L-25

交流リアクトルによる改善効果

The improvement effect by A.C. reactor.

○一柳　龍伸[1]
Tatsunobu Ichiyanagi[1]

Three-phase cage induction motor used as a constant-speed motor it is made to be a variable-speed brushless motor by the utilization of the inverter equipment, and it is widely utilized for industrial robots and trains, etc..

In this report, the improved point of alternating current reactor that the connection has been required as a higher harmonic countermeasure is examined on connection method as supply voltage adjustment auxiliary equipment, etc..

１．まえがき

定速度電動機として使用されてきた三相かご誘導電動機は、インバータ装置により産業用ロボットや電車などのブラシレス可変速電動機として、現在広く利用されている。高速スイッチングを利用する最近のインバータ装置では、電力用半導体素子により正弦波に近い電流に調整されており、速度制御を可能としている。

ただし、高調波対策として交流リアクトルの組み込みが求められており、本報告では、接続方法により供給電圧調整補助装置として改善する提案・検討を行う。

２．電流のベクトル軌跡

三相誘導電動機は、始動時に流れる突入電流（定格電流の数倍）を抑制する必要があり、有接点 (リレーを用いた) の始動器や無接点のインバータ装置などが利用されている。無接点のサイリスタ始動装置では、交流電力調整型駆動装置として、50%負荷前後までの負荷変化に対して点弧角αを電圧と電流の位相差により制御して、減電圧供給する調整が行われている。

単巻変圧器を利用する誘導電動機用駆動ユニットでは、無負荷時の無効電力を低減して電圧降下の大きいポジションに設定することにより、機器に適切な電圧を調整供給による省電力効果を得る方法が利用されている。運転状態の各電圧に対する電流は、そのベクトル位相θx, φx および大きさＩx の変化を考慮することにより、エネルギー調整が得られている。

Fig.1 で示したような、Ｙ軸方向にＵ相電圧 Eu を取った線間電圧に対する相電流Ｉu, Ｉw は、負荷の変化により位相差と大きさにともないＩ'u, Ｉ"u, Ｉ'w, Ｉ"w のように変化する。

$$Puv = VuvIu\cos(\theta u + \phi u) \cdots\cdots \quad (1)$$

$$Pwv = VwvIw\cos(\theta w + \phi w) \cdots\cdots \quad (2)$$

無負荷状態のθ'u＝θu＋π/6≒120°（θu≒90°）で

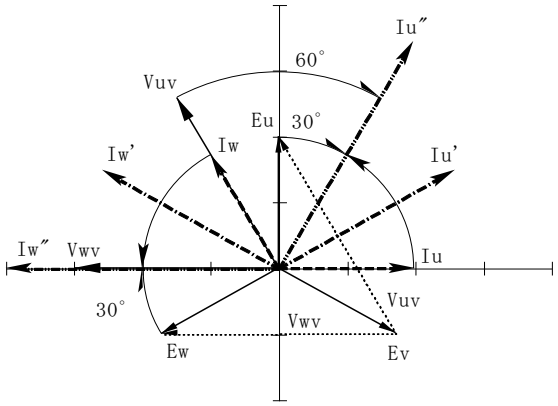


Fig.1. Vector change of voltage and current.

線間電力は、Ｉu が線間電圧Ｖｕｖ に対して 90 度を超えてＰｕｖ＜０と示される。軽負荷時のθ'u＝θu＋π/6＝90°（θu＝60°）となるＰuv＝０までは、UV 間回路が負の電力を示す発電機状態となる。

他方の WV 間では、常に位相角がθｗ＋φｗ＞０となりＰｗｖ＞０の電動機として働く。

３．巻線配置に伴う磁気回路変化

インバータにより、三相誘導電動機を可変速駆動電動機として利用するには、高調波対策として交流リアクトルの利用がガイドラインにより求められている(1)。

伝導性と放射性の電磁妨害や、コモンモード電圧・電流による絶縁の複合劣化などが問題とされ，高キャリア周波数による高速スイッチングの利用により，構成される磁気回路のリアクトルにおける起磁力と磁気抵抗について検討が必要とされている。

インバータ装置での利用に求められているリアクトルの働きは、主に内部抵抗とインダクタンス成分の共振（低周波成分の発信）による高調波ノイズ除去用（低減用）フィルター回路、および軽負荷時における周波

１：短大・総合・教員、Junior college ・Teacher.

数（回転数）の低減と V/f 調整による力率改善調整を行なうことにある。

単相交流では、交番する磁界について解析すればよいが、三相交流電源では相と線間の位相差およびリアクトルにおける鉄心内の磁界の動きや漏れ磁束などの要因についての検討が必要となる。

ところが、珪素鋼板またはカットコアにより構成される三相変圧器や三相リアクトルでは，鉄心構造によりどのように磁気回路内で磁束分布が推移するのかなど，検討された文献は少ないと思われる。

上段の第一コイル（R,S,T 相コイル）および下段の第二コイル（U,V,W 相コイル）における中間相(Ｓおよび V 相)の磁気抵抗比を k，上段に対する下段コイルの巻回数比を n とした磁気回路を Fig.2 に示す。

コイルを二分割した三脚三相鉄心の磁気抵抗と起磁力からなる連立方程式として検討を行ってきた。

条件Ⅰ：上段と下段の接続が同相(通常接続 :UX 接続)

条件①　通常接続：上段と下段が同相

条件②　無誘導接続（同相逆接続）

この条件の場合、Fig.3 に示したように、大きさが巻回数の「1+n」に比例することになり、力率及び運転効率の調整要素とならず、供給磁束が各巻き線に等分に配分されてしまう。その結果、位相角変化 $1+a+a^2=0$ に対する最適な磁気抵抗比は、k=2 と求められる。

上段巻線　Fr=F ; Fs=a^2 F ; Ft=a F の起磁力に対して、

A.　UX 接続　Fu=n F ; Fv=n a^2 F ; Fw=n a F ; (F=I w)

$$\emptyset_1 = \frac{3(2+k) \mp i(k-2)\sqrt{3}}{16(1+k)R}(1+n)F \cdots\cdots \quad (3)$$

$$\emptyset_2 = \frac{3k \mp i(4+k)\sqrt{3}}{16(1+k)R}(1+n)F \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4)$$

となり、巻回数に比例してリアクタンスおよび交流抵抗が変化して，巻数を変化させても当然その比率はほぼ一定となり、磁束φ1 およびφ2 の位相変化を大きく得ることができない。上段に対して下段巻線が逆向きとなる「n=－1」となるわずかな巻数の違いにおいて、鉄心内における磁束の位相が 180 度異なり，過電流の発生を招くことになり、自由に行うことはできない。

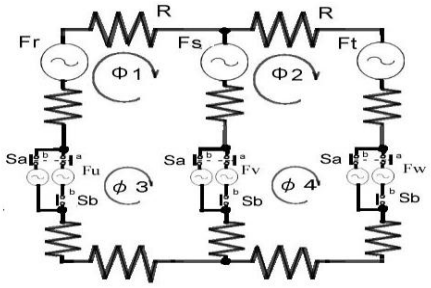


Fig.2 Magnetic circuit of Reactor. .

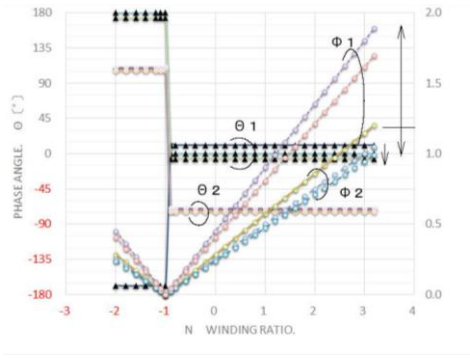


Fig.3 Magnetic flux and Phase change in UX connection.

Fig.4 (a) のように、**(n+1)** に比例した変化で示されるのに対して、異なる接続条件では Fig.4 (b) の変化を得ることができる。

条件Ⅱ:上段と下段の接続が異なる(VY or WZ 接続)

供給磁束を振り分け、エネルギーバランスを取る。

条件③　異相進相接続:進相の fy により電流を進ませる

条件④　異相遅相接続:電流位相調整による駆動改善

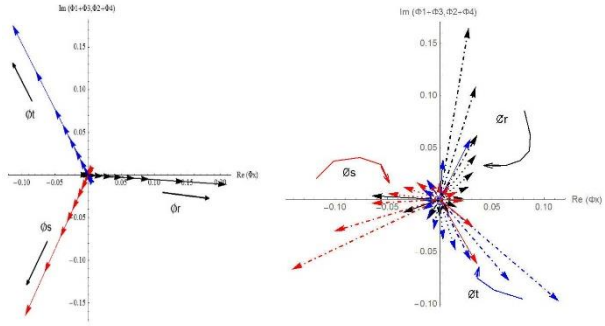
B.　VY 接続　Fu=n a F ; Fv=n F ; Fw=n a^2 F

$$\emptyset_1 = \frac{3(2+k-2n) \mp i(2-k+2n+2kn)\sqrt{3}}{16(1+k)R}F \cdots \quad (5)$$

$$\emptyset_2 = \frac{\{3(k+2n) \pm i(4+k-2n-2kn)\sqrt{3}\}}{16(1+k)R}F \cdots \quad (6)$$

C.　WZ 接続　Fu=n a^2 F ; Fv=n a F ; Fw=n F

異相接続では磁束の急激な変化ポイントはなく，巻数により、実数部と虚数部に異なる比例係数 k および巻回数 n が含まれており、タップ調整と負荷状態に対応した負荷電流の位相を調整することができる。



(a)　UX connection.　　(b) WZ connection.

Fig.4 Vector change of a magnetic flux in each phase.

4．まとめ

リアクトル始動器およびコンドルファ始動器では、これまでコンデンサによる補助位相調整により始動改善が行われ、減電圧効果が活かせる電流位相ができる。

5．参考文献

（1）JEM-TR226 (2003) 汎用インバータ（入力電流 20A 以下）の高調波抑制指針