ワットメータを用いた同期モータの x_d, x_q 精密滑り測定法

正 員 杉 浦 修 (山 梨 大)
正 員 秋 山 勇 治 (神奈川工大)

Exact Method for Measuring x_d and x_q of Synchronous Motor used Watt Meter
Osamu Sugiura, Member (Yamanashi University), Yuji Akiyama, Member (Kanagawa Institute of Technology)

キーワード：リラクタンスモータ，突極同期機，同期リアクタンス，滑り法

1. ま え が き

リラクタンスモータや突極同期機（以下，RM と略記）の直軸および横軸同期リアクタンス（以下， x_d, x_q と略記）を測定する方法には，一般に滑り法⁽¹⁾が利用されている。しかし，小容量機に対しては問題があった。この測定法の欠点を補う，新しい x_d, x_q の測定法⁽²⁾（以下， $\delta=0$ 法と略記）を前報告で提案した。この方法は， x_d, x_q の測定精度が高いけれども，RM に直結の直流機の負荷調整による電力角 δ の変化を測定する装置を必要とする。その装置によって δ を零に調整し， x_d, x_q の計算データを実測するというわずらわしさと，巻線抵抗が大きくなると不安定になるという欠点があった。

新しく， δ を考慮せず，電機子電流を最小値に調整しワットメータの値を読むという方法を提案する。前報告⁽²⁾⁽³⁾よりも測定が簡単であり，かつなじみのある滑り法の測定も併用するので安定性も向上し，電機子抵抗 R_s を考慮した x_d, x_q の測定法として最適である。そのため，本測定法を「精密滑り法」と名付け，その妥当性を実験により検証した。

2. 計算法の導出

同期速度時における，RM の解析結果から，電機子電流 I_a は，図 1⁽³⁾ のようにベクトル軌跡が得られる。図 1 において，電機子電流 I_{min} は， I_a の最小ベクトルである。破線で示された I_{a0} または図 2 の I_{a0} は， $\delta=0$ の場合の I_a である（ $\delta=0$ 法で利用する）。

最小電流 I_{min} が流れるときの RM への入力は，最小電力 W_{min} である。この関係は，図 3 として示される。ただし，同図の各波形は電圧，電流，電力の瞬時値の最大値を描いたものである。同図は，横軸が δ であるが，滑り s が零に非常に近い状態では時間 t と

図 1 I_a のベクトル軌跡 図 2 $\delta=0^\circ$ のベクトル図
Fig. 1. Vector diagram of I_a . Fig. 2. Vector diagram of $\delta=0^\circ$

置き換えてもよい。従って，その電圧，電流の変動は，滑り法におけるデータそのものである。図 1 より，位相角 ϕ_m において，電源から見たインピーダンス Z_{min} は，

$$Z_{min} = \frac{V_{max}/\sqrt{3}}{I_{min}} = R_{min} + jX_{min} \quad \dots\dots\dots (1)$$

である。ただし，

$$R_{min} = W_{min}/3I_{min}^2, \quad X_{min} = \sqrt{Z_{min}^2 - R_{min}^2}$$

位相角 ϕ_m におけるタンジェントは，図 1 の I_{11} のベクトルより，

$$\tan(\phi_m) = \frac{X_1 V/d}{R_s V/d} = \frac{X_1}{R_s} = \frac{X_{min}}{R_{min}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

である。（2）式より，

$$X_1 = R_s(X_{min}/R_{min}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

が得られる。図 1 から I_{11}, I_{12} の式を求めると，

$$\begin{aligned} I_{11} &= (I_{max} + I_{min})/2 \\ I_{12} &= (I_{max} - I_{min})/2 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4)$$

となる。次に，図 1 より，

図 3 各波形の電力角に対する変動

Fig. 3. Waveforms of W , V , and I with power-angle δ .

図 4 従来の滑り法と $\delta=0$ 法および本精密滑り法の比較

Fig. 4. Comparison of slip test, $\delta=0$ method and this exact slip test.

$$\frac{I_{11}}{I_{12}} = \frac{\sqrt{R_s^2 + X_1^2} (V/\Delta)}{X_0 (V/\Delta)} = \frac{\sqrt{R_s^2 + X_1^2}}{X_0} \dots\dots (5)$$

となる。従って、(4)、(5)式より(6)式が得られる。

$$X_0 = \sqrt{R_s^2 + X_1^2} \left(\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

3. x_d, x_q の測定結果

本提案の精密滑り法による x_d, x_q を測定するためには、次の三種類の実験を行えばよい。

(i) 直流電圧降下法で R_s を測定する。

(ii) RM に直結のモータによって、RM を同期速度で運転する。 $I_{\min}$ の電力角における $V_{\max}, W_{\min}$ を測定する。このときの実験データを用いて、(3)式より X_1 を計算する。

(iii) 滑り法の実験を行う。このときの実験データの $I_{\min}, I_{\max}$ と (i)、(ii) の測定データである R_s, X_1 にて、(6)式より X_0 を計算する。

ここで、 $x_d = X_1 + X_0, x_q = X_1 - X_0$ より計算することができる⁽³⁾。

本精密滑り法の妥当性を実験によって確認するため、供試機として前回⁽²⁾と同じ、1 kW の小形同期機

の励磁回路を開放し、 x_d, x_q の測定を行った結果を図 4 に示す。RM の電機子回路に必要な以上に過大な外付け抵抗 R_g を挿入し、滑り法と精密滑り法の両方法による x_d, x_q の値を計算し、図 4 中にプロットした。本精密滑り法による x_d, x_q の値は、電機子抵抗 ($R_s + R_g$) の値に依存せず、ほぼ一定であり、高い精度の x_d, x_q の測定法であることが検証された。なお、前回提案の $\delta=0$ 法⁽²⁾の測定法では結果はよく一致するが、挿入抵抗 5Ω 以上では不安定となり、測定が困難であった。しかし、本方式ではまったく問題がなく、高抵抗域まで正確に測定することができた。

4. むすび

本精密滑り法は $\delta=0$ 法に比べ、測定精度に関しては、いずれも良好である。そして、測定実験については、(i)～(iii)のように簡単であり、特別な測定装置を必要とせず、より大きな R_s での測定領域を有し、かつなじみのある滑り法を拡張した方法である。そのため、本精密滑り法は R_s を厳密に考慮した RM の x_d, x_q の測定法として、最適な方法であると判断される。特に巻線抵抗が無視できない小～中容量機の場合に利用されることを推奨する。

(平成 4 年 9 月 16 日受付)

文 献

- (1) 電気学会編：「同期機」，JEC-114(1979)
- (2) 杉浦・秋山：「新しい x_d, x_q の測定法」，電学論 D, 112, 501 (平 4-5)
- (3) 杉浦・秋山：「リラクタンスモータの精密な x_d, x_q の測定法」，電気学会回転機研資，RM-90-102 (平 2)

杉 浦 修 (正員)

研究に従事。

昭和 17 年 10 月 1 日生。46 年 3 月東京電機大学大学院修士課程修了。同年 6 月山梨大学工学部助手、現在に至る。小形モータ、特殊アクチュエータに関する

秋 山 勇 治 (正員)

昭和 14 年 5 月 29 日生。41 年 3 月東京電機大学大学院修士課程修了。(株)東芝重電技術研究所より神奈川工科大学電気学科教授転出。サーボモータ、特殊モータ、産業用ロボットの研究に従事。小形モータ調査(専)委員長。工学博士。技術士。