

大阪瓦斯株式会社納

## 2,350 kW 同期電動機励磁用半導体整流器

Semiconductor Rectifier for Exciting 2,350 kW Synchronous Motor Delivered to the Osaka Gas Company, Ltd.

近藤 喜久雄\* 齋藤 武\*\*  
Kikuo Kondō Takeshi Saitō

### 内 容 梗 概

新しい半導体整流器であるゲルマニウム整流器，シリコン整流器は各方面で使用されつつあるが，今回同期電動機励磁電源としてシリコン整流器を完成した。同期機励磁の特質上種々の問題点があったが，多くの研究，実験と詳細な調査検討により，応用上の技術的難点を克服し，試験結果良好な成績を得，半導体励磁装置の長所を確認した。

### 1. 緒 言

ゲルマニウム整流器，シリコン整流器の登場によって，高効率，小形軽量，長寿命，使用簡便という電気機器としてほぼ理想に近い整流器が得られるようになり，その使用実績は急速に上昇している。特に電気化学工業用の低圧大電流電源には，最近ほとんどゲルマニウム整流器，シリコン整流器が使用されているが，これらの新しい半導体整流器の応用分野は電解工業にとどまらず，アーク電源，励磁電源，蓄電池充電用電源，電力用電源，電鉄用電源などに使用され始めている。これは従来の変流機器に比べて，幾多の長所が認められてきたことに基くもので，次第に従来の変流機器に代りつつあるとともに，新しい応用分野も各方面に拡大している。

日立製作所における応用例を示すと第1表のとおりである。

従来の半導体整流器であるセレン整流器が，静止器で取り扱いが非常に簡便という長所をもちながら活発に使用されず，比較的小容量器の地位に甘んじてきた原因は，寿命，占有容積，効率の点に帰することができる。

ゲルマニウム，シリコン整流器は電流密度がセレン整流器の1,000倍以上にも及ぶので，占有容積は小形となり，寿命も理論上きわめて長期間が期待されるので，同期機の励磁装置という高度の信頼性を要する用途にも使用が可能となった。

従来の励磁装置である電動直流発電機（以下励磁機という）では，周囲にガスがある場合，防爆構造を設けたり，研磨ブラシを使用するなど，整流，荒損，防食対策など整流子に伴う保守に種々問題があったが，ゲルマニウム整流器およびシリコン整流器の励磁装置により，今までの難問を解決し，運転の信頼度を向上させることができるようになった。

\* 日立製作所日立工場

\*\* 日立製作所国分工場

第1表 ゲルマニウム・シリコン整流器用途一覧

用 途	日立の製作代表例		備 考	
電 解 用 電 源	水	460 kW	46V	ゲルマニウム整流器
	水	27 kW	90V	シリコン整流器
	食 塩	3,360 kW	112V	ゲルマニウム整流器
	アルミニウム	36,000 kW	320V	シリコン整流器
	アルミニウム	14,000 kW	140V	ゲルマニウム整流器
	銅	1,071 kW	153V	シリコン整流器
	銅	900 kW	150V	ゲルマニウム整流器
	亜鉛	383 kW	85V	ゲルマニウム整流器
	マグネシウム			
	コバルト			
アーク電源	電解清浄	120 kW	24V	ゲルマニウム整流器
	電解研摩			
励磁電源	アルマイ	180 kW	60V	ゲルマニウム整流器
	メッキ	30 kW	15V	ゲルマニウム整流器
	真空溶解	325 kW	65V	ゲルマニウム整流器
	熔接機	35 kW	70V	シリコン整流器
	放電加工			
	映写機			
蓄電池充電	自励交流発電機	70 kW	110V	ゲルマニウム整流器
	他励交流発電機	7.5 kW	125V	シリコン整流器
	同期電動機	30 kW	110V	シリコン整流器
	電磁石	37.5 kW	150V	ゲルマニウム整流器
	電磁石	2.2 kW	110V	シリコン整流器
	水銀整流器	4 kW	40V	ゲルマニウム整流器
動力電源	変電所操作電源	8 kW	160V	シリコン整流器
	(浮動充電)	16 kW	160V	ゲルマニウム整流器
	一般充電	8 kW	160V	シリコン整流器
	一般充電	8 kW	160V	ゲルマニウム整流器
電鉄用電源	工作機械	200 kW	220V	シリコン整流器
	I B M	136 kW	220V	ゲルマニウム整流器
	ミル補機			
直流変電所	一般直流電源	350 kW	117V	シリコン整流器
	直流変電所	1,000 kW	1,500V	シリコン整流器
	交流電車	750 kW	600V	シリコン整流器
	交流電気機関車	575 kW	1,350V	シリコン整流器
	補機電源	30.5 kW	18V	シリコン整流器

第2表 同期機励磁用半導体整流器製作例

用途	直流出力		台数	備考
	容量 (kW)	電圧 (V)		
同期電動機	7.5	110	4	ゲルマニウム整流器
	20	110	2	ゲルマニウム整流器
	30	110	2	シリコン整流器
他励交流発電機	7.5	125	2	シリコン整流器
自励交流発電機	35	110	3	ゲルマニウム整流器
	40	110	1	ゲルマニウム整流器
	70	110	1	ゲルマニウム整流器

第3表 励磁機と半導体励磁装置の比較

	励磁機 (電動発電機)	ゲルマニウム整流器 シリコン整流器
構造	回転機 やや複雑	静止機 単
付属機器	界磁調整抵抗器	変圧器, 電圧調整器
床面積	同程度	
基礎	必要	不要
電圧調整	界磁調整器によりある 範囲内調整可能, 調整 範囲には限界がある	自体は調整不能, 電圧 調整器により任意の範 囲調整可能
起動時間	分	秒
総合効率	75~80%	85~90%
力率	80~90%	85~95%
過負荷容量	大	比較的 小
騒音・振動	大	比較的 小
保守	面倒	簡単
a) 消耗部品	メタル, ブラシ	なし
b) 給油	必要	不要

第2表に日立製作所における同期機励磁用半導体整流器の製作例を示す。

実際に、励磁用ゲルマニウム整流器、シリコン整流器を設計、製作するに当たって注意を要する点は、定常運転時の所要電圧電流に応じて整流素子構成を考慮することはもちろん、電動機起動、停止、電源短絡、サージ侵入時などの過渡状態、事故時の現象を十分検討して適切な設計を行うことが重要である。

本稿では、大阪瓦斯株式会社に納入された高圧ガス圧縮機用 2,350 kW 同期電動機の 30 kW 励磁用シリコン整流器の実例を中心にその概要を述べる。

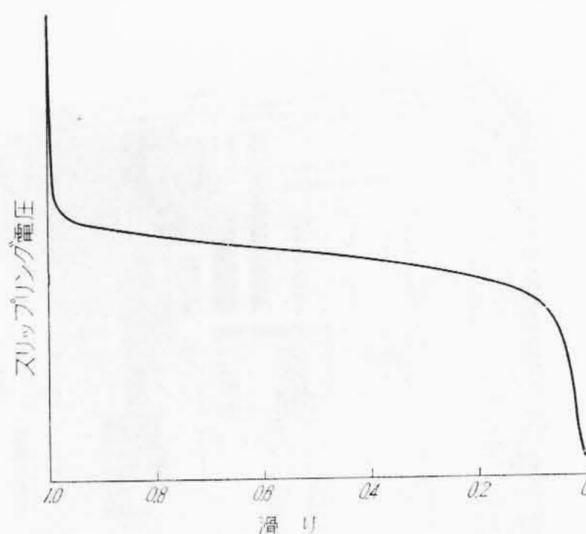
## 2. 励磁用半導体整流器の特長

従来の励磁機と比較すると第3表のとおりであるが、おもなる特長は次のとおりである。

### (1) 保守が簡便

静止器であり、消耗部分がないので、ベアリングの点検、ブラシの取替えが不要となり、保守費が少なくてすむ。

### (2) ガスに対して安定



第1図 すべりとスリップリング電圧

シリコン整流器は整流作用を行うジャンクション部分が密封容器内に収納されているので、外部にガスがあっても直接影響を受けない。

### (3) 効率が良好

励磁容量 30 kW の場合、シリコン整流器の総合効率は補機損失を含めて 89.3%、励磁機の総合効率は 77% で、約 12% シリコン整流器がすぐれている。

### (4) すえ付けが自由

特別の基礎工事を必要とせず、すえ付位置も自由で、美しい鋼板製キュービクルに収納してほかの補機キュービクルと並列設置することができる。

## 3. 設計上の問題点

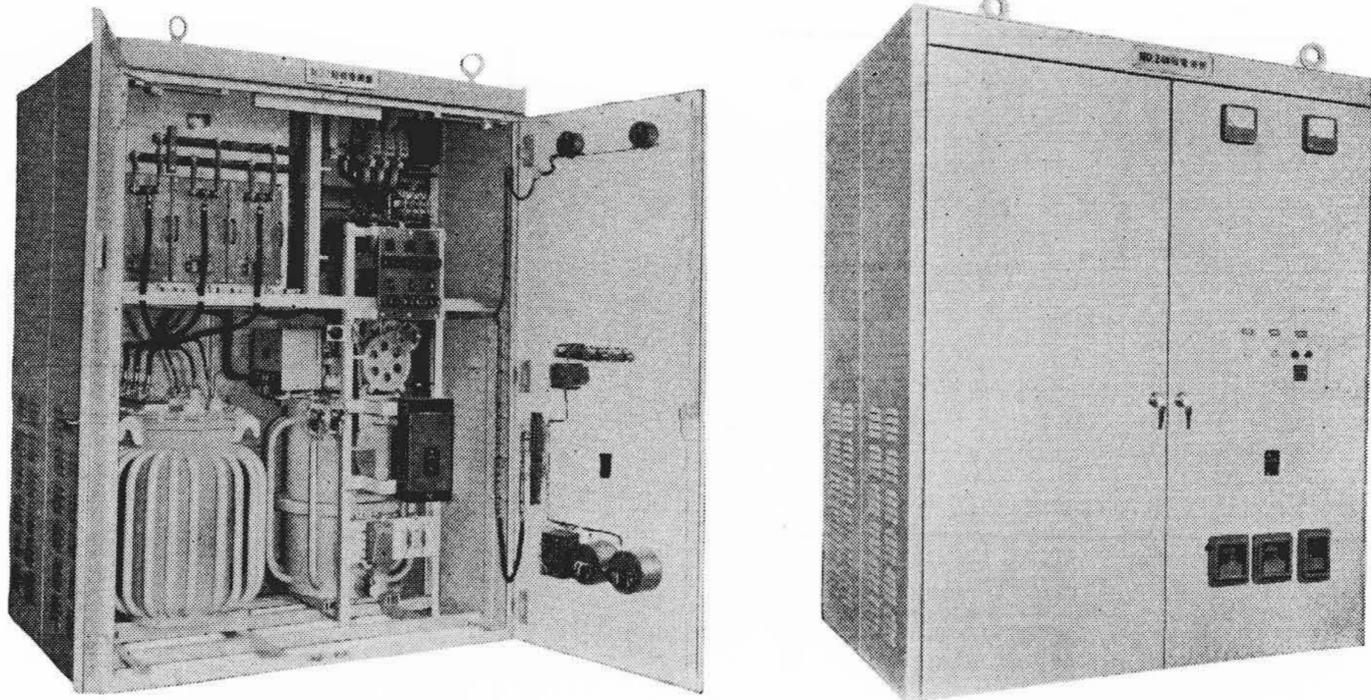
シリコン整流器は、同期電動機の界磁巻線を負荷としている性質上、種々検討を要する問題がある。そのおもなるものをあげると次のとおりである。

### 3.1 起動時のスリップリング電圧

起動時における電動機のスリップリングには、すべり周波数によって界磁巻線に誘起される電圧を生ずる。電動機のすべりとスリップリング電圧の関係は第1図に示すように、すべりが減少するとともに電圧は降下する。したがってこの電圧が十分小さくなり、同期引き入れに適切な時期に界磁接触器をとじて、スリップリングに直流電圧を与えるのであるが、起動時の条件によっては、界磁接触器投入時直流電圧を上回る誘起電圧がスリップリングにある場合がある。このためスリップリングに現われる電圧を抑制して、シリコン整流器の逆耐圧と協調をとらねばならない。

### 3.2 電動機電源突発短絡時の電圧、電流

電動機が定常運転している状態で、三相あるいは単相短絡した場合、界磁巻線に誘起電圧を生じ、シリコン整流器に過電流が流れる。したがってこの事故時の電圧、電流の低減をはかるとともに、かかる事故発生時にも十分整流器が耐えうるよう整流素子を構成する必要がある。



第2図 30 kW 励磁用シリコン整流器キュービクル

る。

### 3.3 サージ電圧

整流器に襲来するサージは、整流器の変圧器側から侵入するサージと、界磁巻線側から侵入するサージの二系統がある。一般に整流器用変圧器の電源電圧は低圧であるので、侵入するサージとしては開閉サージを対象とすれば十分であるが、界磁巻線側からのサージでは、電動機の高圧電源のサージが電機子から界磁巻線に移行するので、高圧側サージの移行電圧を検討しておく必要がある。

### 3.4 整流素子の均等冷却

整流素子を冷却する場合、所要の冷却空気を各素子に均等に分配することが肝要である。冷却条件の悪い素子は所期の特性を発揮できないので、整流器全体の性能を低下させることになる。したがって均等に冷却を行わねばならない。

## 4. 30 kW 励磁用シリコン整流器

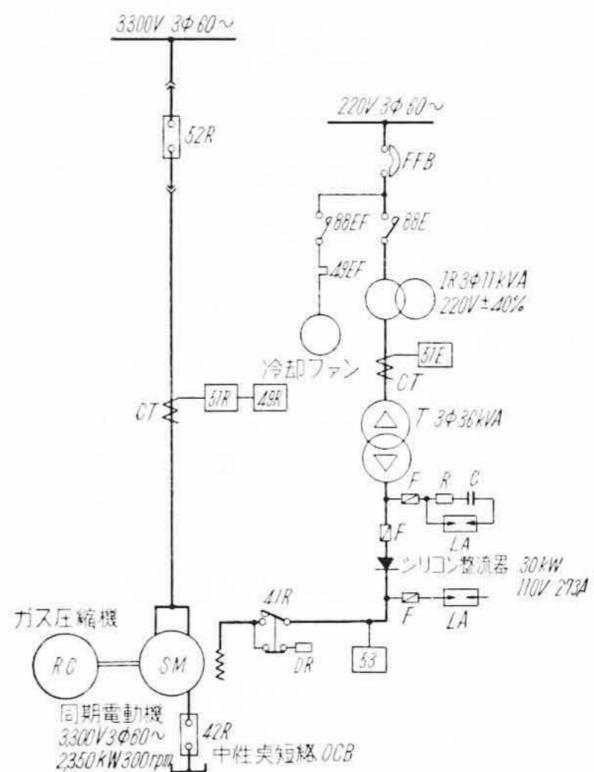
本器は同期電動機励磁用としてシリコン整流器の新しい応用分野であるばかりでなく、整流素子が1個万一事故を起しても、そのまま運転継続可能な方式を採用したシリコン整流器である。第2図にその外観を示す。

### 4.1 仕様

本励磁用整流器のおもなる仕様は次のとおりである。

交流入力	220V 三相 60c/s
直流出力	30 kW
電圧	110V
電流	273A
電圧調整	110~60V
整流方式	三相全波

第3図は、2,350 kW 同期電動機の単線結線図で、励磁



第3図 シリコン整流器励磁 2,350 kW 同期電動機単線接続図

装置は誘導電圧調整器、整流器用変圧器、シリコン整流器、保護制御装置よりなっている。主要機器の仕様は次のとおりである。

誘導電圧調整器	油入自冷式 SIB-3M 三相 60 c/s
整流器用変圧器	油入自冷式 SIB-C 三相 60 c/s
シリコン整流器	強制風冷式 F-6B 三相全波整流 30 kW 110V 273A

## 4.2 構造

本器は第2図に示すとおり、鋼板製キュービクル内に各機器を収納し、キュービクルにはとびらを設けて点検時の便宜をはかっている。本キュービクルは、ガス圧縮機補機盤、ガスブロワ補機盤、中性点短絡盤と列盤になって地下の電気室に設置されるものである。

シリコン整流器は整流素子を入れた引出状の箱（以下トレイという）を、キュービクル内の一部にあるわく組に収納している。トレイはわく組から簡単に出し入れできる構造とし、点検、取替時に要する時間の短縮をはかっている。トレイの配置は、整流素子が均等に冷却されるように、各素子の通風抵抗が等しくなるよう特に留意し、風量測定の結果良好なバランスを得た。

## 5. 保護方式

従来の励磁機は、銅、鋼材、絶縁物より構成されているので過電圧、過電流耐量が大いが、シリコン整流器は比較的小さいので、前項設計上の問題点で述べたように、整流器と保護装置とが完全な協調を保っていることが重要である。種々研究、実験の結果、最も適切な方式として次の保護方式を採用した。

### 5.1 異常電圧

励磁電源は一般所内低圧を使用しているため、整流器用変圧器側からのサージ電圧は特に問題ないが、変圧器二次側にサージアブソーバを設けて、異常電圧の吸収をはかっており、試験結果も最大で120%におさえることができた。

負荷すなわち界磁巻線側から発生する異常電圧として、通常運転時の界磁接触器の開閉サージ、同期引入時の過渡電圧、電流および電動機の短絡、地絡、同期はずれ、襲雷、負荷遮断時などの異常電圧に対しては、サージアブソーバと抵抗を適切に設けることによりシリコン整流器の過電圧、過電流耐量以下に低減させるよう考慮しており、各条件の試験を行ってその効果を確認した。

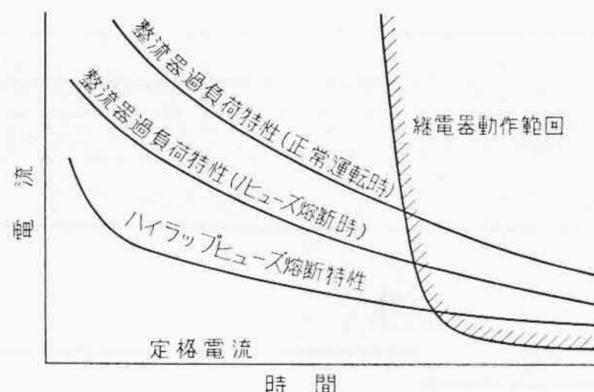
### 5.2 整流素子の事故

シリコン整流素子の保護としては、高性能のハイラップヒューズを挿入して、エレメントの事故短絡時にほかの健全素子が過電流とならぬよう事故の波及を防止している。第4図に整流器の過電流保護特性を示す。

万一整流素子が破壊しても、並列数は余裕をとって構成してあるので、ただちに電動機を急停止させる必要はなく、適当な時期をみて故障素子を取り替えばよい。しかし未交換中さらに同一相のほかの整流素子が破壊すれば、ただちに交流側を開路して電動機を停止し、事故の拡大を防止するよう考慮してある。

### 5.3 その他

以上のほか、次の場合には、ただちに励磁電源を開路



第4図 整流器の過電流保護特性

すると同時に電動機を停止する。

#### (1) 励磁電源過電流継電器動作

整流器用変圧器短絡、電源電圧上昇や負荷短絡などに基く過電流による継電器動作

#### (2) 冷却ファン電動機過負荷

ファン用電動機内部短絡、単相起動および回転子の異常拘束による過電流

#### (3) 冷却風量低下

ファンの停止、回転数の低下に伴う風量低下

#### (4) 直流電圧低下

直流側短絡、整流素子断線、励磁電源遮断時の直流電圧低下

## 6. 制御方式

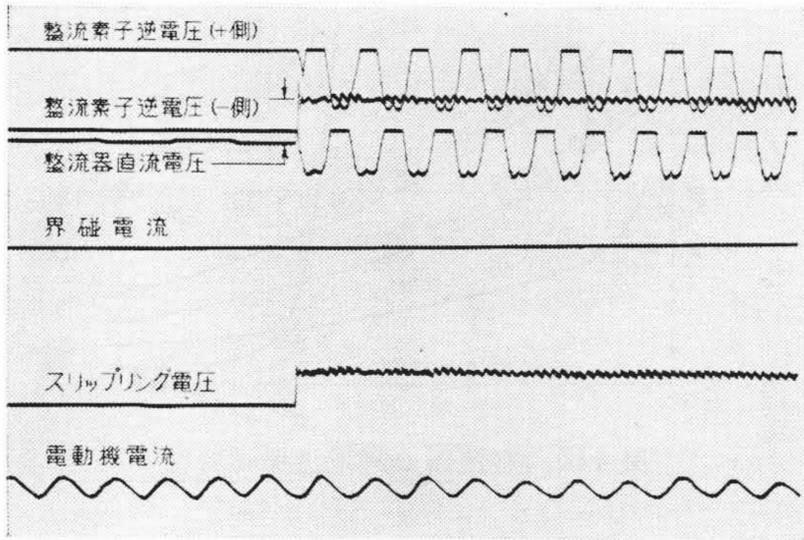
同期電動機の起動、停止および補機類の操作はすべてガス圧縮機監視制御盤から行われる。電動機は励磁電圧が確立されていなければ、起動できないようインターロックされており、シリコン整流器は冷却ファン起動、誘導電圧調整器下限位置を条件としていかされる。また電動機の運転中は誤操作によって整流器回路が開路することの絶対のないようインターロックするなど連動方式を完備するとともに、前述の保護装置を設けて安全確実な制御方式としている。

同期電動機の励磁調整は、動作の簡単確実な誘導電圧調整器によるシリコン整流器の交流電圧調整方式としてある。

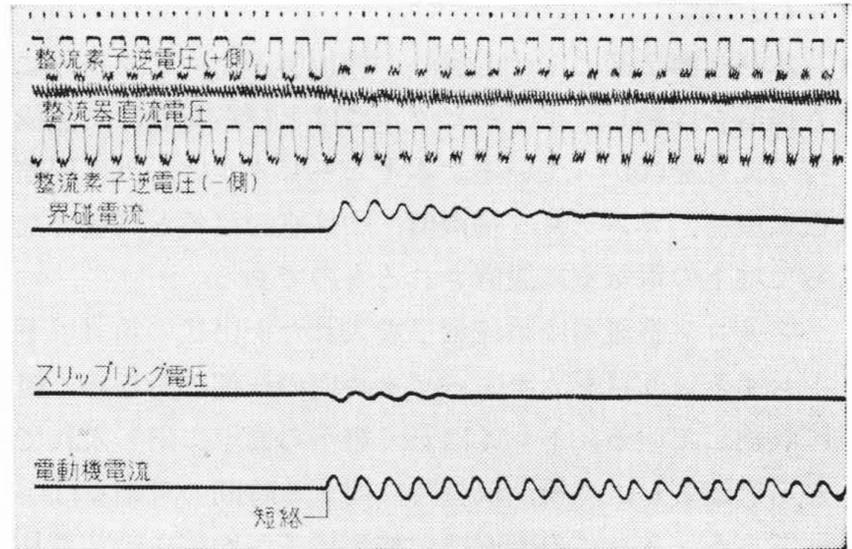
電動機負荷は都市ガス圧送用高圧圧縮機であり、手動で圧送量を調整するとき以外は一定負荷とみなされ、また電源も安定しているので、電動機は手動調整による力率一定運転としている。

## 7. 試験結果

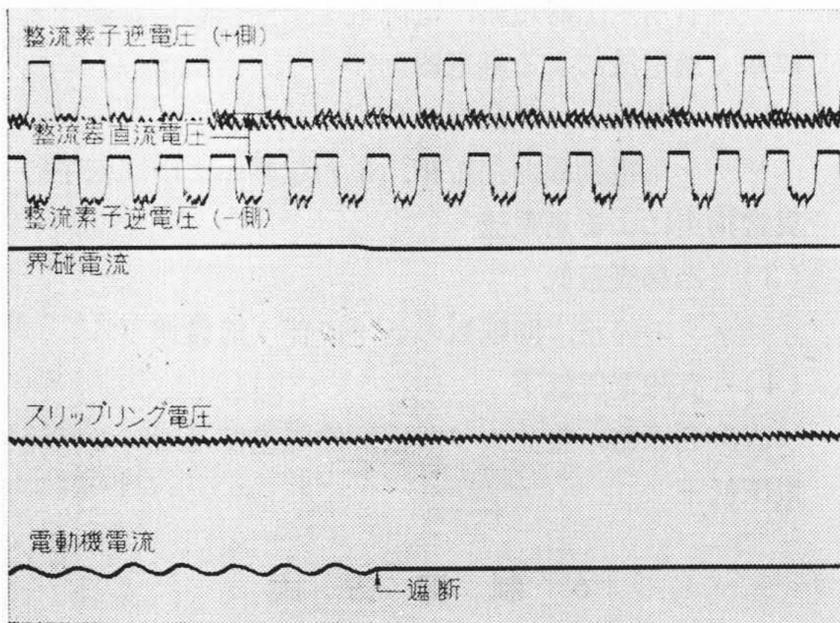
シリコン整流器単独における定格負荷試験、過負荷試験、絶縁試験と電動機励磁状態における電動機突発短絡試験、同期投入試験、保護装置動作試験を行ったが、いずれも良好な結果が得られた。



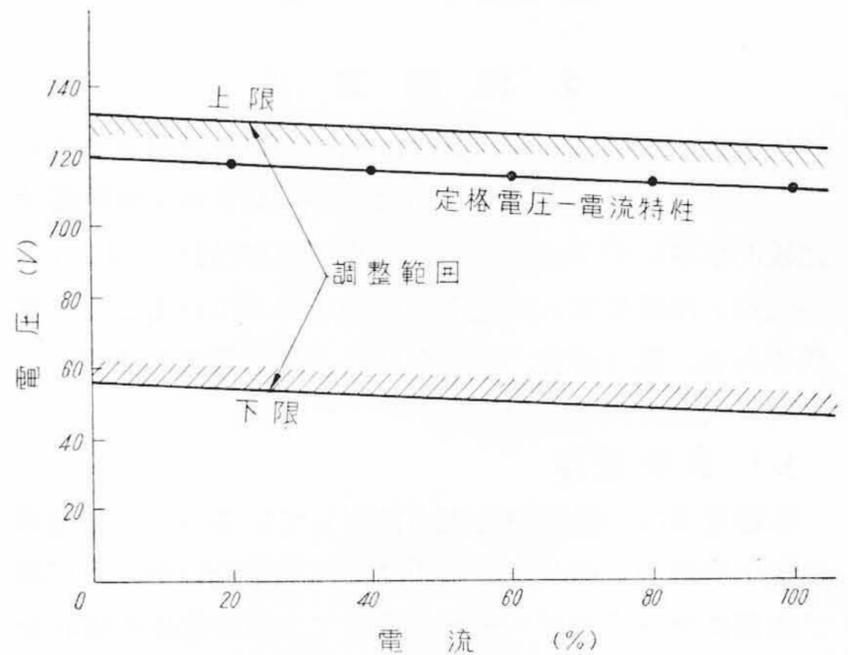
第5図 電動機起動時界磁接触器投入試験  
オシログラム



第7図 電動機突発短絡試験オシログラム



第6図 電動機電源遮断試験オシログラム



第8図 整流器電圧電流特性

効率は、シリコン整流器、整流器用変圧器、誘導電圧調整器、冷却ファンを含めた総合効率で89.3%で同容量の励磁機より12%高いことを確認した。

電動機起動時、界磁接触器を投入したときのオシログラムを第5図に示す。電動機停止時、電動機電源を開路した場合のオシログラムを第6図に、電動機突発短絡時のオシログラムを第7図に示す。

電圧変動率は定格出力において実測9.1%で電圧調整範囲内におけるほかの任意の電圧、電流特性もほぼ定格特性に平行で第8図のとおりである。

### 8. 結 言

以上、同期電動機励磁用シリコン整流器の設計上の要点と実例につき概要を述べ、良好な試験結果を報告した。シリコン整流器は、原材料であるシリコン単結晶の製造技術と整流素子の製造技術とともに日進月歩の昂進をしているので、その性能は今後ますます向上すること

が予想される。したがってシリコン整流器は素子の数が減じて全体がさらに小形化し、ガス、じんあいの多い環境や周囲温度の高い条件などで使用される同期電動機には、好適な励磁装置として今後賞用されるものと思われる。

本例は負荷が一定であるため力率調整は手動により十分であるが、変動負荷で自動力率調整を要する場合には、速応性の自動調整を整流器方式で行うことが可能である。そのほか同期機、誘導機において無刷子を要求される励磁装置には、機械的強度、占有容積、許容温度の点でシリコン整流器が使用されることになるものと考えられる。すでに文献<sup>(1)(2)</sup>に実例が報告されており、この方面にも多大の貢献をすることが期待される。

### 参 考 文 献

- (1) A. W. Ford: Electrical Review 17, April 1959
- (2) H. W. Henkels ほか: AIEE Conference Paper