



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
08.08.2007 Patentblatt 2007/32

(51) Int Cl.:
F02D 41/14 ^(2006.01) **F02D 41/24** ^(2006.01)
F02D 41/38 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **07100447.7**

(22) Anmeldetag: **12.01.2007**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA HR MK YU

(30) Priorität: **01.02.2006 DE 102006004602**

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
80333 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Borchsenius, Fredrik**
93093, Donaustauf (DE)
• **Klesse, Christoph**
93086, Wörth A.D.Donau (DE)

(74) Vertreter: **Feichtner, Andreas**
Siemens AG
CT IP
Postfach 22 16 34
80506 München (DE)

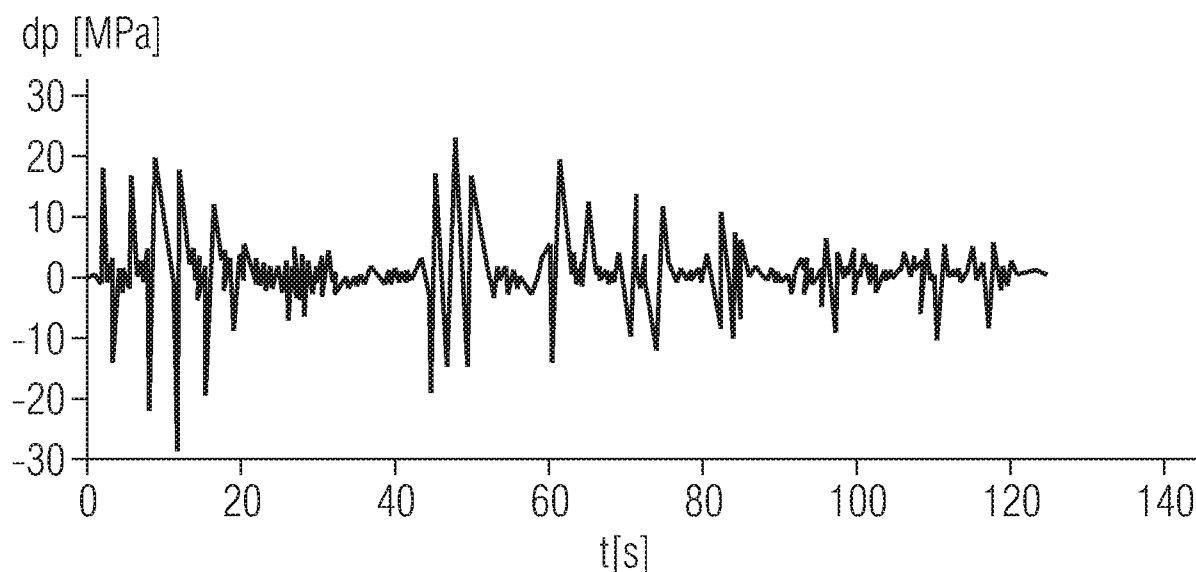
(54) **Verfahren und Motorsteuergerät**

(57) Es wird ein Verfahren zur Annäherung eines gespeicherten Vorsteuerkennfeldes eines Druckregelventils einer Common-Rail Pumpe an das effektive Vorsteuerkennfeld des Druckregelventils vorgestellt. Das gespeicherte Vorsteuerkennfeld bildet einen Solldruck in dem Rail auf einen Steuerstrom des Druckregelventils ab. Das Verfahren umfasst die Verfahrensschritte:
A Messen des Druckes in dem Rail;

B Bestimmen des Steuerstroms des Druckregelventils;
C Anpassen des gespeicherten Vorsteuerkennfeldes mittels eines Regressionsverfahrens unter Einbezug des in Schritt A gemessenen Druckes und der in Schritt B gemessenen Steuerstroms.

Im Lauf einer 120 Sekunden (s) andauernden Testfahrt konnten gemäß Figur 5b die Regelabweichungen (dp) vom Soll-Druck zum Ist-Druck in dem Druckregelventil erheblich reduziert werden.

FIG 5B



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Annäherung eines gespeicherten Vorsteuerkennfeldes eines Druckregelventils einer Common-Rail Pumpe an das effektive Vorsteuerkennfeld des Druckregelventils.

[0002] Bei Common-Rail Systemen wird üblicherweise der Systemdruck in dem Rail durch ein Druckregelventil eingestellt. Das Druckregelventil gewährleistet eine hinreichend genaue Einstellbarkeit des Druckes bei einem stationären Betrieb. Für transiente Übergänge ist eine schnelle Dynamik gefordert, damit ein neuer Betriebszustand möglichst schnell und mit möglichst geringen Abweichungen vom vorgegebenen Sollwert erreicht wird.

[0003] Bei Druckregelventilen kann im Wesentlichen der Druck in dem Rail durch eine Magnetkraft eingestellt werden. Zur Druckregelung wird daher üblicherweise ein PI-Regler mit einer druckabhängigen Vorsteuerung verwendet.

[0004] Aus Stabilitätsgründen ist die Geschwindigkeit, mit welcher eine Druckregelung vorgenommen wird begrenzt. Um möglichst geringe Abweichungen vom Solldruck zu erzielen, kommt einem genauen Vorsteuerkennfeld eine hohe Bedeutung zu: je genauer dieses ist, desto geringer werden die Abweichungen vom Solldruck zum Systemdruck. Der Begriff "Vorsteuerkennfeld" umfasst den Begriff "Vorsteuerkennlinie".

[0005] Heutzutage wird das Vorsteuerkennfeld normalerweise in einer eindimensionalen Tabelle hinterlegt. Zur Adaption müssen zunächst stationäre Betriebszustände erkannt werden. Wenn ein stationärer Betriebszustand in der Nähe einer Stützstelle der Tabelle liegt, wird er für die Adaption dieses Punktes der Tabelle verwendet.

[0006] Durch die Filterung von nicht-stationären Betriebszuständen und Messungen, die nicht in der Nähe einer Stützstelle liegen, ergibt sich eine langsame und ungenaue Adaption.

[0007] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde eine beschleunigte und verbesserte Adaption des Vorsteuerkennfeldes eines Druckregelventils vornehmen zu können.

[0008] Diese Aufgabe wird durch die im Patentanspruch 1 bzw. 7 angegebenen Merkmale gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in weiteren Ansprüchen angegeben. Das dynamische Systemverhalten kann deutlich verbessert werden. Zudem können die Fertigungstoleranzen für PCV-Ventile vergrößert werden.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren dient zur Annäherung eines gespeicherten Vorsteuerkennfeldes eines Druckregelventils einer Common-Rail-Pumpe an das effektive Vorsteuerkennfeld des Druckregelventils. Dazu bildet das gespeicherte Vorsteuerkennfeld einen Solldruck in dem Rail auf einen Steuerstrom des Druckregelventils ab. In einem Verfahrensschritt wird der Steuerstrom des Druckventils bestimmt. Dieser kann direkt aus dem Vorsteuerkennfeld herausgelesen werden oder gemessen werden. In einem weiteren Verfahrensschritt wird der Druck im Rail gemessen. Der gemessene Druck und der Steuerstrom bilden einen Messpunkt. In einem weiteren Verfahrensschritt wird das gespeicherte Vorsteuerkennfeld mittels eines Regressionsverfahrens unter Einbezug dieses Messpunktes angepasst.

[0010] Durch eine wiederholte Ermittlung von Messpunkten und iterieren des Regressionsverfahrens kann das gespeicherte Vorsteuerkennfeld noch genauer an das effektive Vorsteuerkennfeld angenähert werden.

[0011] Wird das Vorsteuerkennfeld als analytische Funktion gespeichert, so lässt sich das Regressionsverfahren besonders schnell durchführen. Das effektive Kennfeld kann beispielsweise durch Polynome angenähert werden. Polynome dritten Grades weisen den Vorteil auf, dass sie wenig Speicherplatz benötigen, schnell prozessierbar sind und bereits gute Näherungen an das effektive Kennfeld ermöglichen. Das Vorsteuerkennfeld kann auch als eine Summe von analytischen Funktionen, eine Summe von finiten Elementen, eine Summe von B-spline-Funktionen oder eine Summe einer abschnittsweise linearen Funktionen gespeichert sein. Ebenso ist es auch möglich, das Kennfeld als Tabelle zu speichern.

[0012] Die Verwendung eines Regressionsverfahrens ermöglicht es, das Vorsteuerkennfeld auch während eines nicht-stationären Zustandes der Common-Rail-Pumpe anzupassen. Die Messungen des Druckes brauchen im Gegensatz zum Stand der Technik nicht mehr gefiltert zu werden. Dadurch wird das Vorsteuerkennfeld genauer, das Druckregelventil kann auch in transienten Zuständen präziser angesteuert werden.

[0013] Um das Verfahren durchzuführen wird ein Motorsteuergerät vorgeschlagen, welches einen ersten Datenspeicherbereich, einen zweiten Datenspeicherbereich und einen Prozessor umfasst. Im ersten Datenspeicherbereich kann ein Vorsteuerkennfeld gespeichert werden, welches einen Solldruck auf einen Steuerstrom des Druckregelventils abbildet, während im zweiten Datenspeicherbereich ein gemessener Druck gespeichert werden kann. Der Prozessor ist derart programmiert, dass er ein in dem ersten Datenspeicherbereich gespeichertes Vorsteuerkennfeld mittels eines Regressionsverfahrens unter Einbezug eines im zweiten Datenspeicherbereich gespeicherten Messpunktes anpasst.

[0014] Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung beispielsweise näher erläutert. Dabei zeigen:

Figur 1A Solldruckverlauf und gemessener Druckverlauf bei transienten Bedingungen im Prüfstand nach dem Stand der Technik;

Figur 1B Verteilung der Regelabweichungen des gemessenen Druckes vom Solldruck nach dem Stand der Technik;

Figur 2A ursprüngliches Vorsteuerkennfeld;

Figur 2B angepasstes Vorsteuerkennfeld;

Figur 3A Testprozedur und den gemessener Systemdruck für das ursprüngliche Vorsteuerkennfeld;

- Figur 3B Testprozedur und den gemessenen Systemdruck für das angepasste Vorsteuerkennfeld;
 Figur 4 ursprüngliche Vorsteuerkennfeld zu Beginn der Testprozedur und das angepasste Vorsteuerkennfeld;
 Figur 5A Solldruck und effektiver Druck während einer Testfahrt;
 Figur 5B Differenz zwischen Solldruck und effektivem Druck während der Testfahrt.

[0015] Figur 1A zeigt den Solldruckverlauf 10 und einen im Prüfstand gemessenen Druckverlauf 12 im Rail eines Common-Rail-Systems mit Druckregelventil, dessen Vorsteuerkennfeld nach dem Stand der Technik angesteuert wird. Auf der Abszisse ist die Zeit t in Sekunden s aufgetragen, auf der Ordinate der Druck p in Megapascal MPa. Im Common-Rail-System ist ein stabiler Regler implementiert, welcher sicherstellt, dass sich das System jeweils asymptotisch an Betriebspunkte annähert. In stationären Zuständen ist in dieser Auflösung kaum ein Unterschied zwischen Solldruck und gemessenem Druck im Rail erkennbar. Bei transienten Bedingungen ist die Abweichung von Solldruck 10 und gemessenem Druck 12 ersichtlich.

[0016] Figur 1B zeigt die Verteilung der Regelabweichungen dp des gemessenen Druckes 12 vom Solldruck 10 für die in Figur 1A gemessenen Druckverläufe. Auf der Abszisse ist die Regelabweichung dp in Megapascal aufgetragen, während die Ordinate die Häufigkeit n einer Regelabweichung angibt. Die Analyse der Messdaten zeigt, dass sich die Regelabweichungen um die Gleichgewichtslage verteilen. Das Gesamtsystem verhält sich wie ein Attraktor, bei dem Betriebszustände umso wahrscheinlicher sind, je näher sie am Gleichgewichtszustand liegen.

[0017] Die Annäherung eines gespeicherten Vorsteuerkennfelds an das effektive Vorsteuerkennfeld eines Druckregelventils wurde zunächst an einem Systemprüfstand unter reproduzierbaren Bedingungen getestet. Die Figuren 2A, 2B, 3A und 3B beziehen sich auf ein erstes Ausführungsbeispiel, welches im Prüfstand getestet wurde.

[0018] Figur 2A zeigt dabei ein ursprüngliches Vorsteuerkennfeld, welches einen Solldruck p in dem Rail auf einen Steuerstrom I des Druckregelventils abbildet. Die Abszisse stellt den Solldruck p in Megapascal dar und die Ordinate den Strom I , mit welchem das Druckregelventil angesteuert wird. Der Strom I ist in Pulsweitenmodulation aufgetragen, wobei ein Wert von 100 einem Gleichstrom entsprechen würde. Das Vorsteuerkennfeld wurde als Polynom dritten Grades in der Motorsteuerung gespeichert:

$$I = I(p) = a_0 + a_1 p + a_2 p^2 + a_3 p^3$$

[0019] Ein ungenaues Vorsteuerkennfeld wie in Figur 2A führt zu großen Korrekturtermen des PI-Reglers und als Konsequenz dazu, dass die tatsächliche Bestromung des Druckregelventils stark von dem Vorsteuerkennfeld abweicht. Bei dem hier beschriebenen Verfahren wird ein momentan gemessener Strom am Druckregelventil mit dem zugehörigen Druck zur Korrektur des Vorsteuerkennfeldes verwendet. Das Vorsteuerkennfeld wird als Anwendungsbeispiel durch obiges Polynom approximiert. Der tatsächliche Zustand (Strom/Druck) wird durch ein Regressionsverfahren verwendet, um die Parameter a_0 , a_1 , a_2 , a_3 des Polynoms zu modifizieren. Durch iterative Wiederholung des Verfahrens passt sich so der Verlauf des Polynoms optimal an das tatsächliche Vorsteuerkennfeld des Druckregelventils an.

[0020] Messdaten für den Systemdruck und die Bestromung des Druckregelventils können in zufälliger Folge gesammelt werden. Im Gegensatz zum Stand der Technik ist keine Filterung von Daten notwendig. Insbesondere können auch Daten von nicht-stationären Zuständen verwendet werden und Daten, welche sich nicht in der Nähe einer Stützstelle des gespeicherten Vorsteuerkennfeldes befinden.

[0021] Um das Regressionsverfahren durchzuführen, kann beispielsweise das Vorsteuerkennfeld durch charakteristische Punkte repräsentiert werden. Für ein Polynom dritten Grades bedarf es beispielsweise vier charakteristischer Punkte. Diese Punkte werden vorteilhafterweise durch einen D-optimalen Versuchsplan ausgewählt. Ein gemessener Wert wird dann zu den charakteristischen Punkten hinzugefügt. Mit diesen Punkten wird das Vorsteuerkennfeld neu ermittelt und wiederum auf die charakteristischen Punkte reduziert. Das Gewicht des gemessenen Wertes kann zusätzlich durch einen Multiplikationsfaktor modifiziert werden, wodurch die Konvergenzgeschwindigkeit erhöht werden kann. Für ein Polynom dritten Grades kann das Regressionsverfahren auf das Lösen eines linearen 4x4-Gleichungssystems reduziert werden. Dies ist analytisch möglich und kann daher problemlos in einer Motorsteuerung realisiert werden. Auch muss der Datenspeicher lediglich vier charakteristische Punkte und einen Messwert aufnehmen können.

[0022] Figur 2B zeigt das angepasste Vorsteuerkennfeld, welches nach 100 Iterationen aus dem Vorsteuerkennfeld von Figur 2A hervorgeht. Für jede Iteration wurde das Vorsteuerkennfeld mittels eines Regressionsverfahrens angepasst. Ein Messpunkt umfasst dabei eine Messung des Druckes p in dem Rail und den Strom I , mit welchem das Druckregelventil angesteuert wird. Der Druck p ist auf der Abszisse in Megapascal MPa und der Strom I auf der Ordinate in Pulsweitenmodulation PWM aufgetragen.

[0023] Das ursprüngliche Vorsteuerkennfeld von Figur 2A und das angepasste Vorsteuerkennfeld von Figur 2B wurden mittels einer einheitlichen Testprozedur darauf getestet, wie rasch und präzise der Raildruck eines Common-Rail-Systems angepasst wird. Dazu wurde eine transiente Testprozedur definiert, welche 55 Sekunden dauert und welche aus

einer Reihe von zeitlich vorgegebenen Sprüngen des Solldruckes in dem Rail besteht. Während der Testprozedur waren beide Vorsteuerkenfelder fest, wurden also nicht adaptiert. Während des Ablaufs der Testprozeduren wurde der Systemdruck im Rail gemessen.

[0024] Figur 3A zeigt den zeitlichen Verlauf des Solldrucks 10 und des gemessenen Systemdrucks 12 für das ursprüngliche Vorsteuerkenfeld von Figur 2A. Auf der Abszisse ist die Zeit in Sekunden aufgetragen, auf der Ordinate der Druck in Megapascal. Die Standardabweichung zwischen Solldruck 10 und Systemdruck 12 beträgt 3.2 Megapascal. In stationären Zuständen ist in dieser Auflösung kaum ein Unterschied zwischen Solldruck und gemessenem Druck im Rail erkennbar. Bei transienten Bedingungen ist die Abweichung von Solldruck 10 und gemessenem Druck 12 ersichtlich.

[0025] Figur 3B zeigt den zeitlichen Verlauf des Solldrucks 10 und den gemessenen Systemdrucks 12 für das angepasste Vorsteuerkenfeld von Figur 2B. Auf der Abszisse ist die Zeit in Sekunden aufgetragen, auf der Ordinate der Druck in Megapascal. Die Standardabweichung zwischen Solldruck und Systemdruck beträgt nur noch 1.5 Megapascal. Auch bei transienten Übergängen zeigt ist auf der Figur 3B praktisch keine Abweichung des Systemdrucks 12 vom Solldruck 10 erkennbar.

[0026] Die Figuren 4, 5A und 5B beziehen sich auf ein zweites Ausführungsbeispiel, welches in einem Fahrzeug auf der Strasse getestet wurde. Dazu wurde eine Testprozedur mit einer online-Adaption im Fahrzeug durchgeführt. Die Testprozedur dauerte 2 Minuten.

[0027] Figur 4 zeigt das ursprüngliche Vorsteuerkenfeld 14 zu Beginn der Testprozedur und das angepasste Vorsteuerkenfeld 16. Auf der Abszisse ist der Solldruck p aufgetragen, während die Ordinate den Strom I darstellt, mit welchem das Druckregelventil anzusteuern ist. Einzelne Messpunkte 18, mit welchen das Vorsteuerkenfeld iterativ angepasst wurde, sind ebenfalls erkennbar. Das angepasste Kennfeld ging nach 120 Sekunden aus 200 Iterationen hervor.

[0028] Dabei wurde dasselbe Verfahren angewendet wie im Beispiel nach Figur 2A/2B. Da es sich im Fahrzeug aber nicht um dasselbe Druckregelventil handelt wie im Prüfstandsbeispiel, ergibt sich als Endergebnis der Iteration ein etwas anders verlaufendes Vorsteuerkenfeld.

[0029] Figur 5A zeigt den Solldruck 10 in Megapascal MPa, welcher sich durch die Testfahrt des Fahrzeugs ergab sowie den effektiven Druck 12 in dem Rail. Auf der Abszisse ist die Zeit t in Sekunden aufgetragen, auf der Ordinate der Druck p in Megapascal MPa.

[0030] Figur 5B zeigt die Differenz dp zwischen Solldruck und effektivem Druck in Megapascal MPa während der Testfahrt. Auf der Abszisse ist die Zeit in Sekunden aufgetragen, auf der Ordinate die Druckdifferenz in Megapascal. Es ist ersichtlich, dass nach etwa 60 Sekunden Fahrt das Vorsteuerkenfeld deutlich besser angepasst ist, als zu Beginn der Fahrt. Die Differenz dp zwischen Solldruck und effektivem Druck ist in der zweiten Hälfte der Testprozedur deutlich geringer als in der ersten Hälfte.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Annäherung eines gespeicherten Vorsteuerkenfeldes eines Druckregelventils einer Common-Rail Pumpe an das effektive Vorsteuerkenfeld des Druckregelventils, wobei das gespeicherte Vorsteuerkenfeld einen Solldruck in dem Rail auf einen Steuerstrom des Druckregelventils abbildet, das Verfahren umfassend die Verfahrensschritte:

A Messen des Druckes in dem Rail;

B Bestimmen des Steuerstroms des Druckregelventils; **gekennzeichnet durch** den Verfahrensschritt

C Anpassen des gespeicherten Vorsteuerkenfeldes mittels eines Regressionsverfahrens unter Einbezug des in Schritt A gemessenen Druckes und der in Schritt B gemessenen Steuerstroms.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Verfahrensschritte A, B und C iteriert werden.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das gespeicherte Vorsteuerkenfeld eine analytische Funktion, eine Summe von analytischen Funktionen, ein Polynom, insbesondere ein Polynom dritten Grades, eine Summe von finiten Elementen, eine Summe von B-spline-Funktionen, eine Summe einer abschnittsweise linearen Funktionen oder eine Tabelle ist.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

der Verfahrensschritt B und/oder der Verfahrensschritt C während eines nicht-stationären Zustandes der Common-Rail-Pumpe vorgenommen wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Regressionsverfahren durch ein Motorsteuergerät ausgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Regressionsverfahren ungefilterte Messungen von Schritt A und Schritt B verwendet.

7. Motorsteuergerät zur Durchführung des Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8 umfassend

- einen ersten Datenspeicherbereich für ein Vorsteuerkennfeld, welches einen Sollruck auf einen Steuerstrom des Druckregelventils abbildet,

- einen zweiten Datenspeicherbereich für einen Messpunkt, insbesondere einen gemessenen Druck,

dadurch gekennzeichnet, dass

- das Motorsteuergerät einen Prozessor umfasst, welcher derart programmiert ist, dass er ein in dem ersten Datenspeicherbereich gespeichertes Vorsteuerkennfeld mittels eines Regressionsverfahrens unter Einbezug eines im zweiten Datenspeicherbereich gespeicherten Messpunktes anpasst.

8. Motorsteuergerät nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Motorsteuergerät einen Prozessor umfasst, welcher derart programmiert ist, dass der zweite Datenspeicherbereich mit einem neuen Messpunkt beschrieben und das Regressionsverfahren iteriert wird.

9. Motorsteuergerät nach Anspruch 7 oder 8,

dadurch gekennzeichnet, dass

das gespeicherte Vorsteuerkennfeld eine analytische Funktion, eine Summe von analytischen Funktionen, ein Polynom, insbesondere ein Polynom dritten Grades, eine Summe von finiten Elementen, eine Summe von B-spline-Funktionen, eine Summe einer abschnittsweise linearen Funktionen oder eine Tabelle ist.

10. Motorsteuergerät nach einem der Ansprüche 7 bis 9,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Motorsteuergerät einen Prozessor umfasst, welcher derart programmiert ist, dass der Verfahrensschritt B und/oder der Verfahrensschritt C während eines nicht-stationären Zustandes der Common-Rail-Pumpe vorgenommen wird.

11. Motorsteuergerät nach einem der Ansprüche 7 bis 10,

dadurch gekennzeichnet, dass

das Motorsteuergerät einen Prozessor umfasst, welcher derart programmiert ist, dass das Regressionsverfahren ungefilterte Messungen von Schritt A und Schritt B verwendet.

FIG 1A

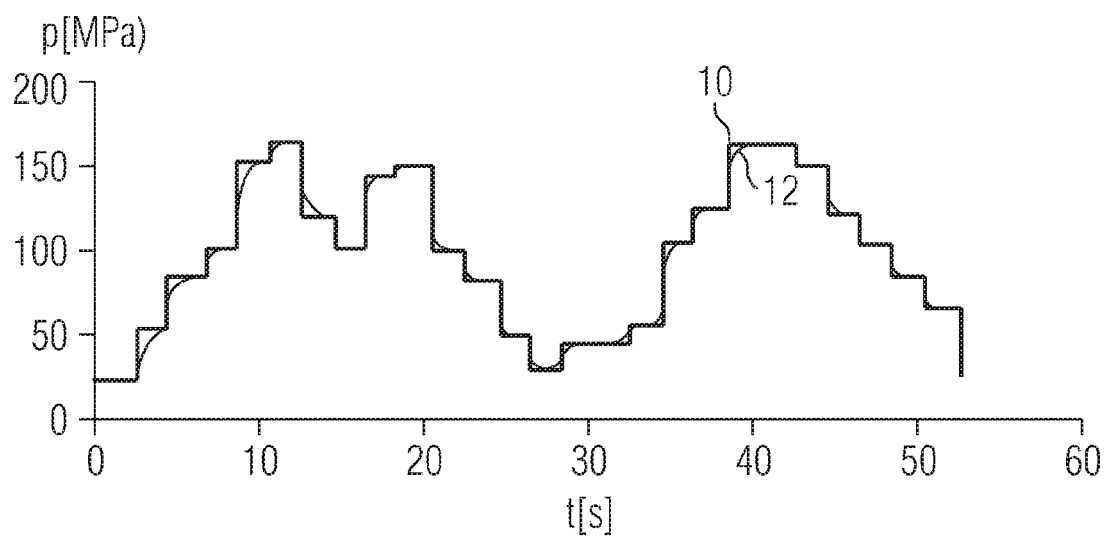


FIG 1B

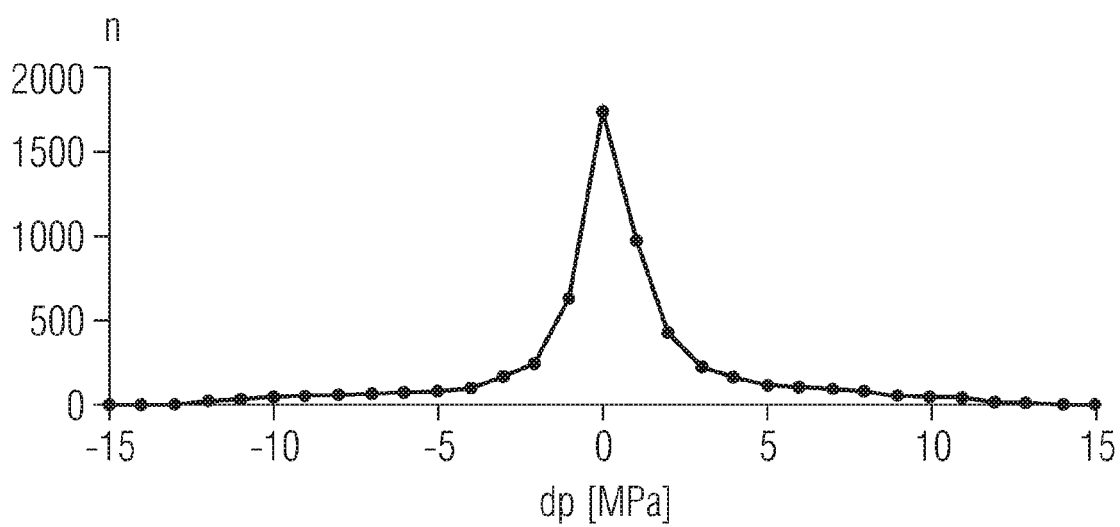


FIG 2A

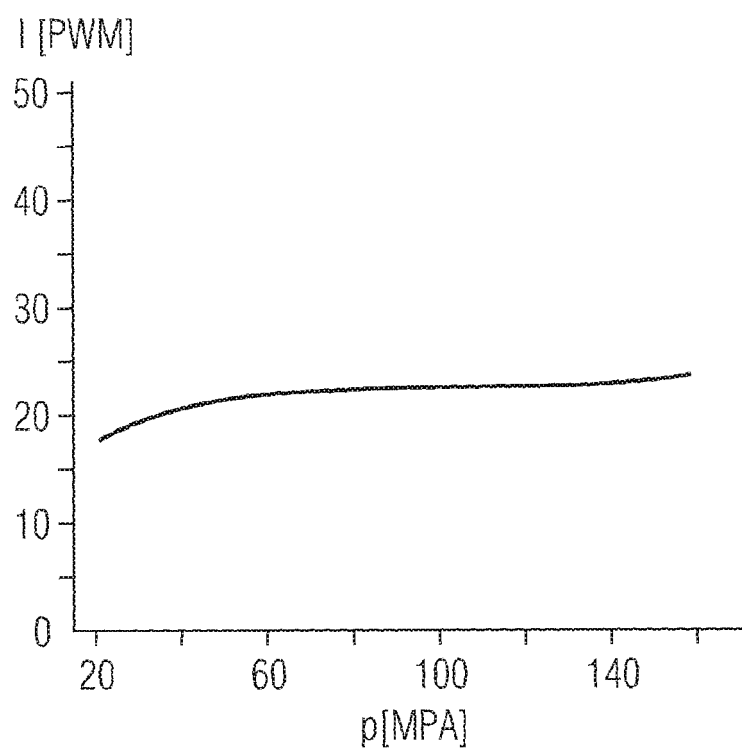


FIG 2B

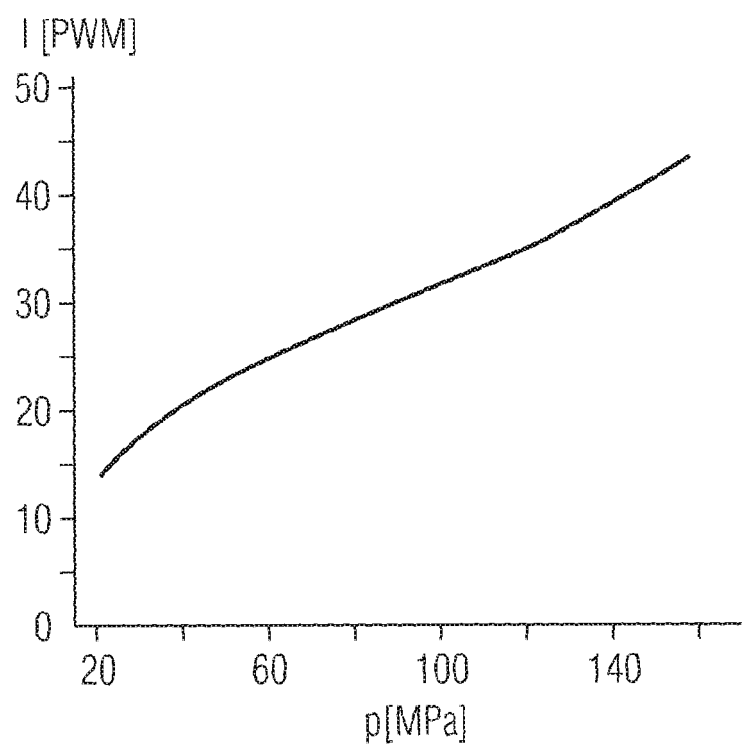


FIG 3A

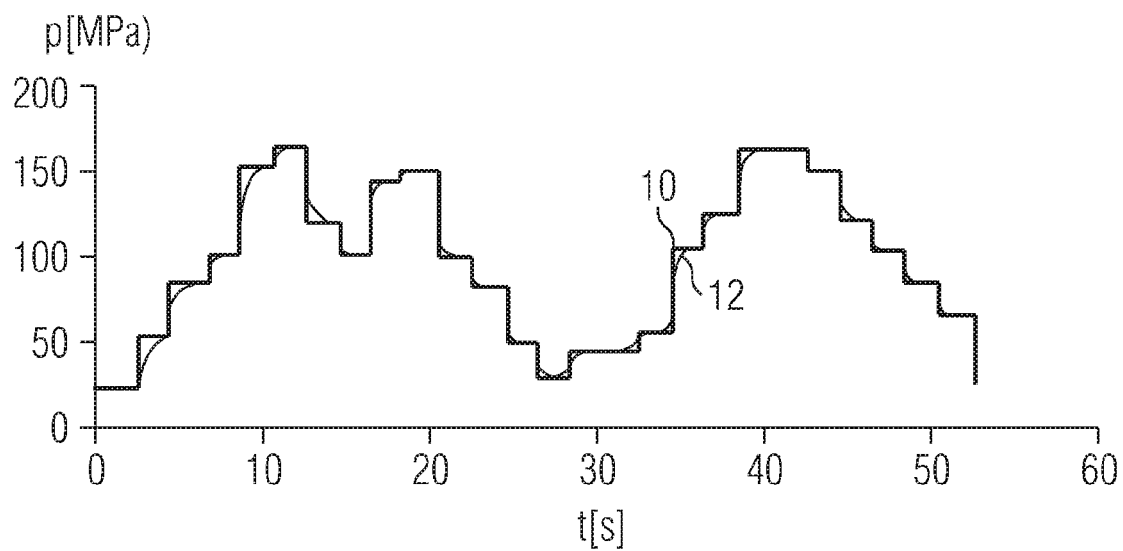


FIG 3B

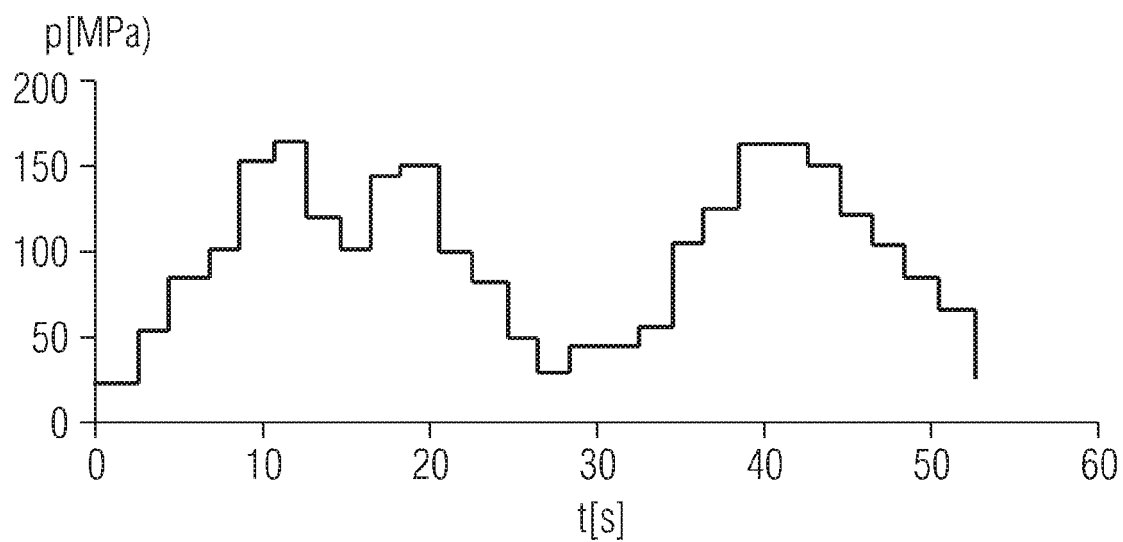


FIG 4

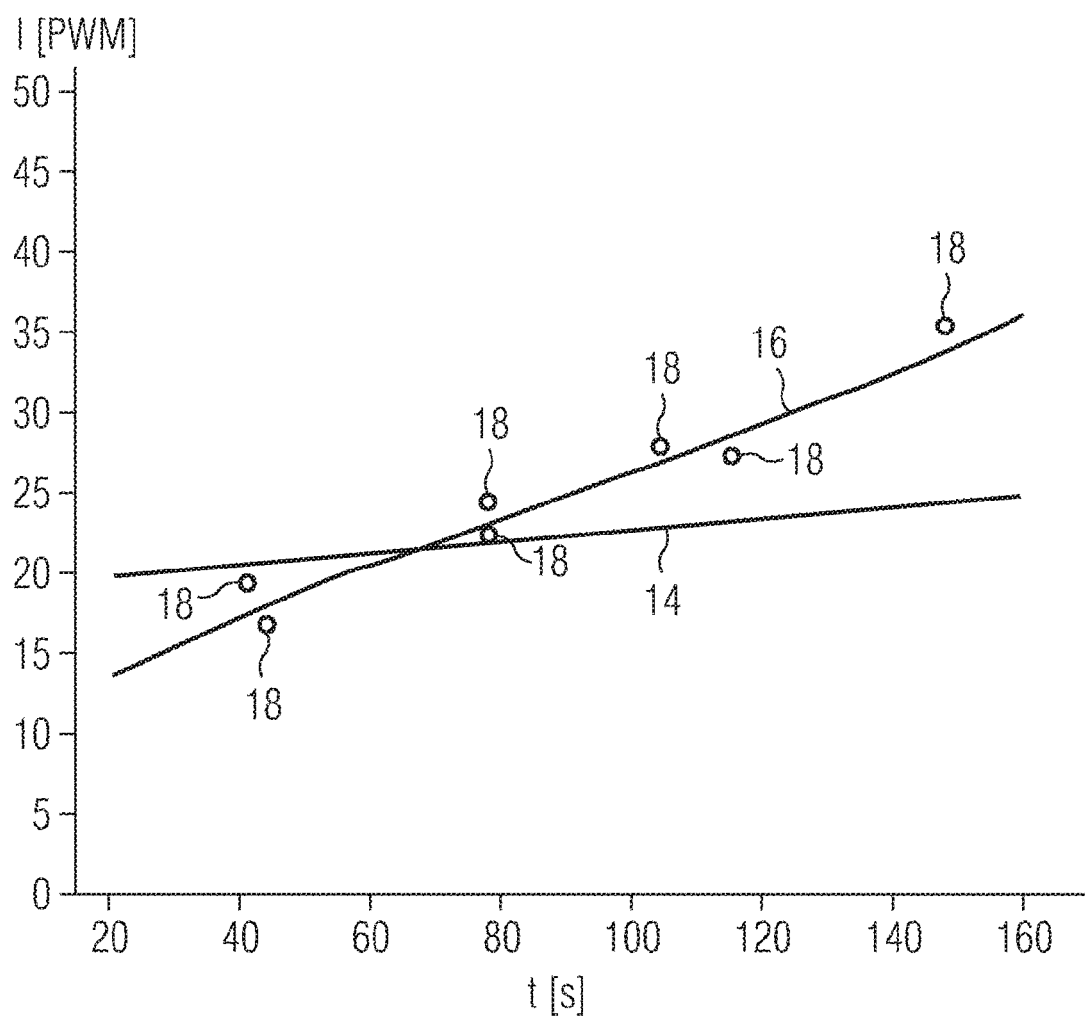


FIG 5A

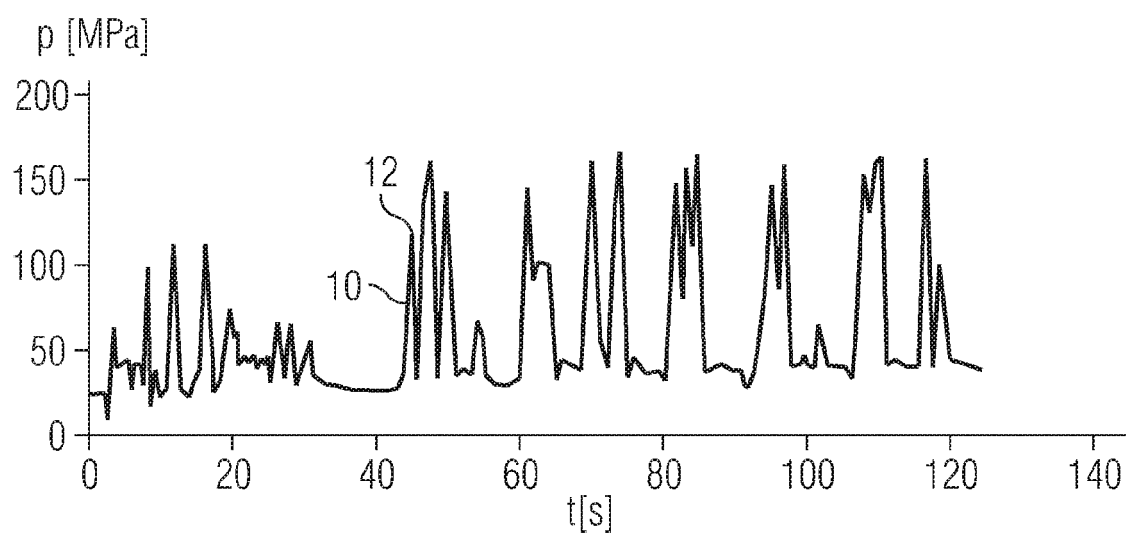


FIG 5B

