

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2044/95

(51) Int.C1.⁶ : **HO2P 13/12**
H01F 27/42

(22) Anmeldetag: 18.12.1995

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 9.1998

(45) Ausgabetag: 25. 5.1999

(56) Entgegenhaltungen:

DE 3109742C2

(73) Patentinhaber:

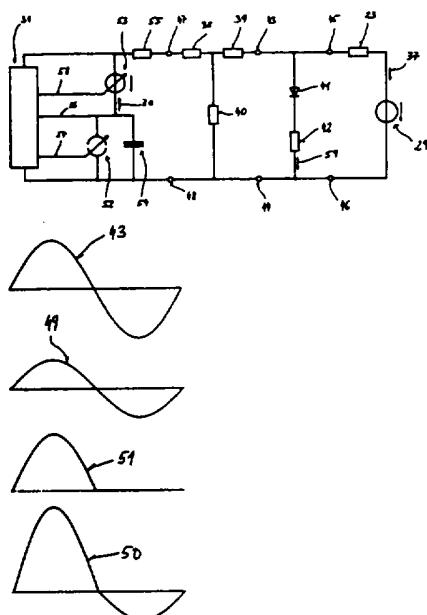
ERHARTT LUTZ
A-1170 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

ERHARTT LUTZ
WIEN (AT).
EDELMOSER KARL
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR UNTERDRÜCKUNG DER GLEICHSTROMMAGNETISIERUNG BZW. SÄTTIGUNG EINES TRANSFORMATORS

(57) Verfahren zur Vermeidung von Sättigungserscheinungen in einem unsymmetrisch belasteten Transformator mit Impedanzen (38,39) und einer Hauptinduktivität (40). Der Transformator ist sekundärseitig an ein Netz (29) mit Netzimpedanz (23) und der unsymmetrischen Last (41,42) angeschlossen. Das Verfahren geht davon aus, daß der Gleichanteil des Laststromes (51) innerhalb einer Periode der Netzfrequenz zu einer Änderung der Spannung des in Serie zur Primärwicklung geschalteten Kondensators (54) führt. Eine Steuer- und Regeleinheit (31) steuert nur oder auch aufgrund der Kondensatorspannung eine Spannungsquelle (53) und eine Stromquelle (52) derart, daß im ausgeglichenen Zustand die Kondensatorspannung über eine Periode stabil ist, der Wechselanteil des Stromes (50) daher über den Kondensator (54) und der Gleichanteil durch die dem Kondensator parallelgeschaltete Stromquelle (52) fließt. Damit die Spannungsquelle (53) den unsymmetrischen Strom (50) liefert und die Spannung an der Hauptinduktivität (40) über eine Periode der Netzfrequenz integriert den Wert Null ergibt, ist, abhängig von Größe und Richtung des Gleichanteiles des Primärstromes (50), die Amplitude der positiven Halbwelle der Primärspannung gegenüber jener der negativen anzuheben oder abzusenken. Dies geschieht durch Senkung oder Hebung der Kondensatorspannung mittels der Stromquelle (52) und/oder entsprechende Regelung der Spannungsquelle (53).



**B
405 115
AT**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Unterdrückung der Gleichstrommagnetisierung bzw. der Sättigung eines Transformators durch Regelung der Primärspannung und/oder des Primärstromes, wobei der Transformator primärseitig an eine, vorzugsweise steuerbare Spannungsquelle und sekundärseitig an einen unsymmetrischen Verbraucher, zB. an die Serienschaltung einer Diode und eines Widerstandes, geschaltet ist.

Die Erfindung betrifft weiters eine Vorrichtung zur Unterdrückung der Gleichstrommagnetisierung bzw. Sättigung eines Transformators, zB. bei der Einspeisung von Solarenergie aus einer Panelspannungsquelle in ein Netz, bestehend aus einer durch eine Steuer- und Regeleinheit gesteuerten ersten Halbbrücke, deren Schalter in einer Periode, zB. der Netzspannung, mit einer hohen Frequenz umgeschaltet werden und deren rechteckförmige Ausgangsspannung am Verbindungspunkt der Schalter durch eine Filteranordnung gefiltert wird, wobei die Spannung des kapazitiven Mittelpunktes der Filteranordnung gegenüber einer Versorgungsleitung der Vorrichtung über die Ein- und Ausschaltzeiten der Schalter der Halbbrücke gesteuert wird und wobei der Transformator primärseitig mit einem Anschluß am kapazitiven Mittelpunkt der Filteranordnung angeschlossen ist.

Tritt an einer Seite des Transformators eine unsymmetrische Spannung auf, so muß die Spannung auf der anderen Seite des Transformators so geregelt werden, daß der Transformator nicht sättigt. Das bedeutet, daß die Unsymmetrie auf der einen Transformatorseite über die andere Transformatorseite ausgeglichen werden muß. Bei unsymmetrischer Belastung des Transformators tritt im ausgeregelten Zustand aufgrund der ohmschen Wicklungswiderstände des Transformators auf beiden Seiten eine unsymmetrische Spannung, das heißt eine Wechselspannung mit überlagertem Gleichanteil auf. Die Größe des Gleichanteiles der jeweiligen Spannung ergibt sich aus dem Produkt von dem jeweiligen Wicklungswiderstand mit dem Gleichanteil des Stromes durch die entsprechende Wicklung und ist im allgemeinen sehr klein gegenüber dem Wechselanteil der jeweiligen Spannung. Die direkte Messung des Gleichanteiles von Strom oder Spannung zur Ausregelung der Unsymmetrie mit ausreichender Genauigkeit bedeutet einen hohen technischen Aufwand und verursacht erhebliche Kosten. Auf jeden Fall muß dazu ein sehr genaues Strom- und/oder Spannungssignal, womöglich potentialgetrennt von der zu messenden Größe erzeugt und ständig über mindestens eine Periode der Transformatorspannung integriert werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Steuerung der Primärspannung des sekundär unsymmetrisch belasteten (gespeisten) Transformatos zu finden, bei dem die Unsymmetrie die Änderung einer leicht erfaßbaren Größe bewirkt, mit deren Hilfe die Primärspannung so gesteuert wird, daß der Trafo nicht sättigt.

Diese Aufgabe wird beim vorstehend genannten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Primärwicklung des Transformatos die Parallelschaltung aus einem Kondensator und einer Stromquelle in Serie geschaltet ist, und daß eine Steuer- und Regeleinheit nur oder auch aufgrund der Spannung am Kondensator die Stromquelle und gegebenenfalls, wenn diese steuerbar ist, auch die Spannungsquelle so regelt, daß die sekundärseitig in den Transformator gespeiste Unsymmetrie primärseitig ganz oder teilweise kompensiert wird und der Transformator nicht sättigt.

Weiters wird diese Aufgabe bei der vorstehend genannten Vorrichtung dadurch gelöst, daß der andere Anschluß der Primärseite des Transformatos am kapazitiven Mittelpunkt der mit den Versorgungsleitungen verbundenen Zwischenkreiskondensatoren angeschlossen ist, der über die Hilfsinduktivität mit dem Mittelpunkt einer zweiten, ebenfalls von der Steuer- und Regeleinheit gesteuerten, zwei Schalter aufweisende Halbbrücke verbunden ist, die ebenfalls an die Versorgungsleitungen angeschlossen ist, sodaß die Hilfsinduktivität bei eingeschaltetem ersten Schalter dem ersten Zwischenkreiskondensator oder bei eingeschaltetem zweiten Schalter dem zweiten Zwischenkreiskondensator parallel geschaltet ist und der Steuer- und Regeleinheit über eine Leitung die Spannung am kapazitiven Mittelpunkt zugeführt wird.

Im ausgeregelten Zustand fließt der Gleichanteil des Primärstromes durch die Induktivität und die Spannung am kapazitiven Mittelpunkt ändert sich nicht. Den benötigten Gleichanteil der Primärspannung erzeugt die Spannungsquelle und/oder die Stromquelle durch Beeinflussung der Kondensatorspannung.

Beim erfindungsgemäßen Verfahren steuert eine Regeleinheit die Primärspannung und/oder den Primärstrom des Transformatos nur oder auch aufgrund der Kondensatorspannung so, daß im Idealfall die Spannung über dessen Hauptinduktivität in jeder Periode der Grundschwingung der Primärspannung auf jeden Fall aber über mehrere Perioden keinen Gleichanteil aufweist, der Transformator also symmetrisch betrieben wird. Vorteilhaft dabei ist die Vermeidung von Verlusten und/oder der zwangsläufigen Abschaltung und/oder der Zerstörung des Gerätes oder der Anlage durch den hohen Primärstrom im Transformator zufolge dessen Sättigung. Vorteilhaft ist weiters die Symmetrierung des Transformatos mittels eines billigen und zuverlässigen Symmetriereglers und der steuerungsseitig abnehmbaren Meßgrößen.

Der Gleichanteil des Primärstromes fließt im ausgeregelten Zustand durch eine von der Steuer- und Regeleinheit gesteuerte Stromquelle an dem ihr parallel geschalteten Kondensator vorbei, durch den nur

der reine Wechselanteil des Primärstromes fließen kann, zur Spannungsquelle zurück. Ein veränderter Gleichanteil des Primärstromes führt zunächst zu einer Änderung der Spannung am Kondensator. Vorteilhaft dabei ist, daß der Fehler bei ungenügender Kompensation des Primärstromgleichanteiles von der Spannung am Kondensator auf integriert wird. Vorteilhaft ist weiters die einfache Regelung der Stromquelle, die lediglich die Spannung am Kondensator auf einen bestimmten Wert zu stabilisieren hat. Dieser Wert kann konstant oder z.B. vom in der Induktivität fließenden Gleichanteil des Primärstromes abhängig sein.

Eine kostengünstige Lösung mit hoher Lebensdauer kann durch die erfindungsgemäße Vorrichtung erreicht werden. Die gesteuerte Spannungsquelle und die gesteuerte Stromquelle sind aus Halbbrückenstrukturen mit gemeinsamen Stützkondensatoren gebildet. Diese arbeiten mit hohem Wirkungsgrad, was für die Einspeisung von elektrischer Solarenergie in ein Netz von großer Bedeutung ist. Die Spannung am kapazitiven Mittelpunkt der Stützkondensatoren wird der Steuer- und Regeleinheit zugeführt. Die ohnehin notwendigen Stützkondensatoren erfüllen somit eine weitere Aufgabe. Aufgrund des möglichen Leistungsflusses in beide Richtungen können alle cosphi gefahren werden, der Solarkonverter kann somit beliebige Verbraucher mit Spannung und Strom versorgen.

Die Erfindung wird im nachfolgenden anhand dem in Fig.1 dargestellten Ersatzschaltbild, den in Fig.2 dargestellten Strömen und dem in Fig.3 dargestellten Anwendungsbeispiel näher erläutert.

Es zeigen:

Fig.1 das Prinzipschaltbild des Antisättigungsverfahrens;

Fig.2 den bei einer sinusförmigen Netzspannung 29 mit einem Gleichanteil behafteten Strom 50, der in Fig.1 vom Solarkonverter über den Transformator 38,39 fließt und der sich aus dem durch den unsymmetrischen Verbraucher 41,42 fließenden Strom 51 und dem in ein Netz 29 fließenden Strom 49 zusammensetzt.

Fig.3 die Schaltung des Anwendungsbeispieles.

Fig. 1 enthält das T-Ersatzschaltbild des Transformators, bestehend aus den Impedanzen 38 und 39 und der Hauptimpedanz bzw. der Hauptinduktivität 40, an der im zeitlichen Mittel keine Gleichspannung liegen darf, da sonst der Magnetisierungsstrom durch die Hauptimpedanz 40 zeitlich anwächst, bis der Transformator sättigt. Der an den Klemmen 43 und 44 an die Sekundärseite angeschlossene unsymmetrische Verbraucher, bestehend aus der Serienschaltung von Diode 41 und ohmscher Last 42, wurde dabei ebenso wie ein Netz 29 und eine Netzimpedanz 23, die ebenfalls in Serie geschaltet und mit den Klemmen 45 und 46 an den Verbraucher 41,42 angeschlossen sind, auf die Primärseite des Transformators umgerechnet.

Fig.2 zeigt die Stromaufteilung zwischen dem in Pfeilrichtung 37 positiv gezählten Strom 49, der in ein Netz 29 fließt und dem gemäß Pfeil 59 fließenden Strom 51 durch den unsymmetrischen Verbraucher 41,42, die sich zum Strom 50 in Pfeilrichtung 30, der von der Spannungsquelle 53 geliefert wird und durch den Transformator 38,39 fließt, addieren. Dabei wird angenommen, daß der Transformator nicht sättigt. Der Magnetisierungsstrom durch die Hauptinduktivität 40 ist dann so klein, daß er an den dargestellten Verhältnissen nichts wesentliches ändert. Die Spannung an der Impedanz 39 sei zunächst vernachlässigt. In diesem Fall muß die Spannung zwischen den Anschlußklemmen 47 und 48 so geregelt werden, daß die Spannung über der Hauptinduktivität 40 und somit auch über dem unsymmetrischen Verbraucher 41,42 keinen Gleichanteil aufweist. Weist die Netzspannung 29 keinen Gleichanteil auf, so kann die Spannung über der Netzimpedanz 23 und somit der Netzstrom 49 ebenfalls keinen Gleichanteil aufweisen. Das bedeutet, daß der unsymmetrische Strom durch den Verbraucher 41,42 über den Transformator fließen muß, damit dieser nicht sättigt. Dazu ist zufolge der Impedanz 38 die positive Halbwelle der Primärspannung gegenüber der negativen anzuheben. Je größer die bis jetzt vernachlässigte Impedanz 39 ist, umso geringer ist die benötigte Anhebung. Ist die Impedanz 39 groß gegenüber der Netzimpedanz 23, so liefert das Netz den unsymmetrischen Verbraucherstrom 51.

In Fig.2a ist die über den Transformator übertragene Leistung größer als die im unsymmetrischen Verbraucher verbrauchte, in Fig.2b ist sie kleiner. Der Gleichanteil des Verbraucherstromes 51 und des über den Transformator fließenden Stromes 50 bleibt gleich.

Dieser in Fig. 1 über die Spannungsquelle 53 und deren Innenwiderstand 55 und den Transformator fließende Strom 50 fließt über die von der Steuer- und Regeleinheit 31 mittels Leitung 57 gesteuerte Gleichstromquelle 52 und dem Kondensator 54 zur ebenfalls von der Einheit 31 über die Leitung 58 gesteuerten und/oder geregelten Spannungsquelle 53 zurück. Ein durch z.B. Zu- bzw. Wegschalten eines unsymmetrischen Verbrauchers veränderter Gleichstromanteil im Primärstrom 50 führt zunächst zu einem Strom durch den Kondensator 54, der parallel zur Stromquelle und ebenso wie diese in Serie zur Spannungsquelle geschaltet ist und dessen Spannungsveränderung von der Einheit 31 über die Leitung 56 auf einfachste Weise als Maß für die Unsymmetrie registriert wird. Die Einheit 31 greift nun steuernd und regelnd auf die Spannungsquelle ein, sodaß z.B. durch unterschiedliche positive und negative Amplituden

der Spannung 53 die Spannung über der Induktivität 40 symmetriert wird, während der Strom durch die Stromquelle auf den veränderten Gleichanteil des Primärstromes 50 geregelt wird, um die Spannung über dem Kondensator 54 zu stabilisieren.

Kann die Impedanz 39 gegenüber der Netzimpedanz 23 nicht mehr vernachlässigt werden, so ist bei 5 symmetrischer Spannung über der Induktivität 40 aufgrund des unsymmetrischen Primärstromes 50 auch die Spannung über dem Verbraucher und damit auch der Netzstrom 49 unsymmetrisch. Der Gleichanteil des Primärstromes 50 für den die Stromquelle 52 ausgelegt werden muß, ist in diesem Fall bei gleichem unsymmetrischen Verbraucher geringer, weil nun ein Teil des Gleichanteiles des durch den Verbraucher 41,42 fließenden Stromes 51 dem Netzstrom 49 überlagert ist.

10 Fig.3 zeigt das Prinzipschaltbild eines Solarwechselrichters, der über den Transformator 22 und die Netzimpedanz 23 mit einem Netz 29 verbunden ist, an dem auch der unsymmetrische Verbraucher 41,42 angeschlossen ist. Eine Gleichspannungsquelle 1 versorgt über die positive Versorgungsleitung 2 und die negative Versorgungsleitung 3 zwei Wechselrichter in Halbbrückenbauweise, bestehend aus den Schaltern 4,5 und 6,7 mit Strom und Spannung. Bei der Halbbrücke 4,5 sind die Schalter 4 und 5 über der 15 Verbindungsleitung 10 in Serie geschaltet und parallel zur Versorgungsspannung mit den Leitungen 2 und 3 verbunden, wohingegen bei der Halbbrücke 6,7 die Schalter 6 und 7 über die Verbindungsleitung 11 in Serie geschaltet sind und sodann ebenfalls über die Leitungen 2 und 3 mit der Versorgungsspannung verbunden sind, wobei sich zwischen den Schaltern 4 und 5 der Mittelpunkt 8 und zwischen den Schaltern 6 und 7 der Mittelpunkt 9 bildet.

20 Die Kondensatoren 12 und 13 sowie die Kondensatoren 14 und 15 der kapazitiven Spannungsteiler 12,13 und 14,15 sind wie die Schalter 4 und 5 der Halbbrücke 4,5 zunächst über die Verbindungsleitungen 16 sowie 17 in Serie geschaltet, wobei sich zwischen den Kondensatoren 12 und 13 der Mittelpunkt 18 und zwischen den Kondensatoren 14 und 15 der Mittelpunkt 19 bildet, sodann ebenfalls wie die Schalter 4 und 5 über die Versorgungsleitungen 2 und 3 mit der Versorgung verbunden.

25 Der Brückenmittelpunkt 8 der Halbbrücke 4,5 ist über die Filterspule 20 mit dem Mittelpunkt 18 der Filterkondensatoren 12 und 13 verbunden; der Brückenmittelpunkt 9 der Hilfsschalter 6 und 7 ist über die Induktivität 21 mit dem kapazitiven Mittelpunkt 19 verbunden. Die Primärseite des Transformators 22 ist an die Mittelpunkte 18 und 19 angeschlossen, die Sekundärseite ist über die Anschlüsse 24 und 25 mit einem unsymmetrischen Verbraucher verbunden, der wiederum mit den Klemmen 26 und 27 über die Netzimpedanz 30 23 und die Verbindungsleitung 28 mit der symmetrischen Netzspannung 29 verbunden ist.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Unterdrückung der Gleichstrommagnetisierung bzw. der Sättigung eines Transformators durch Regelung der Primärspannung und/oder des Primärstromes, wobei der Transformator primärseitig an eine, vorzugsweise steuerbare Spannungsquelle (53) und sekundärseitig an einen unsymmetrischen Verbraucher, zB. an die Serienschaltung einer Diode (41) und eines Widerstandes (42), geschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Primärwicklung des Transformators (38,39,40) die Parallelschaltung aus einem Kondensator (54) und einer Stromquelle (52) in Serie geschaltet ist, und daß eine Steuer- und Regeleinheit (31) nur oder auch aufgrund der Spannung am Kondensator (54) die Stromquelle (52) und gegebenenfalls, wenn diese steuerbar ist, auch die Spannungsquelle (53) so regelt, daß die sekundärseitig in den Transformator gespeiste Unsymmetrie primärseitig ganz oder teilweise kompensiert wird und der Transformator nicht sättigt.
2. Vorrichtung zur Unterdrückung der Gleichmagnetisierung bzw. Sättigung eines Transformators, zB. bei der Einspeisung von Solarenergie aus einer Panelspannungsquelle in ein Netz, bestehend aus einer durch eine Steuer- und Regeleinheit (31) gesteuerten ersten Halbbrücke, deren Schalter (4,5) in einer Periode, zB. der Netzspannung, mit einer hohen Frequenz umgeschaltet werden und deren rechteckförmige Ausgangsspannung am Verbindungspunkt (8) der Schalter (4,5) durch eine Filteranordnung (12,13,20) gefiltert wird, wobei die Spannung des kapazitiven Mittelpunktes (18) der Filteranordnung gegenüber einer Versorgungsleitung (2) oder (3) der Vorrichtung über die Ein- und Ausschaltzeiten der Schalter (4,5) der Halbbrücke gesteuert wird und wobei der Transformator primärseitig mit einem Anschluß am kapazitiven Mittelpunkt (18) der Filteranordnung angeschlossen ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der andere Anschluß der Primärseite des Transformators am kapazitiven Mittelpunkt (19) der mit den Versorgungsleitungen (2,3) verbundenen Zwischenkreiskondensatoren (14,15) angeschlossen ist, der über die Hilfsinduktivität (21) mit dem Mittelpunkt (9) einer zweiten, ebenfalls von der Steuer- und Regeleinheit (31) gesteuerten, zwei Schalter (6,7) aufweisende Halbbrücke verbunden ist, die ebenfalls an die Versorgungsleitungen (2,3) angeschlossen ist, sodaß die Hilfsinduktivität (21) bei

AT 405 115 B

eingeschaltetem ersten Schalter (6) dem ersten Zwischenkreiskondensator (14) oder bei eingeschaltetem zweiten Schalter (7) dem zweiten Zwischenkreiskondensator (15) parallel geschaltet ist und der Steuer- und Regeleinheit über eine Leitung (32) die Spannung am kapazitiven Mittelpunkt (19) zugeführt wird.

5

3. Vorrichtung nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Schalter durch Bipolartransistoren, Feldeffekttransistoren oder andere Leistungshalbleiter gebildet sind.

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

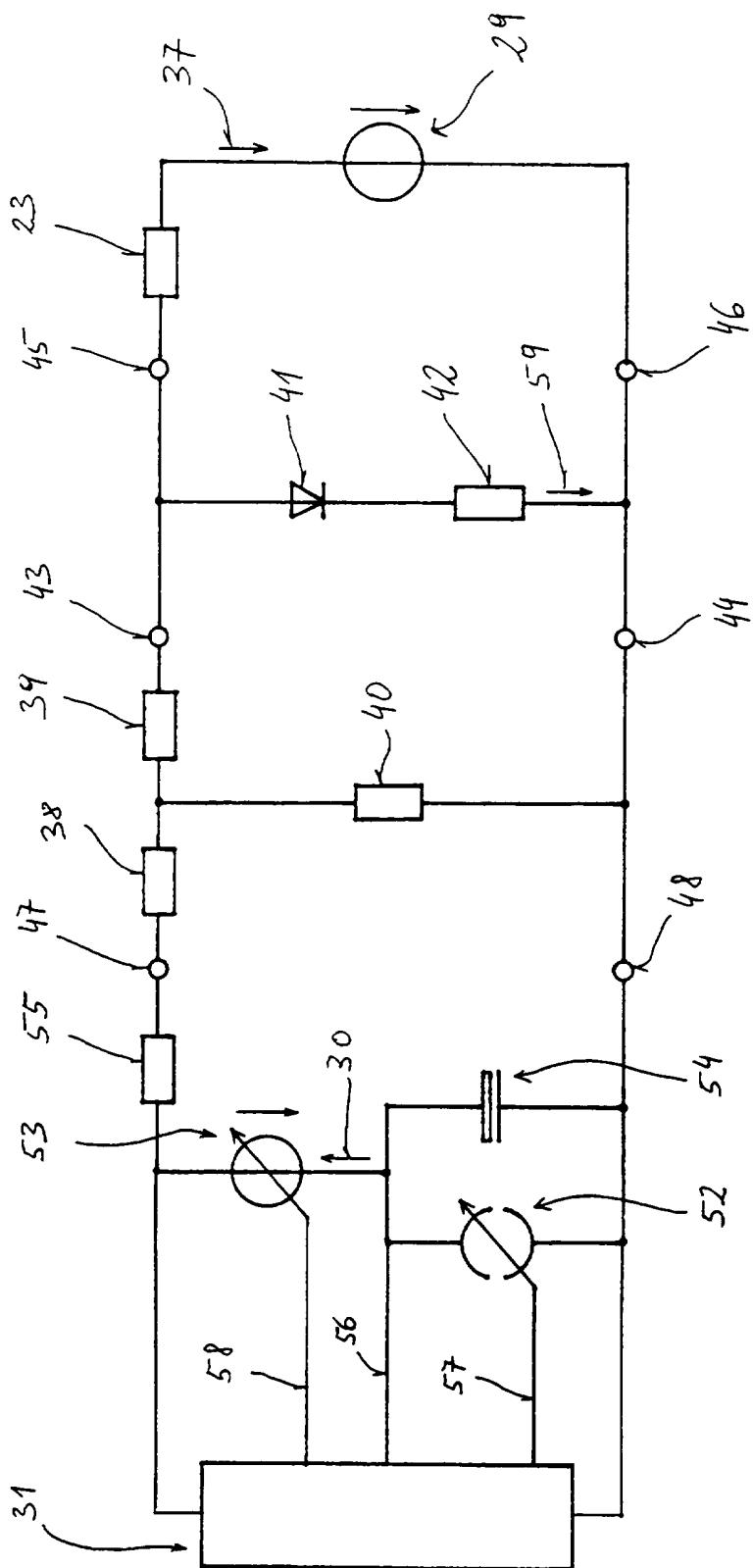


FIG. 1

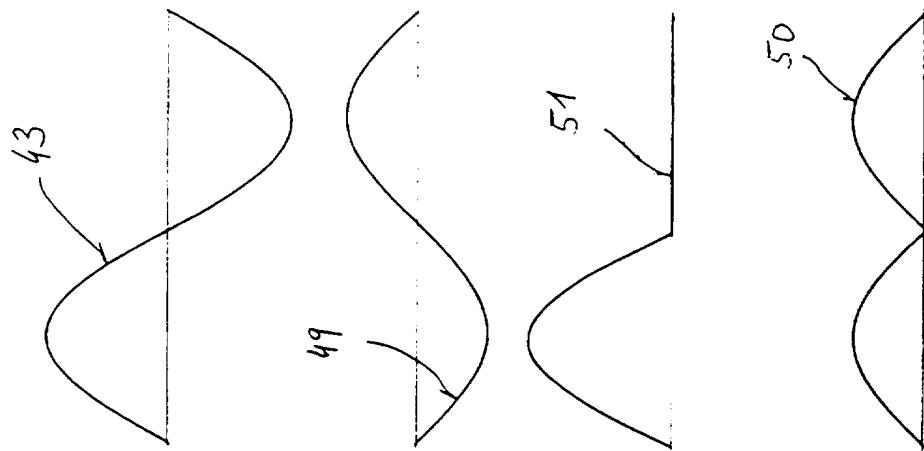


FIG. 2b

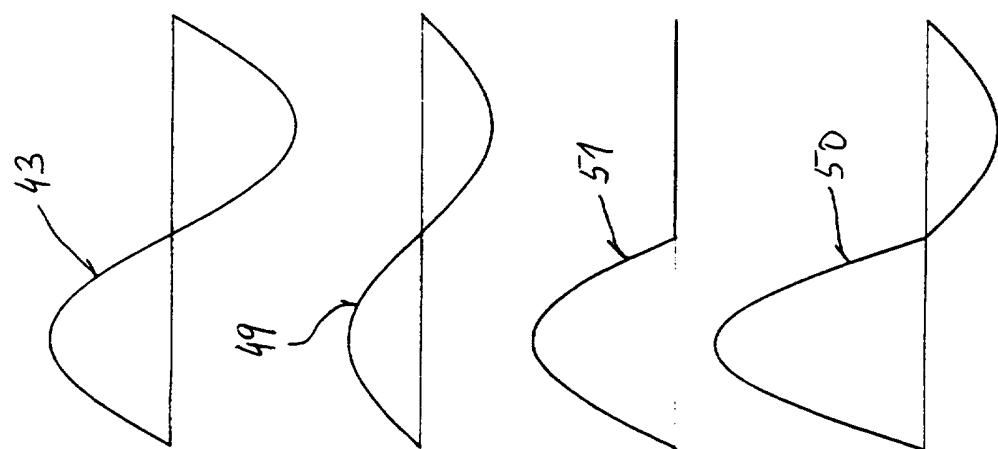


FIG. 2a

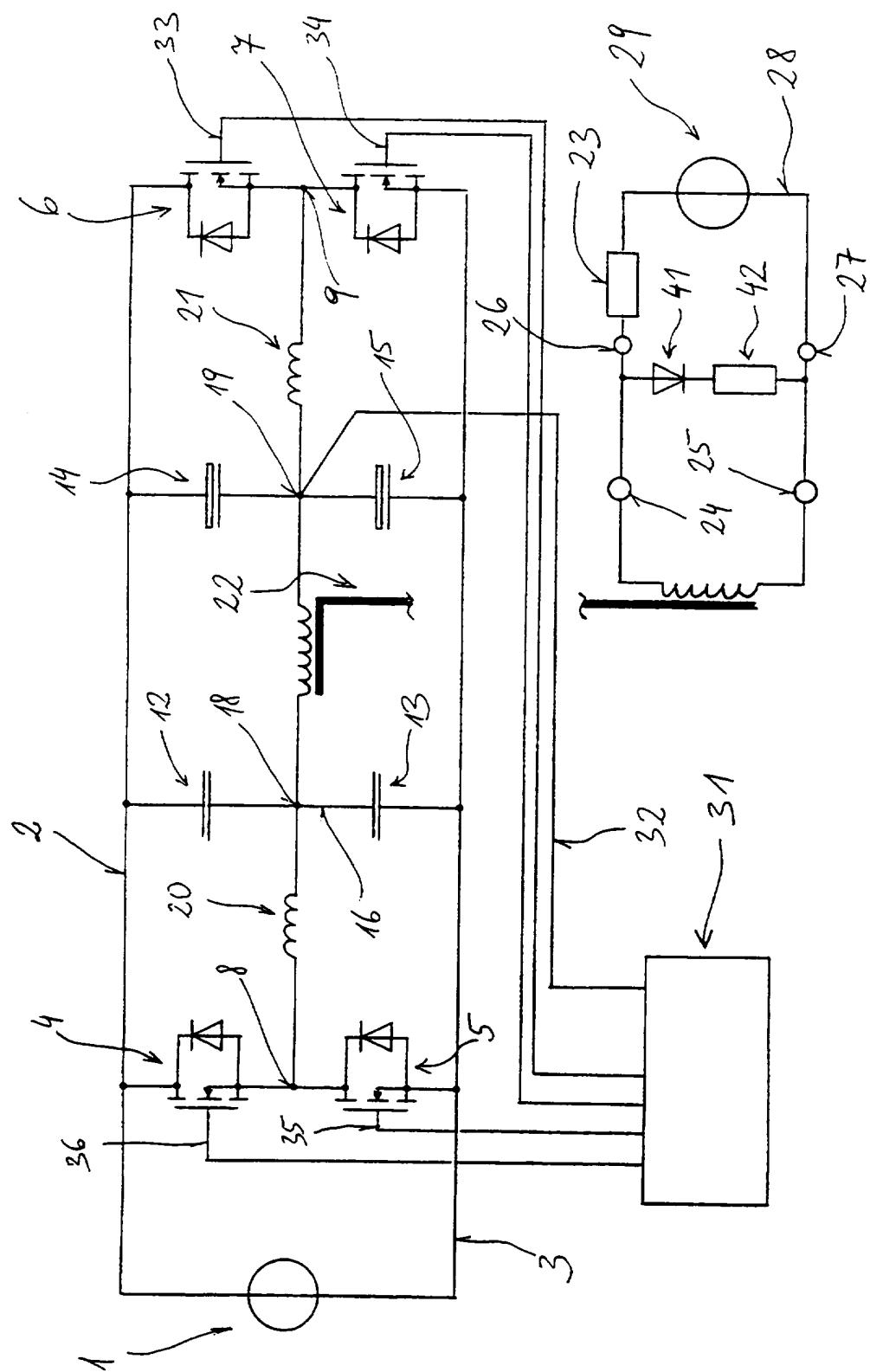


FIG. 3