

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
20. August 2009 (20.08.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/100710 A2

(51) Internationale Patentklassifikation:
F02G 1/044 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2009/000178

(22) Internationales Anmeldedatum:
11. Februar 2009 (11.02.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
20 2008 001 920.6
11. Februar 2008 (11.02.2008) DE

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: PASEMANN, Lutz [DE/DE]; Waldstrasse 48,
76133 Karlsruhe (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,

DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

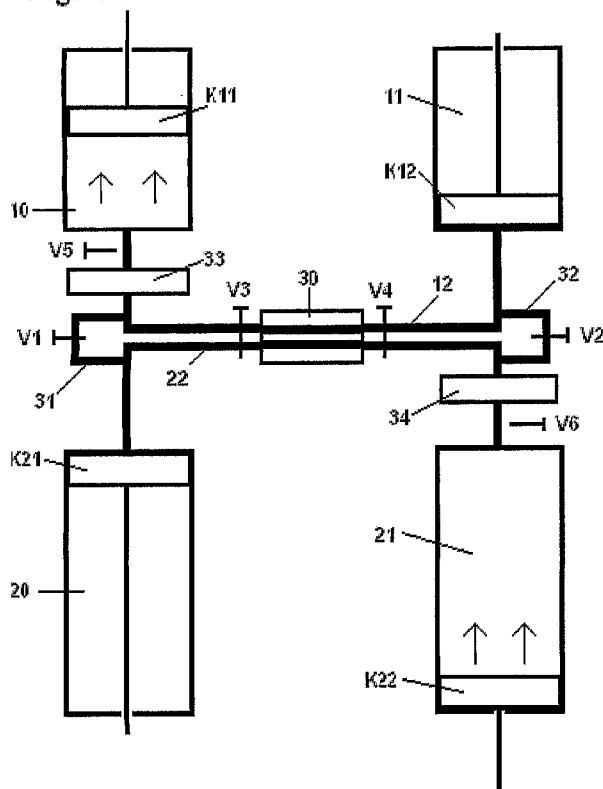
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,
SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: STIRLING ENGINE

(54) Bezeichnung: STIRLINGMASCHINE

Fig. 1a



(57) Abstract: The invention relates to a Stirling engine encompassing two or more sub-systems comprising a working gas and connected to each other according to the invention such that the first sub-system is connected via a counter-current heat exchanger to the last sub-system such that, during operation, an amount of heat necessary for the isochoric heating thereof is transmitted from the hot working gas of the last sub-system via a counter-current heat exchanger into the cold working gas of the first sub-system, whereby the working gas of the last sub-system is isochorically cooled down, and that all remaining sub-systems are connected such to the respectively upstream sub-system via bypass lines closeable by valves that they are thereby isochorically heated during operation, that the hot working gas of the respectively upstream sub-system is pushed into said sub-systems via the opened bypass lines, and at the same time the cold working gas of said sub-systems is pushed into the respectively upstream sub-system in the same quantity and equally large volume, whereby the respectively upstream sub-system is isochorically cooled down.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/100710 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

Die Erfindung betrifft eine Stirlingmaschine, die aus zwei oder mehreren Teilsystemen besteht, die ein Arbeitsgas enthalten, und die erfindungsgemäß derart miteinander verbunden sind, dass das erste Teilsystem derart über einen Gegenstrom- Wärmetauscher mit dem letzten Teilsystem, dass im Betrieb in das kalte Arbeitsgas des ersten Teilsystems eine für seine isochore Erwärmung notwendige Wärmemenge über einen Gegenstrom-Wärmetauscher aus dem heißen Arbeitsgas des letzten Teilsystems übertragen wird, wodurch das Arbeitsgas des letzten Teilsystems isochor abgekühlt wird, und dass alle übrigen Teilsysteme über mit Ventilen verschließbare Bypass- Leitungen mit dem jeweils vorangestellten Teilsystem derart verbunden sind, dass sie im Betrieb dadurch isochor erwärmt werden, dass in sie über die geöffneten Bypass-Leitungen das heiße Arbeitsgas des jeweils vorangestellten Teilsystems geschoben wird, und simultan in das jeweils vorangestellte Teilsystem ihr eigenes kaltes Arbeitsgas gleicher Menge und gleich großen Volumens geschoben wird, wodurch das jeweils vorangestellte Teilsystem isochor abgekühlt wird.

Stirlingmaschine

Die Stirlingmaschine ist die Wärme-Kraft-Maschine, die bei idealem Kreisprozess den höchsten Wirkungsgrad hat. Um bei einer realen Stirlingmaschine einen Wirkungsgrad zu erreichen, der dem idealen Wirkungsgrad möglichst nahe kommt, ist es wichtig, dass die Stirlingmaschine ein Regulativ besitzt, das bewirkt, dass während eines Kreisprozesses die innere Wärme gespeichert und möglichst wieder verlustfrei zur Verfügung gestellt wird.

Üblicherweise übernimmt der sog. „Regenerator“ diese Aufgabe der Speicherung und Wiederbereitstellung der inneren Wärme in einer Stirlingmaschine. Nach dem Stand der Technik gibt es aber auch Stirlingmaschinen ohne das konventionelle Bauelement „Regenerator“, wie z. B. aus der Patentschrift DE 197 52 996 bekannt ist.

Die Erfindung betrifft eine Stirlingmaschine ohne konventionellen Regenerator, die aus zwei oder mehreren Teilsystemen besteht, die ein Arbeitsgas enthalten, und in denen bei idealem Kreisprozess jeweils ein Stirling-Kreisprozess mit den Zustandsänderungen isotherme Kompression, isochore Erwärmung, isotherme Expansion und isochore Abkühlung durchführbar ist.

Erfindungsgemäß sind die Teilsysteme derart miteinander verbunden, das erste Teilsystem derart über einen Gegenstrom-Wärmetauscher mit dem letzten Teilsystem, dass im Betrieb in das kalte Arbeitsgas des ersten Teilsystems die für seine isochore Erwärmung notwendige Wärmemenge über den Gegenstrom-Wärmetauscher aus dem heißen Arbeitsgas des letzten Teilsystems übertragen wird, so dass das Arbeitsgas des letzten Teilsystems durch die Abgabe dieser Wärmemenge über den Gegenstrom-Wärmetauscher isochor abgekühlt wird, und dass alle übrigen Teilsysteme über mit Ventilen verschließbare Bypass-Leitungen mit dem jeweils vorangestellten Teilsystem derart verbunden sind, dass sie im Betrieb dadurch isochor erwärmt werden, dass in sie über die geöffneten Bypass-Leitungen das heiße Arbeitsgas des jeweils vorangestellten Teilsystems geschoben wird, und simultan in das jeweils vorangestellte Teilsystem ihr eigenes kaltes Arbeitsgas gleicher Menge und gleich großen Volumens geschoben wird, wodurch das jeweils vorangestellte Teilsystem isochor abgekühlt wird.

Im Unterschied zur erfindungsgemäßen Stirlingmaschine benötigt die aus der Patentschrift DE 197 52 996 bekannte Stirlingmaschine für ihren Betrieb eine sog. Vorwärmkammer mit zugehörigem beweglichen Kolben, einem Erhitzer und einer durch ein Ventil verschließbaren Bypass-Leitung und eine sog. Vorkühlkammer mit zugehörigem beweglichen Kolben, einem Kühler und einer durch ein Ventil verschließbaren weiteren Bypass-Leitung, und eine Steuerung, die die Bewegung der Kolben in der Vorwärmkammer und der Vorkühlkammer und die der zugehörigen Ventile mit der Bewegung der übrigen Kolben und Ventile der Stirlingmaschine koordiniert. Darüber hinaus sind - im Unterschied zu der aus der Patentschrift DE 197 52 996 bekannten Stirlingmaschine - die Erhitzer und Kühler der erfindungsgemäßen Stirlingmaschine als Bauelemente ausgeführt und entsprechend ihrer Einbindung in den Kreisprozess angeordnet.

In den Abbildungen 1a bis 4b ist schematisch eine Ausführungsform einer aus zwei Teilsystemen bestehenden erfindungsgemäßen Stirlingmaschine in den unterschiedlichen Zuständen eines Kreisprozesses dargestellt. Bei dieser doppelt-wirkenden Stirlingmaschine besteht das erste Teilsystem aus einem ersten Expansionszylinder 10 und einem ersten Kompressionszylinder 11, und das zweite Teilsystem besteht aus einem zweiten Expansionszylinder 20 und einem zweiten Kompressionszylinder 21. Die Volumina der Expansionszylinder 10 und 20 und der Kompressionszylinder 11 und 21 des ersten und zweiten Teilsystems sind so zu wählen, dass das Volumen des Arbeitsgases am Ende seiner Heißgas-Expansion im Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems gleich ist sowohl dem Volumen des Arbeitsgases zu Beginn seiner Heißgas-Expansion im Expansionszylinder 20 des zweiten Teilsystems als auch dem Volumen des kalten Arbeitsgases am Ende seiner Kaltgas-Kompression im Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems, und dass dieses Volumen wiederum gleich dem Volumen des kalten Arbeitsgases zu Beginn von seiner Kaltgas-Kompression im Kompressionszylinder 11 des ersten Teilsystems ist. Darüber hinaus sind die Arbeitsgasmengen und die Kompressionsverhältnisse der beiden Teilsysteme gleich groß zu wählen, wobei das Kompressionsverhältnis jeweils aus dem Verhältnis der Volumina des kalten Arbeitsgases zu Beginn und am Ende seiner Kompression gebildet wird. Die Gleichheit der Kompressionsverhältnisse des ersten und zweiten Teilsystems ist gleichbedeutend damit, dass das Verhältnis der Hubvolumina der beiden Teilsysteme gleich dem Kompressionsverhältnis des ersten Teilsystems ist.

Der Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems ist mit einem Erhitzer 33 und mit dem Kompressionszylinder 11 des ersten Teilsystems durch eine erste Verbindungsleitung 12 verbunden, und der Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems ist mit einem Kühler 34 und dem Expansionszylinder 20 des zweiten Teilsystems durch eine zweite Verbindungsleitung 22 verbunden, wobei die beiden Verbindungsleitungen 12 und 22 derart aneinander vorbeigeführt werden, dass sie einen Gegenstrom-Wärmetauscher 30 bilden, und die Verbindungsleitungen 12 und 22 durch ein Ventil V3, das vor dem Eingang zum Gegenstrom-Wärmetauscher 30 auf der von den Expansionszylindern 10 und 20 und dem Erhitzer 33 gebildeten Heißraumseite der Stirlingmaschine positioniert ist, und durch ein Ventil V4, das vor dem Eingang zum Gegenstrom-Wärmetauscher 30 auf der von den Kompressionszylindern 11 und 21 und dem Kühler 34 gebildeten Kaltraumseite positioniert ist, verschließbar sind, und zusätzlich die Verbindungsleitung 12 zwischen dem Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems und dem Erhitzer 33 durch ein Ventil V5 und die Verbindungsleitung 22 zwischen dem Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems und dem Kühler 34 durch ein Ventil V6 verschließbar ist. Eine durch ein Ventil V1 verschließbare erste Bypass-Leitung 31 verbindet den Expansionszylinder 20 des zweiten Teilsystems mit dem Erhitzer 33 und dem Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems und überbrückt damit die Verbindungsleitungen 12 und 22 auf der Heißraumseite vor dem Gegenstrom-Wärmetauscher 30, und eine durch ein Ventil V2 verschließbare zweite Bypass-Leitung 32 verbindet den Kompressionszylinder 11 des ersten Teilsystems mit dem Kühler 34 und dem Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems und überbrückt damit die Verbindungsleitungen 12 und 22 auf der Kaltraumseite vor dem Gegenstrom-Wärmetauscher 30.

Es ist ein wichtiges Merkmal dieser Ausführungsform einer doppelt-wirkenden Stirlingmaschine, dass beide Teilsysteme einen Erhitzer (33) und einen Kühler (34) gemeinsam nutzen.

Fig. 1a zeigt schematisch diese Ausführungsform der erfindungsgemäßen Stirlingmaschine zu Beginn der Heißgas-Expansion des ersten Teilsystems und zu Beginn der simultan ablaufenden Kaltgas-Kompression des zweiten Teilsystems, und in Fig. 1 b ist das Ende dieser Zustandsänderungen gezeigt. Die Ventile V1 und V2 der ersten 31 bzw. zweiten Bypass-Leitung 32 sind geschlossen, um eine Durchmischung des Arbeitsgases des ersten und zweiten Teilsystems zu verhindern. Eine

Durchmischung wäre bei realem Prozessverlauf über nicht geschlossene Bypass-Leitungen 31 und 32 möglich, wenn die Position des Expansionskolbens K21 des zweiten Teilsystems und des Kompressionskolbens K12 des ersten Teilsystems von der in Fig. 1a und Fig. 1b dargestellten idealen Position während der Heißgas-Expansion des ersten Teilsystems bzw. der Kaltgas-Kompression des zweiten Teilsystems abweicht. Außerdem sind die Ventile V3 und V4 der Verbindungsleitungen 12 und 22 geschlossen, so dass sich kein heißes Arbeitsgas der Heißraumseite mit dem kalten Arbeitsgas der Kaltraumseite vermischen kann. Das Ventil V5 ist geöffnet, so dass im Betrieb durch die über den Erhitzer 33 zugeführte äußere Wärme das Arbeitsgas im Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems expandiert – im Idealfall isotherm – und den Expansionskolben K11 um den Hub des ersten Teilsystems verschiebt. Simultan zu dieser Heißgas-Expansion wird im Betrieb das kalte Arbeitsgas im Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems durch die Bewegung des Kompressionskolbens K22 um den Hub des zweiten Teilsystems komprimiert – im Idealfall isotherm. Für die Abführung der Kompressionswärme ist bei geöffnetem Ventil V6 der Kühler 34 durch die zweite Verbindungsleitung 22 mit dem Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems verbunden.

Auf diese Heißgas-Expansion des ersten Teilsystems und simultane Kaltgas-Kompression des zweiten Teilsystems folgt im Betrieb die Abkühlung des ersten Teilsystems und die simultan stattfindende Erwärmung des zweiten Teilsystems, die im Idealfall jeweils isochor verlaufen, wobei in Fig. 2a der Beginn und in Fig. 2b das Ende der isochoren Erwärmung des zweiten Teilsystems und der isochoren Abkühlung des ersten Teilsystems gezeigt werden. Die Ventile V3 und V4 der Leitungen 12 und 22 bleiben geschlossen, so dass die Heißraumseite von der Kaltraumseite weiterhin getrennt ist. Die Ventile V1 und V2 der die beiden Teilsysteme verbindenden Bypass-Leitungen 31 und 32 sind geöffnet. Der Kolben K11 des Expansionszylinders 10 des ersten Teilsystems und der Kolben K21 des Expansionszylinders 20 des zweiten Teilsystems werden derart simultan bewegt, dass das heiße Arbeitsgas isochor aus dem Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems über den Erhitzer 33 und die Bypass-Leitung 31 in den Expansionszylinder 20 des zweiten Teilsystems geschoben wird, und der Kolben K22 des Kompressionszylinders 21 des zweiten Teilsystems und der Kolben K12 des Kompressionszylinders 11 des ersten Teilsystems werden derart simultan bewegt, dass das kalte Arbeitsgas isochor aus dem Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems über den Kühler 34 und die Bypass-Leitung 32 in den

Kompressionszylinder 11 des ersten Teilsystems geschoben wird.

Auf die isochore Abkühlung des ersten Teilsystems und die simultane isochore Erwärmung des zweiten Teilsystems folgen im Betrieb die Kaltgaskompression des ersten Teilsystems und die simultane Heißgasexpansion des zweiten Teilsystems, deren Beginn in Fig. 3a und deren Ende in Fig. 3b dargestellt sind, und die im Idealfall isotherm ablaufen. Die Ventile V3 und V4 der die Heißraumseite mit der Kaltraumseite verbindenden Leitungen 12 und 22 sind geschlossen wie auch die Ventile V5 und V6, so dass die Verbindung zwischen dem Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems und dem Erhitzer 33 und die Verbindung zwischen Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems und dem Kühler 34 unterbrochen sind. Die Ventile V1 und V2 der Bypass-Leitungen 31 und 32 sind geöffnet, so dass im Betrieb das Arbeitsgas im Expansionszylinder 20 des zweiten Teilsystems durch die über den Erhitzer 33 zugeführte äußere Wärme expandiert und den Kolben K21 um den Hub des zweiten Teilsystems verschiebt. Gleichzeitig wird das kalte Arbeitsgas im Kompressionszylinder 11 des ersten Teilsystems im Betrieb durch die Bewegung des Kompressionskolbens K12 um den Hub des ersten Teilsystems unter Abführung der Kompressionswärme über den Kühler 34 komprimiert. Auf diese – im Idealfall isothermen Zustandsänderungen – folgen die in Fig. 4a und Fig. 4b dargestellten isochoren Zustandsänderungen, mit deren Beendigung der Kreisprozess der Stirlingmaschine abgeschlossen ist.

Fig. 4a zeigt den Beginn der isochoren Erwärmung des ersten Teilsystems und den Beginn der simultan ablaufenden isochoren Abkühlung des zweiten Teilsystems, und Fig. 4b zeigt den Endpunkt dieser Zustandsänderungen. Die Ventile V1 und V2 der Bypass-Leitungen 31 und 32 sind geschlossen, d. h., die beiden Teilsysteme sind bezüglich des Arbeitsgases voneinander getrennt. Die Ventile V3 und V4 der Verbindungsleitungen 12 und 22 und die Ventile V5 und V6 sind geöffnet, so dass es im Betrieb über den Gegenstrom-Wärmetauscher 30 einen Wärmeaustausch zwischen den beiden Teilsystemen gibt. Das geschieht dadurch, dass der Kompressionskolben K12 und der Expansionskolben K11 des ersten Teilsystems derart simultan bewegt werden, dass das kalte Arbeitsgas isochor aus dem Kompressionszylinder 11 des ersten Teilsystems durch die erste Verbindungsleitung 12 in den Gegenstrom-Wärmetauscher 30 und von dort über den Erhitzer 33 in den Expansionszylinder 10 des ersten Teilsystems geschoben wird, und gleichzeitig durch die simultane Bewegung des Expansionskolbens K21 und des Kompressionskolbens K22 des zweiten Teilsystems das heiße Arbeitsgas isochor

Aus dem Expansionszylinder 20 des zweiten Teilsystems durch die Verbindungsleitung 22 in den Gegenstrom-Wärmetauscher 30 geschoben wird und von dort über den Kühler 34 in den Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems, wobei das kalte Arbeitsgas des ersten Teilsystems die für seine isochore Erwärmung notwendige Wärmemenge von dem im Gegenstrom-Wärmetauscher 30 entgegen strömenden heißen Arbeitsgas des zweiten Teilsystems dadurch erhält, dass es eine für den Gegenstrom-Wärmetauscher 30 charakteristische, besonders enge thermische Kopplung der ersten 12 mit der zweiten Verbindungsleitung 22 gibt.

Ein zweites Ausführungsbeispiel erhält man durch Abänderung der in den Abbildungen 1a bis 4b dargestellten Ausführungsform dadurch, dass auf das Ventil V4 verzichtet wird, wodurch der bauliche Aufwand kleiner wird. Aufgrund des nunmehr von der Kaltraumseite her offenen Gegenstrom-Wärmetauschers 30 gibt es in Bezug auf die Kaltgas-Kompressionen des ersten und zweiten Teilsystems und in Bezug auf die isochore Kaltgas-Verschiebung vom Kompressionszylinder 21 des zweiten Teilsystems in den Kompressionszylinder 11 des ersten Teilsystems bei dieser zweiten Ausführungsform im Vergleich zur ersten zusätzlichen Totraum.

Ein drittes Ausführungsbeispiel erhält man durch Abänderung der in Fig. 1a bis 4b gezeigten Ausführungsform dadurch, dass auf die Ventile V5 und V6 verzichtet wird, was den baulichen Aufwand reduziert. Die Steuerung des Arbeitsgasstromes, die in dem in Fig. 1a bis Fig. 4b gezeigten Ausführungsbeispiel durch die Ventile V5 und V6 erfolgt, ist bei dieser Abänderung von dem Expansionskolben K11 des ersten Teilsystems und dem Kompressionskolben K22 des zweiten Teilsystems zu übernehmen.

Ein viertes Ausführungsbeispiel erhält man durch Abänderung der in Fig. 1a bis 4b gezeigten Ausführungsform dadurch, dass auf die Ventile V4, V5 und V6 verzichtet wird. Die Konsequenzen ergeben sich summarisch aus denen des zweiten und dritten Ausführungsbeispiels.

Es versteht sich, dass die Erfindung sowohl das Arbeitsverfahren für verschiedene Typen von Stirlingmaschinen wie Alpha-, Beta- Gamma-Stirlingmaschine als auch verschiedene Stirlingmaschinen zur Durchführung des vorgeschlagenen Arbeitsverfahrens umfasst.

Patentansprüche

1. Stirlingmaschine, bestehend aus einer Anzahl von zwei oder mehr Teilsystemen, die ein Arbeitsgas enthalten und alle miteinander verbunden sind, gekennzeichnet dadurch, dass das erste Teilsystem derart über einen Gegenstrom-Wärmetauscher mit dem letzten Teilsystem verbunden ist, dass im Betrieb in das kalte Arbeitsgas des ersten Teilsystems eine für seine isochore Erwärmung notwendige Wärmemenge über den Gegenstrom-Wärmetauscher aus dem heißen Arbeitsgas des letzten Teilsystems übertragen wird, so dass das Arbeitsgas des letzten Teilsystems durch die Abgabe dieser Wärmemenge über den Gegenstrom-Wärmetauscher isochor abgekühlt wird, und dass alle übrigen Teilsysteme über mit Ventilen verschließbare Bypass-Leitungen mit dem jeweils vorangestellten Teilsystem derart verbunden sind, dass sie im Betrieb dadurch isochor erwärmt werden, dass in sie über die geöffneten Bypass-Leitungen das heiße Arbeitsgas des jeweils vorangestellten Teilsystems geschoben wird, und simultan in das jeweils vorangestellte Teilsystem ihr eigenes kaltes Arbeitsgas gleicher Menge und gleich großen Volumens geschoben wird, wodurch das jeweils vorangestellte Teilsystem isochor abgekühlt wird.

2. Stirlingmaschine nach Anspruch 1 mit einem ersten Teilsystem, bestehend aus einem ersten Expansionszylinder (10) mit zugehörigem Kolben (K11) und aus einem ersten Kompressionszylinder (11) mit zugehörigem Kolben (K12), und mit einem zweiten Teilsystem, bestehend aus einem zweiten Expansionszylinder (20) mit zugehörigem Kolben (K21) und einem zweiten Kompressionszylinder (21) mit zugehörigem Kolben (K22), wobei die Volumina der Expansionszylinder (10, 20) und der Kompressionszylinder (11, 21) des ersten und zweiten Teilsystems sich so zueinander verhalten, dass das Volumen des Arbeitsgases am Ende seiner Heißgas-Expansion im Expansionszylinder (10) des ersten Teilsystems gleich ist sowohl dem Volumen des Arbeitsgases zu Beginn seiner Heißgas-Expansion im Expansionszylinder (20) des zweiten Teilsystems als auch dem Volumen des kalten Arbeitsgases am Ende seiner

Kaltgas-Kompression im Kompressionszylinder (21) des zweiten Teilsystems und auch gleich ist dem Volumen des kalten Arbeitsgases zu Beginn seiner Kompression im Kompressionszylinder (11) des ersten Teilsystems, gekennzeichnet dadurch, dass die Gasmenge in beiden Teilsystemen gleich groß ist und das Kompressionsverhältnis des ersten Teilsystems gleich dem Kompressionsverhältnis des zweiten Teilsystems ist, und dass der Expansionszylinder (10) des ersten Teilsystems mit einem Erhitzer (33) und mit dem Kompressionszylinder (11) des ersten Teilsystems durch eine erste Verbindungsleitung (12) verbunden ist, und dass der Kompressionszylinder (21) des zweiten Teilsystems mit einem Kühler (34) und dem Expansionszylinder (20) des zweiten Teilsystems durch eine zweite Verbindungsleitung (22) verbunden ist, wobei die beiden Verbindungsleitungen (12, 22) derart aneinander vorbeigeführt werden, dass sie einen Gegenstrom-Wärmetauscher (30) bilden, und die Verbindungsleitungen (12, 22) durch ein Ventil (V3), das vor dem Eingang zum Gegenstrom-Wärmetauscher (30) auf der von den Expansionszylindern (10, 20) und dem Erhitzer (33) gebildeten Heißraumseite der Stirlingmaschine positioniert ist, und durch ein weiteres Ventil (V4), das vor dem Eingang zum Gegenstrom-Wärmetauscher (30) auf der von den Kompressionszylindern (11, 21) und dem Kühler (34) gebildeten Kaltraumseite positioniert ist, verschließbar sind, und die erste Verbindungsleitung (12) zwischen dem Expansionszylinder (10) des ersten Teilsystems und dem Erhitzer (33) durch ein zusätzliches Ventil (V5) verschließbar ist ebenso wie die zweite Verbindungsleitung (22) zwischen dem Kompressionszylinder (21) des zweiten Teilsystems und dem Kühler (34) durch ein zusätzliches Ventil (V6) verschließbar ist, und dass die Ventile (V3, V4, V5, V6) der beiden den Gegenstrom-Wärmetauscher (30) bildenden Verbindungsleitungen (12, 22) nur geöffnet sind während der isochoren Erwärmung des ersten Teilsystems, bei der das kalte Arbeitsgas aus dem Kompressionszylinder (11) des ersten Teilsystems über den Gegenstrom-Wärmetauscher (30), wo es erwärmt wird, und den Erhitzer (33) in den Expansionszylinder (10) des ersten Teilsystems geschoben wird, und während der simultan verlaufenden isochoren Abkühlung des zweiten Teilsystems, bei der das heiße Arbeitsgas aus dem Expansionszylinder (20) des zweiten Teilsystems über den Gegenstrom-Wärmetauscher (30), wo es abgekühlt wird, und den Kühler (34) in den Kompressionszylinder (21) des zweiten Teilsystems

geschoben wird,

und dass es eine durch ein Ventil (V1) verschließbare erste Bypass-Leitung (31) gibt, die den Expansionszylinder (20) des zweiten Teilsystems mit dem Erhitzer (33) und dem Expansionszylinder (10) des ersten Teilsystems verbindet und damit die erste Verbindungsleitung (12) und die zweite Verbindungsleitung (22) auf der Heißraumseite vor dem Gegenstrom-Wärmetauscher (30) überbrückt,

und dass es eine durch ein Ventil (V2) verschließbare zweite Bypass-Leitung (32) gibt, die den Kompressionszylinder (11) des ersten Teilsystems mit dem Kühler (34) und den Kompressionszylinder (21) des zweiten Teilsystems verbindet und damit die erste (12) und die zweite Verbindungsleitung (22) auf der Kaltraumseite vor dem Gegenstrom-Wärmetauscher (30) überbrückt, wobei die Ventile (V1, V2) der ersten (31) und zweiten Bypass-Leitung (32) geöffnet sind

während der isochoren Erwärmung des zweiten Teilsystems, bei der das heiße Arbeitsgas aus dem Expansionszylinder (10) des ersten Teilsystems durch den Erhitzer (30) und von dort durch die erste Bypass-Leitung (31) in den Expansionszylinder (20) des zweiten Teilsystems geschoben wird,

und während der simultan ablaufenden isochoren Abkühlung des ersten Teilsystems, bei der das kalte Arbeitsgas aus dem Kompressionszylinder (21) des zweiten Teilsystems durch die zweite Bypass-Leitung (32) in den Kühler (34) und von dort in den Kompressionszylinder (11) des ersten Teilsystems geschoben wird,

und dass die Expansionszylinder (10, 20) des ersten und zweiten Teilsystems während der Heißgas-Expansion nur mit dem Erhitzer (33) verbunden sind, und die Kompressionszylinder (11, 21) des ersten und zweiten Teilsystems während der Kaltgas-Kompression nur mit dem Kühler (34) verbunden sind.

3. Stirlingmaschine nach einem der Ansprüche 1 und 2, gekennzeichnet dadurch, dass die Stirlingmaschine derart mit einem mit Gas, Heizöl oder Festbrennstoff betriebenen Heizkessel gekoppelt ist, dass sie über ihre Erhitzer von der Verbrennungswärme des Brennstoffes beheizt und über ihre Kühler vom Wasser der Heizungsanlage gekühlt wird.

4. Stirlingmaschine nach einem der Ansprüche 1 und 2, gekennzeichnet dadurch, dass eine oder mehrere Stirlingmaschinen derart mit dem Abgaskanal eines Blockheizkraftwerkes gekoppelt sind, dass sie über ihre Erhitzer von dem im Abgaskanal strömenden heißen Auspuffgas beheizt werden.
5. Stirlingmaschine nach einem der Ansprüche 1 und 2, gekennzeichnet dadurch, dass die Stirlingmaschine derart mit einem Sonnenkollektor gekoppelt ist, dass sie über ihre Erhitzer von der Wärmestrahlung der Sonne beheizt wird.
6. Stirlingmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet dadurch, dass die mit einer Heizquelle verbundene Stirlingmaschine derart mit einem elektrischen Strom erzeugenden Generator gekoppelt ist, dass das aus Heizquelle, Stirlingmaschine und Generator gebildete System im Betrieb Wärme in elektrische Energie umwandelt.
7. Stirlingsystem nach Anspruch 6 zur dezentralen Stromversorgung von Haushalten und Gehöften.

Fig. 1b

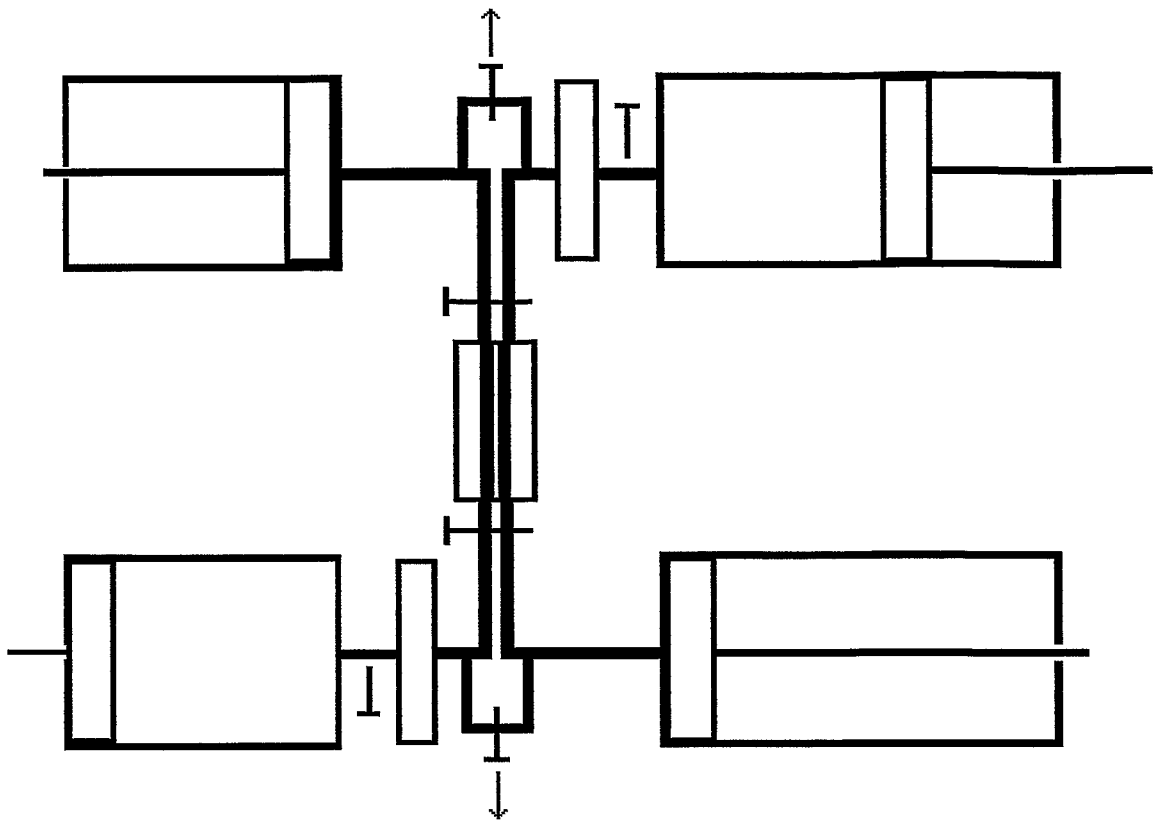
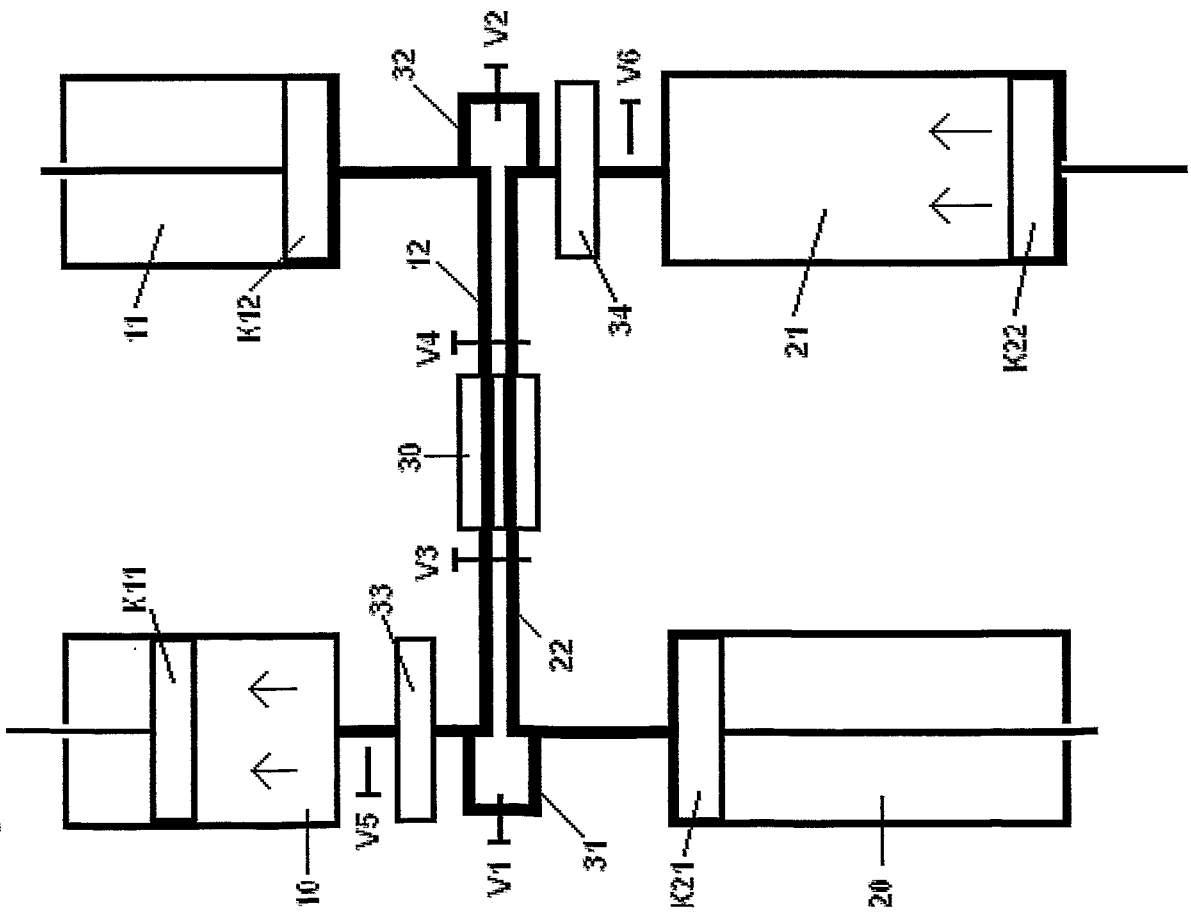


Fig. 1a



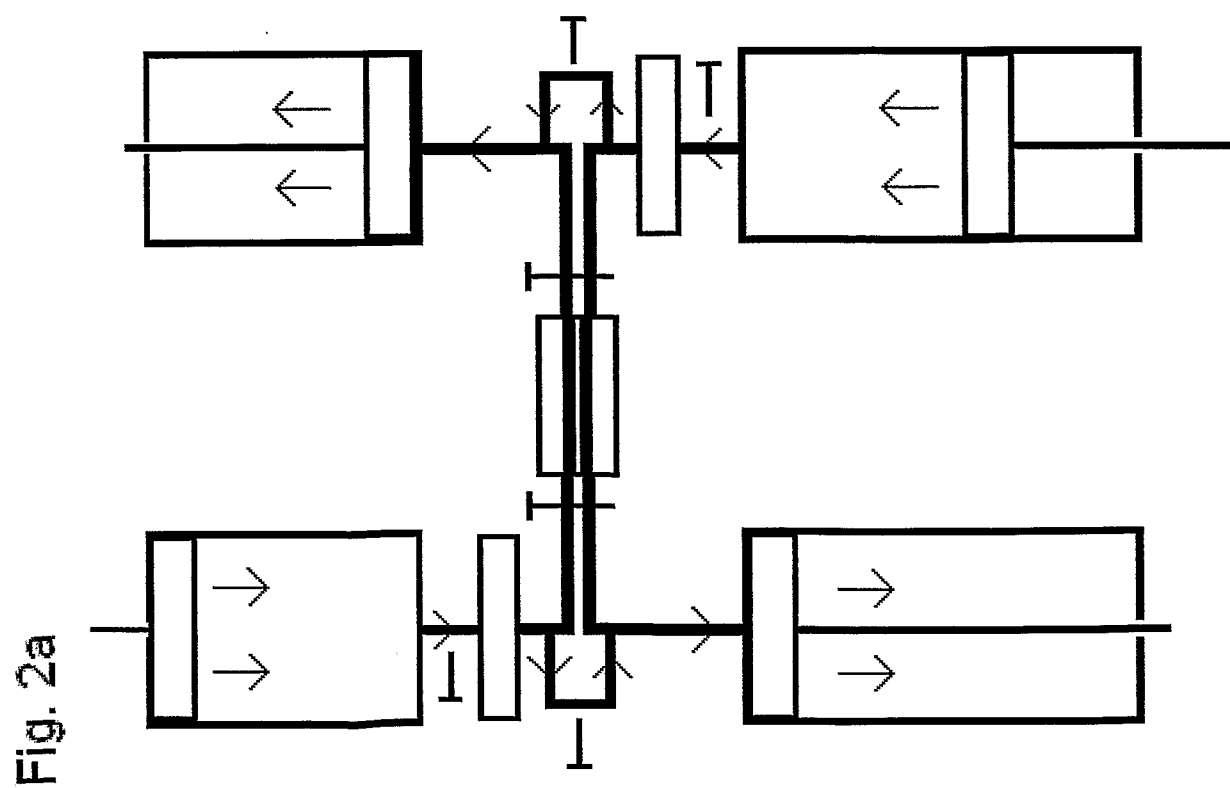
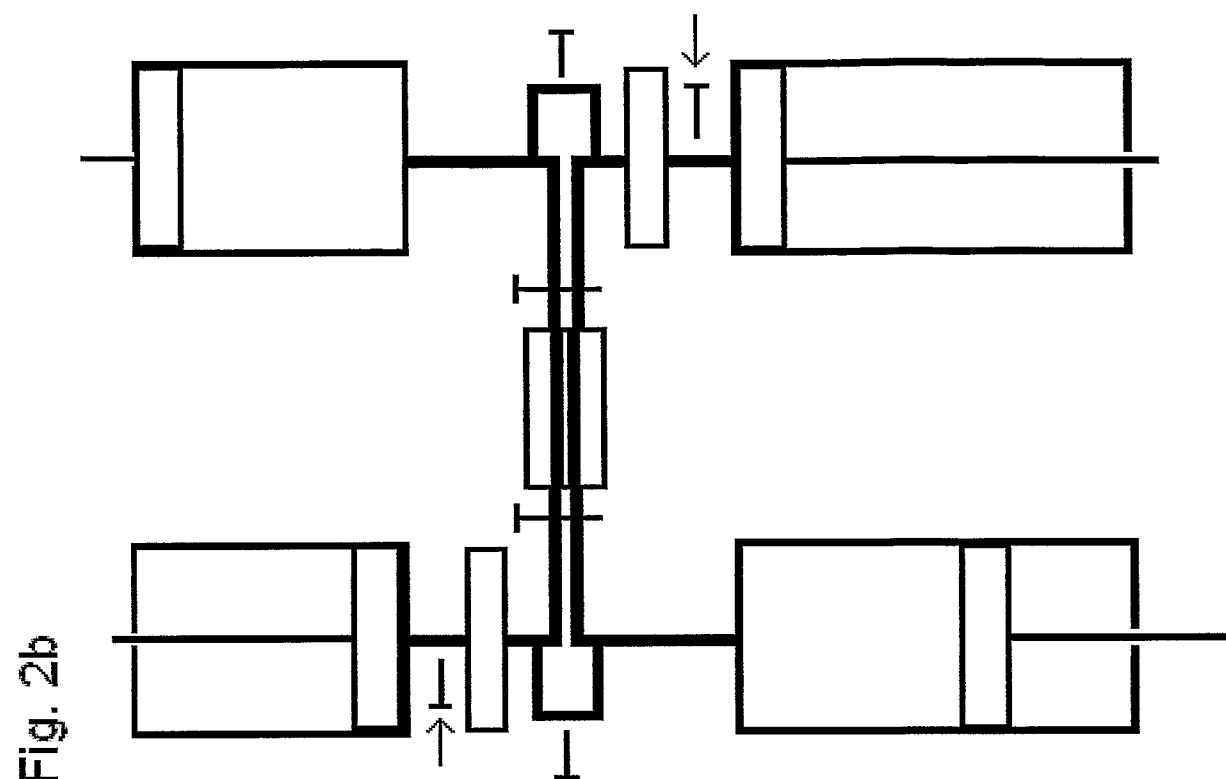


Fig. 3b

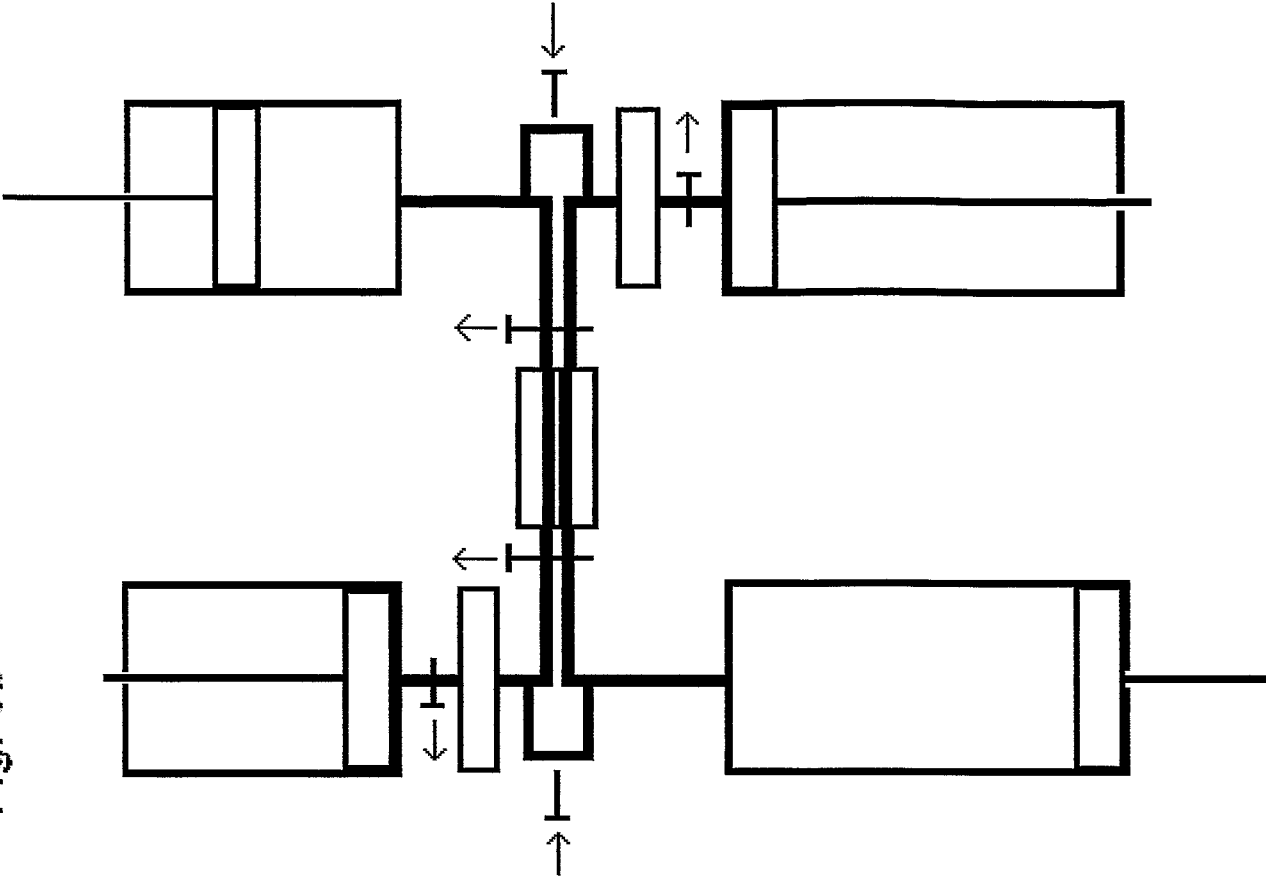


Fig. 3a

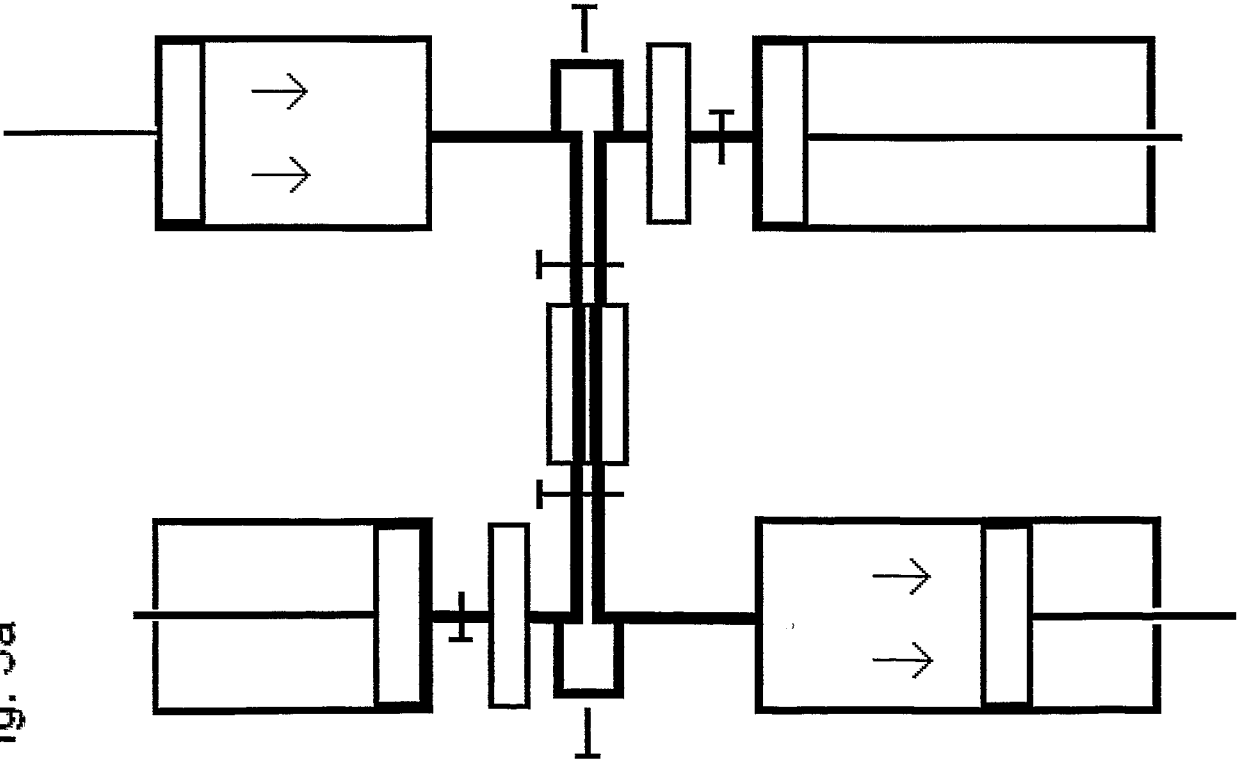


Fig. 4b

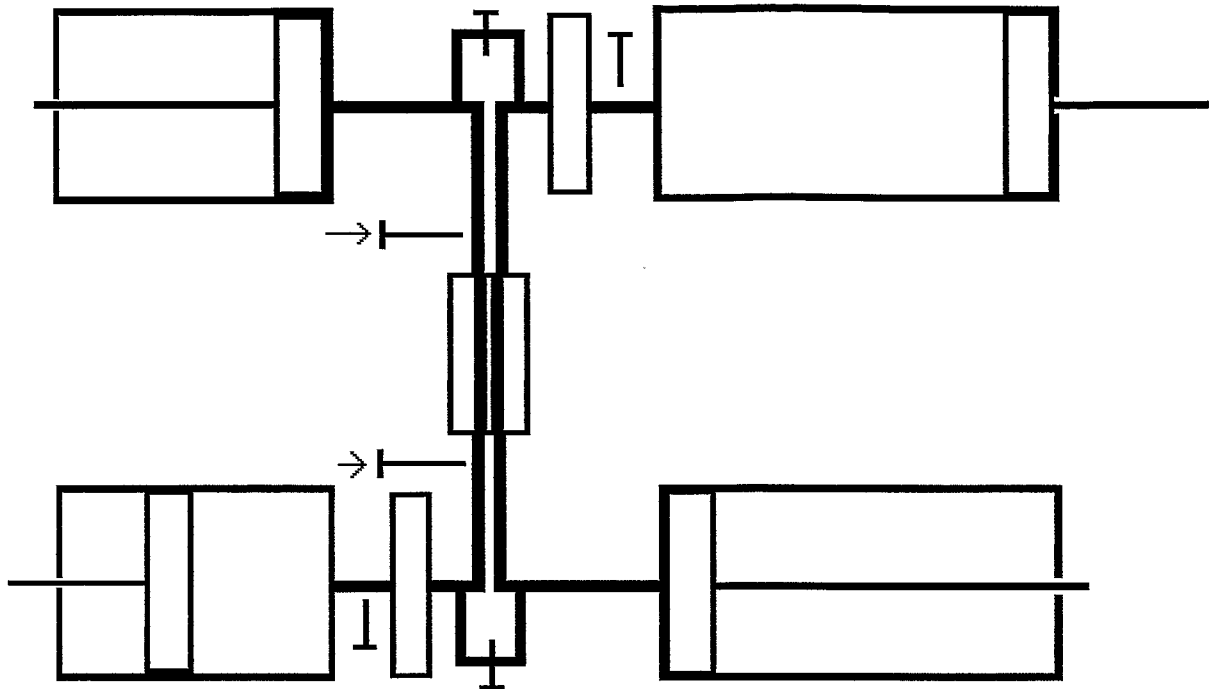


Fig. 4a

