

永久磁石同期電動機複数台並列運転システムの 補助インバータ容量の検討

長野 剛*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Discussion of Power Capacity of an Auxiliary Inverter in Parallel Connected Multiple Motor Drive System
for Numbers of Permanent Magnet Synchronous Motor
Tsuyoshi Nagano, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. 序論

誘導電動機とは異なり、永久磁石同期電動機(以下、PMSM)では磁極位置に応じて電流を制御する必要があるため、群運転できない。そこで、1台の電力変換器で2台のPMSMを駆動可能な様々な回路方式が提案されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし3台以上の場合では回路構成が複雑化するうえ、制約条件が多くなる。これらの問題を解決すべく、著者らはこれまでに補助巻線と補助インバータを用いたPMSMの群運転システムを提案している⁽³⁾。提案システムでは小容量の補助インバータを用いることで安定した群運転が可能であるが、補助インバータの容量と安定化するためのダンピング制御の応答の関係が不明確であった。

そこで本論文では、ダンピング制御の応答と補助インバータ容量との関係について実験およびシミュレーションにより検証する。具体的には、補助インバータの容量に応じた、ダンピング制御の限界応答について検討し、補助インバータの容量に関する設計指針が得られたので報告する。

2. システム構成と制御方法

図1に提案システムの構成を示す。提案システムではモータ駆動用のメインインバータと各々のPMSMで発生する乱調を抑制するため、PMSMにダンピング用の補助巻線を施し、補助巻線を介して補助インバータにより駆動する。

図2に提案システムの制御ブロック図を示す。メインインバータの制御にはV/f制御を適用し、PMSMの並列運転を行う。一方、補助インバータは乱調を抑制するようにトルクを制御するため、ベクトル制御によって構成される。不安定化の要因である負荷角の振動はV/f制御の速度指令 ω^* と実回転速度 ω の差分 $\Delta\omega$ として現れるため、ダンピング制御の入力として速度指令と実回転速度の差分 $\Delta\omega$ を与えることで、ダンピング制御は等価的に速度制御器にて実現できる。速度指令 ω^* と実回転速度 ω の差分 $\Delta\omega$ にダンピングゲイン K_d を乗算することで電流制御のトルク指令 $T^*(=i_q^*)$ を生成する。これにより振動を抑制するトルクを発生させることで乱調の抑制を行う。なお、ここでは原理検証のためベクトル制御を採用したが、磁極位置センサを取り付けられない場合には、センサレスベクトル制御やV/f制御にダ

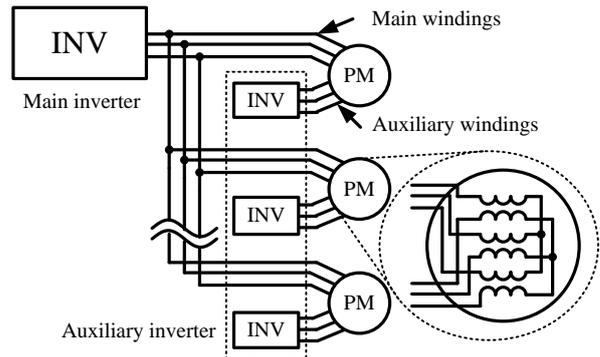


Fig. 1. Configuration of the proposed system for parallel connected multiple motor drive system of PMSM.

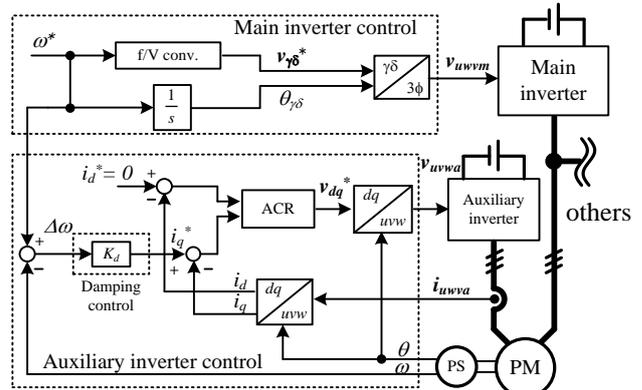


Fig. 2. The control diagrams of the proposed system.

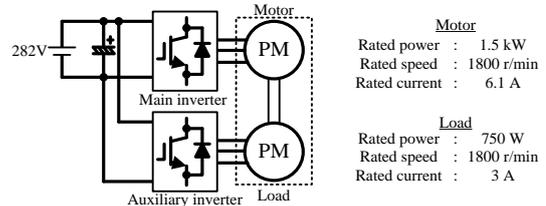


Fig. 3. Experimental construction in order to verify the suppress effect of damping control

ンピング制御を施しても同様の効果が期待できる。

3. 実験によるダンピング効果の検証

(3-1) ダンピング制御の乱調抑制効果の確認

図3にダンピング制御の乱調抑制効果の検証に使用した実機構成を示す。本来、主巻線と補助巻線の間には磁気的な相互干渉が生じるため、制御が複雑化する。そこで今回は磁気的相互干渉を無いものとし、MGセットで構成した。

図4にダンピング制御適用前後での加速試験結果を示す。図4(a)はダンピング制御適用前、図4(b)はダンピング制御適用後の試験結果である。加速試験では720 r/min から1800 r/min まで0.2 sec で加速している。また、本実験ではトルクを直接観測することができないため、代わりに各モータのq軸電流を観測することで抑制効果を確認している。ダンピング制御を適用していない図4(a)では、メインインバータにより従来のV/f制御にダンピング制御を付加せずに駆動しているため、加速直後にメインインバータのq軸電流に6A、速度に400 r/minの大きな振動が発生し、乱調が起きている。従来では、1台のPMSMにつき1台のインバータで駆動する場合、1台のインバータでV/f制御でもダンピング制御が可能であるが⁽⁴⁾、1台のインバータで複数台のモータを駆動する場合、ダンピング制御できないため、乱調を抑制することができない。そこで、補助巻線と補助インバータを用いたダンピング制御を適用すると、図4(b)のように、加速直後に補助インバータがトルク制御を行い、乱調を抑制する。そのため、主電力はメインインバータから供給されているにもかかわらず、加速直後の振動はほぼ発生しておらず、図4(a)と比較して定常時の速度振動は400 r/minからほぼ0 r/minに抑制しており、メインインバータのq軸電流は振動せず、良好な結果が得られる。

〈3.2〉ダンピング制御の応答と出力電力の関係

図5に実験、シミュレーションの両方から求めたダンピング制御の固有角周波数と各固有角周波数における補助インバータの最大出力電力、回転速度のオーバーシュート量の関係を示す。ここで最大出力電力および速度のオーバーシュートは、720 r/min から1800 r/min まで100%トルクで加速した後に生じる補助インバータの最大出力電力および回転速度のオーバーシュートを指す。シミュレーションおよび実験結果より、ダンピング制御の固有角周波数が低くなるにつれ乱調抑制に必要な補助インバータの出力電力が小さくなっていることが確認できる。言い換えれば負荷が要求する応答が速くない場合には、補助インバータの容量を小さくできる。一方、速度のオーバーシュートは出力電力とトレードオフの関係にあることがわかる。しかし必要となる出力電力が0.1~0.6 p.u (150~900 W)の範囲でも固有角周波数の変化は30 rad/s程度であり、オーバーシュートも10%以下に抑制できる。このことからメインインバータに比べて補助インバータの容量は10%くらいでも十分である。

したがって、提案システムは一定速度で複数台を駆動するようなファンなどのアプリケーションの場合にはメインインバータに対して補助インバータの容量を10%としてPMSMの群運転システムを構成することが可能である。

4. 結論

本論文では、乱調抑制を目的としたダンピング制御の応答と補助インバータの出力電力の関係について検討した。実

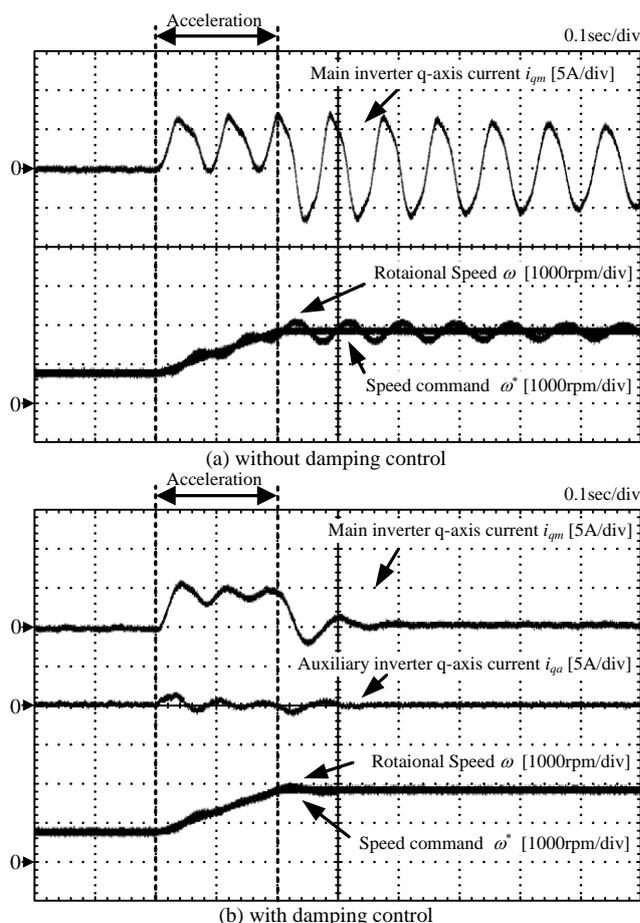


Fig. 4. Acceleration test without and with the damping control.

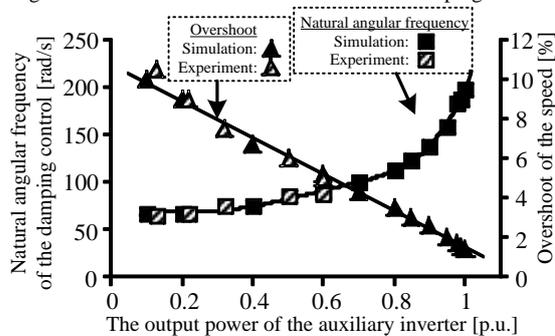


Fig. 5. The relationship between the damping response and the output power of the auxiliary inverter

験結果より、負荷が要求する応答が速くない場合には、補助インバータ容量は10%程度に設定可能という知見が得られた。今後の課題として、補助巻線の設計、磁気的な相互干渉の影響の検討、およびその制御方法の確立が挙げられる。なお、本研究の一部はNEDO平成23年度課題設定型産業技術開発費助成事業の支援を受けており、関係者各位に感謝を表します。

文献

- (1) Shibata, M., et al, 12th EPE'07, (2007)
- (2) 岡他, 電学論D, 129巻 pp. 1782-1789 (2009)
- (3) 長野他, SPC福岡, SPC12-153 (2012)
- (4) 伊東他, 電学論D, 122巻 pp. 253-259 (2002)