

JAERI - M  
86-049

SCRを使用した大形サイラトロン駆動回路

1986年3月

荘司 時雄

日本原子力研究所  
Japan Atomic Energy Research Institute

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。  
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division  
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-  
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1986

編集兼発行 日本原子力研究所  
印刷 いばらき印刷(株)

SCRを使用した大形サイラトロン駆動回路

日本原子力研究所東海研究所物理部

荘 司 時 雄

(1986年2月7日受理)

リニアックで使用している主パルス変調器の中で大型サイラトロン (8479/KU 275, ITT) 駆動用パルサーをメンテナンスフリー及び長期間の安定動作を期待して、従来から使用して来た小形サイラトロン (5 C 22) をSCR (サイリスター) に置き替たものに更新した。この駆動用パルサーは、共振充電式、ライン・タイプで耐圧、スイッチング・スピード等を考慮してSCRは2個直列に用いている。最大出力は1.5kV, 2 $\mu$ s, 900pulse/sのパルスである。約1年の使用で良好な結果を得た。

JAERI-M 86-049

The trigger pulsers using SCR's to drive the large thyratrons

Tokio SHOJI

Department of Physics, Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 7, 1986)

This paper describes the new trigger pulsers to drive the large thyratrons (8479/KU275,ITT) in the linac modulators. A small thyatron 5C22 in the pulser was replaced by SCR's to improve long term stability and to expect easier maintenance. The pulser of line-type uses two SCR's in series to keep enough voltage endurance and switching speed and generates pulse outputs of 1.5kV in voltage and of 2  $\mu$ sec in width.

They have been working very well for about one year.

Keywords; LINAC, Pulse-modulator, Trigger, SCR, Power Electronics

目 次

1. はじめに .....	1
2. 小型サイラトロンからSCRへの変更 .....	1
3. SCR回路 .....	3
4. 動作結果, おわりに .....	5

CONTENTS

1. Introduction .....	1
2. Replacement from a small thyratron to SCR .....	1
3. SCR circuit .....	3
4. Results and conclusion .....	5

## 1. はじめに

原研電子リニアック<sup>1)</sup>では、トリガー同期パルス系（発生、分配、駆動回路）の半導体化を進めている。現在迄に発生系、分配系が既に半導体化されている。他にも対人安全インターロック系、真空インターロック系、ビーム伝送系の電磁石電源制御系の半導体化が進められ、リニアック運転データロガー、制御系の整備が進められている。これらは主として低電力レベル（TTL）半導体素子の導入によって行われている。一方、高電力レベルでの半導体素子化もいそがれている。主パルス変調器内の大形サイラトロン駆動回路内のスイッチ素子の半導体化がその中で特にいそがれている。これまで、この駆動回路内のスイッチとしては、小形サイラトロン5C22（水素ガス入り放電管）が用いられているが、最近の半導体技術の進歩により、小形サイラトロンに代わってSilicon Controlled Rectifier やサイリスタ（SCRと略記）の利用が考えられる様になった。しかしながら、一般産業用に利用されている高電力用SCRは0.1 msから数ms 間隔のくり返しでの電流制御（交直流変換、インバータ等への利用）が主である。一方リニアックにおけるSCRの利用では、 $\mu\text{s}$  オーダーのスイッチングタイムでの利用であり、一般産業用SCRを使用する為には調査、試験が必要である。

まず一台のSCRを使用した主サイラトロン駆動回路を試作し、試験した。その結果から、小形サイラトロンからSCRに変更する為にパルス整形回路、パルストランスの一部仕様の変更、調整及びSCRトリガー回路、SCR保護回路、安定化直流高圧電源の新設等、半導体化の為の変更を行った。リニアックでの実装試験で良好な結果を得たので昭和58、59年で8台製作し使用している。

## 2. 小型サイラトロンからSCRへの変更

原研リニアックでは主トリガー同期パルス発生回路からのパルス（TTLレベル）をタイミング調整回路をへて増幅を行ない、主パルス変調器内の大形サイラトロン（8479/KU275, ITT）のグリッドを駆動している。その為に必要な出力は、1.5kV, 2 $\mu\text{s}$ のパルスであり、ここで述べる駆動回路が必要になる。なお主パルストランスの出力電力は、20kV, 3000A（60MW）であり、12:1の昇圧パルストランスを経て最終パルス出力として240kVパルスがクライストロンへ印加されている。リニアックに於ける同期パルストリガー方式のブロック図を第1図に示す。

小形サイラトロン5C22からSCRに変更した理由は1)動作が安定でメンテナンスフリー、2)寿命が半永久、3)値段が安い、4)動作電圧が低く、回路全体が小さく軽くなる。5)径年変化がない、6)入手が容易、等半導体回路の長所を充分に活用することにある。その中でも最大の理由はこの変更により1)を期待できることである。サイラトロンからSCRに変更するには、第1表に示すように、それぞれの特性の違いによって、以下の様な仕様を変更しなければならない。まずサイラトロンとSCRの最大の違いは高電圧をかけるか、低電圧で大電流を流すかであり、サイラトロンでは前記出力を出す為に直流電圧約3kV必要であるが、SCRでは約800Vである。利用でき

るSCRとしては耐電圧3kV、平均電流10A、電流上昇率200A/sのものが良いが、現在耐電圧3kV以上で10A~20AタイプのSCRは製造されていない。SCRを3ヶ使用するテストも行ったがドライブ用トランスの出力が3ヶ用では波形が同一の良いものがなかったこと及び、SCRのライズ・タイムがそろわない等の理由により良い結果が出なかった。その為耐圧1600VタイプのSCRを2ヶシリーズで使う設計にした。SCRとしては日本インターナショナル整流器社製のIR68RS160を採用した。第2表にその主要規格を示す。

SCRを使う為に出力パルストランスの巻線比、及びパルス整形回路の仕様の一部を以下の様に変更している。サイラトロン回路ではパルストランス、パルス整形回路の一次側のインピーダンスが各々50Ωであり、パルストランスの巻線比は2:1、二次側のインピーダンスは約12.5Ωである。これに直流電圧3kV印加で出力1.5kVパルスを得ていた。これに対して、SCR回路では、パルストランス、パルス整形回路の一次インピーダンスは各々10Ωであり、パルストランスの巻線比は1:2.5である。これに直流電圧800V印加で出力1.5kVパルスを得る。但しサイラトロン、SCRに加わる高電圧は上記直流高圧の約二倍になる。パルストランスの巻線(昇圧)比が1:10位のものを試作してみたが、SCRの動作電圧(約300V)が低すぎて出力パルス高の期待値が得られなかった。これはSCRの電流上昇率が小さく立ち上がり時間が充分でなかったのではないかとと思われる。

次にSCR回路では出力に時間ジッターを出す要因がサイラトロンに比べて大きい。1) 直流電圧のリップルが出力パルス高の差及び時間ジッターとなって第2図のように表われる。2) もう一つの要因はトリガー・パルスの高さとの幅の不ぞろいによるものである。その場合の時間ジッターのある写真を第3図に示す。1)についてはSCRがON動作時(電流が流れる)にはアノード、カソード間の電圧が低く10V以下になる為リップルがそのまま出力振幅に現れるのではないかとと思われる。サイラトロン回路では多少リップルがある直流高圧を使用していたが、点弧時(電流が流れる)のプレート、カソード間の電圧が数百Vあり、リップルが出力に表われにくいので実用上さしかええない程度であった。したがって、SCR回路の場合には直流高圧を安定化する必要がある。実際製作したSCR回路にはスイッチング・レギュレーター方式の直流安定化回路を採用している。又、2)についてはSCRのゲートに加えるトリガーパルスの大きさとパルス幅の違いにより、SCRがONになるまでの立ち上がり時期に差が出る為である。そこでSCR回路では内部にブロッキング・オシレーター・タイプのパルス整形回路を持ち、常に一定の高さ及び幅のトリガーパルスで駆動するようにしている。以上がサイラトロン回路とSCR回路の差違である。

上記のような比較、検討の結果、SCR回路を安定に動作させるため以下の項目に留意して設計を行った。

- 1) 回路方式はサイラトロン回路に準じた共振充電式、ラインタイプ方式とする。
- 2) SCRは2ヶシリーズで使用する。
- 3) パルス整形回路、パルストランスの1次インピーダンスは10Ωとする。
- 4) パルストランスの巻線比は50Ω 負荷で1.5kVの出力パルスを度るために1:2.5とする。
- 5) 直流高圧電源はスイッチング制御方式を使用して、安定化する。
- 6) ブロッキング・オシレーター方式の増幅回路を作り、2ヶのSCRを駆動する。

- 7) SCRの発熱、過電圧による破壊をさける為に保護回路を入れる。
- 8) SCR回路の異常に備えてインターロック回路、モニター出力をいれる。

### 3. SCR回路

今回製作した回路方式はこれまで用いられてきた共振充電式、ラインタイプ方式の回路に準じたものである。第4～6図に示すSCR回路の動作について説明をする。直流高圧電源の出力でチャージング・コイルL1を通してパルス整形回路のコンデンサーを充電する。この時パルス整形回路のコイル（SCRのアノード）にはチャージング・コイルL1とパルス整形回路のコンデンサーの共振で直流高圧の約2倍の電圧が充電されて動作準備状態となる。共振周波数は

$$f_r = \frac{1}{\pi \sqrt{L_1 \cdot C}}$$

である。ここでCはパルス整形回路のコンデンサーの全容量である。次にこの状態の時にトリガーパルスがSCRのゲートに加えられるとSCRに電流が流れアノード電圧が下がりパルス整形回路できめられた時間後にSCRの電流を遮断する。その時間 $\tau$ は

$$\tau = 2\sqrt{L \cdot C}$$

である。ここでLはパルス整形回路のコイルの全インダクタンスである。SCRに電流が流れた時間だけ電圧変化があり、それは同じインピーダンスのパルス整形回路とパルストランスの一次で二等分される。これはパルストランスで2.5倍にされ出力パルスとなる。次にSCRの電流が遮断されると、直流高圧電源からの電流がチャージング・コイルを通過して、パルス整形回路を充電し始め、次の動作準備を行う。以上が共振充電式・ラインタイプ・パルサーの動作である。ここで直流高圧電源が約800Vであれば50 $\Omega$ 負荷で、15kVのパルスが得られる。出力パルス高 $E_{out}$ は

$$E_{out} = 1/2 \cdot N_{pt} \cdot V_p$$

である。ここで、定数1/2はパルス整形回路とパルストランスで1/2に分けられる為である。 $N_{pt}$ はパルストランスの巻線比、 $V_p$ はSCRに印加される高圧である。

本回路を大きく分けると直流高圧電源、SCR及びパルス整形回路、及びパルストランス、SCRトリガーパルス整形回路、及び保護回路から成り立っている。

直流高圧電源安定化回路は前述した様に直流高圧の出力変化が出力パルス高に直接表われる為に1%の安定度を持たせたスイッチ・タイプ電源である。出力電圧は0から1kV迄可変である。この直流高圧を変えれば出力が比例して変化する。出力電流は0～0.2Aである。直流高圧電源の回路を第5図に示す。また直流高圧電源は負荷電流が最大約1msの周期の出力パルスである為に、短時間に大電流を流がせる特性を持つ必要がある。SCRが何かの原因で連続通弧になった



場合に備えてSCR及び、直流高圧電源の保護の為に過電流保護回路が組み込まれている。その他インターロック用接点出力等保護回路もつけてある。

SCR部ではSCRアノードからパルス整形回路及びパルストランスが直列でグラウンド間に入っている。パルストランスの一次にはコンデンサー、抵抗から成るノイズ・サプレッサーを入れている。またSCRのアノードにもノイズ・サプレッサー用コイル(L)を入れている。その他にSCRのアノードからは波形モニター用抵抗、リバース電流検出用ダイオード、抵抗等が接がっている。これらは後述の様に波形モニター、安全系に使われる。パルス整形回路としては、5段のランプ回路からなるLCネットワークで、特性インピーダンス $10\Omega$ 、ディレー・タイム $1\mu s$ (パルス幅は、これの2倍)、耐電圧 $2kV$ 以上である。パルストランスは一次インピーダンス $10\Omega$ 、二次インピーダンス約 $60\Omega$ で巻線比 $1:2.5$ で、耐電圧 $2kV$ 以上である。

SCRトリガーパルス整形回路を第6図に示す。この回路の入力パルスは約 $10V$ 、 $2\mu s$ である。入力パルスはブロッキング・オッシレータ・タイプの増幅回路で増幅整形され、バッファー回路を経て、SCRドライブ用パルストランス(PT3)で二つに分けられて、各々のSCRをドライブする。このパルストランスの耐電圧は $2kV$ 以上である。SCRトリガーパルス整形回路はノイズ等による誤動作をさける為シールドケースの中に組み込まれている。トリガー入力パルス、出力パルス波形を第7図に示す。

モニター及びインターロック回路部へはそれぞれ3ヶの出力を出している。モニターとしては1)出力パルス波形のモニター出力として電圧比 $1/100$ にしたもの、2)SCRアノード波形(第8図)のモニター用出力として $1/100$ にしたもの、3)SCRドライブ用パルストランスのモニター用出力がある。インターロック出力は1)AC $100V$ 入力スイッチからの接点、(第4図のMC-2の端子1, 2) 2)直流高圧電源の過電流接点出力、(第4図のMC-2の端子3, 4) 3)SCRリバース電流用メーターリレーの接点出力がある。(第4図のG, H)

半導体回路の場合過電流による発熱、最大規格を越えた印加電圧に対する保護回路が特に必要である。本回路の保護回路としては、SCR回路の連続通電に対して直流高圧電源の過電流を検出して、 $0.2A$ 以上の場合は直流高圧を出さない様にする為、直流高圧回路内のスイッチング回路の動作、及びSCRトリガーパルス整形回路の出力を遮断している。この過電流で直流高圧が切れた場合は約2秒後に自動復帰する様にしている。リニアックは大電力のパルス運転をしている為、まれに不整形パルスが発生するとパルスノイズとなってトリップし、リニアックの運転が停止してしまうが、この様にして自動復帰回路を取り入れて不必要に長いトリップを防いでいる。もう一つの保護回路は負荷である主サイラトロンの不整形パルスノイズの逆流に対するものである。主サイラトロンの出力パルスは $20kV$ 、 $3000A$ のパルスであるが、異常放電等の原因で、その10%のパルスがSCRに逆流しても、 $2kV$ ピークのパルスノイズになる。これらのリニアックからの不整形パルスによるノイズ、及び主サイラトロンの異常放電によるノイズからのSCRの保護が必要である。この場合は負荷側からの逆流パルスノイズ電流をメーターリレー(第4図のM1)に流して、ある一定の値以上の時主モジュレーターの保護回路であるシステム・インターロック

回路を遮断している。その時はビーム発生用電源が切れ、大型サイラトロン、及びクライストロン回路のメイン電源が切れるため、負荷側の動作が停止する。逆流パルスノイズとSCR消弧電流（両方合わせてリバース電流と言う）は通常 600 pulse/s で使用時 20~23  $\mu$ A 位である。

この駆動回路の組込みに使用したシャーシは19インチラックタイプで高さ35cm、奥行き43cmで、旧サイラトロン回路の約2/3の大きさにコンパクトにできている。前パネル写真を第9図に示す。スイッチ、コネクタ等は操作性、保守性を考慮して、全部前パネルに付けている。

#### 4. 動作結果、おわりに

まず一台を試作し2~3ヶ月間リニアックで実際に使用しその状況を見たうえで、残りの8台を製作した。現在仕様の違う一台を製作中である。これはブースター・クライストロンのドライバーに使用する予定である。

リニアックの通常運転ではこの大形サイラトロン駆動回路をくり返し600 pulses/sで週約55時間使用する。最初に製作した駆動回路は1年以上、その他も6ヶ月以上使用しているが、全く故障なく出力パルスの遅れ時間の経年変化、及び出力パルスの立上がり時間のジッターもほとんど観測出来ない位であり、大変安定に動作している。

インターロック出力及びモニター波形出力はコントロール室での異常の早期発見に役立っている。

耐電圧3kV以上、電流容量が10~20A、数百A/s以上の電流上昇率をもつSCRが入手できれば、SCRの使用は1ヶで良く回路が少し簡単に出来る。

本SCR回路はブースター・クライストロン・パルサー等のように出力が0.1~2kV、インピーダンス1 $\Omega$ 以上、くり返し約10k pulse/s程度の大パワー増幅にも利用出来るのではないかと思われる。

#### 参考文献

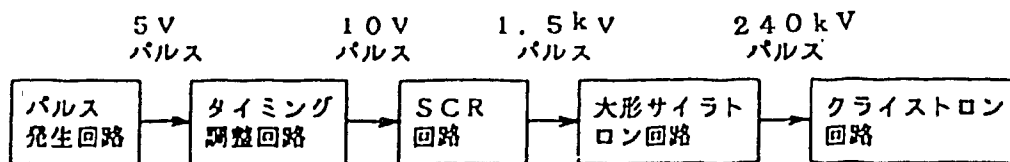
- 1) 竹腰 他 : JAERI レポート 1238 (1975年3月), 第1~10回  
リニアック研究会報文集

第1表 サイラトロンとSCR回路の相違

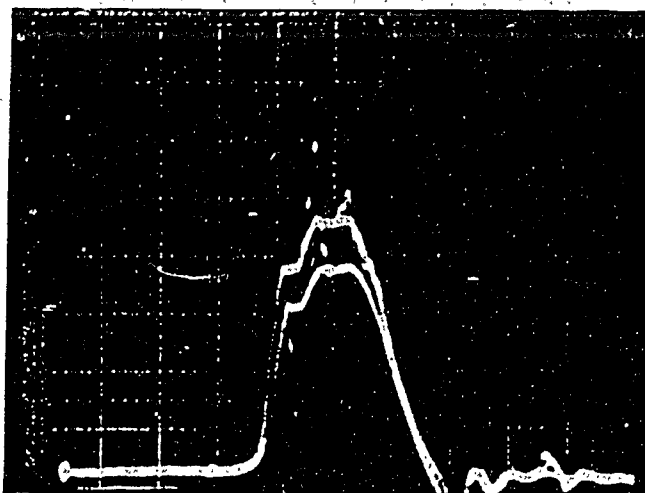
	サイラトロン回路	SCR 回路
パルス整形回路	インピーダンス 50Ω 耐圧 6kV以上	インピーダンス 10Ω 耐圧 2kV以上
パルストランス	インピーダンス 50Ω 巻線比 2:1 耐圧 6kV以上	インピーダンス 10Ω 巻線比 1:2.5 耐圧 2kV以上
直流高圧電源	5~6kV, 0.2A	1kV, 0.2A
時間ジッター	なし	高圧電源のリップルやトリガー・パルスの高さや幅による影響がある
寿命	~2年	半永久
メンテナンス	入出力間の遅れ時間に経年変化がある。	不用, 経年変化なし
シャーシ形状	大形, 重い	小形, 軽い, 約2/3

第2表 IR 68RS 160 の主要規格

くり返しピーク逆電圧	1600V
平均整流電流	60A
サージオン電流	1200A
臨界オン電流上昇率	200A/μs
臨界オフ電流上昇率	200A/μs

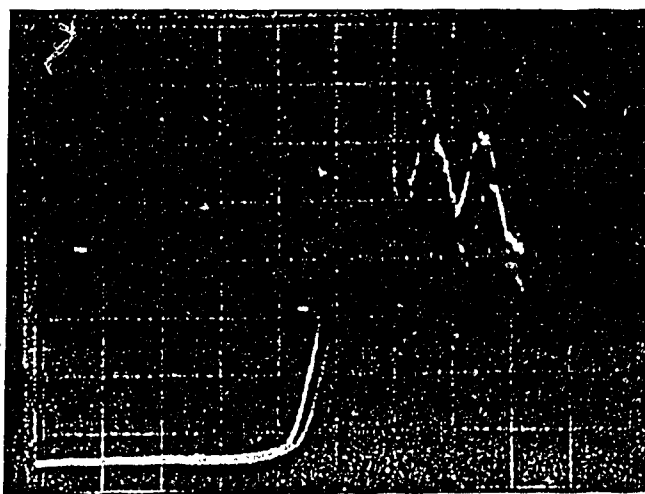


第1図 リニアックに於ける同期トリガー方式

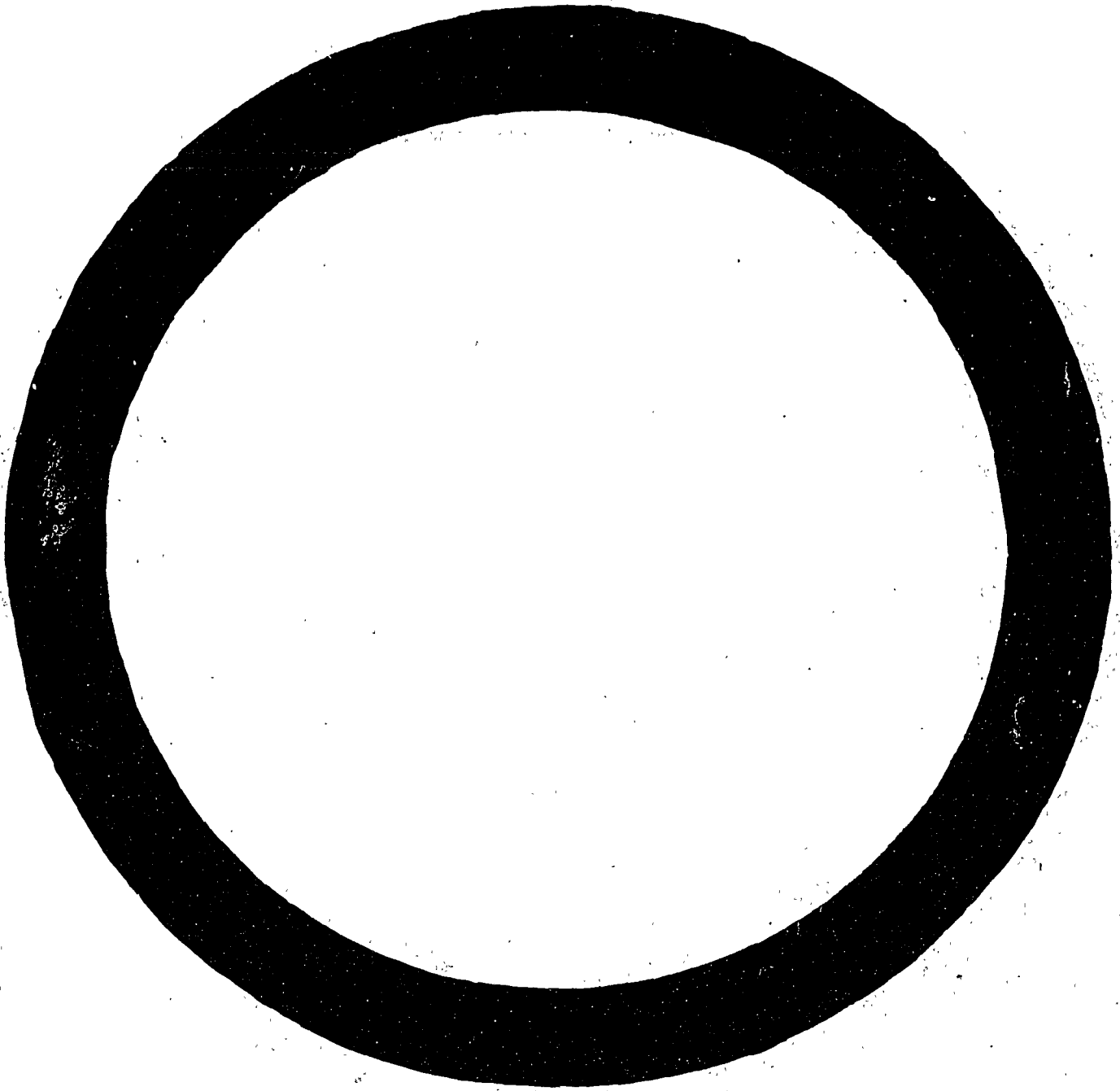


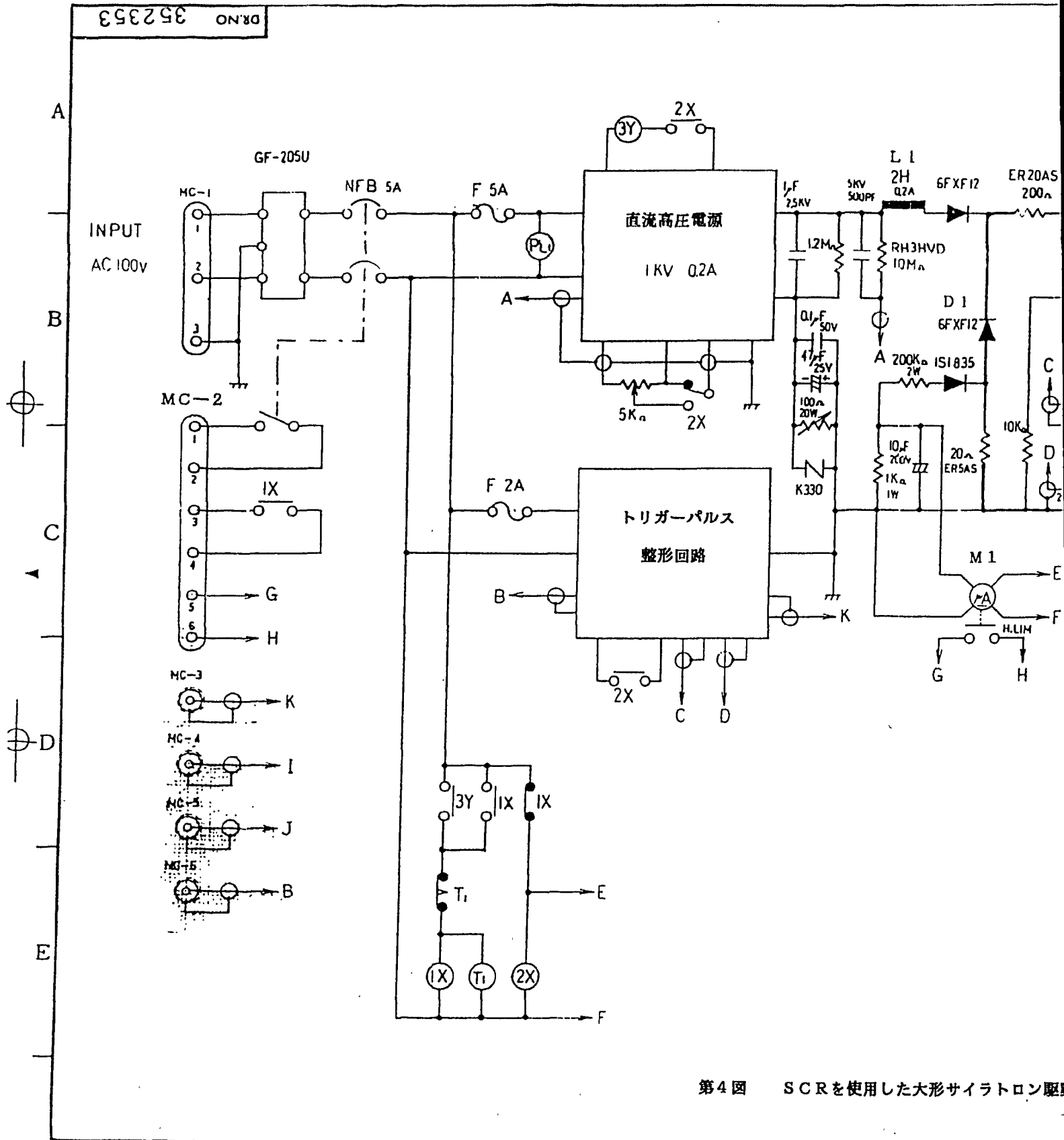
第2図 SCR回路への直流高圧のリップルの為出力パルス高に差がある波形写真

$1 \mu s / cm$   $0.3 kV / cm$

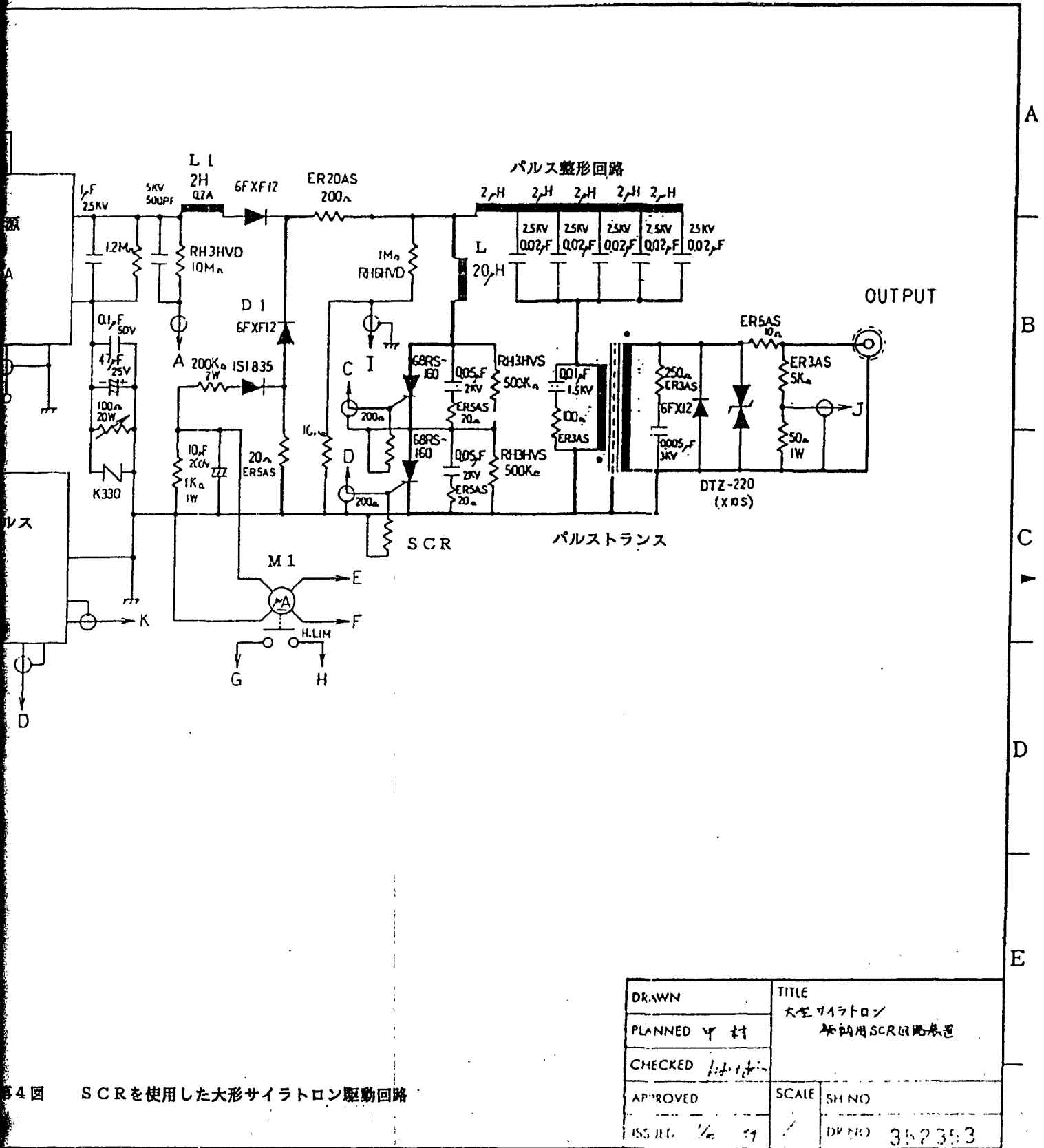


第3図 SCR回路のトリガーパルスの高さや幅の不ぞろいによる出力パルスにジッターがある波形写真  $0.5 \mu s / cm$   $0.3 kV / cm$



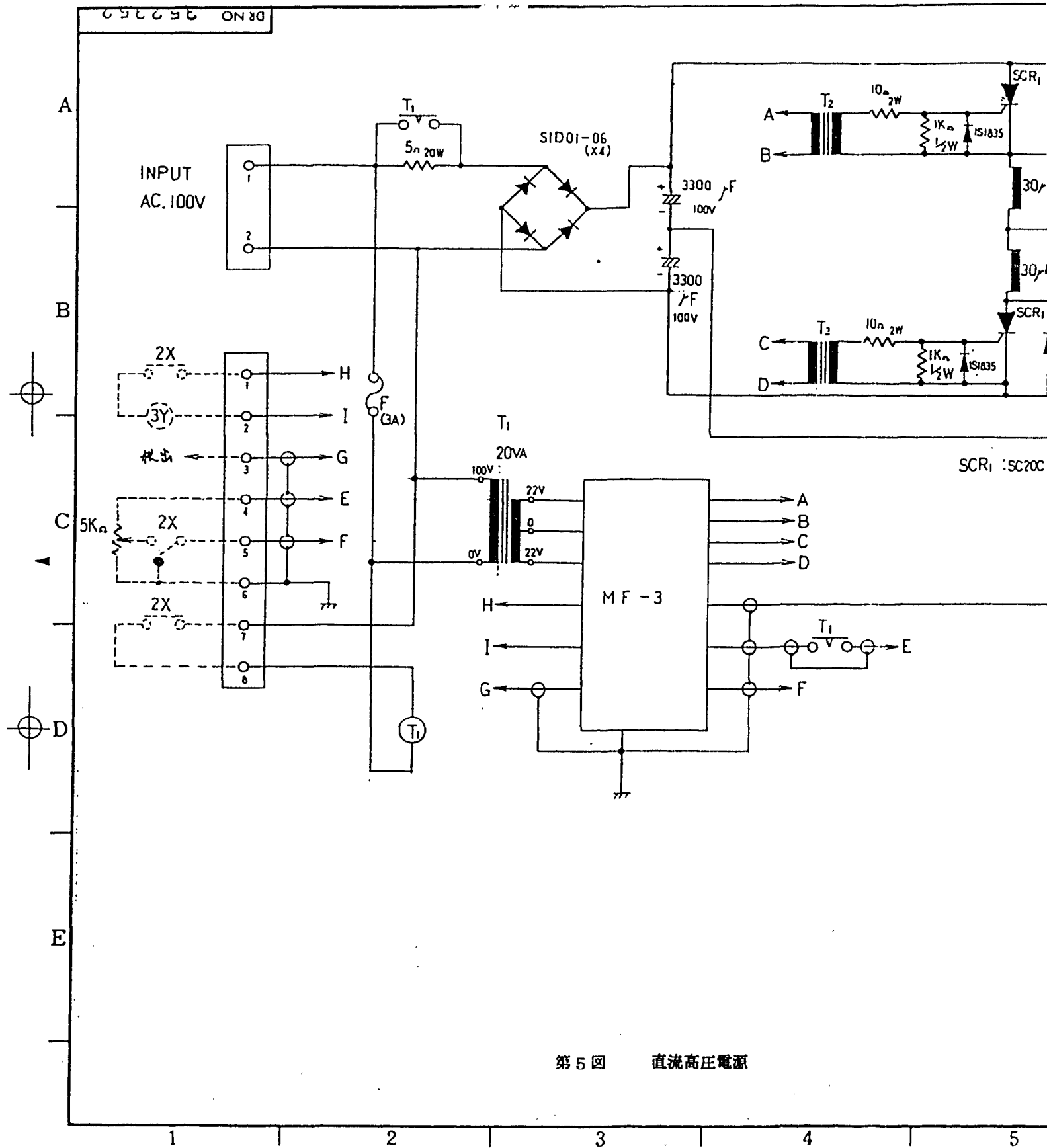


第4図 SCRを使用した大形サイラトン駆動回路



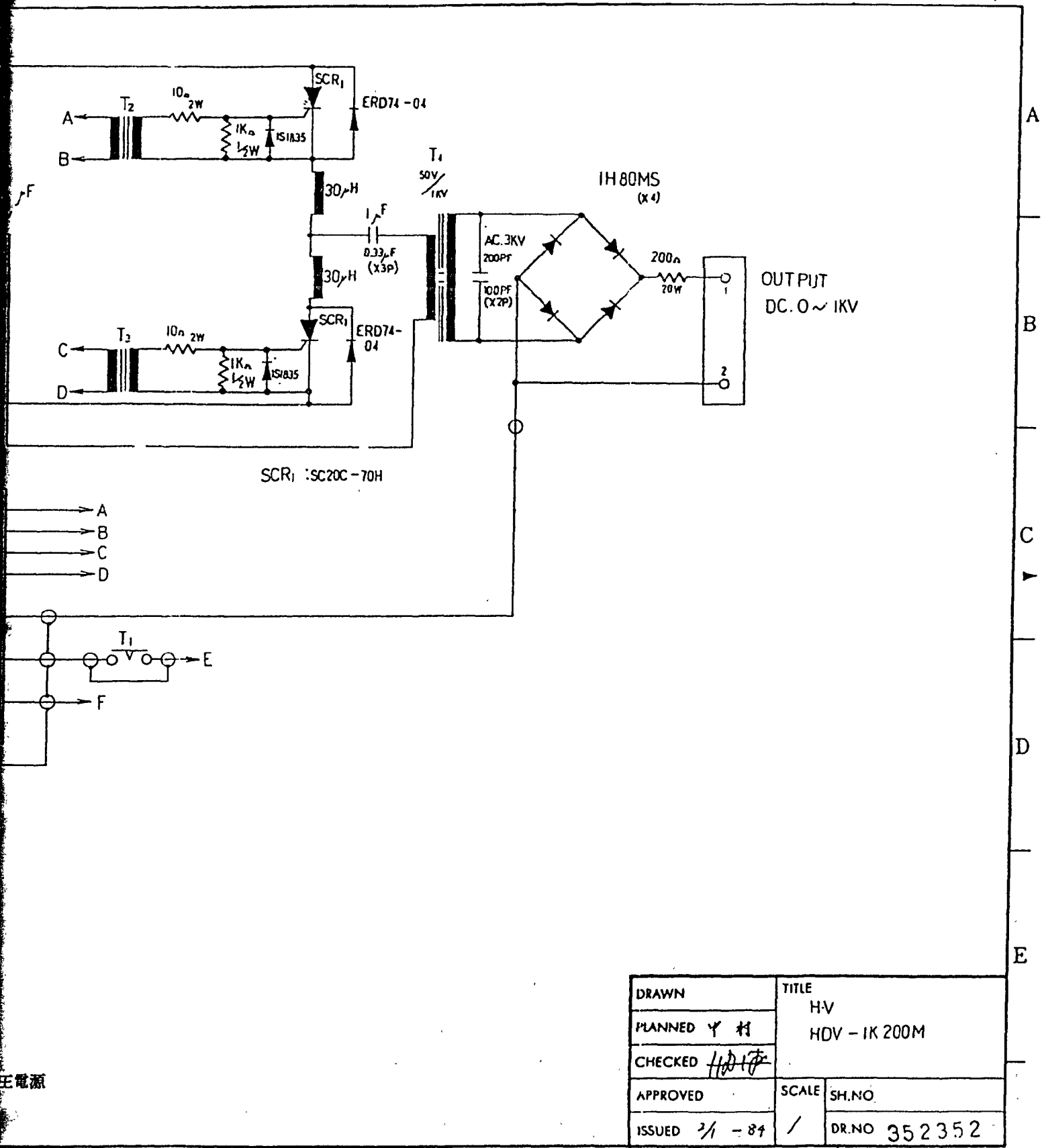
第4図 SCRを使用した大形サイラトロン駆動回路

DRAWN	TITLE	
PLANNED 中村	大形サイラトロン 駆動用SCR回路表紙	
CHECKED 1/1/86	SCALE	SH NO
APPROVED	ISSUED 1/1/86	DR NO 352353



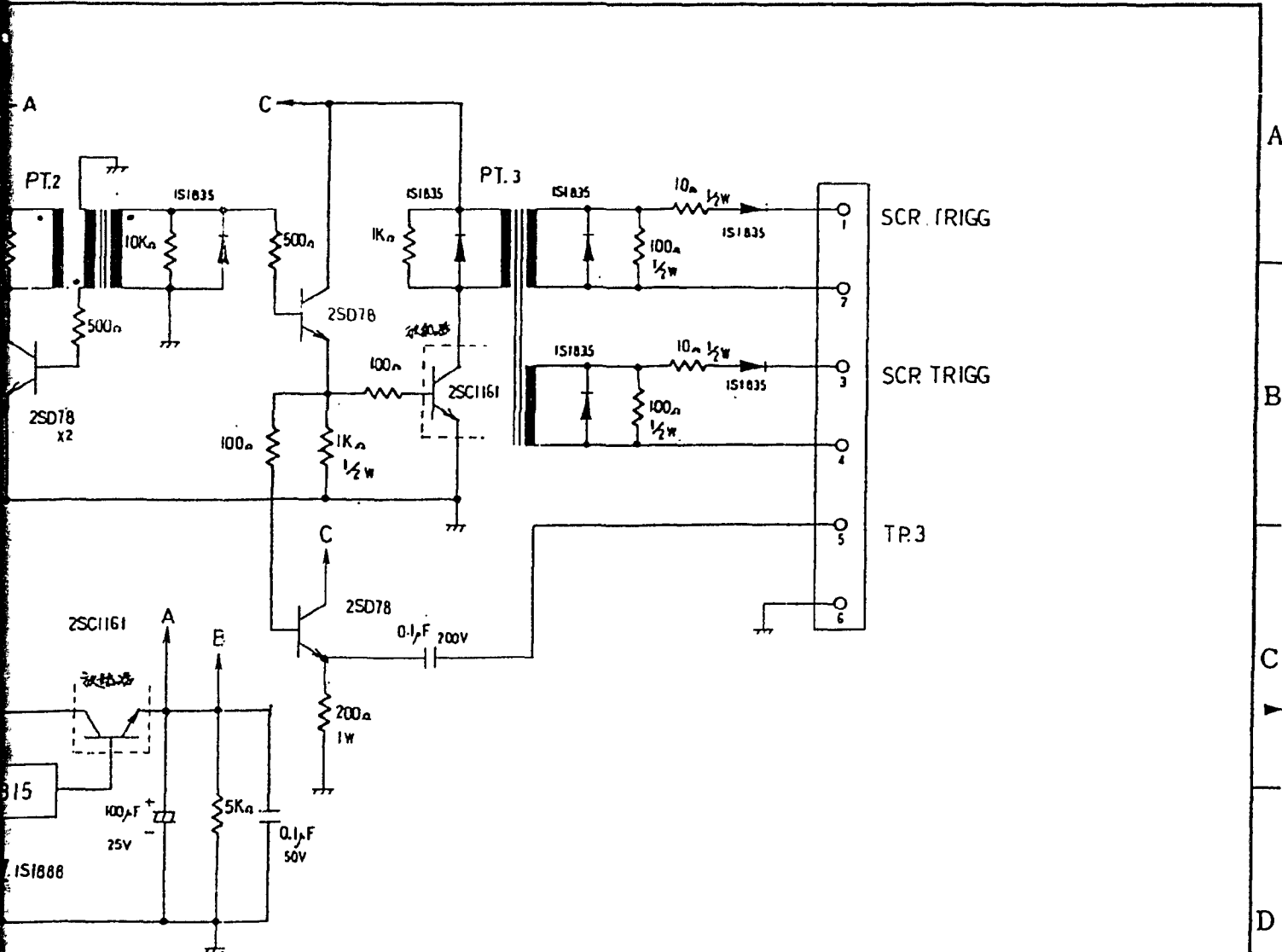
第5圖 直流高压电源





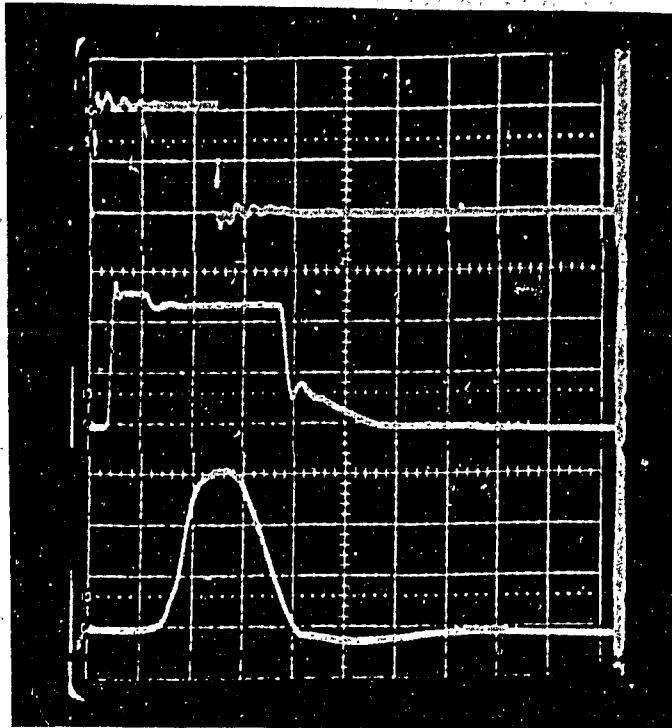
DRAWN	TITLE	
PLANNED 村	HV	
CHECKED <i>[Signature]</i>	HDV - 1K 200M	
APPROVED	SCALE	SH.NO
ISSUED 2/1 - 84	/	DR.NO 352352





カーパルス整形回路

DRAWN	TITLE	
PLANNED 中村	SCR TRIGG 回路	
CHECKED <i>[Signature]</i>		
APPROVED	SCALE	SH. NO
ISSUED 2/2 - 89	/	DR. NO 352351



$1 \mu s / cm$

上 タイミング調整回路からの入力パルス  
 $5 V / cm$

中 SCRトリガーパルス  $5 V / cm$

下 大形サイラトロンへの出力パルス  
 $0.5 kV / cm$

第7図 SCRトリガー入出力パルス波形

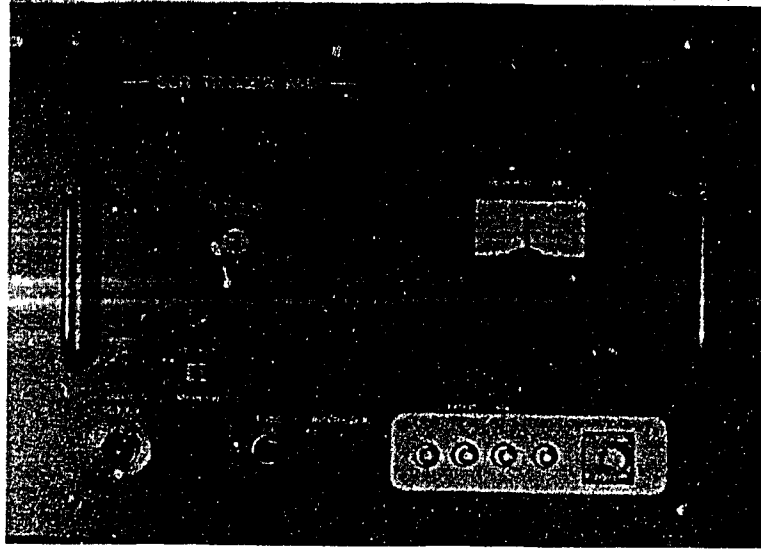


$0.2 ms / cm$

上 SCRトリガーパルス  
 $5 V / cm$

下 SCRアノード波形  
 $0.5 kV / cm$

第8図 SCRアノードパルス波形



第9図 SCRを使用したサイラトロン駆動回路前パネル写真