



(10) **AT 518150 A1 2017-07-15**

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50004/2016 (51) Int. Cl.: **F04B 39/00** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 05.01.2016 **H02J 15/00** (2006.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.07.2017 **H02K 44/08** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 AT 514221 A2
 SU 464053 A1

(71) Patentanmelder:
 Schneider Alexander Dipl.Ing. Dr.techn.
 1050 Wien (AT)

(72) Erfinder:
 Schneider Alexander Dipl.Ing. Dr.techn.
 1050 Wien (AT)

(74) Vertreter:
 Sonn & Partner Patentanwälte
 Wien

(54) **Druckluftspeicherkraftwerk**

(57) Druckluftspeicherkraftwerk mit einem Druckluftspeicher, mit einem elektrischen Ein-/Ausgangskreis, mit Kompressions- und Expansionsmitteln, die eine Kolbenpumpe aufweisen, die zwischen einem Pumpbetrieb und einem Generatorbetrieb umschaltbar ist, und mit Elektromagnetmitteln mit einem Kern, der eine geschlossene Schleife mit zwei parallelen geraden Kernteilen bildet, um die Spulen gewickelt sind, wobei zwischen den geraden Kernteilen eine magnetisch leitfähige Brücke zur Verstärkung der radial aus dem Kern austretenden Komponente der Induktion angeordnet ist.

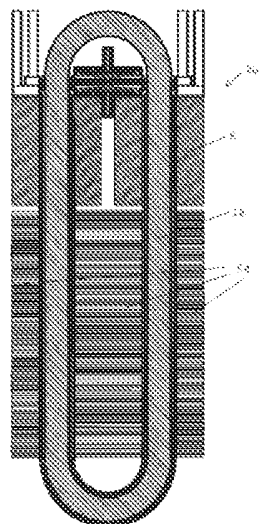


Fig. 1

Zusammenfassung:

Druckluftspeicherkraftwerk mit einem Druckluftspeicher, mit einem elektrischen Ein-/Ausgangskreis, mit Kompressions- und Expansionsmitteln, die eine Kolbenpumpe aufweisen, die zwischen einem Pumpbetrieb und einem Generatorbetrieb umschaltbar ist, und mit Elektromagnetmitteln mit einem Kern, der eine geschlossene Schleife mit zwei parallelen geraden Kernteilen bildet, um die Spulen gewickelt sind, wobei zwischen den geraden Kernteilen eine magnetisch leitfähige Brücke zur Verstärkung der radial aus dem Kern austretenden Komponente der Induktion angeordnet ist.

(Fig. 6)

Die Erfindung betrifft ein Druckluftspeicherkraftwerk mit einem Druckluftspeicher, mit einem elektrischen Ein-/Ausgangskreis, mit Kompressions- und Expansionsmitteln, die eine Kolbenpumpe aufweisen, die zwischen einem Pumpbetrieb und einem Generatorbetrieb umschaltbar ist, und mit Elektromagnetmitteln mit einem Kern, der eine geschlossene Schleife mit zwei parallelen geraden Kernteilen bildet, um die Spulen gewickelt sind. Ein derartiges Druckluftspeicherkraftwerk ist aus WO 2014/169312 A1 bekannt.

Um den Klimawandel zu stoppen, sollen erneuerbare Energieträger einen höheren Anteil im Energiemix erhalten. Das Problem dabei ist, dass das Energieangebot von Sonne und Wind nicht zeitgleich mit dem Energiebedarf ist. Wirtschaftliche Energiespeicher sind nicht in ausreichender Menge vorhanden. Daher sind nach wie vor kalorische Kraftwerke und nukleare Kraftwerke im Einsatz, um „Regelenergie“ bereitzustellen. Es besteht daher ein Bedarf, den Anteil erneuerbarer Energie zu erhöhen und die Abhängigkeit von kalorischem und nuklearen Kraftwerken als „Regelenergie“ bzw. „Ausgleichsenergie“ zu vermindern.

Bekannt ist es, zur Speicherung von elektrischer Energie Druckluft und Wärme zu speichern. Frühere Druckluftspeicherkraftwerke benützen geologisch geeignete unterirdische Hohlräume; sie sind daher in der Standortwahl, aber auch hinsichtlich des maximalen Arbeitsdruckes eingeschränkt. Vorteilhafter sind daher künstlich hergestellte Druckluftspeicher, wie etwa gemäß WO 2014/169312 A1, die einen wesentlich höheren Arbeitsdruck erlauben. Dadurch ist die Energiedichte höher, die Bauweise kompakter und die Standortwahl leichter. Früher vorgeschlagene Druckluftspeicherkraftwerke speichern nicht oder nur teilweise die bei der Kompression entstehende Wärme, und sie müssen daher im Generatorbetrieb Wärme von außen, z.B. durch Verbrennung von Gasen, zuführen, damit der Generator nicht einfriert. Die Wirkungsgrade derartiger früherer Druckluftspeicherkraftwerke sind daher zu gering, um eine wichtige wirtschaftliche Rolle in der „Energiewende“ zu spielen.

Die EP 2 450 549 A2 beschreibt ein Druckstufen-Wärmespeicherkraftwerk bzw. Energiespeicherverfahren zum zeitweiligen Speichern von Energie in Form von Druckenergie in einem kompressiblen Medium und in Form von Wärmeenergie. Diese Technik ermög-

licht einen höheren thermodynamischen Wirkungsgrad als frühere Verfahren, wie sie z.B. in DE 2 636 417 A1, DE 2 541 501 A1, DD 118455 A1, DE 2 536 447 B2, DE 2 615 439 A1, DE 3 428 041 A1, EP 364 106 B1, US 4,630,436, US 4,523,432 und US 4,765,142 beschrieben sind. Dieser höhere Wirkungsgrad soll durch eine flexible Anordnung von mehreren Kompressoren, mehreren Wärmetauscheinrichtungen und mehreren Expansionsvorrichtungen, die durch zahlreiche Rohrleitungen unabhängig voneinander beliebig verbunden werden können, erreicht werden. Als vorteilhaft soll sich dabei die Möglichkeit erweisen, dass die Anzahl der Kompressionsvorrichtungen ungleich der Anzahl der Expansionsvorrichtungen sein kann. Im Gegensatz zu einer vergleichbaren Anordnung mit nur einer Kompressionsstufe und einer Expansionsstufe soll durch die mehrstufige Anordnung mit zwischengeschalteten Wärmetauschern der Wirkungsgrad gesteigert werden. Die Expansion und Kompression wird als adiabater Prozess angenommen, die mehrstufige Anordnung von Wärmetauschern und die Möglichkeit, überschüssige Energie von außen einzuspeisen, soll die Temperaturverluste bzw. die Energieverluste minimieren. Nachteilig ist dabei die höhere Komplexität der Anlage, was die Kosten für die Errichtung und den Betrieb erhöht. Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage ist u.a. von der Verfügbarkeit überschüssiger (Wärme-)Energie abhängig.

Ähnlich ist die in EP 2 489 840 A1 beschriebene Anlage zu bewerten, wobei hier ein isothermer Prozess angestrebt wird. Die Wärmeenergie wird nicht gespeichert, sondern mit der Umgebung ausgetauscht. Der maximale Speicherdruck beträgt 300 bar. Wenn keine externe Wärmequelle beim Entladen zur Verfügung steht ist der Wirkungsgrad mit 70% begrenzt. Dadurch ist die Standortwahl und die gespeicherte Energiedichte begrenzt. Angesichts des beträchtlichen Aufwands zur Errichtung der Anlage im Verhältnis zur Leistung und zur gespeicherten Energiemenge ist die Rentabilität fraglich.

Um nach Möglichkeit die gesamte bei der Kompression entstehende Wärme zu speichern und bei der Expansion möglichst vollständig wieder zu nützen, wurde in der WO 2014/169312 A1 ein Druckluftspeicherkraftwerk vorgeschlagen, das als Kern eine Kolbenmaschine aufweist, die sowohl als Pumpe als auch als Generator arbei-

tet und die flüssige Kolben besitzt, die im Pumpbetrieb induktiv angetrieben werden, sind auch aus der DE 19 728 199 A1 bekannt, die einen Verdichter für Kälteanlagen offenbart, bei dem ein Magnetofluid durch einen Elektromagneten oder einen Permanentmagneten angetrieben wird. Demgegenüber bestehen die Kolben gemäß WO 2014/169312 A1 aus einer elektrisch und thermisch sehr gut leitfähigen Flüssigkeit, wie z.B. eine Gallium-Indium-Zinn Legierung, und die „Zylinder“ sind kommunizierende Gefäße, die die Flüssigkeit enthalten. Auch wird im Unterschied zur DE 19 728 199 A1 der magnetische Fluss durch einen Magnetkern erhöht, der insbesondere die Form einer geschlossenen Schleife hat. Dabei wird im flüssigen Kolben ein Stromfluss induziert und die damit verbundene Lorentzkraft zum Antrieb genutzt. Das erlaubt höhere Leistungsdichten als in der Kolbenmaschine gemäß DE 19 728 199 A1, die nicht als Kraftwerk einsetzbar ist.

In der US 2,258,415 A wird ein Verdichter für Kälteanlagen beschrieben, der flüssige Kolben enthält, die induktiv angetrieben werden. Dieser Verdichter arbeitet mit Quecksilber als elektrisch leitfähige Flüssigkeit, das allerdings giftig ist. Der Verdichter hat eine U-Form, jedoch ist der Magnetkern gemäß der US 2,258,415 A nicht parallel zur U-Form als geschlossene Schleife ausgeführt, sondern er steht senkrecht zu dieser. Auch ist von Nachteil, dass der Strom, der senkrecht zum Magnetfeld laufen muss, um die Kolbenflüssigkeit zu bewegen, nicht durch das primäre Magnetfeld in der Kolbenflüssigkeit induziert wird, sondern über eine sekundäre Trafowicklung extern erzeugt und über seitliche Elektroden in den flüssigen Kolben eingespeist wird. Das hat den Nachteil, dass die Überlagerung von sekundär eingespeistem Strom und primär induziertem Strom eine Phasenverschiebung zwischen Magnetfeld und Summenstrom bewirkt, die die Wirkungsweise der Maschine beeinträchtigt. Um diese Beeinträchtigung zu minimieren, müssen die Pole des Magneten und die Elektroden in mehrere parallele Segmente unterteilt werden. Um eine Pendelbewegung der flüssigen Kolben im U-förmigen Gefäß zu bewirken, ist eine aufwendige Schaltung notwendig, die den Stromfluss durch die Spulen der zwei Beine periodisch umpolt. Weiters ist das Prinzip der US 2,258,415 A für den Einsatz als Kühlaggregat, nicht aber zur Speicherung von Energie geeignet.

Gemäß der WO 2014/169312 A treibt Druckluft im Generatorbetrieb die Kolben an, wobei die Kolben den Widerstand einer Erreger-Spannung überwinden und an den Klemmen der Spulenwicklung elektrische Arbeit leisten in der Art eines magnetohydrodynamischen (MHD-) Generators. Ein klassischer MHD-Generator hat einen geringen Wirkungsgrad, weil ein heißes Fluid oder Plasma durch einen Kanal strömt, wobei ein großer Teil der Wärmeenergie nicht genutzt wird. Eine verbesserte Form des MHD-Generators ist in der US 3,517,229 A offenbart, die in gewisser Weise das strömungsmaschinelle (Turbo-)Äquivalent zu einer etwa gemäß WO 2014/169312 A1 offenbart. Die US 3,517,229 A gibt allerdings keinen Hinweis darauf, ob und wie die bei der Kompression entstehende Wärme zwischengespeichert und bei der Stromerzeugung genutzt wird. Es ist jedoch wünschenswert, die bei der Kompression entstehende Wärme zu speichern und bei der Entladung zu nutzen, so dass beide Prozesse annähernd isotherm ablaufen: Durch die laufende Umwälzung der Kolbenflüssigkeit findet ein vorteilhafter Wärmeaustausch zwischen dem Hubraum der Maschine und dem Wärmespeicher statt, der die bei der Kompression entstehende Wärme effektiv abführt und das Vereisen des Generators bei der Expansion verhindert. Das ermöglicht einen hohen Wirkungsgrad. Nur ein Speicherkraftwerk mit Wirkungsgraden von 90 Prozent und mehr ist unter heutigen Bedingungen am Strommarkt wirtschaftlich zu betreiben.

Die US 2008/072597 A1 offenbart eine Kolbenpumpe mit Kolben aus einer elektrisch leitfähigen Flüssigkeit, die in einem MHD-Generator elektrische Energie abgibt. Dabei handelt es sich um einen Stirling Prozess, der außer dem flüssigen Kolben keine mechanisch bewegten Teile enthält. Das Verfahren ist simpel und robust, es gestattet die Umwandlung von Wärme in elektrische Energie. Es bleibt allerdings offen, wie elektrische Energie schnell mit hoher Leistung gespeichert und schnell mit hoher Leistung wieder aus dem Speicher entnommen werden kann. Daher ist auch diese Technik nicht geeignet zum Bau eines Speicherkraftwerks.

Die WO 2008/139267 A1 offenbart eine Anlage zur Speicherung von elektrischer Energie in Form von Druckluft, wobei flüssige Kolben zur Kompression/Expansion eingesetzt werden. Die Kolbenflüs-

sigkeit ist dabei nicht elektrisch leitfähig und wird nicht induktiv angetrieben, sondern konventionell mit einer Hydraulikpumpe, die ihrerseits mit einem Elektromotor/Generator verbunden ist. Um die Kompression/Expansion möglichst isotherm zu gestalten, wird die Kolbenflüssigkeit von oben in vielen dünnen Strahlen ähnlich wie in einer Dusche in den Hydraulikzylinder gepresst. Dadurch wird die verdichtete/expandierende Luft effektiv gekühlt bzw. erwärmt. Nachteilig erscheint dabei die Tatsache, dass die bei der Kompression entstehende Wärme nicht gespeichert, sondern mittels Wärmetauscher an die Umgebungsluft abgegeben wird, wozu auch noch ein Ventilator vorgesehen ist, der Energie verbraucht. Dadurch ist der Wirkungsgrad von der Umgebungstemperatur abhängig. Im Sommer ist die Wärmeabfuhr bei der Kompression aufwändiger, im Winter ist die Wärmezufuhr bei der Expansion aufwändiger. Insgesamt erscheinen der mechanische Aufwand und damit die Errichtungskosten hoch im Verhältnis zur Leistungsdichte der Anlage, einerseits weil der Prozess langsam ablaufen muss, um isotherm zu sein, und andererseits, weil das Volumen der Anlage groß sein muss.

Die vorliegende Erfindung sieht nun ein Druckluftspeicherkraftwerk wie eingangs angegeben vor, das sich dadurch auszeichnet, dass zwischen den geraden Kernteilen eine magnetisch leitfähige Brücke zur Verstärkung der radial aus dem Kern austretenden Komponente der Induktion angeordnet ist. Dabei ist es weiters von Vorteil, wenn die Brücke aus weichmagnetischem Material gebildet ist, und/oder wenn die Brücke eine Hilfswicklung aufweist.

Auch ist es günstig, wenn zwischen der Brücke und dem Kern ein Spalt freigelassen ist. Hierbei ist es auch zweckmäßig, wenn es eine Phasenverschiebung zwischen der Induktion im Spalt und dem um den Kern herum laufenden Sekundärstrom gibt; und weiters, wenn die Phasenverschiebung zwischen der Induktion im Spalt und dem Sekundärstrom den Kolben zu einer pumpenden Bewegung antreibt. Von Vorteil ist es hier auch, wenn der Kolben durch eine magnetisierbare Kolbenflüssigkeit zur Verstärkung der Induktion gebildet ist, wobei es überdies günstig ist, wenn in der Kolbenflüssigkeit magnetische Nanopartikel enthalten sind. Außerdem ist es vorteilhaft, wenn der Kolben nicht nur durch Induktion, sondern auch durch eine (Druckluft-)Feder beschleunigt wird,

weil durch die so erfolgende Einführung von Blindleistung auch die Wirkleistung maximiert wird.

Mit der Erfindung werden u.a. folgende Vorteile erzielt:

1. Eine Verstärkung der radialen Induktion bzw. der Kolbenkraft durch Einfügen der Brücke mit oder ohne zusätzliche Wicklung(en)
2. Die Erzielung einer verbesserten Pumpbewegung durch optimale Phasenverschiebung zwischen Induktion und sekundärem Strom.
3. Eine Verstärkung der radialen Induktion bzw. der Kolbenkraft durch eine magnetisierbare Kolbenflüssigkeit.
4. Eine Optimierung der Pumpenleistung durch zusätzliche mechanische Blindleistung (Erhöhung der kinetischen Energie des Kolbens und Einführung einer Feder zur Speicherung von potentieller Energie).

Zweckmäßigerweise sind alle mechanisch festen Teile mit Ausnahme der Spulen, des Kerns und einer magnetischen Ventilsteuerung aus elektrisch nicht leitendem Material, z.B. Keramik, ausgeführt, um Wirbelstromverluste und Ummagnetisierungsverluste zu minimieren; in entsprechender Weise kann auch die Aufhängung der Maschine, das Gestell, aus einem solchen elektrisch nichtleitendem Material, wie insbesondere Keramik, hergestellt sein.

Zur Spannungsabgabe kann ein elektrischer Kondensator vorgesehen sein, und dieser ist bevorzugt als Plattenkondensator mit kammförmig ineinandergreifenden Platten ausgeführt, die durch ein geeignetes Dielektrikum, z.B. Keramik, Glas oder Kunststoff, getrennt und dabei so auf Abstand gehalten sind, dass für den Kondensator eine Spannungsfestigkeit von 220 kV erzielt wird, wobei im Zusammenspiel mit den Spulen eine Resonanzfrequenz von z.B. 50 Hertz erhalten wird.

Das vorliegende Druckluftspeicherkraftwerk ist einfach im Aufbau, da der Kern gleichzeitig Motor, Kompressor, Expander und Generator ist. Es ist außerdem einfach im Betrieb, wobei bis auf die Ventile keine Verschleiß-Komponenten enthalten sind. Unter

der Annahme, dass alle Prozesse verlustfrei ablaufen, ist es möglich, den thermodynamischen Wirkungsgrad beliebig nahe an 100% heranzuführen, das allerdings auf Kosten der Leistungsaufnahme bzw. Leistungsabgabe. Der flüssige Kolben mit Umwälzung der Kolbenflüssigkeit verbessert den Wärmeübergang zwischen der Druckluft im Hubraum und der Umgebung des Hubraums. Die Kompression/Expansion ist kein rein adiabater Vorgang, sondern ein polytroper. Durch geeignete Feinabstimmung des Kolbenhubraums als Funktion des Speicherdrucks (z.B. durch Veränderung der Gesamtmenge an Kolbenflüssigkeit im System oder durch Zufuhr/Abfuhr von hydraulischer Flüssigkeit von/nach außen) kann die Verweildauer der Druckluft im Hubraum beliebig verändert werden. Jedes differentielle Volumenelement der zu komprimierenden/expandierenden Luftmenge kann nicht nur einmal, sondern n mal komprimiert/expandiert werden, bevor es in den Speicher bzw. in die Umgebung entlassen wird. Je höher der Wert für n gewählt wird, d.h. je länger das Gas im Hubraum verweilt, desto öfter kann es mit frischer, umgewälzter Kolbenflüssigkeit Wärme austauschen. Je größer der Wert für n gewählt wird, desto mehr nähert sich die polytrope Kennlinie einer Isotherme an. Isotherme Kompression und Expansion ist bekanntermaßen gleichbedeutend mit einem Wirkungsgrad von 100%. Je höher der Wert für n gewählt wird, desto geringer ist der Energieaustausch zwischen Hubraum und Umgebung pro Kolbenhub, desto geringer ist die „Ausbeute“ an gespeicherter Druckluftmenge pro Kolbenhub, desto länger dauert es, bis der Speicher geladen/entladen ist. Bei einem hohen Wert für n gibt es einen hohen Anteil an thermodynamischer „Blindleistung“, die im System zwischen den Kolben hin und her pendelt, bzw. die zwischen maximaler Druckenergie im Gas (Luft) und maximaler kinetischer Energie im Kolben hin und her pendelt. Der Wärmeübergang/Wirkungsgrad kann außerdem durch Vergrößerung der Kolbenfläche im Verhältnis zum Kolbenhub verbessert werden. Die vorliegende Konstruktion erlaubt durch Feinjustierung einiger Parameter den optimalen Betriebspunkt im Sinne größtmöglicher Wirtschaftlichkeit einzustellen. Der optimale Kompromiss zwischen Leistung und Wirkungsgrad wird auch durch die Preise an der Strombörse bestimmt. Es ist möglich, bei Änderungen der Strompreise den jeweils optimalen Betriebspunkt jeweils neu einzustellen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand der Zeichnung und unter Bezugnahme auf bevorzugte Ausführungsbeispiele, auf die sie jedoch nicht beschränkt sein soll, noch weiter erläutert. In der Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Druckluftspeicherkraftwerks von an sich bekannter Bauart;

Fig. 1A ein zugehöriges elektrisches Ersatzschaltbild;

Fig. 2 schematisch die Kolbenmaschine („Induktionspumpe“) dieses Druckluftspeicherkraftwerks mit ihren peripheren Komponenten Hubraumregler und Wärmetauschkreislauf;

Fig. 3 schematisch diese Kolbenmaschine („Induktionspumpe“) vergrößert und ohne periphere Komponenten;

Fig. 4 einen Querschnitt durch den weichmagnetischen Kern, die Spulenwicklung und den inneren und den äußeren Luftspalt dieser Kolbenmaschine, gemäß der Linie IV-IV in Fig. 3;

Fig. 5 einen Querschnitt durch den weichmagnetischen Kern, den Hubraum und das Planetengetriebe jener Vorrichtung der Kolbenmaschine, die zwischen Pumpbetrieb und Generatorbetrieb umschaltet, gemäß der Linie V-V in Fig. 3;

Fig. 6 in einer Darstellung ähnlich Fig. 3 eine verbesserte Kolbenmaschine bzw. Induktionspumpe;

Fig. 7 eine Darstellung wie Fig. 6, jedoch mit Veranschaulichung der magnetischen Flüsse;

Fig. 8 ein zu Fig. 7 gehöriges Zeigerdiagramm von Strömen bzw. magnetischen Flüssen;

Fig. 9 in einer Darstellung ähnlich Fig. 7 eine Drehstromvariante;

Fig. 10 ein zugehöriges Zeigerdiagramm der elektrischen Spannungen.

Fig. 11 ein zugehöriges Zeigerdiagramm der magnetischen Flüsse;

Fig. 12 und Fig. 13 den Feldlinienverlauf der magnetischen Flüsse in einer ersten viertel Periode, wobei die Lorentzkraft von rechts nach links (gemäß der Darstellung der Zeichnung) wirkt; die Figur 14 und 15 den Feldlinienverlauf der magnetischen Flüsse in der zweiten viertel Periode, wobei nun mehr die Lorentzkraft von links nach rechts wirkt;

Fig. 16 und Fig. 17 den Feldlinienverlauf der magnetischen Flüsse in der dritten viertel Periode, wobei die Lorentzkraft wiederum von rechts nach links wirkt;

Fig. 18 und Fig. 19 den Feldlinienverlauf der magnetischen Flüsse in der vierten viertel Periode, wobei die Lorentzkraft wieder von links nach rechts wirkt;

Fig. 20 und Fig. 21 schematische Darstellungen eines Druckluftspeicherkraftwerks in verschiedenen Betriebsstellungen.

In Fig. 1 ist ein Beispiel eines bekannten Druckluftspeicherkraftwerks 100 mit einer die Funktion eines Kompressors und Expanders ausübenden Kolbenpumpe 200 schematisch dargestellt: Eine wärmeisolierende Schicht 1 umgibt einen (künstlichen) Druckluftspeicher 2 und eine wärmespeichernde Flüssigkeit 3, die z.B. aus Wasser besteht. Die Kolbenpumpe 200 ist in der Flüssigkeit eingetaucht und allseitig von dieser umgeben.

Aus elektrotechnischer Sicht liegt ein R-L-C Parallelschwingkreis vor; vgl. Fig. 1A. An externen Klemmen 4 als Eingangs- und Ausgangskreis wird eine 220 kV-Wechselspannung U angelegt. Die Kapazität C wird durch einen Kondensator 5 gebildet, der außerhalb der wärmeisolierenden Schicht 1 angeordnet ist. Der Kondensator 5 ist als geschichteter Plattenkondensator mit einer Spannungsfestigkeit deutlich höher als 220 kV ausgeführt. Die Platten des Kondensators 5 sind so verbunden, dass die Pole des Kondensators 5 kammartig ineinander greifen und das Dielektrikum einen mäanderförmigen Raum zwischen den Elektroden ausfüllt. Die Induktivität L wird durch eine spulenförmige Wicklung 6 der Kol-

benpumpe 200 gebildet. Der elektrische Wirkwiderstand R ergibt sich durch die mechanische Arbeit, die bei der Kompression der Luft geleistet wird. Die Induktivität L der Spule 6 und die Kapazität C des Kondensators 5 sind so dimensioniert, dass die Resonanzfrequenz der Netzfrequenz von 50 Hertz (oder ggf. 60 Hertz, z.B. in den USA, oder einer anderen gewählten Betriebsfrequenz) entspricht.

Das Druckluftspeicherkraftwerk 100 arbeitet somit ohne Spannungsumsetzung direkt mit 220kV Wechselspannung am Eingang/Ausgang 4, wozu es günstig ist, wenn alle Teile, insbesondere die Spulenwicklung 6, sorgfältig doppelt isoliert und waserdicht ausgeführt sind.

Die komprimierte Luft strömt durch eine Druckrohrleitung 7 zwischen der Kolbenpumpe 200 und dem Druckluftspeicher 2. Um den Wärmeaustausch zu optimieren, ist die Druckrohrleitung 7 innerhalb des Wärmespeichers 3 mäanderförmig ausgeführt. Eine Rohrleitung 8 verbindet die Kolbenpumpe 200 mit der Umgebungsluft. Um die Lärmabgabe zu minimieren, kann die nach außen führende Rohrleitung 8 an der Innenseite mit einem schalldämpfenden Material beschichtet sein. Außerdem wirken der Wärmespeicher 3 und die Wärmeisolierung 1 gleichzeitig als Schalldämmung.

In Fig. 2 ist die bekannte Kolbenpumpe 200 samt ihren peripheren Komponenten schematisch dargestellt. Ein Druckwandler 9 unter setzt den Arbeitsdruck der komprimierten Luft (Druckrohrleitung 7) proportional auf den Druck einer hydraulischen Flüssigkeit 10, die den Druck auf zwei Membranfedern 11 weitergibt. Die Membranfedern 11 unterteilen einen diskusförmigen Körper 12 in einen inneren (mittleren) Bereich 13 und zwei äußere Bereiche 14 (rechts und links des mittleren Bereichs 13).

Unterhalb von zwei Schenkeln der Kolbenpumpe 200 befinden sich zwei kleine Umwälzpumpen 15. Diese Umwälzpumpen 15 treiben eine noch näher zu beschreibende Kolbenflüssigkeit durch einen Wärmetauscherkreislauf, der den rechten und den linken Schenkel der Kolbenpumpe 200 in einer geraden Leitung nach unten fortsetzt, durch die Umwälzpumpen 15 führt und sich danach in zwei Leitungen verzweigt: Ein Zweig führt von unten durch die äußeren Be-

reiche 14 des diskusförmigen Körpers 12 nach oben. Der andere Zweig führt durch einen wendelförmigen Wärmetauscher 16 nach oben. Oberhalb der beiden Körper 12 und 16 vereinigen sich die beiden Leitungen bzw. Zweige zu einer Leitung, die an einem unteren Scheitelpunkt 17 der Kolbenpumpe 200 mittig wieder in die letztere eintritt.

In Fig. 3 ist die Kolbenpumpe 200 ohne periphere Komponenten vergrößert dargestellt: Sie weist einen weichmagnetischen Kern 18 in Form eines aufgeschnittenen Torus auf, in zwei parallele Teile, nämlich Zylinder-Teile 18A, 18B eingefügt sind. Der Kern 18 ist so aufgebaut, dass Wirbelstromverluste minimal sind, z.B. in Form von parallelen isolierten Mumetalldrähten oder aus geschichtetem Trafoblech. Der Kern 18 ist außerdem so aufgebaut, dass der magnetische Fluss maximal und der magnetische Widerstand minimal wird, d.h. z.B. ohne Stoßstellen oder Luftspalte in Richtung des magnetischen Flusses. Die zylinderförmigen Teile 18A, 18B des Kerns 18 sind mit isoliertem Draht zur Bildung der Spulen 6 umwickelt. Zwischen dem Kern 18 und den Spulen 6 befindet sich jeweils ein ringförmiger Spalt 19. Die beiden Spulen 6 sind durch ein U-förmiges Rohr 20 verbunden, das den magnetischen Kern 18 konzentrisch umgibt. Der Luftraum 19 zwischen den U-förmig verbundenen Spulen 6 und dem Kern 18 ist durch eine Trennwand 21 in einen inneren, näher beim Kern 18 liegenden Spalt 22 und einen äußeren, näher beim Spulenkörper gelegenen Spalt 23 unterteilt; vgl. auch Fig. 4. Diese beiden Spalten 22 und 23 stellen zwei konzentrische kommunizierende Gefäße dar.

Zwischen den parallelen Teilen 18A, 18B des Kerns 18 oberhalb der Spulenkörper 6 befindet sich eine Umschaltvorrichtung 24 mit zwei Stellmotoren 25, die über je ein Planetengetriebe 26 je eine Scheibe 27 antreiben, vgl. auch Fig. 5; jede Scheibe 27 trägt im Zentrum eine kegelstumpfförmige Erhebung 28 und an der Außenseite ein Gewinde, das in einen Innengewinde des Gehäuses der Umschaltvorrichtung 24 gleitet.

Der Spalt 19 zwischen den Spulen 6 und dem Kern 18 (vgl. Fig. 3) wird mit der thermisch und elektrisch leitfähigen Flüssigkeit, z.B. Galinstan, gefüllt. Im Ruhezustand ist der Flüssigkeitsspiegel in beiden Schenkeln der kommunizierenden Röhren

(entsprechend den Kernteilen 18A, 18B) gleich hoch.

Ein Ende der einen Spule 6 ist mit einem Ende der anderen Spule 6 so verbunden, dass die beiden Spulen 6 zusammen eine einzige Wicklung um den magnetischen Kern 18 bilden. Die magnetischen Flüsse der verbundenen Spulen 6 durch den Kern 18 verlaufen immer in dieselbe Richtung, entweder im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn. An den beiden Klemmen 4 (Fig. 1) wird eine Wechselspannung von 220 kV mit einer Frequenz von z.B. 50 Hertz angelegt. Diese Wechselspannung induziert ein Magnetfeld und einen zugehörigen magnetischen Fluss im Kern 18 der Kolbenpumpe 200, dessen Richtung sich mit derselben Frequenz (z.B. 50 mal pro Sekunde) umkehrt, abwechselnd im Uhrzeigersinn und gegen den Uhrzeigersinn.

Die Änderung des magnetischen Flusses im Kern 18 induziert ihrerseits eine ringförmig um den Kern 18 verlaufende und mit dem Kern 18 verkettete elektrische Wechselspannung in der im Spalt 19 befindlichen elektrisch leitfähigen Flüssigkeit. Der damit verbundene elektrische Strom I_2 in dieser Flüssigkeit induziert ein Magnetfeld, welches dem Magnetfeld im Kern 18 entgegengesetzt ist. Wenn das Magnetfeld im Kern 18 im Uhrzeigersinn verläuft, dann verläuft das durch den elektrischen Strom in der Flüssigkeit erzeugte Magnetfeld gegen den Uhrzeigersinn und umgekehrt. Auf jedes differentielle Volumenelement der Flüssigkeit wird eine gleich große Lorentzkraft ausgeübt, die gleich dem Produkt aus induziertem Strom I_2 und radialer Komponente der Induktion ist. Das verursacht im kommunizierenden Gefäß eine laminare Strömung ohne Wirbel, wobei sich die Flüssigkeit in einem Schenkel hebt, während sie sich im anderen Schenkel senkt. Dieses System wirkt somit als Kolbenpumpe oder Kolbenmaschine mit einem flüssigen Kolben.

Die bei der Verdichtung entstehende Wärme wird dadurch abgeführt bzw. beim Generatorbetrieb notwendige Wärme wird dadurch zugeführt, dass die Kolbenflüssigkeit während des Betriebs laufend umgewälzt und durch den Wärmetauscher 16 getrieben wird. Durch die laufende Umwälzung der Kolbenflüssigkeit in einem Kreislauf wird vermieden, dass immer die gleichen Moleküle der Flüssigkeit an der Grenze zwischen Kolben und Luft sind. Die Umwälzung der

Kolbenflüssigkeit wird dadurch erreicht, dass der mit elektrisch leitfähiger Flüssigkeit gefüllte Spalt 19 durch die konzentrische Trennwand 21 in die zwei konzentrischen Spalten 22, 23 geteilt ist, vgl. außer Fig. 3 auch Fig. 4. Diese Spalten 22, 23 sind nur am oberen Ende des Hubraums 29 beider „Kolben“ so verbunden, dass die Kolbenflüssigkeit vom inneren Spalt 22 in den äußeren Spalt 23 (und umgekehrt) übertreten kann. Das im Pumpbetrieb erhitzte (bzw. im Generatorbetrieb gekühlte) Kolbenvolumen wird in jeder Arbeitsperiode (also z.B. 50 mal pro Sekunde) durch die Umwälzpumpe 15 ausgetauscht. Die kleine Umwälzpumpe 15 funktioniert durch Induktion. Sie saugt die Kolbenflüssigkeit aus dem äußeren Spalt 23 nach unten ab, treibt sie kontinuierlich durch die Wärmetauscher 12, 16 durch und danach am unteren Scheitelpunkt 17 in den inneren Spalt 22 von unten wieder hinein. Die Umwälzpumpe 15 ist anders als die Hauptpumpe derart konstruiert, dass die Kolbenflüssigkeit immer nur in eine Richtung fließt und nicht hin und her. Dazu ist eine Phasendrehung von 0 oder 180 Grad zwischen Strom und Induktion erforderlich. Die resultierende Lorentzkraft wirkt dann immer in dieselbe Richtung. Bei Fließrichtung entlang der x-Achse eines kartesischen Koordinatensystems sind entlang der y-Achse Elektroden und entlang der z-Achse der Luftspalt eines magnetisierbaren Ringkerns anzuordnen.

Die komprimierte erwärmte Luft wird in der Druckrohrleitung 7 durch den Wärmespeicher 3 geführt, damit sie ihre Wärme abgeben kann. Umgekehrt kann die aus dem Druckluftspeicher 2 einströmende Luft Wärme aus dem Wärmespeicher 3 aufnehmen, bevor sie sich im Hubraum des dann als Generator funktionierenden Systems entspannt und abkühlt.

Um die Leistungsaufnahme im Pumpbetrieb (Ladevorgang) konstant zu halten, wird in an sich bekannter Weise das Volumen des Hubraums geregelt. Bei niedrigem Arbeitsdruck (z.B. 100 bar) ist der Kolbenflüssigkeitsspiegel niedrig, der Hubraum somit groß. Bei hohem Arbeitsdruck (z.B. 1000 bar) ist der Kolbenflüssigkeitsspiegel hoch, der Hubraum somit klein. Die Regelung des Hubraumvolumens erfolgt durch den als Volumenregler fungierenden Körper 12, der im Inneren durch die zwei Membranfedern 11 wie erwähnt in den mittleren (inneren) Bereich 13 und die zwei äußeren

ren Bereich 14 getrennt ist (vgl. Fig. 2). Die Membranfedern 11 bauchen sich aus, wenn im mittleren Bereich 13 der Druck steigt. In diesem Bereich 13 befindet sich die hydraulische Flüssigkeit 10, deren Druck mit Hilfe des Druckwandler 9 dem Arbeitsdruck proportional nachgeregelt wird. In den äußeren Bereichen 14 des diskusförmigen Körpers 12 befindet sich die Kolbenflüssigkeit, die aus den Bereichen 14 teilweise verdrängt wird, wenn sich die Membranfedern 11 ausbauchen und dadurch das Volumen im Bereich 14 verkleinern. Steigt der Arbeitsdruck, wird Kolbenflüssigkeit vom Raum 14 durch die Öffnung 17 in den Spalt 19 gedrängt und dadurch der Hubraum verkleinert. Die Federkennlinie und die Abmessungen der Membranfedern 11 sind vorzugsweise so gewählt, dass der Hubraum mit dem Arbeitsdruck so geregelt wird, dass die aufgenommene Leistung im Pumpbetrieb konstant ist.

Das System kann somit als Pumpe oder als Generator arbeiten. Im Pumpbetrieb wird elektrische Energie aufgewendet, um eine Verdichtungsarbeit im Hubraum oberhalb des Flüssigkeitsspiegels zu leisten. Dabei wird die im Hubraum eingeschlossene Luft soweit verdichtet, bis der Druck höher ist als der Druck im Druckluftspeicher 2. Dadurch wird ein Druckventil oberhalb der Kolbenflüssigkeit gegen die Kraft einer Feder geöffnet, und die verdichtete Luft strömt über die Druckrohrleitung 7 in den Druckluftspeicher 2. Im Pumpbetrieb reicht dabei allein der Druckunterschied aus, um das genannte Druckventil zu öffnen, wobei der Druck im Hubraum die Kraft der Feder überwindet, die das Druckventil nach dem Takt wieder schließt.

Während in einem „Zylinder“ Luft verdichtet wird, wird im anderen Zylinder frische Luft von außen angesaugt, indem der entstehende Unterdruck im Hubraum des anderen Zylinders dort das Saugventil gegen die Kraft der Feder öffnet.

Im Generatorbetrieb wird an die Klemmen 4 eine Erregerspannung von außen angelegt. Diese Erregerspannung kann vom Netz, mit dem das gegenständliche Druckluftspeicherkraftwerk im Verbundbetrieb arbeitet, bereitgestellt werden. Bei einem Netzausfall kann die Erregerspannung durch ein autarkes konventionelles System (z.B. Dieselgenerator plus Trafo) erzeugt werden.

Hinsichtlich der allgemeinen Betriebsweise des Systems kann im Übrigen der Einfachheit halber auf die WO 2014/169312 A1 verwiesen werden.

Die Blindleistung bleibt in der Anlage. Sie pendelt zwischen Kapazität und Induktivität hin und her. Von außen wird nur dem Ersatzwiderstand Wirkleistung zugeführt bzw. von der Ersatzspannungsquelle Wirkleistung abgegeben.

Um die Wirbelstromverluste und die Ummagnetisierungsverluste zu minimieren, sind alle mechanisch festen Teile mit Ausnahme der Spulenwicklungen 6 und 15 des magnetischen Kerns 18 und der elektromagnetischen Ventilsteuerung aus elektrisch nicht leitendem Material (z.B. Keramik) ausgeführt. Dazu zählt auch die in der Zeichnung nicht dargestellte mechanische Halterung bzw. Aufhängung der Maschine. Die Aufhängung kann alternativ auch aus Holz und Ziegelmauerwerk ausgeführt sein.

Das beschriebene System ist eine Wärmekraftmaschine. Der thermodynamische Kreisprozess weist dabei eine polytrope Kompression, eine isobare Kompression, eine isochore Druckänderung und eine isobare Expansion auf.

Bei der Entladung des Druckluftspeichers 2 während des Generatorbetriebs nimmt der Arbeitsdruck im Druckluftspeicher 2 kontinuierlich ab. Um die Leistung im Generatorbetrieb konstant zu halten, wird der Arbeitsdruck – z.B. mit Hilfe eines in der Zeichnung nicht dargestellten Drosselventils – auf einen fixen Wert (z.B. 100 bar) heruntergedrosselt. Das Viereck, das beim Kreisprozess im Generatorbetrieb durchlaufen wird, hat stets dieselbe Form.

Durch die geeignete Wahl der Konstruktion und/oder der Betriebsparameter kann der Wärmeübergang zwischen dem Hubraum 29 und der Umgebung verändert werden, so dass der polytrope Prozess der Kompression/Expansion sich mehr oder weniger einem isothermen Prozess annähert und dadurch der Wirkungsgrad des Systems mehr oder weniger verbessert werden kann. Ein höherer Wirkungsgrad kann u.a. mit einer geringeren Leistung/längeren Ladezyklen erkaufte werden oder umgekehrt.

Fig. 6 zeigt nun eine verbesserte Variante der Induktionspumpe 200 mit verlängerten geraden Abschnitten. Unterhalb der elektrischen Spule 6 befindet sich eine Brücke 64 zwischen den beiden geraden Abschnitten, die wie der Kern 18 aus einem weichmagnetischen Material (z.B. geschichtetes Trafoblech) besteht. Wie die Spulen 6 lässt auch die Brücke 64 einen Spalt zum Kern 18 frei, durch den die Kolbenflüssigkeit fließen kann. Die Brücke 64 erzwingt einen magnetischen Streufluss, der den Kern 18 im geraden Abschnitt in radialer Richtung verlässt, durch die Brücke 64 geht und im gegenüberliegenden geraden Abschnitt des Kerns 18 in radialer Richtung eindringt. Nur diese radiale Komponente bewirkt mit dem (tangential um den Kern 18 herum verlaufenden) Sekundärstrom I_2 (vgl. Fig. 8) eine Lorentzkraft, die axial, d.h. parallel zur Achse des Magnetkerns 18, wirkt. Fig. 7 und 8 zeigt die Richtung der nunmehr drei magnetischen Flüsse. Der Fluss durch die Primärwicklung Φ_1 teilt sich auf in den Fluss Φ_2 durch den Kern 18 und den Streufluss Φ_3 durch die Brücke 64. In Fig. 8 ist das zugehörige Zeigerdiagramm der elektrischen Ströme und der magnetischen Flüsse abgebildet, wobei I_1 für den Primärstrom steht und N für die Wicklungszahl der Spule 6. Die erste und vierte Maxwellgleichung können in dieser Anordnung nur dann erfüllt werden, wenn das Zeigerdiagramm qualitativ die dargestellte Form hat. Es gibt eine Komponente des Streuflusses Φ_3 , die im rechten Winkel zum Zeiger des Sekundärstroms I_2 steht, d.h. die zu I_2 eine Phasenverschiebung von 90 Grad aufweist. Das Produkt der beiden, die Lorentzkraft, wechselt daher in jeder Viertelperiode das Vorzeichen, ist also in jeder Periode zweimal positiv und zweimal negativ. Eine sinusförmige Spannung mit der Frequenz f an der Primärseite bewirkt daher eine periodische Lorentzkraft auf den Kolben mit der Frequenz $2f$. Die Brücke 64 bewirkt somit zweierlei:

1. eine Erhöhung der radialen Induktion und
2. die Herstellung einer 90 Grad-Phasenverschiebung zwischen (einer Komponente) der Induktion und dem Sekundärstrom, was eine Pumpbewegung bewirkt.

Fig. 9 stellt eine Drehstromvariante dar. Hier ist die Brücke 64 vertikal angeordnet und mit einer Hilfswicklung 65 umwickelt, um den magnetischen Fluss Φ_3 durch die Brücke 64 zu verstärken. Die

drei Phasen des Drehstroms sind in Fig. 9 und 10 mit U_1 , U_2 und U_3 bezeichnet, die resultierenden magnetischen Flüsse in Fig. 11 sowie 12 bis 15 mit Φ_1 , Φ_2 und Φ_3 . Das Zeigerdiagramm der elektrischen Spannungen ist in Fig. 10 dargestellt. Das Zeigerdiagramm der magnetischen Flüsse ist in Fig. 11 dargestellt. Die Hauptwicklung 6 besteht aus zwei gleichen Spulenkörpern, die gleichsinnig gewickelt sind und gemeinsam eine Induktivität bilden, an der die Spannung U_1 - U_2 abfällt. In der Mitte zwischen den beiden Spulenkörpern 6 ist die Hilfswicklung 65 angebunden. An diesem Punkt befindet sich der Nullpunkt N der drei Phasen. Am freien Ende der Hilfswicklung 65 ist die dritte Phase U_3 angeschlossen. Die Spannung U_1 - U_2 induziert einen magnetischen Fluss Φ_1 - Φ_2 , wie in Fig. 11 und 12 dargestellt, wobei ein kleiner Teil dieses Flusses (Φ_1 - Φ_2) durch die Brücke 64 fließt und der größere Teil durch den Außenring, wo er den Strom I_2 induziert. Die Spannung U_3 induziert einen magnetischen Fluss Φ_3 , wie in Fig. 11 und 13 gezeigt. Die Wirkungsweise, die in Fig. 9 dargestellt ist, wird durch die Einführung der Hilfswicklung 65 und den Einsatz von Drehstrom noch verstärkt. Die Fig. 12 bis 19 zeigen den Feldlinienverlauf der magnetischen Flüsse für jede Viertelperiode. Die 90 Grad-Phasendrehung zwischen dem Hauptfluss (Φ_1 - Φ_2) und dem Nebenfluss ($(\Phi_1$ - $\Phi_2) + \Phi_3$) bewirkt, dass sich das Vorzeichen der Lorentzkraft auf den Kolben nach jeder Viertelperiode umkehrt. Eine sinusförmige Spannung mit der Frequenz f an der Primärseite bewirkt auch in dieser Bauform eine periodische Lorentzkraft auf den Kolben mit der Frequenz $2f$.

Eine weitere Verstärkung der Wirkung ist möglich, wenn die Kolbenflüssigkeit magnetisierbar gemacht wird, d.h. eine relative Permeabilität größer als 1 erzeugt wird, z.B. durch Beimengung von magnetisierbaren Nanopartikeln in der Kolbenflüssigkeit („Ferrofluid“).

Eine weitere Verstärkung der Wirkung wird durch die Einführung von mechanischer Blindleistung erzielt. Die kinetische Energie des Kolbens ist $W_{\text{kin}} = mv^2/2$. Die Änderung der kinetischen Energie mit der Zeit ist gegeben durch $dW_{\text{kin}}/dt = mv \cdot dv/dt = v \cdot F$. Die Änderung der kinetischen Energie des Kolbens mit der Zeit ist das Produkt aus der Kraft, die auf den Kolben wirkt und der Geschwindigkeit des Kolbens. Die von außen aufgenommene elektri-

sche Energie ist größer, wenn der Kolben nicht bei jedem Hub seine gesamte kinetische Energie in gespeicherte Energie umwandelt, sondern wenn ein Teil seiner kinetischen Energie in potentielle Energie umgewandelt wird, die dem Kolben einen Impuls in die Gegenrichtung gibt und ihn auf eine bestimmte Geschwindigkeit beschleunigt. Die potentielle Energie soll in einer Feder gespeichert werden, vorteilhafterweise in einer Druckluftfeder 66, wie in Fig. 20 und 21 gezeigt. Eine mögliche Konstruktion inklusive eines Druckventils 67 und einer Saugklappe 68 ist in den Fig. 20 und 21 dargestellt. Die Saugklappe 68 wird mit Hilfe einer Feder 69 geschlossen. Die Kraft und der Weg der Druckluftfeder 66 kann mit dem Druckniveau in einem Zwischenspeicher 70 eingestellt werden, der parallel zum Hauptspeicher 2 an eine Leitung 71 angeschlossen ist, wobei Absperrventile 72, 73 zwischengeschaltet sind.

Ein weiteres Ventil, Hauptventil, ist in Fig. 20 und 21 bei 74 gezeigt.

In einer Verbindung 75 zwischen dem Hauptspeicher 2 und dem Zwischenspeicher 70 ist ein Regelventil 76 vorgesehen, und weitere Absperrventile 77 bzw. 78 sind in den Leitungen von den Speichern 2 bzw. von der Zuleitung 79 zum Hubraum 80 (vgl. Fig. 21) angeordnet. Das Druckventil bzw. der Ventilkörper 67, der gemäß den Darstellungen in Fig. 20 und 21 auf- und abbewegbar ist, ist überdies mit Dichtungen 81 versehen, wobei eine weitere Dichtung 82 an einer stufenförmigen Auflagefläche am Kolbengehäuse vorgesehen ist. Die Saugklappe 68, die in Fig. 20 im geöffneten Zustand mit strichlierten Linien gezeigt ist, stellt in diesem geöffneten Zustand eine Verbindung des Hubraums 80 mit dem Umgebungsdruck 83 her. In dieser geöffneten Stellung der Saugklappe 68 gemäß Fig. 20 liegt die Saugklappe 68 an der schrägen Unterseite des Ventilkörpers 67 an.

Patentansprüche:

1. Druckluftspeicherkraftwerk mit einem Druckluftspeicher, mit einem elektrischen Ein-/Ausgangskreis, mit Kompressions- und Expansionsmitteln, die eine Kolbenpumpe aufweisen, die zwischen einem Pumpbetrieb und einem Generatorbetrieb umschaltbar ist, und mit Elektromagnetmitteln mit einem Kern, der eine geschlossene Schleife mit zwei parallelen geraden Kernteilen bildet, um die Spulen gewickelt sind, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen den geraden Kernteilen eine magnetisch leitfähige Brücke zur Verstärkung der radial aus dem Kern austretenden Komponente der Induktion angeordnet ist.
2. Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Brücke aus weichmagnetischem Material gebildet ist.
3. Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Brücke eine Hilfswicklung aufweist.
4. Druckluftspeicherkraftwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Brücke und dem Kern ein Spalt freigelassen ist.
5. Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Phasenverschiebung zwischen einer Induktion im Spalt und einem um den Kern herum laufenden Sekundärstrom.
6. Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenverschiebung zwischen der Induktion im Spalt und dem Sekundärstrom den Kolben zu einer pumpenden Bewegung antreibt.
7. Druckluftspeicherkraftwerk nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Kolben durch eine magnetisierbare Kolbenflüssigkeit zur Verstärkung der Induktion gebildet ist.
8. Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kolbenflüssigkeit magnetische Nanopartikel

enthalten sind.

9. Druckluftspeicherkraftwerk nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch je einen Energiespeicher auf einer Seite des Kolben-Hubraums zur Speicherung von potentieller Energie, um die Pumpleistung durch zusätzliche mechanische Blindleistung zu erhöhen.

10. Druckluftspeicherkraftwerk nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Energiespeicher durch eine Feder, insbesondere Druckluftfeder, gebildet ist.

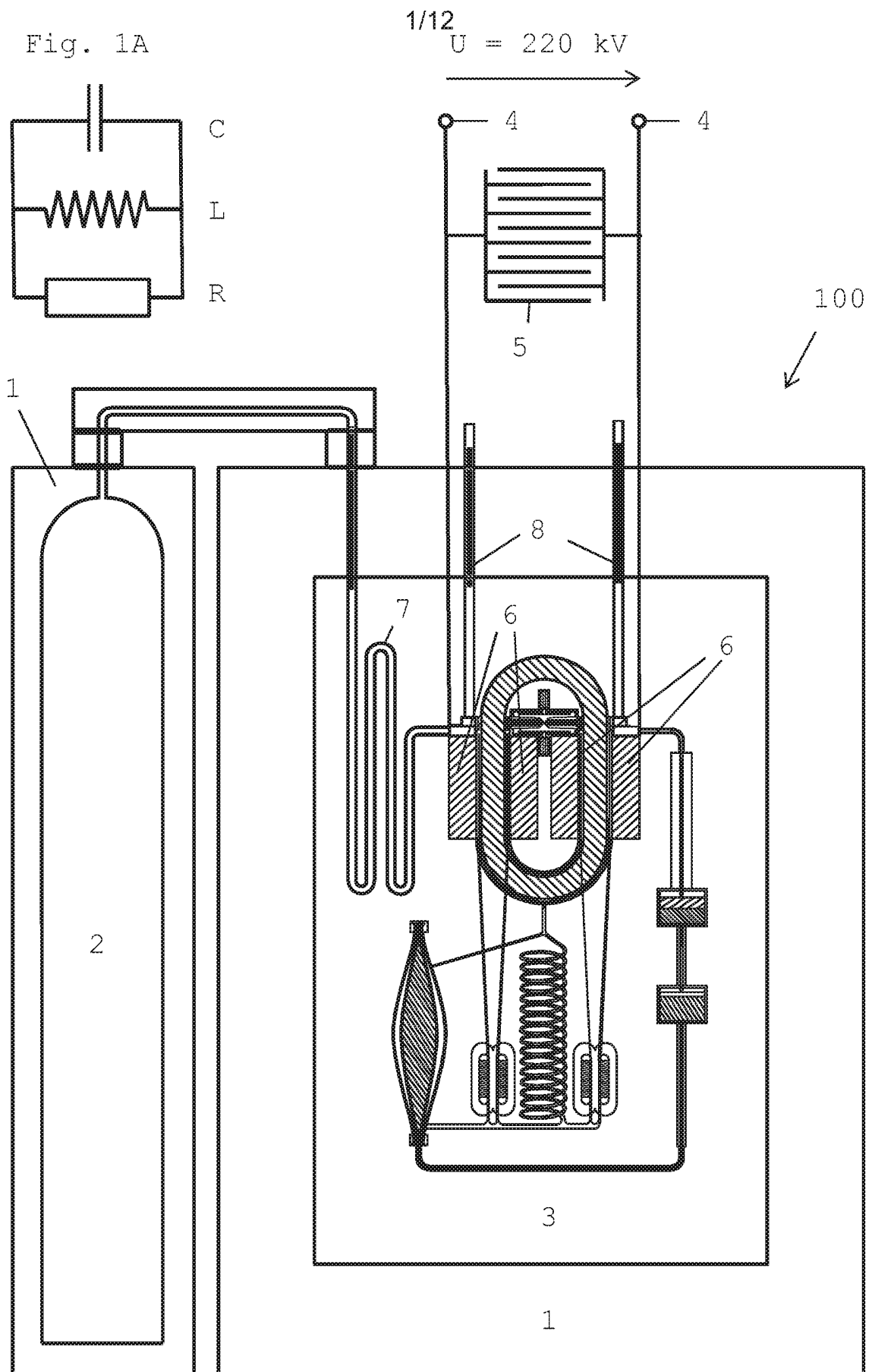


Fig. 1

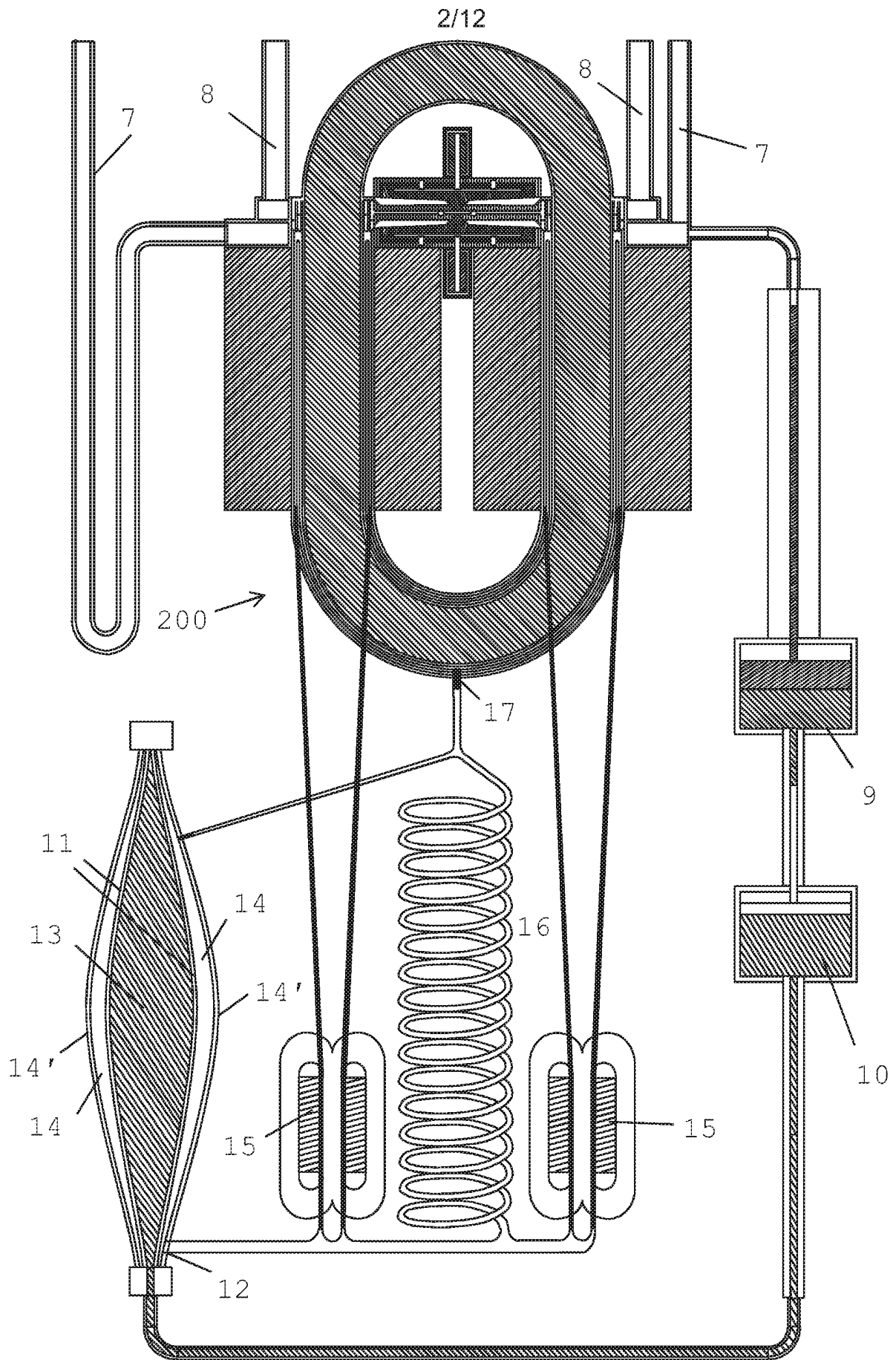


Fig. 2

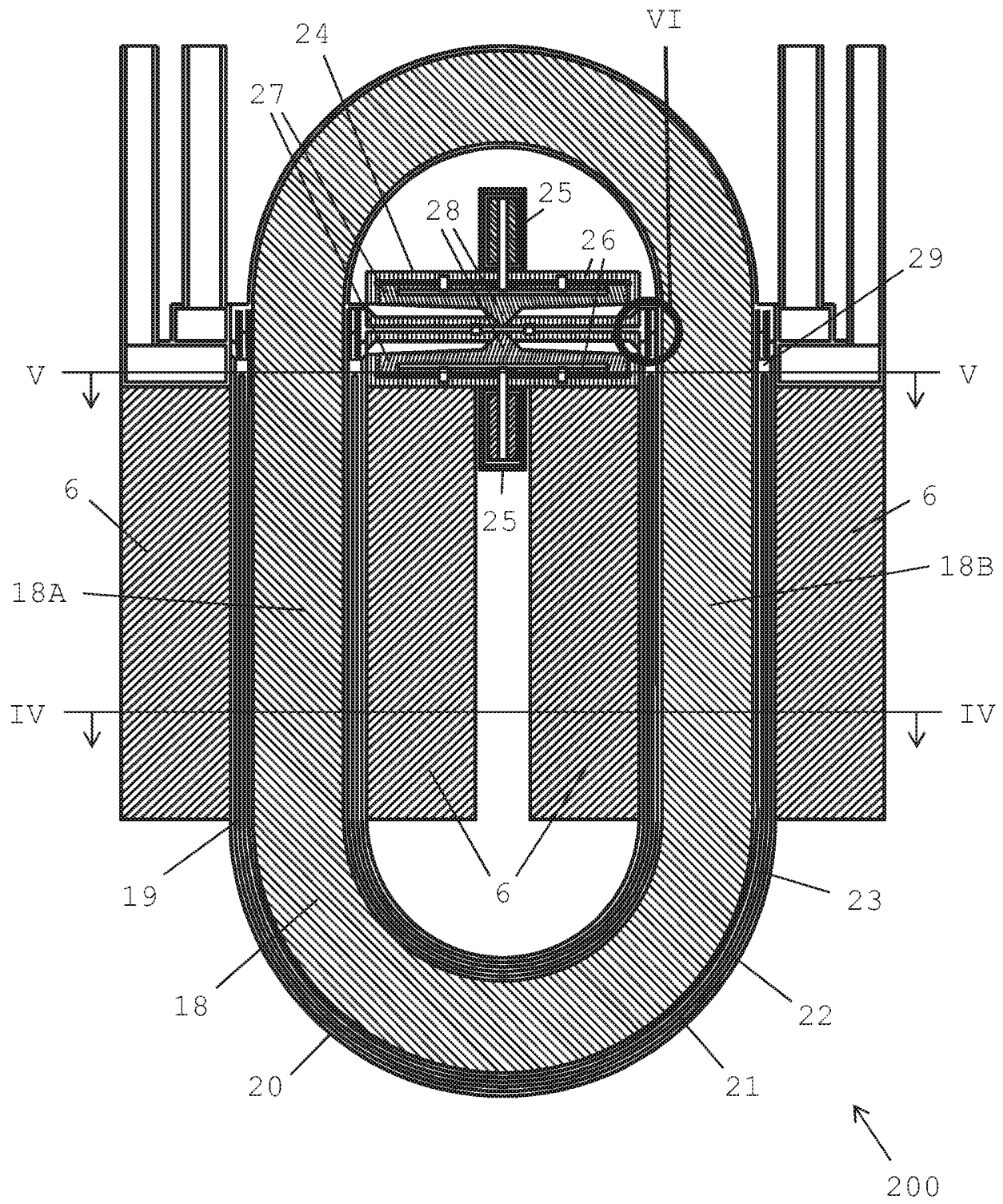


Fig. 3

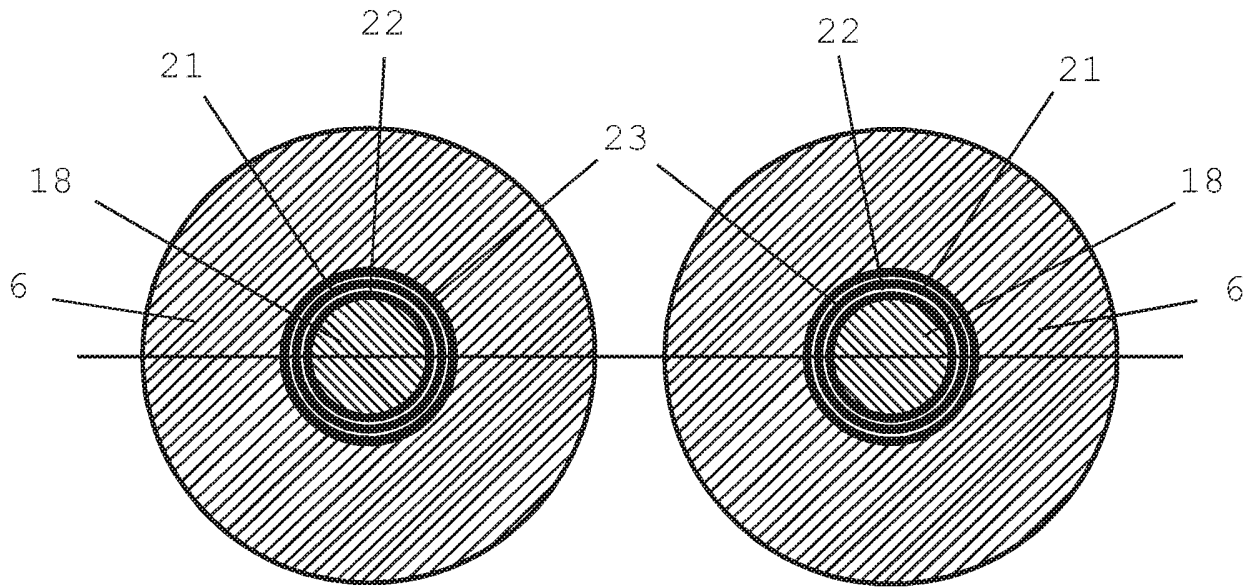


Fig. 4

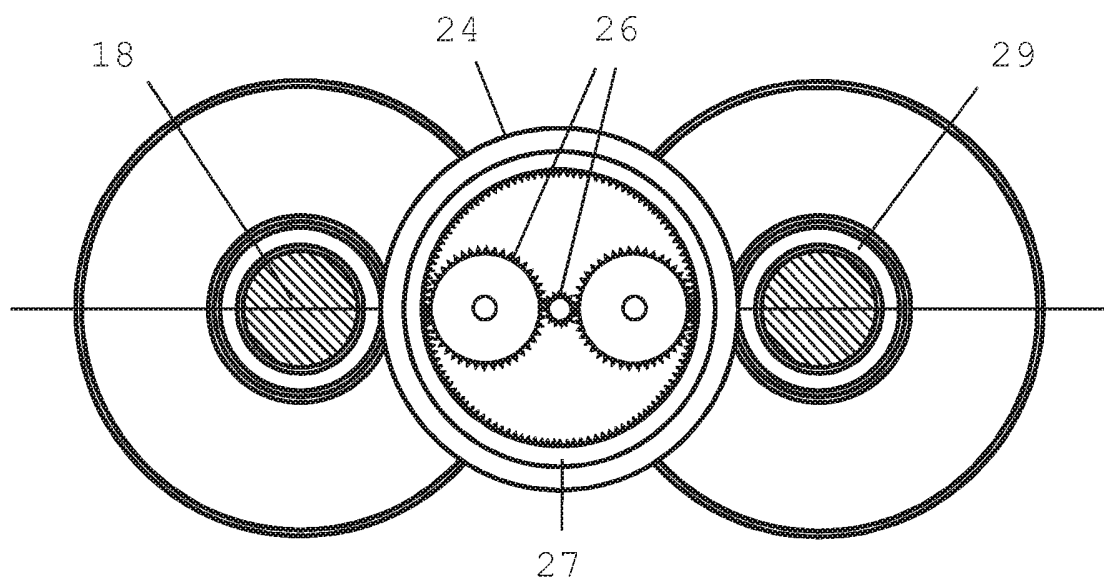


Fig. 5

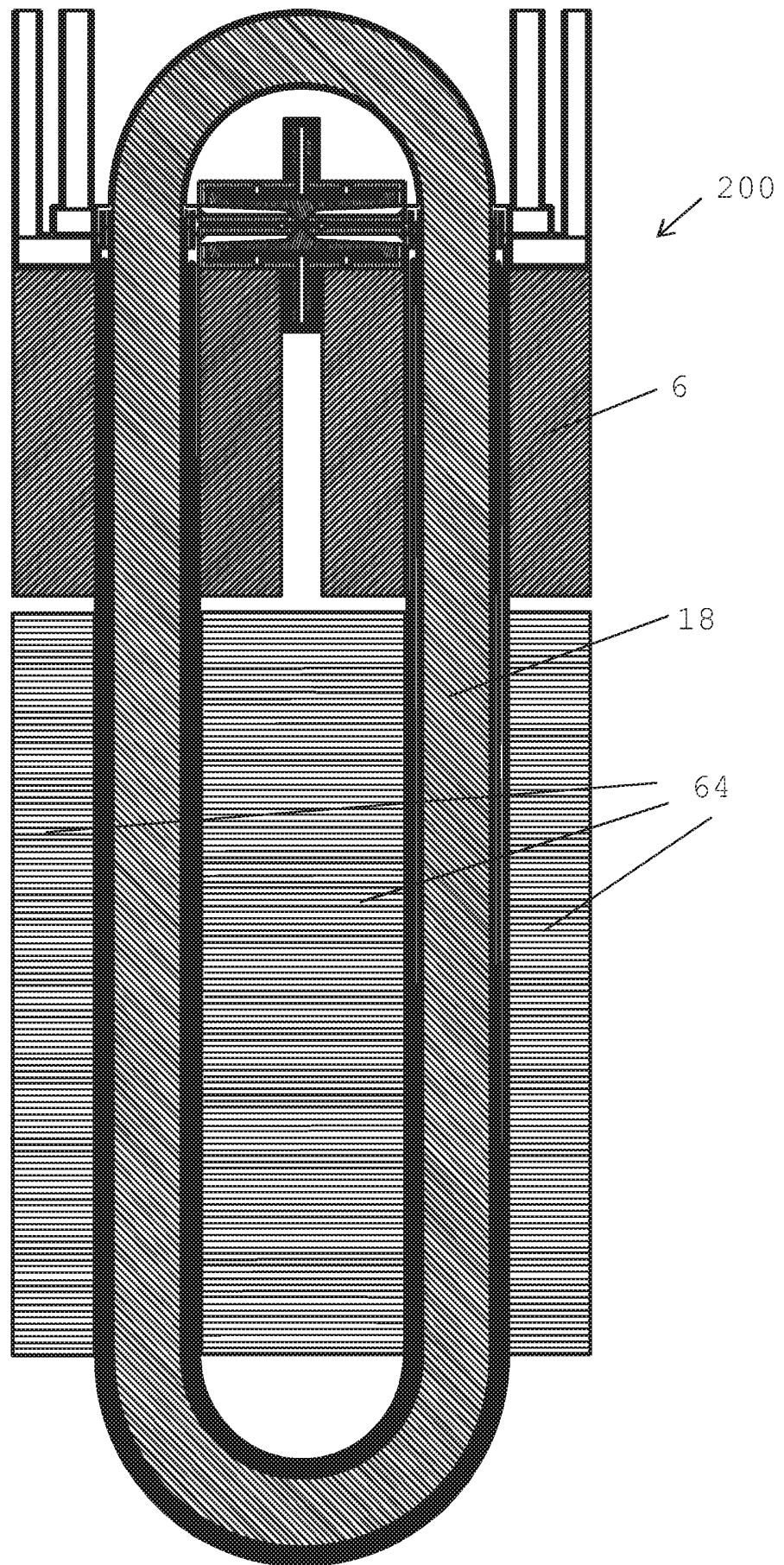
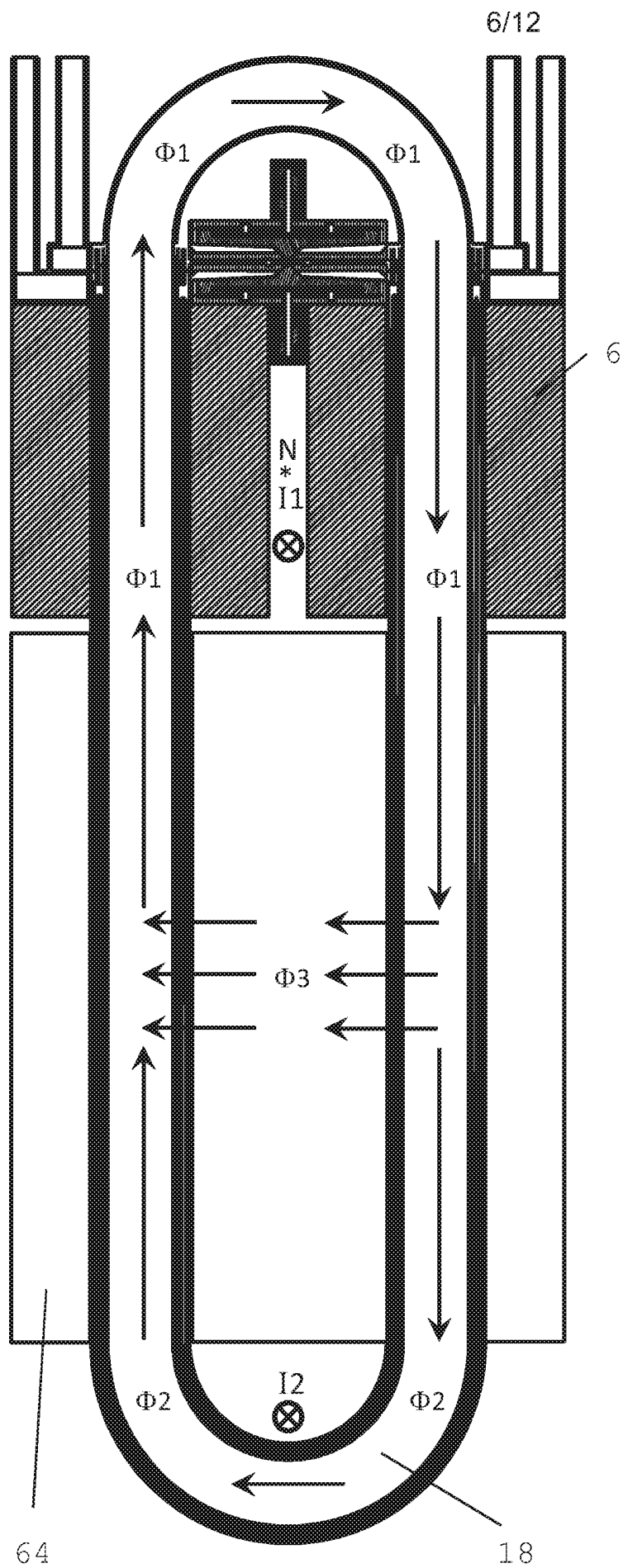


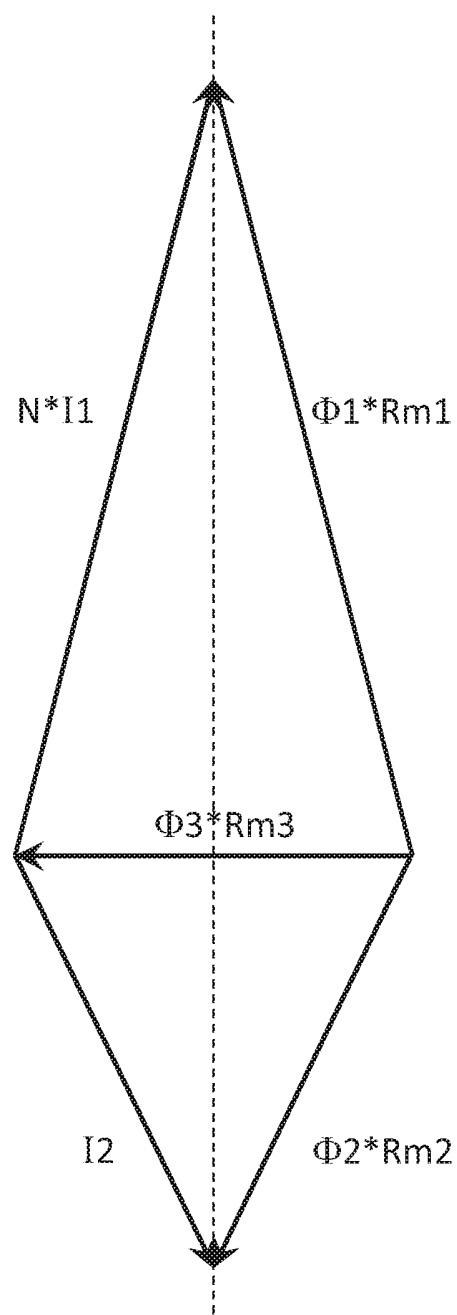
Fig. 6



$$N \cdot I_1 = \Phi_1 \cdot R_{m1} - \Phi_3 \cdot R_{m3}$$

$$I_2 = \Phi_2 \cdot R_{m2} - \Phi_3 \cdot R_{m3}$$

$$0 = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3$$



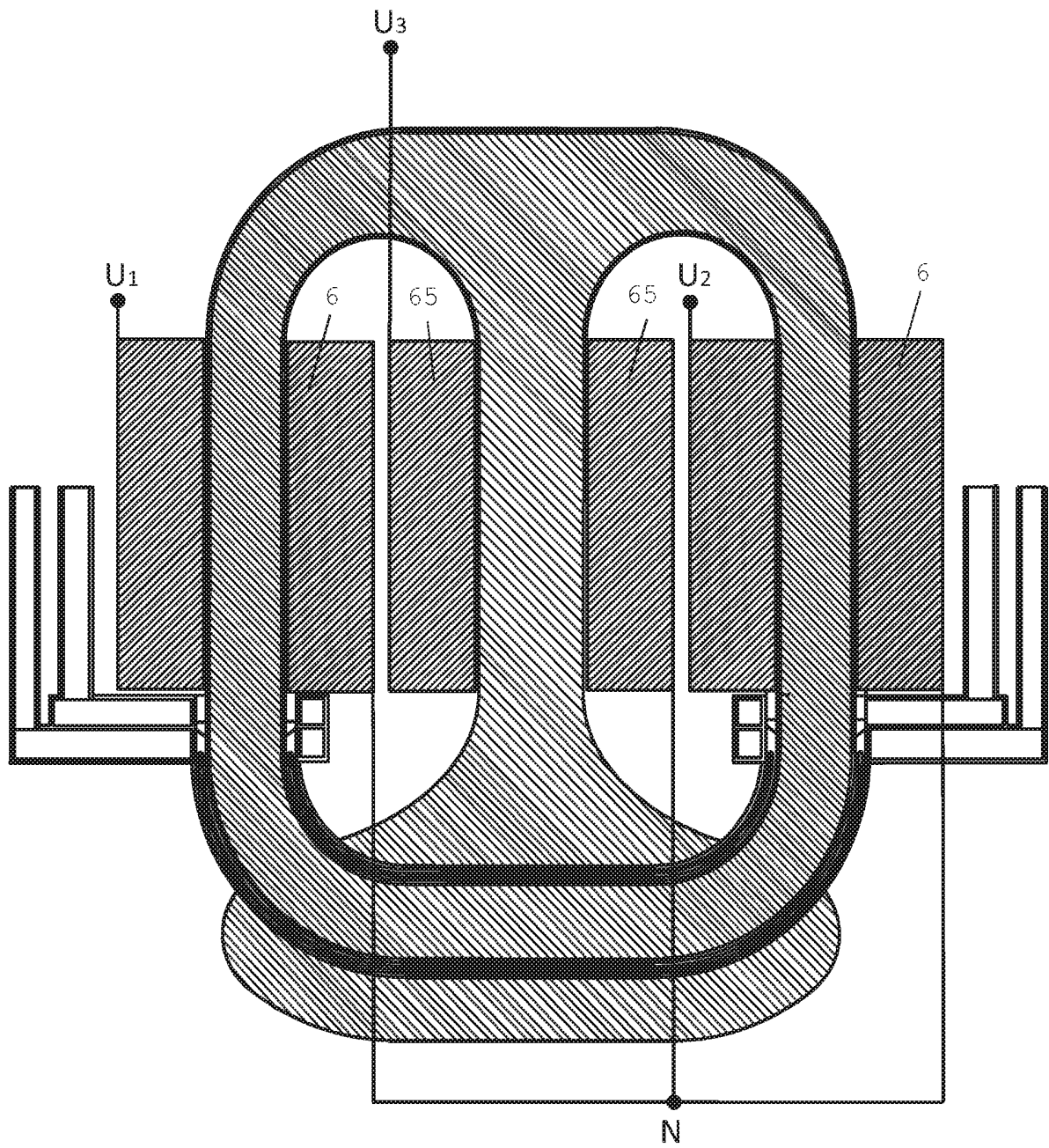


Fig. 9

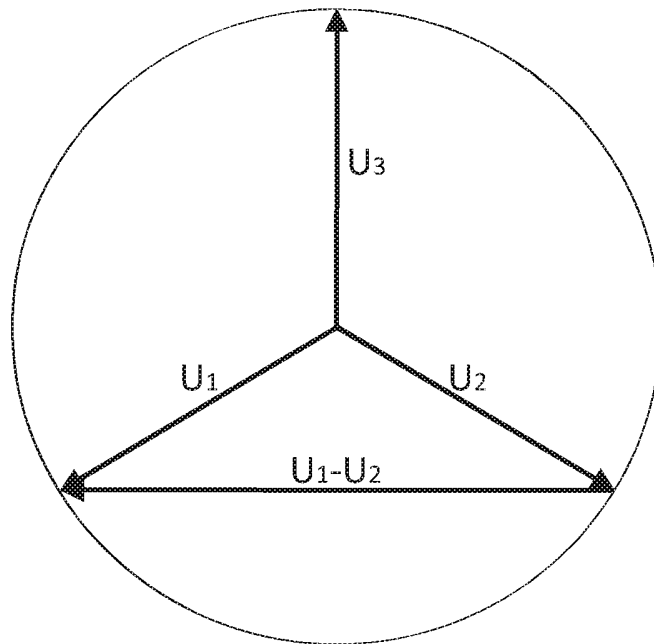


Fig. 10

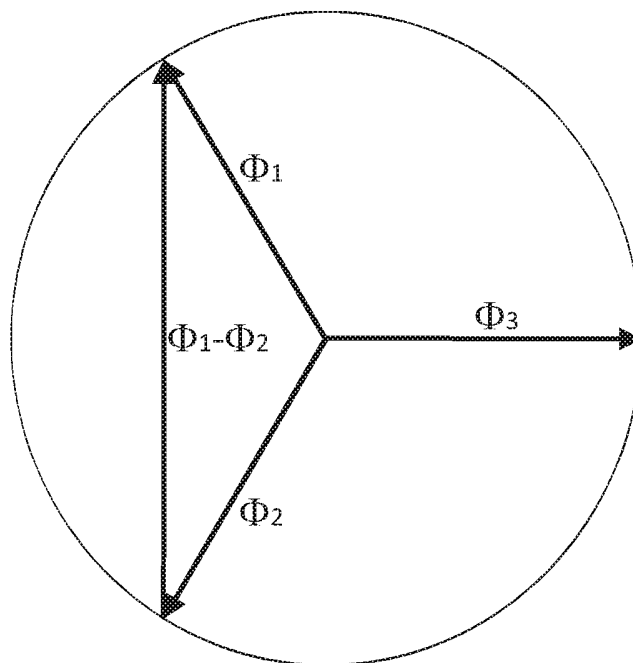


Fig. 11

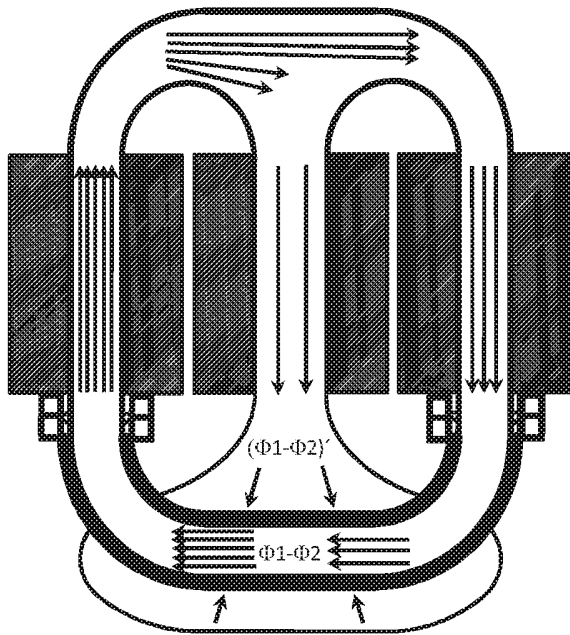


Fig.12

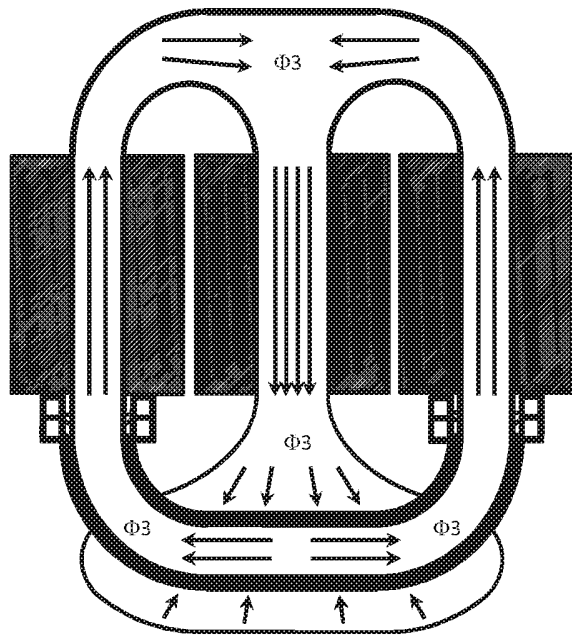


Fig.13

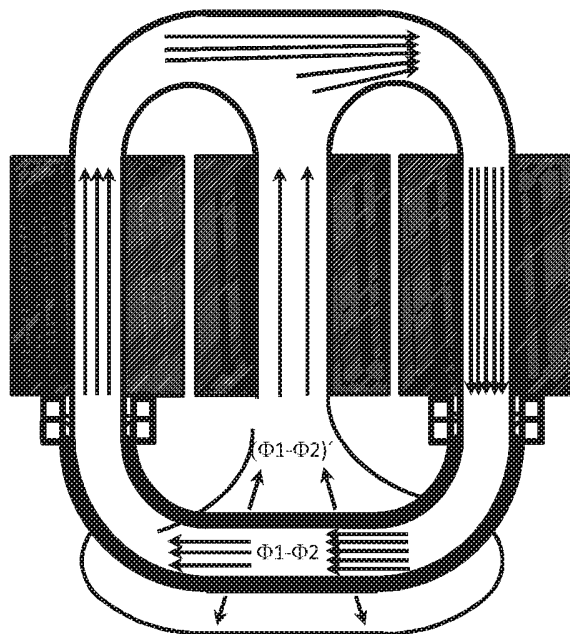


Fig.14

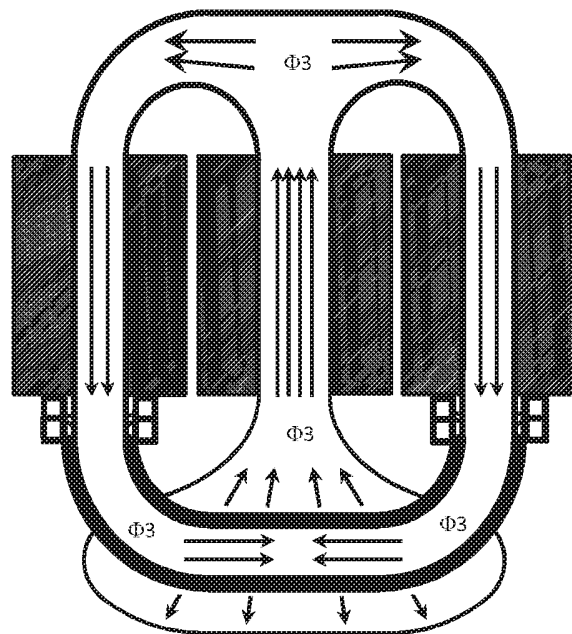


Fig.15

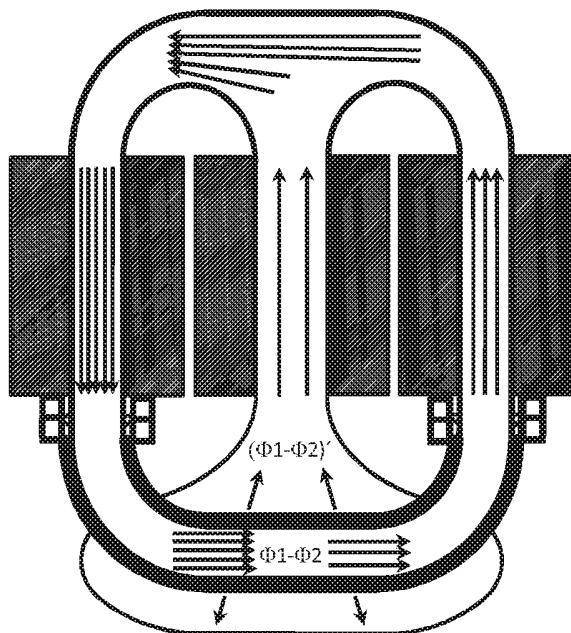


Fig.16

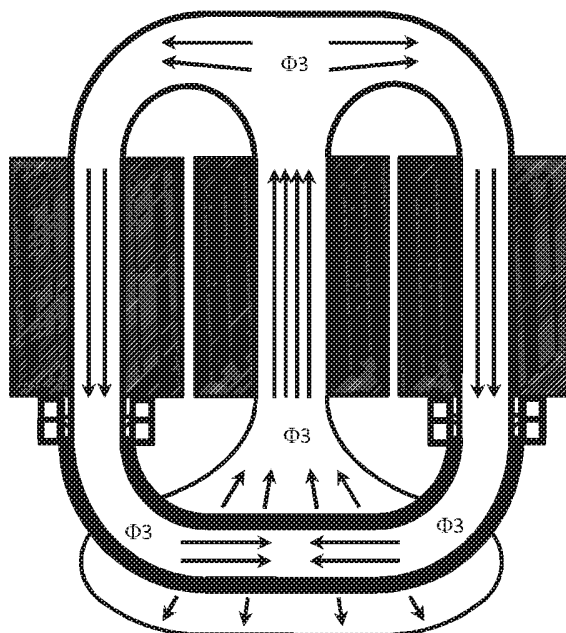


Fig.17

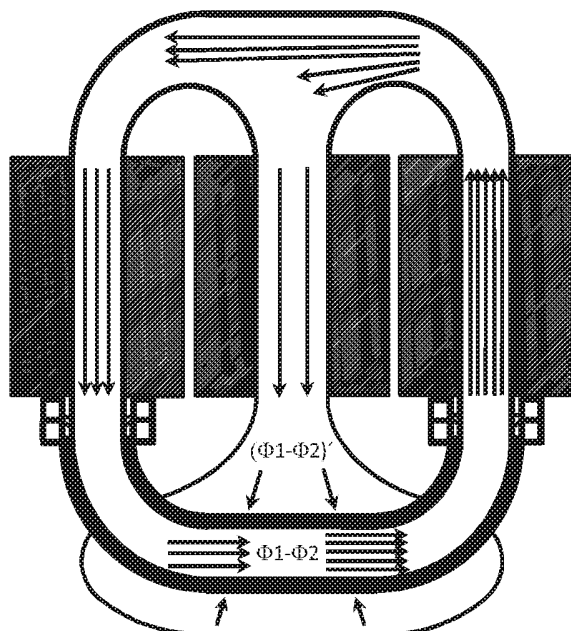


Fig.18

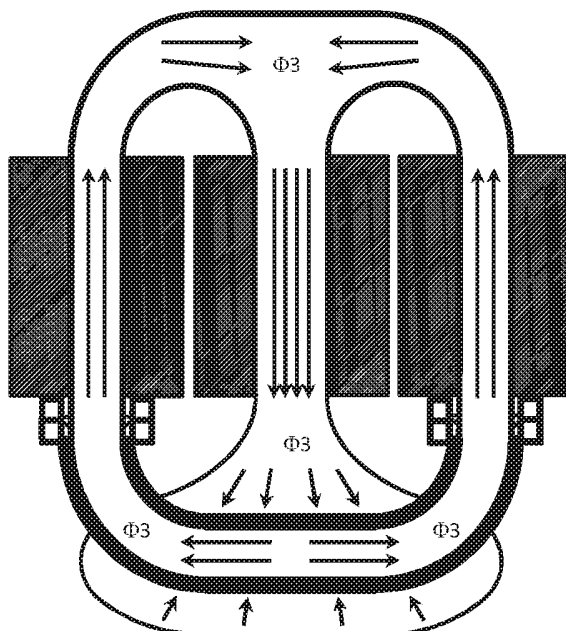


Fig.19

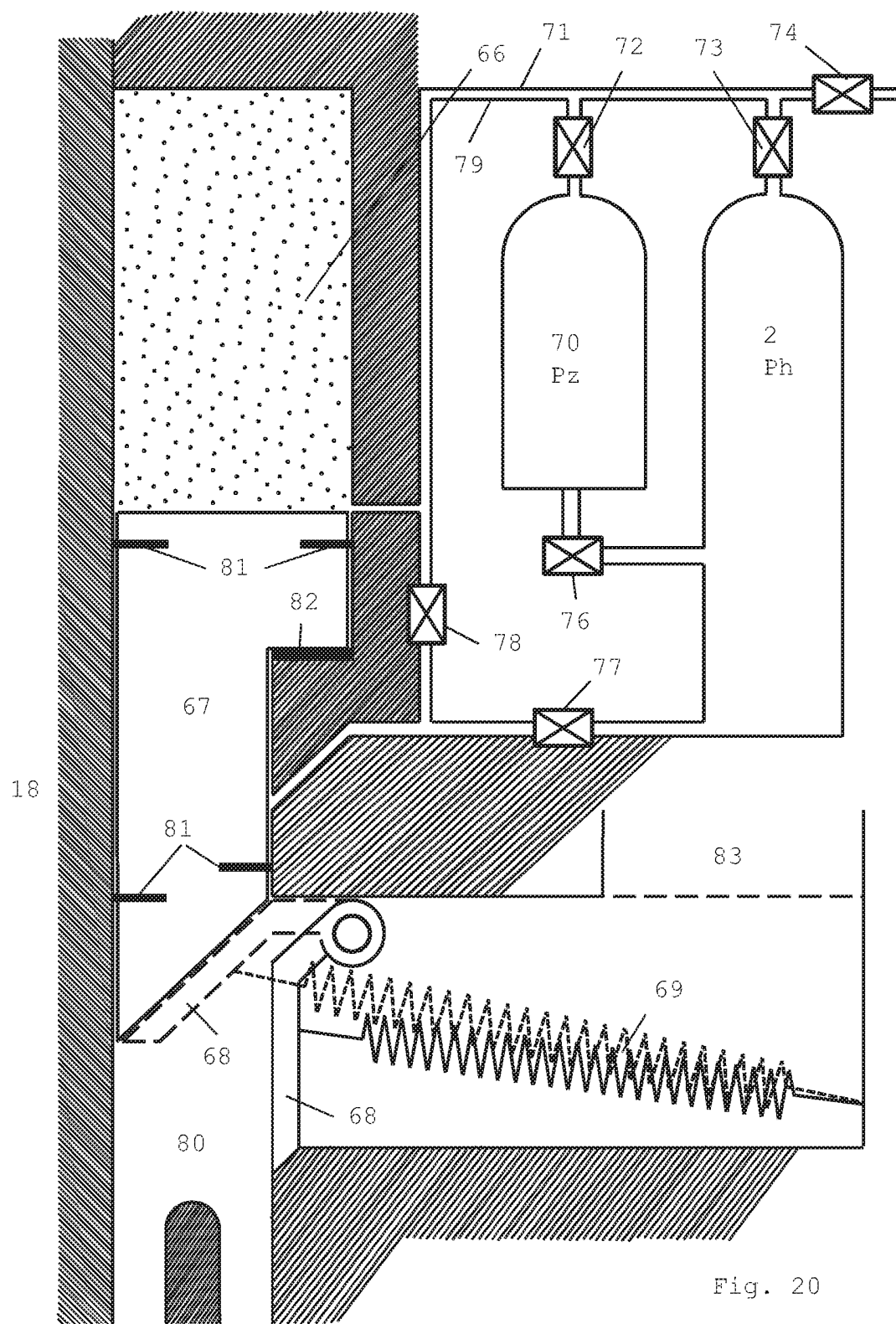


Fig. 20

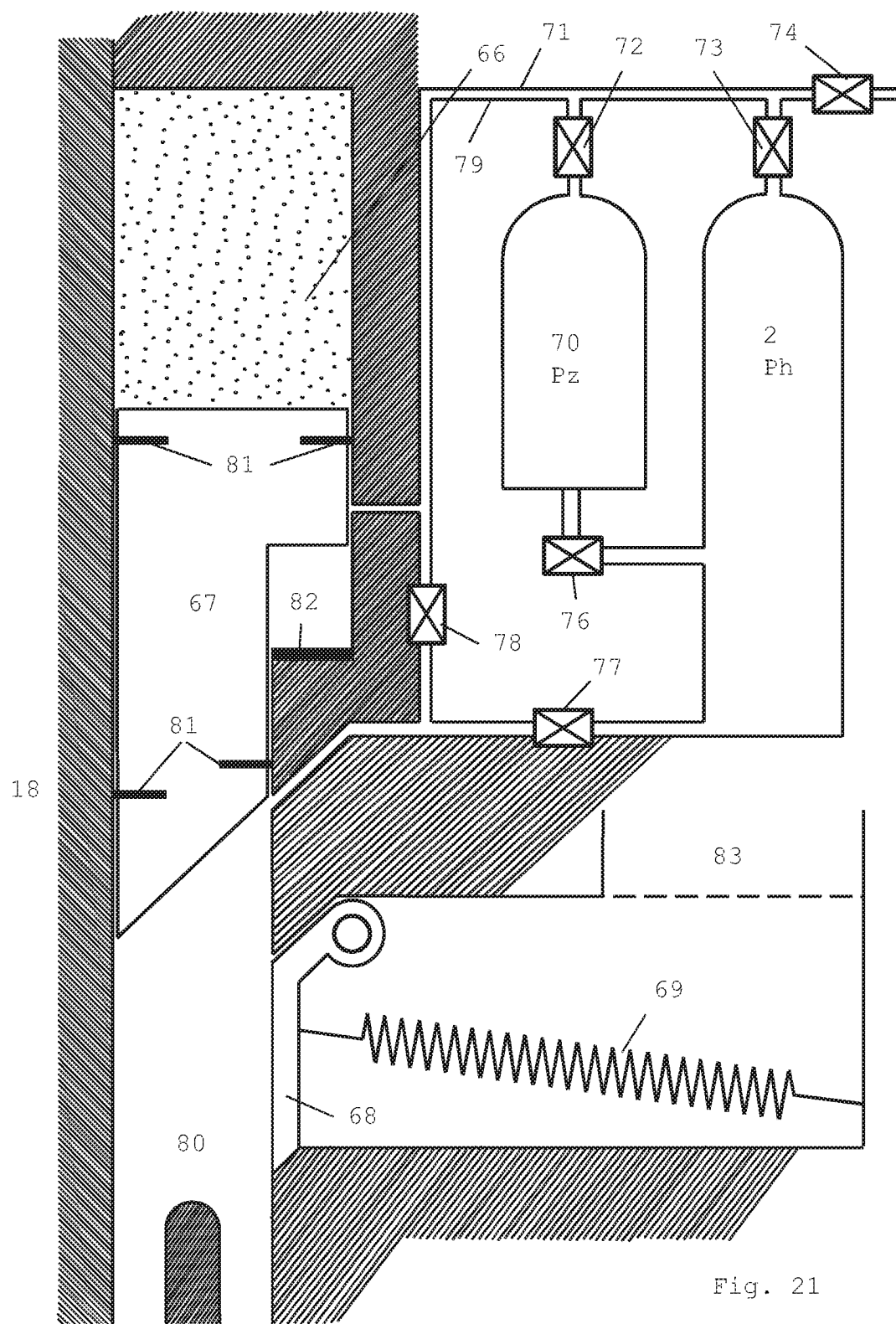


Fig. 21

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
F04B 39/00 (2006.01); **H02J 15/00** (2006.01); **H02K 44/08** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
F04B 39/0011 (2013.01); **H02J 15/006** (2013.01); **H02K 44/085** (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):
F04B, H02J, H02K

Konsultierte Online-Datenbank:
EPODOC WPI TXTxx

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **05.01.2016** eingereichten Ansprüchen **1-10** erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
Y	AT 514221 A2 (SCHNEIDER ALEXANDER DIPL ING DR TECHN [AT]) 15. November 2014 (15.11.2014) Fig. 1 und Beschreibung	1-10
Y	SU 464053 A1 (AS LATV PHYS INST) 15. März 1975 (15.03.1975) Zusammenfassung	1-10

Datum der Beendigung der Recherche:
06.12.2016

Seite 1 von 1

Prüfer(in):
SCHLECHTER Burkhard

¹⁾ **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.