

IPMSM 適応電流制御系の設計指針の汎用性検討

◎中島 雄希, 伊東 淳一(長岡技術科学大学)

1.はじめに

埋込磁石同期電動機(IPMSM)センサレス駆動の高性能化実現のため、適応電流制御系に基づく抵抗値同定手法が提案されている⁽¹⁾。著者らは、適応電流制御系の定量的な設計法を提案し、線形近似の利用によって生じる応答誤差を考慮した設計指針を示した⁽²⁾。しかし、提案した設計指針の、パラメータが異なる電動機に対する汎用性は不明確であった。

本論文では、提案した設計指針の汎用性について検討し、設計法は電動機パラメータに依存しないことを確認したので報告する。

2.適応電流制御系の定量的設計法

図 1 に、電機子抵抗値同定機能をもつ適応電流制御系の制御ブロック図を示す⁽¹⁾。ここで、 K_d および K_q は比例ゲイン、 g は適応ゲイン、 e_{id} および e_{iq} は電流制御誤差である。

図 2 に、変数の乗算による非線形項を線形近似した制御ブロック図を示す。ここで、 i_{qs} は q 軸電流定常値、 $F(s)$ は伝達関数を二次標準形にするための指令値フィルタである。また、 $i_d=0$ 制御として、d 軸電流は考慮しない。(1)式および(2)式に、図 2 より得た伝達関数を二次標準形と変数比較して導出した、 K_q および g の設計式を示す。

$$K_q = 2\zeta\omega_n L_q - R_a \dots\dots\dots (1)$$

$$g = \omega_n^2 L_q / i_{qs}^2 \dots\dots\dots (2)$$

図 3 に電流制御応答を減衰係数 $\zeta=0.7$ 、固有角周波数 $\omega_n=4000\text{rad/s}$ と設計した場合の、 $i_q=0.95\text{p.u.}$ から 1.00p.u. のステップ応答波形を示す。ここでは、 i_{qs} を 1.00p.u. とした。応答波形のオーバーシュート量と行き過ぎ時間から算出した ω_n は、設計値に対し誤差率 -0.6% であり、良好な設計精度を示している。

3.電動機パラメータに対する設計指針の汎用性検討

図 4 に、図 2 の制御ブロック図に線形近似によって生じる誤差の補償項を加えた制御ブロック図を示す。ここで、 Δi_q は q 軸電流リップル項、 Δe_{iq} は電流制御誤差リップル項である。 $i_d=0$ 制御のとき、図 1 および図 4 の制御ブロック図におけるステップ応答波形は一致した。したがって、図 3 の応答波形に生じた固有角周波数誤差は、線形近似が原因である。

(3)式に線形近似により生じる誤差の式を示す。積分器の出力 X に加算誤差および乗算誤差が加わり、誤差を含んだ出力 U が比例ゲインの出力に加算される。ここで、(3)式内には電動機パラメータが含まれず、また、単位が無次元である。したがって、線形近似による誤差は電動機パラメータに依存しない。

$$U = \left(1 + \frac{\Delta i_q}{i_{qs}}\right) \left(X + \frac{g}{s} (\Delta i_q \Delta e_{iq})\right) \dots\dots\dots (3)$$

図 5 にシミュレーションより得た、3 種類の電動機における、ステップ幅に対する ω_n 誤差率の変化を示す。ここで、 ω_{n_cal} は応答波形から求めた ω_n 、 ω_{n_des} は ω_n 設計値である。また、凡例の括弧内は各電動機の定格電力値である。ステップ幅が大きくなるにつれて、 ω_n 誤差率が大きくなることを確認した。これは、線形近似手法が $i_q=1.00\text{p.u.}$ の定常状態近傍を前提としているためである。また、電動機を変えても誤差率の傾向には変化がない。これは、誤差が電動機パラメータに依存しないためである。

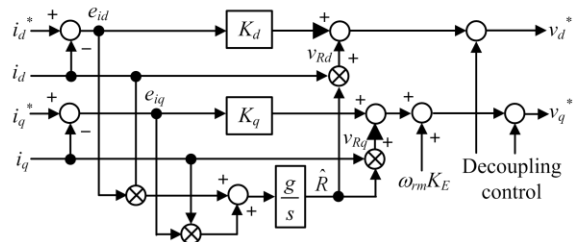


Fig.1. Adaptive current control system.

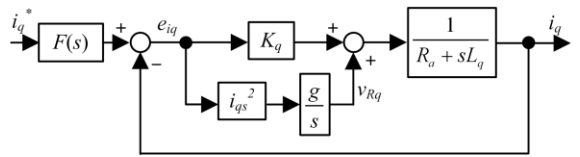


Fig.2. Linier approximated control block diagram.

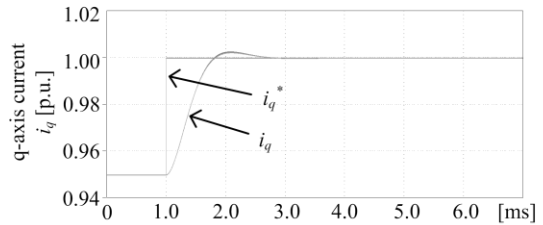


Fig.3. Step response waveform.

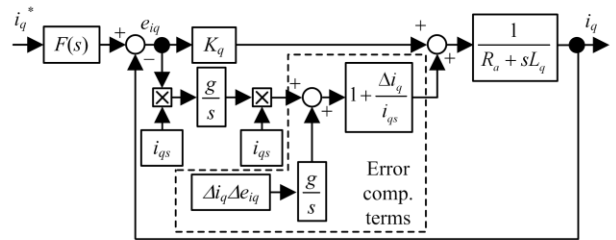


Fig.4. Linear approximated control block diagram with linear approximation error compensation terms.

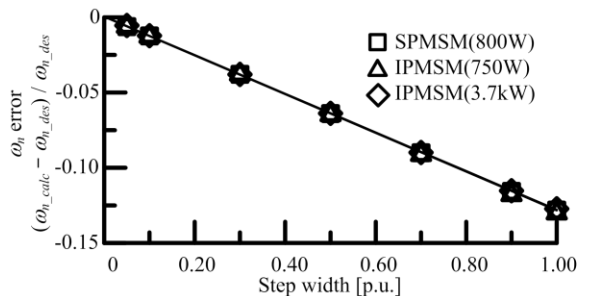


Fig.5. Error between design and simulated value.

4.まとめ

提案した設計指針の汎用性について示した。1p.u.ステップ負荷時の固有角周波数誤差率は、電動機によらず -15% 未満であることから、固有角周波数に 15% のマージンを考慮して設計することで、1p.u.ステップ負荷時においても要求を満たす応答を得ることができる。

参考文献

1. 小島・長谷川・松井, H22 JIASC, 1-37, I-303-I-304
2. 中島・伊東, H23 北陸支部, A-63