

織機用インバータの励磁電流制御における高効率化に関する考察

学生員 館野 亮, 正員 伊東 淳一 (長岡技術科学大学), 非会員 齊藤 登(株式会社北越電研)

Consideration Optimum Excitation Current of Control of Inverter for a Weaving Machine

Ryo Tateno, Student Member, Jun-ichi Itoh, Member (Nagaoka University of Technology),
Noboru Saitoh, Non-member (HOKUETSU DENKEN Co.,Ltd.)

This paper achieves high efficiency for a weaving machine by optimum excitation current control of inverter for weaving. The optimum excitation current is obtained from average torque of the load characteristics. Optimum excitation current is investigated by simulation and experimental results. The maximum driving efficiency is increased by 3.8% in comparison to no inverter system.

キーワード：織機, ベクトル制御, 平均高効率制御, 励磁電流, 運転効率

Keywords : Weaving machine, Vector control, Average high efficiency control, Excitation current, Driving efficiency

1. はじめに

従来の織機に使用されている多くの誘導機は直入れにより駆動しており, 近年高速起動と高効率であることが要求されている。これらの要求に応えるためにインバータを導入し, ベクトル制御やトルクに応じて磁束を最小に制御する高効率制御^{(1)~(4)}を適用することが考えられる。しかし, 負荷特性に合わせて高速に磁束を変化させると, 過渡的に励磁電流が増減するため, 銅損が増加する。そこで, 著者らは, 織機の負荷特性が周期的なことに着目し, 磁束を平均的に制御することで高効率化する平均高効率制御⁽⁵⁾を提案した。これまで, シミュレーション結果から磁束を平均化することにより, 負荷に最適な磁束が存在することを確認したが, 実験による検証はしていない。

そこで本論文では, 平均高効率制御のシミュレーション結果から得られた励磁電流を推定し, 実験により最適な励磁電流を明らかにし, ベクトル制御運転における織機の運転効率と損失が改善したことを報告する。

2. 織機の特性

<2.1>動力伝達

図 1 にインバータ運転における織機の接続図を示す。誘導機と織機にプーリを接続し, V ベルトを介して誘導機からの動力を織機へ伝達する。プーリ比は誘導機:織機=81:186の比率になっている。使用している誘導機の定格速度は1500r/minであり, プーリ比と誘導機の定格速度から, 織機の定格速度は653r/minとなる。

<2.2>織機の負荷特性

図 2 に織機を運転した時の負荷特性を示す。織機に掛かる負荷トルクは周期的に変動し, 最大負荷トルクは定格トルクの約 1.5 倍である。結果として, 高効率運転を実現する

には, 負荷変動にあった制御をする必要がある。

3. 制御方式

高効率制御はトルクに応じて磁束を減少させ, 励磁電流低減により銅損を減らし, 電圧を下げることにより鉄損を減らす。そのため負荷特性に応じて磁束と励磁電流は変動する。しかし, 誘導機の2次時定数は遅いため, 負荷トルクに合わせて高速に磁束を変化させると励磁電流が過渡的に増加し, その結果, 銅損が増加し, 最高効率が得られない。そこで, 織機の負荷特性が周期的であることに着目し, 磁束を平均的に制御することで高効率化を実現する。鉄損抵抗を R_m , 一次抵抗を R_1 , 二次抵抗を R_2 とすれば, 最高効率を得る磁束は(1)式にて表される。平均トルク T は負荷特性か

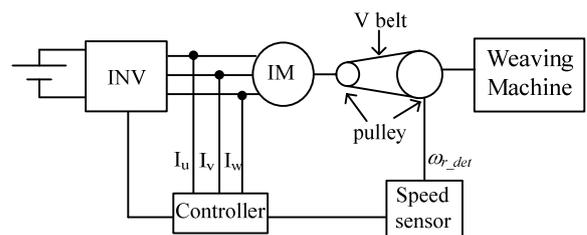


Fig. 1. Weaving machine connection in driving inverter.

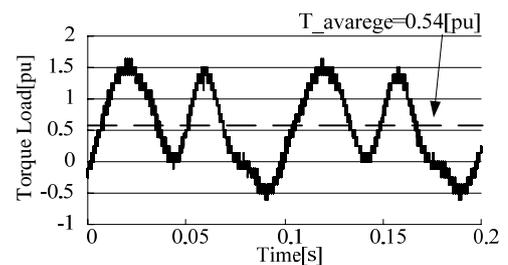


Fig. 2. Load characteristic.

ら導出し、平均トルク T と(1)式を用いて磁束を決定する。この結果、磁束と励磁電流の変動は小さくなる。

$$\phi = \sqrt{\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_m}} \sqrt{TL_2} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 L_2 :二次側漏れインダクタンス、平均トルク T は図2より、 $T=0.54\text{pu}$ である。このとき、磁束は定格磁束の約90%に相当する。

4. シミュレーション結果

図3に(1)式の負荷の平均トルク T を0.1puずつ変えて励磁電流指令を与えて、モータ銅損をシミュレーションにより求めた結果を示す。表1にこのときのモータパラメータを示す。図3より、 $T=0.54\text{pu}$ の点で損失は最小になることが分かる。この結果から、損失を最小化するには、負荷トルクの平均値を使って制御すればよいことがわかる。よって、磁束は定格磁束の約90%より、励磁電流も定格値の90%に制御したとき、損失最小となり、最高効率を得られる。

5. 実験結果

高効率制御の効果を検証するため、実際の織機を用いて実験を行った。実験条件は、DC電圧560V、ベクトル制御を適用し、速度指令は1500r/minである。使用したモータパラメータはシミュレーションと同様である。なお、定格励磁電流は $I_{dm}=3.5\text{A}$ である。

<5.1>インバータ効率

図4に励磁電流 I_d を85%、90%、100%に変化させて運転したときの、インバータの交流入力側電力と出力電力から求めたインバータ効率を示す。図4より、 $I_d=90\%$ のときインバータ効率が96%と最大であることが確認できる。

インバータの効率が変化する理由は、モータ効率によって、一次電流が変動し、変換機内の電流が変化するためである。つまり、励磁電流 $I_d=90\%$ のとき、電流が最小になり、最大効率となることがわかる。

<5.2>運転効率

図5に直入れと励磁電流 I_d を85%、90%、100%に変化させてベクトル制御運転したときの、使用電力量当たりの横糸本数から求めた織機効率を示す。図5より、 $I_d=90\%$ のとき運転効率が最も高いことを確認できる。また、直入れの運転効率と比較すると、約3.8%改善されている。さらに、 $I_d=100\%$ における運転効率と比較すると、約4.2%改善された。

6. まとめ

本論文では、平均高効率制御シミュレーションにより、最適な励磁電流を推定し、実験により最適な励磁電流を明らかにした。織機はベルトのすべりがあるので、単純なベクトル制御は困難であることがわかっている。今後は速度センサレスベクトル制御導入や起動時に高速起動方法を検討する。

Table 1. Motor parameters.

| | |
|------------------------------------|------------------------|
| Poles | 4 |
| Rated power | 2.2kW |
| Rated voltage | 380V |
| Rated current | 5.4A |
| Rated frequency | 50Hz |
| Rated speed | 1500r/min |
| Primary resistance R_1 | 2.74 Ω |
| Secondary resistance R_2 | 2.98 Ω |
| Primary leakage inductance L_1 | 6.1mH |
| Secondary leakage inductance L_2 | 5.4mH |
| Mutual inductance M | 190mH |
| Excitation current I_0 | 3.5A |
| Inertia moment J_m | 0.0163kgm ² |

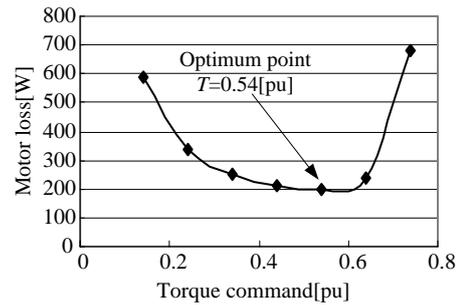


Fig. 3. Motor loss characteristic for average command

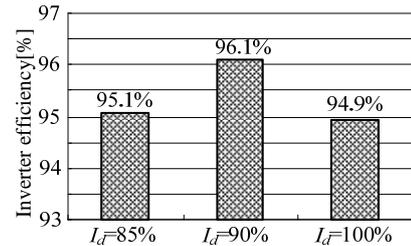


Fig. 4. Inverter efficiency for excitation current command.

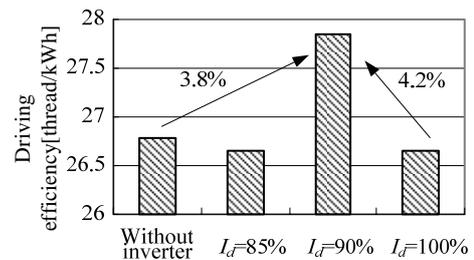


Fig. 5. Driving efficiency of weaving machine.

文 献

- (1) 伊東・田島・大沢：「三相 V 結線交流チョップを用いた誘導電動機駆動システム」電学論 D, 123 巻 3 号, 2003
- (2) 山田・松瀬・笹川：「誘導電動機センサレス直接形ベクトル制御系の高効率運転に与えるパラメータ変動の影響」電気学会研資, RM-96-101, pp.351-358, 1996
- (3) 金原・小山：「鉄損を考慮した誘導電動機の高効率・高応答ベクトル制御法」平成 7 年電気学会産業応用部門全国大会, No.68, pp.201-206, 1995
- (4) 渡辺・笠：「鉄損を考慮したベクトル制御誘導電動機の最大効率制御」電学会研資, SPC-97-125/IEA-97-17, pp.53-59, 1997
- (5) 館野・星野・伊東：「織機用インバータの高効率制御の検討」平成 21 年電気学会東京支部新潟支所研究発表会, pp.I-11 2009