



(10) **DE 10 2016 204 410 A1** 2017.09.21

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2016 204 410.9**

(22) Anmeldetag: **17.03.2016**

(43) Offenlegungstag: **21.09.2017**

(51) Int Cl.: **F02D 1/00 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

71739 Oberriexingen, DE; Kuempel, Joerg, 71640

Ludwigsburg, DE; Schwarz, Hans-Friedrich,

75417 Mühlacker, DE; Bauer, Michael, 70839

Gerlingen, DE

(72) Erfinder:

Joos, Klaus, 74399 Walheim, DE; Hess, Werner,

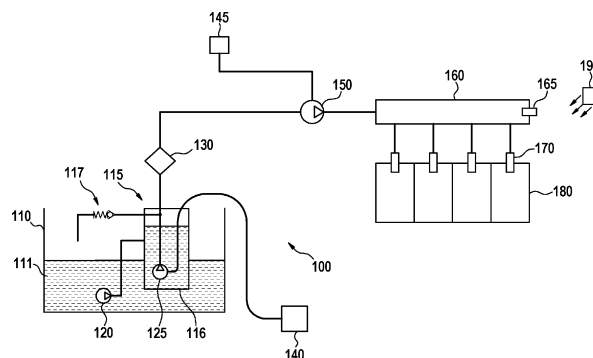
70499 Stuttgart, DE; Schenck Zu Schweinsberg,

Alexander, 71696 Möglingen, DE; Hiller, Burkhard,

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Ermitteln eines Sollwertes für eine Stellgröße zur Ansteuerung einer Niederdruckpumpe**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Sollwertes für eine Stellgröße zur Ansteuerung einer Niederdruckpumpe (125) in einem Kraftstoffversorgungssystem (100) für eine Brennkraftmaschine (180) mit einem Hochdruckspeicher (160) und einer Hochdruckpumpe (150), wobei die Hochdruckpumpe (150) in Vollförderung betrieben wird, wobei die Niederdruckpumpe (125) derart angesteuert wird, dass ein von der Niederdruckpumpe (125) bereitgestellter Druck reduziert wird, und wobei der Sollwert unter Berücksichtigung eines Ansteuerwertes der Stellgröße, bei dem ein Einbruch einer Fördermenge der Hochdruckpumpe (150) erkannt wird, ermittelt wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln eines Sollwertes für eine Stellgröße zur Ansteuerung einer Niederdruckpumpe sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung.

Stand der Technik

[0002] In modernen Kraftfahrzeugen mit Brennkraftmaschinen werden in Kraftstoffniederdrucksystemen, d.h. im Niederdruckbereich der Kraftstoffversorgung, meist eine oder mehrere elektrische Kraftstoffpumpen als Niederdruckpumpe, insbesondere in Form sog. Vorförderpumpen (engl. Pre-Supply-Pump) verwendet, mittels welcher der Kraftstoff aus einem Kraftstofftank zu einer Hochdruckpumpe befördert wird.

[0003] Damit werden die Vorteile der schnellen Verfügbarkeit durch Kraftstoffvorförderung einer elektrischen Kraftstoffpumpe beim Start mit den Vorteilen der hydraulischen Effizienz einer mittels der Brennkraftmaschine angetriebenen Hochdruckpumpe vereint. Zudem kann die Kraftstoffförderung bedarfsgerecht erfolgen. Eine elektrische Kraftstoffpumpe benötigt in der Regel eine eigene Steuerung bzw. Regelung und weist zu diesem Zweck eine Elektronik auf, die bspw. in die Kraftstoffpumpe integriert sein kann.

[0004] Aus der DE 101 58 950 C2 ist bspw. ein Verfahren zum Betreiben einer Niederdruckpumpe zur Versorgung einer Hochdruckpumpe mit Kraftstoff, worüber der Kraftstoff wiederum in einen Hochdruckspeicher gefördert wird, bekannt. Ein Vorsteuerwert für einen von der Niederdruckpumpe bereitgestellten Druck wird hierbei unter Berücksichtigung einer Druck-Temperaturbeziehung und dem Auftreten einer Kavitation in der Hochdruckpumpe nach Absenken des von der Niederdruckpumpe bereitgestellten Drucks eingestellt. Eine solche Kavitation wird dabei anhand einer Instabilität einer Druckregelung für den Hochdruckspeicher erkannt.

Offenbarung der Erfindung

[0005] Erfindungsgemäß werden ein Verfahren zum Ermitteln eines Sollwertes für eine Stellgröße zur Ansteuerung einer Niederdruckpumpe sowie eine Recheneinheit und ein Computerprogramm zu dessen Durchführung mit den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0006] Ein erfindungsgemäßes Verfahren dient zum Ermitteln eines Sollwertes für eine Stellgröße zur Ansteuerung einer Niederdruckpumpe in einem Kraftstoffversorgungssystem für eine Brennkraftmaschine

mit einem Hochdruckspeicher und einer Hochdruckpumpe. Im Rahmen der Erfindung kann insbesondere ein Sollwert für eine Stellgröße zur Ansteuerung einer Niederdruckpumpe so ermittelt werden, dass ein erwünschter Vordruck an der Hochdruckpumpe anliegt. Ein beispielhafter erwünschter Vordruck zeichnet sich dadurch aus, dass er so klein wie möglich und so groß wie nötig ist. Eine bevorzugte Stellgröße ist eine Amplitude und/oder ein Tastgrad (z.B. für PWM) eines Ansteuerstroms und/oder einer Ansteuer Spannung eines Elektromotors der Niederdruckpumpe.

[0007] Hierzu wird die Hochdruckpumpe in Vollförderung betrieben. Die Hochdruckpumpe kann hierzu bspw. ein Mengensteuerventil aufweisen. Ein Mengensteuerventil dient der Einstellung der Fördermenge der Hochdruckpumpe. So kann das Mengensteuerventil für eine Teilförderung bspw. während einer Förderphase zunächst noch zum Niederdruckbereich hin offen sein, sodass zunächst noch Kraftstoff zurück in den Niederdruckbereich gedrückt wird und erst mit Schließen des Mengensteuerventils wird dann Kraftstoff über ein geeignetes Auslassventil in den Hochdruckspeicher gefördert. Für eine Vollförderung wird das Mengensteuerventil bereits zu Beginn der Förderphase bzw. mit Überschreiten des unteren Totpunkts eines zugehörigen Kolbens der Hochdruckpumpe geschlossen. Als Mengensteuerventil kann dabei ein stromlos geschlossenes oder ein stromlos offenes Mengensteuerventil verwendet werden. Der Unterschied besteht dabei darin, dass bei letzterem eine entsprechende Magnetspule bestromt werden muss, um ein Schließen des Ventils zu ermöglichen, während bei ersterem dann ein Schließen des Ventils möglich ist, wenn die Magnetspule nicht bestromt ist.

[0008] Die Niederdruckpumpe wird nun durch Variation des Werts der Stellgröße derart angesteuert, dass ein von der Niederdruckpumpe bereitgestellter Druck (Vordruck für die Hochdruckpumpe) reduziert wird. Hierzu ist keine Ermittlung des tatsächlichen Drucks nötig, sondern es kann bspw. einfach ein Ansteuerstrom oder eine andere geeignete Stellgröße reduziert werden, wodurch auch der mittels der Niederdruckpumpe, bei der es sich bspw. um eine elektrische Kraftstoffpumpe handeln kann, aufgebaute Druck reduziert wird. Die Reduzierung kann dabei bspw. kontinuierlich oder schrittweise erfolgen.

[0009] Der Sollwert wird nun unter Berücksichtigung eines Ansteuerwertes der Stellgröße, bei dem ein Einbruch einer Fördermenge der Hochdruckpumpe erkannt wird, ermittelt. Auf diese Weise kann ohne Verwendung eines Drucksensors im Niederdruckbereich ein Sollwert für die Stellgröße ermittelt werden, bei dem der erwünschte Vordruck an der Hochdruckpumpe anliegt, wobei insbesondere zum einen ein ausreichend hoher Druck bereitgestellt wird, um

die gewünschte Fördermenge der Hochdruckpumpe nicht zu beeinträchtigen, und zum anderen nicht unnötig hoher Druck aufgebaut wird, der zur Bereitstellung der gewünschten Fördermenge der Hochdruckpumpe nicht benötigt wird. Als Sollwert kann dann bspw. der erwähnte Ansteuerwert verwendet werden, wobei es jedoch zweckmäßig sein kann, einen geeigneten Offset zu ergänzen. Auf diese Weise kann die Niederdruckpumpe auch ohne Regelung, wofür ein Drucksensor im Niederdruckbereich nötig wäre, einen geeigneten Druck bereitstellen.

[0010] Das vorgeschlagene Verfahren macht sich weiterhin zunutze, dass bei der Vollförderung das maximal mögliche Fördervolumen der Hochdruckpumpe zur Bereitstellung einer bestimmten Fördermenge ausgenutzt wird, während bei regulärem Betrieb der Hochdruckpumpe in der Regel nur eine Teilförderung verwendet wird, bei der ein entsprechend geringeres Fördervolumen genutzt wird. Bei geöffnetem Mengensteuerventil während einer Ansaugphase kann sich im Bereich des Mengensteuerventils und im Fördervolumen Dampf bilden, sofern der Druck des Kraftstoffs hinreichend gering ist. Dieser Dampf ist nötig, um einen Einbruch der Fördermenge der Hochdruckpumpe zu provozieren. Im Falle einer solchen Dampfbildung wird das Fördervolumen der Hochdruckpumpe nicht vollständig mit Kraftstoff, sondern teilweise auch mit Dampf gefüllt, welcher in der Förderphase zunächst komprimiert werden muss, wodurch die Fördermenge einbricht. Bei Vollförderung wird somit der absolute Anteil an Dampf im Fördervolumen soweit wie möglich erhöht, wodurch der Einbruch der Fördermenge einfacher, schneller und sicherer erkannt werden kann.

[0011] Auf diese Weise können auch die Betriebsbereiche, bei denen der Einbruch der Fördermenge provoziert und auch hinreichend genau erkannt werden kann, deutlich ausgeweitet werden. Dies betrifft bspw. weitere Drehzahlbereiche und weitere Temperaturbereiche. Weiterhin kann auf diese Weise ein Vorsteuerwert ermittelt werden, bei dem ein möglichst energie- und schadstoffarmer Betrieb der Niederdruckpumpe möglich ist.

[0012] Vorzugsweise wird der Einbruch der Fördermenge der Hochdruckpumpe unter Berücksichtigung einer Änderung eines Druckanstiegs im Hochdruckspeicher erkannt. Gerade bei Vollförderung wird ein hoher Druckanstieg im Hochdruckspeicher erzeugt, der jedoch von der Fördermenge abhängt. Mit abnehmender Fördermenge nimmt auch der Druckanstieg im Hochdruckspeicher ab. Daher lässt sich ein Einbruch der Fördermenge sehr einfach und genau anhand einer Änderung des Druckanstiegs im Hochdruckspeicher erkennen. Der Druckanstieg lässt sich dabei bspw. sehr einfach mittels eines Drucksensors zur Erfassung des Drucks im Hochdruckspeicher ermitteln.

[0013] Zweckmäßigerweise wird die Änderung des Druckanstiegs im Hochdruckspeicher anhand eines Vergleichs des Druckanstiegs im Hochdruckspeicher mit einem zugehörigen Referenz-Druckanstieg erkannt. Bei dem Referenz-Druckanstieg kann es sich um einen Druckanstieg handeln, wie er bei Vollförderung der Hochdruckpumpe und regulärem Betrieb der Niederdruckpumpe auftritt.

[0014] Durch Vergleich eines aktuellen Druckanstiegs im Falle der Vollförderung während einer Reduzierung des von der Niederdruckpumpe bereitgestellten Drucks kann somit sehr einfach eine Änderung des Druckanstiegs im Hochdruckspeicher erkannt werden.

[0015] Vorteilhafterweise wird der Referenz-Druckanstieg bei Vollförderung der Hochdruckpumpe und vor Ansteuerung der Niederdruckpumpe zur Reduzierung des Drucks ermittelt. Insbesondere kann der Referenz-Druckanstieg auch unmittelbar vor Beginn der Ansteuerung der Niederdruckpumpe zur Reduzierung des Drucks ermittelt werden. Auf diese Weise kann ein möglichst aktueller Wert für den Referenz-Druckanstieg erhalten werden, wodurch eine sehr genaue Ermittlung des Sollwertes ermöglicht wird.

[0016] Zweckmäßigerweise wird nur dann auf eine Änderung des Druckanstiegs im Hochdruckspeicher erkannt, wenn der Druckanstieg im Hochdruckspeicher um mehr als einen Schwellwert von dem zugehörigen Referenz-Druckanstieg abweicht. Auf diese Weise können etwaige Messfehler bzw. sonstige Ungenauigkeiten berücksichtigt werden.

[0017] Im Extremfall kann die Förderfunktion der Hochdruckpumpe auch komplett ausfallen, falls das Mengensteuerventil aufgrund Dampfbildung und damit durch einen zu geringen Förderraumdruck nicht geschlossen gehalten werden kann. Dies wird genauso wie ein vom Referenz-Druckanstieg abweichender Druckanstiegswert als Einbruch der Fördermenge gewertet und weiterverarbeitet.

[0018] Es ist von Vorteil, wenn bei der Änderung des Druckanstiegs im Hochdruckspeicher Druckeinbrüche aufgrund einer Kraftstoffentnahme für Einspritzungen berücksichtigt werden. So kann es bspw. vorkommen, dass während der Vollförderung der Hochdruckpumpe und dem damit hervorgerufenen Druckanstieg im Hochdruckspeicher Kraftstoff aus dem Hochdruckspeicher zur Einspritzung in die Brennkraftmaschine entnommen wird. Ein solcher Druckeinbruch kann dann, sofern bekannt ist, wie hoch der Druckeinbruch ist, bei der Ermittlung des Druckanstiegs herausgerechnet werden. Es ist jedoch auch möglich, dass der zugehörige Wert des Druckanstiegs nicht verwendet wird. Ein solcher Druckeinbruch kann dabei sowohl bei der Ermittlung des Referenz-Druckanstiegs als auch bei der Ermittlung ei-

nes aktuellen Druckanstiegs während der Reduzierung des von der Niederdruckpumpe bereitgestellten Drucks erfolgen. Bei ersterem kann auf diese Weise ein fälschlich als zu gering gemessener Referenz-Druckanstieg vermieden werden und bei letzterem kann ein zu früh erkannter Einbruch der Fördermenge vermieden werden.

[0019] Vorteilhafterweise wird das Verfahren für unterschiedliche Kraftstofftemperaturen durchgeführt, so dass Sollwerte für unterschiedliche Kraftstofftemperaturen ermittelt werden. Dabei wird bspw. die Kraftstofftemperatur in der Hochdruckpumpe berücksichtigt, da dort durch die Dampfbildung des Kraftstoffs der Einbruch der Förderfunktion der Hochdruckpumpe ausgelöst wird. Die Kraftstofftemperatur in der Hochdruckpumpe kann dabei gemessen werden oder aber auch durch ein geeignetes Kraftstofftemperaturmodell geschätzt werden. Im Ergebnis kann daraus die Niederdruckpumpe bei jeder (beliebigen) Kraftstofftemperatur (z.B. durch Inter- oder Extrapolation) mit einem geeigneten Sollwert für die Stellgröße angesteuert werden, sodass unabhängig von der Kraftstofftemperatur der erwünschte Vor-Druck an der Hochdruckpumpe anliegt.

[0020] Es ist auch von Vorteil, wenn der Einbruch der Fördermenge der Hochdruckpumpe anhand eines ausbleibenden Druckanstiegs im Hochdruckspeicher erkannt wird. Ein ausbleibender Druckanstieg bedeutet dabei, dass die Förderung aussetzt. Die Erkennung eines ausbleibenden Druckanstiegs kann bspw. im Rahmen der erwähnten Änderung des Druckanstiegs erkannt, indem nämlich bspw. erkannt wird, dass kein Druckanstieg mehr vorliegt. Es ist jedoch auch möglich, dass das Auslauben des Druckanstiegs anderweitig erkannt wird, bspw. im Rahmen einer Überprüfung, ob die Förderung der Hochdruckpumpe ausgesetzt hat. Dies stellt eine weitere Möglichkeit dar, den Einbruch der Fördermenge, hier einen vollständigen Rückgang auf Null, zu erkennen.

[0021] Vorzugsweise wird die Hochdruckpumpe mittels einer Zwei-Punkt-Regelung in Vollförderung betrieben. Bei einer solchen Zwei-Punkt-Regelung handelt es sich um einen Betrieb der Hochdruckpumpe, bei dem immer nur bei Unterschreiten eines Soll-Drucks im Hochdruckspeicher eine Vollförderung durchgeführt wird, bis dieser oder ggf. ein weiterer, etwas höherer, Soll-Druck überschritten wird. Zwischen zwei Druckanstiegen wird der Druck im Hochdruckspeicher dann langsam durch die Entnahme von Kraftstoff zur Einspritzung in die Brennkraftmaschine abgebaut. Ein solcher Betriebsmodus ist dabei in der Regel für eine Hochdruckpumpe ohnehin vorgesehen, so dass das vorgeschlagene Verfahren sehr einfach und schnell durchgeführt werden kann.

[0022] Eine erfindungsgemäße Recheneinheit, z.B. ein Steuergerät eines Kraftfahrzeugs, ist, insbeson-

dere programmtechnisch, dazu eingerichtet, ein erfindungsgemäßes Verfahren durchzuführen.

[0023] Auch die Implementierung des Verfahrens in Form eines Computerprogramms ist vorteilhaft, da dies besonders geringe Kosten verursacht, insbesondere wenn ein ausführendes Steuergerät noch für weitere Aufgaben genutzt wird und daher ohnehin vorhanden ist. Geeignete Datenträger zur Bereitstellung des Computerprogramms sind insbesondere magnetische, optische und elektrische Speicher, wie z.B. Festplatten, Flash-Speicher, EEPROMs, DVDs u.a.m. Auch ein Download eines Programms über Computernetze (Internet, Intranet usw.) ist möglich.

[0024] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0025] Die Erfindung ist anhand eines Ausführungsbeispiels in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0026] Fig. 1 zeigt schematisch ein Kraftstoffversorgungssystem für eine Brennkraftmaschine, welches für ein erfindungsgemäßes Verfahren verwendet werden kann.

[0027] Fig. 2 zeigt schematisch eine Hochdruckpumpe mit Mengensteuerventil.

[0028] Fig. 3 zeigt Verläufe eines Hubs eines Kolbens der Hochdruckpumpe und eines Stroms eines zugehörigen Mengensteuerventils bei einem Betrieb der Hochdruckpumpe in Teilförderung.

[0029] Fig. 4 zeigt Verläufe eines Hubs eines Kolbens der Hochdruckpumpe und eines Stroms eines zugehörigen Mengensteuerventils bei einem Betrieb der Hochdruckpumpe in Vollförderung.

[0030] Fig. 5 zeigt einen Druckverlauf in einem Hochdruckspeicher sowie Verläufe weiterer Größen bei einem erfindungsgemäßen Verfahren in einer bevorzugten Ausführungsform.

[0031] Fig. 6 zeigt schematisch einen Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens in einer bevorzugten Ausführungsform.

Ausführungsform(en) der Erfindung

[0032] In Fig. 1 ist schematisch ein Kraftstoffversorgungssystem **100** für eine Brennkraftmaschine **180**, welches für ein erfindungsgemäßes Verfahren verwendet werden kann, gezeigt.

[0033] Das Kraftstoffversorgungssystem **100** umfasst dabei einen Kraftstofftank **110**, der mit Kraftstoff **111** befüllt ist. In dem Kraftstofftank **110** ist eine Tankeinbaueinheit **115** angeordnet, welche wiederum einen Vorfördertopf **116** aufweist, in welchem eine Niederdruckpumpe **125**, bspw. in Form einer elektrischen Kraftstoffpumpe, angeordnet ist.

[0034] Der Vorfördertopf **115** kann über eine im Kraftstofftank **110** außerhalb des Vorfördertopfes angeordnete Saugstrahlpumpe **120** (oder ggf. auch mehrere Saugstrahlpumpen) mit Kraftstoff aus dem Kraftstofftank **110** befüllt werden. Die elektrische Kraftstoffpumpe **125** kann über eine hier als Pumpensteuergerät ausgebildete Recheneinheit **140** angesteuert werden, so dass Kraftstoff aus dem Vorfördertopf **115** über einen Filter **130** einer Hochdruckpumpe **150** zugeführt wird.

[0035] Für eine detailliertere Beschreibung der Hochdruckpumpe **150**, die hier über eine hier als weiteres Pumpensteuergerät ausgebildete Recheneinheit **145** angesteuert wird, sei an dieser Stelle auf **Fig. 2** verwiesen. In der Niederdruckleitung ist zudem ein Druckbegrenzungsventil **117** vorgesehen.

[0036] Die Hochdruckpumpe **150** wird in der Regel über die Brennkraftmaschine **180** bzw. deren Nockenwelle angetrieben. Von der Hochdruckpumpe **150** wird dann der Kraftstoff in einen Hochdruckspeicher **160** gefördert, von welchem aus der Kraftstoff über Kraftstoffinjektoren **170** der Brennkraftmaschine **180** zugeführt werden kann. Am Hochdruckspeicher **160** ist weiterhin ein Drucksensor **165** vorgesehen, mit dem ein Druck im Hochdruckspeicher erfasst werden kann.

[0037] Eine Ansteuerung der Brennkraftmaschine **180** bzw. der Kraftstoffinjektoren **170** kann dabei über ein von den Pumpensteuergeräten **140** und **145** verschiedenes Motorsteuergerät **195** erfolgen, wobei die Steuergeräte dann miteinander kommunizieren können. Es ist jedoch auch denkbar, ein gemeinsames Steuergerät zu verwenden.

[0038] In **Fig. 2** ist schematisch eine Hochdruckpumpe **150** mit Mengensteuerventil **200** detaillierter als in **Fig. 1** dargestellt. Die Hochdruckpumpe **150** weist einen Kolben **190** auf, der über einen Nocken **186** an einer Nockenwelle **185** der Brennkraftmaschine auf und ab bewegt wird. Auf diese Weise wird ein Fördervolumen **250** verkleinert bzw. vergrößert.

[0039] Das Mengensteuerventil **200** weist eine Einlassöffnung **235** auf, über welche Kraftstoff, der von der Niederdruckpumpe bereitgestellt wird, in das Fördervolumen **250** gelangen kann. Mittels eines Einlassventils **230** mit einer Schließfeder **231**, welches Teil des Mengensteuerventils **200** ist, kann eine der

Einlassöffnung **235** folgende Öffnung verschlossen werden.

[0040] Weiterhin ist eine Magnetspule **210** vorgesehen, die Teil eines Elektromagneten sein kann, die mit einer Spannung U versorgt und mit einem Strom I bestromt werden kann. Die Spannung U und der Strom I können dabei bspw. über das entsprechende Pumpensteuergerät **145** bereitgestellt werden.

[0041] Weiterhin ist eine Feder **220** gezeigt, die einen Bolzen **225**, an dessen der Magnetspule zugewandtem Ende ein Magnetanker **215** befestigt ist, in Richtung des Einlassventils **230** drückt. Ohne Bestromung der Magnetspule **210** wird somit das Einlassventil **230** dauerhaft offen gehalten. Es handelt sich somit um ein stromlos offenes Mengensteuerventil. Hierzu sei angemerkt, dass die Federkraft der Feder **220** größer ist als diejenige der Schließfeder **231**.

[0042] Wenn die Magnetspule **210** nun mit einem hinreichend hohen Strom bestromt wird, so wird der Bolzen **225** mittels des Magnetankers **215** entgegen der Feder **220** bewegt. Auf diese Weise wird das Einlassventil **230** durch die Schließfeder **231** geschlossen, es kann jedoch mittels Druckbeaufschlagung geöffnet werden.

[0043] Weiterhin ist ein Auslassventil **240** mit einer Schließfeder **241** vorgesehen, worüber Kraftstoff aus dem Fördervolumen **250** über eine Auslassöffnung **245** zum Hochdruckspeicher gefördert werden kann.

[0044] In **Fig. 3** sind Verläufe eines Hubs h_K des Kolbens der Hochdruckpumpe und des Stroms I des zugehörigen Mengensteuerventils bei einem Betrieb der Hochdruckpumpe in Teilförderung jeweils über einem Nockenwellenwinkel bzw. Winkel φ dargestellt. Weiterhin ist die Hochdruckpumpe mit Mengensteuerventil, wie sie in Bezug auf **Fig. 2** näher beschrieben wurde, für verschiedene Winkel in einer jeweiligen Stellung gezeigt.

[0045] Zunächst befindet sich der Kolben der Hochdruckpumpe aufgrund der Drehung des Nockens in einer Abwärtsbewegung, wie dies beispielhaft mit der Stellung der Hochdruckpumpe für den Winkel φ_1 gezeigt ist. Hierbei handelt es sich um eine Ansaugphase, d.h. von der Niederdruckpumpe bereitgestellter Kraftstoff wird in das Fördervolumen der Hochdruckpumpe gesaugt. Das Mengensteuerventil wird hierzu nicht bestromt und ist somit dauerhaft geöffnet. Auf diese Weise kann Kraftstoff ungehindert in das Fördervolumen strömen. Das Auslassventil ist hierbei geschlossen.

[0046] Bei dem Winkel φ_2 ist der untere Totpunkt des Kolbens erreicht und die Ansaugphase ist beendet. Anschließend bewegt sich der Kolben wieder nach oben in Richtung oberer Totpunkt, wie dies bei-

spielhaft mit der Stellung der Hochdruckpumpe für den Winkel φ_3 gezeigt ist. Das Mengensteuerventil ist hierbei immer noch dauerhaft geöffnet, was bedeutet, dass Kraftstoff aus dem Fördervolumen zunächst wieder über die Einlassöffnung zurück in den Niederdruckbereich gedrückt wird.

[0047] Erst während der Aufwärtsbewegung des Kolbens wird die Magnetspule mit einem Strom I bestrahlt, sodass der Magnetanker mit dem Bolzen das Einlassventil freigibt und es sich schließen kann, wie dies beispielhaft mit der Stellung der Hochdruckpumpe für den Winkel φ_4 gezeigt ist. Der Strom kann dabei, wie im Bereich um den Winkel φ_4 zu sehen, zunächst einen Anzugsstrom und anschließend einen etwas geringeren Haltestrom umfassen, sodass der Magnetanker nach dem Anziehen noch angezogen gehalten werden kann.

[0048] Sobald das Mengensteuerventil bzw. das Einlassventil schließen kann, wird der Kraftstoff aus dem Fördervolumen nun nicht mehr zurück in den Niederdruckbereich sondern über das Auslassventil und die Auslassöffnung in den Hochdruckspeicher gefördert, wie dies beispielhaft mit der Stellung der Hochdruckpumpe für den Winkel φ_5 gezeigt ist. Erst mit Erreichen des oberen Totpunkts durch den Kolben beim Winkel φ_6 ist die Förderung beendet.

[0049] Hierzu ist anzumerken, dass der Strom I bereits vor Erreichen des oberen Totpunkts zurückgenommen werden kann, da das Einlassventil durch den hohen Druck im Fördervolumen auch entgegen die Öffnungskraft der Feder geschlossen bleibt. Durch geeignete Wahl des Zeitpunkts bzw. des entsprechenden Winkels, zu dem das Mengensteuerventil geschlossen wird, kann die Fördermenge und damit der Druckaufbau im Hochdruckspeicher eingestellt bzw. geregelt werden.

[0050] In **Fig. 4** sind Verläufe eines Hubs h_K des Kolbens der Hochdruckpumpe und des Stroms I des zugehörigen Mengensteuerventils bei einem Betrieb der Hochdruckpumpe in Vollförderung jeweils über einem Nockenwellenwinkel bzw. Winkel φ dargestellt.

[0051] Weiterhin ist die Hochdruckpumpe mit Mengensteuerventil, wie sie in Bezug auf **Fig. 2** näher beschrieben wurde, für verschiedene Winkel in einer jeweiligen Stellung gezeigt. Der Verlauf entspricht hier demjenigen, wie er in **Fig. 3** dargestellt ist, jedoch mit dem Unterschied, dass der Ansteuerstrom, der gemäß **Fig. 3** kurz vor dem Winkel φ_4 einsetzt, hier bereits kurz vor dem Winkel φ_2 , d.h. kurz vor Erreichen des unteren Totpunkts durch den Kolben der Hochdruckpumpe einsetzt.

[0052] Dies führt dazu, dass bereits bei Überschreiten des unteren Totpunkts bzw. unmittelbar danach

die Förderphase beginnt. Dies ist beispielhaft auch an der entsprechenden Stellung des Mengensteuerventils beim Winkel φ_3 zu sehen, das hier – im Gegensatz zu **Fig. 3** – geschlossen ist. Auf diese Weise wird also eine Vollförderung der Hochdruckpumpe erreicht.

[0053] In **Fig. 5** ist in einem unteren Diagramm ein Druckverlauf in einem Hochdruckspeicher bei einem erfindungsgemäßen Verfahren in einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt. Hierzu ist ein Druck P über eine Zeit t aufgetragen. In einem oberen Diagramm ist schematisch ein Verlauf weiterer Größen bei einem erfindungsgemäßen Verfahren in einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt. Die Größen umfassen eine Stellgröße der Niederdruckpumpe, hier einen Ansteuerstrom I_A , einen zugehörigen, von der Niederdruckpumpe bereitgestellten Druck P_N sowie eine Fördermenge M der Hochdruckpumpe, aufgetragen jeweils über der Zeit t .

[0054] In **Fig. 6** ist schematisch ein Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens in einer bevorzugten Ausführungsform dargestellt, der im Folgenden auch unter Bezugnahme auf **Fig. 5** erläutert werden soll.

[0055] Nach dem Start des Verfahrens in Schritt **600** kann in einem Schritt **605** zunächst überprüft werden, ob die Durchführung der Ermittlung des Sollwertes freigegeben ist. Als Freigabebedingungen kommen hier bspw. eine aktuelle Drehzahl der Brennkraftmaschine, eine Temperatur der Brennkraftmaschine und/oder der Hochdruckpumpe und/oder des Kraftstoffs sowie ein aktueller Fahrzustand eines zugehörigen Kraftfahrzeugs in Frage.

[0056] Während bei letzterem vorzugsweise darauf zu achten ist, dass ein möglichst gleichmäßiger Betrieb der Brennkraftmaschine vorliegt, kann bei den übrigen Größen darauf geachtet werden, dass bestimmte Schwellwerte eingehalten werden, damit die erwähnte Dampfbildung im Fördervolumen der Hochdruckpumpe gerade noch nicht stattfindet, da zunächst der Referenz-Druckanstieg ermittelt werden soll.

[0057] Falls keine Freigabe vorliegt, kann die Überprüfung der Freigabe, ggf. nach einer bestimmten Zeitdauer, erneut erfolgen. Im Falle der Freigabe kann in einem Schritt **610** eine geeignete Ansteuerung der Niederdruckpumpe vorgenommen werden, so dass ein hinreichend hoher Druck bereitgestellt wird. Ein geeigneter Ansteuerwert für die Stellgröße kann hierzu bspw. anhand einer Tabelle ermittelt oder aus einer vorhergehenden Durchführung des Verfahrens, bspw. auch für den Fall eines Abbruchs des Verfahrens, herangezogen werden.

[0058] Anschließend kann gemäß einem Schritt **615** die Hochdruckpumpe mittels der erwähnten Zweipunkt-Regelung auf Vollförderung eingestellt wer-

den. Ein zugehöriger Verlauf des Drucks P im Hochdruckspeicher ist beispielhaft in **Fig. 5** dargestellt.

[0059] Sobald der Druck P einen Sollwert P_{soll} für den Druck im Hochdruckspeicher unterschreitet, wird die Hochdruckpumpe in Vollförderung angesteuert. Der Druck P im Hochdruckspeicher steigt dabei stark an. Dabei kann schon eine Umdrehung der Hochdruckpumpe ausreichend sein, um den Druck P deutlich über den Sollwert P_{soll} anzuheben. Anschließend fällt der Druck aufgrund der Entnahme von Kraftstoff für Einspritzungen, langsam wieder ab.

[0060] Gemäß dem Schritt **620** kann nun ein Referenz-Druckanstieg ermittelt werden, wie hier in **Fig. 5** zum Zeitpunkt t_0 gezeigt ist. Dieser Referenz-Druckanstieg, der mit ΔP_{ref} bezeichnet ist, entspricht dabei einem Druckanstieg wie er bei Bereitstellung eines hinreichend hohen Drucks durch die Niederdruckpumpe erreicht wird, d.h. bei maximal möglicher Fördermenge der Hochdruckpumpe. Der Referenz-Druckanstieg kann dabei ermittelt werden, indem ein Wert vor und ein Wert nach dem Druckanstieg mittels des Drucksensors erfasst werden und deren Differenz gebildet wird.

[0061] Dieser hinreichend hohe Druck P_N der Niederdruckpumpe kann bspw. durch einen geeigneten Ansteuerwert der Stellgröße, bspw. einen Ansteuerstrom I_A , erreicht werden. Die Fördermenge M der Hochdruckpumpe liegt damit bei ihrem Maximalwert.

[0062] In einem Schritt **625** kann nun erneut eine Überprüfung hinsichtlich der Freigabebedingungen erfolgen. Sollten diese nicht mehr erfüllt sein, kann gemäß einem Schritt **630** der aktuelle Zustand des Verfahrens, also bspw. der Referenz-Druckanstieg, abgespeichert werden und es kann zurück vor Schritt **605** gesprungen werden.

[0063] Liegen die Freigabebedingungen weiterhin vor, so kann gemäß einem Schritt **635** die Niederdruckpumpe zur Reduzierung des von ihr bereitgestellten Drucks begonnen werden. Hierzu kann der Ansteuerstrom I_A auf geeignete Weise geändert, insbesondere reduziert, werden. Dies kann bspw. kontinuierlich, insbesondere gradlinig bzw. rampenförmig, oder aber auch schrittweise erfolgen. Dementsprechend geht auch der damit bereitgestellte Druck P_N zurück, welcher jedoch nicht gemessen werden muss. Die Fördermenge M bleibt zunächst noch konstant.

[0064] Gemäß einem Schritt **640** kann nun wiederholt der Druckanstieg ermittelt werden. Dies kann auf die gleiche Weise wie für den Referenz-Druckanstieg erfolgen. Es sei angemerkt, dass eine Überprüfung der Freigabebedingungen gemäß Schritt **625** auch während der wiederholten Ermittlungen des aktuellen Druckanstiegs immer wieder vorgenommen werden

kann, was ggf. auch zum Abbruch des Verfahrens führen kann.

[0065] Sobald ein Einbruch der Fördermenge M gemäß Schritt **645** erkannt wird, kann die Reduzierung des Drucks der Niederdruckpumpe angehalten werden und insbesondere auch wieder auf einen höheren bzw. den Anfangswert zurückgestellt werden.

[0066] Eine Erkennung des Einbruchs der Fördermenge ist beispielhaft in **Fig. 5** zum Zeitpunkt t_1 dargestellt. Der aktuelle Druckanstieg, hier mit ΔP bezeichnet, ist zu diesem Zeitpunkt geringer als der Referenz-Druckanstieg ΔP_{ref} und zwar um mindestens einen Schwellwert ΔP_S . Wie bereits erwähnt, kann auf diese Weise ein Einbruch der Fördermenge M der Hochdruckpumpe erkannt werden. Zusätzlich kann auch ein Einbruch der Fördermenge registriert werden, falls überhaupt kein Druckanstieg ΔP nach einer Ansteuerung der Hochdruckpumpe erkannt wird. Dies stellt somit den Extremfall eines Einbruchs der Fördermenge dar.

[0067] In einem Schritt **650** kann nun der aktuelle Ansteuerwert I'_A für die Stellgröße abgespeichert werden und in einem Schritt **655** kann unter Berücksichtigung des aktuellen Ansteuerwerts I'_A ein geeigneter Sollwert I_V für die Stellgröße ermittelt und abgespeichert werden. Bspw. kann hierzu einfach ein geeigneter Offset ergänzt werden.

[0068] Gemäß einem Schritt **660** kann der Betrieb der Hochdruckpumpe von der Vollförderung zurück auf einen regulären Betrieb gestellt werden, sodass das Verfahren gemäß einem Schritt **665** abgeschlossen ist.

[0069] Vorzugsweise werden Sollwerte für unterschiedliche Kraftstofftemperaturen in der Hochdruckpumpe ermittelt, so dass für jede Kraftstofftemperatur (z.B. durch Inter- oder Extrapolation) ein geeigneter Sollwert für die Stellgröße, hier den Ansteuerstrom, verwendet werden kann so, dass ein erwünschter Vordruck an der Hochdruckpumpe anliegt. Ein erwünschter Vordruck zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass er so klein wie möglich und so groß wie nötig ist.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 10158950 C2 [0004]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln eines Sollwertes (I_V) für eine Stellgröße zur Ansteuerung einer Niederdruckpumpe (**125**) in einem Kraftstoffversorgungssystem (**100**) für eine Brennkraftmaschine (**180**) mit einem Hochdruckspeicher (**160**) und einer Hochdruckpumpe (**150**),

wobei die Hochdruckpumpe (**150**) in Vollförderung betrieben wird,

wobei die Niederdruckpumpe (**125**) durch Variation der Stellgröße derart angesteuert wird, dass ein von der Niederdruckpumpe (**125**) bereitgestellter Druck (P_N) reduziert wird, und

wobei der Sollwert (I_V) unter Berücksichtigung eines Ansteuerwertes (I'_A) der Stellgröße, bei dem ein Einbruch einer Fördermenge (M) der Hochdruckpumpe (**150**) erkannt wird, ermittelt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Einbruch der Fördermenge (M) der Hochdruckpumpe (**150**) unter Berücksichtigung einer Änderung eines Druckanstiegs (ΔP) im Hochdruckspeicher (**160**) erkannt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei die Änderung des Druckanstiegs (ΔP) im Hochdruckspeicher (**160**) anhand eines Vergleichs des Druckanstiegs (ΔP) im Hochdruckspeicher (**160**) mit einem zugehörigen Referenz-Druckanstieg (ΔP_{ref}) erkannt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Referenz-Druckanstieg (ΔP_{ref}) bei Vollförderung der Hochdruckpumpe (**150**) und vor Ansteuerung der Niederdruckpumpe (**125**) zur Reduzierung des Drucks ermittelt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4, wobei nur dann auf eine Änderung des Druckanstiegs (ΔP) im Hochdruckspeicher (**160**) erkannt wird, wenn der Druckanstieg (ΔP) im Hochdruckspeicher (**160**) um mehr als einen Schwellwert (ΔP_S) von dem zugehörigen Referenz-Druckanstieg (ΔP_{ref}) abweicht.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, wobei bei der Änderung des Druckanstiegs (ΔP) im Hochdruckspeicher (**160**) Druckeinbrüche aufgrund einer Kraftstoffentnahme für Einspritzungen berücksichtigt werden.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Einbruch der Fördermenge (M) der Hochdruckpumpe (**150**) anhand eines ausbleibenden Druckanstiegs im Hochdruckspeicher (**160**) erkannt wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Hochdruckpumpe (**150**) mittels einer Zwei-Punkt-Regelung in Vollförderung betrieben wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Niederdruckpumpe (**125**) mit dem ermittelten Sollwert (I_V) für die Stellgröße angesteuert wird.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Sollwert (I_V) in Abhängigkeit von einer Kraftstofftemperatur ermittelt wird.

11. Recheneinheit (**145**), die dazu eingerichtet ist, ein Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche durchzuführen.

12. Computerprogramm, das eine Recheneinheit (**145**) dazu veranlasst, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 durchzuführen, wenn es auf der Recheneinheit (**145**) ausgeführt wird.

13. Maschinenlesbares Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm nach Anspruch 12.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

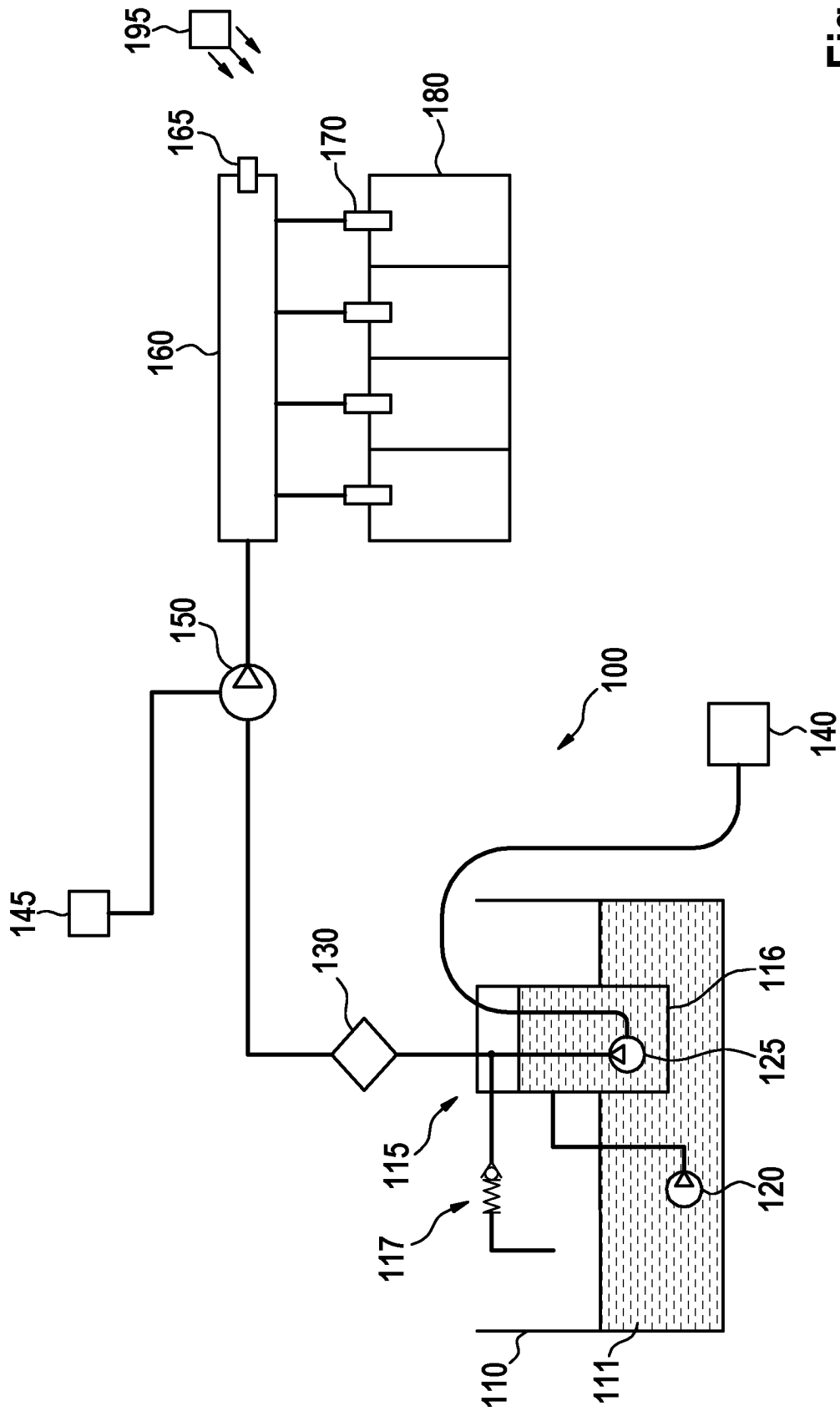


Fig. 1

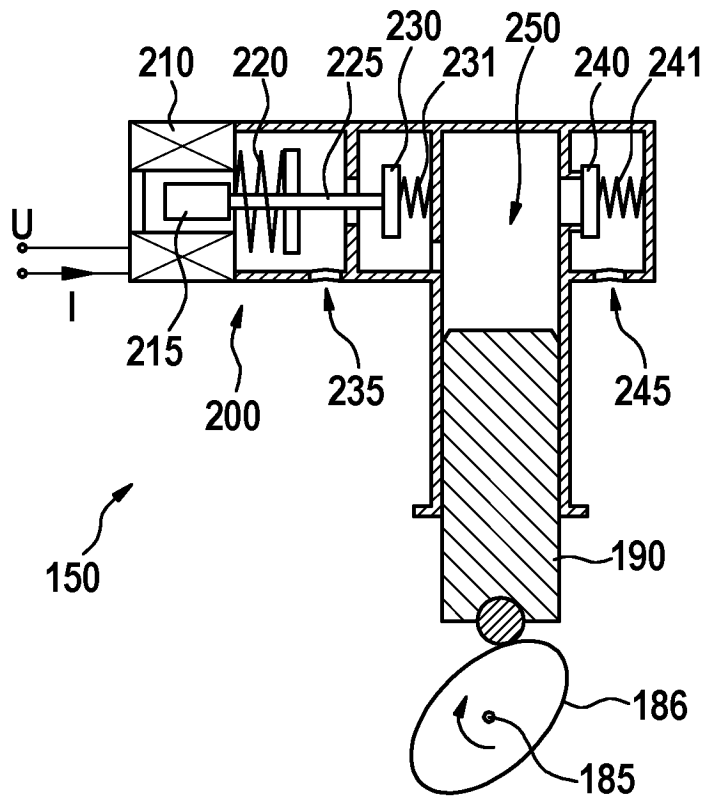


Fig. 2

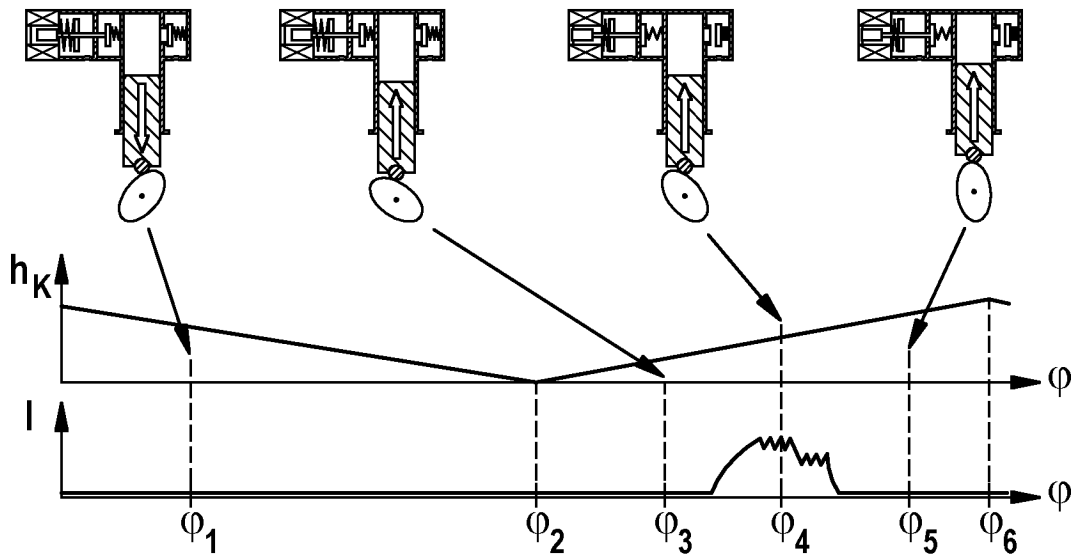


Fig. 3

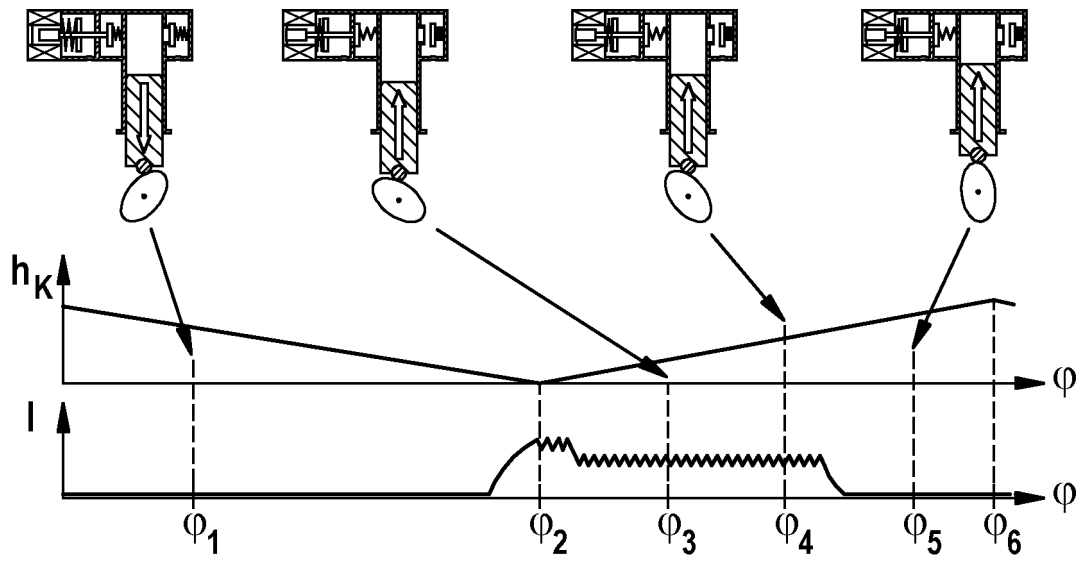


Fig. 4

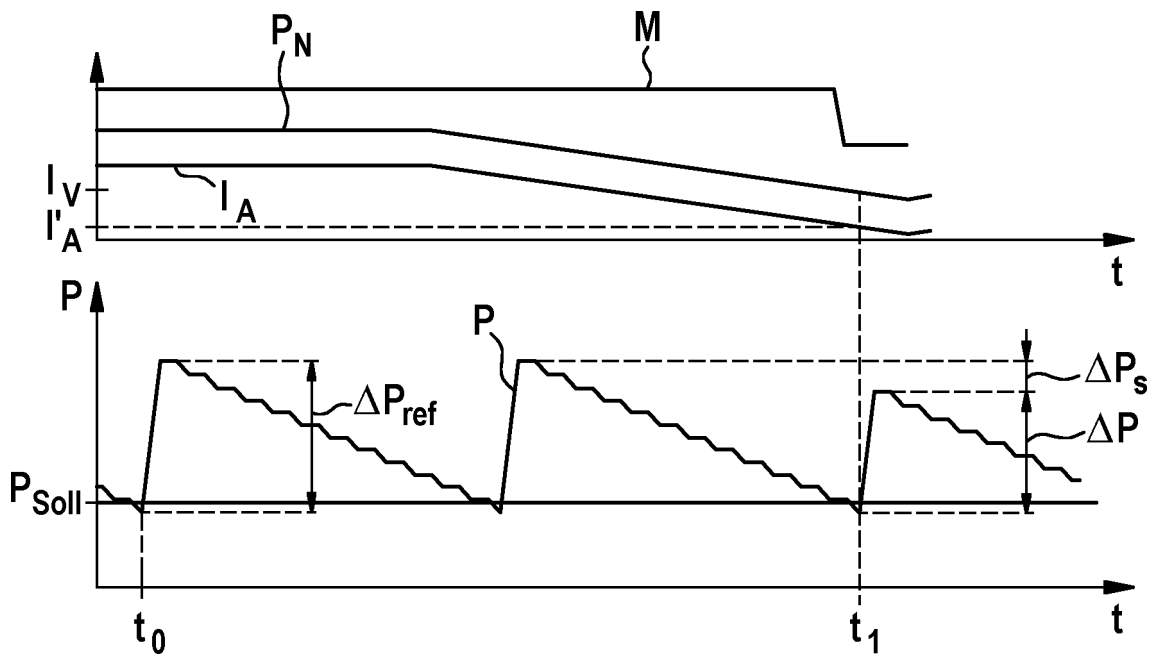


Fig. 5

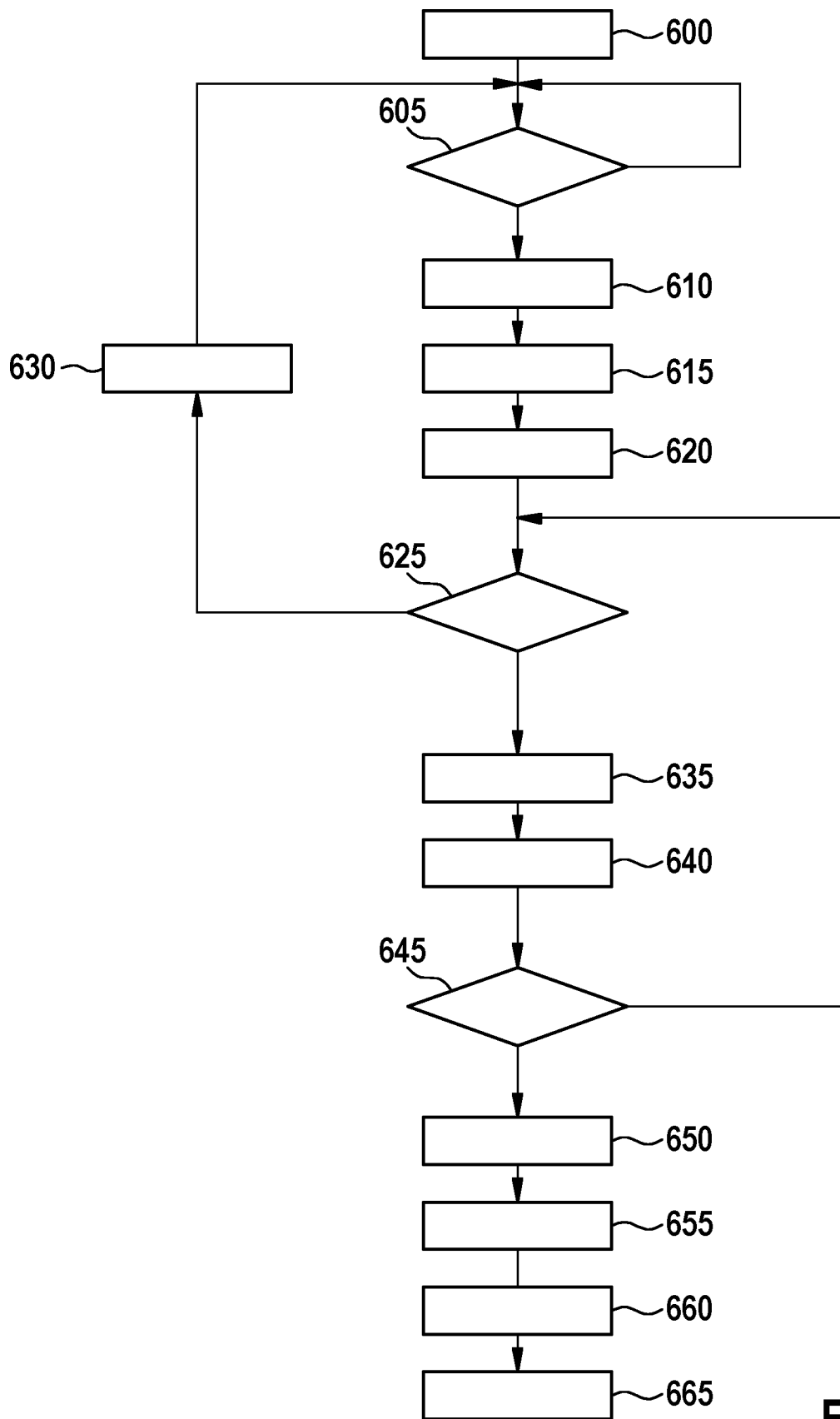


Fig. 6