

SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH 698 244 B1**

(51) Int. Cl.: **F02B 37/24 (2006.01)**

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 01407/08

(22) Anmeldedatum: 03.09.2008

(30) Priorität: 16.05.2008 JP 2008-129066

(24) Patent erteilt: 30.06.2009

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.06.2009

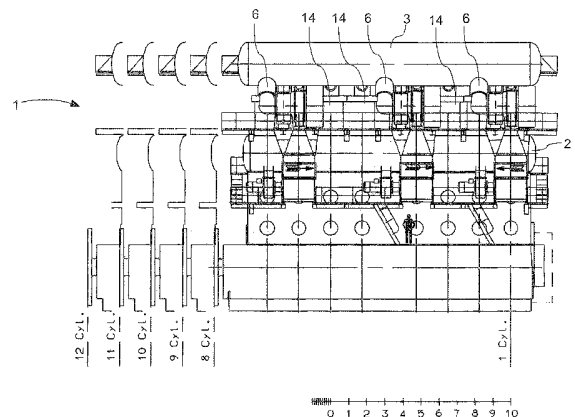
(73) Inhaber:
MAN B&W Diesel A/S, Teglholtsgade 41
2450 Copenhagen SV (DK)

(72) Erfinder:
Morten Laursen, 2400 Kobenhavn NV (DK)

(74) Vertreter:
Patentanwaltsbüro Dr. Urs Falk, Eichholzweg 9A
6312 Steinhausen (CH)

(54) **Zweitakt-Grossdieselmotor mit mehreren variablen Turboladern.**

(57) Ein Zweitakt-Grossdieselmotor ist mit einer Mehrzahl variabler Turbolader (6) ausgestattet, die zwischen dem Abgassammler (3) und dem Spülluftsammler (2) des Motors parallelgeschaltet sind. Ein Regelsystem ist vorgesehen, um einen stabilen und optimalen Betrieb der variablen Turbolader (6) als Gruppe und im Einzelnen sicherzustellen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Mehrzylinder-Zweitakt-Grossdieselmotor, der mit einer Mehrzahl variabler Turbolader ausgestattet ist, und insbesondere die Regelung der Mehrzahl variabler Turbolader.

[0002] Aufgrund ihrer beträchtlichen Grösse sind Zweitakt-Grossdieselmotoren mit mehreren Turboladern ausgestattet. Zweitakt-Grossdieselmotoren sind riesige Maschinen mit typischerweise 5 bis 14 Zylindern, die in Reihe angeordnet sind. Ein Spülflusssammler erstreckt sich über die gesamte Länge des Motors und kann über 30 m lang sein.

[0003] Theoretisch könnten diese Motoren mit einem einzigen riesigen Turbolader ausgestattet sein. Die Konstruktion eines Turboladers dieser Grösse ist jedoch technisch äusserst schwierig und folglich sehr teuer. Daher sind diese Zweitakt-Grossdieselmotoren typischerweise mit zwei, drei, vier und mehr Turboladern versehen. Diese Turbolader sind gleichmässig entlang der Länge des Motors verteilt.

[0004] Diese bekannten Motoren sind mit herkömmlichen Turboladern ausgestattet, d.h. diese Turbolader sind nicht von der variablen Art. Variable Turbolader besitzen den Vorteil, dass sie bei Teillast einen hohen Spülflusdruck gewährleisten können, ohne bei hoher Last einen zu hohen Druck zu ergeben. Die Turboladerdrehzahl wird bei hoher Last verhältnismässig verringert. Dieses Merkmal ähnelt einem Abgas-Bypass, jedoch mit höherer Effizienz. Eine Folge ist, dass die Verdichterseite näher an die Pumpgrenze rücken wird und daher sehr genau geregelt werden muss, um ein Pumpen und einen Strömungsabriss zu vermeiden. Geeignete Regelsysteme für einen einzelnen variablen Turbolader sind bekannt, aber diese bekannten Regelsysteme sind für eine Mehrzahl parallelgeschalteter variabler Turbolader unzureichend, insbesondere dann, wenn der Motor ein Zweitakt-Grossdieselmotor ist.

[0005] Ziel der Erfindung ist es, einen Zweitakt-Grossdieselmotor mit einer Mehrzahl variabler Turbolader bereitzustellen.

[0006] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäss gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Vorteilhafte Ausführungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

[0007] Variable Turbolader können in allen realisierbaren Betriebszuständen des Motors mit höherer Effizienz betrieben werden. Die optimale Einstellung für einen variablen Turbolader liegt typischerweise nahe der Pumpgrenze, und bei einem Betrieb nahe der Pumpgrenze muss der Turbolader genau geregelt werden, um einen Strömungsabriss zu vermeiden.

[0008] Die Erfinder der vorliegenden Erfindung haben erkannt, dass bekannte Regelsysteme, die bei kleinen Motoren mit nur einem einzigen variablen Turbolader Verwendung finden, aus den folgenden Gründen nicht bei einer Mehrzahl variabler Turbolader an einem Zweitakt-Grossdieselmotor funktionieren werden. Einer der Gründe ist die Tatsache, dass sich die Mehrzahl variabler Turbolader gegenseitig beeinflussen wird und daher die Veränderung der Einstellung bei einem variablen Turbolader einen Einfluss auf den Betrieb der anderen variablen Turbolader ausüben wird. Überdies erkannten die Erfinder, dass die Betriebsbedingungen für jeden der variablen Turbolader von seiner Platzierung entlang dem Motor abhängen. Diese Platzierung entlang dem Motor kann aufgrund der Tatsache, dass im Innern des Spülflusssammlers beträchtliche Druckschwankungen auftreten, einen erheblichen Einfluss auf den Betrieb des einzelnen variablen Turboladers haben. Bei Zweitakt-Grossdieselmotoren sind diese Schwankungen gross genug, um einen Einfluss auf den Betrieb der Turbolader zu haben: Die Druckschwankungen führen zu Schwankungen in der Drehzahl der betreffenden Turbolader. Typischerweise sind die niederfrequenten Druckschwankungen am schlimmsten in der Nähe der Enden des Spülflusssammlers. Die Erfinder erkannten ausserdem, dass sich der Zustand der einzelnen Turbolader der Mehrzahl von Turboladern von Turbolader zu Turbolader unterscheidet, da typischerweise nur einer oder zwei der Mehrzahl von Turboladern zur gleichen Zeit überholt werden. Folglich werden einige der Mehrzahl von Turboladern kürzlich überholt worden sein, während sich andere der Mehrzahl von Turboladern in einem weniger guten Zustand befinden werden, wodurch die Notwendigkeit für ein Regelsystem entsteht, das diese Unterschiede berücksichtigt.

[0009] Des Weiteren stellten die Erfinder fest, dass mechanische Toleranzen bei variablen Turboladern grösser sind als bei herkömmlichen Turboladern. Somit sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Turboladern einer Mehrzahl von Turboladern der variablen Art grösser als bei herkömmlichen Turboladern.

[0010] Das Ziel der Erfindung wird erreicht durch die Bereitstellung eines Zweitakt-Grossdieselmotors mit einer Mehrzahl von Zylindern, die in Reihe angeordnet sind, einer Mehrzahl von Turboladern mit variablem Düsenquerschnitt, die zwischen dem Abgassammler und dem Spülflusssammler des Motors parallelgeschaltet sind, einer Regeleinrichtung, die mit diesen variablen Turboladern gekoppelt ist, wobei die Regeleinrichtung einen äusseren Druckregelkreis, der einen Druckregler umfasst, und einen inneren Drehzahlregelkreis, der einen Drehzahlregler umfasst, einschliesst, wobei der Druckregler dafür konfiguriert ist, den gewünschten Gesamtdüsenquerschnitt der vereinigten Turbolader zu bestimmen, und der Drehzahlregler dafür konfiguriert ist, die Drehzahl jedes Turboladers einzeln zu regeln.

[0011] Durch die Bereitstellung eines äusseren Regelkreises, der den richtigen Druck im Spülflusssammler gewährleistet, und eines inneren Regelkreises für die individuelle Drehzahl für jeden variablen Turbolader erhält man ein stabiles und flexibles Regelsystem für eine Mehrzahl variabler Turbolader, die an den Spülflusssammler eines Zweitakt-Grossdieselmotors parallelgeschaltet sind.

[0012] Vorzugsweise ist der Drehzahlregler dafür konfiguriert, eine im Wesentlichen gleiche Drehzahl für jeden einzelnen variablen Turbolader zu erzielen.

[0013] Der Drehzahlregler kann dafür konfiguriert sein, den Einfluss veränderter Einstellungen eines der variablen Turbolader auf die anderen variablen Turbolader aufzuheben.

[0014] Der Drehzahlregler kann dafür konfiguriert sein, den Unterschied beim Ausgesetztsein gegenüber niederfrequenten Druckwellen in dem Spülluftsammler, der durch die unterschiedliche Platzierung der einzelnen Turbolader bedingt ist, aufzuheben.

[0015] Der Drehzahlregler kann dafür konfiguriert sein, den Wartungszustand der einzelnen Turbolader abzugleichen.

[0016] Der Drehzahlregler kann mit einer Schnellregelung für die Aufhebung dynamischer Unterschiede und mit einer langsamen Regelung für die Aufhebung permanenter oder statischer Unterschiede ausgestattet sein.

[0017] Der Regler kann dafür konfiguriert sein, die Turbolader nahe an der Einstellung mit ihrer höchsten Effizienz dicht an der Pumpgrenze zu betreiben.

[0018] Der Regler kann Signale verwenden, die den Betriebszustand des Motors wie zum Beispiel die Ansaugtemperatur, die Spüllufttemperatur, den Abgassammlerdruck, die Abgassammlertemperatur, die Auslasstemperatur und/oder den Auslassdruck anzeigen, um den Abstand der einzelnen Turbolader zur Pumpgrenze so genau wie möglich zu bestimmen.

[0019] Ein anderes Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung eines Verfahrens zur Regelung einer Mehrzahl variabler Turbolader, die an einen Spülluftsammler eines Zweitakt-Grossdieselmotors parallelgeschaltet sind, der eine Mehrzahl von Zylindern aufweist, die in Reihe angeordnet sind, wobei das Verfahren umfasst: Regelung des gewünschten Gesamtdüsenquerschnitts aller variablen Turbolader zusammen in einer Spülluftdruck-Rückkopplungsschleife und Regelung des Düsenquerschnitts der einzelnen variablen Turbolader innerhalb der Randbedingung des insgesamt gewünschten Gesamtdüsenquerschnitts aller variablen Turbolader zusammen in einer Mehrzahl von Drehzahl-Rückkopplungsschleifen für die variablen Turbolader.

[0020] Dieses Ziel wird erfindungsgemäss gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 10.

[0021] Der Düsenquerschnitt der einzelnen Turbolader kann mit dem Ziel geregelt werden, eine gleiche Drehzahl für alle Turbolader zu erhalten.

[0022] Um den Düsenquerschnitt der einzelnen Turbolader zu regeln, kann ein linear-quadratischer Regler verwendet werden.

[0023] Ein dynamischer Dämpfungsalgorithmus mit einer ausgewogenen Reaktion kann angewendet werden, wenn schnelle Änderungen in den Betriebsbedingungen auftreten, das heisst im Falle rauer See (Schiffsschrauben über den Meeresspiegel ragend), im Falle schneller Geschwindigkeitsänderungen (Crash-Stop und Manövrieren) etc. Dies ist insbesondere von Bedeutung, wenn beträchtliche Unterschiede in der Turboladerdrehzahl bestehen oder wenn bei einem der Turbolader ein Betriebsausfall vorliegt.

[0024] Statische Unterschiede zwischen einzelnen variablen Turboladern können bei der Regelung des Düsenquerschnitts der einzelnen variablen Turbolader berücksichtigt werden.

[0025] Ein weiteres Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung eines Zweitakt-Grossdieselmotors mit einer Mehrzahl von Zylindern, die in Reihe angeordnet sind, einer Mehrzahl von Turboladern mit variablem Düsenquerschnitt, die zwischen dem Abgassammler und dem Spülluftsammler des Motors parallelgeschaltet sind, einer Regeleinrichtung, die mit diesen variablen Turboladern gekoppelt ist, wobei der Regeleinrichtung die Drehzahl jedes variablen Turboladers geliefert wird, wobei die variablen Turbolader mit Aktoren zur Veränderung ihres Düsenquerschnitts versehen sind, wobei die Veränderung des Düsenquerschnitts durch Ändern der Stellung der Düse erfolgt, und die Regeleinrichtung dafür konfiguriert ist, den tatsächlichen Düsenquerschnitt eines variablen Turboladers mit einem ausgefallenen Aktor auf der Grundlage der Drehzahl aller variablen Turbolader und der Düsenstellung der nicht-ausgefallenen Turbolader zu bestimmen.

[0026] Dieses Ziel der Erfindung wird erfindungsgemäss gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 9.

[0027] Weitere Ziele, Merkmale, Vorteile und Eigenschaften des Zweitakt-Grossdieselmotors und das Verfahren zur Regelung eines Zweitakt-Grossdieselmotors gemäss der Erfindung, ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen und werden aus der ausführlichen Beschreibung ersichtlich.

[0028] In dem folgenden ausführlichen Teil der vorliegenden Beschreibung wird die Erfindung, unter Bezugnahme auf die in den Zeichnungen dargestellten exemplarischen Ausführungsformen, eingehender erläutert werden, wobei:

Fig. 1 eine Vorderansicht eines Zweitakt-Grossdieselmotors gemäss einer Ausführungsform der Erfindung zeigt,

Fig. 2 eine Seitenansicht des Zweitakt-Dieselmotors von Fig. 1 zeigt,

Fig. 3 eine schematische Darstellung des Ansaug- und des Abgassystems des Motors von Fig. 1 zeigt und

Fig. 4 ein Blockdiagramm zeigt, das eine Regeleinrichtung für die Turbolader des Motors von Fig. 1 darstellt.

[0029] In der folgenden ausführlichen Beschreibung wird die Erfindung anhand bevorzugter Ausführungsformen beschrieben werden. Fig. 1 bis 3 zeigen einen turbogeladenen Zweitakt-Grossdieselmotor 1 vom Kreuzkopftyp mit seinen Ansaug- und Abgassystemen. Der Motor 1 weist einen Spülluftsammler 2 und einen Abgassammler 3 auf. Jeder dieser Sammler erstreckt sich entlang der gesamten Länge des Motors. Der Motor weist eine Mehrzahl von Zylindern (typischerweise zwischen 5 und 14) auf, die in Reihe angeordnet sind. Die Abgasventile, die zu den Verbrennungskammern gehören, sind mit 4 bezeichnet. Der Motor 1 kann zum Beispiel als Hauptmotor eines Seeschiffes oder als stationärer Motor für den Betrieb eines Generators in einem Kraftwerk verwendet werden. Die Gesamtleistung des Motors kann zum Beispiel 5000 bis 110 000 kW und mehr betragen. Der Motor 1 wird typischerweise mit Schweröl betrieben und ist daher mit einem Schwerölsystem ausgestattet, das einen beheizten Schweröltank und beheizte Schwerölleitungen (nicht dargestellt) umfasst. Diese beheizten Elemente des Kraftstoffeinspritzsystems werden auch während Motorstillständen beheizt, da Schweröl bei Umgebungstemperaturen äusserst zähflüssig ist. Des Weiteren ist das Schwerölsystem (nicht dargestellt) mit einem Umwälzsystem versehen, welches das Schweröl während Motorstillständen am Fließen durch die Komponenten des Schwerölsystems hält. Die Umwälzung stellt sicher, dass Komponenten des Schwerölsystems, die nicht über eigene, ihnen zugehörige Heizmittel verfügen, während Motorstillständen warm gehalten werden, und die Umwälzung erleichtert eine Entlüftung des Schwerölsystems.

[0030] Die Spülluft wird von dem Spülluftsammler 2 zu den Spülluftkanälen (nicht dargestellt) der einzelnen Zylinder geleitet. Wenn das Abgasventil 4 geöffnet ist, strömt das Abgas durch eine erste Abgasleitung in den Abgassammler 3 und weiter durch eine erste Abgasleitung 5 zu einer querschnittsvariablen Turbine 7 eines aus einer Mehrzahl variabler Turbolader 6, von der das Abgas durch eine zweite Abgasleitung 20 wegströmt. Durch eine Welle 8 treibt jede der querschnittsvariablen Turbinen 7 einen Verdichter 9 an, der über einen Lufteinlass 10 gespeist wird. Die Verdichter 9 liefern unter Druck stehende Spülluft an eine Spülluftleitung 11, die zu dem Spülluftsammler 2 führt. Wie in Fig. 2 zu erkennen, sind die variablen Turbolader 6 im Wesentlichen gleichmässig über die Länge des Motors 1 verteilt. Bei der vorliegenden Ausführungsform gibt es drei variable Turbolader 6, aber diese Zahl ist nur ein Beispiel, und es könnten weniger oder mehr variable Turbolader vorhanden sein.

[0031] Jeder variable Turbolader 6 umfasst eine zugehörige querschnittsvariable Turbine 7 mit einem variablen Düsenquerschnitt und ist mit einem Aktor ausgestattet, der den variablen Düsenquerschnitt der querschnittsvariablen Turbine 7 des betreffenden Turboladers 6 einstellt. Jeder der Aktoren der Mehrzahl variabler Turbolader 6 ist mit einer Regeleinrichtung 50 verbunden. Die Regeleinrichtung 50 regelt mittels des entsprechenden Aktors den Düsenquerschnitt der querschnittsvariablen Turbine 7, und die Regeleinrichtung 50 empfängt Informationen über die Motor- und Turboladerbetriebsbedingungen. Daher kann man sagen, dass jeder variable Turbolader 6 einen variablen Düsenquerschnitt enthält, der von der Regeleinrichtung 50 mittels des zugehörigen Aktors eingestellt wird.

[0032] Die Ansaugluft in der Leitung 11 strömt durch eine Kühleinheit 12 zum Kühlen der Lade-/Spülluft, die den Verdichter mit etwa 200°C verlässt, auf einen Pegel zwischen 36 und 80°C. Bei einer Ausführungsform kann die Kühleinheit 12 ein Wäscher sein, in den grosse Mengen an Wasser eingespritzt und verdampft werden, um die Lade-/Spülluft zu befeuchten.

[0033] Die gekühlte und eventuell befeuchtete Spülluft strömt über ein Hilfsgebläse 16, das durch einen Elektromotor 17 angetrieben wird und das den Spülluftstrom bei niedrigen Last- oder Teillastbedingungen unter Druck setzt, zum Spülluftsammler 2. Bei höherer Last liefern die Turbolader-Verdichter 9 genügend komprimierte Spülluft, und dann wird (werden) das (die) Hilfsgebläse 16 über ein Rückschlagventil 15 umgangen.

[0034] Fig. 4 zeigt die Regeleinrichtung 50 genauer. Die Regeleinrichtung 50 umfasst zwei Regelkreise. Der erste Regelkreis ist ein Druckregelkreis, der dafür konfiguriert ist, einen Spülluftdruck auf einem vorbestimmten konstanten Pegel zu halten, der in der Figur als «Druck-Sollwert» bezeichnet ist. Der Druckregelkreis ist der äussere Kreis der zwei Regelkreise. Ausserdem umfasst die Regeleinrichtung 50 einen Drehzahlregelkreis für die variablen Turbolader, der die relative Drehzahl jedes variablen Turboladers 6 einzeln regelt. Der Drehzahlregelkreis für die variablen Turbolader ist der innere Kreis, d.h., er kann nur innerhalb der von dem Druckregelkreis gesetzten Grenzen arbeiten.

[0035] Der Druckregelkreis umfasst einen Druckregler, der ein Signal empfängt, das der Differenz zwischen dem Druck-Sollwert und dem gemessenen Druck in dem Spülluftsammler 2 entspricht. Der Druckregler erzeugt ein Signal mit dem gewünschten Gesamtdüsenquerschnitt der variablen Turbolader, das an den Drehzahlregler für die variablen Turbolader im Drehzahlregelkreis geliefert wird.

[0036] Der Drehzahlregler für die variablen Turbolader regelt die Drehzahl jedes der variablen Turbolader 6 einzeln in Rückkopplungsschleifen. Somit ist jeder variable Turbolader 6 Teil eines Drehzahlregelkreises, in dem der betreffende variable Turbolader 6 ein individuelles Signal von dem Drehzahlregler für die variablen Turbolader zur Einstellung des Düsenquerschnitts des betreffenden einzelnen variablen Turboladers 6 empfängt und der Drehzahlregler ein Signal empfängt, das die Drehzahl jedes einzelnen variablen Turboladers 6 anzeigt.

[0037] Der Drehzahlregler für die variablen Turbolader empfängt verschiedene Motorbetriebsparameter wie z.B. Ansaugtemperatur, Spüllufttemperatur, Abgassammlerdruck, Abgassammler-temperatur, Auslasstemperatur und/oder Auslassdruck und passt die Stellsignale den einzelnen variablen Turboladern 6 entsprechend an.

[0038] Die einzelnen Drehzahl-Regelkreise können bei einer Ausführungsform, die keinen linearquadratischen Regler (LQR) umfasst, eine PID (Proportional/Integral/Differential)-Funktion enthalten, um die gewünschte Drehzahl für den variablen Turbolader zu erhalten.

[0039] Der Drehzahlregler für die variablen Turbolader stellt sicher, dass der Düsenquerschnitt aller vereinigten variablen Turbolader 6 dem des Ausgangssignals des Druckreglers entspricht, um den gewünschten Spülluftdruck aufrechtzuerhalten. Jedoch kann der Düsenquerschnitt jedes einzelnen variablen Turboladers 6 innerhalb der Randbedingung, dass der Gesamtquerschnitt der vereinigten variablen Turbolader 6 dem des Ausgangssignals des Druckreglers entspricht, verändert werden.

[0040] Eine Veränderung bei der Einstellung eines der variablen Turbolader 6 wird einen Einfluss auf die anderen variablen Turbolader 6 haben. Wenn zum Beispiel der Querschnitt aller variablen Turbolader 6 verringert wird, wird die Drehzahl der variablen Turbolader bei allen Turboladern 6 ansteigen. Wenn jedoch nur einer der variablen Turbolader 6 seinen Düsenquerschnitt verringert, wird die Drehzahl dieses spezifischen variablen Turboladers 6 sinken, während die Drehzahl der anderen variablen Turbolader 6 ansteigen wird. Ohne einen geeigneten Regelalgorithmus könnten diese Effekte zu einer instabilen Situation führen. Daher ist der Drehzahlregler dafür konfiguriert, den Einfluss zu berücksichtigen, den Veränderungen bei der Einstellung eines der Turbolader 6 auf die anderen Turbolader haben, und er berücksichtigt die Auswirkung einer gleichzeitigen Veränderung des Düsenquerschnitts aller Turbolader. Hierzu umfasst der Drehzahlregler für die variablen Turbolader bei einer Ausführungsform einen linear-quadratischen Regler (LQR), um einen Regler bereitzustellen, der dem oben beschriebenen Effekt entgegenwirkt und das System stabilisiert.

[0041] Sowohl schnelle als auch langsame Regelung wird gleichzeitig zu unterschiedlichen Zwecken implementiert. Der Ausgleich permanenter Unterschiede, der weiter unten beschrieben werden wird, erfolgt langsam. Der Ausgleich dynamischer Unterschiede, z.B. drastische Laständerungen, erfolgt schnell.

[0042] Der Drehzahlregler für die variablen Turbolader ist generell dafür konfiguriert, im Wesentlichen identische Drehzahlen für jeden der variablen Turbolader 6 zu erhalten, da der Motor 1 am effizientesten arbeiten wird, wenn alle variablen Turbolader 6 etwa die gleich Drehzahl aufweisen.

[0043] Es gibt jedoch einige Ausnahmen von dem Prinzip des Betriebs aller variablen Turbolader 6 mit gleicher Drehzahl.

[0044] Eine der Ausnahmen betrifft Druckschwankungen im Spülluftsammler 2. In dem grossen Spülluftsammler 2 treten während des Motorbetriebs grosse stehende niederfrequente Wellen auf. Wenn ein Turbolader 6 genau an einem «Knoten» platziert ist, wird er keine der grossen Druckschwankungen erfahren, die durch die niederfrequenten Wellen verursacht werden. In der Praxis müssen jedoch die variablen Turbolader 6 entlang der Länge des Motors verteilt werden, und nur einige von ihnen können exakt an einem «Knoten» angeordnet werden. Die übrigen variablen Turbolader 6 werden den grossen niederfrequenten Druckschwankungen ausgesetzt sein, insbesondere, wenn sie nahe den Längsenden des langgestreckten Spülluftsammlers 2 angeordnet sind. Bei einer solchen Anordnung haben die grossen niederfrequenten Druckschwankungen einen Einfluss auf die Betriebsbedingungen des betreffenden variablen Turboladers 6. Folglich kann die Drehzahl des betreffenden Turboladers 6 schwanken, und es ist vielleicht nicht möglich, die variablen Turbolader, die diesen niederfrequenten Druckschwankungen ausgesetzt sind, sehr nah an der Pumpgrenze zu betreiben, da die Gefahr einer Überschreitung der Pumpgrenze und eines Strömungsabrisses beim betreffenden Turboladers 6 zu gross sein wird.

[0045] Daher ist die Regeleinrichtung 50 mit Einstellungen versehen, die jeden Turbolader 6, der grossen Druckschwankungen ausgesetzt ist, mit einem grösseren Abstand von der Pumpgrenze betreiben. Typischerweise bedeutet dies in der Praxis, dass die variablen Turbolader 6, die grossen niederfrequenten Druckschwankungen ausgesetzt sind, mit einer etwas niedrigeren Drehzahl betrieben werden als die anderen Turbolader des Motors 1.

[0046] Ein weiterer Faktor ist der Unterschied der Ansaugtemperatur bei den einzelnen variablen Turboladern 6. Die Ansaugtemperatur wird manchmal direkt an jedem Turbolader 6 gemessen, kann aber auch anhand eines Temperatursensors im Maschinenraum in Verbindung mit der Kenntnis der Temperaturverteilung im Maschinenraum ermittelt werden. Wiederum kann dieser Unterschied in der Ansaugtemperatur mit der Platzierung des betreffenden variablen Turboladers 6 entlang der Länge des Motors in Beziehung gebracht werden, und die Regeleinrichtung ist dafür konfiguriert, den Abstand zur Pumpgrenze durch eine Erhöhung der Turboladerdrehzahl zu vergrössern.

[0047] Auch liegt ein weiteres Problem vor, da die Schwankungen der Turboladerdrehzahl zu zusätzlichem Verschleiss führen werden und die Drehzahl der fluktuierenden variablen Turbolader daher verringert werden sollte. Diese zwei Aspekte treiben die Regelung in gegensätzliche Richtungen. Jedoch besteht kein Problem mit dem Pumpen bei mehr als 75%iger Last, wo der Verschleiss am schlimmsten ist, so dass die Regeleinrichtung dafür konfiguriert ist, die Drehzahl bei Teillast zu erhöhen und die Drehzahl bei hoher Last zu verringern, um einen optimalen Ablauf zu erzielen.

[0048] Eine andere Ausnahme von dem Prinzip des Betriebs aller Turbolader des Motors mit gleicher Drehzahl betrifft den Wartungszustand der einzelnen variablen Turbolader 6. In der Praxis ist es gewöhnlich nicht möglich, sämtliche Turbolader eines Motors 1 während eines Wartungstermins zu überholen. Dies bedeutet, dass nur einer oder zwei der Mehrheit variabler Turbolader 6 überholt werden, während die anderen variablen Turbolader 6 auf den nächsten Wartungstermin warten müssen. Variable Turbolader 6 mit einem schlechteren Wartungszustand können nicht so nah an der Pumpgrenze betrieben werden wie neu überholte Turbolader 6. Daher wird der Regeleinrichtung 50 der Wartungszustand der einzelnen Turbolader 6 geliefert, und sie betreibt die neu überholten Turbolader näher an der Pumpgrenze als die nicht-überholten

Turbolader 6. Typischerweise bedeutet dies in der Praxis, dass die variablen Turbolader 6, die kürzlich überholt wurden, mit einer etwas höheren Drehzahl betrieben werden als die Turbolader 6, die nicht kürzlich überholt wurden.

[0049] Überdies sind die Konstruktionstoleranzen für variable Turbolader relativ hoch, und ihre Eigenschaften können daher von Turbolader zu Turbolader schwanken, obwohl sie von gleicher Art sind. Die Regeleinrichtung gleicht diese Unterschiede aus. Die Folge der mechanischen Toleranzen beim variablen Turbolader 6 werden gewöhnlich Abweichungen bei der Turboladerdrehzahl sein, und da die Regeleinrichtung dafür konfiguriert ist, die Drehzahl der variablen Turbolader abzustimmen, wird dem Einfluss von Toleranzen entgegengewirkt.

[0050] Ein dynamischer Dämpfungsalgorithmus mit einer ausgewogenen Reaktion wird angewendet, wenn sich die Drehzahlen der einzelnen variablen Turbolader 6 erheblich voneinander unterscheiden oder wenn einer der variablen Turbolader 6 versagt.

[0051] Die Regeleinrichtung 50 ist mit einem Störungsbehandlungs-, Überwachungs- und Diagnosemodul ausgestattet. Dieses Modul schliesst sowohl optimale Reaktionen bei schwierigen Betriebsbedingungen (Crash-Stop, raue See etc.) als auch optimale Reaktionen im Falle des Versagens eines Aktors eines variablen Turboladers ein.

[0052] Im Falle des Versagens des Aktors eines der variablen Turbolader 6 wird seine Düsenstellung anhand der Drehzahl aller anderen variablen Turbolader und der Düsenstellung der anderen variablen Turbolader 6 ermittelt. So kennt die Regeleinrichtung 50 die Summe der Düsenquerschnitte aller variablen Turbolader 6 zusammen und ist in der Lage, eine ungefähre Düsenstellung der nicht-defekten variablen Turbolader 6 zu bestimmen.

[0053] Bei einer Ausführungsform (nicht dargestellt) sind einer oder mehrere der Turbolader 6 von nicht-variabler Art, während die anderen Turbolader des Motors von der variablen Art sind. In einem solchen System kennt die Regeleinrichtung den Düsenquerschnitt der nicht-variablen Turbolader und regelt den variablen Querschnitt der übrigen variablen Turbolader entsprechend.

[0054] Bei einer Ausführungsform weist das System zwei Turbolader auf. Der eine ist variabel und der andere ist herkömmlich. Der variable Turbolader ist typischerweise der grössere der beiden. Bei niedriger Last wird der variable Turbolader so weit wie möglich geschlossen (minimaler Düsenquerschnitt), um den Abgassammlerdruck zu erhöhen. Dies wird die Energiemenge erhöhen, die an die Turbolader (vornehmlich den kleineren nicht-variablen Turbolader) geliefert wird, und folglich wird der Spülluftdruck erhöht. Der variable Turbolader muss natürlich auf der rechten Seite der Pumpgrenze gehalten werden. Bei hoher Last ist es das Ziel, eine zu hohe Drehzahl in dem kleinen (herkömmlichen) Turbolader zu vermeiden, sowohl im Hinblick auf ein Überdrehen als auch auf den Verschleiss.

[0055] Obiges wird verbessert durch einen vergrösserten Düsenumfang im Vergleich zu existierenden variablen Turboladerlösungen.

[0056] Das gleiche Prinzip kann für Systeme verwendet werden, die mehr als zwei Turbolader aufweisen.

[0057] Ein weiterer Aspekt ist, dass eine Überdimensionierung erforderlich ist, wenn man mehrere Turbolader herkömmlicher Art verwendet, da sie identisch sein müssen. Dieses Überdimensionierungsproblem kann vermieden werden durch eine Mischung aus grösseren und kleineren Turboladern, die andererseits nur bewerkstelligt werden kann, wenn wenigstens einer dieser Turbolader gemischter Grössen von der variablen Art ist.

[0058] Die verschiedenen Aspekte dessen, was oben beschrieben wurde, können einzeln oder in verschiedenen Kombinationen verwendet werden. Die Lehre dieser Anmeldung wird vorzugsweise durch eine Kombination aus Hardware und Software implementiert, kann jedoch auch in Hardware implementiert werden. Die Lehre dieser Anmeldung kann auch als computerlesbarer Code auf einem computerlesbaren Datenträger verkörpert sein.

[0059] Die Lehre dieser Anmeldung weist zahlreiche Vorteile auf. Verschiedene Ausführungsformen oder Implementierungen können einen oder mehrere der folgenden Vorteile erbringen. Es ist anzumerken, dass es sich hierbei nicht um eine vollständige Liste handelt und es andere Vorteile geben könnte, die hier nicht beschrieben sind. Ein Vorteil der Lehre dieser Anmeldung ist, dass sie eine stabile Regelung einer Mehrzahl variabler Turbolader in einem Zweitakt-Grossdieselmotor gewährleistet. Ein weiterer Vorteil der Lehre dieser Anmeldung ist, dass sie eine Regelung einer Mehrzahl variabler Turbolader in einem Zweitakt-Grossdieselmotor bereitstellt, die statische Unterschiede zwischen den einzelnen Turboladern berücksichtigen kann. Noch ein anderer Vorteil der Lehre dieser Anmeldung ist, dass sie eine Regelung einer Mehrzahl variabler Turbolader eines Zweitakt-Grossdieselmotors unter Notfall- und/oder schwierigen Betriebsbedingungen gewährleistet. Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie eine im Wesentlichen gleiche Drehzahl der variablen Turbolader gewährleistet, die wiederum eine optimale Motorleistung und verringerte Emissionen gewährleistet und ausserdem den Verschleiss mindert. Es ist ein anderer Vorteil der Erfindung, dass sie ein Regelsystem bereitstellt, das die Gefahr eines Strömungsabrisses verringert. Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass die Behandlung von Betriebsstörungen optimiert ist. Es ist ein anderer Vorteil der Erfindung, dass lokalen Unterschieden bei Turbolader-Betriebsbedingungen entgegengewirkt werden kann. Es ist ein anderer Vorteil der Erfindung, dass sie eine optimale Nutzung verschieden grosser variabler Turbolader ermöglicht. Es ist ein weiterer Vorteil der Erfindung, dass sie die Regelung eines Zweitakt-Grossdieselmotors mit einer Mischung aus variablen und nicht-variablen Turboladern gewährleistet, was wiederum eine kostengünstigere Variante variabler Turbolader für Grossmotoren ermöglicht.

[0060] Obwohl die Lehre dieser Anmeldung zum Zwecke der Erläuterung ausführlich beschrieben wurde, versteht sich, dass solche Ausführlichkeit nur diesem Zweck dient und vom Fachmann darin im Rahmen der Patentansprüche Änderungen vorgenommen werden können, ohne vom Umfang der Lehre dieser Anmeldung abzuweichen.

[0061] Der Ausdruck «umfassend», wie er in den Ansprüchen verwendet wird, schliesst andere Elemente oder Schritte nicht aus. Der Ausdruck «ein» oder «eine», wie er in den Ansprüchen verwendet wird, schliesst eine Mehrzahl nicht aus. Der einzige Prozessor oder eine andere Einheit kann die Funktionen mehrerer in den Ansprüchen angeführter Mittel erfüllen.

Patentansprüche

1. Zweitakt-Grossdieselmotor (1) mit einer Mehrzahl von Zylindern, die in Reihe angeordnet sind, einer Mehrzahl variabler Turbolader (6) mit variablem Düsenquerschnitt, die zwischen einem Abgassammler (2) und einem Spülluftsammler (3) des Motors parallelgeschaltet sind, einer Regeleinrichtung (50), die mit den variablen Turboladern (6) gekoppelt ist, wobei die Regeleinrichtung (50) einen äusseren Druckregelkreis, der einen Druckregler umfasst, und einen inneren Drehzahlregelkreis, der einen Drehzahlregler umfasst, einschliesst, wobei der Druckregler dafür konfiguriert ist, den gewünschten Gesamtdüsenquerschnitt aller variablen Turbolader (6) zu bestimmen, und der Drehzahlregler dafür konfiguriert ist, die Drehzahl jedes der variablen Turbolader (6) einzeln zu regeln.
2. Zweitakt-Grossdieselmotor nach Anspruch 1, bei dem der Drehzahlregler dafür konfiguriert ist, eine im Wesentlichen gleiche Drehzahl für jeden der variablen Turbolader (6) zu erzielen.
3. Zweitakt-Grossdieselmotor nach Anspruch 1, bei dem der Drehzahlregler dafür konfiguriert ist, den Einfluss veränderter Einstellungen eines der variablen Turbolader (6) auf die anderen variablen Turbolader aufzuheben.
4. Zweitakt-Grossdieselmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem der Drehzahlregler dafür konfiguriert ist, den Unterschied beim Ausgesetztsein gegenüber niederfrequenten Druckwellen in dem Spülluftsammler, der durch die unterschiedliche Platzierung der einzelnen variablen Turbolader (6) bedingt ist, aufzuheben.
5. Zweitakt-Grossdieselmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Drehzahlregler dafür konfiguriert ist, den Wartungszustand der einzelnen Turbolader (6) auszugleichen.
6. Zweitakt-Grossdieselmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der Drehzahlregler mit einer Schnellregelung für die Aufhebung dynamischer Unterschiede und mit einer langsamen Regelung für die Aufhebung permanenter oder statischer Unterschiede ausgestattet ist.
7. Zweitakt-Grossdieselmotor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die Regeleinrichtung (50) dafür konfiguriert ist, die Turbolader (6) nahe an der Einstellung mit ihrer höchsten Effizienz dicht an der Pumpgrenze zu betreiben.
8. Zweitakt-Grossdieselmotor nach Anspruch 7, bei dem der Drehzahlregler Signale verwendet, die den Betriebszustand des Motors wie zum Beispiel die Ansaugtemperatur und die Spüllufttemperatur, den Abgassammlerdruck, die Abgassammlertemperatur, die Auslasstemperatur und/oder den Auslassdruck anzeigen, um den Abstand der einzelnen Turbolader (6) zur Pumpgrenze so genau wie möglich zu bestimmen.
9. Zweitakt-Grossdieselmotor mit einer Mehrzahl von Zylindern, die in Reihe angeordnet sind, einer Mehrzahl von Turboladern (6) mit variablem Düsenquerschnitt, die zwischen einem Abgassammler (3) und einem Spülluftsammler (2) des Motors parallelgeschaltet sind, einer Regeleinrichtung, die mit diesen variablen Turboladern (6) gekoppelt ist, wobei der Regeleinrichtung die Drehzahl jedes variablen Turboladers (6) geliefert wird, wobei die variablen Turbolader (6) mit Aktoren zur Veränderung ihres Düsenquerschnitts durch Ändern der Stellung der Düse versehen sind und die Regeleinrichtung dafür konfiguriert ist, den tatsächlichen Düsenquerschnitt eines variablen Turboladers (6) mit einem ausgefallenen Aktor auf der Grundlage der Drehzahl aller variablen Turbolader (6) und der Düsenstellung der nichtausgefallenen Turbolader (6) zu bestimmen.
10. Verfahren zur Regelung des Drucks im Spülluftsammler (2) in einem Zweitakt-Grossdieselmotor gemäss Patentanspruch 1, wobei der Zweitakt-Grossdieselmotor eine Mehrzahl von Zylindern aufweist, die in Reihe angeordnet sind, und eine Mehrzahl variabler Turbolader (6) hat, die einen variablen Düsenquerschnitt aufweisen und parallel an den Spülluftsammler (2) geschaltet sind, wobei das Verfahren umfasst:
Regelung des gewünschten Gesamtdüsenquerschnitts aller variablen Turbolader (6) in einer Spülluftdruck-Rückkopplungsschleife, und
Regelung des variablen Düsenquerschnitts der einzelnen variablen Turbolader (6) innerhalb der Randbedingung des insgesamt gewünschten Gesamtdüsenquerschnitts der variablen Turbolader (6) in einer Mehrzahl von Drehzahl-Rückkopplungsschleifen für die variablen Turbolader (6).
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der variable Düsenquerschnitt jedes einzelnen Turboladers (6) mit dem Ziel geregelt wird, eine gleiche Drehzahl für alle variablen Turbolader (6) zu erhalten.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem ein linear-quadratischer Regler verwendet wird, um den variablen Düsenquerschnitt der einzelnen variablen Turbolader (6) zu regeln.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, bei dem ein dynamischer Dämpfungsalgorithmus mit einer ausgewogenen Reaktion angewendet wird, wenn sich die Drehzahl der einzelnen variablen Turbolader (6) erheblich unterscheidet oder wenn einer der variablen Turbolader (6) ausgefallen ist.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem statische Unterschiede zwischen einzelnen variablen Turboladern (6) bei der Regelung des variablen Düsenquerschnitts der einzelnen variablen Turbolader (6) berücksichtigt werden.

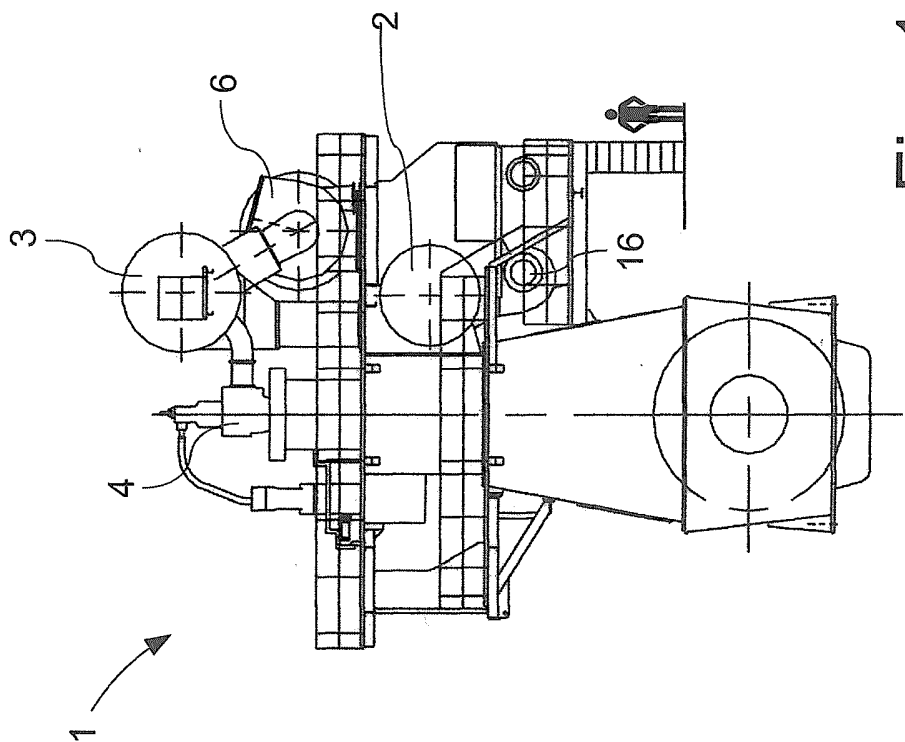


Fig. 1

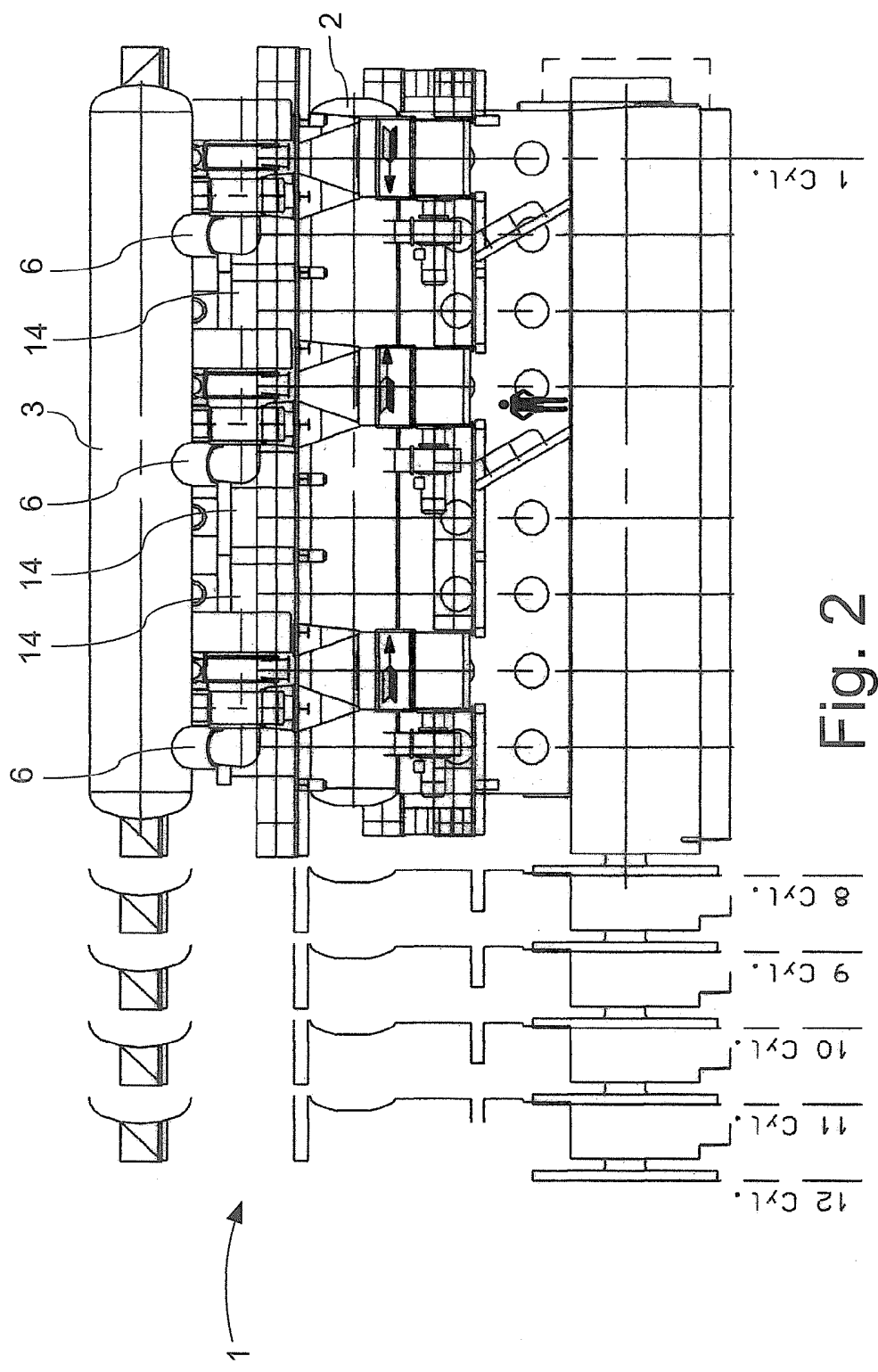


Fig. 2



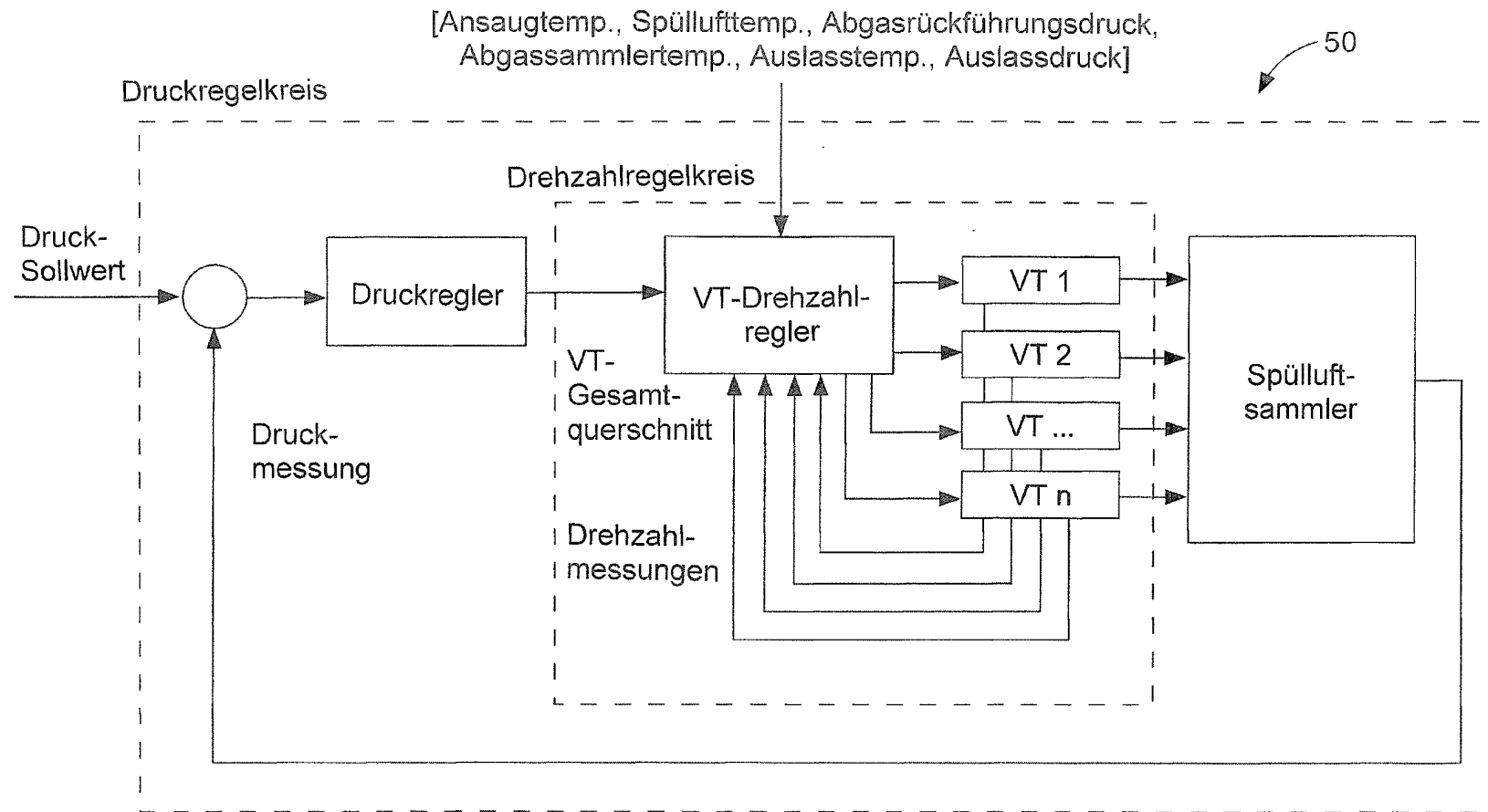


Fig. 4