

負荷電流による磁気飽和の影響を考慮した深みぞ かご形誘導電動機の特性格算定簡易電流線図法

藤田 宏 小西 征男
前田 勉 高森 一夫

Simple Current Diagram Method for Calculating Characteristics of the Deep Slot squirrel Cage Induction Motor considering the Effects of Magnetic Saturation due to the Load Current

Hiroshi FUJITA, Yukio KONISHI
Tutomu MAEDA, Kazuo TAKAMORI

Considering the effects of the magnetic saturation caused by the load current, current diagram methods for calculating characteristics of the ordinary squirrel-cage and that of the special squirrel-cage induction motors were established, and reported already. But it was impossible to apply them for the case of the deep-slot squirrel-cage induction motors with the slot-depth larger than 2 cm, because, in this case, the locus of the locked equivalent winding impedance phasor was not represented exactly.

Using Dr. M. Norman's theory, we could established the current diagram method which was appropriate for this case. So, in this paper, we report the new method that was devised for practical use. Moreover, it would be noted that this new method has higher accuracy than the conventional method by making a comparison between the results obtained by each of them.

1. ま え が き

先に負荷電流による磁気飽和の影響を考慮した誘導電動機の動特性格算定電流線図を普通かご形と特殊かご形誘導電動機の場合について設定したが、⁽¹⁾⁽²⁾ スロット深さ 2 cm をこえるものは未設定である。これはこの場合の拘束等価巻線インピーダンススペクトル軌跡を正確に決定できなかったからである。

この理由から、Norman 氏の方法⁽³⁾を用いてこの軌跡を考察し、負荷電流による磁気飽和の影響を考慮した深みぞかご形誘導電動機の特性格算定電流線図法を設定するとともに、さらに実用化を目的として簡易電流線図法を設定した結果、簡易法にもかかわらず現行法に比べて非常に精度が高く、かつ、きわめて簡単な手法であることから従来の複雑な方法から解放されて有

効に使用できることを知ったので報告する。

2. 磁気飽和を考慮した深みぞかご形誘導電動機の拘束等価巻線インピーダンススペクトル軌跡

深みぞかご形誘導電動機の相似拘束等価巻線インピーダンススペクトル軌跡は負荷電流による磁気飽和の影響を考慮しない基本的な場合はすでに報告した⁽²⁾のように円弧の一部に近似する。磁気飽和の影響を受けた場合のこの軌跡をNorman 氏の方法⁽³⁾を用いて求めると、これもまた円弧の一部に近似し、前者の場合に比べてリアクタンス分のみ変化している。両者の関係は図-1 のようになるが、この軌跡上の点について考察すると、 $Z_s 0$ 、 $Z_s 100\%$ の点はすでに報告した方法⁽⁴⁾から決定できる。よって、この軌跡は $Z_s 50\%$ 点を決定すれば求められる。しかし、このすべり 0.5 に関する

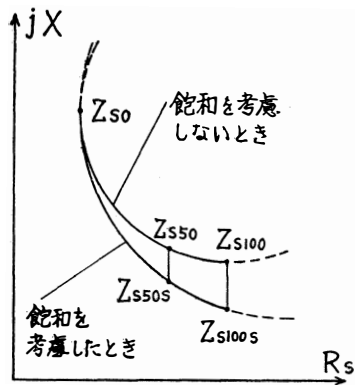


図 1 相似拘束等価巻線インピーダンスベクトル軌跡

リアクタンス減少分を算定するにはかなりの手数を必要とする。(4)

ところが、図-1の両軌跡はすべり0の Z_{s0} 点において一致し、その接し方は内接円に近い傾向をしめしている。そこでこの傾向を利用して磁気飽和を考慮した場合と考慮しない場合の拘束負荷電流ベクトル軌跡を内接円とみなして手法の簡易化をはかった。

3. 無負荷電流ベクトルの影響に関する考察

以上に述べた負荷電流による磁気飽和の影響を考慮した拘束等価巻線インピーダンスをすべりに関して求めることは比較的容易であるが先に報告したように(1)(2)磁気飽和による回路定数変化のため無負荷電流ベクトルもすべりに関して変化する。しかし、これを求めることはかなり面倒であるので、手数を省くためこの無負荷電流ベクトルを無負荷試験値から求めた電流ベクトルをもって、いかなるすべりの場合も一定とみなして電流線図を作図すると特性算定にどのような影響を及ぼすか考察してみる。

深みぞかご形誘導電動機の拘束力率は大きい場合でせいぜい0.35程度であり、また、全負荷電流 I_1 と起動電流 I_s の比は5~10、無負荷電流 I_n との比は約3程度である。このことは I_s/I_n の比がほぼ15~30倍程度になることを意味する。このような状態のもとで特性算定電流線図を作図すると図-2のような傾向にあり、無負荷電流のベクトル頂はすべりが1.0→0に変化するとき、無負荷電流ベクトル頂は $N_1 \rightarrow N_0$ に移動する。しかし、すべりの大きい範囲では特性算定点が無負荷電流ベクトル頂よりはるかに離れており、その点の特性は無負荷電流ベクトルの精度よりも、むしろ

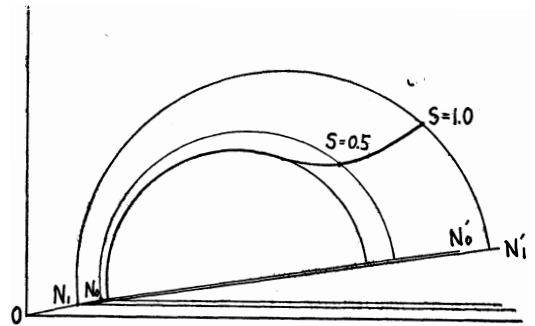


図 2 無負荷電流ベクトルの影響

円線図径の精度に支配される。この傾向はかなり小さいすべり、すなわち0.2近辺にまで及ぶ。一方、これより小さいすべりの範囲では無負荷電流ベクトル頂は N_0 にかなり接近してくるので無負荷試験値から求めた無負荷電流ベクトル頂 N_0 を使用してもその影響は微小となる。したがって、深みぞかご形誘導電動機の無負荷電流ベクトルを一定として特性算定電流線図を作図して特性を求めても、その影響は微小であるといえる。

4. 負荷電流による磁気飽和の影響を考慮した深みぞかご形誘導電動機の特性算定簡易電流線図法

4.1 本法に必要な試験値と計算値

深みぞかご形誘導電動機の回転子導体のスロット部分の高さと導体の銅に対する固有抵抗比 γ を知り、それに加えて次の値が必要である。

定格周波数のもとで拘束試験を拘束電圧（定格電流に等しい電流で拘束したときの電圧） E_{s1}' 、（定格電流の2倍に等しい電流で拘束したときの電圧） E_{s2}' の2点で行ない、それぞれの場合の拘束電流を W_{s1}, W_{s2} 、 i_{s1}, i_{s1}' 、同様に低周波（定格電圧の1/2）のもとで拘束試験を拘束電圧 E_{s1}'' で行ない、その場合の拘束損失および拘束電流を W_{s1}'', i_{s1}'' 、定格電圧を E_0 、無負荷電流を I_n とすれば、

$$I_{s1}' = i_{s1}' E_0 / E_{s1}' \quad (1)$$

$$I_{s2}' = i_{s2}' E_0 / E_{s2}' \quad (2)$$

$$\cos \varphi_{s1}' = W_{s1}' / \sqrt{3} E_{s1}' i_{s1}' \quad (3)$$

$$\cos \varphi_{s2}' = W_{s2}' / \sqrt{3} E_{s2}' i_{s2}' \quad (4)$$

$$\cos \varphi_{s1}'' = W_{s1}'' / \sqrt{3} E_{s1}'' i_{s1}'' \quad (5)$$

$$\cos\varphi_{s1}'' = \cos\varphi_{s1}' / \sqrt{4 - 3 \cos^2\varphi_{s1}'} \quad (6)$$

$$I_{s1}'' = E_0 I_{s1}' / E_{s1}' \sqrt{4 - 3 \cos^2\varphi_{s1}'} \quad (7)$$

$$I_{s100} = I_{s1}' - I_n \quad (8)$$

$$I_{s50} = I_{s1}'' - I_n \quad (9)$$

ただし、 φ_{s1}' 、 φ_{s1}'' は I_{s1}' 、 I_{s1}'' の力率角である。

また、JEC-37に述べている方法により、すなわち、次の(10)、(11)式から磁気飽和の影響を考慮した全電圧時の拘束電流の絶対値 $|I_{ss}|$ を求める。

$$A = \log(I_{s2}' / I_{s1}') / \log(E_{s2}' / E_{s1}') \dots\dots\dots(10)$$

$$|I_{ss}| = I_{s1}' (E_0 / E_{s1}')^A \dots\dots\dots(11)$$

さらに、 Z_{s0} 推定倍率および円弧分割比 (図-3 参照) などが必要である。

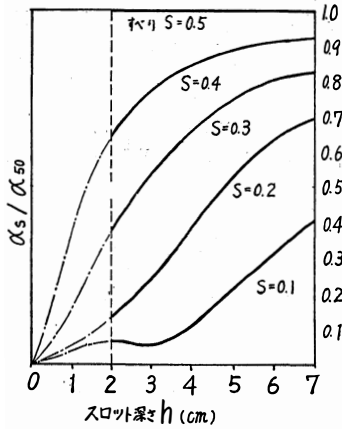


図 3 円弧分割比 (α_s / α_{50})

4.2 本法による特性算定電流線図の作図法

4.1 で求めた値から任意のすべりの円線図を得る方法を図-4 を用いて説明する。

(a) 既に報告した手法⁽¹⁾から、磁気飽和を考慮しない基本的な場合に関する相似拘束等価巻線インピーダンスベクトル軌跡および拘束負荷電流ベクトル軌跡 α 、 β を作図し、円弧分割比から相似拘束等価巻線インピーダンスベクトル軌跡 α 上に任意のすべりの点 $Z_{s\sigma}$ を決定する。

(b) $Z_{s\sigma}$ と N とを結び、 β との交点を $L_{s\sigma}$ とする。

(c) 既に報告した方法⁽²⁾を用いて磁気飽和を考慮した場合の拘束電流ベクトル $I_{ss} = \overline{NL_{s100s}}$ を決定する。

(d) 拘束負荷電流ベクトル軌跡 β の中心 O_1 を求め、 L_{s0} と O_1 とを結んで延長し $\overline{L_{s100s} L_{s0}}$ の垂直二

等分線との交点を O_2 とする。

(e) O_2 を中心として円弧 $\overline{L_{s0} L_{s100s}}$ を描き、磁気飽和を考慮した場合の拘束等価電流ベクトル軌跡と近似する。

(f) $L_{s\sigma}$ 、 L_{s100} より次式を満足する $L_{s s s}$ なる点を $\overline{L_{s0} L_{s100s}}$ 上に求める。

$$\angle L_{s0} O_2 L_{s s s} = \angle L_{s0} O_2 L_{s100s} \frac{\angle L_{s0} O_1 L_{s\sigma}}{\angle L_{s0} O_1 L_{s100}}$$

(g) $L_{s s s}$ と N とを結べば $\overline{L_{s s s} N}$ が磁気飽和を考慮した場合の任意のすべりに対する拘束電流ベクトルとなり、 $L_{s s s}$ 、 N を通り $\overline{NN'}$ 上に中心をもつ円を描けばこの場合の円線図を得る。

(h) 他のすべりの場合にも同様に作図すれば、すべてのすべりに関してそのすべりの特性を求め得る円線図を求めることができる。

(i) 以下、特性算定法は先に報告した方法⁽¹⁾と全く同様な方法を用いればよいので、算定手順に関する説明は省略する。

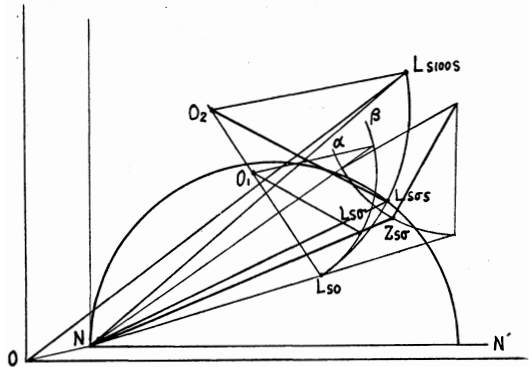


図 4 負荷電流による磁気飽和の影響を考慮した深みぞ誘導電動機特性算定簡易電流線図

5. 本法による特性算定値の比較、考察

本手法による値、JEC-37の方法による値および理論真値としてNoman氏の方法⁽³⁾によって求めた値との間にどの程度の差を生ずるか、400KW、6P、3000V、50Hz、回転子スロット深さが5cmの深みぞかご形誘導電動機についてその設計値から試算求めたものが図-5である。この結果、本手法によれば理論的に非常に精度の高い特性算定のできる事がわかる。また、設計者が設計上の特性算定に使用することについては十分の妥当性を有し、かつ、その至便さにおいては現行法よりはるかにまさっているといえる。ところが試験法として実用化するには実験結果と比較してどの程度の誤差を含むかによって決まるのである。

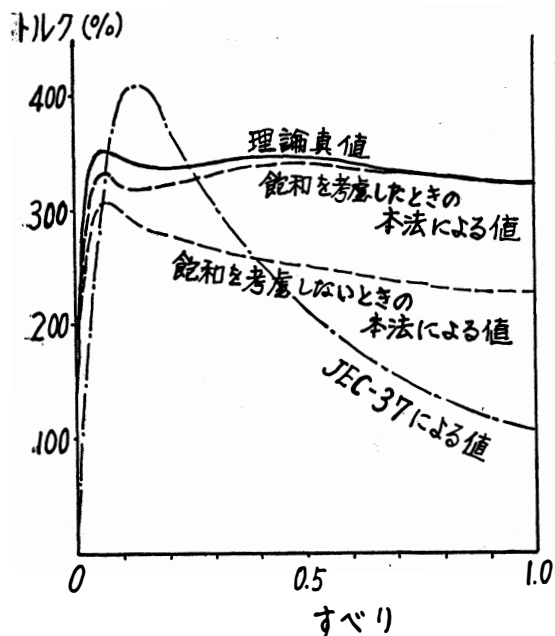


図 5 特性算定値の比較

から、実測値との実験的証明が必要とされる。しかし、特性算定に必要な条件はすべて具備しており、理論上の妥当性は設計値の比較にみるように十分有していると確信する。

6. むすび

以上に述べたように、本法はきわめて簡易な手法であり、JEC-37にもとづく現行法と比較して簡易法であるにもかかわらず非常に精度が高く、実用化するならば電動機応用上役に立つものといえる。

参考文献

- (1) 藤田 電学誌 (昭41. 12)
- (2) 藤田 電学誌 (昭42. 7)
- (3) M. Norman Elec. Eng. (Apr. 1934)
- (4) 藤田 北陸連大 (昭43. 10)

電気4学会北陸支部連合大会 昭和43年10月16日発表

(昭和43. 10. 31受付)