



12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: 90112597.1 51 Int. Cl.⁵: F02D 41/14, F02D 41/38

22 Anmeldetag: 02.07.90

<p>30 Priorität: 07.07.89 PCT/DE89/00450</p> <p>43 Veröffentlichungstag der Anmeldung: 09.01.91 Patentblatt 91/02</p> <p>84 Benannte Vertragsstaaten: DK ES GR</p>	<p>71 Anmelder: Siemens Aktiengesellschaft Wittelsbacherplatz 2 D-8000 München 2(DE)</p> <p>72 Erfinder: Strop, Jürgen, Dipl.-Ing. Lindenstrasse 14 D-8521 Langensendelbach(DE)</p>
--	---

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

57 Beim Betrieb eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors wird ein erster, praktisch über den ganzen Motorzyklus gemittelter Drehzahl-Mittelwert \bar{n} und ein zweiter Mittelwert n_α gebildet, wobei n_α nur über einen Winkelbereich gemittelt ist, der dem Abstand zwischen zwei oberen Totpunkten entspricht. Dieser Winkelbereich ist gegenüber dem oberen Totpunkt um einen drehzahlabhängigen Winkel vorverschoben. Die Drehzahlabweichung $n^* - \bar{n}$ wird von einem trägen Regler und die Drehzahlabweichung $n^* - n_\alpha$ von einem schnellen Regler ausgeglichen. Beide Regler arbeiten auf die Füllung der Zylinder. Der träge Regler bewirkt nur schwache Füllgrad-Änderungen, der schnelle Regler erlaubt bei Störungen einen schnellen Eingriff.

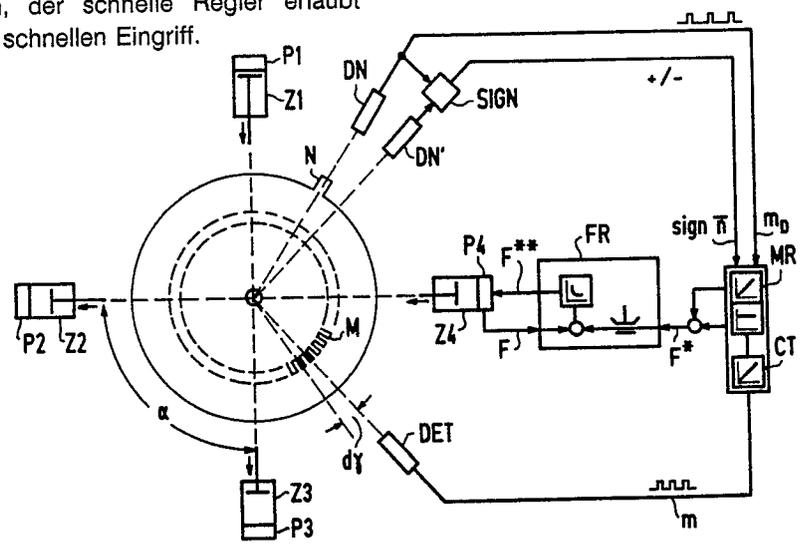


FIG 1

EP 0 406 765 A1

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR DREHZAHLREGELUNG EINES LANGSAMLAUFENDEN, MEHRZYLINDRISCHEN DIESELMOTORS

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 unerwünschten hohen Verschleiß am Füllungsgestänge und eine unnötig große mechanische Verstellarbeit.

Andererseits können Sprünge im aufgebrachtten 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 schnelldrehende Verbrennungsmotoren, insbesondere in Kraftfahrzeugen, ist in der europäischen Patentanmeldung 120 730 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 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.

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 15 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur erfindungsgemäßen Drehzahlregelung angegeben. Die Ansprüche 10 und 12 enthalten die Merkmale des erfindungsgemäßen Verfahrens und der Vorrichtung zur Drehzahlerfassung.

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_x 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_{xvor} .

Im stationären Betrieb, bei dem das Antriebsmoment aller Zylinder gleichmäßig zur Aufrechterhaltung einer Soll Drehzahl 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 120 730 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 Steuereinrichtung 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 Nähe-

rungsschalters, 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 m_1 von Marken M trägt. Definiert man eine bestimmte Ausgangsstellung der Kurbelwelle als Nullpunkt, so erzeugt der Detektor DET also jeweils nach einer Drehung um $d\gamma = 360^\circ / m_1$ 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. Z2) die Stellung annimmt, die zuvor der vorangegangene Zylinder (z.B. Z1) 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 Z1 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

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

5 wobei m_1 die Zahl der pro Zyklus den Detektor DET passierenden Marken M ist. Sind die Marken über ein Getriebe mit dem Übersetzungsverhältnis $\frac{m_2}{m_1} : 1$ 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:

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

15

20 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 Nullimpulsgebers DN erfaßt werden.

35 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.

40 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 aufgebrachtene 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 zu geordneten 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 120 730 für schnellaufende, elektrisch gezündete 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 ei-

nes 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 Zeitimpulsgebers clk dargestellt. Die Kurve $n(t)$ gibt die momentane Drehgeschwindigkeit, d.h. die zeitliche Ableitung $d\gamma/dt$ des Drehwinkels γ der Motorwelle. Gegenüber dem langfristigen Mittelwert n_{av} zeigt dieser Istwert jeweils erhebliche Einbrüche an den Zeitpunkten $t_1 \dots t_4$, an denen jeweils die Zylinder ihren oberen Totpunkt erreichen. Zum Zeitpunkt t_1 , der mit einem Nullimpuls m_D des Nullimpulsdetektors DM 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 ct_1 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 ct_2 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 t_2' zugeordnet, während der Zeitpunkt t_1' 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 t_2) um

den Verschiebungswinkel $d\alpha$ vorverlegt. Zum Zeitpunkt t_2' 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 $\text{sign } \bar{n} \cdot (1/ct_2)$ wird über den schnellen Regler das Füllungsgestänge 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 $d\gamma$. 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_α' 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 relative 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 Zählritten wieder rückgesetzt und beendet somit das Zählintervall vorzeitig. Diese einmalige Veränderung des Winkelbereichs α und des Zählers im Drehzahlsignal $n_\alpha = \alpha/T$ des Speichers M2, kann wieder auf die bereits besprochene Weise berücksichtigt werden.

Für diese drehzahlabhängige Lageverschie-

bung 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 Verstellungen 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 Additionsglied 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 ausgeregelt 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: $(\text{sign } \bar{n}) \cdot \frac{1}{T}$) und zu der im Fall der geschilderten Regelung erforderlichen Messung der Drehzahl n_α , benötigt diese Symmetrierung noch die Erfassung von Drehzahlen n_{β_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 Zählzahl 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 dem der Winkelbereich β_j beginnt (oberer Totpunkt von Z_j) und der Winkelbereich β_{j-1} des vorangegangenen Zählers endet. Diese Referenzwinkel sind im Funktionsgeber drehzahlunabhängig gespeichert. Falls der geschilderte schnelle Regler vorgesehen ist, geben gerade Zählzahlen i gemäß $j = i/2 + 1$ den Zylinder an, dem der Winkelbereich α_j zugeordnet ist und die Winkelstellung p_i gibt den Referenzwinkel an, bei dem der Winkelbereich α_j endet (vor dem oberen Totpunkt von Z_j) und der nächste Winkelbereich α_{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 Winkel 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_D ausgelöst werden kann.

Bei jeder geraden Zählzahl 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 Zählzahl i wird der gleiche Vorgang für die Winkelbereiche β_j mittels des Zählers 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_{β_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 derart, daß in manchen Fällen auch auf die Verwendung zweier Regler verzichtet werden kann.

Ansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors mit folgenden Merkmalen:

a) Bei definierten Winkelstellungen (γ, Π) der Kurbelwelle, die jeweils dem oberen Totpunkt von einem der Zylinder (Z_1, \dots, Z_6) zugeordnet sind und die Endwinkel ($\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_j$) eines vorgegebenen, vor diesem Totpunkt liegenden Winkelbereiches ($\alpha; \alpha'; \alpha_1, \dots, \alpha_6; \alpha_j$) darstellen, wird jeweils ein Istwert (n_α) für die mittlere Geschwindigkeit, mit der die Kurbelwelle den Winkelbereich ($\alpha; \alpha'; \alpha_1, \dots, \alpha_6; \alpha_j$) durchlaufen hat, gebildet, mit einem Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) verglichen und einem schnellen Regler (R_α) zugeführt,

b) eine mindestens über mehrere der vorgegebenen Winkelbereiche gemittelte Drehzahl (\bar{n}) der Kurbelwelle wird gemessen, mit einem Geschwindigkeits-Sollwert (n^*) verglichen und einem trägen Regler (\bar{R}) zugeführt, und

c) mit dem Ausgangssignal (F^*) des trägen Reglers (\bar{R}) wird allen Zylindern (Z_1, \dots, Z_6) eine Voreinstellung ihrer Füllgrade vorgegeben, und mittels des Ausgangssignals (F_α^*) des schnellen Reglers (R_α) wird die Voreinstellung dieser Füllgrade verstellt.

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 der Winkelbereich ($\alpha; \alpha'; \alpha_1, \dots, \alpha_6; \alpha_j$) zumindest ungefähr dem Winkelabstand der Kurbelwelle zwischen den oberen Totpunkten zweier benachbarter Zylinder (Z_1, \dots, Z_6) entspricht.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Abstand ($d\alpha(\bar{n})$) des Winkelbereiches ($\alpha_1, \dots, \alpha_6$) vom oberen Totpunkt des zugeordneten Zylinders (Z_1, \dots, Z_6) drehzahlabhängig (\bar{n}) verstellt wird.

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

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

le (DT) liegen.

7. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Winkelstellung (γ) der Kurbelwelle fortlaufend erfaßt wird, der Winkelbereich ($\alpha; \alpha'; \alpha_1, \dots, \alpha_6; \alpha_j$) durch Vorgabe eines Anfangswertes und eines Endwertes ($\gamma_1, \dots, \gamma_6; \Pi$) vorgegeben wird, die Zeit (T) zwischen dem Erreichen des Anfangswertes und des Endwertes gemessen und aus der gemessenen Zeit (T) die Drehgeschwindigkeit (n_α) bestimmt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Drehzahl (\bar{n}) durch Messen der für jeweils einen ganzen Zyklus des Dieselmotors 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. Verfahren zur Geschwindigkeitserfassung einer Kurbelwelle eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors mit folgenden Merkmalen:

a) An der Kurbelwelle wird der momentane Drehwinkel (γ) gemessen (DET, CT),

b) durch Messung der Zeit, die von der Kurbelwelle benötigt wird, um einen sich über die oberen Totpunkte mehrerer Zylinder (Z_1, \dots, Z_6) erstreckenden Winkelbereich ($\alpha; \alpha_1, \dots, \alpha_6$) zu durchlaufen, wird eine erste, mittlere Geschwindigkeit (\bar{n}, n_{av}) der Kurbelwelle gemessen und

c) für jeden Zylinder ($Z_1, \dots, Z_6; T_j$) wird eine auf eine vorgegebene Referenzstellung bezogene Anfangsstellung und Endstellung (Π) der Kurbelwelle in Abhängigkeit von der ersten mittleren Geschwindigkeit (\bar{n}, n_{av}) vorgegeben und eine diesen Zylindern (T_j, Z_j) zugeordnete, zweite mittlere Geschwindigkeit ($n_{\beta j}$) gemessen, mit der die Kurbelwelle den Winkelbereich (β_j) zwischen Anfangsstellung und Endstellung ($\gamma_1, \gamma_2, \dots$) durchläuft.

11. Verfahren nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, daß jede der zweiten mittleren Geschwindigkeiten ($n_{\beta j}$) einer Kontrolleinrichtung (FKT, DECOD, MUX) für den zugeordneten Zylinder zugeführt wird.

12. Vorrichtung zur Drehzahlerfassung eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors mit

a) einem an die Kurbelwelle gekoppelten Referenzimpulsgeber (DET, CT, DN, SIGN, DN') der die Winkelstellung (γ) der Kurbelwelle erfaßt und bei vorgegebenen Referenzwinkelstellungen ($\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma$) der Kurbelwelle jeweils einen Referenzimpuls (t_1, t_2, t_3, \dots, t) abgibt,

- b) Mitteln (CT1, M1, DIV1) zur Messung eines ersten Mittelwertes (\bar{n}) für die Geschwindigkeit, mit der die Kurbelwelle einen mehrere Referenzstellungen (γ_1, \dots, γ') umfassenden großen Winkelbereich durchläuft,
- c) einer von der mittleren Geschwindigkeit (\bar{n}) gesteuerten Steuereinrichtung (FKT, ST), die dem Referenzimpulsgeber (CT) die Referenzwinkelstellungen vorgibt, und
- d) Mitteln (CT2, M2, MP, DIV2) zur Messung eines zweiten Mittelwertes (n_α) für die Geschwindigkeit, mit der die Kurbelwelle einen durch zwei Referenzwinkelstellungen ($\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma'$) gegebenen kleinen Winkelbereich ($\alpha_1, \dots, \alpha_6$) durchläuft.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Steuereinrichtung Mittel (FKT, DECOD, CT3, DIV3, MUX) enthält, die innerhalb eines Zyklus der Maschine jedem Zylinder (Z_j) einen der kleinen Winkelbereiche (β_j) zuordnen und den in diesem kleinen Winkelbereich gemessenen zweiten Mittelwert einem dem Zylinder (Z_j) zugeordneten Speicher zuführt (FIG 4).
14. Vorrichtung zur Drehzahlregelung eines langsamlaufenden, mehrzylindrischen Dieselmotors mit
- a) einem an die Kurbelwelle gekoppelten Winkelgeber (DET, CT), der die Winkelstellung (γ) der Kurbelwelle erfaßt und bei vorgegebenen Referenzwinkelstellungen ($\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma'$) der Kurbelwelle jeweils einen Referenzimpuls abgibt,
- b) an den Winkelgeber angeschlossenen Mitteln (CT1, M1, DIV1) zur Bildung eines ersten Mittelwertes (\bar{n}) der Geschwindigkeit, mit der die Kurbelwelle einen mehrere Referenzstellungen ($\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma'$) umfassenden großen Winkelbereich durchläuft,
- c) an den Winkelgeber angeschlossenen Mitteln (CT2, M2, DIV2) zur Bildung eines zweiten Mittelwertes (n_α) für die Geschwindigkeit, mit der die Kurbelwelle einen durch zwei Referenzwinkelstellungen gegebenen kleinen Winkelbereich ($\alpha_1, \dots, \alpha_6$) durchläuft,
- d) einen vom ersten Mittelwert (\bar{n}) gespeisten trägen Regler (\bar{R}), der ein erstes Regelsignal (\bar{F}^*) erzeugt, das von der Differenz ($n_\alpha - \bar{n}$) des ersten Mittelwertes (\bar{n}) von einem Sollwert abhängt,
- e) einen vom zweiten Mittelwert (n_α) gespeisten schnellen Regler (R_α), der ein zweites Regelsignal (F_α^*) erzeugt, das von der Differenz ($n_\alpha - n^*$) des zweiten Mittelwertes (n_α) von einem Sollwert abhängt, und
- f) Mitteln (P1, ..., P4) zur Steuerung des Füllgrades der einzelnen Zylinder in Abhängigkeit von der Summe (AD) der beiden Regelsignale ($\bar{F}^* + F_\alpha^*$).
15. Vorrichtung nach Anspruch 14, **gekennzeichnet durch** Mittel (FKT, ST), die die Lage der kleinen Winkelbereiche relativ zu den oberen Totpunk-

ten der Zylinder geschwindigkeitsabhängig (\bar{n}) verstellen.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, **gekennzeichnet durch** ein Totglied (DT) zur Unterdrückung kleiner Werte der Differenz ($n_\alpha - n^*$) des zweiten Mittelwertes von einem Sollwert am Eingang des schnellen Reglers (R_α).

17. Vorrichtung nach Anspruch 15, **gekennzeichnet durch** Mittel (CT3, DIV3) zur Bildung eines dritten Mittelwertes (n_{β_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 (n_{β_j}) (FIG 4,5).

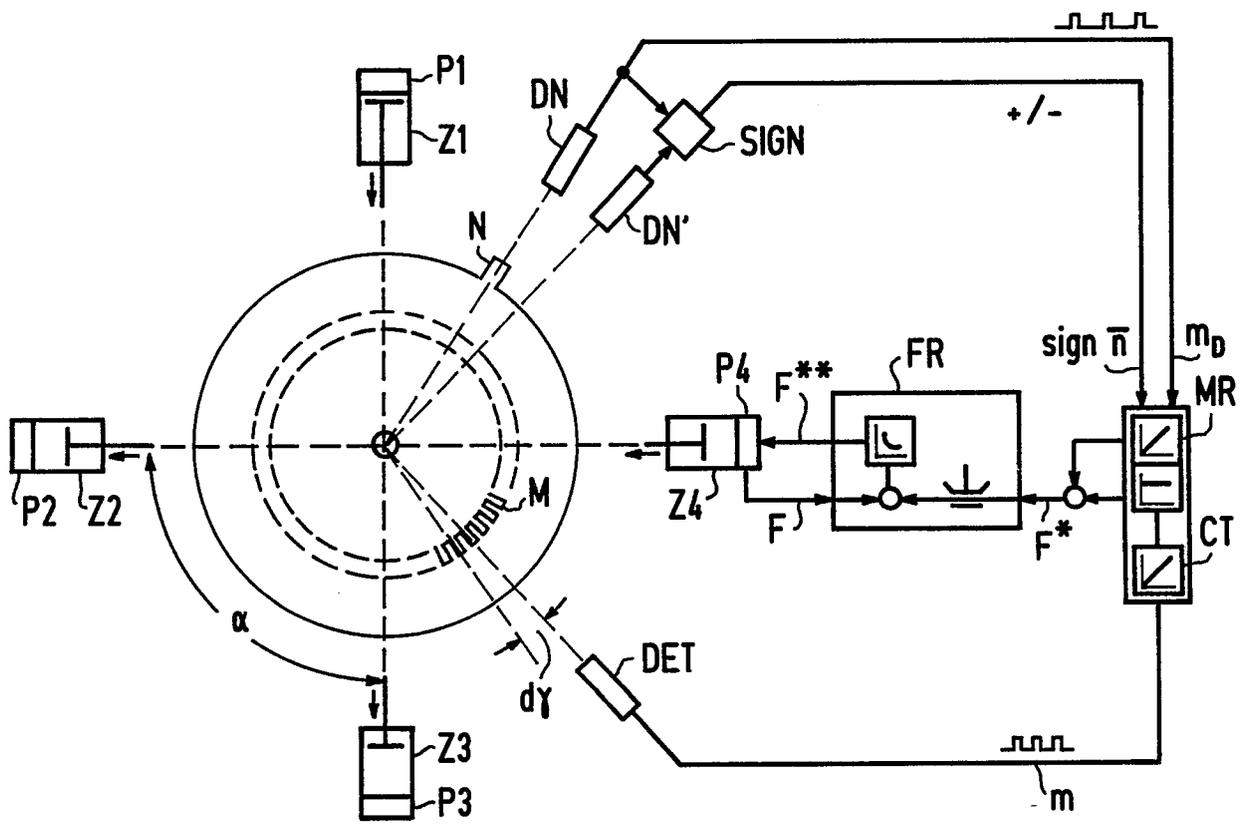


FIG 1

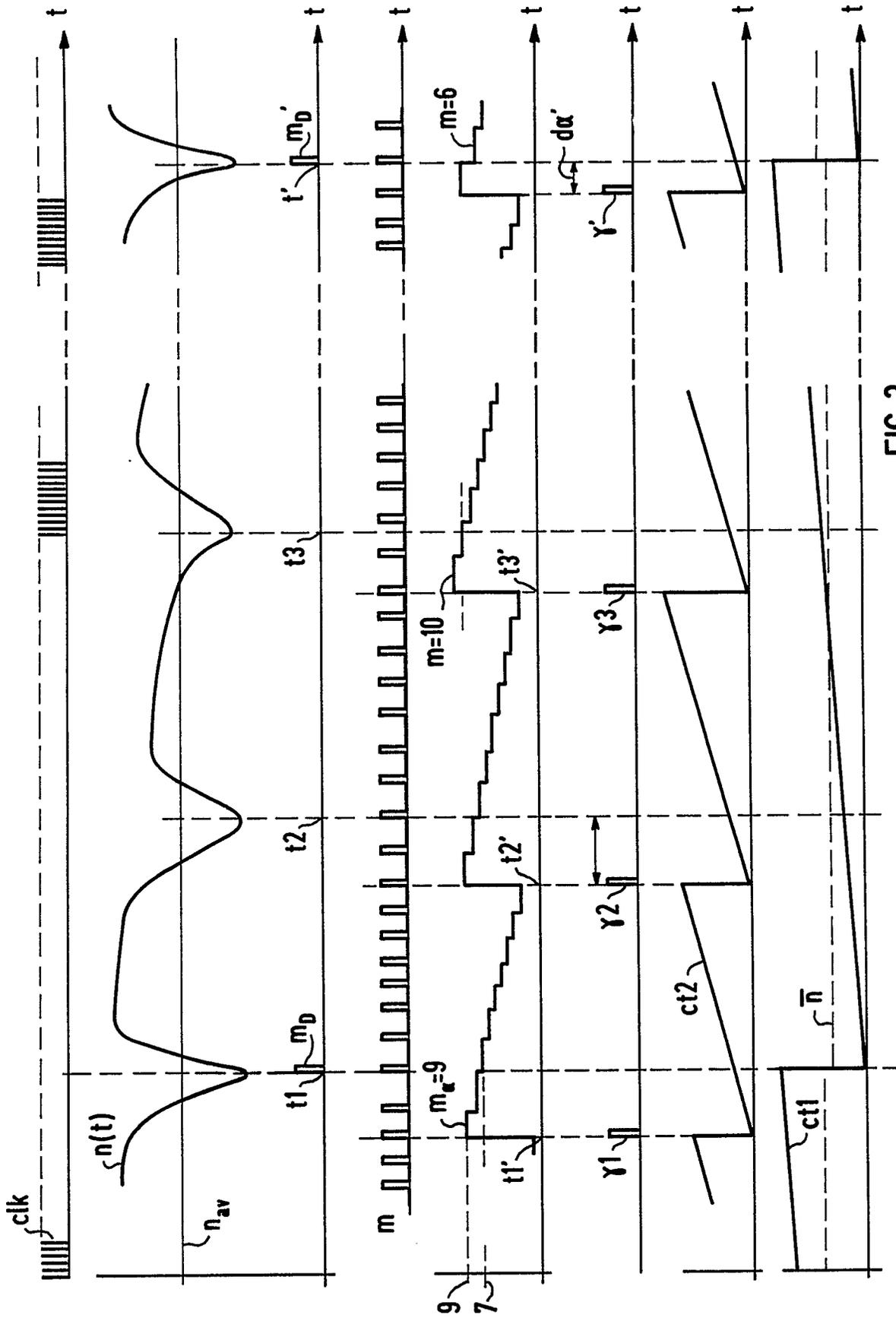


FIG 2

P 3330

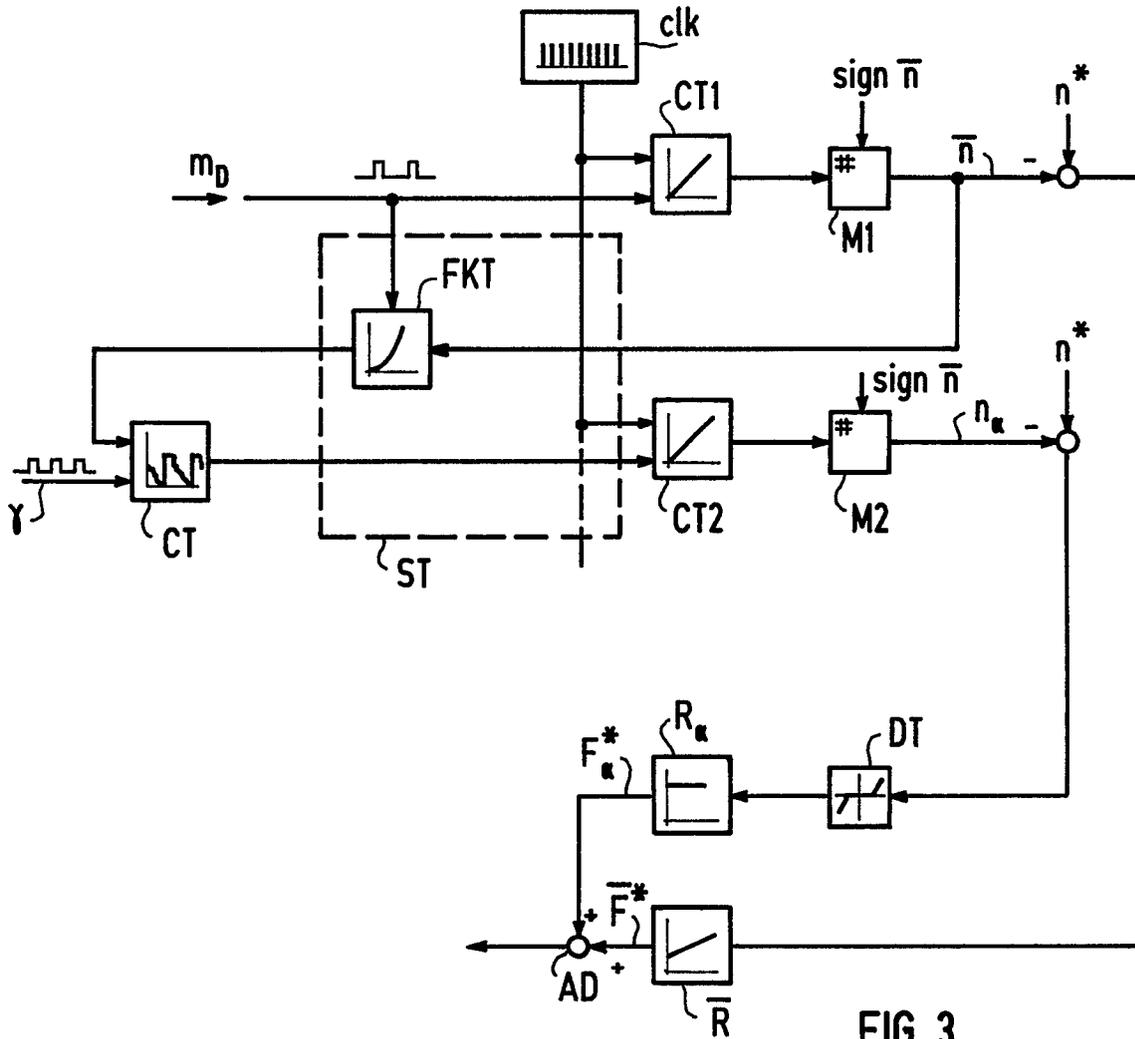


FIG 3

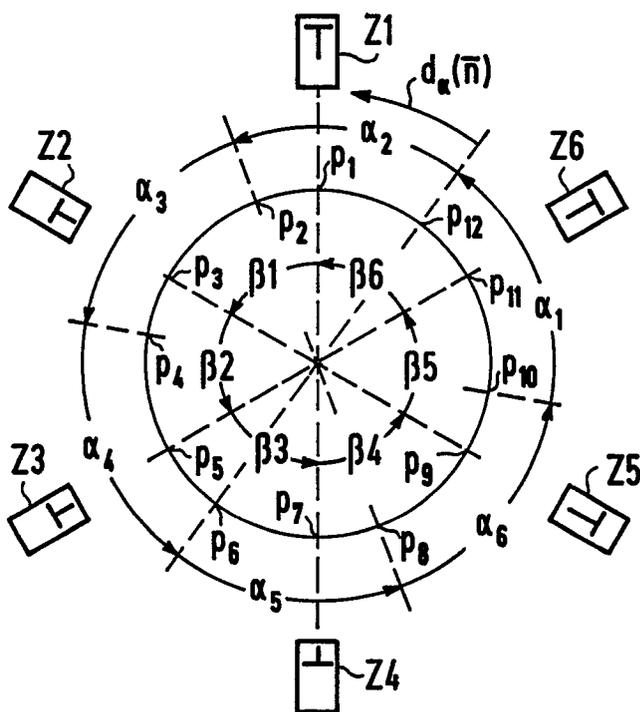


FIG 5

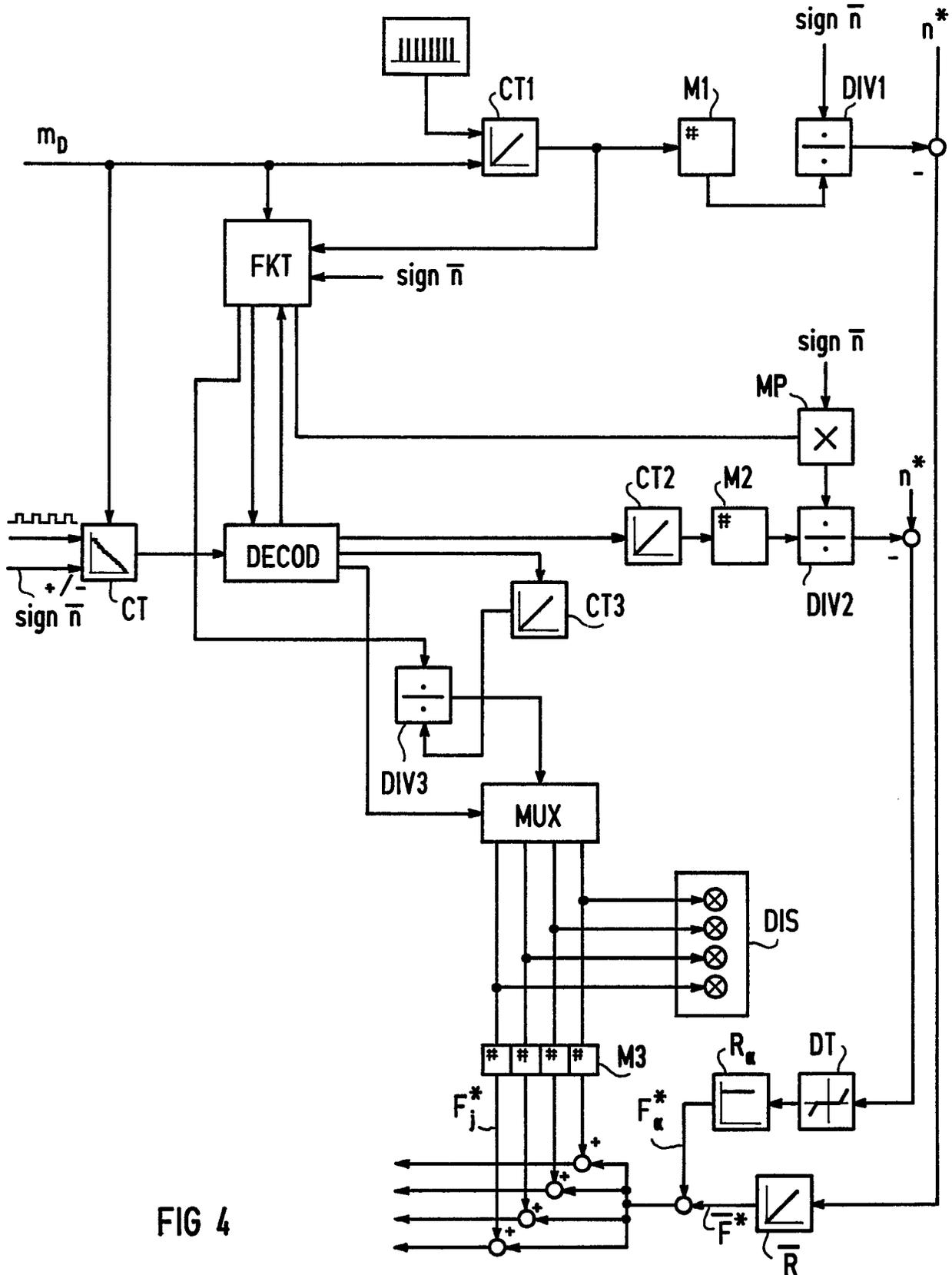


FIG 4



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 90 11 2597

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.5)
X	EP-A-113510 (GENERAL MOTORS CO.) * Seite 2, Zeilen 6 - 34 * * Seite 3, Zeile 33 - Seite 4, Zeile 24 * * Seite 9, Zeile 23 - Seite 10, Zeile 30 * * Seite 11, Zeile 23 - Seite 13, Zeile 11 * * Seite 17, Zeile 33 - Seite 18, Zeile 12 * * Figuren 3-10a *	1, 7, 9-14	F02D41/14 F02D41/38
A	WO-A-8705074 (ROBERT BOSCH GMBH.) * Seite 2, Zeile 6 - Seite 3, Zeile 23 * * Seite 4, Zeile 29 - Seite 6, Zeile 7 * * Figuren *	1-3, 5, 6, 8-14 16, 17	
A	FP-A-140065 (ROBERT BOSCH GMBH.) * Seite 1, Absatz 1 - Seite 13, Absatz 1 * * Ansprüche 1-3, 9-11; Figuren *	1-3, 5, 7-14, 17	
A	EP-A-107523 (THE BENDIX CORP.) * Seite 3, Zeile 9 - Seite 8, Zeile 4 * * Seite 9, Zeile 16 - Seite 10, Zeile 11 * * Figuren *	1, 4, 5, 7, 10-15	
A	DE-A-2507057 (ROBERT BOSCH GMBH.) * Seite 2, Absatz 2 - Seite 7, Absatz 3 * * Seite 9, Absatz 2 - Seite 13, Absatz 1 * * Figuren *	1, 4, 6, 8, 9 15-17	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl.5) F02D
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
DEN HAAG	25 SEPTEMBER 1990	LAPEYRONNIE P. J.	
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE		I : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument I : aus andern Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	
X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer andern Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur			