

L-22

二段式リアクトルにおける磁束分布

— Mathematica を利用した交流リアクトルの磁気回路解析 —

Magnetic flux distribution in the two-stage reactor.

- Magnetic circuit analysis of the alternating current reactor using Mathematica. -

○早川 朝康¹, 一柳 龍伸¹

Tomoyasu Hayakawa¹, Tatsunobu Ichiyanagi¹

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

可変速電動機として使用されることが多くなった三相誘導電動機には、インバータ装置が必要とされるが、装置の力率改善に使用される交流リアクトルに対する検討はほとんど成されていない。

これまで実測データにより誘導電動機とリアクトル装置について検討してきたが、それらの関係は、磁気抵抗と起磁力により構成された磁気回路における磁束分布と、誘導電動機を含めた電気回路として Mathematica により関係式で表現することができた。

他のリアクトルにはない鉄心中間に設けた相間鉄心の有無、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構成およびその特性も変化する。

2. 本 論

中間に設ける相間鉄心付き三相リアクトル(二段式リアクトル)のコイル配置を図 1 に示す⁽¹⁾。

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。

- 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)

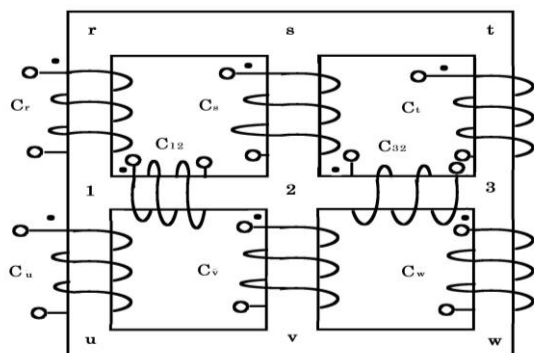


Fig.1 Two-stage reactor.

2-1 接続スイッチの設定条件

Coil 1,2 は、電源と負荷の中間に接続して供給電力調整を行うことができる。各々のスイッチの ON/OFF により、下記の①および②の設定により使用できる。

- ① 開路 Open circuit : 電源から負荷に流れる電流値に従って、コイルに起磁力を発生させる。
 - ② 閉路 Closed circuit : Coil 2 の両端を接続して、電源からの負荷電流が Coil 2 本体に流れない状態
- Coil 3 は、直接電源に接続せずそれぞれのスイッチの ON/OFF により、③および④の設定で使用できる。
- ③ 開放 Release : 他の起磁力源からの誘導起電力が発生するけれども、流れる電流は「ゼロ」
 - ④ 短絡 Short circuit : Coil3 の両端を接続して、他の起磁力源からの誘導を打ち消すように働く

2-2 リアクトルによる位相調整のための接続方法

電気回路内の各コイルの起電力 e_a 、電流 i_a 、磁気回路内の磁気抵抗 R 、磁束 Φ_i および各コイルの起磁力 f_{ab} 、コイル識別とスイッチの状態 C_{ab} により、二段式リアクトルは次のように分類することができる。

ただし、a: 第一段 Coil1,第二段 Coil 2,第三段 Coil 3 の総称 x, y, z, Coil 1 :x=r,s,t, Coil 2 :y= u,v,w, Coil 3 :z=1-2,2-3

- b: スwitchの状態を指定しない
 - o スwitchが開路設定、c スwitchが閉路設定
 - r スwitchが開放設定、s スwitchが短絡設定

I. UX 接続(同相接続)では、第一巻線と第二巻線がひとつのコイルとして働くので、中間の鉄心に磁束が流れずに上下両端の連絡鉄心に磁束が流れる。

条件① 通常接続 : 同相正接続 : UX 接続では $f_x=f_y$ and $\theta_x=\theta_y$ で $f_z=0$ なので、 $d f_z/d t=e_z=0$ となる

条件② 無誘導接続 (同相逆接続)

②-1 coil 3 Short circuit において $f_x=f_y, \theta_x=-\theta_y$ の無誘導状態となるので、負荷電流にともなう発熱がある

1 : 日大短大・教員・基礎

②-2 coil 3 Release において $f_x=f_y, \theta_x=-\theta_y$ となるが過飽和磁束状態では中間鉄心に磁束が流れる。

II. WZ 接続(逆相回転位相接続)では、供給巻線による起電力以上の大きさで示される誘導起電力が測定され、供給磁束に対して増幅される形で他の巻き線に振り分けられて、エネルギーバランスが取れる。

条件③ 異相進相接続

③-1:順方向逆接続 : YV 接続: $\theta_v < \theta_r, \theta_w < \theta_s, \theta_u < \theta_t$ となるが、coil 2 を逆向きとして電流位相を進める

③-2:逆方向順接続 : WZ 接続: $\theta_w > \theta_r, \theta_u > \theta_s, \theta_v > \theta_t$ となり、 f_x に対して位相の進んだ f_y により電流が進む

条件④ 異相遅相接続

④-1:順方向順接続 : YV 逆接続: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

④-2: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

2-3 Mathematica による特性解析

インバータ装置に利用されるリアクトルは、主に高調波ノイズ除去フィルター回路(低減用)として用いられ、力率改善に関しては軽負荷時における周波数(回転数)低減によるところが大きい。

これに対して本形式では、コイルの持つ電流抑制効果と、重負荷時におけるインバータ装置利用における電流位相の進みすぎの抑制に役立つ。異相接続ではリアクトル内のインピーダンスの低減により、負荷時のリアクトルにおける電位降下を低減できる。

昨年の研究で UX 接続および WZ 接続について 8 個の巻き線の極性測定を行った結果、Coil 3 の ON/OFF による各コイルの起電力の向きとして計測できた。

条件①の UX 接続では、位相および大きさが等しく、第三コイルに漏れ磁束としての変化が存在しない。

これに対して、条件③の異相進相接続における第三コイルの解放設定では、上段と下段の磁束の位相差により、中間鉄心内に磁束変化が存在するので、電流位相調整が可能となる。さらに、短絡設定では各相の磁束分布が解放設定とは異なる調整を得ることができる。

f_z は f_x および f_y により発生する起磁力であり、電源へ直接接続して得られる起磁力ではないので、coil 3 に短絡電流が流れて漏れ磁束ともいえる起磁力源となる。この f_z の存在は、通常接続の UX 接続では説明および導き出すことが難しく、全起磁力に対する要素との関係式は UX 接続(2)式、WZ 接続(3)となる。

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{24R} \begin{bmatrix} 7 & -5 & -2 & 2 & -1 & -1 & 5 & 1 \\ 2 & 5 & -7 & 1 & 1 & -2 & 1 & 5 \\ 2 & -1 & -1 & 7 & -5 & -2 & -5 & -1 \\ 1 & 1 & -2 & 2 & 5 & -7 & -1 & -5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_r \\ F_s \\ F_t \\ F_u \\ F_v \\ F_w \\ F_{12} \\ F_{23} \end{bmatrix} \dots (1)$$

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{24R} \begin{bmatrix} 7 & -5 & -2 & 2 & -1 & -1 \\ 2 & 5 & -7 & 1 & 1 & -2 \\ 2 & -1 & -1 & 7 & -5 & -2 \\ 1 & 1 & -2 & 2 & 5 & -7 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \\ F_d \\ F_e \\ F_f \end{bmatrix} \dots (2)$$

$$\begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{96R} \begin{bmatrix} 25 & -18 & -7 & 11 & -6 & -5 \\ 7 & 18 & -25 & 5 & 6 & -11 \\ 11 & -6 & -5 & 25 & -18 & -7 \\ 5 & 6 & -11 & 7 & 18 & -25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_a \\ F_b \\ F_c \\ F_d \\ F_e \\ F_f \end{bmatrix} \dots (3)$$

3. まとめ

これらの制御調整は、インバータ駆動状態では定負荷時および重負荷時において有効なものとなり、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、有効利用できる制御動作と異なるものです。

さらに、この起磁力分布の存在は、coil 1 と coil 2 の巻数比の違いにより、バランスが異なるもので、coil 1 と coil 2 を遮るように挿入させた鉄心の働きとして、全体の鉄心での磁束の動きとなり、電流位相変化が得られることとなります。

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

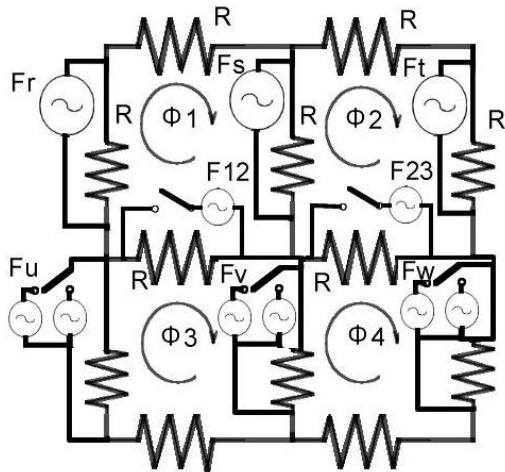


Fig.2 Magnetic circuit of Two-stage reactor. .