



(11) **EP 2 361 435 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**28.01.2015 Patentblatt 2015/05**

(21) Anmeldenummer: **09797014.9**

(22) Anmeldetag: **15.12.2009**

(51) Int Cl.:  
**H01F 29/04 (2006.01)**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2009/067207**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2010/072623 (01.07.2010 Gazette 2010/26)**

(54) **TRANSFORMATOR ZUR TRANSFORMATION ZWISCHEN MITTEL- UND NIEDERSpannung MIT STUFENSCHALTUNG UND VERFAHREN ZU DESSEM BETRIEB**

TRANSFORMER FOR TRANSFORMATION BETWEEN MEDIUM AND LOW VOLTAGE WITH A STEP SWITCH AND ITS OPERATING METHOD

TRANSFORMATEUR POUR TRANSFORMATION ENTRE MOYENNE ET BASSE TENSION AVEC UN COMMUTATEUR A GRADINS ET PROCEDE DE SON OPERATION

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

(30) Priorität: **22.12.2008 DE 102008064487**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**31.08.2011 Patentblatt 2011/35**

(73) Patentinhaber: **Siemens Aktiengesellschaft**  
**80333 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **GRIEPENTROG, Gerd**  
**91468 Gutenstetten (DE)**  
• **MAIER, Reinhard**  
**91074 Herzogenaurach (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:  
**WO-A1-01/22447 DE-C1- 10 102 310**

**EP 2 361 435 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 einen Transformator zur Transformation zwischen Mittel- und Niederspannung mit Stufenschaltung.

**[0002]** DE 10 102 310 C1 offenbart einen Transformator gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

**[0003]** Energieverteilnetze sind insbesondere durch die Impedanzen der Netzkomponenten und durch wechselnde Lasten Spannungsschwankungen unterworfen. Es ist erstrebenswert, die Schwankungen so gering wie möglich zu halten. Dafür werden bei Transformatoren zwischen Hoch- und Mittelspannung Stufenschalter verwendet. Der Stufenschalter gleicht die bei Belastungsänderungen auftretenden Spannungsschwankungen aus, indem er das Übersetzungsverhältnis ändert. Zu diesem Zweck ist zumindest eine der Wicklungen des Transformators mit einer Reihe von Anzapfungen versehen, die von einem Wählermechanismus elektrisch angebunden werden können. Weiterhin ist ein Lastumschalter vorgesehen, der die Umschaltung zwischen zwei Wählerpositionen unterbrechungsfrei auch unter Last vornimmt. Ein Windungskurzschluss wird vermieden, indem der Stromfluss kurzzeitig über Widerstände gezwungen wird.

**[0004]** Es ist möglich, dass in der Zukunft die Energieversorgung im Vergleich mit der heutigen Situation dezentraler erfolgt. Das heißt, die Stromerzeugung findet näher zum Verbraucher als heute in einer größeren Zahl von jeweils kleineren Anlagen statt. Solche Anlagen sind beispielsweise Photovoltaikanlagen, Windkraftwerke und Biomasse-Kraftwerken oder auch kleinere Blockheizkraftwerke. Kleinere Kraftwerke sind wegen der eher umsetzbaren Kraft-Wärme-Kopplung zumindest prinzipiell sehr vorteilhaft. Wenn der erzeugte Strom nicht direkt abgenommen werden kann, ist eine Einspeisung vom Niederspannungsnetz in das Mittelspannungsnetz erforderlich, um eine verlustarme Übertragung über weite Strecken zu ermöglichen. Hierzu ist es erforderlich, im Verteilungstransformator ein variables Übersetzungsverhältnis zur Verfügung zu stellen.

**[0005]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Transformator zur Transformation zwischen Mittel- und Niederspannung mit Stufenschaltung anzugeben, der besonders einfach aufgebaut ist. Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Betriebsverfahren für einen solchen Transformator anzugeben.

**[0006]** Diese Aufgabe wird durch einen Transformator mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Die Aufgabe wird auch durch ein Verfahren mit den Merkmalen von Anspruch 8 gelöst.

**[0007]** Der erfindungsgemäße Trafo weist eine Stufenschaltung auf. Dabei weist eine der Wicklungen des Trafos, vorzugsweise die niederspannungsseitige Sekundärwicklung, zwei Endanzapfungen und wenigstens zwei Mittellanzapfungen auf. Weiterhin ist wenigstens ei-

ne Schalteinrichtung zur schaltbaren elektrischen Verbindung von wenigstens einer der Anzapfungen mit einer Ausgangsleitung des Trafos vorgesehen. Schließlich ist wenigstens eine Halbleiterschaltvorrichtung vorgesehen, die elektrisch mit der Ausgangsleitung und unmittelbar mit einer der Endanzapfungen verbunden ist.

**[0008]** Bevorzugt ist eine erste der Endanzapfungen direkt mit einer ersten Ausgangsleitung des Trafos verbunden und wird für die Stufenschaltung nicht weiter verändert oder in spezieller Weise verwendet. Die zweite Endanzapfung am anderen Ende der Wicklung hingegen wird zusammen mit der oder den weiteren Anzapfungen für die Stufenschaltung verwendet und die Anzapfungen sind hierzu in komplexerer Weise mit der zweiten Ausgangsleitung des Trafos verbunden.

**[0009]** Die Schalteinrichtung umfasst bevorzugt mechanische Schalter, die vorteilhaft einen besonders geringen Durchlasswiderstand aufweisen, und ermöglicht besonders bevorzugt ein unabhängiges Zu- und Abschalten von einzelnen Anzapfungen. Dabei verbindet die Schalteinrichtung zweckmäßig im Wechsel einzelne der Anzapfungen mit der zweiten Ausgangsleitung des Trafos. Der erfindungsgemäße Trafo weist vorteilhaft einen einfachen und durch die Halbleiterschalter wartungsarmen Aufbau auf und ermöglicht eine Stufenschaltung ohne Lastunterbrechung im Mittel- zu Niederspannungsbereich.

**[0010]** Zweckmäßig, aber nicht zwangsläufig, enthält der Stufenschalter eine Steuerungseinrichtung, die selbsttätig eine Steuerung der Lastumschaltung vornimmt. Dazu weist die Steuerungseinrichtung zweckmäßig Mittel auf, die eine Erkennung ermöglichen, wann eine Umschaltung erfolgen sollte. Beispielsweise kann es sich dabei um Mittel zur Bestimmung von Spannung und/oder Strom auf der Eingangs- oder Abgangsseite handeln. Durch diese wird ermittelt, ob eine Umschaltung nötig ist, indem beispielsweise bei erhöhter abgangsseitiger Last die entsprechende leichte Senkung der Ausgangsspannung detektiert wird. Alternativ kann die Steuerung der Lastumschaltung auch von außerhalb des Stufenschalters vorgenommen werden. In diesem Fall weist der Stufenschalter zweckmäßig Mittel auf, die eine Steuerung von außen ermöglichen. Dabei kann es sich um eine indirekte, beispielsweise digitale Fernsteuerung handeln, die im Stufenschalter durch eine Steuereinrichtung umgesetzt wird in die tatsächliche Ansteuerung des Schalters. Es kann sich auch um eine direkte, analoge Steuerung von außen handeln, die ggfs. sogar ohne interne Steuereinrichtung erfolgen kann, beispielsweise durch direkte Beaufschlagung eines Aktors des Schaltelements von außen mit Strom.

**[0011]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Schalteinrichtung nur mit den weiteren Anzapfungen verbunden ist, also negativ formuliert nicht mit den Endanzapfungen verbunden ist. Zweckmäßig ist es dann, wenn mehrere weitere Anzapfungen existieren, also mindestens zwei. Zweckmäßig ist es dann auch, wenn die Halbleiterschaltvorrichtung mit einer der Endanzapfungen

verbunden ist. Dieser Aufbau erlaubt einen besonders vorteilhaften Betrieb.

**[0012]** Bei diesem wird, sobald eine Umschaltung nötig erscheint, die Halbleiterschaltvorrichtung eingeschaltet. Dieses Einschalten erfolgt bevorzugt im Nulldurchgang der Wechselfspannung, wobei zweckmäßig eine Einschaltverzögerung der oder der Halbleiterschalter der Halbleiterschaltvorrichtung berücksichtigt wird, also beispielsweise eine Zündverzögerung von Thyristoren. Hierdurch wird ein Spannungssprung vermieden.

**[0013]** Ist die Halbleiterschaltvorrichtung eingeschaltet, entsteht ein Windungskurzschluss, da eine direkte Verbindung zwischen einer der weiteren Anzapfung über das Schaltelement, die Halbleiterschaltvorrichtung zur Endanzapfung besteht. Dadurch bedingt wird sich in diesem Stromkreis ein Strom aufbauen. Um den Aufbau dieses Stroms abzubremesen, ist vorzugsweise in Reihe zur Halbleiterschaltvorrichtung eine Induktivität vorgesehen. Alternativ oder zusätzlich kann zur Begrenzung des Stroms auch ein Widerstandselement vorgesehen sein.

**[0014]** Durch die relative Anordnung von der Halbleiterschaltvorrichtung an der Endanzapfung und des Schaltelements an einer der weiteren Anzapfungen ist der Strom im Windungskurzschlusskreis dem Laststrom entgegengesetzt. In der Folge wird deshalb ein Zeitpunkt erreicht, an dem der Strom im Windungskurzschlusskreis den gleichen Betrag annimmt wie der Laststrom und somit über das Schaltelement so gut wie kein Strom mehr fließt. Anders ausgedrückt, ist der Laststrom bei diesem Zeitpunkt vollständig zur Halbleiterschaltvorrichtung kommutiert.

**[0015]** Dieser Zeitpunkt wird zum Ausschalten der Verbindung durch das Schaltelement verwendet. Da in der Zeit, in der kein oder sehr wenig Strom über das Schaltelement fließt, auch dementsprechend wenig Spannung darüber abfällt, ist das Abschalten ohne Lichtbogen möglich und deshalb besonders schonend für das Schaltelement. Alternativ kann auch das Öffnen des Schaltelements bereits vor dem Nulldurchgang vorgenommen werden, insbesondere zu einem Zeitpunkt, zu dem die Halbleiterschaltvorrichtung sicher bereits leitet. In diesem Fall wird beim Öffnen des Schaltelements ein Lichtbogen entstehen, der jedoch im Zuge der Stromkommutierung sehr schnell, typischerweise im Bereich von Mikrosekunden, verlöscht, da der Strom über das Schaltelement ja verschwindet. Ist der Lichtbogen einmal erloschen entsteht er beim Ansteigen der Spannung über das Schaltelement nicht mehr neu.

**[0016]** Vorteilhaft ist es, wenn der Trafo Mittel zur Bestimmung eines die Spannung über das Schaltelement und/oder den Strom durch das Schaltelement repräsentierenden Werts umfasst, da dann direkt der Zeitpunkt zum Öffnen des Schaltelements bestimmt werden kann. Dieser Zeitpunkt im oben beschriebenen Betriebsverfahren beispielsweise dann gegeben, wenn der Strom gerade Null wird. Eine weitere Möglichkeit ist es, das Öffnen des Schaltelements zu bewirken, wenn der Strom oder die Spannung, insbesondere die Maximalbeträge davon

innerhalb jeder Periode, eine bestimmte Schwelle unterschreitet, die ein wenig größer als Null ist. Eine weitere Alternativ besteht darin, den Zeitpunkt für das Öffnen des Schaltelements anhand einer Zeitsteuerung in Abhängigkeit von der Einschaltzeit der Halbleiterschaltvorrichtung festzulegen, beispielsweise 2 ms nach dem Einschalten der Halbleiterschaltvorrichtung.

**[0017]** Nach dem Öffnen durch das Schaltelement trägt die Halbleiterschaltvorrichtung den Laststrom und der Windungskurzschluss ist aufgehoben.

**[0018]** Im Folgenden wird das Schaltelement wieder geschlossen, um eine Verbindung mit einer anderen der weiteren Anzapfungen der Wicklung herzustellen. Auch hierzu ist es vorteilhaft, wenn ein geeigneter Zeitpunkt für das Schließen der Verbindung gewählt wird. Hierzu kann beispielsweise ein Zeitpunkt gewählt werden, an dem die Spannung über das Schaltelement genau der Spannung über die Halbleiterschaltvorrichtung entspricht. Dabei wird davon ausgegangen, dass durch die Halbleiterschalter bedingt über die Halbleiterschaltvorrichtung immer eine geringe Spannung abfällt. Beim Schließen des Schaltelements ist es vorteilhaft, die Schließzeit, die das Schaltelement zum Herstellen des elektrischen Kontakts benötigt, zu berücksichtigen. Ein Schließen zum besagten Zeitpunkt ermöglicht es, Spannungssprünge zu vermeiden. Eine alternative Methode besteht darin, das Schließen des Schaltelements zu bewirken, wenn die Spannung bedingt durch die Netzfrequenz gerade einen Nulldurchgang zeigt.

**[0019]** Nachdem das Schaltelement wieder eine elektrische Verbindung hergestellt hat, kann die Halbleiterschaltvorrichtung abgeschaltet werden bzw. je nach verwendetem Halbleiterschalter die Zündung aufgehoben werden.

**[0020]** In einer Ausgestaltung der Erfindung ist als Halbleiterschalter ein Thyristorkreis vorgesehen. Vorteilhaft ist, dass dieser selbstabschaltend ist und so eine einfache Ansteuerung ermöglicht. Der Thyristorkreis besteht bevorzugt aus zwei antiparallel geschalteten Thyristorelementen, wobei jedes der Thyristorelemente aus einem Thyristor oder einer parallel und/oder Serienschaltung von Thyristoren besteht. Auch andere elektrische Bauelemente können gemeinsam mit den Thyristoren verwendet werden.

**[0021]** Alternativ zu den Thyristoren können als Halbleiterschalter auch abschaltbare Halbleiterschalter verwendet werden, insbesondere Transistoren, GTOs (Gate Turn-off Thyristor) oder IGBTs (Integrated Gate Commutated Transistor). Hierdurch wird eine aktive Abschaltung der Leitung durch den Halbleiterschalter ermöglicht, was wiederum die Zeit des Windungskurzschlusses durch das geschlossene Schaltelement und den leitenden Halbleiterschalter verkürzt.

**[0022]** In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung sind Mittel zur Bestimmung des Stroms im Bereich des Schaltelements oder Halbleiterschalters vorgesehen.

**[0023]** Bevorzugte, jedoch keinesfalls einschränkende

Ausführungsbeispiele für die Erfindung werden nunmehr anhand der Zeichnung näher erläutert. Dabei sind die Merkmale schematisiert dargestellt und sich entsprechende Merkmale sind mit gleichen Bezugszeichen markiert. Die Figuren zeigen dabei im Einzelnen

- Figur 1 einen ersten Transformator mit durchgehender Sekundär-Wicklung mit Stufenschalter,  
 Figur 2 ein Ablaufdiagramm für die Stufenschaltung mit dem ersten Transformator,

**[0024]** Die Figuren nehmen Bezug auf Ausführungsbeispiele für Transformatoren. Diese werden in einer realen Umsetzung zweckmäßig dreiphasig ausgeführt sein. Für eine bessere Übersichtlichkeit stellen die Figuren aber nur eine einphasige Ausführung dar. Aus dem gleichen Grund weisen die Stufenschalter in den Ausführungsbeispielen lediglich drei Einstellungsmöglichkeiten für das Übersetzungsverhältnis auf, während tatsächlich Stufenschalter oft mehr als drei Übersetzungsverhältnisse einstellen können. Die Erfindung ist ebenso gut mit mehr als drei Übersetzungsverhältnissen anwendbar. Die Spannung auf Seite der Primärwicklungen soll beispielhaft 10 kV betragen, während auf der Seite der Sekundärwicklung eine Spannung 400 V ausgegeben wird.

**[0025]** Die Figur 1 zeigt dabei einen Transformator 1 mit einer Stufenschaltung. Der Transformator 1 weist neben einer in diesem Ausführungsbeispiel nicht weiter beachtlichen Primärwicklung eine durchgehende Sekundärwicklung auf. Die durchgehende Sekundärwicklung besteht aus einem ersten bis vierten Teil 17a...d. Der erste Teil 17a umfasst dabei etwa 70% der Wicklungslänge der Sekundärwicklung, während der zweite, dritte und vierte Teil 17b...d jeweils ca. 10% der Wicklungslänge umfassen. Die Darstellung in Fig.1 ist dabei nicht exakt maßstäblich. Aus den relativen Anteilen an der Sekundärwicklung ergeben sich die einstellbaren Übersetzungsverhältnisse und es ist klar, dass auch ganz andere Aufteilungen der Sekundärwicklung möglich sind. Die Teile 17a...d werden definiert durch eine erste, zweite und dritte Anzapfung 2, 3, 4, wobei die erste Anzapfung 2 bei 70% der Wicklungslänge der Sekundärwicklung liegt, die zweite Anzapfung 3 bei 80% der Wicklungslänge der Sekundärwicklung liegt und die dritte Anzapfung 4 bei 90% der Sekundärwicklung. Mit dem Anfang der Sekundärwicklung ist eine erste Ausgangsleitung 11 des Transformators 1 verbunden. Eine zweite Ausgangsleitung 12 des Transformators 1 ist auf komplexere Weise mit den Anzapfungen 2, 3, 4 verbunden, um die Stufenschaltung zu realisieren.

**[0026]** Für die Stufenschaltung ist ein mechanischer Schalter 20 vorgesehen, dessen Mittelanschluss gemäß Figur 1 mit der zweiten Ausgangsleitung 12 verbunden ist. Der Schalter 20 kann eine Verbindung zwischen seinem Mittelanschluss und einer ersten, zweiten oder dritten Verbindung 13, 14, 15 herstellen. Die erste Verbindung 13 verbindet die Anzapfung 2 und einen der An-

schlüsse des mechanischen Schalters 20. Die zweite Verbindung 14 verbindet die zweite Anzapfung 3 mit einem weiteren Anschluss des Schalters und die dritte Verbindung 15 verbindet die dritte Anzapfung 4 mit einem letzten Anschluss des mechanischen Schalters 20. Dabei ist der Schalter 20 zweckmäßig so ausgestaltet, dass das Auftrennen und Herstellen der Verbindung zwischen den Anschlüssen unabhängig voneinander geschehen kann, dass also mehrere mechanische Schaltelemente zusammen den Schalter 20 bilden.

**[0027]** Weiterhin besteht zwischen der Endanzapfung 52 der Sekundärwicklung und der zweiten Ausgangsleitung 12 eine vierte Verbindung 18, die über einen Thyristorkreis 5 führt, der aus zwei antiparallel geschalteten Thyristoren besteht. Der Aufbau aus zwei Thyristoren ist hierbei beispielhaft. Je nach erwarteter Belastung kann hier einer der Thyristoren repräsentierend stehen für jeweils eine Reihenschaltung und/oder Parallelschaltung aus mehreren tatsächlichen Thyristorelementen. Auch können hier statt der Thyristoren andere Elemente wie IGBTs, GTOs o.ä. verwendet werden. In Serie zum Thyristorkreis 5 ist eine Induktivität 53 vorgesehen, die der Verzögerung des Stromes im Falle eines Windungskurzschlusses dient.

**[0028]** An jeder der Verbindungen 13, 14, 15, 18 sowie im Bereich des Mittelanschlusses des Schalters 20 ist ein Messpunkt 7...10 vorgesehen. Weiterhin ist eine Steuerung 6 vorhanden. Die Steuerung 6 kann die Spannung an den Messpunkten 7...10 ermitteln und anhand der ermittelten Werte den Thyristorkreis 5 und den Schalter 20 steuern.

**[0029]** Der Ablauf einer beispielhaften Lastumschaltung mit dem Aufbau gemäß Figur 1 wird nun anhand von Figur 2 erläutert. Es wird in einem ersten Schritt 21 davon ausgegangen, dass der mechanische Schalter 20 eine elektrische Verbindung zwischen der zweiten Ausgangsleitung 12 und der ersten Verbindung 13 herstellt. Ein erster Stromweg 26 führt also von der ersten Ausgangsleitung 11 über den ersten Teil 17a der Sekundärwicklung und die erste Verbindung 13 zur zweiten Ausgangsleitung 12. Es werden dabei also ca. 70% der Sekundärwicklung verwendet. Die Thyristoren sind nicht gezündet.

**[0030]** In einem zweiten Schritt 22 wird eine Umschaltung durchgeführt. Dabei schaltet der mechanische Schalter 20 zwischen seinen Anschlüssen so um, dass anstelle der ersten Anzapfung 2 die zweite Anzapfung 3 mit der zweiten Ausgangsleitung 12 verbunden wird. Während der Umschaltung übernimmt der Thyristorkreis 5 den Strom. Dies passiert unterbrechungsfrei, wobei die genaue Schaltung beispielhaft weiter unten dargestellt wird. Der zweite Stromweg 27 führt also während der Umschaltung von der ersten Ausgangsleitung 11 über alle Teile 17a...d der Sekundärwicklung. Weiter führt er über die vierte Verbindung 18 und damit den Thyristorkreis 5 zur zweiten Ausgangsleitung 12. Es wird dabei also die gesamte Sekundärwicklung verwendet. Sobald der mechanische Schalter 20 umgeschaltet hat, wird die

Zündung des Thyristorkreises 5 beendet.

[0031] Nach dem Umschalten ergibt sich der Zustand, der im dritten Schritt 23 verwendet wird. Hierbei werden ca. 80% der Sekundärwicklung verwendet und der dritte Stromweg 28 führt von der ersten Ausgangsleitung 11 über den ersten und zweiten Teil 17a, b der Sekundärwicklung und die zweite Verbindung 14 zur zweiten Ausgangsleitung 12.

[0032] In einem vierten Schritt 24 wird wieder eine Umschaltung durchgeführt. Dabei schaltet der mechanische Schalter 20 zwischen seinen Anschlüssen so um, dass anstelle der zweiten Anzapfung 3 die dritte Anzapfung 4 mit der zweiten Ausgangsleitung 12 verbunden wird. Während der Umschaltung übernimmt wiederum der Thyristorkreis 5 den Strom. Der vierte Stromweg 29 führt also während der Umschaltung von der ersten Ausgangsleitung 11 über die gesamte Sekundärwicklung. Weiter führt er über die vierte Verbindung 18 und damit den Thyristorkreis 5 zur zweiten Ausgangsleitung 12. Sobald der mechanische Schalter 20 umgeschaltet hat, wird die Zündung des Thyristorkreises 5 beendet.

[0033] Nach dem Umschalten ergibt sich der Zustand, der im fünften Schritt 25 verwendet wird. Hierbei werden 90% der Sekundärwicklung verwendet und der Stromweg führt von der ersten Ausgangsleitung 11 über den ersten, zweiten und dritten Teil 17a...c der Sekundärwicklung und die dritte Verbindung 15 zur zweiten Ausgangsleitung 12.

[0034] Weitere Umschaltungen werden analog ausgeführt. Dabei muss der mechanische Schalter 20 nicht zwischen benachbart liegenden Abgriffen 2, 3, 4 umschalten, sondern die Umschaltung kann zwischen beliebigen der Anzapfungen erfolgen, also beispielsweise direkt von der ersten Anzapfung 2 zur dritten Anzapfung 4 oder umgekehrt.

[0035] Das Verfahren, mit dem eine Umschaltung vorgenommen wird, soll nun anhand eines Beispiels genauer erläutert werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Steuerung 6 feststellt, dass eine Umschaltung zwischen zwei der Anzapfungen nötig erscheint. Daraufhin sorgt die Steuerung für eine Zündung der Thyristoren im Thyristorkreis 5. Der Zeitpunkt der Zündung wird dabei so gewählt, dass kein Spannungssprung auftritt. Idealerweise wird dazu ein Zeitpunkt verwendet, der um eine Zeitspanne vor einem Nulldurchgang der Netzspannung liegt, wobei die Zeitspanne der Zündverzögerung der Thyristoren entspricht. Dadurch wird erreicht, dass die Thyristoren im Nulldurchgang der Spannung den Laststrom prinzipiell übernehmen können.

[0036] Wenn die Thyristoren leitend sind, entsteht durch die Verbindung über den Schalter 20 und die Thyristoren ein Windungskurzschluss, in dem ein Teil der Sekundärwicklung enthalten ist. In diesem Kurzschlusskreis kann ein sehr hoher Strom fließen. Die Einsatzgeschwindigkeit wird in diesem Ausführungsbeispiel durch die Induktivität 53 begrenzt.

[0037] Durch die relative Anordnung von des Thyristoren an der Endanzapfung 52 und des Schalters 20 an

einer der anderen Anzapfungen 2, 3, 4 ist der Strom im Windungskurzschlusskreis dem Laststrom entgegengesetzt. In der Folge wird deshalb ein Zeitpunkt erreicht, an dem der Strom im Windungskurzschlusskreis den gleichen Betrag annimmt wie der Laststrom und somit über den Schalter 20 kein Strom mehr fließt.

[0038] Dieser Zeitpunkt wird zum Ausschalten der Verbindung durch den Schalter verwendet. Das Öffnen des Schalters wird dabei bevorzugt bereits kurz vor dem erwarteten Nulldurchgang vorgenommen, insbesondere zu einem Zeitpunkt, zu dem die Thyristoren bereits sicher leiten. In diesem Fall wird beim Öffnen des Schaltelements ein Lichtbogen entstehen, der jedoch im Zuge der Stromkommutierung sehr schnell, typischerweise im Bereich von Mikrosekunden, verlischt, da der Strom über das Schaltelement ja verschwindet. Ist der Lichtbogen einmal erloschen, entsteht er beim Ansteigen der Spannung über das Schaltelement nicht mehr neu. Für eine sanfte Umschaltung ist es zweckmäßig, wenn der Schalter 20 für das Öffnen der Verbindung so angesteuert wird, dass er erst öffnet, wenn die Thyristoren bereits leitend sind.

[0039] In der Folge transportieren die Thyristoren den Laststrom und durch das Öffnen des Schalters 20 ist der Windungskurzschluss aufgehoben. Ein Schließen der neuen Verbindung des Schalters 20 findet bevorzugt in einem natürlichen Nulldurchgang der Netzspannung statt, um wiederum einen sanften Übergang der Leitung zu erreichen. Da nach dem Schließen des Schalters 20 wieder ein Eindungskurzschluss existiert, ist es zweckmäßig, die Zündung der Thyristoren rechtzeitig vor dem Nulldurchgang zu beenden, um ein gleichzeitiges Leiten der Thyristoren mit dem Schalter 20 zu verhindern.

### Patentansprüche

1. Transformator (1) zur Transformation zwischen Mittel- und Niederspannung mit einer Stufenschaltung, wobei:
  - eine der Wicklungen (17a,...,17d) des Trafos zwei Endanzapfungen (51, 52) und wenigstens zwei Mittelanzapfungen (2, 3, 4) aufweist,
  - wenigstens eine Schalteinrichtung (20) zur schaltbaren elektrischen Verbindung von einer der Mittelanzapfungen mit einer Ausgangsleitung (12) des Trafos vorgesehen ist und
  - wenigstens eine Halbleiterschaltvorrichtung (5) vorgesehen ist, die elektrisch mit der Ausgangsleitung verbauden ist **dadurch gekennzeichnet, dass** die Halbleiterschaltvorrichtung unmittelbar mit einer der Endanzapfungen verbunden ist.
2. Transformator (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem Mittel zur Bestimmung einer die Spannung über das Schaltelement und/oder den

Strom durch das Schaltelement repräsentierenden Werts vorgesehen sind.

3. Transformator (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem Mittel zur Bestimmung eines die Spannung über die Halbleiterschaltvorrichtung repräsentierenden Werts vorgesehen sind. 5
4. Transformator (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Schalteinrichtung (20) mechanische Schalter (20) aufweist. 10
5. Transformator (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem die Halbleiterschaltvorrichtung (5) zwei antiparallel geschaltete Halbleiterschalt-elemente, insbesondere zwei Thyristoren, umfasst. 15
6. Transformator (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Halbleiterschaltvorrichtung (5) abschaltbare Halbleiterschalt-elemente aufweist, insbesondere Transistoren, GTOs oder IGCTs. 20
7. Transformator (1) gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, bei dem in Serie zur Halbleiterschaltvorrichtung (5) eine Induktivität (53) oder ein Widerstand vorgesehen ist. 25
8. Verfahren zum Betrieb eines Transformator (1) zur Transformation zwischen Mittel- und Niederspannung mit Stufenschaltung gemäß einem der vorangehenden Ansprüche, der eine Halbleiterschaltvorrichtung zur vorübergehenden Aufnahme des Stroms beim Schaltvorgang einer Schalteinrichtung aufweist, wobei bei einem Schaltvorgang der Schalteinrichtung ein erster Zeitpunkt bestimmt wird, an dem der Stromfluss durch die Schalteinrichtung gerade Null wird, und zu diesem Zeitpunkt die Schalteinrichtung geöffnet wird. 30
9. Verfahren gemäß Anspruch 8, bei dem die Halbleiterschaltvorrichtung kurz vor einem Nulldurchgang eingeschaltet wird. 40
10. Verfahren gemäß Anspruch 8 oder 9, wobei nach dem Öffnen der Schalteinrichtung ein zweiter Zeitpunkt bestimmt wird, zu dem die Spannung zwischen der Zielanzapfung der Schalteinrichtung und der Ausgangsleitung des Trafos der Spannung über die Halbleiterschaltvorrichtung entspricht, und zu diesem zweiten Zeitpunkt die Schalteinrichtung geschlossen wird. 50
11. Verfahren gemäß Anspruch 10, bei dem eine Schließdauer des Schaltelements bei der Bestimmung des zweiten Zeitpunkts berücksichtigt wird. 55

## Claims

1. Transformer (1) for transformation between medium-voltage and low-voltage having a tapping circuit, wherein:
  - one of the windings (17a, ..., 17d) on the transformer has two end taps (51, 52) and at least two centre taps (2, 3, 4),
  - at least one switching device (20) is provided for switchable electrical connection of one of the centre taps to an output line (12) of the transformer, and
  - at least one semiconductor switching apparatus (5) is provided, and is electrically connected to the output line, **characterized in that** the semiconductor switching apparatus is directly connected to one of the end taps.
2. Transformer (1) according to Claim 1, in which means are provided for determination of a value which represents the voltage across the switching element and/or the current through the switching element.
3. Transformer (1) according to one of the preceding claims, in which means are provided for determination of a value which represents the voltage across the semiconductor switching apparatus.
4. Transformer (1) according to one of the preceding claims, in which the switching device (20) has mechanical switches (20).
5. Transformer (1) according to one of the preceding claims, in which the semiconductor switching apparatus (5) has two semiconductor switching elements, in particular two thyristors, which are connected back-to-back in parallel.
6. Transformer (1) according to one of the preceding claims, wherein the semiconductor switching apparatus (5) has semiconductor switching elements which can be turned off, in particular transistors, GTOs or IGCTs.
7. Transformer (1) according to one of the preceding claims, in which an inductance (53) or resistance is provided in series with the semiconductor switching apparatus (5).
8. Method for operation of a transformer (1) for transformation between medium-voltage and low-voltage having a tapping circuit according to one of the preceding claims, which has a semiconductor switching apparatus for temporarily accepting the current during the switching process of a switching device, in which case a first time is defined during a switching

process of the switching device, at which the current flow through the switching device actually becomes zero, and the switching device is opened at this time.

9. Method according to Claim 8, in which the semiconductor switching apparatus is switched on shortly before a zero crossing.
10. Method according to Claim 8 or 9, wherein, after the switching device has been opened, a second time is defined, at which the voltage between the intended tap on the switching device and the output line of the transformer corresponds to the voltage across the semiconductor switching apparatus, and the switching device is closed at this second time.
11. Method according to Claim 10, in which a time period required for the switching element to close is taken into account when defining the second time.

### Revendications

1. Transformateur (1) de transformation entre la moyenne tension et la basse tension, comprenant un circuit à gradin, dans lequel :
  - l'un des enroulements (17a, ..., 17d) du transformateur a deux prises (S1, S2) d'extrémité et au moins deux prises (2, 3, 4) moyennes,
  - il est prévu au moins un dispositif (20) de commutation pour la liaison électrique commutable de l'une des prises moyennes à une ligne (12) de sortie du transformateur et
  - il est prévu au moins un dispositif (5) de commutation à semiconducteur, qui est relié électriquement à la ligne de sortie, **caractérisé en ce que** le dispositif de commutation à semiconducteur est relié directement à l'une des prises d'extrémité.
2. Transformateur (1) suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel il est prévu des moyens de détermination d'une valeur représentant la tension aux bornes de l'élément de commutation et/ou le courant passant dans l'élément de commutation.
3. Transformateur (1) suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel il est prévu des moyens de détermination d'une valeur représentant la tension aux bornes du dispositif de commutation à semiconducteur.
4. Transformateur (1) suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif (20) de commutation a un commutateur (20) mécanique.
5. Transformateur (1) suivant l'une des revendications

précédentes, dans lequel le dispositif (5) de commutation à semiconducteur comprend deux éléments de commutation à semiconducteur montés tête-bêche, notamment deux thyristors.

- 5
6. Transformateur (1) suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel le dispositif (5) de commutation à semiconducteur a des éléments de commutation à semiconducteur pouvant être déconnectés, notamment des transistors, des GTO ou des IGCT.
- 10
7. Transformateur (1) suivant l'une des revendications précédentes, dans lequel il est prévu une inductance (53) ou une résistance en série avec le dispositif (5) de commutation à semiconducteur.
- 15
8. Procédé pour faire fonctionner un transformateur (1) de transformation entre une moyenne tension et une basse tension ayant un circuit à gradin suivant l'une des revendications précédentes, qui a un dispositif de commutation à semiconducteur pour l'absorption transitoire du courant lors de l'opération de commutation d'un dispositif de commutation, dans lequel on détermine, lors d'une opération de commutation du dispositif de commutation, un premier instant où le flux de courant passant dans le dispositif de commutation devient exactement égal à zéro et on ouvre le dispositif de commutation à cet instant.
- 20
9. Procédé suivant la revendication 8, dans lequel on ferme le dispositif de commutation à semiconducteur peu avant un passage par zéro.
- 30
10. Procédé suivant la revendication 8 ou 9, dans lequel, après l'ouverture du dispositif de commutation, on détermine un deuxième instant où la tension entre la prise cible du dispositif de commutation et la ligne de sortie du transformateur correspond à la tension aux bornes du dispositif de commutation à semiconducteur et on ferme le dispositif de commutation à ce deuxième instant.
- 35
- 40
11. Procédé suivant la revendication 10, dans lequel on tient compte d'une durée de fermeture de l'élément de commutation dans la détermination du deuxième instant.
- 45
- 50
- 55

FIG 1

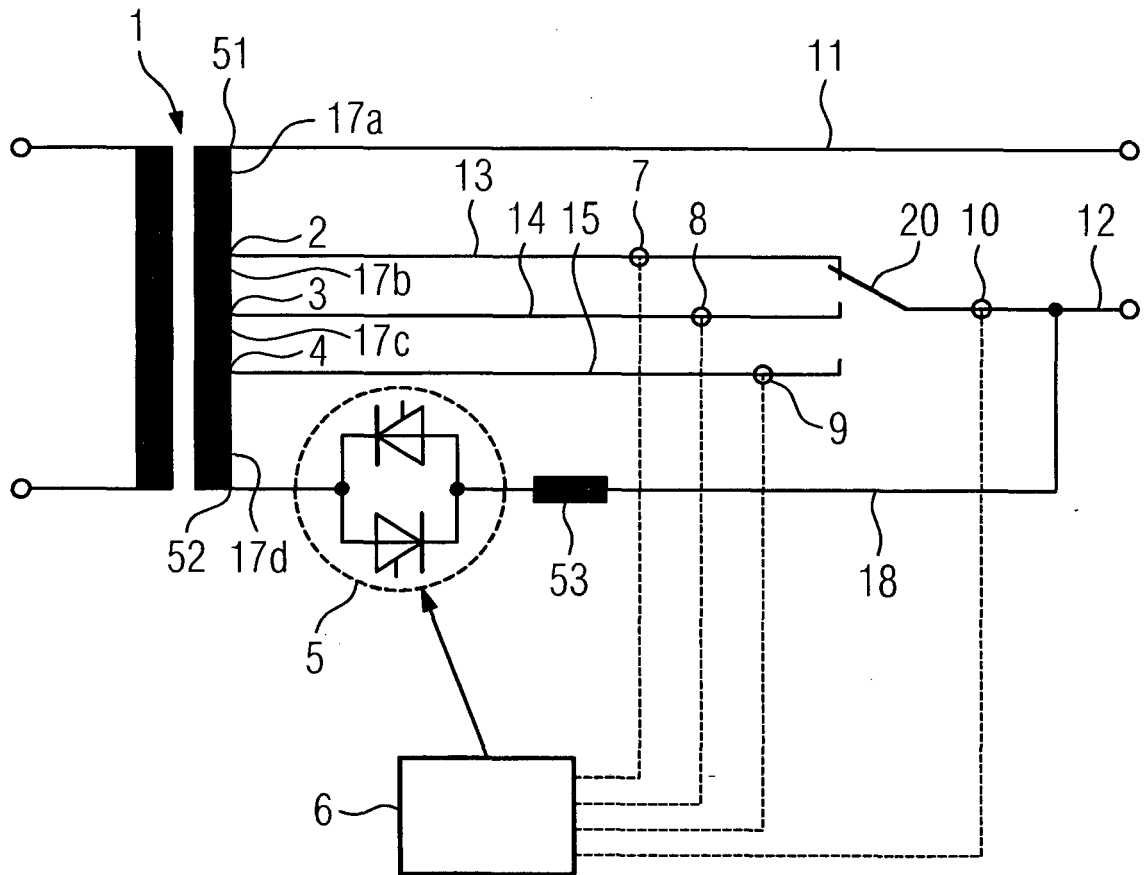
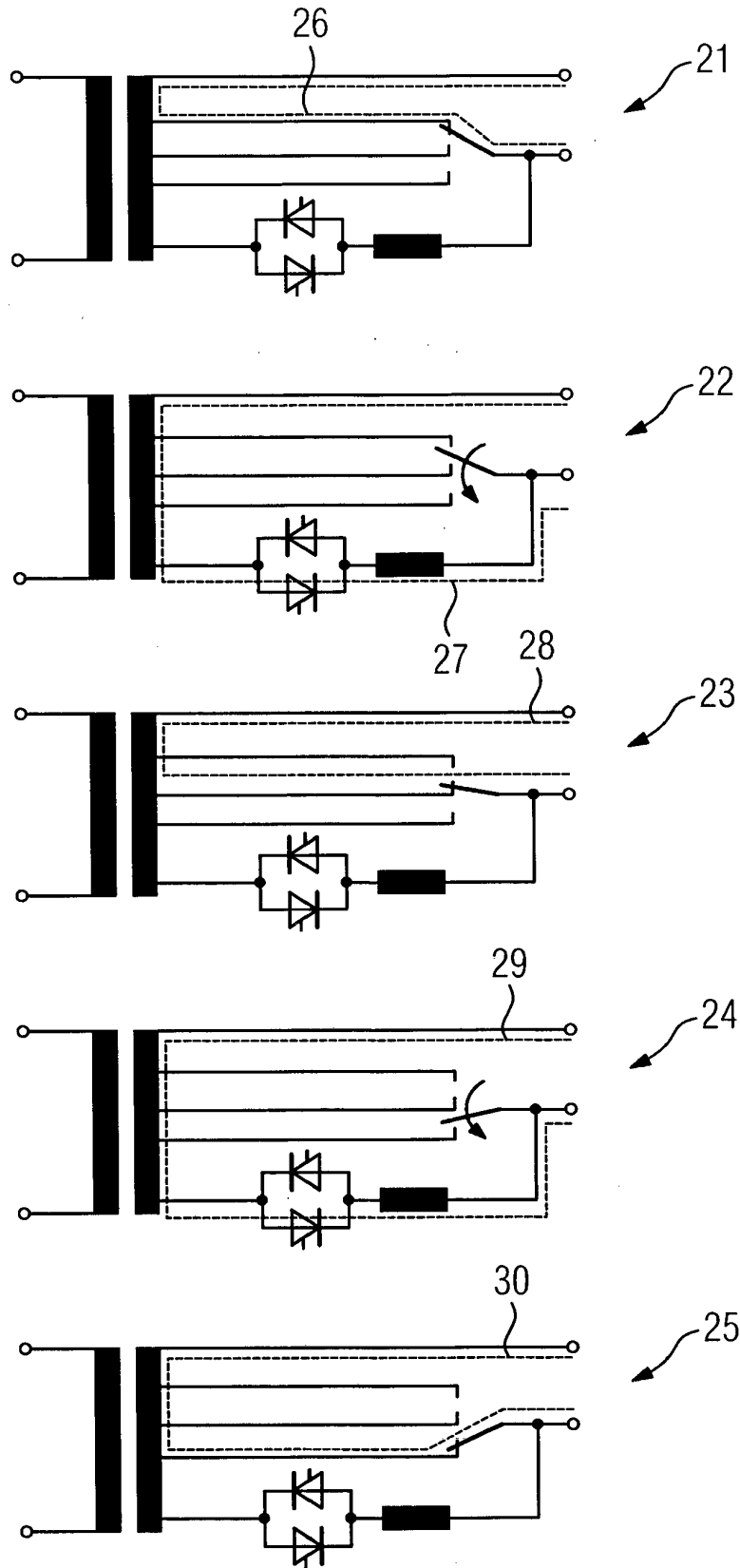




FIG 2



**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 10102310 C1 [0002]