

単相電源による三相負荷平衡運転条件の図式解法

入 佐 俊 幸

(受理 昭和 47 年 5 月 31 日)

A GRAPHICAL SOLUTION OF THE BALANCED OPERATING CONDITIONS OF A 3-PHASE LOAD SUPPLIED BY A SINGLE PHASE SOURCE

Toshiyuki IRISA

When a single phase source supplies a symmetrical 3-phase load which consists of ordinary or equivalent admittances Y_l 's, we can operate the load at balanced conditions by means of an external phase convertor. Usually it consists of two admittances \dot{Y}_{e1} and \dot{Y}_{e2} . The following relation between \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} and \dot{Y}_l must be satisfied to realize the balanced operation, that is $\dot{Y}_l + \sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \epsilon^{j30^\circ} = -\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \epsilon^{-j30^\circ}$.

This expression can be described graphically in the form of the parallelogram, its diagonal being the vector of the load admittance \dot{Y}_l . The two sides of this characteristic parallelogram represent the vectors $\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \epsilon^{j30^\circ}$ and $\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \epsilon^{-j30^\circ}$. Therefore from these two vectcors we can determine \dot{Y}_{e1} and \dot{Y}_{e2} .

This graphical solution can also utilize it to study the performance of a 3-phase induction generator connected with the single phase source and operated at balanced conditions.

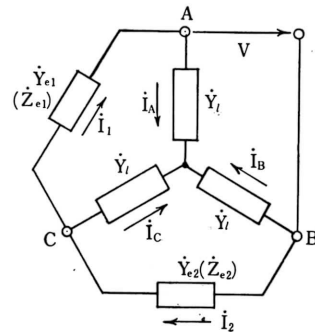
1. ま え が き

三相誘導電動機に外部移相用アドミタンスを接続して単相電源で運転する、いわゆるモノサイクリック電動機の平衡運転に必要な条件を見出すための図式解法については既に報告¹⁾があるが、この図式解法を拡張すれば一般の対称三相負荷の場合にも適用することができることを示した。外部移相用アドミタンスとしては、コンデンサ、インダクタンス、抵抗の各種組合せについて詳しく考察しその適用範囲を図式的に解明し、且つその適用例として三相誘導発電機について述べている。

2. 平衡運転の条件式とその図式表示

第1図において \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} を外部移相用アドミタンス, \dot{Y}_l を対称三相負荷のアドミタンスとし単相電源の電圧を V とすれば, 負荷端子に印加される逆相分相間電圧 \dot{V}_n は次式で表わされる¹⁾。

$$\dot{V}_n = \frac{1}{\sqrt{3}(\dot{Z}_{e1} + \dot{Z}_{e2})} \{ V(\dot{Z}_{e1} \epsilon^{-j30^\circ} + \dot{Z}_{e2} \epsilon^{j30^\circ}) + \dot{Z}_{e1} \dot{Z}_{e2} \dot{I}_c \epsilon^{j90^\circ} \} \quad (1)$$



第1図 単相運転の対称三相負荷の接続図

ここに $\dot{Z}_{e1} = 1/\dot{Y}_{e1}$, $\dot{Z}_{e2} = 1/\dot{Y}_{e2}$ である。
負荷電圧が平衡しているとすれば

$$\dot{V}_n = 0 \quad (2)$$

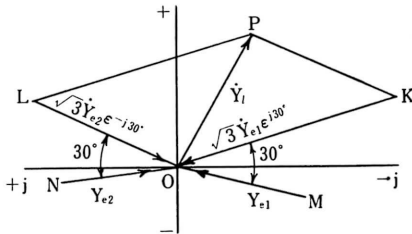
平衡状態にあるときの \dot{I}_c は次式で表わされる。

$$\dot{I}_c = \frac{V}{\sqrt{3}} \dot{Y}_l \epsilon^{-j90^\circ} \quad (3)$$

この \dot{I}_c の式を (1), (2) 式に代入して, \dot{Z}_{e1} , \dot{Z}_{e2} を \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} に置きかえると,

$$\dot{Y}_1 + \sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ} = -\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ} \quad (4)$$

この(4)式が負荷に平衡三相電圧を印加し平衡運転をおこなわせる際に \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} , \dot{Y}_1 が満たしていなければならない関係を表わしている, すなわち負荷の平衡運転の条件式である。

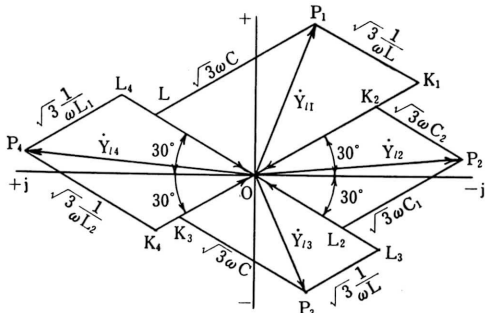


第2図 平衡運転条件平行四辺形

第2図において \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} のベクトルをそれぞれ \overline{MO} , \overline{NO} とし, $\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ}$, $\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ}$ のベクトルをそれぞれ \overline{KO} , \overline{LO} とすると, (4) 式の平衡条件式から負荷アドミタンス \dot{Y}_1 のベクトルは平衡四辺形 $OKPL$ の対角線 \overline{OP} で表わされることを知る. \dot{Y}_1 のベクトルを対角線とする平行四辺形は無数に考えられるから, 負荷アドミタンス \dot{Y}_1 が与えられた場合, この負荷を平衡運転させる \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} の組合せは無数に存在する. \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} の構成成分としては抵抗 R , コンデンサ C , インダクタンス L のいろいろの組合せが存在するので, 次節でこれらの組合せについて考察してみたい。

3. 外部移相用アドミタンスの構成成分として C , L 使用の場合

3.1 \dot{Y}_{e1} を C , \dot{Y}_{e2} を L で構成する場合
 $\dot{Y}_{e1} = j\omega C$, $\dot{Y}_{e2} = -j \frac{1}{\omega L}$ となり, 第3図においてベ



第3図 移相用アドミタンスとして L_1C を用いた場合の平衡条件平行四辺形

クトル $K_1\overline{O}$, $L_1\overline{O}$ がそれぞれ $\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ} = j\sqrt{3} \omega C \varepsilon^{j30^\circ}$, $\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ} = -j\sqrt{3} \frac{1}{\omega L} \varepsilon^{-j30^\circ}$ を表わし, 平衡条件平行四辺形は $L_1OK_1P_1$ となり, 負荷アドミタンス \dot{Y}_{11} は対角線 \overline{OP}_1 である。

$C=0$ 従つて $\dot{Y}_{e1}=0$ の場合には \overline{OP}_1 は \overline{OL}_1 と一致する. また $L=\infty$ 従つて $\dot{Y}_{e2}=0$ の場合には \overline{OP}_1 は \overline{OK}_1 と一致する. 故に \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} をそれぞれ C , L で構成するときは負荷アドミタンス \dot{Y}_{11} のベクトルは $\widehat{K_1OL_1}$ の角度内に存在することを要する。

3.2 \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} をそれぞれ C_1 , C_2 で構成する場合
 $\dot{Y}_{e1} = C\omega j_1$, $\dot{Y}_{e2} = j\omega C_2$ となり第3図で $K_2\overline{O}$, $L_2\overline{O}$ が $\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ}$, $\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ}$ を表わし, 平行四辺形 $L_2OK_2P_2$ の対角線 \overline{OP}_2 が負荷アドミタンス \dot{Y}_{12} である。

$C_1=0$ 従つて $\dot{Y}_{e1}=0$, $\dot{Y}_{e2}=j\omega C_2$ のみの場合は \overline{OP}_2 は \overline{OL}_2 と一致する. \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} とともにコンデンサで構成するときは負荷アドミタンスのベクトル \dot{Y}_{12} は $\widehat{L_2OK_2}$ の角度内に存在することを要する。

3.3 \dot{Y}_{e1} を L , \dot{Y}_{e2} を C で構成する場合

$\dot{Y}_{e1} = -j \frac{1}{\omega L}$, $\dot{Y}_{e2} = j\omega C$ となり第3図において $K_3\overline{O}$, $L_3\overline{O}$ がそれぞれ $\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ}$, $\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ}$ を表わし, 平行四辺形 $L_3OK_3P_3$ の対角線 \overline{OP}_3 が負荷アドミタンス \dot{Y}_{13} を表わす。

$C=0$ すなわち $\dot{Y}_{e2}=0$ で $\dot{Y}_{e1} = -j \frac{1}{\omega L}$ のみの場合には \overline{OP}_3 は \overline{OK}_3 と一致する. 故に \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} がそれぞれ L , C で構成される場合には負荷アドミタンス \dot{Y}_{13} は $\widehat{K_3OL_3}$ の角度内に存在することを要する。

3.4 \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} がそれぞれ L_1 , L_2 で構成される場合

$\dot{Y}_{e1} = -j \frac{1}{\omega L_1}$, $\dot{Y}_{e2} = -j \frac{1}{\omega L_2}$ となり第3図で $\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ}$, $\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ}$ はそれぞれ $K_4\overline{O}$, $L_4\overline{O}$ で表わされる. 平行四辺形 $L_4OK_4P_4$ の対角線 \overline{OP}_4 が負荷アドミタンス \dot{Y}_{14} を表わす. 故に \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} がともにインダクタンスで構成される場合には負荷アドミタンス \dot{Y}_{14} は $\widehat{K_4OL_4}$ の角度内に存在することを要す。

上述のことから負荷アドミタンスのベクトル \dot{Y}_1 がベクトル平面内のいづこに存在する場合においても外部移相用アドミタンスとして L , C を適当に選定することにより単相電源によつて負荷端子に平衡三相電圧を供給し平衡運転をおこなわせることができることを知る。

4. 外部移相用アドミタンスの構成成分として L , C , R を使用する場合

前節で述べたことから明かなように \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} を L , C で構成するときは, ある与えられた負荷に対応する 1 組の \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} が必ず存在するので, これでいかなる負荷に対しても平衡運転を可能とするには充分である. しかし同一定格の小容量標準電動機では必ずしも内部アドミタンスが完全に等しいことは期待しがたく, 同一負荷に対する等価アドミタンス \dot{Y}_{sp} が若干異なることがある. かかる場合はそれに応じ L , C の値の調整を要するが, むしろ調整抵抗 R を L , C と組み合わせ使用することが有利である²⁾ ので, この場合について考えてみる.

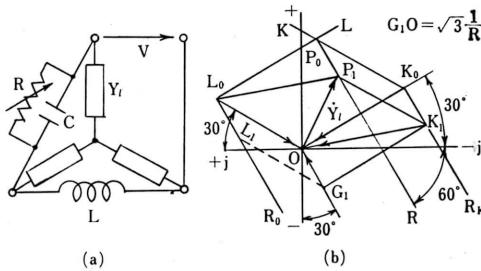
4.1 \dot{Y}_{e1} が C と R の並列回路で \dot{Y}_{e2} が L で構成される場合 (第4図)

$$\dot{Y}_{e1} = j\omega CR + \frac{1}{R},$$

$$\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ} = j\sqrt{3} \omega C \varepsilon^{j30^\circ} + \sqrt{3} \frac{1}{R} \varepsilon^{j30^\circ}.$$

$$\dot{Y}_{e2} = -j \frac{1}{\omega L},$$

$$\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ} = -j\sqrt{3} \frac{1}{\omega L} \varepsilon^{-j30^\circ}.$$



第4図 (a) 接続図 (b) 平衡条件平行四辺形

第4図 (b) において $\overline{K_0O} = j\sqrt{3} \omega C \varepsilon^{j30^\circ}$, $\overline{L_0O} = -j\sqrt{3} \frac{1}{\omega L} \varepsilon^{-j30^\circ}$ とすると平行四辺形 $L_0OK_0P_0$ は R のない場合の平衡条件を表わす平行四辺形で, この場合の負荷アドミタンスは $\overline{OP_0}$ である.

$\overline{G_1O}$ を $\sqrt{3} \frac{1}{R} \varepsilon^{j30^\circ}$ とすると (b) 図において

$$\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ} = \overline{K_0O} + \overline{G_1O} = \overline{K_0O} + \overline{K_1K_0} = \overline{K_1O}$$

平衡条件平行四辺形を $L_0OK_1P_1$ とすると図から明かな通り四辺形 $P_1K_1K_0P_0$ は平行四辺形で $\overline{P_1P_0} = \overline{K_1K_0} = \overline{G_1O}$ であるから負荷アドミタンス $\overline{OP_1}$ の頂点 P_1

は $\overline{G_1O}$ に平行な, すなわち図示の様に虚軸と 60° の角度を有する直線 $\overline{P_0R}$ 上に $\overline{G_1O}$ の長さに等しく P_0P_1 をとつて求められる. 抵抗 R を変化すると P_1 点は $\overline{P_0R}$ 線上を移動する.

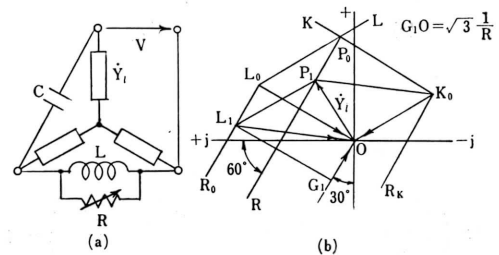
C の値を変化させると P_0 点は L_0L 線上を移動し, これに従つて $\overline{P_0R}$ 線は平衡移動する. もし $C=0$ すなわち \dot{Y}_{e1} が R のみで構成されるときは P_0 は L_0 と一致し $\overline{P_0R}$ 線は L_0R_0 線の位置にくる.

Y_{e2} の L を変化させるときは P_0 点は K_0K 線上を移動する. もし $L=\infty$ 換言すると \dot{Y}_{e2} を取り除くと P_0 は K_0 と一致し $\overline{P_0R}$ 線は K_0R_K 線の位置にくる.

負荷アドミタンス OP_1 が与えられると P_1 点を通り虚軸と 60° の角度をなす $\overline{P_0R}$ 線が定まる. P_0 点の位置は L , C , R の3要素のうち1つを選定すると定まるとは第4図 (b) から明かである. 例えば C の値を適当に選定すると $\sqrt{3} \omega C = OK_0$ から K_0 点が決まり, K_0 を通つて虚軸と 30° の角度をなす K_0K 線を引き, これと $\overline{P_0R}$ 線との交点で P_0 点が決まる. $P_0P_1 = \sqrt{3} \frac{1}{R}$, $P_0K_0 = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{\omega L}$ から R, L が求められる.

4.2 \dot{Y}_{e1} を C , \dot{Y}_{e2} を L と R との並列回路で構成する場合 (第5図)

\dot{Y}_{e2} に R の存在しない L のみの場合の平衡条件平行四辺形を第5図 (b) に示すように $L_0OK_0P_0$ とする.



第5図 (a) 接続図 (b) 平衡条件平行四辺形

$$\sqrt{3} \dot{Y}_{e1} \varepsilon^{j30^\circ} = j\sqrt{3} \omega C \varepsilon^{j30^\circ} = \overline{K_0O}$$

$$\sqrt{3} \dot{Y}_{e2} \varepsilon^{-j30^\circ} = \sqrt{3} \left(-j \frac{1}{\omega L} + \frac{1}{R} \right) \varepsilon^{-j30^\circ}$$

$$= \overline{L_0O} + \overline{G_1O} = \overline{L_0O} + \overline{L_1L_0} = \overline{L_1O}$$

平衡条件平行四辺形は $L_1OK_0P_1$ となり, 負荷アドミタンスは $\overline{OP_1}$ で表わされる. 四辺形 $L_1P_1P_0L_0$ は平行四辺形であるから $\overline{P_1P_0} = \overline{L_1L_0} = \overline{G_1O}$ 故に $\overline{P_0R}$

線は図の様に虚軸と 60° の角度をなす。 R の値が変化すると P_1 はこの P_0R 線上を移動する。

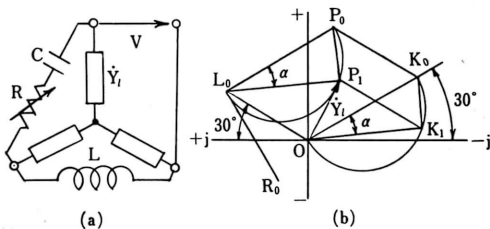
L を変化させると P_0 点は K_0K 線上を移動しこれに従って P_0R 線は平行移動する。もし $L=\infty$ すなわち \dot{Y}_{e2} が抵抗 R のみで構成されているときは P_0R 線は K_0R_K 線の位置にくる。

C を変化させると P_0 は L_0L 線上を移動し P_0R 線はこれに従って平行移動する。もし $C=0$ すなわち $\dot{Y}_{e1}=0$ のときは P_0 は L_0 と一致し P_0R 線は L_0R_0 の位置にくる。

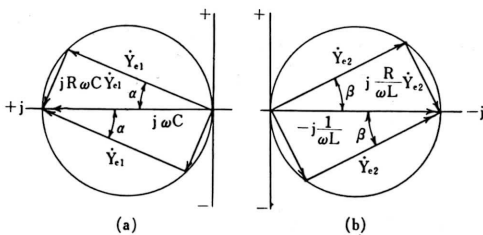
負荷アドミタンス $\overline{OP_1}$ が与えられると P_0R 線が定まり、 P_0 点の位置は前節の場合と同様に $CLR3$ 要素のうち1要素が与えられると定まるので、残り2要素は直ちに決定されることは第5図(b)から明かである。

4.3 \dot{Y}_{e1} を C と R の直列回路で、 \dot{Y}_{e2} を L で構成する場合(第6図)

C と R の直列回路で R が可変の場合のアドミタンス \dot{Y}_{e1} のベクトル軌跡は第7図(a)の様に $j\omega C$ を直径とする半円となる。ここでは作図の便宜上下方の半円の形で使用する。 $\alpha = \tan^{-1} R\omega C$ である。



第6図 (a) 接続図 (b) 平衡条件平行四辺形



第7図 アドミタンスベクトル軌跡
(a) CR 直列, (b) LR 直列

R の存在しない場合の平衡条件平行四辺形を第6図(b)において $L_0OK_0P_0$ とする。

R を考慮した場合の $\sqrt{3}\dot{Y}_{e1}\varepsilon^{j30^\circ}$ のベクトル軌跡は $j\sqrt{3}\omega C\varepsilon^{j30^\circ}$ のベクトル $\overline{K_0O}$ を直径とする半円

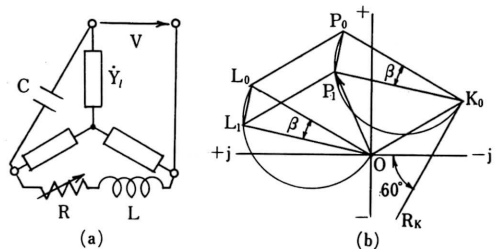
OK_1K_0 である。この円周上の K_1 点に対して $\overline{K_1O}$ と $\overline{L_0O}$ とで平行四辺形を描くとその対角線 $\overline{OP_1}$ が負荷アドミタンス \dot{Y}_1 を表す。 $\triangle K_0OK_1$ と $\triangle P_0L_0P_1$ は相等しいから R の値が変化する場合に P_1 点の軌跡は P_0L_0 を直径とする半円であつて、半円 K_0K_1O と等しい。

L あるいは C が変化すると4.1節で述べたと同様に P_0 が移動するのでこれに従って P_1 点も移動する。

もし $L=\infty$ すなわち $\dot{Y}_{e2}=0$ のときは P_1 の軌跡は半円 K_0K_1O となり P_1 と K_1 とは一致する。また $C=0$ すなわち $\dot{Y}_{e1}=0$ とし \dot{Y}_{e2} として L のみ使用するときは $\overline{OP_1}$ は $\overline{OL_0}$ と一致する。

負荷アドミタンス $\overline{OP_1}$ が与えられるときは L の値を適当に選定すると $\sqrt{3}\frac{1}{\omega L}=L_0O$ が定まり L_0 点がきまるので L_0P_1 と直角に P_1P_0 線を引き虚軸と 30° の角度をなす直線 L_0P_0 との交点を P_0 とし P_0L_0 が定まる。 $P_0L_0=\sqrt{3}\omega C$ より C が求められる。 C が定まると $R=\tan\alpha/(\omega C)$ から R が求められる。もし C の値を先きに選定すると $\sqrt{3}\omega C=K_0O$ として $\overline{K_0O}$ が定まり半円 OK_1K_0 が描かれるので P_1 を通り虚軸と 30° の傾きをなす P_1K_1 を引いて半円との交点として K_1 が定まり、 $P_1K_1=L_0O=\sqrt{3}/(\omega L)$ より L が求められる。 R は $R=\tan\alpha/(\omega C)$ より求められる。

4.4 \dot{Y}_{e1} を C 、 \dot{Y}_{e2} を L と R の直列回路で構成する場合(第8図)



第8図 (a) 接続図 (b) 平衡条件平行四辺形

L と可変抵抗 R との直列回路アドミタンス \dot{Y}_{e2} のベクトル軌跡は第7図(b)の様に $-j/(\omega L)$ を直径とする半円となる。ここでは作図の便宜上下方の半円の形で使用する。 $\beta = \tan^{-1} R/(\omega L)$ である。

R の存在しない基本回路の平衡条件平行四辺形を第8図(b)のように $L_0OK_0P_0$ とする。 R を考慮した場合の $\sqrt{3}\dot{Y}_{e2}\varepsilon^{-j30^\circ}$ のベクトル軌跡は $-j\sqrt{3}/(\omega L)\varepsilon^{-j30^\circ}$ のベクトル $\overline{L_0O}$ を直径とする半円 OL_1L_0 で

ある。この円周上の L_1 点については $\overline{L_1O}$ と $\overline{K_0O}$ とで平行四辺を描くとその対角線 $\overline{OP_1}$ が負荷アドミタンスを表わす。 $\triangle L_0OL_1$ と $\triangle P_0K_0P_1$ とは相等しい。故に R が変化する場合 P_1 点の軌跡は P_0K_0 を直径とする半円であつて、半円 L_0L_1O と相等しい。

もし $C=0$ すなわち \dot{Y}_{e1} の回路を開き \dot{Y}_{e2} のみとすると、 P_1 の軌跡は半円 L_0L_1O となり P_1 は L_1 と一致する。また $L=0$ とし \dot{Y}_{e2} を R のみで構成する場合には $\tan\beta=R/(\omega L)=\infty$ となり、 $\beta=90^\circ$ で P_0K_0 と直角、すなわち図示の様に虚軸と 60° の傾きをなす K_0R_K 線上に P_1 は存圧し、 \dot{Y}_{e2} は $1/R$ のみであるから K_0P_1 の長さは $\sqrt{3}Y_{e2}=\sqrt{3}/R$ である。この場合については既に 4・2 節で特別の場合として述べた。

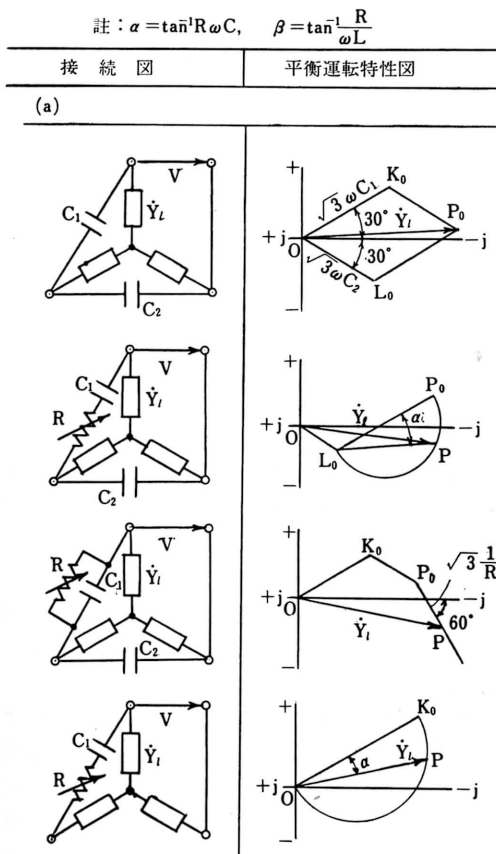
負荷アドミタンス OP_1 が与えられたときは L の値を適当に選定すると $L_0O=\sqrt{3}/(\omega L)$ として $\overline{L_0O}$

が定まるので半円 L_0L_1O が描かれる。 P_1 を通り虚軸と 30° の傾きを有する P_1L_1 線を引き半円 L_0L_1O との交点を L_1 とすると $\overline{P_1L_1}=\overline{K_0O}$ でその長さは $\sqrt{3}\omega C$ に等しいから C の値が求められる。 R の値は $R=\omega L \tan\beta$ から求める。また、もし C の値を先に選定する場合は $\overline{K_0O}$ が定まるので $\overline{K_0P_1}$ に直角に P_1P_0 線を引き、虚軸と 30° の傾きを有する K_0P_0 線との交点を P_0 とし K_0P_0 が定まる。 $K_0P_0=OL_0=\sqrt{3}/(\omega L)$ の関係から L が求められる。 R の値は $R=\omega L \tan\beta$ から定められる。

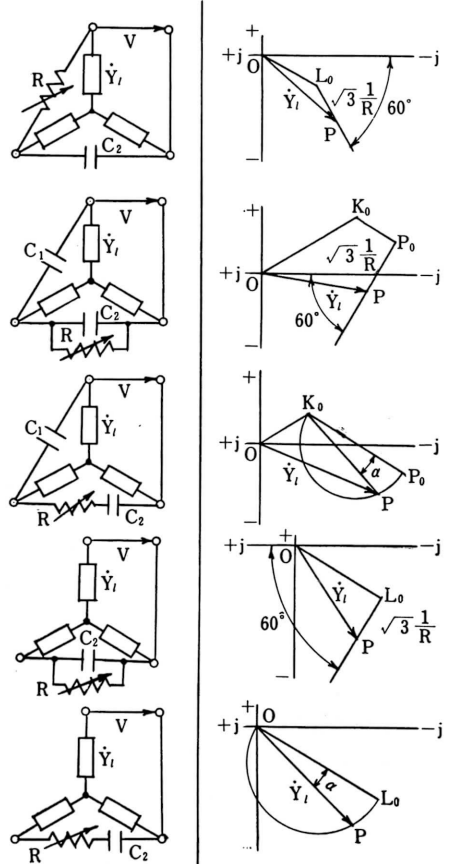
以上 $[\dot{Y}_{e1}=j\omega C, \dot{Y}_{e2}=-j/(\omega L)]$ なる基本回路と抵抗 R との組合せについて考えたが、これを第1基本回路とし、第2、第3、第4の基本回路として $[\dot{Y}_{e1}=j\omega C, \dot{Y}_{e2}=j\omega C]$ 、 $[\dot{Y}_{e1}=-j/(\omega L), \dot{Y}_{e2}=j\omega C]$ 、 $[\dot{Y}_{e1}=-j/(\omega L), \dot{Y}_{e2}=-j/(\omega L)]$ がある。これらについても、その基本回路の平衡条件平行四辺

第 1 表 平 衡 運 転 特 性 図 表

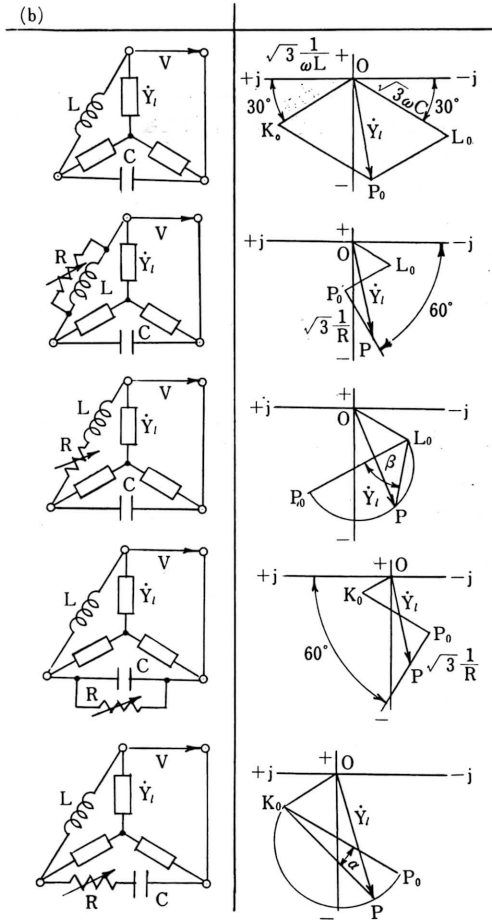
第 1 表 1



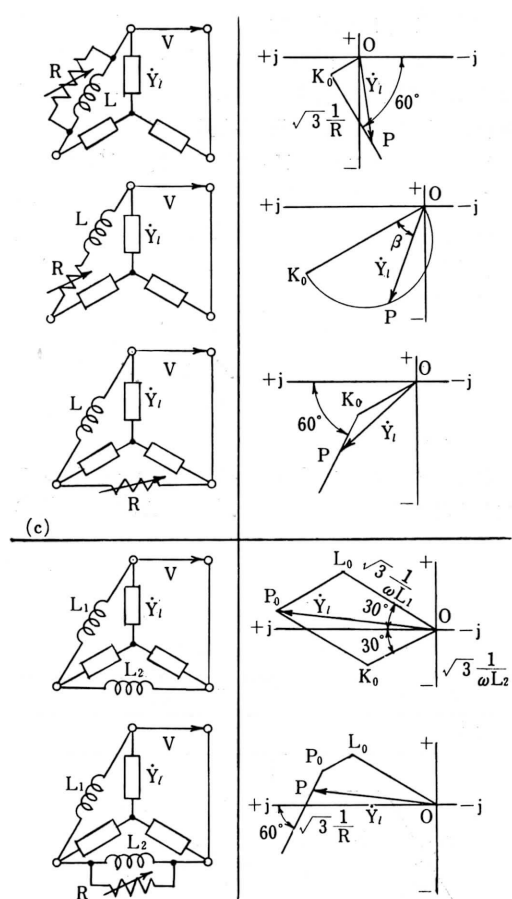
第 1 表 2



第1表 3



第1表 4



形を上述の様に $L_0OK_0P_0$ とすれば、上述と全く同様に取扱うことができるので、これらについてはその導出の説明は省き、その結果をとりまとめて第1表(a), (b), (c)に示した。

これまでは R が L または C と直列あるいは並列に接続された場合についてのみ述べたが、その他の場合についても上述の結果を組合せて同様な考え方で図式的に解くことができる。例えば基本回路第1において C と L にそれぞれ調整抵抗が直列に接続されている場合には、4・3節と4・4節とで説明した結果を組合せて考えることで、その調整範囲がいかに拡大変化するかが直ちに明かになる。

なお Franz Sauerland 他²⁾ がモノサイクリック方式 (Steinmetz 接続) 三相誘導電動機の平衡運転を目的とした外部移相用アドミタンスとして RLC の組合せの一部について計算式より求めた結果を発表して

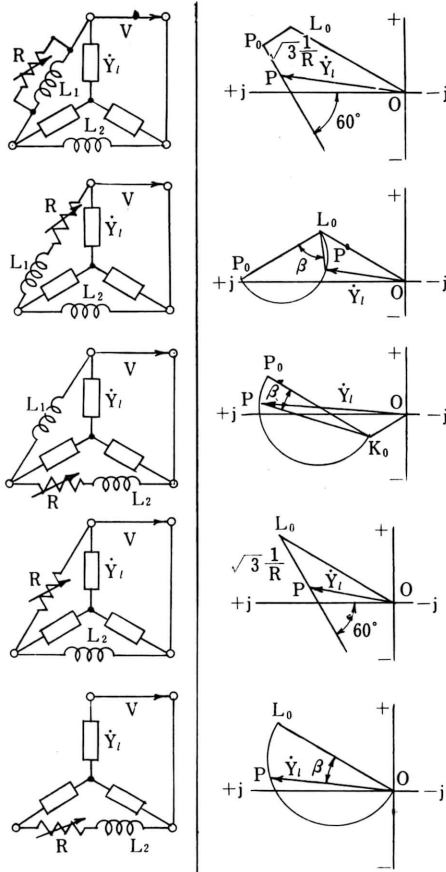
いる。

5. 単相電源に接続された三相誘導発電機への応用

普通の LCR で構成されたアドミタンスのベクトルは第2図の第1第4象限に存在するが、三相誘導機の円線図を考える場合、そのアドミタンスベクトルは電動機として動作しているときは第4象限内に、また誘導発電機として動作するときには大部分第3象限内にある。ここでは単相電源に接続された対称三相誘導機が発電機として動作する場合の図式的取扱いについて述べる。

第9図(a)に示す様に外部移相用アドミタンス \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} を有する対称三相誘導発電機 IG が単相電源に接続されており、且つ負荷として対称三相星形結線のアドミタンス \dot{Y}_l を有するものとする。ただし移相用アドミタンスとしてはコンデンサ C , インダクタ

第1表 5



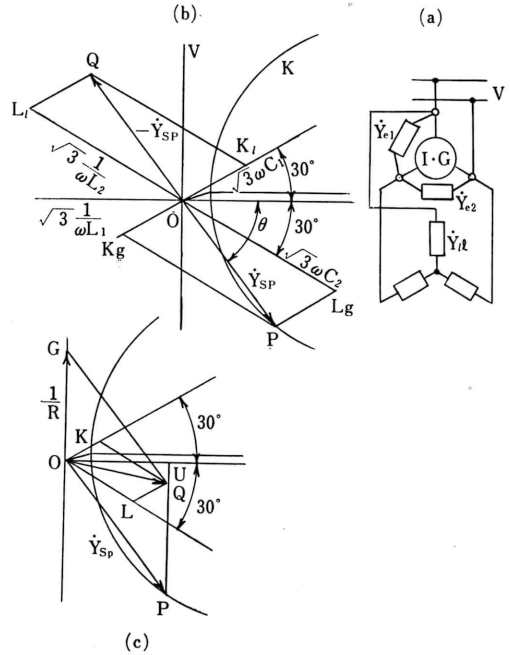
ンス L を使用する。

第9図(b)の円 K は三相誘導機の円線図でアドミタンスで目盛られているものとする。円線図の発電機領域の P 点に対するアドミタンス \overline{OP} を \dot{Y}_{sp} とする。

5.1 負荷アドミタンス \dot{Y}_t が $-\dot{Y}_{sp}$ と等しい場合

第9図(b)の如く $\dot{Y}_{sp} = \overline{OP}$ と虚軸との角度 θ が 30° より大きいと仮定すると3.3節で述べたように平衡条件を満足する \dot{Y}_{e1} はインダクタンス, \dot{Y}_{e2} はコンデンサで構成されるので, それぞれ $-j\frac{1}{\omega L_1}$, $j\omega C_2$ とする。そして平衡条件平行四辺形は図示のように $K_g P L_g O$ である。

負荷アドミタンス \dot{Y}_t は $-\dot{Y}_{sp} = -\overline{OP}$ と等しいから, そのベクトルは \overline{OP} と反対方向で長さの等しい \overline{OQ} である。3.1節で説明したように, 負荷アドミ



第9図 (a) 接続図 (b) 平衡条件平行四辺形, 負荷 $-\dot{Y}_{sp}$ (c) 同, 負荷抵抗 R

タンス \overline{OQ} に対して平衡条件を満足する \dot{Y}_{e1} はコンデンサ, \dot{Y}_{e2} はインダクタンスで構成されるので, それぞれ $\dot{Y}_{e1} = j\omega C_1$, $\dot{Y}_{e2} = -j\frac{1}{\omega L_2}$ とする。平衡条件平行四辺形は $K_l Q L_l O$ であつて平行四辺形 $K_g P L_g O$ と相等しい。四辺形の各辺の長さは図示のようになるので $\omega C_1 = 1/(\omega L_1)$, $\omega C_2 = 1/(\omega L_2)$ である。

\dot{Y}_{sp} と \dot{Y}_t とが第9図(a)のようになるとともに単相電源に接続されているときは, 平衡条件を満足するためには \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} は \dot{Y}_{sp} に対応するものと, \dot{Y}_t に対応するものとが並列に存在しなければならない。そして, その合成された値は次のようになる。

$$\dot{Y}_{e1} = j\omega C_1 - j\frac{1}{\omega L_1} = 0$$

$$\dot{Y}_{e2} = j\omega C_2 - j\frac{1}{\omega L_1} = 0$$

すなわち移相用アドミタンスを接続しないで端子電圧は対称三相電圧となり, 誘導発電機と負荷の相電流は等しくなるから, 単相電源を切り離せば普通の自励三相誘導発電機として運転される。

上では角 θ を 30° 以上と仮定したが, これは単に図を大きく明瞭に描く目的であつて, θ が 30° 以下では \dot{Y}_{e1} , \dot{Y}_{e2} の構成成分は \dot{Y}_{sp} に対しては2つともコン

デンサとなり、 \dot{Y}_l に対しては2つともインダクタンスとなる点が上述の場合と異なるが、全く同様に取扱うことができ同一結果をうる。

なお、第9図(b)のベクトル図の \overline{OP} と負荷 \overline{OQ} の関係は一定の動作電圧の場合の自励三相誘導発電機の無負荷損失を考慮した普通のベクトル図と本質的には同じである³⁾。

5.2 負荷アドミタンス \dot{Y}_l が $-\dot{Y}_{sp}$ に等しくない場合

負荷が抵抗 R でそのコンダクタンス $1/R$ を第9図(c)で \overline{OG} とする。単相電源から見ると負荷は \overline{OG} と \dot{Y}_{sp} とであるから、その合成アドミタンス \overline{OQ} に対して平衡条件平行四辺形 $OLQK$ を描く。 \overline{OQ} はこの場合虚軸との角度は 30° より小さいので、 \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} はともにコンデンサで、それぞれ C_1 、 C_2 とする。 $OK=\sqrt{3}\omega C_1$ 、 $OL=\sqrt{3}\omega C_2$ の関係から C_1 、 C_2 を求めて \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} を決定する。

この例では負荷の消費電力は $3OGV^2=3PQV^2$ で、発電機出力は $3PUV^2$ であるから、 $3QUV^2$ の電力は単相電源へ供給される。この際の発電機の電圧電流は勿論対称三相電圧電流である。負荷が接続されていない場合には発電機は全部単相電源へ供給される。また、もし負荷の要求電力が発電機出力より大きい場合には不足分は単相電源から供給される。

負荷が R の他に LC を含む一般の場合も上述と同様に取扱うことができる。

6. む す び

単相電源から給電される負荷が対称三相接続のアド

ミタンスあるいは等価アドミタンス \dot{Y}_l なるときは外部移相用アドミタンス \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} により、単相電圧を対称三相電圧に変換して負荷を平衡運転させることをうる。この \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} を決定するには図式解法によると負荷 \dot{Y}_l のベクトルを対角線とする平行四辺形を作ると、その2辺が $\sqrt{3}\dot{Y}_{e1}e^{j30^\circ}$ 、 $\sqrt{3}\dot{Y}_{e2}e^{-j30^\circ}$ を表わすので、これから \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} が簡単に決定される。 LC を組合せた4種類の \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} によりいかなる負荷に対しても平衡運転が可能である。しかし調整容易な抵抗 R を LC と組合せると便利なこともある。 RLC の組合せは多数あるが、この場合でも上記平行四辺形の原理を利用すると、図式的に容易に平衡運転を可能ならしめる \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} を決定できる。なお、この図式解法を単相電源に接続された三相誘導発電機に適用すると次のことが簡単に説明できる。すなわち発電機の等価アドミタンス \dot{Y}_{sp} のとき $-\dot{Y}_{sp}$ に相当する負荷を接続するときは自励三相発電機となる。負荷が $-\dot{Y}_{sp}$ に相当するもの以外の場合は発電機出力と負荷の要求電力との間の過不足は単相電源電力により平衡される。無負荷のときは発電機出力は全部単相電源に供給される。そしてこの場合の発電機は \dot{Y}_{e1} 、 \dot{Y}_{e2} により対称三相電圧、電流を維持する。

終りに御指導を賜った元本学教授西山卓夫博士に感謝の意を表します。

文 献

- 1) 西山：電学誌，90，10，120，昭45-10。
- 2) Franz Sauerland u. Paul Vaske：ETZ-A，80，5，133，1959。
- 3) 電気学会編：電気機器各論，374，昭42。