

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4673428号
(P4673428)

(45) 発行日 平成23年4月20日 (2011. 4. 20)

(24) 登録日 平成23年1月28日 (2011. 1. 28)

(51) Int. Cl.	F I
H02M 7/48 (2007.01)	H02M 7/48 R
H02J 3/36 (2006.01)	H02J 3/36 B
H02M 7/12 (2006.01)	H02M 7/12 A

請求項の数 11 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2009-517097 (P2009-517097)	(73) 特許権者	505063441
(86) (22) 出願日	平成19年6月14日 (2007. 6. 14)		アーベーバー・テヒノロジー・アーゲー
(65) 公表番号	特表2009-542182 (P2009-542182A)		スイス国、シーエイチー 8050 チュー
(43) 公表日	平成21年11月26日 (2009. 11. 26)		リッヒ、アフォルテルンシュトラッセ 4
(86) 国際出願番号	PCT/EP2007/055875		4
(87) 国際公開番号	W02008/000626	(74) 代理人	100108855
(87) 国際公開日	平成20年1月3日 (2008. 1. 3)		弁理士 蔵田 昌俊
審査請求日	平成22年3月19日 (2010. 3. 19)	(74) 代理人	100091351
(31) 優先権主張番号	60/817, 352		弁理士 河野 哲
(32) 優先日	平成18年6月30日 (2006. 6. 30)	(74) 代理人	100088683
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 中村 誠
早期審査対象出願		(74) 代理人	100109830
			弁理士 福原 淑弘
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 HVDCシステム及びHVDCシステムの電圧源変換器の制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

一方には電源がなく他方は機能している 2 つの AC ネットワークを接続する HVDC システムの制御方法において、HVDC システムはそれぞれ電圧源変換器 (CON1; CON2) を有する 2 つの変換器ステーション (STN1; STN2) を具備し、前記方法は、

・発生された AC 電圧の周波数及び振幅の制御による直接 AC 電圧および周波数制御を使用して、所望の周波数 (f_{ord}) と所望の電圧振幅 ($U_{V_{ord}}$) を有するブリッジ電圧として示される AC 電圧 ($UV1; UV2$) を生成するために電圧源発生器として電源のない AC ネットワークに接続されている 2 つの変換器ステーションの一方の電圧源変換器を動作させ、

・公称値に HVDC システムの DC 電圧を維持するために、機能している AC ネットワークに接続されている 2 つの変換器ステーションの他方を制御する制御方法。

【請求項 2】

電源のない AC ネットワークに接続されている変換器ステーションでは、前記ブリッジ電圧の所望の位相角度 (ξ_{ord}) とバス電圧 ($UL1, UL2$) として示される前記接続された AC ネットワークの AC 電圧との間の同期の強化が行われる請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

前記同期の強化は前記バス電圧の q 成分をゼロに設定し、バス電圧の d 成分を電圧振幅

命令（UMR）に設定することにより行われ、それによって $d q$ 基準平面の前記ブリッジ電圧の基準値は、

$$\angle U_{L_{ord}^{dq}} = UMR + j \cdot 0 + \angle \Delta U^{dq}$$

ここで、 $\angle U_{L_{ord}^{dq}}$ は $d q$ 基準平面の前記ブリッジ電圧の基準値であり、UMR は電圧振幅命令であり、 $\angle U_{L_R^{dq}}$ は予測された電圧降下である請求項 2 記載の方法。

【請求項 4】

前記ブリッジ電圧の電圧振幅が適応電圧ドループ機能（62）を有する電圧フィードバック制御（UACREG）を介して制御され、適応電圧ドループ機能は電源のない AC ネットワーク（N1；N2）への接続点で測定された無効電力（Q）で無効にされる請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項記載の方法。

10

【請求項 5】

適応電圧ドループ機能（62）は無効電力（Q）の増加と共に AC 電圧基準信号（ULR）を増加させる請求項 4 記載の方法。

【請求項 6】

周波数が位相ロックループ（PLL_{IN}）を介して制御され、位相ロックループ（PLL_{IN}）は適応周波数ドループ機能（77）を含み、適応周波数ドループ機能（77）は電源のない AC ネットワーク（N1；N2）への接続点で測定された有効電力（Q）で無効にされる請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 7】

適応周波数ドループ機能（77）は有効電力（P）の増加と共に周波数基準信号（f0）を増加させる請求項 6 記載の方法。

20

【請求項 8】

前記方法は、接続された AC ネットワーク（N1；N2）が電力の供給がないことを検出した後にのみ適用される請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 9】

電源のない AC ネットワークが HVDC システムを介して少なくとも 2 つの AC 発電所の一方に接続され、電源のない AC ネットワークが送電線を介して少なくとも 2 つの AC 発電所の他方へ接続されている電源のない AC ネットワークのブラックスタートに適用される方法であり、

・ 少なくとも 2 つの AC 発電所の他方に接続されている送電線を付勢するために生成された前記ブリッジ電圧（UV1、UV2）を使用し、

30

少なくとも 2 つの AC 発電所の他方をスタートさせるステップを含んでいる請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項記載の方法。

【請求項 10】

電源のない AC ネットワークは 3 以上の AC 発電所と少なくとも 1 つの負荷とに接続され、この AC ネットワークは少なくとも 2 つの AC 発電所の他方がスタートされた後に残りの AC 発電所を順スタートさせて、その後少なくとも 1 つの負荷を接続することにより回復される請求項 9 記載の方法。

【請求項 11】

一方には電源がなく他方は機能している 2 つの AC ネットワークを接続する HVDC システムにおいて、HVDC システムはそれぞれ電圧源変換器（CON1；CON2）を有する 2 つの変換器ステーション（STN1；STN2）を具備し、

40

・ 電源のない AC ネットワークに接続されている 2 つの変換器ステーションの一方の電圧源変換器の制御装置は発生された AC 電圧の周波数と振幅の制御による、直接 AC 電圧および周波数制御を使用して、所望の周波数（f_{ord}）と所望の電圧振幅（ $\angle UV_{rd}$ ）を有するブリッジ電圧（UV1；UV2）として示される AC 電圧を生成するために電圧源発生器として対応する電圧源変換器を動作し、

・ 機能している AC ネットワークに接続されている 2 つの変換器ステーションの他方の制御装置は公称値に HVDC システムの DC 電圧を維持するように対応する電圧源を制御する HVDC システム。

50

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は高電圧直流（HVDC）システムの電圧源変換器を制御する方法と、HVDCシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

HVDCシステムはそれぞれが第1の交流（AC）ネットワークから第2のACネットワークへ電力を送るための電圧源変換器（VSC）を含んでいる第1及び第2の変換器ステーションを具備している。

10

【0003】

電圧源変換器（VSC）は高電圧直流（HVDC）システムでだけでなく例えば静止型無効電力補償装置（SVC）として使用される。HVDC応用では、電圧源変換器は直流（DC）リンクとACネットワークとの間に接続されており、静止型無効電力補償装置としての応用では、電圧源変換器は直流電圧源とACネットワークとの間に接続されている。これらの両者の応用では、電圧源変換器はACネットワークと同じ周波数のAC電圧を発生することができなければならない。変換器を通る無効および有効な電力流はACネットワークの電圧に関連して電圧源変換器により発生されたAC電圧の振幅及び位相位置をそれぞれ変調することにより制御される。

【0004】

20

特に、直列接続されたトランジスタ（IGBT）を備えた電圧源変換器は、比較的高い電圧でこのタイプの変換器を使用することを可能にする。パルス幅変調（PWM）は発生されたAC電圧の制御に使用され、電圧の非常に高速度の制御を可能にする。

【0005】

本願で参考文献とされている米国特許第6400585号明細書から、HVDCシステムにおける変換器ステーションの電圧制御のための制御システムが従来知られている。この制御システムの目的は異常な電圧条件でも安全な動作限度内に直流リンクの電圧を維持することである。

【0006】

既知のHVDCシステムはそれぞれがDCリンクとそのDCリンクの各側のACネットワークとの間に接続されている電圧源変換器を有する第1及び第2の変換器ステーションを具備している。変換器ステーションの電流制御システムはACネットワークのバス電圧と電圧源変換器のブリッジ電圧との間で位相変位を行うことによりDCリンクとACネットワーク間で有効な電力流を制御する手段を有する。用語「バス電圧」と「ブリッジ電圧」についてはさらに以下説明する。制御システムはDCリンクにおける異常な電圧状態の発生に応答して位相変更命令信号を発生する手段と、前記位相変更命令信号に応答してブリッジ電圧の位相位置に影響を与える手段とを具備し、それによってブリッジ電圧とバス電圧との間の位相変位はDCリンクからACネットワークへの有効電力流を生じる。位相ロックループ手段（PLL）はACネットワークのバス電圧の位相位置と同期して変換器ステーションの制御システムが動作することを確実にする。

30

40

【0007】

DCリンクへの有効な電力流は平衡されなければならない。このことはリンクを出る有効電力がリンクにより受入れられる電力に等しくなければならないことを意味している。任意の差はDC電圧を迅速に増加または減少させる可能性がある。この電力平衡を得るために変換器ステーションの1つはDC電圧を制御する。他の変換器ステーションはしたがってDC電流を制御することによりDCリンクの有効電力流を制御できる。共通して、上流の変換器ステーションはDC電圧を制御し、一方下流の変換器は有効電力流を制御する。

Qahraman等による“An electromagnetic transient simulation model for voltage sourced converter based HVDC transmission” (Canadian Conference on Electrical and

50

Computer Engineering、カナダのオンタリオ州ナイアガラフォールズ市、2004年5月2-5日、vol.2、1063-1066頁、ISBN:0-7803-8253-6) から電圧源変換器の有効および無効電圧が知られており、ここでは比例積分制御装置は電圧基準の大きさ及び位相をそれぞれ内部PWM制御装置に対して発生するために有効及び無効電力エラーに作用する。

【0008】

ACネットワークまたはACグリッドにおける広域の停電後の電力の回復は困難な可能性がある。複数の発電所はオンラインで回復される必要がある。通常、これは残りのグリッドからの電力の補助により行われる。グリッド電力がない場合、いわゆるブラックスタートが電力グリッドを動作するためのブートストラップを行うようにする必要がある。

【0009】

ブラックスタートを行うため、幾つかの発電所には典型的に数メガワットの容量の大きい発電機を起動させるために使用される小さいディーゼル発電機が取付けられており、その結果、主発電所の発電機が起動される。蒸気タービンを使用する発電所はボイラー給水ポンプ、ボイラー強制通風燃焼用送風機、燃料調整のためにその10%の容量まで発電所の常用出力を必要とする。しかしながら、各発電所でこのような大きい予備容量を提供することは不経済であり、したがってブラックスタート電力が他の発電所から送電ネットワークによって与えられなければならない。

【0010】

実際のシナリオに基づいた典型的なブラックスタートシーケンスを以下示す。

- ・バッテリーは水力発電所に設置された小さいディーゼル発電機をスタートする。
- ・ディーゼル発電機からの電力は水力発電所を動作させるために使用される。
- ・水力発電所と他の領域との間の重要な送電線が付勢される。
- ・水力発電ダムからの電力は石炭火力発電のベース負荷発電所の1つを始動するために使用される。
- ・ベース負荷発電所からの電力は原子力発電所を含めたシステム中の他の発電所の全てを再スタートするために使用される。
- ・電力は最後に通常の配電ネットワークへ再度供給され、消費者へ送られる。

【0011】

停電後に電力を回復することは容易なプロセスではない。回復プロセス中にシステムが弱く脆弱であるとき小さい妨害が継続して発生し、グリッドは種々の弱いネットワーク状態における故障したネットワークから正常の強いACネットワークまでの異なる状況を経験する。回復プロセス期間に周波数及び電圧の安定性を維持するため、全体的に調節されたシステム回復計画が必要である。

http://www.versorgungssicherheit.at/download/Gutachten_Glavitsch.pdfとして出版されている“Eingluss der Liberalisierung auf die Versorgungssicherheit in den Stromnetzen bzw. Regelungserfordernisse durch die Behörden”から、例えば活動していないACネットワークの電力の回復はローカルネットワークへ電力を供給できるネットワーク中の自律領域を識別し、その後に漸進的にさらに別のネットワーク領域を接続することにより行われる。

【0012】

変換器が例えば風力発電のような唯一の発電所のみを有するか、または消費のみ、或いはその両者の混合であるアイランドネットワークに接続されているとき、有効電力と無効電力を予測することは非常に困難である。したがって所望の有効電力 P_{ref} と所望の無効電力 Q_{ref} を決定することは困難であり、これらを制御することは実際的ではない。

【0013】

変換器が故障した電気ACネットワークに接続されているとき、即ち電力供給が全くないとき、PLLで同期するためのAC電圧が存在しないので、前述の既知の制御システムは動作できず、電流が接続された負荷によって自然に決定されるとき電流制御は動作しない。

【0014】

変換器が非常に弱い電気ACネットワークに接続されるとき、即ちネットワーク中の既存の短絡回路電力がほぼ変換器の定格以下であるとき、弱いACネットワークはより多くの発振ACバス電圧を与え、それによって両システムが入力としてACバス電圧を使用するときPLLの発振と電流制御が生じるので、前述の既知の制御システムが安定性を維持することは非常に困難である。

【発明の概要】

【0015】

本発明の第1の目的は、HVDCリンクの電圧源変換器を制御し、故障したACネットワークのより安定な付勢を可能にする方法及びシステムを提供することである。第2の目的は、電圧源変換器の制御方法に基づいている、ACネットワークをブラックスタートするための方法を発見することである。

10

【0016】

第1の目的は請求項1による方法と請求項11によるシステムにより実現される。第2の目的は請求項9による方法により実現される。好ましい実施形態は従属請求項に記載されている。

【0017】

本発明によれば、故障したACネットワークの付勢は接続されたACネットワークの状況と独立して電圧源変換器を電圧源発生器として動作するために電圧源変換器により発生されたAC電圧の周波数および電圧振幅を制御することにより実現される。それとは反対に、既知の変換器制御システムは前述したように電圧源変換器の電流を制御し、ACネットワークの動作状態で反作用（無効電力状態に）する。周波数及び電圧の制御は発生されたAC電圧の電圧および周波数を安定させることができ、即ち弱いACネットワークのステファネスを強化することができる。

20

【0018】

2つのACネットワークを接続し、2つの電圧源変換器を具備しているHVDCシステムは本発明により制御されるとき、2つのACネットワークの一方が停電を受けたときにブラックスタートを行うことができる。

【0019】

機能性電力供給ACネットワークに接続されている2つの変換器ステーションの一方は公称値にHVDCシステムのDC電圧を維持する。本発明の第2の特徴によれば、電力供給なしにACネットワークに接続されている2つの変換器ステーションの他方は、予め定められた周波数及び振幅でAC電圧を生成する。ACネットワークが他の発電所に接続されている場合、生成されたAC電圧はその後ACネットワークの送電線を付勢するために使用される。HVDC変換器からのこのようなAC電力のサポートによって、他方の発電所がスタートされることができる。グリッドはより多くの発電所を再起動し、より多くの負荷を接続することによって漸進的に回復される。

30

【0020】

本発明による制御装置が取り付けられている電圧源変換器を含むHVDCシステムは電力回復プロセスを簡単で円滑にする。慣性を有し機械的な電力制御を含む発電装置とは異なって、本発明による制御装置が取り付けられているVSCは慣性が存在しないので、非常に高速度にされることができる。高速度の制御によって、VSCは発電と消費との間の電力平衡を維持する電力スラックとして機能し、即ち発電が電力消費よりも高いとき変換器はACネットワークからDC側へ電力を転送する整流器として動作し、発電が電力消費よりも低いとき変換器はDC側からACネットワークへ電力を転送するインバータとして動作する。このようにして、ブラックスタートのプロセスとグリッドの回復で伝統的に考慮される必要がある臨界的問題の重要性は少なくなり、それによってグリッドの回復はさらに容易になる。

40

【0021】

本発明の1実施形態では、電圧フィードバック制御は適応電圧ドループ機能により行われ、これは電圧源変換器により発生されたAC電圧の制御を行い、同時に電圧調節装置の

50

ような接続されているＡＣネットワーク中の他の無効電力源の間で共有する適切な無効電力を提供する。結果として、適応電圧ドループ機能は、ほとんど発電がない弱いＡＣシステムにわたる受動的な負荷から全ての発電が再開される強いＡＣシステムまでの異なる動作条件下で非常に強固に電圧源変換器とＡＣネットワークとの間の共通の接続点にＡＣ電圧振幅を維持する。

【００２２】

本発明の別の実施形態では、位相ロックループ（PLL）手段は接続されたＡＣネットワークの周波数がほぼ一定に維持されるように、周波数の程度及び所望の有効電力にしたがって電圧源変換器により発生されるＡＣ電圧の所望の周波数及び位相角度を表す信号を発生する信号発生手段を具備している。その信号発生手段はしたがって適応周波数ドループ機能として動作する。接続されたＡＣネットワーク中の他の発電装置の間で良好な負荷共有を実現するために周波数の変化が小さいことが必要とされる。適応周波数ドループ機能は他の発電装置間での良好な負荷共有を実現するために必要とされる小さい変化を除いて、周波数をほぼ一定に制御することを可能にする。

10

【００２３】

さらに本発明の有効な実施形態は本発明の好ましい実施形態の説明と特許請求の範囲から明白になるであろう。

【００２４】

グリッドの回復のシミュレーションは、本発明による制御装置によって、安定なＡＣ電圧及び周波数がほとんど発電のない弱いＡＣシステムにわたる受動的な負荷から全ての発電が再開される強いＡＣシステムまでの異なるＡＣネットワーク条件下で得られることを例示している。

20

【図面の簡単な説明】

【００２５】

【図１】従来技術で知られている高電圧直流送電システムの概略的な単一線のブロック図。

【図２】図１による従来技術の伝送システムの電圧源変換器の制御装置の１実施形態を示す図。

【図３】図２による従来技術の制御装置の詳細部分を示す図。

【図４】本発明による変換器制御装置の１実施形態を示す図。

30

【図５】本発明による変換器制御装置のＡＣ電圧制御手段の１実施形態を示す図。

【図６】本発明の１実施形態による変換器制御装置の位相ロックループ手段の１実施形態を示す図と、接続点における電圧の所望の周波数と位相角度の両者を表す位相ロックループ手段の出力信号の波形を示す図。

【発明を実施するための形態】

【００２６】

本発明を添付図面を参照して実施形態の説明によってより詳細に説明する。図面は全て概略的で単一の線図及びブロック図の形態である。

以下説明するブロック図は信号フロー図と制御装置のブロック図の両者として見ることができる。ブロック図に示されているブロックによって行われる機能は応用可能な部分ではハードワイヤ回路のアナログおよび／またはデジタル技術により実行されることができ、マイクロプロセッサのプログラムとして実行されることが好ましい。示されているブロックは部材、フィルタ、装置等として述べられるが、これらは特にそれらの機能がマイクロプロセッサのソフトウェアとして実行される場合には所望の機能を達成する手段として解釈されることが理解されよう。したがって場合により、表現「信号」もコンピュータプログラムにより発生される値でありそのように表されているだけであると解釈されることができる。これらの機能は本質的に当業者により知られている方法で実行されることができるので、ブロックの機能の説明だけを以下行う。

40

【００２７】

特に電圧と電流を表している図に示されている制御装置で現れる変数はそれらの多相の

50

特徴を示すためにベクトルの形態で示されている。ベクトルユニットは上部の線（／x）で指示されている。

【0028】

相互に類似であり2つ以上の図面に見られる部分には種々の図面で同じ参照符合が与えられる。

【0029】

測定される値とブロックとの間およびブロック間の接続線は不必要に図面を複雑にしないように時には省略されている。しかしながら、幾つかのブロックの入力で見られるそれぞれの変数はそれらが発生されるブロックまたは測定装置から供給されることを理解すべきである。

10

【0030】

図1は従来知られている高電圧直流送電システムを概略的な単一ラインのブロック図の形態で示している。第1の変換器ステーションSTN1と第2の変換器ステーションSTN2は2極の導体W1とW2をそれぞれ有する直流リンクによって相互に接続されている。典型的に、極導体はケーブルであるがこれらは少なくとも部分的に高架線路であってもよい。各変換器ステーションSTN1とSTN2は極導体W1とW2との間に接続されているキャパシタ装置C1とC2をそれぞれ有し、各変換器ステーションSTN1とSTN2はそれぞれ電圧源変換器CON1とCON2を具備している。各変換器CON1とCON2は2レベルまたは3レベルの変換器ブリッジを構成している半導体バルブを有する。半導体バルブは半導体素子、例えばいわゆるIGBT型の電力トランジスタのゲートオン／オフ切換え半導体素子の分枝とこれらの素子と逆並列接続するダイオードとを具備している。

20

【0031】

各変換器は位相インダクタPI1とPI2を介して、それぞれ3相の交流電力ネットワークN1とN2にそれぞれ接続されている。図面では示されていないが、変換器は変圧器を介して3相ネットワークN1とN2に接続されることができ、この場合幾つかのケースでは位相インダクタPI1とPI2は省略されることができることが技術でよく知られている。フィルタ装置F1とF2はそれぞれ、それぞれの位相インダクタPI1またはPI2とそれぞれの3相ネットワークN1またはN2との間の接続点においてシャント接続で接続されている。

30

【0032】

フィルタF1の接続点における交流ネットワークN1のAC電圧はUL1と指定され、測定装置M1で測定される。この電圧UL1を以下交流ネットワークN1のバス電圧と呼ぶ。変換器CON1により設定されるAC電圧はUV1と指定され、以下変換器CON1のブリッジ電圧と呼ぶ。変換器CON1の交流電流はI1と指定され、測定装置M3で測定される。同様に、フィルタF2の接続点におけるAC電圧はUL2と指定され、測定装置M4で測定され、変換器CON2の交流電流I2と指定され、測定装置M6で測定される。フィルタF2の接続点におけるAC電圧を以下交流ネットワークN2のバス電圧と呼ぶ。変換器CON2により設定されるAC電圧はUV2と指定され、以下変換器CON2のブリッジ電圧と呼ぶ。

40

【0033】

キャパシタ装置C1を横切るDC電圧はUd1と指定され、キャパシタ装置C2を横切るDC電圧はUd2と指定される。これらの電圧はそれぞれ記号でのみ示されている測定装置M7とM8により測定される。

【0034】

予め定められたパルス幅変調（PWM）パターンにしたがってそれぞれの電圧源変換器CON1またはCON2の半導体バルブへそれぞれオン／オフ切換の命令列FP1とFP2を発生するため、第1の変換器ステーションSTN1は制御装置CTRL1を具備し、第2の変換器ステーションは通常は制御装置CTRL1と類似の種類の制御装置CTRL2を具備している。

50

【0035】

変換器ステーション S T N 1 と S T N 2 は 4 つの異なるモード、即ち D C 電圧制御、有効電力制御、A C 電圧制御または無効電力制御で動作することができる。通常、変換器ステーションの 1 つ、例えば第 1 のステーションの S T N 1 は直流リンクの電圧制御のために D C 電圧制御下で動作し、一方第 2 の変換器ステーション S T N 2 は A C 電圧制御または無効電力制御下で動作する。動作モードはオペレータによる手作業またはある状態では示されていない逐次的な制御システムにより自動的に設定される。

【0036】

図 2 は指数 1 と 2 が簡単化の目的で省略されている制御装置 C R T L 1 と制御装置 C R T L 2 の両者を表す従来技術の制御装置の形態を示している。

10

【0037】

制御装置 C T R L は D C 電圧制御装置 21、A C 電圧制御装置 22、セクタ手段 S W 1 と S W 2、変換器電流制御システム I R E G、パルス幅変調装置 23、切換え論理装置 24 を具備している。

【0038】

それぞれのキャパシタ装置 (C 1 または C 2) を横切る測定された D C 電圧 U_d の実際の値と、その電圧基準値 U_{dR} は差形成部材 25 へ供給され、その出力は D C 電圧制御装置 21 に供給される。

【0039】

測定されたそれぞれのバス電圧 U_L の実際の値とその電圧基準値 U_{LR} は差形成部材 26 へ供給され、その出力は A C 電圧制御装置 22 に供給される。

20

【0040】

第 1 のセクタ手段 S W 1 には D C 電圧制御装置 21 の出力信号と、変換器を通る有効電力流の基準値 P_{ref} が与えられる。第 1 のセクタ手段 S W 1 はモード信号 M D 1 にしたがって D C 電圧制御装置 21 の出力信号または基準値 P_{ref} を出力する。

【0041】

第 2 のセクタ手段 S W 2 には A C 電圧制御装置 22 の出力信号と、変換器を通る無効電力流の基準値 Q_{ref} が与えられる。第 2 のセクタ手段 S W 2 はモード信号 M D 2 にしたがって A C 電圧制御装置 22 の出力信号または基準値 Q_{ref} を出力する。

【0042】

A C および D C 電圧制御装置 21 と 22 は例えば比例積分特性を有する。基準値 P_{ref} と Q_{ref} はそれぞれ有効および無効電力流の制御装置 (図示せず) の出力として通常の方法で形成されることができる。

30

【0043】

第 1 及び第 2 のセクタ手段 S W 1 と S W 2 の出力信号 p_R と q_R は変換器電流制御システム I R E G に与えられる。電流制御システム I R E G は内部 A C 電流制御フィードバックループを提供し、これは切換え手段 S W 1 と S W 2 の出力信号 p_R と q_R にしたがって形成された供給された電流基準ベクトルと、位相基準同期信号に基づいて電圧基準ベクトル U_{VR}^{abc} の形態で電圧基準テンプレートを発生する。この電圧基準ベクトル U_{VR}^{abc} はそれぞれの変換器 C O N 1 または C O N 2 のブリッジ電圧 U_{V1} または U_{V2} の電圧基準を表している。a、b、c として指定されている 3 相交流ネットワークの位相では、ベクトルの上付の指数 a b c は変換器の 3 相電圧を指し、ベクトルはしたがって成分 U_{VR}^a 、 U_{VR}^b 、 U_{VR}^c を有する。

40

【0044】

変換器電流制御システム I R E G にも変換器における交流の実際値 I と A C ネットワーク N 1 または N 2 の周波数の公称値 f_0 が供給され、これは通常 50 または 60 H z である。

【0045】

電圧基準ベクトル U_{VR}^{abc} は変換器 C O N 1 または C O N 2 のそれぞれの位相 a、b、c のパルプの動作のための時定数 t_a 、 t_b 、 t_c を決定するパルス幅変調装置 23

50

に与えられ、交換論理装置24はそれにしたがって半導体バルブに与えられるオン切換え／オフ切換えの命令の連続F P a、F P b、F P cを発生する。

【0046】

好ましくは、変換器電流制御システムI R E Gはマイクロプロセッサで動作されるソフトウェアとして構成され、抽出された制御システムとして実行される。

【0047】

実際的な理由で、即ち計算を容易にするため、変換器電流制御システムI R E Gは通常の方法で動作し、3相装置、即ち交流ネットワークの電圧及び電流は回転する2相d q基準面に変換されそのように表され、変換によって固定2相α β基準面に到達する。交流ネットワークの3相ユニットはそれによって本質的に知られている制御システム技術で処理

10

【0048】

a、b、cで指定されている3相交流ネットワークの位相では、3相システムはa b cシステムと呼ばれる。以下の文脈及び図面では、基準面を適切である場合、上付の指数（例えば x^{dq} ）として示す。

【0049】

図3は従来技術による変換器電流制御システムの基本構造を示している。電流制御システムは抽出された制御システムとして抽出期間時間T sで実行される。

【0050】

単純化するために、全ての変数はベクトルの形態で示されているが、その信号処理は本質的に知られている方法でそれぞれのベクトルの成分において行われることを理解すべきである。電流制御システムは制御装置C T R L 1とC T R L 2の両ピースで類似であるので、以下の説明ではそれぞれの変数の指数は単純化のために省略されている。

20

【0051】

図3による変換器電流制御システムI R E Gは電流オーダー計算装置41、電流制御装置42、第1の変換部材43、第2の変換部材44、第1の位相ロックループ（P L L）部材46、第1の計算装置48を具備している。

【0052】

変換器電流制御システムI R E Gは図2を参照して前述したように発生される信号p Rとq Rを受信する。信号p Rとq Rは電流オーダー計算装置に与えられ、この装置はそれにしたがって変換器の交流電流の基準値を計算し出力する、基準値はそれぞれ I_R^d と I_R^q としてd q基準面で表され、これらは電流基準ベクトル $I_R^{dq} = I_R^d$ と I_R^q として図面では示されている。計算は本質的に知られている関係式にしたがって行われる。

30

【数1】

$$p_R = UL^d I_R^d + UL^q I_R^q \quad (1a)$$

$$q_R = -(UL^d I_R^q - UL^q I_R^d) \quad (1b)$$

40

【0053】

ここで電圧 UL^d と UL^q はそれぞれA Cネットワークで測定されd q基準面に変換されるバス電圧ULのdおよびq成分を表している。

【0054】

電流基準値 I_R^d と I_R^q はさらに処理する前に送信システムの特定された動作状態に従って限定されることができる。

【0055】

P L Lに関して前述したようにバス電圧ULと同期して回転するd p基準面では、バス電圧ULのq成分 UL^q はゼロになることに注意する。式（1 a）と（1 b）から電流基

50

準値／ $I_{R^{dq}}$ の d 成分 I_{R^d} は有効電力の基準値になり、 q 成分 I_{R^q} は無効電力の基準値になる結果が得られる。

【0056】

交流電流の実値 I は変換器における AC ネットワークで測定され、実際の電流ベクトル／ I^{dq} として dq 基準面に変換される。

【0057】

電流制御装置42には電流基準ベクトル／ $I_{R^{dq}}$ と実際の電流ベクトル／ I^{dq} と dq 基準面に変換されたバス電圧 UL の平均値／ UL_m^{dq} とが与えられる。電流制御装置42はそれにしたがって／ $UV_{R^{dq}}$ と指定される出力信号を出力し、これは dq 基準面の変換器のブリッジ電圧の電圧基準ベクトルである。

10

【0058】

交流電圧基準ベクトル／ $UV_{R^{dq}}$ は第1の変換部材43に与えられ、ベクトルを $\alpha\beta$ 基準面に変換する。第1の変換部材43の出力は第1の変換部材44に与えられ、与えられたベクトルをベクトル／ $UV_{R^{abc}}$ として abc 基準面に変換する。このベクトルは成分として交流システムのそれぞれ3相の電圧基準値を有する変換器のブリッジ電圧基準ベクトルである。

【0059】

ブリッジ電圧基準ベクトル／ $UV_{R^{abc}}$ は図2を参照して前述したようにパルス幅変調装置23に与えられる。

【0060】

20

第1の変換部材43は本質的に知られた方法により変換／ $UV_{R^{\alpha\beta}} = /UV_{R^{dq}} * e^{j\xi}$ を行い、変換角度 $\xi = \omega t$ 、 AC ネットワークの回転周波数 ω 、時間 t である。

【0061】

図面の変換角度信号 ξ は通常の方法により AC ネットワークの周波数の公称値 f_0 とバス電圧 UL の位相位置にしたがって位相ロックループ(PLL)部材46により生成され、 $\alpha\beta$ 基準平面に変換され、その後第1の変換部材43に与えられる。

【0062】

信号 ξ は以下同期信号または位相角度信号と呼ぶ位相基準同期信号として理解されることができる。これは回転 dq 基準面をバス電圧 abc システムと同期する目的を有し、 AC ネットワークの実際の周波数に比例する時間速度による時間と共に線形に増加する電気角度を表している。少なくとも一定状態の条件下では、同期信号 ξ は AC ネットワークのバス電圧 UL の位相位置に固定され、それに同期する。その後、回転する dq 基準面は3相 abc システム、特にバス電圧 UL に固定され、それに同期して維持される。これらの条件下では、バス電圧 UL の q 成分 UL^q もゼロになる。

30

【0063】

本発明による変換器制御装置の1実施形態が図4に示されている。図2及び3を参照して説明したようにこのような装置の既知の実施形態と比較して、 AC 電流を介する AC 電圧の有効電力、 DC 電圧、無効電力は AC 電圧制御と新しい位相ロックループ手段により置換される。電圧発生部材51は AC 電圧制御手段 $UACREG$ と位相ロックループ手段 PLL_IN からの出力を使用することによって、変換器基準電圧／ UV_{ord}^{dq} 、即ち dq 基準面の変換器のブリッジ電圧に対する基準値を発生する。

40

【0064】

ブリッジ電圧 UV の所望の周波数 f_{ord} と所望の位相角度 ξ の信号およびサンプリング期間 T_{sord} を含んでいる位相ロックループ手段 PLL_IN からの出力と共に、発生された変換器基準電圧／ UV_{ord}^{dq} はPWM部材52へ与えられる、当業者であれば、PWM部材52は1方法では図2および3に示されているように構成されてもよく、または選択された変調方法に応じて別の方法で構成されることが容易に理解できよう。

【0065】

図5は図4で示されている AC 電圧制御装置 $UACREG$ の1実施形態を示している。

50

図1でACネットワークN1またはN2への接続バスで測定された無効電力Qはフィルタ装置61を介して選択部材62に与えられる。選択部材62は入力信号の値にしたがってプリセット定数を選択し、選択された定数及び入力信号に比例する信号 ΔU_{ref} を発生する。勾配として知られているプリセット定数は変換器ステーションと他の電圧調整装置との間の自動的な無効負荷の共有を強化する。プリセット定数は典型的に0.01から0.1の値である。入力信号が高いならば、オーバー負荷電流を防止し良好なAC電圧制御を得るために高い値が選択される。第1の加算部材63には選択部材62からの出力とプリセットAC基準電圧 U_{LR} が供給される。第1の加算部材63は実際のAC電圧基準を出力し、これを第2の加算部材64に供給する。第2の加算部材64への別の入力信号はフィルタ装置57を介して与えられる接続バスにおける測定されたAC電圧振幅ULである。第2の加算部材64の出力はPI型、即ち比例部と積分部を含む調整装置65に与えられる。調整装置65は電圧補正部分を発生する。この補正部分は電圧振幅命令UMRを形成するためにプリセットAC基準電圧 U_{LR} と加算される。

【0066】

図6の(A)は図4による位相ロックループ部材PLL-INの1実施形態を示している。位相角度発生装置71はブリッジ電圧UVの所望の周波数 f_{ord} とサンプリング期間 $T_{s_{ord}}$ にしたがってブリッジ電圧UVの所望の位相角度 ξ_{ord} を発生し、その波形が図6の(B)に示されている。接続されたACネットワークの実際の周波数でもある所望の周波数はプリセット基準周波数 f_0 と周波数補正部分の和であり、第3の加算部材75から生じる。選択部材77は入力信号の値にしたがってプリセット定数を選択し、選択された定数と入力信号に比例する信号を発生する。ドループとして知られているプリセット定数は変換器ステーションと他の発電装置との間で共有する自動有効負荷を強化する。プリセット定数は典型的に0.1から1.0の値であり、入力信号が高いならば、オーバー負荷電流を防止し良好な周波数制御を得るために高い値が選択される。選択部材77の入力信号は濾波装置72を介して与えられる測定された有効電力Pである。抽出期間 $T_{s_{ord}}$ は次式により決定される。

$$T_{s_{ord}} = (2 \cdot p \cdot f)^{-1}$$

ここでpは切換え周波数に基づく予め選択された数である。

【0067】

前述したように、既知の制御システムではPLLの出力信号 ξ はPLLと測定されたバス電圧ULとの間の同期を表している。換言すると信号 ξ はACネットワーク電圧の位相角度および周波数を表している。この同期の結果として、dq基準面もバス電圧ULと同期して回転しており、それによりバス電圧ULのq成分 U_L^q はゼロになり、バス電圧ULのd成分 U_L^d はバス電圧の振幅に等しくなる。この同期はフィードバック制御により実現されることに注意すべきである。本発明では、フィードバック制御を使用する代わりに、PLL-INの信号 ξ_{ord} とバス電圧との間の同期の強化が、バス電圧のq成分 U_L^q をゼロに設定し、バス電圧のd成分 U_L^d を電圧振幅命令UMRに設定することによって電圧発生部材51(図4)で実現され、即ち、

$$\angle U_{L_{ord}}^d = UMR + j \cdot 0 \quad (2)$$

さらに、dq基準面の変換器基準電圧は次式のように得られる。

【数2】

$$\overline{UV}^{dq}_{ord} = \overline{UL}^{dq}_{ord} + \Delta \overline{U}^{dq} \quad (3)$$

$\overline{x}$ 、 $\overline{I}$ 、 $\overline{U}$ 、 $\overline{UV}$ 、 $\overline{UL}$ をそれぞれ明細書中では、 $\angle x$ 、 $\angle I$ 、 $\angle U$ 、 $\angle UV$ 、 $\angle UL$ と記載する。

【0068】

ここで ΔU^{dq} はインダクタンスを横切る予測された電圧降下であり、フィルタプロセスを含めた測定された電流 I^{abc} の dq 成分を使用することによって得られる。

【 0 0 6 9 】

本発明による制御方法とシステムにおける変換器基準電圧／ UL_{ord}^{dq} は図3を参照した従来技術の電圧基準ベクトル／ UL_R^{dq} に対応する。同様に本発明による信号 ξ_{ord} と f_{ord} と、 Ts_{ord} はそれぞれ従来技術の信号 ξ 、 f 、 Ts に対応している。これらの信号が発生されるとすぐに、パルプを制御するための切換え命令の発生を実行することができる。

【 0 0 7 0 】

本発明の１実施形態によれば、電圧源変換器には第１の制御モードと呼ばれ、即ちＡＣ電流制御を介する有効電力／ＤＣ電圧および無効電力／ＡＣ電圧制御である従来技術で知られている制御モードと、第２の制御モードと呼ばれ、即ち直流ＡＣ電圧と周波数制御である本発明による制御モードとの両者が装備されることができ、ソフトウェアまたはハードウェアスイッチは所望の制御モードを選択するために付加される。

【 0 0 7 1 】

HVDC送電または連続するシステムでは、電圧源変換器の1つのみに本発明による制御装置が設けられることができる。この場合、他方の変換器はHVDCシステムのDC電圧を制御するために従来技術で知られている制御装置を使用する。

10

【図 1】

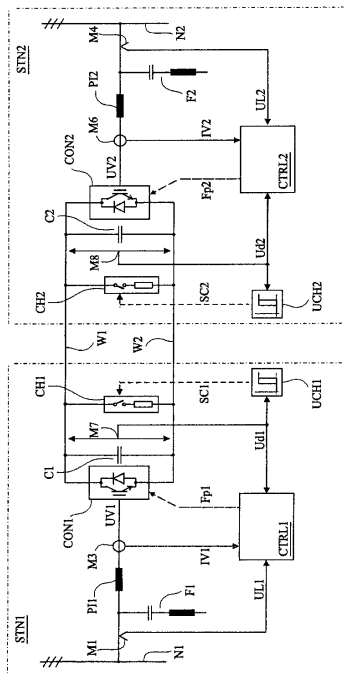


FIG. 1

【図 2】

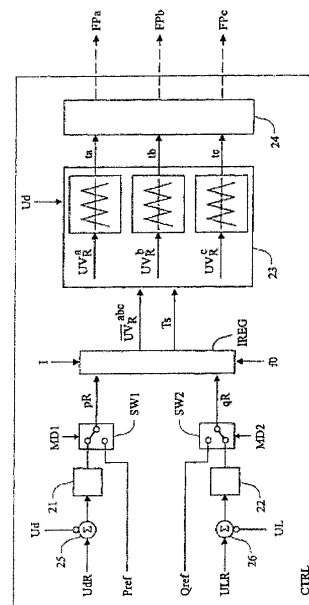
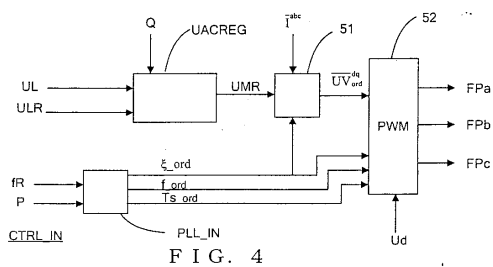


FIG. 2

【図 4】



【図 5】

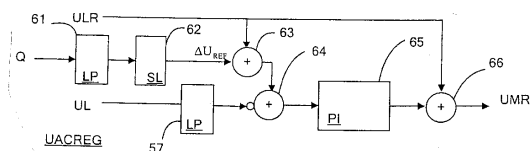
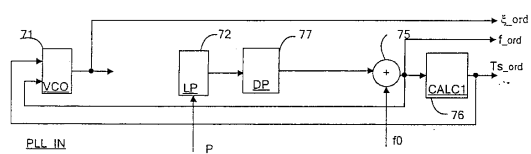
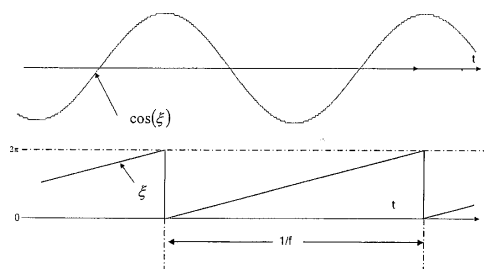


FIG. 5

【図 6】



(A)



(B)

FIG. 6

フロントページの続き

(74)代理人 100095441

弁理士 白根 俊郎

(74)代理人 100084618

弁理士 村松 貞男

(74)代理人 100103034

弁理士 野河 信久

(74)代理人 100140176

弁理士 砂川 克

(74)代理人 100100952

弁理士 風間 鉄也

(72)発明者 ジャンゲーヘフナー、イング

スウェーデン国、エスイー－７７１ ４２ ルドビカ、ジャガルナスバゲン ５３

審査官 安池 一貴

(56)参考文献 特開昭６１－２７７６３７（ＪＰ，Ａ）

特表２００３－５００９８９（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)

H02M 7/48

H02J 3/36

H02M 7/12