



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 40 924 B4** 2005.07.14

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **102 40 924.2**
(22) Anmeldetag: **02.09.2002**
(43) Offenlegungstag: **18.03.2004**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **14.07.2005**

(51) Int Cl.7: **F03G 7/04**
F25B 31/00, F25B 30/02

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:

Kleinwächter, Jürgen, 79400 Kandern, DE; Weber, Eckhart, 90403 Nürnberg, DE; Colman-Freyberger, Claus, Hastings-on-Hudson, N.Y., US

(74) Vertreter:

Castell, K., Dipl.-Ing. Univ. Dr.-Ing.; Reuther, M., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 52349 Düren

(72) Erfinder:

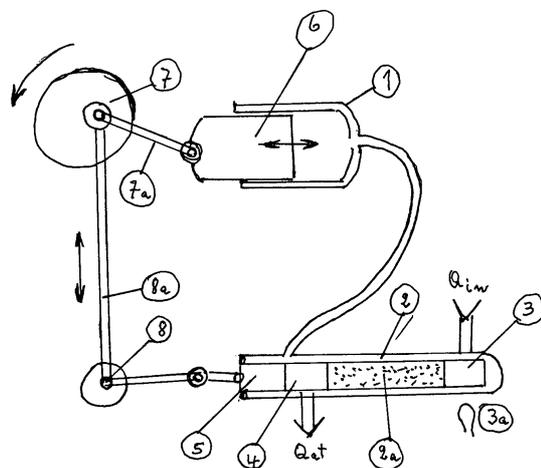
Kleinwächter, Jürgen, 79400 Kandern, DE; Weber, Eckhart, 90403 Nürnberg, DE; Paccoud, Olivier, Breitenbach, FR

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 33 05 253 A1
US 53 27 745 A
US2001/62 82 908 B1
US 46 37 211
US 43 53 218
US 43 53 218
US 17 17 161
US 14 87 664

(54) Bezeichnung: **Thermo-Hydrodynamischer Kraftverstärker**

(57) Hauptanspruch: Thermo-hydrodynamischer Kraftverstärker, bei welchem eine Flüssigkeit mittels eines angetriebenen Hilfskolbens (11) durch Leitungen einer Erhitzer-Generator-Kühler- 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 über einen Arbeitskolben (26) linear eine Abtriebsarbeit (19) abgibt, die pro Zyklus größer als eine Antriebsarbeit (12) am Hilfskolben (11) ist, dadurch gekennzeichnet, dass der thermo-hydrodynamische Kraftverstärker als Arbeitsmaschine mit einem separaten, angetriebenen Subsystem (33) gekoppelt ist, wobei innerhalb des Subsystems (33) eine zweite Flüssigkeit mittels eines zweiten angetriebenen Hilfskolbens (11a) und eines zweiten Arbeitskolbens (26a) periodisch mit verschobener Phase durch Leitungen einer zweiten Erhitzer-Generator-Kühler- oder Erhitzer-Rekuperator-Kühler-Anordnung (14a, 15a, 16a) zwischen einem zweiten Heißbereich (14a) und einem zweiten Kaltbereich (16a) verschoben wird, wobei der zweite Arbeitskolben (26a) vom Arbeitskolben (26) der Arbeitsmaschine über eine die Abtriebskraft konformierende Kopplungseinrichtung (30) angetrieben wird, welche periodisch eine kraftschlüssige Verbindung herstellt und aufgibt.



Beschreibung

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

[0002] Flüssigkeiten sind im Vergleich zu Gasen praktisch inkompressibel, haben eine geringere, wärmebedingte Volumenzunahme, 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-iger Jahre des vorigen Jahrhunderts von J. F. Malone aus Newcastle-on-Tyne (England) unternommen.

Stand der Technik

[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 1.717.161 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 erfordert sehr schwere Schwungmassen, die ihrerseits starke dynamische Lasten auf die Lager und die Gesamtstruktur übertragen.

[0009] Damit 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 täglichen Gebrauch fand.

[0010] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, die bereits von Malone erkannten grundsätzlichen Vorteile von Flüssigkeiten als thermodynamische Arbeitsmediem 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 thermo-hydrodynamischen 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.

Aufgabenstellung

[0012] Gegenüber der US 2,963,853 liegt der Erfindung die besondere Aufgabe zugrunde, einen Kraftverstärker mit sehr hoher Betriebssicherheit, verbes-

sertem Wirkungsgrad und einer besonders geeigneten Verwendung der Abtriebsenergie des Kraftverstärkers zur Verfügung zu stellen.

[0013] Diese Aufgabe löst ein thermo-hydrodynamischer Kraftverstärker, bei welchem eine Flüssigkeit mittels eines angetriebenen Hilfskolbens durch eine Erhitzer-Generator-Kühler-Anordnung oder eine Erhitzer-Rekuperator-Kühler-Anordnung zwischen einem Heißbereich und einem Kaltbereich verschoben wird, sodass sich die Flüssigkeit periodisch zusammenzieht und ausdehnt und dabei über einen Arbeitskolben linear eine Antriebsarbeit abgibt, die pro Zyklus größer als eine Antriebsarbeit am Hilfskolben ist, wobei sich der Kraftverstärker dadurch kennzeichnet, dass er als Arbeitsmaschine mit einem separaten angetriebenen Subsystem gekoppelt ist, welches zumindest im wesentlichen identisch mit dem antreibenden Kraftverstärker aufgebaut ist und periodisch mit verschobener Phase zum Kraftverstärker arbeitet, wobei der Arbeitskolben des Subsystems vom Arbeitskolben der Arbeitsmaschine über eine die Abtriebskraft konformierende Kopplungseinrichtung angetrieben wird, welche periodisch eine kraftschlüssige Verbindung herstellt und aufgibt. Dabei kann die Flüssigkeit im Kraftverstärker und/oder im Subsystem vorteilhaft periodisch in abwechselnder Fließrichtung verschoben werden.

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

Ausführungsbeispiel

[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_0 entspricht dabei dem Umgebungsdruck (oder einem geringfügig höheren Druck). Sobald in der Flüssigkeit der gewünschte Druck P_1 erreicht ist, öffnet ein Absperrlement (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_0 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 erfindungsgemäß den großen Vorteil, daß, da sämtliche Nutzenergie während der Expansionsphase von b nach c entzogen wird, keine mechanische Energie in irgendeiner Weise (Schwungrad, Windkessel usw.) zwischengespeichert werden muß. Ferner liegt in diesem Prinzip, wie im weiteren ausgeführt wird, die erfindungsgemäße Möglichkeit auf einem Kurbelwel-

lenmechanismus, 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 Hydraulikmotor 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 Absperrlement (17) dient ein hydraulisches Ventil. Dieses ist zu Beginn des Zyklus ([Fig. 3](#), Strecke a→b) geschlossen, wenn sich der Verdrängerkolben nach unten bewegt und somit die Flüssigkeit auf die heiße Seite des Systems befördert. Bei 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 Zyklus ([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 Temperaturprofils 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 [Fig. 4a](#), [Fig. 4b](#), [Fig. 4c](#) nochmals die drei Arbeitstakte schematisch dargestellt und dem jeweiligen Abschnitt im PV-Diagramm zugerechnet. Dabei stellt \rightarrow den Fluidfluß unter Druck dar, $---$ Druckfluid ohne Bewegung, \cdots 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 $a \rightarrow b$ 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 $a \rightarrow b$ 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 $b \rightarrow c$ 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-Diagramm wird die Strecke $c \rightarrow a$ 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 $a \rightarrow b$ 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_0 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_0 , und wird dann anschließend durch regenerative Kühlung von $c \rightarrow a$ kontrahiert. Das Hydraulikventil (17) ist während des Zyklusteils $a \rightarrow b \rightarrow c$ geschlossen und von $c \rightarrow b$ geöffnet.

[0027] Eine solche Variante des THK-Zykluses 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 Absperr-eigenschaften des Hydraulikventils (17) und des Hydraulikmotors. In [Fig. 6](#) ist das Indikatordiagramm einer solchen THK Variante dargestellt. Ausgehend vom Anfangsdruck P_0 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 andererseits, 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 $a \rightarrow b$ 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 $b \rightarrow c$ 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 $b \rightarrow c$ erwünscht. Die Tatsache, daß von $a \rightarrow b \rightarrow c$ das Fluid durch den By-pass **24c** fließt, ist im PV-Diagramm gekennzeichnet. Wenn das Fluid anschließend von $c \rightarrow a$ 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 andererseits aus Wirkungsgradgründen die Arbeitsfrequenz der THK-Maschine möglichst niedrig sein sollte, führt dazu, daß das Schwungrad neben der beschriebenen Konformierung des unsten Energieangebotes während der Expansion auch noch relativ lange Zeiträume, während der die Maschine keine Energie abgibt, überbrücken muß. Dies führt naturgemäß zu großen Schwungradern.

[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 vorzunehmen, daß die daraus resultierende Zyklenüberlappung zu einem geglätteten Antriebsdrehmoment führt. Dies führt zu wesentlich kleineren Schwungradern.

[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 linearer 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 dann 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 Absperrerelement (**29**), das in diesem Falle vorteilhaft als um die Kolbenstange greifende Backenbremse ausgebildet ist, festgehalten, bis der gewünschte Höchstdruck (im PV-Indikationsdiagramm 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 $b \rightarrow c$ asymptotisch verläuft, konformiert, d.h., über den ganzen Arbeitshub vergleichmäßig. Da der THK nur während der 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 Zyklusvarianten 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 **Fig. 9a, Fig. 9b, Fig. 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 Aufbau wie er in **Fig. 8** dar-

gestellt und im vorhergehenden Text beschrieben wird. Durch den Konformatormechanismus (30) wird durch die ebenfalls beschriebene Druck-lose Kopplung (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 = Verdrängerkolbenlinearantrieb, 29a = schaltbares Absperrerelement). 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 Absperrerelemente (29, 29a). Bei letzteren bedeutet 0 = geschlossen, \equiv 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.

[0042] Während der drei Arbeitsphasen geschieht folgendes:

[0043] Fig. 9a Arbeitsmaschine Das Fluid wird isochor von a nach b erhitzt. Der Verdränger (11) bewegt sich auf den fixierten Arbeitskolben (26) zu.

[0044] 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.

[0045] 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 Absperrerelement (29) ist geöffnet.

[0046] Kältemaschine Der Arbeitskolben (26a) komprimiert das Fluid. Der Verdrängerkolben ist im äußeren Totpunkt fixiert. Das Absperrerelement (29a) ist geöffnet.

[0047] Fig. 9c Arbeitsmaschine Das Fluid kontrahiert durch regenerative Abkühlung von c nach a. Arbeits- und Verdrängerkolben (26, 11) bewegen sich

parallel nach oben. Das Absperrerelement (29) ist geöffnet. Die Druck-lose Kopplung (30) ist außer Eingriff.

[0048] Kältemaschine Der Arbeitskolben (26a) ist durch das Absperrerelement (29a) im unteren Totpunkt fixiert. Der Verdrängerkolben schiebt das Fluid von b' nach a' (isochore Kühlung).

[0049] Die Kältemaschine-Wärmepumpe nimmt also über (16a) Umgebungswärme auf (Kühler), komprimiert diese isotherm und gibt über (14a, Erhitzer) die Wärme wieder ab. Der dabei durchgeführte Dreitaktzyklus ist dem beschriebenen, erfindungsgemäßen Zyklus der Arbeitsmaschine prinzipiell analog, wird jedoch „umgekehrt“ durchfahren und arbeitet auf tieferem Temperaturniveau.

[0050] Neben dem reversiblen, effizienten Zyklus ist es dabei besonders vorteilhaft, daß sämtliche Wärmetauschkvorgänge von Flüssigkeit zu Flüssigkeit erfolgen können. Dies ermöglicht, im Gegensatz zu üblichen Zweiphasengemischen 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.

[0051] 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 Arbeitsmaschinenzylinder (13) zum Kältemaschinenzylinder (13a) geschehen, oder durch eine entsprechende Druckreduzierung mittels eines Stufenarbeitskolbens zwischen Konformator (30) und Kältemaschine.

[0052] 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.

[0053] In einem gemeinsamen, durch die gut wärmeisolierte und druckfeste Wand (34) in zwei Arbeitsbereiche getrennten Zylinder (I = „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 ge-

wünschten Zeitpunkt das Fluid aus Zylinder I und Zylinder II miteinander verbunden

[0054] 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.

[0055] Im heißen Zylinder I 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.

[0056] 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.

[0057] Grundsätzlich agiert bei dieser erfindungsgemäßen Variante der Zylinder I als regenerativer Druckpulsator, während Zylinder II als Kältemaschine-Wärmepumpe den in Zylinder I nach 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 Temperaturniveau (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.

[0058] 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.

[0059] Bei der Wahl der Arbeitsfluide bietet sich eine breite Palette von Möglichkeiten an. Die wichtigsten Auswahlkriterien sind: Temperatur und Zyklusstabilität, starke thermische Volumenvergrößerung, geringe Kompressibilität, hohe Wärmekapazität, c_p deutlich größer als c_v , hohe Siedepunkte, niedrige Gefrierpunkte, Umweltkompatibilität und Kosten.

[0060] 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 realisierbar, macht allerdings Ausdehnungsbehälter und Windkessel nötig, die mit diesem Vordruck gefüllt sind.

[0061] 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.

[0062] Da die THK Maschinen auch schon im mittleren Temperaturbereich von ca. 100°C bis ca. 400°C mit guten Wirkungsgraden arbeiten, und die Wärme einbringung (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.

[0063] 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 mittels eines angetriebenen Hilfskolbens (**11**) durch Leitungen einer Erhitzer-Generator-Kühler- oder Erhitzer-Rekuperator-Kühler-Anordnung (**14**, **15**, **16**) zwischen einem Heißbereich (**14**) und einem Kaltbereich (**16**) ver-

schoben wird, sodass sich die Flüssigkeit periodisch zusammenzieht und ausdehnt und dabei über einen Arbeitskolben (26) linear eine Abtriebsarbeit (19) abgibt, die pro Zyklus größer als eine Antriebsarbeit (12) am Hilfskolben (11) ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der thermo-hydrodynamische Kraftverstärker als Arbeitsmaschine mit einem separaten, angetriebenen Subsystem (33) gekoppelt ist, wobei innerhalb des Subsystems (33) eine zweite Flüssigkeit mittels eines zweiten angetriebenen Hilfskolbens (11a) und eines zweiten Arbeitskolbens (26a) periodisch mit verschobener Phase durch Leitungen einer zweiten Erhitzer-Generator-Kühler- oder Erhitzer-Rekuperator-Kühler-Anordnung (14a, 15a, 16a) zwischen einem zweiten Heißbereich (14a) und einem zweiten Kaltbereich (16a) verschoben wird, wobei der zweite Arbeitskolben (26a) vom Arbeitskolben (26) der Arbeitsmaschine über eine die Abtriebskraft konformierende Kopplungseinrichtung (30) angetrieben wird, welche periodisch eine kraftschlüssige Verbindung herstellt und aufgibt.

2. Kraftverstärker nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das separate, angetriebene Subsystem (33) ein mit linearen Bewegungen arbeitender Energiewandler ist, insbesondere ein Luftkompressor, ein Druckerzeuger für eine Umkehrroseanlage oder eine Kältemaschine.

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

4. Kraftverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das angetriebene Subsystem auf einem tieferen Temperaturniveau als die Arbeitsmaschine arbeitet.

5. Kraftverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit in der Erhitzer-Generator-Kühler- beziehungsweise Erhitzer-Rekuperator-Kühler-Anordnung (14, 15, 16) periodisch in abwechselnder Fließrichtung verschoben wird.

6. Kraftverstärker nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch ein schaltbares Absperelement (17), über welches der von der expandierenden Flüssigkeitsseule erzeugte Druck zeitlich und betraglich geregelt werden kann.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

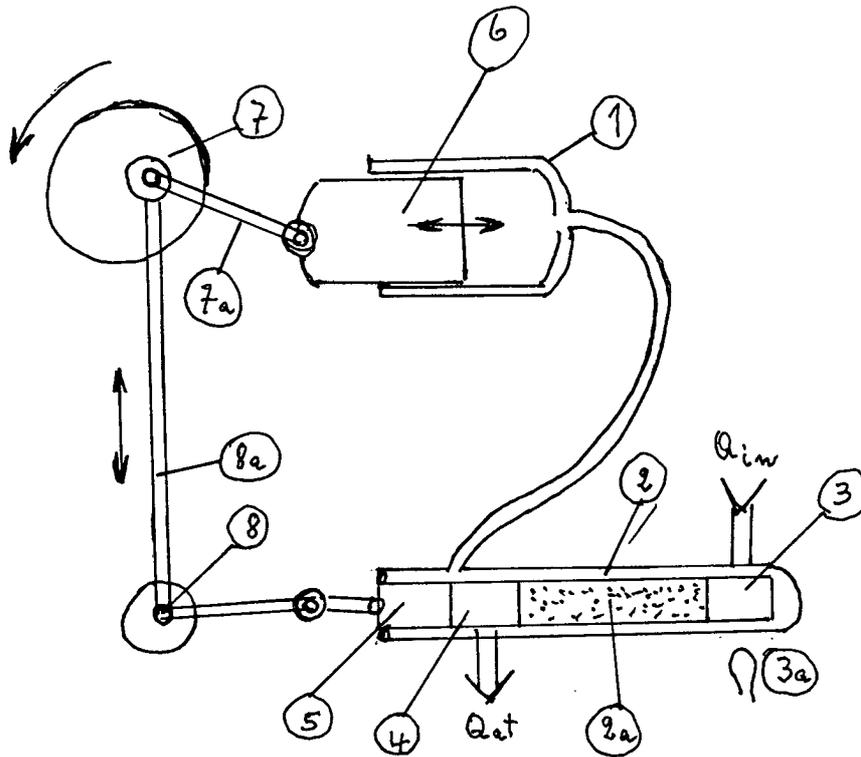


Fig. 2

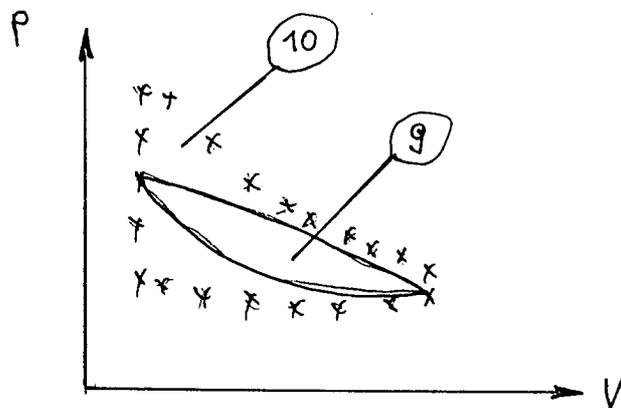


Fig. 3

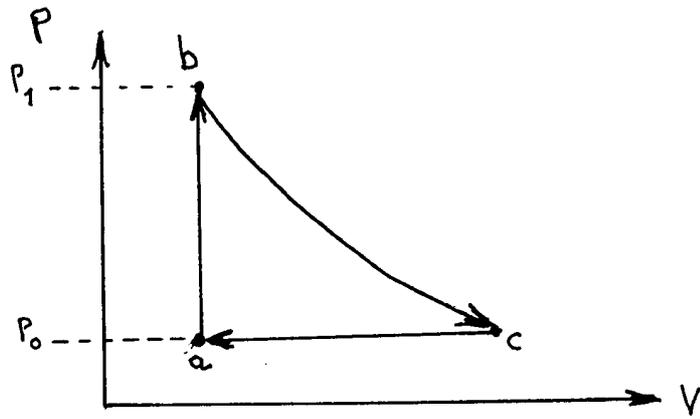


Fig. 4

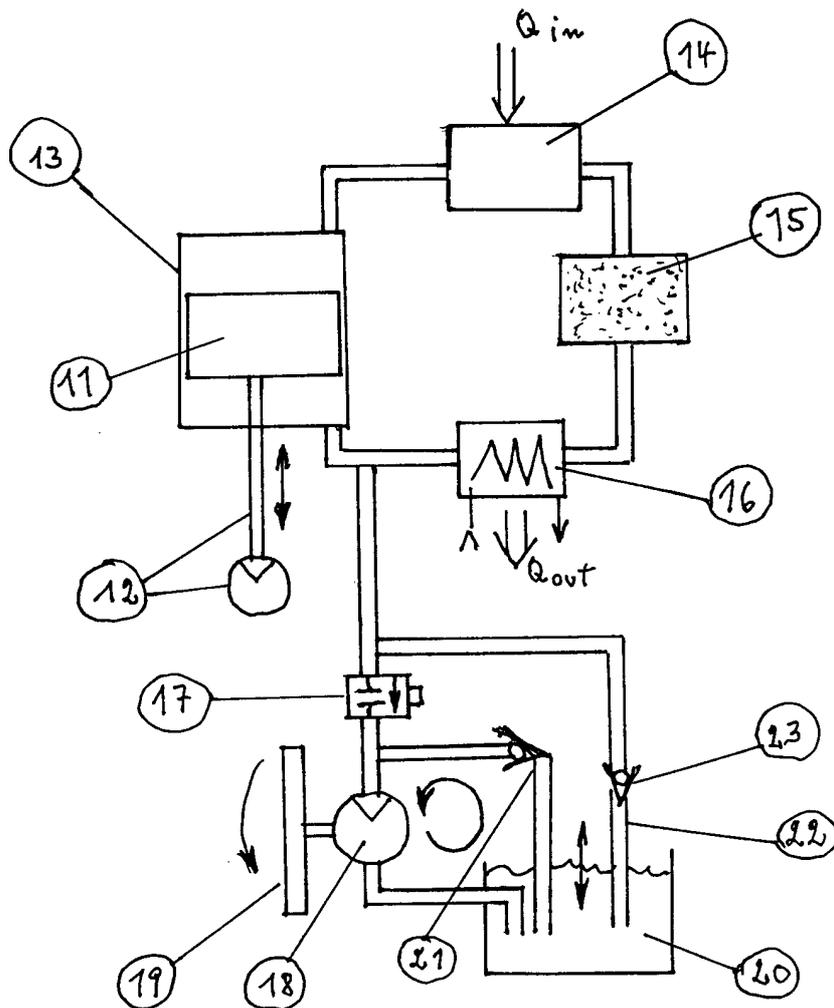


Fig. 4a

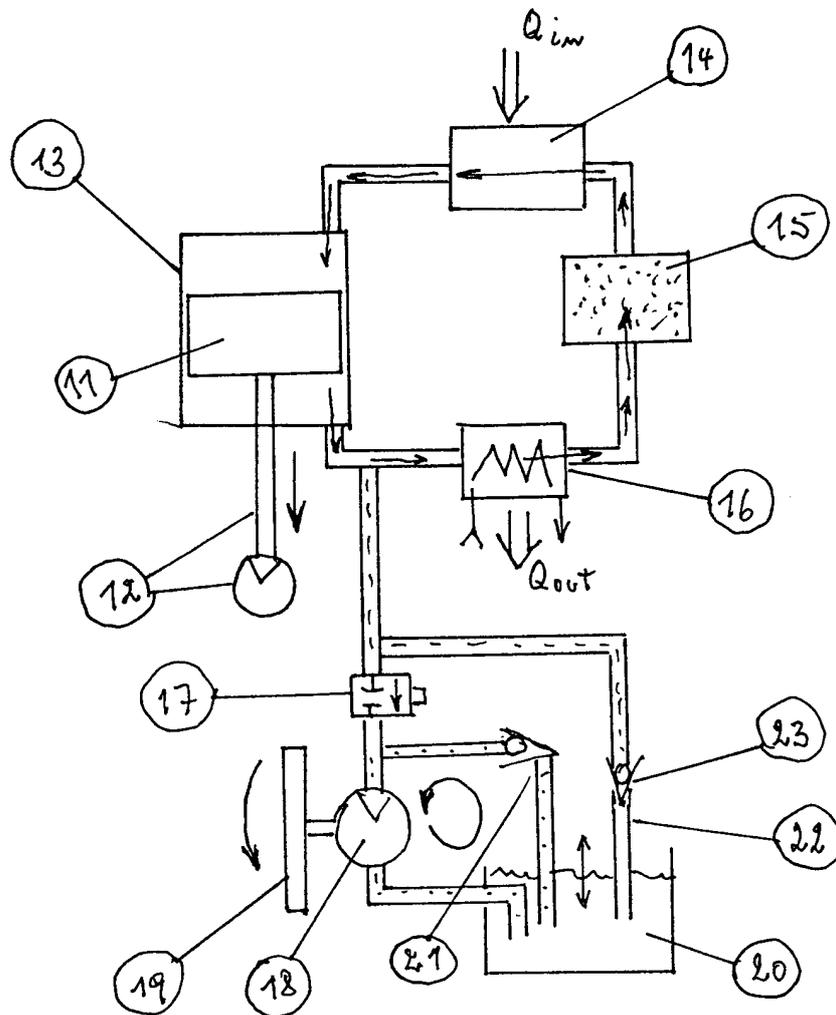
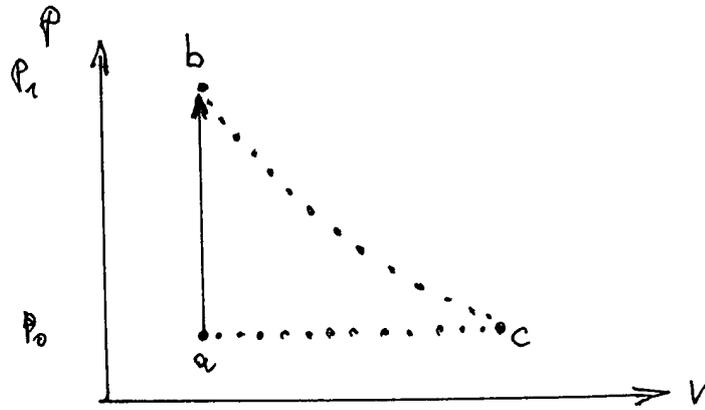


Fig. 4b

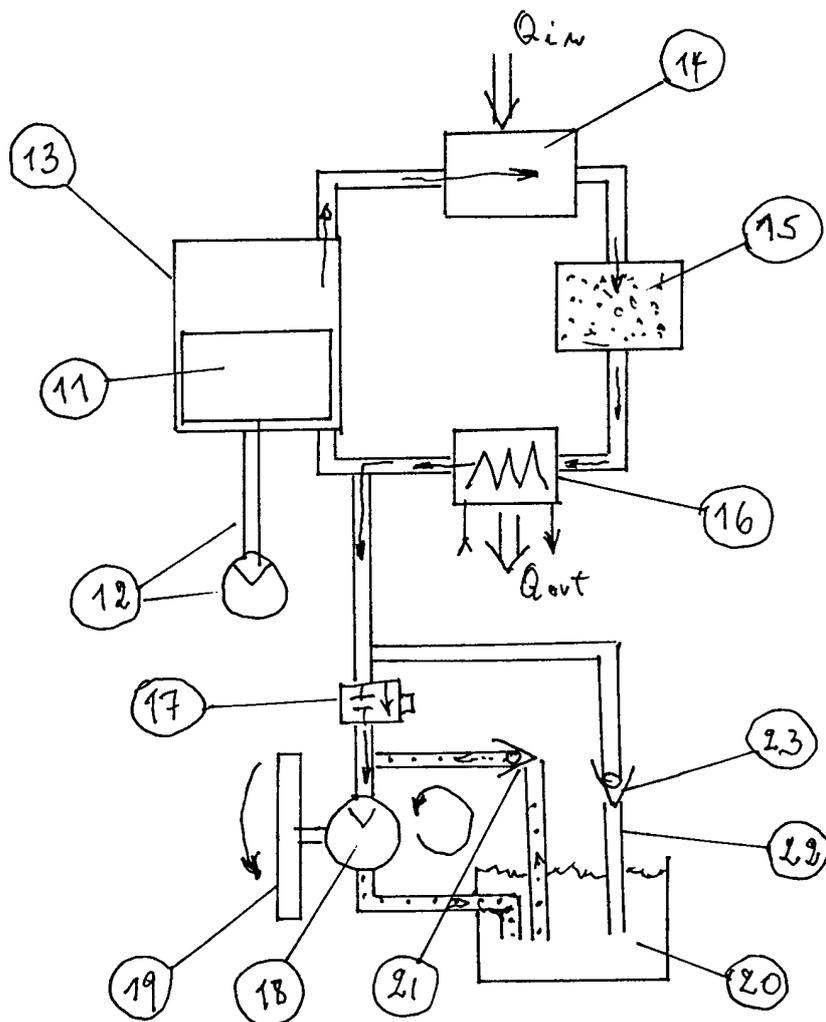
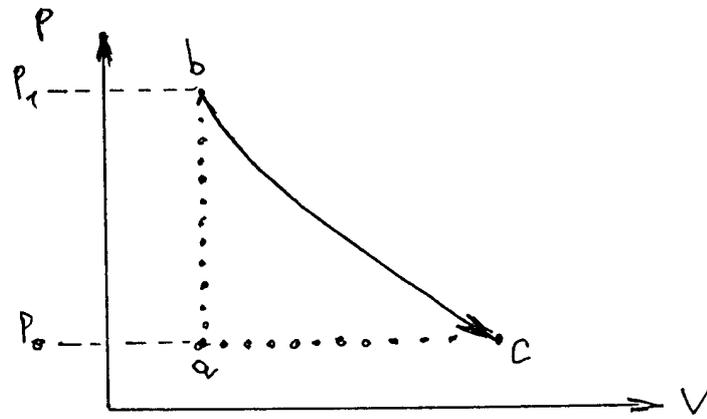


Fig. 4c

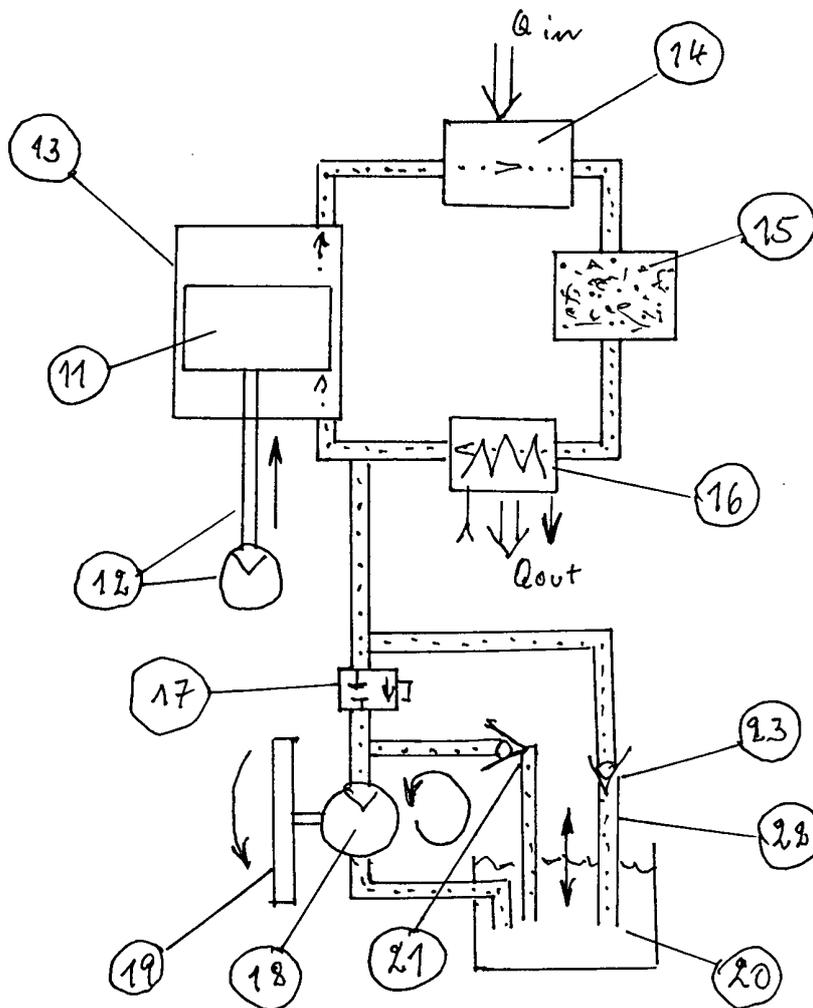
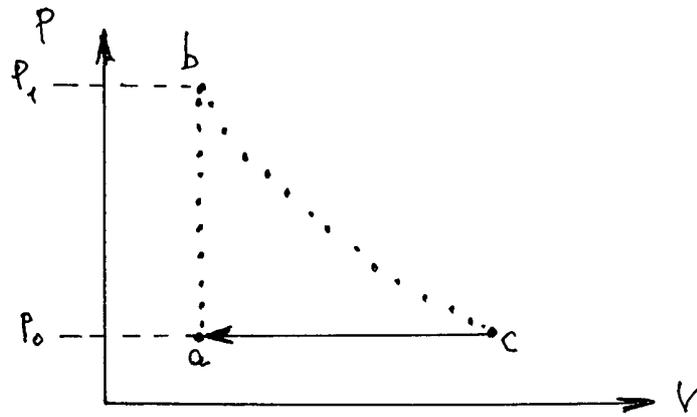


Fig. 5

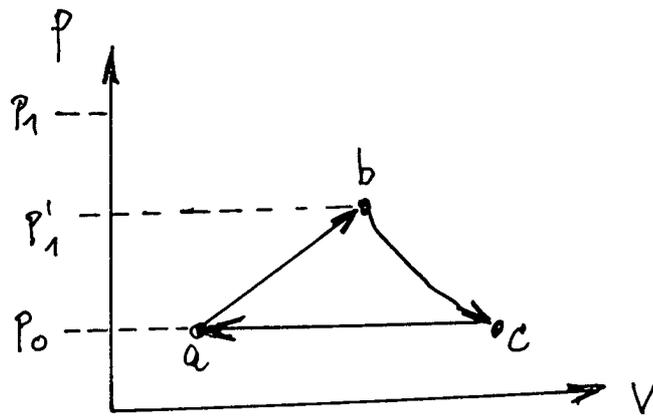


Fig. 6

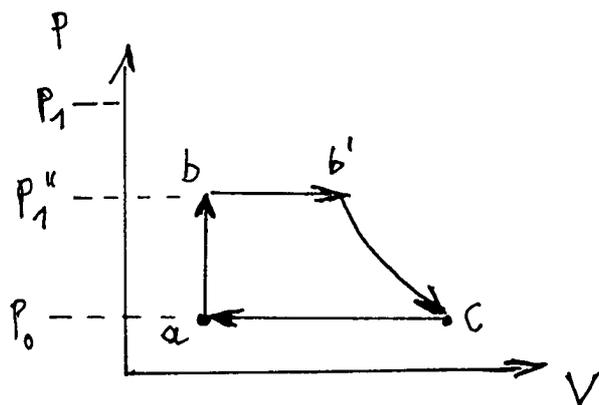


Fig. 7

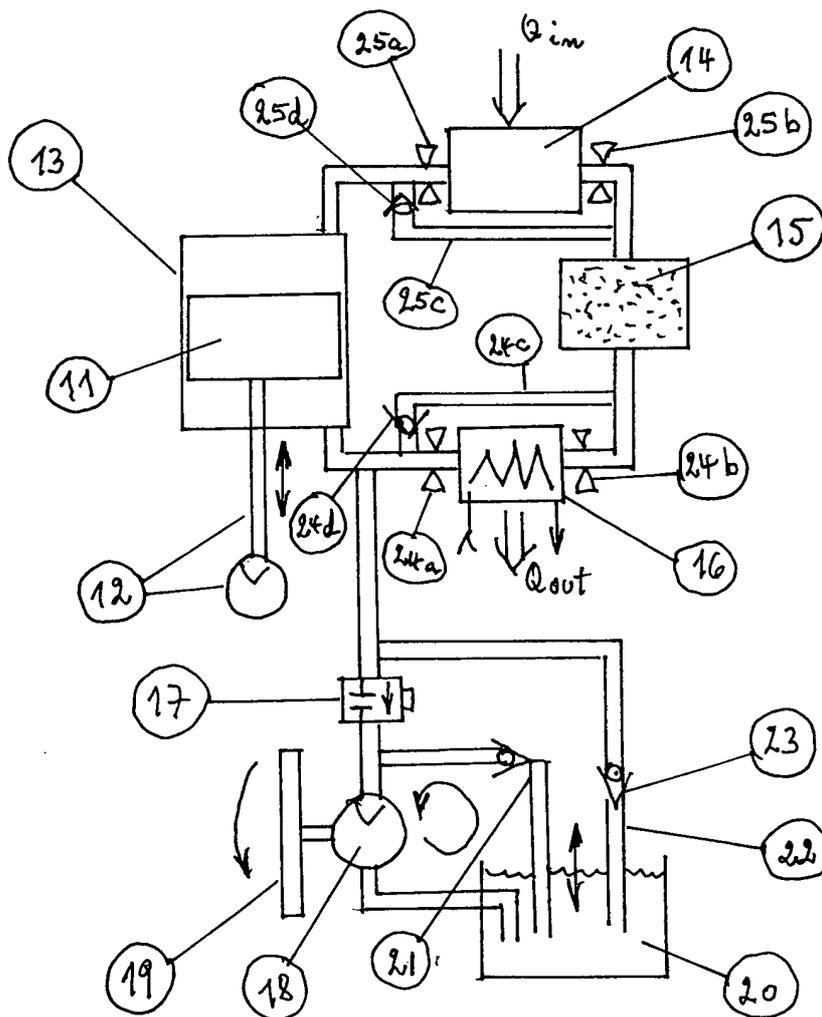
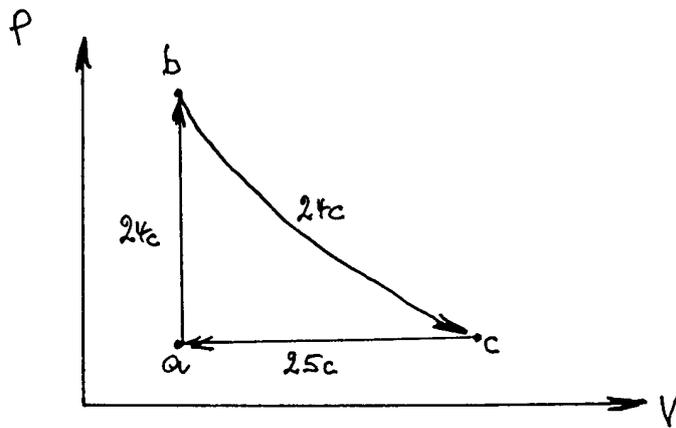


Fig. 8

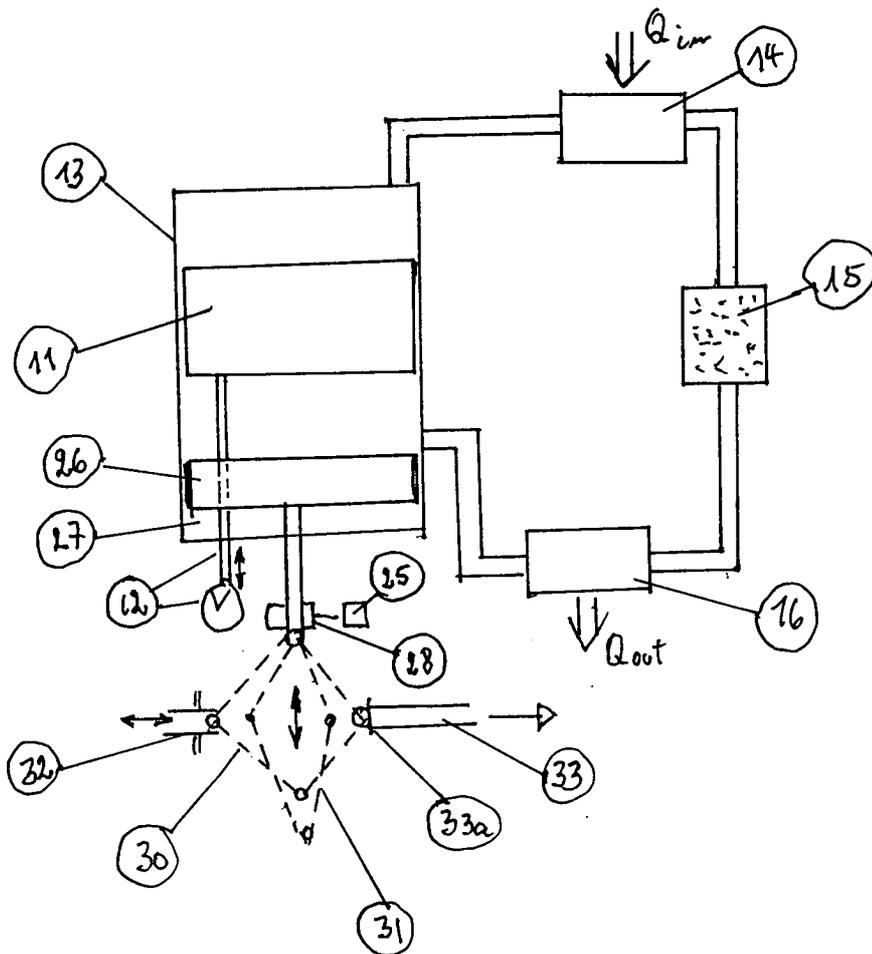
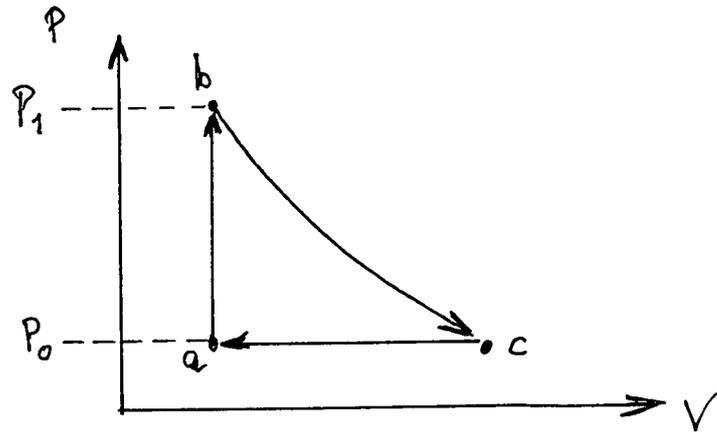


Fig. 9a

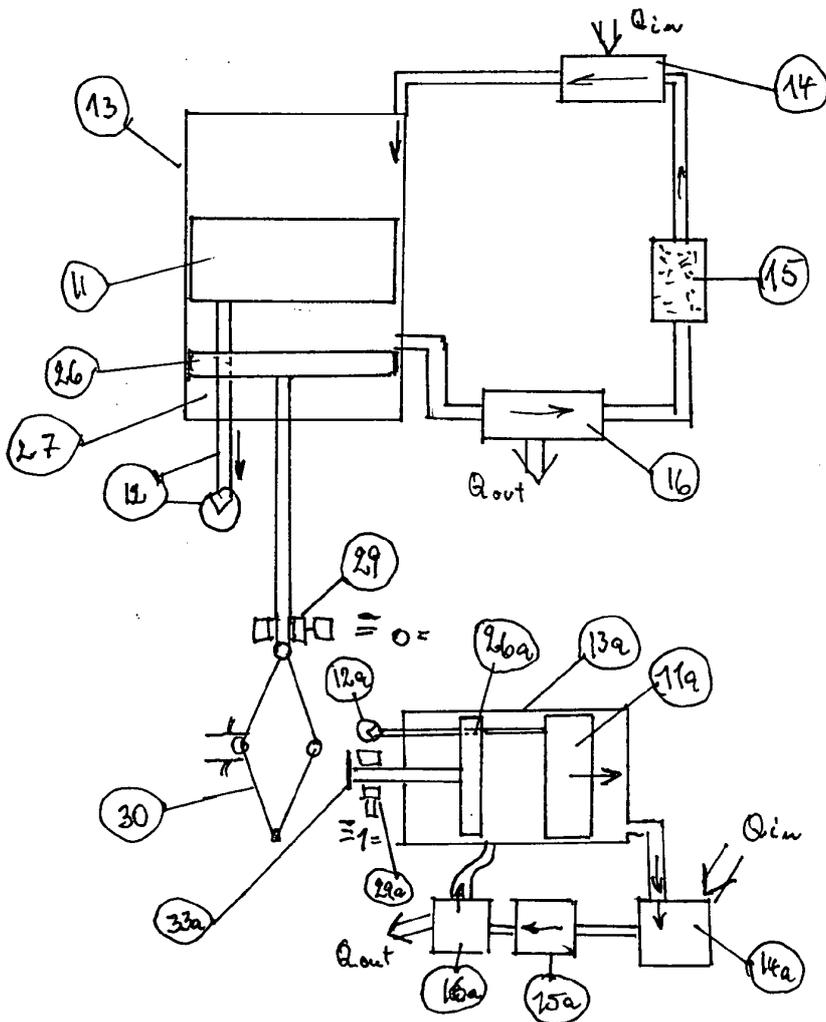
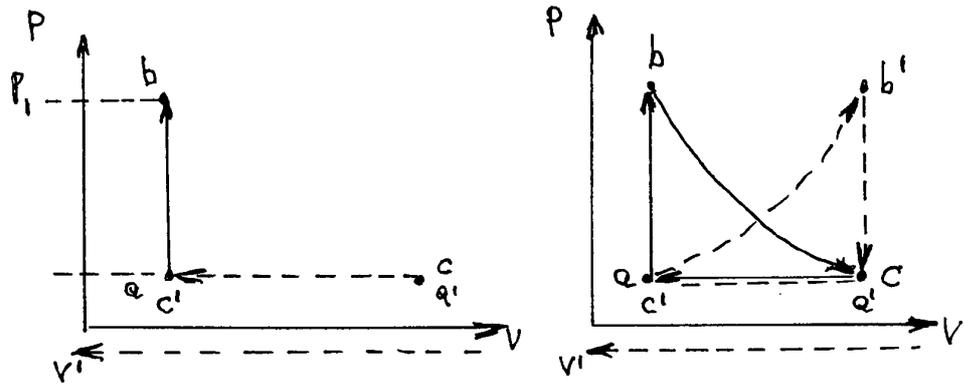


Fig. 9b

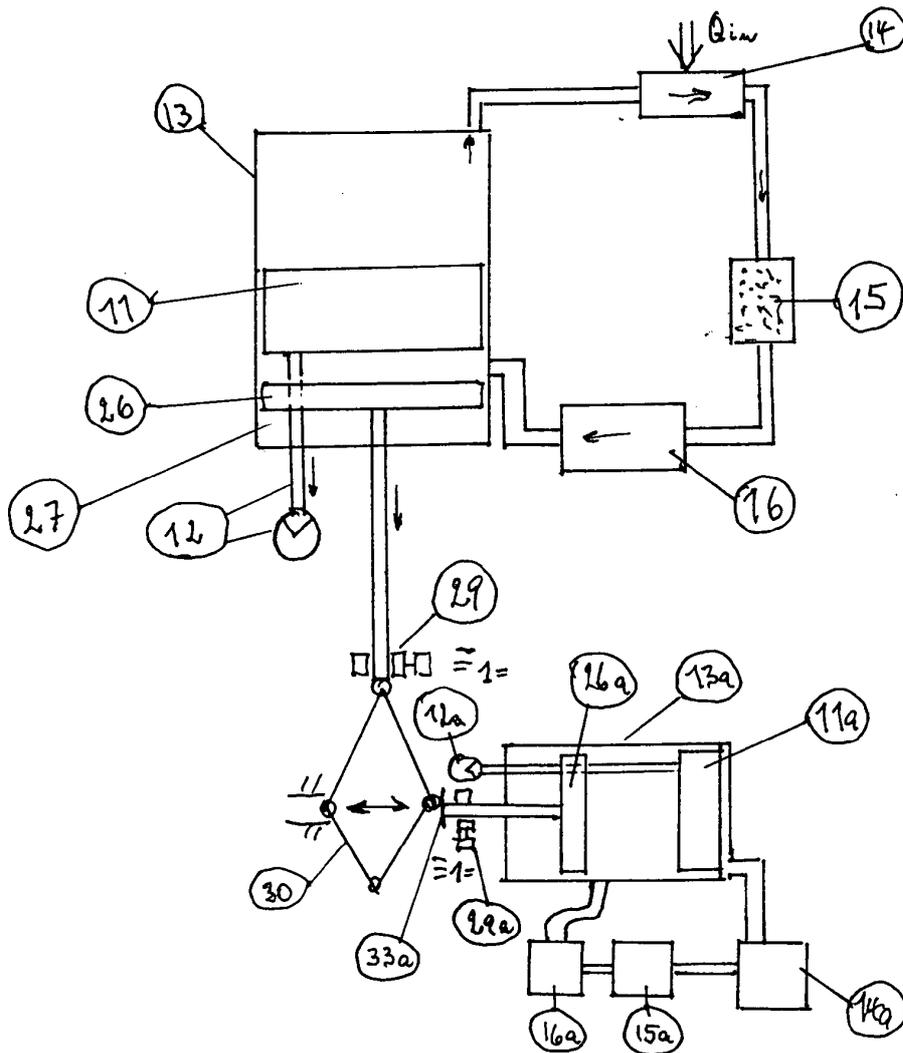
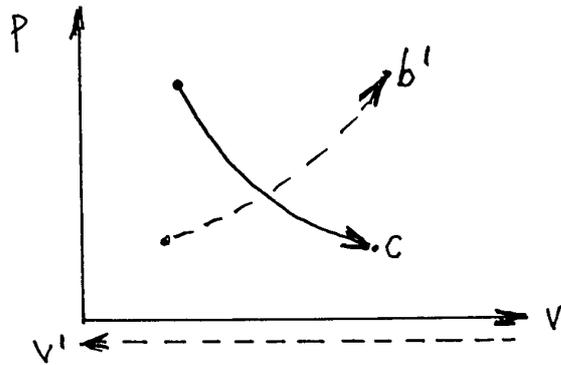


Fig. 9c

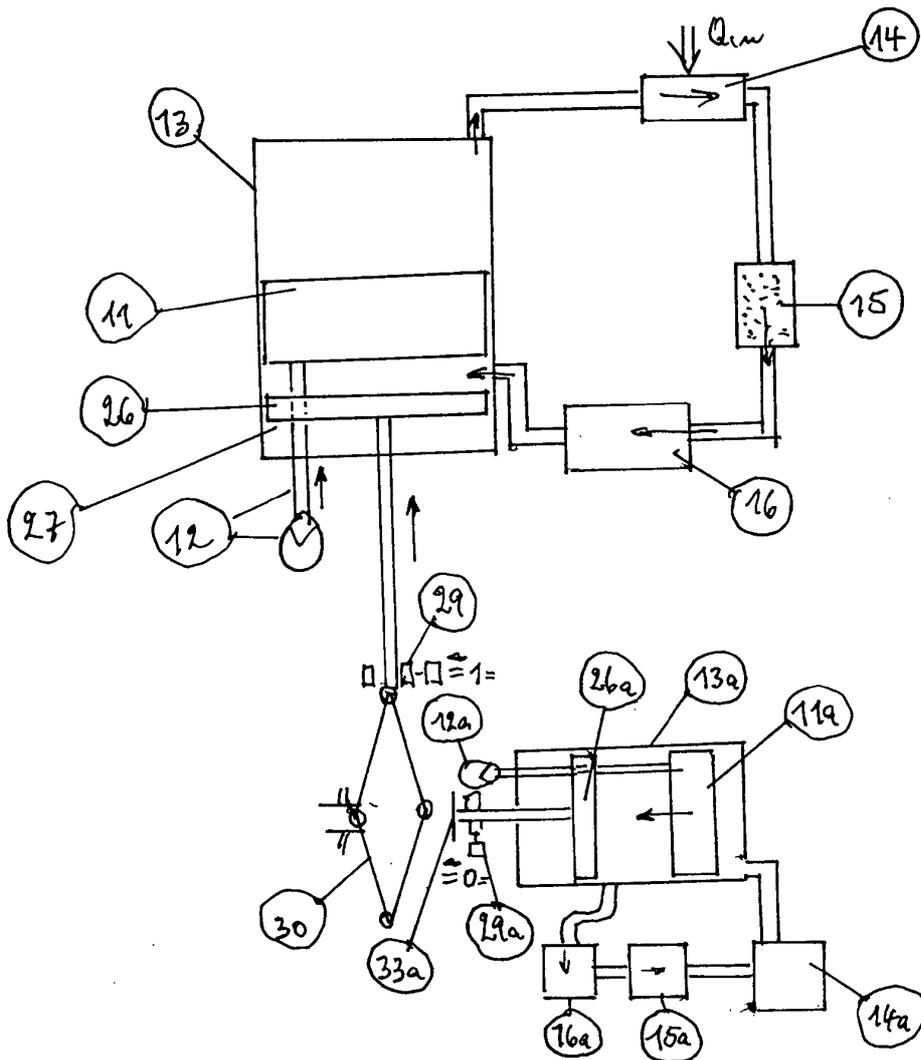
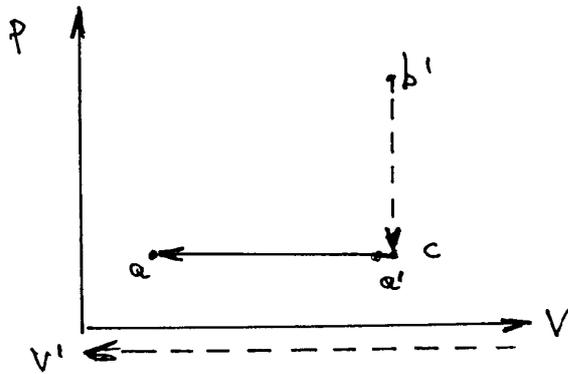


Fig. 10

