小形かご形三相誘導電動機の等価回路定数の一決定法

正 員 岡 田 昌 丈 (足利工大)

正 員 馮 浩 (足利工大)

学生員 細 川 亨 (足利工大)

A Determining Method of Equivalent Circuit Constants of Small Squirrel-cage Type Three Phase Induction Motor.

Yoshitomo Okada, Member, Feng Hao, Member, Tohru Hosokawa, Student member, (Ashikaga Institute of Technology)

キーワード：かご形三相誘導電動機，等価回路定数，同期速度運転試験，拘束試験

1. ま え が き

従来，三相誘導電動機の等価回路定数は，JEC-37 (1979) ⁽¹⁾ または Rotating Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society によって提示された定数決定法⁽²⁾ に基づき決定されている。しかし，これらの定数決定法では，いずれの場合も $x_1 = x_2$ あるいは電動機的设计仕様等により三相誘導電動機をグループ分けし，設定された x_1 と x_2 との割合，すなわち $x_1/x_2 = 1.0$ ，0.6 および 0.43 なる条件と拘束試験時の励磁インピーダンスを無視した状態下で，定数を決定している。したがって，従来の手法には，その利用上または精度上で若干問題があるように思われる。

本レターでは，供試機の簡単な試験を行うだけで何の条件も設けることなく，容易に精度ある定数が決定しうする方法を見いだすことができたので，その定数決定法を適用例とともに報告する。

2. 等価回路定数の決定

〈2・1〉 一次抵抗 [$r_1(\Omega)$] の決定 供試電動機の2端子間の抵抗値(R)を DC ブリッジなどを用いて実測し，この R を2等分して決定する。すなわち，

$$r_1 = R/2 \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (1)$$

〈2・2〉 鉄損分等価抵抗，一次漏れリアクタンスおよび励磁リアクタンス [$r_i, x_i, x_m(\Omega)$] の決定 供試機の同期速度運転試験および拘束試験より，各試験時の入力 [$P_{S=0}, P_{S=1}(W)$]，一次電流 [$I_{S=0}, I_{S=1}(A)$] および印加電圧 [$V_{S=0}, V_{S=1}(V)$] ならびに機械損 [$P_M(W)$] を実測するとともに，直流制動トルク試験⁽³⁾ より最大制動トルク発生時の回転速度 [v_{om} (= 回転角速度/同期角速度)] を実測し，これらの値を同期速度運転時および励磁インピーダンスを無視した拘束時の等価回路より導出された，以下の(2)ないし(4)式に適用することにより決定する。

$$r_i = \frac{P_{S=0} - P_M}{3(I_{S=0})^2} - r_1 \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$x_1 = \sqrt{\left\{ \left(\frac{V_{S=1}/\sqrt{3}}{I_{S=1}} \right)^2 - \left\{ \frac{P_{S=1}}{3(I_{S=1})^2} \right\}^2 \right\}} - x_2 \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$x_m = \frac{r_2}{v_{om}} - x_2 \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{ここに，} r_2 = \{P_{S=1}/3(I_{S=1})^2\} - r_1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$x_2 = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\left\{ \left(\frac{V_{S=1}/\sqrt{3}}{I_{S=1}} \right)^2 - \left\{ \frac{P_{S=1}}{3(I_{S=1})^2} \right\}^2 \right\}} - \sqrt{\left\{ \left(\frac{V_{S=0}/\sqrt{3}}{I_{S=0}} \right)^2 - \left\{ \frac{P_{S=0} - P_M}{3(I_{S=0})^2} \right\}^2 \right\}} + \frac{r_2}{v_{om}} \right] \quad (6)$$

〈2・3〉 二次漏れリアクタンスおよび二次抵抗 [$x_2', r_2'(\Omega)$ ：一次側換算値] の決定 拘束試験時の試験結果とこれまでに決定された定数 (r_1, r_i, x_1, x_m) を，拘束時の精密等価回路(励磁インピーダンスを考慮し，いわゆる r_2', x_2' の補正を行う)より導出された，以下の(7)および(8)式に適用することにより決定する。

$$r_2' = \frac{AC + BD}{A^2 + B^2} \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$x_2' = \frac{AD - BC}{A^2 + B^2} \quad (\Omega) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\begin{aligned} \text{ここに，} A &= r_1 + r_i - r_s, \quad B = x_1 + x_m - x_s \\ C &= r_i(r_s - r_1) - x_m(x_s - x_1) \\ D &= r_i(x_s - x_1) + x_m(r_s - r_1) \end{aligned}$$

$$r_s = \frac{P_{S=1}}{3(I_{S=1})^2}, \quad x_s = \sqrt{\left\{ \left(\frac{V_{S=1}/\sqrt{3}}{I_{S=1}} \right)^2 - \left\{ \frac{P_{S=1}}{3(I_{S=1})^2} \right\}^2 \right\}}$$

なお，本レターでは，電動機の試験を電動機の使用時温度で行うものとし，固定子巻線はスター形結線であるとする。

3. 適用例

一例として，出力 25 W，40 W および 60 W の供試機 A，B および C に対する適用例を示す。上記の各試験事項を供試機 A，B および C に適用し，各実測事項を測定す

表 1 供試機の試験結果

Table 1. Testing results of sample machines.

試験方法 供試機	DC ブリッジ $R[\Omega]$	拘束試験			同期速度試験			制動トルク試験 v_{om}	機械損 P_M [W]
		$P_{g=1}$ [W]	$I_{g=1}$ [A]	$V_{g=1}$ [V]	$P_{g=0}$ [W]	$I_{g=0}$ [A]	$V_{g=0}$ [V]		
A 25W, 4 極	210.9	15.5	0.179	71.9	18.1	0.179	200	0.086	1.0
B 40W, 4 極	108.2	17.7	0.236	51.3	20.5	0.237	200	0.108	2.7
C 60W, 4 極	62.2	36.0	0.408	57.5	29.9	0.408	200	0.143	3.2

表 2 決定された等価回路定数

Table 2. Equivalent circuit parameters.

定数 $[\Omega]$ 供試機	r_1	x_1	r'_2	x'_2	x_m	r_i
A	105.5 (105.5)	67.0 (83.2)	80.1 (56.1)	115.0 (83.2)	553.1 (560.6)	72.2 (111.1)
B	54.1 (54.1)	31.5 (33.6)	60.9 (51.8)	32.4 (33.6)	444.1 (454.7)	51.9 (69.3)
C	31.1 (31.1)	14.5 (18.9)	48.5 (41.0)	17.9 (18.9)	263.4 (264.5)	22.4 (31.3)

図 1 計算値と実測値の比較 [200 V, 50 Hz]

Fig. 1. Comparison of calculated and experimental values. [200 V, 50 Hz]

ると表 1 のようであった。この試験結果に基づき、各供試機の定数を前記(1)ないし(4)式および(7)、(8)式に基づき決定すると表 2 のようになった。表 2 中の()内の値は、JEC-37 に基づき決定された定数を参考までに併記したものである。次に、本定数決定法の妥当性を調べるために、本定数決定法より決定された定数を使用して計算された供試機の数値特性、一次電流および入力とその実測値とを比較し、図 1 および表 3 に示した。なお、図 1 および表 3 には、従来の定数決定法に基づき決定された定数を用いた計算結果も、参考までに破線または()で併記した。図 1 および表 3 より、いずれの場合も本定数決定法より決定された定数を用いた計算結果の方が、従来の定数決定法に基づく計算結果よりも、全般的に実測値と良く符合しており、本定数決定法の妥当であることがわか

表 3 計算値と実測値の比較

Table 3. Comparison of calculated and experimental values.

比較事項 供試機	拘束時				無負荷運転時			
	入力 [W]		一次電流 [A]		入力 [W]		一次電流 [A]	
	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値	計算値	実測値
A	15.5 (16.4)	15.5	.179 (.191)	.179	20.2 (21.8)	20.4	.182 (.172)	.177
B	17.6 (17.9)	17.7	.236 (.246)	.236	21.6 (21.5)	20.4	.238 (.232)	.235
C	35.7 (36.0)	36.0	.408 (.429)	.408	31.9 (35.2)	30.7	.408 (.398)	.405

る。

4. あとがき

本レターでは、電動機の簡単な試験を行うだけで、何の条件も設けることなく、容易に精度ある小形かご形三相誘導電動機の等価回路定数を決定する方法を提示した。

(平成 5 年 12 月 20 日受付)

文 献

- (1) JEC-37, p 56 (1979)
- (2) Rotating Machinery Committee of the IEEE Power Engineering Society: IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators 30 (1984)
- (3) 横塚：かご形誘導電動機の制動特性，計測自動制御学論，5-5，482 (昭 44)

岡 田 昌 文 (正員) 昭和 17 年 4 月 3 日生。42 年 3 月群馬大学大学院工学研究科修士課程終了。足利工業大学電気工学科教授。工学博士。

馮 浩 (正員) 昭和 31 年 2 月 19 日生。1957 年中国浙江工学院電気工学科卒業。同学院電気工学科講師。平成 3 年 10 月より足利工業大学電気工学科研究生。

細 川 亨 (学生員) 昭和 45 年 1 月 17 日生。平成 4 年 3 月足利工業大学電気工学科卒業。同 4 月足利工業大学大学院工学研究科修士課程入学，現在に至る。