

# 角形ヒステリシス磁心を用いたサイリスタ用 全波形点弧制御回路

尾 山 茂

工学部 共通講座

## 1. まえがき

これまでに電源電圧が変動してもサイリスタ増幅器の制御特性がその影響を受けないような、角形ヒステリシス磁心を用いた、点弧制御回路について報告してきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。

これらはいずれも半波形回路の場合には良好な結果が得られるが、この回路を二組用いて全波形回路とした場合、制御入力回路抵抗が小さいとき、磁心のリセット磁束量が電源電圧変動の影響を受ける<sup>(4)</sup>。これを防ぐため、制御入力回路にさらに直列補償、あるいは並列補償回路を設ける必要があった<sup>(4)</sup>。

ここでは、半波形回路を二組用いて全波形回路とする代わりに、一組の半波形回路に可飽和リアクトルとサイリスタを付加し、全波形回路と同様の電源変動に対する補償が行なえる回路方式を提案する。

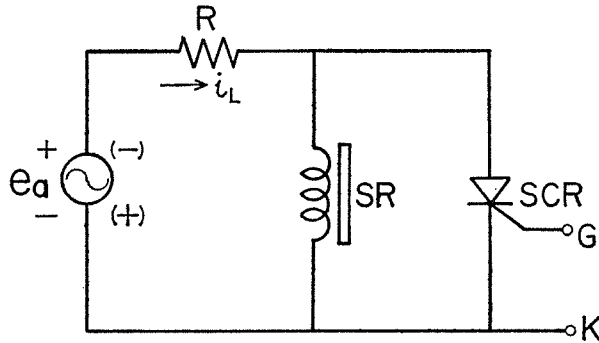
本方式は、半波形回路における休止期間に相当する磁気増幅器のリセット半周期をも利用して点弧用パルスを取り出すようにしたものであって、前報告<sup>(2)</sup>の回路方式にさらに可飽和リアクトルと補助サイリスタの並列接続回路をつけ加えたものである。本回路は、先の全波形回路<sup>(2)</sup>より簡単で小形にでき、特に、特性の揃った回路素子を二組づつ用意する必要がない特長を有する。さらに、主回路は半波形のものとはほぼ同じ回路となるため、設計基準もすっきりした形で与えることができ<sup>(5)</sup>、実験の結果も設計仕様とよく一致する。

本論文では、まずこの点弧制御回路の動作原理を説明し、回路設計基準についてのべる。つぎに、この設計基準にしたがって設計した回路についての実験結果を示し、その基準の妥当性について検討する。最後に、全波形回路として動作させた場合のサイリスタ増幅器の制御特性を示す。

## 2. 動作原理

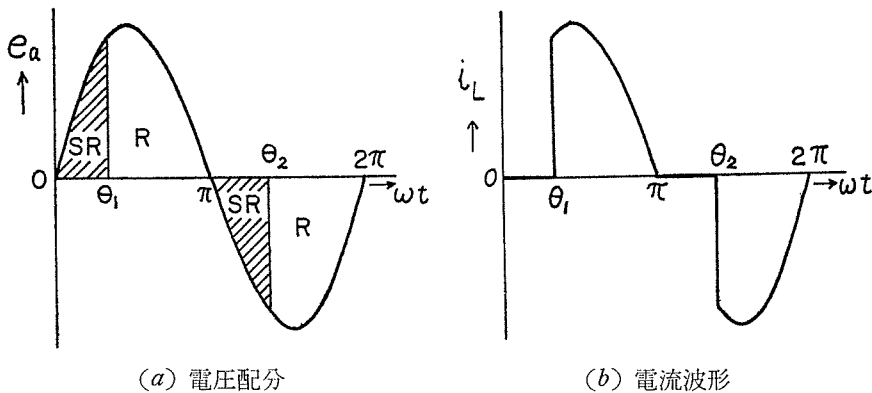
### 2.1 基本的原理

第1図に基本的原理の説明図を示す。可飽和リアクトル  $SR$  と補助サイリスタ  $SCR$  とを並列に接続し、抵抗  $R$  を通して正弦波交流電源  $e_a (= \sqrt{2} E_a \sin \omega t)$  に結ぶ。いま、 $SR$  は正の飽和レベルにあるものとし、 $e_a$  が図示の +, - の極性である半周期を考える。この期間中、 $SCR$  のゲート  $G$ , カソード  $K$  間に点弧パルスが印加されない間は、



第1図 基本原理図

SCRは不導通であるから、SRは $e_a$ によってリセットされ磁束レベルは正の飽和レベルから下降する。つぎに、点弧パルスが加えられると、SCRは導通してSRは短絡される形となるから、リセットはとまり磁束レベルの下降もとまって、そのレベルにとどまる。それと同時に電流 $i_L$ はSCR-Rを通して流れる。つぎに、 $e_a$ の極性が(-), (+)に変わると、逆電圧であるからSCRは消弧し、不導通となる。したがって、SRはゲートし、磁束レベルはさきリセットされた位置から上昇する。上昇した磁束レベルが正の飽和レベルに達したとき、SRは飽和し、電流 $i_L$ はSR-Rを通して前と逆方向に流れる。第



(a) 電圧配分

(b) 電流波形

第2図 電圧, 電流波形

2図(a)(b)はこのときの電圧配分と電流波形を示したもので、 $\theta_1$ でSCRが導通、 $\theta_2$ でSRが飽和したことを示す。(a)図において、正、負の各半周期中の斜線をほどこしたSRと記してある部分が、SRに印加される電圧でそれぞれリセット磁束量、ゲート磁束量に相当し、両者の面積は等しく、したがって $\theta_1 = \theta_2 - \pi$ となる。また、Rと記してある部分は、抵抗Rに印加される電圧で、(b)図に示すようにこの電圧が印加される期間中、電流 $i_L$ は流れる。(b)図における $\theta_1$ 、 $\theta_2$ での電流の急峻な立ち上がりを利用して点弧用パルスを取り出せば、補助SCRに加える1個のパルスで $\pi$ だけずれた2個のパルスを取り出すことができる。したがって、半波形の点弧制御回路とこの回路とを組み合わせ



ドと電源からなる回路で構成される<sup>(1)</sup>。

いま、電源  $e_{a1}$ ,  $e_{a2}$  の極性が+, -で示される半周期を考える。この期間は,  $SR_1$ ,  $C_1$ ,  $C_{II}$  のリセット半周期で,  $SW$  はオンとなり,  $C_1$  は電源電圧  $e_{a2}$  の半サイクル平均

値から  $SR_1$  の飽和電圧 (平均値) を差し引いた残りの電圧によってリセットされ,  $C_{II}$  は制御入力電圧  $E_c$  によってリセットされる。この関係を第5図 (a), (b), (c) の  $0 \sim \pi$  の期間に示す。同図中, 斜線の部分が各磁心に誘起される電圧波形を示す。ただし,  $\theta_1$  は  $SR_1$  が飽和した位相角を示し, 次式 (1) から求められる。

(a)  $SR_1$

(b)  $C_1$

(c)  $C_{II}$

$$\Phi_{SSR1} = \frac{1}{N_{SR1}} \int_0^{\theta_1} e_{a2} \, d\omega t \quad (1)$$

ただし,

$\Phi_{SSR1}$ ;  $SR_1$  の飽和磁束量

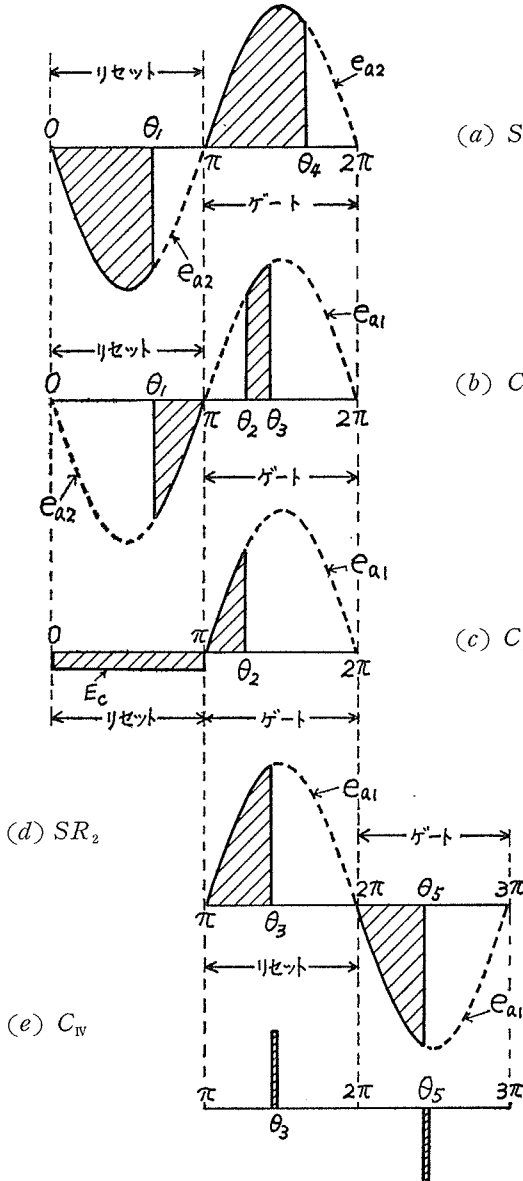
$N_{SR1}$ ;  $SR_1$  の巻回数

$\omega(2\pi f)$ ; 電源の角周数

また,  $C_{III}$  は巻線  $N_{P3}$  を通して  $e_{a1}$  によって負の飽和までリセットされる。

つぎに, 電源の極性が (-), (+) となる半周期は,  $SR_1$ ,  $C_1$ ,  $C_{II}$  のゲート半周期であるとともに,  $SR_2$  のリセット半周期でもある。ここでは,  $C_{II}$  の方が  $C_1$  より先に電圧が印加し, 飽和するように磁心の大きさおよびその巻回数を選ぶから

(3.3 節参照), 第5図 (b), (c) の  $\pi \sim 2\pi$  の期間に示すように,  $C_{II}$  が飽和した後で  $C_1$  が飽和する。同図中斜線の部分が各磁心の誘起電圧波形で, リセット磁束量に等しいゲート磁束量になったとき磁心は飽和する。したがって,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  は次式(2)(3)より求められる。



第5図 各磁心の誘起電圧波形

$$\int_0^{\pi} E_c \, d\omega t = \int_{\pi}^{\theta_2} e_{a1} \, d\omega t \quad (2)$$

$$\int_{\theta_1}^{\pi} e_{a2} d\omega t = \int_{\theta_2}^{\theta_3} e_{a1} d\omega t \quad (3)$$

$\theta_3$  の位相で  $C_{III}$  の  $N_{P2}$  巻線からパルスがとり出され、補助 SCR に加えられるから、第 5 図 (d) に示すように、 $SR_2$  は  $\pi \sim \theta_3$  の期間  $e_{a1}$  によってリセットされる。つぎの十、一の極性の半周期で  $SR_2$  はゲートし、リセット磁束量に等しいゲート磁束量になったとき、 $SR_2$  は飽和する。 $SR_2$  の飽和角  $\theta_5$  は(4)式から求められる。

$$\int_{\pi}^{\theta_3} e_{a1} d\omega t = \int_{2\pi}^{\theta_3} e_{a1} d\omega t \quad (4)$$

すなわち、 $\theta_3 - \pi = \theta_5 - 2\pi$  となる。

以上のように、 $\theta_3$  で補助 SCR が導通するから  $\theta_3$  の位相で  $N_{P6}$  巻線から、また  $\theta_5$  の位相で  $SR_2$  が飽和するから、 $N_{P5}$  巻線から、それぞれパルスがとり出され ((e)図参照)、 $TH_1$ 、 $TH_2$  を半周期毎に点弧することができる。したがって、電源の変動に対する補償、および制御入力部分は半波形回路の形で、全波形のサイリスタ増幅器を制御できることになる。

### 3. 回路の設計条件

この点弧制御回路は、磁心  $SR_1$ 、 $SR_2$ 、 $C_1$ 、 $C_{II}$ 、 $C_{III}$ 、 $C_{IV}$  から構成されているため、サイリスタ増幅器の制御特性が電源電圧変動の影響を受けない範囲を決める上で、これら各磁心の大きさとそれぞれの巻回数の関係を明らかにしておくことは重要なこととなる。

ここでは、一般的に電源電圧  $E_{a1}$  と  $E_{a2}$  の比を一定の  $\alpha$  としたとき、与えられた  $E_{a1}$  が  $\pm M\%$  変動してもサイリスタ増幅器の制御特性がその影響を受けないようにするための各磁心相互間の大きさおよび巻数の関係に必要な条件についてのべる。

#### 3.1 $SR_1$ と $C_I$ の関係

電源電圧  $E_{a1}$  が  $-M\%$  変動したときの電圧を  $E_{min}$  とし、 $SR_1$  の飽和磁束量を  $\Phi_{SS1}$  とすれば、 $E_{min}$  の電圧のとき丁度  $SR_1$  が飽和するようにすればよいから、 $SR_1$  の巻数  $N_{SR1}$  は次式より求めることができる。

$$N_{SR1} = \frac{\frac{E_{min}}{1.11\alpha} - V_D}{2f\Phi_{SS1}} \quad (5)$$

ここで、1.11 は波形率、 $V_D$  は SW の部分の電圧降下とする。

また、 $E_{a1}$  が  $+M\%$  変動したときの電圧を  $E_{max}$  とし、 $C_I$  の飽和磁束量を  $\Phi_{SI}$  とすれば、 $E_{max}$  以下の電圧では  $C_I$  が飽和しないよう巻数  $N_r$  を決めればよいから、 $N_r$  は次式から求めることができる。

$$N_r \geq \frac{\frac{E_{max}}{1.11\alpha} - V_D - 2f\Phi_{SS1}}{2f\Phi_{SI}} \quad (6)$$

一方、 $SR_1$  が未飽和の間は  $C_I$  がリセットされない条件として、 $C_I$  の定磁化電流が  $SR_1$  の飽和電流より大きいことが必要であるから、次式を満足しなければならない。

$$\frac{(AT)_{0I}}{N_r} > \frac{(AT)_{SS1}}{N_{SR1}} \quad (7)$$

ただし、 $(AT)_{0I}$  ;  $C_I$  の定磁化アンペアターン

$(AT)_{SS1}$  ;  $SR_1$  の飽和アンペアターン

以上(5), (6), (7)式を同時に満足するような磁心  $SR_1$ ,  $C_I$  の大きさ, および巻回数を選べばよい。

### 3.2 $SR_1$ と $C_{II}$ の関係

制御入力電圧  $E_c = 0$  の場合、磁気増幅器の出力電圧は  $SR_1$  の飽和電圧の  $a$  倍に等しくなるから<sup>(2)</sup>,  $E_c$  によって磁気増幅器の出力を零まで制御するためには、次式を満たさなければならない。

$$V_{SII} \geq a V_{SS1} \quad (8)$$

ただし、 $V_{SII}$  ;  $C_{II}$  の飽和電圧 (平均値)

$V_{SS1}$  ;  $SR_1$  の飽和電圧 (平均値)

したがって、 $C_{II}$  の飽和磁束量を  $\Phi_{SII}$  とすれば、次式より  $C_{II}$  のゲート巻数  $N_G$  が求められる。

$$N_G = a \Phi_{SS1} N_{SR1} / \Phi_{SII} \quad (9)$$

### 3.3 $C_I$ , $C_{II}$ , $C_{III}$ の関係

磁気増幅器のゲート半周期中、制御入力回路がオン、あるいはオフによって条件が変わってくるが、ここではオフとする場合についてのべる。この場合、 $C_I$ ,  $C_{II}$  のどちらが先に飽和してもよいが、ここでは  $C_{II}$ ,  $C_I$  の順に飽和するものとする。

$C_{II}$  が飽和するまでは、 $C_I$ ,  $C_{III}$  には電圧が誘起せず、 $C_I$ ,  $C_{II}$  が飽和するまでは  $C_{III}$  に電圧が誘起しないようにするためには、各磁心の定磁化電流と飽和電流との間に次の関係になりたつ磁心およびその巻数を選ばなければならない。

$$\frac{(AT)_{0I}}{N_g} > \frac{(AT)_{SII}}{N_g} \quad (10)$$

$$\frac{(AT)_{0III}}{N_{P1}} > \frac{(AT)_{SI}}{N_g} \quad (11)$$

ただし、

$(AT)_{0I}$  ;  $C_I$  の定磁化アンペアターン

$(AT)_{0III}$  ;  $C_{III}$  "

$(AT)_{SII}$  ;  $C_{II}$  の飽和アンペアターン

$(AT)_{SI}$  ;  $C_I$  "

### 3.4 $SR_2$ と $E_{a1}$ および $C_{IV}$ の関係

$E_{a1}$  が  $+M\%$  変動した電圧  $E_{max}$  以下では  $SR_2$  が飽和しないよう、また  $SR_2$  が飽和するまでは  $C_{IV}$  に電圧が誘起しないようにしなければならないからつぎの関係を満足しなければならない。

$$N_{SR2} = \frac{E_{max} / 1.1}{2 f \Phi_{SS2}} \quad (12)$$

$$\frac{(AT)_{SS2}}{N_{SR2}} < \frac{(AT)_{0IV}}{N_{P4}} \quad (13)$$

ただし

$N_{SR2}$  ;  $SR_2$  の巻回数

$\Phi_{SS2}$  ;  $SR_2$  の飽和磁束量

$(AT)_{SS2}$  ;  $SR_2$  の飽和アンペアターン

$(AT)_{0IV}$  ;  $C_{IV}$  の定磁化アンペアターン

なお、 $C_{III}$ 、 $C_{IV}$  は電源電圧  $e_{a1}$  の最大値のとき、 $SCR$  を点弧するために必要な最小パルス幅（約  $20\mu$  秒）となるような飽和磁束量をもつ磁心を選んでおけば、常にサイリスタを点弧できるパルスを取り出すことができる。すなわち、 $C_{III}$ 、 $C_{IV}$  の飽和磁束量を  $\Phi_{SIII}$ 、 $\Phi_{SIV}$  とすれば、

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{SIII} &\cong \sqrt{2} E_{max} \times 20 \times 10^{-6} \text{ [Wb]} \\ \Phi_{SIV} &\cong \sqrt{2} E_{max} \times 20 \times 10^{-6} \text{ [Wb]} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

となる。

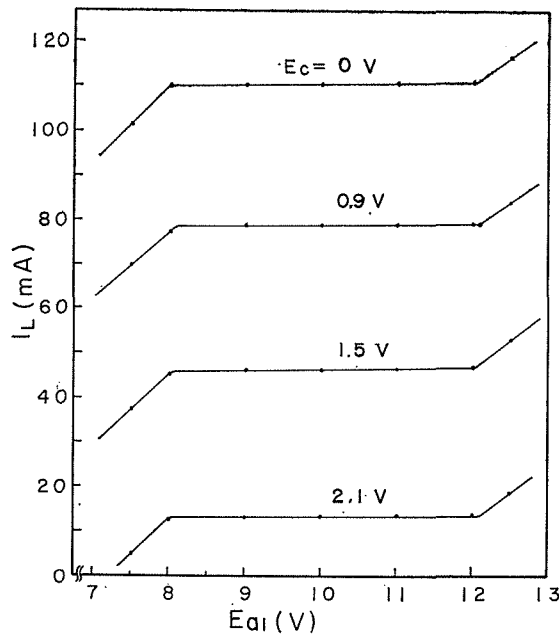
### 4. 実験的検討

点弧制御回路の設計仕様として、正弦波交流電圧  $E_{a1}$ 、 $E_{a2}$  の比を  $a=1$ 、大きさを  $10V$ （実効値）、電源変動の範囲を  $M=20\%$  と与えた場合、第3章でのべた設計条件にしたがって求めた磁心の大きさ、およびその巻回数を第1表に示す。

第 1 表

	材 質	寸法 (mm)	飽和磁束量 (Wb)	巻 回 数 (T)
$SR_1$	センドルタ	10×25×35	$1.32 \times 10^{-4}$	$N_{SR1}=521$
$SR_2$	〃	10×25×35	$1.31 \times 10^{-4}$	$N_{SR2}=816$
$C_1$	〃	10×45×60	$1.96 \times 10^{-4}$	$N_r=N_g=187$
$C_{II}$	〃	10×45×60	$1.95 \times 10^{-4}$	$N_C=100, N_G=350$
$C_{III}$	ポビソ	0.025×5.20層	$0.04 \times 10^{-4}$	$N_{P1}=25, N_{P2}=100,$ $N_{P3}=125$
$C_{IV}$	ポビソ	0.025×5.20層	$0.04 \times 10^{-4}$	$N_{P4}=25, N_{P5}=N_{P6}=100$

これらの磁心，巻回数を用いて第3図のような回路構成にする。第6図は，この回路の電源電圧  $E_{a1}$ （実効値）に対する抵抗  $R_L$  を流れる電流  $I_L$  ( $i_L$  の半サイクル平均値) の関係を，制御電圧  $E_c$  をパラメータとして，測定した結果である。この実験結果から，はじめに与えた  $10V \pm 20\%$  の電源電圧変動に対して出力電圧を一定にしたいという条件を十分満足していることがわかる。第7図，第8図は，全波形サイリスタ増幅器の定電圧特性 ( $E_s - I_{sL}$  特性で示した)，および制御特性 ( $E_c - I_{sL}$  特性) を示す。ここで



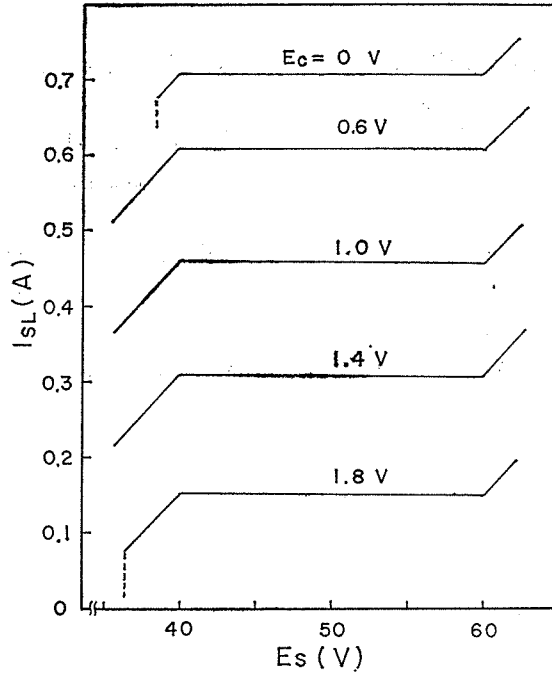
第6図 磁気増幅器の  $E_{a1} - I_L$  性 ( $R_{L1} = 25 \Omega$ )

$I_{sL}$  はサイリスタ増幅器（第4図に示す）の全波出力電流の平均値を示す。いずれも電源電圧が  $\pm 20\%$  変動しても平均出力電流はほぼ一定となり（変動率は  $1\%$  以下，制御特性も一特性曲線上にのり，電源変動の影響を受けないことを示している。第7図中，点線で示してある部分は，点弧パルスが小さくサイリスタ  $TH_1$ ， $TH_2$  が点弧しないことを示す。これは，電源電圧  $e_{a1}$  が正弦波交流電圧のため点弧角が  $\pi$  または  $2\pi$  付近では点弧パルスの大きさがサイリスタを点弧するに必要な大きさにならないためにおこる。

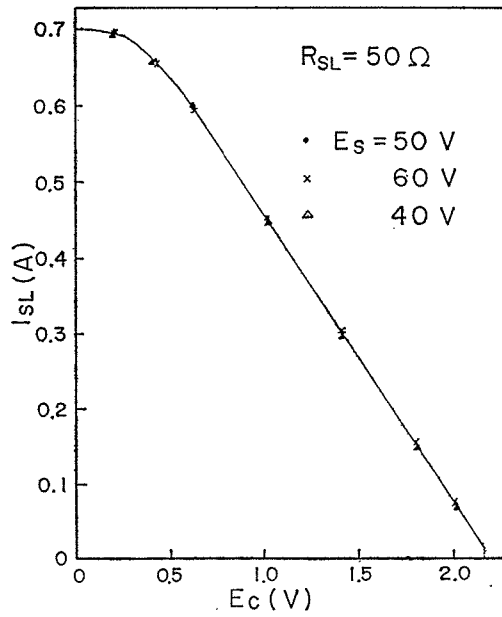
また，サイリスタ増幅器の平均出力電流でみた場合ほとんど問題にならないが，出力波形でみた場合，点弧角の位相によっては，電源の正，負の半周期毎における波形が異なることがある。とくに，電源電圧が低いときに現われる。これは，補助サイリスタ SCR の順方向電圧があるため，SCR が導通した後も  $SR_2$  はこの順方向電圧分でリセットされ続けるためにおこるものと考えられる。したがって，電源電圧  $E_{a1}$  は任意に選べるからといって，余り小さくはできず，本実験のように基準電圧は  $10V$  以上が適当である。これらの問題については，今後さらに検討を加える必要がある。



尾山：角形ヒステリシス磁心を用いたサイリスタ用全波波形点弧制御回路



第7図 サイリスタ増幅器  $E_s-I_{SL}$  特性 ( $R_{SL}=50\Omega$ )



第8図 サイリスタ増幅器の制御特性 (電源電圧  $50V \pm 20\%$ )

## 5. むすび

以上、電源変動に対する補償をもつ、サイクリスタ用半波形点弧制御回路に可飽和リアクトルと補助サイリスタの並列回路を付加することにより、半波形回路を二組用いた従来の全波形点弧制御回路と同様の働きをもつ回路方式を提案し、実験的にも良好な結果が得られた。また、半波形回路の設計条件をそのまま適用し、設計仕様にも良く合った実験結果を得ることができた。

本回路方式は、回路構成も簡単で小形にでき、とくに従来の全波形回路のように特性の揃った回路素子を二組つつ用意する必要もなく、制御入力回路に直列補償、並列補償回路などにも必要がないなどの特長を有する。

最後に、実験に協力された本学職員信夫正氏、卒研究生五十嵐正安（現在東芝勤務）氏に感謝します。

（本報告の一部は電気四学会連合大会において講演発表したものである。）

## 文 献

- (1) 菊地・尾山 ; 電気学会非線形磁気応用専門委員会資料（和，39，12）
- (2) 尾山 ; 山形大紀要（工学），9，265（1966）
- (3) 尾山・福田 ; 山形大紀要（工学），9，473（1967）
- (4) 尾山 ; 山形大紀要（工学），10，447（1969）
- (5) 尾山 ; 電気四学会連大，685，（昭，44，4）

## A Full-Wave Type Firing Circuit with Square Loop Cores for the Thyristor

Shigeru OYAMA

Department of Basic Technology, Faculty of Engineering

Author has reported on a firing circuit for the thyristor (SCR) amplifier of which the control characteristic is not affected by the supply voltage variation. The firing circuit is composed of a saturable reactor and a magnetic amplifier. In case of half-wave type, good results are experimentally obtained. In case of full-wave type, however, the reset flux change is affected by the supply voltage variation when the resistance of control circuit of the magnetic amplifier is small. In order to prevent its effect, it is necessary to use a series or parallel compensating circuit in the control circuit.

This paper offers a new firing circuit of full-wave type. This circuit is composed of a saturable reactor and an auxiliary thyristor and is different from a usual circuit of full-wave type.

The circuit is simple in construction and smaller than the usual circuit of full-wave type, and it has a special merit that a pair elements with identical characteristics do not need to be prepared.

This paper describes the principle of performance and the criteria of circuit design, and shows the experimental results of the firing circuit designed according to the criteria. The appropriateness of the design is also discussed.