

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5197623号
(P5197623)

(45) 発行日 平成25年5月15日(2013.5.15)

(24) 登録日 平成25年2月15日(2013.2.15)

(51) Int.Cl.	F I				
HO2M 7/12 (2006.01)	HO2M	7/12	A		
HO2M 7/48 (2007.01)	HO2M	7/12	T		
HO2M 7/483 (2007.01)	HO2M	7/48	R		
HO2M 7/5387 (2007.01)	HO2M	7/483			
	HO2M	7/5387	Z		

請求項の数 25 (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2009-539595 (P2009-539595)	(73) 特許権者	390039413
(86) (22) 出願日	平成18年12月8日(2006.12.8)		シーメンス アクチエンゲゼルシャフト
(65) 公表番号	特表2010-512133 (P2010-512133A)		Siemens Aktiengesellschaft
(43) 公表日	平成22年4月15日(2010.4.15)		ドイツ連邦共和国 D-80333 ミュンヘン ヴィッテルスバッハープラッツ 2
(86) 国際出願番号	PCT/DE2006/002247		Wittelsbacherplatz 2, D-80333 Muenchen, Germany
(87) 国際公開番号	W02008/067784	(74) 代理人	100075166
(87) 国際公開日	平成20年6月12日(2008.6.12)		弁理士 山口 巖
審査請求日	平成21年10月14日(2009.10.14)	(74) 代理人	100133167
			弁理士 山本 浩

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 エネルギー蓄積器が配分されたモジュール式コンバータ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

1つの交流電圧端子(3₁、3₂、3₃)と、少なくとも1組の直流電圧端子(p、n)とを有する少なくとも1つの相モジュール(2a、2b、2c)であって、各前記直流電圧端子(p、n)と前記交流電圧端子(3₁、3₂、3₃)との間に相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)が形成され、当該各相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)が、それぞれ1つのエネルギー蓄積器(8)と少なくとも1つのパワー半導体(T1、T2)とを有する少なくとも2つのサブモジュール(7)からなる直列回路を有している相モジュール(2a、2b、2c)と、

実際値を計測し供給するための測定センサと、

前記測定センサに接続され、かつ前記実際値と予め設定された目標値とに応じて当該電流を変換する装置(1)を制御するために設けられた制御手段(9、10)とを有しており、かつ

前記制御手段(9、10)が、電流制御ユニット(10)と、前記各相モジュール分岐にそれぞれ独立して割り当てられた制御ユニット(9)とを有し、

前記電流制御ユニット(10)が、各前記制御ユニット(9)のための分岐目標値を供給するために設けられ、

前記制御ユニット(9)が、前記サブモジュール(7)と前記電流制御ユニット(10)との間に接続されて、前記サブモジュール(7)のための制御信号を生成するために設

けられている

ことを特徴とする、電流を変換する装置。

【請求項 2】

各サブモジュール(7)がサブモジュールセンサを有し、このサブモジュールセンサが、サブモジュール(7)に割り当てられた制御ユニット(9)と接続され、かつサブモジュール実際値を供給することを特徴とする請求項1記載の装置。

【請求項 3】

前記サブモジュール実際値が、各サブモジュール(7)のエネルギー蓄積器(8)において降下する電圧に相当するところのエネルギー蓄積器電圧値 U_c であることを特徴とする請求項2記載の装置。

10

【請求項 4】

各制御ユニット(9)が、自身に割り当てられた相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)の全てのサブモジュールセンサと接続され、かつ電流制御ユニットのための合計実際値を供給するために設けられ、その際合計実際値が、各相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)の全てのサブモジュール実際値の和であることを特徴とする請求項1から3の1つに記載の装置。

【請求項 5】

電流制御ユニット(10)が、各制御ユニット(9)のための分岐電圧目標値 U_{p1ref} を供給するために設けられていることを特徴とする請求項1から4の1つに記載の装置。

20

【請求項 6】

前記測定センサが、相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)内を流れる相分岐電流 $I_{z w g}$ を測定するために設けられた分岐電流センサを有することを特徴とする請求項1から5の1つに記載の装置。

【請求項 7】

電流制御ユニット(10)が、相分岐電流 $I_{z w g}$ を制御するために設けられていることを特徴とする請求項1から6の1つに記載の装置。

【請求項 8】

前記目標値が、無効電流目標値 I_{qref} および有効電流目標値 I_{pref} および/または直流目標値 I_d を含むことを特徴とする請求項1から7の1つに記載の装置。

30

【請求項 9】

少なくとも1つの直流電圧端子(p、n)と1つの交流電圧端子(3_1 、 3_2 、 3_3)を備えた少なくとも1つの相モジュール(2a、2b、2c)を有し、その際各直流電圧端子と交流電圧端子の間位相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)が形成され、この相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)が、それぞれ1つのエネルギー蓄積器(8)と少なくとも1つのパワー半導体(T1、T2)とを有するサブモジュール(7)からなる直列回路を有し、その際電流制御ユニット(10)に実際値と目標値が供給され、電流制御ユニット(10)が前記実際値および目標値に応じて制御器によって、各相モジュール分岐(6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3)に割り当てられた分岐目標値を算定し、この分岐目標値が、モジュール分岐目標値に応じて自身に割り当てられたサブモジュール(7)のための制御信号を生成するという各制御ユニット(9)に送られるという装置(1)を用いて電流を変換する方法。

40

【請求項 10】

前記実際値が、制御ユニット(9)から電流制御ユニット(10)に送られる分岐エネルギー実際値を含んでおり、その際この分岐エネルギー実際値が前記サブモジュール内で把握されたサブモジュール実際値の合計によって形成されることを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項 11】

前記分岐目標値が電圧中間目標値の線形組合せによって形成されることを特徴とする請

50

求項 9 又は 10 記載の方法。

【請求項 12】

前記電圧中間目標値が、直流電圧目標値 (U_{dc}) を含んでおり、その際この直流電圧目標値 (U_{dc}) が、予め設定された基準直流値 I_{dso11} と、測定によって得られた直流測定値 I_d との差に応じて算定されることを特徴とする請求項 11 記載の方法。

【請求項 13】

総電圧差が、予め設定された合計電圧目標値 u_{cref} と、コンバータの全てのエネルギー蓄積器において降下する電圧の合計により算定された総エネルギー測定値 u_c との差の形成によって算定され、かつこの総電圧差が、総エネルギー偏差電流値の取得とともに制御器 (12) に送られ、その際この総エネルギー偏差電流値が、基準直流値 I_{dso11} の取得とともに直流目標値 I_{dref} と合計されることを特徴とする請求項 12 記載の方法。

10

【請求項 14】

前記電圧中間目標値が各制御ユニット (9) について網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} を含むことを特徴とする請求項 11 から 13 の 1 つに記載の方法。

【請求項 15】

前記網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} が、相モジュール (2a、2b、2c) の交流電圧側の相電流の測定によって得られる相電流値 I_1 、 I_2 、 I_3 から、電流目標値に応じて制御器 (12) によって算定されることを特徴とする請求項 14 記載の方法。

20

【請求項 16】

前記網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} が、相モジュール (2a、2b、2c) の交流電圧側の相電圧の測定によって得られる相電圧値 U_1 、 U_2 、 U_3 に応じて、目標値に応じて制御器 (12) によって算定されることを特徴とする請求項 14 又は 15 記載の方法。

【請求項 17】

前記電圧中間目標値が、各相モジュール分岐 (6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3) について分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、 U_{zwp2} 、 U_{zwp3} 、 U_{zwn1} 、 U_{zwn2} 、 U_{zwn3} を含むことを特徴とする請求項 11 から 16

30

【請求項 18】

前記分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、 U_{zwp2} 、 U_{zwp3} 、 U_{zwn1} 、 U_{zwn2} 、 U_{zwn3} が、拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} に応じて制御器 (12) によって算定されることを特徴とする請求項 17 記載の方法。

【請求項 19】

拡張された各分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} が、各相モジュール分岐 (6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3) 内を流れる相モジュール分岐電流の把握によって得られるところの相モジュール分岐電流測定値 I_{zwp1} 、 I_{zwp2} 、 I_{zwp3} 、 I_{zwn1} 、 I_{zwn2} 、 I_{zwn3} と、定められた循環電流目標値 I_{kr1} 、 I_{kr2} 、 I_{kr3} と、定められた対称化電流目標値 I_{balp1} 、 I_{balp2} 、 I_{balp3} 、 I_{baln1} 、 I_{baln2} 、 I_{baln3} との和の形成によって計算され、その際この対称化電流目標値 I_{balp1} 、 I_{balp2} 、 I_{balp3} 、 I_{baln1} 、 I_{baln2} 、 I_{baln3} は前記相モジュール分岐 (6p1、6p2、6p3、6n1、6n2、6n3) の分岐エネルギー実際値に依存して算定されることを特徴とする請求項 18 記載の方法。

40

【請求項 20】

前記分岐電圧中間目標値が非対称目標電圧 U_{asym} を有することを特徴とする請求項 11 から 19 の 1 つに記載の方法。

50

【請求項 2 1】

前記非対称目標電圧 U_{asym} が、

プラスの直流端子 (p) とアースの間の電圧を、プラスの直流電圧値 U_{dp} を取得しつつ測定し、マイナスの直流電圧端子 (n) とアースの間の電圧を、マイナスの直流電圧値 U_{dn} を取得しつつ測定し、

プラスの直流電圧値とマイナスの直流電圧値の差を、直流電圧差 u_d を取得しつつ形成し、かつ

- 制御器の出口における非対称目標電圧 U_{asym} を取得しつつ、直流電圧差 u_d を制御器の入口に印加することによって決定されることを特徴とする請求項 2 0 記載の方法。

【請求項 2 2】

前記分岐電圧中間目標値が、平衡化電圧目標値 U_{balp1} 、 U_{balp2} 、 U_{balp3} 、 U_{baln1} 、 U_{baln2} 、 U_{baln3} を有し、その際エネルギー蓄積器 (8) において降下する電圧に相当するところのエネルギー蓄積器電圧値 U_c が把握され、相モジュール分岐 ($6p1$ 、 $6p2$ 、 $6p3$ 、 $6n1$ 、 $6n2$ 、 $6n3$) の前記エネルギー蓄積器電圧値 U_c が、分岐エネルギー実際値 U_{cp1} 、 U_{cp2} 、 U_{cp3} 、 U_{cn1} 、 U_{cn2} 、 U_{cn3} を取得しつつ合計され、前記分岐エネルギー実際値 U_{cp1} 、 U_{cp2} 、 U_{cp3} 、 U_{cn1} 、 U_{cn2} 、 U_{cn3} が互いに比較されて、この比較から導き出された値が制御器に送られ、そして平衡化調整電圧 U_{balp1} 、 U_{balp2} 、 U_{balp3} 、 U_{baln1} 、 U_{baln2} 、 U_{baln3} が制御器の出口において出力されることを特徴とする請求項 1 1 から 2 1 の 1 つに記載の方法。

【請求項 2 3】

前記分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、 \dots 、 U_{zwn3} を算定するために、拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} が、制御の入力値として網電流部分と循環電流部分に分解されることを特徴とする請求項 1 7 から 1 9 の 1 つに記載の方法。

【請求項 2 4】

拡張された各分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} が、残りの分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} から独立して制御されることを特徴とする請求項 1 8 記載の方法。

【請求項 2 5】

交流電圧側の相電流の測定によって相電流値 I_1 、 I_2 、 I_3 が、また前記相モジュール分岐の交流電圧側の相電圧の測定によって相電圧値 U_1 、 U_2 、 U_3 が得られ、この相電流値 I_1 、 I_2 、 I_3 と相電圧値 U_1 、 U_2 、 U_3 から目標値に依存して制御器によって補助電流値 I_{Ha1} 、 I_{Hbe} が算定され、この補助電流値 I_{Ha1} 、 I_{Hbe} が、前記の拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} に、補助和または補助差を取得しつつ加えられるか、またはそこから差し引かれ、その際前記補助和および/または補助差が制御器 (12) の入口に印加され、その際前記制御器 (12) の出口において分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、 U_{zwp2} 、 U_{zwp3} 、 U_{zwn1} 、 U_{zwn2} 、 U_{zwn3} が出力されることを特徴とする請求項 1 8 又は 1 9 記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、1つの交流電圧端子と少なくとも1つの直流電圧端子とを有する少なくとも1つの相モジュールと、実際値を供給するための測定センサと、上記測定センサと接続され、かつ実際値と予め設定された目標値に応じてこの装置を制御するために設けられた制御手段とを有し、その際各直流電圧端子と交流電圧端子の間に相モジュール分岐が形成され、その際各相モジュール分岐が、それぞれ1つのエネルギー蓄積器と少なくとも1つのパワー半導体を有するサブモジュールからなる直列回路を有する電流変換装置に関する。

【0002】

10

20

30

40

50

本発明はまた、電流を変換する方法にも関する。

【背景技術】

【0003】

このような装置は、例えばパワーテク2003に掲載されたA・レスニカルとR・マルクヴァルトの論文「ワイドパワーレンジに適した革新的なモジュール式マルチレベルコンバータトポロジ（An Innovative Modular Multilevel Converter Topology Suitable for a Wide Power Range）」によって既に知られている。そこには、交流電圧網との接続用として考えられたコンバータが公開されている。このコンバータは、このコンバータと繋がれる交流電圧網の各相ごとに1つの相モジュールを有し、その際各相モジュールは、1つの交流電圧端子と2つの直流電圧端子を有する。各直流電圧端子と交流電圧端子の間には相モジュール分岐が延びており、いわゆる6パルスブリッジ回路が用意されている。これらのモジュール分岐はサブモジュールの直列回路からなっており、またこれらのサブモジュールはそれぞれ2つの断路可能なパワー半導体からなり、これらのパワー半導体には、それぞれ逆方向のフリーホイールダイオードが並列接続されている。この断路可能なパワー半導体およびフリーホイールダイオードは直列接続され、その際この直列回路に並列して1つのコンデンサが備えられている。上記サブモジュールの構成要素は互いに接続され、各サブモジュールの二極出口ではコンデンサ電圧または電圧がゼロに落ちる。

10

【0004】

断路可能なパワー半導体の制御は、いわゆるパルス幅変調によって行われる。このパワー半導体を制御する制御手段は、電流値を獲得して電流を把握する測定センサを有する。電流値は、入力インターフェースと出力インターフェースを有する中央制御ユニットに供給される。入力インターフェースと出力インターフェースの間には変調器すなわちソフトウェア・ルーチンが備えられている。この変調器は、特に選択ユニットとパルス幅ジェネレータを有する。このパルス幅ジェネレータは、個々のサブモジュールのための制御信号を生成する。断路可能なパワー半導体は、パルス幅ジェネレータが生成した制御信号によって、遮断可能なパワー半導体の電流通過を可能にする通過位置から、遮断可能なパワー半導体の電流通過を遮る遮断位置へと移される。その際各サブモジュールは、コンデンサで落ちる電圧を把握するサブモジュールセンサを有する。

20

【0005】

いわゆるマルチレベルコンバータトポロジのための制御方法に関しては、さらにR・マルクヴァルト、A・レスニカル、およびJ・ヒルディンガーの「高電圧におけるネット結合適用のためのモジュール式コンバータコンセプト」（パート・ナウエンハイムにおけるETG専門会議で発表、ドイツ2002年）、A・レスニカルとR・マルクヴァルトの「新しいモジュール式電圧源インバータトポロジ（A new modular voltage source inverter topology）」（EPE'03トゥールーズ、フランス2003年）、およびR・マルクヴァルトとA・レスニカル「高圧モジュール式マルチレベルコンバータの新コンセプト（New Concept for High Voltage-Modular Multilevel Converter）」（PESC2004アーヘン会議、ドイツ）などの論文が知られている。

30

40

【0006】

目下のところ未刊のドイツ特許出願102005045090.3には、エネルギー蓄積器が配分された多相コンバータを制御する方法が公表されている。この公表された装置もまた、相モジュールを備えたマルチレベルコンバータトポロジを呈し、各相モジュールは、その中心に対称的に配置された1つの交流電圧端子と、2つの直流電圧端子を有する。各相モジュールは、上記交流電圧端子と、上記直流電圧端子のうちの1つの間に延びた2つの相モジュール分岐からなる。各相モジュール分岐はまた、サブモジュールからなる直列回路を有し、その際各サブモジュールは、断路可能なパワー半導体とこれに逆並列接続されたフリーホイールダイオードからなる。さらに各サブモジュールは、単極コンデンサを有する。パワー半導体を制御するために用いられる制御手段は、各相モジュール間

50

を流れる分岐電流を調整するようにもなっている。この分岐電流の制御によって、例えば電流変動を積極的に抑えたり、より低い出力周波数を持つ動作点を回避することができる。さらに断路可能な全ての半導体スイッチの均等負荷と、激しく非対称な電圧の対称化をもたらすことができる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の課題は、その制御を、各相モジュール分岐内の任意の数のサブモジュールに合わせて簡単に調整できるという、冒頭に述べたような装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明はこの課題を冒頭に述べた装置により次のことによって解決する。制御手段が電流制御ユニットと、各相モジュール分岐に割り当てられた制御ユニットとを有し、その際上記電流制御ユニットは、上記制御ユニットのための分岐目標値を供給するために設けられ、また上記制御ユニットは、上記電流制御ユニットとサブモジュールの間に接続され、かつ上記サブモジュールのための制御信号を生成するために設けられている。

【0009】

本発明は、この課題を冒頭に述べた方法により次のことによって解決する。電流制御ユニットに実際値と目標値が供給され、この電流制御ユニットが、各相モジュール分岐に割り当てられた分岐目標値を、実際値および目標値に応じて制御器によって決定し、この分岐目標値が、上記相モジュール分岐に割り当てられた制御装置に供給され、そして各制御ユニットが、自身に割り当てられたサブモジュールのための制御信号を上記分岐目標値に応じて生成する。

【0010】

本発明に基づくこの装置は、1つの中央電流制御ユニットからなる制御手段を有する。上記電流制御ユニットは、電流や電圧などの電氣的測定値を把握するために備えられた測定センサと接続され、その際それらの測定値は、いわゆる実際値として制御機構に供給される。上記電流制御ユニットにはさらに、それに合わせて実際値が調整されることになる目標値も供給される。目標値が例えば予め設定された目標有効電力の場合、例えば目標有効電力到達までの直流の変化が、このコンバータの交流電圧側の交流の変化にも影響を与える。言い換えれば、実際値どおしが互いに高度に結合している。それゆえ上記電流制御ユニットは主として制御値の減結合に使われる。

【0011】

技術の現況における既知の制御方法とは異なり、本発明ではサブモジュールのための制御信号の生成は中央電流制御ユニットによらない。各相モジュール分岐に1つずつ独立した制御ユニットが備わる。電流制御ユニットは、各制御ユニットのためにそれぞれ少なくとも1つの分岐目標値を生成する。その後制御ユニットが、個々のサブモジュールのための制御信号を各分岐目標値に基づいて決定ならびに生成する。それゆえ本発明に基づく装置は、変化するサブモジュール数に合わせて簡単に調整され得る制御手段を有する。この電流制御ユニットは、相モジュール分岐の数にのみ合わせて調整され、各相モジュール分岐内のサブモジュール数には左右されない。それゆえ本発明による装置すなわちコンバータの、サブモジュール数の引上げによる網電圧または直流電圧の変化に合わせた調整は、制御ユニットにのみ影響を与える。

【0012】

有利なことに各サブモジュールはサブモジュールセンサを有し、このサブモジュールセンサが、そのサブモジュールに割り当てられた制御ユニットと接続されていて、サブモジュール実際値を供給する。このサブモジュール実際値は、接続された制御ユニットに供給され、この制御ユニットはその後、制御ユニットが回路に連結した、すなわちアクティブ化されたサブモジュールに由来するサブモジュール実際値を合計して、サブモジュール合計実際値を形成する。相モジュール分岐のアクティブ化されたサブモジュールのみが、そ

10

20

30

40

50

の相モジュール分岐の然るべきサブモジュール合計実際値に寄与する。その際制御ユニットは、個々のサブモジュールのために、サブモジュール合計実際値が、電流制御ユニットから提供される分岐目標値にできるだけ近くなるような制御信号を生成する。

【0013】

サブモジュール実際値とは、実用的なことにエネルギー蓄積器電圧値 U_c であり、この電圧値は各サブモジュールのエネルギー蓄積器において降下する電圧に相当する。この場合分岐目標値は、分岐電圧目標値、すなわち相モジュール分岐のアクティブ化または連結されたサブモジュールにおいて降下する合計電圧の目標値である。

【0014】

有利なことに各制御ユニットは、自身に割り当てられた相モジュール分岐の全てのサブモジュールセンサと接続され、かつ電流制御ユニットのための分岐エネルギー実際値を供給するために設けられ、その際分岐エネルギー実際値は、全てのサブモジュール、すなわち各相モジュール分岐の、連結されアクティブ化されたサブモジュールと切り離され非アクティブ化されたサブモジュールの両方のサブモジュール実際値の合計である。さらに分岐エネルギー実際値そのものは、分岐目標値それも特に分岐電圧目標値の決定に使われる。

10

【0015】

ある有利な発展形では電流制御ユニットが、各制御ユニットのための分岐電圧目標値 U_{p1ref} 、 U_{p2ref} 、 U_{p3ref} 、 U_{n1ref} 、 U_{n2ref} 、 U_{n3ref} を供給するために設けられている。

20

【0016】

測定センサは、実用的なことに分岐電流センサを有し、この分岐電流センサは、相モジュール分岐内を流れる相モジュール分岐電流 $I_{z w g}$ を測定するために設けられている。この有利な発展形では、相モジュール分岐電流の制御が可能である。相モジュール分岐電流 $I_{z w g}$ には、相モジュールの交流電圧側、すなわち例えば交流電圧網を本発明による装置に繋ぐための変圧器と、相モジュールの交流電圧端子の間を流れる相電流が含まれている。相モジュール分岐電流はさらに、直流成分と循環電流をも含む。この装置の全ての相モジュール分岐電流が既知であれば、循環電流を計算することができる。循環電流は外から見えないので、その制御が、相モジュール分岐内に蓄積されたエネルギーの独立した対称化を可能にする。相モジュール分岐電流と循環電流を制御することによって、本発明による装置の全ての自由度を効果的に利用することができる。例えば循環電流の積極的な抑制は、分岐電流スロットルなどのパッシブな要素に関連してかかる費用を大幅に下げる。

30

【0017】

それゆえ有利なことに電流制御ユニットは、相モジュール分岐電流 $I_{z w g}$ を制御するために設けられている。

【0018】

ある優先的な発展形によれば目標値には、無効電流目標値 I_{qref} 、有効電流目標値 I_{pref} 、および/または直流目標値 I_d が含まれる。このようにして本発明による装置は、ユーザーによって非常に簡単に操作できるようになる。ユーザーは、送られるべき有効電力および無効電力を制御機構に入力するだけである。定格電圧が分かればそこから無効電流目標値が算定される。

40

【0019】

本発明による方法で有利なのは、実際値が、制御ユニットから電流制御ユニットへ送られる分岐エネルギー実際値を含み、その際各分岐エネルギー実際値が、ある相モジュール分岐の全てのサブモジュール（連結されているか否かは関係ない）のサブモジュール実際値の合計であることである。

【0020】

この分岐目標値は、有利なことに電圧中間目標値の線形組合せによって形成される。電圧中間目標値どうしは互いに十分に減結合され、分かりやすく整然とした制御の構築に使

50

われる。

【0021】

これに関して実用的なある発展形では、電圧中間目標値に直流電圧目標値 U_{dc} が含まれ、その際この直流電圧目標値 U_{dc} は、予め設定された基準直流 I_{dso11} と測定によって得られた直流測定値 I_d の差に依存して決定される。

【0022】

これに関して実用的なある発展形では、総電圧差が、予め設定された合計電圧目標値 u_{cref} と、コンバータの全てのエネルギー蓄積器において降下する電圧の合計によって得られる総エネルギー測定値 u_c との差の形成によって算定され、この総電圧差は、総エネルギー偏差電流値の取得とともに制御器に供給され、その際この総エネルギー偏差電流値は、基準直流値 I_{dso11} の取得とともに直流目標値 I_{dref} と合計される。この時使われる制御器は、例えば簡単な比例制御器である。しかし本発明ではそれ以外の制御器も使用可能である。この有利な発展形では、こうした制御によって、エネルギー蓄積器に蓄積されたエネルギーが予め定められた量を超えないように保証されている。よって、過大なエネルギーの蓄積によって本発明による装置が破壊されるような事態は回避されている。専門家には明らかなことだが、本発明による装置すなわちコンバータの総エネルギーの調整では、この装置の全てのエネルギー蓄積器の測定された電圧測定値を合計するかわりに、サブモジュールのエネルギー蓄積器に蓄積されたエネルギーを、エネルギー測定値の取得により算定することもできる。その場合 u_c は、この装置の全てのエネルギー蓄積器のエネルギー値の合計に相当する。エネルギー蓄積器のエネルギー値の基準は、例えばそのエネルギー蓄積器において降下する電圧から、この電圧の2乗によって得られる。

【0023】

有利なことに電圧中間目標値は、各制御ユニットについて網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} を含む。この網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} はこの装置に影響を与えて、その結果相モジュールの交流電圧側を流れる相電流 I_1 、 I_2 、 I_3 が希望どおりに調整される。

【0024】

これに関して実用的なある発展形では、網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} は、相モジュールの交流電圧側の相電流 I_1 、 I_2 、 I_3 の測定によって得られる相電流値から、電流目標値に依存して制御器によって算定される。この実用的な発展形では相電流が、本発明による装置の交流電圧側で測定される。この測定は、例えば相モジュールの交流電圧端子の直近で行うことができる。そのために然るべき変流器と交流導体が相互に作用し合うことになり、その際交流導体は交流電圧端子と接続されている。しかしそれとは異なり、交流導体と変圧器を介して交流電圧端子と接続されている交流網について、その各相内を流れる網電流 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} を測定することもできる。

【0025】

これに関して実用的なある発展形では、網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} は、相モジュールの交流電圧側の相電圧 U_1 、 U_2 、 U_3 の測定によって得られる相電圧測定値に依存し、かつ目標値に依存して制御器によって算定される。それゆえ網相電圧目標値 U_{netz1} 、 U_{netz2} 、 U_{netz3} の取得は、網電圧の測定に基づいて行うこともできる。

【0026】

有利なことに電圧中間目標値は、各相モジュール分岐について分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、 U_{zwp2} 、 U_{zwp3} 、 U_{zwn1} 、 U_{zwn2} 、 U_{zwn3} を含む。

【0027】

これに関して実用的なある発展形では、分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、...、 U_{zwn3} は、拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} に依存して制御器によって算定される。

【0028】

10

20

30

40

50

有利なことに拡張された各分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} は、各相モジュール分岐内を流れる相モジュール分岐電流の把握によって得られるところの相モジュール分岐電流測定値 I_{zwp1} 、 \dots 、 I_{zwn3} と、定められた循環電流目標値 I_{kr1} 、 I_{kr2} 、 I_{kr3} と、定められた対称化電流目標値 I_{balp1} 、 \dots 、 I_{baln3} との和の形成によって計算され、その際対称化電流目標値 I_{balp1} 、 \dots 、 I_{baln3} は分岐エネルギー実際値に依存して決定される。この制御手順で予め設定された目標値、すなわち分岐電流の一部である循環電流を決定するための循環電流目標値 I_{kr1} 、 I_{kr2} 、 I_{kr2} と、対称化電流を決定するための対称化電流目標値 I_{balp1} 、 \dots 、 I_{baln3} は合わせて、測定によって得られた相モジュール分岐電流測定値 I_{zwg} と合計され、その際その合計値は上記の拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 \dots 、 I_{n3} に相当する。この拡張された分岐電流値はその後実用的な

10

【0029】

有利なことにこの分岐電圧中間目標値は、非対称目標電圧 U_{asym} を含む。

【0030】

これに関して実用的なある発展形では、非対称目標電圧 U_{asym} は、プラスの直流端子とアースの間の電圧を、プラスの直流電圧値 U_{dp} を取得しつつ測定し、マイナスの直流電圧端子とアースの間の電圧を、マイナスの直流電圧値 U_{dn} を取得しつつ測定し、プラスの直流電圧値とマイナスの直流電圧値の差を、直流電圧差 u_d を取得しつつ形成し、そして制御器の出口における非対称目標電圧を取得しつつ、直流電圧差 u_d を制御器の入口に印加することによって決定される。

20

【0031】

実用的なことにこの分岐電圧中間目標値は、平衡化電圧目標値 U_{balp1} 、 U_{balp2} 、 U_{balp3} 、 U_{baln1} 、 U_{baln2} 、 U_{baln3} を含んでおり、その際エネルギー蓄積器において降下する電圧に相当するところのエネルギー蓄積器電圧値 U_c が把握され、相モジュール分岐 $6p1$ 、 $6p2$ 、 $6p3$ 、 $6n1$ 、 $6n2$ 、 $6n3$ のエネルギー蓄積器電圧値 U_c が、分岐エネルギー実際値 U_{cp1} 、 U_{cp2} 、 U_{cp3} 、 U_{cn1} 、 U_{cn2} 、 U_{cn3} を取得しつつ合計され、分岐エネルギー実際値 U_{cp1} 、 U_{cp2} 、 U_{cp3} 、 U_{cn1} 、 U_{cn2} 、 U_{cn3} が互いに比較されて、この比較から導き出された値が制御器に送られ、そして平衡化調整電圧 U_{balp1} 、 U_{balp2} 、 U_{balp3} 、 U_{baln1} 、 U_{baln2} 、 U_{baln3} が制御器の出口において出力される。分岐エネルギー実際値の形成では、サブモジュール分岐の全てのサブモジュール（連結されているか否かは関係ない）が顧慮される。よって分岐エネルギー実際値は、相モジュール分岐内に蓄積されたエネルギーの基準となる。専門家であれば知っていることだが、この点についてはエネルギー蓄積器において降下する電圧のかわりに、それらの電圧の2乗を合計して分岐エネルギー実際値を形成することも可能である。さらに、本発明による装置の対称化が、大分前に述べた対称化電流目標値 I_{bal} を用いても行えるという点を指摘しておく。

30

【0032】

有利なことに分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、 \dots 、 U_{zwn3} を算定するために、拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 \dots 、 I_{n3} は、制御の入力値として網電流部分と循環電流部分に分解される。この分解により、電流制御ユニットが行う制御手順の整然とした構築が可能になる。

40

【0033】

有利なことに、拡張された各分岐電流値 I_{p1} 、 \dots 、 I_{n3} は、残りの分岐電流値 I_{p1} 、 \dots 、 I_{n3} から独立して制御される。このことは例えば、拡張された各分岐電流値が実用的な目標値と共にそれぞれ唯一の制御器に送られることを意味する。制御器の出口において分岐電圧中間目標値 U_{zwp1} 、 \dots 、 U_{zwn3} が出力される。

【0034】

本発明のさらなる有利な形態では、交流電圧側の相電流の測定によって相電流値 I_1 、

50

I 2、I 3 が、また相モジュール分岐の交流電圧側の相電圧の測定によって相電圧値 U 1、U 2、U 3 が得られ、相電流値 I 1、I 2、I 3 と相電圧値 U 1、U 2、U 3 から目標値に依存して制御器によって補助電流値 I H a 1、I H b e が算定され、この補助電流値 I H a 1、I H b e が、拡張された分岐電流値 I p 1、. . .、I n 3 に、補助和または補助差を取得しつつ加えられるか、またはそこから差し引かれ、その際補助和と補助差が制御器の入口に印加され、その際上記制御器の出口において分岐電圧中間目標値 U z w g p 1、. . .、U z w g n 3 が出力される。その際この制御器は例えば比例制御器である。

【 0 0 3 5 】

本発明のさらなる形態および利点については、本発明の実施例を図を参照しながら以下に説明する。その際同じ働きをする部品には同じ番号が振ってある。

10

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 3 6 】

【 図 1 】 本発明による装置の実施例の図式である。

【 図 2 】 図 1 の装置のサブモジュールの等価回路図である。

【 図 3 】 図 1 の装置の制御手段の構造を示す。

【 図 4 】 制御ユニット用分岐電圧目標値の算定のための分岐電圧中間目標値の線形組合せの図式である。

【 図 5 】 網相電圧目標値 U n e t z 算定の図式である。

【 図 6 】 拡張された分岐電流値から、分岐電圧中間目標値 U z w g を算定する手順を示す図式である。

20

【 図 7 】 図 6 の拡張された分岐電流値 I p を算定する図式である。

【 図 8 】 循環電流目標値 I k r を生成する手段の図式である。

【 図 9 】 直流電圧目標値 U d c を算定する図式である。

【 図 1 0 】 対称化電圧 U a s y m の算定を示す概要図である。

【 図 1 1 】 分岐電圧中間目標値 U z w g を生成するためのさらなる手段を示す。

【 図 1 2 】 分岐電圧中間目標値 U z w g を算定するためのさらなる手段を示す。

【 図 1 3 】 分岐電圧中間目標値 U z w g を算定するためのさらなる手段を示す。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 3 7 】

30

図 1 は、3つの相モジュール 2 a、2 b、2 c から成る本発明に基づく装置 1 の実施例を示す。各相モジュール 2 a、2 b、2 c は、プラスの直流電圧回路 p およびマイナスの直流電圧回路 n と接続され、その結果各相モジュール 2 a、2 b、2 c は2つの直流電圧端子を有する。さらに各相モジュール 2 a、2 b、2 c のためにそれぞれ1つの交流電圧端子 3₁、3₂、3₃ が備えられている。この交流電圧端子 3₁、3₂、3₃ は、変圧器 4 を介して三相の交流電圧網 5 と接続されている。この交流電圧網 5 の相電圧 U 1、U 2、U 3 が降下し、その際網電流 I n 1、I n 2、I n 3 が流れる。各相モジュールの交流電圧側の相電流は I 1、I 2、I 3 で示される。直流電圧電流は I_d である。交流電圧端子 3₁、3₂、3₃ のそれぞれとプラスの直流電圧回路 p の間に、相モジュール分岐 6 p 1、6 p 2、6 p 3 が延びている。交流電圧端子 3₁、3₂、3₃ のそれぞれとマイナスの直流電圧回路 n の間に、相モジュール分岐 6 n 1、6 n 2、6 n 3 が形成されている。各相モジュール分岐 6 p 1、6 p 2、6 p 3、6 n 1、6 n 2、6 n 3 は、図 1 には詳しく示されていないサブモジュールからなる1つの直列回路と、図 1 に L_{Kr} で示された1つのインダクタンスからなる。

40

【 0 0 3 8 】

図 2 には、サブモジュール 7 の直列回路と、サブモジュールの構造が電気等価回路図によって詳しく示されている。その際図 2 には相モジュール分岐 6 p 1 のみが選ばれているが、残りの相モジュール分岐も構造は同じである。この図から、各サブモジュール 7 が、直列接続された断路可能な2つのパワー半導体 T 1、T 2 を有することが分かる。断路可能なパワー半導体とは、例えばいわゆる I G B T、G T O、I G C T などである。これら

50

は専門家には周知のものなので、ここに詳細に示すことはしない。断路可能な各パワー半導体 T 1、T 2 には、フリーホイールダイオード D 1、D 2 が逆並列接続されている。断路可能なパワー半導体 T 1、T 2 もしくはフリーホイールダイオード D 1、D 2 の直列回路に並列でコンデンサ 8 がエネルギー蓄積器として接続されている。各コンデンサ 8 は単極で充電されている。各サブモジュール 7 の二極端子 X 1、X 2 において、2 つの電圧状態が生成され得る。制御ユニット 9 によって、例えば断路可能なパワー半導体 T 2 を通過位置に移すような制御信号が生成されると、この通過位置ではパワー半導体 T 2 の電流通過が可能となり、サブモジュール 7 の端子 X 1、X 2 において電圧がゼロに落ちる。その際断路可能なパワー半導体 T 1 は遮断位置にあり、断路可能なパワー半導体 T 1 の電流通過は遮られる。これによりコンデンサ 8 の放電が妨げられる。反対に断路可能なパワー半導体 T 1 が通過位置に、そして断路可能なパワー半導体 T 2 が遮断位置に移されると、サブモジュール 7 の端子 X 1、X 2 においてコンデンサのフル電圧 U_c が印加される。

10

【 0 0 3 9 】

図 1 および図 2 による本発明に基づく装置のこの実施例は、いわゆるマルチレベルコンバータとも言われている。このようなマルチレベルコンバータは例えば、モータ等の電気機械類の駆動に適している。このようなマルチレベルコンバータはさらに、エネルギー供給やエネルギー伝達などの分野への投入にも適している。本発明に基づく装置は、例えば直流電圧側で互いに接続された 2 つのコンバータからなるクローズ・カプラとして用いられ、その際それらのコンバータはそれぞれ 1 つの交流電圧網と接続されている。このようなクローズ・カプラは、周波数、位相状態、中性点処理などが異なる 2 つのエネルギー供給網間のエネルギー交換に使用される。さらにはいわゆる FACTS (フレキシブル AC トランсмисシオンシステム) として無効電力補償分野への適用も考えられる。このようなマルチレベルコンバータによる長距離高圧直流送電も考えられる。適用の可能性が豊富であることから、本発明による各装置が適合すべき動作電圧は様々に異なる。そのためサブモジュール 7 の数は、数個から数百個まで様々となる。この様々な数のサブモジュール 7 について、サブモジュール 7 の様々な数に容易に適合する制御手段が使えるよう、本発明は技術の現況とは異なる構造を有する。

20

【 0 0 4 0 】

上記の制御手段の構造を図 3 に示す。この制御手段は、電流制御ユニット 10 と制御ユニット 9 p 1、9 p 2、9 p 3 および 9 n 1、9 n 2、9 n 3 を有する。これらの制御ユニットは、それぞれ相モジュール分岐 6 p 1、6 p 2、6 p 3、6 n 1、6 n 2、6 n 3 に割り当てられている。例えば制御ユニット 9 p 1 は、相モジュール分岐 6 p 1 の各サブモジュール 7 と接続され、断路可能なパワー半導体 T 1、T 2 のための制御信号を生成する。各サブモジュール 7 内には、図には示されていないがサブモジュール電圧センサが備わる。このサブモジュール電圧センサは、サブモジュール 7 のコンデンサ 8 において降下するコンデンサ電圧を、コンデンサ電圧値 U_c をサブモジュール実際値として得ながら把握するために用いられる。このコンデンサ電圧値 U_c は、各制御ユニット (この場合は 9 p 1) に供給される。これにより制御ユニット 9 p 1 は、自身に割り当てられた相モジュール分岐 6 p 1 の全てのサブモジュール 7 のコンデンサ電圧値を取得し、それらを合計して、相モジュール分岐 6 p 1 に割り当てられた分岐エネルギー実際値 U_{c_p1} を得る。さらに各評価ユニット 9 p がサブモジュール実際値を算定する。このサブモジュール実際値は、その出力端子 X 1 および X 2 においてコンデンサ電圧 U_c が降下するところのアクティブなサブモジュールの和から計算される。その出力端子 X 1 および X 2 において電圧がゼロに降下するところの非アクティブなサブモジュール 7 は、サブモジュール実際値の形成に際しては顧慮されない。特に分岐エネルギー実際値 U_{c_p1} は、電流制御ユニット 10 に供給される。

30

40

【 0 0 4 1 】

また電流制御ユニット 10 は、図には示されていない各種測定センサと接続されている。相モジュール 2 a、2 b、2 c の交流電圧側に配置された変流器は、相電流測定値 I_1 、 I_2 、 I_3 の生成および供給に、また各相モジュールに配置された変流器は、相モジュ

50

ール分岐電流測定値 $I_{z w g}$ の生成および供給に、またコンバータの直流電圧回路内に配置された変流器は、直流測定値 I_d の供給に使われる。交流網の変圧器は、相電圧測定値 U_1 、 U_2 、 U_3 を、また直流変圧器は、プラスの直流電圧のプラスの直流電圧測定値 $U_{d p}$ とマイナスの直流電圧のマイナスの直流電圧測定値 $U_{d n}$ を供給し、その際プラスの直流電圧測定値 $U_{d p}$ はプラスの直流電圧端子 p とアースの間で降下する直流電圧に、またマイナスの直流電圧測定値 $U_{d n}$ はマイナスの直流電圧端子とアースの間で降下する電圧にあたる。このマイナスの直流電圧はマイナスである。このプラスの直流電圧はプラスである。

【0042】

電圧制御ユニット10にはさらに目標値が供給される。図3に示した実施例では、制御ユニット10に有効電流目標値 $I_{p r e f}$ と無効電流目標値 $I_{q r e f}$ が供給される。さらに直流電圧目標値 $U_{d r e f}$ が電流制御ユニット10の入口に置かれる。直流電圧目標値 $U_{d r e f}$ の代わりに直流目標値 $I_{d r e f}$ を使うことも本発明では可能である。つまりこの2つの目標値は互いに交換可能である。

【0043】

目標値 $I_{p r e f}$ 、 $I_{q r e f}$ 、 $U_{d r e f}$ と上記の測定値は、様々な制御器が使用される中で相互に作用し合い、その際各制御ユニット $9 p 1$ 、 $9 p 2$ 、 $9 p 3$ 、 $9 n 1$ 、 $9 n 2$ 、 $9 n 3$ のために分岐電圧目標値 $U_{p 1 r e f}$ 、 $U_{p 2 r e f}$ 、 $U_{p 3 r e f}$ 、 $U_{n 1 r e f}$ 、 $U_{n 2 r e f}$ 、 $U_{n 3 r e f}$ が生成される。各制御ユニット9は、自身に割り当てられたサブモジュール7のための制御信号を生成し、それによりサブモジュールの直列回路において生じる電圧 $U_{p 1}$ 、 $U_{p 2}$ 、 $U_{p 3}$ 、 $U_{n 1}$ 、 $U_{n 2}$ 、 $U_{n 3}$ は、各分岐電圧目標値 $U_{p 1 r e f}$ 、 $U_{p 2 r e f}$ 、 $U_{p 3 r e f}$ 、 $U_{n 1 r e f}$ 、 $U_{n 2 r e f}$ 、 $U_{n 3 r e f}$ にできるだけ近くなる。電圧 $U_{p 1}$ 、 $U_{p 2}$ 、 $U_{p 3}$ 、 $U_{n 1}$ 、 $U_{n 2}$ 、 $U_{n 3}$ は、サブモジュール合計実際値と見なされる。

【0044】

その他の図は、電流制御ユニット10がどのようにして自身の入力値から適切な分岐電圧目標値 $U_{p 1 r e f}$ 、 $U_{p 2 r e f}$ 、 $U_{p 3 r e f}$ 、 $U_{n 1 r e f}$ 、 $U_{n 2 r e f}$ 、 $U_{n 3 r e f}$ を形成するのかを示す。図4から分かるように、例えば分岐電圧目標値 $U_{p 1 r e f}$ は、網相電圧目標値 $U_{n e t z 1}$ 、分岐電圧中間目標値 $U_{z w g p 1}$ 、直流電圧目標値 $U_{d c}$ 、対称化電圧目標値 $U_{a s y m}$ 、および平衡化電圧目標値 $U_{b a l p 1}$ の線形組合せによって計算される。この計算は、相モジュール分岐 $6 p 1$ 、 $6 p 2$ 、 $6 p 3$ 、 $6 n 1$ 、 $6 n 2$ 、 $6 n 3$ の各々について互いに独立して行われる。

【0045】

図5は、網相電圧目標値 $U_{n e t z 1}$ 、 $U_{n e t z 2}$ 、 $U_{n e t z 3}$ が、相電流測定値 I_1 、 I_2 、 I_3 と相電圧測定値 U_1 、 U_2 、 U_3 からどのように算定されるのかを示す。相電流測定値が合計でゼロになるので、3つの相の相電流測定値 I_1 、 I_2 、 I_3 は、1つの二相ベクトルシステム、内に射影される。この射影は、変換ユニット11によって行われる。同じことは、相電圧測定値 U_1 、 U_2 、 U_3 についてもあてはまる。その後それらの測定値は制御器12に送られ、制御器12は、有効電流目標値 $I_{p r e f}$ と無効電流目標値 $I_{q r e f}$ に依存して網相電圧目標値 $U_{n e t z 1}$ 、 $U_{n e t z 2}$ 、 $U_{n e t z 3}$ を生成し、その際ここでも変換ユニット11が、二相の網相電圧目標値を三相の網相電圧目標値に転換するのに使われる。

【0046】

図6は、図4で初めて挙げた分岐電圧中間目標値 $U_{z w g p 1}$ 、 $U_{z w g p 2}$ 、 $U_{z w g p 3}$ 、もしくは $U_{z w g n 1}$ 、 $U_{z w g n 2}$ 、 $U_{z w g n 3}$ がどのようにして形成されるのかを示す。この形成は、拡張された分岐電流値 $I_{p 1}$ 、 $I_{p 2}$ 、 $I_{p 3}$ 、 $I_{n 1}$ 、 $I_{n 2}$ 、 $I_{n 3}$ を出発点として行われるが、以下に分岐電流値の算定について説明する。6個の拡張された分岐電流値 $I_{p 1}$ 、 $I_{p 2}$ 、 $I_{p 3}$ 、 $I_{n 1}$ 、 $I_{n 2}$ 、 $I_{n 3}$ は、先の説明と同じく変換ユニット11によって4個の拡張された二相の分岐電流値、に変換される。続いて各制御器12（この場合簡単な比例制御器）が、変換ユニット11と共にい

10

20

30

40

50

わゆる分岐電圧中間目標値 $U_{z w g p 1}$ 、 $U_{z w g p 2}$ 、 $U_{z w g p 3}$ 、もしくは $U_{z w g n 1}$ 、 $U_{z w g n 2}$ 、 $U_{z w g n 3}$ への変換を行う。

【0047】

拡張された分岐電流値 $I_{p 1}$ 、 $I_{p 2}$ 、 $I_{p 3}$ 、 $I_{n 1}$ 、 $I_{n 2}$ 、 $I_{n 3}$ の算定を図7に示す。拡張された分岐電流値 $I_{p 1}$ 、 $I_{p 2}$ 、 $I_{p 3}$ 、 $I_{n 1}$ 、 $I_{n 2}$ 、 $I_{n 3}$ は、相モジュール分岐6p1の場合、変流器によって形成される相モジュール分岐電流測定値 $I_{z w g p 1}$ と、循環電流目標値 $I_{k r 1}$ と、対称化電流目標値 $I_{b a l 1}$ との和そのものである。循環電流目標値 $I_{k r 1}$ 、 $I_{k r 2}$ 、 $I_{k r 3}$ は、図には示されていないコントロールポイントを介して動力的に与えられる。同じことは、対称化電流目標値 $I_{b a l p 1}$ 、 $I_{b a l p 2}$ 、 $I_{b a l p 3}$ にもあてはまる。よってそれぞれの拡張された分岐電流値 $I_{p 1}$ は、測定値と目標値の両方を含む。対称化目標値を介して、相モジュール分岐内にそれぞれ蓄積されたエネルギー蓄積器の対称的な配分がもたらされる。

10

【0048】

図8に、適切な循環電流目標値 $I_{k r 1}$ 、 $I_{k r 2}$ 、 $I_{k r 3}$ を生成するための有利な例を示す。まず網電圧の角周波数 ω に係数2を掛ける。次に独立変数 θ のコサインもしくは負のサインを出して、それに振幅 $A_{m p}$ を掛ける。次にこの2つの値から、変換ユニット11を用いて3つの相モジュールのそれぞれについて循環電流目標値 $I_{k r 1}$ 、 $I_{k r 2}$ 、 $I_{k r 3}$ を算定する。

【0049】

図9に、直流電圧目標値 $U_{d c}$ の算定方法を示す。 $U_{d c}$ は、測定された直流値 I_{d} と基準直流値 $I_{d s o l 1}$ から算定されるが、基準直流値 $I_{d s o l 1}$ の算定について以下に説明する。まず測定された直流値 I_{d} と基準直流値 $I_{d s o l 1}$ との差を出す。次にこの差は、比例制御器または比例/積分制御器すなわちPI制御器12に送られ、PI制御器の出口において直流電圧目標値 $U_{d c}$ が出力される。

20

【0050】

図9の下の図は、基準直流値 $I_{d s o l 1}$ の算定方法を示す。まず本発明による装置1の全てのコンデンサ電圧値 U_{c} の和である総エネルギー測定値 u_{c} を形成する。この総エネルギー測定値 u_{c} はそれゆえ、各コンバータ内に蓄積されたエネルギーの基準となる。このような基準は、他の任意の方法で導くことができる。上記のエネルギーが過大にならないようにするために、総エネルギー測定値 u_{c} と合計電圧目標値 $u_{c r e f}$ が比較されるが、その差は差形成器13によって形成される。上記の差は、続いて制御器12に送られ、その出口で総エネルギー偏差電流値が読み取られ、その総エネルギー偏差電流値は和形成器14に送られる。和形成器14は、基準直流目標値 $I_{d s o l 1}$ を取得しつつ、総エネルギー偏差電流値と、電流制御ユニットが知るところの直流目標値 $I_{d r e f}$ との和を形成する。この直流電圧目標値 $U_{d c}$ の算定によって、制御機構は、コンバータ1のコンデンサ8内に過大なエネルギーが蓄積されるのを防ぐ。

30

【0051】

図10は、非対称電圧 $U_{a s y m}$ の意味を物理的に示す。図10には、本発明による装置1の相モジュールの交流電圧側に中性点形成器15が破線で示されている。直流電圧回路p、n内には同じく破線で分圧器16が示され、この分圧器は、電位点 $N_{G S}$ の両側で同じ抵抗を有する。非対称電圧 $U_{a s y m}$ は、中性点形成器15の中性点 $N_{T R}$ と電位点 $N_{G S}$ の間で降下する電圧である。この電圧は、まずプラスの直流電圧pとアースの間で降下する電圧を、プラスの直流電圧値 $U_{d p}$ を取得しつつ測定し、直流電圧の陰極とアースの間で降下する電圧を、マイナスの直流電圧値 $U_{d n}$ を取得しつつ測定することによって算定される。次にマイナスの直流電圧値 $U_{d n}$ とプラスの直流電圧値 $U_{d p}$ の差が形成され、そこから直流電圧差 U_{d} が得られる。この直流電圧差 U_{d} は制御器の入口に印加され、その際制御器にはさらに直流電圧目標差が予め与えられ、それにより制御器の出口において、制御機構が直流電圧差と直流電圧目標差との差を最小化するのに用いる値が生成される。制御器の出口において対称化目標電圧 $U_{a s y m}$ が出力され、図4に示した線形組合せに基づき他の電圧中間目標値に切り替えられる。

40

50

【 0 0 5 2 】

平衡化電圧目標値 U_{balp1} 、 U_{balp2} 、 U_{balp3} 、 U_{baln1} 、 U_{baln2} 、 U_{baln3} は以下のようにして算定される。まずコンデンサ電圧値 U_c が、サブモジュール 7 のコンデンサにおいて降下する電圧の測定により算定されて、分岐エネルギー実際値 U_{cp1} 、 U_{cp2} 、 U_{cp3} 、 U_{cn1} 、 U_{cn2} 、 U_{cn3} の取得とともに合計される。その際各相モジュール分岐の全てのサブモジュールが顧慮されることになり、それらのサブモジュールが連結されているか否かは関係ない。この分岐エネルギー実際値は、相モジュール内に蓄積されたエネルギーの基準となる。それゆえ分岐エネルギー実際値は、各相モジュール分岐 $9p1$ 、 $9p2$ 、 $9p3$ 、 $9n1$ 、 $9n2$ 、 $9n3$ に割り当てられている。分岐エネルギー実際値 U_{cp1} 、 U_{cp2} 、 U_{cp3} 、 U_{cn1} 、 U_{cn2} 、 U_{cn3} は、互いに比較され、この比較から 1 つの値が導き出される。次にこの値は、目標値と一緒に制御器に送られ、その出口において平衡化電圧目標値 U_{balp1} 、 U_{balp2} 、 U_{balp3} 、 U_{baln1} 、 U_{baln2} 、 U_{baln3} がタッピングされる。

10

【 0 0 5 3 】

図 11 は、拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} から分岐電圧中間目標値 U_{zwgp1} 、 U_{zwgp2} 、 U_{zwgp3} を算定するさらなる手段を示す。まず拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} 、 I_{n1} 、 I_{n2} 、 I_{n3} が、変換ユニット 11 によって三相のベクトル空間から二相のベクトル空間に変換される。次に網電流部分と循環電流部分の制御が互いに独立して行われる。適切な線形組合せによって網電流部分 i_{Na1} と網電流部分 i_{Nb1} が形成され、図に示されていない 2 つの目標値を有する制御器 12 に送られる。制御器 12 は、その出口において網電流部分のために値 u_{Na1} もしくは値 u_{Nb1} を形成する。循環電流部分の制御も同様に行われる。循環電流値 i_{kra1} および i_{krb1} が得られ、その際図 11 の下の方の制御器 12 の出口において網電圧循環部分 u_{kra1} および u_{krb1} が出力される。適切な線形組合せと三相空間への変換によって、分岐電圧中間目標値 $U_{zwgp1} \sim U_{zwgn3}$ が得られる。

20

【 0 0 5 4 】

図 11 で提案した方法とは異なり、分岐電圧中間目標値 $U_{zwgp1} \sim U_{zwgn3}$ を拡張された電流値 I_{p1} 、 I_{p2} 、 I_{p3} から、同じく互いに独立して算定することができる。そのためにそれぞれの拡張された電流値 $I_{p1} \sim I_{n3}$ について、図 12 に示すように別々の制御器 12 が備えられ、その際拡張された電流値 $I_{p1} \sim I_{n3}$ は上述したように算定されたものである。制御器 12 は例えば比例制御器である。

30

【 0 0 5 5 】

図 13 は、分岐電圧中間目標値 U_{zwgp1} 、 \dots 、 U_{zwgn3} のさらなる算定方法を示す。まず相電流測定値 I_1 、 I_2 、 I_3 と相電圧測定値 U_1 、 U_2 、 U_3 が三位相空間から二相空間に変換され、変換された各測定値がベクトル制御器 12 に送られる。このベクトル制御器 12 にはさらに有効電流目標値 I_{pref} と無効電流目標値 I_{qref} が送られる。ベクトル制御器 12 は、有効電流目標値と、測定値から算定される有効電流測定値の差、ならびに無効電流測定値と無効電流目標値の差がいずれも最小となるように、その出口で補助電流値 I_{Ha1} 、 I_{Hb1} を生成する。補助電流値 I_{Ha1} 、 I_{Hb1} は次に、図 13 に示すように拡張された分岐電流値 I_{p1} 、 \dots 、 I_{p3} と線形にて組合せられる。分岐電流値 I_{p1} 、 \dots 、 I_{n3} は既に述べたように、それによって制御器 12 が二相の分岐電圧値を生成し、また変換ユニット 11 が最終的に三相の分岐電圧中間目標値 $U_{zwgp1} \sim U_{zwgp3}$ を生成することになる目標電流値を含んでいる。

40

【 符号の説明 】

【 0 0 5 6 】

1 電流変換装置、2 a、2 b、2 c 相モジュール、3₁、3₂、3₃ 交流電圧端子、6 p 1、6 p 2、6 p 3、6 n 1、6 n 2、6 n 3 相モジュール分岐、7 サブモジ

50

ユーラ、8 エネルギー貯蔵部、9 駆動ユニット、10 電流制御ユニット、11 変換ユニット、12 制御器、13 差形成器、14 和形成器、15 中性点形成器、16 分圧器、p 正の直流電圧端子、n 負の直流電圧端子、T1、T2 電力半導体、Uc コンデンサ電圧、Uc p1、Uc p2、Uc p3、Uc n1、Uc n2、Uc n3 分岐エネルギー実際値、Up1ref、Up2ref、Up3ref、Un1ref、Un2ref、Un3ref 分岐電圧目標値

【図1】

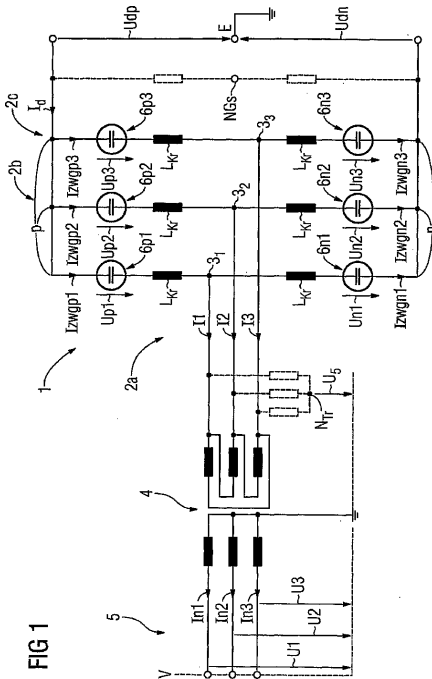
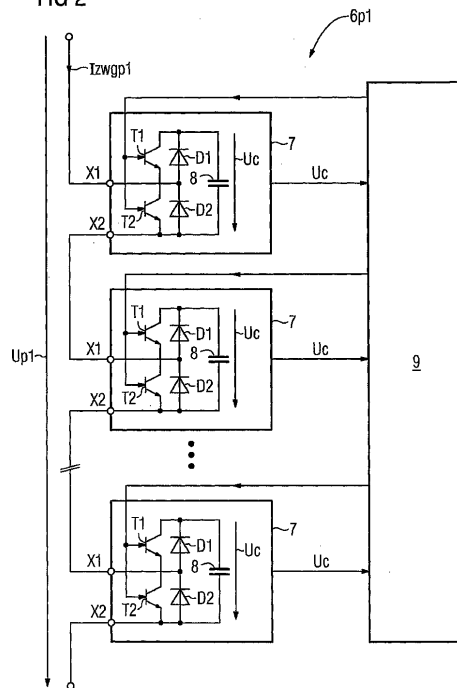
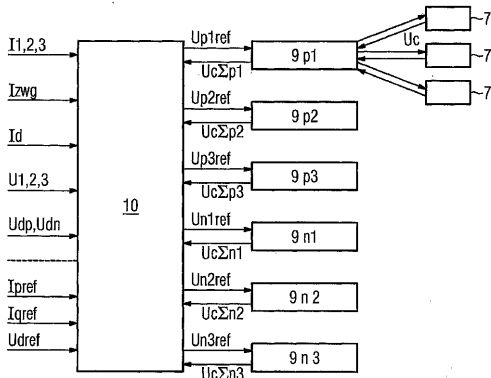


FIG 1

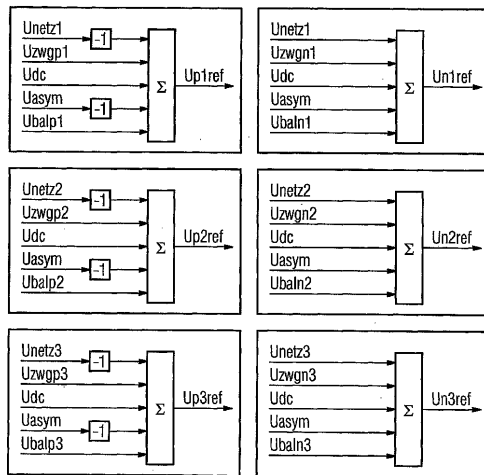
【図2】
FIG 2



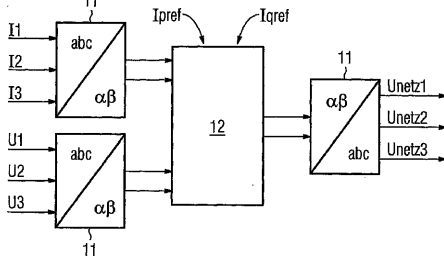
【 図 3 】
FIG 3



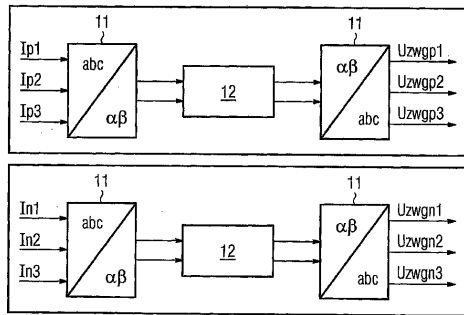
【 図 4 】
FIG 4



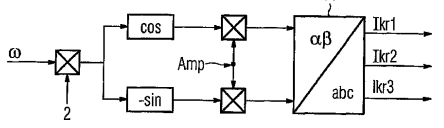
【 図 5 】
FIG 5



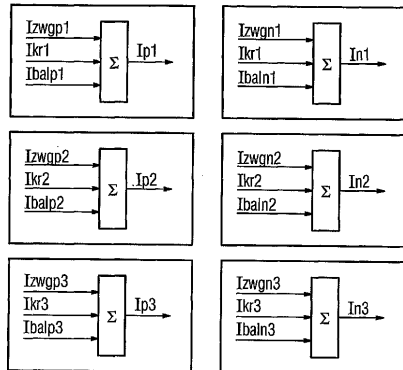
【 図 6 】
FIG 6



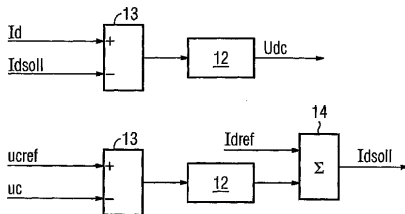
【 図 8 】
FIG 8



【 図 7 】
FIG 7



【 図 9 】
FIG 9



【 10 】

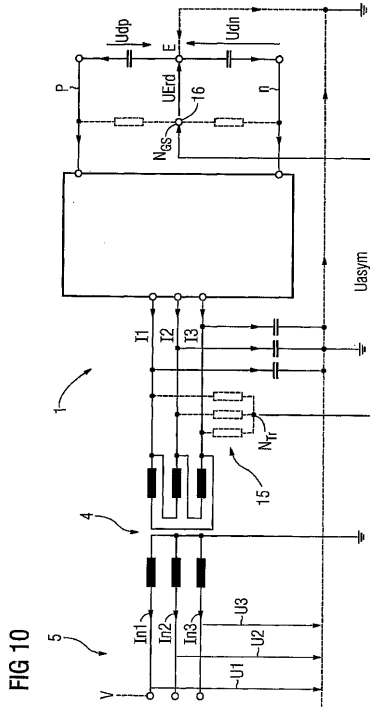


FIG 10

【 11 】

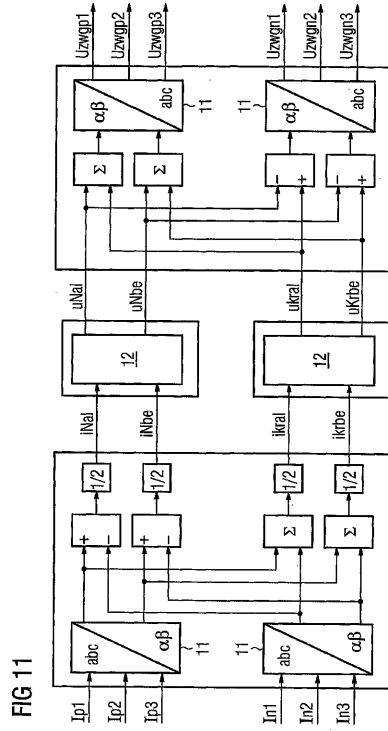
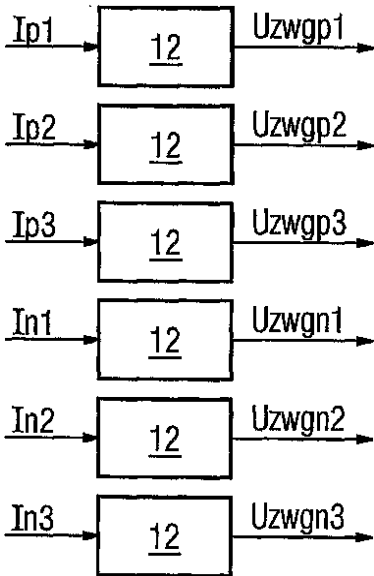


FIG 11

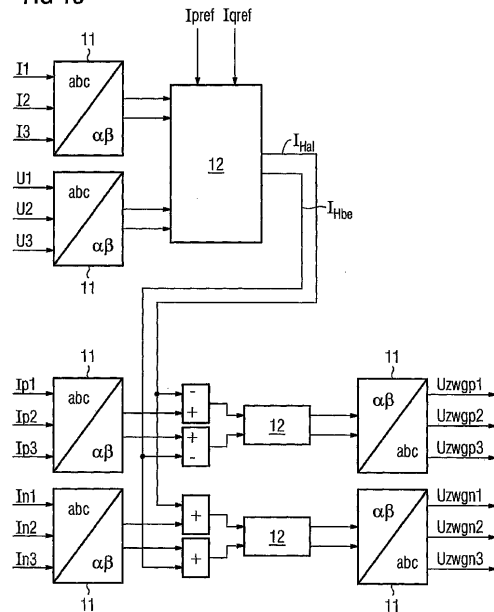
【 12 】

FIG 12



【 13 】

FIG 13



 フロントページの続き

- (72)発明者 ドムマシュク、ミケ
ドイツ連邦共和国 0 1 9 4 5 グーテボルン ハウプトシュトラッセ 2 9 アー
- (72)発明者 ドルン、イェルク
ドイツ連邦共和国 9 6 1 5 5 ブッテンハイム モーツァルトシュトラッセ 1 9
- (72)発明者 オイラー、インゴ
ドイツ連邦共和国 9 1 0 5 6 エアランゲン シュピッツヴェークシュトラッセ 6
- (72)発明者 ラング、イェルク
ドイツ連邦共和国 9 5 3 4 6 シュタットシュタイナハ クローナッヒャー シュトラッセ 1
4
- (72)発明者 トゥ、クオック ブー
ドイツ連邦共和国 9 0 5 7 4 ロスタール ジッヒャースドルファー シュトラッセ 2 8
- (72)発明者 ヴュルフリンガー、クラウス
ドイツ連邦共和国 9 0 4 1 9 ニュルンベルク ポッペンロイター シュトラッセ 4 9 アー

審査官 安食 泰秀

- (56)参考文献 A.Lesnicar, and R.Marquardt, An Innovative Modular Multilevel Converter Topology Suitable for a Wide Power Range, 2003 IEEE Bologna PowerTech Conference, イタリア, 2 0 0 3 年 6 月

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

H02M 7/12
H02M 7/48
H02M 7/483
H02M 7/5387