

三相分巻電動機の電流軌跡*

富士電機 製作部 大 富 眞

内 容 梗 概

本編では所謂 Schrage 型三相分巻電動機の電流軌跡に就いて述べてあるが、本編の目的は一次巻線、二次巻線及び整流子巻線の3巻線部分を有するこの種電動機の電流軌跡を求める時、二次回路のインピーダンス其他の諸数値を一次及び二次巻線の有効巻回数^{のみの比}を用ひて一次側に換算する事に必要な前提条件を明示するにある。第2章に於てその条件を明示し、第3章では或速度に於て所定出力を出す時の刷子角の算出式を説明し、第4章に於て圓線圖の實例を示してある。

1. 緒 言

Schrage 型三相分巻電動機は第1圖に示す如く（一相分のみを示す）一次巻線1、二次巻線2及び整流子巻線3とを備えて居る。これの電流軌跡を求めるのに Kostenko 氏は二次回路即ち巻線2及び3の回路の諸数値を一次側に換算する爲複雑な換算係数を算出して居るが、實用上には斯様に複雑な計算は不必要な事である。一般には一次巻線1及び二次巻線2の有効巻回数の比を用ひた換算係数で充分であり、多くの文献もそれを用ひて居る。然しこの換算係数は或前提条件のもとにのみ成立する事を何れの文献も明示して居ない。偶々電流値算出の爲に置かれた假定条件中に上記前提条件を含む事があるが、その假定条件が換算係数と關聯する事は指摘されて居ない。従つて中には上記の換算係数を用ひ乍らその前提条件と矛盾した基本式を用ひた文献もある。そこで茲ではその前提条件を明確にして置き度いと思ふのである。

2. 電流のベクトル式

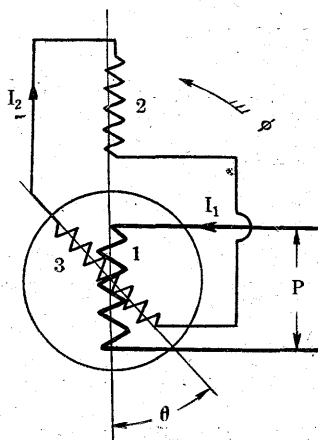
第1圖に示される一相分の接續圖に就いて一次及び二次回路に對し夫々下の式が得られる。但し總ての磁氣回路の飽和は考慮しないものとする。

$$\begin{aligned} \dot{P} - j\omega L_{11}\dot{I}_1 - j\omega L_{21}\dot{I}_2 + j\omega L_{31}\dot{I}_3 \varepsilon^{j\theta} \\ - \dot{I}_1 r_1 = 0 \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} j s \omega L_{22}\dot{I}_2 + j\omega L_{33}\dot{I}_2 + j s \omega L_{12}\dot{I}_1 - j s \omega L_{32}\dot{I}_3 \varepsilon^{j\theta} \\ - j\omega L_{13}\dot{I}_1 \varepsilon^{-j\theta} - j\omega L_{23}\dot{I}_2 \varepsilon^{-j\theta} \\ + \dot{I}_2 (r_2 + r_3) = 0 \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

但し P=電源電壓、 I=電流、

L=誘導係數、 r=抵抗、
 ω =電源周波數に對する角速度、
s=滑り、 θ =刷子軸角度（電氣角）



第 1 圖

添字 1, 2 及び 3 は夫々一次巻線 1、二次巻線 2 及び整流子巻線 3 の値を示し、又例へば L_{11} は巻線 1 の自己誘導係數、 L_{12} は巻線 2 に對する巻線 1 の相互誘導係數を示すものとする。

式 (1) 及び (2) より

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{P}}{j\omega L_{11} + r_1 + \frac{\omega^2 (L_{21} - L_{31} \varepsilon^{j\theta}) (s L_{12} - L_{13} \varepsilon^{-j\theta})}{j\omega (s L_{22} + L_{33} - s L_{32} \varepsilon^{j\theta}) - L_{23} \varepsilon^{-j\theta}} + r_2 + r_3} \dots \dots \dots (3)$$

今 l=單位巻回数に對する誘導係數
z=有効巻回数

とすれば、(3) 式分母は下の如く書き變へられる。

$$(3) \text{ 式分母} = j\omega l_1 z_1^2 + r_1 - j\omega l_2 z_1^2 + j\omega l_3 z_1^2$$

* Current Diagram of 3-phase Shunt Motors

$$+ \frac{\omega^2(l_{21}z_2z_1 - l_{31}z_3z_1\epsilon^{j0})(sl_{12}z_1z_2 - *}{j\omega(sl_{22}z_2^2 + l_{33}z_3^2 - sl_{32}z_3z_2\epsilon^{j0} - *}$$

$$* \frac{l_{13}z_1z_3\epsilon^{-j0}}{l_{23}z_2z_3\epsilon^{-j0} + r_{2+3}} \dots\dots\dots(3)$$

分數項の分子に $(z_1/z_2)^2$ を乗じ

$$= j\omega l_{11}z_1^2 + r_1 - j\omega l_{12}z_1^2 + j\omega l_{12}z_1^2$$

$$+ \frac{\omega^2(l_{21}z_1^2 - l_{31}z_1^2 k\epsilon^{j0})(sl_{12}z_1^2 - *}{j\omega(sl_{22}z_1^2 + l_{33}z_1^2 k^2 - sl_{32}z_1^2 k\epsilon^{j0} - *}$$

$$* \frac{l_{13}z_1^2 k\epsilon^{-j0}}{l_{23}z_1^2 k\epsilon^{-j0} + r_{2+3}(z_1/z_2)^2}$$

但し $k = z_3/z_2 = (z_{3max}/z_2) \times \sin \frac{\beta}{2}$

z_{3max} = 整流子巻線の最大有効巻回数

β = 刷子角 (電氣角)

今 $l_{13} = l_{11} = l_{33}, l_{23} = l_{21}$ 即ち巻線 1 と 3 との間には

漏洩磁束なしとすれば

$$(3) \text{ 式分母} = jx_1 + r_1 + jx_0 + \frac{\{x_0 - (x_0 + x_1)k\epsilon^{j0}\} \times *}{js(x_2' + x_0) + j(x_1 + x_0)k^2}$$

$$* \frac{\{sx_0 - (x_0 + x_1)k\epsilon^{-j0}\}}{-jsx_0k\epsilon^{j0} - jx_0k\epsilon^{-j0} + r_{2+3}} \dots\dots(4)$$

但し x_1, x_2 及び x_0 は夫々電源周波数に於ける一次巻線、二次巻線漏洩リアクタンス及び勵磁リアクタンスである。

dash を附したのは $(z_1/z_2)^2$ を乗じて一次側に換算した値である。分數項の分子を z_0 で除し (3) 式に代入すれば

$$\dot{i}_1 = \dot{P} \frac{r_{2+3}'/jx_0 + k\{(1+x_1/x_0)k - \epsilon^{-j0}\} + s(1+x_2'/x_0)*}{(jx_1 + r_1 + jx_0)\{s(1+x_2'/x_0) + (1+x_1/x_0)k^2\}}$$

$$* \frac{-k\epsilon^{j0}}{-s k \epsilon^{j0} - k\epsilon^{-j0} + r_{2+3}'/jx_0} -$$

$$* \frac{j\{1 - (1+x_1/x_0)k\epsilon^{j0}\}\{sx_0 + (x_0+x_1)k\epsilon^{-j0}\}}{\dots\dots\dots(5)}$$

r_1 を省略して整理を行ふと *

$$\dot{i}_1 = \dot{P} \frac{r_{2+3}'/jx_0 + k\{(1+x_1/x_0)k - \epsilon^{-j0}\} *}{jsx_1 + jsx_2'(1+x_1/x_0) +}$$

$$* \frac{+s(1+x_2'/x_0 - k\epsilon^{j0})}{r_{2+3}'(1+x_1/x_0)} \dots\dots\dots(6)$$

同様にして二次電流 \dot{i}_2 は

$$\dot{i}_2 = \dot{P} \frac{-s + (1+x_1/x_0)k\epsilon^{-j0}}{jsx_1 + jsx_2'(1+x_1/x_0) + r_{2+3}'(1+x_1/x_0)} \times$$

$$(z_1/z_2) \dots\dots\dots(7)$$

次に一次側に換算した二次電流値を I_2 とすれば

$$\dot{I}_2(1 - k\epsilon^{j0}) = \dot{I}_1 - \dot{i}_0$$

$$= \dot{I}_1 - \frac{\dot{P} - j\{\dot{I}_1 - \dot{I}_2(z_3/z_1)\epsilon^{j0}\}x_1}{jx_0}$$

これに (6) 及び (7) 式を代入して計算すると

$$\dot{I}_2(1 - k\epsilon^{j0}) = \dot{P} \frac{s - (1+x_1/x_0)k\epsilon^{-j0} *}{r_{2+3}'(1+x_1/x_0) + jsx_1 +}$$

$$* \frac{jsx_2'(1+x_1/x_0)}{jsx_2'(1+x_1/x_0)} (1 - k\epsilon^{j0})$$

$$\text{即ち } \dot{I}_2 = \dot{P} \frac{s - (1+x_1/x_0)k\epsilon^{-j0} *}{r_{2+3}'(1+x_1/x_0) + jsx_1 +}$$

$$* \frac{jsx_2'(1+x_1/x_0)}{jsx_2'(1+x_1/x_0)} = -\dot{I}_2(z_2/z_1) \dots\dots(8)$$

となる。而して (6) 及び (8) 式の結果は總て一次側に於ける諸數値を以て成立する下の基本の 3 式から r_1 を無視して算出した結果と全く合致するのである。

$$\dot{P} = \dot{E}_1 + j(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 k\epsilon^{j0})x_1 + \dot{i}_1 r_1 \dots\dots\dots(9)$$

$$s\dot{E}_1 - k(\dot{P} - \dot{I}_1 r_1)\epsilon^{-j0} = \dot{I}_2(r_{2+3}' + jsx_2') \dots\dots\dots(10)$$

$$\dot{i}_0 = \frac{\dot{E}_1}{jx_0} = \dot{I}_1 - (\dot{I}_2 - \dot{I}_2 k\epsilon^{j0}) \dots\dots\dots(11)$$

以上に依つて次の如く結論する事が出来る。即ち總ての磁路の飽和を考慮せず、一次巻線と整流子巻線との間に漏洩磁束なしと假定すれば、二次側イムピーダンスは $(z_1/z_2)^2$ を乗じ、二次電流は z_2/z_1 を乗じて一次側に換算する事が出来る。

3. 出力と刷子角度

(6) 式に依つて與へられる一次電流の滑り s に對する軌跡は電源電壓 P を基準ベクトルとした圓で表はされ事は明かである。然しその圓を畫くに際しては或速度に於て所要出力を出す爲の刷子角度従つて k の大きさを決定せねばならない。

r_1 を無視して (9) 式より

$$\dot{E}_1 = \dot{P} - j(\dot{I}_1 + \dot{I}_2 k\epsilon^{j0})x_1$$

$$= \dot{P} \frac{r_{2+3}' + jsx_2' + jx_1 k\epsilon^{-j0}}{r_{2+3}'(1+x_1/x_0) + jsx_1 + jsx_2'(1+x_1/x_0)} \dots\dots\dots(12)$$

(12) 及び (8) 式より

$$3(\dot{E}_1 \dot{I}_2) = 3\dot{P}^2 \cdot \frac{\{s - (1+x_1/x_0)k \cos\theta\} (r_{2+3}' *}{r_{2+3}'^2(1+x_1/x_0)^2 + s^2\{x_1 +$$

$$* \frac{+x_1 k \sin\theta\} + (1+x_1/x_0)k \sin\theta(sx_2' *}{x_2'(1+x_1/x_0)^2}$$

$$* \frac{+x_1 k \cos\theta\}}{\dots\dots\dots(13)}$$

* r_1 を省略することは必要な條件ではない。只結果を簡單ならしめる爲に r_1 を省略するのである。

θ は一般に甚だ小なる値であるから上式は實用上次の如き近似式を用ふる事が出来る。

$$3(\dot{E}_1 \dot{I}_2) \simeq 3P^2 \cdot \frac{s r'_{2+3} - r'_{2+3}(1+x_1/x_0)k + *}{r'^2_{2+3}(1+x_1/x_0)^2 + s^2 \{x_1 + * \frac{s \{x_1 + (1+x_1/x_0)x'_2\} \theta k}{+ x'_2(1+x_1/x_0)}\}^2} \dots\dots\dots (13)$$

$3(\dot{E}_1 \dot{I}_2)$ は二次入力を表はすもので、機械的出力(摩擦損を含む)を $(1-s)$ で除したものに等しい。従つて (13) 式から或速度に於て所定出力に対する k の大きさを求める事が出来、その k を用ひて (6) 式よりその刷子角度に於ける電流軌跡を畫く事が出来る。

4. 圓線圖の作圖と一例

(6)(8)或は(13)式中の r'_{2+3} には刷子の接觸抵抗に相當する抵抗値を含むのであるが、これは二次電流 I_2 の大きさに依つて變る。従つて初め所定負荷に對する I_2 の大きさを推定して r'_{2+3} を算出し、(13)式より k を求め、その k, r'_{2+3} を用ひて (8) 式より I_2 従つて I_2 の大きさを計算して初めの推定値を檢討する必要がある。整流子巻線の刷子間の抵抗値は刷子角に依つて異なるわけであるが、*一般に二次巻線の抵抗及び刷子接觸抵抗を考慮すればこれは無視しても差支へない。今下の如き定數を有する分巻電動機の圓線圖を一例として掲げる。

$r'_{2+3} \simeq 0.053 \Omega, \quad x_1 + (1+x_1/x_0)x'_2 = 0.195 \Omega$
 $x_0 \simeq 2.87 \Omega, \quad 1+x_1/x_0 \simeq 1.04, \quad 1+x'_2/x_0 \simeq 1.03$
 $P = 200 \div \sqrt{3} = 115V, \quad z_3/z_2 = 0.63, \quad z_2/z_1 = 0.75$
 $s = 0.6$ に於て出力 12.5 kW (摩擦損を含む) なる圓線圖を畫く。但し $\theta = 3^\circ \simeq 0.0525$ ラジアンとする。

(13) 式より

$$\frac{12500}{1-0.6} = 3(115)^2 \times \frac{0.6 \times 0.053 - 0.055k + *}{(0.055)^2 + (0.6)^2 \times \frac{*}{(0.195)^2}}$$

これより

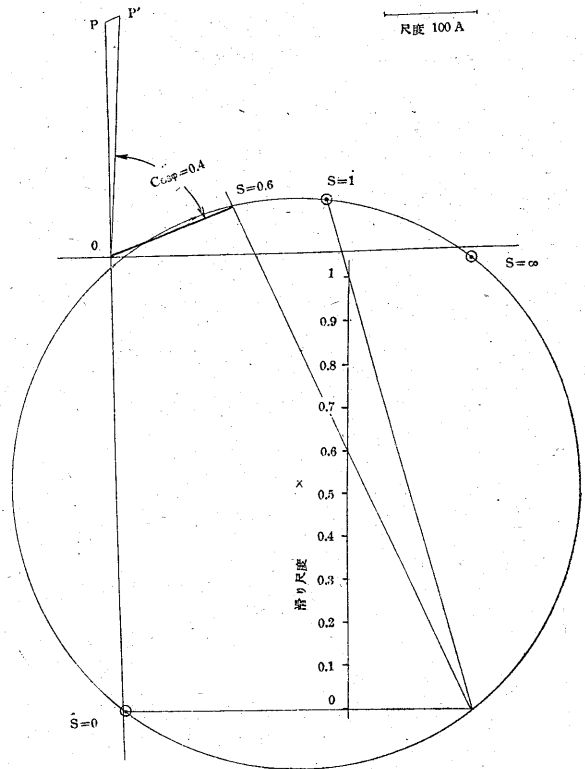
$$k = 0.378 = 0.63 \sin \frac{\beta}{2}, \quad \beta \simeq 73.5^\circ$$

(6) 式に入れて

$$\dot{I}_1 = 115 \frac{-0.229 + j 0.00135 + s(0.652 - j 0.01985)}{0.055 + s j 0.195}$$

即ち

$$\dot{I}_{1s=0} = -480 + j 2.8$$



第 2 圖

$$\dot{I}_{1s=1} = 55.1 - j 234$$

$$\dot{I}_{1s=\infty} = -11.7 - j 385$$

の三つのベクトルの尖端を通る圓を畫けば求める圓線圖となる。第2圖はそれを示すもので、圖に於てOPは基準とした電源電壓であるが、前述の如くこの作圖には一次抵抗を無視してある故或る滑りに於ける力率其他を一層正確を期す場合には、一次抵抗電壓降下に相當してPP'をとりOP'を電源電壓とすればよい。

即ちこの場合の一次力率は 0.40 となる。

二次電流の大きさは (8) 式より

$$\dot{I}_2 \simeq 115 \frac{0.6 - 1.04 \times 0.378(1 - j 0.0525)}{0.055 + j 0.6 \times 0.195} = 95 - j 159$$

$$|\dot{I}_2| = \frac{|195 - j 159|}{0.75} = 247 \text{ A}$$

となる。

5. 結 言

Schrage 型分巻電動機の特性算出或は圓線圖作圖に

* 整流子巻線の抵抗は $\beta = 0 \sim \pm 120^\circ$ の間は β の大きさに比例し、 $\pm 120^\circ \sim \pm 180^\circ$ の間は一定と考へられる。(文献 2 参照)

當つて二次側インピーダンス其他の數値を一次側に換算する時、その換算係數として一次及び二次巻線の有効巻回數の比或はその自乗のみを以てするには總ての磁路に飽和の現象の無い事と、一次巻線と整流子巻線との間には漏洩磁束の無い事が前提條件として必要である。従つて一部の文献に於て、一方に於て上記の換算係數を使用しながら他方整流子巻線に依る刷子間電壓として $kE_i \epsilon^{-j\theta}$ と置くか或は一次抵抗を無視しない場合 $kP \epsilon^{-j\theta}$ と置くのは理論的に何れも誤りであると云へる。

一次巻線と整流子巻線との間には漏洩磁束なしとする假定は實用上何等差支へないのである。

[参考文献]

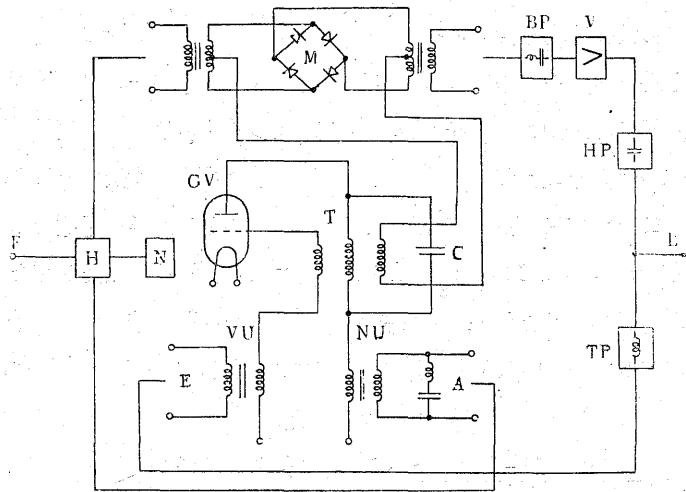
1. M.P. Kostenko. Arch, f Elektr. XXIII B.S. 413, 1930
2. M.P. Kastenko, E.u.M. S. 101, H.6, 1931
3. 伊藤奎二, 電氣學會雜誌 大正9年12月號 741頁.
4. M. J. Rudra, R.G.E. P. 49, Tome XLVI No. 2, 1939.
5. H. Schack-Nielsen, Arch. f. Elektr. XXXII B. S. 187, 1938
6. 鶴筒泰三郎, 電氣學會第二十回専門講習會豫稿10頁

搬送波發信器が增幅器を兼ねた簡易搬送通信装置

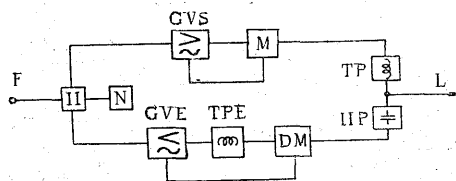
(特許第 132078 號)

本装置は搬送波發振管が同時に增幅管として作用する様になし、全装置を著しく簡単にしたもので携帯用に特に適當するものである。斯種の装置では發振管に增幅の餘裕を與へる爲に發振周波の振幅を制限する必要があるが、本装置では變調器或は復調器を構成する非直線性素子を振幅制限に利用する事により装置の簡易化を圖ると共に、振幅制限器に無駄に消費される勢力を有効出力として利用し得る様にした。上圖は所謂二帯域電話に使用した例を示すものでGVは

搬送波發振兼低周波增幅管である。F側よりの送話はハイブリッド線路Hを経て變調器Mに至りGVにより發生された搬送波を變調し、帯域濾波器BPにより下側帯域が抽出され、Vで增幅され高域濾波器HPを経て線路Lに送られる。線路L側から低周波通信が到來すれば、低域濾波器TPを経てGVの入力側Eより變成器VUによりGVに與へられ、*



*此處で增幅され、變成器NUより出力側Aに出でHよりF側に送られる。GVの變成器Tは搬送周波の饋還結合及び變調器への搬送波供給を司り、低周波出力變成器NUは增幅された低周波の送出行ふと共振回路により搬送波がAに出づるを阻止する。搬送波の振幅制限は變調器の整流素子によつて行つてゐる。下圖は兩方向通信とも搬送波帯域を使用する場合の例でG



V Sは送信方向に於ける搬送波發振並びに變調器Mにより變調された側波帯の增幅を行ふ。GVEは受信方向に於ける搬送波發振器なると共に復調器DMにより生じた低周波の增幅作用を兼備するものである。TP及びTPEは低域濾波器、HPは高域濾波器を示す。此處でもM及びDMが搬送波の振幅制限を行つてゐる。又送受兩方向に同一搬送波を使用する際は低周波增幅器を兩方向の搬送波發振器として兼用する様に回路を變更する事も出来る。

(富士通信機 石川靜一)



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。