

コンデンサ電動機の運転特性の解析

Performance Analysis of Capacitor Motors

小 池 俊 男*
Toshio Koike

要 旨

コンデンサ電動機の運転特性について、コンデンサ容量を主要パラメータとして、純単相運転のときとの比較をした。計算に当たっては適当な近似を行ない諸特性の傾向が簡単にわかる形になっているので、回路定数と特性との関係が容易にわかる。

コンデンサ電動機の特長である脈動トルクの少ないこと、力率、効率の良いことなど、また純単相機との体格的な比較についても述べている。

1. 緒 言

コンデンサ運転形（以下 KQ 形という）電動機の単相運転形（以下 KR 形という）電動機の特長は、運転時に平衡状態に近いコンデンサが補助回路にはいつているので、高い効率と力率が得られること、振動、騒音が少ないこと、また起動コンデンサ切離し直後のトルクが大きいことなどである。

欠点としては、運転用コンデンサ（金属化紙コンデンサ＝MP コンデンサが多用される）があるので、KR 形に比べ価格が高くなることと、それを収納する空間が大きくなることなどがある。

MP コンデンサの最近の進歩は著しく、小形で安価なものが得られやすくなってきた。ここで KQ 形と KR 形の特性的な検討をコンデンサ容量を中心にして対比し、両者がどのような関係にあるかをみるのも、用途的な見地からも見直す必要がある。

ここでは、実用的な特性を近似式によって比較できるようにし、KQ 形と、KR 形との対比を行なった結果について述べる。

2. コンデンサ電動機の特特性式

コンデンサ電動機の特特性を調べるに当たり、ここでは回転磁界法によって解析する。鉄心の飽和、スロット開口の影響などについては無視する。図 1 の回路構成のとき、電圧式は次のようになる。なお、主巻線と補助巻線の電氣的空間角は $\pi/2$ であるとする。

$$\left. \begin{aligned} V &= \dot{I}_m \left(\dot{Z}_m + \frac{\dot{Z}_{rf}}{2} + \frac{\dot{Z}_{rb}}{2} \right) - j \frac{a}{2} \dot{I}_a (-\dot{Z}_{rf} + \dot{Z}_{rb}) \\ V &= \dot{I}_a \left(\dot{Z}_a - \dot{Z}_c + a^2 \frac{\dot{Z}_{rf}}{2} - a^2 \frac{\dot{Z}_{rb}}{2} \right) + j \frac{a}{2} \dot{I}_m (\dot{Z}_{rf} - \dot{Z}_{rb}) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

ここで、 V ：電 源 電 圧

$\dot{I}_m, \dot{I}_a$ ：主巻線および補助巻線の電流

a ：補助巻線の主巻線に対する実効巻数比

$\dot{Z}_m = r_m + jx_m$ ：主巻線のインピーダンス

$\dot{Z}_a = r_a + ja^2 x_m$ ：補助巻線のインピーダンス

$\dot{Z}_c = jx_c$ ：コンデンサのインピーダンス

$\dot{Z}_{rf} = r_{rf} + jx_{rf}$ ：主巻線に換算したロータの正相インピーダンス

$\dot{Z}_{rb} = r_{rb} + jx_{rb}$ ：同じく逆相インピーダンス

正相電流と逆相電流は、

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_f &= \frac{1}{2} (\dot{I}_m - ja \dot{I}_a) \\ \dot{I}_b &= \frac{1}{2} (\dot{I}_m + ja \dot{I}_a) \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

正相トルク、逆相トルクおよびこれらの合成トルクは

* 日立製作所習志野工場

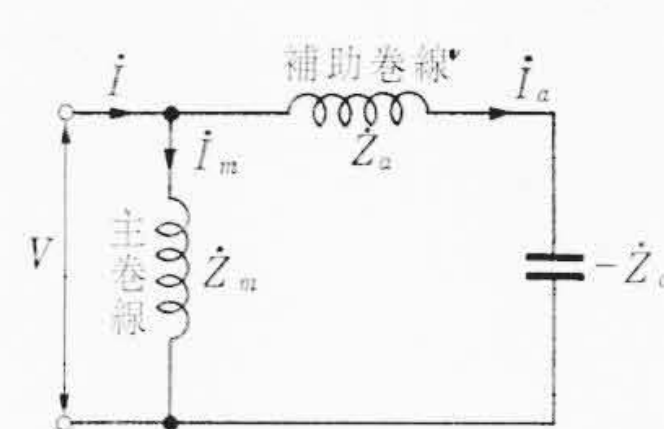


図 1 コンデンサ電動機の接続図

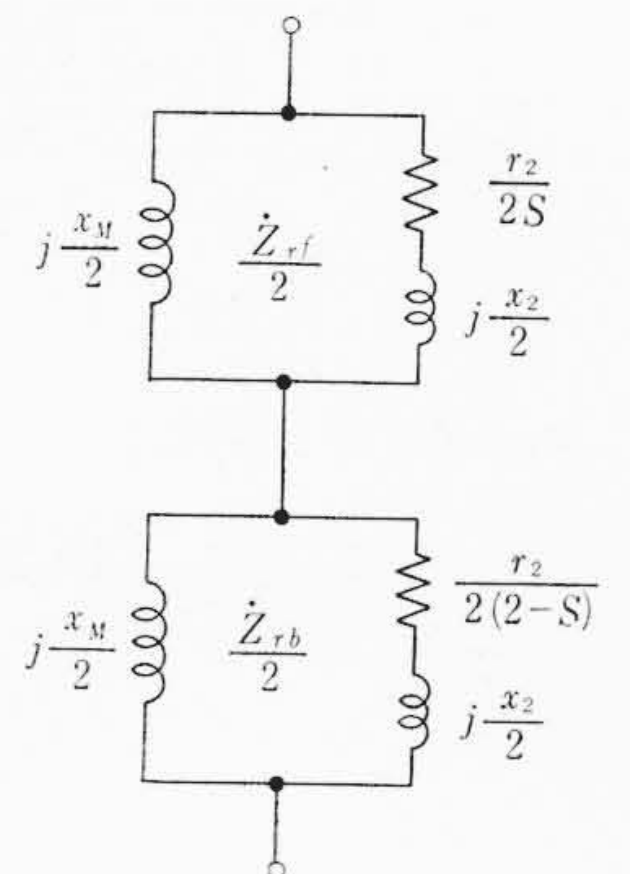


図 2 ロータの等価回路

$$\left. \begin{aligned} T_f &= \frac{2I_f^2 Z_{rf}^2}{\left(\frac{r_2}{S}\right)^2 + x_2^2} \frac{r_2}{S} \\ T_b &= \frac{2I_b^2 Z_{rb}^2}{\left(\frac{r_2}{2-S}\right)^2 + x_2^2} \frac{r_2}{2-S} \\ T &= T_f - T_b \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

ここで、 r_2, x_2 ：ロータのインピーダンス、 S ：すべり
脈動トルクの絶対値は、

$$T_p = 2(1-S) \left(\frac{T_f}{S} \cdot \frac{T_b}{2-S} \right)^{\frac{1}{2}} \dots (4)$$

3. 純単相機との比較

KQ 形と KR 形との特性比較を停動トルク付近から無負荷までのいわゆる運転特性について調べる。諸特性がコンデンサ容量により、どのように変わるかを近似式を中心に調べる。始動特性は本質的に両者の差はないので省略する。

ここで検討の対象とする電動機は、定格出力 0.4～0.75 kW 前後のもので特性水準は汎用的なものとする。KR 形と KQ 形を比較するとき両者の違いは、運転用コンデンサのみとし、ほかの設計諸元は同じとする。

3.1 近似式の誘導

近似の対象となる範囲は、すべり S でいうと $S < 0.2 \sim 0.3$ である。この範囲では $x_c \dot{Z}_{rf} \gg \dot{Z}_{rb}, \dot{Z}_m$ が成たつ。電流、トルクは次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \dot{I}_m &= V \left[\frac{2}{\dot{Z}_{rf}} + \frac{1}{x_c} (-a + ja^2) \right] \\ \dot{I}_a &= \frac{V}{x_c} (a + j) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} T_f &= \frac{2V^2}{r^2} S \\ T_b &= \frac{V^2}{Z_{rf}^2} \left[1 + \frac{Z_{rf}^2}{x_c^2} a^2 (1 + a^2) - \frac{2a}{x_c} (r_{rf} + ax_{rf}) \right] \frac{r_2}{2-S} \end{aligned} \right\} \dots (6)$$

ロータのインピーダンスは、

$$r_{rf} = \frac{Sr^2x_M^2}{r_2^2 + S^2x_M^2}, \quad x_{rf} = \frac{r_2^2x_M + S^2x_M^2x_2}{r_2^2 + S^2x_M^2}, \quad r_{rb} = \frac{r_2}{2}, \quad x_{rb} = x_2 \quad (7)$$

ここで、 x_M = 励磁リアクタンス、鉄損および機械的損失の定数については無視する(図2参照)。

以下、KR形との比較式を求めるのであるが、添字RでKR形を表わすことにする。なお近似を容易にするために、 $r_2 = x_2$ とする。

(1) 停動トルク点付近のトルク比

$$\frac{T}{T_R} = \frac{1 - \frac{S}{2-S} \left[1 + \left(\frac{r_2}{Sx_M} \right)^2 \right]^2 \left\{ 1 + a^2(1+a^2) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 \right.}{1 - \frac{S}{2-S} \left[1 + \left(\frac{r_2}{Sx_M} \right)^2 \right]^2} \times \frac{1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{x_c} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{x_c} \right)^2 \right]^2} - 2a \left(\frac{x_M}{x_c} \right) \frac{a + (1+Sa) \frac{Sx_M}{x_c}}{1 + \left(\frac{Sx_M}{x_c} \right)^2} \quad (8)$$

$x_c \gg Z_{rf}$ のときは、

$$\frac{T}{T_R} = \frac{1 - \frac{S}{2-S} \left[1 + 2a \left(\frac{r_2}{Sx_M} \right)^2 \left(\frac{x_M}{x_c} \right) \left\{ a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa) \right\} \right]}{1 - \frac{S}{2-S}} \quad (9)$$

(9)式で、 $r_2 = 1.5$, $x_M = 50$, $S = 0.2$, $x_c = 200$, $a = 1.8$ のとき、 $T/T_R = 1.02$ となり、コンデンサ容量が小さいときは停動トルクの増分はかなり小さいことがわかる。

(8), (9)式からわかるように、停動トルク付近での正相トルクに対する逆相トルクの割合が近似的に $1 : S/2 - S$ となる。一般にKQ形にすると、5~15%程度の停動トルクの増加が期待できる。

(2) 脈動トルク比

脈動トルクは電動機わくを接線方向に振動させる原因となり、ベースを通じての振動、騒音の原因になりやすい。コンデンサ容量が過大でなければ、ほとんどの場合KR形より小さくなる。

$$\frac{T_P}{T_{PR}} = \left\{ 1 + a^2(1+a^2) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 \frac{1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]^2} - 2a \frac{x_M}{x_c} \frac{a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa)}{1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

T_P/T_{PR} の最小点とそのときの値は

$$\frac{x_c}{x_M} = \frac{a(1+a^2) \left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right] \left[a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa) \right]} \quad (11)$$

$$\left(\frac{T_P}{T_{PR}} \right)_{\min} = \left\{ 1 - \frac{\left\{ a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa) \right\}^2}{(1+a^2) \left\{ 1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right\}} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

(3) ロータ銅損比

ロータに生ずる正相および逆相の銅損比をとると、

$$\frac{W_{C2}}{W_{C2R}} = \frac{1 + \left[1 + \left(\frac{r_2}{Sx_M} \right)^2 \right]^2 \left(\frac{T_P}{T_{PR}} \right)^2}{1 + \left[1 + \left(\frac{r_2}{Sx_M} \right)^2 \right]^2} \quad (13)$$

これは x_c/x_M の変化に対して、脈動トルクと似た変化をすること

がわかる。正相と逆相の銅損比は簡単には次の比となる。

$$1 : \left[1 + \left(\frac{r_2}{Sx_M} \right)^2 \right]^2 \quad (14)$$

S が小さいところでは逆相銅損が多くなることがわかる。

(4) ステータ銅損比

補助巻線の抵抗を、補助巻線の銅量(主巻線銅量の $1/m$ とする)を一定とした場合

$$r_a = a^2 m r_m \quad (15)$$

で表わされるものとする、ステータの銅損比は

$$\frac{W_{C1}}{W_{C1R}} = 1 + \frac{a}{4} (1+a^2) (a+m) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 \frac{1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]^2} - a \frac{x_M}{x_c} \frac{a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa)}{1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2} \quad (16)$$

この比の x_c/x_M に対する最小点と最小値は

$$\frac{x_c}{x_M} = \frac{(1+a^2) (a+m) \left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]}{2 \left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right] \left[a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa) \right]} \quad (17)$$

$$\left(\frac{W_{C1}}{W_{C1R}} \right)_{\min} = 1 - \frac{2a \left[a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa) \right]^2}{(1+a^2) (a+m) \left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]} \quad (18)$$

(5) 主巻線電流比

この比は(3), (4)と並んで小形化のめやすを得るうえに重要となる。

$$\frac{I_m}{I_R} = \left\{ 1 + a^2(1+a^2) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 \frac{1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]^2} - a \frac{x_M}{x_c} \frac{a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa)}{1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

この比の x_c/x_M に対する最小点と最小値は

$$\frac{x_c}{x_M} = \frac{2a(1+a^2) \left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right] \left[a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa) \right]} \quad (20)$$

$$\left(\frac{I_m}{I_R} \right)_{\min} = \left\{ 1 - \frac{\left[a + \frac{Sx_M}{r_2} (1+Sa) \right]^2}{4(1+a^2) \left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

(6) 線電流比、力率比

$$\frac{I}{I_R} = \left\{ 1 + \frac{1}{4} (1+a^2)^2 \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 \frac{1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]^2} - (1+a^2) \frac{x_M}{x_c} \frac{1 + S \frac{Sx_M}{r_2}}{1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

この比の x_c/x_M に対する最小点と最小値は

$$\frac{x_c}{x_M} = \frac{(1+a^2) \left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]}{2 \left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right] \left[1 + S \frac{Sx_M}{r_2} \right]} \quad (23)$$

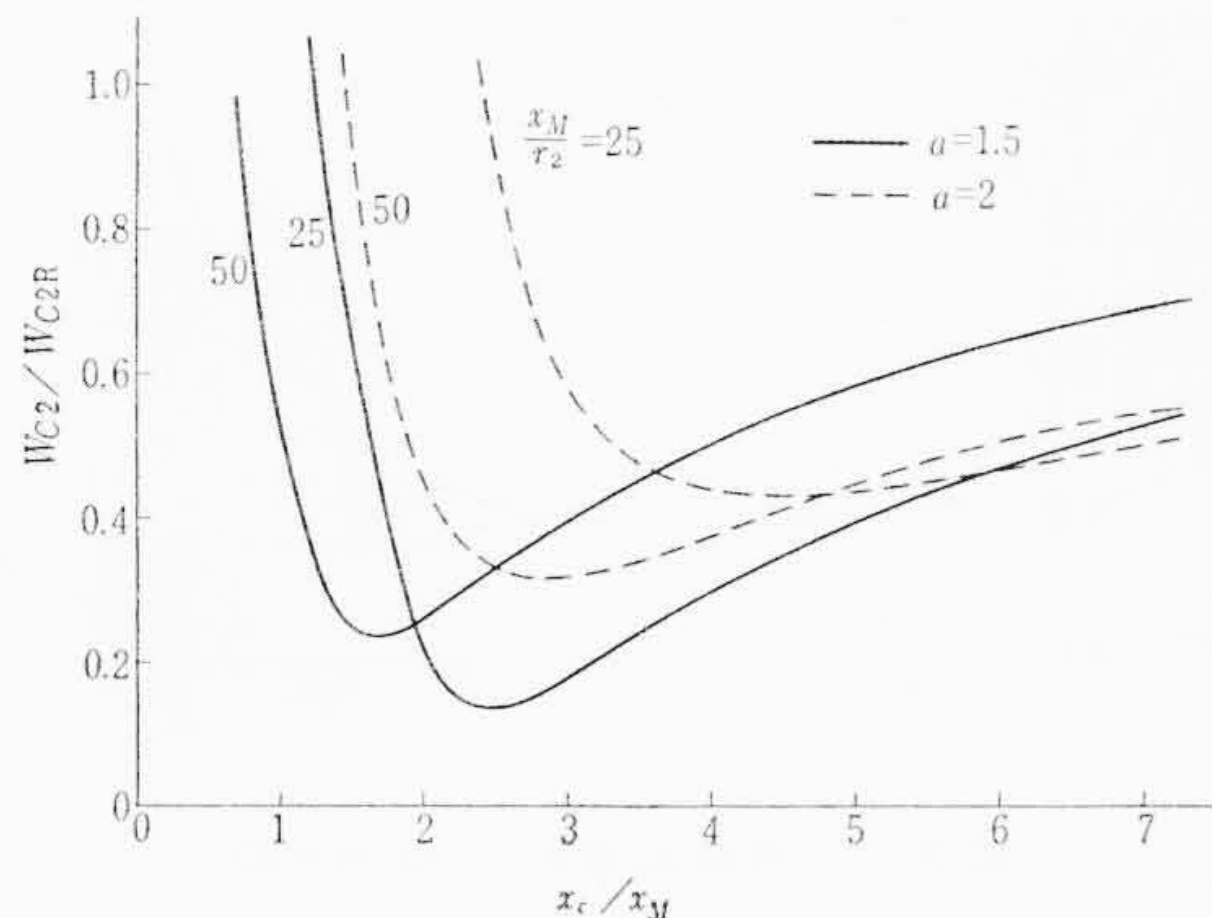


図3 脈動トルク比 ($S=0.03$)

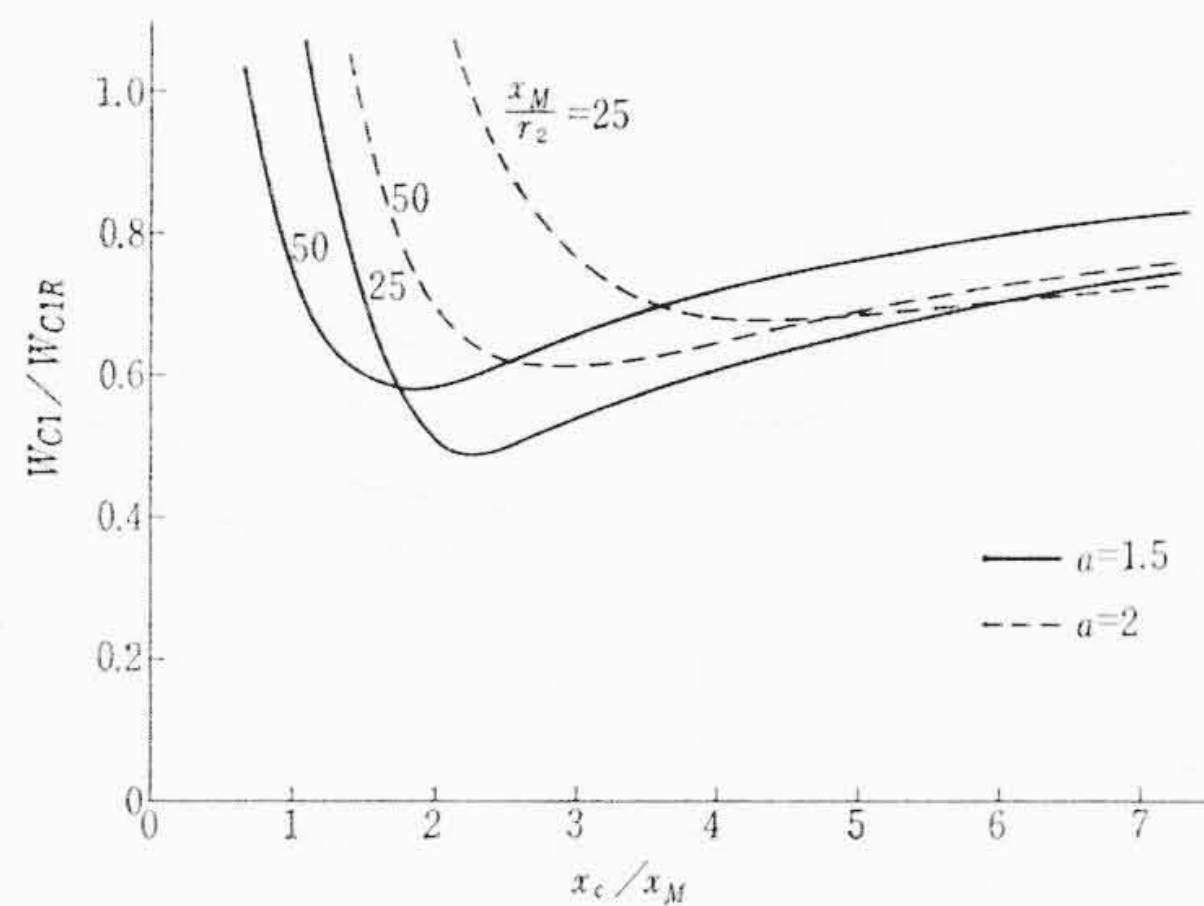


図6 ステータ銅損比 ($m=a, S=0.03$)

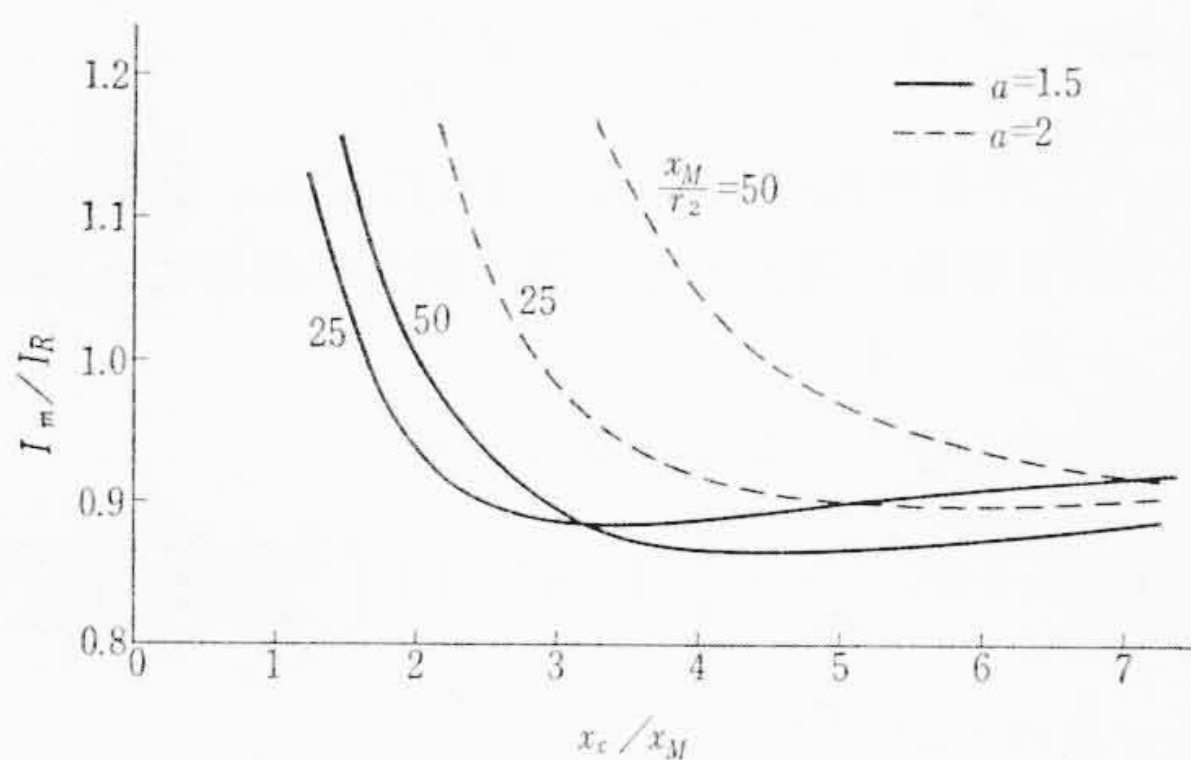


図4 主巻線電流比 ($S=0.03$)

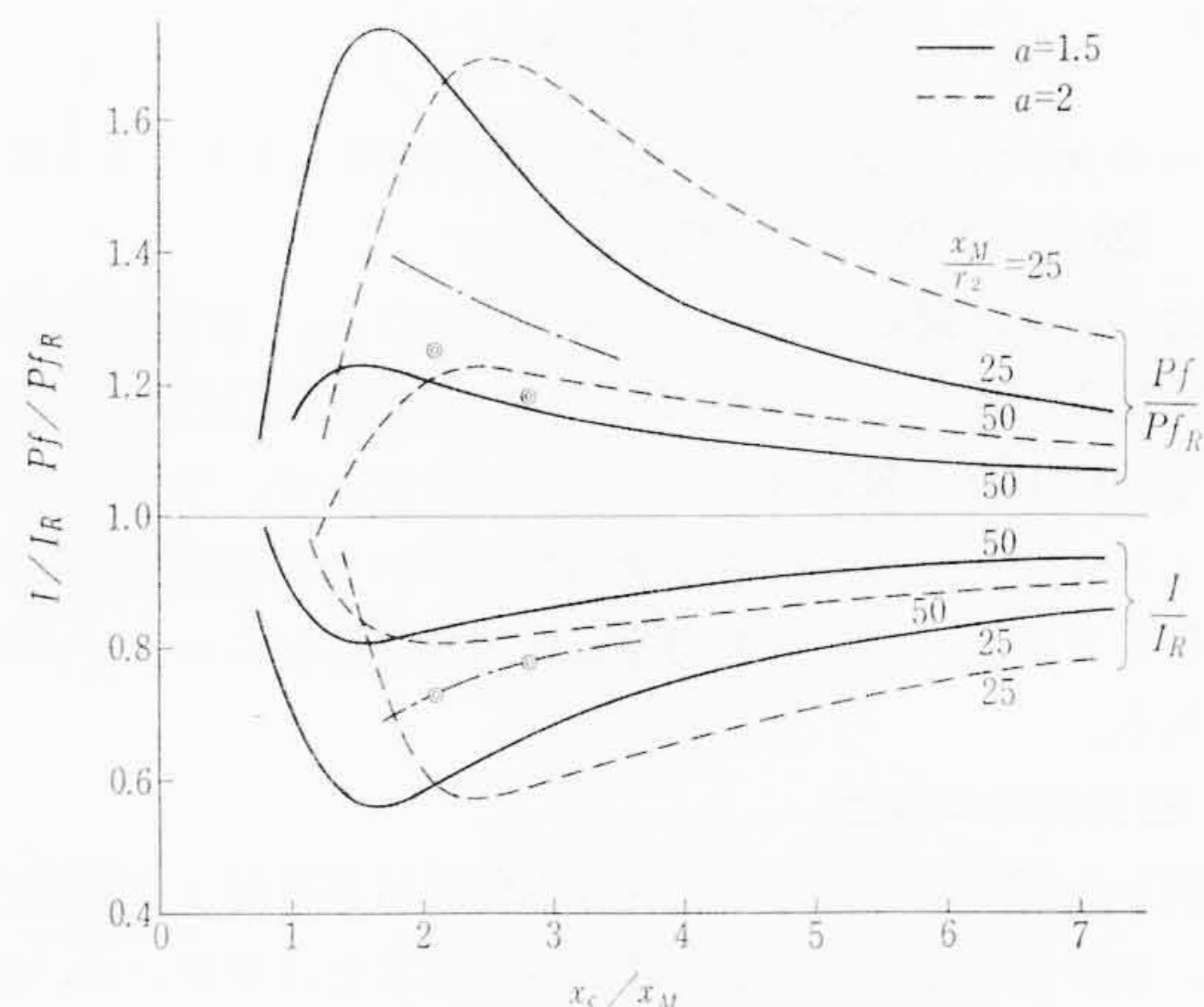


図7 線電流比, 力率比 ($S=0.03$)

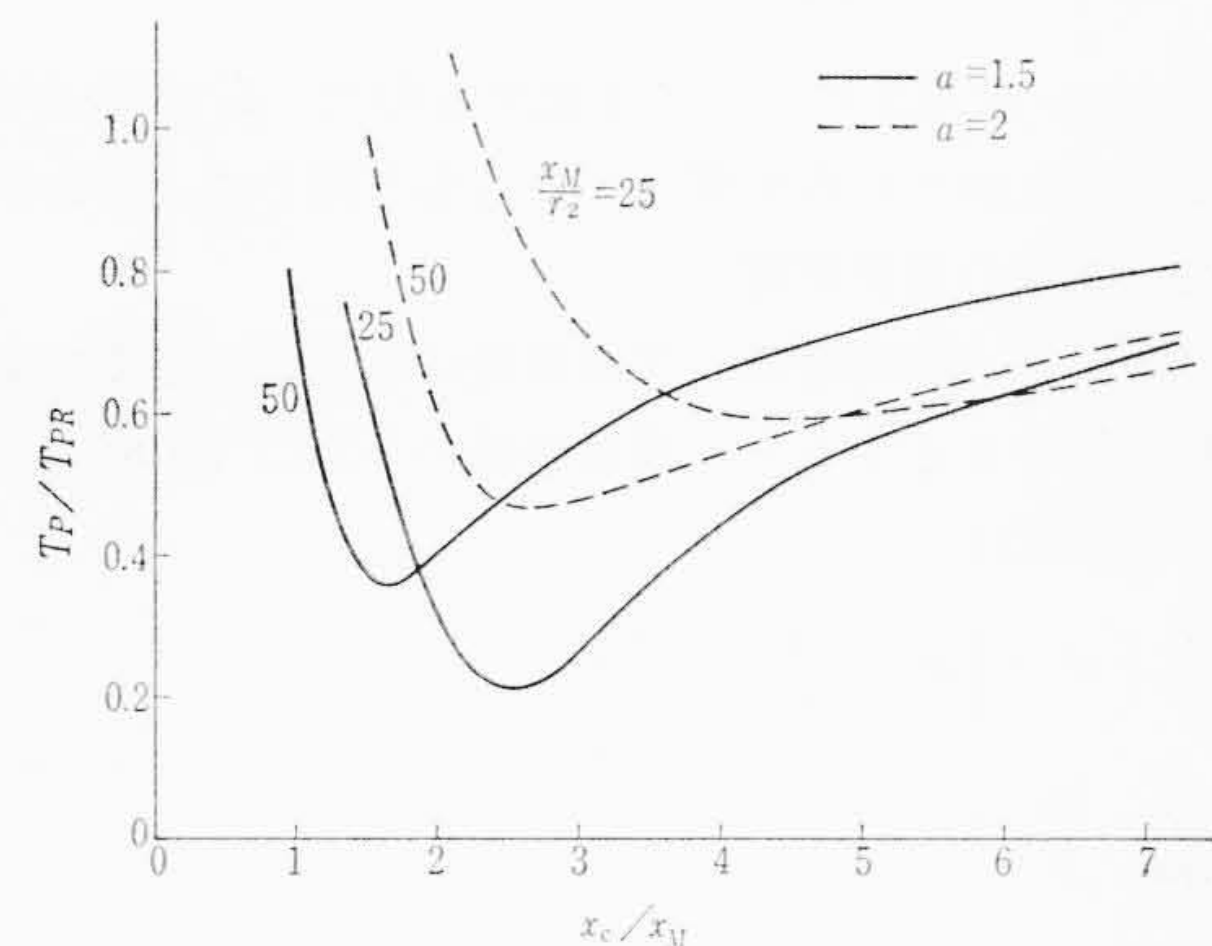


図5 ロータ銅損比 ($S=0.03$)

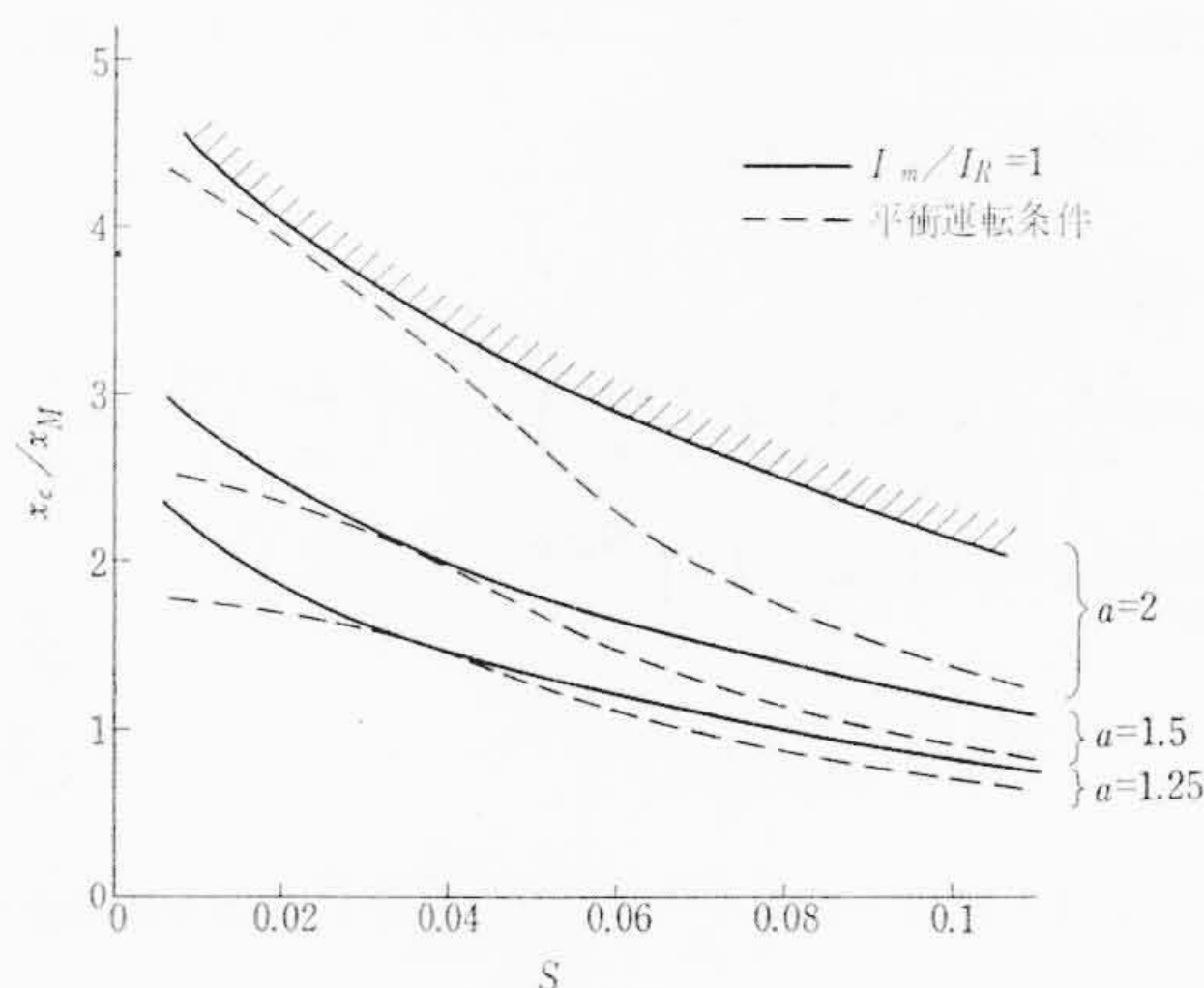


図8 x_c/x_M の範囲 ($x_M/r_2=25$)

$$\left(\frac{I}{I_R}\right)_{\min} = \left[1 - \frac{\left[1 + S \frac{Sx_M}{r_2}\right]^2}{(1+a^2)\left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2}\right)^2\right]} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots (24)$$

力率については、上式で I_R/I の比がそのままあてはまる。

以上の近似式は、定格点から停動点付近の特性を対比するうえで便利である。

3.2 定格負荷時の特性

さきに求めた近似式により、定格点付近の特性傾向を計算すると、図3～7のようになる。

KR形との比Rが最小となる x_c/x_M 値の比較から、 x_c/x_M が小さい ($x_c/x_M=1\sim2$) ときに比Rの急変点があり、あと x_c/x_M の増加に対しRは漸増傾向で変化がゆるやかである。したがってたとえばコンデンサ容量を従来普通と考えられているものの $1/3\sim1/2$ 程度に下げても諸特性の低下は比較的小さく、KQ形としての良さは適度に備えているといえる。

図4の主巻線電流比でいうと、 $x_c/x_M=6$ 近くでも $R\approx 0.9$ である。これはこの比率だけ銅量を減らしても電流密度が同じになることを示している。

x_c/x_M の選定範囲について少し調べてみる。

平衡運転条件 $\dot{I}_b=0$ より、

$$\frac{x_c}{x_M} = \frac{a}{1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2}\right)^2} \left[a + (1+Sa) \frac{Sx_M}{r_2} \right] \dots\dots\dots (25)$$

$T_P/T_{PR} < 1$ の条件より、

$$\frac{x_c}{x_M} > \frac{a(1+a^2)\left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2}\right)^2\right]}{2\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2}\right)^2\right]\left[a + \frac{Sx_M}{r_2}(1+Sa)\right]} \dots\dots\dots (26)$$

$I_m/I_R < 1, I/I_R < 1$ の条件よりおのおの、

$$\frac{x_c}{x_M} > \frac{a(1+a^2)\left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2}\right)^2\right]}{\left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2}\right)^2\right]\left[a + \frac{Sx_M}{r_2}(1+Sa)\right]} \dots\dots\dots (27)$$

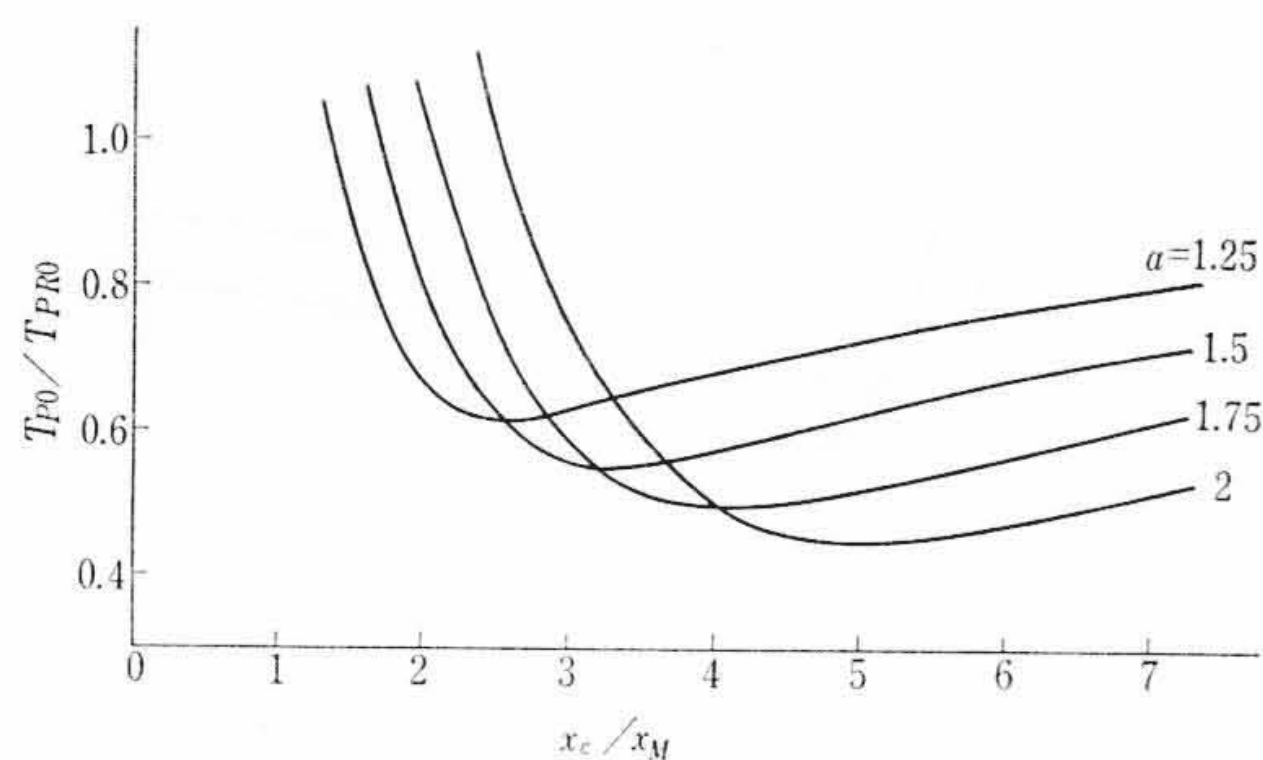


図9 無負荷時脈動トルク比

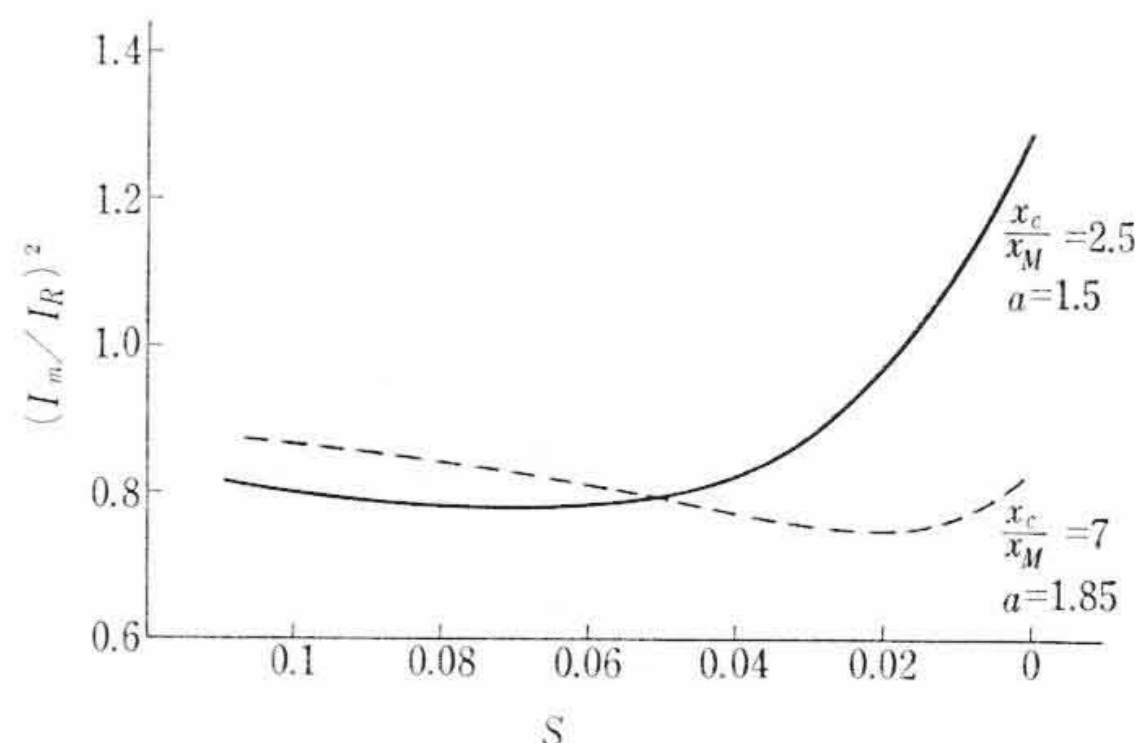


図10 主巻線銅損比 ($x_M/r_2=25$)

$$\frac{x_c}{x_M} > \frac{(1+a^2) \left[1 + 2S \frac{Sx_M}{r_2} + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]}{4 \left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right] \left[1 + S \frac{Sx_M}{r_2} \right]} \quad \dots\dots\dots (28)$$

これらの x_c/x_M の比較は、通常の運転範囲では次のようになる。
(28)式 < (26)式 < (27)式

(25)式の曲線は図8の点線で示すようになる。主巻線電流比 $I_m/I_R=1$ を実線で示す。図で $a=2$ のとき、斜線部領域に x_c/x_M があれば、主巻線電流がKR形より減ることを表わす。平衡運転でなくとも、コンデンサ容量が小さく x_c/x_M が6~7の程度では諸特性がすべて改善される。それも実用運転範囲全域にわたっているという特長がある。

3.3 軽負荷時の特性

無負荷から軽負荷における特性はKQ形はKR形より複雑な変化をする。無負荷特性は実用上問題にされることは少ないが、空運転の多い用途には消費電力の多少を考えるとときもある。

3.1での近似をさらに進めて簡略式を調べる。 $S < 0.01 \sim 0.02$ の範囲の近似に適当な式を示すと、ロータインピーダンスは、

$$r_{rf} = \frac{Sx_M^2}{r^2}, \quad x_{rf} \doteq x_M \quad \dots\dots\dots (29)$$

(1) 脈動トルク

$$T_{PO} = \frac{2V^2}{x_M} \left[1 + a(1+a^2) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 - 2a^2 \left(\frac{x_M}{x_c} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$\frac{T_{PO}}{T_{PRO}} = \left[1 + a^2(1+a^2) \left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right] \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 - 2a \left(a + \frac{Sx_M}{r_2} \right) \frac{x_M}{x_c} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$\doteq \left[1 + a^2(1+a^2) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 - 2a^2 \frac{x_M}{x_c} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (S \doteq 0 \text{ のとき})$$

$T_{PO}/T_{PRO} < 1$ の条件より

$$\frac{x_c}{x_M} > \frac{a(1+a^2) \left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right]}{2 \left(a + \frac{Sx_M}{r_2} \right)} \doteq \frac{1+a^2}{2} \quad \dots\dots\dots (32)$$

$S \doteq 0$ のときの脈動トルクの x_M/x_c に対する変化は図9に示すとおりである。コンデンサ容量が過大でない限り、脈動トルクが小さくなるのがわかる。永久分相コンデンサ形のように起動特性を良くするために、コンデンサ容量を多くしているものでは、脈動トルクが逆に大きくなる場合が出てくる。

(2) 銅損失

ロータ銅損失比は

$$\frac{W_{C20}}{W_{C2R0}} = 1 + \frac{1}{2} a^2(1+a^2) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 - a^2 \frac{x_M}{x_c} \quad \dots\dots\dots (33)$$

ステータ銅損失比は

$$\frac{W_{C10}}{W_{C1R0}} = 1 + \frac{a}{4} (1+a^2) (a+m) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 - a^2 \frac{x_M}{x_c} \quad \dots\dots\dots (34)$$

$m=a$ のとき、(30)式=(31)式となり、そのときの全銅損失は

$$\frac{W_{C0}}{W_{CRO}} = 1 + \frac{a^2}{2} (1+a^2) \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 - a^2 \frac{x_M}{x_c} \quad \dots\dots\dots (35)$$

$W_{C0}/W_{CRO} < 1$ の条件式は(32)式と同じになる。脈動トルクと同様、コンデンサ容量が過大でない限り損失が減ることがわかる。

(3) 線電流

無負荷電流の小さくなる程度をみると、

$$\begin{aligned} \frac{I_0}{I_{R0}} &= \left[1 - (1+a^2) \frac{x_M}{x_c} + \frac{1}{4} (1+a^2) \left[1 + \left(\frac{Sx_M}{r_2} \right)^2 \right] \left(\frac{x_M}{x_c} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ &\doteq 1 - \frac{1}{2} (1+a^2) \frac{x_M}{x_c} \quad \dots\dots\dots (36) \end{aligned}$$

$$I_0 \doteq \frac{V}{x_c} \left(1 + a^2 - \frac{2x_c}{x_M} \right) \quad \dots\dots\dots (37)$$

(37)式で、 x_M は電圧によって変化するので、 I_0 はある場合には電圧の上昇にもかかわらず減ることもあり得ることがわかる。

(4) 補助巻線の電流密度

無負荷の場合、補助巻線の電流密度にも注意が必要である。主巻線の断面積を1とすると、補助巻線のそれは $1/am$ となる。それぞれ電流密度は

$$\left. \begin{aligned} \delta_m &= \frac{x_c}{V} \left[a^2 + \left(a^2 - \frac{2x_c}{x_M} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ \delta_a &= \frac{1}{am} \frac{x_c}{V} (1+a^2)^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (38)$$

$\delta_a = 2\delta_m$ のときは

$$\frac{x_c}{x_M} = \frac{a^2}{2} + \frac{a}{2} \left[\frac{m^2}{4} (1+a^2) - 1 \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots\dots\dots (39)$$

$$m^2(1+a^2) > 4 \quad \dots\dots\dots (40)$$

この条件によっても、 m と a の範囲が限定される。

3.4 電動機の体格

単相電動機の出立式をまとめると、出力は(ステータ外径)2~3×(鉄心積厚長)に比例する形になる。ここではKR形とKQ形との比較関係を求めるので、同じ特性基準という条件を入れて検討する。方式の異なるもので同特性ということは現実的にはむずかしいので、停動トルク、温度上昇を同等にしたときについて考える。

コンデンサを追加したときの停動トルクの増加は $x_c/x_M=2 \sim 3$ のとき10%程度である。これによって、たとえば同じステータ外径の場合、約10%の積厚長の差となる。これよりも大きく影響するものは銅損である。温度上昇同等の条件をとって、簡単に主巻線の銅損を比較する。近似的には $(I_m/I_R)^2$ の割合で銅量を考えてよいことになる。 x_c/x_M と $(I_m/I_R)^2$ の関係は図10のようになる。

従来一般に $x_c/x_M=2 \sim 3$ にとられるが、低コンデンサ容量を考えて6~9にとる場合、その上限は脈動トルクの低減比とも合わせ決められる。 $x_c/x_M=6$ 程度にとったとき、たとえば銅損は80%、鉄心長は90%程度になる。この主要材料の低減とコンデンサ追加の

表1 コンデンサ容量と特性 (100 V 50 Hz)
0.4 kW 4 極

コンデンサ容量 $C_r(\mu\text{F})$	0	30	40
無負荷電流 (A)	3.07	1.91 (0.622)	1.55 (0.505)
全負荷電流 (A)	4.12	3.21 (0.779)	3.02 (0.733)
効 率 (%)	66.6	73.0 (1.097)	72.5 (1.089)
力 率 (%)	73.0	85.4 (1.170)	91.4 (1.252)
停 動 ト ル ク (%)	225	248 (1.102)	256 (1.137)

() 数値は $C_r=0$ のときを1としたとき

負担がだいたい相殺されるところがある。このほかに、ロータ銅損の減少を考慮して、たとえば同じ起動トルクを得るのにロータ抵抗を大きくして、起動用コンデンサ容量を下げて経済性を増すことができる。

以上より、停動トルク、温度上昇を同等にしたとき、だいたいKR形とKQ形はほぼ同じ程度の大きさで経済性をもつ、KQ形はこのほかになお脈動トルクが少ないなどの特長をもっている。

4. 試験結果とその検討

以上の近似式でKQ形のKR形に対する大体の特性傾向を知ることができる。ここで実際にどのようなことになるか、0.4 kW 4 極電動機について二、三の特性を調べてみる。

(1) 一 般 特 性

表1は主要特性を比較したものである。この電動機の定数は $x_1+x_2=2.1$, $r_2=1.05$, $x_M=38$, $a=1.57$ である。図7は線電流比と力率比の計算曲線を一点鎖線で示したものである。同図の◎印は表1の比率を示している。大体の傾向と絶対値をみるには実用上じゅうぶんである。この例のほかにさらに低容量品について調べた結果も同様の傾向であった。

これらの結果から、前述のように、トルク、温度上昇をKR形と同水準にすると、停動トルク、効率の対比から、かなりの小形化が可能になることがわかる。

(2) 脈動トルクによる振動

電源周波の2倍の周波数で脈動する脈動トルクによるわくの接線方向の振動は問題になることが多い。

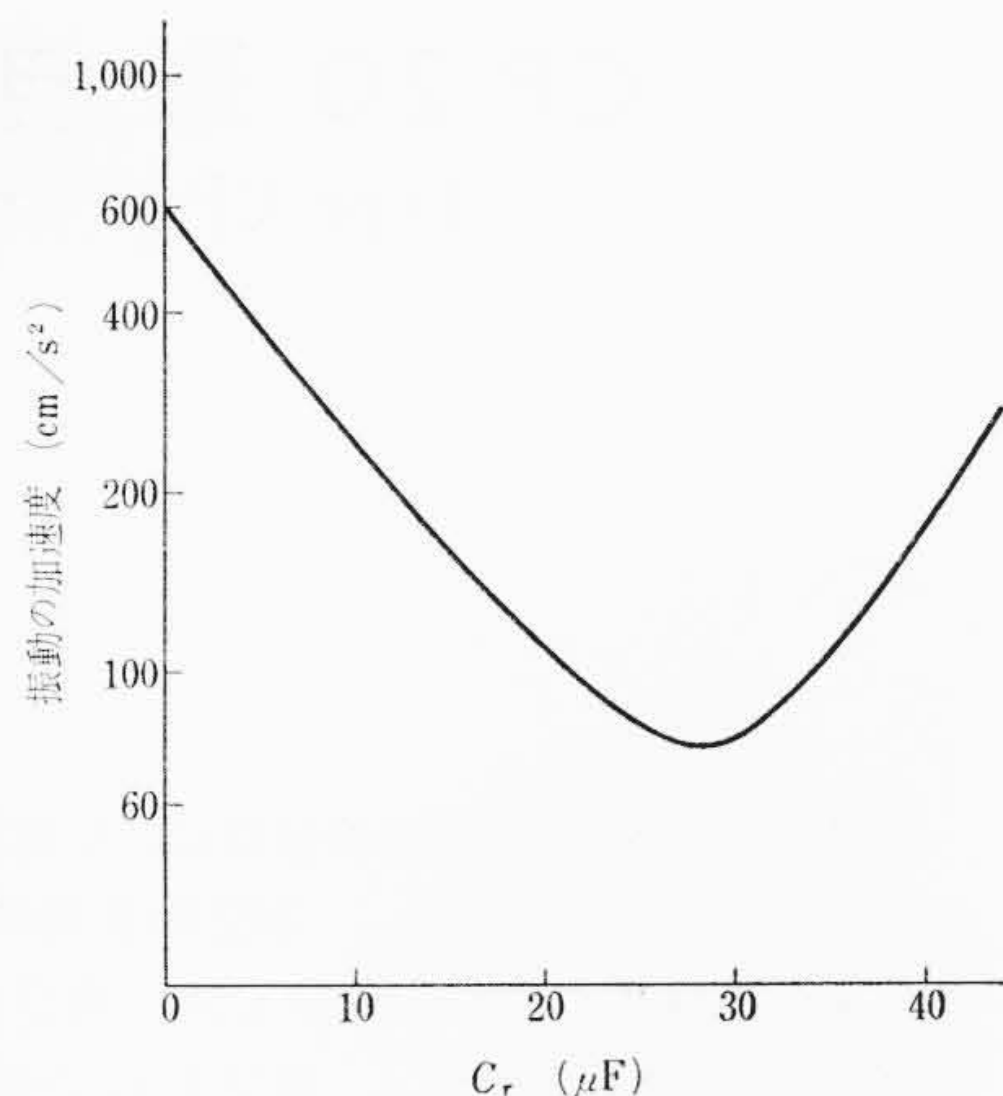
KQ形にすることによって脈動トルクがどの程度少なくなるかはさきの近似式でみられたが、図11はコンデンサ容量を変えたときの一例を示したものである。これは無負荷のときのわくの中心部における接線方向の振動の加速度について測定したものである。

120 cpsの振動の加速度がほかに比べて非常に大きく、またコンデンサ容量によってかなり変わることがわかる。

図12は脈動トルクとすべりとの関係を示したものである。コンデンサ容量が小さいときは通常の運転範囲にわたって常に脈動トルクが小さくなることわかる。

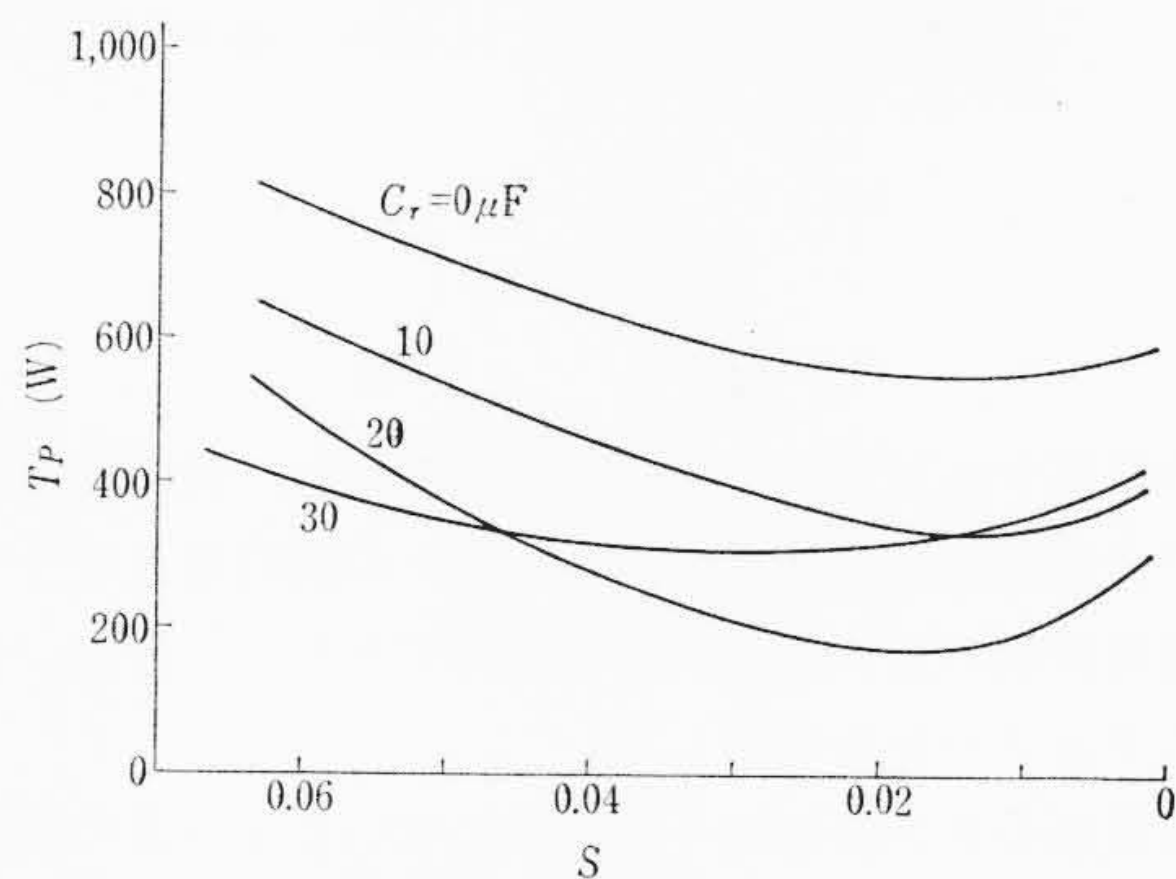
(3) 励磁リアクタンスの影響

さきに求めた特性諸式からわかるように、 x_c/x_M という設計定数化の影響が非常に大きい。励磁リアクタンス x_M は磁気回路の飽和度によって変わるが、諸元の中ではスロット数と空けき長の影響が大きい。スロット数が多くなると漏れリアクタンス分が少



(0.4 kW 4 極 100 V 60 Hz, 無負荷)

図11 接線方向の振動の加速度, 120 cps 成分



(0.4 kW 4 極 100 V 50 Hz)

図12 脈動トルクとすべり (計算値)

なくなり、同じ出力を出す条件下では、スロット数の多いときのほうが x_M が大きくなり、コンデンサ容量は小さくても同特性水準となる。

5. 結 言

KQ形電動機は従来より多用されており、特別な新しさはないが、ここでは高い効率や力率をもつ電動機という範囲に限らず、コンデンサ容量の広い範囲にわたって、KR形に比べどのような特性傾向となるかを調べた。

主巻線電流、銅損、脈動トルクなどのコンデンサ容量に対する変化傾向から、コンデンサ容量が比較的小さくても、諸特性の改善度は比較的大きく、KR形と同特性で考えると経済性でじゅうぶん検討の余地のあることを示した。脈動トルクの低減に効果が常に維持される利点がKQ形のもっとも特長とするところである。この点用途に適合した考え方をとる必要があるといえる。

参 考 文 献

- (1) 岐部, 水戸, 神林: 電学誌 82, p.190~199 (昭37)
- (2) 竹上, 林, 舟橋: 電学誌 76, p.394~401 (昭31)
- (3) 坪島: 電気四学会連大講演論文 [8] 593 (昭36)