

高電圧半波整流回路の解析

Analysis of High Voltage Half Wave Rectifier Circuits

草 谷 晴 之*
Haruyuki Kusagaya

内 容 梗 概

治療用・工業用X線装置または電子線加工機などの直流高電圧電源には、2倍あるいは4倍電圧整流回路が用いられる。このような高電圧整流回路では、変圧器の漏えいインダクタンスが回路特性に及ぼす影響が問題となるが、このような問題は、いまだ十分に解明されていない。

ここでは、整流回路の基本形である半波整流回路について、インダクタンスを含めた回路定数、整流器特性と出力電圧の降下率、脈動率などとの関係式を求め、計算が実験とよく一致することを示した。

1. 緒 言

深部治療用あるいは工業用X線装置はX線管、整流器の発達とともに、高電圧、大容量化され、数百キロボルト、数十ミリアンペアの直流電源が要求されている。また近時開発された電子線加工機でも100kV以上、数十ミリアンペアの直流出力が望まれている。これらには2倍電圧あるいは4倍電圧整流回路が用いられているが、このような整流回路は古くから用いられ、回路インピーダンスとして抵抗のはいった場合、あるいは無い場合の特性は多くの研究により明らかにされている^{(1)~(6)}。しかし、電源変圧器の漏えいインダクタンスの影響については、それが無視できる条件については実験的に求められているが⁽⁶⁾、無視できない場合の回路特性については、まだ十分に解明されていない。数十キロボルト以上の出力電圧をもつ整流回路では、装置の大きさ、重量、経済性などの面から、変圧器の漏えいインダクタンスの影響を十分小さくできない場合がある。今回、インダクタンスを含む整流回路の特性を明らかにする目的で実験検討した結果、実用性ある特性近似計算式を求めることができたが、ここには多段整流回路の基本形である半波整流回路の場合のみについて記した。

整流回路の設計上必要な特性として、出力電圧降下率脈動率を L, C, R の回路定数の関数として示し、さらに整流器の特性の影響についても検討した。また、整流素子・変圧器巻線・保護抵抗などの装置各部の熱損失の算定には、充電電流の波形も考えねばならないので、充電電流最大値についても近似計算式を求めた。

なお、実際に用いられる2倍電圧あるいは4倍電圧整流回路については、半波整流回路の解析結果を拡張して特性計算式を求めることができるが、それらについては後報する予定である。

2. 直列抵抗のない半波整流回路の解析

2.1 回路方程式と解析の条件

半波整流回路を第1図に示す。 L は高電圧変圧器の漏えいインダクタンスおよび電源側回路に含まれるインダクタンスを示す。 r は直列抵抗、 S は理想整流器（逆方向に通電せず、順方向の抵抗がない）、 R は負荷抵抗を示す。

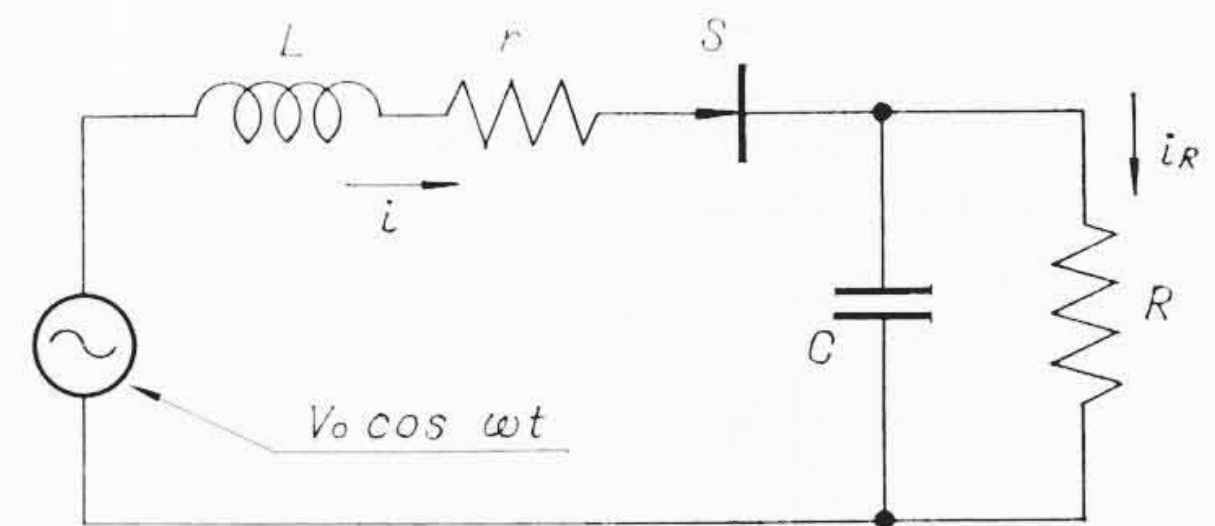
この回路の入・出力の電圧・電流波形とその位相を第2図に示す。整流器の導通期間($t_\beta < t < t_r$)の回路方程式は(1)式で示される。

$$ri + L \frac{di}{dt} = V_0 \cos \omega t - v_c(t) \quad (1)$$

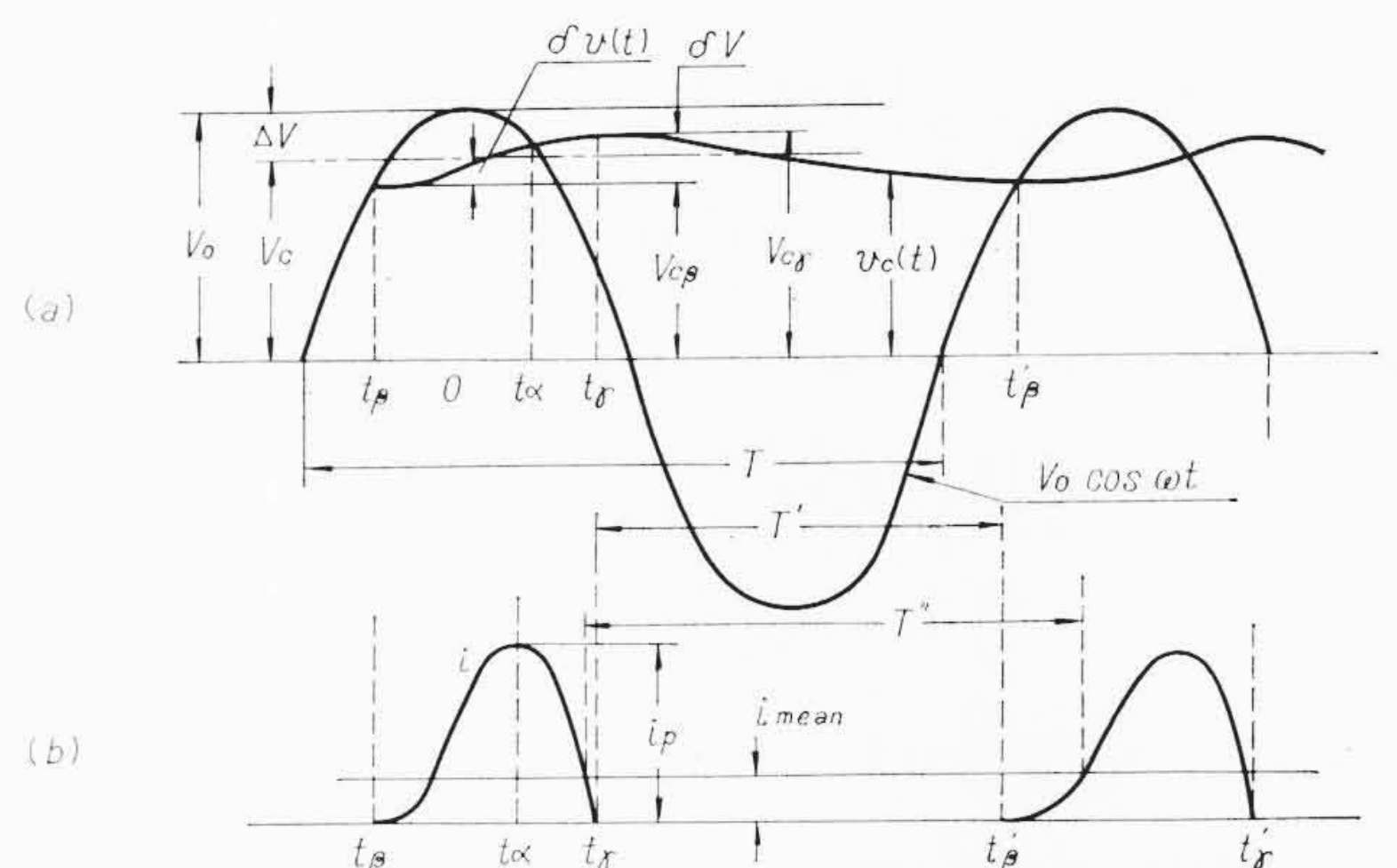
簡単のため、次の仮定のもとに解析を行なう。

$$\textcircled{1} \quad r=0 \quad (2)$$

* 日立製作所亀戸工場



第1図 半波整流回路



第2図 半波整流回路の電圧と電流の関係

$$\textcircled{2} \quad V_0 \gg \Delta V, \delta V \quad (3)$$

$$\textcircled{3} \quad v_c(t) \text{は充・放電時とも、時間に対し直線的に変化する。}$$

③の仮定は②が成り立てば近似的に成り立ち、これより次式をうる。

$$\delta v(t) \doteq \delta V \cdot \frac{t-t_\beta}{t_r-t_\beta} \quad (4)$$

$$V_{c\beta} \doteq V_c - \frac{1}{2} \delta V = V_0 - \Delta V - \frac{1}{2} \delta V \quad (5)$$

また、一周期間の負荷の通電電氣量を Q とすれば

$$Q = \frac{V_c}{R} \cdot T = \frac{V_0 - \Delta V}{R} \cdot \frac{2\pi}{\omega} \quad (6)$$

したがって回路方程式は次のようになる。

$$L \frac{di}{dt} = V_0 \cos \omega t - V_{c\beta} - \delta v(t) \quad (7)$$

2.2 整流器の動作時期

(1) 整流器の導通開始時期

$t=t_\beta$ で $di/dt=0$ であるから(7)式に(4)、(5)式を入れると

$$V_0 \cos \omega t_\beta = V_0 - \Delta V - \frac{1}{2} \delta V$$

左辺を ωt_β のべき級数に展開し、四次以上の項を省略すれば

$$t_\beta \doteq -\frac{1}{\omega} \sqrt{2 \left(\frac{\Delta V}{V_0} + \frac{\delta V}{2 V_0} \right)} \quad (8)$$

(2) 整流器の導通終了時期

(7)式を t_β より t_r まで1回積分すると、 $t=t_r$ で $i=0$ であるから

$$\sin \omega t_r - \sin \omega t_\beta - \frac{V_{c\beta}}{V_0} (\omega t_r - \omega t_\beta) - \frac{\delta V}{2 V_0} (\omega t_r - \omega t_\beta) = 0$$

$\sin \omega t_r$, $\sin \omega t_\beta$ をそれぞれ ωt_r , ωt_β のべき級数に展開し、五次以上の項を省略すれば、(4), (8)式の関係を用いて

$$t_r \doteq \left(-2 + \varepsilon + \frac{1}{3} \varepsilon^2\right) t_\beta \quad \dots\dots\dots (9)$$

ただし

$$\varepsilon = \frac{\delta V}{2 \Delta V + \delta V} \quad \dots\dots\dots (10)$$

(3) 整流器の電流が最大となる時期

電流最大となる時期 $t=t_\alpha$ においては $di/dt=0$ であるから(7)より

$$V_0 \cos \omega t_\alpha - V_{c\beta} - \delta v(t_\alpha) = 0$$

(4), (5)式を用い、 $\cos \omega t_\alpha$ をべき級数に展開して四次以上の項を省略し、(8), (9), (10)式を用いて整理すれば次式をうる。

$$t_\alpha \doteq -\left(1 - \frac{2}{3} \varepsilon\right) t_\beta \quad \dots\dots\dots (11)$$

2.3 電圧降下

(7)式を2回積分すると

$$L \int_{t_\beta}^{t_r} dt \int_{t_\beta}^t \left(\frac{di}{dt}\right) dt = \int_{t_\beta}^{t_r} dt \int_{t_\beta}^t (V_0 \cos \omega t - V_{c\beta}) dt - \int_{t_\beta}^{t_r} dt \int_{t_\beta}^t \delta v(t) dt$$

(8), (9)式を用い ε の二乗以上の項を省略すれば

$$L \cdot Q = \frac{9 V_0}{2 \omega^2} \left(\frac{2 \Delta V + \delta V}{2 V_0}\right)^2 \left(1 - \frac{2}{3} \varepsilon^2\right) - \frac{\delta V}{\omega^2} (3 - 2 \varepsilon) \left(\frac{2 \Delta V + \delta V}{2 V_0}\right) \quad \dots\dots\dots (12)$$

(10)式を用いて整理すれば

$$A \cdot Q = x^2 + \frac{2}{3} xy - \frac{1}{9} y^2 \quad \dots\dots\dots (13)$$

ただし

$$A = \frac{2 \omega^2 L}{9 V_0}, \quad x = \frac{\Delta V}{V_0}, \quad y = \frac{\delta V}{2 V_0}, \quad \varepsilon = \frac{y}{x+y} \quad \dots\dots\dots (14)$$

(13)より

$$x = \sqrt{A \cdot Q + \frac{2}{9} y^2} - \frac{1}{3} y \quad \dots\dots\dots (15)$$

脈動率 y が小さいときは

$$x = \sqrt{A \cdot Q} - \frac{1}{3} \cdot y \quad \dots\dots\dots (16)$$

(16)式より、脈動率 y が小さいときは一周期通電電気量 Q の平方根に比例して電圧降下は増加するが、 y が大きくなると y の大きい方(同じ負荷電流ならばコンデンサ容量が小さい方)が電圧降下が小さくなる。さらに y が大きくなると(15)の第一項が増大して急激に電圧降下が大きくなる。

次に

$$y' \equiv \frac{\delta V}{V_c} = \frac{1}{1-x} \cdot y \quad \dots\dots\dots (17)$$

とおき、電圧降下率を、 y' と回路定数 L, C, R の関数として示すため(16)式に(6)式を用いて整理すれば

$$x \doteq \sqrt{B} - \frac{1}{2} B - \frac{1}{6} y' \quad \dots\dots\dots (18)$$

ここに

$$B = \frac{4 \pi \omega L}{9 R} \quad \dots\dots\dots (19)$$

y' は(28)式のように回路定数のみで示されるから、電圧降下率 x も L, C, R のみで示され、脈動率が小さいところでは ωL と R のみの関数となり、コンデンサ容量に関係しないことになる。

2.4 整流器の電流最大値

(7)に(4)を代入して、両辺を t_β より t_α まで一回積分すると

$$L \cdot i_p = \frac{V_0}{\omega} (\sin \omega t_\alpha - \sin \omega t_\beta) - V_{c\beta} (t_\alpha - t_\beta) - \frac{\delta V}{t_\alpha - t_\beta} \cdot \frac{(t_\alpha - t_\beta)^2}{2}$$

$\sin$ の項をべき級数に展開し(五次以上は省略)、(5), (8)~(11)を用いて整理すれば、

$$i_p = \frac{4 \sqrt{2} V_0}{3 \omega L} \left(\frac{2 \Delta V + \delta V}{2 V_0}\right)^{\frac{3}{2}} (1 - \varepsilon)$$

さらに(12)式を用いて整理すれば (ε の2乗以上を省略)

$$i_p = \frac{4 \sqrt{2} V_0}{3 \omega L} \left(\frac{2 \omega^2 L Q}{9 V_0}\right)^{\frac{3}{4}} \quad \dots\dots\dots (20)$$

一方負荷電流の平均値 i_{mean} は

$$i_{\text{mean}} = \frac{Q}{T} = \frac{\omega Q}{2 \pi} \quad \dots\dots\dots (21)$$

i_{mean} に対する i_p の比を n とすれば

$$n = \frac{16 \pi}{9} \left(\frac{2 V_0}{9 \omega^2 L Q}\right)^{\frac{1}{4}} \doteq \frac{16 \pi^{\frac{3}{4}}}{9 \sqrt{3}} \left(\frac{R}{\omega L}\right)^{\frac{1}{4}} \left(1 + \frac{\Delta V}{V_0}\right)^{\frac{1}{4}} \quad \dots\dots\dots (22)$$

$$n = \frac{16 \pi^{\frac{3}{4}}}{9 \sqrt{3}} \left(\frac{R}{\omega L}\right)^{\frac{1}{4}} \left(1 + \sqrt{B} - \frac{B}{2} - \frac{1}{6} y'\right)^{\frac{1}{4}} \quad \dots\dots (23)$$

電圧降下があまり大きくなければ()内第3, 4項を省略できて、

$$n \doteq \frac{16 \pi^{\frac{3}{4}}}{9 \sqrt{3}} \left(\frac{R}{\omega L}\right)^{\frac{1}{4}} \left(1 + \sqrt{\frac{4 \pi \omega L}{9 R}}\right)^{\frac{1}{4}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

(24)式より、充電電流最大値の負荷電流に対する比 n は $R/\omega L$ でほぼ決まり、コンデンサ容量 C の影響は y' の項で示され、(23)式でわかるようにその影響は小さい。

2.5 脈動率

まず、簡単のため次の仮定のもとに脈動率を求め、後で補正する。

仮定：コンデンサ端子電圧 $v_c(t)$ は整流器の非導通期間 T' (第2図)を時間に対して直線的に電圧降下する。

このときは

$$\delta V = \frac{Q}{C} \cdot \frac{T'}{T} \quad \dots\dots\dots (25)$$

(17)式に(6), (25)式を代入

$$y' = \frac{\delta V}{V_c} = \frac{T'}{CR} = \frac{2 \pi}{\omega CR} \left\{1 - \frac{\omega}{2 \pi} (t_r - t_\beta)\right\} \quad \dots\dots (26)$$

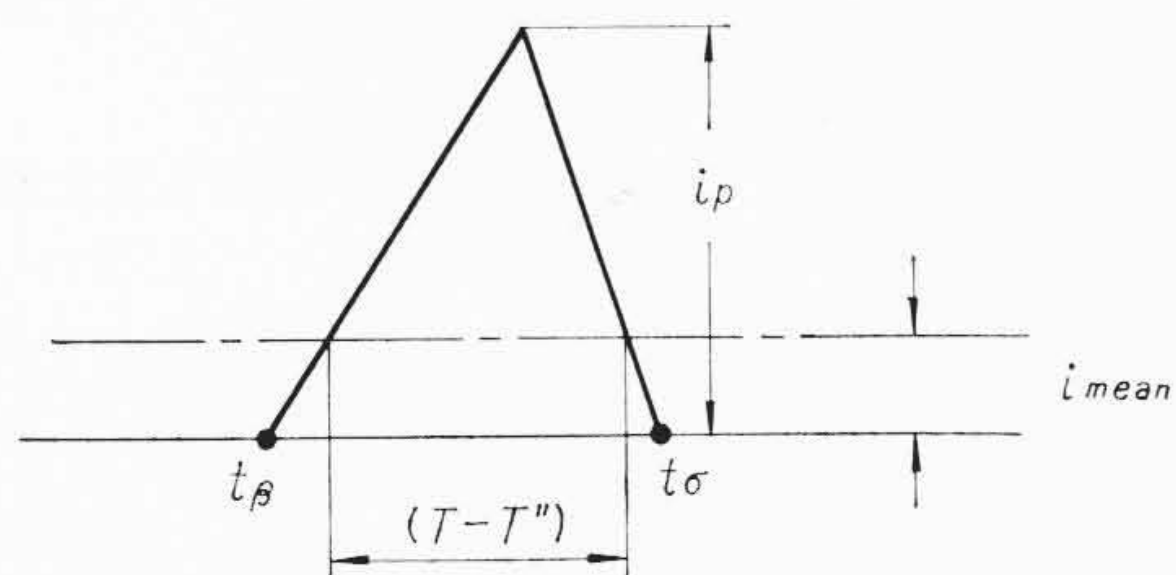
(26)式に(8), (9)式を代入し、(12)式の関係を用いて ε の2乗以上の項を省略すれば、

$$y' \doteq \frac{2 \pi}{\omega CR} \left\{1 - \frac{3}{\sqrt{2} \pi} \left(\frac{2 \omega^2 L Q}{9 V_0}\right)^{\frac{1}{4}}\right\} \quad \dots\dots\dots (27)$$

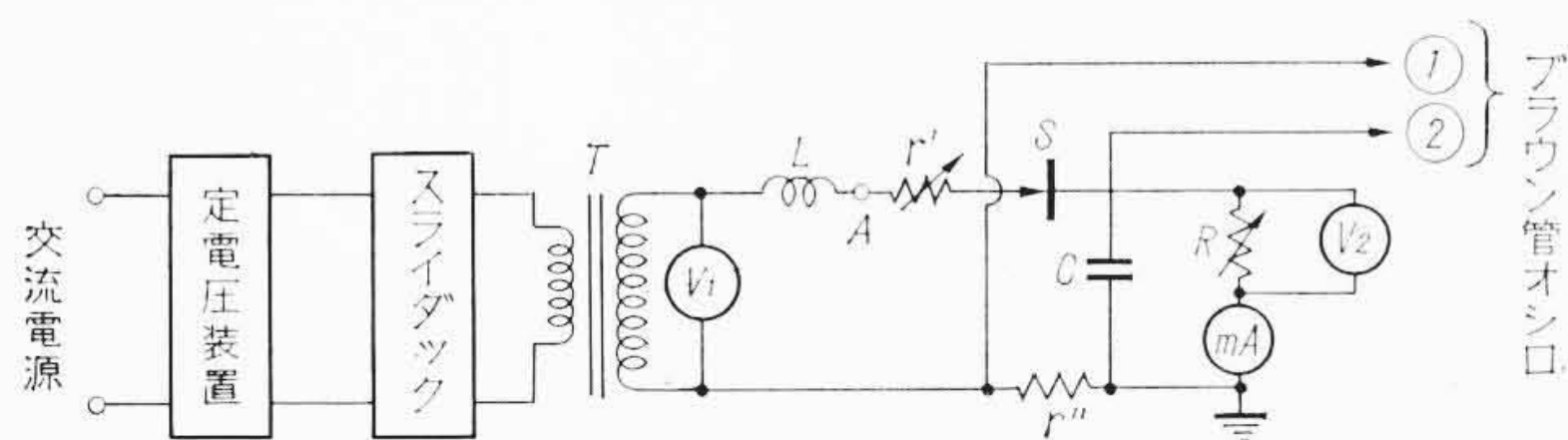
さらに y' を回路定数のみで表わすため(6), (18)式を代入して

$$y' \doteq \frac{2 \pi}{\omega CR} \left\{1 - \frac{3}{\sqrt{2} \pi} B^{\frac{1}{4}} \left(1 - \frac{1}{4} \sqrt{B}\right)\right\} \quad \dots\dots\dots (28)$$

以上は整流器の非導通期間をコンデンサ端子電圧の降下している期間と考えたが、実際は整流器の充電電流が負荷電流より小さくなれば負荷電圧は降下し始める。したがって電圧降下期間を第2図の T' としていたものを T'' として修正する。



第3図 整流器の通電電流と負荷電流の関係



- (V_1) : 可動鉄片形交流電圧計 S : シリコン整流器 (HR-15)
 (V_2) : 可動線輪形直流電圧計 L : 空心インダクタ (2.39H)
 (mA) : 可動線輪形直流電流計 r'' : 10Ω

第4図 測定方法説明図

第1表 電源電圧波形の高調波含有率

周波数 (サイクル)	電 圧 (V)	含 有 率 (%)
50	93.0	100
100	0.25	0.27
150	1.08	1.16
200	0.076	0.08
250	1.005	1.08
300	0.07	0.08
350	0.04	0.04

T'' を求めるのに充電電流波形を、導通期間と最大値の等しい三角形として求める。

通電電気を考えて

$$Q = i_{mean} \cdot T = i_p \cdot \frac{1}{2} (t_r - t_\beta)$$

また第3図より

$$\frac{T - T''}{t_r - t_\beta} = \frac{i_p - i_{mean}}{i_p}$$

$$\therefore T'' = T - (t_r - t_\beta) \left(1 - \frac{t_r - t_\beta}{2T} \right) \dots\dots (29)$$

(26)式より(28)式を算出したときと同様にして次式を得る。

$$y' = \frac{2\pi}{\omega CR} \left(1 - D + \frac{1}{2} D^2 \right) \dots\dots (30)$$

$$D = \frac{3}{\sqrt{2}\pi} \left(\frac{4\pi\omega L}{9R} \right)^{\frac{1}{4}} \left\{ 1 - \frac{1}{4} \sqrt{\frac{4\pi\omega L}{9R}} \right\} \dots\dots (31)$$

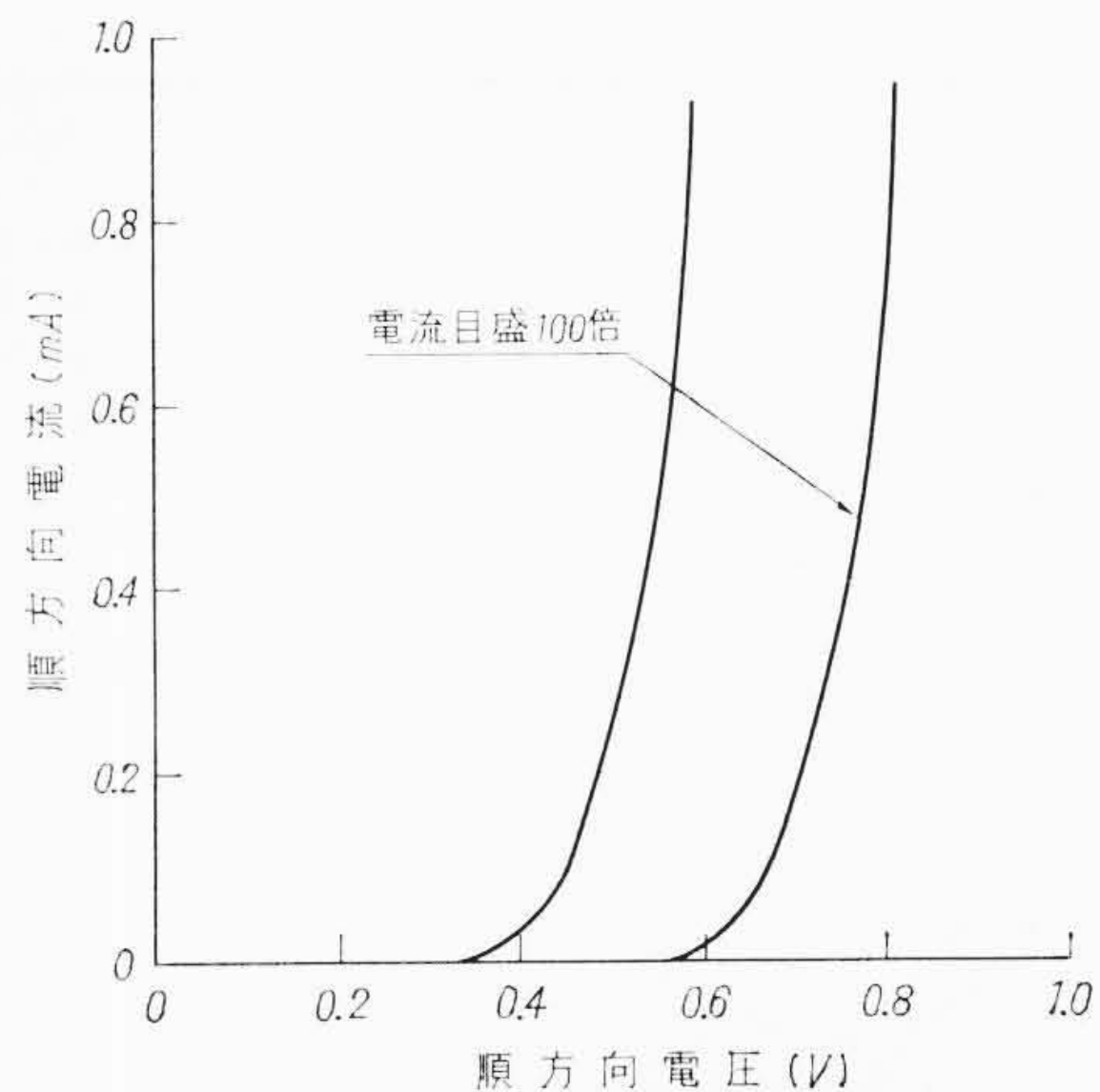
3. 実験結果

3.1 実験方法

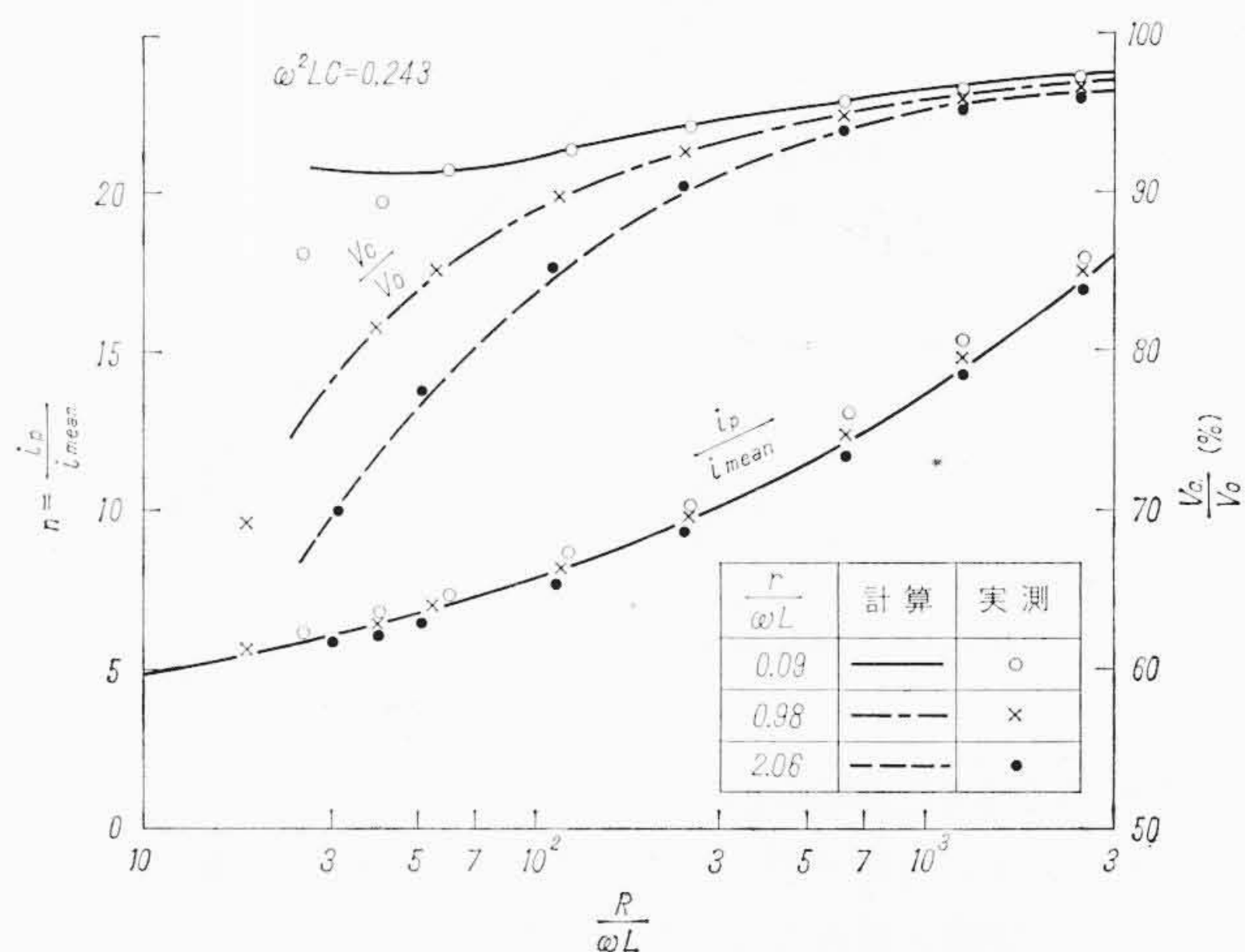
実験に用いた回路を第4図に示す。

変圧器の二次電圧は無負荷出力電圧が100Vになるようにした。出力の電圧・電流は (mA) 、 (V_2) で測定し、充電電流最大値、脈動電圧はブラウン管オシロで測定した。この場合、入力電圧がわずかに変動しても測定に影響するから、定電圧装置を用いたが、その出力電圧の高調波成分は第1表に示すとおりである。

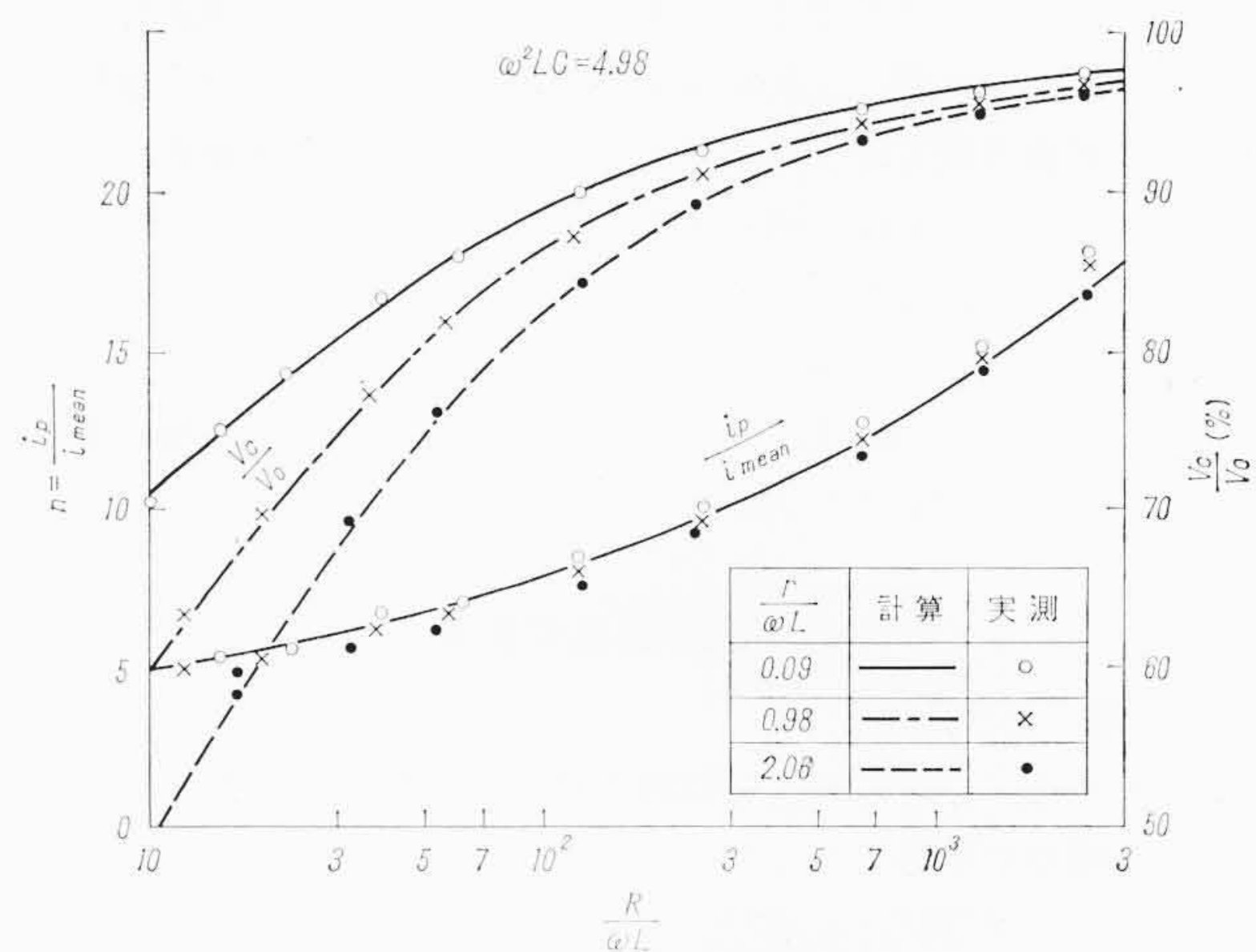
回路定数のうち、インダクタンス L は一定とし、2.39Hの空心コイルを用いた。コンデンサ容量は1~20 μF の範囲で替えた。直列抵抗の影響を知るため、可変抵抗 r' を入れたが、変圧器の巻線抵抗



第5図 シリコン整流器 HR-15 の順方向特性 (30°C)



第6図 電圧降下率、充電電流最大値の計算値と実測値の比較



第7図 電圧降下率、充電電流最大値の計算値と実測の比較

および r'' (第4図)の合成値 r をもって以後論じた。

実験に用いたシリコン整流器の順方向特性を第5図に示す。

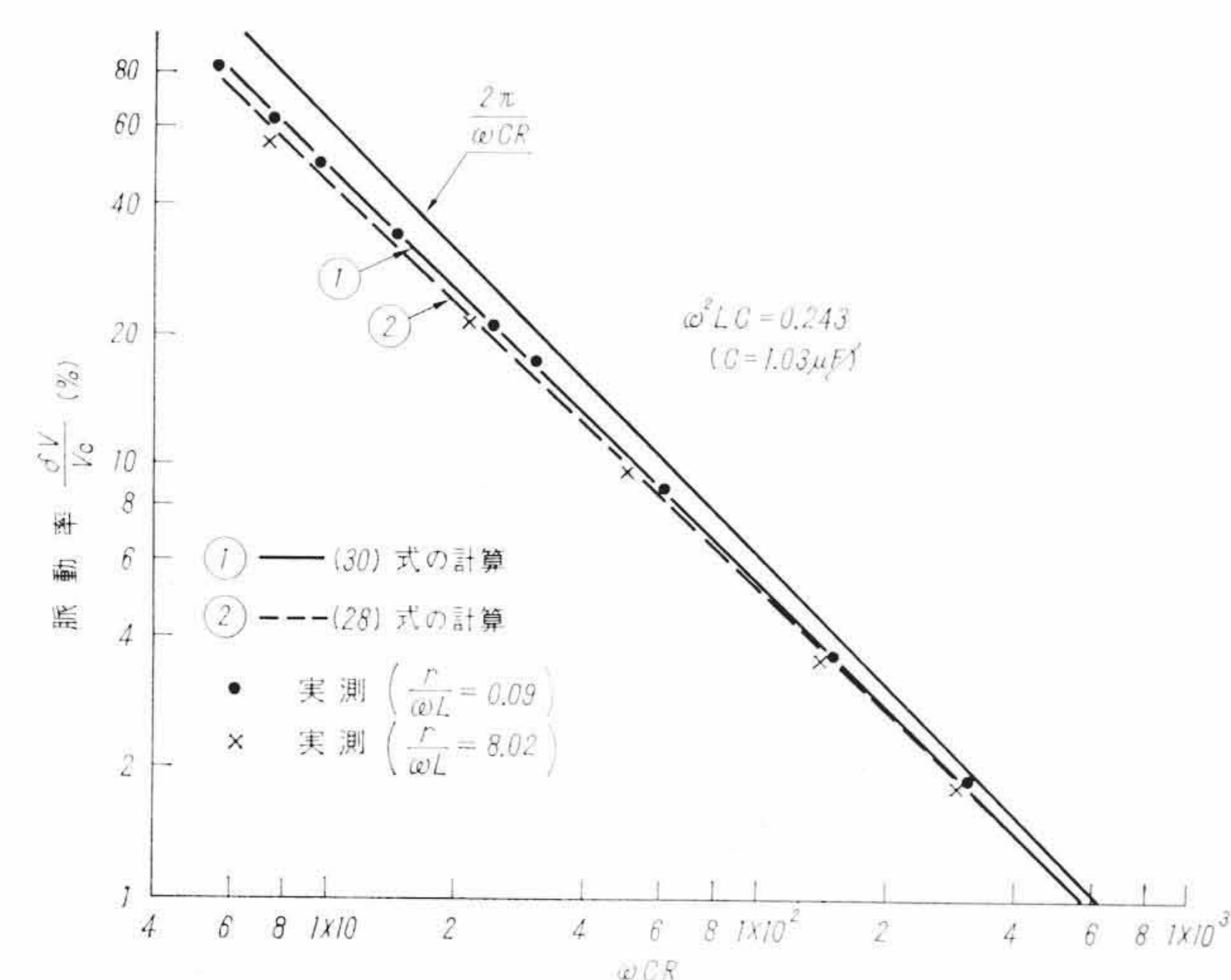
3.2 実験結果と計算値との比較

(1) 電圧降下

電圧降下特性の測定結果と(18)式による計算結果の一例を第6, 7図に示したが、負荷が大きくない範囲では実験精度の範囲でよく一致している。負荷が小さいところで、電圧降下率約1%の差のあるのは、実験に用いた電源電圧波形の影響と整流器の特性

第2表 整流器の電流最大値

$\frac{R}{\omega L}$	n の計算値(24)式による	n の 実 測 値
10	4.72	4.6~5
30	6.00	6.0~6.5
50	6.73	6.8~7.2
100	7.88	7.8~8.4
300	10.3	10.4~10.9
500	11.65	11.8~12.3
1,000	13.7	14.2~14.5
3,000	18.0	18.4~18.6



第 8 図 脈動率の計算値と実測値の比較

の影響 (5.2 参照) が現われているものと考えられる。

負荷が大きい方で差の大きくなるのは、(18)式を導くに当たっての仮定が実際と離れてくるためと考えられる。

(2) 整流器の電流最大値

(24)式による計算値と実測値の比較を第2表に示したが、両者は数パーセントの差でよく一致している。表には実測値をある幅をもって記したが、これは ω^2LC の値 0.24~5 の間の5種類における測定値の最大最小の幅である。測定の際は、電源電圧のわずかな変化でも電流最大値が大きく変化し、 ω^2LC の差による n の差は明確にできなかった。

(3) 脈 動 率

(28)式および(30)式による計算値と測定結果との一例を第8図に示したが、(30)式の方がよく一致している。

4. 直列抵抗の影響

4.1 電 圧 降 下

インダクタンスを含まない回路では、広い範囲にわたって次式で示される簡単な関係がある⁽⁶⁾。

$$\Delta V \doteq \sqrt{\Delta V_{co}^2 + \Delta V_r^2} \quad \cdots \cdots (32)$$

ここに ΔV : 出力電圧の電圧降下

ΔV_{co} : 抵抗が無視できるときの有限のコンデンサ容量 C による電圧降下

ΔV_r : コンデンサ容量 C が無限大のときの抵抗 r による電圧降下

インダクタンス L を含むときも(32)と同様の関係があるか否かを検討する。この場合、 L および C による電圧降下を分けて、上と同様に考えることはできない ((17)式より、 C が小さいほど電圧降下が小さい) から、次式を仮定して、計算と実際の比較を行なう。

$$\Delta V \doteq \sqrt{\Delta V_{cL}^2 + \Delta V_r^2} \quad \cdots \cdots (33)$$

ここに ΔV : 出力電圧の電圧降下

ΔV_{cL} : $r=0$ で L, C が有限の値をもつときの電圧降下 ((17)式)

ΔV_r : $C=\infty, L=0$ で直列抵抗 r による電圧降下 ((36)式)

ΔV_{cL} はすでに求めたように (17) 式で与えられるから、 ΔV_r につき考える。

$C=\infty$ であるので δV は零、また $L=0$ であるから回路方程式は

$$ri = V_0 \cos \omega t - V_{cr} \quad \cdots \cdots (34)$$

(7)式から(12)式を導いたと同様に計算すれば次式をうる。

$$Q \doteq \frac{4\sqrt{2}V_0}{3\omega r} \left(\frac{\Delta V_r}{V_0} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \cdots \cdots (35)$$

(6)式を用いて整理すれば

$$\frac{3\pi}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{r}{R} \left(1 - \frac{\Delta V_r}{V_0} \right) = \left(\frac{\Delta V_r}{V_0} \right)^{\frac{3}{2}} \quad \cdots \cdots (36)$$

(36)式より $(\Delta V_r/V_0)$ は (r/R) の関数として求められる。

(17)式より ΔV_{cL} を、(36)式より ΔV_r を求めて(33)式による計算値と実測結果とを第6,7図に示したが、直列抵抗 r が無い場合よりも、広範囲にわたって、実験精度以内の差でよく一致している。

4.2 整流器の電流最大値

整流器を流れる電流最大値の負荷電流平均値に対する比 n が、直列抵抗 r による変化を第6,7図に示す。 r の増加により n は減少するが、その影響は小さい。

4.3 脈 動 率

脈動率の直列抵抗 r による変化は $r/\omega L < 2$ の範囲では、実験精度内では差は認められなかった。 r を大きくし $r/\omega L \doteq 8$ のときを第8図に示したが、脈動率は r の増加により、わずかに減少することがわかる。

5. 考 察

5.1 計算式の適用限界

特性計算式を求めるのに設けた仮定と、実際との相異が大きくなれば、計算式の近似度が悪くなる。したがって計算式の適用に当たって、次の場合を考えておく必要がある。

(1) 電圧変化直線の仮定からの限界

直列抵抗 $r=0$ のときを考える。整流器が導通開始すると、コンデンサ端子電圧・充電電流は指数関数的変化をする過渡項と L, C, R で決まる固有振動項をもつ。この固有振動の半周期よりも、導通期間($t_r - t_\beta$)が大きくなれば、電圧変化が時間に対して直線的に変化するとした仮定からのずれが大きくなるから、両者が等しいときをもって計算式の適用限界と考えると次式をうる。

$$\pi \sqrt{L \cdot C} \geq t_r - t_\beta \quad \cdots \cdots (37)$$

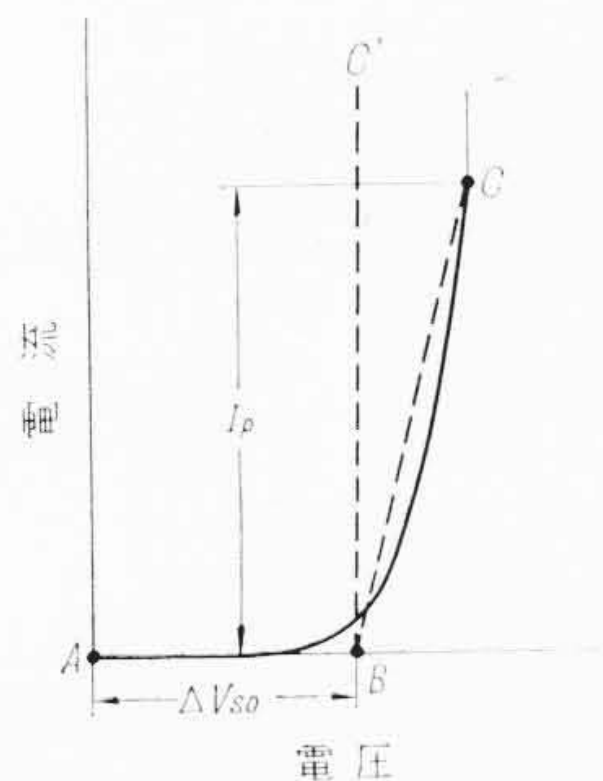
ここに、固有振動数に対する R の影響は実用範囲では無視できるので省略した。(37)式に(26)式、(27)式の関係を用いれば(38)式となる。

$$\sqrt{\omega^2 LC} \geq 2D \quad \cdots \cdots (38)$$

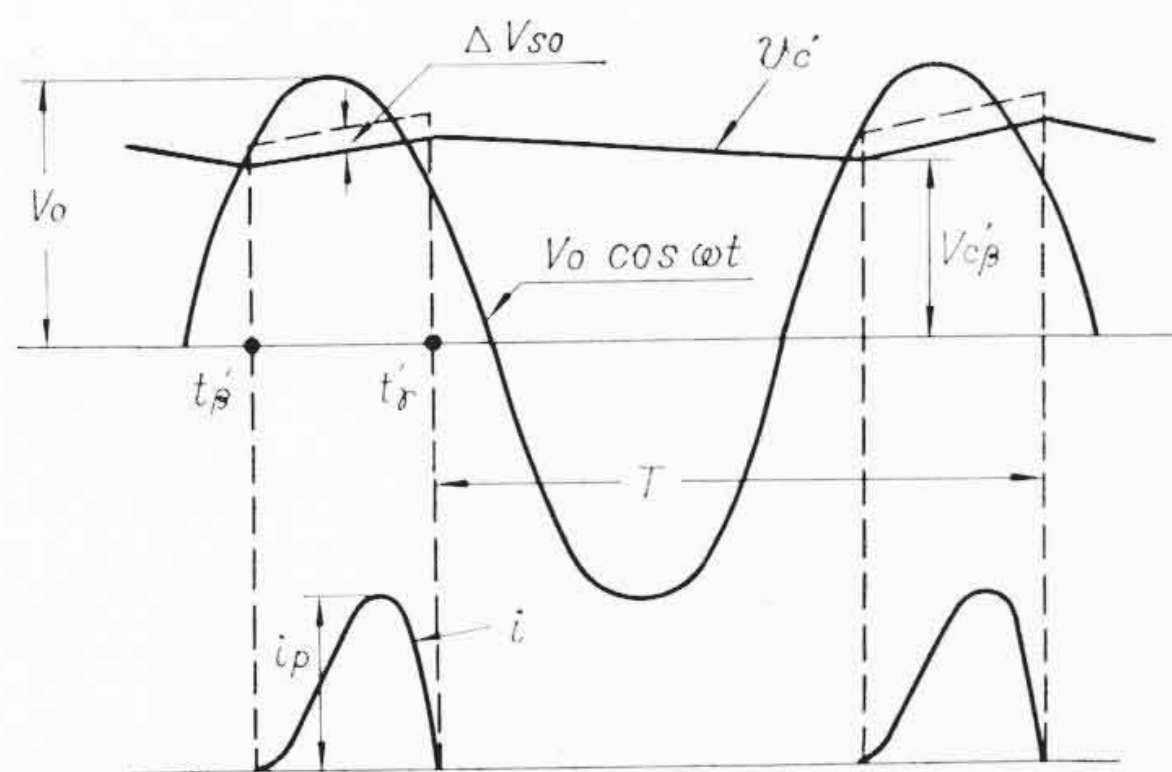
(38)式の右辺は(31)式で示されるように L, R の関数であるから、 L, C, ω が決まれば適用限界の R が求まる。 $\omega^2LC=0.243$ の場合は、 $R/\omega L \doteq 70$ が適用限界界となるが第6図より、この値は適当な値と考えられる。

(2) 通電時間による限界

(8)式の t_β を求めるに当たり、四次以上を省略しているから、 $(\Delta V/V_0 + \delta V/2V_0)$ が大きくなれば誤差も大きくなる。 $(\Delta V/V_0 + \delta V/V_0) \doteq 40\%$ のとき、電圧降下率の計算値は実測値より約2%小さい値を得たが、この40%という値を、実用上、計算式の適用限界の目安にすることができる。



第9図 整流素子の特性

第10図 整流素子の特性 ΔV_{s0} を考えたときの各部の電圧と電流の関係

(3) 直列抵抗のある場合

直列抵抗のあるときの電圧降下は(33)式、すなわち、 r のないときの電圧降下と r のみによる電圧降下の3乗平均であるから、全電圧降下は両者の大きさが異なるほど、大きい方で大勢が決まる。

したがって、直列抵抗 r が大きいときは、 r のないときの計算式適用限界よりも適用範囲を拡げうるようになる。

5.2 整流素子の影響

整流素子の電圧・電流特性は一般には非直線であるので、いま第9図のように折線で近似したときを考える。この場合、BC部分は直列抵抗として扱えるから、AB部分の影響のみを考えるため、特性がABC'のときを考える（以下このときの諸量はダッシュをつけて区別する）。各部の電圧・電流の関係は第10図に示すようになり、整流器の通電開始時期が遅れる。すなわち、(7)式における $V_{c\beta}$ のみが変わり

$$V_{c\beta}' = V_0 - (\Delta V' - \Delta V_{s0}) - \frac{1}{2} \delta V' \quad (39)$$

を用いればよい。すなわち、 ΔV が $(\Delta V' - \Delta V_{s0})$ におきかわるのみで2章の計算と同様にして次のようになる。

$$t_{\beta}' = -\frac{1}{\omega} \sqrt{2 \left(\frac{\Delta V' - \Delta V_{s0}}{V_0} + \frac{\delta V'}{2 V_0} \right)} \quad (40)$$

$$t_{\beta}' = \left(-2 + \varepsilon' + \frac{1}{3} \varepsilon'^2 \right) t_{\beta}' \quad (41)$$

$$\varepsilon' = \frac{\delta V'}{2(\Delta V' - \Delta V_{s0}) + \delta V'} \quad (42)$$

$$x' = \sqrt{B} - \frac{B}{2} - \frac{1}{6} y' + x'' \quad (43)$$

$$x' = \frac{\Delta V'}{V_0}, \quad x'' = \frac{\Delta V_{s0}}{V_0} \quad (44)$$

(17)式と(43)式を比較すれば、 x'' が加わる。すなわち ΔV_{s0} がそのまま電圧降下に加わるのみである。

次に脈動率につき考える。(43)式を(40)式に入れた t_{β}' と(18)式を(8)式に入れた t_{β} は、 L, C, R が同じならば等しい。同様に、(42)式に(43)式を入れ、(10)式に(18)式を入れて比べると ε と ε' は第1近似として等しくなり、したがって(41)式と(9)式の t_{β}' と t_{β} は等しくなる。よって $(t_{\beta}' - t_{\beta})$ が変わらないから脈動率は第1近似として ΔV_{s0} の影響を受けないことになる。

整流器の最大電流は(22)式と同形の式が得られ、 $\Delta V/V_0$ の値が(18)式に対して(43)式で与えられる相違のみである。したがって n は近似的には $\left(1 + \frac{1}{4} x''\right)$ 倍になる。

6. 結 言

多段整流回路の基本形である半波整流回路について、電圧降下、脈動率、充電電流最大値などの特性を負荷抵抗、コンデンサ容量、直列抵抗、インダクタンスなどの回路定数で表わした近似計算式を求めた。これを実測値と比較した結果、実際の装置設計上必要な定数の範囲で、かなりよく一致することを確認した。また、計算式の適用限界、整流素子を折線特性としたときの計算式につき考察した。

X線装置、電子加工機などの高電圧電源で用いられる2倍電圧あるいは4倍電圧整流回路の特性は、ここに記した半波整流回路の方法で拡張できるが、それは第2報として別に紹介する。

終わりに、本研究を進めるにあたり、終始ご指導・ご激励を賜った青柳検査部長に深謝するとともに、またご協力いただいた、レントゲン部の関係各位に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- (1) D. L. Waidelich: P. I. R. E., 29, 554~558 (Oct. 1941)
- (2) D. L. Waidelich, G. H. Gleason: P. I. R. E., 30, 535~541 (Dec. 1942)
- (3) D. L. Waidelich, C. L. Shackelford: P. I. R. E., 32, 470~476 (Aug. 1944)
- (4) O. H. Shchade: P. I. R. E., 31, 341~361 (July. 1943)
- (5) D. L. Waidelich, H. A. K. Tuskin: P. I. R. E., 33, 449~457 (July. 1945)
- (6) E. Baldinger: Kaskadengeneratoren: Handbuch der der Physik XLIV, Springer Verlag, Berlin (1959)
- (7) 草谷, 矢仲: 電気学会東京支部大会予稿 165 (昭37)