

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5807860号
(P5807860)

(45) 発行日 平成27年11月10日(2015.11.10)

(24) 登録日 平成27年9月18日(2015.9.18)

(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 6 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2011-121588 (P2011-121588)	(73) 特許権者	503027931
(22) 出願日	平成23年5月31日 (2011.5.31)		学校法人同志社
(65) 公開番号	特開2012-39853 (P2012-39853A)		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24年2月23日 (2012.2.23)	(74) 代理人	110000475
審査請求日	平成26年2月25日 (2014.2.25)		特許業務法人みのり特許事務所
(31) 優先権主張番号	特願2010-158377 (P2010-158377)	(72) 発明者	加藤 利次
(32) 優先日	平成22年7月13日 (2010.7.13)		京都府京田辺市多々羅都谷1-3 同志社大学内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(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2レベル形PWMインバータの各スイッチ状態に対応する8つのスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ 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、

前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択を切り替える前後でスイッチ状態が変化する相の数が1以下である前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の組み合わせを、1つ前のスイッチサイクルにおいて最後に選択したスイッチベクトルである直前スイッチベクトル毎に用意された8個のテーブルによってルール化しておく、

前記PWMインバータの出力変化の1周期を、前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ で表現可能なモードI~VIに対応する6つの領域に分割して捉え、

前記領域の1つに含まれる任意の出力ベクトル V_u を得るために必要な3つのスイッチベクトルを前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の中から選択する際に、前記直前スイッチベクトルに対応する前記テーブルの、前記出力ベクトル V_u を含む前記領域に対応するモードに関する部分を参照し、当該部分において指定された3つのスイッチベクトルを当該部分において指定された順序で選択していくことを特徴とする制御方法。

【請求項2】

表1に示す前記8個のテーブルの、前記出力ベクトル V_u を含む前記領域に対応するモードに関する部分を参照して、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c の順序で3つのスイッチベクトルを選択することを特徴とする請求項1に記載の制御方法。

10

20

【表 1】

(A) 直前スイッチベクトル=V0

モード	V _a	V _b	V _c
I	V ₀	V ₁	V ₂
II		V ₃	V ₂
III		V ₃	V ₄
IV		V ₅	V ₄
V		V ₅	V ₆
VI		V ₁	V ₆

(B) 直前スイッチベクトル=V1

モード	V _a	V _b	V _c
VI	V ₁	V ₆	V ₇
I		V ₂	V ₇
その他	V ₀ (A表)へ移動		

(C) 直前スイッチベクトル=V2

モード	V _a	V _b	V _c
I	V ₂	V ₁	V ₀
II		V ₃	V ₀
その他	V ₇ (H表)へ移動		

(D) 直前スイッチベクトル=V3

モード	V _a	V _b	V _c
II	V ₃	V ₂	V ₇
III		V ₄	V ₇
その他	V ₀ (A表)へ移動		

(E) 直前スイッチベクトル=V4

モード	V _a	V _b	V _c
III	V ₄	V ₃	V ₀
IV		V ₅	V ₀
その他	V ₇ (H表)へ移動		

(F) 直前スイッチベクトル=V5

モード	V _a	V _b	V _c
IV	V ₅	V ₄	V ₇
V		V ₆	V ₇
その他	V ₀ (A表)へ移動		

(G) 直前スイッチベクトル=V6

モード	V _a	V _b	V _c
V	V ₆	V ₅	V ₀
VI		V ₁	V ₀
その他	V ₇ (H表)へ移動		

(H) 直前スイッチベクトル=V7

モード	V _a	V _b	V _c
I	V ₇	V ₂	V ₁
II		V ₂	V ₃
III		V ₄	V ₃
IV		V ₄	V ₅
V		V ₆	V ₅
VI		V ₆	V ₁

【請求項 3】

三相 2 レベル形 PWM インバータの各スイッチ状態に対応する 8 つのスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ 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、

前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択を切り替える前後でスイッチ状態が変化する相の数が 1 以下である前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の組み合わせを表 2 によってルール化しておく、

前記 PWM インバータの出力変化の 1 周期を、前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ で表現可能なモード I ~ V I に対応する 6 つの領域に分割して捉え、

前記領域の 1 つに含まれる任意の出力ベクトル V_u を得るために必要なスイッチベクトルを前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の中から選択する際に、

i) 起点スイッチベクトルとして予めゼロスイッチベクトル V_0 を選択した場合は、表 2 (A) の、前記出力ベクトル V_u を含む前記領域に対応するモードに関する部分を参照し、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_c 、 V_b 、 V_a の順序で 6 つのスイッチベクトルを選択し、

ii) 前記起点スイッチベクトルとして予めゼロスイッチベクトル V_7 を選択した場合は、表 2 (B) の、前記出力ベクトル V_u を含む前記領域に対応するモードに関する部分を参照し、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_c 、 V_b 、 V_a の順序で 6 つのスイッチベクトルを選択する、

ことを特徴とする制御方法。

10

20

30

40

【表 2】

(A) 起点スイッチベクトル=V₀

モード	V _a	V _b	V _c
I	V ₀	V ₁	V ₂
II		V ₃	V ₂
III		V ₃	V ₄
IV		V ₅	V ₄
V		V ₅	V ₆
VI		V ₁	V ₆

(B) 起点スイッチベクトル=V₇

モード	V _a	V _b	V _c
I	V ₇	V ₂	V ₁
II		V ₂	V ₃
III		V ₄	V ₃
IV		V ₄	V ₅
V		V ₆	V ₅
VI		V ₆	V ₁

10

【請求項 4】

三相 n レベル形 P W M インバータ (ただし、 n は 3 以上の整数) の各スイッチ状態に対応する複数のスイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3 - 1)}$ の選択を切り替えながら、当該 P W M インバータを空間ベクトル制御する方法であって、

前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3 - 1)}$ の選択を切り替える前後で導通状態が変化するスイッチの数が最小となる前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3 - 1)}$ の組み合わせを、1 つ前のスイッチサイクルにおいて最後に選択したスイッチベクトルである直前スイッチベクトル毎に用意された n^3 個のテーブルによってルール化しておく、

前記 P W M インバータの出力変化の 1 周期を、前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3 - 1)}$ で表現可能な複数の細分化モードに対応する複数の領域に分割して捉え、

20

前記領域の 1 つに含まれる任意の出力ベクトル V_u を得るために必要な 3 つのスイッチベクトルを前記スイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3 - 1)}$ の中から選択する際に、前記直前スイッチベクトルに対応する前記テーブルの、前記出力ベクトル V_u を含む前記領域に対応する細分化モードに関する部分を参照し、当該部分において指定された 3 つのスイッチベクトルを当該部分において指定された順序で選択していくことを特徴とする制御方法。

【請求項 5】

P W M インバータの各スイッチ状態に対応するスイッチベクトルのうちの少なくとも 1 つを請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の制御方法で選択し、選択した前記スイッチベクトルに対応するスイッチ状態となるように、インバータ部を構成する各スイッチの導通状態を変化させることを特徴とする P W M インバータの制御装置。

30

【請求項 6】

前記インバータ部に、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ことを特徴とする請求項 5 に記載の P W M インバータの制御装置。

【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。

40

【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

50

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 PWM 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。

【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

20

【 0 0 0 4 】

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 $V_{8 \sim 25}$) を「非ゼロスイッチベクトル」と呼ぶこととする。

【 0 0 0 5 】

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 1 a 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 1 a を制御する。

30

【 0 0 0 6 】

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 を順次選択し、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。

40

【 0 0 0 7 】

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 1 a 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 1 a 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。前記の通り、出力電圧 V_u は、任意の制御則にしたがって生成されるのが一般的である。

50

【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。

10

【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。

20

【0011】

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、スイッチング回数を最小とし、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】

【0012】

上記課題を解決するために、本願発明者は鋭意検討を重ねた結果、スイッチベクトルの選択を切り替える前後で、スイッチ状態が変化する相の数が1以下であるスイッチベクトルの組み合わせを予めルール化しておき、そのルールにしたがってスイッチベクトルの選択順序を決定すれば、不要なスイッチング損失の発生を防ぐことができることを見出し、本願発明を完成させるに至った。

30

【0013】

すなわち、本発明に係るPWMインバータの制御方法は、三相2レベル形PWMインバータの各スイッチ状態に対応する8つのスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ 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、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択を切り替える前後でスイッチ状態が変化する相の数が1以下であるスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の組み合わせを、1つ前のスイッチサイクルにおいて最後に選択したスイッチベクトルである直前スイッチベクトル毎に用意された8個のテーブルによってルール化しておき、PWMインバータの出力変化の1周期を、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ で表現可能なモードI~VIに対応する6つの領域に分割して捉え、上記領域の1つに含まれる任意の出力ベクトル V_u を得るために必要な3つのスイッチベクトルをスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の中から選択する際に、直前スイッチベクトルに対応するテーブルの、出力ベクトル V_u を含む領域に対応するモードに関する部分を参照し、当該部分において指定された3つのスイッチベクトルを当該部分において指定された順序で選択していくことを特徴としている。

40

【0014】

上記三相2レベル形PWMインバータの制御方法は、例えば、下表に示す8個のテーブ

50

ルの、出力ベクトル V_u を含む領域に対応するモードに関する部分を参照して、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c の順序で3つのスイッチベクトルを選択するよう構成することができる。

【表2】

(A) 直前スイッチベクトル= V_0

モード	V_a	V_b	V_c
I	V_0	V_1	V_2
II		V_3	V_2
III		V_3	V_4
IV		V_5	V_4
V		V_5	V_6
VI		V_1	V_6

(B) 直前スイッチベクトル= V_1

モード	V_a	V_b	V_c
VI	V_1	V_6	V_7
I		V_2	V_7
その他	V_0 (A表)へ移動		

(C) 直前スイッチベクトル= V_2

モード	V_a	V_b	V_c
I	V_2	V_1	V_0
II		V_3	V_0
その他	V_7 (H表)へ移動		

(D) 直前スイッチベクトル= V_3

モード	V_a	V_b	V_c
II	V_3	V_2	V_7
III		V_4	V_7
その他	V_0 (A表)へ移動		

(E) 直前スイッチベクトル= V_4

モード	V_a	V_b	V_c
III	V_4	V_3	V_0
IV		V_5	V_0
その他	V_7 (H表)へ移動		

(F) 直前スイッチベクトル= V_5

モード	V_a	V_b	V_c
IV	V_5	V_4	V_7
V		V_6	V_7
その他	V_0 (A表)へ移動		

(G) 直前スイッチベクトル= V_6

モード	V_a	V_b	V_c
V	V_6	V_5	V_0
VI		V_1	V_0
その他	V_7 (H表)へ移動		

(H) 直前スイッチベクトル= V_7

モード	V_a	V_b	V_c
I	V_7	V_2	V_1
II		V_2	V_3
III		V_4	V_3
IV		V_4	V_5
V		V_6	V_5
VI		V_6	V_1

【0015】

また、上記課題を解決するために、本発明に係るもうひとつのPWMインバータの制御方法は、三相2レベル形PWMインバータの各スイッチ状態に対応する8つのスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ 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、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択を切り替える前後でスイッチ状態が変化する相の数が1以下であるスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の組み合わせを下表によってルール化しておき、PWMインバータの出力変化の1周期を、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ で表現可能なモードI~VIに対応する6つの領域に分割して捉え、上記領域の1つに含まれる任意の出力ベクトル V_u を得るために必要なスイッチベクトルをスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の中から選択する際に、i) 起点スイッチベクトルとして予めゼロスイッチベクトル V_0 を選択した場合は、下表(A)の、出力ベクトル V_u を含む領域に対応するモードに関する部分を参照し、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_c 、 V_b 、 V_a の順序で6つのスイッチベクトルを選択し、ii) 起点スイッチベクトルとして予めゼロスイッチベクトル V_7 を選択した場合は、下表(B)の、出力ベクトル V_u を含む領域に対応するモードに関する部分を参照し、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c 、 V_c 、 V_b 、 V_a の順序で6つのスイッチベクトルを選択することを特徴としている。

10

20

30

40

【表 3】

(A) 起点スイッチベクトル=V₀

モード	V _a	V _b	V _c
I	V ₀	V ₁	V ₂
II		V ₃	V ₂
III		V ₃	V ₄
IV		V ₅	V ₄
V		V ₅	V ₆
VI		V ₁	V ₆

(B) 起点スイッチベクトル=V₇

モード	V _a	V _b	V _c
I	V ₇	V ₂	V ₁
II		V ₂	V ₃
III		V ₄	V ₃
IV		V ₄	V ₅
V		V ₆	V ₅
VI		V ₆	V ₁

10

【0016】

また、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nレベル形PWMインバータ(ただし、nは3以上の整数)の各スイッチ状態に対応する複数のスイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3-1)}$ 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、スイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3-1)}$ の選択を切り替える前後で導通状態が変化するスイッチの数が最小となるスイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3-1)}$ の組み合わせを、1つ前のスイッチサイクルにおいて最後に選択したスイッチベクトルである直前スイッチベクトル毎に用意された n^3 個のテーブルによってルール化しておき、PWMインバータの出力変化の1周期を、スイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3-1)}$ で表現可能な複数の細分化モードに対応する複数の領域に分割して捉え、上記領域の1つに含まれる任意の出力ベクトル V_u を得るために必要な3つのスイッチベクトルをスイッチベクトル $V_0 \sim V_{(n^3-1)}$ の中から選択する際に、直前スイッチベクトルに対応するテーブルの、出力ベクトル V_u を含む領域に対応する細分化モードに関する部分を参照し、当該部分において指定された3つのスイッチベクトルを当該部分において指定された順序で選択していくことを特徴としている。

20

【0017】

また、上記課題を解決するために、本発明に係るPWMインバータの制御装置は、PWMインバータの各スイッチ状態に対応するスイッチベクトルのうちの少なくとも1つを上記いずれかの制御方法で選択し、選択したスイッチベクトルに対応するスイッチ状態となるように、インバータ部を構成する各スイッチの導通状態を変化させることを特徴としている。

30

【0018】

なお、上記インバータ部は、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ものであってもよい。

【発明の効果】

【0019】

本発明によれば、スイッチベクトルの選択を切り替える際に必要なスイッチングの回数を最小とし、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ができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】三相2レベル形PWMインバータの模式回路図である。

【図2】三相2レベル形PWM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3】三相2レベル形PWM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PWMインバータの制御方法において、スイッチベクトルを選択する際に参照するルールの概念図である。

【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。

50

【図6】本発明に係る三相2レベル形(三相マルチレベル形)PWM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PWMインバータの制御方法による制御の一例であって、(A)は直前スイッチベクトルが V_2 で現モードがIIの場合、(B)は直前スイッチベクトルが V_2 で現モードがIVの場合である。

【図8】本発明に係る三相2レベル形PWMインバータの制御方法でPWMインバータを制御した実験結果を示す、各相のPWM波形図である。

【図9】本発明に係る三相2レベル形PWMインバータの制御方法でPWMインバータを制御した実験結果を示す、各相の出力電圧波形図である。

【図10】本発明の変形例に係る三相2レベル形PWMインバータの制御方法において、スイッチベクトルを選択する際に参照するルールの概念図であって、(A)は起点ベクトルを V_0 とした場合、(B)は起点ベクトルを V_7 とした場合である。

【図11】本発明の変形例に係る三相2レベル形PWMインバータの制御方法でPWMインバータを制御した実験結果を示す、各相のPWM波形図である。

【図12】本発明の変形例に係る三相2レベル形PWMインバータの制御方法でPWMインバータを制御した実験結果を示す、各相の出力電圧波形図である。

【図13】本発明を適用可能なPWMインバータの変形例を示す模式回路図である。

【図14】本発明を適用可能な三相3レベル形PWMインバータを示す模式回路図である。

【図15】本発明に係る三相3レベル形PWMインバータの制御方法において、スイッチベクトルを選択する際に参照するルールの概念図である。

【図16】三相3レベル形PWM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17】三相3レベル形PWMインバータにおける空間ベクトル制御における出力順序ベクトルのデューティ比の求め方を説明するための図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、添付図面を参照して、本発明に係る三相2レベル形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PWMインバータ1a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PWMインバータ1b(図13参照)や、3レベル形以上のマルチレベルのインバータ部2cを備えたPWMインバータ1c(図14参照)も制御対象とすることができる。

【0022】

[三相2レベル形PWMインバータ]

[ルール作成]

本発明では、事前の準備として、スイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を選択する際に参照するルール(図4および表2参照)を作成する必要がある。このルールは、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1以下であるスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の組み合わせをまとめたもので、本発明では、この組み合わせを辿りながらスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ が選択される。

【0023】

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

10

20

30

40

50

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。

【0024】

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。

10

【0025】

図4は、上記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。

【0026】

表2は、上記ルールをさらに整理して一般化したものである。なお、表2中の「直前スイッチベクトル」は、1つ前のスイッチサイクルで最後に選択されたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を意味し、「モード」は、出力ベクトル V_u を含む領域のモード(以下、「現モード」という)を示す。また、「 V_a 、 V_b 、 V_c 」は出力順序ベクトルである。

【0027】

この表に具現化されたルールによれば、例えば、直前スイッチベクトルが V_0 で、かつ現モードがIIの場合は、表2(A)のモードIIの行を参照して、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 をこの順序で選択すればよいことが分かる。また、直前スイッチベクトルが V_6 で、かつ現モードがVの場合は、表2(G)のモードVの行を参照して、非ゼロスイッチベクトル V_6 、 V_5 およびゼロスイッチベクトル V_0 をこの順序で選択すればよいことが分かる。なお、直前スイッチベクトルが V_6 で、かつ現モードがIの場合は、表2(G)ではなく、表2(H)のモードIの行を参照して選択すべきスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を特定する。すなわち、現モードがIなので、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 をこの順序で選択すればよいことが分かる。

20

30

【0028】

[制御フロー]

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決定されるまでのフローについて説明する。

【0029】

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。

40

【0030】

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。

【数1】

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

50

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 S 1 および S 2 を省略して、ステップ S 3 から本フローをスタートさせてもよい。

【0031】

ステップ S 3 では、ステップ S 2 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 ~ IV に対応) のいずれに含まれるのかを特定する。

【0032】

ステップ S 4 では、「直前スイッチベクトル」がスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ のいずれであるのかを特定する。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 (後述) を参照することにより特定することができる。

10

【0033】

ステップ S 5 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】

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

20

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。

【0034】

ステップ S 6 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。

30

【表 4】

モード	V_α	V_β	V_z
I	V1	V2	V0 または V7
II	V2	V3	
III	V3	V4	
IV	V4	V5	
V	V5	V6	
VI	V6	V1	

40

例えば、現モードが II の場合は、上表を用いてモード II 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_α 、 V_β 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_α 、 V_β 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

50

は V_7 となる。

【0035】

ステップS7では、表2に具現化されたルールに基づいて、直前スイッチベクトルと現モードとから、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c のそれぞれに相当するスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ を求める。表2の使い方は前記の通りなので、ここでは説明を省略する。

【0036】

ステップS8では、ステップS6およびステップS7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_1 、 u_2 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S7で出力順序ベクトル V_a に相当するスイッチベクトルが V_2 であると求められた場合は、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_1 も紐付けられる。

【0037】

ステップS9では、ステップS7で求めたスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ と、ステップS8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～SW6の導通状態を切り替える。

【0038】

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 に相当す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、求め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。

【0039】

また、本発明に係る制御方法（制御装置）によれば、予め作成したルールに基づいてスイッチベクトル $V_0 \sim V_7$ の選択順序を決定するので、選択スイッチベクトルを切り替える際に必要なスイッチングの回数が最小となり、不要なスイッチング損失の発生を防ぐことができる。

【0040】

次に、図7（A）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定して説明する。同図に示すように、具体例1では、ステップS3で特定した現モードはII、ステップS4で特定した直前スイッチベクトルは V_2 であるとする。

【0041】

本具体例のステップS6では、表4のモードII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_2 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。

【0042】

ステップS7では、直前スイッチベクトルが V_2 、現モードがIIであることから、表2（C）のモードIIの行を参照して、出力順序ベクトル V_a に相当するのは非ゼロスイッチベクトル V_2 であり、出力順序ベクトル V_b に相当するのは非ゼロスイッチベクトル V_3 であり、さらに出力順序ベクトル V_c に相当するのはゼロスイッチベクトル V_0 であることが求められる。

【0043】

ステップS8では、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_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

10

20

30

40

50

V と出力順序ベクトル V_b が紐付けられ、さらに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_c が紐付けられる。その結果、非ゼロスイッチベクトル V_2 の順序デューティ比 u_a は、分解デューティ比 u となる。同様に、非ゼロスイッチベクトル V_3 およびゼロスイッチベクトル V_0 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_z となる。

【0044】

結局、本具体例では、 $u \cdot T$ (ただし、 T は1スイッチサイクルの時間) の時間だけ非ゼロスイッチベクトル V_2 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、 $u_z \cdot T$ の時間だけゼロスイッチベクトル V_0 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ことができる (図7 (A) 参照)。

【0045】

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 ($= u_a$) が1となり、分解デューティ比 u ($= u_b$)、 u_z ($= u_c$) が0となる。したがって、この場合は、非ゼロスイッチベクトル V_3 およびゼロスイッチベクトル V_0 の選択時間が0となり、非ゼロスイッチベクトル V_3 およびゼロスイッチベクトル V_0 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。

【0046】

図7 (B) を参照しながら、本発明に係る制御のもうひとつの具体的一例について説明する。同図に示すように、具体例2では、ステップS3で特定した現モードはIV、ステップS4で特定した直前スイッチベクトルは V_2 であるとする。

【0047】

本具体例のステップS6では、表4のモードIV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_4 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_5 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。

【0048】

ステップS7では、直前スイッチベクトルが V_2 であることから表2 (C) を参照するが、表2 (C) には現モード (モードIV) の行が存在しない。このため、ステップS7では、表2 (C) の「その他」の行にしたがって表2 (H) のモードIVの行を参照し、出力順序ベクトル V_a に相当するのはゼロスイッチベクトル V_7 であり、出力順序ベクトル V_b に相当するのは非ゼロスイッチベクトル V_4 であり、さらに出力順序ベクトル V_c に相当するのは非ゼロスイッチベクトル V_5 であることが求められる。

【0049】

ステップS8では、ゼロスイッチベクトル V_7 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_4 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_5 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_7 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_4 、 V_5 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。

【0050】

結局、本具体例では、 $u_z \cdot T$ の時間だけゼロスイッチベクトル V_7 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_4 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_5 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ことができる (図7 (B) 参照)。

【0051】

10

20

30

40

50

続いて、本発明に係る制御方法（制御装置）を用いて、インバータ部2をIGBTで構成した三相2レベル形PWMインバータ1aを制御した実験結果について説明する。なお、本実験では、インバータ部2に入力される直流入力電圧を100Vとし、各相の出力電圧が振幅25V、周波数50Hzの正弦波（図9参照）となるよう制御した。

【0052】

図8（A）に、2kHzで変調した各相の1周期（40スイッチサイクル）分のPWM出力波形を示す。同図に示すように、本発明に係る制御方法（制御装置）によれば、各相ともスイッチングしない区間が発生し、スイッチング回数を概ね2/3に低減することができた。また、図8（A）の一部を拡大した図8（B）に示すように、本実験では、モードIとモードIIの境目において選択スイッチベクトルが V_0 V_1 V_2 V_2 V_3 V_0 の順に移動していた。つまり、表2に具現化されたルールに基づく正しい制御が行われたことを確認することができた。

【0053】

[変形例]

上記本発明に係る制御方法（制御装置）は、対称形の制御とすることにより簡易化することができる。より詳しくは、変形例に係る制御方法（制御装置）では、表2に具現化されたルールに代えて、表3に具現化された簡易ルールに基づいてスイッチベクトルの選択順序を決定する。その他の制御フローは、図6に示すステップS1～S6、S8、S9と同様である。

【0054】

この簡易ルールを用いた制御フローにおいては、まず、起点スイッチベクトルとするスイッチベクトルをゼロスイッチベクトル V_0 、 V_7 の中から選択する。そして、起点スイッチベクトルを V_0 とした場合は、表3（A）の現モードの行を参照して出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c に相当するスイッチベクトル V_0 ～ V_6 を求め、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c に相当するスイッチベクトル V_0 ～ V_6 を順次選択した後に、対称に折り返すように、出力順序ベクトル V_c 、 V_b 、 V_a に相当するスイッチベクトル V_0 ～ V_6 を順次選択する（図10（A）参照）。起点スイッチベクトルを V_7 とした場合、表3（B）の現モードの行を参照して出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c に相当するスイッチベクトル V_1 ～ V_7 を求め、出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c に相当するスイッチベクトル V_1 ～ V_7 を順次選択した後に、対称に折り返すように、出力順序ベクトル V_c 、 V_b 、 V_a に相当するスイッチベクトル V_1 ～ V_7 を順次選択する（図10（B）参照）。

【0055】

例えば、起点スイッチベクトルが V_0 、現モードがIの場合は、選択スイッチベクトルが V_0 V_1 V_2 の順に移動した後、 V_2 V_1 V_0 の順に移動する。別の例として、起点スイッチベクトルが V_7 、現モードがVの場合は、選択スイッチベクトルが V_7 V_6 V_5 の順に移動した後、 V_5 V_6 V_7 の順に移動する。

【0056】

この変形例に係る制御方法（制御装置）によれば、制御を簡易化することができる他、各スイッチサイクルにおける最後の選択スイッチベクトル（直前スイッチベクトル）が必ず起点スイッチベクトル（ゼロスイッチベクトル V_0 または V_7 ）となるので、任意のモードへの移動がしやすくなるというメリットが得られる。

【0057】

続いて、変形例に係る制御方法（制御装置）を用いて、インバータ部2をIGBTで構成した三相2レベル形PWMインバータ1aを制御した実験結果について説明する。なお、本実験では、インバータ部2に入力される直流入力電圧を100Vとし、各相の出力電圧が振幅25V、周波数50Hzの正弦波（図12参照）となるよう制御した。また、起点スイッチベクトルはゼロスイッチベクトル V_0 とした。

【0058】

図11（A）に、2kHzで変調した各相の1周期（40スイッチサイクル）分のPWM出力波形を示す。同図に示すように、変形例に係る制御方法（制御装置）によれば、各

10

20

30

40

50

相とも1周期のうちスイッチングしない区間が1/3程度あり、スイッチング回数を概ね2/3に低減することができた。また、図11(A)の一部を拡大した図11(B)に示すように、本実験では、モードIにおいて選択スイッチベクトルが $V_0 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_2 \rightarrow V_1 \rightarrow V_0$ の順に移動していた。つまり、表3(A)に具現化されたルールに基づく正しい制御が行われたことを確認することができた。

【0059】

[三相3レベル形PWMインバータ]

続いて、マルチレベル形PWMインバータの一例として、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14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SWUpp、SWUpo、SWUno、SWUnnはU相アームを、スイッチSWVpp、SWVpo、SWVno、SWVnnはV相アームを、そしてスイッチSWWpp、SWWpo、SWWno、SWWnn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13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。

10

【0060】

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15、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。

20

【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)		

30

40

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SWUpp、SWUpoがオンしていることを示し、“1/2”は、スイッチSWUpo、SWUnoがオンしていることを示し、“0”は、スイッチSWUno、SWUnnがオンしていることを示す。

【0061】

図14から明らかなように、スイッチ状態を“1”から“1/2”に変化させたり、“1/2”から“1”に変化させたり、“0”から“1/2”に変化させたり、“1/2”から“0”に変化させたりするためには、いずれか1つのスイッチをオンさせるとともに、別の1つのスイッチをオフさせる必要がある。一方、スイッチ状態を“1”から“0”

50

に変化させたり、“0”から“1”に変化させたりするためには、いずれか2つのスイッチをオンさせるとともに、別の2つのスイッチをオフさせる必要がある。本発明では、各1つのオン動作とオフ動作とからなる組が何組存在するのかによって、スイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ 間の距離を予め算出しておく。

【0062】

表6は、スイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ 間の距離をまとめた表の一部である。

【表6】

	V0	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	...	V23	V24	V25	V26
V0	0	2	4	2	4	2	4	6	3	3	3	...	4	2	5	3
V1	2	0	2	4	6	4	2	4	1	3	5	...	4	2	3	3
V2	4	2	0	2	4	6	4	2	1	1	3	...	4	4	3	3
V3	2	4	2	0	2	4	6	4	3	1	1	...	4	4	5	3
V4	4	6	4	2	0	2	4	2	5	3	1	...	2	4	3	3
V5	2	4	6	4	2	0	2	4	5	5	3	...	2	2	3	3
V6	4	2	4	6	4	2	0	2	3	5	5	...	2	2	1	3
V7	6	4	2	4	2	4	2	0	3	3	3	...	2	4	1	3
V8	3	1	1	3	5	5	3	3	0	2	4	...	3	3	2	2
V9	3	3	1	1	3	5	5	3	2	0	2	...	3	3	4	2
V10	3	5	3	1	1	3	5	3	4	2	0	...	3	3	4	2
V11	3	5	5	3	1	1	3	3	4	4	2	...	1	3	2	2
V12	3	3	5	5	3	1	1	3	4	4	4	...	1	2	2	2
V13	3	1	3	5	5	3	1	3	2	4	4	...	3	1	2	2
V14	1	1	3	3	5	3	3	5	2	2	4	...	3	1	4	2
V15	4	2	2	4	4	4	2	2	1	3	3	...	2	2	1	1
V16	2	2	2	2	4	4	4	4	1	1	3	...	2	2	3	1
V17	5	3	1	3	3	5	3	1	2	2	2	...	3	3	2	2
V18	1	3	3	1	3	3	5	5	2	2	2	...	3	3	4	2
V19	4	4	2	2	2	4	4	2	3	1	1	...	2	2	3	1
V20	2	4	4	2	2	2	4	4	3	3	1	...	2	2	3	1
V21	5	5	3	3	1	3	3	1	4	2	2	...	1	3	2	2
V22	1	3	5	3	3	1	3	5	4	4	2	...	3	1	4	2
V23	4	4	4	4	2	2	2	2	3	3	3	...	0	2	1	1
V24	2	2	4	4	4	2	2	4	3	3	3	...	2	0	3	1
V25	5	3	3	5	3	3	1	1	2	4	4	...	1	3	0	2
V26	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	...	1	1	2	0

上表に示すように、例えば、非ゼロスイッチベクトル V_1 と V_8 は距離が“1”離れているが、これは、選択スイッチベクトルを V_1 から V_8 に移動させる際に、1つのスイッチ (SWVno) をオフするとともに、別の1つのスイッチ (SWVpo) をオンさせる必要があることを示している。また、非ゼロスイッチベクトル V_1 と V_2 は距離が“2”離れているが、これは、選択スイッチベクトルを V_1 から V_2 に移動させる際に、2つのスイッチ (SWVno、SWVnn) をオフするとともに、別の2つのスイッチ (SWVpp、SWVpo) をオンさせる必要があることを示している。表6の使い方については、後で説明する。

【0063】

10
20
30
40

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16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。

10

【0064】

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、VI dが存在する。

【0065】

表7は、スイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ を選択する際に参照するルールのうち、現モードがIである場合に参照する部分を抜き出したものである。このルールを参照すれば、距離が1以下であるスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ の組み合わせ、言い換えると、スイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ の選択を切り替える前と後で、導通状態が変化するスイッチの数が2以下であるスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ の組み合わせが分かるようになっている。本発明では、この組み合わせを辿りながらスイッチベクトル $V_0 \sim V_{26}$ が選択される。

20

【表 7】

直前スイッチベクトル	現モード	V _a	V _b	V _c
V ₀	I _a	V ₀	V ₁₄	V ₁₆
V ₁	I _b	V ₁	V ₈	V ₁₅
V ₂	I _d	V ₂	V ₈	V ₁₆
V ₇	I _a	V ₇	V ₁₇	V ₁₅
V ₈	I _b	V ₈	V ₁	V ₁₄
	I _c		V ₁₅	V ₁₇
	I _d		V ₁₆	V ₁₄
	I _d		V ₂	V ₁₇
V ₁₄	I _a	V ₁₄	V ₁₆	V ₂₆
	I _b		V ₁	V ₈
	I _c		V ₁₆	V ₈
V ₁₅	I _a	V ₁₅	V ₁₇	V ₇
	I _b		V ₂₆	V ₁₆
	I _c		V ₈	V ₁
V ₁₆	I _a	V ₁₆	V ₁₄	V ₀
	I _c		V ₈	V ₁₅
	I _d		V ₈	V ₂
V ₁₇	I _a	V ₁₇	V ₁₅	V ₂₆
	I _c		V ₁₅	V ₈
	I _d		V ₂	V ₈
V ₂₆	I _a	V ₂₆	V ₁₅	V ₁₇
			V ₁₆	V ₁₄

←行A

10

←行B

20

30

【0066】

例えば、直前スイッチベクトルがV₀であり、かつ現細分化モードがI_aである場合は、ゼロスイッチベクトルV₀、非ゼロスイッチベクトルV₁₄、V₁₆がこの順序で選択される。このような順序で選択すれば、選択スイッチベクトルのV₀からV₁₄への移動においては、U相アームを構成するスイッチSWU_{po}とスイッチSWU_{nn}の導通状態だけが変化し、選択スイッチベクトルのV₁₄からV₁₆への移動においては、V相アームを構成するスイッチSWV_{po}とスイッチSWV_{nn}の導通状態だけが変化するので、導通状態が変化するスイッチの数をそれぞれ2とすることができる。

【0067】

また、直前スイッチベクトルがV₈であり、かつ現細分化モードがI_cである場合は、非ゼロスイッチベクトルV₈、V₁₅、V₁₇がこの順序で選択されるか、または、非ゼロスイッチベクトルV₈、V₁₆、V₁₄がこの順序で選択される。前者のように選択しても、後者のように選択しても、得られるスイッチング損失の低減効果は同じであるが、2つの選択肢がある場合は、いずれを選択するのかを決定する必要がある。

40

【0068】

この決定の手法は種々考えられるが、例えば、単純にスイッチベクトルの番号が小さい選択肢を優先的に選択してもよいし、出力ベクトルV_uの軌道を考慮して、次のスイッチサイクルへの移行がスムーズにいく選択肢を選択してもよい。一例として、出力ベクトルV_uが反時計回りの円軌道を描いている場合は、現細分化モードがI_cからI_dに移動していく可能性が高いので、非ゼロスイッチベクトルV₁₄を選択してこのスイッチサイク

50

ルを終了するよりは、非ゼロスイッチベクトル V_{17} を選択して現スイッチサイクルを終了した方が、次のスイッチサイクルに移行する際のスイッチング損失を低減できる可能性が高く、好ましい。

【0069】

直前スイッチベクトルが表7に示されていないスイッチベクトル（例えば、非ゼロスイッチベクトル V_9 ）であり、かつ現細分化モードが一例としてIbである場合のルールは、以下の要領で作成することができる。

【0070】

まず、表6を参照して、非ゼロスイッチベクトル V_9 と細分化モードIbを表現するために必要な非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_8 、 V_{14} 、 V_{15} との距離を求める。非ゼロスイッチベクトル V_9 と非ゼロスイッチベクトル V_1 、 V_8 、 V_{14} 、 V_{15} との距離は、それぞれ3、2、2、3なので、距離が最も短い V_8 および V_{14} が出力順序ベクトル V_a の候補となる。出力順序ベクトル V_a として V_8 を選択した場合は、表7の行Aに示すように、出力順序ベクトル V_b 、 V_c は、それぞれ V_1 、 V_{14} となる。一方、出力順序ベクトル V_a として V_{14} を選択した場合は、表7の行Bに示すように、出力順序ベクトル V_b 、 V_c は、それぞれ V_1 、 V_8 となる。出力順序ベクトル V_a として非ゼロスイッチベクトル V_8 、 V_{14} のいずれを選択するのかは、種々の手法により決定することができる。

10

【0071】

この他、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、ステップS8（図6参照）において、分解デューティ比 u_x 、 u_y 、 u_z がそのまま出力順序ベクトル V_a 、 V_b 、 V_c のデューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c に紐付けられるのではない点に注意が必要である。

20

【0072】

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。

【数3】

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

30

上式は、図17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 、 V_c のデューティ比 u_a 、 u_b 、 u_c を求めることができる。

【0073】

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 $V_0 \sim V_{26}$ とその選択順序が決定されるまでのフロー（図6のステップS1～S7）は、三相2レベル形PWMインバータ1aの制御フローと同様である。また、ステップS9については、導通状態を切り替えるスイッチの数が6個（SW1～SW6）ではなく12個（SWUp p、SWUp o・・・SWW n o、SWW n n）である点が、三相2レベル形PWMインバータ1aの制御フローと異なる。

40

【0074】

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。

【0075】

例えば、スイッチベクトルの選択順序を決定する際に参照するルールは表2、表3、表6および表7の表現形式に限定されず、直前スイッチベクトルと現モード（現細分化モード）とに基づいてスイッチベクトルの選択順序を一意的に決めることができるものであれ

50

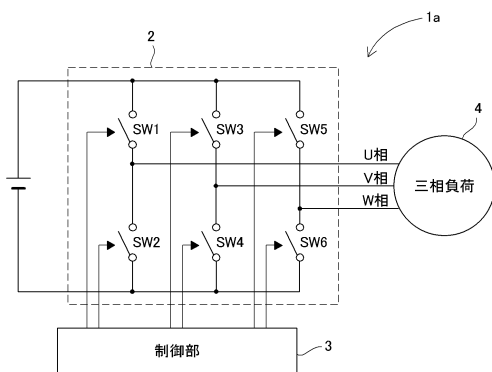
ば、表現形式はどのようなものであってもよい。

【符号の説明】

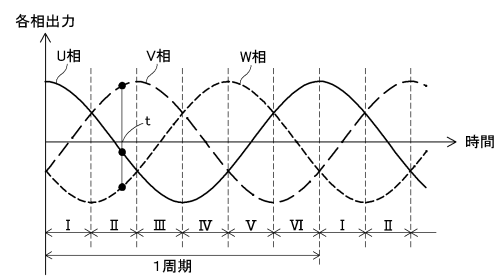
【 0 0 7 6 】

- 1 a、1 b、1 c P W M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

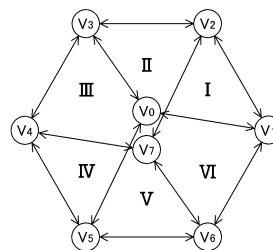
【 図 1 】



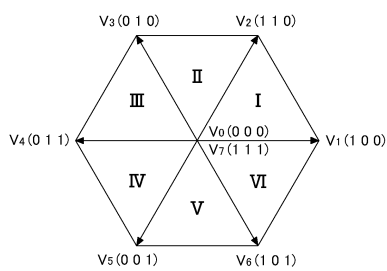
【 図 3 】



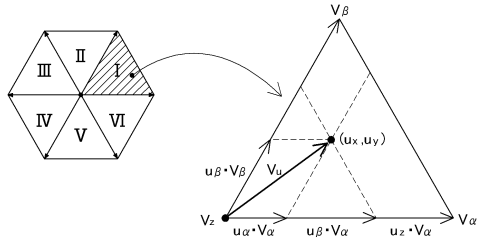
【 図 4 】



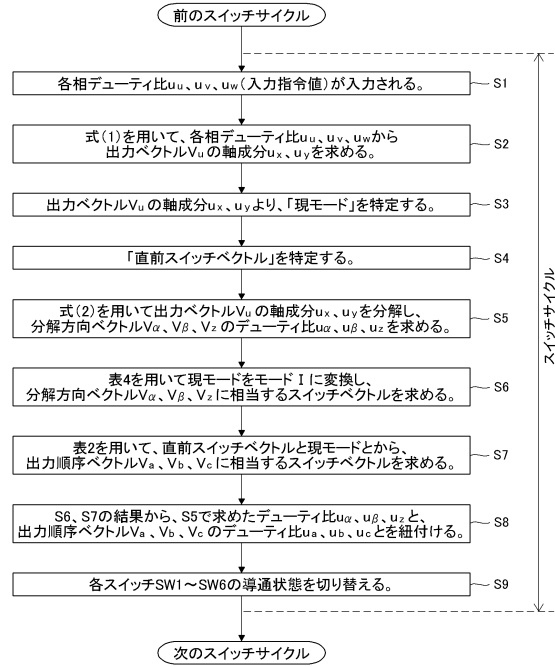
【 図 2 】



【図5】

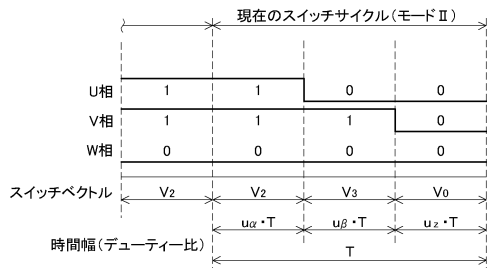


【図6】

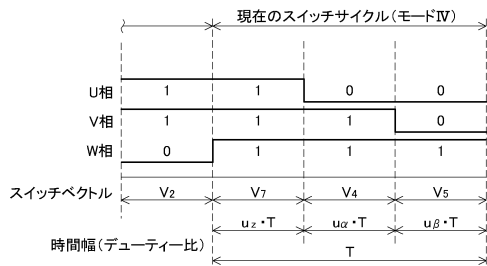


【図7】

(A)

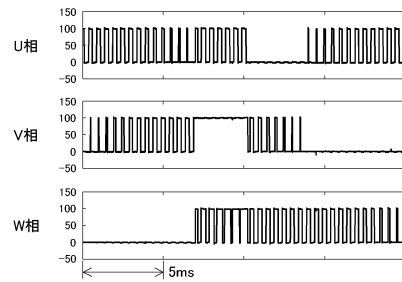


(B)

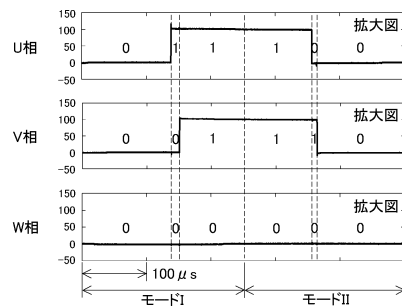


【図8】

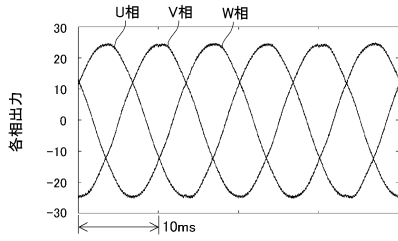
(A)



(B)

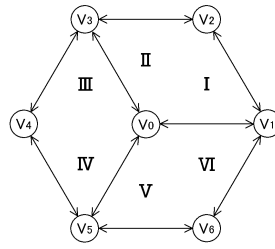


【図9】

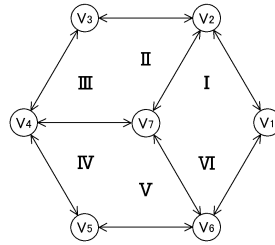


【図10】

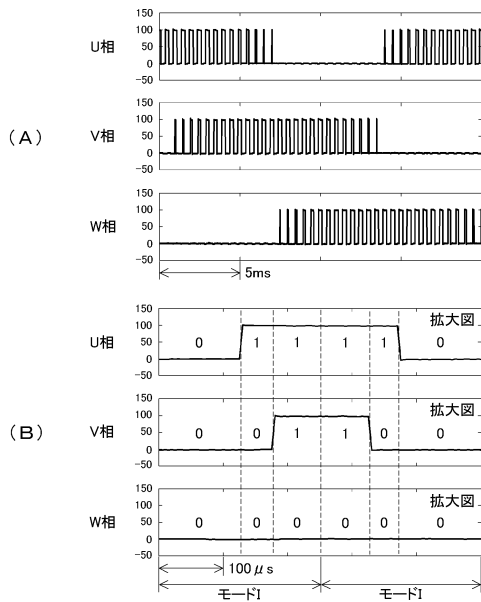
(A)



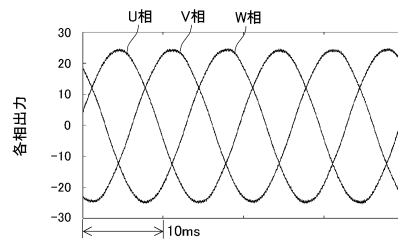
(B)



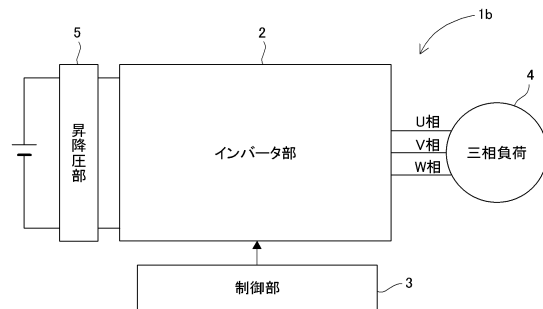
【図11】



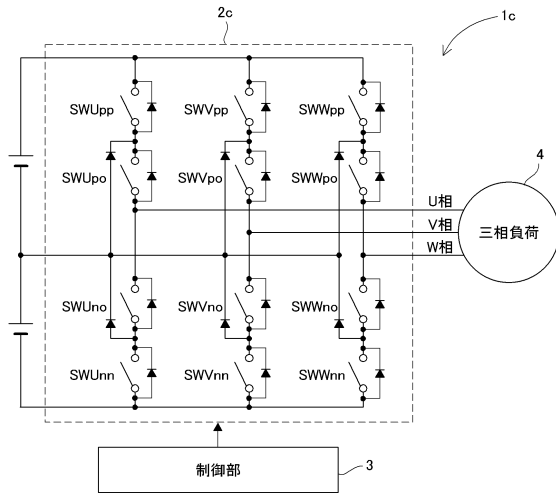
【図12】



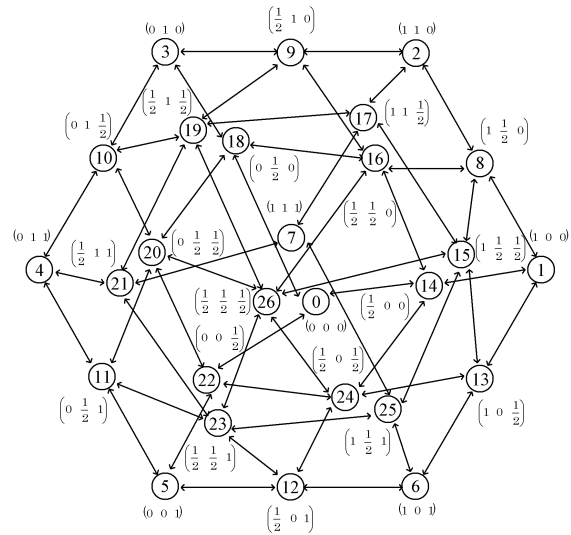
【図13】



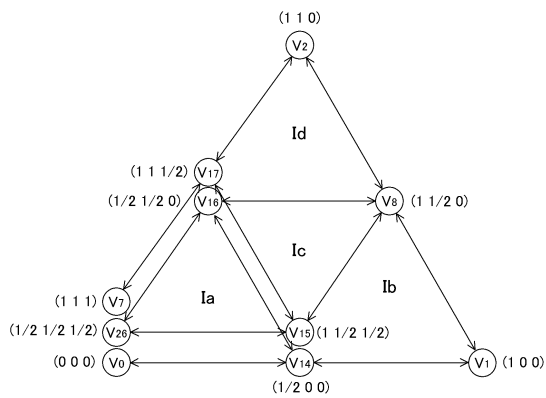
【図14】



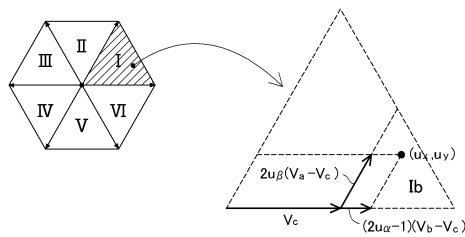
【図15】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2009-153255(JP,A)
特開平09-182452(JP,A)
特開平06-245588(JP,A)
特開2004-222421(JP,A)
特開2003-134845(JP,A)
特開平09-009642(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H02M 7/48