

デュアルインバータを用いた負荷電圧補償による 電解コンデンサレスインバータのトルク脈動抑制法

西尾 元紀*, 芳賀 仁 (長岡技術科学大学)

Torque pulsation suppression method of electrolytic capacitor-less inverter by load voltage compensation using dual inverter
Motoki Nishio, and Hitoshi Haga (Nagaoka University of Technology)

1. はじめに

近年、家電機器を対象に、単相 PFC と電解コンデンサを用いないモータドライブシステムが研究されている。電力変換器の低コスト、長寿命、小型軽量化手法として有効であり、海外機種のリームエアコンのコンプレッサ用途に広く普及されている^{(1), (2)}。文献(1)のシステムは、電源の単相交流電力を電力変換器で平滑しないで、負荷の内部磁石型永久磁石同期モータ(IPMSM)へ供給するもので、トルク脈動を大きく発生させる必要があり、アプリケーションは、コンプレッサなどに限られている。そこで著者らはこれまでに、電解コンデンサレスインバータのトルク脈動抑制を目的に、デュアルインバータに着目した電解コンデンサレスインバータの回路構成を検討している⁽³⁾。本稿では、制御法の検討として、負荷電圧の補償によるトルク脈動抑制を提案する。シミュレーションにより検証したので報告する。

2. 提案システムの構成とトルク脈動抑制制御法

<2・1> 提案するモータドライブシステム 図1に提案するモータドライブシステムの構成を示す。電力変換器は単相ダイオード整流回路と、小容量フィルムコンデンサ(C_{dc1}, C_{dc2})、デュアルインバータ(Inv.1, Inv.2)で構成して、負荷はオープン巻線構造の IPMSM を採用する。本システムは、従来システムと同様に入力電力非平滑のため、 V_{dc1} は電源周波数の2倍で脈動する。そのため Inv.1 のみでモータドライブを行う場合、Inv.1 の出力電圧制限によってモータに印加される d, q 軸電圧 v_{d1}, v_{q1} は図2に示すように脈動する。d, q 軸電圧が脈動すると、モータに流れる d, q 軸電流も脈動しトルク脈動が生じる。本提案システムでは、Inv.2 によるモータ電圧の補償を行うことでトルク脈動を抑制する。

<2・2> トルク脈動の抑制手法 図2に、提案システムの動作概念図を示す。Inv.1 の出力 d, q 軸電圧を v_{d1}, v_{q1} 、Inv.2 の出力 d, q 軸電圧を v_{d2}, v_{q2} 、負荷の d, q 軸電圧を v_d, v_q とする。負荷にはオープン巻線構造の IPMSM を用いており、 v_d, v_q は(1)式で表される。

$$v_d = v_{d1} - v_{d2}, v_q = v_{q1} - v_{q2} \quad (1)$$

入力が非平滑のため、Inv.1 の出力電圧 v_{d1}, v_{q1} は脈動する。(1)式より、Inv.2 によって v_{d1}, v_{q1} の脈動分を v_{d2}, v_{q2} で補償

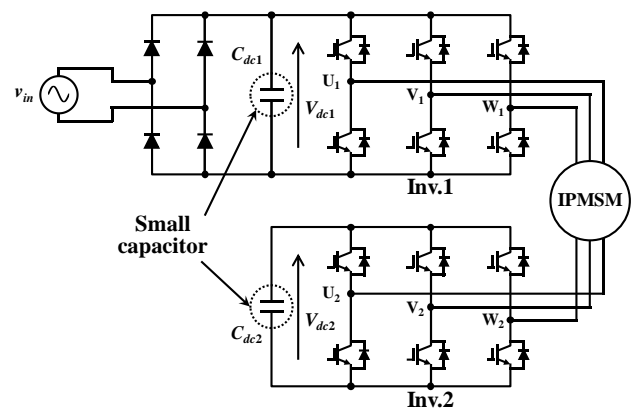


Fig. 1 提案システム

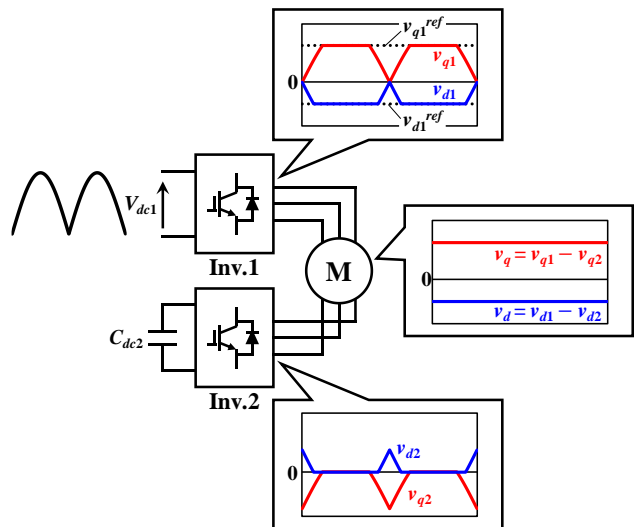
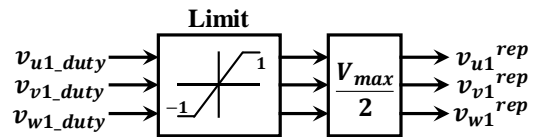
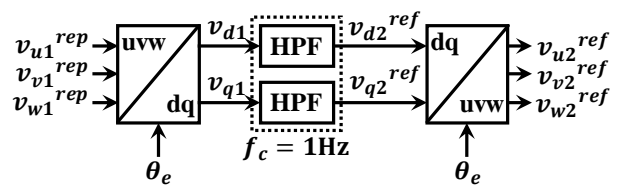


Fig. 2 提案システムの d, q 軸電圧脈動抑制動作



(a) Inv.1 の出力電圧再現ブロック



(b) Inv.2 の出力電圧指令生成ブロック

Fig. 3 制御ブロック図

することで、モータに印加される v_d, v_q を一定とし、トルク脈動を抑制することができる。図3にこの動作を実現するブロック図を示す。 v_d, v_q の脈動を補償するためには、Inv.1の出力電圧を再現する必要がある。そのため、図3(a)に示すように、各相の被変調波に ± 1 の制限を設け、入力電圧 V_{dc1} の最大値 $V_{max}/2$ を乗算することでInv.1の各相の出力電圧 $v_{*1}^{rep}(*=u, v, w)$ を再現する。そして、 v_{*1}^{rep} を回転座標変換して v_{d1}, v_{q1} を再現し、遮断周波数1HzのHPFによって直流分を除去した波形を得る。これをInv.2のd, q軸電圧指令 $v_{d2}^{ref}, v_{q2}^{ref}$ とすることで、(1)式に示す関係よりモータに印加される v_d, v_q を一定にできる。

3. シミュレーション結果

デュアルインバータを用いた負荷のd, q軸電圧補償によるトルク脈動抑制効果について確認するために、RL負荷でのシミュレーションを行った。単相交流電源は $v_{in} = 200\text{Vrms}, 50\text{Hz}$ 、Inv.1, 2の入力キャパシタはそれぞれ $C_{dc1}, C_{dc2} = 20\mu\text{F}$ 、負荷は $R = 1\Omega, L = 10\text{mH}$ とした。また、Inv.1はd, q軸電圧オープン制御とし、 $v_{d1}^{ref} = 0\text{V}, v_{q1}^{ref} = 100\text{V}$ とした。

図4に従来システム、すなわちInv.1のみ動作する場合のシミュレーション結果を示す。(a)に負荷に印加されるd, q軸電圧 v_d, v_q 、(b)に負荷のd, q軸電流 i_d, i_q を示す。図5に提案システムのシミュレーション結果を示す。(a)にInv.1, 2の入力電圧 V_{dc1}, V_{dc2} 、(b)にInv.1が出力するd, q軸電圧 v_{d1}, v_{q1} 、(c)にInv.2が出力するd, q軸電圧 v_{d2}, v_{q2} 、(d)に負荷に印加されるd, q軸電圧 v_d, v_q 、(e)に負荷のd, q軸電流 i_d, i_q を示す。従来システムでは、Inv.1のみでモータを駆動するため、 v_d, v_q が図4(a)に示すように脈動し、それに応じて図4(b)に示すように i_d, i_q も脈動する。提案システムでは、図5(a)に示すように、 V_{dc2} は補償なしで充放電される。この電圧を用いて、図5(b)に示す v_{d1}, v_{q1} の脈動を相殺するために図5(c)に示す v_{d2}, v_{q2} をInv.2で出力する。これによって、図5(d)に示すようにモータに印加されるd, q軸電圧 v_d, v_q が一定となっていることが確認できた。この補償により、図5(e)に示すように、従来システムに比べてd軸電流脈動は97.8%、q軸電流脈動は98.2%抑制でき、提案システムによるトルク脈動抑制が十分得られることが確認できた。

4. おわりに

本稿では、デュアルインバータとオープン巻線構造IPMSMを用いた電解コンデンサレスインバータの、負荷d, q軸電圧補償によるトルク脈動抑制法について検討を行った。Inv.2で負荷d, q軸電圧を補償することで、d軸電流脈動は97.8%、q軸電流脈動は98.2%抑制できることを確認した。今後は、d, q軸電流制御の導入、モータ負荷での検証、入力力率の評価も行う。

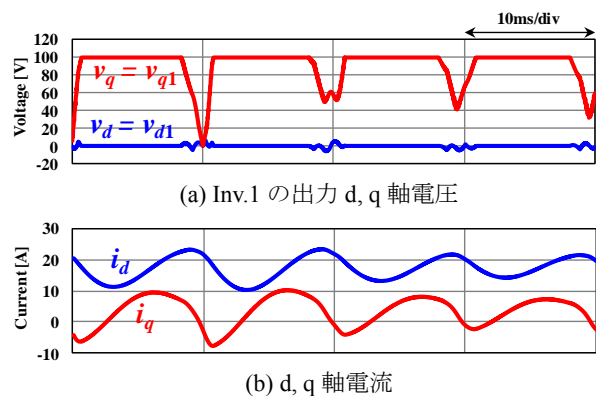


Fig. 4 シミュレーション結果(脈動抑制前)

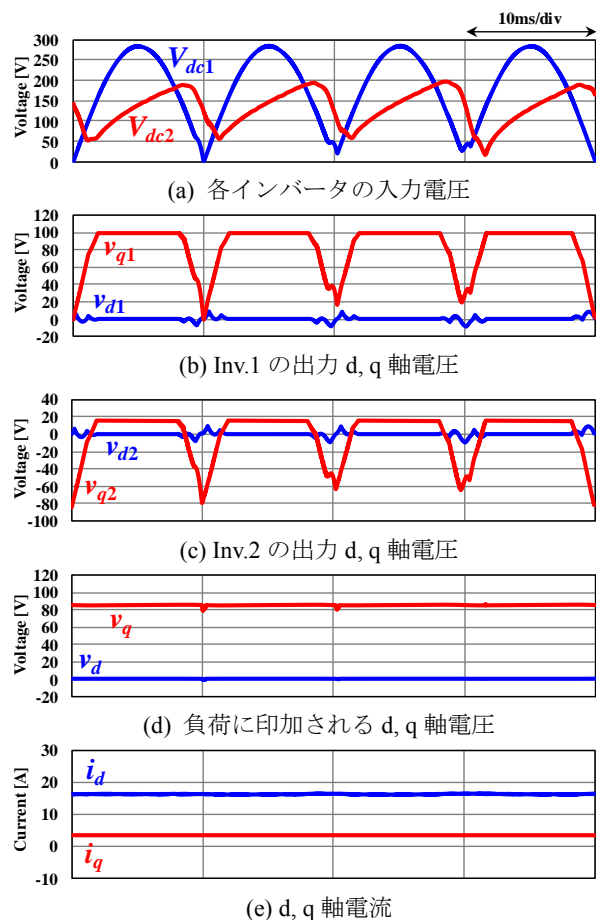


Fig. 5 シミュレーション結果(脈動抑制後)

文 献

- (1) 芳賀仁, 高橋勲, 大石潔:「電解コンデンサレス高効率単相ダイオード整流回路を持つインバータによるIPMモータの一駆動法」, 電気学会論文誌D(産業応用部門誌), Vol.124, No.5, pp.479-485 (2004)
- (2) 関本守満:「グローバル低コストエアコン向け単相電解コンデンサレスインバータの開発」, 電気学会ニュースレター10月号, Vol.133, No.10, p3 (2013)
- (3) 西尾元紀, 芳賀仁:「高効率単相ダイオード整流をもつ電解コンデンサレスモータドライブのデュアルインバータ適用によるトルク脈動抑制」, 平成30年産業応用部門大会, Vol.3, No. 43, pp.257-260 (2018)