

系統擾乱時のモータ速度リップルを低減する

電解コンデンサレスデュアルインバータを用いた高調波補償法

◎大野 友幹 芳賀 仁

長岡技術科学大学 大学院工学研究科 電気電子情報工学専攻

y_ohno@stn.nagaokaut.ac.jp hagah@vos.nagaokaut.ac.jp

1. はじめに

電解コンデンサレスインバータは、寿命部品である電解コンデンサを用いないため、モータドライブシステムの長寿化を実現する手法として有効である。しかし、電力系統に三相ダイオード整流器を介して接続される電解コンデンサレスインバータは、系統電圧の高調波重畳や三相不平衡などの擾乱がある場合、直流リンク電圧の直流成分は低下、リップル成分は増大を招きインバータの出力電流に高調波が重畳する。これにより、モータ銅損増加やトルク脈動によって発生する機械振動・騒音が問題となる。近年、分散型電源の普及により様々な形態の電力網が形成されることで電力系統の擾乱が顕在化している。そのため、系統擾乱時におけるエネルギーバッファを用いないモータドライブシステムの運転特性改善が必要である。そこで本稿では、系統電圧に高調波が重畳した条件下において、インバータの出力電流に重畳する高調波に起因するモータ速度リップルの低減を目的に、デュアルインバータを用いた高調波補償法を提案する。提案法の有効性をシミュレーションにより検証したので報告する。

2. 高調波補償法

従来の電解コンデンサレスシングルインバータでは、系統電圧の高調波重畳によって、直流リンク電圧リップル角周波数とモータ電気角周波数に起因した高調波成分がインバータの出力電流に重畳する。重負荷ほどインバータの電圧飽和の影響を受け、出力電流に重畳する高調波成分は増加する。図1に、提案する電解コンデンサレスデュアルインバータの回路構成を示す。提案システムは、三相ダイオード整流器および2台のインバータ、2つのフィルムコンデンサで構成され、負荷は埋込型永久磁石同期モータ(IPMSM)の巻線両端を開放したオープンエンド巻線 IPMSM を用いる。提案システムのインバータは、INV.1 がメインインバータとして動作して、INV.2 はモータ巻線電圧に重畳する高調波を補償する役割を担う補償インバータとして動作する。オープンエ

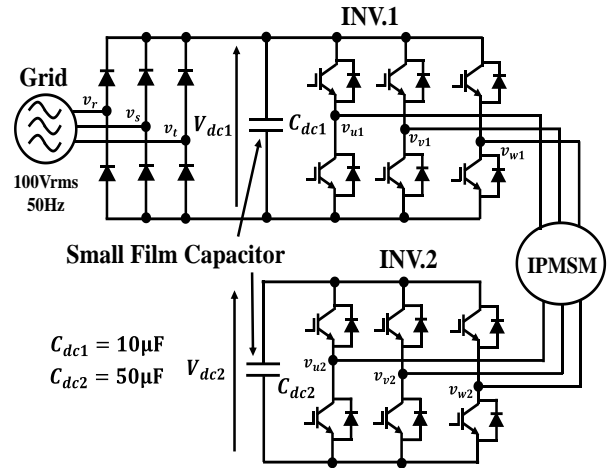


図1. 提案システム

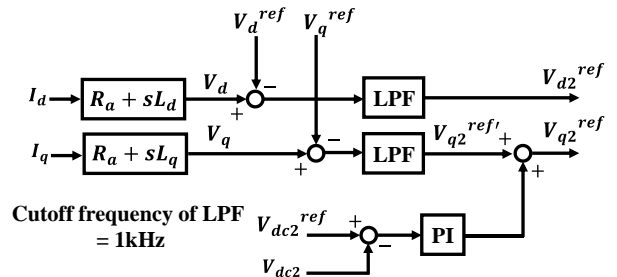


図2. 補償電圧指令値生成部の制御ブロック

ンド巻線 IPMSM の巻線両端に印加される負荷相電圧 $v_x(x = u, v, w)$ は、INV.1 と INV.2 の出力相電圧を v_{x1} , v_{x2} とすると(1)式で表される。

$$v_x = v_{x1} - v_{x2} \quad (1)$$

(1)式より、モータ巻線両端に印加されるモータ巻線電圧は各インバータの出力相電圧の差によって求められる。INV.1 の出力相電圧に重畳する高調波成分を INV.2 で出力することで、モータ巻線電圧に重畳する高調波を補償する。図2に補償電圧指令値生成部の制御ブロック図を示す。INV.2 の d-q 軸出力電圧指令値は、d-q 軸出力電流とモータパラメータから推定したモータ巻線電圧から出力電流制御器出力を減算することで得る。d-q 軸出力電流には、スイッチングリップル

表 1 モータと制御パラメータ

Stator resistance	0.788Ω
d-axis inductance	10.2mH
q-axis inductance	20.1mH
Linkage flux	0.137Wb
Number of pole pairs	2
Inertia	0.0001kgm ²
Carrier frequency	10kHz
Dead time	2μs
Bandwidth of current PI controller	3142rad/s
Bandwidth of speed PI controller	126rad/s
Voltage reference of floating capacitor	50V

成分も含まれるため、LPF を用いて除去する。INV.2 の直流部に接続されている小容量のフィルムコンデンサは、コンデンサの充放電電力を利用することで INV.2 は高調波補償を行うため、コンデンサ電圧の平均値制御を行い、コンデンサ電圧 PI 制御器出力を INV.2 の q 軸電圧指令値に加算する⁽¹⁾。INV.1 の d-q 軸出力電圧指令値は、出力電流制御器出力と同じ値を用いる。

3. シミュレーション結果

デュアルインバータを用いた高調波補償による速度リプル低減効果を確認するためにシミュレーションを行った。図 3 に示すように系統電圧に 7 次高調波 25% 重畳した条件で検証を行った。表 1 にモータおよび制御パラメータを示す。速度指令値を 1500rpm、負荷トルクを 3Nm として検証を行った。図 4 に従来の電解コンデンサレスシングルインバータ、図 5 に提案する電解コンデンサレスデュアルインバータのシミュレーション結果を示す。直流リンク電圧脈動が増加することで従来システムでは q 軸出力電流リプル率は 13.4%、速度リプル率は 2.0% となり q 軸電流の脈動によって速度も脈動する。提案システムによる高調波補償を行うことで q 軸出力電流リプル率は 1.7% となり従来システムと比較して約 87% 低減した。このとき、速度リプル率は 0.1% であり提案システムを用いることで速度リプル率は約 95% 低減した。

4. まとめ

本稿では、デュアルインバータとオープンエンド巻線 IPMSM を用いた電解コンデンサレスデュアルインバータによる系統擾乱時の高調波補償を提案した。シミュレーションにより速度指令が 1500rpm のとき速度リプル率を 95% 低減し、提案システムの有効性を確認した。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 20H02127 の助成を受けたものです。

文 献

(1) 西尾・芳賀：電学論 D, Vol.140, No.4, pp.246-254 (2020)

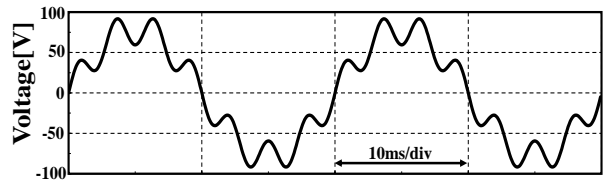
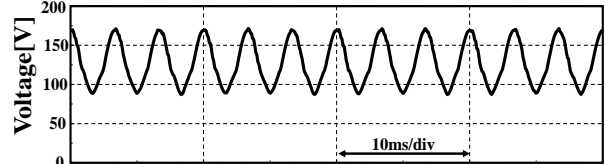
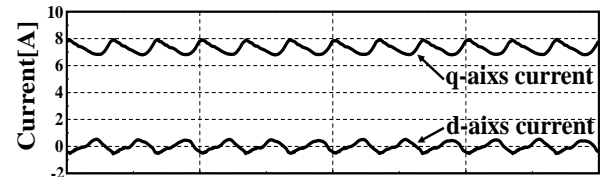


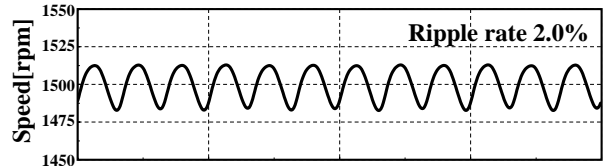
図 3. 系統電圧 (7 次高調波 25% 重畳)



(a) 直流リンク電圧

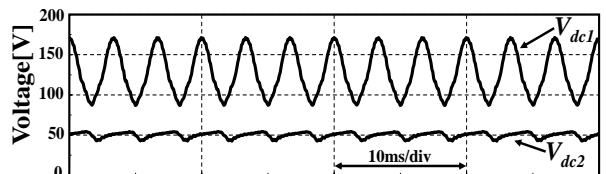


(b) d-q 軸出力電流

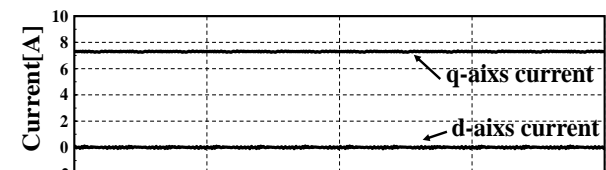


(c) 速度

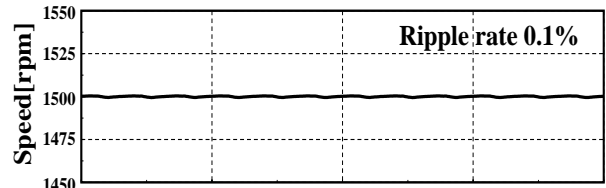
図 4. 従来システム



(a) 直流電圧



(b) d-q 軸出力電流



(c) 速度

図 5. 提案システム