

サイリスタ装置の信頼性と保護協調

Reliability and Protection of Thyristor Equipment

岩 田 幸 二* 守 田 啓 一**
 Kôji Iwata Keiichi Morita
 地 福 順 人** 鈴 木 豊**
 Yorito Jifuku Yutaka Suzuki

要 旨

サイリスタの装置の信頼性は装置を構成するサイリスタをはじめとする部品固有の信頼性、それらの部品の装置への適用の仕方、万一の事故に対する保護の仕方、取り扱い、保守の仕方によって左右される。サイリスタ自体の故障率は 10^{-8} ~ 10^{-9} 個/hであり、適正な適用、保護、取り扱いおよび保守が行なわれるならばサイリスタ装置は従来の電動発電機または水銀整流器にすぐれる信頼度を有するものである。

1. 緒 言

サイリスタ装置の信頼性は大別して次の三つの要因により左右される。

- (i) サイリスタ装置を構成する部品の品質
- (ii) サイリスタ装置への部品の適用技術
- (iii) サイリスタ装置の取り扱い技術

図1はアメリカにおける電気通信機器の故障分布の一例を示すもので、部品の適用技術が大きな要因をもっていることを示している。

(i)の部品の品質については次の2点が問題となる。

- (1) サイリスタ固有の信頼度
- (2) その他の付属部品の信頼度

(ii)の適用技術については

- (3) サイリスタの装置への適用の仕方
- (4) その他の付属部品の容量の選定などの適用の仕方
- (5) サイリスタ装置の適切な動作のさせ方
- (6) 誤動作の防止
- (7) 異常現象に対し事故波及を防止する保護協調のとり方
- (8) サイリスタ装置の適用される設備との協調の考慮
- (9) 外周条件に対する考慮

(iii)の取り扱い技術については次の考慮が必要である。

- (10) サイリスタの適切な取り扱い
- (11) 適切な 運 転
- (12) 適切な 保 守

本稿においてはサイリスタ特有の問題としての(1), (3), (7)を中心として述べる。

2. サイリスタの信頼度

サイリスタの信頼度は次の品質管理により保証されている。

- (1) 素子の過酷な仕様条件に対し電子計算機などを使用し最も合理的な設計を行なう。
- (2) 素子に使用される材料について厳重な受入試験を行ない、特に重要な特殊溶剤などを自家で製造する。
- (3) 生産ラインに対しては高度の技術とふん囲気の清浄化をはかり、各工程において厳格な合否の判定を行なう。強制寿命試験の結果を各工程にフィードバックし製作技術の改善を行なう。
- (4) 強制寿命試験を行ない、統計的手法により混在するかも知れない不良素子をふるい落とす(De-Bugging)とともに、素子の寿命の推定を行なう。

* 日立製作所日立研究所 工博

** 日立製作所日立工場

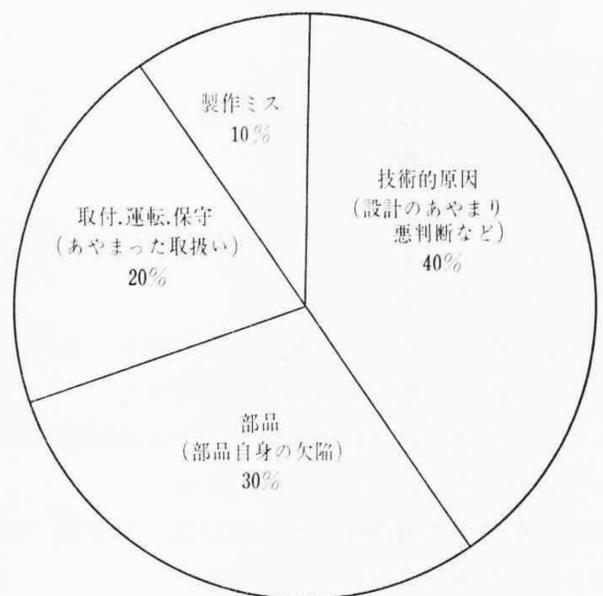


図1 電気通信用機器故障原因構成比率

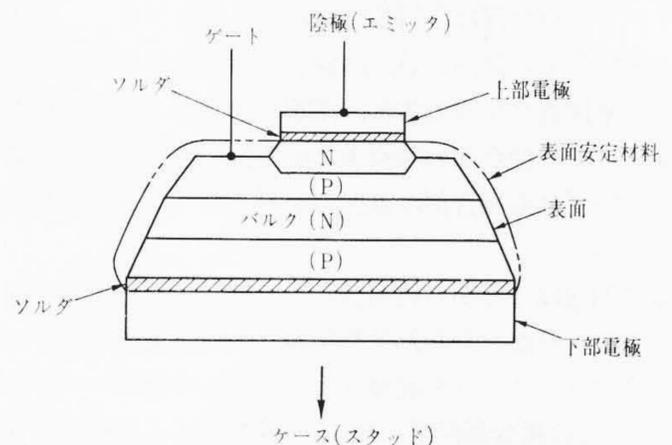


図2 サイリスタの接合部構造

2.1 サイリスタの故障要因と製作上の対策

サイリスタの接合部は次のような過酷な条件で使用されている。

- (1) 厚みが0.5mm以下で1,000V以上の電圧を阻止せねばならない。
- (2) 接合端面部での電界強度は数10kV/cmに達する。
- (3) 数分の1グラムの質量で数百ワットの損失が生ずる。

したがってサイリスタは定められた定格条項以内で使用せねばならないが、なお素子自体の寿命に関連する劣化要因として、大別して次の三つがあげられる。

- (1) 接合部の表面劣化に伴う耐圧劣化およびゲート特性劣化
- (2) 熱疲労による順電流、熱特性の劣化
- (3) スイッチング損失による接合内部(バルク部)の劣化

素子の耐圧劣化はほとんどの場合表面状態の劣化に基因する。また表面劣化はゲート特性を劣化させ、さらに表面劣化による漏れ電

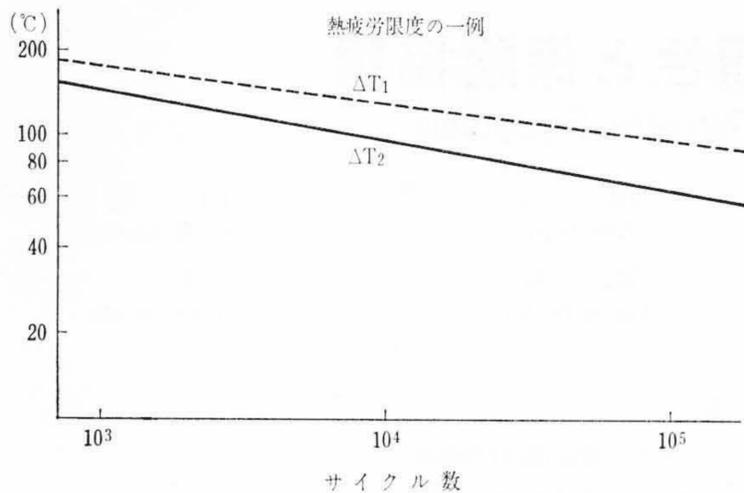


図3 熱疲労特性

流が局部的に増大すると表面電流ゲインが増しブレイクオーバー電圧が低下する。図2はサイリスタの接合部の構造を示したものである。

表面劣化は

- (1) 接合端面的の電界強度の局部的過大
- (2) 表面部への不純物の付着
- (3) 気密(シール)不良

により促進される。したがってこれに対しては次の対策により不良素子の発生を防止している。

- (1) 電子計算機によりベベル角度, 拡散深さ, 比抵抗の関係を定め, 合理的な端面電界強度を設定する。
- (2) チャンネル発生のない表面処理技術と表面安定剤の採用により表面の安定, 不活性化をはかる。
- (3) 製作ふん囲気の清浄化, ガス出し法の適正化, および封じ切りふん囲気の高品位化をはかる。
- (4) パッケージ封入技術とパッケージ方式の合理的な選定により気密度の確保, および漏えい管理を行なう。

サイリスタの接合部は小質量のため熱時定数が短く, 間欠, 変動負荷による接合部の急熱, 急冷は接着部の相互の材料の熱膨張倍率の相違により接着溶ダの劣化, 極端な場合には近接材料の割れを生じさせる。この接合部の熱疲労は熱抵抗の増大, 順電圧降下の増加となり, いずれも接合部の温度過上昇となり, 表面劣化→耐圧劣化につながる。

熱疲労の問題は早くから糾明されており, 接着技術および溶ダに種々の改良が行なわれた結果数年前より問題となっていない。

図3は日立サイリスタの温度変化に対する寿命のレベルを示したもので, たとえば接合部温度が65°Cの変化幅で5分間に1往復の割合で休みなく変化した場合でも20年の寿命を有することを示している。またサイリスタはシリコンダイオードに比べ接合部の運転温度が低いので熱疲労に対しては信頼度が高いといえる。

スイッチング損失による劣化はターンオン, ターンオフ時のスイッチング損失によりバルクが破壊されるもので素子の適用技術と密接な関連を有している。

サイリスタはターンオン時, ゲート近傍からターンオン領域が広がっていく。ターンオン領域が十分でない時点において主電流の立上りが大きい場合にはまだ順電圧も高いため小さなターンオン領域に過大な瞬時損失を発生させるためその部分で接合部の損傷を招く。したがって素子の適応上電流の立上り(di/dt)を十分低減する必要があるが日立サイリスタは次のFI構造と称する特殊構造により di/dt 耐量は高くなっている。

図4に示すように接合計の一部を加工した構造である。まずゲート信号がはいると主電子流は①の流れを示し②③間に電圧降下を生ずる。この電圧降下は電流の di/dt を押えるとともに④点の電位が

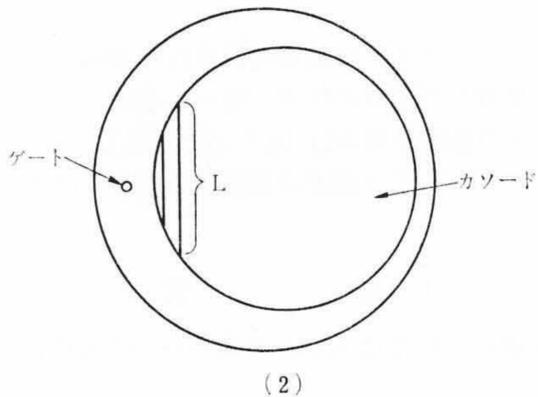
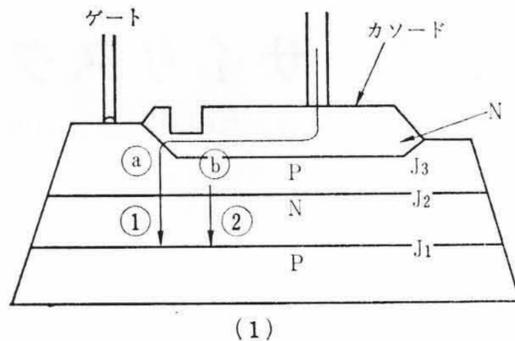


図4 FI構造モデル図

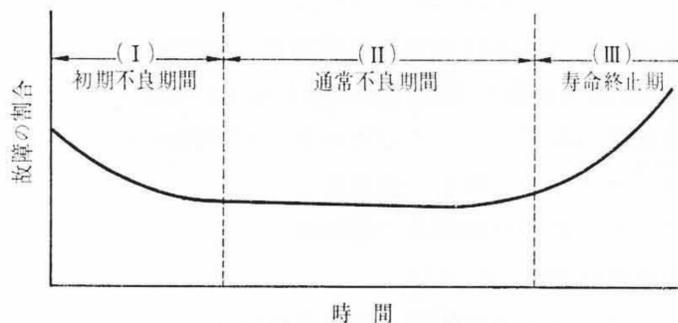


図5 故障の時間的経過

降下するため J_2 接合が順方向にバイアスされ電流②を促進させる。このため主電流の di/dt は初めは押えられ, 次に L の端部よりいっせいに通流を開始するので初めからターンオン領域の広い形となり di/dt 耐量が普通形の5~10倍にも達している。この構造はおもに高耐圧の素子に適用されている。

なお素子のスイッチングに対する留意点については適用技術の項で述べるようにこれに止まらないが, 適用技術が十分であれば問題とはならない。

素子の構造および製法の詳細については別論文「最近の電力用サイリスタ」を参照願いたい。

2.2 サイリスタの劣化パターン

サイリスタの劣化の発生は図5に示すような三つのパターンに区分される。

- (1) 初期不良
- (2) 通常不良
- (3) 寿命終期による不良

このサイリスタの劣化パターンはワイブル関数で表示することが可能であり, したがって縦軸に累積不良率をLog-Logスケールで, 横軸に運転時間をLogスケールでとれば図6のワイブルチャートを示し, 曲線のこう配と屈曲点より分布パラメータ m および位置パラメータ x_0 を求めることができ, サイリスタの信頼度の水準を知ることができる。

$m < 1$ は瞬時故障率が時間とともに減少する安定期形であり通常不良はこの形となる。 $m > 1$ では瞬時故障率が時間とともに増加し寿命終期の不良がこれに当たる。 $m = 1$ は指数分布形, $m = 4$ は正規分布となる。同一劣化要因による m の値は一定値を示すので m

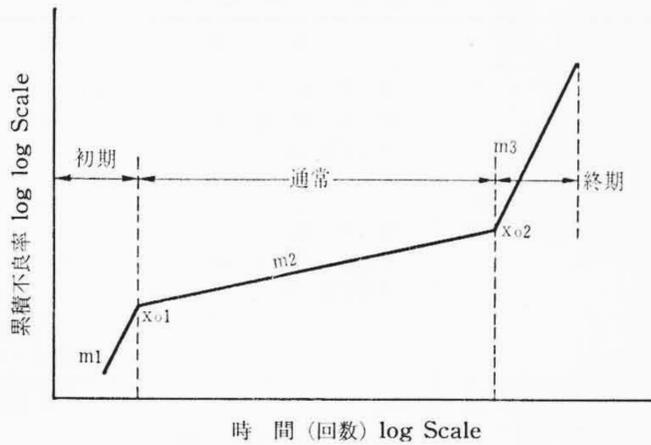


図6 ワイブルチャート

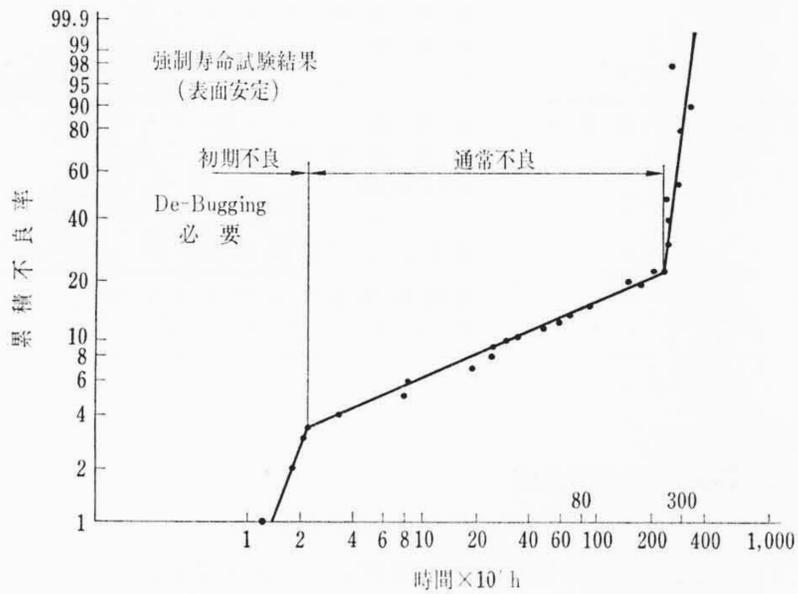


図7 ワイブルチャートの一例

の値により劣化原因の推定も可能である。

2.3 強制寿命試験と信頼度の保証

サイリスタが通常使用される条件に対し温度、電圧などを高くして過酷な条件で使用すれば寿命は短くなる。たとえば半導体素子の場合、寿命と接合部の温度 T の関係は次の(1)式で示され、接合部の温度が 40°C 変わると寿命が1けた変わることの意味している。図3の温度サイクルと熱疲労の関係もこのことを示している。

$$\text{寿命} \propto \exp(-E_g/2kT) \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 E_g : シリコンの活性化エネルギー
 k : ボルツマン定数

したがって試験条件を加速させること、すなわち強制寿命試験によれば短時間に素子の寿命を推定することができる。ただし強制寿命試験の結果から素子の信頼度を判定する場合には、製法が同一で長時間の運転実績を有するシリコンダイオードなどのフィルトデータとの相関性を十分確認する必要がある。

表1に強制寿命試験項目と加速要因を、図7に表面劣化に対する強制寿命試験の結果のワイブルチャートを示す。

強制寿命試験によるワイブルチャートを利用して試験条件を設定し、全数試験を行なうことにより初期不良素子をふるい落とすことができる。表2は出荷時の試験とふるい落とし要因を示している。ふるい落とし試験の不良率がある水準に達すれば生産ラインへ迅速にフィードバックされ、生産ロットに対するさらに過酷なふるい落とし試験の実施、出荷限定の処置がとられ信頼度の保証が行なわれる。

こうしてサイリスタの信頼度は故障率で $10^{-8} \sim 10^{-9}$ に保つことが可能である。

3. 付属部品の信頼度

抵抗器、コンデンサ、ダイオード、トランジスタなどサイリスタ

表1 強制寿命試験と加速要因

劣化要因	試験法	加速要因
表面劣化	高温放置試験	接合温度
	高温ブロッキング試験	接合温度、印加電圧
順電流特性劣化	間欠負荷試験	通電電流、接合温度の変化率、ベース温度の変化量および変化率
	熱サイクル試験	接合温度の変化量、ベース温度の変化量および変化率
	連続通電試験	接合温度、通電電流
スイッチングによる特性劣化	di/dt 試験 プラズマ広がり試験 ゲートパワー試験	電流変化率と印加電圧 接合温度、通電電流

表2 初期不良品のふるい落とし試験

試験項目	ふるい落とし要因
高温放置試験	封入ふん囲気、表面処理不良
高温ブロッキング試験	封入ふん囲気、表面処理不良
冷熱サイクル試験	接着不良
熱抵抗試験	接着不良
漏えい試験	溶接、ロー付部またはシール不良
動特性試験(特殊品)	動特性不良

表3 過電圧と保護装置

過電圧	保護装置
電源側開閉サージ	サージアブソーバ セレンアレスタ
負荷側開閉サージ	直流側サージアブソーバ 直流側セレンアレスタ
雷サージ	サージアブソーバ セレンアレスタ
転流時振動電圧	A-K間C+R
過電圧	過電圧リレー [㊟]

装置の付属部品の信頼度はサイリスタ装置としてはサイリスタと同等の信頼度を要求される。

これらの部品の信頼度も使用条件によって大きく左右されることが知られている。したがって日立製作所ではこれらの部品の受入試験を厳重に行なうとともに、容量を十分に低減して信頼度の確保を行なっている。たとえば巻線形抵抗器などでは断線事故を防ぐために巻線径をある値以上にとり、そのため抵抗器の容量は必要容量の10倍以上に及ぶこともある。

以上の部品の信頼度の詳細についてはそれぞれの文献を参照願いたい。

4. サイリスタの装置への適用と保護協調

半導体素子はその定格以上の電圧および電流が印加される場合には必ず破壊されるものと考えねばならない。したがってサイリスタの定格は過渡時の異常現象も含めて回路に予想される電圧、電流以上のものを選定せねばならない。また逆にサイリスタの回路では、サイリスタの動作責務がサイリスタの定格以下になるように異常電圧および電流を抑制せねばならない。さらに万一サイリスタが破壊した場合、事故が他のサイリスタの事故に波及することを防止せねばならない。

4.1 電圧に対する考慮

サイリスタの電圧定格の選定にあたっては回路の動作せん頭電圧のほかに電源電圧変動、電源側および負荷側の開閉サージ、雷サージおよび転流時の振動電圧を考慮する必要がある。表3にこれらの異常電圧に対する保護装置を示す。これらの異常電圧はシリコンダイオードの実績より通常の場合動作せん頭電圧の2倍以下に抑制される。したがってサイリスタの電圧定格は通常電源電圧が10%上昇

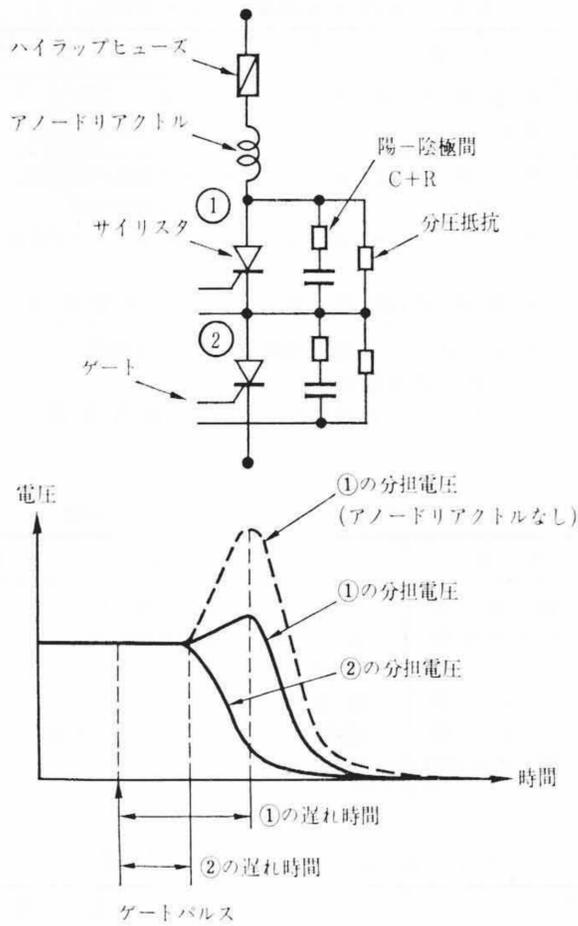


図8 ターンオン時の電圧分担

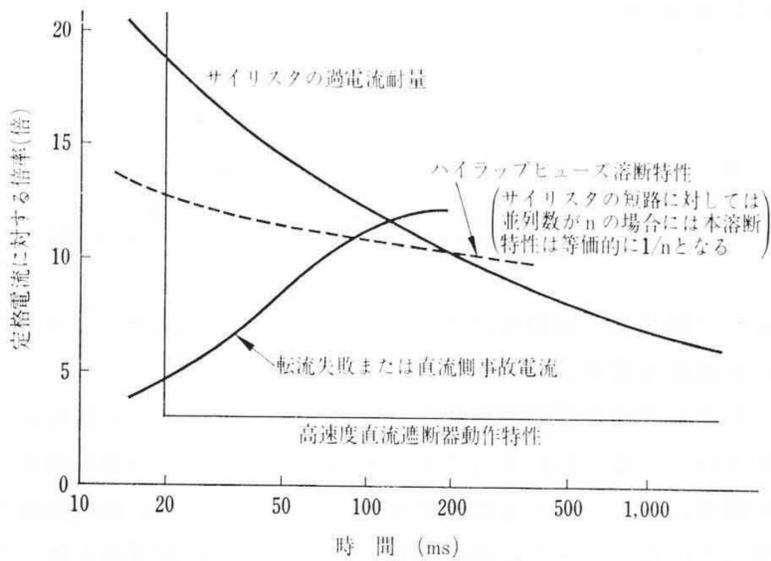


図9 過電流保護協調曲線

しているとき200%のサージが発生することを予想して動作せん頭電圧の2.2倍に選定している。

素子を直列に接続する場合には分圧抵抗および分圧C+Rを素子と並列に接続するが、サイリスタの場合には特にターンオン時の電圧分担が問題となる。サイリスタはゲート信号を同時に入れてもターンオンまでの遅れ時間にバラツキがあり、必ずしも同時にターンオンしない。したがって直列素子のうち1個を残して他の素子がすべてターンオンした場合残りの素子は回路の全電圧を負担しその後ターンオンすることとなり、あとに述べるスイッチングパワーにより破壊されることがある。その防止策として図8に示すようにアノードリアクトルをそう入してターンオンの遅れによる素子の並列Cの電圧のはね上がりを押え、遅れ時間のバラツキの間に素子が過電圧になることを防止している。実用的な回路定数にするためには直列素子間の遅れ時間のバラツキも1μs程度以下に選定する必要がある。またアノードリアクトルは通常の鉄心入りでは励磁電流によりその効果を果たさないで注意が必要である。定常状態における直列素子間の電圧不平衡率を5%以内に押えることも可能であるが、ターンオン時の不平衡は上記の対策をほどこしても20%以上になることがあるので、その電圧からのターンオンに耐える素子を

表4 過電流と保護装置

過電流	保護装置
過負荷	過電流リレー ⑤⑥ 直流過電流リレー ⑦⑧ HSCB ⑤ ゲートサブレッサ ⑨⑩
直流短絡電流	過電流リレー ⑤⑥ 直流過電流リレー ⑦⑧ HSCB ⑤ ハイラップヒューズ ⑦⑩ ゲートサブレッサ ⑨⑩
アーム短絡 (素子破壊)	ハイラップヒューズ ⑦⑩ 過電流リレー ⑤⑥ ゲートサブレッサ
転流失敗電流	HSCB ⑤ 直流過電流リレー ⑦⑧ 過電流リレー ⑤⑥ ハイラップヒューズ ⑦⑩
通弧による過電流	過電流リレー ⑤⑥ 直流過電流リレー ⑦⑧ HSCB ⑤ ハイラップヒューズ ⑦⑩ 通弧および失弧検出リレー ⑪
冷却不良	電磁開閉器サーマルリレー 素子サーマラーム

選定する。

4.2 電流に対する考慮

電流の通用に対しては次の考慮が必要である。

- (1) 素子接合部の温度が許容温度以下であること。
- (2) 間欠、変動負荷に対しては接合部およびベース部の温度変化が要求されるサイクル数に耐えるものであること。
- (3) 異常時の過電流に対し過電流耐量を有し保護されていること。

(1)は当然のことであるが素子の通電電流の平均値が同一でも電流波形が異なる場合には発生損失も異なってくることに注意する必要がある。(2)の条件は図3より決定される。(3)は保護装置との協調が必要である。表4は過電流に対する保護装置を、図9は保護協調曲線の一例を示したものである。保護装置はサイリスタ装置の用途、容量などにより適宜選定される。図9の保護協調曲線はサイリスタの万一の破壊による事故電流に対しては素子と直列のハイラップヒューズ(高速度限流ヒューズ)が遮断して破壊素子を回路から切離し、負荷側の事故電流あるいは転流失敗電流に対しては高速度直流遮断器が動作してハイラップヒューズは溶断しないことを示している。

素子を並列に接続する場合には素子の順電圧降下のマッチングをとることおよび接続導体の適正配置を行なう必要のあることはシリコンダイオードの場合と同一であるが、サイリスタの場合さらに次の注意が必要である。

図10においてターンオン時の遅れ時間のバラツキにより1素子のみさきに点弧した場合、サージアブソーバおよび他の並列素子の並列Cの放電電流がその素子に集中して流入し、電流のdi/dtが高いので数μs以内に数十Aにも達する。遅れて点弧する素子も同じdi/dtで電流が立上るが図のΔIだけ低い電流値となる。その後コンデンサの放電が終わって主回路電流が立上ってくるときには各素子の電流はバランスして流れ、転流が終わったあとは並列素子間の時定数により電流は平衡に近づいてくるが、初めのΔIの影響はそのまま残るので平均電流は大きくアンバランスすることになる。したがってこの場合もアノードリアクトルをそう入してdi/dtを押えるとともに素子の遅れ時間のバラツキを数μs以内に選定している。サイリスタの電流平衡用として各素子にバランサをそう入すること

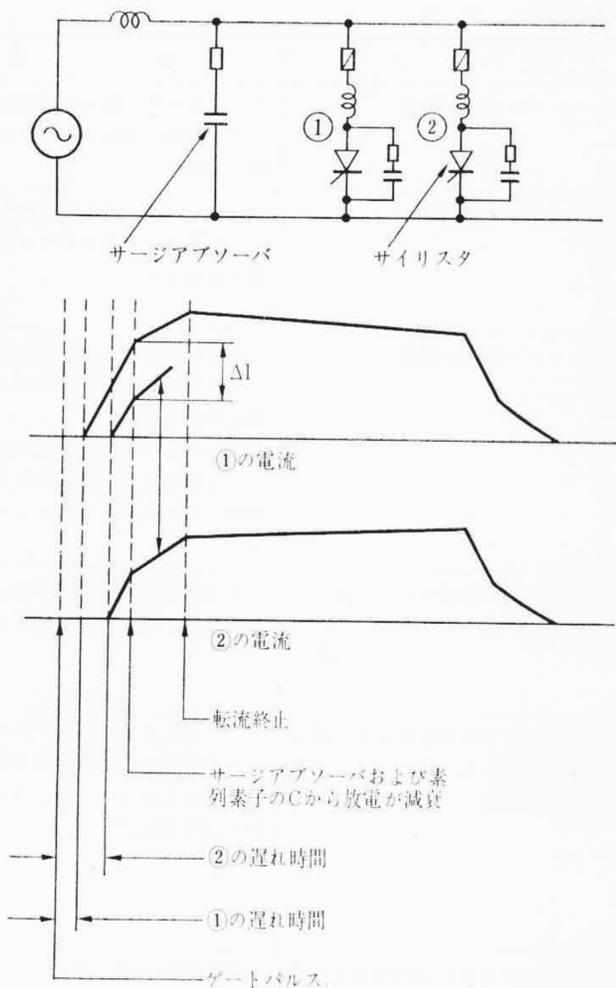


図10 ターンオン時の点弧遅れ時間による電流不平衡モデル図

も行なわれることもあるがさきの電圧分担に対する効果が少ないこと、および重量が大になることのためにあまり得策ではない。

以上の考慮により並列各素子間の電流不平衡率は±20%以内に押えられている。

4.3 di/dt, スイッチングパワーに対する考慮

2.1項で述べたようにサイリスタはターンオン時の di/dt またはスイッチングパワーを制限する必要がある。

ターンオン時の電流の突入は並列Cの放電によるものと、他の素子の並列C、サージアブソーバのCの放電および主回路電流によるものがあり、後者はアノードリアクトルで di/dt を制限する。並列Cの放電電流はCの直列Rで制限され、di/dtは素子の立上り時間で定まる。FI構造の素子はスイッチングパワーを低減させるとともに高い di/dt 耐量を有するが、それでも di/dt およびスイッチングパワーをチェックし可能な限り回路的にこれを低減せしめている。

高周波回路ではターンオンおよびターンオフ時のスイッチングパワーの平均損失も無視できなくなる。

4.4 ゲートに対する考慮

ゲートはサイリスタを正確に動作させるために十分な信号を与えてやる必要があると同時に主回路と同様、電圧、電流に種々の制限がある。またノイズに対しては誤動作をしてはならない。

図11にゲートのV-I特性を、図12にゲートの回路を示す。ゲートの負荷曲線は常にハッチング部分のうえにあり、許容電圧、電流の下になければならない。ゲートパルスは素子の遅れ時間のバラツキを少なくするために立上り時間1~2 μsの急しゅんなものとする。パルス幅はサイリスタ装置の回路条件により決定される。

ノイズによる誤動作防止対策としてはゲート配線をシールド線あるいはより線とし最短配線とする、主回路配線との位置関係を適正にして誘導を最小にするなどのほか、ゲート端子間にCをそう入してノイズを吸収している。特にノイズが問題になる場合には接合部温度を低くして非点弧電圧、電流の増大をはかることもある。

図12のダイオードD₁はゲートに逆電圧が印加されることを防止

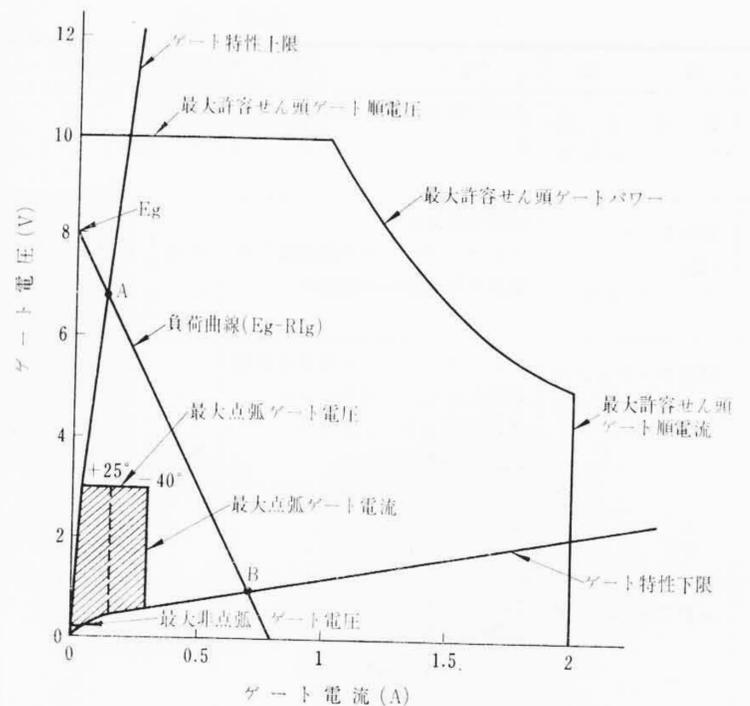


図11 ゲート点弧特性の一例

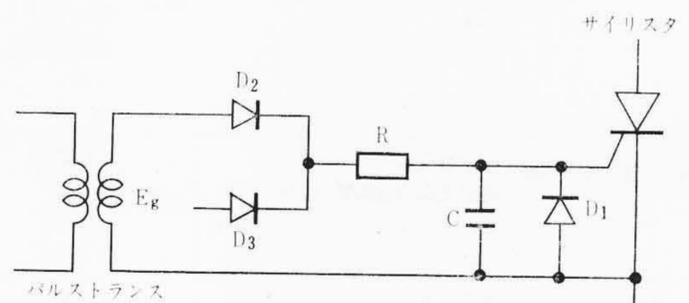


図12 ゲート回路の一例

表5 サイリスタの種類と対策

ノイズ	対策
静電誘導	シールド線の使用、配線の適正配置 金属シールド
電磁誘導	往復配線の密接（シールド線の芯線と外線を往復配線に使用、往復配線のより合わせ）、配線の適正配置、金属シールド
接地不良によるノイズ	共通接地母線の完備 接地法の適正化
熱起電力によるノイズ	接触機材の選定 サーミスタによる補償
摩擦起電力によるノイズ	ケーブルの固定
飛来ノイズ	ノイズ発生源での防止 金属シールド ノイズフィルタの設置
電源ノイズ	電源側にフィルタをそう入
振動によるノイズ	振動の防止 接触の完全化

している。Cは次の dv/dt による誤動作防止にも有効である。

またサイリスタに逆電圧が印加されている状態でゲートパルスを入れると逆電流がゲート近傍に集中して流れ接合部を損傷することがある。

4.5 dv/dt に対する考慮

サイリスタは順方向に急しゅんな電圧が印加された場合、ゲート信号を与えることなく点弧することがある。他相の転流による陽-陰極間電圧の急変および高周波インバータの順電圧の立上りにおいて問題となる。他相の転流による電圧の変化は電源側のリアクタンスとサージアブソーバなどの並列コンデンサによって定まるため、サージアブソーバは dv/dt もサイリスタの許容値以下になるように選定している。

表6 サイリスタ装置の事故と対策

事故	現象	運転	動作リレー	表示	確認	対策
1 素子1個 ブレイクダウン	直列の他の素子が逆方向に過電圧	継続		不良素子のネオンランプ消灯	ネオンランプの消灯を確認	できるだけ早い機会に運転を停止しトレイを引出し不良素子のスタックを予備と交換する。
2 素子1ストリング (2s) ブレイクダウン	相间短絡となり ハイラップヒューズが溶断し不良素子を回路から切離す。	継続	⑨⑤ 交流側の過電流を瞬時に検出するリレー	軽故障表示 ブザー警報	ネオンランプが2個消灯していることを確認	できるだけ早い機会に運転を停止しトレイを引出し不良素子のスタックを予備と交換する。
3 素子1ストリング ブレイクオーバー	ブレイクオーバーした素子は過電流になり、ハイラップヒューズが溶断することがある。 制御が不具合となる。 インバーターでは5の状態となる。	継続	⑨⑤ 直流出力の電圧波形の異常を検出するリレー	軽故障表示 ブザー警報 ハイラップヒューズが溶断すればネオンランプが消灯	ネオンランプの消灯を確認	できるだけ早い機会に運転を停止しトレイを引出し不良素子のスタックを予備と交換する。 なお、ネオンランプの消灯がなければトレイを引出し、素子の逆方向抵抗を測定し、不良素子のスタックを交換する。
4 APPS故障	欠相 制御が不具合となる。インバーターでは5の状態となる。	継続	⑨⑤	軽故障表示 ブザー警報 APPSのランプが消灯	APPSのランプが消灯していることを確認	できるだけ負荷を低減し早い機会に運転を停止して不良APPSを交換する。
5 転落失敗	短絡となり素子過電流高速度直流遮断器が動作する。 (ハイラップヒューズは溶断しない)	停止	(54P) 高速度 直流遮断器 ⑦⑥ 直流過電流リレー ⑨⑤	重故障表示 ベル警報	APPSのランプの消灯確認また無負荷にて電源を生かし、ネオンランプの消灯の有無を確認	ランプまたはネオンランプの消灯あればAPPSまたは不良素子を交換する。 ランプまたはネオンランプの消灯がなければ再運転。
6 直流短絡	素子過電流 高速度直流遮断器が動作する。 (ハイラップヒューズは溶断しない)	停止	(54P) ⑦⑥ ⑨⑤	重故障表示 ベル警報	DCM閉絡など直流短絡の原因を確認	短絡の原因を取り除く。
7 過負荷	素子過負荷	停止	⑩① 交流過電流リレー ⑦① ⑨⑤	重故障表示 ベル警報	過負荷の原因を確認	過負荷の原因を取り除く。
8 冷却風量低下	素子温度過上昇	停止	(26S) 素子の温度上昇を検出するリレー	重故障表示	キュービクルの冷却風吸込口が詰まっているか冷却扇がとまっているかを確認	冷却風吸込口が詰まっていればその原因を取り除き、冷却扇がとまっていれば9と同様の対策を行なう。
9 冷却扇停止	素子温度過上昇 放置すれば8の状態になる。	継続	(88B) 冷却扇用電磁開閉器のb接点	軽故障表示	冷却扇が停止していることを確認	できるだけ早い機会に運転を停止し、冷却扇の電源の停電あるいは変動によるものか、冷却扇の故障によるものかを調べ冷却扇の故障ならば予備と交換する。

4.6 転流余裕角に対する考慮

インバータにおいては常に転流余裕角はサイリスタのターンオフタイム以上でなければならない。サイリスタのターンオフタイムは数十から最悪条件でも数百 μ s以下のため商用周波のインバータでは特に問題とならない。高周波インバータに対してはターンオフタイムの短い素子が開発されている。

5. サイリスタ装置の制御装置と誤動作防止

サイリスタの制御装置は半導体素子による無接点回路で構成されており消耗部分は皆無に近いものとなっている。トランジスタ、C、Rなどの部品はさきに述べたように厳格な受入試験と十分な容量の低減により通常品に対し特に高い信頼度を保持している。また各部品はプリント板に取り付けられモールドまたはワニス処理、あるいは密閉されたケースに収納されておりふん囲気の影響を受けない構造になっている。

制御性能については別論文に述べているがトランジスタ回路のため高ゲインの制御系でもきわめて安定な動作が得られる。

制御系で最も留意すべき点はノイズによる誤動作である。表5にノイズとその対策を示す。ノイズに対する対策は装置の種類、用途によって異なり、熱起電力、摩擦起動力振動によるノイズはサイリスタ装置ではほとんど問題とならない。共通電源より各制御回路の電源をとる場合には相互の影響を避けるためにそれぞれ電源より直

接配線する必要があり、各制御回路を接地する場合にはそれぞれ別別に接地母線へ接地する必要がある。接地母線には各接地点間の電位差を無視できる低インピーダンスのものを使用する。またシールド線の心線と外線を往復回路に使用する場合は、外線を両端で接地すると誘導防止の効果が薄れることになる。

以上の対策に対し、制御回路の電源にそう入された電磁開閉器の入切試験、あるいは制御装置に近設された高速度直流遮断器の動作試験などを行ないその効果を確認している。

複数個のサイリスタ装置を共通電源からとる場合、電源の短絡容量が小さいと相互の整流器の転流時の電源波形ひずみが干渉し合いサイリスタの正常な動作を阻害することがある。また電源波形ひずみがAPPSの位相を狂わすことになる。したがって装置の計画時に十分検討し、整流器用変圧器が共通の場合には各サイリスタに交流リアクトルをそう入する、APPSの電源は変圧器の一次側から別にとるなどの考慮が払われる。

6. 使用条件との協調

サイリスタ装置はサイリスタおよびその他の部品の組合せにより構成されているためいかなる容量、使用条件にもその信頼度をそこなうことなく適合できる。車両用、船舶用にもすでに多くの実績を有し、屋外形にもなんら問題を持たない。すなわち耐震、防滴、防じん、防食などの対策が可能であり、使用条件に対して十分の対策

が取られている。

サイリスタの保護装置もその使用条件によって異なる。万一のサイリスタの破壊に対しても運転を停止することが許されぬ場合には素子の並列数を余分に設け、破壊素子をハイラップヒューズで回路から切離しそのまま運転を続行することが必要である。

サイリスタの適用の仕方も使用条件によって異なる。たとえば間欠負荷の場合には上述のように電流量は接合部またはベース部の温度変化中で決まることもある。

7. サイリスタの取り扱い

サイリスタは消耗部分を有しないため特別の保守を必要としないが、サイリスタ装置の定格以上の使用条件に対しては比較的裕度の小さい限度を有するため過電圧、過負荷での使用は絶対に避けねばならない。適正な運転がなされる限りサイリスタ装置はきわめて高い信頼度が保持される。

万一サイリスタ装置の事故が発生した場合には適切な処置が必要

である。表6に750V大容量サイリスタの事故に対する処置の一例を示してある。

8. 結 言

以上サイリスタの製作上および適用上特に留意すべき点について述べたが、上記の問題点に対し適切な対策がとられるならばサイリスタ自体の故障率は 10^{-8} ~ 10^{-9} 個/hにも達するものであり、サイリスタ装置としては実用上なんらの問題もなく従来のM-G、水銀整流器以上の信頼度を保持することができる。すでに数万kW×年に及ぶサイリスタ装置が運転されているが初期の不良を除いてほとんど問題を生じておらずその高信頼度が裏書きされている。適用上の問題点が洗い出された今後のサイリスタ装置はさらに高い信頼度が期待される。

紙面の都合で断片的な記述となったがユーザー各位のサイリスタ装置の信頼度に対する認識の一助ともなれば幸いとすところである。



特許の紹介



特許第443639号(特公昭39-22768号)

西村正治・古川欽一郎

記録計の打点機構

この発明は記録計のペンキャリッジに取り付けられた多数のペンをペンキャリッジの運動と干渉しないようにして自在に交換使用できるようにしたものである。図はその一例を示したもので、多数のペンを取りつけたペンキャリッジは案内棒の上を左右にしゅう動し得るようになっており、入力用掛糸を介してサーボモータによって移動される。一方タレット式のペン交換部の多数のペンはペン交換用掛糸を介してペン交換用モータによって回転交換される。ペン交換用掛糸は可動プーリに巻き掛けられていて、この可動プーリは補正用掛糸を介してサーボモータによりペンキャリッジと反対方向にペンキャリッジの $\frac{1}{2}$ の速度で移動するようになっている(図の×印を付したプーリは固定軸プーリを示す)。したがって、サーボモータが停止しているときは、可動プーリが静止しているから、タレット式のペンはペン交換用モータによって自在に交換できる。ペン交換用モータの停止時にサーボモータが回転してペンキャリッジが移動するときには、可動プーリがそれと反対方向に $\frac{1}{2}$ だけ移動するから、ペンキャリッジに対するペン交換用掛糸の相対移動は0となり、

ペンが誤って交換されることはなく、サーボモータとペン交換用モータとが同時に動いたときも、その運動は互いに無干渉となる。(松島)

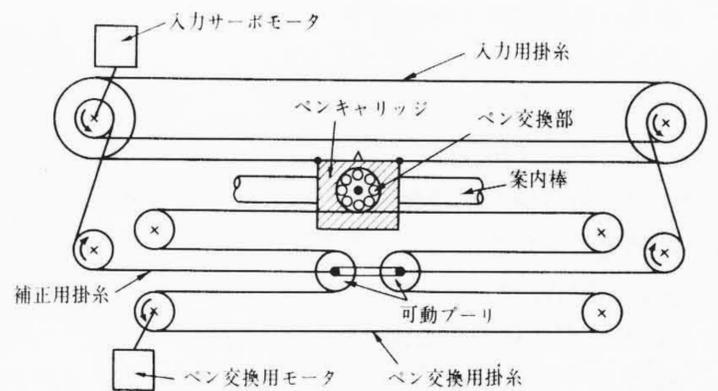


図 1