

120° 通電で駆動する PMSM の周期的な速度リップルの低減法

◎内藤 雅久, 熊谷 崇宏, 伊東 淳一(長岡技術科学大学)

1.はじめに

永久磁石同期電動機(PMSM)は小型, 高効率といった利点から, 家電製品に幅広く用いられている。また, 製品コストを抑えるため, 複雑な演算やセンサ, モータパラメータを用いない 120°通電制御が用いられている。しかし, 家電製品に用いられるコンプレッサは周期的な負荷変動を有するため, 電流を方形状に通電させて回転力を得る 120°導通制御では速度リップルが大きく, 実用上の問題となる。そこで本論文では, 120°導通制御において負荷変動による速度リップルを外乱と扱い, duty 演算時に補償することにより, 速度リップルを低減する手法を提案する。

2.理論

図 1 に 120°通電制御の概念図を示す⁽¹⁾⁽²⁾。120°通電制御は, 誘起電圧のゼロクロスを検出することにより, 電気角 60°毎に位置を推定し, それぞれの区間に対応した駆動信号を出力している。本論文では本特性を用いて, 回転速度 $\hat{\omega}$ 及び, 機械角 $\hat{\theta}_m$ を導出している。また, 一部区間を PWM 駆動することにより, 電圧を調整し, 速度制御を行う。今回は, 速度制御を行う方法として上側素子のみを PWM する方法を採用している。つまり, duty を適切に設定することで速度リップルを低減可能である。

図 2 に提案する duty 演算のブロック図を示す。負荷トルクが $T_{L0}+T_{LN}(\theta_m)$ で表されるとき, 周期的な負荷変動を有する場合, 回転速度とトルクには以下の式で表される。

$$\Delta\omega_m = \frac{P_f}{J}(T_e - T_{L0})\Delta t - \frac{P_f}{J_S}T_{LN}(\theta_m)\Delta t \quad (1)$$

ただし, $\Delta\omega_m$: 変化速度, P_f : 極対数, J : イナーシア, T_e : モータトルク, T_{L0} : 負荷トルクの平均値, T_{LN} : 負荷トルクのリップル分である。まず, (1)式第一項に示される平均速度を達成するために, 回転速度の時間平均 $Ave(\hat{\omega})$ と速度指令 ω^{ref} から PI 制御を用いて, 基本 duty 量 $duty_{base}$ を求める。次に, (1)式第二項に示される速度リップル分を補償するため, 事前に設定した機械角に応じた補正 duty 量 $duty_{revision}$ を加算し, 速度リップル分を補償する。速度リップル分が補償された duty を使用して上側素子の PWM を行う。なお, 今回 PI 制御器のゲインは試行錯誤的に求めた。

図 3 に機械角推定系のブロック図を示す。補正を行う際には負荷トルクと補正量の機械角を合わせる必要がある。120°導通制御では 60° 毎の電気角は分かるが, 機械角はわからない。ここで, (2)式にモータトルクと電流の関係式を示す。

$$T_e = P_f \{ K_E i_q + (L_d - L_q) i_d i_q \} \quad (2)$$

ただし, K_E : 逆起電圧係数, i_d, i_q : dq 軸電流である。(2)式よりトルクが増加すると, q 軸電流も増加することがわかる。この関係より, q 軸電流が最大となる角度を機械角の基準 $\hat{\theta}_{m0}$ とすることにより, 位相を合わせる。q 軸電流 i_q は誘起電圧のゼロクロス検出から求めた電気角 $\hat{\theta}_e$ を用いて, 3 相/回転座標変換した値である。

3.シミュレーション結果

図 4 に提案法を適用した際のシミュレーション結果を示す。ここで, モータ速度指令値は 0.1p.u.とした。また, 負荷トルクとして平均が 1.0p.u.の三角波状のトルクを与えた。補正量は概形が既知, 大きさは決め打ちとした。提案法を適用して, duty を補正することにより, 速度リップルが減少していることがわかる。速度リップルは duty 補正量により変化し, 最大補正量 $duty_{MAX}0.06$ 時に 48.3%低減することを確認できた。今後は負荷トルクの推定を行っていく予定である。

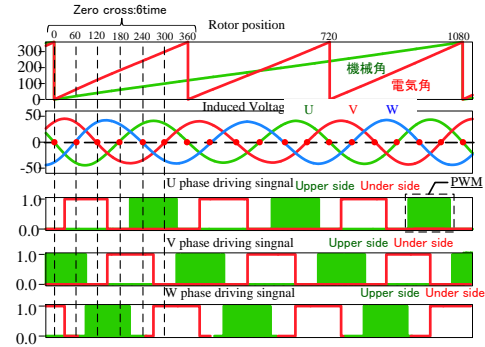


Fig.1 Theory of square waveform drive

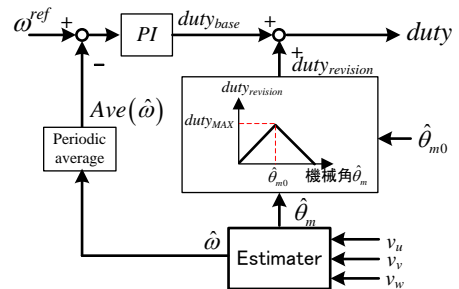


Fig.2 Diagram of duty calculating

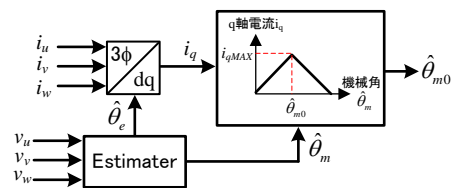


Fig.3 Diagram of machine-angle fitting

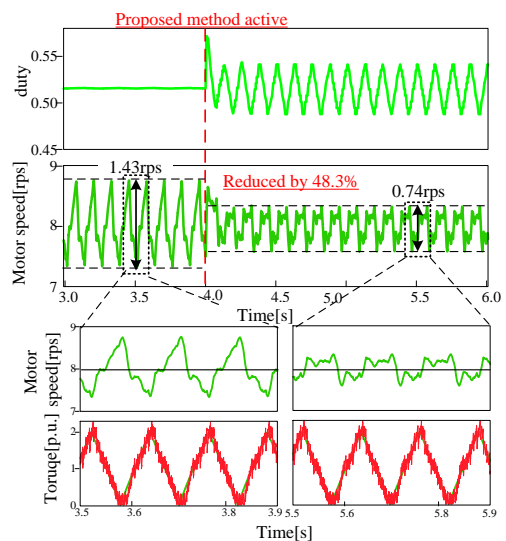


Fig.4 Result of simulation

参考文献

- 1, 田村正隆, 史上最強カラー図解最新モータ技術のすべてがわかる本, (2012/09/24)
- 2, 小笠原悟司他, センサレス-ブラシレス DC モータの一構成法, 電学論 D, 111 巻 5 号(1991/5)