

CL 発振器 と CR 発振器

森 光 三

CL Oscillator and CR Oscillator.

Mitouzō MORI

The CL oscillator and the CR oscillator were studied using the cathode ray oscillograph. Many familiar and unexpected facts were shown in the photograms. The general theory for the oscillation is applied to the CL, CR and LR oscillators.

1. はじめに

低周波発振器は歴史的にいつて CL 発振器、唸周波発振器、CR 発振器の順序に発達した。CL 発振器は蓄電器 C としてはマイカ又は紙蓄電器、インダクタンス L としては鉄心入りのコイルを用い、周波数を可変にするには、多数の蓄電器を設けて切換えて使用する。又周波数の範囲が広くなるとコイルも切換える必要がある。可変周波の発振器としては、どちらかといえば、この CL 発振器は不便である。唸周波発振器は二つの高周波発振器の唸りを検波して、差の周波数の低周波電流を取り出す発振器で、可変空気蓄電器で周波数を連続的に可変にできるのが特長である。然し周波数のチェックをしばしば行わなければ目盛は正確でない。チェックの方法としては、例えば 100c/s の周波計をおき、目盛を 100c/s に合せ、微小容量を調整して周波計が振動するようにする。この発振器では周波数の安定度が低い。

CR 発振器については初めての発表は Terman, Proc. I. R. E. 1939 のようで、われわれが見聞するうよになつたのは 1945 年以後である。CR 発振器は可変空気蓄電器と抵抗を用いて発振を行うもので、勿論周波数は連続的に可変で、周波数範囲は 20c/s 内径 200kc の広範囲に互るように作りうる。そしてこの発振器は周波数の安定度が高い。これは 60c/s の発振をさせ、電源電圧の 60c/s とブラウン管上に楕円を描かせると、この楕円が長い間動かない。そればかりでなく発振器の電源電圧を 80V から 120V の範囲に変えても、この楕円は変動しない。電源電圧の影響は完全に無い。これは唸周波発振器では容易にできないことである。波形も正弦波が得られる。このような特長があるので可変周波の低周波発振器としては CR 発振器が最も優秀で、そして軽量で費用も安い。

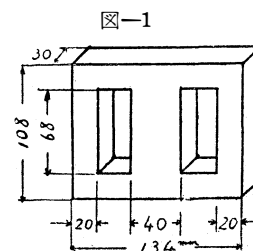
目的は CR 発振器の研究にあるが、はじめに CL 発振器について次いで CR 発振器について陰極線オツシログラフを用いた実験の結果を述べ、周波数を求める理論について記した。

2. CL 発振器

鉄心としては 図-1 のような珪素鋼板を重ねたものに 150 回、100 回、100 回の 3 個のコイルを巻いた。接続図は 図-2、陰極線オツシログラフで E_1 , E_2 , E_3 , E_4 ,

I_g の写真をとつたものを 写真-1 及 表-1 に示した。

- E_1出力電圧
- E_2発振器の陽極電圧
- E_3発振器のグリッド電圧
- E_4発振器のグリッド・バイアス電圧
- I_g発振器のグリッド電流



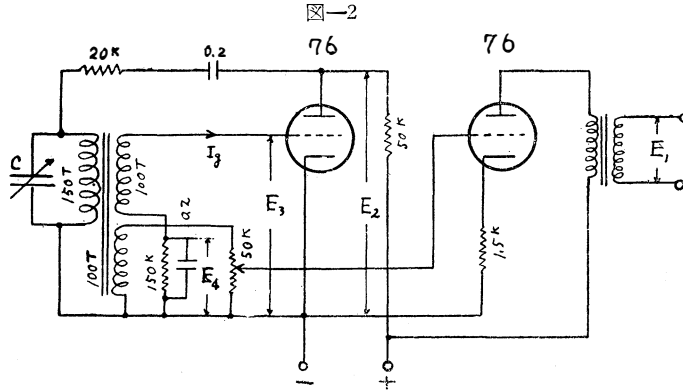


写真-1

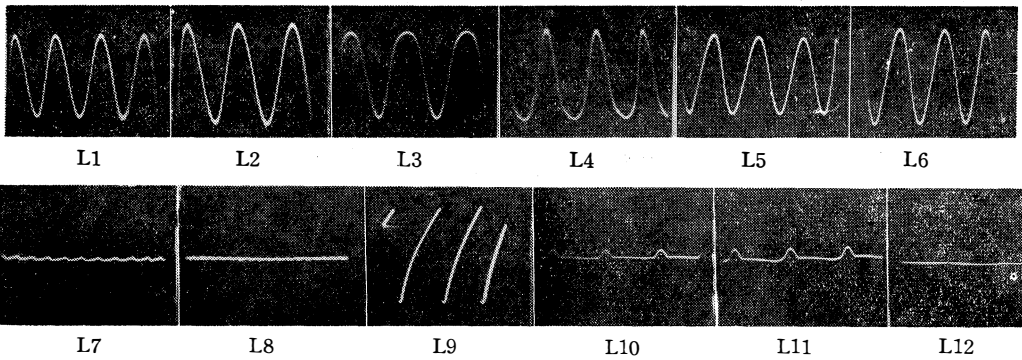


表-1

番号	波 形	C
L 1	E ₁	1.0μF
L 2	E ₁	0.2
L 3	E ₂	1.0
L 4	E ₂	0.2
L 5	E ₃	1.0
L 6	E ₃	0.2
L 7	E ₄	1.0
L 8	E ₄	0.2
L 9	E ₄	0
L10	I _g	1.0
L11	I _g	0.2
L12	I _g	0

- (3) 発振管の陽極電圧は正弦波ではない
- (4) 発振管のグリッド・バイアス電圧には脈動が見える (C=0 の場合は普通の発振はしないが、このバイアス電圧は鋸歯状波である。)
- (5) 発振管のグリッド電流は1サイクルに一回、短時間だけ流れる。(C=0 の時は流れる時間が極めて短時間になっている。)

C を可変にして周波数を測定したものが 図-3A 及 図-3B, 電源電圧を 80V から 110V まで変え時の周波数が 図-4。

以上の実験から次のような事がわかる。

- (1) 出力電圧は正弦波
- (2) 発振管のグリッド電圧は正弦波

図-3A

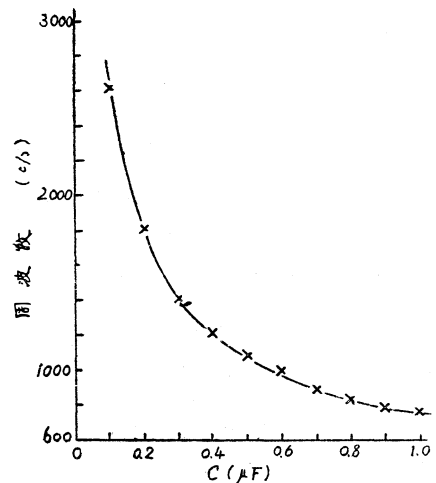
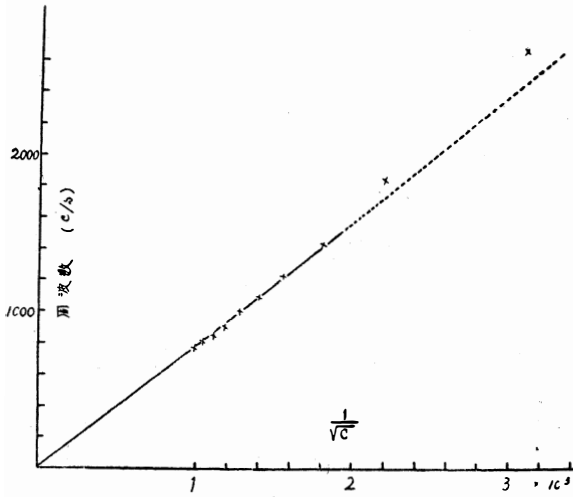


図-3B



$A\beta=1$ として求むる方法がある。これを CL 発振器に適用する。図-5, グリッドに E_g なる交流電圧を加える。これが増幅されて陽極電圧 (交流分) が E_p となる。増幅度 A を次のように定義する。

$$A = \frac{E_p}{E_g} \dots\dots\dots(1)$$

E_p が変圧器で電圧を下げられて E'_g となる。送還度 (饋還度) β を次のように定義する。

$$\beta = \frac{E'_g}{E_p} \dots\dots\dots(2)$$

今 $E_g = E'_g$ となれば S_1 を入れても状態は変わらない。又 S_2 を切つてもよろしい。この状態は自ら交流を発生する発振器である。

$E_g = E'_g$ ならば (1) と (2) から

$$A\beta = 1 \dots\dots\dots(3)$$

故に $A\beta=1$ から発振条件, 周波数が求まる。図-5 から

$$E_p = \frac{-\mu E_g Z}{r_p + Z}$$

Z は C と L , r の並列回路のインピーダンスで

$$Z = \frac{r + j\omega L}{1 - \omega^2 CL + j\omega r C} \dots\dots\dots(4)$$

$$\therefore A = \frac{E_p}{E_g} = -\frac{\mu Z}{r_p + Z} \dots\dots\dots(5)$$

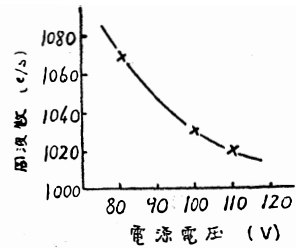
次に β は
$$\left. \begin{aligned} E_g &= -Ij\omega M \\ E_p &= I(r + j\omega L) \end{aligned} \right\}$$

E_g の右辺に (-) を付するのは変圧器の極性が陽極側とグリッド側で反対になっているからである。同じ極性にすれば発振しない。

$$\therefore \beta = \frac{E_g}{E_p} = \frac{-j\omega M}{r + j\omega L} \dots\dots\dots(6)$$

故に $A\beta=1$ とおけば (5) と (6) から

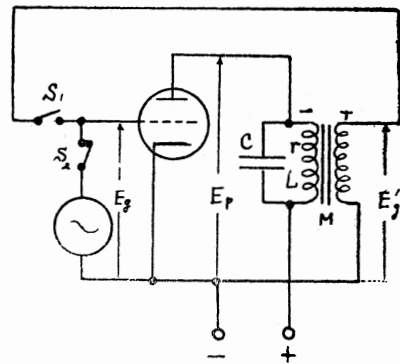
図-4



発振器のグリッド電圧が正弦波で陽極電圧が正弦波でないのは, グリッド電圧の振幅が相当の大きさであるから, $E_p - E_g$ 特性の曲りが原因であろう。発振管の陽極電圧から増幅管のグリッドに結合すると出力電圧は正弦波にならない。

次に発振管の発振条件, 発振周波数を

図-5



$$\frac{\mu Z}{r_p + Z} \cdot \frac{j\omega M}{r + j\omega L} = 1$$

これに (4) の Z の値を入れて計算し実数部と虚数部に分けて等しくおけば

$$\left. \begin{aligned} \mu M &= L + rr_p \\ f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}} \sqrt{1 + \frac{r}{r_p}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

これが一般に用いられる式である。勿論 μ と r_p はグリッド電位によつて変わるから一定のものではなく、(7) 式の中の μ , r_p は一種の平均値とみるべきであろう。真空管一個では A は (-) であるから変圧器の極性を反対にして β を (-) にすることが必要である。

次に二段増幅器を用い 図-6 のように送還した回路では、

$$\beta = \frac{E_g}{E_p} = \frac{r + j\omega L}{R(1 - \omega^2 CL) + r + j(Rr\omega C + \omega L)} \dots (8)$$

ここで A を未知数として $A\beta = 1$ とおく

$$A(r + j\omega L) = R(1 - \omega^2 CL) + r + j(Rr\omega C + \omega L) \dots\dots\dots (9)$$

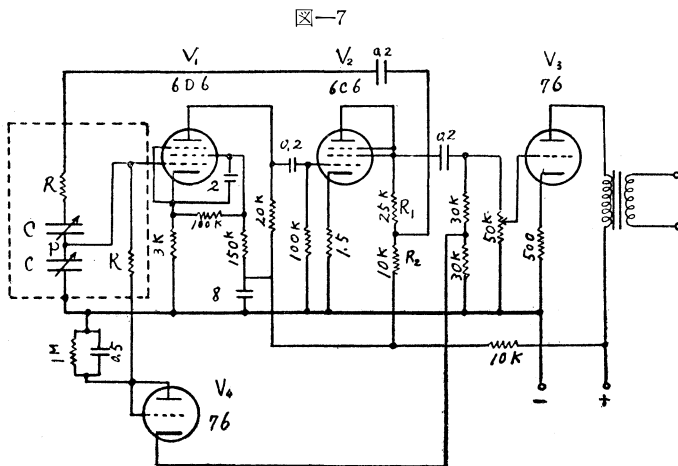
$$\left. \begin{aligned} Ar &= R(1 - \omega^2 CL) + r \\ A\omega L &= Rr\omega C + \omega L \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

$$\therefore \left. \begin{aligned} A &= 1 + \frac{Rr}{L} \frac{1}{C} \\ f &= \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}} \sqrt{1 - \frac{r^2}{L}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

この場合は (7) と違って f は r_p に無関係になっている。そして A は 1 より少し大きい数でなければならぬ。

3. CR 発振器

CR 発振器の接続は 図-7, C は普通のラジオ用バリコンで最大値 430pF, 最小値 13pF, C と R はシールドする。P がバリコンのローター側で、これをシャシーと絶縁して取付ける。従つて P とシャシーとの間の容量が下方の C に加わるから、トリマを加減して上下の C が等しくなるように



する。

次の各場合について出力電圧の波形の写真をとつたのが 写真-2 及 表-2.

- C が最大の場合, 最小の場合
 - V_4 がある場合, V_4 を抜いた場合
 - R が $3M\Omega$ の場合, $150k\Omega$ の場合
 - R_1, R_2 を少しく変えた場合
- 以上の観測から次の事がわかる。

V_4 真空管を抜けば 波形は正弦

写真-2

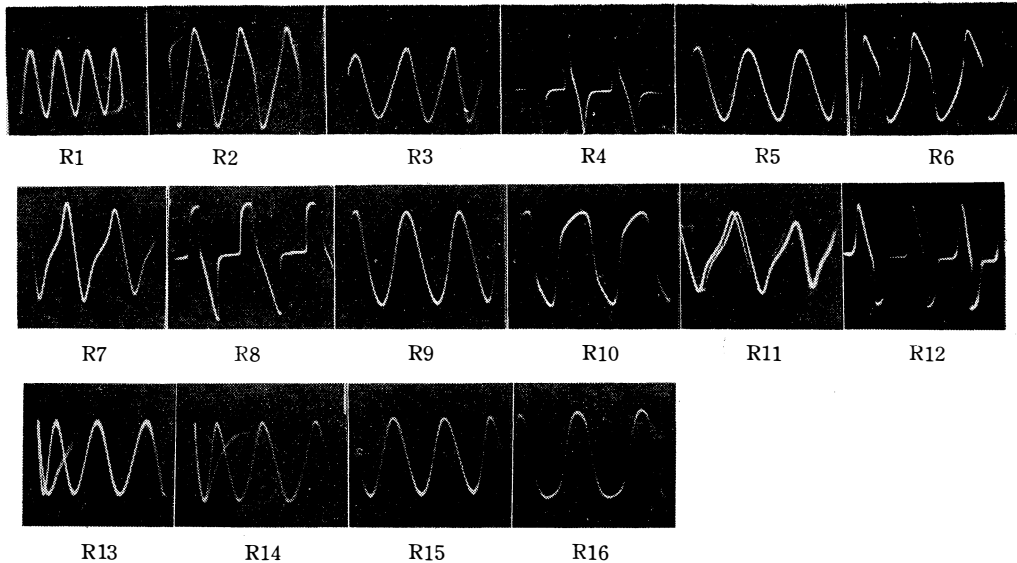


表-2

番 号	R ₁	R ₂	C	R	V ₄
R 1	25k	7.5k	最 小	3M	有
R 2	"	"	"	"	無
R 3	"	"	最 大	"	有
R 4	"	"	"	"	無
R 5	"	10k	最 小	"	有
R 6	"	"	"	"	無
R 7	"	"	最 大	"	有
R 8	"	"	"	"	無
R 9	30k	"	最 小	"	有
R10	"	"	"	"	無
R11	"	"	最 大	"	有
R12	"	"	"	"	無
R13	"	"	最 小	150k	有
R14	"	"	"	"	無
R15	"	"	最 大	"	有
R16	"	"	"	"	無

波にならない。周波数の高いR14の場合だけは正弦波であるが周波数が減る程波形の乱れは大きくなる。V₄真空管は整流管として用いられており、V₂真空管の出力電圧の一部を整流して1MΩの抵抗に流しV₁真空管のグリッド・バイアス電圧をうるようにしたものである。何故V₄真空管が波形を改善する上に効果があるか、この理由はまだわからない。V₄が働いている場合でもR7, R11の場合は波形が少し乱れている。これは第2段までの増幅度が大きく周波数が低い場合である。

R=500kΩの場合静電容量と周波数の関係は図-8A及図-8B、左方は直線上に来るが右の5点(Cが155pF以下)は直線から離れた。この傾向は図-3の場合と同じであるが、この原因は周波数が増せばコイルの実効抵抗が増し(図-3の場合)カーボン抵抗の実効抵抗が減少(図-8の場合)するからと思われる。

図-8A

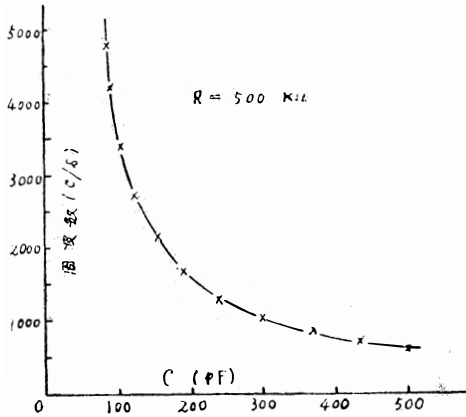
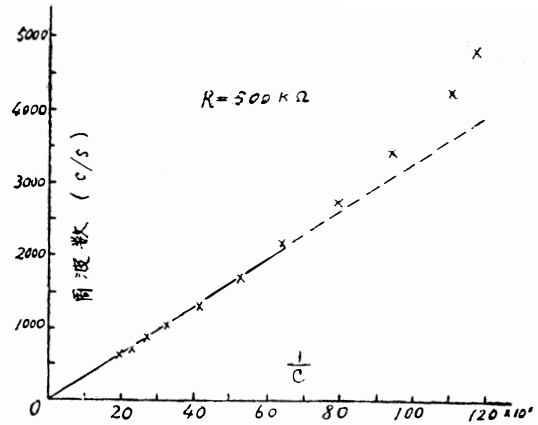


図-8B



発振条件, 発振周波数を求めるには CL 発振器に述べたように $A\beta=1$ を用いる。図-9。

$$\beta = \frac{E_g}{E_p} = \frac{R}{3R + j(\omega CR^2 - \frac{1}{\omega C})} \dots\dots\dots(12)$$

$$AR = 3R + j(\omega CR^2 - \frac{1}{\omega C}) \dots\dots\dots(13)$$

増幅器は抵抗増幅器で CR の部分のインピーダンスが陽極抵抗に比べて非常に大きいものとするれば A を実数と考えることができる。又 X 部のインピーダンスを無視して

$$\left. \begin{aligned} AR &= 3R \\ \omega CR^2 &= \frac{1}{\omega C} \end{aligned} \right\}$$

から

$$\left. \begin{aligned} A &= 3 \\ f &= \frac{1}{2\pi CR} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

CR 発振器で真空管を 2 段に用いるのは 1 段で A が (-) だから 2 段にして (+) にする為である。しかし A は 3 であるから増幅度をかなり小さくするよう陽極側の負荷抵抗が選ばれている。増幅度がますと波形が乱れる。周波数は C に反比例する。CL 発振器では $1/\sqrt{C}$ に反比例する。

低周波の範囲では C の影響が小さいので, A を実数として差支えないが, 周波数を増す為に R を小さくすれば, C が影響して A は実数でなくなる。この時は 図-9 にて

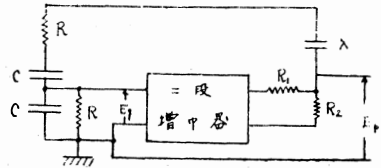
$$\left. \begin{aligned} Z_1 &= R - j\frac{1}{\omega C} \\ Z_2 &= \frac{R}{1 + j\omega CR} \\ Z_3 &= \frac{R_2(Z_1 + Z_2)}{R_2 + Z_1 + Z_2} \end{aligned} \right\}$$

とおき, μ を第 1 真空管の増幅度と第 2 真空管の電圧増幅率との積とすれば

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\mu Z_3}{r_p + R_1 + Z_3} \\ \beta &= \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

$A\beta=1$ より

図-9



$$\frac{\mu Z_3}{r_p + R_1 + Z_3} \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} = 1 \dots\dots\dots(16)$$

(16)式は周波数 f を含んだ式で簡単にならぬから解けるかどうか分からないが、この式が周波数を与える式である。 A も複素数として(15)から定まる。

4. LR 発振器

CR 発振器から直に LR 発振器が類推される。図-10.

$$\beta = \frac{E_g}{E_p} = \frac{Rj\omega L}{R^2 - \omega^2 L^2 + 3Rj\omega L} \dots\dots\dots(17)$$

$A\beta=1$ とおけば

$$jAR\omega L = R^2 - \omega^2 L^2 + 3Rj\omega L \dots\dots\dots(18)$$

A を実数と仮定すれば

$$\left. \begin{aligned} A &= 3 \\ f &= \frac{R}{2\pi L} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(19)$$

この LR 発振器が CL 又は CR 発振器に対し何等かの特長があるかどうか、あれば利用できるわけであるが今のところわからない。

5. おわりに

磁気エネルギーを貯えるインダクタンス、静電エネルギーを貯える蓄電器を用いて電気振動を発生できることは、丁度位置エネルギーと運動エネルギーとがあつて振子の機械的振動が起ることと同じように考えられる。しかしながら静電エネルギーを貯える蓄電器だけでも正弦波交流を発生できることは考えれば不思議なことである。 $A\beta=1$ という理論を押し進めればインダクタンスだけでも発振が可能であり、又 CL 発振器に対して 2 段増幅器の場合の周波数の式は 1 段増幅器の場合と異なるものが得られる。

これらの発振器について尚実験すべきことが多く残されているが以上は今までの結果をまとめたものである。

図-10

