

(12) **Patentschrift**

(21)	Anmeldenummer:	A 51125/2020	(51)	Int. Cl.:	F02D 15/02	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	22.12.2020			F02B 75/04	(2006.01)
(45)	Veröffentlicht am:	15.08.2022			F16C 7/06	(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2016016197 A1
WO 2015055582 A2

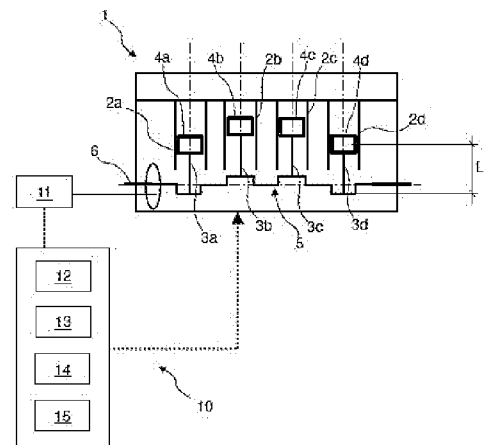
(73) Patentinhaber:
AVL List GmbH
8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
St John Robert
8020 Graz (AT)

(74) Vertreter:
Kopetz Heinrich Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren zum Steuern einer wirksamen Länge eines längenverstellbaren Pleuels für eine Hubkolbenmaschine**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren (100) zum Steuern einer wirksamen Länge (L) eines längenverstellbaren Pleuels (3a, 3b, 3c, 3d) für eine Hubkolbenmaschine (1), insbesondere eine Brennkraftmaschine, mit einem variablen Verdichtungsverhältnis, wobei die Hubkolbenmaschine (1) wenigstens einen Hubkolben (4a, 4b, 4c, 4d) aufweist, der mit dem Pleuel (3a, 3b, 3c, 3d) und einem Kurbeltrieb (5) in der Weise zusammenwirkt, dass eine oszillierende Bewegung des Hubkolbens (4a, 4b, 4c, 4d) in eine Rotationsbewegung einer Kurbelwelle (6) umwandelbar ist, wobei die Hubkolbenmaschine (1) in der Weise betrieben (100-1) wird, dass das Pleuel (3a, 3b, 3c, 3d) eine erste wirksame Länge aufweist. Erfindungsgemäß sind folgende Arbeitsschritte vorgesehen: Erfassen (101a) einer Drehzahl (n) der Kurbelwelle (6); Ermitteln (102) eines Drehzahlgradienten (Δn) auf der Grundlage der erfassten Drehzahl (n); Vergleichen (104a) eines Werts des ermittelten Drehzahlgradienten (Δn) mit einem Schwellenwert ($S\Delta n$) des Drehzahlgradienten (Δn); und Einstellen (105a) einer zweiten wirksamen Länge (L), wenn der Schwellenwert ($S\Delta n$) des Drehzahlgradienten (Δn) durch den Wert erreicht wird.



Verfahren zum Steuern einer wirksamen Länge eines längenverstellbaren Pleuels für eine Hubkolbenmaschine

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer wirksamen Länge eines längenverstellbaren Pleuels für eine Hubkolbenmaschine, insbesondere eine Brennkraftmaschine, mit einem variablen Verdichtungsverhältnis, wobei die Hubkolbenmaschine wenigstens einen Hubkolben aufweist, der mit dem Pleuel und einem Kurbeltrieb in der Weise zusammenwirkt, dass eine oszillierende Bewegung des Hubkolbens in eine Rotationsbewegung umwandelbar ist, wobei eine Drehzahl der Kurbelwelle und eine erste wirksame Länge des Pleuels erfasst wird. Des Weiteren betrifft die Erfindung eine entsprechende Hubkolbenmaschine.

Aus dem Stand der Technik sind Hubkolbenmaschinen mit variablem Verdichtungsverhältnis bekannt, wobei als Verdichtungsverhältnis ε vorliegend insbesondere in fachüblicher Weise das Verhältnis der Summe von (Kolben-)Hubvolumen V_h und Kompressions- bzw. Restvolumen V_k zu dem Kompressions- bzw. Restvolumen V_k alleine verstanden wird ($\varepsilon = V_h + \frac{V_k}{V}$).

Hierdurch kann eine Funktionalität der Hubkolbenmaschine verbessert, insbesondere an unterschiedliche Lastbereiche adaptiert werden.

Das Dokument WO 2015/055582 A2 schlägt hierzu längenverstellbare Pleuel, auch Pleuelstangen genannt, vor. Der Inhalt dieses Dokuments wird ausdrücklich in die vorliegende Offenbarung durch Referenz einbezogen.

Ein Verfahren zum Betreiben einer längenverstellbaren Pleuelstange ist im Dokument WO 2016/016197 A1 beschrieben.

Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Hubkolbenmaschine mit variablem Verdichtungsverhältnis und/oder deren Betrieb zu verbessern. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, einen Verschleiß der längenverstellbaren Pleuel zu vermindern oder gar eine Beschädigung der längenverstellbaren Pleuel durch Überlastung zu verhindern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren und eine Hubkolbenmaschine sowie ein Kraftfahrzeug gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den Unteransprüchen beansprucht.

Ein erster Aspekt der Erfindung betrifft ein Verfahren zum Steuern einer wirksamen Länge eines längenverstellbaren Pleuels für eine Hubkolbenmaschine, insbesondere eine Brennkraftmaschine, mit einem variablen Verdichtungsverhältnis, wobei die Hubkolbenmaschine wenigstens einen Hubkolben aufweist, der mit dem Pleuel und einem Kurbeltrieb in der Weise zusammenwirkt, dass eine oszillierende Bewegung des Hubkolbens in eine Rotationsbewegung einer Kurbelwelle umwandelbar ist, folgende Arbeitsschritte aufweisend:

Betreiben der Hubkolbenmaschine, wobei das Pleuel eine erste wirksame Länge aufweist;

Erfassen einer Drehzahl der Kurbelwelle;

Ermitteln eines Drehzahlgradienten auf der Grundlage der erfassten Drehzahl;

Vergleichen eines ermittelten Werts des Drehzahlgradienten mit einem Schwellenwert des Drehzahlgradienten in Bezug auf die erste wirksame Länge; und

Einstellen einer zweiten wirksamen Länge, wenn der Schwellenwert des Drehzahlgradienten durch den Wert erreicht wird.

Gegebenenfalls erfolgt gleichzeitig mit, vor oder unmittelbar nach dem Arbeitsschritt des Erfassens einer Drehzahl der Kurbelwelle das Erfassen einer ersten wirksamen Länge des Pleuels.

Ein zweiter Aspekt der Erfindung betrifft eine Hubkolbenmaschine, insbesondere eine Brennkraftmaschine, mit einem variablen Verdichtungsverhältnis, wobei die Hubkolbenmaschine wenigstens einen Hubkolben, ein Pleuel, einen Kurbeltrieb und eine Steuereinrichtung aufweist, wobei der Hubkolben mit dem Pleuel und dem Kurbeltrieb in der Weise zusammenwirkt, dass eine oszillierende Bewegung des Hubkolbens in eine Rotationsbewegung einer Kurbelwelle umwandelbar ist, und die Steuereinrichtung eingerichtet ist, um ein Verfahren zum Steuern der wirksamen Länge gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung auszuführen, und/oder aufweist:

Mittel, insbesondere einen Drehzahlsensor, zum Erfassen einer Drehzahl der Kurbelwelle;

vorzugsweise Mittel zum Erfassen einer ersten wirksamen Länge des Pleuels;

Mittel zum Ermitteln eines Drehzahlgradienten auf der Grundlage der erfassten Drehzahl;

Mittel zum Vergleichen eines ermittelten Werts des Drehzahlgradienten mit einem Schwellenwert des Drehzahlgradienten, insbesondere in Bezug auf die erste wirksame Länge; und

Mittel zum Einstellen einer zweiten wirksamen Länge, wenn der Schwellenwert des Drehzahlgradienten durch den Wert erreicht wird.

Ein dritter Aspekt der Erfindung betrifft ein Kraftfahrzeug mit einer solchen Hubkolbenmaschine.

Erreichen eines Schwellenwerts im Sinne der Erfindung bedeutet vorzugsweise Überschreiten oder Unterschreiten eines Schwellenwerts.

Erfassen im Sinne der Erfindung bedeutet vorzugsweise Messen oder Einlesen.

Ein Mittel im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise hard- und/oder softwaretechnisch ausgebildet sein und insbesondere eine, vorzugsweise mit einem Speicher und/oder Bussystem daten- bzw. signalverbundene, insbesondere digitale Verarbeitungs-, insbesondere Mikroprozessoreinheit (CPU) und/oder ein oder mehrere Programme oder Programmmodule aufweisen. CPU kann dazu ausgebildet sein, Befehle, die in einem Speichersystem abgelegtes Programm implementiert sind, abzuarbeiten, Eingangssignale von einem Datenbus zu erfassen und/oder Ausgangssignale an einen Datenbus abzugeben. Ein Speichersystem kann ein oder mehrere, insbesondere verschiedene, Speichermedien, insbesondere optische, magnetische, Festkörper und/oder andere nicht-flüchtige Medien aufweisen. Das Programm kann derart beschaffen sein, dass es die hier beschriebenen Verfahren verkörpert bzw. auszuführen imstande ist, sodass die CPU die Schritte solcher Verfahren ausführen kann und damit insbesondere die Hubkolbenmaschine steuern und/oder überwachen kann.

Die Erfindung basiert auf dem Ansatz, zur Verbesserung des Betriebs einer Hubkolbenmaschine mit längenverstellbarem Pleuel ein Verstellen der Pleuellänge von dem Drehzahlgradienten abhängig zu machen.

Wie in **Fig. 1** dargestellt, weist das Motorkennfeld einer Brennkraftmaschine im Wesentlichen vier Sektoren I, II, III, IV auf, welche jeweils verschiedene Betriebsbereiche zusammenfassen.

Der erste Sektor I ist jener, in welchem sich ein Großteil der Betriebszustände im realen Fahrbetrieb und in dem WLTC-Zyklus befindet. Dieser Sektor ist mithin besonders wichtig für den Kraftstoffverbrauch. In diesem Bereich soll die Brennkraftmaschine daher nach Möglichkeit mit einer hohen Kompressionsrate betrieben werden und somit in Bezug auf ein längenverstellbares Pleuel mit dem Pleuel in einer möglichst langen Stellung, bei einem zweistufigen Pleuel mit einer kurzen und einer langen Stellung in der langen Stellung.

Der zweite Sektor II ist wichtig für die Fahrzeugleistung und den Verbrauch und kommt ebenfalls im realen Fahrbetrieb, aber auch im WLTC-Zyklus vor.

Der dritte Sektor III ist wichtig für die Fahrzeugleistung und den Motorschutz. Die in diesem Sektor zusammengefassten Betriebsbereiche kommen lediglich im normalen Fahrbetrieb vor.

Der vierte Sektor IV ist unbedeutend für den Betrieb einer Brennkraftmaschine, sowohl hinsichtlich des Kraftstoffverbrauchs als auch für die Fahrzeugleistung. Der in diesem Sektor IV zusammengefasste Betriebsbereich sollte auch im realen Fahrbetrieb nicht vorkommen und wird beispielsweise dann erreicht, wenn eine Fehlschaltung des Getriebes durch den Fahrer erfolgt. Beispielsweise dann, wenn eine Fehlschaltung von dem dritten in den zweiten Gang anstatt in den vierten Gang während einer Beschleunigung erfolgt.

In den zweiten bis vierten Sektoren II, III, IV sollte der Motor mit niedriger Verdichtung betrieben werden, bei welcher sich ein längenverstellbares Pleuel in einer möglichst kurzen, bei einem zweistufigen Pleuel in seiner kurzen Stellung befindet. In den in diesen Sektoren II, III, IV zusammengefassten Betriebsbereichen kann eine optimierte Verbrennung mit niedrigem Verdichtungsverhältnis erreicht werden, andererseits könnte ein Pleuel in einer längeren bzw. bei einem zweistufigen Pleuel seiner langen Stellung, aufgrund der hohen mechanischen Belastung in den Betriebsbereichen dieser Sektoren II, III, IV, jedenfalls über einen längeren Zeitraum, geschädigt werden.

Mittels der Erfindung kann, wenn sich die Hubkolbenmaschine in einem Betriebszustand in dem ersten Sektor I befindet, frühzeitig durch Analyse des Drehzahlgradienten erkannt werden, dass die Hubkolbenmaschine den in dem ersten Sektor I zusammengefassten Betriebsbereich verlassen wird und das Risiko einer Beschädigung reduziert bzw. vermieden werden.

Erfindungsgemäß wird dies bewerkstelligt, indem ermittelte Werte eines Drehzahlgradienten jeweils mit dem Schwellenwert des Drehzahlgradienten verglichen werden.

Wird der Schwellenwert von dem Wert überschritten, so kann darauf geschlossen werden, dass die Hubkolbenmaschine den in Sektor I zusammengefassten Betriebsbereich verlassen wird. In diesem Fall muss das Pleuel von seiner langen Stellung in die kurze Stellung geschaltet werden.

Ebenso ist es möglich, dass sich die Hubkolbenmaschine in einem Betriebsbereich befindet, welcher einem der drei übrigen Sektoren II, III, IV entspricht. Wird dort entsprechend festgestellt, dass der Wert des Drehzahlgradienten einen Schwellenwert unterschreitet, kann für einen optimierten Betrieb der Brennkraftmaschine vorsorglich der Vorgang des Umschaltens von einem niedrigen Verdichtungsverhältnis auf das hohe Verdichtungsverhältnis, und damit von einer kurzen Stellung der Pleuelstange auf eine lange Stellung der Pleuelstange, eingeleitet werden.

Hierbei ist insbesondere von Bedeutung, dass der Vorgang des Einstellens einer wirksamen Pleuellänge, also beispielsweise von einer langen Stellung auf eine kurze Stellung des Pleuels, bei einer Drehzahl von 4000 Umdrehungen pro Minute etwa fünf thermodynamische Zyklen, und damit 0,15 Sekunden benötigt.

Überdies lässt sich durch dieses frühzeitige Umschalten der wirksamen Länge des Pleuels eine Verbesserung der Fahrbarkeit eines Fahrzeugs mit einer erfindungsgemäßen Hubkolbenmaschine erreichen.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird die wirksame Länge nur dann verändert, wenn der Schwellenwert des Drehzahlgradienten für eine vordefinierte Zeitdauer erreicht wird. Hierdurch wird sichergestellt, dass tatsächlich ein Wechsel des Betriebsbereichs der Hubkolbenmaschine eintreten wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens hängen die Schwellenwerte des Drehzahlgradienten von einem Wert der wirksamen Länge ab und das Verfahren weist des Weiteren folgenden Arbeitsschritt auf:

Bestimmen des Schwellenwerts des Drehzahlgradienten anhand einer von der wirksamen Länge des Pleuels abhängigen Funktion oder anhand eines von der wirksamen Länge des Pleuels abhängigen Kennfelds. Vorzugsweise sind bei einem zweistufigen Pleuel die Schwellenwerte in einer langen Stellung des Pleuels unterschiedlich zu jenen in der kurzen Stellung des Pleuels. Durch diese unterschiedlichen Werte kann eine besonders zuverlässige Vorhersage des Betriebsbereichs gemacht werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens hängen die Schwellenwerte des Drehzahlgradienten von einem Wert der Drehzahl ab und das Verfahren weist des Weiteren den folgenden Arbeitsschritt auf:

Bestimmen des Schwellenwerts des Drehzahlgradienten anhand einer von der Drehzahl abhängigen Funktion oder anhand eines von der Drehzahl abhängigen Kennfelds.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens hängen die Schwellenwerte des Drehzahlgradienten von einem Wert einer an der Kurbelwelle anliegenden Last ab und das Verfahren weist des Weiteren den folgenden Arbeitsschritt auf:

Erfassen einer an der Hubkolbenmaschine anliegenden Last; und

Bestimmen des Schwellenwerts des Drehzahlgradienten anhand einer von der anliegenden Last abhängigen Funktion oder anhand eines von der anliegenden Last abhängigen Kennfelds.

Sowohl durch das Berücksichtigen der Drehzahl als auch durch das Berücksichtigen der jeweils anliegenden Last beim Ermitteln des Schwellenwerts kann eine besonders zuverlässige Vorhersage über das unmittelbare Bestehen des Verlassens eines Betriebsbereichs gemacht werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist das Verfahren des Weiteren folgende Arbeitsschritte auf:

Vergleichen wenigstens eines Werts der Drehzahl mit einem Schwellenwert der Drehzahl; und

Einstellen der zweiten wirksamen Länge, wenn der Schwellenwert der Drehzahl erreicht wird.

Ein zusätzlicher Schwellenwert für die Drehzahl kann als Sicherheit vorgesehen werden, um sicherzustellen, dass die wirksame Länge des Pleuels verändert wird, wenn das Einstellen der wirksamen Pleuellänge mittels des Drehzahlgradienten nicht funktioniert.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist der Schwellenwert des Drehzahlgradienten so definiert, dass eine Schaltdauer des Pleuels kürzer ist als eine voraussichtliche Dauer bis zum Erreichen des Schwellenwerts der Drehzahl, welche von dem Wert des Drehzahlgradienten und/oder dem Wert der Drehzahl abhängt.

Ist der vorliegende Wert der Drehzahl sowie der Schwellenwert der Drehzahl bekannt, so kann an jedem Punkt des Betriebsbereichs ein Schwellenwert für den Drehzahlgradienten angegeben werden, bei welchem eine Schaltdauer des Pleuels kürzer ist als eine voraussichtliche Dauer bis zum Erreichen des Schwellenwerts der Drehzahl.

Hierdurch kann gewährleistet werden, dass beim Erreichen, insbesondere Überschreiten, des Schwellenwerts der Drehzahl das Pleuel seine nach dem Erreichen des Schwellenwerts anzunehmende wirksame Länge bereits beim Erreichen des Schwellenwerts aufweist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist das Verfahren des Weiteren folgende Arbeitsschritte auf:

Vergleichen wenigstens eines Werts einer an der Kurbelwelle anliegenden Last mit einem Schwellenwert der an der Kurbelwelle anliegenden Last; und

Einstellen der zweiten wirksamen Länge, wenn der wenigstens eine Schwellenwert der an der Kurbelwelle anliegenden Last erreicht wird.

Auch hierdurch wird gewährleistet, dass die Hubkolbenmaschine nicht mit der falschen wirksamen Länge des Pleuels in einem bestimmten Betriebsbereich betrieben wird.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens kann das Pleuel zwei unterschiedliche wirksame Längen annehmen, wobei die wirksame Länge auf eine kurze Stellung eingestellt wird, wenn die erste wirksame Länge eine lange Stellung ist und der jeweilige Schwellenwert überschritten wird, oder wobei die wirksame Länge auf eine lange Stellung eingestellt wird, wenn die erste wirksame Länge eine kurze Stellung ist und der jeweilige Schwellenwert unterschritten wird. Vorzugsweise wird das erfindungsgemäße Verfahren bei längenverstellbaren Pleueln eingesetzt, welche zwei diskrete Stellungen, eine kurze Stellung und eine lange Stellung einnehmen können. Mit anderen Worten ist das längenverstellbare Pleuel vorzugsweise als zweistufiges Pleuel ausgeführt, das diskret zwischen einer kurzen Stellung und einer langen Stellung verstellbar ist.

Die im Vorhergehenden genannten Merkmale und Vorteile in Bezug auf den ersten Aspekt der Erfindung gelten entsprechend auch für den zweiten und dritten Aspekt der Erfindung entsprechend und umgekehrt.

Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung in Bezug auf die Figuren. Es zeigen wenigstens teilweise schematisch:

- Fig. 1** ein Motorenkennfeld mit verschiedenen Sektoren, welche verschiedene Betriebsbereiche zusammenfassen;
- Fig. 2** ein Ausführungsbeispiel einer Hubkolbenmaschine;
- Fig. 3** ein Diagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Steuern einer wirksamen Länge eines längenverstellbaren Pleuels;
- Fig. 4** ein Motorenkennfeld mit möglichen Betriebsverläufen einer Hubkolbenmaschine; und
- Fig. 5** ein Diagramm von zwei Zeitverläufen einer Drehzahl einer Hubkolbenmaschine.

Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Hubkolbenmaschine 1, welche als Brennkraftmaschine ausgebildet ist, mit einem variablen Verdichtungsverhältnis und einem System 10 zur Diagnose der Hubkolbenmaschine nach einem Ausführungsbeispiel.

Die Hubkolbenmaschine weist in an sich bekannter Weise eine Kurbelwelle 6 und mehrere Zylinder 2a, 2b, 2c, 2d auf, in denen Kolben abwechselnd ein Kraftstoff-Luft-Gemisch verdichten (Verdichtungstakt), durch Verbrennung des Gemischs angetrieben werden (Arbeitstakt), Luft oder Gemisch ansaugen (Ansaugtakt) oder ausstoßen (Ausstoßtakt). Die Kolben 4a, 4b, 4c, 4d sind hierzu jeweils über Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d und einen Pleueltrieb 5 mit der Kurbelwelle 6 gekoppelt.

Wie in dem eingangs genannten Dokument WO 2015/055582 A2 beschrieben, kann das Verdichtungsverhältnis im Brennraum der Zylinder 2a, 2b, 2c, 2d durch Veränderung der wirksamen Länge der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d verändert werden.

Die Längeneinstellung der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d wird mittels einer Steuereinheit 10 gesteuert.

Vorzugsweise wird hierbei eine Drehzahl n der Kurbelwelle 6 mithilfe eines Drehzahlsensors 11, welcher vorzugsweise Teil der Steuereinheit 10 oder mit dieser verbunden ist, erfasst. Vorzugsweise ist der Drehzahlsensor ein Inkrementalgeber, wobei eine Sektorenscheibe an der Kurbelwelle 6 optisch oder magnetisch abgetastet wird. Vorzugsweise sind die Mittel zum Erfassen der wirksamen Länge der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d ebenso durch einen Sensor gebildet. Alternativ können die Drehzahl und/oder die wirksame Länge aber auch über eine Datenschnittstelle erfasst werden, beispielsweise indem ein Steuersignal erfasst oder eingelesen wird, welches das oder die jeweiligen Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d steuert.

Des Weiteren weist die Steuereinheit bzw. Steuereinrichtung 10 vorzugsweise Mittel 12 zum Erfassen einer ersten wirksamen Länge des Pleuels 3a, 3b, 3c, 3d auf. Weiter vorzugsweise weist die Steuereinheit bzw. Steuereinrichtung 10 Mittel 13 zum Ermitteln eines Drehzahlgradienten Δn auf der Grundlage der erfassten Drehzahl n , Mittel 14 zum Vergleichen eines ermittelten Werts des Drehzahlgradienten Δn mit einem Schwellenwert $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten Δn in Bezug auf die erste wirksame Länge, und Mittel 15 zum Einstellen einer zweiten wirksamen Länge, wenn der Schwellenwert $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten Δn durch den Wert erreicht wird.

Des Weiteren vorzugsweise sind die Mittel 13 zum Ermitteln des Drehzahlgradienten Δn , die Mittel 14 zum Vergleichen und die Mittel 15 zum Einstellen Teil einer Datenverarbeitungseinrichtung.

Fig. 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel eines Verfahrens 100 zum Steuern einer wirksamen Länge L eines der in Fig.2 gezeigten längenverstellbaren Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d der Hubkolbenmaschine 1.

Die verstellbare wirksame Länge L ist hierbei in Bezug auf das vierte Pleuel 3d in Verbindung mit dem vierten Kolben 4d bei dem vierten Zylinder 2d dargestellt. Es ist für den Fachmann jedoch ersichtlich, dass bei einer Hubkolbenmaschine 1 mit variablem Verdichtungsverhältnis, bei welchem die wirksame Länge L der Pleuel verstellt wird, die wirksame Länge L aller Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d einzeln oder zusammen verstellt werden kann. Des Weiteren kann auch eine Hubkolbenmaschine 1 realisiert werden, in der nur einige der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d längenverstellbar in der beschriebenen Weise ausgeführt sind.

Bei dem Verfahren 100 wird die Hubkolbenmaschine 1 betrieben 100-1 und das oder die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d weist bzw. weisen während dieses Betriebes eine erste wirksame Länge auf. Diese erste wirksame Länge ist der Steuereinheit 10 vorzugsweise bekannt. In einem ersten Arbeitsschritt wird nun eine Drehzahl n der Kurbelwelle 6 erfasst, siehe Teil-Arbeitsschritt 101a. Das Erfassen kann, wie bereits in Bezug auf Fig. 2 dargelegt, durch eine Messung mittels eines Sensors erfolgen. Alternativ kann die jeweils benötigte Information der Drehzahl n und der wirksamen Länge des Pleuels 3a, 3b, 3c, 3d eingelesen werden, vorzugsweise über eine Datenschnittstelle zu einem Bussystem, beispielsweise dem CAN-Bus.

Vorzugsweise wird in dem ersten Arbeitsschritt darüber hinaus eine wirksame Pleuellänge L , siehe Teil-Arbeitsschritt 101b, je nachdem, ob die Hubkolbenmaschine 1 einen oder mehrere Zylinder aufweist und ob das Verdichtungsverhältnis einer oder mehrerer der Zylinder 2a, 2b, 2c, 2d der Hubkolbenmaschine 1 verändert werden, erfasst und/oder eine an der Hubkolbenmaschine 1 anliegende Last M erfasst, siehe Teil-Arbeitsschritt 101c. Auch hierfür ist vorzugsweise im Bereich der Hubkolbenmaschine 1 ein Längensensor und/oder ein Drehmomentsensor vorgesehen.

In einem zweiten Arbeitsschritt 102 wird ein Drehzahlgradient Δn auf der Grundlage der erfassten Drehzahl n ermittelt.

In einem dritten Arbeitsschritt wird ein Schwellenwert $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten Δn ermittelt. Dies kann zum einen dadurch geschehen, indem der Schwellenwert $S_{\Delta n}$

anhand einer von der wirksamen Länge L des Pleuels 3a, 3b, 3c, 3d abhängigen Funktion oder einem entsprechenden Kennfeld bestimmt wird, siehe Teil-Arbeitsschritt 103a.

Alternativ oder zusätzlich kann die Funktion oder das Kennfeld auch von der Drehzahl n abhängen. Weiterhin alternativ oder zusätzlich kann die Funktion oder das Kennfeld von der an der Hubkolbenmaschine 1 anliegenden Last M abhängen.

Wie in Fig. 3 dargestellt, wird die Information über einen Wert der wirksamen Pleuellänge L aus dem Teil-Arbeitsschritt 101b oder die Information über einen Wert der anliegenden Last M aus dem Teil-Arbeitsschritt 101c an die jeweiligen Teil-Arbeitsschritte 103b, 103c übergeben.

Des Weiteren kann der Schwellenwert $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten Δn auch als konstanter Wert vordefiniert sein.

In einem vierten Arbeitsschritt wird ein Wert des ermittelten Drehzahlgradienten Δn mit dem vordefinierten oder, wie im Vorhergehenden beschrieben, bestimmten Schwellenwert $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten Δn verglichen, siehe Arbeitsschritt 104a.

Wenn der Wert des Drehzahlgradienten Δn den Schwellenwert $S_{\Delta n}$ erreicht, dann wird die wirksame Länge L des jeweiligen Pleuels oder der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d verändert. Insbesondere wird eine zweite wirksame Länge eingestellt, welche von der vorher eingestellten, ersten wirksamen Länge des jeweiligen Pleuels bzw. der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d verschieden ist.

Beispielsweise kann überprüft werden, ob ein Schwellenwert $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten Δn überschritten wird, wenn sich die Hubkolbenmaschine 1 in dem in dem ersten Sektor I umfassten Betriebsbereich betrieben wird. In diesem Fall ist das Pleuel in einer langen Stellung, um eine hohe Verdichtungsrate zu erreichen.

In einem fünften Arbeitsschritt wird, wenn der Schwellenwert $S_{\Delta n}$ in Bezug auf den Drehzahlgradienten Δn überschritten wird, das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in einem Teil-Arbeitsschritt 105a auf seine kurze Stellung eingestellt. Hierdurch kann eine mechanische Überlastung des jeweiligen Pleuels bzw. der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d vermieden werden und/oder gewährleistet werden, dass die Hubkolbenmaschine 1 für Betriebszustand mit hoher Last in optimierter Weise mit niedriger Verdichtung angefahren wird.

Befindet sich der Betriebszustand der Hubkolbenmaschine 1 hingegen in einem der anderen Sektoren II, III, IV, welche in Fig. 1 dargestellt sind, und wird ein Schwellenwert $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten unterschritten (der Drehzahlgradient Δn weist in diesem Fall einen negativen Wert auf), so wird das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in dem Teil-Arbeitsschritt 105a von der kurzen Stellung in die lange Stellung ausgefahren. Auf diese Weise kann in dem Betriebsbereich, welcher von dem ersten Sektor I in Fig. 1 umfasst ist, ein optimierter Betrieb der Hubkolbenmaschine 1 gewährleistet werden.

Liegt kein Über- oder Unterschreiten eines Schwellenwerts $S_{\Delta n}$ des Drehzahlgradienten Δn vor, so wird vorzugsweise, wie in Fig. 3 dargestellt, in einem weiteren Teil-Arbeitsschritt 104b verglichen, ob ein Wert der Drehzahl n mit einem Schwellenwert S_n erreicht wird.

Wird der Schwellenwert S_n der Drehzahl n überschritten oder unterschritten, je nachdem, welche wirksame Länge L das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d aufweist, bzw. in welchem Sektor I, II, III, IV nach Fig. 1 sich der Betriebszustand der Hubkolbenmaschine 1 befindet, wird die wirksame Länge L des jeweiligen Pleuels bzw. der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in einem weiteren Teil-Arbeitsschritt 105b verändert.

Zusätzlich wird vorzugsweise in einem weiteren Teil-Arbeitsschritt 104c des vierten Arbeitsschritts ein Wert einer an der Kurbelwelle 6 anliegenden Last M mit einem Schwellenwert S_M der an der Kurbelwelle 6 anliegenden Last M verglichen.

Auch wenn dieser Schwellenwert S_M der an der Kurbelwelle 6 anliegenden Last M überschritten oder unterschritten wird, wird die wirksame Länge L des jeweiligen Pleuels bzw. der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in einem weiteren Teil-Arbeitsschritt 105c des fünften Arbeitsschritts verändert, d. h., je nach momentanem Betriebszustand der Hubkolbenmaschine 1, wird das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in seine kurze Stellung bzw. seine lange Stellung gebracht.

Eine mögliche Betriebssituation der Brennkraftmaschine 1, in welcher das Verfahren 100 zum Steuern eines längenverstellbaren Pleuels 3a, 3b, 3c, 3d zum Einsatz kommt, ist in Bezug auf das Motorkennfeld 7 in **Fig. 4** dargestellt. Der Betriebsbereich 8, der im Wesentlichen dem ersten Sektor I in Fig. 1 entspricht, ist jener, in welchem die Hubkolbenmaschine 1 mit hohem Verdichtungsverhältnis betrieben wird, d. h. das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d befinden sich

in der langen Stellung. Begrenzt wird der Bereich von einem Schwellenwert S_n für die Drehzahl n und einem Schwellenwert S_M für die Last M .

In der dargestellten Betriebssituation erfolgt durch einen Fahrer des Fahrzeugs mit der Hubkolbenmaschine 1 eine Fehlschaltung, wobei der Fahrer in einem Beschleunigungsvorgang, ausgehend vom dritten Gang, statt in den vierten Gang in den zweiten Gang schaltet. Wie in Fig. 4 durch den gestrichelten Pfeil angedeutet, steigt die Drehzahl n sehr stark an, ohne dass damit eine Zunahme der Last M verbunden ist.

Mit einem Steuerverfahren des Stands der Technik würde das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in der langen Stellung verbleiben, bis der Schwellenwert S_n für die Drehzahl n erreicht ist. Hier würde das Umstellen bzw. Einstellen des jeweiligen Pleuels bzw. der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d auf die kurze Stellung zum Zeitpunkt T_4 erfolgen. Da das Umstellen der wirksamen Pleuellänge L eine gewisse Zeitdauer ΔT_{S2} in Anspruch nimmt, nämlich ca. fünf Motorzyklen, würde das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d die kurze Stellung erst zum Zeitpunkt T_5 erreichen, welcher bereits einem Betriebszustand im Motorkennfeld 7 entspricht, welcher weit im vierten Sektor IV gemäß Fig. 1 liegt. Daher unterliegt das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d hier einer starken mechanischen Belastung.

Mit dem oben in Bezug auf Fig. 3 beschriebenen Verfahren 100 kann bereits zum Zeitpunkt T_2 aufgrund der Überwachung des Drehzahlgradienten Δn festgestellt werden, dass demnächst eine Überschreitung des Schwellenwerts S_n eintreten wird. Daher wird bereits zum Zeitpunkt T_2 ein Umschalten eingeleitet. Eine Schaltdauer ΔT_{S1} ist bei dieser niedrigen Drehzahl zwar länger wie bei einer höheren Drehzahl, jedoch endet der Schaltvorgang zum Zeitpunkt T_3 noch vor Erreichen des Schwellenwerts S_n für die Drehzahl n . Das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d erreichen den Betriebsbereich 9 mithin schon in der kurzen Stellung, sodass keine ungewollten mechanischen Belastungen auftreten.

Fig. 5 zeigt ein Diagramm, in welchem zwei zeitliche Verläufe der Drehzahl n über die Zeit t dargestellt sind. Beide Verläufe entsprechen dem Betriebsverlauf, welcher in Fig. 4 durch den gestrichelten Pfeil angedeutet ist.

Bei dem rechten Verlauf in Fig. 5 wird ein Steuerverfahren des Stands der Technik angewendet. Bei dem linken Verlauf kommt das Verfahren, welches weiter oben in Bezug auf Fig. 3 beschrieben ist, zum Einsatz.

Eine dicke Linie bedeutet, dass sich das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in der langen Stellung befinden. Eine dünne Linie kennzeichnet, dass das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in der kurzen Stellung sind.

Bei dem rechten Verlauf wird nach dem Überschreiten des Schwellenwerts S_n zum Zeitpunkt T_4 ein Umschalten des jeweiligen Pleuels bzw. der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d von der langen Stellung auf die kurze Stellung vorgenommen. Für diesen Umschaltvorgang wird eine Schaltdauer ΔT_{s2} bis zum Zeitpunkt T_5 benötigt. Bis zu diesem Zeitpunkt ist das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d in einer ausgefahrenen Stellung.

Bei dem linken Verlauf, bei welchem der Drehzahlgradient Δn überwacht wird, wird während einer vordefinierten Zeitdauer ΔT zwischen den Zeitpunkten T_1 und dem zweiten Zeitpunkt T_2 festgestellt, dass der Drehzahlgradient Δn den Schwellenwert $S_{\Delta n}$ überschreitet. Der Schwellenwert $S_{\Delta n}$ ist in Fig. 5 durch die schräg verlaufende gestrichelte Linie bzw. das an diese angelegte Steigungsdreieck (weitere gestrichelte Linien), welche durch den Punkt T_1 verläuft, symbolisiert.

Zum zweiten Zeitpunkt T_2 beginnt das Verfahren 100, die kurze Stellung des jeweiligen Pleuels bzw. der Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d einzustellen. Vorzugsweise ist der Schwellenwert $S_{\Delta n}$ von der Drehzahl n abhängig und in Bezug auf die jeweils anliegende Drehzahl n so gewählt, dass eine Schaltdauer ΔT_{s1} kürzer ist als die voraussichtliche Dauer T_P bis zum Erreichen des Schwellenwerts S_n der Drehzahl n .

Zum dritten Zeitpunkt T_3 haben das jeweilige Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d die kurze Stellung erreicht, noch bevor die Drehzahl n den Schwellenwert S_n überschreitet. Auf diese Weise können übermäßige mechanische Belastungen auf ein ausgefahrenes (d.h. in der langen Stellung befindliches) jeweiliges Pleuel bzw. die Pleuel 3a, 3b, 3c, 3d vermieden werden.

Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei den Ausführungsbeispielen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende

Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung mindestens eines Ausführungsbeispiels gegeben.

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zum Steuern einer wirksamen Länge (L) eines längenverstellbaren Pleuels (3a, 3b, 3c, 3d) für eine Hubkolbenmaschine (1), insbesondere eine Brennkraftmaschine, mit einem variablen Verdichtungsverhältnis, wobei die Hubkolbenmaschine (1) wenigstens einen Hubkolben (4a, 4b, 4c, 4d) aufweist, der mit dem Pleuel (3a, 3b, 3c, 3d) und einem Kurbeltrieb (5) in der Weise zusammenwirkt, dass eine oszillierende Bewegung des Hubkolbens (4a, 4b, 4c, 4d) in eine Rotationsbewegung einer Kurbelwelle (6) umwandelbar ist, folgende Arbeitsschritte aufweisend:

Betreiben (100-1) der Hubkolbenmaschine (1), wobei das Pleuel (3a, 3b, 3c, 3d) eine erste wirksame Länge aufweist;

Erfassen (101a) einer Drehzahl (n) der Kurbelwelle (6);

Ermitteln (102) eines Drehzahlgradienten (Δn) auf der Grundlage der erfassten Drehzahl (n);

dadurch gekennzeichnet, dass folgende Arbeitsschritte vorgesehen sind:

Vergleichen (104a) eines Werts des ermittelten Drehzahlgradienten (Δn) mit einem Schwellenwert ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn); und

Einstellen (105a) einer zweiten wirksamen Länge, wenn der Schwellenwert ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) durch den Wert erreicht wird.

2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, wobei die wirksame Länge (L) nur dann verändert wird, wenn der Schwellenwert (S_n) des Drehzahlgradienten (Δn) für eine vordefinierte Zeitdauer (ΔT) erreicht wird.
3. Verfahren (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei Schwellenwerte ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) von einem Wert der wirksamen Länge (L) abhängen, des Weiteren den folgenden Arbeitsschritt aufweisend:

Bestimmen (103a) des Schwellenwerts ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) anhand einer von der wirksamen Länge (L) des Pleuels (3a, 3b, 3c, 3d) abhängigen Funktion oder anhand eines von der wirksamen Länge (L) des Pleuels (3a, 3b, 3c, 3d) abhängigen Kennfelds.

4. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei Schwellenwerte ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) von einem Wert der Drehzahl (n) abhängen, des Weiteren den folgenden Arbeitsschritt aufweisend:

Bestimmen (103b) des Schwellenwerts ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) anhand einer von der Drehzahl (n) abhängigen Funktion oder anhand eines von der Drehzahl (n) abhängigen Kennfelds.

5. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei Schwellenwerte ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) von einem Wert einer an der Kurbelwelle (6) anliegenden Last (M) abhängen, des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte aufweisend:

Erfassen (101c) einer an der Hubkolbenmaschine (1) anliegenden Last (M); und Bestimmen (103c) des Schwellenwerts ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) anhand einer von der anliegenden Last (M) abhängigen Funktion oder anhand eines von der anliegenden Last (M) abhängigen Kennfelds.

6. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, des Weiteren folgende Arbeitsschritte aufweisend:

Vergleichen (104b) wenigstens eines Werts der Drehzahl (n) mit einem Schwellenwert (S_n) der Drehzahl (n); und Einstellen (105b) der zweiten wirksamen Länge, wenn der Schwellenwert (S_n) der Drehzahl (n) erreicht wird.

7. Verfahren (100) nach Anspruch 4 und 7, wobei der Schwellenwert ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) so definiert ist, dass eine Schaltdauer (T_{S1}) des Pleuels kürzer ist als eine voraussichtliche Dauer (T_P) bis zum Erreichen des

Schwellenwerts (S_n) der Drehzahl (n), welche von dem Wert des Drehzahlgradienten (Δn) und/oder dem Wert der Drehzahl (n) abhängt.

8. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, des Weiteren folgende Arbeitsschritte aufweisend:

Vergleichen (104c) wenigstens eines Werts einer an der Kurbelwelle (6) anliegenden Last (M) mit einem Schwellenwert (S_M) der an der Kurbelwelle (6) anliegenden Last (M); und

Einstellen (105c) der zweiten wirksamen Länge, wenn der wenigstens eine Schwellenwert (S_M) der an der Kurbelwelle (6) anliegenden Last (M) erreicht wird.

9. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Pleuel zwei unterschiedliche wirksame Längen (L) annehmen kann, wobei die wirksame Länge (L) auf eine kurze Stellung eingestellt wird, wenn die erste wirksame Länge eine lange Stellung ist und der jeweilige Schwellwert ($S_{\Delta n}$, S_n , S_M) überschritten wird, oder wobei die wirksame Länge (L) auf eine lange Stellung eingestellt wird, wenn die erste wirksame Länge eine kurze Stellung ist und der jeweilige Schwellwert ($S_{\Delta n}$, S_n , S_M) unterschritten wird.

10. Hubkolbenmaschine (1), insbesondere eine Brennkraftmaschine, mit einem variablen Verdichtungsverhältnis, wobei die Hubkolbenmaschine wenigstens einen Hubkolben (4a, 4b, 4c, 4d), ein längenverstellbares Pleuel (3a, 3b, 3c, 3d) mit einer wirksamen Länge (L), einen Kurbeltrieb (5) und eine Steuereinrichtung (10) aufweist, wobei der Hubkolben (4a, 4b, 4c, 4d) mit dem Pleuel (3a, 3b, 3c, 3d) und dem Kurbeltrieb (5) in der Weise zusammenwirkt, dass eine oszillierende Bewegung des Hubkolbens (4a, 4b, 4c, 4d) in eine Rotationsbewegung einer Kurbelwelle (6) umwandelbar ist, und wobei die Steuereinrichtung (10) eingerichtet ist, um ein Verfahren zum Steuern der wirksamen Länge (L) gemäß einem der vorhergehenden Ansprüche auszuführen, und/oder aufweist:

Mittel (11), insbesondere einen Drehzahlsensor, zum Erfassen einer Drehzahl (n) der Kurbelwelle (6), während die Hubkolbenmaschine (1) mit einer ersten wirksamen Länge des Pleuels (3a, 3b, 3c, 3d) betrieben wird;

Mittel (13) zum Ermitteln eines Drehzahlgradienten (Δn) auf der Grundlage der erfassten Drehzahl (n);

gekennzeichnet durch

Mittel (14) zum Vergleichen eines ermittelten Werts des Drehzahlgradienten (Δn) mit einem Schwellenwert ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn); und

Mittel (15) zum Einstellen einer zweiten wirksamen Länge, wenn der Schwellenwert ($S_{\Delta n}$) des Drehzahlgradienten (Δn) durch den Wert erreicht wird.

11. Kraftfahrzeug mit einer Hubkolbenmaschine (1) nach Anspruch 10.

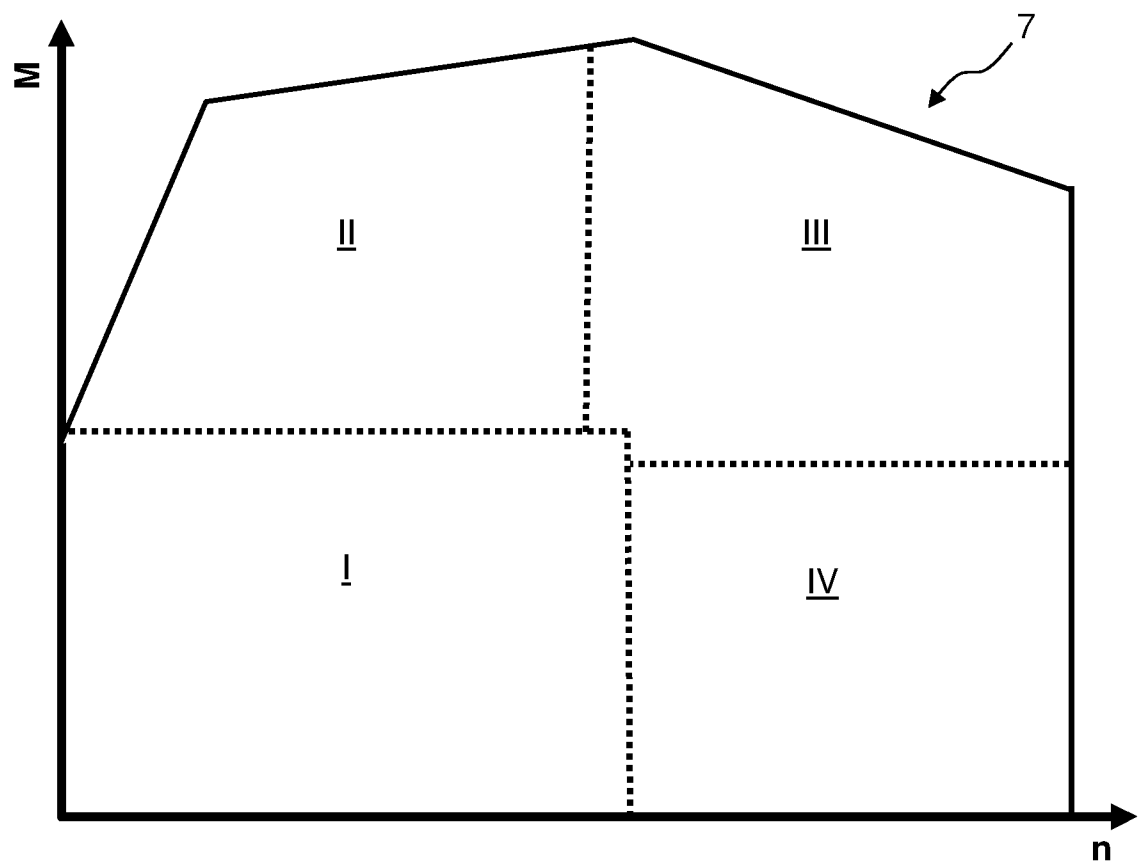


Fig. 1

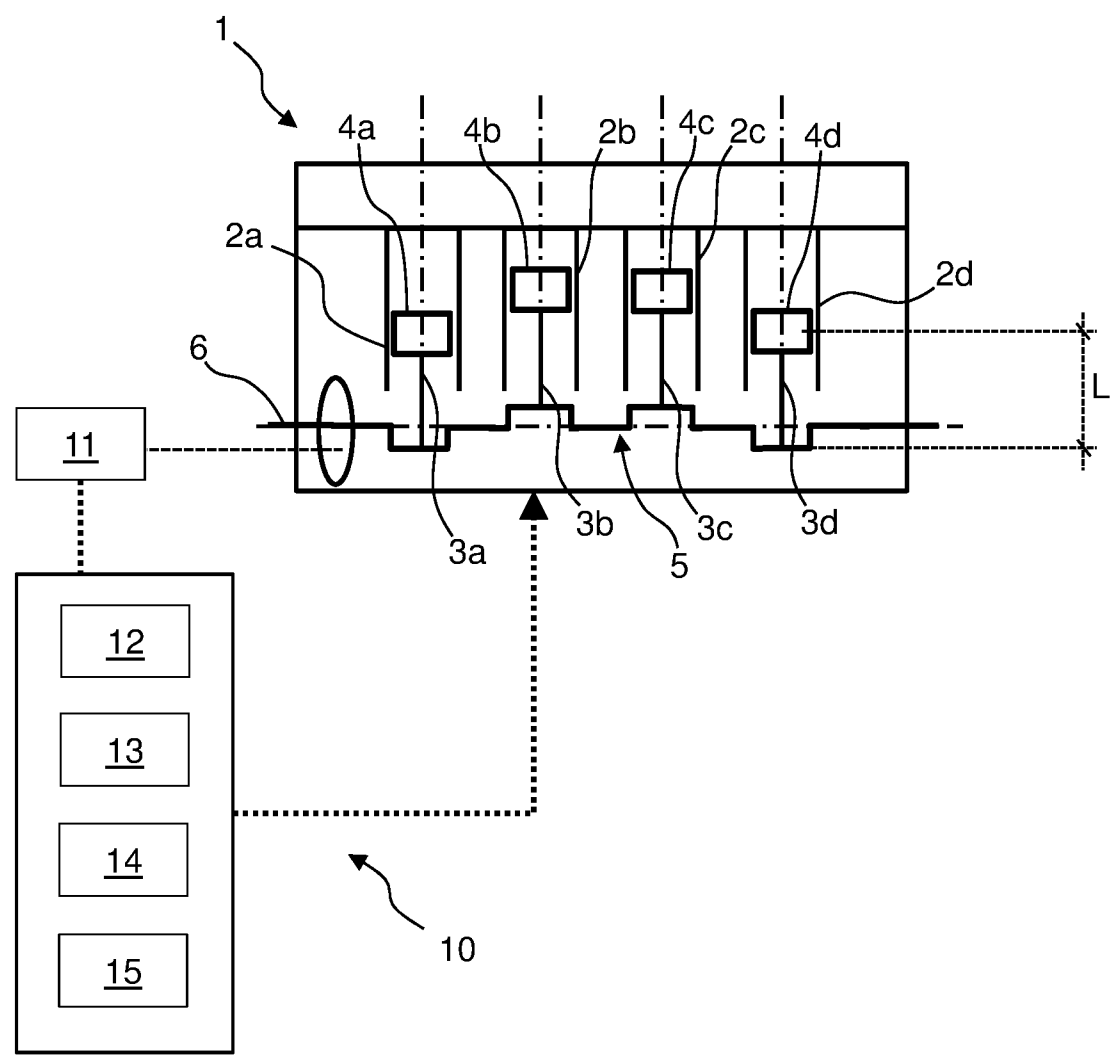


Fig. 2

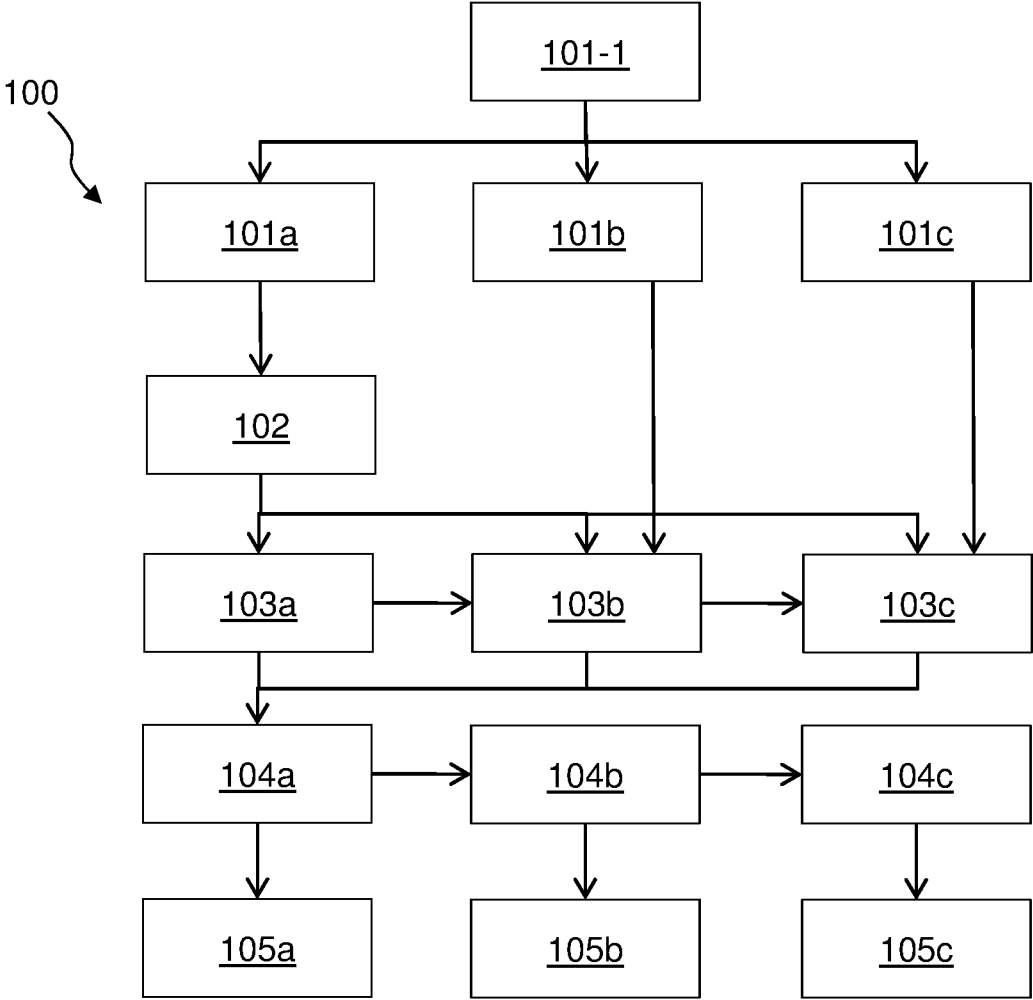


Fig. 3

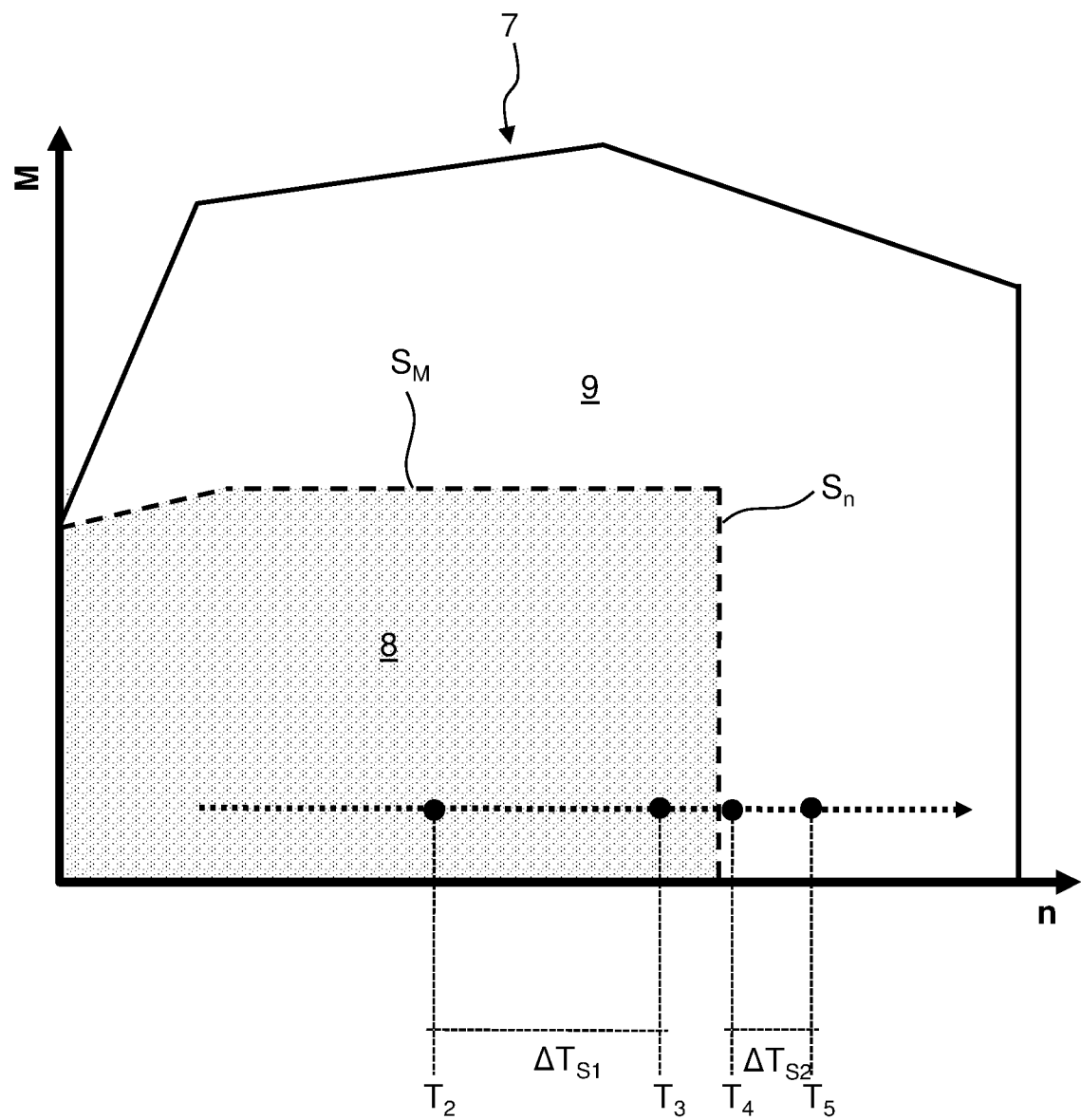


Fig. 4

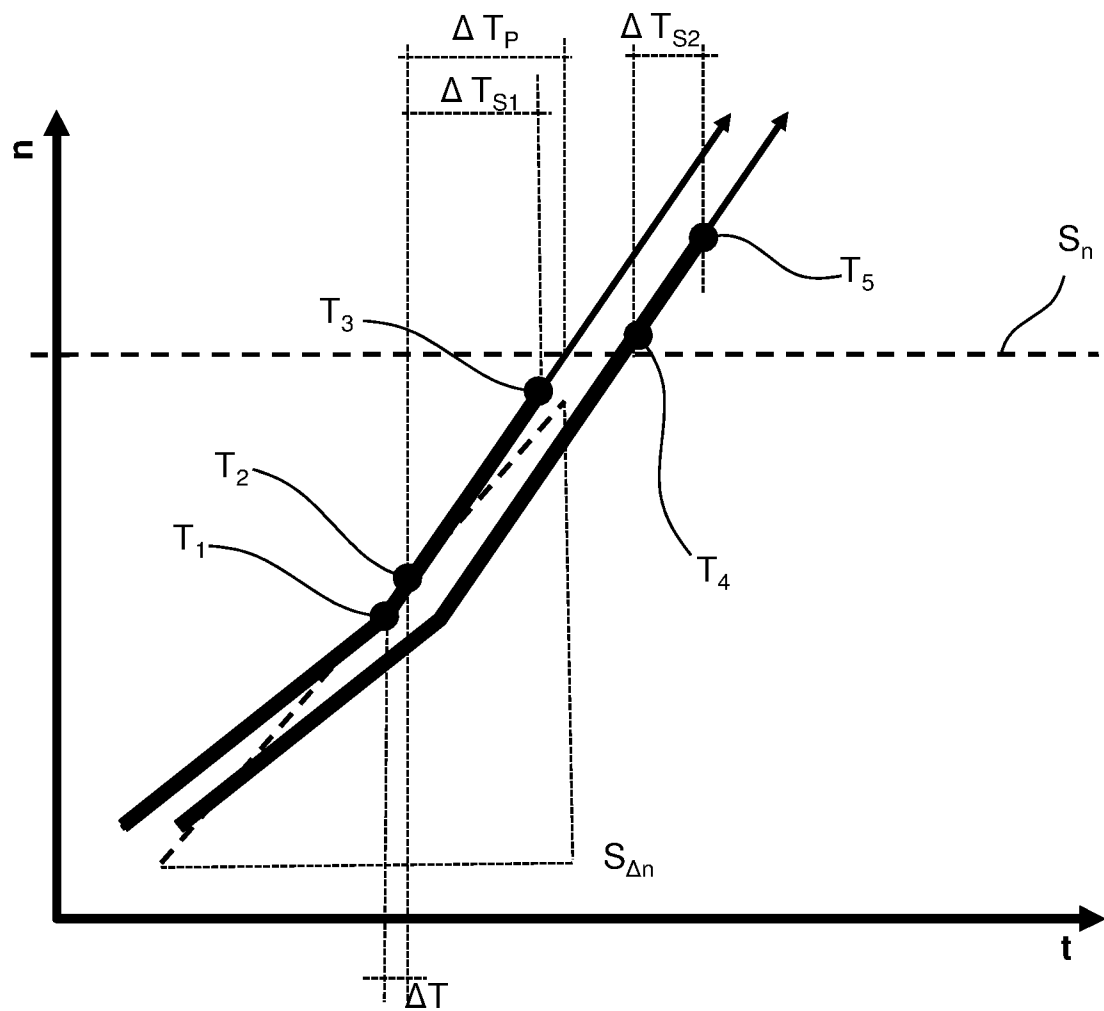


Fig. 5