

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7608897号  
(P7608897)

(45)発行日 令和7年1月7日(2025.1.7)

(24)登録日 令和6年12月23日(2024.12.23)

(51)国際特許分類	F I	
H 0 2 P 25/22 (2006.01)	H 0 2 P 25/22	
H 0 2 P 27/08 (2006.01)	H 0 2 P 27/08	
H 0 2 M 7/48 (2007.01)	H 0 2 M 7/48	E
H 0 2 M 7/493(2007.01)	H 0 2 M 7/493	

請求項の数 9 (全21頁)

(21)出願番号	特願2021-42383(P2021-42383)	(73)特許権者	000004260
(22)出願日	令和3年3月16日(2021.3.16)		株式会社デンソー
(65)公開番号	特開2022-142265(P2022-142265 A)	(74)代理人	愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
			110001519
(43)公開日	令和4年9月30日(2022.9.30)		弁理士法人太陽国際特許事務所
審査請求日	令和5年8月7日(2023.8.7)	(72)発明者	近藤 孔亮
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式
			会社デンソー内
		(72)発明者	青木 康明
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式
			会社デンソー内
		審査官	若林 治男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 回転電機の制御装置及び回転電機の制御方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

各々に複数のスイッチング素子（42UA～44WA、42UB～44WB）が設けられ、各々に設けられた複数のスイッチング素子（42UA～44WA、42UB～44WB）各々のスイッチング動作により、共通の直流電源の直流電力を交流電力に変換して出力する複数の電力変換回路（40A、40B）と、

前記複数の電力変換回路（40A、40B）の各々から出力された交流電力が供給される回転電機（10）と、

前記複数の電力変換回路（40A、40B）が前記回転電機（10）の巻線（14A、14B）へ通電する通電区間の各々が相補的となるように、前記複数の電力変換回路（40A、40B）の各々に設けられた複数のスイッチング素子（42UA～44WA、42UB～44WB）各々のスイッチング動作を制御する通電制御部（100）と、

を含み、  
前記複数の電力変換回路（40A、40B）の各々による通電区間と、前記複数の電力変換回路（40A、40B）の各々による前記回転電機（10）の巻線（14A、14B）への非通電区間との関係は、前記複数の電力変換回路（40A、40B）がN系統存在する場合、通電区間の長さ：非通電区間の長さ＝1/N：（1－1/N）である

回転電機の制御装置。

【請求項2】

前記通電制御部（100）は、前記複数のスイッチング素子（42UA～44WA、4

2 U B ~ 4 4 W B ) の動作パターンの各々を示す複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和として表現された電圧指令ベクトル ( 6 0 ) における、前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) 及び前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) 各々の係数に基づいて前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) の各々に設けられた複数のスイッチング素子 ( 4 2 U A ~ 4 4 W A 、 4 2 U B ~ 4 4 W B ) の各々のスイッチング動作を制御する請求項 1 に記載の回転電機の制御装置。

【請求項 3】

前記回転電機 ( 1 0 ) の巻線 ( 1 4 A 、 1 4 B ) の電流を検出する電流検出部 ( 4 6 、 4 8 ) をさらに備え、

前記通電制御部 ( 1 0 0 ) は、前記電流検出部 ( 4 6 、 4 8 ) で検出した電流に基づいて算出した前記巻線 ( 1 4 A 、 1 4 B ) の電流ベクトル 6 6 と位相が同じで、かつ振幅が電圧指令ベクトル 6 0 と同じであるベクトルを前記有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和として表現し、当該和における前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) 及び前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) 各々の係数に基づいて前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) の各々に設けられた複数のスイッチング素子 ( 4 2 U A ~ 4 4 W A 、 4 2 U B ~ 4 4 W B ) の各々のスイッチング動作を制御する請求項 2 に記載の回転電機の制御装置。

10

【請求項 4】

前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和は、3 以上の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和である請求項 2 又は 3 に記載の回転電機の制御装置。

20

【請求項 5】

前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和は、位相差が 1 2 0 度の自然数倍となる複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和である請求項 2 又は 3 に記載の回転電機の制御装置。

【請求項 6】

前記電圧指令ベクトル ( 6 0 ) が示す変調率が所定の閾値以上の場合、前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和は、位相差が 6 0 度の自然数倍となる複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和であり、前記変調率が前記所定の閾値未満の場合、前記複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和は、位相差が 1 2 0 度の自然数倍となる複数の有効電圧ベクトル ( V 1 ~ V 6 ) の和である請求項 2 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置。

30

【請求項 7】

前記回転電機 ( 1 0 ) は、前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) に各々対応した複数系統の巻線 ( 1 4 A 、 1 4 B ) を備え、

前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) は、前記各々対応した巻線 ( 1 4 A 、 1 4 B ) に通電する請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置。

【請求項 8】

前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) に各々対応した複数の回転電機 ( 1 0 A 、 1 0 B ) を備え、

前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) は、前記各々対応した回転電機 ( 1 0 A 、 1 0 B ) の巻線に通電する請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の回転電機の制御装置。

40

【請求項 9】

各々に複数のスイッチング素子 ( 4 2 U A ~ 4 4 W A 、 4 2 U B ~ 4 4 W B ) が設けられ、各々に設けられた複数のスイッチング素子 ( 4 2 U A ~ 4 4 W A 、 4 2 U B ~ 4 4 W B ) 各々のスイッチング動作により、共通の直流電源の直流電力を交流電力に変換して出力する複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) の各々から出力された交流電力が供給される回転電機 ( 1 0 ) の制御方法であって、

前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) が前記回転電機 ( 1 0 ) の巻線 ( 1 4 A 、 1 4 B ) へ通電する通電区間の各々が相補的となるように、前記複数の電力変換回路 ( 4 0 A 、 4 0 B ) の各々に設けられた複数のスイッチング素子 ( 4 2 U A ~ 4 4 W A 、 4 2

50

UB ~ 44WB) 各々のスイッチング動作を制御し、

前記複数の電力変換回路(40A、40B)の各々による通電区間と、前記複数の電力変換回路(40A、40B)の各々による前記回転電機(10)の巻線(14A、14B)への非通電区間との関係は、前記複数の電力変換回路(40A、40B)がN系統存在する場合、通電区間の長さ：非通電区間の長さ =  $1/N$  :  $(1 - 1/N)$  である

回転電機の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回転電機の制御装置及び回転電機の制御方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

例えば、大型の三相同期モータでは、U、V、Wの各相の巻線と、当該巻線に印加する電圧を生成するインバータの各々が2系統備えられる場合がある。2系統備わる巻線の各々は、同相において各々所定の電気角をもって配置される。2系統備わるインバータのうち、一方の系統のインバータは、他の系統のインバータが生成した電圧とは、位相が所定の電気角異なる電圧を生成して巻線に印加する。

【0003】

図18は、インバータと巻線とが2系統備わる回転電機(モータ)における電力供給時の電流変化の一例を示した説明図である。図18では、回転電機の巻線に印加する電圧の制御に後述する空間ベクトル変調を用いている。図18に示したように、A系統のインバータに電圧指令として電圧ベクトル(A系統)が入力された結果、図18で「有効」と示されたインバータ電流(A系統)が生じる。そして、2系統備わるインバータの他方の系統であるB系統のインバータに電圧指令として電圧ベクトル(B系統)が入力された結果、図18で「有効」と示されたインバータ電流(B系統)が生じる。

20

【0004】

インバータ電流(A系統)とインバータ電流(B系統)とにより、各々のインバータに電力を供給する電源と、各々のインバータとの間にインバータ電流(A+B)が生じる。かかるインバータ電流(A+B)は、電流リップルとして、電源電圧の平滑化に影響するので、電源と並列に電圧を平滑化するためのフィルタとして、コンデンサが設けられる。そして、当該コンデンサの電流は図18に示したコンデンサ電流のようになる。コンデンサ電流は、インバータ電流(A+B)と位相が反転した態様で生成される。

30

【0005】

コンデンサ電流の振幅が大きい場合、フィルタとして実装されるコンデンサは大容量であることが求められるが、大容量のコンデンサの実装は、コスト、回路の小型化に相反するという問題があった。

【0006】

フィルタであるコンデンサの容量を小さくするには、コンデンサ電流の振幅を抑制することが考えられる。図18には、A系統のインバータも、B系統のインバータも、回転電機の巻線に印加する電圧を生成しない、いわゆる非通電区間120、122が生じている。非通電区間が顕著に生じていると、インバータ電流(A+B)の振幅が大きくなり、結果としてコンデンサ電流の振幅も大きくなる。

40

【0007】

特許文献1には、2系統間のPWM位相をずらすことで電流リップルを打ち消しあい電流リップルを低減するモータ駆動装置が提案されている。

【0008】

また、特許文献2には、2系統間のPWM制御の位相をずらすと共に、電圧指令の系統間位相差を30度ずらすことで電流リップルを打ち消しあい電流リップルを低減する電力変換装置が提案されている。

【0009】

50

また、特許文献 3 には、PWM 制御において、デューティシフトすることで 2 系統の充電タイミングをずらし電流リップルを低減する電力変換装置が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【文献】特開 2001 - 197779 号公報

【文献】特開 2012 - 50252 号公報

【文献】特許第 4941686 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0011】

しかしながら、特許文献 1 - 3 に係る各々の発明は、インバータを構成するスイッチング素子の動作の自由度が低く、効果的に電流リップルを抑制することが困難になるおそれがあった。

【0012】

本発明は上記課題に鑑みて創作されたものであり、電流リップルを効果的に抑制可能な回転電機の制御装置及び回転電機の制御方法を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上記目的を達成するために本発明に係る回転電機の制御装置は、各々に複数のスイッチング素子（42UA～44WA、42UB～44WB）が設けられ、各々に設けられた複数のスイッチング素子（42UA～44WA、42UB～44WB）各々のスイッチング動作により、共通の直流電源の直流電力を交流電力に変換して出力する複数の電力変換回路（40A、40B）と、前記複数の電力変換回路（40A、40B）の各々から出力された交流電力が供給される回転電機（10）と、前記複数の電力変換回路（40A、40B）が前記回転電機（10）の巻線（14A、14B）へ通電する通電区間の各々が相補的となるように、前記複数の電力変換回路（40A、40B）の各々に設けられた複数のスイッチング素子（42UA～44WA、42UB～44WB）各々のスイッチング動作を制御する通電制御部（100）と、を含む。

20

【0014】

この様に構成することで、電流リップルを効果的に抑制可能な回転電機の制御装置及び回転電機の制御方法を得ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図 1】回転電機の制御システムの電気回路図である。

【図 2】本実施形態に係る回転電機の制御装置におけるインバータによる電力供給時の電流変化の一例を示した説明図である。

【図 3】3 系統のインバータによる通電区間及び非通電区間の一例を示した概略図である。

【図 4】電圧指令ベクトルを有効電圧ベクトルの合成で表現した場合を示した説明図である。

40

【図 5】インバータを構成するスイッチング素子の電圧ベクトルに対応するスイッチングの態様と、電圧ベクトルに対応する U 相電圧、V 相電圧、W 相電圧と、を示した表である。

【図 6】（A）は、60 度変調の 1 スwitchング周期における電圧ベクトル及びスイッチングパターンの推移の一例を示し、（B）は、120 度変調の 1 スwitchング周期における電圧ベクトル及びスイッチングパターンの推移の一例を、各々示した概略図である。

【図 7】120 度変調における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

【図 8】（A）は、60 度変調におけるセクションについて示した概略図であり、（B）は、60 度変調における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

【図 9】セクション判別に電流ベクトルを用いる場合の説明図である。

【図 10】電圧指令ベクトルを複数の有効電圧ベクトルで表現する態様を示した概略図で

50

ある。

【図 1 1】(A)は、電圧指令ベクトルを 4 つの有効電圧ベクトルで表現する場合を示した概略図であり、(B)は、電圧指令ベクトルを 4 つの有効電圧ベクトルで表現する場合における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

【図 1 2】(A)は、電圧指令ベクトルを 6 つの有効電圧ベクトルで表現する場合を示した概略図であり、(B)は、電圧指令ベクトルを 6 つの有効電圧ベクトルで表現する場合における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

【図 1 3】(A)は、電圧指令ベクトルを 8 つの有効電圧ベクトルで表現する場合を示した概略図であり、(B)は、電圧指令ベクトルを 8 つの有効電圧ベクトルで表現する場合における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

10

【図 1 4】本実施形態に係る回転電機の制御装置の処理の一例を示したフローチャートである。

【図 1 5】(A)は、回転電機が複数のインバータに各々対応した複数系統の巻線を備えた場合を、(B)は、複数のインバータに各々対応した複数の回転電機を備えた場合を、各々示したブロック図である。

【図 1 6】(A)は、U、V、Wの各相の指令値を各々変調して、A系統用の指令値と、B系統用の指令値とを生成して、搬送波との比較でPWM制御する場合を、(B)は、U、V、Wの各相のうち二相の指令値を搬送波の山又は谷のタイミングで立ち上がり又は立ち下がるようにオフセットして、搬送波との比較でPWM制御する場合を示した説明図である。

20

【図 1 7】PWMによる三相変調と、搬送波の山又は谷で指令電圧をオフセットする変調とにおける、低変調及び高変調での電圧ベクトルの変化の一例を示した説明図である。

【図 1 8】インバータと巻線とが 2 系統備わる回転電機における電力供給時の電流変化の一例を示した説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

[第 1 の実施形態]

以下、第 1 の実施形態を図面に基づいて説明する。本実施形態における回転電機は、例えば車両動力源として用いられる。ただし、回転電機は、産業用、車両用、家電用、OA 機器用、又は遊技機用などとして広く用いられることが可能である。なお、以下の各実施形態相互において、互いに同一又は均等である部分には、図中、同一符号を付しており、同一符号の部分についてはその説明を援用する。

30

【0017】

図 1 は、回転電機 10 の制御システムの電気回路図であり、本実施形態に係る回転電機 10 は、三相同期モータである。

【0018】

図 1 では、2 組の巻線 14 A、14 B が示されており、巻線 14 A は U 相巻線 14 U A、V 相巻線 14 V A 及び W 相巻線 14 W A よりなり、巻線 14 B は U 相巻線 14 U B、V 相巻線 14 V B 及び W 相巻線 14 W B よりなる。巻線 14 A、14 B ごとに、A 系統インバータ 40 A と B 系統インバータ 40 B とがそれぞれ設けられている。A 系統インバータ 40 A 及び B 系統インバータ 40 B は、相巻線の相数と同数の上アームスイッチ及び下アームスイッチを有するフルブリッジ回路により構成されている。A 系統インバータ 40 A は、上アームスイッチであるスイッチング素子 42 U A、42 V A、42 W A、及び下アームスイッチであるスイッチング素子 44 U A、44 V A、44 W A の、B 系統インバータ 40 B は、上アームスイッチであるスイッチング素子 42 U B、42 V B、42 W B、及び下アームスイッチであるスイッチング素子 44 U B、44 V B、44 W B の各々のオンオフにより、電源 30 から供給された電力から巻線 14 A、14 B に印加する電圧を生成する。スイッチング素子 42 U A、42 V A、42 W A、44 U A、44 V A、44 W A、42 U B、42 V B、42 W B、44 U B、44 V B、44 W B の各々は、一例として、FET (電界効果トランジスタ) 又は IGBT (絶縁ゲートバイポーラトランジスタ

40

50

)である。

【 0 0 1 9 】

A系統インバータ40A及びB系統インバータ40Bは、制御装置100によって制御される。外部から入力される指令信号と、通電状態とに基づいて、出力電圧演算部110AがA系統における電圧指令ベクトル $V_A$ を、出力電圧演算部110BがB系統における電圧指令ベクトル $V_B$ を各々生成する。そして、変調部112は、入力された電圧指令ベクトル $V_A$ 、 $V_B$ から、A系統インバータ40A及びB系統インバータ40Bの各々を構成するスイッチング素子のゲートに印加するゲート信号を生成する。

【 0 0 2 0 】

A系統インバータ40A及びB系統インバータ40Bの各々が動作することにより、図1に示した回路には、電源電流50、インバータ電流54、A系統インバータ電流54A及びB系統インバータ電流54Bが生じ、電源電圧を平滑化するコンデンサ20には、コンデンサ電流52が流れる。

10

【 0 0 2 1 】

図2は、インバータと巻線とが2系統備わる本実施形態に係る回転電機の制御装置100におけるインバータ40A、40Bによる電力供給時の電流変化の一例を示した説明図である。図2では、空間ベクトル変調によりインバータ40A、40Bの各々を制御している。空間ベクトル変調では、インバータ40A、40Bの各々を構成するスイッチング素子42UA～44WA、42UB～44WBの各々のスイッチングの態様を8種類のベクトルで表現すると共に、指令値である電圧指令ベクトルを、8種類のベクトルの合成(和)で表現する。

20

【 0 0 2 2 】

例えば、三相インバータであるインバータ40Aを構成するスイッチング素子42UA～44WAにおけるスイッチングの態様は、 $2^3 = 8$ 通り存在する。うち、上アームスイッチであるスイッチング素子42UA、42VA、42WAの各々がオンになるスイッチングの態様は、回転電機10の巻線14Aに電圧が印加されない。従って、かかるスイッチングの態様を表現したベクトルは無効電圧ベクトル $V_7$ とされる。

【 0 0 2 3 】

同様に、下アームスイッチであるスイッチング素子44UA、44VA、44WAの各々がオンになるスイッチングの態様も、回転電機10の巻線14Aに電圧が印加されない。従って、かかるスイッチングの態様を表現したベクトルは無効電圧ベクトル $V_0$ とされる。

30

【 0 0 2 4 】

その他の、回転電機10の巻線14Aに電圧が印加されるようなスイッチングの態様を表現したベクトルは、有効電圧ベクトル $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$ とされる。後述する図5に示したように、有効電圧ベクトル $V_1 \sim V_6$ の各々が示すスイッチングの態様には、同相の上アームスイッチと下アームスイッチとが同時にオンになる場合が含まれない。従って、空間ベクトル変調でインバータ40Aを構成するスイッチング素子42UA～44WAに、いわゆる貫通電流が生じることはない。

【 0 0 2 5 】

有効電圧ベクトル $V_1 \sim V_6$ 、及び無効電圧ベクトル $V_0$ 、 $V_7$ 、はインバータ40Bにも同様に適用され、インバータ40Bを構成するスイッチング素子42UB～44WBに貫通電流が生じないことは、インバータ40Bの場合も同様である。

40

【 0 0 2 6 】

図2では、電圧ベクトル(A系統)において、破線囲みで示した有効電圧ベクトル $V_2$ 、 $V_6$ に対応してインバータ電流(A系統)としてインバータ電流 $-I_W$ 、 $-I_V$ が各々生じる通電区間が形成される。電圧ベクトル(A系統)は、有効電圧ベクトル $V_2$ 、 $V_6$ に後続して無効電圧ベクトル $V_0$ となり、インバータ電流(A系統)が無効となる非通電区間が生じる。

【 0 0 2 7 】

電圧ベクトル(B系統)では、電圧ベクトル(A系統)が前述のように有効電圧ベクトル

50

ル  $V_2$ 、 $V_6$  となった際に、無効電圧ベクトル  $V_7$  となり、その結果、インバータ電流（B 系統）が無効となる非通電区間が生じる。電圧ベクトル（B 系統）は、無効電圧ベクトル  $V_7$  に後続して、破線囲みで示した有効電圧ベクトル  $V_2$ 、 $V_6$  となり、有効電圧ベクトル  $V_2$ 、 $V_6$  に対応してインバータ電流（B 系統）としてインバータ電流 -  $I_w$ 、-  $I_v$  が各々生じる通電区間が形成される。

【0028】

以上説明したように、図 2 では、インバータ電流（A 系統）の通電区間と、インバータ電流（B 系統）の通電区間と、が相補的に出現する。また、インバータ電流（A 系統）の非通電区間と、インバータ電流（B 系統）の非通電区間と、が相補的に出現している。その結果、インバータ電流（A + B）の振幅（変動）が抑制され、インバータ電流（A + B）に対応して発生するコンデンサ 20 のコンデンサ電流 52 の振幅（変動）も抑制される。

10

【0029】

通電区間と非通電区間とが相補的に出現する際に、インバータ 40A、40B の各々による通電区間と、インバータ 40A、40B の各々による非通電区間とが略同じ長さであることも、コンデンサ電流 52 の振幅の抑制に奏功し得る。

【0030】

図 1、及び図 2 では、インバータ 40A、40B、及び巻線 14A、14B を備える場合を例示したが、図 3 に示したように、例えば、A 系統、B 系統及び C 系統のインバータと巻線を備え、3 系統以上のインバータと巻線とを含む構成でもよい。かかる構成においても、通電区間（図 3 における「有効」）及び非通電区間（図 3 における「無効」）は、A、B 2 系統の場合と同様に相補的に出現するようにする。そして、図 3 に示したような 3 系統のインバータと巻線とを含む構成における通電区間と非通電区間との関係は、通電区間の長さ：非通電区間の長さ =  $1/3 : (1 - 1/3) = 1 : 2$  となる。N 系統（N は 2 以上の自然数）のインバータと巻線とを有する構成では、通電区間と非通電区間との関係は、下記のように一般化される。下記の関係は、インバータ 40A、40B、及び巻線 14A、14B を備える場合にも、通電区間の長さ：非通電区間の長さ =  $1/2 : (1 - 1/2) = 1 : 1$  となり、矛盾なく成立する。

20

通電区間の長さ：非通電区間の長さ =  $1/N : (1 - 1/N)$

【0031】

図 4 は、電圧指令ベクトル 60 を有効電圧ベクトルの合成で表現した場合を示した説明図である。空間ベクトル変調では、電圧指令ベクトル 60 を、位相差が 120 度の自然数倍となる有効電圧ベクトルの合成で表現する 120 度変調と、位相差が 60 度の自然数倍となる有効電圧ベクトルの合成で表現する 60 度変調とがある。図 4 では、主に 120 度変調について説明する。120 度変調では、電圧ベクトルが存在する仮想的な空間の象限の各々をセクション A、B、C、D、E、F と称する。電圧指令ベクトル 60 を 2 本の有効電圧ベクトルの合成として表現する場合、電圧指令ベクトル 60 がどの象限（セクション）に存在するかによって、どの有効電圧ベクトルの合成により電圧指令ベクトル 60 を表現するかを決定する。例えば、図 4 に示したように、電圧指令ベクトル 60 がセクション A に存在する場合、電圧指令ベクトル 60 は、有効電圧ベクトル  $V_2$  と有効電圧ベクトル  $V_6$  との合成で表現される。また、無効電圧ベクトルは 120 度変調では、無効電圧ベクトル  $V_7$  となる。電圧指令ベクトル 60 は、有効電圧ベクトル  $V_2$  と有効電圧ベクトル  $V_6$  との合成で表現してもよい。

30

40

【0032】

120 度変調における電圧指令ベクトル 60 と、有効電圧ベクトルとの関係を一般化すると、電圧指令ベクトル 60 が存在するセクションに各々隣接するセクションに存在する有効電圧ベクトルを用いて電圧指令ベクトル 60 を表現する。従って、換言すれば、電圧指令ベクトル 60 に対する位相差  $D_{120}$  が、 $30^\circ < D_{120} < 90^\circ$  度である 2 本の有効電圧ベクトルの合成で電圧指令ベクトル 60 を表現することになる。

【0033】

図 4 では、参考までに 60 度変調における電圧指令ベクトル 60 の有効電圧ベクトルの

50

合成の態様を示す。60度変調では、電圧指令ベクトル60は、有効電圧ベクトルV1と有効電圧ベクトルV2との合成で表現される。なお、図4における、は、三相を二相に変換した場合の、回転電機10の二相固定座標系を規定する軸及び軸である。

【0034】

図4に示したように、同じ電圧指令ベクトル60に対し、120度変調では、60度変調に比して、電圧指令ベクトル60を合成する有効電圧ベクトルの大きさが大きくなるので、表現可能な電圧指令ベクトル60の大きさは、60度変調に比して制限される。本実施形態では、後述するように、電圧指令ベクトルの大きさに比例する変調率が、所定の閾値 $M_a$ 未満の場合は原則として120度変調を、所定の閾値 $M_a$ 以上の場合は原則として60度変調を用いる。

10

【0035】

また、120度変調は、使用する有効電圧ベクトルの位相差が60度変調よりも大きいので、通電区間の幅を拡張する際に、60度変調よりも若干有利となる。

【0036】

図5は、インバータ40A、40Bを構成するスイッチング素子の電圧ベクトルV0～V7に対応するスイッチングの態様と、電圧ベクトルV0～V7に対応するU相電圧 $v_u$ 、V相電圧 $v_v$ 、W相電圧 $v_w$ と、を示した表である。図5において、「ON/off」等で示した事項は、左が上アームスイッチの、右が下アームスイッチの各々の動作状態を示す。また、 $E_d/2$ は、電源30の正極側の電圧である電源電圧VDCに対応し、 $-E_d/2$ は、電源30の負極側の電圧である0に対応する。

20

【0037】

図5の最下段に示した $v$ は、回転電機10の二相固定座標系における各々の電圧ベクトルの電圧値である。 $v$ は、下記の式(1)によって定義され、その結果、各々の電圧ベクトルに対応する $v$ の各値は、図5のようになる。後述するように、式(1)は、電圧指令ベクトルのような、空間ベクトルを記述する際にも用いられる。

【0038】

$$v_{\alpha\beta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left( v_u \cdot e^{j \cdot 0} + v_v \cdot e^{j \frac{2\pi}{3}} + v_w \cdot e^{j \frac{4\pi}{3}} \right) \quad \dots(1)$$

30

【0039】

図6(A)は、60度変調の1スイッチング周期における電圧ベクトル及びスイッチングパターンの推移の一例を示し、図6(B)は、120度変調の1スイッチング周期における電圧ベクトル及びスイッチングパターンの推移の一例を、各々示した概略図である。図6に示したように、60度変調の方がスイッチングパターンは単純化される場合がある。

【0040】

図7は、120度変調における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。図7に示したように、各セクションに存在する電圧指令ベクトル $V_{ref}$ は、図7に示した比率を係数とした和で表現される。一例として、電圧指令ベクトルが図5に示したようなセクションAに存在する場合、下記の式(2)によって表現される。

40

【0041】

$$V_{ref} = \left( \frac{v_u - v_w}{E_d} \right) V2 + \left( \frac{v_u - v_v}{E_d} \right) V6 \quad \dots(2)$$

【0042】

50



図 7 に示した各々の比率は、以下のように算出される。120 度変調では、図 4 に示したように、位相差が各々 60 度である 6 種類の有効電圧ベクトル毎に 6 個のセクション A ~ F が区画されている。一例として、電圧指令ベクトル  $V_{ref}$  がセクション A に属する場合を説明する。かかる場合、前述の式 (1) に基づいて、各相の電圧である U 相電圧  $v_u$ 、V 相電圧  $v_v$ 、W 相電圧  $v_w$  を用いて電圧指令ベクトル  $V_{ref}$  は下記の式 (3) のように表される。

【0043】

$$\begin{aligned} V_{ref} &= \sqrt{\frac{2}{3}} \left\{ -v_u \left( e^{j\frac{2\pi}{3}} + e^{j\frac{4\pi}{3}} \right) + v_v \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} + v_w \cdot e^{j\frac{4\pi}{3}} \right\} \\ &= \sqrt{\frac{2}{3}} \left\{ (v_u - v_w) e^{j\frac{\pi}{3}} + (-v_u + v_v) e^{j\frac{2\pi}{3}} \right\} \quad \dots (3) \end{aligned} \quad 10$$

【0044】

一方、図 5 に示した数値を用いて電圧指令ベクトル  $V_{ref}$  は、下記の式 (4) のように表される。式 (4) において、 $s$ 、 $t$  は係数である。

20

【0045】

$$\begin{aligned} V_{ref} &= s \cdot V2 + t \cdot V6 \\ &= \sqrt{\frac{2}{3}} E_d \left( s \cdot e^{j\frac{\pi}{3}} + t \cdot e^{j\frac{5\pi}{3}} \right) \\ &= \sqrt{\frac{2}{3}} E_d \left( s \cdot e^{j\frac{\pi}{3}} - t \cdot e^{j\frac{2\pi}{3}} \right) \quad \dots (4) \end{aligned} \quad 30$$

【0046】

上記の式 (3)、式 (4) の右辺を比較することにより、係数  $s$ 、 $t$  が算出され、電圧指令ベクトル  $V_{ref}$  を上記の式 (2) のように表すことができる。以下、同様にして、他のセクション B ~ F に各々存在する電圧指令ベクトル  $V_{ref}$  についても係数  $s$ 、 $t$  が算出される。なお、無効電圧ベクトル  $V_0$  の係数は、例えば  $1 + (3 v_i / E_d)$  ( $i = u, v, w$ )、無効電圧ベクトル  $V_7$  の係数は、例えば  $1 - (3 v_i / E_d)$  ( $i = u, v, w$ ) として、各々表現される。

40

【0047】

図 8 (A) は、60 度変調におけるセクションについて示した概略図であり、図 8 (B) は、60 度変調における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。図 8 (A) に示したように、60 度変調では、各々の有効電圧ベクトル  $V_1 \sim V_6$  で挟まれた領域を角セクションとして定義する。

【0048】

60 度変調においても、120 度変調の場合と同様に、上記の式 (1) と、図 5 に示した値とに基づいて、各セクションに存在する電圧指令ベクトル  $V_{ref}$  を構成する有効電圧ベクトルの係数が、図 8 に示したように算出される。なお、無効電圧ベクトル  $V_0$ 、 $V_7$  の

50

係数である  $(1 - M) / 2$  中の  $M$  は、変調率指令であり、 $M = 1.0$  である。回転電機 10 の巻線 14 A、14 B への電圧印加に係る変調率指令  $M$  を 1 から減算した値は、回転電機 10 の巻線 14 A、14 B への電圧印加に係らない無効な値となる。かかる無効な値を  $1/2$  にして、無効電圧ベクトル  $V_0$ 、 $V_7$  の各々に均等に分配し、無効電圧ベクトル  $V_0$ 、 $V_7$  の各々の係数（比率）を均等にしている。

【0049】

図 8 (B) では、無効電圧ベクトル  $V_0$ 、 $V_7$  は均等比率にしたが、均等比率にしなくてもよい。無効電圧ベクトル  $V_0$ 、 $V_7$  を、均等比率してもよいし、均等比率にしなくてもよいことは、後述する図 11 (B)、図 12 (B)、図 13 (B) も同様である。

【0050】

図 9 は、セクション判別に電流ベクトルを用いる場合の説明図である。図 9 には、60 度変調を想定したセクション 1 ~ 6（以下、図面では「S1 ~ S6」と略記）が示され、セクション 1 において、電圧指令ベクトル 60 と、電圧指令ベクトル 60 との位相差が

である電流ベクトル 66 とが各々示されている。電流ベクトル 66 は、電流センサ 46、48 で検出した巻線 14 A、14 B の電流、巻線 14 A、14 B に発生した誘起電圧、回転電機 10 が永久磁石を回転子（ロータ）とするブラシレスモータ等であれば、ホール素子等を用いて検出した当該回転子の位置等に基づいて算出する。

【0051】

電流ベクトル 66 をセクション判別では、電流ベクトル 66 が属するセクションにおけるスイッチング状態を採用すると共に、採用したスイッチング状態をどれくらいの長さにすべきかを電圧指令ベクトル 60 により決定する。すなわち、利用する有効電圧ベクトルを電流ベクトル 66 から決定し、電圧指令ベクトル 60 から利用する有効電圧ベクトルの各出力時間を決定することを意味する。

【0052】

図 9 では、電圧指令ベクトル 60 も電流ベクトル 66 も、セクション 1 に存在するが、セクション 1 では、図 8 (B) の 2 行目に太枠線で囲んだ係数と、当該定数に対応した有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_2$  とによるスイッチング状態が採用され、採用されたスイッチング状態の長さは、電圧指令ベクトル 60 により決定される。

【0053】

電流ベクトル 66 でセクションを判別し、電圧指令ベクトル 60 でスイッチング状態の長さを決定してインバータ 40 A、40 B を制御するという事項は、位相が電流ベクトル 66 と同じで、振幅が電圧指令ベクトル 60 と同じであるベクトルを複数の有効電圧ベクトル  $V_1 \sim V_6$  の和として表現し、当該和を構成する複数の有効電圧ベクトル  $V_1 \sim V_6$  及び複数の有効電圧ベクトル  $V_1 \sim V_6$  の係数に基づいて、インバータ 40 A、40 B の各々に設けられた複数のスイッチング素子 42 U A ~ 44 W B の各々のスイッチング動作を制御することに相当する。

【0054】

電流ベクトル 66 でセクション判別をすることで、PWM 制御において、回転電機の巻線への電圧印加のタイミングを遅らせる遅角制御と近似した効果が生じ、結果的に、コンデンサ電流の振幅を抑制して、いわゆる電流リップルを低減できる。

【0055】

図 9 に示したような、電流ベクトル 66 でセクション判別する場合、電圧指令ベクトル 60 との位相差の大きさによって電流ベクトル 66 又は電圧指令ベクトル 60 ののどちらかを用いてセクション判別を行うようにしてもよい。一例として、位相差が所定の角度（例えば 5 度）未満の場合は、電流ベクトル 66 ではなく電圧指令ベクトル 60 でセクション判別をする。

【0056】

また、電流ベクトル 66 でセクション判別をする場合、が例えば 30 度以上ある場合は、電圧指令ベクトル 60 から 30 度ずれた位相でセクション判別を行うようにしてもよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 7 】

図 1 0 は、電圧指令ベクトル 6 0 を複数の有効電圧ベクトル  $V_1 \sim V_6$  で表現する態様を示した概略図である。空間ベクトル変調において、2 つの有効電圧ベクトルを用いて電圧指令ベクトル 6 0 を表現することが一般的に行われており、特に従来技術では、2 つの有効電圧ベクトルを用いた 6 0 度変調が採用されている。しかしながら、6 0 度変調では、使用する有効電圧ベクトルの位相差が 6 0 度と比較的狭いことが影響して、通電区間の拡大には不適だが、使用する有効電圧ベクトルの位相差が大きい 1 2 0 度変調であれば、有効電圧ベクトルを 2 つ使う場合でも 6 0 度変調よりも通電幅を大きくすることが可能となる。

## 【 0 0 5 8 】

また、有効電圧ベクトルを 3 つ以上使用することにより、通電区間を拡張することができる。図 1 0 には、3 つの有効電圧ベクトル、4 つの有効電圧ベクトル、6 つの有効電圧ベクトル、8 つの有効電圧ベクトルを各々用いて電圧指令ベクトル 6 0 を表現している。4 つの有効電圧ベクトル、6 つの有効電圧ベクトル、8 つの有効電圧ベクトルを各々用いて電圧指令ベクトル 6 0 を表現する場合の詳細については、図 1 1、1 2、1 3 を用いて後述する。

## 【 0 0 5 9 】

図 1 1 ( A ) は、電圧指令ベクトル 6 0 を 4 つの有効電圧ベクトルで表現する場合を示した概略図であり、図 1 1 ( B ) は、電圧指令ベクトル 6 0 を 4 つの有効電圧ベクトルで表現する場合における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

## 【 0 0 6 0 】

図 1 1 ( A ) に示したように、電圧指令ベクトル 6 0 がセクション 6 に存在する場合、セクション 6 を挟む有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  で電圧指令ベクトル 6 0 を表現することに加えて、有効電圧ベクトル  $V_2$ 、 $V_5$  も用いて電圧指令ベクトル 6 0 を表現する。

## 【 0 0 6 1 】

回転電機 1 0 の巻線 1 4 A、1 4 B に対して通電区間をどれくらい出力するか調整するためのパラメータである変調率指令  $M$  から、回転電機 1 0 の巻線 1 4 A、1 4 B への電圧印加に係らない値を減算して得た結果は、電圧指令ベクトルから決定される通電区間が期待する通電区間よりも少ない場合に、その差分だけ通電区間を広げる目安として用いることができ、通電区間を拡張する際の有効電圧ベクトルの比率（係数）となる。回転電機 1 0 の巻線 1 4 A、1 4 B への電圧印加に係らない値は、図 1 1 ( A ) のように、有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  で電圧指令ベクトル 6 0 を表現することに加えて、有効電圧ベクトル  $V_2$ 、 $V_5$  も用いて電圧指令ベクトル 6 0 を表現する場合、 $(v_u - v_v) / E_d$  となる。

## 【 0 0 6 2 】

かかる係数を 1 / 2 にして、図 1 1 ( B ) において太線で囲んだ領域の両端に均等に分配することにより、通電区間を拡張する有効電圧ベクトルの係数を得ている。

## 【 0 0 6 3 】

図 1 2 ( A ) は、電圧指令ベクトル 6 0 を 6 つの有効電圧ベクトルで表現する場合を示した概略図であり、図 1 2 ( B ) は、電圧指令ベクトル 6 0 を 6 つの有効電圧ベクトルで表現する場合における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

## 【 0 0 6 4 】

図 1 2 ( A ) に示したように、電圧指令ベクトル 6 0 がセクション 6 に存在する場合、セクション 6 を挟む有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  で電圧指令ベクトル 6 0 を表現することに加えて、有効電圧ベクトル  $V_3$ 、 $V_4$ 、さらには有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  も重畳的に用いて電圧指令ベクトル 6 0 を表現する。

## 【 0 0 6 5 】

図 1 2 ( B ) では、変調率指令  $M$  と  $(v_u - v_v) / E_d$  等との差分を、有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  に加えて、4 つの有効電圧ベクトルで表現することから四等分し、図 8 ( B ) に示した係数に加算している。

## 【 0 0 6 6 】

10

20

30

40

50

図 1 3 ( A ) は、電圧指令ベクトル 6 0 を 8 つの有効電圧ベクトルで表現する場合を示した概略図であり、図 1 3 ( B ) は、電圧指令ベクトル 6 0 を 8 つの有効電圧ベクトルで表現する場合における瞬時空間電圧ベクトルの比率を示した表である。

【 0 0 6 7 】

図 1 3 ( A ) に示したように、電圧指令ベクトル 6 0 がセクション 6 に存在する場合、セクション 6 を挟む有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  で電圧指令ベクトル 6 0 を表現することに加えて、有効電圧ベクトル  $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$  さらには有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  も重畳的に用いて電圧指令ベクトル 6 0 を表現する。

【 0 0 6 8 】

図 1 3 ( B ) では、変調率指令  $M$  と  $(v_u - v_v) / E_d$  等との差分を、有効電圧ベクトル  $V_1$ 、 $V_6$  に加えて、6 つの有効電圧ベクトルで表現することから六等分し、図 8 ( B ) に示した係数に加算している。

10

【 0 0 6 9 】

図 1 4 は、本実施形態に係る回転電機の制御装置 1 0 0 の処理の一例を示したフローチャートである。ステップ 1 3 0 では、回転電機 1 0 を駆動する  $U$ 、 $V$ 、 $W$  の各相の電流波形をモニタすると共に、回転電機 1 0 の実回転速度である回転数情報を取得するセンサ情報検出を行う。

【 0 0 7 0 】

ステップ 1 3 2 では、電圧指令ベクトル 6 0 を生成する。一例として、ステップ 1 3 2 では、 $U$ 、 $V$ 、 $W$  の各相のアナログ電流値をデジタル電流値  $I_u$ 、 $I_v$ 、 $I_w$  に変換した後、2 相の電流値  $I$ 、 $I$  に変換する。さらに電流値  $I$ 、 $I$  の座標系を固定座標から回転座標に変換した電流値  $I_d$ 、 $I_q$  を指令値との偏差を解消するように  $PI$  制御で補正すると共に、電流値から電圧値  $V_d$ 、 $V_q$  に変換する。さらに、電圧値  $V_d$ 、 $V_q$  の座標系を回転座標から固定座標に逆座標変換を行って得た  $V$ 、 $V$  に空間ベクトル変換を施して電圧指令ベクトル 6 0 を生成する。

20

【 0 0 7 1 】

ステップ 1 3 4、1 3 6、1 4 0 は、電圧ベクトルの時間比率（係数）を算出する工程である。ステップ 1 3 4 では、ステップ 1 3 2 で生成した電圧指令ベクトル 6 0 の大きさに基づいて算出した変調率が、所定の閾値  $M_a$  未満か否かを判定する。変調率は、電圧指令ベクトル 6 0 の大きさに比例する 0 ~ 1 の値である。所定の閾値  $M_a$  は、実機を用いた実験等を通じて具体的に決定する。

30

【 0 0 7 2 】

ステップ 1 3 4 で、変調率が所定の閾値  $M_a$  未満と判定した場合は、手順をステップ 1 3 6 に移行し、変調率が所定の閾値  $M_a$  以上と判定した場合は、手順をステップ 1 4 0 に移行する。

【 0 0 7 3 】

ステップ 1 3 6 では、1 2 0 度変調を行う。1 2 0 度変調は、例えば、図 7 に示した瞬時空間電圧ベクトルの比率に基づいて、電圧指令ベクトル 6 0 を有効電圧ベクトルで表現する。

【 0 0 7 4 】

40

ステップ 1 3 8 では、ステップ 1 3 6 で得た結果に基づいて、インバータ 4 0 A、4 0 B の各々を構成するスイッチング素子のゲートに印加するゲート信号を出力して処理を終了する。

【 0 0 7 5 】

ステップ 1 4 0 では、6 0 度変調を行う。6 0 度変調は、例えば、図 8 ( B )、1 0 ( B )、1 1 ( B )、1 2 ( B ) に示した瞬時空間電圧ベクトルの比率に基づいて、電圧指令ベクトル 6 0 を有効電圧ベクトルで表現する。ステップ 1 4 0 では、6 0 度変調の他に、後述する三角波比較の  $PWM$  制御を行ってもよい。

【 0 0 7 6 】

ステップ 1 4 2 では、ステップ 1 4 0 で得た結果に基づいて、インバータ 4 0 A、4 0

50

Bの各々を構成するスイッチング素子のゲートに印加するゲート信号を出力して処理を終了する。

【0077】

図15(A)は、回転電機10が複数のインバータ40A、40Bに各々対応した複数系統の巻線を備えた場合を、図15(B)は、複数のインバータ40A、40Bに各々対応した複数の回転電機10A、10Bを備えた場合を、各々示したブロック図である。

【0078】

図15(A)に示した例では、複数のインバータ40A、40Bで生成された電圧が、1つの回転電機10の、複数のインバータ40A、40Bの各々に対応した巻線に通電されるので、大出力が期待できると共に、円滑な回転が得られる。図15(A)に示した回転電機10は、電動パワーステアリング、及び電気自動車の主機のような冗長設計や大出力が求められる用途に適している。また、各系統のスイッチングパターンは必ずしも同じ有効電圧ベクトルに従ったものでなくてもよい。例えば、A系統は60度変調を用い、B系統は120度変調を用いて相補的に駆動する方法を採用してもよい。

【0079】

図15(B)に示した例では、複数のインバータ40A、40Bで生成された電圧が、複数のインバータ40A、40Bの各々に対応した回転電機10A、10Bの巻線に通電されるので、複数の回転電機10A、10Bを同時に制御することができる。図15(B)に示した回転電機10A、10Bは、複数の回転電機を備える鉄道車両、並びにファン、及びポンプ駆動システム等の産業機器への用途に適している。また、回転電機10A、10Bの各々の巻線の通電区間の長さは必ずしも同一でなくてもよい。例えば、回転電機10Aの巻線の通電区間が全通電区間の80%であるのに対し、回転電機10Bの巻線の通電区間が全通電区間の20%であってもよい。又は、回転電機10Aの巻線の通電区間が全通電区間の20%であるのに対し、回転電機10Bの巻線の通電区間が全通電区間の80%であってもよい。

【0080】

以上説明したように、本実施形態に係る回転電機の制御装置100は、変調率が所定の閾値 $M_a$ 未満の場合は通電幅を大きく設定しやすい120度変調を行うと共に、変調率が所定の閾値 $M_a$ 以上の場合は120度変調とは異なる変調手段を用いることにより、インバータ40Aによる通電区間と、インバータ40Bによる通電区間とを拡張し、各々の通電区間が相補的に出現する制御を行う。120度変調とは異なる変調は、一例として、60度変調であり、より具体的には、2本又は3本以上の有効電圧ベクトルを使った60度変調である。

【0081】

インバータ40Aによる通電区間と、インバータ40Bによる通電区間とを相補的に出現させることにより、インバータ電流の振幅が抑制され、さらにはインバータ電流に対応して振幅が変化するコンデンサ20を流れるコンデンサ電流の振幅が抑制されるので、電源30とインバータ40A、40Bとを含む回路上の電流リップルが抑制される。その結果、当該回路の電圧の平滑化をするコンデンサ20の容量を抑制することができる。

【0082】

[第2の実施形態]

以下、第2の実施形態を図面に基づいて説明する。本実施形態は、空間ベクトル変調以外の方法により、コンデンサ電流52を抑制する。本実施形態では、第1の実施形態と同一の構成については同一の符号を付して、当該構成についての詳細な説明は省略する。

【0083】

図16(A)は、U、V、Wの各相の指令値を各々変調(オフセット)して、インバータ40Aを含むA系統用の指令値と、インバータ40Bを含むB系統用の指令値とを生成して、搬送波82との比較でPWM制御する場合を、図16(B)は、U、V、Wの各相のうち二相の指令値を搬送波82A、82Bの山又は谷のタイミングで立ち上がり又は立ち下がるようにオフセットして、搬送波82A、82Bとの比較でPWM制御する場合を

10

20

30

40

50

示した説明図である。

【 0 0 8 4 】

図 1 6 ( A ) に示した例では、U 相の指令値を指令電圧 8 0 U A、8 0 U B、V 相の指令値を指令電圧 8 0 V A、8 0 V B、W 相の指令値を指令電圧 8 0 W A、8 0 W B、とし、各々の指令値を搬送波 8 2 と比較して、電圧ベクトル  $V_0 \sim V_7$  のような PWM 制御の信号を生成する。図 1 6 ( A ) に示した例では、例えば、元は U、V、W の各相で各々 1 つだった指令値を、電圧指令ベクトル 6 0 又は電流ベクトル 6 6 に応じて正方向又は負方向にオフセットさせて指令電圧 8 0 U A、8 0 U B と、指令電圧 8 0 V A、8 0 V B と、指令電圧 8 0 W A、8 0 W B と、のようにしてもよい。図 1 6 ( A ) では、元の指令値に対して、A 系統の指令値を負方向、B 系統の指令値を正方向にオフセットさせているが、B 系統の指令値を負方向、A 系統の指令値を正方向にオフセットさせてもよい。

10

【 0 0 8 5 】

かかる指令値のオフセットにより、回転電機 1 0 の線間電位差を維持したまま、A 系統と B 系統とで、 $V_0$ 、 $V_7$  として示したような無効電圧の発生タイミングをずらすことが可能となる。

【 0 0 8 6 】

図 1 6 ( B ) に示した例では、搬送波 8 2 A、8 2 B の山又は谷で指令電圧に外乱を印可してオフセットさせ、電気角 1 周期で所望の電圧指令ベクトル 6 0 を実現する。搬送波 8 2 A はインバータ 4 0 A を含む A 系統用であり、搬送波 8 2 B はインバータ 4 0 B を含む B 系統用である。搬送波 8 2 A と搬送波 8 2 B とは、A 系統による通電区間と、B 系統による通電区間とが相補的に出現するように、所定の位相差を有している。さらに、搬送波 8 2 A、8 2 B の山又は谷で指令電圧に外乱を印可してオフセットさせることにより一種の電圧補償が可能となり、通電区間を拡張することができる。

20

【 0 0 8 7 】

図 1 6 ( B ) では、搬送波 8 2 A が谷となった際に、指令電圧 8 4 V を負方向にオフセットして指令電圧 8 6 V とし、指令電圧 8 4 W を正方向にオフセットして指令電圧 8 6 W としている。そして、搬送波 8 2 A が山になる時間  $t_1$  で、指令電圧 8 4 V を正方向にオフセットして指令電圧 8 6 V とし、指令電圧 8 4 W を負方向にオフセットして指令電圧 8 6 W としている。図 1 6 ( B ) に示した例では、V 相と W 相との二相変調なので、U 相の指令値である指令電圧 8 6 U は変化しない。

30

【 0 0 8 8 】

図 1 6 ( B ) の A 系統の電圧ベクトルは、搬送波 8 2 A が山となる時間  $t_1$  で指令電圧 8 6 W が立ち下がり、指令電圧 8 6 V が立ち上がることにより、 $V_5$  から  $V_3$  に切り替わる。

【 0 0 8 9 】

また、図 1 6 ( B ) において、搬送波 8 2 B が山となる時間  $t_2$  で指令電圧 8 6 W が立ち下がり、指令電圧 8 6 V が立ち上がるようにすると、図 1 6 ( B ) において B 系統として示したように、B 系統の電圧ベクトルが変化する。その結果、A 系統の通電区間と B 系統の通電区間とが相補的に出現する。

【 0 0 9 0 】

図 1 7 は、PWM による三相変調と、図 1 6 ( B ) に示した搬送波の山又は谷で指令電圧をオフセットする変調とにおける、低変調及び高変調での電圧ベクトルの変化の一例を示した説明図である。PWM による三相変調は、変調率指令である指令電圧 8 8 U、8 8 V、8 8 W の格差が比較的少ない低変調の場合も、変調率指令である指令電圧 9 2 U、9 2 V、9 2 W の格差が大きい高変調の場合も、電圧ベクトルが示す電圧振幅が大きくなるため、高変調域は低変調域に比べて有効電圧ベクトル区間が大きくなっている。

40

【 0 0 9 1 】

搬送波 9 0 の山又は谷の際に変調率指令である指令電圧をオフセットさせる変調では、平均的には電圧ベクトルの振幅を維持したまま PWM による三相変調よりも有効電圧を広げることができる。例えば、低変調の場合、PWM による三相変調では無効電圧ベクトル  $V_0$ 、 $V_7$  による非通電区間が、有効電圧ベクトル  $V_2$ 、 $V_3$  による通電区間よりも長

50

いが、指令電圧をオフセットさせる変調では有効電圧ベクトル $V_2$ 、 $V_4$ による通電区間が、無効電圧ベクトル $V_7$ による非通電区間よりも長くなっている。

【0092】

また、高変調の場合、PWMによる三相変調では無効電圧ベクトル $V_0$ 、 $V_7$ による非通電区間が存在するが、指令電圧をオフセットさせる変調では無効電圧ベクトル $V_0$ 、 $V_7$ による非通電区間は存在せず、有効電圧ベクトル $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ による通電区間のみが存在している。従って、指令電圧をオフセットさせる変調では三角波比較変調を用いても空間ベクトル変調における120度変調や3本以上の有効電圧ベクトルを用いた変調と同様の電圧ベクトルの出力が期待できる。

【0093】

以上説明したように、本実施形態によれば、搬送波の山又は谷の際に変調率指令である指令電圧をオフセットする変調により、コンデンサ20を流れるコンデンサ電流52の振幅が抑制されるので、電源30とインバータ40A、40Bとを含む回路上の電流リップルが抑制される。その結果、当該回路の電圧の平滑化をするコンデンサ20の容量を抑制することができる。

【符号の説明】

【0094】

10、10A、10B 回転電機、14A、14B 巻線、14UA、14UB U相巻線、14VA、14VB V相巻線、14WA、14WB W相巻線、20 コンデンサ、30 電源、40A、40B インバータ、42UA、42VA、42WA、44UA、44VA、44WA、42UB、42VB、42WB、44UB、44VB、44WB スイッチング素子、46、48 電流センサ、50 電源電流、52 コンデンサ電流、54 インバータ電流、54A A系統インバータ電流、54B B系統インバータ電流、60 電圧指令ベクトル、66 電流ベクトル、80UA 指令電圧、80VA 指令電圧、80WA 指令電圧、100 制御装置、110A、110B 出力電圧演算部、112 変調部、 $V_0$ 、 $V_7$  無効電圧ベクトル、 $V_1$ 、 $V_2$ 、 $V_3$ 、 $V_4$ 、 $V_5$ 、 $V_6$  有効電圧ベクトル

10

20

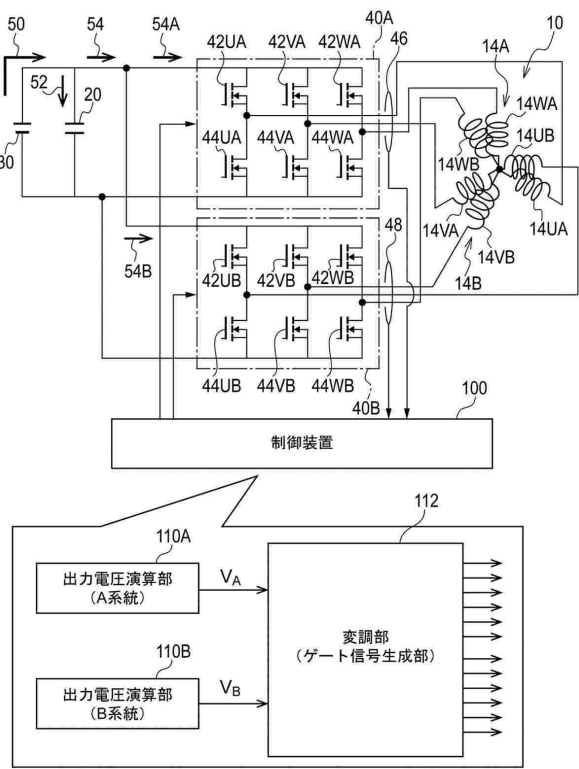
30

40

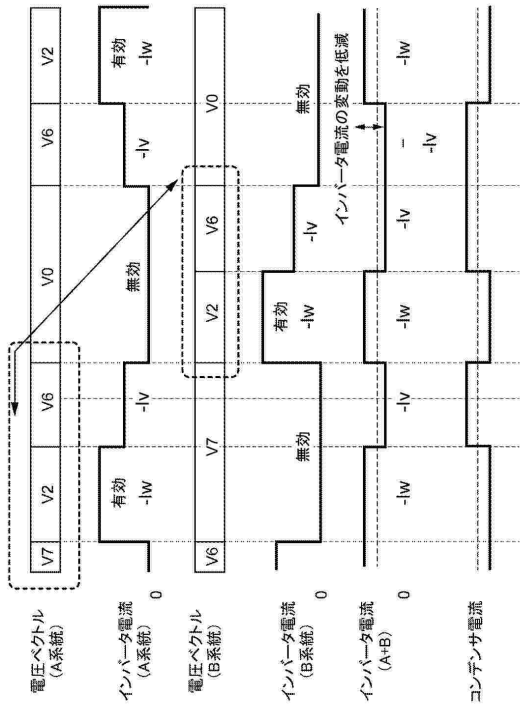
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



【図 3】

A系統

無効	有効	無効
----	----	----

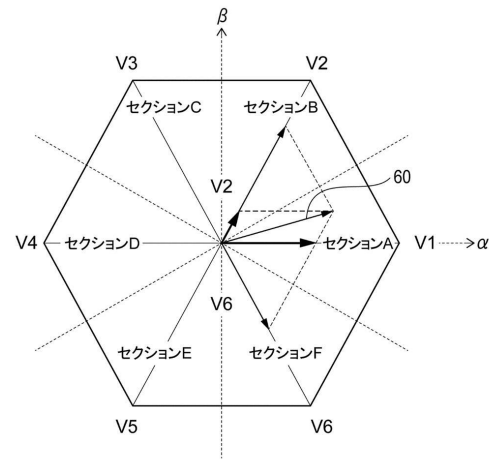
B系統

無効	有効
----	----

C系統

有効	無効
----	----

【図 4】



10

20

30

40

50

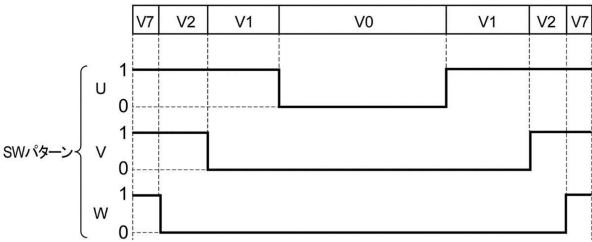


【図 5】

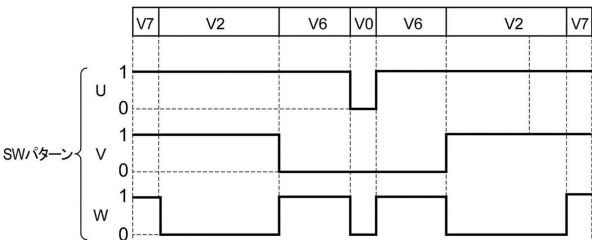
	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
U	off/ON	ON/off	ON/off	off/ON	off/ON	off/ON	ON/off	ON/off
V	off/ON	off/ON	ON/off	ON/off	ON/off	ON/off	off/ON	ON/off
W	off/ON	off/ON	off/ON	off/ON	ON/off	ON/off	ON/off	ON/off
Vu	-Ed/2	Ed/2	Ed/2	-Ed/2	-Ed/2	Ed/2	Ed/2	Ed/2
Vv	-Ed/2	-Ed/2	Ed/2	Ed/2	-Ed/2	-Ed/2	Ed/2	Ed/2
Vw	-Ed/2	-Ed/2	-Ed/2	-Ed/2	Ed/2	Ed/2	Ed/2	Ed/2
Vαβ	0	$\sqrt{\frac{2}{3}}E_d e^{j0}$	$\sqrt{\frac{2}{3}}E_d e^{j\frac{\pi}{3}}$	$\sqrt{\frac{2}{3}}E_d e^{j\frac{2\pi}{3}}$	$\sqrt{\frac{2}{3}}E_d e^{j\frac{\pi}{3}}$	$\sqrt{\frac{2}{3}}E_d e^{j\frac{4\pi}{3}}$	$\sqrt{\frac{2}{3}}E_d e^{j\frac{5\pi}{3}}$	0

【図 6】

(A)



(B)



10

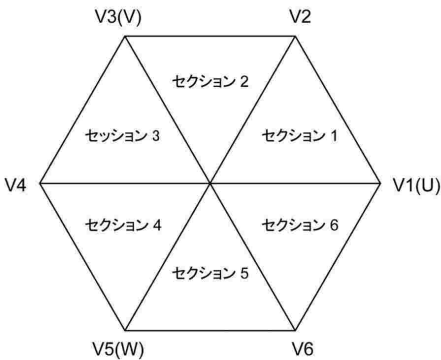
20

【図 7】

セクション	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
A	0	0	$\frac{V_u - V_w}{E_d}$	0	0	0	$\frac{V_u - V_v}{E_d}$	$1 - \frac{3V_u}{E_d}$
B	$1 + \frac{3V_w}{E_d}$	$\frac{V_u - V_w}{E_d}$	0	$\frac{V_v - V_w}{E_d}$	0	0	0	0
C	0	0	$\frac{V_v - V_w}{E_d}$	0	$\frac{V_v - V_u}{E_d}$	0	0	$1 - \frac{3V_v}{E_d}$
D	$1 + \frac{3V_u}{E_d}$	0	0	$\frac{V_v - V_u}{E_d}$	0	$\frac{V_w - V_u}{E_d}$	0	0
E	0	0	0	0	$\frac{V_w - V_u}{E_d}$	0	$\frac{V_w - V_v}{E_d}$	$1 - \frac{3V_w}{E_d}$
F	$1 + \frac{3V_v}{E_d}$	$\frac{V_u - V_v}{E_d}$	0	0	0	$\frac{V_w - V_v}{E_d}$	0	0

【図 8】

(A)



(B)

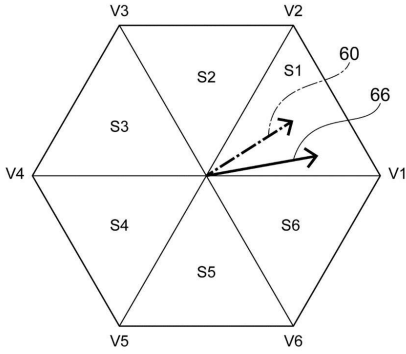
セクション	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{V_u - V_v}{E_d}$	$\frac{V_v - V_w}{E_d}$	0	0	0	0	$\frac{1-M}{2}$
2	$\frac{1-M}{2}$	0	$\frac{V_u - V_w}{E_d}$	$\frac{V_v - V_u}{E_d}$	0	0	0	$\frac{1-M}{2}$
3	$\frac{1-M}{2}$	0	0	$\frac{V_v - V_w}{E_d}$	$\frac{V_w - V_u}{E_d}$	0	0	$\frac{1-M}{2}$
4	$\frac{1-M}{2}$	0	0	0	$\frac{V_v - V_u}{E_d}$	$\frac{V_w - V_v}{E_d}$	0	$\frac{1-M}{2}$
5	$\frac{1-M}{2}$	0	0	0	0	$\frac{V_w - V_u}{E_d}$	$\frac{V_u - V_v}{E_d}$	$\frac{1-M}{2}$
6	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{V_u - V_w}{E_d}$	0	0	0	0	$\frac{V_w - V_v}{E_d}$	$\frac{1-M}{2}$

30

40

50

【図 9】



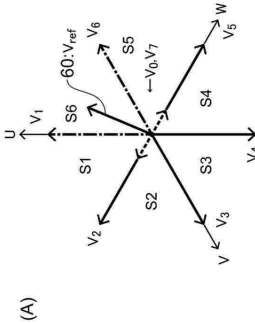
【図 10】

有効電圧ベクトル2つ		有効電圧ベクトル3つ以上			
60度変調 (従来技術)	120度変調	3つの 有効電圧ベクトルを 使用	60deg or 120deg変調に対して 有効区間を広げる電圧ベクトルを追加で使用		
電力供給区間を広げる変調手段					

10

20

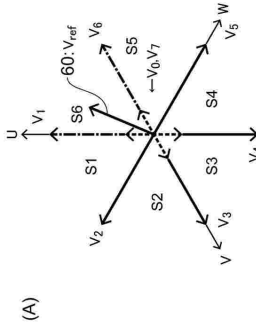
【図 11】



(B)

セクション	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{V_U - V_W}{E_d}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	0	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{1-M}{2}$
2	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{V_U - V_W}{E_d}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	0	0	0	$\frac{1-M}{2}$
3	$\frac{1-M}{2}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	0	$\frac{1-M}{2}$
4	$\frac{1-M}{2}$	0	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{1-M}{2}$
5	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	0	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{1-M}{2}$
6	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	0	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{2}$	$\frac{V_U - V_L}{E_d}$	$\frac{1-M}{2}$

【図 12】



(B)

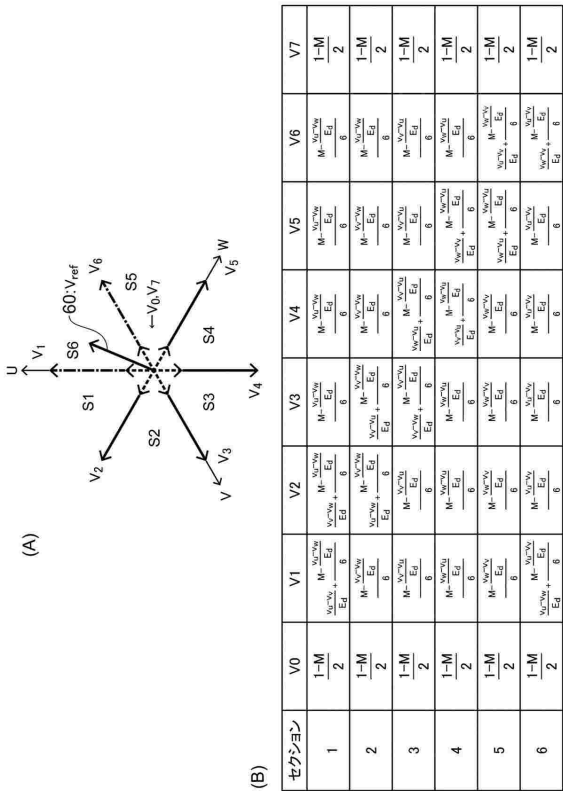
セクション	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
1	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{1-M}{2}$
2	$\frac{1-M}{2}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{1-M}{2}$
3	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{1-M}{2}$
4	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{1-M}{2}$
5	$\frac{1-M}{2}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{1-M}{2}$
6	$\frac{1-M}{2}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	0	$\frac{M - \frac{V_U - V_W}{E_d}}{4}$	$\frac{1-M}{2}$

30

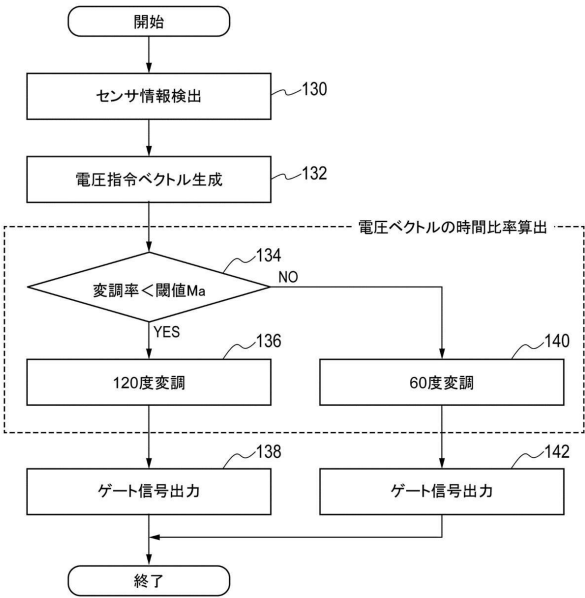
40

50

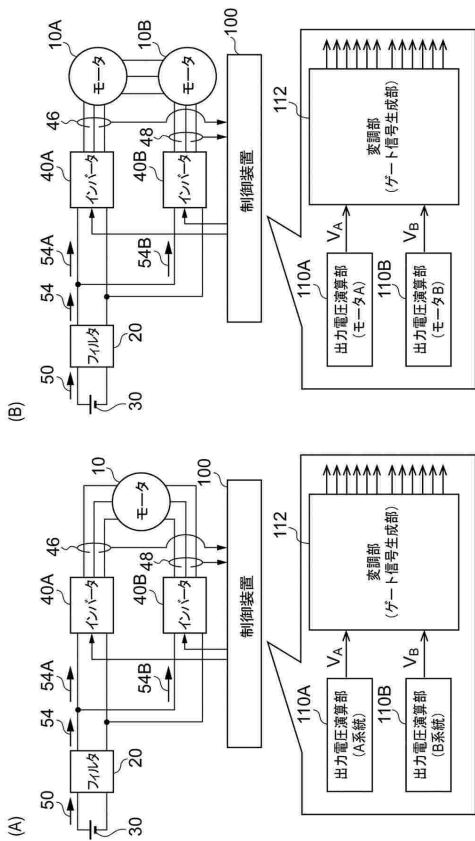
【図 1 3】



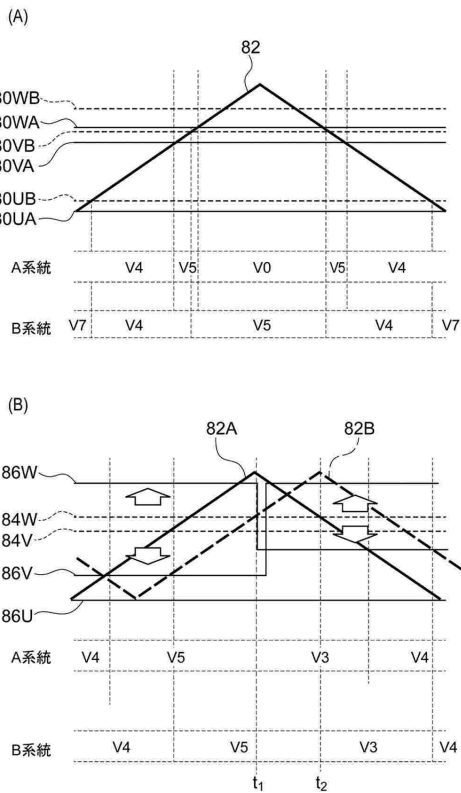
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

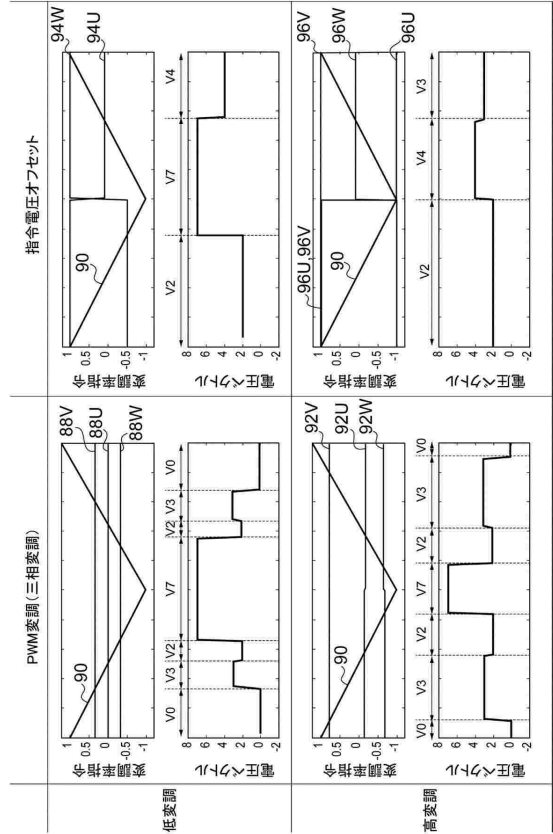
20

30

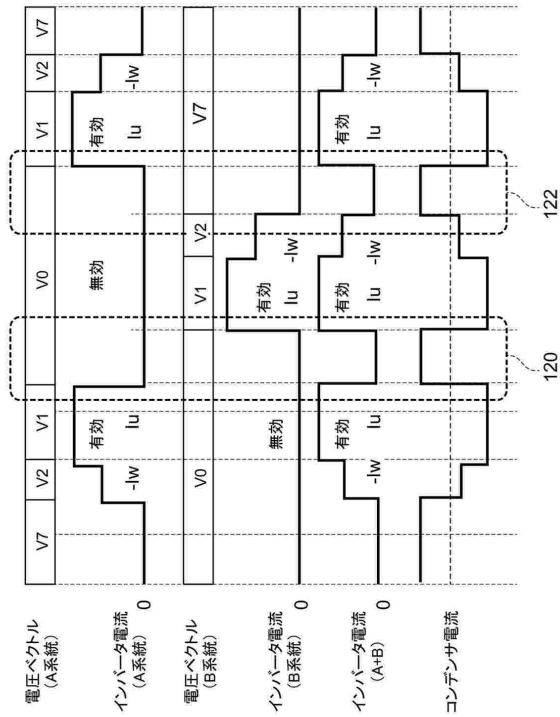
40

50

【図 17】



【図 18】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 9 - 1 4 0 8 0 6 ( J P , A )  
米国特許出願公開第 2 0 1 8 / 0 0 2 2 5 7 6 ( U S , A 1 )  
特開 2 0 0 6 - 1 4 9 1 4 5 ( J P , A )  
特開 2 0 1 8 - 1 9 6 1 7 9 ( J P , A )
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- |         |           |
|---------|-----------|
| H 0 2 P | 2 5 / 2 2 |
| H 0 2 P | 2 7 / 0 8 |
| H 0 2 M | 7 / 4 8   |
| H 0 2 M | 7 / 4 9 3 |