

(12) **Patentschrift**

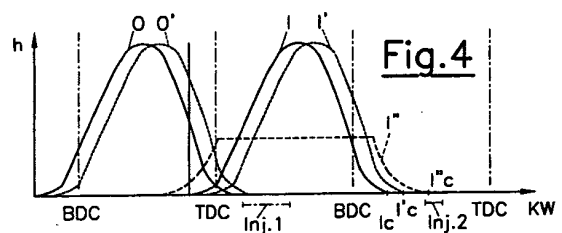
(21) Anmeldenummer: A 2107/2004 (51) Int. Cl.⁸: **F02M 25/07** (2006.01)
F02B 47/08 (2006.01)
(22) Anmeldetag: 2004-12-16 **F02D 21/08** (2006.01)
(43) Veröffentlicht am: 2007-12-15

(56) Entgegenhaltungen:
JP 41-75449A DE 10065266A1
WO 2003/042521A2

(73) Patentanmelder:
AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ (AT)
(72) Erfinder:
DENGER DIRK DIPL.ING.
GRAZ (AT)
PINTER ALEXANDER DIPL.ING.
GRAZ (AT)
HAIMANN ANDREAS DIPL.ING.
GRAZ (AT)
KOPP CHRISTIAN
GÖSSENDORF (AT)
PIOCK WALTER
HITZENDORF (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER BRENNKRAFTMASCHINE**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, wobei zumindest in einem ersten Motorbetriebsbereich sowohl externe, als auch interne Abgasrückführung durchgeführt wird. Zur Anhebung der Restgasverträglichkeit im Vollastbereich und zur Verminderung der Klopfneigung, insbesondere bei oder vor einem Klopfereignis ist vorgesehen, dass die turbulente kinetische Energie im Zylinder - im Vergleich zu einem Referenzbetriebsbereich - zumindest kurzzeitig erhöht wird.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine, wobei zumindest in einem Motorbetriebsbereich sowohl eine externe, als auch interne Abgasrückführung durchgeführt wird, sowie eine Brennkraftmaschine zur Durchführung dieses Verfahrens. Weiters betrifft die Erfindung eine Motorsteuerung zur Anwendung des Verfahrens.

Die JP 04-175449 A beschreibt eine Brennkraftmaschine, welche zur Reduzierung der Pumpverluste im Teillastbereich und zur Verhinderung des Auftretens von Klopfereignissen ein internes und ein externes Abgasrückführsystem aufweist. Dabei wird im niederen Teillastbereich eine interne Abgasrückführung und im hohen Lastbereich eine externe Abgasrückführung durchgeführt. Mit steigender Last wird somit der Anteil der intern rückgeführten Abgasmenge reduziert und der Anteil der extern rückgeführten Abgasmenge erhöht. Die Steuerung der internen Abgasrückführung erfolgt durch Verstellen der Steuerzeiten mittels Phasenschieber. Die Rückführung von externem Abgas im hohen Lastbereich bewirkt eine Steigerung des Zylinderdruckes und eine Absenkung der Zylindertemperatur. Die Steigerung des Zylinderdruckes wirkt sich beschleunigend auf die Verbrennung aus, die Absenkung der Verbrennungstemperatur wirkt dem allerdings entgegen und verlangsamt die Verbrennung. Dadurch kann das Klopfverhalten und die Restgasverträglichkeit bei Vollast nicht wesentlich verbessert werden.

Die DE 100 65 266 A1 beschreibt ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine. Um die Klopfempfindlichkeit der Brennkraftmaschine gering zu halten und gleichzeitig einen hohen Wirkungsgrad zu gewährleisten, sieht das Verfahren vor, dass im gesamten Lastbereich der Brennkraftmaschine eine turbulente Strömung erzeugt und die Verbrennungsluft außerhalb des Brennraumes vorverdichtet wird.

Aufgabe der Erfindung ist es, diese Nachteile zu vermeiden und das Klopfverhalten und die Restgasverträglichkeit, insbesondere bei mittlerer bis hoher Teillast und bei Vollast, zu verbessern.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, dass zur Verminderung der Klopfneigung, insbesondere bei oder vor einem Klopfereignis, die kinetische turbulente Energie im Zylinder - im Vergleich zu einem Referenzbetriebspunkt, vorzugsweise bei hoher Last - zumindest kurzzeitig erhöht wird, wobei der Restgasgehalt im Zylinderraum zumindest während der Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie mittels Variieren der Öffnungszeit des Einlassventils, der Schließzeit des Einlassventils und/oder der Schließzeit des Auslassventils eingestellt wird. Als Referenzbetriebspunkt kann dabei beispielsweise der gleiche Betriebspunkt bei maximaler interner Restgasrückführrate ohne externe Restgasrückführung betrachtet werden.

Zur Verminderung der Klopfneigung und Sicherstellung der Restgasverträglichkeit des Verbrennungsprozesses wird die turbulente kinetische Energie im Zylinder bei gleichzeitiger Zunahme der rückgeführten Abgasmengen erhöht, bei gleichzeitiger Anpassung der Steuerzeiten an die rückgeführte externe Restgasmenge. Das erfindungsgemäße Verfahren macht sich dabei die Tatsache zu Nutze, dass bei steigender turbulenter kinetischer Energie die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit ansteigt und dadurch die Restgasverträglichkeit des Brennprozesses steigt und die Selbstzündungsneigung (Klopfen) abnimmt.

Zur Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie können dabei einzelne oder eine Kombination von verschiedenen Ladungsbewegungsmaßnahmen getroffen werden. Erfindungsgemäß ist dazu vorgesehen, dass zur Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie im Zylinderraum der Ventilhub zumindest eines Auslassventils und/oder zumindest eines Einlassventils vermindert wird und/oder der Einlassschließzeitpunkt nach spät gelegt wird. Zusätzlich kann dabei vorgesehen sein, dass die turbulente kinetische Energie durch zumindest eine brennraumseitige, einspritzseitige oder kanalseitige Ladungsbewegungsmaßnahme erhöht wird, wobei brennraumseitig vorzugsweise die turbulente kinetische Energie durch eine Ventilmaskierung oder durch Ausprägen einer Quetschströmung im Zylinderraum erhöht wird. Durch gezielte

Ladungsbewegung und Erhöhung der kinetischen Energie kann die Restgasverträglichkeit gehoben und somit eine hohe Abgasrückführrate realisiert werden.

5 Eine weitere erfindungsgemäße Maßnahme sieht vor, dass der Verlauf der Schließflanke und oder der Schließrampe zumindest eines Einlassventils gegenüber dem Referenzbetriebspunkt mit internem Restgas verändert wird, wobei vorzugsweise die Schließflanke und oder die Schließrampe im Betrieb mit interner- und externer Restgasbeimengung flacher als im Referenzbetriebspunkt mit reiner interner Restgasbeimengung eingestellt wird.

10 Eine Kühlung des extern rückgeführten Abgases wirkt sich darüber hinaus ebenfalls vorteilhaft auf die Senkung der Klopfneigung aus.

Zur Durchführung des Verfahrens eignet sich eine Brennkraftmaschine mit externem und internem Abgasrückführsystem, welches zumindest ein Mittel zu Anhebung der turbulenten kinetischen Energie im Zylinderraum aufweist. Das Mittel zur Anhebung der kinetischen Energie kann dabei durch einen variablen, vorzugsweise einen vollvariablen Ventiltrieb gebildet werden. Bei einfachen variablen Ventiltriebssystemen mit Phasenverstellung einer oder beider Ventilhubfunktionen der Einlass- und Auslassnockenwelle wird die Steigerung der kinetischen Energie durch Spätverstellung des EinlassschlieÙzeitpunktes gegenüber dem Referenzbetriebspunktes erreicht. Dabei wird der Abschluss der Energieeinbringung nach spät verschoben, wodurch ein höheres kinetisches turbulentes Energieniveau während des Verbrennungsprozesses erzeugt wird. Hierbei wird die interne Restgasmenge, bei einfachen variablen Ventiltriebssystemen, durch gleichzeitiges Spätverstellen des AuslassschlieÙzeitpunktes sichergestellt. Bei vollvariablen Ventiltriebssystemen ist es zusätzlich gegenüber einfach variablen Ventiltriebssystemen mit Phasenverstellung möglich, den Hub des Einlass- und/oder Auslassventils zu begrenzen und damit die Einströmgeschwindigkeit in den Zylinderraum weiter zu erhöhen, was eine zusätzliche Steigerung der turbulenten Energie im Zylinderraum bewirkt. Weiters kann wie bei einfach variablen Ventiltriebssystemen der EinlassschlieÙzeitpunkt nach spät verstellt werden, wodurch ein erhöhtes kinetisches Energieniveau bis zum Verbrennungsereignis im Zylinder gehalten wird. Eine zusätzliche Verstärkung der turbulenten kinetischen Energie kann durch eine brennraumseitige, kraftstoffeinspritzseitige oder kanalseitige Ladungsbewegungseinrichtung, wie durch Kanalabschaltung oder Tumbleklappe erreicht werden. Hierbei kommt der kraftstoffeinspritzunterstützten Ladungsbewegung durch Direkteinspritzung in den Brennraum eine besondere Bedeutung zu. Der auftretende Einspritzimpuls bei Direkteinspritzung in den Brennraum erhöht zusätzlich zu den im Vorfeld genannten Ladungsbewegungsmaßnahmen die turbulente kinetische Energie im Brennraum bei gleichzeitiger Kühlung der im Zylinder befindlichen Ladungsmenge zur Herabsetzung der Ladungstemperatur. Durch Einsatz von gezielter direkter Mehrfacheinspritzung in den Brennraum kann damit das turbulente kinetische Energieniveau im Brennraum zusätzlich gesteuert werden.

40 Bevorzugt ist vorgesehen, dass die Brennkraftmaschine ein Ladersystem zur Anhebung des Einlassdruckes aufweist. Alternativ dazu kann die Brennkraftmaschine aber auch ein Saugmotor sein.

45 Die Erfindung wird im Folgenden anhand der Figuren näher erläutert.

Es zeigen Fig. 1 die Klopfneigung in Abhängigkeit des Druck-Temperaturkoeffizienten, Fig. 2 die Klopfneigung in Abhängigkeit der kinetischen turbulenten Energie, Fig. 3 die Klopfneigung in Abhängigkeit von Parametern im Zylinderraum, Fig. 4 ein Ventilhub-Kurbelwinkel- und Fig. 5 ein turbulente kinetische Energie-Kurbelwinkel-Diagramm.

55 Wie in Fig. 1, 2 und 3 dargestellt ist, hängt die Klopfneigung K vom Zylinderdruck p , der Zylindertemperatur T , sowie der turbulenten kinetischen Energie E_{kin} im Zylinder ab. Die Klopfneigung K steigt dabei ungefähr proportional mit dem Produkt $p \cdot T$ des Zylinderdruckes p und der Zylindertemperatur T und sinkt mit steigender turbulenter kinetischer Energie E_{kin} . Mit KI ist die

Klopfgrenze angedeutet.

BDC bzw. TDC bezeichnen in Fig. 4 und 5 den unteren bzw. oberen Totpunkt des Kolbens.

- 5 Ziel ist es, eine Reduktion der Klopfneigung K bei einem hohen p^*T -Koeffizienten im Zylinder zu erreichen. Dabei sollen hohe Abgasrückführraten bei hoher Last gewährleistet werden.

Die hohe Restgasverträglichkeit wird durch Anhebung der turbulenten kinetischen Energie E_{kin} erreicht, siehe Fig. 5. Dadurch kann bei mittlerer/hohler Teillast und Vollast die externe Abgasrückführmenge erhöht und die interne Abgasrückführmenge annähernd gleich gehalten werden.
10 Die Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie E_{kin} erfolgt durch zumindest eine Ladungsbewegungsmaßnahme, beispielsweise die Reduzierung des Einlassventilhubes mittels einer vollvariablen Ventiltriebeinrichtung oder die Spätverstellung des Einlassschließezeitpunktes, verstärkt kann dieser Effekt werden durch die direkte Einspritzung von Kraftstoff in den Brennraum. Wobei durch mehrfache Einspritzung dieser Effekt noch einmal gesteigert werden kann,
15 siehe Fig. 4 und Fig. 5. Um die gleiche Zylinderfüllung zu gewährleisten, wird der Einlassschluss l_c nach spät verlegt und oder über eine Drosselklappe eingeregelt.

In Fig. 4 ist mit O die Auslass- und mit l die Einlassventilhubkurve in einem beispielsweise der hohen Teillast zugeordneten Referenzbetriebspunkt zugeordnet. Die Beispiele Auslassventilhubfunktion O und O' zeigen in Kombination mit den Einlassventilhubfunktionen l' und l'' mögliche Betriebseinstellungen mit erhöhter turbulenter kinetischer Energie wie in Fig. 5 dargestellt. Der verzögerte Einlassschluss l'_c und l''_c bewirkt, dass ein hohes Turbulenzniveau bis in den Verbrennungsbereich nach spät verschoben wird, was sich vorteilhaft auf die Verbrennungsgeschwindigkeit auswirkt (Fig. 5: E_{kin}'). Im Beispiel l'' mit geringeren Ventilhub, strömt die Ladung mit erhöhter Geschwindigkeit in den Zylinderraum ein und erhöht somit die kinetische Energie E_{kin} im Zylinderraum (Fig. 5: E_{kin}''). Mittels des vollvariablen Ventiltriebes können weiters die Flankengeschwindigkeit, sowie die Rampengeschwindigkeit der Erhebungskurven so verändert werden, dass ein hohe turbulente kinetische Energie im Zylinderraum erzeugt wird. Weiters ist es möglich, den Auslassschluss, den Einlassschluss und den Einlassöffnungsbeginn zu verändern, um Klopfneigung, Restgasverträglichkeit und Verbrennung zu optimieren. Die turbulente kinetische Energie kann darüber hinaus über weitere Ladungsbewegungsmaßnahmen, wie Ventilmaskierung für Einlass- und/oder Auslassöffnungen, durch quetschströmungserzeugende konstruktive Maßnahmen, durch kanalseitige Maßnahmen oder einspritzgestützte Maßnahmen erhöht werden. In Fig. 4 sind als Beispiel die Kraftstoffeinspritzbereiche Inj. 1, Inj. 2 für Mehrfacheinspritzung eingezeichnet. Die sich daraus ergebende Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie ist beispielhaft in Fig. 5 durch die Linie E_{kin}'' Inj. gezeigt, wobei hier eine Überlagerung der turbulenten kinetischen Energie mit E_{kin}'' dargestellt ist. Unter kanalseitigen Maßnahmen werden in diesem Zusammenhang beispielsweise Tumble- und Drallkanäle, sowie Drall- und/oder Tumblesteuereinrichtungen im Einlass- oder Auslasskanal verstanden.
40

Besonders günstig ist es, wenn die Brennkraftmaschine ein Ladersystem, beispielsweise einen Turbolader, Kompressor, oder dergleichen aufweist. In diesem Falle kann es - insbesondere bei ungedrosselten Motoren - vorteilhaft sein, wenn die externe Abgasrückführleitung über eine Venturi-Einheit in die Einlassleitung einmündet. Auf diese Weise lassen sich auch bei ungünstigen Druckverhältnissen zwischen Auslass- und Einlasssystem hohe Abgasrückführraten erreichen.
45

Niedrige Temperaturen des extern rückgeführten Abgases wirken sich vorteilhaft auf die Klopfneigung aus. Daher ist eine Kühleinrichtung für das rückgeführte Abgas vorteilhaft.
50

Das erfindungsgemäße Verfahren eignet sich insbesondere für Otto-Brennkraftmaschine, unabhängig von Taktverfahren und/oder Zylinderabschaltstrategien.

55 Wesentlich ist, dass die Klopfgrenze in Richtung früherer Zündzeitpunkte verschoben werden

kann, sodass die Brennkraftmaschine, im Bereich optimalen Wirkungsgrades bzw. nahe dieses Bereichs in der Vollast und in der hohen Teillast gefahren werden kann, wodurch sich wesentliche Vorteile für Verbrauch und Emissionen ergeben.

- 5 Das erfindungsgemäße Verfahren ist unabhängig vom Einspritzsystem, vom Zündsystem, vom Aufladesystem, von der Luft/Kraftstoffstrategie und kann in Kombination mit verschiedenen Abgasnachbehandlungssystemen verwendet werden. Obwohl sich das Verfahren am besten in Zusammenhang mit vollvariablen Ventiltriebssystemen eignet, ist es auch vorteilhaft, das Verfahren mit teilvariablen Ventiltriebssystemen einzusetzen.

10

Patentansprüche:

- 15 1. Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine, insbesondere einer fremdgezündeten Brennkraftmaschine, wobei zumindest in einem Motorbetriebsbereich sowohl eine externe, als auch interne Abgasrückführung durchgeführt wird, *dadurch gekennzeichnet*, dass zur Verminderung der Klopfneigung, insbesondere bei oder vor einem Klopfereignis, die kinetische turbulente Energie im Zylinder - im Vergleich zu einem Referenzbetriebspunkt, vorzugsweise bei hoher Last - zumindest kurzzeitig erhöht wird, wobei der Restgasgehalt im Zylinderraum zumindest während der Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie mittels Variieren der Öffnungszeit des Einlassventils, der Schließzeit des Einlassventils und/oder der Schließzeit des Auslassventils eingestellt wird.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass bei Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie die interne Abgasrückführungsmenge konstant gehalten oder gesteigert wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass bei Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie die externe Abgasrückführungsmenge angehoben wird.
- 30 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass zur Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie im Zylinderraum der Einlassschließzeitpunkt der Einlassventilerhebungsfunktion nach spät verstellt wird.
- 35 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass zur Erhöhung der turbulenten kinetischen Energie im Zylinderraum der Ventilhub zumindest eines Auslassventils und/oder zumindest eines Einlassventils vermindert wird.
- 40 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Verlauf der Schließflanke und/oder der Schließrampe zumindest eines Einlassventils im Betrieb mit hoher Restgasrate, vorzugsweise mit interner und externer Restgasbeimengung gegenüber dem Referenzbetrieb mit niedrigerer oder gleicher Restgasrate ohne externe Restgasbeimengung, verändert wird, wobei vorzugsweise die Schließflanke im Betrieb mit interner und externer Restgasbeimengung flacher als im Referenzbetrieb eingestellt wird.
- 45 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass die turbulente kinetische Energie durch zumindest eine brennraumseitige, kraftstoffeinspritzseitige oder kanalseitige Ladungsbewegungsmaßnahme erhöht wird.
- 50 8. Verfahren nach Anspruch 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass die turbulente kinetische Energie durch zumindest eine in den Brennraum einspritzende Kraftstoffeinbringung erhöht wird, wobei vorzugsweise Kraftstoff mehrfach während eines Arbeitstaktes eingespritzt wird.
- 55 9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, *dadurch gekennzeichnet*, dass die kinetische turbulenten-

te Energie durch eine Ventilmaskierung oder durch Ausprägen einer Quetschströmung im Zylinderraum erhöht wird.

- 5 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Einlassdruck mit einem Ladersystem angehoben wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, *dadurch gekennzeichnet*, dass das extern rückgeführte Abgas gekühlt wird.
- 10 12. Brennkraftmaschine zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Brennkraftmaschine ein externes und ein internes Abgasrückführsystem aufweist, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Brennkraftmaschine ein Mittel zur Anhebung der turbulenten kinetischen Energie im Zylinderraum aufweist.
- 15 13. Brennkraftmaschine nach Anspruch 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Mittel zur Anhebung der turbulenten kinetischen Energie durch eine vollvariable Ventiltriebseinrichtung gebildet ist.
- 20 14. Brennkraftmaschine nach Anspruch 12 oder 13, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Mittel zur Anhebung der turbulenten kinetischen Energie eine brennraumseitige, Kraftstoffeinspritzseitige oder kanalseitige Ladungsbewegungseinrichtung aufweist.
- 25 15. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 12 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Brennkraftmaschine ein Ladersystem zur Anhebung des Einlassdruckes aufweist, wobei das Ladersystem vorzugsweise aus einem Abgasturbolader oder einem mechanisch angetriebenen Verdichter besteht.
- 30 16. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 12 bis 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass das externe Abgasrückführsystem einen Abgasrückführkühler aufweist.
- 35 17. Brennkraftmaschine nach einem der Ansprüche 12 bis 16, *dadurch gekennzeichnet*, dass im Bereich der Einmündung des Abgasrückführleitung des externen Abgasrückführsystems in der Einlassleitung eine Venturi-Einheit angeordnet ist.
- 40 18. Motorsteuerungseinrichtung unter Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11, welches die Brennkraftmaschine so steuert, dass zur Verminderung der Klopfneigung, insbesondere bei oder vor einem Klopfereignis, die kinetische turbulente Energie im Zylinder - im Vergleich zu einem Referenzbetriebspunkt, vorzugsweise bei hoher Last - zumindest kurzzeitig erhöht wird, wobei interne- und externe Abgasrückführung durchgeführt wird.

Hiezu 1 Blatt Zeichnungen

45

50

55



Fig.1

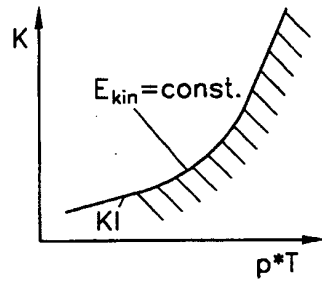


Fig.2

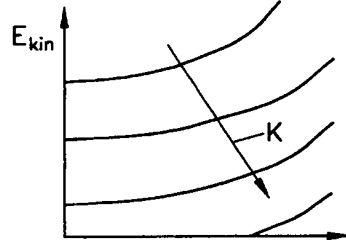
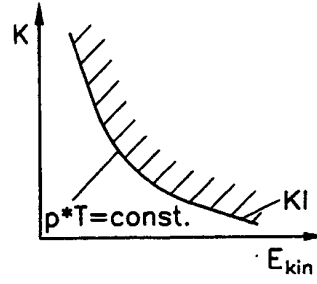


Fig.3

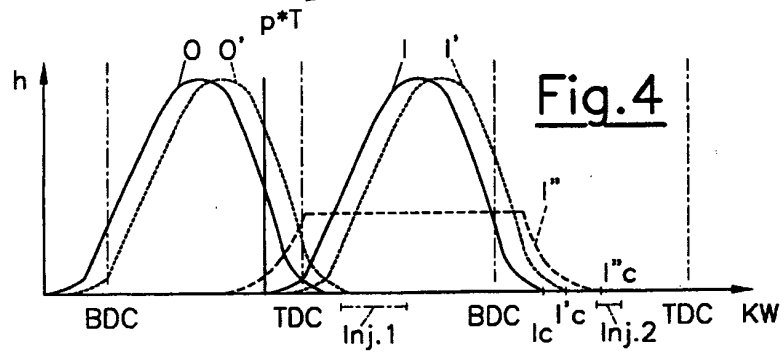


Fig.4

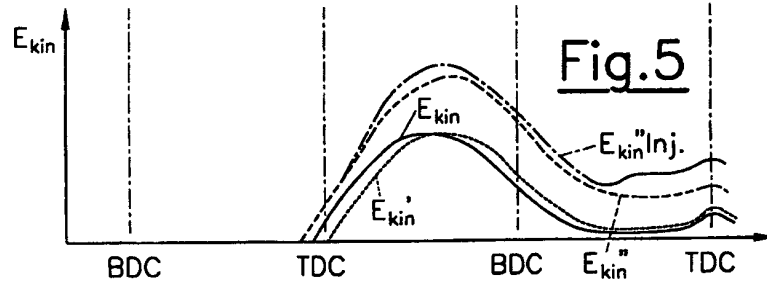


Fig.5