



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 44 40 639 B4 2007.08.23**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **P 44 40 639.8**  
 (22) Anmeldetag: **14.11.1994**  
 (43) Offenlegungstag: **24.05.1995**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **23.08.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F02D 43/00 (2006.01)**  
**F02D 41/02 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:  
**P 43 39 512.0 19.11.1993**

(72) Erfinder:  
**Gheorghui, Victor, Dr., 22415 Hamburg, DE**

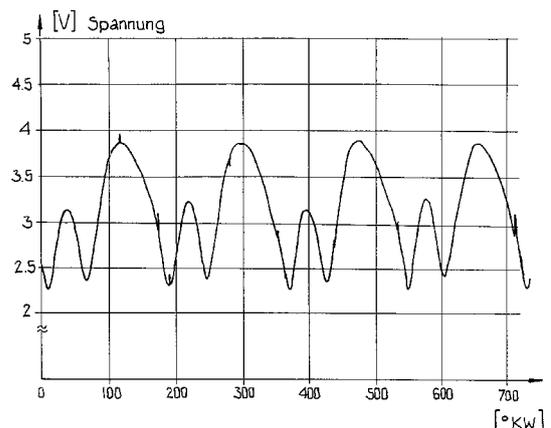
(73) Patentinhaber:  
**AFT Atlas Fahrzeugtechnik GmbH, 58791 Werdohl, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 28 40 793 C2**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Stationärsteuerung von Brennkraftmaschinen**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Stationärsteuerung von Brennkraftmaschinen, bei dem ein Luftmassensensor zum Messen des Durchsatzes der Ansaugluft elektrische Spannungssignale erzeugt, die mittels einer Steuereinheit in Motorlastwerte unter Zuhilfenahme der detektierten Drehzahl umgesetzt werden, aus denen zusammen mit anderen detektierten Betriebsparametern und motorspezifischen Daten die für den jeweiligen Betriebspunkt erforderlichen Steuersignale für die Zündzeitpunkteinstellung und der Kraftstoffzumessung erzeugt werden, dadurch gekennzeichnet, daß zyklusweise folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

- a) Abtastung der Spannungssignale des Luftmassensensors über ein vorbestimmtes Kurbelwellenwinkel (KW)-Intervall zwecks Erzeugung von Meßsignalen ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ),
- b) Bildung des Spannungsmittelwertes ( $U$ ) aus den Werten der Meßsignale ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ),
- c) Erfassung der absoluten und relativen Maxima ( $m_{a,i}$ ,  $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) aus den Werten der Meßsignale ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ),
- d) Bestimmung des jeweils maximalen Amplitudenwertes ( $U_{a,m}$ ,  $U_{r,m}$ ) der absoluten und relativen Maxima ( $m_{a,i}$ ,  $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ).



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Stationärsteuerung von Brennkraftmaschinen gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

**[0002]** Bekannte Steuerungen von Brennkraftmaschinen erfassen verschiedene Maschinenbetriebsparameter, wie z.B. die Maschinendrehzahl, die Luftmasse im Ansaugrohr, die Sauerstoffkonzentration im Abgas, die Kühlmitteltemperatur, um auf deren Basis den Zündzeitpunkt und die Kraftstoffeinspritzmenge mittels einer vorbestimmten mathematischen Beziehung unter Einsatz eines Mikroprozessors zu bestimmen. Diese mathematische Beziehungen, die üblicherweise in Tabellenform in einem ROM-Speicher abgelegt sind, liefern geeignete Einspritzmengen und dazu passende Zündzeitpunkte für die Brennkraftmaschine.

**[0003]** Im Grundsatz erfolgt die Zündwinkelberechnung in Abhängigkeit der Drehzahl  $n$  und der Motorlast  $Q_L$  sowie in Abhängigkeit von Korrekturfunktionen. Die Einspritzzeit ergibt sich ebenfalls aus der Motorlast  $Q_L$  und gegebenenfalls verschiedenen Korrekturfunktionen, aus der anhand einer Ventilkennlinie die Einspritzmenge je Hub abgeleitet wird.

**[0004]** Die Motorlast  $Q_L$  ist definiert als die je Hub angesaugte Luftmenge:

$$Q_L \approx Q/n,$$

wobei  $Q$  die je Zeiteinheit (z.B. in kg/h) angesaugte Luftmenge und  $n$  die Motordrehzahl in der Einheit 1/min darstellt.

**[0005]** Der Durchsatz der an der Brennkraftmaschine zugeführten Ansaugluft wird mittels sogenannter Ansaugluftmassenstrommeßgeräte für Verbrennungsmotoren, in den meisten Fällen Hitzdraht- und Heißfilmluftmassenstrommeßgeräte, erfaßt, weil solche Geräte vergleichsweise kostengünstig sind.

**[0006]** Bei einem Hitzdrahtluftmassensensor befindet sich ein von einem Strom aufgeheizter dünner Draht in dem angesaugten Luftstrom und bildet den Zweig einer Wheatstone-Brücke. Die vorbeiströmende Luft entzieht dem erhitzten Draht Wärme, wodurch sein Widerstand sich verändert und die Brücke verstimmt wird. Die Brückenverstimmung ruft über einen entsprechenden Regelkreis eine solche Veränderung des Heizstroms hervor, daß die Brücke wieder abgeglichen wird. Die Brücke ist so abgestimmt, daß der Hitzdraht eine bestimmte Übertemperatur erreicht, die mit Hilfe der Regelschaltung konstant gehalten wird.

**[0007]** Da der angesaugte Luftmassenstrom aufgrund der Kolbenbewegung des Motors große Druck-, Dichte- und Geschwindigkeitsschwankungen aufweist, sind die elektrischen Ausgangsspannungssignale solcher Hitzdraht- oder Heißfilmluftmassenstrommeßgeräte nicht konstant, sondern unterliegen periodischen Änderungen.

**[0008]** Ein entsprechendes Signaldiagramm eines Hitzdrahtluftmassenstrommeßgerätes zeigt die Fig. 1, das neben den absoluten Maxima auch relative Maxima mit gleicher Frequenz zeigt. Dieses Phänomen tritt in vielen Fällen im unteren Drehzahlbereich auf. Die Ursache hierfür liegt unter anderem in der hohen Dynamik der Meßgröße wie auch einer dadurch bedingten mangelnden Regelgeschwindigkeit, da die Reaktion des Heizstromes auf den hohen Gradienten der Luftgeschwindigkeit verzögert erfolgt. Erreicht die Luftgeschwindigkeit nahezu den Wert 0, wird die Wärmeabfuhr drastisch reduziert, worauf die Drahttemperatur und in dessen Folge der Drahtwiderstand steigt. Im Gesamtablauf ergibt sich dadurch der Spannungsverlauf gemäß der Fig. 1.

**[0009]** Wird die im Stationärbetrieb solcher Luftmassensensoren aufgenommene Spannungs-Luftmassenstromkennlinie ( $U_L$ - $m_L$ -Kennlinie), wie sie beispielhaft in Fig. 2 dargestellt ist, dazu verwendet, die augenblicklichen Spannungswerte mittels dieser Kennlinie zu konvertieren, werden in manchen Motorbetriebspunkten Abweichungen von der tatsächlich angesaugten Luftmenge von mehr als 70 festgestellt.

**[0010]** Den Abweichungen liegen weitere Fehlerquellen zugrunde, die auf motor- und sensorspezifische Gegebenheiten, wie Motor-Saugrohrgeometrie, Sensorposition, Resonanzphänomene sowie auf Fehlerquellen in der Signalverarbeitung zurückzuführen sind.

**[0011]** Zur Reduzierung der Fehler bei der Meßwerterfassung ist es bekannt, zunächst den Spannungsmittelwert  $U$  über alle Meßwerte eines bestimmten Kurbelwellenwinkelintervalls (KW-Intervall) zu bilden und erst danach die Konvertierungen anhand der  $U_L$ - $m_L$ -Kennlinie gemäß der Fig. 2 auszuführen. Dieses Verfahren er-

laubt eine Reduzierung der Meßwertfehler auf knapp unter 50 %. Dennoch verbleiben nach wie vor erhebliche Abweichungen, die über den Drehzahlbereich nicht gleichförmig verteilt sind, insbesondere schwerpunktmäßig in dessen unterem Teilbereich liegen.

**[0012]** Aus der Schrift DE 28 40 793 C2 ist ein Verfahren bekannt, welches zum Bestimmen einer von einer Brennkraftmaschine angesaugten Luftmenge bzw. Luftmengenmasse dient. Hierbei wird ein Sensor verwendet, der den Luftmassenstrom als Analogsignal ausgibt. Dieses Analogsignal wird dann zu bestimmten Zeiten bzw. zu bestimmten Winkelstellungen der Kurbelwelle abgetastet und in ein digitales Signal umgewandelt. Diese Digitalwerte werden dann zu einem Summensignal summiert. Dieses hat den Nachteil, dass durch die schon sehr frühe Digitalisierung in der Signalkette, ein hoher Rechenaufwand entsteht, der die Anzahl der sonst möglichen Abtastungen reduziert. Dadurch wird das Messverfahren ungenau.

**[0013]** Dies führt jedoch zu keinem optimalen Kraftstoffluftgemisch als auch zu keinem optimalen Zündzeitpunkt im Hinblick auf einen guten Wirkungsgrad als auch eine geringe Schadstoffemission.

**[0014]** Die Aufgabe der Erfindung ist daher die Bereitstellung eines Steuerverfahrens für eine Brennkraftmaschine im stationären Betrieb der eingangs genannten Art, bei dem abhängig von der angesaugten Luftmenge in allen Last- und Drehzahlbereichen eine optimale Steuerung der Brennkraftmaschine mit hoher Genauigkeit erzielt werden kann.

**[0015]** Diese Aufgabe wird gemäß den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst.

**[0016]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Stationärsteuerung von Brennkraftmaschinen, bei dem mittels eines Luftmassensensors für den Durchsatz der Ansaugluft repräsentative Signale abgetastet und in deren Abhängigkeit mittels einer Steuereinheit, in der Regel ein Mikroprozessor, Steuersignale für den Betrieb der Kraftstoffversorgung, insbesondere einer Einspritzvorrichtung, als auch einer Zündimpulssteuerschaltung berechnet werden, nimmt eine Auswertung und Korrektur der abgetasteten, vom Luftmassensensor zur Verfügung gestellten Ausgangssignale in folgender Weise vor:

Zur Erzeugung von Meßsignalen werden zunächst über ein vorbestimmtes KW-Intervall eine bestimmte Anzahl von Abtastungen an dem verfügbaren Spannungssignal des Luftmassensensors und anschließend eine arithmetische Mittelwertbildung vorgenommen. Da das Ausgangssignal des Luftmassensensors den pulsartigen Schwankungen des Luftdurchsatzes (vgl. [Fig. 1](#)) entspricht, wird eine Amplitudenauswertung zur Bestimmung der Werte der maximalen Amplituden der absoluten und relativen Maxima vorgenommen.

**[0017]** Anschließend erfolgt die Konvertierung des Spannungsmittelwertes mittels einer Spannungs-Luftmassenstromkennlinie in einen Luftmassenstrommittelwert (vgl. [Fig. 2](#)), der in Abhängigkeit der zuvor bestimmten maximalen Amplitudenwerte der absoluten und relativen Maxima korrigiert wird, um schließlich mit Hilfe der detektierten Drehzahl in einen Motorlastwert umgesetzt und der Steuereinheit zugeführt zu werden.

**[0018]** Die zur Konvertierung der Spannungsmittelwerte in den Luftmassenstrommittelwert gemäß [Fig. 2](#) verwendete Kennlinie wird im Stationärbetrieb, also bei konstantem Luftmassenstrom mit weitgehend optimalen Strömungsverhältnissen erstellt.

**[0019]** Dieses erfindungsgemäße Verfahren erlaubt die Bestimmung der Menge der Ansaugluft, die tatsächlich der Brennkraftmaschine gerade zugeführt wird, mit einer hohen Genauigkeit, die im Bereich zwischen 5 und 10 % liegt. Insbesondere kompensiert dieses Konzept die durch die instationäre Luftmassenströmung im Ansaugrohr hervorgerufene pulsartigen Spannungsschwankungen in bestimmten Betriebszuständen des Motors. Da keine Zwischenspeicherung der Abszissenwerte der Meßsignale erforderlich ist, ist der Speicher- und Rechenzeitbedarf für die Steuereinheit gering, so daß die Implementierung in einem Motorsteuersystem kostengünstig durchführbar ist.

**[0020]** Die Korrektur des Luftmassenstrommittelwertes wird vorzugsweise mittels Korrekturfunktionen durchgeführt, die in Abhängigkeit der maximalen Amplitudenwerte der absoluten oder relativen Maxima jeweils einen Korrekturwert angeben.

**[0021]** Die Korrekturfunktionen werden dadurch erstellt, daß die Werte der Abweichungen der aus den Meßsignalen des Luftmassensensors berechneten Luftmassenstromwerte von den Luftmassenstromwerten eines Referenzsensors in Abhängigkeit der maximalen Amplitudenwerte der absoluten oder relativen Maxima dargestellt werden und hieraus eine Kurve mittels eines Regressionsverfahrens bestimmt wird, die dann als Kennlinienfeld in einem Speicher der Steuereinrichtung abgelegt werden kann.

**[0022]** Da das Auffinden solcher Korrekturfunktionen über den gesamten Betriebsbereich eines Motors besonders hinsichtlich einer hohen Genauigkeit sehr schwierig ist, wird bei einer besonders vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens der gesamte Motorbetriebsbereich in Unterbetriebsbereiche aufgeteilt. So wird der Luftmassenstrommittelwert mittels einer ersten, einen Korrekturwert in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes der absoluten Maxima erzeugende Korrekturfunktion korrigiert, falls in einem ersten Unterbetriebsbereich die Meßsignale bei Umwandlung in einen Luftmassenstromwert zu großen negativen Abweichungen gegenüber dem tatsächlichen Wert des Luftmassenstroms führen würden und gleichzeitig kleine Werte der maximalen Amplitude der relativen Maxima vorliegen. Vorzugsweise wird zur Definition dieses ersten Unterbetriebsbereichs derjenige Drehzahlbereich bestimmt, bei dem die großen negativen Abweichungen auftreten würden.

**[0023]** Ein zweiter Unterbetriebsbereich des Motors wird dadurch definiert, daß die Meßsignale bei Umwandlung in einen Luftmassenstromwert zu großen positiven Abweichungen gegenüber dem tatsächlichen Wert des Luftmassenstromwertes führen würden und gleichzeitig große Werte der maximalen Amplitude vorliegen. In diesem Fall wird der Luftmassenstrommittelwert mittels einer zweiten, einen Korrekturwert in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes der relativen Maxima erzeugende Korrekturfunktion korrigiert. Auch hierbei kann dieser Unterbetriebsbereich als Drehzahlbereich definiert werden.

**[0024]** Diese Aufteilung des Motorbetriebsbereichs in bestimmte Unterbetriebsbereiche bietet ferner den Vorteil, daß die Kriterien für die Ermittlung der die Korrekturfunktionen bildenden Korrekturfaktoren an das motorspezifische Signalverhalten angepaßt werden können. So treten die Resonanzphänomene bei konstruktiv verschiedenen Motoren in unterschiedlichen Drehzahlbereichen auf und werden auch durch konstruktive Maßnahmen im Ansaugkanal beeinflußt.

**[0025]** So kann beispielsweise eine Korrektur der Luftmassenstrommittelwerte entfallen, falls es zu keinen relativen Maxima kommt, beispielsweise bei kleinen Drosselklappenöffnungswinkeln. Dies entspricht in der Regel einem Lastwert des Motors bei seiner Leerlaufdrehzahl und wird meistens als minimaler Lastwert bezeichnet.

**[0026]** Besonders gute Ergebnisse liefert das erfindungsgemäße Verfahren, wenn die Korrekturen additiv durchgeführt werden.

**[0027]** Zur weiteren Verbesserung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann jeweils eine rekursive 50 %-Filterung des maximalen Amplitudenwertes des absoluten Spannungsmaximums und des relativen Spannungsmaximums als auch des Spannungsmittelwertes durchgeführt werden, so daß hierdurch in vorteilhafter Weise Abweichungen zwischen aufeinanderfolgenden Zyklen vermindert werden.

**[0028]** Bei einer weiteren bevorzugten Weiterbildung der Erfindung werden die Abweichungen aufgrund der Mittelwertbildung, die ihre Ursache in der Integrationsmethode haben, durch eine weitere, jedoch multiplikative Korrektur kompensiert, indem der Korrekturfaktor von einer von der Drehzahl abhängigen dritten Korrekturfunktion geliefert wird. Da die Abtastrate pro Motorzyklus nicht konstant ist, wird die Rechteckintegrationsmethode verwendet.

**[0029]** Das der Meßwertauswertung zugrundeliegende vorbestimmte KW-Intervall beträgt bevorzugt 180° KW, so daß dies bei einer 4-Zylinder-Maschine einem einzigen Saughub entspricht. In vorteilhafter Weise liegt die Abtastrate zwischen 3 und 15° KW, wodurch sichergestellt ist, daß die Amplitudenerfassung der relativen Maxima hinreichend sicher ist. Eine bevorzugte Abtastrate zwischen 10 und 15° KW ergibt ein optimales Ergebnis hinsichtlich der Rechenzeit, des Speicherbedarfs und der Genauigkeit.

**[0030]** Ein nachfolgendes Ausführungsbeispiel im Zusammenhang mit den Figuren soll das erfindungsgemäße Verfahren darstellen und erläutern. Es zeigen:

**[0031]** Fig. 1 einen beispielhaften Spannungssignalverlauf eines Luftmassensensors,

**[0032]** Fig. 2 eine Spannungs-Luftmassenstromkennlinie zu Kalibrierungszwecken,

**[0033]** Fig. 3 ein Spannungs-KW-Diagramm mit dem Originalsignalverlauf bzw. dem entsprechenden Verlauf der abgetasteten Signale eines Luftmassensensors,

**[0034]** Fig. 4 ein allgemeines Ablaufdiagramm gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren,

- [0035] Fig. 5 ein Diagramm zur Darstellung der Abweichung des Luftmassenstromwertes in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes  $U_{a,m}$  der absoluten Spannungsmaxima,
- [0036] Fig. 6 ein Diagramm zur Darstellung der Abweichung des Luftmassenstromwertes in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes  $U_{r,m}$  der relativen Spannungsmaxima,
- [0037] Fig. 7 ein Diagramm zur Darstellung des Abtastmodus gemäß der Erfindung,
- [0038] Fig. 8 bis Fig. 12 ein Ablaufdiagramm zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und
- [0039] Fig. 13 ein Diagramm der Luftmassenstromabweichung in Abhängigkeit der Motordrehzahl zur Darstellung der Unterbetriebsbereiche
- [0040] Das von einem Luftmassensensor ausgegebene Spannungssignal gemäß den Fig. 1 oder Fig. 3 wird mittels einer geeigneten Schaltung abgetastet, digitalisiert und einer Steuereinheit mit Speicher, beispielsweise einem Mikroprozessor zugeführt. In Fig. 3 ist das Originalsignal mit einer gestrichelten Linie und das abgetastete Signal mit einer durchgezogenen Linie dargestellt.
- [0041] Die in den Fig. 1 und Fig. 3 dargestellten Signalverläufe weisen neben den absoluten Maxima auch mehrere relative Maxima auf, deren Ursache neben Resonanzphänomenen bei bestimmten Drehzahlen bzw. Betriebszuständen der Brennkraftmaschine, die häufig auch als Rückströmung interpretiert werden, auch in EMV-Störungen, hervorgerufen durch synchrone Störimpulse der Zündung, zu suchen sind.
- [0042] Die Auswertung der abgetasteten Meßwerte  $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$  erfolgt jeweils nach einem KW-Intervall bestimmter Länge, die gemäß dem allgemeinen Ablaufschema des erfindungsgemäßen Verfahrens nach Fig. 4 mit der Auswahl der maximalen und minimalen Spannungswerte  $m_1, m_2, m_3, \dots$  sowie der Spannungsmittelwerterfassung  $\bar{U}$  über das entsprechende KW-Intervall beginnt.
- [0043] Das Verfahren setzt sich nach Fig. 4 fort mit einer Amplitudenerfassung der Meßwerte  $U_i$ , d.h., es wird festgestellt, welche Maxima relativ oder absolut sind, wobei die jeweiligen maximalen Werte  $m_{r,i}$  bzw.  $m_{a,i}$  der Meßsignale  $U_i$  in dem entsprechenden Speicher der Steuereinheit gespeichert werden.
- [0044] Daran schließt sich am Ende des KW-Intervalls eine Konvertierung des Spannungsmittelwertes  $\bar{U}$  in den entsprechenden Luftmassenstrommittelwert  $m_L$  anhand einer Spannungs-Luftmassenkennlinie gemäß Fig. 2 an.
- [0045] Nach Fig. 4 erfolgt nun die Korrektur dieses konvertierten Luftmassenstrommittelwertes  $m_L$  bei bestimmten vorgegebenen Betriebszuständen der Brennkraftmaschine. Diese Korrektur erfolgt entweder in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes  $U_{a,m}$  der absoluten Spannungsmaxima oder in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes  $U_{r,m}$  der relativen Spannungsmaxima (vgl. Fig. 3). Die entsprechenden Korrekturfunktionen  $f_1$  und  $f_2$  sind in den Fig. 5 und Fig. 6 dargestellt und sind mit entsprechenden Stützstellen in Tabellenform in je einem Speicher abgelegt. Zwischen den Stützstellen wird linear interpoliert. Bei ausreichend kleiner Stützstellenschrittweite können die Korrekturfunktionen  $f_1$  und  $f_2$  auch in einem Speicher zusammengefaßt werden.
- [0046] Das Verfahren schließt mit der Berechnung des Motorlastwertes  $Q_L$  mittels des korrigierten oder nicht korrigierten Luftmassenstrommittelwertes sowie der zu detektierenden Drehzahl  $n$  ab.
- [0047] Aus diesem Lastwert  $Q_L$  erstellt die Steuereinheit die Einspritzzeit  $t_i$  im Zusammenhang mit einer elektronisch gesteuerten Kraftstoffeinspritzung unter Berücksichtigung eines  $\lambda_{\text{Soll}}$ -Wertes, der anhand des detektierten Betriebszustandes aus einer Tabelle ausgelesen wird. Dies kann mittels einer ebenfalls abgespeicherten und experimentell erstellten Ventilkennlinie durchgeführt werden. Ferner kann für die ermittelte Einspritzzeit  $t_i$  eine versorgungsspannungsabhängige multiplikative Korrektur vorgenommen werden, worauf – wie die Praxis zeigt – nicht verzichtet werden kann. Die Kraftstoffmasse pro Impuls ergibt sich aus einer weiteren, ebenfalls in dem entsprechenden Speicher abgelegten Einspritzventilkennlinie.
- [0048] Im folgenden soll das erfindungsgemäße Verfahren anhand eines Ablaufschemas gemäß den Fig. 7 bis Fig. 12 erläutert werden.
- [0049] Die Auswertung erfolgt jeweils zyklusweise über ein KW-Intervall, dessen Intervalllänge  $L$  eine Funkti-

on der Taktzahl  $i$  und der Zylinderzahl  $z$  gemäß folgender Formel ist:

$$L = 360/i \cdot z (^{\circ}\text{KW}),$$

wobei  $i = 1$  für Zweitaktmotoren und  $i = 0,5$  für Viertaktmotoren gilt. Die Formel gilt ferner unter der Voraussetzung, daß die Zylinder über einen Ansaugtrakt miteinander verbunden sind.

**[0050]** Für das gemäß den [Fig. 7](#) bis [Fig. 12](#) vorliegende Ausführungsbeispiel ergibt sich für einen 4-Zylinder-Motor eine Intervalllänge von  $180^{\circ}$ .

**[0051]** Zur Auswertung der Meßwerte  $U_i$  eines solchen KW-Intervalls werden auch die beiden letzten Meßwerte des vorangegangenen KW-Intervalls herangezogen, indem mit diesem eine Übergangszone gemäß [Fig. 7](#) gebildet wird. Diese beiden Meßwerte werden als  $U_{\text{alt}}$  sowie als Differenz  $d_1$  zum vorletzten Meßwert gespeichert. Mit dieser Übergangszone kann festgestellt werden, ob der erste Meßwert  $U_1$  des neuen KW-Intervalls ein Maximum, ein Minimum oder ein Zwischenwert darstellt.

**[0052]** Nach [Fig. 8](#) beginnt das Verfahren mit dem Setzen der Variablen  $U_s$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  sowie der Laufindizes  $j$ ,  $l$  und  $k$ . Die Variable  $U_s$  stellt die Summe der Meßwerte  $U_i$  dar,  $d_1$  ist die Differenz der Meßwerte in der Übergangszone bzw. der letzten beiden Meßwerte und  $d_2$  die Differenz zwischen dem neuen Meßwert  $U_1$  und dem zuletzt bearbeiteten Meßwert  $U_{\text{alt}}$  aus der Übergangszone.

**[0053]** Die Routinen nach [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) dienen dazu, die Minima und Maxima aus dem Verlauf der abgetasteten Meßwerte  $U_i$  zu detektieren. Die entsprechenden Meßwerte  $m_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$  werden zu einem Vektor  $m$  mit dem Laufindex  $l$  zusammengefaßt. Hierbei stellen Laufindizes mit ungeradem Wert Minima und solche mit geradem Wert Maxima dar.

**[0054]** Gemäß [Fig. 8](#) wird zunächst die Übergangszone ausgewertet, deren Ergebnis gemäß den Schritten **1** bis **4** abgespeichert wird.

**[0055]** Gemäß der dem Schritt **1** zugrundeliegenden Konstellation der Meßwerte  $U_1$ ,  $U_{\text{alt}}$  und  $U_{\text{alt}} - d_1$  ergibt sich als erstes Minimum  $m_1$  der Meßwert  $U_1$  und als erstes Maximum  $m_2$  der zuletzt genannte Wert  $U_{\text{alt}} - d_1$  aus der Übergangszone. Somit wird der Laufindex  $l$  des Vektors  $m$  auf den Wert **2** gesetzt. Der Laufindex  $j$  zeigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Minimums in der Übergangszone an, so daß  $j = 0$  ein unsicheres Minimum  $m_1$  bedeutet. Somit bleibt im zuletzt genannten Fall dieser Zeiger  $j$  auf **0** gesetzt, da es nicht sicher ist, ob dieser Meßwert  $U_1$  ein absolutes Minimum darstellt. Ferner wird der Laufindex  $k$  auf den Wert **1** gesetzt, was bedeutet, daß das in der Übergangszone detektierte Maximum ein relatives Maximum darstellt. In der Konstellation nach Schritt **3** stellt der Meßwert  $U_{\text{alt}}$  dagegen ein sicheres Maximum dar, da die benachbarten Meßwerte kleiner sind. Jedoch muß der Meßwert  $U_{\text{alt}} - d_1$  wiederum als unsicheres Minimum bezeichnet werden.

**[0056]** In den Schritten **2** und **4** wird dagegen ein sicheres Minimum in der Übergangszone detektiert, also  $j = 1$  gesetzt, da der vorangehende und nachfolgende Meßwert des Minimums  $m_1$  jeweils einen größeren Wert aufweist und gemäß Schritt **4** der erste Wert  $U_{\text{alt}} - d_1$  in der Übergangszone der kleinste Wert darstellt.

**[0057]** Der dem Schritt **3** nachfolgende Schritt **31** stellt fest, ob der Meßwert  $U_1$  oder der Meßwert  $U_{\text{alt}} - d_1$  ein Minimum darstellt.

**[0058]** An die Routine nach [Fig. 8](#), die der Auswertung der Übergangszone diene, schließt sich diejenige nach [Fig. 9](#) zur Feststellung der Minima und Maxima der in dem neuen  $180^{\circ}$  KW-Intervall abgetasteten Meßwerte  $U_i$  dar. Mit den Schritten **5**, **51** und **52** wird in Abhängigkeit des Laufindex  $i$  der letzte Meßwert als  $U_{\text{alt}}$ , beginnend mit  $U_{\text{alt}} = U_1$ , gespeichert, bevor im Schritt **6** der nächste Meßwert  $U_{i+1}$  bearbeitet wird. Die vorhergehenden Meßwerte werden dagegen nicht gespeichert. Mit Schritt **6** werden gleichzeitig sukzessiv die Summe  $U_s$  der Meßwerte  $U_i$  gebildet sowie die Differenzen  $d_1$  und  $d_2$  aktualisiert bzw. berechnet.

**[0059]** Die nachfolgenden Schritte, beginnend mit Schritt **7** dienen der Bestimmung der Minima und Maxima in dem neuen KW-Intervall mittels Vergleich der die Differenzen zwischen den Meßwerten darstellenden Größen  $d_1$  und  $d_2$ . Ist  $d_1 > 0$  und  $d_2 \leq 0$  so stellt der Meßwert  $U_{\text{alt}}$  ein Maximum dar, das im Falle von  $l = 0$  ein erstes Maximum mit  $l = 2$  ist und im anderen Fall diesem Laufindex  $l$  ein gerader Wert zugeordnet wird. Dieser Meßwert  $m_l$  wird im Schritt **77** als Maximum gespeichert.

**[0060]** Stellt dagegen der Meßwert  $U_{\text{alt}}$  gemäß Schritt **71** ein Minimum dar, also  $d_1 \leq 0$  und  $d_2 > 0$ , so muß mit dem Schritt **72** zunächst unterschieden werden, ob bei der Bearbeitung des zweiten Meßwertes  $U_2$  aus dem neuen Intervall in der vorhergehenden Übergangszone ein unsicheres Minimum vorliegt, d.h. ob  $j = 0$  ist. Gegebenenfalls wird ein Vergleich gemäß des Schrittes **73** mit dem ersten unsicheren Minimum  $m_1$  und mit dem Schritt **74** eine entsprechende Korrektur des ersten Minimums vorgenommen. Im anderen Fall wird gemäß Schritt **75** der Laufindex  $l$  weitergesetzt und das detektierte Minimum  $m_l$  gespeichert. Gleichzeitig wird mit dem Laufindex  $j$  die letzte Position des Minimums gespeichert, der somit nicht mehr die vorherige Bedeutung im Zusammenhang mit der Auswertung der Übergangszone hat.

**[0061]** Falls gemäß der Abfrage **71** auch kein Minimum vorliegt, stellt der entsprechende Meßwert  $U_i$  ein Zwischenwert dar, d.h. es liegt zusammen mit den beiden vorhergehenden Meßwerten  $U_{\text{alt}}$  und  $U_{\text{alt}} - d_1$  ein monotoner Spannungsverlauf vor. Falls gemäß der Abfrage **78** noch nicht alle Meßwerte  $U_i$  eines KW-Intervalls abgearbeitet sind, beginnt die Routine wieder bei Schritt **51**.

**[0062]** Die Routine ab Schritt **51** wird nun so oft wiederholt, bis alle Meßwerte  $U_i$  abgearbeitet sind. Am Ende dieser Routine ist somit ein Vektor  $m$  der Länge  $l$  gespeichert, wobei  $l$  die Anzahl der Extrema angibt.

**[0063]** Im darauffolgenden Schritt **8** gemäß [Fig. 10](#) wird der arithmetische Mittelwert  $\bar{U}$  aus den Meßwerten  $U_i$  gebildet sowie der letzte Meßwert  $U_{i,\text{max}}$  aus dem  $180^\circ$  KW-Intervall als  $U_{\text{alt}}$  und die letzte Differenz  $d_2$  gespeichert.

**[0064]** Bevor die Amplitudenauswertung der Maxima ( $m_1, \dots, m_l$ ) erfolgen kann, muß sichergestellt sein, daß der Motor im Stationärbetrieb arbeitet, der keinesfalls die Regel im Betrieb einer Verbrennungskraftmaschine darstellt. Im stationären Betrieb entspricht der Wert des Luftmassenstrom am Ort des Luftmassensensors demjenigen Wert am Ort des Ventils, also am Eingang zum Motorzylinder.

**[0065]** Beim dynamischen Übergang von einem Betriebspunkt in einen anderen ergibt sich dagegen aus der Speicherwirkung des Saugrohrs eine von Null verschiedene Differenz der beiden Luftmassenströme. An dem Spannungsverlauf der Meßsignale des Luftmassensensors ist der instationäre Betriebszustand an dessen Monotonie oder an dessen großen Spannungsänderung erkennbar.

**[0066]** Ob eine Monotonie oder eine große Pegeländerung vorliegt, ist anhand der Indizes  $l$  und  $j$  oder anhand des Mittelwertes  $U$  feststellbar. Falls  $l = 0$  und  $j = 1$  ist, liegt ein monoton steigender Verlauf vor, da kein Maximum vorliegt und  $m_1$  ein Minimum darstellt. Dagegen wird mit  $l = 2$  und  $j = 0$  ein monoton fallender Verlauf angezeigt, da ein einziges Maximum vorliegt, jedoch kein sicheres Minimum. Schließlich kann eine große Pegeländerung mit folgender Formel erfaßt werden:

$$(|\bar{U} - \bar{U}_{\text{alt}}|)/\bar{U} > K,$$

wobei  $\bar{U}_{\text{alt}}$  der Spannungsmittelwert aus dem vorhergehenden KW-Intervall und  $K$  eine Konstante ist. Diese Konstante  $K$  kann beispielsweise den Wert 0,25 annehmen.

**[0067]** Eine solche Abfrage ist in [Fig. 10](#) mit dem Schritt **81** gezeigt, dem dann bei Vorliegen der entsprechenden Bedingung die Bearbeitung der Signale gemäß einem Schritt **82** nachfolgt, dessen Inhalt Gegenstand einer parallelen Anmeldung ist.

**[0068]** Liegen die entsprechenden Bedingungen dagegen nicht vor, wird ein Index  $K_{\text{in}}$  auf den Wert 0 gesetzt.

**[0069]** Mit den nun folgenden Schritten **9** und **91** wird auf dem Platz  $l + 1$  des Vektors  $m$  ein neues Minimum gesetzt, das dem letzten Minimum auf Platz  $l - 2$  entspricht, falls das letzte Extremum des Vektors  $m$  ein Maximum ist. Damit wird die weitere Bearbeitung erleichtert, da nun alle Vektoren  $m$  die gleiche Länge aufweisen.

**[0070]** Um Abweichungen zwischen aufeinanderfolgenden  $180^\circ$  KW-Intervallen zu vermindern wird mit dem Schritt **10** eine rekursive Filterung des Mittelwertes  $\bar{U}$  durchgeführt, indem mit dem gespeicherten Mittelwert  $\bar{U}_{\text{alt}}$  aus dem vorangegangenen Zyklus ein arithmetischer Mittelwert gebildet wird.

**[0071]** Mit dem nun folgenden Schritt **11** beginnt die Amplitudenauswertung der mit dem Vektor  $m$  gegebenen Extrema. Falls das erste Maximum ein relatives Maximum darstellt, d.h. wenn  $k = 1$  ist, wird die Amplitude  $U_{r,m}$  dieses relativen Maximums festgestellt und gespeichert.

**[0072]** Mit Schritt **12** wird der maximale Meßwert  $d$  aus den Maxima des Vektors  $m$  bestimmt und der Abstand  $U_{a,m}$  dieses Wertes zu dem Wert des kleinsten Minimums berechnet. Diese Variable  $U_{a,m}$  gibt den Wert der größten Amplitude der Maxima an bzw. die größte Differenz zwischen dem Wert  $d$  und dem Wert des kleinsten Minimums  $m_i$ ,  $i = 1, 3, 5, \dots, l$ . Um auch hier Abweichungen zwischen darauffolgenden Zyklen zu vermeiden, wird dieser Amplitudenwert  $U_{a,m}$  durch einen arithmetischen Mittelwert mit dem aus dem vorangehenden Zyklus gespeicherten Amplitudenwert  $U_{a,m,alt}$  ersetzt.

**[0073]** Mit den Verfahrensschritten nach [Fig. 11](#) sollen die relativen Maxima bestimmt sowie deren Amplituden berechnet werden. Falls gemäß Schritt **13** der Vektor  $m$  mehr als 3 Elemente aufweist, gibt es wenigstens ein relatives Maximum. Dies folgt für ein  $180^\circ$  KW-Intervall aus [Fig. 3](#), wonach sich für das erste  $180^\circ$ -Intervall fünf Maxima ergeben. Um dieses relative Maximum festzustellen, wird mit Schritt **14** das entsprechende Extremum  $m_i$  mit dem Wert  $d$  des größten absoluten Maximums verglichen. Stimmen diese Werte überein, liegt kein relatives Maximum vor, andernfalls ist die Differenz zwischen dem Wert  $d$  und diesem Meßwert  $m_i$  gemäß Schritt **15** dafür maßgebend, ob dieser Meßwert ein absolutes oder ein relatives Maximum darstellt. Als Entscheidungsschwelle hat sich gemäß Schritt **15** die Bedingung

$$d - m_i > U_{a,m}/3$$

in der Praxis als geeignet erwiesen, da die Rückströmungen immer deutlich geringer als die Vorwärtsströmungen im Ansaugrohr sind, d.h., die Amplituden der relativen Maxima werden immer wesentlich kleiner als die Amplituden der absoluten Maxima sein. Falls die oben genannte Bedingung nicht erfüllt wird, wird gemäß Schritt **15** der Wert  $m_i$  des relativen Maximums eliminiert, weil dann von einer Fehlereinstreuung in das Sensorsignal in Form eines "spikes" auszugehen ist, das möglicherweise durch die Zündimpulse ausgelöst werden kann. Ist dagegen die genannte Differenz  $d$  größer als  $1/3$  des maximalen Amplitudenwertes  $U_{a,m}$  der absoluten Maxima, wird mit der Funktion gemäß des Schrittes **16** ein maximaler Amplitudenwert  $U_{r,m}$  der relativen Maxima gebildet.

**[0074]** Haben alle Maxima diese Routine durchlaufen, wird der mit Schritt **16** bestimmte maximale Amplitudenwert  $U_{r,m}$  der relativen Maxima gemäß Schritt **17** auf den Wert 0 gesetzt, falls dieser größer ist als  $2/3$  des maximalen Amplitudenwertes  $U_{a,m}$  der absoluten Maxima oder falls der Vektor  $m$  mehr als 7 Extrema anzeigt. Denn dann liegt wiederum eine Fehlereinstreuung in das Sensorsignal vor oder bei Vorliegen der Bedingung  $l > 7$  ist die Anzahl der Extrema so groß, daß das Spannungssignal kein wichtiges relatives Maximum enthält, das berücksichtigt und folglich korrigiert werden müßte.

**[0075]** Gemäß Schritt **18** wird wieder eine arithmetische Mittelwertbildung mit dem entsprechenden Wert aus dem letzten Zyklus durchgeführt.

**[0076]** Das Verfahren schließt nun gemäß [Fig. 12](#) mit der Konvertierung des Spannungsmittelwertes  $\bar{U}$  und der Bestimmung der Korrekturfaktoren ab. Die Konvertierung des Spannungsmittelwertes  $\bar{U}$  in den Luftmassenstrommittelwert  $m_L$  nach Schritt **19** erfolgt mittels einer Spannungs-Luftmassenstromkennlinie gemäß [Fig. 2](#), die mittels Stützstellen in Tabellenform im Speicher der Steuereinheit gespeichert ist.

**[0077]** Die Korrektur des Luftmassenstrommittelwertes  $m_L$  wird nun im folgenden in Abhängigkeit der maximalen Amplitude  $U_{a,m}$  der absoluten Maxima durch eine erste Korrekturfunktion  $f_1$  oder in Abhängigkeit der maximalen Amplitude  $U_{r,m}$  der relativen Maxima durch eine zweite Korrekturfunktion  $f_2$  sowie in Abhängigkeit von der Drehzahl durch eine dritte Korrekturfunktion  $f_3$  durchgeführt.

**[0078]** Diese Korrekturfunktionen  $f_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) könnten im Prinzip so bestimmt werden, daß sie über den gesamten Motorbetriebsbereich Anwendung finden. Dabei bestünden jedoch die Schwierigkeiten, sowohl die notwendige Genauigkeit im gesamten Betriebsbereich zu sichern als auch die im gesamten Betriebsbereich gültige  $f_i$ -Funktionen zu finden.

**[0079]** Zur einfacheren Erfassung der Korrekturfunktionen wird daher der Motorbetriebsbereich in Unterbetriebsbereiche aufgeteilt. Die Aufteilung in Unterbetriebsbereiche ist motorspezifisch, da die Resonanzphänomene an verschiedenen Motoren in unterschiedlichen Drehzahlbereichen auftreten.

**[0080]** Falls in bestimmten Betriebspunkten keine Rückströmungen auftreten, also auch keine relativen Maxima detektierbar sind, ist natürlich keine Korrektur notwendig. Solche Betriebspunkte treten dann auf, wenn der momentane Lastwert kleiner als ein bestimmter minimaler Lastgrenzwert ist, der bei kleinen Drosselklappenöffnungswinkeln auftritt und in der Regel bei Leerlauf des Motors vorliegt.

[0081] Allgemein wird der Wert für die Last  $Q_L$  aus folgender Formel ermittelt:

$$Q_L = \frac{m_L}{12 \cdot 10^{-6} \cdot n} \quad (0,1 \text{ mg / Hub}),$$

wobei sich der Luftmassenstrom  $m_L$  aus der Formel

$$m_L = \frac{Z \cdot V_H \cdot n}{120} \cdot \rho_o \cdot \lambda_a \cdot 3600 \quad (\text{kg/h})$$

errechnet. Hierbei bedeuten  $Z$  die Zylinderzahl,  $V_H$  der Zylinderhub in  $\text{m}^3$ ,  $n$  die Motordrehzahl in 1/min,  $\lambda_a$  der Luftaufwand und  $\rho_o$  die Umgebungsluftdichte in  $\text{kg/m}^3$ .

[0082] Aus diesen Formeln kann der Lastgrenzwert abgeleitet werden, wenn für die Leerlaufdrehzahl ca. 800 1/min und für  $\lambda_a \approx 0,7$  angenommen wird. Für einen 2-Liter-4-Zylinder-Motor erhält man ca. 400 mg/Hub für den minimalen Lastgrenzwert. Von diesem Wert wird bei der Abfrage **20** gemäß [Fig. 12](#) ausgegangen.

[0083] Ferner werden jene Bereiche von einer Korrektur ausgeschlossen, wo entweder die Meßunsicherheit zu groß ist oder die Amplituden der relativen Maxima sehr gering sind.

[0084] So ergibt sich eine Betriebsbereichsaufteilung nach [Fig. 13](#), bei der die Luftmassenstromabweichung in % gegenüber der Drehzahl aufgetragen ist. In dieser Darstellung sind alle Betriebspunkte mit einem Lastwert kleiner als 400 mg/Hub eliminiert.

[0085] In dieser [Fig. 13](#) sind diejenigen Betriebspunkte zu einem Bereich 1 zusammengefaßt, die zu großen negativen Luftmassenstromabweichungen führen und zu einem Drehzahlbereich mit  $n > 1400$  1/min gehören. Ferner werden in diesem Bereich 1 nur kleine Amplitudenwerte  $U_{r,m}$  (vgl. Abfrage **21**:  $U_{r,m} \leq 0,2$  V) der relativen Maxima detektiert, während jedoch die Amplitudenwerte  $U_{a,m}$  der absoluten Maxima sich entsprechend den Werten der Luftmassenstromabweichungen verhalten. In diesem Bereich 1 wird daher der Luftmassenstrommittelwert  $m_L$  in Abhängigkeit der Amplitudenwerte der absoluten Maxima mittels einer ersten Korrekturfunktion  $f_1$  korrigiert, falls die entsprechenden, den ersten Betriebsbereich definierende Bedingungen bezüglich der Drehzahl und der Amplitude  $U_{a,m}$  der absoluten Maxima vorliegen.

[0086] Diese Korrekturfunktion  $f_1$  wird in dem ausgewählten Bereich 1 aufgenommen und eine Kurve oder Polynomlinie durch ein Regressionsverfahren bestimmt. Daraus ergibt sich die Korrekturfunktion  $f_1$  gemäß [Fig. 5](#), mit der ein Korrekturfaktor  $k_1$  bestimmt wird und gemäß den Schritten **21** und **22** zum korrigierten Luftmassenstrommittelwert  $m_L + k_1$  führt.

[0087] Ein Bereich 2 nach [Fig. 13](#) umfaßt solche Betriebspunkte, die zu großen positiven Abweichungen führen, die in einem engen Drehzahlbereich mit  $n < 2000$  1/min und  $n > 1000$  1/min auftreten. In diesem Bereich 2 treten auch große Amplitudenwerte (vgl. Abfrage **23**:  $U_{r,m} > 0,1$  V) der relativen Maxima auf, so daß die in diesem Bereich 2 auftretenden Luftmassenstrommittelwerte  $m_L$  in Abhängigkeit der Amplitudenwerte  $U_{r,m}$  mittels einer zweiten Korrekturfunktion  $f_2$  korrigiert werden.

[0088] Eine solche Korrekturfunktion  $f_2$  zeigt die [Fig. 6](#), die in entsprechender Weise wie die erste Korrekturfunktion erzeugt wird. Liegen die entsprechenden, den zweiten Betriebsbereich definierenden Bedingungen für eine Korrektur gemäß Schritt **23** der [Fig. 12](#) vor, liefert die zweite Korrekturfunktion  $f_2$  einen Korrekturfaktor  $k_2$ , mit dem der korrigierte Luftmassenstrommittelwert  $m_L + k_2$  berechnet wird (vgl. Schritt **24** gemäß [Fig. 12](#)).

[0089] Um die durch die Spannungsmittelwertbildung  $\bar{U}$  entstehenden Abweichungen gemäß dem Bereich 3 nach [Fig. 13](#) zu berücksichtigen, wird in einem letzten Schritt **25** der korrigierte Luftmassenstrommittelwert  $m_L$  mittels eines von der Motordrehzahl  $n$  abhängenden multiplikativen Faktors  $f_3$  ( $n$ ) korrigiert. Hierzu dient eine dritte Korrekturfunktion  $f_3$ , die mittels Stützwerten ebenfalls abgespeichert ist und in gleicher Weise wie die oben beschriebenen Korrekturfunktionen erstellt wird. Abschließend werden noch die Amplitudenwerte  $U_{r,m}$  und  $U_{a,m}$  sowie der Spannungsmittelwert  $\bar{U}$  für den nächsten Zyklus als  $\bar{U}_{\text{alt}}$  gespeichert.

[0090] Das Verfahren gemäß den [Fig. 8](#) bis [Fig. 12](#) kann mit einer Abtastrate zwischen 3 und 15° KW durchgeführt werden, da mit einer Abtastrate von größer als 15° KW die Detektion der relativen Maxima verhindert wird. Ein optimaler Wert hinsichtlich der Rechenzeit, des Speicherbedarfes sowie der Genauigkeit ergibt sich mit einer Abtastrate zwischen 10 und 15° KW. Eine Steigerung der Abtastrate auf 3 bis 6° KW ergibt wohl eine

höhere Genauigkeit, die jedoch mit einer wesentlich höheren Rechenzeit erkaufte werden muß.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Stationärsteuerung von Brennkraftmaschinen, bei dem ein Luftmassensensor zum Messen des Durchsatzes der Ansaugluft elektrische Spannungssignale erzeugt, die mittels einer Steuereinheit in Motorlastwerte unter Zuhilfenahme der detektierten Drehzahl umgesetzt werden, aus denen zusammen mit anderen detektierten Betriebsparametern und motorspezifischen Daten die für den jeweiligen Betriebspunkt erforderlichen Steuersignale für die Zündzeitpunkteinstellung und der Kraftstoffzumessung erzeugt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß zyklusweise folgende Verfahrensschritte durchgeführt werden:

- a) Abtastung der Spannungssignale des Luftmassensensors über ein vorbestimmtes Kurbelwellenwinkel (KW)-Intervall zwecks Erzeugung von Meßsignalen ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ),
- b) Bildung des Spannungsmittelwertes ( $U$ ) aus den Werten der Meßsignale ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ),
- c) Erfassung der absoluten und relativen Maxima ( $m_{a,i}$ ,  $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) aus den Werten der Meßsignale ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ),
- d) Bestimmung des jeweils maximalen Amplitudenwertes ( $U_{a,m}$ ,  $U_{r,m}$ ) der absoluten und relativen Maxima ( $m_{a,i}$ ,  $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ),
- e) Konvertierung des Spannungsmittelwertes ( $U$ ) anhand einer Spannungs-Luftmassenkennlinie in einen Luftmassenstrommittelwert ( $m_L$ ),
- f) Korrektur des Luftmassenstrommittelwertes ( $m_L$ ) in Abhängigkeit der maximalen Amplitudenwerte ( $U_{a,m}$ ,  $U_{r,m}$ ) der maximalen und relativen Maxima ( $m_{a,i}$ ,  $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) und
- g) Bestimmung des Motorlastwertes ( $Q_L$ ) aus dem korrigierten Luftmassenstrommittelwert ( $m_L + f_1(U_{a,m})$  bzw.  $m_L + f_2(U_{r,m})$ ) und dessen Weitergabe an die Steuereinheit.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrektur des Luftmassenstrommittelwertes ( $m_L$ ) mittels Korrekturfunktionen ( $f_1$ ,  $f_2$ ) durchgeführt wird, die in Abhängigkeit der maximalen Amplitudenwerte ( $U_{a,m}$ ,  $U_{r,m}$ ) der absoluten oder relativen Maxima ( $m_{a,i}$ ,  $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) jeweils einen Korrekturwert angeben.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Motorbetriebsbereich in verschiedene Unterbetriebsbereiche aufgeteilt wird und daß die Korrektur zusätzlich in Abhängigkeit dieser Unterbetriebsbereiche erfolgt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftmassenstrommittelwert ( $m_L$ ) mittels einer ersten, einen Korrekturwert ( $f_1(U_{a,m})$ ) in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes ( $U_{a,m}$ ) der absoluten Maxima ( $m_{a,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) erzeugende Korrekturfunktion ( $f_1$ ) korrigiert wird, falls in einem ersten Unterbetriebsbereich die Meßsignale ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) bei Umwandlung in einen Luftmassenstromwert zu großen negativen Abweichungen gegenüber dem tatsächlichen Wert des Luftmassenstroms führen würden und gleichzeitig kleine Werte der maximalen Amplitude ( $U_{r,m}$ ) der relativen Maxima ( $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) vorliegen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Definition des ersten Unterbetriebsbereichs derjenige Drehzahlbereich bestimmt wird, bei dem die großen negativen Abweichungen auftreten würden.

6. Verfahren nach Anspruch 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Luftmassenstrommittelwert ( $m_L$ ) mittels einer zweiten, einen Korrekturwert ( $f_2(U_{r,m})$ ) in Abhängigkeit des maximalen Amplitudenwertes ( $U_{r,m}$ ) der relativen Maxima ( $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) erzeugende Korrekturfunktion ( $f_2$ ) korrigiert wird, falls in einem zweiten Unterbetriebsbereich die Meßsignale ( $U_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) bei Umwandlung in einen Luftmassenstromwert zu großen positiven Abweichungen gegenüber dem tatsächlichen Wert des Luftmassenstromwertes führen würden und gleichzeitig große Werte der maximalen Amplitude ( $U_{r,m}$ ) der relativen Maxima ( $m_{r,i}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots$ ) vorliegen.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Definition des zweiten Unterbetriebsbereichs derjenige Drehzahlbereich bestimmt wird, bei dem die großen negativen Abweichungen auftreten würden.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die durchgeführte Korrektur der Luftmassenstrommittelwerte ( $m_L$ ) additiv erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert ( $U_{a,m}$ ) der maximalen Amplitude der absoluten Spannungssignale ( $m_{a,i}$ ) durch einen mit dem entsprechenden Wert

( $U_{a,m,alt}$ ) des vorangehenden KW-Intervalles gebildeten arithmetischen Mittelwert ersetzt wird.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Wert ( $U_{r,m}$ ) der maximalen Amplitude der relativen Spannungsmaximas ( $m_{r,i}$ ) durch einen mit dem entsprechenden Wert ( $U_{r,m,alt}$ ) des vorangegangenen KW-Intervalles gebildeten arithmetischen Mittelwert ersetzt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß der korrigierte Luftmassenstrommittelwert ( $m_L + f_i$ ,  $i = 1, 2$ ) aufgrund von Abweichungen in der Spannungsmittelwertbildung einer multiplikativen Korrektur mittels einer von der Drehzahl ( $n$ ) abhängigen dritten Korrekturfunktion ( $f_3$ ) unterzogen wird.

12. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zyklus ein  $180^\circ$  KW-Intervall umfaßt.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Abtastrate von  $3$  bis  $20^\circ$  KW vorgesehen ist.

14. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine Abtastrate von  $10$  bis  $15^\circ$  KW vorgesehen ist.

Es folgen 10 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

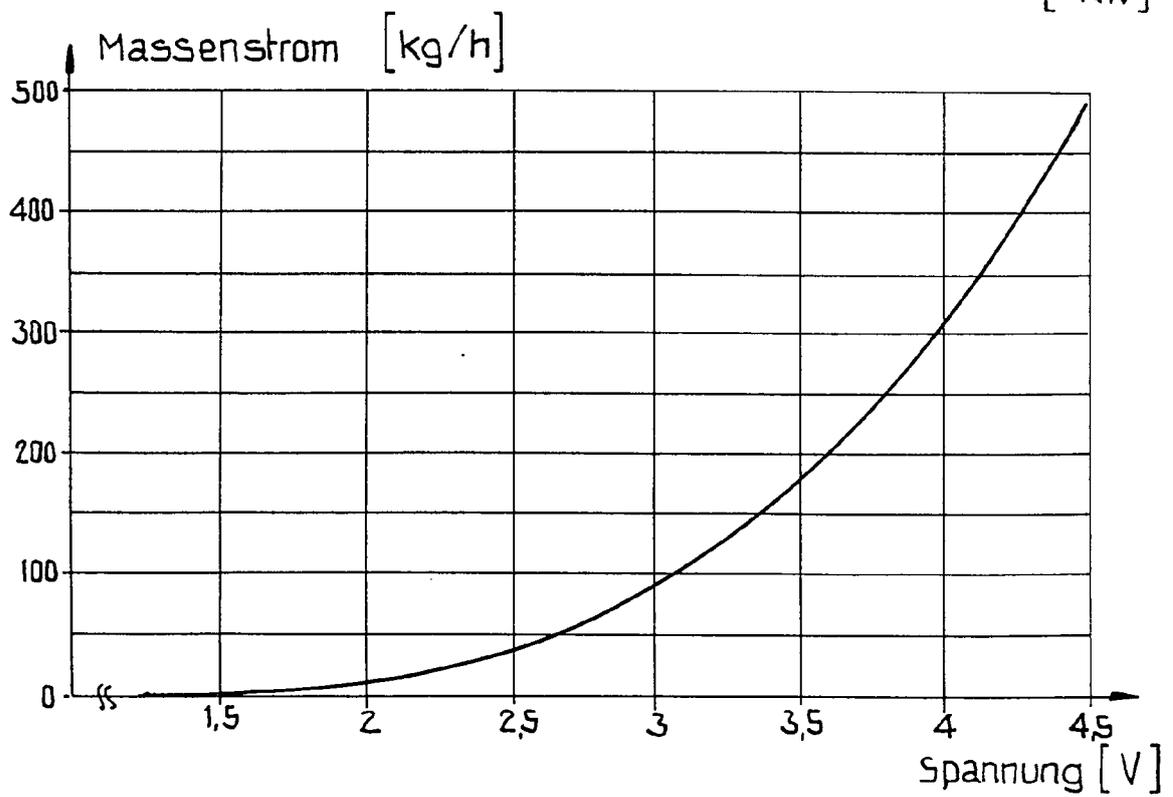
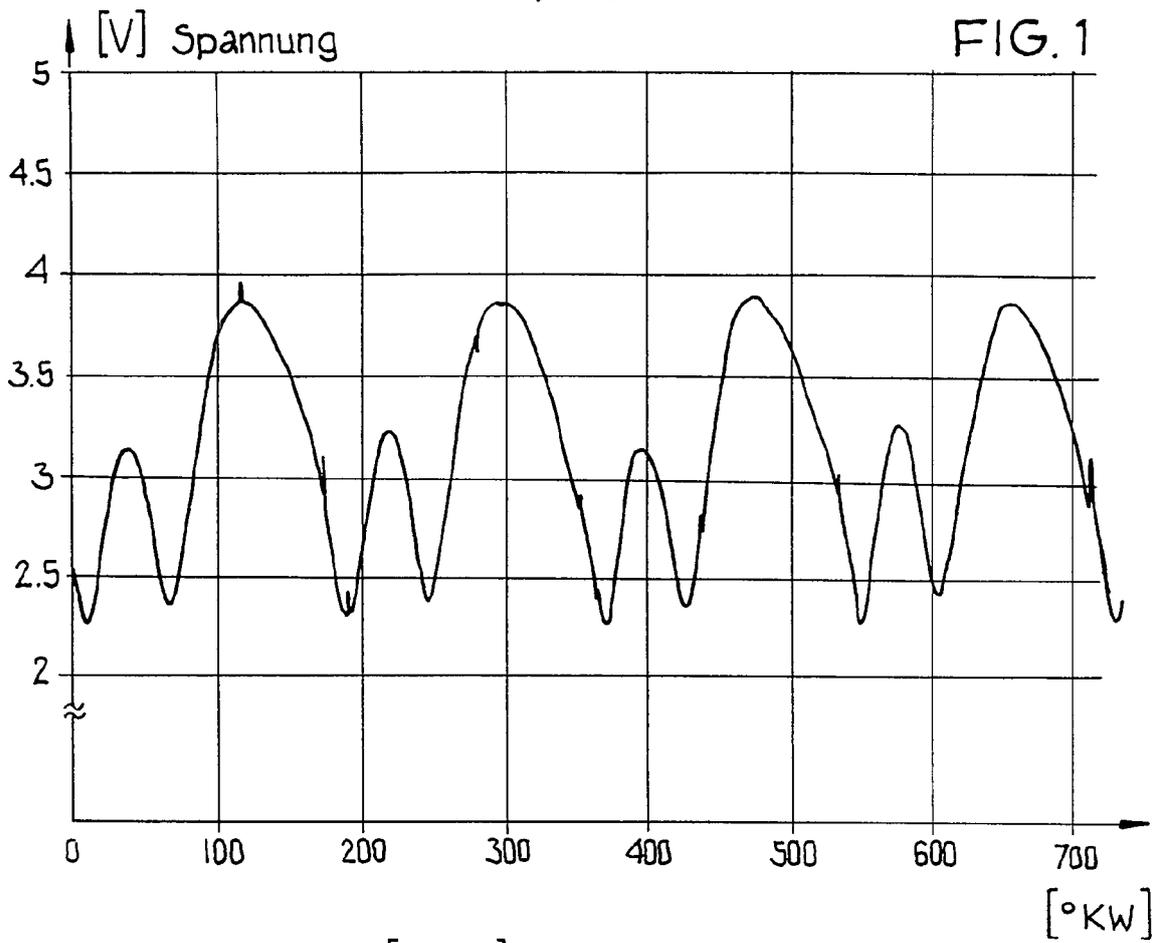
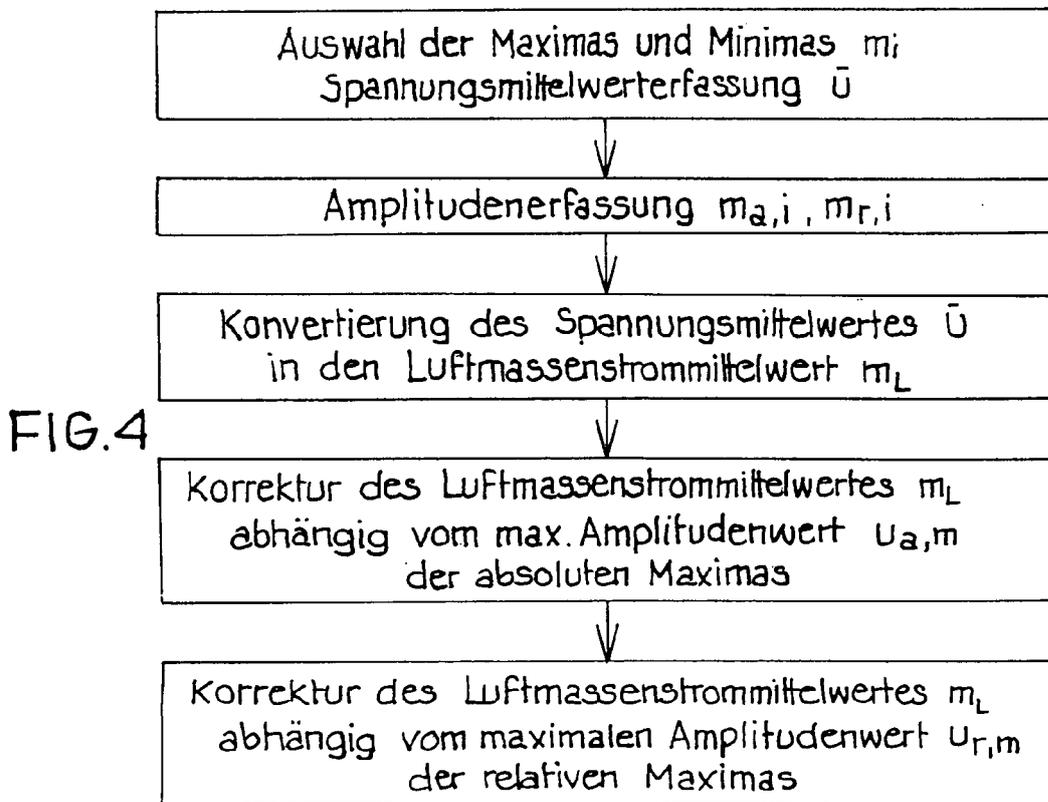
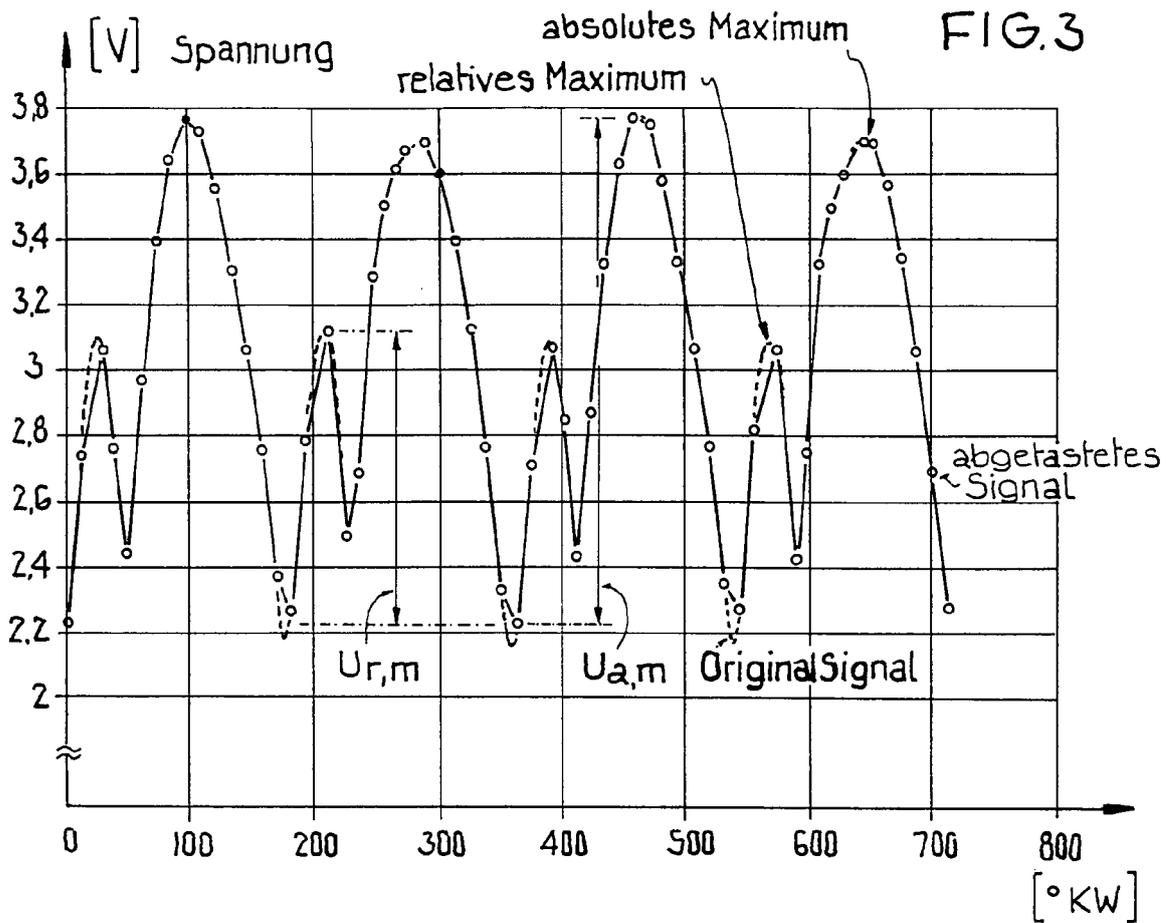
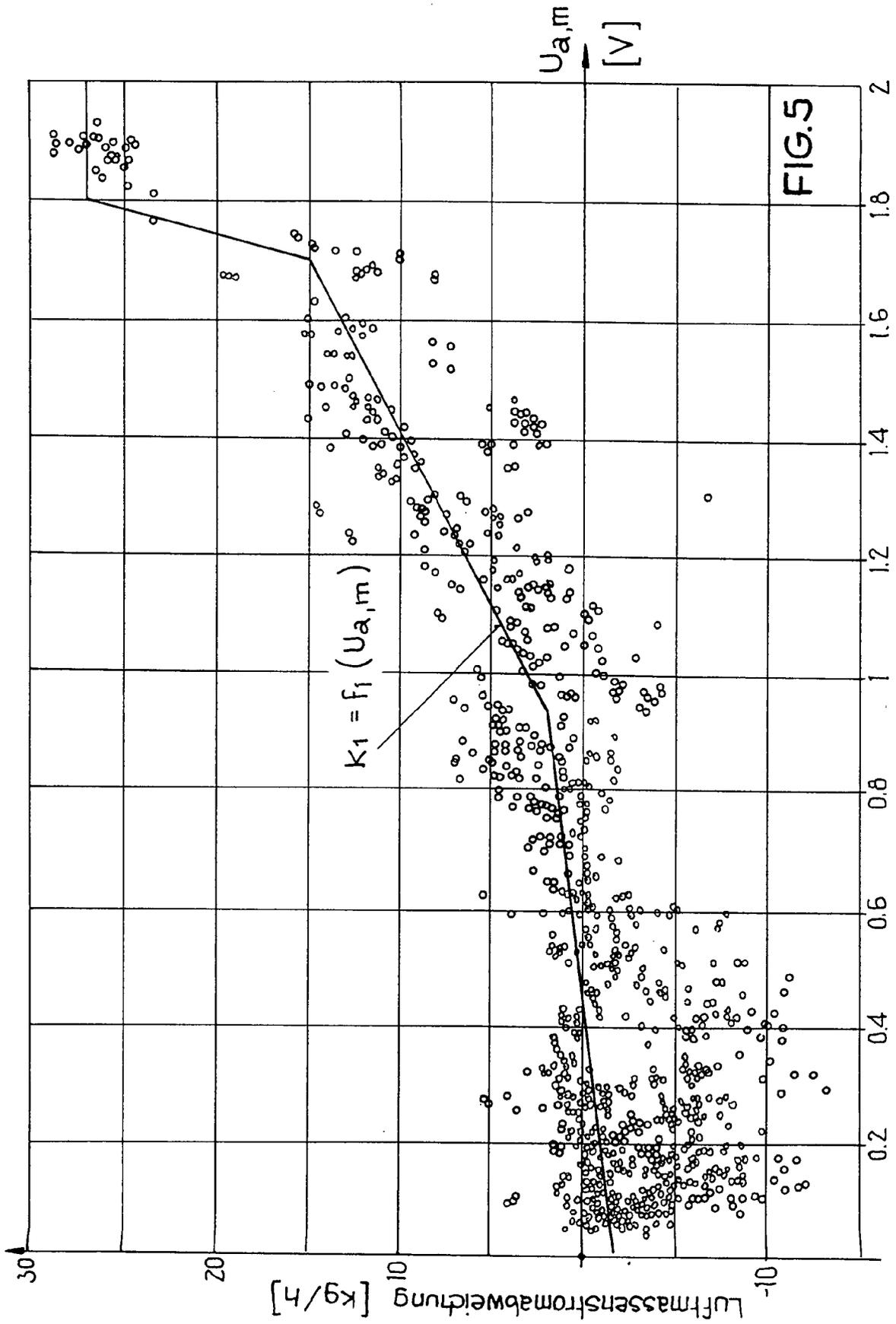
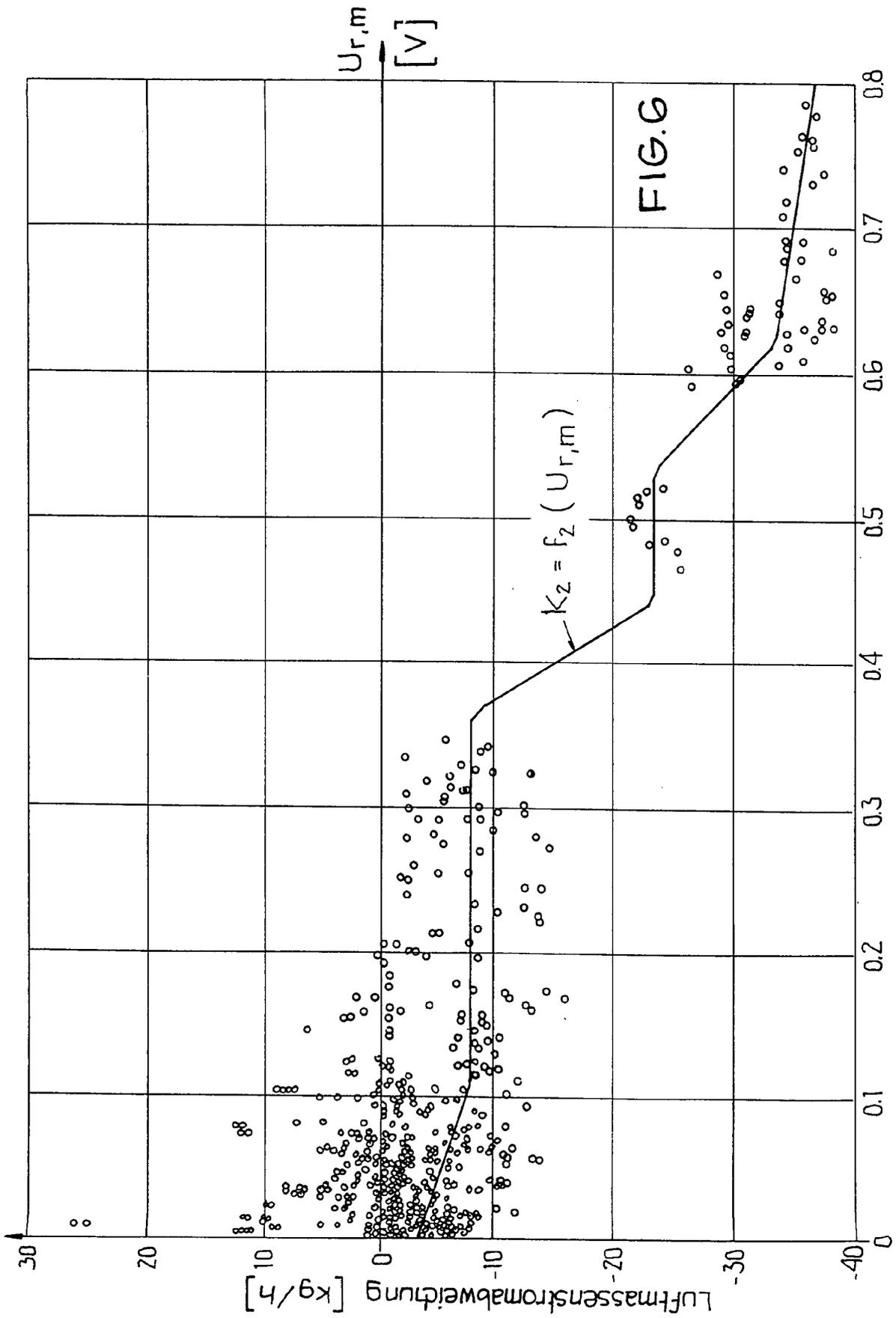


FIG. 2







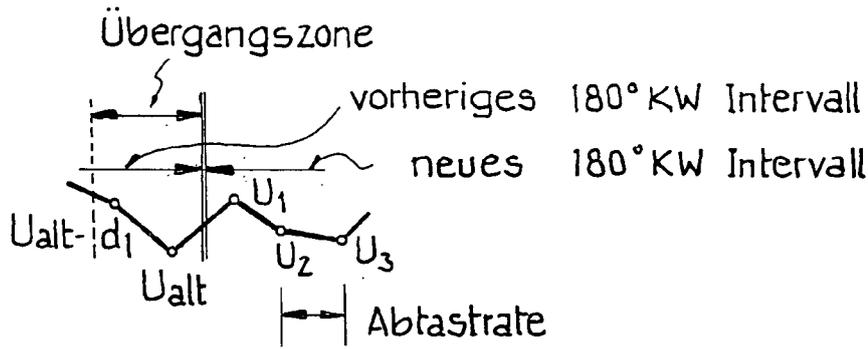


FIG. 7

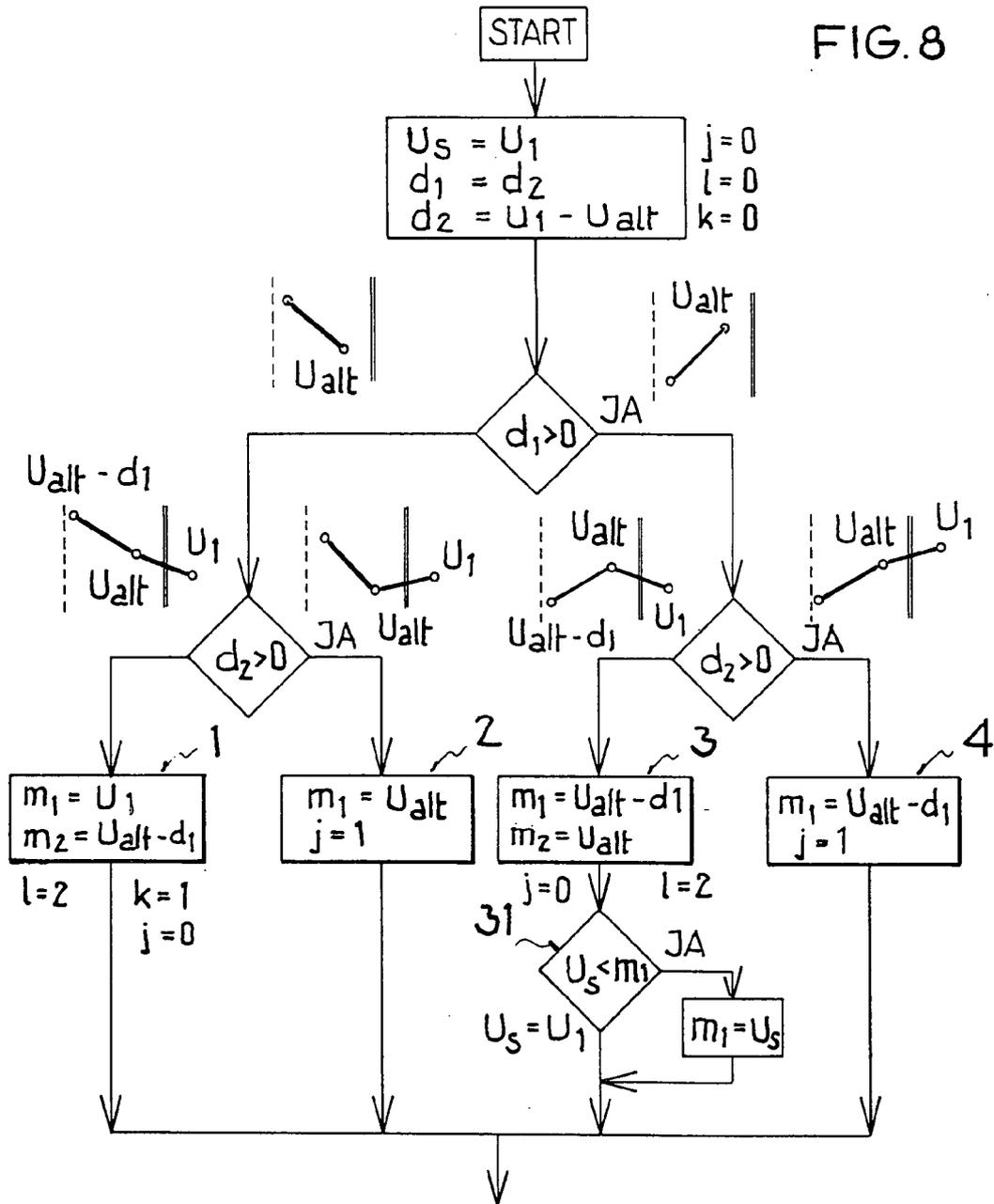


FIG. 8

FIG. 9

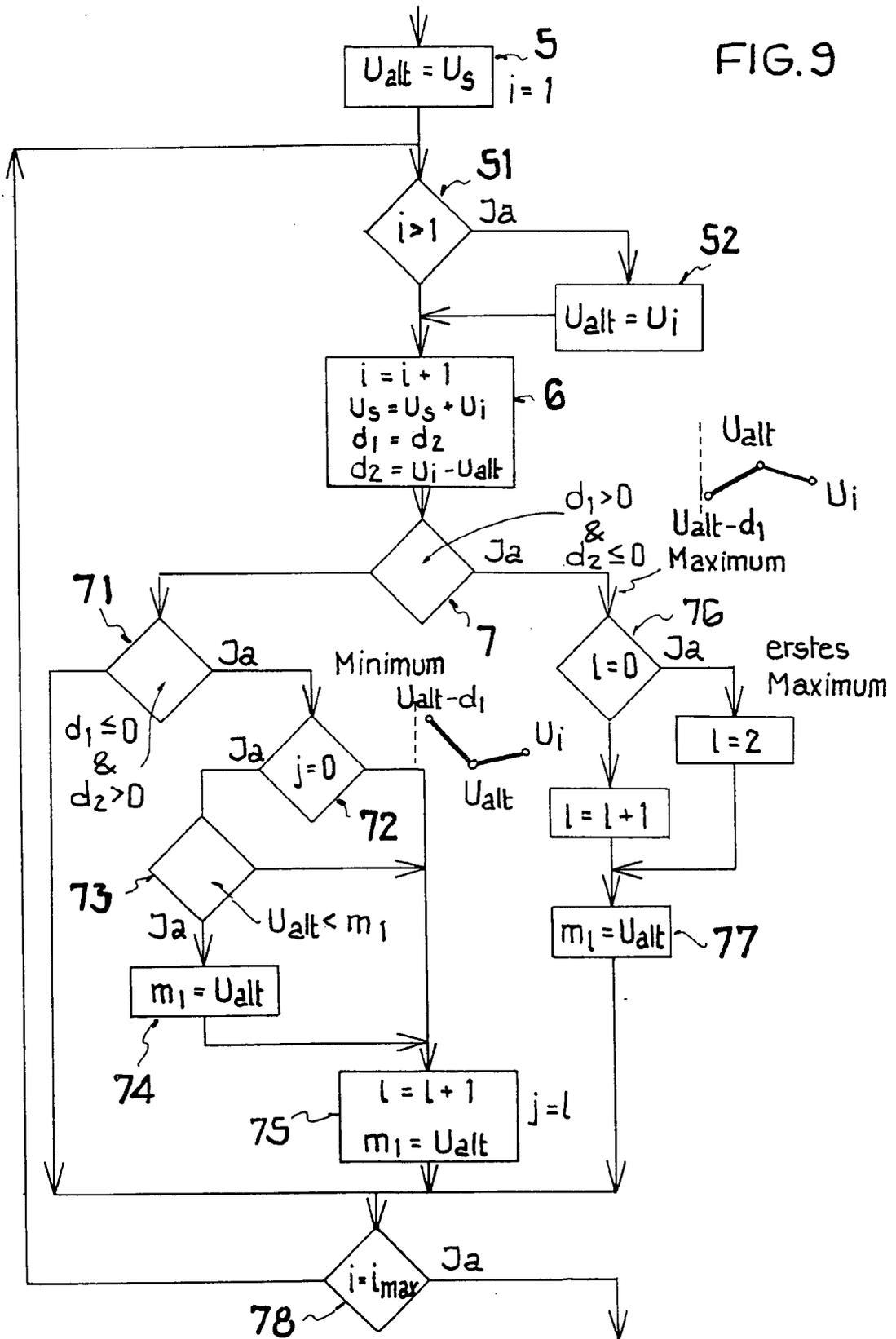


FIG. 10

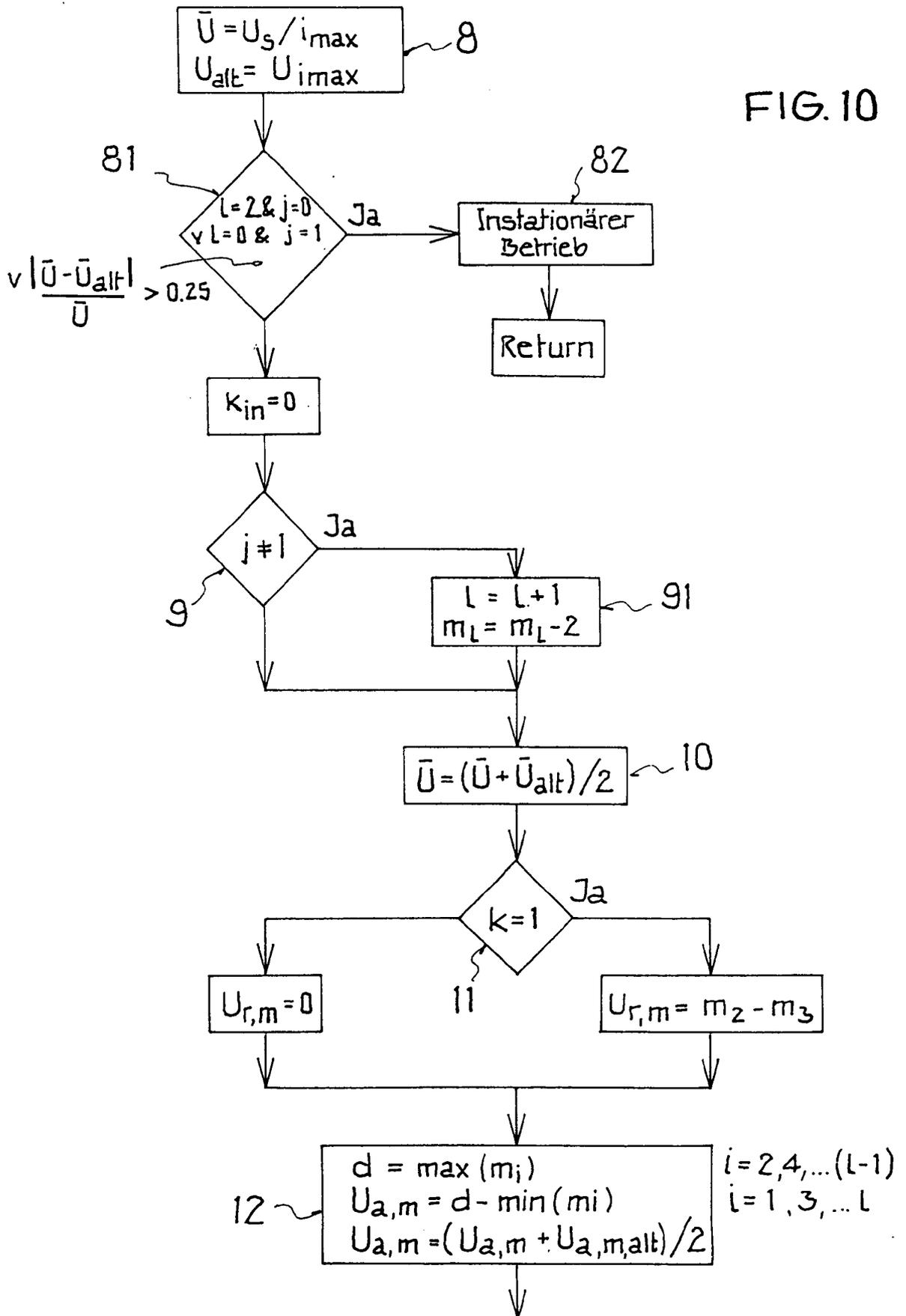


FIG. 11

