

# SCR の電動機への応用

## Applications of the Silicon Controlled Rectifier to the Motor

齋藤 奎二\* 齋藤 勉\* 川上 直衛\*  
Keiji Saitō Tutomu Saitō Naoe Kawakami

### 内 容 梗 概

SCR (シリコン制御整流器) は、そのすぐれた特性により電動機応用分野においても盛んに使用されつつあるが、本稿では SCR を電動機応用回路、特に直流回転機の界磁、電動機の主回路に用いる場合、SCR に要求される諸特性、保護方式などにつき述べ、代表的応用分野として、製鉄工業と工作機における SCR の実際の適用例について述べる。

### 1. 緒 言

SCR はその特性がすぐれているほか、取り扱いが簡単で、かつ装置として小容量のものまで容易に製作可能であるため、その用途は非常に広い。したがって電動機応用の分野においても

- (1) 直流電動機の主回路または励磁回路電源(圧延機用など)
- (2) 誘導電動機の世界制御(静止シエルビアスなど)
- (3) 同期電動機の力率制御
- (4) 制御回路における増幅器
- (5) 高周波電源
- (6) 定電圧一般直流電源

のようにその用途には膨大なものがあるが、ここでは対象を主として(1)の直流電動機の制御電源に限定することにする。従来この電源として使用されてきたのは水銀整流器、電動発電機であり、小容量のものに対しては磁気増幅器、サイラトロンなども使われている。しかし SCR はこれらと比較し次のすべての点を満足することですぐれており、最近の半導体技術の著しい進歩を想定すれば、近い将来 SCR がこの分野で君臨することが確実視される。

- (1) 長寿命であり、消耗部分がない
- (2) 取り扱いが簡単である
- (3) 制御入力がかわめて小さい
- (4) 高能率である
- (5) 直並列接続が比較的容易であり、小容量から大容量まで、任意の大きさの装置が製作できる
- (6) 寸法、重量が小さい
- (7) 静止器である

特に従来数十 kW 以下の小容量のものには水銀整流器が経済上の理由で製作できず、電動発電機が使用されていたが、SCR ではその問題がないため、すでに続々使用されはじめている。

日立 SCR の系列およびこのうち電動機応用に最も多く使用される 150A SCR の特性については前記論文「シリコン制御整流器の現状」を参照されたい。第 1 表は直流電動機制御用 SCR の製作状況を示す。

### 2. 電動機回路に使用される SCR

#### 2.1 SCR に要求される諸特性

- (1) 大容量、高耐圧であること

直流電動機主回路電源用としては数十 kW 以上の容量をもつものが多い。このような場合、SCR は直列または並列に接続されるが、素子数を極力少なくし、制御回路、付属回路を簡単化するため単位素子の大容量、高耐圧化が強く望まれているが、日立製作所ではすでに 150A, 600V の素子を量産しており、さらに大容量

\* 日立製作所日立工場

第 1 表 直流電動機制御用 SCR 製作状況

No.	品 名	仕 様	員数	納 入 先	納入年月
1	中グリ盤駆動用	2.2 kW 100V	1	川崎工場	1961-9
2	タップ切換器制御用	1 kW 100V	4	国鉄	1962-1
3	静止レオナード装置	2.8 kW ±160V	1	日立研究所	1962-2
4	試験電源	24 kW 110V	1	福岡大学	1962-11
5	溶接機用 DCM 電圧制御	150V 15A(3相)	3	—	製作中
6	溶接機用 DCM 電圧制御	150V 15A(单相)	2	—	製作中
7	定周波電源装置 DCM 制御	0.55 kW 110V	1	中央研究所	製作中
8	ブレーナード駆動 DCG 励磁用	2 kW 50V	1	新鴻鉄工	1963-12
9	ブレーナード駆動 DCG 励磁用	5 kW 110V	1	大和重工	製作中
10	ブレーナード駆動 DCG 励磁用	7.5 kW 110V	1	大和重工	製作中
11	ブレーナード静止レオナード	15 kW 110V	1	大和重工	製作中
12	ブレーナード静止レオナード	143 kW 420V	1	—	製作中
13	静止レオナード	70 kW 220V	5	タキロン化学	製作中
14	静止レオナード	40 kW 220V	2	タキロン化学	製作中
15	静止レオナード	30 kW 220V	3	タキロン化学	製作中
16	ミル用電動機励磁用	70 kW 220V他	12	東海製鉄	製作中

のものも試作している現状であって、ほぼ電力用 SR に匹敵する容量をもっているといえることができる。

- (2) 特性が均一であること

(1) で述べたように素子は直列または並列に結線されることが多い。このため各種の分圧器分流器が使用されるが、直、並列接続を簡単な回路でアンバランスを小さく押えるためには素子のターンオン特性、ターンオフ特性、順方向特性が均一であることが必要である。しかしこれらをあまり厳密に押えると素子の歩留りの低下を招くので、回路と協調をとった考え方が必要である。日立製作所では 3S までの直列試験、20P までの並列試験を完成しており、数百 kW のものが製作可能である。

- (3) 間欠負荷に強いこと

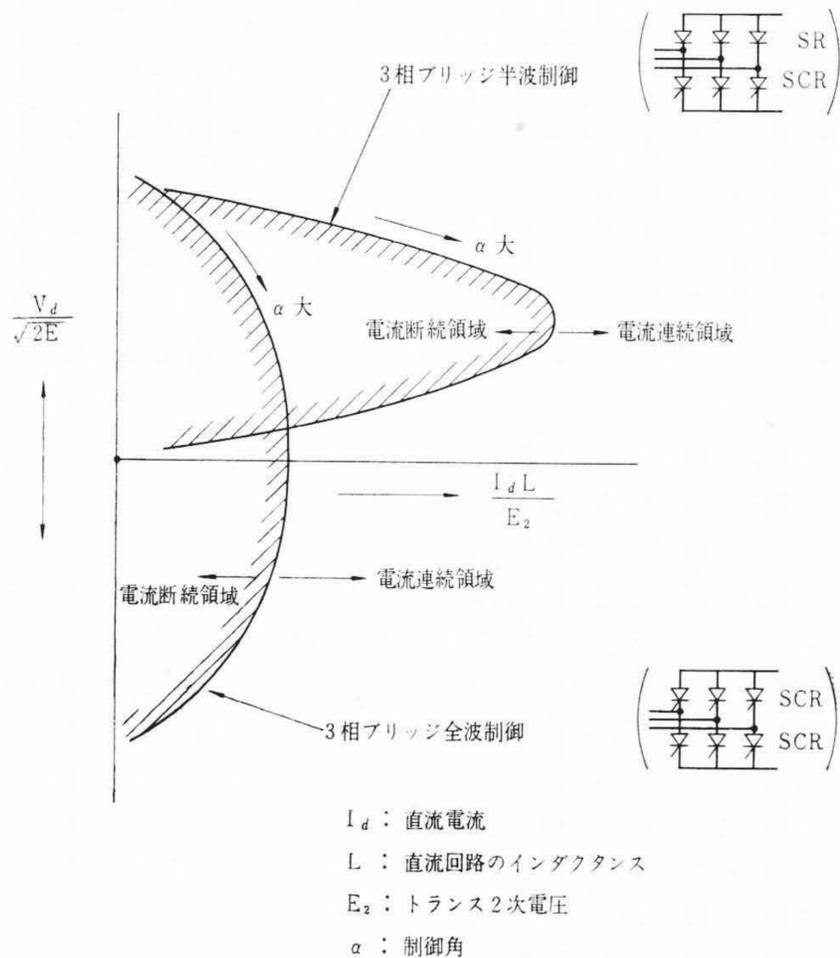
電動機応用に使用される SCR は圧延機などのように、ひん繁な間欠せん頭負荷にさらされるものが多い。SCR は SR と同様、シリコンウエハーが、接合用基盤を介して熱膨張率の大きく異なる銅ベースに接着されている。このため SCR ウエハーに加わる機械的ひずみを吸収し、接着用ろう材の熱疲労を防止するには材質上、構造上特別な考慮が必要である。日立製作所では電力用 SR における経験を生かしてきわめて間欠負荷耐量の大きい素子を製作しており、等価な冷熱サイクル試験、間欠負荷試験で十分な確認を得ている。

#### 2.2 整流回路

直流電動機の制御には主として 3 相整流回路が使用される。単相整流回路(全波制御または半波制御(第 1 図))は移相角が大きく、100% から 0% まで制御するのに 180 度必要であること、また直流側出力電圧の脈動率が大きく、これを平滑化するには大きな直流リアクトルが必要であるため、主回路電源としてはあまり用いられない。しかし、主回路、制御回路とも簡単であるから、小容量機の励

結線方式	単相半波	単相全波センタタップ	単相ブリッジ半波制御	単相ブリッジ	三相半波
結線図					
SCR素子数	1	2	2	4	3
1サイクル中のパルス数	1	2	2	2	3
1ヶのパルスで制御するSCR数	1	1	1	2	1
結線方式	三相ブリッジ半波制御	三相ブリッジ	二重星形相間リアクトル付	ダイアメトリカル	フォーク
結線図					
SCR素子数	3	6	6	6	6
1サイクル中のパルス数	3	6	6	6	6
1ヶのパルスで制御するSCR数	1	2	1	1	1

第 1 図 各種結線方式とゲートパルス数



第 2 図 3 相ブリッジ半波制御回路と 3 相ブリッジ全波制御回路の断続限界

磁回路には使用される。主回路用として使用するときは、断続限界の直流電流が大きいこと、断続時の直流電圧上昇率が大きいことに特に注意する必要がある。

2.2.1 3 相ブリッジ半波制御回路

この回路は直流電動機の励磁回路、非可逆運転の直流電動機電源回路のように、電流はもちろん、電圧の逆転をも必要としないところに使用される。この回路の特長は SCR の使用数が半分であり、ゲート回路も半分（3 相全波制御回路と比較すれば 1/4）ですみ、非常に経済的なので広く使用されている。ただしこの回路は移相角度が広く（3 相回路であるにもかかわらず 0V まで制御するには 180 度必要。制御利得も半減する）、また直流電圧の脈動率、断続限界が大きく、かつ直流電圧波形中に第 3 高調波を含むので主回路電源用として使用する際にはそれ相当の注意

と検討が必要である。第 2 図は 3 相全波制御回路との断続限界の比較を示す。

2.2.2 3 相全波制御回路

この回路は電流の逆転はできないが、位相制度により電圧の極性を逆にすることができるので、一方向励磁ではあるが、制御性能が特に要求される直流電動機の励磁電源などに使用される。また 0V までの移相角は 90 度であり、直流電圧の脈動率も小さい。ただ 2.2.1 でも述べたように SCR 素子数が多く、ゲート回路も複雑となるので、半波制御方式で可能な場合は使用すべきである。

2.2.3 3 相全波十字結線（または逆並列結線）

3 相全波制御回路を 2 組組み合わせたもので、可逆直流電動機の主回路電源または発電機の励磁回路に使用される。2 組の回路を常時同時に生かしておく場合には循環電流の制御が必要である。

上記の 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3 の回路では変圧器は通常の電力用と同一の結線のものを使用される。し

たがって場合によっては単巻変圧器または直列リアクトルで代用することが可能であるが、電源からのサージ、事故電流、各部の電流についての検討が必要である。

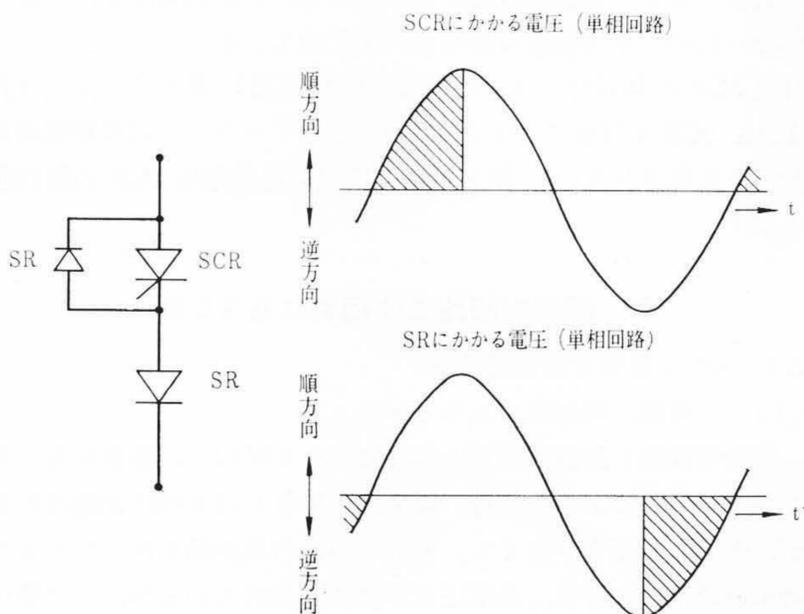
3 相整流回路としてはこれらのほか、相間リアクトル付二重星形結線、ダイアメトリカル結線フォーク結線がある。しかし相間リアクトル付二重星形結線は特殊な変圧器とリアクトルを必要とし、ゲート回路も複雑となるほか、水銀整流器と異なりその利点が特に発揮されないのあまり使用されない。ダイアメトリカル結線またはフォーク結線はゲート回路は簡単化されるが、特殊な変圧器を必要とし、通流角が 60 度で SCR の使用率が悪くなるのでこれまた現状ではあまり使用されていない。

2.3 保護方式

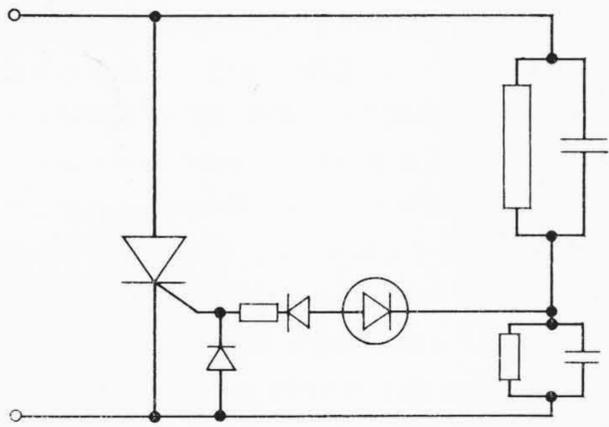
2.3.1 電圧保護

SCR 逆方向過電圧保護の考え方は従来の SR に対するものと同じであって外部からのサージに対するアレスタおよびサージアブソーバ、転流終期のキャリヤ蓄積効果によるサージ吸収用として並列コンデンサが使用されている。SCR に直列に SR を入れ、さらに SCR と逆並列に SR を入れて逆電圧をすべて SR でもたせる方式もあるが（第 3 図）、制御角が大きい場合は順、逆の両方向電圧がほぼ等しくなり、また SCR の順耐圧と逆耐圧はほぼ等しいのであまり意味がない。

SCR は SR と異なり順方向に対する保護が必要である。



第 3 図 SCR 逆電圧印加防止回路



第4図 順方向過電圧防止回路

SCR を順方向過電圧でブレイクオーバーさせると回路として不具合なことはもちろん、場合によっては SCR 自体を損傷することがある。このため順方向に対しても逆方向と同様の対策が必要であり、場合によってはブレイクオーバーさせる前にゲートを点弧させる保護回路(第4図)も使用される。このほか順方向の高い  $dv/dt$  によっても SCR は点弧するので交流端子間または SCR 素子と直列または並列に適切な波頭緩和回路をそう入する。

2.3.2 電 流 保 護

SCR の事故電流としては1アームの短絡事故および電動機のせん絡など直流側の短絡事故が考えられ、この保護としてはゲートのパルスの遮断、SCR の直列ヒューズの遮断および交流側、直流遮断器を組み合わせた保護協調が必要である。

2.3.3 温 度 保 護

SCR の場合と同様、温度継電器または風速継電器で保護する。

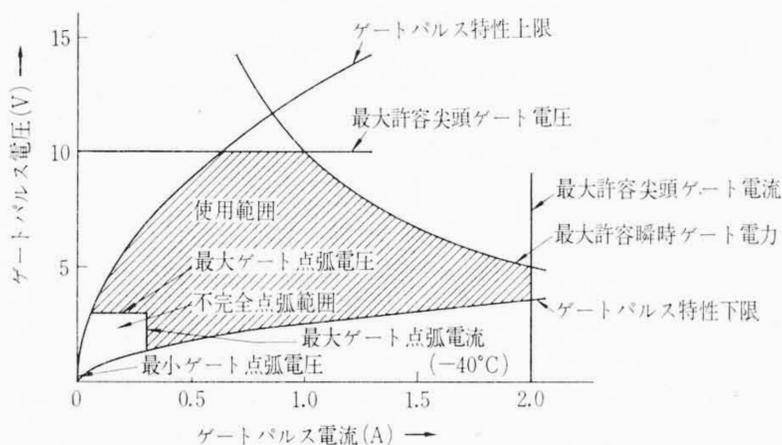
2.4 ゲート回路に要求される特性

SCR は外部特性において水銀整流器、サイライトロンに類似しており、ゲート回路に要求される特性もその意味で似ている点がある。しかし SCR のゲートは熱容量が小さく、過電圧、過電流に弱い。一方ターンオン時間が非常に短いなどの特殊事情がある。ここではそれに伴う諸特性について述べる。

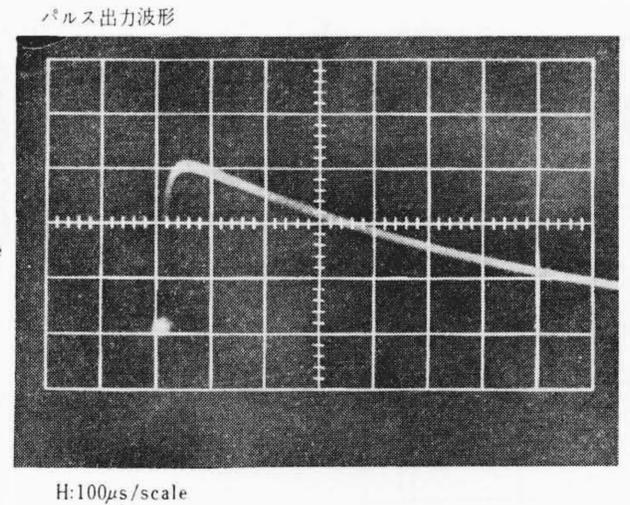
(1) ゲートパルス波形

ゲートのパルスはまずゲートの許容電圧、電流および点弧に必要なゲートパワーから制限を受ける。第5図はこの関係とゲート特性のバラツキの1例を示す。パルスの高さとは直列抵抗はこの曲線と電流変動を考慮して決められる。パルスの立ち上がりは並列点弧のバラツキを極力小さく押える意味から急しゅんなほうがよいが実際上数マイクロ秒以下にする必要はない。パルスの幅は並列点弧を確実にこなうためある程度以上の長さが必要である。また直流側にインダクタンスのある場合は電流が立ち上がるまでパルスの幅を長くしてやる必要がある。第6図はパルス波形の1例を示す。

(2) パルスの位相について



第5図 ゲート特性の一例



第6図 ゲートパルス波形の一例

SCR の逆電圧期間中にゲートにパルス印加するとトランジスタ動作により素子の逆流が増加し、はなはだしい場合には素子を熱的に劣化させるおそれがあるので、かかることのないよう設計上考慮されている。

(3) 誘 導 対 策

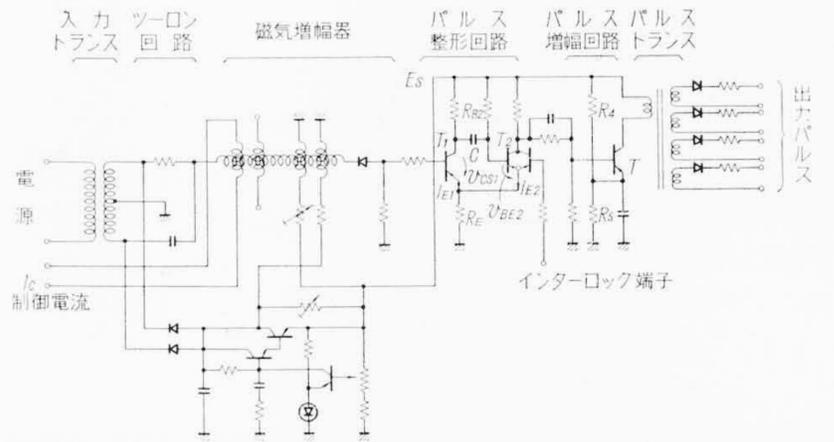
SCR は最小ゲート点弧電圧以上の電圧が印加された場合には点弧する可能性がある。この値は 0.3V 程度である。特に誘導によるゲートの誤動作対策としてはパルス発生回路を金属製ケースに入れ、またゲートの配線には同軸ケーブルを使用するなど好結果を得ている。

3. 自動パルス移相器

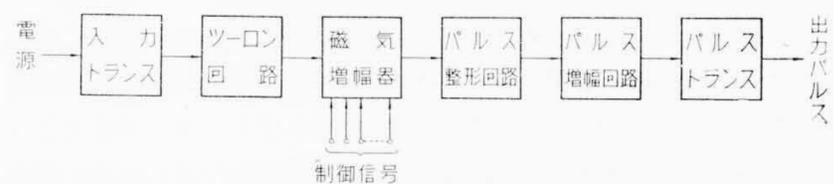
SCR 応用での最も重要な部分は SCR のゲートにパルスを与えて SCR を点弧をせしめるパルス移相回路である。SCR の自動パルス移相器 (以下 APPS という) にはユニジャンクショントランジスタ、トンネルダイオード、pnpn 接合半導体などの半導体自身の特性を利用する各種の方式があり、それぞれ特長をもっている。

ところが、これらの方式の自動移相器を自動制御回路、特に電動機応用回路の制御素子として用いようとする場合、信号の突き合わせが問題となる。すなわち信号相互間の直流的絶縁、信号の極性、あるいは突き合わせによる動作時間のおくれなどがそれである。

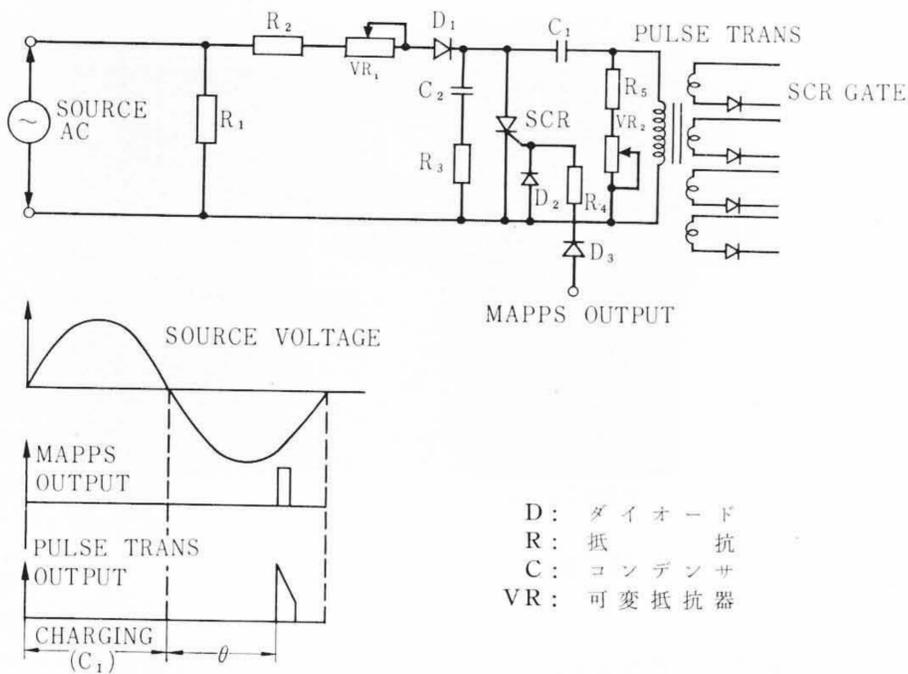
これに対し、日立製作所ではこれらの諸点を考慮し電動機応用に適する APPS を磁気増幅器を主体とした磁気式移相器 (MAPPS) を開発し使用している。第7図はこの MAPPS の構成図、第8図は1



第7図 磁気式自動パルス移相器の構成図

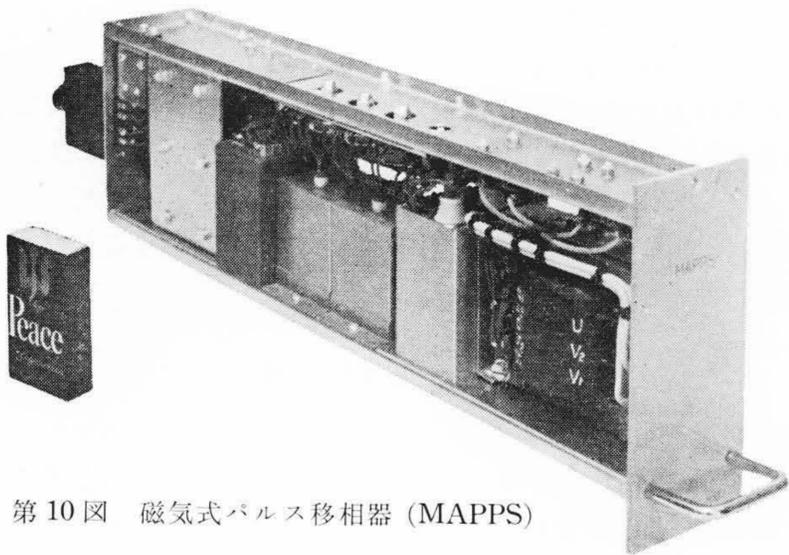


第8図 磁気式自動パルス移相器の接続図

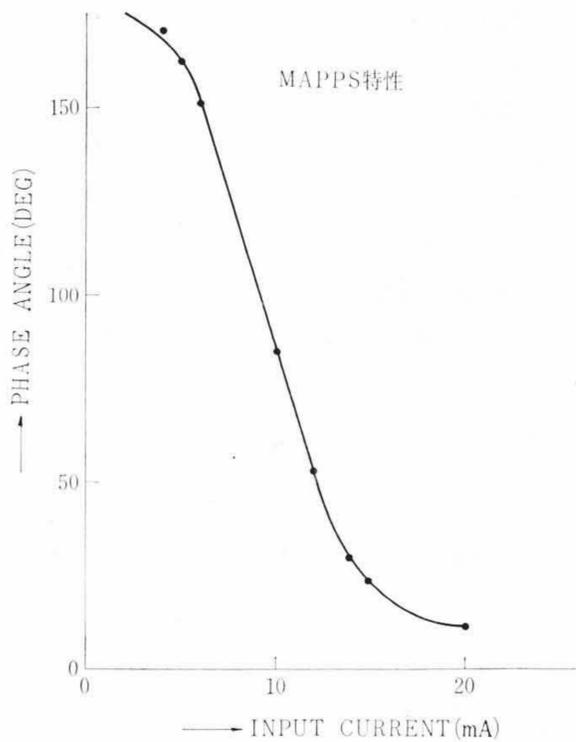


第9図 パルス増幅器説明図

D: ダイオード  
R: 抵抗  
C: コンデンサ  
VR: 可変抵抗器



第10図 磁気式パルス移相器 (MAPPS)



第11図 MAPPS の特性

相分の内部接続図を示したもので、SCRのAC電源と同期した交流電源より、ツーロン回路をへて、磁気増幅器に加える。磁気増幅器は半相半波形ダブラー回路で、制御巻線に流す電流によりファイヤアングルを調整する。次にパルス整形回路に加えられるが、この回路には直流結合形安定マルチバイブレータを使用し、磁気増幅器の出力波形の立ち上がりを比較動作により十分トリガーできるようにし、かつ波形整形を行なっている。磁気増幅器の出力はのこぎり歯状波形であるが、このパルス整形回路でこれをパルス状に整形し

ている。次にパルス整形回路をへたパルス状の出力はパルス増幅回路に入れSCRのゲートを駆動できるようなパルスに増幅している。SCRが直並列接続された場合、同一位相のパルスを直並列の個数に応じて与える必要がある。そのためパルストランスにより回路的に分離した数個のパルスが得られるようにしている。また大出力SCRを使用する場合にはパルストランスの出力パルスを第9図に示したようにパルス増幅回路にてさらに増幅し使用する。この回路により150A素子を20個まで同時に駆動できるようにしている。第10図はMAPPSの外観写真である。また第11図は本MAPPSの移相特性を示したもので、通常の運転は約130度程度で十分であるが、特に広角度を要求する場合には180度以上の移相角を有する広角度磁気式パルス移相器を用いる。

本MAPPSの特長は

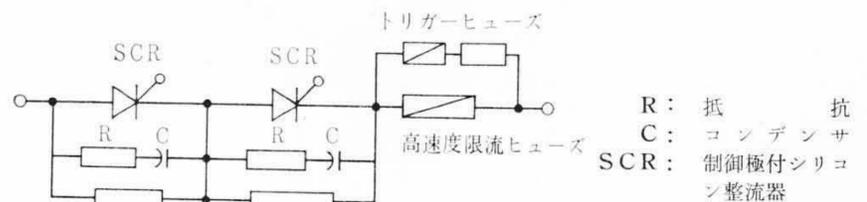
- (1) 制御回路に磁気増幅器を使用しているため、主回路と絶縁され、またおのおの制御回路も絶縁されているので、多入力演算が可能となり信号の突き合わせが容易にできる。
- (2) 信号入力に多少のリップルがあっても問題にならない。
- (3) 応答速度が早い。
- (4) 磁気増幅器とシリコントランジスタを使用し、主要部分はモールドにて保護されているので、高温、高湿、振動などの過酷な周囲条件に耐え得る。
- (5) 電源電圧の変動は補償されているので、電圧変動の影響は少ない。

などで、電動機応用回路、特に製鉄工業などの過酷な周囲条件のもとにおいても高性能、長寿命を発揮している。

#### 4. 製鉄工業におけるSCRの応用

SCRの開発により、各種産業における回転機の静止化に拍車がかげられ、直流電動機をのぞいては、すべてが静止化される傾向にある。またSCRは回転機のほか、制御回路の一部にも使用され、従来の磁気増幅器、接点などの代わりをつとめており、その適用範囲は非常に広い。

製鉄工業においても同様の適用がなされているが、ここでは特に圧延工程におけるSCRの応用を2~3の例をあげて説明を加えることにする。前にも述べたようにSCRには水銀整流器と同様にまれではあるが逆方向の阻止能力を失ったり、順方向の阻止能力を失ったりする故障があるのでこれらを一応考慮しなければならない。特に圧延工程においてはその設備の稼働性質から、十分な信頼性が必要である。SCRの応用される機器の性質にもよるが、圧延停止をもたらすような事故は避けねばならない。そのためには2.3項で述べたように過電圧吸収用としてサージアブソーバを設け、電源および負荷からの異常電圧を吸収させてSCR素子に加わらないようにするほか、万一異常な事態により素子がブレイクダウンした場合には、第12図に示したように素子と直列にそう入してある高速度限流ヒューズにより事故電流を遮断し、事故素子を開放すると同時にトリガーヒューズで事故素子を表示する。したがって各SCRは並列枚数を1個余裕をみておき、そのまま運転を続けることができるようにし、SCRの事故による圧延停止を避けることが必要である。



第12図 SCRの過電流保護回路

R: 抵抗  
C: コンデンサ  
SCR: 制御極付シリコン整流器

故障素子は表示されるので迅速な交換が可能となる。かくして SCR 素子の運転実績はきわめて良好であることが実証されはじめたので今後はさらに単純化により信頼度を向上させる方向に向わねばならない。圧延工程における SCR の応用が考慮されるものは、単なる制御電源(従来の定電圧励磁機の代わり)高周波電源(SCR をインバータとして使用する)として使用されるにとどまらず、圧延補機で数百 kW 以下の電動機には直接電動機を駆動する SCR 静止レオナードとして、大容量発電機および電動機界磁を駆動する励磁機の代わりとしての応用がある。

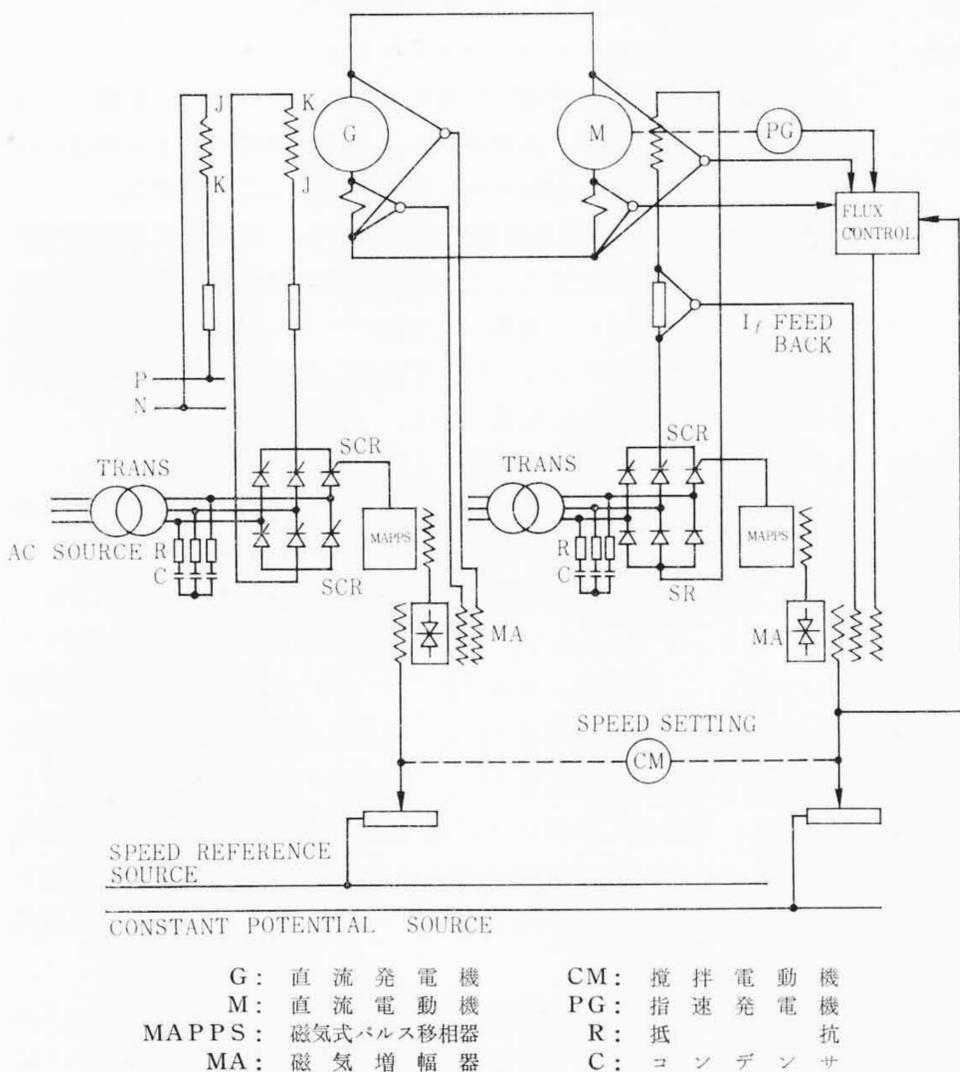
回路構成としては三相整流回路が一番多く用いられる。SCR の場合には水銀整流器のアークドロップに相当する正方向電圧降下が小さいため、動作時の直列 SCR 素子数は 2 倍ではあるが変圧器の利用率の最もよい 3 相全波整流方式を採用するか、場合によっては整流器用変圧器を省略し 3 相電源をそのまま利用することが行なわれる。しかし変圧器省略の場合には事故電流などを考慮し、AC 側に ACL をそう入する場合がある。これら整流方式についての一般的考察は 2.2 に記したとおりである。

4.1 非可逆の界磁回路への適用

SCR を発電機および電動機の界磁回路に適用する場合、通常電動機界磁は非可逆の場合が多く、コールドタンデムミル用、プロセッシングライン用などの発電機は非可逆励磁でよい。

第 13 図はコールドタンデムミル用主スタンド電動機の概略結線を示したもので、発電機界磁および電動機界磁を 3 相全波整流 SCR により駆動している。発電機界磁には SCR により駆動される巻線のほか、もう一つの巻線により逆バイアスを加え、発電機の残留電圧を打ち消すためのアンペアターン、回生制動時の回生電流を流すためのアンペアターン、および逆寸動電圧発生のためのアンペアターンを考慮している。

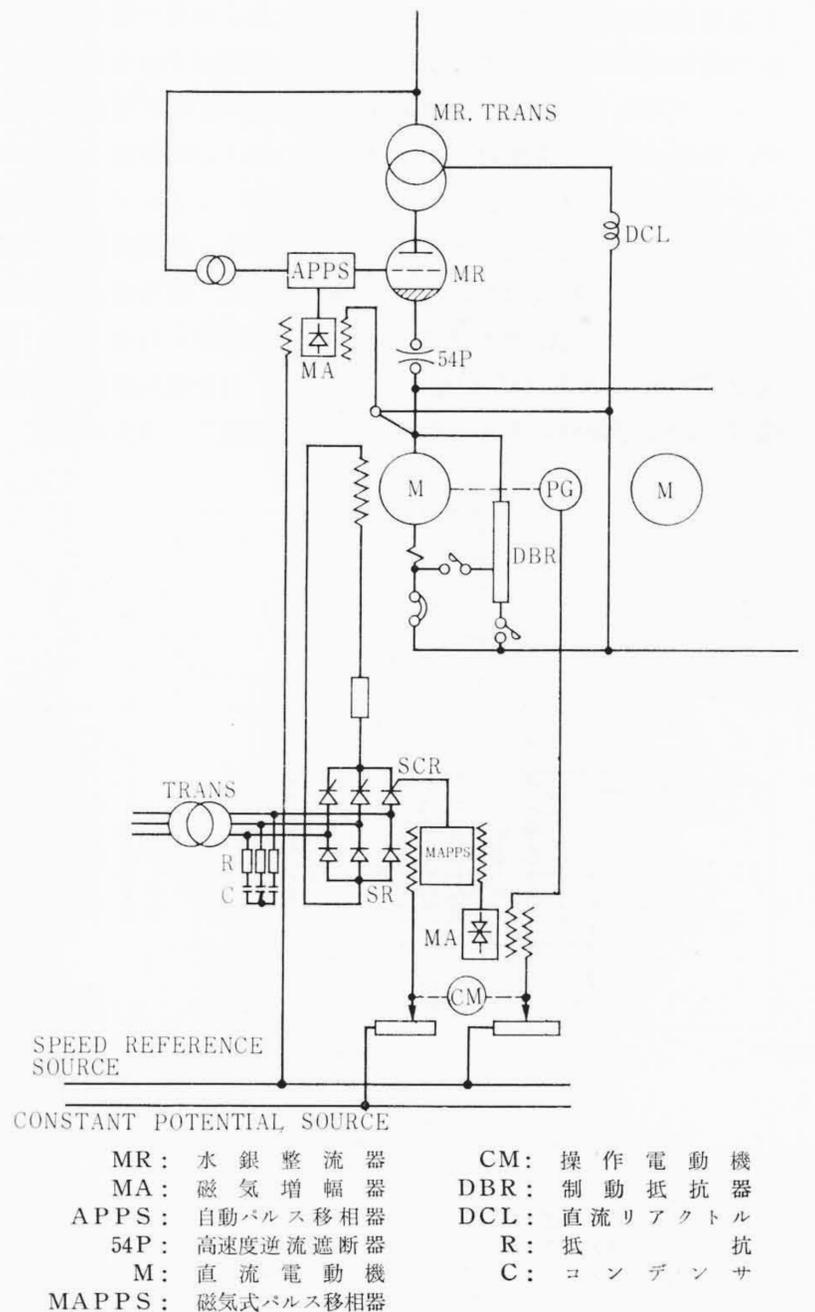
コールドタンデムミルにおいては、通常発電機系で定電圧制御 + IR 降下補償を加え、加減速時の電動機の加速おくれの差により生ずるストリップに加わる張力変動を小さくするよう制御している。



第 13 図 コールドタンデムミルスタンド電動機制御結線図

従来この発電機の制御系には回転増幅器+磁気増幅器を用いたもの、磁気増幅器のみのものが用いられていたが、SCR を採用することにより格段に性能が改良された。すなわちコールドタンデムミルの制御性能比較は、インディシャル応答の時間で行なっているが、回転増幅器+磁気増幅器および磁気増幅器のみの場合では、この応答時間が 0.7~1.0 秒であったものが<sup>(1)</sup>、SCR を採用することにより 0.4~0.5 秒に短縮される。このことは加減速特性の改善はもとより、自動板厚制御を加える場合においてはその制御能力を十分に発揮でき、製品精度が改良されることになる。第 13 図において、電動機界磁にも SCR を採用しているがこれは界磁電流制御性能の上昇はもちろん、電動機の刷子の非直線性、経年変化、アマチュアリアクション、界磁巻線の温度変化などにより、電動機速度が同一負荷、同一発電機電圧、同一界磁電流においても変化することを補正するための磁界制御<sup>(2)</sup>の場合理想的な高速応答制御ができ、発電機電圧の制御系とあいまって理想的な加減速特性、定常運転特性が得られ、製品精度に及ぼす電気的原因をほとんどなくしている。

第 14 図は線材圧延機の主電動機の界磁を SCR で駆動し、界磁制御により電動機速度を一定に制御している。線材圧延機においては圧延スタンドに鋼材がかみこまれたときの電動機速度変動によって生ずる製品精度に及ぼす影響を小さくするために、スタンド電動機には自動速度制御を加えているが、自動速度制御には電動機の界磁を制御して電動機速度を一定にする方法と電動機に加わる電圧を制御する方法(共通母線の場合には主回路昇圧機により、各個駆動の場合には水銀整流器の格子制御による)がある。従来の界磁制御は界磁昇圧機を使用しているが、この界磁昇圧機と SCR の制御



第 14 図 線材圧延機用スタンド電動機制御結線図

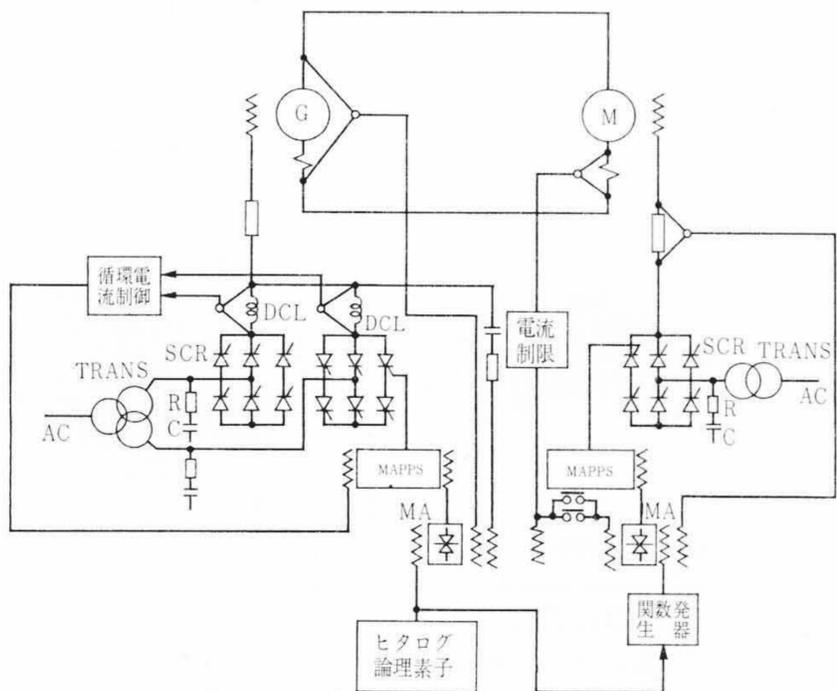
性能指数を比較すると、前者の  $5 \times 10^2$  に比し、後者は  $5 \times 10^9$  と格段と改良される。すなわち SCR を使用すれば小さな電力で大きな出力を高速応で制御できることで速度制御系が格段と改良され高性能のものになる。

インパクト速度降下と速度の回復時間の理論<sup>(3)</sup>によれば、この両者とも自動速度制御系の自由振動角周波数  $\omega_0$  に関係しており、 $\omega_0$  が大きいほど、インパクト降下および回復時間が小さくなる。界磁制御方式においては、SCR のゲートは小さな電力で制御できるため、初段増幅器は小さな電力のものでよく、したがって時間おくれも小さくなるから系の時間おくれ要素はほとんど電動機の界磁時定数のみとなり、系としても利得の高い安定な制御ができる。そのため従来、各個駆動方式について高い性能が得られる主回路昇圧機による自動速度制御方式とほぼ同程度の性能が界磁制御により得られ、高品質のものが生産されることになる。

#### 4.2 可逆の界磁回路への適用

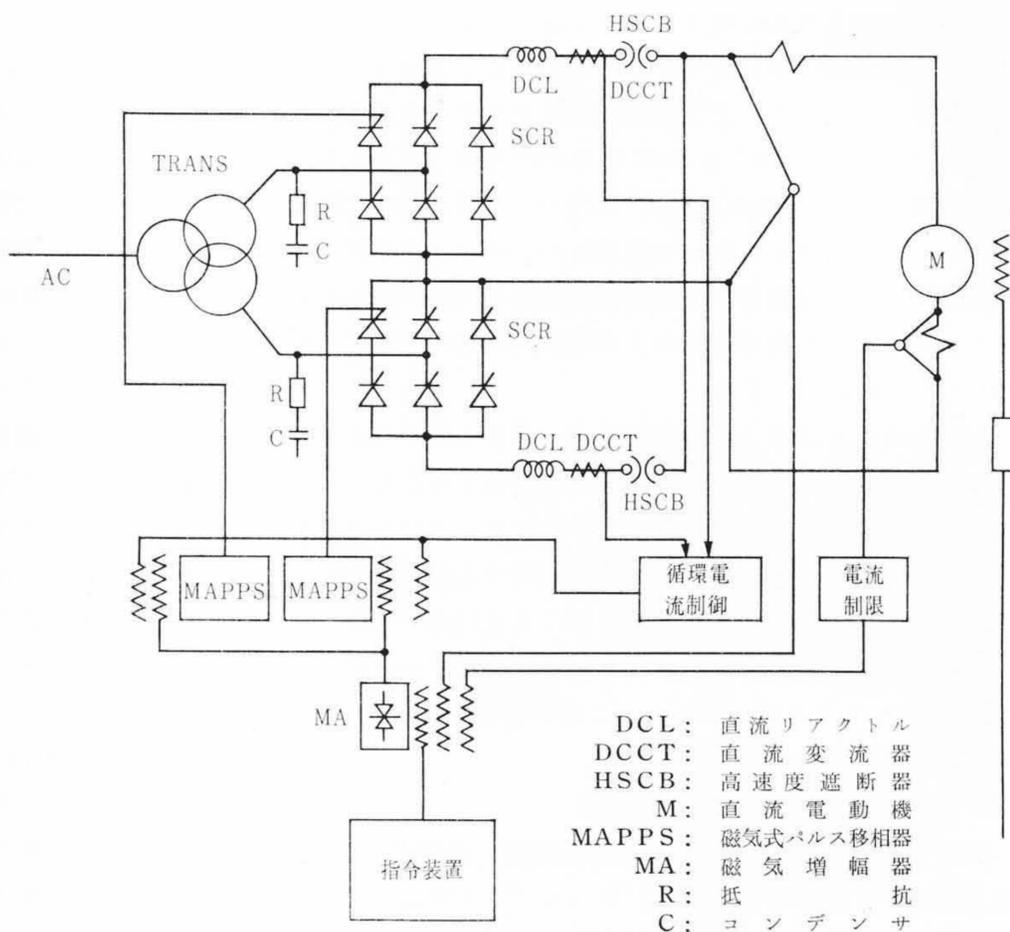
分塊圧延機用主ロール発電機界磁、可逆冷間圧延機用リールおよび主ロール発電機の界磁などは発電機電圧を反転させる必要上、界磁電流を両方向に流すことが必要である。そのためこれらの界磁回路に使用する SCR は 3 相全波整流回路を 2 個交差接続して使用される。

第 15 図は分塊圧延機主ロールの制御結線図を示したもので、図において論理素子よりの正転逆転のノッチングに相当した電圧指令により発電機電圧を制御するが、分塊圧延機の制御で最も重要なことは、いかにすみやかに主ロール電動機を加減速するかで、いわゆる急速加減速制御である。そのため論理素子からの指令は初段増幅器の飽和電圧になるような値とし、発電機制御系はあたかもオープンループのようになり、初段増幅器の飽和電圧に相当する電圧まで、急速に発電機電圧は上昇する。この値は定格電圧よりはるかに大きな電圧に選定してあるので、定格電圧にはきわめて短時間に到着するが、定格電圧近くまで電圧が上昇すると初段増幅器への帰還電流により、飽和が解かれ帰還制御が生きて、指令値相当の電圧で発電機電圧の上昇は停止する。このような制御を行なっているが、発電機界磁に SCR を用いることにより、自動電圧制御系には発電機界磁の時定数のみとなり理想的な加減速特性が得られる。



G: 直流発電機      C: コンデンサ  
M: 直流電動機    MAPPSS: 磁気式パルス移相器  
DCL: 直流リアクトル    MA: 磁気増幅器  
R: 抵抗

第 15 図 分塊圧延機主ロール制御結線図



第 16 図 可逆運転直流電動機概略制御結線図

界磁電流の正逆転をスムーズにするため交差接続された 2 組の SCR グループには常に循環電流を流し、これを負荷に応じて制御するようにしている。

回転機の界磁に SCR を使用する場合、SCR は定常状態でもゲート制御されているため出力電圧波形には相当のリップルを含んでいる。特に速応性を増すために定常運転時の数倍の過電圧を加えることがある(フォーシング)。そのため定常運転時には大きなのこぎり歯状波電圧が界磁に加わることになり、SCR の転流時における波形には高周波振動電圧が重畳する。その周波数も非常に高いので、界磁の各極には平等にかからず、両端の極に集中してかかることになる。これは界磁巻線のインダクタンスおよびストレーキャパシタなどの回路条件により転流時に発生するものである。回転機の絶縁にはこのことを考慮する必要があり、これが異常に大きな場合にはコンデンサなどにより振動サージを吸収させることもある。

また一方 SCR を回転機界磁に用いる場合、脈動電圧が界磁コイルに加わり主極の磁束変化による補極整流帯中における磁束の変化および刷子で短絡された整流中の電機子コイル内に生ずる変圧器起電力による整流状態の変化が存在するが、計算上も、実際の試験結果においても支障のない程度である。

#### 4.3 可逆電機子回路への適用

数百 kW 以内の圧延補機電動機に対しては SCR を電源とした静止レオナードが用いられる。分塊圧延における前後テーブル、フィードローラ、圧下装置などまた線材圧延機ではフライングシャー、ポーリングリールなど、ホットストリップミルにおいてはフライングシャー、各種テーブル、圧下、ダウンコイラなどに SCR 静止レオナードの適用が考慮される。これらの電動機は可逆運転や急速な減速または停止を必要とし、そのため SCR をインバータとして運転し、電動機と負荷の有する回転エネルギーを電源に返還する必要がある。この場合には正転用および逆転用の 2 組の SCR のセットを逆並列に接続し、SCR セットのすべてのアームに SCR を用いなければならない。

第 16 図は概略制御結線図である。図において一方のグループがコンバータとして電力を供給しつつあるとき、他方はそのゲートに加えるパルスの位相を調整し阻止状態としておく。いま一方に回

転中に指令電圧を下げた場合あるいは負荷変動により負荷の逆起電力がコンバータ電圧より高くなると、阻止状態にあった SCR グループがインバータとなり電動機の回転エネルギーを回生し、すみやかに速度変化する<sup>(4)</sup>。

SCR を十字結線もしくは逆並列結線にて各逆運転回路を構成する場合、各電流方向の調整器の一方はコンバータとして、他方はインバータとして動作し、直流側の電圧平均値は等しく対向しているが、瞬時値は一般的には等しくない。そのためコンバータの制御遅れ角  $\alpha$  が他方のインバータの制御進み角  $\gamma$  とが等しい場合でも各瞬時値の差により循環電流が流れる。いま  $\alpha < \gamma$  であればこの回路で定まるレグレーションにより大きい電流が循環するし、 $\alpha > \gamma$  とすればこの循環電流は流れないが、制御に無関係な無駄時間が生じて円滑な制御ができなくなる。このように制御の円滑性からは循環電流を常に流しておくほうがよいが、この循環電流は設備としてのロスが増大することで好ましくない。そのため常時は循環電流を流さず論理素子から成り立つ瞬時動作のスイッチングにより必要に応じて SCR グループを生かして電流方向を反転せしめる方法をとればきわめて短い時間で反転させることができる<sup>(5)</sup>。

### 5. 工作機における SCR の応用

#### 5.1 SCR 静止レオナード

第 17 図は、最も能率のよい急速加減速を行なうためのビルドアップレート帰還制御 (BRF 制御) を施した SCR 静止レオナード制御方式の概略回路である。この回路は、指令電圧と電動機両端の電圧との差を増幅して自動パルス移相器 (APPS) に加えることによって SCR の点弧位相を制御し、電動機両端の電圧を指令電圧に比例した一定値に維持せしめる自動電圧制御すなわち AVR 系を構成している。

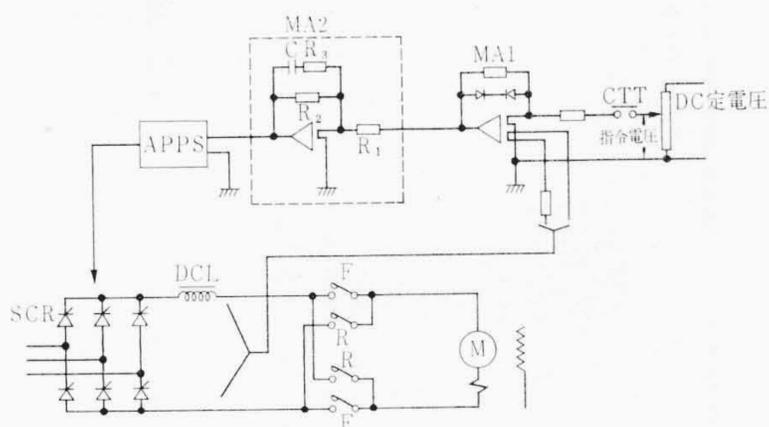
電動機速度を指令電圧の急変に応じて、最も能率よく、直線的にしかも短時間に変化させるための BRF 制御を、この SCR 静止レオナードに適用するために

- (1) 初段増幅器 MA<sub>1</sub> に飽和特性をもたせ
- (2) APPS への制御入力電圧を時間微分して第 2 段増幅器 MA<sub>2</sub> の入力に負帰還している

この飽和あるいは微分などの操作は、アナコンの演算増幅器が行なうのと同じような種々の演算を、工場や作業現場で行なうことを可能にした磁気増幅器式演算器 (マグオペアンプ) によって最も適切に行なわれる。

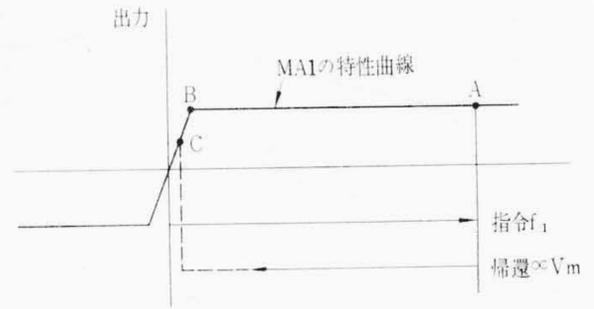
さて、BRF 制御の定性的説明は、これを 2 段階に分けて行なうことができる。

その第 1 段階は初段増幅器 MA<sub>1</sub> の飽和の作用である (第 18 図参照)。MA<sub>1</sub> の動作時間を制御系のほかの部分の動作時間に比べて



CTT: 接 触 器            M: 直 流 電 動 機  
 MA: 磁 気 演 算 増 幅 器    F: 正 転 用 接 触 器  
 DCL: 直 流 リ ア ク ト ル    R: 逆 転 用 接 触 器  
 APPS: 自 動 パ ル ス 移 相 器

第 17 図 SCR 静 止 レ オ ナ ー ド



第 18 図 BRF 制 御 の 原 理

無視できるほど小さくしておく、MA<sub>1</sub> の動作点は、CTT を閉じて指令  $f_1$  を与えた瞬間には、その特性曲線上 A 点にある。電動機速度が上昇して電動機電圧  $V_m$  が上昇 (ビルドアップ) するにつれて、この動作点は特性曲線上を B 点に向って移動するが、その間 MA<sub>1</sub> の出力は一定で、しかもこの一定値は帰還量  $f_2$  が大きくなって動作点が B 点に達するまで維持される。動作点が B 点に達したとき、電動機電圧  $V_m$ 、したがって電動機速度は設定値にほぼ等しい値にまで上昇している。

このように設定速度に関係なく、すなわち  $f_1$  の大きさに関係なくその任意の設定速度に十分近い速度になるまで MA<sub>1</sub> の出力が一定に保たれることによって、設定速度によらず一定の加速特性が得られ、電動機を低い回転速度で使用する時も高い回転速度で使用する時と同じように SCR や電動機の有する能力をフルに活用した加速を行なうことができる。

その後、動作点は B 点を越えて、指令  $f_1$  すなわち最終速度に対応してきまる C 点におちつく。

BRF 制御の第 2 段階は、APPS への制御入力電圧の時間微分を第 2 段増幅器 MA<sub>2</sub> の入力に負帰還することによって行なわれる。すなわち、加減速の途中 MA<sub>2</sub> に

- (1) さきに説明した設定速度によらない一定の入力と
- (2) APPS への制御入力の時間微分と

の差が加えられて、この時間微分を一定に維持しようとする自動制御が行なわれる。

APPS への入力設定速度によらない時間的に一定の割合で増加し、したがって SCR 出力電圧、電動機速度も一定の割合で上昇する。このように電動機の加速度が一定ということは、電動機的能力をフルに活用する加速電流一定の加速が行なわれていることを意味する。従来、この加速電流一定の加速を行なうために、電流制限という制御方式が用いられてきた。これは過電流を検出し、それによって過電流を抑制しようという考えに基づく制御方式であるから、きわめて急速な加減速では系の時間遅れのため、圧延機など大容量機の場合は別として、よい成果は得られていない。被制御量を検出し、その検出量を制御に使用しようという方式は従来とられてきた正統的な方法ではあるが、BRF 制御のように被制御量を予測し、それによって制御をしようという最近の新しい傾向の下においては、すでに検討の外にあるといわなければならない。

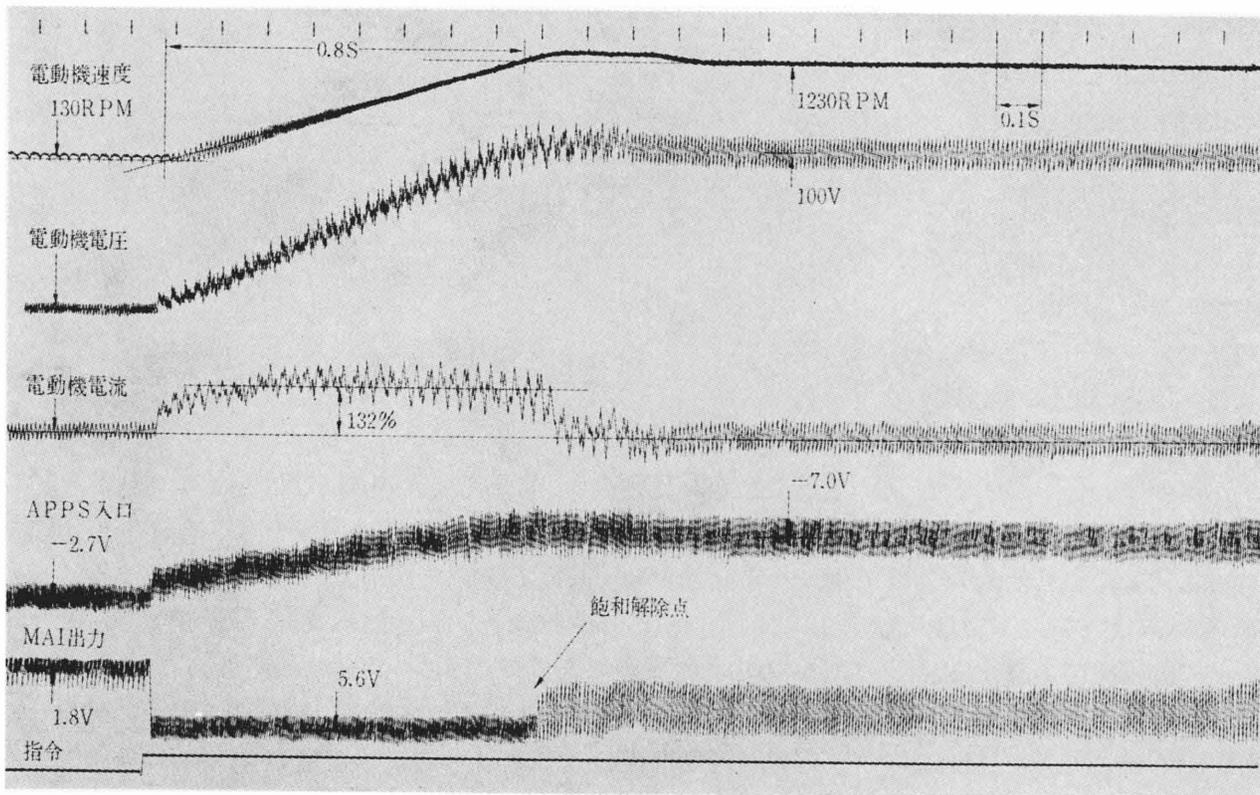
BRF 制御の定量的な説明は次のように行なわれる。第 17 図で示した制御系の中で、点線で囲まれた部分の伝達関数は

$$K \left[ \frac{1}{1+TS} + \frac{K'TS}{1+TS} \right]$$

ただし

$$K = \frac{R_2}{R_1}, \quad K' = \frac{R_3}{R_2+R_3}, \quad T = (R_2+R_3)C$$

である。この部分に、MA<sub>1</sub> の飽和により、設定速度によらない一定の高さにされたステップ状の入力が加えられることになる。上記の伝達関数に単位関数が加えられたときの応答は



第 19 図 SCR 静止レオナードの加速特性

$$K[1 - e^{-\frac{t}{T}} + K'e^{-\frac{t}{T}}]$$

$K' \ll 1$  であるように  $R_3$  を選ぶとこの応答は

$$K[1 - e^{-\frac{t}{T}}]$$

BRF 制御はこの応答の直線部分を使用するものであるということが出来る。加速時間の短縮は、 $MA_1$  の飽和を高くするか、 $MA_2$  の利得を大きくすることにより容易に行なわれる。

なお、第 17 図の SCR 静止レオナード方式は、いわゆる単基切換静止レオナードと呼ばれる方式で、接触器の開閉や指令の与え方の順序を巧みに制御しなければならないが、この点についてはすでに良い文献があるので省略する。

第 19 図は、指令電圧を急変したときの制御系各部の応答を示すオシログラムである。接触器 CTT を閉じて加速指令を与えてから、加速がほぼ完了するまで  $MA_1$  の出力は一定値に飽和しており、 $MA_2$  の出力すなわち APPS 制御入力的时间微分が一定になるような自動制御が行なわれ、したがって電動機電圧および電動機速度は一定

のこう配で上昇している。電動機速度が設定値に達すると  $MA_1$  は飽和の状態から解放されて、指令の大きさ、すなわち設定速度によってきまる動作状態におちつく。以上の過程をこのオシログラムから読み取ることができる。

### 5.2 発電機界磁を SCR で制御するレオナード

第 20 図は、同じく BRF 制御を施した、発電機界磁を SCR で制御するレオナード制御方式の概略回路である。この回路も、指令電圧と電動機両端の電圧との差を増幅して自動パルス移相器 (APPS) に加えることによって SCR の点弧位相を制御し、発電機電圧したがって電動機両端の電圧を指令電圧に比例した一定値に維持せしめ

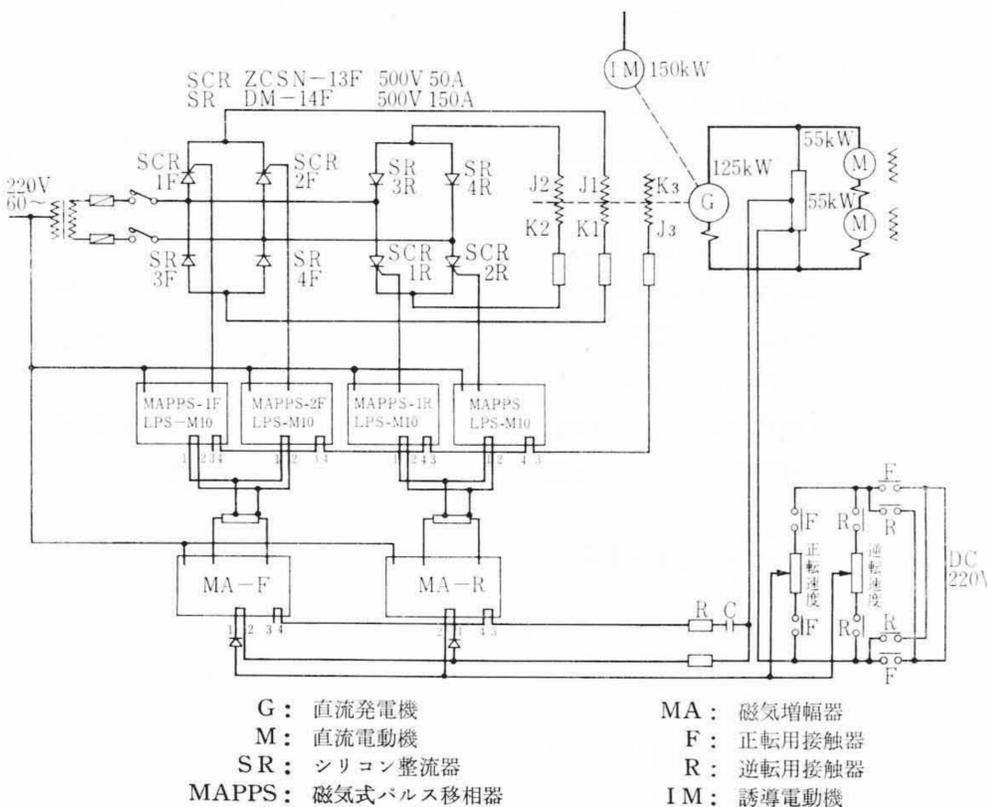
る自動電圧制御すなわち AVR 系である。

BRF 制御は

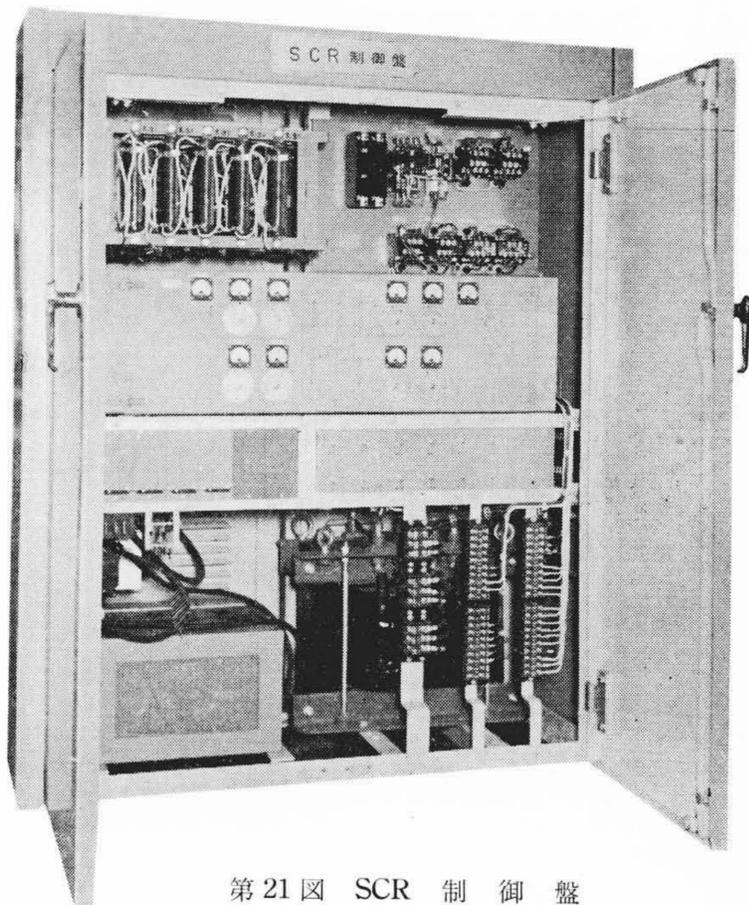
- (1) 初段増幅器 MA に飽和特性をもたせ
- (2) 発電機電圧  $V_g$  の時間微分  $dV_g/dt$  を磁気式自動パルス移相器 (MAPPS) の入力に負帰還している。

この MAPPS は小形磁気コアを主体とする自動パルス移相器で制御命令、電圧帰還、補償帰還などをたがいに絶縁して制御入力とすることができる。第 20 図においても、MA の出力、発電機界磁のビルドアップレート検出用巻線からの負帰還などが MAPPS のたがいに絶縁された入力となっている。

この場合の BRF 制御は、加減速の途中発電機電圧の時間微分  $dV_g/dt$  を一定に保つような制御をして電動機の加速度を一定にする。発電機電圧  $V_g$  の時間微分の検出は発電機界磁にビルドアップレート検出用巻線  $J_3K_3$  を設けることによって行なわれている。発電機界磁磁束  $\Phi$  が変化すると発電機界磁巻線  $J_3K_3$  には、 $\Phi$  の時間微分  $d\Phi/dt$  に比例した電圧が誘起する。すなわち発電機電圧  $V_g$  の時間微分  $dV_g/dt$  (ビルドアップレート) に比例した電圧が誘起する



第 20 図 発電機界磁を SCR で制御するレオナード



第 21 図 SCR 制御盤

ので、これをMAPPSの制御巻線に負帰還してやれば、発電機はMAPPSおよびSCRによって $dV_g/dt$ が一定値に保たれるように自動制御されることになる。

加減速終了後、系が発振する場合には図のCRの値を調整してこれをとめることができる。加減速の途中においては、MAは飽和しているから、このCRの値が加減速時間に影響を及ぼすことはない。

第21図はSCR制御盤の写真である。

6. 結 言

以上、SCRを電動力応用回路に適用する際の注意事項および実際例として、工作機および圧延機用電気品に対する回路をとりあげて説明を加えた。直流電動機の主回路および界磁回路電源としてSCR

を採用する場合、SCRの特異性を十分と考慮し、保護の万全を期することにより、従来の回転機と同程度の信頼性のもとに使用することが可能で、回転機に比較し、その性能指数が格段と良くなるため高性能な制御ができ、製品精度が改善される。本稿では一般説明に終わったが応用分野における詳細なデータについては稿を改めて述べたい。

参 考 文 献

- (1) 西, 立石, 岩城, 齊藤: 45, 6, 1416 (昭38-6)
- (2) 特許出願中
- (3) 石田, 齊藤他: 日立評論 43, 626 (昭36-5)
- (4) 平川, 田附: 日立評論 44, 1421 (昭37-9)
- (5) B. B. Review, Vol. 50, No. 1/2, p. 96~97 (Jan. 1963)



最近登録された日立製作所の実用新案(その2)

(102 頁よりつづく)

登録番号	名 称	氏 名	登録年月日	登録番号	名 称	氏 名	登録年月日
720860	冷蔵庫用温度調節器ダイヤル	藤橋保二	38. 7. 23	721646	合成樹脂歯車	郷古洋	38. 8. 9
720861	冷蔵庫	大野原	"	721647	配線束ね装置	藤井修	"
720862	粒子加速装置	杉本光昭	"	721648	電動機制御装置	堀俊郎	"
720863	電動浄床機	梅津秀雄	"	721649	配線ダクト	佐藤功三	"
721623	抵抗溶接機の可動部案内装置	伊藤藤野	38. 8. 9	721650	トルクモーターによる定出力制御装置	滑川文三	"
721624	内燃機関用着火装置	伊藤野間	"	585585	密封装置を有する鋼塊クレーンの摺動ピニオン装置	小田次男	38. 9. 30
721625	イヤホンジャックスイッチ	朝藤保	"	585586	機材輸送装置	中村昌夫	"
721626	管接手	安藤賢	"	585587	切粉除去装置	中村昌夫	"
721627	軸受給油装置	綿引誠	38. 3. 27				
721628	クレーン用移動式カウンタウエイト装置	木田純茂	38. 8. 9	585876	トランスファマシンの運転制御装置	居駒恒雄	38. 10. 26
721629	電子式継電器の試験回路	小松重和	"	585877	計器用計量装置	米岡正四郎	"
721630	フックの振れ止め装置	伊藤孝美	"	585878	放射線による厚み計測装置	石松健二	"
721631	有極形開閉装置	森山美	"	585879	ラジオ障害波防止用トラップ装置	杉本士郎	"
721632	リードリレーの取付装置	露木利勝	"	585880	反撓起動型誘導電動機	岡池公誠	"
721633	バンドプレーキ	中沢嘉保	"	585881	ダイヤル装置	山崎誠	"
721634	ガスクロマトグラフ用試料導入装置	岡本井島	"	585882	超音波塗装装置	高安寿夫	"
		酒中史文	"	585883	加振器の電源装置	高安本英明	"
721635	トラクタの燃料タンク装置	水上岡本	"	724050	電動歯磨き機	小池征夫	38. 9. 23
721636	トラクタの燃料タンクの移動装置	岡本長	"	724051	座席背当ての角度調整装置	高橋直仁	"
721637	変圧機本体の油槽内固定装置	岡本信三	"				
721638	遠心脱水乾燥機	門馬幸郎	"	724052	座席背当ての角度調整装置	河内博	"
721639	変圧器用安全管	益藤井	"				
721640	ブレーキの手動解放装置	沢藤口	"	724053	段ボ—ル箱	高橋直仁	"
721641	クレーン旋回装置	榎本勝好	"				
721642	揺動タワー型ケーブルクレーンのシーブブロック	山宮崎真	"	724054	万能掘削機の旋回台	新倉正忠	"
721643	開閉装置	赤石良寛	"	724055	電気床磨機	石安部克彦	"
		森山美勝	"	724056	電気床磨機	西脇欣也	"
721644	締付ボルト回り止め装置	森山昌夫	"	724057	机形制御盤の机板開閉機構	石川晃	"
721645	相分離形密閉母線	森中正芳	"	724058	保護継電器	石比良清一	"
		藤山俊男	"	724059	無接点リレー動作表示装置	中山敬造	"
			"	724060	無接点リレー動作表示装置	中山敬造	"

(123 頁へつづく)