

SCHWEIZERISCHE Eidgenossenschaft
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH

695 809 A5

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **H02K** 1/00 (2006.01)
H02K 3/28 (2006.01)
H02K 19/10 (2006.01)
H02K 15/04 (2006.01)

(12) **PATENT SCHRIFT**

(21) Gesuchsnummer: 01786/01

(22) Anmeldedatum: 28.09.2001

(30) Priorität: 28.09.2000 US 09/671,124

(24) Patent erteilt: 31.08.2006

(45) Patentschrift veröffentlicht: 31.08.2006

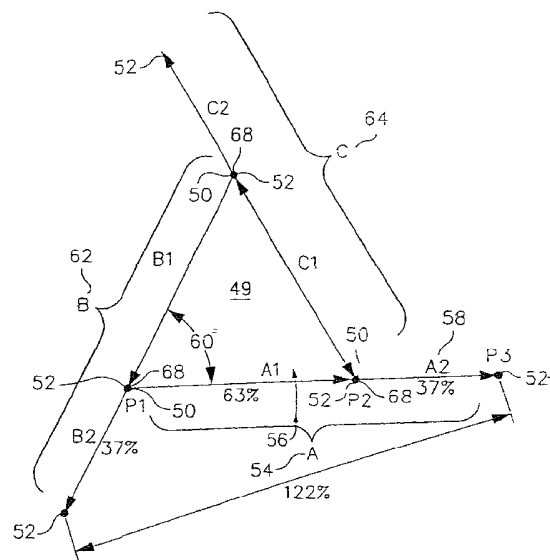
(73) Inhaber:
General Electric Company, 1 River Road
Schenectady, NY 12345 (US)

(72) Erfinder:
James Michael Fogarty, 12309 Schenectady/NY (US)

(74) Vertreter:
Ritscher & Partner AG, Forchstrasse 452, Postfach 372
8029 Zürich (CH)

(54) **Mehrphasen-Elektrogeneratoren mit kombinierter Delta-Ypsilon Ankerwicklung.**

(57) Der vorliegende Mehrphasen-Elektrogenerator mit einer festen Ausgangsspannung ist auf fast jedes Spannungsniveau innerhalb eines gewissen Spannungsbereichs konfigurierbar. Die Ankerwicklung des Generators wird dazu in einer Hybrid- Δ -Y-Topologie (49) angeordnet. Jede Phasenwicklung (54) des Ankers ist in erste und zweite Teilbereiche (56, 58) der Phasenwicklung unterteilt. Die ersten Teilbereiche (56, 62, 64) von jeder der Phasenwicklungen sind zueinander in einer Δ -Topologie angeordnet. Jeder der zweiten Teilbereiche von jeder der Phasenwicklungen ist mit einem Paar der ersten Wicklungsteilbereiche in einer Y-Topologie angeordnet. Jeder der zweiten Teilbereiche (58) ist an einem Ende mit einem Knotenpunkt (68) einer Δ -Topologie verbunden, mit welchem zwei der ersten Wicklungsteilbereiche verbunden sind. Die anderen Enden der zweiten Teilbereiche jeder Phasenwicklung sind mit den Ausgangsanschlüssen des Ankers verbunden, um eine Pol-zu-Pol-Ausgangsspannung zu schaffen. Die Pol-zu-Pol-Ausgangsspannung (30) des Generators ist von der Spannung über jeder Wicklungsphase und dem Anteil jeder Phasenwicklung, welche in einer Δ -Topologie liegt, abhängig.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft Mehrphasen-Elektrogeneratoren mit Ankerwicklungen, welche in verschiedenen Konfigurationen miteinander verbunden sind, um gewünschte Ausgangsspannungsniveaus zu erzeugen. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Spannungsfeineinstellung einer festen Ausgangsspannung eines Mehrphasen-Elektrogenerators für Kraftwerke und Industriebetriebe.

[0002] Bekannte Elektrogeneratoren für Kraftwerke und Industriebetriebe erzeugen normalerweise Spannungen zwischen 10.5 Kilovolt (kV) und 28 kV. Die von diesen Generatoren erzeugten Spannungsniveaus werden mit Hilfe von Transformatoren auf für die Übertragungsleitungen geeignete Spannungsniveaus im Bereich von 40 kV bis 400 kV hochtransformiert. Zur Zeit werden Hochspannungsgeneratoren, welche Spannungen im Bereich dieser Übertragungsleitungsspannungen direkt erzeugen, entwickelt und verkauft. Mit diesen Hochspannungsgeneratoren kann auf Aufwärtstransformatoren und andere Leistungsverteilungskomponenten verzichtet werden, mit welchen diese Hochspannungsgeneratoren normalerweise verbunden sind, um die Niederspannungen, welche von konventionellen Generatoren erzeugt werden, auf Übertragungsleitungsspannungen konvertieren zu können. Zusätzlich erzeugen Hochspannungsgeneratoren einen besseren Wirkungsgrad, indem Verluste vermieden werden welche sonst im Aufwärtstransformator entstehen.

[0003] Es besteht darüber hinaus das Bedürfnis nach Kraftwerksgeneratoren, welche elektrische Leistung mit unterschiedlichen fixen Spannungen erzeugen. Jedes einzelne Kraftwerk muss eine elektrische Leistung mit einem oder mehreren fixen Spannungsniveaus erzeugen, um die Anforderungen der jeweiligen Übertragungsleitungen für das einzelne Werk zu erfüllen. Diese Spannungsniveaus werden durch die Erfordernisse der jeweiligen Übertragungseinrichtungen und der landesüblichen Verbraucherspannungen vorgegeben. In den USA liegen die typischen Spannungsniveaus der Übertragungsleitungen bei 230 kV, 345 kV und 765 kV. Einige andere Länder bevorzugen es, die Spannungen der Übertragungsleitungen auf 400 kV zu setzen. In Japan liegen die Spannungen der Übertragungsleitungen bei bis zu 1000 kV. Jedes Elektrizitätswerk erzeugt elektrische Energie auf einem Übertragungsleitungsspannungsniveau (und unter Umständen auf unterschiedlichen Niveaus), welches für die Verwendung im jeweiligen, am Werk angeschlossenen Stromverteilernetz geeignet ist.

[0004] Elektrizität erzeugende Anlagen erzeugen Elektrizität, die auf einem bestimmten Spannungsniveau liegt oder auf dieses Niveau gebracht werden kann, wie es von einem jeweiligen Stromverbraucher benötigt wird. Elektrizität erzeugende Anlagen sind ausserordentlich grosse industrielle Vorrichtungen, welche gewöhnlich weltweit verkauft werden. Es ist wünschenswert, dass diese Elektrizität erzeugenden Anlagen konvertierbar sind, um die spezifischen Stromerzeugungsvorschriften zu erfüllen, wie beispielsweise die Übertragungsleitungs-Spannungsniveaus für die weltweit verschiedenen Elektrizitätswerke und Industriebetriebe. Insbesondere ist es wünschenswert, dass die stromerzeugenden Anlagen derart ausgelegt sind, dass diese für die USA Übertragungsspannungen von 230 kV, 345 kV und/oder 765 kV erzeugen und für andere Länder Übertragungsspannungen, wie sie dort verwendet werden, erzeugen können.

[0005] Generatoren waren in der Vergangenheit nicht so ausgelegt, dass sie elektrische Energie mit zahlreichen spezifischen Spannungsniveaus für Stromübertragungsleitungen gemäss den unterschiedlichen Anforderungen in USA und der Welt erzeugen. Aufwärtstransformatoren konvertieren die Ausgangsspannungsniveaus der Generatoren auf die gewünschten Übertragungsleitungsspannungsniveaus. Wegen dieser Aufwärtstransformatoren ist es typischerweise nicht erforderlich, dass die Generatoren eine Vielzahl von Ausgangsspannungen erzeugen, welche den Erfordernissen an das Spannungsniveau jedes Stromnetzes entsprechen. Der Generator braucht deshalb nur eine vorgegebene Spannung zu erzeugen. Standardspannungen für konventionelle (Niederspannung) Generatoren liegen bei 13.8 kV oder 18 kV. Typischerweise wird die Generatorspannung bei einem nominalen Ausgangsspannungswert eingestellt, z.B. 18 kV. Der aktuelle Ausgangsspannungswert kann dann innerhalb eines schmalen Spannungsbereiches, z.B. $\pm 5\%$ um den Nominalwert, variieren. Der Bereich, um die Ausgangsspannung des Generators einzustellen ist klein, da dieser durch die fest vorgegebene Wicklungsart und den magnetischen Aufbau des Generators eingeschränkt ist. Darüber hinaus sind die Ausgangsspannungsniveaus konventioneller Generatoren zu tief, um den Stromübertragungsleitungen zugeführt zu werden. Die Ausgangsspannung des Generators wird mit Hilfe von Transformatoren auf die Übertragungsleitungsspannung konvertiert. Die von konventionellen Niederspannungsgeneratoren erzeugten Spannungen werden mit Hilfe von Generatöraufwärtstransformatoren (GSU) erhöht, um deren Spannung mit der für die Stromübertragungsleitungen erforderlichen Spannung in Einklang zu bringen. Die Hersteller haben GSU-Transformatoren derart ausgebildet, dass diese jede vorgegebene Generator-Nennleistung auf eine den Erfordernissen der jeweiligen Stromübertragungsleitungsspannung entsprechende Leistung transformieren können. GSU-Transformatorhersteller waren in der Lage, eine Auswahl von Transformatoren anzubieten, welche an die jeweiligen Generatoren und Übertragungsleitungsspannungen angepasst waren, und deren Kosten geringer waren, als der Preis, welcher ein Generatorhersteller für den Verkauf einer Auswahl Generatoren mit einem breiten Ausgangsspannungsbereich hätte berechnen müssen. Dementsprechend lag es in der Verantwortlichkeit der Hersteller von GSU-Transformatoren (und nicht in derjenigen der Generatorhersteller), die notwendige Auswahl an vorgegebenen Spannungsniveaus für die Verbindung von Generator mit besonderen Anwendungen, insbesondere Übertragungsleitungen, bereitzustellen.

[0006] Es zeichnet sich ab, dass das offensive Marketing der Hochspannungsgeneratoren-Hersteller dazu führt, dass die Verwendung von Generatöraufwärtstransformatoren (GSU's) wesentlich reduziert und möglicherweise eliminiert wird. Ohne die GSU's müssen die Generatoren die verschiedenen festen Ausgangsspannungen, welche den verschiedenen

Anforderungen für die Übertragungsleitungen und andere Generatoranwendungen, entsprechen müssen, selber erzeugen. Dementsprechend besteht das Bedürfnis, Generatoren zu schaffen, welche Ausgangsspannungsniveaus haben, die konvertiert werden können, um die verschiedenen vorgegebenen Anforderungen an die Spannungsniveaus der elektrischen Übertragungsleitungen und anderen Generatoranwendungen, erfüllen.

[0007] Bis anhin haben die Generatorhersteller die elektromagnetischen und mechanischen Teile eines Generators neu gestaltet, wenn sie mit neuen Anforderungen für die Ausgangsspannung konfrontiert waren. Zum Beispiel konfigurierten die Hersteller die Anzahl Wicklungsschleifen in den Ankerspulen neu, änderten die Spulen selbst und/oder änderten die Anzahl Statorschlitze im Generator. Eine derartige Generator-Neugestaltung erfordert typischerweise Modifikationen, welche die gesamte Charakteristik der Maschine betreffen, einschliesslich der elektrischen und mechanischen Eigenschaften. Eine derartige Neugestaltung von Generatoren ist eine kostspielige, langfristige und ökonomisch riskante Angelegenheit. Das Konstruieren von neuen Generatoren bzw. die Umgestaltung bestehender Generatoren in einer Art und Weise, um jede der Anforderungen für die verschiedenen Übertragungsspannungsniveaus gerecht zu werden, wäre eine ausserordentlich kostspielige, belastende und zeitraubende Angelegenheit für Generatorhersteller.

[0008] Es besteht daher ein Bedürfnis für Generatoren, welche in einfacher Weise den verschiedenen vorgegebenen Erfordernissen für die Ausgangsspannung genügen, ohne die gesamten elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Generators umzuändern. Derartige Generatoren würden es einem Hersteller erlauben, wenige Standard-Generatormodelle herzustellen und jeden einzelnen Generator an die besonderen Bedürfnisse der Kunden anzupassen, ohne den Generator wesentlich umbauen zu müssen. Die sich durch eine Reduktion der Auswahl von Generatormodellen ergebende Wirtschaftlichkeit ist erheblich. Diese Vorteile umfassen eine verringerte Konstruktionszeit, eine verringerte Herstellungszeit, weniger Produktionslinien, eine Verminderung der Herstellung von Ersatzteilen, und eine Verringerung der Notwendigkeit zum Unterhalt und Training von Servicepersonal für eine Vielzahl von Generatoren.

[0009] Es ist bekannt, die Ankerwicklungen eines Generators in Δ - oder Y-Topologie miteinander zu verbinden, um eine begrenzte Auswahl vorgegebener Ausgangsspannungen zu schaffen. Eine konventionelle Y-Topologie für eine Wicklungsanordnung ist in Fig. 2 dargestellt. Eine konventionelle Δ -Topologie für eine Wicklungsanordnung ist in Fig. 3 und 4 dargestellt. Diese Wicklungstopologien erlauben es einem Generator, mit wenigen diskreten Spannungsniveaus zu arbeiten. So kann beispielsweise ein 3-Phasen-Generator in einer Δ -Konfiguration Spannungen auf einem 100%-Phasenwicklungsspannungsniveau erzeugen und in einer Y-Konfiguration Spannungen auf einem 173%-Phasenwicklungsspannungsniveau erzeugen.

[0010] Δ - und Y-Topologien können jeweils mit parallel und in Serie geschalteten Wicklungsanordnungen kombiniert sein, wie aus den Fig. 5 und 6 ersichtlich, um Spannungsniveaustufen von 100% (Δ), 173% (Y), 200% (Δ), 300% (Δ), 346% (Y) usw. zu erzeugen. Diese Spannungsniveaustufen weisen ziemlich grosse Wertunterschiede auf. Die bekannten Δ - und Y-Konfigurationen lassen keine Spannungsauswahl zu, welche nicht einer dieser Spannungsniveaustufen entspricht. Konventionelle Δ -, Y- und kombinierte Δ -Y-Wicklungstopologien erlauben keine andere Auswahl für die Generatorausgangsspannung. Damit besteht eine Schwierigkeit bei diesen bekannten Ankertopologien darin, dass diese keine Feinverteilung für die Auswahl der Ausgangsspannung erlauben und darauf begrenzt sind, die Spannung in vorgegebenen groben Stufen zu variieren.

[0011] Diese groben Spannungsstufen, welche durch diese Δ - und Y-Topologien erzeugt werden, erlauben es nicht, einen Generator so auszulegen, dass er die Anforderungen an ein Ausgangsspannungsniveau erfüllt, wenn dieses nicht mit einem der Niveaus übereinstimmt, welche von herkömmlichen Δ - und Y-Topologien erzeugt werden. Es besteht das Bedürfnis für eine Feineinstellung des Ausgangsspannungsniveaus für Kraftwerk- oder Industriegeneratoren. Eine Feineinstellung der Spannungsniveaus würde es erlauben, die Generatoren so zu konfigurieren, dass diese eine grosse Vielzahl von Anforderungen an verschiedene Spannungsniveaus erfüllen, wie zum Beispiel solche an die Niveaus für Übertragungsleitungen.

[0012] Somit ist es die technische Aufgabe Mehrphasen-Elektrogeneratoren mit Feineinstellung für das Ausgangsspannungsniveau zu bieten. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch einen Generator nach einem der Ansprüche 1 bis 7 gelöst. Ein solcher Generator kann derart konfiguriert werden, dass er ein vorbestimmtes Ausgangsspannungsniveau, im Wesentlichen bei jedem Spannungsniveau innerhalb eines weiten Bereiches von verfügbaren Spannungen, erzeugt. Das Spannungsniveau des Generators wird durch eine Verbindungsanordnung der Endschleifen der Ankerwicklungen des Generators bestimmt. Wenn die Verbindungen der Ankerwicklungen einmal festgelegt worden sind, erzeugt der Generator eine festgelegte Phasenspannung, welche konstant bleibt.

[0013] Die Spannungsfeineinstellung wird durch eine Vielzahl wählbarer Verbindungen zwischen den Wicklungsschleifen des Generatorankers ermöglicht. Diese Verbindungen zwischen den Ankerwicklungen sind verhältnismässig einfach zu konfigurieren, weil diese im Wesentlichen ausserhalb der Hauptkomponenten des Generators liegen, und keine interne Umordnung des Generators erfordern. Werden die Ankerwicklungsschleifen in der richtigen Weise miteinander verbunden, kann im Wesentlichen jedes gewünschte Ausgangsspannungsniveau innerhalb eines gewissen Bereichs verfügbarer Spannungen von diesem Generator erzeugt werden. Die Möglichkeit, durch die Herstellung von Ankerwicklungsschleifen-Verbindungen irgendein Ausgangsspannungsniveau auszuwählen, führt zu einem ökonomischen Verfahren, um Kraftwerk- und Industriegeneratoren mit spezifischen Spannungsniveau-Anforderungen anzubieten.

[0014] Der vorliegende, konfigurierbare Generator erlaubt es dem Hersteller, einen Standardgenerator mit gleichbleibenden Anordnungen für die Statorkerne, Schlitze, Wicklungen und anderen elektromagnetischen Komponenten herzustellen. Dieser Standardgenerator ist derart konfigurierbar, dass damit eine fest Ausgangsspannung aus einem weiten Bereich von verfügbaren Spannungen erzeugt werden kann. Wegen der Methode, mit welcher Verbindungen zwischen Wicklungen konfiguriert werden, kann im Wesentlichen jede Spannung in einem vorgegebenen Bereich ausgewählt werden. Diese Methode erlaubt es dem Kunden, kleine und kleinste Spannungsabstufungen im Bereich von verfügbaren Spannungen auszuwählen. Demgemäss, kann ein Generatorhersteller jeden Generator den besonderen Kundenanforderungen bezüglich Spannungsausgangsniveau anpassen. Der Hersteller kann jeden Generator derart anpassen, dass dieser den kunden-spezifischen Spannungsanforderungen genügt, indem die Verbindungen zwischen den Wicklungsschleifen entsprechend konfiguriert werden. Dem Hersteller werden damit die Kosten für einen wesentlichen Umbau oder eine Umkonfiguration der internen Arbeitskomponenten des Generators erspart.

- Fig. 1 zeigt schematisch einen Generator im Querschnitt mit einem Stator, Wicklungen und Wicklungsschleifen;
- Fig. 2 ist eine schematische Darstellung einer 3-Phasen-Wicklung mit vier parallelen Kreisen in einer konventionellen Wicklungs-Y-Topologie;
- Fig. 3 ist eine schematische Darstellung einer 3-Phasen-Wicklung mit vier parallelen Kreisen in einer konventionellen Wicklungs- Δ -Topologie;
- Fig. 4 ist im Wesentlichen analog zu Fig. 3, wobei für die Darstellung in Fig. 4 lediglich die physikalischen Wicklungssymbole aus Fig. 3 durch Phasenvektorsymbole ersetzt wurden;
- Fig. 5 zeigt einen 3-Phasen-Wicklungsgenerator, bei welchem jede Phase aus einem in Serie geschalteten Wicklungspaar besteht, welche Paare je zwei parallel geschaltete Wicklungskreise umfassen, wobei die Wicklungsphasen in einer Δ -Topologie angeordnet sind;
- Fig. 6 zeigt ein Phasendiagramm einer 3-Phasen-Wicklung mit vier in Serie geschalteten Kreisen, welche in einer Δ -Topologie miteinander verbunden sind;
- Fig. 7 zeigt ein Phasendiagramm, welches eine beispielhafte Hybrid- Δ -Y-Verbindung für eine 3-Phasen-Wicklung darstellt;
- Fig. 8 zeigt ein Diagramm einer Pol-zu-Pol-Generatorausgangsspannung als Funktion eines Δ -Anteils der in einer Δ -Y-Topologie angeordneten Ankerwicklung;
- Fig. 9 zeigt ein Phasendiagramm einer 3-Phasen-Wicklung in einer 100%- Δ -Topologie;
- Fig. 10 zeigt ein Phasendiagramm einer 3-Phasen-Wicklung, welche in einer 75%- Δ -Topologie und 25%-Y-Topologie konfiguriert ist;
- Fig. 11 zeigt ein Phasendiagramm einer 3-Phasen-Wicklung mit einer 50%- Δ -Topologie und 50%-Y-Topologie; und
- Fig. 12 zeigt ein Phasendiagramm einer 3-Phasen-Wicklung, welche mit einer 100%-Y-Topologie konfiguriert ist und keine Δ -Topologie aufweist.

[0015] Fig. 1 zeigt einen Mehrphasen-Elektrogenerator 10. Dieser Generator weist einen zylindrischen Rotor 12 auf, der von einem kreisförmigen Stator 14 umgeben ist. Der Rotor 12 ist an einem rotierenden Schaft 16, welcher von einer Gasturbine, Dampfturbine oder einer anderen Antriebsvorrichtung angetrieben werden kann. Bei konventionellen Konstruktionen von Mehrphasen-Elektrogeneratoren und anderen Maschinen werden zwei oder mehr elektrische Phasenwicklungen angeordnet, um Wellenformen für die Spannung zu erzeugen, welche mit Ausnahme der Phase identisch sind. Andere typische Anordnungen von elektrischen Wicklungen umfassen 6, 9 und 12 Phasen, obwohl im Wesentlichen jede Anzahl von Phasen verwendet werden kann. In einem konventionellen 3-Phasen-Generator sind die Spannungen und Ströme von jeder der Phasenwicklungen identisch, jedoch um 120° Phasendifferenz zeitlich verschoben. Die hier dargestellte Ausführungsform betrifft einen 3-Phasen-Synchrongenerator 10. Die Erfindung ist jedoch auf alle mehrphasigen Elektromaschinen anwendbar, in denen die Zahl der elektrischen Phasen eine Vielzahl von 3 ist, z.B. 3, 6, 9 und so weiter. Darüber hinaus kann die Erfindung auch auf mehrphasige Elektromaschinen angepasst werden, welche elektrische Phasen aufweisen, deren Anzahl nicht ein Vielfaches von 3 ist, wie beispielsweise 4, 5, 7 und so weiter.

[0016] Fig. 2 zeigt die Ankerwicklung 18 einer mehrphasigen Anordnung mit (n) unabhängigen Phasenwicklungen 20, wobei (n) drei Phasen entspricht. Die Phasenwicklungen sind in einer konventionellen Y-Wicklungstopologie 22 (auch bekannt als Stern-Topologie) miteinander gekoppelt. Die Spannung in jeder Phasenwicklung 20 ergibt die Phasenspannung 24, welche im vorliegenden Fall als Basislinie für das 100%-Spannungsniveau angenommen wird. Die Ankerwicklung hat einen Ausgangsanschluss 26 an jedem der Enden der jeweiligen Phasenwicklungen. Die entgegengesetzten Enden der Phasenwicklungen sind an einem neutralen Knotenpunkt 28 der Y-Topologie miteinander verbunden. In einer Y-Topolo-

gie beträgt die Pol-zu-Pol-Spannung 30 über die Ausgangsanschlüsse 26 von zweien der Phasenwicklungen 20 173.2% (Quadratwurzel aus 3) der Phasenspannung 24 über irgendeine der Phasenwicklungen 20.

[0017] Jede der Phasenwicklungen 20 kann aus einer oder mehreren Gruppen von parallel oder in Serie geschalteten Wicklungskreisen 32 aufgebaut sein. Wie in Fig. 2 gezeigt, bilden vier parallel geschaltete Wicklungskreise 32 eine Phasenwicklung 20 einer 3-Phasen-Maschine. Alternativ dazu können die vier Wicklungskreise 32 auch als vier in Serie geschaltete Kreise miteinander verbunden sein, oder können diese Wicklungskreise in einer Kombination aus parallel und in Serie geschalteten Kreisen (wie in Fig. 5 dargestellt) miteinander verbunden sein.

[0018] Jeder Wicklungskreis 32 ist Teil seiner zugeordneten Phasenwicklung 20, wie beispielsweise ein Wicklungsstäbepaar oder ein Wicklungskabelbereich 34 (Fig. 1), wobei eine Endschleife 36 die Stäbe oder Kabelbereiche in diesem Teil (Segment) verbindet. Die Wicklungsstäbe oder Kabelbereiche können in bekannter Art und Weise in einem Statorschlitz 38 (Fig. 1) des Stators 14 eingelegt sein. Die Wicklungskreise können durch das Abgreifen von ausgewählten Endschleifen 36 der Wicklungen 20 erzeugt werden, um eine gewünschte Anordnung von Wicklungskreisen zu bilden, so wie beispielsweise die in Fig. 2 dargestellte, parallel geschaltete Anordnung 40 der Wicklungskreise 32.

[0019] Fig. 3 zeigt die Ankerwicklung 18 eines Generators, wobei die Phasenwicklungen 20 in einer konventionellen Δ -Topologie 42 angeordnet sind. Die Enden von jeder der Phasenwicklungen 20 sind über einen Knotenpunkt 43 mit einem Ausgangsanschluss 26 und einem anderen Ende einer Wicklung 20 einer anderen Phase des Ankers verbunden. Bei der Δ -Topologie beträgt die Pol-zu-Pol-Spannung 30 (100%) gleich viel wie die Phasenspannung 24 (100%) über jede Phasenwicklung 20. Fig. 4 zeigt dieselbe Δ -Wicklungstopologie 42 wie in Fig. 3, wobei die Wicklungskreise 24 als Phasenvektoren 44 dargestellt sind, deren Länge proportional zur Spannung über diese Phasenwicklung 20 ist und wobei die Phasenvektorrichtung (Winkel) dem Phasenwinkel der Spannung im Phasenwicklungskreis 32 entspricht.

[0020] Fig. 5 zeigt eine Δ -Wicklungstopologie 42, bei welcher jede Phasenwicklung 20 aus zwei Paaren 46 besteht, welche je aus zwei parallel geschalteten Wicklungskreisen 32 bestehen. Die Paare 46 von Wicklungskreisen 32 sind in Serie geschaltet. Die Phasenwicklungen 20 sind in einer Δ -Topologie 42 angeordnet. Einerseits entspricht die gesamte Verbindungstopologie einer Δ -Konfiguration, während andererseits die Wicklungskreise 46 innerhalb jeder Phasenwicklung 20 in Serie und parallel geschaltet sind, um eine Pol-zu-Pol-Ausgangsspannung 26 von 200% bei einer Phasenspannung (100%) 48 jedes Wicklungskreises 44 zu erzeugen.

[0021] Fig. 6 zeigt schematisch einzelne Wicklungskreise 44, welche in Serie geschaltet sind, um eine Phasenwicklung 20 zu bilden. Die Phasenwicklungen 20 sind in einer Δ -Topologie 42 angeordnet. Jeder Wicklungskreis 44 kann aus einer einzelnen Schleife einer Statorwicklung bestehen. Ein Kreisabgreifer 50 (Fig. 1) an ausgewählten Endschleifen 36 der Ankerwicklung erzeugt eine elektrische Verbindung mit jedem Wicklungssegment 44. Jedes Wicklungssegment 44 liegt in axialer Richtung in einem zugeordneten Statorschlitz 38 respektive in Schlitzen (Fig. 1) und ragt aus einem axialen Ende respektive Enden des Stators, wo eine Wicklungsendschleife 36 jedes Wicklungssegment mit einem anderen Wicklungssegment eines anderen Schlitzes verbindet. Mehrfachwicklungssegmente 44 werden in den Statorschlitzen 38 angeordnet, wobei jedes Segment über Endschleifen 36 mit anderen Segmenten in anderen Schlitzen verbunden ist. Diese Mehrfachwicklungssegmente und Zwischenverbindungsendschleifen werden üblicherweise so verbunden, dass eine vollständige Phasenwicklung 20 für eine Phase eines Mehrphasenankers gebildet wird. Bekannte Niederspannungsgeneratoren haben mehrere Dutzend Wicklungssegmente und Endschleifen in jedem Phasenwicklungskreis. Es versteht sich, dass Hochspannungsgeneratoren einhundert oder mehr Endschleifen und dazugehörige Wicklungssegmente in jedem Phasenwicklungskreis aufweisen.

[0022] Fig. 7 zeigt ein Diagramm einer Hybrid- Δ -Y-Wicklungsanordnung. Die Ankerwicklungsphasen (A, B und C, zum Beispiel) des Generators sind so miteinander verbunden, dass der Generator Leistung abgibt. Das elektrische Null-Niveau der Δ -Y-Topologie 49 kann mit Hilfe eines Zick-Zack-Transformators (oder anderen ähnlichen Vorrichtungen, mit denen ein Null-Potential für eine Mehrphasenmaschine erzeugt werden kann), bewerkstelligt werden.

[0023] Jede Phasenwicklung kann in zwei (oder mehrere) Wicklungssegmentgruppen unterteilt werden, wie beispielsweise die Wicklungssegmentgruppen A1 und A2 der Phase A 54; die Gruppen B1 und B2 der Phase B 62; und Gruppen C1 und C2 der Phase C 64. Durch das Verbinden der Hochspannungswicklungssegmente (A1, B1 und C1) wird innerhalb der Ankerwicklung eine Mini-A-Topologie 60 gebildet. Die Niederspannungsteile der Wicklungssegmente (A2, B2 und C2) sind jeweils mit ihrem einen Ende 52 mit einem Ausgangsabgreifer 50 verbunden, welche Abgreifer 50 je einen Knoten der Δ -Konfiguration bilden. Diese Abgreifer 50 bilden gleichzeitig den zentralen Knoten 50 einer Y-Konfiguration 66. Das andere Ende von jedem dieser Wicklungssegmente (A2, B2 und C2) dient als Ausgangsanschluss 26 der Ankerwicklungen des gesamten Generators. Die Wicklungen werden in eine Hybrid-A-Y-Konfiguration gebracht, indem gewisse Knoten 68 von jeder der Wicklungen in einer Δ -Anordnung miteinander verbunden werden, und indem andere Teile der Wicklungen in einer Y-Konfiguration miteinander verbunden werden.

[0024] Die Endschleifen 36 weisen eine vorbereitete Stelle auf, an welcher elektrische Verbindungen angeschlossen werden können, um einen Phasenwicklungskreis abgreifen zu können. Diese Endschleifen sind gut zugänglich, da diese aus dem Statorkörper 14 herausragen, und erlauben es, Verbindungen 50, welche mit den Wicklungen hergestellt werden müssen, in einfacher Weise zu bewerkstelligen. Die Phasenwicklungen 20 haben zwei Endanschlüsse 52 an gegenüberliegenden Enden der Wicklungen. Anschlussabgreifer 50 können an ausgewählte Wicklungsendschleifen angeschlossen

werden, um elektrische Leistung von nur einem Teil der Wicklung abzugreifen. Ein Anschlussabgreifer 50 kann eine Verbindung zu irgendeiner oder mehreren der Endschleifen 36 innerhalb einer Phasenwicklung 20 bewerkstelligen.

[0025] Durch das Abgreifen der Phasenwicklung 20 an einer ausgewählten Endschleife respektive an ausgewählten Endschleifen 50, wird die Phasenwicklung in zwei oder mehrere Wicklungssegmente unterteilt. So kann beispielsweise ein Wicklungssegment für die Phase A 54 eines 3-Phasen-Generators (mit Phasen A 54, B 62 und C 64) in Wicklungssegmente A1 56, und Teil A2 58 unterteilt werden. Ein Anschlussabgreifer 50 teilt an einer ausgewählten Endschleife die Wicklung 54 der Phase A in den Teil A1 56 der Wicklungssegmente und einen Teil A2 58. Der Wicklungsteil A1 56 kann dabei ein Niederspannungsteil der Wicklung der Phase A sein, welche zwischen dem Anschlussabgreifer 50 und einem Endabschluss 52 der Wicklung der Phase A liegt. Im Allgemeinen liegen die Wicklungsbereiche, welche den Δ -Bereich der Δ -Y-Topologie bilden, auf verhältnismässig niedriger Spannung bezogen auf die Null-Spannung. Entsprechend kann der A2-Wicklungsteil 58 den Hochspannungsbereich 58 der Phasenwicklung A 54 zwischen dem Anschlussabgreifer 50 und dem anderen Endabschluss 52 bilden. Der Anschlussabgreifer 50, welcher eine Phasenwicklung unterteilt, beispielsweise Phase A, ist mit dem Ende 52 eines anderen Phasenwicklungskreises, beispielsweise Phase B, verbunden. Die Verbindung zwischen dem Endschleifenabgreifer 50 und dem Ende 52 der Phasenwicklung bildet einen Mini- Δ -Topologiekreis 60, welcher aus den Wicklungssegmenten A1, B1 und C1 zusammengesetzt ist. Die anderen Segmente (A2, B2, C2) jeder Wicklungsphase liegen zwischen einem jeweiligen Anschlussabgreifer 50 und einem Ausgangsabschluss 26 des Ankers. Der Anschlussabgreifer 50 wird damit zum zentralen Knoten einer Mini-Y-Topologie 66, welche beispielsweise durch die Segmente A1, A2, C1 gebildet wird.

[0026] Bei dem in Fig. 7 gezeigten Ausführungsbeispiel macht der Wicklungsteil A1 63% der Phasenwicklung A aus, und der Wicklungsteil A2 macht die restlichen 37% der gesamten Phasenwicklung A aus. Entsprechend werden die Wicklungsphasen B und C genau in der gleichen Art von 63% zu 37% unterteilt. Für jede Wicklung ist der Hochspannungsteil der Phase A1 mit dem Niederspannungsteil der Phase C 64 über den Punkt P2 (einem Anschlussabgreifer 50) verbunden. Das Niederspannungsende der Phase A1 ist mit der Phase B über den Punkt P2 verbunden. Die Pol-zu-Pol-Spannung der Ankerwicklung ist die aus den Spannungen der Phasen A1, A2 und B2 resultierende Summe. In der Hybrid- Δ -Y-Konfiguration, wie sie in Fig. 7 gezeigt ist, ergibt der 100%-ige Beitrag der Phase A und der 37%-ige Anteil der Phase B eine gesamte Pol-zu-Pol-Spannung, welche 122% der Phasenspannung beträgt, unter Berücksichtigung der Phasenwinkel der Phasen A und B. Derselbe 122% Spannungsbetrag wird durch die Kombination der anderen beiden Phasen (100% von C plus 37% von A2, 100% von B plus 37% von C2) der Ankerwicklung erzeugt. Die drei daraus resultierenden Pol-zu-Pol-Phasenspannungen sind in ihrem Betrag gleich und zeitlich um 120° verschoben, was für 3-Phasen-Maschinen üblich ist. Das 122%-Pol-zu-Pol-Spannungsniveau stellt ein Niveau dar, welches in konventionellen Generatoren, die entweder mit einer A- oder einer Y-Konfiguration verbunden sind, nicht verfügbar ist.

[0027] Fig. 8 zeigt ein Diagramm, in welchem die Abhängigkeit der Pol-zu-Pol-Spannung 30 am Ausgang eines Mehrphasengenerators vom Anteil 72 der Phasenwicklungen, welche in einer Δ -Topologie angeordnet sind, dargestellt ist. Die Pol-zu-Pol-Spannung (V_{LL}) ist ein Prozentsatz der Spannung über die gesamte Phasenwicklung, wie beispielsweise die Phasenwicklung A. Der Anteil der Phasenwicklung, welcher nicht in einer Δ -Topologie angeordnet ist, wird in einer Y-Topologie, wie in Fig. 7 gezeigt, angeordnet. Wie aus dem Diagramm deutlich wird, kann die Pol-zu-Pol-Spannung auf einen Prozentsatz zwischen 173% und 100% der Phasenwicklungsspannung eingestellt werden. Die Einstellung der Pol-zu-Pol-Spannung ist tatsächlich eine kontinuierliche Funktion des Anteils der Phasenwicklung in der Δ -Topologie. Dieser Anteil kann angepasst werden, indem ausgewählt wird, welche der Endschleifen der Phasenwicklung für die A-Topologie abgegriffen werden. Die Abstimmung der Pol-zu-Pol-Spannung ist insoweit kontinuierlich, als die Einstellstufen im Vergleich zum gesamten Einstellbereich von 100% (reine Δ -Topologie) und 173% (reine Y-Topologie) klein sind. Die «Grösse» der Einstellstufen innerhalb des Einstellbereichs ist abhängig von der Anzahl Wicklungsschleifen des Generators. Eine erhöhte Zahl Wicklungsschleifen verringert die Einstellstufengrösse für die Pol-zu-Pol-Spannungseinstellung. Wenn eine grosse Anzahl Wicklungsschleifen mit Abgreifern vorliegt, dann sind die Einstellstufen klein und die Pol-zu-Pol-Ausgangsspannung weist tatsächlich einen kontinuierlichen Verlauf auf.

[0028] Es wurde eine Gleichung (1) entwickelt, welche die Pol-zu-Pol-Spannung eines Generators mit dem Anteil der Ankerphasenwicklungen, welche in einer A-Topologie angeordnet sind, korreliert, und wobei die restlichen Ankerphasenwicklungen in einer Y-Topologie vorliegen. Diese Gleichung lautet wie folgt:

$$(1) \quad V_{LL} = \left| X e^{j\pi/6} + \sqrt{3}(1-X) \right|$$

wobei:

« V_{LL} » der Anteil der Pol-zu-Pol-Spannung des Spannungsphasenwicklungsniveaus bedeutet;

« X » der Anteil der Phasenwicklung in einer Δ -Topologie ist, und

« j » der komplexe Operator ($j^2 = -1$) ist.

[0029] Bei einem anderen Anwendungsbeispiel kann ein 3-Phasen-Werkgenerator mit einer auf 80 kV ausgelegten Phasenspannung derart konfiguriert werden, dass dieser eine fast beliebig auswählbare Ausgangsspannung im Bereich von 80kV bis 138 kV erzeugt. Diese Spannungsfeineinstellung wird durch das selektive Verbinden der Ankerwicklungen, welche

die drei Phasen des Generators bilden, erzielt. Darüber hinaus können diese Zwischenverbindungen an den Wicklungsschleifen vorgenommen werden, welche im Wesentlichen ausserhalb der Maschine liegen. Die Verbindungen der Ankerwicklungen erfordern keine Anpassung der internen elektromagnetischen Anordnung, wie die Anzahl der Statorwicklungen, des Statorkerndurchmessers und dessen Länge, sowie die Modifikation des mechanischen Aufbaus des Generators.

[0030] Fig. 9, 10, 11 und 12 zeigen alternative Wicklungstopologien, welche unter Verwendung der Hybrid- Δ -Y-Wicklungstopologie vorgenommen werden können. Insbesondere zeigt Fig. 9 eine konventionelle Δ -Topologie 42, bei welcher jede Phasenwicklung 20 über seine jeweiligen Enden mit den Enden der anderen Phasenwicklungen verbunden ist. Fig. 10 zeigt eine andere Wicklungstopologie, bei welcher die Phasenwicklungen 20 derart angeordnet sind, dass eine Phasenwicklung mit Hilfe von Endschleifenabgreifern 50 mit dem Ende einer anderen Phasenwicklung verbunden wird, um eine Mini- Δ -Topologie 60 zu bilden. Zusätzlich wird eine Mini-Y-Topologie 66 gebildet, bei welcher der Endabgreifer als zentraler Knoten 28 dient. Der Wicklungsanteil der Δ -Topologie beträgt 75%, darauf basierend, dass der Endabgreifer 50 an einer Stelle der Endschleife angreift, welche bei 3/4 (75%) der Länge der Phasenwicklung liegt. Die Pol-zu-Pol-Spannung (V_{LL}) für eine solche 75%- Δ -Wicklungstopologie beträgt 114.5% des Phasenspannungsniveaus.

[0031] Wie in Fig. 11 gezeigt, kann das Pol-zu-Pol-Spannungsniveau auf 132% der Phasenspannung gelegt werden, indem die Wicklungstopologie derart angelegt wird, dass eine Hälfte (50%) jeder Phasenwicklung in einer Mini- Δ -Topologie angeordnet wird. Die Wicklungstopologie wird dabei durch das Abgreifen der Endschleifen mit einem Anschlussabgreifer umkonfiguriert, um den gewünschten Prozentsatz für die Δ -Topologie der Ankerwicklung zu erreichen. Fig. 12 zeigt eine konventionelle Y-Topologie 22, bei welcher ein Ende jedes Phasenwicklungskreises 20 mit einem normalen Knotenpunkt 28 verbunden ist und bei welcher die gegenüberliegenden Enden mit einem Ausgangsanschluss 26 verbunden werden. Dementsprechend machen die Fig. 9 bis 12 deutlich, dass die Ausgangsspannungsniveaus (als Prozentsatz des Phasenwicklungsspannungsniveaus) eines Mehrphasengenerators auf fast jedes Niveau innerhalb eines gewissen Bereichs (wie beispielsweise 100% bis 173%) eingestellt werden können, indem die Ankerwicklung als eine Hybridkombination von Δ - und Y-Topologien angelegt wird. Darüber hinaus lässt sich die Konfiguration der Wicklungstopologie relativ einfach einstellen, indem eine passende Wicklungsschleife ausgewählt wird, um diese derart abzugreifen, dass ein vorgeschriebener Δ -Topologie-Prozentsatz erzeugt wird, um das gewünschte Spannungsniveau zu erhalten.

[0032] Obwohl die Erfindung anhand eines oben näher beschriebenen und bevorzugten Ausführungsbeispiels erläutert worden ist, versteht es sich, dass diese Erfindung nicht auf dieses Ausführungsbeispiel beschränkt ist, sondern im Gegenteil, eine Vielzahl Modifikationen und äquivalente Ausführungsformen mit einschliesst, welche im Bereich des Gegenstands der vorliegenden Ansprüche liegen.

Patentansprüche

1. Mehrphasenelektrogenerator (10) mit einer Ankerwicklung (18) umfassend eine Mehrzahl von Phasenwicklungen (20), wobei jede dieser Phasenwicklungen (20) ein erstes Wicklungssegment (56) und ein zweites Wicklungssegment (58) aufweist, wobei das erste Wicklungssegment (56) von jeder dieser Phasenwicklungen (20) in einer Δ -Topologie (60) mit Phasenwicklungen verbunden ist, und wobei dieses zweite Wicklungssegment von jeder dieser Phasenwicklungen in einer Y-Topologie (66) mit einer Mehrzahl dieser ersten Wicklungssegmente verbunden ist.
2. Mehrphasenelektrogenerator gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Y-Topologie einen Anschlussabgreifer (50) umfasst, welcher zwei der ersten Wicklungssegmente und ein erstes Ende des zweiten Wicklungssegments miteinander verbindet.
3. Mehrphasenelektrogenerator gemäss Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein zweites Ende (26) des zweiten Wicklungssegmentes mit einem Ausgangsanschluss des Generators verbunden ist.
4. Mehrphasenelektrogenerator gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass jede der Phasenwicklungen eine Mehrzahl von Endschleifen (36) umfasst und wobei ein Anschlussabgreifer (50) an einem dieser Endschleifen (36) eine Verbindung zwischen dem ersten Wicklungssegment und dem zweiten Wicklungssegment herstellt.
5. Mehrphasenelektrogenerator gemäss Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass eine der Endschleifen über den Anschlussabgreifer (50) wahlweise mit einer anderen der mehreren Endschleifen (36) verbindbar ist.
6. Mehrphasenelektrogenerator gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass dieser drei solcher Phasenwicklungen umfasst und einen Drei-Phasen-Leistungsausgang aufweist.
7. Mehrphasenelektrogenerator gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Pol-zu-Pol-Ausgangsspannungsniveau (V_{LL}) (30) dieses Generators wie folgt beschrieben wird:

$$V_{LL} = \left| X e^{j\pi/6} + \sqrt{3}(1 - X) \right|$$

wobei:

« V_{LL} » der Anteil der Pol-zu-Pol-Spannung des Spannungsphasenwicklungsniveaus bedeutet;

« X » der Anteil der Phasenwicklung in einer Δ -Topologie ist, und

« j » der komplexe Operator ($j^2 = -1$) ist.

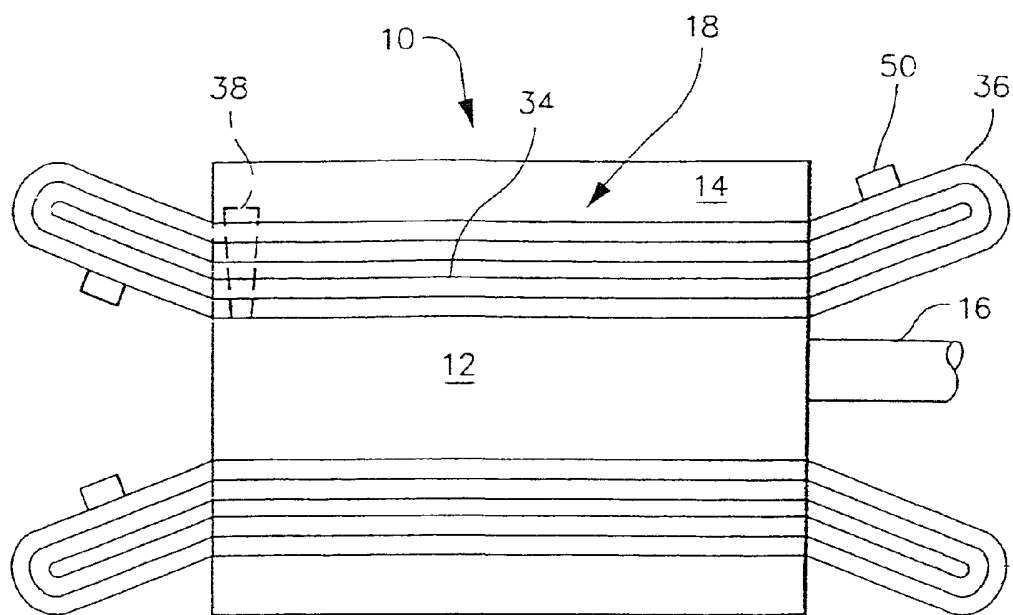


Fig. 1

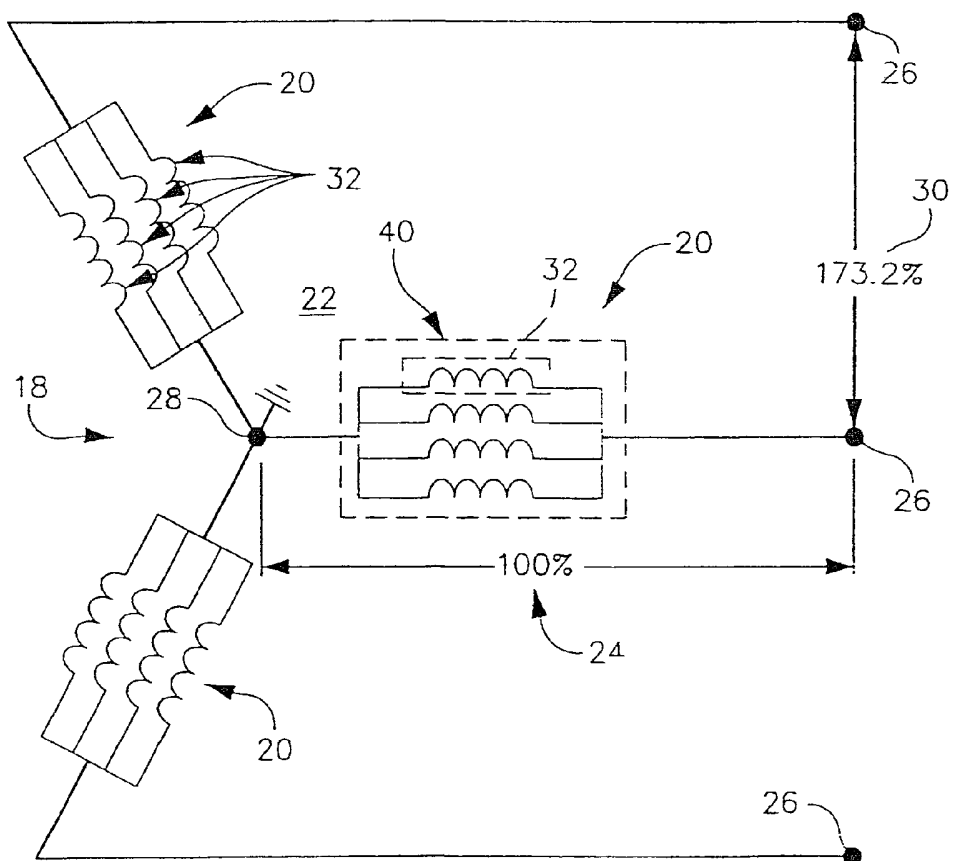


Fig. 2

(Stand der Technik)

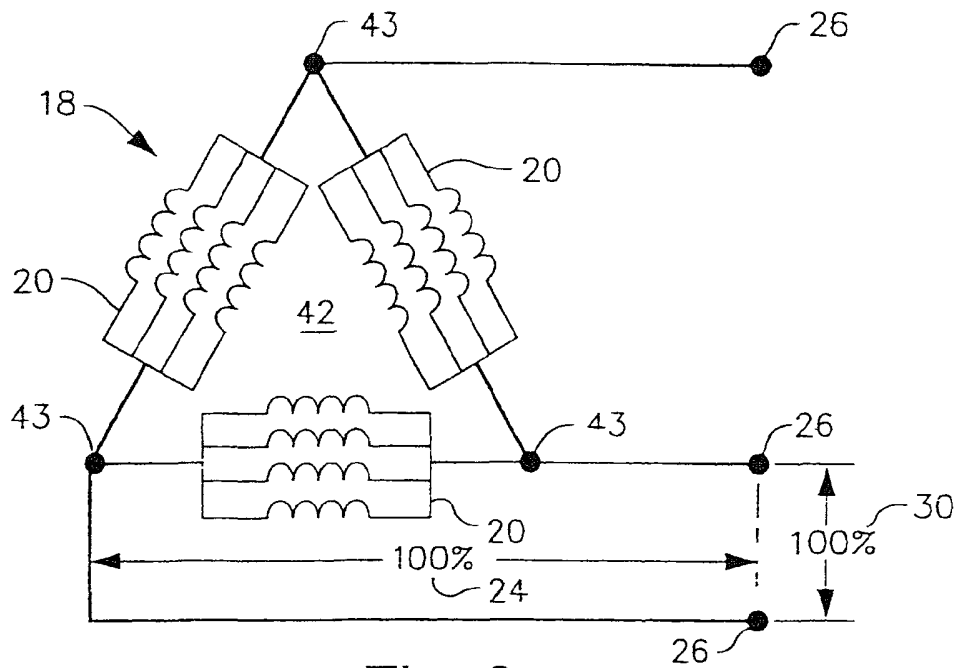


Fig. 3
(Stand der Technik)

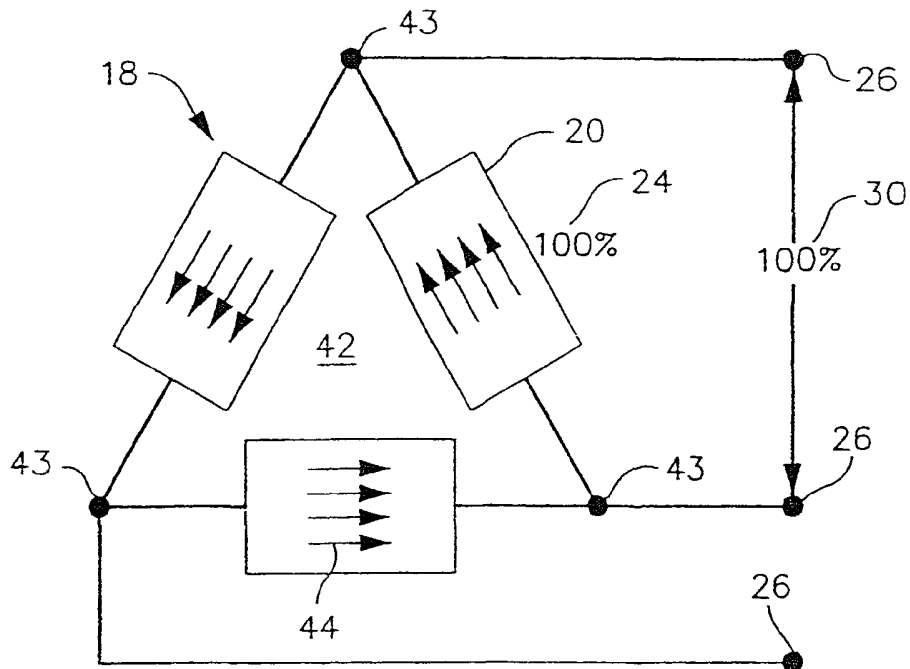


Fig. 4
(Stand der Technik)

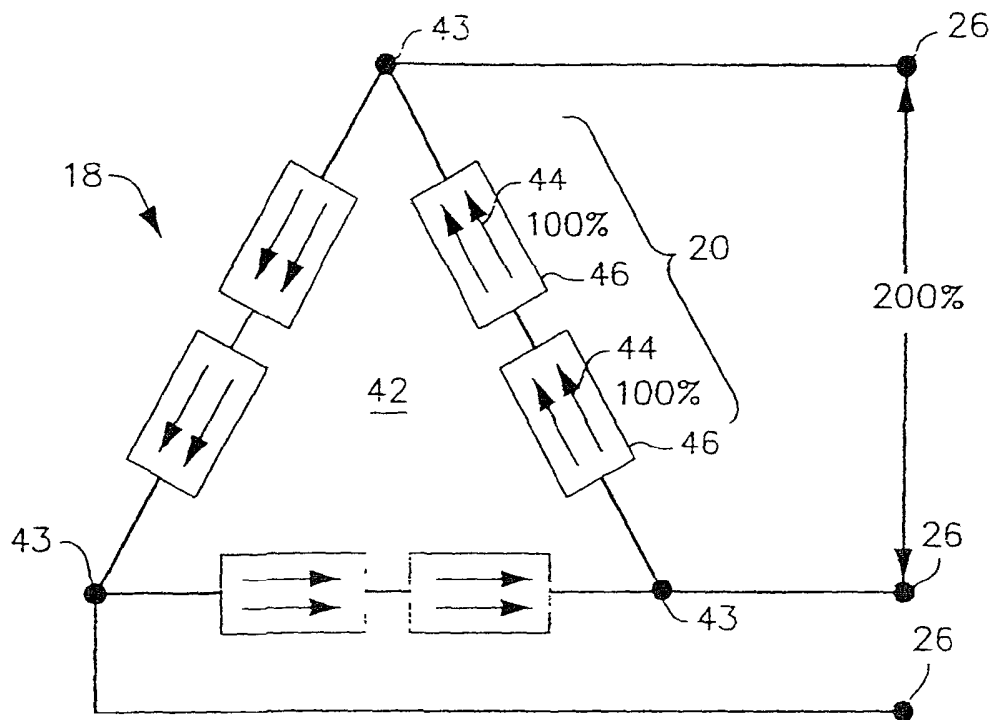


Fig. 5
(Stand der Technik)

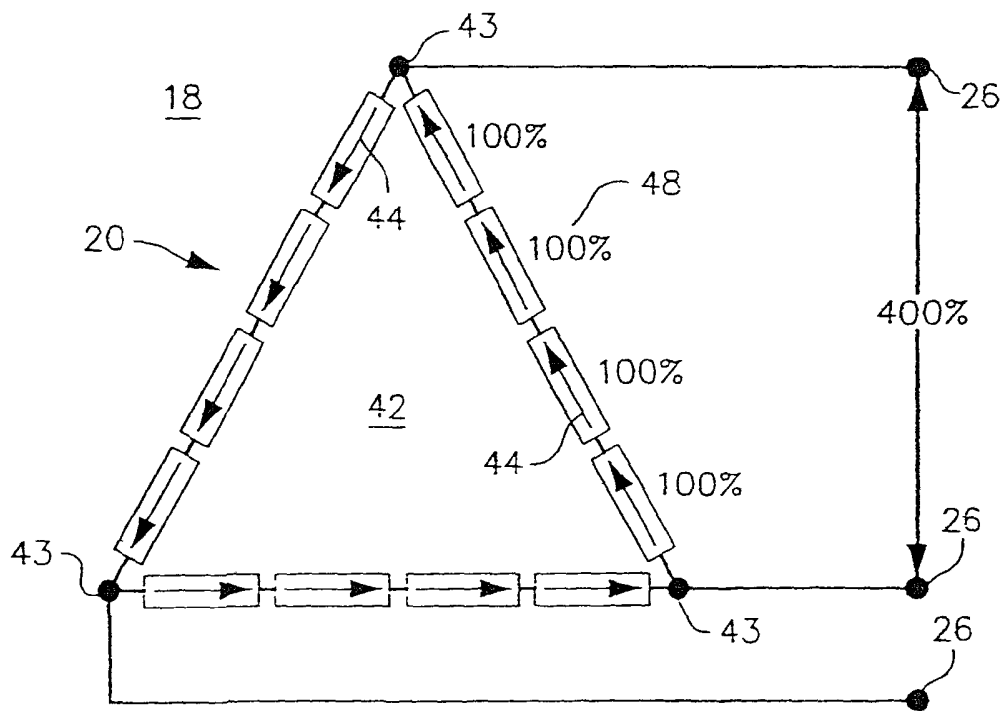


Fig. 6

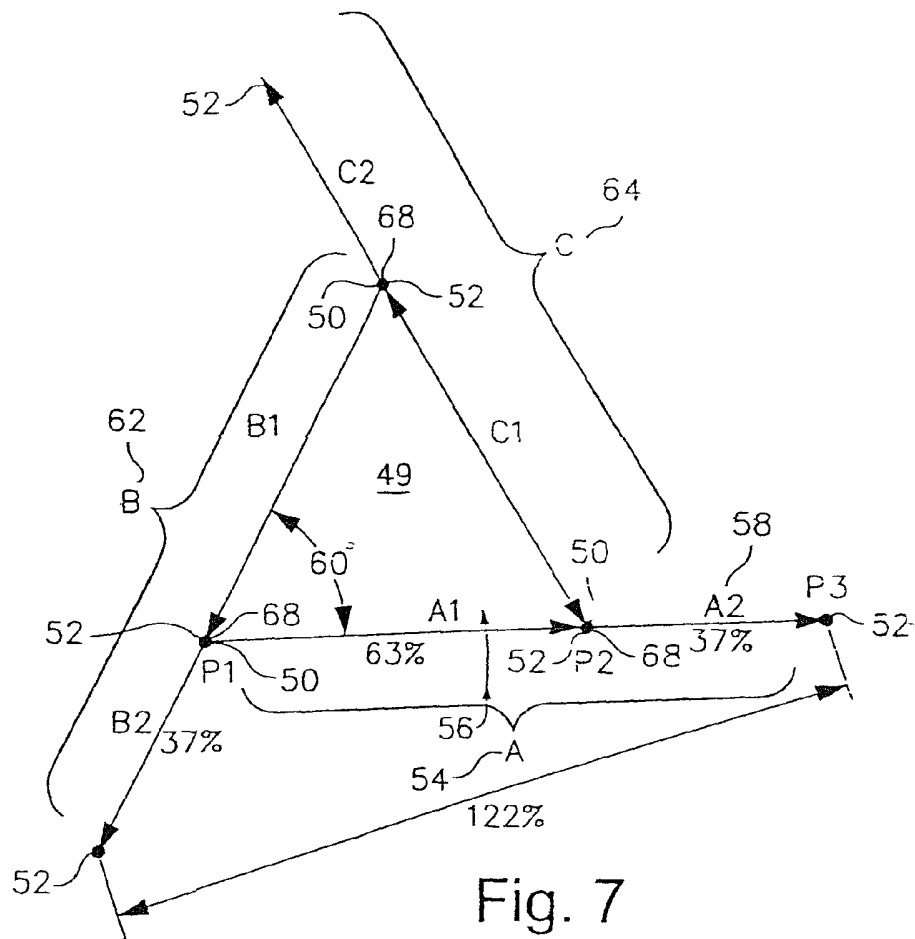


Fig. 7

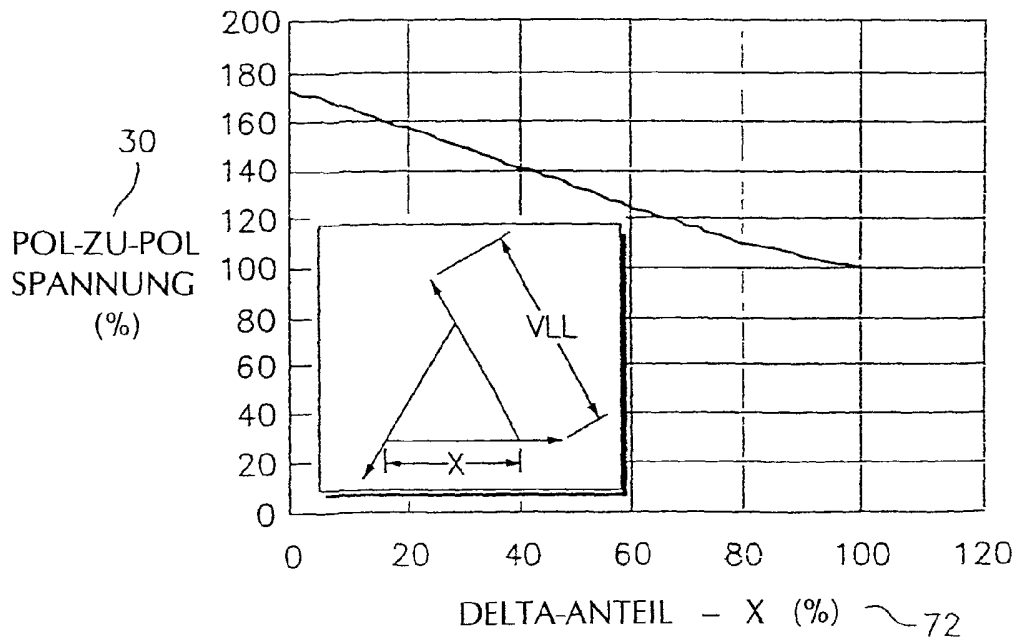


Fig. 8

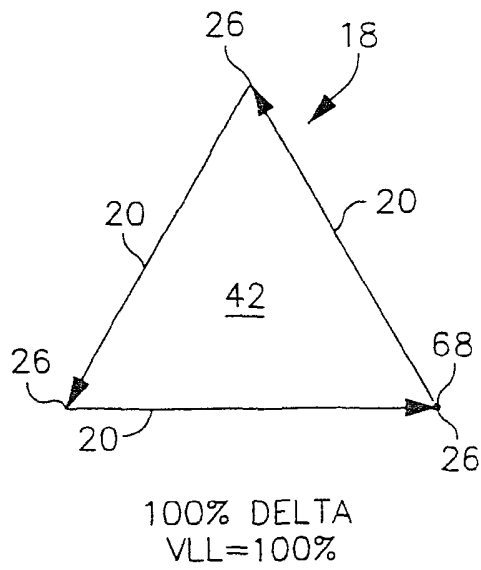


Fig. 9

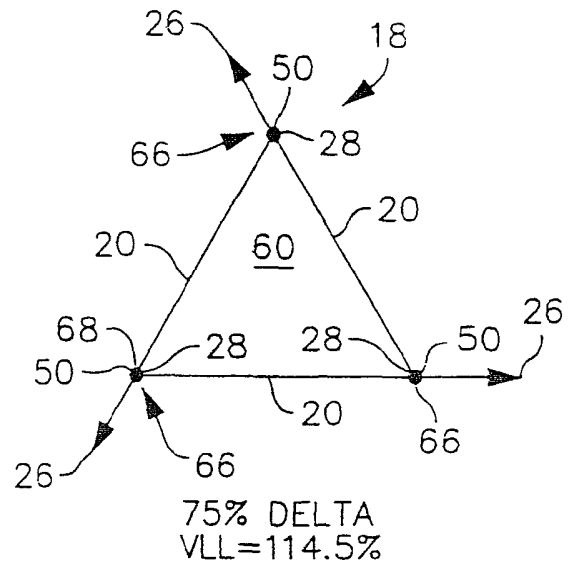


Fig. 10

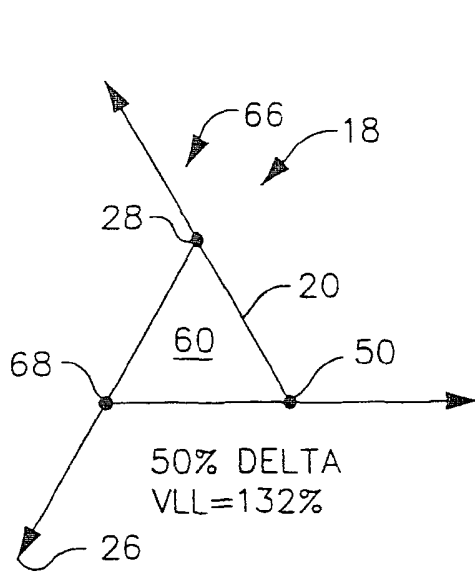


Fig. 11

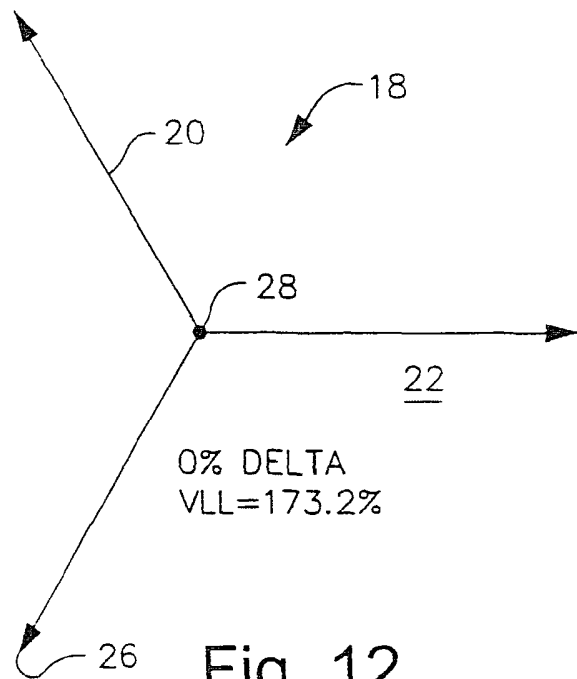


Fig. 12