



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 35 757 T2** 2007.09.20

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 018 211 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 35 757.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US98/02651**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 907 428.1**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1998/037623**

(86) PCT-Anmeldetag: **06.02.1998**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **27.08.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.07.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **30.08.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H02P 9/00** (2006.01)

H02K 17/10 (2006.01)

H02K 17/44 (2006.01)

H02K 19/26 (2006.01)

H02P 9/42 (2006.01)

(30) Unionspriorität:

37723 P 07.02.1997 US

(73) Patentinhaber:

**The Estate of Leo G. Nickoladze (deceased),
Kahili, Hawaii, US**

(74) Vertreter:

**Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI,
LU, MC, NL, PT, SE**

(72) Erfinder:

NICKOLADZE, G., Leo, /, US

(54) Bezeichnung: **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KOMPENSATION EINES SYNCHROGENERATORS MIT SEKTOREN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Patentanmeldung nimmt unter 35 U.S.C. § 119(e) gegenüber der schwebenden Patentanmeldung, Anmeldungsnummer 60/037,723, eingereicht am 7. Februar 1997, mit dem Titel "Verfahren und Vorrichtung zur Kompensation von Leistungs-Synchrongeneratoren" Priorität in Anspruch.

[0002] Die vorliegende Erfindung betrifft im Allgemeinen einen elektrischen Generator und im Besonderen einen verbesserten Induktionsgenerator bezogen auf eine Wechselstromquelle.

[0003] In der letzten Zeit sind in Folge der Knappheit an fossilen Brennstoffen sowie der ökologischen Konsequenzen des Einsatzes derselben verschiedene Vorschläge bezüglich der Einspeisung von örtlich erzeugtem elektrischen Strom in ein öffentliches Versorgungsnetz vorgebracht worden. Es sind eine Reihe von erneuerbaren Energiequellen untersucht worden. Die ideale alternative Energiequelle hat keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt und erzeugt bei niedrigen Kosten einen hochwertigen Brennstoff. Häufige Beispiele für alternative Energiequellen stammen aus der Wiedergewinnung aus Wind, Wasserkraft, Kohlenwasserstoffgas, Sonnenenergie, geothermischer Energie und Abfallwärme. Jede dieser Energiequellen lässt sich mit elektrischen Stromgeneratoren kombinieren.

[0004] Die Schwierigkeit bei der Verwendung dieser Energiequellen liegt in der Qualität des Energieträgers selbst. Beispielsweise schränken Schwankungen der Windgeschwindigkeit die Nützlichkeit von Windkraftmaschinen als eine stetige und konstante Energiequelle für einen herkömmlichen Synchron- oder Induktionsgenerator stark ein. Dies liegt daran, dass herkömmliche Generatoren nur dann brauchbare Energie liefern können, wenn sie innerhalb eines bestimmten Geschwindigkeitsbereichs betrieben werden. Folglich müssen die Windkraftmaschinen doppelt gewickelte Wechselstromgeneratoren oder ausgefeilte Steuerungssysteme für die Propellersteigerung und mechanische Antriebssysteme einsetzen, welche eine ausreichende Generatorgeschwindigkeit bereitstellen. Um von praktischem Nutzen zu sein, müssen jedoch doppelt gespeiste Systeme eine angemessene Erregung des Rotors bereitstellen und eine konstante Spannung im Stator aufrechterhalten, was nicht einfach zu erreichen ist. Wenn geothermische Hochgeschwindigkeitsturbinen oder Wasserräder mit niedriger Geschwindigkeit eingesetzt werden, müssen Geräte zur mechanischen Steuerung, Reduzierung oder Aufwärtsregelung der Geschwindigkeit eingesetzt werden, um die angemessene Rotationsgeschwindigkeit für die Erzeugung von Wechselstrom bereitzustellen. Die Wirksamkeitsverluste, die mit diesen Arten von mechanischen Umwandlungsgeräten einhergehen, beeinträchtigen deren wirtschaftli-

che Realisierbarkeit und machen sie in der Regel als Energiequellen ungeeignet.

[0005] Die durch diese mechanischen Umwandlungssysteme bereitgestellte Kompensation ist jedoch entscheidend, da die Einspeisung von lokal erzeugtem elektrischen Strom in ein öffentliches Versorgungsnetz eine genaue Phasen- und Frequenzanpassung erfordert. Falls folglich ein Gerät selbstsynchronisierend und tolerant gegenüber großen Schwankungen in der Rotationsgeschwindigkeit sein könnte, würde der Einsatz von alternativen Energiequellen als Mittel zur Erzeugung von Elektrizität deutlich verbessert werden. Ein beachtenswertes Beispiel eines solchen selbstsynchronisierenden Rotationsgeräts wird in mehreren auf Leo Nickoladze ausgestellten Patenten erläutert, insbesondere in den US-Patenten 4,701,691 und 4,229,689.

[0006] Diese zuletzt genannten Beispiele basieren auf elektrischer Aufhebung innerhalb des induktiven Geräts selbst, wodurch alle Schwankungen in der Eingangsleistung wirkungsvoll eliminiert werden. Eine beispielhafte Ausführungsform eines solchen Induktionsgeräts wird in [Fig. 1](#) dargestellt. Der Induktionsgenerator aus [Fig. 1](#) beinhaltet zwei Stufen, eine Erregerstufe **10** und eine Generatorstufe **12**. Die Erregerstufe **10** beinhaltet einen Erregerstator **14**, der mit einer Wechselstromquelle **16** und einem Erregerrotor **18** verbunden ist, der zur rotierenden Vorwärtsbewegung mittels einer lokalen Energiequelle **19** angebracht ist. Die Generatorstufe **12** beinhaltet einen Generatorrotor **20**, der zur gemeinsamen Drehung mit dem Erregerrotor **18** verbunden ist, sowie einen Generatorstator **22**. Die Wicklungen des Erregerrotors **18** und des Generatorrotors **20** sind miteinander verbunden, jedoch in entgegengesetzten Richtungen gewickelt. Der Generatorstator **22** ist mit einer Last **23** verbunden.

[0007] Beim Betrieb wird der Erregerrotor **18** durch die lokale Energiequelle **19** innerhalb des rotierenden magnetischen Feldes rotiert, das durch den Erregerstator **14** erzeugt wird. Die induzierte Signalfrequenz am Ausgang des Erregerrotors **18** ist gleich der Summe der Winkelgeschwindigkeit der lokalen Energiequelle **19** plus der Frequenz der Wechselstromquelle **16**. Beim Rotieren des Generatorrotors **20** innerhalb des Generatorstators **22** bewirkt die inverse Verbindung mit dem Erregerrotor **14**, dass die von der lokalen Energiequelle **19** erzeugte Winkelgeschwindigkeit subtrahiert wird. Im Ergebnis entsteht eine induzierte Spannung am Ausgang des Generatorstators **22**, welche hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit der Frequenz der Wechselstromquelle entspricht.

[0008] Während die vorstehende Lösung von Nickoladze eine theoretische Ausgangsspannung bereitstellt, wobei lediglich die Netzfrequenz des Versorgungsnetzes erzeugt wird, ist die Herstellung die-

ser Geräte für Anwendungen mit Dreiphasenstrom in der Praxis aufgrund des korrekten Abgleichs des Phasenwinkels zwischen den Erreger- und Generatorstufen und den Wicklungen oft mit Schwierigkeiten behaftet. Häufig konnte in der Vergangenheit der Abgleich des Phasenwinkels zwischen den Erreger- und Generatorstufen auf Grund der physischen Wicklungen der Rotor- und Statorelemente nicht erreicht werden. Zudem versagten einige Geräte völlig, da die Phasenfolge der Wicklungen nicht korrekt war. Diese Probleme verschärfen sich weiter, wenn die Erregerstufe und die Generatorstufe unabhängig voneinander hergestellt werden.

[0009] Entsprechend besteht gegenwärtig Bedarf an einem Dreiphasenleitungs-Synchrongenerator, der mit korrektem Abgleich des Phasenwinkels für Anwendungen mit Dreiphasenstrom hergestellt werden kann, was zu einer konstanten Frequenz und Spannungsausgabe bei variablen Geschwindigkeiten der Welle führt. Es ist wünschenswert, dass der Abgleich des Phasenwinkels auch für Erreger- und Generatorkomponenten, die in entgegengesetzten Richtungen gewickelt sind, oder mit Phasen, die in Bezug auf die Schlüsselnut in verschiedenen Nuten auf dem Kern beginnen, einfach erreicht werden kann.

[0010] Die französische Patentbeschreibung Nr. 2 425 171 offenbart einen Leitungs-Synchrongenerator mit einer Erregerstufe und einer Generatorstufe. Die Generatorstufe verfügt über ein Polpaar, wovon jeder Pol Wicklungen hat, die mit entsprechenden Wicklungen des Polpaars des Erregers invers verbunden sind, um die durch Drehung der Erreger- und Generatorrotoren induzierte elektrische Frequenz aufzuheben.

[0011] Das US-amerikanische Patent Nr. 5,418,446 offenbart einen Leitungs-Synchrongenerator mit einem Rotor, der zur Rotation mit Erreger- und Generatorrotoren verbunden ist. Ein Stator hat einen innenliegenden Abschnitt, worin der Rotor drehbar befestigt ist.

[0012] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbessertes Verfahren zur Bestimmung des Phasenabgleichs eines Dreiphasenleitungs-Synchrongenerators bereitzustellen.

[0013] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Bestimmung des Phasenabgleichs eines Dreiphasenleitungs-Synchrongenerators bereitgestellt, wobei der Leitungs-Synchrongenerator eine Erregerstufe umfasst, welche über einen Erregerstator und einen Erregerrotor verfügt, wovon einer des Erregerstators und des Erregerrotors eine Primärwicklung hat und der jeweils andere des Erregerstators und des Erregerrotors eine Primärwicklung hat und der andere des Generatorstators und Generator-

rotors erste, zweite und dritte sekundäre Phasenwicklungen hat, und eine Generatorstufe einen Generatorrotor und einen Generatorstator hat, wovon einer des Generatorstators und des Generatorrotors erste, zweite und dritte sekundäre Phasenwicklungen hat, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst: Anschließen der Primärwicklungen der Erreger- und Generatorstufen an eine Dreiphasen-Wechselstromquelle, wobei die Wechselstromquelle eine Netzspannung von V_m hat; Anschließen einer ersten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe an eine erste sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe; Finden einer Spannung von im Wesentlichen $2V_m$ zwischen einer sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe und einer zweiten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe; Finden einer Spannung von im Wesentlichen $2V_m$ zwischen einer dritten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe und einer dritten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe; sowie Anschließen der zweiten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe an die zweite sekundäre Phasenwicklung des Generators; sowie Anschließen der dritten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe an die dritte sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe.

[0014] Der korrekte Abgleich des Phasenwinkels der ersten, zweiten und dritten Phasenwicklungen der sekundären Wicklungen wird durch Anschließen der Primärwicklungen der Erreger- und Generatorstufen an die Wechselstromquelle mit einer Netzspannung V_m bestimmt sowie durch Anschließen der ersten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe an die erste sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe. Anschließend wird die Spannung zwischen der zweiten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe und der zweiten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe mit einem Wert von ungefähr $2V_m$ bestätigt, und die Spannung zwischen der dritten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe und der dritten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe wird mit einem Wert von ungefähr $2V_m$ bestätigt. Vorzugsweise wird die Spannung zwischen der zweiten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe und der dritten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe mit einem Wert von ungefähr $\sqrt{3}V_m$ bestätigt, und die Spannung zwischen der dritten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe und der zweiten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe wird mit einem Wert von ungefähr $\sqrt{3}V_m$ bestätigt. Sobald diese Spannungen bestätigt worden sind, wird die zweite sekundäre Phasenwicklung der Erregerstufe an die zweite sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe angeschlossen, und die dritte sekundäre Phasenwicklung der Erregerstufe wird an die dritte sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe angeschlossen.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform einer Rotorprimärmaschine ist der Leitungs-Synchronge-

erator mit einem Erregerrotor konfiguriert, der zur rotierenden Vorwärtsbewegung durch eine externe Energiequelle angebracht ist. Der Erregerrotor beinhaltet ein Polpaar, wovon jeder Pol über eine Wicklung zur Verbindung über die Wechselstromquelle verfügt. Der Erregerstator, der zur Drehung auf einem innenliegenden Abschnitt des Erregerstators montiert ist, verfügt auch über ein Polpaar, wovon jeder Pol eine Wicklung hat. Der Generatorrotor, der zur gemeinsamen Drehung mit dem Erregerrotor montiert ist, verfügt über ein Polpaar, wovon jeder Pol eine Wicklung zur Verbindung über die Wechselstromquelle hat. Die Generatorstufe hat einen innenliegenden Abschnitt, worin der Generatorrotor drehbar montiert ist. Der Generatorstator verfügt über ein Polpaar, wovon jeder Pol eine Wicklung hat, die invers mit den entsprechenden Wicklungen auf dem Polpaar des Erregers verbunden ist, um die durch die Drehung der Erreger- und Generatorrotoren induzierte elektrische Frequenz aufzuheben.

[0016] Ein attraktives Merkmal der beschriebenen Ausführungsform liegt darin, dass der Leitungs-Synchrongenerator trotz Schwankungen der Geschwindigkeit der Welle selbstsynchronisierend bleibt. Zudem kann der korrekte Abgleich des Phasenwinkels auch für unabhängig hergestellte Erreger- und Generatorkomponenten mit Wicklungen in entgegengesetzten Richtungen oder mit Phasen, die in Bezug auf die Schlüsselnut in verschiedenen Nuten auf dem Kern beginnen, einfach erreicht werden. Diese wirtschaftlich realisierbare Lösung für alternative Energiequellen besitzt großes Potenzial für die Bewältigung der gegenwärtigen Energieknappheit bei einem Minimum an negativen Auswirkungen auf die Umwelt.

[0017] Das Verfahren zur Bestimmung des Phasenabgleichs eines Dreiphasen-Synchrongenerators und zur Darstellung der vorliegenden Erfindung wird nun beispielhaft unter Bezugnahme auf die zugehörigen schematischen Zeichnungen beschrieben. Es zeigen:

[0018] [Fig. 1](#) eine vereinfachte schematische Darstellung eines in den US-amerikanischen Patenten 4,701,691 und 4,229,689 beschriebenen Induktionsgenerators;

[0019] [Fig. 2](#) eine vereinfachte schematische Darstellung eines Dreiphasen-Stator-Primärleitungs-Synchrongenerators gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0020] [Fig. 3](#) eine vereinfachte schematische Darstellung eines Dreiphasen-Rotor-Primärleitungs-Synchrongenerators gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0021] [Fig. 4](#) eine vereinfachte schematische Dar-

stellung einer Synchrongeneratorstruktur mit redundanter Leitung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0022] [Fig. 5A](#) bis [Fig. 5C](#) Vektordiagramme, welche die korrekten Phasenbeziehungen zwischen den sekundären Wicklungen des Leitungs-Synchrongenerators gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellen;

[0023] [Fig. 6A](#) bis [Fig. 6F](#) Vektordiagramme, welche die inkorrekten Phasenbeziehungen zwischen den sekundären Wicklungen des Leitungs-Synchrongenerators gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellen;

[0024] [Fig. 7A](#) eine schematische Darstellung, welche die sekundären Wicklungen des Leitungs-Synchrongenerators gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung vor einem Test veranschaulicht;

[0025] [Fig. 7B](#) eine schematische Darstellung, welche die sekundären Wicklungen des Leitungs-Synchrongenerators gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht, wenn diese korrekt mit neu durchnummerierten Anschlusspunkten verbunden sind;

[0026] [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung, welche den gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zwischen den sekundären Wicklungen angeordneten Kompensationskreis veranschaulicht;

[0027] [Fig. 9](#) ein Schaubild, welches die abgegebene Leistung für verschiedene Kompensationsschaltkreise als eine Funktion der Winkelrotation der Rotoren gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht;

[0028] [Fig. 10](#) ein Schaubild, welches die abgegebene Leistung für Phasenwinkel zwischen der Erreger- und der Generatorstufe als eine Funktion der Winkelrotation der Rotoren gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht; und

[0029] [Fig. 11](#) ein Vektordiagramm, das die korrekten Phasenbeziehungen zwischen den sekundären Wicklungen des Leitungs-Synchrongenerators mit einem 15° Phasenwinkelfehler gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung veranschaulicht.

[0030] Eine bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird in [Fig. 2](#) dargestellt. Der Dreiphasenleitungs-Synchrongenerator beinhaltet zwei Stufen, eine Erregerstufe **24** und eine Generatorstufe **26**. Die Erregerstufe **24** beinhaltet einen Erregersta-

tor **28** mit drei elektromagnetischen Polpaaren. Jedes Polpaar hat eine Primärwicklung, die über eine andere Phase einer Wechselstromquelle **30** verbunden ist. Ein Erregerrotor **32**, der zur Rotation im Inneren des Erregerstators **28** montiert ist, beinhaltet ebenfalls drei elektromagnetische Polpaare, wovon jedes mit einer sekundären Wicklung gewickelt ist. Der Erregerrotor **32** ist zur rotierenden Vorwärtsbewegung mittels einer lokalen Energiequelle **33** angebracht.

[0031] Die Generatorstufe **26** beinhaltet einen Generatorrotor **34**, der zur gemeinsamen Drehung mit dem Erregerrotor **32** im Inneren eines Generatorstators **38** verbunden ist. Der Generatorrotor **34** beinhaltet ferner drei elektromagnetische Polpaare, wovon jedes mit einer sekundären Wicklung gewickelt ist. Die sekundären Wicklungen des Generatorrotors sind mit den sekundären Wicklungen des Erregerrotors **32** invers verbunden, um eine elektrische Aufhebung der durch die Winkelrotation der lokalen Energiequelle induzierten Frequenz zu bewirken. Der Generatorstator **38** ist an die Wechselstromquelle **30** angeschlossen. In einer alternativen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung sind die Rotoren der Erreger- und Generatorstufen mit der Wechselstromquelle verbunden, und die Dreiphasenwicklungen der Erreger- und Generatorstator sind zur elektrischen Aufhebung verbunden. [Fig. 3](#) zeigt einen Erregerrotor **52**, welcher zur rotierenden Vorwärtsbewegung mittels einer lokalen Energiequelle **53** angebracht ist und über drei elektromagnetische Polpaare verfügt, wovon jedes eine Primärwicklung hat, die über eine andere Phase der Wechselstromquelle **54** verbunden ist. Die Erregerstufe **56** beinhaltet ferner einen Erregerstator **72** mit drei elektromagnetischen Polpaaren, die mit sekundären Wicklungen gewickelt sind.

[0032] Ähnlich umfasst die Generatorstufe **64** einen Generatorstator **74** mit drei elektromagnetischen Polpaaren, die mit sekundären Wicklungen gewickelt sind. Die sekundären Wicklungen des Erregerstators **72** sind mit den sekundären Wicklungen des Generatorstators **74** invers verbunden, um eine elektrische Aufhebung der durch die Winkelrotation der lokalen Energiequelle induzierten Frequenz zu bewirken. Der Generatorrotor **75**, der zur gemeinsamen Rotation mit dem Erregerrotor **52** verbunden ist, ist an die Wechselstromquelle **54** angeschlossen. Lediglich zu Erläuterungszwecken werden die Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung für einen Dreiphasenleistungs-Synchrongenerator beschrieben, welcher als Statorprimärmaschine konfiguriert ist, d. h. Statoren, die an die Wechselstromquelle angeschlossen sind. Jedoch werden Experten aus dem entsprechenden Fachgebiet erkennen, dass die vorliegende Erfindung nicht auf Statorprimärmaschinen beschränkt ist, und dass sämtliche beschriebene Ausführungsbeispiele und Testverfahren gleichermaßen auf Rotorprimärmaschinen angewendet werden kön-

nen, d. h. Rotoren, die an die Wechselstromquelle angeschlossen sind.

[0033] Wie aus [Fig. 4](#) hervorgeht, kann der Leistungs-Synchrongenerator um redundante Komponenten erweitert werden. Insbesondere können eine dritte redundante Stufe, welche einen Rotor **78** auf der gemeinsamen Welle **80** sowie einen Stator **76** umfasst, unverbunden bleiben. Die Anschlusspunkte T001, T002 und T003 können dann als Ersatz für die Anschlusspunkte T1, T2 und T3 oder T01, T02 und T03 angebunden werden, für den Fall, dass die Erreger- oder Generatorstufe versagt.

[0034] Die Wirkungsweise des Generators wird unter Bezugnahme auf [Fig. 2](#) beschrieben. Bei Statorprimärmaschinen wird der Erregerstator **28** von der Wechselstromquelle **30** erregt, wodurch ein sich drehendes magnetisches Feld bei einer Winkelgeschwindigkeit gleich der Frequenz der Wechselstromquelle **30** erzeugt wird. Der Erregerrotor **32** wird von der lokalen Energiequelle **33** innerhalb des rotierenden Magnetfeld gedreht, welches vom Erregerstator **28** generiert wird. Die induzierte Signalfrequenz bei der Ausgabe des Erregerrotors **32** ist gleich der Summe der Winkelgeschwindigkeit der lokalen Energiequelle **33** plus der Frequenz der Wechselstromquelle **30**. Beim Drehen des Generatorrotors **34** innerhalb des Generatorstators **38** bewirkt die inverse Verbindung zum Erregerrotor **32**, dass die von der lokalen Energiequelle **33** erzeugte Winkelgeschwindigkeit subtrahiert wird. Im Ergebnis entsteht eine induzierte Spannung bei der Ausgabe des Generatorstators **38**, welche hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit der Frequenz der Wechselstromquelle entspricht. Somit wird die Spannungsausgabe bei einer beliebigen Winkelgeschwindigkeit über der Synchrongeschwindigkeit für einen mehrpoligen Generator gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung dieselbe Frequenz wie die Quelle haben, mit der sie verbunden ist.

[0035] Unterhalb der Synchrongeschwindigkeit wird eher Strom verbraucht als erzeugt.

[0036] Während diese theoretische Lösung die Auswirkungen von Geschwindigkeitsschwankungen der Welle auf die Ausgabefrequenz eines Dreiphasenleistungs-Synchrongenerators beseitigt, kann eine optimale Ausgangsleistung nur durch den korrekten Phasenabgleich zwischen der Erreger- und der Generatorstufe **24**, **26** erreicht werden. Diese Verbindung wird dadurch erreicht, dass zunächst sichergestellt wird, dass die Primärwicklungen der Erregerstufe dieselbe Phasenfolge wie die Primärwicklungen der Generatorstufe haben, und dann die sekundären Wicklungen der Erreger- und der Generatorstufe invers verbunden werden.

[0037] Infolge dessen, dass die Erreger- und Gene-

ratorstufen unabhängig voneinander hergestellt werden, ist es wichtig, die korrekte Verbindung zwischen den Primärwicklungen zu ermitteln, um sicherzustellen, dass jede Stufe des Leitungs-Synchrongenerators dieselbe Phasenfolge hat. Diese Bestimmung kann auf eine Vielzahl von Arten durchgeführt werden. Zum Beispiel kann mit einer Statorprimärmaschine ein kleiner Drehstrommotor von den Statorwicklungen mit an die Rotorwicklungen angelegtem Strom angetrieben werden. Die korrekte Phasenfolge der Statorwicklungen tritt ein, wenn der Motor in derselben Rotationsrichtung von sowohl der Erregerstatorwicklung als auch der Generatorstatorwicklung angetrieben wird. Ein anderer Weg, die korrekte Phasenfolge zu erhalten, ist mit einem Phasendrehungsmessgerät oder mit zwei Lampen und einem Wechselspannungskondensator in einer Sternschaltung gemäß bekannten Testtechniken nach dem Stand der Technik.

[0038] Sobald die korrekte Phasenfolge erzielt worden ist, werden die Statorwicklungen an die entsprechenden Phasen der Wechselstromquelle angeschlossen. Der korrekte Phasenwinkel zwischen den Rotorwicklungen wird dann durch den Verbindungsprozess erreicht. Um eine elektrische Aufhebung der durch die Winkelgeschwindigkeit der Rotorwelle induzierten Frequenz zu erhalten, müssen die Rotorwicklungen so verbunden werden, dass die durch Winkelrotation in jeder Erregerrotorwicklung induzierte Spannung eine gleichwertige aber entgegengesetzte Polarität zu der in der Generatorrotorwicklung, mit der sie verbunden ist, induzierten Spannung hat.

[0039] Vektordiagramme stellen einen nützlichen Mechanismus dar, um zu veranschaulichen, wie Verbindungen zwischen den zweiten Wicklungen ermittelt werden können. Wie in **Fig. 5** und **6** dargestellt ist, resultieren nur drei mögliche Verbindungen zwischen den Rotorwicklungen in einer Phasenverschiebung um 180° zwischen jeder sekundären Wicklungsverbindung, wie in **Fig. 5A-Fig. 5C** gezeigt wird, und jede Erregerrotorwicklung wird in Bezug auf ihre entsprechende Generatorrotorwicklung um 180° verschoben. Als Beispiel soll **Fig. 5B** betrachtet werden. Die folgenden Phasenwinkel zwischen den verbundenen Anschlusspunkten lassen sich leicht ermitteln:

$T03 = 0^\circ$ und $T3 = 180^\circ$; $\Delta 180^\circ$
 $T01 = 120^\circ$ und $T1 = 300^\circ$; $\Delta 180^\circ$ und
 $T02 = 240^\circ$ und $T2 = 60^\circ$; $\Delta 180^\circ$.

[0040] Dieselben Phasenbeziehungen gelten für die sekundären Verbindungen, die in den Vektordiagrammen in **Fig. 5A** und **Fig. 5C** gezeigt werden.

[0041] Im Gegensatz dazu gibt es sechs weitere mögliche Verbindungen, welche keine elektrische Aufhebung der durch die Winkelrotation der Rotoren

induzierten Frequenz bewirken. Diese sechs inkorrekten Verbindungen werden durch die Vektordiagramme in **Fig. 6A-Fig. 6F** dargestellt. Wie in jedem dieser Diagramme gezeigt wird, haben die Spannungen in jedem Verbindungspaar zwischen dem Erregerrotor und dem Generatorrotor nicht nur dieselbe Spannung, sondern auch dieselbe Phase. Unter Bezugnahme auf **Fig. 6A**, die jedoch nur beispielhaft zu verstehen ist, lässt sich diese Beziehung einfach aufzeigen:

$T01 = 300^\circ$ und $T1 = 300^\circ$;

$\Delta 0^\circ$ $T02 = 60^\circ$ und $T2 = 60^\circ$; $\Delta 0^\circ$; und $T03 = 180^\circ$ und $T3 = 180^\circ$; $\Delta 0^\circ$.

[0042] Diese Vektordiagramme sind ferner nützlich, um Testparameter zur Bestimmung der korrekten Verbindungen zwischen den Rotorwicklungen während des Herstellungsprozesses aufzustellen. Allen Vektordiagrammen aus **Fig. 5A-Fig. 5C**, bei denen eine Erregerrotorwicklung der Dreiphasen-Wicklungen mit einer Generatorrotorwicklung verbunden ist, ist gemeinsam, dass die Spannungen zwischen den übrigen offenen Wicklungen aus zwei Paaren bei dem Doppelten der Netzspannung ($2V_m$) und zwei Paaren bei $\sqrt{3}$ Mal der Netzspannung ($\sqrt{3}V_m$) bestehen werden, was mit Hilfe der geometrischen Beziehung zwischen den Phasen bewiesen wird. Zum Beispiel sind die in die offenen Wicklungen induzierten Spannungen in **Fig. 5B** wie folgt:

$T2$ bis $T02 = 2V_m$
 $T3$ bis $T03 = 2V_m$
 $T2$ bis $T03 = \sqrt{3}V_m$
 $T3$ bis $T02 = \sqrt{3}V_m$

[0043] Da Vektoren über eine festgelegte Länge und Richtung im Raum verfügen, können diese Ergebnisse mit Hilfe eines gewöhnlichen Lineals überprüft werden.

[0044] Die Vektordiagramme können mathematisch bestätigt werden. Gemäß der klassischen elektrischen Theorie gilt, dass wenn eine Spannung an eine Primärwicklung eines Induktionsgenerators angelegt wird, eine Spannung in die sekundäre Wicklung des offenen Schaltkreises induziert wird. Bei einer in Stern geschalteten Dreiphasenwicklung ist jede Phase um 120° verschoben. Die induzierte Spannung an den sekundären Anschlusspunkten des offenen Schaltkreises wird ausgeglichen. Für den Phasentest verbindet ein Verbindungsdraht einen Anschlusspunkt von jeder sekundären Wicklung. In **Fig. 5B** ist dies Anschlusspunkt $T1$ und Anschlusspunkt $T01$. Während an die Primärwicklung eine Spannung angelegt ist, werden die verbleibenden sekundären Spannungen des offenen Schaltkreises gemessen. In **Fig. 5A** wären dies

T2 bis T02

T3 bis T03

T2 bis T03

T3 bis T02

[0045] Wie sich in [Fig. 5A](#) deutlich erkennen lässt, ist die sekundäre Spannung zwischen T2-T01 die Netzspannung. Ferner ist die Spannung zwischen T1-T02 die Netzspannung. Deshalb wird die Spannung zwischen T2-T02 das Doppelte der Netzspannung betragen. Dasselbe gilt für T3-T03.

[0046] Die Spannung über T2-T03 ergibt sich aus einem schiefen Dreieck, das durch die Seiten T1-T03, T01-T2 und T2-T03 definiert wird. Bei korrektem Abgleich identifiziert die klassische elektrische Dreiphasentheorie die Winkel wie in [Fig. 5B](#) dargestellt. Die Spannung, die sich daraus ergibt, wird zwischen T2-T03 folgendermaßen sein:

$$V_{2-03} = (V_{2-03}) \frac{\sin \angle B}{\sin \angle A}$$

[0047] Für korrekten Abgleich:

$$\begin{aligned} V_{2-03} &= (V_{2-03}) \left(\frac{\sin 120^\circ}{\sin 30^\circ} \right) \\ &= (V_{2-03}) \left(\frac{0.866}{0.5} \right) \\ &= (V_{2-03}) (1.73) \end{aligned}$$

[0048] Dasselbe gilt für die Spannung zwischen T3-T02. Deshalb wird die Spannung bei korrektem Abgleich ein Paar von Anschlusspunkten bei dem Doppelten der Netzspannung und ein Paar von Anschlusspunkten bei $\sqrt{3}$ Mal die Netzspannung sein.

[0049] Mit den aus diesen Vektordiagrammen gewonnenen Kenntnissen lässt sich eine Methodologie zum Verbinden der Rotorwicklungen miteinander ermitteln, welche die Herstellungskosten wesentlich reduziert, während sie die Produktausbeute erhöht. Insbesondere erfordert das Verfahren zur Ermittlung der korrekten Verbindungen in einer Statorprimärmaschine die Verbindungen von einem Paar von Rotorwicklungen und anschließend das Finden von zwei verbleibenden Paaren von im Wesentlichen identischen Spannungen zwischen den Rotorwicklungen.

[0050] Wenden wir uns nun [Fig. 7A](#) zu, wo die sekundären Wicklungen gezeigt werden, wie sie für einen Test bereitstehen. Die Erreger- und Generatorstator sind an eine Wechselstromquelle angeschlossen. Die induzierten Netzspannungen sollten gleich sein, wenn zwei Sätze von Rotorwicklungen gleich sind: Windungen, Neigung, Kabelgröße, Verbindung, usw. In diesem Beispiel beträgt die Span-

nung zwischen den Phasen 90 Volt. Die Verbindung könnte wie abgebildet in Stern oder im Dreieck oder jeweils eines von jedem geschaltet sein. Um Testergebnisse zu erhalten, wird ein Anschlusspunkt von jeder Rotorwicklung durch einen Verbindungsleiter angebunden.

[0051] Entweder die Primärwicklung oder die Sekundärwicklung könnte der Rotor oder Stator sein, doch sie müssen dasselbe Teil sein. Wenn eine Hälfte des Synchrongenerators als eine Rotorprimärmaschine konfiguriert ist, muss somit die andere Hälfte des Synchrongenerators auch als eine Rotorprimärmaschine konfiguriert werden.

[0052] Wie durch die Vektordiagramme aus [Fig. 5](#) und [6](#) definiert ist, müssen zwei Paar von im Wesentlichen identischen Spannungen gefunden werden. Mit einer Netzspannung von 90 Volt müssen die folgenden Werte in einem Test erhalten werden:

2(90) = 180 Volt für ein Spannungspaar; und
 $\sqrt{3}(90) = 156$ Volt für das andere Spannungspaar.

[0053] Zur Ausführung des Tests werden für jede Rotorwicklung die Anschlusspunkte mit einem Verbindungsdraht verbunden. In diesem Beispiel werden zunächst T1 und T01 über einen Verbindungsdraht miteinander verbunden und die folgenden Spannungen werden durch einen Test erhalten:

T2-T02 = 156 Volt
 T2-T03 = 90 Volt
 T3-T02 = 180 Volt
 T3-T03 = 156 Volt.

[0054] Diese gemessenen Spannungen stimmen mit [Fig. 6A-Fig. 6F](#) überein und zeigen die nicht korrekte Verbindung von Rotorwicklungen.

[0055] Der Verbindungsdraht wird dann entfernt und zwischen einem anderen Paar von Anschlusspunkten verlegt. In diesem Beispiel wird zunächst T2 mit T01 über den Verbindungsdraht miteinander verbunden, und die folgende Spannung wird in einem Test ermittelt:

T1-T02 = 156 Volt
 T1-T03 = 180 Volt
 T3-T02 = 180 Volt
 T3-T03 = 156 Volt.

[0056] Dieses Ergebnis ist mit [Fig. 5A-Fig. 5C](#) konsistent und bestätigt die korrekte Verbindung der Rotorwicklungen. Aus den Vektordiagrammen [Fig. 5A-Fig. 5C](#) geht hervor, dass die Rotorwicklungen mit einer Spannung von 2Vm oder 180 Volt miteinander verbunden werden sollten. Die korrekten Verbindungen der Rotorwicklungen werden in [Fig. 7B](#) dargestellt, wobei T1 mit T03 und T3 mit T02

verbunden ist. Vorzugsweise sollten die Anschlusspunkte neu nummeriert werden.

[0057] Sobald der korrekte Phasenwinkel zwischen den Rotorwicklungen ermittelt worden ist, kann elektrische Kompensation zwischen jedem Paar der Dreiphasenwicklungen eingefügt werden. Insbesondere können Widerstände und Kondensatoren zwischen den jeweiligen Wicklungen eingesetzt werden, um den dynamischen Betriebsbereich des Geräts zu erweitern, ohne dass eine ständige Phasenwinkelanpassung zwischen der Erreger- und der Generatorstufe erfolgen muss. Als Alternative kann die elektrische Kompensation in den Primärwicklungen der Statoren eingefügt werden.

[0058] Wenn wir uns nun [Fig. 8](#) zuwenden, zeigt sich die Auswirkung von einem Kompensationswiderstand, der zwischen die Rotorwicklungen eingefügt wird, in einem erweiterten Betriebsbereich, was eine höhere Betriebsgeschwindigkeit zulässt. In diesem Beispiel wirken sich die Kompensationsnetzwerke **76**, **78** und **80** auf die oben beschriebene Verbindung der Wicklungen aus. Das Netzwerk **76** beinhaltet einen Widerstand **82**, der mit einem Kondensator **84** parallel geschaltet ist, das Netzwerk **78** umfasst einen Widerstand **88**, der mit einem Kondensator **90** parallel geschaltet ist, und das Netzwerk **80** umfasst einen Widerstand **94**, der mit einem Kondensator **96** parallel geschaltet ist. Es hat sich gezeigt, dass der Dynamikbereich ausgedrückt als Quotient sowohl des Leistungsfaktors als auch der Wirksamkeit durch eine Erhöhung des Widerstands der Widerstände **82**, **88** und **94** von ungefähr 0 Ohm auf etwa 5,8 Ohm wesentlich gesteigert wird.

[0059] [Fig. 9](#) zeigt den erweiterten Bereich des Geräts, mit Hilfe dessen die gewünschten Ergebnisse unter Einsatz von Widerständen für spezifische Anwendungen erzielt werden. Die Ausgabekurve wird für einen Dreiphasenleitungs-Synchrongenerator mit 15 kW, 4 Polen und 60 Hz gezeigt.

[0060] Ein weiterer wichtiger Parameter für die Optimierung der Leistung des Dreiphasenleitungs-Synchrongenerators ist der Phasenwinkel zwischen der Generator- und der Erregerstufe. In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung kann die Winkelposition des Erregerstators, des Erregergenerators, des Generatorrotors oder des Generatorstators zur Optimierung der Leistung vorwärts oder rückwärts bewegt werden. Optimales Laden ist eine Funktion des Erregerphasenwinkels und der Umdrehungszahl pro Minute des Rotors. Wenn die Umdrehungszahl pro Minute wesentlich über die "Synchrongeschwindigkeit" steigt, verringert sich der Phasenwinkelbereich, der notwendig ist, um die maximale Last des Generators zu erfüllen, deutlich. Somit wird durch Manipulation des Phasenwinkels der Erregerstufe relativ zur Generatorstufe vollständige

Kontrolle über die Last erreicht. Der Einsatz von Antriebsmaschinen mit variabler Geschwindigkeit erfordert ein reaktionsschnelles und exaktes Gerät, um eine angemessene Phasenwinkeloptimierung bereitzustellen.

[0061] [Fig. 10](#) veranschaulicht die Ausgabeleistung bei verschiedenen Phasenwinkeln einer Statorprimärmaschine mit 6 Polen, 25 kW, 480 Volt und 60 Hz, welche mit einem Gleichstromregelmotor mit 75 Pferdestärken verbunden ist. Die Ausgabeleistung wird bei vier verschiedenen Phasenwinkeln zwischen dem magnetischen Feld des Erregers und des Generators gezeigt.

[0062] In einer bevorzugten Ausführungsform wird das Feld des Generatorstators abgegriffen und durch einen Kontrollmechanismus mit der Frequenz der Wechselstromquelle verglichen, um ein Phasenfehlersignal für einen Stellmotor bereitzustellen. Dieser Stellmotor positioniert den Erregerstator, um die Last des Generators zu optimieren, eine Funktion des Phasenunterschieds, die sich aus Änderungen der Wellengeschwindigkeit ergibt. Die Genauigkeit und Reaktion des Stellmotors sowie sein Kontrollmechanismus sind entscheidend für die Optimierung der Last des Generators. Da die Regelungstechnik für Stellmotoren ausreichend fortgeschritten ist, kann eine exakte Induktionskompensation für den Erreger in nahezu allen Anwendungen der elektrischen Stromerzeugung bereitgestellt werden.

[0063] Alternativ kann der Phasenwinkel während des Verbindungsprozesses der Rotorwicklungen eingestellt werden. Wenden wir uns nun [Fig. 11](#) zu, wo ein Vektordiagramm gezeigt wird, welches die Phasenbeziehungen der Rotorwicklungen mit korrekter Verbindung zur Erzielung von elektrischer Aufhebung darstellt, doch mit einer Fehlausrichtung des Phasenwinkels von 15° zwischen den Erreger- und Generatorstufen. Der in [Fig. 10](#) wiedergegebene Test wird durchgeführt, während T1 mit T01 verbunden ist. Es werden die folgenden Testergebnisse ermittelt:

T2 bis T02 = 178 Volt
T2 bis T03 = 143 Volt
T3 bis T02 = 166 Volt
T3 bis T03 = 178 Volt

[0064] Die Spannung zwischen den Anschlusspunkten T2-T02 und T3-T03 beträgt jeweils 178 Volt, was nahe genug bei 180 Volt liegt, um einem der erforderlichen Paare zu genügen. Jedoch sind die Spannungen zwischen den übrigen Anschlusspunkten nicht nahe genug bei den 156 Volt, um dem zweiten erforderlichen Paar zu genügen. Wenn allerdings die Spannungen ermittelt werden, liegt das Ergebnis bei 155 Volt, was nahe genug bei der gewünschten Spannung liegt. Dies weist auf einen unkorrekten Phasenwinkel zwischen der Erregerstufe und der

Generatorstufe hin. In diesem Fall kann entweder der Erregerstator, der Erregerrotor, der Generatorstator oder der Generatorrotor auf seiner Achse physisch rotiert werden, bis die Spannungen zwischen T2 und T03 sowie die Spannungen zwischen T3 und T02 jeweils 155 Volt betragen. In diesem Fall wird aus dem Vektordiagramm aus [Fig. 8](#) ersichtlich, dass eine elektrische Phasenverschiebung um 15° zu optimaler Leistung führen wird.

[0065] Alternativ kann die Korrektur des Phasenwinkels durchgeführt werden, indem die Wicklungen entweder des Erregerrotors, des Erregerstators, des Generatorrotors oder des Generatorstators geändert werden. In anderen Worten kann der optimale Phasenwinkel ohne eine physische Verschiebung der Rotoren oder Statoren erreicht werden, wenn diese versetzt gewickelt werden. Wenn die Nuten auf dem Generatorabschnitt beispielsweise von 1 bis 36 nummeriert sind, beginnen wir die Generatorgruppe in Nut 1 und die Gruppe des Erregers wird in Nut 2 oder 3 begonnen, um den gewünschten Phasenwinkel zu erhalten.

[0066] Die physische Winkelverschiebung wird durch die Anzahl von Polen bestimmt. Die Winkelverschiebung stellt sich wie folgt dar:

$$\chi = \frac{360^\circ}{\text{Phases} \times \text{Poles}}$$

[0067] Für ein Dreiphasensystem mit vier (4) Polen beträgt dieser Winkel.

$$\chi = \frac{360^\circ}{(3)(4)} = 20^\circ$$

[0068] Deshalb ist eine Winkelverschiebung um 20° erforderlich. Dies kann erreicht werden, indem die Wicklung von zwei festen Kernen nur verschoben wird, wenn die Zahl der Nuten erlaubt, dass der notwendige Winkel eingehalten wird. Zum Beispiel würde ein Kern mit 36 Nuten bei einer Verschiebung um zwei Nuten 20° ergeben, und ist für ein Dreiphasensystem mit vier (4) Polen geeignet. Doch ein Kern mit 48 Nuten führt zu keiner Kombination von 20°, und deshalb könnte durch Kernverschiebung kein Phasenwinkelabgleich erzielt werden.

[0069] Die beschriebenen Ausführungsformen stellen eine wichtige Lösung bereit, die eine beträchtliche Schwankung der Rotationsgeschwindigkeit über traditionelle Maschinengrenzen hinaus ermöglicht, während sie selbstsynchronisierend bleibt. Die aktiven Regelungen sind auf die zu Sicherheitszwecken notwendigen beschränkt. Die Höchstgrenzen der Maschinengeschwindigkeit können mit einfachen aktiven Regelungen von passiven Geräten verbessert werden. Dies zeigt die Vielseitigkeit des Erfinders, einen von Natur aus geeigneten Geschwindigkeitsbereich, der durch die Ergänzung von einfachen passi-

ven Geräten erweitert werden kann. Somit kann jede beliebige lokale Energiequelle wirkungsvoll zur Einspeisung in das Versorgungsnetz eingesetzt werden, welche eine Mindestgeschwindigkeit erlaubt und die parasitären Verluste des Gerätes übersteigt. Solch eine Anpassung von alternativen Energiequellen besitzt großes Potenzial für die Bewältigung der gegenwärtigen Energieknappheit bei einem Minimum an negativen Auswirkungen auf die Umwelt.

[0070] Aus der vorstehenden Beschreibung wird ersichtlich, dass die vorliegende Erfindung einem unmittelbaren Bedarf an einem Dreiphasenleitungs-Synchrongenerator mit angemessener Phaseneinstellung entspricht, welcher über eine konstante Frequenz und Spannungsausgabe bei variablen Geschwindigkeiten der Welle verfügt. Dieser Dreiphasenleitungs-Synchrongenerator kann in anderen spezifischen Formen ausgeführt werden und lässt sich mit einer Vielzahl von Energiequellen nutzen, wie beispielsweise mit Windmühlen, Windturbinen, Wasserrädern, Wasserturbinen, Verbrennungsmotoren, solarbetriebenen Motoren oder dampfbetriebenen Turbinen, ohne dabei vom Wesen oder den grundlegenden Merkmalen der vorliegenden Erfindung abzuweichen. Es ist deshalb wünschenswert, dass die beschriebenen Ausführungsformen in jeder Hinsicht als Veranschaulichung und nicht als Einschränkung gelten, wobei eher auf die angehängten Patentansprüche als auf die vorstehende Beschreibung Bezug genommen werden soll, um den Umfang der Erfindung darzulegen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Phasenabgleich eines Dreiphasenleitungs-Synchrongenerators, wobei besagter Leitungs-Synchrongenerator eine Erregerstufe (24) mit einem Erregerstator (28) und einem Erregerrotor (32) umfasst, einer des besagten Erregerstators (28) und Erregerrotors (32) eine Primärwicklung aufweist und der Andere des besagten Erregerstators (28) und Erregerrotors (32) erste, zweite und dritte sekundäre Phasenwicklungen und eine Generatorstufe (26) mit einem Generatorrotor (34) und einen Generatorstator (38) aufweist, wobei einer des besagten Generatorstators (38) und Generatorrotors (34) eine Primärwicklung und der Andere des besagten Generatorstators (38) und Generatorrotors (34) erste, zweite und dritte sekundäre Phasenwicklungen aufweist, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst:

Anschließen der Primärwicklungen der Erreger- und Generatorstufen (24, 26) an eine Dreiphasen-Wechselstromquelle (30), wobei besagte Wechselstromquelle (30) eine Netzspannung aufweist, die V_m entspricht;

Anschließen einer ersten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe (24) an eine erste sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe (26);

Auffinden einer Spannung von im Wesentlichen $2V_m$ zwischen einer sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe (24) und einer zweiten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe (26);
 Auffinden einer Spannung von im Wesentlichen $2V_m$ zwischen einer dritten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe (24) und einer dritten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe (26); und
 Anschließen der zweiten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe (24) an die zweite sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe (26); und
 Anschließen der dritten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe (24) an die dritte sekundäre Phasenwicklung der Generatorstufe (28).

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch die Schritte Auffinden einer Spannung von im Wesentlichen $\sqrt{3}V_m$ zwischen der zweiten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe (24) und der dritten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe (26) und Auffinden einer Spannung von im Wesentlichen $\sqrt{3}V_m$ zwischen der dritten sekundären Phasenwicklung der Erregerstufe (24) und der zweiten sekundären Phasenwicklung der Generatorstufe (26).

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die sekundären Wicklungen der Erregerstufe (24) auf den Erregerrotor (32) gewickelt sind und die sekundären Wicklungen der Generatorstufe (26) auf den Generatorrotor (34) gewickelt sind.

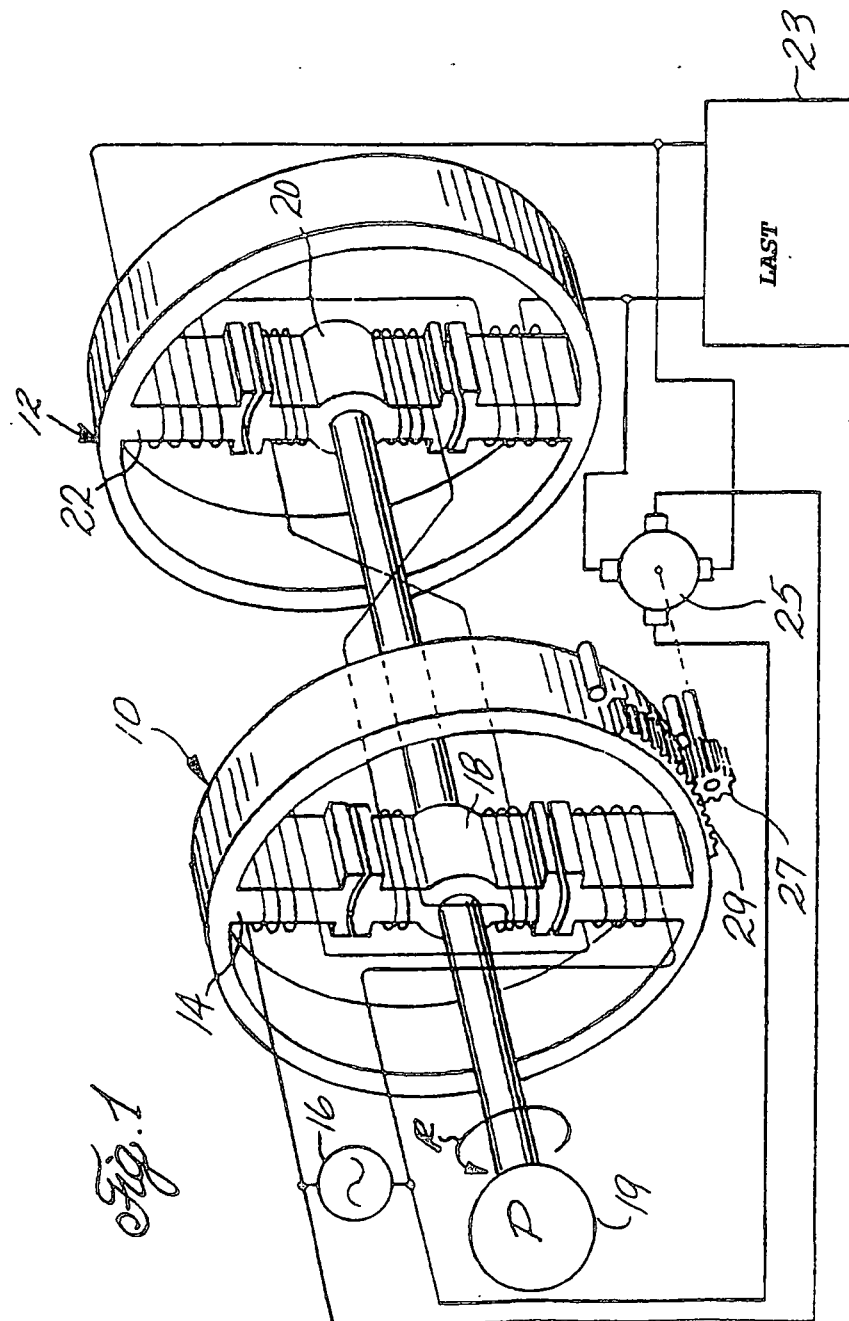
4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die sekundären Wicklungen der Erregerstufe (24) auf den Erregerstator (28) gewickelt sind und die sekundären Wicklungen der Generatorstufe (26) auf den Generatorstator (26) gewickelt sind.

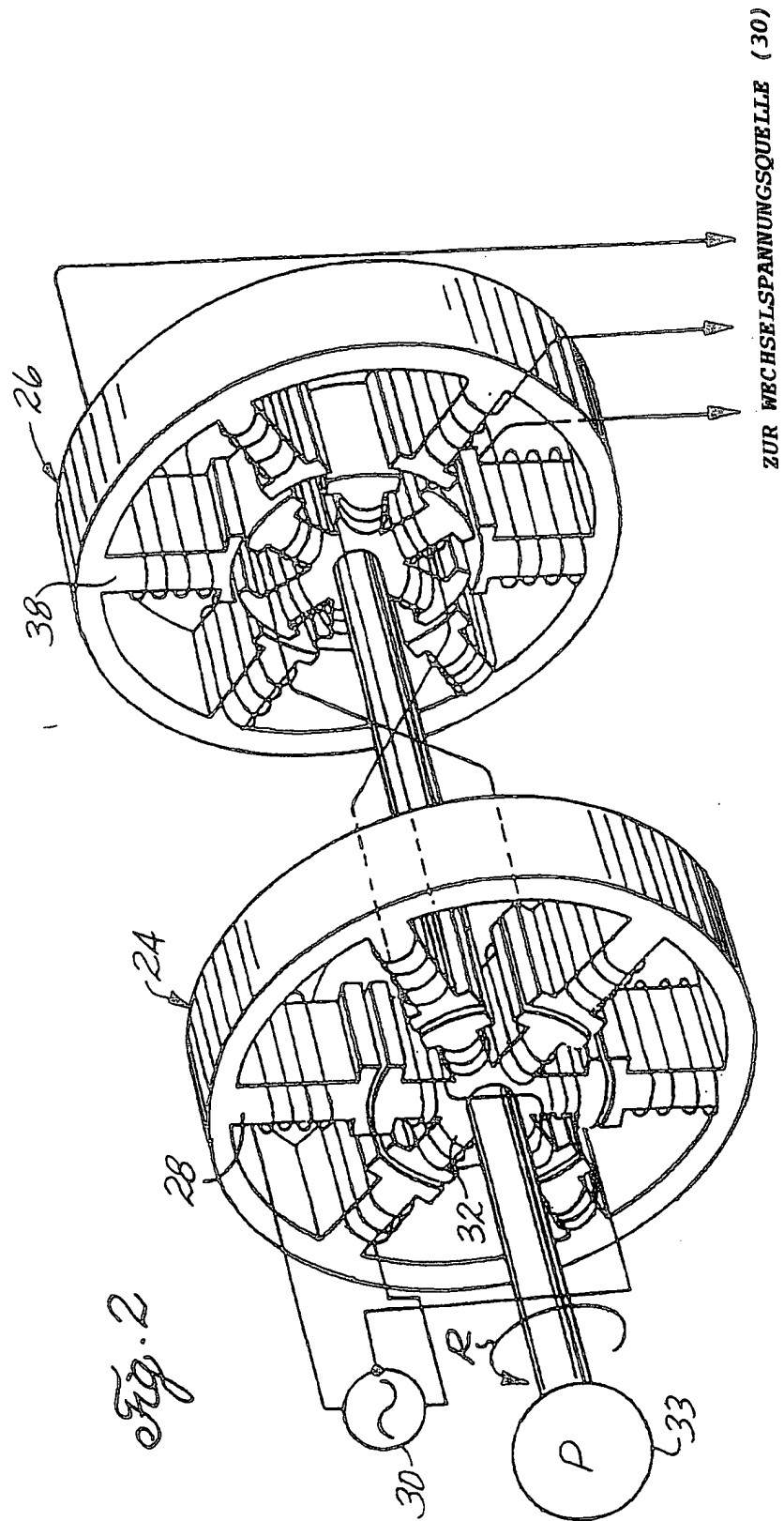
5. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den Schritt der Rotation eines der besagten Erregerstatoren (28), Erregerrotoren (32), Generatorstatoren (38) und Generatorrotoren (34) auf seiner Achse.

6. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch den Schritt der Messung derselben Phasenfolge in den primären Wicklungen der Erreger- und Generatorstufen (24, 26).

Es folgen 13 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





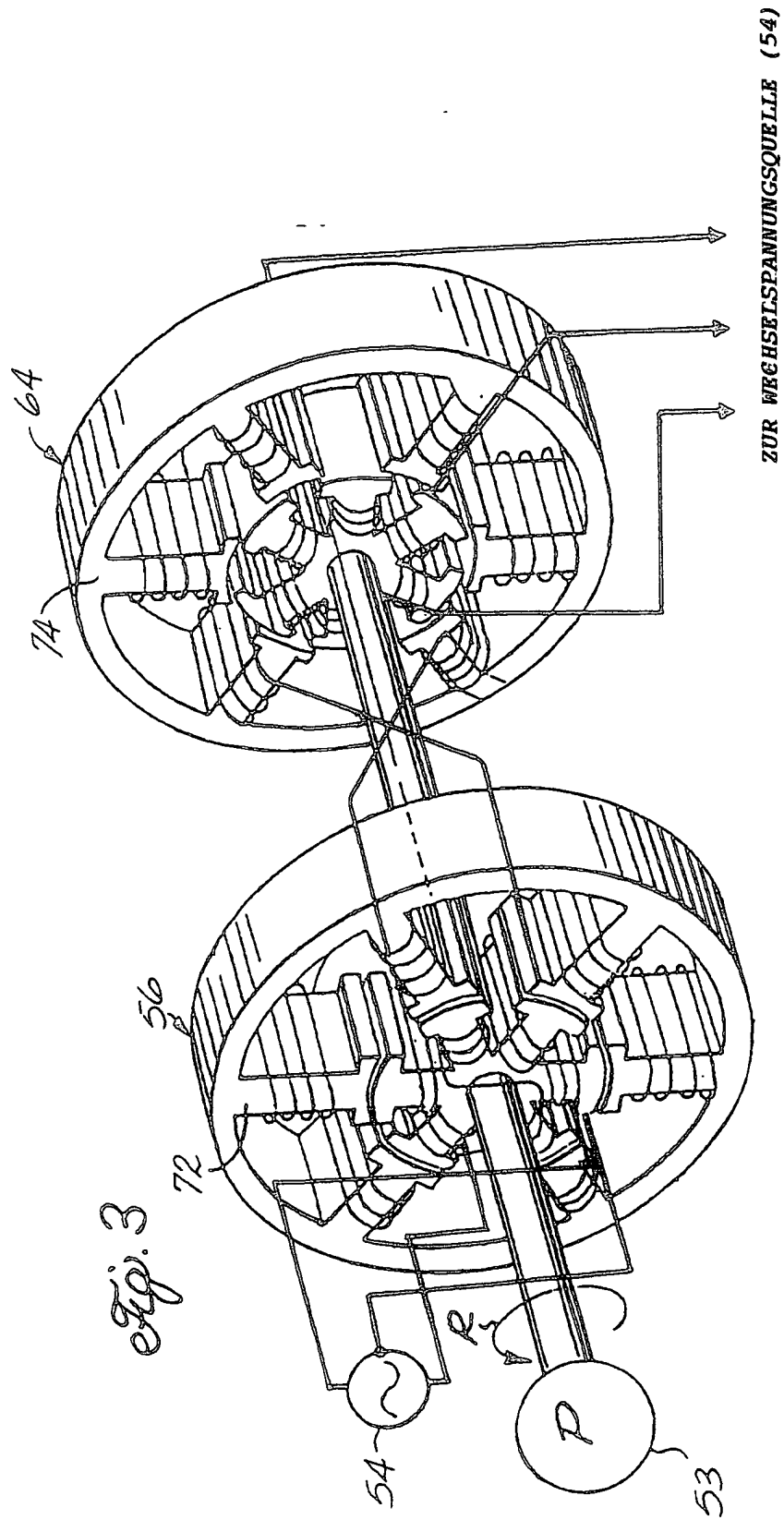


FIG. 4

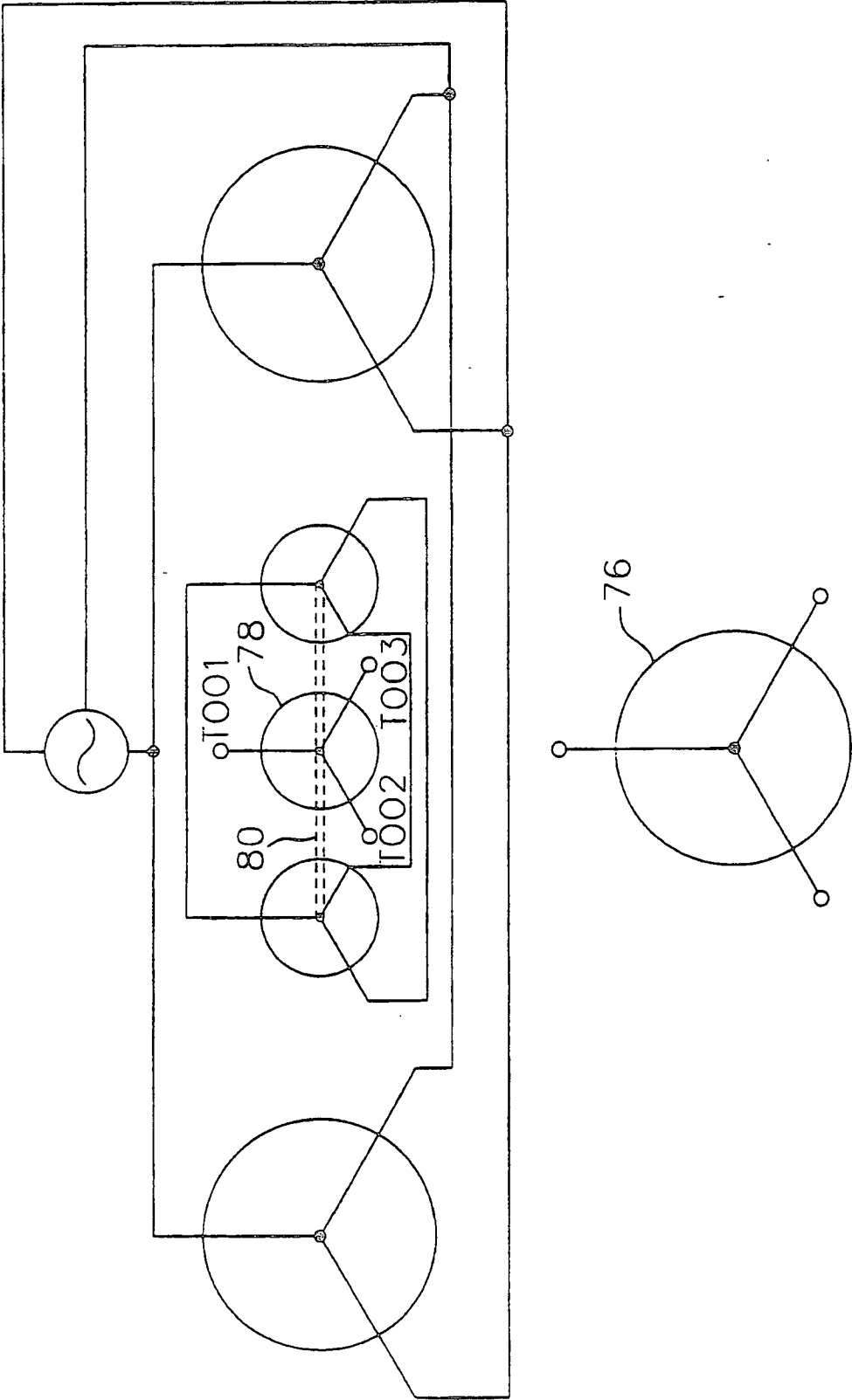


FIG.5A

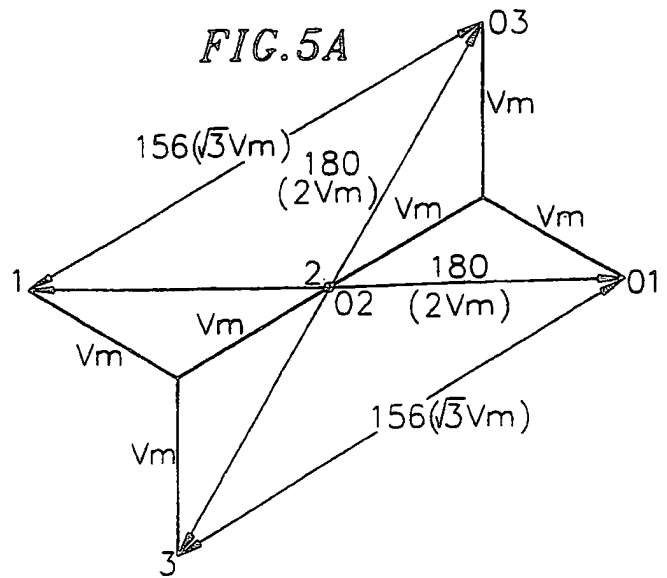


FIG.5B

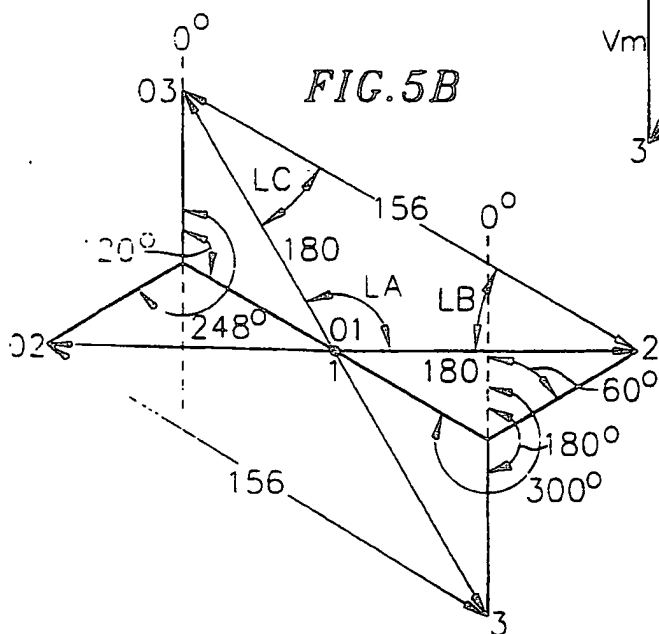


FIG.5C

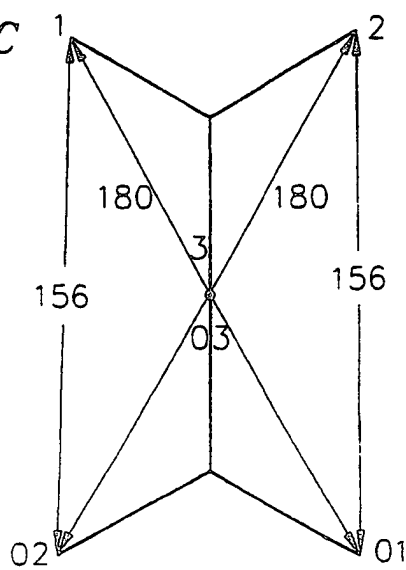


FIG. 6A

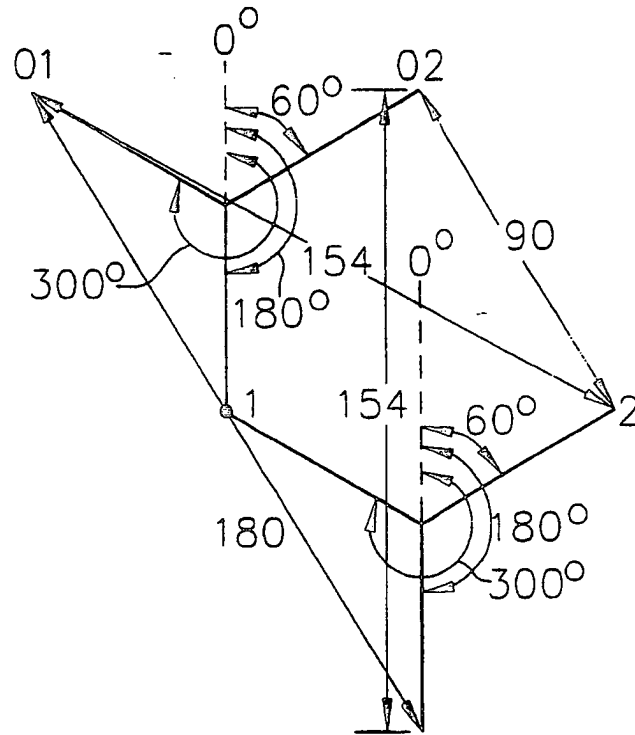


FIG. 6B

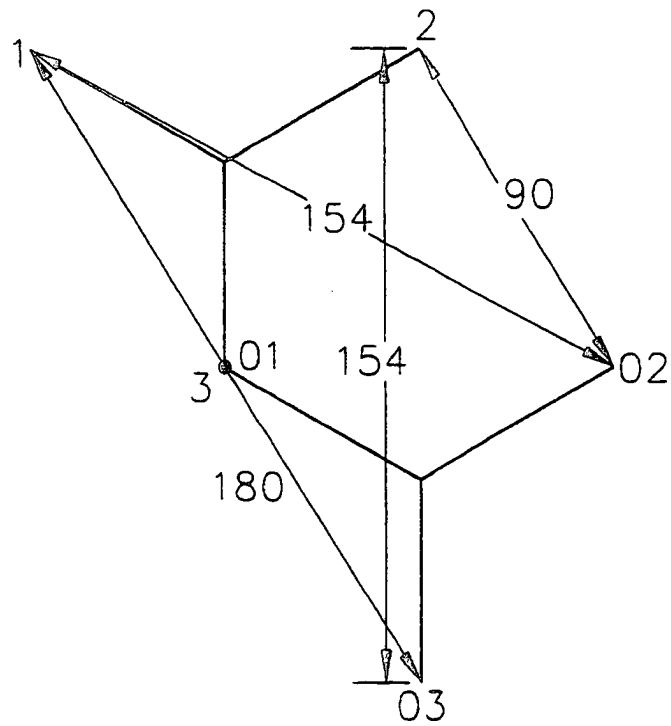


FIG. 6C

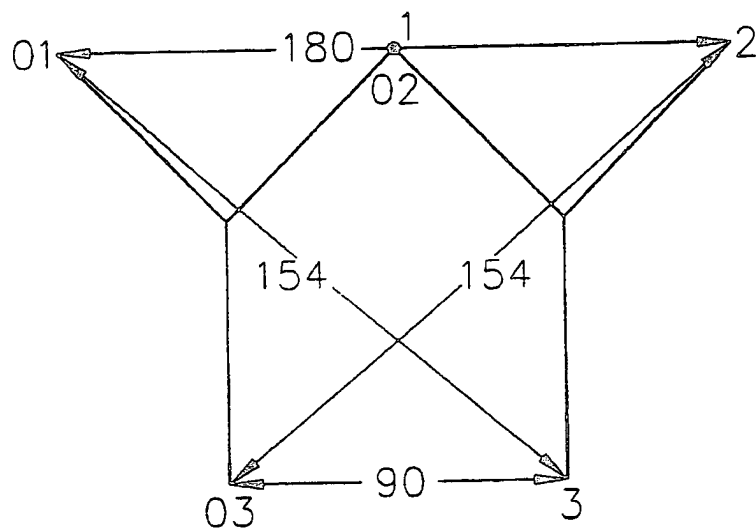


FIG. 6D

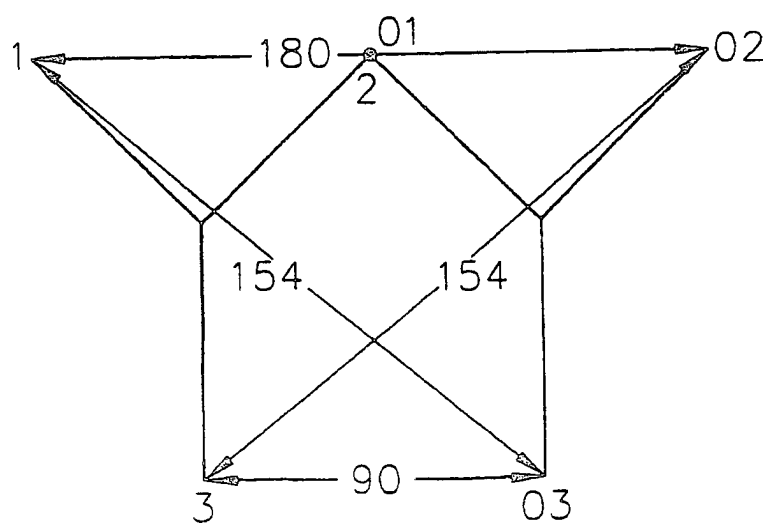


FIG. 6E

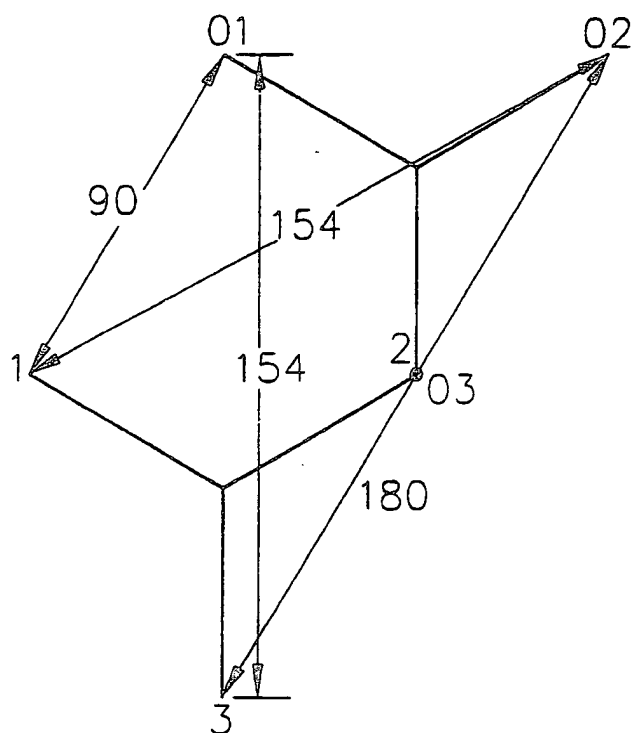
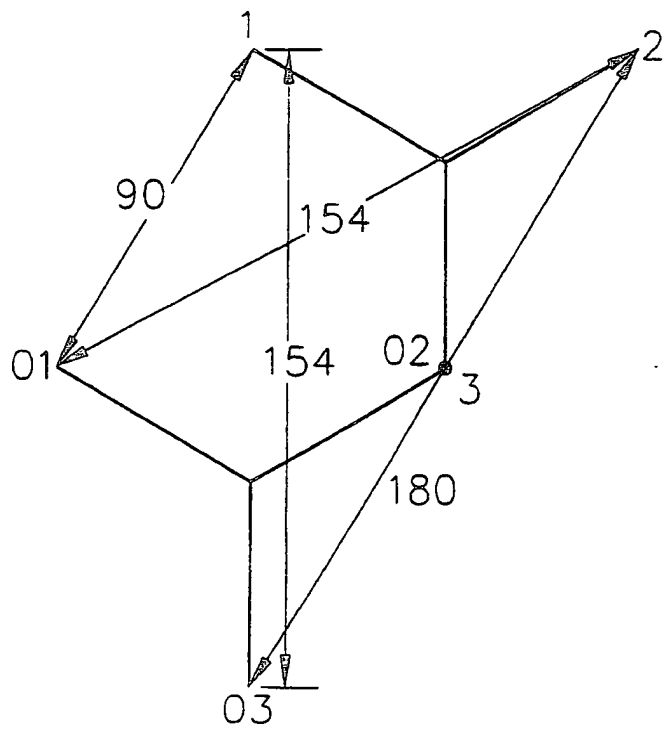


FIG. 6F



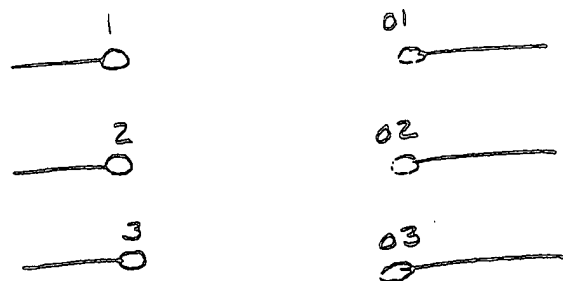


FIG. 7A

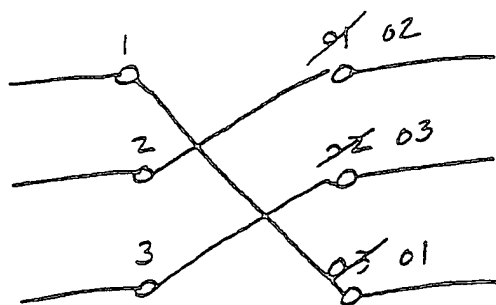


FIG. 7B

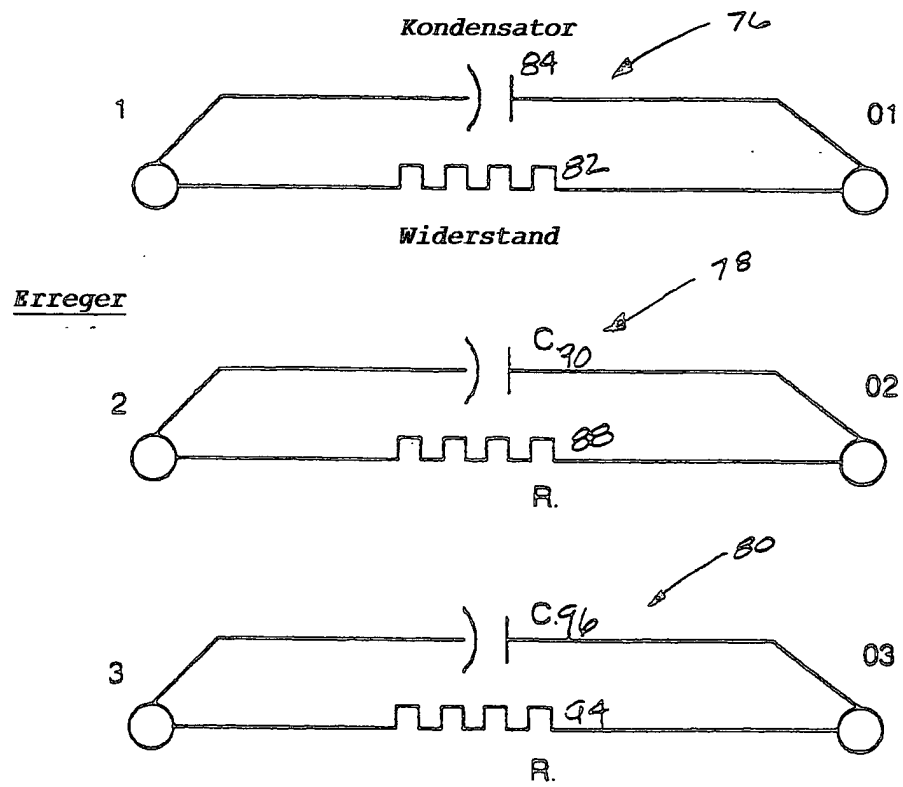


FIG. 8

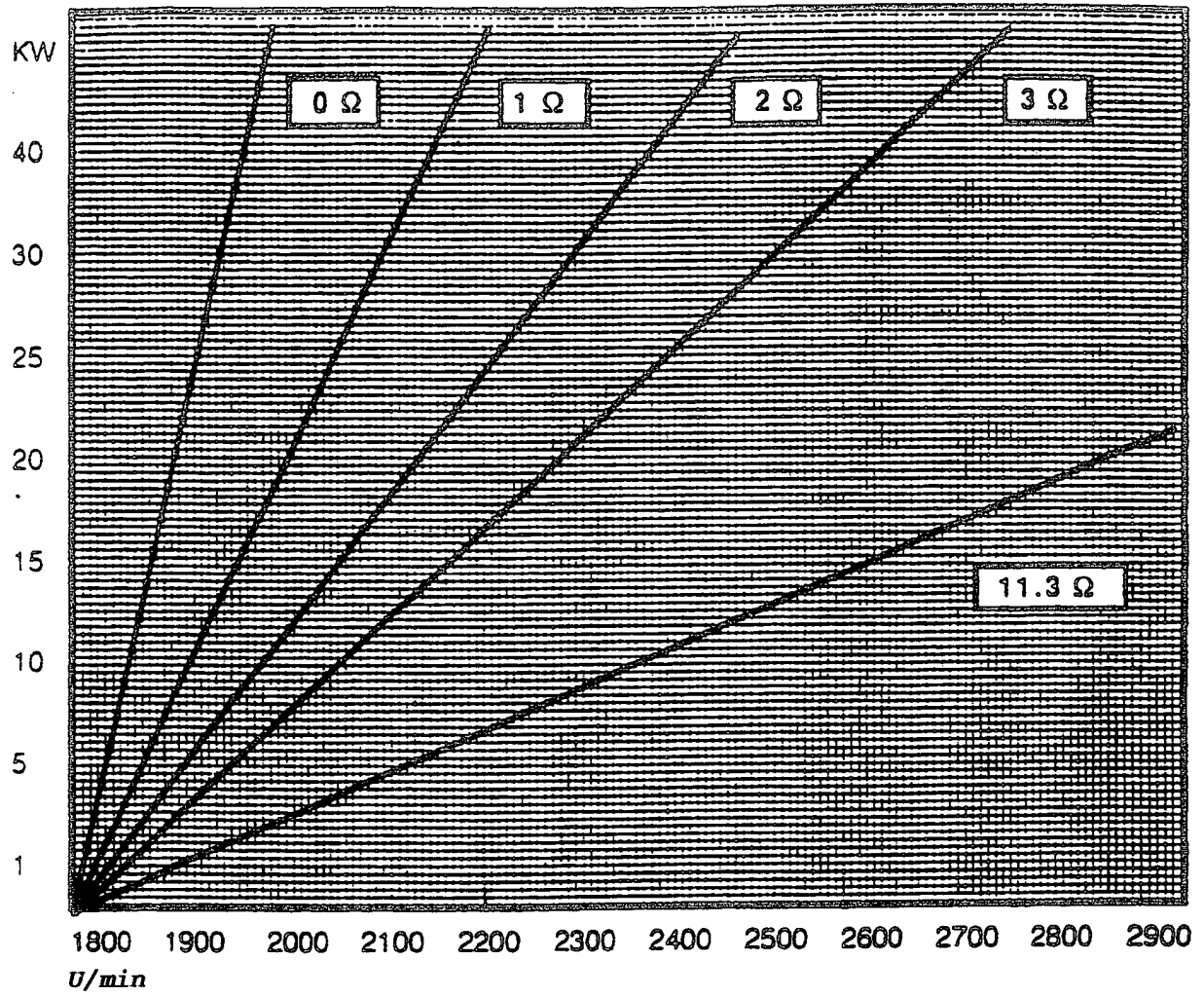


FIG. 9

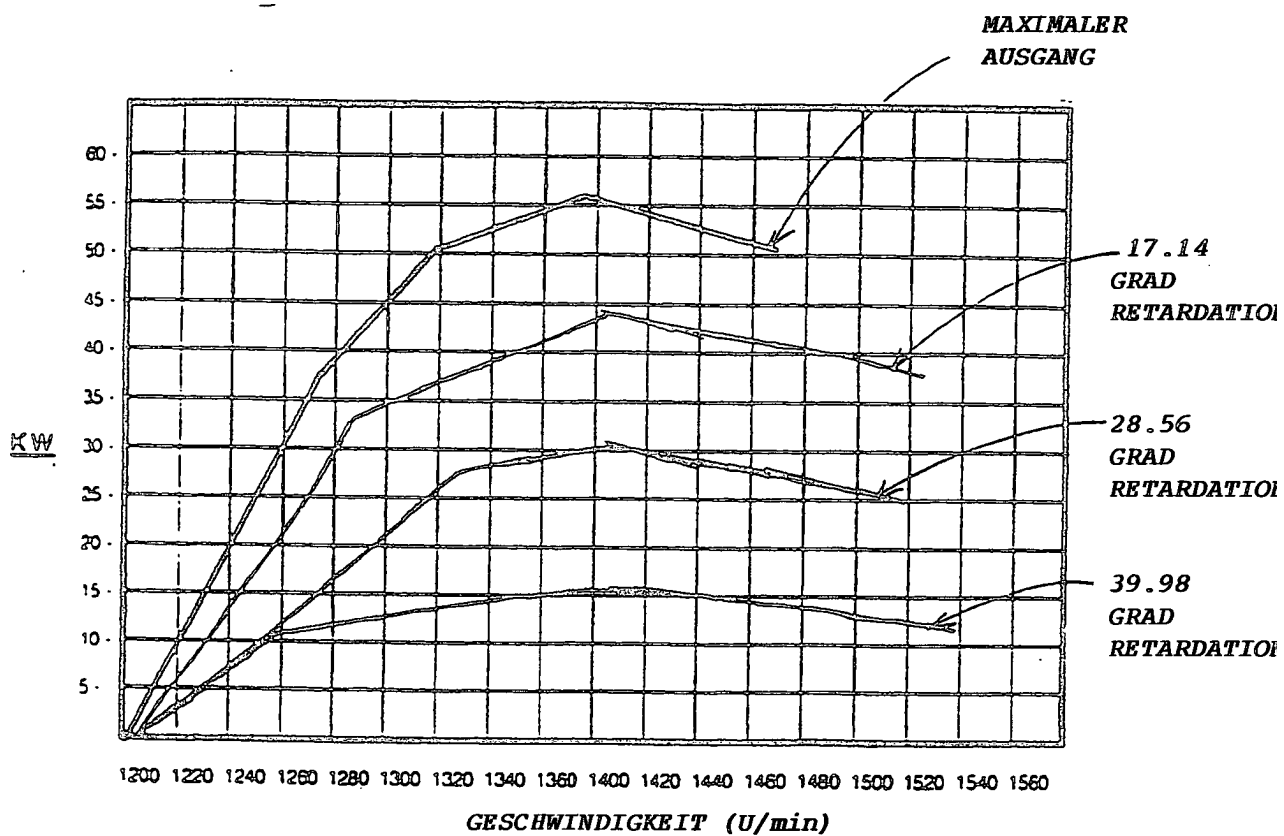


FIG. 10

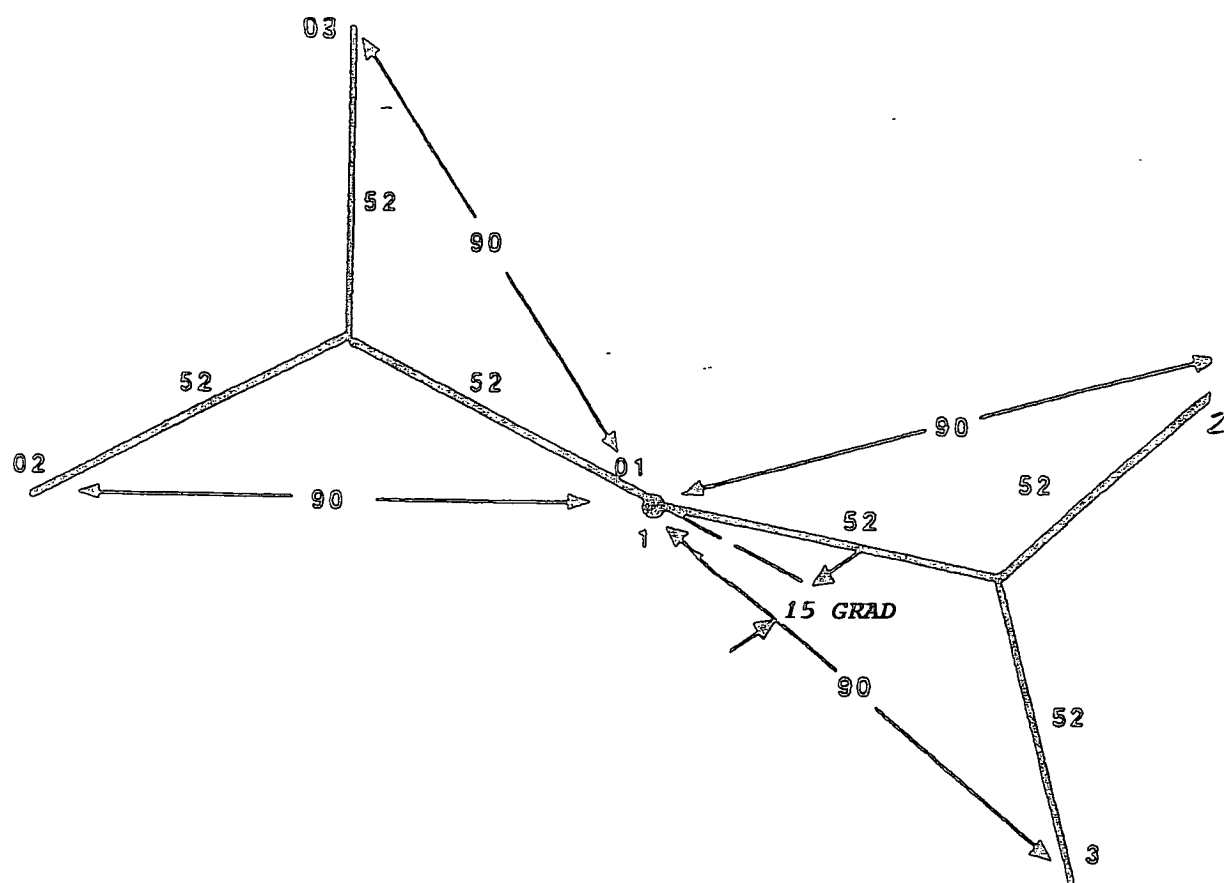


FIG. 11