

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2010-51065
(P2010-51065A)

(43) 公開日 平成22年3月4日(2010.3.4)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H02P 11/06 (2006.01)	H02P 11/06	5G066
H02J 3/34 (2006.01)	H02J 3/34	5H750
H02M 5/32 (2006.01)	H02M 5/32	

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2008-211047 (P2008-211047)	(71) 出願人	000213297 中部電力株式会社 愛知県名古屋市東区東新町 1 番地
(22) 出願日	平成20年8月19日 (2008. 8. 19)	(74) 代理人	100078721 弁理士 石田 喜樹
		(74) 代理人	100124420 弁理士 園田 清隆
		(72) 発明者	スレン チャンド ヴアルマ 名古屋市緑区大高町字北関山 2 〇番地の 1 中部電力株式会社電力技術研究所内
		(72) 発明者	山田 富士宏 名古屋市緑区大高町字北関山 2 〇番地の 1 中部電力株式会社電力技術研究所内

最終頁に続く

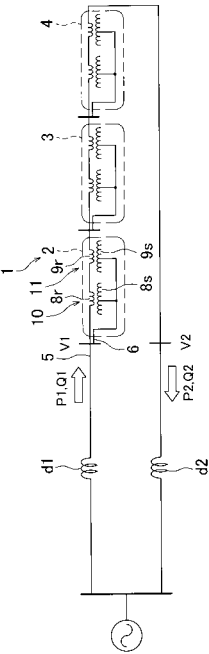
(54) 【発明の名称】 電力潮流制御装置

(57) 【要約】

【課題】電力の位相の調整を行うことができ、更に柱上設置が可能な程にコンパクトな電力潮流制御装置を提供する。

【解決手段】電力潮流制御装置 1 では、第 1 の交流電力系統 α と第 2 の交流電力系統 β の間に設置された回転型の位相器 2 ～ 4 を複数 (3 台) 含み、前記各位相器 2 ～ 4 は、回転子と固定子とを備え、前記各回転子が、前記第 1 の交流電力系統 α と前記第 2 の交流電力系統 β の間に (直列に) 挿入され、前記各固定子が、前記第 1 の交流電力系統 α に (並列に) 接続されており (位相器 3 , 4 は第 1 の交流電力系統には接続されていない) 、前記各位相器 2 ～ 4 は、互いに直列に接続されている。

【選択図】 図 3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 の交流電力系統と第 2 の交流電力系統の間に設置された回転型の位相器を複数含み、
各前記位相器は、回転子と固定子とを備え、
前記回転子が、前記第 1 の交流電力系統と前記第 2 の交流電力系統の間に直列に挿入され、
前記固定子が、前記第 1 の交流電力系統に接続されており、
各前記位相器は、互いに直列に接続されている
ことを特徴とする電力潮流制御装置。

10

【請求項 2】

第 1 の交流電力系統と第 2 の交流電力系統の間に設置された回転型の位相器を複数含み、
各前記位相器は、回転子と固定子とを備え、
前記回転子が、前記第 1 の交流電力系統と前記第 2 の交流電力系統の間に直列に挿入され、
前記固定子が、前記第 1 の交流電力系統に接続されており、
各前記位相器は、互いに並列に接続されている
ことを特徴とする電力潮流制御装置。

20

【請求項 3】

各前記位相器は、2 台の回転型移相変圧器を含み、
各前記回転型移相変圧器は、回転子と固定子とを備え、
前記回転子が、前記第 1 の交流電力系統と前記第 2 の交流電力系統の間に直列に挿入され、
前記固定子が、前記第 1 の交流電力系統に接続されており、
各前記回転型移相変圧器は、互いに直列に接続されていて、
各前記回転型移相変圧器の前記回転子が、各前記位相器の前記回転子を構成し、
各前記回転型移相変圧器の前記固定子が、各前記位相器の前記固定子を構成する
ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の電力潮流制御装置。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、送電電力を制御するための電力潮流制御装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

従来の電力潮流制御装置として、下記特許文献 1 に記載のものが知られている。この電力潮流制御装置は、回転子と固定子を有し、回転子が第 1 の交流電力系統と接続され、固定子が第 2 の交流電力系統と接続される回転形変圧器と、回転子の回転角度範囲を制限するストッパ装置と、回転子を駆動する駆動電動機と、回転形変圧器の現通過電力と所定通過電力を比較し、回転子の角速度から駆動電動機の出力トルクを調整するトルク制御器とから構成されており、回転子の固定子に対する回転速度を調整することにより、回転形変圧器の通過有効電力を連続的に調整可能である。

40

【0003】

【特許文献 1】特開 2005 - 253215 号公報

【発明の開示】**【発明が解決しようとする課題】****【0004】**

このような電力潮流制御装置では、有効電力を調整することができるものの、無効電力を調整することができない。又、例えば 100 kV A の容量とすると約 2.5 トンの装置重量になる等、装置が大型であり、電柱上に設置することができない。更に、電力系統に

50

直列に挿入されるため、装置が故障すると電力潮流制御を行えない。

【 0 0 0 5 】

そこで、請求項 1 に記載の発明は、電力の位相の調整を行うことができ、更に柱上設置が可能な程にコンパクトな電力潮流制御装置を提供することを目的としたものである。

【 0 0 0 6 】

又、請求項 2 に記載の発明は、電力の位相の調整を行うことができ、更に軽量であり、故障発生時にも縮退運転が可能である電力潮流制御装置を提供することを目的としたものである。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記目的を達成するために、請求項 1 に記載の発明は、第 1 の交流電力系統と第 2 の交流電力系統の間に設置された回転型の位相器を複数含み、各前記位相器は、回転子と固定子とを備え、前記回転子が、前記第 1 の交流電力系統と前記第 2 の交流電力系統の間に直列に挿入され、前記固定子が、前記第 1 の交流電力系統に接続されており、

各前記位相器は、互いに直列に接続されていることを特徴とするものである。

【 0 0 0 8 】

上記目的を達成するために、請求項 2 に記載の発明は、第 1 の交流電力系統と第 2 の交流電力系統の間に設置された回転型の位相器を複数含み、各前記位相器は、回転子と固定子とを備え、前記回転子が、前記第 1 の交流電力系統と前記第 2 の交流電力系統の間に挿入され、前記固定子が、前記第 1 の交流電力系統に接続されており、各前記位相器は、互いに並列に接続されていることを特徴とするものである。

【 0 0 0 9 】

請求項 3 に記載の発明は、上記目的に加えて、より一層軽量コンパクトにすると共に、無効電力の調整をも可能とする目的を達成するため、上記発明にあって、各前記位相器は、2 台の回転型移相変圧器を含み、各回転型移相変圧器は、回転子と固定子とを備え、前記回転子が、前記第 1 の交流電力系統と前記第 2 の交流電力系統の間に挿入され、前記固定子が、前記第 1 の交流電力系統に接続されており、各前記回転型移相変圧器は、互いに直列に接続されていて、各前記回転型移相変圧器の前記回転子が、各前記位相器の前記回転子を構成し、各前記回転型移相変圧器の前記固定子が、各前記位相器の前記固定子を構成することを特徴とするものである。

【発明の効果】

【 0 0 1 0 】

本発明によれば、位相器を複数設置して電力潮流制御装置を構成するため、位相器を大幅に軽量化して装置全体としてもコンパクトにすることができ、位相器を直列 2 段の回転型移相変圧器としたので、無効電力の調整が可能となる等、高度な電力潮流制御が可能である。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 1 1 】

以下、本発明に係る実施の形態の例（第 1 ～ 第 2 形態及び変更例）につき、適宜図面に基づいて説明する。なお、本発明の形態は、これらの例に限定されない。

【 0 0 1 2 】

< 第 1 形態 >

[構成等]

図 1 は第 1 形態に係る電力潮流制御装置 1 の説明図であって、電力潮流制御装置 1 は、回転型の位相器を複数台（ここでは 3 台の位相器 2 ～ 4）備えている。位相器 2 ～ 4 は、直列に接続されている。そして、電力潮流制御装置 1 は、二つの電力系統（系統 α ，系統 β ）を結ぶ送電線 5 に挿入されている。送電線 5 は、ここでは三相交流を送電する。

【 0 0 1 3 】

位相器 2 にあっては、図 2 に詳細を示すように、2 台の U P F C（Unified Power Flow Controller）方式の回転型移相変圧器 10，11 が、直列に接続されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 4 】

即ち、ノード a 1 ~ c 1 は系統 α 側であり、ノード a 2 ~ c 2 は系統 β 側であるところ、各ノード a 1 ~ c 1 では、送電線 5 (図 2 では送電線 5 a ~ 5 c) に分路 6 (図 2 で送電線 5 a ~ 5 c に対し順に分路 6 a ~ 6 c) が設けられており、送電線 5 側に巻線 8 r (巻線 8 r a ~ 8 r c) が設けられると共に、当該巻線 8 r に対して分路 6 側に巻線 8 s が設けられる (巻線 8 r a ~ 8 r c に対して順に巻線 8 s a ~ 8 s c)。巻線 8 r は、円柱状の回転子の外側面に配置され、巻線 8 s は、当該回転子を囲む円筒状の固定子の内面に配置される。巻線 8 r a ~ 8 r c は、ここでは等角度を置いて配置され、巻線 8 s a ~ 8 s c は、順に巻線 8 r a ~ 8 r c に対向するように配置される。そして、巻線 8 r , 8 s (ないし固定子・回転子・変圧器等) により、回転型の回転型移相変圧器 1 0 が構成される。ここで、送電線 5 側に巻線 8 r が設けられ、巻線 8 r が送電線 5 に挿入されるので、回転子の巻線 8 r は系統 α と系統 β の間に直列に挿入されていることになる。又、分路 6 は、系統 α 側から分かれているので、固定子の巻線 8 s は、系統 α と接続されていることになる。なお、回転子を円筒状とし、固定子を円柱状としても良い。

10

【 0 0 1 5 】

又、送電線 5 では、巻線 8 r (巻線 8 r a ~ 8 r c) に対して巻線 9 r (巻線 9 r a ~ 9 r c) が直列に接続されており、分路 6 では、巻線 8 s (巻線 8 s a ~ 8 s c) に対して巻線 9 s (巻線 9 s a ~ 9 s c) が直列に接続されている。巻線 9 r は、巻線 8 r と同様にして別の回転子に設置され、巻線 9 s は、巻線 8 s と同様にして別の固定子に設置される。各回転子は、図示しない駆動機によって、任意の回転角ないし回転速度で回転可能である。そして、巻線 9 r , 9 s (ないし固定子・回転子・変圧器等) により、回転型の回転型移相変圧器 1 1 が構成され、又ここでも同様に、回転子の巻線 9 r は系統 α と系統 β の間に直列に挿入されていることになり、固定子の巻線 9 s は、系統 α と接続されていることになる。なお、回転子を円筒状とし、固定子を円柱状としても良い。

20

【 0 0 1 6 】

そして、位相器 3 , 4 は、それぞれ位相器 2 と同様に成る。

【 0 0 1 7 】

[シミュレーション]

図 3 は、電力潮流制御装置 1 を、2 本の所定の送電線 5 の末端ループ側に設けた場合のシミュレーション系統の例を示す。各送電線 5 のリアクタンスは、一般の配電線 1 0 k m に相当する 1 1 . 5 5 m H とする (図 3 のコイル d 1 , d 2 参照)。

30

【 0 0 1 8 】

(位相器のシミュレーション)

図 3 に基づくシミュレーションに先立ち、各位相器 2 ~ 4 の特性を調べるため、図 3 と同様の系統において電力潮流制御装置 1 の代わりに位相器 2 のみを配置した場合のシミュレーションを行う (図 4 参照)。このシミュレーションにおいて、回転型移相変圧器 1 0 における固定子の巻線 8 s と回転子の巻線 8 r の巻数比を、1 : 0 . 1 とし、回転型移相変圧器 1 1 における巻線 9 s , 9 r についても同様とする。更に、位相器 2 外部の配電側 (入力側、調整前の側) の電圧を V 1、有効電力を P 1、無効電力を Q 1 とし、戻り側 (出力側、調整後の側) の電圧を V 2、有効電力を P 2、無効電力を Q 2 とする。又、位相器 2 における巻線 8 r の電圧を V r 1 とし、巻線 9 r の電圧を V r 2 とし、それぞれの位相に相当する、電圧 V r 1 の電圧 V 1 に対する角度を V r 1 とし、電圧 V r 2 の電圧 V 2 に対する角度を V r 2 とする。

40

【 0 0 1 9 】

図 5 は電圧 V 1 , V 2 , V r 1 , V r 2 の関係を示す図であり、電圧 V 2 は、電圧 V 1 に対し、電圧 V r 1 , V r 2 をベクトルとして加えることで出力され、電圧 V r 1 , V r 2 により調整される。位相器 2 では、電圧振幅をなるべく変化させずに位相のみを簡易に変化させる (位相を簡易に調整する) ため、電圧 V r 1 , V r 2 の大きさは同等とし、角度 V r 1 , V r 2 を同様に变化させる。なお、電圧振幅を厳密に変化させないようにするため、角度 V r 1 を角度 V r 2 に対し若干大きくしても良い。

50

【 0 0 2 0 】

角度 V_{r1} を $90^\circ \sim -90^\circ$ の範囲で変化させると共に、角度 V_{r2} を $90^\circ \sim 270^\circ$ の範囲で変化させた場合のシミュレーション結果を図 6 に示す。電気トルク T_e 、機械トルク T_m 、回転子速度 ω_r については、回転型移相変圧器 10, 11 の双方について示しており、又、電圧位相差は、図 4 における電圧 V_1 , V_2 の位相差を示しており、更に、回転子アングル θ_{r1} は回転型移相変圧器 10 における巻線 8r の巻線 8s に対する角度であり、回転子アングル θ_{r2} は回転型移相変圧器 11 における巻線 9r の巻線 9s に対する角度である。

【 0 0 2 1 】

図 6 から、位相器 2 における回転型移相変圧器 10, 11 の各回転子について、互いに逆方向に変化させることにより、有効電力 P_1 を連続的に変化させることが可能であるといえる。そして、固定子の巻線 8s, 9s と回転子の巻線 8r, 9r の巻数比を 1 : 0.1 としたので、回転子の（直列の）巻線 8r, 9r から出力される電圧は、定格電圧の 0.1 倍程度となる。即ち、固定子巻線と回転子巻線との巻数比が 1 : 1 である通常の回転型移相変圧器と比べると、通過電流は同じで、回転子の巻線 8r, 9r にかかる電圧が 0.1 倍となる。よって、各回転型移相変圧器 10, 11 の 1 台当たりの容量は 0.1 倍で済み、回転型移相変圧器 10, 11 を直列に接続した位相器 2 において、容量は 0.2 倍で済む。例えば、容量として 1 MVA を要する場合、前記通常の回転型移相変圧器では容量 1 MVA のものが必要であるが、位相器 2 では、それぞれ容量 100 kVA の回転型移相変圧器 10, 11 が合計 2 台で良いことになる。しかし、容量 100 kVA の回転型移相変圧器 10 であっても、重量 2.5 トン級のものになってしまうため、柱上に設置するためには更なる小型化、小容量化を図る必要がある。

【 0 0 2 2 】

（装置全体の電圧位相差）

そこで、図 3 に戻り、位相器 2 ~ 4 を直列に接続することを考える。ここで、電力潮流制御装置 1 全体によって電圧位相差 θ を発生させるとすると、電力潮流制御装置 1 を通過する電力 P は、送電線のインダクタンスを X_L として、下記 [数 1] で表される。即ち、電力潮流制御装置 1 から発生させるべき電圧位相差は、インダクタンス X_L によって異なることになる。又、[数 1] を電圧位相差 θ について解くと、次の [数 2] となる。

【 0 0 2 3 】

【 数 1 】

$$P = \frac{V_1 \cdot V_2}{X_L} \cdot \sin \theta$$

【 数 2 】

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{P \cdot X_L}{V_1 \cdot V_2} \right)$$

【 0 0 2 4 】

（位相器の電圧位相差）

そして、図 3 で示すように、電力潮流制御装置 1 は 3 台の位相器 2 ~ 4 を直列に接続して成るから、各位相器 2 ~ 4 で発生させる電圧位相差は、 $\theta / 3$ で良いのである。

【 0 0 2 5 】

図 3 の場合、送電線（ 6 . 6 k V 配電線とし、即ち $V_1 = 6 . 6 \text{ k V}$, $V_2 = 6 . 6 \text{ k V}$ とする）のインダクタンス X_L に関わるリアクタンスは 1 1 . 5 5 m H（配電線 1 0 k m 相当）であるから、電力潮流制御装置 1 全体で 1 M W の電力を融通するために必要な電圧位相差は、次の [数 3] の通りである。

【 0 0 2 6 】

【 数 3 】

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{1 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 0.01155 \times 2)}{6.6 \cdot 6.6} \right) \quad 10$$

$$= 11.5 \text{ deg}$$

【 0 0 2 7 】

すると、各位相器 2 ~ 4 では、1 1 . 5 / 3 3 . 8 度の電圧位相差を発生可能であれば足りることになる。そこで、位相器 2 に係る図 7 の場合で、3 . 8 度の電圧位相差を発生させるために必要な回転子側の直列の巻線 8 r , 9 r の電圧 V_{r1} , V_{r2} を求める。なお、位相器 2 の巻線 8 r（回転型移相変圧器 1 0）側の系統を系統 γ とし、巻線 9 r（回転型移相変圧器 1 1）側の系統を系統 δ とする。又、系統 γ 側の入力電圧を V_1 とし、系統 δ 側の出力電圧を V_2 とする。 20

【 0 0 2 8 】

これら電圧 V_{r1} , V_{r2} , V_1 , V_2 の関係を図 8 に示す。位相を調整するため、電圧 V_1 , V_2 の大きさは同じとするから、三角形 d e f は二等辺三角形であり、回転型移相変圧器 1 0 , 1 1 は同様に成るから、電圧 V_{r1} , V_{r2} の大きさは等しく、電圧 V_{r1} の先端は辺 e f の中点となる。

【 0 0 2 9 】

よって、図 8 において電圧 V_{r1} の先端に点 g を置いた図 9 にあって、三角形 d e g は直角三角形であり、 $\angle d e g$ は電圧 V_1 , V_2 のなす角である $\angle d e f$ 即ち $\theta_{\max}$ の 2 分の 1 となる。従って、次の [数 4] が成立し、これに最大位相変化量 $\theta_{\max}$ を 3 . 8 度とすることを加味すれば [数 5] の通りとなる。 30

【 0 0 3 0 】

【 数 4 】

$$\frac{V_{r1}}{V_1} = \sin \left(\frac{1}{2} \theta_{\max} \right)$$

40

【 数 5 】

$$\frac{V_{r1}}{V_1} = \sin \left(\frac{1}{2} \times 3.8 \right)$$

$$= 0.033$$

【 0 0 3 1 】

この [数 5] によれば、定格電圧 V_1 の 0 . 0 3 3 倍の電圧 V_{r1} を巻線 8 r , 9 r か 50

ら出すことができれば、最大 3.8 度の位相変化を起こすことが可能である。通常の回転型移相変圧器と比べると、通過電流は同じで、直列の巻線にかかる電圧が 0.033 倍であるため、各回転型移相変圧器 10, 11 の容量は 0.033 倍となる。例えば、通過容量 1 MW では、各回転型移相変圧器 10, 11 の容量は 33 kVA の容量で済む。一般に、30 kVA 級の回転型移相変圧器の装置重量は 900 kg 程度となるので、回転型移相変圧器 10, 11 につき、互いに接続した状態で、それぞれ柱上に設置することが可能となる。なお、回転型移相変圧器や位相器の接続数を増やすことで、1 台当たりの容量をより小さくしても良く、装置重量や大きさ、コストを考慮して、最適な容量を選定することができる。

【0032】

(装置全体のシミュレーション)

以上に基づき、図 3 に戻り、回転型移相変圧器 10, 11 を有する位相器 2 に、同様の位相器 3, 4 を直列に接続した電力潮流制御装置 1 に関するシミュレーションを行う。このシミュレーションにおいては、各回転型移相変圧器 10, 11 の容量は 33 kVA とし、固定子の巻線 8s と回転子の巻線 8r の巻数比を 1:0.033 とし、巻線 9s, 9r についても同様とする。回転型移相変圧器 10, 11 の各回転子は、電圧の振幅を変化させずに位相のみを変化させる目的で、互いに逆回転させており、より詳しくは、 V_{r1} を 90 度から -90 度まで変化させると共に、 V_{r2} を 90 度から 270 度まで変化させる(図 5 参照)。なお、各位相器 2~4 の回転型移相変圧器 10 の回転子は、共にそろって V_{r1} につき 90 度から -90 度まで変化させる。

【0033】

シミュレーション結果を図 10 に示す。電気トルク T_e 、機械トルク T_m 、回転子速度 ω_r については、各位相器 2~4 に係る回転型移相変圧器 10, 11 の双方について示しており、又、電圧位相差は、図 3 における電圧 V_1 , V_2 の位相差を示しており、更に、回転子アングル θ_{r1} は各回転型移相変圧器 10 における巻線 8r の巻線 8s に対する角度であり、回転子アングル θ_{r2} は各回転型移相変圧器 11 における巻線 9r の巻線 9s に対する角度である。

【0034】

図 10 から、電圧振幅及び無効電力をほとんど変化させることなく、通過電力を ± 1 MW 程度の範囲で連続的に制御できていることが確認できる。

【0035】

又、図 10 の場合における、位相器 2 の回転型移相変圧器 10, 11 の巻線 8r, 9r にかかる電圧・通過電流・通過容量について、図 11 に示す。ここで、巻線 8r につき電圧 V_{rms_LC11} 、通過電流 I_{rms_LC11} 、通過容量 MVA_LC11 であり、巻線 9r につき電圧 V_{rms_LC12} 、通過電流 I_{rms_LC12} 、通過容量 MVA_LC12 である。なお、位相器 3, 4 についても位相器 2 と同様である。

【0036】

図 10, 図 11 より、各回転型移相変圧器 10, 11 の通過容量は最大でも 25 kVA 程度であり、電力潮流制御装置 1 全体としては 1 MVA 近い電力を流しているが、各回転型移相変圧器 10, 11 の 1 台当たりの通過容量は十分小さく抑えられているといえる。

【0037】

[効果]

以上の電力潮流制御装置 1 では、第 1 の交流電力系統 α と第 2 の交流電力系統 β の間に設置された回転型の位相器 2~4 を複数(3 台)含み、前記各位相器 2~4 は、回転子と固定子とを備え、前記各回転子が、前記第 1 の交流電力系統 α と前記第 2 の交流電力系統 β の間に(直列に)挿入され、前記各固定子が、前記第 1 の交流電力系統 α に(並列に)接続されており(位相器 3, 4 は第 1 の交流電力系統には接続されていない)、前記各位相器 2~4 は、互いに直列に接続されているので、各位相器 2~4 が必要とする容量を大幅に低減することができ、電力潮流制御装置 1 全体としても装置重量を大幅に低減することができる。更に、回転子の巻線 8r, 9r の巻数を相対的に少なくすることができ、こ

10

20

30

40

50

のことも又装置の一層の軽量化に寄与する。又、各位相器 2 ～ 4 を別個の柱上に設置して互いに接続することで電力潮流制御装置 1 全体として柱上設置可能とすることができる。そして、以上のことから、電力潮流制御装置 1 では、設置コストを低減し、又機動的に配置し易くすることができる。又、このように軽量化等を図りつつも、位相器 2 ～ 4 の組合せにより交流電力の位相を必要十分に調整可能であり、十分な性能を有する。

【 0 0 3 8 】

又、各前記位相器 2 ～ 4 は、複数台（ 2 台 ）の回転型移相変圧器 1 0 , 1 1 を含み、各回転型移相変圧器 1 0 , 1 1 は、回転子と固定子とを備え、前記各回転子が、前記第 1 の交流電力系統 α と前記第 2 の交流電力系統 β の間に直列に挿入され、前記各固定子が、前記第 1 の交流電力系統 α に接続されており、前記各回転型移相変圧器 1 0 , 1 1 は、互いに直列に接続されていて、前記各回転型移相変圧器 1 0 , 1 1 の前記回転子が、各前記位相器 2 ～ 4 の前記各回転子を構成し、前記各回転型移相変圧器 1 0 , 1 1 の前記各固定子が、前記各位相器 2 ～ 4 の前記各固定子を構成するため、更に装置の低コスト化・設置の容易化・軽量化を図ることができるし、各位相器 2 ～ 4 の入力電圧に対して複数回（ 2 回 ）の移相操作（電圧 V_{r1} , V_{r2} に係る合計 2 つのベクトルの印加、図 5 参照）を施して位相を変えた出力電圧とすることができ、きめ細かい位相の調整が可能である（特に無効電力の調整が可能となっている、図 1 0 の無効電力 Q_1 , Q_2 参照）。換言すれば、電力潮流制御装置 1 の両端における電圧の大きさの変化を小さく抑えながら、有効電力の電圧位相を変化させることが可能であるし、又無効電力の変化も小さく抑えることができ、無効電流分布に相当する電力損失を削減することが可能となる。

10

20

【 0 0 3 9 】

< 第 2 形態 >

〔 構成等 〕

図 1 2 は第 2 形態に係る電力潮流制御装置 5 1 の説明図であって、電力潮流制御装置 5 1 は、回転型の位相器を複数台（ここでは 3 台の位相器 5 2 ～ 5 4 ）備えている。位相器 5 2 ～ 5 4 は、並列に接続されている。そして、電力潮流制御装置 5 1 は、二つの電力系統を結ぶ送電線 5 5 に挿入されている。送電線 5 5 は、ここでは三相交流（ 6 . 6 k V ）を送電し、第 1 形態と同様に、往復の各配電線（ 1 1 . 5 5 m H、1 0 k m 相当）でループを形成しており、電力潮流制御装置 5 1 は、当該ループに配置されている。

30

【 0 0 4 0 】

各位相器 5 2 ～ 5 4 は、第 1 形態の位相器 2 ～ 4 と同様に成り、2 台の U P F C 方式の回転型移相変圧器 6 0 , 6 1 が、直列に接続されている。各回転型移相変圧器 6 0 , 6 1 は、送電線 5 5 に対し直列である回転子の巻線 5 8 r , 5 9 r と、送電線 5 5 に対し直列である固定子の巻線 5 8 s , 5 9 s を有する。

【 0 0 4 1 】

〔 シミュレーション 〕

図 1 2 に係るシミュレーション例（第 1 形態の図 3 に係るものと同様の装置全体のシミュレーション）の結果を図 1 3 に示す。

【 0 0 4 2 】

電力潮流制御装置 5 1 にあって、 $\pm 1 0 0 0$ k W の潮流を制御するために各位相器 5 2 ～ 5 4 で発生させるべき電圧位相差は、第 1 形態と同様に考えて、前記〔数 3〕より $\pm 1 1 . 5$ 度である。そして、最大 $\pm 1 1 . 5$ 度の電圧位相差を発生させるために必要な回転子に係る巻線 5 8 r , 5 9 r は、前記〔数 4〕,〔数 5〕と同様の次に示す〔数 6〕から、0 . 1 0 0、即ち定格電圧の 0 . 1 倍の電圧を出力すれば良いことが分かる。なお、入力電圧 V_1 は図 1 2 に係るものであり、回転子巻線電圧 V_{r1} は巻線 5 8 r , 5 9 r に係るものである。

40

【 0 0 4 3 】

【数 6】

$$\begin{aligned}\frac{V_{r1}}{V_1} &= \sin\left(\frac{1}{2}\theta_{\max}\right) \\ &= \sin\left(\frac{1}{2} \times 11.5\right) \\ &= 0.100\end{aligned}$$

【0044】

10

以上より、図12のようにUPFC方式の回転型移相変圧器60, 61を2段直列に接続した位相器52～54を3台並列に接続した電力潮流制御装置51にあって、±1000kWの潮流を制御する場合、各位相器52～54につき、両端にかかる電圧は0.1puとなる。又、電力潮流制御装置51では、位相器52～54を3台並列に接続するので、通過電流は1000kW相当の場合の3分の1となる。従って、位相器52～541台当たりの容量は、0.033kVA(33kVA)で済むことになる。なお、このような容量の水準については、第1形態に係る各位相器2～4と同じである。

【0045】

そして、図13のシミュレーション結果によれば、各巻線58rに係る回転子の角度(回転子アングル θ_{r1} , θ_{r1})を90度～-90度に変化させると共に、各巻線59rに係る回転子の角度(回転子アングル θ_{r2} , θ_{r2})を90度～270度に変化させれば、第1形態と同様に、回転子の角度変化に伴って送電電圧の位相が変化していることが確認できる。

20

【0046】

なお、位相器52～54を並列に接続する場合、各位相器52～54の回転子角度がずれると位相器52～54の間で横流が発生し、送電電圧の位相を制御することが難しくなるため、各位相器52～54の回転子角度を可及的に完全に同期させるよう、回転子の回転を制御することが好ましい。

【0047】

[効果]

30

以上の電力潮流制御装置51では、第1の交流電力系統と第2の交流電力系統の間に設置された回転型の位相器52～54を複数(3台)含み、前記各位相器52～54は、回転子と固定子とを備え、前記各回転子が、前記第1の交流電力系統と前記第2の交流電力系統の間に(互いに並列に、電力潮流制御装置51の入力側及び出力側のノードに対してはそれぞれ直列に)挿入され、前記各固定子が、前記第1の交流電力系統に(並列に)接続されており、前記各位相器52～54は、互いに並列に接続されているので、各位相器52～54を同一ノード内に配置する必要があつて位相器52～54ごとに分離することができず柱上設置の点で比較的に不利ではあるものの、各位相器52～54が必要とする容量を大幅に低減することができ、電力潮流制御装置51全体としても装置重量を大幅に低減し、設置コストを低減して設置を容易にすることができる。更に、回転子の巻線58r, 59rの巻数を相対的に少なくすることができ、このことも又装置の一層の低コスト化や設置の容易化、軽量化に寄与する。そして、このように軽量化等を図りつつも、位相器52～54の組合せにより交流電力の位相を必要十分に調整可能であり、十分な性能を有する。又、電力潮流制御装置51では、位相器52～54が並列に接続されているため、位相器52～54の一部が故障したとしても、残りの位相器で縮退運転による潮流制御を実行することができる。

40

【0048】

又、前記各位相器52～54は、複数台(2台)の回転型移相変圧器60, 61を含み、各回転型移相変圧器60, 61は、回転子と固定子とを備え、前記各回転子が、前記第1の交流電力系統と前記第2の交流電力系統の間に(電力潮流制御装置51の入力側及び

50

出力側のノードに対してはそれぞれ直列に挿入され、前記各固定子が、前記第 1 の交流電力系統に（並列に）接続されており、前記各回転型移相変圧器 60, 61 は、互いに直列に接続されていて、前記各回転型移相変圧器 60, 61 の前記回転子が、前記各位相器 52 ~ 54 の前記回転子を構成し、前記各回転型移相変圧器 60, 61 の前記各固定子が、前記各位相器 52 ~ 54 の前記各固定子を構成するため、更に装置の低コスト化・設置の容易化・軽量化を図ることができるし、各位相器 52 ~ 54 の入力電圧に対して複数回（2 回）の移相操作を施して位相を変えた出力電圧とすることができ、無効電力の調整が可能となる等、きめ細かい位相の調整が可能であり、電力潮流制御装置 51 の両端における電圧の大きさの変化を小さく抑えながら、有効電力の電圧位相を変化させることが可能であるし、又無効電力の変化も小さく抑えることができ、無効電流分布に相当する電力損失を削減することが可能となる。

10

【0049】

< 変更例 >

なお、主に上記形態を変更して成る、本発明の他の形態を例示する。各位相器が、複数台（3 台以上）の回転型移相変圧器を有するようにする。位相器を 2 台あるいは 4 台以上、送電線に対し直列又は並列に接続する。固定子と回転子の巻線の巻数比を 1 : 0.1 以外にする。

【産業上の利用可能性】

【0050】

本発明に係る電力潮流制御装置は、低コストでコンパクトな装置により有効電力の位相調整はもちろん無効電力の調整までなし得る電力潮流制御を行うため、配電線間を始めとする電力系統間に配置する等の用途がある。

20

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図 1】本発明の第 1 形態に係る電力潮流制御装置の説明図である。

【図 2】図 1 における位相器の詳細説明図である。

【図 3】図 1 の電力潮流制御装置を、2 本の所定の送電線の末端ループ側に設けた場合のシミュレーション例を示す説明図である。

【図 4】図 1 における位相器を、2 本の所定の送電線の末端ループ側に設けた場合のシミュレーション例を示す説明図である。

30

【図 5】図 4 に係る入力電圧、出力電圧、各回転型移相変圧器の電圧の関係を示す説明図である。

【図 6】図 4 に係るシミュレーション結果を示す各種グラフである。

【図 7】図 1 における位相器の説明図である。

【図 8】図 7 に係る入力電圧、出力電圧、各回転型移相変圧器の電圧の関係を示す説明図である。

【図 9】図 8 に基づき最大位相変化量を導出する場合の説明図である。

【図 10】図 1 に係るシミュレーション結果を示す各種グラフである。

【図 11】図 1 に係るシミュレーション結果の内、特に巻線におけるものを示す各種グラフである。

40

【図 12】本発明の第 2 形態に係る電力潮流制御装置ないしそのシミュレーション例の説明図である。

【図 13】図 12 に係るシミュレーション結果を示す各種グラフである。

【符号の説明】

【0052】

1, 51 電力潮流制御装置

2 ~ 4, 52 ~ 54 位相器

8r, 9r, 58r, 59r (回転子の)巻線

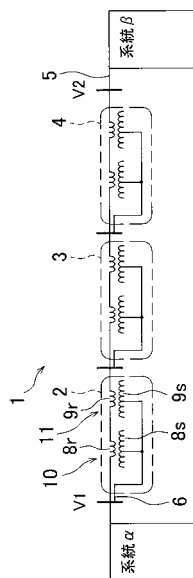
8s, 9s, 58s, 59s (固定子の)巻線

10, 11, 60, 61 回転型移相変圧器

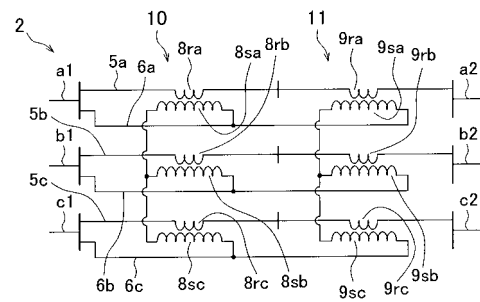
50

α 第 1 の交流系統
 β 第 2 の交流系統

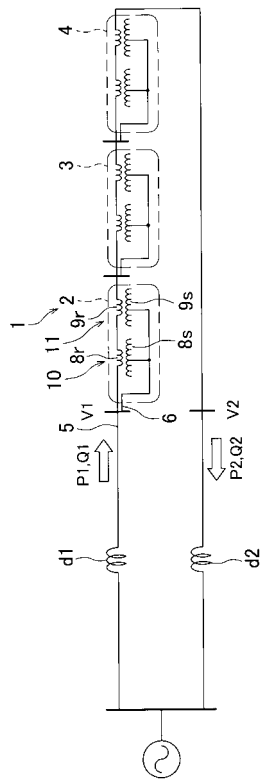
【 図 1 】



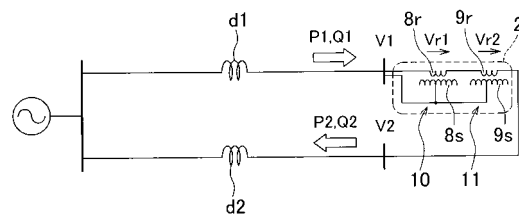
【 図 2 】



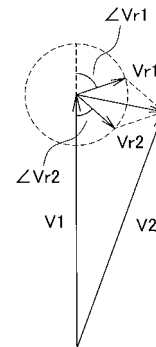
【 図 3 】



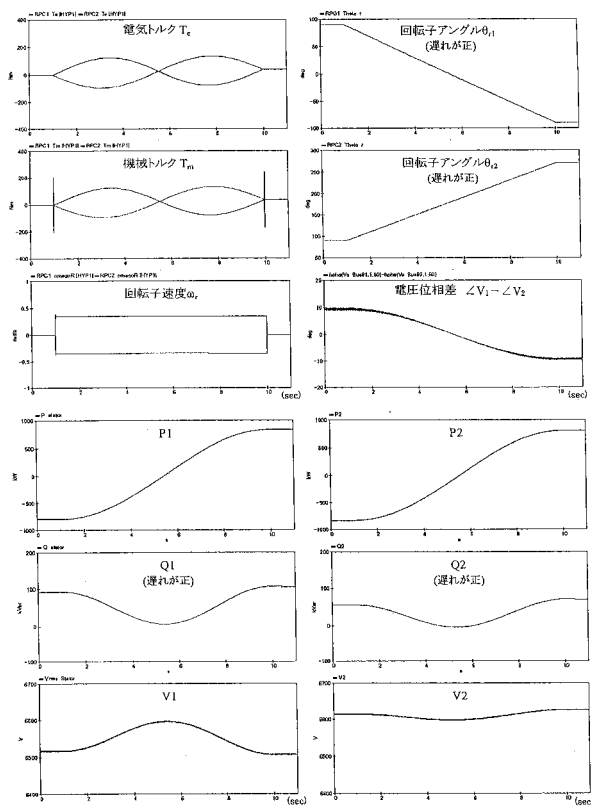
【 図 4 】



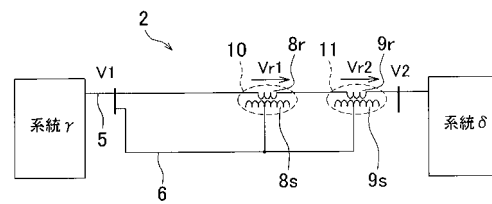
【 図 5 】



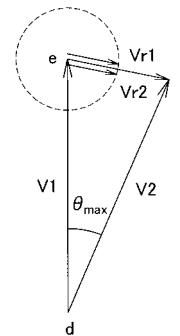
【 図 6 】



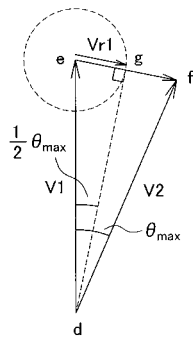
【 図 7 】



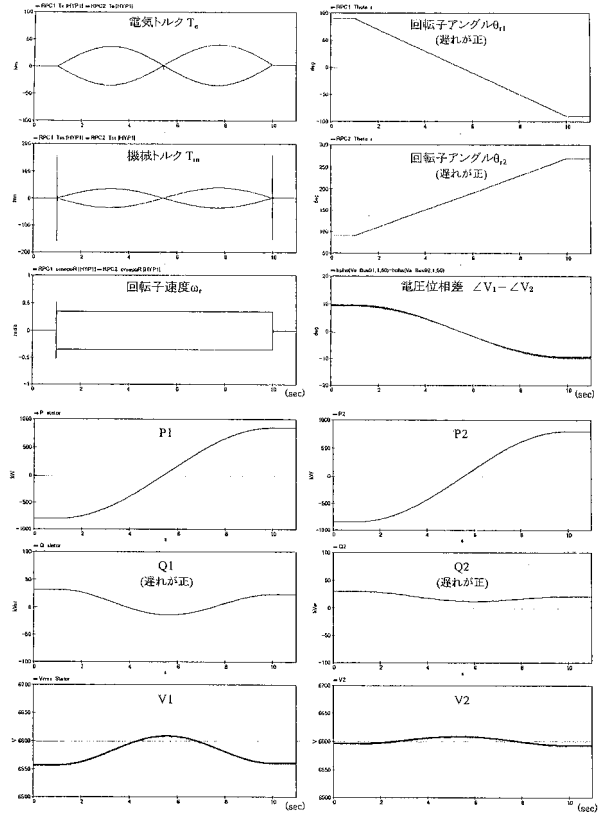
【 図 8 】



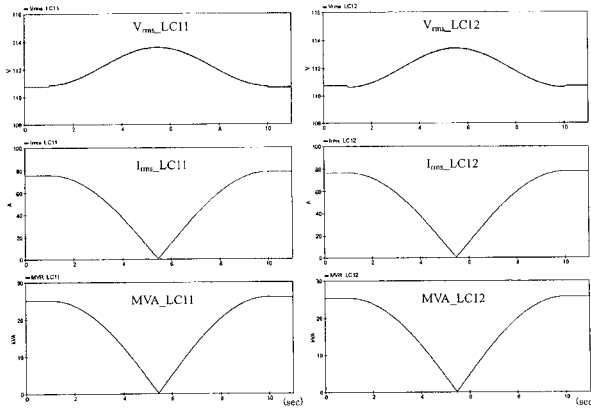
【図 9】



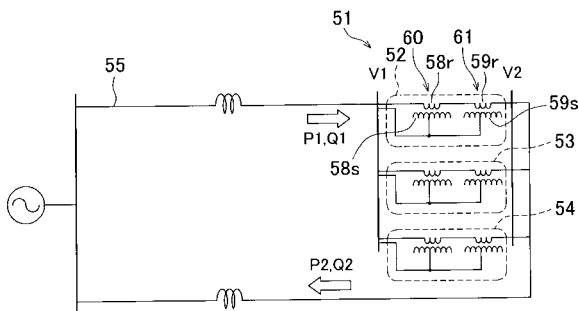
【図 10】



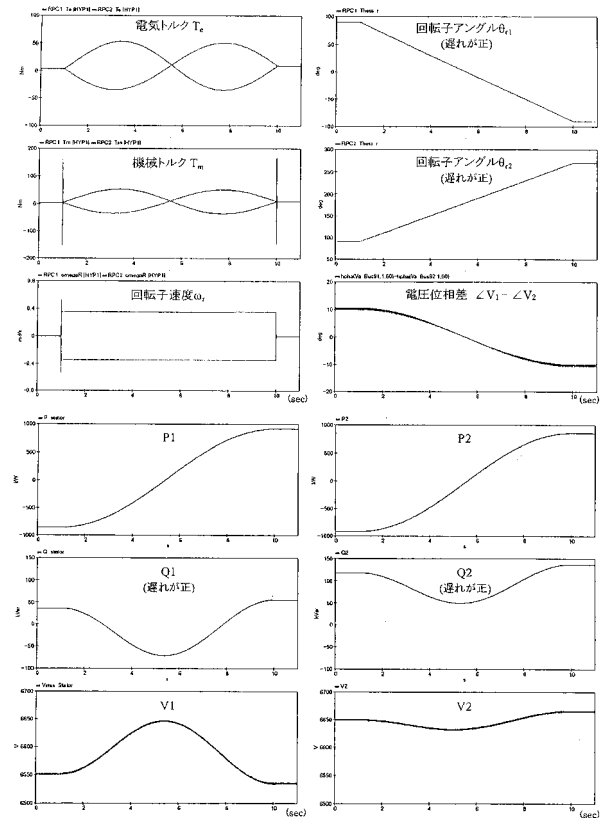
【図 11】



【図 12】



【図 13】



フロントページの続き

- (72)発明者 杉本 重幸
名古屋市緑区大高町字北関山 2 0 番地の 1 中部電力株式会社電力技術研究所内
- (72)発明者 上田 玄
名古屋市緑区大高町字北関山 2 0 番地の 1 中部電力株式会社電力技術研究所内
- (72)発明者 出原 範久
名古屋市緑区大高町字北関山 2 0 番地の 1 中部電力株式会社電力技術研究所内
- F ターム(参考) 5G066 CA01 CA10
5H750 BA02 BA05 DD21