

3相分巻整流子電動機の速度調整と自動制御*

*Speed Adjustment and Automatic Control for 3 phase Shunt
Commutator Motor. by Iwao Iwagishi
(Teikoku Kogyo Denki KK)

帝国工業電機株式会社* 岩 岸 巖**

Speed Adjustment and Automatic Control
by 3 phase Shunt Commutator Motor. by
Iwao Iwagishi.

Recently automatic controls of variable speed motors will be further more expected so as to promote good qualities of products economically as well as technically through the abroad lines of industries.

In this paper, are treated chief kinds of variable speed 3 phase shunt commutator motors on their constructions, speed adjustments, characteristics, and application for automation from the factory datas of the writer.

緒 言

最近可変速度電動機を応用して自動制御により、経済的並びに技術的に製品の向上を図ることが、各方面の工業で望まれている。

本論は実用的に最も便宜の多い3相分巻整流子電動機の下記の3種類のものにつき、その構造、原理、速度調整、筆者の実際製作したDataを図表化した特性、自動制御に応用した一例を記し、後日この電動機を自動制御に利用せられる参考に供する資料を書いた。

従来3相分巻整流子電動機の理論については著述(1)(2)(3)(8)にも記されているが、やゝ理論に偏重して実際的のデータ並びに図表の発表が少ない感がある。

本論に記した原理は、実際使用者側に立つて見て、先づ知らなければならぬ要点を述べ可成図表を用いて解説することに勉めた。

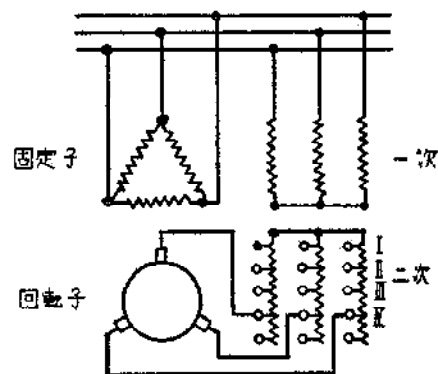
この図表は、筆者の実際設計、製作して、工場で実験

したDataから作ったものである。従つて、高度の理論は、必要に応じ従来の各著書で御参考を願いたい。

本論は

- (1) 変圧器の2次タップ制御による固定子饋電型
- (2) 誘導電圧調整器制御による固定子饋電型
- (3) 回転子饋電型 (Schräge type)

に大別して説明し、最後にこれを自動速度制御に応用した一例を記した。



第1図 変圧器2次タップ付固定子饋電型
3相分巻整流子電動機

1. 変圧器2次タップによる速度制御

(Speed Control by 2ndary Step-up Voltage
Tap Transformer)

(1.1) 構造・動作

第1図は、本式の結線図であつて固定子は3相誘導電動機の固定子と同じ構造とし、回転子は直流電動機の電動子と同じ構造で、整流子上に刷子を配列し、別に1個の3相変圧器を附属している。この変圧器の2次巻線には数個のタップを各相につけてあつて、このタップの位置を変化することによつて、回転子の速度を多段的に変化する。

今図のIのタップに接すると、電動機は誘導電動機として作動して同期速度になる。

次にII, III, IVとタップの位置を変えると刷子間に与え

* 大阪市西淀川区御幣島町259番地

** 帝国工業電機株式会社社長

整流子機、電気動力計、電圧調整器高周波及一般発電機設計
製作及コンサルタント

る変圧器2次電圧が大きくなるから、電動機の手速度は同期速度より低下する。変圧器2次電圧の方向を、上述の場合と逆方向にすると、同期速度以上になる。

この場合には、電動機の手速度の一部は変圧器が受け持つ。

(1.2) 理 論

固定子の供給電圧： V と、変圧器の2次タップを通じて与えられる電圧： V_2 が同相、即ち回転子の静止状態における起電力： E_2 とが反対方向で位相が一致すると、滑り： S は正となり、回転子の速度は同期速度より低下する。ここに、変圧器の2次と1次の巻回比を u_T とすると、 $V_2/V = u_T$ であつて、

$$\left. \begin{aligned} SV - u_T V &= I_2 Z_2 \\ S &= u_T + (I_2 Z_2 / V) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

上式の右辺の第2項は、数%程度の値となり、 u_T が大なるときには、 $S \approx u_T$ となり、無負荷では、 $S = u_T$ となる。

変圧器の1次側には、2次電流： I_2 に対応して $u_T I_2$ なる電流が流れるから、励磁電流を無視すると、電源から流入する電流は、固定子電流： I_1 と変圧器の1次電流： $u_T I_2$ のベクトルの和： I となる。

電動機の固定子入力は、1相当り $VI_1 \cos \phi_1$ であつて、鉄損を閉却すると、これがすべて回転子に伝えられ、回転子入力

$$W_2 = E_2 I_2 \cos \phi_2 = VI_2 \cos \phi_2 \dots\dots\dots (2)$$

になる。

この場合に、回転子が同期速度で回転していると、回転子の発生する機械的出力が W_2 になる。

実際の回転子速度は、同期速度： n_s とすれば、 $(1-S)n_s$ であるから、電動機の機械的出力は、 $W_2(1-S)$ となり、残部は次の式で表わされる。

$$\begin{aligned} SW_2 &= \left(u_T + \frac{I_2 Z_2}{V} \right) VI_2 \cos \phi_2 = u_T VI_2 \cos \phi_2 + \\ &I_2^2 Z_2 \cos \phi_2 \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

上式の第2項は2次回路のオーム損であつて、第1項は変圧器の2次入力として、回転子から変圧器へ伝えられる電力である。

ここに、変圧器の損失を無視すると、そのまま変圧器の1次側から供給線へ返還せられる。従つて、全入力は、

$$W = VI_1 \cos \phi_1 - u_T VI_2 \cos \phi_2 = VI \cos \phi \dots\dots\dots (4)$$

次に変圧器の接続を逆にして、 V_2 の位相を V と反対にした場合には、滑りは負になつて同期速度以上で回転する。この場合には、 $V_2 = u_T V$ の式で u_T の符号が負になる。

滑りは、この場合 S と u_T が共に負である

から、その絶対値は

$$|S| = |u_T| - (I_2 Z_2 / V) \dots\dots\dots (5)$$

また、変圧器の1次電流の方向は、回転子電流と反対になる。即ち、この場合には、変圧器も亦供給線から電力を受取ることになり、これを2次側から回転子へ供給することになる。この場合に、固定子から回転子に入る入力

$W_2 = VI_1 \cos \phi_1 - VI_2 \cos \phi_2$ であつて、回転子の機械出力 $W_2(1-S)$ において S が負になるから、絶対値では、 $W_2(1+|S|)$ となり、 $|S|W_2$ だけ入力不足になる。この不足分は、

$$|S|W_2 = u_T VI_2 \cos \phi_2 - I_2^2 Z_2 \cos \phi_2 \dots\dots\dots (6)$$

であつて、変圧器を通じて供給線から直接回転子へ供給せられる。

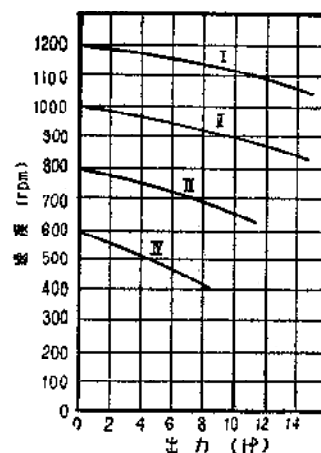
この場合に、変圧器の2次出力である $u_T VI_2 \cos \phi_2$ は、 $|S|W_2$ を供給すると同時に2次回路のオーム損、 $I_2^2 Z_2 \cos \phi_2$ をも供給する。

上記の何れの場合にも、速度制御範囲は、大体 u_T によつて決まり、 u_T を一定にしておけば、無負荷から全負荷の間で、数%程度の速度降下を示すにすぎない。尚個々の特性は分巻特性で、電圧と負荷の変動に対し、ほぼ不変速度で u_T の調整によつて加減速度がえられる。

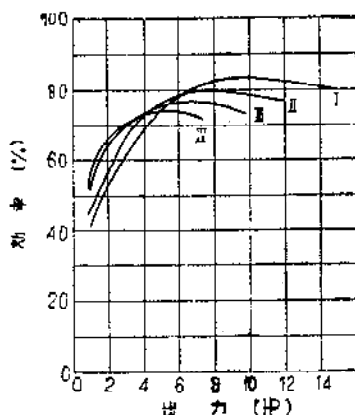
(1.3) 特 性

第1図に示す変圧器の2次巻線のタップをI、II、III、IVと変えた場合における出力と速度の関係を示すと第2図の如くなる。

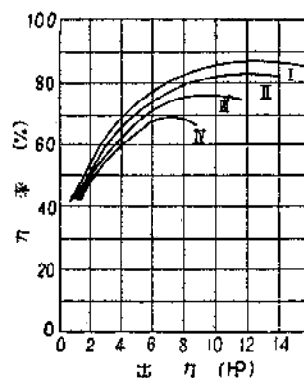
第3図は、出力と力率の関係を示し、第4図は出力と効率との関



第2図 出力-速度曲線



第4図 出力-効率曲線



第3図 出力-力率曲線

係を示した。

以上の各図は、何れも電動機の最高速度を同期速度にとつた場合であるが、同期速度以上に速度を上昇すると、特性はこれ等の曲線に示す値よりも遙かに改善される。

本電動機は一定回転力であるから、トルク馬力の関係は、

$$T = 716 \times (\text{HP/m}) \dots\dots\dots (7)$$

である。

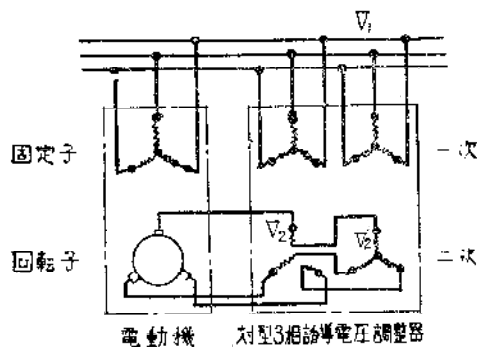
即ち、定トルクの特性であつて、出力は回転数に比例する。

2. 誘導電圧調整器による速度制御

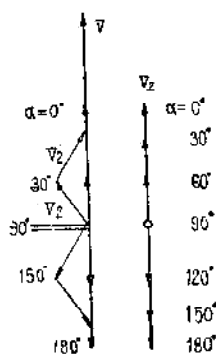
(Speed Control by Induction Regulator)

(2.1) 構造・動作

前述の電動機の制御で、変圧器の変りに対型3相誘導電圧調整器 (Twin type 3 phase induction regulator) を用いると、第5図の接続の如くなる。



5 図 対型3相誘導電圧調整器付固定子饋電型3相分巻整流子電動機



$$V_2 = V_2' + V_2'', \quad V: \text{供給線の電圧}$$

第6図 対型3相誘導電圧調整器の力線図

対型3相誘導電圧調整器の1次巻線は、夫々供給線に接続し、2次巻線は互に直列に接続し、その端を刷子に接続している。

この調整器は、2個の3相誘導電圧調整器を組合せた

ものであつて、一つのハンドルによつて、各の回転子は互に同時に同じ角度宛反対方向に回るように出来ている。

第6図に示す通り、回転子の回る角度は180°であつて、角度が0の場合には、2次端子に負の最大電圧が誘起せられ、この電圧は角度が90°になるほど小となり、90°の時に0の値になる。角度を90°より更に進めると、正方向の電圧が現われて、180°のときに最大となる。かくの如く、連続的電圧の変化により、連続的に電動機の変速をすることが出来る。

速度は0°の時に最底で、180°の時に最高となる。90°の時は、誘導電動機の2次巻線を短絡した場合に相当し、無負荷では同期速度で回転する。

(2.2) 理 論

この制御方法の根本原理は、前項の2次タップ付変圧器による制御と同じであつて、たゞ変圧器の変りに対型誘導電圧調整器を用いた点が形式において異なっているだけである。故に電気的の理論は、前項記載のものに順じてさしつかえない。

只、誘導電圧調整器を用いたために、2次電圧をして、前記の如くに段つかずして、連続的に変えられるから、ために速度の制御も無支とすることが出来る。

ここに、誘導電圧調整器を2個使用した理由について以下に述べる。

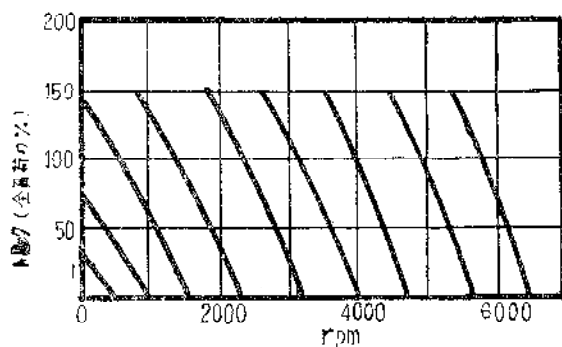
凡そ、1個の3相誘導電圧調整器を使用して、回転子を回しても、2次電圧の値に変化なく、単に位相が変るのみであるが、これを2個使用して、各回転子を互に逆に回し、2次巻線を互に直列に接続すると、2次巻線に現われる端子電圧は位相の変化がなく、電圧の値のみが変化する結果となる。

第6図は、この場合の角度： α 、電圧： V_2 位相の関係を示したものである。ここに、回転子に供給する電圧は、 $\dot{V}_2 = \dot{V}_2' - \dot{V}_2''$ の関係によつて、 V_2 は V_1 と同じ位相を保ちつつ広範囲に変るから、回転子の速度もこれに応じて広範囲に連続的に変えて制御が出来る。

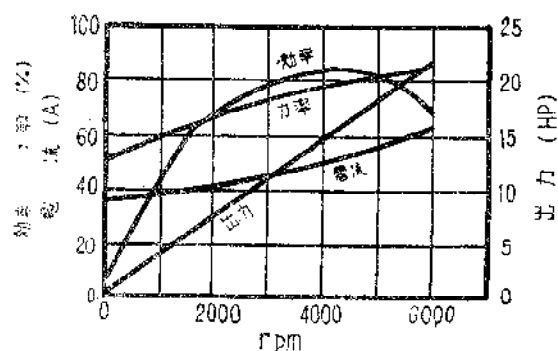
前項の理論で示したと同じく、電動機側から見ると、同期速度以上では、電動機は電力を固定子よりとり、更らに対型電圧調整器からとつて、これ等を機械力として出し、同期速度以下では、固定子よりとつた電力の一部を電圧調整器を通じて電源に返還して、その残りを機械力として出す。尚同期速度では、電圧調整器は電力のやりとりは無い。

(2.3) 特 性

第7図は、対型3相誘導電圧調整器の回転子の各位置における電動機の変速と回転力との関係を示したものであつて、第8図は一定回転力の出力に対する効率、力率、電流の値を示している。本曲線は、20 HP, 220 V,

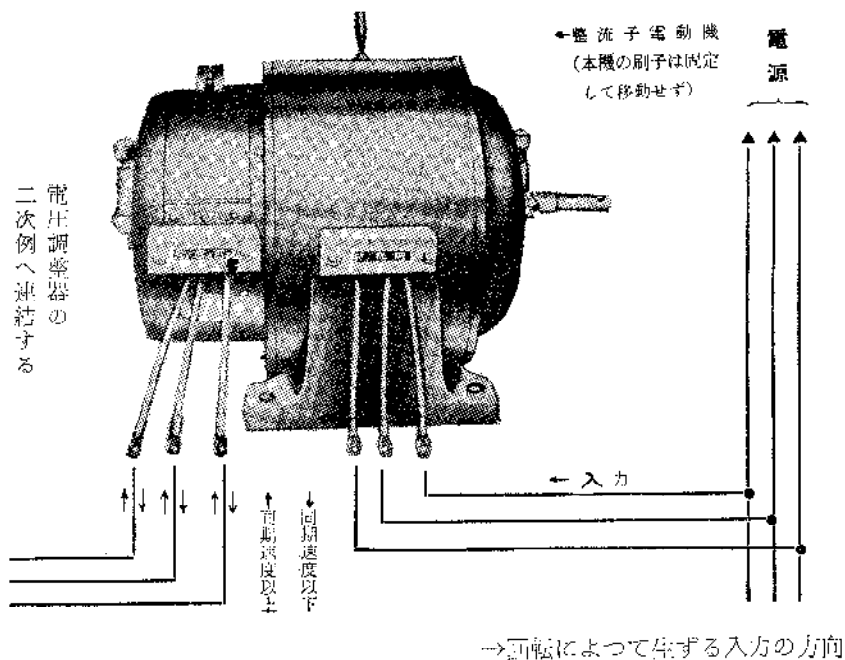


第7図 速度トルク曲線



第8図 トルクを一定とした特性

60c/s 0 ~ 5500 rpm の電動機について実験した1例である。特性は大体シュレーゲ型に似たもので分巻特性であつて、前項の変圧器を使用したものと同じで、やはり出力は回転数に比例する定トルク特性となつてくる。



第9図 交流により遠方から変送出来る三相重分巻電動機
(寸法3割縮少の新しい設計、所要電力は従来のどの整流子機より少ない設計法をとつた—日本自動制御協会第16回研究例会講演)

(2.4) 外 観

第9図は、この電動機の新しく設計した写真で、第10図は特別設計による対型3相誘導電圧調整器を示し、本式では各回転で電力の消費量が少く電動機の寸法をシュレーゲ型よりも3割程度縮少して軽くする特徴がある。本機を3相重分巻電動機と名称する。

3. 回転子饋電型による速度制御

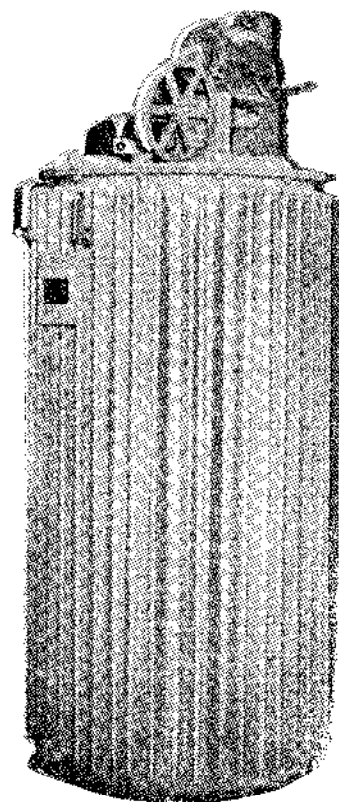
(Speed Control by Rotor Supplied, Schräge type.)

(3.1) 構造・動作

第11図は、その内部の巻線を示したものであつて、回転子の1次巻線Pは、滑動環を通じて電源より電力の供給を受ける。

固定子2次巻線Sは、その両端に接続せられた刷子の開角を加減して、回転子の調整巻線Cよりとる2次励磁電圧を調整して速度の制御を行う。ここに、abの刷子群とCの巻線の間には整流子片が存在しているが、本図では簡単に示してこれを略した。

a_1, a_2, a_3 の各刷子は、一つの前部刷子進退器(Brush Rocker)にとりつけ、 b_1, b_2, b_3 の各刷子は、後部刷子進退器にとりつけ、この2組の進退器は、互に反対の方向に回る



第10図 新型誘導電圧調整器
(注) 一つのケースの中にシングルコアの固定子と回転子を使い巻線は双子型にした点が新しい、筆者等の設計である。

ようになっている。これによつて、ab間の電気的角を下記の範囲に変えることが出来る。

$$\left(-\frac{\pi}{2}\right) \rightarrow (0) \\ \rightarrow \left(+\frac{\pi}{2}\right) \cdots (8)$$

(3.2) 理論

ab間に現われる電圧は(4)

$$E_a = (e_{t1} \times \frac{P}{a} k_{wc}) (K/P)$$

$$P) (2 \sin \frac{\gamma}{2} / \pi) \cdots \cdots (9)$$

ここに、 e_{t1} ：回転子1次巻線の1巻回当りの電圧，
P：極，p：極の半数，a：調整巻線の並列回路の半数，
K：整流子片の数， γ ：ab開角の半数， k_{wc} ：調整巻線の巻線係数である。

$2 \sin \frac{\gamma}{2} / \pi$ の最大値は、 $\frac{2}{\pi}$ であるから、abが最大に開いた時に刷子間に現われる電圧は

$$E_{am} = (e_{t1} \frac{P}{a} k_{wc}) (K/P) \left(\frac{2}{\pi}\right) \cdots \cdots (10)$$

この式で、相隣れる整流子片間電圧は

$$e_{tc} = (e_{t1} \frac{P}{a} k_{wc}) \cdots \cdots (11)$$

今 E_{am} を発生するために巻かれている ab間の有効最大整流子巻回数を N_{emc} とし、固定子毎相巻回数を N_{es} 、固定子巻線係数を k_{w2} 、固定子電圧を E_2 とすれば、

$$u = E_{am}/E_2 = (N_{emc}/N_{es}) (k_{wc}/k_{w2}) \cdots \cdots (12)$$

次に同期速度を n_{os} とすれば、無負荷速度は、

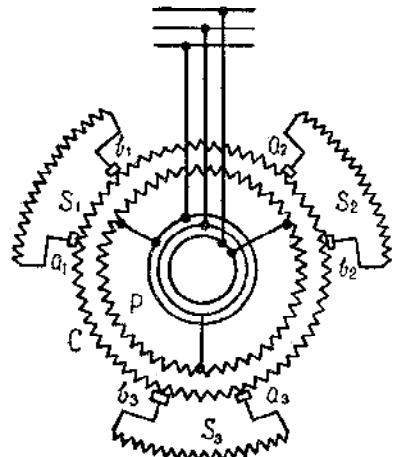
$$n_o = n_{os} (1 \pm u) \cdots \cdots (13)$$

ここに、abの刷子開角が、最小のときには u は負の値をとり、速度は最低となり、開角が最大のときには、 u は正の値をとり、最高速度となり、さらに、この開角が0のときには u の値も0となるから同期速度となる。

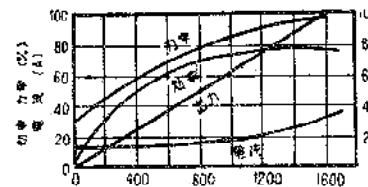
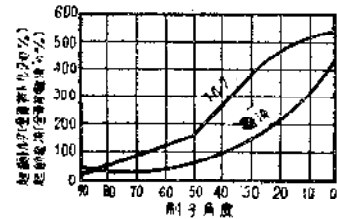
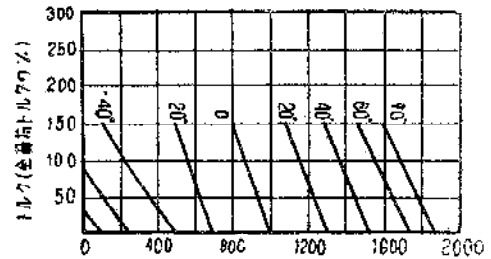
(3.3) 特性

第12図は、速度—トルク曲線であつて、各刷子位置における相互関係を示した。

第13図は、各刷子位置における起動トルクと起動電流の関係であつて、第14図は6極、10HPに対する電動機の試験成績を図表に示したものである。この試験では、一定トルクの負荷をかけ、出力、電流、効率、力率を見た。本機の特性は、前記の2種類の速度制御に現われた



第11図 Schräge型3相分巻整流子電動機



第12図 速度トルクの曲線

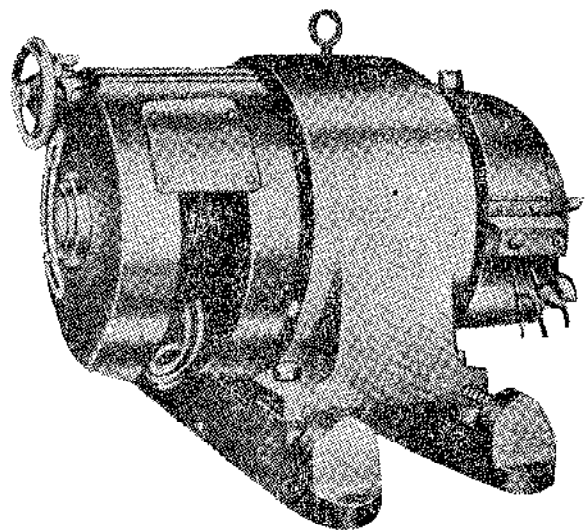
第13図 刷子開角と起動電流、起動トルク

第14図 トルクを一定した特性

特性と同じく分巻特性であつて、出力は速度に比例する定トルク特性である。

(3.4) 力率の調整

第14図の試験でみた如く、本機は同期速度以上 ($S_o < 0$) では力率は良く、同期速度以下 ($S_o > 0$) では悪いが、この改善は(2) 前者ではabの刷子開角の中心を電機子回転方向と反対の方に微角だけ回し、後者では、同方向に回して力率を改善することが出来る。



第15図 3相分巻整流子電動機

第1表 3相分巻整流子電動機の可変速度範囲

極数	出力 (HP)	分 巻		超 分 巻	
		50 c/s	60 c/s	50 c/s	60 c/s
4	0.5	380-1900	430-2150	0-2100	0-2500
	0.75	"	"	"	"
	1	420-2100	500-2500	0-2400	0-3000
	2	"	"	"	"
	3	"	"	"	"
	5	"	"	"	"
	7.5	"	"	"	"
6	10	"	"	"	"
	15	"	"	"	"
	20	"	"	"	"
	25	"	"	"	"
	30	"	"	"	"
8	40	210-1050	350-1250	0-1250	0-1250
	50	"	"	"	"

(注) 2極で 0~5000 rpm (50 c/s)
0~6000 rpm (60 c/s)

(3.5) 外形及び速度範囲

第15図は外形を示し、第1表は標準化した各馬力と速度範囲を示した。

これは、筆者等が過去のデータから決定したものであるが、大容量になるほど極数を増して低速にし、整流子片間電圧を2.5V程度に制御して設計する必要がある。

この表の程度に速度範囲をとつたものは長時間の連続運転に対し、信頼して使用が出来ることを附言する。特別用途⁽⁶⁾のものとして0~6000rpmのものも設計している。装荷配分および温度上昇の研究⁽⁵⁾は別に詳述した。

4. 自動制御に応用

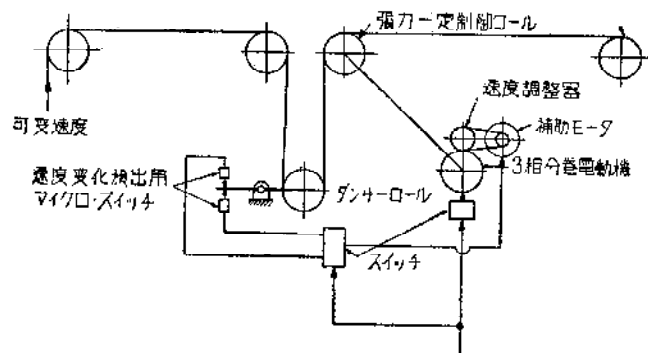
(Application of Commutator Motors for Automation)

上述の電動機は何れも一つのハンドルを回し、前者の2つでは変圧せられたる電圧を回転子に与へ、後者では刷子位置の移動により調整電圧を変化して速度制御をすることが出来るが、このハンドルに操作電動機または機械的連動装置を取り付けると、被制御量の変化に応じて、自動的に正逆転または速度制御を行なうことが出来る。これがために、被制御電動機を速度を電気回転計等により検出し、これを基準値と比較し、増巾して操作電動機に信号を送る自動制御器の製作も出来る。

速度の検出には、被制御電動機によつて回転せられる速度計用発電機(DCまたはAC)を応用し、回転数を知り、尚最後に直流電圧に転換して、基準電圧値と比較する。

自動制御に3相分巻整流子電動機を応用した例では(1)定速度、(2)比例速度、(3)追従加減速度、(4)定張力等の制御方法がある。上記の(1)は予め各希望の速度を出す位置に電動機の制御装置を調整しておいて、負荷の変動、電圧の変動に対し、一定速度で運転せしめ、製品に応じて所望の定速運転をする場合に適用し、(2)、(3)、(4)は製造工程によつて自動的に速度を調整する場合で、たとえば紡績の輪具電動機、暖房冷房の空気温度の調整、汽罐の自然燃焼、巻取機における自動定張力などの運転の如きものである。

定張力制御の一例として、3相整流子電動機を巻取ロールの運転に使用した例を示すと第16図の如くなる。巻取ロール上に巻取られる製品は、巻取らるるに従つて、径が大となり、送り速度が変ってくるが、



第16図 定張力制御巻取ロールに3相分巻整流子電動機を応用

- ① 速度の変動により、ダンサーロールが、上下運動する機構とする。
- ② 速度検出用マイクロスイッチにより、このダンサーロールの上下運動を検出する。
- ③ スイッチ、パイロットモーター、速度調整装置の経路により、3相整流子電動機を速度調整を行ない、張力制御ロールの回転をして送りの変動する速度に順応せしめて定張力制御を行なうことが出来る。

結 言

以上の3種類の電動機は、理論的発達順序からは(1)、(2)、(3)となり Schrage 型が最後になるが、前者の2つは刷子を固定したままで、遠方制御が出来るから、高速度などで頻りに速度を変える等の用途には、寧ろシュレーゲ型よりも事故が少い。尚設計によつて型を小さくし、入力を最小必要度まで切りつめられる。ただシュレーゲ型では、別に速度調整器または誘導電圧調整器を

用いる必要がないため小型では製作費は幾分安くなる。また配線も簡単である。然し大容量ではシュレーゲ型は不適当である。

可変速に電圧調整器を用いる着想は已に文献⁽⁷⁾にもあるが、電動機と調整器の各々の容量を定格の $\frac{1}{2}$ またはそれ以下に設計してこれを組合わす特別の設計法は、可成りの経験と学識を要する所であつて、従来已に出現しているものも、今後多々改良の余地が残されている。仕様条件に最も適した機器の設計と制御法の応用が必要である。Case by Case で何れを選定すればよいかについては各用途によつてその方式を選定する必要がある。

たとえば周波数変換による20000~500rpmの変速法、直流ワードレオナート式による定馬力、定トルクの組合せ法の設計の依頼も受け、製品を出しているが、詳しいことは稿を新にして報告することにする。

最後に述べた定張力制御の1例は、顧客先の要望によつて、筆者等の設計製作したものであるが、予算の限定下において、可成簡単で安価で、後日事故の少ないもの

で、かつ取り扱い易いものという仕様によつて、ために或る点は微気増巾器等の応用により今少し理想的なものに改良も可能である。一般工業的用途では、大容量で定出力、定張力の運転は上記の方法以外に特別ワードレオナード式と自動制御の併用によることも多いが、これ等については別に報告する。

参 考 文 献

- (1) 松本：3相整流子電動機（昭16）
- (2) 竹内：整流子電動機大学講義（昭30）
- (3) 執行：整流子電動機設計（昭29）
- (4) 岩岸：計測（日本計測学会 昭32-4）
- (5) 岩岸：電気学会（823, 830, 77, 昭32）
- (6) 岩岸：オーム誌（昭32）
- (7) Werner Nürnberg：Die Prüfung der Elektrischer Maschinen, 142, 263, (1940).
- (8) Rüdernberg：Die Bemessung von Drehstrom-Kollektormotoren, ETZ, 263, (1920).

都道府県の建設事業

全国知事会（会長東帝太郎東京都知事）では都道府県がこんど十ヶ年間にどの程度の建設事業費を必要としているかについて調査を行なつた。（普通建設事業で長野、鳥取、徳島、長崎、宮崎5県分は報告が遅れたため調査からはずされた）それによると地方公共団体の普通建設事業に対する投資は35年度以降45年度までに7兆2千5百億円を必要とし、道路・橋りょう整備2兆2千975億8千9百万円、治山治水整備1兆8千3百4億4千3百万円が中心となつている。おもな内容次のとおり

道路・橋りょう

道路整備には45年までに2兆2千975億8千9百万円を投下する。これにより道路の改良は36年26.9%を45年には50.9%に引上げ、舗装についても36年10.4%を45年には37%に引上げる計画でいる。これを府県別にみると改良で70%以上完成が群馬、千葉、東京、神奈川、山梨、静岡、愛知、大阪、大分の9県で、30%以下は三重、愛媛、高知、福岡、鹿児島島の5県を見込んでいる。一方舗装については70%以上完成は千葉、東京、神奈川、愛知、大分の5県を予定している。十ヶ年間の投資は1兆9千520億円を必要とする。橋りょうについては36年度の木橋混合橋1,427.2キロメートルを45年には535.5キロメートルに減らし、永久橋を973.9キロメートルから1,416.1キロメートルに増加、橋りょうの大部分を永久橋にする考えでいる。十ヶ年間の投資額2千320億円を予定する。

治山・治水

河川整備には45年までに7千270億円を投下、河川両岸の延長に対し、十ヶ年間に8%ないし13%の整備を行なう方針でいる。また高潮対策については45年までに1千300億円を投下して目標を達成する。この場合対策費の大きいのは東京500億円、愛知300億円、岩手60億円、三重60億円、山口50億円となつている。地盤対策については45年までに365億円を投下、新潟、静岡、愛知、三重大阪、和歌山、島根、広島、山口、愛媛、高知の12県について整備することになつている。砂防については45年度までに約5千670億円を投下することが必要だとしている。海岸については45年までに1千51億8千4百万円を投下、約1,950キロメートルを整備する。50億円以上の整備を必要としている府県は青森、千葉、新潟、宮山愛知、大阪、福岡、熊本となつている。

港 湾

昭和45年度までに5千927億8千8百万円を投下、444港を整備する必要がある。

高 等 学 校

2千537億7千7百万円を45年度までに投下、新設17校、増改築301校の増加となつている。

公 営 住 宅

10ヶ年間に約6千4百億円を投下、42万戸の建設を予定。36年度3月末の新住宅整備戸数19万戸、40年度までに16万戸の内訳となつている。