リアクトル結合多レベル電圧形3相インバータの空間ベクトル

非会員 唐 木 利 春 (茨城大)

正 員 星 伸 一 (茨城大)

正 員 大 口 國 臣 (茨城大)

Space Vectors of Reactor-Coupled Three-Phase Multilevel Voltage-Source Inverters

Toshiharu Karaki, Non-member, Nobukazu Hoshi, Member, Kuniomi Oguchi, Member (Ibaraki University)

キーワード：インバータ，空間電圧ベクトル，多レベルインバータ，リアクトル結合

1. まえがき

3レベル電圧形インバータはデバイスの直列接続により高電圧化と出力波形の改善が図れるので，広く普及しつつあり⁽¹⁾，4レベルなどの多レベル化も進められている⁽²⁾。一方，大電流化を図るには，デバイスの並列接続個数には限界があるので，装置自体の並列接続が不可欠である。

空間電圧ベクトルを用いて多レベルインバータの制御を行うには，利用可能なベクトルの数と配置に関する知識が必要になる⁽¹⁾。しかし，リアクトル結合の場合の一般的考察は行われていない。そこで，本レターでは，回路要素は理想的特性を持つ仮定の下で，多レベルインバータの空間電圧ベクトルの数と配置に関する一般的考察結果を与える。

2. 回路構成と空間電圧ベクトル

〈2・1〉 単一方式 3相電圧形インバータ出力相電圧の空間電圧ベクトルを次式で定義する。

$$v_s = (2/3)(v_{AO} + \alpha v_{BO} + \alpha^2 v_{CO}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし， $\alpha = e^{j(2\pi/3)}$

直流電源電圧が $2E$ の2レベル3相インバータでは，各相スイッチのオン・オフの2つの状態に対応して v_s の総数は $S_2 = 2^3 = 8$ 個である。複素平面上で，6個のベクトルの先端は六角形の頂点にあり，2個のベクトルは原点に存在する。六角形の個数 $H_2 = 1$ ，重複しない空間電圧ベクトル数 $N_2 = 6H_2 + 1 = 7$ となる。3レベルインバータでも同様な考察から， $S_3 = 3^3$ ，重複しない六角形の数は $H_3 = H_2 + 2 = 3$ になる。また，重複しない空間電圧ベクトル総数は $N_3 = 6H_3 + 1 = 19$ になる。

一般に， $(n-1)$ 分割の直流電圧源に接続された n レベル3相インバータ($n \geq 2$)を考えると， v_s の総数は

$$S_n = n^3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで，添字 n はレベル数を表す。重複しない六角形の個数は，前述の $n = 2, 3$ などの結果から帰納的に

$$H_n = H_{n-1} + n - 1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。ただし， $H_1 = 0$ 。したがって，

$$H_n = n(n-1)/2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

また，零ベクトル1個を考慮すると，重複しない空間電圧ベクトル数は

$$N_n = 6H_n + 1 = 3n(n-1) + 1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

〈2・2〉 中間タップリアクトル方式 図1に示す構成で，リアクトルは密結合であるとする，空間電圧ベクトルは，

$$v_s = (v_{s1} + v_{s2})/2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

で表される。ここで，

$$v_{s1} = (2/3)(v_{a1O} + \alpha v_{b1O} + \alpha^2 v_{c1O}),$$

$$v_{s2} = (2/3)(v_{a2O} + \alpha v_{b2O} + \alpha^2 v_{c2O})$$

インバータ出力相数は6であるので，電圧ベクトル総数は

$$S_{Cn} = n^6 \quad \dots\dots\dots (7)$$

ただし，添字 C は中間タップリアクトル方式を表す。重複しない六角形の個数は，帰納的に

$$H_{Cn} = (n-1)(2n-1) = H_{2n-1} \quad \dots\dots\dots (8)$$

したがって，異なる空間電圧ベクトル数は，

$$N_{Cn} = 6H_{Cn} + 1 = 6(n-1)(2n-1) + 1 = N_{2n-1} \quad (9)$$

異なる電圧ベクトル数の観点からは， n レベルインバータ2台の中間タップリアクトル結合は，単一インバータでは $(2n-1)$ レベルに相当することがわかる。

図1 中間タップ付リアクトル結合二重化方式
Fig.1. Double inverters coupled with center-tapped reactors.

〈2・3〉 低次調波消去リアクトル結合方式 図1の中間タップ方式リアクトル3個のそれぞれに2組の巻線を付加し、巻数比を適切に決定すると、2台のインバータ間の電流均衡化と $12m \pm 1$ 次以外の高調波消去作用が得られる^{(3)・(4)}。電圧関係式を空間電圧ベクトル表示すると、

$$v_s = \left\{ v_{s1} e^{-j\frac{\pi}{12}} + v_{s2} e^{j\frac{\pi}{12}} \right\} / \left\{ 2 \cos \left(\frac{\pi}{12} \right) \right\} \quad (10)$$

空間電圧ベクトル総数は中間タップ式と同様に

$$S_{Hn} = n^6 = S_n^2 \dots\dots\dots (11)$$

添字 H は低次調波消去式を表す。重複しない六角形の個数は、

$$H_{Hn} = (1/2)(n-1)(2n-1)\{3n(n-1)+2\} \quad (12)$$

と帰納される。したがって、異なるベクトル数は

$$N_{Hn} = 6H_{Hn} + 1 = \{3n(n-1)+1\}^2 = N_n^2 \quad (13)$$

3レベルの場合の空間電圧ベクトル配置を図2に、実用性が高い5レベルまでの計算結果をまとめて表1に示す。

3. むすび

多レベル電圧形3相インバータにおいて、電圧レベル数、並列接続法と利用できる空間電圧ベクトル数の関係を明確にした。低次調波消去式リアクトル結合により、異なる空間電圧ベクトル数は単一の場合の2乗に飛躍的に増大する。これらの多くの空間電圧ベクトルをいかに制御に活用するかが今後の検討課題である。

(平成10年3月24日受付)

文 献

- (1) 林:「PWM インバータの主回路方式」平成8年電気学会産業応用部門全国大会, S11-2, pp.88-91(1996)
- (2) G. Sinha, T. A. Lipo: "A four-level rectifier-inverter system for drive applications", *IEEE Ind. Appl. Magazine*, pp.66-74, (1998)
- (3) M. Depenbrock, C. Niermann: "Netzfreundliche Gleichrichter-schaltung mit netzseitiger Saugdrossel(NSD)", *EtzArchiv*, 11, No.8, pp.241-247(1989)
- (4) 大口:「低次調波消去式相間リアクトル2方式の関係とマルチレベルコンバータへの応用」, 平8電気学会産業応用部門全国大会, No.294 (1996)

(a) 単一インバータ (b) 中間タップ方式二重化

(c) 低次調波消去方式二重化

図2 3レベルインバータの空間電圧ベクトル
Fig.2. Voltage space vectors of three-level inverters.

表1 異なる空間電圧ベクトル数の比較

Table 1. Comparison of numbers of different voltage space vectors.

レベル数	単一	中間タップ方式	低次消去方式
2	7	19	49
3	19	61	361
4	37	127	1369
5	61	217	3721

唐 木 利 春 (非会員) 1996年3月茨城工業高等専門学校電気工学科卒業。同年4月茨城大学工学部電気電子工学科に編入学, 1998年3月同大学卒業。同年4月トーエネック入社。卒業研究として多レベルインバータの研究に従事。

星 伸 一 (正員) 1997年3月横浜国立大学大学院工学研究科電子情報工学専攻博士課程後期修了。同年4月より茨城大学工学部電気電子工学科助手, 現在に至る。1994年4月より1997年3月まで日本学術振興会特別研究員, 博士(工学)。主としてパワーエレクトロニクス応用, 電気自動車, 超音波アクチュエータに関する研究に従事。

大 口 國 臣 (正員) 電学論誌 D, 平成10年5月号参照。