



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
16.06.2010 Patentblatt 2010/24

(51) Int Cl.:
F24F 11/00 (2006.01) G05B 11/01 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **09405212.3**

(22) Anmeldetag: **03.12.2009**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

(72) Erfinder:
• **Krause, Felix**
79539 Lörrach (DE)
• **Bracher, Urs**
4056 Basel (CH)
• **Wemhöner, Carsten**
4102 Binningen (CH)

(30) Priorität: **09.12.2008 CH 19302008**

(71) Anmelder: **Fr. Sauter AG**
4016 Basel (CH)

(74) Vertreter: **Bollhalder, Renato**
BOHEST AG
Postfach 160
4003 Basel (CH)

(54) **Verfahren zur Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises**

(57) Bei einem Verfahren zur Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises (10) wird auf den HLK-Regelkreis (10) eine Relay-Feedback-Methode angewandt. Anschließend werden die Regelparameter des HLK-Regelkreises (10) mit Störversuchen im HLK-Regelkreis (10) mittels

einer Iteration optimiert. Mit der Relay-Feedback-Methode und den Störversuchen wird ermittelt, wie der HLK-Regelkreis (10) konkret auf diese Störversuche in seiner realen Umgebung reagiert und die Regelparameter werden entsprechend optimiert.

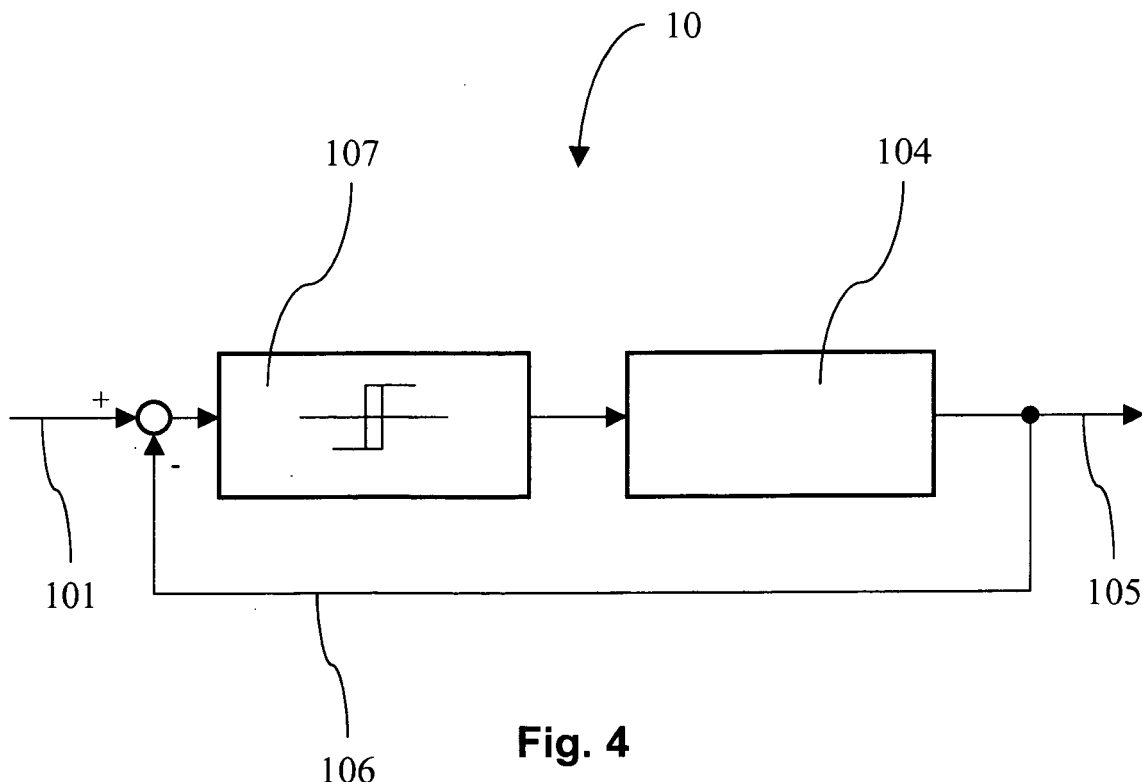


Fig. 4

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises.

[0002] HLK-Regelkreise werden beispielsweise in der Gebäudetechnik für die Regelung von Heizung (H), Lüftung (L) und Klima (K) eingesetzt. Der HLK-Regelkreis erhält von Sensoren, z. B. einem Temperatursensor, Informationen über derzeitige Istwerte und ermittelt anhand eingestellter Sollwerte Stellwerte, die an Aktoren, z. B. an einen Stellantrieb einer Heizung, übermittelt werden. Die Aktoren führen anhand der gelieferten Stellwerte notwendige Aktionen aus, um den eingestellten Sollwert zu erreichen. Der HLK-Regelkreis besitzt eine Regelgüte, die besagt, wie schnell und wie präzise der HLK-Regelkreis auf Änderungen in seinem Umfeld reagiert. Die Änderungen können beispielsweise durch eine sich ändernde Aussentemperatur oder durch einen neu eingestellten Sollwert eintreten. Die Regelgüte kann beispielsweise durch folgende Parameter charakterisiert werden: maximale Ausregelzeit, maximales Überschwingen und maximale bleibende Regelabweichung. Die maximale Ausregelzeit bezeichnet die maximale Zeit, welche verstreichen darf, bis der Istwert in eine Zone eingeschwungen ist, welche durch die maximale Regelabweichung definiert ist. Das maximale Überschwingen bezeichnet ein maximal erlaubtes Über- oder Unterschreiten des Sollwertes während des Regelvorganges. Die maximale Regelabweichung bezeichnet eine maximal erlaubte Abweichung des Istwerts vom Sollwert.

[0003] Der HLK-Regelkreis umfasst beispielsweise einen sogenannten PID-Regler, der ein proportional wirkendes P-Glied, ein integrierendes I-Glied und ein differenzierendes D-Glied umfasst. Jedes dieser Glieder ist durch seine Übertragungsfunktion und seinen Frequenzgang charakterisiert. Der PID-Regler weist für jedes seiner Glieder Regelparameter auf, die es bei einer Inbetriebnahme je nach geforderter Regelgüte einzustellen gilt.

[0004] Um die Regelparameter einstellen zu können, gibt es diverse Einstellregeln, wie z. B. die Einstellregeln nach Ziegler-Nichols. Da aber jedes Gebäude andere Eigenschaften aufweist und anderen Störeinflüssen unterworfen ist, gibt es keine allgemeine Standardeinstellung für die Regelparameter des HLK-Regelkreises. Somit werden bei einer Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises in einem Gebäude die Regelparameter vielfach manuell unter Zuhilfenahme von Erfahrungswerten eines Inbetriebnahmetechnikers eingestellt. Da eine solche manuelle Einstellung nicht alle Störeinflüsse gebührend berücksichtigen kann, müssten eigentlich je nach Jahreszeit manuelle Nacheinstellungen stattfinden, die aber aus Kostengründen selten bis nie vorgenommen werden. Somit sind die meisten HLK-Regelkreise suboptimal eingestellt.

[0005] Eine Einstellung nach den Ziegler-Nichols-Einstellregeln kann zur Folge haben, dass der HLK-Regelkreis zwar schnell, aber wenig stabil reagiert. Demzufol-

ge werden die Aktoren dauernd angesteuert und müssen öfters ausgetauscht werden, da deren Lebensdauer darunter leidet.

[0006] In einem Artikel "Advanced controller auto-tuning and its application in HVAC systems" von Qiang Bi et al. aus der Control Engineering Practice 8 (2000) 633-644 ist ein Auto-Tuning Verfahren beschrieben, bei dem die Regelparameter eines HLK-Regelkreises ermittelt werden, sowie dessen Umsetzung auf einer Datenverarbeitungsanlage. Beim beschriebenen Verfahren wird zuerst ein Identifikationsexperiment durchgeführt, welches ein Relay-Feedback Verfahren mit einem Sprungversuch umfasst. Anschliessend wird für das Streckenverhalten des HLK-Regelkreises ein Frequenzgang vorgegeben und anhand einer Regression aus den Messwerten des vorangegangenen Identifikationsexperiments werden u. a. mittels eines Least-Square Verfahrens Regelparameter des gewählten Frequenzganges identifiziert. Wird hierbei mit falschen Vorgaben gestartet, so werden falsche Regelparameter für den HLK-Regelkreis ermittelt. Bei der Umsetzung in der Datenverarbeitungsanlage werden verschiedene Module (Auto-Tuner, PID-Controller) implementiert, die dann je nach Betriebszustand selektiert und verwendet werden. Nach dem Auto-Tuning wird das PID-Controller-Modul mit den ermittelten Regelparametern selektiert, ohne eine Kontrolle der Regelgüte am geschlossenen HLK-Regelkreis vorgenommen zu haben.

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein optimiertes Verfahren vorzuschlagen, mit welchem ein HLK-Regelkreis auf einfache Weise, schnell und stabil in Betrieb genommen werden kann.

[0008] Diese Aufgabe wird durch das erfindungsgemässe Verfahren gelöst, wie es im unabhängigen Patentanspruch 1 definiert ist. Vorteilhafte Ausführungsvarianten ergeben sich aus den abhängigen Patentansprüchen.

[0009] Das Wesen der Erfindung besteht darin, dass beim erfindungsgemässen Verfahren zur Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises auf den HLK-Regelkreis eine Relay-Feedback-Methode angewandt wird und anschliessend die Regelparameter des HLK-Regelkreises mit Störversuchen im HLK-Regelkreis mittels einer Iteration optimiert werden.

[0010] Bei der Relay-Feedback-Methode wird durch eine Nichtlinearität im HLK-Regelkreis der HLK-Regelkreis mit Störversuchen angeregt. Mit diesen Störversuchen wird ermittelt, wie der in einem Gebäude installierte HLK-Regelkreis konkret auf diese Störversuche in seiner realen Umgebung reagiert. Durch die anschliessende Optimierung der Regelparameter des HLK-Regelkreises mit Störversuchen im HLK-Regelkreis können die Regelparameter ohne Zuhilfenahme von Erfahrungswerten eingestellt werden. Die Nichtlinearität kann zum Beispiel durch einen Zweipunktregler (Relay) realisiert werden. Der Zweipunktregler erzeugt dabei eine Pulsfunktion am Eingang einer Regelstrecke des HLK-Regelkreises, auf

welche die Regelstrecke mit einer Ausgangsfunktion antwortet, die annähernd sinusförmig verläuft und deren Amplitude und Frequenz von der Pulsfunktion abhängig sind.

[0011] Vorzugsweise wird beim erfindungsgemässen Verfahren bei der Relay-Feedback-Methode ein Zweipunktregler mit einer Hysterese eingesetzt. Der Einsatz eines Zweipunktreglers mit einer Hysterese verhindert ein durch Rauschen verursachtes, unerwünschtes Schwingen.

[0012] Mit Vorteil wird beim erfindungsgemässen Verfahren eine automatische Optimierung der Regelparameter durchgeführt. Diese automatische Optimierung der Regelparameter erfordert in der Regel keine Eingriffe durch den Inbetriebnahmetechniker und kann vollständig automatisch ablaufen.

[0013] Bevorzugt werden beim erfindungsgemässen Verfahren als Störversuche Schwing- und/oder Sprungversuche eingesetzt. Schwing- bzw. Sprungversuche erlauben eine einfache und schnelle Charakterisierung des HLK-Regelkreises in seiner realen Umgebung.

[0014] Vorteilhafterweise weist beim erfindungsgemässen Verfahren der HLK-Regelkreis einen Regler auf, der in einem Rechner einer Regelanlage implementiert ist. Der HLK-Regelkreis wird über ein Inbetriebnahmeprogramm so umprogrammiert, dass dem HLK-Regelkreis die für die Durchführung der Relay-Feedback-Methode und für die Optimierung der Regelparameter notwendigen Funktionalitäten hinzugefügt werden. Vorzugsweise wird der Regler eines HLK-Regelkreises als ausführbares HLK-Regelprogramm in einem Rechner implementiert, wobei der Rechner mit den Sensoren und den Aktoren verbunden ist. Das HLK-Regelprogramm wird so umprogrammiert, dass dem HLK-Regelkreis die für die Durchführung der Relay-Feedback-Methode und für die Optimierung der Regelparameter notwendigen Funktionalitäten hinzugefügt werden. Somit kann das Inbetriebnahmeprogramm in den HLK-Regelkreis eingreifen, Störversuche anregen und entsprechende Antworten aufzeichnen bzw. auswerten.

[0015] Bevorzugt wird beim erfindungsgemässen Verfahren der HLK-Regelkreis über die hinzugefügten Funktionalitäten mit den vom Inbetriebnahmeprogramm nach einem Ablaufplan vorgegebenen Störversuchen angeregt und werden entsprechende Antworten des HLK-Regelkreises vom Inbetriebnahmeprogramm ausgewertet. Das Inbetriebnahmeprogramm kann mit Hilfe der hinzugefügten Funktionalitäten die für die Durchführung der Relay-Feedback-Methode und die automatische Optimierung der Regelparameter erforderlichen Störversuche anhand eines Ablaufplanes durchführen und auswerten.

[0016] Vorzugsweise wird beim erfindungsgemässen Verfahren die Optimierung der Regelparameter des HLK-Regelkreises mittels einer Iteration mit mehreren Störversuchen durchgeführt. Es werden ausgehend von Startparametern, welche unter anderem die Regelgüte des HLK-Regelkreises definieren, in verschiedenen Ite-

rationsschritten verschiedene Störversuche durchgeführt, ausgewertet und anschliessend die Regelparameter für den jeweils nächsten Iterationsschritt modifiziert. Als Regelparameter für den ersten Iterationsschritt werden beispielsweise Regelparameter verwendet, die mittels den bereits erwähnten Ziegler-Nichols-Einstellregeln ermittelt wurden. Die Iterationsschritte können praktisch autonom ohne Eingreifen des Inbetriebnahmetechnikers ausgeführt werden. Eine Kontrollausgabe erlaubt dem Inbetriebnahmetechniker jedoch eine Kontrolle über die Durchführung der einzelnen Iterationsschritte und nötigenfalls auch einen Abbruch der automatischen Inbetriebnahme.

[0017] Mit Vorteil wird beim erfindungsgemässen Verfahren die Iteration so lange durchgeführt, wie für eine vorbestimmte Regelgüte notwendig ist oder bis eine vorbestimmte Anzahl an Iterationsschritten erreicht ist. Die vorbestimmte Regelgüte soll anlässlich der automatischen Inbetriebnahme so gut wie möglich erreicht werden. Es ist aber durchaus möglich, dass die vorbestimmte Regelgüte nicht erreicht werden kann, falls der Inbetriebnahmetechniker unrealistische Vorgaben für die Regelgüte gewählt hat. In diesem Fall wird die Iteration nach einer vorbestimmten Anzahl von Iterationsschritten abgebrochen. Das Resultat der Iteration wird auf der Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage angezeigt. Der Inbetriebnahmetechniker kann dann - falls notwendig - die Iteration mit geänderten Startparametern wiederholen. Beim erfindungsgemässen Verfahren werden Iteration und Optimierung im betroffenen HLK-Regelkreis durchgeführt und somit kann auch gleichzeitig eine Qualitätskontrolle bezüglich der erreichten Regelgüte vorgenommen werden.

[0018] Vorzugsweise wird beim erfindungsgemässen Verfahren vor den Störversuchen zuerst das Rauschniveau gemessen und werden anschliessend die Parameter für die Hysterese eingestellt. Die Hysterese filtert das ermittelte Rauschniveau heraus und ermöglicht Störversuche ohne Beeinträchtigung durch unerwünschtes Rauschen.

[0019] Vorteilhafterweise umfasst beim erfindungsgemässen Verfahren der Ablaufplan folgende Schritte in folgender Reihenfolge:

- Eingabe notwendiger Startparameter,
- Ermitteln des Rauschniveaus,
- Durchführen von Schwingversuchen, und
- Durchführen von Sprungversuchen.

[0020] Das Inbetriebnahmeprogramm verlangt vom Inbetriebnahmetechniker zuerst die Eingabe der Startparameter, welche unter anderem die Regelgüte spezifizieren. Anschliessend wird das Rauschniveau des HLK-Regelkreises in der realen Umgebung ermittelt. Mit Schwing- und Sprungversuchen werden dann iterativ die optimalen Regelparameter für den HLK-Regelkreis ermittelt.

[0021] Vorzugsweise umfassen beim erfindungsge-

müssen Verfahren die Startparameter folgende Parameter:

- minimaler Stellwert,
- maximaler Stellwert,
- erlaubtes Rauschen,
- maximale Ausregelzeit,
- maximales Überspringen, und
- maximale bleibende Regelabweichung.

Die Startparameter definieren unter anderem die Regelgüte. Der minimale bzw. maximale Stellwert ist abhängig von den eingesetzten Aktoren.

Bevorzugt umfasst beim erfindungsgemässen Verfahren der HLK-Regelkreis einen PID-Regler und werden die Regelparameter für den PID-Regler optimiert. Ein PID-Regler ist eine einfache und kostengünstige Realisation eines Reglers eines HLK-Regelkreises. Der PID-Regler umfasst ein proportional wirkendes P-Glied, ein integrierendes I-Glied und ein differenzierendes D-Glied. Das proportional wirkende P-Glied reagiert proportional zur Abweichung des Istwerts vom Sollwert, d. h. bei kleiner Abweichung antwortet der Regler mit einem entsprechend kleinen Stellwert, bei grosser Abweichung mit einem grossen Stellwert. Ein Problem bei einem reinen P-Betrieb liegt in einer bleibenden Abweichung des Istwerts vom Sollwert. Das I-Glied behebt die vom P-Glied verursachte Abweichung vom Sollwert. Das D-Glied schliesslich reduziert das Überspringen des HLK-Regelkreises im Vergleich zu einem HLK-Regelkreis, welcher nur aus einem P- und einem I-Glied besteht.

Vorzugsweise werden beim erfindungsgemässen Verfahren nach der Optimierung der Regelparameter diese im HLK-Regelkreis gespeichert und die hinzugefügten Funktionalitäten aus dem HLK-Regelkreis entfernt. Die ermittelten optimalen Regelparameter werden direkt im HLK-Regelkreis gespeichert. Damit ist die Inbetriebnahme abgeschlossen und der HLK-Regelkreis kann wie gewünscht seine Regeltätigkeit aufnehmen. Nach Abschluss der Inbetriebnahme werden die hinzugefügten Funktionalitäten wieder aus dem HLK-Regelkreis entfernt. Somit ist gewährleistet, dass diese Funktionalitäten nicht irgendwelche unerwünschte Nebenwirkungen nach der Inbetriebnahme verursachen. Vorteilhafterweise wird beim erfindungsgemässen Verfahren eine Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage mit dem Rechner verbunden, das Inbetriebnahmeprogramm auf der Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage ausgeführt und nach der Optimierung der Regelparameter die Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage von dem Rechner entfernt. Der Inbetriebnahmetechniker verbindet anlässlich der Inbetriebnahme die Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage, z. B. ein Notebook-PC, unter Zuhilfenahme beispielsweise einer Kabelverbindung mit dem Rechner, auf dem das HLK-Regelprogramm ausgeführt

wird. Die Kabelverbindung kann z. B. seriell oder als Netzwerkverbindung erfolgen. Während bei einer grösseren Regelanlage notwendige Ressourcen für das Ausführen des Inbetriebnahmeprogramms sowie eine Interaktion mit dem Inbetriebnahmetechniker möglicherweise bereits vorhanden sind und das Inbetriebnahmeprogramm darauf bereits installiert ist, können bei einer kleineren Regelanlage die Produktionskosten gesenkt werden, indem diese Ressourcen nur temporär durch den Inbetriebnahmetechniker für die eigentliche Inbetriebnahme mit der Regelanlage verbunden werden. Der Inbetriebnahmetechniker kann so die Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage für die Inbetriebnahme von weiteren HLK-Regelkreisen verwenden.

Im Folgenden wird das erfindungsgemässe Verfahren unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen anhand eines Ausführungsbeispiels detaillierter beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 - eine Darstellung der Situation bei einer Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises gemäss einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens;

Fig. 2 - ein Ausführungsbeispiel eines HLK-Regelkreises, dessen Regelparameter optimiert werden;

Fig. 3 - ein Ausführungsbeispiel eines PID-Reglers, wie er im HLK-Regelkreis gemäss Fig. 2 zur Anwendung gelangt;

Fig. 4 - den HLK-Regelkreis von Fig. 2 mit einem Zweipunktregler mit einer Hysterese;

Fig. 5 - ein Ablaufdiagramm des Ermitteln eines Rauschniveaus und der Durchführung von Schwingversuchen; und

Fig. 6 - ein Ablaufdiagramm der Sprungversuche zum iterativen Bestimmen der Regelparameter.

[0022] Fig. 1 stellt eine Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises 10 (siehe Fig. 2) gemäss einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemässen Verfahrens dar. Der HLK-Regelkreis 10 umfasst einen Regler 103 (siehe Fig. 2), welcher in einem Rechner 1 implementiert ist. Der Rechner 1 ist mit Sensoren 2, z. B. Temperatursensoren, verbunden, die Informationen über derzeitige Istwerte liefern. Der Regler 103 ermittelt anhand der Istwerte und eingestellter Sollwerte Stellwerte, die an Aktoren 3, welche mit dem Rechner 1 verbunden sind, übermittelt werden. Für die Inbetriebnahme verbindet ein Inbetriebnahmetechniker eine Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage 4, auf welchem ein Inbetriebnahmeprogramm 5 ausführbar ist, mittels einer Kabelverbindung 6 mit dem

Rechner 1.

[0023] Für die gesamte weitere Beschreibung gilt folgende Festlegung. Sind in einer Figur zum Zweck zeichnerischer Eindeutigkeit Bezugszeichen enthalten, aber im unmittelbar zugehörigen Beschreibungstext nicht erläutert, so wird auf deren Erwähnung in vorangehenden Figurenbeschreibungen Bezug genommen.

[0024] Fig. 2 zeigt den HLK-Regelkreis 10 in einer vereinfachten Darstellung. Der HLK-Regelkreis umfasst einen Regler 103 und eine Regelstrecke 104. Der Regler 103 erhält an seinem Eingang einen Fehlerwert 102, der als Differenz aus einem Istwert 105 und einem Sollwert 101 gebildet wird. Der Fehlerwert 102 wird vom Regler 103 verarbeitet und ein Stellwert wird an einen Aktor ausgegeben. Die Regelstrecke 104 reagiert ihrerseits auf die durch den Stellwert verursachte Änderung. Diese Änderung ergibt einen neuen Istwert 105, der wiederum via Rückkopplung 106 ausgewertet wird. Der Regler 103 kann z. B. ein PID-Regler 20 (siehe Fig. 3) sein.

[0025] Fig. 3 zeigt den PID-Regler 20, der ein proportional wirkendes P-Glied 201, ein integrierendes I-Glied 202 und ein differenzierendes D-Glied 203 umfasst. Jedes dieser Glieder ist durch seine Übertragungsfunktion und seinen Frequenzgang charakterisiert. Das proportional wirkende P-Glied 201 reagiert proportional zur Abweichung vom Istwert zum Sollwert, d. h. bei kleiner Abweichung antwortet der Regler mit einem entsprechend kleinen Stellwert, bei grosser Abweichung mit einem grossen Stellwert. Ein Problem bei einem reinen P-Betrieb liegt in einer bleibenden Abweichung vom Sollwert. Das I-Glied 202 behebt die vom P-Glied 201 verursachte Abweichung vom Sollwert. Das D-Glied 203 schliesslich reduziert das Überschwingen des HLK-Regelkreises im Vergleich zu einem HLK-Regelkreis, welcher nur aus einem P-Glied 201 und einem I-Glied 202 besteht. Der PID-Regler 20 weist für jedes seiner Glieder Regelparameter auf, die es bei einer Inbetriebnahme je nach geforderter Regelgüte einzustellen gilt. Die folgenden Regelparameter werden üblicherweise für den PID-Regler 20 verwendet: Proportionalbeiwert K_p für das P-Glied 201, Nachstellzeit T_n für das I-Glied 202 und Vorhaltezeit T_v für das D-Glied 203.

[0026] Verschiedene Einstellmethoden bzw. Einstellregeln sind im Stand der Technik bekannt, wie z. B. nach Ziegler-Nichols, nach Chien-Hrones-Reswick, nach Cohen-Coon oder nach Tyreus-Luyben. Diese Einstellregeln können beim erfindungsgemässen Verfahren zur Bestimmung der Startwerte für Iterationen herangezogen werden.

[0027] Beim erfindungsgemässen Verfahren wird mittels der Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage 4 und dem darauf ausführbaren Inbetriebnahmeprogramm 5 der HLK-Regelkreis 10 so umprogrammiert, dass dem HLK-Regelkreis 10 die für die Durchführung der Relay-Feedback-Methode und für die Optimierung der Regelparameter gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren notwendigen Funktionalitäten hinzugefügt werden. Bei dem in Fig. 4 gezeigten HLK-Regelkreis umfassen die

hinzugefügten Funktionalitäten einen Zweipunktregler 107 mit Hysterese, der den Regler 103 ersetzt. Der Zweipunktregler 107 mit Hysterese wird für die Durchführung der Relay-Feedback-Methode benötigt.

[0028] Beim erfindungsgemässen Verfahren wird der HLK-Regelkreis 10 über die hinzugefügten Funktionalitäten mit den vom Inbetriebnahmeprogramm 5 nach einem Ablaufplan vorgegebenen Störversuchen angeregt und entsprechende Antworten am Ausgang 105 des HLK-Regelkreises 10 vom Inbetriebnahmeprogramm 5 ausgewertet. Der Ablaufplan umfasst die folgenden Schritte in der folgenden Reihenfolge: in einem ersten Schritt sind Startparameter abhängig von der gewünschten Regelgüte (erlaubtes Rauschen, maximale Ausregelzeit, maximales Überschwingen und maximale bleibende Regelabweichung) und dem erlaubten Rauschen sowie abhängig von den verwendeten Aktoren (minimaler und maximaler Stellwert) vom Inbetriebnahmeprogramm einzugeben. Alternativ kann auch einfach nur SCHNELL oder STABIL gewählt werden und die Startparameter werden dann in Bezug auf bereits vorhandene Standardparameter ausgewählt. In einem zweiten Schritt wird gemäss des Ablaufdiagramms von Fig. 5 das Rauschniveau ermittelt, um die Hysterese des für die Relay-Feedback-Methode verwendeten Zweipunktreglers 107 einzustellen. Anschliessend werden in einem dritten Schritt Schwingversuche durchgeführt, um kritische Werte des HLK-Regelkreises 10 anhand der Relay-Feedback-Methode zu bestimmen. Anhand der kritischen Werte des HLK-Regelkreises können mittels der Ziegler-Nichols-Einstellregeln Startwerte für den abschliessenden vierten Schritt bestimmt werden. Dieser umfasst Sprungversuche, die anhand des in Fig. 6 gezeigten Ablaufdiagramms abgewickelt werden und durch systematisches Verändern von Amplituden- und Phasenreserve des HLK-Regelkreises ein stabileres oder schnelleres Regelverhalten erzielen. Da die Werte für die Regelparameter des PID-Reglers 20 zum Erreichen der vorgegebenen Regelgüte nicht direkt aus der Amplituden- und Phasenreserve abgeleitet werden können, wird eine Iteration von Sprungversuchen durchgeführt.

[0029] Der zweite Schritt des Ablaufplans - Ermitteln des Rauschniveaus - wird wie folgt durchgeführt: der PID-Regler 20 wird als reiner P-Regler mit einem hohen P-Band, d. h. mit einem niedrigen Proportionalbeiwert, z. B. $K_p = 0.001$ eingestellt. Durch das hohe P-Band wird der Einfluss des PID-Reglers 20 stark reduziert, so dass das Rauschniveau durch den PID-Regler 20 quasi unbeeinflusst, aber wie im tatsächlichen Betrieb gedämpft aufgezeichnet werden kann. Als Alternative kann dies auch erreicht werden, indem das Signal an den Aktor konstant gehalten wird. Als Breite der Hysterese wird anschliessend ein höherer Wert als das Maximum des Rauschniveaus eingestellt und für die Amplitude der Hysterese ein minimaler Startwert DMIN (etwa 0.1) gewählt.

[0030] Der dritte Schritt des Ablaufplans - Durchführung und Auswertung von Schwingversuchen mittels der Relay-Feedback-Methode

[0031] - wird gemäss Fig. 5 wie folgt durchgeführt: der Zweipunktregler 107 erzeugt eine Pulsfunktion am Eingang der Regelstrecke 104 des HLK-Regelkreises 10, auf welche die Regelstrecke 104 mit einer Ausgangsfunktion antwortet, die annähernd sinusförmig verläuft und deren Amplitude und Frequenz von der Pulsfunktion abhängig sind. Falls beim Schwingversuch kein Dauerschwingen erreicht wird, so ist in weiteren Iterationsschritten die Einstellung der Hysterese zu modifizieren. Zuerst wird die Amplitude der Hysterese schrittweise bis zu einem vorgegebenen Wert $DMAX$ vergrössert. Ist noch immer kein Dauerschwingen möglich, so wird nun die Breite der Hysterese verkleinert. Um auf jeden Fall ein Dauerschwingen zu erhalten, kann die Breite der Hysterese bis auf Null verringert werden, wobei aber die Wirkung der Hysterese zunehmend vom Rauschen beeinflusst wird. Anhand der ermittelten Werte für Amplitude und Frequenz des Schwingversuches können Parameter der Regelstrecke wie eine kritische Periodendauer T_{krit} und eine kritische Kreisverstärkung K_{krit} bestimmt werden. Diese Werte werden verwendet, um die Regelparameter des PID-Reglers anhand der Ziegler-Nichols-Einstellregeln zu bestimmen. Für einen PID-Regler sind diese Werte: $K_p = 0.6 \cdot K_{krit}$, $T_n = 0.5 \cdot T_{krit}$ und $T_v = 0.125 \cdot T_{krit}$. Diese Regelparameter werden für den nächsten Schritt als Startparameter für die Regelparameter verwendet.

[0032] Der vierte Schritt des Ablaufplans - Durchführung von Sprungversuchen - wird wie folgt durchgeführt: der vorstehend beschriebene Zweipunktregler 107 wird aus dem HLK-Regelkreis 10 wieder entfernt und der Regler 103 bzw. der PID-Regler 20 wiederum aktiviert. Um die Sprungversuche anzustossen, wird der Sollwert geändert und die Antwort des HLK-Regelkreises 10 ausgewertet. Die Iteration der Sprungversuche wird gemäss Fig. 6 wie folgt durchgeführt: Zuerst werden die Startparameter eingegeben resp. von den vorhergehenden Schritten übernommen. Anschliessend erfolgt eine Anpassung von r_s (repräsentiert die Amplitudenreserve), allerdings nur bis das erlaubte Rauschen (Rauschniveau) erreicht ist. Dies geschieht mit einem Bisektionsverfahren, einer fortgesetzten Halbierung. Das Bisektionsverfahren startet mit einer oberen Grenze r_{s_upper} (z. B. $r_{s_upper0} = 0.7$) und einer unteren Grenze r_{s_lower} (z. B. $r_{s_lower0} = 0$) und setzt das aktuelle r_s auf den mittleren Wert ($r_{s0} = 0.35$). Ist nun die Schwankung grösser als der Sollwert plus das erlaubte Rauschen, muss r_s verkleinert werden: dafür wird zunächst die obere Grenze auf das aktuelle r_s gesetzt ($r_{s_upper1} = 0.35$) und im Anschluss das aktuelle r_s dann mittig zwischen obere und untere Grenze gesetzt, also auf $r_{s1} = 0.175$. Ist das Maximum kleiner als der Sollwert minus das erlaubte Rauschen, muss r_s vergrössert werden. Daher wird dann die untere Grenze auf das aktuelle r_s gesetzt ($r_{s_lower1} = 0.35$) und r_s auf die Mitte bis zur oberen Grenze ($r_{s1} = 0.525$). Dies wird solange wiederholt, bis die Schwankung des Istwerts innerhalb des erlaubten Rauschens liegt.

[0033] Anschliessend wird der Phasenwinkel ϕ_s (re-

präsentiert die Phasenreserve) angepasst. Dies geschieht durch eine Iteration mit mehreren Sprungversuchen, bei denen getestet wird, ob ausgehend von den eingestellten Regelparametern für den Regler 103 die gewünschte Regelgüte erreicht wird. Ist eine schnelle Regelung gewünscht, so wird für die Regelgüte in erster Linie die Ausregelzeit herangezogen. Falls eine stabile Regelung gewünscht wird, so wird in erster Linie das maximale Überspringen überprüft. Ist die gewünschte Regelgüte nicht erreicht, so wird ϕ_s mittels Bisektionsverfahren angepasst und ein nächster Iterationsschritt eingeleitet. Eine Abbruchbedingung in Form einer maximalen Anzahl von Iterationsschritten verhindert, dass bei einer unmöglichen Vorgabe der Regelgüte die Iteration in einer Endlosschleife verweilt. Übersteigt die Anzahl der Iterationen die vorgegebene maximale Anzahl von Iterationsschritten, so wird die Iteration beendet und die Regelparameter, welche die beste Regelgüte erreicht haben, als Regelparameter für eine weitere Verwendung empfohlen. Der Inbetriebnahmetechniker kann an dieser Stelle aber auch die Startparameter für die Regelgüte ändern und eine neue Optimierung der Regelparameter starten.

[0034] Nach Abschluss der automatischen Optimierung der Regelparameter gemäss dem erfindungsgemässen Verfahren werden die ermittelten Regelparameter im Regler 103 des HLK-Regelkreises 10 gespeichert und die für die Durchführung der Relay-Feedback-Methode und für die Optimierung der Regelparameter notwendigen Funktionalitäten aus dem HLK-Regelkreis sowie die Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage 4 vom Rechner 1 entfernt.

[0035] Zu den vorbeschriebenen Verfahren sind weitere Variationen realisierbar. Insbesondere ist auch der Einsatz einer drahtlosen Verbindung zwischen der Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage und dem Rechner oder die Verwendung eines PI-Reglers anstelle eines PID-Reglers im HLK-Regelkreis denkbar.

Patentansprüche

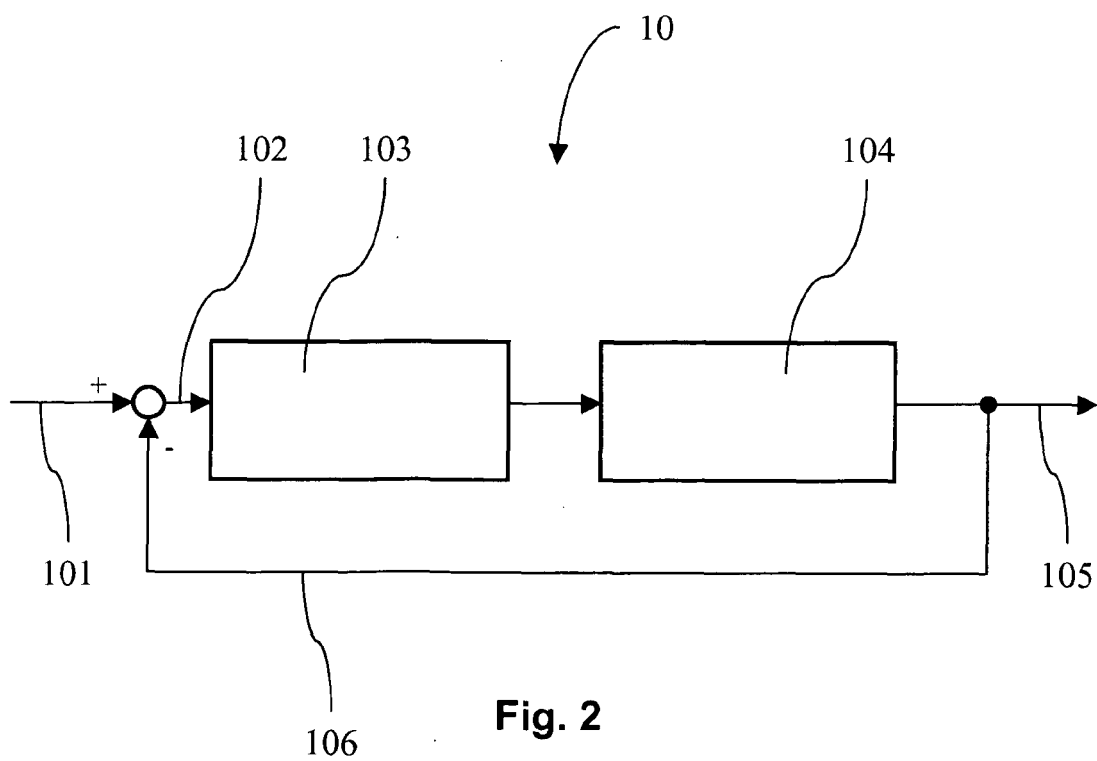
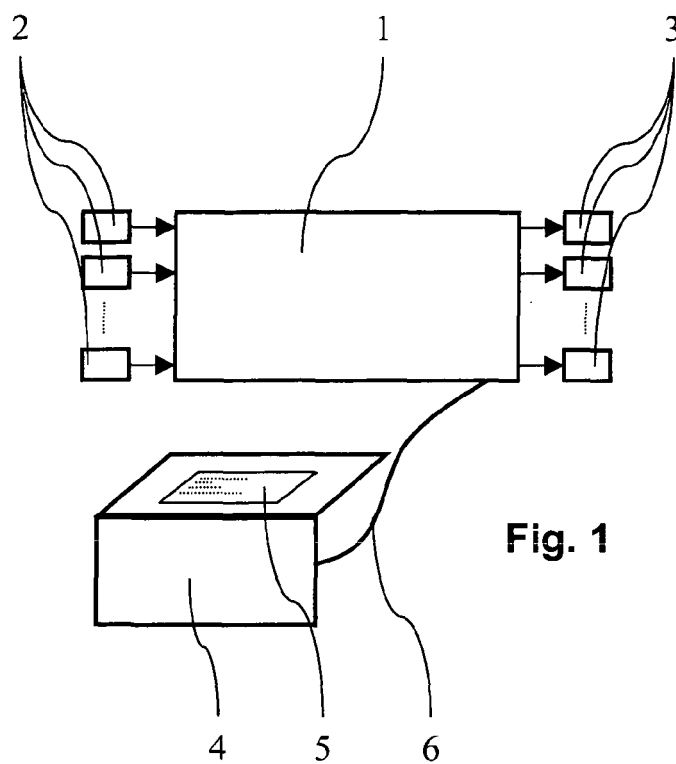
1. Verfahren zur Inbetriebnahme eines HLK-Regelkreises (10), bei dem auf den HLK-Regelkreis (10) eine Relay-Feedback-Methode angewandt wird und anschliessend die Regelparameter des HLK-Regelkreises (10) mit Störversuchen im HLK-Regelkreis (10) mittels einer Iteration optimiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem bei der Relay-Feedback-Methode ein Zweipunktregler (107) mit einer Hysterese eingesetzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem eine automatische Optimierung der Regelparameter durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei

dem als Störversuche Schwing- und/oder Sprungversuche eingesetzt werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der HLK-Regelkreis (10) einen Regler (103) aufweist, der in einem Rechner (1) einer Regelanlage implementiert ist, und bei dem der HLK-Regelkreis (10) über ein Inbetriebnahmeprogramm (5) so umprogrammiert wird, dass dem HLK-Regelkreis (10) die für die Durchführung der Relay-Feedback-Methode und für die Optimierung der Regelparameter notwendigen Funktionalitäten hinzugefügt werden. 5
6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem der HLK-Regelkreis (10) über die hinzugefügten Funktionalitäten mit den vom Inbetriebnahmeprogramm (5) nach einem Ablaufplan vorgegebenen Störversuchen angeregt wird und entsprechende Antworten des HLK-Regelkreises (10) vom Inbetriebnahmeprogramm (5) ausgewertet werden. 10 20
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Optimierung der Regelparameter des HLK-Regelkreises (10) mittels einer Iteration mit mehreren Störversuchen durchgeführt wird. 25
8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem die Iteration so lange durchgeführt wird, wie für eine vorbestimmte Regelgüte notwendig ist oder bis eine vorbestimmte Anzahl an Iterationsschritten erreicht ist. 30
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 8, bei dem vor den Störversuchen zuerst das Rauschniveau gemessen wird und anschliessend die Parameter für die Hysterese eingestellt werden. 35
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 9, bei dem der Ablaufplan folgende Schritte in folgender Reihenfolge umfasst: 40
 - Eingabe notwendiger Startparameter,
 - Ermitteln des Rauschniveaus,
 - Durchführen von Schwingversuchen, und
 - Durchführen von Sprungversuchen. 45
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Startparameter folgende Parameter umfassen: 50
 - minimaler Stellwert,
 - maximaler Stellwert,
 - erlaubtes Rauschen,
 - maximale Ausregelzeit,
 - maximales Überschwingen, und
 - maximale bleibende Regelabweichung. 55
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei dem der HLK-Regelkreis (10) einen PID-Regler (20)

umfasst und die Regelparameter für den PID-Regler (20) optimiert werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12, bei dem nach der Optimierung der Regelparameter diese im HLK-Regelkreis (10) gespeichert und die hinzugefügten Funktionalitäten aus dem HLK-Regelkreis (10) entfernt werden. 5
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 13, bei dem eine Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage (4) mit dem Rechner (1) verbunden wird, das Inbetriebnahmeprogramm auf der Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage (4) ausgeführt wird und nach der Optimierung der Regelparameter die Inbetriebnahmedatenverarbeitungsanlage (4) von dem Rechner (1) entfernt wird. 10



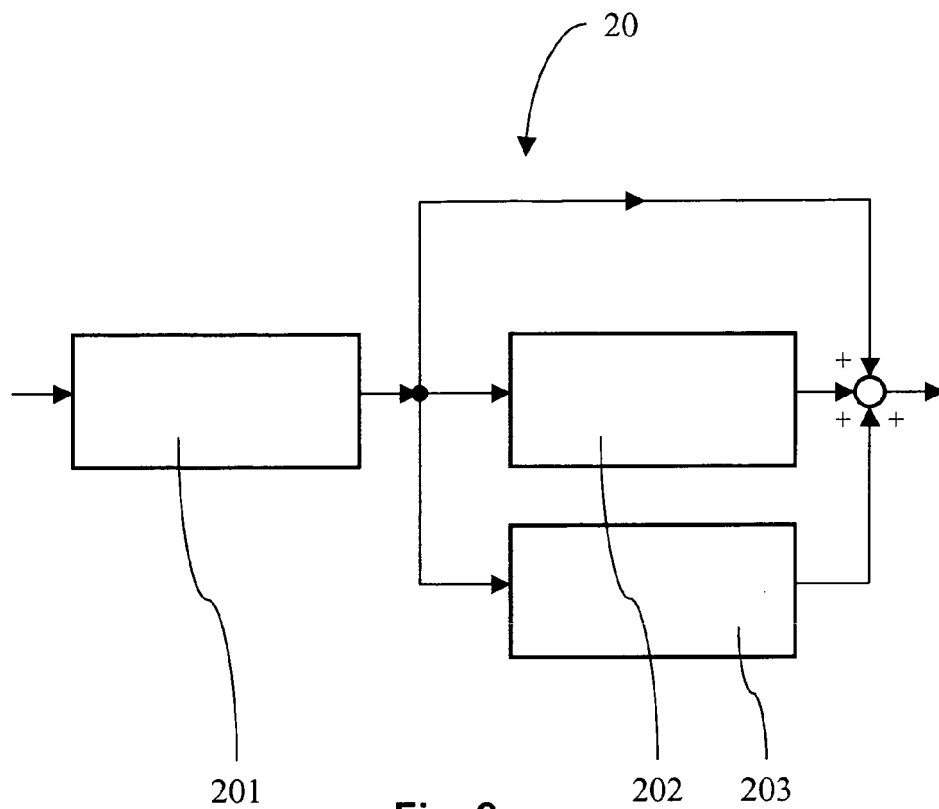


Fig. 3

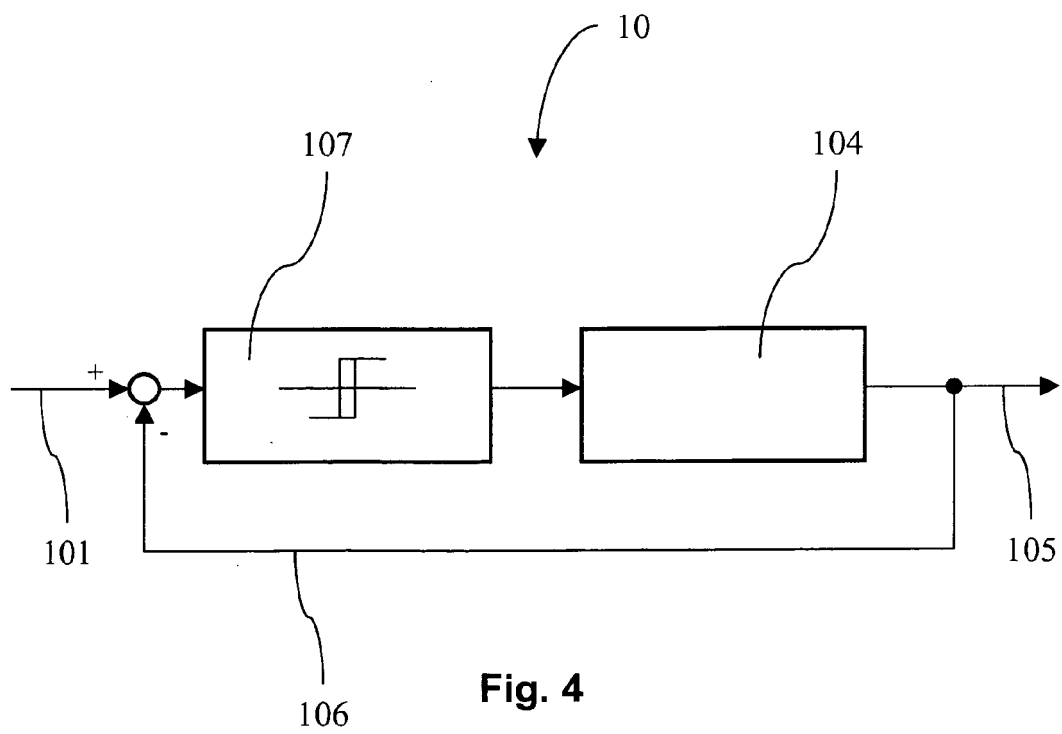


Fig. 4

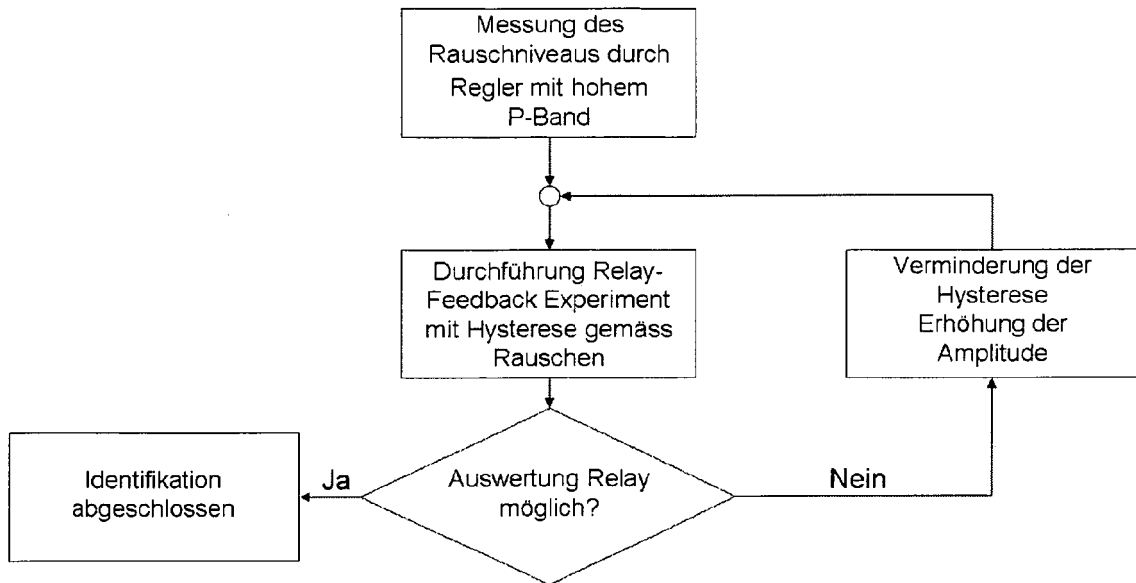


Fig. 5

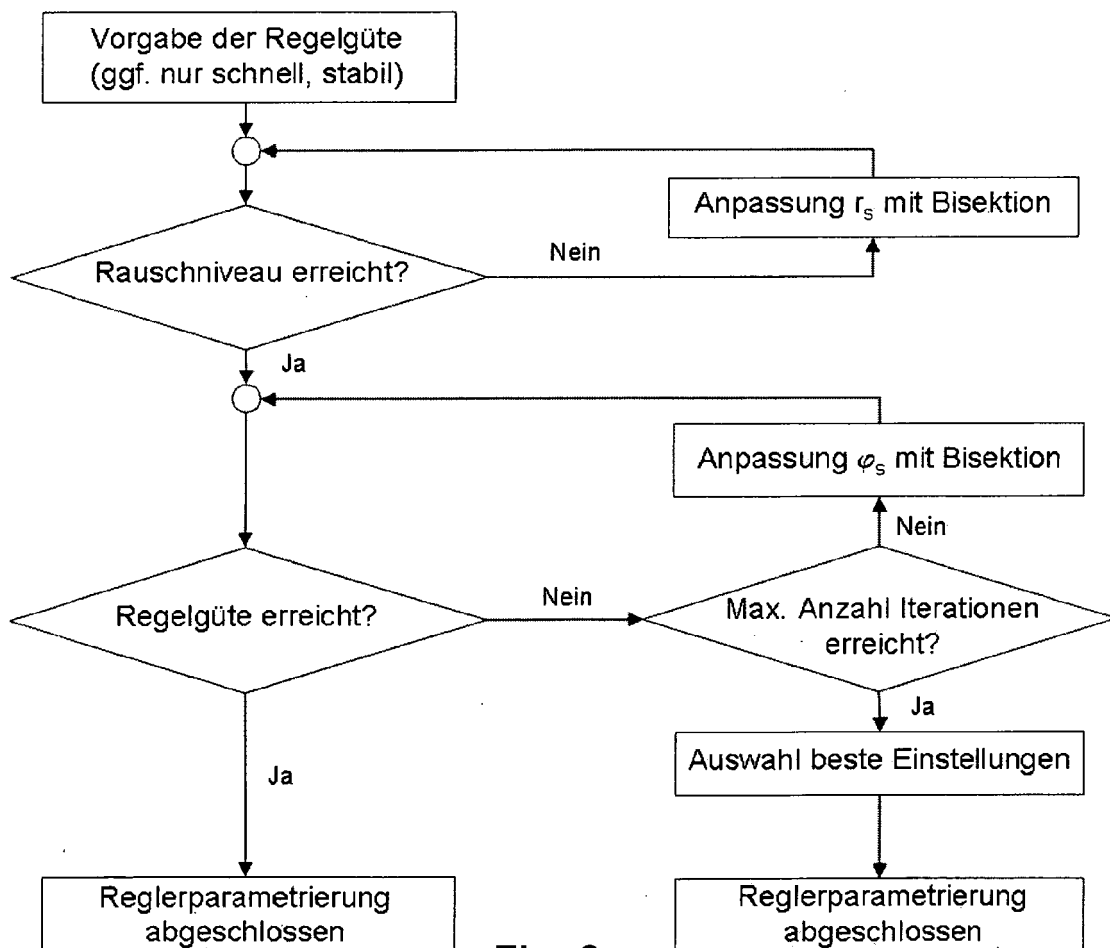


Fig. 6



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 09 40 5212

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	QIANG BI ET AL: "Advanced controller auto-tuning and its application in HVAC systems" CONTROL ENGINEERING PRACTICE, PERGAMON PRESS, OXFORD, GB LNKD-DOI:10.1016/S0967-0661(99)00198-7, Bd. 8, Nr. 6, 1. Juni 2000 (2000-06-01), Seiten 633-644, XP007908339 ISSN: 0967-0661 * Zusammenfassung; Abbildungen 1-2 * * Seite 2, Zeilen 15-21 * * Seite 3, Zeilen 8-16 * * Seite 3, Zeilen 37-38 * * Seite 6, Zeilen 20-32 * -----	1-14	INV. F24F11/00 G05B11/01
A	ASTROM K J ET AL: "Recent advances in relay feedback methods-a survey" SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS, 1995. INTELLIGENT SYSTEMS FOR THE 21ST CENTURY., IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON VANCOUVER, BC, CANADA 22-25 OCT. 1995, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, Bd. 3, 22. Oktober 1995 (1995-10-22), Seiten 2616-2621, XP010194659 ISBN: 978-0-7803-2559-3 * das ganze Dokument * -----	1	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) F24F G05B G05D
A	US 6 081 751 A (LUO RONGFU [US] ET AL) 27. Juni 2000 (2000-06-27) * Abbildungen 1b,3,4b * * Spalte 2, Zeilen 7-26 * -----	1	
A	WO 96/34323 A (CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]; LANDAU IOAN DORE [FR]; VODA ALINA ANCA [F] 31. Oktober 1996 (1996-10-31) * Abbildung 1 * -----	1,2	
1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 21. April 2010	Prüfer Moreno Rey, Marcos
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 09 40 5212

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am

Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

21-04-2010

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6081751	A	27-06-2000	KEINE		

WO 9634323	A	31-10-1996	AU	5766196 A	18-11-1996
			FR	2733607 A1	31-10-1996

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **Qiang Bi et al.** Advanced controller auto-tuning and its application in HVAC systems. *Control Engineering Practice*, 2000, vol. 8, 633-644 **[0006]**