

補助インバータとモータ補助巻線を用いた 永久磁石同期電動機の直入れ運転の基礎検討

長野 剛*, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Discussion of Direct Grid Connection for Permanent Magnet Synchronous Motor
Using an Auxiliary Inverter and an Auxiliary windings
Tsuyoshi Nagano, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of Technology)

1. 序論

一定速度で駆動されるファン、ポンプなどでは誘導電動機の直入れ運転が幅広く利用されている⁽¹⁾⁽²⁾。しかし、一般に永久磁石同期電動機(以下、PMSM)では磁極位置に応じて、電流を制御しないと、乱調が発生するため、直入れで駆動できない。一方で PMSM の乱調を抑制する手法として、PMSM の電流情報を利用した制御が提案されている⁽³⁾。しかし、この手法では常時インバータで駆動する必要があるため、直入れ運転への適用はできない。

そこで本論文では、補助インバータを用いた PMSM の直入れ運転法について提案する。はじめにシミュレーションより乱調を抑制するダンピング制御の有無による直入れ運転について検討する。さらに提案システムでの系統電圧変動時に生じる補助インバータの出力電力について議論する。

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。PMSM はダンピング制御用の補助巻線を設け、直入れ用のモータとして別途専用設計する。提案システムは、モータ始動用電力変換器、PMSM で発生する乱調を抑制する補助インバータ、直入れ運転切り替え用の電磁開閉器を用い、始動および直入れ運転への切り替えを行う。補助インバータは乱調を抑制するだけなので、その変換器容量は駆動する PMSM の 1/10 以下でよい。また、主電力は電力変換器を経由せず PMSM に直接供給されるため、効率向上が期待できる。

図 2 に提案システムの制御ブロック図を示す。始動用電力変換器の制御には V/f 制御を適用し、モータと系統の電圧と周波数が一致するまで駆動する。その後、出力位相を系統電圧位相と一致させ、電磁開閉器(MC)を閉じ、PMSM の直入れ運転を行う。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乱調は速度(周波数)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 $T^*(=i_q^*)$

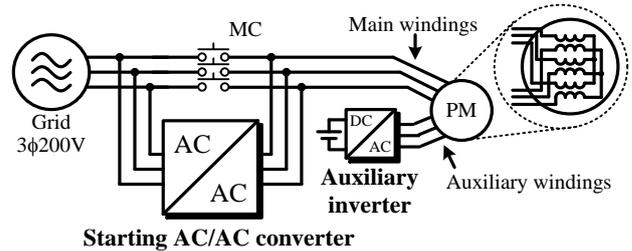


Fig. 1. Configuration of the proposed system for direct connect driving of PMSM.

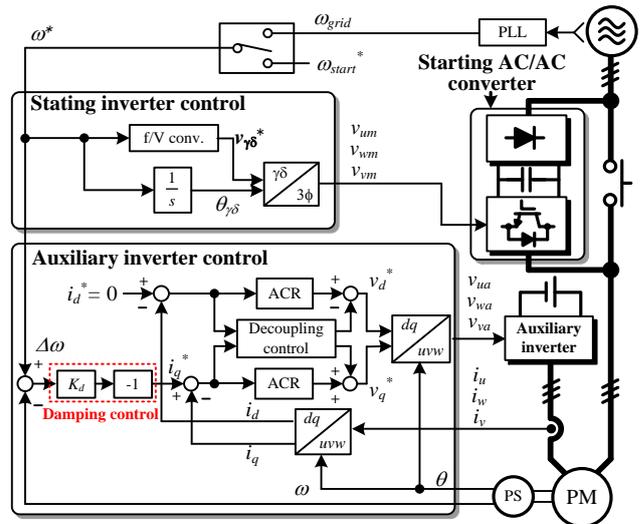


Fig. 2. The control diagrams of the proposed system.

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始動時および直入れ運転時に生じる乱調の抑制を行う。また、提案システムを用いることで、複数台 PMSM を駆動できるため、同様に複数台 PMSM を同時に直入れ運転が可能である⁽⁴⁾。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、低コスト化の観点から、センサレスベクトル制御をt掲揚することも可能である。

3. シミュレーションによる提案システムの検証

(3-1) ダンピング制御の乱調抑制効果の確認

図 3 に提案手法の直入れ運転の検証に使用した構成を示す。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。そこで今回は磁氣的相互干渉を無いものとし、図3のMGシステムを構成し、検討した。表1にモータパラメータを示す。補助巻線を想定した容量が、主モータ容量の1/2となっているが、実際は1/10以下でよい。

図4にシミュレーションによるダンピング制御適用前後での直入れ運転への切り替え試験結果を示す。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。直入れ切り替え試験では、系統電圧とインバータ電圧の差が5%、位相差が0.1 radの条件で系統50Hzの直入れ運転への切り替えを行っている。図4(a)では、ダンピング制御を適用していないため、系統直入れ切り替え後に系統側モータのトルクに20 Nm_{p-p} (=2.5 p.u._{p-p})、速度に180 r/min_{p-p} (=0.1 p.u._{p-p})の大きな振動が発生し、乱調が起きている。トルクおよび電流振動が次第に大きくなっていることから、最終的には脱調するおそれがある。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、系統直入れ切り替え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。また、図4(b)より、補助インバータ出力電力がメインインバータに対して、30%と少ない出力電力で乱調を抑制している。そのため、直入れ運転切り替え直後に速度、トルク振動は減衰し、図4(a)と比較して、補助インバータ出力電力が小さいにもかかわらず、0.1秒後には定常時の速度振動は180 r/minからほぼ0 r/minに抑制でき、良好な結果が得られる。

〈3・2〉 系統電圧変動に伴う補助インバータ出力電力

図5にシミュレーションから検証した補助インバータの最大出力電力と系統電圧変動との関係を示す。提案手法での直入れ運転時において、系統電圧変動が生じていない状態からステップ状の系統電圧変動が生じた場合を想定し検証する。また、ここでは系統周波数変動は生じていないとして検証している。系統電圧200Vから-10%の系統電圧変動が生じた場合でも、補助インバータの出力電力は最大でも0.1p.u. (系統側モータ定格電力基準)と小さい。したがって、駆動するPMSMの容量に比べて補助インバータの容量が10%あれば系統電圧変動に対して十分対応できる。

4. 結論

本論文では、小容量の補助インバータを用いたPMSMの直入れ運転法について提案した。系統電圧変動が生じた場合でも、補助インバータ容量は10%程度でも十分に乱調抑制し、直入れ運転が可能という知見が得られた。今後、実機検証を行っていく。

文献

- (1) 服部, 公開特許公報(A), 特開平 5-148743 (1985)
- (2) 藤田, 電気機器, 森北出版, p.42 (1991)
- (3) 伊東他, 電学論D, 122巻 pp.253-259 (2002)
- (4) T. Nagano, et al, 15th EPE'13, (2013)

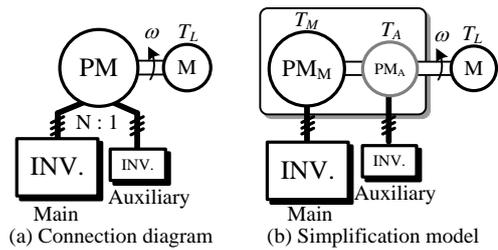


Fig.3. Simulation model of the PMSM with auxiliary windings for the damping control.

Table 1. Simulation condition

| | PM _M | PM _A |
|--|-----------------|-----------------|
| Rated power [W] | 1500 | 750 |
| Rated speed [min ⁻¹] | 1800 | |
| Rated current [A] | 8.2 | 4 |
| Number of pole pairs | 3 | 3 |
| Armature resistance [Ω] | 1.55 | 1.98 |
| d-axis inductance [mH] | 11.5 | 15.2 |
| q-axis inductance [mH] | 23 | 33.2 |
| Electro-motive force constant [Vs/rad] | 2.46 | 0.338 |
| Inertia moment [kgm ²] | 0.0051 | 0.0026 |

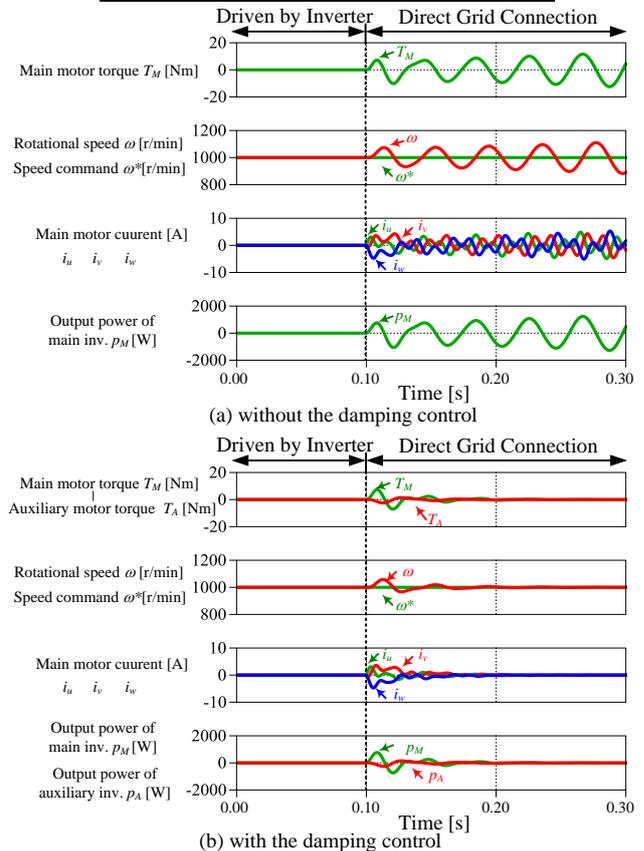


Fig. 4. Acceleration test without and with the damping control.

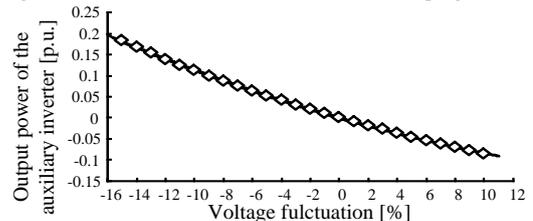


Fig. 5. Relationship between the output power of the auxiliary inverter and the voltage error