

コンデンサ電動機特性の図式解法

中 村 喜 太 郎

1. ま え が き

一般に諸特性の等式を求めることは比較的容易であるが、これを用いて実際計算することは相当煩雑な手数を要するので、図式解法があれば便利である。コンデンサ電動機特性を図式的に求める方法については、従来からいろいろ研究され、すでにいくつかの論文⁽¹⁾が発表されている。筆者がこれから述べようとしていることは、それとは異なった図式的特性計算法である。すなわち解析の結果、対称分アドミタンスを用いた形式で与えられた対称分電圧は、主巻線を各相巻線とする対称2相誘導電動機の円線図がかかかれていれば、これより容易に図式的に求まるので、この対称分電圧を用いて、コンデンサ電動機特性を算定することができる。また、この方法によれば、平衡運転状態を実現するための、外部そう入コンデンサ容量も、容易に図式的に求めることができる。なお西山氏は⁽²⁾、3相誘導電動機の単相運転特性の算定にこのような手法を用いているが、コンデンサ電動機特性の算定に関するものはみられないので、以下これについて述べる。

2. 対称分電圧と平衡運転条件

いま、主巻線の抵抗、漏れリアクタンスおよび電流をそれぞれ r_1, x_1 および I_M 、補助巻線の抵抗、漏れリアクタンスおよび電流をそれぞれ r_a, x_a および I_A 、電源電圧を V 、補助巻線 w_A と主巻線 w_M の有効巻数比を α 、主巻線を各相巻線とする対称2相誘導電動機としての励磁リアクタンスおよび励磁損失抵抗をそれぞれ x_m および r_0 、同様な2次1相の抵抗および漏れリアクタンスをそれぞれ r_2' および x_2' 、外部そう入コンデンサの損失抵抗およびリアクタンスをそれぞれ r_c および x_c とすれば、コンデンサ電動機を等価的に図1のよう表わすことができる。すなわちコンデンサ電動機は、主巻線を各相巻線とする対称2相誘導電動

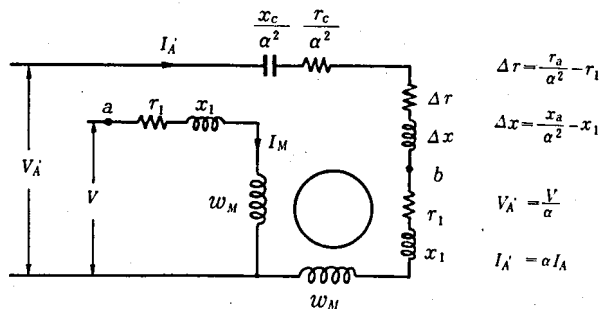


図 1

機に、不平衡インピーダンスが直列に接続されていて、これに2相電圧が印加されている場合に相当する。

さて、主巻線に印加されている電圧 \dot{V} を基準にしたときの、端子a, bにおける端子電圧の正相分を \dot{V}_p 、逆相分を \dot{V}_n とすると、コンデンサ電動機に2相対称座標法を適用することにより、次式が得られる。

$$\dot{V} = \dot{V}_p + \dot{V}_n \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{\dot{V}}{\alpha} = (j\dot{V}_p - j\dot{V}_n) + \frac{1}{\alpha^2}(\Delta Z + Z_c) \dot{I}_A' \quad \dots\dots\dots(2)$$

また、(2)式において

$$\Delta Z + Z_c \equiv 1/\dot{Y}_c'$$

とおき、さらに

$$\dot{I}_A' = j(\dot{V}_p \dot{Y}_p - \dot{V}_n \dot{Y}_n)$$

なる関係を代入して整理すれば、(2)式は

$$\dot{V} = \dot{V}_p \left\{ j\alpha \left(1 + \frac{\dot{Y}_p}{\alpha^2 \dot{Y}_c'} \right) \right\} - \dot{V}_n \left\{ j\alpha \left(1 + \frac{\dot{Y}_n}{\alpha^2 \dot{Y}_c'} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots(3)$$

となる。よって、(1)式および(3)式から、

$$\begin{aligned} \dot{V}_p &= \dot{V} \frac{\{\alpha^2 \dot{Y}_c' (1-j/\alpha) + \dot{Y}_n\}/2}{\alpha^2 \dot{Y}_c' + (\dot{Y}_p + \dot{Y}_n)/2} \\ &= \frac{\dot{V} \cdot \alpha^2 \dot{Y}_c' (1-j/\alpha) \dot{V} + \dot{Y}_n \dot{V}}{2 \alpha^2 \dot{Y}_c' \dot{V} + (\dot{Y}_p + \dot{Y}_n) \dot{V}/2} \quad \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{V}_n &= \dot{V} \frac{\{\alpha^2 \dot{Y}_c' (1+j/\alpha) + \dot{Y}_p\}/2}{\alpha^2 \dot{Y}_c' + (\dot{Y}_p + \dot{Y}_n)/2} \\ &= \frac{\dot{V} \cdot \alpha^2 \dot{Y}_c' (1+j/\alpha) \dot{V} + \dot{Y}_p \dot{V}}{2 \alpha^2 \dot{Y}_c' \dot{V} + (\dot{Y}_p + \dot{Y}_n) \dot{V}/2} \quad \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

が得られる。

次に、コンデンサ電動機が平衡運転状態にある場合は、(5)式の逆相電圧 V_n が零であるから

$$\alpha^2 \dot{Y}_c' (1+j/\alpha) + \dot{Y}_p = 0 \quad \dots\dots\dots(6)$$

すなわち

$$\dot{Y}_c' / \{\dot{Y}_c' + \dot{Y}_p/\alpha^2\} = j\alpha \quad \dots\dots\dots(7)$$

なる平衡運転条件が得られる。

3. 対称分電圧およびトルクの図式的算定法

3-1 各種電流の図式表示と対称分電圧

図2のM点を中心とする半円は、主巻線を各相巻線とする対称2相誘導電動機の円線図である。いま、P点におけるすべりをsとすれば、 \overrightarrow{OP} は正相電流 $\dot{Y}_p \dot{V}$ を表わし、これに対応するすべり(2-s)に対する点をNとすれば、 \overrightarrow{ON} は逆相電流 $\dot{Y}_n \dot{V}$ を表わす。

次に、すべり1および無限大の点をそれぞれ S_1 、 S_∞ 、円の中心をMとし、これら3点を通る補助円mをえがく。そして、点Pと点Nとを結ぶ直線が補助円mと交わる点をRとすれば、

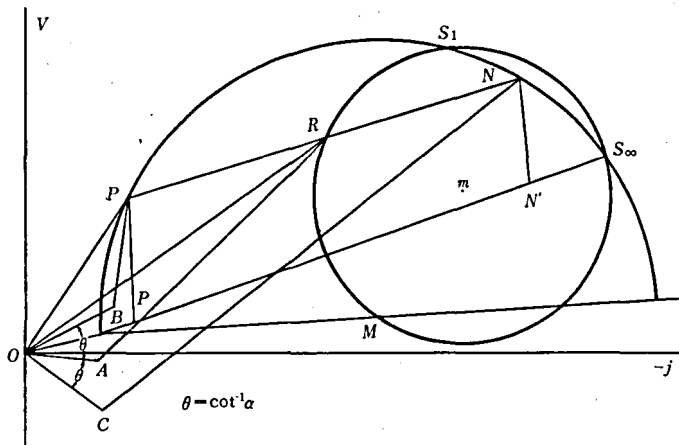


図 2

$$\overrightarrow{OR} = \frac{1}{2} (\overrightarrow{OP} + \overrightarrow{ON}) = \frac{1}{2} (\dot{Y}_p \dot{V} + \dot{Y}_n \dot{V})$$

となることは、Richter氏の著書に示されている。

また、外部そう入アドミタンスとしてコンデンサを用いた場合、図2の中のベクトル \overrightarrow{AO} 、 \overrightarrow{BO} および \overrightarrow{CO} はそれぞれ

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AO} &= \alpha^2 \dot{Y}_c' \dot{V} \\ \overrightarrow{BO} &= \alpha^2 \dot{Y}_c' (1-j/\alpha) \dot{V} \\ \overrightarrow{CO} &= \alpha^2 \dot{Y}_c' (1+j/\alpha) \dot{V} \end{aligned}$$

を表わす、したがって

$$\begin{aligned} \overrightarrow{AR} &= \alpha^2 \dot{Y}_c' \dot{V} + (\dot{Y}_p \dot{V} + \dot{Y}_n \dot{V}) / 2 \\ \overrightarrow{BP} &= \alpha^2 \dot{Y}_c' (1+j/\alpha) \dot{V} + \dot{Y}_p \dot{V} \\ \overrightarrow{CN} &= \alpha^2 \dot{Y}_c' (1-j/\alpha) \dot{V} + \dot{Y}_n \dot{V} \end{aligned}$$

よって、(4)式の \dot{V}_p および(5)式の \dot{V}_n の絶対値は

$$|\dot{V}_p| = \frac{V}{2} \cdot \frac{CN}{AR} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$|\dot{V}_n| = \frac{V}{2} \cdot \frac{BP}{AR} \quad \dots\dots\dots(9)$$

として、図式的に求めることができる。

図3は、上述の方法によって、400W, 100V, 60c/s, 4Pのコンデンサ電動機(東芝製)について求めた結果を示す。ただし、供試電動機の定数は、次の通りである。

- $r_1 = 1.119 \Omega$
- $r_2' = 1.254 \Omega$
- $x_1 = 1.764 \Omega$
- $x_2' = 1.764 \Omega$
- $x_m = 53.97 \Omega$
- $\Delta r = 1.873 \Omega$
- $\alpha = 1.432$

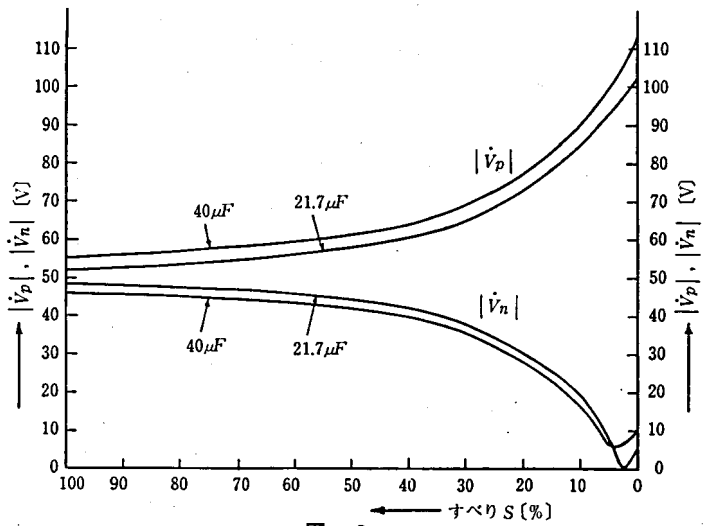


図 3

3-2 速度—トルク特性

主巻線を各相巻線とする対称2相誘導電動機に、大きさVなる対称2相電圧が加わったとき、すべりsにおけるトルク T_p 、すべり(2-s)におけるトルク T_n は、それぞれ図2の

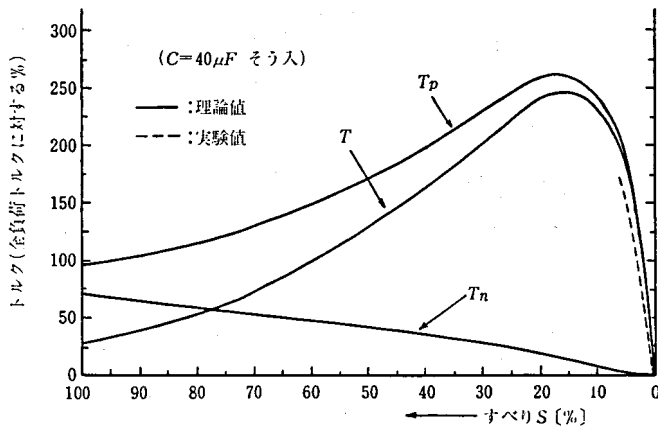


図 4

$\overline{PP'}$, $\overline{NN'}$ として得られる。したがって、コンデンサ電動機がすべり s で運転しているときの発生トルク T は、(8)式の V_p および(9)式の V_n を用いれば、

$$T = 2 \left\{ T_p \left| \frac{V_p}{V} \right|^2 - T_n \left| \frac{V_n}{V} \right|^2 \right\} = \frac{1}{2} \left\{ T_p \left(\frac{\overline{CN}}{\overline{AR}} \right)^2 - T_n \left(\frac{\overline{BP}}{\overline{AR}} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots (10)$$

なる式から求めることができる。

図4は、(10)式を用いて、前記のコンデンサ電動機について求めた速度—トルク曲線である。

4. 平衡運転用コンデンサ容量の図式的決定法

所要のコンデンサ容量は、平衡運転条件を示す(6)式を用いて、次のように図式的に求めることができる。

一般に、 $\Delta x \approx 0$, $r_c \ll x_c$ であるから $\dot{Y}' = 1/(\Delta Z + \dot{Z}_c) \approx 1/(\Delta r - jx_c)$ となる。この \dot{Y}' を(6)式に代入して整理すると、

$$\frac{\alpha \sqrt{1 + \alpha^2}}{\sqrt{\Delta r^2 + x_c^2}} \cdot \epsilon^{j(\tan^{-1} x_c / \Delta r + \tan^{-1} 1 / \alpha)} = |\dot{Y}_p| \epsilon^{j(\pi - \phi)} \dots\dots\dots (11)$$

なる式が得られる。ただし、 ϕ は \dot{Y}_p の位相角である。

(11)式の x_c を変化させたとき、その左辺の軌跡は原点を通る円となることは明らかである。また、その右辺の軌跡は、いわゆる円線図である。したがって、 x_c また C で目盛った左辺の円と、すべり s で目盛った右辺の円をえがけば、両者の交点から平衡運転時のすべりが決まり、そのときのそり入コンデンサ容量を求めることができる。図5は、このような図式法による平衡運転時のすべりおよびコンデンサ容量の求め方を示したものである。

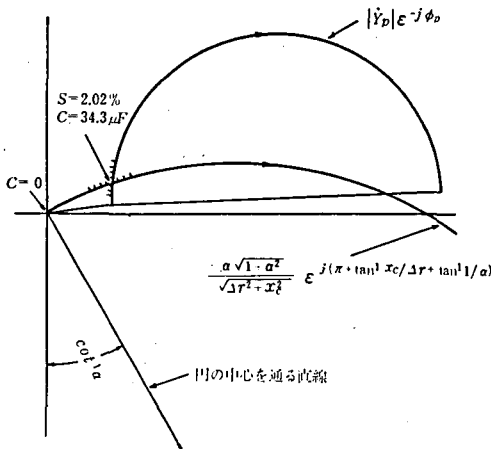


図 5

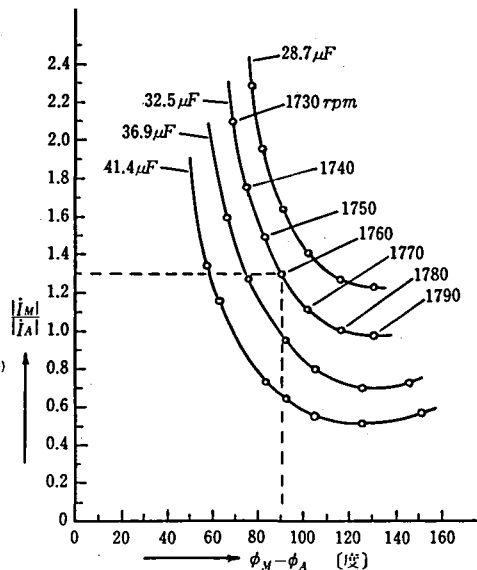


図 6

そこでこの場合は、日立製 400[W] のコンデンサ電動機について、前述の方法で平衡運転するすべり s とそのときのコンデンサ容量 C を求めると、図 5 に示すように $s \approx 2.02[\%]$ (回転数 $N \approx 1763[\text{rpm}]$)、 $C \approx 34.3 [\mu\text{F}]$ となる。

次に、この電動機の実負荷試験の結果から、そう入コンデンサ容量 C をパラメータとして回転数を変化させたときの、主巻線電流 I_M と補助巻線電流 I_A との位相差 $\phi_M - \phi_A$ とその電流の比 $|I_M|/|I_A|$ との関係を図 6 のようになる。図 6 より、この電動機は、 $C \approx 32.5 [\mu\text{F}]$ のとき $N \approx 1760[\text{rpm}]$ で平衡運転となることがわかる。この実験値とさきに求めた理論値との差は僅少であり、両者はほぼ一致している。

5. 結 言

以上を要約すると、対称分電圧は、これを対称分アドミタンスを用いた形で与えられれば図式的に容易に求めることができる。そして、これを用いて速度—トルク特性などを算定することができた。また、このような方法で平衡運転状態を実現するために必要な外部そう入コンデンサ容量も、図式的に容易に求められることがわかった。なお、各巻線電流ならびに起動特性なども、本法によって図式的に求めることができるが、これについてはふれなかった。終わりに、特性算定と実験に協力した卒研学生の春原出、村田賢次の両君に感謝の意を表わす。

参 考 文 献

- (1) 宮入：電学誌76, 417 (昭31年)
- (2) 西山：電学誌84, 89 (昭39年)
- (3) 中村：昭46 電気四学会東海支部連合大会157