

(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
7. Mai 2009 (07.05.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/056568 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
G05B 19/048 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2008/064678

(22) Internationales Anmeldedatum:
29. Oktober 2008 (29.10.2008)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2007 051 547.4
29. Oktober 2007 (29.10.2007) 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): **DRESSLER, Alexan-
der** [DE/DE]; Blumenstrasse 7, 74177 Bad Friedrichshall
(DE). **WENDELBERGER, Klaus-Walter** [DE/DE];
Brahmsstr. 2, 68789 St. Leon-rot (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

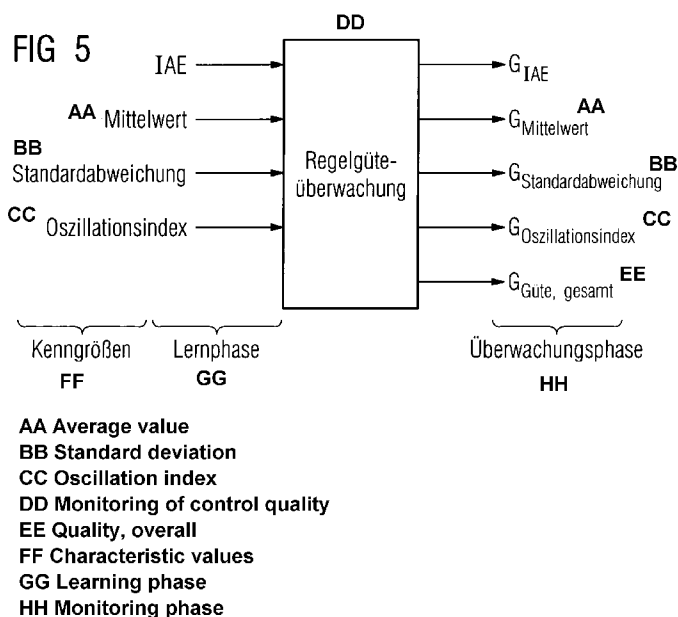
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM,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

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR MONITORING THE QUALITY OF A CONTROL SYSTEM IN A POWER PLANT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ÜBERWACHUNG DER GÜTE EINES REGELKREISES IN EINEM KRAFTWERK



(57) Abstract: The invention relates to a method for monitoring the quality of a control system in a power plant (100), characterized in that the control quality is continuously evaluated by determining characteristic values which describe the control quality, applying a plurality of examination methods suitable for describing dynamic properties of a control system to actual operating data stemming from the control engineering (10) of the power plant (100), and said characteristic values are evaluated.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/056568 A1



MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk (100), welches sich dadurch auszeichnet, dass eine kontinuierliche Bewertung der Regelgüte erfolgt, indem durch Anwendung einer Anzahl zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises geeigneter Untersuchungsmethoden auf aus der Leittechnik (10) des Kraftwerks (100) stammende aktuelle Betriebsdaten Kenngrößen ermittelt werden, welche die Regelgüte beschreiben und eine Auswertung dieser Kenngrößen erfolgt.

Beschreibung

Verfahren zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein System zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk, eine Leittechnik für ein Kraftwerk sowie ein Computerprogramm zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk.

10

In Kraftwerken, also industrietechnischen Anlagen zur Bereitstellung von elektrischer und teilweise zusätzlich thermischer Leistung, laufen komplexe verfahrenstechnische Prozesse ab. So ist es beispielsweise erforderlich, ein Kraftwerk nicht nur an verschiedenen Arbeitspunkten zu betreiben, sondern schnell und effizient zwischen diesen zu verfahren. Den ordnungsgemäßen Betrieb der Kraftwerksanlage stellen eine große Anzahl Regelkreise sicher.

15

20

Zur Steigerung der Rentabilität werden vermehrt moderne Regelungsmethoden eingesetzt, deren Stellgrößen die Sollwerte unterlagerter Regelungen sind. Diese modernen Regelungsmethoden setzen voraus, dass die Regelkreise genau so wie zu ihrer Inbetriebnahme funktionieren.

25

Die Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk, nachfolgend auch als „Regelgüte“ bezeichnet, verändert sich im Betrieb durch Veränderungen der Prozesstechnik, wie z.B. Verschmutzungen, Abnutzungen der mechanischen Stellglieder (Ventile, Motoren, usw.) und anderes. Derartige Änderungen der Regelgüte können nachteilige Effekte auf den Anlagenbetrieb und die Wirtschaftlichkeit der Anlage zur Folge haben.

30

35

Durch Überwachung der Regelgüte wird die Verschlechterung erkannt und der Regler kann an die neuen Verhältnisse angepasst werden. Hierzu wird die Regelgüte von Zeit zu Zeit unter Zu-

hilfenahme externer Rechner aus archivierten Betriebsdaten bestimmt. Dabei werden komplexe mathematische Methoden verwendet, deren Ergebnisse durch einen Experten interpretiert werden müssen. Bei einigen vorhandenen Systemen müssen kleine
5 Störungen auf den Prozess gegeben werden, um die Regelgüte zu bestimmen. Nachteilig dabei ist unter anderem, dass eine Verschlechterung der Regelgüte erst festgestellt werden kann, wenn durch einen übergeordneten Prozess eine Überwachungsprozedur angestoßen wird.

10

Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Verschlechterung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk frühzeitig zu erkennen.

15

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Die im Folgenden im Zusammenhang mit dem Verfahren erläuterten Vorteile und Ausgestaltungen gelten sinngemäß auch für das erfindungsgemäße System.

20

Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass eine kontinuierliche Bewertung der Regelgüte eines Regelkreises erfolgt. Für eine solche kontinuierliche Regelkreislageüberwachung werden Kenngrößen ermittelt, welche die Regelgüte beschreiben. Zudem erfolgt eine Auswertung dieser Kenngrößen. Zur Ermittlung der
25 Kenngrößen werden Untersuchungsmethoden auf aktuelle Betriebsdaten angewendet, die aus der Leittechnik des Kraftwerks stammen. Bei den Untersuchungsmethoden handelt es sich um solche Methoden, die zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises geeignet sind.

30

Anders als aus dem Stand der Technik bekannt, wird die Regelgüte also nicht in zeitlichen Abständen unter Zuhilfenahme von Archivdaten, sondern permanent und dauerhaft, sozusagen „online“, und unter Verwendung von aktuellen Betriebsdaten
35 überwacht. Eine Verschlechterung der Regelgüte ist daher unmittelbar ersichtlich. Eine Korrektur des Reglers oder das Einleiten sonstiger Maßnahmen kann ohne Verzögerung erfolgen.

Ein Kerngedanke der Erfindung ist es also, eine systematische Reglerbewertung bereitzustellen, die sowohl stationäres als auch dynamisches Verhalten eines Regelkreises auf Basis von Kenngrößen bewertet. Der große Vorteil liegt dabei in der Unmittelbarkeit. Die erfindungsgemäße Regelkreislageüberwachung gibt dem Anlagenfahrer sofort Rückmeldung über die Regelgüte. Kritische Regelkreise können somit im Betrieb herausgefiltert werden. Anders als bei herkömmlichen Systemen muss nicht gewartet werden, bis genügend aussagekräftige Daten gesammelt und verarbeitet wurden.

Die Regelkreise eines Kraftwerks, die in den meisten Fällen während der Inbetriebsetzungsphase einmal eingestellt und nur in wenigen Fällen zu einem späteren Zeitpunkt erneut eingestellt werden, werden erfindungsgemäß systematisch bewertet und können daher auch regelmäßig verbessert werden. Dies entlastet die Anlagenfahrer. Die Effizienz des Kraftwerks wird erhöht und die Betriebskosten werden gesenkt, da jeder schlecht eingestellte Regelkreis zusätzliche Masseströme verursacht, die nicht in Leistung umgesetzt werden können und somit die Rentabilität des Kraftwerks verringern.

Da mit Hilfe der Erfindung schnell herausgefunden werden kann, welcher Regelkreis unzureichend regelt, wird keine unnötige Zeit bei der Suche nach diesem verbraucht. Zur Optimierung der Regelkreise steht im Umkehrschluss mehr Zeit zur Verfügung.

Regelkreise verändern sich in der Regel nur sehr langsam im Laufe der Zeit. Eine Verschlechterung der Regelgüte wird somit erst relativ spät durch die Anlagenfahrer wahrgenommen. Die Geschwindigkeit der Verschlechterung spielt bei dem erfindungsgemäßen Regelgüteüberwachungssystem keine Rolle.

Besonders wichtig ist, dass mit Hilfe der vorgeschlagenen lückenlosen Regelkreislageüberwachung auf besonders einfache Art und Weise eine Gesamtbetrachtung und Bewertung sämtlicher Regelkreise eines Kraftwerks möglich wird. Die Regelkreise

eines Kraftwerks können daher einem kontinuierlichen Verbesserungsprozess unterzogen werden.

Die Aufgabe wird darüber hinaus durch ein System zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk gelöst, das Mittel zur Ausführung des beschriebenen Verfahrens aufweist.

Die Aufgabe wird darüber hinaus durch eine Leitechnik für ein Kraftwerk gelöst, in die ein solches System integriert ist. Durch die Integration ist ein einfacher Daten- und Informationsfluss innerhalb der Kraftwerks-Leitechnik sichergestellt. Dies vereinfacht eine lückenlose Überwachung der Regelgüte und ermöglicht eine unmittelbare, ggf. auch automatisierte Reaktion auf Regelgüteverschlechterungen, beispielsweise in Form von Leitechnik-initiierten Maßnahmen.

Die Aufgabe wird darüber hinaus durch ein Computerprogramm zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk gelöst, wobei sich das Computerprogramm dadurch auszeichnet, dass es Computerprogrammanweisungen aufweist zur kontinuierlichen Bewertung der Regelgüte durch Ermittlung von die Regelgüte beschreibenden Kenngrößen durch Anwendung einer Anzahl zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises geeigneter Untersuchungsmethoden auf aus der Leitechnik des Kraftwerks stammende Betriebsdaten und Auswertung dieser Kenngrößen, wenn das Computerprogramm auf einem Rechner, vorzugsweise einem Rechner der Leitechnik des Kraftwerks, ausgeführt wird.

Das vorzugsweise in der Leitechnik des Kraftwerks integrierte erfindungsgemäße System ist mit anderen Worten ausgebildet zur Durchführung des beschriebenen Verfahrens zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk. Vorzugsweise handelt es sich bei dem System um eine Datenverarbeitungseinheit, ausgebildet zur Durchführung aller Schritte entsprechend dem hier beschriebenen Verfahren, die in einem Zusammenhang mit der Verarbeitung von Daten stehen. Die Datenver-

arbeitungseinheit weist vorzugsweise eine Anzahl von Funktionsmodulen auf, wobei jedes Funktionsmodul ausgebildet ist zur Durchführung einer bestimmten Funktion oder einer Anzahl bestimmter Funktionen gemäß dem beschriebenen Verfahren. Mit
5 anderen Worten handelt es sich bei den Funktionsmodulen der Datenverarbeitungseinheit um die Mittel zur Ausführung des beschriebenen Verfahrens. Bei den Funktionsmodulen kann es sich dabei um Hardwaremodule oder Softwaremodule handeln. Mit anderen Worten kann die Erfindung, soweit es die Datenverarbeitungseinheit betrifft, entweder in Form von Computerhardware oder in Form von Computersoftware oder in einer Kombination aus Hardware und Software verwirklicht werden. Soweit
10 die Erfindung in Form von Software, also als Computerprogrammprodukt, verwirklicht ist, werden sämtliche beschriebenen Funktionen durch Computerprogrammanweisungen realisiert, wenn das Computerprogramm auf einem Rechner mit einem Prozessor ausgeführt wird. Die Computerprogrammanweisungen sind dabei auf an sich bekannte Art und Weise in einer beliebigen Programmiersprache verwirklicht und können dem Rechner in beliebiger Form bereitgestellt werden, beispielsweise in Form
20 von Datenpaketen, die über ein Rechnernetz übertragen werden, oder in Form eines auf einer Diskette, einer CD-ROM oder einem anderen Datenträger gespeicherten Computerprogrammprodukts. Anders ausgedrückt ist die Erfindung vorzugsweise in
25 Form von Software als integraler Bestandteil eines Leiteteknikrechners verwirklicht.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

30 Die erfindungsgemäße Regelkreisgüteüberwachung soll nicht nur die Regelgüte im stationären Zustand bewerten und überwachen, sondern auch die Dynamik des Regelkreises. Das dynamische Verhalten eines Regelkreises zeigt sich bei Sollwertänderungen. Deshalb ist es nötig die Kenngrößen des Regelkreises
35 sowohl im stationären Zustand, als auch bei Sollwertänderungen zu erfassen. Eine Änderung der Last zieht zu einem eine Sollwertänderung einer großen Zahl von Regelkreisen nach

sich. Zum anderen verursacht die Laständerung Störungen in den Regelkreisen, die größer sind als im stationären Betrieb. Deshalb muss bei der Regelgüte zwischen stationärem Zustand und Laständerung unterschieden werden. Mit anderen Worten muss, damit durch Übergangsvorgänge die Kenngrößen nicht falsch berechnet werden, genau definiert werden, wann ein stationärer Zustand und wann eine Laständerung vorliegt. Hierzu erfolgt in einer Ausführungsform der Erfindung eine Unterteilung des Kraftwerksbetriebs in Lastprofile und die Bewertung der Regelgüte erfolgt jeweils getrennt für diese Lastprofile derart, dass die Kenngrößen die Regelgüte bei konstanter Last bzw. bei Laständerungen beschreiben. Die Lastprofile werden nachfolgend auch als „Kategorien“ bezeichnet.

Zur Gewinnung der Kenngrößen werden Betriebsdaten aus der Leittechnik des Kraftwerks verwendet. Vorteilhafterweise werden diese Betriebsdaten unkomprimiert und/oder unverarbeitet verwendet, so dass kein zusätzlicher Rechenaufwand anfällt.

Bei den Untersuchungsmethoden handelt es sich vorzugsweise um Methoden, die neben der Beschreibung stationärer Eigenschaften des Regelkreises auch zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises geeignet sind. Daneben können aber auch Methoden zum Einsatz kommen, die ausschließlich zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises und nicht zur Beschreibung stationärer Eigenschaften geeignet sind oder aber Methoden, die ausschließlich zur Beschreibung stationärer Eigenschaften eines Regelkreises und nicht zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften geeignet sind.

Zur Beschreibung der dynamischen Eigenschaften eines Regelkreises werden vorzugsweise eine oder mehrere der folgenden Untersuchungsmethoden verwendet: Bestimmung des integrierten absoluten Regelfehlers (IAE), Bestimmung des gleitenden Mittelwertes, Bestimmung der Standardabweichung, Erkennen des Auftretens von Wind-up, Erkennen von Oszillationen. Hierbei werden an sich bekannte mathematische Methoden entweder in

üblicher Art und Weise angewendet und/oder es werden solche Methoden unter dem Gesichtspunkt einer kontinuierlichen Regelkreisgüteüberwachung erweitert.

- 5 Die verwendeten Methoden ermöglichen dabei eine vergleichs-
weise einfache Berechnung der Kenngrößen. Da die Regelkreis-
güteüberwachung vorzugsweise in dem Leittechnik-System eines
Kraftwerks eingesetzt wird, um dort eine Vielzahl von Regel-
kreisen zu überwachen, darf der benötigte Speicherplatz und
10 die erforderliche Rechenzeit nicht allzu groß sein, um die
volle Funktionsfähigkeit des Leittechnik-Systems bei gleich-
zeitiger Überwachung zu garantieren.

- Die Regelkreisgüteüberwachung ist derart ausgebildet, dass
15 vergleichsweise wenig Parameter einzustellen sind, da die
Zeit, die einem Ingenieur für die Einstellung eines Regel-
kreises, speziell eines unterlagerten Regelkreises, und sei-
ner Überwachung während der Inbetriebsetzungsphase zur Verfü-
gung steht, begrenzt ist. Dies vereinfacht und beschleunigt
20 die Inbetriebnahme der Regelkreisgüteüberwachung.

- Die Regelkreisgüteüberwachung erfüllt das Kriterium der Pro-
zessunabhängigkeit. Es funktioniert mit anderen Worten für
unterschiedliche Prozesse, so dass es auf eine Vielzahl von
25 Regelkreisen innerhalb eines Kraftwerksanwendbar anwendbar
ist, die sich durch den zu regelnden Prozess, Stellglieder,
Messglieder, usw. unterscheiden.

- Modelle liegen meistens nur für überlagerte, komplexere Rege-
30 lungen vor. Unterlagerte Regelstrecken werden häufig nicht
modelliert, da der Nutzen den Aufwand nicht rechtfertigt. Da
das Einsatzgebiet der erfindungsgemäßen Regelkreisüberwachung
unterlagerte Regelungen sind, muss davon ausgegangen werden,
dass keine Modelle vorliegen oder erstellt werden. Die erfin-
35 dungsgemäße Regelkreisgüteüberwachung erfüllt daher das Kri-
terium der Modellunabhängigkeit. Für die Bewertung der Regel-
güte ist es nicht zwingend erforderlich, dass ein geeignetes
Modell der Regelstrecke zur Verfügung steht.

In einer Ausführungsform der Erfindung ist ein zweiteiliger Ablauf des Verfahrens vorgesehen. Zunächst werden in einer Lernphase Referenzregelgüten für Laständerungen und den stationären Zustand, also einen Zustand ohne Laständerungen, bestimmt. Während dieser Lernphase beobachtet ein Ingenieur oder dergleichen die Regelkreise. Die Regelkreise müssen während der Lernphase durch den Ingenieur als zufriedenstellend definiert werden. Ist dies nicht der Fall, müssen die Regelkreise neu eingestellt werden und die Lernphase wird wiederholt. Anschließend werden die so ermittelten Referenzregelgüten in einer Überwachungsphase als Vergleichswerte für die Beurteilung der kontinuierlich bestimmten Regelgüte verwendet. Als Ergebnis werden dabei vorzugsweise sowohl die Veränderungen der einzelnen Kenngrößen, als auch die Gesamtgüte ausgegeben.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung wird bei der Auswertung der Kenngrößen ein Überschreiten zulässiger Abweichungen ermittelt und eine Verschlechterung der Regelgröße als Anzahl von Kenngrößen ausgegeben, bei denen ein solches Überschreiten vorliegt. Werden beispielsweise fünf Kenngrößen ausgewertet und wird eine Verschlechterung der Regelgüte ermittelt, weil sich zwei dieser fünf Kenngrößen unzulässig verändert haben, dann wird ein Signal ausgegeben, das auf eine Verschlechterung des Umfangs „2 von 5“ hinweist. Dies bedeutet, dass zwei von fünf Kenngrößen die zulässigen Abweichungen überschritten haben. Die Ausgabe kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen, beispielsweise über eine optische und/oder akustische Anzeige. Der Anlagenfahrer erhält mit anderen Worten zu jedem Zeitpunkt eine leicht verständliche Rückmeldung über den Zustand der Regelkreise. Dadurch ist kein Experte zur Interpretation der Ergebnisse erforderlich.

Soll nicht nur eine sofortige „on-line“-Bewertung der Regelgüte erfolgen, sondern ist eine weitere Analyse vorgesehen, dann werden die Kenngrößen vorzugsweise zusätzlich in einem Archiv erfasst und/oder für ausführlichere Analysen zur Verfügung gestellt. Das Archiv kann dabei in Form eines Daten-

speichers als integraler Teil der Leittechnik des Kraftwerks ausgebildet sein. Vor dem Hintergrund begrenzter Rechen- und Speicherkapazitäten des Leittechniksystems ist jedoch vorzugsweise eine Archivierung bzw. Weiterleitung der Kenngrößen an einen externen Empfänger, beispielsweise einen Archivierungs- und/oder Analyserechner außerhalb der Kraftwerksleitetchnik vorgesehen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es mit Hilfe der vorliegenden Erfindung möglich ist, ohne zusätzliche Hardware dem Anwender, in diesem Fall dem Anlagenfahrer, unmittelbare Kenntnis über die Güte der Regelkreise im Kraftwerk zu vermitteln. Wird eine verschlechterte Regelgüte festgestellt, so können die betroffenen Regelkreise analysiert werden. Im Anschluss daran kann ein Fachmann, beispielsweise ein Ingenieur, die Reglereinstellung verändern bzw. die Regelungsstrategie nötigenfalls ändern.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben, die mit Hilfe von Zeichnungen näher erläutert werden. Hierbei zeigen in vereinfachten, z. T. schematischen Darstellungen:

- FIG 1 ein Kraftwerk,
- FIG 2 eine OODA-Schleife,
- FIG 3 eine Lernphase,
- FIG 4 eine Überwachungsphase,
- FIG 5 eine Regelgütesollwertüberwachung,
- FIG 6 einen einschleifigen Regelkreis,
- FIG 7 eine Regelgröße,
- FIG 8 eine Sollwertänderung,
- FIG 9 ein verrauschtes Messsignal der Regelgröße,
- FIG 10 ein gleitender Mittelwert der Messgröße,
- FIG 11 ein Signalverlauf mit gleitendem Mittelwert,
- FIG 12 eine Oszillation des Regelfehlers,
- FIG 13 eine asymmetrische Oszillation des Regelfehlers,
- FIG 14 eine rampenförmige Sollwertänderung mit Rauschen,
- FIG 15 Minima und Maxima im IAE-Verlauf,

- FIG 16 eine IAE-Zeitscheibe bei Laständerung,
FIG 17 einen Mittelwert der Regelgröße,
FIG 18 eine Sollwertänderung mit Rauschen,
FIG 19 einen Regelfehler,
5 FIG 20 Minima und Maxima der Standardabweichung,
FIG 21 ein binäres Wind-up-Signal,
FIG 22 ein relatives Wind-up-Signal,
FIG 23 eine Oszillation nach Sollwertänderung (4 %/min),
FIG 24 eine Oszillation nach Sollwertänderung (2 %/min),
10 FIG 25 eine Oszillation nach Sollwertänderung (-4 %/min),
FIG 26 ein Flussdiagramm zur Erkennung von Oszillationen,
FIG 27 eine Oszillationserkennung (erste Methode),
FIG 28 eine Oszillationserkennung (zweite Methode),
FIG 29 ein Flussdiagramm zur Erkennung von Oszillationen,
15 FIG 30 einen Sollwertverlauf,
FIG 31 einen Sollwert- und Regelgrößenverlauf,
FIG 32 einen IAE-Verlauf für einen dynamischen Prozess,
FIG 33 einen IAE-Verlauf für stationäre Erfassung,
FIG 34 einen gleitenden Mittelwert des Regelfehlers,
20 FIG 35 eine Standardabweichung des Regelfehlers,
FIG 36 eine Standardabweichung der Regelgröße,
FIG 37 eine Standardabweichung der Stellgröße,
FIG 38 einen IAE-Verlauf,
FIG 39 einen IAE-Verlauf,
25 FIG 40 einen gleitenden Mittelwert des Regelfehlers,
FIG 41 eine Standardabweichung des Regelfehlers,
FIG 42 eine Standardabweichung der Regelgröße,
FIG 43 eine Standardabweichung der Stellgröße,
FIG 44 eine Darstellungsmöglichkeit mit Farben.

30

Gleiche Bezugszeichen in den nachfolgend ausführlich beschriebenen Figuren entsprechen Elementen gleicher oder vergleichbarer Funktion.

- 35 Die Regelkreisgüteüberwachung wird in der Leittechnik eines Kraftwerks, dort insbesondere in einem SPPA T3000-Leittechnik-System eingesetzt. Das Leittechnik-System erfasst die Messungen an der Anlage und steuert die Stellglieder. Alle

Regelungen, die nicht direkt im Feld realisiert sind, sind hier eingebaut. Somit kann die Regelkreisgüteüberwachung auf alle relevanten Betriebsdaten zugreifen. Die Regelkreisgüteüberwachung ist dabei dem Rechenzyklus, in dem Berechnungen
5 im Leittechnik-System durchgeführt werden (z.B. alle 100 ms), unterworfen. FIG 1 zeigt schematisch ein Kraftwerk 100 mit einem Leittechnik-System 10, welches über einen Rechner 11 verfügt, auf dem eine erfindungsgemäße Regelkreisgüteüberwachung in Form eines Computerprogramms 1 ausgeführt wird.

10

Die Regelkreisgüteüberwachung dient zur kontinuierlichen Überwachung des Kraftwerks. Die Regelkreise müssen jedoch nicht nur überwacht werden. Nicht zufriedenstellende Regelkreise müssen herausgefiltert und analysiert werden. Durch
15 eine eingehende Analyse wird die Ursache der mangelnden Regelgüte ermittelt. Um die Regelgüte zu verbessern, müssen Gegenmaßnahmen getroffen und umgesetzt werden. Die Überwachung, Analyse und das Treffen und Umsetzen von Gegenmaßnahmen muss kontinuierlich erfolgen, um die Regelgüte und damit auch Ef-
20 fizienz des Regelkreises konstant zu halten bzw. zu verbessern. Um die Kontinuität dieses Prozesses zu gewährleisten, ist eine übergeordnete Strategie zur Reglerbewertung nötig.

Eine Möglichkeit hierfür ist der Einsatz einer OODA-Schleife, siehe FIG 2. Die OODA-Schleife besteht aus vier Elementen: Observation, Orientation, Decision und Action. In der Beobach-
25 tungsphase 200 (Observation) werden Daten über den Regelkreis gesammelt. Diese Daten werden in der Orientierungsphase 201 (Orientation) analysiert und bewertet. Mit der Analyse können
30 in der Entscheidungsphase 202 (Decision) Gegenmaßnahmen getroffen werden. Diese werden in der Handlungsphase 203 (Action) umgesetzt. Bei der erfindungsgemäßen Regelkreisgüteüberwachung sind die Beobachtungs- 200 und Orientierungsphasen 201 zusammengelegt. Das Sammeln von Daten und das Bewer-
35 ten der Regelgüte erfolgt „On-Line“ durch die Regelkreisgüteüberwachung. Die weitergehende Analyse und die Gegenmaßnahmen erfolgen durch einen Regelungsingenieur. Durch die Überwa-

chung der Regelgüte werden auffällige Regelkreise vorab selektiert und mit aussa-

gekräftigen Kennzahlen versehen. Durch die Erfassung der Kenngrößen ist es weiterhin möglich, nach einer Änderung der Regelung die Veränderung der Regelgüte genau anzugeben.

5 Die erfindungsgemäße Regelkreisgüteüberwachung ist Teil einer Bottom-Up-Bewertung. Dies bedeutet, dass die Regelkreise einzeln bewertet werden und somit die Anlage von unten nach oben überwacht wird. Um die Regelgüte zu bestimmen, werden mit den weiter unten im Detail vorgestellten Methoden Kenngrößen er-
10 mittelt, welche die Regelgüte im stationären Zustand sowie bei Sollwertänderungen erfassen.

Ein stationärer Zustand wird dabei unter Verwendung einer Konstanten ε wie folgt definiert:

15

$$\frac{d}{dt} \sum \dot{m}_{\text{Brennstoff}} < \varepsilon \quad \text{für } t \geq T_s$$

Die Kennzahlen für die Laständerung werden berechnet, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

20

$$\varepsilon_U < \frac{dP_{\text{soll}}}{dt} < \varepsilon_0 \quad \text{für } t \geq T_L$$

und mit der zusätzlichen Bedingung, dass zuvor ein stationärer Zustand festgestellt wurde. Die Zeitkonstanten T_s und T_L
25 sind Vielfache der Summenzeitkonstante T_{sum} der beobachteten Regelstrecke.

Laständerungen, die zu kurz sind, um die oben genannte Bedingung zu erfüllen, bzw. Laständerungen die zu groß sind, werden in einer Kategorie „Andere“ erfasst. Diese Kategorie
30 dient nur zur Orientierung über einen längeren Zeitraum und nicht zur expliziten Bewertung der Regelgüte.

Um eine Veränderung der Regelgüte zu bestimmen, wird eine Referenzregelgüte festgelegt. Das Verhalten der Regelkreise
35 muss zuerst von einem Fachmann, beispielsweise einem Ingeni-

eur, als zufriedenstellend bewertet werden. Danach registriert die erfindungsgemäße Regelkreisgüteüberwachung in einer sogenannten Lernphase die dynamischen und statischen Eigenschaften des Regelkreises, siehe FIG 3. Diese dienen als Referenz für die Überwachung. In der anschließenden Überwachungsphase vergleicht die Regelkreisgüteüberwachung kontinuierlich den Regelkreis mit der Referenz, siehe FIG 4. Auftretende Abweichungen, die zuvor festgelegte Toleranzen überschreiten, werden als Verringerung der Regelgüte angezeigt.

Die Lernphase bestimmt maßgeblich die spätere Überwachungsphase. Ist der Regelkreis bereits nicht zufriedenstellend eingestellt, z.B. treten häufig Oszillationen oder Wind-up auf, so kann in der Überwachungsphase nur eine schlechtere Regelgüte festgestellt werden. Bleibt die Regelgüte auf konstantem, aber schlechtem Niveau, so kann der Regelkreis nicht durch die Regelkreisgüteüberwachung herausgefiltert werden.

In der Überwachungsphase wird kontinuierlich die Regelgüte bestimmt, wobei sowohl die Veränderungen der einzelnen Kenngrößen als auch die Gesamtgüte ausgegeben werden, siehe FIG 5.

Einzelheiten des Messdaten- bzw. Betriebsdatenflusses innerhalb des Leittechnik-Systems des Kraftwerks zu der als Modul des Leittechnik-Systems ausgebildeten Regelkreisgüteüberwachungs-Software sowie Angaben zur Schnittstellenprogrammierung etc. sind nicht angegeben, da sie dem Fachmann geläufig sind.

Bevor die Arbeitsweise der Regelkreisgüteüberwachung anhand eines Tests veranschaulicht wird, erfolgt eine Beschreibung der für die Ermittlung der Kenngrößen vorzugsweise verwendeten mathematischen Methoden.

Beispielhaft wird dabei von einem Regelkreis eines Kraftwerks ausgegangen, wie er in FIG 6 abgebildet ist. Die Sollwerte sind mit S bezeichnet, die Regelgröße mit R, die Stellgröße

mit u und der Regelfehler mit e . Dieser einschleifige Regelkreis dient als Basis der folgenden Betrachtungen und Erklärungen der Methoden.

- 5 Die wichtigste und aussagekräftigste Größe zur Bewertung der Regelgüte ist der Regelfehler $e(t)$, also die Differenz von Sollwert $S(t)$ und Regelgröße $R(t)$. Die ausschließliche punktuelle Betrachtung des Regelfehlers gibt keine Auskunft über das dynamische Verhalten des Regelkreises. Deshalb wird der
10 Verlauf des integrierten, absoluten Regelfehlers betrachtet (Englisch: Integral Absolute Error (IAE)).

$$IAE = \int_0^T |e(t)| dt$$

- 15 Diese Methode bewertet linear den Verlauf des Regelfehlers im betrachteten Zeitraum (Beobachtungszeitraum) T und gibt somit Aufschluss über die dynamischen Eigenschaften des Regelkreises.

- 20 Im stationären Zustand werden durch die Integration über den Zeitraum T die Eigenschaften des Regelkreises bezüglich der Störungsregelung bewertet. Je besser der Regler Störungen ausregelt, desto kleiner ist die Fläche zwischen Regelgröße R und Sollwert S , siehe FIG 7.

- 25 Bei Veränderungen des Sollwertes wird das dynamische Verhalten bewertet. Kann der Regelkreis dem Sollwert gut folgen, ist das Integral klein, siehe FIG 8.

- 30 Gemessene Signale sind im Allgemeinen mehr oder weniger stark verrauscht. Um die Aussagekraft der Messsignale zu erhöhen und z.B. Trends deutlicher zu machen, ist es nötig, den Mittelwert eines Signals zu bestimmen. Der Mittelwert über den Zeitraum T berechnet sich wie folgt:

35

$$\text{Mittelwert} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$$

Wie in FIG 9 und FIG 10 zu sehen, wird das Signal geglättet und eine sinusförmige Schwingung tritt deutlich hervor. Die Amplituden sind zudem geringer. Die Verwendung des gleitenden Mittelwertes M ist deshalb wichtig, weil nur so eine bleibende Regelabweichung festgestellt werden kann. Bei einem ver-
 5 rauschten Signal X ist es nicht möglich, den bleibenden Regelfehler zu messen. Durch den gleitenden Mittelwert M wird das Signal geglättet und der bleibende Regelfehler wird deutlich.

10

Nicht nur der Mittelwert eines Signals ist relevant für die Bewertung der Regelgüte, sondern auch die Abweichung vom Mittelwert. Diese Abweichung vom Mittelwert ist die Standardabweichung. Die Standardabweichung ist definiert als die Quad-
 15 ratwurzel der Varianz des Signals und hat somit die gleiche Einheit wie die Messwerte:

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(X)}$$

20

bzw.

$$\sigma_x = \sqrt{E((X - E(X))^2)}$$

25 Dabei stellt σ_x die Standardabweichung des gemessenen Signals $x(t)$ und $E[\dots]$ den Erwartungswert von $[\dots]$ dar.

Bewegt sich der Mittelwert der Regelgröße zum Beispiel nahe um den Sollwert herum, so bedeutet eine große Varianz, dass
 30 die Regelung trotzdem nicht zufriedenstellend funktioniert. Eine große Varianz bedeutet, dass Störungen nicht ausreichend gedämpft werden. Die Standardabweichung wird für Stichproben unter Verwendung der folgenden Gleichung geschätzt:

35

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

Mit anderen Worten stellt s_x den Schätzwert für die Standardabweichung von $x(t)$ dar.

5 Für auflaufende Stichproben (Messwerte) ist es unpraktisch alle Messwerte zu speichern und die Standardabweichung zu berechnen. Deshalb wird die Standardabweichung unter Verwendung der folgenden Gleichung geschätzt:

$$s_x = \sqrt{\frac{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i \right)^2}{N(N-1)}}$$

10

Der Mittelwert wird dabei wie folgt definiert:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{N}$$

15 Störungen im Regelkreis drängen die Regelgröße weg von ihrem Sollwert. Aufgabe der Regelung ist es, diese wieder zurückzuführen. Funktioniert die Regelung gut, so sind die Abweichungen gering, siehe FIG 11, die einen Signalverlauf X mit einem gleitenden Mittelwert M zeigt.

20

Eine weitere wichtige Kenngröße, die angibt, ob der Regelkreis zufriedenstellend arbeitet, ist die Zeitspanne in der Wind-up auftritt.

25

$$I_{Wind-up} = \frac{T_{Wind-up}}{T_{Beobacht}}$$

30

Wind-up bedeutet, dass das Stellglied nicht die Stellgröße auf den Wert verstellen kann, den der Regler vorgibt. Dies kann der Fall sein, wenn das Stellglied am Anschlag ist (z.B. komplett auf oder komplett zu) bzw. wenn das Stellglied nicht schneller verstellt werden kann. Das Auftreten von Wind-up bedeutet, dass der Regler seine Regelfähigkeit verliert und Störungen nur verschlechtert oder gar nicht ausgeregelt werden können. Deshalb ist es nötig die Zeitspanne mit Wind-up

($T_{\text{Wind-up}}$) auf einen Beobachtungszeitraum (T_{Beobacht}) zu beziehen, um die Qualität der Regelung zu beobachten. Ursachen für Wind-up sind unter anderem verschlissene Stellglieder oder Stellglieder, die nur monoton auf die Regelstrecke einwirken können, z.B. nur Wasser einspritzen, sowie Stellglieder, die falsch ausgelegt wurden und nicht die erforderlichen Stellgrößen bzw. Änderungsgeschwindigkeiten zulassen.

Oszillationen treten in Regelkreisen auf, wenn die Regelung nicht zufriedenstellend funktioniert. Die Ursachen dafür sind vielfältig, z.B. hohe Reibung im Stellglied oder falsche Reglereinstellungen, die zu Schwingungen führen. Schwingungen in einem Regelkreis können sich über die ganze Anlage ausweiten und dadurch den Betrieb nachhaltig stören. Deshalb ist es wichtig, dass die erfindungsgemäße Regelkreisgüteüberwachung auch Schwingungen erkennen kann, um die spätere Ursachenanalyse zu vereinfachen. Bei anlagenweiten Schwingungen ist es wichtig, aus allen schwingenden Regelkreisen den Regelkreis herauszufiltern, der die Schwingung verursacht.

Es werden im Folgendem zwei Methoden zur Erkennung von Schwingungen in Regelkreisen vorgestellt. Die erste Methode vergleicht den Quotienten aus dem absoluten Betrag des Regelfehlers (IAE) zwischen zwei Nulldurchgängen

$$IAE_i = \int_{t_i}^{t_{i+1}} |e(t)| dt$$

und der Zeit zwischen den Nulldurchgängen, mit einem konstanten Term:

$$\frac{IAE_i}{\Delta T_i} \geq \delta$$

Triff dies zu, so war die Abweichung zwischen den Nulldurchgängen Teil einer Schwingung und nicht Rauschen. Wichtiges Element dieser Methode ist die Konstante δ . Diese bestimmt, ob eine Abweichung des Regelfehlers Teil einer Schwingung ist

oder nicht. Es wird davon ausgegangen, dass δ das Produkt des quadratischen Mittelwerts σ und der Konstanten ξ ist. Ein Wert für ξ muss durch Erfahrung und Experimente gewonnen werden. Somit ergibt sich bei Abschätzung der Konstanten:

5

$$\frac{IAE_i}{\Delta T_i} \geq \sigma \cdot \xi$$

mit σ als Standardabweichung des Regelfehlers und ξ als Quotient aus Maximum und Standardabweichung.

10

Die zweite Methode zur Erkennung von Schwingungen in Regelkreisen vergleicht Flächeninhalte und Zeitabstände, um Oszillationen zu erkennen. Der absolute Regelfehler wird zwischen den Nulldurchgängen, wie auch bei der ersten Methode, integriert. Die Zeit zwischen den Nulldurchgängen wird ebenso gemessen. Sind die Flächen (Flächen der Regelabweichung zwischen den Nulldurchgängen) auf der gleichen Seite des Regelfehlers und die dazugehörigen Zeiten ähnlich, so ist eine Schwingung vorhanden. FIG 12 zeigt einen beispielhaften Verlauf, die zugehörigen Flächen und die gemessenen Zeiten. Sind die Flächen A_0 und A_1 , die Zeiten δ_0 und δ_1 , die Flächen B_0 und B_1 , sowie die Zeiten ε_0 und ε_1 ähnlich, so wird eine Schwingung erkannt.

Ein Aspekt dieser Methode ist es, dass mit ihr auch asymmetrische Schwingungen erkannt werden können, da immer nur die Flächen auf der gleichen Seite des Regelfehlers miteinander verglichen werden. Dies ist von Vorteil, wenn wie in FIG 13 zu sehen, die Flächen B_0 und B_1 nicht sofort als Teil einer Schwingung erkannt werden und z.B. die Flächen A_0 und A_1 als zwei voneinander unabhängige Störungen interpretiert werden.

Nachfolgend wird ein Beispiel einer Regelkreisgüteüberwachung beschrieben. In FIG 14 ist ein exemplarischer Verlauf der Regelgröße eines Regelkreises bei rampenförmiger Sollwertänderung dargestellt. Der dazugehörige Verlauf des integrierten

absoluten Fehlers ist in FIG 15 abgebildet. Deutlich ist zu erkennen, dass es drei Minima gibt.

Im stationären Zustand bestimmt nur das Rauschen den IAE-Verlauf. Während der Sollwertänderung gibt es einen Übergangsbereich, nach dem der Regelfehler nahezu konstant verläuft. Während des Übergangsbereiches treten Maxima und Minima im IAE-Verlauf auf, siehe FIG 15. Die Minima beschreiben das Verhalten des Regelkreises im stationären Zustand.

Im stationären Zustand ist der Verlauf von IAE nur durch das Rauschen bestimmt. Deshalb muss eine große Zeitspanne integriert werden, um nicht dem Rauschen nachzulaufen. Wird eine große Zeitspanne gewählt, hier $T = 6 \times T_{\text{Sum}}$, so wird mit IAE die Rauschunterdrückung gemessen, siehe auch FIG 7.

Bei Laständerungen geben die während dessen auftretenden Maxima Aufschluss über die dynamischen Eigenschaften. Bei gleicher Laständerung sind die Maxima annähernd gleich. Wird der Regelkreis träger, so wächst das Maximum an, da automatisch auch der Regelfehler durch den trägeren Regelkreis im Vergleich zur Referenz zunimmt. Mit der Erfassung des Maximums wird somit die Trägheit des Regelkreises überwacht, siehe FIG 16.

Der Mittelwert des Regelfehlers gibt an, wie gut die Regelgröße an den Sollwert durch die Regelung herangeführt wird. Das Minimum des Regelfehlers ist somit die Kenngröße für eine bleibende Regelabweichung. Bewegt sich der Regelfehler im stationären Zustand nahe bei Null, so gibt es keine bleibende Regelabweichung, siehe FIG 17.

Die minimale bleibende Regelabweichung, die nach Sollwertänderungen aufgetreten ist, wird in der Lernphase abgespeichert. Zu große Abweichungen von diesem Referenzwert deuten auf eine verringerte Regelgüte hin. Ursachen dafür können zum Beispiel konstante Störungen oder abgenutzte Stellglieder sein.

Die FIG 18 und 19 zeigen eine rampenförmige Sollwertänderung und den dazugehörigen Regelfehler. In FIG 20 ist die zum Regelfehler gehörige Standardabweichung dargestellt. Die Minima der Standardabweichung werden allein durch das Rauschen hervorgerufen und geben somit Aufschluss darüber, wie ruhig der Prozess geregelt wird.

Im Fall einer Laständerung werden die Maxima durch den Übergang von stationärem Zustand zur Sollwertänderung und zurück erzeugt. Wächst das Maximum an, so verhindern Störungen während der Sollwertänderung eine bessere Regelgüte, vgl. FIG 20.

Um die relative Wind-up-Zeit zu bestimmen, muss ein Beobachtungszeitraum definiert werden. Auch hier ist es praktisch, den Zeitraum als Vielfaches der Summenzeitkonstante anzunehmen, z.B. $T = 4 \times T_{\text{Sum}}$. Bei Auftreten von Wind-up, siehe FIG 21, ergibt sich ein Verlauf wie in FIG 22. Durch das gleitende Zeitfenster entsteht ein rampenförmiger Verlauf.

Die FIG 23, 24 und 25 zeigen das Auftreten von Schwingungen nach einer Sollwertänderung. Im Folgenden wird nun beschrieben, wie die beiden oben vorgestellten Methoden diese Schwingung erkennen und welche Anpassungen für die Verwendung der Methoden für die Regelkreisgüteüberwachung erfolgten.

Die Anpassungen der ersten Methode an eine On-Line-Erfassung sind gering. Hauptsächlichste Elemente sind die Einführung eines Schwellwertes und des Vergessensfaktors γ . Dadurch werden Fehlerkennungen durch Rauschen reduziert. Ein Flussdiagramm für den angepassten Algorithmus zur On-Line-Erkennung ist in FIG 26 abgebildet.

In FIG 27 ist die Oszillationserkennung nach der ersten Methode abgebildet. Die hohe Empfindlichkeit dieser Methode zeigt sich bei der ersten auftretenden Oszillation bei $t=12200s$, siehe auch FIG 23. Da nur eine geringe Anzahl von Teilzyklen benötigt wird (abhängig vom Schwellenwert),

springt der Oszillationsindex zweimal innerhalb kurzer Zeit auf 1 und zeigt somit eine Schwingung an.

Um die zweite Methode zur Erkennung Oszillationen für die On-Line-Erkennung zu optimieren und ein Detektieren von Rauschen als Schwingung zu vermeiden, werden die bereits oben angeführten Bedingungen erweitert. Die Flächen und Zeiten müssen nicht nur ähnlich sein, sondern der Quotient aus Fläche A_i und Zeit δ_i , bzw. B_i und ε_i , muss größer als der quadratische Mittelwert (rms) des Signals sein, siehe die beiden nachfolgenden Bedingungen:

$$\alpha < \frac{A_{i+1}}{A_i} < \frac{1}{\alpha} \wedge \beta < \frac{\delta_{i+1}}{\delta_i} < \frac{1}{\beta} \wedge \frac{A_i}{\delta_i} > rms$$

$$\alpha < \frac{B_{i+1}}{B_i} < \frac{1}{\alpha} \wedge \beta < \frac{\varepsilon_{i+1}}{\varepsilon_i} < \frac{1}{\beta} \wedge \frac{B_i}{\varepsilon_i} > rms$$

Somit muss eine Abweichung vom Sollwert größer als der quadratische Mittelwert sein, um als Teil einer Schwingung erkannt zu werden.

FIG 28 zeigt die Ausgabe der Oszillationserkennung nach der zweiten Methode. Deutlich zu sehen ist die geringere „Schärfe“ dieser Methode, z.B. wird die Oszillation nach 15150 Sekunden nicht erkannt.

In FIG 29 ist der Algorithmus zur On-Line-Erkennung als Flussdiagramm abgebildet. Bei jedem Zeitschritt wird dieser Algorithmus ausgeführt.

Nachfolgend wird ein Test der Regelkreisgüteüberwachung beschrieben. Die simulierte Regelstrecke hat eine Summenzeitkonstante von $T_{\text{sum}} = 100$ s. Als Sollwertänderungen werden drei Rampen definiert, siehe FIG 30. Die Rampen verlaufen mit einer Änderungsgeschwindigkeit von 4 %/min, 2 %/min und -4 %/min.

In der Lernphase werden die Kenngrößen für die Regelgüterefere-
renz aufgenommen. Zusätzlich zu den Sollwertänderungen wird
ein weißes Rauschen mit der Intensität 1 auf das System gege-
ben. Für den zuvor definierten Sollwertverlauf, siehe FIG 31,
5 ergeben sich die in den FIG 32 bis 37 abgebildeten Verläufe.
So ist beispielsweise in FIG 32 der IAE-Verlauf für dynami-
sche Prozesse dargestellt, bei dem die relevanten Maxima des
Kurvenverlaufs markiert sind, während in FIG 33 der IAE-Ver-
lauf für eine stationäre Erfassung dargestellt ist, bei dem
10 die relevanten Minima des Kurvenverlaufs markiert sind. Die
IAE-Berechnung unterscheidet sich durch den Überwachungszeit-
raum („IAE kurz“ bzw. „IAE lang“).

Es ergeben sich die folgenden Referenzwerte:

Kriterium	Referenzwert
IAE kurz	12
IAE lang	5
gleitender Mittelwert	0
Standardabweichung Regelfehler	Min: 0,01; Max: 0,07
Standardabweichung Regelgröße	Min: 0,01; Max: 5,85
Standardabweichung Stellgröße	Min: 0,1; Max: 7,3
Wind-up	0
Oszillationsindex	0

Als nächstes wird das Verhalten der Regelstrecke mit einem
Stellglied simuliert, welches träger als in der Lernphase
ist, d.h. die Zeitkonstante des Stellglieds ist größer als in
20 der Lernphase, $T_{\text{stell}} > T_{\text{stell, Ref}}$. Für diesen Fall ergeben sich
die Verläufe nach den FIG 38 bis 43. Deutlich zu sehen sind
die positiven Veränderungen im Minimum und Maximum des IAE-
Verlaufs. D.h. sowohl im stationären Zustand, als auch bei
Sollwertänderungen wird ein trägerer Regelkreis erkannt. Zu-
25 sätzlich zeigt sich die Trägheit in einem größeren Mittelwert
der Regelabweichung nach Sollwertänderungen und in der größe-
ren Standardabweichung des Regelfehlers. Das Minimum der
Standardabweichung der Stellgröße verringert sich bei träge-

rem Stellglied. Die aktuellen Werte und Veränderungen sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

Kriterium	Aktueller Wert	Veränderung [%]
IAE kurz	17,3	44
IAE lang	6	20
gleitender Mittelwert	0	0
Standardabweichung Regelfehler	Min: 0,01; Max: 0,125	0 79
Standardabweichung Regelgröße	Min: 0,01; Max: 5,85	0 0
Standardabweichung Stellgröße	Min: 0,05; Max: 7,35	-50 0,07
Wind-up	0	0
Oszillationsindex	0	0

5

Das Erkennen einer Verschlechterung der Regelgüte hängt maßgeblich von der Einstellung der Toleranz ab. Die Toleranz gibt an, ab welcher Abweichung die Regelkreisgüteüberwachung anspricht. Je größer die Toleranz, desto größer können die Abweichungen von den Referenzwerten sein.

10

Werden die Parameter zu groß gewählt, so wird eine Verschlechterung der Regelgüte unter Umständen nicht erkannt. Sind sie zu klein, verursachen natürliche Schwankungen eine „falsche“ Detektion einer Regelgüteverschlechterung und die Regelkreisgüteüberwachung gibt zu häufig Meldungen aus.

15

Die Einstellung der Toleranz erfolgt vorzugsweise so, dass während der Lernphase keine abweichende Regelgüte festgestellt worden wäre. Dies bedeutet, dass der maximale Wert der Kenngröße innerhalb der Toleranz liegt, wobei dies voraussetzt, dass das Auftreten des maximalen Werts der Kenngröße noch als zufriedenstellend bewertet wird.

20

Zur Ausgabe der Ergebnisse der Regelkreisgüteüberwachung erfolgt vorzugsweise eine Darstellung der Kenngrößen. Eine Mög-

25

lichkeit besteht darin, die verschiedenen Anlagenteile und Regelkreise auf einem Bildschirm grafisch darzustellen und durch Zuordnung eines Farbcodes zu den einzelnen dargestellten Objekten die aktuelle Regelgüte zu veranschaulichen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Zahl der die Toleranzgrenzen überschreitenden Kenngrößen auszugeben, siehe FIG 44. Die Anzeige ist dabei vorzugsweise in drei Bereiche unterteilt. Dabei stellt eine Anzeige in einem ersten Bereich I eine unkritische Meldung dar, die nicht zwangsläufig mit einer verschlechterten Regelgüte einhergeht, beispielsweise wenn nur eine Kenngröße den festgesetzten Toleranzwert überschreitet. Eine Anzeige in einem zweiten Bereich II zeigt eine verschlechterte Regelgüte an, die tolerierbar ist, aber untersucht werden sollte, beispielsweise mit zwei oder drei mangelhaften Kenngrößen. Eine Anzeige in einem dritten Bereich III deutet auf eine sehr stark verschlechterte Regelgüte im Vergleich zur Referenz hin, beispielsweise bei mehr als drei mangelhaften Kenngrößen. Erfolgt eine Anzeige in diesem Bereich, werden umgehend Warnmeldungen im Leitsystem ausgegeben.

Werden mehrere unterlagerte Regelungen zusammengefasst, z.B. mehrere geregelte Kohlemühlen eines Kohlekraftwerks, so werden die Kriterien addiert und die Bereiche angepasst. Bei verringerter Regelgüte wird somit der betroffene Regelkreis schnell gefunden. Die Einteilung der Bereiche wird während oder nach der Lernphase vorgenommen, um eine Überprüfung der Aussagekraft vorzunehmen.

Die Einstellung der Toleranzparameter und die Aufteilung der Bereiche bestimmt maßgeblich, wie das System auf eine verringerte Regelgüte reagiert und den Anwender benachrichtigt. Werden die Toleranzen zu klein und die Bereichsgrenzen zu niedrig gewählt, so reagiert die Regelkreislageüberwachung zu schnell. Im umgekehrten Fall, also bei zu großen Toleranzen und zu hohen Bereichsgrenzen, wird keine Regelgüteverschlechterung angezeigt.

Selbstverständlich können die Anzeigebereiche auch anders definiert werden. Ebenso ist eine andersartige Ausgabe der Ergebnisse der Güteüberwachung möglich.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk (100), dadurch gekennzeichnet, dass eine kontinuierliche Bewertung der Regelgüte erfolgt, indem durch Anwendung einer Anzahl zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises geeigneter Untersuchungsmethoden auf aus der Leittechnik (10) des Kraftwerks (100) stammende aktuelle Betriebsdaten Kenngrößen ermittelt werden, welche die Regelgüte beschreiben und eine Auswertung dieser Kenngrößen erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine Unterteilung des Kraftwerksbetriebs in Lastprofile erfolgt und die Bewertung der Regelgüte jeweils getrennt für diese Lastprofile erfolgt derart, dass die Kenngrößen die Regelgüte bei konstanter Last und/oder bei Laständerungen beschreiben.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Anzahl zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises geeigneter Untersuchungsmethoden wenigstens eine der folgenden Untersuchungsmethoden umfasst: Bestimmung des integrierten absoluten Regelfehlers (IAE), Bestimmung des gleitenden Mittelwertes, Bestimmung der Standardabweichung, Erkennen des Auftretens von Wind-up, Erkennen von Oszillationen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Lernphase eine Referenzregelgüte bestimmt wird, die in einer sich an die Lernphase anschließenden Überwachungsphase als Vergleichswert für die Beurteilung der Regelgüte verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Auswertung der Kenngrößen ein Überschreiten zulässiger Abweichungen ermittelt wird und eine Verschlechterung der Regelgröße als Anzahl von Kenngrößen

ausgegeben wird, bei denen ein solches Überschreiten vorliegt.

5 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Kenngrößen in einem Archiv erfasst und/oder für ausführlichere Analysen zur Verfügung gestellt werden.

10 7. System (11) zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk, gekennzeichnet durch Mittel zur Ausführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6.

15 8. Leittechnik (10) für ein Kraftwerk (100), gekennzeichnet durch ein in die Leittechnik (10) integriertes System (11) nach Anspruch 7.

20 9. Computerprogramm (1) zur Überwachung der Güte eines Regelkreises in einem Kraftwerk (100), mit Computerprogrammanweisungen zur kontinuierlichen Bewertung der Regelgüte durch Ermittlung von die Regelgüte beschreibenden Kenngrößen durch Anwendung einer Anzahl zur Beschreibung dynamischer Eigenschaften eines Regelkreises geeigneter Untersuchungsmethoden auf aus der Leittechnik (10) des Kraftwerks (100) stammende aktuelle Betriebsdaten und Auswertung dieser Kenngrößen, wenn
25 das Computerprogramm (1) auf einem Rechner (11) ausgeführt wird.

1 / 23

FIG 1

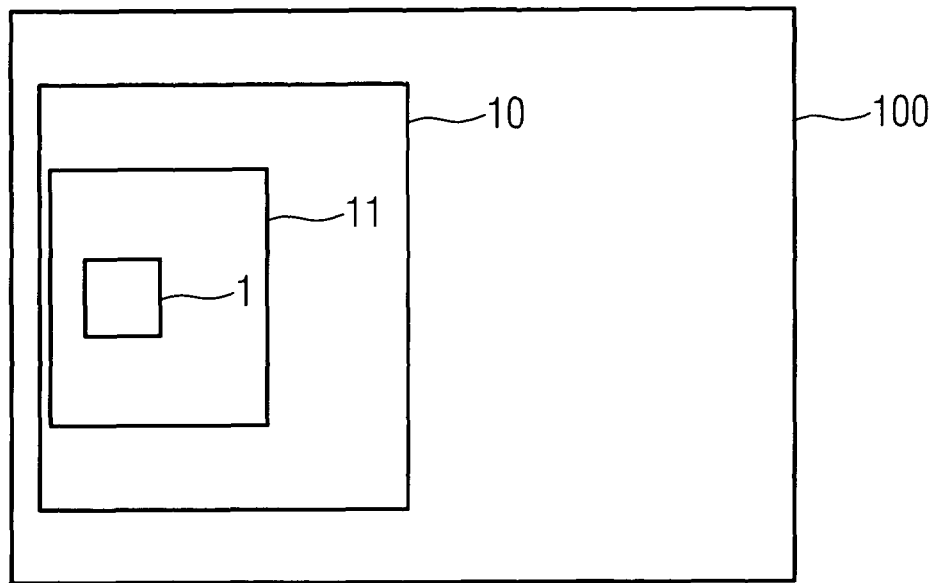


FIG 2

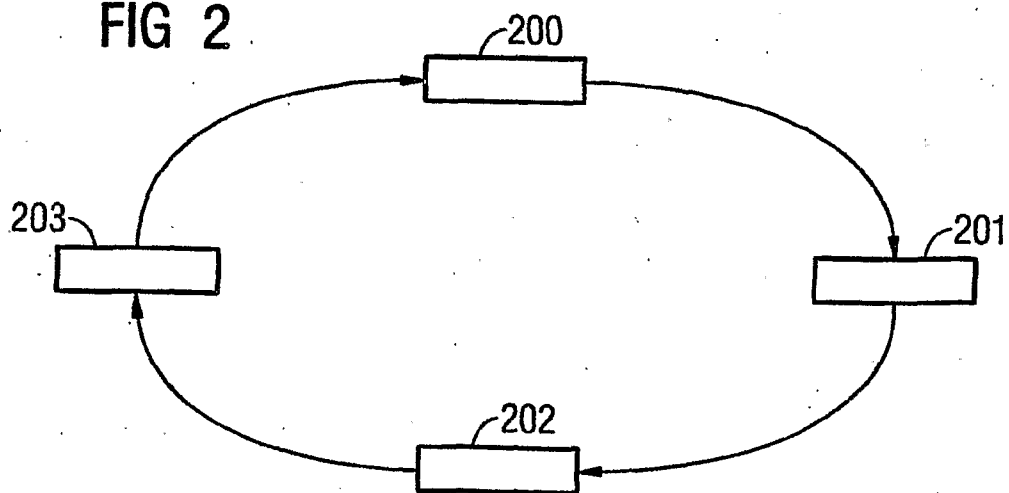


FIG 3

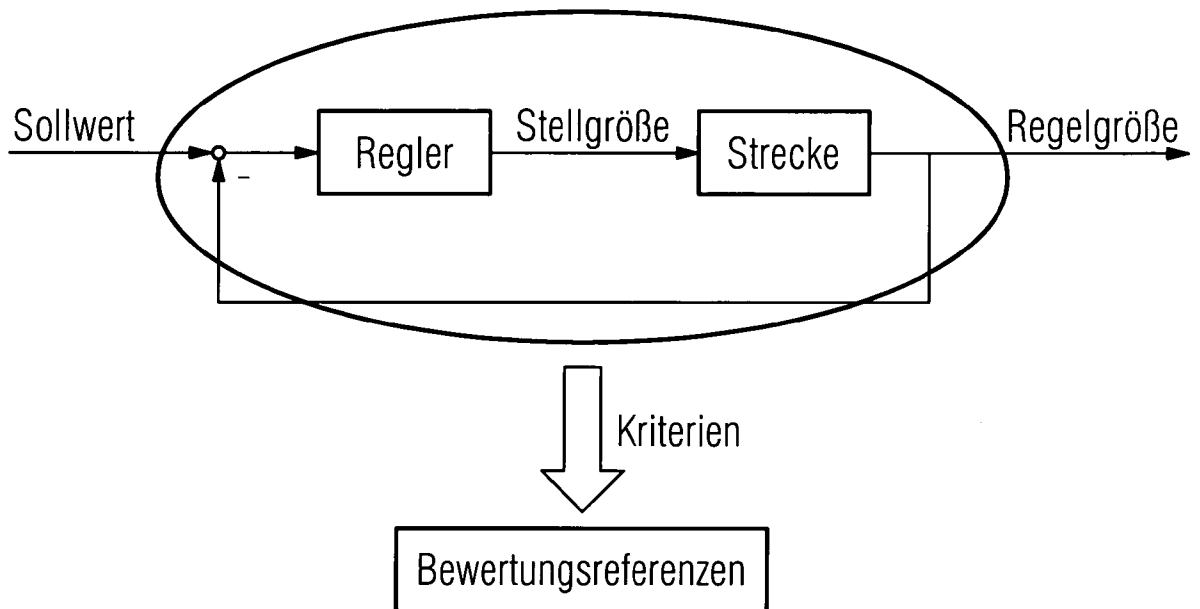


FIG 4

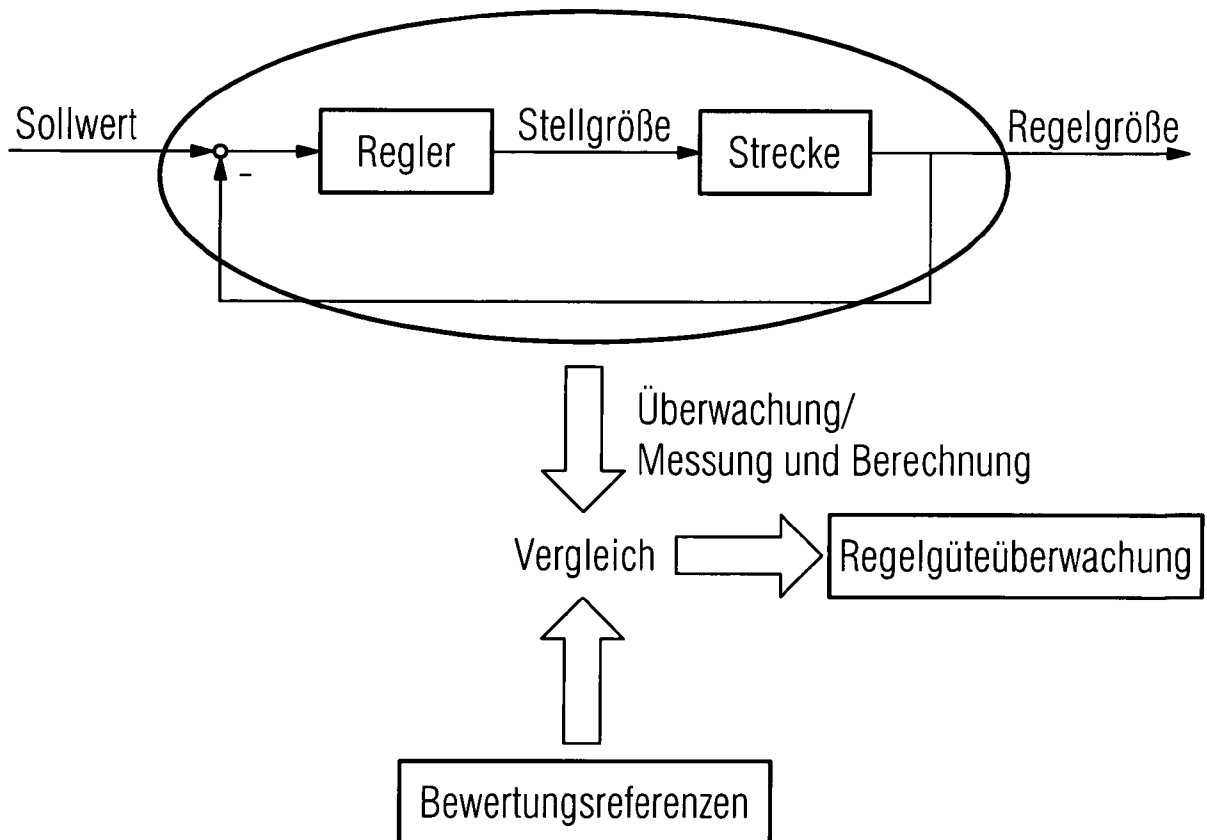


FIG 5

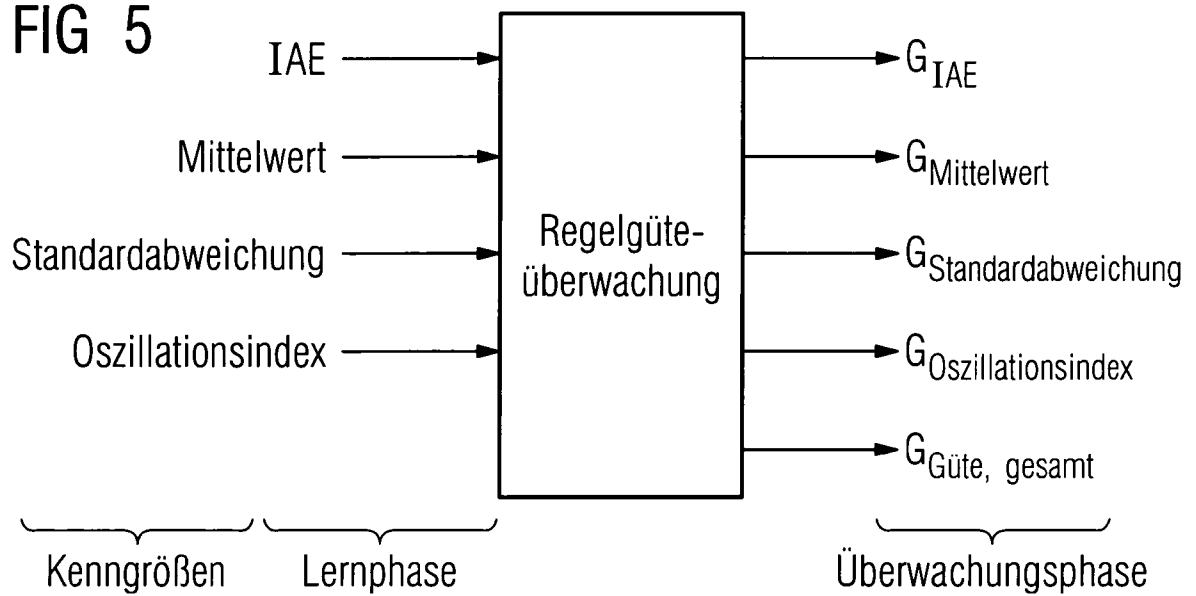


FIG 6

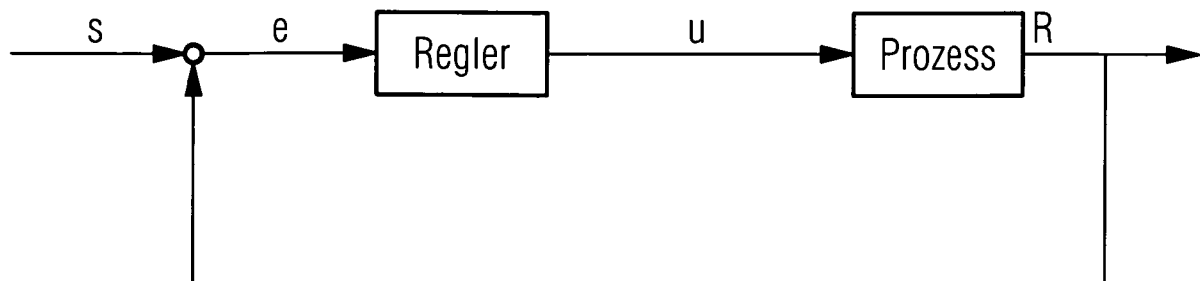


FIG 7

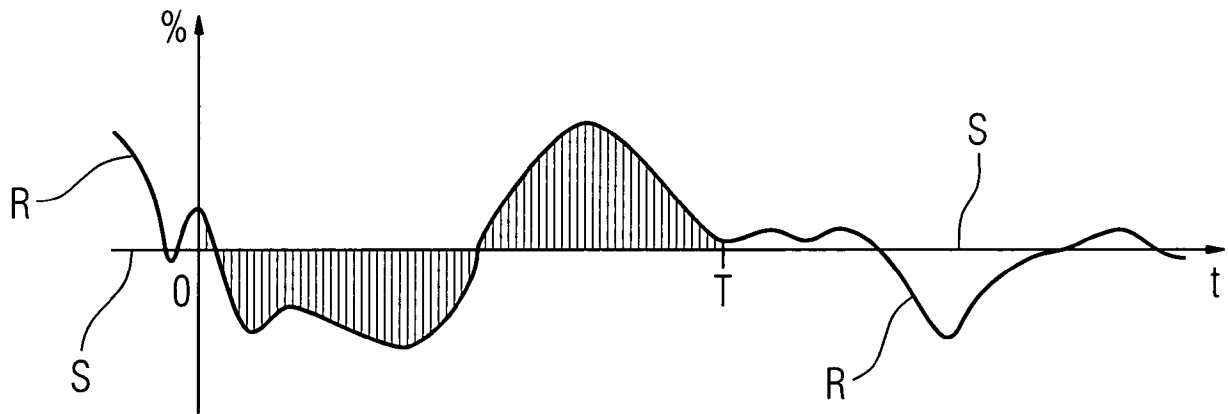


FIG 8

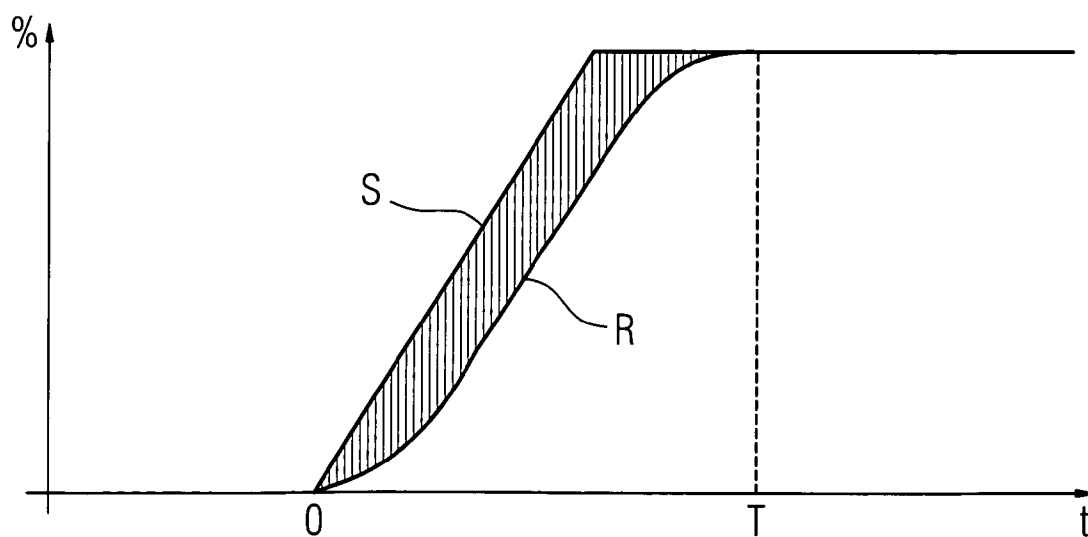


FIG 9

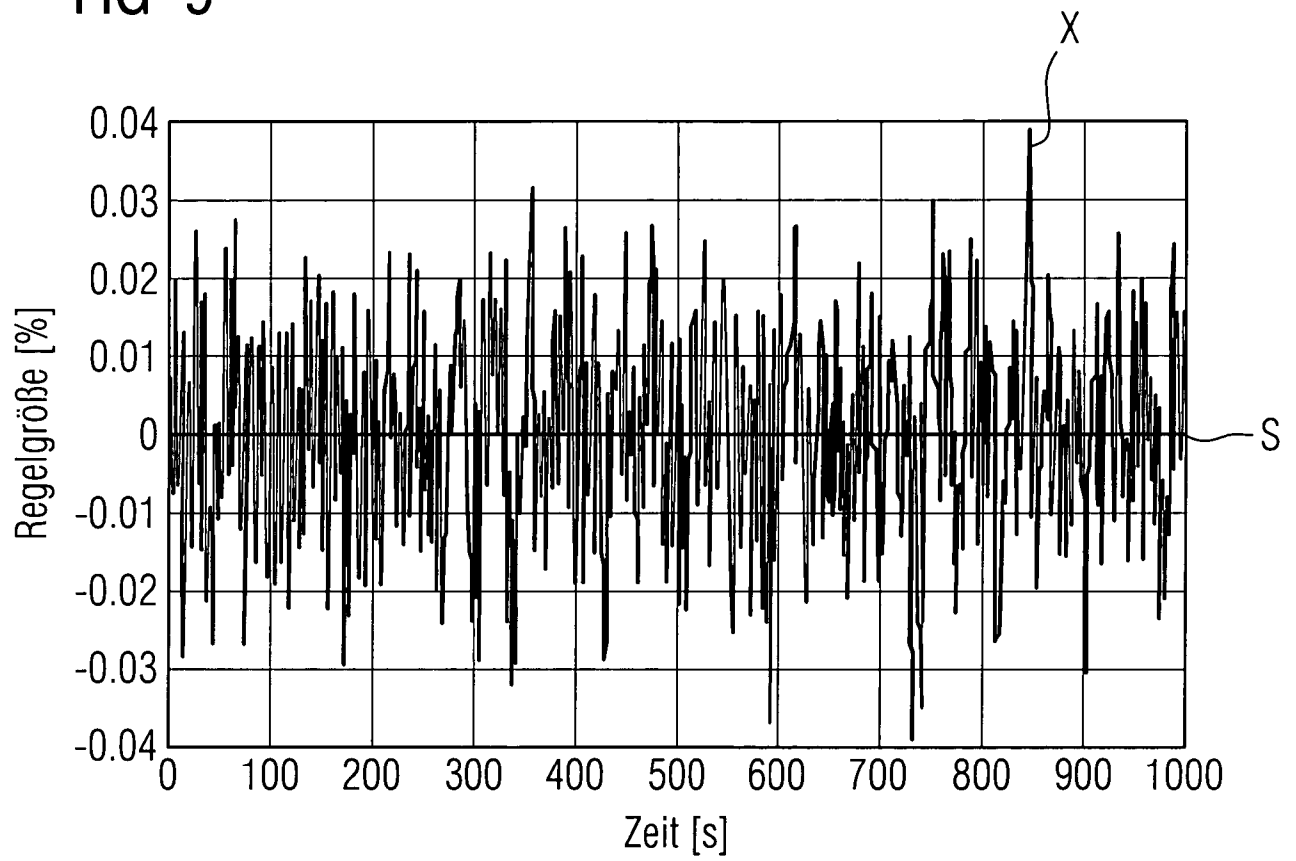


FIG 10

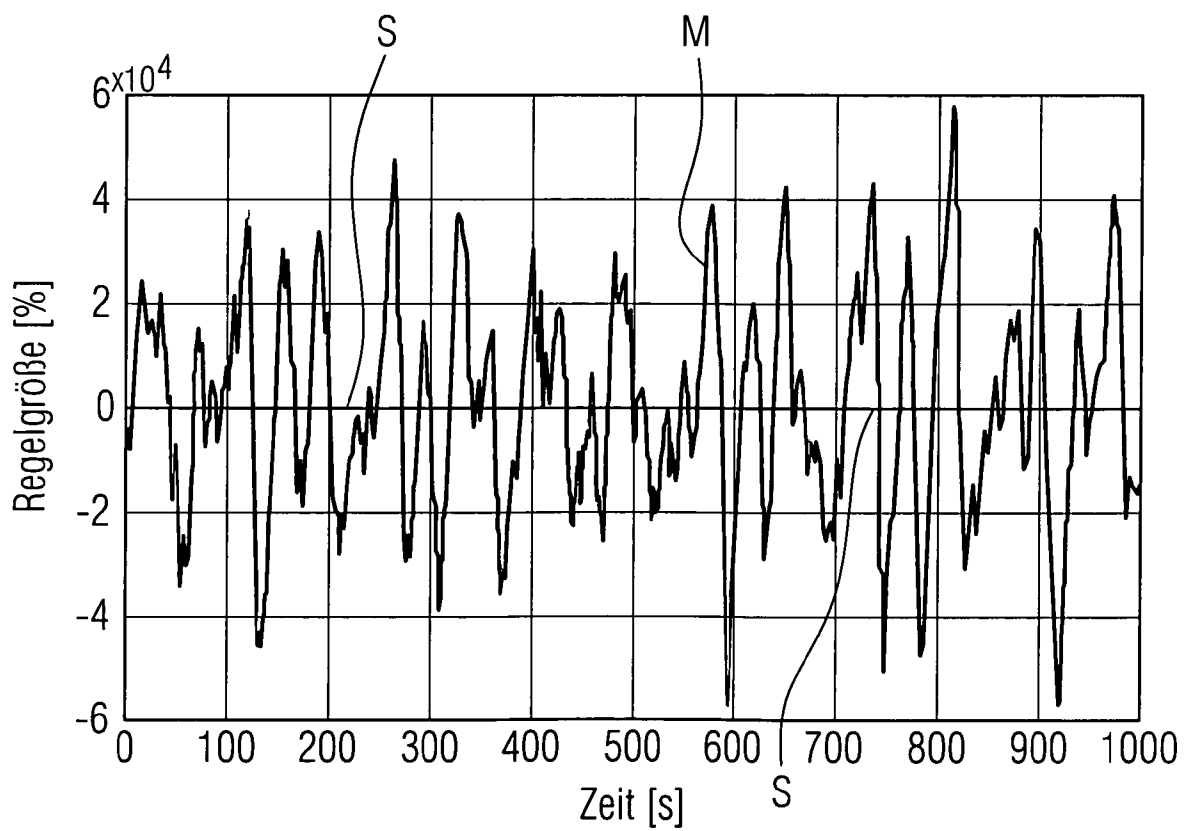


FIG 11

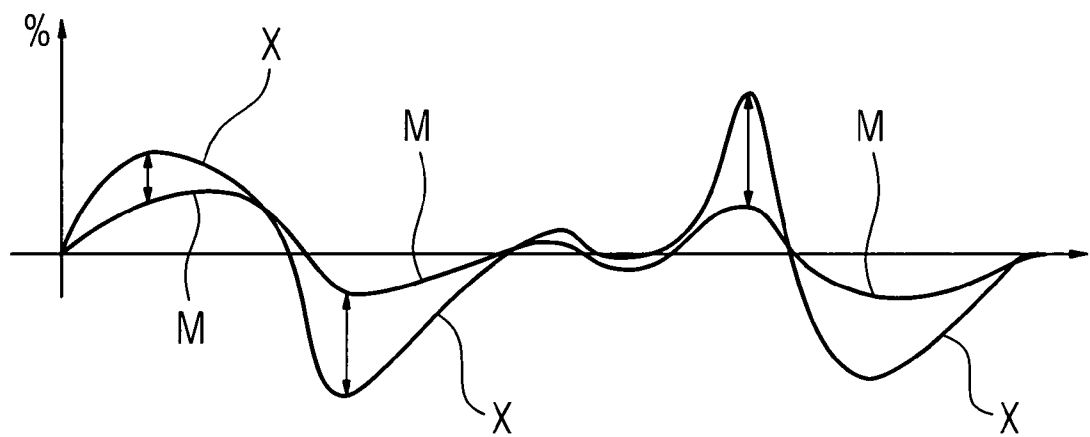


FIG 12

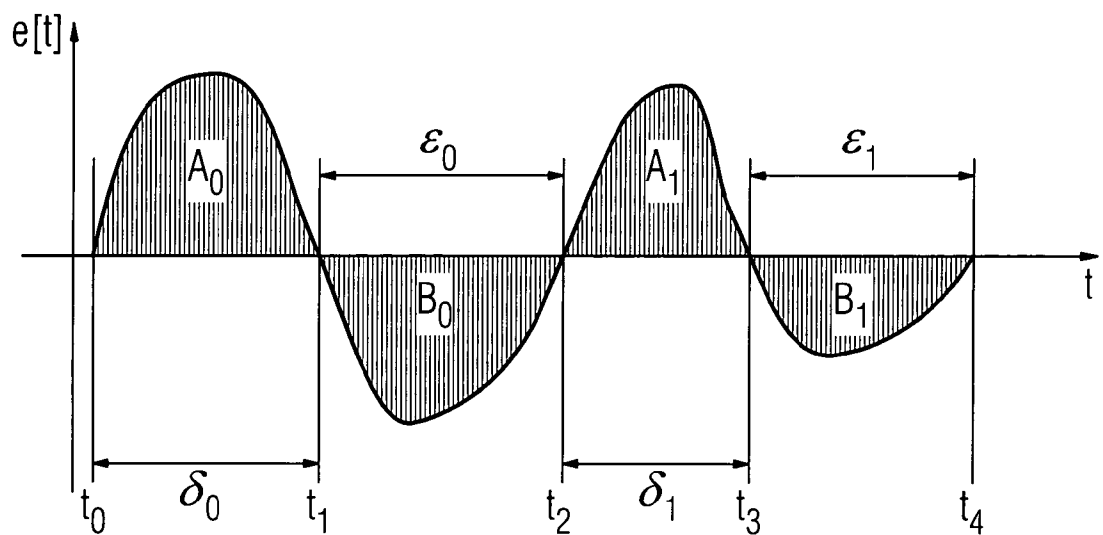


FIG 13

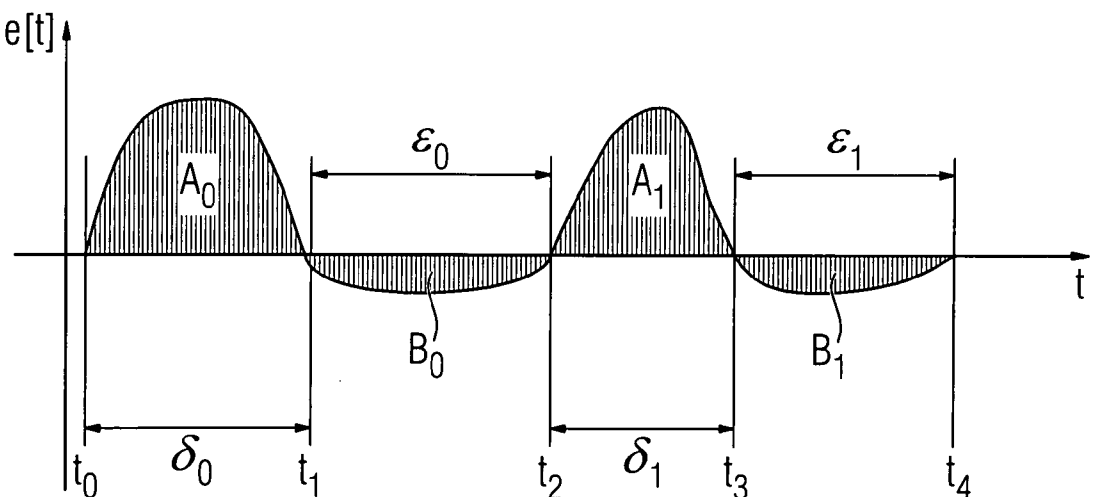


FIG 14

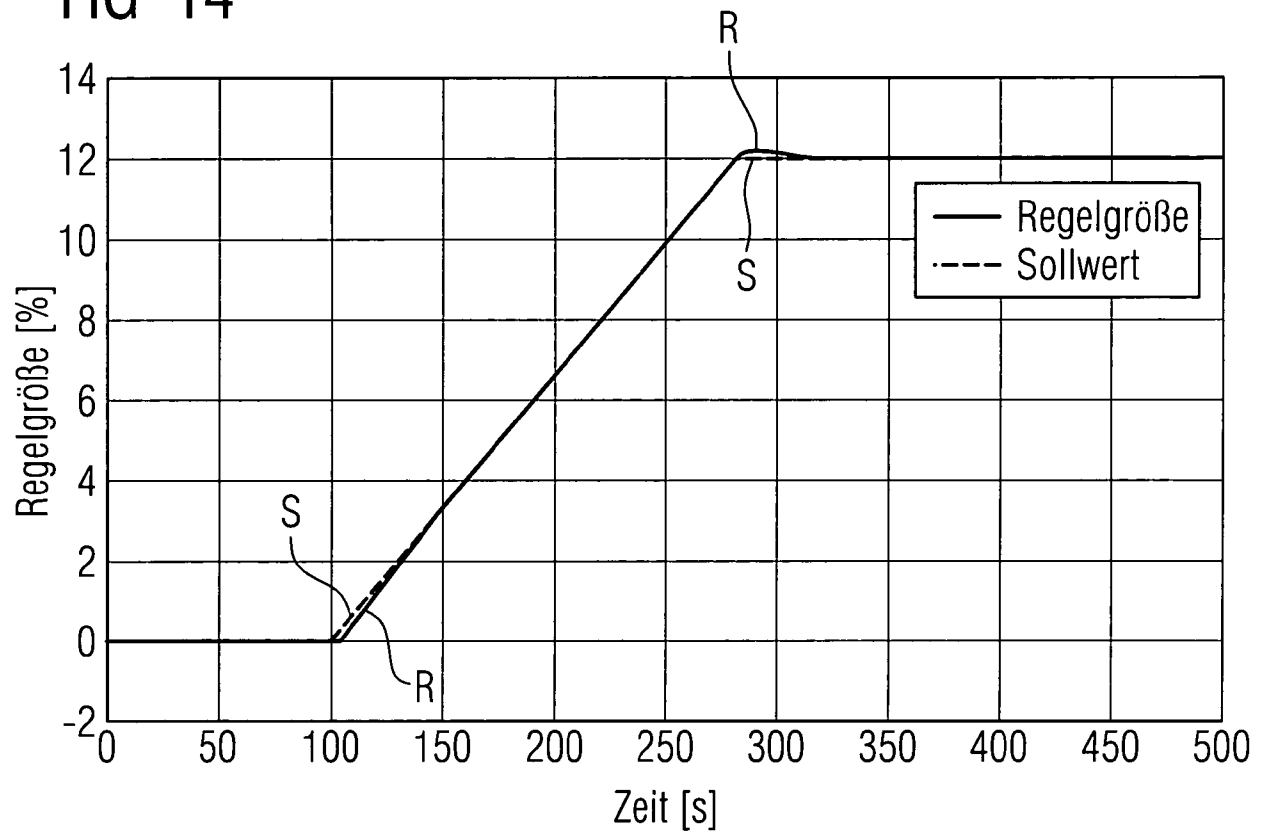


FIG 15

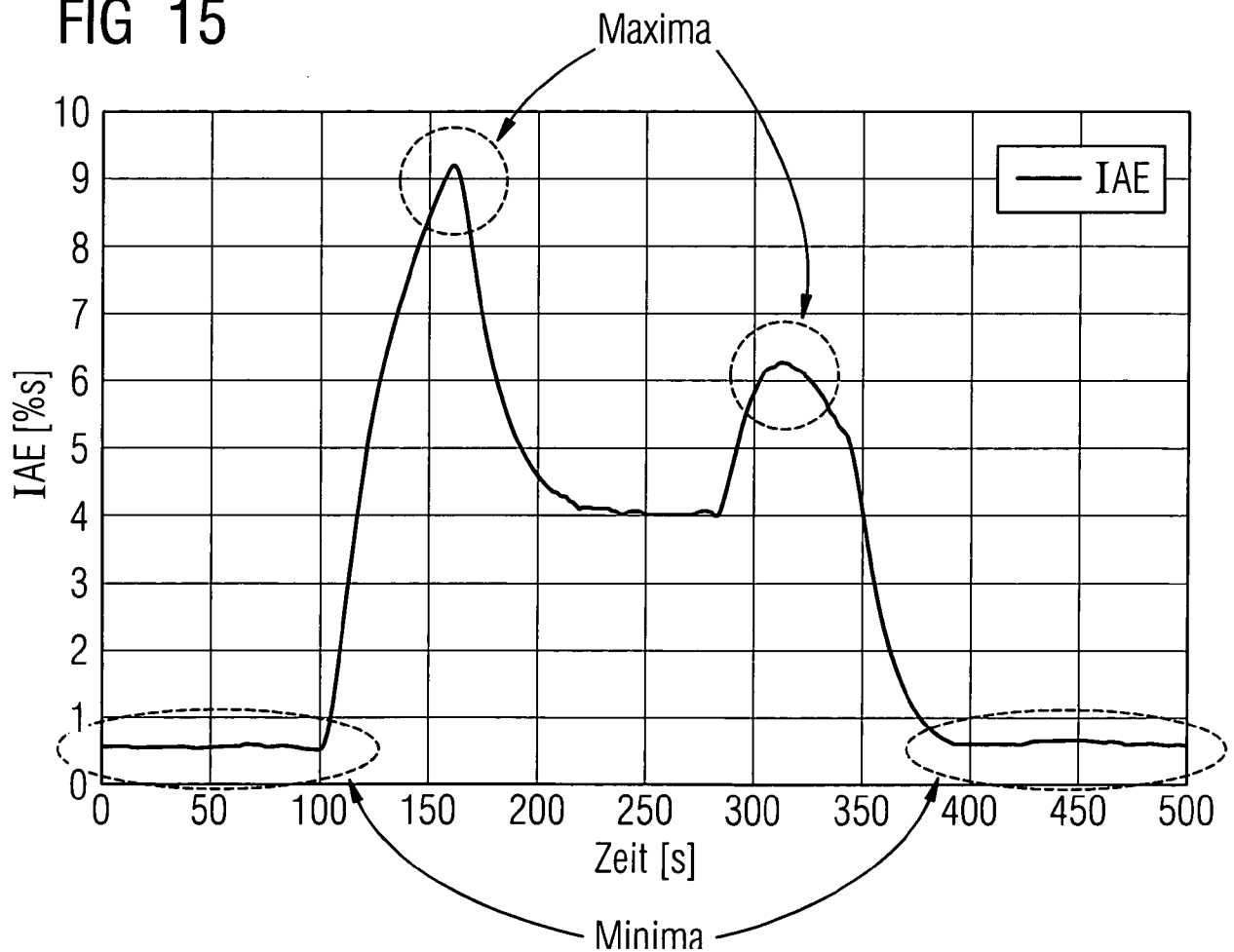


FIG 16

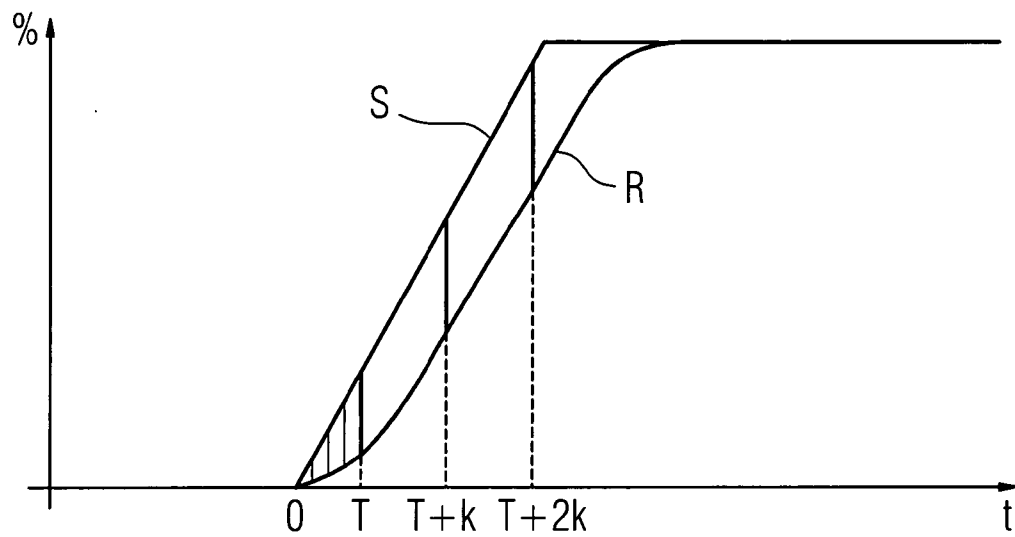


FIG 17

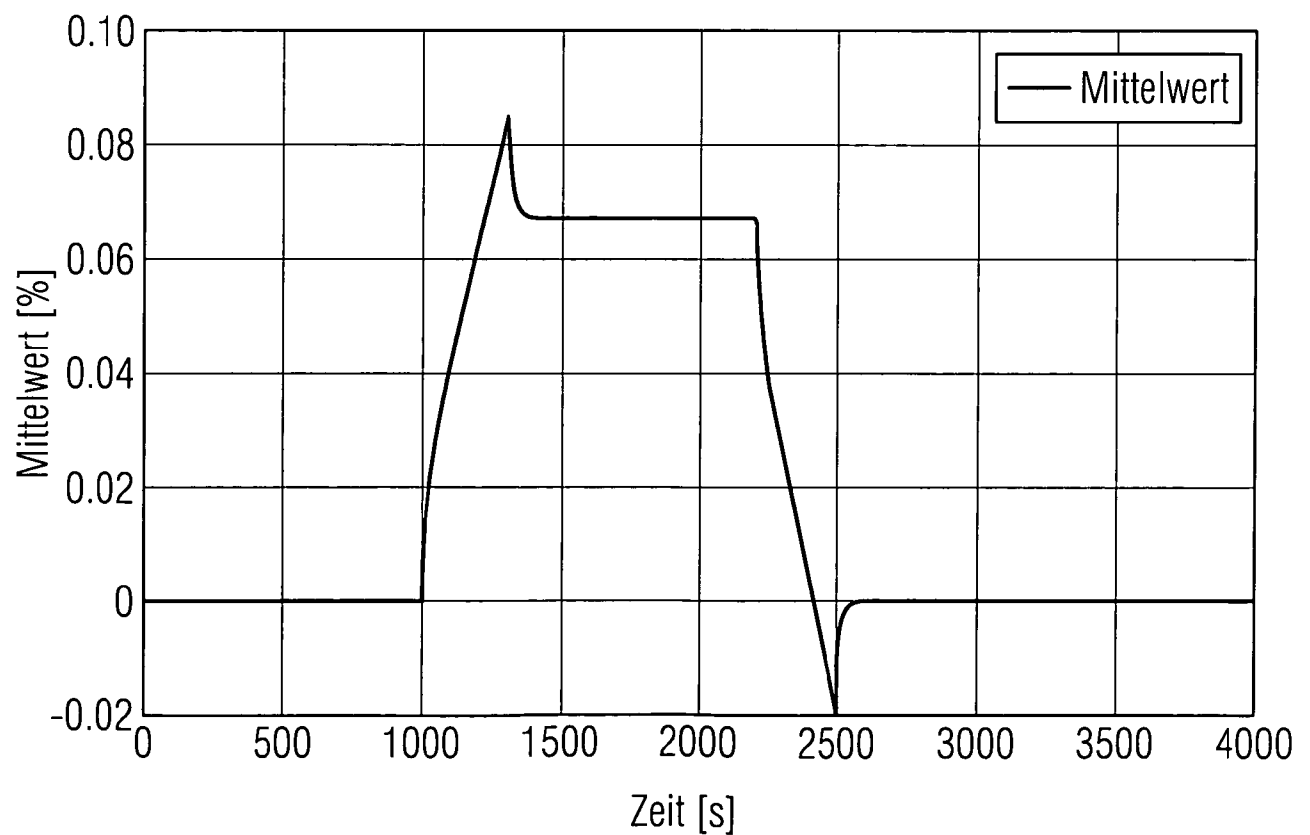


FIG 18

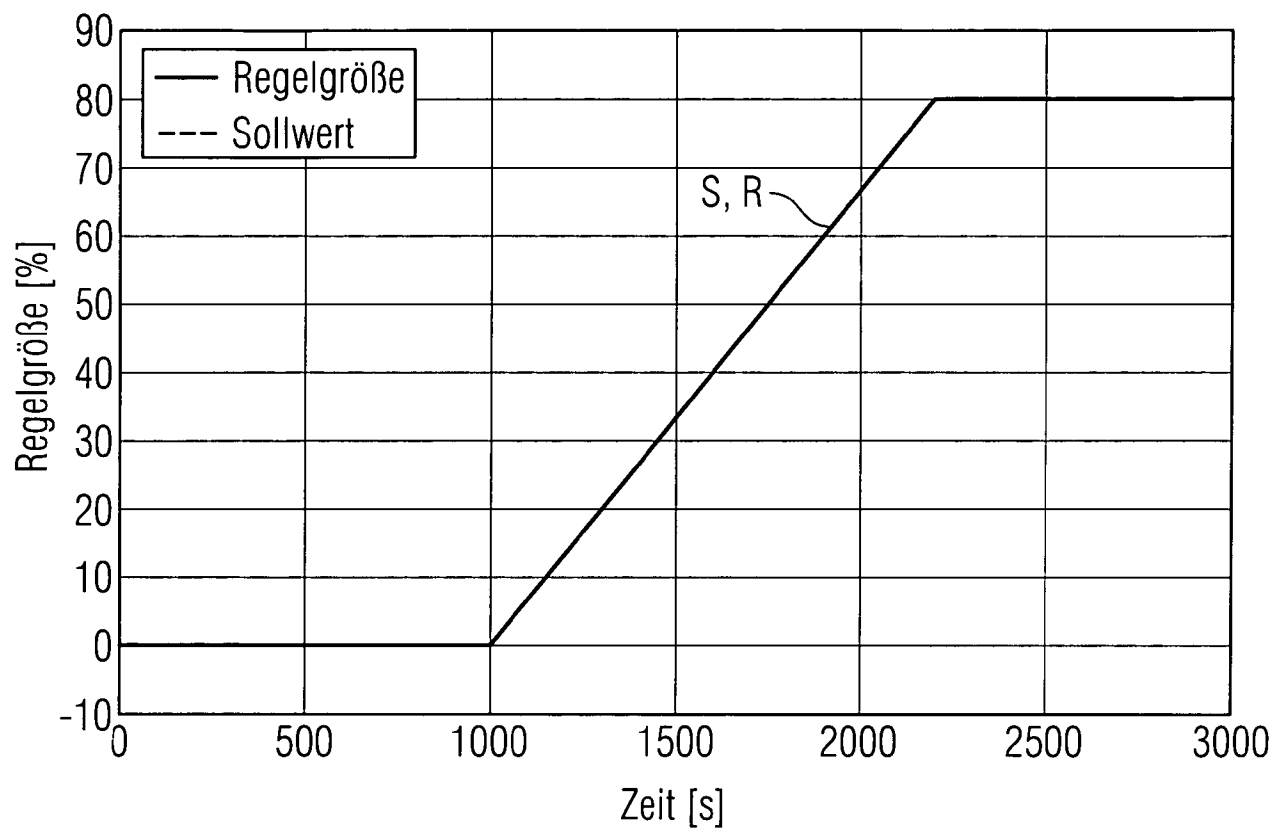


FIG 19

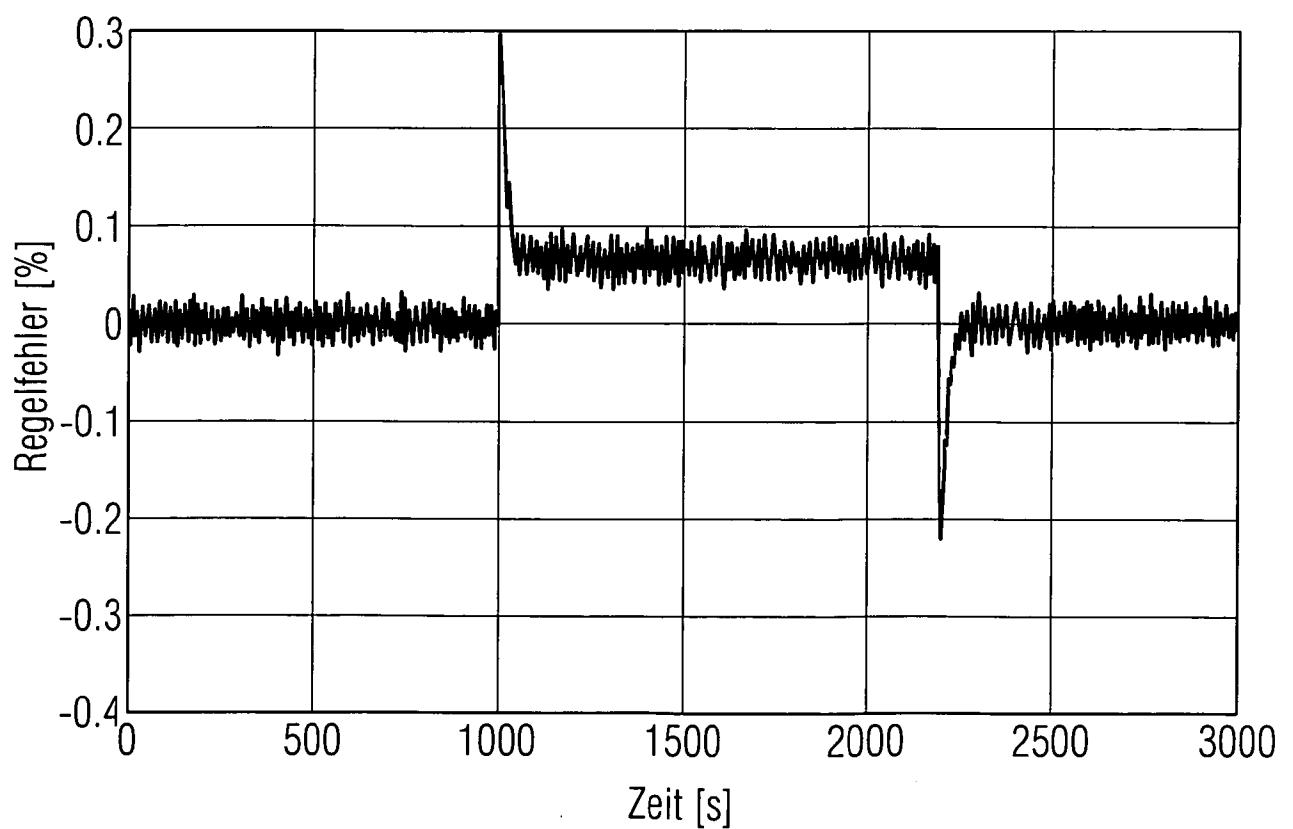


FIG 20

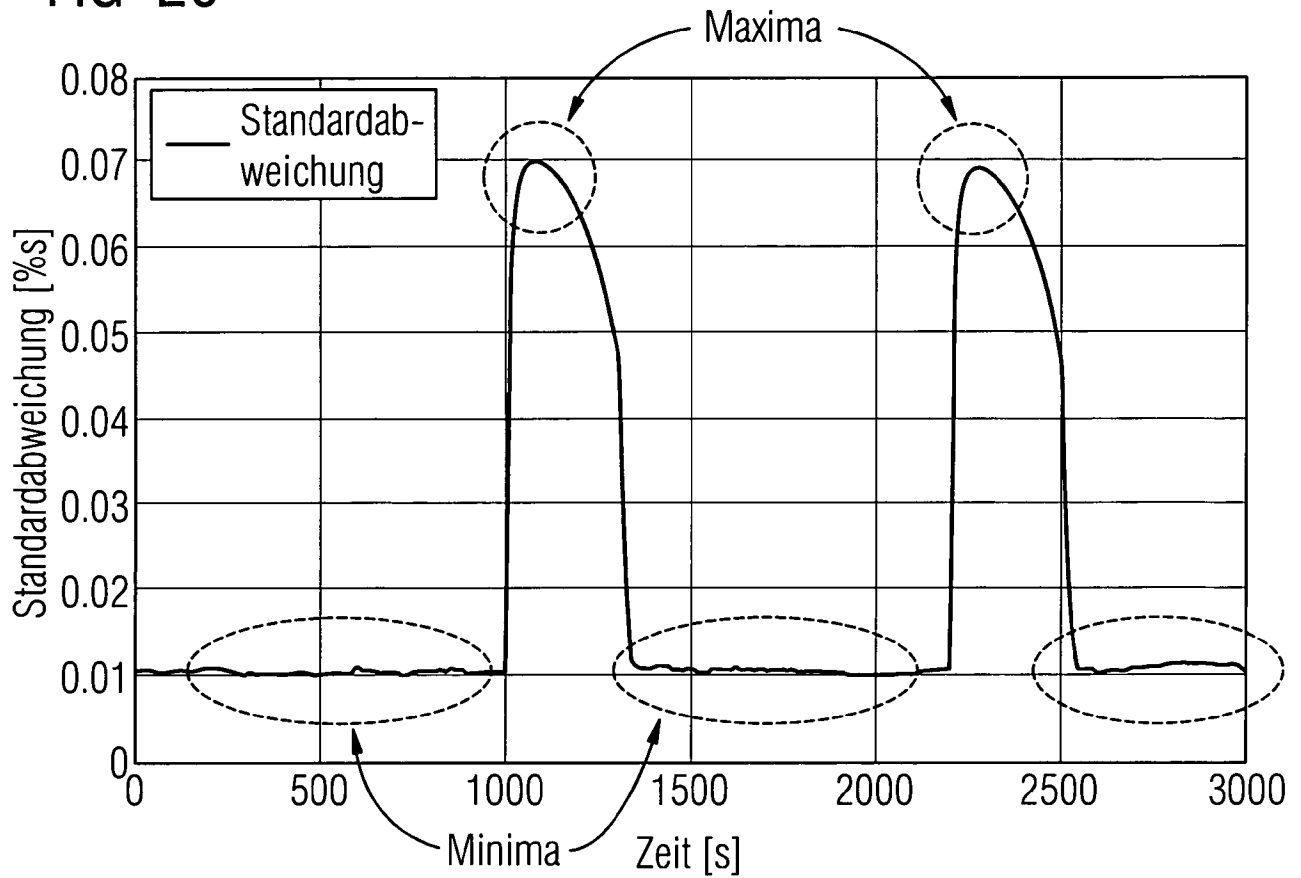


FIG 21

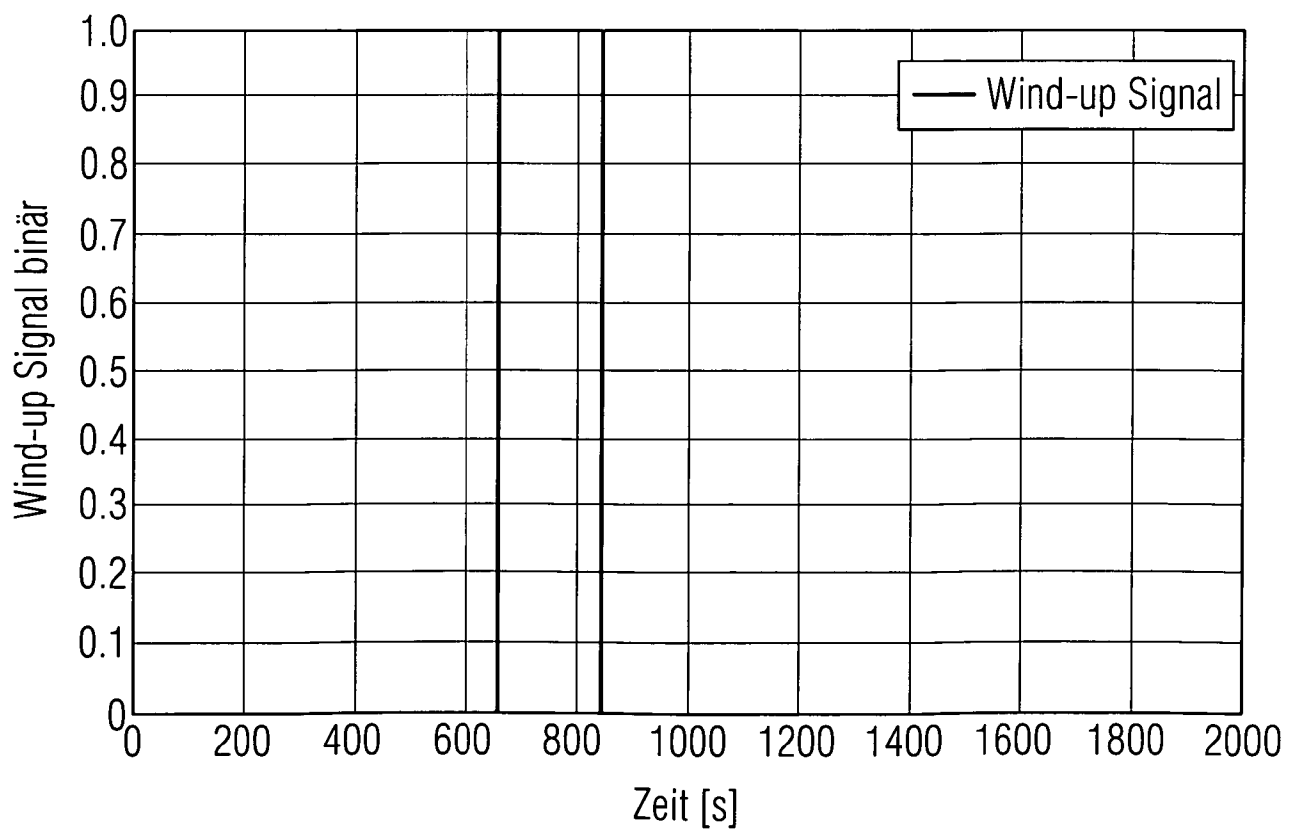


FIG 22

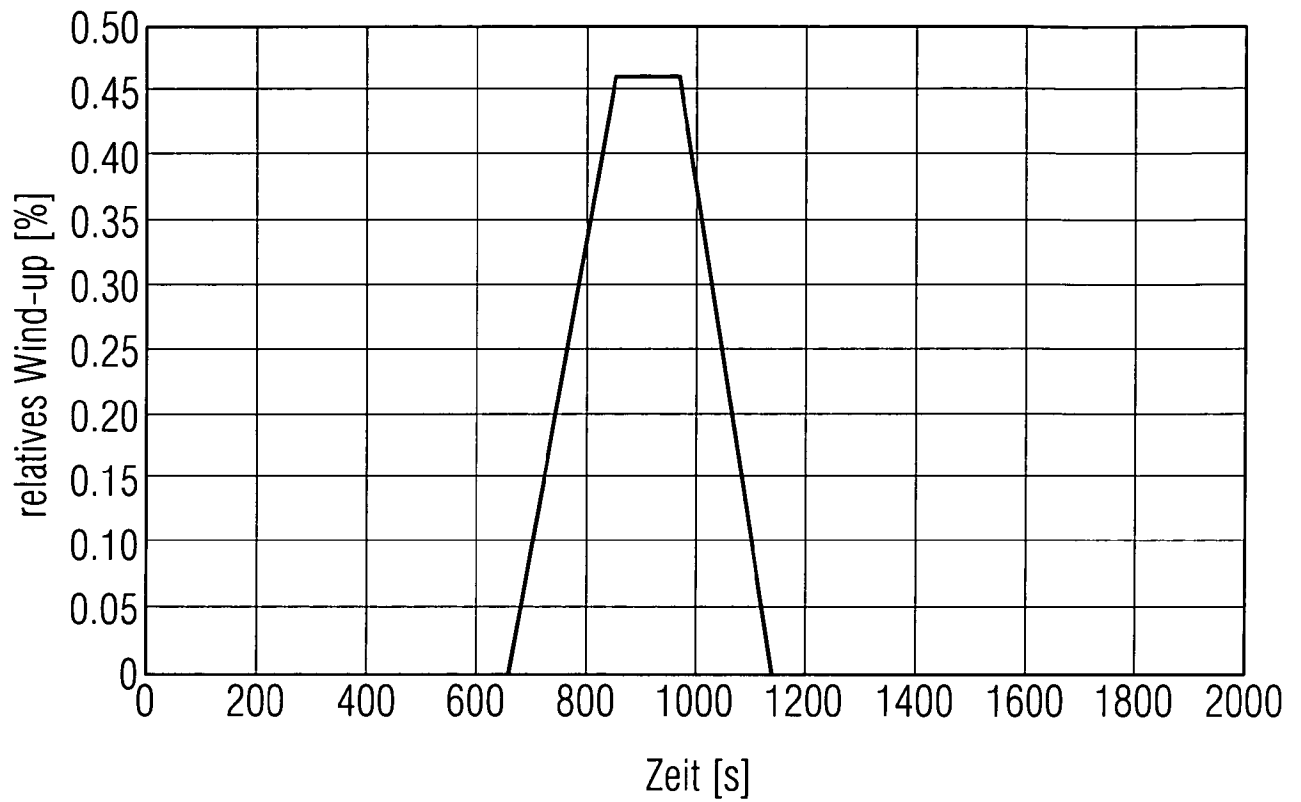


FIG 23

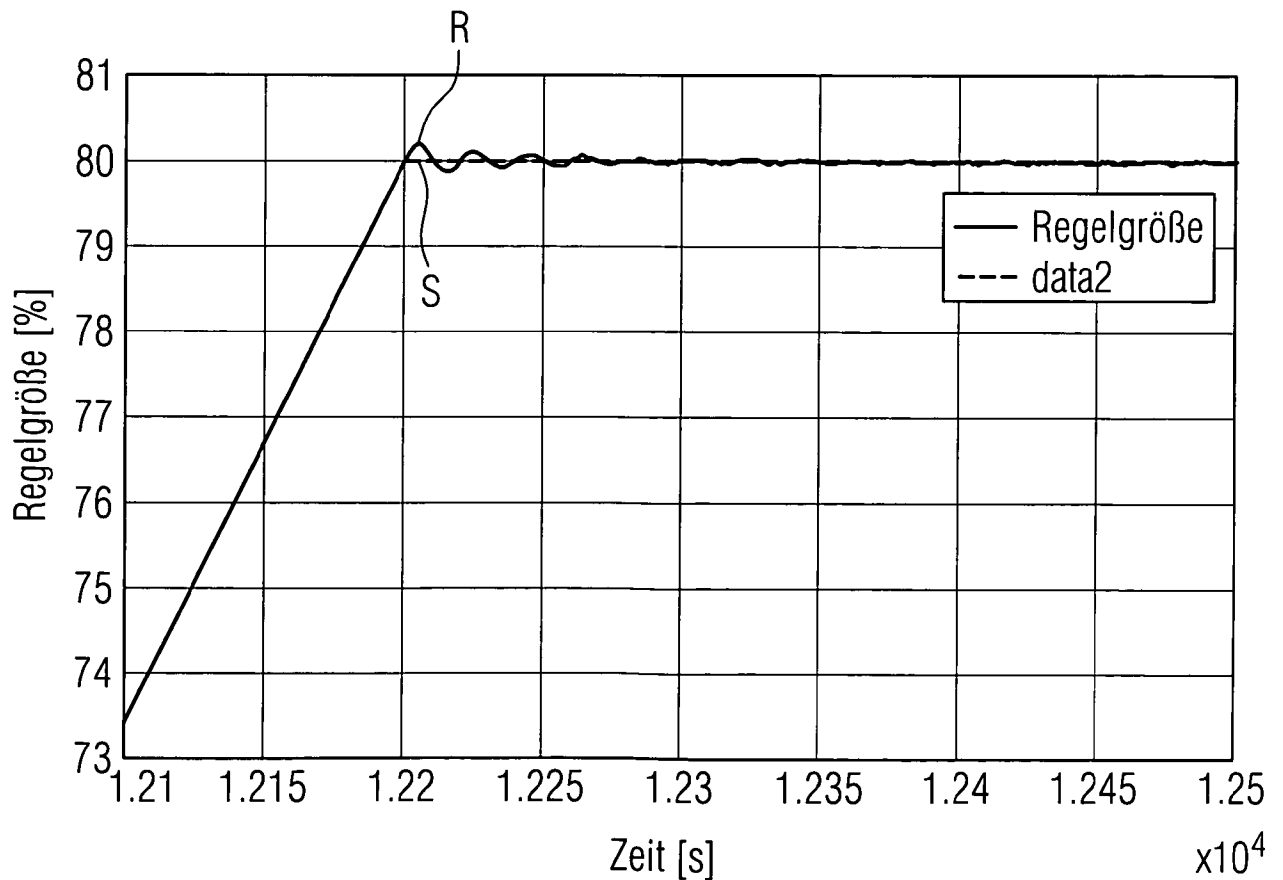


FIG 24

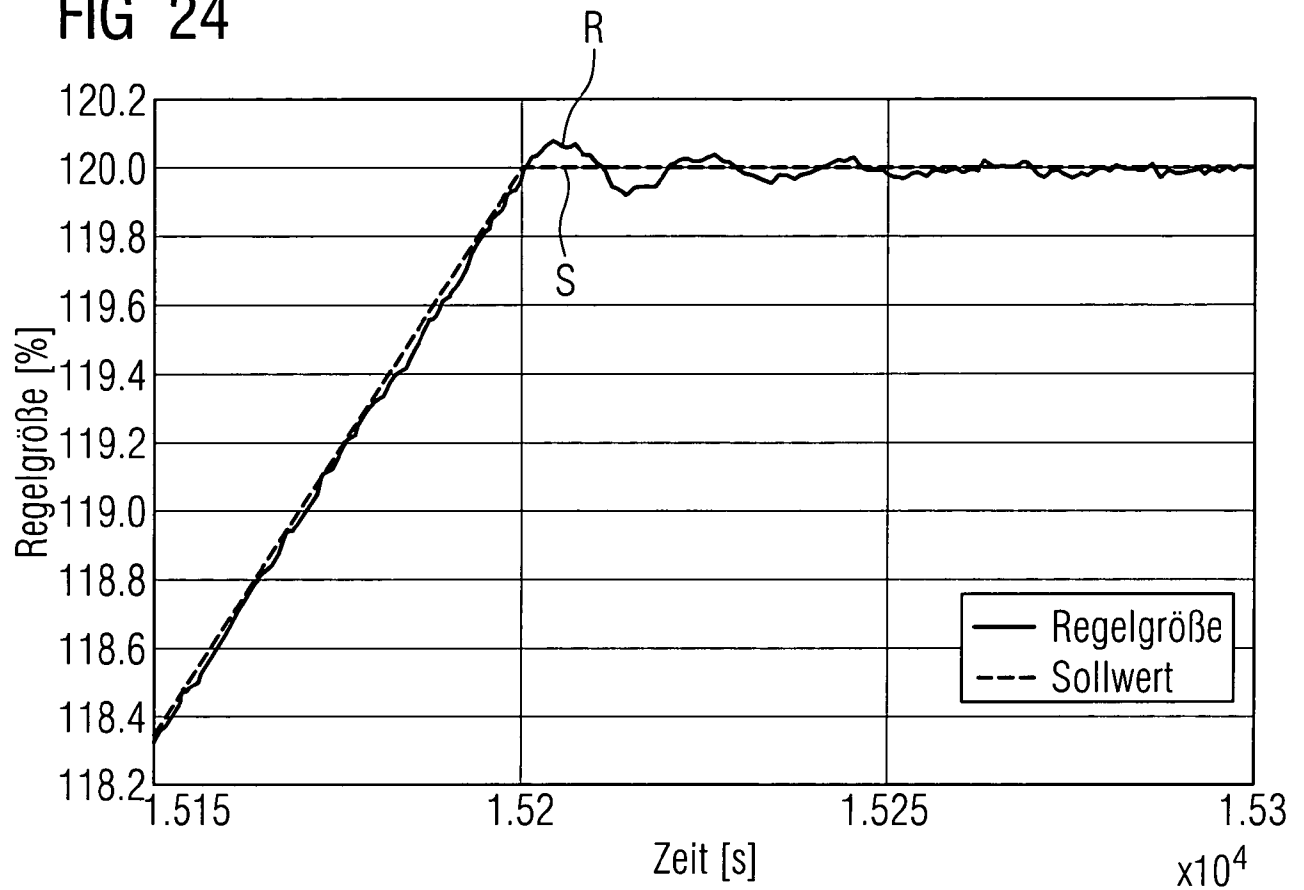


FIG 25

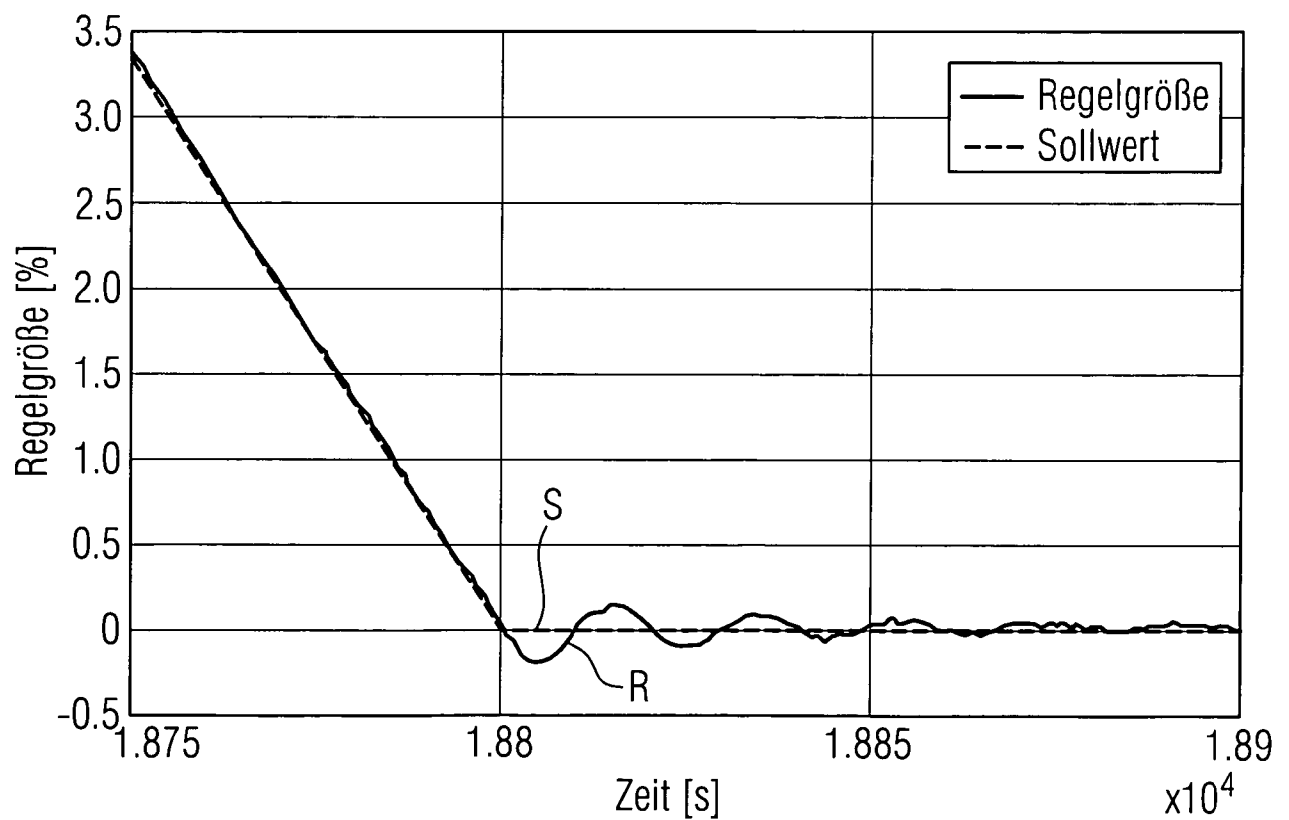


FIG 26

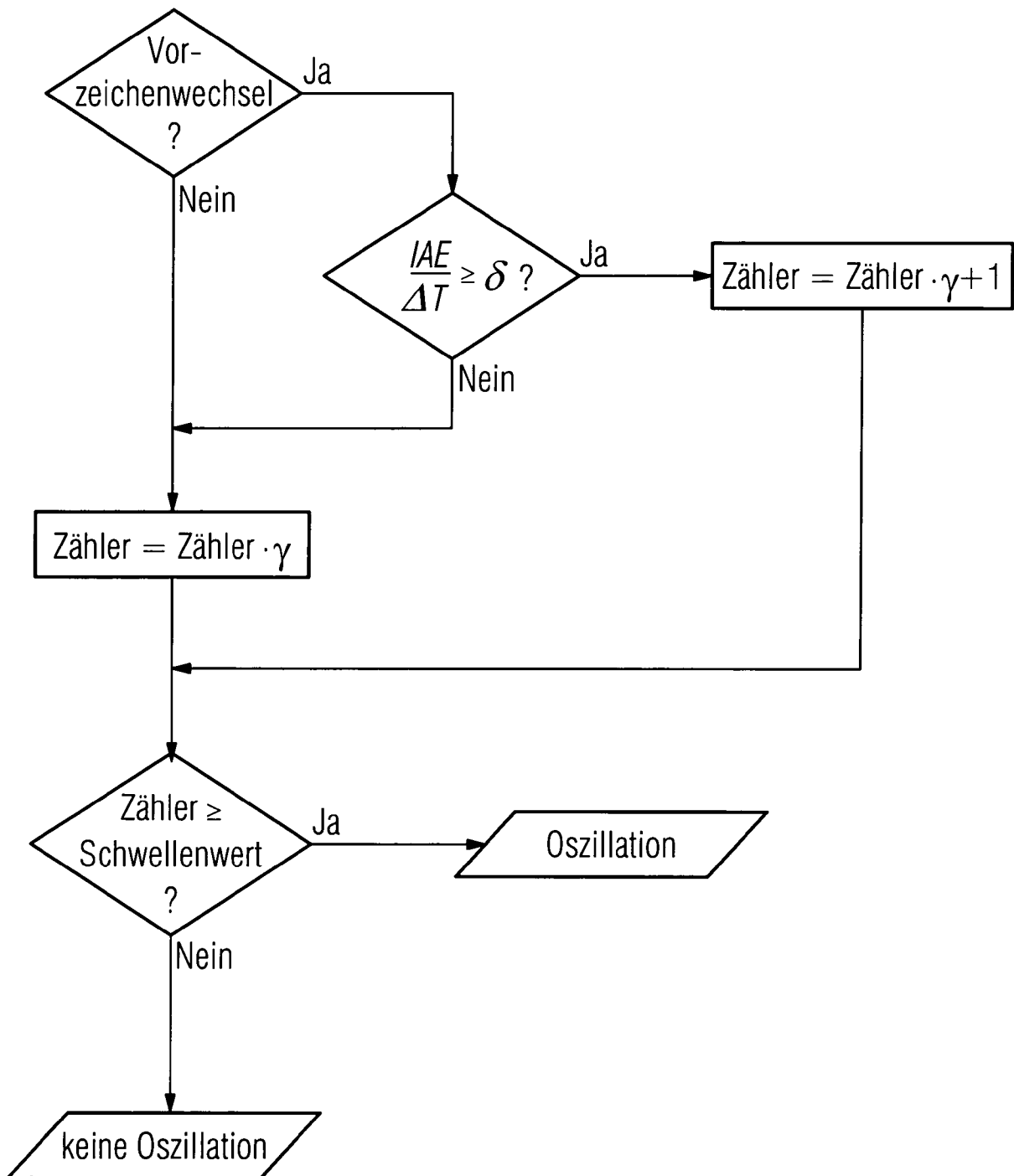


FIG 27

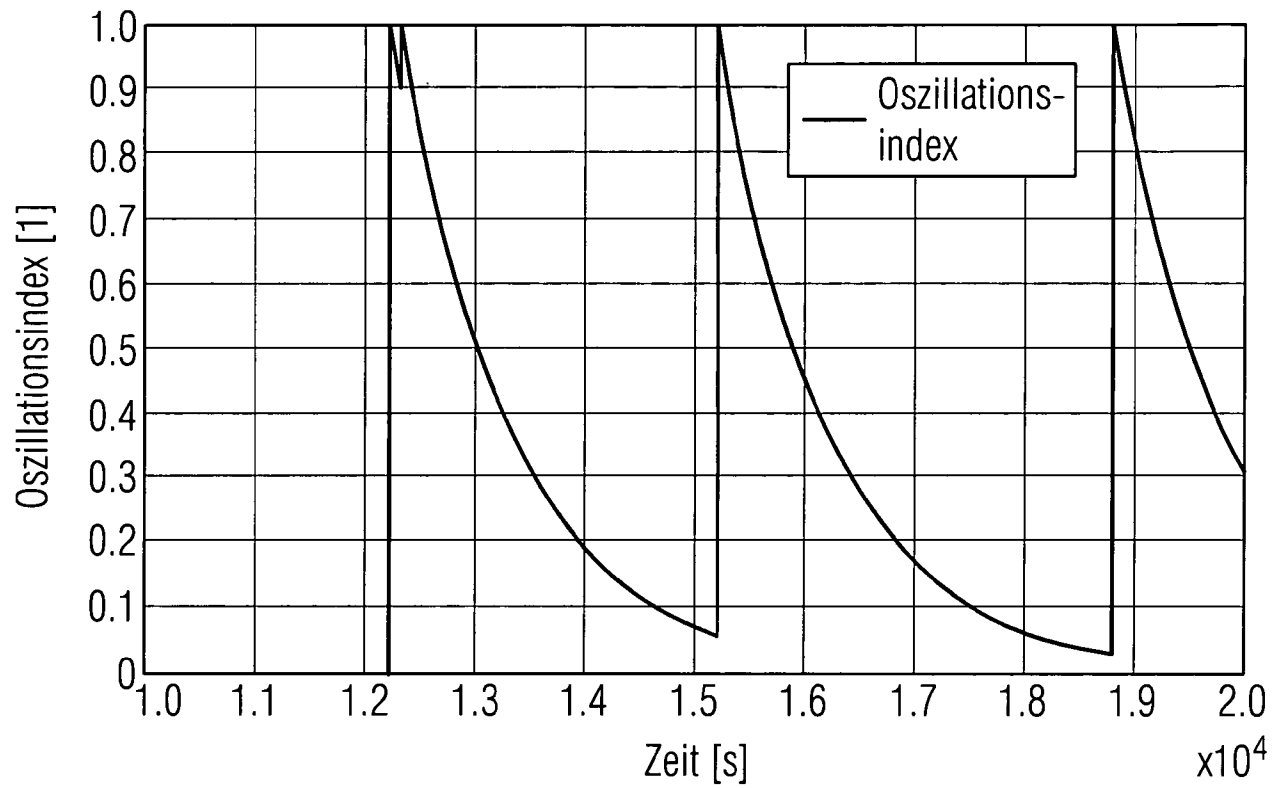


FIG 28

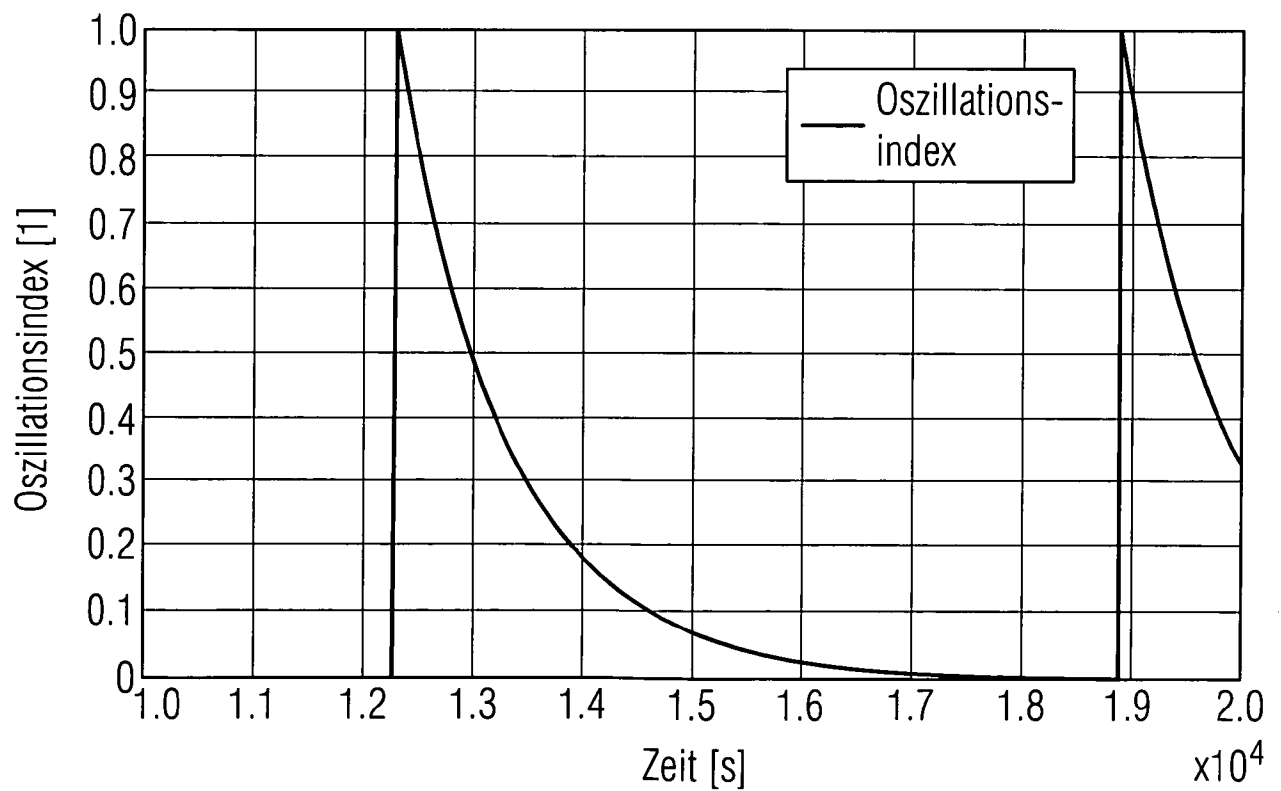


FIG 29

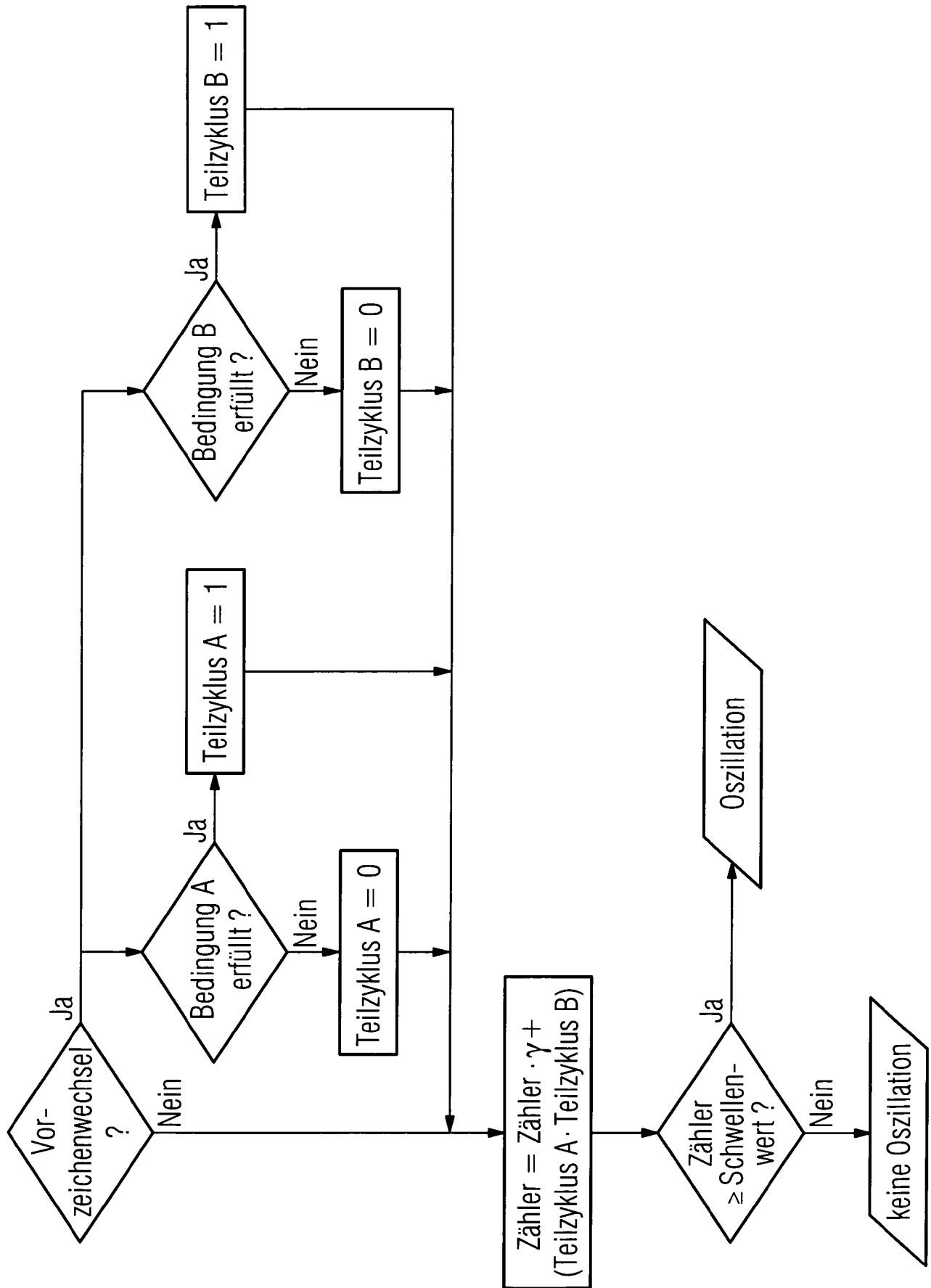


FIG 30

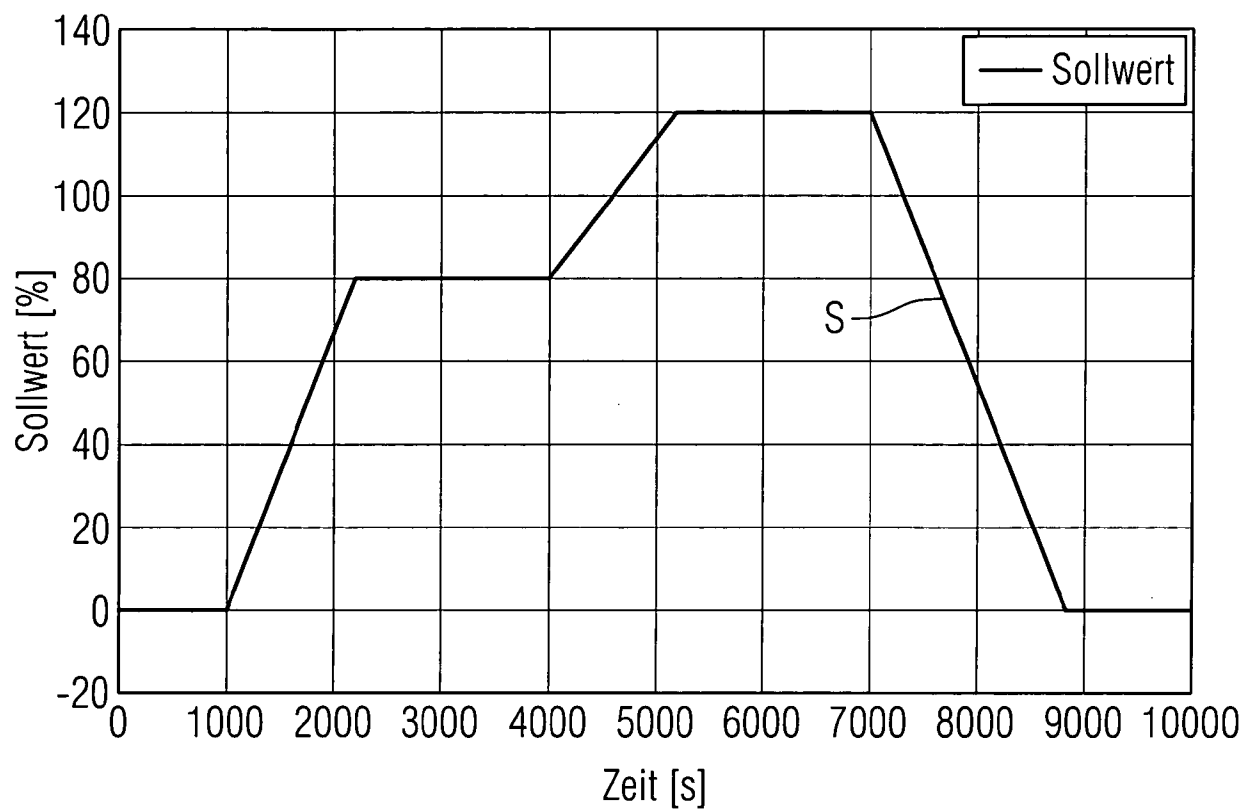


FIG 31

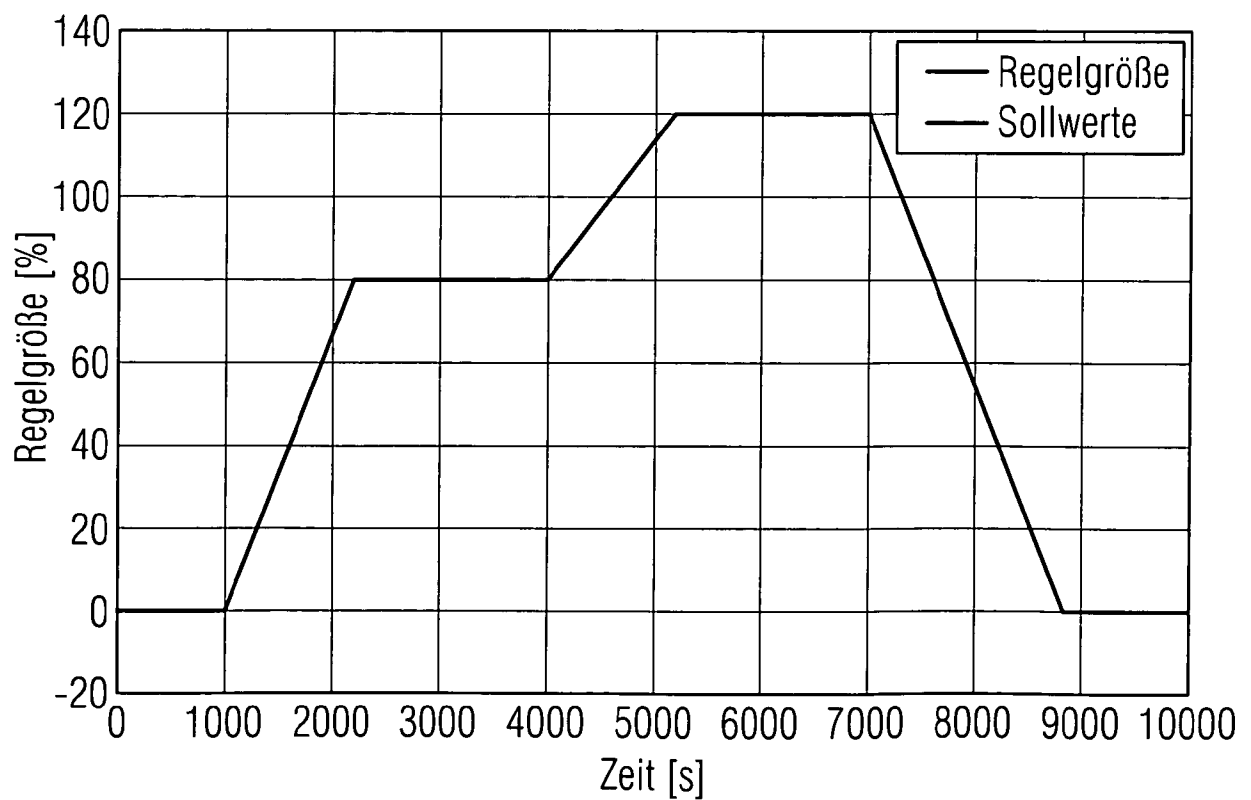


FIG 32

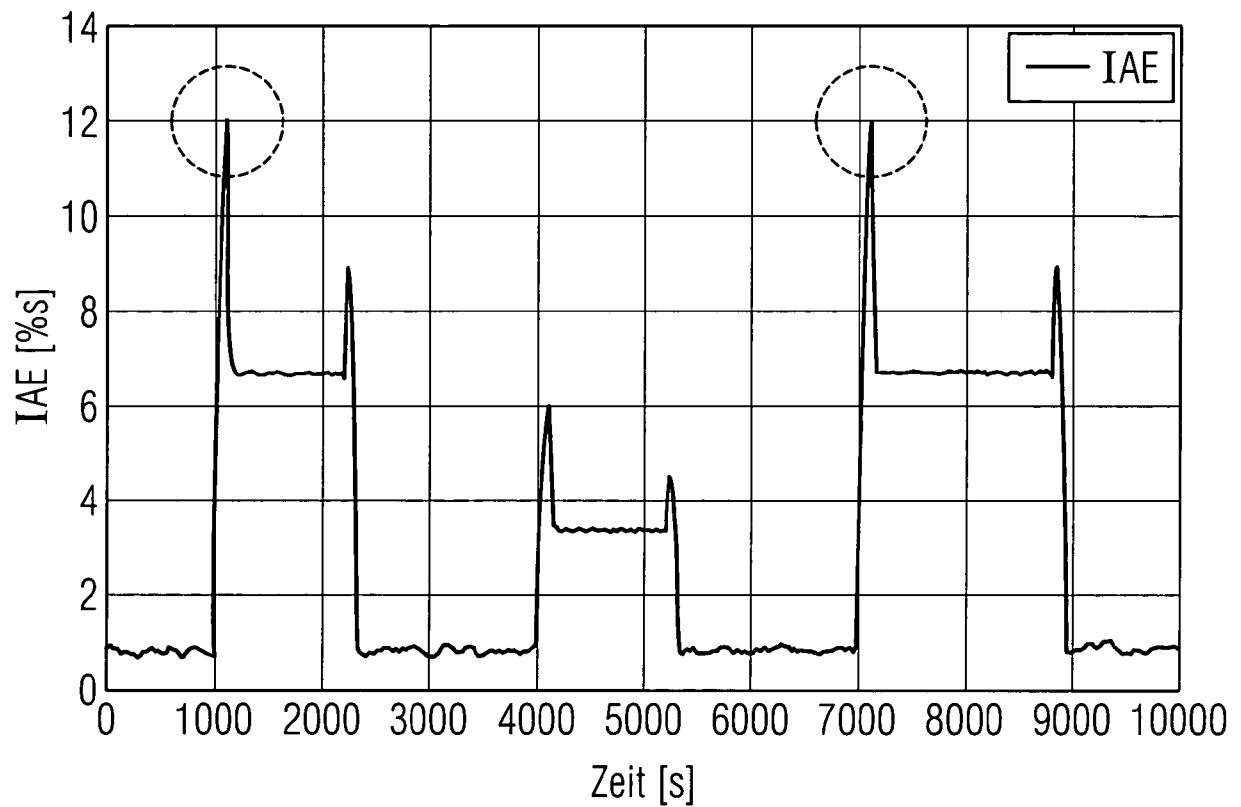


FIG 33

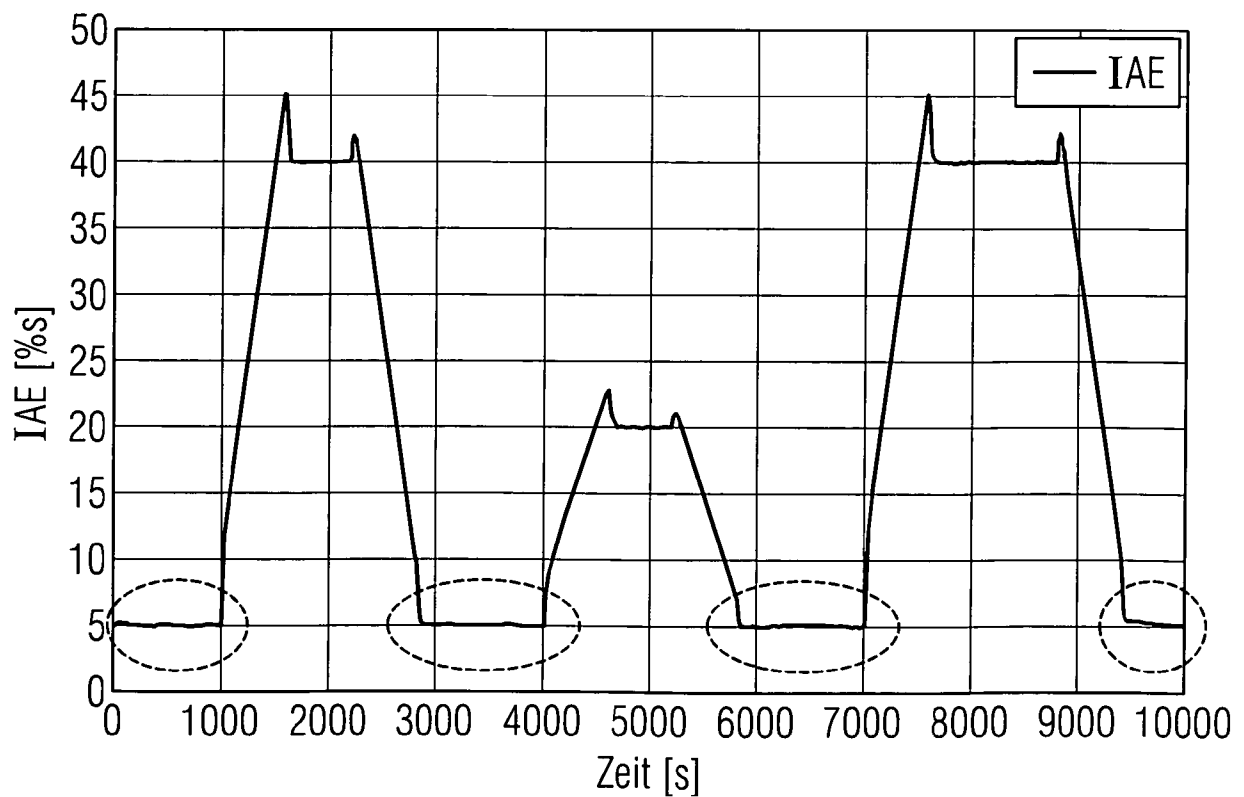


FIG 34

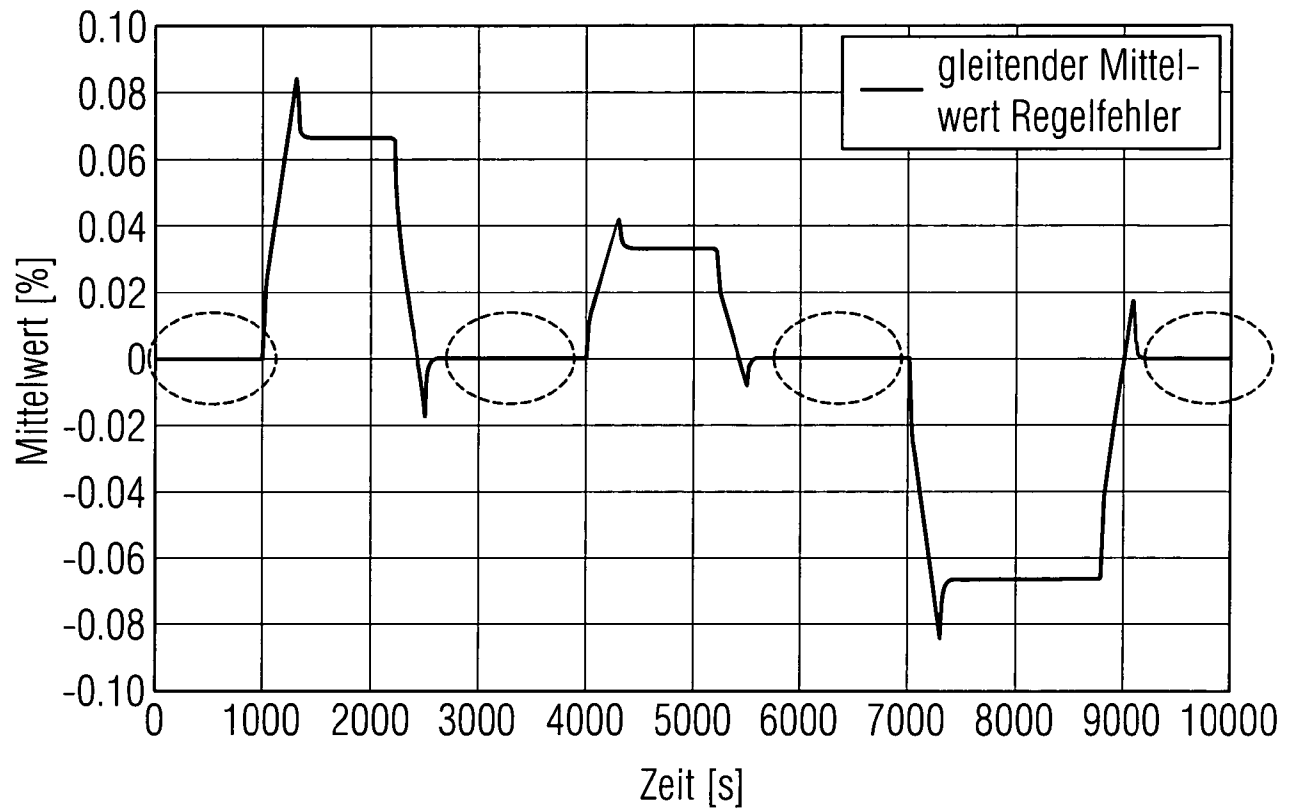


FIG 35

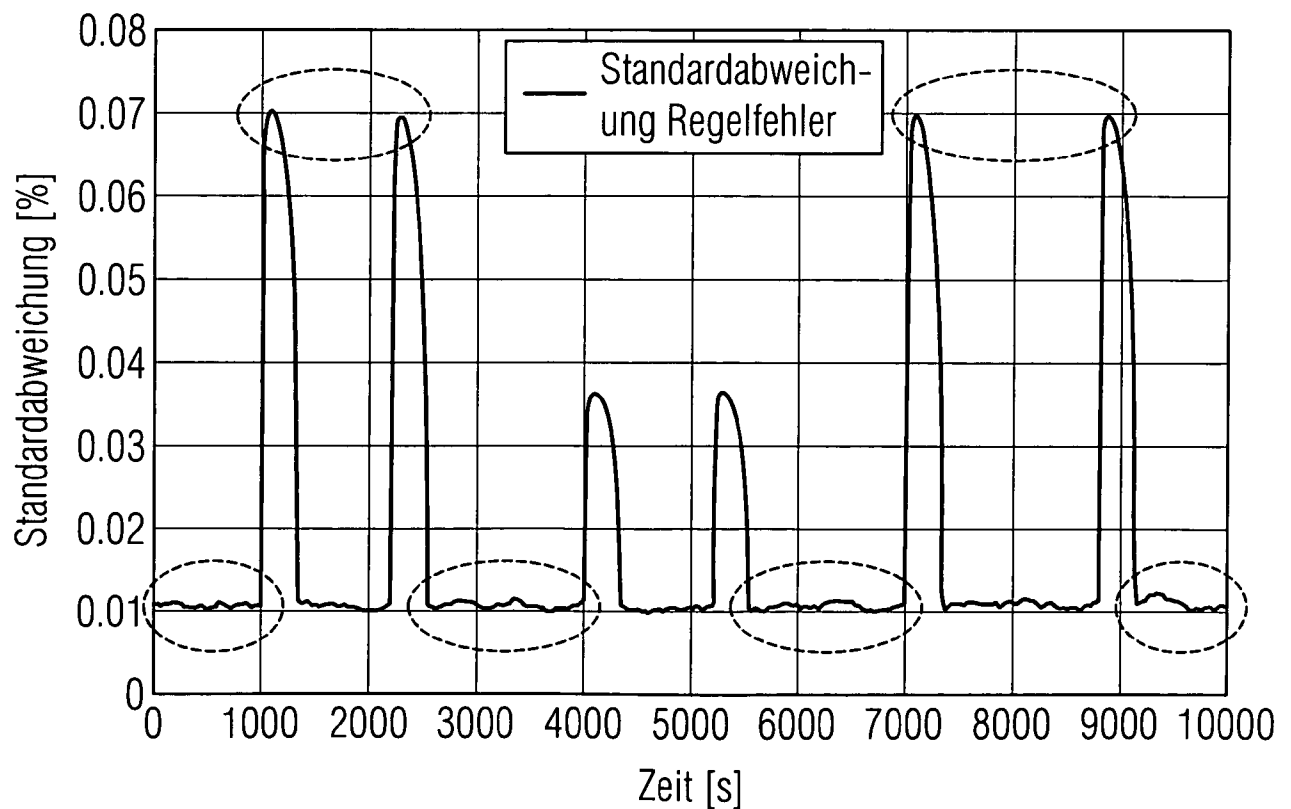


FIG 36

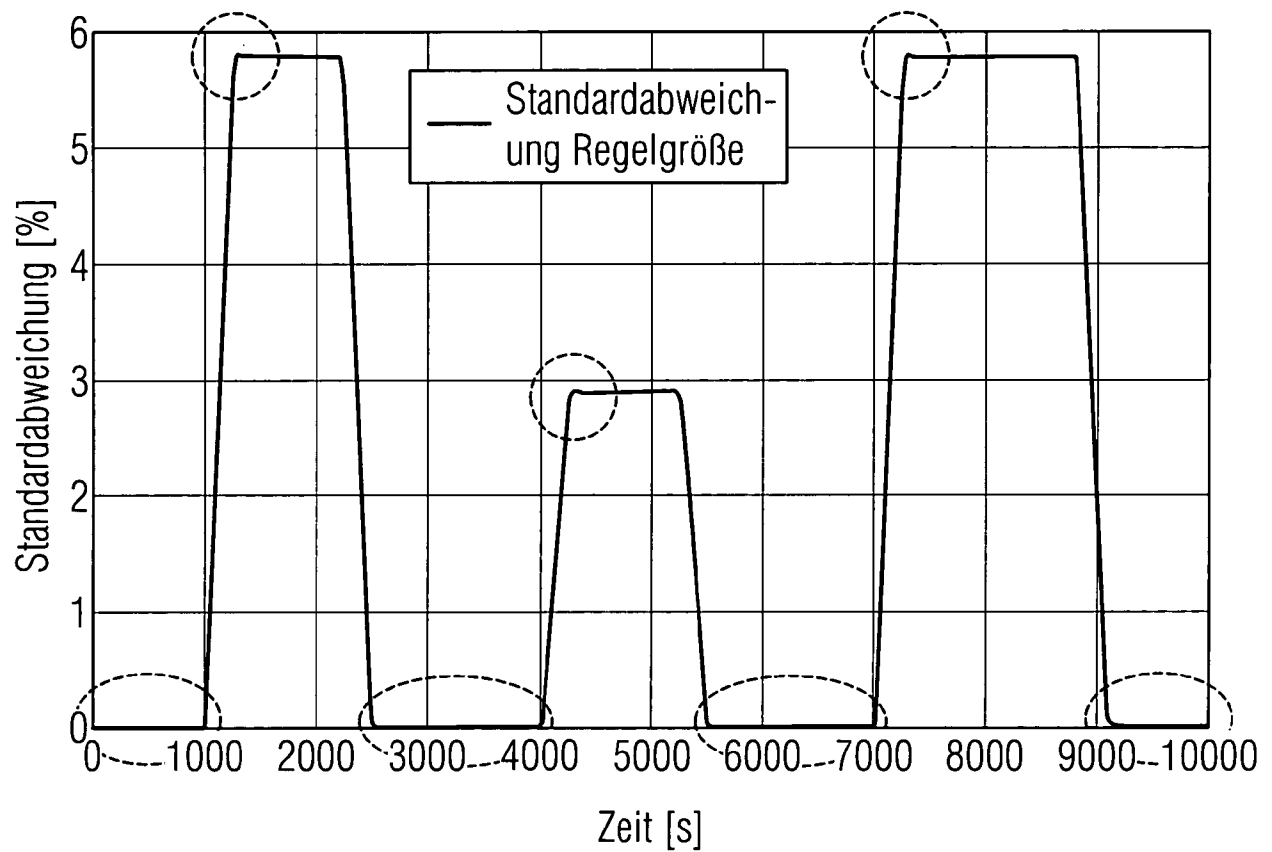


FIG 37

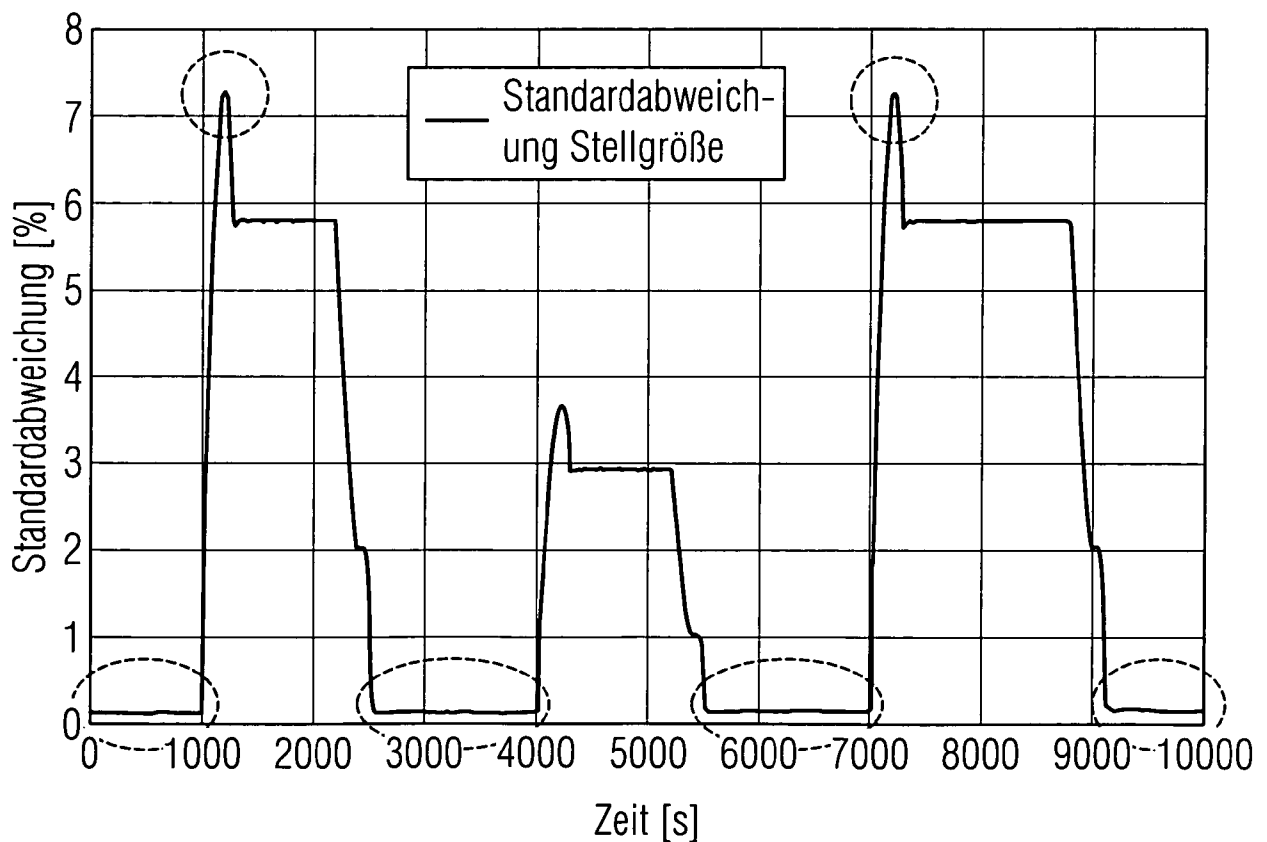


FIG 38

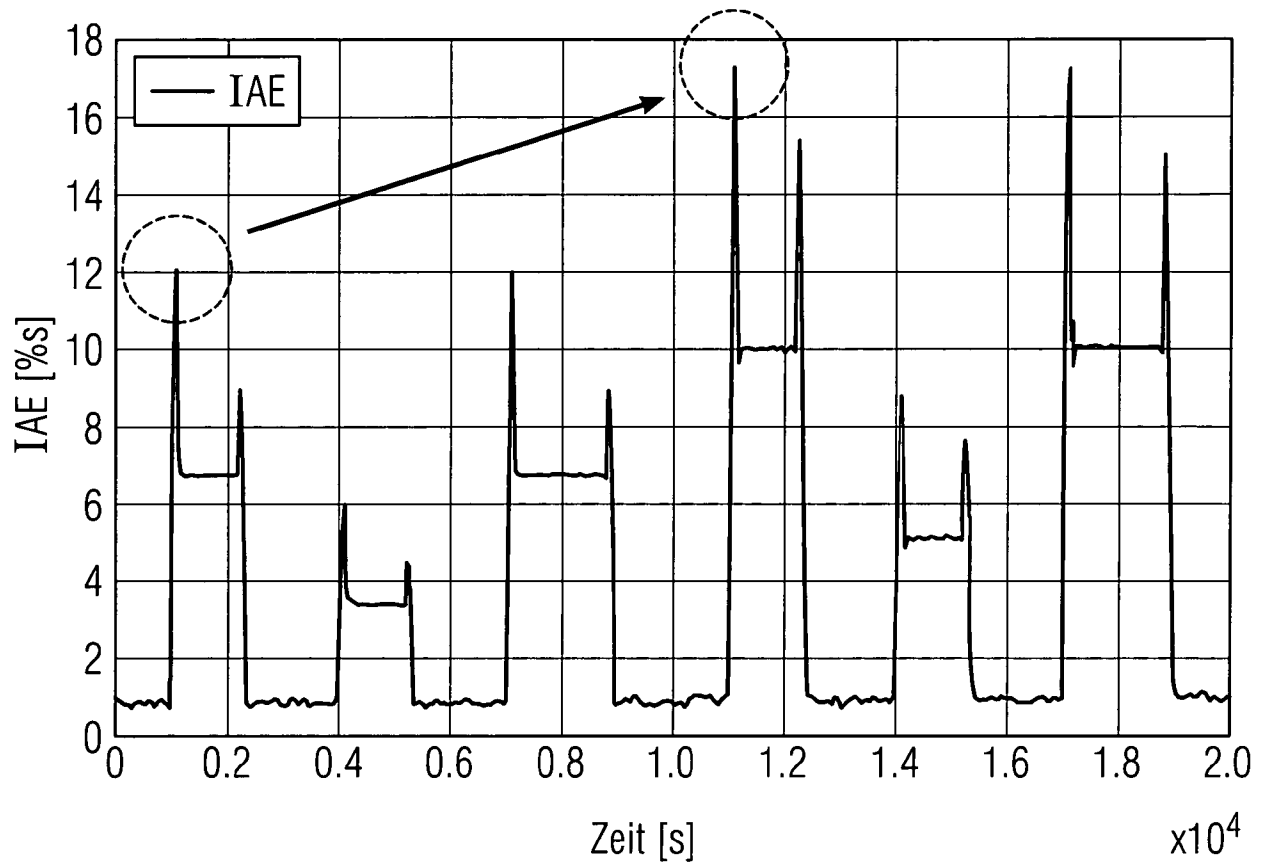


FIG 39

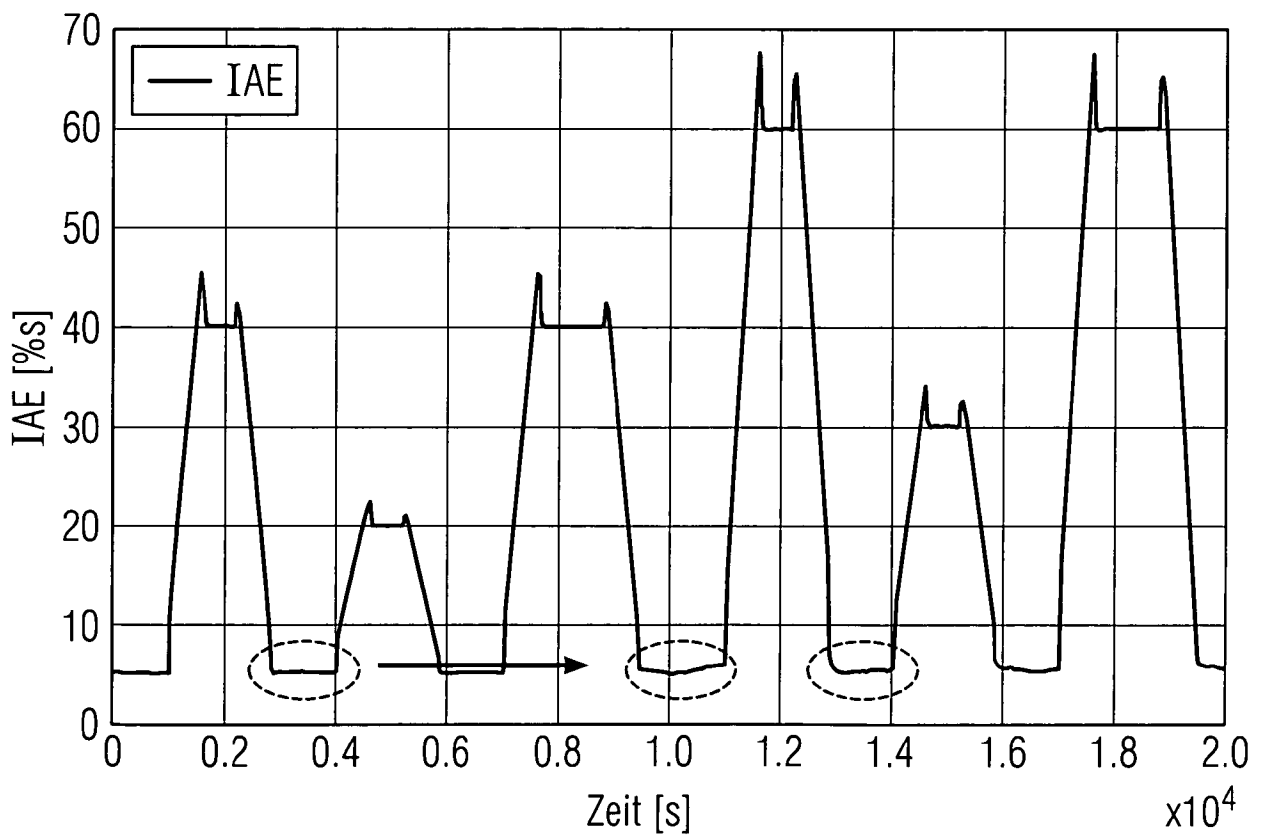


FIG 40

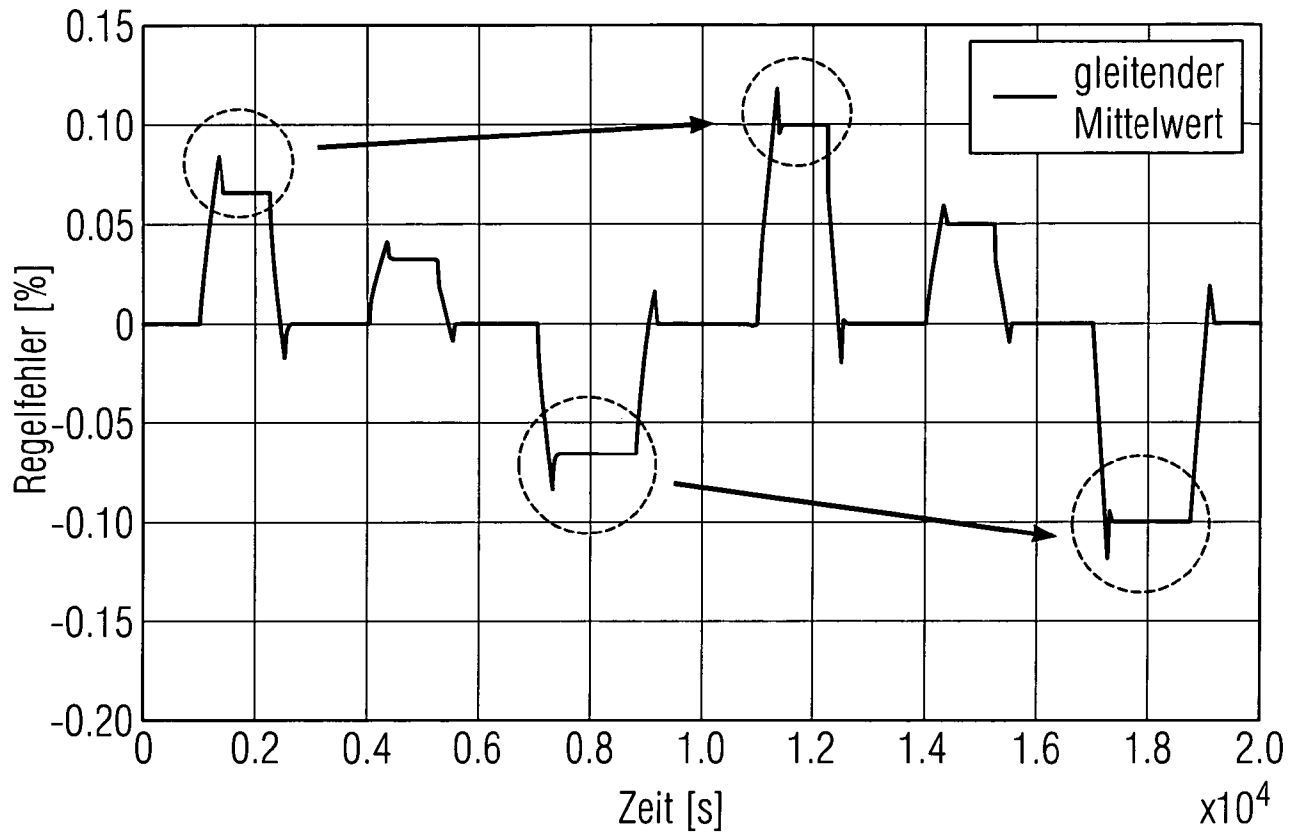


FIG 41

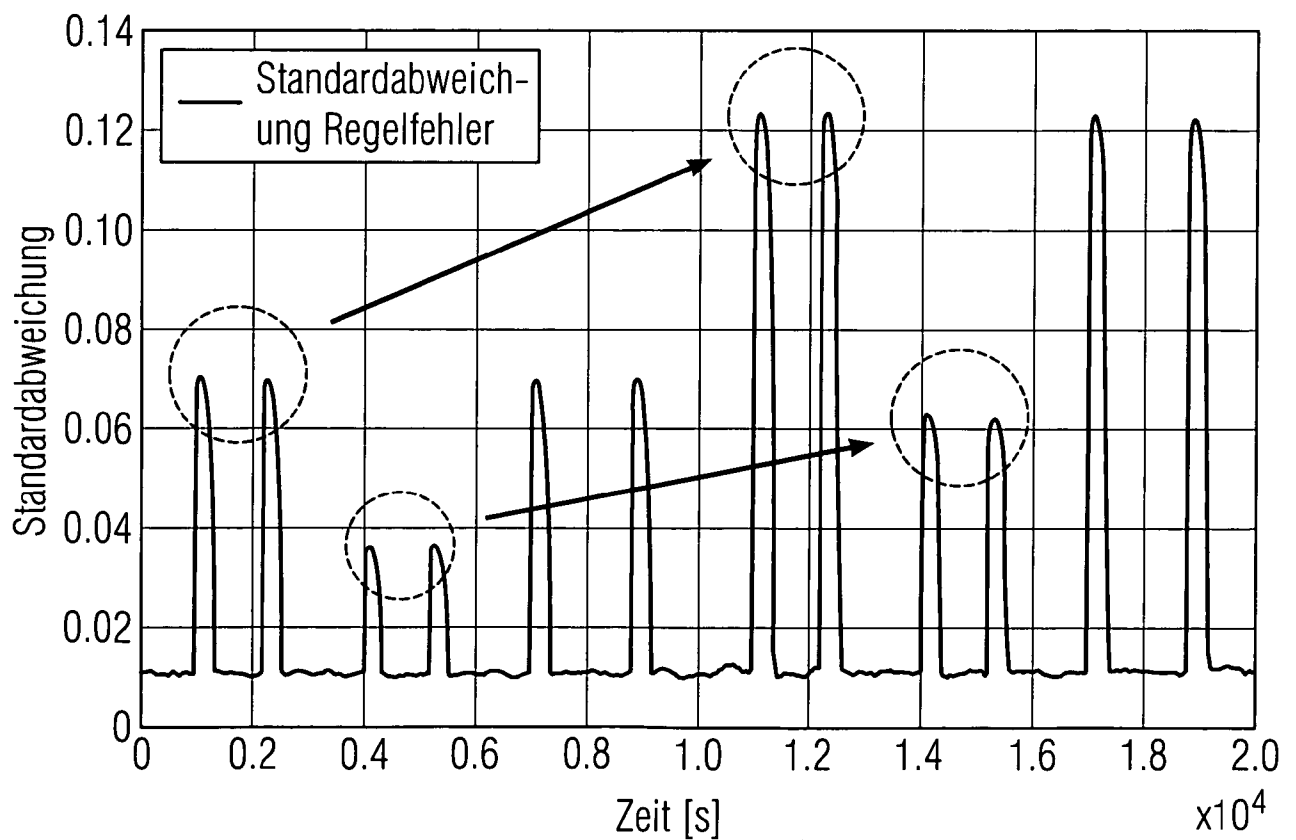


FIG 42

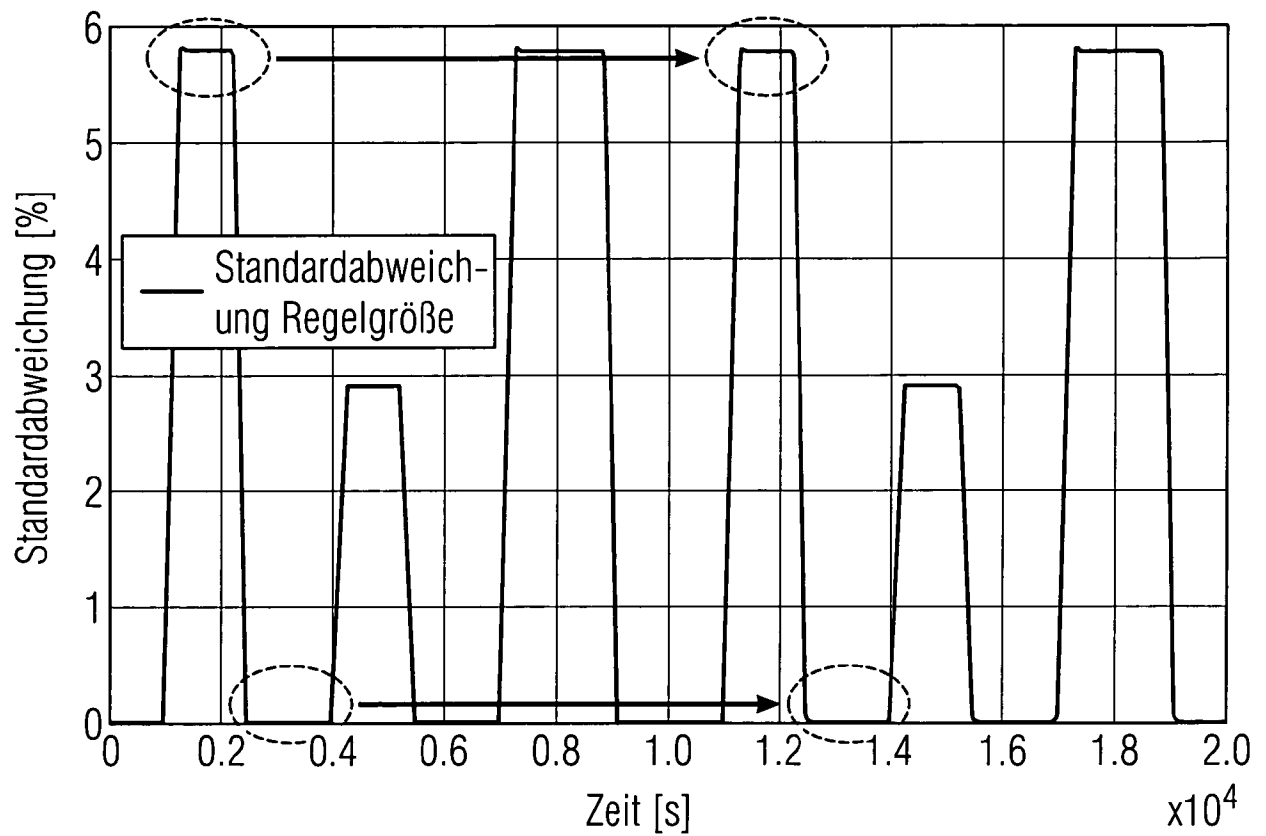


FIG 43

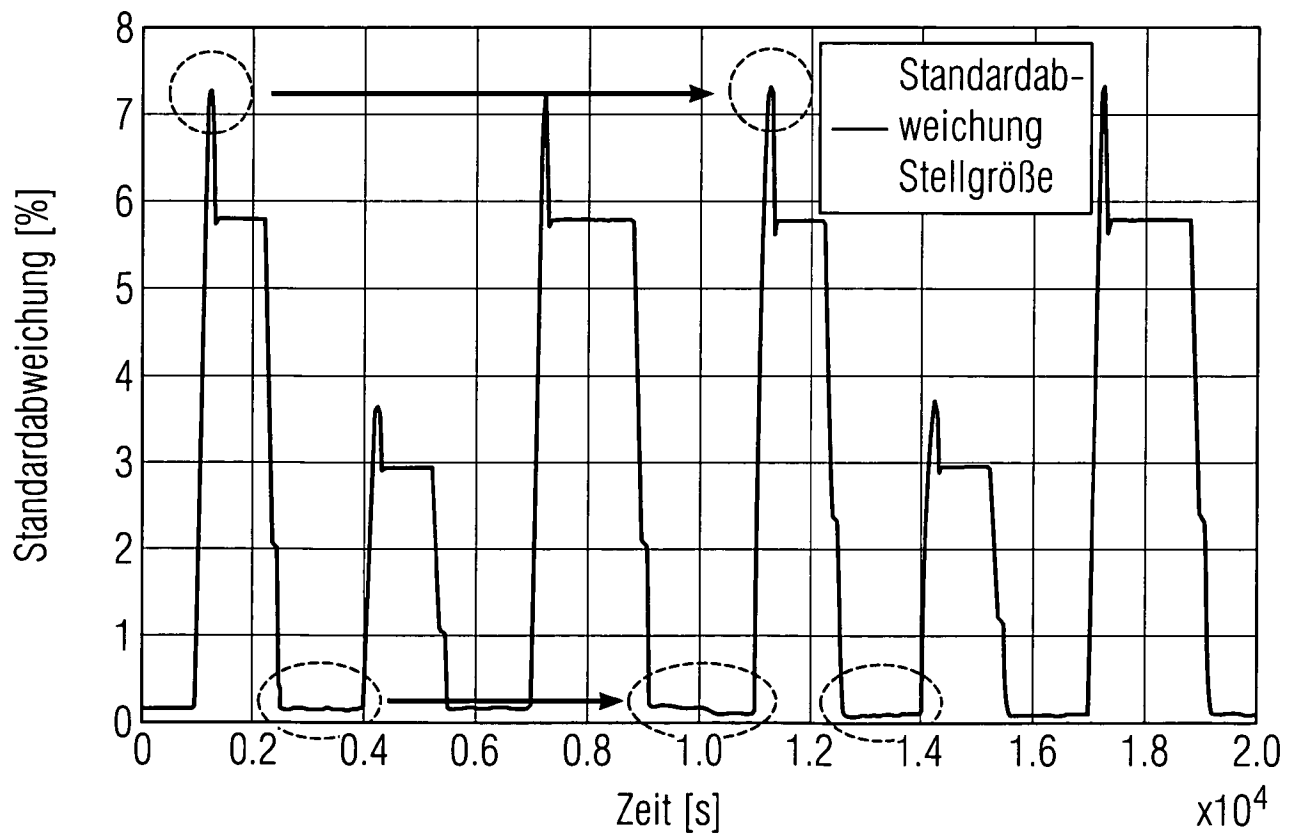
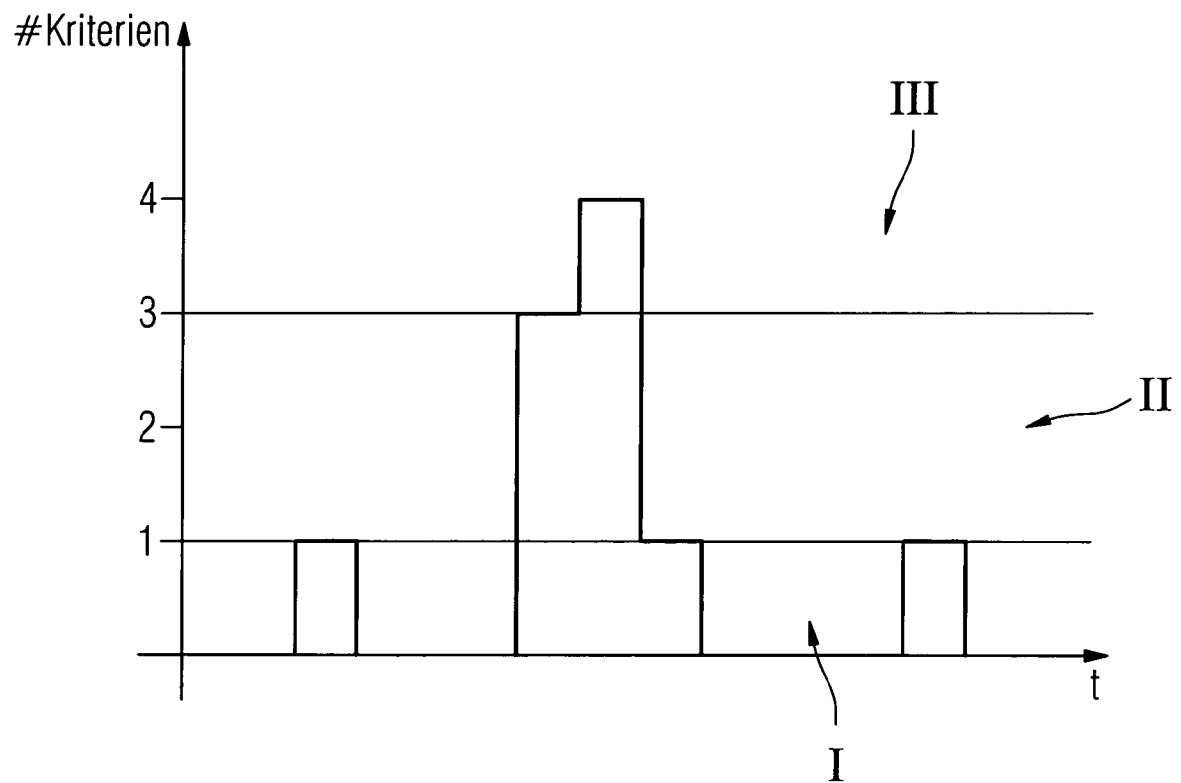


FIG 44



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2008/064678

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G05B19/048

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)

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)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2007/126592 A1 (LITRELL NATHAN B [US]) 7 June 2007 (2007-06-07)	1,7-9
Y	figure 1	2-6
Y	DU R ET AL: "AUTOMATED MONITORING OF MANUFACTURING PROCESSES, PART 1: MONITORING METHODS" TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, SERIES B: JOURNAL OF ENGINEERING FOR INDUSTRY, ASME. NEW YORK, US, vol. 117, no. 2, 1 May 1995 (1995-05-01), pages 121-132, XP000521507 ISSN: 0022-0817 page 121 - page 123	2-5
Y	DE 100 49 506 A1 (CSI TECHNOLOGY INC [US]) 19 April 2001 (2001-04-19) page 7, line 34; table 1	6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family 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.

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

6 Februar 2009

Date of mailing of the international search report

09/03/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sundin, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2008/064678

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007126592	A1	07-06-2007	NONE
DE 10049506	A1	19-04-2001	FR 2799550 A1 13-04-2001
		GB 2358302 A	18-07-2001
		US 6529135 B1	04-03-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/064678

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. G05B19/048

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
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)

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 2007/126592 A1 (LITRELL NATHAN B [US]) 7. Juni 2007 (2007-06-07)	1,7-9
Y	Abbildung 1	2-6
Y	DU R ET AL: "AUTOMATED MONITORING OF MANUFACTURING PROCESSES, PART 1: MONITORING METHODS" TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, SERIES B: JOURNAL OF ENGINEERING FOR INDUSTRY, ASME. NEW YORK, US, Bd. 117, Nr. 2, 1. Mai 1995 (1995-05-01), Seiten 121-132, XP000521507 ISSN: 0022-0817 Seite 121 - Seite 123	2-5
Y	DE 100 49 506 A1 (CSI TECHNOLOGY INC [US]) 19. April 2001 (2001-04-19) Seite 7, Zeile 34; Tabelle 1	6

☐ 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

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

6. Februar 2009

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

09/03/2009

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Sundin, Martin

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2008/064678

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2007126592 A1	07-06-2007	KEINE	
DE 10049506 A1	19-04-2001	FR 2799550 A1	13-04-2001
		GB 2358302 A	18-07-2001
		US 6529135 B1	04-03-2003