

交流リアクトルの鉄心構造とその磁束分布

Iron core structure of the alternating current reactor and the magnetic flux distribution.

○一柳 龍伸¹, 早川 朝康¹

Tatsunobu Ichiyanagi¹, Tomoyasu Hayakawa¹

Induction motor and reactor equipment have been examined until now according to measured data.

In present report, relational expression which guided magnetic resistance and magnetic flux distribution in magnetic circuit constituted by magnetomotive force and electric circuit including induction motor by Mathematica is described.

1. まえがき

三相誘導電動機を可変速電動機として使用するには、インバータ装置が必要とされ、そのキャリア信号に伴う高調波低減対策としてリアクトルの利用が求められている。その三相リアクトルや変圧器は、E字とI字の珪素鋼板またはふた組のカットコアなどにより構成されており、磁気抵抗と起磁力より構成される磁気回路の磁束分布と、誘導電動機を含めた電気回路との関係が式として Mathematica により表現できる。

本報告では、三脚の通常リアクトルにける磁束分布変化の違いより、リアクトルの利用条件設定について述べる。

2. 鉄心構造と巻線配置による磁気回路

Fig.1 に二段式の三相鉄心と巻線の実配線, Fig.2 にその磁気抵抗と起磁力からなる磁気回路を示す。

通常のリアクトルに存在しない鉄心中段に設ける中間鉄心の有無により、二段式リアクトルの磁束分布は、相間コイルの解放および短絡などの条件設定により磁気回路の構成が変化することになる。

相間鉄心が無い状態での中間相(SおよびV相)の磁気抵抗比 k 、上段に対する下段の巻数比 n とした連立方程式は、次のような式で表せる。

$$\text{Solve} \left[\left\{ \begin{array}{l} Fr - Fs + Fu - Fv = \phi_1(R + R + kR) \\ -k\phi_2R + \phi_1(R + R + kR) - k\phi_2R \\ Fs - Ft + Fv - Fw = \phi_2(R + R + kR) \\ -k\phi_1R + \phi_2(R + R + kR) - k\phi_1R \end{array} \right\}, \{\phi_1, \phi_2\} \right]$$

条件 I -1 : 上段と下段が同じ相の通常接続

条件 I -2 : 上段と下段の相が異なる接続

条件 II : 対称座標上にあり $1 + a^2 + a = 0$ の位相関係

①UX接続 $Fr = F; Fs = a^2 * F; Ft = a * F; Fu = n * F;$
 $Fv = n * a^2 * F; Fw = n * a * F; (F = I * w)$

$$\phi_1 = \frac{3(2+k) \mp i(k-2)\sqrt{3}}{16(1+k)R} (1+n)F \quad \dots (1)$$

$$\phi_2 = \frac{3k \mp i(4+k)\sqrt{3}}{16(1+k)R} (1+n)F \quad \dots \dots \dots (2)$$

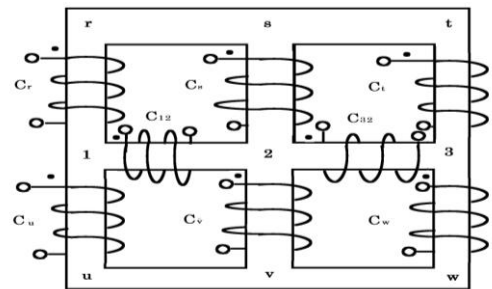


Fig.1 Two-stage reactor.

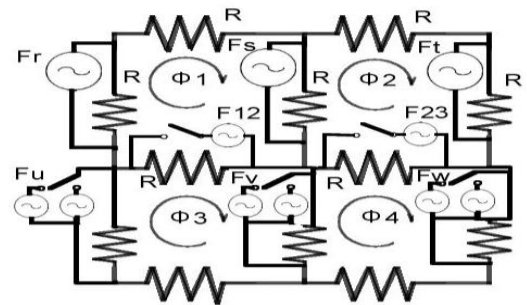


Fig.2 Magnetic circuit of Ttwo-stage reactor.

通常の UX 接続では式 (1), (2) および Fig.3 に示したように、上段に対する下段巻線が逆向きとなる「 $n = -1$ 」前後において、鉄心内の磁束の位相差が 180 度異なり、わずかな巻数の違いにより急激な過電流の発生を招く。この条件以外の巻回数では、抵抗成分とリアクタンス成分の比率が変化せず、 ϕ_1 および ϕ_2 の位相および大きさが「 $1+n$ 」に比例している。

これに対して、異相接続方式では、実数部と虚数部

1 : 日大短大・教員・基礎

異なる比例係数 k および n により式が構成され、Fig.4 のように通常接続のような急激な変化ポイントを持たないので、タップ調整により巻回数を変化させて磁束の位相等の調整が可能となる。負荷状態による起磁力の調整と負荷電流の位相調整と、互いの相が干渉しあいゼロクロスする条件が明確化されるので、安定したコモンアースが確保できる。さらに、コイルの持つ電流抑制効果と誘導起電力による電流位相調整により、軽負荷時の供給電圧の過電圧供給の抑止してインバータ装置による高調波ノイズを押さえることができる。鉄心断面積等による磁気抵抗比調整および巻回数調整による磁束位相調整が可能である。

下段の鉄心の高さ比 o を巻数比に比例させて解析を行ってもほぼ同様のデータが得られた。

$$\phi_1 = \frac{(1+n)\{3(3+k+o+ko) \pm i\sqrt{3}(3-k+n-kn)\}}{2(3+o)(3+2k+o+2ko)} \cdot \frac{F}{R}$$

$$\phi_2 = \frac{(1+n)\{3k(1+o) \mp i\sqrt{3}(6+k+2n+kn)\}}{2(3+o)(3+2k+o+2ko)} \cdot \frac{F}{R}$$

これに対して、WZ 接続では以下ようになる。

$$\phi_1 = \frac{3(2+2k-n+2o-no) \pm i\sqrt{3}(2k-3n-4kn-3no)}{2(1+2k+o)(3+2k+3o)} \cdot \frac{F}{R}$$

$$\phi_2 = \frac{3(1-2n+o-2kn-2no) \mp i\sqrt{3}(3+4k+3o-2kn)}{2(1+2k+o)(3+2k+3o)} \cdot \frac{F}{R}$$

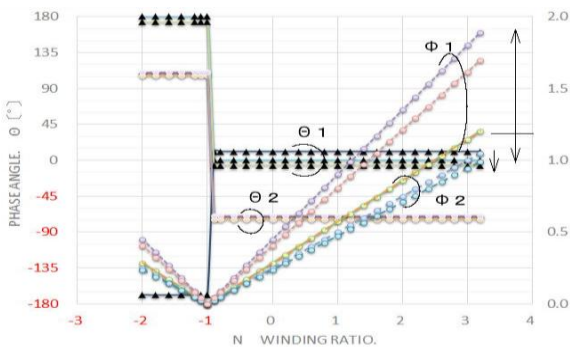


Fig.3 Magnetic flux and Phase change in UX connection.

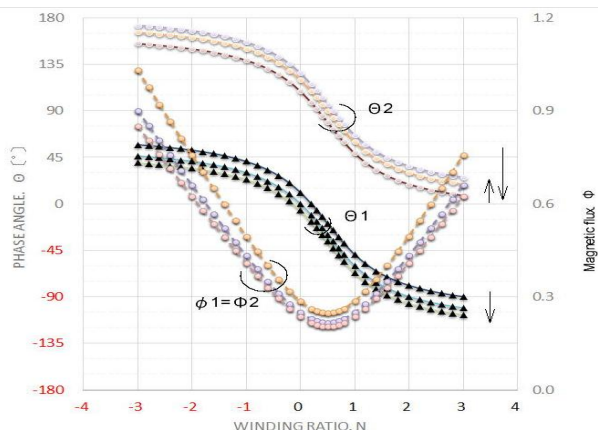


Fig.4 Magnetic flux and Phase change in WZ connection.

3. 二段リアクトルにおける磁気回路解析⁽¹⁾

中間鉄心（リアクトル中段の鉄心）の磁気抵抗係数を m を含んだ連立式で表され、中間鉄心の無い状態の磁気回路では、 $k=2$ として展開することができる。

相ごとに直流励磁を加えて電流位相を調整する（単相励磁）形式もある⁽²⁾が、本形式では下記の構成により各相の電流位相差を利用して、力率調整が行える⁽³⁾。

- ①上段の第一コイル（R,S,T 相コイル）
- ②下段の第二コイル（U,V,W 相コイル）
- ③中間鉄心の第三コイル（1-2,2-3 相間コイル）

$$\text{Solve } \begin{cases} Fr - Fs + Fa = \phi_1 (R + R + kR + mR) - k\phi_2 R - m\phi_3 R, \\ Fs - Ft + Fb = \phi_2 (R + R + kR + mR) - k\phi_1 R - m\phi_4 R, \\ Fu - Fv - Fa = \phi_3 (R + R + kR + mR) - m\phi_1 R - k\phi_4 R, \\ Fv - Fw - Fb = \phi_4 (R + R + kR + mR) - m\phi_2 R - k\phi_3 R, \\ \{\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4\} \end{cases}$$

同相正接続： $fx=fy$ and $\theta_x = \theta_y$ で $fz=0$ なので、 $dfz/dt=ez=0$ となり、同相逆接続： $fx=fy, \theta_x = -\theta_y$ の無誘導状態の循環電流が流れ、これにともなう発熱がある

・異相進相接続

順方向順接続（YV 逆接続）： $\theta_v < \theta_r, \theta_w < \theta_s, \theta_u < \theta_t$

逆方向順接続（WZ 正接続）： $\theta_w > \theta_r, \theta_u > \theta_s, \theta_v > \theta_t$

となり、 fx に対して位相の進んだ fy により電流が進む

・異相遅相接続

順方向逆接続（YV 正接続）：インバータ駆動による電流位相の進みすぎ低減と不安定駆動の解消・改善

逆方向逆接続：YV 逆接続と同様にインバータ駆動による不安定駆動の解消と力率改善

4. まとめ

上段と下段の磁束の位相差により、中間鉄心内の磁束変化が電流位相調整とする短絡設定では各相の磁束分布が解放設定と異なる調整を得ることができる。

中間鉄心に表れる fz は fx および fy により発生する起磁力で、電源へ直接接続して得られる起磁力ではない。coil 3 に短絡電流が流れて発生する漏れ磁束 fz の存在は、通常の UX 接続では説明および導き出すことが難しい。制御調整としては、インバータ駆動状態での定格負荷時および重負荷時において有効なものとなるので、商用電源利用状態では、起動直後の過電流が流れる状態において有効となり、制御動作が異なる。

参考文献

- (1):特許「交流リアクトル」,登録番号 4953302(2012/3/23)
- (2):田形磁路による可変インダクタの特性.[電気学会論文誌 B,122-B(4),(2002),561-570]前田,葵木,一ノ倉 他
- (3):「巻線配置によるリアクトルの磁気回路改善」, 2014 電気設備学会全国大会, E-19