

誘導機の世界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

学生員 星野 哲馬* 正員 伊東 淳一*

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

Tetsuma Hoshino*, Student Member, Jun-ichi Itoh*, Member

This paper proposes a method for correcting voltage errors using a disturbance observer for an induction motor controlled by speed sensor-less vector controller. The disturbance observer uses a fast-response observer, which responds ten times as fast as current controller in sensor-less vector controller. The voltage error is thus efficiently corrected using the proposed method. The proposed method is validated on the basis of the experimental results. This method can be used to decrease current distortion less than 1/3 that observed without the correction method.

キーワード：誘導電動機，速度センサレスベクトル制御，外乱オブザーバ，デッドタイム

Keywords : induction motor, speed sensor-less vector control, disturbance observer, dead-time

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，補償性能が劣化し電流ゼロ点への停滞現象が発生する。

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構成し補償を行う。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，添字 C はコントローラのパラメータを示す。

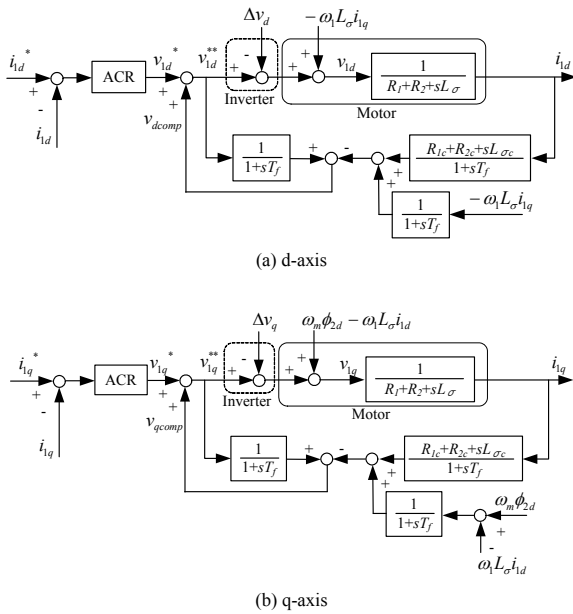
$$\begin{cases} v_{dcomp} = \frac{1}{1+sT_f} \left\{ v_{1d}^{**} - \left((R_{1c} + R_{2c} + pL_{\alpha}) i_{1d} - \omega_1 L_{\alpha} i_{1q} \right) \right\} \\ v_{qcomp} = \frac{1}{1+sT_f} \left\{ v_{1q}^{**} - \left((R_{1c} + R_{2c} + pL_{\alpha}) i_{1q} - \omega_1 L_{\alpha} i_{1d} + \hat{\omega}_m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

なお，本論文で用いるセンサレス制御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，電圧誤差補償には高速の電圧検出が必要であり，PWM波形から電圧を高速に検出することは難しい。

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。システムは汎用誘導機と電圧形インバータにより構成する。イン

* 長岡技術科学大学
〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1
Nagaoka University of Technology
1603-1, Kamitomioka, Nagaoka 940-2188, Japan



(a) d-axis

(b) q-axis

Fig. 1. An error voltage correction method using a disturbance observer..

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、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 i_d のリプルが小さく、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3.91%に対し、外乱オブザーバ補償法を使用した場合は1.20%と2.71ポイント改善し、1/3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1/3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。

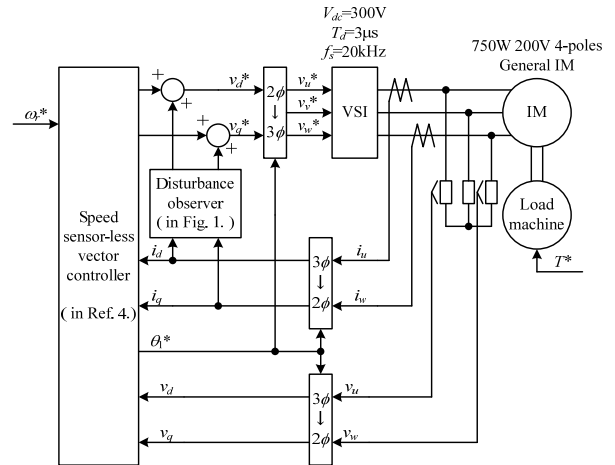
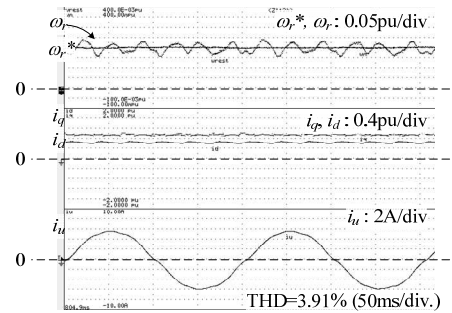
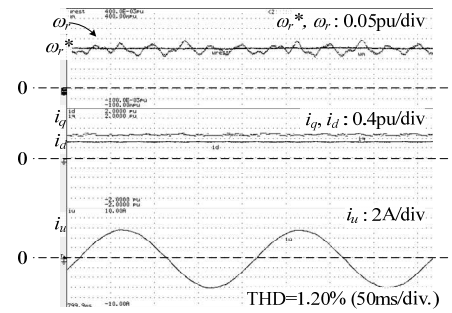


Fig. 2. An evaluation system of correction performance.



(a) No correction method



(b) Disturbance observer based correction method

Fig. 3. A Comparison of Correction performance using disturbance observer.

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 and 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) J. Itoh, T. Fujii, T. Hoshino, A. Odaka, I. Sato and D. Tanaka: "Analysis of Dead-Time Compensation Method using Disturbance Observer for Vector control", IEEJ Transactions on Industrial Application, Vol. 128-D, No. 8, pp.1005-1012 (2008) (in Japanese).
- 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 and H. Umida, "Speed Sensorless Vector Control Method for an Industrial Drive System", IEEJ Transactions on Industrial Application, Vol.116-D, No.11, pp.1103-1109 (1996).