コンデンサモータにおけるボルト・アンペア一定条件の設計法

群馬大学 戸 恒 明
群馬大学 須 藤 二 全

1. ま え が き

家庭電気機器、音響機器等にコンデンサモータが広く用いられているが、その設計に当っては、補助巻線およびコンデンサ容量の選定が重要な問題となる。

Trickey 氏⁽¹⁾は、モータが定格負荷において平衡運転を行なうように補助巻線およびコンデンサ容量を選定する方法を提案し、見城氏⁽²⁾は、この平衡条件を広くコンデンサモータにおける各種結線について誘導した。

また、横塚氏⁽³⁾は等価回路定数比を用いて、平衡条件および平衡運転時の主要な特性について検討している。これらの平衡条件に基づく設計法は、振動、騒音の点からは望ましいが、選定されたコンデンサの容量値が過大となり、同時に運転時におけるコンデンサの端子電圧が低い値となる傾向となり、コンデンサの選定において、経済的な問題が生ずる。

この問題について Trickey 氏⁽⁴⁾は、主巻線に対する補助巻線の実効巻数比を平衡条件より求められた値よりも大きく選び、かつ、そのモータの運転時におけるコンデンサのボルト・アンペアが平衡条件に基づいて設計された場合のコンデンサのボルト・アンペアに等しくなる（以下、ボルト・アンペア一定法と呼ぶことにする）ようにコンデンサ容量値を選定することにより、上記の問題を解決する方法を提案している。

しかしながら、ボルト・アンペア一定法に基づいて設計がなされた場合のコンデンサモータの運転特性は

余り明らかにされておらず、その適用に際しては問題が残されている。また、ボルト・アンペア一定時の振動トルク特性については、これまで全く触れられておらず不明である。

本文では運転特性、振動トルクならびに経済性とともに考慮に入れたコンデンサモータの設計を目的としボルト・アンペア一定時におけるコンデンサモータの運転特性、起動トルク特性、ならびに振動トルク特性を明らかにするとともにボルト・アンペア一定法に基づくコンデンサモータの設計手法について考察した。

2. ボルト・アンペア一定時のモータ特性

〈2.1〉 運転特性の近似解析 後にボルト・アンペア一定時の運転特性を平衡運転時の特性と関連づけて考察するが、その取り扱いを容易にするため、はじめにコンデンサモータの運転時の諸特性を近似式によって表わすことにする。

通常コンデンサモータにおける正相分電流 I_{1P} および逆相分電流 I_{1N} は、それぞれ次のように表わせる。

$$I_{1P} = \left(\frac{\dot{V}_m}{2} \right) \frac{\{1 - (j/a)\} (Z_N + Z_{1N})^*}{Z_P Z_N + Z_{1N} (Z_P + Z_N) + (Z_{1N})^*} \cdot \frac{-\{1 + (j/a)\} Z_{1P}}{+ Z_{1P} (Z_{1N} - Z_{1P})} \dots\dots\dots (1)$$

$$I_{1N} = \left(\frac{\dot{V}_m}{2} \right) \frac{\{1 + (j/a)\} (Z_P + Z_{1N})^*}{Z_P Z_N + Z_{1N} (Z_P + Z_N) + (Z_{1N})^*} \cdot \frac{-\{1 - (j/a)\} Z_{1P}}{+ Z_{1P} (Z_{1N} - Z_{1P})} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $\dot{V}_m$: 電源電圧、 a : 補助巻線の主巻線に対する実効巻数比、 s : 運転すべり

$$Z_{1P} = (1/2)(Z_{m1} - Z_{a1})$$

$$Z_{1N} = (1/2)(Z_{m1} + Z_{a1})$$

Designing Capacitor Motors Based on the Equal-volt-Ampere Method. By Akira Tozune, Member & Tsugumasa Suto, Member (Faculty of Engineering, Gunma University)

戸 恒 明: 正員, 群馬大学工学部

須藤二全: 正員, 群馬大学工学部

$Z_{m1} = r_1 + jx_1$ = 主巻線のインピーダンス

$Z_{e1} = r_{e1} + j(x_{a1} - x_c)$ = 主巻線に換算した補助巻線とコンデンサの直列インピーダンス

$$Z_P = \frac{jx_m\{(r_2/s) + jx_2\}}{(r_2/s) + j(x_m + x_2)} = Z_{PR} + jZ_{PJ} \quad (3)$$

= 主巻線に換算したロータの正相インピーダンス

$$Z_N = \frac{jx_m\{r_2/(2-s) + jx_2\}}{r_2/(2-s) + j(x_m + x_2)} = Z_{NR} + jZ_{NJ} \quad (4)$$

= 主巻線に換算したロータの逆相インピーダンス

コンデンサモータの通常の運転範囲においては

$$Z_P, x_c \gg Z_N, Z_{m1} \quad (5)$$

なる関係が成り立つから⁽⁶⁾⁽⁷⁾、この関係を(1)、(2)式に適用すれば、 $\dot{I}_{1P}$ 、 $\dot{I}_{1N}$ はそれぞれ次のように表わされる。

$$\dot{I}_{1P} = \dot{V}_m / Z_P \quad (6)$$

$$\dot{I}_{1N} = \dot{V}_m \{1/Z_P + (ja^2 - a)/a^2 x_c\} \quad (7)$$

このときコンデンサモータの運転時の諸特性は次のように与えられる。

(1) 主巻線電流 $\dot{I}_m$

$$\begin{aligned} \dot{I}_m &= \dot{I}_{1P} + \dot{I}_{1N} \\ &= \dot{V}_m \{2/Z_P + (ja^2 - a)/a^2 x_c\} \quad (8) \end{aligned}$$

(2) 補助巻線電流 $\dot{I}_a$

$$\begin{aligned} \dot{I}_a &= (1/a)(j\dot{I}_{1P} - j\dot{I}_{1N}) \\ &= \dot{V}_m \{(a+j)/a^2 x_c\} \quad (9) \end{aligned}$$

(3) 線電流 $\dot{I}$

$$\begin{aligned} \dot{I} &= \dot{I}_m + \dot{I}_a \\ &= \dot{V}_m \{2/Z_P + j(a^2 + 1)/a^2 x_c\} \quad (10) \end{aligned}$$

(4) 力率 $\cos \varphi$

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{I_{real}}{\sqrt{I_{real}^2 + I_{imag}^2}} \\ &= \frac{2 \cdot Z_{PR}^*}{\sqrt{4a^2 x_c (Z_{PR}^2 + Z_{PJ}^2) \{a^2 x_c - (a^2 x_c^* + 1) Z_{PJ}\} + (a^2 + 1)^2 (Z_{PR}^2 + Z_{PJ}^2)^2}} \quad (11) \end{aligned}$$

ここに、 I_{real} ：線電流の実数部、 I_{imag} ：線電流の虚数部

(5) トルク T

$$\begin{aligned} T &= 2(I_{1P}^2 Z_{PR} - I_{1N}^2 Z_{NR}) \\ &= 2V_m^2 \left\{ \left| \frac{1}{Z_P} \right|^2 Z_{PR} - \left| \frac{1}{Z_P} \right|^2 \right. \end{aligned}$$

$$\left. + \frac{1}{a^2 x_c} (ja^2 - a)^2 \cdot Z_{NR} \right\} \quad (12)$$

(6) 振動トルク T_v

$$\begin{aligned} T_v &= 2|\dot{I}_{1P}| \cdot |\dot{I}_{1N}| (Z_P - Z_N) \\ &= 2|\dot{I}_{1P}| \cdot |\dot{I}_{1N}| Z_P = 2V_m^2 |1/Z_P| \\ &\quad + (ja^2 - a)/a^2 x_c \quad (13) \end{aligned}$$

したがって、(8)～(13)式に運転時におけるコンデンサのボルト・アンペアが平衡運転時と等しくなる条件を適用すれば、それぞれ、ボルト・アンペア一定時の運転特性が得られることになる。

〈2・2〉 平衡運転時の特性との関連 はじめに平衡運転時の特性を求める。

平衡運転時における巻数比 a_b およびコンデンサのリアクタンス x_{cb} は、(7)式において $\dot{I}_{1N} = 0$ とした条件から、それぞれ

$$a_b = Z_{PJ} / Z_{PR} \quad (14)$$

$$x_{cb} = Z_{PJ} + (Z_{PR}^2 / Z_{PJ}) \quad (15)$$

となり、平衡運転時の諸特性は、この条件を(8)～(12)式に代入することによって得られ、それぞれ近似的に次のように表わされる。

(1) 主巻線電流 $\dot{I}_{mb}$

$$\dot{I}_{mb} = \dot{I}_{1P} = \dot{V}_m / Z_P \quad (16)$$

(2) 補助巻線電流 $\dot{I}_{ab}$

$$\dot{I}_{ab} = (j/a_b) \dot{I}_{mb} = j \dot{V}_m / a_b Z_P \quad (17)$$

(3) 線電流 $\dot{I}_b$

$$\dot{I}_b = \dot{I}_{mb} + \dot{I}_{ab} = \dot{V}_m \{1 + (j/a_b)\} / Z_P \quad (18)$$

(4) 力率 $\cos \varphi_b$

$$\begin{aligned} \cos \varphi_b &= \frac{Z_{PR}}{\sqrt{\{Z_{PR} + (Z_{PJ}/a_b)\}^2 + \{Z_{PJ} - (Z_{PR}/a_b)\}^2}} \quad (19) \end{aligned}$$

(5) トルク T_b

$$T_b = 2I_{1P}^2 Z_{PR} = 2(V_m/Z_P)^2 \cdot Z_{PR} \quad (20)$$

次に、ボルト・アンペア一定時の運転特性を求めるが、ボルト・アンペア一定時には

$$a_b^2 I_{ab}^2 x_{cb} = a^2 I_a^2 x_c \quad (21)$$

なる関係が成立する。この関係を、(9)、(14)、(15)、(17)式を用いて書き改めれば、次のようになる。

$$a_c^2 x_{cc} = (a_c^2 + 1) Z_{PJ} \quad (22)$$

ここに、 a_c 、 x_{cc} はそれぞれ、ボルト・アンペア一定時の巻数比およびコンデンサのリアクタンスを表わす。以後添字 c はボルト・アンペア一定時の値を示す。

すなわち、(22)式の条件を(8)～(13)式に代入することにより、ボルト・アンペア一定時の運転特性が求められる。

第1図 ボルト・アンペー一定法において選定されるコンデンサの容量値およびその動作電圧値

Fig. 1. Value of capacity and capacitor voltage given by the equal-volt-ampere method.

ボルト・アンペー一定法においては、巻数比 a_c は、運転時におけるコンデンサの端子電圧を考慮して選定されるが、その巻数比の選定により同時にコンデンサの容量値も決定される結果となるので、ここで、巻数比とコンデンサ端子電圧 E_c との関係およびコンデンサの容量値 C_c との関係について調べることにする。

コンデンサの端子電圧 E_c は、

$$E_c = a_c^2 x_{cc} I_{ac}$$

と表わされるが、補助巻線電流 I_{ac} は(9)式の関係から $I_{ac} = V_m \sqrt{a_c^2 + 1} / a_c^2 x_{cc}$ となり、 E_c は

$$E_c = \sqrt{a_c^2 + 1} V_m \dots (23)$$

となる。コンデンサの容量値 C_c は、平衡運転時の値 C_b との比で表わせば

$$C_c/C_b = a_b^2 x_{cb} / a_c^2 x_{cc} \dots (24)$$

となる。これに、(14)、(15)、(22)式を代入すれば

$$C_c/C_b = (a_b^2 + 1) / (a_c^2 + 1) \dots (25)$$

となり、巻数比の関係のみで表わされる。

(23)式および(25)式の関係を図示すると第1図のようになる。同図から、平衡運転時の巻数比 a_b を仮りに1.5とし、これをボルト・アンペー一定法に従ってその巻数比を $a_c = 2.5$ に増加したとすれば、コンデンサの端子電圧は、 $1.8 V_m$ から $2.7 V_m$ に上昇し、コンデンサの容量値 C_c は C_b の45%に減少することがわかる。

次に、ボルト・アンペー一定時の運転特性を考察す

るに当り、その運転特性が容易に評価されるように、ここでは、ボルト・アンペー一定時の運転特性を平衡運転時の特性を基準にして表わすことにする。

(1) 主巻線電流比 ボルト・アンペー一定時の主巻線電流 I_{mc} は、(8)式に(22)式を代入して

$$I_{mc} = V_m \left\{ \frac{2}{Z_P} + \frac{j a_c^2 - a_c}{(a_c^2 + 1) Z_{PJ}} \right\}$$

となるから、平衡運転時の主巻線電流 I_{mb} との大きさの比は

$$\frac{I_{mc}}{I_{mb}} = \left| \frac{2}{Z_P} + \frac{j a_c^2 - a_c}{(a_c^2 + 1) Z_{PJ}} \right| / |1/Z_P| \dots (26)$$

となる。

(26)式の I_{mc}/I_{mb} は、等価回路定数が含まれた形で表わされているため、ボルト・アンペー一定法に基づく設計において、コンデンサモータの主巻線電流を予測するような場合には不便である。そこで、(3)式および(14)式の関係により、(26)式の等価回路定数の部分を平衡運転時の巻数比 a_b を用いて表わせば、(26)式は次のようになる。

$$\frac{I_{mc}}{I_{mb}} = \sqrt{\frac{(2 - a_c/a_b)^2 + a_c^2}{a_c^2 + 1}} \dots (27)$$

(27)式の I_{mc}/I_{mb} は a_c および a_b のみで表わされており、ボルト・アンペー一定時の主巻線電流は平衡運転時の値を基準にして容易に求めることができる。

同様に、

(2) 線電流比

$$\frac{I_c}{I_b} = 1 \dots (28)$$

(3) 力率比

$$\frac{\cos \varphi_c}{\cos \varphi_b} = 1 \dots (29)$$

(4) トルク比

$$\frac{T_c}{T_b} = 1 - \frac{1}{a_c^2 + 1} \left(1 - \frac{a_c}{a_b} \right)^2 \left\{ \frac{s}{2-s} \right\} \left\{ 1 + \left(\frac{r_2}{s x_m} \right)^2 \right\} \dots (30)$$

(5) 振動トルクと平衡運転時のトルクとの比

$$\frac{T_{vc}}{T_b} = \sqrt{\frac{a_b^2 + 1}{a_c^2 + 1}} \left| \frac{a_c}{a_b} - 1 \right| \dots (31)$$

(6) 無負荷損失比 無負荷損失を考える場合には、鉄損を考慮しなくてはならないが、鉄損成分を無負荷時における、ロータの正相分インピーダンス Z_{Pn} およびロータの逆相分インピーダンス Z_{Nn} に含ませて考えれば、無負荷時においても定格運転時と全く同様な取り扱いができ、ボルト・アンペー一定時、および定格負荷にて平衡運転を行なう条件下での無負荷時

における線電流は、(10)式からわかるように、それぞれ次のようになる。

$$\dot{I}_{Tnc} = \dot{V}_m \{ (2/Z_{Pn}) + j(a_c^2 + 1)/a_c^2 x_{cc} \} \quad (32)$$

$$\dot{I}_{Tnb} = \dot{V}_m \{ (2/Z_{Pn}) + j(a_b^2 + 1)/a_b^2 x_{cb} \} \quad (33)$$

(32), (33) 式に(14), (15), (16)式の関係を適用すれば、

$$\dot{I}_{Tnc} = \dot{I}_{Tnb} = \dot{V}_m \{ (2/Z_{Pn}) + (j/Z_{PJ}) \} \dots (34)$$

となる。したがって、線電流の大きさ、および位相が等しいことから無負荷損失比 W_{nc}/W_{nb} は

$$\frac{W_{nc}}{W_{nb}} = 1 \quad (35)$$

となる。

(7) 起動トルク比 起動時においては運転時において成立した近似をそのまま適用することはできないので、起動トルクの比 T_{sc}/T_{sb} を(1), (2)式に基づいて求めると次のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{T_{sc}}{T_{sb}} &= \left(\frac{a_b}{a} \right) \left(\frac{x_{cc}}{x_{cb}} \right) \\ &\times \frac{\{ (r_1 + Z_{PRS})^2 + (x_1 + Z_{PJS} - x_{cb})^2 \}}{\{ (r_1 + Z_{PRS})^2 + (x_1 + Z_{PJS} - x_{cc})^2 \}} \quad (36) \end{aligned}$$

ここに、 Z_{PRS} : $s=1$ における Z_{PR} の値

Z_{PJS} : $s=1$ における Z_{PJ} の値

(36)式において、通常 $x_{cb}, x_{cc} \gg (x_1 + Z_{PJS})$, および $x_{cb}^2, x_{cc}^2 \gg (r_1 + Z_{PRS})^2$ なる関係が成立するから

$$\frac{T_{sc}}{T_{sb}} = \left(\frac{a_b}{a} \right) \left(\frac{x_{cb}}{x_{cc}} \right) \quad (37)$$

となり、(37)式を(14), (15), (22)式の関係を用いて書き改めれば、次のようになる。

$$\frac{T_{sc}}{T_{sb}} = \frac{a_c}{a_b} \left(\frac{a_b^2 + 1}{a_c^2 + 1} \right) \quad (38)$$

上記の解析結果から、ボルト・アンペア一定時の運転時における線電流、力率および無負荷損失は平衡運転条件下でのそれぞれの値とほぼ等しくなることがわかる。ボルト・アンペア一定法に基づく巻数比の選定と運転時における主巻線電流比 I_{mc}/I_{mb} 、トルク比 T_c/T_b 、振動トルクと平衡運転時のトルクとの比 T_{vc}/T_b 、および起動トルク比との関係を、平衡運転を行なう巻線比 a_b が 1.25, 1.5, 1.75 の場合について、それぞれ(27), (30), (31), (37)式より求め、これを図示すると第2図、第3図のようになる。

同図からわかるように、巻数比 a_c を平衡運転時の巻数比 a_b より大きく選んでいくにつれ、主巻線電流

第2図 ボルト・アンペア一定時における運転特性

Fig. 2. Effect on the performance of departure from the balance point while keeping constant capacitor volt-amperes.

第3図 ボルト・アンペア一定時における振動トルクおよび起動トルク

Fig. 3. Effect on alternating torque and starting torque of departure from the balance point while keeping constant capacitor volt-amperes.

はわずかな減少にとどまるが、起動トルクはかなり大きな割合で減少することになるので、起動から運転まで1つのコンデンサを共用するような場合には、起動トルクについての配慮が必要である。また、振動トルクは、巻数比 a_c が a_b から離れていくにつれ単調に増加する。

次に、第1表に示す出力120Wから600Wまでの3種のコンデンサモータの等価回路定数を用いて、ボルト・アンペア一定時の運転特性と平衡運転時の特性との関連を精密に計算し、これらを(27)~(31)式による

第 1 表 コンデンサモータの等価回路定数

Table 1. Equivalent circuit parameters for capacitor motors.

出力 (W)	等価回路定数 (50 Hz)				
	r_1	x_1	x_m	x_2	r_2
120	3.8	3.5	87.8	3.5	4.7
200	3.0	3.0	75.0	3.0	4.5
600	0.70	0.65	16.4	0.65	0.85

近似計算結果と比較して第 2 表に示した。同表からわかるように、いずれの機種についても、両計算結果は良い一致を示している。これは、ボルト・アンペア一定時の運転特性を平衡運転時の特性との比の形で表わしているために、近似による影響が相殺され、その影響が軽減される結果である。

したがって、(27)～(31) 式に基づいて得られた第 2 図および第 3 図の関係は、妥当なものであるといえる。なお、(30) 式で示されるトルク比 T_c/T_b は、等価回路定数および運転すべりを含んだ形で表わされているが、通常の運転範囲のすべりにおいては、 $T_c/T_b \approx I$ となり（第 1 表の 200W のコンデンサモータの場合は $a_c=2.5$ としたとき $T_c/T_b=0.999$ ）、ほぼ平衡運

転時のトルクが得られることになる。

以上の結果から、ボルト・アンペア一定時の運転特性は、平衡運転時の特性にほぼ等しくなることが明らかにになり、したがって、ボルト・アンペア一定法に基づく設計において巻数比 a_c を選定する際、コンデンサの端子電圧および振動トルクの許容値とともに考慮することにより、平衡運転時の特性を有し、振動特性ならびに経済性を満足するコンデンサモータが得られることになる。

3. 設計手法

〈3・1〉 設計手順 上記の解析結果に基づいて、ボルト・アンペア一定法により、コンデンサモータを設計する場合の手順について考察する。

(1) E_b および $(VA)_b$ の決定 ボルト・アンペア一定法の適用に際しては、まず、平衡運転時ににおけるコンデンサの端子電圧 E_b およびコンデンサのボルト・アンペアの値 $(VA)_b$ を求める必要がある。 E_b 、 $(VA)_b$ は、それぞれ

$$E_b = \sqrt{a_b^2 + 1} V_m \dots \dots \dots (39)$$

$$(VA)_b = a_b^2 x_{cb} \cdot I_{ab}^2 = x_{cb} \cdot I_{mb}^2 \dots \dots \dots (40)$$

と表わされる。

第 2 表 ボルト・アンペア一定法に基づくコンデンサモータの特性計算値

Table 2. Calculated performance of capacitor motors while keeping constant capacitor volt-amperes.

特 性	供 試 機		$a_c=1.5$		$a_c=2.0$		$a_c=2.5$		$a_c=3.0$	
	出力(W)	a_b	精 密	近 似	精 密	近 似	精 密	近 似	精 密	近 似
I_{mc}/I_{mb}	120	1.32	0.96	0.96	0.94	0.92	0.96	0.93	1.00	0.95
	200	1.93	1.07	1.07	0.99	0.99	0.96	0.96	0.95	0.96
	600	1.68	1.03	1.03	0.96	0.97	0.95	0.95	0.96	0.95
I_c/I_b	120	1.32	1.01	1.00	1.03	1.00	1.04	1.00	1.05	1.00
	200	1.93	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00
	600	1.68	0.99	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.02	1.00
$\cos \varphi_c / \cos \varphi_b$	120	1.32	1.00	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00	0.99	1.00
	200	1.93	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	600	1.68	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T_c/T_b	120	1.32	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
	200	1.93	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	600	1.68	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
T_{vc}/T_b	120	1.32	0.12	0.12	0.40	0.38	0.60	0.55	0.72	0.67
	200	1.93	0.27	0.27	0.03	0.03	0.26	0.24	0.42	0.38
	600	1.68	0.12	0.12	0.17	0.17	0.38	0.36	0.53	0.48
T_{sc}/T_{sb}	120	1.32	0.98	0.96	0.88	0.83	0.78	0.72	0.69	0.62
	200	1.93	1.09	1.13	0.98	0.98	0.87	0.84	0.77	0.73
	600	1.68	1.04	1.05	0.93	0.91	0.82	0.79	0.73	0.68

(39), (40) 式中の a_b および x_{cb} は (2) 式において $i_N=0$ とした平衡条件からそれぞれ

$$a_b = \frac{x_1 + Z_{PJ}}{r_{a1} + Z_{PR}} \dots\dots\dots (41)$$

$$x_{cb} = \frac{(r_1 + Z_{PR})(r_{a1} + Z_{PR})}{x_1} * \\ * \frac{+(x_1 + Z_{PJ})(x_{a1} + Z_{PJ})}{+Z_{PJ}} \dots\dots\dots (42)$$

と与えられるが、通常の運転範囲においては、 $Z_{PR} \gg r_{a1}$, および $Z_{PJ} \gg x_{a1}$ なる関係が成立するから $r_{a1} \approx r_1$, $x_{a1} \approx x_1$ として取り扱うことができ、

$$r_{a1} + Z_{PR} = r_1 + Z_{PR}, \quad x_{a1} + Z_{PJ} = x_1 + Z_{PJ} \\ \dots\dots\dots (43)$$

となり、(41), (42) 式の a_b および x_{cb} はそれぞれ次のように表わされる。

$$a_b = \frac{x_1 + Z_{PJ}}{r_1 + Z_{PR}} \dots\dots\dots (44)$$

$$x_{cb} = \frac{(r_1 + Z_{PR})^2 + (x_1 + Z_{PJ})^2}{x_1 + Z_{PJ}} \dots\dots\dots (45)$$

また、主巻線電流 I_{mb} は、(1), (2) 式より

$$I_{mb} = \frac{V_m}{\sqrt{(r_1 + Z_{PR})^2 + (x_1 + Z_{PJ})^2}} \dots\dots\dots (46)$$

となるから、(44)~(46) 式の関係を用いて、(39) 式および (40) 式を書き改めれば、 $E_b, (VA)_b$ は次のように表わされる。

$$E_b = \sqrt{1 + \left(\frac{x_1 + Z_{PJ}}{r_1 + Z_{PR}} \right)^2} \dots\dots\dots (47)$$

$$(VA)_b = \frac{V_m^2}{x_1 + Z_{PJ}} \dots\dots\dots (48)$$

したがって、モータの等価回路定数を (47), (48) 式に適用することにより、平衡運転時のコンデンサの端子電圧およびコンデンサのボルト・アンペア値を求めることができる。

また、モータの等価回路定数が明らかでないような場合には、次のようにして $E_b, (VA)_b$ の値を実験的に求めることができる。

(44), (45) 式は、第 4 図に示す平衡運転時の主巻線の等価回路、および第 5 図に示すこのときの主巻線電流のベクトル図から次のように書き改められる。

$$a_b = \tan \varphi_m \dots\dots\dots (49)$$

$$x_{cb} = \left(\frac{V_m}{I_{mb}} \right) \frac{1}{\sin \varphi_m} \dots\dots\dots (50)$$

上記、 a_b, x_{cb} の値は主巻線が与えられたモータに適切な補助巻線を施し、両巻線に位相が $\pi/2$ の 2 相電圧を印加し、定格負荷にて両相の電圧と電流の積が等しくなるようにしたときの主巻線電流の大きさ I_{mb}

第 4 図 平衡運転時の等価回路

Fig. 4. Equivalent circuit for capacitor motor operating under balanced conditions.

第 5 図 平衡運転時のベクトル図

Fig. 5. Vector diagram of capacitor motor under balanced operation.

およびその位相角 φ_m を測定することにより求められる。

したがって、平衡運転時のコンデンサの端子電圧およびボルト・アンペア $(VA)_b$ は、以上の実験結果から得られた a_b, x_{cb} および I_{mb} を用いて、それぞれ (39), (40) 式から求めることができる。

このようにして得られた E_b が、使用するコンデンサの定格電圧よりも低い値である場合には、次の手順に従って所要の巻数比およびコンデンサの容量値を定める。

(2) 巻数比 a_c の選定 コンデンサの端子電圧値、および許容される振動トルクの大きさに注目して第 1 図および第 3 図から適切な巻数比を選定する。

(3) コンデンサ容量値の決定 コンデンサの容量値は、運転時におけるコンデンサのボルト・アンペアが平衡運転時のボルト・アンペアに等しくなるようにすることから求める。すなわち、手順 (2) において求めた補助巻線を用い、このモータにコンデンサを接続し、運転時におけるコンデンサのボルト・アンペアが、手順 (1) で求めた平衡運転時のボルト・アンペア $(VA)_b$ と等しくなるように、コンデンサの容量値を選定すれば、これが所要のコンデンサの容量値となる。なお、ボルト・アンペア一定時のコンデンサ容量値を選定する際、第 1 図に示された a_c と C_c/C_b との関係を用いてこの値を予測し、コンデンサ容量の概略値を求めておけばより容易に正確な容量値を求めることができる。

第3表 供試機の仕様

Table 3. Specification of the proposed motor.

電 圧	100 V
同 波 数	50 Hz
定 格 回 転 数	1,350 r. p. m.
運 転 特 性	平衡運転時の特性
振 動 ト ル ク	$T_{ve}/T_b < 0.4$
コンデンサ定格電圧	330 V

第4表 供試機の試験結果

Table 4. Experimental results of the proposed motor.

特 性	平衡運転時	VA一定時 ($a_c=2.5$)	VA一定時 平衡運転時
主巻線電流	0.65 A	0.62 A	0.95
線 電 流	0.83 A	0.84 A	1.01
力 率	0.91	0.87	0.96
ト ル ク	2.60 kg-cm	2.55 kg-cm	0.98
振動トルク		0.94 kg-cm	$T_{ve}/T_b=0.37$
無負荷損失	37 W	38 W	1.03
起動トルク	2.0 kg-cm	1.7 kg-cm	0.85

〈3・2〉 設計例 一例として、主巻線が与えられた出力 30 W, 4 極のコンデンサモータについて、第3表の仕様を満たすように、補助巻線およびコンデンサ容量値を選定する場合について考える。

まず、このモータに適当な補助巻線を与え、2相電源で平衡運転させたところ、 $I_{mb}=0.635$ A, $\cos\phi_m=0.505$ なる結果を得た。

これより、平衡運転時の巻数比 a_b 、コンデンサの容量値 C_b およびコンデンサのボルト・アンペア $(VA)_b$ を (49), (50) 式および (40) 式より求めると、それぞれ $a_b=1.71$, $C_b=6.14\mu\text{F}$, $(VA)_b=75.7$

となり、(39) 式より $E_b=198$ V となった。これは、使用するコンデンサの定格電圧 330 V よりも小さい値であるから、次に、第1図における巻数比とコンデンサの端子電圧との関係を考慮しつつ、第3図において振動トルクが $T_{ve}/T_b < 0.4$ となるように巻数比を 2.5

に選定した。このモータにコンデンサを接続し、コンデンサのボルト・アンペアが 75.7 となる容量値を求めたところ、 $C_b=3.66\mu\text{F}$ であった。この容量値を用いたときの運転特性起動トルクならびに振動トルクを測定し、その結果を平衡運転時の実測結果と比較して第4表に示した。同表からボルト・アンペア一定時の運転特性は、平衡運転時の特性とほぼ等しくなっていることがわかる。これは、先の解析結果とも一致しており、前記の妥当性が示された。

4. む す び

以上、ボルト・アンペア一定時におけるコンデンサモータの運転特性、ならびに起動トルク特性について検討し、ボルトアンペア一定条件の設計法を明らかにした。

すなわち、ボルト・アンペア一定時の運転特性は、ほぼ平衡運転時の特性と等しくなることが明らかになり、また、振動トルクの大きさは、選定される巻数比に基づいて容易に求められるようになった。

これらの結果をもとに、平衡運転時の特性ならびに経済性をともに満足し、しかも振動トルクを許容値内におさめるようなコンデンサモータの設計手法を明らかにした。

上記手法に基づいて、設計されたコンデンサモータについて実験を行なったところ、解析結果とよく一致し、満足すべき結果が得られた。

(昭和50年9月9日受付, 同51年2月18日再受付)

文 献

- (1) P. H. Trickey: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs **51**, 780 (1932)
- (2) 見城: 電学誌 **89**, 957 (昭 44-5)
- (3) 横塚: 電学誌 **90**, 2031 (昭 45-10)
- (4) P. H. Trickey: Trans. Amer. Inst. Elect. Engrs **60**, 990 (1941)
- (5) A. E. Fitzgerald: Electric Machinery 532 (1961)
- (6) 小池: 日立評論 **51**, 5, 419 (昭 44-5)
- (7) 電気学会編: 誘導機 210 (昭 38)