

三相籠形誘導電動機の簡易温度上昇試験法

An Easy Temperature Rise Test of Three Phase Induction Motor with Squirrel Cage Rotor

宮 入 庄 太
Shota MIYAIRI

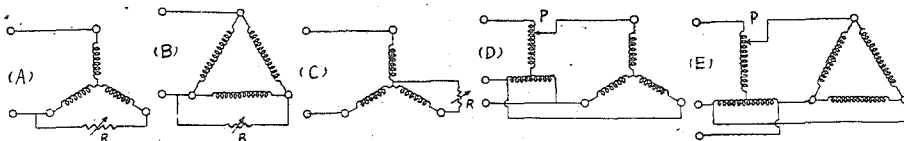
中 村 喜 太 郎
Kitaro NAKAMURA

1 緒 言

誘導電動機の温度上昇試験は重要な試験であるため従来幾多の方法が研究されている。何れも電動機を実際に負荷することなくして負荷時と等しい損失を機内にかんして発生せしめるかが研究の主要点である。筆者がここに述べんとする方法は比較的小馬力の三相誘導電動機に不平衡三相電圧を印加してわざと能率の悪い状態で無負荷運転せしめ、この時の電動機の入力を定格負荷時の損失に等しからしめるのであって、他の試験法に比べ簡易手軽に行う事が出来る。

2 本 試 験 法

筆者の提唱せんとする試験法は、第1図に示す結線方式で無負荷運転を行い、Rを加減するか、又は(D)(E)図のノッチPを動かして入力を種々かえると、この入力中の一部は無負荷回転のための機械力に、一部はR中に消費され、残りが熱損失になる。この熱損失が実負荷試験に於ける熱損失に等しくなる様にして各部の温度上昇を知るのだから、いわば損失基準の試験法である。



第 1 図

本法に依る時は固定子の各相電流は等しくないのが普通でありこの為には巻線に温度差が生ずる。随って固定子巻線の温度はこの平均値をとる。尚之に関しては次の第3項に述べる。

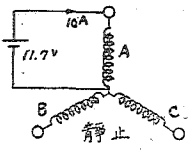
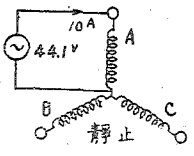
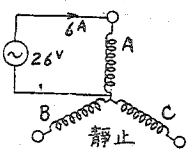
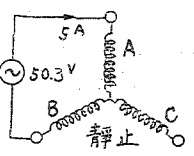
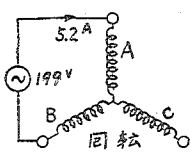
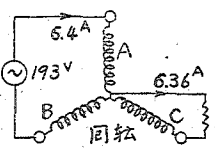
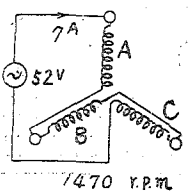
又本法は損失を実負荷時に等しくするだけでその銅損と鉄損の配分が実負荷時と合致しているとはいえない。斯る状態に於ける各部の温度上昇が実負荷時と合致するか否かは一応吟味の必要があるが之に就いては第4項に述べる事にする。

3 各相電流の異なる場合の巻線の温度差

川北製2HPの電動機の固定子巻線を巻替えて全節巻とし、各相の中央溝の中央部上層と下層巻線の間には熱電対を挿入して局部的温度を測定し、第1表の如き結果を得た。

* 信州大学助教授 工学部

* 信州大学助手 工学部

結線方式	番号	巻線温度上昇				備考
		A	B	C	平均	
	a	50.3 (+10.8)	34.1 (-5.4)	34.2 (-5.3)	39.5 (0)	試験開始後4時間 なるも尙温度上昇 中
	b	70.5 (+9.7)	56.4 (-4.4)	55.4 (-5.4)	60.8 (0)	同上 2時5分 同上
	c	59.3 (+3.3)	34.5 (-1.5)	34.2 (-1.8)	36.0 (0)	飽和
	d	57.9 (+0.1)	60.3 (+2.5)	55.2 (-2.6)	57.8 (0)	7時間後 飽和に近し
	e	24.8 (+0.1)	25.2 (+0.4)	24.2 (-0.5)	24.7 (0)	飽和
	f	38.3 (-0.5)	38.8 (0)	39.2 (+0.4)	38.8 (0)	飽和
	g	43.9 (0)	44.6 (+0.7)	43.2 (-0.7)	43.9 (0)	飽和 外力に依り回転せ しめる

第 1 表

第1表に示す結果に依ると電流の流れている相と然らざる相との温度差は(a)(b)(c)の如く静止時はその差は大ではあるが、回転時に於ては著しく小になる。之は回転中においては回転子や機内の空気が温度分布を均一化しようとするためである。実際の試験に当っては巻線温度は抵抗法で行うからその差は更に小さくなるし、又一般の電動機は短節巻が多く各相が多少交叉しているから温度差は更に縮められる。本法においては巻線温度は各相巻線温度の平均値をとるのであるが、この場合ある巻線の温度がこの値から非常に遠ざかつた値となり、試験のためにある相を著しく過熱したり、又はこれを避けるために試験が軽負荷の範囲に限らねばならぬという様なことはない。

4 銅損と鉄損の分配

温度上昇試験法には周知の如く重疊法があるがこの方法には相当の誤差があるので松田、坪島両氏はこの誤差の原因を究明し、より完全な重疊法⁽¹⁾を⁽¹⁾発表された。重疊法の可能な理論的根拠は鉄損 W_F 、銅損 W_C に対する放散能 λ_F 、 λ_C が相等しい事にある。即ち

$$\theta_F = W_F / \lambda_F$$

$$\theta_C = W_C / \lambda_C$$

θ_F 、 θ_C : W_F 、 W_C のみに依る温度上昇とすると、全体の温度上昇 θ は、 $\theta_F + \theta_C$ で求められる。即ち

$$\theta = W_F / \lambda + W_C / \lambda = (W_F + W_C) / \lambda$$

是が重疊法であるが、上式が成立つためには

$$\lambda_F = \lambda_C = \lambda \dots \dots \dots (1)$$

でなければならない。

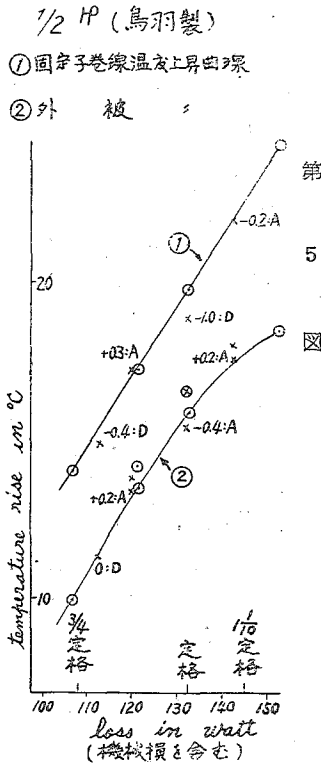
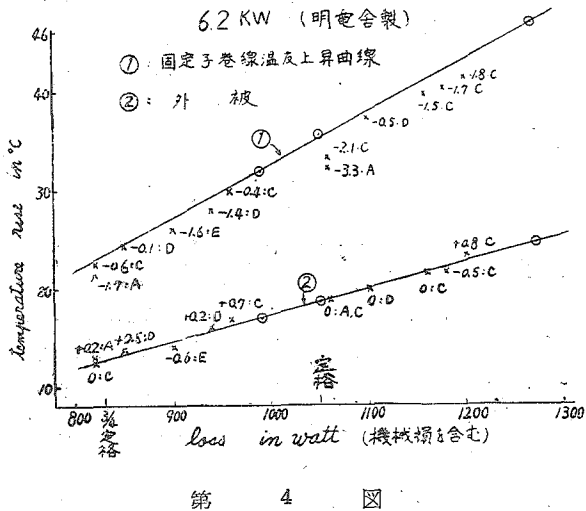
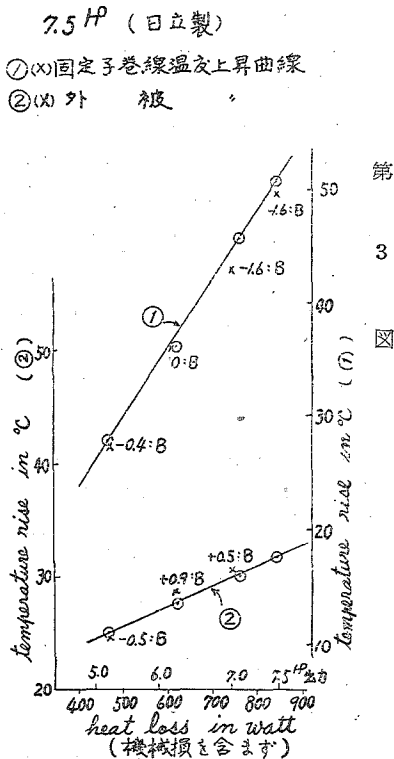
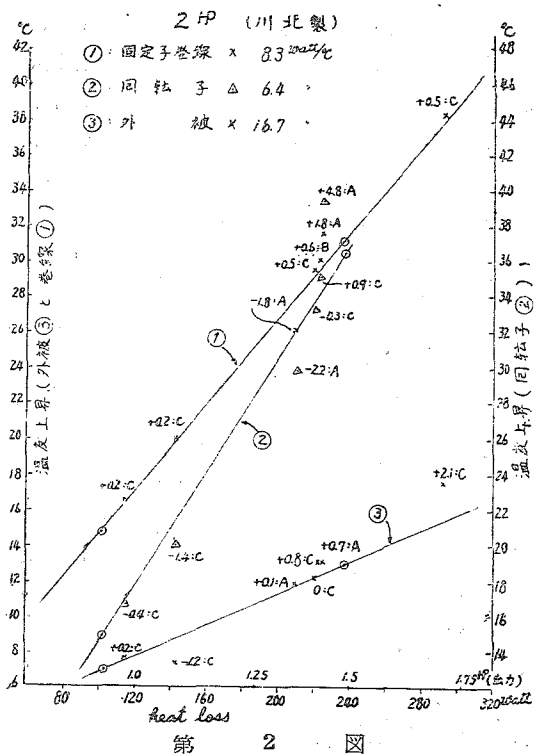
松田、坪島両氏は幾多の電動機につき実験を行い、氏の重疊法が相当の精度(筆者は 3°C 以内と見る)で実負荷試験と合致し略(1)式が成立つ事も述べられている。

さて、上述の事を認めるならば、温度上昇は鉄損と銅損との分配の如何はさして問題でなく、その和が温度上昇を決定する事になる。

5 本試験法の結果

第2~5図はこの方法により得た温度上昇値と実負荷試験に依り得たものとの比較を示す。図中の◎は実負荷試験値、A、B……等の記号は結線方式(第1図)の別を示す。

温度の測定は固定子巻線に対しては電位差計で抵抗測定法に依り行い、電源を切り静止せしめて測定までに要した時間(1~5分)を知り予め実験的に求めておいた冷却曲線に依って、Switch offの時刻に戻した温度を以てその巻線の温度とした。又外被に対しては水銀温度計を用い、周囲温度の測定法はJECに依った。供試電動機は第2表に掲げる。



種類		二重籠形	普通籠形	普通籠形	普通籠形
定格	出力	6.2kw	7.5HP	2HP	1/2HP
	電流	24A	22.5A	6.1A	1.8A
	電圧	200V	200V	200V	200V
	周波数	60~	60~	60~	60~
	極数	4	6	4	4
格	回転数	1730r. p. m	1130r. p. m	1662r. p. m	1670
型		全閉自冷通風	開放	開放	開放
製作所		明電舎	日立	川北※	鳥羽
備考		Y-Δ起動 6端子	1次Δ 3端子	1次Y 6端子	1次Y 3端子

※ 特殊試験に供するため巻替えて全節巻とした。

第2表

6 各種結線の比較

6.2kwの明電舎製の電動機につき各種の結線方式に依り一定の損失を発生せしめたる場合の比較の一例を第3表に示す。今、

$$I_m = \sqrt{(I_a^2 + I_b^2 + I_c^2)} / 3$$

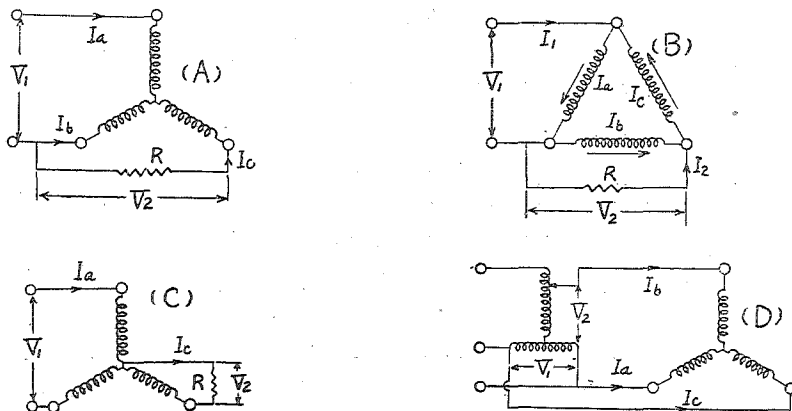
なる実効平均電流を考えれば、いかなる結線方法に依るも一定の損失に対しては略一定値をとることがわかる。実負荷試験時の各相電流 I と上述の I_m との比較をするとその差は極めて少い。之は一次銅損に関する限り実負荷試験時のそれと等しいことを示す。

又電力の経済的観点からすると

$$(D), (E) > (C) > (A)^* > (B)$$

の順に優れている事がわかる。

尚、(C)は損失の如何に関せず比較的各相の電流は平衡して好都合であるが、6端子の電動機にのみ適用出来るものである。



第3表の記号

結線方式	電 流	入 力 側	出 力 側	損失/入力	滑り
(A)	$I_a = 10.24A$ $I_b = 10.21$ $I_c = 6.12$ $I_m = 9.02$ $I = 8.57$	$V_1 = 191.0V$ $I_a = 10.24A$ $W_1 = 1710W$	$V_2 = 148.0V$ $I_c = 6.12A$ $W_2 = 910W$	46.8%	$\frac{15.5}{1800}$
(B)	$I_a = 11.3A$ $I_b = 5.45$ $I_c = 8.2$ $I_m = 8.66$ $I = 8.57$	$V_1 = 193.0V$ $W_1 = 2120W$	$V_2 = 165.0V$ $W_2 = 1320W$	37.7%	$\frac{5.0}{1800}$
(C)	$I_a = 9.28A$ $I_c = 9.0$ $I_m = 9.06$ $I = 8.57$	$V_1 = 188.0V$ $I_a = 9.28A$ $W_1 = 1448W$	$V_2 = 71.5V$ $I_c = 9.0A$ $W_2 = 650W$	55.1%	$\frac{15.0}{1800}$
(D)	$I_a = 9.92A$ $I_b = 6.1$ $I_c = 10.44$ $I_m = 9.01$ $I = 8.57$	$V_1 = 207.0V$	$V_2 = 107.8V$	100%	$\frac{12.0}{1800}$

第 3 表 (a) loss=800watt

結線方式	電 流	入 力 側	主 力 側	損失/入力	滑り
(A)	$I_a = 12.16A$ $I_b = 11.55$ $I_c = 7.36$ $I_m = 10.56$ $I = 10.95$	$V_1 = 190.0V$ $I_a = 12.16A$ $W_1 = 2030W$	$V_2 = 137.5V$ $I_c = 7.36A$ $W_2 = 1020W$	49.7%	$\frac{19.5}{1800}$
(B)	$I_a = 13.0A$ $I_b = 9.75$ $I_c = 7.13$ $I_m = 10.27$ $I = 10.95$	$V_1 = 191.0V$ $W_1 = 2740W$	$V_2 = 148.0V$ $W_2 = 1740W$	36.5%	$\frac{5.5}{1800}$
(C)	$I_a = 10.92A$ $I_c = 10.92$ $I_m = 10.92$ $I = 10.95$	$V_1 = 190.0V$ $I_a = 10.92A$ $W_1 = 1720W$	$V_2 = 66.0V$ $I_c = 10.92A$ $W_2 = 730W$	57.6%	$\frac{19.0}{1800}$
(D)	$I_a = 11.28A$ $I_b = 7.3$ $I_c = 11.84$ $I_m = 10.35$ $I = 10.95$	$V_1 = 207.0V$	$V_2 = 97.5V$	100.0%	$\frac{16.0}{1800}$

第 3 表 (b) loss=1000watt

結線方式	電 流	入 力 側	出 力 側	損失/入力	滑り
(A)	$I_a = 13.78A$ $I_b = 12.6$ $I_c = 8.26$ $I_m = 11.8$ $I = 12.7$	$V_1 = 189.0V$ $I_a = 13.78A$ $W = 2270W$	$V_2 = 128.5V$ $I_c = 8.26A$ $W_2 = 1070W$	53.0%	$\frac{24.0}{1800}$
(B)	$I_a = 14.45A$ $I_b = 11.0$ $I_c = 8.5$ $I_m = 11.56$ $I = 12.7$	$V_1 = 189.0V$ $W_1 = 3232W$	$V_2 = 153.5V$ $W_2 = 2032W$	37.2%	$\frac{6.0}{1800}$
(C)	$I_a = 12.28A$ $I_c = 12.12$ $I_m = 12.23$ $I = 12.7$	$V_1 = 188.0V$ $I_a = 12.28A$ $W_1 = 1912W$	$V_2 = 58.0V$ $I_c = 12.12A$ $W_2 = 716W$	62.5%	$\frac{24.0}{1800}$
(D)	$I_a = 12.32A$ $I_b = 8.7$ $I_c = 13.8$ $I_m = 11.8$ $I = 12.7$	$V_1 = 205.0V$	$V_2 = 82.5V$	100.0%	$\frac{20.5}{1800}$

第 3 表 (c) loss=1200watt

7 結 言

本法は従来の方法に較べて次の特徴がある。

(i) 発電機等を機械的に接続する必要がない。(ii) 試験器具は電力計、抵抗器等で、特殊のものを必要としない。(iii) 損失を実測できない場合は、円線図等に依るものであるがこの場合多少時間がかかるが負荷用発電機等を直結する機械的仕事と費用にくらべると問題でない。(iv) 電力の経済の点からは、(D)、(E)を用いるときは利用率は100%であるが、他の方法に依る時は50%程度でこの点他の試験法に劣る。(v) $\frac{1}{2}$ HP程度の小型になると損失そのものが小さく、その誤差が大きいから、この点から測定誤差は大きくなり勝ちである。(vi) 外被、固定子鉄心の温度はよく実負荷の場合と一致する。松田、坪島両氏の方法より精度は高い。固定子巻線の方は大体に於て稍低めに出る。

本温度上昇試験法は実負荷時とその損失の配分に於て、又発生個所に於て等しからしめてする様な理想的なものでなく、いわば実験的事実に基づく近似的試験法である。従って本法の精度についてはもっと広く実験の必要があるわけで、この点電動機製作所等に於て各型各馬力の電動機につき検討、御批判を願えれば筆者の大いに幸甚とするところである。

尚、回転子の温度測定については触れなかった理由は供試電動機中には回転子の温度測定が困難なものが多かった事、又温度計等の装置する誤差が相当大きく入る等のた

め、精密な実験は期し得なかつたのでこゝでは触れなかつた。現今の籠形電動機の籠形巻線は殆んど絶縁されておらず⁽²⁾この種のものに対して JEC では温度上昇の制限を加えていない⁽³⁾。本論の標題に「籠形電動機」としたのもこの為で、巻線形電動機にも本法が適用出来るか否かは今後の研究に待つことにした。

参 考 文 献

- (1) 松田, 坪島 : 誘導電動機の温度上昇重疊計算法. OHM 昭和25. 8月
- (2) 石山, 井上共著 : 誘導機 77頁
- (3) JEC—37 第5章

An Easy Temperature Rise Test of Three Phase Induction Motor

By

Shota MIYAIRI, Kitaro NAKAMURA.

As a temperature rise test is one of the important tests of the induction motor, there have been studied various methods of temperature rise test. It is how to generate the heat loss in the motor without actual loading that is important in these methods, and the difference between various methods lies here.

Our method is easy and simple, and is as follows. The motor is running with no load by the impressed unbalanced three phase voltage, and the input is adjusted so as to be equal to the loss when the motor is running normally with the rated load. The means by which we impress the unbalanced three phase voltage to the three phase induction motor is the single phase running of three phase induction motor with inserted resistance, etc. In our method the current of three phase is not always equal, and therefore we adopt the mean value of temperature rise of three phases in determination of the temperature rise of stator winding.