

モータ低速時の入力電流高調波を低減する デュアルインバータのスイッチングパターンの検討

奥村 廉*, 芳賀 仁 (長岡技術科学大学)

Switching pattern to dual inverter driven motor for reducing dc-current harmonics at low speed region
Ren Okumura and Hitoshi Haga (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、車載向け電装品に代表されるように、バッテリーを電源とするモータドライブの応用が拡大している。これら電装品は、単一のバッテリーを電源としており、電源ラインが共通なためモータドライブに用いるインバータから発生するスイッチングリップルが他の機器へ伝導する。性能悪化や信頼性低下、誤作動の原因に加えて、バッテリーへ流入する高調波電流は損失や寿命の点でも望ましくない⁽¹⁾。そのためフィルタ回路を設けることによるシステムの大型化が課題である。著者らは、デュアルインバータを用いてインバータの入力電流高調波の低減を検討している⁽²⁾⁽³⁾。これまでの検討において、モータ低速時に2次側キャパシタの電圧変動が増加する課題が見られている。本稿では、低速動作時にキャパシタ容量の低減に有効なデュアルインバータのスイッチングパターンを提案する。提案法の基本動作を実験により検証したので報告する。

2. 提案システムの構成と制御法

<2・1> 提案するモータドライブシステム 図1に提案するデュアルインバータで駆動するモータドライブシステムを示す。このシステムでは、二つの電圧型インバータ (Inv.1, Inv.2) でオープン巻線モータを駆動する。デュアルインバータシステムでの負荷に印加される電圧は、Inv.1 と Inv.2 から出力する電圧の差となる。Inv.2の直流部にはキャパシタ C_{dc2} を接続する。 C_{dc2} は、充放電によって電圧が変動するため、駆動条件に合わせたキャパシタ容量の選定と電圧制御が必要となる。

<2・2> 負荷電力補償に必要なキャパシタ容量 キャパシタの容量は、補償する電力量とキャパシタの許容可能な電圧変動分によって決められる。キャパシタ容量 C は、補償に必要な電力量 W_c と電圧の上限値 V_{cmax} 、下限値 V_{cmin} より以下の式で表せる。

$$C = \frac{2W_c}{V_{cmax}^2 - V_{cmin}^2} \quad (1)$$

<2・3> C_{dc2} 容量の低減する制御法 図2に提案システムの制御ブロック図を示す。Inv.1は負荷の基本波周波数を基準にスイッチングを行い、Inv.2はキャリア周波数でスイ

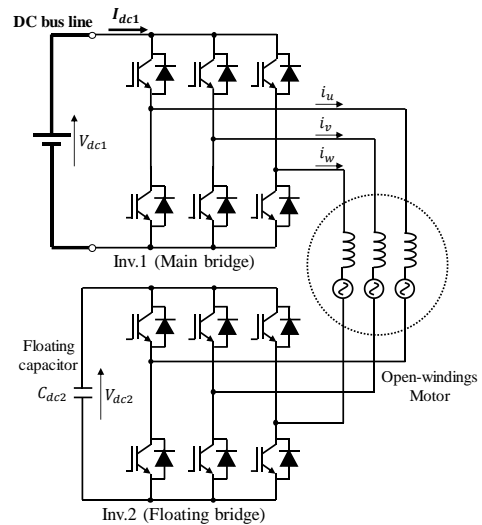


Fig.1 Dual inverter system

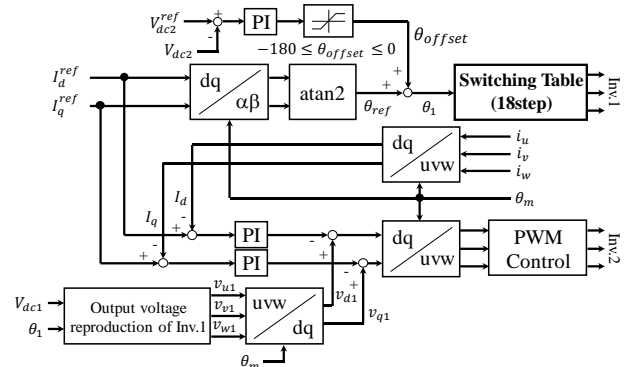
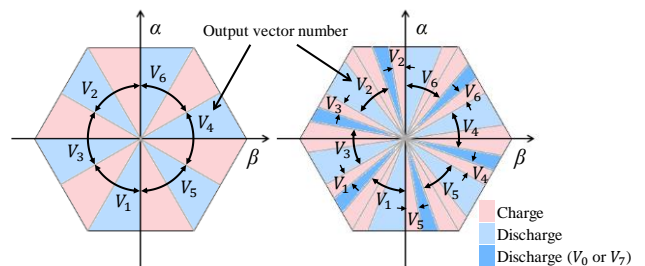


Fig.2 Control block of dual inverter system



(a) Conventional method (b) Proposed method

Fig.3 Charge / discharge relationship

ッチングして無効電力補償を行うことによって任意の正弦波電圧を負荷へ印加する。図3にInv.1の出力電圧ベクトルと C_{dc2} の充放電の関係を示す($V_1 \sim V_6$:アクティブベクトル, V_0, V_7 :零ベクトル)。従来法は, Inv.1がアクティブベクトルのみを出力する6ステップ駆動($V_4 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1 \rightarrow V_5$)を行っており, Inv.2の電源電圧 V_{dc2} は基本波周波数の6倍の周期で充放電される。モータが低速度で動作するとき, 充放電の周期が長くなるため V_{dc2} の変動が大きくなる。 V_{dc2} の変動は回路の定格電圧である上限値から負荷電圧の補償に必要である下限値の範囲内で収める必要があるため, 低速度時には, C_{dc2} の容量増加につながる。そこで提案法は, 6ステップ駆動時の充電期間にInv.1から零ベクトルを出力する18ステップ駆動($V_4 \rightarrow V_0 \rightarrow V_4 \rightarrow V_6 \rightarrow V_7 \rightarrow V_6 \rightarrow V_2 \rightarrow V_0 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3 \rightarrow V_7 \rightarrow V_3 \rightarrow V_1 \rightarrow V_0 \rightarrow V_1 \rightarrow V_5 \rightarrow V_7 \rightarrow V_5$)を行う。これにより, 1周期で2度充放電を行えるため V_{dc2} の変動を抑えられる。

3. 実験結果

提案する18ステップ駆動による V_{dc2} の変動抑制効果についてモータ負荷での実機実験を行った。表1に実験条件を示す。本稿では, C_{dc2} の電圧指令値 $V_{dc2}^{ref} = 100V$, 電流指令値 $I_d^{ref} = 0A, I_q^{ref} = 15A$ としている。

図4(a)に従来法であるInv.1が6ステップ駆動を行うときの実験結果, 図4(b)に提案法であるInv.1が12ステップ駆動を行うときの実験結果を示す。波形は, 上から相電流, Inv.1の入力電流, Inv.2のキャパシタ電圧, Inv.1の出力電圧ベクトルを現す。 V_{dc2} は平均電圧が100Vとなるように制御できており, 従来システムでは72.8~115.9Vで電圧が変動して, 提案システムでは86.9~116.3Vで電圧が変動する。このことから, 提案システムは従来システムに比べて, キャパシタ電圧の変動を抑制できていることが分かる。

提案法により, キャパシタ電圧の変動が抑制されるため, キャパシタの容量を小さくすることが可能である。本稿の負荷条件において, キャパシタの容量は(1)式より従来法に比べて提案法は26.5%低減する結果を得ている。

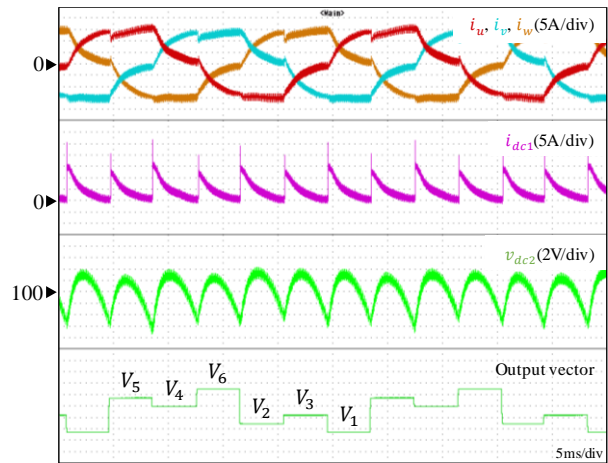
4. おわりに

本稿では, デュアルインバータを用いて入力電流高調波を低減するインバータのスイッチングパターンを検討した。提案手法はモータ低速時において二次側キャパシタ電圧の変動を低減できることからキャパシタ容量の増大を抑えることができる。提案法の有効性は実機実験によって確認している。提案手法は本稿で示す動作条件において, キャパシタの容量を26.5%低減可能であることを確認した。

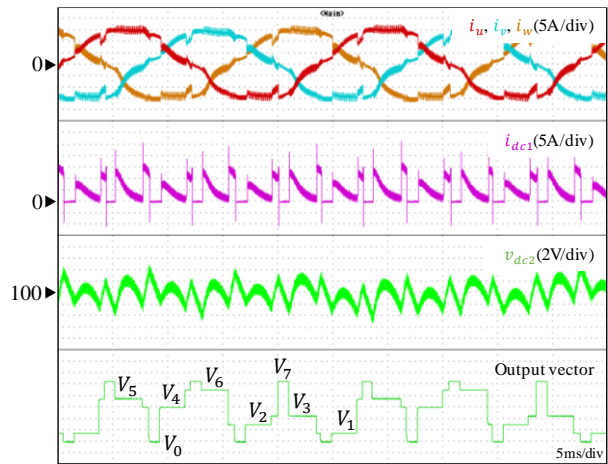
今後は, 本提案法における入力電流への影響を確認するとともに, 高速駆動に有利な6ステップ駆動と本提案の18ステップ駆動の切り替え条件と切り替え動作について検討する。

Table 1 Experimental conditions

Winding resistance	R_s	21.7m Ω
Winding inductance	L_d, L_q	369uH
Number of poles	P_n	5
Rotational speed	N	500rpm
Inv.1 DC link voltage	V_{dc1}	50V
Inv.2 DC link capacitor	C_{dc2}	110uF



(a) Conventional method (6 steps)



(b) Proposed method (18 steps)

文献

- (1) 玉手道雄, 他:「複数の電力変換装置から構成されるシステムにおける雑音端子電圧低減に適したキャリア位相制御法」, 電気学会論文誌D, Vol.131, No.6, pp.811-819 (2011)
- (2) Y. Lee, and J. Ha, "Hybrid Modulation of Dual Inverter for Open-End Permanent Magnet Synchronous Motor," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol.30, No.6, pp.3286-3299 (2015)
- (3) 奥村廉, 芳賀仁:「デュアルインバータを用いたモータドライブシステムの電源ラインに流入する電流高調波低減」, 電気学会産業応用部門大会, 3-10 (2019)