



(10) **DE 10 2013 113 157 A1** 2015.05.28

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2013 113 157.3**

(22) Anmeldetag: **28.11.2013**

(43) Offenlegungstag: **28.05.2015**

(51) Int Cl.: **F02D 13/02 (2006.01)**

F02D 41/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Daimler AG, 70327 Stuttgart, DE; Robert Bosch
GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:
**Bethmann, Andreas, 71229 Leonberg, DE;
Kroener, Martin, 75196 Remchingen, DE; Merkle,
Sven, 70599 Stuttgart, DE; Pfau, Matthias, 98617
Meiningen, DE**

(74) Vertreter:
Banse & Steglich, 80336 München, DE

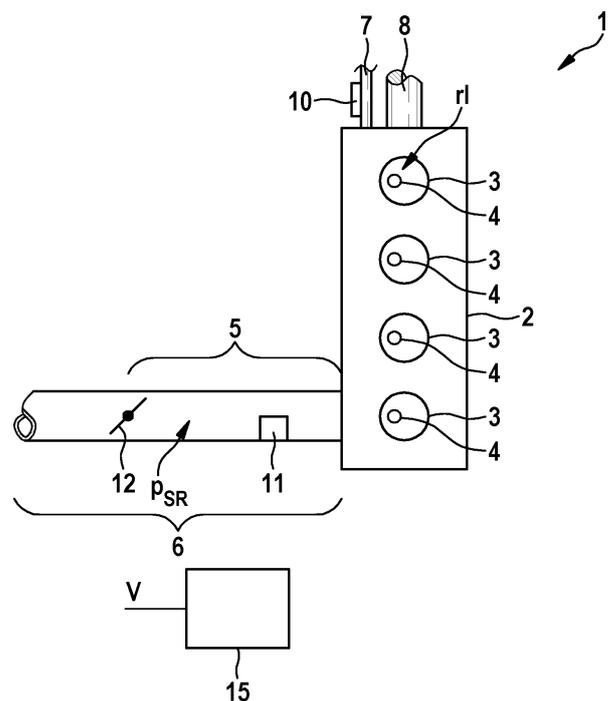
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Regeln einer Füllung in einem Zylinder eines
Verbrennungsmotors**

(57) Zusammenfassung: Es ist ein Verfahren zur Füllungsregelung einer Füllung (rl) eines Verbrennungsmotors (2) mit Nockenwellen-Phasenverstellung bei Vorgabe einer Sollfüllung (rl_{sol}), umfassend die folgenden Schritte:

– Durchführen der Füllungsregelung basierend auf einer Druckunterschiedsangabe, um eine Stellgröße (Λ_{Fuereg}) zum Stellen einer Luftmassenzufuhr in den Verbrennungsmotor (2) zu erhalten; und

– Ermitteln der Druckunterschiedsangabe (Δp_{SR}) als einen Unterschied zwischen einem prädierten Saugrohrdruck (p_{SRpred}) und einem Ist-Saugrohrdruck (p_{SR}), wobei der prädierte Saugrohrdruck (p_{SRpred}) einem Saugrohrdruck entspricht, der für das Erreichen der Sollfüllung (rl_{sol}) bei einer für eine vorgegebene Zeitkonstante (τ) prädierten Schlucklinie notwendig ist.



Beschreibung

Technisches Gebiet

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Verbrennungsmotoren, insbesondere Ottomotoren, deren Betriebszustände über das Vorgeben einer Luftfüllung in den Zylindern einstellbar sind.

Stand der Technik

[0002] Bei heutigen Motorsteuerungen wird die Luftfüllung in den Zylindern eines Verbrennungsmotors häufig über eine Stellung der Drosselklappe gestellt. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der Massenstrom durch die Drosselklappe nach Einschwingen des Saugrohrdrucks der in den Zylinder fließenden Frischluftmasse entspricht.

[0003] Üblicherweise sehen Füllungsregelungen vor, an der Drosselklappe nur den Massenstrom zu stellen, der stationär zum Erreichen der Sollfüllung notwendig ist. In einer vom Aufbau des Gesamtsystems abhängigen Saugrohr-Zeit-Konstanten erreicht der Saugrohrdruck den gewünschten Sollwert bzw. die davon abhängige Zylinderfüllung den korrespondierenden Füllungs-Sollwert. Die Saugrohr-Zeit-Konstante ist abhängig von einem Saugrohrvolumen, einer Saugrohrtemperatur und einer Motorschlucklinie und kann rechnerisch aus einer Zustandsgleichung ermittelt werden.

[0004] Füllungsregler zum Regeln einer Luftfüllung in den Zylindern eines Verbrennungsmotors zielen darauf ab, die Zeitdauer bis zum Erreichen des Saugrohrdruck-Sollwerts bzw. des Zylinderfüllungs-Sollwerts so zu beeinflussen, dass diese minimal wird. Die Grundlage bisheriger Füllungsregler, den Massenstrom an der Drosselklappe als Maß für die Zylinderfüllung heranzuziehen, ist jedoch ungenau, da die ausschlaggebende Größe für die Zylinderfüllung, nämlich der Saugrohrdruck, bei Schließen des Einlassventils, unbeachtet bleibt. Das heißt, wenn man den Massenstrom an die Drosselklappe gezielt über oder unter den stationären Sollwert stellt, kann ein Saugrohrdruckauf- oder -abbau und damit ein Füllungs- bzw. -abbau beschleunigt werden. Dazu wird eine differentielle Zustandsgleichung für die Zeit, in der der Druckaufbau erfolgen soll, aufgestellt, wobei eine Vereinfachung vorgenommen wird, nach der der momentane Schluckwert dem Soll-Schluckwert und der momentane Restgasanteil dem Soll-Restgasanteil entspricht.

[0005] In Motoren, bei denen die Nockenwellen-Phasenverstellung großen Einfluss auf die Schlucklinie des Verbrennungsmotors hat, ist eine solche Vereinfachung jedoch nicht zulässig. Wird nämlich bei einer vereinfachenden Vorgehensweise beispielsweise bei konstanter Füllungsanforderung die Nockenwelle verstellt, so ändern sich das Schluckverhalten und damit die Füllung. Der Füllungsregler ist jedoch in der bisherigen Konzeption so ausgebildet, dass dieser erst dann eingreifen kann, wenn die Luftfüllung von der Soll-Luftfüllung abweicht.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Erfindungsgemäß sind ein Verfahren zur Füllungsregelung einer Luftfüllung in einem Zylinder eines Verbrennungsmotors gemäß Anspruch 1 sowie die Vorrichtung, das Motorsystem und das Computerprogrammprodukt gemäß den nebengeordneten Ansprüchen vorgesehen.

[0007] Weitere Ausgestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

[0008] Gemäß einem ersten Aspekt ist ein Verfahren zur Füllungsregelung einer Füllung eines Verbrennungsmotors mit Nockenwellen-Phasenverstellung bei Vorgabe einer Sollfüllung vorgesehen, umfassend die folgenden Schritte:

- Durchführen der Füllungsregelung basierend auf einer Druckunterschiedsangabe, um eine Stellgröße zum Stellen einer Luftmassenzufuhr in den Verbrennungsmotor zu erhalten; und
- Ermitteln der Druckunterschiedsangabe als einen Unterschied zwischen einem prädierten Saugrohrdruck und einem Ist-Saugrohrdruck, wobei der prädierte Saugrohrdruck einem Saugrohrdruck entspricht, der für das Erreichen der Sollfüllung bei einer für eine vorgegebene Zeitkonstante prädierten Schlucklinie notwendig ist.

[0009] Ein Füllungsregler für eine Brennkraftmaschine erhält in der Regel als Eingangsgröße eine Druckunterschiedsangabe über den Unterschied zwischen dem Soll-Saugrohrdruck und dem Ist-Saugrohrdruck und generiert, u. a. abhängig von einer vorgegebenen Sollfüllung, eine entsprechende Stellgröße, die eine Verstell-

lung angibt. Findet eine Verstellung des Nockenwellen-Phasenstellers statt, so ermittelt sich bislang der Soll-Saugrohrdruck aus der anzufahrenden Soll-Stellung des Nockenwellen-Phasenstellers, was zu einem starken Überschwingen des Füllungsreglers bei einer Nockenwellen-Phasenverstellung führen kann.

[0010] Eine Idee des obigen Verfahrens besteht darin, dem Füllungsregler als Eingangsgröße eine Druckunterschiedsangabe zur Verfügung zu stellen, die einen Unterschied, wie z. B. eine Differenz, zwischen einem zum Erreichen der Soll-Füllung notwendigen Saugrohrdruck, der sich bei der für die gewünschte Zeitkonstante prädierten Schlucklinie ergibt, und dem Ist-Saugrohrdruck angibt. Dazu ist es notwendig, eine prädierte Schlucklinie und einen prädierten Restgasanteil für jeden Regelzyklus zu ermitteln, wobei die Prädiktion für einen Zeithorizont durchgeführt werden kann, der einer Einregeldauer des Füllungsreglers entspricht. Die Prädiktion hat das Ziel, die prädierte Schlucklinie abhängig von einer prädierten Stellung des Nockenwellen-Phasenstellers nach der bestimmten Zeitdauer festzustellen.

[0011] Dadurch kann ein Verfahren für eine Füllungsregelung bereitgestellt werden, die auch bei einer Nockenwellen-Phasenverstellung eine zufrieden stellende Regelung der Füllung zur Verfügung stellt.

[0012] Durch das Modifizieren der Füllungsregelung derart, dass lediglich die Eingangsgröße der Füllungsregelung abhängig von einem sich aufgrund einer Nockenwellen-Phasenverstellung ändernden Schluckverhalten modifiziert wird, wird es auf einfache Weise ermöglicht, einen Füllungsregler auch bei Verbrennungsmotoren mit Nockenwellen-Phasenverstellung zu verwenden.

[0013] Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die Druckunterschiedsangabe als eine Druckdifferenz ermittelt wird.

[0014] Es kann vorgesehen sein, dass zumindest eine Steigung der prädierten Schlucklinie basierend auf einer prädierten Nockenwellen-Phasenverstellung angepasst wird, die insbesondere unter Berücksichtigung der Nockenwellenverstellgeschwindigkeit als Änderung während einer durch die vorgegebene Zeitkonstante bestimmten Zykluszeitdauer ermittelt wird.

[0015] Gemäß einer Ausführungsform kann die Steigung der Schlucklinie basierend auf einem Verhältnis der Volumina des Brennraums zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlassventils eines Zylinders des Verbrennungsmotors bei der prädierten und einer aktuellen Nockenwellen-Phasenverstellung ermittelt werden.

[0016] Es kann vorgesehen sein, dass ein Restgasanteil als ein Offset der prädierten Schlucklinie basierend auf einer prädierten Nockenwellen-Phasenverstellung angepasst wird, wobei der prädierte Restgasanteil (angegeben mithilfe des Drucks des Restgasanteils) zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlassventils eines Zylinders des Verbrennungsmotors bei einer aktuellen und der prädierten Nockenwellen-Phasenverstellung ermittelt wird.

[0017] Weiterhin kann der prädierte Saugrohrdruck aus der prädierten Schlucklinie und der vorgegebenen Sollfüllung ermittelt werden.

[0018] Gemäß einem weiteren Aspekt ist eine Vorrichtung zur Füllungsregelung einer Füllung eines Verbrennungsmotors mit Nockenwellen-Phasenverstellung bei Vorgabe einer Sollfüllung vorgesehen, wobei die Vorrichtung ausgebildet ist, um:

- die Füllungsregelung basierend auf einer Druckunterschiedsangabe durchzuführen, um eine Stellgröße zum Stellen einer Luftmassenzufuhr in den Verbrennungsmotor zu erhalten; und
- die Druckunterschiedsangabe als einen Unterschied zwischen einem prädierten Saugrohrdruck und einem Ist-Saugrohrdruck zu ermitteln, wobei der prädierte Saugrohrdruck einem Saugrohrdruck entspricht, der für das Erreichen der Sollfüllung bei einer für eine vorgegebene Zeitkonstante prädierten Schlucklinie notwendig ist.

[0019] Gemäß einem weiteren Aspekt ist ein Computerprogrammprodukt vorgesehen, das einen Programmcode enthält, der, wenn er auf einer Recheneinrichtung, insbesondere der obigen Vorrichtung ausgeführt wird, das obige Verfahren durchführt.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0020] Bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend anhand der beigegebenen Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

[0021] Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Motorsystems mit einem Verbrennungsmotor;

[0022] Fig. 2 ein Funktionsdiagramm zur Veranschaulichung der Durchführung einer Füllungsregelung in einem Motorsystem gemäß Fig. 1; und

[0023] Fig. 3 Zeitverlaufs-Diagramme zur Darstellung der Verläufe der Zustandsgrößen bei zwei Lastwechseln.

Beschreibung von Ausführungsformen

[0024] Fig. 1 zeigt schematisch eine Darstellung eines Motorsystems **1** mit einem Verbrennungsmotor **2**, insbesondere einem Ottomotor, der mehrere, im gezeigten Ausführungsbeispiel vier Zylinder **3** aufweist. Die Zylinder **3** sind mit Einlassventilen **4** versehen, über die entsprechend eines Arbeitstakts des jeweiligen Zylinders des Verbrennungsmotors Luft zyklisch aus einem Saugrohrabschnitt **5** eines Luftzuführungssystems **6** in die Zylinder **3** eingelassen werden kann.

[0025] Die Einlassventile **4** sind mit einer Nockenwelle **7** gekoppelt, die durch eine Kurbelwelle **8** des Verbrennungsmotors **2** angetrieben wird. Über eine Drehung der Nockenwelle **7** werden die Einlassventile angesteuert, so dass diese sich entsprechend einer Erhebungskurve abhängig von einem Kurbelwellenwinkel der Kurbelwelle **8** öffnen und schließen.

[0026] Es ist ferner eine Nockenwellen-Phasenverstelleinheit **10** vorgesehen, mit der es möglich ist, die Öffnungs- und Schließzeiten der Einlassventile **4**, d. h. deren Phasenlage, bezüglich einer Drehwinkellage der Kurbelwelle **8**, d. h. abhängig von der jeweiligen Phasenlage von Kolben in den Zylindern **3**, gesteuert zu verstellen.

[0027] Eine Nockenwellen-Phasenverstellung bezeichnet ein Verfahren zur Veränderung der Steuerzeiten der Ventilsteuerung von Ottomotoren im Betrieb. Dabei wird die Länge der Erhebungskurve (bezogen auf Kurbelwellenwinkel) des betreffenden Ventils nicht verändert sondern lediglich deren Phasenlage bezüglich des Kurbelwellenwinkels angepasst. Die Anpassung der Öffnungs- und Schließzeiten der Einlass- und Auslassventile gestattet eine Effizienzsteigerung des Verbrennungsmotors abhängig vom jeweiligen Lastverhalten. Die Steigerung kann sich als Leistungs- und Drehmomentgewinn oder als Kraftstoffeinsparung auswirken.

[0028] Die gesamte, durch die Einlassventile **4** in die Zylinder **3** einströmende Luft wird über den Saugrohrabschnitt **5** zur Verfügung gestellt. Die Luftmenge, die durch die Einlassventile **4** in die Zylinder **3** strömt, wird als Füllung rl bezeichnet und wird maßgeblich durch den Ist-Saugrohrdruck p_{SR} im Saugrohrabschnitt **5** zum Zeitpunkt des Schließens der Einlassventile **4** bestimmt. Der Ist-Saugrohrdruck p_{SR} kann mithilfe eines Saugrohrdrucksensors **11** gemessen oder durch Zugrundelegen anderer Systemgrößen mithilfe eines Saugrohrdruckmodells modelliert werden.

[0029] Zum Beeinflussen des Saugrohrdrucks p_{SR} ist in dem Luftzuführungssystem **6** eine Drosselklappe **12** angeordnet, deren Stellung, insbesondere deren Winkelstellung DW einen Strömungswiderstand in dem Luftzuführungssystem **6** bestimmt und damit maßgeblich den Saugrohrdruck p_{SR} einstellen kann.

[0030] Es ist eine Steuereinheit **15** vorgesehen, die den Betrieb des Verbrennungsmotors **2** durch Stellen der Stellgeber steuert, wie die Drosselklappe, den Nockenwellen-Phasensteller **10**, Einspritzventile zum Einspritzen von Kraftstoff und dergleichen.

[0031] In der Steuereinheit **15** ist eine Füllungsregelung implementiert, die abhängig von einer Lastvorgabe V eine Sollfüllung rl_{sol} für die Zylinder **3** vorgibt, die durch die Füllungsregelung schnellstmöglich erreicht werden soll.

[0032] Für einen herkömmlichen Füllungsregler gilt:

$$p_{SR} \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

$$\frac{dp_{SR}}{dt} \cdot V = \frac{dm}{dt} \cdot R \cdot T$$

mit

$$\frac{dm}{dt} = f(\text{msdk}, p_{\text{sr}}, p_{\text{brint}}, f_{\text{upsrl}}, \text{umsrl})$$

ergibt sich

$$\frac{dp_{\text{SR}}}{dt} \frac{V}{R \cdot T} = f(\text{msdk}, p_{\text{SR}}, p_{\text{brint}}, f_{\text{upsrl}}, \text{umsrl})$$

wobei p_{SR} den Saugrohrdruck, V das Saugrohrvolumen, R die Gaskonstante, T die Lufttemperatur im Saugrohr, m eine Luftmasse, dm/dt einen Luftmassenstrom, msdk einen Luftmassenstrom über der Drosselklappe **12**, p_{brint} einen Druck des Restgases im Zylinder **3**, f_{upsrl} eine Steigung einer Schluckkennlinie des Verbrennungsmotors **2**, f_{upsrls} einen Sollwert der Steigung einer Schluckkennlinie des Verbrennungsmotors **2**, p_{brints} einen Sollwert eines Drucks des Restgases im Zylinder **3** und umsrln einen vorgegebenen Umrechnungsfaktor angeben.

[0033] Der Eingriff der Füllungsregelung basiert auf einer Verstellung der Drosselklappe **12**, wobei sich der Stellwinkel Λ_{Fuereg} für die Drosselklappe **12** wie folgt ergibt:

$$\Lambda_{\text{Fuereg}} = (\text{risol} - \text{rl}) \cdot g(V, R, T, f_{\text{upsrl}}, \text{umsrln}, p_{\text{sr}})$$

wobei risol einen Füllungs-Sollwert, rl eine Füllung, Λ_{Fuereg} den Stellwinkel für die Drosselklappe **12** als Stellgröße der Füllungsregelung und $g()$ eine Abbildungsfunktion angeben.

[0034] Da jedoch die Nockenwellen-Phasenverstellung großen Einfluss auf die Schlucklinie des Verbrennungsmotors **2** hat, ist das Basieren der Füllungsregelung auf der einfachen Differenz zwischen dem Soll-Saugrohrdruck p_{SRsol} und dem Ist-Saugrohrdruck p_{SR} ungenau. Der Füllungsregler würde bei einer konstanten Füllungsanforderung bei einer Verstellung des Phasenwinkels der Nockenwelle **7** erst dann eingreifen, wenn die Ist-Füllung rl von der Soll-Füllung risol abweicht, was jedoch von dem Füllungsregler verhindert werden sollte. Bei einer sehr langsam bzw. sich nicht verstellenden Nockenwelle **7** würde der Füllungsregler zu früh und zu stark reagieren, was zu einem Füllungsüber- oder -unterschwingen führen würde. Daher ist die obige Vereinfachung bei der Berücksichtigung des Schluckverhaltens basierend auf dem Sollwert der Phasenstellung der Nockenwelle **7** jedoch bei Verbrennungsmotoren, bei denen die Nockenwellen-Phasenverstellung großen Einfluss auf die Schlucklinie hat, nicht zulässig.

[0035] Ignoriert man die obige Vereinfachung, so kann die Abweichung zwischen der Ist-Füllung rl von der Soll-Füllung risol vermieden werden.

[0036] Um den Füllungsregler unter Berücksichtigung einer sich verändernden Schluckkennlinie zu betreiben, muss anstelle der Druckunterschiedsangabe für die Druckdifferenz zwischen Sollsaugrohrdruck und Istsaugrohrdruck des herkömmlichen Füllungsreglers eine angepasste Druckunterschiedsangabe verwendet werden.

[0037] Nachfolgend wird unter Bezugnahme auf das Funktionsdiagramm der **Fig. 2** die Füllungsregelung näher beschrieben.

[0038] Der Soll-Saugrohrdruck p_{SRsol} errechnet sich zu:

$$p_{\text{SRsol}} = \frac{\text{risol}}{f_{\text{upsrls}}} + p_{\text{brints}}$$

[0039] Die obige Formel betrachtet aber nicht die für die Koordination erforderliche Veränderung der Ist-Steuerzeit, so dass vorgesehen wird, dass p_{brints} und f_{upsrls} die Motorschlucklinie für eine neue Soll-Steuerzeit beschreiben.

[0040] Dazu muss die Schluckkennlinie für einen Zeithorizont prädiert werden, der der Einregeldauer eines Füllungsreglers **21**, d. h. dessen Zeitkonstante, entspricht. Dazu ist es notwendig, zu prädiieren, an welcher Position die Nockenwelle **7** zu diesem Zeitpunkt steht.

[0041] Die prädierte Nockenwellen-Phasenverstellung wird in einer Nockenwellenstellungseinheit **22** bestimmt und kann aus einer vorgegebenen, an sich bekannten Bewegungsgleichung auf aktueller Nockenwellen-Phasenstellung (Nockenwellenwinkel) wnw und dem Produkt aus Nockenwellenverstellgeschwindigkeit

v_{wnw} und Prädiktionshorizont Δt ermittelt werden, wobei $w_{nw_{pred}}$ der prädizierten Nockenwellen-Phasenverstellung, w_{nw} der Nockenwellen-Phasenverstellung, v_{wnw} der Nockenwellen-Phasenverstellgeschwindigkeit entsprechen.

[0042] Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Nockenwelle **7** nicht über ihre mechanischen Anschläge hinaus verstellt werden kann. Die Ermittlung der Nockenwellenverstellgeschwindigkeit v_{wnw} kann wie üblich aus der Veränderung des aktuellen Nockenwellenwinkels $w_{nw_{neu}} - w_{nw_{alt}}$ pro Rechenraster erfolgen.

[0043] Ist die Erfassung der Nockenwellen-Phasenverstellung verrauscht, so kann die sich ergebende Geschwindigkeit gefiltert werden, beispielsweise mithilfe eines Tiefpassfilters. Die Filterung kann zudem so ausgebildet sein, dass bei großer tatsächlicher Nockenwellenverstellgeschwindigkeit ein geringer Filtereingriff und bei quasi stationärem Betrieb ein hoher Filtereingriff erfolgt.

[0044] Wird die Nockenwelle **7** aus einer Ruhelage heraus verstellt, so ergibt sich eine Totzeit zwischen der Ausgabe des Sollwerts und der tatsächlichen Bewegung der Nockenwelle **7**. Falls das oben beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Nockenwellenverstellgeschwindigkeit trotz einer Bewegung der Nockenwelle **7** eine Verstellgeschwindigkeit von 0 ermitteln würde, so sollte während der Totzeit die Verstellgeschwindigkeit der Nockenwelle **7** mithilfe eines Nockenwellenmodells modelliert werden.

[0045] Für die Berechnung der prädizierten Schlucklinie in dem Schlucklinienanpassungsblock **23** besteht prinzipiell die Möglichkeit, die Füllungserfassung erneut für die prädizierte Nockenwellen-Phasenverstellung zu berechnen. Da der Prädiktionshorizont Δt allerdings relativ lang ist (typischerweise 50 bis 500 Millisekunden), ist eine überschlägige Berechnung ausreichend. Die Steigung f_{upsrl} der z. B. als linear angenommenen Motorschlucklinie ändert sich im Verhältnis des Zylindervolumens zum Zeitpunkt des Schließens des Einlassventils **4** zwischen aktueller und prädizierter Nockenwellen-Phasenverstellung w_{nw} , $w_{nw_{pred}}$:

$$f_{upsrl_{pred}} = h(f_{upsrl}, FVBR(w_{nw_{pred}}), FVBR(w_{nw}))$$

wobei $FVBR$ dem Brennraumvolumen bei einer bestimmten Nockenwellen-Phasenverstellung $w_{nw_{pred}}$, w_{nw} , $h()$ einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift und $f_{upsrl_{pred}}$ der Steigung der prädizierten Schlucklinie entsprechen.

[0046] Unter der Annahme, dass nicht der Restpartialdruck sondern der Restgasgehalt annähernd konstant bleibt, kann auch ein prädizierter Restgaspartialdruck $p_{bprint_{pred}}$ berechnet werden.

$$p_{bprint_{pred}} = j(p_{bprint}, FVBR(w_{nw_{pred}}), FVBR(w_{nw}))$$

mit einer vorgegebenen Berechnungsvorschrift $j()$.

[0047] Der prädizierte Soll-Saugrohrdruck ergibt sich dann in dem Saugrohrdruckanpassungsblock **24** basierend auf der Schlucklinie.

$$p_{sr_{pred}} = k(r_{lsol}, f_{upsrl_{pred}}, p_{bprint_{pred}})$$

mit einer vorgegebenen Schlucklinienfunktion $k()$.

[0048] Die prädizierte Luftfüllung r_{lpred} berechnet sich aus dem prädizierten Ist-Saugrohrdruck $p_{sr_{pred}}$ und der prädizierten Schlucklinie. Der Zeithorizont ist in diesem Fall das Intervall zwischen Ausführen der Berechnung der prädizierten Luftfüllung r_{lpred} und dem Zeitpunkt des Schließens des Einlassventils **4**. Für diesen Zeithorizont wird wieder mithilfe der Nockenwellenverstellgeschwindigkeit ein prädizierter Nockenwellenwinkel berechnet.

[0049] Daraus kann die Stellgröße Λ_{Fuereg} zu jedem Berechnungszeitpunkt ermittelt werden, wie folgt:

$$\Lambda_{Fuereg} = r(\tau, \Delta p_{SR}, V, R \cdot T, r_{lpred}, r_l, umsr_{ln})$$

mit

$$\Delta p_{SR} = p_{sr_{pred}} - p_{sr}$$

wobei $r()$ einer vorgegebenen Stellgrößenfunktion entspricht. Die Druckunterschiedsangabe Δp_{SR} kann durch eine Differenzberechnung $p_{srpred} - p_{sr}$ in einem Differenzglied **25** ermittelt wird.

[0050] Zur Abstimmung des Gesamtsystems kann es erforderlich sein, trotz des P-basierten Füllungsreglers die Sollwerte der Nockenwelle **7** zu filtern, wenn die Verstellung der Nockenwelle **7** die Füllung stärker ändert als die Drosselklappe **12** darauf im schnellstmöglichen Fall reagieren kann.

[0051] In Fig. 3 sind Zeitverlaufs-Diagramme zur Darstellung der zeitlichen Verläufe der Zustandsgrößen bei zwei Lastwechseln dargestellt. Man erkennt die Verläufe der Größen Luftfüllung rl , Saugrohrdruck p_{SR} , der Nockenwellenstellung wnw , der Stellgröße Λ_{Fuereg} des Füllungsreglers und des Drosselklappenwinkels DW über der Zeit t .

Patentansprüche

1. Verfahren zur Füllungsregelung einer Füllung (rl) eines Verbrennungsmotors (**2**) mit Nockenwellen-Phasenverstellung bei Vorgabe einer Sollfüllung ($rlsol$), umfassend die folgenden Schritte:

- Durchführen der Füllungsregelung basierend auf einer Druckunterschiedsangabe, um eine Stellgröße (Λ_{Fuereg}) zum Stellen einer Luftmassenzufuhr in den Verbrennungsmotor (**2**) zu erhalten; und
- Ermitteln der Druckunterschiedsangabe (Δp_{SR}) als einen Unterschied zwischen einem prädizierten Saugrohrdruck (p_{srpred}) und einem Ist-Saugrohrdruck (p_{SR}), wobei der prädizierte Saugrohrdruck (p_{srpred}) einem Saugrohrdruck entspricht, der für das Erreichen der Sollfüllung ($rlsol$) bei einer für eine vorgegebene Zeitkonstante (τ) prädizierten Schlucklinie notwendig ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Druckunterschiedsangabe (Δp_{SR}) als eine Druckdifferenz ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei zumindest eine Steigung ($fupsrl$) der prädizierten Schlucklinie basierend auf einer prädizierten Nockenwellen-Phasenverstellung angepasst wird, die insbesondere unter Berücksichtigung einer Nockenwellenverstellgeschwindigkeit ($vwnw$) als Änderung während einer durch die vorgegebene Zeitkonstante bestimmten Zykluszeitdauer ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei die Steigung der Schlucklinie ($fupsrlpred$) basierend auf einem Verhältnis der Volumina des Brennraums zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlassventils (**4**) eines Zylinders (**3**) des Verbrennungsmotors (**2**) bei der prädizierten und einer aktueller Nockenwellen-Phasenverstellung ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei ein Restgasanteil als ein Offset der prädizierten Schlucklinie basierend auf einer prädizierten Nockenwellen-Phasenverstellung angepasst wird, wobei ein prädizierter Restgasanteil zum Zeitpunkt eines Schließens eines Einlassventils (**4**) eines Zylinders (**3**) des Verbrennungsmotors (**2**) bei einer aktuellen und der prädizierten Nockenwellen-Phasenverstellung ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der prädizierte Saugrohrdruck (p_{srpred}) aus der prädizierten Schlucklinie und der vorgegebenen Sollfüllung ($rlsol$) ermittelt wird.

7. Vorrichtung zur Füllungsregelung einer Füllung eines Verbrennungsmotors (**2**) mit Nockenwellen-Phasenverstellung bei Vorgabe einer Sollfüllung ($rlsol$), wobei die Vorrichtung ausgebildet ist, um:

- die Füllungsregelung basierend auf einer Druckunterschiedsangabe (Δp_{SR}) durchzuführen, um eine Stellgröße (Λ_{Fuereg}) zum Stellen einer Luftmassenzufuhr in den Verbrennungsmotor zu erhalten; und
- die Druckunterschiedsangabe (Δp_{SR}) als einen Unterschied zwischen einem prädizierten Saugrohrdruck (p_{srpred}) und einem Ist-Saugrohrdruck (p_{SR}) zu ermitteln, wobei der prädizierte Saugrohrdruck (p_{srpred}) einem Saugrohrdruck entspricht, der für das Erreichen der Sollfüllung ($rlsol$) bei einer für eine vorgegebene Zeitkonstante prädizierten Schlucklinie notwendig ist.

8. Computerprogramm mit Programmcodemitteln, um alle Schritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6 durchzuführen, wenn das Computerprogramm auf einem Computer oder einer Vorrichtung gemäß Anspruch 7, ausgeführt wird.

9. Elektronisches Speichermedium, auf welchem ein Computerprogramm nach Anspruch 8 gespeichert ist.

10. Elektronisches Steuergerät, welches ein elektronisches Speichermedium nach Anspruch 9 aufweist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

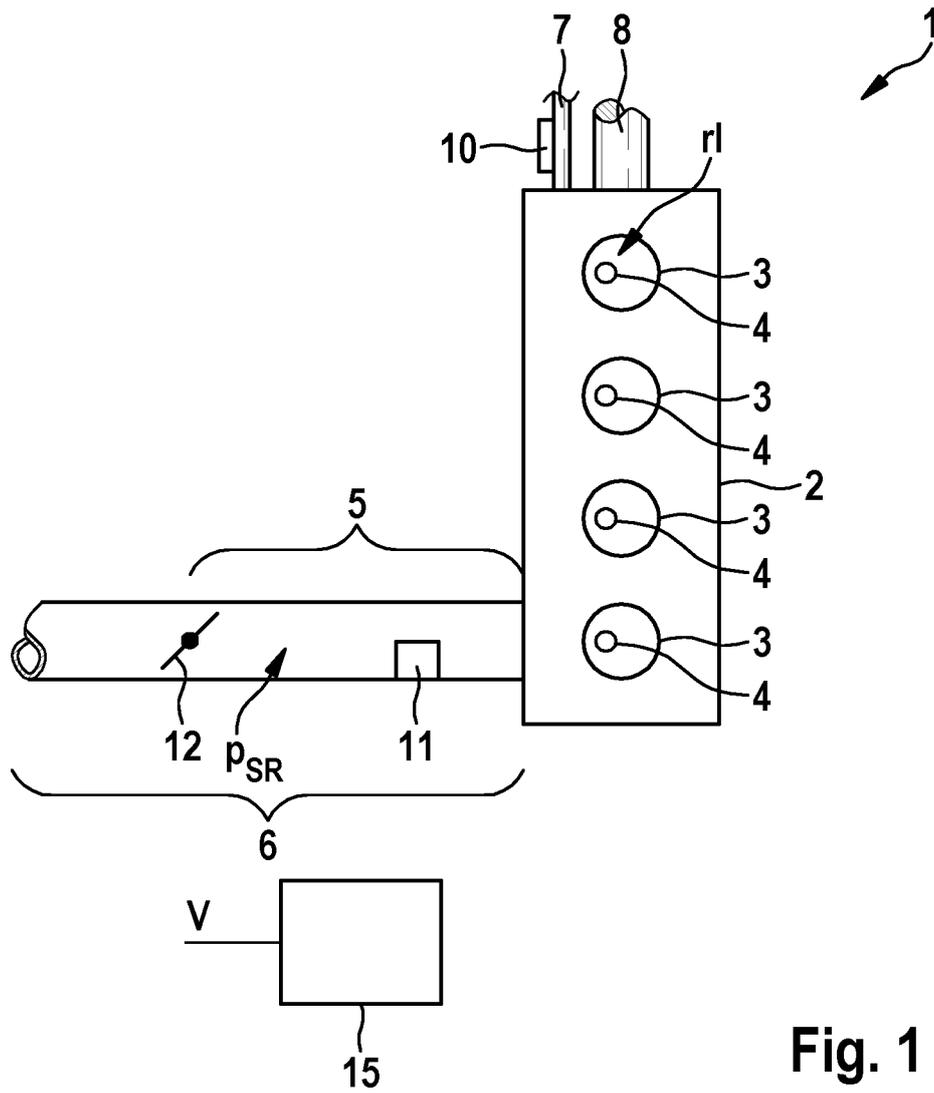


Fig. 1

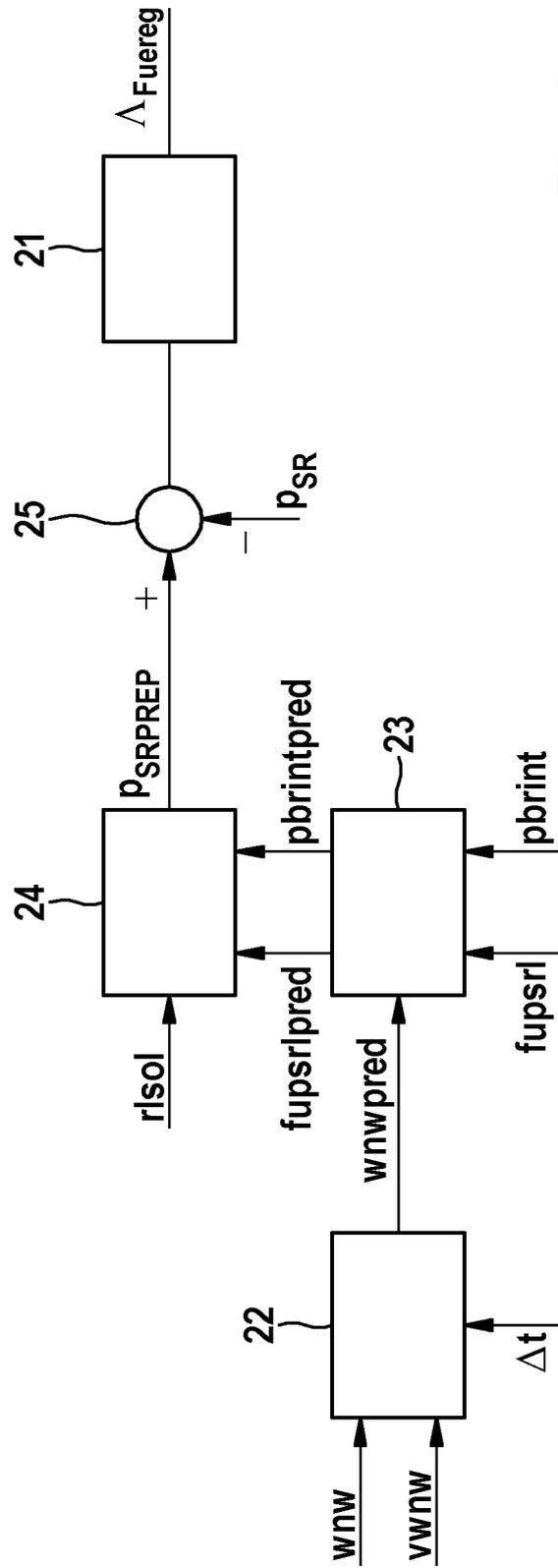


Fig. 2

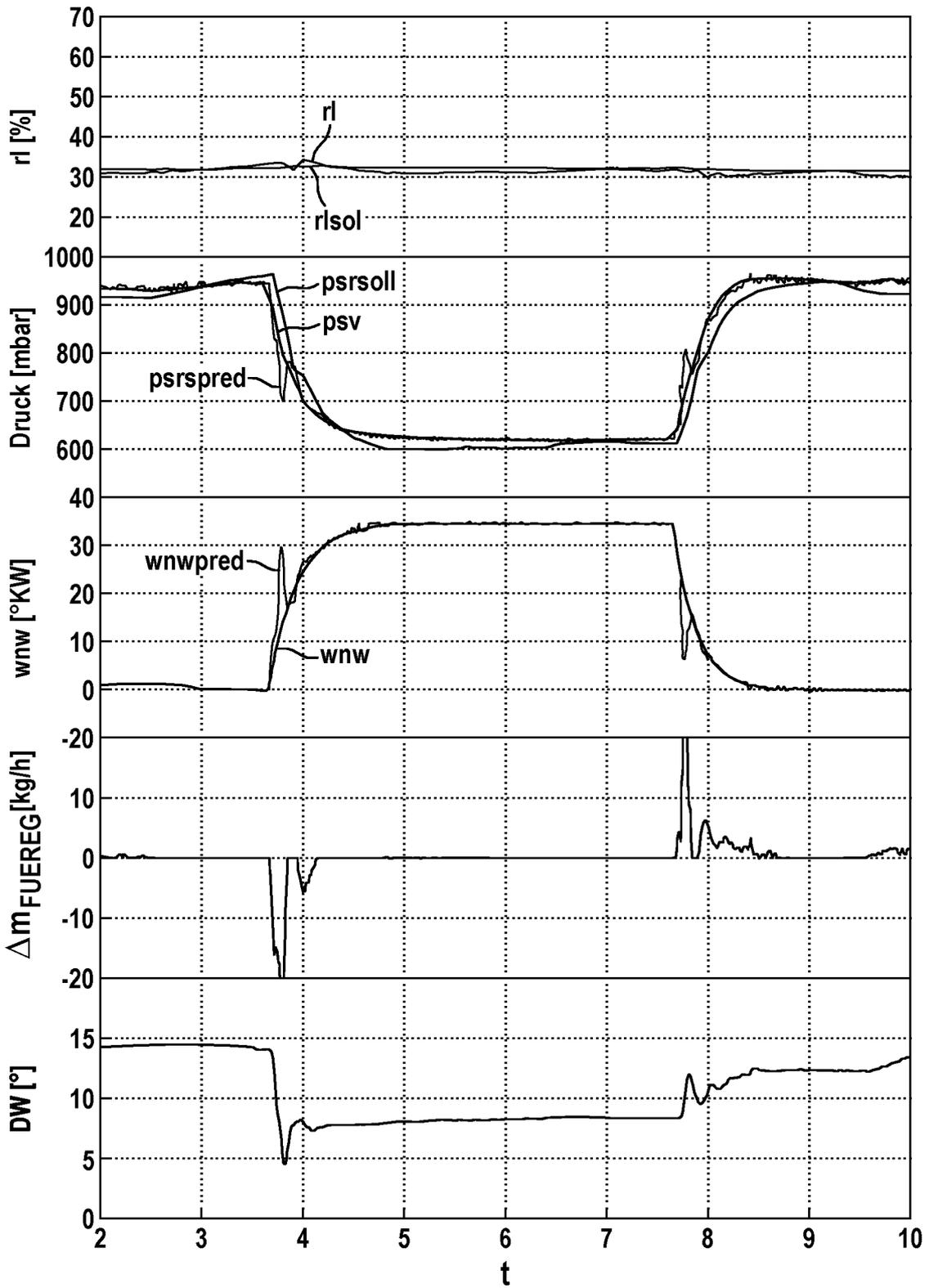


Fig. 3