

## 2方向性2端子サイリスタによる蛍光灯調光の一方法について

加 納 敏 三

### One of Fluorescent Lamp Dimmers with a Bi-directional Diode Thyristor

Toshizo KANO

This paper shows the result in the experiment in cotrolling current, connecting a thyristor to a fluorescent lamp of the resonant lighting type.

Here I explain how to dim light of a fluoescent lamp, just only remaking simply the lamp of the glow-swich type, and examine its characteristic and analyze the current in lighting the lamp.

この報告書は、共振型点燈方式の蛍光灯にサイリスタを接続して電流制御を行った場合の実験結果をまとめたものである。

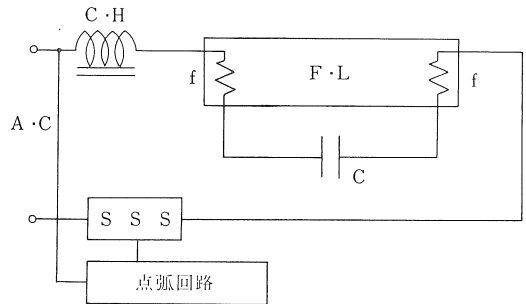
グロースイッチ方式の蛍光灯に簡単な改造をするのみで、調光が出来る方法を述べ、その特性を考察した。又、点燈時の電流について解析を試みた。

#### 1. ま え が き

半導体素子を用いた蛍光灯の調光方法は、すでに種々発表され又、実用化した製品も出ているが、殆んどラピッドスタート型を用いており器具自体も調光用に適した特別の製品を使用している。筆者は、従来から多く使用されているグロースイッチ方式の器具を用いて調光を試みたが、ある程度の満足する結果が得られたので報告する。この方式ではグローランプの代りに適当な容量のコンデンサを用いる事によりかなりの範囲に調光が出来、少々の電源電圧の変動に対しては影響なく使用出来る。又サイリスタにより位相制御を行なうので蛍光灯に加わる電圧には相当の高調波を含み、この影響で放電特性もかなり変わったものとなる。

#### 2. 点燈ならびに調光の方法

第1図のように蛍光放電管 F.L のフィラメント  $f$  の相対間にコンデンサ  $C$  を接続して共振型点燈回路を作り、これに2方向性2端子サイリスタ（以下 SSS と呼ぶ）を直列にして電流を制御させる。SSS を適当な制御角で制御すると、F.L 点燈前では、安定器 C.H とフィラメント  $f$  及びコンデンサ  $C$  よりなる RLC 回路で共振に近い状態が起り  $f$  に対して点燈に必要な電流を流す事が出来



第1図 原理図

る。これと同時に  $C$  の両端には高い電圧を生じて放電管 F.L が放電する。放電後は回路の共振条件が破れてフィラメント電流は減少し  $C$  の端子電圧  $E$  も少くなり F.L の管電圧が下がって安定した放電状態となる。放電後の点弧回路を調節して SSS の制御角を変化させると F.L の放電電流が変化して調光する事が出来る。

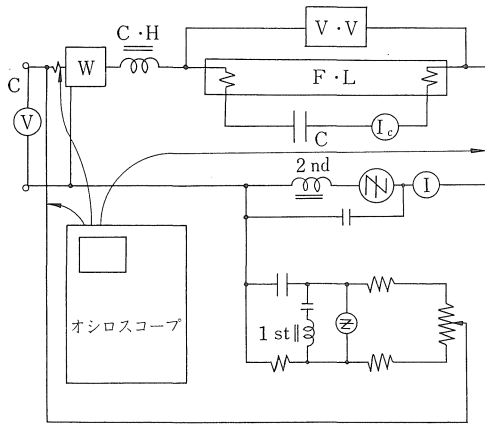
この場合、 $C$  を通してフィラメントに適当な電流が流れるようにすれば、放電電流の減少によるフィラメントの温度低下を防ぐ事が出来るので放電は持続する。

#### 3. 実験結果

第2図に、実験に用いた結線図を示す。

コンデンサの容量  $C$  は次のように変えて実験した。電源の周波数  $f_1 = 60[\text{Hz}]$  とし、C.H のインダクタンス  $L[H]$  に対して  $x \times f_1[\text{Hz}]$  を回路の共振周波数にとれば

$$2\pi f_1 x L = \frac{1}{2\pi f_1 x C} \quad \therefore C = \frac{1}{4\pi^2 f_1^2 x^2 L}$$



第 2 図 結線図

$x$  をパラメーターとして SSS の制御角  $\phi$  による諸量の変化を測定した。  $L[H]$  の変動は少いので  $L=0.5[H]$  一定と仮定して  $C$  を定めた。

$x = \frac{22}{16}$   $C = 7.31[\mu F]$  の場合及び

$x = \frac{21}{16}$   $C = 8.13[\mu F]$  の場合の結果を第 1 表に示す。

第 1 表 点燈並びに放電特性

(a)  $x = \frac{22}{16}$   $C = 7.41[\mu F]$  電源電圧  $V = 100[V]$

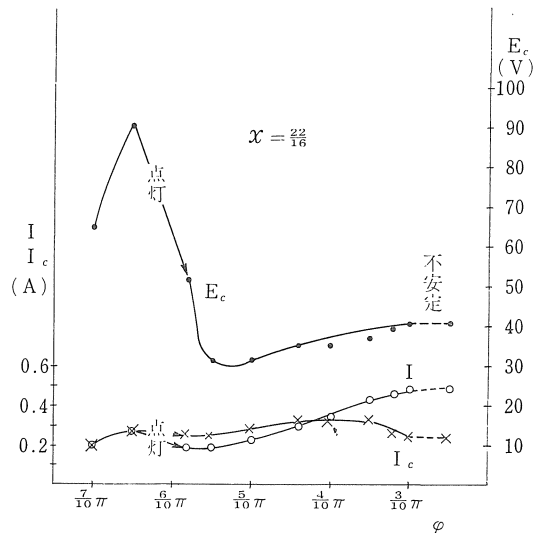
制御角 $\phi$ [rad]	電力 $P$ [W]	全電流 $I$ [A]	コンデンサ電流 $I_c$ [A]	コンデンサ端子電圧 $E_c$ [V]	力率 $p.f$ [%]	光束 $F$ [lm]
$\frac{7}{10}\pi$	5.0	0.210	0.210	65	23.8	
$\frac{6.5}{10}\pi$	9.0	0.280	0.280	91	32.1	点燈 ↓
$\frac{5.8}{10}\pi$	8.5	0.195	0.255	52	43.6	144.0
$\frac{5.5}{10}\pi$	10.0	0.190	0.250	31	52.6	244.8
$\frac{5}{10}\pi$	12.0	0.225	0.285	31	53.3	259.2
$\frac{4.4}{10}\pi$	16.5	0.300	0.325	35	55.0	338.4
$\frac{4}{10}\pi$	19.5	0.345	0.325	35	56.5	386.4
$\frac{3.5}{10}\pi$	25.5	0.435	0.335	37	58.6	480.0
$\frac{3.2}{10}\pi$	28.5	0.460	0.270	40	62.0	768.0
$\frac{3}{10}\pi$	31.0	0.485	0.255	41	63.9	864.0
$\frac{2.5}{10}\pi$	32.0	0.485	0.245	41	66.0	864.0

(b)  $x = \frac{21}{16}$   $C = 8.13[\mu F]$   $V = 100[V]$

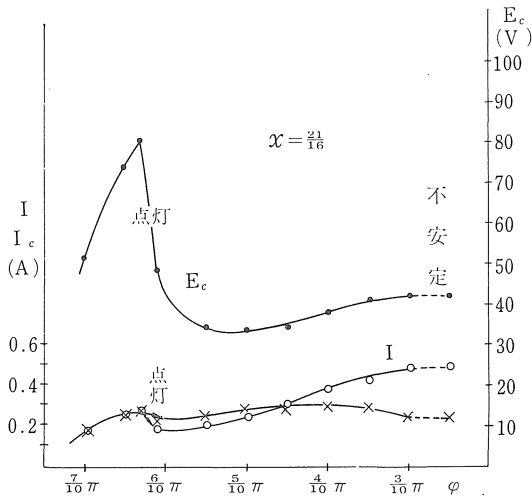
制御角 $\phi$ [rad]	電力 $P$ [W]	全電流 $I$ [A]	コンデンサ電流 $I_c$ [A]	コンデンサ端子電圧 $E_c$ [V]	力率 $p.f$ [%]	光束 $F$ [lm]
$\frac{7}{10}\pi$	4.0	0.185	0.185	52	21.6	
$\frac{6.5}{10}\pi$	7.5	0.260	0.260	74	28.8	
$\frac{6.3}{10}\pi$	9.0	0.280	0.280	81	32.1	点燈 ↓
$\frac{6.1}{10}\pi$	9.0	0.195	0.230	49	46.2	136.8
$\frac{5.5}{10}\pi$	10.5	0.205	0.260	35	51.2	208.8
$\frac{5}{10}\pi$	13.5	0.245	0.295	34	55.1	240.0
$\frac{4.5}{10}\pi$	17.5	0.310	0.300	35	56.5	295.2
$\frac{4}{10}\pi$	22.0	0.380	0.315	38	57.9	357.6
$\frac{3.5}{10}\pi$	25.5	0.245	0.300	41	60.0	448.8
$\frac{3}{10}\pi$	31.5	0.490	0.250	42	64.3	648.0
$\frac{2.5}{10}\pi$	32.5	0.495	0.245	42	65.7	660.0

第 3 図, 第 4 図に点燈前並びに調光時の特性を示す。点燈時における変化は矢印で表わした。又, 調光の浅いときに不安定な状態を生じたので点線で示したが, この場合光束には大きい変動や急激な変化は認められなかった。

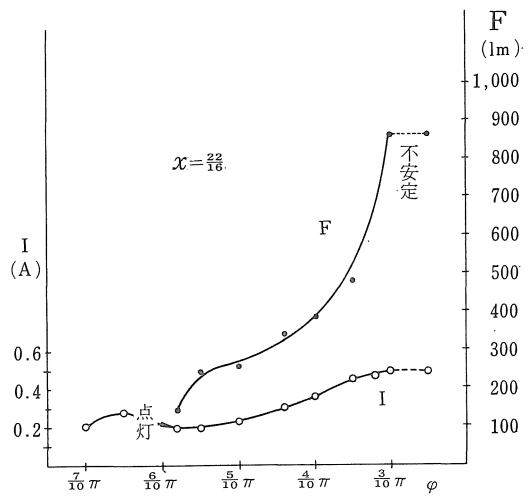
第 5 図に, 電源電圧を 100%[V], 60%[V], 40%[V] とした場合の全電流  $I$ , コンデンサ端子電圧  $E_c$  の変化を示した。○は  $V = 100[V]$ , ×は  $60[V]$ , ●は  $40[V]$



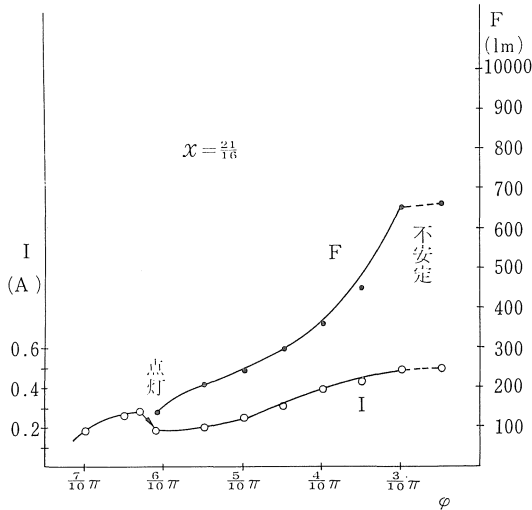
第 3 図 (a) 電流電圧特性



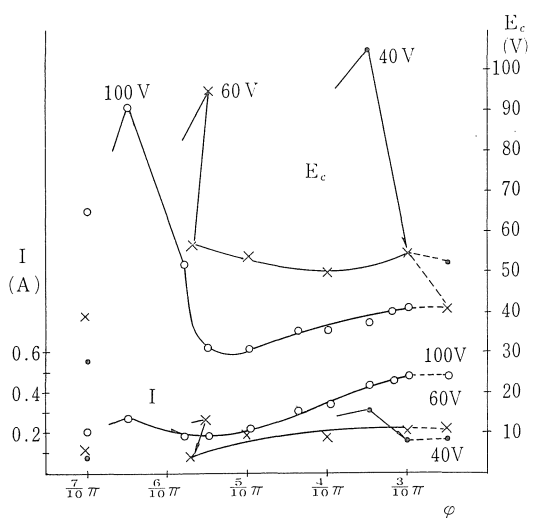
第3図 (b) 電流電圧特性



第4図 (a) 調光特性



第4図 (b) 調光特性



第5図 電源電圧変化に対する特性

の場合であるが、前述第3図と同様に  $\phi = \frac{7}{10}\pi$  のときの電流、電圧も参考のため記入した。又  $\phi$  が  $\frac{3}{10}\pi$  以下になると不安定となるので点線で示したが、光束には変動が認められない。

#### 4. 実験結果の考察

調光時において、コンデンサを流れる電流  $I_c$  が、 $\phi = \frac{4}{10}\pi \sim \frac{3}{10}\pi$  附近で  $E_c$  (管電圧を表わすものと考える) の増加にもかかわらず減少している。これは  $\phi = \frac{\pi}{2}$  附近から高調波が大きく生じているので、その影響で  $C$  に対する見かけのインピーダンスが変動するためであると推測される。電流の測定には可動鉄片型計器を用いたので、高調波に対する感度は悪く実値より小さい値を示

すので、実際には図表よりゆるい変化をしているであろう。又、調光を浅くするに従って  $E_c$  の増加が見られる。これは放電管の特性とは逆の現象である。SSSがオフした時より始まる過渡現象による電圧が現われるものとも考えられるが明確でない。力率は調光の深いとき悪くなるが位相制御のため仕方がない。放電管の点灯前にグロー放電に入るが調光範囲もせまくアーク放電に移る際に光束の変化が急であるため余り利用出来ない。但し、点燈後調光を深くしていくときはグロー放電の範囲が大きくなって光束が円滑に調整出来る。

コンデンサ  $C$  と直列にインダクタンスを入れた回路で実験を試みたが、ソフトスタートが可能になりグロー放電からアーク放電に移る時の光束の変化は非常に少なくなるが、コイルの抵抗による損失が大きくなる。

5. コンデンサCの容量選定

蛍光灯点灯前の状態を第6図で近似する.

$L$ : 安定器のインダクタンス (一定とする)

$f$ : フィラメント抵抗. 但し 安定器との合成抵抗  $R =$

$R_L + 2f$  は電流  $i$  の実効値の関数であるとする.

$C$ : 電極間に入れたコンデンサの静電容量

電源電圧  $e = \sqrt{2} E \sin \theta$  が SSS により, 制御角  $\varphi$  で制御され  $y(\theta)$  のような歪波となって RLC 回路に加わり電流  $i$  を流すものとし, 電圧との位相差  $\varphi'$  を

$$\varphi' = \frac{2\pi^2 f_1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}} + \varphi - \pi$$

で近似出来るものとする.  $y(\theta)$  は対称波で

$\sqrt{2} E \sin(\theta + \pi) = -\sqrt{2} E \sin \theta$  であるから

$y(\theta) = \sum a_n \sin n\theta + \sum b_n \cos n\theta$  とおく

但し, 
$$a_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} y(\theta) \sin n\theta d\theta$$
 ( $n=1, 3, 5, \dots$ )  

$$b_n = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} y(\theta) \cos n\theta d\theta$$

$m\pi + \varphi' < \theta < \varphi + m\pi$  では  $y(\theta) = 0$

$m\pi + \varphi \leq \theta \leq \varphi' + m\pi$  では  $y(\theta) = \sqrt{2} E \sin \theta$

( $m=0, 1, 2, 3, \dots$ ) であるから

$$a_n = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\varphi'} \sqrt{2} E \sin \theta \sin n\theta d\theta + \frac{2}{\pi} \int_{\varphi}^{\pi} \sqrt{2} E \sin \theta \sin n\theta d\theta$$

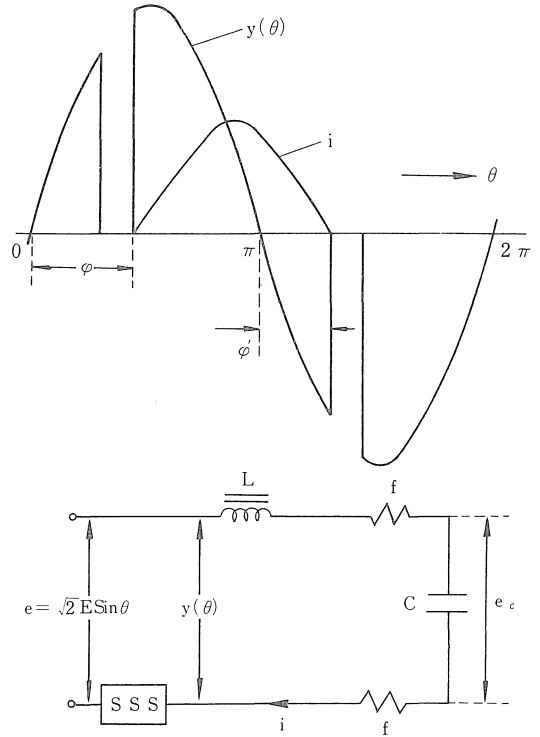
$$b_n = -\frac{2}{\pi} \int_0^{\varphi'} \sqrt{2} E \sin \theta \cos n\theta d\theta + \frac{2}{\pi} \int_{\varphi}^{\pi} \sqrt{2} E \sin \theta \cos n\theta d\theta$$

$n \neq 1$  であれば

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left[ \frac{\sin(n-1)\theta}{n-1} - \frac{\sin(n+1)\theta}{n+1} \right]_0^{\varphi'} + \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left[ \frac{\sin(n-1)\theta}{n-1} - \frac{\sin(n+1)\theta}{n+1} \right]_{\varphi}^{\pi} \\ &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left\{ \frac{\sin(n-1)\varphi'}{n-1} - \frac{\sin(n+1)\varphi'}{n+1} \right\} - \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left\{ \frac{\sin(n-1)\varphi}{n-1} - \frac{\sin(n+1)\varphi}{n+1} \right\} \\ &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left\{ \frac{\sin(n-1)\varphi' - \sin(n-1)\varphi}{n-1} - \frac{\sin(n+1)\varphi' - \sin(n+1)\varphi}{n+1} \right\} \\ b_n &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left[ \frac{-\cos(n+1)\theta}{n+1} + \frac{\cos(n-1)\theta}{n-1} \right]_0^{\varphi'} + \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left[ \frac{-\cos(n+1)\theta}{n+1} + \frac{\cos(n-1)\theta}{n-1} \right]_{\varphi}^{\pi} \\ &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left\{ \frac{-\cos(n+1)\varphi' + 1}{n+1} + \frac{\cos(n-1)\varphi' - 1}{n-1} \right\} + \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left\{ \frac{-1 + \cos(n+1)\varphi}{n+1} + \frac{1 - \cos(n-1)\varphi}{n-1} \right\} \\ &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left\{ \frac{\cos(n+1)\varphi - \cos(n+1)\varphi'}{n+1} + \frac{-\cos(n-1)\varphi + \cos(n-1)\varphi'}{n-1} \right\} \end{aligned}$$

$n=1$  のときは

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left[ \theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right]_0^{\varphi'} + \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left[ \theta - \frac{\sin 2\theta}{2} \right]_{\varphi}^{\pi} \\ &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left( \varphi' - \frac{\sin 2\varphi'}{2} \right) + \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left( \pi - \varphi + \frac{\sin 2\varphi}{2} \right) \\ &= \frac{\sqrt{2} E}{\pi} \left( \pi - \varphi + \varphi' + \frac{\sin 2\varphi - \sin 2\varphi'}{2} \right) \\ b_1 &= \frac{\sqrt{2} E}{2\pi} \left[ -\cos 2\theta \right]_0^{\varphi'} + \frac{\sqrt{2} E}{2\pi} \left[ -\cos 2\theta \right]_{\varphi}^{\pi} \end{aligned}$$



第6図 点灯前の等価回路

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\sqrt{2}E}{2\pi}(-\cos 2\varphi' + 1) + \frac{\sqrt{2}E}{2\pi}(-1 + \cos 2\varphi) \\
 &= \frac{\sqrt{2}E}{2\pi}(\cos 2\varphi - \cos 2\varphi')
 \end{aligned}$$

$y(\theta)$  の基本波及高調波の各成分の最大値  $E_{mn}$  は

$E_{mn} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$  であるから

$$y(\theta) \text{ の実効値 } E_\theta = \sqrt{\frac{1}{2} \sum E_{mn}^2} \quad \text{①}$$

実験結果の項でのべたように、回路を基本波の  $x$  倍の周波数に共振するように  $C$  を定めたとすれば

$$C = \frac{1}{4\pi^2 f_1^2 x^2 L} = \frac{1}{x^2 \omega_1^2 L}$$

$$\text{合成インピーダンス } Z_n = \sqrt{R^2 + \left( \omega_n L - \frac{1}{\omega_n C} \right)^2}$$

$$= \sqrt{R^2 + \left( \omega_n L - \frac{x^2 \omega_1^2 L}{\omega_n} \right)^2}$$

$$= \sqrt{R^2 + \omega_n^2 L^2 \left( 1 - \frac{x^2}{\omega_n^2 / \omega_1^2} \right)^2}$$

$$= \sqrt{R^2 + n^2 \omega_1^2 L^2 \left( 1 - \frac{x^2}{n^2} \right)^2} \quad \text{②}$$

故に電流  $i$  の実効値  $I_\theta$  は

$$I_\theta = \sqrt{\frac{1}{2} \sum \left( \frac{E_{mn}}{Z_n} \right)^2} \quad \text{③}$$

次にコンデンサ端子電圧  $e_c$  は、第  $n$  調波  $E_{mn}$  に対して  $k_n E_{mn}$  の最大値をとるとすれば

$$e_c \text{ の実効値 } E_c = \sqrt{\frac{1}{2} \sum (k_n E_{mn})^2}$$

但し

$$\begin{aligned}
 k_n &= \frac{1}{Z_n} \\
 &= \frac{1}{x^2 \omega_1^2 L \omega_n \sqrt{R^2 + \omega_n^2 L^2 \left( 1 - \frac{x^2}{n^2} \right)^2}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{R^2}{x^4 \omega_1^2 L^2} \left( \frac{\omega_n}{\omega_1} \right)^2 + \frac{\omega_n^2 L^2 \left( 1 - \frac{x^2}{n^2} \right)^2}{x^4 \omega_1^4 L^2 \omega_n^2}}} \\
 &= \frac{1}{\sqrt{\frac{R^2 n^2}{x^4 \omega_1^2 L^2} + \frac{\left( 1 - \frac{x^2}{n^2} \right)^2}{x^4 \omega_1^2}}}
 \end{aligned}$$

又回路の抵抗  $R$  はフィラメントを含むので温度により変化するため  $R = R_0 + (100I_\theta)^{1.15}$  ④

とする。

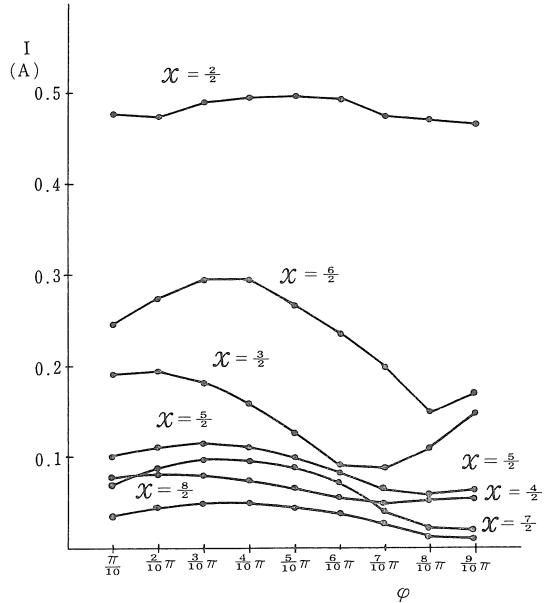
④式の  $I_\theta$  に適当な初期値を与えて  $R$  を計算しこれを①、②式に代入して  $E_\theta$ 、 $Z_n$  を求め、③式より  $I_\theta'$  を求める。更に  $I_\theta'$  を④式に代入して繰返す。

$I_\theta$  の初期値を 0.7,  $E = 50$ ,  $L = 0.5$

$R = 22 + (100I_\theta)^{1.15}$ ,  $n = 1, 3, 5, \dots, 23, 25$

として  $\varphi = \frac{1}{10}\pi \sim \frac{9}{10}\pi$   $x = \frac{2}{2} \sim \frac{8}{2}$

の各場合における  $I_\theta$  を求めた結果を第 7 図に示す。

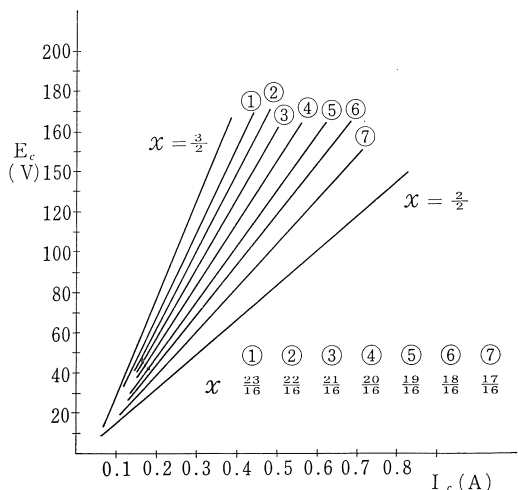


第 7 図 計算結果

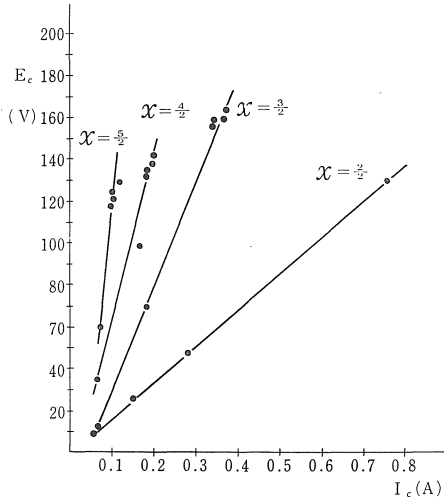
この結果実測値とはかなりの誤差を生じた。特に  $\varphi$  の大きい場合に甚だしい。 $\varphi'$  の近似法、 $e_c$  の過渡現象の無視、が原因と思われるが、現在検討中である。実際には各  $x$  の値に対する  $I_c - E_c$  関係を求めて、 $C$  を選定した。第 8 図にその結果を示す。

図には省略したが  $x=3, 5$  では高調波の影響で  $E_c$  が大きくなり比較的小さい  $I_c$  で点燈するが、 $\varphi$  が 0 又は  $\pi$  に近いときは高調波成分が少いので  $I_c$  が小で点燈出来ない。

又、 $x=1$  では  $I_c$  が過大となる。結果として第 3 調波成分のやや多い  $x = \frac{3}{2}$  近くで  $x = \frac{22}{16}, \frac{21}{16}$  を選んだ。



第 8 図  $E_c - I_c$  (a)

第8図  $E_c-I_c$  (b)

## 6. む す び

実験中、第3調波、第5調波の影響を利用出来る事を期待したが、結果としては過大又は過小の電圧、電流となった。然し共振周波数を基本波の $\frac{3}{2}$ 倍附近にとる事により満足出来る結果を得た。円滑な調光、調光中の $I_c$ を減少させる事、その他問題点はあるが順次改良して行く積りである。ただ電源電圧がかなり低下しても簡単に点燈出来た事は一収穫であった。 $I_c$ の解析は参考程度に終わったが、誤り、不備の点を諸先輩に御指摘頂ければ幸甚である。終りに計算に御協力願った電気計算機室の皆福正彦氏、小林敏子氏に厚く御礼申し上げる。

## 参 考 文 献

- 尾本義一、本城巖、共著 昭和39年発行「照明・電熱」  
共立全書
- SCR ハンドブック編集委員会編 昭和41年発行「SCR  
ハンドブック」 丸善株式会社
- 姫井、井上、近藤、中西 昭和42年電気四学会、連大  
777