



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Veröffentlichungsnummer:

0 140 083
A2

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

21 Anmeldenummer: 84110811.1

51 Int. Cl.⁴: F 02 D 41/14

22 Anmeldetag: 11.09.84

30 Priorität: 11.10.83 DE 3336894

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.05.85 Patentblatt 85/19

84 Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB SE

71 Anmelder: ROBERT BOSCH GMBH
Postfach 50
D-7000 Stuttgart 1(DE)

72 Erfinder: Geering, Hans Peter, Prof.Dr.
Wallrütistrasse 66
CH-8404 Winterthur(CH)

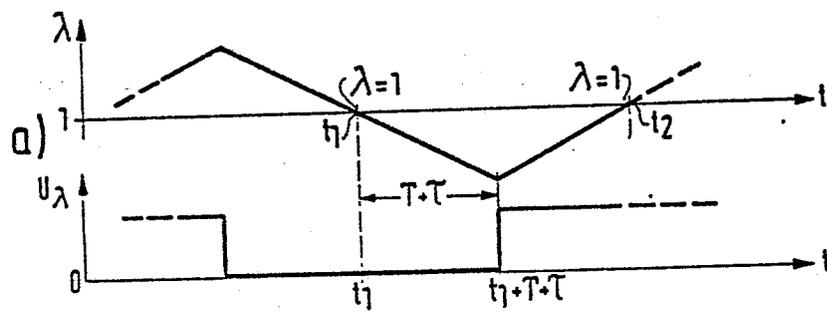
72 Erfinder: Heess, Gerhard, Dr. Dipl.-Ing.
Stuttgarter Strasse 90
D-7146 Tamm(DE)

72 Erfinder: Schwarz, Helmut, Dr. Dipl.-Phys.
Gerokstrasse 39
D-7143 Vaihingen(DE)

54 Verfahren zur Lambda-Regelung bei einer Brennkraftmaschine.

57 Es wird ein Verfahren zur Luft-Kraftstoff-Gemischbildung für eine Brennkraftmaschine mit einer dem Abgas ausgesetzten, auf den Sauerstoffgehalt des Abgases empfindlichen Sauerstoffsonde, einer die Ausgangssignale der Sauerstoffsonde verarbeitenden Signalverarbeitungseinheit und einem Speicher zur Speicherung eines, wenigstens von einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine abhängigen Kennfeldes mit Kennfeldwerten (F_{λ}), die die zuzumessende Kraftstoffmenge bestimmen, vorgeschlagen, bei dem den Kennfeldwerten (F_{λ}) eine zeitlich veränderliche Störung (ΔF_{\pm}) überlagert, die Ausgangssignale (U_{λ}) der Sauerstoffsonde auf ihre Änderung hinsichtlich der Störgröße (ΔF_{\pm}) ausgewertet und die Kennfeldwerte (F_{λ}) zur Erzielung eines optimalen Luft-Kraftstoff-Verhältnisses entsprechend korrigiert werden. Dabei soll die Modulationsfrequenz der Kennfeldwerte (F_{λ}) möglichst hohe Werte und die Modulationsamplitude möglichst kleine Werte annehmen. Durch diese Maßnahme läßt sich die Grenzfrequenz der Schaltspiele der Lambda-Sonde wesentlich erhöhen.

FIG. 1



R. 19008

3.10.1983 Vb/Hm

0140083

ROBERT BOSCH GMBH, 7000 STUTTGART 1

Verfahren zur Lambda-Regelung bei einer
Brennkraftmaschine

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Luft-Kraftstoff-Gemischbildung bei einer Brennkraftmaschine nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs. Es sind schon eine Vielzahl von Verfahren und Vorrichtungen zur Gemischbildung bekanntgeworden, die eine Sauerstoffsonde verwenden. Es werden dabei häufig Sauerstoffsonden verwendet, die bei einem ($\lambda = 1$)-Gemisch sprungartig ihre Ausgangsgröße ändern. Im geschlossenen Regelkreis schaltet die Sauerstoffsonde im Normalfall ständig zwischen den beiden Ausgangsgrößen "high" und "low" hin und her.

Das Ausgangssignal der Sauerstoffsonde dient üblicherweise dazu, die in einem fest vorprogrammierten Kennfeld abgelegten, beispielsweise die Einspritzzeit bestimmenden Werte zu korrigieren. Aufgrund des näherungsweise als binär anzusehenden Signals der Lambda-Sonde wird der Kennfeldkorrekturfaktor von beispielsweise einem PI-Regler laufend korrigiert. Da dabei die Transportzeit

...

der Luft durch die Brennkraftmaschine und die Reaktionszeit der Sonde nicht berücksichtigt werden, stellt sich ein Grenzyklus für den Korrekturfaktor des Lambda-Reglers und damit natürlich auch für das Drehmoment der Brennkraftmaschine ein. Insbesondere bei tiefen Drehzahlen und genügend großer Last ist dieser Drehmoment-Grenzyklus vom Fahrer des mit der Brennkraftmaschine ausgerüsteten Fahrzeuges spürbar und tritt als sogenannte Laufunruhe unangenehm in Erscheinung. Zusätzlich steigt mit fallender Frequenz die Abgasemission an.

Dem erfindungsgemäßen Verfahren mit den Merkmalen des Hauptanspruchs liegt die Aufgabe zugrunde, bekannte Lambda-Regelverfahren in der Weise zu verbessern, daß während allen in der Praxis auftretenden Betriebszuständen der Brennkraftmaschine ein gleichmäßiger Lauf der Brennkraftmaschine in Verbindung mit einem bezüglich der Schadstoffanteile optimal zusammengesetzten Abgasausstoß gewährleistet ist.

Zeichnung

Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im folgenden näher beschrieben. Es zeigen Figur 1 zur Erläuterung der grundsätzlichen Problematik charakteristische Ausgangssignale der Lambda-Sonde in Bezug auf den Lambda-Wert des Luft-Kraftstoff-Gemisches bei bekannten Regelverfahren, Figur 2 ein Diagramm zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Figur 3 eine mögliche Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Obwohl das folgende Ausführungsbeispiel im Zusammenhang mit einer intermittierend betriebenen Kraftstoffein-

spritzanlage (sequentielle oder parallele Einspritzung) beschrieben wird, ist die Lambda-Regelung an sich unabhängig von der Art der Gemischbildung, so daß die Erfindung beispielsweise auch in Verbindung mit Vergasersystemen oder kontinuierlicher Einspritzung einsetzbar ist.

Zur Erläuterung der bei der Lambda-Regelung auftretenden Problematik dienen die Diagramme der Figur 1. In Figur 1a ist der Lambda-Wert des der Brennkraftmaschine zugeführten Luft-Kraftstoff-Gemisches und das Ausgangssignal einer Sauerstoffsonde in Abhängigkeit von der Zeit t aufgetragen, wobei die Lambda-Regelung in bekannter Weise einen I-Regler beinhaltet. Der Lambda-Wert des Luft-Kraftstoff-Gemisches schwankt periodisch mit einer von der Integrationszeitkonstante des I-Reglers und der Verzögerungszeit abhängigen Amplitude um den Wert $\lambda=1$. Würde die Sauerstoffsonde verzögerungsfrei arbeiten und würde das Gemisch unendlich schnell zur Sonde gelangen, so müßte sich ihr Ausgangssignal U_λ zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 , bei denen das Luft-Kraftstoff-Gemisch den Wert $\lambda=1$ durchläuft, sprunghaft ändern. Tatsächlich tritt der Sprung erst mit einer gewissen Verzögerungszeit $T+\tau$ auf, die sich aus der Transportzeit T der Luftanteile durch die Brennkraftmaschine und der Ansprechzeit τ der Sauerstoffsonde zusammensetzt. Im vorliegenden Beispiel wird der ($\lambda=1$)-Durchgang erst zu Zeiten erkannt, zu denen das Gemisch schon wieder stark angereichert wurde. Aufgrund dieses verzögerten Schaltverhaltens der Sauerstoffsonde stellt sich ein Grenzzyklus ein, der eine Periode $P \sim 4 (T+\tau)$ besitzt. Da die Transportzeit T , die eine starke Drehzahlabhängigkeit aufweist, Werte bis zu $T \sim 1$ Sekunde annehmen kann (die Ansprechzeit τ der Sauerstoffsonde ist bei niedrigen Drehzahlen dagegen zu vernachlässigen), nimmt dieser Grenzzyklus Frequenzwerte an, die von dem Fahrer der Brennkraftmaschine durchaus wahrgenommen werden kann.

Die in Figur 1b dargestellte Signalfolge unterscheidet sich von der der Figur 1a dadurch, daß hier ein PI-Regler im Lambda-Regelkreis Anwendung findet. In diesem Fall wird bei Auftreten eines Schaltvorganges der Sauerstoffsonde zusätzlich zur Rückintegration in Richtung auf $\lambda=1$ eine sprunghafte Änderung des Lambda-Wertes ausgelöst, um den ($\lambda=1$)-Durchgang zu beschleunigen. Hier wird der Kompromiß eingegangen, daß die Schaltperiode der Sauerstoffsonde kleinere Werte annimmt, aber die Lambda-Variation um den Wert $\lambda=1$ je nach Steilheit der Rampe entsprechend zunimmt. Bei einer geschickten Wahl des P-Anteils kann die Periodendauer auf den minimalen Wert $P = 2 (T + \tau)$ herabgesetzt werden.

Da auch bei einer PI-Regelung diese Verzögerungszeit nicht berücksichtigt wird, stellt sich ein Grenzyklus, wenn auch ein kleinerer als im Beispiel Figur 1a, bei der Bestimmung der einzuspritzenden Kraftstoffmenge ein. Insbesondere bei tiefen Drehzahlen und großer Last machen sich die Folgen dieses Grenzyklus für den Fahrer in Form von Laufruheschwankungen unangenehm bemerkbar.

Die bisherige Betrachtung bezog sich auf konstante oder nur langsam veränderliche Betriebsbedingungen der Brennkraftmaschine.

Im Fall von plötzlichen Laständerungen treten bei diesen Regelsystemen in der Regel "Abgasspitzen" auf. Es vergeht aufgrund der oben erwähnten Transportzeit T und der Ansprechzeit τ ein gewisser Zeitraum bis der Regelkreis auf die neuen Einstellungen anspricht, so daß während des Zeitraums ein starker Anstieg von Schadstoffen, die nicht von dem beispielsweise im Abgasrohr angebrachten Katalysator abgebaut werden können, anzutreffen ist.

...

Man versucht dieses Problem dadurch in den Griff zu bekommen, daß die Werte für die Kraftstoffzumessung in einem Kennfeld in Abhängigkeit von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine, beispielsweise in Abhängigkeit von der angesaugten Luftmenge und der Drehzahl abgelegt und je nach Bedarf abgerufen werden. Dabei handelt es sich um eine gesteuerte Kraftstoffzumessung, bei der die maßgeblichen Werte sehr schnell zur Verfügung stehen. Es tritt jedoch die Schwierigkeit auf, daß langsame Veränderungen, wie z.B. Temperaturschwankungen, Druckschwankungen oder verschleißbedingte Änderungen an der Brennkraftmaschine, die das Luft-Kraftstoff-Verhältnis beeinflussen, nicht berücksichtigt werden.

Diese Schwierigkeit kann überwunden werden, indem das fest vorprogrammierte Kennfeld durch ein gleichartiges, das jedoch in jeder Stützstelle über eine Lambda-Regelung an die veränderten Parameter angepaßt werden kann, ersetzt wird. Nach Anfahren einer neuen Stützstelle aufgrund von geänderten Betriebsparametern wird der alte, optimale Wert an der entsprechenden Stelle abgelegt. Mit einer derartigen, an sich bekannten Maßnahme läßt sich erreichen, daß Fehler in der Kraftstoffzumessung bei schnellen Laständerungen, also im instationären Betrieb der Brennkraftmaschine unterbleiben. Das Verhalten der Brennkraftmaschine unter konstanten oder auch sehr langsam veränderlichen Betriebsbedingungen wird jedoch immer noch durch den Grenzyklus des Lambda-Regelkreises bestimmt.

Der Kerngedanke der vorliegenden Erfindung geht aus von der Tatsache, daß das Ausgangssignal U_λ der Sauerstoffsonde quasi binären Charakter aufweist ($\lambda < 1 \rightarrow U_\lambda = H, \lambda > 1 \rightarrow U_\lambda = L$ mit $H = \text{"high"}$ und $L = \text{"low"}$) und somit auch keine Aussage über den genauen Lambda-Wert erlaubt, sondern eben nur

...

die Feststellung " $\lambda \leq 1$ " zuläßt. Tatsächlich spricht die Sauerstoffsonde mit ihrem Schaltverhalten bei $\lambda = 1$ schon auf sehr kleine λ -Hübe, an.

Um die Schaltfrequenz der Sauerstoffsonde zu erhöhen, ist deshalb vorgesehen, den aus dem adaptiven Kennfeld ausgelesenen, für die Kraftstoffmenge verantwortlichen Werten eine Störung hoher Frequenz und kleiner Amplitude zu überlagern, diese Kennfeldwerte also zu modulieren. Die Amplitude der Störung sollte möglichst klein sein, aber doch solche Werte annehmen, daß im Normalfall ein Schaltvorgang der λ -Sonde auftritt. An die Frequenz der Modulation sind folgende Anforderungen zu stellen, die natürlich von Brennkraftmaschine zu Brennkraftmaschine zu verschiedenen individuellen Festlegungen führen können. Die Modulationsfrequenz sollte möglichst hohe Werte annehmen, so daß die eventuell auftretenden Drehmomentschwankungen der Brennkraftmaschine nicht mehr wahrgenommen werden. Die obere Grenze wird entweder durch die Ansprechzeit der Sauerstoffsonde, die insbesondere sehr stark mit der Temperatur der Sauerstoffsonde variiert oder durch die Drehzahl der Brennkraftmaschine gegeben. Die Abhängigkeit von der Drehzahl liegt darin begründet, daß eine mehrmalige Modulation der einem Zylinder zuzumessenden Kraftstoffmenge sich gegenseitig kompensiert und damit keine Vorteile bringt. Somit stellt bei sequentieller Einspritzung eine Störung pro Kraftstoffzumessung für jeden Einzelzylinder die maximale Modulationsfrequenz dar. Es soll hier noch einmal betont werden, daß diese Angaben als grobe Richtlinie für die Festlegung des Modulationshubes und der Modulationsfrequenz dienen und es im jeweiligen Anwendungsfall dem Fachmann überlassen bleibt, die günstigsten Werte zu definieren.

...

Die Reaktion der Sauerstoffsonde auf diese möglichst hochfrequente Störung kleiner Amplitude wird gemessen und entsprechend dem Vorzeichen der Störung dahingehend ausgewertet, daß die momentan angefahrene Stützstelle des Kennfeldes derart geändert wird, daß sich das Luft-Kraftstoff-Gemisch dem Lambda-Wert $\lambda = 1$ annähert und damit den optimalen Wert annimmt.

Anhand von Figur 2 soll das erfindungsgemäße Verfahren näher erläutert werden:

Wurde eine günstige Frequenz und Amplitude (in Figur 2a $\pm \xi$) für die den Kennfeldwerten F_λ zu überlagernden Störung ΔF_+ ausgewählt, so könnte sich eine Modulation des Luft-Kraftstoff-Gemisches um den Wert $\lambda = 1$ beispielsweise wie in Figur 2a darstellen. Unter Vernachlässigung der Ansprechzeit τ der Sauerstoffsonde würde eine Einstellung der maximal noch sinnvoll auszunutzenden Modulationsfrequenz - in Figur 2a beispielsweise für eine 4-Zylinderbrennkraftmaschine mit Einzelspritzung dargestellt - bedeuten, daß in der Phase eins Zylinder 1 angereichert, in der Phase zwei Zylinder 2 abgemagert, in der Phase drei Zylinder 3 angereichert usw. wurde (hierbei entspricht die Numerierung der Zylinder der Zündfolge). Wie weiter unten noch näher dargestellt wird, sind natürlich auch andere Modulationsschemata denkbar.

Die Reaktion der Sonde auf eine derartige Modulation der den einzelnen Zylindern einer Brennkraftmaschine zuzumessenden Kraftstoffmenge läßt sich durch eine Fallunterscheidung in drei Fällen beschreiben. Alle anderen Ausgangssignale entsprechen einer Mischform dieser drei in Figur 2b, c, d dargestellten Möglichkeiten.

...

Im Fall der Figur 2b folgt das Ausgangssignal der Sauerstoffsonde mit der für die Luftanteile typischen Verzögerung um die Transportzeit T und die Ansprechzeit τ der Sonde exakt der Variation des Lambda-Wertes gemäß Figur 2a. Hieraus folgt, daß der mittlere Lambda-Wert $\bar{\lambda}$ mit $\bar{\lambda} = 1$ richtig liegt.

Für die Situation der Figur 2c zeigt die Sauerstoffsonde ständig mageres Gemisch, unabhängig von der dem Stützstellenwert F_{λ} überlagerten Störung ΔF_{+} . Hieraus ist der Schluß zu ziehen, daß F_{λ} einer zu geringen Kraftstoffmenge entspricht. Analog gilt für Figur 2d, bei der die Sauerstoffsonde ständig ein fettes Gemisch anzeigt, daß die Voreinstellung von F_{λ} einer zu hohen Kraftstoffmenge entspricht. Eine Mischform des Ausgangssignals der Sauerstoffsonde könnte beispielsweise darin bestehen, daß im Diagramm der Figur 2b einzelne Schaltvorgänge ausfallen würden. Dies würde bedeuten, daß der mittlere Lambda-Wert $\bar{\lambda}$ nach dem zeitweiligen Verweilen bei niedriger (mageres Gemisch) oder hoher (fettes Gemisch) Ausgangsspannung mehr zu $\bar{\lambda} = 1 + \epsilon$ bzw. $\bar{\lambda} = 1 - \epsilon$ tendieren würde.

Betrachtet man diese, den F_{λ} -Kennfeldwerten überlagerten Störung ΔF_{+} als eine Art Versuchsreihe zur Abfrage des momentanen Lambda-Wertes, so stellt das Ausgangssignal der Sauerstoffsonde das Versuchsergebnis dar. Aufgrund des binären Charakters des Ausgangssignals der Sauerstoffsonde ist nur eine Aussage darüber möglich, ob das Versuchsergebnis im Einklang mit dem Vorzeichen der Störung ΔF_{+} steht oder nicht.

...

Wird durch die Störung ΔF_+ der Brennkraftmaschine beispielsweise ein fettes Luft-Kraftstoff-Gemisch angeboten, so kann die Sauerstoffsonde hierauf entweder mit einem hohen oder einem niedrigen Ausgangspegel reagieren. Im Normalfall wäre ein hoher (fettes Gemisch anzeigender) Pegel zu erwarten, das Versuchsergebnis wäre als "normal" zu bezeichnen. Es bestände kein Anlaß, an den Faktor F_λ eine Änderung anzubringen, bzw. ihn anzupassen. Würde die Sonde im Fall der Störung ΔF_+ einen niedrigen (mageres Gemisch anzeigenden) Ausgangspegel aufweisen, so wäre dieses Versuchsergebnis als "katastrophal" zu bezeichnen. Dann bestände die Notwendigkeit, den Faktor F_λ in Richtung höherer Einspritzmengen um einen mit $+\Delta_2$ bezeichneten Wert zu verändern. Für die anderen möglichen Fälle gilt entsprechendes, so daß sich das Anpassungsschema für die Faktoren F_λ wie folgt darstellt:

Störung	Sondensignal		Anpassung der Kennfeldwerte	
ΔF_+	fett	(H)	$-\Delta_1$	} mit $ \Delta_1 = 0$ oder $ \Delta_1 \ll \Delta_2 $
ΔF_+	mager	(L)	$+\Delta_2$	
ΔF_-	fett	(H)	$-\Delta_2$	
ΔF_-	mager	(L)	$+\Delta_1$	

Hiernach stellt also jede einzelne Störung ΔF_+ einen Versuch dar, wobei das Versuchsergebnis (nämlich der Wert H/L der Sauerstoffsonden-Ausgangsspannung) dazu dient, den betreffenden Kennfeldwert F_λ , der momentan in Abhängigkeit von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine die Kraftstoffzumessung bestimmt, auf den Wert $\lambda = 1$ anzupassen.

...

Es soll hier betont werden, daß der Spielraum in der speziellen Wahl der Werte ΔF_+ sowie $\Delta_{1/2}$ sehr groß ist. So kann beispielsweise ΔF_+ ungleich ΔF_- sein und $\Delta_{1/2}$ in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Störung ΔF_+ variiert werden. Des weiteren kann es sinnvoll sein, die Amplitude(n) der Störgröße ΔF_+ in Abhängigkeit vom Meßergebnis "normal" oder "katastrophal" zu verändern. Treten sehr wenig "katastrophale" Ergebnisse auf (dies ist ein Zeichen dafür, daß $\bar{\lambda}$ sehr genau bei $\bar{\lambda} = 1$ liegt), so kann die Amplitude der Störgröße (des Modulationshubes) verringert werden bis auf eine beispielsweise von außen fest vorgegebene untere Grenze. Das entsprechende gilt auch für den entgegengesetzten Fall.

Das in der Figur 2a beschriebene Modulationsschema wurde nur beispielhaft angeführt, der Variationsmöglichkeit in der Modulationssequenz sind auch hier keine Grenzen auferlegt. Es kann sich beispielsweise als vorteilhaft erweisen, insbesondere für Motoren mit gerader Zylinderzahl den zeitlichen Ablauf der Störsignalfolge nach einem beispielsweise betriebsparameterabhängigen wählbaren Zeitraum umzudrehen, so daß nicht stets der gleiche Zylinder durch die Störung angereichert bzw. abgemagert wird.

Im Fall der sequentiellen Einspritzung ist weiterhin auch eine zylinderspezifische Anpassung der Kraftstoffzumesung möglich. Dazu wird in Abhängigkeit von der Häufigkeit des Meßergebnisses "katastrophal", oder in definierten Zeitabständen, oder nur in Kundendienstintervallen ein Überprüfungsalgorithmus eingeschaltet. Anhand dieses Überprüfungsalgorithmus kann festgestellt werden, ob einzelne Zylinder signifikant vom Durchschnittsverhalten der anderen abweichen. Bei größeren Abweichungen läßt

...

sich diese Information auch für Motordiagnosezwecke benutzen. Die weitestgehende Ausführungsformbestände in der Verwendung von zylinderspezifisch korrigierten Kennfeldern. Im praktischen Ausführungsbeispiel würde unter normalen Bedingungen jedoch auch ein zylinderspezifischer multiplikativer oder additiver Ventil-Korrekturfaktor für die Einspritzmenge genügen, der die Einspritzmenge des spezifischen Ventils in positiver oder negativer Richtung korrigiert. In der praktischen Ausführung würde sich für die Situation der Einzelzylinderanpassung der Speicherplatzbedarf um maximal den Faktor n , der durch die Zylinderzahl gegeben wird, erhöhen.

Insbesondere im Fall höherer Drehzahl bzw. längerer Störsequencequenzen (siehe weiter unten) wäre eine zylinderspezifische Korrekturanpassung auch in der Weise denkbar, daß während des Testzyklus dafür gesorgt wird, daß das Kraftstoffgemisch von $(n-1)$ Zylindern der n -zylindrigen Brennkraftmaschine mit Sicherheit vorzugsweise auf der fetten (bzw. mageren) Seite liegt und jeweils nur der n -te Zylinder moduliert wird. Aufgrund des Kippens des Lambda-Signals dieses Einzelzylinders wird dieser Zylinder nach der schon angegebenen allgemeinen Vorschrift individuell kalibriert und der zugehörige Kennfeldwert der Einspritzmenge mit dem individuell ermittelten Mittelwert der anderen Zylinder verglichen. Hierdurch lassen sich in vorteilhafter Weise eventuell auftretende Ausreißer unterdrücken. Gegebenenfalls wird dann ein entsprechender Ventilkorrekturwert für diesen Zylinder abgespeichert.

Bisher wurde davon ausgegangen, daß für Brennkraftmaschinen mit Einspritzung jedes Einspritzventil separat angesteuert wird. Dann ergibt sich eine maximale Frequenz f_{\max} der Drehmomentschwankungen bzw. der Schaltfolge der Sauerstoffsonde für eine 4(6)-zylindrige Brennkraftmaschine zu $f_{\max} = n(3/2n)$. Für parallel geschaltete, gemeinsam

...

angesteuerte Einspritzventile kann ein derartiges Modulationsverfahren natürlich auch angewendet werden. Da pro Kurbelwellenumdrehung einmal eingespritzt wird, erzeugt die Störung ΔF_+ in der Folge ΔF_+ , ΔF_- , ΔF_+ , (mit $|\Delta F_+| = |\Delta F_-|$) überhaupt keine Schwankung im Luft-Kraftstoff-Gemisch, da jeder Zylinder eine fette und eine magere Einspritzung pro Verbrennungsvorgang erhält. Hier ist es günstig, beispielsweise die Sequenz ΔF_+ , ΔF_+ , ΔF_- , ΔF_- , ... zu verwenden, wobei dann jedoch die Schaltfrequenz der Sauerstoffsonde auf den Wert $f_{\max}/2$ reduziert wird. Eine derartige Störsequenz würde eine Lambda-Modulation $\Delta \lambda = +\epsilon, 0, -\epsilon, 0, +\epsilon, \dots$ hervorrufen. In diesem Fall müßte die Modulation $\Delta \lambda = 0$, die ein Zufalls-signal der binär arbeitenden Sauerstoffsonde zur Folge haben würde, bei der Anpassung der Kennfeldwerte F_λ entsprechend unterdrückt werden.

Die $\Delta_{1/2}$ -Korrekturen an den Kennfeldwerten F_λ sind wiederum für eine Grenzfrequenz verantwortlich, die jedoch sehr niederfrequente Werte annimmt, da nur langsame Drifterscheinungen, wie Luftdruck, Höhe über den Meeresspiegel, Kraftstofftemperatur oder Alterungserscheinungen kompensiert werden müssen.

Nach dieser Darstellung des allgemeinen Erfindungsgedankens soll im folgenden eine mögliche Realisierung erläutert werden. Bei der praktischen Durchführung tritt im wesentlichen das Problem auf, das Vorzeichen (eventuell auch die Amplitude) der Störung ΔF_+ mit der zugehörigen Reaktion der Sauerstoffsonde auf die jeweilige Störung zu korrelieren, da das Sauerstoffsonden-Ausgangssignal erst nach der schon weiter oben erwähnten Transportzeit T und Ansprechzeit τ nach Anbringen der Störung zur Verfügung steht. Die Transportzeit T ist sehr stark insbesondere von der Drehzahl und auch vom Ansaugdruck

...

bzw. Luftmassendurchsatz der Brennkraftmaschine abhängig. Die Ansprechzeit τ der Sauerstoffsonde hängt, wie bereits erwähnt, von der Temperatur der Sonde bzw. vom Innenwiderstand der Sonde, der eine eindeutige Funktion der Temperatur ist, ab. Zur Bestimmung der Gesamtzeit $T + \tau$ bieten sich folgende Möglichkeiten an:

Die Transportzeit kann aus der Drehzahl n und gegebenenfalls aus dem Ansaugdruck p oder der angesaugten Luftmasse Q_L bestimmt werden. Für τ bietet sich eine Lastmessung an, da die Abgastemperatur und damit auch die Sauerstoffsonden-Temperatur bzw. der Innenwiderstand im wesentlichen von der Last abhängig sind. Durch eine Beheizung der Sonde zur Temperaturregelung wäre es dagegen auch möglich, die Ansprechzeit τ auf einen von den Betriebsparametern der Brennkraftmaschine nahezu unabhängigen, d.h. nahezu konstanten Wert zu halten. Ebenso wäre eine direkte Messung des Innenwiderstandes der Sonde möglich, wie sie in an sich schon bekannten Anordnungen zur Erfassung der Betriebsbereitschaft der Sauerstoffsonde durchgeführt wird.

Eine bevorzugte Ausführung zur experimentiellen Erfassung der Zeitdauer $T + \tau$ besteht in der Möglichkeit, $T + \tau$ während des Betriebes der Brennkraftmaschine direkt zu bestimmen. Statt der regelmäßigen Störsequenz ΔF_+ , ΔF_- , ΔF_+ , ... wird eine kodierte Störsequenz verwendet und die unbekannte Zeitdauer $T + \tau$ über eine Kreuzkorrelationsanalyse der Signale ΔF_+ (t) und der Schwankung ΔU_λ (t) der Sauerstoffsonden-Ausgangsspannung um ihren Mittelwert ermittelt. Die Kreuzkorrelationsfunktion $R(t') = E\{\Delta F_+(t) \cdot \Delta U_\lambda(t+t')\}$ mit E für Erwartungswert nimmt für $t' = T + \tau$ ein Maximum an, so daß mit einem an sich bekannten Korrelator (siehe R.C. Dixon, "Spread Spectrum Systems", Kapitel 3, Wiley-Interscience, New York, 1976) die Zeitdauer $T + \tau$ auf experimentielle Weise bestimmt werden kann.

Anhand des in Figur 3 dargestellten Blockschemas soll eine Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens näher erläutert werden:

Ein mit der Nummer 10 bezeichneter Kennfeldspeicher dient zur Speicherung des Kennfeldes $F_{\lambda}(n, Q_L)$ und ist über einen Daten-Bus 11 mit einer ALU 12 (arithmetische logische Einheit (unit)), einem Modulator 13 und einer Kontrolleinheit 14 verbunden, wobei die Kontrolleinheit 14 von verschiedenen, durch Pfeile angedeuteten Parametern eine Brennkraftmaschine 19, wie z.B. der Drehzahl n und der angesaugten Luftmasse Q_L angesteuert wird. Der Kennfeldspeicher 10 steht weiterhin über einen Adressen-Bus 15 mit der Kontrolleinheit 14, der ALU 12 und einem Zwischenspeicher 16 in Verbindung. Der Modulator 13 erhält Taktsignale von einem Taktgenerator 17, wobei die Taktfrequenz in Abhängigkeit von beispielsweise der Temperatur T_{λ} einer in einem Abgasrohr 18 der Brennkraftmaschine 19 angebrachten Sauerstoffsonde 20, von der Drehzahl n der Brennkraftmaschine, der angesaugten Luftmasse Q_L oder aber auch der Last geändert werden kann. Ebenso ist es aber auch möglich, die Taktfrequenz z.B. über einen Quarzoszillator 21 drehzahlunabhängig zu gestalten. Mittels eines weiteren, gestrichelt eingezeichneten Einganges 22 ist auch eine Kodierung der Störsequenz zur experimentiellen Bestimmung der Verzögerungszeit $T + \tau$ (wie schon weiter oben dargestellt) möglich. Die digitalen Ausgangssignale des Modulators 13 werden von einem D/A-Wandler 23 in analoge Signale gewandelt und zur Ansteuerung von Einspritzendstufen 24 verwendet, die die nicht dargestellten Einspritzventile der Brennkraftmaschine 19 für die Kraftstoffzumessung betätigen.

...

Das vom Sauerstoffgehalt der Abgase der Brennkraftmaschine 19 abhängige Ausgangssignal der Sauerstoffsonde 20 wird einem A/D-Wandler 25 zugeführt, der aufgrund des quasi-binären Sondensignals bevorzugt als 1-Bit-Wandler (bei ternärer Auswertung des Sondensignals ist ein 2-Bit-Wandler notwendig) ausgebildet ist. Die Temperatur der Sauerstoffsonde 20 wird entweder durch einen Temperaturfühler mit der Ausgangsleitung 26 ausgegeben oder beispielsweise mittels einer an sich bekannten Temperaturüberwachungs-Einheit 27 aktiv über einen Heizer 28 auf konstante Temperatur geregelt. Im Abgaskanal 18 der Brennkraftmaschine 19 ist weiterhin zur Abgasreinigung ein Katalysator 34 vorgesehen.

Der Ausgang des A/D-Wandlers 25 ist mit einer Logik-Einheit 29 verbunden, die über eine Leitung 30 weitere Eingangssignale vom Zwischenspeicher 16 erhält. Ausgangsseitig liefert die Logik-Einheit 29 ein- oder mehrwertige Bit-Informationen, die der ALU 12 zugeführt werden.

Der Zwischenspeicher 16, der beispielsweise als Schieberegister ausgebildet sein kann, erhält neben den Eingangsgrößen $F \lambda(n, Q_L)$ als weitere Eingangsinformation ein Modulations-Bit zugeführt, welches angibt, ob das Gemisch durch den Modulator 13 angereicht oder abgemagert wurde. Die Speicherzeit des Zwischenspeichers kann durch eine Clock-Einheit 31 beeinflusst werden in Abhängigkeit von verschiedenen durch Pfeile angedeutete Betriebsparameter der Brennkraftmaschine 19, wie z.B. der Temperatur der Sauerstoffsonde T, der Drehzahl n, der angesaugten Luftmasse Q_L oder anderen Größen.

...

Schließlich ist noch ein Korrelator 32 vorgesehen, der seine Eingangssignale vom A/D-Wandler 25 und vom Modulator 13 erhält und mittels seiner Ausgangsgröße die Clock-Einheit 31 beeinflusst. Außerdem führt eine Leitung 33 von der Logik-Einheit 29 zum Modulator 13.

Die Funktionsweise der Anordnung stellt sich wie folgt dar:

Ausgehend von einem bestimmten Betriebszustand der Brennkraftmaschine wird ein entsprechender Wert im Kennfeldspeicher 10 angewählt, vom Modulator 13 in Abhängigkeit von der Taktfrequenz des Taktgenerators 17 mit einer positiven bzw. negativen Störung überlagert, im D/A-Wandler analogisiert und der jeweiligen Einspritzstufe 24 zugeführt um das Einspritzventil für eine entsprechende Zeitdauer zu öffnen. Gleichzeitig wird im Zwischenspeicher 16 die Adresse des angewählten Kennfeldwertes und das Vorzeichen der im Modulator 13 erzeugten Störung abgespeichert. Die Speicherzeit dieser beiden Informationen im Zwischenspeicher wird durch die Clock-Einheit 31 in Abhängigkeit von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine bestimmt. Ebenso ist es möglich, die Clock-Einheit mit dem Ausgang des Korrelators 32 anzusteuern, mit dem die notwendige Speicherzeit experimentiell bestimmt wird. Auf jedem Fall ist dafür zu sorgen, daß die Speicherzeit der Informationen im Zwischenspeicher genau der Verzögerungszeit ($T + \tau$) im Ansprechverhalten der Sauerstoffsonde 20 entspricht. Ist dies der Fall, so lassen sich in der Logik-Einheit 29 die entsprechenden Versuche (Vorzeichen der Störung) mit den zugehörigen Versuchsergebnissen (Ausgangssignal der Sauerstoffsonde) korrelieren. In der ALU 12 wird der betreffende Kennfeldwert, dessen Adressen ebenfalls über die Verzögerungszeit im Zwischenspeicher

...

gespeichert war, entsprechend dem Versuchsergebnis "normal" oder "katastrophal" (siehe Tabelle oben) den neuen Bedingungen angepaßt.

Die Kontrolleinheit 14 ist für einen korrekten Zeitablauf verantwortlich. Wenn beispielsweise der Kennfeldwert durch die ALU geändert wurde, muß die Logik während der Verzögerungszeit $T + \tau$ stillgelegt werden, damit die Wirkung der neuesten Änderung von der Sauerstoffsonde erkannt wird. D.h., daß im stationären Fall der Kennfeldwert höchstens in Zeiteinheiten $T + \tau$ abänderbar ist.

Eine vereinfachte Ausführungsform der Anordnung besteht darin, auf eine sehr genaue Kenntnis der Verzögerungszeit $T + \tau$ zu verzichten und statt einzelner positiver bzw. negativer Störsignale längere Störsignalsequenzen auszuwerten. Dann wäre lediglich zu untersuchen, ob während des Ablaufs dieser Störsignal-Sequenz kein neuer Kennfeldwert angefahren wurde. Falls dies der Fall ist, wird in der vereinfachten Betrachtungsweise davon ausgegangen, daß dieser Kennfeldwert keine große Bedeutung für das Fahrverhalten der Brennkraftmaschine haben kann, da er nur sehr kurzzeitig angefahren wurde. Liegt jedoch der Kennfeldwert während des Ablaufes der ganzen Sequenz unverändert vor, so richtet sich die Vorgehensweise wieder, wie gehabt, nach der Signalform des Sauerstoffsonden-Ausgangssignals (siehe Figur 2). Zusätzlich zu den in der Tabelle angegebenen Maßnahmen zur Veränderung des Kennfeldwertes könnte bei dieser vereinfachten Vorgehensweise auch die Länge der Störsequenz gekürzt werden um wieder einen schnelleren Korrekturingriff durchführen zu können.

...

Falls man den Rechenaufwand noch weiter verringern möchte, kann es von Nutzen sein, auf eine Anpassung jedes einzelnen Kennfeldwertes $F\lambda$ zu verzichten und dafür einen einzigen Korrekturfaktor oder mehrere Korrekturfaktoren, die z.B. für verschiedene Zonen im Kennfeldbereich zuständig sind, adaptiv nachzuführen. Die hohe Modulationsfrequenz würde auch nach dieser vereinfachten Ausführungsform erhalten bleiben.

Das Ausführungsbeispiels wurde anhand eines Blockdiagramms mit verschiedenen einzelnen Komponenten erläutert. Es versteht sich aber, daß es für den entsprechenden Fachmann keinerlei Schwierigkeiten darstellt, das erfindungsgemäße Verfahren mit Hilfe eines entsprechend programmierten Mikrocomputers durchzuführen.

R. 19008
3.10.1983 Vb/Hm

ROBERT BOSCH GMBH, 7000 STUTTGART 1

Ansprüche

1. Verfahren zur Luft-Kraftstoff-Gemischbildung für eine Brennkraftmaschine mit einer dem Abgas ausgesetzten, auf den Sauerstoffgehalt des Abgases empfindlichen Sauerstoffsonde, eine die Ausgangssignale der Sauerstoffsonde verarbeitenden Signalverarbeitungseinheit und einem Speicher zur Speicherung eines, wenigstens von einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine abhängigen Kennfeldes mit Kennfeldwerten, die die zuzumessende Kraftstoffmenge bestimmen, dadurch gekennzeichnet, daß den Kennfeldwerten (F_{λ}) zeitlich veränderliche Störungen überlagert, die Ausgangssignale (U_{λ}) der Sauerstoffsonde auf ihre Änderung hinsichtlich der Störgröße ausgewertet und die Kennfeldwerte zur Erzielung eines optimalen Luft-Kraftstoff-Gemisches entsprechend korrigiert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitlich veränderliche Störung der Kennfeldwerte (F_{λ}) durch eine Addition bzw. Subtraktion einer Störgröße (ΔF_{\pm}) zu bzw. von den Kennfeldwerten realisiert wird.

3. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß gerade dem in Abhängigkeit von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine ausgelesenen Kennfeldwert (F_{λ}) die zeitlich veränderliche Störgröße (ΔF_{\pm}) überlagert wird.

...

4. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche Veränderung der Störgröße (ΔF_{\pm}) in Abhängigkeit von wenigstens einem Betriebsparameter der Brennkraftmaschine erfolgt.

5. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die zeitliche Veränderung der Störgröße (ΔF_{\pm}) mit konstanter Frequenz erfolgt.

6. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal (U_{λ}) der Sauerstoffsonde mit der Störgröße unter Berücksichtigung der Zeitverzögerung ($T+\tau$) zwischen diesen beiden Signalen verglichen wird.

7. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Zeitverzögerung ($T+\tau$) zwischen den Ausgangssignalen (U_{λ}) der Sauerstoffsonde und der Störung über eine Speicherung der Störgröße (ΔF_{\pm}) in einem Zwischenspeicher ausgeglichen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Speicherzeit des Zwischenspeichers in Abhängigkeit von Betriebsparametern der Brennkraftmaschine einstellbar ist.

9. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Speicherzeit des Zwischenspeichers in Abhängigkeit von dem Ergebnis einer Kreuzkorrelationsanalyse der Störgröße (ΔF_{\pm}) und dem Sauerstoffsonden-Ausgangssignal (U_{λ}) durchgeführt wird.

...

10. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude der Störgröße (ΔF_{\pm}) in Abhängigkeit von dem Ergebnis des Vergleichs der Störgröße mit dem Ausgangssignal der Sauerstoffsonden-Ausgangsgröße (U_{λ}) geändert wird.

11. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennfeldwerte auf einen Wert des Luft-Kraftstoff-Verhältnisses korrigiert werden, bei dem die im Abgas enthaltenen Schadstoffe beispielsweise durch katalytische Nachbehandlung auf minimale Werte reduziert werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennfeldwerte auf ein Luft-Kraftstoff-Verhältnis in der Umgebung von $\lambda = 1$ korrigiert werden.

13. Verfahren nach wenigstens einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennfeldwerte in Abhängigkeit von der Drehzahl (n) und der angesaugten Luftmenge (Q_L) bzw. dem Saugrohrdruck (p_L) der Brennkraftmaschine in dem Kennfeldspeicher abgelegt werden.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß für den Fall einer separaten Ansteuerung jedes einzelnen Einspritzventils dem betreffenden, die Kraftstoffmenge bestimmenden Kennfeldwert (F_{λ}) maximal einmal pro Kraftstoffzumessung für jeden Einzylinder eine Störung (ΔF_{\pm}) überlagert wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Modulationsfrequenz der die Kraftstoffzumessung bestimmenden Kennfeldwerte (F_{λ}) für den Fall der gemeinsamen Ansteuerung mehrerer Einspritzventile gegenüber dem Fall der separaten Ansteuerung der Einspritzventile herabgesetzt ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Kennfeldwerte (F_{λ}) zylinderspezifisch korrigiert und abgespeichert werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß zylinderspezifische Kennfeldwerte für einen Zylinder ermittelt, mit dem Mittelwert aus den zylinderspezifischen Kennfeldwerten der anderen Zylinder verglichen und gegebenenfalls zylinderspezifische Korrekturwerte für diesen Zylinder abgespeichert werden.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 16, 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Einzelzylinderanpassung der Kennfeldwerte (F_{λ}) in definierten Zeitabständen, durchgeführt wird.

FIG. 1

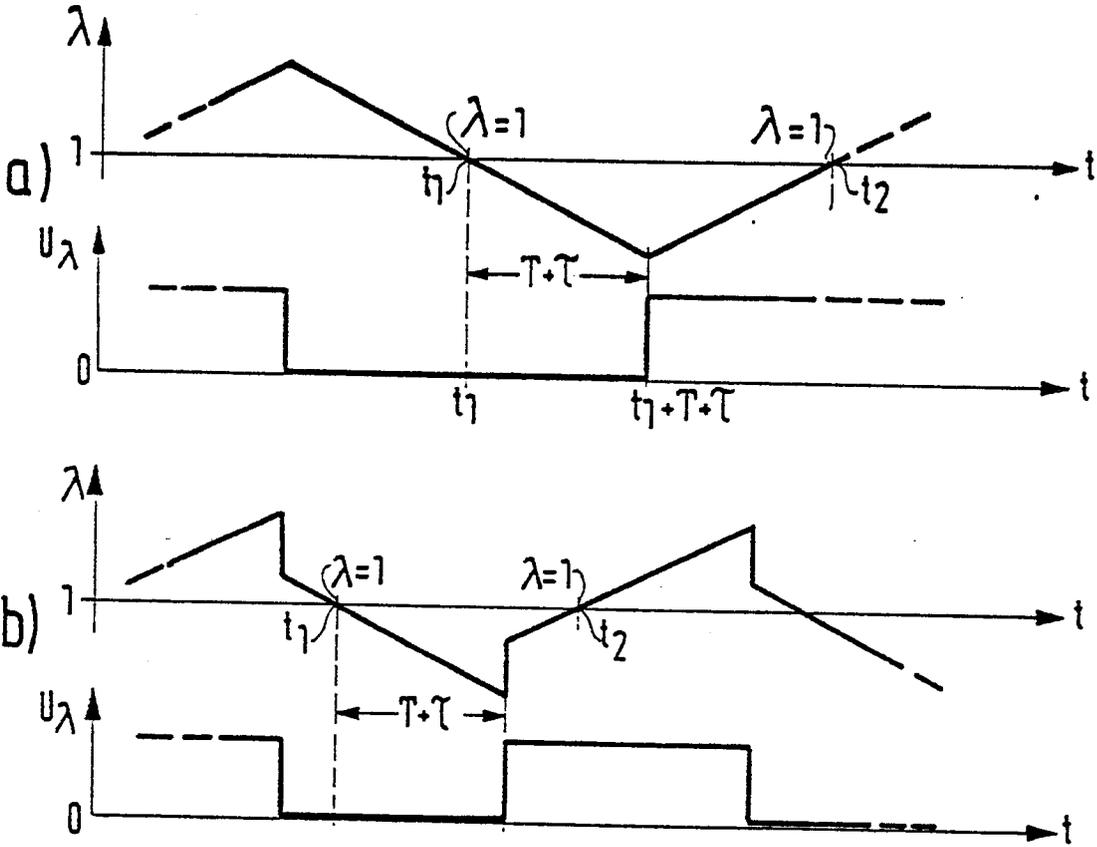


FIG. 2

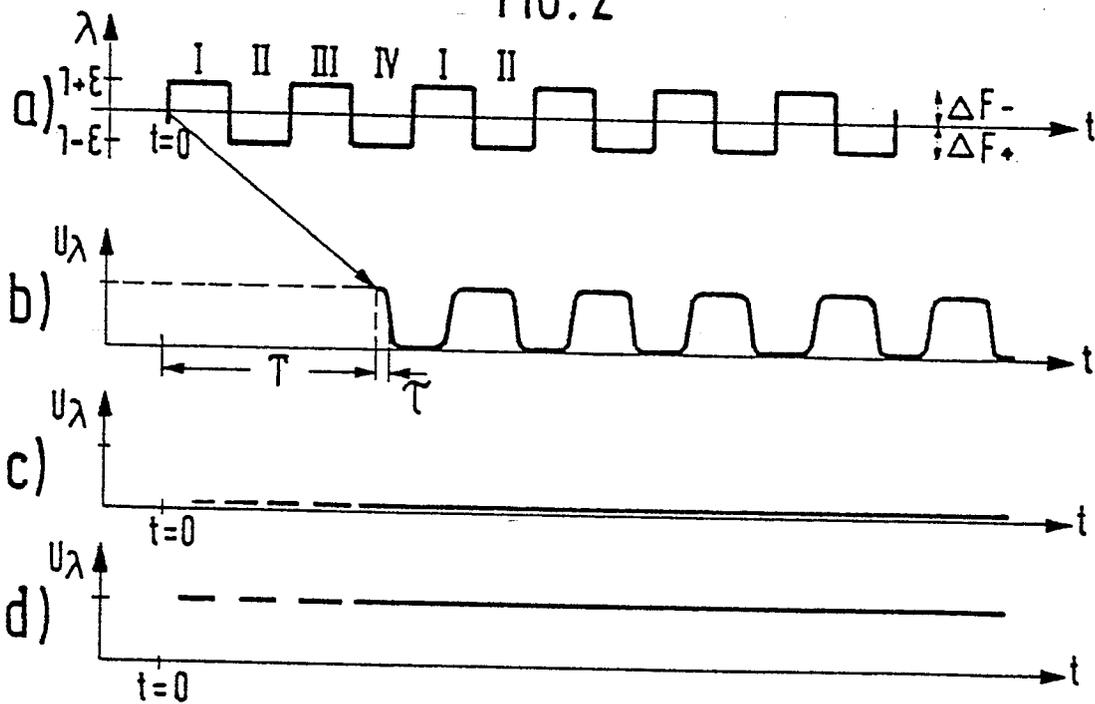


FIG. 3

