



**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinerischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer: 00728/08

(22) Anmeldedatum: 13.05.2008

(24) Patent erteilt: 30.12.2011

(45) Patentschrift veröffentlicht: 30.12.2011

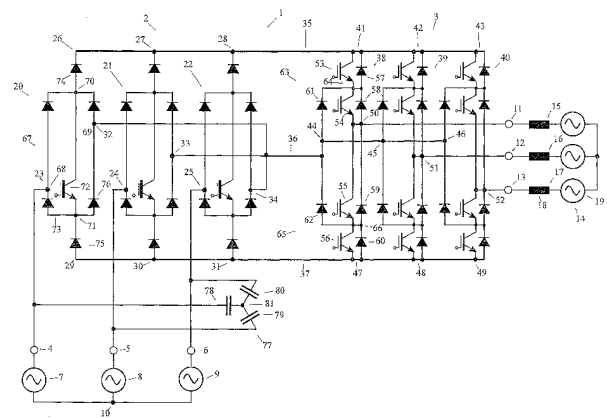
(73) Inhaber:  
ETH Zürich, Raemistrasse 101 / ETH transfer  
8092 Zürich (CH)

(72) Erfinder:  
Frank Schafmeister, 34414 Warburg (DE)  
Johann W. Kolar, 8044 Zürich (CH)

(74) Vertreter:  
Frei Patentanwaltsbüro AG, Postfach 1771  
8032 Zürich (CH)

(54) **Unidirektionaler AC-AC-Matrixkonverter mit Dreipunkt-Ein und -Ausgangsstufe.**

(57) Die Erfindung betrifft ein Konvertersystem (1) zur direkten unidirektionalen Umformung der dreiphasigen Netzspannung (7, 8, 9) in ein pulsbreitenmoduliertes Dreipunkt-Dreiphasenspannungssystem vorgebbarer Grundschnwingungsfrequenz und -amplitude. Das Konvertersystem (1) wird durch eine Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) und eine unidirektionale Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe (2) gebildet, deren Brückenweige (21, 22, 23) gleiche Struktur aufweisen und ausgangsseitig an eine positive Eingangsspannungsschiene (35), eine negative Eingangsspannungsschiene (37) und eine Mittelpunktsspannungsschiene (36) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) gelegt sind und eingangsseitig mit je einem Netzphaseneingang (4, 5, 6) verbunden sind. Durch Einschalten eines Vierquadrantenschalters (73) eines Brückenweiges (20, 21, 22) kann eine bidirektionale Verbindung eines Netzphaseneingangs (4, 5, 6) mit einem zugehörigen Mittelpunktsspannungsausgang (32, 33, 34) hergestellt werden. Die Verbindung eines Netzphaseneingangs (4, 5, 6) des Brückenweiges mit einem zugeordneten positiven respektive negativen Ausgang (26, 27, 28, 29, 30, 31) erfolgt über eine obere respektive untere Diode (74, 75). Weiters wird durch Ansteuerung des Vierquadrantenschalters (73) die dritte, jeweils einen mittleren Spannungswert aufweisende Netzphase an die Mittelpunktsspannungsschiene (36) durchgeschaltet. Die Ausgangsspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) wird über Dreipunkt-Pulsbreitenmodulation gebildet.



## Beschreibung

[0001] Vorrichtung zur direkten unidirektionalen Dreipunkt-Konversion eines dreiphasigen Spannungssystems in ein pulsbreitenmoduliertes Dreiphasenspannungssystem vorgebbarer Grundswingungsfrequenz und -amplitude, wie im Oberbegriff des Patentanspruchs 1 beschrieben ist.

## Stand der Technik

[0002] Zur Umformung der Spannung des Dreiphasennetzes in ein dreiphasiges Spannungssystem vorgebbarer Frequenz und Amplitude (Dreiphasen-AC/AC-Konversion) werden derzeit leistungselektronische Konverter mit Spannung- oder Stromzwischenkreis oder Matrixkonverter eingesetzt, wobei vielfach nur ein unidirektionaler Energietransfer erforderlich ist, d.h. auf eine Rückspeisung von Energie aus der Last in das Netz verzichtet werden kann.

[0003] Matrixkonverter weisen den Vorteil einer kompakten Bauweise und einer hohen Effizienz auf und können in direkter oder indirekter Form ausgeführt werden. Die indirekte Realisierung zeichnet sich durch einfache Steuerbarkeit und eine vom Systemzustand unabhängige, sichere Kommutierung der Leistungshalbleiter der Pulsleichrichterereingangsstufe aus. Die Pulswechselrichterausgangsstufe kann in Zweipunkt- oder Dreipunkttopologie ausgeführt werden, wobei für Dreipunktausführung der Mittelpunkt der Brückenzeige an einen, durch eine eingangsseitige Sternschaltung von Filterkondensatoren, gebildeten künstlichen Netzsternpunkt zu legen ist. Das Dreipunktsystem weist einen sehr geringen Oberschwingungsgehalt der Ausgangsspannung auf und ist damit z.B. auch zur Speisung niederinduktiver Drehfeldmaschinen einsetzbar. Allerdings ist eine aktive Symmetrierung der Filterkondensatorspannungen vorzusehen um das Auftreten einer Nullkomponente der Filterkondensatorspannungen bzw. eine Verschiebung des künstlichen Netzsternpunktes zu unterbinden. Weiters sind für die praktische Realisierung des indirekten Matrixconverters mit Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (Dreipunkt-Matrixkonverter) insgesamt 24 Leistungstransistoren erforderlich, womit relativ hohe Fertigungskosten resultieren.

## Darstellung der Erfindung

[0004] Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Vorrichtung zu schaffen, welche die Funktionalität eines unidirektionalen indirekten Dreipunkt-Matrixconverters mit minimalem Fertigungsaufwand realisiert und keine Einbeziehung des Sternpunktes der Eingangsfilterkondensatoren in die Systemfunktion erfordert.

[0005] Erfindungsgemäss wird dies durch ein Konvertersystem (1) gemäss Patentanspruch 1 erreicht. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sind den abhängigen Patentansprüchen zu entnehmen.

[0006] Grundgedanke der Erfindung ist, die Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe über eine unidirektionale Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe aus einem Dreiphasennetz zu speisen, wobei die Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe durch drei Brückenzeige identer Struktur gebildet werden und jeder Brückenzeig einen, einer Netzphase zugeordneten Wechselspannungseingang und einen positiven Ausgang, einen negativen Ausgang und einen Mittelpunktsausgang aufweist. Dabei sind die Brückenzeige mit dem positiven Ausgang an eine positive Eingangsspannungsschiene und mit dem negativen Ausgang an eine negative Eingangsspannungsschiene eines Dreipunkt-Pulswechselrichters gelegt und sind die Mittelpunktsausgänge der Brückenzeige an eine Mittelpunktspannungsschiene des Dreipunkt-Pulswechselrichters geführt, und ist das Dreiphasennetz an die Wechselspannungseingänge geführt. Die Brückenzeige weisen idente innere Struktur auf und erlauben aktiv, d.h. durch Einschalten eines, beide Stromrichtungen freigebenden, i.a. durch eine Diodenbrücke und einen Leistungstransistor oder durch zwei in Gegenserien-schaltung verbundene Leistungstransistoren mit antiparallelen Freilaufdioden realisierten Vierquadrantenschalters eine bidirektionale Verbindung zwischen einem Wechselspannungs- bzw. Netzphaseneingang und dem Mittelpunktsausgang herzustellen. Die Verbindung des Netzphaseneingangs mit dem positiven und mit dem negativen Ausgang ist demgegenüber passiv, d.h. über Dioden ausgeführt, wobei eine oder mehrere obere Dioden in Flussrichtung vom Netzphaseneingang gegen den positiven Ausgang und eine oder mehrere untere Dioden in Flussrichtung vom negativen Ausgang in Flussrichtung gegen den Netzphaseneingang gelegt sind. Die erfindungsgemässe Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe und die Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe weisen damit im einfachsten Fall insgesamt nur 15 Leistungstransistoren auf, womit ein signifikant geringerer Realisierungsaufwand als für eine konventionelle Lösung gegeben ist.

[0007] Vorteilhaft wird bei Anlegen der Dreiphasen-Netzspannung an die Eingänge der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe das Potential der positiven Eingangsspannungsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe durch die am stärksten positive Netzphasenspannung und das Potential der negativen Eingangsspannungsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe durch die am stärksten negative Netzphasenspannung bestimmt. Wird nun erfindungsgemäss der Vierquadrantenschalter des dritten, eine mittlere Eingangsspannung aufweisenden Brückenzeiges durchgeschaltet, treten zwischen der positiven Eingangsspannungsschiene und der Mittelpunktspannungsschiene und zwischen der Mittelpunktspannungsschiene und der negativen Eingangsspannungsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe zwei Netzaussenleiterspannungen auf, d.h. die obere und die untere Eingangsteilspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe werden durch, positive Momentanwerte aufweisende Netzaussenleiterspannungen gebildet und es kann eine Ausgangsspannung des Dreipunkt-Pulswechselrichters über Dreipunkt-Pulsbreitenmodulation oder Raumzeigermodulation erzeugt werden, wobei der i.a. unterschiedliche Wert und die netzfrequente Änderung der oberen und unteren Eingangsteilspannungen in bekannter Weise zu berücksichtigen sind. Innerhalb einer Netzperiode bleibt jeweils eine Netzphase jeweils

für 120° dieser Netzphase über die oberen Dioden eines Brückenweiges mit der positiven Eingangsspannungsschiene des Dreipunkt-Pulswechselrichters verbunden, nachfolgend wird die Netzphase durch Durchschalten des Vierquadrantenschalters des Brückenweiges für ein, symmetrisch um den Nulldurchgang der Netzphasenspannung zu negativen Spannungswerten liegendes 60° breites Intervall dieser Netzphase mit der Mittelpunktsspannungsschiene des Dreiphasen-Pulswechselrichters verbunden. Schliesslich wird die Netzphase nach Abschalten des Vierquadrantenschalters des Brückenweiges für weitere 120° dieser Netzphase über die unteren Dioden des Brückenweiges mit der negativen Eingangsspannungsschiene des Dreipunkt-Pulswechselrichters verbunden, bis sich die Netzphasenspannung von negativen Werten kommend dem nächsten Nulldurchgang nähert und der Vierquadrantenschalter des Brückenweiges wieder in einem 60° breiten, symmetrisch um den Nulldurchgang der Netzphasenspannung zu positiven Spannungswerten liegenden Intervall dieser Netzphase durchgeschaltet wird. Die Änderung des Schaltzustandes des Vierquadrantenschalters des Brückenweiges wird dabei vorteilhaft in einem Freilaufintervall der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe vorgenommen und kann dann stromlos, d.h. ohne Schaltverluste erfolgen. Die erfindungsgemässe Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe weist somit nur Leitverluste, jedoch keine Schaltverluste auf.

**[0008]** Durch die Pulsbreitenmodulation der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe wird ein, nach lokaler Mittelung über eine Taktperiode sinusförmiges, symmetrisches Dreiphasen-Spannungssystem gebildet. Für eine symmetrische induktive Last, z.B. eine Drehfeldmaschine, tritt dann ein zeitlich konstanter Leistungsfluss auf, der auf Seite des Netzes nach Filterung schaltfrequenter Oberschwingungen durch eine, am Eingang der Brückenweige der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe angeordnete Stern- oder Dreieckschaltung von Filterkondensatoren zur Ausbildung eines vorteilhaft sinusförmigen Netzstromes führt, da das Netz aufgrund des Fehlens von Energiespeichern des Dreipunkt-Matrixkonverters stets (mit Ausnahme schaltfrequenter Leistungspendelungen) den Leistungsbedarf der Last decken muss.

**[0009]** Durch die oberen und unteren Dioden der Brückenweige der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe ist nur eine Leistungslieferung aus dem Netz an die Last möglich bzw. muss der Strom in der positiven Eingangsspannungsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe stets Werte grösser oder gleich null aufweisen. Um bei Steuerfehlern der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe, welche zu negativen Stromwerten führen können, das Auftreten einer Überspannung zu unterbinden, ist daher vorteilhaft, zwischen positiver und Mittelpunktsspannungsschiene sowie zwischen Mittelpunktsspannungsschiene und negativer Eingangsspannungsschiene des Dreipunkt-Pulswechselrichters eine Überspannungsbegrenzungseinrichtung, im einfachsten Fall einen Varistor, anzuordnen.

**[0010]** Mit steigender Sperrspannungsfestigkeit weisen Leistungsdioden und Leistungstransistoren einen zunehmenden Durchlassspannungsabfall und damit letztlich höhere Leitverluste auf. Die Konzeption leistungselektronischer Energieumformer hat damit vorteilhaft so zu erfolgen, dass die Grundfunktion mit möglichst geringer Sperrspannungsbelastung der Leistungshalbleiter erreicht wird bzw. Leistungshalbleiter geringer Sperrspannungsfestigkeit eingesetzt werden können.

**[0011]** Für die erfindungsgemässe Dreipunkt-Pulsleichrichtereingangsstufe kann dies dadurch erreicht werden, dass in jedem Brückenweig zwischen den Netzphaseneingang und den Mittelpunktsausgang eine Einphasendiodenbrücke gelegt wird, wobei eine erste Wechselspannungseingangsklemme der Einphasendiodenbrücke mit dem Netzphaseneingang des Brückenweiges und eine zweite Wechselspannungseingangsklemme mit dem Mittelpunktsausgang verbunden wird, und zwischen einer positiven und einer negativen Gleichspannungsausgangsklemme der Einphasendiodenbrücke ein Leistungstransistor in Flussrichtung angeordnet wird, womit ein zwischen Netzphaseneingangsklemme und Mittelpunktsausgangsklemme des Brückenweiges liegender Vierquadrantenschalter gebildet wird, und durch Durchschalten des Leistungstransistors eine bidirektionale Verbindung beider Klemmen herstellbar ist. Die obere Diode des Brückenweiges wird dann von der positiven Gleichspannungsausgangsklemme der Einphasendiodenbrücke in Flussrichtung gegen den positiven Ausgang des Brückenweiges gelegt und die untere Diode des Brückenweiges vom negativen Ausgang des Brückenweiges gegen die negative Gleichspannungsausgangsklemme der Einphasendiodenbrücke geschaltet. Vorteilhaft ist dann die Sperrspannungsbeanspruchung sämtlicher Leistungshalbleiter durch die obere bzw. untere Eingangsteilspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe limitiert, da beispielsweise bei Leiten der oberen Diode des Brückenweiges und damit einseitiger Verbindung des Leistungstransistors mit der positiven Eingangsspannungsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe über die, in Flussrichtung zur Mittelpunktseingangsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe führende Diode der Einphasendiodenbrücke (bei gedachtem Stromfluss über den Leistungstransistor, wie er bei Überschreiten der Sperrspannungsfestigkeit des Leistungstransistors auftreten würde), eine Klemmung der Transistorperrspannung auf den Wert der oberen Eingangsteilspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe gegeben ist.

**[0012]** Alternativ könnte auch eine andere Leistungstransistor-Diodenanordnung zur Realisierung der Brückenweige der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe eingesetzt werden, wobei dann allerdings eine höhere Sperrspannungsbelastung einzelner Elemente auftreten würde.

**[0013]** Beispielsweise könnte die obere Diode des Brückenweiges direkt vom Netzphaseneingang des Brückenweiges in Flussrichtung gegen den positiven Ausgang des Brückenweiges, und die untere Diode des Brückenweiges direkt vom negativen Ausgang des Brückenweiges in Flussrichtung gegen den Netzphaseneingang geschaltet werden. Für diese Anordnung der oberen und unteren Diode könnte dann die Realisierung des Vierquadrantenschalters durch eine Einphasendiodenbrücke und einen Leistungstransistor beibehalten oder durch eine, zwischen dem Netzphaseneingang und dem Mittelpunktsausgang des Brückenweiges angeordnete Gegenserienanordnung von Leistungstransistoren mit

antiparallelen Freilaufdioden ersetzt werden, wobei dann für eine bidirektionale Verbindung des Netzphaseneingangs mit dem Mittelpunkt Ausgang beide Leistungstransistoren einzuschalten sind.

**[0014]** Schliesslich könnten die obere Diode des Brückenweiges durch eine Serienschaltung von zwei oberen Dioden, d.h. einer, mit der positiven Ausgangsklemme des Brückenweiges verbundenen oberen und einer, mit dem Netzphaseneingang verbundenen mittleren oberen Diode realisiert werden, wobei von dem beiden oberen Dioden gemeinsamen Punkt ein oberer Leistungstransistor in Flussrichtung gegen den Mittelpunkt Ausgang des Brückenweiges zu legen wäre. Weiters wäre die untere Diode des Brückenweiges durch eine Serienschaltung von zwei unteren Dioden, d.h. einer, mit der negativen Ausgangsklemme des Brückenweiges verbundenen unteren und einer, mit dem Netzphaseneingang verbundenen mittleren unteren Diode zu realisieren, wobei vom Mittelpunkt Ausgang des Brückenweiges ein unterer Leistungstransistor in Flussrichtung gegen den, beiden unteren Dioden gemeinsamen Punkt zu legen wäre und dann eine bidirektionale Verbindung des Netzphaseneingangs und des Mittelpunkt Ausgangs des Brückenweiges durch Einschalten des oberen und unteren Leistungstransistors erreichbar ist, wobei der Stromfluss dann über die mittlere obere Diode und den oberen Leistungstransistor bzw. den unteren Leistungstransistor und die mittlere untere Diode erfolgt.

**[0015]** Werden dreiphasige-AC/AC-Konverter zur Speisung von Antrieben eingesetzt, wird gegebenenfalls über längere Zeitabschnitte ein Betrieb der Drehfeldmaschine mit Netzfrequenz gefordert. Erfindungsgemäss kann dieser Betrieb für die Vorrichtung nach Anspruch 1 dadurch erreicht werden, dass die Brückenweige der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe entsprechend dem Leitzustand der Brückenweige der Pulsleichrichterstufe gesteuert werden, d.h. nur mit zweifacher Netzfrequenz und nicht mit Pulsfrequenz umgeschaltet werden, womit geringe Schaltverluste resultieren und ein hoher Wirkungsgrad der Energieumformung erreicht und die elektromagnetische Störaussendung des Systems signifikant reduziert wird.

**[0016]** Jeder Wechselrichter-Brückenweig des Dreipunkt-Pulswechselrichters weist einen positiven und einen negativen Eingang und einen Mittelpunkt Eingang sowie einen Wechselspannungsausgang auf, wobei der positive Eingang mit der positiven und der negative Eingang mit der negativen Eingangsspannungsschiene verbunden ist und der Mittelpunkt Eingang an die Mittelpunktsspannungsschiene gelegt wird. Die innere Struktur des Brückenweiges wird in bekannter Weise durch vier Leistungstransistoren mit antiparallelen Freilaufdioden gebildet, wobei in einem oberen Teil des Brückenweiges abzweigend von der positiven Eingangsklemme ein oberster und ein mittlerer oberer Leistungstransistor in Serienschaltung in Flussrichtung gegen den Wechselspannungsausgang gelegt sind und von der Mittelpunktsklemme eine obere Mittelpunktsdiode in Flussrichtung gegen den, dem obersten und dem mittleren oberen Leistungstransistor gemeinsamen Punkt geschaltet ist. Der untere Teil des Wechselrichter-Brückenweiges ist durch eine von dem Wechselspannungsausgang abzweigende Serienschaltung eines mittleren unteren und eines untersten Leistungstransistors gebildet, welche mit dem zweiten Ende in Flussrichtung gegen die negative Eingangsklemme gelegt ist, wobei von dem, dem untersten und dem mittleren unteren Transistoren gemeinsamen Schaltungspunkt eine untere Mittelpunktsdiode in Flussrichtung gegen den Mittelpunkt Eingang geschaltet ist.

**[0017]** Um die Netzspannung an die Wechselspannungsausgänge der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe durchzuschalten, wird nun die erfindungsgemässe Steuerung der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe beibehalten und je ein Wechselrichter-Brückenweig steuerungstechnisch einem Brückenweig der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe zugeordnet, und innerhalb der Abschnitte der Netzperiode in denen der Vierquadrantenschalter eines Brückenweiges der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe durchgeschaltet ist, der mittlere obere und der mittlere untere Leistungstransistor des zugeordneten Wechselrichter-Brückenweiges eingeschaltet. Weiters wird bei Leiten der oberen Diode eines Brückenweiges der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe der oberste Leistungstransistor des zugeordneten Wechselrichter-Brückenweiges und bei Leiten der unteren Diode der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe der unterste Leistungstransistor des zugeordneten Wechselrichter-Brückenweiges durchgeschaltet. Die Netzphasen werden somit über die positive und negative Eingangsspannungsschiene und die Mittelpunktsspannungsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe an deren Wechselspannungsausgänge durchgeschaltet, wobei der Schaltzustand der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe und damit auch der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe über jeweils 60° breite Abschnitte der Netzperiode unverändert bleibt und das AC/AC-Konvertersystem somit sehr geringe Schaltverluste aufweist.

### Aufzählung der Zeichnungen

**[0018]** Die Erfindung wird im Weiteren anhand von Zeichnungen näher erläutert.

Fig. 1 zeigt ein dreiphasiges AC/AC-Konvertersystem mit Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe, welche erfindungsgemäss eine, dem Stand der Technik entsprechende Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe speist.

In Fig. 2 ist der Zeitverlauf der drei Netzphasenspannungen und der, bei erfindungsgemässer Steuerung der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe resultierende Verlauf der Spannungen der positiven und der negativen Eingangsspannungsschiene sowie der Mittelpunktsspannungsschiene der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe gezeigt.

## Ausführung der Erfindung

**[0019]** Durch das in Fig. 1 dargestellte unidirektionale Dreiphasen-Dreipunkt-AC/AC-Konvertersystem, kurz Konvertersystem 1 genannt, gebildet durch erfindungsgemässe Kombination einer unidirektionalen Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe 2 und eine Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3, wird die an Netzphaseneingänge 4, 5, 6 des Konvertersystems 1 anliegende dreiphasige Netzwechselspannung, repräsentiert durch Wechselspannungsquellen mit Netzphasenspannungen 7, 8, 9 und einem Sternpunkt 10 in ein pulsbreitenmoduliertes, an den Wechselspannungsausgangsklemmen 11, 12, 13 des Konvertersystems 1 auftretendes Dreiphasen-Ausgangsspannungssystem mit vorgebarter Grundschiebungsamplitude und Frequenz umgeformt, wobei die an die Wechselspannungsausgangsklemmen 11, 12, 13 angeschlossene Drehstrommaschine 14 induktive Charakteristik aufweist, also durch in Stern geschalteten Phasenzweige 15, 16, 17, jeweils gebildet durch Serienschaltung einer Induktivität 18 und einer inneren Phasenspannung 19 ersetzt werden kann.

**[0020]** Die erfindungsgemässe Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe 2 wird durch drei Brückenarme 20, 21, 22 gleicher innerer Struktur gebildet, wobei jeder der Brückenarme 20, 21, 22 einen Wechselspannungseingang 23, 24, 25 und einen positiven Ausgang 26, 27, 28 und einen negativen Ausgangs 29, 30, 31 sowie einen Mittelpunktsausgang 32, 33, 34 aufweist. Die Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 ist über eine positive Eingangsspannungsschiene 35, eine Mittelpunktsspannungsschiene 36 und eine negative Eingangsspannungsschiene 37 gespeist und ist durch drei Wechselrichter-Brückenarme 38, 39, 40 gleicher innerer Struktur gebildet, wobei jeder Wechselrichter-Brückenarm 38, 39, 40 einen mit der positiven Eingangsspannungsschiene 35 verbundenen positiven Eingang 41, 42, 43, einen mit der Mittelpunktsspannungsschiene 36 verbundenen Mittelpunktseingang 44, 45, 46 und einen an die negative Eingangsspannungsschiene 37 gelegten negativen Eingang 47, 48, 49 aufweist, und Wechselspannungsausgänge 50, 51, 52 der Wechselrichter-Brückenarme 38, 39, 40 mit den Wechselspannungsausgangsklemmen 11, 12, 13 des Konvertersystems 1 verbunden sind.

**[0021]** Im Sinne der Kürze sei die Beschreibung der für alle Wechselrichter-Brückenarme 38, 39, 40 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 gleichen inneren Struktur auf den Brückenarm 38 beschränkt. Der Brückenarm 38 wird in bekannter Weise durch Leistungstransistoren 53, 54, 55, 56 mit antiparallelen Freilaufdioden 57, 58, 59, 60 und durch eine obere Mittelpunktdiode 61 und eine untere Mittelpunktdiode 62 gebildet, wobei im oberen Teil 63 des Brückenarmes 38 abzweigend vom positiven Eingang 41 ein oberer Leistungstransistor 53 und ein mittlerer oberer Leistungstransistor 54 in Serienschaltung in Flussrichtung gegen den Wechselspannungsausgang 50 gelegt sind und vom Mittelpunktseingang 44 die obere Mittelpunktdiode 61 in Flussrichtung gegen den, dem oberer Leistungstransistor 53 und dem mittleren oberen Leistungstransistor 54 gemeinsamen Schaltungspunkt 64 gelegt ist und der untere Teil 65 des Brückenarmes 38 durch eine, von der Wechselspannungsausgangsklemme 50 abzweigende Serienschaltung eines mittleren unteren Leistungstransistors 55 und eines untersten Leistungstransistors 56 gebildet wird, welche mit dem zweiten Ende in Flussrichtung an den negativen Eingang 47 gelegt wird, wobei von dem mittleren unteren Leistungstransistor 55 und dem untersten Leistungstransistor 56 gemeinsamen Schaltungspunkt 66 die untere Mittelpunktdiode 62 in Flussrichtung gegen den Mittelpunktseingang 44 geschaltet wird.

**[0022]** Die positiven Ausgangsklemmen 26, 27, 28 der Brückenarme 20, 21, 22 der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe 2 werden mit der positiven Eingangsspannungsschiene 35, die Mittelpunktsausgänge 32, 33, 34 mit der Mittelpunktsspannungsschiene 36 des Dreipunkt-Pulswechselrichters 3 und die negativen Ausgangsklemmen 29, 30, 31 mit der negativen Eingangsspannungsschiene 37 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 verbunden. Weiters werden die Wechselspannungseingänge 23, 24, 25 der Brückenarme 20, 21, 22 mit den Netzphaseneingängen 4, 5, 6 des Konvertersystems 1 verbunden.

**[0023]** Aufgrund der gleichen Topologie der Brückenarme 20, 21, 22 sei deren innere Struktur in Sinne der Kürze nur für den ersten Brückenarm 20 beschrieben: Zwischen dem Wechselspannungseingang 23 und dem Mittelpunktsausgang 32 des ersten Brückenarmes 20 ist eine Einphasendiodenbrücke 67 angeordnet, wobei eine erste Wechselspannungseingangsklemme 68 der Einphasendiodenbrücke 67 mit dem Wechselspannungseingang 23 und eine zweite Wechselspannungseingangsklemme 69 mit dem Mittelpunktsausgang 32 verbunden ist und zwischen einer positiven und einer negativen Gleichspannungsausgangsklemme 70, 71 der Einphasendiodenbrücke 67 ein Leistungstransistor 72 in Flussrichtung angeordnet ist, womit ein, zwischen Wechselspannungseingang 23 und Mittelpunktsausgang 32 liegender Vierquadrantenschalter 73 gebildet ist, und durch Durchschalten des Leistungstransistors 72 eine bidirektionale Verbindung zwischen Netzphaseneingang 4 und Mittelpunktsausgang 32 herstellbar ist. Weiters wird von der positiven Gleichspannungsklemme 70 der Einphasendiodenbrücke 67 eine obere Diode 74 in Flussrichtung gegen den positiven Ausgang 26 des Brückenarmes 20 gelegt und eine untere Diode 75 vom negativen Ausgangs 29 gegen die negative Gleichspannungsklemme 71 der Einphasendiodenbrücke 67 geschaltet.

**[0024]** Vorteilhaft ist dann die Sperrspannungsbeanspruchung sämtlicher Leistungshalbleiter des Vierquadrantenschalters 73 sowie der oberen und unteren Diode 74 und 75 durch die, zwischen der positiven und mittleren Eingangsspannungsschiene 35, 36 auftretende obere Eingangsteilspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 bzw. durch die zwischen mittlerer Eingangsspannungsschiene 35 und negativer Eingangsspannungsschiene 37 auftretende untere Eingangsteilspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 limitiert, da beispielsweise – mit Bezug auf den ersten Brückenarm 20 – bei Leiten der oberen Diode 74 des Brückenarmes 20 und damit einseitiger Verbindung des Leistungstransistors 72 mit der positiven Eingangsspannungsschiene 35 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 über die, in Flussrichtung zur Mittelpunktseingangsschiene 36 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 führende Diode 76 der Einphasendiodenbrücke 67 bei gedachtem Stromfluss über den Leistungstransistor 72, wie er bei Überschreiten der Sperr-

spannungsfestigkeit des Transistors auftreten würde, eine Klemmung der Sperrspannung auf den Wert der oberen Eingangsteilspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 gegeben ist.

**[0025]** Schliesslich ist abzweigend von den Netzphaseneingängen 4, 5, 6 des Konvertersystems 1 eine Sternschaltung 77 von Filterkondensatoren 78, 79, 80 mit Sternpunkt 81 gelegt, um die schaltfrequenten Oberschwingungen der pulsförmigen Eingangsphasenströme der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 2 aufzunehmen und so den Wechsellspannungsquellen mit Netzphasenspannungen 7, 8, 9 einen kontinuierlichen Strom zu entnehmen. Alternativ können die Filterkondensatoren auch in Dreieck verschaltet werden.

**[0026]** In Fig. 2 ist der Zeitverlauf der an die Netzphaseneingänge 4, 5, 6 des Dreiphasen-Dreipunkt-AC/AC-Konvertersystems 1 gelegten symmetrischen dreiphasigen Netzwechsellspannungen 7, 8, 9 bezogen auf den Netzsternpunkt 10 für eine Netzperiode gezeigt, wobei die bei erfindungsgemässer Steuerung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 2 auftretende Spannung 82 der positiven Eingangsspannungsschiene 35 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 durch Strichlierung, die Spannung 83 der Mittelpunktsspannungsschiene 36 durch Punktlierung und die Spannung 84 der negativen Eingangsspannungsschiene 37 durch Strichpunktlierung hervorgehoben ist.

**[0027]** Für die weitere Beschreibung der erfindungsgemässen Steuerung und der Funktion des Dreiphasen-Dreipunkt-AC/AC-Konvertersystems werden 60° breite Sektoren 85, 86, 87 der Netzperiode betrachtet, wobei in Sektor 85 und 86 die Netzphasenspannung 7 den höchsten positiven Momentanwert, und in den Sektoren 86, 87 die Netzphasenspannung 9 den höchsten negativen Momentanwert aufweist und demgemäss Netzphasenspannung 8 in Sektor 86 den betragsmässig kleinsten Spannungsmomentanwert aller Phasen zeigt.

**[0028]** Gemäss der inneren Struktur der Brückenarme 20, 21, 22 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 2 wird bei Anlegen der Netzphasenspannungen 7, 8, 9 an die Netzphaseneingänge 4, 5, 6 in Sektor 86 das Potential der positiven Eingangsspannungsschiene 35 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 durch die am stärksten positive Netzphasenspannung 7 und das Potential der negativen Eingangsspannungsschiene 37 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 durch die am stärksten negative Netzphasenspannung 9 bestimmt. Wird nun erfindungsgemäss der Vierquadrantenschalter des dritten, einseitig an der mittleren Netzphasenspannung 8 liegenden Brückenarmes 21 durchgeschaltet, treten zwischen der positiven Eingangsspannungsschiene 35 und der Mittelpunktsspannungsschiene 36 und zwischen der Mittelpunktsspannungsschiene 36 und der negativen Eingangsspannungsschiene 37 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 zwei Netzaussenleiterspannungen auf, d.h. die obere und die untere Eingangsteilspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 werden durch, positive Momentanwerte aufweisende Netzaussenleiterspannungen gebildet und es kann die Ausgangsspannung der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 bzw. des Dreiphasen-Dreipunkt-AC/AC-Konverters 1 über Dreipunkt-Pulsweitenmodulation oder Raumzeigermodulation erzeugt werden, wobei der unterschiedliche Momentanwert und die netzfrequente Änderung der Eingangsteilspannungen in bekannter Weise zu berücksichtigen sind.

**[0029]** Innerhalb einer Netzperiode bleibt so eine Netzphasenspannung, z.B. Netzphasenspannung 7 für 120°; d.h. in Sektor 85 über die obere Diode 74 mit der der positiven Eingangsspannungsschiene 35 des Dreipunkt-Pulswechselrichters 3 verbunden, nachfolgend wird die Netzphasenspannung 7 durch Durchschalten des Vierquadrantenschalters 73 des zugehörigen Brückenarmes 20 für ein, symmetrisch um den Nulldurchgang der Netzphasenspannung 7 zu negativen Spannungswerten liegendes 60° breites Intervall, d.h. für Sektor 86 mit der Mittelpunktsspannungsschiene 36 des Dreiphasen-Pulswechselrichters 3 verbunden. Schliesslich wird die Netzphasenspannung, z.B. 9 nach Abschalten des Vierquadrantenschalters für 120°; d.h. in Sektor 86 und 87 über die untere Diode mit der negativen Eingangsspannungsschiene 37 des Dreipunkt-Pulswechselrichters 3 verbunden, bis sich die Phasenspannung von negativen Werten kommend dem nächsten Nulldurchgang nähert und der Vierquadrantenschalter wieder in einem 60° breiten, symmetrisch um den Nulldurchgang zu positiven Spannungswerten liegenden Intervall durchgeschaltet wird. Die Änderung des Schaltzustandes des Vierquadrantenschalters wird dabei vorteilhaft in einem Freilaufintervall der Pulswechselrichterstufe 3, in dem sich entweder die oberen und die mittleren oberen Leistungstransistoren, oder die mittleren oberen und mittleren unteren Leistungstransistoren, oder die mittleren unteren und die unteren Leistungstransistoren sämtlicher Brückenarme 38, 39, 40 im Einschaltzustand befinden, vorgenommen und kann dann stromlos, d.h. ohne Schaltverluste, erfolgen. Die erfindungsgemässe Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 2 weist dann nur Leitverluste, jedoch keine Schaltverluste auf.

**[0030]** Durch die Pulsweitenmodulation der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 3 wird ein, nach lokaler Mittelung über eine Taktperiode sinusförmiges, symmetrisches Dreiphasen-Spannungssystem an den Wechsellspannungsausgangsklemmen 11, 12, 13 des Konvertersystems 1 gebildet. Für eine symmetrische induktive Last 14, z.B. eine Drehfeldmaschine liegt dann ein zeitlich konstanter Leistungsfluss vor, der netzseitig nach Filterung schaltfrequenten Oberschwingungen der Eingangsströme der Brückenarme 20, 21, 22 der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe 2 über die Sternschaltung 77 von Filterkondensatoren 78, 79, 80 zur Ausbildung eines vorteilhaft sinusförmigen, den Netzphasenspannungen 7, 8, 9 entnommenen Stromes führt, da das Netz aufgrund des Fehlens von Energiespeichern in der Konverterstruktur 1 stets (mit Ausnahme schaltfrequenten Leistungsspendelungen) den Leistungsbedarf der Last decken muss.

## Patentansprüche

1. Konvertersystem (1) zur direkten unidirektionalen Dreipunkt-Konversion eines dreiphasigen Spannungssystems mit Netzphasenspannungen (7, 8, 9) in ein pulsbreitenmoduliertes Dreiphasenspannungssystem, welche eine Dreipunkt-

Pulswechselrichterstufe (3) aufweist, die durch eine unidirektionale Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe (2) aus einem Dreiphasennetz gespeist ist, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe (2) durch drei Brückenarme (20, 21, 22) gleicher Struktur gebildet ist, und jeder Brückenarm (20, 21, 22) einen, einer Netzphasenspannung (7, 8, 9) zugeordneten Wechselspannungseingang (23, 24, 25), einen positiven Ausgang (26, 27, 28), einen negativen Ausgang (29, 30, 31) und einen Mittelpunktsausgang (32, 33, 34) aufweist, und
  - sämtliche positiven Ausgänge (26, 27, 28) der Brückenarme (20, 21, 22) an eine positive Eingangsspannungsschiene (35) und sämtliche negativen Ausgänge (29, 30, 31) an eine negative Eingangsspannungsschiene (37) des Dreipunkt-Pulswechselrichters (3) gelegt sind, und die Mittelpunktsausgänge (32, 33, 34) der Brückenarme (20, 21, 22) an eine Mittelpunktsspannungsschiene (36) des Dreipunkt-Pulswechselrichters (3) gelegt sind, und
  - die Netzphasenspannungen (7, 8, 9) an Netzphaseneingänge (4, 5, 6) des Konvertersystems (1) angelegt sind, welche mit den Wechselspannungseingängen (23, 24, 25) der Brückenarme (20, 21, 22) verbunden sind,
  - wobei die Brückenarme (20, 21, 22) gleiche innere Struktur aufweisen und in einem Brückenarm jeweils
  - aktiv, d.h. durch Einschalten eines, beide Stromrichtungen freigebenden Vierquadrantenschalters (73) eine bidirektionale Verbindung zwischen dem Netzphaseneingang (4, 5, 6) und dem Mittelpunktsausgang (32, 33, 34) herstellbar ist, und
  - die Verbindung eines Netzphaseneingangs (4, 5, 6) mit dem zugeordneten positiven Ausgang (26, 27, 28) und mit dem zugeordneten negativen Ausgang (29, 30, 31) über Dioden ausgeführt ist, wobei eine oder mehrere obere Dioden (74) in Flussrichtung vom Netzphaseneingang (4, 5, 6) gegen den zugeordneten positiven Ausgang (26, 27, 28) und eine oder mehrere untere Dioden (75) in Flussrichtung vom negativen Ausgang (29, 30, 31) in Flussrichtung gegen den zugehörigen Netzphaseneingang (4, 5, 6) gelegt sind.
2. Konvertersystem (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass in einem Brückenarm (20, 21, 22) jeweils
- zwischen dem Wechselspannungseingang (23, 24, 25) und dem Mittelpunktsausgang (32, 33, 34) eine Einphasendiodenbrücke (67) gelegt ist, wobei
  - eine erste Wechselspannungseingangsklemme (68) der Einphasendiodenbrücke (67) mit dem Wechselspannungseingang (23, 24, 25) des Brückenarmes und
  - eine zweite Wechselspannungseingangsklemme (69) der Einphasendiodenbrücke (67) mit dem Mittelpunktsausgang (32, 33, 34) des Brückenarmes verbunden ist, und
  - zwischen einer positiven Gleichspannungsklemme (70) und einer negativen Gleichspannungsklemme (71) der Einphasendiodenbrücke (67) ein Leistungstransistor (72) in Flussrichtung angeordnet ist,
  - womit ein, zwischen Wechselspannungseingang (23, 24, 25) und Mittelpunktsausgang (32, 33, 34) liegender Vierquadrantenschalter (73) gebildet ist, und wobei
  - die obere Diode (74) von der positiven Gleichspannungsklemme (70) der Einphasendiodenbrücke (67) in Flussrichtung gegen den positiven Ausgang (26, 27, 28) gelegt und die untere Diode (75) vom negativen Ausgang (29, 30, 31) gegen die negative Gleichspannungsklemme (71) der Einphasendiodenbrücke (67) geschaltet ist.
3. Verfahren zum Betrieb eines Konvertersystems (1) nach Anspruch 1, wobei im Konvertersystem (1) zwischen der positiven Eingangsspannungsschiene (35) und der Mittelpunktsspannungsschiene (36) und der zwischen der Mittelpunktsspannungsschiene (36) und der negativen Eingangsspannungsschiene (37) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) Überspannungsbegrenzungselemente angeordnet sind, und abzweigend von den Netzphaseneingängen (4, 5, 6) des Dreipunkt-Pulsleichrichtersystems eine Sternschaltung (77) oder Dreieckschaltung von Filterkondensatoren (78, 79, 80) gelegt ist, um die schaltfrequenten Oberschwingungen der pulsartigen Eingangsphasenströme der Dreipunkt-Pulsleichrichterstufe (2) aufzunehmen und so Netzphasenspannungsquellen (7, 8, 9) einen kontinuierlichen Strom zu entnehmen, und in dem Verfahren
- das Potential der positiven Eingangsspannungsschiene (35) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) durch die jeweils am stärksten positive Netzphasenspannung und
  - das Potential der negativen Eingangsspannungsschiene (37) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) durch die jeweils am stärksten negative Netzphasenspannung bestimmt wird und
  - der Vierquadrantenschalter (73) des dritten, die Netzphasenspannung mittleren Wertes am Wechselspannungseingang aufweisenden Brückenarmes durchgeschaltet wird und
  - so die jeweils mittlere Netzphasenspannung an die Mittelpunktsspannungsschiene (36) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) durchgeschaltet wird, und so innerhalb einer Netzperiode jeweils eine Netzphase
  - jeweils für 120° dieser Netzphase über die eine oder mehreren oberen Dioden (74) eines Brückenarmes mit der positiven Eingangsspannungsschiene (35) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) verbunden bleibt und
  - nachfolgend durch Durchschalten des Vierquadrantenschalters (73) für ein, symmetrisch um den Nulldurchgang der Netzphasenspannung zu negativen Spannungswerten liegendes 60° breites Intervall dieser Netzphase mit der Mittelpunktsspannungsschiene (36) der Dreiphasen-Pulswechselrichterstufe (3) verbunden ist und
  - schliesslich nach Abschalten des Vierquadrantenschalters (73) für weitere 120° dieser Netzphase über die eine oder mehreren unteren Dioden (75) des Brückenarmes mit der negativen Eingangsspannungsschiene (37) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) verbunden ist, bis sich die Netzphasenspannung von negativen Werten kommend dem nächsten Nulldurchgang nähert und

- der Vierquadrantenschalter (73) des Brückenweiges wieder in einem  $60^\circ$  breiten, symmetrisch um den Nulldurchgang der Netzphasenspannung zu positiven Spannungswerten liegenden Intervall dieser Netzphase durchgeschaltet wird,
  - und die Ausgangsspannung des Dreipunkt-Pulswechselrichters über Dreipunkt-Pulsweitenmodulation oder Raumzeigermodulation erzeugt wird, wobei der unterschiedliche Wert und die netzfrequente Änderung der oberen und unteren Eingangsteilspannungen, welche zwischen der positiven Eingangsspannungsschiene (35) und der Mittelpunktsspannungsschiene (36) und der zwischen der Mittelpunktsspannungsschiene (36) und der negativen Eingangsspannungsschiene (37) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) auftreten und abschnittsweise dem Verlauf einer Netzaussenleiterspannung folgenden, berücksichtigt werden, und
  - die Änderung des Schaltzustandes des Vierquadrantenschalters (73) eines Brückenweiges (20, 21, 22) der Dreipunkt-Pulsrichterstufe (2) in einem Freilaufintervall der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3), also stromlos vorgenommen wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) in den Wechselrichter-Brückenweigen (38, 39, 40) jeweils
- in einem oberen Teil (63) des Wechselrichter-Brückenweiges (38, 39, 40) abzweigend vom positiven Eingang (41) ein oberster Leistungstransistor (53) und ein mittlerer oberer Leistungstransistor (54) in Serienschaltung in Flussrichtung an einen Wechselspannungsausgang (50) gelegt sind, und
  - in einem unteren Teil (65) des Wechselrichter-Brückenweiges (38, 39, 40) abzweigend vom Wechselspannungsausgang (50) ein mittlerer unterer Leistungstransistor (55) und ein unterster Leistungstransistor (56) in Serienschaltung in Flussrichtung an den negativen Eingang (47) gelegt sind, und ein Betrieb der Dreiphasenlast (14) mit Netzfrequenz dadurch erreicht wird, dass
  - bei unveränderter Steuerung der Dreipunkt-Pulsrichterstufe (2) je ein Wechselrichter-Brückenweig (38, 39, 40) der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) steuerungstechnisch einem Brückenweig (20, 21, 22) der Dreipunkt-Pulsrichterstufe (2) zugeordnet wird, und so
  - innerhalb der Abschnitte der Netzperiode, in denen der Vierquadrantenschalter (73) eines Brückenweiges (20, 21, 22) der Dreipunkt-Pulsrichterstufe (2) durchgeschaltet ist, der mittlere obere und der mittlere untere Leistungstransistor (54, 55) des zugeordneten Wechselrichter-Brückenweiges (38, 39, 40) eingeschaltet wird, und
  - bei Leiten der oberen Diode (74) eines Brückenweiges der Dreipunkt-Pulsrichterstufe (2) der oberste und der mittlere obere Leistungstransistor (53, 54) des zugeordneten Wechselrichter-Brückenweiges (38, 39, 40) durchgeschaltet werden, und
  - bei Leiten der unteren Diode (75) eines Brückenweiges der Dreipunkt-Pulsrichterstufe (2) der unterste und der mittlere untere Leistungstransistor (55, 56) des zugeordneten Wechselrichter-Brückenweiges (38, 39, 40) durchgeschaltet werden,
  - und die Netzphasenspannungen (7, 8, 9) somit über die positive Eingangsspannungsschiene (35) und die negative Eingangsspannungsschiene (37) und die Mittelpunktsspannungsschiene (36) an Wechselspannungsausgangsklemmen (11, 12, 13) des Konvertersystems (1) durchgeschaltet werden, wobei der Schaltzustand der Dreipunkt-Pulsrichterstufe (2) und damit auch der Dreipunkt-Pulswechselrichterstufe (3) über jeweils  $60^\circ$  breite Abschnitte der Netzperiode unverändert bleibt.



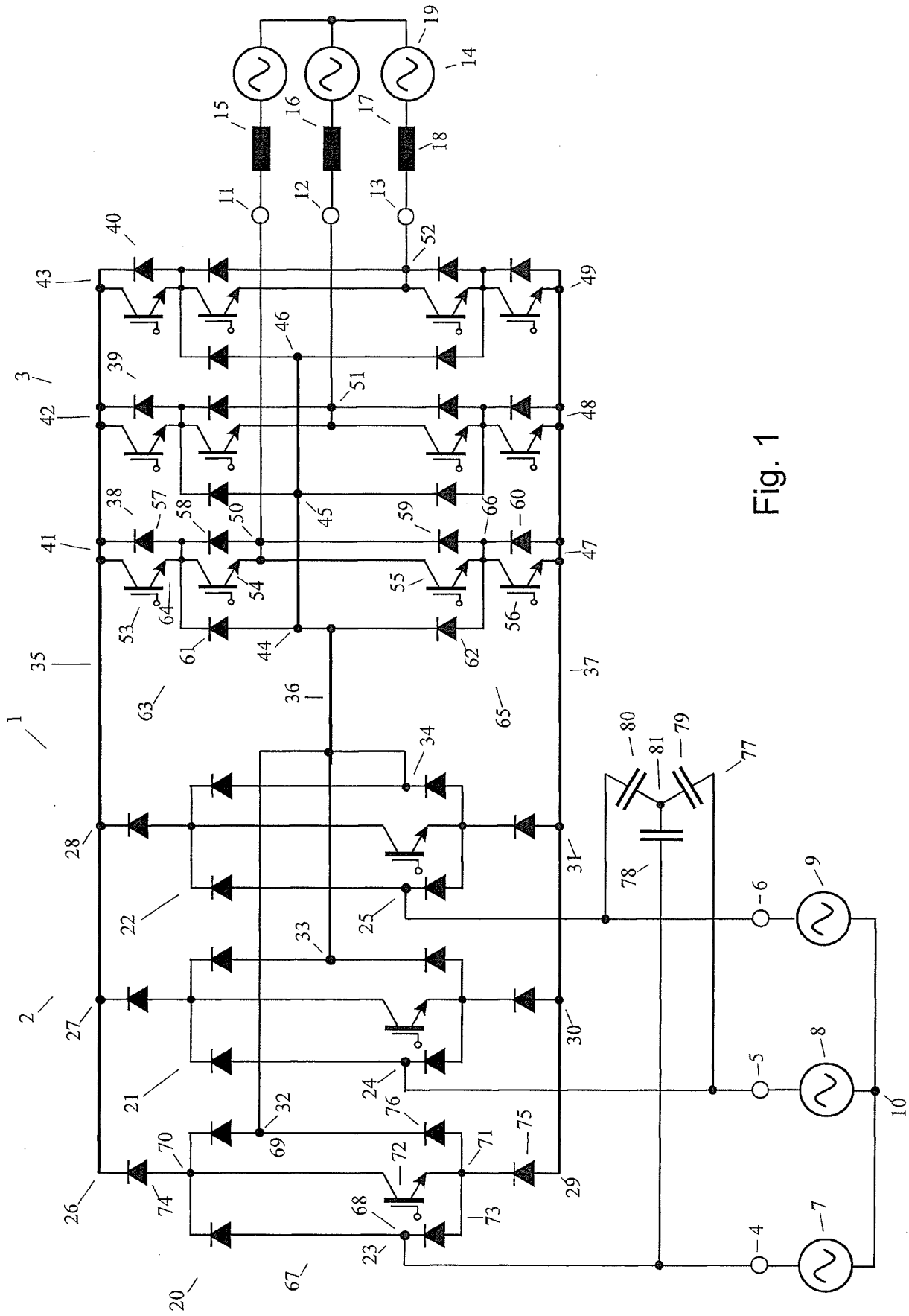


Fig. 1

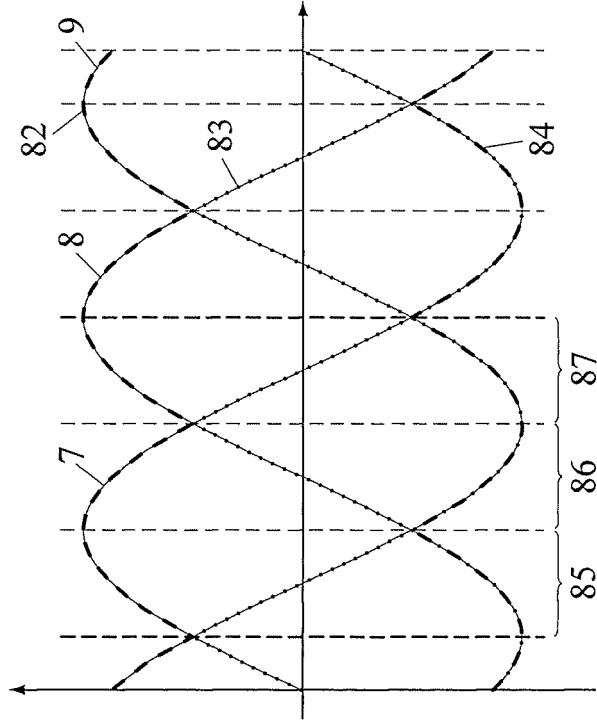


Fig. 2