

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5963235号
(P5963235)

(45) 発行日 平成28年8月3日(2016.8.3)

(24) 登録日 平成28年7月8日(2016.7.8)

(51) Int.Cl. F I
 HO2M 7/48 (2007.01) HO2M 7/48 F
 HO2M 7/483 (2007.01) HO2M 7/483

請求項の数 4 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2011-285062 (P2011-285062)	(73) 特許権者	503027931
(22) 出願日	平成23年12月27日 (2011.12.27)		学校法人同志社
(65) 公開番号	特開2013-135554 (P2013-135554A)		京都府京都市上京区今出川通烏丸東入玄武町601番地
(43) 公開日	平成25年7月8日 (2013.7.8)	(74) 代理人	110000475
審査請求日	平成26年11月25日 (2014.11.25)		特許業務法人みのり特許事務所
		(72) 発明者	加藤 利次
			京都府京田辺市多々羅都谷1-3 同志社大学内
		(72) 発明者	井上 馨
			京都府京田辺市多々羅都谷1-3 同志社大学内
		審査官	河村 勝也

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 PWMインバータの制御方法および制御装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

三相PWMインバータの各スイッチ状態に対応する複数のスイッチベクトルの選択を切り替えながら、当該PWMインバータを空間ベクトル制御する方法であって、

前記PWMインバータの出力変化の1周期を、前記複数のスイッチベクトルのうちのいくつかのスイッチベクトルで表現可能な複数の領域に分割して捉え、

スイッチサイクルが切り替わる際に、

任意の出力ベクトルが前記複数の領域のうちどの領域に含まれるのかを特定し、

特定した前記領域を表現するいくつかのスイッチベクトルを予め定められた複数の出力順序パターンにしたがって順次選択する際にスイッチ状態が変化しない節約相を特定可能とした第1のルールと、前記複数のスイッチベクトルの選択を任意に切り替える際にスイッチ状態が変化する場合を特定可能とした第2のルールとに基づいて、新しいスイッチサイクルにおける前記節約相と、スイッチサイクルが切り替わる際の前記変化相とを特定し、

特定した前記変化相の相電流に予め定められた定数k(ただし、 $0 < k < 1$)を乗じた値から特定した前記節約相の相電流を減じることにより前記複数の出力順序パターンのそれぞれの評価値を算出するとともに、前記評価値が最小となる出力順序パターンを前記複数の出力順序パターンの中から選択し、

選択した前記出力順序パターンにしたがって前記いくつかのスイッチベクトルの選択を切り替えていくことを特徴とする制御方法。

10

20

【請求項 2】

前記出力順序パターンは、特定した前記領域に関係する前記いくつかのスイッチベクトルを、スイッチ状態の変化が最小となるように並べたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の制御方法。

【請求項 3】

複数のスイッチからなるインバータ部を備えた P W M インバータにおいて、前記スイッチの導通状態を制御する制御装置であって、

請求項 1 または 2 に記載の制御方法により前記スイッチの導通状態を変化させることを特徴とする制御装置。

【請求項 4】

昇降圧部と、前記昇降圧部によって昇圧または降圧された後の直流電圧が入力される、複数のスイッチからなるインバータ部を備えた P W M インバータにおいて、前記スイッチの導通状態を制御する制御装置であって、

請求項 1 または 2 に記載の制御方法により前記スイッチの導通状態を変化させることを特徴とする制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、P W M インバータの制御方法および制御装置に関し、特にスイッチベクトルを用いて P W M インバータを空間ベクトル制御する方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

図 1 に示すように、三相 2 レベル形の P W M インバータ 1 a は、制御部 3 によって制御されるインバータ部 2 からなり、インバータ部 2 の各相出力が三相負荷 4 に接続されている。同図に示すように、インバータ部 2 は I G B T 等からなる 6 つのスイッチ S W 1 ~ S W 6 を有し、このうち、スイッチ S W 1、S W 2 は U 相アームを、スイッチ S W 3、S W 4 は V 相アームを、スイッチ S W 5、S W 6 は W 相アームをそれぞれ構成する。各スイッチ S W 1 ~ S W 6 の導通状態は、制御部 3 の制御下で切り替えられる。

【0003】

P W M インバータ 1 a の制御方法は、従来から種々の方法が検討されている。その 1 つである空間ベクトル制御では、インバータ部 2 の各スイッチ状態に対応する $2^3 = 8$ 個のスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ (図 2 参照) のうちの少なくとも 1 つを選択することにより P W M インバータ 1 a を制御する(例えば、特許文献 1 参照)。ここで、各スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の括弧内の数字 " 1 " は、各相アームの上側スイッチがオン(下側スイッチはオフ)していることを示し、" 0 " は、各相アームの下側スイッチがオン(上側スイッチはオフ)していることを示す。各スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ とスイッチ状態の関係は、下表の通りである。

10

20

30

【表 1】

スイッチベクトル	スイッチ状態					
	U相アーム		V相アーム		W相アーム	
	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6
V0	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON
V1	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON
V2	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON
V3	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON
V4	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF
V5	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF
V6	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF
V7	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF

10

【0004】

なお、本明細書では、各相アームのスイッチ状態が同一で出力電圧がゼロとなるスイッチベクトル (V_0 、 V_7 、後述する V_{26}) を「ゼロスイッチベクトル」と呼び、その他のスイッチベクトル ($V_1 \sim V_6$ 、後述する $V_8 \sim V_{25}$) を「非ゼロスイッチベクトル」と呼ぶこととする。

20

【0005】

この空間ベクトル制御では、出力電圧を任意の波形に制御することができる。また、この空間ベクトル制御では、PWMインバータ1aの出力状態をモードI～VIに相当する6つの領域に分割して捉える(図3参照)。各モードの領域内にある任意の出力ベクトル V_u は、上記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ のベクトルの組み合わせにより表現することができる。つまり、空間ベクトル制御では、任意の制御則にしたがって出力ベクトル V_u を決定するとともに、当該出力ベクトル V_u を得るためのスイッチベクトルを選択し、インバータ部2を選択したスイッチベクトルに対応したスイッチ状態とすることにより、PWMインバータ1aを制御する。

【0006】

例えば、図3の時間tにおける出力ベクトル V_u はモードIIの領域内にあるので、出力ベクトル V_u はスイッチベクトル V_0 、 V_2 、 V_3 またはスイッチベクトル V_7 、 V_2 、 V_3 のベクトルの組み合わせにより表現することができる。すなわち、3つのスイッチベクトル V_0 (V_7)、 V_2 、 V_3 を適当な順序で選択し、インバータ部2を各スイッチベクトル V_0 (V_7)、 V_2 、 V_3 に対応したスイッチ状態とすることにより、時間tにおける所定の各相出力電圧を得ることができる。

30

【0007】

なお、上記出力ベクトル V_u は、例えば、各相出力電圧を正弦波状とする場合は、PWMインバータ1aの各相出力電圧が1周期変化する間に、図2の六角形内にある円軌道上を半時計周りに1周する。言い換えると、出力ベクトル V_u は、PWMインバータ1aの出力が電気角で 60° 変化する度にモードI → モードII → … → モードVI → モードI → … に対応した領域内を順次移動していく。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平6-245588号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ところで、上記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択は一意的ではなく、自由度を有して

50

いる。例えば、上記時間 t の一例では3つのスイッチベクトル V_0 (V_7)、 V_2 、 V_3 を選択するが、これらをどのような順序で選択するのは全くの自由である。このため、従来の空間ベクトル制御では、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択順序によっては、1スイッチサイクルあたりのスイッチング回数が増加して、不要なスイッチング損失が発生する場合があった。

【0010】

より詳しくは、例えば、スイッチベクトル V_0 、 V_2 、 V_3 をこの順序で選択したとすると、 V_0 から V_2 でU相とV相のスイッチ状態が変化し、 V_2 から V_3 でU相のスイッチ状態が変化し、さらに V_3 から V_0 でV相のスイッチ状態が変化するので、結局、1スイッチサイクルあたりのスイッチ状態が変化する相の数は4となる。これに対して、スイッチベクトル V_0 、 V_3 、 V_2 をこの順序で選択し、その後、スイッチベクトル V_2 、 V_3 、 V_0 をこの順序で選択すれば、1スイッチサイクルあたりのスイッチ状態が変化する相の数は2となる。つまり、前者を選択した場合は後者を選択した場合よりも1スイッチサイクルあたりのスイッチ状態が変化する相の数が2多く、その分だけ不要なスイッチング損失が発生していた。

10

【0011】

また、スイッチング損失はスイッチングする相の電流に概ね比例しているので、スイッチング回数が同一でも相電流が異なればスイッチング損失は異なる。この点においても、従来の空間ベクトル制御では、不要なスイッチング損失が発生する場合があった。

【0012】

例えば、U相電流 i_u がW相電流 i_w よりも大きいという条件の下で、U相およびV相のいずれかを1回だけスイッチングさせる場合は、W相のスイッチング損失よりもU相のスイッチング損失の方が大きいので、W相をスイッチングさせる方がスイッチング損失の低減の観点から好ましい。当然ながら、U相電流 i_u がW相電流 i_w よりも小さいという条件の下では、U相をスイッチングさせる方が好ましい。

20

【0013】

本発明は上記事情に鑑みてなされたものであって、その課題とするところは、スイッチング回数と相電流の両方に着目することにより、不要なスイッチング損失の発生を防ぐことができるPWMインバータの制御方法および制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

30

【0014】

上記課題を解決するために、本発明に係るPWMインバータの制御方法は、三相PWMインバータの各スイッチ状態に対応する複数のスイッチベクトルの選択を切り替えながら、当該PWMインバータを空間ベクトル制御する方法であって、PWMインバータの出力変化の1周期を、複数のスイッチベクトルのうちのいくつかのスイッチベクトルで表現可能な複数の領域に分割して捉え、スイッチサイクルが切り替わる際に、(1)任意の出力ベクトルが複数の領域のうちどの領域に含まれるのかを特定し、(2)特定した領域を表現するいくつかのスイッチベクトルを予め定められた複数の出力順序パターンにしたがって順次選択する際にスイッチ状態が変化しない節約相を特定可能とした第1のルールと、複数のスイッチベクトルの選択を任意に切り替える際にスイッチ状態が変化する変化相を特定可能とした第2のルールとに基づいて、新しいスイッチサイクルにおける節約相と、スイッチサイクルが切り替わる際の変化相とを特定し、(3)特定した変化相の相電流に予め定められた定数 k (ただし、 $0 < k < 1$) を乗じた値から特定した節約相の相電流を減じることにより複数の出力順序パターンのそれぞれの評価値を算出するとともに、評価値が最小となる出力順序パターンを複数の出力順序パターンの中から選択し、(4)選択した出力順序パターンにしたがっていくつかのスイッチベクトルの選択を切り替えていくことを特徴とする。

40

【0015】

上記制御方法における出力順序パターンは、例えば、特定した領域に関係するいくつかのスイッチベクトルを、スイッチ状態の変化が最小となるように並べたものである。

50

【 0 0 1 6 】

また、上記課題を解決するために、本発明に係る P W M インバータの制御装置は、複数のスイッチからなるインバータ部を備えた P W M インバータにおいて、スイッチの導通状態を制御する制御装置であって、上記制御方法によりスイッチの導通状態を変化させることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

また、上記課題を解決するために、本発明に係る P W M インバータの制御装置は、昇降圧部と当該昇降圧部によって昇圧または降圧された後の直流電圧が入力される、複数のスイッチからなるインバータ部を備えた P W M インバータにおいて、スイッチの導通状態を制御する制御装置であって、上記制御方法によりスイッチの導通状態を変化させることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、スイッチング回数と相電流の両方に着目することにより、不要なスイッチング損失の発生を防ぐことができる P W M インバータの制御方法および制御装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 9 】

【図 1】三相 2 レベル形 P W M インバータの模式回路図である。

【図 2】三相 2 レベル形 P W M インバータにおける空間ベクトル制御の概念を説明するための図である。

20

【図 3】三相 2 レベル形 P W M インバータにおける空間ベクトル制御の概念を説明するための図である。

【図 4】本発明に係る三相 2 レベル形 P W M インバータの制御方法における第 1 のルール概念図である。

【図 5】出力ベクトルから分解方向ベクトルへの分解を説明するための図である。

【図 6】本発明に係る三相 2 レベル形 P W M インバータの制御方法のフローチャートである。

【図 7】本発明に係る三相 2 レベル形 P W M インバータの制御方法による制御の一例を示すタイミングチャートである。

30

【図 8】本発明を適用可能な三相 P W M インバータの変形例を示す模式回路図である。

【図 9】本発明に係る制御方法により三相 2 レベル形 P W M インバータを制御した実験結果を示す波形図である。

【図 1 0】三相 3 レベル形 P W M インバータの模式回路図である。

【図 1 1】本発明に係る三相 3 レベル形 P W M インバータの制御方法における第 1 のルール概念図である。

【図 1 2】三相 3 レベル形 P W M インバータにおける空間ベクトル制御の概念を説明するための図である。

【図 1 3】三相 3 レベル形 P W M インバータの空間ベクトル制御における出力順序ベクトルの順序デューティ比の求め方を説明するための図である。

40

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 0 】

以下、添付図面を参照しつつ、本発明に係る三相 2 レベル形 P W M インバータの制御方法および制御装置の好ましい実施形態について説明する。なお、以下に示す実施形態では、既知の方法で求めた各相デューティ比 (u_u 、 u_v 、 u_w) が入力指令値として制御部 3 (本発明の「制御装置」に相当する) に入力されるものとする。また、以下では、図 1 に示す三相 2 レベル形 P W M インバータ 1 a を制御対象とする場合について詳細に説明するが、本発明は、インバータ部 2 の手前に昇降圧 (昇圧、降圧、昇降圧) 部 5 を設け、インバータ部 2 に入力される直流電圧を可変とした P W M インバータ 1 b (図 8 参照) や、後述する 3 レベル形以上のマルチレベルのインバータ部 2 c を備えた P W M インバータ 1

50

c (図 10 参照) にも適用することができる。

【 0 0 2 1 】

[三相 2 レベル形 P W M インバータ]

[ルール作成]

本発明では、事前の準備として、スイッチサイクルが切り替わる際に参照するルールを作成しておく必要がある。このルールは 2 つのルールを含む。すなわち、(1) 1 スイッチサイクル中にスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択が切り替わっていくことに伴う定常的な損失を最小化するための第 1 のルールと、(2) 新たなスイッチサイクルにおいて最初に選択されるスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ が前のスイッチサイクルにおいて最後に選択されたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ (以下、「直前スイッチベクトル」という) とは異なる
10

【 0 0 2 2 】

第 1 のルールは、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択を切り替える前と後で、スイッチ状態が変化する相の数が最小となるスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択順序をまとめたもの (以下、「出力順序パターン」という) で、基本的に、本発明ではこの出力順序パターンにしたがってスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択が切り替えられる。

【 0 0 2 3 】

例えば、モード I の領域に含まれる出力ベクトル V_u は、ゼロスイッチベクトル V_0 、 V_7 と非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_2 のベクトルの組み合わせにより表現することができるが、ゼロスイッチベクトル V_0 が選択された後に非ゼロスイッチベクトル V_2 が選択されると、2 相 (U 相、V 相) のスイッチ状態が変化することになるので、本ルールの下ではそのような順序でスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択することは許されない。言い換えると、本ルールの下では、選択スイッチベクトルの V_0 から V_2 への移動は許されない。同様に、 V_2 から V_0 への移動、 V_7 から V_1 への移動、および V_1 から V_7 への移動も、本ルールの下では許されない。
20

【 0 0 2 4 】

また、モード V の領域に含まれる出力ベクトル V_u は、ゼロスイッチベクトル V_0 、 V_7 と非ゼロスイッチベクトル V_5 、 V_6 の組み合わせにより表現することができるが、ゼロスイッチベクトル V_0 が選択された後に非ゼロスイッチベクトル V_6 が選択されると、2 相 (U 相、W 相) のスイッチ状態が変化することになるので、本ルールの下ではそのような選択スイッチベクトルの移動は許されない。同様に、 V_6 から V_0 への移動、 V_7 から V_5 への移動、および V_5 から V_7 への移動も、本ルールの下では許されない。
30

【 0 0 2 5 】

図 4 は、第 1 のルールを整理した図である。結局、本発明に係る制御方法では、同図中の矢印で示された方向への選択スイッチベクトルの移動のみが許され、その他の移動は許されない。

【 0 0 2 6 】

表 2 は、第 1 のルールを「現モード」(出力ベクトル V_u を含む領域に相当するモード) 毎に具体化したものである。なお、表 2 中の V_a 、 V_b 、 V_c は「出力順序ベクトル」であり、本発明では、出力順序ベクトル V_a とされたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ が選択された後に、出力順序ベクトル V_b とされたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ が選択され、その後、出力順序ベクトル V_c とされたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ が選択される。
40

【表 2】

(A) 現モード = I

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₁	V ₂	W
2	V ₁	V ₂	V ₇	U
3	V ₂	V ₁	V ₀	W
4	V ₇	V ₂	V ₁	U

(D) 現モード = IV

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₅	V ₄	U
2	V ₄	V ₅	V ₀	U
3	V ₅	V ₄	V ₇	W
4	V ₇	V ₄	V ₅	W

(B) 現モード = II

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₃	V ₂	W
2	V ₂	V ₃	V ₀	W
3	V ₃	V ₂	V ₇	V
4	V ₇	V ₂	V ₃	V

(E) 現モード = V

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₅	V ₆	V
2	V ₅	V ₆	V ₇	W
3	V ₆	V ₅	V ₀	V
4	V ₇	V ₆	V ₅	W

10

(C) 現モード = III

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₃	V ₄	U
2	V ₃	V ₄	V ₇	V
3	V ₄	V ₃	V ₀	U
4	V ₇	V ₄	V ₃	V

(F) 現モード = VI

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₁	V ₆	V
2	V ₆	V ₁	V ₀	V
3	V ₁	V ₆	V ₇	U
4	V ₇	V ₆	V ₁	U

20

【 0 0 2 7 】

表 2 によれば、例えば、現モードが I の場合は、スイッチング回数を最小化するための出力順序パターンとして、ゼロスイッチベクトル V_0 と非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_2 をこの順で選択する出力順序パターン 1、非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_2 とゼロスイッチベクトル V_7 をこの順で選択する出力順序パターン 2、非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_1 とゼロスイッチベクトル V_0 をこの順で選択する出力順序パターン 3、およびゼロスイッチベクトル V_7 と非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_1 をこの順で選択する出力順序パターン 4 が存在することが分かる（表 2 (A) 参照）。

30

【 0 0 2 8 】

表 2 に示すように、モード I 以外のモードについてもそれぞれ 4 つの出力順序パターンが存在する。

【 0 0 2 9 】

また、表 2 によれば、「節約相」を特定することもできる。節約相とは、スイッチ状態が変化しない相を意味する。例えば、現モードが I であり、かつ出力順序パターン 1 にしたがってスイッチベクトルを V_0 、 V_1 、 V_2 の順に選択する場合は、U 相および V 相のスイッチ状態は変化するが、W 相のスイッチ状態は変化しない。したがって、この場合は、W 相におけるスイッチング損失が低減（節約）されることになる。別の例として、現モードが V であり、かつ出力順序パターン 3 にしたがってスイッチベクトルを V_6 、 V_5 、 V_0 の順に選択する場合は、U 相および W 相のスイッチ状態は変化するが、V 相のスイッチ状態は変化しない。したがって、この場合は、V 相におけるスイッチング損失が低減（節約）されることになる。

40

【 0 0 3 0 】

以上のように、第 1 のルールを具体化した表 2 によれば、各モードにおいて、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ をどのような順序で選択すればスイッチング回数を最小化することができるのかが分かるとともに、当該順序でスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択した場合に

50

スイッチング損失が低減されるのはどの相なのかを特定することができる。

【0031】

また、前記の通り、スイッチング損失は相電流に概ね比例するので、各相の電流に関する情報と節約相に関する情報(表2)とがあれば、どの出力順序パターンにしたがってスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択することが定常的なスイッチング損失を低減する観点から好ましいのかを特定することができる。例えば、現モードがIであり、かつU相電流 i_u がW相電流 i_w よりも大きい場合は、U相のスイッチング損失が節約される出力順序パターン2および4にしたがってスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択するのが好ましく、W相のスイッチング損失が節約される出力順序パターン1および3にしたがってスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択するのは適当ではない。U相電流 i_u およびW相電流 i_w の大小関係が逆の場合は、当然ながら、W相のスイッチング損失を節約できる出力順序パターン1および3にしたがってスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択するべきである。

10

【0032】

続いて、第2のルールについて説明する。第2のルールは、スイッチサイクルが切り替わる際にスイッチ状態が変化する相(以下、「変化相」という)を特定可能としたものであり、例えば、表3のような形式に具体化することができる。

【表3】

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
V0	-	U	UV	V	VW	W	WU	UVW
V1	U	-	V	UV	UVW	WU	W	VW
V2	UV	V	-	U	WU	UVW	VW	W
V3	V	UV	U	-	W	VW	UVW	WU
V4	VW	UVW	WU	W	-	V	UV	U
V5	W	WU	UVW	VW	V	-	U	UV
V6	WU	W	VW	UVW	UV	U	-	V
V7	UVW	VW	W	UW	U	UV	V	-

直前スイッチベクトル

20

【0033】

この表によれば、例えば、直前スイッチベクトルが V_1 であり、かつ新たなスイッチサイクルで最初に選択されるスイッチベクトルが V_3 の場合の変化相は、U相およびV相であることを特定することができる。また、直前スイッチベクトルが V_6 であり、かつ新たなスイッチサイクルで最初に選択されるスイッチベクトルが V_3 の場合の変化相は、U相、V相およびW相であることを特定することができる。

30

【0034】

以上のように、第2のルールを具体化した表3によれば、スイッチサイクルが切り替わる際にスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択が変化すると、どの相のスイッチ状態が変化するのかを特定することができる。また、前記の通り、スイッチング損失は相電流に概ね比例する。したがって、各相の電流に関する情報と変化相に関する情報(表3)とがあれば、スイッチサイクルの切り替わり時に発生する過渡的な損失を最小化するためには、次のスイッチサイクルにおいて最初にどのスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択するのが好ましいのかが分かる。

40

【0035】

なお、相電流の大小関係等によっては、定常的なスイッチング損失を低減し得る出力順序パターンと過渡的なスイッチング損失を低減し得る出力順序パターンが一致しない場合がある。このため、全スイッチング損失を総合的に評価することによりいずれか一方の損失低減を優先させるための評価値が必要となるが、これについては後で詳細に説明する。

【0036】

[制御フロー]

50

続いて、図6のフローチャートを参照しつつ、入力指令値である各相デューティ比 u_u 、 u_v 、 u_w が入力されてから、選択すべきスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ と、その順序およびデューティ比が最終決定されるまでのフローについて説明する。

【0037】

まず、ステップS1では、各相デューティ比 u_u 、 u_v 、 u_w が制御部3に入力される。各相デューティ比 u_u 、 u_v 、 u_w は、例えば、PWMインバータ1aの各相出力電圧波形を所定振幅・周波数の正弦波状とするためのもので、既知のインバータ制御方法により求められる。

【0038】

ステップS2では、下式(1)を用いて、入力された各相デューティ比 u_u 、 u_v 、 u_w から出力ベクトル V_u の横軸成分 u_x および縦軸成分 u_y を求める。

10

【数1】

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_u \\ u_v \\ u_w \end{bmatrix} \quad \dots \text{式(1)}$$

各相デューティ比 u_u 、 u_v 、 u_w の代わりに、任意の制御則にしたがって求めた出力ベクトル V_u (横軸成分 u_x 、縦軸成分 u_y) が制御部3に入力される場合は、ステップS1およびS2を省略して、ステップS3から本フローをスタートさせてもよい。

20

【0039】

ステップS3では、ステップS2で求めた出力ベクトル V_u の横軸成分 u_x および縦軸成分 u_y から、「現モード」を特定する。すなわち、出力ベクトル V_u が、図2に示す六角形内の6つの領域(モードI~VIに対応)のいずれに含まれるのかを特定する。

【0040】

ステップS4では、「直前スイッチベクトル」を特定する。直前スイッチベクトルは、1つ前のスイッチサイクルで求めた出力順序ベクトル V_c を参照することにより特定することができる。

【0041】

30

ステップS5では、出力ベクトル V_u を分解方向ベクトル V_α 、 V_β 、 V_z に分解する。より詳しくは、出力ベクトル V_u の横軸成分 u_x および縦軸成分 u_y を下式(2)により変換し、図5に示す分解方向ベクトル V_α 、 V_β 、 V_z のデューティ比 u_α 、 u_β 、 u_z (以下、「分解デューティ比」という)を求める。

【数2】

$$\left. \begin{aligned} u_z &= 1 - u_x - \frac{1}{\sqrt{3}} u_y \\ u_\alpha &= u_x - \frac{1}{\sqrt{3}} u_y \\ u_\beta &= \frac{2}{\sqrt{3}} u_y \end{aligned} \right\} \dots \text{式(2)}$$

40

上式(2)を用いて横軸成分 u_x および縦軸成分 u_y を分解デューティ比 u_α 、 u_β 、 u_z に変換することにより、出力ベクトル V_u をモードIの領域内にあるものとして取り扱うことができる。

【0042】

ステップS6では、表4を用いて現モードの領域を回転させることによりモードIの領域に変換し、分解方向ベクトル V_α 、 V_β 、 V_z に相当するスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を求める。

50

【表 4】

モード	$V\alpha$	$V\beta$	Vz
I	V_1	V_2	V ₀ または V ₇
II	V_2	V_3	
III	V_3	V_4	
IV	V_4	V_5	
V	V_5	V_6	
VI	V_6	V_1	

10

例えば、現モードが I I の場合は、上表を用いてモード I I の領域を空間ベクトル平面上で時計周りに 60° 回転させ、分解方向ベクトル V 、 V に相当するスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ は、それぞれ非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_3 であることが分かる。また、現モードが V の場合は、上表を用いてモード V の領域を時計周りに 240° 回転させ、分解方向ベクトル V 、 V に相当するスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ は、それぞれ非ゼロスイッチベクトル V_5 、 V_6 であることが分かる。なお、分解方向ベクトル V_z に相当するスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ は、現モードにかかわらずゼロスイッチベクトル V_0 または V_7 となる。

【0043】

20

ステップ S 7 では、表 2 に具体化された第 1 のルールに基づいて、複数の出力順序パターンを構成する 3 つのスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ と、各出力順序パターンにおける節約相を特定する。例えば、現モードが I の場合は、表 2 (A) を参照して、ゼロスイッチベクトル V_0 と非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_2 をこの順で選択する出力順序パターン 1、非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_2 とゼロスイッチベクトル V_7 をこの順で選択する出力順序パターン 2、非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_1 とゼロスイッチベクトル V_0 をこの順で選択する出力順序パターン 3、およびゼロスイッチベクトル V_7 と非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_1 をこの順で選択する出力順序パターン 4 が存在し、各出力順序パターンの節約相はそれぞれ W 相、U 相、W 相、U 相であることが特定される。

【0044】

30

ステップ S 8 では、表 3 に具体化された第 2 のルールに基づいて、選択スイッチベクトルを直前スイッチベクトルから次のスイッチサイクルで最初に選択すると考えられるスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ のいずれかに移動させた場合の変化相を特定する。例えば、直前スイッチベクトルが V_1 で、かつ現モードが I I の場合は、次のスイッチサイクルにおいて V_0 、 V_2 、 V_3 、 V_7 のいずれかを最初に選択することが考えられるので (表 2 (B) 参照)、表 3 の V_1 の行を参照して、 $V_1 \rightarrow V_0$ の移動における変化相は U 相、 $V_1 \rightarrow V_2$ の移動における変化相は V 相、 $V_1 \rightarrow V_3$ の移動における変化相は U 相および V 相、 $V_1 \rightarrow V_7$ の移動における変化相は V 相および W 相であることが特定される。

【0045】

40

ステップ S 9 では、U V W 各相の相電流 i_u 、 i_v 、 i_w を測定する。キルヒホッフの法則により相電流 i_u 、 i_v 、 i_w の和は必ず 0 になるので、図 1 に示すように、実際に測定するのは U 相電流 i_u と W 相電流 i_w だけにして、残りの 1 相の電流 (V 相電流 i_v) については計算により求めてもよい。

【0046】

ステップ S 10 では、ステップ S 7 で特定した節約相と、ステップ S 8 で特定した変化相と、ステップ S 9 で測定した相電流 i_u 、 i_v 、 i_w とに基づいて、出力順序パターンを評価する。

【0047】

ステップ S 10 における評価は、“変化相の相電流に定数 k (ただし、 $0 < k < 1$) を乗じた値から節約相の相電流を減じた値”に基づいて行う。例えば、直前スイッチベクトル

50

ルが V_1 で、かつ現モードが II の場合、出力順序パターン 1 ~ 4 の評価値はそれぞれ以下の通りとなる。

- ・出力順序パターン 1 の評価値： $k \times i_u - i_w$
- ・出力順序パターン 2 の評価値： $k \times i_v - i_w$
- ・出力順序パターン 3 の評価値： $k \times (i_u + i_v) - i_v$
- ・出力順序パターン 4 の評価値： $k \times (i_v + i_w) - i_v$

【0048】

本発明では、評価値が最も低い出力順序パターンが最も高く評価される。例えば、上記具体例において、 $k = 0.5$ 、 $i_u = 0.5 [A]$ 、 $i_v = 1 [A]$ 、 $i_w = -1.5 [A]$ である場合は、出力順序パターン 1 ~ 4 の評価値はそれぞれ -1.25 、 -1 、 -0.25 、 0.25 となるので、出力順序パターン 1 の評価が最も高くなる。

10

【0049】

定数 k を $0 < k < 1$ の範囲内で設定することにより変化相の相電流が評価値に与える影響を相対的に低くしたのは、変化相におけるスイッチング損失はスイッチサイクルが切り替わる際に発生する過渡的なものに過ぎないからである。本発明では、定数 k をこのように設定することにより、変化相における過渡的なスイッチング損失が低減される出力順序パターンよりも、節約相における定常的なスイッチング損失が低減される出力順序パターンを高く評価する。

【0050】

20

ステップ $S11$ では、最も高い評価が得られた出力順序パターンを構成する 3 つのスイッチベクトルを出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c とする。上記具体例では、スイッチベクトル V_0 、 V_3 、 V_2 がそれぞれ出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c とされる。

【0051】

ステップ $S12$ では、ステップ $S6$ およびステップ $S11$ の結果から、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c のデューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c (以下、「順序デューティ比」という) と、ステップ $S5$ で求めた分解デューティ比 u_x 、 u_y 、 u_z とを紐付ける。例えば、ステップ $S6$ で分解方向ベクトル V に相当するスイッチベクトルが V_2 であると求められ、ステップ $S11$ で非ゼロスイッチベクトル V_2 が出力順序ベクトル V_a とされた場合は、分解方向ベクトル V および出力順序ベクトル V_a が両ベクトルに共通する非ゼロスイッチベクトル V_2 を介して紐付けられる (お互いに等しいことが特定される)。同様に、出力順序ベクトル V_a の順序デューティ比 u_a と、ステップ $S5$ で求めた分解方向ベクトル V の分解デューティ比 u_x も紐付けられる。

30

【0052】

ステップ $S13$ では、ステップ $S11$ において出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c であるとされたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ と、ステップ $S12$ で求めた順序デューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c とに基づいて、インバータ部 2 の各スイッチ $SW1 \sim SW6$ の導通状態を切り替える。

【0053】

以上をまとめると、上記フローを採用した本発明に係る制御方法 (制御装置) によれば、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c とされるスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ と、順序デューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c を求めることができる。そして、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c とされたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を V_a 、 V_b 、 V_c の順に選択するとともに、それぞれの選択時間、すなわち選択したスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ のスイッチ状態とする時間を順序デューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c に比例した時間とすることにより、入力指令値に応じた所定の各相出力電圧を得ることができる。

40

【0054】

また、本発明に係る制御方法 (制御装置) によれば、最も評価が高い出力順序パターンにしたがってスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択を切り替えていくので、入力指令値に応じた所定の各相出力電圧を得る過程において発生するスイッチング損失を最小化すること

50

ができる。

【 0 0 5 5 】

[制御の具体例]

次に、図 7 を参照しながら、本発明に係る制御の具体的一例を特徴的な部分に限って説明する。なお、本具体例では、ステップ S 3 で特定した現モードは I I、ステップ S 4 で特定した直前スイッチベクトルは V_1 であるとする。また、本具体例では、ステップ S 9 で測定される U 相電流 i_u 、V 相電流 i_v 、W 相電流 i_w はそれぞれ $0.5 [A]$ 、 $1 [A]$ 、 $-1.5 [A]$ であり、定数 k は予め 0.5 に設定されているものとする。

【 0 0 5 6 】

本具体例のステップ S 6 では、表 4 のモード I I の行を参照して、分解方向ベクトル V に相当するのは非ゼロスイッチベクトル V_2 であり、分解方向ベクトル V に相当するのは非ゼロスイッチベクトル V_3 であることが求められる。また、分解方向ベクトル V_z に相当するのはゼロスイッチベクトル V_0 または V_7 であることが求められる。

10

【 0 0 5 7 】

ステップ S 7 では、現モードが I I であることから、表 2 (B) を参照して、ゼロスイッチベクトル V_0 と非ゼロスイッチベクトル V_3 、 V_2 をこの順で選択する出力順序パターン 1 と、非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_3 およびゼロスイッチベクトル V_0 をこの順で選択する出力順序パターン 2 と、非ゼロスイッチベクトル V_3 、 V_2 およびゼロスイッチベクトル V_7 をこの順で選択する出力順序パターン 3 と、ゼロスイッチベクトル V_7 および非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_3 をこの順で選択する出力順序パターン 4 とが存在し、各出力順序パターンにおける節約相は、W 相、W 相、V 相、V 相であることが特定される。

20

【 0 0 5 8 】

ステップ S 8 では、現モードが I I、直前スイッチベクトルが V_1 であることから、表 3 の V_1 の行を参照して、 V_1 V_0 の移動における変化相は U 相、 V_1 V_2 の移動における変化相は V 相、 V_1 V_3 の移動における変化相は U 相および V 相、 V_1 V_7 の移動における変化相は V 相および W 相であることが特定される。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 10 では、モード I I の出力順序パターン 1 ~ 4 の評価値が計算される。出力順序パターン 1 の評価値は、 $k \times i_u - i_w = -1.25$ 、出力順序パターン 2 の評価値は、 $k \times i_v - i_w = -1$ 、出力順序パターン 3 の評価値は、 $k \times (i_u + i_v) - i_v = -0.25$ 、出力順序パターン 4 の評価値は、 $k \times (i_v + i_w) - i_v = 0.25$ となるので、最も評価の高い出力順序パターンとして出力順序パターン 1 が選択される。

30

【 0 0 6 0 】

ステップ S 11 では、ゼロスイッチベクトル V_0 が出力順序ベクトル V_a とされ、非ゼロスイッチベクトル V_3 が出力順序ベクトル V_b とされ、さらに非ゼロスイッチベクトル V_2 が出力順序ベクトル V_c とされる。

【 0 0 6 1 】

ステップ S 12 では、ゼロスイッチベクトル V_0 を介して分解方向ベクトル V_z と出力順序ベクトル V_a が紐付けられ、非ゼロスイッチベクトル V_3 を介して分解方向ベクトル V と出力順序ベクトル V_b が紐付けられ、さらに非ゼロスイッチベクトル V_2 を介して分解方向ベクトル V と出力順序ベクトル V_c が紐付けられる。その結果、ゼロスイッチベクトル V_0 の順序デューティ比 u_a は、分解デューティ比 u_z となる。同様に、非ゼロスイッチベクトル V_3 および V_2 の順序デューティ比 u_b 、 u_c は、それぞれ分解デューティ比 u 、 u となる。

40

【 0 0 6 2 】

結局、本具体例では、図 7 に示すように、 $u_z \cdot T$ (ただし、 T は 1 スイッチサイクルの時間) の時間だけゼロスイッチベクトル V_0 を選択した後に、 u $\cdot T$ の時間だけ非ゼロスイッチベクトル V_3 を選択し、さらにその後、 u $\cdot T$ の時間だけ非ゼロスイッチベクトル V_2 を選択することにより、出力ベクトル V_u を得て、所定の各相出力電圧を得る

50

ことができる。

【0063】

なお、図5から明らかなように、出力ベクトル V_u が分解方向ベクトル V に等しい場合は、分解デューティ比 u ($=u_c$)が1となり、分解デューティ比 u ($=u_b$)、 u_z ($=u_a$)が0となる。したがって、この場合は、ゼロスイッチベクトル V_0 および非ゼロスイッチベクトル V_3 の選択時間が0となり、ゼロスイッチベクトル V_0 および非ゼロスイッチベクトル V_3 は選択されないこととなる。出力ベクトル V_u が分解方向ベクトル V 、 V_z に等しい場合も同様のことがいえる。つまり、本発明に係る制御方法(制御装置)では、1スイッチサイクルにつき必ず3つのスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ が選択されるとは限らない。

10

【0064】

次に、図9を参照しながら、本発明に係る制御方法により三相2レベル形PWMインバータ1aを動作させた実験の結果について説明する。なお、本実験は、総合負荷装置を用いて力率を1.0(図9(A))および0.8(図9(B))に変化させて行った。いずれの場合も、インバータ部2に入力される直流電圧は100[V]であり、交流出力が、周波数が50[Hz]、振幅が50[V]の正弦波状となるように制御を行った。

【0065】

図9(A)に示すように、力率が1.0の場合は、U相電流 i_u のピーク付近の60°の区間において現モードがVIまたはIとなり、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択が $V_1 V_6 V_7$ (表2(F)の出力順序パターン3参照)、 $V_7 V_6 V_1$ (表2(F)の出力順序パターン4参照)、 $V_1 V_2 V_7$ (表2(A)の出力順序パターン2参照)または $V_7 V_2 V_1$ (表2(A)の出力順序パターン4参照)の順に行われることにより、U相のスイッチングが節約された。すなわち、他の相よりも相電流が大きいU相のスイッチングが積極的に節約され、定常的なスイッチング損失を低減することができた。図示していないが、他の相についても同様の結果であり、相電流が他の相の相電流よりも大きくなる、1周期のほぼ1/3の区間においてスイッチングが節約された。

20

【0066】

図9(B)に示すように、力率が0.8の場合は、U相電流 i_u のピーク付近の60°の区間において現モードがIとなり、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択が $V_1 V_2 V_7$ (表2(A)の出力順序パターン2参照)または $V_7 V_2 V_1$ (表2(A)の出力順序パターン4参照)の順に行われることにより、力率が1.0の場合と同様にU相のスイッチングが節約された。他の相についても同様の結果となった。

30

【0067】

[三相3レベル形PWMインバータ]

続いて、三相3レベル形PWMインバータを制御対象とする場合について説明する。図10に示すように、三相3レベル形のPWMインバータ1cは、制御部3(本発明の「制御装置」に相当する)によって制御されるインバータ部2cからなり、インバータ部2cの各相出力が三相負荷4に接続されている。同図に示すように、インバータ部2はIGBT等からなる12個のスイッチを有し、このうち、スイッチSWUp p、SWUp o、SWUn o、SWUn nはU相アームを、スイッチSWV p p、SWV p o、SWV n o、SWV n nはV相アームを、そしてスイッチSWW p p、SWW p o、SWW n o、SWW n nはW相アームをそれぞれ構成する。各スイッチの導通状態は、制御部3の制御下で切り替えられる。図8に示す三相2レベル形のPWMインバータ1bと同様、インバータ部2cの手前に昇降圧(昇圧、降圧、昇降圧)部を設け、インバータ部2cに入力される直流電圧を可変としてもよい。

40

【0068】

三相3レベル形PWMインバータ1cの空間ベクトル制御では、インバータ部2cの各スイッチ状態に対応する $3^3 = 27$ 個のスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ (図11、表5参照)のうちの少なくとも1つを選択することによりPWMインバータ1cを制御する。

【表 5】

スイッチベクトル	スイッチ状態	スイッチベクトル	スイッチ状態
V0	(0 0 0)	V14	(1/2 0 0)
V1	(1 0 0)	V15	(1 1/2 1/2)
V2	(1 1 0)	V16	(1/2 1/2 0)
V3	(0 1 0)	V17	(1 1 1/2)
V4	(0 1 1)	V18	(0 1/2 0)
V5	(0 0 1)	V19	(1/2 1 1/2)
V6	(1 0 1)	V20	(0 1/2 1/2)
V7	(1 1 1)	V21	(1/2 1 1)
V8	(1 1/2 0)	V22	(0 0 1/2)
V9	(1/2 1 0)	V23	(1/2 1/2 1)
V10	(0 1 1/2)	V24	(1/2 0 1/2)
V11	(0 1/2 1)	V25	(1 1/2 1)
V12	(1/2 0 1)	V26	(1/2 1/2 1/2)
V13	(0 1 1/2)		

ここで、各スイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ のスイッチ状態を表す数字“1”は、例えば、U相で説明すると、スイッチ SWU_{pp} 、 SWU_{po} がオンしていることを示し、“1/2”は、スイッチ SWU_{po} 、 SWU_{no} がオンしていることを示し、“0”は、スイッチ SWU_{no} 、 SWU_{nn} がオンしていることを示す。

【0069】

三相2レベル形PWMインバータ1aの場合と同様に、三相3レベル形PWMインバータ1cの空間ベクトル制御においても出力状態をモードI～VIに相当する6つの領域に分割して捉えるが、三相3レベル形PWMインバータ1cの場合はこのモードI～VIのそれぞれがさらに4つに細分化されている。例えば、モードIは、図12に示すように細分化モードIa～Idに細分化されている。このため、細分化モードIaの領域内にある任意の出力ベクトル V_u は、ゼロスイッチベクトル V_0 、 V_7 、 V_{26} と非ゼロスイッチベクトル $V_{14} \sim V_{17}$ のベクトルの組み合わせにより表現されるが、細分化モードIbの領域内にある任意の出力ベクトル V_u は、非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_8 、 V_{14} 、 V_{15} のベクトルの組み合わせにより表現される。すなわち、同一のモードでも、細分化モードが異なれば、選択すべきスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ は異なる。

【0070】

他のモードII～VIも、同様に、4つの細分化モードに細分化されている。したがって、三相3レベル形PWMインバータ1cの空間ベクトル制御においては、計24個の細分化モードIa、Ib・・・VIc、VIDが存在する。

【0071】

三相3レベル形PWMインバータ1cの制御においても、スイッチサイクルが切り替わる際に参照するルールを作成しておく必要がある。三相2レベル形PWMインバータ1aの場合と同様に、このルールは2つのルールを含む。すなわち、(1)1スイッチサイクル中にスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ の選択が切り替わっていくことに伴う定常的な損失を最小化するための第1のルールと、(2)新たなスイッチサイクルにおいて最初に選択されるスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ が前のスイッチサイクルにおいて最後に選択されたスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ とは異なるスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ に変更されることによる過渡的な損失を最小化するための第2のルールとを含む。

【0072】

表6～11は、第1のルールを具体化したものである。なお、表6は現モードがモードI(細分化モードIa～Id)である場合、表7は現モードがモードIIである場合、表

10

20

30

40

50

8 は現モードがモード I I I である場合、表 9 は現モードがモード I V である場合、表 10 は現モードがモード V である場合、表 11 は現モードがモード V I である場合に参照するものである。

【表 6】

(A) 現モード=細分化モード I a

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₁₄	V ₁₆	W
2	V ₇	V ₁₇	V ₁₅	U
3	V ₁₄	V ₁₆	V ₂₆	U
4	V ₁₅	V ₁₇	V ₇	U
5	V ₁₅	V ₂₆	V ₁₆	V
6	V ₁₆	V ₁₄	V ₀	W
7	V ₁₆	V ₂₆	V ₁₅	V
8	V ₁₇	V ₁₅	V ₂₆	W
9	V ₂₆	V ₁₅	V ₁₇	W
10	V ₂₆	V ₁₆	V ₁₄	U

(C) 現モード=細分化モード I c

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₈	V ₁₅	V ₁₇	U
2	V ₈	V ₁₆	V ₁₄	W
3	V ₁₄	V ₁₆	V ₈	W
4	V ₁₅	V ₈	V ₁₆	V
5	V ₁₆	V ₈	V ₁₅	V
6	V ₁₇	V ₁₅	V ₈	U

10

(B) 現モード=細分化モード I b

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₁	V ₈	V ₁₅	U
2	V ₈	V ₁	V ₁₄	W
3	V ₁₄	V ₁	V ₈	W
4	V ₁₅	V ₈	V ₁	U

(D) 現モード=細分化モード I d

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₂	V ₈	V ₁₆	W
2	V ₈	V ₂	V ₁₇	U
3	V ₁₆	V ₈	V ₂	W
4	V ₁₇	V ₂	V ₈	U

20

【表 7】

(A) 現モード=細分化モード II a

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₁₈	V ₁₆	W
2	V ₇	V ₁₇	V ₁₉	V
3	V ₁₆	V ₁₈	V ₀	W
4	V ₁₆	V ₂₆	V ₁₉	U
5	V ₁₇	V ₁₉	V ₂₆	W
6	V ₁₈	V ₁₆	V ₂₆	V
7	V ₁₉	V ₁₇	V ₇	V
8	V ₁₉	V ₂₆	V ₁₆	U
9	V ₂₆	V ₁₆	V ₁₈	V
10	V ₂₆	V ₁₉	V ₁₇	W

(C) 現モード=細分化モード II c

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₉	V ₁₆	V ₁₈	W
2	V ₉	V ₁₉	V ₁₇	V
3	V ₁₆	V ₉	V ₁₉	U
4	V ₁₇	V ₁₉	V ₉	V
5	V ₁₈	V ₁₆	V ₉	W
6	V ₁₉	V ₉	V ₁₆	U

30

(B) 現モード=細分化モード II b

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₂	V ₉	V ₁₆	W
2	V ₉	V ₂	V ₁₇	V
3	V ₁₆	V ₉	V ₂	W
4	V ₁₇	V ₂	V ₉	V

(D) 現モード=細分化モード II d

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₃	V ₉	V ₁₉	V
2	V ₉	V ₃	V ₁₈	W
3	V ₁₈	V ₃	V ₉	W
4	V ₁₉	V ₉	V ₃	V

40

【表 8】

(A) 現モード＝細分化モードⅢa

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₁₈	V ₂₀	U
2	V ₇	V ₂₁	V ₁₉	V
3	V ₁₈	V ₂₀	V ₂₆	V
4	V ₁₉	V ₂₁	V ₇	V
5	V ₁₉	V ₂₆	V ₂₀	W
6	V ₂₀	V ₁₈	V ₀	U
7	V ₂₀	V ₂₆	V ₁₉	W
8	V ₂₁	V ₁₉	V ₂₆	U
9	V ₂₆	V ₁₉	V ₂₁	U
10	V ₂₆	V ₂₀	V ₁₈	V

(C) 現モード＝細分化モードⅢc

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₁₀	V ₁₉	V ₂₁	V
2	V ₁₀	V ₂₀	V ₁₈	U
3	V ₁₈	V ₂₀	V ₁₀	U
4	V ₁₉	V ₁₀	V ₂₀	W
5	V ₂₀	V ₁₀	V ₁₉	W
6	V ₂₁	V ₁₉	V ₁₀	V

10

(B) 現モード＝細分化モードⅢb

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₃	V ₁₀	V ₁₉	V
2	V ₁₀	V ₃	V ₁₈	U
3	V ₁₈	V ₃	V ₁₀	U
4	V ₁₉	V ₁₀	V ₃	V

(D) 現モード＝細分化モードⅢd

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₄	V ₁₀	V ₂₀	U
2	V ₁₀	V ₄	V ₂₁	V
3	V ₂₀	V ₁₀	V ₄	U
4	V ₂₁	V ₄	V ₁₀	V

20

【表 9】

(A) 現モード＝細分化モードⅣa

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₀	V ₂₂	V ₂₀	U
2	V ₇	V ₂₁	V ₂₃	W
3	V ₂₀	V ₂₂	V ₀	U
4	V ₂₀	V ₂₆	V ₂₃	V
5	V ₂₁	V ₂₃	V ₂₆	U
6	V ₂₂	V ₂₀	V ₂₆	W
7	V ₂₃	V ₂₁	V ₇	W
8	V ₂₃	V ₂₆	V ₂₀	V
9	V ₂₆	V ₂₀	V ₂₂	W
10	V ₂₆	V ₂₃	V ₂₁	U

(C) 現モード＝細分化モードⅣc

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₁₁	V ₂₀	V ₂₂	U
2	V ₁₁	V ₂₃	V ₂₁	W
3	V ₂₀	V ₁₁	V ₂₃	V
4	V ₂₁	V ₂₃	V ₁₁	W
5	V ₂₂	V ₂₀	V ₁₁	U
6	V ₂₃	V ₁₁	V ₂₀	V

30

(B) 現モード＝細分化モードⅣb

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₄	V ₁₁	V ₂₀	U
2	V ₁₁	V ₄	V ₂₁	W
3	V ₂₀	V ₁₁	V ₄	U
4	V ₂₁	V ₄	V ₁₁	W

(D) 現モード＝細分化モードⅣd

パターン	V _a	V _b	V _c	節約相
1	V ₅	V ₁₁	V ₂₃	W
2	V ₁₁	V ₅	V ₂₂	U
3	V ₂₂	V ₅	V ₁₁	U
4	V ₂₃	V ₁₁	V ₅	W

40

【表 1 0】

(A) 現モード=細分化モードVa

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V0	V22	V24	V
2	V7	V25	V23	W
3	V22	V24	V26	W
4	V23	V25	V7	W
5	V23	V26	V24	U
6	V24	V22	V0	V
7	V24	V26	V23	U
8	V25	V23	V26	V
9	V26	V23	V25	V
10	V26	V24	V22	W

(C) 現モード=細分化モードVc

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V12	V23	V25	W
2	V12	V24	V22	V
3	V22	V24	V12	V
4	V23	V12	V24	U
5	V24	V12	V23	U
6	V25	V23	V12	W

10

(B) 現モード=細分化モードVb

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V5	V12	V23	W
2	V12	V5	V22	V
3	V22	V5	V12	V
4	V23	V12	V5	W

(D) 現モード=細分化モードVd

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V6	V12	V24	V
2	V12	V6	V25	W
3	V24	V12	V6	V
4	V25	V6	V12	W

20

【表 1 1】

(A) 現モード=細分化モードVIa

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V0	V14	V24	V
2	V7	V25	V15	U
3	V14	V24	V26	U
4	V15	V25	V7	U
5	V15	V26	V24	W
6	V24	V14	V0	V
7	V24	V26	V15	W
8	V25	V15	V26	V
9	V26	V15	V25	V
10	V26	V24	V14	U

(C) 現モード=細分化モードVIc

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V13	V15	V25	U
2	V13	V24	V14	V
3	V14	V24	V13	V
4	V15	V13	V24	W
5	V24	V13	V15	W
6	V25	V15	V13	U

30

(B) 現モード=細分化モードVIb

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V6	V13	V24	V
2	V13	V6	V25	U
3	V24	V13	V6	V
4	V25	V6	V13	U

(D) 現モード=細分化モードVI d

パターン	Va	Vb	Vc	節約相
1	V1	V13	V15	U
2	V13	V1	V14	V
3	V14	V1	V13	V
4	V15	V13	V1	U

40

【 0 0 7 3】

表 6 ~ 1 1 の使い方は表 2 の使い方と同じなので、説明は省略する。

【 0 0 7 4】

50

表 1 2 は、第 2 のルールを部分的に具体化したものである。この表は変化相を 3 進法で求め、その結果を 10 進法で数値化したものである。U 相のスイッチ状態が “ 1 ” と “ 1 / 2 ” の間、または “ 0 ” と “ 1 / 2 ” の間で変化する場合は、1 セットの変化があるので表中の値は “ $9 \times 1 = 9$ ” となる。また、U 相のスイッチ状態が “ 0 ” と “ 1 ” の間で変化する場合は、2 セットの変化があるので表中の値は “ $9 \times 2 = 18$ ” となる。同様に、V 相において 1 セットの変化がある場合は “ $3 \times 1 = 3$ ”、2 セットの変化がある場合は “ $3 \times 2 = 6$ ”、W 相において 1 セットの変化がある場合は “ $1 \times 1 = 1$ ”、2 セットの変化がある場合は “ $1 \times 2 = 3$ ” となる。例えば、直前スイッチベクトルが V_0 (0 0) で、次のスイッチベクトルで最初に選択されるスイッチベクトルが V_9 (1 / 2 1 0) である場合は、U 相において 1 セットの変化があり、V 相において 2 セットの変化があるので、表 2 の値は “ $9 \times 1 + 3 \times 2 + 1 \times 0 = 15$ ” となる。

【表 1 2】

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	...	V16	V17	...	V23	V24	V25	V26
V0	0	18	24	6	8	2	20	26	21	15	7	...	12	25	...	14	10	23	13
V1	18	0	6	24	26	20	2	8	3	15	25	...	12	7	...	14	10	5	13
V2	24	6	0	18	20	26	8	2	3	9	19	...	12	1	...	14	16	5	13
V3	6	24	18	0	2	8	26	20	21	9	1	...	12	19	...	14	16	23	13
V4	8	26	20	2	0	6	24	18	23	11	1	...	14	19	...	12	16	21	13
V5	2	20	26	8	6	0	18	24	23	17	7	...	14	25	...	12	10	21	13
V6	20	2	8	26	24	18	0	6	5	17	25	...	14	7	...	12	10	3	13
V7	26	8	2	20	18	24	6	0	5	11	19	...	14	1	...	12	16	3	13
V8	21	3	3	21	23	23	5	5	0	12	22	...	9	4	...	11	13	2	10
V9	15	15	9	9	11	17	17	11	12	0	10	...	3	10	...	5	7	14	4
V10	7	25	19	1	1	7	25	19	22	10	0	...	13	18	...	13	15	22	12
V11	5	23	23	5	3	3	21	21	20	14	4	...	11	22	...	9	13	18	10
V12	11	11	17	17	15	9	9	15	14	8	16	...	5	16	...	3	1	12	4
V13	19	1	7	25	25	19	1	7	4	16	24	...	13	6	...	13	9	4	12
V14	9	9	15	15	17	11	11	17	12	6	16	...	3	16	...	5	1	14	4
V15	22	4	4	22	22	22	4	4	1	13	21	...	10	3	...	10	12	1	9
V16	12	12	12	12	14	14	14	14	9	3	13	...	0	13	...	2	4	11	1
V17	25	7	1	19	19	25	7	1	4	10	18	...	13	0	...	13	15	4	12
V18	3	21	21	3	5	5	23	23	18	12	4	...	9	22	...	11	13	20	10
V19	16	16	10	10	10	16	16	10	13	1	9	...	4	9	...	4	6	13	3
V20	4	22	22	4	4	4	22	22	19	13	3	...	10	21	...	10	12	19	9
V21	17	17	11	11	9	15	15	9	14	2	10	...	5	10	...	3	7	12	4
V22	1	19	25	7	7	1	19	25	22	16	6	...	13	24	...	13	9	22	12
V23	14	14	14	14	12	12	12	12	11	5	13	...	2	13	...	0	4	9	1
V24	10	10	16	16	16	10	10	16	13	7	15	...	4	15	...	4	0	13	3
V25	23	5	5	23	21	21	3	3	2	14	22	...	11	4	...	9	13	0	10
V26	13	13	13	13	13	13	13	13	10	4	12	...	1	12	...	1	3	10	0

直前スイッチベクトル

【 0 0 7 5 】

表 2 に基づいて変化相を特定する場合は、この逆の計算をすればよい。すなわち、選択スイッチベクトルが V_0 (0 0 0) から V_9 (1 / 2 1 0) に移動する場合の変化相を特定したい場合は、表中の値 “ 1 5 ” を “ 9 (= 9 × 1) ” と “ 6 (= 3 × 2) ” とに分解することにより、U 相における 1 セットの変化と、V 相における 2 セットの変化とが同時に起こることを特定することができる。また、選択スイッチベクトルが V_7 (1

10

20

30

40

50

1 1) から V_{10} (0 1 1/2) に移動する場合の変化相を特定したい場合は、表中の値“19”を“18 (= 9 × 2)”と“1 (= 1 × 1)”とに分解することにより、U相における2セットの変化と、W相における1セットの変化とが同時に起こることを特定することができる。

【0076】

三相3レベル形PWMインバータ1cを制御対象とする場合も、基本的には表6に示すフローにしたがって選択すべきスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ と、その順序およびデューティ比が決定されるが、いくつかの相違点がある。

【0077】

1つ目の相違点として、ステップS7では、表2ではなく、表6～11に基づいて各出力順序パターンにおける節約相を特定する。例えば、現細分化モードがIIbの場合は、表7(B)を参照して、非ゼロスイッチベクトル V_2 、 V_9 、 V_{16} をこの順で選択する出力順序パターン1、非ゼロスイッチベクトル V_9 、 V_2 、 V_{17} をこの順で選択する出力順序パターン2、非ゼロスイッチベクトル V_{16} 、 V_9 、 V_2 をこの順で選択する出力順序パターン3、および非ゼロスイッチベクトル V_{17} 、 V_2 、 V_9 をこの順で選択する出力順序パターン4が存在し、各出力順序パターンの節約相はそれぞれW相、V相、W相、V相であることが特定される。

10

【0078】

2つ目の相違点として、ステップS8では、表3ではなく、表12に基づいて変化相を特定する。例えば、直前スイッチベクトルが V_1 で、かつ現細分化モードがIIbの場合は、次のスイッチサイクルにおいて V_2 、 V_9 、 V_{16} 、 V_{17} のいずれかを最初に選択することが考えられるので(表7(B)参照)、表12の V_1 の行を参照して、 $V_1 \rightarrow V_2$ の移動における変化相はV相(2セット)、 $V_1 \rightarrow V_9$ の移動における変化相はU相(1セット)およびV相(2セット)、 $V_1 \rightarrow V_{16}$ の移動における変化相はU相(1セット)およびV相(1セット)、 $V_1 \rightarrow V_{17}$ の移動における変化相はV相(2セット)およびW相(1セット)であることが特定される。

20

【0079】

ステップ8において特定される変化相が三相2レベル形PWMインバータ1aの場合とは若干相違するので、これに伴ってステップS10における評価も三相2レベル形PWMインバータ1aの場合とは若干相違する。例えば、直前スイッチベクトルが V_1 で、かつ現細分化モードがIIbの場合、4つの出力順序パターンの評価値は以下の通りとなる。

30

- ・出力順序パターン1の評価値： $k \times 2 i_v - i_w$
- ・出力順序パターン2の評価値： $k \times (i_u + 2 i_v) - i_v$
- ・出力順序パターン3の評価値： $k \times (i_u + i_v) - i_w$
- ・出力順序パターン4の評価値： $k \times (2 i_v + i_w) - i_v$

【0080】

3つ目の相違点として、ステップS12では、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c の順序デューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c に分解デューティ比 u_x 、 u_y 、 u_z を直接紐付けるのではなく、例えば、直前スイッチベクトルが V_8 であり、かつ現細分化モードがIbである場合は、式(3)に示されているように、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c の順序デューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c は、それぞれ“ $2u_x$ ”、“ $2u_y - 1$ ”、“ $2(1 - u_x - u_y)$ ”となる。

40

【数3】

$$\begin{aligned}
 u_\alpha V_\alpha + u_\beta V_\beta &= V_c + (2u_\alpha - 1)(V_b - V_c) + 2u_\beta (V_a - V_c) \\
 &= 2u_\beta V_a + (2u_\alpha - 1)V_b + 2(1 - u_\alpha - u_\beta)V_c \quad \dots \text{式(3)}
 \end{aligned}$$

上式は、図13から幾何学的に導きだすことができる。直前スイッチベクトルまたは現細分化モードが上記一例と異なる場合も、同様の手法により出力順序ベクトル V_a 、 V_b

50

、 V_c の順序デューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c を求めることができる。

【0081】

4つ目の相違点として、ステップS13では、6個(SW1~SW6)ではなく、12個(SWUp p、SWUp o・・・SWWn o、SWWn n)のスイッチの導通状態を切り替える。

【0082】

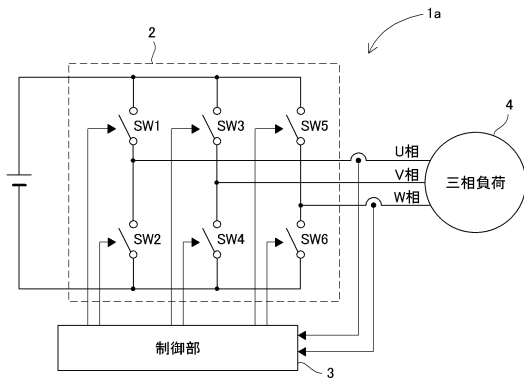
以上、本発明に係るPWMインバータの制御方法および制御装置の好ましい実施形態について説明したが、本発明は上記の構成に限定されるものではない。例えば、第1のルールおよび第2のルールは、表2、表3、表6~11、表12の表現形式に限定されることはなく、任意の形式に変更することができる。

【符号の説明】

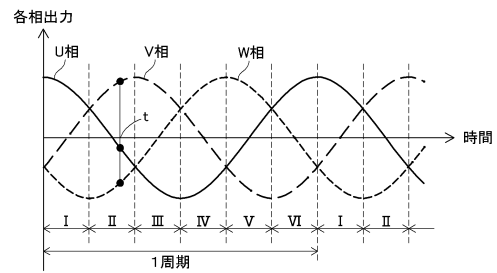
【0083】

- 1 a、1 b、1 c PWMインバータ
- 2 インバータ部
- 3 制御部(制御装置)
- 4 三相負荷
- 5 昇降圧部

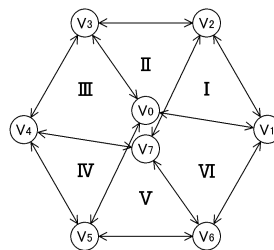
【図1】



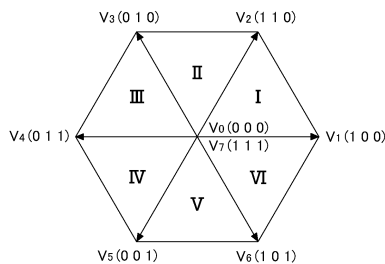
【図3】



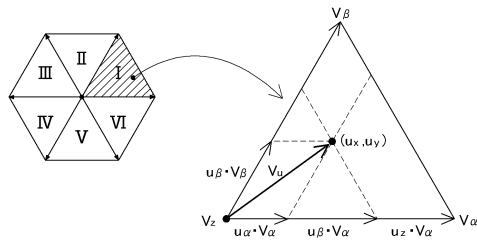
【図4】



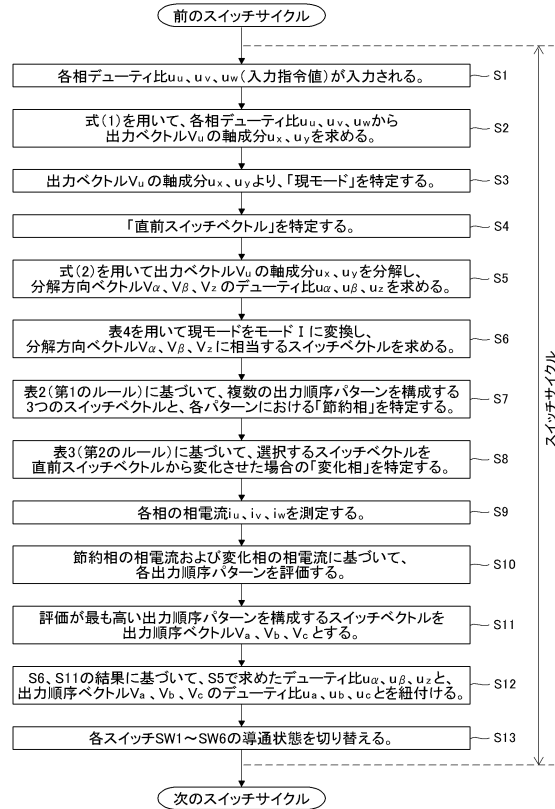
【図2】



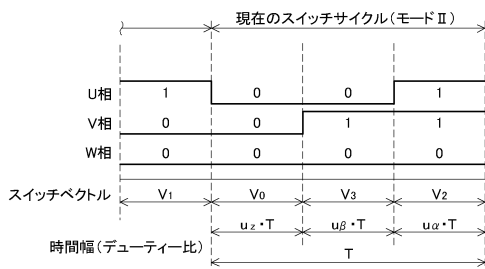
【図5】



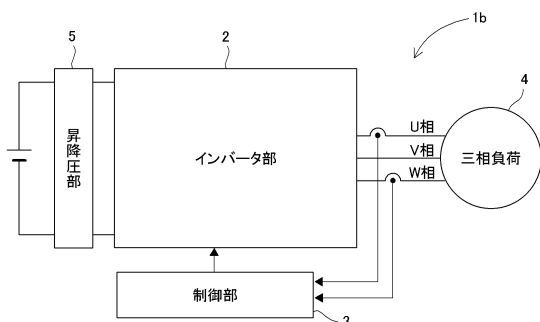
【図6】



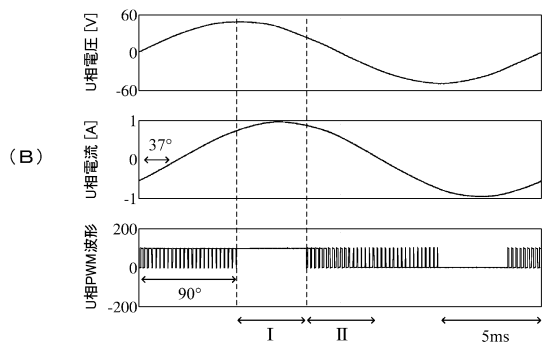
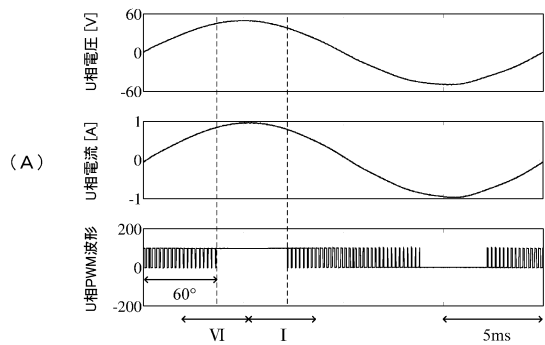
【図7】



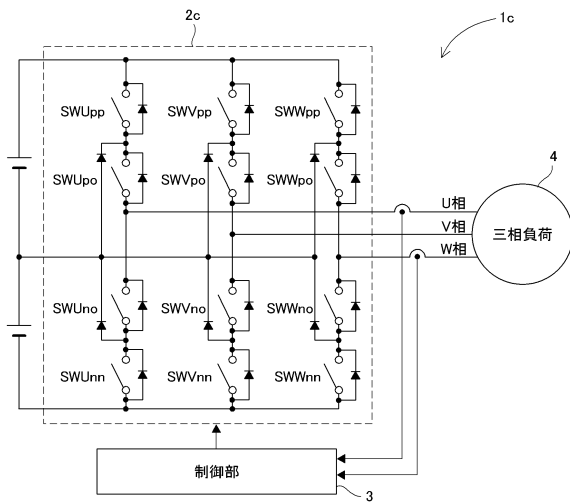
【図8】



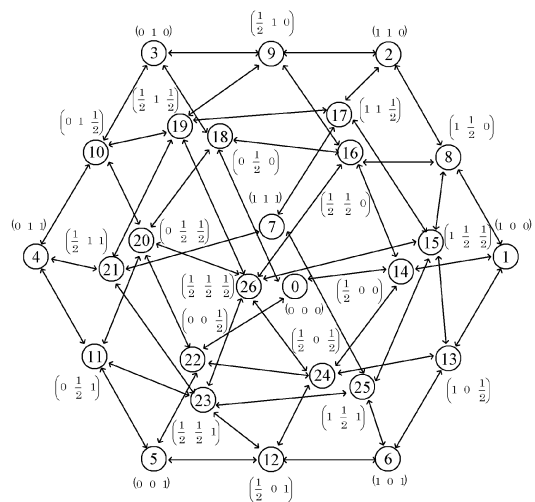
【図9】



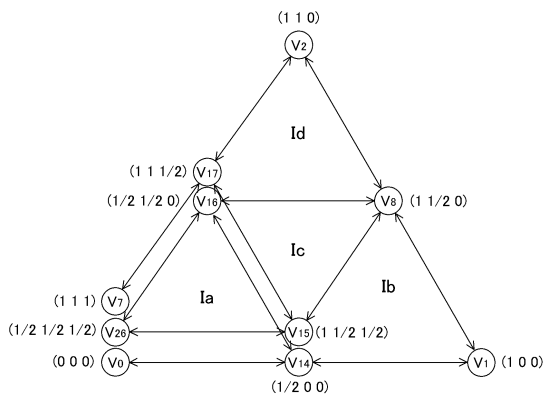
【図10】



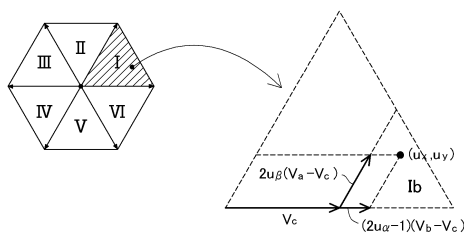
【図11】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平07-298631(JP,A)
米国特許第05319295(US,A)
特開2002-369546(JP,A)
特開平09-009642(JP,A)
特開平01-259761(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02M 7/48