

制動巻線付三相反動電動機の特性算定について

天池 邦弘*, 松本 高行*, 坪井 和 男*

Performance Calculation of a Three-Phase Reaction Motor with Damper Winding

Kunihiro AMAIKE*, Takayuki MATSUMOTO* and Kazuo TSUBOI*

(Received September 18, 1968)

The purpose of this study is to confirm, by actual tests, the accuracy of the theory of performance of a three-phase reaction motor with damper winding, previously published by one of the authors (K.A.).

The motor under test is a four-pole, three-phase reaction motor, made by the Fuji Electric Co., Ltd., with the following ratings : 60Hz, 200V, 2kW.

Various machine constants, to be used in the performance calculations by our theory, are measured.

Then the asynchronous starting performance is calculated by means of an electronic computer (TOSBAC 3400-30) and the synchronous performance by an ordinary desk machine.

The comparison of the results calculated with those obtained by actual tests, confirms that our theory is very accurate and is sufficient for practical use.

1. は し が き

この研究は著者等の一人 天池(旧姓加藤)がかつて発表¹⁾した三相反動電動機の特性算定の理論に従い、富士電機製造株式会社製の 3 相, 60[Hz], 200[V], 4 極, 2[kW]の三相反動電動機について定数の測定を行ない, それをもとにして電子計算機 (TOSBAC 3400-30) による非同期起動特性の算定および電動計算機による同期特性の算定を行ない, これ等の算定結果と実験結果とを比較したものである。この研究の結果によれば既に発表¹⁾した理論は極めて正確なものであって, 十分実用に供しうるものであることが明かとなった。

2. 前の論文¹⁾の訂正

以下重複をさけるために, すでに発表¹⁾した論文の記号および理論の内容は省略するが, 前の論文に誤りがあったので訂正しておく。

i) 283 頁の (12) 式のインピーダンス・テンソルの

1f 1b 要素

誤 $(2s-1)X_{D1}\exp\{-2j(\overline{1-s}\omega t+\psi)\}$

正 $j(2s-1)X_{D1}\exp\{-2j(\overline{1-s}\omega t+\psi)\}$

ii) 284 頁の (16) 式

誤 $\tau_s=(\dot{t}_{s1}-\dot{t}_{s1}^*)+(\dot{t}_{s2}-\dot{t}_{s2}^*)+\dots+(\dot{t}_{s\tau}-\dot{t}_{s\tau}^*)$

正 $\tau_s=(\dot{t}_{s1}+\dot{t}_{s1}^*)+(\dot{t}_{s2}+\dot{t}_{s2}^*)+\dots+(\dot{t}_{s\tau}+\dot{t}_{s\tau}^*)$

iii) 284 頁の第一表の τ_{s6}

誤 $(1/4)\dot{I}_1 1f \cdot \max^* \cdot \dot{I}_s 2b \cdot \max jX_{ms}$
 $\exp\{-2j(\overline{s\omega t+\psi+\phi})\}$

正 $(1/4)\dot{I}_1 1f \cdot \max^* \cdot \dot{I}_s 2b \cdot \max^* \cdot jX_{ms}$
 $\exp\{-2j(\overline{s\omega t+\psi+\phi})\}$

iv) 286 頁の (33) 式の 2 番目の式

誤 $\alpha_d^2 r_{D2}=(1/2)(\alpha_d^2 r_{d2}+\alpha_q^2 \beta^2 r_{q2})$

正 $\alpha_d^2 r_{D2}=(1/2)(\alpha_d^2 r_{d2}-\alpha_q^2 \beta^2 r_{q2})$

尚電子計算機による詳細な計算を行なったので 285 頁の 4. 定常状態における電流およびトルクの近似式は用いていない。

* 本学電気工学科 (Department of Electrical Engineering)

3. 定数の測定結果

A. 無負荷試験

無負荷試験の結果は

V [V]	I [A]
200	7.33

従って

$$X_{d1} = V / (\sqrt{3}I) = 15.75[\Omega]$$

B. 滑り試験

滑り試験の結果は

	E [V]	I [A]
d 軸	2.51	0.049
q 軸	2.47	0.236

$$X_{d1}' = E_d / (\sqrt{3}I_d) = 2.51 / (\sqrt{3} \times 0.049) = 29.6[\Omega]$$

$$X_{q1}' = E_q / (\sqrt{3}I_q) = 2.47 / (\sqrt{3} \times 0.236) = 6.04[\Omega]$$

$$X_{q1} = X_{q1}' X_{d1} / X_{d1}' = 6.04 \times 15.75 / 29.6 = 3.22[\Omega]$$

$$X_{da} = (2/3)X_{d1} = (2/3) \times 15.75 = 10.50[\Omega]$$

$$X_{qa} = (2/3)X_{q1} = (2/3) \times 3.22 = 2.15[\Omega]$$

$$X_{S1} = (1/2)(X_{d1} + X_{q1}) = (1/2)(15.75 + 3.22) = 9.49[\Omega]$$

$$X_{D1} = (1/2)(X_{d1} - X_{q1}) = (1/2)(15.75 - 3.22) = 6.27[\Omega]$$

C. 抵抗測定

線間で測った電機子抵抗の1/2をとり 75[°C] に換算すれば

$$r_a = 0.255[\Omega]$$

D. 静止単相インピーダンス試験

線間で測った静止単相インピーダンス試験の結果は

	電圧 [V]	電流 [A]	電力 [W]
直軸 d	50.0	24.5	470
横軸 q	51.0	21.5	365

i) d 軸

$$Z_d = V_d / I_d = 50 / 24.5 = 2.041[\Omega]$$

$$R_d = W_d / I_d^2 = 470 / 24.5^2 = 0.7830[\Omega]$$

$$X_{d1} = \sqrt{Z_d^2 - R_d^2} = \sqrt{2.041^2 - 0.7830^2} = 1.8848[\Omega]$$

$$\alpha_d^2 r_{d2} = (R_d - 2r_a) / 3 = (0.7830 - 0.255 \times 2) / 2 = 0.09100[\Omega]$$

$$\alpha_d X_{mda} = X_{da} - (1/6)X_{d1} = 10.50 - (1/6) \times 1.8848 = 10.186[\Omega]$$

$$\alpha_d^2 X_{D2} = (1/6)X_{d1} + \alpha_d X_{mda} = (1/6) \times 1.8848 + 10.186 = 10.50[\Omega]$$

ii) q 軸

$$Z_q = V_q / I_q = 51 / 21.5 = 2.372[\Omega]$$

$$R_q = W_q / I_q^2 = 365 / 21.5^2 = 0.7896[\Omega]$$

$$X_{q1} = \sqrt{Z_q^2 - R_q^2} = \sqrt{2.372^2 - 0.7896^2} = 2.237[\Omega]$$

$$\alpha_q^2 r_{q2} = (R_q - 2r_a) / 3 = (0.7896 - 0.5100) / 3 = 0.09320[\Omega]$$

$$\alpha_q X_{mqa} = X_{qa} - (1/6)X_{q1} = 2.15 - (1/6) \times 2.237 = 1.7772[\Omega]$$

$$\alpha_q^2 X_{q2} = \alpha_q X_{mqa} + (1/6)X_{q1} = 1.7772 + (1/6) \times 2.237 = 2.15[\Omega]$$

iii) X_{ms} および β

$$\alpha_d X_{ms} = \sqrt{3/2} \alpha_d X_{mda} = \sqrt{3/2} \times 10.186 = 12.478[\Omega]$$

$$\beta = \alpha_d X_{mda} / \alpha_q X_{mqa} = 10.186 / 1.7772 = 5.731$$

$$\beta^2 = 32.85$$

iV) rs2, r02, Xs2 および XD2

$$\begin{aligned} \alpha_d^2 r_{S2} &= (1/2)(\alpha_d^2 r_{d2} + \alpha_q^2 r_{q2} \beta^2) \\ &= (1/2)(0.09100 + 0.932 \times 32.85) \\ &= 1.5763[\Omega] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_d^2 r_{D2} &= (1/2)(\alpha_d^2 r_{d2} - \alpha_q^2 r_{q2} \beta^2) \\ &= -1.4853[\Omega] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_d^2 X_{S2} &= (1/2)(\alpha_d^2 X_{d2} + \alpha_q^2 X_{q2} \beta^2) \\ &= 40.56[\Omega] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_d^2 X_{D2} &= (1/2)(\alpha_d^2 X_{d2} - \alpha_q^2 X_{q2} \beta^2) \\ &= (1/2)(10.50 - 2.15 \times 32.85) \\ &= -30.06[\Omega] \end{aligned}$$

V) 以上の諸定数の要約

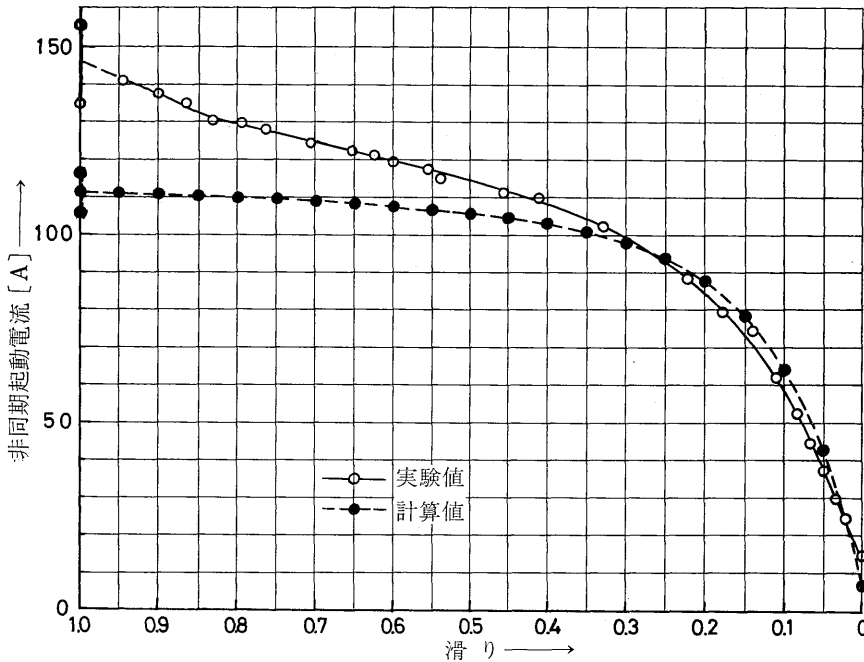
$$\left(\begin{array}{ll} X_{d1} = 15.75[\Omega] & X_{q1} = 3.22[\Omega] \\ r_{S1} = 0.255[\Omega] & X_{S1} = 9.49[\Omega] \\ X_{D1} = 6.27[\Omega] & X_{ms} = 12.48[\Omega] \\ r_{S2} = 1.576[\Omega] & X_{S2} = 40.56[\Omega] \\ r_{D2} = -1.485[\Omega] & X_{D2} = -30.06[\Omega] \end{array} \right)$$

定数決定上注意すべきことは、滑り試験において速度を同期速度に極めて接近させることと、単相静止インピーダンス試験において、電機子電流の値を適当に選ぶことである。

4. 非同期起動電流

非同期起動特性の実験は、実際の起動の場合にくらべて長い時間を要する。従って定格電圧で行なうと、大きな起動電流のため過熱するので、電圧を 80[V] に下げで行ない、後その測定値を定格電圧の時の値に換算した。

第1図は、滑りに対する非同期起動電流の計算値と実験値を示すものである。

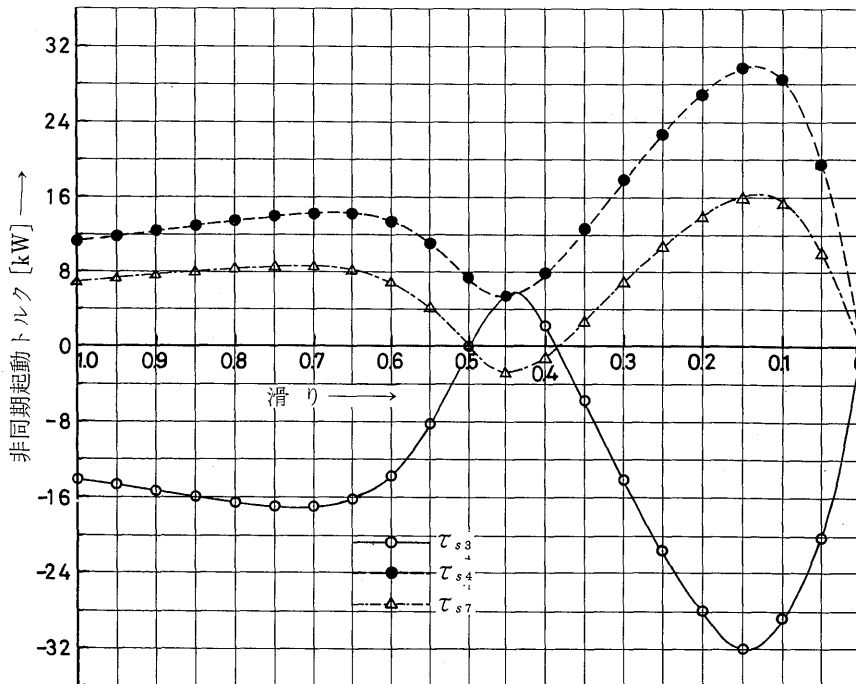


第1図

滑りの大きいところで、計算値と実測値との間にかなりの誤差の出ているのは、漏れ磁路の磁気飽和とクローリングに基くものと思われる。

5. 非同期起動時における非同期性トルクの各成分

第2図は滑りに対する非同期性トルクの各成分 τ_{s3} , τ_{s4} および τ_{s7} の関係を示したものである。ここに $\tau_{s3} = i_{s3} + i_{s3}^*$, $\tau_{s4} = i_{s4} + i_{s4}^*$ および $\tau_{s7} = i_{s7} + i_{s7}^*$ である。



第2図

電子計算機を用いることにより、初めて滑りに対する τ_{s3} , τ_{s4} および τ_{s7} の関係が明確に示された。

6. 非同期起動トルクの合成値

第3図は、滑りに対する非同期起動トルクの合成値 $\tau_{s3} + \tau_{s4} + \tau_{s7}$ の計算値と実験値を示すものである。

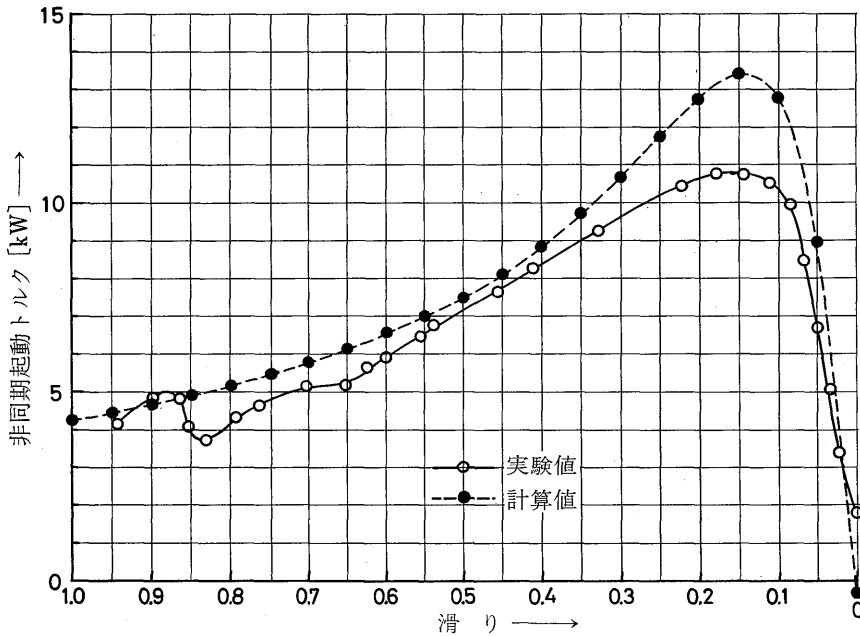
実験値をみると滑りの大きいところでクローリングの現象が現われている。

7. 同期速度における電機子電流

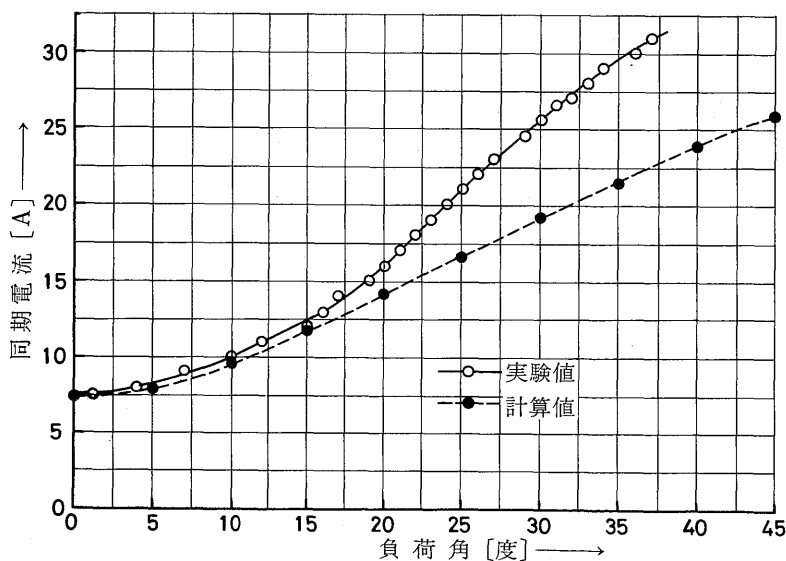
第4図は同期速度における負荷角に対する電機子電流

の計算値と実測値を示している。

負荷角の大きいところで、電流の計算値と実測値との間にかんりの誤差が出ているが、これは磁気回路の飽和によるものである。(飽和は直軸方向が横軸方向より著しい。) これを実証するため、100[V]において定数の測定を行ない、同期速度における負荷角と電流との実験値と計算値の比較を行なったが、その結果は第5図の如くであって、計算値と実測値との間に大きな誤差はない。



第3図



第4図

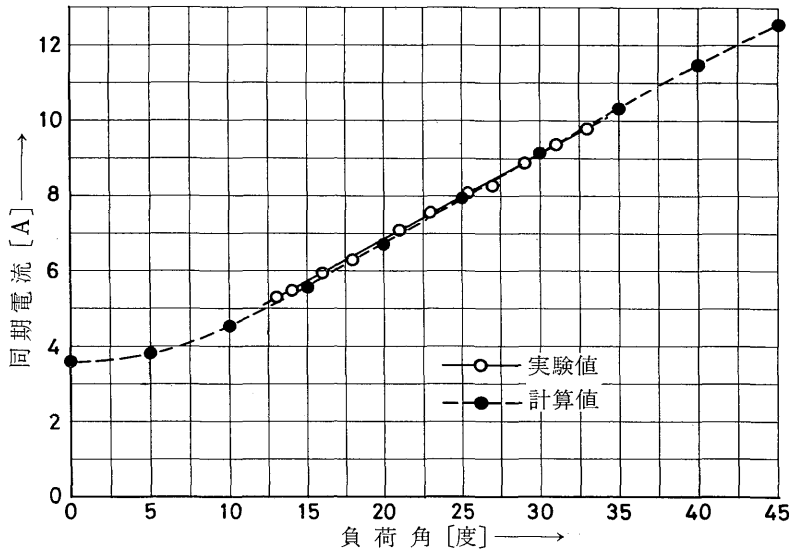
8. 同期速度におけるトルク

第6図は同期速度における負荷角に対する同期性トルク τ_{s1} および τ_{s2} と、同期速度における非同期性トルク τ_{s3} の和の計算値および実測値を示す。ただし τ_{s1}

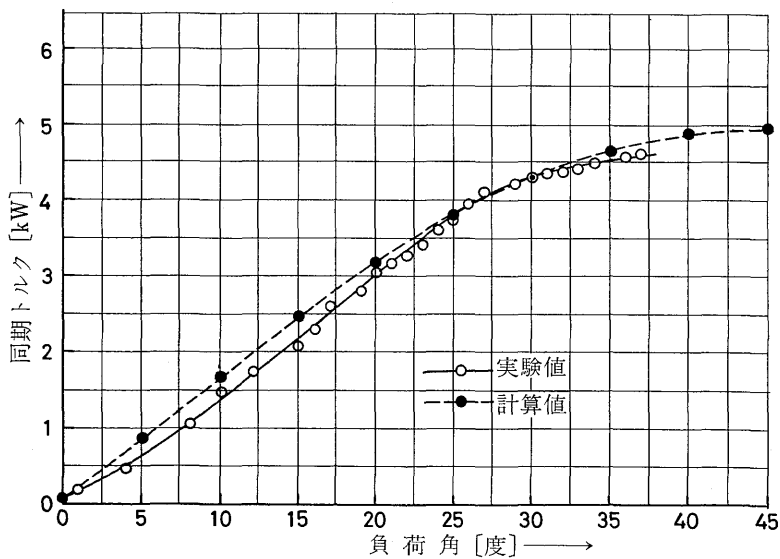
$=\dot{\tau}_{s1}+\dot{\tau}_{s1}^*$ および $\tau_{s2}=\dot{\tau}_{s2}+\dot{\tau}_{s2}^*$ である。

9. 同期速度における力率

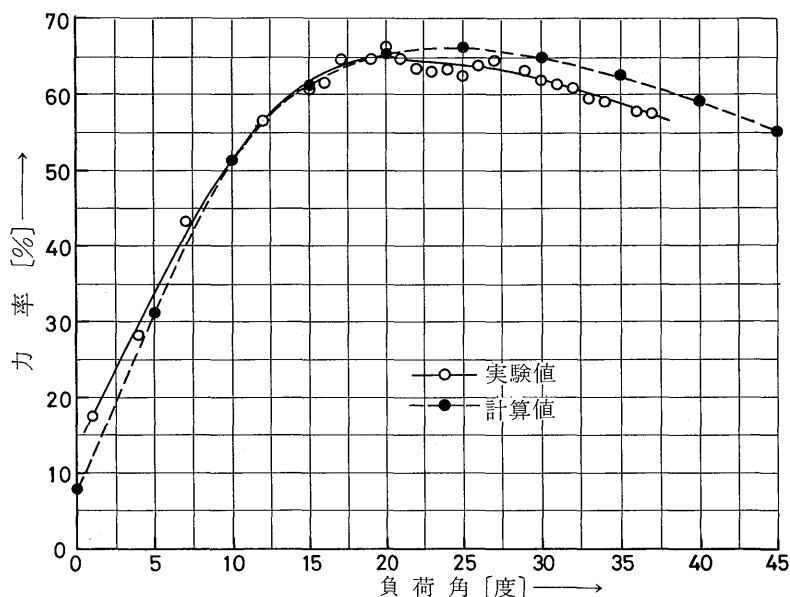
第7図は、同期速度における、負荷角に対する力率の計算値および実測値を示す。



第5図



第6図



第7図

10. むすび

以上の実験および計算から、既に発表¹⁾した論文は実用上十分役に立つことが判明すると同時に、今迄明かでなかった非同期速度における、滑りに対する非同期性トルクの各成分の変化の様相が明かとなった。

この研究には東京芝浦電気株式会社電子計算機営業技術部応用技術課藤田一郎氏、同社中部支社電子機器部電

子計算機課松岡真司氏、本学講師加藤他一氏、本学技術員杉本寿治氏、同石川喜代松氏、同水野銘二氏、同湯本繁雄氏、本学卒論学生越岡保之君、同北口英樹君、同山口恵三君および山本勝博君に協力して戴いたので、ここに誌上を借りて、厚く御礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

1. 加藤(現姓天池) 電工論, 4, 281~7 (昭和27年)