

電力用半導体整流器の異常電圧保護

Protection of Semiconductor Power Rectifiers Against Abnormal Voltage

森 田 和 夫* 都 築 繁 彦*

Kazuo Morita

Shigehiko Tsuzuki

内 容 梗 概

電力用半導体整流器は多くの長所をもっているが、その反面、過電流、過電圧耐量が比較的小さいという欠点があり、使用する場合には、これらの特性を十分考慮する必要がある。特に整流器用変圧器一次側から侵入する雷サージによる異常電圧にたいしては、従来の避雷器だけでは協調のむずかしい場合が多く、特殊の避雷装置が必要である。本文では現在、日立製作所で半導体整流器保護用として採用している、サージアブソーバとセレン避雷器について述べている。

1. 緒 言

電力用半導体整流器は数年前より実用化され、日立製作所ではすでに昭和33年にゲルマニウム整流器として、14,000 kW の大容量アルミニウム製錬用電源を昭和電工株式会社納入し⁽¹⁾、またシリコン整流器は電鉄用⁽²⁾などに多数納入して⁽³⁾目下好成績裡に運転を続けている。これら半導体整流器は効率が高いこと、容積が小さいこと、運転保守が容易であることなどから整流器分野においては画期的なものであるが、反面、熱容量的には過負荷耐量が比較的小さくまた電圧にたいしては衝撃比が小さい欠点がある。したがって、その長所を最高度に発揮するためには上記の条件を考慮して、十分協調のとれた保護設計を行う必要がある⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。第1表は現在わが国で使用されている半導体整流器の特性を示したものであるが、常時使用電圧と破壊電圧との差はきわめて小さく、外雷にたいして整流器変圧器一次側に設けてある避雷器だけでは十分保護できない場合が多い。耐圧に余裕をもたせるだけならば、エレメントの直列枚数を増せば良いわけであるが、これはエレメントの正方向電圧降下を増し、整流器の効率が低くなり、整流器設備も大形になることによって経済的に不利である。したがって整流器に加わる過電圧をできるだけ低くおさえることが半導体整流器設備を設計する上で重要な問題の一つとなっている。これを解決するためには一般電力機器用避雷器とは異なった特殊の保護装置が必要であって、日立製作所では半導体整流器はもちろん、整流器用変圧器、その他の回路特性を総合的に検討してきわめて保護能率の高い保護装置を開発し、すべての半導体整流器設備に適用している。以下その特性について述べる。

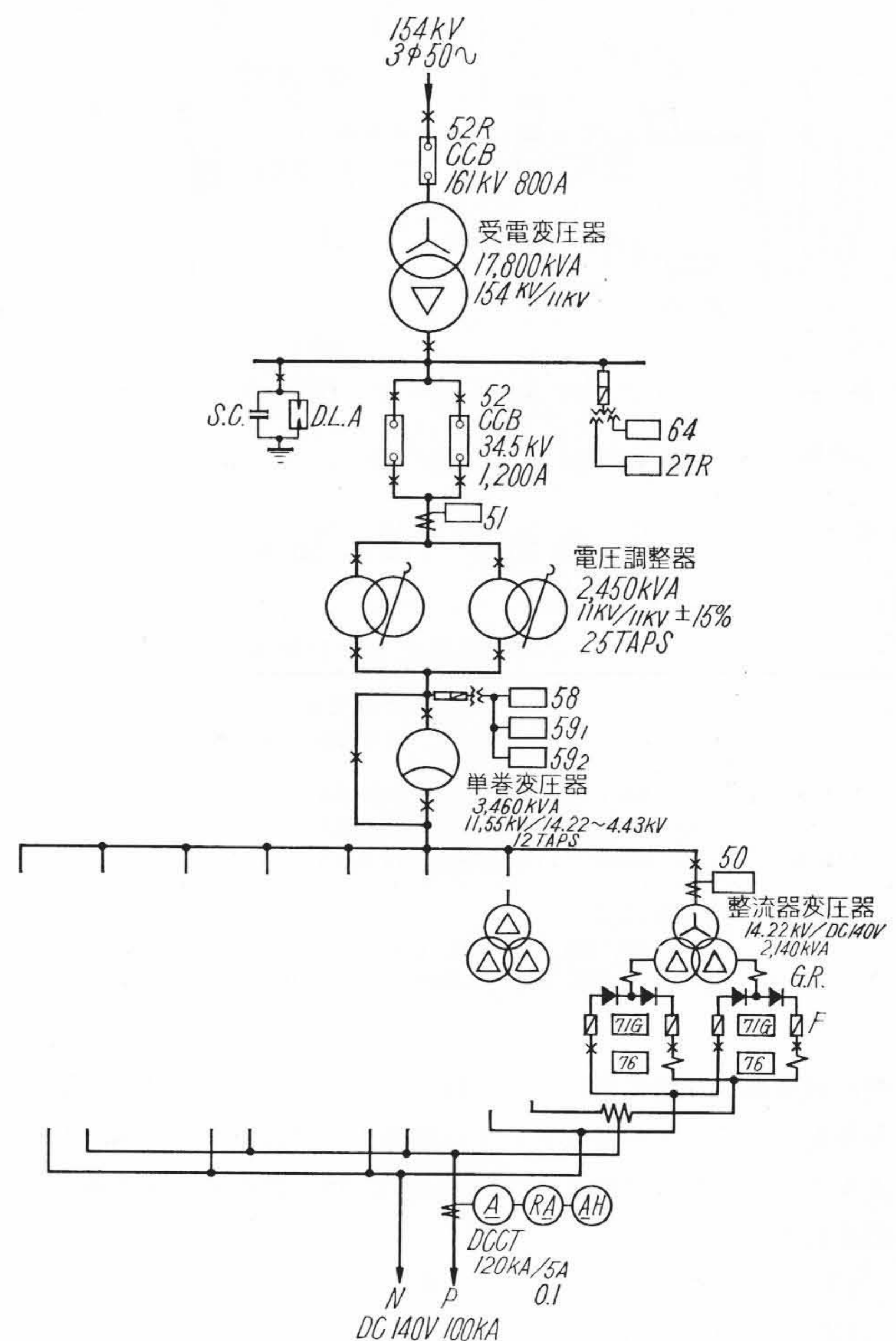
2. 変圧器移行電圧と整流器の関係

一般に電力用半導体整流器は第1図に示すように整流器用変圧器の低圧巻線に接続され、高圧で受電された電力を、低電圧の直流大電流に変えて負荷に供給している。したがって、送電線に侵入した雷サージは高圧巻線より低圧巻線に移行し、整流器に印加される。ところが半導体整流器は前表のように、その定格電圧に比べて衝撃電圧耐量が、一般電力用機器に比較してはるかに小さい。したがって高圧側に一般電力用避雷器が設置してあったとしても、低圧巻線への侵入サージは、整流器耐圧をはるかに超過することがある。

第2表はゲルマニウム整流器用変圧器の低圧巻線へのサージ移行電圧を求め、また高圧側に BIL 相当の雷サージ電圧の侵入を考えた場合の整流器耐圧に対する倍数を示したものである。移行値は一相または二相印加時が最もきびしくて、整流器耐圧の3倍強のサージが移行する計算となる。

第1表 電力用半導体整流器の電圧例

製 造 会 社	ゲルマニウム整流器			シリコン整流器	
	A	B	C	D	E
定 格 電 圧 (RMS V)	65	65	65	210	280
連 続 定 格 尖 頭 値 (PI V)	92	92	92	300	400
商 用 周 波 瞬 時 耐 圧 尖 頭 値 (V)	200	200	—	400	400
衝 撃 波 耐 圧 (V)	300	300	—	400	400
試 験 値 (V)	(65°C)	(65°C)	(65°C)	(180°C)	(180°C)
定 格 電 流 (AVE A)	150	83	67	50	110



第1図 電力用半導体整流器設備例

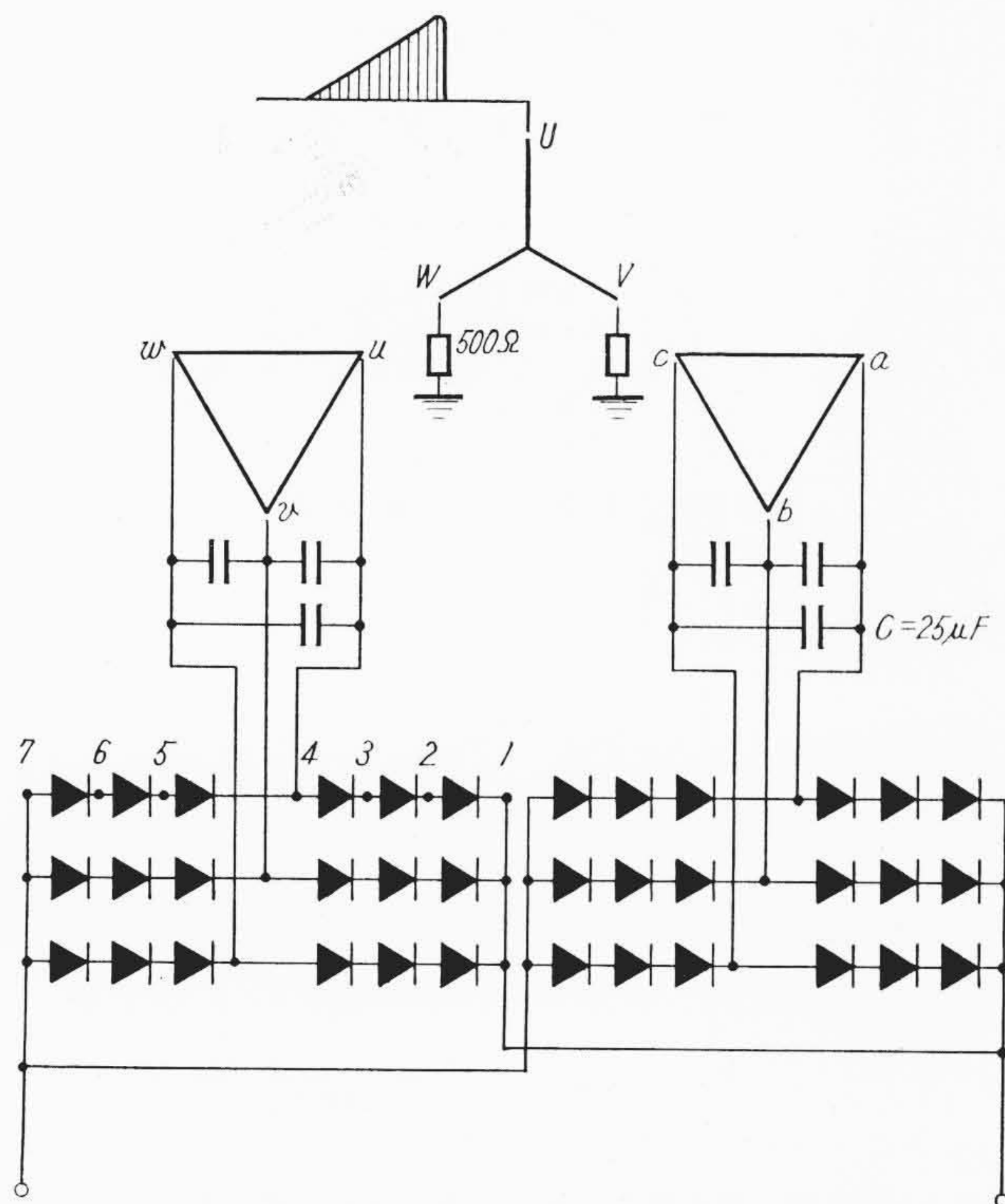
第2図は供試整流器の回路、第3図は移行電圧の波形を示す。第3図において、低圧巻線への移行電圧が正負にまたがる振動波形の時は、第2図1-4端子間には、その負の部分のみが逆電圧としてか

* 日立製作所国分工場

第2表 変圧器移行電圧実測例

高圧巻線結線	高圧巻線電圧印加条件	低圧巻線への移行電圧(端子間)		
		測定箇所	I (%)	II (倍数)
		U—V	1.25	3.37
		V—W	0.04	0.18
		W—U	1.2	3.24
		U—V	0.04	0.18
		V—W	1.2	3.24
		W—U	1.16	3.14
		U—V	0.08	0.216
		V—W	0.08	0.216
		W—U	0.08	0.216
		U—V	1.42	3.84
		V—W	0.71	1.92
		W—U	0.67	1.81

I: 移行値の高圧側侵入波に対する百分率
II: 許容電圧に対する倍数



図中1~7は測定端子を示す

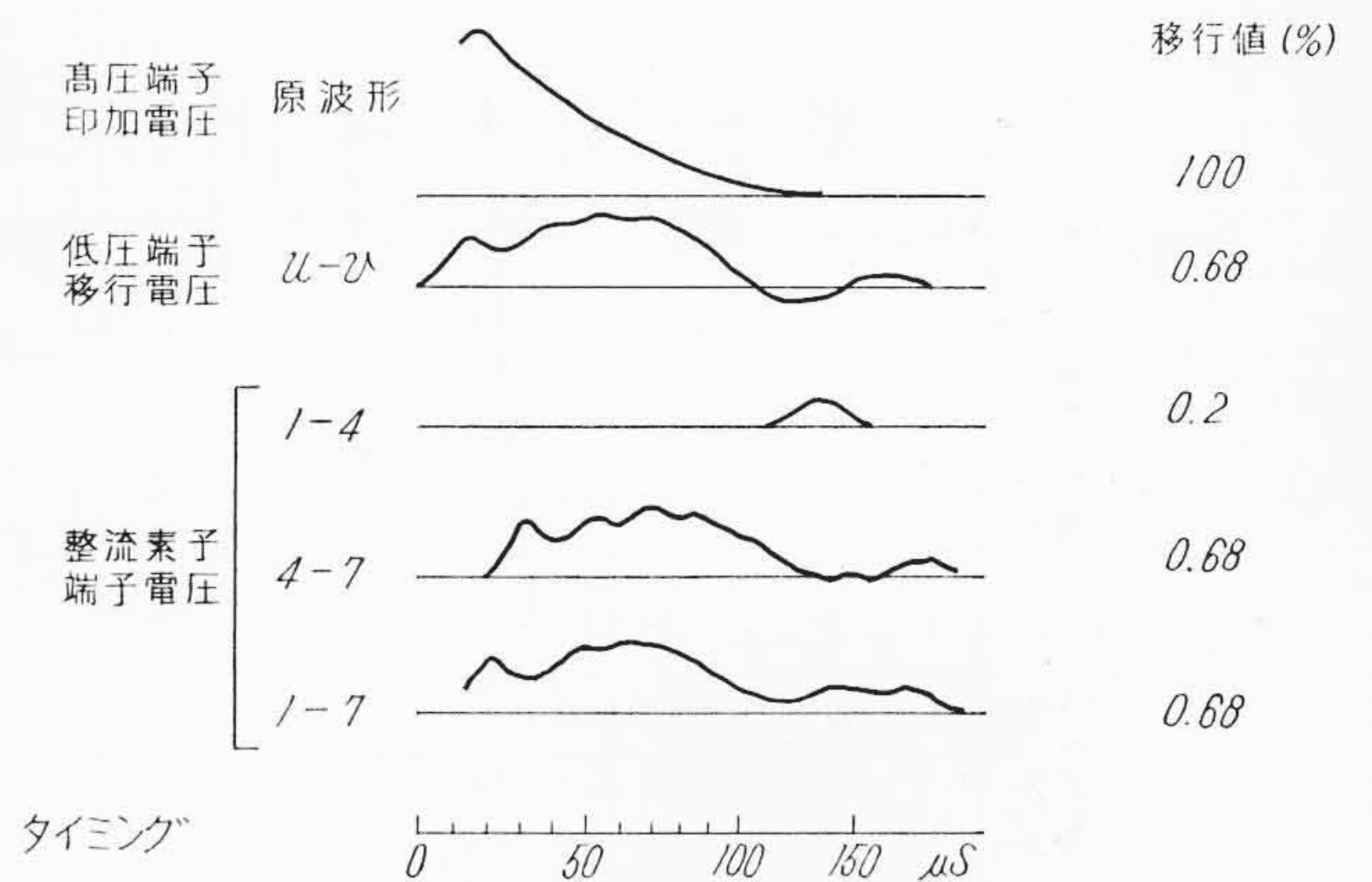
第2図 供試整流器回路

かり、4-7間には正の部分が逆電圧として印加される。1-7間にはそれら両者の和が印加されることになり、明らかにサージに対しても整流作用を示している。サージが振動性の場合には、一方の整流エレメントは単極性サージ電圧を間欠的に受けることになるが、低圧巻線への移行電圧は通常第2波では相当減衰するので、最初の第1波によって整流エレメントは劣化、あるいは破壊することになる。したがって、エレメントを保護する目的からは、第一波を十分低い値まで低減することが必要である。

3. サージ電圧の低減

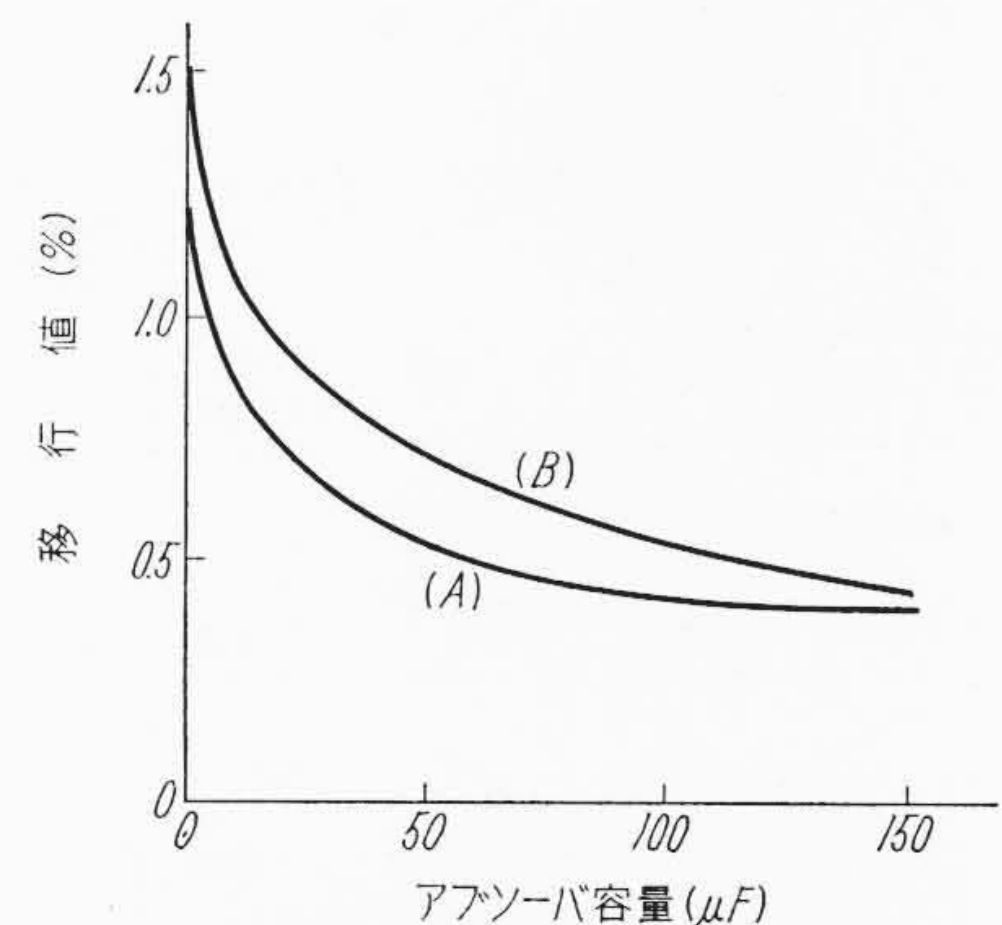
3.1 サージアブソーバ(コンデンサ)

移行電圧低減のためまず考えられるのは、コンデンサであるが、この容量は変圧器サージインピーダンスの値によって異なってくる。第4図はコンデンサ容量と移行電圧低減率との関係を示したも



端子記号は第2図に同じ。

第3図 変圧器移行電圧波形



(1) 移行値は変圧器一次側印加電圧値に対する百分率を示す。
(2) (A) 2/40 KVA 14.22 kV/dc 140Vx2
(B) 1/32 KVA 20 kV/dc 375Vx4

第4図 アブソーバ容量と移行値

の一例で、(A)(B)とも50μF付近までは低減効果が著しいが、それ以上では容量を増加しても効果は少ない。さらに振動電圧、開閉時のサージ発生などの点から必要以上に大きな容量にすることは好ましくないことである。

一般にコンデンサをそう入することによって転流時にコンデンサ容量と変圧器の漏洩インダクタンスとによる高周波減衰振動が発生して、基本電圧波形に重畳されるので⁽⁶⁾コンデンサに直列に抵抗を接続して、振動電圧をおさえエレメントに振動による過電圧が加わらぬようにしている。

コンデンサは急しゅんで、短い波形のサージに対しては十分有効であるが、長波尾の場合には波頭しゅん度の緩和のみで波高値の低減効果は比較的少ないのであらゆるサージに対して十分とはいえない。

3.2 非直線抵抗体

整流エレメントの逆特性は、大略 $e = ci^\beta$ で近似される非直線性をもっている。

ここで、 e : 電圧

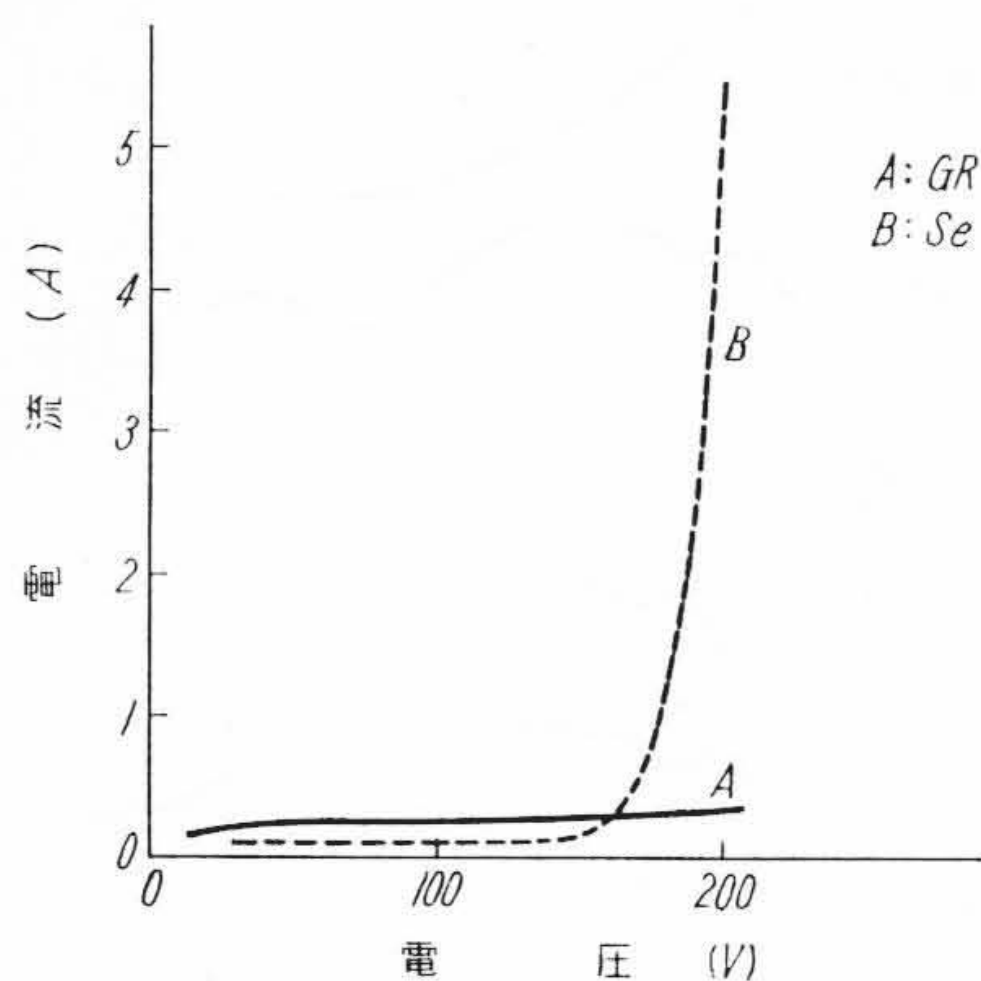
i : 電流

c : 定数

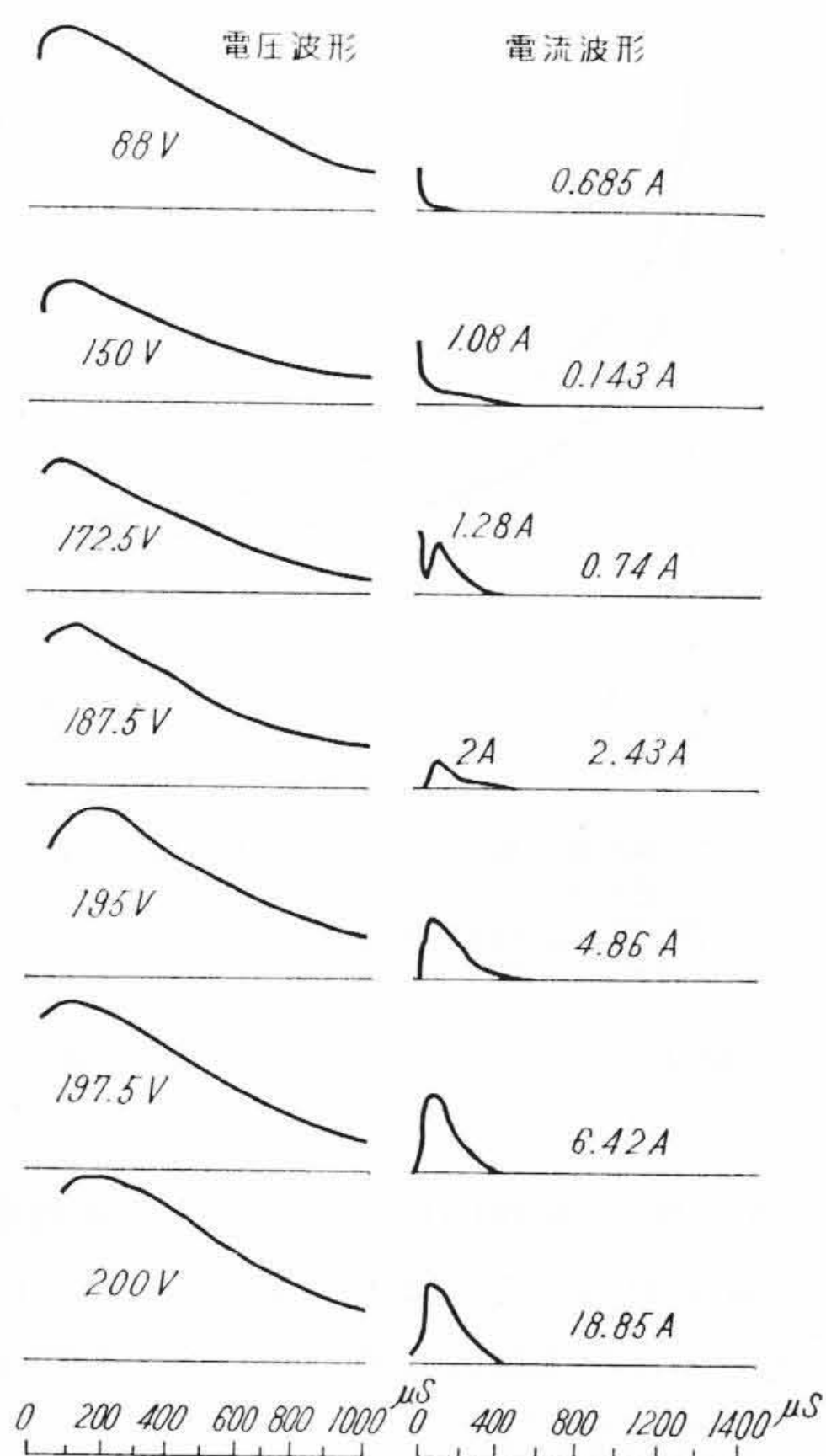
β : 非直線性をあらわす定数

したがって、特性が上記の整流エレメントの非直線性と合致して、しかもこれより下回った非直線抵抗体を保護用にもちいれば、異常過電圧は理想的に抑制される。

適当に処理されたセレン整流器の逆特性はシリコン、ゲルマニウム整流器などの逆特性にはほぼ合致させることができるので種々試験の上、上記の条件を満足するものを選び、現在標準の保護方式とし



第5図 整流器エレメント，セレンアレスタのサージ特性



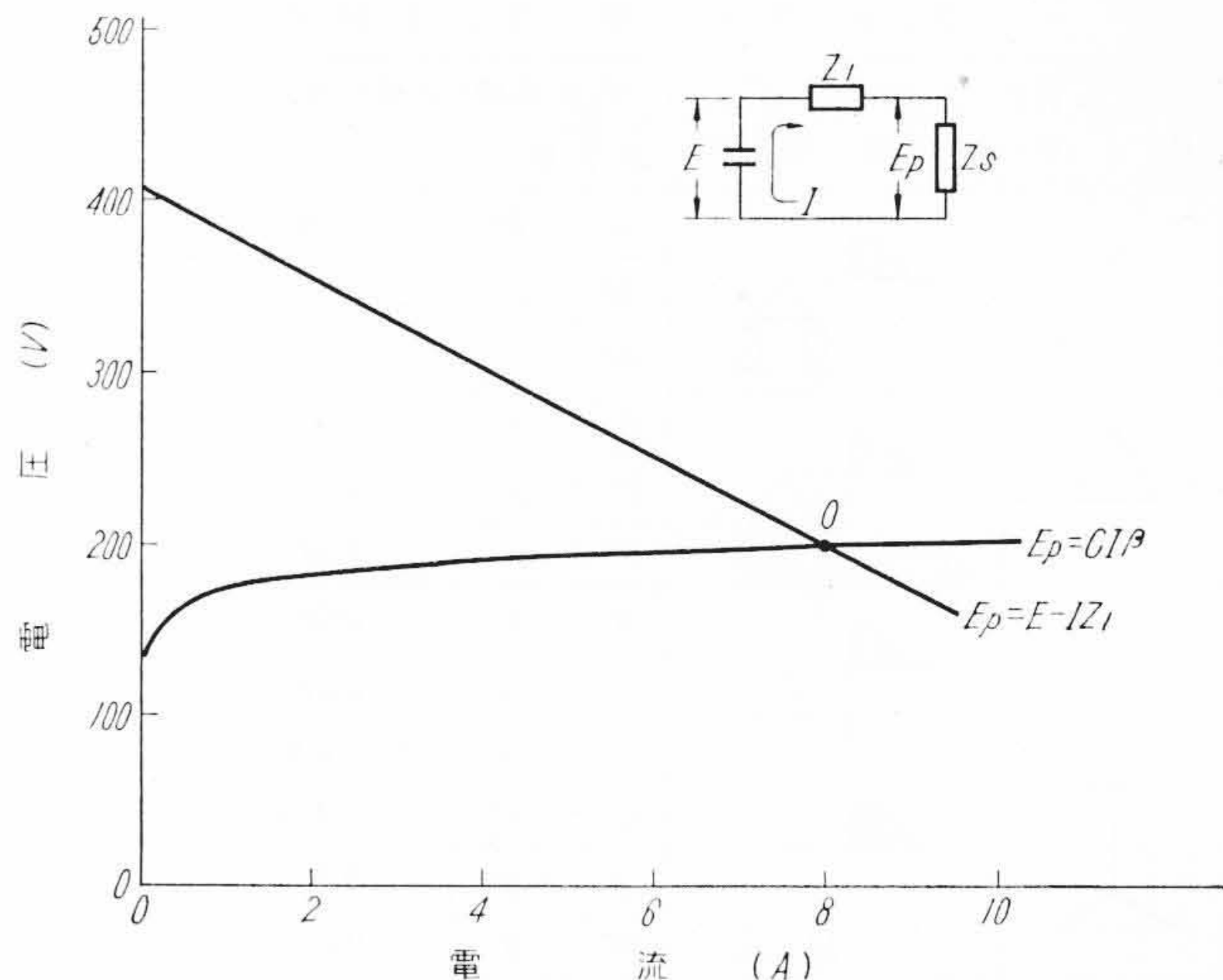
第6図 セレンアレスタの衝撃波電圧，電流波形

て採用している。

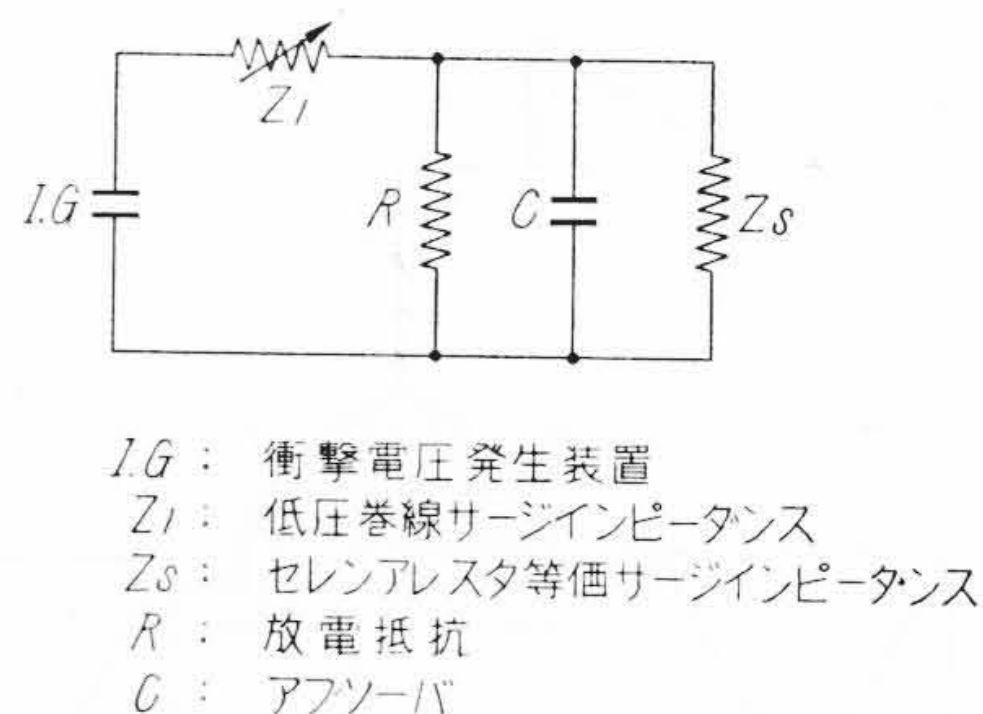
第5図は整流器エレメントおよびセレン整流器のサージに対する逆特性の一例を示したものである。図に示すように両曲線は約160Vで交さしており，それ以上の電圧ではセレン整流器は急激に過電圧を低減することがわかる。第6図はこのときのセレン整流器の電圧，および電流波形を示すもので，逆電圧の小さいときにはセレン整流器自体の容量性電流が流れるが，電圧が高くなるにしたがい逆特性に従う抵抗性の電流が急増して低減効果が著しくなる。これはコンデンサと異なりサージ電圧の波形により低減効果が変化しないことが特長である。ここで注意しなければならないことは，整流器エレメントは整流器用変圧器の二次線間に接続されるので，従来の機器のように対地電圧が問題ではなく，線間にあらわれる電圧であり，したがってアレスタも線間に直接そう入されることである。

第7図は整流器用変圧器低圧巻線に非直線抵抗体がそう入された場合の等価回路，および非直線抵抗体としてセレンアレスタを使用したときの過電圧低減効果を示すもので

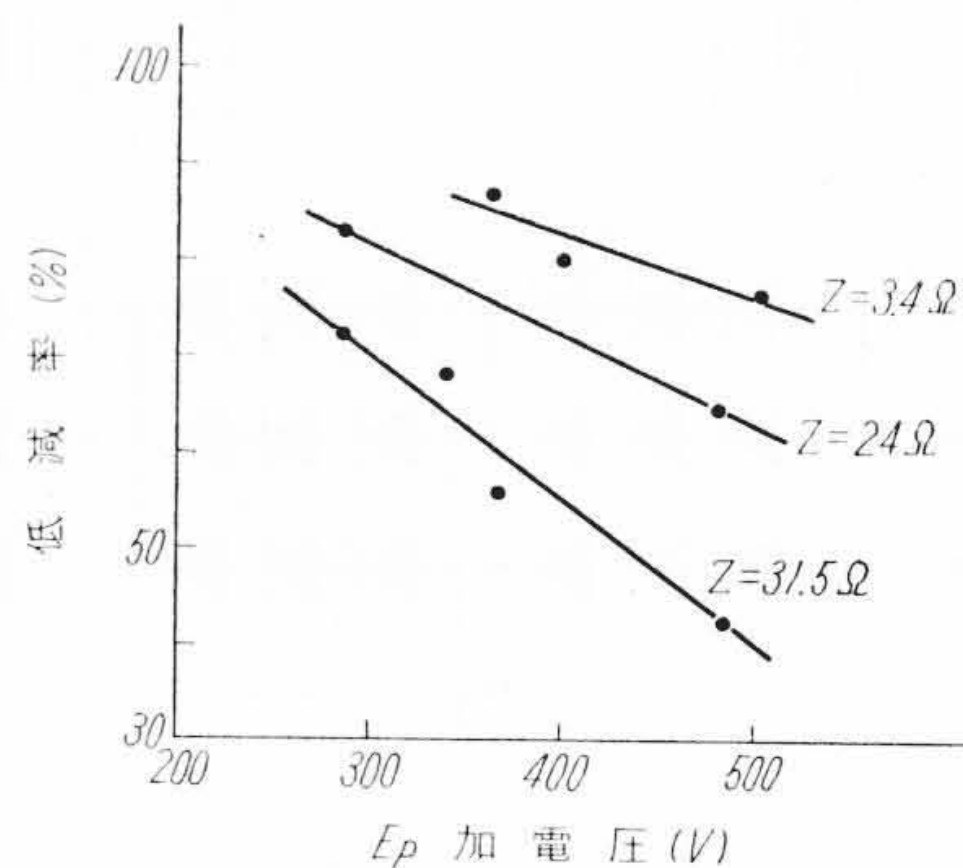
- Z_1 : 変圧器低圧巻線内部インピーダンス
- Z_s : 非直線抵抗体インピーダンス
- E_p : Z_s 端子電圧
- I : 電 流



第7図 アレスタによる低減効果



第8図 実回路等価回路



第9図 変圧器低圧巻線内部インピーダンスとアレスタによる低減率の関係

とすれば， E_p を Z_1 による電圧降下であらわし

$$E_p = E - IZ_1 \dots\dots\dots (1)$$

一方， Z_s の非直線性から

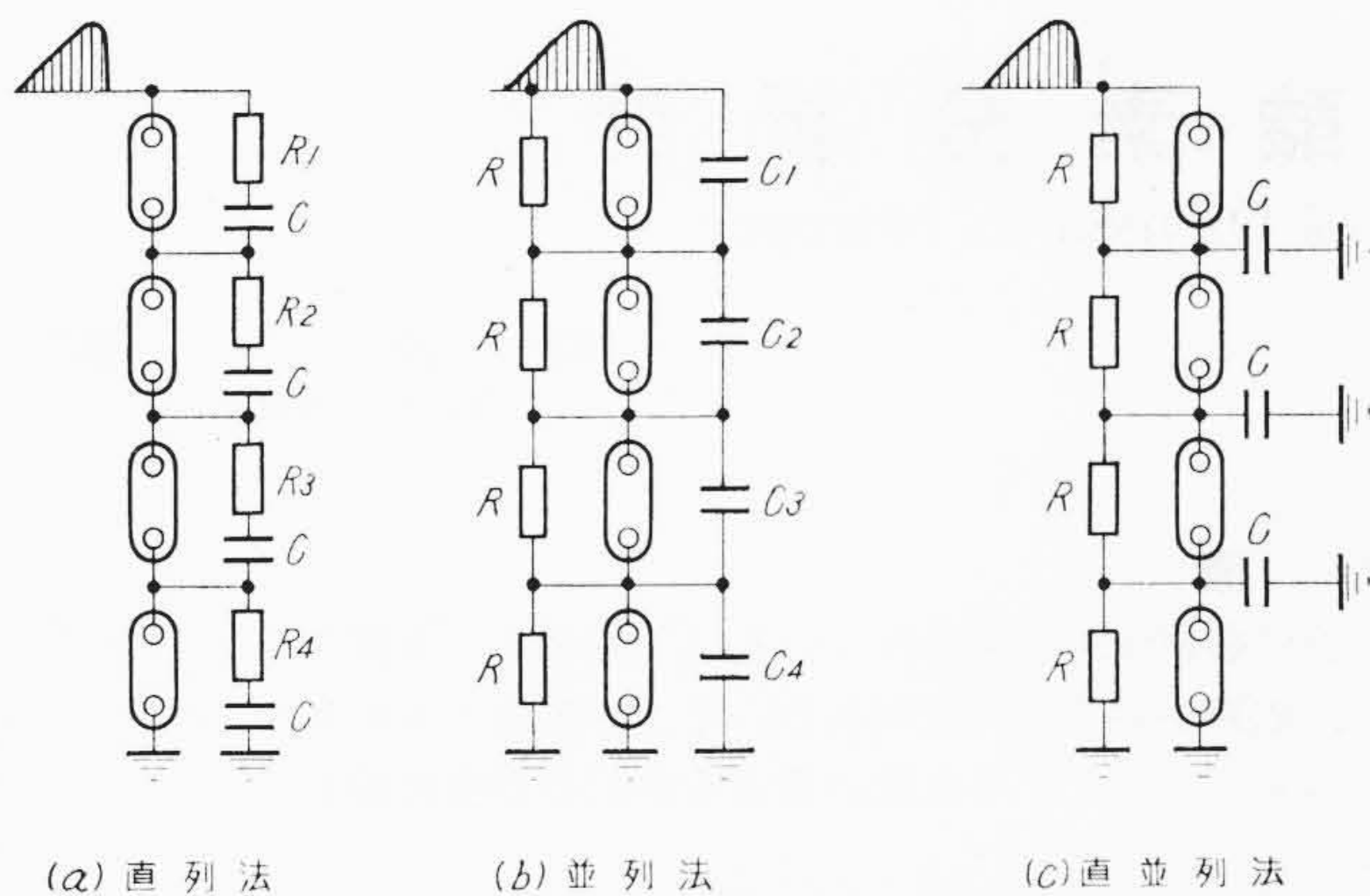
$$E_p = CI^\beta \dots\dots\dots (2)$$

(1)および(2)式であらわされる直線と曲線の交点0が非直線抵抗の端子電圧，すなわち低減された電圧を表わすことになる。

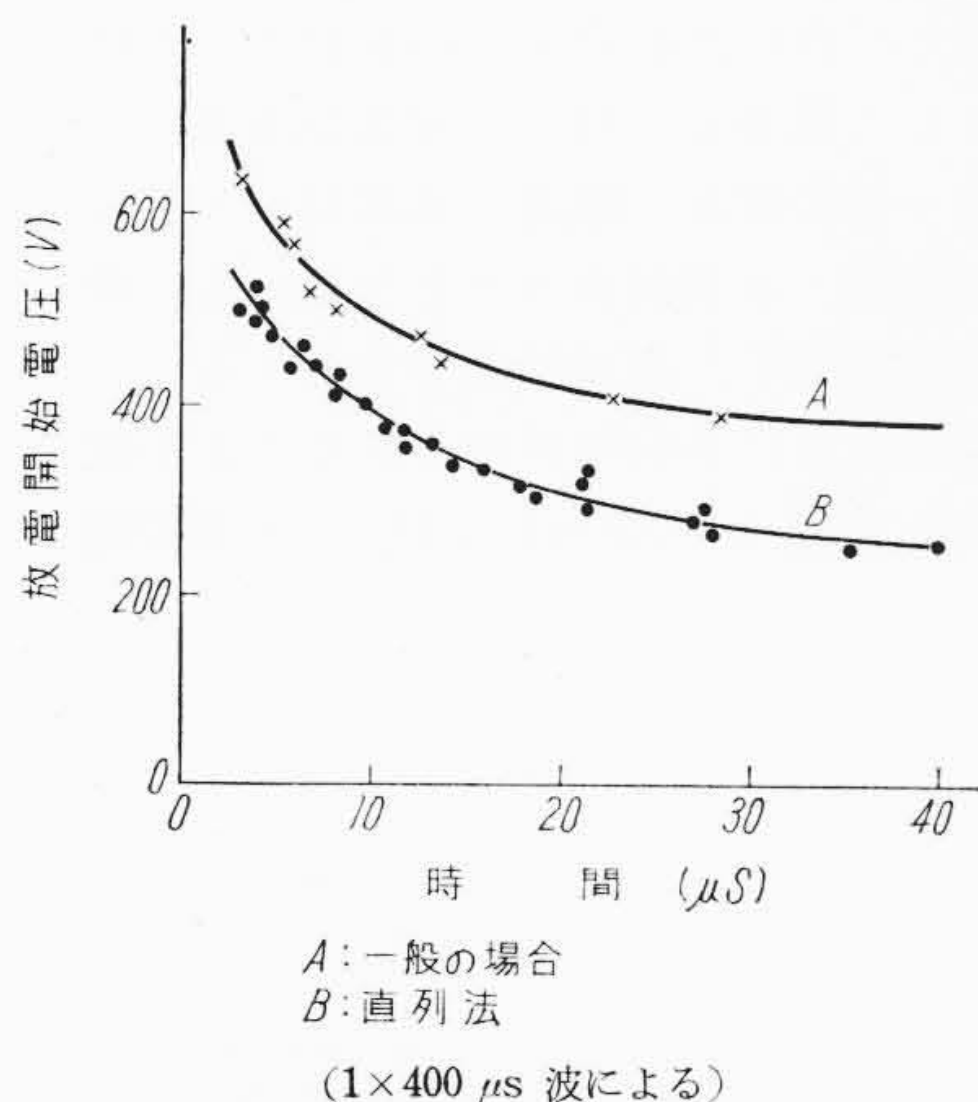
以上のことから変圧器低圧巻線に移行されたサージ電圧の低減には変圧器巻線の内部インピーダンスが関係してくるが，セレン整流器のすぐれた非直線性が必要である。

第8図はコンデンサおよびセレン整流器を並列に入れた場合の等価回路であり，第9図はこの回路を用いて変圧器低圧巻線内部インピーダンスとセレン整流器過電圧低減率の関係を求めたもので，変圧器のサージインピーダンスによっても左右されるがセレン整流器の特性の選定が重要である。

なお，セレン整流器は放電電流が大きい場合には整流えん層が破



第10図 強制放電形真空避雷器



第11図 強制放電形真空避雷器の V-t 特性

壊されるが、破壊部分は絶縁物化して、優秀な続流遮断性能を示す。

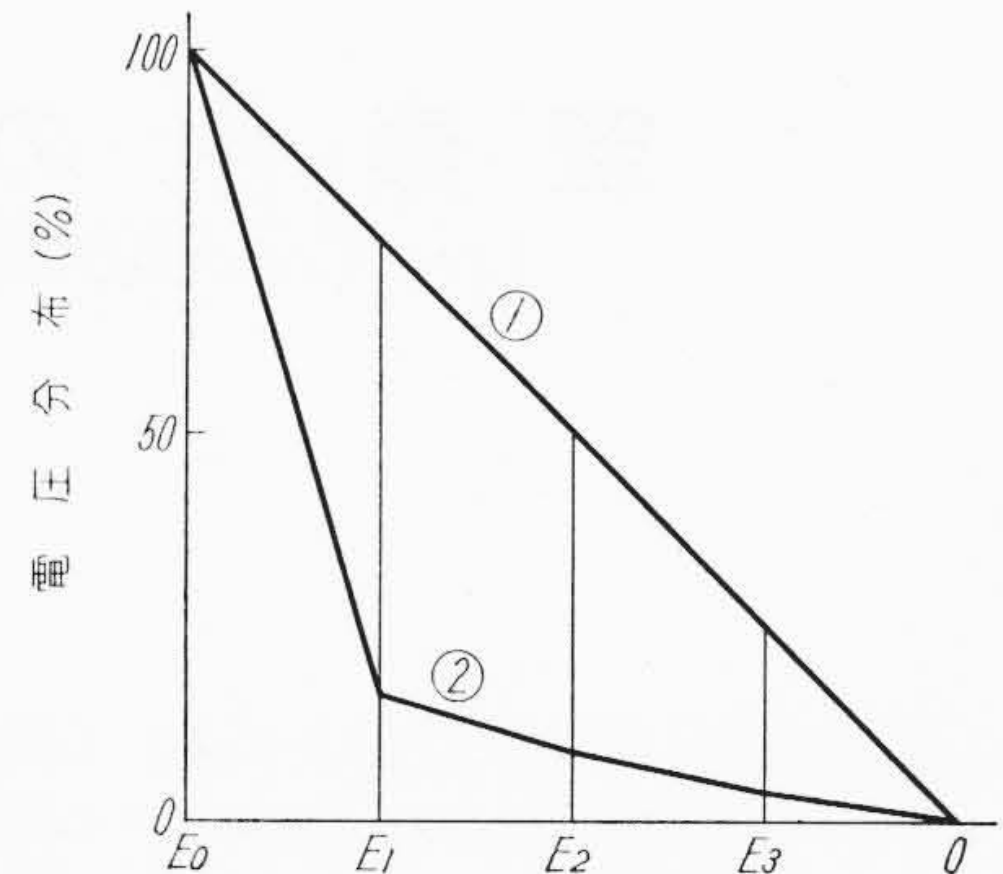
4. 放電管避雷器

前記セレン整流器とともに使用して、後備保護の役目を果たすために放電管が採用される。これは一種の冷陰極放電管で、平行平板のアルミ電極を有し、ガスを封入したものである。これは50%放電電圧のばらつきが小さく特性も良好であるが、続流遮断能力がないためヒューズを直列にそう入する。

放電管を比較的電圧の高い設備に使用するときには、これらを直列に接続して多隙避雷器として用いるが、その V-t 特性を良好ならしめるため各避雷器と並列に蓄電器、抵抗器を配し、強制放電形避雷器と名づけている。第10図はその結線例である。(a)の直列法は常時商用周波では抵抗 $R_1 \sim R_4$ の値よりも容量 c によるリアクタンスが小さいため均等分布であるが、衝撃電圧にたいしてはリアクタンスは無視され、抵抗のみによって分布が決定されるため $R_1 > R_2 > R_3 > R_4$ にえらぶと、衝撃電圧が侵入すれば R_1 が接続されている放電管から将棋倒しに放電する。(b)は(a)と逆に、商用周波では抵抗で分圧し、衝撃波にたいしては容量による分布としたものであり、(c)は(b)の変形である⁽⁷⁾。第11図は避雷器を単に4個直列に接続した場合と、第10図の直列法を使用した場合の V-t 特性の比較例で、 $t=15 \mu s$ で、30%強の特性改善が行われている。

また特性改善の手段である電圧の不均一分布状態は第12図に示すとおりで、商用周波電圧にたいしては均一の電圧分布となっているが、衝撃波電圧にたいしては、初段放電管に印加電圧の80%強が加わることを示している。

第13図は $20 \mu s$ 前後の放電電圧波形の測定結果を強制放電形(直列法)と一般の直列接続の場合について示したもので、強制放電形では放電管が順次放電していくことを示している。



①: 交流電圧(50~)印加時分布
②: 衝撃波電圧(50×400μs)印加時分布

第12図 強制放電形真空避雷器の電圧分布

回路	放電開始時間 印加波形状	A. $6 \mu s$	C. $7.5 \mu s$
		B. $22.5 \mu s$	D. $19.7 \mu s$
直列法		$1 \times 400 \mu s$	$5 \times 60 \mu s$
		A. 298 V	C. 310 V
一般の場合		B. 400 V	D. 420 V

第13図 強制放電形真空避雷器と一般真空避雷器の放電波形

これら放電管を異常電圧の後備保護として使用するときには、常時回路に発生する開閉サージでは動作せず、たとえ動作しても直列ヒューズの熔断するまで放電管は劣化しないような耐電流特性をもつ必要がある。また、ヒューズもサージでは熔断しないものを選ぶことが必要である。

5. 結 言

以上電力用半導体整流器の外雷による異常電圧保護について述べたが、日立製作所では前述の諸手段を併用することによって、整流器の経済的設計を行っている。

異常電圧保護でもっとも大切なことは、コンデンサ容量の選定で移行電圧の低減とともに転流時の高周波振動あるいは、開閉サージにも影響があるため、これが選定をあやまると、かえってエレメントを劣化させる結果となる。整流器納入に際しては、念のため移行電圧の確認を行っており、最適な保護装置であるよう万全を期している。

なお、本文中に述べた装置は、いずれも実運転に多数使用しており、第一号機運転開始からはすでに三年を経過しているが、夏期の落雷時にも十分その保護能力のあることが実証されている。

参 考 文 献

- (1) 近藤, 森田, 森山: 日立評論 40, 929 (昭 33-8)
- (2) 曾根田, 金原, 森田: 日立評論 41, 353 (昭 34-3)
- (3) 近藤: 日立評論 41, 363 (昭 34-3)
- (4) 近藤, 池田: 日立評論 39, 1237 (昭 32-11)
- (5) 森田: 電力用半導体整流器の保護 (昭 34 電学会東海支部連大 33)
- (6) 近藤, 地福, 金原: 電解工業用ゲルマニウム整流器の逆電圧波形について (昭 34 連大 353)
- (7) 特許申請中