

# バッテリーとキャパシタを直流バスにもつ デュアルインバータモータドライブの MTPA 制御

大音 慶明\*, 野口 季彦(静岡大学),  
笹谷 卓也, 山田 隆弘, 風岡 諒哉(株式会社デンソー)

MTPA Control of Dual Inverter Motor Drive with Battery and Capacitor across DC-Buses

Yoshiaki Oto, Toshihiko Noguchi (Shizuoka University),

Takanari Sasaya, Takahiro Yamada, Ryoya Kazaoka (DENSO CORPORATION)

## 1. はじめに

近年、ハイブリッド車の燃費向上や自動運転技術に注目が集まる中、オープン巻線をもつ PM モータを 2 台のインバータで駆動するデュアルインバータ方式の研究が進められている。これまで、筆者らは一方のインバータ直流バスバッテリーをキャパシタに置き換えたデュアルインバータ方式に注目し、その空間ベクトル変調法 (SVM) を検討してきた。本論文では、検討回路において PM モータの MTPA 制御時の動作を実機検証により確認したので報告する。

## 2. 回路構成

Fig. 1 に検討回路を示す。検討回路では、左側のインバータを INV1、右側のインバータを INV2 とし、INV2 の直流バスバッテリーをキャパシタに置き換えている。このとき、INV2 のキャパシタ電圧を INV1 のバッテリー電圧に対して半分に制御する。また、スイッチングモードを  $(u1, v1, w1)$   $(u2, v2, w2)'$  と表記し、各相の上アームが ON している状態を 1, OFF している状態を 0 とし、各レグを相補的にスイッチングする。

デュアルインバータのスイッチングモードには冗長性があり、特定の電圧ベクトルを複数の異なるスイッチングモードで出力できる。したがって、Fig. 2 に示すように SVM のスイッチングパターンが構成されるとき、その SVM 周期にて特定の電圧ベクトルを出力する際に、冗長なモードの中から適切にキャパシタを充放電するモードを選択することで、モータにマルチレベル電圧波形を形成しつつキャパシタ電圧一定制御を実現できる。

## 3. モータ瞬時力率とキャパシタ充放電モードの関係

しかし、本論文の制御対象はモータでありモータは誘導性負荷であるため、SVM で出力した電圧ベクトルに対してモータ電流ベクトルの位相は遅れる。また、MTPA 制御では d 軸に負の電流を流すため、電圧ベクトルに対して電流進角制御が行われる。

Fig. 3 の左にモータ電流ベクトルの位相と各相のモータ

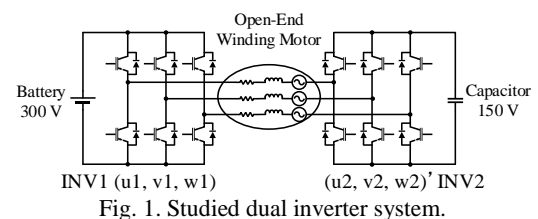


Fig. 1. Studied dual inverter system.

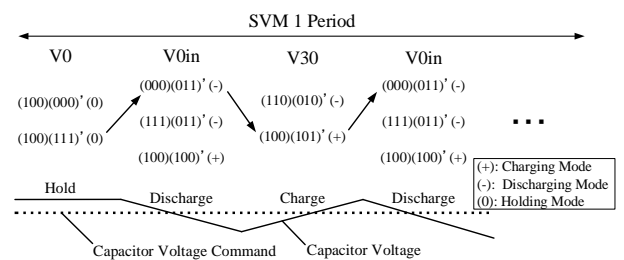


Fig. 2. Capacitor voltage control with SVM.

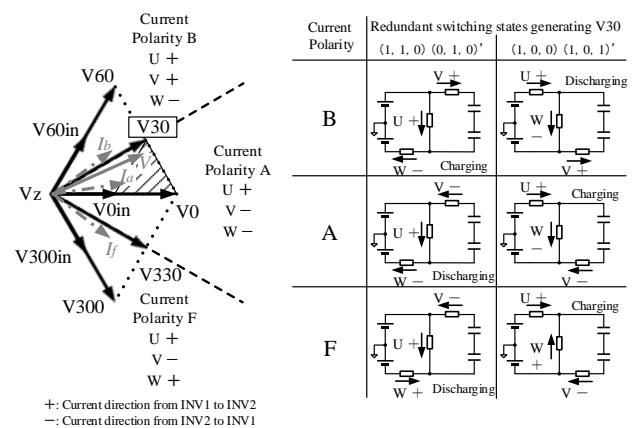


Fig. 3. Relationship between capacitor charging/discharging modes and instantaneous motor power factor.

電流方向の関係を示す。また、デュアルインバータが出力可能な電圧ベクトルを黒色で示し、灰色で示した電圧ベクトル  $V$  を斜線部の領域に出力する場合を考える。このとき、電流ベクトルの位相は電圧ベクトルに対して最大で 90 度遅れるため、電流方向は A または F になる。さらに、MTPA 制御時の電流進角制御では電流方向が B になることも考え

られる。Fig. 3 の右図は電圧ベクトル  $V_{30}$  を出力する冗長な 2 つのスイッチングモードのキャパシタ充放電モードを示している。例えば、 $(1, 1, 0)$   $(0, 1, 0)$  は電流方向 A または F のときキャパシタを放電するモードであるが、電流方向が B に変化するとキャパシタを充電するモードになる。したがって、SVM によりマルチレベルの電圧波形を形成しつつキャパシタ電圧を一定に制御する際には、モータの瞬時力率を考慮して冗長なモードの中から適切にキャパシタを充放電するモードを選択しなければならない。特に、MTPA 制御時には電流進角制御も考慮したモード選択が必要である。

#### 4. 実機検証結果

Fig. 5. に実験装置の外観を示す。実機検証では 1 kW の供試モータを 5 kVA のインバータ 2 台で制御する。INV1 のバッテリー電圧を  $V_{dc1} = 300$  V, INV2 のキャパシタ電圧指令値を  $V_{dc2} = V_{dc1}/2 \pm 5$  V とし、負荷モータによって一定回転数に速度制御された供試モータを Fig. 4 に示した MTPA 動作点にて電流制御する。電流振幅  $|i| = 1, 3, 5$  A としたときの実験結果を Fig. 6 から Fig. 8 にそれぞれ示す。それぞれの図では上から順にモータ電流、キャパシタ電圧、U 相巻線両端電圧を表している。INV1 のバッテリー電圧が 300 V の場合のキャパシタ電圧指令値は  $150 \pm 5$  V であるが、実際は INV1 のバッテリー電圧がわずかに変動するためキャパシタ電圧の指令値も変化している。実験結果より、MTPA 制御時に電流進角制御になった場合でも、SVM により巻線にマルチレベルの電圧波形を形成しつつキャパシタ電圧を一定に制御できることを確認した。

#### 5. まとめ

一方のインバータ直流バスをキャパシタに置き換えたデュアルインバータによる MTPA 制御を実機検証した。実験結果よりモータの瞬時力率に応じて冗長なスイッチングモードの中から適切にキャパシタを充放電するモードを選択することで、MTPA 制御時に電流進角制御になった場合でも巻線にマルチレベルの電圧波形を形成しつつキャパシタ電圧を一定に制御できることを確認した。

#### 文献

- (1) 大音・野口・笹谷・山田・風岡：「Compensation for Multilevel Voltage Waveform Generated by Dual Inverter System」 ICEMS2018, pp. 1295-1300 (2018)
- (2) 大音・野口・青山・笹谷・山田・風岡：「高変調時のマルチレベル電圧波形を改善するデュアルインバータの空間ベクトル変調法と実機検証」電気学会東海支部連合大会 (2018)
- (3) 水越・芳賀：「デュアルインバータ駆動オープン巻線誘導機の低変調率時における電圧波形改善法」平成 29 年電気学会産業応用部門大会論文集, no. 3-51, pp. 257-260 (2017)

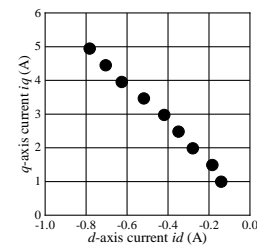


Fig. 4. MTPA operating points.

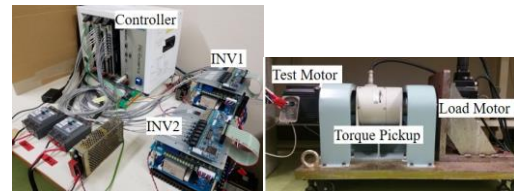
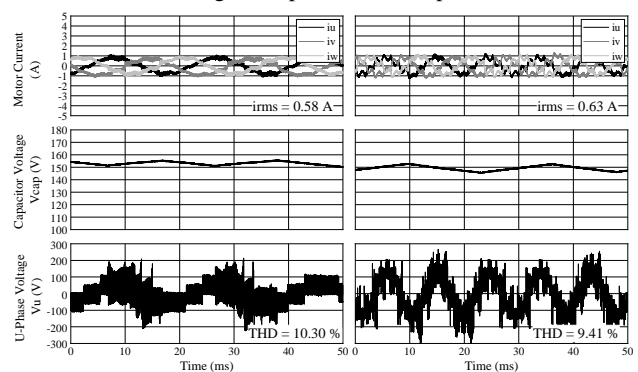
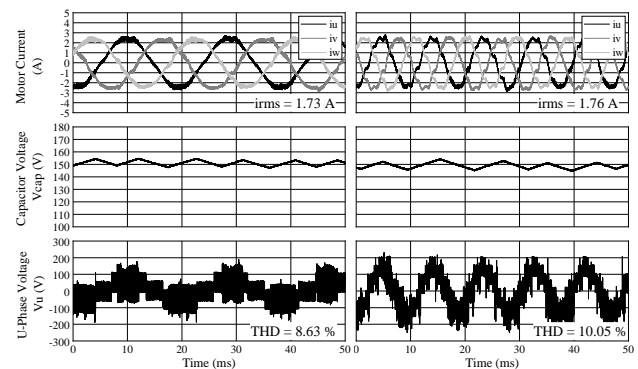


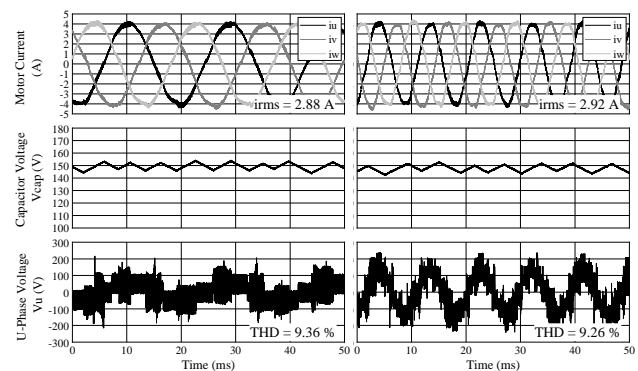
Fig. 5. Experimental setup.



(a) 800 r/min (b) 1600 r/min  
Fig. 6. Experimental results at  $|i| = 1$  A.



(a) 800 r/min (b) 1600 r/min  
Fig. 7. Experimental results at  $|i| = 3$  A.



(a) 800 r/min (b) 1600 r/min  
Fig. 8. Experimental results at  $|i| = 5$  A.