



⑫ **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

④⑤ Veröffentlichungstag der Patentschrift :
29.01.92 Patentblatt 92/05

⑤① Int. Cl.⁵ : **F02D 41/14, F02D 41/38**

②① Anmeldenummer : **90112597.1**

②② Anmeldetag : **02.07.90**

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zur Drehzahlregelung eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors.**

③⑩ Priorität : **07.07.89 PCT/DE89/00450**

④③ Veröffentlichungstag der Anmeldung :
09.01.91 Patentblatt 91/02

④⑤ Bekanntmachung des Hinweises auf die
Patenterteilung :
29.01.92 Patentblatt 92/05

⑧④ Benannte Vertragsstaaten :
DK ES GR

⑤⑥ Entgegenhaltungen :
EP-A- 0 107 523
EP-A- 0 113 510
EP-A- 0 140 065
WO-A-87/05074
DE-A- 2 507 057

⑦③ Patentinhaber : **SIEMENS**
AKTIENGESELLSCHAFT
Wittelsbacherplatz 2
W-8000 München 2 (DE)

⑦② Erfinder : **Strop, Jürgen, Dipl.-Ing.**
Lindenstrasse 14
W-8521 Langensendelbach (DE)

EP 0 406 765 B1

Anmerkung : Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Drehzahlregelung eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Drehzahlerfassung bei der Regelung eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors.

Großdieselmotoren, wie sie z.B. zum Antreiben von Schiffspropellern, Synchrongeneratoren oder anderen Großanlagen verwendet werden, enthalten meist nur wenige, auf eine gemeinsame Welle arbeitende Zylinder, die mit niedrigen Drehzahlen (z.B. weniger als 100 U/min) laufen. Daher kommt es zu großen Pulsationen des Antriebsmoments und zu entsprechend starken Änderungen der Winkelgeschwindigkeit der Kurbelwelle während eines Arbeitstaktes.

Wird in den zur Regelung eingesetzten Drehzahlreglern eine kleine Zeitkonstante eingestellt, so verstellen diese Regler wegen des pulsierenden Drehzahlwertes ständig das Füllungsgestänge, das den Einspritzpumpen der Zylinder und den Zylinder-Füllgrad vorgibt. Abgesehen von Stabilitätsproblemen bedingt die ständige mechanische Verstellung der Einspritzpumpen einen unerwünscht hohen Verschleiß am Füllungsgestänge und eine unnötig große mechanische Verstellarbeit.

Andererseits können Sprünge im aufgebrauchten Motormoment (z.B. bei Zündaussetzern oder anderen Unregelmäßigkeiten in der Verbrennung) oder im mechanischen Lastmoment (z.B. wenn bei rauhem Seegang der Schiffspropeller aus dem Wasser austaucht) zu Drehzahlschwankungen führen, die rechtzeitig abgefangen werden müssen, um einen Stillstand oder ein Überdrehen des Motors zu vermeiden. Der Drehzahlregler darf daher nicht zu träge eingestellt sein.

Die auf dem Markt kommerziell angebotenen Anlagen arbeiten daher vor allem bei Drehzahlen unter 20 U/min schlechter als ein handverstelltes Füllungsgestänge. Maschinen mit 4 bis 6 Zylindern sind unter etwa 15 U/min gegenwärtig überhaupt nicht befriedigend maschinell regelbar.

Für Verbrennungsmotoren, insbesondere in Kraftfahrzeugen, ist in der europäischen Patentanmeldung 120730 eine Regelung beschrieben, bei der ein Sensor für an der Kurbelwelle angebrachte Marken jeweils einen Referenzimpuls erzeugt, wenn sich einer der Zylinder in seinem oberen Totpunkt befindet. Dadurch wird der Drehwinkel der Kurbelwelle in Winkelbereiche unterteilt. Im stationären Betrieb benötigt die Kurbelwelle zum Durchlaufen jedes Winkelbereiches die gleiche Zeit, bei Unregelmäßigkeiten jedoch weicht diese Zeit von dem über mehrere Winkelbereiche gemittelten Mittelwert ab. Um eine Unsymmetrie beim Betrieb der verschiedenen Zylinder auszuregulieren, werden für jeden der Zylinder

der die in mehreren Arbeitstakten gemessenen Abweichungen integriert und eine allen Zylindern gemeinsame Voreinstellung des Füllgrades wird mit einer aus diesem Integral gebildeten Korrekturgröße korrigiert.

Dies entspricht einer integralen Regelung, die periodische Unregelmäßigkeiten, wie sie durch unsymmetrischen Betrieb der Zylinder entstehen, ausregelt. Die erwähnten kurzzeitigen Störungen (Zündaussetzer oder Austausch des Propellers) können dabei aber nicht schnell genug ausgeregelt werden.

Daneben ist aus der EP-A-140065 bei einer selbstzündenden Brennkraftmaschine eine Drehzahlregelung bekannt, bei der Einzelzylinderlaufregelungen von einer Leerlaufregelung überlagert sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Regelung von langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotoren zu schaffen, die auch vorübergehende Störungen auszuregulieren gestattet. Dabei entsteht insbesondere das Problem, derartige kurzfristige Störungen zu identifizieren und ggf. so rasch zu erfassen, daß die Steuerung oder Regelung des Motors auf geeignete Weise korrigiert werden kann. Eine derartige Drehzahlerfassung liegt daher der Erfindung ebenfalls als eine Aufgabe zugrunde.

Zur Lösung ist in den Ansprüchen 1 und 10 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur erfindungsgemäßen Drehzahlregelung angegeben.

Dabei werden für jeden der Zylinder Winkelstellungen der Kurbelwelle definiert, die den Anfangswinkel und Endwinkel eines vor dem oberen Totpunkt des Zylinders liegenden Winkelbereiches darstellen. Dies kann durch einen Sensor für entsprechende mit der Kurbelwelle rotierende Marken oder einen anderen Referenzimpulsgeber geschehen, der jeweils beim Durchlaufen einer dieser definierten Winkelstellungen einen Referenzimpuls abgibt.

Für diese Winkelbereiche wird nun fortlaufend ein Istwert n_α gemessen, der die mittlere Geschwindigkeit angibt, mit der die Kurbelwelle diesen Winkelbereich durchläuft. Ferner wird auch die über mehrere dieser Winkelbereiche gemittelte Geschwindigkeit \bar{n} der Kurbelwelle gemessen. Es liegt also ein erster, träger Geschwindigkeits-Istwert \bar{n} und ein zweiter, nur über einen Teil des Arbeitstaktes gemittelter Geschwindigkeits-Istwert n_α vor.

Im stationären Betrieb, bei dem das Antriebsmoment aller Zylinder gleichmäßig zur Aufrechterhaltung einer Solldrehzahl n^* beitragen, sind diese beiden Mittelwerte ungefähr gleich: $n_\alpha = \bar{n} = n^*$. Auch bei unsymmetrischem Betrieb der Zylinder gilt immer noch ungefähr $\bar{n} = n^*$. Dies ist sofort ersichtlich, wenn \bar{n} die über einen gesamten Arbeitstakt gemittelte Geschwindigkeit ist, d.h. wenn im stationären Zustand die Summe der Winkelbereiche den ganzen Arbeitstakt ergeben, also ein Winkelbereich gerade

dem Drehwinkel der Kurbelwelle zwischen zwei benachbarten oberen Totpunkten der Zylinder entspricht.

Daher wird der träge Geschwindigkeitsmittelwert \bar{n} mit dem Geschwindigkeits-Sollwert n^* verglichen und einem trägen Regler zugeführt, der einen ersten Sollwert für die Steuerung der Einspritzpumpen bestimmt und damit die Voreinstellung des Füllgrades aller Zylinder vorgibt. Bei Unsymmetrien verändert sich das Ausgangssignal dieses trägen Reglers also praktisch nicht und auch kurzfristige Störungen bewirken kaum eine Veränderung.

Die fortlaufend gemessenen Geschwindigkeits-Istwerte n_α werden ebenfalls mit dem Geschwindigkeits-Sollwert verglichen und einem schnellen Regler zugeführt. Tritt in einem Zylinder eine einmalige oder periodische Störung auf, so spricht der Istwert n_α und daher auch ein zweiter Sollwert, der vom Ausgangssignal dieses schnellen Reglers bereitgestellt wird, rasch auf diese Änderung an. Der Winkelbereich, in dem dieser gestörte Istwert n_α gebildet wurde, liegt vor dem oberen Totpunkt des Zylinders, dem dieser Winkelbereich zugeordnet ist. Die schnelle Korrektur der Voreinstellung wirkt daher zumindest auf diesen Zylinder und dessen Füllgrad, der daher diese aufgetretene Störung sofort korrigiert. Klingt infolge dieses Eingriffs diese Störung so rasch ab, daß Geschwindigkeits-Istwerte n_α , die in darauffolgenden Winkelbereichen gemessen werden, bereits nicht mehr vom Sollwert n^* abweichen, so erfolgt auch keine Korrektur des voreingestellten Füllgrades der weiteren Zylinder.

Vorteilhaft kann außerdem auch das in der erwähnten europäischen Anmeldung 120730 beschriebene Verfahren zur Symmetrierung des Betriebes angewendet werden.

Der beschriebene Eingriff zum Ausregeln der Störungen bzw. Unsymmetrien ist umso wirkungsvoller, je kürzer die Zeit zwischen der Störungserfassung und der Korrektur des Füllgrades des nächsten Zylinders ist. Der Endwinkel des Winkelbereichs soll also möglichst nahe am oberen Totpunkt des zugeordneten Zylinders liegen. Andererseits soll aber die Verstellung des Füllgrades, die über das Füllungsgestänge der entsprechenden Einspritzpumpe erfolgt, vor Erreichen des oberen Totpunktes abgeschlossen sein. Daher wird vorteilhaft die Lage des Winkelbereichs, also die dessen Anfangswinkel und Endwinkel bestimmenden Referenzstellungen, in Abhängigkeit von der Drehzahl der Kurbelwelle verstellt. Dies kann mittels einer entsprechenden Steuerung einrichtung geschehen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet. Anhand zweier Ausführungsbeispiele und 5 Figuren wird die Erfindung näher erläutert.

Es zeigt :

Fig. 1 die Hardware-Teile einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 2 dabei auftretende Impulse und Meßgrößen, Fig. 3 und 4 eine Prinzipdarstellung zweier vorteilhaft verwendeten Regeleinrichtungen und Fig. 5 die dabei auftretenden Referenz-Winkelstellungen der Kurbelwelle.

Die Erfindung sei am Beispiel eines 4-Zylinder-Zweitakt-Motors erläutert, dessen 4 Zylinder Z1, Z2, Z3 und Z4 in Fig.1 symbolisch dargestellt sind. In den Hubraum jedes Zylinders wird während der Verdichtungsphase von Einspritzpumpen P1, ... P4 Brennstoff eingespritzt, dessen Menge im Verhältnis zur Verbrennungsluft durch den Füllgrad F bestimmt ist. Für diesen Füllgrad wird ein Sollwert F^* vorgegeben, aus dem ein Füllgradregler FR einen entsprechenden Sollwert F^{**} bildet, mit dem z.B. mittels hydraulischer Betriebe das Füllungsgestänge der Einspritzpumpen verstellt wird, wobei die entsprechende Stellung der Einspritzpumpe über den Istwert F in den Füllgradregler rückgeführt wird. Dabei kann vorgesehen sein, daß der Füllgradregler auf das Füllungsgestänge aller Einspritzpumpen gemeinsam wirkt und alle Einspritzpumpen gemeinsam verstellt. Vorzugsweise sind aber einzeln verstellbare Einspritzpumpen oder einzeln justierbare Einspritzpumpen vorhanden.

Bei der in Fig. 1 gezeigten Stellung befindet sich der Zylinder Z1 in seinem oberen Totpunkt, der seinen ersten Arbeitstakt, den Expansionstakt, einleitet, während der Zylinder Z3 sich im unteren Totpunkt befindet, bei dem sein Expansionstakt abgeschlossen und der zweite Arbeitstakt, der Kompressionstakt eingeleitet wird. Entsprechend befindet sich der Zylinder Z2 noch in der Mitte seines zweiten Arbeitstaktes (Kompression), während Z4 bereits im Expansionstakt ist.

Um bei Motoren mit elektrischer Zündung im Expansionstakt eine ordnungsgemäße Verbrennung sicherzustellen, muß der Zündzeitpunkt auf die Zylinderstellung und damit die Rotationsbewegung der Kurbelwelle synchronisiert werden. Bei Dieselmotoren wird die Einspritzdüse durch die Bewegung des Kolbens automatisch freigegeben, jedoch sieht die Erfindung auch hier eine Erfassung des Drehwinkels der Kurbelwelle vor, was durch einen entsprechenden Referenzimpulsgeber erreicht wird. Dabei kann es sich um einen Winkel-Detektor handeln, der nach Art eines berührungslosen Näherungsschalters, eines schlupflos angetriebenen inkrementalen Winkelgebers oder eines anderen digital oder analog arbeitenden, an die Kurbelwelle gekoppelten Detektorschaltung handeln.

Im dargestellten Fall ist mit der Kurbelwelle direkt oder über ein Getriebe mit der Übersetzung 1 : 1 eine Meßscheibe angebracht, die eine Anzahl m1 von Marken M trägt. Definiert man eine bestimmte Ausgangsstellung der Kurbelwelle als Nullpunkt, so erzeugt der Detektor DET also jeweils nach einer

Drehung um $d\gamma = 360^\circ/\text{ml}$ einen Impuls, so daß die Anzahl m der Impulse, die seit Durchlaufen einer Ausgangsstellung erzeugt werden, die Winkelstellung $\gamma = m \cdot d\gamma$ erfaßt werden kann.

Die Ausgangsstellung kann bei jeder Umdrehung erfaßt werden durch einen Nullimpuls-Geber, z.B. eine Marke N , die bei Passieren eines Nullimpuls-Detektors DN einen entsprechenden Nullimpuls abgibt. Versetzt zum Nullimpulsgeber DN oder zum Detektor DET ist ein weiterer Impulsgeber DN' , um auf bekannte Weise die Drehrichtung der Welle festzustellen und damit das Vorzeichen bei der Zählung der Impulse des Detektors DET festzulegen. Der Nullimpuls des Detektors DN kann auch dazu verwendet werden, den für die Zählung der Impulse des Detektors DET erforderlichen Zähler jeweils bei Passieren der Ausgangsstellung zu synchronisieren und ggf. von Störimpulsen verursachte Zählfehler zu korrigieren. Ist eine derartige Korrektur nicht erforderlich, so kann die Erfassung der Ausgangsstellung auch softwaremäßig mittels des Zählers für die Impulse von DET erfolgen.

Im einfachsten Fall ist entsprechend der Zahl z der nacheinander zündenden Zylinder ein Drehwinkelbereich $\alpha = 360^\circ/z$ definiert, der angibt, daß jeweils nach einer Umdrehung um diesen Winkel α ein Zylinder (z.B. Z_2) die Stellung annimmt, die zuvor der vorangegangene Zylinder (z.B. Z_1) angenommen hat. Dieser Winkel α bzw. die entsprechende Zahl $m = m_\alpha$ der Impulse des Detektors DET teilt also den ganzen Arbeitszyklus in einzelne Winkelbereiche ein. Jeder der z Winkelbereiche ist einem Zylinder zugeordnet und ist durch Referenzstellungen, die den Anfangswinkel und Endwinkel angeben, festgelegt.

Bei Viertakt-Motoren durchläuft jeder Zylinder in einem Motorzyklus zwei mal seinen oberen Totpunkt. Um jeweils einen ganzen Arbeitstakt zu erfassen, müssen also jeweils zwei Umrehungen der Kurbelwelle zu einem Motorzyklus zusammengefaßt werden. Die Zahl m_1 der einem Winkelbereich α zugeordneten Winkelinkremente $d\gamma$ verdoppelt sich also und die jeweils dem ersten oberen Totpunkt des Zylinders Z_1 in einem Arbeitstakt zugeordnete Ausgangsstellung wird nur jeweils nach zweimaligem Passieren der Marke N am Detektor DN erreicht. Im allgemeinen Fall lautet also die Zuordnung der Winkelbereichszahl m_α zu den Winkelbereichen α nach der Formel

$$m_\alpha = m_1/Z,$$

wobei m_1 die Zahl der pro Zyklus den Detektor DET passierenden Marken M ist. Sind die Marken über ein Getriebe mit dem Übersetzungsverhältnis $\frac{m_2}{2} : 1$ an die Kurbelwelle gekoppelt, wobei m_2 die Zahl der Arbeitstakte pro Motorzyklus ("Taktzahl" $m_2 = 2$ für Zweitaktmotoren, $m_2 = 4$ für Viertaktmotoren)

bezeichnet, so ist m_1 die Zahl der Marken auf der Impulsscheibe, während bei einer direkten Ankopplung gilt :

$$m_1 = 2 \cdot \frac{m_2}{m_3}; m_\alpha = \frac{m_1}{Z}$$

Der Detektor DET und ein Zähler CT mit einem, den momentanen Drehwinkel γ der Kurbelwelle beschreibenden Ausgangssignal sowie ggf. der Nullimpulsgeber DN und der entsprechende Vorzeichendetektor $SIGN$ für das Vorzeichen der Drehrichtung mit seinem Hilfsdetektor DN' stellen also einen Referenzimpulsgeber dar, der bei vorgegebenen Referenzstellungen (also z.B. jeweils dem ersten oberen Totpunkt eines Zylinders während eines Motorzyklus) jeweils einen Referenzimpuls abgibt. Aus diesen Referenzimpulsen bildet eine Meß- und Regeleinrichtung MR , die teils softwaregesteuert und digital und aus Sicherheitsgründen teils auch mechanisch, hydraulisch etc. arbeitet, einen ersten Mittelwert \bar{n} , der die mittlere Geschwindigkeit angibt, mit der ein jeweils über einen ganzen Arbeitszyklus oder zumindest einen mehrere Winkelbereiche α umfassender, großen Winkelbereich durchlaufen wird. Dieser Mittelwert \bar{n} kann z.B. als reziproker Wert des Zeitintervalles zwischen zwei Referenzimpulsen des Nullimpuls-Gebers DN erfaßt werden.

Außerdem wird in der Meß- und Regeleinrichtung MR ein zweiter Mittelwert n_α gebildet, der die Geschwindigkeit angibt, mit der die Kurbelwelle jeweils einen Winkelbereich α (oder einen anderen, kleinen, jeweils einem der Zylinder zugeordneten Winkelbereich, der durch entsprechende Referenzstellungen der Kurbelwelle oder des betreffenden Zylinders bestimmt ist) durchläuft. Der Geschwindigkeitswert \bar{n} stellt also einen mit einer großen Zeitkonstante gemittelten Istwert dar, der praktisch von dem von allen Zylindern aufgebrachten mechanischen Moment in gleicher Weise beeinflusst ist. Der zweite Mittelwert n_α dagegen stellt einen mit einer kleinen Zeitkonstante gemittelten Wert dar, in den hauptsächlich der letzte Expansionstakt eines Zylinders und dessen Einfluß auf die Welle eingeht.

Wie noch erläutert werden wird, enthält die Meß- und Regeleinrichtung MR einen trägen Regler, der den Mittelwert \bar{n} mit einem Geschwindigkeits-Sollwert n^* vergleicht und daraus einen Sollwert für die Voreinstellung des Füllgrades der Zylinder vorgibt. Zusätzlich ist ein schneller Regler für die Differenz $n^* - n_\alpha$ vorgesehen, dessen Ausgangssignal mit dem Ausgangssignal des trägen Reglers überlagert wird und somit jederzeit schnell vor dem nächsten Expansionstakt eines Zylinders den Füllgrad verstellen kann.

Ein Vorteil der Erfassung zweier mit unterschiedlichen Zeitkonstanten gemittelter Geschwindigkeitswerte ist z.B., daß eine Regelung des trägen

Mittelwertes möglich ist, die den pulsformigen Verlauf des von den Zylindern aufgetragenen Motormoments M_{diesel} ohne ständiges Verstellen der Reglereinstellung regelt. Der Mittelwert n_{α} hingegen erlaubt, bei Störungen rasch einzugreifen. So können z.B. häufigere Fehlzündungen eines Zylinders erkannt und durch geeignete Eingriffe auf diesen Zylinder beseitigt und/oder jeweils bei der Füllung des nächsten Zylinders korrigiert werden. Ebenso können kurzfristige Überschreitungen von Grenzdrehzahlen gemeldet werden und geeignete Schutzmaßnahmen bereits auslösen, bevor die für den stabilen Betrieb des Motors nötige, träge Regelung ansprechen kann. Insbesondere können die den einzelnen Zylindern zugeordneten Winkelbereiche und die darin gemessenen Mittelwerte n_{α} angezeigt und dokumentiert werden, was im Hinblick auf den weiteren Service der Anlage wertvolle Rückschlüsse liefert.

Die bisher geschilderte Erfassung der Winkelgeschwindigkeit n_{α} ist im wesentlichen aus der bereits genannten europäischen Patentanmeldung 120730 für Verbrennungsmotoren bekannt und ermöglicht, durch einen Ausgleich von unregelmäßigen Verbrennungen in den Zylindern den Rundlauf des Motors zu erhöhen. Dabei ist allerdings jeweils der obere Totpunkt eines Zylinders die Anfangsstellung des zugeordneten Zylinders, damit im Winkelbereich möglichst nur der Einfluß dieses Zylinders auf M_{diesel} erfaßt wird.

Um allerdings vereinzelt auftretende Störungen geeignet ausregeln zu können, ist es vorteilhaft, wenn die Erfassung und der Eingriff zur Beseitigung dieser Störung bereits abgeschlossen sind, bevor wieder die Füllung eines Zylinders vor dessen Expansionstakt erfolgt. Der Endwinkel des zur n_{α} -Messung erforderlichen Winkelbereichs muß also ausreichend weit vor dem oberen Totpunkt des zugeordneten Zylinders liegen.

Andererseits sollte diese Störungsmeldung möglichst nahe vor dem Einspritzzeitpunkt liegen. Da das Füllungsgestänge und die Einspritzpumpe zur Regelung des Füllgrades eine bestimmte Zeit benötigt, wird die Bestimmung des Mittelwertes n_{α} drehzahlabhängig gesteuert.

Dies bedeutet z.B. für den Zylinder Z1, daß ihm durch Vorgabe eines Anfangswinkels und eines Endwinkels für die Stellung der Kurbelwelle ein Winkelbereich α zugeordnet wird, dessen Endpunkt bei niedrigen Drehzahlen kurz vor der Stellung liegt, bei der dieser Zylinder Z1 seinen oberen Totpunkt erreicht. Bei hohen Drehzahlen jedoch wird dieser Endwinkel weiter vorverlegt.

Dazu enthält die Meß- und Regeleinrichtung eine von der mittleren Geschwindigkeit gesteuerte Steuereinrichtung, wie im folgenden anhand der Signale in Fig. 2 und einer schematischen Schaltung in Fig. 3 näher erläutert wird.

In Fig. 2 ist zunächst das Ausgangssignal eines mit konstanter Frequenz arbeitenden Zeitimpuls-Ge-

bers clk dargestellt. Die Kurve $n(t)$ gibt die momentane Drehgeschwindigkeit, d.h. die zeitliche Ableitung dy/dt des Drehwinkels γ der Motorwelle. Gegenüber dem langfristigen Mittelwert n_{av} zeigt dieser Istwert jeweils erhebliche Einbrüche an den Zeitpunkten $t1...t4$, an denen jeweils die Zylinder ihren oberen Totpunkt erreichen. Zum Zeitpunkt $t1$, der mit einem Nullimpuls m_D des Nullimpulsdetektors DN zusammenfällt, erhöht die Verbrennung im Zylinder Z1 den Schub auf die Drehachse und damit die Drehgeschwindigkeit, wobei diese Geschwindigkeit aber wegen des nachlassenden Expansionsdruckes und wegen der zum Komprimieren im Zylinder Z2 erforderlichen Arbeit nachläßt. In Fig. 2 ist übertrieben dargestellt, daß der Expansionsdruck in den einzelnen Zylindern jeweils nach Durchlaufen ihres oberen Totpunktes unterschiedliche Werte annimmt und daher ein unregelmäßiger Verlauf der Drehzahl entsteht.

Ein erster Zähler CT1 zählt die Zeitimpulse clk jeweils zwischen dem Auftreten zweier Nullimpulse m_D . Bei jedem Nullimpuls wird der Zählerstand $ct1$ in einen entsprechenden Speicher M1 gegeben, an dessen Ausgang dann für die Dauer der nächsten Umdrehung der Kurbelwelle der Reziprokwert des Zählerstandes, multipliziert mit dem Ausgangssignal $sign \bar{n}$ des Drehrichtungs-Detektors SIGN, als entsprechender, langfristiger Mittelwert \bar{n} zur Verfügung steht.

Die Impulse m des Referenzimpulsgebers geben jeweils das Erreichen und Verlassen eines Winkelbereiches an und werden einem anderen Zähler CT2 für die Zeitimpulse clk zugeführt. Sie bestimmen die Zeitpunkte, zu denen der in Fig. 2 gezeigte Zählerstand $ct2$ des Zählers CT2 jeweils in einen Speicher M2 eingelesen und rückgesetzt wird.

So ist z.B. dem Zylinder Z2 die Referenzstellung γ_2 der Zylinderachse als Endpunkt seines zugeordneten Winkelbereiches und der entsprechende Zeitpunkt $t2'$ zugeordnet, während der Zeitpunkt $t1'$ und die Referenzstellung $\gamma_1 = \gamma_2 - \alpha$ den Anfang dieses Winkelbereiches angeben. Die Referenzstellung γ_2 ist dabei gegenüber dem oberen Totpunkt des Zylinders Z2 (Zeitpunkt $t2$) um den Verschiebungswinkel $d\alpha$ vorverlegt. Zum Zeitpunkt $t2'$ ist also die Mittelwertbildung im Winkelbereich α bereits abgeschlossen und der Zähler Z2 liest seinen Zählerstand in den Speicher M2 ein. Der zu n_{α} proportionale Wert $sign \bar{n} \cdot (1/ct2)$ wird über den schnellen Regler das Füllungs-gestänge für den Zylinder Z2 verstellen, bevor dieser Zylinder seinen oberen Totpunkt erreicht.

In Fig. 2 ist angenommen, daß $m_{\alpha} = 9$ gilt, d.h. zwischen den oberen Totpunkten zweier benachbarter Zylinder liegen neun inkrementelle Winkelschritte dy . Die entsprechenden Steuerimpulse, die den Referenz-Winkelstellungen γ_1 und γ_2 entsprechen, werden vom Referenzimpulsgeber aus der Impulsfolge des Detektors DET dadurch gebildet, daß diese Impulsfolge dem erwähnten Zähler CT zugeführt wird,

dessen Zählerstand ct jeweils bei einer Referenzstellung auf den Wert m_α gesetzt und heruntergezählt wird. Beim Erreichen des Wertes Null wird der nächste Referenzimpuls abgegeben und der Zähler erneut gesetzt.

Die Synchronisierung auf den Nullimpuls m_D kann z.B. dadurch erfolgen, daß jeweils bei einem Nullimpuls der Zählerstand auf einen entsprechenden Wert, in Fig. 2 auf den Wert $ct = 7$, gesetzt wird. Die Endstellung γ_2 für den dem Zylinder C2 zugeordneten Winkelbereich α ist also dann stets nach 7 inkrementellen Winkelschritten $d\gamma$ erreicht und gegenüber dem entsprechenden oberen Totpunkt des Zylinders Z2 um $d\alpha = 2 \cdot d\gamma$ vorverschoben.

In der Praxis werden die oberen Totpunkte der Zylinder nicht immer exakt bei Impulsen des Impulsgebers DET bzw. bei einem Nullimpuls erreicht. Dies ist aber auch nicht erforderlich und ebenso muß der Winkelbereich α , der jeweils nacheinander den Zylindern zugeordnet wird, weder exakt gleich noch dem Winkelabstand zwischen den oberen Totpunkten der Zylinder entsprechen. Da es sich nur um eine Mittelbildung handelt, kann z.B. einem Zylinder durchaus ein etwas kürzerer Winkelbereich zugeordnet sein, wobei sich auch die zum Durchlaufen dieses Winkelbereiches erforderliche Zeit verkürzt. Die mittlere Geschwindigkeit n_α , die gegeben ist als

$$n_\alpha = \alpha/T = \frac{m_\alpha}{m_1} \cdot \frac{2\pi}{T}$$

und aus der im Zähler CT2 gemessenen Zeit T zwischen den Referenzimpulsen gebildet wird, ändert sich nur unwesentlich, wenn der Zähler CT2 jeweils auf den einem veränderten Winkelbereich α' entsprechenden Zählerstand $m_{\alpha'}$ gesetzt wird. Dies ist in Fig. 2 zum Zeitpunkt t_3' dargestellt, bei dem der Zählerstand $m = 10$ vorgegeben wird. Dadurch ist für den Zylinder Z4 ein Winkelbereich $\alpha' = 10 \cdot d\gamma$ bestimmt, so daß sich für die Referenzstellung γ_4 dieses dem Zylinder Z4 zugeordneten Intervalls der Wert $\gamma_4 = \gamma_3 + \alpha' = \gamma_3 + 10 \cdot d\gamma$ ergibt. Im Speicher M2, der durch den Endzustand des Zählers beim Referenzimpuls γ_4 die Zeit T erfaßt, wird dann der Mittelwert $n_\alpha = \alpha'/T$ gebildet, indem der im Zähler stehende, veränderte Wert des Winkelbereichs α' berücksichtigt wird.

Die Mittelwertbildung kann auch über Winkelbereiche α erfolgen, die jeweils kleiner sind als der Abstand der oberen Totpunkte. Während in Fig. 2 jeweils eine Referenzstellung den Endwert eines Winkelbereichs und gleichzeitig den Anfangswert des nächsten Winkelbereichs angibt, können also auch eigene Anfangs- und Endstellungen definiert werden, wobei dann Pausen entstehen, die nicht zur Bildung des Mittelwerts n_α herangezogen werden. Solange die Drehzahl gleichbleibt, sind diese Pausen gleich lang, soll aber bei einer Drehzahländerung die rela-

tive Lage der Winkelbereiche zu den oberen Totpunkten verändert werden, so ergibt die entsprechende Verschiebung der Anfangs- und Endwerte eine vorübergehende Veränderung dieser Pausen. Ebenso ist es auch möglich, die Meßintervalle für die Mittelwertbildung größer als den Abstand der oberen Totpunkte zu wählen, so daß sich diese Winkelbereiche gegenseitig überlappen. Eine bleibende Drehzahländerung bewirkt dann eine vorübergehende Änderung der Überlappung.

Bei dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel sind jedoch die Winkelbereiche derart gewählt, daß ihre Summe bei gleichbleibender Geschwindigkeit gerade den vollen Zyklus des Motors ergeben. Es entstehen also keine Überlappungen oder Pausen und eine Referenzstellung gibt gleichzeitig den Endwert des vorangegangenen Meßintervalles und den Startwert des nächsten Meßintervalles an. Die drehzahlabhängige Verschiebung der Relativlage zwischen Meßbereich und oberen Totpunkt kann dabei durch eine vorübergehende Veränderung des Meßbereichs erreicht werden. Dies ist in Fig. 2 dadurch dargestellt, daß bei einem Nullimpuls m_D bzw. dem zugehörigen Zeitpunkt t' der Zählerstand ct des Zählers CT nicht auf den Wert 7, wie üblicherweise bei der Synchronisation vorgesehen, sondern z.B. auf den Wert 6 gesetzt wird. Der Zähler CT, der bei der vorangegangenen Referenzstellung wie üblich auf den Wert $m = 9$ gesetzt wurde und zum Zeitpunkt t' daher den Zählerstand 7 erreicht hätte, wird dann bereits nach 8 Zähl-schritten wieder rückgesetzt und beendet somit das Zählintervall vorzeitig. Diese einmalige Veränderung des Winkelbereichs α und des Zählers im Drehzahl-signal $n_\alpha = \alpha/T$ des Speichers M2, kann wieder auf die bereits besprochene Weise berücksichtigt werden.

Für diese drehzahlabhängige Lageverschiebung des Winkelbereichs α , die also in diesem Fall über den Zähler CT im Referenzimpulsgeber erfolgt, ist in Fig. 2 ein entsprechender Funktionsbildner FKT vorgesehen, der die entsprechende Lageverschiebung $d\alpha$ bzw. $d\alpha'$ über die Synchronisierung des Zählers CT als Funktion der Drehzahl \bar{n} vorgibt.

Der Mittelwert n_α reagiert empfindlicher auf die Momentenpulsationen des Antriebs als der Mittelwert \bar{n} . Bei Unsymmetrien im Antrieb kommt es daher nicht zu Verstärkungen eines trägen Reglers \bar{R} , der aus der Drehzahlabweichung $n^* - \bar{n}$ einen Sollwert \bar{F}^* für die Voreinstellung des Füllgrades liefert. Zusätzlich ist ein Regler R_α vorgesehen, der von der Regelabweichung $n^* - n_\alpha$ gespeist ist. Sein Ausgangssignal F_α^* , das zur Korrektur der Voreinstellung dient und z.B. an einem Additions-glied AD mit \bar{F}^* additiv überlagert wird, kann die Einspritzpumpen ständig verstellen. Da ohnehin Momentenpulsationen unvermeidlich sind, kann der Regler R_α wesentlich beruhigt werden, wenn Drehzahlabweichungen $n^* - n_\alpha$ innerhalb einer vorgegebenen Schwankungsbreite nicht ausgeglichen werden. Dazu ist in Fig. 3 vorgesehen, dem Regler R_α ein

Totglied vorzuschalten, das erst bei Überschreiten vorgegebener Grenzwerte für $n^* - n_\alpha$ dem Regler R_α ein entsprechendes Regelsignal aufschaltet.

Die Trägheit des Reglers \bar{R} wird vorzugsweise dadurch erreicht, daß ein Integral-Regler oder ein Proportional-Integral-Regler mit dem wesentlichen integralen Verhalten verwendet wird. Für den schnellen Regler R_α dagegen wird ein rein-proportional oder überwiegend proportionales Verhalten bevorzugt.

Insbesondere für den Fall, daß der Füllgrad der einzelnen Einspritzpumpen individuell verstellbar sind, kann die bereits beschriebene Symmetrierung von Zylinder-Unsymmetrien vorteilhaft sein.

Zusätzlich zur gebildeten Erfassung der Drehzahl \bar{n} über den Zähler CT1 (Zählerendstand T nach jeder Periode), den Speicher M1 und den Dividierer DIV1

(Ausgangssignal : $(\text{sign } \bar{n}) \frac{m_1}{T}$) und zu der im Fall der geschilderten Regelung erforderlichen Messung der Drehzahl n_α , benötigt diese Symmetrierung noch die Erfassung von Drehzahlen $n_{\beta j}$, die jeweils möglichst nur den Einfluß eines zugeordneten Zylinders Z_j erfassen.

Eine hierzu geeignete Anordnung zeigt Fig. 4. Dabei ist eine Aufteilung in Winkelbereiche β_j erforderlich, die jeweils ungefähr beim oberen Totpunkt des zugeordneten Zylinders beginnen. Für einen 6-Zylinder/2-Takt-Motor ist diese Winkelaufteilung, die als Funktion der Drehzahl \bar{n} von einem Funktionsspeicher FKT vorgegeben wird, in Fig. 5 dargestellt.

Dabei werden zwölf Winkelstellungen p_i als Referenzstellungen vorgegeben, die von einem in einem Decoder DECOD mitlaufenden zyklischen Zähler gezählt werden können. Eine ungerade Zählfzahl i gibt dabei gemäß $j = (i + 1)/Z$ den Zylinder an, dem der Winkelbereich β_j zugehörig ist, und die Winkelstellung p_i gibt dabei den Referenzwinkel an, bei der der Winkelbereich β_j beginnt (oberer Totpunkt von Z_j) und der Winkelbereich β_{j-1} des vorangegangenen Zylinders endet. Diese Referenzwinkel sind im Funktionsgeber drehzahlunabhängig gespeichert. Falls der geschilderte schnelle Regler vorgesehen ist, geben gerade Zählfzahlen i gemäß $j' = i/2 + 1$ den Zylinder an, dem der Winkelbereich $\alpha_{j'}$ zugeordnet ist und die Winkelstellung p_i gibt den Referenzwinkel an, bei dem der Winkelbereich $\alpha_{j'}$ endet (vor dem oberen Totpunkt von $Z_{j'}$) und der nächste Winkelbereich $\alpha_{j'+1}$ beginnt. Der Abstand $d_\alpha(\bar{n})$ vom oberen Totpunkt wird vom Funktionsspeicher jeweils bei einem Nullimpuls neu in Abhängigkeit von der Drehzahl nach einer gespeicherten Funktion vorgegeben, wodurch sich also auch die Breite des Bereiches α_2 ändern kann.

Der Zähler CT wird jeweils bei der Stellung p_1 rückgesetzt und liefert durch Zählung der inkrementellen Winkelschritte $d\gamma$ also einen auf p_1 bezogenen Winkel, der im Dekoder DECOD mit dem ausgelesenen Referenzwinkel p_2 verglichen wird. Ist dieser Win-

kel erreicht, so wird von DECOD der zweite Impuls erzeugt und der Referenzwinkel p_3 eingelesen, bis nach dem zwölften Zählimpuls ein neuer Zyklus beginnt, dessen erster Impuls vom Nullimpuls m_0 ausgelöst werden kann.

Bei jeder geraden Zählfzahl i startet der Impuls auf die beschriebene Weise den Zähler CT2 erneut, dessen Zählerendstand T_α in den Speicher M2 eingelesen wurde, um am nachgeschalteten Dividierer DIV2 die mittlere Geschwindigkeit $n_\alpha = (\alpha_j/T_\alpha) \cdot \text{sign } \bar{n}$ zu bilden. Hierzu wurde die Breite α_j , dieses Winkelbereichs mittels dieses Impulses aus dem Funktionsspeicher abgerufen und am Multiplizierer MP mit dem Signal des Drehrichtungsdetektors SIGN multipliziert.

Bei jeder ungeraden Zählfzahl i wird der gleiche Vorgang für die Winkelbereiche β_j mittels des Zylinders CT3 (Zählerendstand T_β) und des Dividierers DIV3 wiederholt. Der dabei entstehende Mittelwert $n_{\beta j} = \beta_j/T_\beta$ wird aber entsprechend seiner Zuordnung zum Zylinder Z_j über einen Multiplex-Schalter einer Überwachungseinrichtung (im einfachsten Fall einem Display DIS) zugeführt.

Eine Unsymmetrie der Zylinder kann ausgeregelt werden, indem $n_{\beta j}$ einer Speichereinrichtung M3 zugeführt wird. Die Abweichung $n^* - n_{\beta j}$ kann dabei über mehrere Umdrehungen gemittelt werden, um einen jeweils dem Zylinder Z_j zugeordneten Korrekturwert F_j^* zu erhalten. Der Füllgrad des Zylinders Z_j wird dann mit $\bar{F}^* + F_\alpha^* + F_j^*$ unabhängig von den Einspritzpumpen der anderen Zylinder gesteuert.

Dieser und ähnliche Eingriffe stabilisieren den Betrieb der Regler \bar{R} und R_α .

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines langsam laufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors, wobei

- a1) jedem Zylinder ($Z_1 \dots Z_2$) ein vor dessen oberem Totpunkt ($t_1, t_2, t_3 \dots$) liegender Winkelbereich ($\alpha ; \alpha_1 \dots \alpha_6$) aus dem Zyklus des Motors zugeordnet wird,
- a2) ein über mehrere der Winkelbereiche ($\alpha ; \alpha_1 \dots \alpha_6$) gemittelter, erster Geschwindigkeits-Istwert (\bar{n}) der Kurbelwelle gebildet wird, und
- a3) der erste Geschwindigkeits-Istwert (\bar{n}) mit einem ersten Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) verglichen und einem trägen Regler (\bar{R}) zugeführt wird, und wobei
 - b1) Winkelstellungen ($\gamma ; \gamma_1 \dots \gamma_6$) der Kurbelwelle festgelegt werden, welche jeweils dem Endwinkel ($\gamma_1 \dots \gamma_6$) des vor dem oberen Totpunkt des jeweiligen Zylinders ($Z_1 \dots Z_6$) liegenden Winkelbereiches ($\alpha ; \alpha_1 \dots \alpha_6$) entsprechen,
 - b2) bei Erreichen der jeweiligen Winkelstellung

- ($\gamma_1 \dots \gamma_6$) ein zweiter Geschwindigkeits-Istwert (n_α) der Kurbelwelle gebildet wird, welcher der mittleren Geschwindigkeit der Kurbelwelle im jeweils vorangegangenen Winkelbereich (α , $\alpha_1 \dots \alpha_6$) entspricht, und
- b3) der zweite Geschwindigkeits-Istwert (n_α) mit einem zweiten Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) verglichen und einem schnellen Regler (R_α) zugeführt wird, und wobei
- c1) das Ausgangssignal (\bar{F}^*) des trägen Reglers (\bar{R}) zur Voreinstellung der Füllgrade aller Zylinder (Z1... Z6) herangezogen wird, und
- c2) das Ausgangssignal (F_α^*) des schnellen Reglers (R_α) zur Anpassung der Voreinstellung des Füllgrades für den jeweiligen Zylinder (Z1... Z6) herangezogen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der träge Regler (\bar{R}) im wesentlichen integrales Verhalten, der schnelle Regler (R_α) im wesentlichen proportionales Verhalten hat.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Winkelbereiche (α , $\alpha_1 \dots \alpha_6$) zumindest ungefähr jeweils dem Winkelabstand der Kurbelwelle zwischen den oberen Totpunkten zweier benachbarter Zylinder (Z1... Z6) entsprechen.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abstand (d_α (\bar{n})) eines Winkelbereiches ($\alpha_1 \dots \alpha_6$) vom oberen Totpunkt des zugeordneten Zylinders (Z1... Z6) drehzahlabhängig (\bar{n}) verstellt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei gleichbleibender Drehzahl (\bar{n}) der Kurbelwelle die Summe der Winkelbereiche ($\alpha_1 \dots \alpha_6$) den ganzen Zyklus des Motors ergeben, und daß zur Veränderung des Abstandes einer der Winkelbereiche ($\alpha_1 \dots \alpha_6$) vorübergehend verändert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß beim Vergleich des zweiten Geschwindigkeits-Istwertes (n_α) mit dem zweiten Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) Abweichungen unterdrückt werden, die unterhalb einer vorgegebenen Schwelle (DT) liegen.

7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Winkelstellung (γ) der Kurbelwelle fortlaufend erfaßt wird, der Winkelbereich (α , $\alpha_1 \dots \alpha_6$) durch Vorgabe eines Anfangswertes und eines Endwertes ($\gamma_1 \dots \gamma_6$; P_i) vorgegeben wird, die Zeit (T) zwischen dem Erreichen des Anfangswertes und des Endwertes gemessen und aus der gemessenen Zeit (T) der zweite Geschwindigkeits-Istwert (n_α) bestimmt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der erste Geschwindigkeits-Istwert (\bar{n}) durch Messen der für jeweils einen ganzen Zyklus des Motors benötigten Zeit bestimmt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß eine einem der Zylinder zugeordnete

mittlere Drehgeschwindigkeit ($n_{\beta j}$) gemessen wird, mit der die Kurbelwelle einen praktisch beim oberen Totpunkt dieses einen der Zylinder (Z_j) beginnenden Winkelbereich (β_j) durchläuft, daß die mittlere Drehgeschwindigkeit ($n_{\beta j}$) mit einem Sollwert (n^*) verglichen wird und damit der Füllgrad des dieser Geschwindigkeit ($n_{\beta j}$) zugeordneten Zylinders (Z_j) korrigiert wird.

10. Vorrichtung zur Drehzahlregelung eines langsam laufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors mit

- a) einem an die Kurbelwelle gekoppelten Winkelgeber (DET, CT), der die aktuelle Winkelstellung (γ) der Kurbelwelle fortlaufend erfaßt und bei Erreichen vorgegebener Referenzwinkelstellungen (γ_1 , γ_2, \dots) der Kurbelwelle jeweils einen Referenzimpuls abgibt,
- b) an den Winkelgeber (DET, CT) angeschlossenen Mitteln (CT1, M1, DIV1) zur Bildung eines ersten, gemittelten Geschwindigkeits-Istwertes (\bar{n}), mit der die Kurbelwelle mehr als zwei Referenzwinkelstellungen (γ_1 , γ_2, \dots) durchläuft,
- c) an den Winkelgeber (DET, CT) angeschlossenen Mitteln (CT2, M2, DIV2) zur Bildung eines zweiten, gemittelten Geschwindigkeits-Istwertes (n_α), mit der die Kurbelwelle einen jeweils durch zwei Referenzwinkelstellungen gegebenen und vor dem oberen Totpunkt des jeweiligen Zylinders liegenden Winkelbereich ($\alpha_1 \dots \alpha_6$) durchläuft,
- d) einem von der Differenz ($\bar{n} - n^*$) aus dem ersten Geschwindigkeits-Istwert (\bar{n}) mit dem ersten Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) gespeisten trägen Regler (\bar{R}), der ein erstes Regelsignal (\bar{F}^*) erzeugt,
- e) einem von der Differenz ($n_\alpha - n^*$) aus dem zweiten Geschwindigkeits-Istwert (n_α) mit dem zweiten Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) gespeisten schnellen Regler (R_α), der ein zweites Regelsignal (F_α^*) erzeugt, und
- f) Mitteln (P1, ..., P4) zur Steuerung des Füllgrades der einzelnen Zylinder in Abhängigkeit von der Summe (AD) der beiden Regelsignale ($\bar{F}^* + F_\alpha^*$).

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **gekennzeichnet durch** Mittel (FKT, ST), welche die Lage der Winkelbereiche (α , $\alpha_1 \dots \alpha_6$) relativ zu den oberen Totpunkten der Zylinder (Z1... Z6) geschwindigkeitsabhängig (\bar{n}) verstellen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, **gekennzeichnet durch** ein Totglied (DT) zur Unterdrückung kleiner Werte der Differenz ($n_\alpha - n^*$) aus dem zweiten Geschwindigkeits-Istwert (n_α) mit dem zweiten Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) am Eingang des schnellen Reglers (R_α).

13. Vorrichtung nach Anspruch 11, **gekennzeichnet durch**

zeichnet durch Mittel (CT3, DIV3) zur Bildung eines dritten Mittelwertes ($\bar{n}_{\beta j}$) der Geschwindigkeit, mit der die Kurbelwelle nach dem Durchlaufen des oberen Totpunktes (T_j) eines Zylinders (Z_j) einen diesem Zylinder zugeordneten weiteren Winkelbereich (β_j) durchläuft, und Mitteln (F_j^*) zur Veränderung des Füllgrades dieses Zylinders (Z_j) in Abhängigkeit von diesem dritten Mittelwert ($\bar{n}_{\beta j}$) (FIG 4, 5).

Claims

1. Method for regulating a slow-running multi-cylinder diesel engine, whereby

- a1) with each cylinder ($Z1... Z2$) there is associated an angular region (α ; $\alpha_1... \alpha_6$), lying in front of its upper dead centre ($t1, t2, t3...$), from the cycle of the engine,
- a2) a first actual speed value (\bar{n}) of the crankshaft, averaged by means of several of the angular regions (α ; $\alpha_1... \alpha_6$), is formed, and
- a3) the first actual speed value (\bar{n}) is compared with a first desired speed value (n^*) and is supplied to a slow regulator (\bar{R}), and whereby
 - b1) angular positions (γ ; $\gamma_1... \gamma_6$) of the crankshaft are established, which in each case correspond with the end angle ($\gamma_1... \gamma_6$) of the angular region (α ; $\alpha_1... \alpha_6$) lying in front of the upper dead centre of the respective cylinder ($Z1... Z6$),
 - b2) on reaching the respective angular position ($\gamma_1... \gamma_6$) a second actual speed value (n_α) of the crankshaft is formed, which corresponds with the average speed of the crankshaft in the respectively preceding angular region ($\alpha, \alpha_1... \alpha_6$), and
 - b3) the second actual speed value (n_α) is compared with a second desired speed value (n^*) and is supplied to a fast regulator (R_α), and whereby
 - c1) the output signal (\bar{F}^*) of the slow regulator (\bar{R}) is used for the preadjustment of the filling ratios of all cylinders ($Z1... Z6$), and
 - c2) the output signal (F_α^*) of the fast regulator (R_α) is used for the adaptation of the preadjustment of the filling ratio for the respective cylinder ($Z1... Z6$).

2. Method according to claim 1, characterized in that the slow regulator (\bar{R}) has substantially integral behaviour, the fast regulator (R_α) substantially proportional behaviour.

3. Method according to claim 1, characterized in that the angular regions ($\alpha, \alpha_1... \alpha_6$) correspond at least approximately in each case with the angular distance of the crankshaft between the upper dead centres of the two adjacent cylinders ($Z1... Z6$).

4. Method according to claim 3, characterized in that the distance ($d_\alpha(\bar{n})$) of an angular region ($\alpha_1... \alpha_6$) from the upper dead centre of the associated cylinder ($Z1... Z6$) is adjusted dependent on rotational speed (\bar{n}).

5. Method according to claim 4, characterized in that with constant rotational speed (\bar{n}) of the crankshaft the sum of the angular regions ($\alpha_1... \alpha_6$) results in the entire cycle of the engine, and in that to change the distance one of the angular regions ($\alpha_1... \alpha_6$) is temporarily changed.

6. Method according to claim 1, characterized in that in the comparison of the second actual speed value (n_α) with the second desired speed value (n^*) deviations which lie beneath a specified threshold (DT) are suppressed.

7. Method according to claim 1, characterized in that the angular position (γ) of the crankshaft is continuously detected, the angular region ($\alpha, \alpha_1... \alpha_6$) is specified through specification of an initial value and a final value ($\gamma_1... \gamma_6$; P_i), the time (T) between reaching the initial value and the final value is measured and from the measured time (T) the second actual speed value (n_α) is determined.

8. Method according to claim 1, characterized in that the first actual speed value (\bar{n}) is determined by measuring the time required for an entire cycle of the engine in each case.

9. Method according to claim 1, characterized in that an average rotational speed ($\bar{n}_{\beta j}$) associated with one of the cylinders is measured, with which the crankshaft passes through an angular region (β_j) beginning practically at the upper dead centre of this one of the cylinders (Z_j), in that the average rotational speed ($\bar{n}_{\beta j}$) is compared with a desired value (n^*) and the filling ratio of the cylinder (Z_j) associated with this speed ($\bar{n}_{\beta j}$) is corrected thereby.

10. Device for regulating the rotational speed of a slow-running multi-cylinder diesel engine, having

- a) an angle transmitter (DET, CT), coupled to the crankshaft, which continuously detects the actual angular position (γ) of the crankshaft and on reaching specified reference angular positions ($\gamma_1, \gamma_2, ...$) of the crankshaft in each case emits a reference pulse,
- b) means (CT1, M1, DIV1), attached to the angle transmitter (DET, CT), for the formation of a first averaged actual speed value (\bar{n}), with which the crankshaft passes through more than two reference angular positions ($\gamma_1, \gamma_2, ...$),
- c) means (CT2, M2, DIV2), attached to the angle transmitter (DET, CT), for the formation of a second averaged actual speed value (n_α), with which the crankshaft passes through an angular region ($\alpha_1... \alpha_6$) in each case given by two reference angular positions and lying in front of the upper dead centre of the respective cylinder.

- der,
- d) a slow regulator (\bar{R}), supplied from the difference ($\bar{n} - n^*$) of the first actual speed value (\bar{n}) with the first desired speed value (n^*), which regulator produces a first regulating signal (\bar{F}^*),
- e) a fast regulator (R_α), supplied from the difference ($n_\alpha - n^*$) of the second actual speed value (n_α) with the second desired speed value (n^*), which regulator produces a second regulating signal (F_α^*), and
- f) means (P1,..., P4) for the control of the filling ratio of the individual cylinders in dependence upon the sum (AD) of the two regulating signals ($\bar{F}^* + F_\alpha^*$).

11. Device according to claim 10, characterized by means (FKT, ST) which adjust the position of the angular regions ($\alpha, \alpha_1 \dots \alpha_6$) relative to the upper dead centres of the cylinders (Z1... Z6) in a manner dependent on speed (\bar{n}).

12. Device according to claim 11, characterized by a dead element (DT) for the suppression of small values of the difference ($n_\alpha - n^*$) of the second actual speed value (n_α) with the second desired speed value (n^*) at the input of the fast regulator (R_α).

13. Device according to claim 11, characterized by means (CT3, DIV3) for the formation of a third mean value ($n_{\beta j}$) of the speed, with which the crankshaft, after passing through the upper dead centre (T_j) of a cylinder (Z_j), passes through a further angular region (β_j) associated with this cylinder, and means (F_j^*) for changing the filling ratio of this cylinder (Z_j) in dependence upon this third mean value ($n_{\beta j}$) (Figures 4, 5).

Revendications

1. Procédé pour régler un moteur diesel lent à plusieurs cylindres, selon lequel

- a1) à chaque cylindre (Z1... Z2) est associée une plage angulaire ($\alpha ; \alpha_1 \dots \alpha_6$) située en amont du point mort haut ($t_1, t_2, t_3 \dots$) de ce cylindre et tirée du cycle du moteur,
- a2) une première valeur réelle (\bar{n}) de la vitesse du vilebrequin, déterminée dans plusieurs des plages angulaires ($\alpha ; \alpha_1 \dots \alpha_6$) est formée, et
- a3) la première valeur réelle (\bar{n}) de la vitesse est comparée à une première valeur de consigne (n^*) de la vitesse et est envoyée à un régulateur lent (\bar{R}), et
- b1) des positions angulaires ($\gamma ; \gamma_1 \dots \gamma_6$) du vilebrequin, qui correspondent respectivement aux angles d'extrémité ($\gamma_1 \dots \gamma_6$) de la plage angulaire ($\alpha ; \alpha_1 \dots \alpha_6$) située en amont du point mort haut du cylindre respectif (Z1... Z6), sont déter-

- minées,
- b2) lorsque la position angulaire respective ($\gamma_1 \dots \gamma_6$) est atteinte, une seconde valeur réelle (n_α) de la vitesse du vilebrequin, qui correspond à la vitesse moyenne du vilebrequin dans la plage angulaire respectivement précédente ($\alpha, \alpha_1 \dots \alpha_6$), est formée, et
- b3) la seconde valeur réelle (n_α) de la vitesse est comparée à une seconde valeur de consigne (n^*) de la vitesse et est envoyée à un régulateur rapide (R_α), et
- c1) le signal de sortie (\bar{F}^*) du régulateur lent (\bar{R}) est utilisé pour prérégler le degré de remplissage de tous les cylindres (Z1... Z6), et
- c2) le signal de sortie (F_α^*) du régulateur rapide (R_α) est utilisé pour adapter le préréglage du degré de remplissage pour le cylindre respectif (Z1... Z6).

2. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que le régulateur lent (\bar{R}) a un comportement essentiellement intégral et que le régulateur (R_α) a un comportement essentiellement proportionnel.

3. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que les plages angulaires respectives ($\alpha, \alpha_1 \dots \alpha_6$) correspondent au moins approximativement à la valeur angulaire du vilebrequin entre les points morts hauts de deux cylindres (Z1... Z6) voisins.

4. Procédé suivant la revendication 3, caractérisé par le fait que la distance ($d_\alpha(\bar{n})$) entre une plage angulaire ($\alpha_1 \dots \alpha_6$) et le point mort haut du cylindre (Z1... Z6) associé est réglée en fonction de la vitesse de rotation (\bar{n}).

5. Procédé suivant la revendication 4, caractérisé par le fait que, pour une vitesse de rotation constante (\bar{n}) du vilebrequin, la somme des plages angulaires ($\alpha_1 \dots \alpha_6$) fournit l'ensemble du cycle du moteur et que pour modifier la distance, on modifie transitoirement l'une des plages angulaires ($\alpha_1 \dots \alpha_6$).

6. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que lors de la comparaison de la seconde valeur réelle de (n_α) de la vitesse à la seconde valeur de consigne (n^*) de la vitesse, on supprime des écarts qui sont inférieurs à un seuil (DT) prédéterminé.

7. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que la position angulaire (γ) du vilebrequin est détectée en permanence, que la plage angulaire ($\alpha, \alpha_1 \dots \alpha_6$) est prédéterminée au moyen de la prédétermination d'une valeur initiale et d'une valeur finale ($\gamma_1 \dots \gamma_6 ; P_i$), qu'on mesure la durée (T) entre les instants où sont atteintes la valeur initiale et la valeur finale et qu'on détermine, à partir de la durée mesurée (T), la seconde valeur (n_α) de la vitesse.

8. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait que la première valeur réelle (\bar{n}) de la vitesse est déterminée au moyen de la mesure de la durée respectivement nécessaire pour un cycle

complet du moteur.

9. Procédé suivant la revendication 1, caractérisé par le fait qu'on mesure une vitesse de rotation moyenne ($n_{\beta j}$), qui est associée au cylindre et avec laquelle le vilebrequin parcourt une plage angulaire (β_j) qui commence pratiquement au niveau du point mort haut dudit cylindre (Z_j), que l'on compare la vitesse de rotation moyenne ($n_{\beta j}$) à une valeur de consigne (n^*) et que l'on corrige au moyen de cette vitesse le degré de remplissage du cylindre (Z_j) associé à cette vitesse ($n_{\beta j}$).

10. Procédé pour régler la vitesse de rotation d'un moteur diesel lent à plusieurs cylindres, comportant

- a) un capteur angulaire (DET, CT), qui est accouplé au vilebrequin, détecte en permanence la position angulaire réelle (γ) du vilebrequin et délivre respectivement une impulsion de référence lorsque des positions de référence prédéterminées ($\gamma_1, \gamma_2, \dots$) du vilebrequin sont atteintes, 15
- b) des moyens (CT1, M1, DIV1) raccordés au capteur angulaire (DET, CT) et servant à former une première valeur réelle moyenne (\bar{n}) de la vitesse, avec laquelle le vilebrequin franchit plus de deux positions angulaires de référence ($\gamma_1, \gamma_2, \dots$), 20
- c) des moyens (CT2, M2, DIV2) raccordés au capteur angulaire (DET, CT) et servant à former une seconde valeur réelle moyenne (n_α) de la vitesse, avec laquelle le vilebrequin parcourt une plage angulaire ($\alpha_1 \dots \alpha_6$) déterminée respectivement par deux positions angulaires de référence et situées en amont du point mort haut du cylindre respectif, 25
- d) un régulateur lent (\bar{R}), qui est alimenté par la différence ($\bar{n} - n^*$) entre la première valeur réelle (\bar{n}) de la vitesse et la première valeur de consigne (n^*) de la vitesse et produit un premier signal de réglage (\bar{F}^*), 30
- e) un régulateur rapide (R_α), qui est alimenté par la différence ($n_\alpha - n^*$) entre la seconde valeur réelle (n_α) de la vitesse et la seconde valeur de consigne (n^*) de la vitesse et produit un second signal de réglage (F_α^*), et 35
- f) des moyens (P1... P4) servant à commander le degré de remplissage des cylindres individuels en fonction de la somme (AD) des deux signaux de réglage ($\bar{F}^* + F_\alpha^*$). 40

11. Dispositif suivant la revendication 10, caractérisé par des moyens (FKT, ST), qui déplacent la position des plages angulaires ($\alpha, \alpha_1 \dots \alpha_6$) par rapport aux points morts hauts des cylindres ($Z1 \dots Z6$), en fonction de la vitesse (\bar{n}). 45

12. Dispositif suivant la revendication 11, caractérisé par un circuit d'élimination (DT) servant à supprimer de petites valeurs de la différence ($n_\alpha - n^*$) 50

entre la seconde valeur réelle (n_α) de la vitesse et la seconde valeur de consigne (n^*) de la vitesse à l'entrée du régulateur rapide (R_α).

13. Dispositif suivant la revendication 11, caractérisé par des moyens (CD3, DIV3) servant à former une troisième valeur de mesure ($n_{\beta j}$) de la vitesse, avec laquelle le vilebrequin parcourt, après avoir franchi le point mort haut (T_j) d'un cylindre (Z_j), une autre plage angulaire (β_j) associée à ce cylindre, et des moyens (F_j^*) servant à modifier le degré de remplissage de ce cylindre (Z_j) en fonction de cette troisième valeur moyenne ($n_{\beta j}$) (figures 4, 5). 55

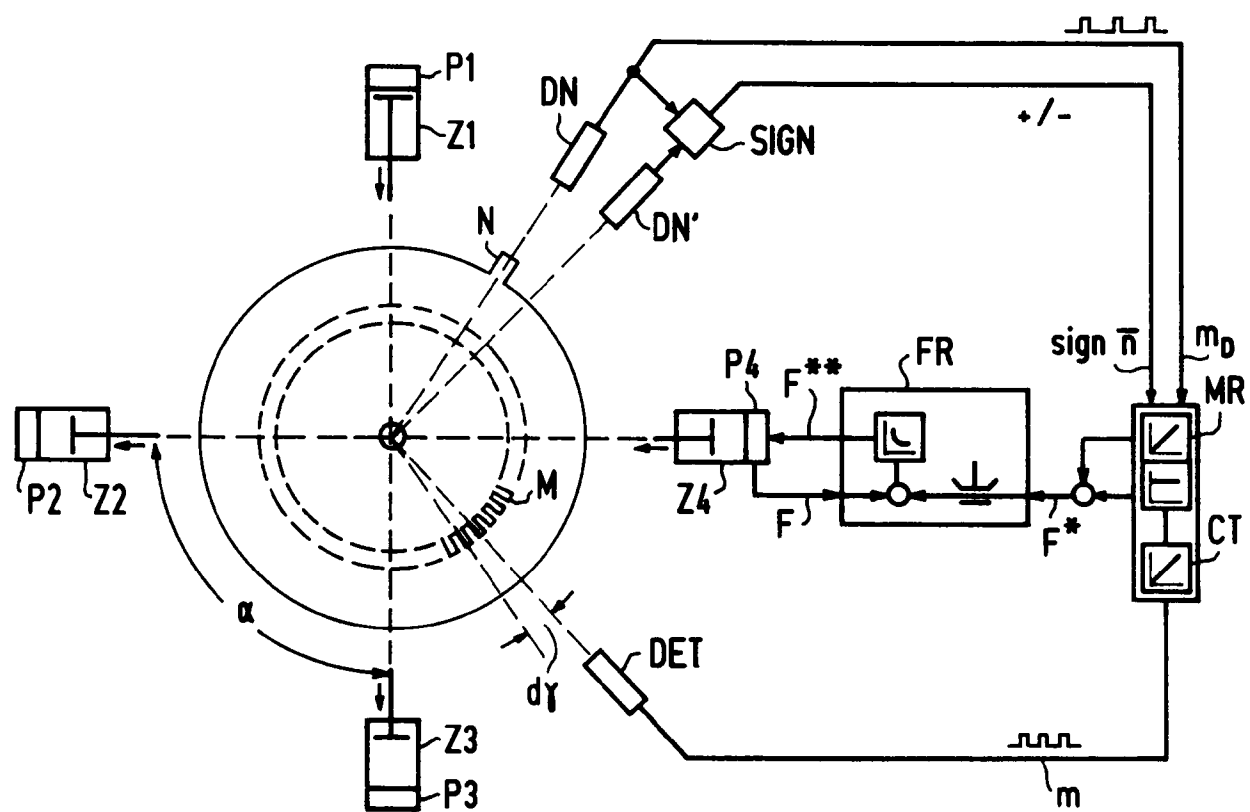


FIG 1

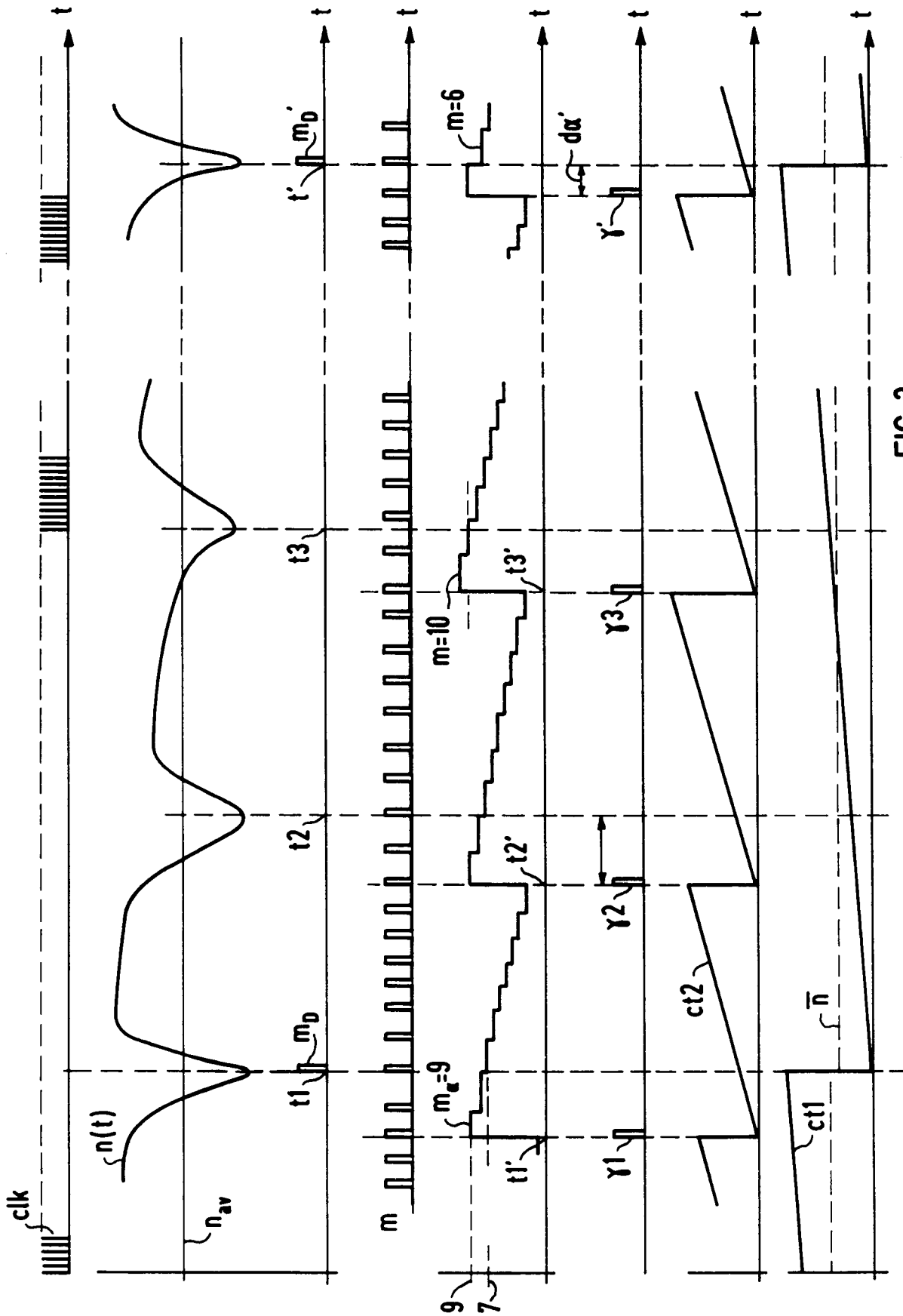


FIG 2

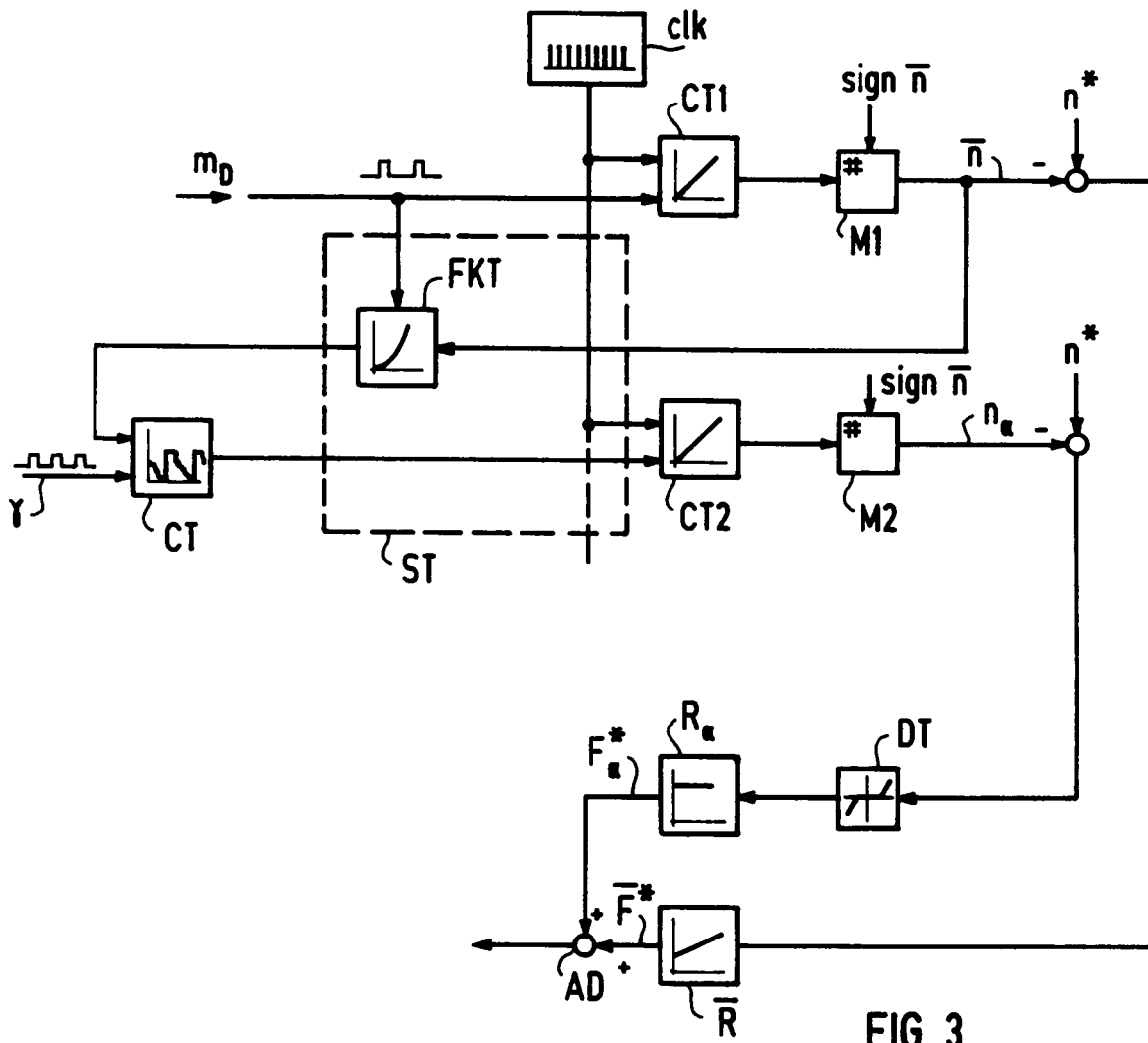


FIG 3

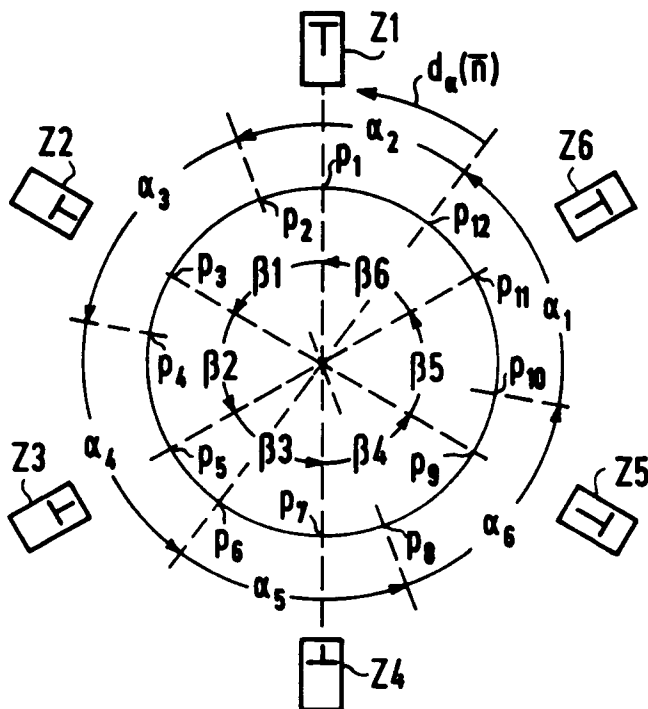


FIG 5

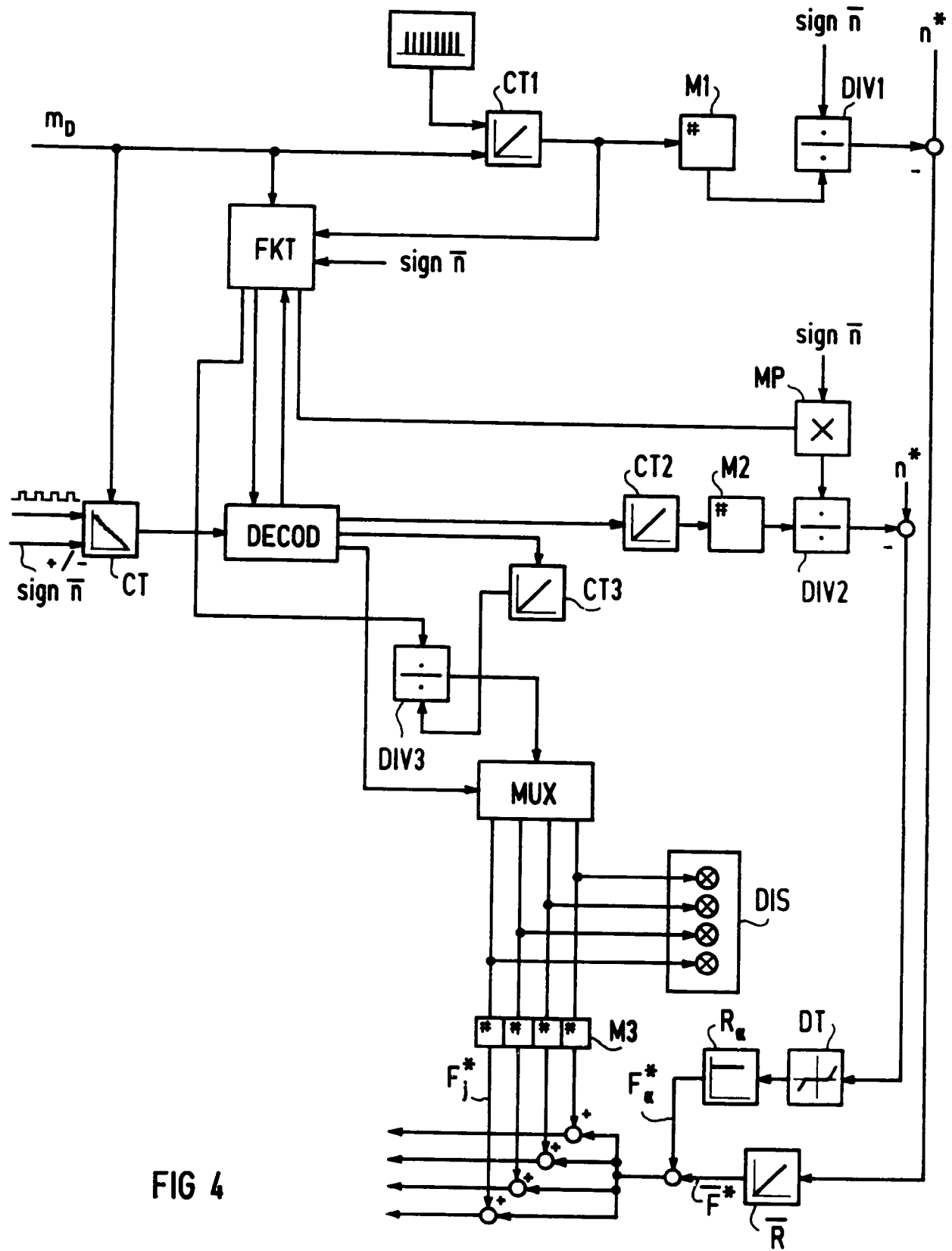


FIG 4