

(19)



(11)

**EP 4 303 899 B1**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:

**22.01.2025 Patentblatt 2025/04**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):

**H01F 29/14<sup>(2006.01)</sup> H01F 27/38<sup>(2006.01)</sup>**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):

**H01F 29/14; H01F 27/38; H01F 2029/143**

(21) Anmeldenummer: **23000100.0**

(22) Anmeldetag: **10.07.2023**

(54) **STUFENLOS UND UNTERBRECHUNGSFREI REGELBARER LEISTUNGSTRANSFORMATOR**

CONTINUOUSLY AND UNINTERRUPTEDALLY ADJUSTABLE POWER TRANSFORMER

TRANSFORMATEUR DE PUISSANCE RÉGLABLE SANS INTERRUPTION ET CONTINU

(84) Benannte Vertragsstaaten:

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

(30) Priorität: **08.07.2022 DE 102022117112**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:

**10.01.2024 Patentblatt 2024/02**

(73) Patentinhaber: **Buch, Norbert**

**35428 Langgöns (DE)**

(72) Erfinder: **Buch, Norbert**

**35428 Langgöns (DE)**

(74) Vertreter: **Patentanwälte Bauer Vorberg Kayser**

**Partnerschaft mbB**

**Goltsteinstraße 87**

**50968 Köln (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:

**DE-A1- 2 811 205 DE-B3- 102004 018 613**

**DE-C- 607 127**

**GB-A- 1 053 297**

**US-A- 2 644 109**

**EP 4 303 899 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Transformatoranordnung mit einstellbarer Ausgangsspannung.

**[0002]** In Energieversorgungsnetzwerken muss eine gewisse Versorgungsqualität sichergestellt sein, um das Netzwerk in einem stabilen Zustand zu halten und Beschädigungen von angeschlossenen Verbrauchern, Erzeugern und Betriebsmitteln zu vermeiden. Ein wichtiger Aspekt der Versorgungsqualität ist die Netzspannung, die in einem relativ engen Toleranzbereich gehalten werden muss. Das Sicherstellen einer ausreichenden Versorgungsqualität ist bei Netzwerken mit einem hohen Anteil dezentraler Energieerzeuger, wie Photovoltaik- oder Windkraftanlagen, keine triviale Aufgabe.

**[0003]** Jeder Erzeuger und jeder Verbraucher kann Einfluss auf die Versorgungsqualität in ihn umgebenden Bereichen des Energieversorgungsnetzwerks haben. Das Beziehen von Leistung aus dem Energieversorgungsnetzwerk durch einen Verbraucher kann zu einer Reduzierung der Netzspannung führen, beispielsweise wenn mehr Leistung bezogen wird, als das Netzwerk liefern kann. Andererseits benötigt jeder Erzeuger eine geringfügig höhere Ausgangsspannung als die Netzspannung, um Energie in das Energieversorgungsnetzwerk einspeisen zu können. Dies kann bei zu viel eingespeister Leistung relativ zu der bezogenen Leistung zu einer Erhöhung der Netzspannung führen. Auch das Verhalten von Betriebsmitteln des Energieversorgungsnetzwerks ist von der Betriebssituation abhängig. So erhöht sich beispielsweise bei einem hohen Stromfluss durch einen Leiter der Spannungsabfall über diesen Leiter.

**[0004]** In der Praxis bedeutet dies, dass innerhalb des Energieversorgungsnetzwerks flexibel auf veränderte Anforderungen reagiert werden muss. Bei Erzeugern mit einem Wechselrichter mit aktiven Wechselrichterbrücken ist dies meist keine allzu große Herausforderung, da erforderliche Anpassungen rasch per Software vorgenommen werden können. Allerdings sind die Leistungen und Einsatzbereiche derartiger Wechselrichter beschränkt.

**[0005]** Eine gute Eingriffsmöglichkeit bestünde in einer Anpassung der Ausgangsspannung direkt am Transformator. Bei üblichen Transformatoren ist die Ausgangsspannung jedoch durch die Eingangsspannung und das Windungsverhältnis, d.h. das Verhältnis der Windungszahlen der Primär- und Sekundärwicklungen, festgelegt. Damit ist eine flexible Einflussnahme auf die Ausgangsspannung bei derartigen Transformatoren nicht möglich.

**[0006]** Eine einfache Lösung besteht darin, die Anzahl der wirksamen sekundärseitigen Wicklungen zu verändern. Hierzu können eine vordefinierte Anzahl von Windungen der Sekundärwicklung manuell zugeschaltet oder weggeschaltet werden. Je höher die Anzahl wirksamer Windungen, desto höher die Ausgangsspannung. Allerdings ist dadurch lediglich eine sprunghafte Änderung der Ausgangsspannung möglich. Zudem ist eine ma-

nuelle Anpassung der Spannung stets mit einem Freischalten des Transformators verbunden, weshalb stets Ausfälle entstehen. Für ein flexibles Reagieren auf veränderte Betriebssituationen ist dies wenig geeignet.

**[0007]** Alternativ könnten die Windungen über Schalteinrichtungen zugeschaltet oder weggeschaltet werden, was auch im laufenden Betrieb erfolgen könnte. Hier ist jedoch problematisch, dass derartige Schalteinrichtungen erhebliche Zusatzkosten verursachen würden und ferner den Wartungsbedarf erhöhen.

**[0008]** Ein anderer Transformator mit anpassbarer Ausgangsspannung ist beispielsweise aus der DE 18 73 209 U1 bekannt. Hierbei ist eine Einstellbarkeit der Ausgangsspannung über Schleifkontakte erreichbar, die über einen Schleifbereich eines Ringtransformator geführt sind. Allerdings sind diese Transformatoren wartungsintensiv, kompliziert in der Herstellung und können lediglich für kleinere Übertragungsleistungen genutzt werden.

**[0009]** Ein anderer regelbarer Transformator ist aus der DE 76 17 26 A bekannt. Hier wird eine Flussverdrängung in einem Schenkel eines Dreischenkelkerns genutzt. Allerdings entstehen dadurch Kerne mit erheblichem Materialbedarf. Ferner sind auch hierbei die Übertragungsleistungen beschränkt.

**[0010]** Eine andere Möglichkeit einer Spannungsanpassung ist aus der EP 3 101 796 A1 bekannt. Die Primärwicklung eines Transformators ist in einen Außenleiter des Versorgungsnetzwerks eingekoppelt ist. Mit einer Vielzahl von Schaltern können verschiedene Strompfade zwischen Primär- und Sekundärwicklung geschaltet und die Ausgangsspannung beeinflusst werden. Eine Zusatzwicklung, die in dem magnetischen Kreis der Primär- und der Sekundärwicklung angeordnet ist, kann zum Aufrechterhalten des magnetischen Flusses in dem magnetischen Kreis genutzt werden. Auf diese Weise können sprunghafte Änderungen des magnetischen Flusses in dem magnetischen Kreis verhindert werden. Allerdings sind Eingang und Ausgang der Anordnung galvanisch miteinander verbunden. Zudem sind die Einstellmöglichkeiten beschränkt.

**[0011]** Zum weiteren Stand der Technik sei auf DE 28 11 205 A1, DE 10 2004 018 613 B3, GB 1 053 297 A, US 2 644 109 A sowie DE 607 127 C, jeweils aufweisend eine Transformatoranordnung gemäß Oberbegriff von Anspruch 1, verwiesen.

**[0012]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Transformatoranordnung bereitzustellen, bei der eine flexible Einstellbarkeit der Ausgangsspannung möglich ist. Dabei ist erstrebenswert, wenn die Transformatoranordnung relativ einfach aufgebaut ist, prinzipiell auch bei höheren Übertragungsleistungen einsetzbar ist und eine kontinuierliche oder quasikontinuierliche Anpassung ermöglicht.

**[0013]** Diese Aufgabe wird durch die Merkmalskombination des Anspruchs 1 gelöst. Weitere, besonders vorteilhafte Ausgestaltungen offenbaren die Unteransprüche.

**[0014]** Es ist darauf hinzuweisen, dass die in den Ansprüchen einzeln aufgeführten Merkmale in beliebiger, technisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können und weitere Ausgestaltungen der Erfindung aufzeigen. Die Beschreibung charakterisiert und spezifiziert Ausführungen der Erfindung zusätzlich.

**[0015]** Es sei ferner angemerkt, dass eine hierin verwendete, zwischen zwei Merkmalen stehende und diese miteinander verknüpfende Konjunktion "und/oder" stets so auszulegen ist, dass in einer ersten Ausgestaltung lediglich das erste Merkmal vorhanden sein kann, in einer zweiten Ausgestaltung lediglich das zweite Merkmal vorhanden sein kann und in einer dritten Ausgestaltung sowohl das erste als auch das zweite Merkmal vorhanden sein können.

**[0016]** Die vorliegende Offenbarung nutzt den Effekt, dass bei einer Leiterschleife die induzierte Spannung  $U$  von der zeitlichen Veränderung des magnetischen Flusses  $\Phi$  durch die Leiterschleife abhängt (Induktionsgesetz). Das bedeutet, dass durch Beeinflussen des magnetischen Flusses durch die Sekundärspule eines Transformators die Ausgangsspannung des Transformators beeinflusst werden kann. Da sich magnetische Flüsse überlagern, kann die Wirkung eines ersten magnetischen Flusses durch einen zweiten magnetischen Fluss - je nach Flussrichtung - verstärkt oder abgeschwächt werden. Wenn also die Primärspule des Transformators einen ersten magnetischen Fluss erzeugt, kann der an der Sekundärspule wirksame magnetische Fluss und damit die Ausgangsspannung des Transformators durch einen zweiten magnetischen Fluss geändert werden.

**[0017]** Zum Ändern des an der Sekundärwicklung wirksamen magnetischen Flusses kann ein zweiter magnetischer Fluss in die Primärwicklung und/oder die Sekundärwicklung eingebracht werden. Hierzu wird gemäß der vorliegenden Offenbarung ein zweiter Kern und eine Steuerwicklung genutzt, wobei der zweite Kern durch die Primärwicklung oder die Sekundärwicklung geführt ist und die Steuerwicklung um den zweiten Kern angeordnet ist. Wenn sowohl auf Primär- als auch auf Sekundärseite ein zweiter Fluss eingekoppelt werden soll, können entsprechend zwei zweite Kerne und zwei Steuerwicklungen vorhanden sein. Die Steuerwicklung erzeugt einen zweiten magnetischen Fluss in dem zweiten Kern und der zweite Kern leitet diesen zweiten magnetischen Fluss zu der Primärwicklung bzw. der Sekundärwicklung.

**[0018]** Wenn der zweite Kern durch die Primärwicklung geführt ist, wird der durch die Primärwicklung erzeugte erste magnetische Fluss sowohl durch den ersten als auch den zweiten Kern geleitet. Der zweite magnetische Fluss, der durch die Steuerwicklung in dem zweiten Kern erzeugt wird, überlagert sich im zweiten Kern mit dem ersten magnetischen Fluss. Der zweite magnetische Fluss gelangt über den zweiten Kern zu der Primärwicklung und wirkt auf die Primärwicklung ein. Wenn der erste und der zweite magnetische Fluss im Bereich der Primärwicklung gleichgerichtet ist, erhöht der zweite magnetische Fluss den im ersten Kern geführten mag-

netischen Fluss. Wenn der erste und der zweite magnetische Fluss im Bereich der Primärwicklung entgegengerichtet ist, reduziert der zweite magnetische Fluss den im ersten Kern geführten magnetischen Fluss. In beiden Fällen kann also durch die Steuerwicklung und den damit erzeugten magnetischen Fluss der an der Sekundärwicklung wirksame magnetische Fluss und damit die Ausgangsspannung beeinflusst werden.

**[0019]** Wenn der zweite Kern durch die Sekundärwicklung geführt ist, werden sowohl der durch die Primärwicklung erzeugte erste magnetische Fluss als auch der durch die Steuerwicklung erzeugte zweite magnetische Fluss durch die Sekundärwicklung gelenkt, die beide gemäß dem Induktionsgesetz zu einer induzierten Spannung beitragen. Wenn der erste magnetische Fluss und der zweite magnetische Fluss durch die Sekundärwicklung gleichgerichtet sind, wird die induzierte Spannung und damit die Ausgangsspannung angehoben. Wenn der erste magnetische Fluss und der zweite magnetische Fluss durch die Sekundärwicklung entgegengerichtet sind, wird die induzierte Spannung und damit die Ausgangsspannung abgesenkt. Auf diese Weise kann durch die Steuerwicklung der an der Sekundärwicklung wirksame magnetische Fluss und damit die Ausgangsspannung beeinflusst werden.

**[0020]** In allen Fällen ist es Aufgabe einer mit der Steuerwicklung verbundenen Ansteuereinheit, die Steuerwicklung mit einem Steuerstrom geeignet anzusteuern. Wie konkret die Ansteuereinheit aufgebaut ist und diese Aufgabe erfüllt, ist für die vorliegende Offenbarung nicht entscheidend. Üblicherweise dürfte die Ansteuereinheit dazu ausgebildet sein, einen Stromfluss durch die Steuerwicklung zu erzeugen, der zu der gewünschten Veränderung der Ausgangsspannung der Transformatoranordnung führt. Dabei können insbesondere die Richtung und Stärke des Stromflusses wichtig sein. Die konkreten Einstellungen des Stromflusses dürften von der jeweiligen Ausgestaltung der Transformatoranordnung abhängen, beispielsweise der Wicklungsrichtung und Windungszahl der Steuerspule, der jeweils durch den Transformator übertragenen Leistung, der Anordnung des zweiten Kerns (an der Primär- oder Sekundärwicklung), etc. Es kann sich anbieten, wenn der Steuerstrom und der Strom durch die Primärwicklung annähernd in Phase sind. Dadurch ist die Einstellung der Ausgangsspannung besonders effektiv.

**[0021]** Insgesamt kann durch die Steuerwicklung, den zweiten Kern und die Ansteuereinheit die Ausgangsspannung der Sekundärwicklung und damit die Ausgangsspannung der Transformatoranordnung eingestellt werden. Dabei kann die Transformatoranordnung einfach aufgebaut sein. Wenn die Ansteuereinheit derart aufgebaut ist, dass der Stromfluss durch die Steuerwicklung kontinuierlich oder zumindest quasikontinuierlich angepasst werden kann, ergibt sich daraus auch eine kontinuierliche oder quasikontinuierliche Einstellbarkeit der Ausgangsspannung der Transformatoranordnung. Ferner ist die hier offenbarte Technologie nicht auf nied-

rige Übertragungsleistungen beschränkt, sondern lässt sich annähernd beliebig skalieren. Damit lässt sich die hier offenbarte Transformatoranordnung in Energieversorgungsnetzwerken einsetzen, um beispielsweise das Spannungsniveau zu stabilisieren oder durch Anheben oder Senken der Netzspannung die Einspeisefähigkeit von dezentralen Energieerzeugern zu kontrollieren.

**[0022]** Eine "kontinuierliche Anpassung" bedeutet, dass die Ausgangsspannung prinzipiell stufenlos verändert werden kann. Eine "quasikontinuierliche Anpassung" bedeutet, dass es zwar Abstufungen in der Ausgangsspannung gibt, dass diese Abstufungen aber sehr klein im Vergleich zu der Ausgangsspannung sind und daher praktisch nicht als Abstufungen wahrgenommen werden. Dies kann bedeuten, dass eine Abstufung kleiner oder gleich 1% der Ausgangsspannung, vorzugsweise kleiner oder gleich 0,1% ist.

**[0023]** Das Ausmaß der "einstellbaren Ausgangsspannung" ist prinzipiell beliebig. Bei geeignet dimensionierter Spule, Ansteuereinheit und zweitem Kern kann die Ausgangsspannung prinzipiell auf eine Spannung von Null Volt oder darunter reduziert werden. Ebenso ist es denkbar, die Ausgangsspannung im Vergleich zu einer Nennspannung (d.h. eine Ausgangsspannung ohne Einfluss durch die Steuerwicklung) deutlich zu erhöhen, beispielsweise eine Verdoppelung der Ausgangsspannung. In praktischen Einsatzszenarien dürfte sich jedoch eine Auslegung der Transformatoranordnung anbieten, mit der die Ausgangsspannung im ein- oder zweistelligen Prozentbereich erhöht und/oder reduziert werden kann. Je geringer die gewünschte Einstellbarkeit ist, desto kleiner können die Steuerwicklung, der zweite Kern und die Ansteuereinheit dimensioniert sein.

**[0024]** Generell wird vorliegend unter einer "Transformatoranordnung" eine Anordnung verstanden, die eine Wechselspannung in eine Wechselspannung umsetzt. Dazu wird eine Eingangswechselspannung in eine Primärwicklung eingegeben, durch die Primärwicklung in einen magnetischen Fluss gewandelt, durch einen ersten Kern zu einer Sekundärwicklung geleitet und der magnetische Fluss in der Sekundärwicklung in eine Ausgangswechselspannung gewandelt. Dadurch findet eine galvanische Trennung zwischen Eingang und Ausgang statt. Prinzipiell ist es unerheblich, ob die Eingangsspannung höher als die Ausgangsspannung ist oder umgekehrt. D.h. die Transformatoranordnung kann zum Hoch- oder Runtertransformieren einer Spannung genutzt werden. Dabei kann die Transformatoranordnung prinzipiell auch für einen bidirektionalen Betrieb ausgelegt sein. Es ist prinzipiell auch denkbar, dass die Nenneingangs- und die Nennausgangswechselspannung dieselbe Amplitude haben, sodass die Transformatoranordnung zum Anpassen der Ausgangsspannung auf einem vergleichbaren Spannungsniveau ausgestaltet ist.

**[0025]** Der Begriff "Primärwicklung" bezeichnet vorliegend eine Spule, die mit einem Eingang der Transformatoranordnung verbunden ist. Der Begriff "Sekundärwicklung" bezeichnet eine Spule, die mit einem Ausgang der

Transformatoranordnung verbunden ist. In einem gängigen Einsatzszenarium kann dies bedeuten, dass die Primärwicklung mit einem Energieversorgungsnetzwerk und die Sekundärwicklung mit einer Last verbunden ist. Auch wenn der Begriff "Primärwicklung" häufig als eine Wicklung bezeichnet wird, die mit der höheren Spannung verbunden ist, stellt dies für die vorliegende Offenbarung keine zwingende Anforderung dar. Entsprechendes gilt für die "Sekundärwicklung". Bei einem bidirektionalen Betrieb können sich die Funktionen der Primärwicklung und der Sekundärwicklung sogar vertauschen.

**[0026]** Wie konkret die Wicklungen (insbesondere Primärwicklung, Sekundärwicklung und Steuerwicklung) aufgebaut sind, ist nicht entscheidend, solange die Wicklungen die hier offenbarten Funktionen erfüllen. Insbesondere sind keine speziellen Wicklungsarten erforderlich. Vielmehr können die Wicklungen in üblicher Weise auf einen hohlen Trägerkörper gewickelt und danach auf den Kern gesteckt werden. Damit lassen sich die Wicklungen mit klassischen Wickelmaschinen herstellen.

**[0027]** Die Wicklungen können als Hohlzylinder aufgebaut sein, wobei die einzelnen Windungen der Wicklung entlang des Umfangs geführt sind. Als Grundfläche des Hohlzylinders sind Kreise, Ellipsen, Rechtecke, Quadrate, Sechsecke, Rechtecke mit abgerundeten Ecken, etc. denkbar. Insbesondere zur Vermeidung von Feldspitzen kann es sich anbieten, wenn die Windungen mit möglichst geringer Biegung gewickelt sind, weshalb Grundflächen wie Kreise oder Ellipsen vorteilhaft sein können.

**[0028]** Die "Steuerwicklung" kann auf unterschiedliche Weise aufgebaut und dimensioniert sein. Es ist auch denkbar, dass die Steuerwicklung in zwei oder mehr Teilwicklungen unterteilt ist, um beispielsweise einen verfügbaren Platz optimal nutzen zu können. Von Bedeutung ist, dass die Steuerwicklung einen Steuerstrom leiten kann, der die benötigte Änderung der Ausgangsspannung ermöglicht. Dies dürfte üblicherweise bedeuten, dass bei hohen maximalen Steuerströmen ein höherer Leiterquerschnitt benötigt wird als bei niedrigeren maximalen Steuerströmen. Entsprechend kann es sich anbieten, die Windungszahl zu erhöhen, um den Steuerstrom und den Leiterquerschnitt reduzieren zu können.

**[0029]** Wenn vorliegend davon die Rede ist, dass ein "Kern durch eine ...wicklung geführt ist" bedeutet dies, dass die Wicklung um den Kern angeordnet ist. Üblicherweise ist dabei eine Achse der Wicklung und der Kern bei der Wicklung parallel zueinander angeordnet.

**[0030]** Der "erste Kern" und der "zweite Kern" können auf gebräuchliche Weise aufgebaut und dimensioniert sein. Das bedeutet, dass der Kern durch einen Stapel aus Transformatorblechen gebildet sein kann, wobei die Transformatorbleche gegeneinander isoliert sein können. Der Kern kann durch mehrere Teilkern zusammen gesetzt sein, was insbesondere das Zusammensetzen des Transformators erleichtern kann. Für die Dimensionierung ist es sinnvoll, wenn der Kern den zu erwartenden maximalen magnetischen Fluss leiten kann und es

zu keinen oder zumindest keinen nennenswerten Sättigungseffekten kommt. Derartige Dimensionierungen sind aus der Praxis jedoch hinlänglich bekannt.

**[0031]** In einer Ausgestaltung ist zwischen dem ersten Kern und dem zweiten Kern ein Luftspalt angeordnet und/oder ein Teil des ersten Kerns und ein Teil des zweiten Kerns ist parallel zueinander angeordnet. Durch einen Luftspalt können die magnetischen Kreise des ersten und zweiten Kerns stärker magnetisch getrennt werden. Dies kann die Dimensionierung der Kerne erleichtern. Dabei bildet der Luftspalt einen Bereich mit erhöhtem magnetischem Widerstand. Dies bedeutet nicht zwingend, dass in dem Luftspalt auch tatsächlich Luft angeordnet ist. Vielmehr kann in dem Luftspalt auch ein anderes, magnetisch wenig oder nicht leitendes Material, beispielsweise ein Kunststoff oder eine Vergussmasse, angeordnet sein. In einer Ausgestaltung ist der Luftspalt größer oder gleich einen oder einige Millimeter. In einer Ausgestaltung ist der Luftspalt kleiner oder gleich 10 Zentimeter. Dies ermöglicht einen hohen magnetischen Widerstand. In einer anderen Ausgestaltung ist der Luftspalt kleiner oder gleich 5 Zentimeter. Dadurch kann der Platzbedarf reduziert werden. In einer weiteren Ausgestaltung ist der Luftspalt kleiner oder gleich einem Zentimeter. Dies bietet bei vielen Ausgestaltungen der Transformatoranordnung einen guten magnetischen Widerstand bei gleichzeitig überschaubarem Platzbedarf. Ein paralleles Anordnen von Teilen des ersten und zweiten Kerns kann das Leiten des magnetischen Flusses durch die Sekundärwicklung bzw. Primärwicklung (je nach Anordnung des zweiten Kerns) begünstigen.

**[0032]** In einer Ausgestaltung ist die Ansteuereinheit als Regler ausgebildet, wobei der Regler eine sekundärseitige Ausgangsspannung auf eine Sollausgangsspannung oder eine sekundärseitige Ausgangsleistung auf eine Sollausgangsleistung regelt. Das Nutzen eines Reglers erlaubt ein zügiges Reagieren auf Veränderungen in einer Betriebssituation. Damit kann ein Istzustand erfasst und mit einem Sollzustand verglichen werden. Wenn eine Abweichung zwischen Ist- und Sollzustand über ein vorbestimmtes Maß hinaus festgestellt wird, kann der Regler geeignet gegensteuern, beispielsweise die Ausgangsspannung anheben oder absenken. Das Regeln auf eine Sollausgangsspannung ermöglicht ein Stabilhalten der Ausgangsspannung in unterschiedlichen Betriebssituationen. Das Regeln auf eine Sollausgangsleistung kann einer Überlastung entgegenwirken.

**[0033]** In einer Ausgestaltung ist zur Aufnahme des zweiten Kerns der Querschnitt der Sekundärwicklung oder der Primärspule senkrecht zu einer Spulenchse eiförmig oder ellipsenförmig ausgebildet. Dabei kann der Querschnitt der Wicklung, in der der zweite Kern nicht angeordnet ist, auf übliche Weise ausgestaltet sein. Ein ellipsenförmiger Querschnitt ermöglicht die Aufnahme eines ersten und zweiten Kerns, die ähnliche Abmessungen aufweisen. Ein eiförmiger Querschnitt erlaubt das Aufnehmen eines größeren ersten Kerns und eines zweiten Kerns, dessen Querschnitt kleiner als der des ersten

Kerns ist. Dabei kann der zweite Kern an der Spitze des "Eis" angeordnet sein.

**[0034]** Erfindungsgemäss ist um den ersten Kern zusätzlich eine Abnahmewicklung derart angeordnet, dass ein durch die Primärwicklung erzeugter magnetischer Fluss in der Abnahmewicklung eine Abnahmespannung induziert, wobei die Abnahmewicklung mit der Ansteuereinheit verbunden ist und wobei die Ansteuereinheit dazu ausgebildet ist, den Steuerstrom aus der Abnahmespannung zu erzeugen. Auf diese Weise kann eine Versorgung der Steuerwicklung aus der Primärseite erreicht werden, was eine zusätzliche Energieversorgung erspart. Zudem vereinfacht diese Ausgestaltung ein Halten einer definierten Phasenlage des Steuerstroms relativ zu dem Strom in die Primärwicklung.

**[0035]** In einer Ausgestaltung umfasst die Ansteuereinheit zum Erzeugen des Steuerstroms eine Stromeinstellschaltung, wobei die Stromeinstellschaltung zum stufenlosen oder quasistufenlosen Einstellen des Steuerstroms ausgebildet ist und vorzugsweise einen Potentiometer oder einen Wechselrichter mit Gleichspannungs-/Gleichstromzwischenkreis umfasst. Die Stromeinstellschaltung kann einen Stromregler umfassen. Als Potentiometer wird in diesem Zusammenhang ein einstellbarer Spannungsteiler angesehen. Auf diese Weise lässt sich auf besonders einfache Art eine Stromeinstellschaltung realisieren. Das Nutzen eines Wechselrichters mit Gleichspannungs-/Gleichstromzwischenkreis erlaubt ein besonders flexibles Einstellen des Steuerstroms.

**[0036]** In einer Ausgestaltung umfasst die Steuerwicklung zum Reduzieren des Steuerstroms um einen Faktor  $x$  eine  $x$ -fache Windungszahl. Dabei ist  $x$  eine reelle Zahl, vorzugsweise eine natürliche Zahl, mit einem Wert mindestens gleich 2. Die Windungszahl sollte nicht zu groß werden, da dann der Wicklungsaufwand sehr groß wird. Daher ist  $x$  in einer Ausgestaltung kleiner oder gleich 100, in einer anderen Ausgestaltung kleiner oder gleich 50 und in einer weiteren Ausgestaltung kleiner oder gleich 25. Als Basis für Ver- $x$ -fachung der Windungszahl kann die Windungszahl der jeweiligen Hauptwicklung (also der Wicklung, durch die der zugehörige zweite Kern geführt ist) dienen. Wenn beispielsweise der zweite Kern mit der zu dimensionierenden Steuerwicklung durch die Sekundärwicklung geführt ist und die Ausgangsspannung um bis zu 10% verändert werden soll, so kann die Basiswindungszahl der Steuerwicklung auf 10% der Windungszahl der Sekundärwicklung dimensioniert werden. Bei dieser Ausgestaltung würde die Windungszahl der Steuerwicklung auf die  $x$ -fache Basiswindungszahl gesetzt.

**[0037]** In einer Ausgestaltung ist die Transformatoranordnung zum Verbinden mit einer Einphasen- oder Mehrphasen-Energieversorgung ausgebildet, wobei die Transformatoranordnung für jede Phase eine Primärwicklung, eine Sekundärwicklung, eine Steuerwicklung und vorzugsweise einen zweiten Kern umfasst. Das Nutzen eines Einphasen-Systems ist insbesondere für

kleinere Übertragungsleistungen denkbar. Mehrphasensysteme, insbesondere ein dreiphasiges Drehstromsystem, können deutlich höhere Leistungen übertragen. Insbesondere erlaubt die Ausbildung als Dreiphasensystem den Einsatz der Transformatoranordnung in üblichen Energieversorgungsnetzwerken. Bei einer Mehrphasen-Energieversorgung kann für jede Phase eine eigene Einphasen-Transformatoranordnung verwendet werden. Insbesondere bei einer Dreiphasen-Energieversorgung kann ein gemeinsamer erster Kern für alle drei Primärspulen und alle drei Sekundärspulen genutzt werden.

**[0038]** In einer Weiterbildung ist die Ansteuereinheit bei einer Ausgestaltung für einen Anschluss an einer Mehrphasen-Energieversorgung zu einer identischen Ansteuerung der einzelnen Steuerwicklung oder zum individuellen Regeln der einzelnen Phasen ausgebildet. Die identische Ansteuerung der einzelnen Steuerwicklungen führt insbesondere dazu, dass die Transformatoranordnung auch bei unsymmetrischer Belastung der einzelnen Phasen trotzdem zuverlässige Anpassungen der Ausgangsspannungen erlaubt. "Identische Ansteuerung" bedeutet, dass die Steuerströme durch die einzelnen Steuerwicklungen prinzipiell identisch ausgebildet sind, aber um eine netzspezifische Phasenlage gegeneinander verschoben sind. Die Phasenlage kann beispielsweise  $360^\circ$  geteilt durch die Anzahl der Phasen sein, beispielsweise  $120^\circ$  bei einem Drehstromnetz. Das individuelle Regeln der einzelnen Phasen erlaubt das Verwirklichen unterschiedlicher Regelziele für die einzelnen Phasen.

**[0039]** In einer Ausgestaltung umfasst die Transformatoranordnung ein Transformatorgehäuse, in dem die Primärwicklung, die Sekundärwicklung, der erste Kern, der zweite Kern und die Steuerwicklung angeordnet sind. Ein Transformatorgehäuse bietet einen guten Schutz gegen Berühren von Spannung führenden Teilen. Zudem kann auf diese Weise der Transformator mit einer Kühlung versehen werden, beispielsweise durch eine Ölfüllung. An dem Transformatorgehäuse können Anschlüsse vorgesehen sein, insbesondere einen Spannungseingang, einen Spannungsausgang und einen Steuereingang. Wenn die Transformatoranordnung eine Abnahmewicklung aufweist, kann diese ergänzend in dem Transformatorgehäuse angeordnet sein. Die Ansteuereinheit kann ebenfalls in dem Transformatorgehäuse oder in einem Zusatzgehäuse angeordnet sein, wobei das Zusatzgehäuse an der Außenseite des Transformatorgehäuses befestigt sein kann.

**[0040]** In einer Ausgestaltung sind die Steuerwicklung und die Ansteuereinheit derart dimensioniert, dass eine Erhöhung und/oder Reduzierung der Ausgangsspannung von bis zu 50% der Nennausgangsspannung, vorzugsweise von bis zu 25%, besonders bevorzugter Weise von bis zu 10% möglich ist. Als Nennausgangsspannung wird hier die Ausgangsspannung angesehen, die die Transformatoranordnung ohne einen Steuerstrom durch die Steuerwicklung ausgibt. Dabei wird angenommen,

dass in die Transformatoranordnung eine Nenneingangsspannung eingegeben wird. Eine Reduzierung bzw. Erhöhung der Ausgangsspannung um 50% erlaubt einen großen Anpassungsbereich. Eine Reduzierung bzw. Erhöhung der Ausgangsspannung um 25% erlaubt einen relativ großen Ausgangsspannungsbereich bei geringeren Anforderungen an den zweiten Kern, die Steuerwicklung und die Ansteuereinheit. Eine Reduzierung bzw. Erhöhung der Ausgangsspannung um 10% erlaubt in praktischen Energieversorgungsnetzwerken eine nützliche Anpassbarkeit. Gleichzeitig ist der Zusatzaufwand für den zweiten Kern, die Steuerwicklung und die Ansteuereinheit überschaubar.

**[0041]** In einer Ausgestaltung ist die Transformatoranordnung zum Übertragen einer Leistung mindestens einem Kilovoltampere, vorzugsweise mindestens 30 Kilovoltampere, weiter bevorzugter Weise mindestens 150 Kilovoltampere, besonders bevorzugter Weise mindestens 3 Megavoltampere, ganz besonders bevorzugter Weise mindestens 500 Megavoltampere ausgebildet. Prinzipiell ist die Transformatoranordnung für die verschiedensten Leistungsanforderungen nutzbar. Bei einer Leistung von mindestens 30 Kilovoltampere kann die Transformatoranordnung gut als Industrietransformator oder vergleichbaren Einsatzszenarien genutzt werden. Mit Leitungsfähigkeiten von mindestens 150 Kilovoltampere lassen sich kleinere Transformatorstationen in einem Energieversorgungsnetzwerk ausstatten. Mit einer Leistungsfähigkeit von mindestens 3 Megavoltampere lassen sich auch größere Transformatorstationen ausstatten. Eine Leistungsfähigkeit von mindestens 500 Megavoltampere ist auch für Maschinentransformatoren einsetzbar.

**[0042]** In einer Ausgestaltung ist die Transformatoranordnung zum eingangsseitigen Verbinden mit einem Niederspannungsnetzwerk, einem Mittelspannungsnetzwerk oder einem Hochspannungsnetzwerk ausgebildet. Auf diese Weise lässt sich die Transformatoranordnung an verschiedenen Stellen eines Energieversorgungsnetzwerks einsetzen.

**[0043]** Weitere optionale Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung nicht einschränkend zu verstehender Ausführungsbeispiele der Erfindung.

**[0044]** Gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel einer Transformatoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst eine einphasig ausgebildete Transformatoranordnung eine Primärwicklung, eine Sekundärwicklung und einen ersten Kern, wobei der erste Kern durch die Primärwicklung und die Sekundärwicklung geführt ist. Die Primärwicklung ist mit einem Spannungseingang verbunden, der zum Eingeben einer Eingangsspannung  $U_{in}$  ausgebildet ist. Die Sekundärwicklung ist mit einem Spannungsausgang verbunden, der zum Ausgeben einer Ausgangsspannung  $U_{out}$  ausgebildet ist.

**[0045]** Durch die Sekundärspule ist zusätzlich ein zweiter Kern geführt. Um den zweiten Kern ist eine Steuerwicklung angeordnet, die durch eine Ansteuer-

einheit mit einem Steuerstrom angesteuert werden kann. Die Ansteuereinheit wird durch eine Abnahmewicklung mit Energie versorgt, wobei die Abnahmewicklung um den ersten Kern angeordnet ist und damit ebenfalls durch einen von der Primärspule erzeugten magnetischen Fluss durchflossen ist. Die Ansteuereinheit ist als Regler ausgeführt. Hierzu umfasst die Ansteuereinheit einen Reglereingang, in den insbesondere ein Sollwert, aber auch Messwerte aus der Transformatoranordnung eingegeben werden können.

**[0046]** Zwischen dem ersten Kern und dem zweiten Kern kann ein Luftspalt ausgebildet sein. Ferner sind im Bereich der Sekundärspule Teile des ersten Kerns und Teile der zweiten Kerns parallel zueinander angeordnet.

**[0047]** Die Transformatoranordnung umfasst ferner ein Transformatorgehäuse. In dem Transformatorgehäuse sind die Primärwicklung, die Sekundärwicklung, der erste Kern, der zweite Kern, die Steuerwicklung und die Abnahmewicklung angeordnet.

**[0048]** Beim Betrieb dieser Transformatoranordnung erzeugt ein Stromfluss durch die Primärwicklung einen magnetischen Fluss, der durch den ersten Kern zu der Sekundärwicklung und die Abnahmewicklung gelenkt wird. In der Abnahmewicklung wird dadurch eine Abnahmespannung induziert, die zur Versorgung der Ansteuereinheit dient. Die Ansteuereinheit erzeugt aus der Abnahmespannung einen Steuerstrom, der in die Steuerwicklung eingegeben wird. Dadurch erzeugt die Steuerwicklung in dem zweiten Kern einen magnetischen Fluss, der ebenfalls zu der Sekundärwicklung gelenkt wird. Die Sekundärwicklung wird also durch einen von der Primärwicklung erzeugten magnetischen Fluss und durch einen durch die Steuerwicklung erzeugten magnetischen Fluss durchflossen, wobei sich die beiden Flüsse durch den Luftspalt praktisch nicht gegenseitig beeinflussen. Die Summe dieser magnetischen Flüsse induziert dann in der Sekundärspule eine Spannung, die als Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  an den Spannungsausgang ausgegeben wird. Je nachdem, ob die magnetischen Flüsse gleichgerichtet (also allgemein in gleichen Zeiteinheiten gleiche Vorzeichen aufweisen) oder entgegengerichtet (also allgemein in gleichen Zeiteinheiten unterschiedliche Vorzeichen aufweisen) sind, kann durch die Steuerwicklung bzw. den dadurch fließenden Steuerstrom die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  angehoben oder abgesenkt werden.

**[0049]** Üblicherweise dürfte die Eingangsspannung  $U_{\text{in}}$  eine sinusförmige Wechselspannung sein. Entsprechend ist auch die Ausgangsspannung  $U_{\text{out}}$  eine sinusförmige Wechselspannung. Es ist offensichtlich, dass der Steuerstrom dann ebenfalls einen zumindest annähernd sinusförmigen Verlauf aufweisen sollte. Gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel einer Transformatoranordnung gemäß der vorliegenden Erfindung ist eine Transformatoranordnung dreiphasig ausgebildet. Ein erster Kern ist dreischenklig ausgebildet, wobei um jeden Schenkel jeweils eine Primärwicklung und eine Sekundärwicklung angeordnet ist. Durch jede Sekundärwicklung ist jeweils ein zweiter Kern geführt. Um jeden der

zweiten Kerne ist jeweils eine Steuerwicklung angeordnet. Ferner ist eine Abnahmewicklung, wie in Anspruch 1 genannt, vorgesehen.

**[0050]** Bei dieser Transformatoranordnung können die zweiten Kerne parallel zu dem ersten Kern geführt sein, wobei zwischen den ersten und zweiten Kernen jeweils ein Luftspalt angeordnet ist. Ferner können die Sekundärwicklungen eiförmig ausgebildet sein.

**[0051]** Hinsichtlich weiterer vorteilhafter Ausgestaltungen wird zur Vermeidung von Wiederholungen auf den allgemeinen Teil der Beschreibung sowie auf die beigefügten Ansprüche verwiesen.

**[0052]** Schließlich sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die voranstehend beschriebenen Ausführungsbeispiele lediglich zur Erörterung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele einschränken.

## Patentansprüche

### 1. Transformatoranordnung mit einstellbarer Ausgangsspannung, umfassend

eine Primärwicklung, die zum Eingeben einer Wechselspannung ausgebildet ist,  
eine Sekundärwicklung, die zum Ausgeben einer Ausgangsspannung an eine Last ausgebildet ist,

einen ersten Kern, der durch die Primärwicklung und die Sekundärwicklung geführt ist und einen durch die Primärwicklung erzeugten magnetischen Fluss zu der Sekundärwicklung lenkt,  
eine Steuerwicklung, einen zweiten Kern und eine Ansteuereinheit, wobei der zweite Kern durch die Sekundärwicklung oder die Primärwicklung geführt ist, wobei der zweite Kern zusätzlich durch die Steuerwicklung geführt ist, wobei die Ansteuereinheit mit der Steuerwicklung verbunden ist und wobei die Ansteuereinheit zum Eingeben eines Steuerstroms in die Steuerwicklung derart ausgebildet ist, dass der an der Sekundärwicklung wirksame magnetische Fluss und damit die Ausgangsspannung erhöht oder reduziert wird

**dadurch gekennzeichnet, dass** um den ersten Kern zusätzlich eine Abnahmewicklung derart angeordnet ist, dass ein durch die Primärwicklung erzeugter magnetischer Fluss in der Abnahmewicklung eine Abnahmespannung induziert, und dass die Abnahmewicklung mit der Ansteuereinheit verbunden ist, wobei die Ansteuereinheit dazu ausgebildet ist, den Steuerstrom aus der Abnahmespannung zu erzeugen.

### 2. Transformatoranordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem ersten

Kern und dem zweiten Kern ein Luftspalt angeordnet ist.

3. Transformatoranordnung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Ansteuereinheit als Regler ausgebildet ist, wobei der Regler eine sekundärseitige Ausgangsspannung auf eine Sol-  
lausgangsspannung oder eine sekundärseitige Aus-  
gangsleistung auf eine Sol-  
lausgangsleistung regelt. 5
4. Transformatoranordnung nach einem der Ansprü-  
che 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur  
Aufnahme des zweiten Kerns der Querschnitt der  
Sekundärwicklung oder der Primärspule senkrecht  
zu einer Spulenchse eiförmig oder ellipsenförmig  
ausgebildet ist. 15
5. Transformatoranordnung nach einem der Ansprü-  
che 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die  
Ansteuereinheit zum Erzeugen des Steuerstroms  
eine Stromeinstellschaltung umfasst, wobei die  
Stromeinstellschaltung zum stufenlosen oder quasi-  
stufenlosen Einstellen des Steuerstroms ausgebil-  
det ist und vorzugsweise einen Potentiometer oder  
einen Wechselrichter mit Gleichspan-  
nungs-/Gleichstromzwischenkreis umfasst. 25
6. Transformatoranordnung nach einem der Ansprü-  
che 1 bis 5, ausgebildet zum Verbinden mit einer  
Einphasen- oder Mehrphasen-Energieversorgung,  
wobei die Transformatoranordnung für jede Phase  
eine Primärwicklung, eine Sekundärwicklung, eine  
Steuerwicklung und vorzugsweise einen zweiten  
Kern umfasst. 30
7. Transformatoranordnung nach Anspruch 6, **da-  
durch gekennzeichnet, dass** bei einer Ausgestal-  
tung für einen Anschluss an einer Mehrphasen-  
Energieversorgung die Ansteuereinheit zu einer  
identischen Ansteuerung der einzelnen Steuerwick-  
lungen oder zum individuellen Regeln der einzelnen  
Phasen ausgebildet ist. 40
8. Transformatoranordnung nach einem der Ansprü-  
che 1 bis 7, **gekennzeichnet durch** ein Transfor-  
matorgehäuse, in dem die Primärwicklung, die Se-  
kundärwicklung, der erste Kern, der zweite Kern und  
die Steuerwicklung angeordnet sind. 45
9. Transformatoranordnung nach einem der Ansprü-  
che 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die  
Steuerwicklung und die Ansteuereinheit derart di-  
mensioniert sind, dass eine Erhöhung und/oder Re-  
duzierung der Ausgangsspannung von bis zu 50%  
der Nennausgangsspannung, vorzugsweise von bis  
zu 25%, besonders bevorzugter Weise von bis zu  
10% möglich ist. 50

10. Transformatoranordnung nach einem der Ansprü-  
che 1 bis 9, ausgebildet zum Übertragen einer Lei-  
stung von mindestens einem Kilovoltampere, vor-  
zugsweise mindestens 30 Kilovoltampere, weiter  
bevorzugter Weise mindestens 150 Kilovoltampere,  
besonders bevorzugter Weise mindestens 3 Mega-  
voltampere, ganz besonders bevorzugter Weise  
mindestens 500 Megavoltampere.

11. Transformatoranordnung nach einem der Ansprü-  
che 1 bis 10, ausgebildet zum eingangsseitigen Ver-  
binden mit einem Niederspannungsnetzwerk, einem  
Mittelspannungsnetzwerk oder einem Hochspan-  
nungsnetzwerk. 15

## Claims

1. A transformer arrangement having an adjustable  
output voltage, comprising 20

a primary winding which is designed for inputting  
an AC voltage,

a secondary winding which is designed for out-  
putting an output voltage to a load,

a first core which is guided through the primary  
winding and the secondary winding and guides a  
magnetic flux generated by the primary winding  
to the secondary winding,

a control winding, a second core and an activa-  
tion unit, wherein the second core is guided  
through the secondary winding or the primary  
winding, wherein the second core is additionally  
guided through the control winding, wherein the  
activation unit is connected to the control wind-  
ing and wherein the activation unit is designed in  
such a manner for inputting a control current into  
the control winding that the magnetic flux that is  
effective at the secondary winding and thus the  
output voltage is increased or reduced 35

**characterized in that** a pick-up winding is ad-  
ditionally arranged around the first core in such a  
manner that a magnetic flux generated by the  
primary winding induces a pick-up voltage in the  
pick-up winding, and **in that** the pick-up winding  
is connected to the activation unit, wherein the  
activation unit is designed to generate the control  
current from the pick-up voltage. 40

2. The transformer arrangement according to Claim 1,  
**characterized in that** an air gap is arranged be-  
tween the first core and the second core. 45

3. The transformer arrangement according to Claim 1  
or 2, **characterized in that** the activation unit is  
designed as a regulator, wherein the regulator reg-  
ulates a secondary-side output voltage to a set-point  
output voltage or a secondary-side output power to a 50

set-point output power.

4. The transformer arrangement according to one of Claims 1 to 3, **characterized in that**, to accommodate the second core, the cross section of the secondary winding or the primary coil is designed to be ovate or elliptic perpendicular to a coil axis. 5
5. The transformer arrangement according to one of Claims 1 to 4, **characterized in that** the activation unit comprises a current adjustment circuit for generating the control current, wherein the current adjustment circuit is designed for infinitely variable or virtually infinitely variable adjustment of the control current and preferably comprises a potentiometer or a power inverter having a constant-voltage/constant-current DC link. 10
6. The transformer arrangement according to one of Claims 1 to 5, designed for connection to a single-phase or multiphase power supply, wherein the transformer arrangement comprises a primary winding, a secondary winding, a control winding and preferably a second core for each phase. 15
7. The transformer arrangement according to Claim 6, **characterized in that**, in one embodiment for connection to a multiphase power supply, the activation unit is designed for an identical activation of the individual control windings or for individual regulation of the individual phases. 20
8. The transformer arrangement according to one of Claims 1 to 7, **characterized by** a transformer housing in which the primary winding, the secondary winding, the first core, the second core and the control winding are arranged. 25
9. The transformer arrangement according to one of Claims 1 to 8, **characterized in that** the control winding and the activation unit are dimensioned in such a manner that an increase and/or reduction of the output voltage of up to 50 % of the nominal output voltage, preferably of up to 25 %, particularly preferably of up to 10 %, is possible. 30
10. The transformer arrangement according to one of Claims 1 to 9, designed for transmitting a power of at least one kilovolt-ampere, preferably at least 30 kilovolt-amperes, further preferably at least 150 kilovolt-amperes, particularly preferably at least 3 megavolt-amperes, very particularly preferably at least 500 megavolt-amperes. 35
11. The transformer arrangement according to one of Claims 1 to 10, designed for input-side connection to a low-voltage network, a medium-voltage network or a high-voltage network. 40

## Revendications

1. Ensemble de transformateur avec une tension de sortie réglable, comprenant 45
 

un enroulement primaire, qui est constitué pour introduire une tension alternative,

un enroulement secondaire, qui est constitué pour sortir une tension de sortie à une charge,

un premier noyau, qui est guidé par l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire et dirige un flux magnétique produit par l'enroulement primaire vers l'enroulement secondaire,

un enroulement de commande, un deuxième noyau et une unité de commande, sachant que le deuxième noyau est guidé par l'enroulement secondaire ou l'enroulement primaire, sachant que le deuxième noyau est guidé en plus par l'enroulement de commande, sachant que l'unité de commande est reliée à l'enroulement de commande et sachant que l'unité de commande est constituée pour introduire un courant de commande dans l'enroulement de commande de telle manière que le flux magnétique agissant sur l'enroulement secondaire et de ce fait la tension de sortie sont augmentés ou réduits,

**caractérisé en ce qu'un** enroulement de prélèvement est disposé en plus autour du premier noyau de telle manière qu'un flux magnétique produit par l'enroulement primaire induit une tension de prélèvement dans l'enroulement de prélèvement et **en ce que** l'enroulement de prélèvement est relié à l'unité de commande, sachant que l'unité de commande est constitué pour produire le courant de commande à partir de la tension de prélèvement.
2. Ensemble de transformateur selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'un** entrefer est disposé entre le premier noyau et le deuxième noyau.
3. Ensemble de transformateur selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'unité de commande est constituée sous la forme d'un régulateur, sachant que le régulateur régule une tension de sortie côté secondaire à une tension de sortie théorique ou une puissance de sortie côté secondaire à une puissance de sortie théorique.
4. Ensemble de transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** pour loger le deuxième noyau, la section transversale de l'enroulement secondaire ou de la bobine primaire est constituée de forme ovoïde ou elliptique perpendiculairement à un axe de bobine.
5. Ensemble de transformateur selon l'une quelconque

des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'unité de commande comprend un circuit de réglage de courant, pour la production du courant de commande, sachant que le circuit de réglage de courant est constitué pour le réglage continu et quasi continu du courant de commande et comprend de préférence un potentiomètre ou un onduleur avec un circuit intermédiaire à tension continue/courant continu.

10

6. Ensemble de transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, constitué pour la liaison à une alimentation en énergie monophasée ou multiphasée, sachant que l'ensemble de transformateur comprend pour chaque phase, un enroulement primaire, un enroulement secondaire, un enroulement de commande et de préférence un deuxième noyau.
7. Ensemble de transformateur selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** pour une configuration destinée à un raccordement à une alimentation énergie multiphasée, l'unité de commande est constituée pour une commande identique des enroulements de commande individuels ou pour la régulation individuelle des phases individuelles.
8. Ensemble de transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé par** un boîtier de transformateur dans lequel sont disposés l'enroulement primaire, l'enroulement secondaire, le premier noyau, le deuxième noyau et l'enroulement de commande.
9. Ensemble de transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** l'enroulement de commande et l'unité de commande sont dimensionnés de telle manière qu'une augmentation et/ou une réduction de la tension de sortie allant jusqu'à 50 % de la tension de sortie nominale, de préférence jusqu'à 25 %, en particulier de préférence au moins jusqu'à 10 % soit possible.
10. Ensemble de transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, constitué pour la transmission d'une puissance d'au moins un kilovolt-ampère, de préférence d'au moins 30 kilovolt-ampère, de préférence encore d'au moins 150 kilovolt-ampère, en particulier de préférence d'au moins 3 mégavolt-ampère, notamment de façon entièrement préférée d'au moins 500 mégavolt-ampère.
11. Ensemble de transformateur selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, constitué pour la liaison côté entrée avec un réseau à basse tension, un réseau à moyenne tension ou un réseau à haute tension.

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 1873209 U1 **[0008]**
- DE 761726 A **[0009]**
- EP 3101796 A1 **[0010]**
- DE 2811205 A1 **[0011]**
- DE 102004018613 B3 **[0011]**
- GB 1053297 A **[0011]**
- US 2644109 A **[0011]**
- DE 607127 C **[0011]**