



Table 1. Parameters of PMSM.

Rated power	3 kW
Rated speed	12000 r/min
Number of pole pairs $P_f$	2
Rated current $I_n$	24.5 A
Armature resistance $R$	0.1332 $\Omega$
Armature inductance $L$	2.1 mH
Linked flux $\psi_m$	0.1066 Vs/rad

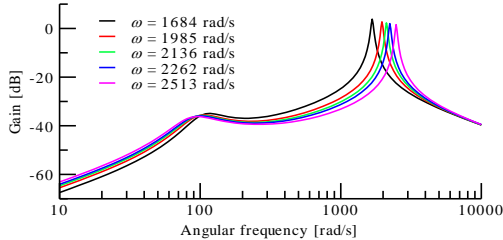


Fig. 2 Gain characteristics of open-loop control for PMSM.

有効電流  $i_s$  が共振角周波数付近で振動することになる。 $i_s$  の振動はインバータ出力電圧の振動を招き、さらなる低周波トルクを発生させる。

低周波トルクを低減するには制御系に対する  $i_s$  の振動の影響を抑制する必要がある。そこで、図1に示すように、バンドパスフィルタ (BPF) により  $i_s$  に含まれる共振角周波数成分を取り出し、出力角周波数指令に対してフィードバックする。また、図2より制御系の共振角周波数は電気角周波数に一致するため、中心角周波数を電気角周波数指令とする可変 BPF を用いる。

### 3. 実験結果

提案制御の有用性を実機実験により検証した。制御周期は  $50 \mu\text{s}$  とし、可変 BPF は 2 次 IIR フィルタで構成する。また、制御対象の PMSM は表 1 に示すものとする。

図 3 に方形波電圧により定格速度で駆動した際の UV 線間電圧と U 相電流を示す。提案するオープンループ制御により、方形波電圧でも正常に動作していることが確認できる。

図 4 に低周波トルク低減制御の有無による PMSM の加速試験結果を示す。トルク波形を直接観測することができないため、代わりに q 軸電流を観測している。また、加速時間が長い方がトルク脈動の影響を受けやすいと考え、速度 0.6 p.u. から 1 p.u. まで 6.67 s で加速している。図 4 より、低周波トルク低減制御の適用によって、方形波電圧領域のある速度にて増大していた q 軸電流の脈動が低減していることが確認できる。

図 5 に各速度における q 軸電流の低周波成分の比較結果を示す。比較対象は図 4 において、q 軸電流の脈動の大きい速度 0.847, 0.909, 0.943 p.u. としている。図 5 より、q 軸電流の脈動成分がおよそ半減していることが確認できる。なお、低周波成分を完全に除去できていないのは、電圧波形が方形波であることによる応答の遅れと電圧位相計算の分解能の低さが原因である。

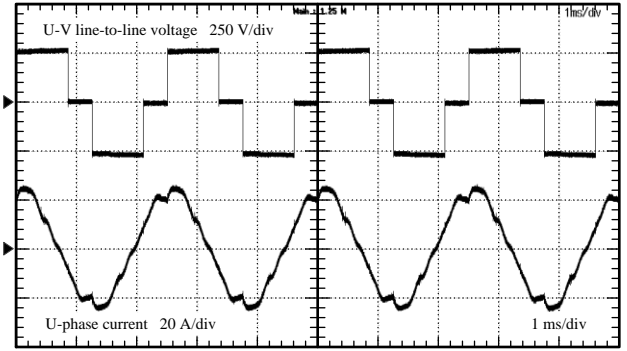


Fig. 3 Waveform of line-to-line voltage and phase current.

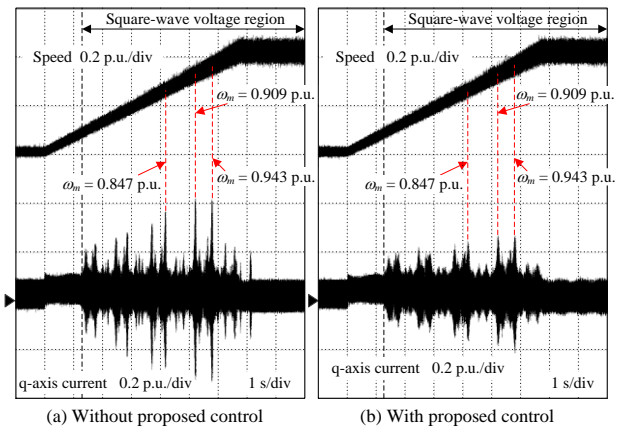


Fig. 4 Waveform of motor speed and q-axis current.

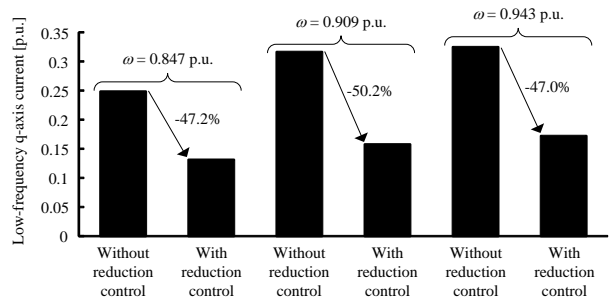


Fig. 5 Comparison of low-frequency q-axis current.

### 4. まとめ

本論文では PMSM のオープンループ制御と低周波トルク低減制御を提案し、その有用性を明らかにした。今後は制御ゲインの設計法について検討する予定である。

### 文 献

- (1) K. Kondo and S. Doki: "Experimental verification of PMSM current control system realizing stability and high response both in linear and overmodulation drive of inverter", IEEJ Annual Meeting 2015, 4-031 (2015) (in Japanese)  
近藤孔亮・道木慎二:「インバータ過変調領域での駆動まで考慮しつつ定常・過渡特性の両立を図る PMSM 電流制御系の実機検討」, 平成 27 年電気学会全国大会, 4-031 (2015)
- (2) J. Itoh, J. Toyosaki, and H. Ohsawa: "High performance V/f control method for PM Motor", IEEJ Trans. IA, Vol.122, No.3, pp.253-259 (2002) (in Japanese)  
伊東淳一・豊崎次郎・大沢博:「永久磁石同期電動機の V/f 制御の高性能化」, 電学論 D, Vol.122, No.3, pp.253-259 (2002)