(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 454 051 B1

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
29.12.2004 Patentblatt 2004/53

(21) Anmeldenummer: **03752650.6**

(22) Anmeldetag: **20.08.2003**

(51) Int Cl.[7]: **F02G 1/04**

(86) Internationale Anmeldenummer:
PCT/DE2003/002810

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:
WO 2004/022962 (18.03.2004 Gazette 2004/12)

(54) **THERMO-HYDRODYNAMISCHER-KRAFTVERSTÄRKER**

THERMOHYDRODYNAMIC POWER AMPLIFIER

AMPLIFICATEUR THERMOHYDRODYNAMIQUE DE PUISSANCE

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR

(30) Priorität: **02.09.2002 DE 10240924**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
08.09.2004 Patentblatt 2004/37

(73) Patentinhaber:
- **Kleinwächter, Jürgen**
  79400 Kandern (DE)
- **Colsman-Freyberger, Claus**
  Hasting-on-Hudson, NY 10706 (US)
- **Weber, Eckhart**
  90403 Nürnberg (DE)

(72) Erfinder:
- **KLEINWÄCHTER, Jürgen**
  79400 Kandern (DE)
- **WEBER, Eckhart**
  90403 Nürnberg (DE)
- **PACCOUD, Olivier**
  F-68380 Breitenbach (FR)

(74) Vertreter: **Castell, Klaus, Dr.-Ing.**
Patentanwaltskanzlei
Liermann - Castell
Gutenbergstrasse 12
52349 Düren (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
EP-A- 0 043 879
DE-A- 19 959 687
GB-A- 769 368
US-A- 2 963 853

- **PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 010, no. 253 (M-512), 29. August 1986 (1986-08-29) & JP 61 079842 A (AISIN SEIKI CO LTD), 23. April 1986 (1986-04-23)**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 1 454 051 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen thermo-hydrodynamischen Kraftverstärker.

[0002] Flüssigkeiten sind im Vergleich zu Gasen praktisch inkompressibel, haben eine geringere, wärmebedingte Volumenzunalune, wesentlich höhere spezifische Wärmekapazitäten und bieten die Möglichkeit, Wärme besser zu tauschen. Der Versuch alternativ zum Arbeitsgas Flüssigkeiten in Wärmekraftmaschinen einzusetzen, wurde Mitte der 20-ziger Jahre des vorigen Jahrhunderts von J. F. Malone aus News-castle-on-Tyne (England) unternommen.

[0003] Er entwickelte eine der Heißgas-Stirling Maschine ähnliche regenerative Maschine, die aber statt mit Luft mit Druckwasser als Arbeitsmedium gefüllt ist, (U.S. Patent 1,487,664 vom 18. März 1924 und U.S. Patent 1,7717,161 vom 11. Juni 1929).

[0004] Er konnte nachweisen, dass er bei einer Temperaturdifferenz von 305K einen Wirkungsgrad von 27% erreichte, was einem beachtlichen Realisierungsgrad von 54% des idealen Carnot Zykluses gleichkommt und im Vergleich zu den damals üblichen Dampfmaschinen etwa doppelt so hoch war.

[0005] Der Grund für diesen guten Wirkungsgrad lag in der Tatsache begründet, dass die Maschine wie die Stirlingmaschine einen Wärmeregenerator besaß und zudem die gegenüber Gasen wesentlich besseren Wärmeübertragungseigenschaften der Flüssigkeiten nutzte. In Fig. 1 ist die Malone Maschine schematisch dargestellt. Dabei ist (1) der Arbeitszylinder, (2) der Verdrängerzylinder, (3) der Erhitzer der durch die äußere (Flammen)wärme (3a) ständig erhitzt wird, (4) der Kühler, (5) der Verdrängerkolben, der den Regenerator (2a) um 90° gegenüber dem Arbeitskolben (6) phasenverschoben von heiß nach kalt schiebt. Der mit dem Schwungrad (7) über die Pleuelstange (7a) verbundene Arbeitskolben (6) überträgt über den Hilfspleuel (8a) und den Exzenter (8) die phasenverschobene oszillierende Bewegung auf die Regeneratorstrecke (2a).

[0006] In Fig. 2 ist im PV-Diagramm sowohl ein idealer Stirling Zyklus (10), als auch der von der Malone Maschine realisierte Zyklus (9) dargestellt.

[0007] Da Wasser nur unter sehr hohen Drücken von >100 bar im verlangten Arbeitstemperaturbereich flüssig bleibt, musste Malone sehr druckfeste Zylinder einsetzen. Da er außerdem auf Kurbelwellen und Arbeitskolben zur Umwandlung der thermisch in der Flüssigkeit erzeugten Druckschwankungen in rotierende Wellenenergie zurückgriff, unterwarf er die Flüssigkeit, wie bei klassischen Arbeitsmaschinen üblich, einem Arbeitszyklus, bei dem prinzipiell während der (heißen) Expansionsphase über den Arbeitskolben und das Kurbelwellen-Schwungrad System nützliche Arbeit abgegeben wird, während bei der (kalten) Rückkompressionsphase Arbeit in das System gebracht werden muss, die aus einem Teil der Expansionsarbeit, die im Schwungrad gespeichert wurde, stammt.

[0008] Da Flüssigkeiten im Vergleich zu Gasen oder Flüssig-Dampfgemischen nahezu inkompressibel sind, ist es unvermeidlich, dass durch die starre Zwangskoppelung die Arbeitskolben, Verdränger, Kurbelwelle und Schwungrad dem Fluid aufprägen, insbesondere während der Rückkompressionsphase extrem hohe Drücke erzeugt werden. Dies führt zu sehr hohen Druckwechselbelastungen und erforden sehr schwere Schwungmassen, die ihrerseits starke dynamische Lasten auf die Lager und die Gesamtstruktur übertragen.

[0009] Damir wurden die grundsätzlichen Vorteile der Malone Maschine (gegenüber Gasen wesentlich bessere Wärmeübertragungseigenschaften, hohe Wärmekapazität und damit Leistungsdichte) durch die aus dieser Bauweise resultierenden Lebensdauer limitierenden Druckschwankungen konterkariert. Dies ist auch der Grund dafür, warum diese Maschine trotz überlegener Thermodynamik keinen Eingang in den taglichen Gebrauch fand.

[0010] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, die bereits von Malone erkannten grundsätzlichen Vorteile von Flüssigkeiten als thermodynamische Arbeitsmedien in einer technisch neuartigen Bauweise so zu nutzen, dass die beschriebenen negativen Aspekte nicht mehr auftauchen.

[0011] Die US 2,963,853 offenbart zur Lösung einer ähnlichen Aufgabenstellung einen Thermohydrodynamischen Kraftverstärker, bei welchem in einer Maschine eine Kolben-Zylinder-Anordnung und eine massive Kurbelwelle angeordnet sind. Der Kolben durchfährt im Zylinder eine Verdichtungskammer, eine Ausdehnungskammer und eine Arbeitskammer. Beim Hin- und Herfahren des Kolbens innerhalb eines Zyklus' schaltet eine vom Kolben separate, gemeinsam mit diesem an der Kurbelwelle befestigte Steuerpleuelstange über diverse Leitungen eine Ventilsteuerung, sodass bei den Verschiebungen des Kolbens ein Fluid durch jeweils hierfür vorgesehene und über die Ventile angesteuerte Leitungen durch einen Erhitzer, einen Kühler und einen Regenerator geführt wird.

[0012] Gegenüber der US 2,963,853 liegt der Erfindung die besondere Aufgabe zugrunde, einen Kraftverstärker mit verbessertem Wirkungsgrad bei gleichzeitig gesteigerter Betriebssicherheit zur Verfügung zu stellen.

[0013] Diese Aufgabe löst ein thermo-hydrodynamischer Kraftverstärker, bei welchem eine Flüssigkeit im Inneren eines starren Zylinders mittels eines angetriebenen Hilfskolbens durch Leitungen einer Erhitzer-Regenerator-Kühler-Anordnung oder einer Erhitzer-Rekuperator-Kühler-Anordnung zwischen einem Heißbereich und einem Kaltbereich verschoben wird, sodass sich die Flüssigkeit periodisch zusammenzieht und ausdehnt und dabei eine Abtriebsarbeit abgibt, die pro Zyklus größer als eine Antriebsarbeit am Hilfskolben ist, wobei sich der Kraftverstärker dadurch kennzeichnet, dass die Flüssigkeit in der Anordnung periodisch in abwechselnder Fließrichtung verschoben wird und die Ab-

triebsarbeit an einer separaten Maschine leistet.

[0014] Die im folgendem beschriebene erfindungsgemäße Maschine wirkt als Thermo-Hydrodynamischer Kraftverstarker (THK).

[0015] Der THK durchläuft im PV-Diagramm (Fig. 3) einen grundsätzlich anderen Zyklus als klassische Wärmekraftmaschinen. Dabei wird die Flüssigkeit von a nach b isochor erwärmt. Der Anfangsdruck P_o entspricht dabei dem Umgebungsdruck (oder einem geringfügig hoheren Druck). Sobald in der Flüssigkeit der gewunschte Druck P1 erreicht ist, öffnet ein Absperrelement (17) und die Flüssigkeit expandiert, in dem sie Arbeit an einem nachgeschalteten System (Hydraulikmotor, Kompressorkolben usw.) leistet. Diese Entspannung geschieht bis bei nun größerem Volumen und höherer Temperatur gegenüber dem Anfangszustand a bei c wiederum der Anfangsdruck P_o erreicht wird. Im Gegensatz zu klassischen Maschinen, bei denen das Fluid in den Anfangszustand a durch mechanische Rückkompression zurückgebracht wird, wird beim THK die Kontraktion der Flüssigkeit durch Wärmeentzug herbeigeführt. Dies hat erfindungsgemaß den großen Vorteil, dass, da sämtliche Nutzenergie während der Expansionsphase von b nach c entzogen wird, keine mechanische Energie in irgendeiner Weise (Schwungrad, Windkessel bsw) zwischengespeichert werden muss. Ferner liegt in diesem Prinzip, wie im weiteren ausgeführt wird, die erfindungsgemäße Möglichkeit auf einen Kurbelwellenmechanismus, mit dem von diesem ausgeübten Zwangskräften auf das Fluid, vollständig zu verzichten.

[0016] Wird zudem während der Arbeitsphasen a → b und c → a ein Regenerator oder Rekuperator in den Wärmetauschprozeß einbezogen und die Expansion des Fluids isotherm geführt, ist der durch die Eckpunkte a, b, c festgelegte Arbeitsprozeß mit Ausnahme von irreversiblen Verlusten im Fluid und Wärmeverlusten thermodynamisch ideal.

[0017] In Fig. 4 ist die Grundfiguration eines THK in Kombination mit einem Hydraulikmotors schematisch dargestellt.

[0018] Dabei ist (11) der Verdrängerkolben der von einem Linearantrieb (12) im Inneren der Druckzylinders (13) auf und ab bewegt wird. Er verdrängt das Arbeitsfluid periodisch über eine Erhitzer (14), Regenerator (15) und Kühler (16) - Strecke - hin und zurück. Als schaltbares Absperrelement (17) dient ein hydraulisches Ventil. Dieses ist zu Beginn des Zykluses (Fig. 3, Strecke a → b) geschlossen, wenn sich der Verdrängerkolben nach unten bewegt und somit die Flüssigkeit auf die heiße Seite des Systems befördert. Bein Erreichen des gewünschten Druckes P_1 im Punkte b des PV-Diagrammes öffnet das Ventil und die Flüssigkeit expandiert bei hohem Druck unter Arbeitsabgabe durch den Hydraulikmotor (18) mit angekoppeltem Schwungrad (19). Das entspannte Fluid sammelt sich anschließend in dem Sammelgefäß (20). Eine Zirkulationsleitung mit dem Rückschlagventil (21) sorgt für einen ständigen Umlauf des Fluids vom Sammelgefäß durch den Hydraulikmotor, solange sich dieser dreht. Wenn die arbeitsliefernde Entspannung des Fluids (Punkt c im PV-Diagramm, Fig. 3) beendet ist, wird das Ventil (17) geschlossen, der Verdränger (11) bewegt sich nach oben und verdrängt das Fluid auf die kalte Seite des Systems (Strecke c → a in Fig. 3). Das sich abkühlende Fluid kontrahiert zum Anfangspunkt a des Zyklusses (Fig. 3) und saugt dabei über die Leitung (22) und das Rückschlagsventil (23) Fluid aus dem Sammelgefäß (20) nach.

[0019] Da der Regenerator (15) in abwechselnder Richtung vom heißen und kaltem Fluid durchströmt wird, speichert er temporär fast ohne Entropieverlust (weil Wärme und Kälte längs eines linear ansteigenden Temperaturprofiles rückgewonnen werden) Wärme und gibt diese zum richtigen Zeitpunkt wieder an das Fluid ab.

[0020] Bei geeigneter Wahl der Oszillationsfrequenz des Verdrängers (11) und der richtigen Dimensionierung der Strömungsquerschnitte durch die Erhitzer, Regenerator, Kühlerstrecke wird erreicht, dass der Betrag der von der expandierenden Flüssigkeit abgegebenen Arbeit um ein vielfaches höher ist, als die von Verdrängerkolben geleistete Arbeit. Aus diesem Grunde und wegen ihrer Wirkungsweise nennen wir die erfindungsgemäße Maschine Thermo-Hydrodynamischer Kraftverstärker (THK).

[0021] Zum besseren Verständnis in den Figuren 4a, 4b, 4c nochmals die drei Arbeitstakte schematisch dargestellt und dem jeweiligen Abschnitt im PV-Diagramm zugerechnet. Dabei stellt → den Fluidfluß unter Druck dar, - - - → Druckfluid ohne Bewegung, ····· → Fluidbewegung mit geringem Druck dar.

[0022] In Fig. 4a wird das Fluid isochor komprimiert. Der Verdrängerkolben (11) angetrieben vom Linearantrieb (12) befindet sich auf seinem Weg nach unten. Das Hydraulikventil (17) ist geschlossen. Im PV-Diagramm wird die Strecke a → b durchfahren. Das Fluidniveau im Ausdehnungsgefäß (20) befindet sich auf seinem niedrigsten Stand.

[0023] In Fig. 4a wird das Fluid isochor komprimiert. Der Verdrängerkolben (11) angetrieben vom Linearantrieb (12) befindet sich auf seinem Weg nach unten. Das Hydraulikventil (17) ist geschlossen. Im PV-Diagramm wird die Strecke a → b durchfahren. Das Fluidniveau im Ausdehnungsgefäß (20 befindet sich auf seinem niedrigsten Stand.

[0024] In Fig. 4b hat der Verdrängerkolben (11) den unteren Totpunkt erreicht. Der Linearantrieb (12) steht. Das Hydraulikventil (17) hat geöffnet. Im PV-Diagramm wird die Strecke b → c durchfahren. Der Hydraulikmotor (18) wird von der sich entspannenden Flüssigkeit angetrieben. Das Fluidniveau im Ausdehnungsgefäß (20) steigt.

[0025] In Fig. 4c bewegt sich der Verdrängerkolben (11) durch den Linearantrieb (12) nach oben. Das Hydraulikventil (17) ist geschlossen. Das drucklose heiße

Fluid wird über den Regenerator (15) und Kühler (16) auf die Anfangstemperatur rückgekühlt und erfährt dadurch eine Kontraktion. Der dadurch entstehende Unterdruck saugt Fluid über die Leitung (22) aus dem Ausdehnungsgefäß (20). Dessen Niveau sinkt bis zum tiefsten Wert. Im PV-Diagranun wird die Strecke c → a durchfahren. Damit ist wieder der Anfangszustand a des Zykluses erreicht.

[0026] Das bisher geschilderte Grundfunktionsprinzip einer Dreitakt-THK Maschine kann auf verschiedene Weise variiert werden. Eine erfindungsgemäße Möglichkeit besteht darin, statt des Hydraulikventils (17) den Druckaufbau durch den Hydraulikmotor (18) selbst zu nutzen. Dieser Kommt dadurch zustande, dass das Schluckvolumen des Hydraulikmotors (18) so gewählt wird, dass es deutlich kleiner ist als der Volumenstrom des Fluids der durch die Erwärmung des Fluids auf der Strecke a → b im PV-Diagramm entsteht. In Fig. 5 ist ein aus einem solchen THK-Prozess resultierendes PV-Diagramm dargestellt. Dabei wird erfindungsgemäß der Prozeß wiederum begonnen, wenn sich das Fluid im Druckzustand P_o befindet. Das durch Verschieben des Fluids von kalt nach heiß sich ausdehnende Medium durchströmt den Hydraulikmotor (17) unter ansteigendem Druck bis bei P'_1 bei b der Verdrängerkolben (11) seinen unteren Totpunkt erreicht hat. Anschließend entspannt sich das Fluid bei festgehaltenem Verdrängerkolben zum Punkt c bei P_o, und wird dann anschließend durch regenerative Kühlung von c → a kontrahiert. Das Hydraulikventil (17) ist während des Zyklusteils a → b → c geschlossen und von c → b geöffnet.

[0027] Eine solche Variante des THK-Zyklusses erreicht zwar pro Zyklus kleinere Leistungen ist aber durch einen besonders geschmeidigen, kontinuierlichen Lauf gekennzeichnet, und benötigt wegen des geringeren Maximaldruckes eine geringere Druckfestigkeit.

[0028] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltungsmöglichkeit besteht in der Kombination der Absperreigenschaften des Hydraulikventils (17) und des Hydraulikmotors. In Fig. 6 ist das Indikatordiagramm einer solchen THK Variante dargestellt. Ausgehend vom Anfangsdruck P_o wird das Fluid isochor (Ventil 17 ist geschlossen) auf den Zwischendruck P_1 komprimiert. Von b nach b' entspannt das Fluid über den Hydraulikmotor (18) isobar (Ventil 18 ist geöffnet). Nachdem der Verdrängerkolben (11) seinen unteren Totpunkt erreicht hat, entspannt das Fluid von b' nach c (Ventil 18 ist geöffnet). Dann wird das Fluid bei geschlossenem Ventil 18 wiederum durch reversiblen Wärmeentzug von c auf den Anfangszustand a kontrahiert. Eine solche Variante des THK erreicht gute Zyklenleistungen und schont die Druckzylinder wegen des - im Verhältnis zur Grundvariante - geringeren Maximaldruckes.

[0029] Eine weitere, erfindungsgemäß vorteilhafte Ausgestaltung des THK besteht in der Möglichkeit, den Erhitzer (14) und den Kühler (16) immer nur während der Arbeitszyklusabschnitte in den Fluidkreislauf einzubinden, während dem ihre jeweilige Funktion benötigt wird. Dies minimiert einerseits die negativen Auswirkungen von Fluid-Totvolumen und ermöglicht anderseits, die Druckströmungsquerschnitte durch den Erhitzer und den Kühler ohne negative Auswirkungen auf den Zyklus im Hinblick auf einen geringen dynamischen Durchströmungswiderstand und optimale Wärmeübertragungseigenschaften zu gestalten. In Fig. 7 sind die entsprechenden, notwendigen By-passleitungen mit Absperrventilen und deren zeitlicher Einsatz an Hand des PV-Diagrammes schematisch dargestellt.

[0030] Während das Fluid von a → b durch den Verdrängerkolben verschoben wird, das Fluid also erwärmt wird, ist es unerwünscht, über den Kühler (16) Wärme zu entziehen. Durch Schließen der Ventile 24a, 24b wird das Fluid in einem By-pass (24c) um den Kühler herumgelenkt und durchströmt anschließend den Regenerator (15) und Erhitzer (14). Bei der anschließenden Entspannung des Fluids von b → c ist wiederum die Kühlung unerwünscht (24a, 24b weiterhin geschlossen, Fluid strömt durch 24c).

[0031] Die Nachheizung durch den Erhitzer (14) ist wegen der angestrebten isothermen Entspannung von b → c erwünscht. Die Tatsache, dass von a → b → c das Fluid durch den By-pass 24c fließt, ist im PV-Diagramm gekennzeichnet. Wenn das Fluid anschließend von c → a reversibel abgekühlt wird und dadurch kontrahiert, ist nur die Wirkung des Kühlers (16), nicht jedoch die des Erhitzers (14) erwünscht. Deswegen wird nun der Erhitzer über die zwei Ventile 25a, 25b abgesperrt und das Fluid über den By-pass 25c direkt durch den Regenerator (15) und Kühler (16) geleitet (Ventile 24a, 24b wieder geöffnet). Damit das Fluid bei geöffneten Absperrventilen 24a, 24b bzw. 25a, 25b jeweils durch (16) und (14) strömt, sind die By-passleitungen 24c und 25c mit den Rückschlagventilen 24d und 25d versehen.

[0032] Bisher wurden THK Maschinen mit Rotationsauskoppelung durch den Hydraulikmotor geschildert. Da die Zyklusenergie im Verlaufe der Entspannung des Arbeitsfluids stetig abnimmt, ist es nötig, dieses unstete Leistungsangebot zu "konformieren". Bei rotierenden Maschinen geschieht dies am besten durch ein entsprechendes Schwungrad (19).

[0033] Die Tatsache, dass einerseits Energie nach Außen nur während der Expansionsphase abgegeben wird und anderseits aus Wirkungsgradgründen die Arbeitsfrequenz der THK-Maschine möglichst niedrig sein sollte, führt dazu, dass das Schwungrad neben der beschriebenen Konformierung des unsteten Energieangebotes während der Expansion auch noch relativ lange Zeiträume, während der die Maschine keine Energie abgibt, überbrücken muss. Dies führt naturgemäß zu großen Schwungrädern.

[0034] Deswegen besteht eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung der THK-Maschine darin, diese als Mehrzylindermaschine auszuführen (Anzahl n der Zylinder ≥ 2) und die zeitliche Ansteuerung der Linearantriebe (12) der verschiedenen Zylinder so vorzuneh-

men, dass die daraus resultierende Zyklenüberlappung zu einem geglätteten Antriebsdrelunoment führt. Dies führt zu wesentlich kleineren Schwungrädern.

[0035] Erfindungsgemäß soll aber auch die rein translatorische Bewegung der sich ausdehnenden und wieder kontrahierenden Flüssigkeitssäule zum Antrieb von Subsystemen wie typischerweise: Luftkompressoren, Wärmepumpen-Kältemaschinen, -Kompressoren, Reverse-Osmosis Anlagen und ähnlichen genutzt werden.

[0036] In Fig. 8 ist eine solche erfindungsgemäße THK Maschine mit linerarer Kraftauskoppelung und Linearkonformator dargestellt. Da die Subsysteme in diesem Falle einen festen Arbeitskolben (statt dem bisher beschriebenen "flüssigen" Arbeitskolben) nötig machen, ist die vorteilhafte Ausgestaltung dieser Variante des erfindungsgemäßen Gegenstandes durch die Integration des Arbeitskolbens (26) in den Druckzylinder (13) und dem sich darin auf- und abbewegendem Verdrängerkolben (11), gegeben. Das Luftpolster (27) unterhalb des Arbeitskolbens macht bei dieser Bauart das Ausdehnungsgefäß (Fig. 3, 26) unnötig. Der sich auch in diesem Falle periodisch während der Expansionsphase unter Kraftentfaltung nach unten bewegende Arbeitskolben wird so lange vom schaltbaren Absperrelement (29), das in diesem Falle vorteilhaft als um die Kolbenstange greifende Backenbremse ausgebildet ist, festgehalten, bis der gewünschte Höchstdruck (im PV-Indikationdiagramm Punkt b) erreicht ist. Die Kraft wird dann über den geometrisch als Parallelogramm ausgebildeten Kraftkonformator (30) ausgekoppelt. Das Parallelogramm ist in seinen vier Ecken mit Drehgelenken versehen, die dazu führen, dass sich seine Form durch die aufgeprägte Bewegung ständig verändert (durch 30, 31 angedeutet). Koppelt man nun in einem Eckpunkt dessen Verlaufsachse senkrecht zur durch den Arbeitskolben vorgegebenen Achse steht, die Kolbenstange des erwünschten, mit linearer Kraft zu betreibenden Subsystemes ein, so wird die Kraftwirkung des Arbeitskolbens des THK, die wegen der isothermen Entspannung von b $\rightarrow$ c assymptotisch verläuft, konformiert, d.h., über den ganzen Arbeitshub vergleichmäßigt. Da der THK nur während des Expansion mechanische Arbeit an die Außenwelt abgibt, ist der Arbeitskolben des Subsystemes über die Kolbenstange (33) nur während der Expansion kraftschlüssig verbunden, d.h., er wird vom Konformator nur "geschoben" und sitzt auf der Trennstelle (33a) lose auf ihm auf (Druck-lose Koppelung).

[0037] Erfindungsgemäß kann dieser Bautyp des THK auch mit den in Fig. 5 und Fig. 6 dargestellten und im Text geschilderten Zpklusvarianten betrieben werden, sowie mit den in Fig. 7 dargestellten "By-pass" Anordnungen optimiert werden.

[0038] Da der THK eine reversible thermodynamische Maschine darstellt, besteht eine besonders vorteilhafte, erfindungsgemäße Variante in seiner Ausgestaltung als Kältemaschine-Wärmepumpe.

[0039] In den Figuren 9a, 9b, 9c ist eine solche THK-Maschine jeweils mit den korrespondierenden Arbeitsschritten während der drei Arbeitsphasen der antreibenden THK-Maschine und der angetriebenen THK-Kältemaschine-Wärmepumpe, dargestellt.

[0040] Dabei hat die antreibende THK-Maschine grundsätzlich denselben Ausbau wie er in Fig. 8 dargestellt und im vorhergehenden Text beschrieben wird. Durch den Konformatormechanismus (30) wird durch die ebenfalls beschriebene Druck-lose Koppelung (33a) periodisch und zur Antriebsmaschine phasenverschoben der Arbeitskolben (26a) der angetriebenen Kältemaschine, -Wärmepumpe in den Zylinder (13a) hineingeschoben. Die Kältemaschine besitzt erfindungsgemäß grundsätzlich dieselben Elemente wie die Arbeitsmaschine, die daher mit derselben Nr. und dem Index a gekennzeichnet sind (14a=Erhitzer, 15a=Regenerator, 16a=Kühler, 11a=Verdränger, 12a=Verdrängerkolberlinearantrieb, 29a=schaltbares Absperrelement). In Fig. 9a sind im rechten oberen PV-Diagramm die phasenverschobenen Arbeitszyklen der THK-Arbeitsmaschine (— Linie) und der THK-Kältemaschine (- - - - Linie) dargestellt. Links daneben von Fig. 9a bis Fig. 9c sind nur die jeweils korrespondierenden Arbeitstakte der Arbeits- und der Kältemaschine für die drei wesentlichen Arbeitstakte dargestellt. Die sich darunter befindlichen Zeichnungen geben jeweils Auskunft über Lage, Bewegungsrichtung oder Stillstand von Arbeitskolben und Verdrängerkolben beider Maschinen (26, 26a, 11,11a) und des Zustandes der schaltbaren Absperrelemente (29,29a). Bei letzteren bedeutet $\cong$ 0 = geschlossen, $\cong$ 1 = geöffnet.

[0041] Ferner kann an der Stellung des Konformators (30) und der Arbeitskolbenstangen Druck-lose Kopplung (33a) ersehen werden, ob die Arbeitsmaschine die Kältemaschine antreibt oder nicht. Fluid und Kolbenbewegungsrichtungen sind durch Pfeile gekennzeichnet.

Während der drei Arbeitsphasen geschieht folgendes:

[0042] Fig. 9a. Arbeitsmaschine Das Fluid wird isochor von a nach b erhitzt. Der Verdränger (11) bewegt sich auf den fixierten Arbeitskolben (26) zu.

[0043] Kältemaschine Das Fluid wird isobar durch Verschieben des Verdrängers von a' nach c' gekühlt. Der Arbeitskolben (26a) ist fixiert. Die Druck-lose Kopplung (33a) ist außer Eingriff.

[0044] Fig. 9b Arbeitsmaschine Das Fluid expandiert isotherm von b nach c. Arbeitskolben (26) und Verdrängerkolben (11) bewegen sich gemeinsam nach unten. Die Druck-lose Kopplung (30) ist im Eingriff. Das Absperrelement (29) ist geöffnet.

[0045] Kältemaschine Der Arbeitskolben (26a) komprimiert das Fluid. Der Verdrängerkolben ist im äußeren Totpunkt fixiert. Das Absperrelement (29a) ist geöffnet.

[0046] Fig. 9c Arbeitsmaschine Das Fluid kontrahiert durch regenerative Abkühlung von c nach a.. Arbeits- und Verdrängerkolben (26, 11) bewegen sich parallel nach oben. Das Absperrelement (29) ist geöffnet. Die

Druck-lose Kopplung (30) ist außer Eingriff.

[0047] Kältemaschine Der Arbeitskolben (26a) ist durch das Absperrelement (29a) im unteren Totpunkt fixiert. Der Verdrängerkolben schiebt das Fluid von b' nach a' (isochore Kühlung).

[0048] Die Kältemaschine-Wärmepumpe nimmt also über (16a) Umgebungswärme auf (Kühler), komprimiert diese isotherm und gibt über (14a, Erhitzer) die Wärme wieder ab. Der dabei durchfahrene Dreitaktzyklus ist dem beschriebenen, erfindungsgemäßen Zyklus der Arbeitsmaschine prinzipiell analog, wird jedoch "umgekehrt" durchfahren und arbeitet auf tieferem Temperaturniveau.

[0049] Neben dem reversiblen, effizienten Zyklus ist es dabei besonders vorteilhaft, dass sämtliche Wärmetauschvorgänge von Flüssigkeit zu Flüssigkeit erfolgen können. Dies ermöglicht, im Gegensatz zu üblichen Zweiphasengernischen bei klassischen Kältemaschinen wesentlich ökonomischere und effizientere Kühler/Erhitzewärmetauscher. Erfindungsgemäß kann, analog zur By-pass Schaltung der Fig. 7 (24c, 25c) eine solche Anordnung auch bei der Kältemaschine zum Einsatz kommen und somit das gekühlte Fluid ohne Totraumeffekte direkt durch die entsprechenden Kühlkörper strömen.

[0050] Da die Antriebs THK-Maschine und die angetriebene THK-Kältemaschine auf verschiedenen Temperaturniveaus arbeiten, müssen die Drücke einander angepaßt werden. Dies kann erfindungsgemäß entweder durch entsprechende Volumenverhältnisse vom Arbeitsmaschinenrylinder (13) zum Kältemaschinenrylinder (13a) geschehen, oder durch eine entsprechende Druckreduzierung mittels eines Stufenarbeitskolbens zwischen Konformator (30) und Kältemaschine.

[0051] Eine weitere, erfindungsgemäße Ausgestaltung der THK-Kältemaschine-Wärmepumpe nutzt das Grundprinzip der bekannten, nach dem Stirling Prinzip arbeitenden Vuilleumier Kältemaschine-Wärmepumpe unter Anpassung an den speziellen Zyklus der THK-Maschine. In Fig. 10 ist diese Variante schematisch dargestellt.

[0052] In einem gemeinsamen, durch die gut wärmeisolierte und druckfeste Wand (34) in zwei Arbeitsbereiche getrennten Zylinder (1 = "heißer" Zylinder; II = "kalter" Zylinder) befinden sich jeweils ein linear angetriebener Verdrängerkolben mit angeschlossener Erhitzer-Regenerator-Kühler-Strecke. Dabei sind die dem "heißen" Zylinder zugeordneten Elemente mit dem Index a, die dem "kalten" Zylinder zugeordneten Elemente mit dem Index b gekennzeichnet. Durch das zeitlich steuerbare Ventil (35) werden zum gewünschten Zeitpunkt das Fluid aus Zylinder I und Zylinder II miteinander verbunden

[0053] Zu Beginn der Operation sind beide Zylinderhälften mit demselben Fluid bei gleichem Druck (vorteilhaft: 1 bar) gefüllt. Die Verdrängerantriebe 12a, 12b bewegen die Verdrängerkolben 11a, 11b mit um 90° verschobener Phase.

[0054] Im heißen Zylinder 1 wird das Fluid durch Erhitzung mittels 14a isochor auf hohen Druck gebracht. Nach Erreichen dieses Druckes wird das Ventil (35) geöffnet und das Druckfluid aus Zylinder I komprimiert unter Wärmeentwicklung das Fluid im Zylinder II. Nach erfolgtem Druckausgleich bewegt sich im "heißen" Zylinder der Verdrängerkolben (11a) nach oben, während im "kalten" Zylinder der Verdrängerkolben sich nach unten bewegt.

[0055] Dabei werden sowohl im Zylinder I als auch im Zylinder II die jeweiligen Wärmeinhalte regenerativ auf die Regeneratoren 15a und 15b übertragen und für den folgenden Zyklusabschnitt zwischengespeichert. Im dritten Arbeitstakt bewegen sich (11a) und (11b) synchron nach oben. Sobald beide ihren oberen Totpunkt erreicht haben, schließt das Ventil (35) und der Zyklus beginnt wie beschrieben von Neuem.

[0056] Grundsätzlich agiert bei dieser erfindungsgemäßen Variante der Zylinder I als regenerativer Druckpulsator, während Zylinder II als Kältemaschine-Wärmepumpe den in Zylinder I nacht rechts herum durchfahrenen Zyklus des THK-Pulsators nach links herum durchläuft. Dabei wird einem gewünschten Raum durch (14b) bei niedriger Temperatur Wärme entzogen (Kältemaschine) und durch (16c) auf einem mittleren Temperaturnineau (Wärmepumpe) wieder abgegeben. Bei Betrieb als Wärmepumpe oder als Kombiaggregat (simultane Erzeugung von Kälte und Wärme) ist es sinnvoll, die Wärmeströme durch (16c) und (16a) in Serie hintereinander zu schalten.

[0057] Grundsätzlich kann die hiermit beschriebene "Vuilleumier THK"-Kältemaschine-Wärmepumpe auch ohne das Ventil (35) betrieben werden. Erfindungsgemäß wird in diesem Falle das Ventil (35) durch eine permanente, kleine Durchgangsöffnung in der Wand (34) ersetzt. In diesem Falle werden die Verdränger (11a, 11b) nicht diskontinuierlich um 90° phasenverschoben bewegt, sondern kontinuierlich um 90° phasenverschoben. Diese Vereinfachung des erfindungsgemäßen Zyklus hat jedoch, wegen der geringeren nutzbaren Druckschwankung, eine geringere Leistungsdichte. Dies kann grundsätzlich durch eine erhöhte Arbeitsfrequenz kompensiert werden, die jedoch, wegen der überproportional ansteigenden hydraulischen Druckverluste mit einem schlechteren Wirkungsgrad behaftet ist.

[0058] Bei der Wahl der Arbeitsfluide bietet sich eine breite Palette von Möglichkeiten an. Die wichtigsten Auswahlkriterien sind: Temperatur und Zyklenstabilität, starke thermische Volumenvergrößerung, geringe Kompressibilität, hohe Wärmekapazität, c_p deutlich größer als c_v, hohe Siedepunkte, niedrige Gefrierpunkte, Umweltkompatibilität und Kosten.

[0059] Das, wie eingangs geschildert, von Malone benutzte Wasser weist zwar viele Vorteile auf, jedoch auch den grundsätzlichen Nachteil, dass es, um über den gesamten Arbeitszyklus flüssig zu bleiben mit >100 bar Vordruck belastet werden muss. Dies ist zwar mit den geschilderten THK Maschinen grundsätzlich realisier-

bar. macht allerdings Ausdehnungsbehälter und Windkessel nötig, die mit diesem Vordruck gefüllt sind.

[0060] Bevorzugt werden daher beim heutigen Stand der Technik insbesondere synthetische Öle, bei denen wie geschildert, gegen Atmosphärendruck gearbeitet werden kann, und die in Viskosität, Temperaturfestigkeit, Kompressibilität und anderen wichtigen Parametern der Thermodynamik des THK maßgeschneidert angepasst werden können.

[0061] Da die THK Maschinen auch schon im mittleren Temperaturbereich von ca. 100°C bis ca. 400°C mit guten Wirkungsgraden arbeiten, und die Wärmeeinbringung (und Kühlung) des Fluids technisch besonders einfach zu realisieren ist, sind folgende Energiequellen zum Betrieb der THK von besonderem Interesse: Sonnenenergie inklusive des Nachtbetriebes durch thermische Speicher, alle biogenen Brennstoffe, Abwärmen im angesprochenen Temperaturbereich. Besonders geeignet sind THK Maschinen und kombinierte THK-Kältemaschinen-Wärmepumpen zur Kraft-Wärme Koppelung in Gebäuden, zur dezentralen Energieversorgung mit Sonne und/oder Biomasse und zur Rückverstromung von (Industrie)-Abwärme.

[0062] Der wegen des neuartigen Zyklusses einfache und kompakte Aufbau macht ökonomische Anlagen möglich. Aufgrund der hohen Energiedichte der Fluide können bei vertretbaren Anlagegewichten (stationäre Anwendungen) Arbeitsfrequenzen von deutlich unter 1 Hz gefahren werden. Dies minimiert nicht nur die Antriebsleistung der Verdrängerkolben, sondern erhöht zudem die Lebensdauer der Systeme.

Patentansprüche

1. Thermo-hydrodynamischer Kraftverstärker, bei welchem eine Flüssigkeit im Inneren eines starren Zylinders (13) mittels eines angetriebenen Hilfskolbens (11) durch Leitungen einer Erhitzer-Regenerator-Kühler- (14, 15, 16) oder Erhitzer-Rekuperator-Kühler-Anordnung (14, 15, 16) zwischen einem Heißbereich (14) und einem Kaltbereich (16) verschoben wird, sodass sich die Flüssigkeit periodisch zusammenzieht und ausdehnt und dabei eine Abtriebsarbeit (19) abgibt, die pro Zyklus größer als eine Antriebsarbeit (12) am Hilfskolben (11) ist, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Flüssigkeit in der Anordnung (14, 15, 16) periodisch in abwechselnder Fließrichtung verschoben wird und die Abtriebsarbeit (19) an einer separaten Maschine (18, 33) leistet.

2. Kraftverstärker nach Anspruch 1, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die Flüssigkeit die Abtriebsarbeit (19) während der Expansion liefert, wobei sie bis auf Atmosphärendruck (P_0) oder einen geringfügig darüber liegenden Druck entspannt wird, und dass anschließend eine Rückführung der Flüssigkeit zu einem Anfangszustand der Periode durch Zusammenziehen über einen reversiblen Kühlvorgang erfolgt.

3. Kraftverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ***gekennzeichnet durch*** ein schaltbares Absperrelement (17), über welches der von der expandierenden Flüssigkeitssäule erzeugte Druck zeitlich und betraglich geregelt werden kann.

4. Kraftverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ***gekennzeichnet durch*** eine Arbeitsfrequenz von deutlich unter 1 Hz.

5. Kraftverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die separate Maschine (18, 33) so an den Abtrieb (30) des Kraftverstärkers gekoppelt ist, dass die lineare Arbeitsabgabe der periodisch expandierenden Flüssigkeit direkt in die separate Maschine eingekoppelt wird, wobei die separate Maschine (18, 33) ein mit linearen Bewegungen arbeitender Energiewandler, insbesondere ein Luftkompressor, ein Druckerzeuger in einer Umkehrosmoseanlage oder ähnliches ist.

6. Kraftverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die separate Maschine (18, 33) über einen Kraftausgleicher (30) und eine Druckkopplung (33a) an den Kraftverstärker gekoppelt ist und als Kältemaschine-Wärmepumpe arbeitet.

7. Kraftverstärker nach einem der Ansprüche 1 bis 4, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die separate Maschine ein Hydraulikmotor (18) ist, durch welchen die sich thermisch ausdehnende Flüssigkeit periodisch strömt, so dass an einer Welle des Hydraulikmotors Rotationsenergie (19) erzeugt wird.

8. Kraftverstärker nach Anspruch 7, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** die sich periodisch ausdehnende und zusammenziehende Flüssigkeit zugleich als Hydraulikflüssigkeit vom Hydraulikmotor (18) verwendet wird.

9. Kraftverstärker nach Anspruch 7 oder 8, ***dadurch gekennzeichnet, dass*** dem Hydraulikmotor (18) ein mit Atmosphärendruck (P_0) oder leichtem Überdruck beaufschlagtes Ausdehnungsgefäß (20) nachgeschaltet ist.

Claims

1. A thermohydrodynamic force amplifier in which a liquid is displaced by a driven auxiliary piston (11) inside a rigid cylinder (13) through conducts of a

heater-regenerator-cooler (14, 15, 16) or a heater-recuperator-cooler arrangement (14, 15, 16) between a hot region (14) and a cold region (16) in such a manner that the liquid periodically contracts and expands and thereby delivers a driven work (19) that is greater in each cycle than a driving work (12) on the auxiliary piston (11), ***characterized in that*** the liquid is displaced periodically in an alternating flow direction in the arrangement (14, 15, 16) and performs the driven work (19) on a separate machine (18, 33).

2. The force amplifier according to claim 1, ***characterized in that*** the liquid performs the driven work (19) during expansion, said liquid being expanded to atmospheric pressure (P_0) or to a slightly higher pressure and that the liquid is then brought back by contraction via a reversible cooling process to an initial state of the period.

3. The force amplifier according to one of the aforementioned claims, ***characterized by*** a switchable shut-off member (17) by which the pressure generated by the expanding liquid column can be regulated in time and amount

4. The force amplifier according to one of the aforementioned claims, ***characterized by*** a working frequency of clearly under 1 Hz.

5. The force amplifier according to one of the aforementioned claims, ***characterized in that*** the separate machine (18, 33) is coupled to the driven part (30) of the force transmitter in such a manner that the linear work output of the periodically expanding liquid is directly input into the separate machine, the separate machine (18, 33) being an energy converter operating with linear movements, more specifically an air compressor, a pressure generator of a reverse osmosis apparatus or similar.

6. The force amplifier according to one of the aforementioned claims, ***characterized in that*** the separate machine (18, 33) is coupled to the force amplifier via a force compensator (30) and a pressure coupling (33a) and works as a refrigerator heat pump.

7. The force amplifier according to one of the claims 1 to 4, ***characterized in that*** the separate machine is a hydraulic motor (18), through which the thermically expanding liquid flows periodically in such a manner that rotational energy (19) is generated on a shaft of the hydraulic motor.

8. The force amplifier according to claim 7, ***characterized in that*** the periodically expanding and contracting liquid is simultaneously used as hydraulic liquid by the hydraulic motor (18).

9. The force amplifier according to claim 7 or 8, ***characterized in that*** an expansion tank (20) is pressurized to atmospheric pressure (P_0) or a pressure slightly above atmospheric is mounted downstream of the hydraulic motor (18).

Revendications

1. Amplificateur thermohydrodynamique de force dans lequel un liquide est déplacé à l'aide d'un piston auxiliaire mené (11) à l'intérieur d'un cylindre rigide (13) entre une zone chaude (14) et une zone froide (16) à travers les conduits d'un montage réchauffeur régénérateur refroidisseur (14, 15, 16) ou réchauffeur récupérateur refroidisseur (14, 15, 16) de telle manière que le liquide se contracte et se détend périodiquement et fournit ainsi un travail de sortie (19) qui est plus important dans chaque cycle que le travail d'entraînement (12) appliqué au piston auxiliaire (11), ***caractérisé en ce que*** le liquide est déplacé périodiquement dans une direction de flux alternante à l'intérieur du montage (14, 15, 16) et applique le travail de sortie (19) sur une machine séparée (18, 33).

2. Amplificateur de force selon la revendication 1, ***caractérisé en ce que*** le liquide fournit le travail de sortie (19) durant l'expansion, le liquide étant détendu jusqu'à une pression atmosphérique (P_0) ou une pression légèrement supérieure et qu'il est ensuite ramené par contraction à un état initial de la période grâce à un processus de refroidissement réversible.

3. Amplificateur de force selon l'une quelconque des revendications précédentes, ***caractérisé par*** un élément d'obturation commutable (17) par lequel la pression exercée par la colonne de liquide en expansion peut être régulée temporellement et quantitativement.

4. Amplificateur de force selon l'une quelconque des revendications précédentes, ***caractérisé par*** une fréquence de travail nettement inférieure à 1 Hz.

5. Amplificateur de force selon l'une quelconque des revendications précédentes, ***caractérisé en ce que*** la machine séparée (18, 33) est couplée à la sortie (30) de l'amplificateur de force de telle façon que le travail linéaire fourni par le liquide en expansion périodique est directement couplé à la machine séparée, la machine séparée (18, 33) étant un transformateur d'énergie travaillant avec des mouvements linéaires, en particulier un compresseur d'air, un générateur de pression d'un appareil à os-

mose inverse ou similaire.

6. Amplificateur de force selon l'un quelconque des revendications précédentes, ***caractérisé en ce que*** la machine séparée (18, 33) est couplée à l'amplificateur de force par l'intermédiaire d'un compensateur de force (30) et d'un couplage pression (33a) et travaille en tant que pompe à chaleur d'une machine frigorifique.

7. Amplificateur de force selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, ***caractérisé en ce que*** la machine séparée est un moteur hydraulique (18) par lequel le liquide en expansion thermique circule périodiquement, de l'énergie de rotation (19) étant ainsi produite au niveau de l'arbre du moteur hydraulique.

8. Amplificateur de force selon la revendication 7, ***caractérisé en ce que*** le liquide en expansion et contraction périodique est en même temps utilisé en tant que liquide hydraulique par le moteur hydraulique (18).

9. Amplificateur de force selon la revendication 7 ou 8, ***caractérisé en ce qu***'un récipient d'expansion (20) mis à la pression atmosphérique (P_0) ou à une légère surpression est monté en aval du moteur hydraulique (18).

Fig. 1

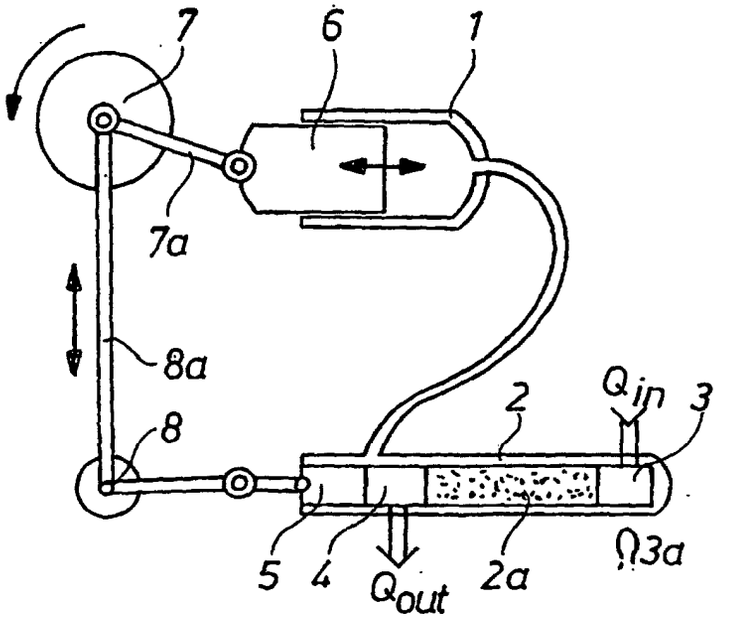


Fig. 2

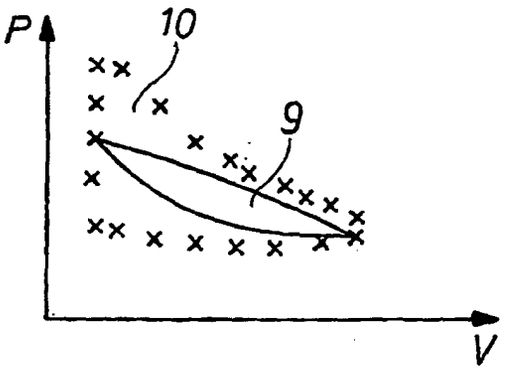


Fig. 3

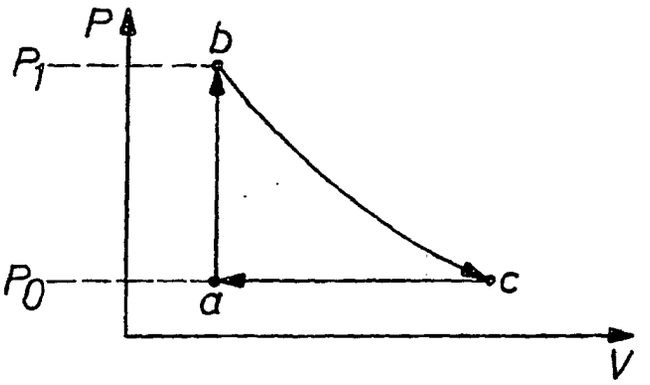


Fig. 4

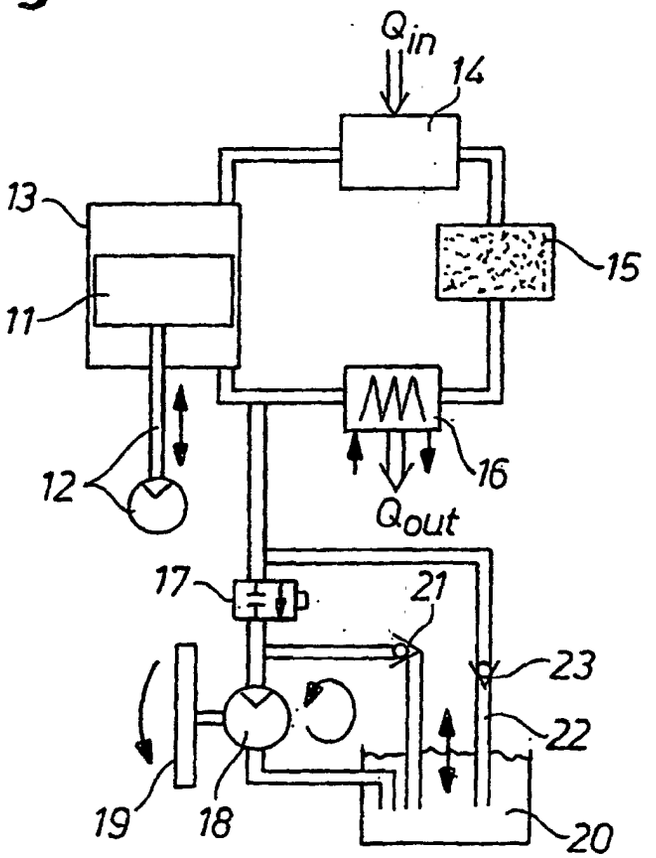
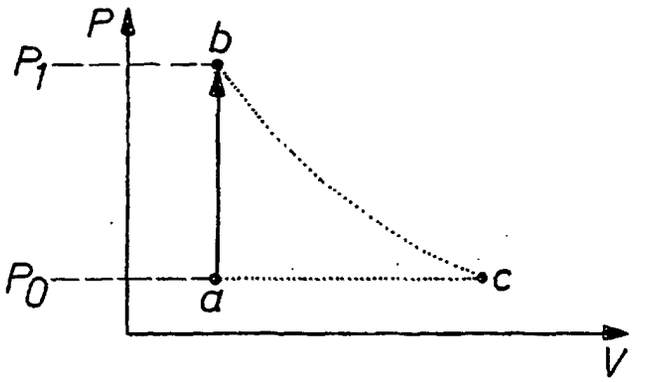


Fig. 4a



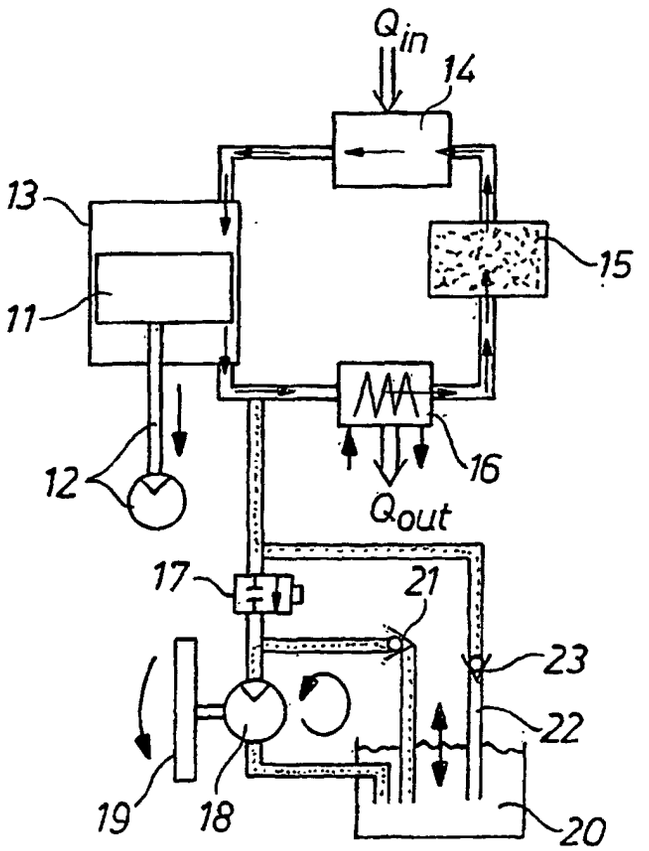
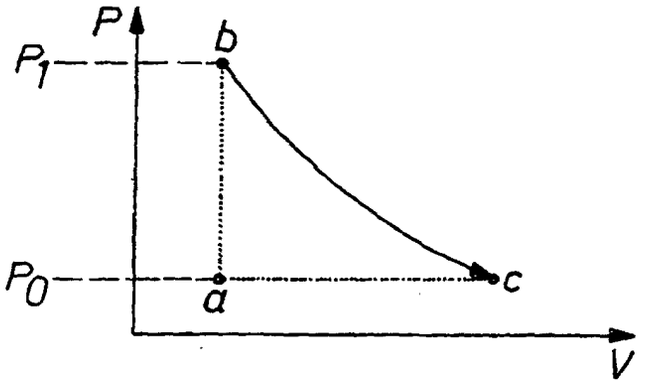


Fig. 4b



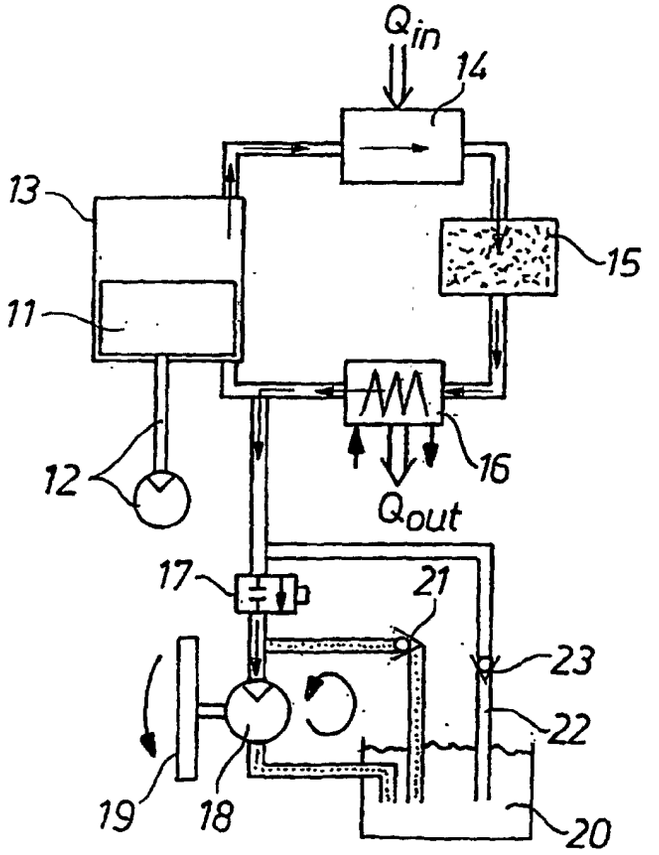
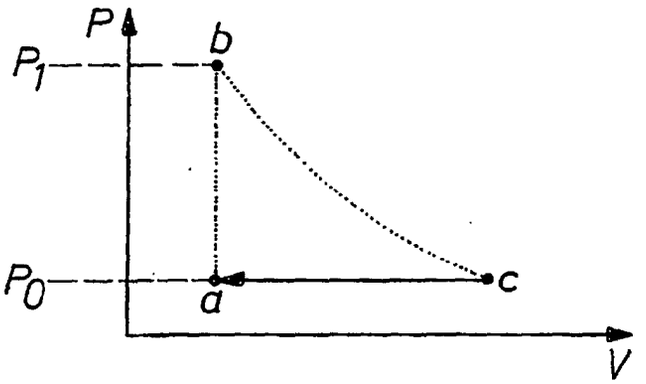


Fig. 4c



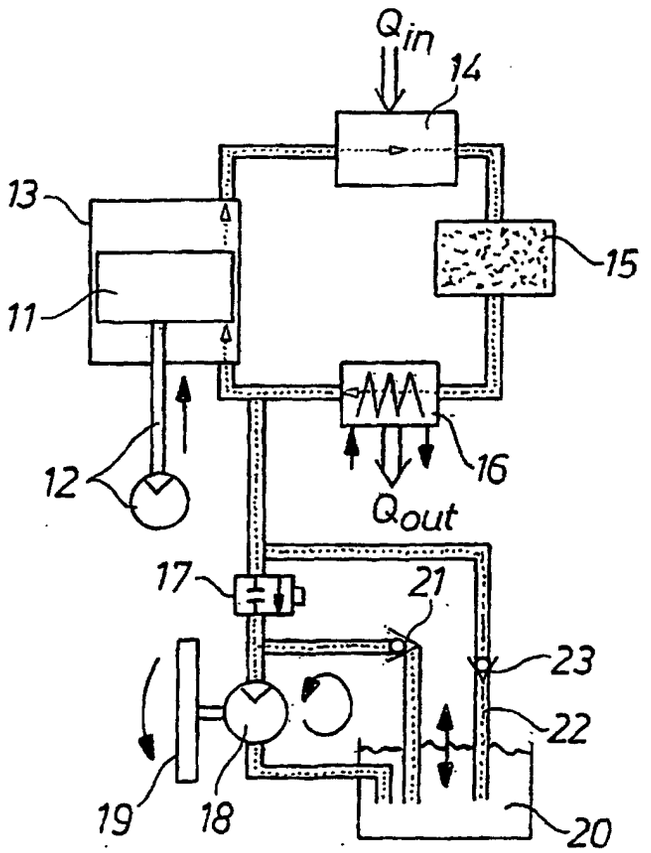


Fig. 5

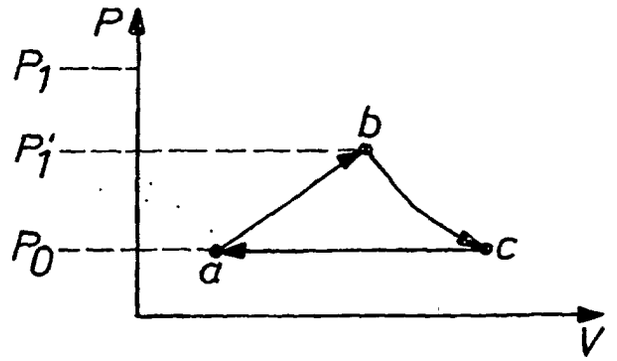


Fig. 6

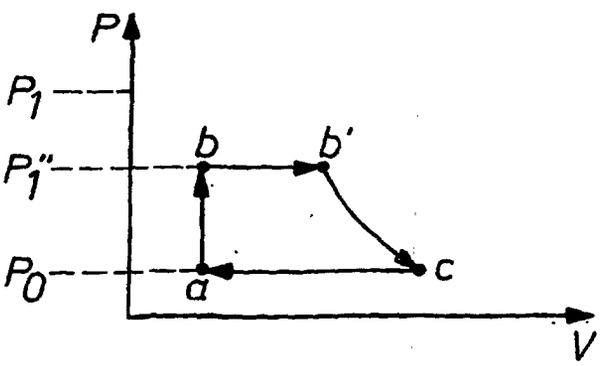
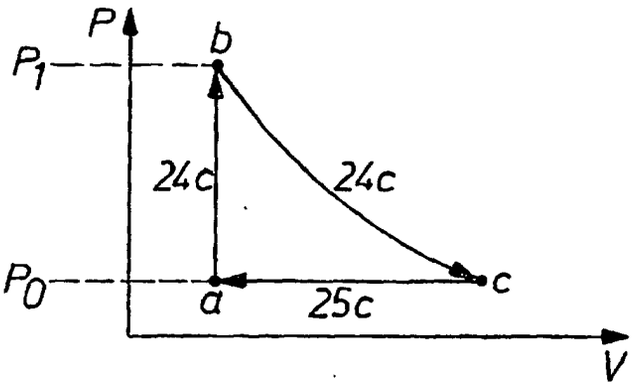


Fig. 7


P
b
P_1
24c
24c
P_0
a
25c
c
V

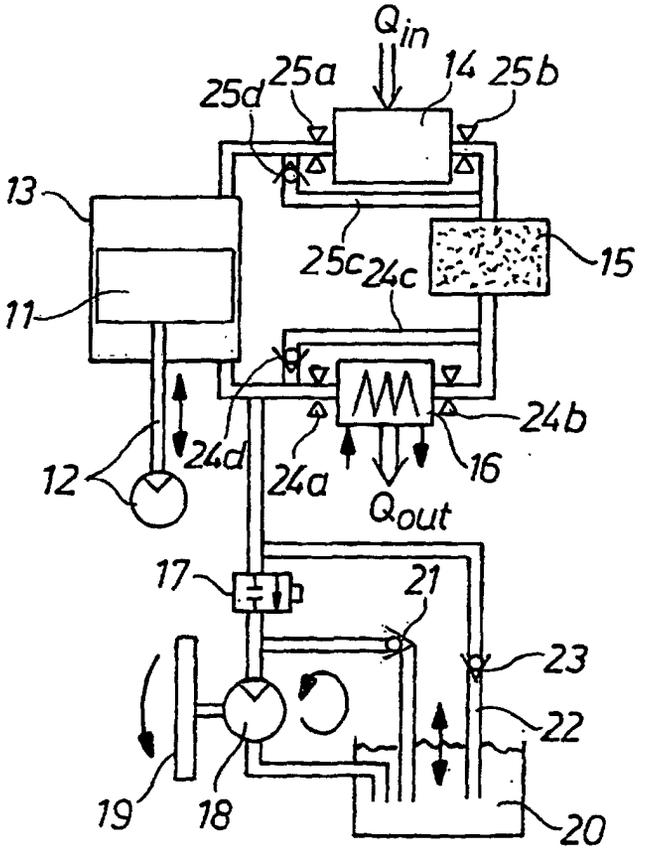
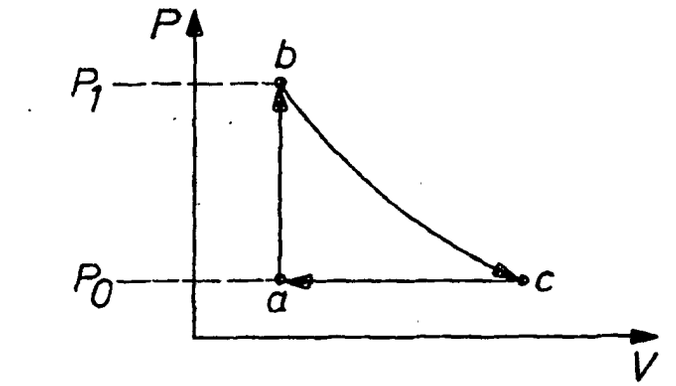

Q_{in}
25a
14
25b
25d
13
25c
24c
15
11
24b
24d
24a
16
12
Q_{out}
17
21
23
22
19
18
20

Fig. 8



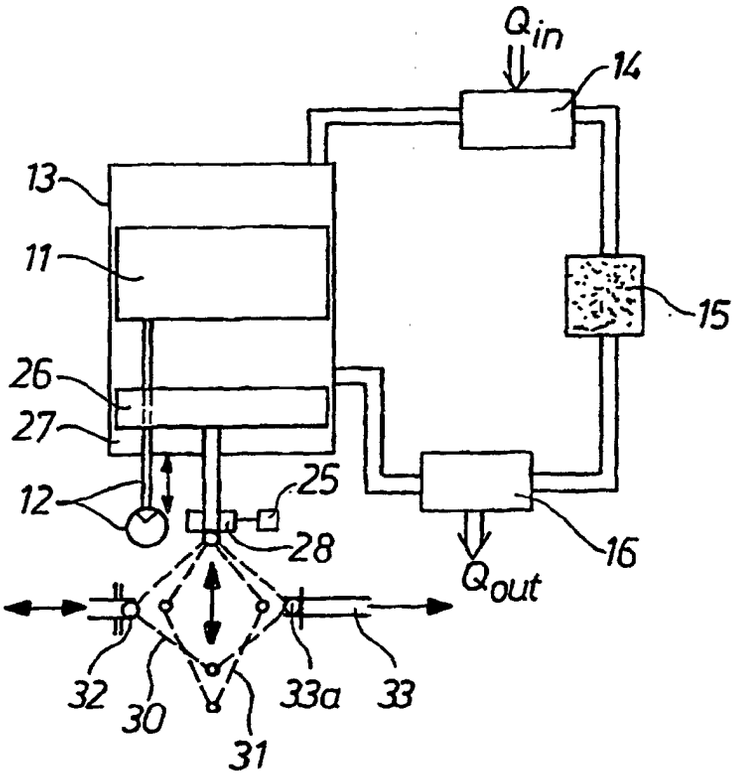


Fig. 9a

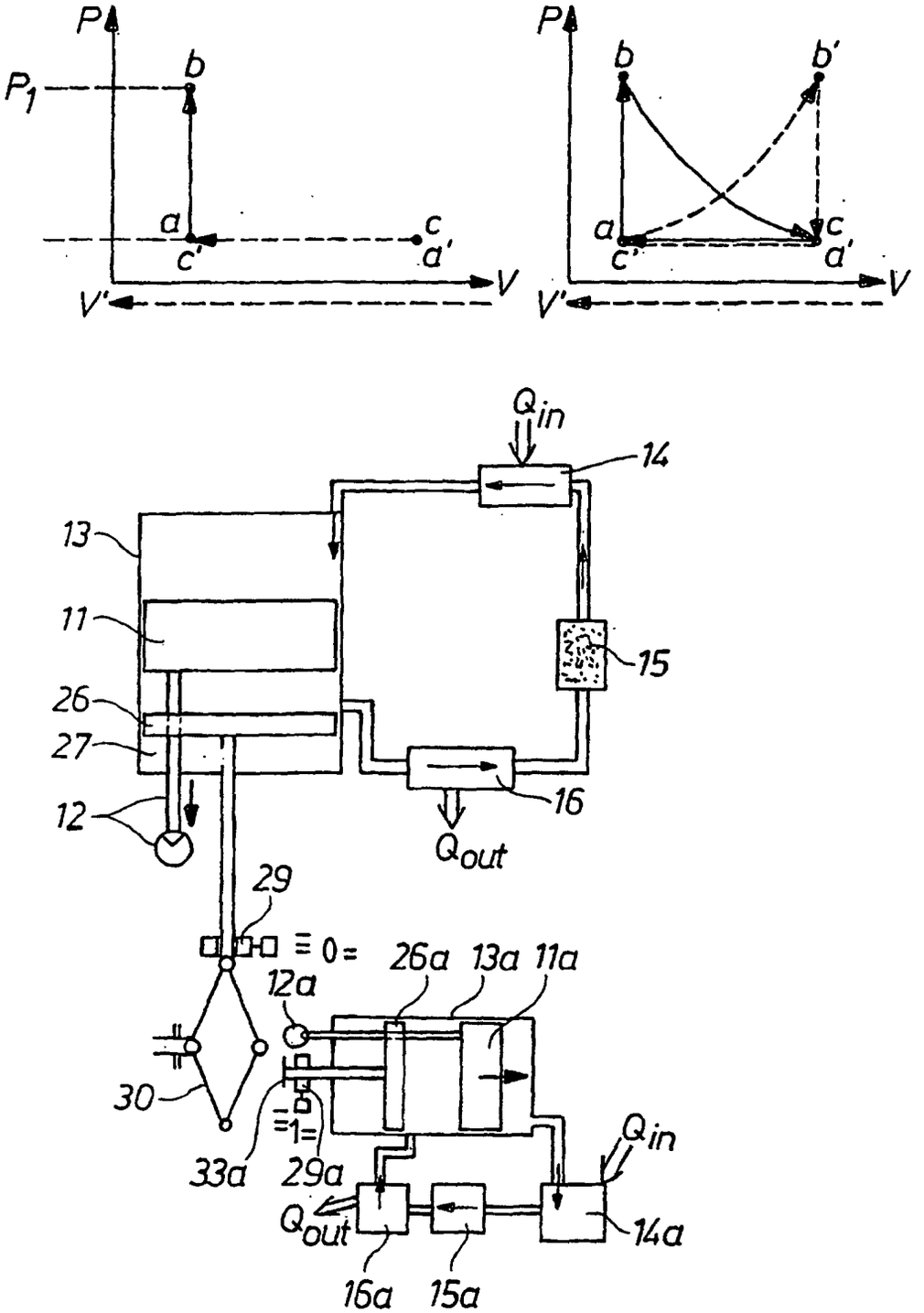
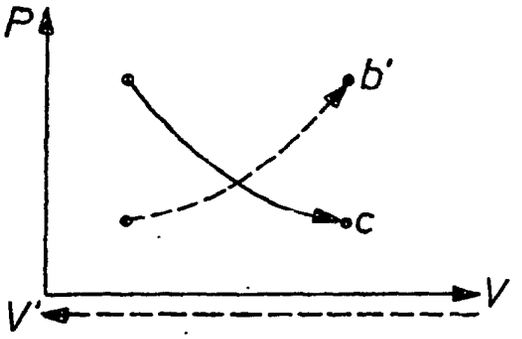


Fig. 9b


P
b'
c
V
V'

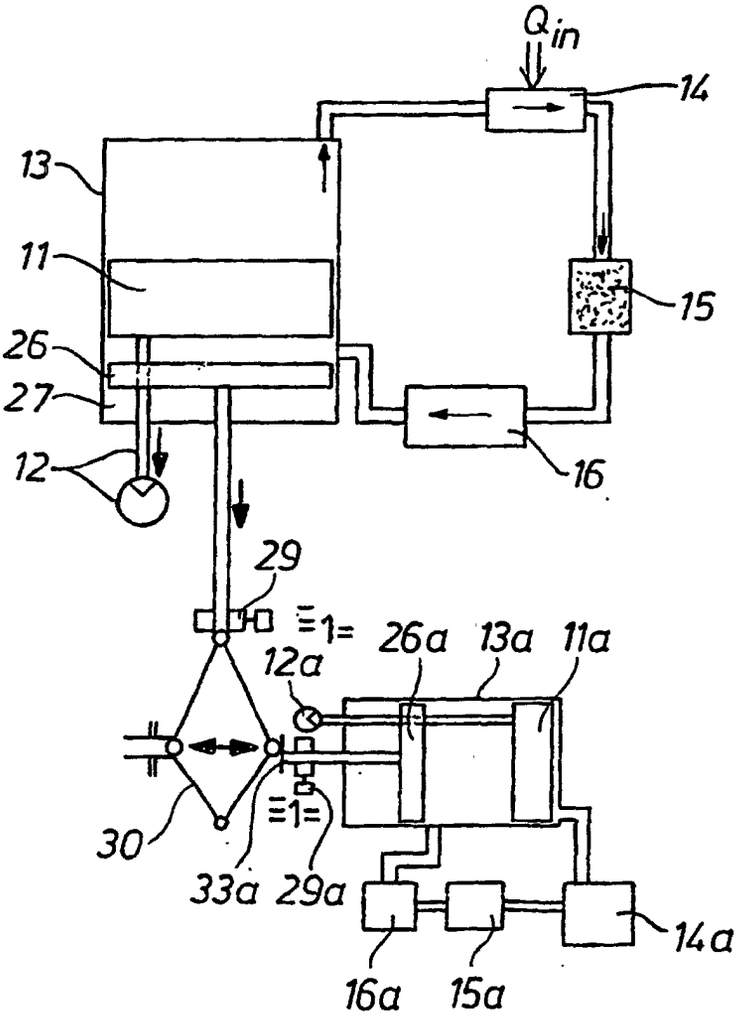
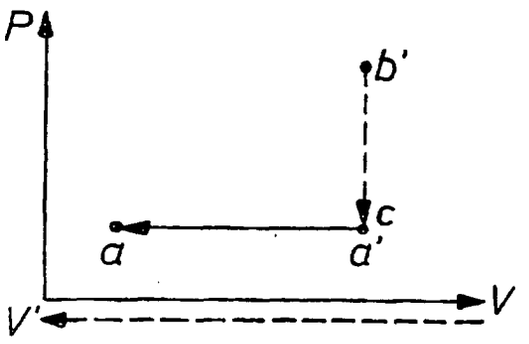

Qin
14
13
11
15
26
27
12
16
29
26a
13a
11a
12a
30
33a
29a
14a
16a
15a

Fig. 9c


P
b'
c
a
a'
V
V'

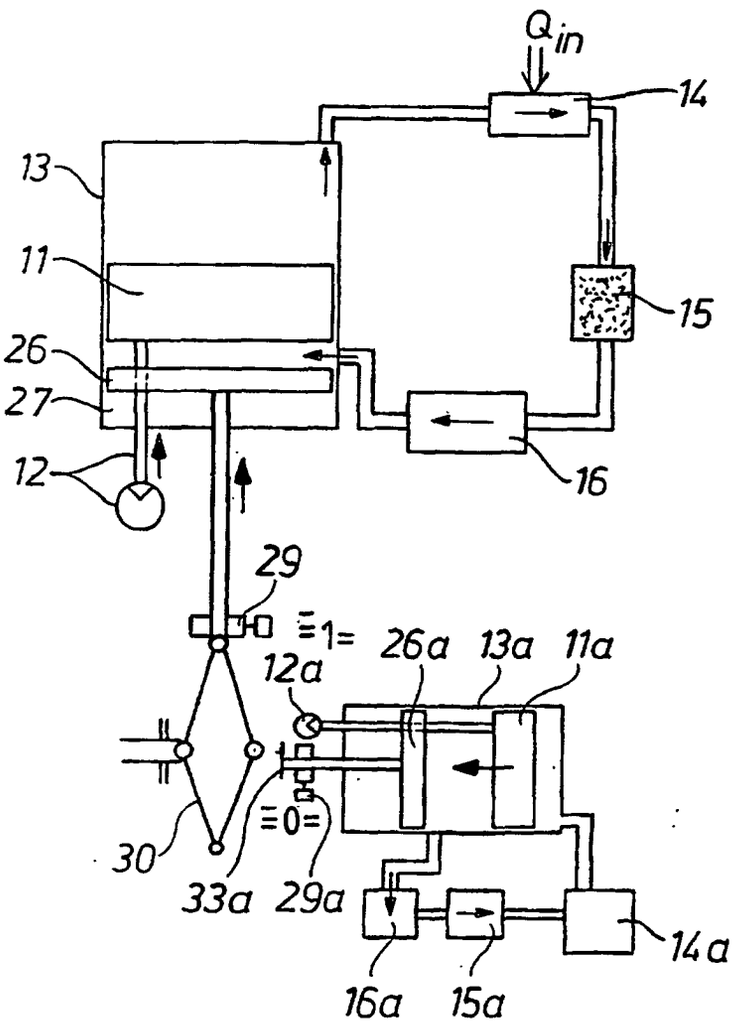
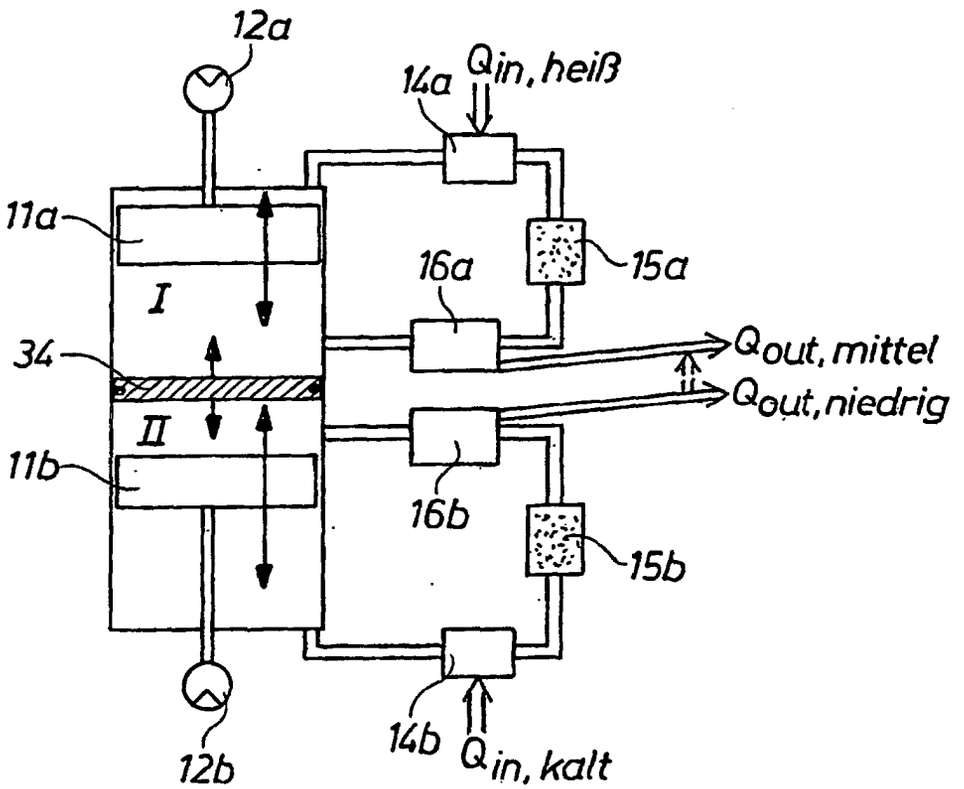

Qin
14
13
11
15
26
27
16
12
29
≡1≡
26a
13a
11a
12a
≡0≡
30
33a
29a
14a
16a
15a

Fig. 10


12a
14a
Qin, heiß
11a
I
16a
15a
34
Qout, mittel
Qout, niedrig
II
11b
16b
15b
12b
14b
Qin, kalt