

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6470645号
(P6470645)

(45) 発行日 平成31年2月13日(2019.2.13)

(24) 登録日 平成31年1月25日(2019.1.25)

(51) Int.Cl.	F I					
HO2M 3/28 (2006.01)	HO2M	3/28		V		
HO2M 7/487 (2007.01)	HO2M	3/28		Y		
HO2M 7/48 (2007.01)	HO2M	7/487				
HO2M 7/06 (2006.01)	HO2M	7/48		F		
HO2M 7/10 (2006.01)	HO2M	7/06		G		
請求項の数 15 (全 18 頁) 最終頁に続く						

(21) 出願番号	特願2015-128220 (P2015-128220)	(73) 特許権者	000005108
(22) 出願日	平成27年6月26日(2015.6.26)		株式会社日立製作所
(65) 公開番号	特開2017-11964 (P2017-11964A)		東京都千代田区丸の内一丁目6番6号
(43) 公開日	平成29年1月12日(2017.1.12)	(74) 代理人	110000350
審査請求日	平成30年1月24日(2018.1.24)		ポレール特許業務法人
		(72) 発明者	栗田 直幸
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	恩田 謙一
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
		(72) 発明者	一ノ倉 理
			宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 電力変換装置および風力発電システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

直流を交流に変換するDC-AC変換手段と、該DC-AC変換手段の交流出力を受け
る変圧器と、該変圧器の交流出力を直流に変換するAC-DC変換手段で構成された電力
変換装置であって、

前記DC-AC変換手段と前記変圧器と前記AC-DC変換手段を備えた単位モジュ
ールを複数組備え、複数組の単位モジュールの前記DC-AC変換手段の入力側を並列接続
して前記AC-DC変換手段の出力側を直列接続し、

前記各单位モジュール内の前記変圧器を多巻線変圧器として、その二次側巻線ごとに前
記AC-DC変換手段を備え、

前記複数組の単位モジュール内の少なくとも前記変圧器と前記AC-DC変換手段を共
通の油浸筐体内に収納することを特徴とする電力変換装置。

【請求項2】

請求項1に記載の電力変換装置であって、

前記DC-AC変換手段を収納する第1の筐体と、前記多巻線変圧器及び前記AC-D
C変換手段を収納する第2の筐体を備え、前記第2の筐体を共通の油浸筐体として第2の
筐体内が油浸されていることを特徴とする電力変換装置。

【請求項3】

入力側のDC-AC変換手段と、出力側のAC-DC変換手段、および変圧器からなる
複数個の直流昇圧・絶縁用のモジュールを、入力側を並列、出力側を直列接続し、直流昇

圧機能を持たせた電力変換装置であって、

前記複数のモジュール内の前記変圧器と前記 A C - D C 変換手段、および前記モジュールの出力側に接続されたフィルタ用素子を単一の絶縁油タンク内に収納し、各モジュール内、モジュール間、およびモジュールとフィルタ用素子間の配線を前記絶縁油タンク内で接続し、絶縁油タンク外に入力用の交流用端子と出力用の直流ブッシングを備えることを特徴とする電力変換装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の電力変換装置であって、

前記複数のモジュールのうち、接地電位に近いモジュール内の A C - D C 変換手段を前記絶縁油タンクの外側に設置したことを特徴とする電力変換装置。

10

【請求項 5】

請求項 3 または請求項 4 に記載の電力変換装置であって、

前記各モジュール内の前記変圧器の出力側巻線を複数に分割し、個々の出力側巻線を複数の前記 A C - D C 変換手段の入力側端子に接続し、すべての前記 A C - D C 変換手段の出力側端子を直列接続したことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 6】

請求項 3 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、

前記各モジュール内の前記変圧器の入力側巻線と出力側巻線は、適切な絶縁距離を保ちつつ交互に巻回したことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 7】

20

請求項 3 から請求項 6 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、

前記各モジュール内の前記変圧器の入力側巻線および出力側巻線は断面が略矩形の導体材料により構成され、絶縁性材料により被覆されていることを特徴とする電力変換装置。

【請求項 8】

請求項 3 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、

前記各モジュール内の前記変圧器の入力側巻線と出力側巻線の終端部には、巻線構造の上側、または下側に飛び出す形状の電極が設けられ、該電極間を、適切な断面積を持つ導体材料により接続したことを特徴とする電力変換装置。

【請求項 9】

請求項 3 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、

前記各モジュール内の前記変圧器は、商用周波数以上の高周波で励磁し、前記変圧器の鉄心は、薄帯状の磁性材料を複数枚巻回して構成される巻鉄心であることを特徴とする電力変換装置。

30

【請求項 10】

請求項 3 から請求項 9 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、

前記各モジュール内の前記変圧器の鉄心は、鉄を主成分とするアモルファス構造、または微細結晶構造を有する薄帯状合金により構成されていることを特徴とする電力変換装置。

【請求項 11】

請求項 3 から請求項 10 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、

前記モジュール内の入力側の前記 D C - A C 変換手段は、スイッチング素子とダイオードからなる 2 レベルフルブリッジ型インバータ回路、または 3 レベルハーフブリッジ型インバータ回路、または 3 レベルフルブリッジ型インバータ回路、のいずれかで構成されていることを特徴とする電力変換装置。

40

【請求項 12】

請求項 3 から請求項 11 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置であって、

前記モジュール内の出力側の A C - D C 変換手段は、スイッチング素子とダイオードからなる 2 レベルフルブリッジ型コンバータ回路、または 3 レベルハーフブリッジ型コンバータ回路、または 3 レベルフルブリッジ型コンバータ回路、またはダイオードからなる整流回路、のいずれかで構成されていることを特徴とする電力変換装置。

50

【請求項 1 3】

請求項 3 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置を備えた風力発電システムであって、

前記モジュールの入力側の DC - AC 変換手段を納めた筐体と、前記単一の絶縁油タンクを、洋上に設置した風力発電タワー内に収納し、該風力発電タワーからの発電電力を直流電力に変換して出力することを特徴とする風力発電システム。

【請求項 1 4】

請求項 3 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置を備えた風力発電システムであって、

洋上に設置した複数の風力発電タワーから出力される直流電力を複数の直流遮断器を経由した後に並列接続して一箇所に集め、該直流電力を陸上へ送電することを特徴とする風力発電システム。

10

【請求項 1 5】

請求項 3 から請求項 1 2 のいずれか 1 項に記載の電力変換装置を備えた風力発電システムであって、

洋上に設置した複数の風力発電タワーから出力される直流電力を複数の直流遮断器を経由した後に洋上に設置したプラットフォームに集め、該プラットフォーム上に備えた第 2 の電力変換装置により 1 系統の直流電力に変換し陸上へ送電することを特徴とする風力発電システム。

【発明の詳細な説明】

20

【技術分野】

【0001】

本発明は、直流電力の電圧を昇圧する機能を有する電力変換装置および風力発電システムに関するものである。

【0002】

より具体的には、風力等の自然エネルギーによる発電電力を直流の形態で集電、および送電する際に用いられる電力変換装置の部品点数の削減と筐体体積の小形化、さらに変換効率の向上を実現する技術に関するものである。

【背景技術】

【0003】

30

風力等の自然エネルギーによる発電電力を直流に変換し、直流電圧を昇圧する電力変換装置 (DC - DC コンバータ) の基本構造として、図 20 に示す従来例が知られている。11 は風車、10 はギア、9 は発電機、8 は発電電力を直流に変換するパワーコンディショナである。

【0004】

DC - DC コンバータは複数個 (ここでは N と表記) の単位モジュール 1 からなり、入力側を並列接続、出力側を直列接続して構成される。各モジュール 1 は、入力側の DC - AC 変換手段 2、出力側の AC - DC 変換手段 3、および両者を接続する変圧器 4 から構成される。

【0005】

40

変圧器 4 の巻数比は 1 : n であり、入力電圧 V_{in} (一般には数 kV) を n 倍するとともに、入力側と出力側を電氣的に絶縁する機能を持つ。変換手段 2 および 3 で電圧が変化しない場合、DC - DC コンバータの出力電圧 V_{out} は、 V_{in} の $n \times N$ 倍に昇圧される。なお、AC - DC 変換手段 3 より出力される DC 電圧には一般にリップルが残留するため、フィルタリアクトル 5、およびフィルタコンデンサ 6 からなるフィルタ回路を通すことで、リップルが除去された直流電圧が得られる。

【0006】

変換手段 2、および 3 は、IGBT 等のスイッチング素子、またはダイオードで構成されるインバータ回路、または整流回路であり、変圧器 4 を励磁する AC 電圧を商用周波数以上の高周波とすることで、変圧器を小形化する技術もよく知られている。

50

【 0 0 0 7 】

以上説明した構造のDC-DCコンバータを組み合わせ、洋上に並べた複数の風力発電タワーで発電した電力を直流の状態を集電し、高圧直流(HVDC)電力に昇圧して陸上へ長距離送電する洋上風力発電システムとして、例えば特許文献1、および特許文献2が知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 8 】

【特許文献1】米国特許出願公開2013/0197704号

【特許文献2】米国特許出願公開2012/0175962号

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 9 】

総発電電力が数100MWに達する大規模な洋上風力発電システムでは、DC-DCコンバータの出力電圧 V_{out} はおおむね80kVから200kV程度となる。そのため、図20に示したDC-DCコンバータにおいて、最上段に位置するモジュール1内の出力側のAC-DC変換手段3、フィルタリアクトル5、およびフィルタコンデンサ6と接地間には同程度の電位差が発生するので、最適な絶縁対策が必要となる。また、変圧器4の入力側と出力側の巻線間にも同様の絶縁対策が必要となる。

【 0 0 1 0 】

20

また、従来のDC-DCコンバータにおいては、出力側のAC-DC変換手段3を構成する素子の耐電圧には限界があるので、変圧器4の巻数比 n を大きくすることは困難である。よって所望の変圧比を得るにはモジュールの段数 N を大きくする必要が生じ、モジュール1の中で最も大きな体積を占める変圧器4の数が増えてしまうという課題がある。

【 0 0 1 1 】

また、変圧器4を励磁するAC電圧を商用周波数以上の高周波とすることで、該変圧器の小形化が可能であるが、巻線間の近接効果により、高周波における巻線の等価電気抵抗が増加するので該変圧器の損失が増加し、DC-DCコンバータの変換効率が低下するという課題がある。

【 0 0 1 2 】

30

以上のことから本発明においては、特に風力発電用設備に適用して好適な小型化された電力変換装置および風力発電システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明は上記課題を解決する手段を提供するためになされたものであり、例えば特許請求の範囲に記載された構成を採用する。本願は上記課題を解決する複数の手段を含んでいるが、その一例を挙げるならば、直流を交流に変換するDC-AC変換手段と、DC-AC変換手段の交流出力を受ける変圧器と、変圧器の交流出力を直流に変換するAC-DC変換手段で構成された電力変換装置であって、DC-AC変換手段と変圧器とAC-DC変換手段を備えた単位モジュールを複数組備え、複数組の単位モジュールのDC-AC変換手段の入力側を並列接続してAC-DC変換手段の出力側を並列接続し、各単位モジュール内の変圧器を多巻線変圧器として、その二次側巻線ごとにAC-DC変換手段を備え、複数組の単位モジュール内の高圧回路部分を共通の油浸筐体内に収納することを特徴とする。

40

【 0 0 1 4 】

また入力側のDC-AC(直流-交流)変換手段と、出力側AC-DC(交流-直流)変換手段、および変圧器からなる複数個の直流昇圧・絶縁用のモジュールを、入力側を並列、出力側を直列接続し、直流昇圧機能を持たせた電力変換装置であって、複数のモジュール内の変圧器とAC-DC変換手段、およびモジュールの出力側に接続されたフィルタ用素子を単一の絶縁油タンク内に収納し、各モジュール内、モジュール間、およびモジュ

50

ールとフィルタ用素子間の配線を絶縁油タンク内で接続し、絶縁油タンク外に入力用の交流用端子と出力用の直流ブッシングを備えることを特徴とする。

【0015】

さらには風力発電システムとして、モジュールの入力側のDC-AC変換手段を納めた筐体と、すべてのモジュールの変圧器、および出力側のAC-DC変換手段とフィルタ用素子を納めた絶縁油タンクを、洋上に設置した風力発電タワー内に収納し、風力発電タワーからの発電電力を直流電力に変換して出力することを特徴とする。

【0016】

また風力発電システムとして、洋上に設置した複数の風力発電タワーから出力される直流電力を複数の直流遮断器を経由した後に並列接続して一箇所に集め、直流電力を陸上へ送電することを特徴とする。

10

【0017】

また風力発電システムとして、洋上に設置した複数の風力発電タワーから出力される直流電力を複数の直流遮断器を経由した後に洋上に設置したプラットフォームに集め、プラットフォーム上に備えた第2の電力変換装置により1系統の直流電力に変換し陸上へ送電することを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、DC-DCコンバータにおいて高電位となる構成要素がすべて絶縁油タンクに収納されるため、大気中で高圧配線を接続する必要がなく、部品点数、および筐体体積が低減される。

20

【0019】

さらに本発明の実施例によれば、DC-DCコンバータ内の高周波で励磁される変圧器の出力側巻線を複数に分割することで、DC-DCコンバータを構成するモジュール数が削減され、部品点数、および筐体体積が低減される。さらに、該変圧器の入力側巻線と出力側巻線を交互に巻回することにより、巻線間の近接効果が低減され、該変圧器の損失が低減し、DC-DCコンバータの変換効率が向上する効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】風力発電用設備に適用して好適な本発明の実施例1に係る電力変換装置を示す図。

30

【図2A】実施例1に係る風力発電用DC-DCコンバータの絶縁油タンク7内の構造を示した透視斜視図。

【図2B】実施例1に係る風力発電用DC-DCコンバータの絶縁油タンク7内の構造を示した正面断面図。

【図3】本発明が適用可能な風力発電タワー内の設備構成を示す縦断面図。

【図4】直流集送電風力発電システムの系統構成例を示す図。

【図5】直流集送電風力発電システムの系統構成例を示す図。

【図6】直流集送電風力発電システムの系統構成例を示す図。

【図7】DC-AC変換手段2、AC-DC変換手段3の回路方式の例を示す図。

40

【図8】DC-AC変換手段2、AC-DC変換手段3の回路方式の例を示す図。

【図9】DC-AC変換手段2、AC-DC変換手段3の回路方式の例を示す図。

【図10】DC-AC変換手段2、AC-DC変換手段3の回路方式の例を示す図。

【図11】DC-AC変換手段2、AC-DC変換手段3の回路方式の例を示す図。

【図12A】多巻線変圧器4の構成例を示す縦断面図。

【図12B】多巻線変圧器4の構成例を示す上面図。

【図13】多巻線変圧器における、1本の磁脚に巻回された巻線の展開図。

【図14】図13の巻線の結線図。

【図15】多巻線変圧器の鉄心41に巻回した巻線42の上面図。

【図16A】図15のA部における巻線構造の拡大上面図。

50

【図16B】図15のA部における巻線の断面図。

【図17】実施例4に係る風力発電タワー内の構造を示す縦断面図。

【図18】実施例5に係る風力発電用DC-DCコンバータの回路ブロック図。

【図19】実施例6に係る風力発電用DC-DCコンバータの回路ブロック図。

【図20】従来の風力発電用DC-DCコンバータの回路ブロック図。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明の複数の実施例を、図面を用いて詳細に説明する。

【実施例1】

【0022】

図1は、風力発電用設備に適用して好適な本発明の実施例1に係る電力変換装置を示す図であり、これらの設備は図3で後述するようにいずれも風力発電タワーに設置されている。

【0023】

風力発電用設備は、発電設備と電力変換設備に大別して把握することが可能であり、このうち発電設備は、同図の風車11、ギア10、発電機9、発電電力を直流に変換するパワーコンディショナ8などである。これに対し電力変換設備は、同図の残余の部分であり、いわゆるDC-DCコンバータを構成する回路部分である。本発明の実施例1に係る電力変換設備(DC-DCコンバータ)では、図1に示すようにこの部分を複数にモジュール分けして構成している。

【0024】

実施例1のDC-DCコンバータは、複数個(ここではNと表記)の単位モジュール1からなり、入力側を並列接続、出力側を直列接続して構成される。各単位モジュール1は、入力側のDC-AC変換手段2、出力側のAC-DC変換手段3、および両者を接続する多巻線変圧器4から構成されている。また複数のAC-DC変換手段3の出力側は直列接続されて、一方の直流出力端子はフィルタリアクトル5を介してブッシング22に接続される。複数のAC-DC変換手段3の出力側他方の直流出力端子はアースGNDに接続される。

【0025】

本発明の実施例1においては、DC-DCコンバータを複数個(ここではNと表記)の単位モジュール1で形成するとともに、DC-DCコンバータの低圧部分と、高圧部分を別筐体に収納して、高圧部分の筐体内を油浸構造としている。図1で低圧部分筐体が50であり、高圧部分筐体が7である。低圧部分筐体2にはDC-AC変換手段2が収納され、高圧部分筐体7には、多巻線変圧器4、AC-DC変換手段3、フィルタリアクトル5、フィルタコンデンサ6などが収納される。

【0026】

以下図1のDC-DCコンバータの各部機能について詳細に説明する。典型的な図1のDC-DCコンバータの設計においては、例えば7台の単位モジュール1(従って $N=7$)とされ、DC-AC変換手段2とAC-DC変換手段3を接続する多巻線変圧器4の二次側数は5個(従って $k=5$)である。kは単位モジュール1内のAC-DC変換手段3の個数に相当している。

【0027】

DC-DCコンバータの主要機器である多巻線変圧器4の巻数比は1:nであり、入力側のDC-AC変換手段2の入力電圧 V_{in} (一般には数kV)をn倍するとともに、入力側と出力側を電氣的に絶縁する機能を持つ。なお、多巻線変圧器4に入力されるAC電圧は、DC-AC変換手段2により商用周波数以上の高周波(例えば1kHz)とするのがよい。

【0028】

なおDC-DCコンバータの設計にあたり、以下の点が考慮されている。出力側のAC-DC変換手段3を構成する電力用半導体素子の耐電圧には限界があるので、多巻線変圧

10

20

30

40

50

器 4 の巻数比 n を大きくすると、複数の電力用半導体素子を直列接続する必要が生じる。すると複数の電力用半導体素子間の特性がばらつくので、その影響を補償するスナバ回路等の手段を追加する必要があり、AC - DC 変換手段 3 の損失が増加する。よって所望の変圧比を得るには単位モジュール 1 の段数 N を大きくとる構成が好適であるが、単位モジュール 1 の中で最も大きな体積を占める多巻線変圧器 4 の数が増えてしまう。そこで実施例 1 では、変圧器の出力側の巻線を複数個（ここでは k と表記）に分割した多巻線変圧器 4 とし、それぞれの巻線を k 個の出力側の AC - DC 変換手段 3 に接続する。

【 0 0 2 9 】

よって、DC - DC コンバータを構成する単位モジュール 1 は、1 つの入力側の DC - AC 変換手段 2 と、1 つの多巻線変圧器 4 と、 k 個の出力側の AC - DC 変換手段 3 を備える。 k 個の変換手段 3 の出力は、互いに直列接続される。

10

【 0 0 3 0 】

この結果、DC - AC 変換手段 2 および AC - DC 変換手段 3 で電圧が変化しない場合には、DC - DC コンバータの出力電圧 V_{out} は、入力電圧 V_{in} の $n \times k \times N$ 倍に昇圧されることになる。なお、AC - DC 変換手段 3 より出力される DC 電圧には一般にリップルが残留するため、フィルタリアクトル 5、およびフィルタコンデンサ 6 からなるフィルタ回路を通すことで、リップルが除去された直流電圧が得られる。

【 0 0 3 1 】

実施例 1 の DC - DC コンバータにおいて、最上段に位置するモジュール 1 内の出力側の AC - DC 変換手段 3、フィルタリアクトル 5、およびフィルタコンデンサ 6 と接地 GND 間、および多巻線変圧器 4 の入力側と出力側の巻線間には V_{out} （おおむね 80 kV ~ 200 kV 程度）に相当する電位差が発生する。このため、各構成要素間の電氣的接続を大気中で行うには、十分な絶縁距離を確保する必要があり、ブッシング等の部品点数が増え、装置の筐体体積も増えることになる。この筐体体積の問題は、風力発電用設備として狭隘な風力発電タワー内に DC - DC コンバータを設置するとき大きな障害となる。

20

【 0 0 3 2 】

そこで実施例 1 では、すべての単位モジュール 1 を構成する出力側の AC - DC 変換手段 3 と多巻線変圧器 4、およびフィルタリアクトル 5 とフィルタコンデンサ 6 を、単一の絶縁油タンク 7 に収納する。タンク 7（高圧部分筐体）には複数個の低圧 AC 端子 2 1 と、1 つの高圧直流（HVDC）を出力するブッシング 2 2 を備える。低圧 AC 端子 2 1 は、 N 個の入力側 DC - AC 変換手段 2 を収納した筐体 2（低圧部分筐体）と接続される。DC - AC 変換手段 2 には、接地電位と入力電圧 V_{in} （一般に数 kV）に相当する電位差しか発生しないので、筐体 2 内に N 個の DC - AC 変換手段 2 を収納し、相互の配線は大気中で接続すればよい。

30

【 0 0 3 3 】

図 2 は、本発明の実施例 1 に係る風力発電用 DC - DC コンバータの絶縁油タンク 7 内の構造を示した透視斜視図（図 2 A）および正面断面図（図 2 B）である。ここでは一例として、単位モジュール 1 の数 N が 7、出力側の AC - DC 変換手段 3 の数 k が 5 の場合を示しているが、それらの数を限定するものではない。また、実施例 1 では絶縁油タンク 7 の内部に隔壁 7 1 を設け、隔壁 7 1 の下部に鉄心 4 1 と巻線 4 2 から構成される多巻線変圧器 4 を 4 つ、上部に 3 つを備えた形態を示している。各多巻線変圧器 4 の手前側には、出力側 AC - DC 変換手段 3 が単位モジュール 1 台当り 5 個ずつ配設され、タンク 7 内には合計 35 個の AC - DC 変換手段 3 が備えられる。隔壁 7 1 の上部にはフィルタリアクトル 5 とフィルタコンデンサ 6 を備える領域が設けられ、絶縁油タンク 7 の外部に設けた高圧 DC ブッシング 2 2 に接続される。また、タンク 7 の上部には単位モジュール 1 の数に相当する低圧 AC 端子 2 1 が設けられる。なおこれらの図において、7 a は油面を示しており、以上説明した構成要素はすべて、絶縁油内に浸される。

40

【 0 0 3 4 】

図 3 は、本発明が適用可能な風力発電タワー内の設備構成を示す縦断面図である。同図

50

において、この左側は風力発電タワー 12 の全体の縦断面図を示しており、右側は風力発電タワー 12 の海水面近傍の拡大縦断面図を示している。

【 0 0 3 5 】

この図で、11 は風車、11 a はロータ、10 はギア、9 は発電機であり、ギア 10、発電機 9 を収納したナセル 11 b が風力発電タワー 12 の上部に水平方向に回転可能な状態で備えられる。

【 0 0 3 6 】

風力発電タワー 12 の下部構造が右側に拡大表示されているように、風力発電タワー下部にはパワーコンディショナ 8 が設けられ、パワーコンディショナ 8 において風力発電タワー上部の発電機 9 からの AC 出力電力が低圧（一般に数 kV）の DC 電力に変換される。さらにパワーコンディショナ 8 からの DC 電力は、低圧 DC ケーブル 13 で DC - DC コンバータの入力側 DC - AC 変換手段を収納した筐体 50（低圧部分筐体）に入力される。そして商用周波数以上の周波数を持つ AC に変換された低圧電力は、低圧 AC ケーブル 14 で絶縁油タンク 7（高圧部分筐体）に入力される。低圧 AC 電力は、タンク 7 内に設けられた多巻線変圧器 4 と出力側 AC - DC 変換手段 3 により高圧 DC（HVDC）電力に変換され、HVDC ブッシング 22 を経由して、HVDC ケーブル 15 により出力される。

10

【 0 0 3 7 】

図 3 では、1 つの風力発電タワー 12 における設備構成を示したが、実際の設備では複数の風力発電タワー 12 により直流集送電風力発電システムを構成することが多い。図 4 は、複数の風力発電タワー 12 からの出力を、直流集送電風力発電システムとして纏め、外部出力する場合の接続構成例を示している。

20

【 0 0 3 8 】

図 4 に示す直流集送電風力発電システム例では、洋上の複数の風力発電タワー 12 内の絶縁油タンク 7（高圧部分筐体）から出力される HVDC 電力は、直流遮断器 17 を経由して HVDC ケーブル 15 により並列に接続され、HVDC 送電ケーブル 15 a に束ねられ、陸上へ長距離送電される。陸上に送電された HVDC 電力は、HVDC - 商用 AC 変換手段 18 により高圧商用 AC 出力 19 に変換され、電力系統に接続される。

【 0 0 3 9 】

次に、本発明の DC - DC コンバータを構成する入力側の DC - AC 変換手段 2、および出力側 AC - DC 変換手段 3 の回路方式の例を、図 7 から図 11 を用いて説明する。これらの例は実施例 1 を含め、後述するすべての実施例に適用可能である。

30

【 0 0 4 0 】

図 7 は、入力側 DC - AC 変換手段 2 を 2 レベル型フルブリッジインバータ回路で、出力側 AC - DC 変換手段 3 を整流回路で構成した例である。入力側 DC - AC 変換手段 2 は、4 組の IGBT 等のスイッチング素子 23 と負荷転流ダイオード 24 と、1 つの入力コンデンサ 26 がフルブリッジ回路を構成する。多巻線変圧器 4 には、振幅が V_{in} で、商用周波数以上の周波数を持つ AC 電圧が入力される。該 AC 電圧は、IGBT 等のスイッチング素子 23 のゲート端子に入力される信号を制御することにより、任意のデューティ比を持つ矩形波や、パルス幅変調波（PWM 波）等の時間波形を持つ。多巻線変圧器 4 の k 分割された出力側巻線より出力される AC 電圧は、4 つの整流ダイオード 31 と、1 つの出力コンデンサ 32 からなる k 組の整流回路が直列接続された、出力側 AC - DC 変換手段 3 に入力され、 V_{in} の $n \times k$ 倍に昇圧された DC 電圧に変換される。

40

【 0 0 4 1 】

図 8 は、入力側 DC - AC 変換手段 2 を 3 レベル型ハーフブリッジインバータ回路で、出力側 AC - DC 変換手段 3 を整流回路で構成した例である。入力側 DC - AC 変換手段 2 は、4 組の IGBT 等のスイッチング素子 23 と負荷転流ダイオード 24、2 つのクラップダイオード 25、および 2 つの入力コンデンサ 26 がハーフブリッジ回路を構成する。多巻線変圧器 4 には、振幅が V_{in} の $1/2$ で、商用周波数以上の周波数を持つ AC 電圧が入力される。該 AC 電圧は、IGBT 等のスイッチング素子 23 のゲート端子に入力

50

される信号を制御することにより、任意のデューティ比を持つ矩形波や、パルス幅変調波（PWM波）等の時間波形を持つ。多巻線変圧器4のk分割された出力側巻線より出力されるAC電圧は、4つの整流ダイオード31と、1つの出力コンデンサ32からなるk組の整流回路が直列接続された、出力側AC-DC変換手段3にされ、 V_{in} の $n \times k / 2$ 倍に昇圧されたDC電圧に変換される。

【0042】

図9は、入力側DC-AC変換手段2を3レベル型フルブリッジインバータ回路で、出力側AC-DC変換手段3を整流回路で構成した例である。入力側DC-AC変換手段2は、8組のIGBT等のスイッチング素子23と負荷転流ダイオード24、4つのクランプダイオード25、および2つの入力コンデンサ26が3レベルフルブリッジ回路を構成する。多巻線変圧器4には、振幅が V_{in} で、商用周波数以上の周波数を持つAC電圧がされる。該AC電圧は、IGBT等のスイッチング素子23のゲート端子にされる信号を制御することにより、任意のデューティ比を持つ矩形波や、パルス幅変調波（PWM波）等の時間波形を持つ。多巻線変圧器4のk分割された出力側巻線より出力されるAC電圧は、4つの整流ダイオード31と、1つの出力コンデンサ32からなるk組の整流回路が直列接続された、出力側AC-DC変換手段3にされ、 V_{in} の $n \times k$ 倍に昇圧されたDC電圧に変換される。

【0043】

図10は、入力側DC-AC変換手段2と、出力側AC-DC変換手段3が、ともに2レベル型フルブリッジインバータ回路、およびコンバータ回路で構成した例であり、それぞれ4組のIGBT等のスイッチング素子23と負荷転流ダイオード24と、1つの入力コンデンサ26、または1つの出力コンデンサ32がフルブリッジ回路を構成する。多巻線変圧器4には、振幅が V_{in} で、商用周波数以上の周波数を持つAC電圧がされる。該AC電圧は、入力側変換手段2のIGBT等のスイッチング素子23のゲート端子にされる信号を制御することにより、任意のデューティ比を持つ矩形波や、パルス幅変調波（PWM波）等の時間波形を持つ。多巻線変圧器4のk分割された出力側巻線より出力されるAC電圧は、k組のフルブリッジ型コンバータ回路が直列接続された、出力側AC-DC変換手段3にされ、 V_{in} の $n \times k$ 倍に昇圧されたDC電圧に変換される。出力側AC-DC変換手段3を構成するIGBT等のスイッチング素子23のゲート端子にされる信号を制御することにより、k組の回路間の位相を調整し、よりリップルの少ないDC電圧に変換することも可能になる。

【0044】

図11は、入力側DC-AC変換手段2と、出力側AC-DC変換手段3が、ともに3レベル型ハーフブリッジインバータ回路、およびコンバータ回路で構成した例であり、それぞれ4組のIGBT等のスイッチング素子23と負荷転流ダイオード24、2つのクランプダイオード25、2つの入力コンデンサ26、または2つの出力コンデンサ32がハーフブリッジ回路を構成する。多巻線変圧器4には、振幅が V_{in} の $1/2$ で、商用周波数以上の周波数を持つAC電圧がされる。該AC電圧は、入力側変換手段2のIGBT等のスイッチング素子23のゲート端子にされる信号を制御することにより、任意のデューティ比を持つ矩形波や、パルス幅変調波（PWM波）等の時間波形を持つ。多巻線変圧器4のk分割された出力側巻線より出力されるAC電圧は、k組のハーフブリッジ型コンバータ回路が直列接続された、出力側AC-DC変換手段3にされ、 V_{in} の $n \times k$ 倍に昇圧されたDC電圧に変換される。出力側AC-DC変換手段3を構成するIGBT等のスイッチング素子23のゲート端子にされる信号を制御することにより、k組の回路間の位相を調整し、よりリップルの少ないDC電圧に変換することも可能になる。

【0045】

以上、図7から図11に示した回路の組み合わせはこれらに限定するものではない。図に示した回路の異なる組み合わせ、または本発明で示していないインバータ、コンバータ、整流回路の任意の組み合わせによっても、本発明が提供する効果は同様に得られる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

次に、本発明のDC-DCコンバータを構成する多巻線変圧器4の例を、図12から図16を用いて説明する。ここで説明する例は本実施例を含め、後述するすべての実施例に適用可能である。

【 0 0 4 7 】

図12は、本発明のDC-DCコンバータ内の多巻線変圧器4の構造を示す縦断面図(図12A)および上面図(図12B)である。多巻線変圧器4は、単相鉄心41と、2箇所磁脚に2つに分けて巻回された巻線42から構成される。鉄心41は、一端が開放された薄帯状の磁性材料を複数枚積層し、巻線42を挿入した後に開放部を閉じた、ラップ接合部41aを持つ巻鉄心により構成される。薄帯状磁性材料は、商用周波数以上の高周波における磁気損失(鉄損)が小さい、鉄を主成分とするアモルファス合金等を用いるのが好適である。

10

【 0 0 4 8 】

鉄心41の磁脚部に巻回された巻線42は、板状の巻線材料から構成される。入力側(1次)巻線42aと、図の縦方向にk分割された、n組の出力側(2次)巻線42bが、交互に巻回される。nは入力側巻線に対する出力側巻線の巻数比であり、本図ではわかりやすくするため、n=2の場合を示している。入力側巻線の巻数をTとすると、1箇所の磁脚には上記の構造を持つ巻線群がT/2回巻回される。このように、多巻線変圧器4の入力側巻線42aと出力側巻線42bを交互に巻回することにより、巻線間の近接効果が低減され、変圧器の損失が低減し、DC-DCコンバータの変換効率が向上する。

20

【 0 0 4 9 】

図13は、本発明のDC-DCコンバータ内の多巻線変圧器における、1本の磁脚に巻回された巻線の展開図、図14は、該巻線の結線図である。本図ではわかりやすくするため、k=3、n=2の場合を示している。板状の入力側巻線42aと出力側巻線42bは、巻き始めと巻き終わりの終端部に、巻線構造の上側、または下側に飛び出す形状の電極部が設けられる。図13に示した各電極に付した記号は、図14に示した各記号に対応する。同図に示した第2脚の結線は、第1脚と対称になるように施され、第1脚と第2脚に巻回した巻線の各電極は、適切な断面積を持つ導体材料により接続される。

【 0 0 5 0 】

図15は、本発明のDC-DCコンバータ内の多巻線変圧器の鉄心41に巻回した巻線42の上面図であり、巻線電極の配置、および相互の接続を示している。実線で示した電極は巻線の上側に、破線で示した電極は巻線の下側に飛び出していることを示す。入力側巻線の電極P-1、およびP-2と、出力側巻線の電極群S-1、およびS-2は、互いに鉄心41をはさんだ反対側に設けられ、十分な絶縁距離が確保される。また、出力側巻線のn=1に相当する巻線の巻き終わりの電極群S11b、S12b、S13bと、n=2に相当する巻線の巻き始めの電極群S21a、S22a、S23aは、巻線の下側で、適切な断面積を持つ導体材料により接続される。

30

【 0 0 5 1 】

図16は、図15中に示したA部における巻線構造の拡大上面図(図16A)、および巻線の断面図(図16B)である。鉄心41の直近には入力側巻線42aが配置され、その外側に、巻数比n(ここではn=2)に等しい枚数の出力側巻線42bと、入力側巻線42aが交互に巻回される。巻線42aと42bの間には、最大でDC-DCコンバータの出力電圧Vout(一般におおむね80kV~200kV)と入力電圧Vin(一般に数kV)の差に相当する電位差が発生するため、両者を適切な絶縁距離に保つための絶縁材43が設けられる。絶縁材は断面が略矩形の棒状材とし、一定の間隔を保ちつつ巻線42aと42bの間に配設し、相互の間隙を絶縁油が循環する構造とするのが好適である。

40

【 0 0 5 2 】

また、図16Bに示したように、巻線42a、および42bは、適切な厚さの絶縁紙44で被覆を施した上で、磁脚に巻回するのが好適である。該絶縁紙が持つ耐電圧特性と、絶縁材43により確保される絶縁油中での空間距離の組み合わせにより、巻線42aと巻

50

線 4 2 b 間の絶縁耐電圧が得られる。

【 0 0 5 3 】

本発明では、風力発電用設備に適用して好適な電力変換装置（DC - DCコンバータ）を得ることを目的としており、そのために第 1 段階の対策として複数個（ここでは N と表記）の単位モジュール 1 で構成し、DC - AC 変換手段 2 と AC - DC 変換手段 3 間を多巻線変圧器 4 で接続した。これにより、図 2 0 に示した従来構成に比較して、体積を 2 0 % 程度に低減が可能である。さらに第 2 段階の対策として DC - DC コンバータの高圧部分を筐体内に油浸としたことで、最終的に体積を 1 0 % 程度まで低減することができた。

【 実施例 2 】

【 0 0 5 4 】

図 4 に直流集送電風力発電システムの事例を挙げて説明したが、この直流集送電風力発電システムは図 5 のように構成されてもよい。

【 0 0 5 5 】

図 5 は、本発明の実施例 2 に係る直流集送電風力発電システムの系統図である。複数の風力発電タワー 1 2 の内部には図 3 に示した、実施例 1 と同一の機器要素が備えられ、HVDC ケーブル 1 5 を経由して HVDC 電力が出力される。各風力発電タワー 1 2 からの HVDC 電力は、洋上に設けられた洋上プラットフォーム 1 6 に集められ、洋上プラットフォーム上に配設された直流遮断器 1 7 を経由して並列に接続され、HVDC 送電ケーブル 1 5 a に束ねられ、陸上へ長距離送電される。陸上に送電された HVDC 電力は、HVDC - 商用 AC 変換手段 1 8 により高圧商用 AC 出力 1 9 に変換され、電力系統に接続される。

【 実施例 3 】

【 0 0 5 6 】

図 6 は、本発明の実施例 3 に係る直流集送電風力発電システムの系統図である。実施例 3 では、複数の風力発電タワー 1 2 より出力される DC 電力は中電圧（MVDC、一般におおむね 1 0 kV ~ 6 0 kV 程度）である。個々の風力発電タワー 1 2 内には、図 3 に示した構成による DC - DC コンバータが備えられ、昇圧比を実施例 1、および実施例 2 より小さくすることで、MVDC 電力を出力する構成としてもよい。MVDC 電力は、MVDC ケーブル 1 5 b を経由して、洋上プラットフォーム 1 6 に集められる。そして直流遮断器 1 7 を経由し、筐体 5 0 内に備えられた個々の入力側 DC - AC 変換手段 2 に入力される。筐体 5 0 から出力される AC 電力は、複数の変圧器、複数の出力側 AC - DC 変換手段、およびフィルタ素子を収納した絶縁油タンク 7 に入力されて HVDC 電力に変換され、HVDC 送電ケーブル 1 5 a により陸上へ長距離送電される。陸上に送電された HVDC 電力は、HVDC - 商用 AC 変換手段 1 8 により高圧商用 AC 出力 1 9 に変換され、電力系統に接続される。

【 実施例 4 】

【 0 0 5 7 】

図 1 7 は、本発明の実施例 4 に係る風力発電タワー 1 2 の海水面近傍の構造を示す縦断面図である。風力発電タワー 1 2 に備えられた発電機 9 からの AC 出力電力は、パワーコンディショナ 8 により低圧（一般に数 kV）DC 電力に変換される。パワーコンディショナ 8 からの DC 電力は、DC - DC コンバータの入力側 DC - AC 変換手段を収納した筐体 5 0 に入力されるが、実施例 4 ではパワーコンディショナ 8 と一体型の筐体 5 0 とする。

【 0 0 5 8 】

そして商用周波数以上の周波数を持つ AC に変換された低圧電力は、低圧 AC ケーブル 1 4 で絶縁油タンク 7 に入力される。低圧 AC 電力は、絶縁油タンク 7 内に設けられた多巻線変圧器 4 と出力側 AC - DC 変換手段 3 により高圧 DC（HVDC）電力に変換され、HVDC ブッシング 2 2 を経由して、HVDC ケーブル 1 5 により出力される。本実施例に示すような構成とすることで、風力発電タワー 1 2 内の低圧系統と高圧系統は独立した筐体内に収納されるため、両筐体を異なるフロアに配置することにより、タワー内の空

10

20

30

40

50

間をより効果的に使うことができ、機器のメンテナンス上の安全性も高まる。

【実施例 5】

【0059】

図18は、本発明の実施例5に係る風力発電用DC-DCコンバータの回路ブロック図である。図1に示した、実施例1における回路ブロック図と共通する記号、および機能の詳細な説明は省略する。実施例5では、パワーコンディショナ8から出力される低圧DC電圧は+Vinと-Vinであり、それぞれの電圧が複数の入力側DC-AC変換手段2を収納した筐体50に入力される。そして実施例1と同一の構成のDC-DCコンバータ1により、高圧DC(HVDC)電圧+Vout、および-Voutに変換される。DC-DC-コンバータを構成する複数の多巻線変圧器4と複数の出力側AC-DC変換手段3、およびフィルタリアクトル5とフィルタコンデンサ6は単一の絶縁油タンク7に収納される。絶縁油タンクには複数の低圧AC端子21と、+Voutと-VoutのHVDC電力を出力するための2つのブッシング22、および22bを備える。

10

【実施例 6】

【0060】

図19は、本発明の実施例6に係る風力発電用DC-DCコンバータの回路ブロック図である。図1に示した実施例1における回路ブロック図と共通する記号、および機能の詳細な説明は省略する。本実施例では、DC-DCコンバータを構成するすべての多巻線変圧器4と、上段に位置する任意の数の出力側AC-DC変換手段3、およびフィルタリアクトル5とフィルタコンデンサ6を単一の絶縁油タンク7に収納する。下段に位置する出力側AC-DC変換手段3と接地間に発生する電位はHVDCに比べて十分低いいため、絶縁油タンク7内に収納せず、大気中に備えても問題なく機能する。DC-DCコンバータを構成する一部の出力側AC-DC変換手段3を大気中に備えることで、絶縁油タンク内に収納した該変換手段が故障する確率が減り、交換の手間を減らすことができる。

20

【0061】

以上、本願で例示した各実施例は、単独で用いてもよいし、複数の実施例を組み合わせで適用しても、本発明が示す効果は同様に得られる。

【符号の説明】

【0062】

- 1：DC-DCコンバータの単位モジュール
- 2：DC-AC変換手段
- 3：AC-DC変換手段
- 4：多巻線変圧器
- 41：鉄心
- 41a：ラップ接合部
- 42：巻線
- 42a：入力側(1次)巻線
- 42b：出力側(2次)巻線
- 43：絶縁物
- 44：絶縁紙
- 5：フィルタリアクトル
- 6：フィルタコンデンサ
- 7：絶縁油タンク
- 71：絶縁油タンク内の隔壁
- 7a：絶縁油タンク内の油面
- 8：パワーコンディショナ
- 9：発電機
- 10：ギア
- 11：風車
- 11a：ロータ

30

40

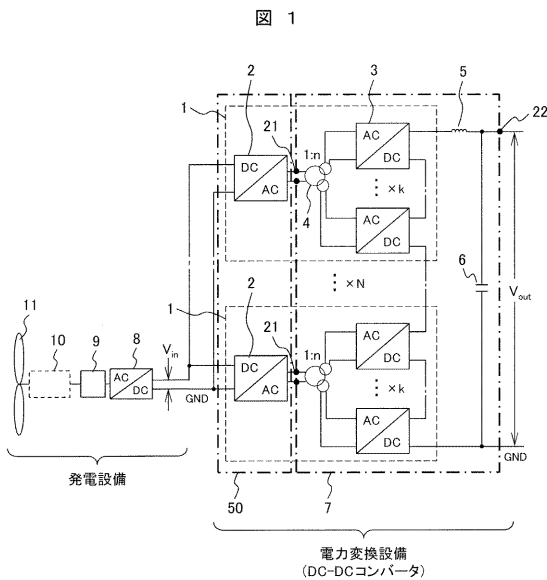
50

- 1 1 b : ナセル
- 1 2 : 風力発電タワー
- 1 3 : 低圧DCケーブル
- 1 4 : 低圧ACケーブル
- 1 5 : 高圧DC (HVDC) ケーブル
- 1 5 a : HVDC送電ケーブル
- 1 5 b : 中圧DC (MVDC) ケーブル
- 1 6 : 洋上プラットフォーム
- 1 7 : 直流遮断器
- 1 8 : HVDC - 高圧商用AC変換手段
- 1 9 : 高圧商用AC出力
- 2 1 : 低圧AC端子
- 2 2 : 高圧DC (HVDC) プッシング
- 2 2 b : 負極HVDCプッシング
- 2 3 : スwitching素子
- 2 4 : 負荷転流ダイオード
- 2 5 : クランプダイオード
- 2 6 : 入力コンデンサ
- 3 1 : 整流ダイオード
- 3 2 : 出力コンデンサ
- 5 0 : 複数のDC - AC変換手段を納めた筐体
- N : DC - DCコンバータのモジュール数
- n : 多巻線変圧器の入力側巻線に対する出力側巻線の巻数比
- k : 多巻線変圧器の出力側巻線の分割数
- T : 多巻線変圧器の入力側巻線の巻数

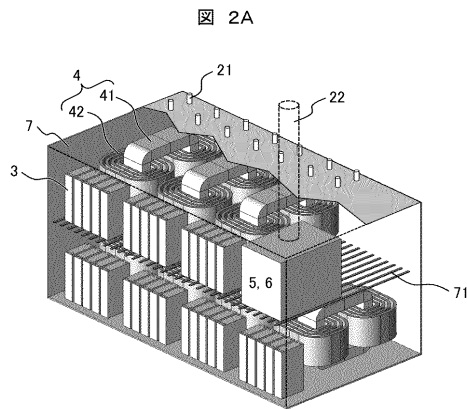
10

20

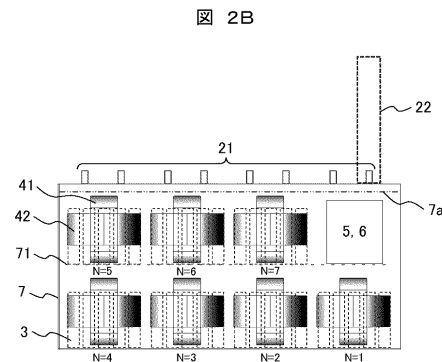
【図1】



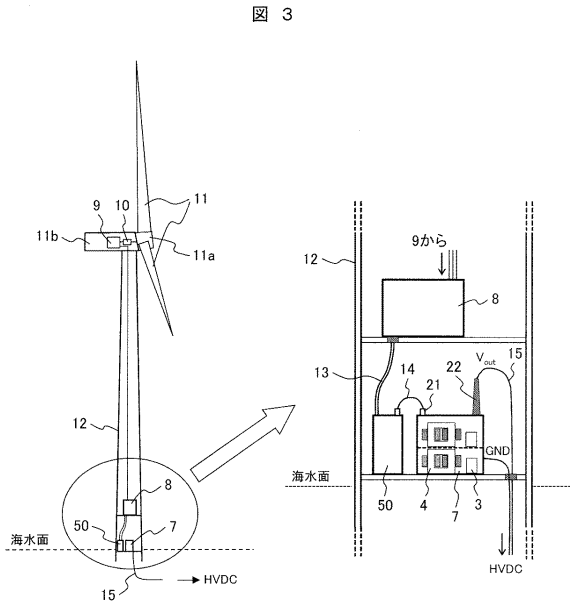
【図2A】



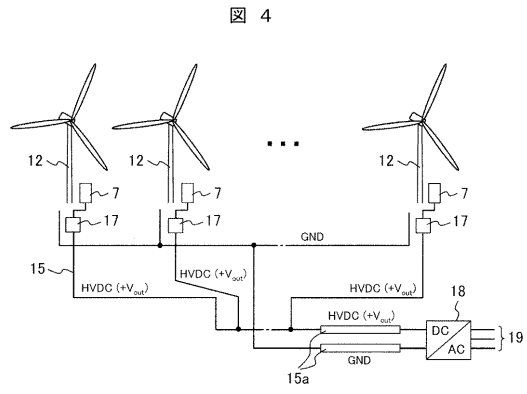
【図2B】



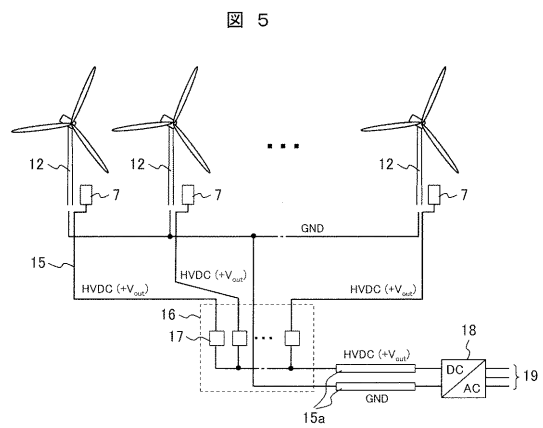
【図3】



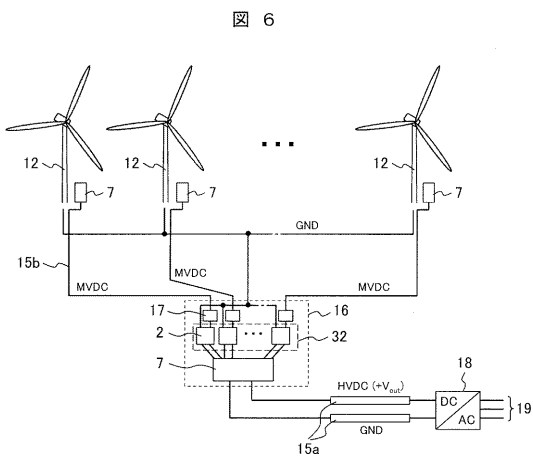
【図4】



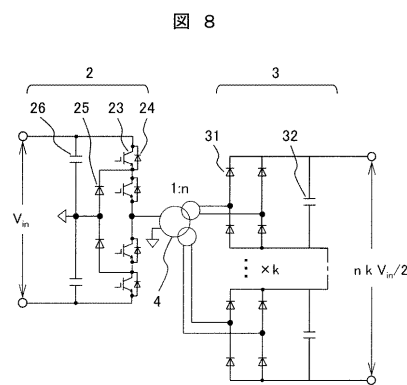
【図5】



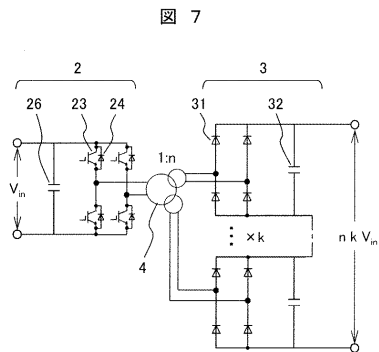
【図6】



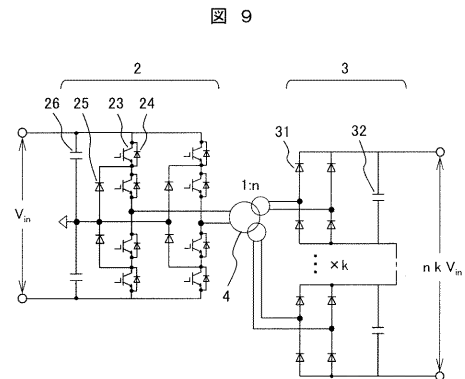
【図8】



【図7】

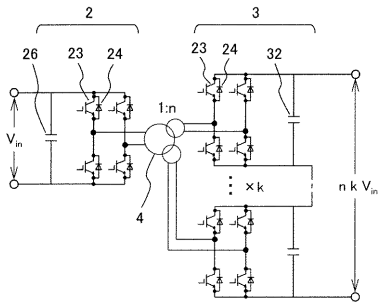


【図9】



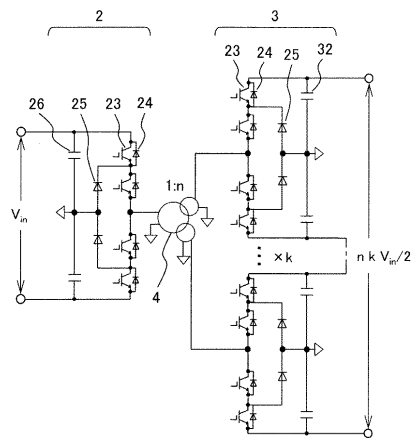
【図10】

図10



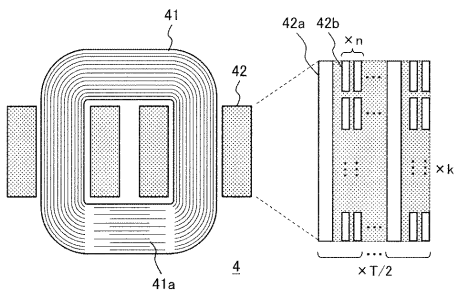
【図11】

図11



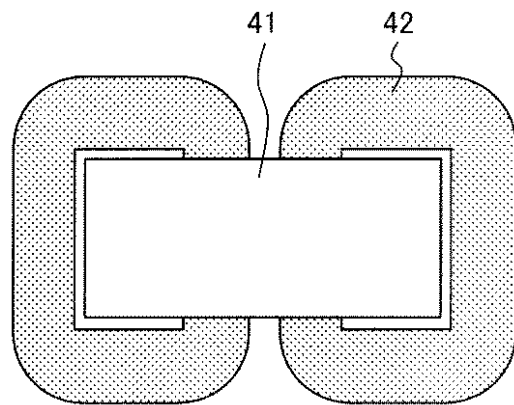
【図12A】

図12A



【図12B】

図12B



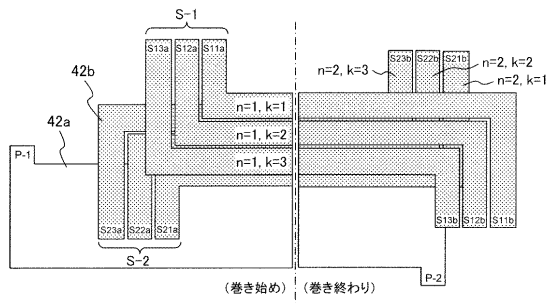
第1脚

第2脚

4

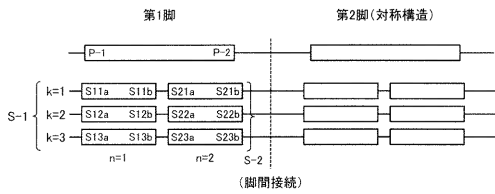
【図13】

図13



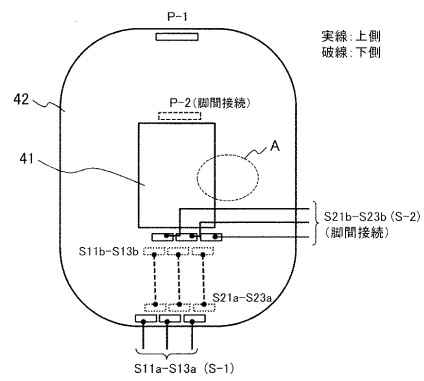
【図14】

図14



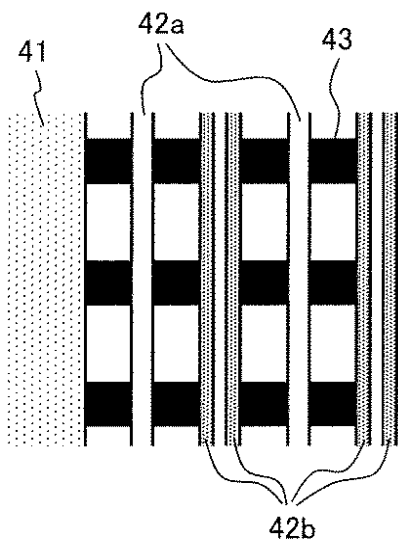
【図15】

図15



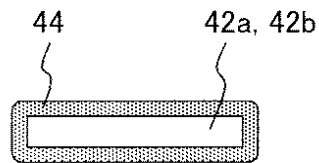
【図16A】

図16A



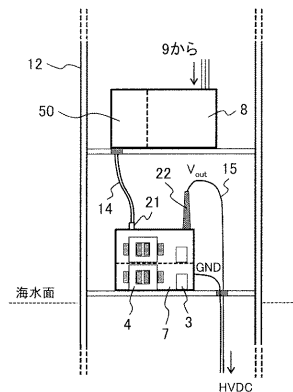
【図16B】

図16B

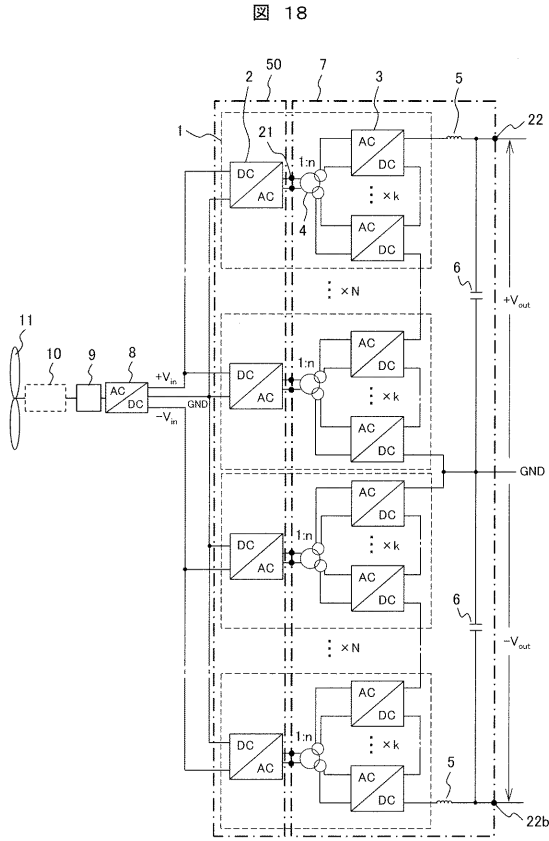


【図17】

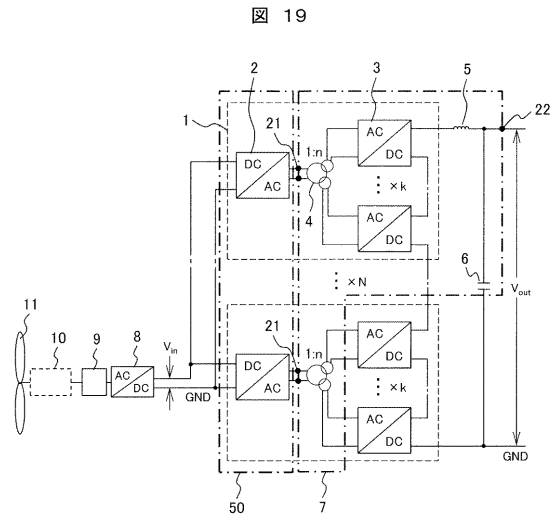
図17



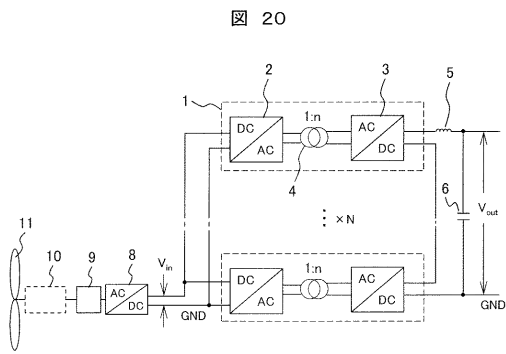
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
H 0 2 M	7/12	(2006.01)	H 0 2 M	7/10	A
H 0 2 J	1/00	(2006.01)	H 0 2 M	7/12	B
			H 0 2 J	1/00	3 0 1

(72)発明者 中村 健二
宮城県仙台市青葉区片平二丁目1番1号 国立大学法人東北大学内

審査官 柳下 勝幸

(56)参考文献 特開2006-081353(JP,A)
特開2002-199711(JP,A)
特開2008-098072(JP,A)
特開2008-011632(JP,A)
実開平04-116118(JP,U)
特開2013-254827(JP,A)
特表2002-501678(JP,A)
米国特許出願公開第2013/0197704(US,A1)
米国特許出願公開第2012/0175962(US,A1)
特表2015-504250(JP,A)
米国特許出願公開第2010/0231342(US,A1)
国際公開第2014/033073(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 2 M	1 / 0 0	-	1 1 / 0 0
H 0 2 J	1 / 0 0		
H 0 1 F	2 7 / 0 0		