

“グリッド検波”解説のための研究 (第一報)

蓼 原 泰 彦

(教育学部工学研究室)

緒 言

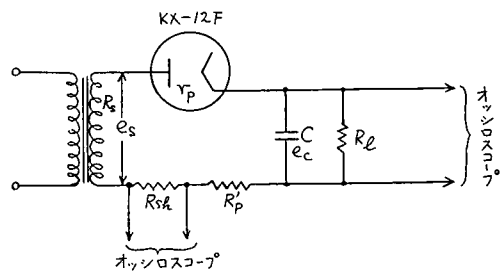
中学校技術・家庭科の学習内容として電気に関する基礎的技術の習得が要求され、そのため教材として簡単なラヂオ受信機が取り上げられている。この学習が従来やゝもすると誤られたような単なる手先だけの技能教育に堕ちることなく、科学技術教育として十分な効果を上げるためには、電気回路の動作が良く理解されなければならない。三、四球程度の簡単なラヂオ受信機にはグリッド検波が採用され、それが受信機の中樞をなしているが、その動作原理を中学程度の生徒に理解させることは極めて困難な問題である。現在一般に行われている解説方法はその本質にふれない極めて皮相的な便宜的なもので、この困難な問題の解決はなされていない。このことは残された一つの隘路としてこの学習の発展を阻害する恐れがある。このような理由のためにグッド検波作用を正しく平易に解説するための研究に取り組むことにした。そのためには先づこれの回路理論について研究することが必要である。グリッド検波は二極管検波の発展であり、これは又コンデンサー・インプット整流の延長であるので、先づ最初に最も簡単な後者の回路について充分研究を進め、この理論を他の複雑なものに押し広めて行くこととする。この意味で本研究の第一報ではコンデンサー・インプット整流回路について、数式的解析とブラウン管オッシロスコープによる波形観測とによって研究を進めることとする。

コンデンサー・インプット整流回路

I. ブラウン管オッシロスコープによる波形の観測

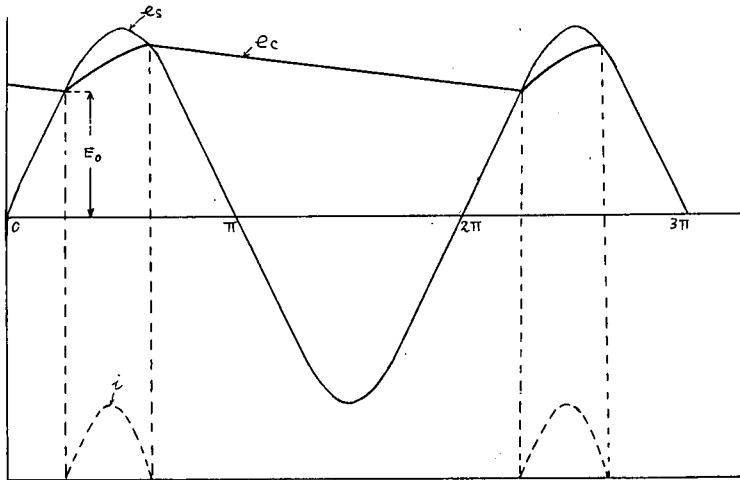
コンデンサー・インプット整流回路をその本来の目的たる平滑直流を得ることのためでなしに、グリッド検波の基礎回路として取扱うこととし、回路常数の値を色々変えた場合に回路の電圧、電流が如何に変化するかを一般的に解析することとする。第1図はそのためのオッシロスコープ観測用回路である。

正弦波電圧 e_s (内部抵抗 R_s) は整流管 $KX-12F$ (内部抵抗 r_p) によって半波整流され、抵抗 R'_p , R_{sh} を通してコンデンサー C を充電する。充電された C は負荷抵抗 R_L を通して放電される。 R_{sh} は充電電流の波形観測のために挿入したシャント抵抗で 30Ω の無誘導抵抗を使用する。広帯域ブラウン管オッシロスコープを使用して、 C の端子電圧及シャント R_{sh} の端子電圧を観測することとする。



第 1 図

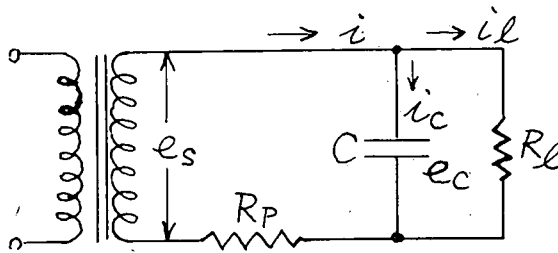
この場合の本回路の動作は第2図に示す如くである。まづ充電経過について考えると、整流管のプレートに実際に加わる電圧は、電源電圧から C の端子電圧を差し引いた残りであるから、 C の充電は電源電圧 e_s が C の残留電圧 E_c に打ち勝つ瞬間に開始し、図の充電曲線の経過をたどり、電圧の関係が前と逆になると同時に終了する。



第 2 図

II. 数式的解析

第3図において、充電回路の抵抗を R_p 、放電回路の抵抗を R_i 、コンデンサーの容量を C 、コン



第 3 図

デンサー端子電圧を e_c 、電源電圧を $e_s = E_m \sin(\omega t + \theta)$ とし、電流の分布を図示通りとすると、次の関係が成立する。

$$iR_p + e_c = e_s \quad (1)$$

$$e_c = \frac{1}{C} \int i_c dt = i_i R_i \quad (2)$$

$$i_c + i_i = i \quad (3)$$

(2)より

$$C \frac{de_c}{dt} = i_c \quad (4)$$

又

$$\frac{1}{R_i} e_c = i_i \quad (5)$$

(3)(4)(5)より

$$i = i_c + i_i = C \frac{de_c}{dt} + \frac{1}{R_i} e_c \quad (6)$$

(6)を(1)に代入すると

$$C \frac{de_c}{dt} + \frac{R_P + R_i}{R_P R_i} e_c = \frac{1}{R_P} e_s \quad (7)$$

$$\frac{1}{R_P} + \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R} \quad (8)$$

とおき, $e_s = E_m \sin(\omega t + \theta)$ を入れると

$$C \frac{de_c}{dt} + \frac{1}{R} e_c = \frac{E_m}{R_P} \sin(\omega t + \theta) \quad (9)$$

この微分方程式の一般解は右辺を零としたときの過渡解 e_{ct} と, C, R 直列回路に $\frac{E_m}{R_P} \sin(\omega t + \theta)$ なる電圧を加えたときの定常解 e_{cs} との和として表わされる.

$$\begin{aligned} e_c &= e_{cs} + e_{ct} = \frac{E_m}{R_P \sqrt{\frac{1}{R^2} + \omega^2 C^2}} \sin(\omega t + \theta - \varphi) + A \varepsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \\ &= \frac{E_m R \cos \varphi}{R_P} \sin(\omega t + \theta - \varphi) + A \varepsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\text{但し } \tan \varphi = \omega C R \quad (11)$$

1) 整流管が動作していない期間 (放電期間)

このときは充電回路は解放されているから, $R_P = \infty$, したがって e_{cs} は存在しない.

すなわち

$$e_c = A \varepsilon^{-\frac{1}{\sigma R_i} t} \quad (12)$$

$t=0$ において $e_c = E'_o$ とすると $E'_o = A$ となり,

$$e_c = E'_o \varepsilon^{-\frac{1}{\sigma R_i} t} \quad (13)$$

又 $i = i_c + i_i = 0$ であるから $i_c = -i_i$ となり

$$i_i = -i_c = -C \frac{de_c}{dt} = \frac{E'_o}{R_i} \varepsilon^{-\frac{1}{\sigma R_i} t} \quad (14)$$

これが放電期間の C の端子電圧及放電電流の値である. E'_o は充電終了時の C の端子電圧で, これは充電回路の条件によってきまり, 充電回路の解析によって見出すことが出来る値である.

2) 整流管が動作している期間 (充電期間)

この期間では電源電圧が C の残留電圧に等しくなった瞬間に回路が閉じることになるから, $t=0$ において $e_c = e_s$

すなわち (10) より

$$\begin{aligned} \frac{E_m R \cos \varphi}{R_P} \sin(\theta - \varphi) + A &= E_m \sin \theta \\ A &= E_m \left(\sin \theta - \frac{R \sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_P} \right) \end{aligned} \quad (15)$$

これを (10) に入れると

$$e_c = \frac{E_m R \cos \varphi}{R_P} \sin(\omega t + \theta - \varphi) + E_m \left(\sin \theta - \frac{R \sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_P} \right) \varepsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (16)$$

$$= \frac{E_m R_l \cos \varphi}{R_p + R_l} \sin(\omega t + \theta - \varphi) + E_m \left(\sin \theta - \frac{R_l \sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_p + R_l} \right) \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (17)$$

(5) より

$$i_l = \frac{E_m R \cos \varphi}{R_p R_l} \sin(\omega t + \theta - \varphi) + E_m \left(\frac{\sin \theta}{R_l} - \frac{R \sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_p R_l} \right) \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (18)$$

$$= \frac{E_m \cos \varphi}{R_p + R_l} \sin(\omega t + \theta - \varphi) + E_m \left(\frac{\sin \theta}{R_l} - \frac{\sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_p + R_l} \right) \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (19)$$

(4) より

$$i_c = \frac{E_m \omega C R \cos \varphi}{R_p} \cos(\omega t + \theta - \varphi) - E_m \left(\frac{\sin \theta}{R} - \frac{\sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_p} \right) \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (20)$$

$$= \frac{E_m \sin \varphi}{R_p} \cos(\omega t + \theta - \varphi) - E_m \left(\frac{\sin \theta}{R} - \frac{\sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_p} \right) \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (21)$$

$$i = i_l + i_c$$

$$= \frac{E_m R \cos \varphi}{R_p R_l} \sin(\omega t + \theta - \varphi) + \frac{E_m \omega C R \cos \varphi}{R_p} \cos(\omega t + \theta - \varphi) + E_m \left\{ \frac{\sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_p} \left(1 - \frac{R}{R_l} \right) - \sin \theta \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_l} \right) \right\} \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t}$$

$$= \frac{E_m R \cos \varphi}{R_p R_l \cos \varphi'} \sin(\omega t + \theta - \varphi + \varphi') + E_m \left(\frac{R \sin(\theta - \varphi) (\cos \varphi - \frac{\sin \theta}{R_p})}{R_p^2} \right) \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (22)$$

$$= \frac{E_m \cos \varphi}{(R_p + R_l) \cos \varphi'} \sin(\omega t + \theta - \varphi + \varphi') + E_m \left(\frac{R_l \sin(\theta - \varphi) \cos \varphi}{R_p (R_p + R_l)} - \frac{\sin \theta}{R_p} \right) \epsilon^{-\frac{1}{\sigma R} t} \quad (23)$$

$$= i_s + i_t$$

但し $\tan \varphi' = \omega C R_l$ (24)

(23) で $t=0$ と置くと,

$$i_{t=0} = 0$$

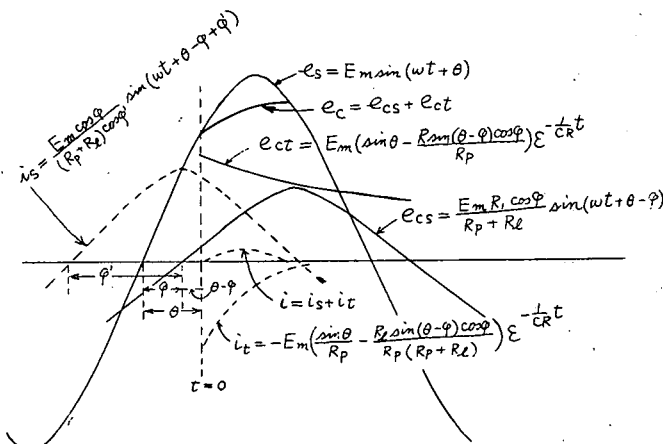
すなわち放電開始の瞬間の電流値は零である。又(17)で $t=0$ と置くと $e_{c_{t=0}} = E_m \sin \theta$ すなわち

放電開始の C の端子電圧は

$E_m \sin \theta$ である。

(17), (23)に見る如く, C の端子電圧及充電電流は定常項と過渡項との重疊したもので, 定常項の振副及位相, 過渡項の最大値等は回路常数によってきまる値である。これらの関係を图示すると第4図のようになる。

(17)と $e_s = E_m \sin(\omega t + \theta)$ とが $t=0$ の後に再び等しくなる時間を計算するか, 又は(23)が再び零になる時間を計算すると充電



第 4 図

第 1 表

図面 番号	C	R _P	R _i	R	tanφ	φ	cosφ	sinφ	tanφ'	φ'	cosφ'	$\frac{1}{CR}$
5	0.2	5	5	2.5	0.188	10°40'	0.983	0.185	0.377	20°40'	0.936	2000
6	"	50	"	4.55	0.343	19°	0.946	0.326	"	"	"	1100
7	"	200	"	4.88	0.367	20°10'	0.939	0.345	"	"	"	1020
8	"	500	"	4.96	0.373	20°30'	0.937	0.350	"	"	"	1010
9	"	2,000	"	4.98	0.377	20°40'	0.936	0.353	"	"	"	1000
10	1	10	1	0.91	0.342	18°50'	0.947	0.323	"	"	"	1100
11	"	40	"	0.93	0.350	19°20'	0.944	0.331	"	"	"	1080
12	"	100	"	0.99	0.373	20°30'	0.937	0.350	"	"	"	1010
13	"	400	"	1	0.377	20°40'	0.936	0.353	"	"	"	1000
14	"	2,000	"	1	0.377	20°40'	0.936	0.353	"	"	"	1000
15	4	10	25	7.15	10.8	84°40'	0.093	0.996	37.7	88°30'	0.026	35
16	"	25	"	12.5	18.9	87°	0.052	0.999	"	"	"	20
17	"	100	"	20	30.2	88°10'	0.032	1.000	"	"	"	12.5
18	"	500	"	23.8	35.9	88°20'	0.029	1.000	"	"	"	10.5
19	1	10	100	9.1	3.42	73°40'	0.028	0.960	"	"	"	110
20	"	40	"	28.6	10.8	84°40'	0.093	0.996	"	"	"	35
21	"	100	"	50	18.8	87°	0.052	0.999	"	"	"	20
22	"	400	"	80	30.2	88°10'	0.032	1.000	"	"	"	12.5
23	"	2,000	"	96	36.4	88°30'	0.026	1.000	"	"	"	10.4
24	0.2	5	500	4.96	0.373	20°30'	0.937	0.350	"	"	"	1010
25	"	50	"	45.5	3.43	73°40'	0.028	0.960	"	"	"	1100
26	"	200	"	143	10.8	84°40'	0.093	0.996	"	"	"	350
27	"	500	"	250	18.9	87°	0.052	0.999	"	"	"	200
28	"	2,000	"	400	30.2	88°10'	0.032	1.000	"	"	"	125
29	4	10	"	9.8	14.8	86°10'	0.067	0.998	754	89°55'	0	25.5
30	"	25	"	23.8	35.9	88°20'	0.029	1.000	"	"	"	10.5
31	"	100	"	83.5	126	89°30'	0.009	1.000	"	"	"	3
32	"	500	"	250	378	89°50'	0.003	1.000	"	"	"	1
33	1	1	2,000	1	0.377	20°40'	0.936	0.353	"	"	"	1000
34	"	10	"	10	3.77	75°10'	0.257	0.967	"	"	"	100
35	"	40	"	39	14.7	86°10'	0.067	0.998	"	"	"	25.6
36	"	100	"	90	33.9	88°20'	0.029	1.000	"	"	"	11.1
37	"	400	"	330	124	89°30'	0.009	1.000	"	"	"	3
38	"	2,000	"	1,000	377	89°50'	0.003	1.000	"	"	"	1

時間がわかり、この時間おける e_s 、或は e_c の値が前に放電期間の式 (13) 或は (14) に仮定した E'_0 の値である。

回路常数を色々変えた場合の e_c 及 i の波形のオッシログラムを第5図乃至第38図に示す。各図に相当する回路常数の値を表示したのが第1表である。この表には又(17)及(23)の各項を決定するための常数を計算して掲げてある。この表を用いると第4図の如く e_c 及 i の波形を数式の理論によって画くことが出来、これと第5図乃至第38図の実測したものとを比較して、理論と実験の一致を確かめることが出来る。このことを R_i を非常に小さく選んだ次の例によって、確かめてみることにする。

実 例

R_i を充分小さく選んだとすると(13)より明かな如く、前の半波の放電期間に C の端子電圧を零に近くすることが出来る。この場合電源電圧が正になる直後に放電が開始するから $\theta \cong 0$ である。したがって(17)は次の如くなる。

$$e_c \cong \frac{E_m R_i \cos \varphi}{R_P + R_i} \sin(\omega t - \varphi) + \frac{E_m R_i \sin \varphi \cos \varphi}{R_P + R_i} e^{-\frac{1}{CR} t} \quad (25)$$

$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_P} + \frac{1}{R_i}$ であるから、 R_i が小さければ R も又小さい。したがって

$$\tan\varphi = \omega CR \cong 0, \varphi \cong 0, \sin\varphi \cong 0, \cos\varphi \cong 1$$

この条件を(25)に入れると

$$e_c \cong \frac{E_m R_i}{R_p + R_i} \sin\omega t \tag{26}$$

同じ条件を(23)に入れると

$$\tan\varphi' = \omega CR_i \cong 0, \varphi' \cong 0, \sin\varphi' \cong 0, \cos\varphi' \cong 1$$

であるから

$$i \cong \frac{E_m}{R_p + R_i} \sin\omega t \tag{27}$$

すなわちこの場合、電圧も電流も、電源電圧と同相の正弦波の半波に近い波形となり、その振副は R_p, R_i の値によってきまる。 e_c の振副は $\frac{E_m}{\frac{R_p}{R_i} + 1}$ であるから R_p が R_i に比べて非常に大きい場合は、上の値は $\frac{E_m R_i}{R_p}$ となつて、非常に小さい値になる。 $R_p = R_i$ とすると $\frac{E_m}{2}$ に近い値となる。 i については前者の場合は $\frac{E_m}{R_p}$ となり、後者の場合は $\frac{E_m}{2R_p}$ となる。したがってその大きさは R_p の大小によって決定される。このことはオッシログラム第5図乃至第10図を見れば良くわかる。各図とも $C = 0.2 \mu\text{F}$, $R_i = 5\text{K}\Omega$ とし、第5図から第10図に行くにしたがつて R_p を小さい値から段々大きくしてある。(26), (27)の式の示す通りの波形であることがわかる。一例として第1表を利用して第5図に相当する式を書き表わしてみると

$$e_c = 0.492 E_m \sin(\omega t + \theta - 10^\circ 40') + E_m \{\sin\theta - 0.492 \sin(\theta - 10^\circ 40')\} \varepsilon^{-2000t}$$

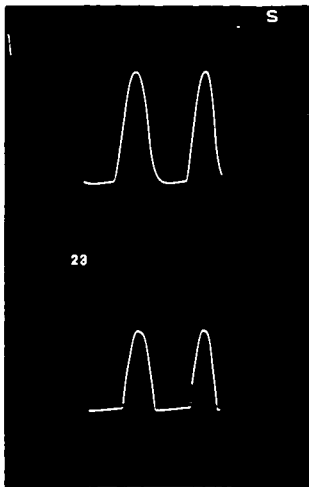
$$\theta \cong 0, \sin\theta \cong 0 \text{ とすると}$$

$$e_c \cong 0.492 E_m \sin(\omega t - 10^\circ 40') + 0.091 E_m \varepsilon^{-2000t}$$

すなわち、定常項の振副に比較して過渡項の最大値は $\frac{1}{5}$ 以下となつていて、実測波形と一致している。

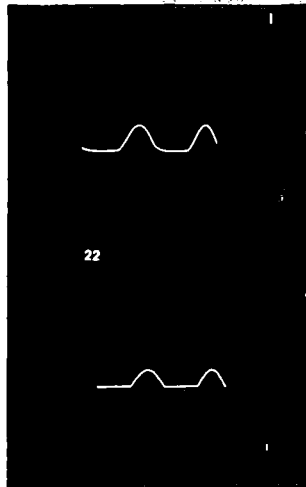
$$i = 1.05 \cdot 10^{-4} E_m \sin(\omega t + \theta + 10^\circ)$$

$$+ E_m \cdot 10^{-4} \{0.983 \sin(\theta - 10^\circ 40') - 2 \sin\theta\} \varepsilon^{-2000t}$$



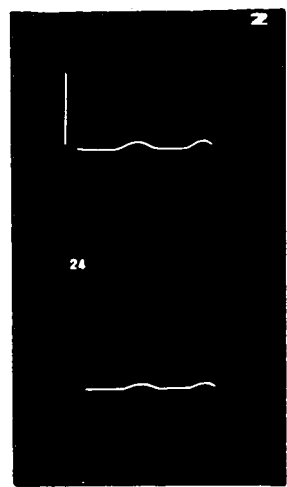
第 5 図

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 5 \text{K}\Omega$
 $R_i = 5 \text{K}\Omega$



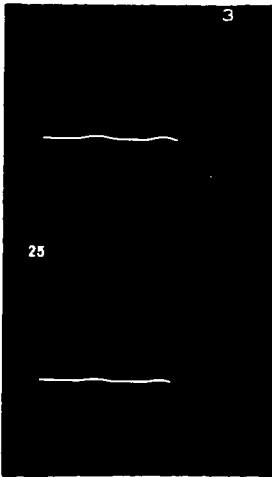
第 6 図

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 50 \text{K}\Omega$
 $R_i = 5 \text{K}\Omega$



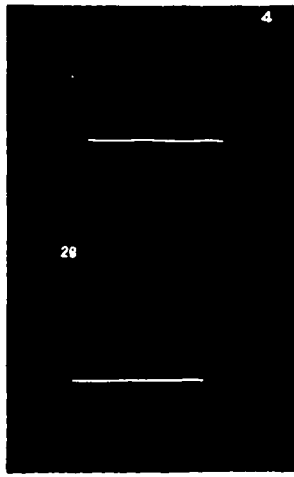
第 7 図

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 200 \text{K}\Omega$
 $R_i = 5 \text{K}\Omega$



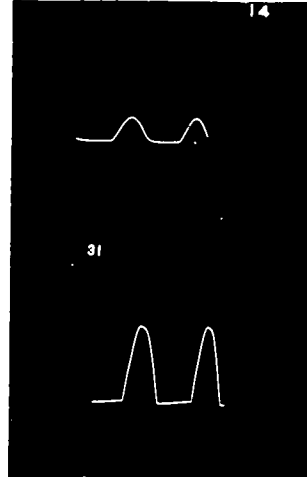
第 8 図

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 500 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 5 \text{ K}\Omega$



第 9 図

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 2,000 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 5 \text{ K}\Omega$



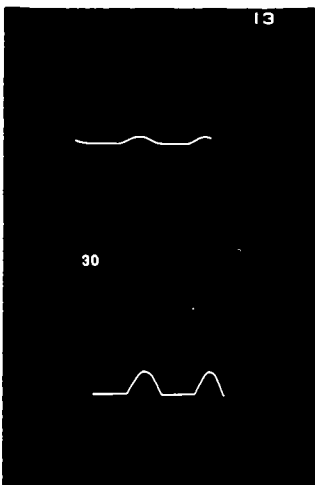
第 10 図

$C = 1.1 \mu\text{F}$
 $R_p = 10 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 1 \text{ K}\Omega$

$$\cong 1.05 \cdot 10^{-4} E_m \sin(\omega t + 10^\circ) - 0.182 \cdot 10^{-4} E_m e^{-2000t}$$

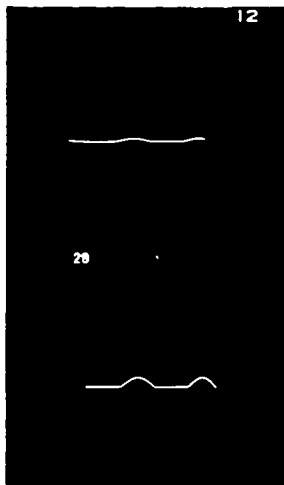
すなわち過渡項の最大値は定常項の振副の約 $\frac{1}{6}$ で、波形は一そう正弦半波に近いものとなる。

$C=1\mu\text{F}$, $R=1\text{K}\Omega$ (放電回路の時定数を同じく 0.001 秒とする) とし、同様な観測を行ったオシログラムが第10図乃至第14図である。波形は大体前と同様であるが、振副に(26), (27)の関係が表われていることがわかる。



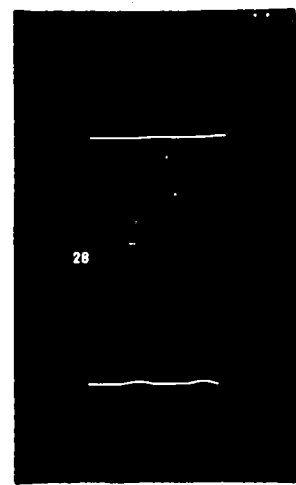
第 11 図

$C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 40 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 1 \text{ K}\Omega$



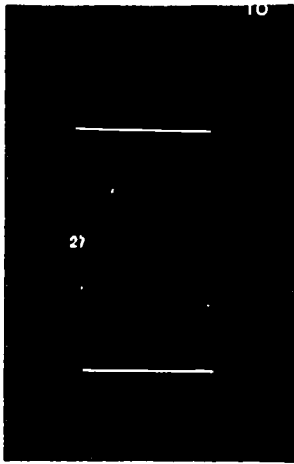
第 12 図

$C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 100 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 1 \text{ K}\Omega$

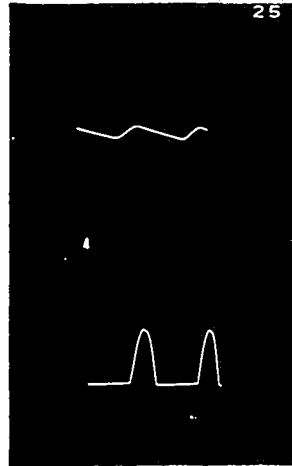


第 13 図

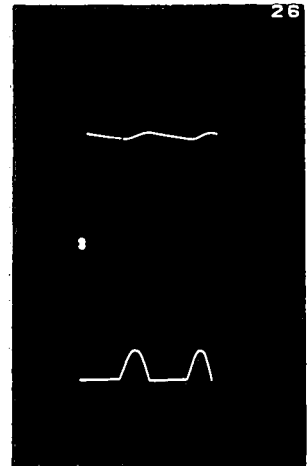
$C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 400 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 1 \text{ K}\Omega$



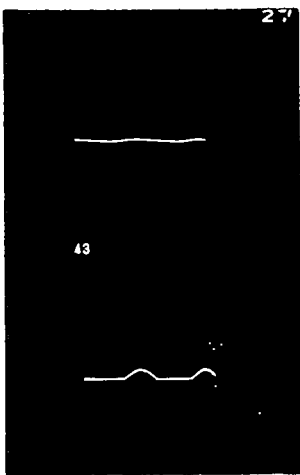
第 14 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 2,000 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 1 \text{ K}\Omega$



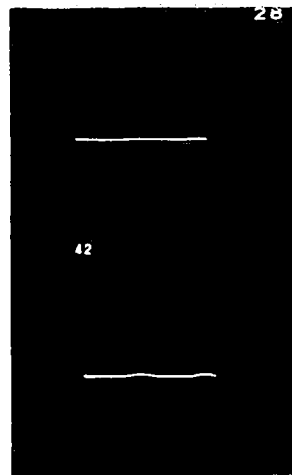
第 15 図
 $C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 10 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 25 \text{ K}\Omega$



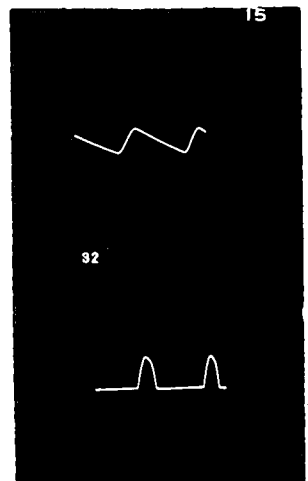
第 16 図
 $C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 25 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 25 \text{ K}\Omega$



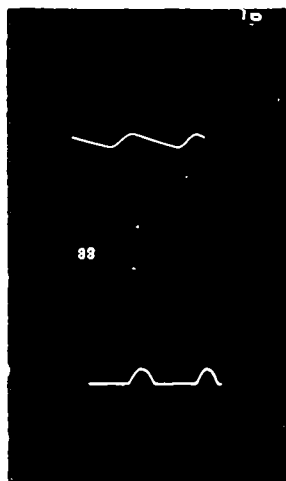
第 17 図
 $C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 100 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 25 \text{ K}\Omega$



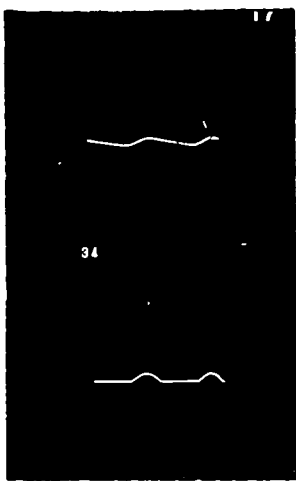
第 18 図
 $C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 500 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 25 \text{ K}\Omega$



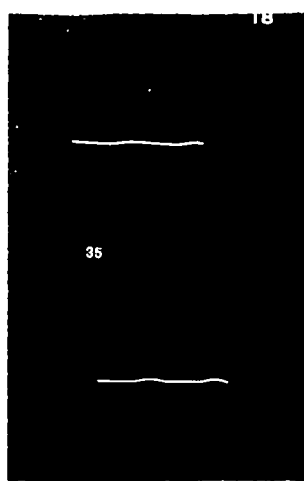
第 19 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 10 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 100 \text{ K}\Omega$



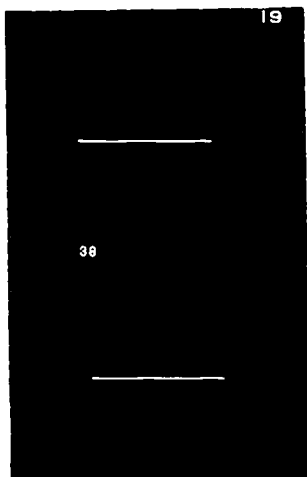
第 20 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 40 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 100 \text{ K}\Omega$



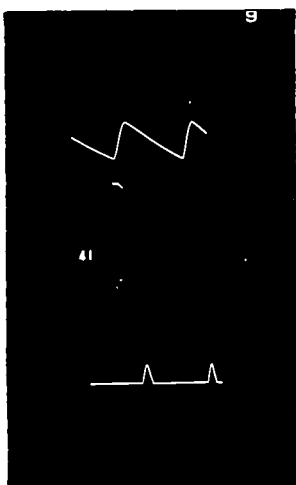
第 21 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 100 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 100 \text{ K}\Omega$



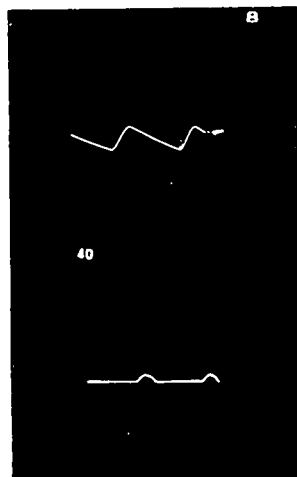
第 22 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 400 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 100 \text{ K}\Omega$



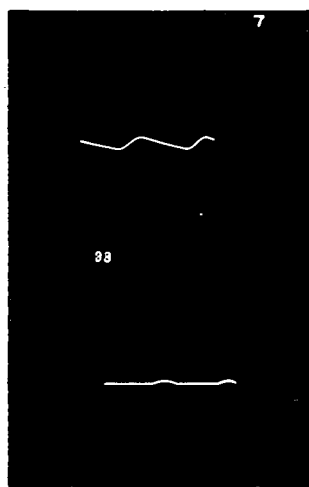
第 23 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 2,000 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 100 \text{ K}\Omega$



第 24 図
 $C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 5 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$

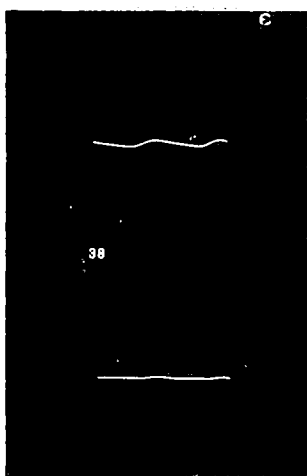


第 25 図
 $C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 50 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$



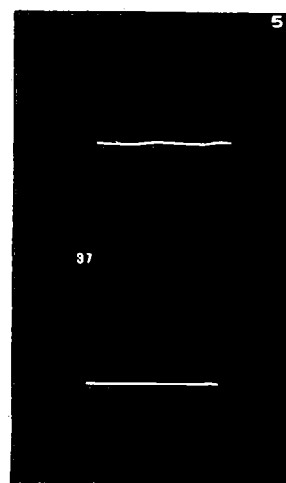
第 26 图

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 200 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$



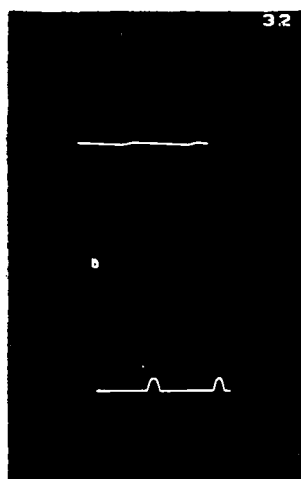
第 27 图

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 500 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$



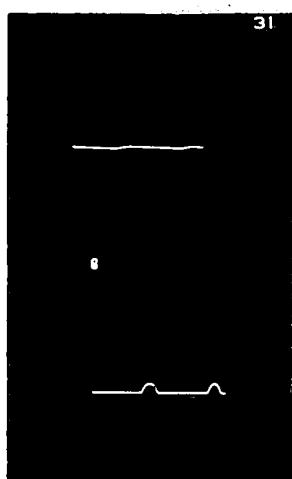
第 28 图

$C = 0.2 \mu\text{F}$
 $R_p = 2,000 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$



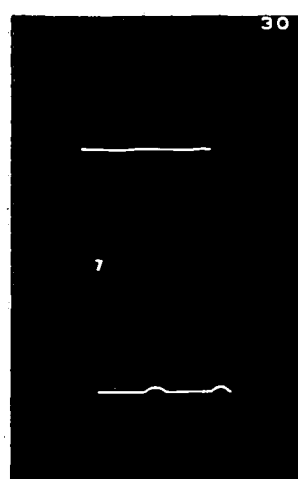
第 29 图

$C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 10 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$



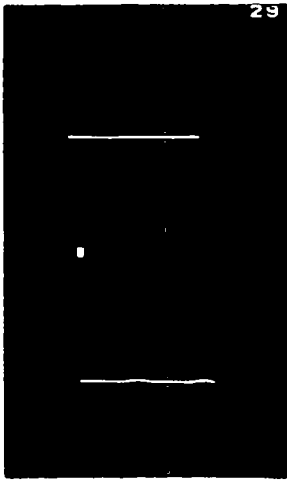
第 30 图

$C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 25 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$

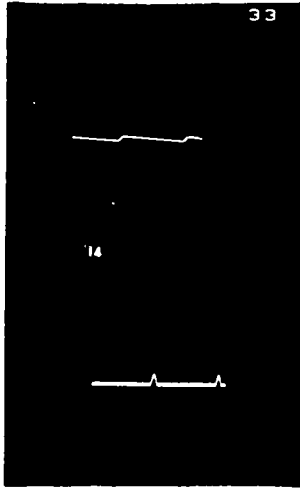


第 31 图

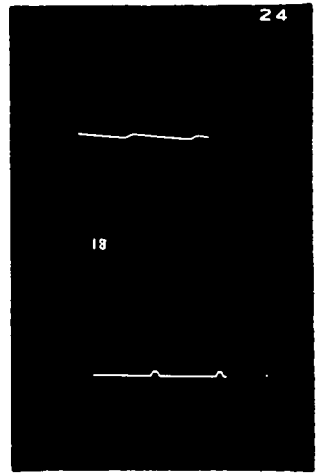
$C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 100 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$



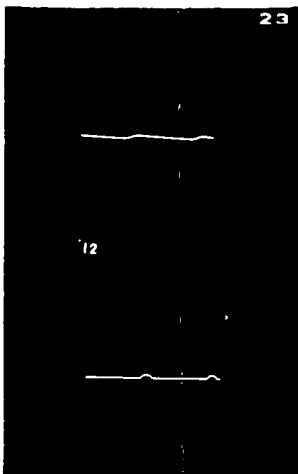
第 32 図
 $C = 4 \mu\text{F}$
 $R_p = 500 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 500 \text{ K}\Omega$



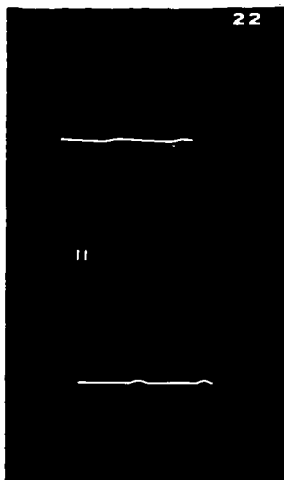
第 33 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 1 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 2,000 \text{ K}\Omega$



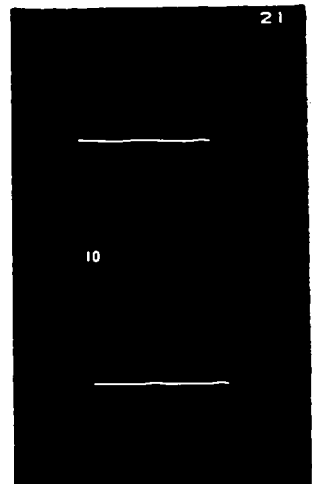
第 34 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 10 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 2,000 \text{ K}\Omega$



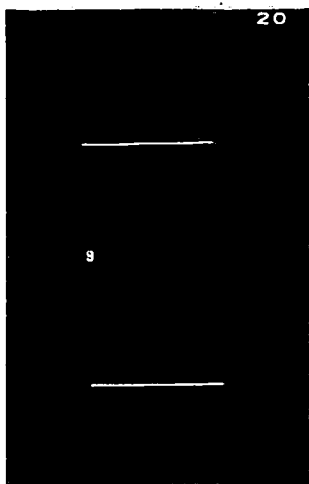
第 35 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 40 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 2,000 \text{ K}\Omega$



第 36 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 100 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 2,000 \text{ K}\Omega$



第 37 図
 $C = 1 \mu\text{F}$
 $R_p = 400 \text{ K}\Omega$
 $R_i = 2,000 \text{ K}\Omega$



第 38 図

$$\begin{aligned} C &= 1 \mu\text{F} \\ R_p &= 2,000 \text{ K}\Omega \\ R_i &= 2,000 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

上述の如く、回路常数 C , R_p , R_i を与えれば(17), (23)により、電圧、電流の計算が出来、コンデンサー C の充放電の際の端子電圧の変化の模様及充放電電流の変化の模様の全貌を明かにすることが出来る。このことは今後の本研究の理論の基礎となるものである。(未完)

(昭和35年9月30日受理)