



(10) **DE 10 2012 211 798 B4** 2019.12.05

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 211 798.9**

(22) Anmeldetag: **06.07.2012**

(43) Offenlegungstag: **09.01.2014**

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **05.12.2019**

(51) Int Cl.: **F02D 41/20 (2006.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Richter, Uwe, 71706 Markgröningen, DE; Wilms,  
Rainer, 71706 Markgröningen, DE; Kuempel,  
Joerg, 71640 Ludwigsburg, DE; Maess, Matthias,  
71034 Böblingen, DE**

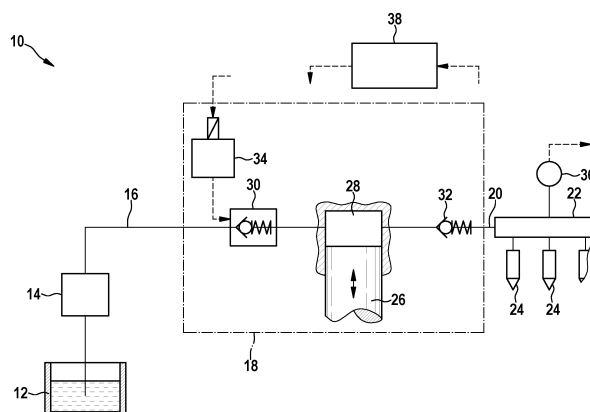
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	101 48 218	A1
DE	10 2007 030 223	A1
DE	10 2008 054 512	A1

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Betätigung eines Schaltelements einer Ventileinrichtung**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Betätigung eines Schaltelements (44) einer Ventileinrichtung (30) zwischen einer ersten Endstellung (52) und einer zweiten Endstellung (60), bei dem eine Beaufschlagungseinrichtung (48) das Schaltelement (44) in eine erste Richtung (50) zur ersten Endstellung (52) hin beaufschlagt, und bei dem eine elektromagnetische Betätigungseinrichtung (34) bei einer ersten Bestromung (61) das Schaltelement (44) in eine zweite Richtung (58) zur zweiten Endstellung (60) hin beaufschlagt, und in einem Normalmodus innerhalb eines Zyklus nach einem Ende der ersten Bestromung (61) eine durch die Beaufschlagungseinrichtung (48) bewirkte Bewegung des Schaltelements (44) in der ersten Richtung (50) durch eine kurze zweite Bestromung (70) verlangsamt wird („Bremsimpuls“), die nach Ablauf einer Pausenzeit (68) nach einem charakteristischen Zeitpunkt innerhalb des Zyklus eingeleitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass die optimale Pausenzeit (68) und/oder eine den Bremsimpuls (70) charakterisierende optimale Größe in einem Adaptionsmodus wie folgt ermittelt wird:

a. Einleiten einer dritten Bestromung (72) anstelle der zweiten Bestromung (61), wobei die Höhe ( $H_{72}$ ) der dritten Bestromung (72) einerseits so gering gewählt ist, dass das Schaltelement (44) nicht aus der ersten Endstellung (52) heraus bewegt werden kann, wenn es sich in dieser befindet, und andererseits so groß gewählt ist, dass das Schaltelement (44) die zweite Endstellung (60) nicht verlässt, wenn es ...



**Beschreibung**

## Stand der Technik

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Betätigung eines Schaltelements einer Ventileinrichtung nach dem Oberbegriff des Anspruch 1.

**[0002]** DE 10 2008 054 512 A1 beschreibt ein Kraftstoffeinspritzsystem einer Brennkraftmaschine mit einer Kolben-Kraftstoffpumpe. Deren Fördermenge wird mittels eines Mengensteuerventils eingestellt. Dieses umfasst ein Einlass-Rückschlagventil, welches mittels eines elektromagnetisch betätigten Stößels zu Beginn eines Förderhubs zwangsweise in seiner geöffneten Stellung gehalten werden kann. Solange gelangt der Kraftstoff nicht in einen Hochdruckbereich des Kraftstoffsystems, sondern wird zurück in einen Niederdruckbereich gefördert.

**[0003]** Bei einem stromlos offenen Mengensteuerventil wird der Stößel durch eine Feder gegen das Ventilelement beaufschlagt, wohingegen eine elektromagnetische Betätigungseinrichtung bei einer Bestromung den Stößel vom Ventilelement wegzieht. Zur Reduzierung der Betriebsgeräusche wird in der DE 10 2008 054 512 A1 für ein stromlos offenes Mengensteuerventil vorgeschlagen, eine Bewegung des Stößels in Richtung auf das Ventilelement kurz vor dem Auftreffen des Stößels an einem Anschlag durch eine kurze Bestromung der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung, also einen „Bremsimpuls“, abzubremesen. Es hat sich jedoch herausgestellt, dass für diesen Bremsimpuls ein sehr genaues Timing wichtig ist. Der Beginn des Bremsimpulses wird dabei durch das Ende einer sogenannten „Pausenzeit“ festgelegt, die wiederum mit Beginn der Löschung einer vorhergehenden Magnetisierung einer Spule der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung beginnt. Der Beginn des Bremsimpulses bzw. das Ende der Pausenzeit sollte sehr genau einem vorgegebenen Wert entsprechen, damit der Bremsimpuls seine optimale Wirkung entfalten kann.

**[0004]** Aufgrund unterschiedlicher Fertigungstoleranzen der Komponenten der Kraftstoff-Kolbenpumpe und des Mengensteuerventils weicht das mechanische Verhalten des Stößels als auch das elektrische Verhalten der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung bisweilen von dem theoretischen Nominalfall ab. Dies kann dazu führen, dass der Bremsimpuls - ohne Gegenmaßnahmen - nicht mehr zum optimalen Zeitpunkt durchgeführt wird. Die DE 10 2008 054 512 A1 schlägt daher eine Anpassung der Pausenzeit vor, indem eine Korrelation zwischen Anzugsverhalten und Abfallverhalten des Stößels zur Korrektur genutzt wird.

**[0005]** Die DE 101 48 218 A1 zeigt ein Verfahren zum Betreiben einer Brennkraftmaschine. Mittels ei-

nes Magnetventils wird die von einer Kraftstoffpumpe geförderte Menge und damit der Kraftstoffdruck in einer Kraftstoffsammelleitung gesteuert. Zur Vermeidung von Geräuschen wird das Ventilelement des Magnetventils kurz vor Erreichen seiner Endstellung mittels eines Bremsstromes abgebremst.

**[0006]** Aus der DE 10 2007 030 223 A1 ist ein Verfahren und eine Messvorrichtung zum Festlegen eines Holstromabstandes für ein Magnetventil bekannt. Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte. Wiederholtes Öffnen des Magnetventils für eine vorgegebene, konstante Öffnungsdauer. Schließen des Magnetventils und aktivieren eines konstanten Holstroms nach Ablauf einer variierenden Zeitdauer. Ausgehend von der Einfüllmenge, die während eines aktiven Holstroms aus einem ersten Volumen in ein zweites Volumen eingefüllt wird, wird der Holstromabstand ermittelt.

## Offenbarung der Erfindung

**[0007]** Das der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Problem wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen der nebengeordneten Patentansprüche 1 und 2 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in Unteransprüchen angegeben. Weitere für die Erfindung wesentliche Merkmale finden sich darüber hinaus in der nachfolgenden Beschreibung und der Zeichnung.

**[0008]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht es, dass die optimale Pausenzeit und/oder andere für einen optimalen Bremsimpuls wichtige Parameter für jede Ventileinrichtung individuell und in der konkreten Einbausituation ermittelt werden können. Exemplarstreuungen der mechanischen sowie elektrischen Komponenten können daher durch eine entsprechende Anpassung der Pausenzeit ausgeglichen werden, sodass in jedem Fall ein optimaler Bremsimpuls und somit ein geringes Betriebsgeräusch der Ventileinrichtung vorliegt. Das erfindungsgemäße Verfahren kann auch wiederholt durchgeführt werden, damit auch verschleißbedingte Veränderungen ausgeglichen werden, sodass über die gesamte Lebensdauer der Ventileinrichtung das gewünschte geringe Geräuschniveau erhalten bleibt. Wird die Ventileinrichtung weiterentwickelt, müssen Kennfelder und Kennlinien, die zu deren Ansteuerung verwendet werden, zumindest innerhalb gewisser Grenzen nicht mehr überarbeitet werden, da das erfindungsgemäße Verfahren eine direkte und von den Ansteuerungskennlinien und -kennfeldern unabhängige Adaption bietet.

**[0009]** Hierdurch wird das Datenhandling deutlich erleichtert, und die Ansteuerungssoftware kann bei Hardwareänderungen unverändert bleiben.

**[0010]** Neben der besagten Pausenzeit können mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens auch weitere Parameter des Bremsimpulses korrigiert werden, wie bspw. Dauern von einzelnen Bremsimpuls-Parametern, Tastverhältnisse, mit denen die elektromagnetische Betätigungseinrichtung angesteuert wird, Stromhöhen bei der Ansteuerung der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung etc.. Auch die Stromhöhe der ersten Ansteuerung kann mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens optimiert werden.

**[0011]** Einer der grundlegenden Gedanken der vorliegenden Erfindung liegt darin, dass ein Zusammenhang hergestellt wird zwischen den mechanischen und elektrischen Eigenschaften eines aktuellen Exemplars einer Ventileinrichtung und einer minimalen Pausenzeit dieses Exemplars einer Ventileinrichtung. Dabei ist die minimale Pausenzeit jene Pausenzeit zwischen einer ersten Bestromung der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung zum Betätigen des Schaltelements und einer in einem Adaptionsmodus speziell durchgeführten dritten Bestromung, welche so gewählt ist, dass im Normalfall gerade keine Beeinflussung des Schaltelements stattfindet. Bei Erreichen der minimalen Pausenzeit wird dagegen das Schaltelement durch die dritte Bestromung auf seinem nach dem Ende der ersten Bestromung gerade angetretenen Weg in die erste Endstellung wieder angehalten und in die zweite Endstellung zurückbewegt, wo es durch die andauernde dritte Bestromung verharret.

**[0012]** Ist die minimale Pausenzeit durch sukzessives Verringern (oder, bei einer alternativen Ausführungsform, durch sukzessives Erhöhen) der Pausenzeit während des Adaptionsmodus erreicht, gelangt das Schaltelement also nicht mehr (bzw. wieder) in die erste Endstellung nach dem Ende der ersten Bestromung. Dies kann durch geeignete Verfahren ermittelt werden, bspw. entsprechende Sensoren, welche die aktuelle Stellung des Schaltelements erfassen oder die Ermittlung dieser aktuellen Schaltstellung wenigstens mittelbar ermöglichen. Ist diese minimale Pausenzeit ermittelt, kann die im Normalmodus anzuwendende Pausenzeit abhängig von der ermittelten minimalen Pausenzeit angepasst bzw. korrigiert werden. Gleiches gilt auch für die weiteren den Bremsimpuls charakterisierenden Größen.

**[0013]** Eine erste Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, dass die Pausenzeit und/oder die den Bremsimpuls charakterisierende Größe wie folgt angepasst wird: (d1) Bilden einer die Differenz zwischen einer nominalen und der ermittelten Pausenzeit charakterisierenden Differenzgröße, wobei die nominale Pausenzeit bei Nominalbedingungen und bei einem Nominal-Schaltelement ermittelt wurde (die Differenzgröße kann im einfachsten Fall die Differenz selbst sein), und (d2) Anpassen der Pausenzeit und/oder der den Bremsimpuls charakterisierenden Grö-

ße abhängig von der ermittelten Differenzgröße. Die nominale Pausenzeit bei Nominalbedingungen und bei einem Nominal-Schaltelement bzw. einer Nominal-Ventileinrichtung kann bspw. im Labor bei Vorab-Messungen bei einer nominalen Ventileinrichtung und unter nominalen Systembedingungen ermittelt werden. Im einfachsten Fall kann die Anpassung der Pausenzeit additiv mittels der Differenzgröße erfolgen, möglich ist aber auch die Veränderung der Differenzgröße und der anderen Betriebsgrößen des Bremsimpulses durch Verwenden eines Faktors, der der relativen Abweichung der ermittelten von der nominalen Pausenzeit entspricht.

**[0014]** Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht vor, dass das Verfahren im Betrieb einer Kolben-Kraftstoffpumpe eines Common-Rail-Kraftstoffsystems angewendet wird, wobei das Schaltelement ein Stößel ist, der in der ersten Endstellung ein Einlass-Rückschlagventil der Kolben-Kraftstoffpumpe zeitweise in einer geöffneten Stellung halten kann („stromlos offenes Mengensteuerventil“). Bei diesem bereits eingangs im Detail erläuterten Anwendungsfall kann das erfindungsgemäße Verfahren besonders vorteilhaft angewendet werden. Dabei gilt hier wie auch bei den anderen Anwendungsfällen, dass die dritte Bestromung drei Phasen aufweisen kann: erstens eine Anstiegsphase des Stroms, die bspw. durch Pulsweitenmodulation oder durch eine volle Bestromung (sogenannte „On-Phase“) realisiert werden kann. Daran schließt sich zweitens eine Haltephase an, welche stromgeregelt ist und eine effektive Stromhöhe aufweist. Bei der dritten Phase handelt es sich um die bei elektromagnetischen Betätigungseinrichtungen geläufige Schnell-Löschung. Die ersten beiden Phasen können dabei als eine stromgeregelte Phase direkt zusammengefasst werden.

**[0015]** Die Stromhöhe während der Haltephase wird im Adaptionsmodus - anders als bei der ersten Bestromung - im Wesentlichen konstant gehalten. Bei allen Anwendungsfällen ist der Wert der Stromhöhe so gering zu wählen, dass ein Anziehen des Stößels aus der unbestromten ersten Endstellung heraus für sämtliche Ventileinrichtungen unmöglich ist. Andererseits muss die Stromhöhe für jedes Exemplar einer Ventileinrichtung so hoch gewählt sein, dass ein Abfallen aus einer angezogenen zweiten Endstellung heraus nicht möglich ist.

**[0016]** Zu Beginn des Adaptionsmodus ist darüber hinaus bei den Anwendungsfällen der ersten Alternative die anfängliche Pausenzeit so hinreichend groß zu wählen, dass jedes Schaltelement innerhalb der Toleranzgrenzen und bei den möglichen Einbausituationen nach vorangegangener Schnelllöschung aus der zweiten in die erste Endstellung abfallen kann. Aufgrund der oben gewählten Stromhöhe kann während der Haltephase der dritten Bestromung der

Stößel zunächst nicht wieder in die zweite Endstellung zurückgezogen werden, da die gewählte Stromhöhe der dritten Bestromung hierzu nicht ausreicht. Im spezifischen Anwendungsfall eines Mengensteuerventils, bei dem die dritte Bestromung noch während einer Saugphase eingeleitet wird, bleibt das Einlass-Rückschlagventil somit auch zu Beginn der Förderphase geöffnet, sodass eine reguläre Funktion der Mengensteuerung gegeben ist.

**[0017]** Im Anwendungsfall des Mengensteuerventils wird bei der ersten Alternative während des Adaptionsmodus die Pausenzeit von Zyklus zu Zyklus, also von Förder-/Saughub zu Förder-/Saughub, in kleinen Schritten verkürzt. Ab einer gewissen verkürzten Pausenzeit ist der Stößel jedoch noch nicht weit genug aus der zweiten in die erste Endstellung abgefallen, sodass der Stößel durch die Haltephase der dritten Bestromung wieder in die bestromte zweite Endstellung angezogen wird. Dort verharrt er aufgrund der oben beschriebenen Stromhöhe auch bis nach der Löschung der Haltephase. Dies kann bei einem Mengensteuerventil durch verschiedene Maßnahmen sehr einfach detektiert werden. Bei der zweiten Alternative wird umgekehrt vorgegangen.

**[0018]** Besonders einfach ist die Detektion der minimalen Pausenzeit dann, wenn die dritte Bestromung über einen unteren Totpunkt eines Pumpenkolbens hinaus, also von einer Saugphase bis in eine Förderphase hinein andauert und die minimale Pausenzeit jene Pausenzeit ist, bei der es zu einem nicht gewünschten Anstieg des Kraftstoffdrucks im Rail kommt (bzw. bei der alternativen Variante: bei der der unerwünschte Anstieg des Kraftstoffdrucks im Rail endet). Dem liegt zu Grunde, dass das Einlassventil aufgrund des in der bestromten zweiten Endstellung verharrenden Stößels nach dem Ende der Saugphase durch den Stößel nicht im geöffneten Zustand gehalten wird, sondern stattdessen das Einlassrückschlagventil aufgrund der nun sich einstellenden Druckdifferenz zu Beginn der Förderphase sofort schließt und es damit zu einer maximalen Förderung von Kraftstoff in das Rail kommt. Diese maximale Förderung von Kraftstoff in das Rail hat einen dort nicht erwarteten Anstieg des Raildrucks zur Folge, der über einen bspw. am Rail angeordneten Drucksensor sehr zeitnah, bzw. sofort detektiert werden kann. Ein „nicht gewünschter Anstieg des Kraftstoffdrucks“ im Rail ist also eine Abweichung des Kraftstoffdrucks im Rail nach oben von einem vorgegebenen Sollwert.

**[0019]** Vorgeschlagen wird ferner, dass im Normalmodus der charakteristische Zeitpunkt für den Beginn der Pausenzeit ein Ende der ersten Bestromung ist. Alternativ hierzu kann im Normalmodus der charakteristische Zeitpunkt für den Beginn der Pausenzeit ein oberer Totpunkt eines Pumpenkolbens sein, und die erste Bestromung kann beendet werden, wenn

das Einlass-Rückschlagventil während eines Förderhubs sicher geschlossen ist. Die letztgenannte Variante hat den Vorteil, dass im Normalbetrieb die dort vorgesehene Haltephase der ersten Bestromung der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung entfällt, wodurch die elektrische Verlustleistung am Mengensteuerventil minimiert wird. Außerdem hängt die Wirksamkeit des Bremsimpulses in diesem Fall fast nicht mehr von den mechanischen Toleranzen eines eingesetzten Magnetkreises ab, was die bereits oben beschriebenen Vorteile nochmals weiter verstärkt.

**[0020]** Konkret wird bei einem derartigen Normalmodus also keine Haltephase vor dem Bremsimpuls über den oberen Totpunkt hinaus eingesetzt. Das Mengensteuerventil öffnet also, sobald der obere Totpunkt überschritten wurde und der Druck im Förderraum der Kolben-Kraftstoffpumpe einen Vordruck in einer stromaufwärts vom Förderraum vorhandenen Niederdruckleitung unterschreitet. In diesem Fall wird der Abfallzeitpunkt des Stößels von hydraulischen Parametern (Systemdruck, Nocken und Drehzahl einer Antriebseinrichtung einer Kolben-Kraftstoffpumpe) bestimmt, jedoch nicht mehr wie oben beschrieben von den magnetischen Eigenschaften der Ventileinrichtung. Derartige Nocken haben jedoch vergleichsweise hohe Winkeltoleranzen, sodass der Abfallzeitpunkt, der für ein exaktes Timing des Bremsimpulses benötigt wird, nur relativ unscharf bekannt ist. Die vorliegende Erfindung ermöglicht es nun auch für einen solchen Normalmodus die optimale Pausenzeit herauszufinden.

**[0021]** Nachfolgend werden Beispiele der Erfindung unter Bezugnahme auf die beiliegende Zeichnung erläutert. In der Zeichnung zeigen:

**Fig. 1** eine schematische Darstellung eines Kraftstoffsystems einer Brennkraftmaschine mit einer Kolben-Kraftstoffpumpe und einem Mengensteuerventil;

**Fig. 2** einen teilweisen Schnitt durch das Mengensteuerventil von **Fig. 1**;

**Fig. 3** ein Diagramm, in dem verschiedene Betriebsgrößen der Kolben-Kraftstoffpumpe und des Mengensteuerventils der **Fig. 1** und **Fig. 2** über der Zeit in einem Normalmodus und in einem Adaptionsmodus aufgetragen sind;

**Fig. 4** ein Detail IV von **Fig. 3**;

**Fig. 5** ein Detail V von **Fig. 3**;

**Fig. 6** ein Diagramm ähnlich zu **Fig. 3** einer zweiten Ausführungsform eines Normalmodus; und

**Fig. 7** ein Detail VII von **Fig. 6**.

**[0022]** Ein Kraftstoffsystem für eine Brennkraftmaschine trägt in **Fig. 1** insgesamt das Bezugszeichen **10**. Es umfasst einen Kraftstofftank **12**, aus dem eine elektrische Vorförderpumpe **14** den Kraftstoff in

eine Niederdruckleitung **16** fördert. Diese führt zu einer Hochdruckpumpe in Form einer Kolben-Kraftstoffpumpe **18**, die in **Fig. 1** durch eine strichpunktierte Linie angedeutet ist. Die Kolben-Kraftstoffpumpe **18** fördert den Kraftstoff unter hohem Druck in eine Hochdruckleitung **20**, die zu einem Kraftstoffrail **22** führt. An dieses sind mehrere Injektoren **24** angeschlossen, die den Kraftstoff direkt in die ihnen zugeordneten Brennräume (nicht dargestellt) einspritzen.

**[0023]** Die Kolben-Kraftstoffpumpe **18** umfasst einen Pumpenkolben **26**, der von einer nicht dargestellten Nockenwelle in eine Hin- und Herbewegung versetzt werden kann. Der Pumpenkolben **26** begrenzt einen Förderraum **28**, der über ein Einlass-Rückschlagventil **30** mit der Niederdruckleitung **16** und über ein Auslass-Rückschlagventil **32** mit der Hochdruckleitung **22** verbindbar ist. Das Einlass-Rückschlagventil **30** kann mittels einer elektromagnetischen Betätigungseinrichtung **34** zwangsweise in einer geöffneten Stellung gehalten werden, wie weiter unten noch stärker im Detail erläutert werden wird.

**[0024]** Der Druck im Rail **22** wird durch einen Kraftstoffdrucksensor **36** erfasst. Der Betrieb des Kraftstoffsystems **10** wird durch eine Steuer- und Regleinrichtung **38** gesteuert und geregelt, auf der ein Computerprogramm abgespeichert ist, welches dazu programmiert ist, die entsprechenden Verfahren durchzuführen.

**[0025]** Das mittels der elektromagnetischen Betätigungseinrichtung **34** zwangsweise offenhaltbare Einlass-Rückschlagventil **30** wird auch als Mengensteuerventil bezeichnet. Es ist in **Fig. 2** schematisch dargestellt: Danach umfasst das Mengensteuerventil ein Ventilelement **40**, welches mit einem Ventilsitz **42** zusammenwirkt, ein Schaltelement in Form eines Stößels **44**, der einen Anschlagabschnitt **46** aufweist. Eine Beaufschlagungseinrichtung in Form einer Feder **48** beaufschlagt den Stößel **44** in eine erste Richtung **50** zu einer ersten Endstellung hin, die durch einen Gehäuseanschlag **52** definiert ist. Mit dem Stößel **44** ist ein Anker **54** verbunden, der bei einer Bestromung einer Spule **56** den Stößel **44** in eine zweite Richtung **58** zu einer zweiten Endstellung **60** hin beaufschlagt, die durch einen entsprechenden zweiten Gehäuseanschlag definiert ist. Erste und zweite Richtung **50** und **58** sind zueinander entgegengesetzt. In der in **Fig. 2** dargestellten unbestromten ersten Endstellung **52** des Stößels **44** hält dieser aufgrund der Kraft der Feder **48** das Ventilelement **40** des Einlass-Rückschlagventils **30** wie dargestellt in einer geöffneten Stellung. Die vorliegend dargestellte Ventileinrichtung ist also ein „stromlos offenes Mengensteuerventil“.

**[0026]** Unter Bezugnahme auf **Fig. 3** wird nun zunächst ein Normalmodus des Betriebs des Mengensteuerventils **34** erläutert. In **Fig. 3** sind vier Verläufe

von Betriebsgrößen der Kolben-Kraftstoffpumpe **18** in dem besagten Normalmodus über der Zeit **t** dargestellt. Dies sind in **Fig. 3** von oben nach unten zunächst ein Hub  $H_{26}$  des Pumpenkolbens **26**, eine Stellung  $H_{40}$  des Ventilelements **40** (0 = zu, 1 = auf), eine Stellung  $H_{44}$  des Stößels **44** (0 = zweite Endstellung **60**, 1 = erste Endstellung **52**), und eine Bestromung **I** der Spule **56**.

**[0027]** Gegen Ende einer ersten Saugphase **S** ist das Einlass-Rückschlagventil **30** geöffnet (Stellung **1**), die Spule **56** ist nicht bestromt und der Stößel **44** befindet sich in seiner ersten Endstellung **52** (Stellung **1**). Nach Durchlaufen eines unteren Totpunktes **UT** beginnt eine erste Förderphase **F**. Dadurch, dass sich der Stößel **44** weiterhin in der ersten Endstellung **52** befindet, kann das Ventilelement **40** nicht schließen, das Einlass-Rückschlagventil **30** bleibt also offen. Somit wird Kraftstoff aus dem Förderraum **28** nicht in das Rail **22**, sondern zurück in die Niederdruckleitung **16** gefördert. Zu einem Zeitpunkt **t1** wird die Spule **56** mittels einer ersten Bestromung **61** bestromt (siehe auch **Fig. 4**), wodurch der Stößel **44** in seine zweite Endstellung **60** (Stellung **0**) gezogen wird. Nun kann das Einlass-Rückschlagventil **30** schließen (Stellung **0**), sodass der Kraftstoff in das Rail **22** gefördert wird. Die erste Bestromung **61** der Spule **56** ist dabei in verschiedene Phasen aufgeteilt (**Fig. 4**): Zunächst erfolgt sie gemäß einer Anzugsphase **62**, an die sich eine Haltephase **64** (oder, bei einer anderen, nicht gezeigten Ausführungsform, mehrere Haltephasen oder stromgeregelter Phasen) anschließt. Danach erfolgt eine Schnelllöschung **66**.

**[0028]** Zu Beginn der nächsten Saugphase **S** öffnet das Einlass-Rückschlagventil **30** wieder. Kurz danach endet die Haltephase **64** durch die Schnelllöschung **66**. Mit dem Ende der ersten Bestromung **61** beginnt sich der Stößel **44** aus der zweiten Endstellung **60** aufgrund der Beaufschlagung durch die Feder **48** wieder in die erste Endstellung **52** zu bewegen (Stellung **1**). Um das Anschlaggeräusch des Anschlagabschnitts **46** am Anschlag **52**, der die erste Endstellung definiert, zu reduzieren, erfolgt nach einer Pausenzeit **68** eine zweite Bestromung **70**, durch die die Bewegung des Stößels **44** verlangsamt wird („Bremsimpuls“).

**[0029]** Um die für ein optimales Timing des Bremsimpulses **70** optimale Pausenzeit **68** zu bestimmen, wird in einem Adaptionsmodus wie folgt vorgegangen (siehe auch **Fig. 5**): Zunächst wird anstelle der zweiten Bestromung **70**, also anstelle des Bremsimpulses, eine dritte Bestromung **72** eingeleitet (in **Fig. 3** strichpunktiert dargestellt; siehe auch **Fig. 4**). Die Höhe  $I_{72}$  dieser dritten Bestromung **72** ist einerseits so gering gewählt, dass der Stößel **44** hierdurch nicht aus der ersten Endstellung **52** herausbewegt werden kann, wenn er sich in dieser befindet, und andererseits so groß gewählt, dass der Stößel **44** die zweite

Endstellung **60** hierdurch nicht verlässt, wenn er sich in dieser befindet. Der Zeitpunkt  $t_2$  des Beginns dieser dritten Bestromung **72** ist ferner so gewählt, dass der Stößel **44** nach dem Ende der ersten Bestromung **61** und noch vor Beginn der dritten Bestromung **72** sicher in die erste Endstellung **52** gelangt (Stellung **1** im Diagramm der **Fig. 3**). Hieraus ergibt sich eine anfängliche Pausenzeit **68a** zwischen dem Ende der ersten Bestromung **61** und dem Beginn der dritten Bestromung **72**.

**[0030]** Nun wird die Pausenzeit **68** von Zyklus zu Zyklus um einen bestimmten Betrag verkürzt. Ist eine minimale Pausenzeit **68b** (**Fig. 3**) erreicht, wird ein Anstieg des vom Drucksensor **36** erfassten Kraftstoffdruck im Rail **22** festgestellt. Der Grund hierfür liegt darin, dass sich bei Erreichen der minimalen Pausenzeit **68b** der Stößel **44** nach dem Ende der ersten Bestromung **61** noch nicht weit genug von der zweiten Endstellung **60** in die erste Endstellung **52** bewegt hat und daher nunmehr durch die dritte Bestromung **72** wieder zurück in die zweite Endstellung **60** gezogen wird (für den Parameter  $H_{44}$  in **Fig. 3** durch eine strichpunktierte Linie angedeutet). Endet nun die Saugphase S, schließt das Einlass-Rückschlagventil **32** (strichpunktierte Kurve für den Parameter  $H_{40}$  in **Fig. 3**), sodass sofort mit Beginn der Förderphase F Kraftstoff in das Kraftstoffrail **22** gefördert wird. Die Förderung von Kraftstoff in das Rail **22** ist somit maximal, was dort zu einer Erhöhung des Drucks über den vorgegebenen Solldruck hinaus führt. Wird eine solche unerwünschte Erhöhung des Drucks im Rail **22** festgestellt, kann also davon ausgegangen werden, dass der Stößel **44** nach Beginn der dritten Bestromung **72** nicht mehr in die erste Endstellung **52** gelangt ist.

**[0031]** Diese ermittelte minimale Pausenzeit **68b** wird nun für die Anpassung der Pausenzeit **68** im Normalmodus benutzt. Bspw. wird die Differenz zwischen der minimalen Pausenzeit **68b** und einer vorab an einem nominalen Mengensteuerventil bei nominalen Bedingungen erfassten nominalen minimalen Pausenzeit ermittelt, und die Pausenzeit **68** im Normalbetrieb, also für das Absetzen des Bremsimpulses **70**, darauf beruhend angepasst.

**[0032]** Eine alternative Variante wird nun unter Bezugnahme auf die **Fig. 6** und **Fig. 7** erläutert. Dabei werden für funktionsäquivalente Bereiche und Größen die gleichen Bezugszeichen verwendet, und diese werden nicht nochmals erläutert.

**[0033]** Das in den **Fig. 6** und **Fig. 7** dargestellte Verfahren betrifft nicht den Adaptionsmodus, sondern den Normalmodus: Bei dem in den **Fig. 6** und **Fig. 7** dargestellten Verfahren wird die erste Bestromung **61** nach einer kurzen Haltephase **64** noch vor Erreichen des oberen Totpunktes **OT** des Pumpenkolbens **26** beendet. Der charakteristische Zeitpunkt, der den Be-

ginn der Pausenzeit bedeutet, ist in diesem Fall also nicht das Ende der ersten Bestromung **61**, sondern der obere Totpunkt **OT**. Auch diese Pausenzeit **68** wird durch das oben beschriebene Verfahren angepasst. Man erkennt, dass nach dem Ende der ersten Bestromung **61** sich der Stößel **44** einen kurzen Weg bis in Anlage an das Ventilelement **40** bewegt.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Betätigung eines Schaltelements (44) einer Ventileinrichtung (30) zwischen einer ersten Endstellung (52) und einer zweiten Endstellung (60), bei dem eine Beaufschlagungseinrichtung (48) das Schaltelement (44) in eine erste Richtung (50) zur ersten Endstellung (52) hin beaufschlagt, und bei dem eine elektromagnetische Betätigungseinrichtung (34) bei einer ersten Bestromung (61) das Schaltelement (44) in eine zweite Richtung (58) zur zweiten Endstellung (60) hin beaufschlagt, und in einem Normalmodus innerhalb eines Zyklus nach einem Ende der ersten Bestromung (61) eine durch die Beaufschlagungseinrichtung (48) bewirkte Bewegung des Schaltelements (44) in der ersten Richtung (50) durch eine kurze zweite Bestromung (70) verlangsamt wird („Bremsimpuls“), die nach Ablauf einer Pausenzeit (68) nach einem charakteristischen Zeitpunkt innerhalb des Zyklus eingeleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optimale Pausenzeit (68) und/oder eine den Bremsimpuls (70) charakterisierende optimale Größe in einem Adaptionsmodus wie folgt ermittelt wird:

- Einleiten einer dritten Bestromung (72) anstelle der zweiten Bestromung (61), wobei die Höhe ( $H_{72}$ ) der dritten Bestromung (72) einerseits so gering gewählt ist, dass das Schaltelement (44) nicht aus der ersten Endstellung (52) heraus bewegt werden kann, wenn es sich in dieser befindet, und andererseits so groß gewählt ist, dass das Schaltelement (44) die zweite Endstellung (60) nicht verlässt, wenn es sich in dieser befindet, und wobei der charakteristische Zeitpunkt ein Ende der ersten Bestromung (61) ist und die Pausenzeit (68a) zunächst so gewählt ist, dass das Schaltelement (44) nach dem Ende der ersten Bestromung (61) und vor Beginn der dritten Bestromung (72) sicher in die erste Endstellung (52) gelangt,
- Verkürzen der Pausenzeit (68) von Zyklus zu Zyklus,
- Ermitteln einer minimalen Pausenzeit (68b), bei der das Schaltelement (44) nach Beginn der dritten Bestromung (72) nicht mehr in die erste Endstellung (52) gelangt,
- Anpassen der Pausenzeit (68) und/oder der den Bremsimpuls (70) charakterisierenden Größe wieder im Normalmodus abhängig von der ermittelten minimalen Pausenzeit (68b).

2. Verfahren zur Betätigung eines Schaltelements (44) einer Ventileinrichtung (30) zwischen einer ersten Endstellung (52) und einer zweiten Endstellung

(60), bei dem eine Beaufschlagungseinrichtung (48) das Schaltelement (44) in eine erste Richtung (50) zur ersten Endstellung (52) hin beaufschlagt, und bei dem eine elektromagnetische Betätigungseinrichtung (34) bei einer ersten Bestromung (61) das Schaltelement (44) in eine zweite Richtung (58) zur zweiten Endstellung (60) hin beaufschlagt, und in einem Normalmodus innerhalb eines Zyklus nach einem Ende der ersten Bestromung (61) eine durch die Beaufschlagungseinrichtung (48) bewirkte Bewegung des Schaltelements (44) in der ersten Richtung (50) durch eine kurze zweite Bestromung (70) verlangsamt wird („Bremsimpuls“), die nach Ablauf einer Pausenzeit (68) nach einem charakteristischen Zeitpunkt innerhalb des Zyklus eingeleitet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die optimale Pausenzeit (68) und/oder eine den Bremsimpuls (70) charakterisierende optimale Größe in einem Adaptionsmodus wie folgt ermittelt wird:

- a. Einleiten einer dritten Bestromung (72) anstelle der zweiten Bestromung (61), wobei die Höhe ( $H_{72}$ ) der dritten Bestromung (72) einerseits so gering gewählt ist, dass das Schaltelement (44) nicht aus der ersten Endstellung (52) heraus bewegt werden kann, wenn es sich in dieser befindet, und andererseits so groß gewählt ist, dass das Schaltelement (44) die zweite Endstellung (60) nicht verlässt, wenn es sich in dieser befindet, und wobei der charakteristische Zeitpunkt ein Ende der ersten Bestromung (61) ist und die Pausenzeit (68a) zunächst so gewählt ist, dass das Schaltelement (44) nach dem Ende der ersten Bestromung (61) und nach Beginn der dritten Bestromung (72) nicht mehr in die erste Endstellung (52) gelangt,
- b. Verlängern der Pausenzeit (68) von Zyklus zu Zyklus,
- c. Ermitteln einer minimalen Pausenzeit (68b), bei der das Schaltelement (44) vor Beginn der dritten Bestromung (72) sicher in die erste Endstellung (52) gelangt,
- d. Anpassen der Pausenzeit (68) und/oder der den Bremsimpuls (70) charakterisierenden Größe wieder im Normalmodus abhängig von der ermittelten minimalen Pausenzeit (68b).

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Normalmodus die Pausenzeit (68) und/oder die den Bremsimpuls (70) charakterisierende Größe wie folgt angepasst wird: (d1) Bilden einer die Differenz zwischen einer nominalen und der ermittelten minimalen Pausenzeit (68b) charakterisierenden Differenzgröße, wobei die nominale Pausenzeit bei Nominalbedingungen und bei einem Nominal-Schaltelement ermittelt wurde, (d2) Anpassen der Pausenzeit (68) und/oder der den Bremsimpuls (70) charakterisierenden Größe abhängig von der ermittelten Differenzgröße.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass es im Betrieb einer Kolben-Kraftstoffpumpe (18) eines Common-Rail-Kraftstoffsystems (10) angewendet wird, wobei das Schaltelement ein Stößel (44) ist, der in der ersten Endstellung (52) ein Einlass-Rückschlagventil (30) der Kolben-Kraftstoffpumpe (18) zeitweise in einer geöffneten Stellung halten kann („stromlos offenes Mengensteuerventil“).

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dritte Bestromung (72) über einen unteren Totpunkt (UT) eines Pumpenkolbens (26) hinaus andauert und die minimale Pausenzeit (68b) jene Pausenzeit ist, bei der es zu einem nicht gewünschten Anstieg des Kraftstoffdrucks im Rail (22) kommt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Normalmodus der charakteristische Zeitpunkt für den Beginn der Pausenzeit (68) ein Ende der ersten Bestromung (61) ist.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Normalmodus der charakteristische Zeitpunkt für den Beginn der Pausenzeit (68) ein oberer Totpunkt (OT) eines Pumpenkolbens (26) ist, und dass die erste Bestromung (61) beendet wird, wenn das Einlass-Rückschlagventil (30) während eines Förderhubs (F) sicher geschlossen ist.

8. Computerprogramm, **dadurch gekennzeichnet**, dass es dazu programmiert ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 durchzuführen.

9. Steuer- und/oder Regeleinrichtung (38) für ein Kraftstoffsystem (10) einer Brennkraftmaschine, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie einen Speicher umfasst, auf dem ein Computerprogramm nach Anspruch 8 gespeichert ist.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

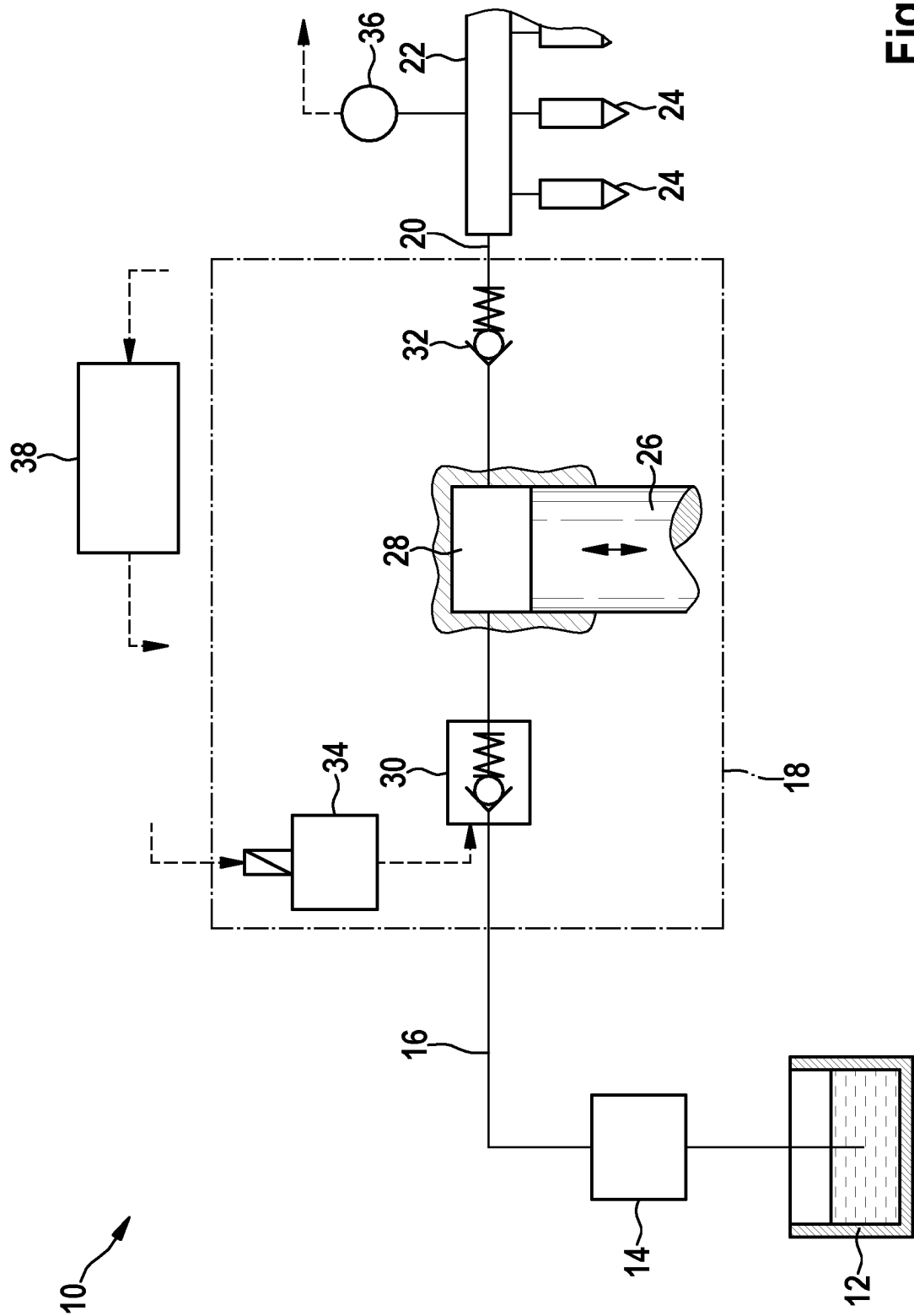


Fig. 1



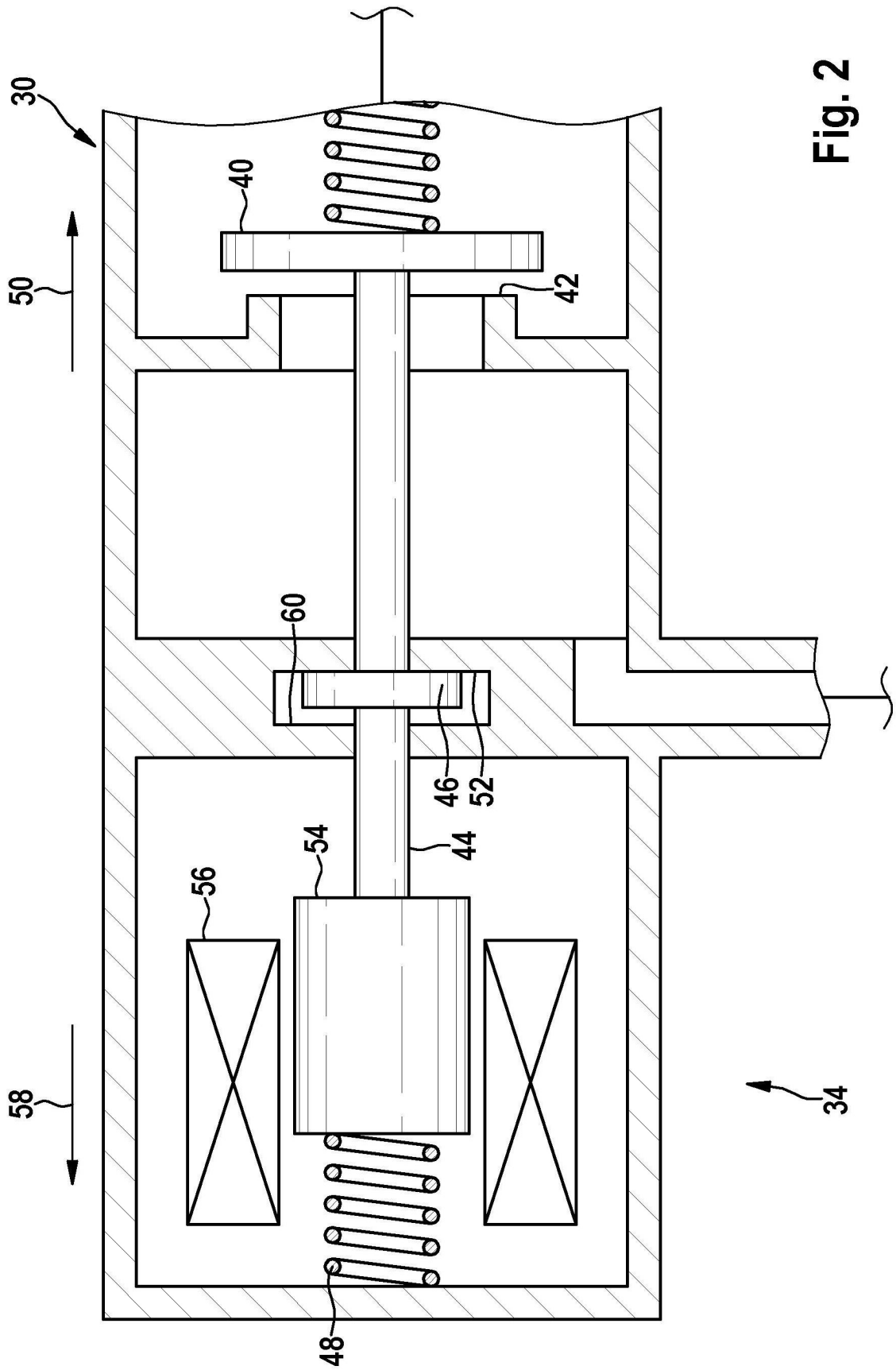


Fig. 2

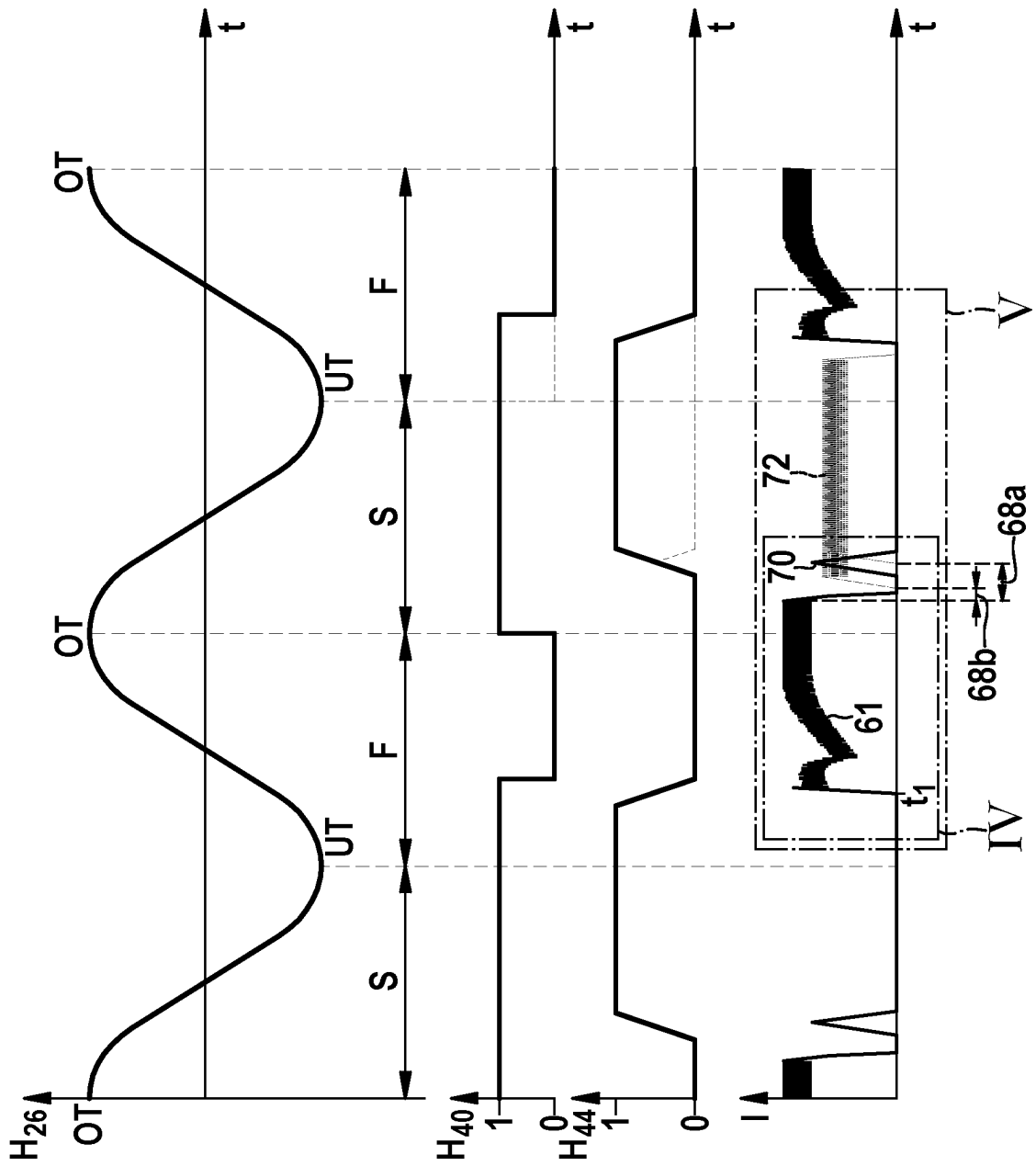


Fig. 3

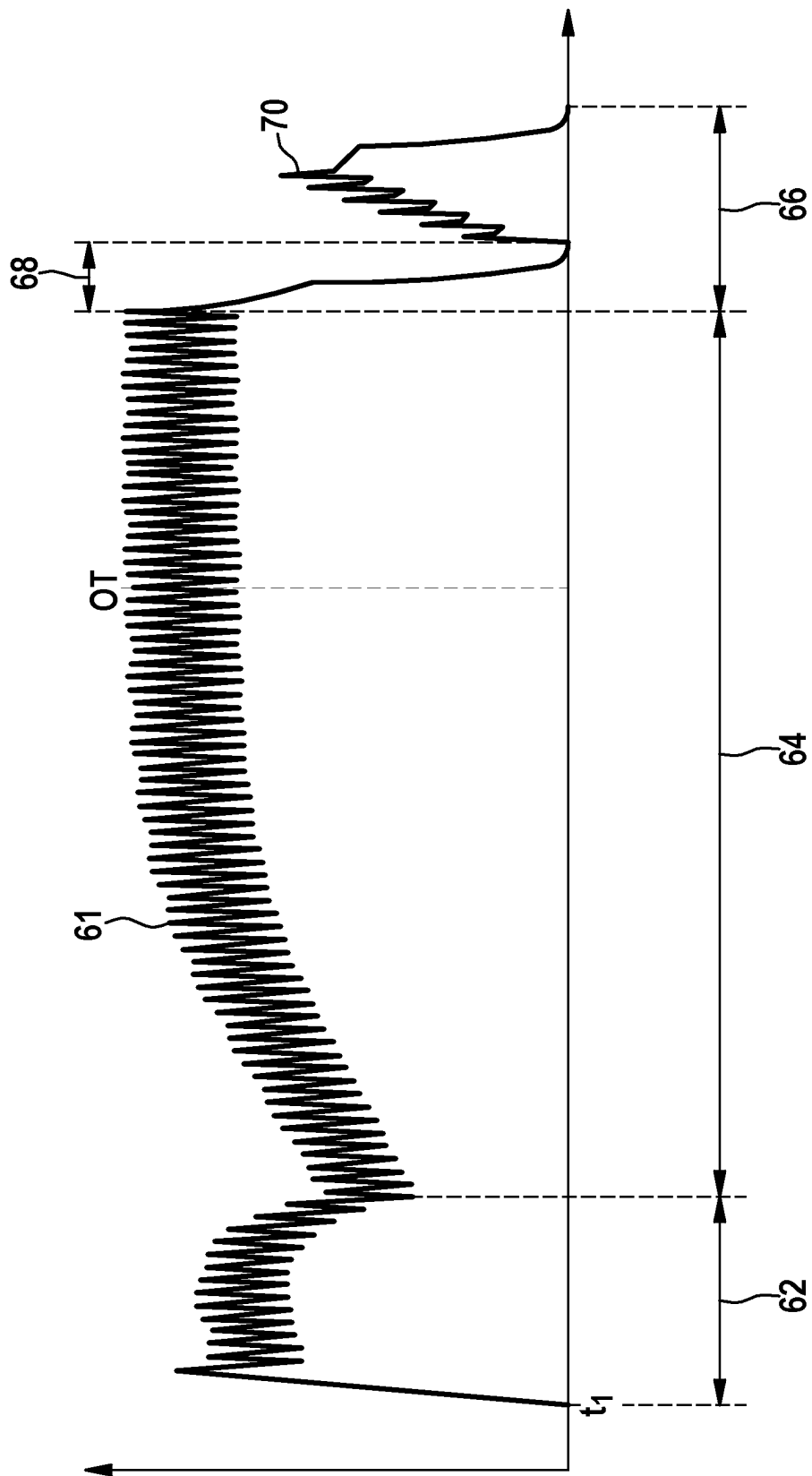


Fig. 4

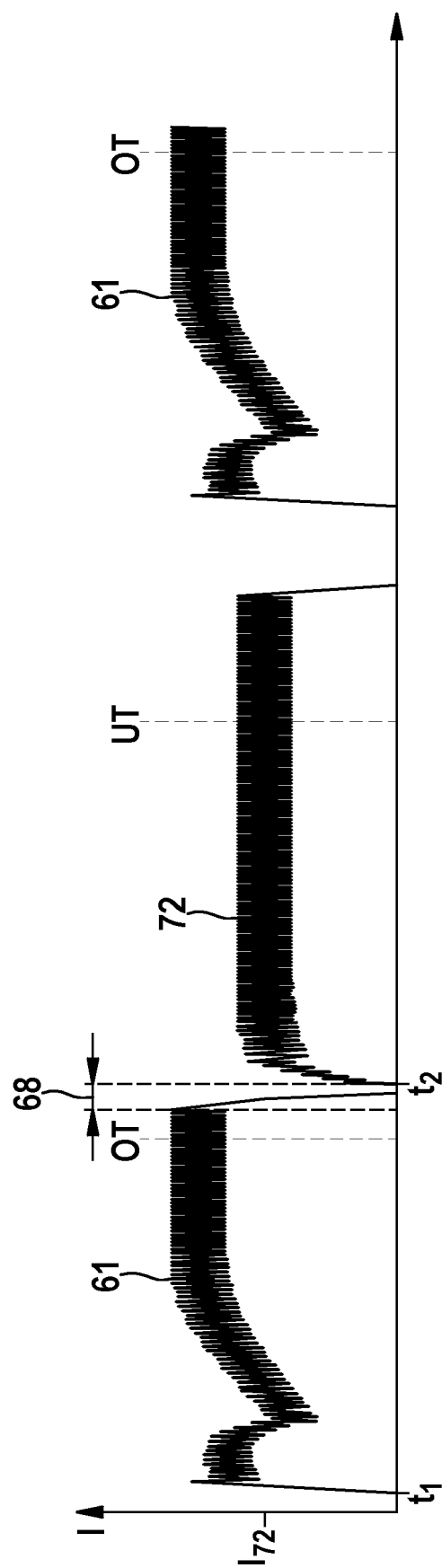


Fig. 5

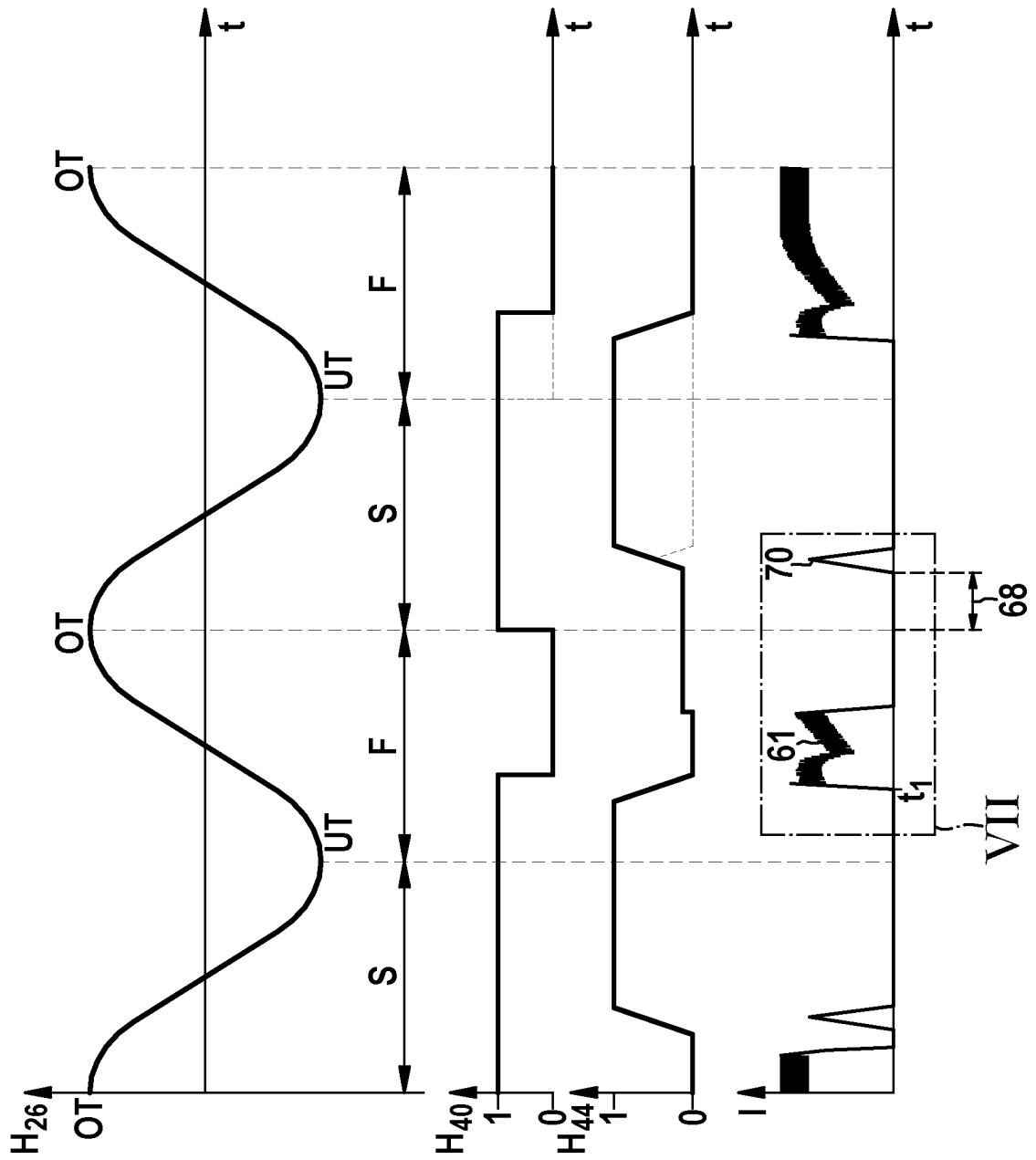


Fig. 6

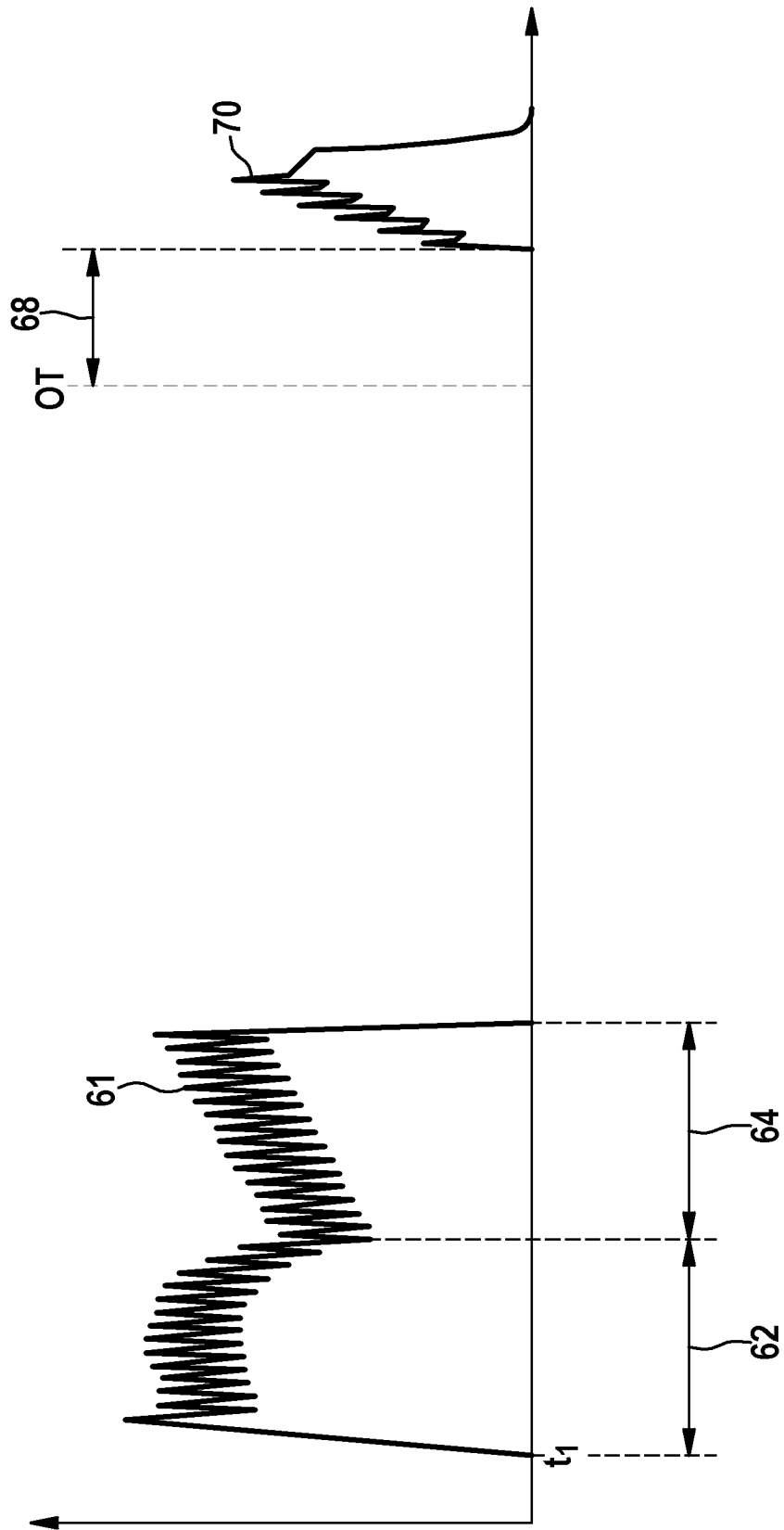


Fig. 7