

三相かご形誘導電動機の二次抵抗に対する検討

メタデータ	言語: jpn 出版者: 明治大学工学部 公開日: 2013-05-23 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 三木, 一郎, 松瀬, 貢規, 高木, 亀一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/14789

II-236 三相かご形誘導電動機の二次抵抗に対する検討

三 木 一 郎
松 瀬 貢 規
高 木 亀 一

Investigation on The Secondary Resistance of The Three Phase Squirrel-Cage Induction Motor

Ichiro MIKI
Koki MATSUSE
Kameichi TAKAGI

Abstract

In this paper, the authors deal with the secondary resistance of the three phase squirrel-cage induction motor, and obtain the value considering the exciting circuit and the temperature change of the primary winding resistance. And, the results are compared with the value calculated in the way of JEC-37.

1. まえがき

誘導電動機の特性格算定法には JEC-37⁽¹⁾に規定されている方法が広く用いられているが、過去に石崎氏らはこの方法の問題点を示し、改良案⁽²⁾を発表している。また誘導機専門委員会においても同様なことが検討され、電気学会技術報告⁽³⁾⁽⁴⁾に発表されている。JEC-37の問題点として主にあげられているものは、拘束試験時に測定される入力に含まれる銅損以外の損失の取扱い方についてである。そこで筆者らは直接測定困難であり、JEC-37の方法によれば誤差が集中されるといわれている二次抵抗値について研究した。小容量三相かご形誘導電動機を試料機として、T形等価回路をそのまま使用し、従来の方法に加えて新たに主磁束の測定⁽⁵⁾、位相の測定等の試験を行なうことによって、拘束時の入力を一次、二次銅損、及び励磁回路における鉄損の和とし、更に一次巻線抵抗の温度による変化を考慮した場合の二次抵抗値を算出し、JEC-37で規定された方法による抵抗値と比較、検討したのでその結果を報告する。

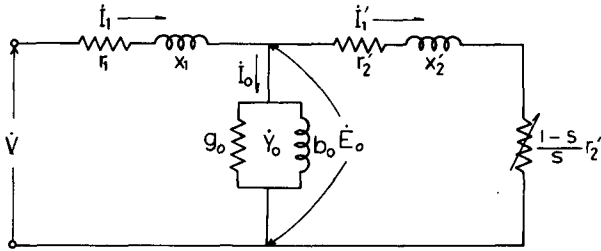
2. 従来の方法の問題点と対策

かご形誘導電動機の二次抵抗は、その構造上、直接に測定することは困難である。従来、等価回路を考へる場合、二次抵抗を決定する方法としては、次に述べる方法がある。回転子を拘束し、一次端子間に低電圧を印加し、一次電流が定格値になった場合の一相当りの電圧 V_s 、電流 I_s 、電力 P_s を測定し、これより、 $r_1 + r_2 = P_s / I_s^2$ となる。ここで r_1 は一次巻線抵抗であり、あらかじめ測定することが可能な値であるから、一次側に換算された二次抵抗 r_2 は、 $r_2 = P_s / I_s^2 - r_1$ となる。しかし、この方法は、励磁回路をまったく考慮していないので、実際には正確さに欠ける。特に本研究に使用した電動機のように、無負荷電流が定格電流の50%以上を占める場合には、励磁回路を無視することはできない。したがって、このような電動機の等価回路はT形等価回路を使用するように規定されている。以上のことより、励磁回路を無視することなく、正確に r_2 を決定しようとするには、従来行なわれてきた拘束試験に加えて、無負荷試験及び主磁束による誘起電力の測定、更に一次電流の印加相電圧に対する位相を測

定する必要が生じてくる。また、温度による抵抗の変化は、電動機の固定子巻線に熱電対の先端を密着させることによって常に観測することができる。従来の方法より、幾分煩雑になるが、各測定は、無負荷試験、および拘束試験に付随して行なわれるものであり、実験方法自体、新しいものというわけではない。

3 原理、および計算法

第3.1図に誘導機のT形等価回路を示す。



第3・1図 T形等価回路

電動機を拘束すると、二次側はすべり $S=1$ となり第3.1図の等価回路から明らかなように短絡状態となる。この時、印加電圧を徐々に上昇させると、それに伴ない電流、および誘起電力は増加してくる。この試験から印加電圧に対する誘起電力、および一次電流がわかり、かつ印加相電圧に対する誘起電力と一次電流の位相がわかる。また誘起電力に対する励磁電流、および印加相電圧に対する位相がわかれば、簡単な計算により次のように二次抵抗の値が求められる。

拘束状態において、ある印加電圧 V に対して、サーチコイルに発生する誘起電力を E_0 。一次電流を I_1 、印加相電圧に対する位相を θ_1 とすれば、

$$\dot{I}_1 = I_1 (\cos \theta_1 + j \sin \theta_1) \dots\dots\dots (1)$$

と表わされる。

次に、同じ誘起電力 E_0 の時に、励磁回路に流れる電流値を求めなければならない。電流の絶対値は、無負荷状態にして拘束時の誘起電力 E_0 と同じ誘起電力値を発生させるように印加電圧を調整した時の電流計の読みとなる。位相は次のようにして求める。無負荷時でも拘束時でも、誘起電力が同一であるならば励磁回路に流れる電流の絶対値は等しく、又、誘起電力に対する励磁電流の位相は等しいはずである。したがって、拘束時のベクトル図の一部を描くと第3・2図のようになる。

この図より、無負荷時の誘起電力に対する励磁電流の位相 α に拘束時の誘起電力に対する印加相電圧の位相 β を加えたものになる。即ち $\theta_0 = \alpha + \beta$ したがって励磁電流は、

$$\dot{I}_0 = I_0 (\cos \theta_0 + j \sin \theta_0) \dots\dots\dots (2)$$

と表わされる。無負荷試験は、拘束時のある誘起電力の値の時に、励磁回路に流れる電流の絶対値と、誘起電力に対する励磁電流の位相を決定するために行なうものである。

一相分の無負荷入力 P_0 は

$$P_0 = V I_0 \cos \theta_0 \dots\dots\dots (3)$$

で計算される。電力計を使用しないのは、後に再び述べるが、完全な同期を保つために直流電動機で機械損を補うが、この時、電力計の指針は大きな振幅で振動するために、正確に値を読みとることが不可能なためである。それに反し、電流の波形は、ほぼ正弦波であり、比較的正確に位相を読みとることが可能であるから、(3)式を使用して入力を求める方が、正確と言える。

鉄損 P_i は、無負荷時に一次巻線抵抗で消費される電力を $I_0^2 r_1$ とすれば

$$P_i = P_0 - I_0^2 r_1 \dots\dots\dots (4)$$

となる。

拘束時に、一次巻線抵抗で消費される電力は、

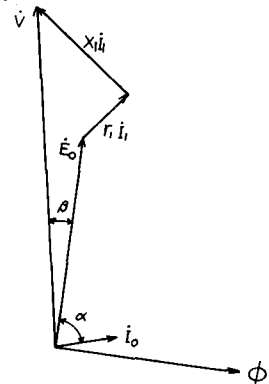
$$P_{ic} = I_1^2 r_1 \dots\dots\dots (5)$$

で表わされる。

最後に、二次側に流れる電流(一次側に換算した値) \dot{I}'_2 は、(1)、(2)式より、

$$\dot{I}'_2 = \dot{I}_1 - \dot{I}_0 = I'_2 (\cos \theta_2 + j \sin \theta_2) \dots\dots (6)$$

として計算される。



第3.2図 誘導機のベクトル図の一部

以上のことから、拘束時の入力を P 、二次抵抗消費電力を P_2 とすれば、次の関係式が成立することが明らかとなり、二次抵抗が決定される。

(4)、(5)式を用いて

$$P_2 = P - P_i - P_{ic}$$

$$P_2 = I_1'^2 r_2$$

$$\text{よって } r_2' = P_2 / I_1'^2$$

4 試料機および実験方法

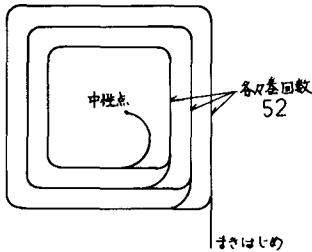
4-1 試料機

試料機としては、F種絶縁三相かご形誘導電動機で第1表にその定格を示す。

第1表

出力	三相 1.5KW	極数	4
電圧	200V	周波数	50Hz
電流	6.5A	回転数	1430rpm

試料機の固定子巻線は、第4.1図に示すように一相同心巻であり、一個のコイルの巻回数が52回の二重Y結線である。



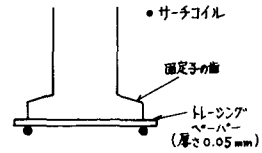
第4.1図 コイル1個の状態(一相同心巻)

4-2 実験方法

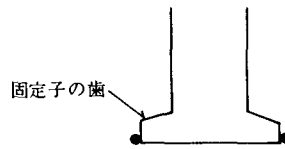
4-2-1 サーチコイルの設置

本方式によれば、主磁束による誘起電力の測定を行なわなければならない。そのためには、ギャップ中にサーチコイルを設置する必要がある。誘導電動機の等価回路は、三相のうち一相分のみを考えている。したがってサーチコイルに発生する誘起電力も一相分を測定するようにしなければならない。そのために、三相入力端子のうち一本から中性線に到る固定子巻線と同様な位置に、同様な巻き方でサーチコイルを設置する(即ち第4.1図と同様)。このようにサーチコイルを設置することによって一相分の誘起電力が測定可能となる。次にサーチコイルを空間的に固定しなければならないが、これは、第4.2図に示すように、トレーシングペーパー上に歯の形状と同一に直径0.06mmのホルマル線を接着し、固定子上に張り付ける。第4.2図と第4.3図に示す両設置法について、磁束の測定を行なったところ、両者共に、サーチコイルに発生する誘起電力がほぼ等しいため、第4.3図に示すサーチコイル設置法を採用した。なおこの場合には、使用

するサーチコイルの直径を太くできるので、取扱い上便利になる。



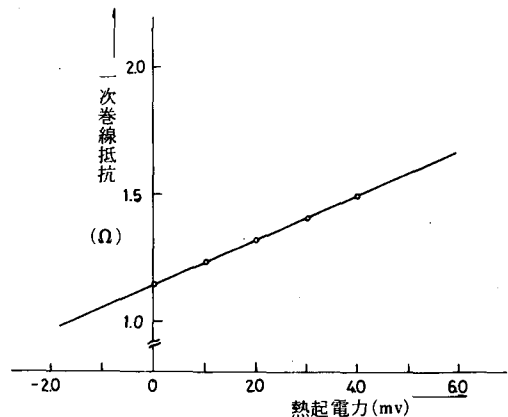
第4.2図 サーチコイルの設置



第4.3図 サーチコイルの設置

4-2-2 一次巻線抵抗

鉄損、および銅損は、電動機の温度上昇の原因となるが電動機の温度が上昇してくると、巻線抵抗が増加してくるため、一次巻線抵抗を一定に保持することが困難になってくる。特に拘束試験においては、電流が定格値以上になると温度上昇が著しくなる。本方法においては、一次巻線の温度をなるべく一定に保持する必要がある。そのために、鉄-コンスタントの熱電対を使用して、0°C~100°Cの温度に対する熱起電力を測定する。次に試料機の固定子巻線に熱電対の先端を密着させ、試料機に拘束電流を流し、ある巻線温



第4.4図 熱起電力に対する一次巻線抵抗

度即ち、熱起電力に対する巻線抵抗を測定する。以上の試験より得られたデータより第4.4 図に示す温度変化に対する一次巻線抵抗の変化を求めることができる。試験時の巻線温度をいったん決定してしまえばこのグラフより、ただちに巻線抵抗の値がわかる。

4-2-3 拘束試験

試料機を拘束状態に保ち、拘束電流を 1 A 程度きざみで、定格のほぼ 2.5 倍付近まで流す。各電流値毎に次に示す諸量を測定する。

- (i) 入力、一次電流、および印加電圧
- (ii) サーチコイルに発生する誘起電力
- (iii) 熱電対に発生する熱起電力
- (iv) 一次電流の印加電圧に対する位相、および誘起電力の印加電圧に対する位相

電流の位相を測定するために、抵抗値が約 0.116Ω 程度の抵抗器を作製して行なった。抵抗値があまり大きくなると、電動機に流れる電流が三相不平衡になるおそれがあるので注意を要する。また拘束試験では電流を 16A 程度まで流すので、抵抗器の抵抗値が温度上昇によって変化しないように電流を分流させて温度上昇を防止した。

電流の値が定格電流値を越すようになると電動機の温度上昇が著しくなり、連続的に測定することが困難になる。したがって、測定は一回毎に電流値を零に戻し、電動機を十分に冷却し、熱電対で温度を確認しながら行なう必要がある。なお、拘束試験は、定格以上の電流を流すことと、巻線温度をほぼ一定に保持するために、極力迅速に行なわなければならない。

4-2-4 無負荷試験

原理及び計算法のところで触れたが、無負荷試験は、励磁回路に流れる電流の絶対値を決定するために行なうものである。

完全な同期状態を保持するために、2.2KW 直流他励電動機を直結し、機械損を補う。更に、小容量同期電動機とストロボ回転計を使用して同期速度 1500rpm を維持しているか否かチェックする。拘束試験で得た各々の誘起電力に相当する誘起電力を発生させ、その時の印加電圧、励磁電流、熱起電力、および励磁電流の印加電圧に対する位相を測定する。試験中、電動機の巻線温度は、拘束試験の場合と同じ温度に上昇させる。

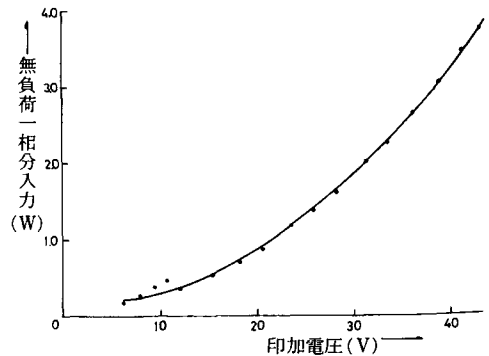
5. 実験結果

第5.1図は、無負荷一相入力を計算によって求めたものである。前に述べたが、電力計で測定することは、不正確になり困難である。それは、同期状態で無負荷試験を行なっても直流電動機の界磁抵抗の微小な変化

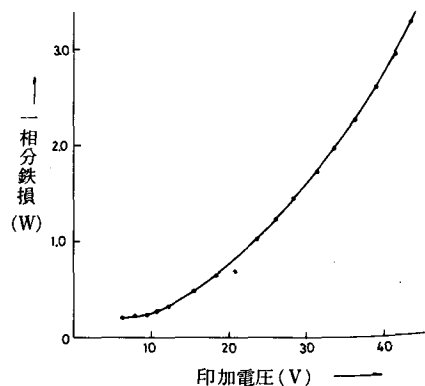
によって誘導電動機が電動機領域と発電機領域の境界で動揺するため電力計の指示が大きく振動すると考えられるからである。

第5.2図は、鉄損を表わしている。これは、(4)式から求めたものである。鉄損は、印加電圧のほぼ自乗に比例して増加していることがわかる。

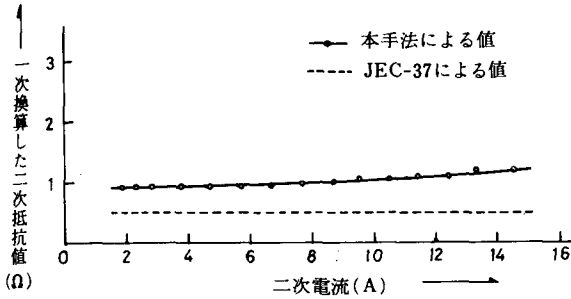
第5.3図は、本報告で述べてきた方法によって求めた一次側に換算した二次抵抗のグラフである。この図より、二次抵抗は、二次電流の増加に対してあまり変化しないことを示している。電流の増加に対して僅かの増加がみられるが、これは、拘束試験中、一次巻線温度を考慮しているが、二次側の温度は考慮していないためと考えられる。熱の原因となるものは、銅損、及び鉄損であるが、低電流においては、これらの損失も小さく、一次二次両者に発生する熱は少ないが、電流が増加するにつれてこれらの損失も増加し熱も多量に発生するようになる。ある一定の温度以上に電動機内部が上昇すると、回転子の熱が発散しにくくなるため、一次巻線温度が下がっても二次側はなお高温にな



第5.1図 無負荷一相分入力



第5.2図 一相分鉄損



第5.3図 二次電流に対する二次抵抗値

っていると考えられる。以上述べたことにより、二次抵抗の増加現象が表われてくると推察される。

6 従来の方法による結果との比較、および検討

従来の方法によって、二次抵抗を決定するために、一次巻線抵抗測定、および拘束試験を行なった。その結果を次に示す。

一次巻線抵抗 $2.232 [\Omega]$ (温度 29°C) これを次式を用いて F 種電動機の基準巻線温度 $115 [^\circ\text{C}]$ に換算すると、 $r_1 = 1.480 \Omega$ となる。

$$r_1 = \frac{1}{2} R_1 \frac{234.5 + T}{234.5 + t} [\Omega]$$

R_1 : 三つの端子間の抵抗の平均値 $[\Omega]$

t : 測定温度 $[\text{C}]$

T : 基準温度 $[\text{C}]$

次に拘束試験において、一相当りの電圧 $V_s = 35.5 [\text{V}]$ 電流 $I_s = 6.5 [\text{A}]$, 電力 $P_s = 80.8 [\text{W}]$ であるから

$$r_2' = \frac{P_s}{I_s^2} - r_1 = 0.432 [\Omega]$$

となる。本方法によって求めた r_2' は、定格電流付近で $0.95 [\Omega]$ である。したがって従来の方法による値の 2 倍以上を示していることになる。この原因は、技術報告にも詳しく述べられているが、拘束試験時の入力を一次、二次の銅損の和と考え、測定温度における銅損値を 115°C の抵抗値の時の銅損値と見做していることから、拘束試験時の巻線温度によって抵抗値が変わると、一次の抵抗値は直接測定した値を $115 [^\circ\text{C}]$ に換算した値を用いるので、二次の抵抗値にその誤差が集中される。したがって、従来の方法によるものでは拘束試験時の巻線温度の相異によって特性が異なってくる。これに対し、本方法では各試験時の一次巻線抵抗値がほぼ一定となるように巻線温度を常時測定して、温度が変化した場合には直ちに元の温度に戻すため拘束試験時の巻線温度によって変わってくることはない。また r_2' を決定する計算過程において、静止冷温状態での巻線の抵抗値ではなく、実際の巻線温度に対する抵抗

値を使用していること、更に励磁回路を考慮している点で二次抵抗値に誤差が集中していることを軽減することができる。その結果として 2 倍以上の抵抗値を示したものと考えられる。実際の特性計算に本方法による抵抗値を使用するものとするれば更に温度補正を行なう必要がある。温度補正をすれば抵抗値は再び大きくなることは確実であり、従来の方法の値とはかなり異なってくる。これについては現在試験、検討中であり次回に報告する予定である。

7. むすび

誘導電動機の特性算定のための等価回路は種々存在するが、本報告においては T 形等価回路を用い、従来の各試験の他に主磁束の測定、位相の測定、一次巻線の温度測定を行なうことによって二次抵抗値を求め、その結果、JEC-37 の方法による値とはかなり異なる値になることを明らかにし、更にその結果について検討を加えた。二次抵抗値は直接測定が不可能なため、他の方法による値との比較、あるいは特性算定を行ない実測との比較をするほかない。なお本報告で述べた方法は他の回路定数も同時に求められる方法であることも付記しておく。

最後に本報告を終るに際し、実験に関して御助言頂いた松宮恒夫博士に感謝すると共に、実験に協力していただいた高木ゼミ卒研深谷守君、後藤弘君に感謝します。

文 献

- (1) JEC-37, 誘導機 ('61)
- (2) 石崎, 平山: 電気学会誌 vol 87-1. No. 940 ('67)
- (3) 電気学会技術報告 1部 第83号
- (4) 電気学会技術報告 1部 第110号
- (5) 秋山: 回転機研究会資料 RM-72-6 (172)