

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-295626

(P2005-295626A)

(43) 公開日 平成17年10月20日(2005.10.20)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H02P 9/00  
H02P 9/04  
H02P 9/08  
H02P 9/10

F I

H02P 9/00 A  
H02P 9/00 F  
H02P 9/04 M  
H02P 9/08 A  
H02P 9/10 B

テーマコード (参考)

5H590

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2004-104161 (P2004-104161)

(22) 出願日 平成16年3月31日 (2004.3.31)

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(74) 代理人 100086405

弁理士 河宮 治

(74) 代理人 100098280

弁理士 石野 正弘

(74) 代理人 100125874

弁理士 川端 純市

(72) 発明者 吉田 誠

大阪府門真市大字門真1006番地 松下  
電器産業株式会社内

(72) 発明者 近藤 康宏

大阪府門真市大字門真1006番地 松下  
電器産業株式会社内

最終頁に続く

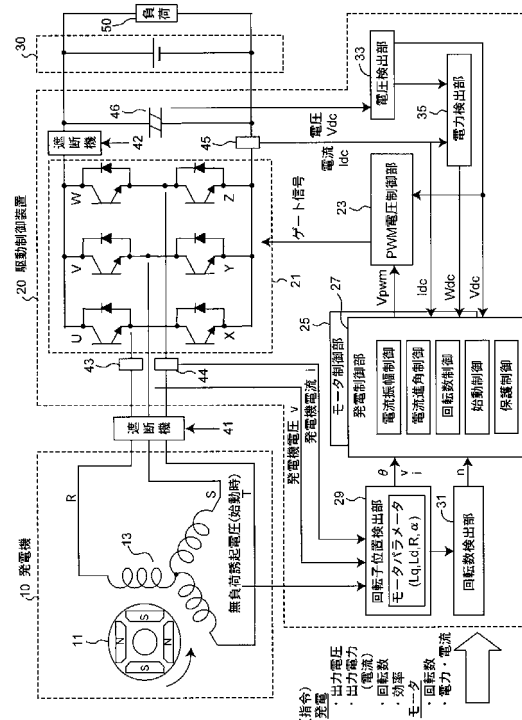
(54) 【発明の名称】 発電機の駆動制御装置

(57) 【要約】

【課題】 小型化、高信頼性を実現しつつ、発電出力についての種々の制御を可能とする、発電機の駆動制御装置を提供する。

【解決手段】 駆動制御装置20は永久磁石回転子(11)と固定子(13)を含む発電機(10)を位置センサレスで駆動し、複数の整流ダイオードと複数のスイッチング素子を含み、発電機で発電された交流電圧を直流電圧に変換するインバータ(21)と、インバータのスイッチング素子のオン・オフを制御して発電出力を制御する制御部(25、27)とを備える。制御部(25、27)は固定子巻線の誘起電圧に基づいて回転子位置を検出し、検出した回転子位置に応じて固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御することにより発電出力を制御する。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

永久磁石が埋込まれた回転子と固定子を含む発電機を位置センサレス方式で駆動する装置であって、

複数の整流ダイオードと複数のスイッチング素子を含み、前記発電機で発電された交流電力を直流電力に変換する発電用インバータと、

前記インバータのスイッチング素子のオン・オフを制御して発電出力を制御する制御手段とを備え、

前記制御手段は前記固定子巻線の誘起電圧に基づいて前記回転子位置を検出し、該検出した回転子位置に応じて固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅の少なくともいずれかを制御することにより、出力電圧及び出力電流の少なくともいずれかを制御することを特徴とする発電機の駆動制御装置。 10

## 【請求項 2】

前記制御手段は、発電機の始動時に用いる動作モードである始動モードと、定常運転状態において発電機の固定子巻線の誘起電圧に基づいて回転子位置を検出しながら発電機を運転する通常動作モードとを有することを特徴とする請求項 1 記載の発電機の駆動制御装置。

## 【請求項 3】

前記制御手段は、前記始動モードにおいて無負荷時の誘起電圧を検出し、該検出した誘起電圧に基づいて初期位置を検出し、その初期位置検出後に前記通常動作モードに移行することを特徴とする請求項 2 記載の発電機の駆動制御装置。 20

## 【請求項 4】

前記制御手段は、前記始動モードにおいて無負荷時の誘起電圧を検出し、該検出した誘起電圧に基づいて回転数を検出し、その回転数検出後に前記通常動作モードに移行することを特徴とする請求項 2 記載の発電機の駆動制御装置。

## 【請求項 5】

前記制御手段は、前記始動モードから通常モードに移行する間、電流振幅を略ゼロに制御して発電を抑制することを特徴とする請求項 2 記載の発電機の駆動制御装置。

## 【請求項 6】

前記制御手段は、前記始動モードにおいて、電流進角を制御して発電を抑制することを特徴とする請求項 2 記載の発電機の駆動制御装置。 30

## 【請求項 7】

前記制御手段は、前記インバータに流れる電流または前記インバータの出力電圧を検出し、過電流または過電圧が検出されたときに、前記インバータを発電機または負荷から切り離すことを特徴とする請求項 1 記載の発電機の駆動制御装置。

## 【請求項 8】

前記制御手段は前記発電機の故障を検出し、故障が検出されたときに発電を停止させることを特徴とする請求項 1 記載の発電機の駆動制御装置。

## 【請求項 9】

前記発電機の故障は、発電機の回転速度ムラ及び電流波形のうちの少なくともいずれかで検出することを特徴とする請求項 8 記載の発電機の駆動制御装置。 40

## 【請求項 10】

前記発電機は風力を動力源として発電することを特徴とする請求項 1 記載の発電機の駆動制御装置。

## 【請求項 11】

前記制御手段は、前記発電機の始動時に前記発電機を力行動作させて、前記発電機の始動時の回転を補助することを特徴とする請求項 10 記載の発電機の駆動制御装置。

## 【請求項 12】

前記制御手段は、前記発電機の運転中において、発電機の回転数を検出し、回転数が所定値以下になったときは、前記発電機を力行動作させて前記発電機の回転数を所定値以上 50

に維持することを特徴とする請求項 10 記載の発電機の駆動制御装置。

【請求項 13】

前記制御手段は、

固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、出力電圧を略一定に制御する定電圧制御モード、

固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、出力電流を略一定に制御する定電流制御モード、

固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、出力電力を略一定に制御する定電力制御モード、及び

固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、前記発電機の回転数を略一定に制御する回転数制御モード

のうちの少なくとも 1 つの動作モードを有することを特徴とする請求項 1 記載の発電機の駆動制御装置。

【請求項 14】

前記インバータにより変換された電力がバッテリーに蓄電される場合に、前記制御手段は、前記バッテリーの充電動作において、定電流モードまたは定電圧モードにより、充電電流または充電電圧を略一定に制御しながらバッテリーを充電することを特徴とする請求項 13 記載の発電機の駆動制御装置。

【請求項 15】

前記インバータにより変換された電力がバッテリーに蓄電される場合に、前記制御手段は、前記バッテリーの充電動作において、最初、定電流モードにより充電電流を略一定に制御しながら充電を行い、その後、定電圧モードに切替えて充電電圧を略一定に制御しながらバッテリーを充電することを特徴とする請求項 13 記載の発電機の駆動制御装置。

【請求項 16】

前記インバータにより変換された電力がバッテリーに蓄電される場合に、前記制御手段は、前記バッテリーの充電動作において、最初、定電流制御モードにより充電電流を略一定に制御しながらバッテリーを充電し、バッテリーの充電電圧が所定値に達したときに定電圧制御モードに切替えて、充電電圧を略一定に制御しながらバッテリーを充電し、その後、バッテリーの充電電流が所定値に達したときに、設定電圧をさらに下げた定電圧制御モードで充電することを特徴とする請求項 13 記載の発電機の駆動制御装置。

【請求項 17】

前記インバータにより変換された電力がキャパシタに蓄電され、該キャパシタ経由で電力が負荷に供給される場合、前記制御手段は、前記定電流制御モードにより充電電流を略一定に制御しながら前記キャパシタを充電することを特徴とする請求項 13 記載の発電機の駆動制御装置。

【請求項 18】

前記インバータにより変換された電力がキャパシタに蓄電され、該キャパシタ経由で電力が負荷に供給される場合、前記制御手段は、前記定電力制御モードにより充電電力を一定に制御しながら前記キャパシタを充電することを特徴とする請求項 13 記載の発電機の駆動制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、永久磁石が埋込まれた回転子を用いた発電機の位置センサレス駆動を行う、発電機の駆動制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来より、発電機に対する制御システムが種々考案されている（例えば特許文献 1、特許文献 2 参照）。

【0003】

10

20

30

40

50

特許文献１に記載の発電制御システムは、回転駆動源に連結した発電機と、発電機で発電された交流電圧を直流電圧に整流する整流回路と、整流回路からの直流電圧を所望の電圧に変圧するＤＣ－ＤＣコンバータと、ＤＣ－ＤＣコンバータからの出力を所望の駆動電力に変換するインバータとを備えている。また、特許文献１の発電制御システムでは、発電機の回転子の位置は発電機内部に組み込まれた位置センサを用いて検出されている。

【０００４】

特許文献２は、インバータを用いて位置センサレスで同期発電機を駆動する発電機制御システムを開示している。

【０００５】

【特許文献１】特開２００３－７０２９９号公報

10

【特許文献２】特開平１０－１１７５００号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

特許文献１に記載の発電制御システムでは、電圧変動を吸収するためのＤＣ－ＤＣコンバータを備えているが、ＤＣ－ＤＣコンバータは回転変化による装置の大型化、効率の低下を招くという問題がある。また、位置センサを発電機内部に組み込んでいるため、発電機が大型化し、位置センサ分だけ、信頼性の低下、製造コストの増加を招くという問題もある。

【０００７】

20

また、特許文献２は、高回転領域において対応可能なセンサレス同期発電機制御システムを提供することを目的としたものであるため、主として高速動作時における回転子の磁極位置情報の取得方法について開示しているのみであり、発電出力に対する電圧、電流等の制御について具体的な開示はない。

【０００８】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、小型化、高信頼性を実現しつつ、発電出力についての種々の制御を可能とする、発電機の駆動制御装置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】

【０００９】

30

本発明に係る駆動制御装置は、永久磁石が埋込まれた回転子と固定子を含む発電機を位置センサレス方式で駆動する装置である。駆動制御装置は、複数の整流ダイオードと複数のスイッチング素子を含み、発電機で発電された交流電力を直流電力に変換する発電用インバータと、発電用インバータのスイッチング素子のオン・オフを制御して発電出力を制御する制御手段とを備える。制御手段は固定子巻線の誘起電圧に基づいて回転子位置を検出し、その検出した回転子位置に応じて固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅の少なくともいずれかを制御することにより、出力電圧及び出力電流の少なくともいずれかを制御する。

【００１０】

制御手段は、発電機の始動時に用いる動作モードである始動モードと、定常運転状態において発電機の固定子巻線の誘起電圧に基づいて回転子位置を検出しながら発電機を運転する通常動作モードとを有してもよい。

40

【００１１】

制御手段は、始動モードにおいて無負荷時の誘起電圧を検出し、その検出した誘起電圧に基づいて初期位置を検出し、初期位置検出後に通常動作モードに移行するようにしてもよい。

【００１２】

制御手段は、始動モードにおいて無負荷時の誘起電圧を検出し、検出した誘起電圧に基づいて回転数を検出し、回転数検出後に通常動作モードに移行するようにしてもよい。

【００１３】

50

制御手段は、始動モードから通常モードに移行する間、電流振幅を略ゼロに制御して、発電を抑制してもよい。または、電流進角を制御して発電を抑制してもよい。

【0014】

また、制御手段は、インバータに流れる電流またはインバータの出力電圧を検出し、過電流または過電圧が検出されたときに、インバータを発電機または負荷から切り離してもよい。

【0015】

また、制御手段は発電機の故障を検出し、故障が検出されたときに発電を停止させるようにしてもよい。発電機の故障は、発電機の回転速度ムラ及び電流波形のうちの少なくともいずれかで検出できる。

【0016】

発電機は風力を動力源として発電してもよい。

【0017】

また、制御手段は、発電機の始動時において発電機を力行動作させ、発電機の始動時の回転を補助するようにしてもよい。

【0018】

また、制御手段は、発電機の運転中において、発電機の回転数を検出し、回転数が所定値以下になったときは、発電機を力行動作させて発電機の回転数を所定値以上に維持するようにしてもよい。

【0019】

また、制御手段は以下のモードの中の少なくとも1つを有するようにしてもよい。

- 固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、出力電圧を略一定に制御する定電圧制御モード

- 固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、出力電流を略一定に制御する定電流制御モード

- 固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、出力電力を略一定に制御する定電力制御モード

- 固定子巻線電流の電流進角及び電流振幅を制御し、前記発電機の回転数を略一定に制御する回転数制御モード。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、小型化、高信頼性を実現しつつ、発電出力についての種々の制御が可能とする、発電機の駆動制御装置を実現できる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、添付の図面を参照し、本発明に係る発電機の駆動制御装置の実施形態について説明する。

【0022】

#### 1. 発電機の駆動制御装置の構成

図1は本発明に係る発電機の駆動制御装置を用いた発電システムの構成を示した図である。発電システムは、発電機10と、駆動制御装置20と、バッテリー30とを含む。発電機10は永久磁石が埋込まれた回転子11と固定子巻線13を含む。駆動制御装置20は発電機10を制御する装置であって、遮断機41を介して発電機10と接続される。駆動制御装置20はバッテリー30に接続される。バッテリー30には負荷50が接続される。

【0023】

駆動制御装置20はインバータ21と、PWM電圧制御部23と、モータ制御部25と、発電制御部27と、回転子位置検出部29と、回転数検出部31と、電圧検出部33と、電力検出部35と、遮断機42と、各種センサ43、44、45と、平滑コンデンサ46とを備える。

【0024】

10

20

30

40

50

インバータ 21 はダイオードが直列に接続されてなるハーフブリッジ回路を 3 相分有し、各ダイオードには並列にトランジスタや IGBT、MOS からなるスイッチング素子が接続されている。インバータ 21 は、主として発電機 10 を発動動作させるよう駆動する発電用のインバータであるが、必要に応じて発電機 10 を電動機動作させるよう駆動することもできる。インバータ 21 のダイオードブリッジは整流機能を有し、発電された交流電圧を直流電圧に変換する。このダイオードの機能だけでは、発電電圧の大きさの制御は不可能であるが、本実施形態では、インバータ 21 における各スイッチング素子のオン・オフを適宜制御することにより、発電機 10 に適宜電流を回生させ、発電機 10 の固定子巻線のインダクタンスを利用し、発電システムの出力電圧の制御、出力電流等の制御を可能としている。

10

#### 【0025】

回転子位置検出部 29 は、電流センサ 43、44 の出力、及びモータパラメータに基づいて回転子位置を検出する。回転数検出部 31 は回転子位置検出部 29 からの出力に基づいて回転数  $n$  を検出する。

#### 【0026】

モータ制御部 25 は発電機 10 をモータとして利用する際すなわち力行動作させる際の制御を行う。発電制御部 27 は発電機 10 の発電動作を制御する手段であり、電流振幅制御、電流進角（位相）制御、回転数制御、始動制御、保護制御の各制御を実行する。モータ制御部 25 及び発電制御部 27 は、インバータ 21 から出力される電流  $I_{dc}$ 、インバータ 21 の直流出力電圧  $V_{dc}$ 、インバータ 21 の出力電力  $W_{dc}$  と、位相、回転数  $n$ 、発電機 10 の誘起電圧  $v$ 、発電機 10 の巻線電流  $i$  とに基づいて、PWM 電圧制御部 23 に制御信号  $V_{pwm}$  を出力する。

20

#### 【0027】

PWM 電圧制御部 23 はモータ制御部 25 または発電制御部 27 からの制御信号  $V_{pwm}$  を受けて、インバータ 21 の各スイッチング素子の動作を制御するためのパルス幅変調されたゲート信号を生成する。電圧検出部 33 は平滑コンデンサ 46 の電圧すなわちインバータ 21 の直流出力電圧  $V_{dc}$  を検出する。電力検出部 35 は、電流センサ 45 により検出されたインバータ 21 電流  $I_{dc}$  と、電圧検出部 33 による検出電圧  $V_{dc}$  とにより、インバータ 21 の直流出力電力  $W_{dc}$  を検出する。

#### 【0028】

以上のように構成される駆動制御装置 20 は、発電機 10 を発電動作させる時は、外部より、出力電圧、出力電力、出力電流、回転数及び効率に関する指令を入力し、それらの指令に応じてインバータ 21 の制御を行う。また、駆動制御装置 20 は、発電機 10 をモータ動作（力行動作）させる時は、回転数、電力、電流に関する指令を外部より入力し、インバータ 21 の制御を行う。

30

#### 【0029】

### 2. 発電機の駆動制御装置の応用例

ここで、図 1 に示す駆動制御装置 20 を用いた種々の発電装置の応用例を示す。

#### 【0030】

##### （応用例 1）

図 2 は、図 1 に示す駆動制御装置 20 を利用した風力発電装置の構成例を示した図である。風力発電装置は、プロペラ 61 に連結された発電機 60 と、発電機 60 の発電動作、モータ動作を制御する駆動制御装置 20 と、発電機で発電された電力を蓄積するバッテリー 72 と、バッテリー 72 に蓄積された電力を所定の交流電圧に変換する出力用インバータ 73 を備える。発電時においては、プロペラ 61 で受けた風力を発電機 60 にて電気エネルギーに変換し、その電気エネルギーをバッテリー 72 に蓄積する。出力用インバータ 73 は、バッテリー 72 に蓄積された直流電圧を所望の交流電圧に変換して供給する。駆動制御装置 20 に対しては設定器 71 から指令が入力される。駆動制御装置 20 は、内部に含むインバータにより発電機 60 の電流、電圧、進角（位相）等を適宜制御し、発電機 60 の発電動作またはモータ動作を制御することにより、出力電圧、出力電流の制御を行う。また、風

40

50

力による発電機 60 の始動を補助するために定期的に、発電機 60 をモータとして起動し、プロペラ 61 の回転動作を補助する。

#### 【0031】

##### (応用例 2)

図 3 は、図 1 に示す駆動制御装置 20 を利用した車両用発電装置の構成例を示した図である。車両用発電装置は、エンジン 63 に連結した発電機 60 と、発電機 60 を駆動制御する駆動制御装置 20 と、発電した電力を蓄積するキャパシタ（またはバッテリー）81 と、蓄積した電力を所望の電力に変換する出力用インバータ 82 とを備える。発電時には、エンジン 63 の回転力を用いて発電された電気エネルギーをキャパシタ（またはバッテリー）81 に直流電圧として蓄積する。出力用インバータ 82 は、バッテリーまたはキャパシタ 81 に蓄積された直流電圧を所定の交流電圧に変化して供給する。

10

#### 【0032】

##### (応用例 3)

図 4 は、図 1 に示す駆動制御装置 20 を利用した発動発電装置の構成例を示した図である。発動発電装置の構成、動作は基本的に図 3 に示す車両用発電装置の構成と同じであるので、説明は省略する。

#### 【0033】

### 3. 発電機の駆動制御装置の動作

以下、図 1 に示す駆動制御装置 20 を図 2 に示すような風力発電へ適用した場合を例として、駆動制御装置 20 の動作について説明する。

20

#### 【0034】

最初に基本的な動作を説明する。発電機 10 の回転子 11 の回転軸にはプロペラ 61 が連結されている。このプロペラが受けた風力により発電機 10 において交流電圧が生成される。この交流電圧はインバータ 21 により直流電圧に変換され、平滑コンデンサ 46 により平滑され、バッテリー 30 に充電される。バッテリー 30 に充電された電圧は、電源として負荷 50 に供給される。

#### 【0035】

駆動制御装置 20 は、発電機 10 を発電機として動作させる場合のモード（発電モード）と、発電機 10 をモータとして動作（力行動作）させる場合のモード（モータモード）とを有する。発電モードには、出力電圧、出力電力等を制御するための種々の動作モードがある。発電モードは発電制御部 27 により制御される。また、モータモードは、始動時の起動アシストや、余剰電力を放電させる際に利用される。モータモードはモータ制御部 25 により制御される。これらの動作モードの詳細は後述する。

30

#### 【0036】

本実施形態の発電システムにおいて、発電機 10 は、固定子に永久磁石が埋込まれた永久磁石埋込型モータ（IPM）を用いている。IPM は一般的に図 5 に示すような、電流進角（位相）の絶対値に対するトルク特性を示す。同図において、実線はモータトルク、破線はリラクタンストルク、一点鎖線はマグネットトルクをそれぞれ示す。モータ動作の場合には正の電流進角を示し、発電動作の場合には負の電流進角を示す。同図に示すように、モータ動作時において発生するモータトルクと、発電動作時において発生する発電量は、電流進角の変化に伴い変化する。例えば、発電動作において、電流進角量を  $0^\circ$  から増加させていくと、実線で示すモータトルク（すなわち発電量）は増加していき、電流進角  $p$  においてピークとなり、その後、減少していく。このように、IPM では電流進角量を制御することにより発電量を制御することができる。なお、以下の説明では、電流進角量を  $p$  に制御し、最大の発電量が得られるときの状態を「最大発電」といい、電流進角量を  $90^\circ$  に制御し、発電量が最小となるときの状態を「最小発電」という。

40

#### 【0037】

図 6 (a) は、電流進角量を約  $90^\circ$  に制御して IPM をモータ動作（力行動作）させたときの、モータ誘起電圧（E）、モータ電流（I）、d 軸電流によるモータ内部の電圧降下（V）の関係を示した図である。同図において、モータ電流（I）は誘起電圧に対し

50

約  $90^\circ$  位相が進んでいる。図 6 (b) は、電流進角量を約  $90^\circ$  に制御した場合のモータへの印加電圧を示す。図 6 に示すようにモータ動作時、電流進角量を正 (+) 方向に制御した場合、電圧ベクトル図は図 8 (a) のようになる。巻線抵抗による電圧降下を無視した場合、同図において、 $V_a$  は誘起電圧であり、 $L_d \cdot I_d$  は d 軸電流による内部電圧降下であり、 $L_q \cdot I_q$  は q 軸方向の内部電圧降下であり、 $V_a$  はモータ印加電圧であり、 $L_d$ 、 $L_q$  は、固定子巻線のインダクタンスの d 軸、q 軸方向の成分である。同図に示すように、d 軸電流を適宜制御することにより、内部電圧降下分 ( $L_d \cdot I_d$ ) が寄与し、誘起電圧  $V_a$  より小さいモータ印加電圧  $V_a$  での駆動を可能としている。

#### 【0038】

図 7 (a) は、電流進角量を約  $-90^\circ$  に制御して IPM を発電機として動作させたときの、モータ誘起電圧 (E)、モータ電流 (I)、d 軸電流によるモータ内部の電圧降下 (V) の関係を示した図である。同図において、モータ電流 (I) は誘起電圧に対し約  $90^\circ$  位相が遅れている。図 7 (b) は、電流進角量を約  $-90^\circ$  に制御した場合の発電電圧を示す。図 7 に示すように発電動作時、電流進角量を負 (-) 方向に制御した場合、電圧ベクトル図は図 8 (b) のようになる。巻線抵抗による電圧降下を無視した場合、同図において、 $V_a$  は発電電圧である。同図に示すように、d 軸電流を適宜制御して内部電圧降下成分 ( $L_d \cdot I_d$ ) が寄与し、発電電圧  $V_a$  の大きさを一定値に制限することを可能としている。本実施形態では、このような IPM の弱め界磁制御を利用し、以下に説明する種々の制御を行う。

#### 【0039】

以下に、発電動作時における種々の動作モードについて詳細に説明する。

#### 【0040】

(出力電圧制御モード)

図 9 のフローチャートを用いて、駆動制御装置 20 による、発電時の出力電圧を略一定に制御する出力電圧制御を説明する。

#### 【0041】

電圧検出部 33 により検出したインバータ直流出力電圧 (以下「DC 電圧」という。)  $V_{dc}$  を、その設定値と比較する (S11)。DC 電圧  $V_{dc}$  が設定値より小さい場合、インバータ出力電圧が所望値より低いと判断され、電流振幅を所定値だけ増加させる (S12)。このとき、増加させた電流振幅がその上限を超えているか否かを判断する (S13)。増加させた電流振幅が上限を超えていれば、電流振幅を変化させることによる出力電圧の増加は期待できないので、電流進角による出力電圧の上昇を試みる。このため、電流進角を最大発電側へシフトする (S14)。つまり、電流進角を図 5 における  $p$  に近づけるようにシフトする。

#### 【0042】

一方、DC 電圧  $V_{dc}$  が設定値以上の場合、インバータ出力電圧が所望値より高いと判断され、電流振幅を所定値分低減する (S15)。このとき、低減した電流振幅が電流振幅の下限を下回るか否かを判断する (S16)。低減した電流振幅が下限を下回ったときは、電流振幅を変化させることによる出力電圧の低下は期待できないため、電流進角による出力電圧の低減を試みる。このため、電流進角を最小発電側へシフトする (S17)。つまり、電流進角を図 5 における  $90^\circ$  に近づけるようにシフトする。

#### 【0043】

なお、ステップ S12、S13、S15、S16 においては、電流振幅を変化させるかわりに PWM 変調率 (デューティ) を変化させてもよい。

#### 【0044】

出力電圧制御の別の例を図 10 のフローチャートを用いて説明する。

#### 【0045】

電圧検出部 33 により検出したインバータの直流出力電圧 (DC 電圧)  $V_{dc}$  を、その設定値と比較する (S21)。DC 電圧  $V_{dc}$  が設定値より小さい場合、インバータ 21 の出力電圧が所望値より低いと判断され、最大発電側へ電流進角をシフトする (S22)。こ

10

20

30

40

50



のとき、発電量（トルク）がその上限を超えているか否かを判断し（S 2 3）、超えていれば、PWM変調率を増加させる（S 2 4）。ここで、発電量（トルク）の上限とは、図 5 において電流進角量が  $p$  のときの発電量である。

【0046】

一方、DC 電圧  $V_{dc}$  が設定値以上の場合、インバータ 2 1 の出力電圧が所望値より高いと判断され、最小発電側へ電流進角をシフトする（S 2 5）。このとき、発電量（トルク）がその下限を下回るか否かを判断し（S 2 6）、下回れば、PWM変調率を低減する（S 2 7）。ここで、発電量（トルク）の下限とは、図 5 において電流進角量が  $90^\circ$  のときの発電量である。

【0047】

なお、ステップ S 2 4、S 2 7 においては、PWM変調率を変化させるかわりに電流振幅を変化させてもよい。

【0048】

図 9 に示す出力電圧制御は電流振幅を優先して制御しているので、負荷の電流変動による比較的小さな電圧変化時に有効である。これに対し、図 10 に示す出力電圧制御は、電流進角（位相）を優先して制御しているので、回転数変化による比較的大きな電圧変化時に有効である。

【0049】

以上のように、2 つの制御の使い分けとしては、負荷や回転数によって使い分けたり、それらの変動を検出して使い分けるのが望ましい。駆動制御装置 2 0 によって電流振幅（負荷）及び電流進角を調整することにより発電システムの出力電圧を一定値に制御することができる。なお、電流振幅と電流進角の双方を調整する代わりに、いずれか一方のみを調整するようにしてもよい（以下の制御において同じ）。

【0050】

（出力電流制御モード）

図 11 のフローチャートを用いて、駆動制御装置 2 0 による、発電時の出力電流を略一定に制御する出力電流制御を説明する。

【0051】

電流センサ 4 5 により検出したインバータ電流（以下「DC 電流」という。） $I_{dc}$  を、その設定値と比較する（S 3 1）。DC 電流  $I_{dc}$  が設定値より小さい場合、インバータ出力電流が所望値より小さいと判断され、電流振幅を所定値分増加させる（S 3 2）。このとき、増加させた電流振幅がその上限を超えているか否かを判断する（S 3 3）。増加させた電流振幅がその上限を超えていれば、電流振幅による出力電流の増加は期待できないため、電流進角による制御を行う。このため、電流進角を最大発電側へシフトする（S 3 4）。

【0052】

一方、DC 電流  $I_{dc}$  が設定値以上の場合、インバータ出力電流が所望値より大きいと判断され、電流振幅を所定値分低減する（S 3 5）。このとき、低減した電流振幅がその下限を下回るか否かを判断する（S 3 6）。低減した電流振幅がその下限を下回れば、電流振幅による出力電流の増加は期待できないため、電流進角による制御を行う。このため、電流進角を最小発電側へシフトする（S 3 7）。

【0053】

なお、ステップ S 3 2、S 3 3、S 3 5、S 3 6 においては、電流振幅を変化させるかわりに PWM 変調率（デューティ）を変化させてもよい。

【0054】

出力電流制御の別の例を図 12 のフローチャートを用いて説明する。

【0055】

電流センサ 4 5 により検出したインバータの直流出力電流（DC 電流） $I_{dc}$  を、その設定値と比較する（S 4 1）。DC 電流  $I_{dc}$  が設定値より小さい場合、インバータ 2 1 の出力電圧が所望値より小さいと判断され、電流進角を最大発電側へシフトする（S 4 2）。

10

20

30

40

50

このとき、発電量がその上限を超えているか否かを判断し（S 4 3）、超えていれば、P W M 変調率を増加させる（S 4 4）。

【0 0 5 6】

一方、D C 電流  $I_{dc}$  が設定値以上の場合、インバータ 2 1 の出力電流が大きいと判断され、電流進角を最小発電側へシフトする（S 4 5）。このとき、発電量がその下限を下回るか否かを判断し（S 4 6）、下回れば、P W M 変調率を低減する（S 4 7）。

【0 0 5 7】

なお、ステップ S 4 4、S 4 7 においては、P W M 変調率を変化させるかわりに電流振幅を変化させてもよい。

【0 0 5 8】

図 1 1 に示す出力電流制御は電流振幅を優先して制御しているので、負荷の電流変動による比較的小さな電流変化時に有効である。これに対し、図 1 2 に示す出力電流制御では、電流進角（位相）を優先して制御しているので、回転数変化による比較的大きな電流変化時に有効である。

【0 0 5 9】

以上のように、駆動制御装置 2 0 によって電流振幅（負荷）及び電流進角を調整することにより発電システムの出力電流を一定値に制御することができる。

【0 0 6 0】

（出力電力制御モード）

図 1 3 のフローチャートを用いて、駆動制御装置 2 0 による、発電時の出力電力を略一定に制御する出力電力制御を説明する。

【0 0 6 1】

電力検出部 3 5 により検出したインバータ 2 1 の出力電力（以下「D C 電力」という。） $W_{dc}$  を、その設定値と比較する（S 5 1）。D C 電力  $W_{dc}$  が設定値より小さい場合、インバータ 2 1 の出力電力が所望値より小さいと判断され、電流振幅を増加させる（S 5 2）。このとき、増加させた電流振幅がその上限を超えているか否かを判断し（S 5 3）、超えていれば、最大発電側へ電流進角をシフトする（S 5 4）。

【0 0 6 2】

一方、D C 電力  $W_{dc}$  が設定値以上の場合、インバータ出力電力が所望値より大きいと判断され、電流振幅を低減する（S 5 5）。このとき、低減した電流振幅がその下限を下回るか否かを判断し（S 5 6）、下回れば、最小発電側へ電流進角（位相）をシフトする（S 5 7）。

【0 0 6 3】

なお、ステップ S 5 2、S 5 3、S 5 5、S 5 6 においては、電流振幅を変化させるかわりに P W M 変調率を変化させてもよい。

【0 0 6 4】

出力電力制御の別の例を図 1 4 のフローチャートを用いて説明する。

【0 0 6 5】

電力検出部 3 5 により検出したインバータの直流出力電力（D C 電力） $W_{dc}$  を、その設定値と比較する（S 6 1）。D C 電力  $W_{dc}$  が設定値より小さい場合、インバータ 2 1 の出力電力が所望値より小さいと判断され、最大発電側へ電流進角をシフトする（S 6 2）。このとき、発電量がその上限を超えているか否かを判断し（S 6 3）、超えていれば、P W M 変調率を増加させる（S 6 4）。

【0 0 6 6】

一方、D C 電力  $W_{dc}$  が設定値以上の場合、インバータ 2 1 の出力電力が所望値より大きいと判断され、最小発電側へ電流進角をシフトする（S 6 5）。このとき、発電量がその下限を下回るか否かを判断し（S 6 6）、下回れば、P W M 変調率を低減する（S 6 7）。

【0 0 6 7】

なお、ステップ S 6 4、S 6 7 においては、P W M 変調率を変化させるかわりに電流振

10

20

30

40

50

幅を変化させてもよい。

【0068】

図13に示す出力電力制御は電流振幅を優先して制御しており、負荷変動による小さな電力変化時に有効である。これに対し、図14に示す出力電力制御では、電流進角（位相）を優先して制御しており、回転数変化による大きな電力変化時に有効である。

【0069】

以上のように、2つの制御の使い分けとしては、負荷や回転数によって使い分けたり、それらの変動を検出して使い分けするのが望ましい。駆動制御装置20によって電流振幅（負荷）及び電流進角を調整することにより発電システムの出力電力を一定値に制御することができる。

10

【0070】

（回転数制御モード）

図15のフローチャートを用いて駆動制御装置20による発電時の回転数制御を説明する。

【0071】

回転数検出部31により検出した発電機10の回転数 $n$ を、その設定値と比較する（S71）。回転数 $n$ が設定値より小さい場合、回転数が所望値より小さいと判断され、電流振幅を低減する（S72）。このとき、低減した電流振幅がその下限を下回るか否かを判断し（S73）、下回れば、最小発電側へ電流進角をシフトする（S74）。

【0072】

一方、回転数が設定値以上の場合、回転数が所望値より大きいと判断され、電流振幅を増加する（S75）。このとき、増加した電流振幅がその上限を超えるか否かを判断し（S76）、超えれば、最大発電側へ電流進角をシフトする（S77）。

20

【0073】

なお、ステップS72、S73、S75、S76においては、電流振幅を変化させるかわりにPWM変調率を変化させてもよい。

【0074】

回転数制御の別の例を図16のフローチャートを用いて説明する。

回転数検出部31により検出した発電機10の回転数 $n$ を、その設定値と比較する（S81）。回転数 $n$ が設定値より小さい場合、回転数が所望値より小さいと判断され、最小発電側へ電流進角をシフトする（S82）。このとき、発電量がその上限を超えているか否かを判断し（S83）、超えていれば、PWM変調率を低減する（S84）。

30

【0075】

一方、回転数 $n$ が設定値以上の場合、回転数が所望値より大きいと判断され、最大発電側へ電流進角をシフトする（S85）。このとき、発電量がその下限を下回るか否かを判断し（S86）、下回れば、PWM変調率を増加する（S87）。

【0076】

なお、ステップS84、S87においては、PWM変調率を変化させるかわりに電流進角を変化させてもよい。

【0077】

図15に示す回転数制御は電流振幅を優先して制御しており、負荷の電流変動による比較的小さな回転数変化時に有効である。これに対し、図16に示す回転数制御では、電流進角（位相）を優先して制御しており、比較的大きな回転数変化時に有効である。

40

【0078】

以上のように、駆動制御装置20によって電流振幅（負荷）及び電流進角を調整することにより発電機10の回転数を一定値に制御することができる。

【0079】

（始動モード）

発電制御部は、発電機10の始動時の動作モードである始動モードと、発電機10の定常運転状態において発電機を運転する通常動作モードとを有する。通常動作モードでは、

50

発電機 10 の固定子巻線の誘起電圧  $v$  及び巻線電流  $i$  に基づいて回転子位置の検出が行われ、インバータ 21 のスイッチング素子のオン・オフが制御される。

【0080】

始動モード時の動作について説明する。

一般に、無負荷誘起電圧と発電機 10 の回転子位置とは位相が所定値だけずれている（図 17 参照）。よって、無負荷誘起電圧をモニタすることにより回転子位置を検出することができる。そこで、本実施形態の駆動制御装置 20 は、発電機 10 の始動時において、無負荷時の誘起電圧又は無負荷とみなされる程小さい軽負荷時の誘起電圧を検出し、回転子の初期位置を特定する。回転子の初期位置が検出された後、通常動作モードに移行する。なお、この場合、初期位置の代わりに回転数を検出してもよい。また、無負荷とみなされる程小さい軽負荷は、所定の値を基準として判断してもよいし、遮断機 41、42 をオフにすることで、無負荷と判断してもよい。

10

【0081】

また、始動時において、発電機 10 の固定子 13 を回動しないように固定した状態で固定子 13 の所定相に通電して位置決めし、その後に、固定を解除し、回転を始動させるようにしてもよい。このようにしても回転子の初期位置を認識できる。

【0082】

そして、前記の始動時と、始動モードから通常動作モード移行後、しばらくの間において、発電制御部 27 は、電流振幅をゼロまたは実質的にゼロに等しい値になるようインバータ 21 のスイッチング素子のオン・オフを制御する。これにより、始動後、位置検出が安定するまでの間、発電を抑制する。発電を抑制した運転中において、回転子の位置検出が安定した時点で、通常発電制御を行う。また、始動モード時と、通常運転モードへの移行後しばらくの間において、電流進角を大きくし、発行効率を低下させ、発電を抑制した状態にしてもよい。これは始動モード時では、位置検出が正確に行われないことから、発電機として十分に機能させることができなかつたり、位置のアスマッチングにより、発電機に過電流が流れるのを防止するためである。

20

【0083】

また、駆動制御装置 20 は始動時において風力が小さく、風力のみでは、発電機 10 の回転子が回転しないときは、発電機 10 をモータとして動作させて発電機 10 の回転動作を補助するようにしてもよい。

30

【0084】

（保護機能動作）

駆動制御装置 20 は保護機能を有している。すなわち、発電制御部 27 は、電圧検出部 33 や発電機電圧  $v$  に基づき、風速が大きく過電圧が発生していると判断したときは、遮断機 41、42 を作動させ、一時的に発電機 10 からの電力供給を遮断する。これにより、発電システムを過電圧による破壊から保護する。

【0085】

また、駆動制御装置 20 は、電圧検出部 33 や電流センサ 45 からの検出値  $V_{dc}$ 、 $I_{dc}$  により、負荷からの回生や負荷の増大によって、過電圧、過電流が発生していると判断したときは、遮断機 42 を作動させる。これにより、過電圧、過電流からインバータ 21 の破壊を防止する。

40

【0086】

また、発電制御部 27 は、発電機 10 の故障を検出し、故障が検出されたときに、インバータ 21 の各スイッチング素子や、短絡用のスイッチを用いて発電機の出力を短絡することで発電機 10 に制動をかけ、強制的に発電機 10 の回転を停止させるようにしてもよい。故障については、回転速度ムラが検出されたときや、想定した電圧が得られないとき等に検出できる。なお、回転速度ムラは、発電される電圧や、電流センサ 43、44 により検出された電流の周波数、波形、リップルを検出することにより判断できる。故障検出時に発電機 10 を停止させることで、さらなる故障の発生を防止できる。

【0087】

50

(その他の制御)

駆動制御装置 20 は、発電機 10 の回転数を監視し、回転数が所定値を超えたことが検出された場合(すなわち過剰に発電してしまう場合)は、回転数を抑制するよう制御する。この場合、インバータ 21 の各スイッチング素子や、短絡用のスイッチを用いて発電機の出力を短絡することでも、モータ回転数を低減することは可能である。このような制御により、風力が非常に強い場合でも、回転数を抑制できる。

【0088】

また、逆に、発電機 10 の駆動中に風力が弱まり、停止のおそれが生じたときは、バッテリー 30 から電力を供給して発電機 10 を力行動作させ、一定の回転数を維持するよう、回転動作を補助するようにするのが好ましい。これは、風力発電システムにおいて一旦回転を停止させると、再度起動する際には多大な負荷がかかるため、回転を維持させることが重要であるからである。

【0089】

以上のように、本実施形態の発電システムはインバータ 21 を備え、これを用いて負荷量(モータ電流振幅)及び電流進角量を調整する。これにより、きめ細やかな出力電圧、出力電流、出力電力等の制御が可能となる。

【0090】

(バッテリー充電)

図 18 はバッテリー 30 の充電方法を説明した図である。図 18 に示すような充電方法で充電するため、駆動制御装置 20 は次のような制御を行う。

【0091】

駆動制御装置 20 は、充電開始後しばらくは、図 11、12 のフローチャートで示した出力電流制御を行って、バッテリー 30 に対して一定電流での充電を行う。そして、バッテリー 30 の電圧が所定値  $V_{th}$  に達すると、図 9、10 のフローチャートで示した出力電圧制御に切替え、バッテリー 30 に対して一定電圧での充電を行う。これによりバッテリーの充電電流は低下していき、やがて、バッテリーの充電電流が所定値  $I_{th}$  に達すると、駆動制御装置 20 は、出力電圧の設定値をより低い値に変更して出力電圧制御を継続する。その後、充電電流が定常状態になった時点で充電を終了する。

【0092】

(キャパシタ充電)

図 1 においてバッテリー 30 の代わりにキャパシタを使用することもできる。キャパシタの充電方法は図 19 または図 20 に示す方法がある。

【0093】

図 19 に示す方法により充電する場合、駆動制御装置 20 は、図 11、12 のフローチャートで示した出力電流制御を行うことにより、終始、出力電流を一定に保持しながらキャパシタを充電する。また、図 20 に示す方法により充電する場合、駆動制御装置 20 は、図 13、14 のフローチャートで示した出力電力制御を行うことにより、出力電力を一定に保持しながらキャパシタを充電する。

【0094】

なお、上記の動作説明では、風力を動力源として発電システムについて説明したが、動力源は風力に限らず、他の動力源であっても本発明の技術思想は同様に適用できることは言うまでもない。

【産業上の利用可能性】

【0095】

本発明は、発電機の位置センサレス駆動を行う駆動制御装置に適用であって、小型化、高い信頼性が要求される駆動制御装置に有用である。例えば、風力を動力源とした風力発電システムに好適である。

【図面の簡単な説明】

【0096】

【図 1】本発明に係る発電機の駆動制御装置を用いた発電システムの構成を示した図であ

10

20

30

40

50

る。

【図 2】図 1 に示す駆動制御装置を利用した風力発電装置の構成例を示した図である。

【図 3】図 1 に示す駆動制御装置を利用した車両用発電装置の構成例を示した図である。

【図 4】図 1 に示す駆動制御装置を利用した発電装置の構成例を示した図である。

【図 5】IPM（永久磁石埋込型モータ）における電流進角に対するトルク特性を示した図である。

【図 6】（a）電流進角量を約  $90^\circ$  に制御して IPM をモータ動作（力行動作）させたときのモータ誘起電圧、モータ電流、d 軸電流によるモータ内部の電圧降下の関係を示した図、（b）電流進角量を約  $90^\circ$  に制御した場合のモータへの印加電圧を示した図である。

【図 7】（a）電流進角量を約  $-90^\circ$  に制御して IPM を発電機として動作させたときの、モータ誘起電圧、モータ電流、d 軸電流によるモータ内部の電圧降下の関係を示した図、（b）電流進角量を約  $-90^\circ$  に制御した場合の発電電圧を示した図である。

【図 8】（a）電流進角量を約  $90^\circ$  に制御した場合の電圧ベクトル図、（b）電流進角量を約  $-90^\circ$  に制御した場合の電圧ベクトル図である。

【図 9】出力電圧制御のフローチャートである。

【図 10】出力電圧制御の別の例のフローチャートである。

【図 11】出力電流制御のフローチャートである。

【図 12】出力電流制御の別の例のフローチャートである。

【図 13】出力電力制御のフローチャートである。

【図 14】出力電力制御の別の例のフローチャートである。

【図 15】回転数制御のフローチャートである。

【図 16】回転数制御の別の例のフローチャートである。

【図 17】無負荷誘起電圧と発電機の回転子位置との位相関係を示した図である。

【図 18】駆動制御装置によるバッテリーの充電方法を説明した図である。

【図 19】駆動制御装置によるキャパシタの充電方法を説明した図である。

【図 20】駆動制御装置によるキャパシタの充電方法の別の例を説明した図である。

【符号の説明】

【0097】

10 発電機

11 発電機の回転子

13 発電機の固定子

20 発電機の駆動制御装置

23 PWM 電圧制御部

25 モータ制御部

27 発電制御部

29 回転子位置検出部

30 バッテリ（キャパシタ）

31 回転数検出部

33 電圧検出部

35 電力検出部

43、44 電流センサ

41、42 遮断機

46 平滑コンデンサ

50 負荷

電流進角量

発電機回転角速度（電気角）

i<sub>q</sub> q 軸電流成分

i<sub>d</sub> d 軸電流成分

a 磁束

10

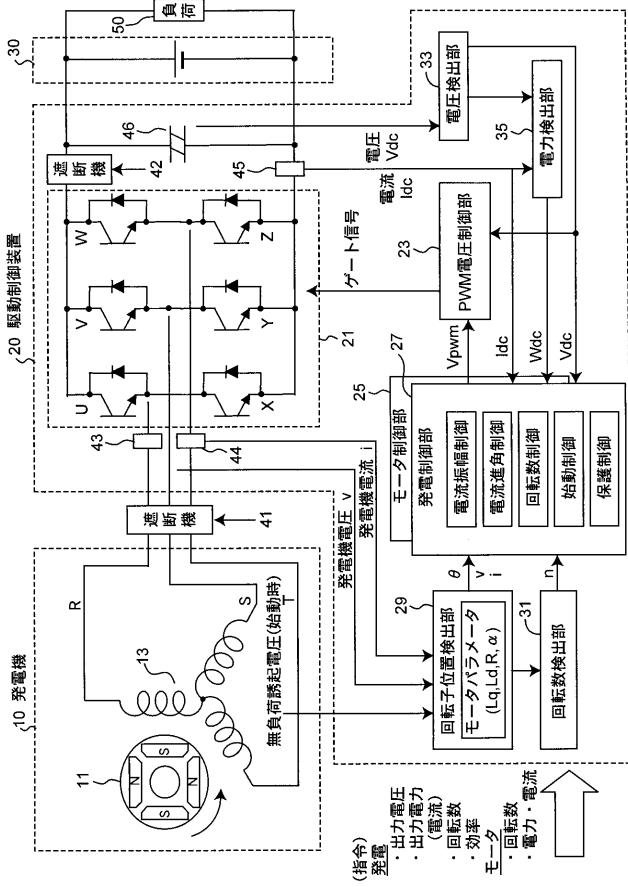
20

30

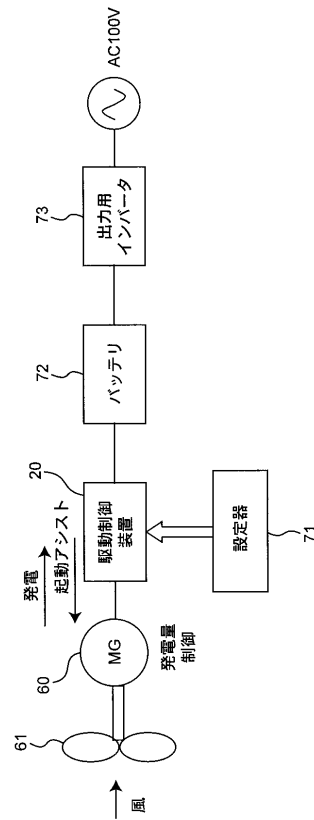
40

50

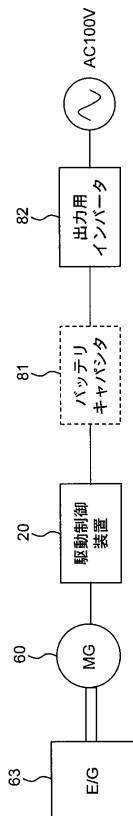
【図 1】



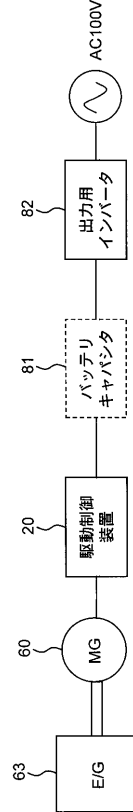
【図 2】



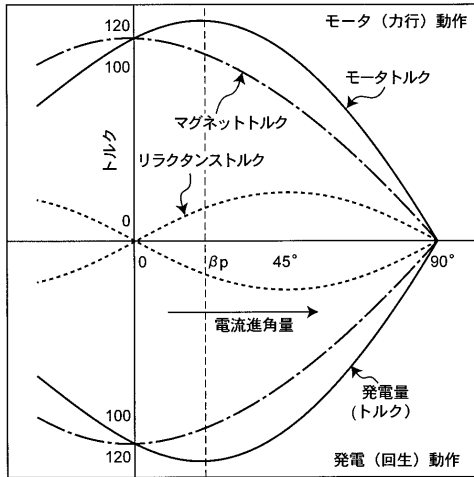
【図 3】



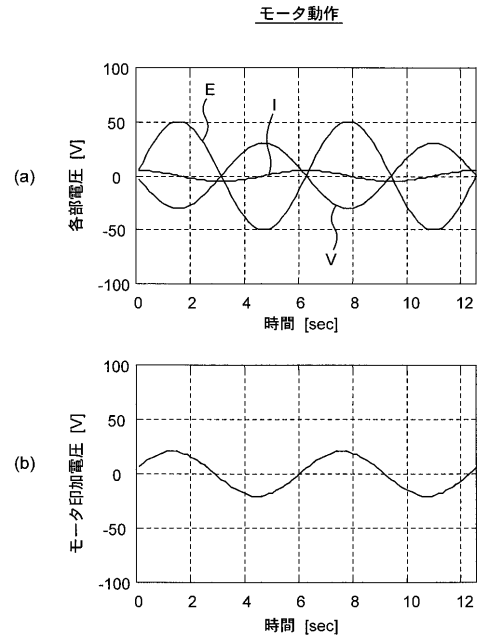
【図 4】



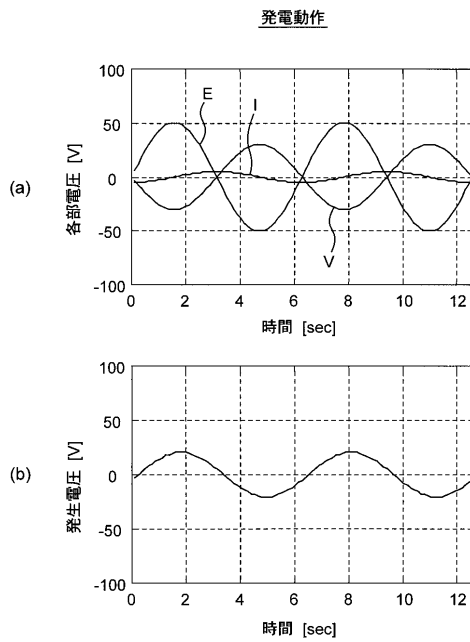
【図 5】



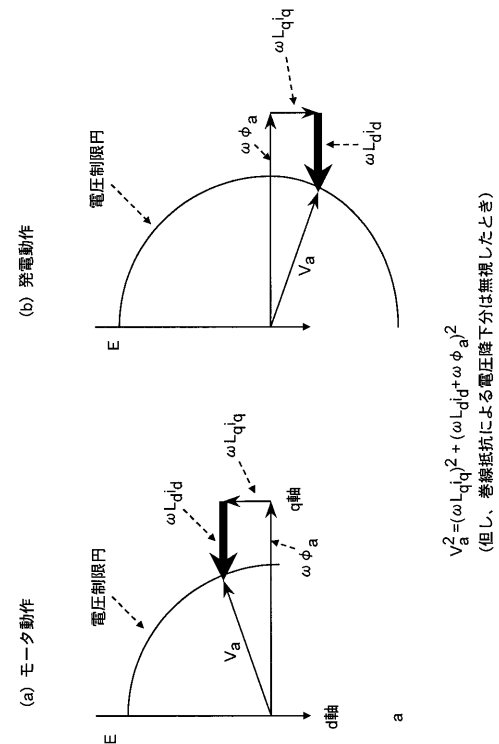
【図 6】



【図 7】

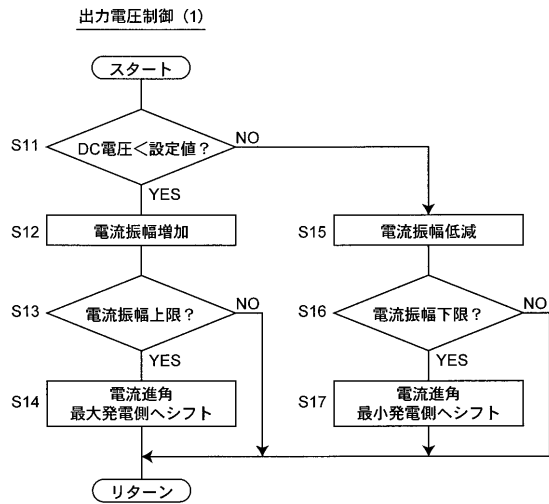


【図 8】

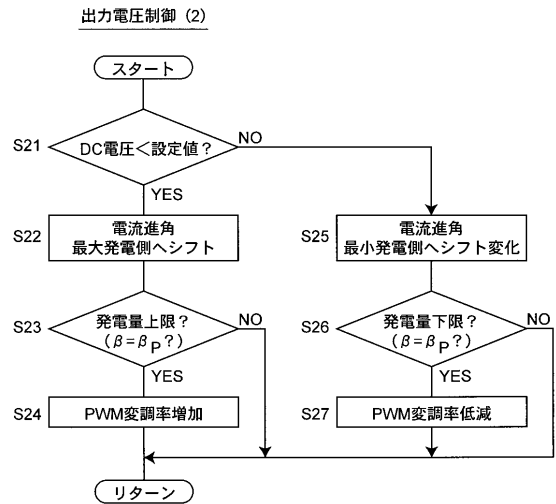




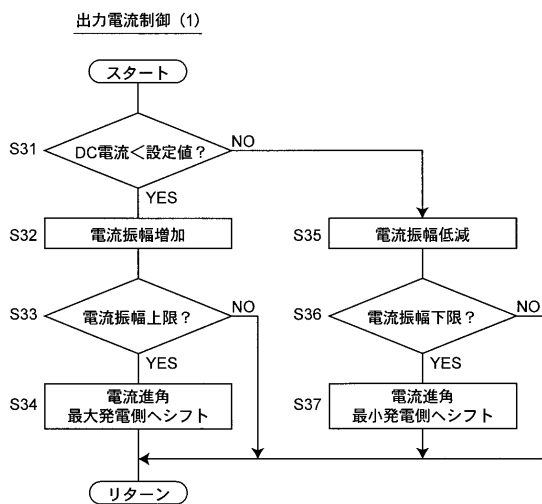
【図 9】



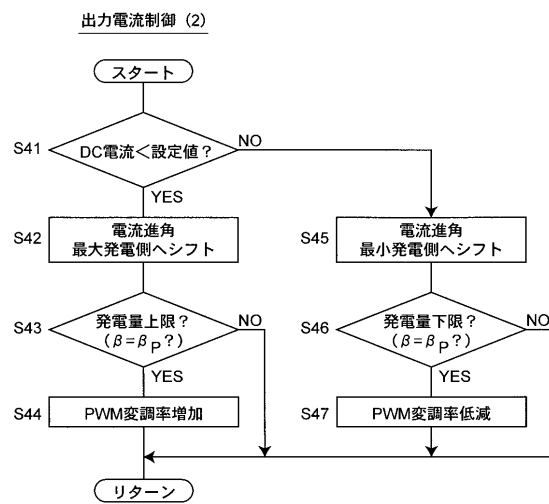
【図 10】



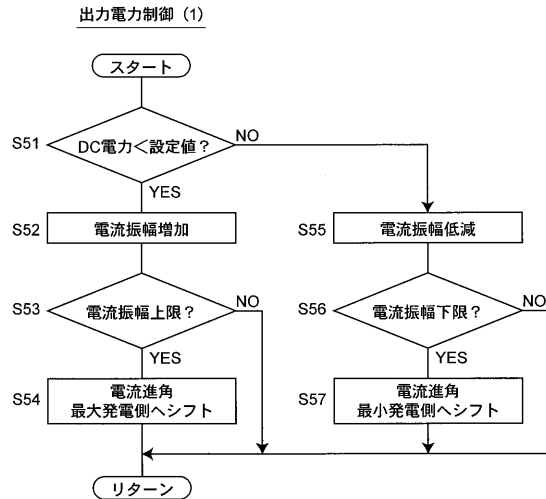
【図 11】



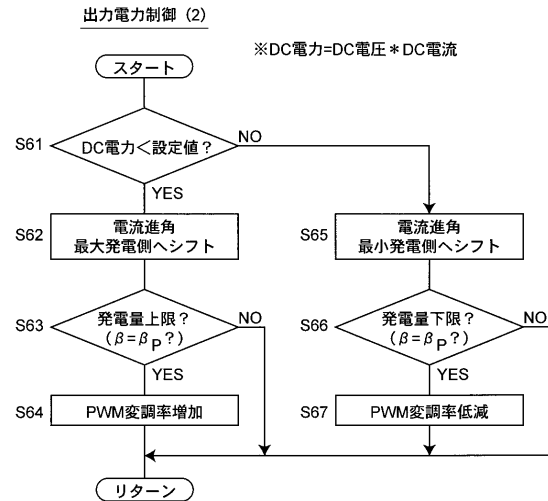
【図 12】



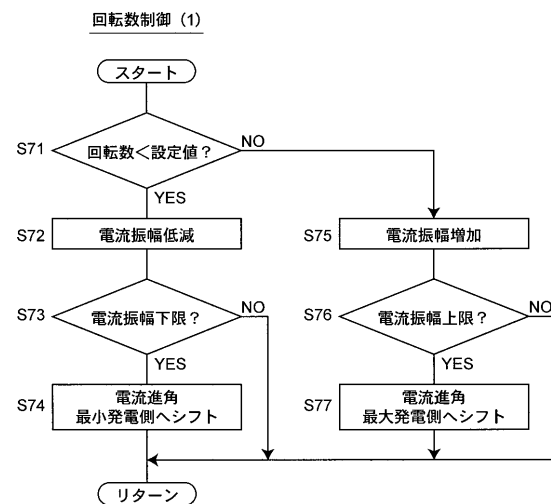
【図 13】



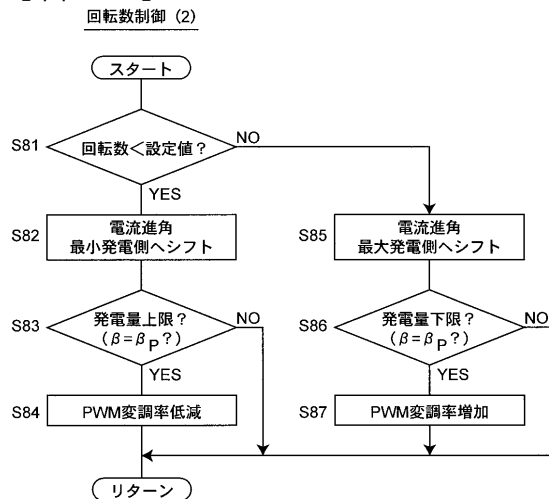
【図 14】



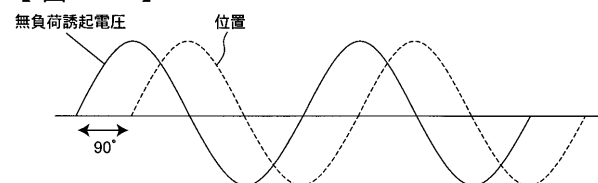
【図 15】



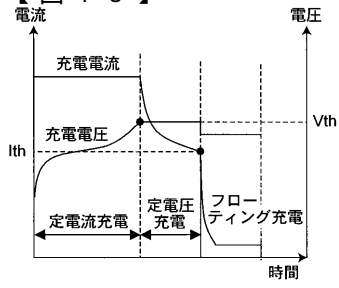
【図 16】



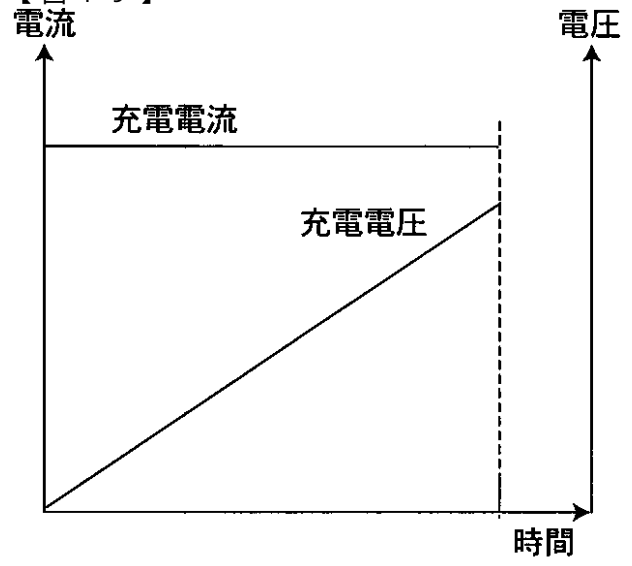
【図 17】



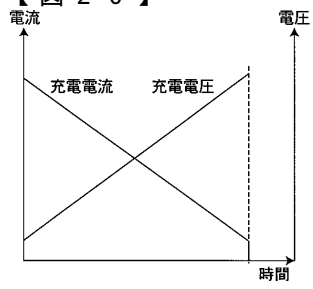
【図 18】



【図 19】



【図 20】



---

フロントページの続き

(72)発明者 河原 定夫  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

(72)発明者 中田 秀樹  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

(72)発明者 玉木 悟史  
大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

F ターム(参考) 5H590 AA01 AA03 AB01 AB02 AB03 CA07 CA14 CA23 CA24 CC02  
CD03 CE02 CE05 DD32 EA01 EA17 EB02 EB03 EB04 EB07  
EB21 FA08 FB03 FB07 FC12 GA02 GA04 GA06 HA02 HA04  
HA06 HA27 HB02 HB03 JA02