



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

⑪ CH 675779 A5

⑤① Int. Cl.<sup>5</sup>: G 05 B 13/02

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑫ **PATENTCHRIFT** A5

⑫① Gesuchsnummer: 1558/85

⑫② Anmeldungsdatum: 11.04.1985

⑫④ Patent erteilt: 31.10.1990

⑫⑤ Patentschrift  
veröffentlicht: 31.10.1990

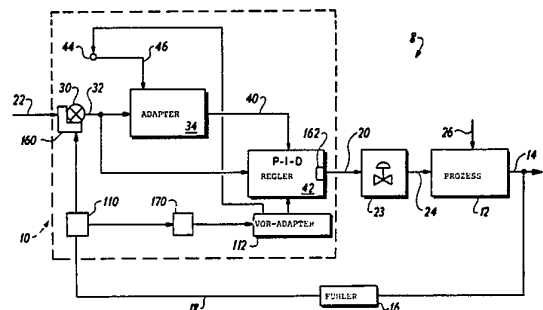
⑦③ Inhaber:  
The Foxboro Company, Foxboro/MA (US)

⑦② Erfinder:  
Kraus, Thomas W., Foxboro/MA (US)

⑦④ Vertreter:  
E. Blum & Co., Zürich

⑤④ **Selbstanpassende Mustererkennungs-Regleranordnung sowie Verfahren zur Bestimmung von Anfangseinstellwerten für dieselbe.**

⑤⑦ Die Regleranordnung (10) ist zur Regelung eines Prozesses (12) vorgesehen. Ein Fehlersignal (32) wird von den Differenzen abgeleitet, die über die Zeit zwischen den Werten einer Prozess-Regelgrösse (14) und einem gewünschten Sollwertpegel (22) für diese Regelgrösse auftreten. Das Verlaufsmuster des Fehlersignals wird identifiziert und ein Betriebsparameter des Reglers so geändert, wie es erforderlich ist, um die Prozess-Anpasszeit zu minimalisieren, wenn der Prozess aufeinanderfolgend gestört oder wenn ein abrupter Wechsel im Sollwertpegel zu einem späteren Zeitpunkt vorgenommen wird. Das bevorzugte Ausführungsbeispiel der Anordnung verwendet einen Proportional-Integral-Differenzier-Regler (42), bei welchem die PID-Koeffizienten entsprechend vorgegebenen Beziehungen berechnet werden, die auf den Kenngrössen für Dämpfung, Überschwingen und Zeitperiode des Fehlersignals beruhen. Die Regleranordnung ist für einen weiten Bereich von Betriebsbedingungen geeignet und benötigt kaum noch Eingriffe einer Bedienungsperson zur Anpassung an Prozessstörungen.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine selbstanpassende Mustererkennungs-Regleranordnung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Bestimmung von Anfangseinstellwerten bei einer selbstanpassenden Mustererkennungs-Regleranordnung gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 12. Bei einer solchen Anordnung werden Regler-Betriebsparameter nach Bedarf automatisch in Abhängigkeit von zwischen den Ist- und Sollzuständen des Prozesses auftretenden Differenzen geändert, so dass das Reglerverhalten der Prozessdynamik praktisch angepasst ist.

In einer typischen Regelschleife ist ein Regler an einen Prozess angekoppelt, und eine Prozess-Regelgrösse, wie Temperatur, Strömung bzw. Durchsatz oder Pegel, wird gemessen und als ein Signal zum Regler rückgekoppelt, welcher dieses Signal mit einem als Sollwert oder -grösse bezeichneten gewünschten Wert vergleicht. Verschiedene Reglerelemente sprechen auf das Fehlersignal an, um ein Stellsignal zur Regelung des Prozesses zu erzeugen, derart, dass die Prozess-Regelgrösse auf dem Sollwert gehalten wird. Ersichtlicherweise ist es vorteilhaft, das Regelverhalten im wesentlichen der Dynamik eines Prozesses anzupassen, so dass die gesamte Regelschleife in ihrem optimalen Zustand gehalten werden kann, insbesondere nach einer Störung des Prozesses oder einer plötzlichen Änderung des Sollwerts.

Eine Regleranordnung eingangs genannter Art stellt automatisch die Regel-Betriebsparameter so ein, dass das Reglerverhalten geändert wird, wie dies nötig ist, um die Regelschleife in ihrem optimalen Zustand zu halten. Es ist zu beachten, dass die Mustererkennung eine an sich bekannte, für die manuelle Einstellung der Betriebsparameter eines Reglers angewandte Technik ist. Typischerweise wird in einer im eingeschwungenen Zustand arbeitenden Regleranlage eine Störabweichung erzeugt, und das Antwortmuster wird beobachtet. Eine Bedienungsperson vergleicht dieses Muster mit einem gewünschten oder Soll-Muster und ändert die Reglereinstellungen in der Weise, dass die beiden Muster praktisch übereinstimmen. Diese Abstimmung kann sich als zeitraubend und kostenaufwendig erweisen, wenn zahlreiche Annäherungsversuche nötig sind, bevor die erforderliche Erfahrung und/oder Kenntnis des Prozesses für die Einstellung der Regler-Betriebsparameter erreicht ist.

Da zudem Reglereinstellungen für einen bestimmten Satz und Bereich von Betriebsbedingungen gelten, erweist sich eine manuelle Nachanpassung als nötig, um Änderungen der Betriebsbedingungen zu kompensieren, die das Ergebnis von Erscheinungen wie Sollwert-Überprüfungen, Prozesslaststörungen oder Alterung, Verschleiss und Korrosion der Ausrüstung der Regleranlage, sein können. Mit begrenztem Erfolg ist verschiedentlich versucht worden, einen adaptiven Regler zu schaffen, der die Notwendigkeit für die manuelle Abstimmung durch eine erfahrene Bedienungsperson beseitigt, eine solche Anpassung aber nachahmt.

Für zahlreiche Anwendungszwecke sind die das dynamische Verhalten der Regelschleife beschreibenden Gleichungen sehr komplex, so dass es sehr schwierig ist, analytisch zu bestimmen, welche Betriebsparameter zur Erzielung des gewünschten idealen Musters benutzt werden sollen. Analytische Lösungen beruhen daher häufig auf vereinfachenden Annahmen, die den Bereich der Betriebsbedingungen oder die Zahl der Prozessanwendungen einschränken, die ohne menschlichen Eingriff regelbar sind.

In der US-PS 3 798 426 ist ein mustererkennender adaptiver Regler beschrieben, der ohne den Eingriff einer Bedienungsperson anpassbar ist. Wenn sich dabei der geregelte Prozess von einer Beeinflussung, wie einer lokalen Störung oder einer Änderung im Sollwert, erholt, prüft der Regler gemäss dieser US-PS das anfängliche Erholungsverhalten der Prozess-Regelgrösse, und er berechnet verschiedene Auswertungszeitintervalle. Abweichungen der Regelgrösse von ihrem Sollwert werden bevorzugt über jedes Auswertungsintervall integriert und kombiniert, um einen integrierten Fehler zu bilden. Auf der Grundlage der Grösse des integrierten Fehlers werden die Betriebsparameter oder -einflussgrössen des Reglers nach Bedarf geändert, um bei der nächsten Störung des Prozesses eine optimale Regelwirkung zu gewährleisten.

Die Beziehung zwischen dem anfänglichen Erholungsverhalten und der Grösse des zugeordneten Auswertungsintervalls bleibt jedoch nicht immer unter allen Betriebsbedingungen konstant. Obgleich der Regler gemäss der genannten US-PS für die Regelung eines komplizierten nichtlinearen Prozesses geeignet ist, bestehen Beschränkungen bezüglich der Zahl der Fälle, die gehandhabt werden können, bevor eine Bedienungsperson für die Änderung der zur Bestimmung der Auswertungsintervalle herangezogenen Kriterien benötigt wird.

Es besteht somit ein Bedarf nach einem verbesserten adaptiven Regler, der für einen weiten Bereich von Betriebsbedingungen und/oder Anwendungen geeignet ist. Dabei soll zudem der Einsatz einer Bedienungsperson speziell in den Fällen, in denen sie körperlichen Gefahren ausgesetzt ist, auf ein Mindestmass herabgesetzt oder sogar ganz vermieden werden.

Die geschilderten Einschränkungen herkömmlicher Regelschleifen und Regler werden durch Schaffung einer verbesserten selbstanpassenden Mustererkennungs-Regleranordnung vermieden, deren erfindungsgemässe Ausbildung sich aus dem Kennzeichen des Patentanspruchs 1 ergibt. Das eingangs genannte Verfahren zur Bestimmung der Anfangseinstellwerte ist gemäss dem kennzeichnenden Teil des Patentanspruchs 12 definiert.

In herkömmlichen selbstanpassenden Mustererkennungs-Regleranordnungen wird ein kontinuierliches Anpassen durchgeführt. Ein solches Anpassen ist aber nicht immer wünschenswert, da jeder Satz neuer Anpass-Koeffizienten eine neue Einstellung der Regelschleife bedingt, wodurch der zu steuernde Prozess gestört wird.

Die erfindungsgemässe selbstanpassende Mustererkennungs-Regleranordnung vermag nun sol-

che unnötigen Störungen zu verhindern, da bei ihr eine erneute Anpassung nur dann vorgenommen wird, wenn diese tatsächlich auch notwendig ist.

In bevorzugter Ausführungsform der Erfindung ist der Regler vom Proportional-Integrier-Differenzier- bzw. PID-Typ. Wenn der Regler in den Regelbetrieb versetzt wird, werden Spitzen des Fehler-signal, welche vorgegebene, auf ein Störsignal-band bezogene Pegel überschreiten, erfasst und zur Berechnung von Überschwing- und/oder Dämpfungs-Charakteristika des Ansprechverhaltens bei einer geschlossenen Regelschleife benutzt. Entsprechend den Differenzen zwischen den berechneten Grössen und den Sollgrössen für Überschwing- und/oder Dämpfungscharakteristik werden je nach Bedarf Änderungen an den PID-Koeffizienten vorgenommen.

Die Erfindung ist für die Regelung eines weiten Bereichs von Betriebsbedingungen und Anwendungsfällen ohne Eingriff einer Bedienungsperson geeignet. Zudem erfordert sie auch nicht die Anhäufung einer grossen Wissensmenge bezüglich des speziellen, zu regelnden Prozesses. Da mit der Erfindung das Verhalten der Prozess-Regelgrösse ausgewertet wird, sooft der Prozess auf einen Störszustand anspricht, erfolgt die Anpassung automatisch für die ungünstigen Auswirkungen von örtlichen Störungen oder Alterung, Verschleiss und Korrosion der Bauteile der Regleranordnung. Weiterhin wird mit der Erfindung das Regelschleifenverhalten durch Messung der tatsächlichen Leistungsdaten dieses Verhaltens für Vergleiche mit Sollgrössen für diese Kenngrössen ausgewertet. Infolgedessen werden die vorher geschilderten Probleme bei bisherigen Reglern, die analytische Lösungen für die das Regelschleifenverhalten beschreibenden komplexen Gleichungen zu finden suchen, vermieden.

Durch die erfindungsgemässe Ausbildung der Regleranordnung wird eine Lehre gegeben, dass nur die erwähnte Differenz einer einzigen Musterkenngrösse (Dämpfung oder Überschwingen) notwendig ist, um die Änderung eines Koeffizienten der Regleranordnung zu bestimmen, wobei aber die Regleranordnung nicht nur mit einer einzigen Musterkenngrösse arbeiten muss.

Die erfindungsgemässe selbstanpassende Mustererkennungs-Regleranordnung vermag eine Musterkenngrösse, wie beispielsweise Überschwing- und/oder Dämpfungsverhältnisse, eines Fehler-signal zu messen, das die Differenz zwischen einem Einstellwert und einem Messwert einer Prozess-Regelgrösse angibt. Weicht die gemessene Musterkenngrösse von einem Soll-Wert ab, so wird bei der erfindungsgemässen Regleranordnung die Anpassung des Reglers verändert, der den Prozess steuert. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass die Proportional P-, Integral I- oder Differential D-Koeffizienten verändert werden.

Weicht dagegen die gemessene Musterkenngrösse von dem Soll-Wert um weniger als eine vorbestimmte Grösse ab, so wird der Koeffizient nicht verändert.

Sobald also einmal eine optimale Regler-Einstellung vorgenommen wurde, was dann gilt, wenn die

Musterkenngrösse des Fehlersignals innerhalb eines gewünschten Wertebereichs gilt, so wird diese Einstellung beibehalten, und es erfolgt keine weitere Anpassung, bis die Regelschleife nicht mehr die gewünschten Eigenschaften erfüllt.

Der Patentanspruch 2 gibt eine Möglichkeit an, wie die Information aus einem früheren Betrieb des Reglers ausgenutzt werden kann. Selbst wenn das vorliegende Abweichungssignal für seine Musterkenngrösse den gleichen Wert wie dasjenige von einem vorhergehenden Zyklus hat, so kann bei der vorliegenden Erfindung der Betriebsparameter durch einen Faktor verändert werden, dessen Grösse von dem zuvor benutzten Parameter abhängt. Das heisst, bei gleicher eingegebener Änderung der Musterkenngrösse liefert die erfindungsgemässe Musterkennungs-Regleranordnung nicht notwendig die gleiche Änderung im Regler-Betriebsparameter.

Im folgenden ist eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1A ein Blockschaltbild einer Regelschleife mit einer erfindungsgemässen Regleranordnung,

Fig. 1B ein Blockschaltbild mit den elektronischen Bauteilen einer bevorzugten Ausführungsform des Adapters nach Fig. 1A,

Fig. 2 eine graphische Darstellung des Verhaltens des in der Regelschleife nach Fig. 1A erzeugten Fehlersignals,

Fig. 3A und 3B bis Fig. 8A und 8B gemeinsam ein Flussdiagramm zur Erläuterung spezifischer Operationen der bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 9 eine graphische Darstellung der Beziehung zwischen Amplitude und Zeit im Verhalten der bei der erfindungsgemässen Regleranordnung auftretenden Prozess-Regelgrösse,

Fig. 10 ein Blockschaltbild einer bei der erfindungsgemässen Regleranordnung vorgesehenen Störsignal- oder Rauschbandschaltung zur Bestimmung des Rausch- oder Störsignalpegels,

Fig. 11 eine graphische Konvergenzdarstellung von Versuchsergebnissen für den Fall, dass die erfindungsgemässe Regleranordnung mit einem dominanten Verzögerungsprozess verbunden und der D-Koeffizient gleich Null ist,

Fig. 12 eine graphische Konvergenzdarstellung von Versuchsergebnissen für den Fall, dass die erfindungsgemässe Regleranordnung mit einem dominanten Verzögerungsprozess verbunden ist und mit einem Satz von Bedingungen, die von denen nach Fig. 11 verschieden sind, betrieben wird,

Fig. 13 eine graphische Konvergenzdarstellung von Versuchsergebnissen für den Fall, dass die erfindungsgemässe Regleranordnung mit einem Prozess verbunden ist, der von Totzeit beherrscht wird, und

Fig. 14 eine graphische Darstellung von Ergebnissen für den Fall, dass die erfindungsgemässe Regleranordnung mit einem sich ändernden Prozess verbunden ist.

Fig. 1A ist ein Blockschaltbild einer Prozess-Re-

gelschleife 8, die eine selbstanpassende Regleranordnung 10 gemäss der Erfindung umfasst und auf einen Prozess 12 angesetzt ist, der sich durch eine Prozess-Regelgrösse 14, wie beispielsweise, aber nicht notwendigerweise Temperatur, Druck, Pegel oder Konzentration, kennzeichnet. Ein zur Abnahme der Prozess-Regelgrösse 14 angeschlossener Messfühler 16 erzeugt ein Messsignal 18, das den Wert der Regelgrösse 14 darstellt. Der Sensor 16 ist an einen Schalter 110 angeschlossen, der im dargestellten Fall mit einem Analog/Digital- oder A/D-Wandler 160 verbunden ist. Ein dem A/D-Wandler 160 eingegebener Sollwert 22 stellt die gewünschte Grösse für die Regelgrösse 14 dar. Die selbstanpassende Regleranlage 10 erzeugt ein Stellsignal 20 in Abhängigkeit von dem in einen Digitalwert umgewandelten Messsignal 18 und vom Sollwert 22. Ein zur Einstellung der Grösse einer vom Regler beeinflussten Veränderlichen 24 dienendes abschliessendes Regelement (Stellglied) 23, z.B. ein Ventil, nimmt das am Ausgang eines herkömmlichen Digital-/Analog- oder D/A-Wandlers 162 gelieferte Stellsignal 20 ab. Der Prozess 12 spricht auf Änderungen in dieser Veränderlichen an, um Änderungen in der Prozess-Regelgrösse 14 so vorzunehmen, dass deren Grösse der durch den Sollwert 22 dargestellten Grösse praktisch gleich ist.

Es ist zu beachten, dass der Prozess 12 auch auf eine Störgrösse 26 anspricht. Wenn diese gross genug ist, um im Prozess 12 nennenswerte Änderungen im Wert der Prozess-Regelgrösse 14 einzuführen, spricht die Regelschleife 8 entsprechend mit einer korrigierenden Wirkung zur Beseitigung des Einflusses der Störgrösse 26 an.

Ein zur Abnahme des Messsignals 18 und des Sollwerts 22 geschalteter Komparator 30 liefert ein Fehlersignal 32, welches die Differenz zwischen dem Wert der Regelgrösse 14 und dem Sollwert darstellt. Ein noch näher zu erläuternder Adapter 34 ist mit dem Komparator 30 zur Abnahme des Fehlersignals 32 verbunden, um daraufhin ein Prozessorsignal 40 zu erzeugen, das anschliessend einem Eingang eines herkömmlichen Proportional-Integral-Differenzier- oder PID-Reglers 42 aufgeschaltet wird. Der zur Abnahme des Fehlersignals 32 auch an den Komparator 30 angeschlossene PID-Regler 42 erzeugt das (eine korrigierende Wirkung darstellende) Stellsignal 20, das einer aus drei Gliedern gebildeten Summe, nämlich aus dem Fehlersignal 32 plus einem Zeitintegral des Fehlersignals plus einer Zeitableitung des Fehlersignals, proportional ist. Die relativen Beiträge eines jeden dieser drei Glieder werden durch Konstanten bestimmt, die als Proportional-P-, Integral-I- bzw. Differential-D-Koeffizienten bekannt sind. Der Regler 42 spricht auf das Prozessorsignal 40 an zwecks Einstellung der Grössen der PID-Koeffizienten. Der Adapter 34 enthält eine Eingangsklemme 44 zur Abnahme eines noch näher zu beschreibenden Beginnsignals 46, so dass ein einwandfreier Betrieb der Regelschleife 8 einsetzen kann, wenn die selbstanpassende Regleranlage 10 erstmals eingeschaltet wird.

Fig. 1B stellt ein Blockschaltbild mit den elektronischen Bauelementen des Adapters 34 dar. Das Messsignal 18 und der Sollwert 22 liegen beide an

den Eingängen des in herkömmlicher Weise aufgebauten Analog/Digital (A/D)-Umsetzers 106, welcher Digitalsignale erzeugt, die dem Messsignal 18 und dem Sollwert 22 entsprechen. Diese Digitalsignale werden über einen Bus 402 übertragen, welcher mit einem Intel 8051-Mikroprozessor 404, einem Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM) 406, einem elektrisch programmierbaren Festwertspeicher (EPROM) 408 und dem Digital-Analog (D/A)-Umsetzer 162 verbunden ist. Es sei noch ausgeführt, dass der Adapter 34 in einer gegenwärtigen Ausführungsform durch ein Computer-Softwareprogramm verkörpert wird, welches in dem EPROM 408 gespeichert ist und die Arbeitsweise entsprechender Hardware-Schaltungen emuliert (nachbildet). Der RAM 408 enthält den Datenspeicher und die Register, die der Mikroprozessor 404 benötigt, um die durch das Programm in dem EPROM 408 gesteuerten Operationen zu realisieren. Nachdem der Adapter 34 die von dem Messsignal 18 und dem Sollwert 22 angeleiteten Informationen verarbeitet hat, wird das resultierende Prozessorsignal 40 an den PID-Regler 42 gegeben.

Mit Bezug auf die Fig. 1A, 1B und 2 stellt der Verlauf des Fehlersignals 32 über einer Zeitbasislinie das Antwortsignal bei geschlossenem Schleifenzustand der Regelschleife 8 auf eine Störbedingung dar, welche eine Differenz zwischen den Werten des Messsignals 18 und des Sollwerts 22 verursacht. Typischerweise wird die Störbedingung entweder durch eine Belastungsschwankung 26 (etwa eine Änderung in den umgebenden Betriebsbedingungen), welche plötzlich den Wert der Regelgrösse 14 verändert, oder durch eine plötzliche Änderung des Sollwerts 22 verursacht. Fig. 2 zeigt eine graphische Darstellung des Fehlersignals 32, das zur Veranschaulichung durch eine Kurve 50 dargestellt wird. Die horizontale Achse der Zeichnung bezeichnet die Zeit T und die vertikale Achse die Grösse M des Fehlersignals, welches die Differenz zwischen dem Wert der Prozess-Regelgrösse 14 und ihrem durch den Sollwert 22 gegebenen gewünschten Wert darstellt. Wie zu ersehen ist, wird die Kurve 50 durch drei Spitzen 52, 54 und 56 (auch als lokale Extremwerte bezeichnet) charakterisiert, welche entsprechende Spitzenamplituden E1, E2 und E3 aufweisen und entsprechend zu den Zeiten T1, T2 und T3 auftreten. Im Laufe der Zeit reagiert die Regelschleife 8 auf die anfängliche Störbedingung, so dass die Grösse M der Kurve 50 im wesentlichen gleich Null wird, entsprechend der Bedingung, bei der die Prozess-Regelgrösse 14 zu ihrem gewünschten Wert zurückgekehrt ist bzw. sich zu diesem Wert hin geändert hat.

Ersichtlichweise kann die Regelantwort im geschlossenen Kreis der Regelschleife 8 (wie durch den Verlauf der Kurve 50 dargestellt) in Ausdrücken von Dämpfung, Überspringen und Zeitperiode ausgedrückt werden, welche Leistungsmasse darstellen, wie sie Regelungsingenieuren für die Beschreibung des Verhaltens einer Regelschleife wohlbekannt sind. Im einzelnen können die Dämpfung DMP, die Überspringung OVR und die Zeitperiode T<sub>0</sub> folgendermassen definiert werden:

$$\begin{aligned} \text{DMP} &= (E3-E2)/(E1-E2) \\ \text{OVR} &= -E2/E1 \\ T_0 &= T3-T1. \end{aligned}$$

Im Ergebnis kann die gewünschte Leistungsfähigkeit der Regelschleife 8 in Ausdrücken von vorgeschriebenen Werten für Dämpfung, Überschwängung und Zeitperiode festgelegt werden, welche ihrerseits zur Beschreibung eines idealen Musters zur Verwendung für die Einstellung des selbstanpassenden Regelsystems benutzt werden können. Anders ausgedrückt, wenn die Kurve 50 mit dem idealen Muster übereinstimmt, sind die Regelvorgaben, welche die Kurve erzeugt haben, optimal. Bei der Regleranordnung enthält das ideale Muster vorzugsweise drei Spitzen, welche so liegen, dass die zweite Spitze in der Mitte des Zeitintervalls zwischen dem Auftreten der ersten und der dritten Spitze liegt.

Es sei noch erläutert, dass das spezielle Muster der Kurve 50 die Situation darstellt, bei der der Sollwert 22 plötzlich im Wert angehoben wurde, so dass die positive Fehlerspitze (Störgrössenspitze) 52 erzeugt wird. Wenn der Sollwert 22 plötzlich im Wert vermindert worden wäre, hätte die erste Spitze des Fehlersignals 18 eine negative Amplitude. Ein ideales Muster könnte jedoch auch dann unter Verwendung derselben, oben erwähnten Werte für Dämpfung, Überschwängen und Zeitperiode gegeben werden, abgesehen davon, dass das ideale Muster in dem letzteren Falle das Spiegelbild des idealen Musters für die Kurve 50 darstellte.

Die Fig. 3A und 3B bis 8A und 8B zeigen ein Flussdiagramm, welches die logischen Operationen des Adapters 34 beschreibt. Das Flussdiagramm kann von Fachleuten verwendet werden, um das Computer-Softwareprogramm zu erstellen, welches zur Ausführung der Regleranordnung geeignet ist. Wenn das Regelsystem erstmals eingeschaltet wird, wie dies durch den START-Block 60 in Fig. 3A gezeigt ist, realisiert der Adapter 34 die im Block 62 beschriebene Funktion ABLAUF BEGINN.

Die Arbeitsweise der selbstanpassenden Regleranordnung 10 wird nun im Hinblick auf die Kurve 50 von Fig. 2 und die Flussdiagramme beschrieben. Bevor die Regleranordnung die Regelung des Prozesses 12 übernimmt, müssen zunächst mindestens fünf anfängliche Eingaben an dem Eingang 44 (siehe Fig. 1A) eingegeben werden. Diese fünf Eingaben sind: drei Anfangsvorgaben für die jeweiligen PID-Koeffizienten des PID-Reglers 42, eine Vorgabe für die maximale Wartezeit  $W_{\max}$ , welche auf den angenäherten Zeitmassstab des Prozesses bezogen ist, und eine Vorgabe für ein Rauschband NB. Das Rauschband NB bei der Darstellung in Fig. 2 ist vorzugsweise gleich der Hälfte des Wertes zwischen den Amplitudenspitzen des im Fehlersignal 32 erwarteten Rauschens. Die gewünschten Werte für die DMP- und OVR-Arbeitswerte können ebenfalls durch den Benutzer eingegeben werden. Wenn jedoch diese Werte nicht eingegeben werden, verwendet das Regelsystem die Werte 0,3 und 0,5 für die Ausdrücke DMP (Benutzer) bzw. OVR (Benutzer). Nach Abschluss der Funktion AB-

LAUFBEGINN überträgt der Adapter 34 die Anfangswerte der PID-Koeffizienten als Teil des Prozessorsignals 40, welches den PID-Regler 42 veranlasst, diese Anfangswerte als PID-Koeffizienten zu setzen.

Allgemein kann die Arbeitsweise der selbstanpassenden Regleranordnung 10 in neun Zuständen beschrieben werden. Der erste Zustand ist der RUHEBETRIEB des Blocks 63, welcher mit dem Zustand einhergeht, bei dem die Grösse M der Kurve 50 zwischen jeweils einem oberen und einem unteren Pegel liegt, welche vorzugsweise etwa durch die Zeitlinie mittig durchsetzt werden. Der obere und der untere Pegel haben jeweils eine Grösse, die vorzugsweise viermal so gross sind wie das Rauschband NB. Es sei noch einmal erwähnt, dass das Rauschband NB einen der Anfangseingabewerte darstellt, welche dem Adapter 34 über den Eingang 44 eingegeben werden. Wenn die selbstanpassende Regleranordnung 10 sich in dem ersten Zustand befindet, arbeitet es mit den PID-Koeffizienten, die in dem PID-Regler 42 gesetzt sind, und führt die im Block 64 der Fig. 3A beschriebenen Funktionen aus. Solange wie der Wert des Fehlersignals 32 zwischen dem oberen und dem unteren Pegel bleibt (entsprechend der in Fig. 2 dargestellten Situation, bei der die Kurve 50 sich links von dem Zeitpunkt  $T_q$  befindet), werden keine Entscheidungen hinsichtlich von Änderungen in den PID-Koeffizienten getroffen.

Wenn die Grösse M der Kurve 50 erstmals den oberen Pegel (gleich  $4NB$ ) überschreitet, wechselt die Regleranordnung in ihren zweiten Zustand, welcher durch den LOKALISIERE SPITZE 1-Betrieb von Block 65 gegeben ist, wobei der Adapter 34 nachfolgend die Grösse M mit einer als PK1 bezeichneten Grösse vergleicht, welche in einem ersten Spitzenspeicherregister gespeichert ist, das in dem RAM 406 (Fig. 1B) sich befindet. Wenn in der Schleife 66 der Fig. 3B die Grösse M den gespeicherten Wert PK1 übersteigt, dann wird der gespeicherte Wert so verändert, dass er der Grösse M gleich ist, und der Adapter 34 führt danach eine neue Messung des Fehlersignals 32 durch. Wenn also die Grösse M im Wert steigt, steigt auch die Grösse bzw. der Wert PK1 (welcher anfangs gleich Null ist) entsprechend an, bis er gleich der Amplitudenspitze  $E1$  wird. Wenn die Grösse M der Kurve 50 nicht mehr weiter den gespeicherten Wert übersteigt und zu fallen beginnt, werden keine Wertberichtigungen mehr dem Register zugeführt, und der Adapter 34 tritt in den dritten Zustand ein.

Der dritte Zustand beginnt beim Block 67 und ist als PRÜFE-Spitze 1-BETRIEB bekannt oder bezeichnet. Bei der vorliegenden Darstellung steigt die Kurve 50 bis zu einer Amplitudenspitze  $E1$  an, welche positiv ist. Entsprechend wird das Vorzeichen von PK1 auf +1 gesetzt. Wenn die erste Spitze des Fehlersignals 32 negativ wäre, würde der Wert des Vorzeichens -1 betragen. Das Vorzeichen wird in einem späteren Abschnitt der Regleranordnung verwendet. Wenn die Grösse der Kurve 50 auf einen Pegel von 95% von  $E1$  fällt, hat ein Zeitgeber (in dem Mikroprozessor 404 gemäss Fig. 1B) einen

Wert  $T_a$  (welcher in dem RAM 406 von Fig. 1B gespeichert wird), und er wird auf Null zurückgesetzt. Der Zeitgeber ist ein Taktzähler zur Messung des Zeitablaufs bei jeder Messung der Grösse M. Die Rücksetzung (Initialisierung) des Zeitgebers dann, wenn M vorzugsweise auf 95% vor PK1 gefallen ist, hilft dazu, den Verstümmelungseffekt zu minimalisieren, den die Totzeit und das Rauschen der Regelschleife auf den aktuellen Zeitablauf und die Form der ersten Spitze haben. Anders ausgedrückt, wenn die erste Spitze keinen genau definierten lokalen Extremwert hat, so ist der Adapter so eingerichtet, dass er auf einen spezifischeren Ereignis-punkt, bei dem M 95% von PK1 ist, reagiert. Wenn die Kurve 50 danach unter 60% von E1 entsprechend dem rautenförmigen Block 200 fällt, wird die Zeit T60 (gemessen) dieses Ereignisses ebenfalls für den späteren Gebrauch gespeichert, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind.

Wenn der Wert T des Zeitgebers den Quotienten von  $T_0/4$  (die Periode  $T_0$  geteilt durch 4) übersteigt oder die Grösse der Kurve 50 weniger als  $E1/2$  (die erste Amplitudenspitze geteilt durch 2), wird, dann wird die erste Spitze 52 als geprüft markiert und die Regleranordnung wechselt in ihren vierten Zustand, welcher nachfolgend diskutiert wird. Es sei nochmals erwähnt, dass die zweite Spitze im Idealfall zum Zeitpunkt von  $T_0/2$  nach dem Auftreten der ersten Spitze erwartet wird. Der Beginn der Suche nach der zweiten Spitze nach einem 10 Zeitablauf von  $T_0/4$  erlaubt die Ermittlung dieser Spitze selbst dann, wenn die gegenwärtige Periode der Einschwing-Antwort um einen Faktor 2 abweicht. Ferner, ein Beginn der Suche nach der zweiten Spitze unter der alternativen Bedingung, dass die Grösse der Kurve 50 gleich  $E1/2$  ist, erlaubt auch noch eine Feststellung der zweiten Spitze 54 dann, wenn sie früher als nach einem Zeitablauf von  $T_0/4$  auftreten sollte. Diese Anordnung kompensiert die Situation, bei der die Frequenz der aktuellen Antwort eines geschlossenen Regelkreises viel höher ist als sie auf der Grundlage der anfangs berechneten Zeitperiode  $T_0$  erwartet würde. Die anderen Rautenblöcke 68 und 69 von Fig. 3B werden später erläutert.

In dem vierten Zustand, welcher bei Block 70 von Fig. 4A beginnt und als LOKALISIERE-SPITZE 2-BETRIEB bezeichnet ist, arbeitet der Adapter 34, um das Auftreten eines lokalen Minimums durch Vergleich der Grösse M der Kurve 50 mit einem in einem zweiten Spitzenspeicherregister (welches in dem RAM 406 von Fig. 1B sich befindet) gespeicherten Wert PK2 festzustellen. Wenn die Grösse M kleiner ist als der gespeicherte Wert, wird der Wert PK2 in dem Speicherregister mit der Grösse M aktualisiert (gleichgesetzt), und der Adapter 34 misst die nächste Grösse des Fehlersignals 32. Dieser Vorgang, der 35 als Schleife 71 von Fig. 4A dargestellt ist, dauert solange an, wie die Kurve 50 im Wert fällt. Die Schleife 71 enthält einen Rautenblock 72, welche in einem späteren Abschnitt der Beschreibung erläutert wird. Wenn die Grösse der Kurve 50 erstmals ihren lokalen Minimumwert E2 erreicht, wird der Wert PK2 gleich E2 gesetzt,

und der Zeitpunkt der Spitze 54, wie er durch den Wert T des Zeitgebers gegeben ist, wird in einem zweiten Spitzen-Zeitregister (welches sich in dem RAM 406 von Fig. 1B befindet) als Grösse  $TPK(2)$  gespeichert. Danach, wenn die nächste Messung der Grösse M nach der Spitze 54 vorgenommen wurde, wechselt der Adapter 34 in seinen fünften Zustand.

Der fünfte Zustand beginnt bei Block 73 von Fig. 4A und ist als PRÜFE-SPITZE 2-BETRIEB bezeichnet. Entsprechend den Blöcken 74 und 75 von Fig. 4B wird, wenn die Zeit seit der Lokalisierung der zweiten Spitze 54 eine Spanne gleich  $T_0/4$  übersteigt oder wenn die Grösse der Kurve 50 geringer wird als  $E1/4$ , die zweite Spitze 54 als geprüft markiert, und die Regleranordnung wechselt in ihren sechsten Zustand.

Der sechste Zustand beginnt mit Block 76 von Fig. 5A und ist als LOKALISIERE-SPITZE 3-BETRIEB bezeichnet, wobei der Adapter 34 nach einem lokalen Maximum sucht, indem er die Grösse M der Kurve 50 mit einem Wert PK3 vergleicht, der in einem dritten Spitzenspeicherregister (welches sich in dem RAM 406 von Fig. 1B befindet) gespeichert ist. Wenn die Grösse M den gespeicherten Wert übersteigt, wird der Wert PK3 gleich dieser Grösse gesetzt, und der Adapter 34 misst den nächsten Wert der Kurve 50. Dieser in der Schleife 77 gezeigte Vorgang dauert solange an, wie die Kurve 50 im Wert ansteigt. Wenn die Kurve 50 ihren lokalen Maximalwert E3 erreicht, dann wird der Wert PK3 gleich E3 gesetzt, und der Zeitpunkt der Spitze 56, wie er durch den Wert T des Zeitgebers gegeben ist, wird in einem dritten Spitzenregister (welches sich in dem RAM 406 von Fig. 1B befindet) als Grösse  $TPK(3)$  gespeichert. Danach wechselt der Adapter 34 in seinen siebten Zustand. Ein Rautenblock 78 in der Schleife 77 wird später noch im einzelnen erläutert.

Der siebente Zustand beginnt mit Block 79 und ist als PRÜFE-SPITZE 3-BETRIEB bezeichnet. Wenn entsprechend der Darstellung in Fig. 5B die Zeit seit der Lokalisierung der Spitze 56 eine Spanne gleich  $T_0/4$  überschreitet oder wenn die Grösse der Kurve 50 kleiner wird als  $E1/4$ , dann wird die dritte Spitze 56 als geprüft markiert. Wenn einmal die dritte Spitze geprüft ist, wechselt der Adapter 34 in seinen achten Zustand, welcher mit Block 80 von Fig. 5B beginnt und als ZEIT-AKTUALISIERUNGS-BETRIEB bezeichnet ist. Bei der vorliegenden Darstellung nach Fig. 6A werden alle drei Spitzen 52, 54 und 56 als ausgeprägt angenommen, da E1 grösser als 4NB, E3 grösser als NB und E2 kleiner als -NB ist. Entsprechend führt der Adapter 34 die Operationen von Block 81 aus und setzt die Werte der Variablen  $T_{SPITZE}(2)$ ,  $T_{SPITZE}(3)$ , und die Periode  $T_0$  unter Verwendung der Grössen  $TPK(2)$  und  $TPK(3)$  fest. Danach werden zwei Zwischenzeiten  $T_{MAX}$  und  $T_{MIN}$  entsprechend Block 22 von Fig. 6B berechnet, wobei sich die Schreibweise  $T_{MAX} = \text{Maximum}(x, y)$  auf die logische Operation bezieht, bei der die Grössen x und y in den Klammern miteinander verglichen werden und die Grösse mit dem höchsten Wert dann gleich  $T_{MAX}$  gesetzt wird und

wobei die Schreibweise  $T_{\min} = \text{Minimum}(x, y, z)$  sich auf die logische Operation bezieht, bei welcher die minimale Grösse der Werte  $x$ ,  $y$  und  $z$  gleich  $T_{\min}$  gesetzt wird.

Nach der Berechnung der zwei Zwischenzeiten tritt der Adapter 34 in einen neunten Zustand ein, der als ADAPTIONS BETRIEB von Block 83 entsprechend der Darstellung in Fig. 7 bezeichnet ist. Auf der Grundlage der gemessenen Spitzenamplituden  $E_1$ ,  $E_2$  und  $E_3$  berechnet der Adapter die vorher definierten Dämpfungs- und Überschwingungs-Betriebswerte im Block 450, welche als DMP (gemessen) bzw. OVR (gemessen) gekennzeichnet sind. Allgemein werden im ADAPTIONS BETRIEB drei Schritte zur Bestimmung der neuen PID-Koeffizienten ausgeführt. Diese Schritte sind:

1. Die Ziegler-Nichols-Verhältnisse (die zu bestimmen sind) werden auf der Grundlage des Musters des Fehlersignals 32 eingestellt (zu Ziegler-Nichols siehe Ende der Beschreibung).

2. Die PID-Koeffizienten werden auf der Grundlage der eingestellten Periode und der eingestellten Ziegler-Nichols-Verhältnisse verändert und

3. die PID-Koeffizienten werden auch auf der Grundlage gewünschter Zwangsbedingungen für die Dämpfungs- und Überschwingungsausdrücke verändert.

Zur weiteren Erläuterung sei noch ausgeführt, dass der Adapter 34 eine Berechnung des (Muster)-Formfehlers SERR durchführt, wobei gilt

$SERR = \text{der kleinste Wert zwischen A oder B,}$

wobei

$A = DMP(\text{Benutzer}) - DMP(\text{gemessen})$   
 $B = OVR(\text{Benutzer}) - OVR(\text{gemessen})$  oder  
 $DMP(\text{Benutzer})$  und  $OVR(\text{Benutzer})$  während der ANLAUF-BEGINN-OPERATION von Block 62 festgelegt wurden.

Bei der Erfindung werden die Werte von DMP (Benutzer) und OVR (Benutzer) gewöhnlich von Hand durch die Bedienungsperson (d.h. den Benutzer) festgelegt. Diese Werte sind so Teil des Beginnssignals 46. Wenn die Bedienungsperson entscheidet, die Werte von DMP (Benutzer) und OVR (Benutzer) nicht festzulegen, ist der Adapter 34 so ausgelegt, dass 0,3 für DMP (Benutzer) und 0,5 für OVR (Benutzer) verwendet werden. Gemäss Fig. 8A wird zunächst ein Formeinstellungsfaktor FAC auf der Grundlage der folgenden Beziehungen in den Blöcken 458 bis 464 berechnet:

Wenn  $SERR < 0$ ,  $FAC = FAC1 = 1,0 + K_s (SERR-G)$   
 $SERR$ ;  
 und wenn  $SERR > 0$ ,  $FAC = FAC2 = 1,0 / [1,0 + K_s (SERR-0,3)SERR]$

Mit Bezug auf Fig. 7 sei noch erklärt, dass der Wert von  $K_s$  entweder 2,0 ist oder den Wert

$K = (K_{i-1} + 6,0)/2,0$  besitzt,

wobei der Index  $i$  im Bereich von 1 bis zur Zahl  $n$  aufeinanderfolgender Zyklen des Fehlersignals 32 (wobei die Kurve 50 ein Zyklus ist) liegt, wobei die Betriebsmesswerte durch die folgenden Ungleichungen im Block 454 beschrieben werden:

$DMP(\text{Benutzer}) < 0,15$  (1)

$DMP(\text{Benutzer}) - DMP(\text{gemessen}) > 0$  und wobei (2)

$DMP(\text{gemessen})$  der Dämpfungsausdruck ist,

welcher auf der Basis der speziellen,  $i$  zugeordneten Antwort berechnet ist. Wenn weiterhin die Kurve 50 nicht durch die zwei Ungleichungen (1) und (2) beschrieben war, dann ist  $K_s = 2,0$ . Wenn jedoch die Kurve 50 die erste Kurve war, die durch die zwei Ungleichungen (1) und (2) beschrieben wurde, dann gilt  $i = 1$  und  $K_1 = (K_0 + 6,0)/2,0$ . Da  $K_0$  als gleich 2,0 beschrieben ist, gilt

$K_1 = (2,0 + 6,0)/2,0 = 4,0$ .

Wenn die nächste Kurve nach der Kurve 50 ebenfalls durch die zwei Ungleichungen beschrieben ist, dann gilt  $i = 2$  und

$K_2 = (K_1 + 6,0)/2,0 = (4,0 + 6,0)/2,0 = 5,0$ .

Die in Block 84 benutzte Schreibweise bezeichnet die oben beschriebene Anordnung, wobei

$K_s(IST) = K_{i-1}$ .

Der Wert der Konstante  $G$  ist entweder 0,2 oder 0,6, basierend auf einer Beziehung, die in einem späteren Abschnitt noch beschrieben wird, wobei die Grössen in der Raute 210 definiert sind.

Nach der Bestimmung des Wertes von FAC berechnet der Adapter 34 nunmehr einen neuen Proportionalkoeffizienten  $P$  im Block 466 in folgender Weise:

$P = P(IST) \times FAC$ ,

wobei  $P(IST)$  der gegenwärtige Proportionalkoeffizient (welcher in dem PID-Regler 42 benutzt wird) ist, welcher in der Kurve 50 zur Auswirkung kommt.

Mit Bezug auf Fig. 8A sei nochmals erwähnt, dass die drei Spitzen der Kurve 50 alle als ausgeprägte Spitzen angenommen werden, so dass der Adapter 34 den Block 91 verlässt und zum nächsten Rautenblock 85 übergeht. Es sei noch darauf hingewiesen, dass Rati und Ratd Verhältnisse sind, welche Regelungsingenieuren als die Ziegler-Nichols-Verhältnisse bekannt sind. Die Verhältnisse sind als  $I/\text{Periode}$  und  $D/\text{Periode}$  definiert. Es ist auch beim Stand der Technik bekannt, dass die Reglereinstellung auf der Basis der Ziegler-Nichols-Verhältnisse durchgeführt werden kann, wobei diese feste Werte wie 0,5 und 0,12 für den Integralkoeffizienten  $I$  bzw. den Differenzierkoeffizienten  $D$  des Reglers besitzen. Derartige Regelungskriterien haben jedoch nur eine beschränkte Anwendungsmöglich-



keit, da die Zeitperiode des Fehlersignals 32 durch die aktuelle Festlegung der I- und D-Koeffizienten beeinflusst wird. Bei der Erfindung wird die gemessene Zeitperiode  $T_0$  der Kurve 50 entsprechend Änderungen bei den I- und D-Koeffizienten eingestellt und ist nicht zwangsläufig auf gleich fixierte Werte festgelegt.

Zur weiteren Erläuterung des obigen und in Verbindung mit Fig. 8A wird ausgeführt, dass der Adapter 34 eine Logik zur Durchführung der folgenden Bestimmungen besitzt:

Wenn  $DMP(\text{gemessen}) - OVR(\text{gemessen}) > 0,2$   
und  $I(IST) < 1,1 \times Rati(IST) \times T_0$ ,  
dann gilt  
 $Rati = 85\% \times Rati(IST)$  und  
 $Ratd = 85\% \times Ratd(IST)$ .

Wenn jedoch entsprechend Fig. 8B das folgende eintritt:

Wenn  $DMP(\text{gemessen}) - OVR(\text{gemessen}) < 0$ ,  
dann gilt:

$Rati = 1,2 \times Rati(IST)$   
 $Ratd = 1,2 \times Ratd(IST)$ .

Der Adapter geht im Verlauf zum Block 88 über, wo die neuen Werte für Rati und Ratd benutzt werden, um neue Werte für die I- und D-Koeffizienten folgendermassen zu berechnen:

$I = T_{MAX} \times Rati$ , und  
 $D = T_{MIN} \times Ratd$ .

Sind einmal die neuen Werte für den Proportionalkoeffizienten P, den Integralkoeffizienten I und den Ableitungskoeffizienten D berechnet, überträgt der Adapter 34 diese Werte an den PID-Regler 42 als das Prozessorsignal 40, so dass für den Regler im Block 456 neue Vorgaben gemacht werden. Danach werden bestimmte Variablen entsprechend Block 89 neu definiert, und der Adapter 34 kehrt zu seinem ersten Zustand zurück und wartet auf einen weiteren Zyklus des Fehlersignals, der durch eine neue, durch den Prozess 12 hervorgerufene Störbedingung verursacht wird. Ersichtlicherweise beginnt ein neuer Zyklus nur, wenn der Absolutwert der Grösse M des Fehlersignals 32 den Wert 4NB überschreitet. Die dynamischen Kennwerte der Regleranordnung 10 sind nun so verändert, dass seine Antwort auf die neue Störbedingung verbessert ist. Auf der Grundlage der obigen Diskussion sind die im Block 210 von Fig. 7 erwähnten Variablen bekannt, so dass der Wert der Konstanten G dann entsprechend den in Block 210 beschriebenen Bedingungen berechnet werden kann.

In Verbindung mit dem Zustand drei (Block 67 von Fig. 3B) wurde der Zweck des Rautenblocks 68 noch nicht erklärt. Wenn die Kurve 50 von Fig. 2 eine Rauschspitze 53 aufwies, würde der Adapter 34 diese Spitze 53 als lokales Maximum erkennen. Entsprechend würde der Wert von PK1 gleich der Amplitude der Spitze 53 gesetzt, und die wirkliche Spitze 52 ginge verloren. Um dieses unerwünschte

Ergebnis zu vermeiden, enthält der Adapter 34 den Rautenblock 68, so dass Rauschspitzen, die vor der wahren ersten Spitze der Kurve 50 auftreten, praktisch ignoriert werden. Zur weiteren Erläuterung sei noch ausgeführt, dass der Adapter zum Zustand 2 zurückkehrt, wenn die Grösse M wesentlich grösser als PK1 ist.

Der Zustand 3 enthält ausserdem einen Rautenblock 69. Es sei noch einmal in Erinnerung gerufen, dass  $W_{MAX}$  zu Beginn während des Ablaufbeginns-Abschnitts des Adapterbetriebs festgelegt wurde. Der Wert  $W_{MAX}$  ist auf das geschätzte maximale Zeitmass für den Prozess 12 bezogen. Wenn jedoch der Regler 42 auf eine sehr träge Arbeitsweise eingestellt ist, kann es vorkommen, dass Regelschleife 8 eine übermässige Zeit für die Antwort auf eine Störbedingung braucht. Anders ausgedrückt, die Zeitperiode  $T_0$  ist im Vergleich zu  $W_{MAX}$  verhältnismässig lang. In einem solchen Fall enthält der Adapter 34 eine Vorkehrung, um den Regler 32 neu einzustellen, wenn eine träge Arbeitsweise auftritt. Wenn dabei die Zeit seit dem ersten Eintreten des Adapters 34 in den Zustand 2 den Wert  $W_{MAX}$  überschreitet, dann tritt der Adapter in den Zustand 8 ein und fährt fort, indem er die Operationen ausführt, die in dem Rautenblock 90 von Fig. 6A beschrieben sind. Aus dieser Fig. ist zu ersehen, dass die Werte verschiedener Variabler dann auf der Basis der Kenngrösse von  $T_{60}$  (gemessen), wenn diese vorliegt, und auf der Basis von früheren Daten, die von den Daten einer früheren Antwort abgeleitet sind, berechnet werden. Bei der Darstellung hinsichtlich der Kurve 50 gab es keine frühere Entwicklung, da die Kurve 50 die erste Antwort war, die nach dem ersten Einschalten der Regleranordnung 10 auftrat. Entsprechend sind die Anfangswerte für die früheren Daten diejenigen Werte, welche sich ergeben, wenn der ABLAUF-BEGINN-Block abgeschlossen ist. Nachdem der Adapter den Block 89 von Fig. 8B vollständig ausgeführt hat, definieren die mit «(IST)» versehenen Variablen in dem Rautenblock 90 Werte, welche zu den oben erwähnten früheren Datenwerten werden und die anfangs festgelegten Werte ersetzen. Entsprechend den Fig. 3A und 3B und der Diskussion hinsichtlich des Rautenblocks 69 tritt der Adapter in den Zustand 8 über den Eingang 8C ein. Wie im Rautenblock 91 von Fig. 8A beschrieben ist, werden, wenn nur PK1 als ausgeprägt anzusehen ist, neue Werte für die I- und D-Koeffizienten entsprechend Block 92 berechnet. Wenn jedoch die Grösse M des Fehlersignals 32 nur langsam von der ersten Spitze abfällt, entsprechend der Situation «NEIN», wobei die Absolutwerte von PK2 und PK3 jeweils grösser als NB sind, werden die neuen I- und D-Koeffizienten auf der Basis des Blocks 88 von Fig. 8B berechnet, welcher die Zwischenzeiten  $T_{MAX}$  und  $T_{MIN}$  ebenso wie die eingestellten Ziegler-Nichols-Verhältnisse einschliesst.

Der Zustand 4 enthält einen Rautenblock 72 gemäss Darstellung in Fig. 4A. Diese Anordnung ist für die Situation vorgenommen, bei der die zweite Spitze nicht auftritt, bevor die Zeit T (entsprechend dem Auftreten von 95% von PK1) den Wert  $W_{MAX}$



überschritten hat. In einem solchen Fall tritt der Adapter 34 in den Zustand 8 über den Eingang 8C ein und fährt in der oben diskutierten Weise fort. Diese Anordnung kompensiert den vorher erwähnten Fall, bei dem der Regler träge ist.

Wenn sich der Adapter im Zustand 5 befindet, ist in seiner Operation ein Rautenblock 93 gemäss Fig. 4B eingeschlossen. Wenn die Kurve 50 von Fig. 2 eine Rauschspitze 55 aufwiese, würde der Adapter die Spitze 55 als lokales Minimum erkennen und die wirkliche zweite Spitze 54 nicht feststellen. Die Verwendung des Rautenblocks 93 vermeidet diese unerwünschte Situation, da der Adapter 34 die Rauschspitze 55 in einer ähnlichen Weise, wie vorher in Zusammenhang mit dem Rautenblock 68 beschrieben, ignoriert.

Wenn sich der Adapter im Zustand 6 gemäss Fig. 5A befindet, schliesst seine Operation den Rautenblock 78 ein. Wenn während des im Rautenblock 78 definierten Zeitintervalls keine dritte Spitze gefunden wurde, dann geht der Adapter in den Zustand 8 über den Eingang 8B über. Danach führt der Adapter seine logische Operation weiter fort, beginnend mit dem Rautenblock 94 von Fig. 6A.

Ein Rautenblock 95 gemäss Fig. 5B ist in die Arbeitsweise des Adapters eingeschlossen, wenn dieser sich im Zustand 7 befindet. Wenn die Kurve 50 von Fig. 2 eine Rauschspitze 57 aufwiese, würde der Adapter diese Spitze 57 als lokales Maximum erkennen und die dritte tatsächliche Spitze 56 nicht feststellen. Der Rautenblock 95 ist im Ablauf vorgesehen, um diese unerwünschte Situation zu vermeiden, da nunmehr der Adapter die Rauschspitze 57 ignoriert, und zwar in einer Weise, die der im Zusammenhang mit dem Rautenblock 68 beschriebenen ähnlich ist.

Aus der gesamten obigen Beschreibung ergibt sich, dass die Regleranordnung mit Informationen arbeitet, welche auf drei Kenngrössen des Verlaufs der Prozess-Regelgrösse 14 beruhen, wenn die Regelschleife auf eine Störbedingung antwortet. Die drei Kenngrössen sind vorzugsweise Amplitudeninformationen, die auf der Existenz dreier ausgeprägter Spitzen beruhen. Es sind jedoch auch Vorkehrungen getroffen, um diese Kenngrössen zu bestimmen, wenn lediglich zwei Spitzen festgestellt werden oder wenn lediglich eine Spitze festgestellt wird. Drei Kenngrössen sind erforderlich, um die Dämpfungs-Zwangsbedingungen zu berechnen. Wenn jedoch der Regler 42 lediglich auf der Basis einer Überschwing-Zwangsbedingung betrieben wird, werden lediglich zwei Kenngrössen benötigt, um die Überschwing-Arbeitsweise der Regelschleife 8 zu messen. Wenn lediglich eine Spitze existiert, erzeugt der Regler die zweite und die dritte Kenngrösse auf der Basis der Werte des Fehlersignals zu dem Zeitpunkt, an dem die Suche abgebrochen wurde.

Bei dem Verfahren ist auch noch eine Vorkehrung für einen Voranpassbetrieb getroffen, wobei verschiedene Prozesskenngrössen automatisch festgestellt werden, so dass die anfänglichen Einstellungen der P-, I- und D-Koeffizienten, die maximale Wartezeit und die Grösse des Rauschbandes NB bestimmt werden können. Der Voranpass-Betrieb

vermeidet deshalb die Notwendigkeit, dass eine Bedienperson manuell die Anfangseinstellung eingibt. Bei dem Voranpassbetrieb ist die Regleranordnung in einem speziellen manuellen Zustand, wobei die Regelschleife aufgeschnitten ist, so dass der Sollwert nicht mehr durch den PID-Regler 42 benutzt wird. Bei der Darstellung in Fig. 1A wird die Anordnung in den manuellen Betrieb übergeführt, indem der Schalter 110 betätigt wird, so dass er den Messfühler 16 von dem Komparator 30 abtrennt und den Messfühler an einem herkömmlichen Analog-Digital (A/D)-Umsetzer anschliesst, welcher mit einem Vor-Adapter 112 gekoppelt ist. Der Vor-Adapterbetrieb erfordert, dass der Prozess sich in einem ersten eingeschwungenen Zustand befindet. Der Vor-Adapter 112 überträgt ein Signal an den Regler 42, welches sich dahingehend auswirkt, dass die Prozess-Regelgrösse 14 auf einen neuen Wert verändert (gestört) wird, welcher vorzugsweise mindestens um 3% von dem Wert des vorhergehenden eingeschwungenen Zustandes unterscheidet. Wenn der Prozess 12 seinen neuen eingeschwungenen Zustand erreicht oder sich die Prozess-Regelgrösse 14 um 10% ändert, dann wird der Prozess auf den Wert seines anfänglichen eingeschwungenen Zustandes zurückgeführt.

Fig. 9 zeigt eine graphische Darstellung des Wertes der Prozess-Regelgrösse 14 über der Zeit (in Minuten). Eine Kurve 114 stellt die Antwort des Prozesses 12 dar für den Fall, dass die Prozess-Regelgrösse 14 von dem Wert N eines eingeschwungenen Zustandes auf einen neuen Pegel, der 10% grösser als N ist, emporgedrückt wird. Es ist klar, dass die Kurve 114 lediglich ein Beispiel für eine Antwort ist, und lediglich zur Erklärung der Arbeitsweise der Regleranordnung 10 dient, wenn diese sich im Voranpass-Betrieb befindet.

Zu einem Zeitpunkt, der mit  $T_{BMP}$  bezeichnet ist, wird der Prozess 12 angestossen, und der Vor-Adapter 112 erzeugt die resultierende Kurve 114. Der Vor-Adapter registriert die Zeitpunkte vorgegebener Punkte 120, 122, 124 und 126, zu denen die entsprechenden Grössen jeweils  $N+1\%N$ ,  $N+2\%N$ ,  $N+3\%N$  und  $N+4\%N$  betragen. Ausserdem bestimmt der Vor-Adapter einen Knickpunkt 116 der Kurve 114 vorzugsweise mit einer Technik, die noch beschrieben wird und nachfolgend als Sehnenmethode bezeichnet ist.

Entsprechend der weiteren Erläuterung wird ein Punkt  $T_f$  auf der Horizontalachse, welche eine untere Zeit-Basislinie darstellt, ausgewählt, bei dem der Prozess 12 sich in dem ersten eingeschwungenen Zustand befindet. Jedesmal, wenn der Vor-Adapter 112 eine Messung der Prozess-Regelgrösse durchführt, bestimmt der Vor-Adapter auch die Neigung einer Linie, welche den Punkt  $T_f$  und den Punkt auf der Kurve 114, der der Messung entspricht, verbindet. Wenn beispielsweise die gegenwärtige bzw. aktuelle Messzeit  $T_x$  ist und die entsprechende Messgrösse der Prozess-Regelgrösse  $N_x$  ist, wird ein Punkt 118 bestimmt. Die Neigung der Linie, die als Sehne 130 bezeichnet wird und die die Punkte  $T_f$  und 118 verbindet, ist leicht zu berechnen, da die entsprechenden Koordinaten (Zeit und

Grösse) bekannt sind. Ersichtlicherweise erreicht die Neigung der entsprechenden Sehne dann einen Maximalwert, wenn der Punkt 118 einen oberen Knickpunkt 116 erreicht (Sehne 131). Die Genauigkeit, mit der die oben beschriebene Sehnemethode den oberen Knickpunkt der Kurve 114 bestimmt, hängt von der aktuellen Stelle des Punktes  $T_f$  ab. Bei einer bestimmten Ausführungsform der Erfindung wurde der Punkt  $T_f$  bei 15 Sekunden vor dem Zeitpunkt  $T_{BMP}$  festgelegt.

Wenn der Vor-Adapter einmal den oberen Knickpunkt 116 bestimmt hat, findet er die Linie mit der maximalen Neigung aus den vier Linien heraus, welche von dem Knickpunkt 116 bzw. von den Punkten 120, 122, 124 und 126 ausgehen. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist die Linie 132 die Linie mit der maximalen Neigung. Der Schnittpunkt 136 der Linie 132 mit der unteren Zeit-Basislinie wird dazu benutzt, um die Totzeit  $T_{dt}$  des Prozesses 12 festzulegen. Es ist bekannt, dass die Linie 132 proportional einem Kennwert ist, welcher den Regelungsingenieuren als Prozess-Ansprechempfindlichkeit bekannt ist. Bei der Anordnung wird die Prozess-Ansprechempfindlichkeit SEN durch Multiplizieren der Neigung (bezeichnet als NEIGUNG) der Linie 32 mit der prozentualen Änderung im Stellsignal 20 (Fig. 1A), welche sich bei der Prozess-Regelgrösse ergab, während diese von dem ersten unteren eingeschwungenen Zustand in den neuen eingeschwungenen Zustand emporgedrückt wurde, berechnet. Auf der Grundlage der obigen Kenngrößen der Kurve 114 werden die anfänglichen PID-Koeffizienten und  $W_{MAX}$  durch den Vor-Adapter 112 folgendermassen berechnet:

$$P(IST) = 120 \times T_{dt}/SEN$$

$$I(IST) = 1,5 \times T_{dt}$$

$$D(IST) = I(IST)/6$$

$$W_{MAX} = 5,0 \times T_{dt}$$

Die obigen Werte werden nicht nur dem Regler 42 übermittelt, sondern auch dem Adapter 34, so dass die Operation von Block 62 in Fig. 3A bedarfsweise durchgeführt werden kann.

Nach einer Zeit  $T_f$  kehrt der Prozess 12 zu seinem ersten unteren eingeschwungenen Zustand zurück. Der Voradapter 112 beobachtet den Wert der Prozess-Regelgrösse 14 über drei Minuten, um das Spitze-Spitze-Rauschband zu bestimmen, welches gleich 2NB ist.

Fig. 10 zeigt in einem Blockschaltbild die Rauschbandschaltung, welche bei der Anordnung zur Bestimmung des Rauschbandes 2NB verwendet wird. Der Prozess 12 ist auf seinen anfänglichen, niedrigen eingeschwungenen Zustand zurückgeführt worden. Die Messgrösse 18 (in Fig. 1A dargestellt) wird dem Eingang eines Hochpassfilters 114 angelegt, welches eine bekannte Einrichtung zur Unterdrückung von niederfrequenten Anteilen in der Messgrösse 18, dargestellt durch die Kurve 141, ist. Die Frequenz im Kennlinienknick dieses Filters ist variabel und wird vorzugsweise so eingestellt, dass sie dreimal  $T_{dt}$  beträgt. Ein Ausgangssignal 142, welches aus Kurve 143 dargestellt ist, wird an

einen Absolutwertintegrator 144 angelegt, welcher das Ausgangssignal 142 über eine Periode von vorzugsweise gleich drei Minuten integriert und ein Signal 145, dargestellt als Kurve 146, erzeugt. Eine herkömmliche Mittelwertschaltung 148 empfängt das Signal 145 und bestimmt einen Mittelwert daraus durch Multiplizieren des Signals 145 mit vier und durch Dividieren dieses Signals mit der Integratorperiode von drei Minuten, welche durch den Integrator 144 benutzt wurde. Die Grösse des resultierenden Signals 150, welches durch die Mittelwertschaltung 148 erzeugt wurde, ist das Spitze-Spitze-Rauschband 2NB des Prozesses 12. Es sei noch ausgeführt, dass der Faktor 4, der in der Mittelwertschaltung verwendet wurde, auf einer näherungsweisen Bewertung des Ergebnisses beruht, mit der Annahme, dass das Signal 141 sinusförmig ist. Das resultierende Signal 150 wird dem Adapter 34 für die bedarfsweise Verwendung zugeführt.

Der Vor-Adapter 112 enthält auch eine Logik zur Berechnung eines neuen Eingangswertes für den D(IST)-Koeffizienten bei Bedarf, auf der Basis der Grösse des Rauschbandes 2NB. Dabei führt die Logik folgende Operationen aus:

Berechne eine Grösse  $Z = (3,0 - 2NB)/2,5$ ;  
wenn  $Z > 1$ , dann setze  $D(IST) = I(IST)/6$   
(in anderen Worten, der Anfangswert ist unverändert gegenüber dem vorher berechneten);  
wenn  $Z < 0$ , dann setze  $D(IST) = 0$ , und  
wenn  $0 < Z < 1$ , dann setze  $D(IST) = I(IST)/6 \times Z$ .

Wenn der Voranpass-Betrieb abgeschlossen ist, kehrt die Regleranordnung 10 in ihren RUHE-BETRIEB zurück.

Der Vor-Adapter 112 ist vorzugsweise als Computer-Softwareprogramm realisiert, welches aus den oben beschriebenen Funktionen und Betriebsweisen (in Verbindung mit den Fig. 9 und 10) durch einen Fachmann erarbeitet werden kann. Im Hinblick auf Fig. 1B wird das Programm, welches den Voradapter verkörpert, in dem EPROM 408 gespeichert, welcher durch den Mikroprozessor 404 benutzt wird. Die verschiedenen Daten und Informationen, welche durch den Vor-Adapter 112 empfangen, erzeugt und produziert werden, werden in dem RAM 406 gespeichert.

Es sei noch darauf hingewiesen, dass selbst dann, wenn der Adapter 34 auf die Antwort des geschlossenen Kreises der Regelschleife 8 reagiert, die Antwort des aufgeschnittenen Kreises ebenfalls verwendbar ist, da der Vor-Adapter 112 auch ein selbstanpassender Regler ist. In Fig. 11 sind 16 Konvergenz-Graphiken dargestellt, für Situationen, bei welchen der Prozess durch eine Verzögerung dominiert wird und der D-Koeffizient auf Null gesetzt ist, so dass der Regler vom P-I-Typ ist. Jedes X (oder Kreuz) einer jeden Graphik bezeichnet den Anfangswert für den P- bzw. I-Koeffizienten des Reglers. Es sei noch darauf hingewiesen, dass jeder Abschnitt einer Kurve einen Anpassentwicklungszyklus des Reglers darstellt. Entsprechend stellen die Knickpunkte einer jeden Kurve jeweils eine Situation dar, in der neue Werte für die Koeffizienten in den Regler eingegeben wurden. Wie zu

ersehen ist, konvergieren alle 16 Kurven auf die gleichen Endwerte für die P- und I-Koeffizienten zu, obwohl deren Anfangswerte in einem weiten Bereich gestreut waren. In Fig. 11 ist ausserdem noch eine Kurve 300 dargestellt (welche ohne horizontalen und vertikalen Massstab gezeigt ist), welche das Muster für die Entwicklung des Fehlersignals darstellt, wenn der Regler mit denjenigen Endwerten für die P- und I-Koeffizienten eingestellt wird, welche rechts von der Konvergenz-Darstellung aufgelistet sind.

Bei der Darstellung von Fig. 12 ist der Regler vom PID-Typ, und der Prozess ist durch Verzögerung dominiert. Es sei darauf hingewiesen, dass die Zwangsbedingungen für die Dämpfung DMP und die Überschwungung OVR für diesen Fall nicht dieselben sind wie die im Fall der Darstellung von Fig. 11. Wie zu ersehen ist, konvergieren alle 16 Kurvendarstellungen hin zu den gleichen Endwerten für die P- und I-Koeffizienten. Es sei weiterhin darauf hingewiesen, dass Fig. 12 eine zweidimensionale Darstellung beinhaltet und dass die Konvergenz des D-Koeffizienten nicht gezeigt ist. Eine Kurve 302 stellt das Muster für das Fehlersignal dar, welches sich ergibt, wenn der Regler mit den Endwerten der PID-Koeffizienten eingestellt wird.

Bei der Darstellung von Fig. 13 ist der Regler vom PID-Typ, und der Prozess ist durch eine Totzeit beherrscht. In diesem Fall gibt es 14 Kurven, welche alle auf eine EndEinstellung der Werte für PID-Koeffizienten konvergieren. Eine Kurve 304 stellt das Muster für den Verlauf des Fehlersignals dar, wenn der Regler mit diesen Endwerten, welche rechts von der graphischen Darstellung gezeigt sind, eingestellt wird.

Der im Fall der Fig. 14 benutzte Regler ist vom PID-Typ. In diesem Fall werden die Kenngrössen des Prozesses variiert, und eine Kurve 306 stellt die Werte für die P- und I-Koeffizienten (der D-Koeffizient ist nicht gezeigt) dar, welche berechnet und danach durch den Regler benutzt wurden. Es sei darauf hingewiesen, dass die Endwerte der Koeffizienten nicht berechnet wurden, weil die Prozesskenngrössen sich änderten, bevor der Regler diese endgültigen Werte finden konnte. Als Test für die Wiederholbarkeits-Charakteristik des Reglers wurden die Prozesskenngrössen auf ihre anfänglichen Werte in einer solchen Weise zurückgeführt, welche umgekehrt zu derjenigen war, welche zur Erhöhung der Prozesskenngrössen verwendet wurde. Wie zu ersehen ist, ist der Rückführabschnitt der Kurve 306 im wesentlichen so wie der Vorwärtsabschnitt. Eine Kurve 308 stellt das Muster des Fehlersignalverhaltens für den Fall dar, dass der Regler mit den Anfangswerten für die PID-Koeffizienten eingestellt wird. Diese Anfangswerte sind rechts von der Graphik aufgelistet.

Bei einem anderen Ausführungsbeispiel der Regleranordnung können andere Kriterien als Dämpfung und Überschwungung für die Ermittlung des Idealmusters verwendet werden. Ausserdem muss der Regler auch nicht vom PID-Typ sein, da andere Regler wie Smith-Zielrechner oder Dahlin-Regler gebräuchlich sind. Ausserdem können auch andere im Handel erhältliche Computer wie der HP 9845

oder der DEC VAX 11/780 anstelle des Mikroprozessors 404, des RAM 406 und des EPROM 408 verwendet werden.

Zu den Ziegler-Nichols-Verhältnissen siehe die US-Publikation «Transactions of the A.S.M.E.» vom November 1942.

Die vorliegende Erfindung schafft eine Möglichkeit, wie bei einer Mustererkennungs-Regleranordnung die Messzeit ausgenutzt werden kann, um den Regler-Betriebsparameter zu verändern. Das heisst, aufgrund bestimmter Bedingungen wird das für den vorliegenden Zyklus erhaltene Ziegler-Nichols-Verhältnis so revidiert, dass es entweder 85% (0,85) oder 120% (1,2) seines gegenwärtig bestimmten Wertes hat.

Die Musterkenngrösse I trägt zu einer Phasennacheilung bei, während die Musterkenngrösse D eine Phasenvoreilung bewirkt. Als Ergebnis ist die wahre Zeitdauer der Regelschleife von der gemessenen Zeitdauer aufgrund der Beiträge der Phasenverschiebungen verschieden, die durch den Regler durch dessen I- und D-Koeffizienten-Einstellungen eingeführt sind.

## 25 Patentsprüche

1. Selbstanpassende Mustererkennungs-Regleranordnung (10) zur Verwendung in einem Regelsystem (8), mit einem Regler (42), der mit einem Prozess (12) in einer geschlossenen Schleife des Regelsystems (8) verbunden ist, um eine Prozess-Regelgrösse (14) aufgrund eines Einstellwertes (22) und eines ersten Messwertes (18) mit einem Stellsignal (20) zu steuern, wobei der Regler (42) abhängig von mindestens einem Betriebsparameter (P,I,D.) arbeitet und auf eine Differenz (32) zwischen dem Einstellwert (22) und dem ersten Messwert (18) anspricht, mit einem ersten Vergleich (30), der auf Unterschiede zwischen dem Einstellwert (22) und dem ersten Messwert (18) anspricht, um ein Verhaltenssignal (32) in geschlossener Schleife zu erzeugen, gekennzeichnet durch einen Adapter (34), enthaltend eine auf das Verhaltenssignal ansprechende Detektoreinrichtung (60-83, 90, 93-95, 200, 450) zur Erkennung zumindest einer Musterkenngrösse dieses Verhaltenssignals und zum Erzeugen eines zweiten Messwertes aus dieser Musterkenngrösse, einen mit der Detektoreinrichtung verbundenen zweiten Vergleich (454) zum Vergleichen des zweiten Messwertes mit einem vorbestimmten Soll-Wert der Musterkenngrösse, und eine mit dem zweiten Vergleich verbundene Einstelleinrichtung (84, 88, 91, 92, 210, 456-466) zum Ansprechen auf die Differenz zwischen dem zweiten Messwert und dem Soll-Wert der Musterkenngrösse und zum Ändern des mindestens einen Betriebsparameters des Reglers, derart, dass der erstgenannte Messwert (18) im wesentlichen mit dem Einstellwert (22) in Übereinstimmung gelangt, wobei die Einstelleinrichtung (84, 88, 91, 92, 210, 456-466) dann nicht arbeitet, um den zumindest einen Betriebsparameter P,I,D des Reglers (42) zu ändern, wenn die Differenz zwischen dem zweiten Messwert und dem Soll-Wert der Musterkenngrösse kleiner als ein vorgegebener Wert ist, und wobei

die Einstelleinrichtung ein Steuer-Korrekturorgan (92, 458–466) umfasst, zur Bestimmung des geänderten Betriebsparameters, wobei der geänderte Betriebsparameter aufgrund des bisherigen Betriebsparameters bestimmbar ist, welcher um einen Faktor änderbar ist, der durch den zweiten Messwert und den Soll-Wert der Musterkenngrosse bestimmt ist.

2. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstelleinrichtung derart ausgestaltet ist, dass zur Bildung des Faktors zusätzlich ein oder mehrere vorgängig bestimmte Betriebsparameter mitbestimmend sind.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Musterkenngrosse eine Dämpfung ist, dass der Regler (42) vom PID-Typ ist, und dass für den Faktor zusätzlich Ziegler-Nichols-Verhältnisse mitbestimmend sind.

4. Anordnung nach einem der Ansprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstelleinrichtung zur Bildung eines Zeitwerts proportional zum Wert des Betriebsparameters ausgestaltet ist.

5. Anordnung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstelleinrichtung zur Bildung des Zeitwertes mittels eines Ziegler-Nichols-Verhältnisses (86–89, 210) ausgestaltet ist.

6. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Musterkenngrossen (450) erkennbar sind und dass die Einstelleinrichtung auch zur Bildung eines Zeitwerts entsprechend der Differenz (85) zwischen den beiden Musterkenngrossen (450) ausgestaltet ist.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die beiden Musterkenngrossen (450) Dämpfung und Überswingen sind.

8. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Musterkenngrosse eine erste Spitzen-Amplitude eines ersten Extremwerts des Verhaltenssignals und eine zweite Nicht-Spitzen-Amplitude des Verhaltenssignals an einem zeitlich hinter dem ersten Extremwert liegenden Punkt umfasst und dass die Detektoreinrichtung ein Mittel aufweist, welches die erste und die zweite Amplitude zusammenfasst (450), um einen Messwert der Musterkenngrosse zu liefern.

9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Amplitude um einen vorgeschriebenen Wert (200) kleiner als die erste Amplitude ist.

10. Anordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Musterkenngrosse ein Überswing-Verhältnis ist, das proportional zu einer ersten und zweiten Kenngrosse ist.

11. Anordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Steuer-Korrekturorgan (92, 458–466) zum Ändern des zumindest einen Betriebsparameters um einen solchen Faktor ausgebildet ist, der aus einem die Schwingungszeitdauer der geschlossenen Schleife darstellenden Zeitwert bildbar ist.

12. Verfahren zur selbsttätigen Bestimmung von Anfangseinstellwerten bei einer selbstanpassenden Mustererkennungs-Regleranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, welche mit einer Voradaptereinrichtung (112) versehen ist, welche mit

dem Regler (42) und der Detektoreinrichtung (84) verbunden ist und an welche der erste Messwert (18) anlegbar ist und mittels welcher Voradaptereinrichtung ein Spursignal (114) als Folge der ersten Messwerte (18) über einer Zeitbasislinie erzeugbar ist und eine Mehrzahl von Geraden (130, 131) erzeugbar sind, welche von vorbestimmten Punkten auf der Zeitbasislinie zu vorbestimmten Punkten des Spursignals gelegt werden, sowie die Neigung der Geraden gegenüber der Zeitbasislinie bestimmbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelschleife aufgetrennt wird und der erste Messwert (18) an die Voradaptereinrichtung (112) angelegt wird, dass die Neigung der Geraden an das Spursignal bestimmt wird, das auftritt, wenn das Stellsignal (20) zu einem Zeitpunkt T von einem ersten Pegel auf einen zweiten Pegel angehoben wird, so dass die Prozess-Regelgrösse (14) sich entsprechend von einem eingeschwungenen Zustand über einem ersten Abschnitt der Zeitbasislinie vor der Anhebung in einen neuen eingeschwungenen Zustand über einem zweiten Abschnitt der Zeitbasislinie nach der Anhebung verändert, wobei die Neigungen von Geraden (130, 131) bestimmt werden, die sich von einem Punkt ( $T_i$ ), welcher auf dem ersten Abschnitt der Zeitbasislinie festgelegt ist, zu aufeinanderfolgenden Punkten (120, 122, 124, 118, 116) des Spursignals erstrecken, und dass hierbei diejenige Gerade (131) mit dem Maximalwert der Neigung ausgewählt wird, wodurch ein Knickpunkt (116) des Spursignals identifizierbar ist, dass ein erster Anstiegspunkt (124) des Spursignals aus den Punkten ausgewählt wird, wobei der erste Anstiegspunkt zeitlich vor dem Knickpunkt auftritt, dass der Absolutwert der Neigung einer prozesskennzeichnenden Geraden (132) festgestellt wird, welche sich durch den Knickpunkt und den ersten Anstiegspunkt erstreckt, dass der Schnittpunkt der prozesskennzeichnenden Geraden mit der Zeitbasislinie festgestellt wird, dass die Zeitdifferenz zwischen dem Schnittpunkt und dem Zeitpunkt T der Anhebung des Pegels zur Erzeugung eines die Prozess-Totzeitkenngrosse  $T_{dt}$  darstellenden ersten Signals gemessen wird, dass ein der jeweiligen Neigung der prozesskennzeichnenden Geraden (132) entsprechendes zweites Signal für eine Prozess-Ansprechempfindlichkeits-Kenngrosse SEN erzeugt wird, worauf aus dem ersten und zweiten Signal die Anfangseinstellwerte ermittelt werden, und an die Einstelleinrichtung (84) und den Regler (42) gegeben werden, worauf die Regelschleife wieder geschlossen wird.

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Voradaptereinrichtung (112) beim Auswählen des ersten Anstiegspunktes des Spursignals zudem einen zweiten Anstiegspunkt des Spursignals aus den Punkten auswählt, dass die prozesskennzeichnende Gerade aus der ersten und der zweiten Geraden ausgewählt wird, welche sich entsprechend durch den Knickpunkt in den ersten und den zweiten Anstiegspunkt erstrecken, wobei die Gerade mit dem maximalen Absolutwert der Neigung als prozesskennzeichnende Gerade gewählt wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch ge-

kennzeichnet, dass der Betriebsparameter einen Proportional P-, einen Integral I- und einen Differenzier D-Koeffizienten aufweist und dass die Einstelleinrichtung (84) entsprechend Anfangseinstellwerten arbeitet, welche die folgenden Bedingungen umfassen: Proportional P-Koeffizient ist gleich  $120 \text{ mal } T_{dt}$  geteilt durch SEN, Integral I-Koeffizient ist gleich  $1,5 \text{ mal } T_{dt}$ , Differenzier D-Koeffizient ist gleich Integral I-Koeffizient geteilt durch 6 und die Periode der Reglerantwort  $T_0$  ist gleich  $5 \text{ mal } T_{dt}$ .

15. Verfahren nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch die Bestimmung einer Geräuschpegelkenngrosse des Spursignals mittels einer Geräuschpegelbestimmungseinrichtung (140–148) und eine mit dieser gekoppelten Einrichtung zur Änderung des Differenzier D-Koeffizienten proportional zu der Geräuschpegelkenngrosse.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Geräuschpegelbestimmung umfasst: die Unterdrückung vorgegebener Hochfrequenzanteile aus dem Spursignal mittels einer Hochpassfiltereinrichtung (140), die Integrierung des Ausgangssignals mittels einer Integriereinrichtung (144), welche so verbunden ist, dass sie das Ausgangssignal der Filtereinrichtung empfängt, um dieses Ausgangssignal über ein vorgegebenes Zeitintervall zu integrieren, und eine Mittelwertbildung mittels einer mittelwertbildenden Einrichtung (148), welche auf das Ausgangssignal der Integriereinrichtung anspricht, um ein Rauschbandsignal mit einem Wert  $2NB$  zu erzeugen, welches der Spitze-Spitze-Rauschbandkenngrosse des Spursignals entspricht und welches auf einem vorgegebenen Mittelwert des Ausgangssignals der Integriereinrichtung beruht.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzier-D-Koeffizient aufgrund einer Grösse  $Z$  veränderbar ist, wobei  $Z = (3,0 - 2NB)/2,5$  und wobei gilt: wenn  $0 < Z < 1$ , so ist der Differenzier-D-Koeffizient gleich  $Z$ , multipliziert mit dem Quotienten aus dem durch sechs dividierten Integral-I-Koeffizienten, und wenn  $Z < 0$ , hat der Differenzier-D-Koeffizient den Wert Null.

18. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Stellsignal (20) auf den ersten Pegel zurückgeführt wird, so dass die Prozess-Regelgrösse (14) auf ihren ursprünglichen stetigen Zustand zurückkehrt, nachdem der zumindest eine Betriebsparameter geändert wurde.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

13

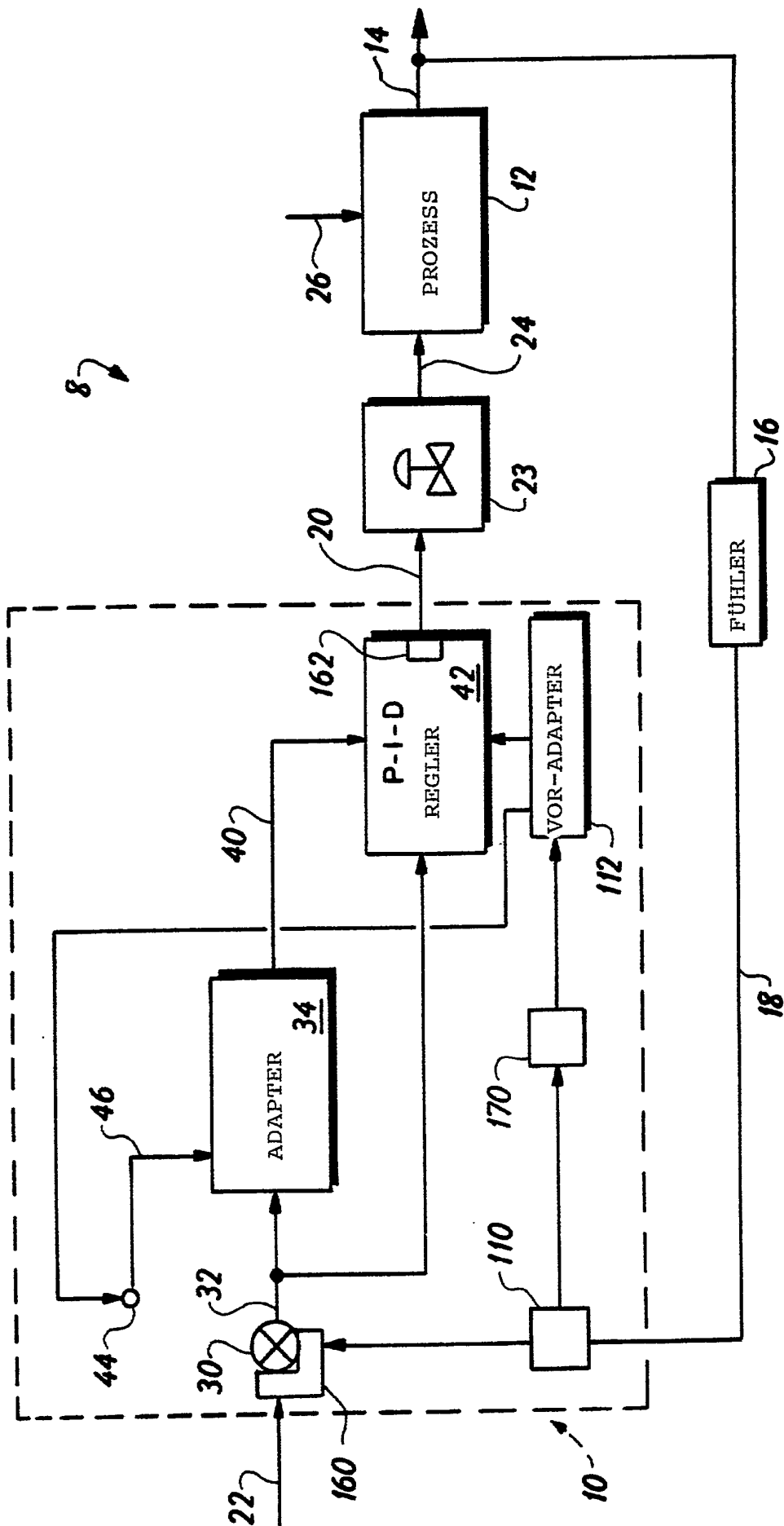


FIG. 1A

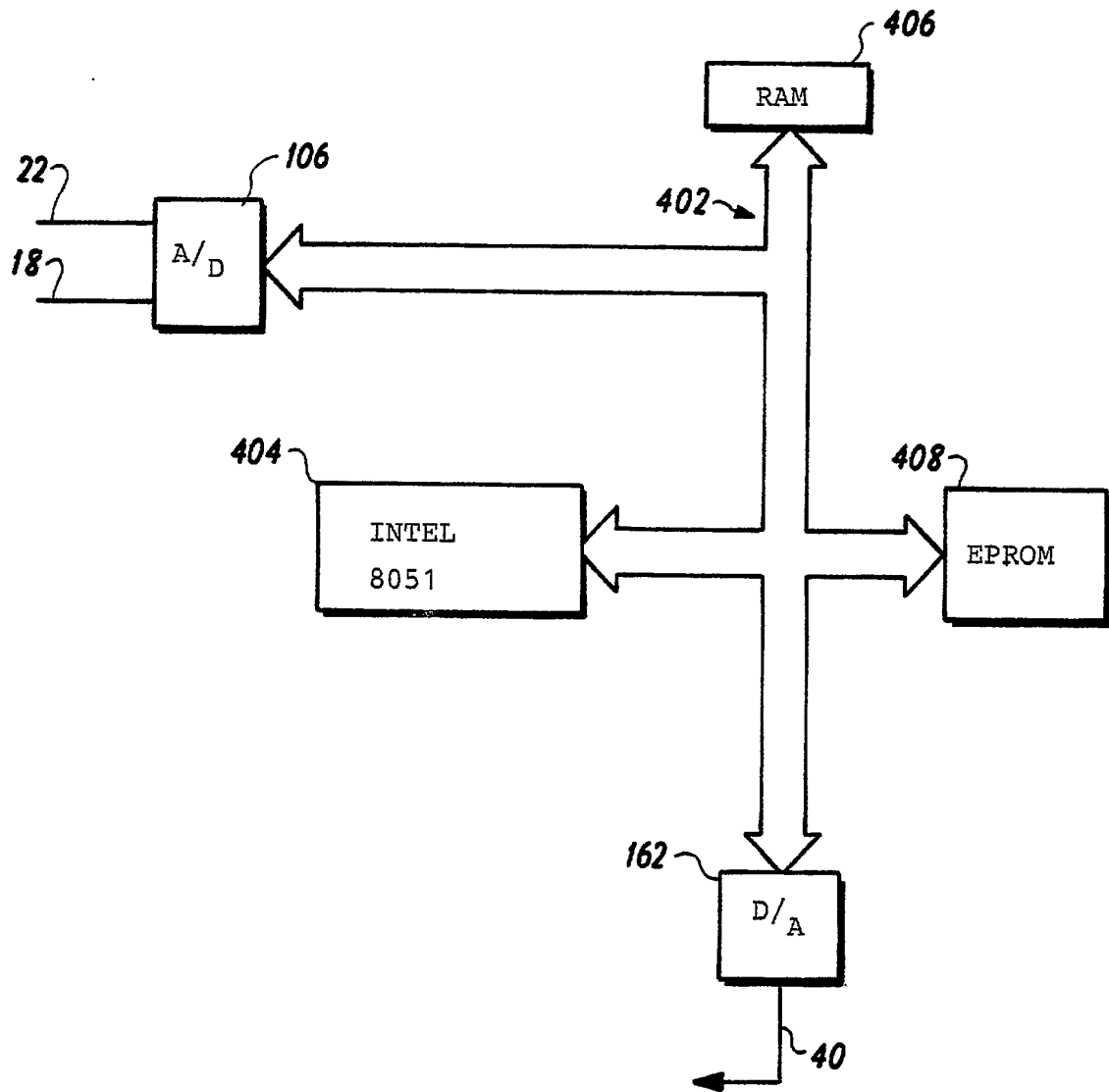
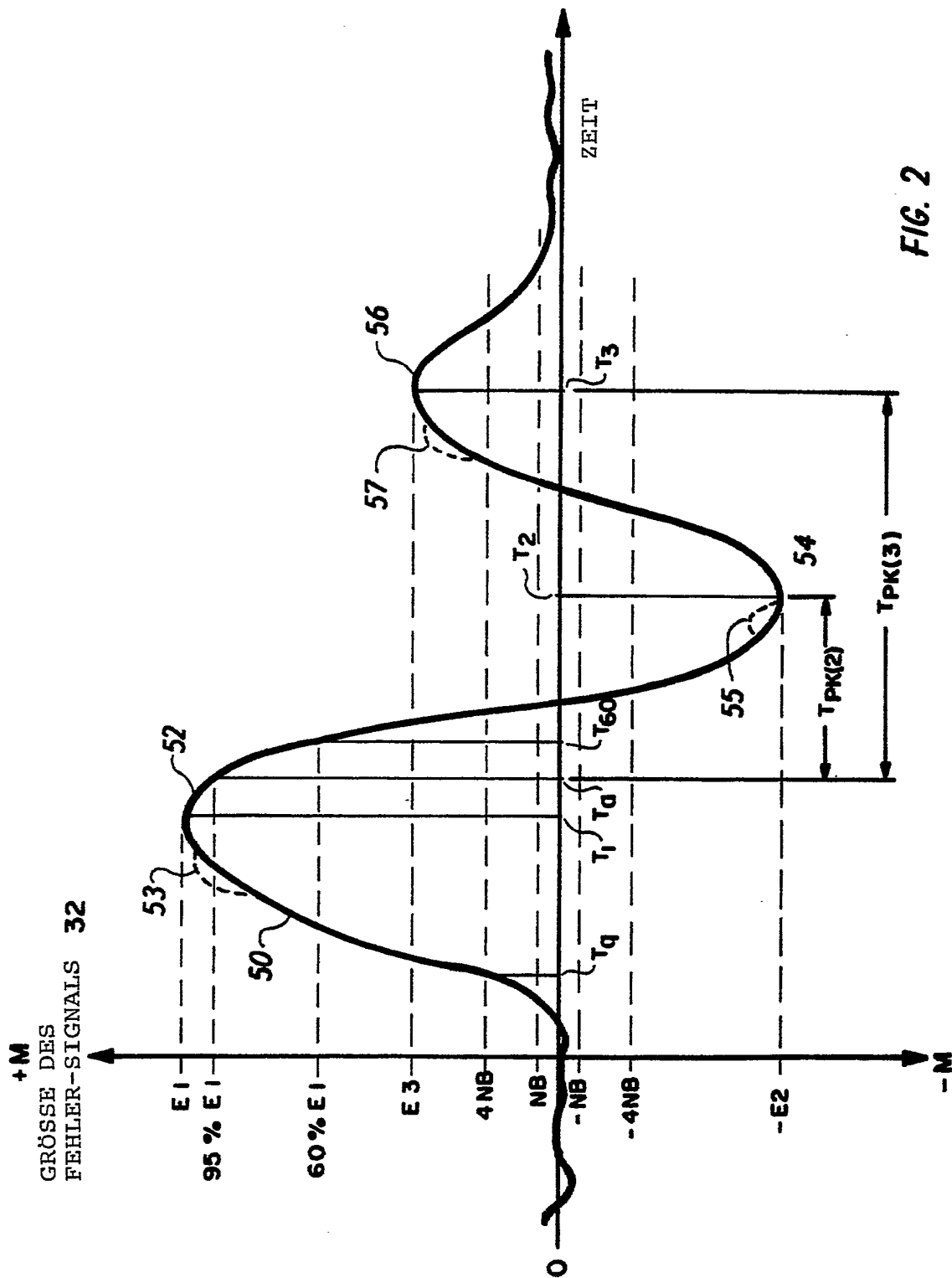
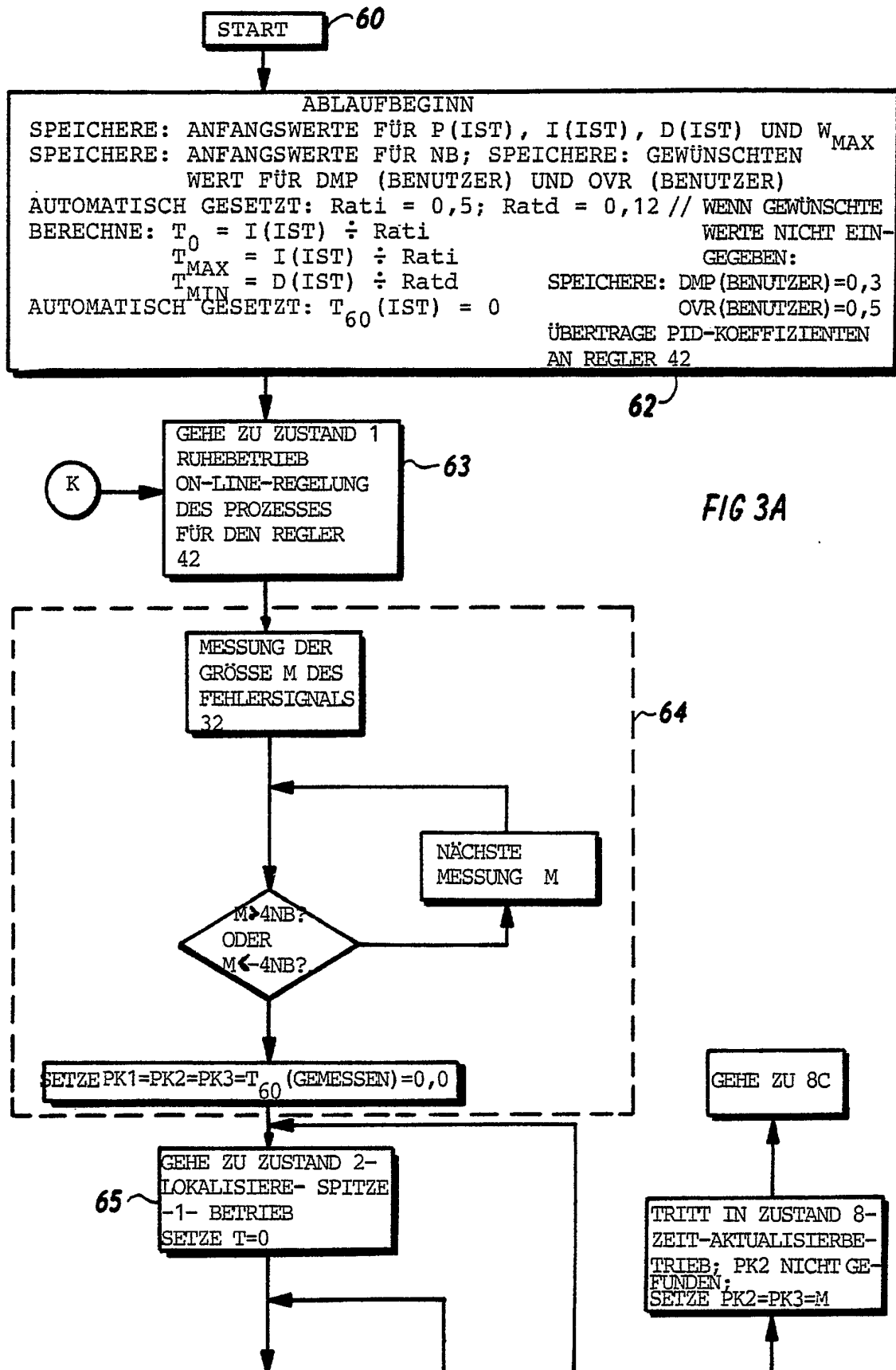


FIG. 1B









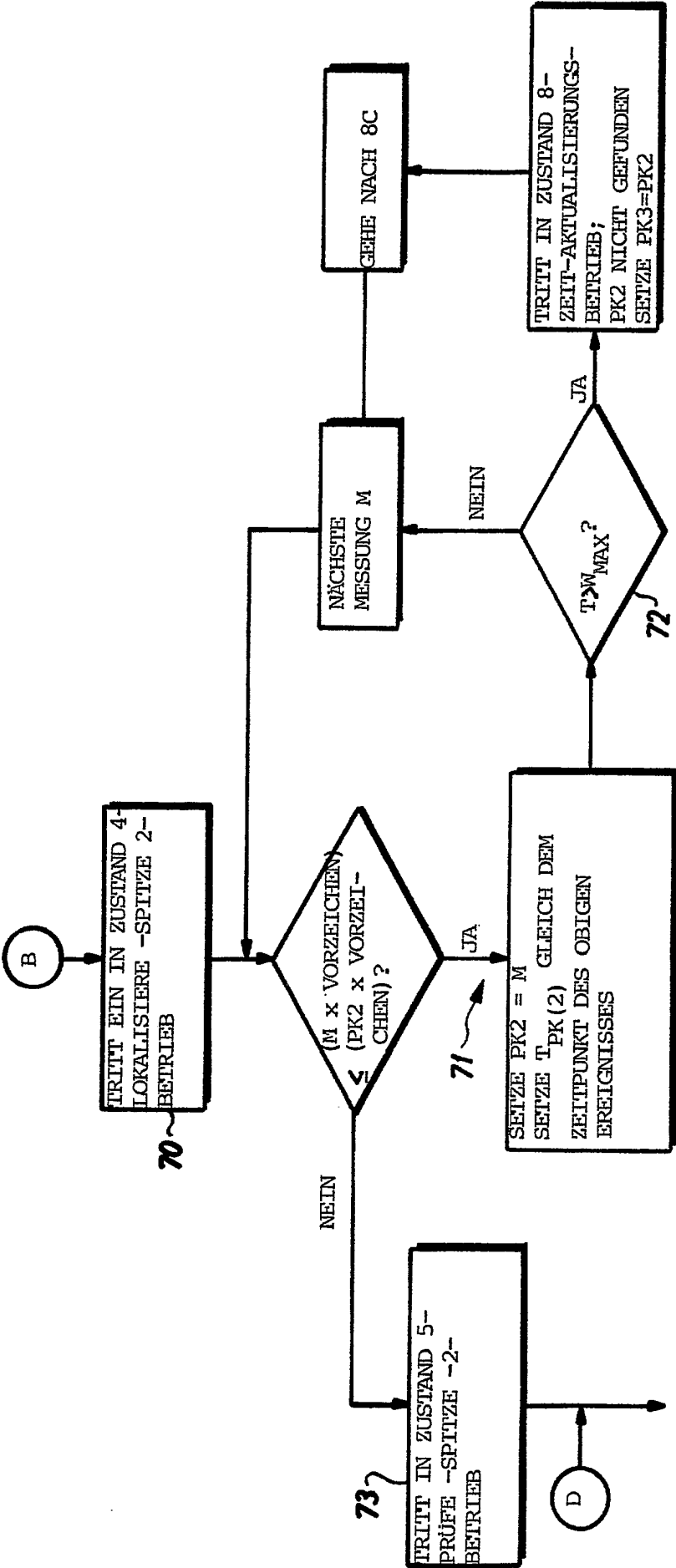


FIG. 4A

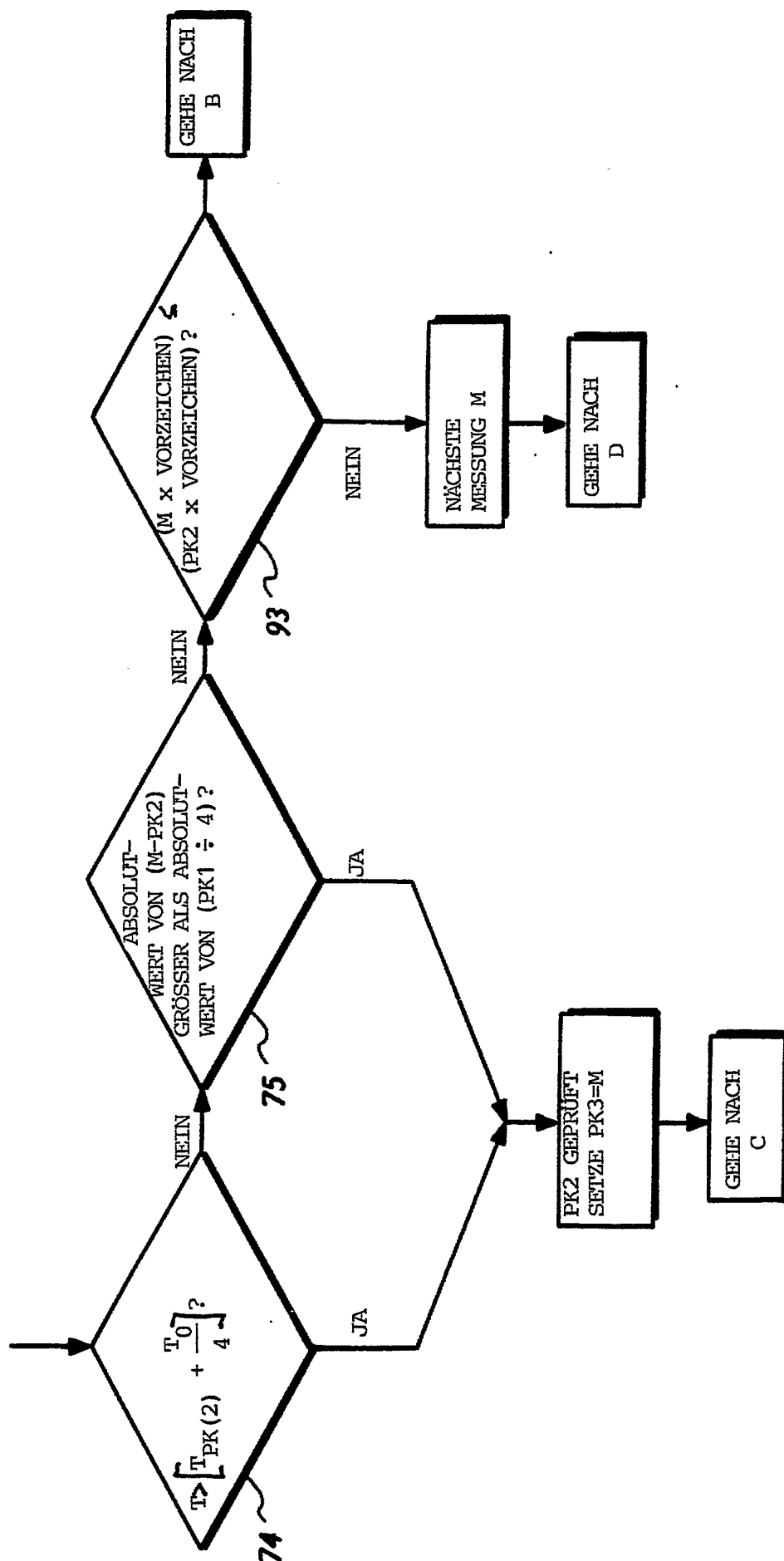


FIG. 4B

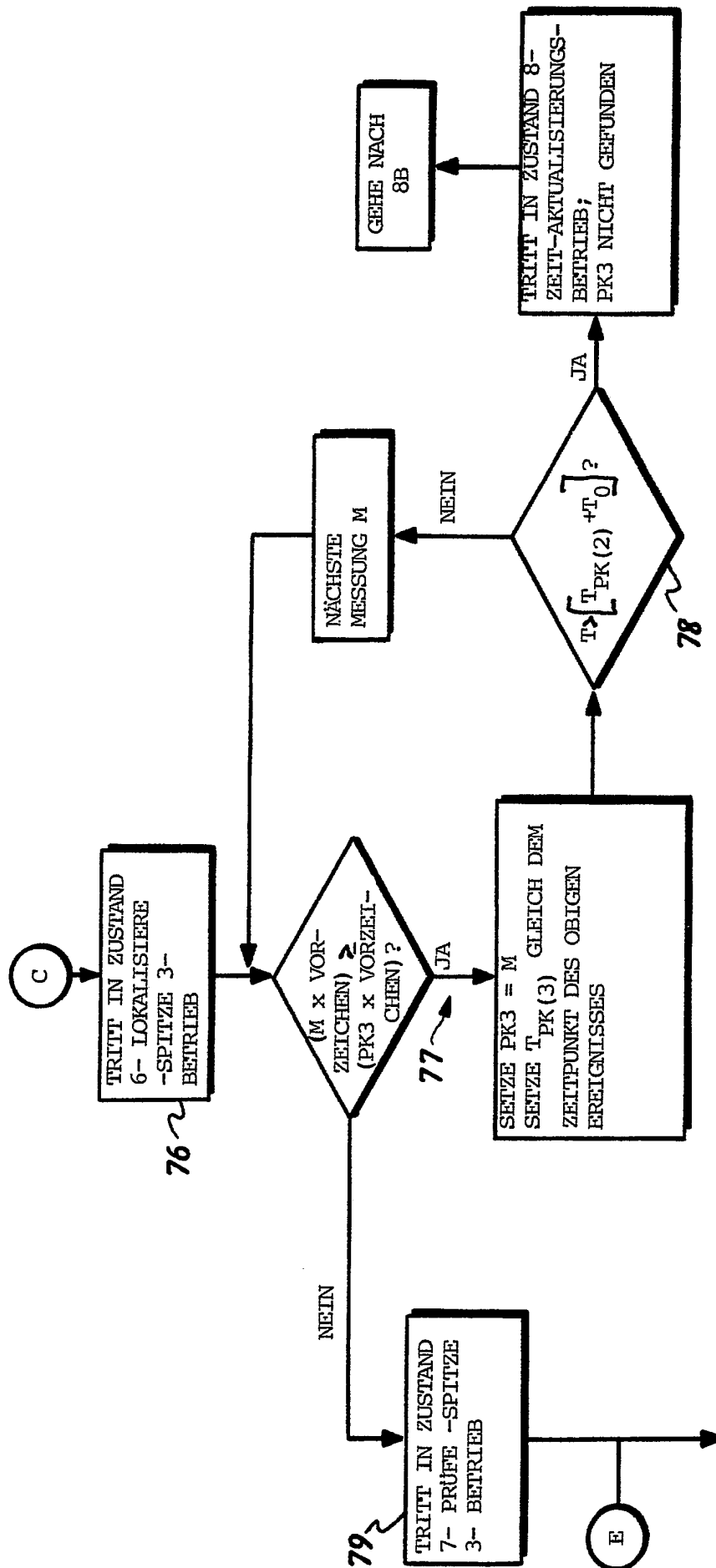


FIG. 5A

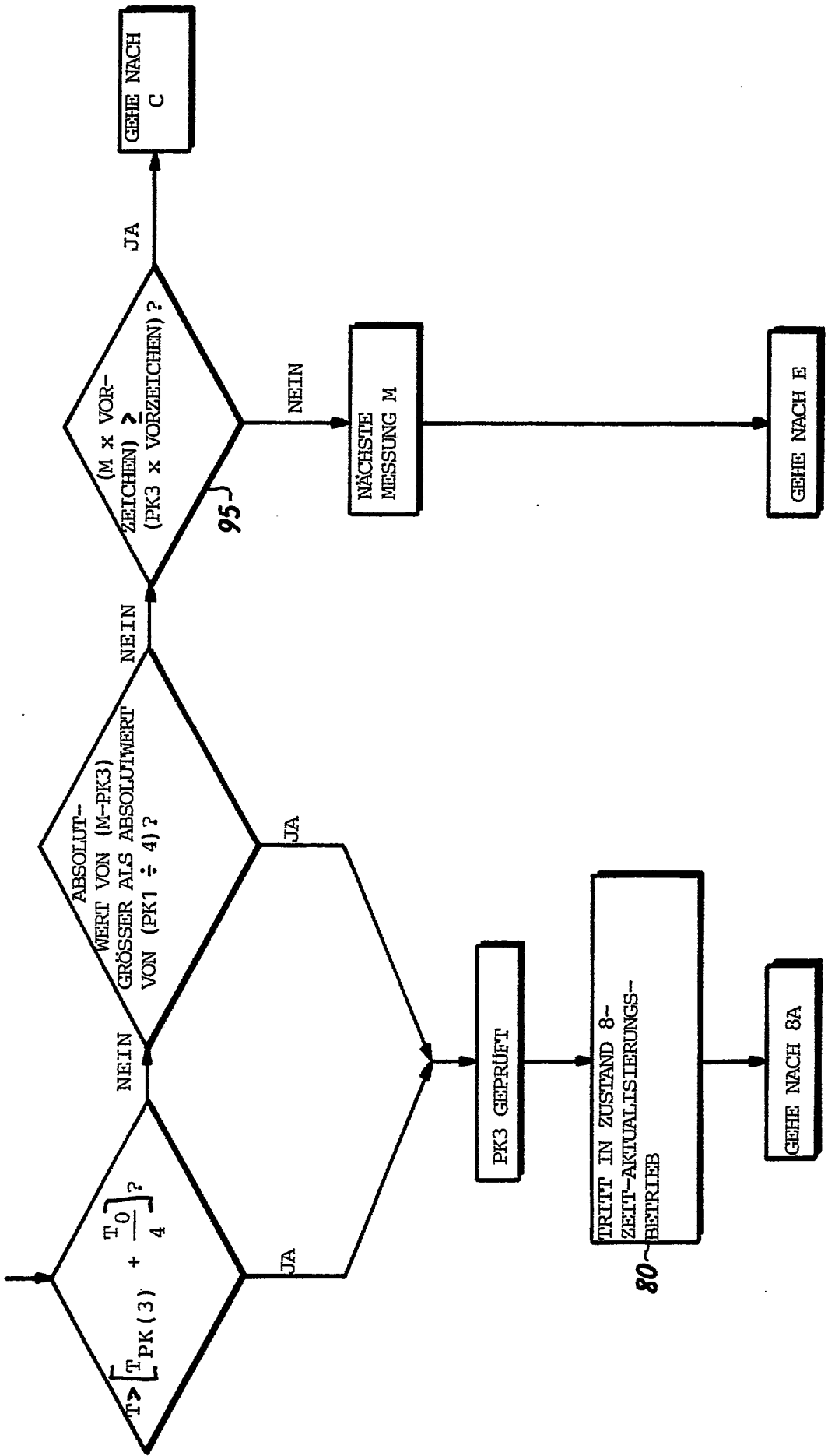


FIG. 5B



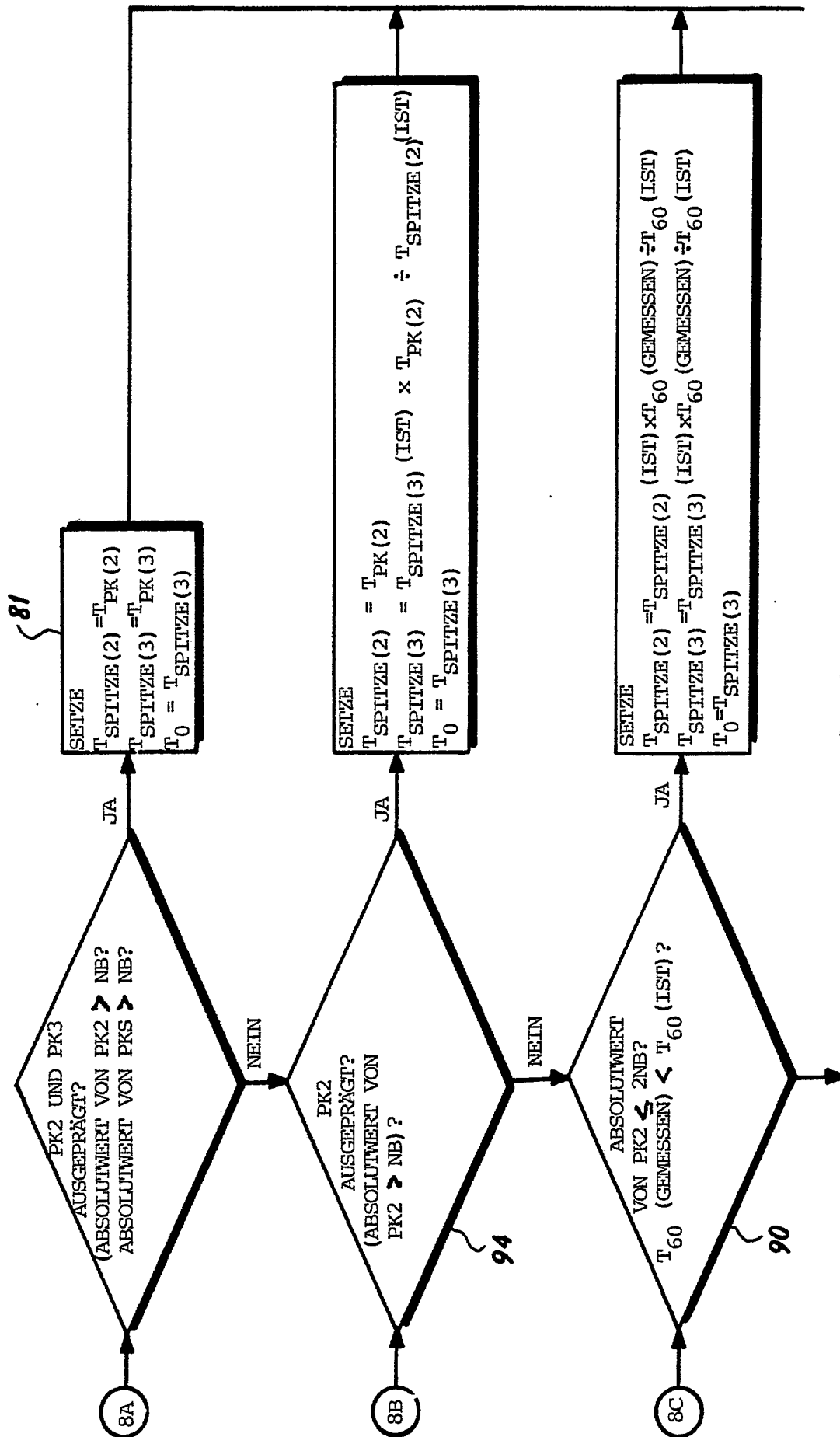


FIG. 6A

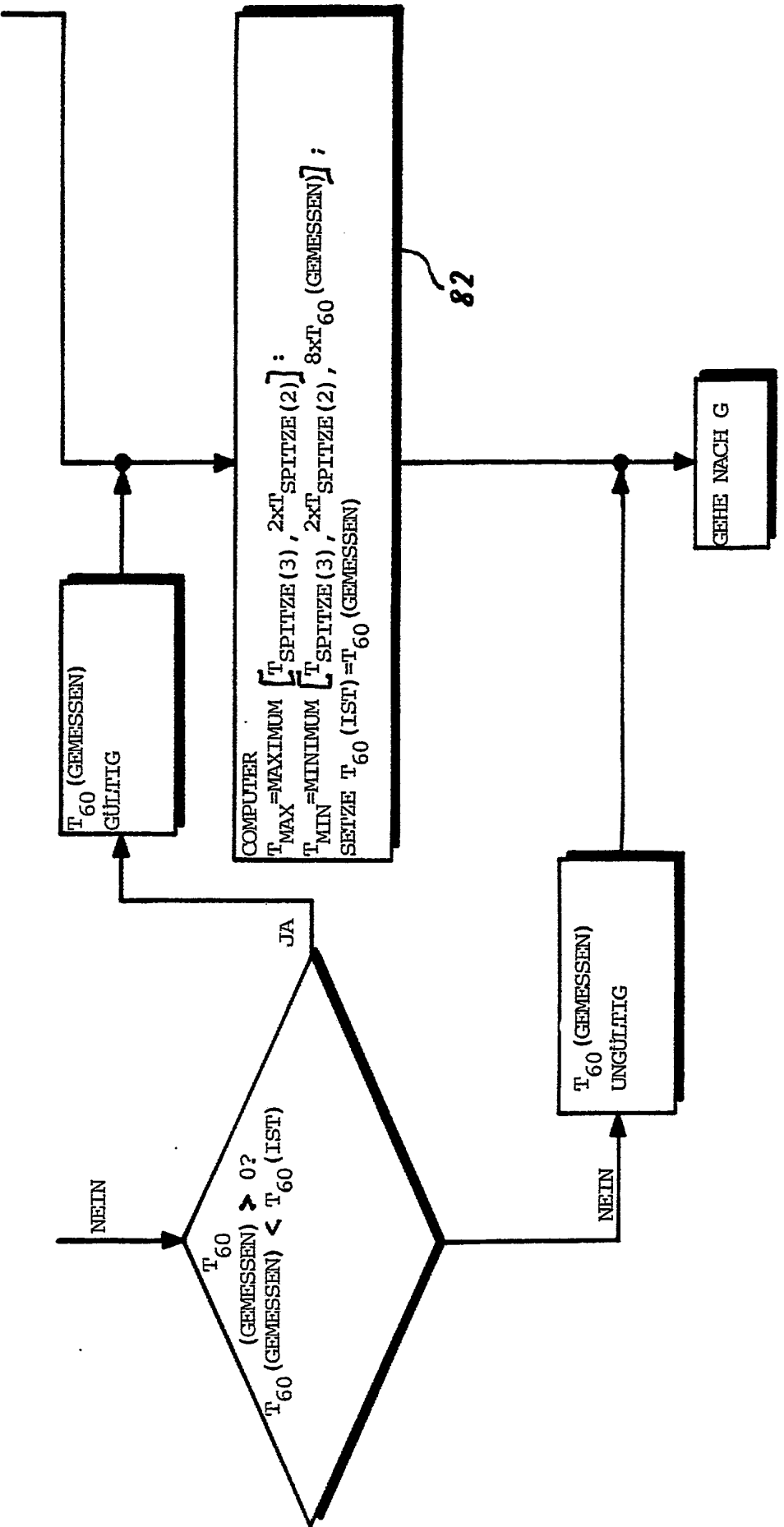
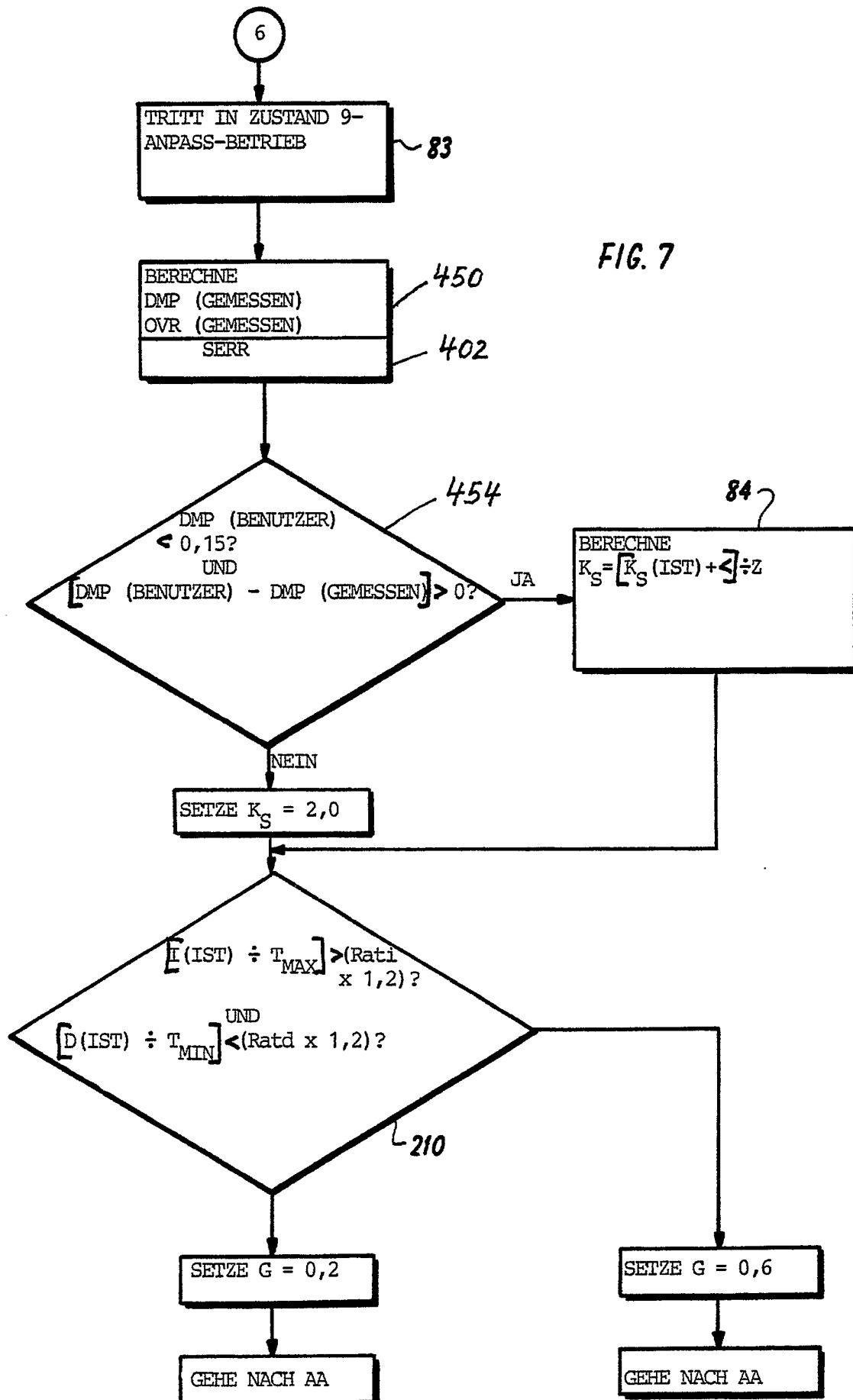


FIG. 6B

FIG. 7



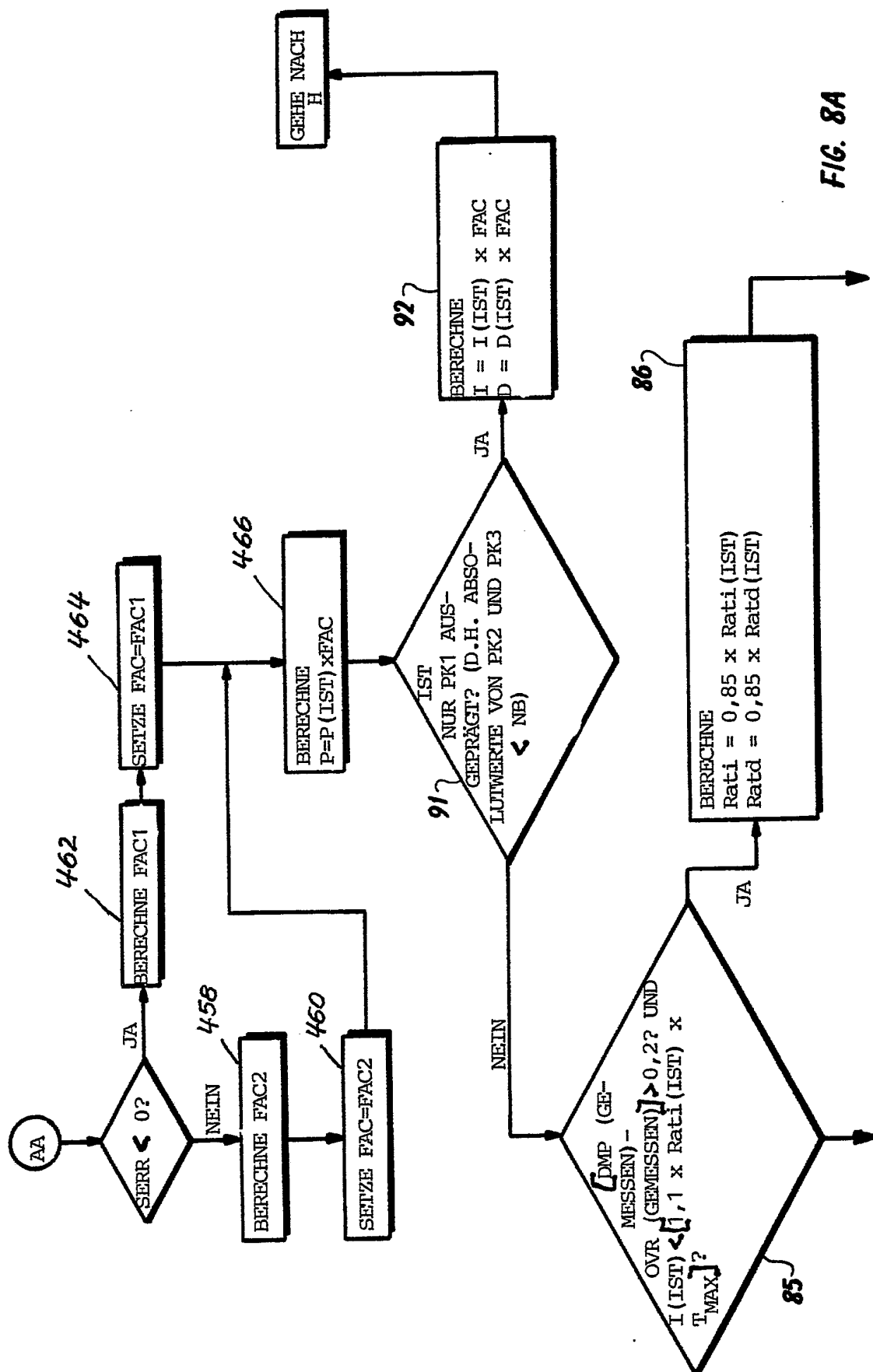


FIG. 8A

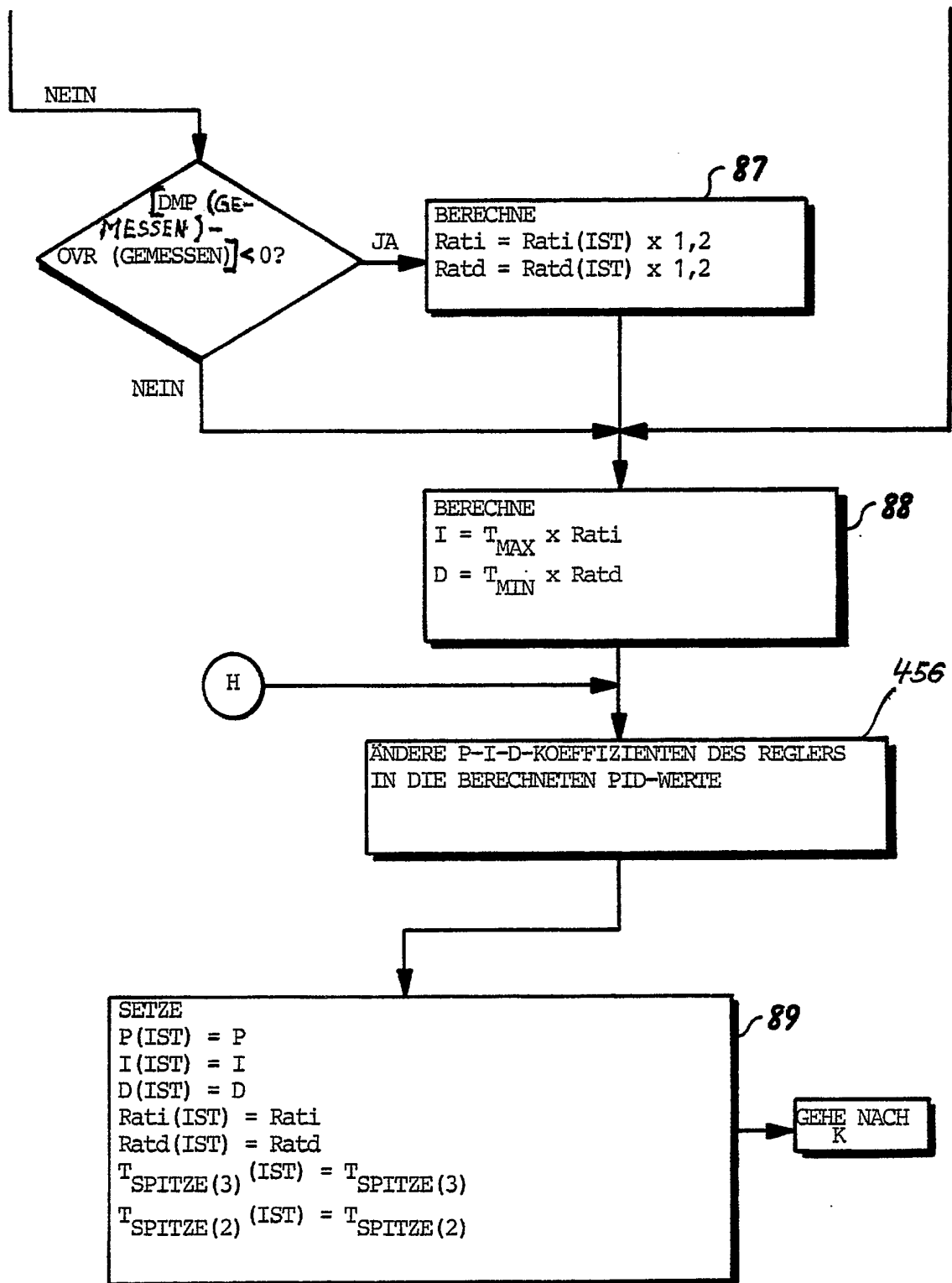
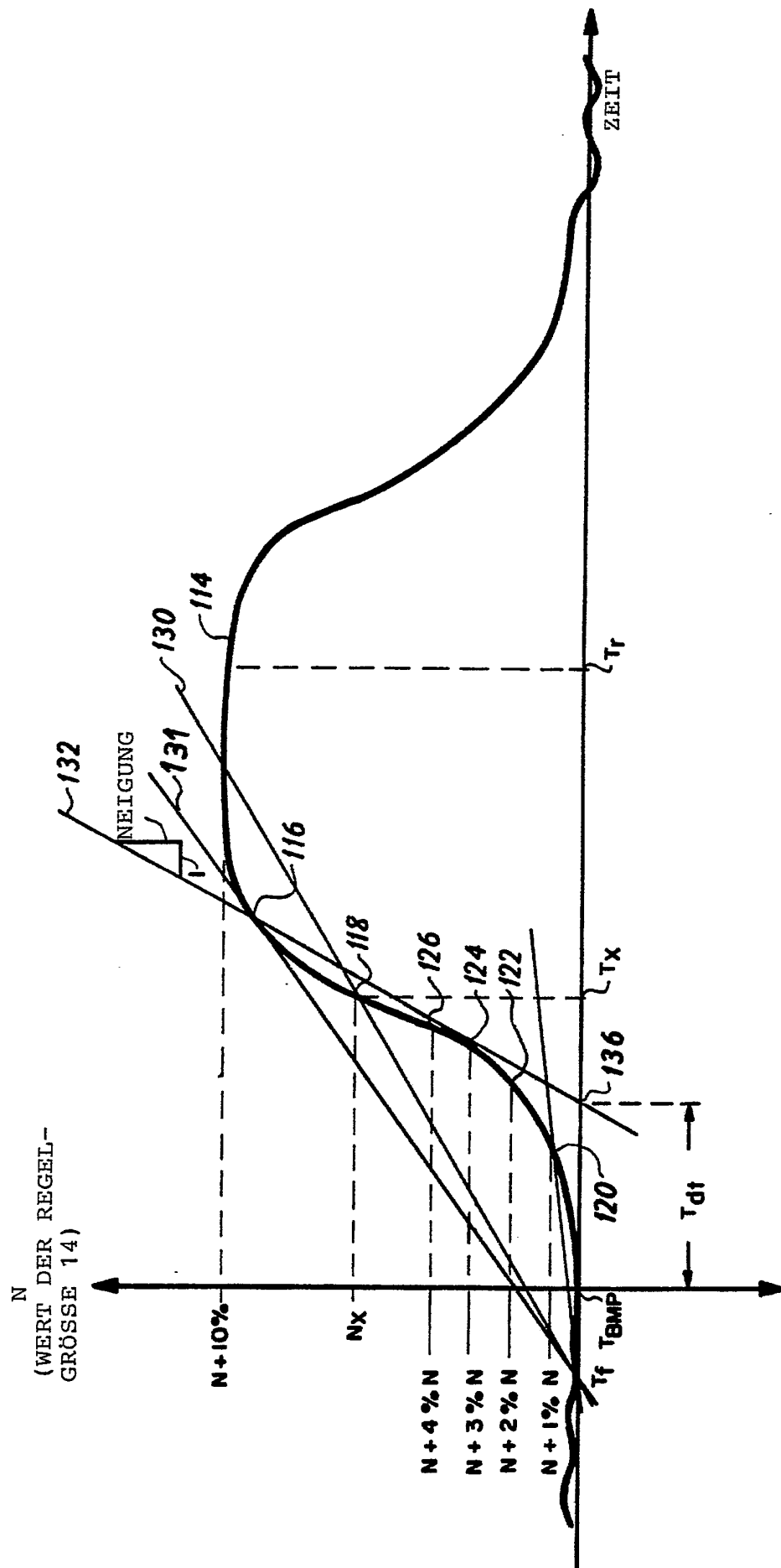


FIG. 8B



**FIG. 9**

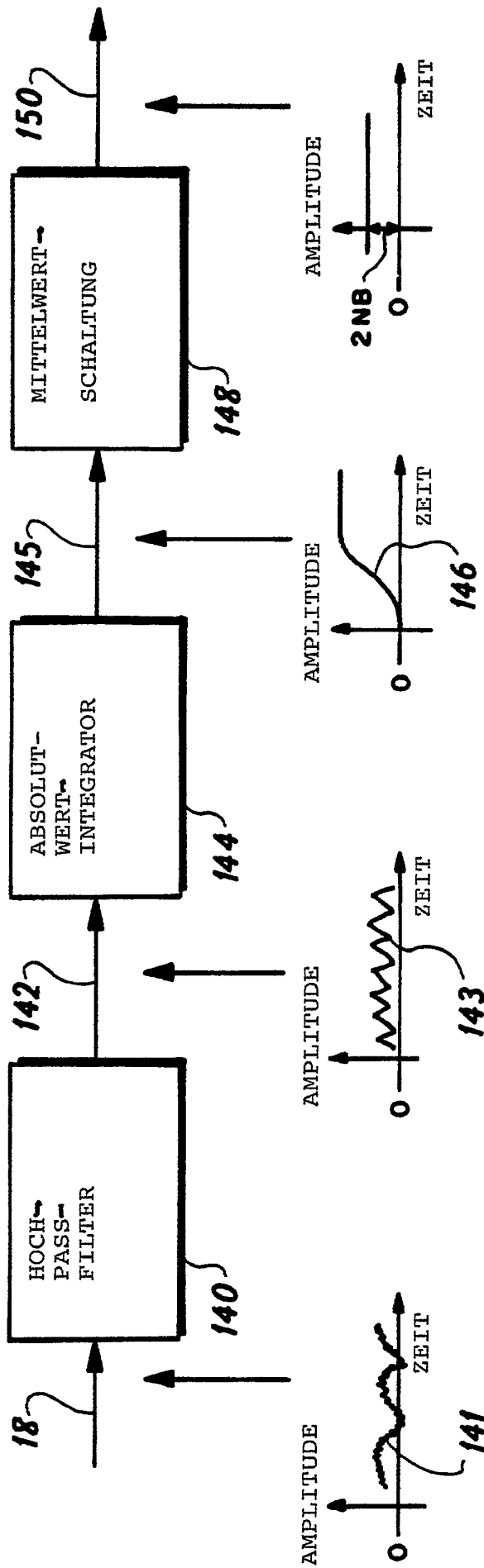


FIG. 10



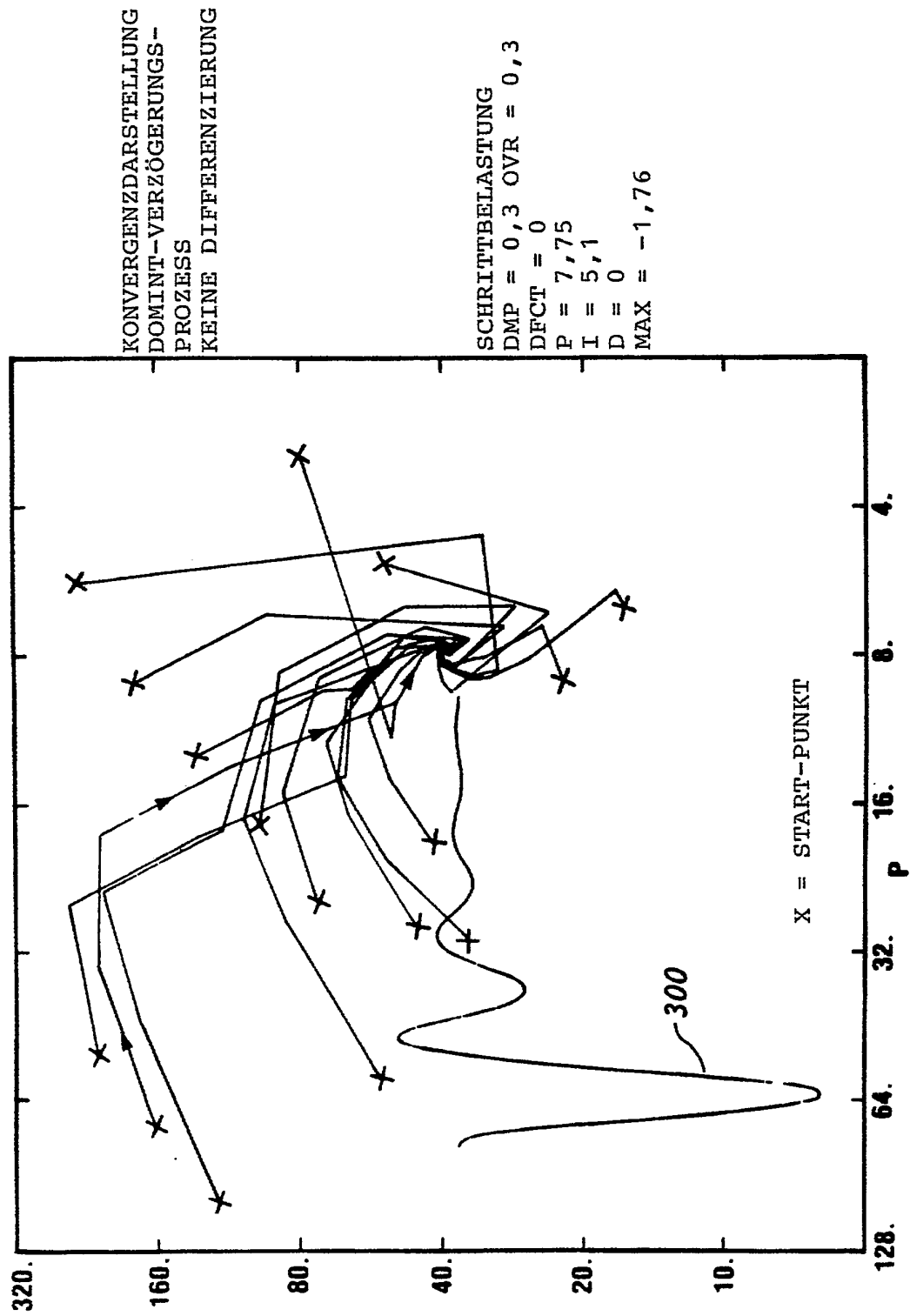


FIG.11

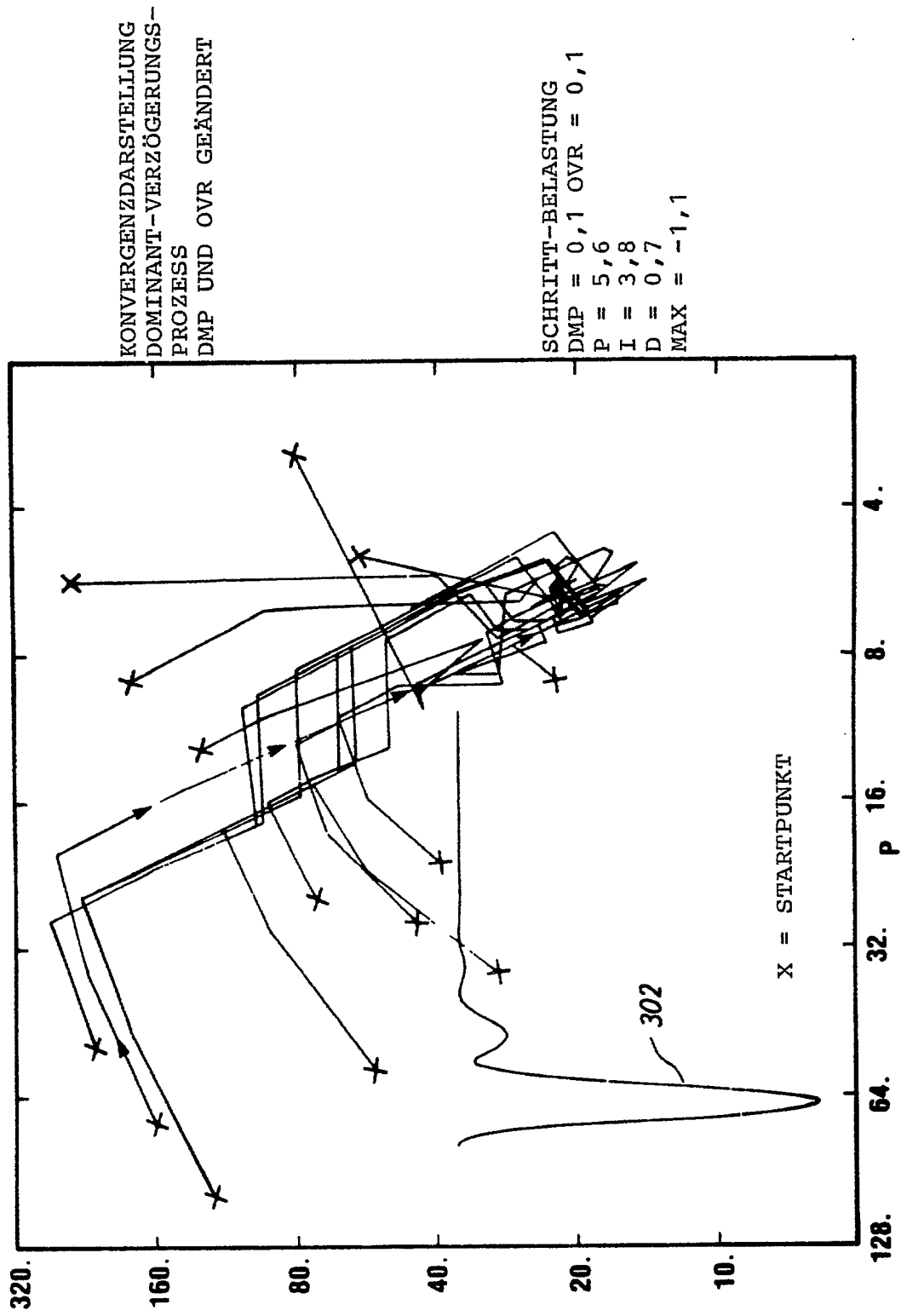


FIG. 12

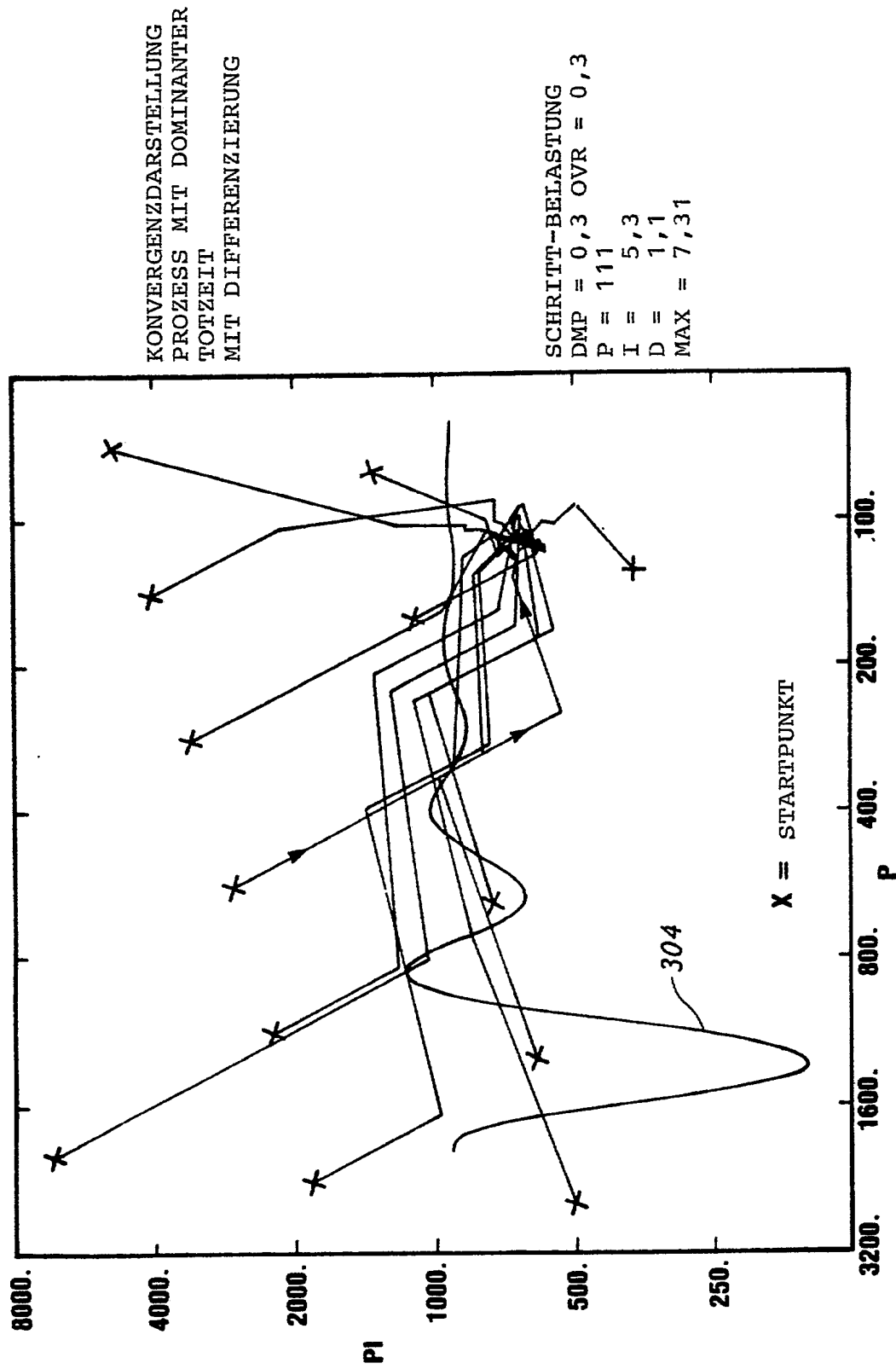


FIG.13

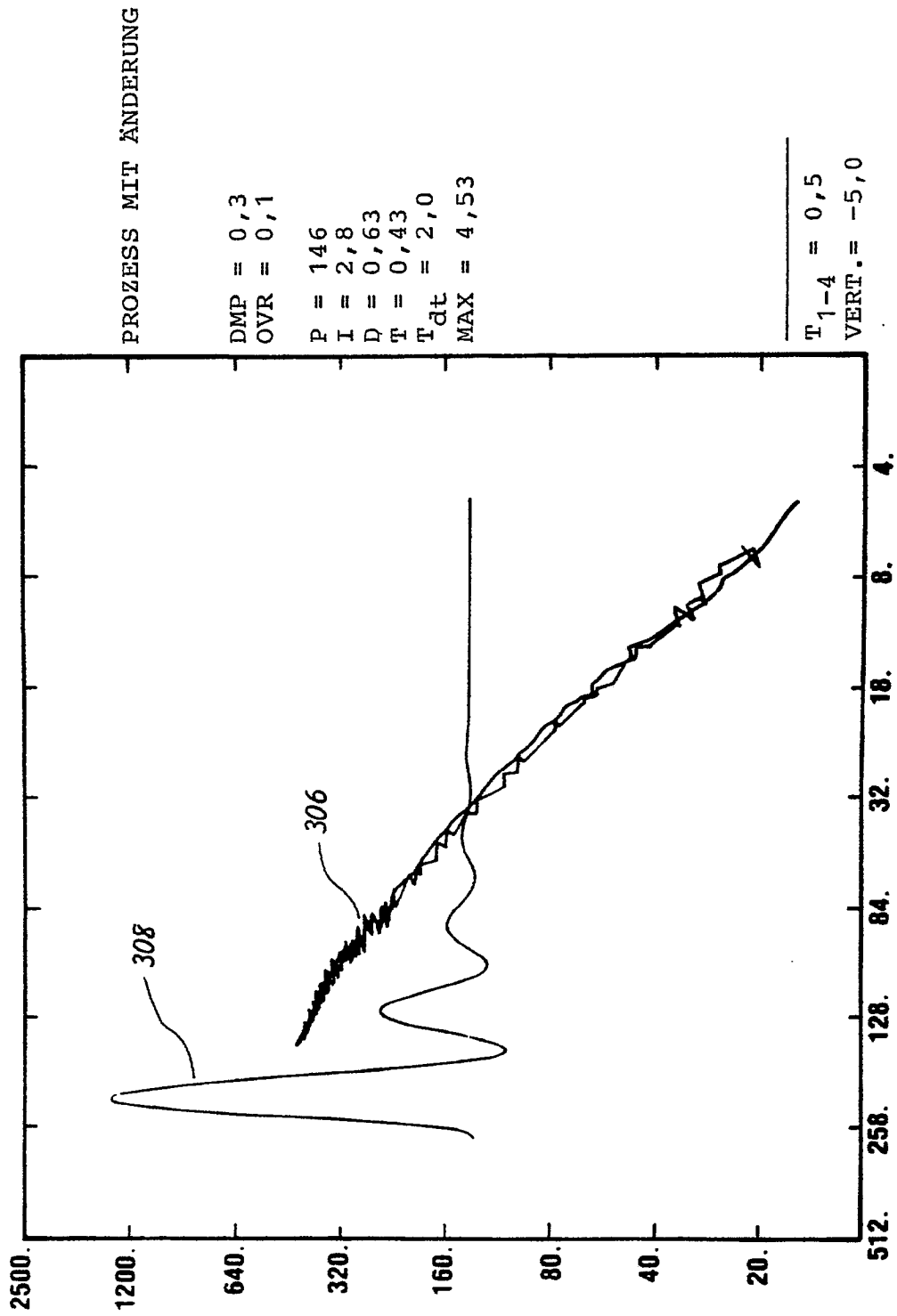


FIG. 14