

大容量サイリスタとその応用

Application with the High Power Thyristors

近藤 喜久雄* 阪上 正* 岩田 幸治*
 Kikuo Kondô Tadashi Sakaue Kôji Iwata
 上田 源三* 齋藤 奎二** 山口 晃一***
 Genzô Ueda Keiji Saitô Kôichi Yamaguchi

要 旨

サイリスタは年々大容量となり、2,500 V 400 A, 2,000 V 300 A, 1,200 V 800 Aなどが量産されている。これらを使用した装置も圧延機駆動用 750 V 直流電動機の電源として1個直列でサイリスタコンバータが構成され多数運転されている。またアルミニウム製錬用電源として 56 MW サイリスタ整流装置が実用に供されているなど、大容量サイリスタの応用は多方面に及んでいる。

1. 緒 言

電力用サイリスタの大容量化は最近とくにめざましいものがあり、その電圧定格、電流定格ならびに1個の素子で制御できる電力も増加の一途をたどっている。この大容量サイリスタの実用化により、数年前までは実現できなかった大形圧延機の駆動用電源がサイリスタ化されたのをはじめとして、大形電気抵抗炉の温度制御にサイリスタを使用した交流電力制御装置が実用化されるなど、新しい分野での応用が活発になされている。

また電力系統におけるサイリスタ応用の大きな課題の一つとして直流送電があり、すでに 37.5 MW 125 kV サイリスタ変換装置の開発が進められており、次の大きな応用分野として注目されている。

一方シリコンダイオードを使用した種々の整流装置も、サイリスタの大容量化に伴って、逐次サイリスタ整流装置に変わる傾向にある。たとえば、電解用直流電源の分野においても、すでにアルミニウム製錬用に日立製作所が納入した 56 MW 80,000 A サイリスタ整流装置が昭和 44 年 5 月から運転されている。また、交流電化区間に使用される電気機関車、電車も最近では全サイリスタ方式となり、主電動機の世界制御がサイリスタの位相制御で行なわれている。最新の ED78 形機関車では 2,200 kW 1,100 V のサイリスタ装置をとう載しており、下りこう配運転時には回生制動を行なうことができる。

さらに事業用 60 MW 級発電機にもサイリスタによる励磁装置が採用されるに至っている。これはサイリスタの運転実績が積み重ねられ、その実用性の高いことが立証されてきたことや速応制御、保守の簡便さなどの利点が認められてきたものと思われる。そのほか、無停電交流電源に使用されるサイリスタインバータや一般用直流定電圧電源などにも大容量サイリスタが使用されており、今後装置の大形化に伴って、大容量サイリスタはますますその特長を發揮していくものと思われる。

本稿では、大容量サイリスタの現状とそのおもな用途である圧延機駆動用サイリスタ電源ならびに、電解用直流電源に使用されるサイリスタ整流装置を中心に概要を説明する。

2. 大容量素子の現状とその特長

2.1 電力用サイリスタの現状

サイリスタが工業製品化されて以来約 10 年経過した。現在サイリスタの応用分野は家電品より重工業用機器に至る広い範囲におよんでいる。これらの広範な用途にあわせて素子の品種、容量の種別

表 1 日立電力用サイリスタ装置の記録製品

用途	容量 (kW)	電圧 (V)	電流 (A)	年次	備考
電気化学工業	56,000	700 V _{DC}	80,000 A _{DC}	昭和44年	アルミニウム製錬用
電気化学工業	5,600 × 2	±160 V _{DC}	±35,000 A _{DC}	45	銅電解用
交流電気機関車	2,200	1,100 V _{DC}	2,000 A _{DC}	40	ED 93 用
交流電力制御	3,000 kVA		13,630 A _{AC}	42	
直流電動機電源	4,600	750 V _{DC} × 2	3,067 A _{DC}	43	5 タンデムコールドミル用
直流電動機電源	8,800	750 V _{DC}	11,733 A _{DC}	43	ホットストリップミル用
同期電動機励磁	60	110 V _{DC}	542 A _{DC}	40	
自励式インバータ	730 kVA	600 V _{AC}	700 A _{AC}	43	
静止セルビウス	1,667	441 V × 2	1,890 A	42	

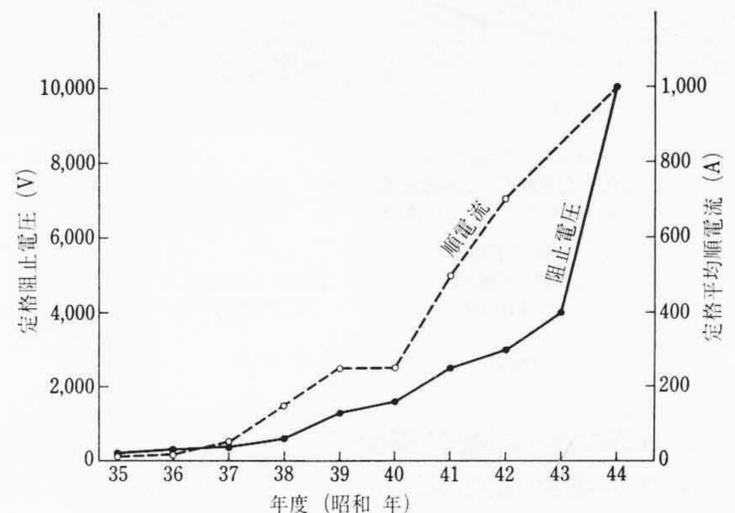


図 1 サイリスタの定格電圧、電流の推移

もまた多様になってきた。日立製作所では電流容量 0.5~800 A、耐圧 50~2,500 V の各種サイリスタを量産している。

電力用サイリスタについてみると、サイリスタ応用装置の容量が大形化しており、その経済性、信頼性より素子単体の容量を増大させることが強く要求され素子の電流容量、耐圧の向上に関する試作開発が活発である。図 1 は素子の電流容量と耐圧についての発展推移を表わしたものである。

素子の単体の容量を向上させる場合、特に高周波数領域での運転を考慮しないとすれば、素子の電流容量の増大か、耐圧を上げるかの二とおりが考えられる。電流容量増大と高耐圧化を両立させることはサイリスタの設計上相いれない要素があるので、どちらかを主眼として選択しなければならない。圧延機などで多い直流 750 V 電動機駆動用としては、定格電圧 2,500 V で 1 個直列で構成でき、この場合は素子の電流容量を向上させ、サイリスタ装置の並列数を低減するほうが経済的である。一方、現在特に注目されてきた直流送電などの高圧送配電機器の場合には素子を高耐圧化し直列数を低減することが基本的利点である。以上のように素子の容量を増大させる

* 日立製作所日立工場
 ** 日立製作所大みか工場
 *** 日立製作所機電事業本部

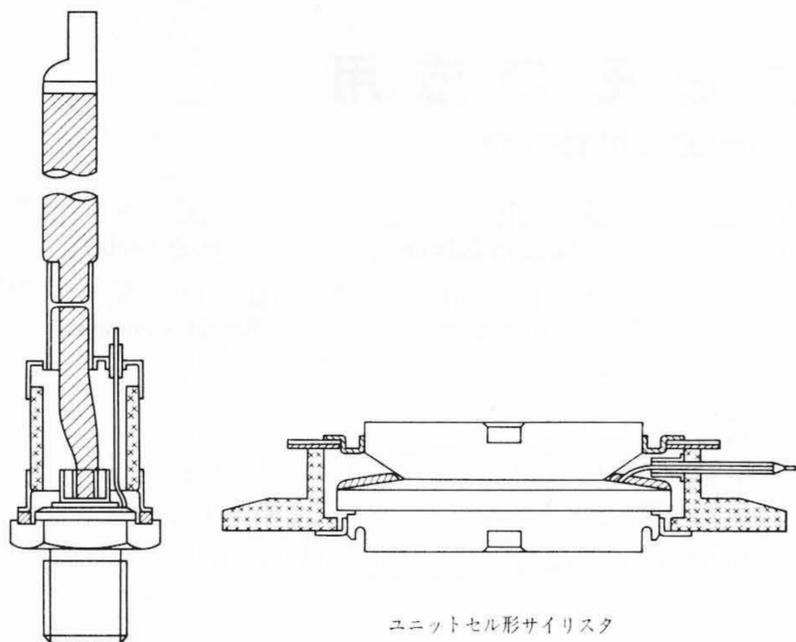
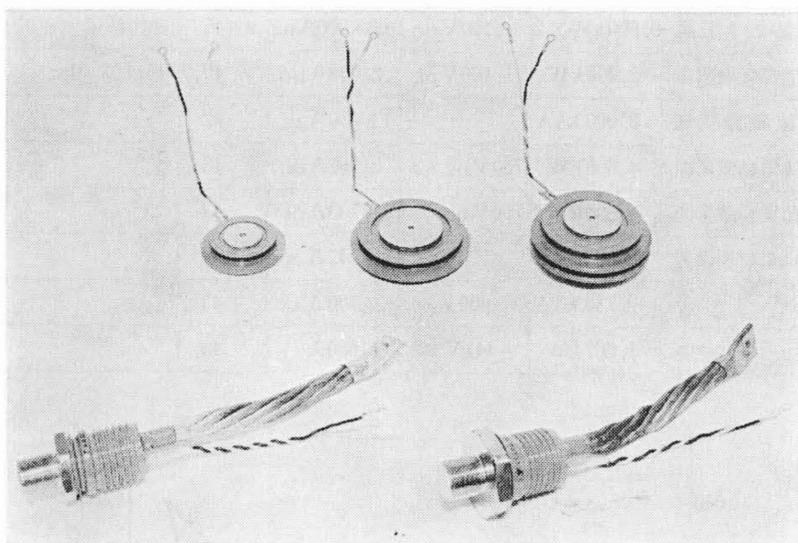


図2 サイリスタの構造



ユニットセル形 (上左から)
 400A 2,500V CH03形 1,600A 2,500V CA01形 400A 10,000V CH99形
 スタッド形 (下左から)
 250A 1,600V CJ02形 250A 2,500V CJ03形

図3 電力用サイリスタ

には用途、目的に合った選択が必要である。現状における大形電力用サイリスタの発展の主流はこの電流容量と耐圧の拡張にあると考えられる。

素子の大容量化に伴う技術的な問題の一つに、素子単体あたりの発生損失の増大に起因する接合温度上昇を抑えるための熱放散があげられる。従来電力用素子で採用されていたスタッド形構造素子はおもにスタッド側の一方向熱放散方式であったものに対し、3年ほど前から二方向熱放散方式のユニットセル構造として実用化されてより飛躍的に素子の容量が向上する可能性がでてきた。図2はそれぞれの素子構造につき代表的なものを示したものである。

大形素子は接合の幾何学的形状を大形化する傾向をもっており、大口径のシリコン単結晶特に均一な結晶性が必要になる。接合加工技術についても加工精度の向上、シリコン表面の電界強度の低減、ターンオン広がりやを改良するゲート方式など多くの試みが行なわれている。

以上の大容量化の展開の一ステップとして、日立製作所では電流容量の向上を焦点とした2,500V-1,000A(実効電流1,600A)CA01形素子、耐圧についてはCH99形10,000V素子の開発を行なった。図3は現在製作している電力用素子の代表例である。

2.2 電力用サイリスタの特長

大容量素子は前述したように幾何学的に大形の接合となってくる

表2 電力用サイリスタの特長

項目	説明
耐電圧特性	独特の構造により、アバランシエ形高耐圧のものが製作されている
耐電流特性	じゅうぶん余裕のある電流密度をもち、非常に大きい過電流耐量をもっている
点弧特性	点弧感度がよく、整流装置に非常によく適合する特性をもっている
気密構造絶縁構造	絶縁がい子はじゅうぶんな表面絶縁距離を有し、完全に気密になっているので化学性ガス、鉄粉、じんあい等のふんい気中、高温の中でも完全に使用できる
熱疲労強度	特殊構造および製法により、間欠負荷、湿度サイクルなどに対して非常に強い
信頼性	期待不良率 $10^{-8}/h$ という非常に高い信頼性を示している
機械的強度	500gの衝撃試験に耐え、10gの連続振動に対しても異常がない

ため特に短時間のレスポンスに関する特性すなわち、ターンオン、ターンオフの動的特性について考慮が必要となる。このスイッチングの過渡的な現象は素子と回路条件により決まるものである。この回路条件と素子の協調が重要となる。これは特に周波数が大きいところでの使用の場合は問題がでてくるものであるが、一般の商用周波数の場合でも素子の信頼性上大きな影響をあたえる。ターンオン時に発生するスイッチングパワーは素子の容量増大とともにその耐量を向上させねば大容量素子としての実値を伴わないことを意味する。このスイッチングパワーはターンオンタイムのライズタイム期間に発生する損失と、それに続くアノード電流の増加に反応してターンオン広がり期間に発生する広がり損失が考えられる。これらはいずれも接合の幾何学的な過渡状態であり局部的な広がり面積の挙動であるので適切な対策がないと単位面積あたりの分担エネルギーが巨大なものとなって局部的熱破壊に至る。このスイッチングパワーの耐量の向上のため大容量素子ではターンオン広がりやのよいゲート構造がとられる。この方式はターンオンのアノード電流を用いてターンオン広がりやを積極的に進行させる形をとるものが多く、FIゲート構造はそのおもな例である。ターンオフについてもターンオフタイムと転流余裕角の設定、システムとしての制御能力に関するものが多く回路、システムの協調が重要である。

素子の信頼度上の見地より接合の幾何学的広がりやの一つの問題である。これは負荷変動に対応して発生する温度変化が熱ひずみとして接合に影響を及ぼすことである。これについては、接合支持板の改良、接着用はんだの熱疲労耐量の向上、電気的、機械的コンタクトの改良などが素子の大容量化とともに検討され、材料的、構造的に問題を処理している。さらに素子の熱時定数を考慮に入れた素子の過渡熱抵抗特性を利用し短時間の過負荷容量を用いて経済的な構成を行なうことが可能であり、素子、システムを含めた信頼性を考慮して経済性を向上させることが考えられる。

以上のように大容量素子は使用条件との協調が特に重要となり、この点より用途ごとに使用条件による必要な特性を強調することが今後の一つの進路となる。

3. サイリスタの圧延機への応用

3.1 経過と現状

最近数年間の圧延設備駆動方式における最大の改革はサイリスタの開発とその大容量化の歴史であったとも言える。圧延設備へのサイリスタの応用は、まず直流電動機の励磁装置に対して試みられた。1964年東海製鉄株式会社(現在富士製鉄株式会社名古屋製鉄所)納め2基連続調質圧延設備がその第1号機であり、引き続き1965年日立電線株式会社豊浦工場納め銅線材圧延設備では、主回路にサイリスタコンバータを用いた静止レオナード方式の処女作が完成した。表3に掲げた各設備はそれぞれサイリスタ応用の発展途上における

表3 圧延用サイリスタコンバータの歩み

製造年	納入先	応用設備	特長
1964	東海製鉄株式会社	2基連続調質圧延設備	励磁装置として初めてサイリスタを採用
1965	日立電線株式会社	銅線材圧延設備	主回路電源として初めてサイリスタレオナードを採用
1965	日立電線株式会社	可逆冷間圧延設備	逆並列静止レオナードの1号機
1966	スカイアルミ株式会社	可逆熱間アルミ圧延設備 可逆冷間アルミ圧延設備	本格的大容量(2,900kW)静止レオナードの1号機 本格的大容量(2,500kW)静止レオナードの1号機
1966	三井金属株式会社	可逆冷間亜鉛圧延設備	界磁逆転式静止レオナードの1号機
1968	八幡製鉄株式会社	5基連続冷間圧延設備	世界最大のタンデムコールドミル(主コンバータ合計 50,680kW)
1968	住友金属工業株式会社	7基連続熱間仕上げ圧延設備	世界最高速のホットストリップミル(主コンバータ合計 59,400kW)(TOP SPEED 4,350 rpm)
1969	日立新製鋼株式会社	連続センジマー冷間圧延設備	世界最初のタンデムセンジマーミル

一里塚となったものであり、関係各位の英断はその後のサイリスタの飛躍的発展の事実によって高く評価されている。

わが国における圧延用サイリスタ式静止レオナード装置の発展は図4に示すようにきわめて急速であり、1966年から1968年の2年間に一気に増大し、かつ図5に示すように、この2年間に電動発電機および水銀整流器と完全に交替した。これらの多数の実績からサイリスタコンバータの信頼性が再確認された。また制御装置の電子化とあいまって制御性能は著しく向上し、今や性能の限界は機械系の特性に左右される問題となった。

圧延機へのサイリスタの応用はその大部分が静止レオナードであるが、川崎製鉄株式会社水島製鉄所納め5基連続圧延設備においてサイドガイド駆動用サイクロコンバータにもサイリスタは応用されている。

大容量サイリスタコンバータの採用にあたって特に留意すべき点を列記すると次のとおりである。

(1) 電源の系統容量が不十分な場合はコンバータの転流時生ずる電圧ディップが相互に影響して、減速時のインバータ運転の安定性が確保できない場合がある。したがってシステムのインピーダンスを事前に調査する必要がある。

(2) 電源系統への高調波の波及を低減するよう変圧器の結線方式の組合せと高調波フィルタの検討が必要である。電源系統にケーブルのキャパシタンスがあるとき、高次周波数で共振する場合があるため、総容量数万キロワットの大容量設備では特に高調波の検討が必要である。

(3) サイリスタコンバータの結線方式は1スタンドユニット内は6相とするなどできるだけ簡明な方式を採用すべきである。1ユニット内で12相などの多相化を行なうと、ゲート制御回路が複雑となり、保守上トラブルシューティングに時間を要するため、簡単な結線方式とすることが望ましい。

(4) サイリスタコンバータの構造、冷却方式については、環境条件、保守性の各見地から最適の方式を選択することが重要である。

3.2 サイリスタによる圧延機制御

電動機を可逆運転するには逆並列結線、交さ接続、界磁逆転方式などがあることは衆知であるが、日立製作所では主回路結線として逆並列接続とし、制御方式として無循環電流論理切替制御方式を標準方式として採用している。

サイリスタの主回路方式を決定する要因には、サイリスタ単体の容量、力率改善対策、電源波形改善対策、対象電動機の負荷特性がある。サイリスタ制御でいちばん厄介な問題として力率改善があるが、その方法として逆相コンデンサによる方法、同期電動機による無効電力制御法およびサンドウィッチ結線による力率改善などがある。図6(A)は本方式による例を示したものである。主回路は二つの電機子をサイリスタと交互に配置し図6(B)のような特性をおの

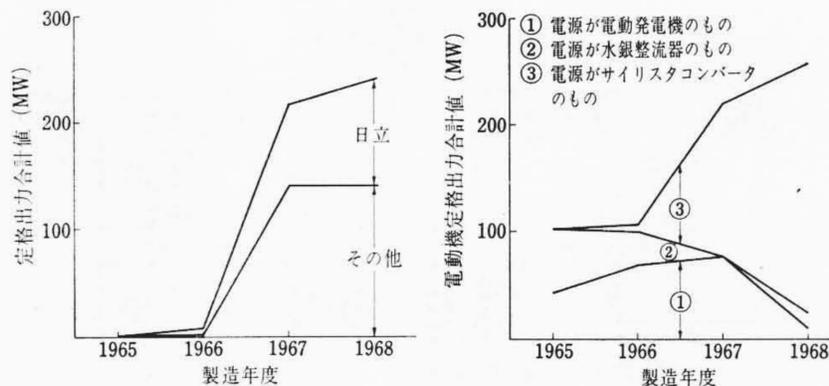


図4 わが国における圧延用サイリスタコンバータの製造実績 (電気工学年報による) (単器1,000kW以上のものの合計値)

図5 わが国における圧延用直流電動機(1,000kW以上)の電源種別製造実績 (電気工学年報による)

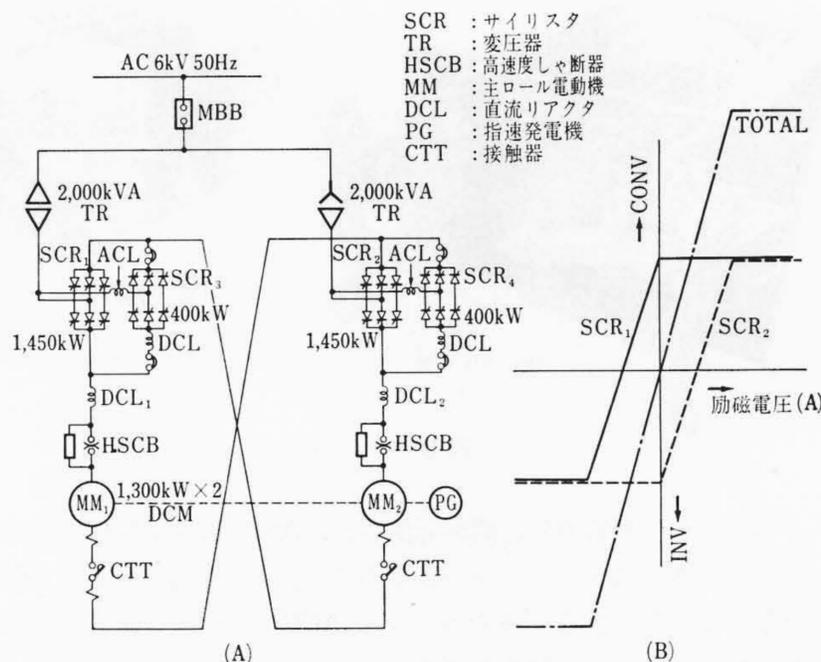


図6 力率改善サンドウィッチ結線

おのに与え力率改善を図っているが、相互にパルス交換を行なっているため設備が複雑で保守性を悪くする難点があり、現在の主流は進相コンデンサによる方法となり、将来は無接点開閉の方向にゆくものと考えられる。サイリスタの負荷電流には高調波成分が含まれるが、その含有率が大きいと系統につながる各機器の温度上昇あるいは寿命短縮などの弊害があるので改善する必要がある。この対象として整流器の動作相数を増す方法高調波フィルターを挿入する方法および両者を併用する方法が用いられている。図7はコールドタンデムミルの1スタンド分の一例を示したものであるが、サイリスタ変圧器を△/Ｙ、△/△結線の組合せにより12相とし、さらに各スタンドごとに移相トランスにより位相を動かし、プラントとして36相効果をもたせて高調波の問題を解決している。

サイリスタ駆動電動機の制御方法はその適用により変わってはくるが、基本制御系としてはマイナーループとし電流一定制御(ACR)を有する速度制御系(ASR)が広く用いられている。すなわち、分塊ミル、プレートミルの主ロール、ホットストリップミルのスタンド駆動、線材ミルの主スタンド駆動、コールドタンデムミルの主ロール、単基冷間圧延機の主ロール、圧下電動機などに適用されている。日立製作所においてはこの制御方式を全く標準化し、回路、ハードウェアの統一を図り、吟味した部品を使用していることで設計製作工程の短縮、性能の向上、保守の容易性を可能にしている。結果としてMDT(mean down time)の短縮ができ、MTBF(mean time between failure)の向上が可能となる。

マイナー ACR 系は ASR 系や影響する主回路の電氣的時定数サ

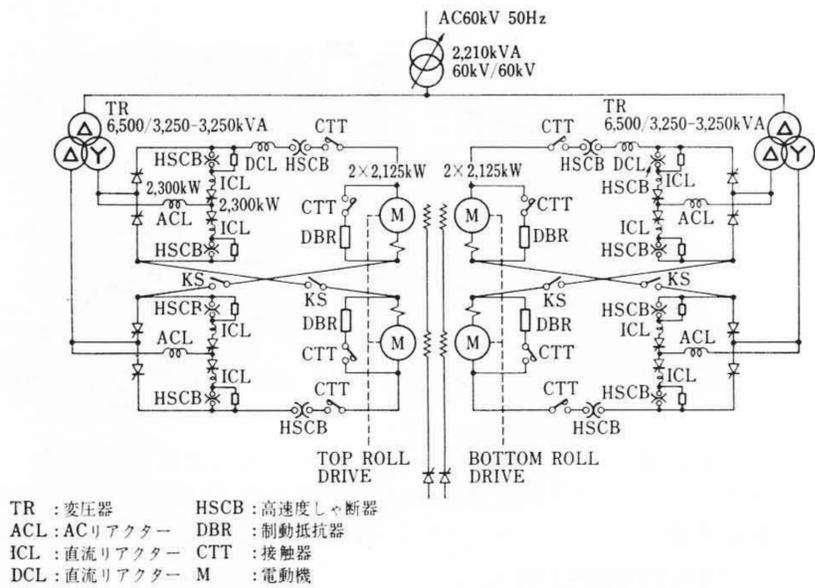


図7 コールドダンデムミル主回路結線の一例

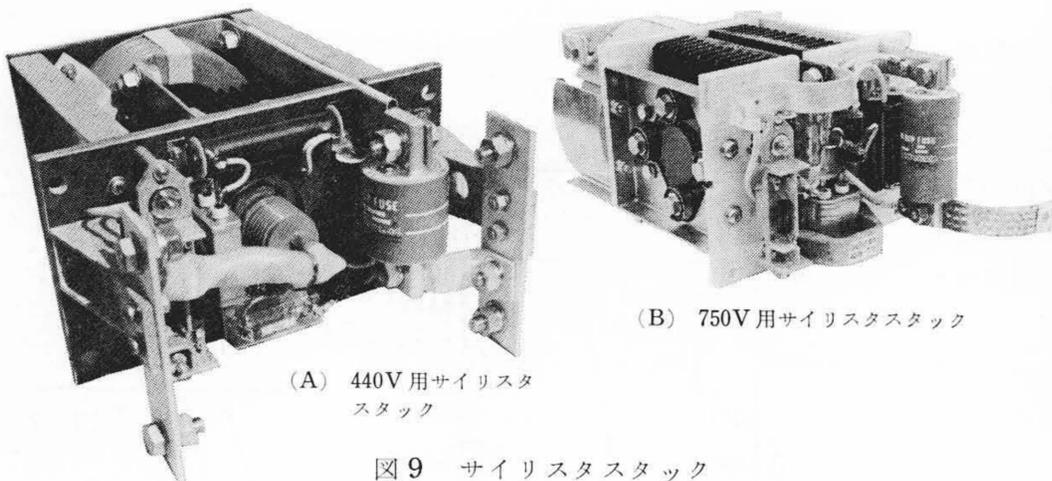


図9 サイリスタスタック

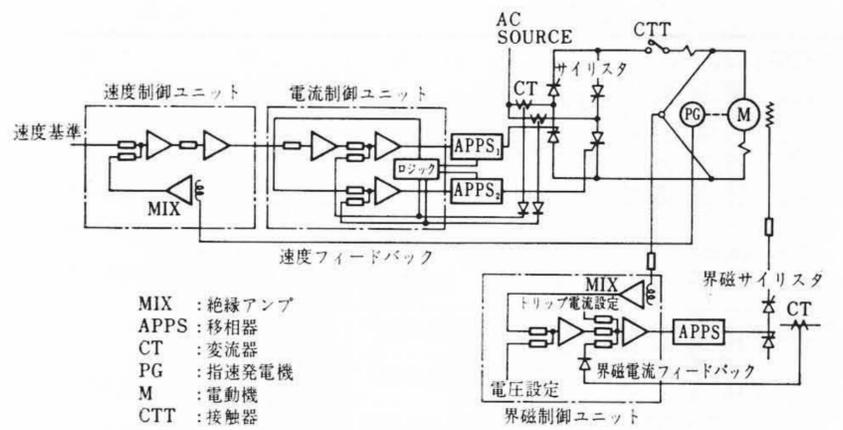


図8 速度制御系説明図

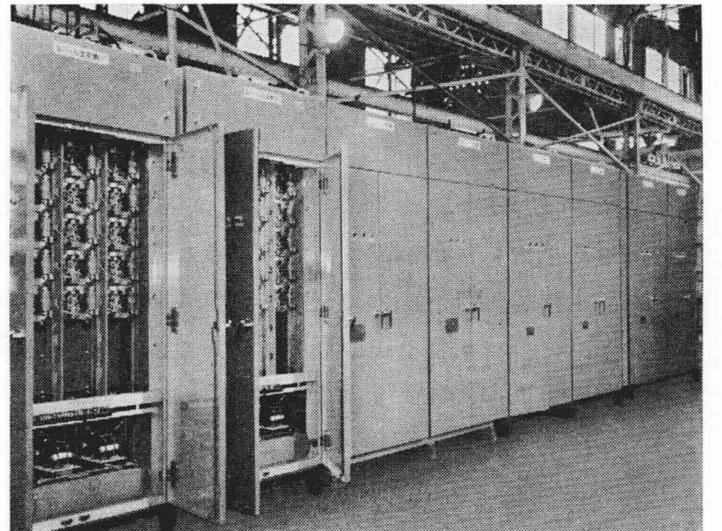


図10 サイリスタキュービクル

イリスタゲート制御の死時間が補償され、ASR系からみれば無視しうるオーダーにすることができるので、きわめて高い性能のASRを行なうことができる。またマイナーACRのパターンとなる速度偏差増幅器にリミッタ特性を与えることにより完璧な電流制限効果をもたせることができる。図8は本制御系の概略を示したもので、三つの機能別ユニットから構成されている。電動機界磁は加減速時トルクが有効に使用できる単一指令方式を採用している。図8はASRの場合であるがフィードバックの速度信号を電圧信号とすればサイリスタの電圧制御(AVR)もASRと同一の機能別ユニットで簡単にできるようになっている。圧延機用電動機制御の対象として巻取機があるが、基本系として上記のACR系をそのまま採用することができる。ASR系の構成として、補償系なしの比例制御の場合、位相おくれ補償の場合、比例積分制御を行なう場合など適用によってかわるが適用に応じてそれぞれ選択使用が可能となっている。

3.3 サイリスタコンバータ

圧延機駆動用静止レオナード装置の大容量化に伴い、サイリスタ変換装置を構成する単位キュービクルの容量を増大し、信頼性の向上、保守点検の改善、据付面積の縮小などを図ることが必要であり、750V電動機用としては2,500V、400A、440V電動機用としては1,400V、250Aサイリスタ素子を使用したサイリスタコンバータの製作を行なっている。

サイリスタコンバータの構造は、素子、アノードリアクトル、陽極陰極間CR、ゲート回路部品などを一体にまとめたスタックを並列数に応じて積み上げるビルディングブロック方式とし、主要部品がすべてキュービクルの前後面に出ているため点検が非常に容易な構造になっている。図9は750V用および440V用サイリスタスタック、図10は750V用サイリスタキュービクルの外観、図11はサイリスタコンバータの単線結線図を示したものである。サイリスタの陽極陰極間に持続したネオンランプはなんらかの原因で素子が破壊したときに消灯し、故障素子の発見を早くすることをねらいとし

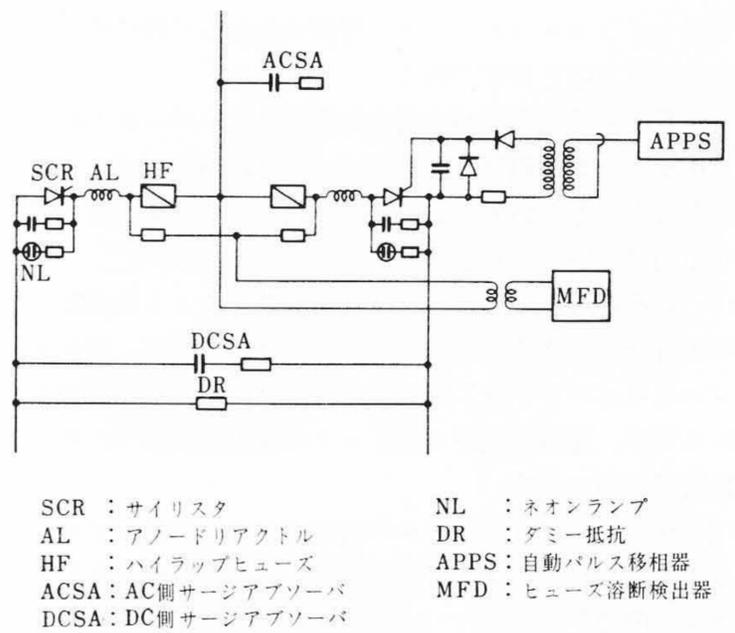


図11 サイリスタ変換器の単線結線図

たものである。また、自動パルス移相器の出力パルスの表示ランプを設け、各相のパルスが正常に出ていることを確認できるなど、保守上についても考慮を行なっている。

サイリスタにおける異常現象に対しては各種サイリスタ変換装置の豊富な製作実績より万全の保護が行なわれている。サイリスタに印加される過電圧としては電源しゃ断器の開閉サージ、雷サージなど電源から侵入するものは交流側サージアブソーバにより低減される。直流高速度しゃ断器のしゃ断サージは直流側サージアブソーバにより低減されるが、事故電流しゃ断時の高エネルギーのサージは直接サイリスタに印加されることがあり、直流高速度しゃ断器に並列に抵抗をそう入することが効果的である。

サイリスタコンバータの事故電流としては、負荷短絡、転流失敗、逆並列短絡などがあり、これらの事故電流は直流リアクトルにより立上りを抑制し、直流高速度しゃ断器、またはサイリスタのゲート

表 4 各種冷却方式の比較

冷却方式	開放風冷方式	内部循環冷却方式	液冷式
冷却媒体	空気	空気, 水	油, 空気, 水
冷却用機器	ファン	ファン, クーラ	ファン, クーラ, 油ポンプ
部品点検	容易	容易	点検箇所多い
交換ユニット	小	小	小
機器外形寸法	小	大	大
騒音	大(誘引風道付により低減可)	中	中
ほこりガス	サイリスタ室循環冷却により防止	有利	有利
構造	簡単	簡単	複雑
適用	ミル, 一般用として多数実績あり	化学用など腐食性ガスふんい気中で使用するとき採用	化学・電鉄, 車両用に採用

表 5 日立電解用サイリスタ整流装置納入年別代表例

納入年(昭和)	用途	直 流 出 力			備 考
		出力(kW)	電圧(V)	電流(A)	
40	過酸化水素	600	200	3,000	
40	ニッケル電解	1,350	450	3,000	
40	電解加工機	92.5	18.5	5,000	
41	鉄電解	1,500	500	3,000	
41	メッキ	105	15	7,000	
42	銅電解(PR法)	104×2	8×2	13,000×2	
42	メッキ	216	24	9,000	
43	食塩水電解	5,800	290	20,000	シリコフォーマ
43	電解加工機	155	15.5	10,000	
44	アルミニウム製錬	56,000	700	80,000	シリコフォーマ
44	銅電解(PR法)	4,400×2	200×2	22,000×2	シリコフォーマ
44	食塩水	821	750	1,095	シリコフォーマ

サプレスにより除去する方式をとっている。この際、サイリスタは異常なく、ハイラップヒューズもシャ断しないよう協調をとってある。またなんらかの原因で素子が破壊された場合はハイラップヒューズにより早急に事故素子を切り離し、健全素子が破壊されることがないように考慮している。

サイリスタコンバータの冷却方式としては、開放風冷式を標準として採用している。開放風冷式の利点としては、点検が容易、部品交換が容易、構造が簡単なことなどであるが、塵埃(じんあい)を吹き込むことが問題になることがある。しかし、キュービクルの入口にエアフィルタを、相間に絶縁隔壁をもうけ電氣的絶縁を強化する。耐トラッキング性絶縁材料の使用などにより、絶縁破壊事故の防止を行なっている。一方腐食性ガスの影響についてはサイリスタ室をもうけ、室全体を循環冷却方式にするか、内部循環風冷方式にすることにより防止できる。表4は現在サイリスタの冷却方式の比較を示したものである。

4. サイリスタの電解用直流電源への応用

4.1 経過と現状

サイリスタ整流装置が、電解用直流電源としてわが国で最初に使用されたのは⁽¹⁾、昭和40年に日立製作所が納入した過酸化水素用600kW 200Vであり、その後、ニッケル、銅電解など比較的小容量の整流装置から、逐次大容量化して昭和44年には56,000kWサイリスタ整流装置がアルミニウム製錬用として使用されるに至った。表5は電解用サイリスタ整流装置の代表例をその納入年別に示したものである。

最近では、アルミニウム製錬用、食塩水電解用などの直流電力の大口消費分野にサイリスタが用いられるようになり、急速に数万kW級の大容量サイリスタ整流装置が現われるようになった。

一方、銅電解の分野においても、電解技術の進歩により、周期的に電解電流とは逆の方向に通流して、電解槽の電気化学的特性を改善し、電解電流密度を向上せしめる方法が採られるようになった。こ

の周期的に極性を逆にする電解法(P R電解法)にはサイリスタによる正方向、負方向2組の整流器による無接点切換が最も適した方式である。その切換ひん度から、ほかの機械的接点を有する方法では、実用的でなく、サイリスタの出現により、きわめて容易に大容量のP R電解が行なわれるようになった。銅電解技術の今後の方向を示すものとして注目されている。

4.2 サイリスタ整流装置の特長

従来おもに使用されてきた整流装置は、電圧調整装置とシリコンダイオードを使った整流装置との組合せによる方式であった。これに比べ、サイリスタ整流装置には次のような特長がある。

- (1) 無接点で電圧調整ができ、消耗する部分がないので保守が簡便である。
 - (2) 電圧調整装置が不要のため占有床面積が小さくてすむ。
 - (3) 効率が高い。
 - (4) 定電流制御など速応制御が可能である。
 - (5) 交流系統の異常時には自動シャ断し、正常に復帰すれば直ちに自動投入が無接点でできる。
 - (6) 事故電流のシャ断が非常に早い。
- 一方短所としては次の点があげられる。

- (1) 位相制御を大きくすると力率が悪くなり、このため力率改善用コンデンサが必要となる。
- (2) 交流側に高調波電流を生ずるので、大容量装置にあっては、必要に応じて12相、18相、24相、36相、48相.....などの多相化を行なうことともに、交流側に高調波フィルタを設けねばならない。

一般にこれらの短所はそれぞれ補う方式の採用により、解決されているので、運転上なんら問題なく、56MWサイリスタ整流装置の実績もこれを裏書きしている。以下に二つの事例につきその概要を紹介する。

4.3 アルミニウム製錬用56MW整流装置の例

本装置のおもな仕様と特長は次のとおりである。図12は概観を、図13は単線接続図を、図14は交流電源154kV側の電圧波形を示したものである。

- (1) 仕 様
 - (i) 設備容量 定格出力 56 MW 700 V 80 kA
整流相数 48 相
 - (ii) 単器容量 定格出力 14 MW 700 V 10 kA×2
整流方式 3相全波ブリッジ×2 (12相)
サイリスタ 250 A 1,900 V 図15参照
冷却方式 変圧器, 整流器とも送油風冷
 - (iii) 制御方式 自動定電流

- (2) 特 長
 - (i) 48相整流方式とし、交流電源側に生ずる電圧ひずみを小さくするとともに第5, 7, 11, 13調波に対しハイパスフィルタを設置し、図14に見られるようなひずみの小さい電圧波形を得た。
 - (ii) ワンタッチ一括起動によるソフトスタート方式とし、それぞれ位相の異なる8セットの並列サイリスタ群を同時にスタートし、起動過渡時における分担電流を適正配分しながら所定電流まで増加させることができた。
 - (iii) 整流器用変圧器とサイリスタキュービルを一体構造とすることおよび、負荷時電圧調整器の不要により、据付床面積の縮小と工事期間の短縮ができた。

4.4 PR電解用4.4MW整流装置

P R法銅電解に用いられる本装置のおもな仕様と特長は次のとおりである。図16は単線接続図である。

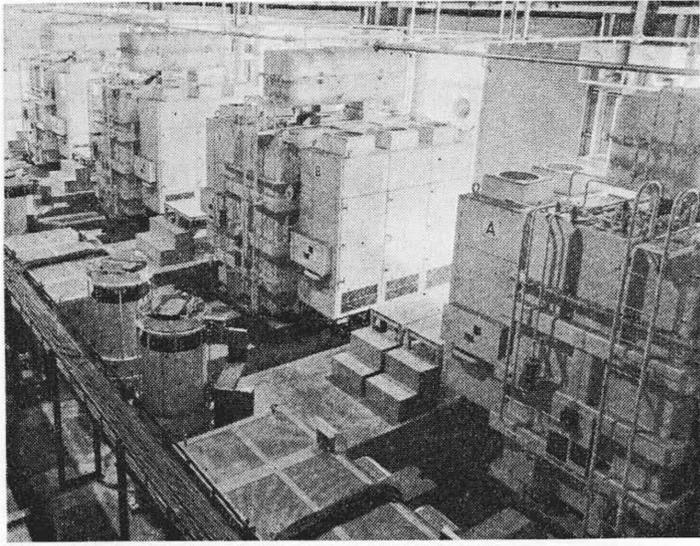


図12 56,000 kW, 700 V, 80,000 A
サイリスタ整流装置

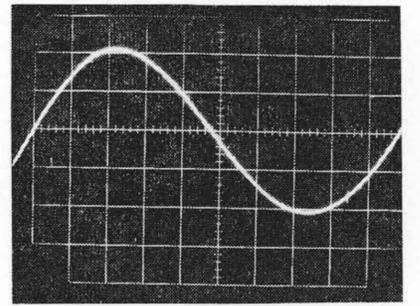
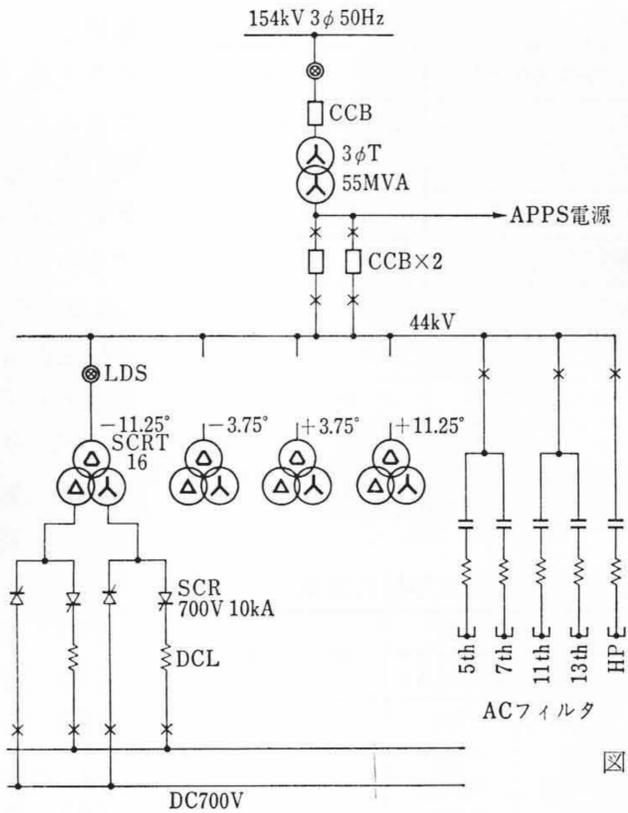


図14 56 MW サイリスタ
整流装置 154 kV AC
電圧波形

図13 56 MW サイリスタ
整流装置単線接続図

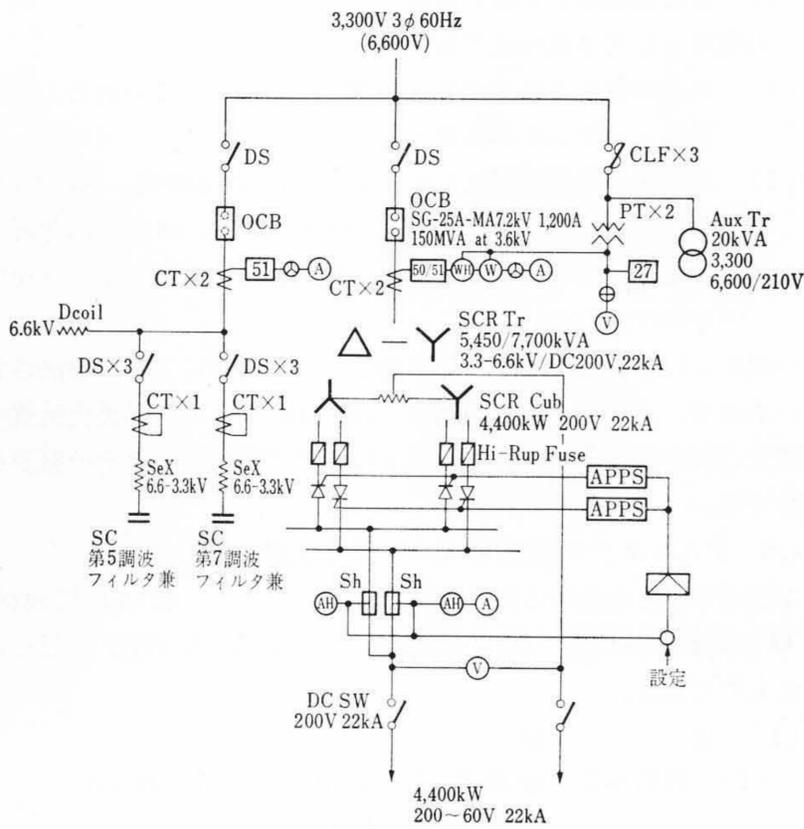


図16 PR 電解用 4,400 kW サイリスタ整流装置
単線接続図



図15 250 A
1,900 V
サイリスタ

ロックを行ない、誤動作による内部短絡の発生しない方式とした。

4.5 大容量サイリスタ整流装置の問題点

サイリスタの大容量化が進むにつれ、単器整流器の容量増大は比較的容易に達成されると考えられるが、一方冷却の問題、しゃ断容量の大きいヒューズの開発とサイリスタとヒューズの協調の問題が重要となってくる。

また電解用整流装置が100~200 MWのサイリスタ装置になると高調波のみならず、制御する電力幅が大きいため交流電源系統にサージを与えるなどの問題が生ずる懸念があり、電源容量と合わせて計画時にじゅうぶん検討を要する問題と思われる。

5. 結 言

16A 400V サイリスタがGE社から最初の製品として発表されて以来、10年以上経過したが、現在、日立製作所では800A 1,200V, 400A 2,500V サイリスタが量産され、400A 1,200V が世界にさがかけて開発される段階となった。一方これらのサイリスタを使った装置も多種多様となって、圧延機用や電解用として一つの設備で数万kWから10万kWに及ぶ大容量装置が運転されている現況であり、今後はさらに大容量装置の需要が増大していくものと考えられる。これに対して、大容量素子の開発とその最適の使用法を発展させて、信頼性と経済性の高い電源装置となるよう、さらに研究を進めてゆく所存である。

終わりにあたり、サイリスタ装置の採用を賜った需要家各位と常にご指導いただいている関係各位に厚くお礼申し上げる。

参 考 文 献

- (1) 和島, 小川, 岩田: 最近の電力用サイリスタ 日立評論, 48, 1199 (昭41-10)
- (2) 守田, 松平, 和島: 大電流高耐圧シリコン制御整流素子 日立評論, 47, 1034 (昭40-6)
- (3) 和島, 小島: 2,500V-400A CH03形サイリスタの電流容量についての考察 日立評論, 50, 746 (43-8)
- (4) Dante E. Piccone, I. Steve Somos: Ave You confused by high di/dt SCR ratings? Jan. p.89~92. The Electronic Engineer.
- (5) 電解用直流電源: 電気工学年報 374 (昭40年度版)

- (1) 仕 様
- 直 流 出 力 4,400 kW×2 (正, 負用)
 - 出 力 電 圧 ±200 V
 - 電 圧 調 整 範 囲 200~60 V
 - 出 力 電 流 ±22,000 A
 - 制 御 方 式 自動定電流, 自動一定周期切換
 - 整 流 方 式 二重星形相間リアクトル付6相
 - サイリスタ 250 A 1,000 V
 - 冷 却 方 式 変圧器, サイリスタとも送油水冷
- (2) 特 長
- (i) 正方向と負方向との自動切換は無接点タイマーによる方式であるので、正方向通電期間, 負方向通電期間を任意に設定できる。
 - (ii) 交流電源側に生ずる高調波ひずみおよびフリッカを事前に検討し対策を行なった結果、とくに問題は起こらなかった。
 - (iii) 正負同時通流とならぬよう、制御回路には厳重なインタ