

# 力率改善と蓄電器電動機について

## The Power Factor Improvement and the Condenser Motors

友 貞 陸 夫\*

### 内 容 梗 概

単相誘導電動機の力率を改善するため進相用蓄電器が使用されることが多い。この場合電源の定格電圧が一般に 100V である点から大きい容量の蓄電器を必要とし価格が高く、容積も大きいものになる。しかし単相誘導電動機として蓄電器電動機を使用すれば、蓄電器の容量は小さくてすみ、進相用蓄電器を使用した場合と同じように力率が改善されるうえに、電動機の効率・滑りなどの特性も向上し負荷電流も減少する。さらに蓄電器電動機は運転中に蓄電器を使用しない普通の単相電動機より最大回転力・最大出力を増加し、かつ前述の通り効率が改善されるので電動機の温度上昇が低くなり過負荷耐量を増すことができる。したがって過負荷耐量を従来通りにとれば電動機の資材を節減できるので小型軽量にすることができる。

### 〔I〕 緒 言

現在単相誘導電動機の力率改善を計るために進相用蓄電器を使用しているが、その蓄電器の容量は相当大きなものであり、特に電源が 100V のときは 200V の場合の 4 倍の容量を必要とし、価格、容積ともに大きなものとなる。

もし蓄電器起動式蓄電器電動機を使用すれば小容量の蓄電器で十分力率の改善ができ、さらに運転中の諸特性も改善されるだけでなく、最大出力も増大するので電動機の定格出力を上げて使用することもできる。逆に同一出力で使用するならば電動機を小型にしてもさしつかえなく資材の節約となる。

本稿は蓄電器起動式蓄電器電動機の試験結果についてのべ、さらにその蓄電器容量の選定についても言及する。

### 〔II〕 特 性 試 験

蓄電器起動式蓄電器電動機の接続を第 1 図に示す。図において

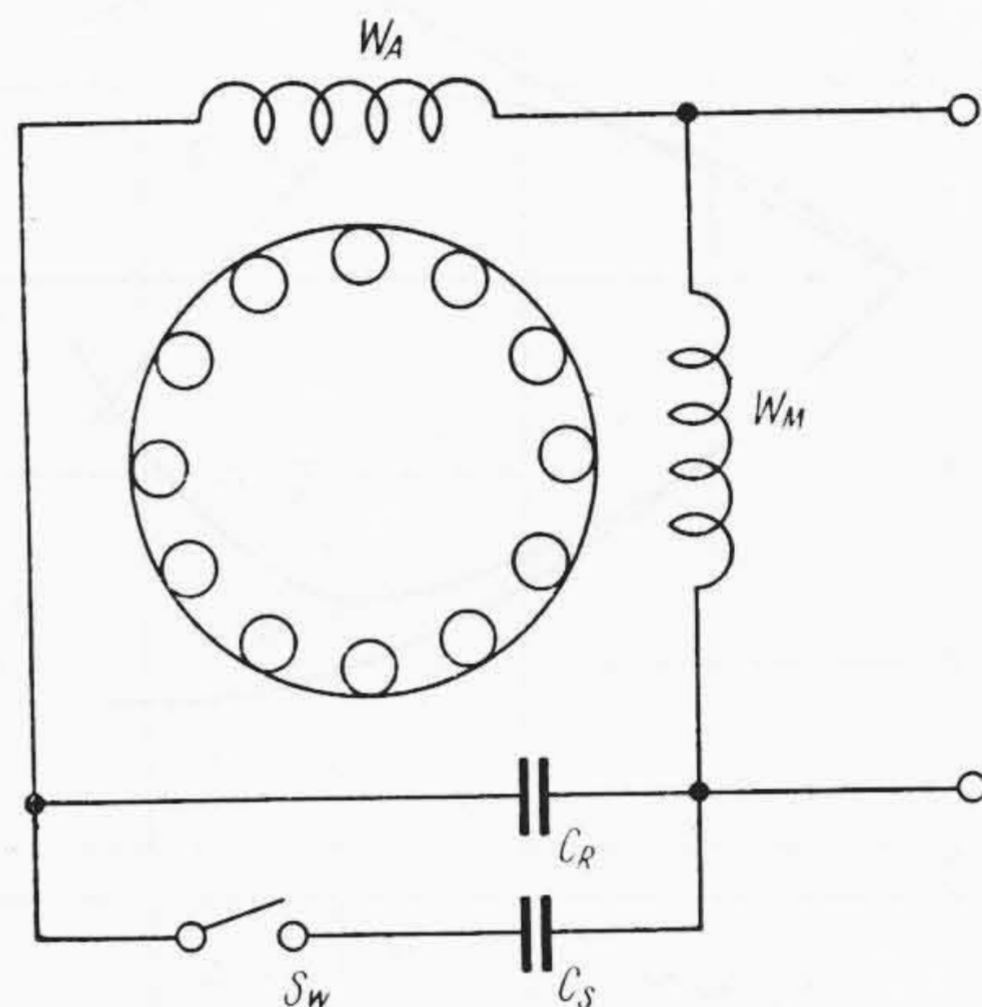
- $W_M$ : 主コイル
- $W_A$ : 補助コイル
- $C_S$ : 起動時にのみ使用する蓄電器
- $C_R$ : 起動時、運転時ともに使用する蓄電器
- $S_w$ : 遠心力開閉器、運転中  $C_S$  を切りはなす

したがって起動時の蓄電器の容量は  $C_S + C_R$  である。なお参考として進相用蓄電器を使用して力率改善をはかった蓄電器起動電動機の結線を第 2 図に示す。起動については先に発表<sup>(1)</sup>したので、今回は運転中電動機補助コイルに蓄電器 ( $C_R$ ) をのこして使用する蓄電器電動機についてのべる。

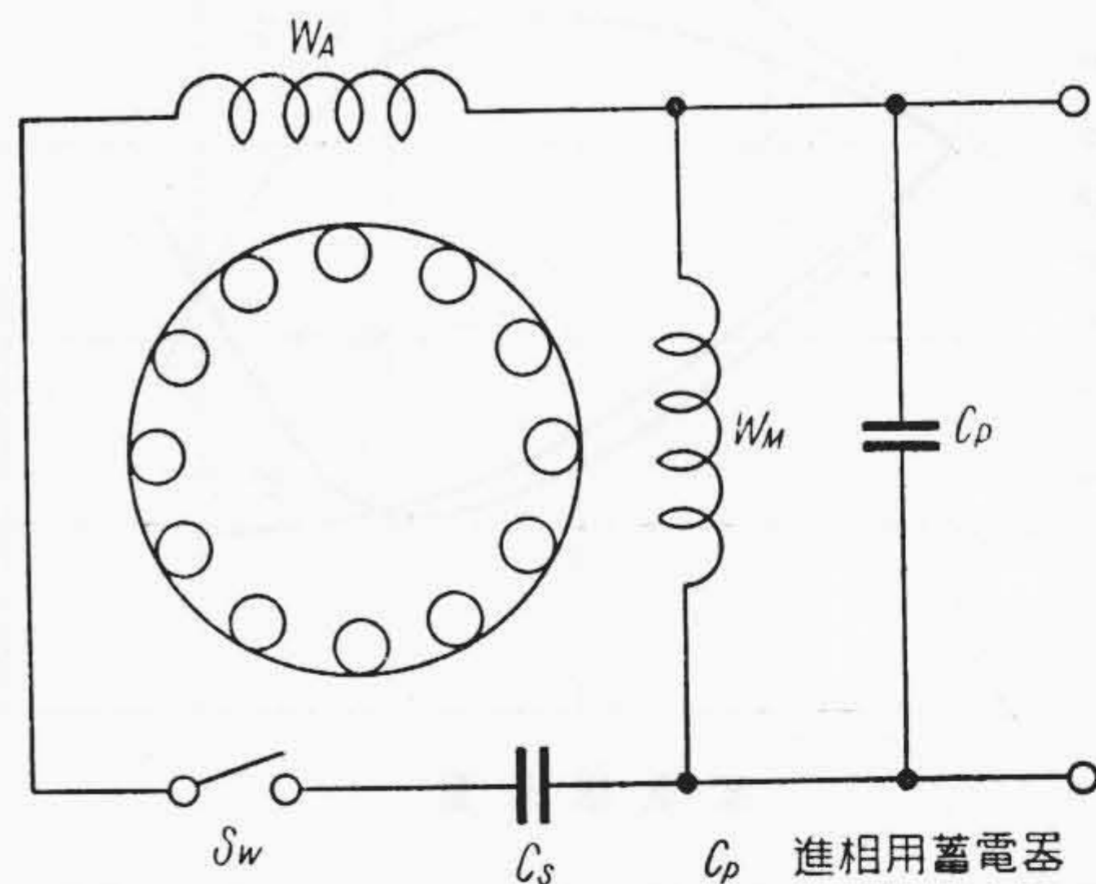
供試電動機は第 1 図の結線による

出力 1/2 HP, 極数 4, 周波数 50・60Hz の蓄電器起動式蓄電器電動機である。補助コイルに接続

\* 日立製作所亀戸工場

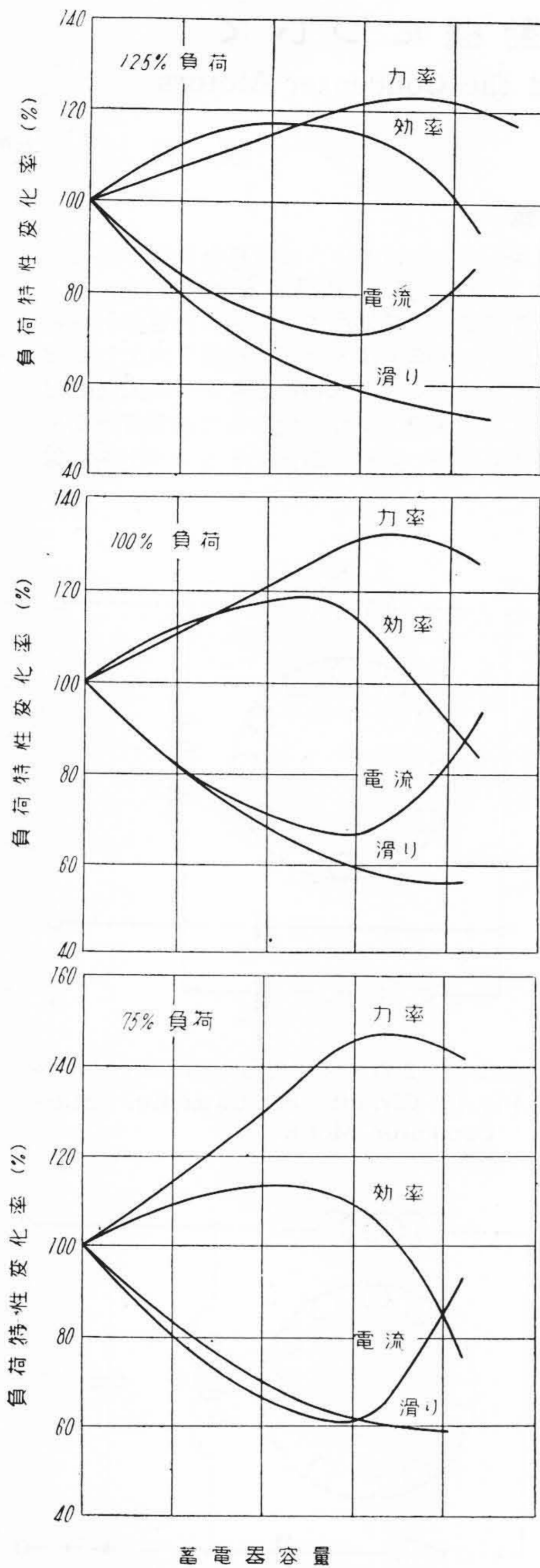


第 1 図 蓄電器起動式蓄電器電動機の回路  
Fig. 1. Circuit of Capacitor Start Capacitor Motor

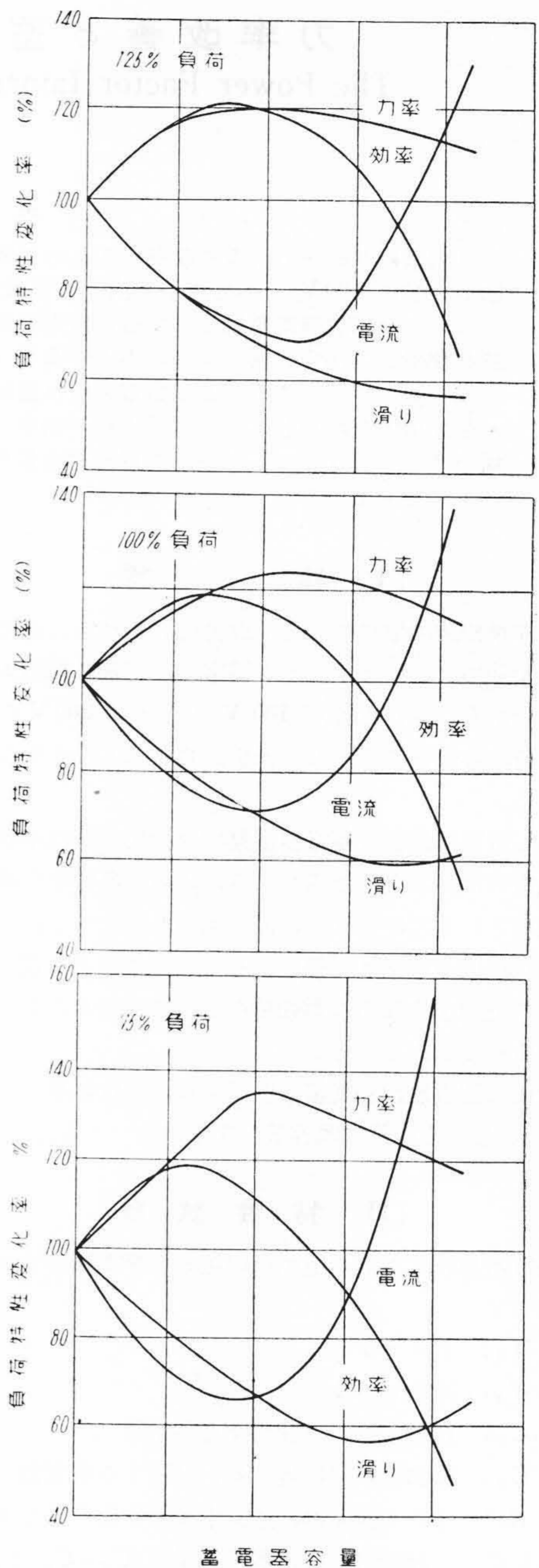


第 2 図 進相用蓄電器使用電動機の回路  
Fig. 2. Circuit of Single-Phase Motor with Power Factor Improving Condenser

する蓄電器  $C_S$  容量をかえた場合の特性の変化を第 3 図～第 6 図(次頁参照)に示す。第 3 図、第 4 図は電動機に負荷をかけて蓄電器容量に対する電流、効率、力率、滑りの変化を蓄電器なしの場合の特性を基準として、これの百分率で図示したもので、第 3 図は 50Hz、第 4 図は



第3図 蓄電器容量に対する特性の変化(50~)  
Fig.3. Motor Character Corresponding to Condenser Capacity (50~)



第4図 蓄電器容量に対する特性の変化(60~)  
Fig.4. Motor Character Corresponding to Condenser Capacity (60~)

60~の場合である。これよりわかることはある負荷に対して電流が最小となる点また力率を最高にする点、効率を最高にする点がそれぞれ存在する。これらに対する蓄電器の容量は相異つたものであるが、負荷による差異はさしてみられない。しかし周波数によつては前記条件に対する蓄電器の容量は異り、60~の場合が少ない。

なお滑りに関しては図示の範囲内では減少しているが図示範囲以上に蓄電器の容量を増加してゆけばある容量に対して滑りの最小値を示し、それ以上容量をませば逆に滑りは大きくなってゆく。

無負荷特性に対する結果を第5図に示す。この場合も蓄電器なしの特性を基準として百分率で示した。この場

第1表 蓄電器起動式蓄電器電動機と進相用蓄電器を用いた電動機との比較

Table 1. Comparison between Capacitor Start Capacitor Motor and Single-Phase Motor with Power Factor Improving Condenser

| 力率 (%) | 蓄電器起動式蓄電器電動機容量 (μF) | 進相用蓄電器使用容量 (μF) |
|--------|---------------------|-----------------|
| 80     | 20                  | 70              |
| 90     | 40                  | 120             |
| 100    | 60                  | 210             |

合も前と同じように電流値はある蓄電器の容量において最小値をとり、その値より大きくても小さくても無負荷電流は増加する。

さらに停動トルクおよび最大出力の蓄電器容量に対する変化を蓄電器なしの場合を基準として百分率で示せば第6図のようになる。図示の範囲内ではほぼ直線的に増加しているが、さらに容量の大きいところまで図示すれば当然ある容量値で最大となり、それより蓄電器容量を大きくしても増大せず逆に減少する。

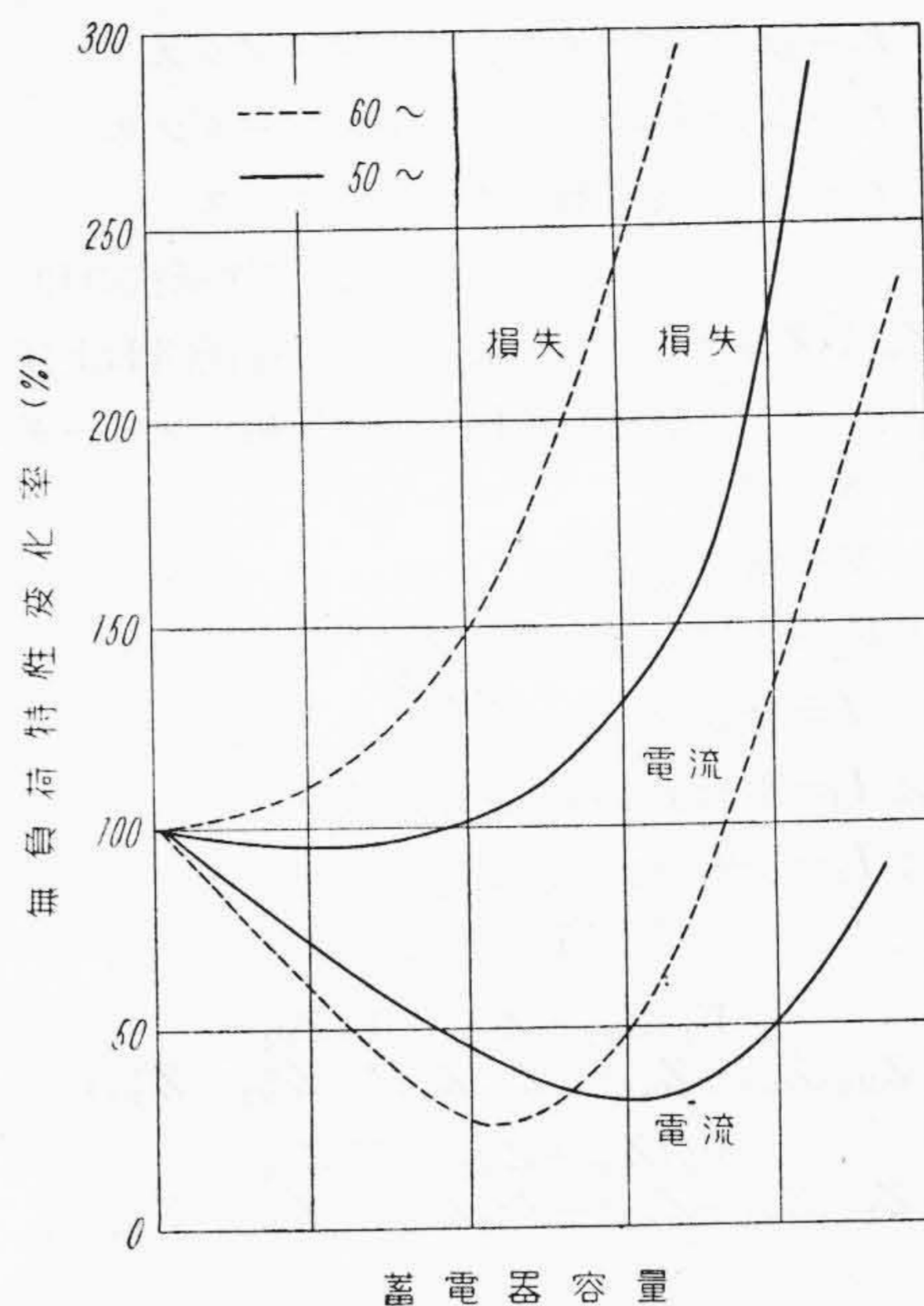
以上試験の結果より、適当な蓄電器の容量のものを使用すれば、電動機の特性は改善されることがわかる。しかしあまりに過大な容量となれば逆に特性は悪くなる。しかも電流値、効率、力率、滑りなどの特性を最良にする蓄電器の大きさは一般に相異っている。一般に蓄電器起動式蓄電器電動機として使用される程度の蓄電器の容量に対してはほぼ直線的に停動トルク最大出力は増加する。したがって蓄電器起動式蓄電器電動機は運転中蓄電器なしの蓄電器起動電動機よりも効率がよくなるので、同一負荷に対する電動機の温度上昇は低下し、また最大出力が増加するので定格以上の過負荷に対してより以上耐えうることになる。さらに同一出力に使用するならば蓄電器起動式蓄電器電動機は小型にすることができるので電動機資材の節約となる。

いま力率改善用蓄電器を備えた蓄電器起動電動機(第2図参照)と蓄電器起動式蓄電器電動機(第1図)とが同一力率になるための蓄電器の容量を比較すると第1表のように、約1/3~1/4の蓄電器容量ですむことになり、電動機資材の節約のみならず蓄電器の節減ともなる。

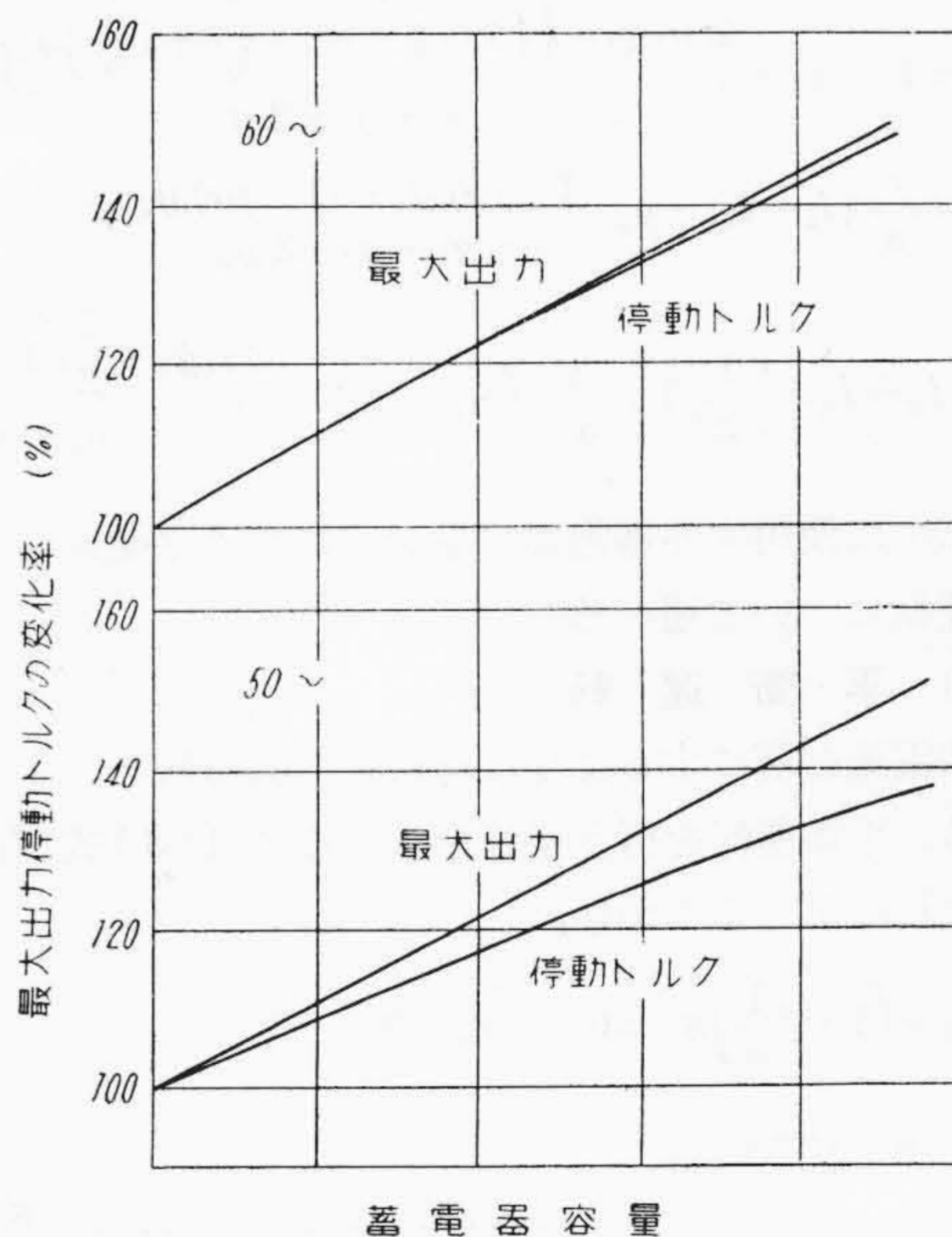
### [III] 理 論

前項で述べたように、蓄電器起動式蓄電器電動機は諸特性が改善されるが、その目的とするところによつて蓄電器の容量は多少異ってくる。以下蓄電器起動式蓄電器電動機について理論的考察を行い、蓄電器容量の選定の資料としたい。

蓄電器起動式蓄電器電動機の基本式についてはすでに



第5図 蓄電器容量に対する無負荷特性の変化  
Fig. 5. Motor No-load Character Corresponding to Condenser Capacity



第6図 蓄電器容量に対する最大出力、最大回転力の変化  
Fig. 6. Max. Output and Max. Torque Corresponding to Condenser Capacity

述べた<sup>(1)</sup>。今回も計算に当り、前と同じに仮定できるものとして使用する記号をつぎのように定める。

$N_M; N_A$  = 主および補助コイルの巻回数

$f_M; f_A$  = 主および補助コイルの巻線係数

$\alpha = \frac{N_A f_A}{N_M f_M}$  = 補助コイルに対する有効巻回数比

$Z_M=r_M+jx_M$ =主コイルのインピーダンス  
 $Z_A=r_A+jx_A$ =補助コイルのインピーダンス  
 $Z_C=r_C-jx_C$ =蓄電器のインピーダンス

$R$ =主回路一次側よりみた一次、二次抵抗の和  
 $Z_{m1}; Z_{m2}$ =主コイルよりみた励磁回路および二次回路の正相および逆相インピーダンス

$S$ =滑り

$V$ =電源電圧

$V_1; V_2$ =正相および逆相電圧

$I$ =全電流

$I_M; I_A$ =主および補助回路電流

$I_1; I_2$ =正相および逆相電流

しかるときはつぎの(1)式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{V_1(Z_{M2}+Z_{m2})-V_2Z_{M1}}{Z_{M2}(Z_{m1}+Z_{m2})+Z_{m1}Z_{m2}+(Z_{M2}^2-Z_{M1}^2)} \\ I_2 &= \frac{V_2(Z_{M2}+Z_{m1})-V_1Z_{M1}}{Z_{M2}(Z_{m1}+Z_{m2})+Z_{m1}Z_{m2}+(Z_{M2}^2-Z_{M1}^2)} \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし

$$Z_{M1} = \frac{Z_M - \left(\frac{Z_A+Z_C}{\alpha^2}\right)}{2} \quad \times$$

$$I_M = I_1 + I_2 = \frac{2y_1y_2 + \left\{ \left(1-j\frac{1}{\alpha}\right)y_1 + \left(1+j\frac{1}{\alpha}\right)y_2 \right\} y_c}{y_1 + y_2 + 2y_c} V$$

$$I_A = \frac{j}{\alpha} (I_1 - I_2) = y_c \frac{(1+j\alpha)y_1 + (1-j\alpha)y_2}{\alpha^2(y_1 + y_2 + 2y_c)} V$$

$$I = I_M + I_A = \left[ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) (y_1 + y_2) + \frac{2y_1y_2 - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) (y_1 + y_2)^2}{y_1 + y_2 + 2y_c} \right] V$$

運転中に使用する蓄電器容量選定に当り平衡運転と非平衡運転について述べる。

(1) 平衡運転

逆相電流を零にするような運転を平衡運転ということにする。平衡運転を行う条件を求めるには(3)式  $I_2$  が零となればよいことから、

$$y_1 + \left(1 + j\frac{1}{\alpha}\right)y_c = 0 \quad r_c = 0 \quad \text{として}$$

$$\left. \begin{aligned} \therefore \alpha &= \tan \phi_1 \\ x_c &= \frac{|1|}{\sin \phi_1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

ただし  $Z_1 = |Z_1| (\cos \phi_1 + j \sin \phi_1)$

$Z_c = -jx_c$

(6)式が成立すれば平衡運転を行う。ただ(6)式をみればわかる通り、 $Z_1$  の変化で平衡運転のための条件が変わる。すなわち負荷によつて  $\alpha, x_c$  を変化させなければならない。またこの場合は蓄電器容量のみでなく補助コイル巻数も関係しているので、一般の場合は平衡運転状態となるのはまれであろう。

※

$$Z_{M2} = \frac{Z_M + \left(\frac{Z_A+Z_C}{\alpha^2}\right)}{2}$$

今、多少の誤差をゆるせば  $Z_A$  は  $\alpha^2 Z_M$  に等しいと仮定できる。

$y_1, y_2, y_c$  を(2)式のように表わせば、

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{Z_M + Z_{m1}} \\ y_2 &= \frac{1}{Z_2} = \frac{1}{Z_M + Z_{m2}} \\ y_c &= \frac{\alpha^2}{Z_c} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

(1)式は(3)式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= y_1 \frac{y_2 + \left(1 - j\frac{1}{\alpha}\right)y_c}{y_1 + y_2 + 2y_c} V \\ I_2 &= y_2 \frac{y_1 + \left(1 + j\frac{1}{\alpha}\right)y_c}{y_1 + y_2 + 2y_c} V \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

(1)式あるいは(3)式により  $I_1, I_2$  を求めればあらゆる特性が求まることはすでに述べたところである。

いま全電流および主・補助回路電流を求めてみる。

$$\left. \begin{aligned} I &= I_M + I_A = \left[ \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) (y_1 + y_2) + \frac{2y_1y_2 - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) (y_1 + y_2)^2}{y_1 + y_2 + 2y_c} \right] V \\ \dots\dots\dots & \dots\dots\dots (4) \end{aligned} \right\}$$

(2) 非平衡運転

一般の蓄電器電動機では起動特性、蓄電器容量などの点から平衡運転にならない場合が多い。このような場合について述べる。補助コイルの巻数比および正相・逆相インピーダンスがきまつているとき補助コイルに接続する蓄電器は電流を最小にするか、または力率をどの程度に改善するかによつて異なる。(4)式より全電流は(6)式のように書きかえられる。

$$I = a\varepsilon^{j\phi_a} + \frac{b\varepsilon^{j\phi_b}}{c\varepsilon^{j\phi_c} + 2Y_c} \dots\dots\dots (6)$$

ただし

$$a\varepsilon^{j\phi_a} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) (y_1 + y_2) V$$

$$b\varepsilon^{j\phi_b} = \left\{ 2y_1y_2 - \frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{\alpha^2}\right) (y_1 + y_2)^2 \right\} V$$

$$c\varepsilon^{j\phi_c} = y_1 + y_2$$

$x_c$  を変数としたとき(6)式は円線図で表わされる。すなわち第7図で  $I$  の軌跡は原点  $O$  より  $\overline{OA}$  を  $a\varepsilon^{j\phi_a}$  に等しくとり、 $A$  から(7)式で表わされるベクトル  $D_1$  を直径とする円をかき、円周上の点  $B$  と  $O$  とを結べば  $\overline{OB}$

は全電流を表わす。

$$D_1 = \frac{b \varepsilon^{j(\phi_b - \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2})}}{c \sin(\phi_c - \frac{\pi}{2})} = \frac{-b \varepsilon^{j\phi_b}}{c \cos \phi_c} \dots \dots \dots (7)$$

$$y_c = \frac{1}{2} \left[ \frac{2ac \cos \phi_c \cos(\phi_a - \phi_b) + b - \sqrt{\{2ac \cos \phi_c \cos(\phi_a - \phi_b) + b\}^2 + 4a^2c^2 \sin^2(\phi_a - \phi_b) \cos^2 \phi_c}}{2a \sin(\phi_a - \phi_b)} - c \sin \phi_c \right] \dots \dots \dots (8)$$

力率を 100% にするためには第 7 図の円線示で基線  $OX$  と円との交点を  $N$  とし、 $N$  点にくるような蓄電器を使用すればよい。

また力率は原点  $O$  を中心とする任意の半径で円をかけば図上で力率を求めることができる。

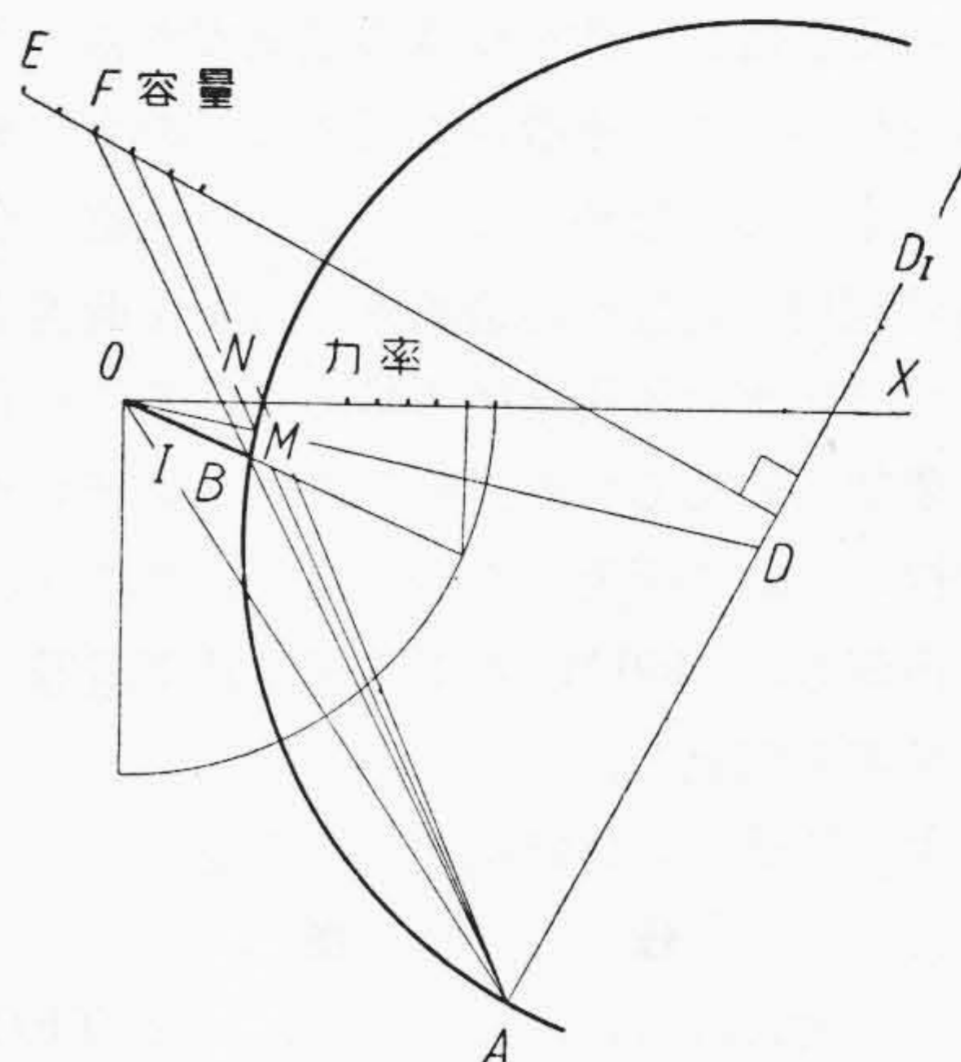
このように蓄電器を選定するのに円線図を使用すれば便利である。

[IV] 結 言

单相電動機は一般に力率がよくない。これを改善するために進相用蓄電器が電動機と併用されている。

しかし单相電動機として蓄電器起動式蓄電器電動機を使用すれば、蓄電器の容量が 1/3~1/4 程度のものを使用して進相用蓄電器を使用した場合と同程度の力率改善をなし、しかも電動機の効率、滑りなどの特性が向上し、さらに最大出力も増加する。しかしながらある程度以上大容量となれば、これら特性は逆に低下してくる。最良の点に対する容量は電流、効率、力率のそれぞれについて異なり、また 50~ と 60~ では 60~ が小容量でよい。効率がよくなり、しかも最大出力が増加することより定格以上の過負荷で使用できる。また同一定格で使用する

円の直径  $AD$  に垂線  $EF$  をひけば線分  $EF$  は容量の尺度となる。ただし  $E$  点は蓄電器容量零の点である。また  $OD$  と円との交点を  $M$  とすれば  $OM$  は最小の全電流値であり、この場合の蓄電器容量は(8)式のようになる。



第 7 図 電 流 円 線 図  
Fig. 7. Circle Diagram of Current

ならば電動機そのものを小型にすることができるので資材の節減になる。(なお今回完成した 400 W 蓄電器起動式蓄電器電動機については次頁参照下さい。)

参 考 文 献

- (1) 友貞 日立評論 34 1079 (昭 27 年)

Vol. 38 日立評論 No. 5

目 次

- ◎大流量測定法としてのピトー管法に関する諸問題
- ◎40,000 kVA 負荷時タップ切換変圧器ならびに制御装置
- ◎天然色撮影照明電源用直流発電機
- ◎無人直流変電所の制御装置
- ◎直列コンデンサの保護
- ◎同期外れ継電器
- ◎歯車の工作精度が歯のストレスにおよぼす影響
- ◎ブラシおよび発条の不安定振動について
- ◎4号AW自動式および4号CW共電式壁掛電話機
- ◎後段加速電極系について
- ◎王子製紙工業株式会社納 60kV 3心 OF ケーブル
- ◎OF ケーブル用絶縁油の選択と不純物処理効果
- ◎耐衝撃工具 Si-Cr W 鋼の確性試験
- ◎レジンコーテッドの二三の特性

東京都千代田区丸の内1ノ4 (新丸ビル7階)

日立評論社

誌代 1カ月 ¥100(〒12) 6カ月 ¥600(送料) 12カ月 ¥1200(送料)

Vol. 18 日 立 No. 4

目 次

- ◎昔の電球と今の電球
- ◎パンと消化
- ◎洗濯機を語る
- ◎電線読本(2)
- ◎水車の話(3)
- ◎明日への道標
- ◎ショールーム(蛍光照明器具)
- ◎ワイシャツの洗濯
- ◎明るいテレビ用受像管
- ◎火災と消化
- ◎日立だより

東京都千代田区丸の内1ノ4 (新丸ビル7階)

日立評論社

400 W 蓄電器起動式蓄電器電動機の紹介  
(進相器内蔵型コンデンサモートル)

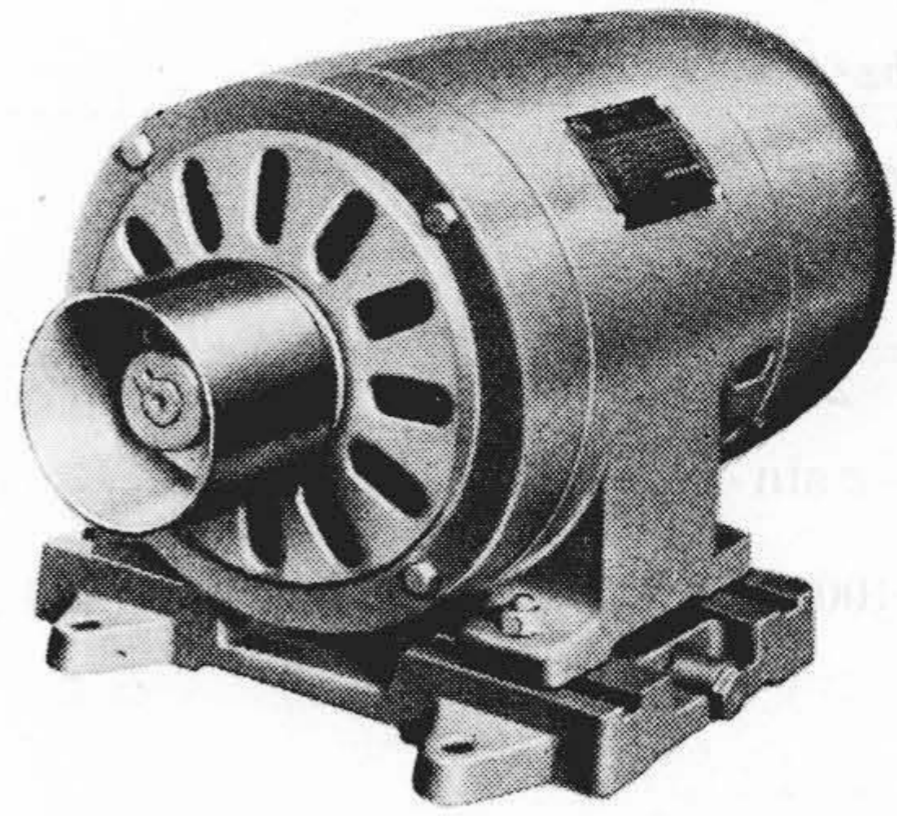
Hitachi's 400 W Condenser Motor  
(with Built-in Phase Advancer)

従来コンデンサモートルとして一般に市販されているものは単相誘導電動機の起動回路にコンデンサを使用したいわゆる蓄電器起動式単相誘導電動機であつて運転中には切放されるので力率改善の目的にこのコンデンサが使用されるものではなかつた。しかし一方電力会社では電力の有効利用の見地から電動機の力率を改善するため進相用コンデンサの使用を極力奨めている。日立製作所ではこの要望に応えるため運転中にもコンデンサを使用した電動機について研究中であつたが、このほど進相用蓄電器を内蔵した 400 W 蓄電器起動式蓄電器を完成し、いよいよ量産を開始した。

本機的主要仕様および特長はつぎの通りである。

仕 様

|        |                       |
|--------|-----------------------|
| 型 式    | ..... TFO-KQ          |
| 出 力    | ..... 400 W (1/2 HP)  |
| 極 数    | ..... 4 極             |
| 電 圧    | ..... 100/200 V       |
| 周 波 数  | ..... 50/60~          |
| 回 転 数  | ..... 1,500/1,800 rpm |
| 型式承認番号 | ..... 9-1019          |



第1図 400 W 蓄電器起動式蓄電器電動機  
Fig.1. 400 W Condenser Motor

(1) 力率がよい。

従来の単相電動機は力率が低くその改善には進相用コンデンサを使用せねばならなかつたが、本機の力率は90%以上なのでその必要がない。

(2) 起動特性がよい。

蓄電器起動式であるので起動回転力が大きくしたがって一般工場は勿論圧縮機、冷凍機、ポンプ、農事用機械など起動の際に特に大きな回転力を必要とする機械の運転に好適である。

(3) 効率がよい。

コンデンサの使用により高力率であるとともに損失が少ないので効率がよい。

難燃性を誇る

スタンドライトの  
積層板



火気を警戒する船舶・建築物・車輛等の構成材料として特に注目されております。

乾燥が速い  
絶縁用  
コイルワニス

サーモセツトワニス

日立電気絶縁材料

スタンドライト (フェノール樹脂製品) タカライト (ユリア樹脂製品)  
ワニスクロス ワニス・コンパウンド マイカナイト

東京 大阪 名古屋 福岡 仙台 札幌

日立製作所