

誘導機速度センサレスベクトル制御における 外乱オブザーバを用いた出力電圧誤差補償

星野 哲馬*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Output Voltage Correction using a Disturbance Observer for Induction Motor Drive with Speed Sensor-less Vector Control

Tetsuma Hoshino, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

インバータは、上下短絡を防止するデッドタイムを必要とする。デッドタイムにより発生する電圧誤差は、電流波形にひずみを生じさせ、トルクリプルが発生するなど、制御性能を劣化させる。特に、搬送機器などトルクリプルを低減したい場合、インバータの出力電圧誤差補償が極めて重要になる。

インバータの出力電圧誤差を補償するため、さまざまな方法が研究されている^{(1)~(3)}。ベクトル制御系では、外乱オブザーバにより電圧誤差を推定し、電圧指令に補償する方法が提案されている⁽²⁾。この方式は、デッドタイムに限らずスイッチング素子のオン電圧降下などインバータの電圧誤差をすべて補償でき、有用な制御方法の一つである。

これまで提案されている外乱オブザーバを用いた誤差補償手法は、いずれも出力電圧誤差補償量を外乱オブザーバで推定し、モータ電流の極性に同期して補正を加えている。しかし、この方法では低速など極性判別が困難な領域では、補償性能が劣化する。

本論文では、外乱オブザーバを用いて電圧誤差をすべて補償する手法を提案し、センサレスベクトル制御での有用性を実験により検証する。

2. 原理

本論文では、誘導機の制御に文献(4)のセンサレスベクトル制御を用いる。また、電圧誤差補償は、回転座標上にて外乱オブザーバを用いた補償を行う。電圧誤差の推定と補償には、ベクトル制御された誘導電動機の電圧電流方程式

を用いる。

図1に外乱オブザーバを適用したベクトル制御の制御ブロック線図を示す。外乱オブザーバでは、電圧指令と実際のモータの端子電圧の差を求め、外乱を推定する。推定した外乱は外乱補償電圧 v_{comp} として電圧指令に加算する。(1)式に補償電圧の算出式を示す。但し、サフィックス C はコントローラのパラメータを示す。

$$v_{dcomp} = \frac{1}{1+sT_f} \left\{ v_{1d}^{**} - \left((R_{1c} + R_{2c} + pL_{\alpha}) i_{1d} - \omega_1 L_{\alpha} i_{1q} \right) \right\} \quad (1)$$

$$v_{qcomp} = \frac{1}{1+sT_f} \left\{ v_{1q}^{**} - \left((R_{1c} + R_{2c} + pL_{\alpha}) i_{1q} - \omega_1 L_{\alpha} i_{1d} + \hat{\omega}_m \hat{\phi}_{2d} \right) \right\}$$

なお、本論文では、誘導機の制御に文献(4)のセンサレスベクトル制御を用いる。この手法は電圧検出器を有するので、直接電圧を補正する方法も考えられる。しかし、電圧検出を高速に行うことは困難であるため、十分な補償効果を得ることはできない。

が、応答が低速であるため電圧誤差補償に用いることは困難である。

3. 実験結果

図2に実験を行った誘導機駆動システムを示す。システムは表1に示す、汎用誘導機と電圧形インバータにより構成する。インバータは回転座標上で、速度センサレスベクトル制御を行い、モータの速度を制御する。ここに外乱オブザーバを用いた電圧誤差補償法を適用する前後で、補償性能を評価する。

図3(a)は誤差補償なしで、図3(b)は外乱オブザーバ補償法

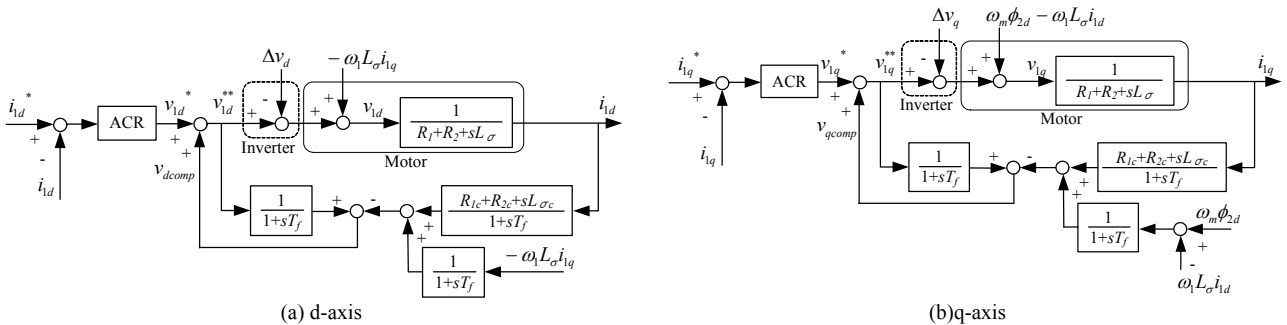


図1 外乱オブザーバによる電圧誤差補償法
Fig. 1. An error voltage correction method using a disturbance observer.

表 1 実験条件
Table 1. Conditions for experiment.

Parameters	Values	Parameters	Values
Rated power	750W	Rated current	3.6A
Poles	4	Rated exciting current	2.0A
Rated voltage	200V	Primary resistance R_1	2.78 Ω
Rated frequency	50Hz	Secondary resistance R_2	2.44 Ω
Rated speed	1420r/min	Leakage inductance L_σ	11.0mH
		Moment of Inertia	0.0025kg·m ²
Switching frequency f_s	20kHz	Dead-time period T_d	3 μ s
DC bus voltage V_{dc}	300V (Typ.)	Disturbance observer time constant T_f	0.3ms
		ACR time constant T_{ACR}	3ms

を適用し、 $\omega_r^*=0.2\text{pu}$ にて速度一定制御を行った結果である。なお、それぞれに負荷トルク 1.0pu を与えた。

図 3(a)では電流制御器の働きにより、定常的な誤差は補償され、電流振幅が確保されている。しかしながら、3相電流のゼロクロスにおいてひずみが生じている。

図 3(b)では(a)に比べてリプルが小さく、振動の少ない波形が得られる。これは、高速な応答の外乱オブザーバを用いることで、速やかに電圧誤差を補償することが可能となるためである。

図 3(a), (b)それぞれ誘導機の u 相電流からひずみ率を計算し、比較を行った。ひずみ率は補償なしの場合の 3.28% に対し、外乱オブザーバ補償法を使用した場合は 0.75% と 2.53 ポイント改善し、1/4 以下に高調波成分を低減した。この結果、良好な補償結果が得られた。この大幅な低減は外乱オブザーバにて電流のゼロでの停滞が解消されたためと考えられる。

4. まとめ

本論文では、外乱オブザーバ補償法を速度センサレスベクトル制御に適用し、電圧誤差の補償性能を電流ひずみ率にて評価した。その結果、外乱オブザーバ補償法の適用により、電流ひずみ率を 1/4 以下に低減できることを確認した。

今後の課題として、より高速な応答を実現するためのハードウェア補償器の設計が挙げられる。

文 献

- (1) 杉本英彦・小山正人・玉井伸三：「AC サーボシステムの理論と設計の実際 - 基礎からソフトウェアサーボまで -」, 総合電子出版社
- (2) N. Urasaki, T. Senjyu, K. Uezato, T. Funabashi, : "An Adaptive Dead-Time Compensation Strategy for Voltage Source Inverter Fed Motor Drives" IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 20, No. 5, (Sep. 2005).
- (3) 伊東 淳一, 藤井 崇史, 星野 哲馬, 小高 章弘, 佐藤 以久也, 田中大輔: "ベクトル制御における外乱オブザーバを用いたインバータ出力電圧の誤差補償手法の解析", 電学論D, Vol. 128, No. 8, pp.1005-1012 (2008).
- (4) H. Tajima, Y. Matsumoto, H. Umida, "Speed Sensorless Vector Control Method for an Industrial Drive System" Transactions of IEEJ Vol.116-D No.11, pp.1103-1109 (1996)

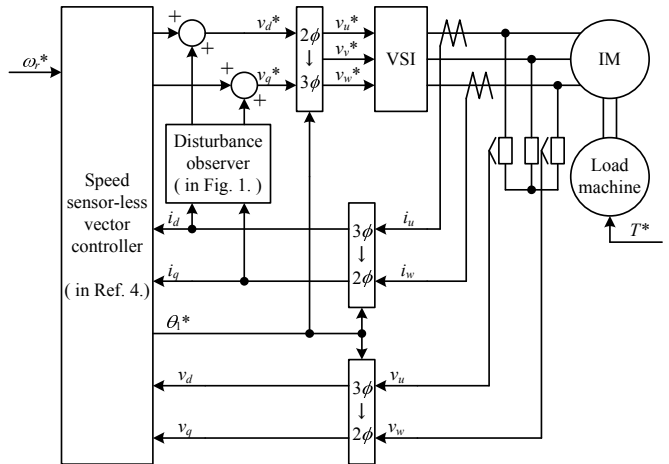
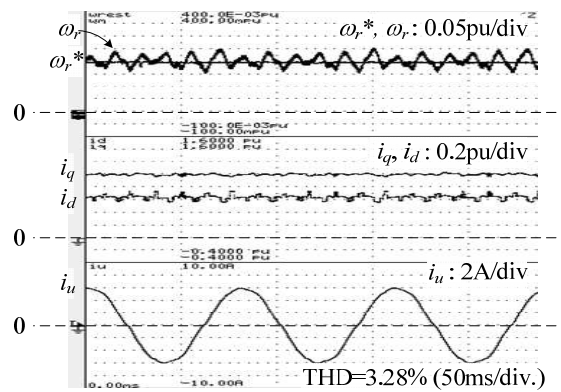
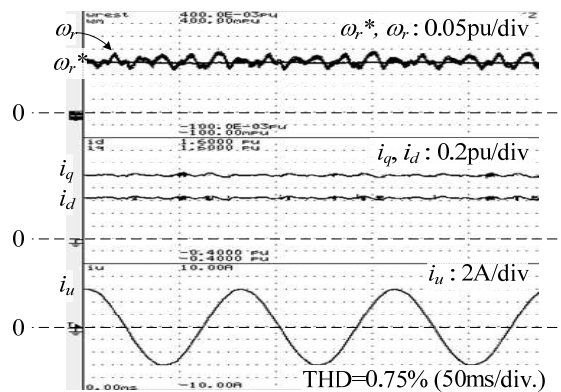


図 2 電圧誤差補償性能の評価システム
Fig. 2. An evaluation system of correction performance.



(a) No correction method



(b) Disturbance observer based correction method

図 3 外乱オブザーバ補償法による補償性能の比較
Fig. 3. A Comparison of Correction performance using disturbance observer.