

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4101884号
(P4101884)

(45) 発行日 平成20年6月18日(2008.6.18)

(24) 登録日 平成20年3月28日(2008.3.28)

(51) Int.Cl.	F I
H O 2 K 19/26 (2006.01)	H O 2 K 19/26 Z
H O 2 P 9/00 (2006.01)	H O 2 P 9/00 Z
H O 2 P 9/48 (2006.01)	H O 2 P 9/48 Z

請求項の数 7 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願平10-536719	(73) 特許権者	ファウンデーション ジーエヌアイ, リミ テッド
(86) (22) 出願日	平成10年2月6日(1998.2.6)		アメリカ合衆国, ハワイ 96734, カ イルア, カヒリ ストリート 1155
(65) 公表番号	特表2001-519996(P2001-519996A)	(74) 代理人	弁理士 石田 敬
(43) 公表日	平成13年10月23日(2001.10.23)	(74) 代理人	弁理士 鶴田 準一
(86) 国際出願番号	PCT/US1998/002651	(74) 代理人	弁理士 下道 晶久
(87) 国際公開番号	W01998/037623	(74) 代理人	弁理士 西山 雅也
(87) 国際公開日	平成10年8月27日(1998.8.27)	(74) 代理人	弁理士 樋口 外治
審査請求日	平成17年2月4日(2005.2.4)		
(31) 優先権主張番号	60/037,723		
(32) 優先日	平成9年2月7日(1997.2.7)		
(33) 優先権主張国	米国(US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 線路同期発電機を補償する方法と装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

3相線路同期発電機の正しい位相整合を決定する方法であって、前記線路同期発電機が、励磁機固定子と励磁機回転子を有する励磁機段であって、前記励磁機固定子と励磁機回転子のうちの一方が1次巻線を有し前記励磁機固定子と励磁機回転子のうちの他方が第1、第2及び第3の2次相巻線を有する励磁機段と、発電機回転子と発電機固定子を有する発電機段であって、前記発電機固定子と発電機回転子の一方が1次巻線を有し前記発電機固定子と発電機回転子のうちの他方が第1、第2及び第3の2次相巻線を有する発電機段とを備えるものにおいて、前記方法は、

前記励磁機及び発電機段の前記1次巻線をVmに等しい線路電圧を有する3相交流電源に接続するステップと、

前記励磁機段の前記第1の2次相巻線を前記発電機段の前記第1の2次相巻線に接続するステップと、

前記励磁機段の前記第2の2次相巻線と前記発電機段の前記第2の2次相巻線の間の電圧がほぼ2Vmに等しいことを確認するステップと、

前記励磁機段の前記第3の2次相巻線と前記発電機段の前記第3の2次相巻線の間の電圧がほぼ2Vmに等しいことを確認するステップと、

前記励磁機段の前記第2の2次相巻線を前記発電機段の前記第2の2次相巻線に接続するステップと、

前記励磁機段の前記第3の2次相巻線を前記発電機段の前記第3の2次相巻線に接続する

10

20

ステップ、
の各ステップを含む、３相線路同期発電機の正しい位相整合を決定する方法。

【請求項２】

さらに、前記励磁機段の前記第２の２次相巻線と前記発電機段の前記第３の２次相巻線の間の電圧がほぼ ３ V m に等しいことを確認するステップと、前記励磁機段の前記第３の２次相巻線と前記発電機段の前記第２の２次相巻線の間の電圧がほぼ ３ V m に等しいことを確認するステップとを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項３】

前記励磁機段の前記２次巻線が前記励磁機回転子に巻かれ、前記発電機段の前記２次巻線が前記発電機回転子に巻かれる、請求項１に記載の方法。

10

【請求項４】

前記励磁機段の前記２次巻線が前記励磁機固定子に巻かれ、前記発電機段の前記２次巻線が前記発電機固定子に巻かれる、請求項１に記載の方法。

【請求項５】

さらに、前記励磁機段の前記第２の２次相巻線と前記発電機段の前記第２の２次相巻線の間の電圧を確認し前記励磁機段の前記第３の２次相巻線と前記発電機段の前記第３の２次相巻線の間の電圧を確認する前に、前記励磁機固定子、励磁機回転子、発電機固定子及び発電機回転子の１つを軸上で回転させるステップを含む、請求項１に記載の方法。

【請求項６】

さらに、前記励磁機及び発電機段の前記１次巻線における同じ位相順序を確認するステップを含む、請求項１に記載の方法。

20

【請求項７】

線路同期発電機であって、
外部電源によって回転を進めるように配置され、各々交流電源に接続する巻線を有する１組の極を備える励磁機回転子と、
各々巻線を有する１組の極を有する励磁機固定子であって、前記励磁機回転子が前記励磁機固定子の内部で回転するよう設置される励磁機固定子と、
前記励磁機回転子と共に回転するよう設置された発電機回転子であって、前記発電機回転子が、各々前記交流電源に接続する巻線を有する１組の極を有する発電機回転子と、
前記発電機回転子が中で回転するよう設置された内部を有する発電機固定子であって、
前記発電機固定子が、前記励磁機及び発電機回転子の回転によって誘導された電氣的周波数を相殺するために、前記励磁機極の組み合わせの対応する巻線に逆に接続された巻線を各々有する１組の極を有する発電機固定子と、前記励磁機及び固定子回転子と共に回転するよう接続された冗長回転子と、前記冗長回転子が中で回転するよう設置された内部を有する冗長固定子と、を備え、前記冗長固定子が、前記励磁機固定子及び発電機固定子の１つに逆に接続される巻線を各々有する１組の極を有する、線路同期発電機。

30

【発明の詳細な説明】

関連出願の相互参照

本出願は、「線路同期発電機を補償する方法と装置」と題された１９９７年２月７日出願の同時係属仮出願第６０／０３７，７２３号に対して米国特許法第１１９（e）条により優先権を主張するものであり、その記載内容は参照文献としてそのまま本出願に組み込まれる。

40

技術分野

本発明は一般に発電機に関し、特に交流電源を基準とする改良型誘導発電機に関する。

背景技術

最近、化石燃料の不足とそれを使用することの環境に対する結果によって、局所的に発電した電力を公共送電線網に載せるための様々な提案がなされている。種々の再生可能な燃料資源が調査されている。理想的な代替エネルギー源は環境に有害な影響を与えず、低い費用で高品質の燃料となるものである。代替エネルギー源の一般的な例は風力、水力、炭化水素ガス再利用、太陽光、地熱及び廃熱再利用である。こうした燃料資源はそれぞれ発

50

電機と組み合わせられる。

このような燃料資源を利用することの困難さは燃料自体の品質にある。例えば、風速の変化によって、従来の同期または誘導発電機用の安定で一定した燃料源としての風力機械の有用性は厳しく制限される。これは従来の発電機が特定の速度範囲内で動作する時しか有用な電力を供給できないためである。その結果、風力機械は二重巻線交流発電機か、適当な発電機速度を提供する精巧なプロペラ・ピッチ制御及び機械式駆動システムを使用しなければならない。しかし、実際に使用するためには、二重給電システムは適当な回転子励磁を提供し、一定の固定子電圧を維持しなければならないが、これらは容易に達成されない。高速地熱タービンや低速水車が利用される場合、機械式速度制御、減速または増速装置を使用して交流発電に適した回転速度を形成しなければならない。このような種類の機械式変換装置に伴う効率の損失は燃料源の経済的実行可能性を損ない、一般に動力源に適さないものにする。

10

しかしながら、局所的に発電した電力を公共送電線網に載せるためには正確な位相と周波数の整合が必要であるため、このような機械式変換システムによって提供される補償は不可欠である。従って、装置が自己同期でき、しかも幅広く変化する回転速度に抵抗力があれば、電力を発生する手段としての代替燃料源の使用は大きく増大する。このような自己同期回転装置の1つの注目すべき例は、Leo Nickoladzeに対して与えられたいくつかの特許、特に米国特許第4,701,691号及び第4,229,689号において見られ、これらは本出願において、記載されたその通りが援用される。

このような例は誘導装置自体の中の電氣的相殺に依存しており、それによって入力電力のすべての変化が事実上打ち消される。このような誘導装置の一実施形態が図1に示される。図1の誘導発電機には、励磁機段10と発電機段12という2つの段が含まれる。励磁機段10には、交流電源16に接続された励磁機固定子14と、局所電源19によって回転を進めるように配置された励磁機回転子18が含まれる。発電機段12には、励磁機回転子18と共に回転するよう接続された発電機回転子20と、発電機固定子22が含まれる。励磁機回転子18と発電機回転子20の巻線は互いに接続されているが、反対方向に巻かれている。発電機固定子22は負荷23に接続される。

20

動作の際、励磁機回転子18は励磁機固定子14によって発生した回転磁界内で局所電源19によって回転する。励磁機回転子18の出力の誘導信号周波数は、局所電源19の角速度と交流電源16の周波数の合計に等しい。発電機回転子20が発電機固定子22の中で回転すると、励磁機回転子14への逆接続によって局所電源19によって発生した角速度が引き算される。その結果は発電機固定子22の出力の誘導電圧であり、交流電源の周波数に速度において等しい。

30

上記のNickoladzeによる解決法は、公共送電線網の線路周波数のみが発生する場合の理論的な出力電圧を提供するが、実際には、このような装置の製造は、三相電源応用装置の場合、励磁機及び発電機段と巻線の間の正しい位相角整合という困難を伴うことが多い。これまで、回転子及び固定子要素の物理的な巻線のため、励磁機及び発電機段の位相角整合が達成できないことが多かった。さらに、装置の中には巻線の位相順序が不適切なため、まったく動作しないものもあった。このような問題は、励磁機段と発電機段が互いに別々に製造される場合さらに顕著になる。

40

従って、現在、可変軸速度での一定の周波数と電圧出力に帰結する、三相電源応用に対して正しい位相角整合をもって製造される三相線路同期発電機の必要が存在している。反対方向に巻かれているか、または相がキー溝に関してコアの異なった溝で開始される励磁機と発電機の構成部品についても位相角整合が容易に達成されることが望ましい。

発明の開示

本発明の一実施形態はこの必要性を満足する方法と装置を目的とする。従って、好ましい実施形態では、励磁機固定子及び励磁機回転子を伴う励磁機段と、発電機固定子及び発電機回転子を伴う発電機段を有する線路同期発電機が提供される。一実施形態では、固定子に交流電源に接続する1次巻線が巻かれ、回転子に2次巻線が巻かれている。別の実施形態では、回転子に交流電源に接続する1次巻線が巻かれ、固定子に2次巻線が巻かれてい

50

る。

2次巻線の第1、第2及び第3相巻線の正しい位相角整合は、励磁機及び発電機段の1次巻線を線路電圧 V_m を有する交流電源に接続し、励磁機段の第1の2次相巻線を発電機段の第1の2次相巻線に接続することで決定される。次に、励磁機段の第2の2次相巻線と発電機段の第2の2次相巻線の間の電圧がほぼ $2V_m$ であることが確認され、励磁機段の第3の2次相巻線と発電機段の第3の2次相巻線の間の電圧がほぼ $2V_m$ であることが確認される。好ましくは、励磁機段の第2の2次相巻線と発電機段の第3の2次相巻線の間の電圧がほぼ $3V_m$ であることが確認され、励磁機段の第3の2次相巻線と発電機段の第2の2次相巻線の間の電圧がほぼ $3V_m$ であることが確認される。これらの電圧が確認されると、励磁機段の第2の2次相巻線が発電機段の第2の2次相巻線に接続され、励磁機段の第3の2次相巻線が発電機段の第3の2次相巻線に接続される。

10

回転子1次機械の好ましい実施形態では、励磁機回転子が外部電源によって回転を進めるよう配置された線路同期発電機が構成される。励磁機回転子には、各々交流電源に接続する巻線を有する1組の極が含まれる。励磁機固定子の内部で回転するよう設置された励磁機固定子も、各々巻線を有する1組の極を有する。励磁機回転子と共に回転するよう設置された発電機回転子は、各々交流電源に接続する巻線を有する1組の極を有する。発電機固定子は発電機回転子が中で回転するよう設置された内部を有する。発電機固定子は、各々励磁機極の組合せの対応する巻線に逆に接続された巻線を有する1組の極を有し、励磁機及び発電機の回転子の回転によって誘導される電氣的周波数を相殺する。

説明した実施形態の魅力的な特徴は、線路同期発電機が軸速度の変化にもかかわらず自己同期的であることである。さらに、反対方向の巻線や、キー溝に関してコアの異なった溝で開始される相を伴う励磁機や発電機の構成部品が個別に製造される場合でも、正しい位相角整合が容易に達成できる。代替動力源のこの経済的に実行可能な解決法は、環境に対する有害な影響を最小にしつつ、現在のエネルギー不足を解決する大きな可能性を有している。

20

当業者にとって本発明の他の実施形態は、以下の詳細な説明から明らかである。なお、ここで示しかつ説明したものは、本発明を実行するために検討された最上の形態の例示としての、本発明の実施形態に過ぎないことを理解すべきである。本発明は、全ての本発明の精神と範囲から離れることなく他の異なった実施形態が可能であり、そのいくつかの細部は様々な他の態様において修正が可能である。従って、図面と詳細な説明はその性質において例示的であり、制限的であると見做すべきではない。

30

【図面の簡単な説明】

本発明のこれらおよびその他の特徴、態様及び利点は以下の説明、添付の請求項及び図面を参照して更によく理解される。

図1は、米国特許第4,701,691号及び第4,229,689号で説明されている誘導発電機の単純化した図である。

図2は、本発明の好ましい実施形態による3相固定子1次線路同期発電機の単純化した図である。

図3は、本発明の好ましい実施形態による3相回転子1次線路同期発電機の単純化した図である。

40

図4は、本発明の好ましい実施形態による冗長線路同期発電機構造の単純化した図である。

図5A～図5Cは、本発明の好ましい実施形態による線路同期発電機の2次巻線間の正しい位相関係を例示するベクトル図である。

図6A～図6Fは、本発明の好ましい実施形態による線路同期発電機の2次巻線間の不適切な位相関係を例示するベクトル図である。

図7Aは、試験前の本発明の好ましい実施形態による線路同期発電機の2次巻線を示す図である。

図7Bは、番号を付け替えた端子に正しく接続された時の本発明の好ましい実施形態による線路同期発電機の2次巻線を示す図である。

50

図 8 は、本発明の好ましい実施形態に従って、2 次巻線間に接続された補償回路を示す図である。

図 9 は、本発明の好ましい実施形態に従って、種々の補償回路に関する出力電力を、回転子の角回転の関数として例示するグラフである。

図 10 は、本発明の好ましい実施形態に従って、励磁機及び発電機段間の位相角に対する出力電力を、回転子の角回転の関数として例示するグラフである。

図 11 は、本発明の好ましい実施形態に従って、 15° の位相角誤りを伴う線路同期発電機の 2 次巻線間の正しい位相関係を例示するベクトル図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明の好ましい実施形態が図 2 に示される。3 相線路同期発電機には、励磁機段 24 と発電機段 26 という 2 つの段が含まれる。励磁機段 24 には 3 つの電磁極の組合せを有する励磁機固定子 28 が含まれる。各極の組み合わせは交流電源 30 の異なった相に接続された 1 次巻線を有する。励磁機固定子 28 の内部で回転するよう設置された励磁機回転子 32 にも、各々 2 次巻線を巻かれた 3 つの電磁極の組み合わせが含まれる。励磁機固定子 32 は局所電源 33 によって回転を進めるよう配置される。

発電機段 26 には、発電機固定子 38 の内部で発電機回転子 32 と共に回転するよう接続された発電機回転子 34 が含まれる。発電機回転子 34 にも各々 2 次巻線を巻かれた 3 つの電磁極の組み合わせが含まれる。発電機回転子の 2 次巻線は励磁機回転子 32 の 2 次巻線と逆に接続され、局所電源の角回転によって誘導される周波数の相殺を行う。発電機固定子 38 は交流電源 30 に接続される。

本発明のその他の実施形態では、励磁機及び発電機段の回転子が交流電源に接続され、励磁機及び発電機段の 3 相巻線が電氣的相殺のために接続される。図 3 を参照すると、局所電源 53 によって回転を進めるよう配置された励磁機回転子 52 は、各々 1 次巻線が交流電源 54 の異なった相に接続された 3 つの電磁極の組み合わせを有する。励磁機段 56 にも、2 次巻線を巻かれた 3 つの電磁極の組み合わせを伴う励磁機固定子 72 が含まれる。同様に、発電機段 64 には、2 次巻線を巻かれた 3 つの電磁極の組み合わせを伴う発電機固定子 74 が含まれる。励磁機固定子 72 の 2 次巻線は発電機固定子 74 の 2 次巻線と逆に接続され、局所電源の角回転によって誘導される周波数の電氣的相殺を行う。励磁機回転子 52 と共に回転するよう接続された発電機回転子 75 は、交流電源 54 に接続される。例示のみの目的で、本発明の実施形態は固定子 1 次機械、すなわち、固定子が交流電源に接続されたものとして構成された 3 相線路同期発電機について説明される。しかしながら当業者は、本発明が固定子 1 次機械に制限されず、すべての説明された実施形態と試験手順は回転子 1 次機械、すなわち回転子が交流電源に接続されるものにも等しく適用されることを理解するであろう。

図 4 に示されるように、線路同期発電機は拡張され、冗長構成要素を含むことがある。すなわち、共通軸 80 上の回転子 78 と固定子 76 を備える第 3 冗長段は接続されないままである。励磁機または発電機段が故障した場合、端子 T001、T002 及び T003 が端子 T1、T2 及び T3 または T01、T02 及び T03 の代わりに接続される。

発電機の動作を図 2 を参照して説明する。固定子 1 次機械の場合、励磁機固定子 28 は、交流電源 30 の周波数に等しい角速度の回転磁界を生じる交流電源 30 によって励磁される。励磁機回転子 32 は、励磁機固定子 28 によって生じた回転磁界の中で局所電源 33 によって回転する。励磁機回転子 32 の出力の誘導信号周波数は、局所電源 33 の角速度と交流電源 30 の周波数の合計に等しい。発電機回転子 34 が発電機固定子 38 の中で回転すると、励磁機回転子 32 への逆接続によって、局所電源 33 によって生じた角速度が引き算される。その結果、発電機固定子 38 の出力の誘導電圧は、交流電源の周波数に速度が等しくなる。すなわち、本発明の実施形態による多極発電機の場合同期速度以上の何れの角速度においても、電圧出力は、発電機が接続された電源と同じ周波数を有する。同期速度以下では、電力は生成されるよりもむしろ消費される。

この理論的な解決法は、3 相線路同期発電機の出力周波数に対する軸速度変化の影響の問題を解決するが、最適な出力性能は、励磁機及び発電機段 24、26 間の正しい位相整合

10

20

30

40

50

によってのみ達成できる。この接続は、まず励磁機段の 1 次巻線が発電機段の 1 次巻線と同じ位相順序を有することを保証し、次に励磁機及び発電機段の 2 次巻線を逆に接続することで達成される。

励磁機及び発電機段が互いに個別に製造される結果、1 次巻線間の正しい接続を決定し、線路同期発電機の各段が同じ位相順序を有することを保証することが重要である。この決定は多くの方法でなされる。例えば、固定子 1 次機械の場合、小さな 3 相電動機を回転子巻線に加えられた電力によって固定子巻線から駆動する。電動機が励磁機固定子巻線と発電機固定子巻線の両方から同じ回転方向に駆動される時、固定子巻線の正しい位相順序が生じる。正しい位相順序を得る別の方法には、位相回転計によるものや、この技術分野で周知の試験技術による Y 字形に接続された 2 つのランプと交流コンデンサによるものがある。

10

正しい位相順序が確立されると、固定子巻線は交流電源の対応する相に接続される。次に回転子巻線間の正しい位相角が相互接続処理によって確立される。回転子軸の角速度によって誘導される周波数の電氣的相殺を得るために、各励磁機回転子巻線の角回転によって誘導される電圧が、接続先の発電機回転子巻線中に誘導される電圧と等しいが反対の極性を有するように、回転子巻線を接続しなければならない。

ベクトル図は、第 2 巻線間の相互接続を確認する方法を例示する有益な装置を提供する。図 5 及び図 6 に示されるように、回転子巻線間の 3 つの可能な相互接続だけが、図 5 A ~ 図 5 C に示されるような各 2 次巻線接続間の 180° 位相シフトに帰結し、各励磁機回転子巻線が対応する発電機回転子巻線に対して 180° シフトされる。例えば、図 5 B を検討されたい。接続された端子間の次の位相角が容易に確認される。

20

$T_{03} = 0^\circ$ かつ $T_3 = 180^\circ$; 180° 。

$T_{01} = 120^\circ$ かつ $T_1 = 300^\circ$; 180° ; および

$T_{02} = 240^\circ$ かつ $T_2 = 60^\circ$; 180° 。

同じ位相関係が、図 5 A 及び図 5 C のベクトル図によって示される 2 次接続についても言える。

それと対照的に、回転子の角回転によって誘導される周波数の電氣的相殺を行わない 6 つの可能な相互接続が存在する。これら 6 つの正しくない接続が図 6 A ~ 図 6 F のベクトル図によって示される。これらの図の各々に示されるように、励磁機回転子と発電機回転子の間の接続の各組み合わせは同じ電圧を有するだけでなく、同じ位相を有する。一例として図 6 A を参照すると、この関係が容易に示される。

30

$T_{01} = 300^\circ$ かつ $T_1 = 300^\circ$; 0° 。

$T_{02} = 60^\circ$ かつ $T_2 = 60^\circ$; 0° ; および

$T_{03} = 180^\circ$ かつ $T_3 = 180^\circ$; 0° 。

このようなベクトル図は製造工程中に回転子巻線間の正しい相互接続を決定する試験パラメータを確立する場合にも有益である。図 5 A ~ 図 5 C の各ベクトル図に共通して、3 相巻線の 1 つの励磁機回転子巻線を 1 つの発電機回転子巻線に接続すると、残りの開巻線間の電圧は、2 組の 2 倍の線路電圧 ($2 V_m$) と 2 組の 3 倍の線路電圧 ($3 V_m$) からなるが、これは位相間の幾何学的関係によって証明される。例えば、図 5 B の開巻線に誘導される電圧は次の通りである。

40

$T_2 - T_{02} = 2 V_m$

$T_3 - T_{03} = 2 V_m$

$T_2 - T_{03} = 3 V_m$

$T_3 - T_{02} = 3 V_m$

ベクトルは空間中の指定された長さと方向を有するので、これらの結果は普通の定規によって照合できる。

ベクトル図は数学的に確認できる。古典的電気理論によれば、電圧が誘導発電機の 1 次巻線に印加される時、電圧は開回路 2 次巻線に誘導される。Y 字形接続 3 相巻線は 120° 変位した各相を有する。開回路 2 次端子の誘導電圧は平衡する。位相試験のため、ジャンパ線が各 2 次巻線の 1 つの端子を相互接続する。図 5 B では、これは端子 T_1 と端子 T_0

50

1である。1次巻線に印加された電圧によって、残りの開回路2次電圧が測定される。図5Aの場合、これは次の通りである。

T 2 - T 0 2

T 3 - T 0 3

T 2 - T 0 3

T 3 - T 0 2

図5Aから容易に理解される様に、T 2 - T 0 1間の2次電圧は線路電圧である。またT 1 - T 0 2間の電圧も線路電圧である。従って、T 2 - T 0 2間の電圧は線路電圧の2倍である。同じことがT 3 - T 0 3にも言える。

T 2 - T 0 3間の電圧は、辺T 1 - T 0 3、T 0 1 - T 2及びT 2 - T 0 3によって定義される斜三角形の合成力である。正しく整合されると、古典的3相電気理論によって図5Bに示されるような角度が特定される。T 2 - T 0 3間の合成電圧は次の通りである。

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

正しく整合した場合、

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

同じことがT 3 - T 0 2間の電圧についても言える。従って、正しく整合した場合、電圧は1組の端子が線路電圧の2倍となり1組の端子が線路電圧の3倍となる。

これらのベクトル図から収集された知識によって、生産歩留まりを向上しつつ製造費用を大きく低減する、回転子巻線を相互接続する方法論が確認できる。すなわち、固定子1次機械において正しい相互接続を決定する方法には、1組の回転子巻線を接続した後、回転子巻線間の電圧がほぼ同一な残りの2つの組み合わせを発見することが必要である。

図7Aを参照すると、試験用に準備された2次巻線が示される。励磁機及び発電機固定子が交流電源に接続される。2組の回転子巻線の巻数、ピッチ、線寸法、接続等が同様であれば、誘導される線路電圧は等しいはずである。この例では、相間電圧は90ボルトである。接続は図示されるようなY字形（星形）、または三角形または1対1である。試験測定値を得るために、各回転子巻線からの端子は接続ジャンパによって接合される。

1次側または2次側のどちらかが回転子または固定子であるが、それらは必ず同じ部分である。すなわち、同期発電機の半分が回転子1次機械として構成されている場合、同期発電機の他の半分も回転子1次機械として構成されなければならない。

図5及び図6のベクトル図によって定義されるように、2組のほぼ同一の電圧が必ず発見される。線路電圧が90ボルトの場合、試験の際に次の値が得られなければならない。

1つの電圧の組み合わせについて、 $2(90) = 180$ ボルト

もう1つの電圧の組み合わせについて、 $3(90) = 156$ ボルト

試験を行うために、各回転子巻線の端子を接続するジャンパ線が配置される。この例では、ジャンパ線はまずT 1とT 0 1の間に配置され、試験によって次の電圧が得られた。

T 2 - T 0 2 = 156ボルト

T 2 - T 0 3 = 90ボルト

T 3 - T 0 2 = 180ボルト

T 3 - T 0 3 = 156ボルト

これらの測定電圧は、回転子巻線の不適切な相互接続を示す図6A～図6Fと一致する。次にジャンパ線を取り外し別の端子の組み合わせ間に配置する。この例では、ジャンパ線は次にT 2とT 0 1の間に配置され、試験によって次の電圧が得られた。

$T1 - T02 = 156$ ボルト

$T1 - T03 = 180$ ボルト

$T3 - T02 = 180$ ボルト

$T3 - T03 = 156$ ボルト

この結果は図5A～図5Cと一致し、回転子巻線の正しい相互接続を確認する。ベクトル図5A～5Cから、2Vmすなわち180ボルトの電圧を有する回転子巻線を一緒に接続すべきことが分かる。回転子巻線の正しい相互接続は図7Bに示されており、T1がT03に接続され、T3がT02に接続される。好ましくは端子は番号を付け替えられる。回転子巻線間の正しい位相角が確立されると、3相巻線の各組み合わせの間に電氣的補償が挿入される。すなわち、抵抗とコンデンサが対応する巻線間に挿入され、励磁機及び発電機段間の連続的な位相角調整の必要なしに装置の動的動作範囲を拡大する。また、電氣的補償は固定子の1次巻線に挿入されることもある。

図8を参照すると、回転子巻線間に挿入された補償抵抗の影響によって動作範囲が拡大されより高い動作速度が可能になる。この例では、補償ネットワーク76、78及び80は上記で説明された巻線相互接続に作用する。ネットワーク76にはコンデンサ84と並列の抵抗82が含まれ、ネットワーク78はコンデンサ90と並列に接続された抵抗88を備えており、ネットワーク80はコンデンサ96と並列に接続された抵抗94を備えている。抵抗82、88及び94の抵抗値を約0オームから約5.8オームまで増大することで、力率及び電力効率両方の比で表されるダイナミックレンジが大きく増大する。

図9は、あつらえ向きの応用に対して望ましい結果を達成するために抵抗を使用する装置の拡大された範囲を示す。15kW、4極、60Hz 3相線路同期発電機について出力曲線が示される。

3相線路同期発電機の性能を最適化するもう1つの重要なパラメータは発電機及び励磁機段間の位相角である。本発明の好ましい実施形態では、励磁機固定子、励磁機発電機、発電機回転子または発電機固定子の角度位置を進めたり遅らせたりして性能を最適化することができる。最適負荷は励磁機位相角と回転子の回転数の関数である。回転数が増大して「同期速度」よりかなり高くなると、最大発電機負荷を満たすために必要な位相角範囲はかなり狭くなる。すなわち、発電機段に対する励磁機段の位相角の操作を通じて、負荷に対する完全な制御が達成される。可変速度原動機を使用する場合、十分な位相角最適化を提供するためには、応答性に優れた正確な装置を利用しなければならない。

図10は、様々な位相角で、75馬力直流可変速度原動機に結合された6極、25kW、480ボルト、60Hz 固定子1次機械の出力電力を例示する。出力電力は、励磁機及び発電機磁界間の4つの異なった移動角度で示さる。

好ましい実施形態では、発電機固定子磁界はタップを付けられ、制御機構によって交流電源周波数と比較されてサーボモータに位相誤り信号を提供する。このサーボモータは励磁機固定子を位置決めし、軸速度の変化の結果生じる位相差の関数である発電機負荷を最適化する。サーボモータとその制御機構の精度と応答は発電機負荷の最適化にとって極めて重要である。サーボモータ制御技術は十分に進歩しているので、事実上すべての発電応用装置において正確な励磁機誘導補償が提供できる。

また、回転子巻線の相互接続処理中に位相角が設定されることもある。図11を参照すると、電氣的相殺を行うよう正しく相互接続されているが、励磁機及び発電機段間の15°の位相角不整合を伴う回転子巻線の位相関係を表すベクトル図が示される。図10で表される試験が行われ、T1がT01に接続される。次の試験結果が得られる。

$T2 - T02 = 178$ ボルト

$T2 - T03 = 143$ ボルト

$T3 - T02 = 166$ ボルト

$T3 - T03 = 178$ ボルト

端子T2 - T02及びT3 - T03間の電圧は各々178ボルトであるが、これは必要な組み合わせの電圧を満足する180ボルトに十分近い。しかし、他の端子間の電圧は第2の必要な組み合わせを満足する156ボルトには十分近くない。しかし、電圧を平均する

10

20

30

40

50

と、結果は 155 ボルトであり望ましい電圧に近い。これは励磁機段と発電機段の間の位相角が不適切であることを示す。この場合、T2 及び T03 間の電圧と T3 及び T02 間の電圧が各々 155 ボルトになるまで、励磁機固定子、励磁機回転子、発電機固定子または発電機回転子の何れかを軸上で物理的に回転させることができる。この場合、図 8 のベクトル図から、15° の電氣的位相シフトが最適な性能に帰結することが見られる。

また、励磁機回転子、励磁機固定子、発電機回転子または発電機固定子の何れかの巻線を変更することで位相角補償を行うことも可能である。別言すれば、最適な位相角は、回転子または固定子を物理的にシフトせず、巻線をオフセットすることで達成される。例えば、発電機部分のスロットに 1 から 36 までの番号が付いている場合、スロット 1 の発電機グループから開始し、励磁機グループはスロット 2 または 3 から開始されて、望ましい位相角を得る。

10

物理的角変位は極の数によって決定される。すなわち、角変位は次の通りである。

$$X = \frac{360^\circ}{\text{位相} \times \text{極}}$$

4 極 3 相システムの場合、この角度は次の通りである。

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

従って、20° の 1 つの角変位が必要である。これはスロット数によって必要な角度が満たされる場合のみ 2 つの固定コアの巻線を変位することによって達成される。例えば、2 つのスロット変位を伴う 36 スロットのコアは 20° に帰結し、4 極 3 相システムについて許容可能である。しかし 48 スロット・コアはどのような組み合わせでも 20° に帰結しないので、コアの変位によっては位相角整合は得られない。

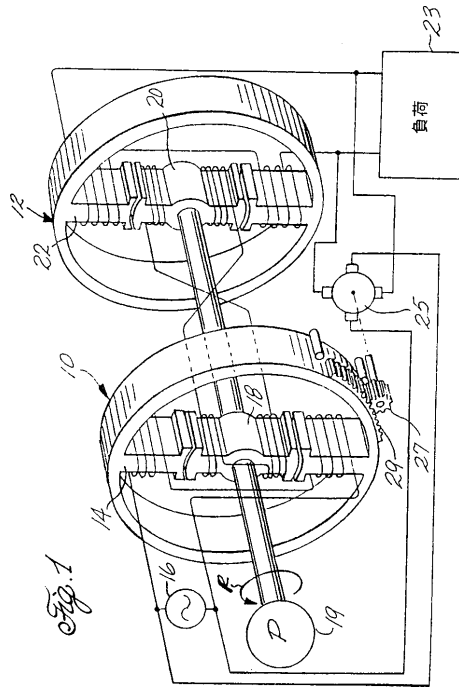
20

記載した実施形態は、自己同期でありながら従来の機械の制限を大きく越えて回転速度を変化させることのできる重要な解決法を提供する。能動制御は安全の目的のために必要なものだけに単純化される。機械速度の上限は受動装置の単純な能動制御によって向上する。これは、発明者の融通性、すなわち単純な受動装置の追加によって拡大できる本質的に許容可能な速度範囲を示す。すなわち、最低速度を見越し、装置の寄生損を越えるどんな局所電源も有効に使用し公共送電線網に給電することができる。局所代替電源のこのような応用は、環境に対する有害な影響を最小にしつつ、現在のエネルギー不足を解決する大きな可能性を有している。

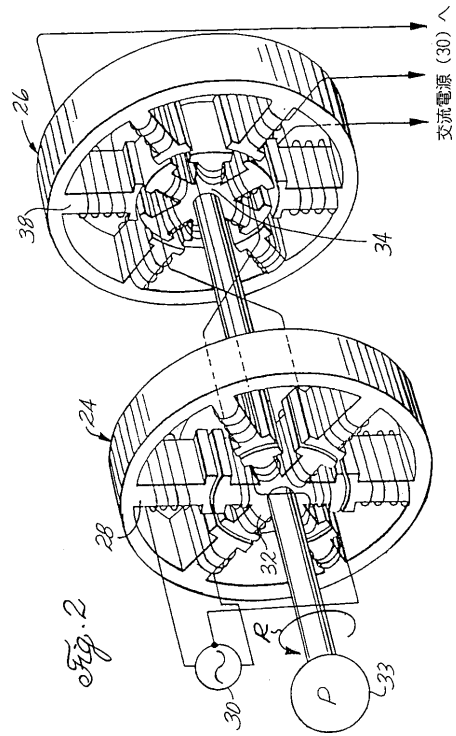
30

上記から、本発明が、位相が正しく可変軸速度で一定の周波数と電圧の出力を有する 3 相線路同期発電機の直接の必要を満たしていることが明らかである。この 3 相線路同期発電機は、本発明の精神または本質的な属性から離れることなく、風車、風力タービン、水車、水力タービン、内燃機関、太陽光エンジン、蒸気タービンといった他の特定の形態で実施され、多様な燃料源と共に使用される。従って、説明された実施形態はあらゆる態様で例示的であって制限的でないと考えられ、本発明の範囲を示すためには、上記の説明でなく添付の請求項が参照される。

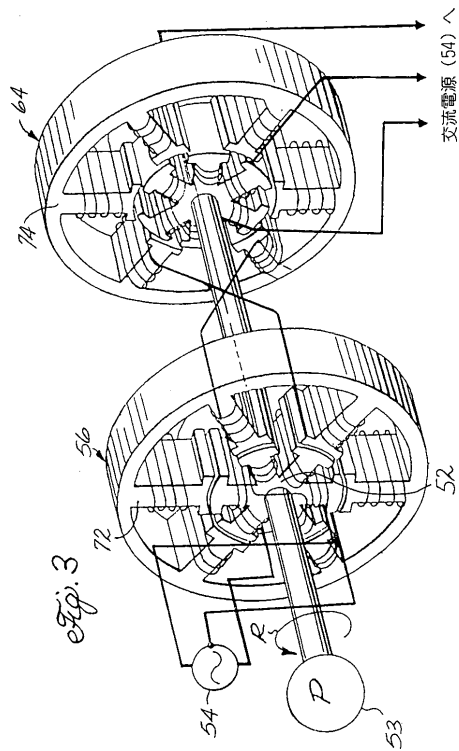
【図 1】



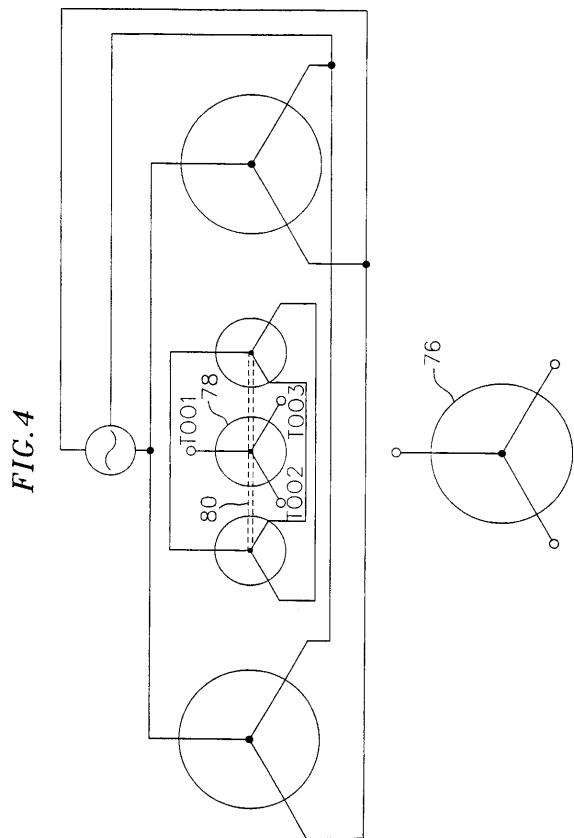
【図 2】



【図 3】

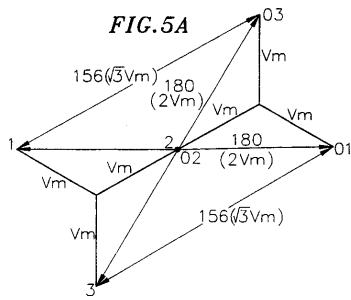


【図 4】



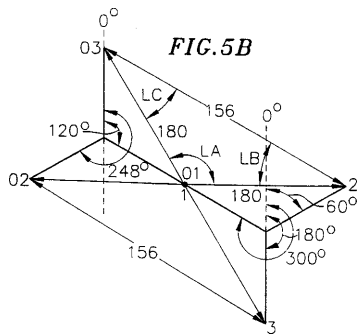
【 図 5 A 】

FIG. 5A



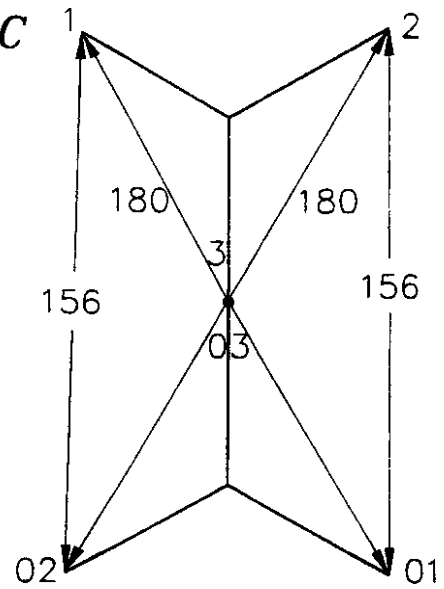
【 ㊦ 5 B 】

FIG.5B



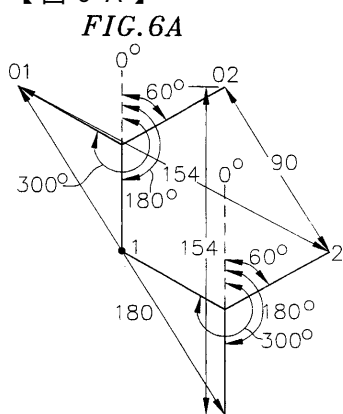
【 ㄨ 5 C 】

FIG.5C



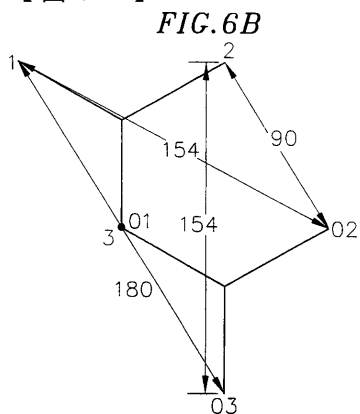
【 図 6 A 】

FIG. 6A



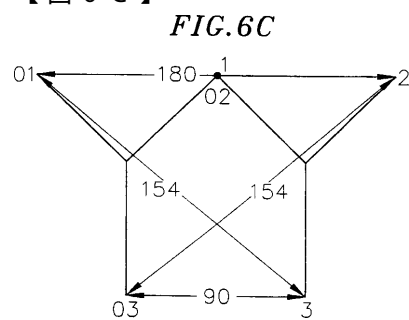
【 図 6 B 】

FIG. 6B



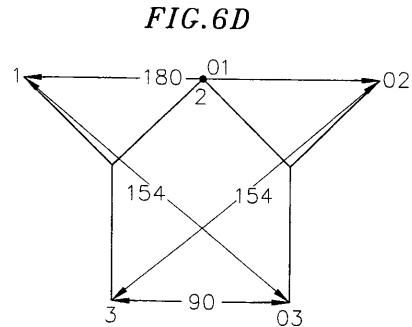
【 図 6 C 】

FIG. 6C

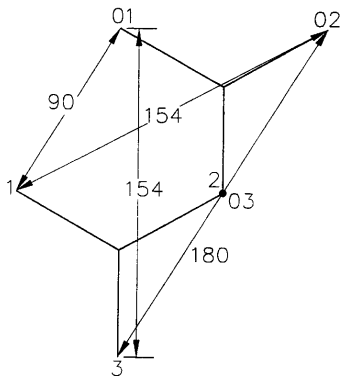


【 図 6 D 】

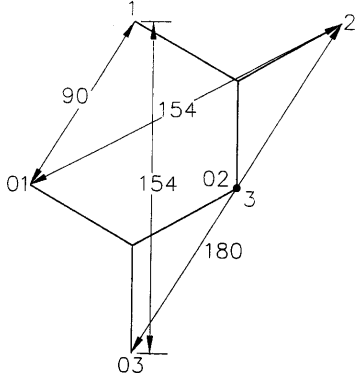
FIG. 6D



【図 6 E】
FIG. 6E



【図 6 F】
FIG. 6F



【図 7 B】

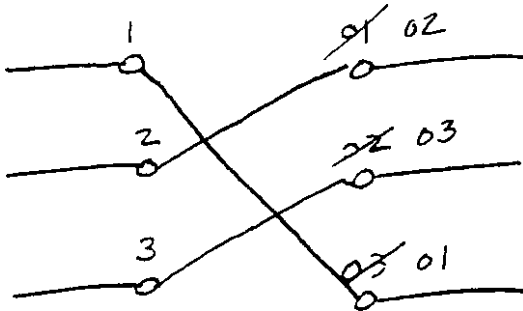


FIG. 7B

【図 7 A】

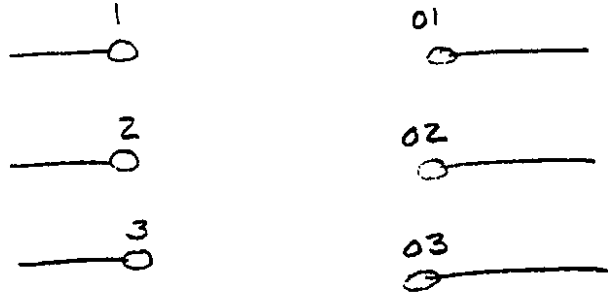


FIG. 7A

【図 8】

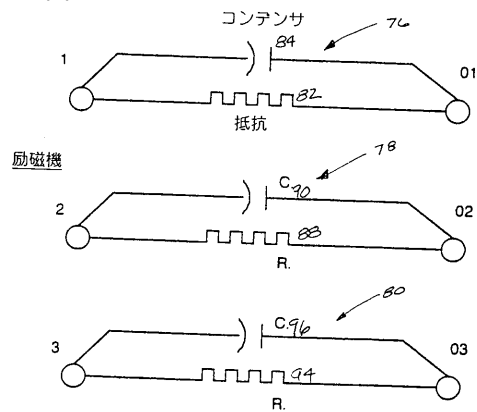


FIG. 8

【図 9】

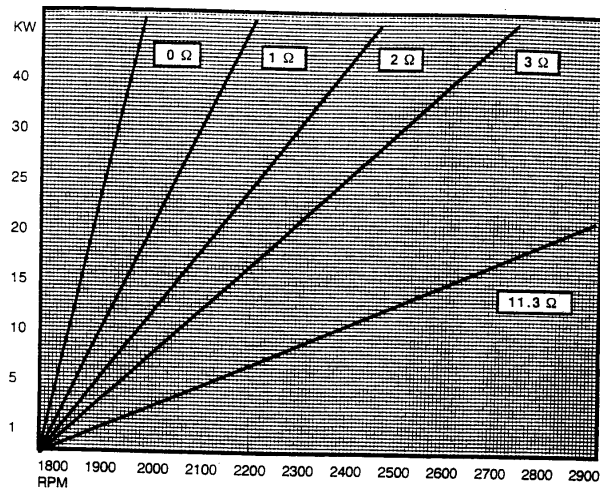


FIG. 9

【図 10】

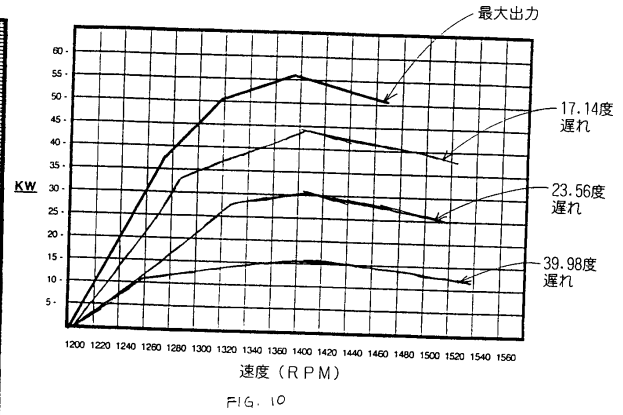


FIG. 10

【図 11】

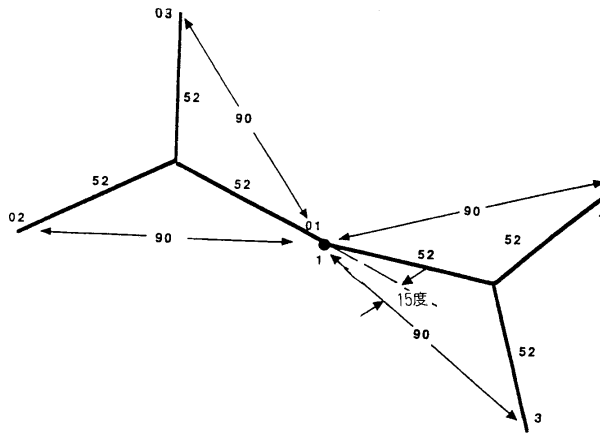


FIG. 11

フロントページの続き

(72)発明者 ニコラッズ, レオ ジー . (死亡)

アメリカ合衆国, ハワイ 9 6 7 3 4 , カヒリ, カヒリ ストリート 1 1 5 5

審査官 天坂 康種

(56)参考文献 米国特許第 0 4 7 0 1 6 9 1 (U S , A)

特開平 0 1 - 2 9 8 9 3 3 (J P , A)

特開昭 5 8 - 0 0 9 5 6 6 (J P , A)

特開昭 6 1 - 0 2 6 4 5 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H02K 19/00 - 19/38

H02P 9/00 - 9/48