

摺動電圧調整器による誘導電動機の世界速度制御

Speed Control of Induction Motors by Means of Sliding Voltage Regulator

友 貞 睦 夫*
Mutsuo Tomosada

内 容 梗 概

単巻の摺動電圧調整器は小型小容量のものは各種用途に使用されている。今回この容量を大きくして三相回路に使えるようにして、これを誘導電動機の世界速度制御用に使用した。電動機として籠形と巻線型との場合についてそれぞれの制御方式を述べ、試作した摺動電圧調整器の構造ならびに試験結果について記述する。

1. 緒 言

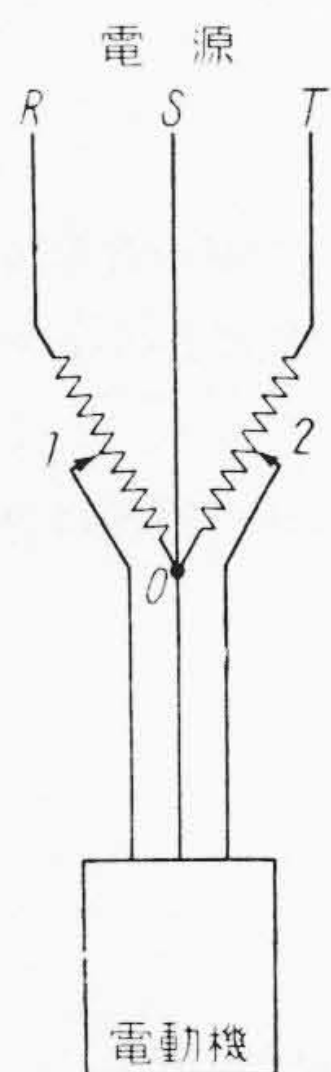
単巻変圧器に摺動接触子を組合せた電圧調整器は小容量のものでは各種用途に利用されている。今この電圧調整器の大容量のものと誘導電動機とを組合せて速度制御を行う種々の方式について考察を行つた。

二次高抵抗籠形電動機または巻線型電動機を使用することにより無段階的な速度制御を行うことができ、適当な設計によれば接触子をほとんど無火花で摺動でき、火花による損傷が少なく保守運転に便利である。これらの特長を生かすことにより高頻度制御用として、緩起動用として、また無段階速度制御用として好適の装置と思われる。

2. 籠形誘導電動機の世界速度制御

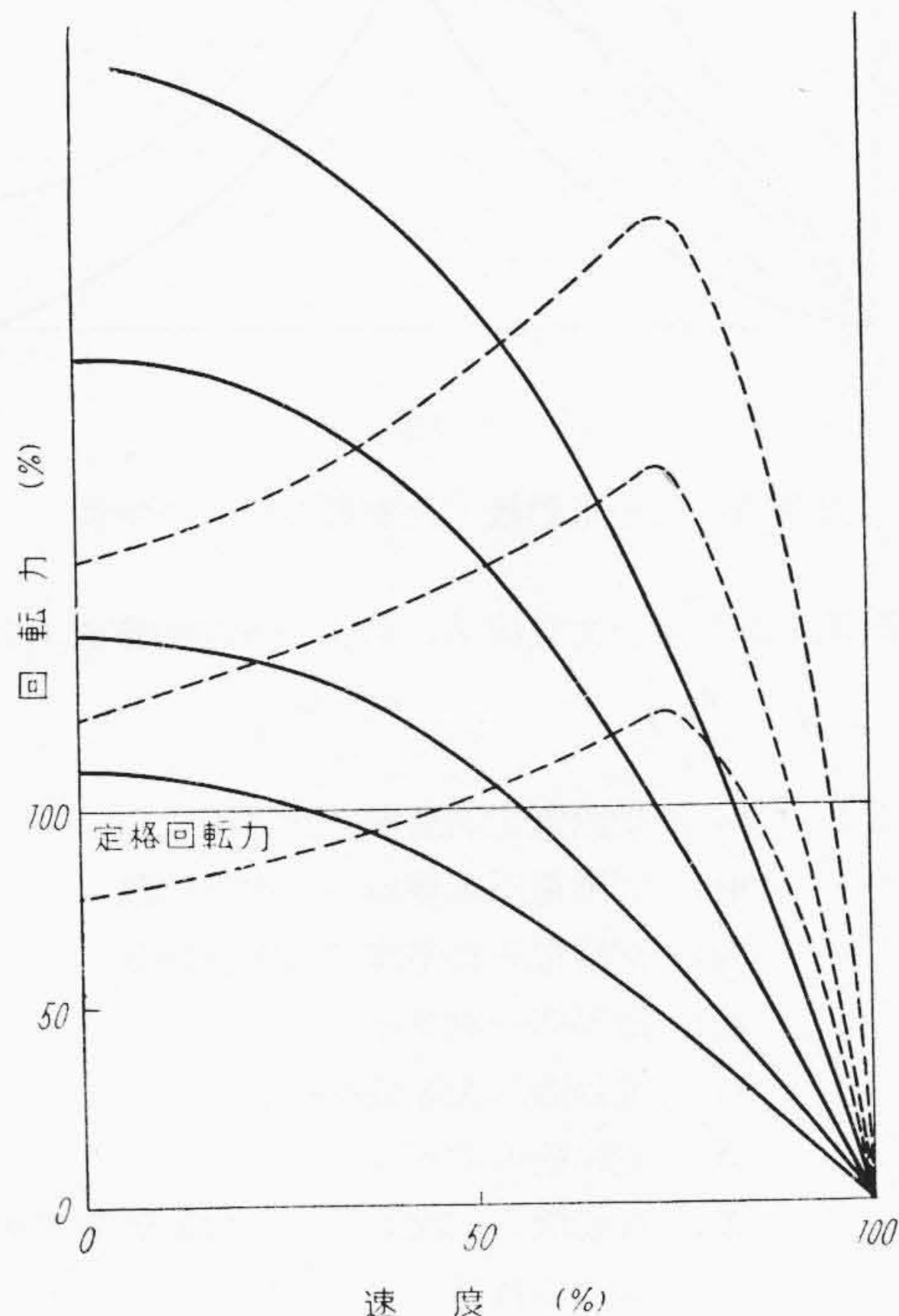
この方式は電動機一次電圧を制御するため、低速においては電動機の鉄損と励磁電流が少なくなるので電動機の温度上昇も低くなるという利点がある。

摺動電圧調整器を第1図のようにV接続にして電動機一次電圧を変化させて速度制御を行う。この場合摺動子を



第1図 籠形電動機の制御

第1図の0位置におけば電圧は零であり1と2の方向に動かせば電動機端子電圧が上昇する。一方速度制御を行うには電動機としては第2図実線のような高すべり特性の電動機が好適である。すなわち一般の籠形電動機においては電圧制御した場合は速度、回転力特性が第2図点線のようにになり負荷に対する低速時の速度が不安定で得にくい。高すべり電動機を利用すれば速度回転力曲線は第2図実線のような特性となつて低速まで速度制御が可能となる。したがつて電動機の二次抵抗値は速度制御範囲を考慮して決定すべきである



第2図 摺動電圧調整器による籠形電動機特性

が緩起動用などにはそれほど考慮する必要はない。

摺動電圧調整器を電動機一次に接続したときの電動機電圧、電流、回転力は次のようになる。

電動機の電圧

$$E_2 = \frac{n_2}{n_1} E_1$$

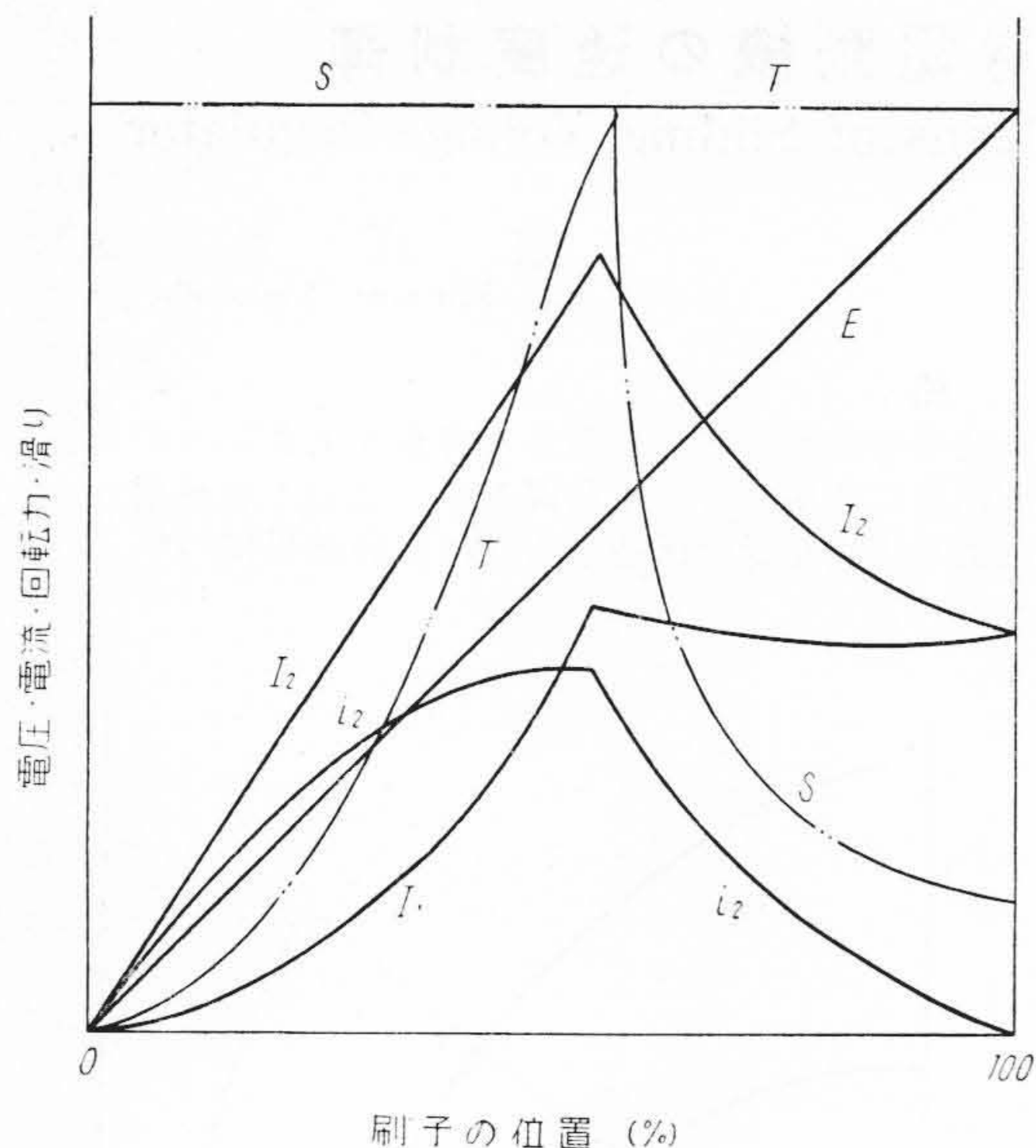
電動機の回転力

$$T = \frac{\left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 E_1^2}{\left(r_1 + \frac{r_2}{S}\right)^2 + X^2} \left(\frac{r_2}{S}\right)$$

電動機の電流

$$I_2 = \frac{\frac{n_2}{n_1} E_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{r_2}{S}\right)^2 + X^2}}$$

* 日立製作所電機工場



第 3 図 籠形電動機一次制御の場合の特性

摺動電圧調整器一次電流 I_1 , および巻線中電流 i_2 は

$$I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2 \quad i_2 = \frac{n_1 - n_2}{n_1} I_2$$

ただし, E_1 : 摺動電圧調整器一次電圧

n_1 : 摺動電圧調整器の一次巻回数

n_2 : 摺動電圧調整器の二次巻回数

r_1 : 電動機一次抵抗

r_2 : 電動機二次等価抵抗

S : 電動機のすべり

X : 電動機の一次および二次等価リアクタンスの合計

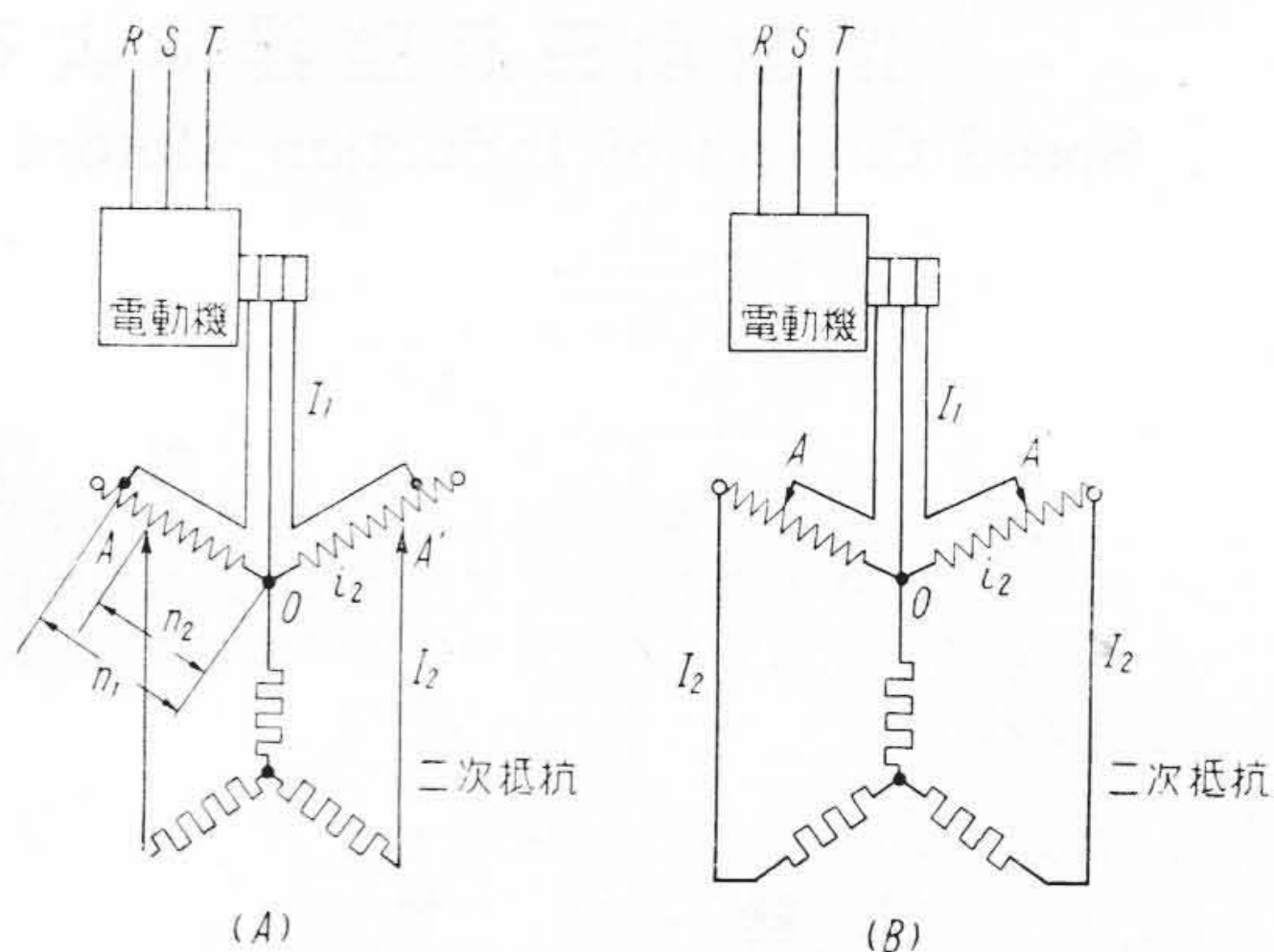
今電動機と摺動電圧調整器を組合せた場合の摺動子の位置に対する摺動電圧調整器の一次電流 I_1 , 巻線電流 i_2 , 電動機電流 I_2 , 電動機回転力 T の変化の一例を第 3 図に示す。図は電動機にかかる負荷トルクが一定の場合を示してある。

3. 巻線型誘導電動機の世界制御

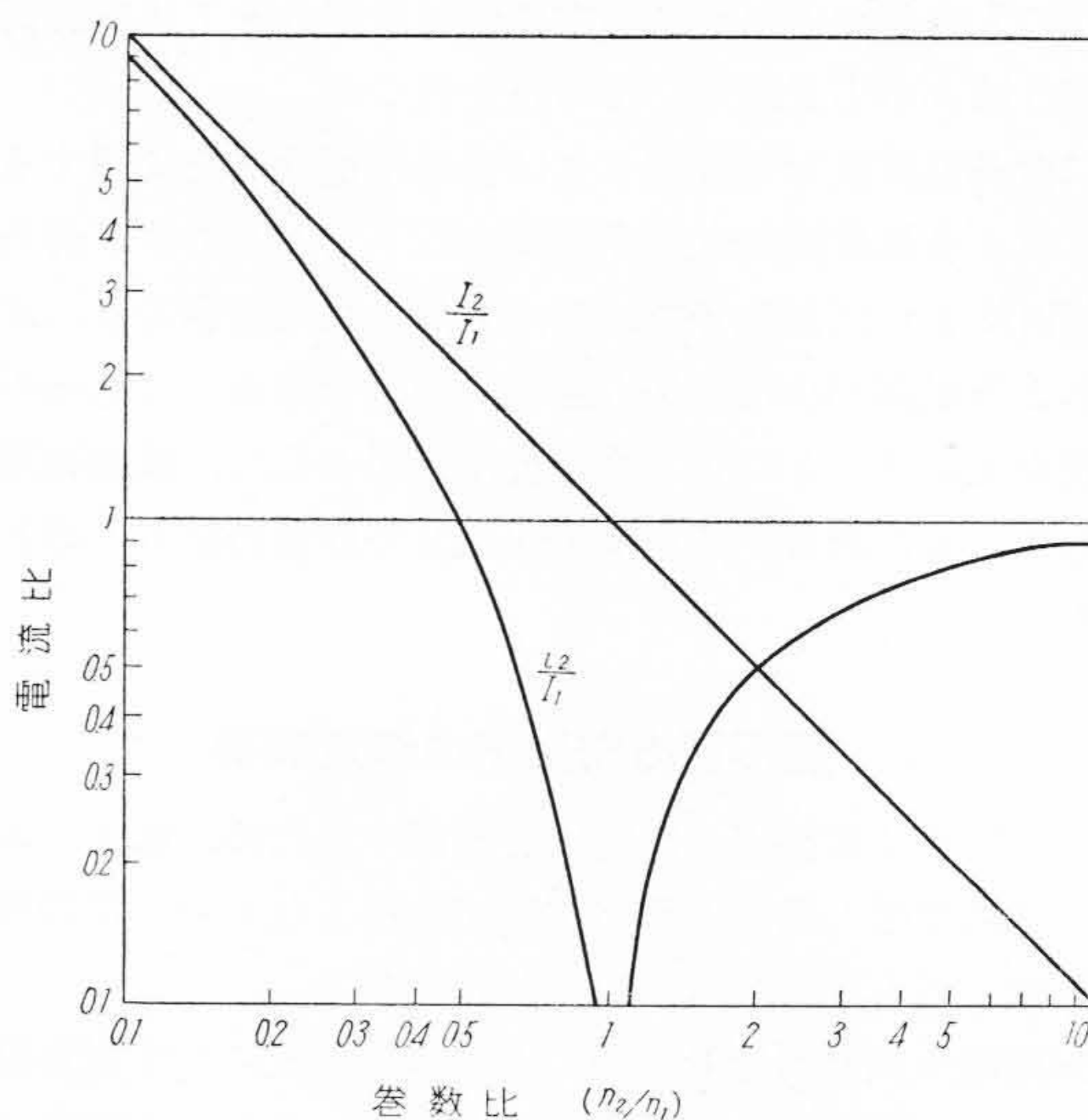
巻線型電動機の二次に三相結線単巻摺動電圧調整器を置いて, 抵抗器に加わる電圧を n 倍にすれば等価二次抵抗は $\frac{1}{n^2}$ となる。したがって調整器電圧を変化させることによつて二次抵抗を制御することができる。制御器の摺動接触子は第 4 図 (A) のように抵抗側につける場合と, (B) のように電動機側につける場合とがある。

3.1 摺動接触子を抵抗側に置く場合

第 4 図 (A) のように摺動電圧調整器の電動機側の巻数を n_1 , 抵抗器側の巻数を n_2 とし, 接触子 A, A' は同時に動くものとすれば運転時, 起動時の特性は次のように



第 4 図 巻線型誘導電動機の世界制御



第 5 図 巻数比に対する電流比の変化

なる。

(a) 電動機運転時の特性

電動機に一定トルクの荷がかかつて安定運転をしているときは電動機二次電流は回転数にかかわらず一定である。

抵抗器および摺動電圧調整器巻線間の電流は次の式で表わされる。

$$I_2 = \frac{n_1}{n_2} I_1$$

$$i_2 = \frac{n_2 - n_1}{n_2} I_1$$

ただし, I_1 : 摺動電圧調整器電動機側電流

I_2 : 摺動電圧調整器抵抗器側電流

i_2 : 摺動電圧調整器巻線間電流

$\frac{n_2}{n_1}$ と I_2, i_2 の I_1 に対する比率の関係を第 5 図に

示す。

抵抗損失 W は

$$W = 3 I_2^2 R = 3 \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 I_1^2 R$$

電動機のすべりはほぼ抵抗器内の損失に比例するからすべり 1 のときの抵抗側巻数を n_2' とすれば、すべり S のときの巻数 n_2'' は

$$n_2'' = \frac{n_2'}{\sqrt{s}}$$

すべり 1 から S まで速度制御するために接触子を摺動するものとすれば摺動変圧器の摺動面に巻かれるコイルの巻数 n_2''' は次の式で表わされる。

$$n_2''' = \left(\frac{1}{\sqrt{s}} \right) n_2'$$

一方摺動面に巻かれるコイルの寸法は通常同じでなければならない。摺動面の電線の太さは最大電流、すなわちすべり 1 のときの摺動コイルに流れる電流値で決定される。したがって摺動面の摺動長さはこの電流と n_2''' の積に比例して決定される。

すなわち、

$n_2' \geq n_1$ の範囲では、

$$I_2 \times n_2''' = \left(\frac{1}{\sqrt{s}} - 1 \right) n_1 I_1$$

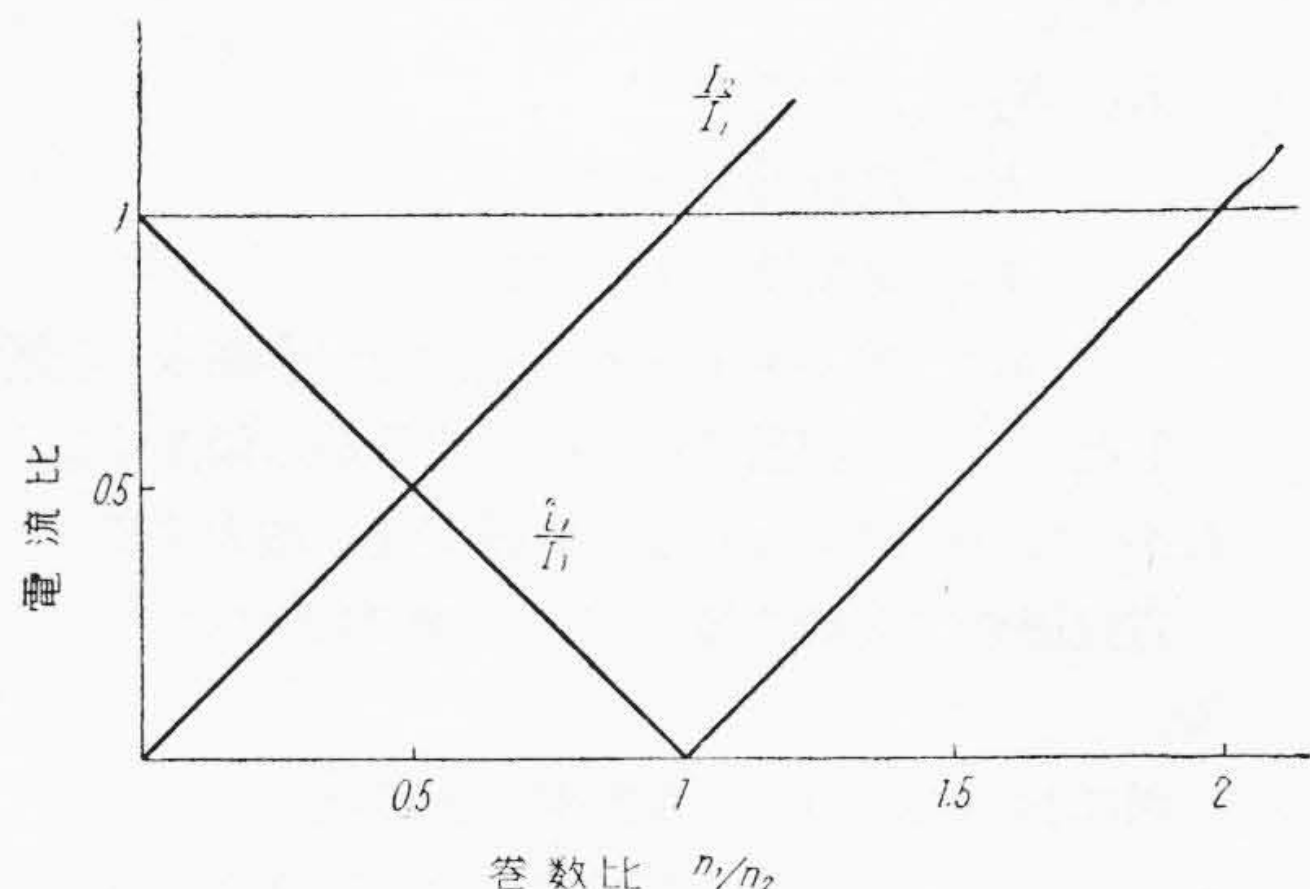
$n_2' \leq n_1$ の範囲では、

$$I_1 \times n_2''' = \left(\frac{1}{\sqrt{s}} - 1 \right) n_2' I_1$$

したがって n_2' が小さいほど摺動長さは短くなるわけであるが、摺動電圧調整器の抵抗側巻数が一次巻数の半分以下、すなわち $n_2 < 0.5 n_1$ になると i_2 が I_1 以上に大きくなって好ましくない。摺動電圧調整器自体の容量も $\frac{n_2}{n_1}$ が 1 の前後に変る方が小型となる。今もし電動機の全速運転時のすべりを 10% 付近にとる場合を考えると、 $n_2' \geq n_1$ の場合では n_2''' は n_2' の 2 倍を、 $n_2' \leq n_1$ の場合では同様に n_2''' は n_2' の 2 倍をとることになる。摺動子の移動幅を n_1 の前後にとるならば $0.5 n_1 \sim 1.5 n_1$ までとればよいことになり、これは前述の好ましい条件が満足される。

(b) 起動時の考察

起動時、電動機の世界速度が上昇しない間にすみやかに制御器を動かすような場合を考えると、電動機二次電圧は一定であるから、普通の単巻変圧器として考えることができ、この場合も n_2 は n_1 を中心に変化させた方が摺動電圧調整器の容量を小さくすることができる。このとき I_2 は全負荷電流の 2 倍から



第 6 図 巻数比に対する電流比の変化

6 倍まで流れることが起りうるわけであるが起動時間というのは通常短時間であり大きな問題とはならない。

3.2 摺動接触子を電動機側に置く場合

第 4 図(B)で接触子 A, A' は 0 点で短絡されることになり、全速運転中は刷子をこの位置において制御器は単に短絡装置として働かせる方がよい。以下運転時の特性について考察する。

(a) 電動機運転時の特性

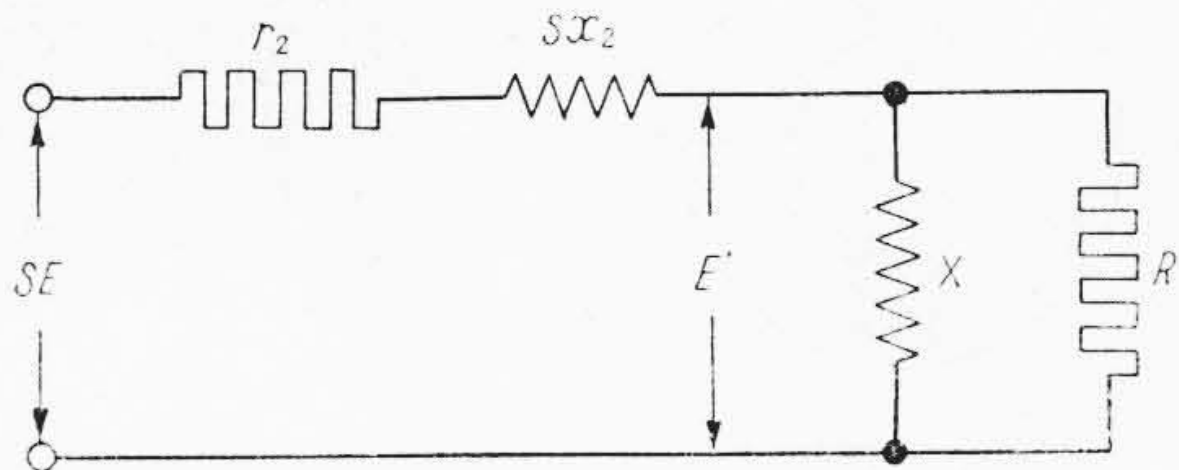
摺動電圧調整器の励磁電流を考えなければ、摺動子に流れる電流は摺動面の位置にかかわらず電動機二次電流値に等しく一定である。したがって摺動面に巻かれるコイルの巻数が少ないほど小型にできる。しかし起動時、ならびに運転時の 1 巻あたりの電圧を考慮すれば許容しうる範囲の巻数というものがある。

$\frac{n_1}{n_2}$ と I_2, i_1 の I_1 に対する比率の関係を第 6 図に示す。摺動電圧調整器のコイルの電流を考えると $\frac{n_1}{n_2}$ を 1 以上に変化させるのは好ましくない。したがってこの範囲内で n_2 は自由に選べるが n_2 をあまり大きくすることは得策ではない。

次に励磁電流を考えてみる。

電動機のすべり S の場合の摺動変圧器の磁束は次の式で表わされる。

$$\phi = K_1 \frac{SE}{Sf n_1} = K_2 \frac{1}{n_1}$$



第 7 図 二次等価回路

ただし、

K_1, K_2 : ある常数

E : 電動機一次電圧

f : 電動機一次周波数

n_1 : 摺動電圧調整器電動機側巻回数(可変)

したがって、摺動子を起動の位置から動かすにしたがって n_1 は少なくなり励磁電流は増大する。

電動機の二次側の等価回路は第7図のようになる。

図において、 r_2 : 電動機二次抵抗

x_2 : 電動機二次リアクタンス

$$X = \frac{E'}{I_0} = K_4 E' n_1^2$$

$$R' = \left(\frac{n_1}{n_2} \right)^2 R = K_5 n_1^2 R$$

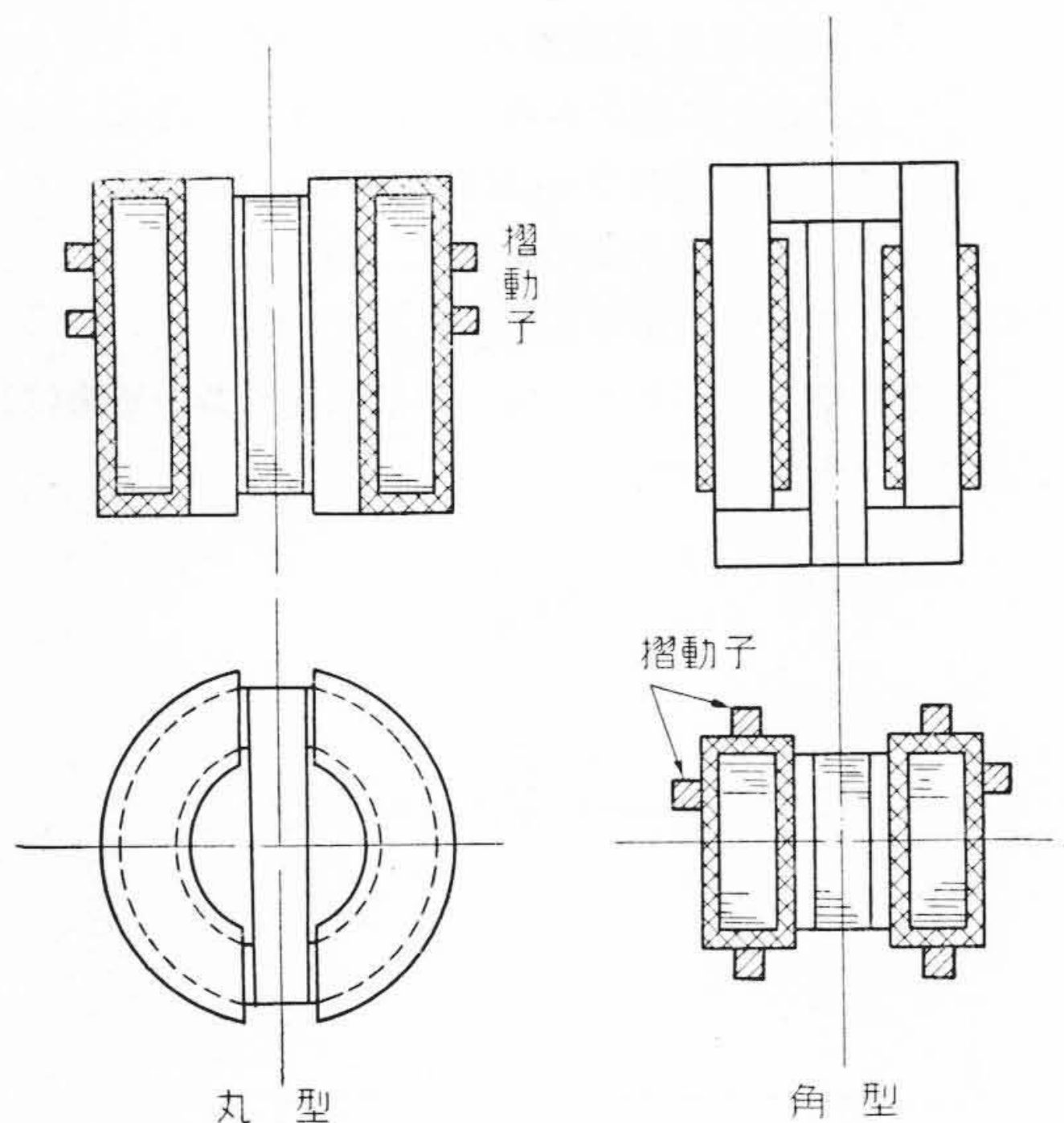
ただし、 K_4, K_5 : ある常数

等価回路でわかるとおりに励磁電流を考慮に入れると電圧 E' は下る。したがって一定の回転力がかかっている場合には、刷子の位置と速度の関係は励磁電流を考慮に入れた方が n_1 に対する速度変化がゆるやかで操作がしやすくなる。

4. 摺動電圧調整器

摺動電圧調整器としては第8図のように丸型と角型とが考えられる。角型は摺動子が直線運動をし、丸型は円運動をするように作られる。

また摺動子は円形の場合ならば円形外周にならべて置かれるし、角型のものならば3組の刷子を取り付けられ、これら摺動子の組の数だけの電動機を制御することがで



第8図 摺動電圧調整器構造図

きる。円形か角型かは機構上いずれが便利であるかによって決まる。電磁石、サーボリフターなどにより摺動子を動かすものでは角型が便利である。

摺動電圧調整器を電動機と組合せ一次制御を行う場合には摺動接触子の動きにより電動機を可逆転することもできる。すなわち第1図で電動機に接続された1と2の摺動子は互に反対方向に回転し、しかも全周を摺動できるように作つてあれば、1と2が一致した位置で電動機にかかる電圧は零であり、把手をさらに回せば電動機の端子電圧は相が入れ換つて逆転し、しかも電圧が上昇し回転力を増加させる。

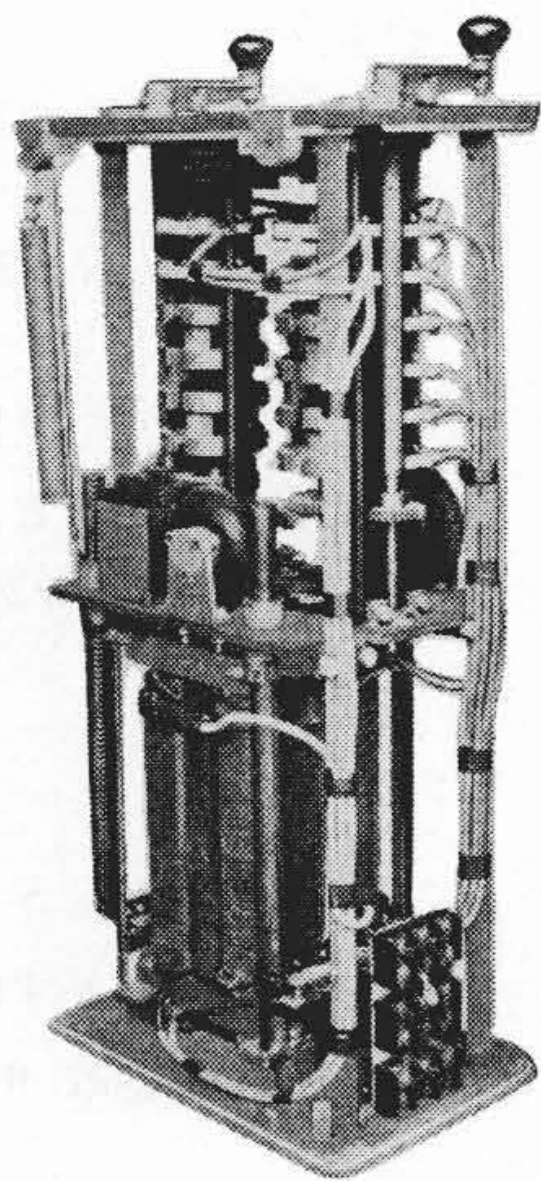
以下実際の製品について記述する。

4.1 籠形電動機用摺動電圧調整器

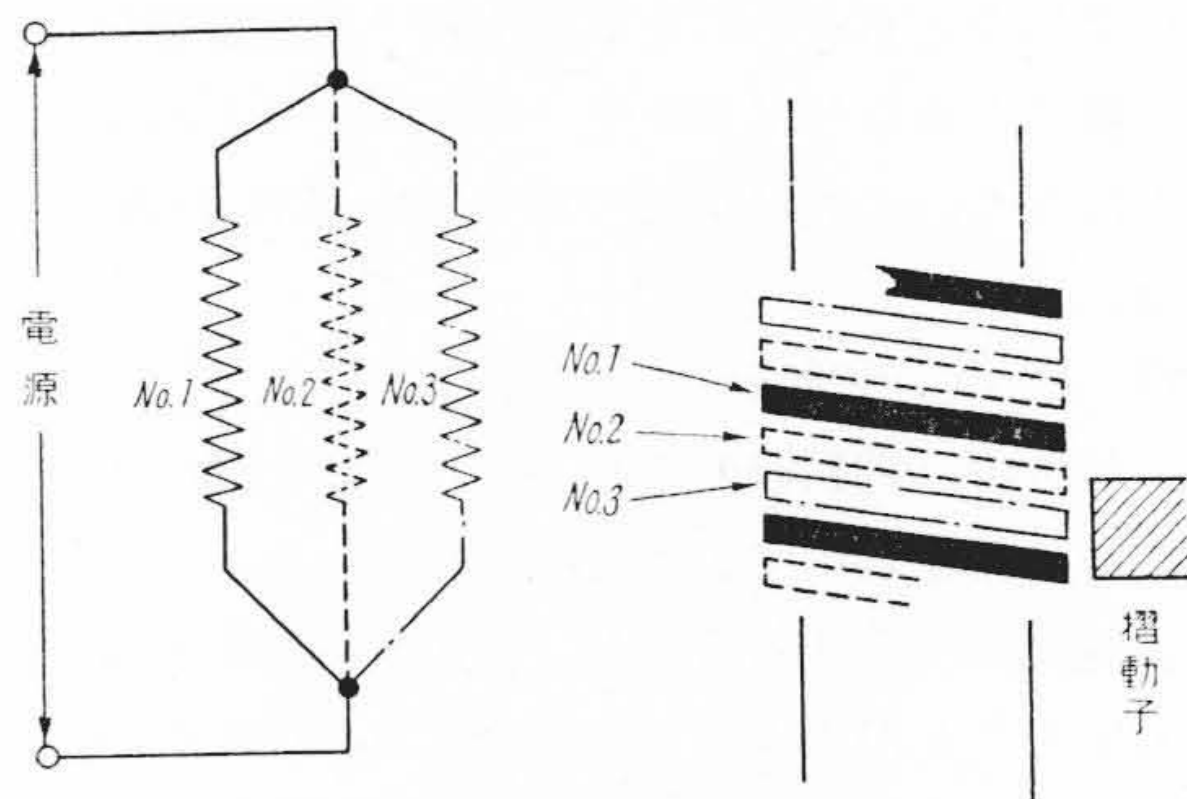
第9図に本器の外観を示す。図でわかるとおり、摺動電圧調整器は角型を採用し、これにより制御される電動機は2台である。上部把手2個がそのためのものである。また摺動面を大きくとるために摺動電圧調整器の巻線は二重に巻いてある。すなわち籠形電動機速度制御を行うのに起動回転力が50%程度以上であるような制御をすれば一般の用途には十分である。したがって起動回転力200%のものならば $\frac{1}{2}$ 電圧以上の部分を制御できる構造であればよいわけであるから摺動面の巻数は全巻数の $\frac{1}{2}$ であればよい。

このように余分の巻線を下段に巻いて摺動面を大きくし、小型に製作することができた。

さらに摺動子によるコイル間の短絡電流を制限するため第10図に示すようにコイルは三分割され、摺動子の



第9図 籠形電動機用摺動電圧調整器



第10図 摺動電圧調整器巻線法

幅を同種コイルが短絡しないように定めれば、大きい短絡電流を流すことなくコイル3個で並列に負荷電流を供給する。

摺動電圧調整器の上部は正逆転切換装置であり、これは一般の制御器のそれと比較して定格電圧より小さい電圧で投入遮断を行うので接点の消耗はわずかである。また把手は中央より左右に回すことにより、電動機はそれぞれ正逆転で電圧が増加するような構造になっている。

4.2 二次制御用摺動電圧調整器

第11図は巻線型電動機二次制御用の摺動電圧調整器である。本器は前記と異なり円形で、次の理由により電動機側を摺動させる方式を採用したものである。

(i) 抵抗側を摺動させると摺動子に流れる電流が大きくなり熱容量の小さな摺動子を過熱する恐れがある。

(ii) 電動機側を摺動させれば励磁電流による刷りと導体の過熱が考えられるが、負荷電流とは位相を異にするため、また制御器の熱容量も大きく、設計の点で考慮すれば、この点の補償は十分である。

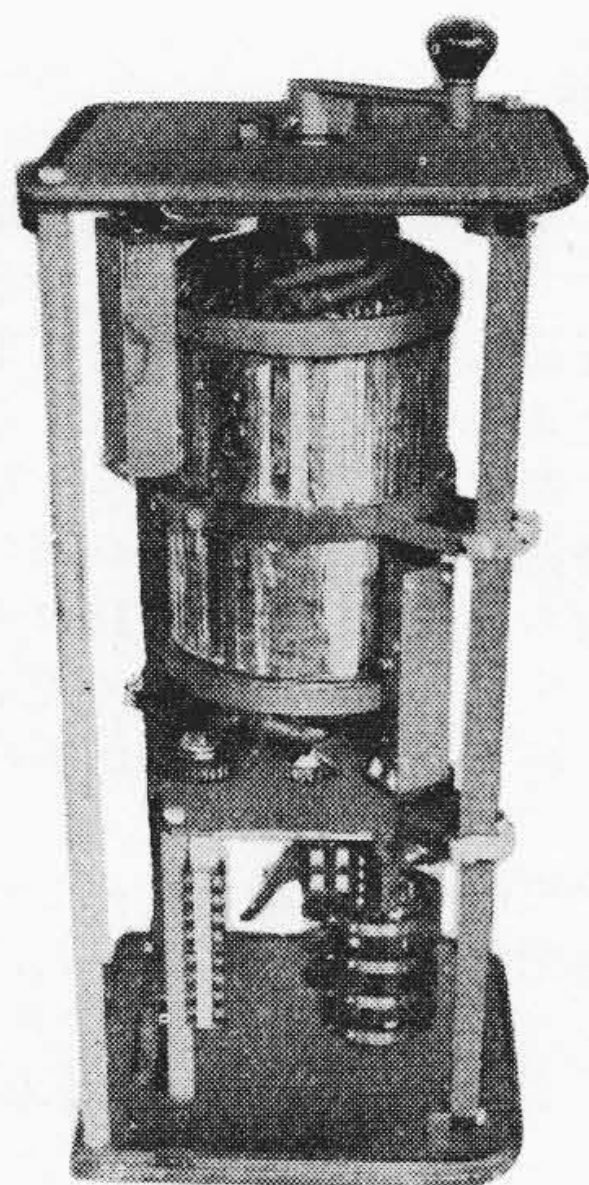
本器の接続は第12図のようであり、前に述べたように n_2

(電動機用抵抗器側巻線回数)は任意に抵抗器に合せて取り得るから摺動部巻数を除いた余分の巻線は摺動部コイルの下部に巻いてある。

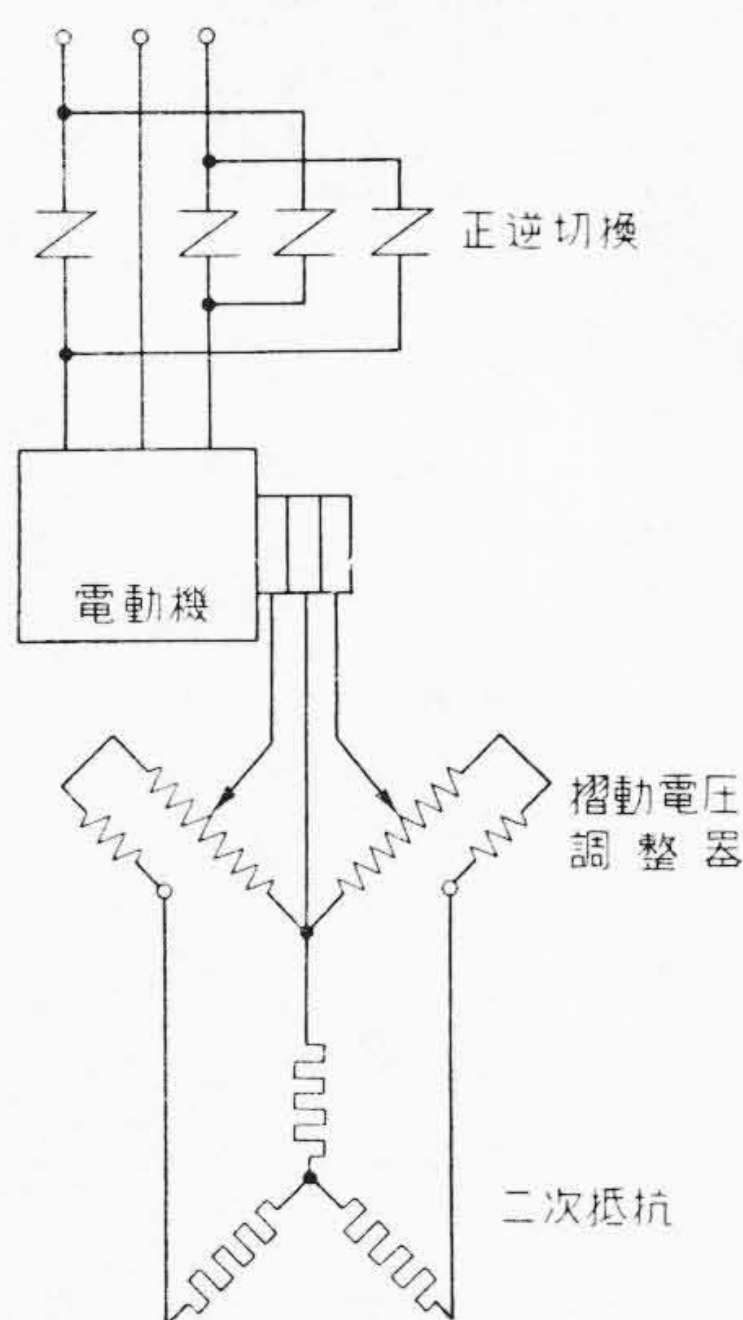
正逆転の一次切換は本器下部に設けてある。

本器を使用して巻線型電動機と組合せ試験した結果を第13図および第14図に示す。

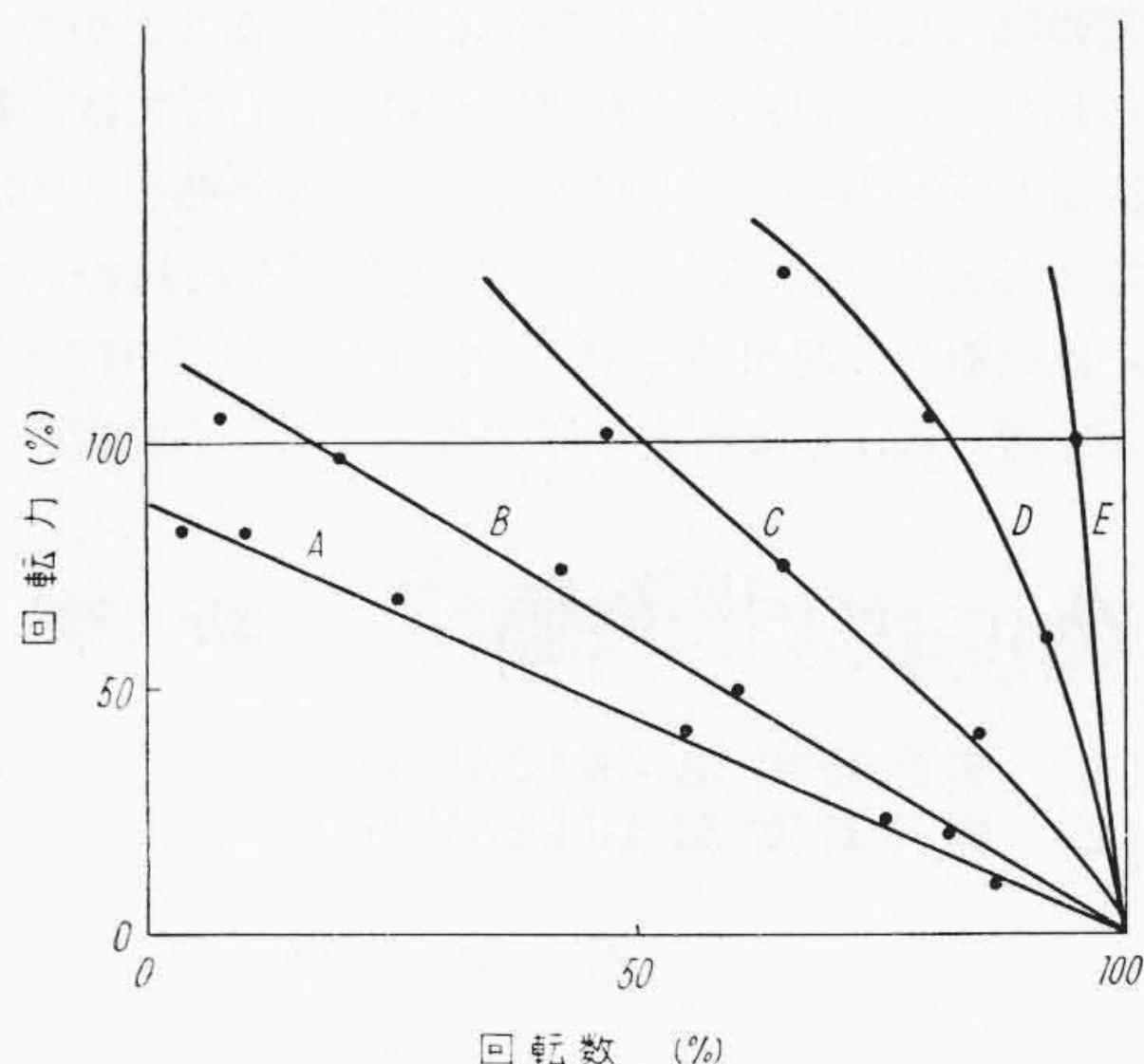
第13図は摺動子をそれぞれA, B,



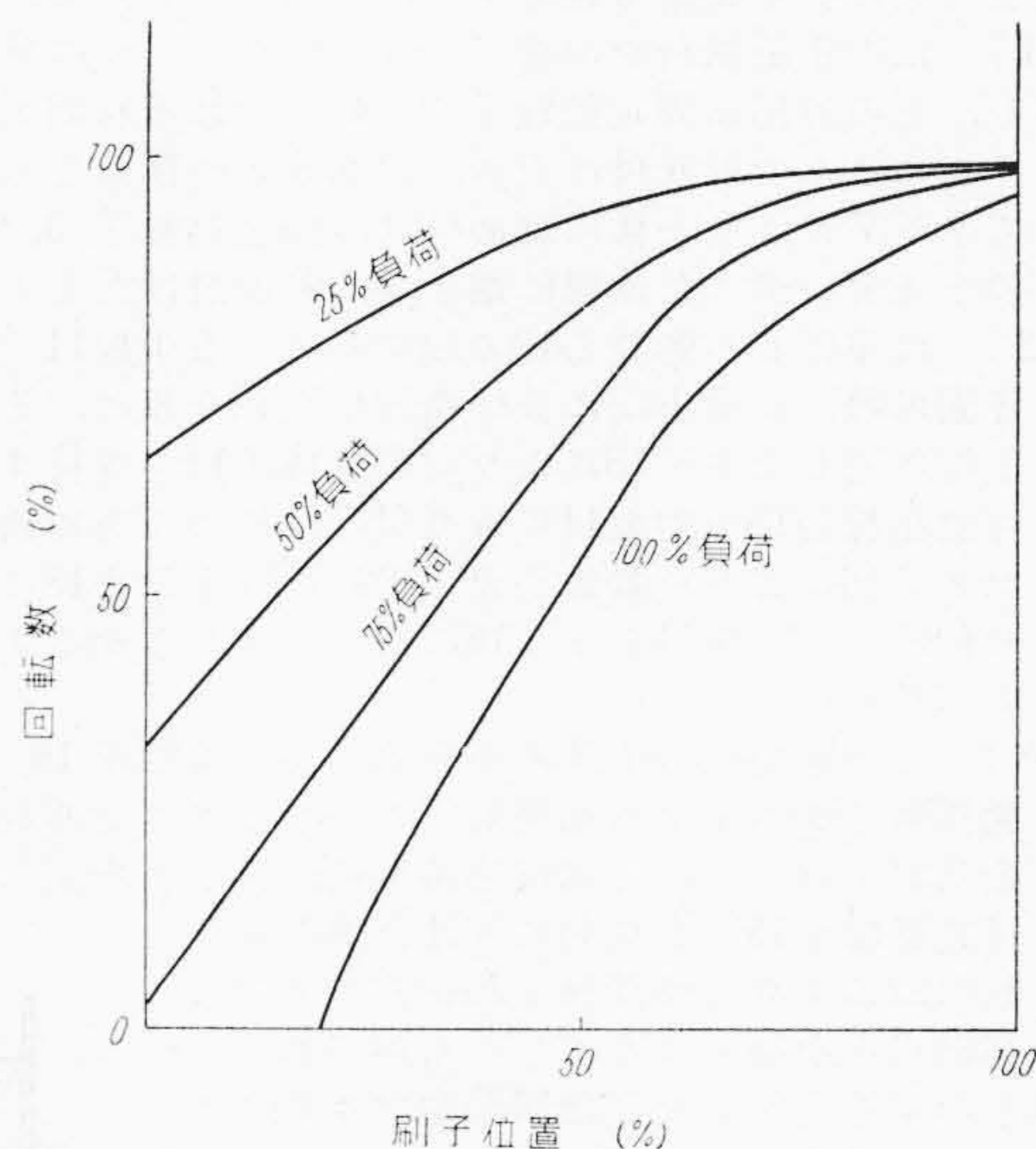
第11図 二次制御用摺動電圧調整器



第12図 二次抵抗制御方式接続図



第13図 摺動電圧調整器による二次抵抗制御方式の試験結果



第14図 刷子位置に対する回転数

C, …の位置に固定して各位置で速度、回転力の関係を測定した結果である。第14図は各トルクに対する摺動子の位置と速度の関係を表わしたものである。

図でもわかるようになめらかな速度制御が得られる。

摺動電圧調整器を用いて電動機の世界速度制御を行う場合、電動機として籠形にするか巻線型にするかは、速度制御で電動機中に発生する損失の大きさによつて決定されるが、容量が大きくなれば一般に巻線型電動機となる。

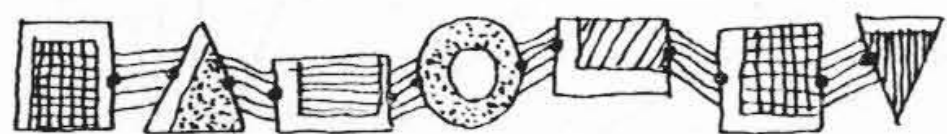
5. 結 言

摺動電圧調整器を使用することにより籠形電動機も巻

線型電動機もなめらかに速度制御を行いうることがたしかめられた。この方式によれば制御器自体としては一般の二次抵抗用制御器より高価となるが、電動機としては籠形で十分使用できることや、電動機二次抵抗器の簡略化、抵抗器への配線の減少、2台以上の制御が行える点などを考えるならばかえって安価となる。摺動電圧調

整器としては摺動子の材質、摺動子による火花や短絡電流の制限などさらに改良研究をかさねれば一段と優秀な製品となるであろう。

終りにいろいろ御指導賜った日立製作所亀戸工場森泉工場長をはじめ関係者各位に対し深厚なる感謝の意を表す。



新案の紹介



- (1) 実用新案 第461288号
(2) 実用新案 第461287号

松田幸次郎・千原錦吾

プランジャ型電磁開閉器

- (3) 実用新案 第461289号

千原錦吾

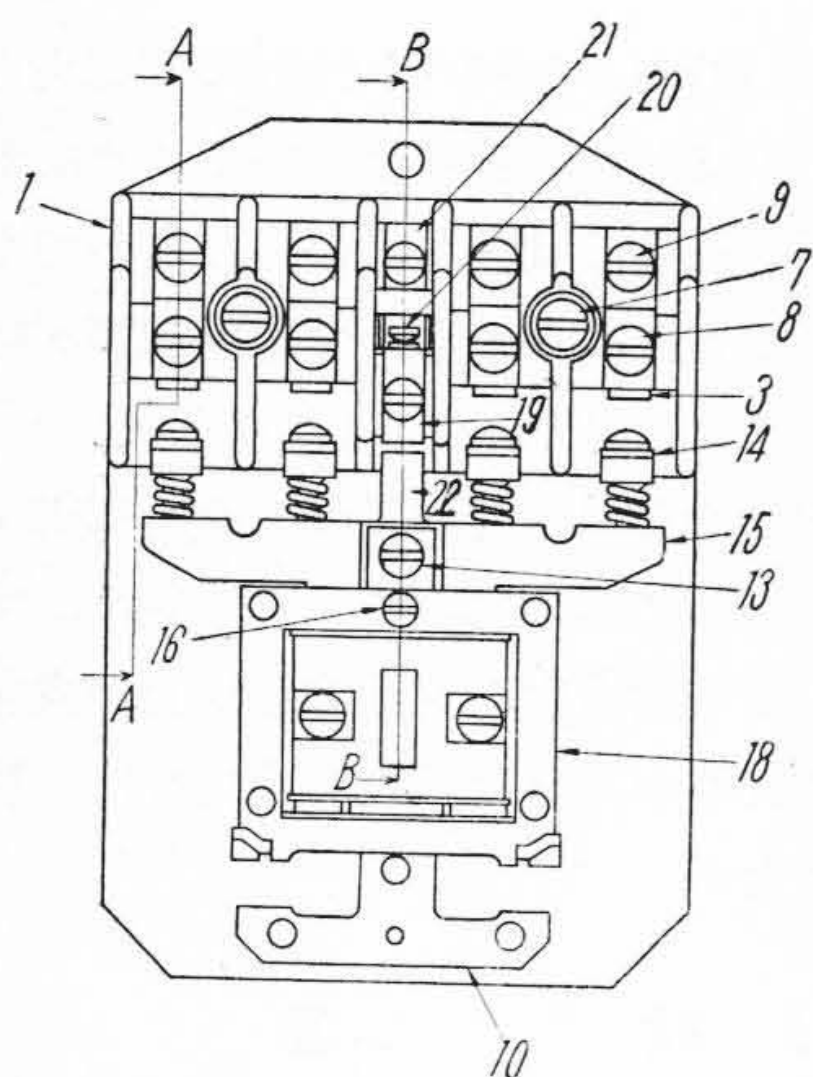
補助接触子を有するプランジャ型電磁開閉器

上記三案は標準15型電磁開閉器に実施中のもので、

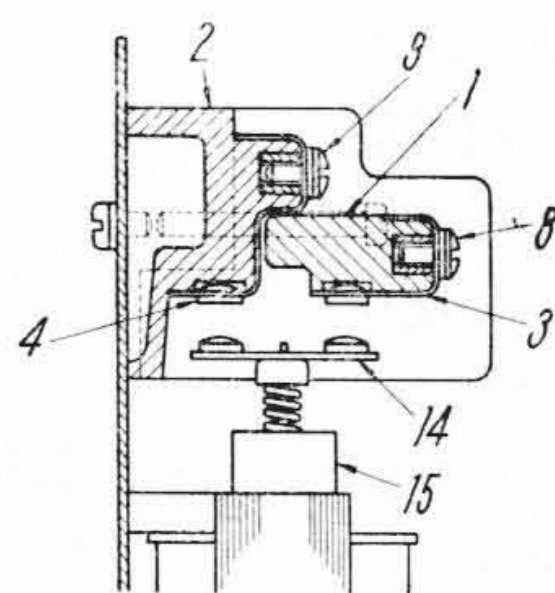
- (1) は固定絶縁台を前部1と後部2の二つに分割し、その各部に固定接触子3, 4をそれぞれ前方より嵌め込んで取り付けた後、凹部5と凸部6を合せてネジ7により一体に締め付け、固定接触子3, 4の上下食い違つた位置に端子8, 9を設けたもの
(2) は電磁石可動鉄心10の間に挿入する中板11(第5図参照)に縦方向に長い楕円形孔12を設け、その上端に通したネジ13により可動接触子14を支持する可動絶縁台15を中板11に取り付け、その下方に通したネジ16により可動鉄心ガイド17を固定鉄心18に取り付けて、中板11をネジ16に沿つてすべらせるようにしたもの
(3) は固定絶縁台1, 2の中央部に固定接触子19, 可動接触子20および可動接触子の一端をささえる端子金具21を取り付けて常時閉路型補助接点を形成し、可動絶縁台15の中央部に設けた操作用突起部22により可動接触子20を押し上げて補助接点を開くようにしたものである。
以上の案を実施した電磁開閉器は次のような特長を有する。

- (a) 第4図に示すようにネジ7をゆるめて固定絶縁台の前部1をはずすだけで固定接触子3, 4の取り換えが簡単にでき、固定接触子3, 4は前後に重ねて配置されているので全体の容積を小さくできる。
(b) 可動接触子14を取り換える場合には、ネジ13をはずせば、中板11が可動鉄心10とともにネジ16に引掛かるまで落下し、中板の上端が固定鉄心18の上面と同じ高さになるので、ネジ16をはずさなくても可動絶縁台15の取りはずしができ、可動鉄心が抜け落ちるようなことがない。
(c) 補助接点を絶縁台中央部に設け接点を押上げて開くようにしたので、開閉動作は円滑に行われ、スペースも少なくすむ。

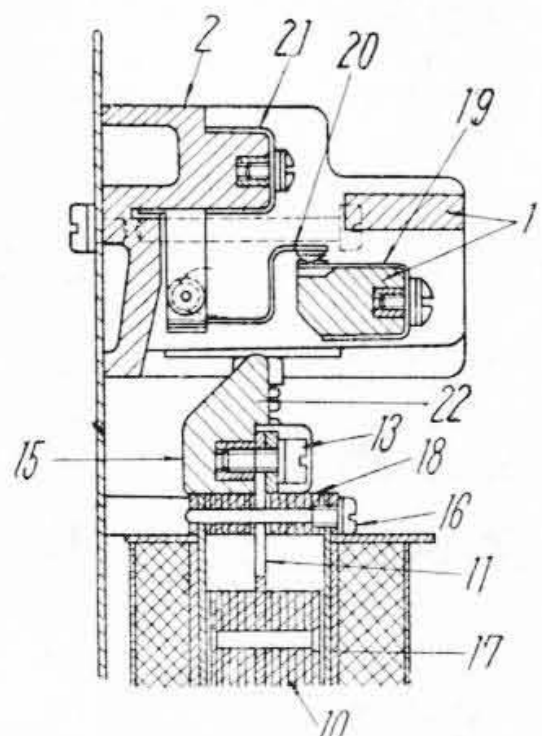
(坂本)



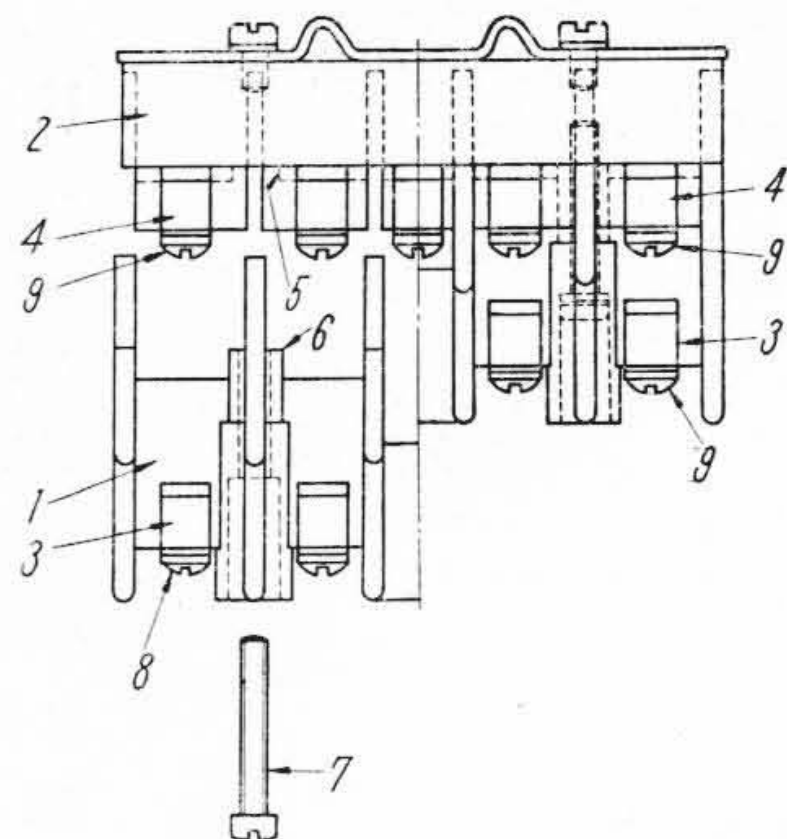
第1図



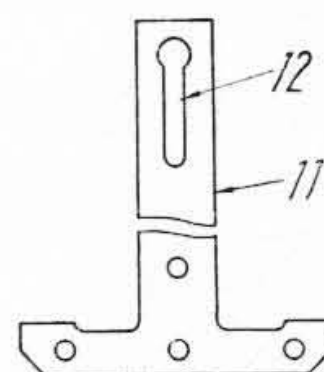
第2図 (A-A断面)



第3図 (B-B断面)



第4図



第5図