sollwert entfernt. Insbesondere soll verhindert werden, dass der Istwert der Regelgröße eine zu starke Schwingung aufweist, so dass das Regelsystem bestehend aus der Komponente der technischen Anlage und dem Regler womöglich zu Instabilitäten neigt.

15

20

Bei der Regelung von Kraftwerkskomponenten ist es beispielsweise bekannt, Regelparameter eines zur Regelung eingesetzten PI-Reglers, insbesondere den Verstärkungsfaktor und die Nachstellzeit, jeweils vorab auf einen konstanten Wert einzustellen und während des Regelvorgangs beim Betrieb der Anlage nicht mehr zu verändern. Dies hat den Vorteil, dass bei der Verwendung eines PI-Reglers nur wenige Parameter eingestellt werden müssen, insbesondere die vorher genannten Reglerparameter, und dass während des Regelvorgangs oftmals keine weiteren Einstellungen mehr vorgenommen werden müssen.

25

Jedoch ist die Verwendung von einmal vorab eingestellten Parameterwerten für den PI-Regler insbesondere bei der Regelung

30

35

von Kraftwerksanlagen nicht immer optimal, da sich im Laufe der Zeit während des Betriebs der Kraftwerksanlage das dynamische Verhalten eines durch die Komponente der technischen Anlage verwirklichteten verfahrenstechnischen Prozesses verändern kann. Somit sind die einmal vorab eingestellten Reglerparameter nach einer derartigen Veränderung des dynamischen Verhaltens der Komponente für den nun vorliegenden neuen Betriebsfall nicht mehr optimal und führen u.U. sogar zu einem Versagen der Regelung, so dass ein einmal gewünschter Regelungserfolg nicht mehr erzielbar ist. Beispielsweise kann es nach einer Änderung des dynamischen Verhaltens der Regelstrecke (Komponente) und somit des durch die Komponente und den PI-Regler gebildeten Regelkreises dazu führen, dass der Istwert der Regelgröße beim Regelvorgang zu unerwünschten Schwingungen neigt, was zu einer Instabilität der geregelten Strecke führen kann. Um eine derartige Regelung wieder für den Einsatz während des Betriebs der technischen Anlage zu ertüchtigen, ist es meist notwendig, zumindest die betreffende Komponente der technischen Anlage außer Betrieb zu nehmen, die Reglerparameter entsprechend des geänderten dynamischen Verhaltens der Regelstrecke neu einzustellen - was möglicherweise umfangreiche Testläufe vor erneuter Inbetriebnahme notwendig macht - und die Komponente einschließlich ihres Reglers anschließend wieder in Betrieb zu nehmen.

Abgesehen davon, dass eine funktionsuntüchtig gewordener Regelkreis der technischen Anlage zur Gefährdung von Maschinen und menschlichem Bedienpersonal führen kann - insbesondere wenn eine instabil gewordene Regelstrecke viel zu große Stelleingriffe und/oder viel zu große Istwerte der Regelgröße erzeugt -, ist infolge der zwangsläufig erforderlichen Stillstandszeit zur Instandsetzung der Regelung ein Produktionsausfall der technischen Anlage praktisch unvermeidlich. Wenn es sich bei der technischen Anlage um eine Kraftwerksanlage handelt, so kann ein Ausfall einer Komponente der technischen Anlage beispielsweise dazu führen, die Versorgung eines Gebiets mit elektrischer Energie zu gefährden.

Die Verwendung von konstanten Werten für den PI-Regler führt insbesondere bei der Verwendung zur Regelung in Kraftwerksanlagen mit einem Dampfprozess zu Problemen, da in einem derartigen Kraftwerk zu beherrschende Regelstrecken oftmals ein nichtlineares Verhalten aufweisen. Ein Satz von Parameterwerten für den PI-Regler, der für einen Betriebszustand der zu regelnden Komponente als optimal angesehen werden kann, kann für einen anderen Betriebsfall dieser Komponente infolge der vorhandenen Nichtlinearitäten zumindest nur bedingt brauchbare Regelergebnisse liefern. Verschiebt sich also der Arbeitspunkt einer zu regelnden, nichtlinearen Komponente der technischen Anlage während des Betriebs der technischen Anlage - was zwangsläufig vorkommt -, so sind die einmal eingestellten Reglerparameter für den nun vorliegenden, neuen Betriebspunkt (Arbeitspunkt) der Komponente womöglich nicht mehr geeignet, um einen gewünschten Regelerfolg herbeizuführen. Dies kann sogar so weit führen, dass ein PI-Regler für einen Betriebspunkt der Komponente ein optimales Regelverhalten zeigt, aber beim Übergang auf einen neuen Betriebspunkt völlig unzureichende oder sogar gefährdende Regelergebnisse liefert.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren sowie einen Regler zur Regelung mindestens einer Komponente einer technischen Anlage anzugeben. Dabei sollen insbesondere beschriebene Nachteile aus dem Stand der Technik überwunden werden. Ferner soll ein erfindungsgemäßes Regelverfahren sowie ein erfindungsgemäßer Regler den Aufwand für die Einstellung der Reglerparameter reduzieren. Außerdem sollen ein erfindungsgemäßes Verfahren sowie ein erfindungsgemäßer Regler eine besonders einfache Inbetriebsetzung einer zu regelnden Komponente ermöglichen.

Bezüglich des Verfahrens wird die Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Regelung mindestens einer Komponente einer technischen Anlage mittels eines PI-Reglers, wel-

cher als Reglerparameter einen Verstärkungsfaktor und eine Nachstellzeit umfasst, mit folgenden Schritten:

1. Die Nachstellzeit wird vorgegeben.
- 5 2. Ein Anfangswert des Verstärkungsfaktors wird vorgegeben.
3. Mindestens ein Sollwert einer Regelgröße der Komponente wird vorgegeben, und
4. während des Betriebs der technischen Anlage wird laufend der Istwert der Regelgröße bestimmt und der Verstärkungsfaktor in Abhängigkeit vom zeitlichen Verhalten des Istwertes verändert, bis der Istwert der Regelgröße innerhalb  
10 eines Toleranzbandes bezüglich des Sollwertes verbleibt.

Die Erfindung geht dabei von der Überlegung aus, dass die  
15 Reglerparameter dann besonders gut festgelegt werden können, wenn das Verhalten der geregelten Strecke, also das Zusammenwirken des PI-Reglers und der zu regelnden Komponente, während des Betriebs der technischen Anlage beobachtet wird und entsprechend des Verhaltens des Istwerts der Regelgröße der  
20 Verstärkungsfaktor des PI-Reglers während des Betriebs der technischen Anlage automatisch so lange verändert wird, bis sich der Istwert der Regelgröße im genannten Toleranzband bezüglich des vorgegebenen Sollwerts befindet und darin verbleibt. Veränderungen des Verstärkungsfaktors werden also  
25 nicht laufend vorgenommen, sondern nur so lange, bis der Istwert der Regelgröße bezüglich des Toleranzbandes ein gewünschtes Verhalten zeigt, sich also während des Betriebs der technischen Anlage wertmäßig innerhalb des Toleranzbandes bewegt. Wenn nun im Verlauf des Betriebs die geregelte Komponente einer Veränderung bezüglich ihres dynamischen Verhaltens unterliegt, beispielsweise verursacht durch Materialverschleiß und/oder Ablagerung von Betriebs- oder Hilfsstoffen der Komponente, oder durch Alterung von Teilen der Komponente, so wird der Verstärkungsfaktor bei der Durchführung des  
30 erfindungsgemäßen Verfahrens erst dann wieder verändert, wenn der Istwert der Regelgröße sich wertmäßig vom Toleranzband entfernt. Diese erneute laufende Veränderung des Verstär-

kungsfaktors geschieht wieder nur so lange, bis der Istwert wieder ins Toleranzband eintaucht und dort verbleibt.

5 Durch das erfindungsgemäße Verfahren ist ein Verfahren zur automatischen Adaption des Verstärkungsfaktors des PI-Reglers realisiert, wobei während des Betriebs der technischen Anlage abhängig vom Verhalten des Istwerts der Regelgröße der Verstärkungsfaktor automatisch so lange verändert wird, bis er zu einem gewünschten Regelverhalten der geregelten Komponente  
10 führt. Eine erneute Veränderung des Verstärkungsfaktors erfolgt nur, wenn sich der Istwert der Regelgröße wieder Wertmäßig vom Toleranzband entfernt. Die laufende Veränderung des Verstärkungsfaktors kann beispielsweise mittels einer schrittweisen Veränderung des aktuellen Werts des Verstärkungsfaktors um einen festgelegten Betrag erfolgen.  
15

Der Reglerparameter Nachstellzeit wird beim erfindungsgemäßen Verfahren vorab festgelegt, während des Betriebs der technischen Anlage also nicht laufend verändert.  
20

Untersuchungen von geregelten Strecken haben gezeigt, dass ein Vorab-Einstellen des Reglerparameters Nachstellzeit meist ausreichend ist, um ein gutes, gewünschtes Regelverhalten der geregelten Strecke zu erzielen. Es ist also nicht erforderlich, zur Erzielung eines guten Regelergebnisses während des Betriebs der technischen Anlage auch den Reglerparameter Nachstellzeit laufend zu verändern. Dies hat u.a. den Vorteil, dass die Dynamik der geregelten Strecke, z.B. für weitergehende Untersuchungen oder Testzwecke, leichter beschreib- und modellierbar ist, da sich das dynamische Verhalten des PI-Reglers infolge der einmal vorab festgelegten Nachstellzeit nicht verändert und eine entsprechende beispielsweise mathematische Beschreibung der geregelten Strecke einfach angebbbar und handhabbar ist.  
30  
35

Vorteilhaft wird die Nachstellzeit aus Streckenzeitkonstanten, insbesondere aus der Summe der Streckenzeitkonstanten, der zu regelnden Komponente bestimmt.

- 5 Die Streckenzeitkonstanten einer zu regelnden Strecke haben Einfluss auf die Geschwindigkeit, mit welcher die Strecke auf eine Änderung mindestens eines ihrer Eingangssignale mit einer Änderung mindestens eines ihrer Ausgangssignale reagiert. Nahezu jede praktisch vorkommende Regelstrecke ist mit einer
- 10 sogenannten Verzögerung behaftet, umfasst in ihrer korrespondierenden mathematischen Modellgleichung also mindestens eine Streckenzeitkonstante. Beispielsweise umfasst eine Regelstrecke, welche durch eine mathematische Modellgleichung dritter Ordnung beschrieben werden kann, drei Streckenzeitkonstanten.
- 15 Eine Kenntnis der Werte der Streckenzeitkonstanten für eine betrachtete Regelstrecke ermöglicht eine gute Abschätzung der Verzögerung der Regelstrecke.

Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Summe der Streckenzeitkonstanten der zu regelnden Strecke gebildet wird und die

20 Nachstellzeit mittels dieser Summe bestimmt und insbesondere als ein Vielfaches dieser Summe eingestellt wird. Vorteilhaft bewegt sich dieses Vielfache im Bereich zwischen 0,1 und 2,5.

- 25 In vielen praktisch vorkommenden Fällen haben Versuche gezeigt, dass ein Vielfaches mit einem Wert von etwa 1,5 zu guten Ergebnissen führt, dass also die Nachstellzeit des PI-Reglers in diesen Fällen vorteilhaft auf einen Wert einzustellen ist, der dem Eineinhalbfachen der Summe der Streckenzeitkonstanten entspricht. Des Weiteren haben Vielfache mit
- 30 einem Wert von etwa 0,7 ebenfalls zu guten Ergebnissen geführt, dass also die Nachstellzeit des PI-Reglers in derartigen Fällen vorteilhaft auf einen Wert einzustellen ist, der 70 % der Summe der Streckenzeitkonstanten entspricht. Dabei
- 35 ist jedoch zu beachten, dass mit steigendem Wert für das genannte Vielfache der I-Anteil des PI-Reglers immer weniger wirkt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird der Verstärkungsfaktor in Schritt 4 des erfindungsgemäßen Verfahrens erniedrigt, wenn der zeitliche Verlauf des Istwerts eine Verweil-Zeit, während welcher der Istwert einen Wert innerhalb des Toleranzbandes aufweist, kleiner ist als ein erster vorgegebener Zeitraum.

Bei dieser Ausführungsform sollen insbesondere Schwingungen im zeitlichen Verhalten des Istwerts erkannt werden, welche sich insbesondere dadurch zeigen, dass der Istwert zwar während des Regelvorgangs einen Wert innerhalb des Toleranzbandes annimmt, das Toleranzband aber wieder verlässt und erst später wieder in das Toleranzband ein- und wieder austritt. Es wird nun die Verweil-Zeit bestimmt, während welcher sich der schwingende Istwert innerhalb des Toleranzbandes bewegt, bevor er wieder aus diesem austritt. Je kürzer diese Verweil-Zeit ist, desto schneller ändert sich der Istwert im Verlauf der Zeit, so dass in einem derartigen Fall der Verstärkungsfaktor des PI-Reglers zu verringern ist, um den Istwert während des Betriebs der technischen Anlage im Toleranzband zu belassen. Ist die Verweil-Zeit kleiner als der erste vorgegebene Zeitraum, so wird von einer zu starken Schwingung des Istwerts ausgegangen (der Istwert geht „zu schnell“ durch das Toleranzband hindurch) und der Verstärkungsfaktor verringert, so dass ein derartiges, nicht tolerables Überschwingen des Istwerts über die Grenzen des Toleranzbands hinaus verhindert wird.

Der erste vorgegebene Zeitraum kann beispielsweise in Abhängigkeit von den Werten der Streckenzeitkonstanten, insbesondere in Abhängigkeit vom Wert der Summe der Streckenzeitkonstanten, bestimmt werden. So kann beim oben genannten Vergleich die Verweil-Zeit des Istwerts in eine technisch sinnvolle Relation zur Verzögerung der Regelstrecke (beschrieben durch die Streckenzeitkonstanten) gesetzt werden, da eine absolute Definition darüber, was eine zu starke Schwingung ist,

nicht angegeben werden kann. Beispielsweise kann eine Temperaturänderung innerhalb weniger Minuten einen schnellen Vorgang bezeichnen, wohingegen eine Druckänderung innerhalb weniger Minuten meist einen eher trägen Vorgang charakterisiert.

Vorteilhaft wird in Schritt 4 der Verstärkungsfaktor nur dann erniedrigt, wenn zusätzlich eine erste Änderungsgeschwindigkeit des Istwerts größer ist als eine zweite Änderungsgeschwindigkeit des Sollwerts.

Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung wird dem Umstand Rechnung getragen, dass der Sollwert nicht nur eine konstante Größe, sondern auch eine veränderliche, insbesondere schwankende und/oder schwingende Größe, umfassen kann. Derart sich verändernde Werte des Sollwerts während des Regelvorgangs würden ebenso wie ein falsch eingestellter Wert des Verstärkungsfaktors zu Schwankungen und/oder Schwingungen des Istwerts der Regelgröße führen. Jedoch sind solche Schwankungen und/oder Schwingungen des Istwerts bei einem ebenfalls schwankenden und/oder schwingenden Wert des korrespondierenden Sollwerts sogar gewünscht, da der Istwert der Regelgröße dem Sollwert der Regelgröße während des Regelvorgangs möglichst gut folgen soll.

Um in einem derartigen Fall ein (unerwünschtes) Erniedrigen des Verstärkungsfaktors verursacht durch einen schwankenden Istwert zu verhindern, ist es bei dieser Ausführungsform vorgesehen, eine erste Änderungsgeschwindigkeit des Istwerts sowie eine zweite Änderungsgeschwindigkeit des Sollwerts zu ermitteln, um aus dem Vergleich dieser beiden Geschwindigkeiten dann schließlich festzulegen, ob der Verstärkungsfaktor zu erniedrigen ist oder nicht.

Wenn sich der Istwert schneller ändert als der Sollwert (die erste Änderungsgeschwindigkeit ist in diesem Falle größer als die zweite Änderungsgeschwindigkeit), so ist der Verstär-

kungsfaktor zu erniedrigen, da in diesem Fall die Schwankungen des Istwerts nicht allein durch einen schwankenden Sollwert bedingt sind, sondern durch einen wertmäßig zu groß eingestellten Verstärkungsfaktor.

5

Im anderen Fall, wenn sich der Wert des Istwerts weniger schnell ändert als der Wert des Sollwerts, so wird der Verstärkungsfaktor nicht erniedrigt, da davon auszugehen ist, dass die Schwankungen des Istwerts in diesem Falle hauptsächlich verursacht sind durch Schwankungen des Sollwerts und von daher eine Erniedrigung des Verstärkungsfaktors nicht notwendig und dem Regelerfolg auch nicht dienlich ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung wird in Schritt 4 des erfindungsgemäßen Verfahrens der Verstärkungsfaktor erhöht, wenn der zeitliche Verlauf des Istwerts eine Anstiegszeit, welche den Zeitraum von Beginn einer Änderung des Sollwerts bis zum Erreichen eines momentanen Werts des Istwerts innerhalb des Toleranzbandes umfasst, aufweist, welche größer ist als ein zweiter vorgegebener Zeitraum.

Bei dieser Ausführungsform wird der Verstärkungsfaktor vergrößert, wenn die Reaktion der Regelstrecke auf eine Änderung des Sollwerts zu langsam ist. Dazu wird die genannte Anstiegszeit des Istwerts bestimmt, welche dem Zeitraum entspricht zwischen einer Änderung des Sollwerts und einem erstmaligen Erreichen eines Wertes innerhalb des Toleranzbandes durch den Istwert. Die Anstiegszeit ist also ein Maß dafür, wie schnell der Istwert der Regelstrecke auf eine Änderung des Sollwerts, insbesondere auf eine sprunghafte Änderung, reagiert und einen (gewünschten) Wert innerhalb des Toleranzbands bezüglich des Sollwerts erreicht. Der zweite vorgegebene Zeitraum dient als Kriterium, wann die Anstiegszeit des Istwerts als zu groß, die Reaktion der Regelstrecke auf eine Änderung des Sollwerts also als zu langsam anzusehen ist. Vorteilhaft wird dieser zweite vorgegebene Zeitraum bestimmt

aus den Streckenzeitkonstanten der zu regelnden Komponente, insbesondere aus der Summe der Streckenzeitkonstanten. So wird die Anstiegszeit in Relation zur Verzögerung der Regelstrecke gesetzt, so dass eine Definition dessen, was als zu langsame Reaktion der Regelstrecke anzusehen ist, in einen sinnvollen technischen Zusammenhang mit zur Verzögerung der Regelstrecke gesetzt werden kann.

Die Erfindung führt weiterhin zu einem Regler zur Regelung mindestens einer Komponente einer technischen Anlage, welcher als PI-Regler ausgebildet ist und als Reglerparameter einen Verstärkungsfaktor und eine Nachstellzeit umfasst, wobei der Regler mindestens folgende Reglerkomponenten aufweist:

1. Einen ersten Reglereingang, mittels welchem der Regler mit einem vorgegebenen Wert für die Nachstellzeit beaufschlagbar ist,
2. einen zweiten Reglereingang, mittels welchem der Regler mit dem Verstärkungsfaktor beaufschlagbar ist,
3. einen dritten Reglereingang, mittels welchem der Regler mit einem Sollwert einer Regelgröße der Komponente beaufschlagbar ist, und
4. eine Adaptionseinheit, mittels welcher während des Betriebs der technischen Anlage laufend der Istwert der Regelgröße bestimmbar und der Verstärkungsfaktor in Abhängigkeit vom zeitlichen Verhalten des Istwerts veränderbar ist, bis der Istwert der Regelgröße innerhalb eines Toleranzbandes bezüglich des Sollwerts verbleibt.

Vorteilhaft ist die Nachstellzeit bestimmt aus Streckenzeitkonstanten, insbesondere aus der Summe der Streckenzeitkonstanten, der zu regelnden Komponente.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist der Verstärkungsfaktor mittels der Adaptionseinheit erniedrigt, wenn der zeitliche Verlauf des Istwerts eine Verweil-Zeit, während der Ist-

wert einen Wert innerhalb des Toleranzbandes annimmt, aufweist, die kleiner ist als ein erster vorgegebener Zeitraum.

Vorteilhaft ist der Verstärkungsfaktor mittels der Adaptions-  
5 einheit nur dann erniedrigt, wenn zusätzlich eine erste Änderungsgeschwindigkeit des Istwerts größer ist als eine zweite Änderungsgeschwindigkeit des Sollwerts.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung  
10 ist der Verstärkungsfaktor mittels der Adaptionseinheit erhöht, wenn der zeitliche Verlauf des Istwerts eine Anstiegszeit, welche den Zeitraum von Beginn einer Änderung des Sollwerts bis zum Erreichen eines momentanen Werts des Istwerts innerhalb des Toleranzbandes umfasst, aufweist, welche größer  
15 ist als ein zweiter vorgegebener Zeitraum.

Die im Zusammenhang mit der Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens gemachten Erläuterungen und Hinweise sowie die dargestellten Vorteile sind sinngemäß auf einen erfindungsgemäßen Regler sowie dessen Ausführungsformen anwendbar und  
20 werden daher an dieser Stelle nicht wiederholt.

Im Folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung näher dargestellt.

25

Es zeigen:

FIG 1 die graphische Darstellung eines beispielhaften  
Verlaufs für den Istwert, wobei zum Einsatz bei der  
30 Erfindung als Kenngrößen eine Verweil-Zeit sowie ein erster vorgegebener Zeitraum angegeben sind,  
FIG 2 beispielhafte Verläufe von Soll- und Istwert, wobei  
beide Größen eine Schwingung aufweisen und zum Ein-  
satz bei der Erfindung Kenngrößen zur Bestimmung  
35 der Änderungsgeschwindigkeit von Soll- und Istwert eingezeichnet sind,

- FIG 3 einen weiteren beispielhaften zeitlichen Verlauf des Istwerts, wobei zum Einsatz bei der Erfindung als Kenngrößen eine Anstiegszeit sowie ein zweiter vorgegebener Zeitraum angegeben sind, und
- 5 FIG 4 einen erfindungsgemäßen Regler.

In FIG 1 ist beispielhaft der zeitliche Verlauf eines Istwerts I dargestellt, welcher eine Schwingung aufweist und einen vorgegebenen Sollwert S auch über einen längeren Zeitraum nicht genügend gut annähert, sich also insbesondere nicht innerhalb eines Toleranzbandes  $T_b$  bewegt.

Die Darstellung der FIG 1 soll das zeitliche Verhalten von Soll- und Istwert einer geregelten Komponente einer technischen Anlage zeigen. Zum Zeitpunkt  $t = 50$  (beispielsweise  $t = 50$  Sek.) ändert sich der Sollwert S sprunghaft von  $S = 0$  auf  $S = 1$  und bleibt ab dem Zeitpunkt  $t = 50$  konstant. Bei einem geregelten System ist anzustreben, dass der Istwert I der zugehörigen Regelgröße dem zeitlichen Verlauf des Sollwerts S möglichst gut folgt, wobei zum einen der Sollwert S möglichst schnell erreicht werden soll, zum anderen aber auch ein zu starkes Über- und Unterschwingen des Istwerts I bezüglich des Sollwerts S vermieden werden muss, um ein stabiles, geregeltes System zu erhalten. Insbesondere ist zu vermeiden, dass der Istwert I Schwingungen aufweist, welche im Lauf der Zeit nicht abklingen und/oder deren Amplitude Werte aufweist, welche nicht innerhalb des Toleranzbandes  $T_b$  liegen oder dieses sogar weit überragen. Das Toleranzband  $T_b$  ist dem jeweiligen konkreten Einsatzbereich anzupassen und soll eine zulässige Abweichung des Istwerts I vom gewünschten Sollwert S während des Regelvorgangs widerspiegeln.

Die Grenzen des Toleranzbands  $T_b$  müssen dabei bezüglich des Sollwerts S nicht symmetrisch sein; sie können vielmehr den Erfordernissen eines konkreten Anwendungsfalls angepasst werden.

Im Beispiel der FIG 1 kann aus dem zeitlichen Verhalten des Istwerts I geschlossen werden, dass der Verstärkungsfaktor  $K_p$  der zugrundeliegenden geregelten Komponente zu groß gewählt wurde, dass also der eingesetzte PI-Regler insbesondere auf  
5 eine durch die Differenz des Soll- und Istwerts bestimmte Regelabweichung mit einer zu großen Proportionalverstärkung reagiert, was zu der in FIG 1 beispielhaft illustrierten unerwünschten Schwingung des Istwerts I führt.

10 Um eine stabile Regelung zu erhalten, insbesondere, um die Anforderung an den zeitlichen Verlauf des Istwerts bezüglich des Toleranzbandes  $T_b$  erfüllen zu können, ist es erforderlich und bei der Erfindung vorgesehen, den Verstärkungsfaktor  $K_p$  laufend zu verändern, bis der Ist-Wert I der Regelgröße innerhalb des Toleranzbands  $T_b$  verbleibt. Im vorliegenden Bei-  
15 spiel ist der Verstärkungsfaktor  $K_p$  zu erniedrigen. Dies ist insbesondere deshalb angezeigt, da eine Verweil-Zeit  $T_{11}$  kleiner ist als ein erster vorgegebener Zeitraum  $T_1$ . Man kann dies dahingehend interpretieren, dass der Istwert I während  
20 seines zeitlichen Verlaufs „zu schnell“ durch das Toleranzband  $T_b$  hindurch tritt, was auf eine unerwünschte Schwingung des Istwerts I schließen lässt. Der Vergleichszeitraum (erster vorgegebener Zeitraum  $T_1$ ) wird dabei vorteilhaft mittels der Streckenzeitkonstanten der zu regelnden Komponente ermit-  
25 telt, so dass der Tatsache Rechnung getragen werden kann, dass der vorher genannte Begriff „zu schnell“ relativ zur systembedingten Verzögerung der zu regelnden Komponente definiert werden sollte.

30 Die laufende Erniedrigung des Verstärkungsfaktors  $K_p$  wird beendet, sobald der zeitliche Verlauf des Istwerts sich im Toleranzband  $T_b$  bewegt und in diesem verbleibt. Alternativ oder in Ergänzung kann die Erniedrigung des Verstärkungsfaktors  $K_p$  durch Multiplikation mit einem konstanten Wert zwischen 0 und  
35 1 erfolgen und zwar jedes mal dann, wenn der aktuelle Istwert durch das Toleranzband hindurch getreten ist.

In FIG 2 sind die zeitlichen Verläufe von Sollwert S und Istwert I dargestellt, wobei der Sollwert S eine Schwingung aufweist, also insbesondere im Unterschied zur FIG 1 keine Bereiche konstanten Verlaufs aufweist.

5

Infolgedessen weist auch der Istwert I, welcher dem zeitlichen Verlauf des Sollwerts S möglichst gut folgen soll, ein schwingendes Verhalten auf.

10 In diesem Beispiel ist aus der Schwingung des Istwerts I nicht zwangsläufig zu schließen, dass der Verstärkungsfaktor  $K_p$  des eingesetzten PI-Reglers zu groß eingestellt ist und deshalb die Schwingung des Istwerts I verursacht ist. Eine  
15 Erniedrigung des Verstärkungsfaktors  $K_p$  in einem derartigen Fall könnte zu einem völlig unbefriedigenden Regelverhalten führen.

Es ist vielmehr zu prüfen, ob der momentan eingestellte Wert des Verstärkungsfaktors  $K_p$  für die Schwingung des Istwerts I  
20 verantwortlich ist, oder ob die Schwingung des Istwerts I lediglich verursacht ist durch das gewünschte Folgen des Istwerts I in Bezug auf den im Beispiel der FIG 2 schwingenden Sollwert S.

25 Der Verstärkungsfaktor  $K_p$  soll nur dann erniedrigt werden, wenn sich der Istwert I schneller ändert als der Sollwert S.

Zur Bestimmung der genannten Änderungsgeschwindigkeiten von Sollwert S und Istwert I sind in der FIG 2 beispielhaft bezüglich eines Bezugszeitraums  $\Delta t$  die Änderung  $\Delta S$  des Sollwerts S während des Bezugszeitraums  $\Delta t$  sowie die Änderung  $\Delta I$   
30 des Istwerts I dargestellt. Der Quotient aus  $\Delta S$  und  $\Delta t$  bzw.  $\Delta I$  und  $\Delta t$  ermöglicht eine Ermittlung der genannten Änderungsgeschwindigkeiten von Istwert I und Sollwert S.

35

Im Beispiel der FIG 2 ist die Änderungsgeschwindigkeit des Istwerts I (erste Änderungsgeschwindigkeit) kleiner als die

Änderungsgeschwindigkeit des Sollwert  $S$  (zweite Änderungsgeschwindigkeit). Es kann daher darauf geschlossen werden, dass die Schwingungen des Istwerts  $I$  zurückzuführen sind auf Schwingungen des Sollwert  $S$ , so dass im vorliegenden Fall der Verstärkungsfaktor  $K_p$  des eingesetzten PI-Reglers nicht zu erniedrigen ist.

In FIG 3 ist beispielhaft der zeitliche Verlauf des Istwerts  $I$  dargestellt, wobei dieser den vorgegebenen Sollwert  $S$  nur relativ langsam erreicht.

Bei einem derartigen zeitlichen Verhalten des Istwerts  $I$  kann darauf geschlossen werden, dass der Verstärkungsfaktor  $K_p$  des eingesetzten PI-Reglers zu klein eingestellt ist, dass also der PI-Regler mit einer zu kleinen Proportionalverstärkung auf die Differenz zwischen Soll- und Istwert (Regelabweichung) reagiert.

Um festzustellen, ob der zeitliche Verlauf des Istwerts  $I$  dem Sollwert  $S$  zu langsam folgt und der Verstärkungsfaktor  $K_p$  daher zu erhöhen ist, sind im Beispiel der FIG 3 Kenngrößen eingezeichnet, nämlich eine Anstiegszeit  $T_{22}$  und ein zweiter vorgegebener Zeitraum  $T_2$ .

Die Anstiegszeit  $T_{22}$  umfasst dabei den Zeitraum von Beginn einer Änderung des Sollwerts  $S$  bis zum Erreichen eines momentanen Werts des Istwerts  $I$  innerhalb des Toleranzbands. Wenn diese Anstiegszeit  $T_{22}$  größer ist als der zweite vorgegebene Zeitraum  $T_2$ , dann reagiert die mittels eines PI-Reglers geregelte Komponente auf eine Sollwertänderung zu langsam und der Verstärkungsfaktor  $K_p$  ist zu erhöhen.

Vorteilhaft wird der zweite vorgegebene Zeitraum  $T_2$  aus den Streckenzeitkonstanten der zu regelnden Komponente ermittelt, so dass in Abhängigkeit von der systembedingten Verzögerung der zu regelnden Komponente (Regelstrecke) technisch richtig

beurteilt werden kann, ob die Anstiegszeit  $T_{22}$  des Istwerts  $I$  zu groß und der Verstärkungsfaktor  $K_p$  daher zu erhöhen ist.

Die laufende Erhöhung des Verstärkungsfaktors  $K_p$  im Falle der  
5 FIG 3 erfolgt solange, bis der Istwert  $I$  innerhalb des Toleranzbands  $T_b$  verbleibt.

FIG 4 zeigt einen erfindungsgemäßen Regler  $R$ .

10 Der Regler  $R$  dient zur Regelung mindestens einer Komponente einer technischen Anlage und ist als PI-Regler ausgebildet.

Der Regler  $R$  umfasst als Reglerparameter einen Verstärkungsfaktor  $K_p$  und eine Nachstellzeit  $T_n$ .

15

Ein erster Reglereingang  $E_1$  ist mit einer vorgegebenen Nachstellzeit  $T_n$  beaufschlagbar.

20

Einem zweiten Reglereingang  $E_2$  ist der Verstärkungsfaktor  $K_p$  zuführbar und ein dritter Reglereingang  $E_3$  dient dem Erfassen eines Sollwerts  $S$  einer Regelgröße der Komponente.

25

Der Regler  $R$  weist außerdem eine Adaptionseinheit  $A$ , mittels welcher während des Betriebs der technischen Anlage laufend der Istwert  $I$  der Regelgröße bestimmbar und der Verstärkungsfaktor  $K_p$  in Abhängigkeit vom zeitlichen Verhalten des Istwerts  $I$  veränderbar ist, bis der Istwert  $I$  der Regelgröße innerhalb eines Toleranzbandes  $T_b$  bezüglich des Sollwert  $S$  verbleibt.

30

Zum Beginn des Regelvorgangs wird der Eingang  $E_2$  mit einem Anfangswert  $K_{p0}$  für den Verstärkungsfaktor  $K_p$  beaufschlagt. Dieser Anfangswert  $K_{p0}$  wird dann während des Regelvorgangs laufend in Abhängigkeit vom zeitlichen Verhalten des Istwerts  
35 verändert, bis der Istwert  $I$  der Regelgröße innerhalb eines Toleranzbandes  $T_b$  bezüglich des Sollwert  $S$  verbleibt. Der Regler  $R$  umfasst weiterhin einen Reglerausgang  $Y$ , welcher ei-

ne Stellgröße liefert, mittels welcher die zu regelnde Komponente angesteuert wird, um ein gewünschtes Verhalten des Istwerts  $I$  zu erreichen.

5 Es sei darauf hingewiesen, dass die Begriffe Reglereingang ( $E_1, E_2, E_3$ ) nicht einschränkend dahingehend auszulegen sind, dass bei einem erfindungsgemäßen Regler ein physikalischer Anschluss vorliegen muss, an welchen die genannten Größen anzulegen sind.

10

Der Begriff Reglereingang soll vielmehr alle Mittel umfassen, mittels welchen der PI-Regler mit den genannten Größen versorgt werden kann.

15 Im Falle einer analogen Realisierung des PI-Regler, beispielsweise mittels beschalteter Operationsverstärker, soll der Begriff Reglereingang alle Beschaltungsmöglichkeiten des Operationsverstärkers mittels elektronischer Bauelemente umfassen, welche in ihrer Zusammenschaltung einen bestimmten  
20 Wert für mindestens eine der Größen  $T_n$  und  $K_p$  realisieren.

Im Falle einer digitalen Realisierung des PI-Reglers, beispielsweise auf einem Digitalrechner, soll der Begriff Reglereingang alle Speicherbereiche umfassen, in welche Werte  
25 für die Reglerparameter  $T_n$  und  $K_p$  geschrieben und/oder aus welchen diese Werte ausgelesen werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung mindestens einer Komponente einer  
5 technischen Anlage mittels eines PI-Reglers, welcher als  
Reglerparameter einen Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) und eine  
Nachstellzeit ( $T_n$ ) umfasst,  
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h folgende Schritte:  
a) die Nachstellzeit ( $T_n$ ) wird vorgegeben,  
10 b) ein Anfangswert ( $K_{p0}$ ) des Verstärkungsfaktors ( $K_p$ ) wird  
vorgegeben,  
c) mindestens ein Sollwert ( $S$ ) einer Regelgröße der Kompo-  
nente wird vorgegeben, und  
d) während des Betriebs der technischen Anlage wird lau-  
15 fend der Istwert ( $I$ ) der Regelgröße bestimmt und der  
Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) in Abhängigkeit vom zeitlichen  
Verhalten des Istwerts ( $I$ ) verändert, bis der Istwert  
( $I$ ) der Regelgröße innerhalb eines Toleranzbandes ( $T_b$ )  
bezüglich des Sollwertes ( $S$ ) verbleibt.  
20
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Nachstellzeit ( $T_n$ ) bestimmt wird aus Streckenzeitkon-  
stanten ( $K_1, K_2, \dots, K_3$ ), insbesondere aus der Summe der  
25 Streckenzeitkonstanten, der zu regelnden Komponente.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
in Schritt d) der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) erniedrigt wird,  
30 wenn der zeitliche Verlauf des Istwerts ( $I$ ) eine Verweil-  
Zeit ( $T_{11}$ ), während welcher der Istwert ( $I$ ) einen Wert in-  
nerhalb des Toleranzbandes aufweist, kleiner ist als ein  
erster vorgegebener Zeitraum ( $T_1$ ).
- 35 4. Verfahren nach Anspruch 3,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

in Schritt d) der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) nur dann erniedrigt wird, wenn zusätzlich eine erste Änderungsgeschwindigkeit ( $v_1$ ) des Istwerts ( $I$ ) größer ist als eine zweite Änderungsgeschwindigkeit ( $v_2$ ) des Sollwerts ( $S_0$ ).

5

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass in Schritt d) der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) erhöht wird, wenn der zeitliche Verlauf des Istwerts ( $I$ ) eine Anstiegszeit ( $T_{22}$ ), welche den Zeitraum von Beginn einer Änderung des Sollwerts ( $S$ ) bis zum Erreichen eines momentanen Werts des Istwerts ( $I$ ) innerhalb des Toleranzbandes umfasst, aufweist, welche größer ist als ein zweiter vorgegebener Zeitraum ( $T_2$ ).

15

6. Regler ( $R$ ) zur Regelung mindestens einer Komponente einer technischen Anlage, welcher als PI-Regler ausgebildet ist und als Reglerparameter einen Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) und eine Nachstellzeit ( $T_n$ ) umfasst,

20

gekennzeichnet durch

- einen ersten Reglereingang ( $E_1$ ), mittels welchem der Regler ( $R$ ) mit einem vorgegebenen Wert für die Nachstellzeit ( $T_n$ ) beaufschlagbar ist,

25

- einen zweiten Reglereingang ( $E_2$ ), mittels welchem der Regler ( $R$ ) mit dem Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) beaufschlagbar ist,

- einen dritten Reglereingang ( $E_3$ ), mittels welchem der Regler ( $R$ ) mit einem Sollwert ( $S$ ) einer Regelgröße der Komponente beaufschlagbar ist, und

30

- einer Adaptionseinheit ( $A$ ), welcher während des Betriebs der technischen Anlage laufend der Istwert ( $I$ ) der Regelgröße ( $U$ ) zugeführt und mittels welcher der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) in Abhängigkeit vom zeitlichen Verhalten des Istwerts ( $I$ ) laufend veränderbar ist, bis der Istwert ( $I$ ) der Regelgröße innerhalb eines Toleranzbandes ( $T_b$ ) bezüglich des Sollwertes ( $S$ ) verbleibt.

35

7. Regler nach Anspruch 6,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Nachstellzeit ( $T_n$ ) bestimmt ist aus Streckenzeitkon-  
stanten ( $K_1, K_2, \dots, K_3$ ), insbesondere aus der Summe der  
5 Streckenzeitkonstanten, der zu regelnden Komponente.
8. Regler nach Anspruch 6 oder 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) mittels der Adaptionseinheit  
10 ( $A$ ) erniedrigt ist, wenn der zeitliche Verlauf des Ist-  
werts ( $I$ ) eine Verweil-Zeit ( $T_{11}$ ), während welcher der  
Istwert ( $I$ ) einen Wert innerhalb des Toleranzbandes an-  
nimmt, aufweist, die kleiner ist als ein erster vorgegebe-  
ner Zeitraum ( $T_1$ ).
- 15 9. Regler nach Anspruch 8,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) mittels der Adaptionseinheit  
( $A$ ) nur dann erniedrigt ist, wenn zusätzlich eine erste  
20 Änderungsgeschwindigkeit ( $v_1$ ) des Istwerts ( $I$ ) größer ist  
als eine zweite Änderungsgeschwindigkeit ( $v_2$ ) des Soll-  
werts ( $S$ ).
10. Regler nach einem der Ansprüche 6 bis 9,  
25 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der Verstärkungsfaktor ( $K_p$ ) mittels der Adaptionseinheit  
( $A$ ) erhöht ist, wenn der zeitliche Verlauf des Istwerts  
( $I$ ) eine Anstiegszeit ( $T_{22}$ ), welche den Zeitraum von Be-  
ginn einer Änderung des Sollwerts ( $S$ ) bis zum Erreichen  
30 eines momentanen Werts des Istwerts ( $I$ ) innerhalb des To-  
leranzbandes umfasst, aufweist, welche größer ist als ein  
zweiter vorgegebener Zeitraum ( $T_2$ ).

1/2

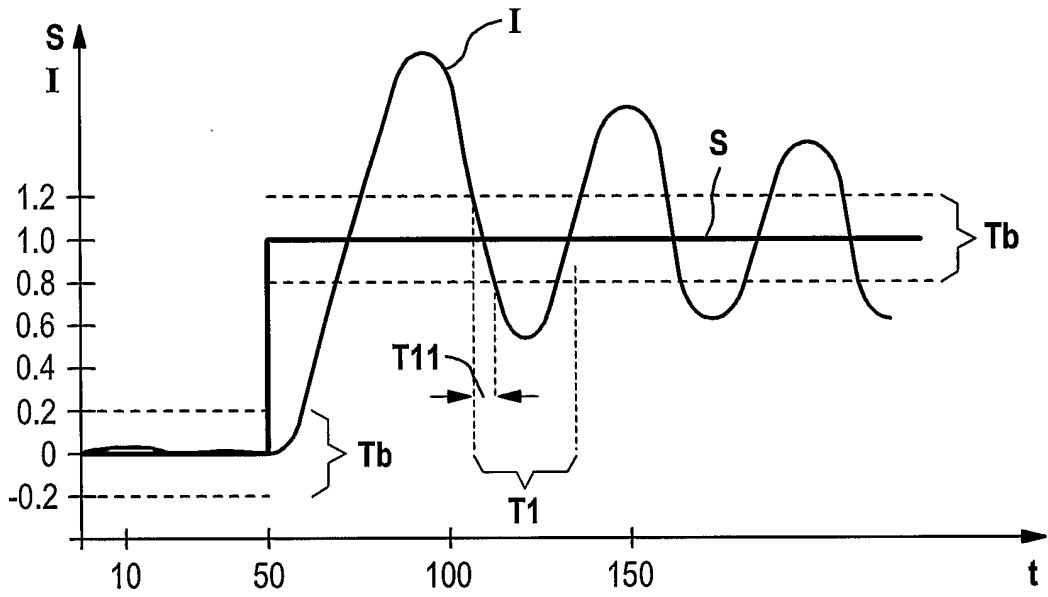


FIG 1

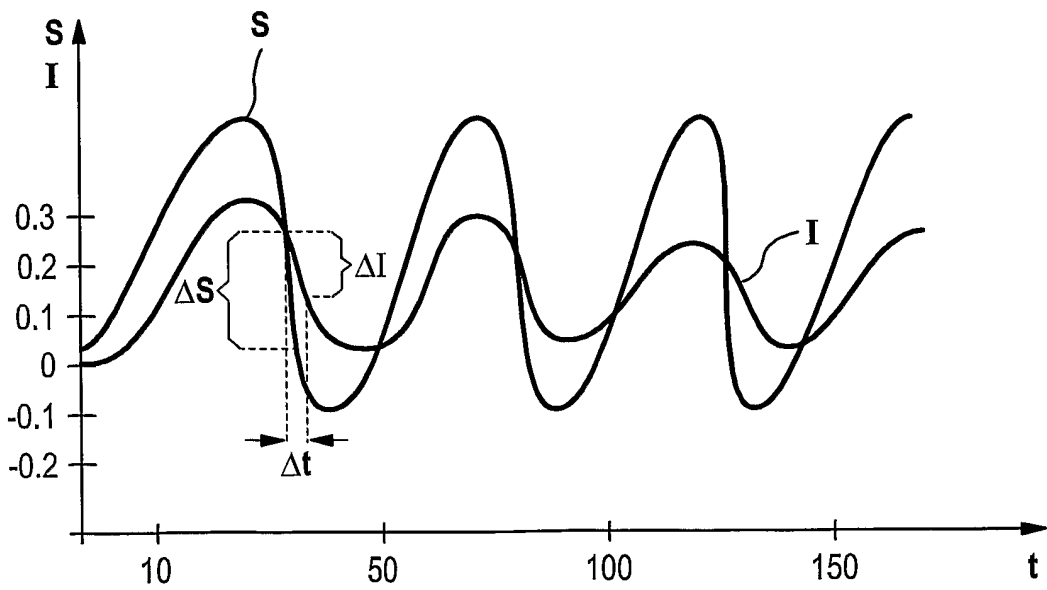


FIG 2

2/2

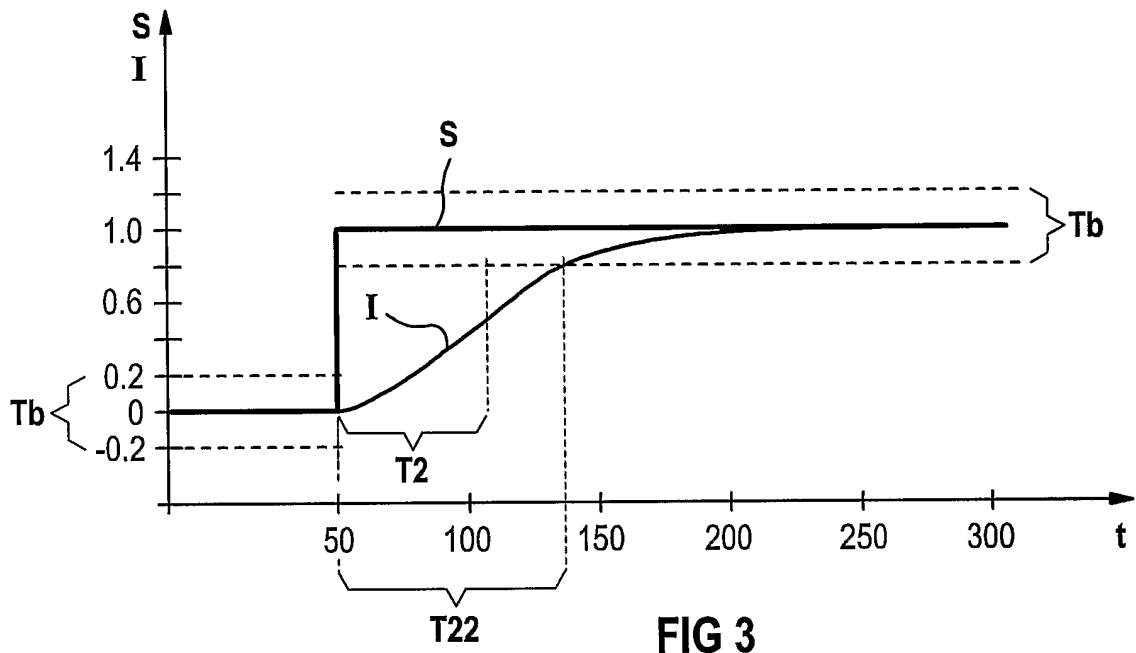


FIG 3

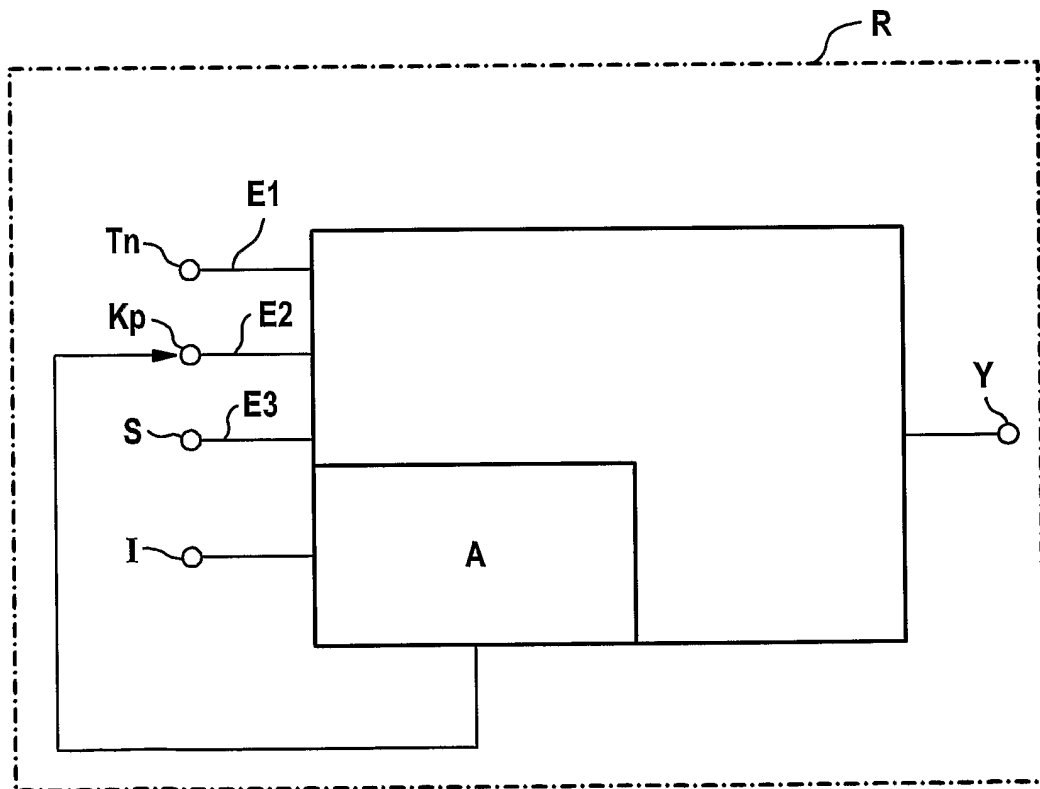


FIG 4

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Internat Application No  
PCT/DE 03/00793

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 G05B13/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  
WPI Data, PAJ, EPO-Internal

<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 798 426 A (BRISTOL E) 19 March 1974 (1974-03-19) abstract column 1, line 10 - line 26 column 1, line 47 - line 59 column 2, line 15 - line 59 column 6, line 3 -column 7, line 37 column 8, line 22 - line 50 column 9, line 36 -column 10, line 6 claims 1-33 figures 1-6	1,2,6,7
A	the whole document --- -/--	3-5,8-10

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  14 July 2003	Date of mailing of the international search report  25/07/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Pöllmann, H.M.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internal Application No

PCT/DE 03/00793

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 587 896 A (HANSEN PETER D ET AL) 24 December 1996 (1996-12-24) abstract column 1, line 1 -column 8, line 7 figures 1,2	1,2,6,7
A	the whole document ----	3-5,8-10
X	US 4 349 868 A (BROWN TROY L) 14 September 1982 (1982-09-14) abstract column 1, line 1 -column 2, line 22 column 7, line 47 -column 8, line 43 figures 2,5,6	1,2,6,7
A	the whole document ----	3-5,8-10
X	US 5 506 768 A (SEEM JOHN E ET AL) 9 April 1996 (1996-04-09) abstract column 1, line 65 -column 2, line 25 column 2, line 49 - line 54 column 3, line 23 - line 30 column 3, line 61 - line 67 column 4, line 34 -column 5, line 12 figures 1,4	1,2,6,7
A	the whole document ----	3-5,8-10
Y	DE 15 88 341 A (IBM) 9 April 1970 (1970-04-09) page 3, line 21 -page 5, line 7 claims 1,2 ----	1,2,6,7
Y	DE 36 36 512 A (WEISS DIETER) 28 April 1988 (1988-04-28) abstract column 2, line 10 -column 3, line 44 column 6, line 44 - line 68 figures 1-3 claims 1-9 -----	1,2,6,7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

tion on patent family members

International application No

PCT/DE U3/00793

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3798426	A	19-03-1974	NONE	
US 5587896	A	24-12-1996	US 5406474 A US 5394322 A	11-04-1995 28-02-1995
US 4349868	A	14-09-1982	JP 1378718 C JP 57039406 A JP 61048721 B	28-05-1987 04-03-1982 25-10-1986
US 5506768	A	09-04-1996	US 5355305 A US 5568377 A AU 660906 B2 AU 5725794 A CA 2125694 A1 DE 69311314 D1 DE 69311314 T2 EP 0628181 A1 ES 2103566 T3 JP 7502850 T JP 3370673 B2 MX 9306803 A1 WO 9410613 A1	11-10-1994 22-10-1996 06-07-1995 24-05-1994 11-05-1994 10-07-1997 09-10-1997 14-12-1994 16-09-1997 23-03-1995 27-01-2003 29-04-1994 11-05-1994
DE 1588341	A	09-04-1970	DE 1588341 A1 FR 1526562 A GB 1135508 A US 3458821 A	09-04-1970 28-10-1968 04-12-1968 29-07-1969
DE 3636512	A	28-04-1988	DE 3636512 A1	28-04-1988

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 G05B13/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, PAJ, EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 3 798 426 A (BRISTOL E) 19. März 1974 (1974-03-19) Zusammenfassung Spalte 1, Zeile 10 - Zeile 26 Spalte 1, Zeile 47 - Zeile 59 Spalte 2, Zeile 15 - Zeile 59 Spalte 6, Zeile 3 - Spalte 7, Zeile 37 Spalte 8, Zeile 22 - Zeile 50 Spalte 9, Zeile 36 - Spalte 10, Zeile 6 Ansprüche 1-33 Abbildungen 1-6	1, 2, 6, 7
A	das ganze Dokument --- -/--	3-5, 8-10

 Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&amp;\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. Juli 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

25/07/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Pöllmann, H.M.

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 587 896 A (HANSEN PETER D ET AL) 24. Dezember 1996 (1996-12-24) Zusammenfassung Spalte 1, Zeile 1 -Spalte 8, Zeile 7 Abbildungen 1,2	1,2,6,7
A	das ganze Dokument	3-5,8-10
X	US 4 349 868 A (BROWN TROY L) 14. September 1982 (1982-09-14) Zusammenfassung Spalte 1, Zeile 1 -Spalte 2, Zeile 22 Spalte 7, Zeile 47 -Spalte 8, Zeile 43 Abbildungen 2,5,6	1,2,6,7
A	das ganze Dokument	3-5,8-10
X	US 5 506 768 A (SEEM JOHN E ET AL) 9. April 1996 (1996-04-09) Zusammenfassung Spalte 1, Zeile 65 -Spalte 2, Zeile 25 Spalte 2, Zeile 49 - Zeile 54 Spalte 3, Zeile 23 - Zeile 30 Spalte 3, Zeile 61 - Zeile 67 Spalte 4, Zeile 34 -Spalte 5, Zeile 12 Abbildungen 1,4	1,2,6,7
A	das ganze Dokument	3-5,8-10
Y	DE 15 88 341 A (IBM) 9. April 1970 (1970-04-09) Seite 3, Zeile 21 -Seite 5, Zeile 7 Ansprüche 1,2	1,2,6,7
Y	DE 36 36 512 A (WEISS DIETER) 28. April 1988 (1988-04-28) Zusammenfassung Spalte 2, Zeile 10 -Spalte 3, Zeile 44 Spalte 6, Zeile 44 - Zeile 68 Abbildungen 1-3 Ansprüche 1-9	1,2,6,7

## INTERNATIONALER BECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung

zur selben Patentfamilie gehören

Internat. s Aktenzeichen

PCT/DE 03/00793

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3798426	A	19-03-1974	KEINE	
US 5587896	A	24-12-1996	US 5406474 A US 5394322 A	11-04-1995 28-02-1995
US 4349868	A	14-09-1982	JP 1378718 C JP 57039406 A JP 61048721 B	28-05-1987 04-03-1982 25-10-1986
US 5506768	A	09-04-1996	US 5355305 A US 5568377 A AU 660906 B2 AU 5725794 A CA 2125694 A1 DE 69311314 D1 DE 69311314 T2 EP 0628181 A1 ES 2103566 T3 JP 7502850 T JP 3370673 B2 MX 9306803 A1 WO 9410613 A1	11-10-1994 22-10-1996 06-07-1995 24-05-1994 11-05-1994 10-07-1997 09-10-1997 14-12-1994 16-09-1997 23-03-1995 27-01-2003 29-04-1994 11-05-1994
DE 1588341	A	09-04-1970	DE 1588341 A1 FR 1526562 A GB 1135508 A US 3458821 A	09-04-1970 28-10-1968 04-12-1968 29-07-1969
DE 3636512	A	28-04-1988	DE 3636512 A1	28-04-1988