

(19)



(11)

EP 2 218 887 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
18.08.2010 Patentblatt 2010/33

(51) Int Cl.:
F01P 7/16^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **10151420.6**

(22) Anmeldetag: **22.01.2010**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL
PT RO SE SI SK SM TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL BA RS

- **Beez, Günther**
98666 Masserberg (DE)
- **Conrad, Holger**
98669 Veilsdorf (DE)
- **Gebhardt, Oliver**
96515 Sonneberg (DE)
- **Knauß, Rüdiger**
71394 Kernen i.R. (DE)

(30) Priorität: **05.02.2009 DE 102009007695**

(71) Anmelder: **Mahle International GmbH**
70376 Stuttgart (DE)

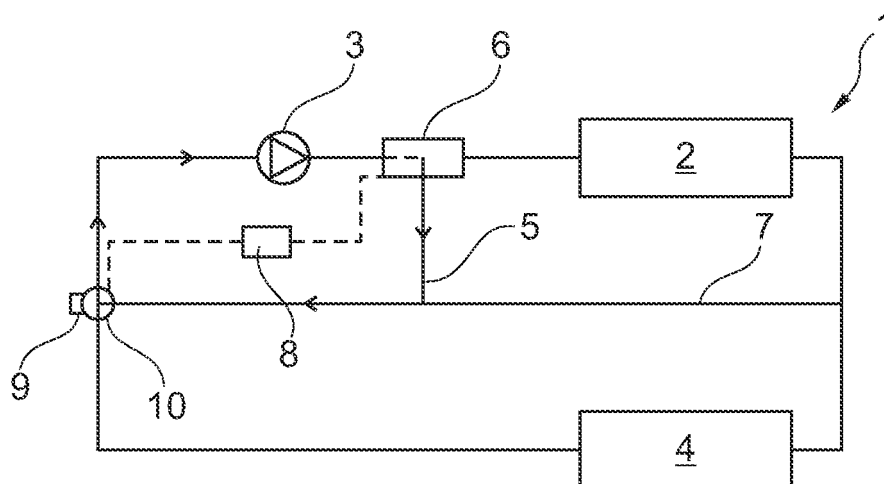
(74) Vertreter: **Jooß, Martin**
BRP Renaud & Partner
Rechtsanwälte Notare Patentanwälte
Königstrasse 28
70173 Stuttgart (DE)

(72) Erfinder:
• **Baumann, Michael**
72119 Ammerbuch (DE)

(54) Kühlsystem in einem Kraftfahrzeug

(57) Die Erfindung betrifft ein Kühlsystem (1) in einem Kraftfahrzeug mit einem Kühlkreislauf, in welchem zumindest ein Verbrennungsmotor (2), eine Pumpe (3) und eine Kühleinrichtung (4) angeordnet sind, wobei
- eine die Pumpe (3) umgehende Kurzschlussleitung (5) vorgesehen ist, die eine Druckseite mit einer Saugseite der Pumpe (3) verbindet,

- im Bereich der Kurzschlussleitung (5) eine Ventileinrichtung (6) vorgesehen ist, die zumindest zwischen zwei Stellungen verstellbar ist,
- in der ersten Stellung der gesamte Kühlmittelstrom durch die Kurzschlussleitung (5) und in der zweiten Stellung vorzugsweise der gesamte Kühlmittelstrom durch den Verbrennungsmotor (2) und nicht durch die Kurzschlussleitung (5) strömt.

**Fig. 1****EP 2 218 887 A2**

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kühlsystem in einem Kraftfahrzeug mit einem Kühlkreislauf, in welchem zumindest ein Verbrennungsmotor, eine Pumpe und eine Kühleinrichtung angeordnet sind.

[0002] Aufgrund stetig steigender Energiepreise und zunehmend schärfer werdender Emissionswerte, versuchen Fahrzeughersteller zunehmend den Energieverbrauch ihrer Kraftfahrzeuge zu reduzieren, insbesondere denjenigen Energieverbrauch, der nicht direkt dem Antrieb des Kraftfahrzeugs dient. Hierzu zählen insbesondere ein Energieverbrauch im Leerlauf sowie der Energieverbrauch von diversen elektrischen Verbrauchern innerhalb des Kraftfahrzeugs.

[0003] Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, ein Kühlsystem in einem Kraftfahrzeug zu schaffen, welches im Vergleich zu bisher bekannten Kühlsystemen einen deutlich geringeren Energiebedarf aufweist.

[0004] Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des unabhängigen Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

[0005] Die vorliegende Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, bei einem Kühlsystem mit einem Kühlkreislauf, in welchem zumindest ein zu kühlender Verbraucher, bspw. ein Verbrennungsmotor, eine Pumpe und eine Kühleinrichtung angeordnet sind, eine Druckseite und eine Saugseite der Pumpe über eine Kurzschlussleitung, dass heißt über eine Bypassleitung zu verbinden, welche im Falle einer nicht erforderlichen Kühlung geöffnet wird und dadurch einen zumindest überwiegenden Teil eines Kühlmittelstroms nicht mehr durch den Verbrennungsmotor und den gesamten Kühlkreislauf leitet, sondern in einen deutlich widerstandsärmeren Kurzschlusskreislauf umlenkt. Zur Umlenkung bzw. zur Aufteilung des Kühlmittelstroms auf den Verbrennungsmotor bzw. auf die die Pumpe umgehende Kurzschlussleitung wird dabei eine Ventileinrichtung verwendet, die aufgrund der nun vorhandenen Kurzschlussleitung deutlich reduzierte Stellkräfte benötigt und dadurch sowohl kleiner als auch sparsamer hinsichtlich eines Energieverbrauchs ausgebildet werden kann. Die erfindungsgemäße Ventileinrichtung ist dabei im Bereich der Kurzschlussleitung angeordnet, bspw. im Bereich einer Abzweigung der Kurzschlussleitung aus dem Kühlkreislauf bzw. im Bereich einer Einmündung der Kurzschlussleitung in den Kühlkreislauf. Darüber hinaus ist die erfindungsgemäße Ventileinrichtung zwischen zumindest zwei Stellungen verstellbar, wobei in der ersten Stellung zumindest ein Großteil des Kühlmittelstroms durch die Kurzschlussleitung und in der zweiten Stellung zumindest ein Großteil des Kühlmittelstroms durch den Verbrennungsmotor und nicht durch die Kurzschlussleitung strömt. Denkbar sind hierbei selbstverständlich auch beliebige Zwischenstellungen, welche eine beliebige Aufteilung des Kühlmittelstroms zwischen dem ei-

gentlichen Kühlkreislauf und dem Kurzschlusskreislauf ermöglichen. Wird bspw. keine Kühlwirkung im Verbrennungsmotor oder einem anderen zu kühlenden Verbraucher benötigt, so kann die Ventileinrichtung in ihre erste Stellung überführt werden und dadurch das Kühlmedium vergleichsweise widerstandsarm durch den Kurzschlusskreislauf gepumpt werden. Mit der erfindungsgemäßen und im Bereich der Kurzschlussleitung angeordneten Ventileinrichtung, ist es somit möglich, relativ flexibel den Kühlbedarf im Verbrennungsmotor und damit auch die Leistung der Kühlmittelpumpe zu steuern. Benötigt der Verbrennungsmotor keine Kühlleistung, so wird die Ventileinrichtung einfach in ihre erste Stellung verstellt, so dass zumindest ein überwiegender Teil des Kühlmittelstroms durch die Kurzschlussleitung und nicht mehr durch den Verbrennungsmotor bzw. die Kühleinrichtung strömt.

[0006] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Lösung, ist die Ventileinrichtung als Proportionalventil ausgebildet. Im Vergleich zu einer lediglich zwischen zwei Stellungen hin- und herschaltbaren Ventileinrichtung, weist ein derartiges Proportionalventil den großen Vorteil auf, dass es in beliebige Zwischenstellungen schaltbar ist, wodurch eine nahezu frei wählbare Aufteilung des durch den Verbrennungsmotor und die Kurzschlussleitung strömenden Kühlmittelstroms möglich ist. Hierdurch lässt sich eine besonders exakte Steuerung ermöglichen, welche insbesondere die für ein lediglich zwischen zwei Schaltstellungen hin- und herschaltbares Ventil typischen Druckspitzen beim Umschalten zwischen den zwei Schaltstellungen verhindert. Eine Ansteuerung der erfindungsgemäßen Ventileinrichtung kann bspw. mittels eines ohnehin vorhandenen Motorsteuergeräts erfolgen, welches neben dem jeweils auftretenden Betriebszustand des Verbrennungsmotors, beispielsweise Vollast oder Teillast auch eine Temperatur des Kühlmediums erfasst.

[0007] Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus den Zeichnungen und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnungen.

[0008] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0009] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert, wobei sich gleiche Bezugszeichen auf gleiche oder ähnliche oder funktional gleiche Bauteile beziehen.

Dabei zeigen, jeweils schematisch:

[0010]

Fig. 1 bis 5 unterschiedliche Ausführungsformen ei-

- nes erfindungsgemäßen Kühlsystems,
- Fig. 6 eine mögliche Ausführungsform einer Ventileinrichtung,
- Fig. 7 ein möglicher Aufbau eines Ventils in der Ventileinrichtung,
- Fig. 8 ein Manschettenventil für die Ventileinrichtung,
- Fig. 9 eine Detaildarstellung des Manschettenventils nach Fig. 8,
- Fig. 10a,b das Manschettenventil in zwei unterschiedlichen Schaltstellungen.

[0011] Entsprechend den Fig. 1 bis 5, weist ein erfindungsgemäßes Kühlsystem 1, welches bspw. in einem Kraftfahrzeug angeordnet sein kann, einen Kühlkreislauf auf, in welchem zumindest ein Verbrennungsmotor 2, eine Pumpe 3 und eine Kühleinrichtung 4 angeordnet sind. Erfindungsgemäß ist nun eine die Pumpe 3 umgehende Kurzschlussleitung 5 vorgesehen, die eine Druckseite der Pumpe 3 mit einer Saugseite derselben verbindet. Darüber hinaus ist im Bereich der Kurzschlussleitung 5, dass heißt genauer im Bereich der Abzweigung derselben aus dem Kühlkreislauf bzw. im Bereich der Einmündung derselben in den Kühlkreislauf oder in eine Bypassleitung, eine Ventileinrichtung 6 vorgesehen, welche zumindest zwischen zwei Stellungen verstellbar ist. Die Ventileinrichtung 6 kann dabei als so genanntes Mehrwegeventil, insbesondere als 3-2-Wegeventil, ausgebildet sein und in der ersten Stellung, wie diese gemäß den Fig. 1 und 4 gezeigt ist, zumindest einen überwiegenden Teil des Kühlmittelstroms, vorzugsweise den gesamten Kühlmittelstrom durch die Kurzschlussleitung 5 leiten, während sie in der zweiten Stellung, wie dies gemäß den Fig. 2 und 3 dargestellt ist, zumindest einen überwiegenden Teil des Kühlmittelstroms, vorzugsweise den gesamten Kühlmittelstrom durch den Verbrennungsmotor 2 und nicht durch die Kurzschlussleitung 5 leitet. Gemäß den Fig. 1 bis 5 ist der jeweilige Kühlmittelstrom durch entsprechende Strömungspfeile dargestellt.

[0012] Generell kann in dem erfindungsgemäßen Kühlsystem 1 vorzugsweise eine die Kühleinrichtung 4 umgehende Bypassleitung 7 vorgesehen sein, wobei denkbar ist, dass die Kurzschlussleitung 5, wie dies in Fig. 1 gezeigt ist, auch in die Bypassleitung 7 mündet. Mit der erfindungsgemäßen Ventileinrichtung 6 ist insbesondere für den Fall, bei welchem der Verbrennungsmotor 2 keine oder lediglich eine geringere Kühlung benötigt, ein Umschalten derselben möglich, wodurch der Kühlmittelstrom ausschließlich oder zumindest teilweise durch den deutlich widerstandärmeren Kurzschlusskreislauf, wie dies gemäß der Fig. 1 gezeigt ist, gepumpt werden muss, so dass in diesem Fall die Pumpe 3 mit einer deutlich geringeren Leistung betrieben werden

kann. Der gemäß der Fig. 1 dargestellte Zustand ist bspw. bei einem Kaltstart des Verbrennungsmotors 2 denkbar, bei welchem dieser nicht gekühlt werden muss und soll, da eine Kühlung desselben weder für den Fahrkomfort noch für eine Schadstoffemission von Vorteil wären. Aufgrund der erfindungsgemäß vorgesehenen Kurzschlussleitung 5 benötigt die Ventileinrichtung 6 deutlich reduzierte Stellkräfte und kann dadurch sowohl kleiner als auch sparsamer hinsichtlich eines Energieverbrauchs ausgebildet werden. Ohne das Vorhandensein der Kurzschlussleitung 5 wären deutlich größere Stellkräfte zum Verstellen der Ventileinrichtung 6 erforderlich, was einen höheren Energiebedarf bedeutet.

[0013] Zugleich müsste auch die Ventileinrichtung 6 selbst größer und damit schwerer ausgelegt werden, was ebenfalls einen erhöhten Energiebedarf bedeutet.

[0014] Gemäß den Fig. 1 und 3-5 ist die erfindungsgemäße Ventileinrichtung 6 stromab der Pumpe 3 im Kühlkreislauf angeordnet, während diese gemäß der Fig. 2 stromauf derselben im Kühlkreislauf angeordnet ist. Die Ventileinrichtung 6 kann bspw. als Drosseleinrichtung ausgebildet sein und/oder pneumatisch, elektrisch oder hydraulisch angesteuert werden. Zur Ansteuerung kann hierbei insbesondere ein Motorsteuergerät 8 verwendet werden, welches bspw. einen Betriebszustand des Verbrennungsmotors 2, insbesondere einen Teillast- oder Volllastbetrieb, und/oder eine Temperatur des Kühlmittels erfasst. Dieses ist der Übersicht halber lediglich in Fig. 1 dargestellt, kann gleichfalls jedoch auch bei den Kühlsystemen 1 gemäß den Fig. 2 und 3 vorhanden sein. Hierzu kann bspw. im Einmündungsbereich der Bypassleitung 7 in den Kühlkreislauf ein Thermostat 9 vorgesehen sein. Selbstverständlich ist auch denkbar, dass die Ventileinrichtung 6 als Tellerventil oder als Ringschieberventil ausgebildet ist, wobei aufgrund eines so genannten "Fail Save"-Pinzips die Ventileinrichtung 6 stets so ausgebildet ist, dass sie in unbetätigtem, dass heißt in nicht angesteuertem Zustand, in ihrer zweiten Stellung verbleibt und dadurch auf jeden Fall eine ausreichende Kühlung des Verbrennungsmotors 2 gewährleistet. Selbstverständlich ist auch denkbar, dass die erfindungsgemäße Ventileinrichtung 6 als Proportionalventil ausgebildet ist, wodurch eine beliebige Aufteilung des Kühlmittelstroms durch den Verbrennungsmotor 2 und die Kurzschlussleitung 5 bewirkt werden kann.

[0015] Gemäß der Fig. 4 ist die Ventileinrichtung 6 im Einmündungsbereich der Kurzschlussleitung 5 in die Bypassleitung 7 angeordnet, wobei auch in diesem Fall bei einem Überführen der Ventileinrichtung 6 in deren erste Stellung ein zumindest überwiegender Teil des Kühlmittelstroms durch die Kurzschlussleitung 5 strömt, da diese im Vergleich zu dem durch den Verbrennungsmotor 2 und die Kühleinrichtung 4 führenden Kühlkreislauf einen deutlich geringeren Strömungswiderstand aufweist. Selbstverständlich ist die Bypassleitung 7 rein optional, so dass diese - wie in Fig. 5 gezeigt ist - auch entfallen kann.

[0016] Generell ermöglicht die erfindungsgemäße

Ventileinrichtung 6 die Regelung eines Volumenstroms im Kühlkreislauf durch den Verbrennungsmotor 2 mit der Möglichkeit, diesen Volumenstrom - falls erforderlich - auf Null zu reduzieren. Wird die Ventileinrichtung 6 betätigt, so fördert die Pumpe 3 das Kühlmedium im widerstandsarmen Kurzschlusskreislauf und nicht durch weitere zu kühlende Verbraucher, wie bspw. den Verbrennungsmotor 2. Wird dagegen eine geringe Kühlleistung im Verbrennungsmotor 2 benötigt, so kann der Thermostat 9 bzw. eine damit gekoppelte Ventileinrichtung 10 einen Kühlmittelstrom durch die Kühleinrichtung 4 unterbinden und diesen durch die Bypassleitung 7 leiten (vgl. Fig. 3). Wird dagegen die Kühlwirkung der Kühleinrichtung 4 benötigt, was bspw. durch eine entsprechend erhöhte Kühlmitteltemperatur am Thermostat 9 ermittelt werden kann, so kann die mit dem Thermostat 9 gekoppelte Ventileinrichtung 10 so umgeschaltet werden, dass der Kühlmittelstrom nicht mehr durch die Bypassleitung 7, sondern vielmehr durch die Kühleinrichtung 4 strömt (vgl. Fig. 2). Die mit dem Thermostat 9 gekoppelte Ventileinrichtung 10 kann dabei in gleicher Weise ausgeführt sein, wie die Ventileinrichtung 6.

[0017] Generell können mit den beiden Ventileinrichtungen 6 und 10 zumindest drei unterschiedliche Kühlstufen, nämlich keine Kühlung (Fig. 1), geringe Kühlung (Fig. 3) und höhere Kühlung (Fig. 2) eingestellt werden. Durch die Ausbildung der Ventileinrichtungen 6 bzw. 10 als Proportionalventile können darüber hinaus beliebige Zwischenkühlstufen eingestellt werden. Durch die jeweilige Verbindung der Kurzschlussleitung 5 von der Druckseite zur Saugseite der Pumpe 3 ist darüber hinaus eine geringe Betätigungskraft zumindest der Ventileinrichtung 6 möglich. Ein Eingriff in den Hauptkühlmittelstrom des Verbrennungsmotors 2 ist ebenfalls nicht erforderlich. Zusätzlich besteht hier auch die Möglichkeit der Druckbegrenzung des Kühlmittelkreislaufs innerhalb der Ventileinrichtung 6.

[0018] Das erfindungsgemäße Kühlsystem 1 bietet prinzipiell folgende Vorteile:

- Unterbindung einer Kavitationsgefahr in der Pumpe 3 beim Eingriff in den Kühlmittelstrom,
- geringe Schaltkraft zumindest der Ventileinrichtung 6,
- schnelles Ansprechen,
- integrierte parallel liegende Überdruckfunktion,
- "Fail Save"-Funktion
- Einbindung in einen Kühlkreislauf an beliebiger Stelle,
- geringer Energiebedarf,
- schnelle Motorerwärmung durch ein entsprechendes Schalten der Ventileinrichtung 6 in deren zweite Stellung.

[0019] Gemäß der Fig. 6 ist ein möglicher Prototyp der Ventileinrichtung 6 dargestellt mit einem Solenoid 11, der durch Erzeugen eines räumlich möglichst konstanten Magnetfeldes einen Ventilstößel 12 bewegt. Die darge-

stellte Ventileinrichtung weist zwei Einlässe 13,13' und einen Auslass 14 auf, wodurch ein beliebiges Mischen der Eingangsströme zu einem gemeinsamen Ausgangsstrom möglich ist.

[0020] Gemäß der Fig. 7 weist dabei die Ventileinrichtung 6 zwei an dem Ventilstößel 12 angeordnete Ventilteller 15, 15' auf, wobei der Ventilteller 15 vorzugsweise einteilig mit dem Ventilstößel 12 ausgebildet ist. Der Ventilteller 15' ist in dem gezeigten Beispiel als separates Bauteil hergestellt und mittels eines Sicherungselementes 16 am Ventilstößel 12 in Axialrichtung 17 gesichert.

[0021] Zwischen dem Ventilteller 15' und einem Ventilsitzring 18 ist eine Feder 19 vorgesehen, die den Ventilteller 15 gegen den Ventilsitzring 18 und damit in seine Schließstellung vorspannt. Eine derartige Ausbildung der Ventileinrichtung 6 ist insbesondere für Durchflussraten von < 120 l/min geeignet, wobei aufgrund der guten Dichtwirkung nur sehr geringe Leckageströme zu befürchten sind.

[0022] Gemäß den Fig. 8 und 9 ist eine weitere mögliche Ausführungsform des Innenlebens der Ventileinrichtung 6 gezeigt. Dabei sind ein kombinierter Ventilteller 15" und zwei Federn 19' und 19" vorgesehen. Die Feder 19' ist dabei als Sicherheitsfeder ausgebildet, während mit der Feder 19" eine Überdruckfunktion gewährleistet werden kann. Der kombinierte Ventilteller 15" weist zwei Ventilscheiben 20 und 20' auf, die je nach Schaltstellung an zugehörigen Ventilsitzen 21 und 21' dicht anliegen. Die Fig. 10a und 10b zeigen dabei die beiden Extremumschaltstellungen der Ventileinrichtung 6, wobei in Fig. 10a die Bypassleitung 7 geschlossen und in Fig. 10b die Bypassleitung 7 geöffnet ist, wie beispielsweise bei einem Kaltstart. Die einzelnen Teile der Ventileinrichtung 6, insbesondere der Ventilteller 15, 15" können dabei aus Metall oder aus Kunststoff ausgebildet sein.

Patentansprüche

1. Kühlsystem (1) in einem Kraftfahrzeug mit einem Kühlkreislauf, in welchem zumindest ein Verbrennungsmotor (2), eine Pumpe (3) und eine Kühleinrichtung (4) angeordnet sind, wobei

- eine die Pumpe (3) umgehende Kurzschlussleitung (5) vorgesehen ist, die eine Druckseite mit einer Saugseite der Pumpe (3) verbindet,
- im Bereich der Kurzschlussleitung (5) eine Ventileinrichtung (6) vorgesehen ist, die zumindest zwischen zwei Stellungen verstellbar ist,
- in der ersten Stellung zumindest ein Großteil des Kühlmittelstroms durch die Kurzschlussleitung (5) und in der zweiten Stellung der gesamte Kühlmittelstrom durch den Verbrennungsmotor (2) und nicht durch die Kurzschlussleitung (5) strömt.

2. K hlssystem nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
dass eine die Kühleinrichtung (4) umgehende By-
passleitung (7) vorgesehen ist. 5
3. K hlssystem nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Kurzschlussleitung (5) stromab der Pumpe
(3) aus dem Kühlkreislauf abzweigt und in diesen
stromauf der Pumpe (3) oder in die Bypassleitung 10
(7) mündet.
4. K hlssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ventileinrichtung (6) als Drosseleinrichtung 15
ausgebildet ist.
5. K hlssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ventileinrichtung (6) pneumatisch, elek- 20
trisch oder hydraulisch ansteuerbar ist.
6. K hlssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass im Mündungsbereich der Bypassleitung (7) in 25
den Kühlkreislauf ein Thermostat (9) mit einer Ven-
tileinrichtung (10), insbesondere ein Thermostat-
ventil, angeordnet ist.
7. K hlssystem nach einem der Ansprüche 1 oder 6, 30
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ventileinrichtung (6,10) als Tellerventil
oder als Ringschieberventil ausgebildet ist.
8. K hlssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, 35
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ventileinrichtung (6) in unbetätigtem Zu-
stand in ihrer zweiten Stellung verbleibt.
9. K hlssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, 40
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ventileinrichtung (6,10) als Proportional-
ventil ausgebildet ist.
10. K hlssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, 45
dadurch gekennzeichnet,
dass die Ventileinrichtung (6) stromauf oder strom-
ab der Pumpe (3) angeordnet ist.

50

55

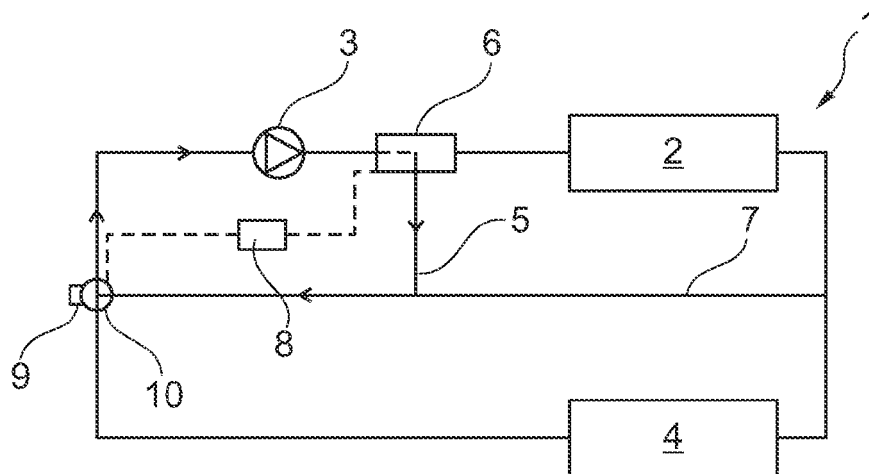


Fig. 1

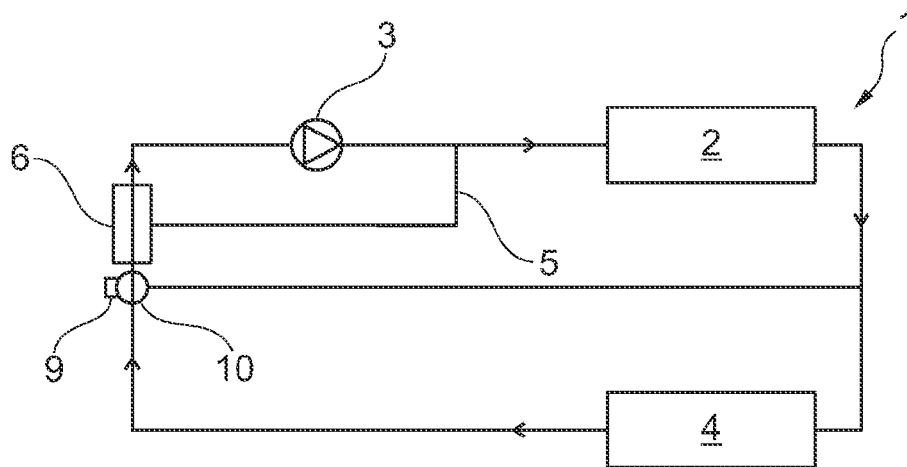


Fig. 2

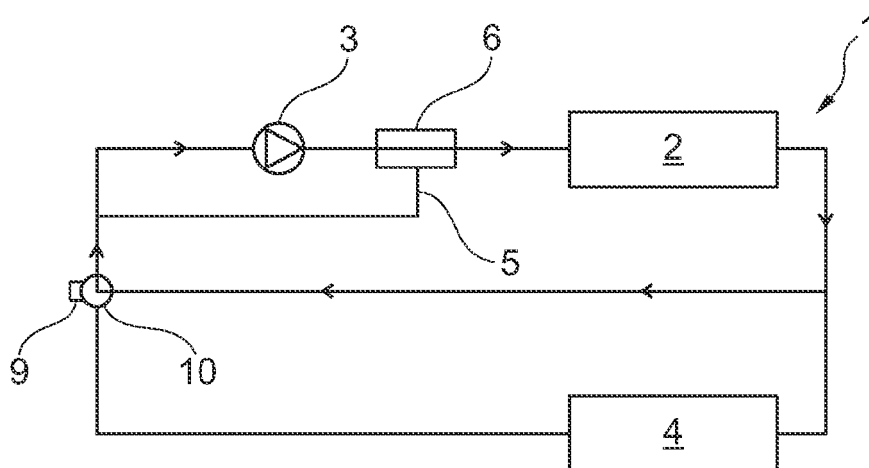


Fig. 3

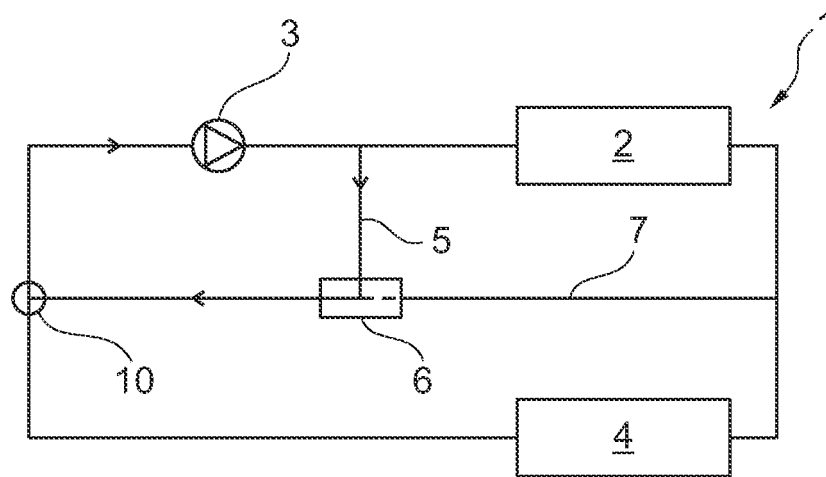


Fig. 4

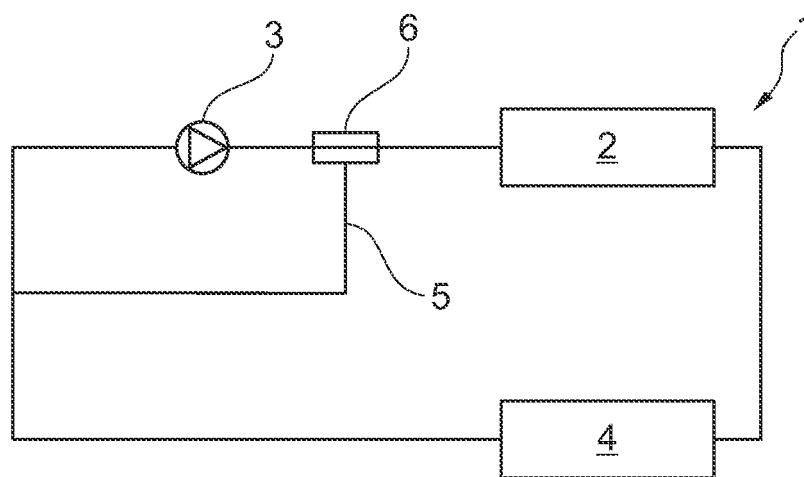


Fig. 5

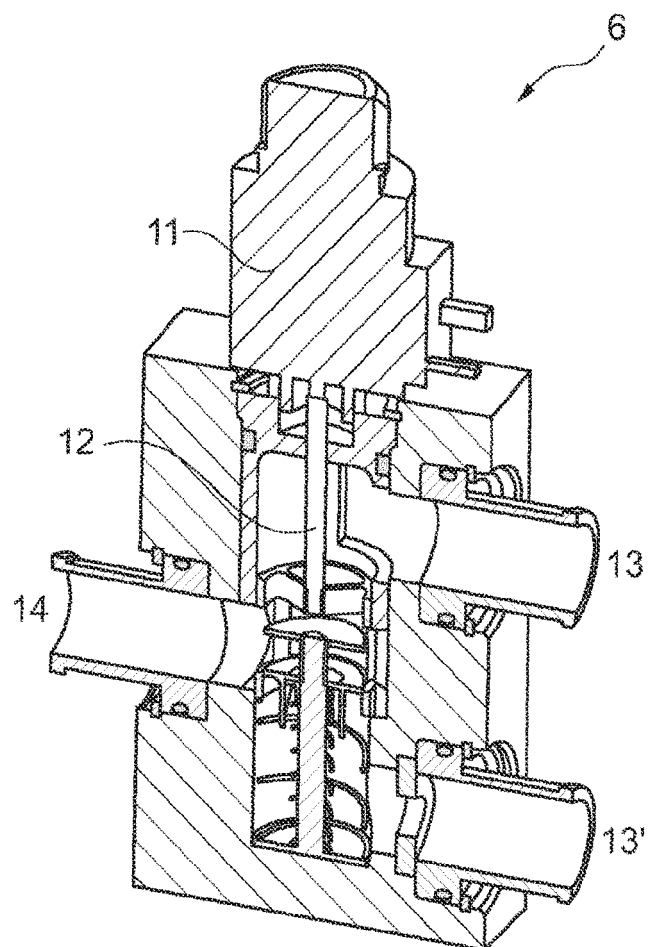


Fig. 6

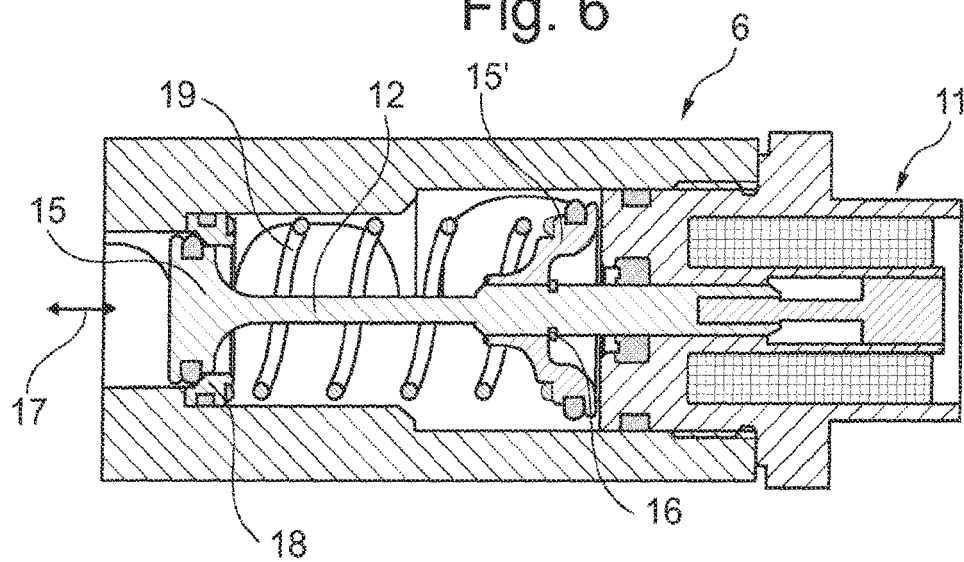


Fig. 7

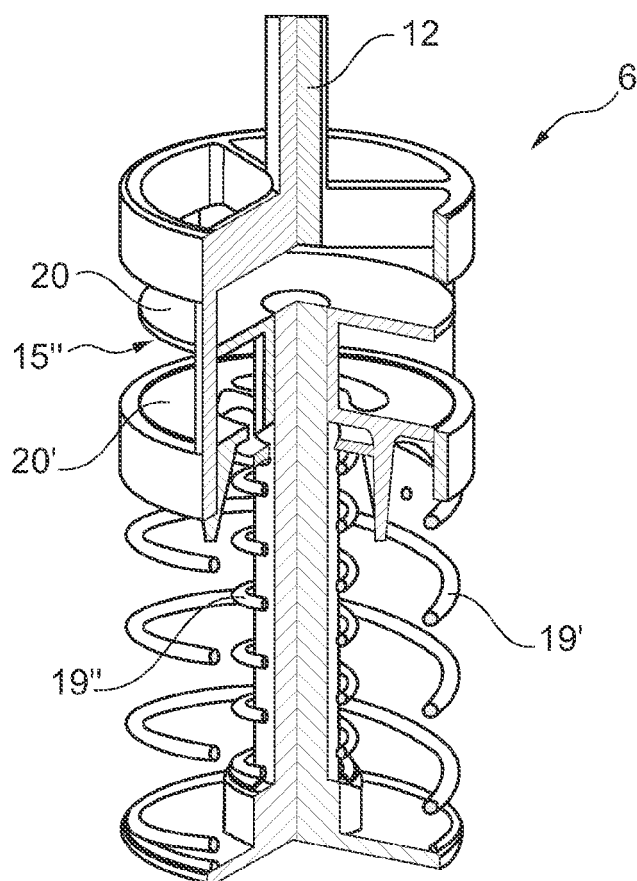


Fig. 8

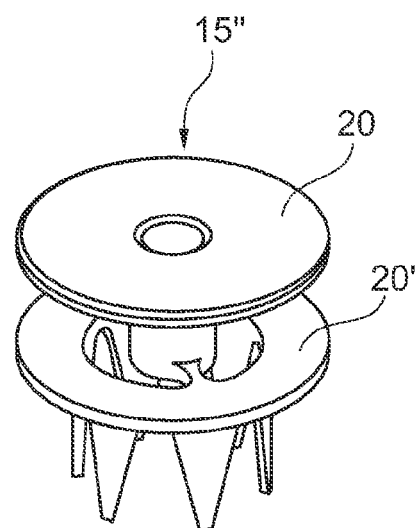


Fig. 9

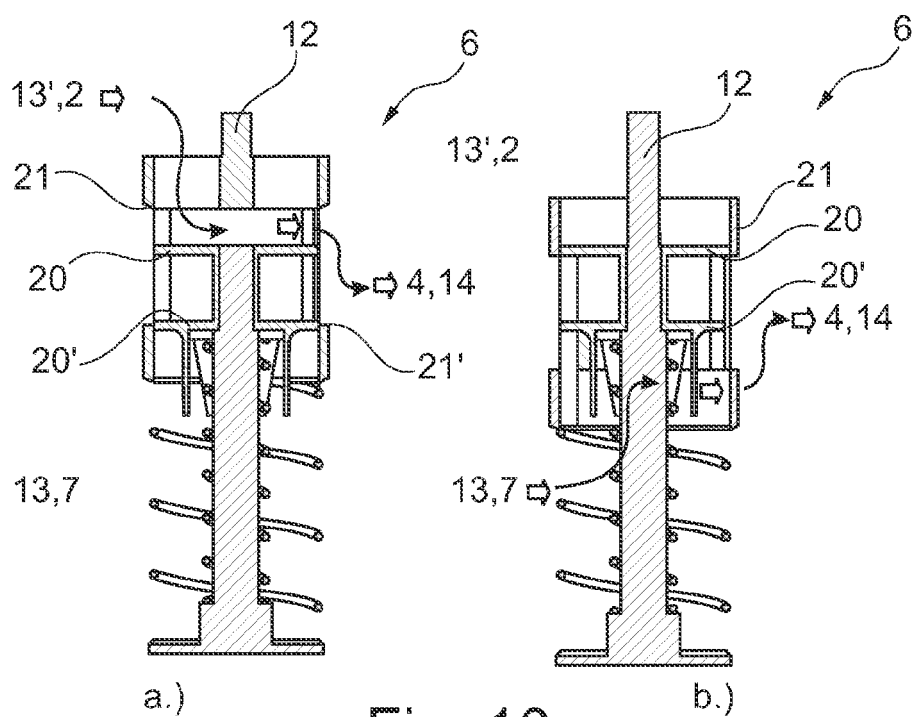


Fig. 10