

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5509348号
(P5509348)

(45) 発行日 平成26年6月4日 (2014. 6. 4)

(24) 登録日 平成26年3月28日 (2014. 3. 28)

(51) Int. Cl.	F I
GO5F 1/70 (2006. 01)	GO5F 1/70 L
HO2M 7/497 (2007. 01)	GO5F 1/70 N
HO2M 7/48 (2007. 01)	HO2M 7/497
HO2J 3/18 (2006. 01)	HO2M 7/48 R
	HO2J 3/18 D

請求項の数 16 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2012-557417 (P2012-557417)	(73) 特許権者	503416353
(86) (22) 出願日	平成22年3月15日 (2010. 3. 15)		アルストム テクノロジー リミテッド
(65) 公表番号	特表2013-522737 (P2013-522737A)		ALSTOM Technology Ltd
(43) 公表日	平成25年6月13日 (2013. 6. 13)		スイス国 バーデン ブラウン ボヴェリ
(86) 国際出願番号	PCT/EP2010/053290		シュトラッセ 7
(87) 国際公開番号	W02011/113471		Brown Boveri Strass
(87) 国際公開日	平成23年9月22日 (2011. 9. 22)		e 7, CH-5400 Baden,
審査請求日	平成25年2月28日 (2013. 2. 28)		Switzerland
		(74) 代理人	110001416
			特許業務法人 信栄特許事務所
		(72) 発明者	クルックス, ウィリアム
			イギリス国, スタッフォードシャー州 S
			T18 OBW ソルトースタッフオード
			, リトル ミード
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 マルチレベルコンバータを有する静止型無効電力補償装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無効電力補償に使用するための静的同期補償装置（36）であって、
第1および第2直流端子（40，42）と使用時に交流送電網（58）と接続されるための交流端子（44）とを含む少なくとも一つの一次補償装置経路（38）と、
前記第1および第2直流端子の間に接続された少なくとも一つの直流リンクコンデンサ（48）を含み、前記少なくとも一つの一次補償装置経路と並列接続された二次補償装置経路（46）と、
を備え、
前記少なくとも一つの一次補償装置経路は、第1および第2経路部分（50，52）を画定し、
各経路部分は、共通ポイントにおいて直列接続された少なくとも一つのスイッチング素子（54）およびチェーンリンクコンバータ（56）を含み、
前記共通ポイントは前記スイッチング素子および前記チェーンリンクコンバータでのみ共有され、前記スイッチング素子および前記チェーンリンクコンバータは、前記第1および第2直流端子のうちの1つと前記交流端子との間に搭載され、
前記第1および第2経路部分の前記スイッチング素子は、前記直流端子と前記交流端子との間の回路において前記当該チェーンリンクコンバータのスイッチオン・オフを行うように動作可能であり、
前記チェーンリンクコンバータは、前記交流端子に電圧波形を発生させるように動作可

10

20

能であることを特徴とする静的同期補償装置。

【請求項 2】

前記二次補償装置経路（46）は、直列接続された2個の直流リンクコンデンサを含み、前記2個の直流リンクコンデンサの間の接合部は、使用時にアース接続されることを特徴とする請求項1に記載の静的同期補償装置。

【請求項 3】

前記二次補償装置経路は、センタータップを備える直流リンクコンデンサを含み、前記センタータップは、使用時にアース接続されることを特徴とする請求項1に記載の静的同期補償装置。

【請求項 4】

各チェーンリンクコンバータは、各経路部分が回路でスイッチオフされた時に前記経路部分の電圧をオフセットする電圧を発生させることにより各スイッチング素子の電圧を最小にするように、動作可能であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 5】

前記経路部分の各々の前記チェーンリンクコンバータは、直列接続されたモジュール（64）のチェーンを含み、

各モジュールは、エネルギー蓄積素子と並列接続された少なくとも一対の二次スイッチング素子を含み、

前記モジュールのチェーンは、前記二次スイッチング素子が段階的可変電圧ソースを画定するように、使用時に動作可能であることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 6】

前記チェーンリンクコンバータの前記モジュールの各々は、二対の二次スイッチング素子（66a, 66b, 66c, 66d）を含み、当該二対の二次スイッチング素子はフルブリッジ方式で各エネルギー蓄積素子（68）と並列接続されて、正または負電圧を提供するとともに両方向に電流を伝導することのできる4象限バイポーラモジュールを画定することを特徴とする請求項4に記載の静的同期補償装置。

【請求項 7】

前記チェーンリンクコンバータの前記モジュールの各々は、一対の二次スイッチング素子を含み、当該一対の二次スイッチング素子はハーフブリッジ方式で各エネルギー蓄積素子と並列接続されて、正またはゼロ電圧を提供するとともに両方向に電流を伝導することのできる2象限モジュールを画定することを特徴とする請求項4に記載の静的同期補償装置。

【請求項 8】

各エネルギー蓄積素子は、コンデンサ、燃料電池、電池、または関連の整流器を備える補助交流発電機を含むことを特徴する請求項5から7のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 9】

各経路部分の各スイッチング素子は、半導体素子を含むことを特徴とする請求項1から8のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 10】

各経路部分の前記チェーンリンクコンバータは、少なくとも1つの半導体素子を含むことを特徴とする請求項1から9のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 11】

前記半導体素子の各々は、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ、ゲートターンオフサイリスタ、または統合ゲート整流サイリスタを含むことを特徴とする請求項9または10に記載の静的同期補償装置。

【請求項 12】

複数の一次補償装置経路を含み、

10

20

30

40

50

各一次補償装置経路は、多相交流送電網の個々の位相へ使用時に接続されるための交流端子を含むことを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 13】

前記二次補償装置経路または前記交流送電網における使用時の漏電により生じる電流の流れに抵抗する電圧を発生させるように、各経路部分の前記チェーンリンクコンバータが動作可能であることを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 14】

各経路部分において、前記チェーンリンクコンバータの定格電圧と前記スイッチング素子の各々の定格電圧とが等しいことを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

10

【請求項 15】

各経路部分において、前記チェーンリンクコンバータの定格電圧と前記スイッチング素子の各々の定格電圧とが等しくないことを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の静的同期補償装置。

【請求項 16】

前記第 1 および第 2 経路部分の前記スイッチング素子は、前記チェーンリンクコンバータ素子の電圧のドリフトをリセットすると同時に前記チェーンリンクコンバータを回路でスイッチオンするように動作可能であることを特徴とする請求項 1 から 15 のいずれか

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無効電力補償に用いられる静的同期補償装置に関連する。

【背景技術】

【0002】

高電圧直流の送電においては、架空線および／または海底ケーブルを介した送電のため、交流（AC）電力が高電圧直流（DC）電力に変換される。この変換により、電線および／またはケーブルのキロ当たりのコストが削減されるため、長距離にわたって電力が送られる必要がある場合にはコスト効果が高い。伝送される電力が目標の送電先に到達すると、高電圧直流電力は、ローカル送電網に分配される前に交流電力に再変換される。

30

【0003】

様々なネットワーク条件において、交流送電線による電力の伝送が電圧特性の変動を受けることがあり、これが正常値からの逸脱を引き起こす。このような変動は、調整機器と交流送電線との間の無効電力の交換によって最小にすることが可能である。このような調整装置は、静的同期補償装置（STATCOM）と呼ばれている。

【0004】

図 1（a）に示されるように、周知の静的同期補償装置は、一形態として、直列接続された絶縁ゲートバイポーラトランジスタ（IGBT）20 およびアンチパラレルダイオード 22 を 6 組含んでいる。IGBT 20 は直列接続されて同時スイッチングが行われ、10 MW から 100 MW という高い定格電力の実現を可能にする。

40

【0005】

しかし、このアプローチは、複雑で能動的な IGBT ドライブを必要とし、IGBT 20 の直列ストリングでの高電圧がスイッチング中に適切に共有されることを確実にするためには、大型の受動スナバコンポーネントを必要とする。加えて、交流送電網 24 に送られる高調波電流を制御するためには、交流電源周波数の各サイクルにおいて IGBT 20 が高電圧で何度もスイッチオン・オフを行う必要がある。これらの要因は、高損失、高レベルの電磁波障害、および複雑な設計を招く。

【0006】

50

図 1 (b) に示されるように、別の周知の静的同期補償装置は、マルチレベルの形態を含んでいる。このマルチレベル形態は、直列接続されたセル 2 8 のコンバータブリッジ 2 6 を含み、各コンバータセル 2 8 は、コンデンサ 3 0 と並列接続された一対の直列接続 I G B T 2 0 を含んでいる。このような形態では、各コンバータセル 2 8 は同時にスイッチングされずに異なるタイミングでスイッチングされ、コンバータステップが比較的小さいため、直列接続 I G B T 2 0 の直接スイッチングと関連した問題が回避される。

【 0 0 0 7 】

しかし、マルチレベル形態において、各コンバータセル 2 8 のコンデンサ 3 0 は、コンデンサ端子の電圧変化を制限するために高い容量値を有していなければならない。コンバータ経路 3 4 の並列接続および動作を可能にするためには、6 個の直流側リアクトル 3 2 も必要であり、これは主として、コンバータ経路 3 4 の間の過渡電流の流れを制限するために用いられる。

【 0 0 0 8 】

これらの要因により、膨大な量の蓄積エネルギーを持つ高価で大型の重量機器が必要となり、この機器の事前組立、検査、および輸送が困難となる。

【 発明の概要 】

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 9 】

本発明の一実施形態によれば、無効電力補償に用いられる静的同期補償装置が提供され、この静的同期補償装置は、第 1 および第 2 直流端子と、使用時の交流送電網への接続のための交流端子とを含む少なくとも 1 つの一次補償装置経路であって、第 1 および第 2 経路部分を各々が画定する一次補償装置経路であり、第 1 および第 2 直流端子のうち当該の直流端子と交流端子との間でチェーンリンクコンバータと直列接続された少なくとも 1 つのスイッチング要素を各経路部分が含み、第 1 および第 2 経路部分のスイッチング要素が、当該の直流端子と交流端子との間の回路において当該のチェーンリンクコンバータのスイッチオン・オフを行うように動作可能であり、交流端子に電圧波形を発生させるようにチェーンリンクコンバータが動作可能である、少なくとも 1 つの一次補償装置経路と、第 1 および第 2 直流端子の間に接続された少なくとも 1 つの直流リンクコンデンサを含む二次補償装置経路であって、各一次補償装置経路と並列接続された二次補償装置経路とを具備する。

【 0 0 1 0 】

二次補償装置経路を設けることで、接続された交流送電網の安定性および電圧制御を向上させるため、静的同期補償装置が交流送電網と無効電力を交換できるようになる。これは、無効電力を供給するソースとして、または、無効電力を吸収するシンクとして、直流リンクコンデンサを用いることにより行われ、また、各経路部分のチェーンリンクコンバータを用いて交流送電網と直流リンクコンデンサとの間の無効電力の交換に対し良好な制御が行われる。

【 0 0 1 1 】

各経路部分のチェーンリンクコンバータと直列接続されて当該の直流端子と交流端子との間の回路において経路部分のスイッチオン・オフを行う 1 つ以上のスイッチング要素の直列組み合わせは、各チェーンリンクコンバータが発生させる必要のある電圧範囲を縮小するため、好適である。このように、各チェーンリンクコンバータの部品数が最小となることで、サイズ、重量、そしてコストの点で削減が行われる。

【 0 0 1 2 】

本発明の実施形態では、二次補償装置経路は、直列接続された 2 個の直列リンクコンデンサを含み、直流リンクコンデンサの間の接合点が使用時にアース接続される構成としてもよい。

【 0 0 1 3 】

本発明の他の実施形態では、二次補償装置経路は、センタータップを備える直流リンクコンデンサを含み、センタータップが使用時にアース接続される構成としてもよい。

【 0 0 1 4 】

2 個の直流リンクコンデンサまたはセンタータップを備える直流リンクコンデンサを二次補償装置経路に設けると、アース接続が可能な中間接合部が設けられる。この箇所をアース接続すると、静的同期補償装置のための電圧基準が得られ、機器内の電圧ストレスが規定および制御されることが可能となる。

【 0 0 1 5 】

他の実施形態では、機器内の別の箇所がアース基準を設けるのに用いられる構成としてもよい。

【 0 0 1 6 】

各経路部分が回路からスイッチオフされた時に、この経路部分の電圧をオフセットする電圧を発生させることによって各スイッチング素子の電圧を最小にするように、各チェーンリンクコンバータが動作可能であることが好ましい。

10

【 0 0 1 7 】

この特徴は、スイッチング素子を機能させるのに必要な直列接続装置の数を減少させてハードウェアのサイズ、重量、およびコストを最小にするという点で、好適である。

【 0 0 1 8 】

経路部分が回路からスイッチオフされた時に各経路部分のスイッチング素子の電圧を低下させることは、当該のスイッチング素子が開閉位置の間でトグル切替を行う時の導電およびスイッチングの損失を最小にするという点でも有益である。

【 0 0 1 9 】

20

経路部分の各々のチェーンリンクコンバータが、直列接続されたモジュールのチェーンを含み、エネルギー蓄積装置と並列接続された少なくとも一対の二次スイッチング素子を各モジュールが含み、モジュールのチェーンが段階的可変電圧ソースを画定するように二次スイッチング素子が使用時に動作可能であることが好ましい。

【 0 0 2 0 】

直列接続されたモジュールのチェーンを用いると、各個別モジュールにより提供される電圧よりも高い電圧を提供するように追加モジュールをチェーンに挿入することにより、漸増ステップで上昇する電圧をチェーンリンクコンバータの各々が提供できる。そのため、この形態によれば、各経路部分のチェーンリンクコンバータにより提供される電圧が、交流端子での電圧波形の発生を可能にするように変化可能となる。

30

【 0 0 2 1 】

二次補償装置経路または静的同期補償装置に接続された交流送電網が漏電して静的同期補償装置に高い漏電電流が流れる場合には、交流送電網の電圧に対抗または整合する電圧を提供することによって静的同期補償装置の漏電電流を減少させるように、チェーンリンクコンバータ内のモジュールの二次スイッチング素子が作動してチェーンにモジュールを挿入する構成としてもよい。

【 0 0 2 2 】

本発明の実施形態では、フルブリッジ方式で当該のエネルギー蓄積装置と並列接続されて正または負電圧を提供するとともに両方向に電流を伝導することのできる 4 象限バイポーラモジュールを画定する 2 対の二次スイッチング素子を、チェーンリンクコンバータの各モジュールが含んでいる構成としてもよい。

40

【 0 0 2 3 】

正または負電圧を提供できるという 4 象限バイポーラモジュールの機能は、正または負電圧を提供するモジュールの組み合わせから各チェーンリンクコンバータの電圧が発生されることを意味する。そのため、モジュールを制御して正または負電圧の提供を交互に行うことにより、個々のエネルギー蓄積装置のエネルギーレベルが最適なレベルに維持される構成としてもよい。

【 0 0 2 4 】

各経路部分のチェーンリンクコンバータにフルブリッジモジュールを用いると、第 1 および第 2 直流端子に接続された直流送電網の直流電圧を超える出力電圧を、チェーンリン

50

クコンバータが交流端子に提供することも可能になる。

【0025】

本発明の他の実施形態では、ハーフブリッジ方式の当該のエネルギー蓄積装置と並列接続されて正またはゼロ電圧を提供するとともに両方向に電流を伝導することのできる2象限モジュールを画定する一对の二次スイッチング素子を、チェーンリンクコンバータの各モジュールが含んでいる構成としてもよい。

【0026】

各エネルギー蓄積装置は、電気エネルギーを蓄積および放出して電圧を提供することが可能であるいかなる装置でもよく、そのため、コンデンサ、燃料電池、電池、または関連の整流器を備える補助交流発電機を含んでいる構成としてもよい。

10

【0027】

場所により輸送の困難さが異なることにより機器の有用性が変化するため、多様な場所に応じたコンバータステーションの設計には、このような柔軟性が有益である。例えば、洋上風力発電機における各モジュールのエネルギー蓄積装置は、風力発電機に接続される補助交流発電機であってもよい。

【0028】

各経路部分の各スイッチング素子は半導体素子を含んでいることが好ましく、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ、ゲートターンオフサイリスタ、または統合ゲート整流サイリスタを含んでいる構成としてもよい。

【0029】

20

各チェーンリンクコンバータは、少なくとも1つの半導体素子を含んでいることが好ましく、絶縁ゲートバイポーラトランジスタ、ゲートターンオフサイリスタ、または統合ゲート整流サイリスタを含んでいる構成としてもよい。

【0030】

半導体素子は、サイズが小さくて重量が軽いとともに、電力散逸が比較的低くて冷却機器の必要性を最小にする。そのため、半導体素子を用いることが好適である。これにより、電力コンバータのコスト、サイズ、および重量の顕著な削減につながる。

【0031】

半導体素子の高速スイッチング特性により、静的同期補償装置は即座に反応して交流送電網の交流電圧特性を変化させることができる。静的同期補償装置の即応性は、送電機器へのダメージを生じる交流電圧特性の変動のリスクを最小にする。

30

【0032】

本発明の実施形態において、静的同期補償装置は、多数の一次補正装置経路を含んでもよく、多位相交流送電網の各位相への接続のための交流端子を各経路が含んでいる構成としてもよい。

【0033】

このような静的同期補償装置では、各コンバータ経路のスイッチング素子とチェーンリンクコンバータとの直列接続は、他のコンバータ経路の直列接続から独立して作動し、そのため当該の交流端子に接続された位相のみに直接の影響を与え、他のコンバータ経路の交流端子に接続された位相に与える影響は限定される。

40

【0034】

各経路部分のチェーンリンクコンバータは、使用時に二次補償装置経路または交流送電網の漏電により生じる電流の流れに抵抗する電圧を発生させるように動作可能であることが好ましい。

【0035】

チェーンリンクモジュールは、回路でスイッチオンされて、漏電電流を消滅することにより静的同期補償装置コンポーネントへのダメージを防止するのに必要な抵抗または整合電圧を提供する構成としてもよい。電圧変換と漏電電流の消滅の両方を実行するために、このようにチェーンリンクモジュールを用いると、漏電電流を伝導および遮断する独立の保護回路機器を設置する必要がなくなる。これにより、ハードウェアのサイズ、重量、お

50

よびコストの点での節約につながる。

【0036】

各経路において、チェーンリンクコンバータの定格電圧と各スイッチング素子の定格電圧とが等しい構成としてもよい。しかし他の実施形態では、コンバータのコスト、サイズ、重量、効率、および/または性能を最適化するように、チェーンリンクコンバータの定格電圧と各スイッチング素子の定格電圧とが等しくなくてもよい。

【0037】

第1および第2経路部分のスイッチング素子は、チェーンリンクコンバータ素子における電圧のドリフトをリセットすると同時に、チェーンリンクコンバータを回路でスイッチオンするように動作可能であることが好ましい。

10

【図面の簡単な説明】

【0038】

添付図面を参照して、本発明の好適な実施形態を非限定的な例として以下で説明する。

【図1】(a)および(b)は、無効電力補償のための先行技術による静的同期補償装置を示す概略図である。

【図2】本発明の第一実施形態による静的同期補償装置を示す図である。

【図3】図2の静的同期補償装置のチェーンリンクコンバータの構造を示す図である。

【図4】図3に示されたチェーンリンクコンバータを用いた50Hz波形の合成を示す図である。

【図5】図3に示されたチェーンリンクコンバータのフルブリッジモジュールを示す図である。

20

【図6】図2に示された静的同期補償装置の交流端子における正弦電圧波形の生成を示す図である。

【図7】本発明の第二実施形態による静的同期補償装置を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0039】

本発明の実施形態による静的同期補償装置36が、図2に示されている。

【0040】

静的同期補償装置36は、第1および第2直流端子40, 42と交流端子44とを有する一次補償装置経路38と、直流リンクコンデンサ48を含む二次補償装置経路46と、を含んでいる。一次補償装置経路38は第1および第2経路部分50, 52を画定し、各経路部分50, 52は、第1および第2直流端子40, 42のうち1つの直流端子と交流端子44との間でチェーンリンクコンバータ56に直列接続されたスイッチング素子54を含んでいる。

30

【0041】

図2に示された実施形態では、第1および第2経路部分50, 52の各々のスイッチング素子54は交流端子44に接続され、第1および第2経路部分50, 52の各々のチェーンリンクコンバータ56は個々の直流端子40, 42に接続されている。

【0042】

スイッチング素子54と、第1および第2経路部分50, 52の各々のチェーンリンクコンバータ56との間の直列接続は、他の実施形態では、交流端子44と当該の直流端子40, 42との間においてこれらが逆の順序で接続されてもよいことを意味する。

40

【0043】

交流端子44は、使用時に交流送電網58に接続される。他の実施形態では、1つ以上の変圧器および/または1つ以上の誘導子62を介して、交流端子44が交流送電網58に接続されてもよい。

【0044】

二次補償装置経路46が一次補償装置経路38と並列接続されるように、第1および第2直流端子40, 42の間に二次補償装置経路46が接続される。第1直流端子40は、 $+V_{DC}/2$ の電圧がかかる直流リンクコンデンサ48の正端子に接続され、 V_{DC} は直

50

流リンクコンデンサ 48 の直流電圧範囲である。第 2 直流端子 42 は、使用時に $-V_{DC}/2$ の電圧がかかる直流リンクコンデンサ 48 の負端子に接続されている。

【0045】

静的同期補償装置 36 が交流送電網 58 に接続されると、直流リンクコンデンサ 48 は、交流送電網 58 に無効電力を供給するソースとして、または、交流送電網 58 から無効電力を吸収するシンクとして機能することができる。このような機能を与えることで、静的同期補償装置 36 は交流送電網 58 の交流電圧を調節することができる。

【0046】

静的同期補償装置 36 は外部の直流ネットワークに直流側で接続されていないので、直流電圧は特定の値に制限されず、そのため変化が可能である。直流電圧の変化は、静的同期補償装置 36 と交流送電網 58 との間の無効電力交換を制御するのに用いられる構成としてもよい。

【0047】

第 1 および第 2 直流端子 40, 42 の間に直列接続された 2 個の直流リンクコンデンサ 48 を二次補償装置経路 46 が含み、直流リンクコンデンサ 48 の間の接合部にアース接続が設けられることが考えられる。アース接続により、交流端子 44 に接続された変圧器には正価ゼロの直流電圧が確実に存在する。他の実施形態では、交流端子 44 に接続された変圧器のニュートラル（スター）ポイントにアース接続を移動させることが考えられる。

【0048】

図 3 を参照すると、第 1 および第 2 経路部分の各々のチェーンリンクコンバータ 56 は、直列接続されたモジュール 64 のチェーンを含み、各モジュール 64 は、フルブリッジ方式でコンデンサ 68 に並列接続されて、正、ゼロ、または負の電圧を提供するとともに両方向に電流を伝導することのできる 4 象限バイポーラモジュール 64 を形成する 2 対の二次スイッチング素子 66a, 66b, 66c, 66d を含んでいる。

【0049】

二次スイッチング素子 66a, 66b, 66c, 66d は、モジュール 64 のチェーンが段階的可変電圧ソースとなるように動作可能であって、交流送電網の基本周波数でスイッチングを行う。

【0050】

他の実施形態では、燃料電池、電池、または関連の整流器を備える補助交流発電機など、異なるエネルギー蓄積装置によって各モジュール 64 のコンデンサ 68 が置き換えられることが考えられる。

【0051】

二次スイッチング素子 66a, 66b, 66c, 66d の状態を変化させることにより、各モジュール 64 のコンデンサ 68 が迂回されるか、当該のチェーンリンクコンバータ 56 に挿入される構成としてもよい。

【0052】

一対の二次スイッチング素子 66a, 66b, 66c, 66d が短絡回路をモジュール 64 に形成するように構成されると、モジュール 64 のコンデンサ 68 が迂回され、静的同期補償装置の電流が短絡回路を通過してコンデンサ 68 を迂回する。

【0053】

補償装置電流をコンデンサ 68 に流入および流出させるように一対の二次スイッチング素子 66a, 66b, 66c, 66d が構成されると、モジュール 64 のコンデンサ 68 がチェーンリンクコンバータ 56 に挿入されて、蓄積エネルギーを蓄積または放出して電圧を提供することができる。

【0054】

そのため、各々が独自の電圧を提供する多数のモジュール 64 のコンデンサ 68 をチェーンリンクコンバータ 56 に挿入することによって、個々のモジュール 64 の各々から入手可能な電圧よりも高い合成電圧をチェーンリンクコンバータ 56 に発生させることが可

10

20

30

40

50

能となる。

【 0 0 5 5 】

個々のモジュール 6 4 のコンデンサ 6 8 をチェーンリンクコンバータ 5 6 に挿入および/または迂回して結果的に電圧波形を発生させるように、各モジュール 6 4 のスイッチング動作のタイミングを変化させることも可能である。チェーンリンクコンバータ 5 6 を用いて発生される電圧波形の一例が図 4 に示されており、個々のモジュール 6 4 のコンデンサ 6 8 を時間をずらしながら挿入することで 5 0 H z の正弦波形が発生している。チェーンリンクコンバータ 5 6 の各モジュール 6 4 のスイッチング動作のタイミングを調節することにより、他の波形形状が発生される構成としてもよい。

【 0 0 5 6 】

10

図 3 に示された実施形態において、各二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 b , 6 6 c , 6 6 d は、逆並列接続されたダイオードを伴う絶縁ゲートバイポーラトランジスタを含んでいる。

【 0 0 5 7 】

他の実施形態では、逆並列接続ダイオードを伴った、ゲートターンオフサイリスタまたは統合ゲート整流サイリスタなどの異なる半導体スイッチを、各二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 b , 6 6 c , 6 6 d が含むことが考えられる。

【 0 0 5 8 】

半導体素子の高速スイッチング特性は、静的同期補償装置 3 6 が交流送電網 5 8 の交流電圧のいかなる変化にも即座に反応することを可能にする。静的同期補償装置 3 6 の即応性は、送電機器にダメージを起こす交流電圧特性の変動のリスクを最小にする。

20

【 0 0 5 9 】

各モジュール 6 4 の二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 b , 6 6 c , 6 6 d (図 5) の状態は、モジュール 6 4 を流れる電流の経路を決定し、ゆえにモジュール 6 4 により提供される電圧を決定する。

【 0 0 6 0 】

より詳しく述べると、二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 b を閉じるか、二次スイッチング素子 6 6 c , 6 6 d を閉じることによりコンデンサが迂回されると、モジュール 6 4 はゼロ電圧を提供する。

【 0 0 6 1 】

30

電流が二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 d を介してコンデンサに流入および流出するように、二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 d が閉じられて二次スイッチング素子 6 6 b , 6 6 c が開かれると、モジュール 6 4 は両方向の電流の流れに正電圧を提供する。

【 0 0 6 2 】

電流がスイッチ 6 6 b , 6 6 c を介してコンデンサに流入および流出するように、スイッチ 6 6 b , 6 6 c が閉じられてスイッチ 6 6 a , 6 6 d が開かれると、モジュール 6 4 は両方向の電流の流れに負電圧を提供する。

【 0 0 6 3 】

各チェーンリンクコンバータ 5 6 におけるモジュール 6 4 の数は、静的同期補償装置 3 6 に必要とされる定格電圧によって決定される。

40

【 0 0 6 4 】

使用時に、第 1 および第 2 経路部分 5 0 , 5 2 のスイッチング素子 5 4 およびチェーンリンクコンバータ 5 6 は、それぞれの直流端子 4 0 , 4 2 と交流端子 4 4 との間の回路においてチェーンリンクコンバータ 5 6 の各々のスイッチオン・オフを行うように動作することができる。チェーンリンクコンバータ 5 6 は、交流端子 4 4 に電圧波形を発生させるように動作することができる。

【 0 0 6 5 】

チェーンリンクコンバータ 5 6 は、段階的近似を用いて正弦電圧波形を発生させるように動作可能であることが好ましい。チェーンリンクコンバータ 5 6 は、電圧ステップを提供して交流端子 4 4 での出力電圧を増減するという機能を有しているため、段階的波形発

50

生での使用に適している。

【 0 0 6 6 】

異なる波形形状を発生させるというチェーンリンクコンバータ 5 6 の機能により、静的同期補償装置 3 6 は送電網条件の多様性から生じる交流電圧特性の様々な変化に対処することができる。加えて、チェーンリンクコンバータ 5 6 を設けると、切断を必要とせずに交流送電網 5 8 の変化要求に合うようにチェーンリンクコンバータ 5 6 のスイッチング動作が変化するため、静的同期補償装置 3 6 が無効電力を交流送電網 5 8 と連続的に交換することができる。

【 0 0 6 7 】

上述したように、コンデンサ 6 8 の挿入および迂回が時間をずらして行われて図 4 に示された正弦波形の段階的近似となるように、チェーンリンクモジュール 6 4 のスイッチング動作が構成されてもよい。図 6 に示されているように、低電圧レベルの多数のモジュール 6 4 を用いて電圧ステップの数を増加させることにより、電圧波形の段階的近似が改良される構成としてもよい。これは、静的同期補償装置 3 6 と交流送電網 5 8 との間の無効電力交換の精度を上昇させてそれぞれの交流相電圧のプロファイルをスムーズにするために用いられてもよい。

【 0 0 6 8 】

第 2 経路部分 5 2 のスイッチング素子 5 4 が開いている間、第 1 経路部分 5 0 のスイッチング素子 5 4 は閉じられる。第 1 経路部分 5 0 のチェーンリンクコンバータ 5 6 は、直流リンクコンデンサ 4 8 の正端子の電圧に抵抗するため、 $+V_{DC}/2$ の電圧を提供するように制御される。そのため、交流端子 4 4 での出力電圧はゼロボルト、すなわち、正端子での正の直流電圧 $+V_{DC}/2$ と負端子での負の直流電圧 $-V_{DC}/2$ との中間値である。未使用のチェーンリンクモジュール 6 4 は、迂回モードのままである。

【 0 0 6 9 】

正弦電圧波形の正電圧成分 7 6 を生成するため、チェーンリンクコンバータ 5 6 のモジュール 6 4 の挿入コンデンサ 6 8 の数を減少させてチェーンリンクコンバータ電圧を低下させることにより、出力電圧がゆっくりと上昇する。チェーンリンクコンバータ電圧の変化は、交流端子 4 4 での出力電圧の段階的上昇において観察可能である。正電圧成分 7 6 のピークでは、チェーンリンクコンバータ 5 6 が迂回されて正直流電圧 $+V_{DC}/2$ と等しいピーク値 7 4 を発生させるか、または、直流リンクコンデンサ 4 8 の正の直流電圧に付加される電圧を発生させる構成としてもよい。そのため、発生した正電圧成分 7 6 は、所望であれば、直流リンクコンデンサ 4 8 の正の直流電圧より高いピーク 7 4 を有してもよい。

【 0 0 7 0 】

正弦電圧波形の正電圧成分 7 6 の生成中において、第 2 経路部分 5 2 の電圧は、出力電圧と、直流リンクコンデンサ 4 8 の負端子での負の直流電圧 $-V_{DC}/2$ との差に等しい。

【 0 0 7 1 】

次に、出力電圧がゼロ 7 0 に戻るまで、チェーンリンクコンバータ 5 6 における合成電圧を制御することにより、出力電圧を段階的減少率で低下させるように第 1 経路部分 5 0 のチェーンリンクコンバータ 5 6 が制御される。

【 0 0 7 2 】

出力電圧がゼロ 7 0 に戻ると、第 2 経路部分 5 2 のスイッチング素子 5 4 が閉じられて第 1 経路部分 5 0 のスイッチング素子 5 4 が開かれる前までは、第 1 経路部分 5 0 のスイッチング素子 5 4 は閉じられたままである。この一時的な重複期間により、いくつかのモジュール 6 4 を直流リンクコンデンサ 4 8 と直接に並列接続する方法が提供されるとともに、コンデンサ電圧レベルのドリフトをリセットする好適な方法が提供される。

【 0 0 7 3 】

1 つの状態から他の状態への両方のスイッチング素子 5 4 のスイッチング動作中に、両方の経路部分 5 0 , 5 2 のチェーンリンクコンバータ 5 6 により提供される電圧によって

10

20

30

40

50

、直流リンクコンデンサ 48 の全電圧範囲 V_{DC} が抵抗を受ける。

【0074】

第 2 経路部分 52 のチェーンリンクコンバータ 56 が $-V_{DC}/2$ の電圧を提供するように制御されている間に、第 1 経路部分 50 のチェーンリンクコンバータ 56 は $+V_{DC}/2$ の電圧を提供するように制御される。その結果、スイッチング素子 54 が 1 つの状態から他の状態にスイッチングする時に、第 1 および第 2 経路部分 50, 52 のスイッチング素子 54 にはゼロまたは最低電圧が生じる。経路部分 50, 52 の各々のスイッチング素子 54 における低電圧は、低スイッチング損失につながる。

【0075】

第 1 経路部分 50 のスイッチング素子 54 が開いたままであり第 2 経路部分 52 のスイッチング素子 54 が閉じたままであることを除いて、正弦波形の負電圧成分 78 の生成は正電圧成分 76 の生成と類似しており、第 2 経路部分 52 のチェーンリンクコンバータ 56 のモジュール 64 の挿入および迂回により、電圧波形の生成が行われる。

【0076】

正弦電圧波形の負電圧成分 78 の生成中において、第 1 経路部分 50 の電圧は、出力電圧と、直流リンクコンデンサ 48 の正端子における正の直流電圧 $+V_{DC}/2$ との差に等しい。

【0077】

経路部分のスイッチング素子 54 が開状態にある時、スイッチング素子 54 の定格電圧は、交流端子 44 のピーク出力電圧と、同じ経路部分のチェーンリンクコンバータ 56 の最大電圧性能との差である。例えば、ピーク出力電圧が $+V_{DC}/2$ である時、第 2 経路部分 52 のスイッチング素子 54 およびチェーンリンクコンバータ 56 における電圧は、ピーク出力電圧と、直流リンクコンデンサ 48 の負端子での負の直流電圧との差である V_{DC} に等しい。そのため、ピーク出力電圧が直流リンクコンデンサ 48 の直流電圧を超えた場合に高い方の V_{DC} の電圧レベルを維持できる電圧性能を第 2 経路部分 52 が有していなければならない。

【0078】

各経路部分 50, 52 の電圧性能は、各チェーンリンクコンバータ 56 の電圧性能と各スイッチング素子 54 の定格電圧との組み合わせであり、必要であれば非対称的に分配されることもできる。

【0079】

チェーンリンクモジュール 64 の数を増加させること、または個々のコンデンサと半導体スイッチング素子 54 の各々の電圧を上昇させることにより、各チェーンリンクコンバータ 56 の電圧性能が最大となる。結果的に、チェーンリンクコンバータ 56 の電圧性能が V_{DC} に近づいた場合、必要とされるスイッチング素子 54 の定格電圧が低下する構成としてもよい。スイッチング素子 54 の定格電圧の低下は、交流送電網 58 および / または直流リンクコンデンサ 48 より低い、またはかなり低い電圧に耐え得るスイッチング素子 54 の使用を可能にするため、ある用途においては好適である。

【0080】

しかし、各経路部分 50, 52 のチェーンリンクコンバータ 56 に必要な電圧性能が低下するように、高い定格電圧を持つスイッチング素子 54 が各経路部分 50, 52 で用いられることも考えられる。これは、チェーンリンクコンバータ 56 の各々のモジュール 64 の数が減少して、静的同期補償装置 36 のサイズおよび重量がかなり軽減されることを意味している。

【0081】

本発明の実施形態では、交流端子 44 での出力電圧が直流リンクコンデンサ 48 の正および負端子での電圧レベルを超えるように、フルブリッジモジュール 64 の二次スイッチング素子 66a, 66b, 66c, 66d が反対方向に電圧を提供するように構成されるとよい。この結果、静的同期補償装置 36 の所与の定格電流に対する電力出力が大きくなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 2 】

正または負の電圧を提供するフルブリッジモジュール 6 4 の機能は、正電圧のみの代わりに正または負の電圧を提供するモジュール 6 4 の組み合わせからチェーンリンクコンバータ 5 6 の各々の電圧が発生されることを意味している。そのため、正電圧または負電圧の提供を交互に行うようにモジュール 6 4 を制御することにより、個々のコンデンサ 6 8 の電圧レベルが最適レベルに維持され得る。

【 0 0 8 3 】

二次補償装置経路 4 6 が漏電して静的同期補償装置 3 6 に高い漏電電流が流れる結果となる場合には、チェーンリンクコンバータ 5 6 の一方または他方の各モジュール 6 4 の二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 b , 6 6 c , 6 6 d が、フルブリッジモジュール 6 4 を挿入して、交流送電網 5 8 の駆動電圧に抵抗することで静的同期補償装置 3 6 の漏電電流を減少させる電圧を提供するように作動する構成としてもよい。

10

【 0 0 8 4 】

例えば、直流リンクコンデンサ 4 8 に短絡が生じると、正と負の両方の端子の電圧がゼロボルトまで低下する結果になる。これが起こると、高い漏電電流が、交流送電網 5 8 から一次補償装置経路 3 8 の第 1 経路部分 5 0 を流れて、短絡回路と隣接の位相の第 2 経路部分 5 2 とを通過して交流送電網 5 8 へ戻る。

【 0 0 8 5 】

短絡回路が低インピーダンスであることは、静的同期補償装置 3 6 を流れる漏電電流が静的同期補償装置 3 6 の定格電流を超えてもよいことを意味している。

20

【 0 0 8 6 】

交流送電網 5 8 からの駆動電圧に抵抗することにより、漏電電流が最小化される構成としてもよい。これは、モジュール 6 4 がそれぞれのチェーンリンクコンバータ 5 6 へ挿入され、駆動電圧に抵抗してこれを低下させる電圧を提供するように各チェーンリンクモジュール 6 4 の二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 b , 6 6 c , 6 6 d を構成することによって実行される。

【 0 0 8 7 】

各チェーンリンクコンバータ 5 6 にフルブリッジモジュール 6 4 が用いられる実施形態では、各モジュール 6 4 が正または負の電圧を提供することが可能であって両方向に電流を伝導することができるため、各モジュール 6 4 は交流駆動電圧に抵抗する電圧を提供することができる。

30

【 0 0 8 8 】

交流送電網 5 8 における漏電の場合には、静的同期補償装置 3 6 の出力電圧よりも低い値まで交流送電網 5 8 の電圧が低下する構成としてもよい。これが起こった時には、コンバータから交流送電網 5 8 の漏電箇所まで、高い漏電電流が流れる。モジュール 6 4 がそれぞれのチェーンリンクコンバータ 5 6 へ挿入され、交流送電網 5 8 の現在の電圧と適合する電圧を提供して静的同期補償装置 3 6 と交流送電網 5 8 との間の電流の流れを防止するように、各チェーンリンクモジュール 6 4 の二次スイッチング素子 6 6 a , 6 6 b , 6 6 c , 6 6 d を構成することにより、漏電電流が最小化される構成としてもよい。

【 0 0 8 9 】

図 2 に示されている静的同期補償装置 3 6 は、多相交流送電網 5 8 の 1 つの位相への接続に適している。

40

【 0 0 9 0 】

図 7 に示されているような他の実施形態では、静的同期補償装置 3 6 が多数の一次補償装置経路 3 8 を含み、各一次補償装置経路 3 8 は、多相交流送電網 5 8 の個々の位相への接続のための交流端子 4 4 を含んでいる構成としてもよい。このような実施形態では、用意される一次補償装置経路 3 8 の数は、交流送電網 5 8 の位相の数に依存する。

【 0 0 9 1 】

三相交流送電網 5 8 を備える静的同期補償装置 3 6 の使用を可能にするため、図 7 に示されている静的同期補償装置 3 6 は 3 本の一次補償装置経路 3 8 を含んでいる。

50

【 0 0 9 2 】

各一次補償装置経路 3 8 は、第 1 および第 2 直流端子 4 0 , 4 2 と交流端子 4 4 とを含んでいる。各一次補償装置経路 3 8 は第 1 および第 2 経路部分 5 0 , 5 2 も画定し、各経路部分 5 0 , 5 2 は、第 1 および第 2 直流端子 4 0 , 4 2 のうち 1 つの直流端子と交流端子 4 4 との間でチェーンリンクコンバータ 5 6 と直列接続されたスイッチング素子 5 4 を含んでいる。

【 0 0 9 3 】

第 1 および第 2 経路部分 5 0 , 5 2 の各々のスイッチング素子 5 4 は各交流端子 4 4 に接続され、第 1 および第 2 経路部分 5 0 , 5 2 の各々のチェーンリンクコンバータ 5 6 は第 1 および第 2 端子 4 0 , 4 2 にそれぞれ接続されている。

10

【 0 0 9 4 】

第 1 および第 2 経路部分 5 0 , 5 2 の各々のスイッチング素子 5 4 とチェーンリンクコンバータ 5 6 との間の直列接続は、他の実施形態において、交流端子 4 4 と各直流端子 4 0 , 4 2 との間に逆の順序で接続されてもよいことを意味する。

【 0 0 9 5 】

各交流端子 4 4 は、使用時に三相交流送電網 5 8 の個々の位相に接続される。他の実施形態としては、1 つ以上の変圧器 6 0 および / または 1 つ以上の誘導子 6 2 を介して、三相交流送電網 5 8 の個々の位相に各交流端子 4 4 が接続される構成としてもよい。

【 0 0 9 6 】

二次補償装置経路 4 6 が一次補償装置経路 3 8 と並列接続されるように、第 1 および第 2 直流端子 4 0 , 4 2 の間に二次補償装置経路 4 6 が接続される。各第 1 直流端子 4 0 は、 $+V_{DC}/2$ の電圧がかかる直流リンクコンデンサ 4 8 の正端子に接続され、 V_{DC} は直流リンクコンデンサ 4 8 の直流電圧範囲である。各第 2 直流端子 4 2 は、 $-V_{DC}/2$ の電圧がかかる直流リンクコンデンサ 4 8 の負端子に接続される。

20

【 0 0 9 7 】

各一次補償装置経路 3 8 の第 1 および第 2 経路部分 5 0 , 5 2 のスイッチング素子 5 4 は、使用時に、当該の直流端子 4 0 , 4 2 と交流端子 4 4 との間の回路において個々のチェーンリンクコンバータ 5 6 のスイッチオン・オフを行うように動作可能である。三相電圧波形が生成されるように、各一次補償装置経路 3 8 のチェーンリンクコンバータ 5 6 は、個々の交流端子 4 4 に電圧波形を生成するように動作可能である。

30

【 0 0 9 8 】

一次補償装置経路 3 8 のスイッチング素子 5 4 とチェーンリンクコンバータ 5 6 との直列組み合わせの動作は、一次補償装置経路 3 8 に接続された位相のみに直接の影響を及ぼし、他の一次補償装置経路 3 8 に接続された位相に与える影響は限定的であるので、三相静的同期補償装置 3 6 の制御は上記の単相静的同期補償装置 3 6 の制御に類似している。

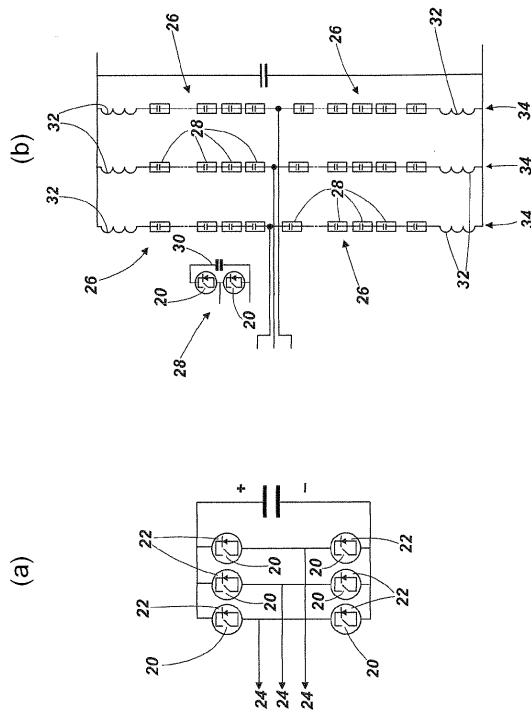
【 符号の説明 】

【 0 0 9 9 】

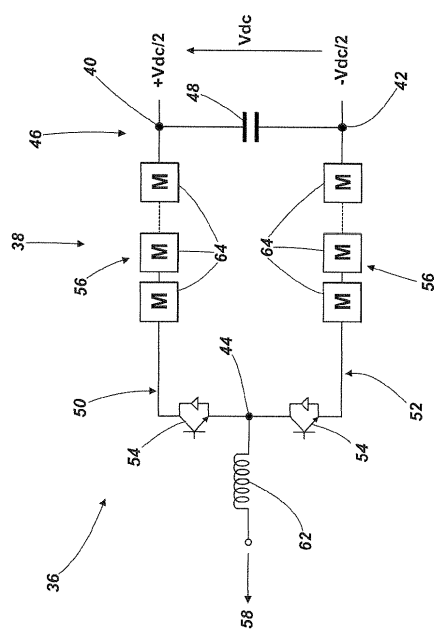
3 6 : 静的同期補償装置、3 8 : 一次補償装置経路、4 0 : 第 1 直流端子、4 2 : 第 2 直流端子、4 4 : 交流端子、4 6 : 二次補償装置経路、4 8 : 直流リンクコンデンサ、5 0 : 第 1 経路部分、5 2 : 第 2 経路部分、5 4 : スwitchング素子、5 6 : チェーンリンクコンバータ、5 8 : 交流送電網、6 0 : 変圧器、6 2 : 誘導子、6 4 : モジュール、6 6 a ~ d : 二次スイッチング素子、6 8 : コンデンサ、7 0 : ゼロ、7 4 : ピーク、7 6 : 正電圧成分、7 8 : 負電圧成分

40

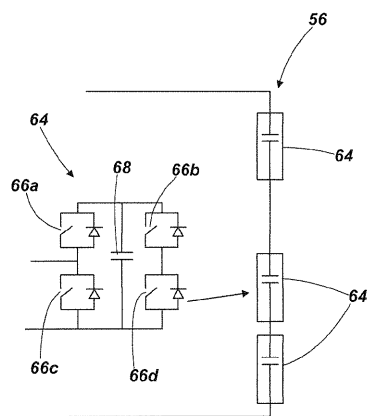
【図 1】



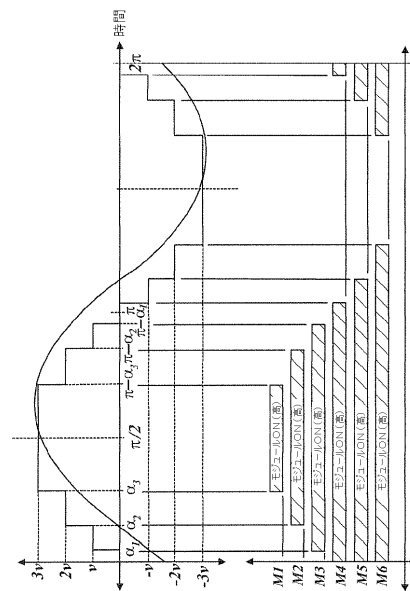
【図 2】



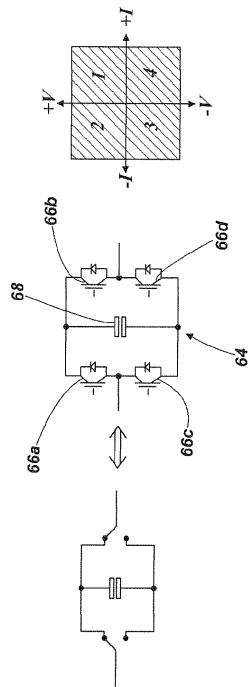
【図 3】



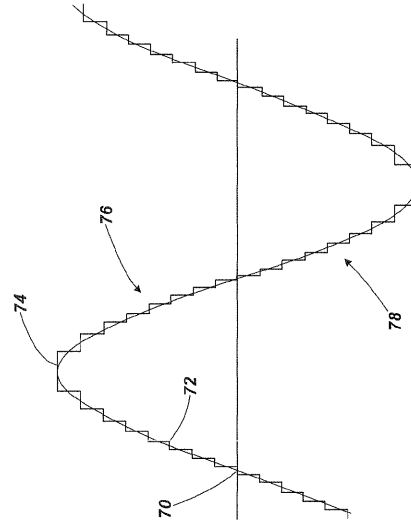
【図 4】



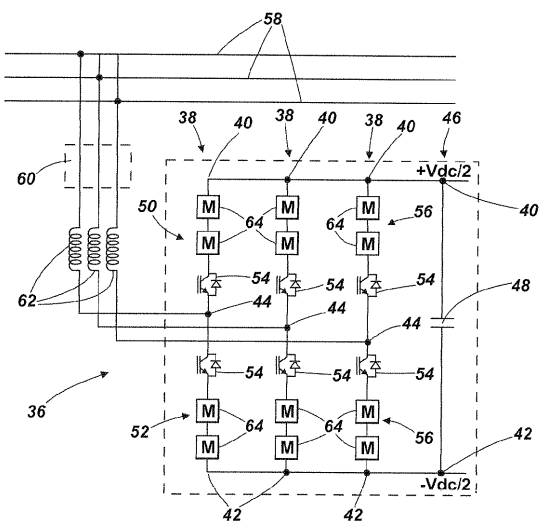
【図 5】



【図 6】



【図 7】



フロントページの続き

- (72)発明者 トレイナー, ディビッド
イギリス国, ダービシャー州 DE 24 0 A Q アルバストン - ダービー, ブラックエンズ レー
ン 4 5
- (72)発明者 オーツ, コリン
イギリス国, スタッフォードシャー州 ST 17 4 L X ブロクトン, チェイス ロード, オー
ルド ポスト オフィス

審査官 槻木澤 昌司

- (56)参考文献 米国特許出願公開第 2 0 0 5 / 0 1 2 7 8 5 3 (U S , A 1)
国際公開第 2 0 0 8 / 0 8 6 7 6 0 (W O , A 1)
特開平 0 7 - 1 9 4 0 0 8 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 2 8 0 3 5 8 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 2 4 6 6 7 6 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 5 F	1 / 7 0
H 0 2 M	7 / 4 8
H 0 2 M	7 / 4 9 7
H 0 2 J	3 / 1 8