

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 2328/85

(51) Int.Cl.⁵ : H02P 1/16

(22) Anmeldetag: 8. 8.1985

(42) Beginn der Patentdauer: 15.11.1991

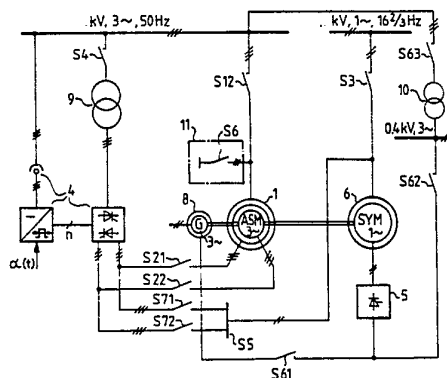
(45) Ausgabetag: 25. 6.1992

(73) Patentinhaber:

LICENTIA PATENT-VERWALTUNGS-G.M.B.H.
D-6000 FRANKFURT AM MAIN (DE).

(54) VERFAHREN ZUM ANFAHREN EINES BAHNUMFORMERS

(57). Bei einem Verfahren zum Anfahren eines Bahnformers, der zum Energieaustausch zwischen einem Drehstromnetz und einem Einphasen-Bahnnetz dient und aus einer Einphasen-Synchronmaschine, einem Dreiphasen-Wellengenerator, einem Erregerstromrichter und einer doppelt gespeisten Asynchronmaschine mit einem läuferseitig zuschaltbaren Direktumrichter besteht, besteht die Aufgabe, den für das Anfahren eines Bahnformers erforderlichen Geräteaufwand zu verringern und den Bahnformer gleichschwingungsfrei mit den beiden Netzen zu synchronisieren und den Geräteaufwand zu verringern. Dies wird dadurch erreicht, daß die Asynchronmaschine (1) ständerseitig kurzgeschlossen wird, daß die Einphasen-Synchronmaschine (6) im unteren Drehzahlbereich mit der vom Direktumrichter (4) gespeisten Asynchronmaschine (1) bis zu einer Drehzahl beschleunigt wird, bei der das von der Einphasen-Synchronmaschine (6) abgebbare Drehmoment größer ist als das der Asynchronmaschine (1), und dann der Direktumrichter (4) von den Läuferwicklungen der Asynchronmaschine (I,II,u₁...w₂) mit Schaltern (S21, S211, S22, S221) abgetrennt wird und mit weiteren Schaltern (S71, S711, S72, S721) an die Ständerwicklung (61) der Synchronmaschine (6) angekuppelt und daß die Asynchronmaschine mit der über den Direktumrichter gespeisten Synchronmaschine bis zur Nenn-drehzahl beschleunigt wird.



AT 394 796 B

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Anfahren eines Bahnumformers unter Verwendung des zur Schlupfpeisung notwendigen Direktumrichters gemäß dem Oberbegriff des vorliegenden Patentanspruches 1. Bahnumformer sind Anlagen zur 16 2/3-Hz-Einphasen-Bahnstromversorgung aus dem 50-Hz-Landesnetz. Da zwischen den beiden Netzen kein starres Frequenzverhältnis besteht, ist eine frequenzelastische Netzkupplung erforderlich. Dieses technische Problem wurde in der Vergangenheit mit Hilfe von fünf starr gekoppelten elektrischen Maschinen gelöst, die mit Drehstromkommutatoren und Schleifringen ausgerüstet waren. Derartige Maschinenumformer wurden bis Mitte der siebziger Jahre gebaut (Ingold, R.: "Das Umformerwerk Kerzers der Schweizerischen Bundesbahnen", El. Bahnen 48 (1977) Heft 5, Seiten 110 ff). Die ältesten noch in Betrieb befindlichen Anlagen sind ca. 40 Jahre alt.

Mit dem Aufkommen der Thyristortechnik wurden schon Mitte der sechziger Jahre Überlegungen angestellt, den aufwendigen Maschinenumformersatz mit Hilfe leistungselektronischer Komponenten zu vereinfachen. Es gelang im Bahnunterwerk "Neu-Ulm", die aufwendige Hintermaschine und den Maschinen-Frequenzwandler durch einen Direktumrichter zu ersetzen ("Asynchroner Netzkupplungsumformer von AEG-TELEFUNKEN für die Bahnstromversorgung". Sonderheft, Techn. Mitt. AEG-TFK 63 (1973) Heft 7).

Der vereinfachte Maschinensatz besteht nunmehr aus drei Einzelmaschinen, die in der Figur 1 dargestellt sind. Zum Bahnumformer gehören danach die doppelgespeiste Asynchronmaschine (ASM) (1), die Einphasen-Synchronmaschine (SYM) (6), der Dreiphasen-Wellengenerator (8), der Direktumrichter (4), der Erregerstromrichter (5) sowie ein Anlaßtransformator (2), ein Anlaßwiderstand (3), ein Bremsgleichrichter (7) und eine Reihe von Schaltgeräten und Transformatoren (9), (10). Der Direktumrichter hat dieselbe Aufgabe wie die Hintermaschine und der Maschinen-Frequenzwandler bei der früheren Ausführungsform des Bahnumformers. Er soll die Schlupfwirk- und -blindleistung erzeugen und läuferseitig mit der entsprechenden Schlupffrequenz in die doppelgespeiste Asynchronmaschine (ASM) einspeisen (Schalter (S21), (S22), (S4), (S12), (S2), (S61), (S62), (S63), (S3) geschlossen). Auf diese Weise kann der Wirkleistungsfluß zwischen den beiden Netzen und die Blindleistung im 50-Hz-Landesnetz gesteuert werden. Die Blindleistung im Bahnnetz wird von der Synchronmaschine (SYM) geliefert. Beide Blindleistungen können unabhängig voneinander gestellt werden. Bei Ausfall des Wellengenerators (8) kann der Erregerstromrichter (5) der Synchronmaschine (SYM) auch direkt aus dem 50-Hz-Landesnetz versorgt werden.

Zum Anlaufen des Maschinensatzes (1, 6, 8) werden die in Figur 1 dargestellten Schalter (S1), (S12), (S20) geschlossen. Die Teilspannung des Anlaßtransformators (2) wird dabei so gewählt, daß die läuferseitig auftretende Spannung die zulässige Schleifringisolationsspannung nicht überschreitet. Mit dem Anlaßwiderstand (3) wird etwa Nennstrom eingestellt, und die Maschinenwelle wird beschleunigt. Kurz vor Erreichen der Nenn-drehzahl wird der Anlaßwiderstand (3) im Schnellgang wieder in Maximumstellung gefahren; die Drehzahl fällt dabei nur geringfügig ab. Dann wird zunächst mit dem Schalter (S1) der Sternpunkt des Anlaßtransformators geöffnet; nun ist der größere Teil seiner Wicklung als Drosselspule wirksam. Nach etwa 0,5 s wird die Teilwicklung mit dem Schalter (S2) kurzgeschlossen und damit die Glühdwicklung der Maschine direkt ans Netz gelegt. Mit dieser "Dreischaltermethode" sollen durch zweistufige Umschaltung der Teilspannungen die Schaltstöße beim Einschalten der Asynchronmaschine (ASM) möglichst gering gehalten werden.

Wenn die Asynchronmaschine (ASM) ans Netz geschaltet ist, wird der Anlaßwiderstand (3) in seine Minimalstellung gebracht. Danach wird durch Betätigen der Schalter (S20), (S4), (S21) und (S22) der Direktumrichter (4) ein- und der Anlaßwiderstand (3) abgeschaltet. Nach der Erregung der Synchronmaschine (SYM) (Schalter (S61), (S62), (S63) geschlossen) wird die Asynchronmaschine (ASM) über den Direktumrichter zur Synchronisation der Synchronmaschine (SYM) drehzahleregelt betrieben. Zum Synchronisieren wird der Schalter (S3) bei einer Spannung am Schalter gleich Null geschlossen.

Zum beschleunigten Stillsetzen des Maschinensatzes ist eine Einrichtung zum elektrischen Bremsen vorgesehen (Gleichstrombremsung). Dabei wird bei eingeschaltetem Anlaßwiderstand (3) die Ständerwicklung der Asynchronmaschine (ASM) (1) bis zum Stillstand mit Gleichstrom aus dem Bremsgleichrichter (7) gespeist (Schalter (S20), (S23), (S63), (S67) geschlossen, Schalter (S1), (S2), (S3), (S12), (S21), (S22), (S4), (S61), (S62) geöffnet) und der Läuferstrom mit dem Anlaßwiderstand eingestellt. Durch die Gleichstromerregung wird bei sich drehendem Läufer in der Läuferwicklung eine Spannung induziert, die einen Strom durch den Anlaßwiderstand treibt. Dieser Strom erzeugt ein Bremsmoment. Dadurch wird die Maschinenwelle bis zum Stillstand abgebremst.

Das Anlassen und Abbremsen der Hauptmaschinen (ASM) (1), (SYM) (6) über Anlaßtransformator (2), Anlaßwiderstand (3) und Bremsgleichrichter (7) erfordert einen zusätzlichen Geräteaufwand und führt wegen der Schalthandlungen zu Strom- und Spannungsstößen in der Maschine, die besonders bei solchen mit großen Leistungen (z. B. 80 MVA) die Wicklungs- und Schleifringisolation gefährden können.

Aufgabe der Erfindung ist daher, in erster Linie den für das Anfahren eines Bahnumformers erforderlichen Geräteaufwand zu verringern und in zweiter Linie in einer Weiterbildung der Erfindung den Bahnumformer ausgleichsschwingungsfrei mit den beiden Netzen zu synchronisieren.

Die der Erfindung zugrunde liegende Hauptaufgabe wird mittels des Verfahrens zum Anfahren eines Bahnumformers, der zum Energieaustausch zwischen einem Drehstromnetz und einem Einphasen-Bahnnetz dient und aus einer Einphasen-Synchronmaschine, einem Dreiphasen-Wellengenerator, einem Erregerstromrichter und einer doppelgespeisten Asynchronmaschine mit einem läuferseitig zuschaltbaren Direktumrichter besteht, dadurch

gelöst, daß die Asynchronmaschine ständerseitig kurzgeschlossen wird, daß die Einphasen-Synchronmaschine im unteren Drehzahlbereich mit der vom Direktumrichter gespeisten Asynchronmaschine bis zu einer Drehzahl beschleunigt wird, bei der das von der Einphasen-Synchronmaschine abgebbare Drehmoment größer ist als das der Asynchronmaschine, und dann der Direktumrichter von den Läuferwicklungen der Asynchronmaschine mit Schaltern abgetrennt wird und mit weiteren Schaltern an die Ständerwicklung der Synchronmaschine angekuppelt und daß die Asynchronmaschine mit der über den Direktumrichter gespeisten Synchronmaschine bis zur Nenndrehzahl beschleunigt wird.

Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem Stand der Technik ist durch den Wegfall des voluminösen Anlaßwiderstandes gekennzeichnet, wobei die für den Betrieb notwendigen Stromrichter durch die erfindungsgemäßen Verfahrensschritte und Schalthandlungen auch für den Anlauf benutzt werden können.

Die die ausgleichsschwingungsfreie Synchronisation des Bahntransformers mit den beiden Netzen betreffende Weiterbildung der Erfindung wird dadurch erreicht, daß zur "Rücksynchronisierung", d. h. zur ausgleichsschwingungsfreien Ankupplung der Asynchronmaschine (ASM) an das Drehstromnetz, zwei Teilstromrichter des Direktumrichters mit einem ersten und zweiten Schalter an zwei Läuferwicklungen der zwei Wicklungssysteme der Asynchronmaschine (ASM) geschaltet und die Anschlüsse der dritten Wicklungen mit einem dritten Schalter verbunden werden, und daß der dritte Teilstromrichter die Synchronmaschine (SYM) speist, bis die Asynchronmaschine über die zwei anderen Teilstromrichter aufmagnetisiert ist und die Ständerwicklung, an der jetzt Spannung liegt, bei vorliegender Spannung Null an einem vierten Schalter mit dem Drehstromnetz verbunden wird.

Das Verfahren gemäß der Erfindung wird in den nachstehend beschriebenen Ausführungsbeispielen an Hand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen

die Figuren 2, 4 und 5 je ein Ausführungsbeispiel

die Figur 3 dient zur Erläuterung der "Rücksynchronisation", d. h. zur ausgleichsschwingungsfreien Ankupplung der Asynchronmaschine an das Drehstromnetz.

Zum Anfahren und Bremsen der Hauptmaschinen (1), (6) über Umrichter werden, wie Figur 2 zeigt, an Stelle von Anlaßtransformator, Anlaßwiderstand und Bremsgleichrichter zusätzliche anschließend näher aufgeführte Schaltgeräte eingesetzt.

Beim Anfahren des Maschinensatzes gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten. Die Asynchronmaschine (ASM) kann entweder als Kurzschlußläufer-Asynchronmaschine (ASM) (Figur 2) oder als ständerseitig erregte Synchronmaschine (Figur 4) betrieben werden. Im ersten Fall wird die Asynchronmaschine (ASM) vor dem Anfahren mit dem Schalter (S6) kurzgeschlossen. Der Direktumrichter speist nach Schließen der Schalter (S4), (S21) und (S22) die Asynchronmaschine (ASM) läuferseitig. Die Maschinenwelle wird annähernd mit Nennmoment beschleunigt.

Bei z. B. 10 % der Nenndrehzahl (genaue Werte können nur bei bekannten Maschinen- und Umrichterdaten angegeben werden) beginnt der Feldschwächbereich, weil die Ausgangs-Nennspannung des Direktumrichters erreicht ist. Das Beschleunigungsmoment nimmt wegen der Feldschwächung mit zunehmender Drehzahl hyperbolisch ab.

Frühestens bei einer Drehzahl, bei der das von der Synchronmaschine (SYM) abgebbare Beschleunigungsmoment größer ist als das der Asynchronmaschine (ASM), wird der Direktumrichter (4) von der Asynchronmaschine (ASM) auf die Synchronmaschine (SYM) durch Öffnen der Schalter (S21), (S22) und Schließen der Schalter (S71) und (S72) umgeschaltet. Der Aufbau der Sammelschiene (S5) wird anschließend mit Hilfe der Figur 3 näher erläutert. Durch Parallelbetrieb der drei Teilumrichter kann die Synchronmaschine (SYM) etwa mit Nennstrom betrieben werden. Bei eingeschalteter Erregung (Schalter (S62), (S63) geschlossen) wird nun das Beschleunigungsmoment von der Synchronmaschine (SYM) aufgebracht. Die Umschaltung des Direktumrichters-Ausganges von der Asynchronmaschine (ASM) auf die Synchronmaschine (SYM) ist erforderlich, weil die heute verfügbaren Direktumrichter nur eine maximale Ausgangsfrequenz von 20 Hz abgeben können. Nach der Umschaltung an die Ständerwicklung der Synchronmaschine (SYM) ist die Ausgangsfrequenz des Direktumrichters ausreichend, die Maschinenläufer bis auf Nenndrehzahl zu beschleunigen, weil die Nennfrequenz der Synchronmaschine (SYM) nur 1/3 der Nennfrequenz der Asynchronmaschine (ASM) beträgt (gilt z. B. bei 50 Hz Netzfrequenz und 16 2/3 Hz Bahnfrequenz). Ein frequenzgesteuerter Anlauf ohne Umschaltung nur mit Hilfe der Synchronmaschine (SYM) ist nicht möglich, da die Synchronmaschine (SYM) im Stillstand kein Drehmoment aufbringen kann.

Hat die Maschinenwelle die Nenndrehzahl erreicht, werden zwei Teilumrichter zur Erregung der Asynchronmaschine (ASM) abgekuppelt: in der Figur 3 sind zur Erläuterung dieses Vorganges zwei Drehstrom-Läuferwicklungssysteme (I), (II) der Asynchronmaschine (ASM) und eine Einphasen-Ständerwicklung (61) der Synchronmaschine (SYM) dargestellt. Die letztere wird bei geschlossenen Schaltern (S71), (S711), (S72), (S721), (S4) vor dem Abkuppeln von den drei parallelgeschalteten Teilumrichtern (41), (42), (43) gespeist. Zum Abkuppeln der zwei Teilumrichter (42), (43) werden die Schalter (S71), (S72) geöffnet und (S21), (S22), (S73) geschlossen. Die zwei Teilumrichter (42), (43) speisen bei offenem Schalter (S6) (Figur 2) die Drehstromwicklungen (I), (II) in "V-Schaltung". Der dritte Teilumrichter (41) hält den leerlaufenden Maschinensatz auf Nenndrehzahl (Schalter (S711), (S721) bleiben geschlossen, Schalter (S221), (S211) sind geöffnet).

Ist die Asynchronmaschine (ASM) erregt, erfolgt die auch betriebsmäßig vorgesehene ausgleichsschwingungsfreie "Rücksynchronisierung" mit dem Drehstromnetz (Schließen des Schalters (S12) bei Schalterspannung gleich Null). Ist die Rücksynchronisierung erfolgt, kann die Asynchronmaschine (ASM) die Drehzahlregelung übernehmen. Der dritte Teilumrichter wird von den Ständerklemmen der Synchronmaschine (SYM) getrennt und steht für seine normale Aufgabe zur Verfügung. Er wird also wieder zur Speisung der Asynchronmaschinen-Läuferwicklungen verwendet und an die Klemmen der dritten Wicklungen (w_1), (w_2) angekuppelt. Dazu werden die Schalter (S221), (S211) geschlossen und Schalter (S73) geöffnet.

Nach Erregung der Synchronmaschine (SYM) ((S61), (S62), (S63) geschlossen) über den Wellengenerator (8) kann diese mit dem Bahnnetz synchronisiert werden. Damit ist der Hochlaufvorgang beendet. Beim Bremsvorgang werden alle Betriebszustände in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen, wobei die Aufteilung der drei Teilumrichter in zwei Teilumrichter (42), (43) für die Asynchronmaschine (ASM) in "V-Schaltung" und einen Teilumrichter (41) für die Synchronmaschine (SYM) entfallen kann. Dabei wird die anfallende Bremsenergie ins Netz zurückgespeist.

Da die Asynchronmaschine (ASM) bei der Schaltung nach Figur 2 nicht mit dem Leistungsfaktor $\cos \varphi = 1$ betrieben werden kann (die Magnetisierungsleistung muß vom Direktumrichter aufgebracht werden), hat das Anlaufdrehmoment nicht seinen maximal möglichen Wert $\cos \varphi < 1$. Durch Umschalten des Erregerstromrichters (5) an die Ständerklemmen der Asynchronmaschine (ASM) kann diese schon im Stillstand ständerseitig erregt werden und als Synchronmaschine mit gesteigertem Moment anlaufen.

In Figur 4 ist dargestellt wie mit Hilfe der zusätzlichen Schalter (S82), (S81) der Erregerstromrichter (5) zur ständerseitigen Erregung der Asynchronmaschine (ASM) umgeschaltet wird. Zur Erregung wird Schalter (S82) geöffnet und Schalter (S81) geschlossen (die sonstigen Bezugszeichen in der Figur 4 entsprechen denen in der Figur 2). Dadurch kann die Anlaufzeit verkürzt werden. Beim Umschalten des Direktumrichters an die Ständerklemmen der Synchronmaschine (SYM) muß dann auch der Erregerstromrichter mit umgeschaltet werden (Schalter (S81) geöffnet, Schalter (S82) geschlossen).

Bei den heute üblichen Direktumrichterschaltungen in 6/12-Puls-Ausführung beträgt die maximale Ausgangsfrequenz 1/3 der Netzfrequenz. Der Anwendungsbereich dieses einfachen Umrichters kann wesentlich erweitert werden, wenn höhere Ausgangsfrequenzen erreichbar sind. Dazu muß die Schaltung des Direktumrichters modifiziert und der Steueralgorithmus geändert werden.

Um Direktumrichter mit erweitertem Frequenzbereich auch beim Bahnnumformer anwenden zu können, wird, wie in Figur 5 (auch hier sind gleiche Bezugszeichen wie in Figur 2 verwendet) dargestellt, die Asynchronmaschine (ASM) ständerseitig mit dem Erregerstromrichter (5) erregt, damit die Asynchronmaschine (ASM) im höheren Frequenzbereich die Umrichterführung übernehmen kann. Für den Umrichter wird dann ein Steuergerät (41) mit geändertem Steueralgorithmus eingesetzt.

Ein wesentlicher Vorteil dieser Anordnung ist, daß die Umschaltung der Ausgangsklemmen des Direktumrichters an die Ständerwicklung der Synchronmaschine (SYM) mit den Schaltern (S71), (S72) nach Figur 2 entfallen kann. Weiterhin werden dadurch auch die Leistungspulsationen vermieden, die im Anlaufbereich für kurze Zeit bei der Speisung der Einphasen-Synchronmaschine (SYM) über den Direktumrichter im Drehstromnetz auftreten.

Wenn der Erregerstromrichter (5) nicht umgeschaltet werden soll, kann die Asynchronmaschine (ASM) mit verringertem Drehmoment auch asynchron über einen Direktumrichter mit erweitertem Frequenzbereich beschleunigt werden. In diesem Fall ist - vgl. Figur 2 - ein Kurzschließer (6) für die Ständerwicklungen der Asynchronmaschine (ASM) erforderlich.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Anfahren eines Bahnnumformers, der zum Energieaustausch zwischen einem Drehstromnetz und einem Einphasen-Bahnnetz dient und aus einer Einphasen-Synchronmaschine, einem Dreiphasen-Wellengenerator, einem Erregerstromrichter und einer doppelgespeisten Asynchronmaschine mit einem läuferseitig zuschaltbaren Direktumrichter besteht, dadurch gekennzeichnet, daß die Asynchronmaschine (1) ständerseitig kurzgeschlossen wird, daß die Einphasen-Synchronmaschine (6) im unteren Drehzahlbereich mit der vom Direktumrichter (4) gespeisten Asynchronmaschine (1) bis zu einer Drehzahl beschleunigt wird, bei der das von der Einphasen-Synchronmaschine (6) abgebbare Drehmoment größer ist als das der Asynchronmaschine (1), und dann der Direktumrichter (4) von den Läuferwicklungen der Asynchronmaschine (I, II, $u_1 \dots w_2$) mit Schaltern (S21, S211, S22, S221) abgetrennt wird und mit weiteren Schaltern (S71, S711, S72, S721) an die Ständerwicklung (61) der Synchronmaschine (6) angekuppelt und daß die Asynchronmaschine mit der über den Direktumrichter gespeisten Synchronmaschine bis zur Nenndrehzahl beschleunigt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur "Rücksynchronisierung", d. h. zur ausgleichsschwingungsfreien Ankupplung der Asynchronmaschine (ASM) an das Drehstromnetz, zwei Teilstromrichter (42, 43) des Direktumrichters (4) mit einem ersten und zweiten Schalter (S21, S22) an zwei Läuferwicklungen der zwei Wicklungssysteme der Asynchronmaschine (ASM) (I, II) geschaltet und die Anschlüsse der dritten Wicklungen mit einem dritten Schalter (S73) verbunden werden, und daß der dritte Teilstromrichter (41) die Synchronmaschine (SYM) weiterspeist (Schalter (S711), (S721) geschlossen), bis die Asynchronmaschine (ASM) über die zwei anderen Teilstromrichter (42, 43) aufmagnetisiert ist und die Ständerwicklung, an der jetzt Spannung liegt, bei vorliegender Spannung Null an einem vierten Schalter (S12) mit dem Drehstromnetz verbunden wird.

10

Hiezu 5 Blatt Zeichnungen

FIG.1

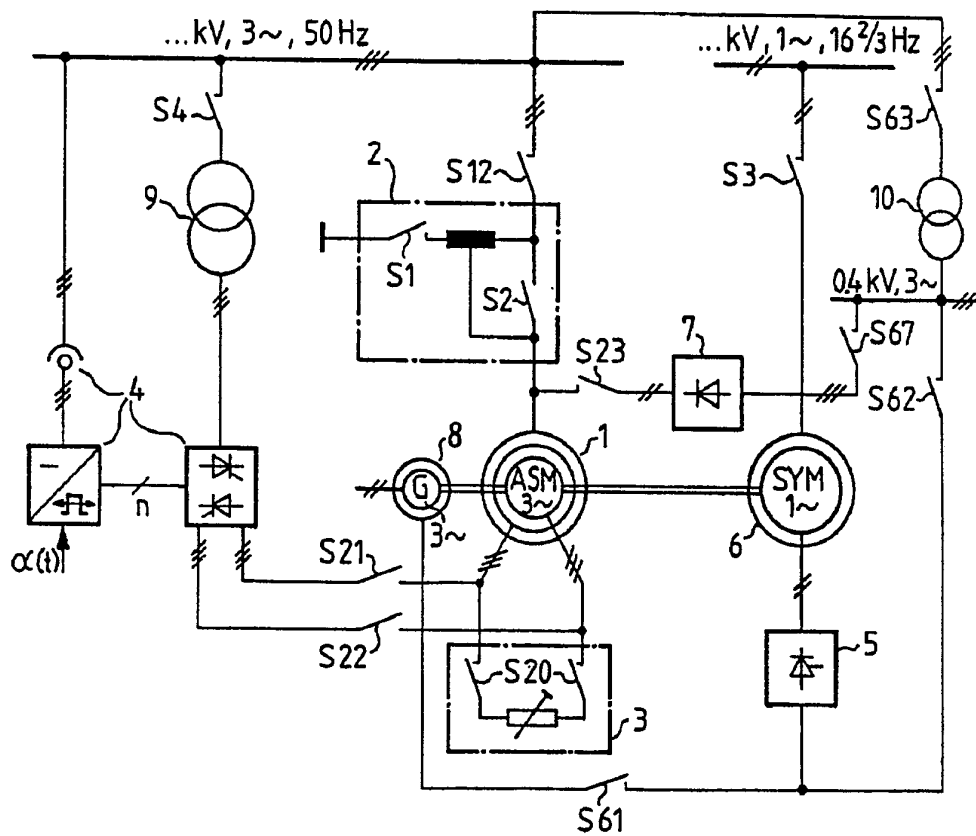


FIG.2

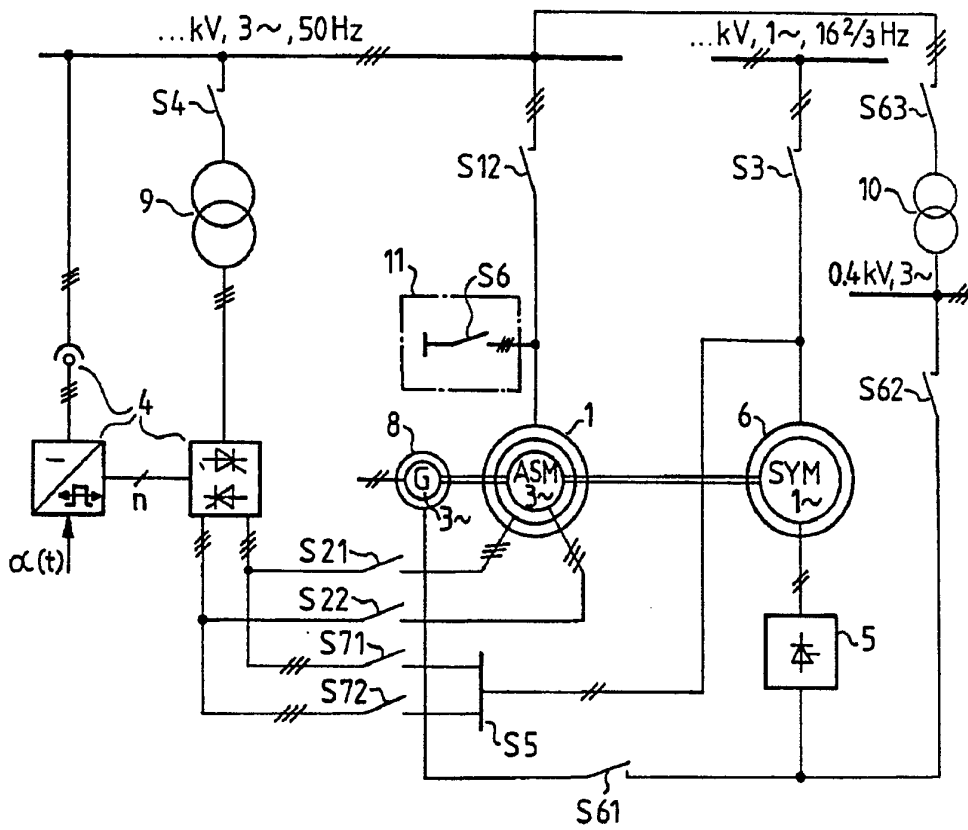


FIG.3

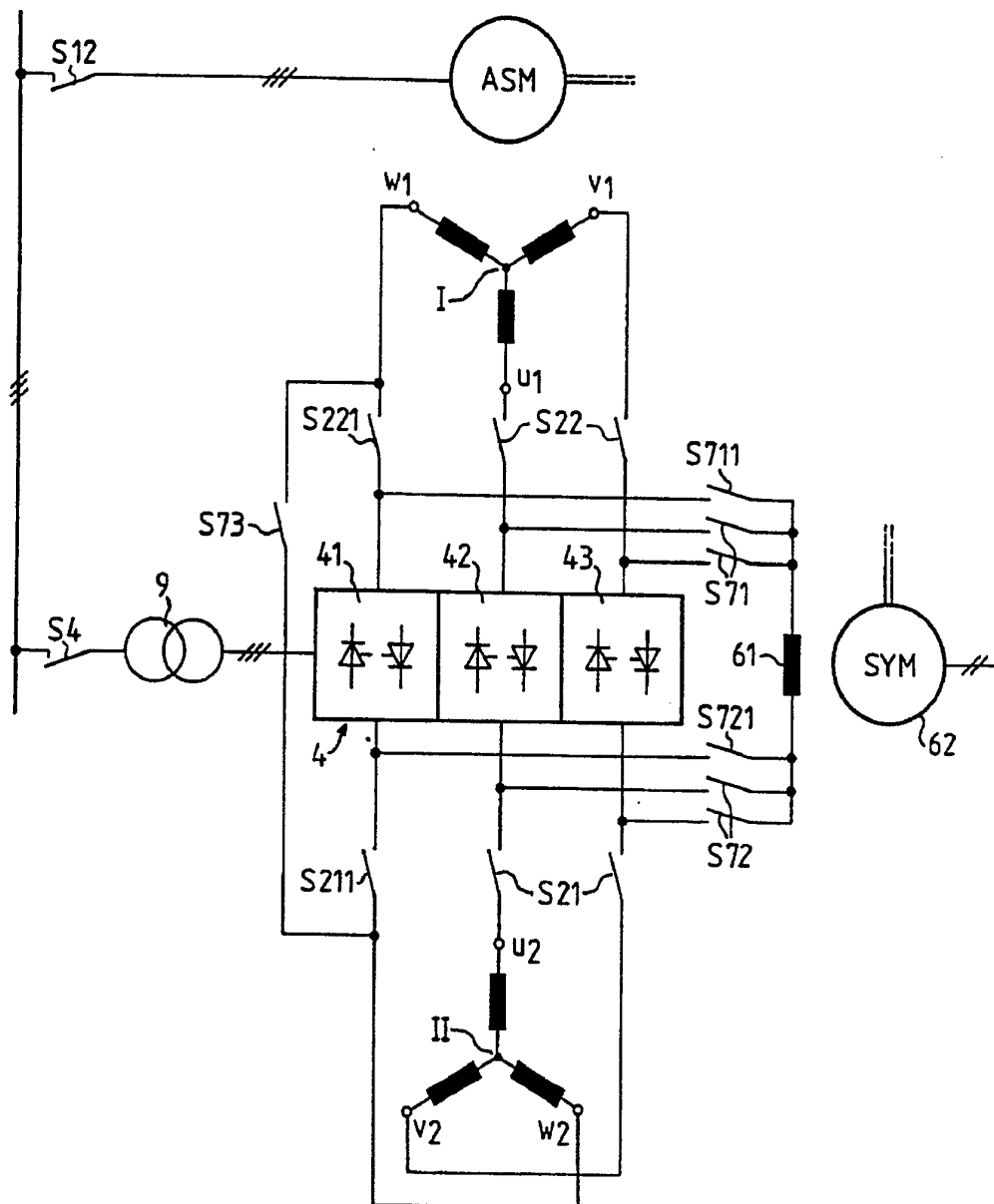


FIG. 4

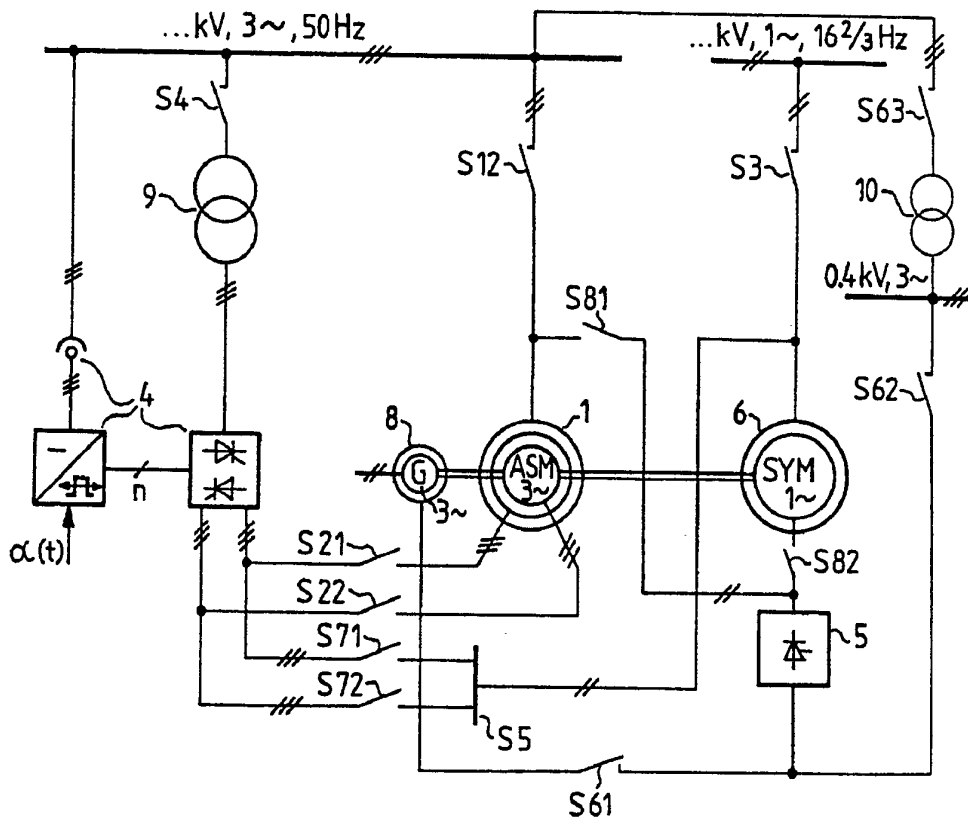


FIG.5

