

電圧降下時における農事用電動機の特性曲線

見 玉 義 彦・峰 岸 茂

(農業工作第一研究室)

Yoshihiko KODAMA and Shigeru MINEGISHI: Characteristic Curves of a Farm Motor in Drop-voltages.

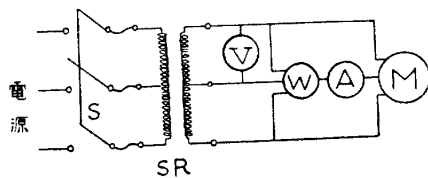
I. 緒 言

電力事情が悪化したり、その他の理由で、電圧降下が甚だしくなることが、しばしばである。しかし農家及び一般家庭では、これに対して何等の対策を施すことなく、電動機を使用していることが多い。かかる場合には電動機は正規の性能を発揮することができないので仕事の能率にも影響をおよぼす。そこで電圧降下による電動機の性能低下の程度を知らんがため、電圧降下時における電動機の特性を試験して、出力損失の度合を本来の電動機の特性と比較検討せんとするものである。

II. 実 験 方 法

1. 実験装置

第1図のような電気配線とする。なお電動機の回転子を拘束する場合には第2図のようにプロニー制動機を用いる。そしてその調整スプリングを強く締めて拘束する。



第1図 電気配線図

M……供試電動機 A……電流計
W……三相電力計 V……電圧計
SR……摺動変圧器 S……開閉器

2. 主な供試品

- (i) 三相誘導電動機, 1 H.P, 定格 200 (V) 回転数 1410 r.p.m. (50 \sim), 1650 r.p.m. (60 \sim), 定格電流 3.2 (A). 極数 4
- (ii) 三相電力計 (0 \sim 4 kW) 1 個, 単相電力計 (0 \sim 4 kW) 2 個
- (iii) 電圧計 (0 \sim 300 V) 1 個

(iv) 電流計 (0 \sim 10 A, 及び 0 \sim 5 A) 各, 1 個ずつ

(v) 周波数計 (vi) 回転計

(vii) 摺動変圧器 (0 \sim 240 V)

(viii) プロニー制動機

3. 実験要領

電動機の特性を試験するには一定の電圧下においてプロニー制動機動力計によって実際に負荷を種々変えて加え、それに応じた電流、入力等を求めて電動機の特性曲線を得るのが普通であるが、本研究においては、ハイランド (Heyland) 氏円線図によって特性曲線を求める方法を採用した。なお円線図を描くにあたって、後述の円線図に要する諸式中の定格電圧 E を 200 V, 180 V, 160 V と置き三つの場合につき計算し、その三者につき円線図を描き特性値を読みとり特性曲線を求め三者を比較検討したのである。なお円線図を描くに当っては無負荷電流が定格電流の 50% 以下なることを確認し、円線図の円の直径は JIS で規程の 20 cm 以上の 30 cm \sim 40 cm で実施した。次に円線図を描くに必要とする三つの試験を説明する

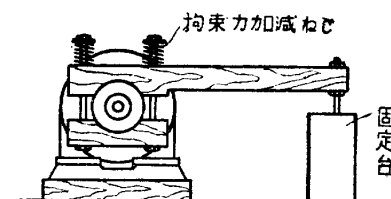
こととする。

(i) 無負荷試験

供試電動機に定格周波数 50 cycle, 定格電圧 200 V において, 無負荷入力および無負荷電流を求めるのであるが, 正確を期するため, 電圧を横軸とし, 100 V から 230 V 迄種々変えこれに対する無負荷入力 (W_0) および 無負荷電流 (I_0) を縦軸とし, 曲線を作り, これより定格電圧 (E) に対する入力, 電流を求める。(第 5 図参照)

(ii) 拘束試験

電動機回転子を回転しないように第 2 図のごとくに拘束し, 定格周波数の低い電圧を加え, 定格電流の流れる附近で一定に保ち, 回転子を, ゆるやかに動かして電流の変化を測定し平均電流の値を決定する。平均電流の位置に回転子を固定し, 供給電圧を段階的に変え定格電流の上下 30% ぐらいの間において計器の読みを記録する。(第 6 図参照)



第 2 図 電動機回転子拘束方法

(iii) 巻線抵抗の測定

電動機の固定子巻線の二端子間に直流を通じて, その抗抵 (R_t) を測定し, またその時の電動機固定子巻線温度 ($t^{\circ}\text{C}$) を求める。

III. 円線図を描くに必要な諸式

1. 無負荷試験の場合

$$\text{無負荷電流の有効分 } I_{01} = W_0 / \sqrt{3} E$$

W_0 = 無負荷入力, E = 定格電圧

$$\text{無負荷電流の無効分 } I_{02} = \sqrt{I_0^2 - I_{01}^2}$$

2. 拘束試験の場合

$$\text{短絡電流の有効分 } I_{s1} = E \cdot W_s / \sqrt{3} E_s^2$$

E_s = 拘束中における定格電流 (或はその附近) 時の電圧

W_s = 拘束中における定格電流 (或はその附近) 時の電力

$$\text{短絡電流の無効分 } I_{s2} = \sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2} \quad \text{但し } I_s = E I_s' / E_s$$

I_s = 定格電圧における短絡電流

I_s' = 拘束中における定格電流 (或はその附近)

3. 巻線抵抗の測定結果

固定子巻線の抵抗 (R_t) を端子間で測定し, 75°C における 1 次 1 相の値に換算する。

$$R_{75} = \frac{1}{2} R_t \left(1 + \frac{75 - t}{234.5 + t} \right)$$

R_{75} = 75°C に換算した 1 次 1 相の巻線抵抗 (Ω)

R_t = 端子間で測定した 1 次巻線抵抗 (Ω)

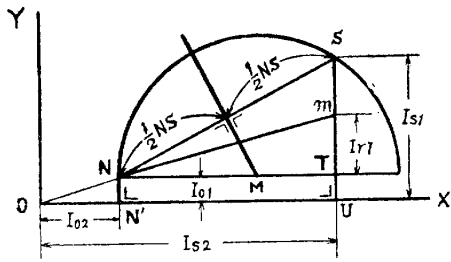
$t = R_t$ を測定したときの固定子巻線の温度 ($^{\circ}\text{C}$)

4. 回転子と滑り

電動機の同期速度 $N = 120 f / p$ f = 周波数 (50 cycle) p = 電動機極数, 滑り速度 $N' =$

$N - n$ n = 回転子速度, 滑り $S = (N - n) / N$, $n = N(1 - s)$

IV. 円線図の描き方



第3図 円線図

1. 電流の尺度をきめる

1 kW に対する電流 (有効分) は $1000/\sqrt{3}E(A)$ であるからこの値と電力目盛の 1 kW とを等しく定める (例えば $E=200 V$ ならば電流目盛の 2.88 A と電力目盛の 1 kW を等しくとる).

2. 円線図を描く (第3図参照)

(i) 直角座標 OX, OY をとる

(ii) N', N 点を定める

$\overline{ON'}=I_{02}$, $\overline{N'N}=I_{01}$, とし $ON' \perp N'N$ である

(iii) U, S を定める

$\overline{OU}=I_{s2}$, $\overline{US}=I_{s1}$ としなお $OU \perp US$ である. N 点から OX に平行な線を引き US との交点を T とする.

(iv) M 点 (円の中心) を決定する.

NS を結び, NS の中点を通りこれに垂直なる直線と NT との交点を M と定める.

(v) 円を描く

M を中心とし, MN を半径として円を描く, ST 上に次式から I_{r1} を求め $\overline{Tm}=I_{r1}$ ならしめ m 点を定める.

但し $I_{r1} = \sqrt{3} \times \overline{SN}^2 \times R_{75} / E$ N と m を結ぶ

3. 力率, 滑り, 効率, 出力の目盛 (第4図参照)

(i) 力率目盛, O を中心として OY 上の任意点 Q を定め, OQ を半径とする4分円 \widehat{QR} を描く, OQ を 100 等分すれば力率目盛である.

(ii) 滑り目盛, N 点より NT に垂直に NA を立て, NA 上の任意の点 G から Nm と平行に GH を引き, NS の延長線との交点を H とする. GH を 100 等分すればこれが滑り目盛である.

(iii) 効率目盛, SN を延長して OX と交る点を Z とする. Z より ZX に垂直に ZB を立てる. ZB 上に任意の点 K を定め, K より OX に平行に KL を引き, NS の延長線との交点を L とする. KL を 100 等分すれば, これが効率目盛である.

(iv) 出力目盛, ZB 上に前述のごとくに電流目盛 2.88 A に対し電力目盛 1 kW を等しくとればこれが出力目盛である.

4. 特性の求め方

今任意の出力 $P (KW) = ZW$ に対する特性を求めるに W から ZL に平行な線が円線図の半円周と交る点を p とせば,

一次電流 (I_1) は Op

力率 ($\cos \phi$) は Op の延長線が力率円と交る点 α に対する OQ 上の目盛 β .

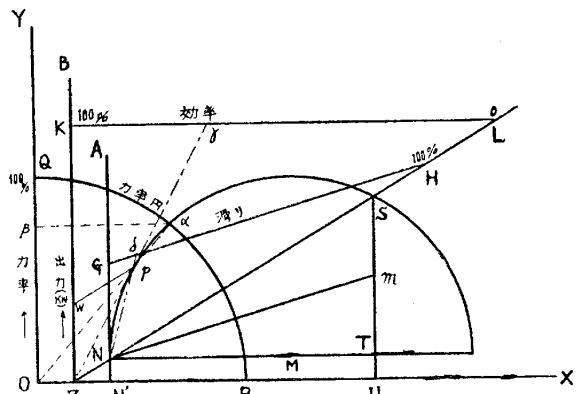
効率 (η) は Zp の延長線が KL と交る点 γ .

滑り (S) は Np の延長線が GH と交る点 δ . 最大力率, 最大効率, 最大出力は次の如くにして求める. 即ち

最大力率 ($\cos \phi_{max}$) は Op が半円に対し接線となるときにの接点 α_m に対する OQ 上の目盛 β_m .

最大効率 (η_{max}) は Zp が半円に対し接線となったとき, その延長が KL との交じわった点 γ_m .

最大出力 (P_{max}) は Wp が ZS に平行で且つ半円に接線となったときの ZB の目盛.



第4図 円線図の目盛及び解法

V. 試験結果

1. 無負荷試験

無負荷試験結果より $E=200\text{ V}$ (定格電圧) における電流 $I_0=1.53\text{ A}$, 電力 $W_0=110\text{ W}$ と決定する. よって円線図を描くに必要な次の計算をする.

無負荷電流の有効分

$$I_{01} = \frac{W_0}{\sqrt{3} E} = \frac{110}{\sqrt{3} \times 200} = 0.318\text{ A}$$

無負荷電流の無効分

$$I_{02} = \sqrt{I_0^2 - I_{01}^2} = \sqrt{1.53^2 - 0.318^2} = 1.496\text{ A}$$

2. 拘束試験

拘束試験結果より定格電流に近い電流に対する短絡電圧 (E_s), 短絡入力 (W_s), 短絡電流 (I_s') を次の如く決定する

$$E_s = 37.5\text{ V}, I_s' = 3.18\text{ A}, W_s = 116\text{ W}$$

短絡電流の有効分

$$I_{s1} = \frac{E}{E_s^2} \times \frac{W_s}{\sqrt{3}} = \frac{200}{37.5^2} \times \frac{116}{\sqrt{3}} = 9.525\text{ A}$$

短絡電流の無効分

$$I_{s2} = \sqrt{I_s'^2 - I_{s1}^2} = \sqrt{16.96^2 - 9.525^2} = 14.032\text{ A}$$

I_s は定格電圧における短絡電流で次式から求める

$$I_s = \frac{E}{E_s} \times I_s' = \frac{200}{37.5} \times 3.18 = 16.96\text{ A}$$

3. 巻線抵抗及びその抵抗測定時の温度

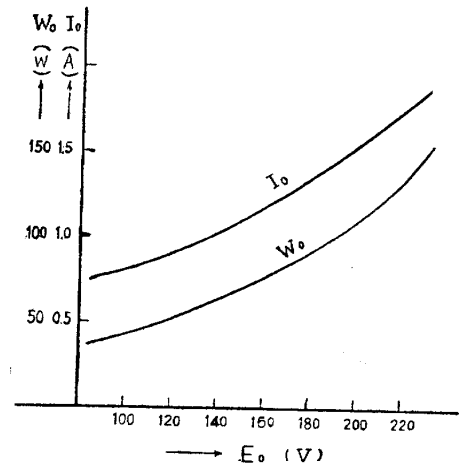
$R_t = 4.4\ \Omega$, $t = 17.5^\circ\text{C}$ 標準温度 75°C における1次巻線1相分の抵抗 (R_{75}) を求めると次の如くなる

$$\begin{aligned} R_{75} &= \frac{1}{2} R_t \left(1 + \frac{75-t}{234.5+t} \right) \\ &= \frac{1}{2} \times 4.4 \left(1 + \frac{75-17.5}{234.5+17.5} \right) = 2.702\ \Omega \end{aligned}$$

4. 円線図解法による特性曲線値

以上算出した諸値をもとにして既に説明したハイランド氏の円線図解法によって次の如き特性曲線資料を得た.

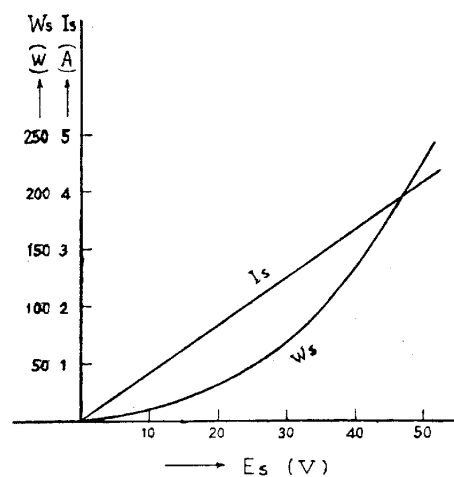
E に定格電圧 200 V を始めとして次に電圧降下した場合の



第5図 無負荷特性曲線

第1表 無負荷試験結果

E_0 (V)	I_0 (A)	W_0 (W)
100	0.79	44
110	0.83	48
120	0.89	53
130	0.95	58
140	1.02	64
150	1.09	70
160	1.17	77
170	1.26	84
180	1.35	92
190	1.44	100
200	1.53	110
210	1.63	121
220	1.75	134
230	1.89	150



第6図 拘束特性曲線

第 2 表 拘束試験結果

E_s (V)	I_s (A)	W_s (W)
15.0	1.28	20
17.5	1.49	25
20.0	1.70	32
22.5	1.92	40
25.0	2.13	48
27.5	2.34	58
30.0	2.55	69
32.5	2.76	83
35.0	2.97	98
37.5	3.18	116

$E=160\text{V}$ では、4%低下することを知らると同時に過荷重の度合が大なる程、その低下が甚だしくなることは第7図で容易に了解し得る。なお電圧降下した場合には効率最大となる所の出力は低下する。

VII. その他

この種の実験はプロニー制動機動力計によるべきであるが、当地においては規定 50 サイクルが低下することが、しばしばであるため実験を継続して行ることが不可能なため円線図解法によることとしたのである。

電圧降下は農家ばかりでなく一般家庭においても、しばしば起る現象であるので、電圧降下と電動機性能低下の関係を知らんがために本研究を行ったのである。最後に本実験に関し色々助言を賜わり且実験用電気計器を世話して下さった千葉大学工学部電気工学科志垣直俊氏に感謝する。

180V, 160V の値を入れその時の出力に対する力率, 効率, 滑り, 回転数をプロットして比較したのが第7図である

VI. 結 論

この供試電動機は呼称馬力 1 H.P (出馬 0.746 kW) であるが、実際には 1.47 H.P 位の過荷重でも実用に供し得る馬力を出し得るが、ここでは呼称馬力 1 H.P (0.746 kW) における $E=200\text{V}$ (定格電圧) と電圧降下時の電圧 $E=180\text{V}$, 160V との三者を比較検討してのべると、出力 1H.P の所においては先ず回転数では $E=180\text{V}$ で 1.66%, $E=160\text{V}$ では 3.5% 低下するし、効率では $E=180\text{V}$ で 0.62%

第 3 表 (i) $E=200\text{ Volt}$ の場合

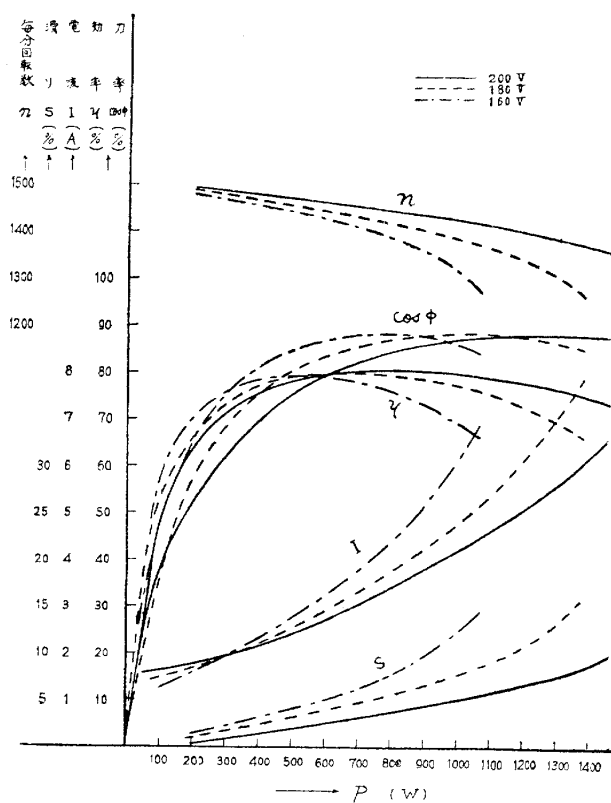
P (W)	$\cos \phi$ (%)	η (%)	I (A)	S (%)	n (r.p.m)
200	51.1	63.5	1.78	0.3	1495
300	61.6	71.4	1.96	0.9	1486
400	69.3	75.6	2.20	1.6	1476
500	75.0	78.0	2.40	2.1	1468
600	79.5	79.4	2.74	2.5	1462
700	81.9	80.1	3.07	3.2	1452
800	84.0	80.3	3.42	3.8	1443
900	85.5	80.0	3.80	4.4	1434
1000	86.5	79.6	4.18	5.0	1425
1100	87.3	78.7	4.61	5.8	1413
1200	87.7	77.7	5.08	6.7	1399
1300	87.9	76.3	5.58	7.6	1386
1400	87.7	74.6	6.19	8.8	1368

第 4 表 (ii) $E=180\text{ Volt}$ の場合

P (W)	$\cos \phi$ (%)	η (%)	I (A)	S (%)	n (r.p.m)
200	57.9	66.6	1.66	0.8	1488
300	68.6	73.7	1.90	1.6	1476
400	75.7	77.3	2.18	2.4	1464
500	80.5	79.1	2.52	3.1	1453
600	83.6	79.8	2.88	3.8	1443
700	85.7	80.0	3.28	4.6	1431
800	87.0	79.4	3.73	5.5	1417
900	87.7	78.5	4.20	6.5	1402
1000	88.2	77.3	4.72	7.6	1386
1100	88.2	75.4	5.33	9.1	1363
1200	87.7	72.9	6.02	10.7	1339
1300	86.5	69.4	6.98	13.1	1303

第 5 表 (iii) $E=160\text{ Volt}$ の場合

P (W)	$\cos \phi$ (%)	η (%)	I (A)	S (%)	n (r.p.m)
200	65.7	70.6	1.58	1.4	1479
300	75.7	76.2	1.91	2.1	1468
400	81.6	78.6	2.29	3.0	1455
500	84.8	79.2	2.70	3.9	1441
600	86.9	79.0	3.20	5.0	1425
700	88.0	77.8	3.74	6.2	1407
800	88.3	76.2	4.43	7.6	1386
900	88.0	73.5	5.06	9.4	1359
1000	86.3	69.3	6.10	12.2	1317



第7図 負荷特性曲線

主な参考書

1. 田伏三作： 農機具利用の実際.
2. 庄司英信： 農業機械学概論.
3. 東京教育大学農業工学教室編： 農業工作.
4. 電気学会編： 電気工学ポケットブック（ジュニア版）
5. 尾本義一・横田彌三： 新制電気実験.
6. 山本勇： 直流交流電気機械実験法.
7. 電気学会編： 電気学会大学講座——電気機械工学第3巻.
8. 日野栄治： 三相誘導電動機.
9. COOK, SCRATON, MCCOLLY: Farm Mechanics Test and Hand Book.

Summary

I found next matters when a farm motor had driven in drop-voltages.

However, the common name of this motor is three phase induction motor of one horse power and the regular voltage is 200 volt in this motor.

When the voltage dropped from the regular voltage to 180 volt.

- (1) The revolution per minute decreased 1.66 percent in rated horse (1 H.P).
- (2) The efficiency fell off 0.62 percent in rated horse power (1 H.P).

When the voltage dropped from the regular voltage to 160 volt.

- (1) The revolution per minute decreased 3.5 percent in rated horse power (1 H.P).
- (2) The efficiency fell off 4 percent in rated horse power (1 H.P).