

# 三菱電機

— MITSUBISHI - DENKI —

VOL. 23 No. 1

## 目 次

- |                  |              |
|------------------|--------------|
| 圓線圖による水晶發振器特性の検討 | 薄 井 康 介 (1)  |
| ハネカムコイルの Q       | 北 塩 成 一 (10) |
| ハネカムコイルの Q       | 中 根 茂 樹      |
| イグナイトロン整流器の點弧回路  | 竹 内 宏 一 (14) |
| エナメル銅線の試験結果について  | 石 黒 克 己 (24) |
|                  | 野 口 英 男      |
|                  | 姫 井 孝 太 郎    |

### 新 製 品 紹 介

- |             |      |
|-------------|------|
| 防 爆 型 電 热 器 | 表紙 二 |
| 職 業 用 ミ シ ン | 表紙 三 |

1949—

三菱電機株式會社

# 圓線圖による水晶發振器特性の検討

先に発表した筆者の論文<sup>①</sup>の再検討であり、實用化を目的としたものである。水晶振動子を等價的電氣回路で代表させ、眞空管と組合せて、定格子損失の圓線圖および定周波數の圓線圖を作製し、發振平衡條件、起動ならびに停止條件、振幅および周波數變動特性などを検討してみることにする。前文に比して取り扱いを非常に單純化し、また適切な實例につき合理的な負荷變動機構に則した解析を行つたから、大方の御利用に供したいと思う。

研究所 薄井廉介

## 1. 緒言

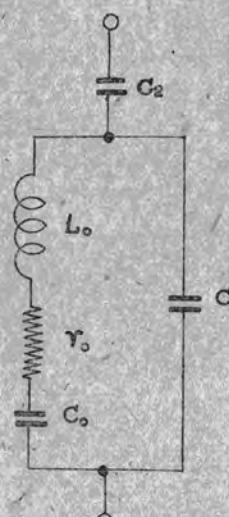
最近通信方面における波數安定度の要求は、ますます厳格となりつゝある。周波數標準あるいは準標準用として在來の水晶發振器の解析<sup>②</sup>はあまりに粗末で、また實用の水晶制御發振器に對しても少しく物足りなかつたようである。溫度係数とか保持法などとは別に、回路關係ももつと明確にしておく必要が痛感されている。この點圓線圖を用うると、諸特性が一目で明かにされる。圓線圖の基本特性から外れる實驗結果を得たとすれば、眞空管定數 ( $g$ 、  $C_2$  等の格子入力定數) の變化に歸してよく、この分離に成功すれば、水晶を用いざる自勵發振器の周波數變動原因もつきとめられ、安定化研究の資料ともなる。

さきに発表した筆者の論文<sup>①</sup>は、誘導法が一般的に過ぎ、繁雜のためあまり利用されなかつたようである。最止再びこの問題に觸れる機會があり、僅かな手心で圓線圖の作製が單純化され實用上極めて有利になつたので、改めて報告することにした。幾分省略するが必要ならばこれに對する補正も困難でなく最も嚴密な處理もできる。

## 2. 水晶振動子の等價回路とインピーダンス圓線圖

水晶振動子の等價的電氣回路は、その共振周波數の附近にて 1 圖のようなものであることは周知である。  $C_1$  は振動子の幾何學的靜電容量、  $C_2$  は空氣間隙の容量である。

この表わすインピーダンス  $Z_0$  は



第 1 圖

$$Z_0 = \frac{1}{\frac{1}{r_0 + j(\omega L_0 - 1/\omega C_0)} + j\omega C_1} - j \frac{1}{\omega C^2} \quad \dots \dots \dots (2.1)$$

これを少しく變形すると

$$Z_0 = \frac{1}{r_0 \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2} \frac{1}{1 + jn} + j\omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad \dots \dots \dots (2.2)*$$

あるいは

$$Z_0 = \frac{1 + j \left\{ n - r_0 \omega C_1 (1 + n^2) \frac{C_1 + C_2}{C_2} \right\}}{\left( \frac{C^2}{C_1 + C_2} - n r_0 \omega C_1 \right)^2 + (r_0 \omega C_1)^2} = R + jX \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

うち

$$n = \frac{1}{r_0} \left\{ \omega L_0 - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right) \right\} = \theta_0 \left[ \frac{\omega}{\omega_a} - \frac{\omega_a}{\omega} \right] \quad \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\theta_0 = \frac{\omega_a L_0}{r_0} \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\omega_a = \sqrt{\frac{1}{L_0} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right)} = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0}} \sqrt{1 + \frac{C_0}{C_1 + C_2}}$$

$$\approx \omega_0 \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{C_0}{C_1 + C_2} \right]$$

$$\approx \omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L_0 C_0}} \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

上式のように変形することは、筆者の創意であつて、このために水晶回路の解釈を単純化し、発振子としてももちろん、共振子としても好都合のものである。

共振點附の周波数の變化は上式の  $n$  で代表せしめ、(2.4)

式を解いて

$$\frac{\omega}{\omega_a} = \frac{1}{2} \left\{ \frac{n}{\theta_0} + \sqrt{\left( \frac{n}{\theta_0} \right)^2 + 4} \right\} \simeq \frac{1}{2} \left\{ \frac{n}{\theta_0} + 2 \right\} = 1 + \frac{n}{2\theta_0}$$

したがつて

$$\omega \simeq \omega_a \left[ 1 + \frac{n}{2\theta_0} \right] \simeq \omega_0 \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{C_0}{C_1 + C_2} + \frac{n}{2\theta_0} \right] \quad (2.7)$$

のようによつたく  $n$  の變化で表わし得る。 (2.2) (2.3) 式の他の部分の  $\omega$  は共振子あるいは振動子として働く範囲内ではきわめて僅かな變化 ( $10^{-3}$  以下) を行うにすぎないから、一定として取り扱つても何等支障のないことがわかる。タング回路あるいは真空管常数についても同様である。

(2.2) 式中の

$$\frac{1}{1+jn} = \frac{1}{1+n^2} - j \frac{n}{1+n^2} = x = jy \quad (2.8)$$

と置いて  $x, y$  間で  $n$  を消去すると

$$\left( x - \frac{1}{2} \right)^2 + y^2 = \left( \frac{1}{2} \right)^2 \quad (2.9)$$

の圓となることは明かである。したがつて  $Z_0$  中の  $n$  を消去した場合は

$$\left\{ R + \frac{1}{2r_0} \left( \frac{1}{\omega C_1} \right)^2 \right\}^2 + \left\{ X + \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \right\}^2 = \left\{ \frac{1}{2r_0} \left( \frac{1}{\omega C_1} \right)^2 \right\}^2 \quad (2.10)$$

となり、 $Z_0$  の逆数のアドミタンス  $Y_0$

$$Y_0 = \frac{1}{Z_0} = \frac{1}{r_0} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \frac{1}{1+jn} + j\omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = G + jB \quad (2.11)$$

も  $n$  の消去によりつぎの圓となることはもちろんである。

$$\left\{ G - \frac{1}{2r_0} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \right\}^2 + \left\{ B - \omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right\}^2 = \left\{ \frac{1}{2r_0} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \right\}^2 \quad (2.12)$$

## 脚註

\* (2.1) 式の逆数アドミタンスを表わすと

$$Y_0 = \frac{1}{z_0} = \frac{1}{\frac{1}{r_0 + j(\omega L_0 - 1/\omega C_0)} + j\omega C_1} = \frac{1}{\frac{r_0 + j(\omega L_0 - 1/\omega C_0)}{1 - \omega C_1(\omega L_0 - 1/\omega C_0) + j\omega C_1 r_0} - j \frac{1}{\omega C_2}} = \frac{1 - \omega C_1(\omega L_0 - 1/\omega C_0) + j\omega C_1 r_0}{r_0 + \frac{C_1}{C_2} r_0 + j(\omega L_0 - 1/\omega C_0) - j \frac{1}{\omega C_2}} + j \frac{C_1}{C_2} (\omega L_0 - 1/\omega C_0)$$

上式の分母、分子をそれぞれ適當に變形して

$$\text{分母} = \frac{C_1 + C_2}{C_2} \left\{ r_0 + j \left[ \omega L_0 - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right) \right] \right\}$$

$$\text{分子} = 1 - \omega C_1 (\omega L_0 - 1/\omega C_0) + j\omega C_1 r_0 = 1 - \omega C_1 \left( \omega L_0 - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right) \right) + j\omega C_1 r_0 = \frac{C_4}{C_1 + C_2} + j\omega C_1 r_0 = j\omega C_1 \left\{ r_0 + j \left[ \omega L_0 - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right) \right] \right\} + \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

したがつて

$$Y_0 = \frac{j\omega C_1 \left\{ r_0 + j \left[ \omega L_0 - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right) \right] \right\}}{\frac{C_1 + C_2}{C_2} \left\{ r_0 + j \left[ \omega L_0 - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right) \right] \right\} + \frac{C_2}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_1 + C_2}} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \left\{ j\omega C_1 + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right\}$$

$$\frac{1}{r_0 + j \left[ \omega L_0 - \frac{1}{\omega} \left( \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_1 + C_2} \right) \right]} = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \left\{ j\omega C_1 + \frac{1}{r_0} \frac{C_2}{C_1 + C_2} \frac{1}{1+jn} \right\}$$

$$= \frac{1}{r_0} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \frac{1}{1 + jn} + j\omega \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 1/z_0$$

ちょっと複雑であるが、このような変形で圓線圖の應用を可能にした。僅かなことであるがこれはきはめて重要なからとくに脚註として記入しておく。

### 3. ピアース回路の解析

前文<sup>1)</sup>ではあまり一般的に處理したために、かえつて圓線圖を非實用的にした傾向があつたが本文ではできるだけ實用的で、しかも最も最密な取り扱いを行うことにした。

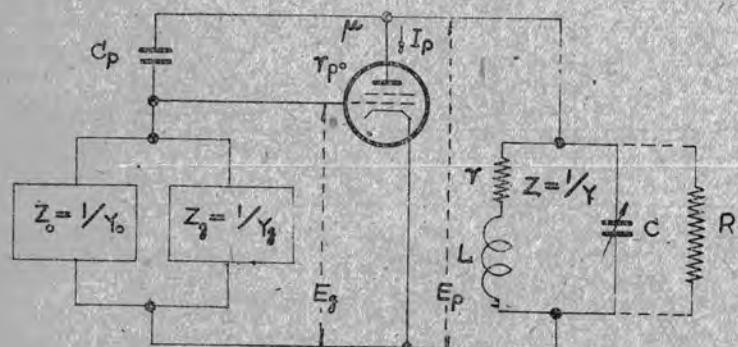
第2圖にピアース回路の結線圖を示す。

$$Z_0 = \frac{1}{Y_0} \quad \dots \dots \dots \quad (3.1)$$

は(2.2), (2.11)などに示す。水晶發振子のインピーダンスで  $Y_g$  は

$$Y_g = \frac{1}{Z_g} = g = j\omega C_g \quad \dots \dots \dots \quad (3.2)$$

のリード抵抗も含む。格子の入力アッダミタンス  $C_p$  は陽極、制御格子間の静電容量、 $\mu$ 、 $r_{p0}$  は使用真空管の増



第 2 圖

幅率および内部抵抗

$$g_m = \frac{u}{r_{p0}} \quad \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

のように普通は相互コンダクタンスで與えられる。

タンクの回路のインピーダンス  $Z$  は

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{r + j\omega L + j\omega C} \approx \frac{r}{(\omega L)^2} - j\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right) \quad \left\{ \quad (3.4)$$

あるいは  $= \frac{1}{R} - j\left(\frac{1}{\omega L} - \omega C\right)$

逆数のアッダミタンスで與えた方が便利である。

$\dot{E}_p$  なる陽極および  $\dot{E}_g$  なる格子振動電壓に對して

$$\dot{I}_p = \frac{1}{r_p} (\dot{E}_p + \mu \dot{E}_g) = \dot{E}_p \frac{1 + \mu m}{r_p} \quad \dots \dots \dots \quad (3.5)$$

うち  $m = \dot{E}_g / \dot{E}_p$  = 反結合(あるいは還還)係數

$\dot{I}_p$  なる振動電波を流すのである。なお非直線特性のために靜特性で與えられる  $r_{p0}$  の内部抵抗は振幅が増大すると  $r_p$  に増加して  $N$  倍となり、

$$\left. \begin{aligned} r_p &= N r_{p0} \\ N &= \text{自勵度あるいは發振硬度} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (3.7)$$

基本波の平衡が保たれるのである。このように  $m$ ,  $N$  を用いて發振器の解析を行うのは筆者獨得の方法であつてこのためにすべての處理を合理化し、單純化して明確な結論を得ることができる。

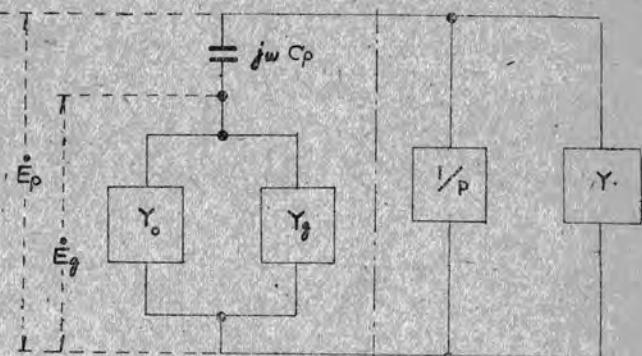
上式の  $m$  を用いて

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{r_p} (1 + \mu m) \quad \dots \dots \dots \quad (3.8)$$

と置くと、 $\dot{E}_p$  の陽性電壓に對してすべてインピーダンスあるいはアッダミタンスの關係のみで回路解析ができる。すなわち第3圖で

$$\begin{aligned} \frac{1}{\rho} &= Y + \frac{1}{Y_0 + Y_g} - j \frac{1}{\omega C} \\ &= 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3.9) \end{aligned}$$

が發振の平衡條件を與える。一般には數式を簡単にするために上式の第3項を省略するのが普通であるが、本文では嚴密にするためにこの項を最後まで残しておくことにする。なお(3.8)式中の  $1$  を  $\mu m$  に對して省略するとも多いようであるが、この省略は小



第 3 圖

振幅の発振限界附近の誤差を大きくするから不可である。

$m$  の値は第 3 図で明らかなように

$$\begin{aligned} m &= \frac{\dot{E}_g}{\dot{E}_p} = \frac{\frac{1}{Y_0 + Y_g}}{\frac{1}{Y_0 + Y_g} - j \frac{1}{\omega C_p}} \\ &= \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega C_p} (Y_0 + Y_g)} \quad \dots \dots \dots (3.10) \end{aligned}$$

であるから、これを(3.8)式に更に(3.9)式に入れると

$$\begin{aligned} \frac{1}{r_p} \left\{ 1 + \frac{\mu}{1 - j \frac{1}{\omega C_p} (Y_0 + Y_g)} \right\} + Y \\ + \frac{Y_0 + Y_g}{1 - j \frac{1}{\omega C_p} (Y_0 + Y_g)} = 0 \quad \dots \dots \dots (3.11) \end{aligned}$$

となり、さらに整理すると

$$\begin{aligned} \frac{j\mu\omega C_p}{Y_0 + Y_g + j\omega C_p} \\ = - \frac{1 + r_p (Y + j\omega C_p)}{1 - j\omega C_p \frac{r_p}{\mu}} \quad \dots \dots \dots (3.12)* \end{aligned}$$

のように簡単になる。かくすると左邊は  $Y_g$  を含む水晶回路特性のみを、右邊は真空管内部抵抗  $r_p$  を含むタンク回路特性のみを、それぞれ独立に表わし得て、これら分離された二特性が平衡する條件でこの回路の解法が與えられ、以後の處理を最も合理化することができる。

右邊中の  $\omega C_p$  の項は他の項に比して小であるから省略しても支障なくこれは(3.9)、(3.11)式の第3項を省く普通の方法と一致するが、正確解のために保存するのも差支えがない。

圓線圖を用うるまでもなく、上式を驅使して解法を行つてもよいのであるが、複素式で  $Y_0$  が複雑なことと、平衡に要する  $r_p = Nr_{p0}$  の  $N$  の度合が、明確でないため非常に厄介なことになる。古賀博士の著書<sup>3)</sup>でもこの邊の消息がよくうかがわれる。

## 脚 註

\* (3.11) 式は

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{1}{r_p} + Y \right\} \left\{ 1 - j \frac{1}{\omega C_p} (Y_0 + Y_g) \right\} \\ + \frac{\mu}{r_p} + (Y_0 + Y_g) = 0 \\ \{ j\omega C_p + Y_0 + Y_g \} \left\{ \frac{1}{r_p} + Y \right\} \\ + j\omega C_p \left\{ \frac{\mu}{r_p} + Y_0 + Y_g \right\} = 0 \end{aligned}$$

上式に

$$j\omega C_p \{ j\omega C_p + Y_0 + Y_g \} = 0$$

を前項および後項に追加すると

$$\begin{aligned} \{ Y_0 + Y_g + j\omega C_p \} \left\{ \frac{1}{r_p} + Y + j\omega C_p \right\} \\ + j\omega C_p \left( \frac{\mu}{r_p} - j\omega C_p \right) = 0 \\ \frac{j\omega C_p}{Y_0 + Y_g + j\omega C_p} = - \frac{\frac{1}{r_p} + Y + j\omega C_p}{\frac{\mu}{r_p} - j\omega C_p} \end{aligned}$$

より(3.12)式を得る。

## 4. ピアース回路の圓線圖

(3.12)式は

$$\begin{aligned} Y + j\omega C_p &= \frac{1}{R} - j \left[ \frac{1}{\omega L} - \omega (C + C_p) \right] \\ &= \frac{\omega L}{R} \frac{1}{\omega L} \left\{ 1 - j \frac{R}{\omega L} [1 - \omega^2 (C + C_p) L] \right\} \\ &= \frac{1}{\omega L} \frac{1}{\theta} \left\{ 1 - j \theta \left[ 1 - \frac{C + C_p}{C_n} \right] \right\} \quad \dots \dots \dots (4.1) \end{aligned}$$

とし、 $Y_g = g + j\omega C_g$  ;  $r_p = Nr_{p0}$  を入れ

$$\begin{aligned} \frac{\mu\omega C_p}{j(Y_0 + g) - \omega(C_g + C_p)} \\ = \frac{1 + \frac{r_{p0}}{\omega L} \frac{1}{Q} N \left\{ 1 - jQ \left[ 1 - \frac{C_a}{C_n} \right] \right\}}{1 - j\omega C_p \frac{r_{p0}}{\mu} N} \quad (4.2) \end{aligned}$$

ただし、

$$C_a = C + C_p ; \frac{1}{C_n} \\ = \omega^2 L ; Q = \frac{R}{\omega L} = \frac{\omega L}{r} \quad \dots \dots \dots (4.3)$$

なお  $(\omega L Q) / r_{p0}$  を兩邊に乘じて

$$\begin{aligned} \frac{\mu}{r_{p0}} \omega^2 C_p L Q \\ \frac{j(Y_0 + g) - \omega(C_g + C_p)}{Q \omega L + N \left\{ 1 - jQ \left( 1 - \frac{C_a}{C_n} \right) \right\}} \\ = \frac{\frac{Q \omega L}{r_{p0}} + N \left\{ 1 - jQ \left( 1 - \frac{C_a}{C_n} \right) \right\}}{1 - j\omega C_p \frac{r_{p0}}{\mu} N} \\ = x + jy \quad \dots \dots \dots (4.4) \end{aligned}$$

これは(3.12)の基本式を圓線圖利用に好都合のようになおしたに過ぎず、省略のない正確式である。

上式左邊中の  $Y_0$  なる水晶のアツドミタンスは、 $n$  消去、すなわち周波數を變化せざる場合に(2.12)に示す圓の複素變化をなすものであつて、これを含む左邊全體に、周波數  $n$  の變化に應じて同様の圓を畫くことは明かである。

(2.11) 式より  $Y_0$  を入れると上式の左邊は

$$\begin{aligned} & \frac{r_0 g_m \omega^2 C_p L Q}{\left(\frac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2 \frac{n}{1+n^2} - r_0 \omega \left\{ \frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} + C_g + C_p \right\}} \\ & + \left\{ C_p \right\} + j \left\{ \left( \frac{C_2}{C_1+C_2} \right)^2 \frac{1}{1+n^2} + r_0 g \right\} \\ & = x + jy \quad \dots \dots \dots (4.5) \end{aligned}$$

となり  $x, y$  間で  $n$  を消去するとつぎの定数の圓となる

中心

$$\left\{ \begin{array}{l} x_0 = -p \cdot r_0 \omega \left\{ \frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} + C_g + C_p \right\} \\ y_0 = -p \cdot \left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{C_2}{C_1+C_2} \right)^2 + r_0 g \right\} \end{array} \right. \quad (4.6)*$$

半径

$$l_g = \frac{1}{2} p \left( \frac{C_2}{C_1+C_2} \right)^2$$

ただし

$$\begin{aligned} p &= \frac{r_0 g_m \omega^2 C_p L Q}{r_0 g \left( \frac{C_2}{C_1+C_2} \right)^2 + (r_0 \omega)^2} \\ &= \left\{ \frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} + C_g + C_p \right\}^2 + (r_0 g)^2 \end{aligned}$$

實用上は格子リーケ抵抗の差し換えて發振強度の調節がよく行われるから、直接  $g$  を変化したことになる。したがつて上圓を  $g$  をパラメータとして數値書いておくと便利である。この數値關係は前文<sup>1)</sup>に示すものに一致している。たゞ比例の常数および第III象限の代りに中心が第I象限に來ていることが異なる。(原點を中心として180°回轉してある)本文のように第III象限に中心を置く方が、タンク回路のアソシタシスにそのまま對應せしめ合理的に解析するのに便利である。

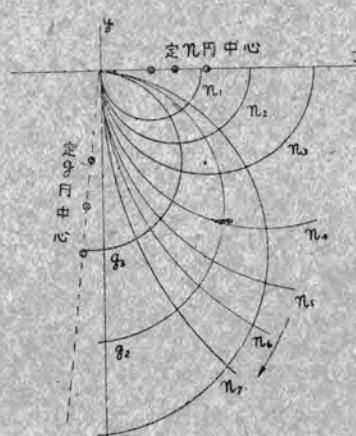
つぎに一定  $n$  可變  $g$  に對する軌跡をみると、これは比較的簡単である。(4.5)式で逆數を取り、實數部を分離すると

$$\begin{aligned} & \left( \frac{C_2}{C_1+C_2} \right)^2 \frac{n}{1+n^2} - r_0 \omega \left\{ \frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} + C_g + C_p \right\} \\ & = r_0 g_m \omega^2 C_p L Q \frac{x}{x^2+y^2} \quad \dots \dots (4.7) \end{aligned}$$

となり  $g$  がすでに消去されている。これから  $n$  一定の軌跡として

$$\begin{aligned} x_n = l_n &= \frac{1}{2} \left( \frac{C_2}{C_1+C_2} \right)^2 \frac{n}{1+n^2} \\ & - r_0 \omega \left\{ \frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} + C_g + C_p \right\} \quad \dots \dots (4.8) \end{aligned}$$

$$y_n = 0$$



第4圖

のよう  $x$  軸上に中心があり、原點を通る圓を得る。

各  $n$  に對して半徑  $l_n$  を計算してみると  $n/(1+n^2)$  の最大は  $n=1$  にあり、これが最小圓を與える。  $n$  が1より小でも大でも同様に半徑は大きくなる

同一圓に對して

$n$  に二價を得るが、(4.5)式で  $\sqrt{x^2+y^2}$  のベクトルの大きさをみると、大  $n$  の方が大きく、小  $n$  に對しては非常に小となることがわかる  $\left[ \left( \frac{C_2}{C_1+C_2} \right)^2 \frac{1}{1+n^2} \right]$  項の効果は他のものに比して非常に大きい。  $\sqrt{x^2+y^2}$

ベクトルの大なるほど、 $N$  大きく振幅は大となり、振動は安定する。  $n < 1$  で發振したとしても振幅小さく、すぐに  $n > 1$  の大  $N$  に跳躍するから、小  $n$  の方は考慮の必要はない。

第4圖は定  $g$  および定  $n$  圓の一群を表わし、大體の傾向を示している。定  $g$  圓は大略  $g$  に反比例して  $g_1, g_2, g_3$  のように小となり、定  $n$  圓は  $n$  の大なるほどその半徑を増大するものである。したがつて定  $g$  圓上動作點が右廻りに移動すると、 $n$  が増加して周波数は次第に上昇することになる。

## 脚 註

\* (4.5)式を逆數で表わし、(A, a, b は各係数を代表する)。

$$A \frac{n}{1+n^2} - a + j \left[ A \frac{1}{1+n^2} + b \right] = \frac{x}{x^2+y^2} - j \frac{y}{x^2+y^2}$$

と置く。しかるときは

$$A \frac{n}{1+n^2} = \frac{x}{x^2+y^2} + a; A \frac{1}{1+n^2} = - \left[ \frac{y}{x^2+y^2} + b \right]$$

兩式の自乘の和を取ると

$$A^2 \left[ \left( \frac{n}{1+n^2} \right)^2 + \left( \frac{1}{1+n^2} \right)^2 \right] = A^2 \frac{1}{1+n^2}$$

$$= -A \left[ \frac{y}{x^2+y^2} + b \right] = \left[ \frac{x}{x^2+y^2} + a \right]^2 + \left[ \frac{y}{x^2+y^2} + b \right]^2$$

$$\frac{1+2ax+(2b+A)y}{x^2+y^2} + a^2 + b^2 + Ab = 0$$

$$\left[ x + \frac{a}{a^2 + b^2 + Ab} \right]^2 + \left[ y + \frac{b + \frac{A}{2}}{a^2 + b^2 + Ab} \right]^2 = \frac{\left( \frac{A}{2} \right)^2}{(a^2 + b^2 + Ab)^2}$$

より (4.6) 式の中心および半径を得る。

### 5. ピアース回路の負荷側特性と解法

水晶側の特性は前述のように圓線圖で完全に代表せしめたから、つぎに負荷側のタンク回路特性を吟味してみる。C4.1) に示すようにタンク回路のアッドミタンスは  $j\omega C_p$  を入れて

$$Y + j\omega C_p = \frac{1}{\omega L} \frac{1}{Q} \left\{ 1 - jQ \left[ 1 - \frac{C_a}{C_n} \right] \right\} \quad (5.1)$$

となり、普通  $C_a = C + C_p$  中の  $C$  の變化のみで調整をとつていて、特別に負荷抵抗、例えば第 2 圖中の  $R$  に並列負荷を入れるとか、または  $L$  を換えたりして調整をとることもあるが、いずれも上式に關聯して考慮すればよい。

したがつて上式中の基準の變化は  $C_a$  のみであつて、この  $C_a$  の變化に對して、虚數項すなわち、サスセプタシスのみが變化する。(4.2) あるいは (4.3) の分子についてみると、 $r_p$  の非直線性のために  $N$  の増減はあるが、 $x_0 = Q\omega L/r_{p0}$  を基點とした。

$$\varphi = -\tan^{-1} Q \left[ 1 - \frac{C_a}{C_n} \right] \quad \dots \dots \dots (5.1)$$

の角度をもつた直線で表わされている。この角度は  $C_a$  によつてのみ變化する。

なお (4.2)、(4.4) 右邊の分母中の  $jN\omega C_p / g_m$  項は普通 1 に比して非常に小さいから、實用上省略してもよい。必用ならば補正も可能であるから、一應

$$x + jy = \frac{Q\omega L}{r_{p0}} + N \left\{ 1 - jQ \left( 1 - \frac{C_a}{C_n} \right) \right\} \quad (5.3)$$

として左邊の水晶回路との平衡作用を検討すればよい。 $C_a$  に對して  $\varphi$  角を與え  $x_0 = Q\omega L/r_{p0}$  を起點とした直線を引き、水晶回路の定  $g$  圓との交點を檢べると、すべ

ての動作條件が決定する。すなわちピアース回路としての解法が與えられるのである。この解法は

$$N = \frac{r_p}{r_{p0}} = x - x_0 \quad \dots \dots \dots (5.4)$$

を決定し、定  $n$  圓を参考として  $n$  を決定して (2.7) 式より周波數  $\omega$  を與える。これで一應水晶發振器の動作特性がわかる。

負荷側の動作直線と定  $g$  圓とは二點で交わるが、内側の  $N$  は小振幅に對するものでこれは不安で、大  $N$  の外側の交點が求める解になる。なお小  $N$  は普通 1 より小で、この方から云つても發振不能の範圍にある。

$\varphi = -\tan^{-1} Q \left[ 1 - C_a/C_n \right]$  の角もその度ごとに計算しなくとも  $x = \omega + 1$  をとる從線上に  $Q \left( 1 - C_a/C_n \right)$  の目盛りを入れておくと  $x_0$  とこの目盛りを結ぶ直線を引くだけで動作直線が得られて便利である。

この圓線圖利用の解法の味噌は、發振硬度  $N$  の活用にあり、この  $N$  は伸縮自在で兩回路の彈力性の結合子の役目をしているところにある。 $N$  は 1 以上でないともちろん發振しないが、1 以上ならば如何なる値でも取り得る。

$N=1$  の發振限度では振幅は極小で、  
 $N$  大になるにしたがつて振幅が増大するが、比例關係にあるわけでもない。非直線特性により、また格子の自動バイアスの影響も受けて一律に論じ得ないが、大體の傾向は明かで、 $N \rightarrow \omega$  に對して限度の振幅あり、それ以上は振幅は増大しない。

この  $N$  は一般自勵發振器に共用できる重要な因子であるが、筆者以外はほとんど活用した例をみない。

古賀教授の著書<sup>2)</sup>でも、 $r_p$  の平衡作用に及ぼす影響を論じ、振幅との關係を述べているが、確定的な結論を得るに困難である。

### 6. ピアース回路圓線圖の數値例

以上の圓線圖を了解するためピアース回路の一つの數値例をあげてみる。

$$\left. \begin{aligned} f_a &= 2 \times 10^6 \text{ Hz} & \omega_a &= 2\pi f \\ &= 12.6 \times 10^6 \approx 12.5 \times 10^6 & & \\ L_0 &= 100 \text{ mH} & \omega_a L_0 &= 1.25 \times 10^6 \\ C_0 &= 0.0635 \text{ pF} & C_1 &= 16 \text{ pF}, \\ & & \omega_a C_1 &= 200 \times 10^{-6} \\ r_0 &= 5 \Omega & Q_0 &= \omega_a L_0 / r_0 = 0.25 \times 10^6 \\ C_2 &= 117 \text{ pF} & & \end{aligned} \right\} \quad (6.1)$$

$$\frac{C_2}{C_1+C_2} = 0.88; \quad \left(\frac{C_2}{C_1+C_2}\right)^2 = 0.775; \\ \frac{C_1C_2}{C_1+C_2} = 14 \text{ pF} \quad \dots \dots \dots (6.2)$$

真空管としては 807A を用い

$$\left. \begin{aligned} g_m &= 50000 \mu\text{G} = 5 \times 10^{-3} = \mu/r_{p0} \\ \mu &= 200; \quad r_{p0} = \frac{200 \times 10^3}{5} = 40 \times 10^3 \\ C_g &= 16 \text{ pF}, \quad \omega C_g = 200 \times 10^{-6} \\ C_p &= 0.2 \text{ pF}, \quad \omega C_p = 2.5 \times 10^{-6} \\ g &= 50 \times 10^{-6} \quad (1/g = 20 \text{ K}\Omega) \\ L &= 80 \mu\text{H}; \quad \omega L = 1000 \Omega \\ Q &= \omega L/r = 100, \quad r = 10 \Omega \end{aligned} \right\} (6.3)$$

$$\left. \begin{aligned} r_0 g_m \omega C_p \omega L Q &= 25 \times 2.5 \times 10^{-4} \\ &= 6.25 \times 10^{-3} \\ r_0 g &= 2.5 \times 10^{-4}; \quad (r_0 g)^2 = 6.25 \times 10^{-8} \\ r_0 \omega \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_g + C_p \right] &= r_0 \omega (14 \\ &+ 16 + 0.2) 10^{-12} = 62.5 \times 30.2 \\ &\times 10^{-6} = 1900 \times 10^{-6} \end{aligned} \right\} (6.4)$$

より定  $g$  圆の定数を計算する (4.6) 式より

$$\left. \begin{aligned} p &= r_0 g_m \omega^2 C_p L Q / \left\{ r_0 g \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \right. \\ &\quad \left. + (r_0 \omega)^2 \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_g + C_p \right]^2 + (r_0 g)^2 \right\} \\ &= 6.25 \times 10^{-3} / \{2.5 \times 0.775 \times 10^{-4} \\ &\quad + 1.9^2 \times 10^{-6} + 6.25 \times 10^{-8}\} \\ &\simeq 6.25 / 0.195 \simeq 32 \end{aligned} \right\} (6.5)$$

$$\left. \begin{aligned} x_g &= -p \cdot r_0 \omega \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_g + C_p \right] \\ &= -32 \times 1.9 \times 10^{-3} = -0.061 \\ y_g &= -p \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 + r_0 g \right] \\ &= -32 [0.388 + 2.5 \times 10^{-4}] \\ &\simeq -12.4 \\ l_g &= p \left\{ \frac{1}{2} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \right\} \simeq 12.4 \end{aligned} \right\} (6.6)$$

(4.2), (4.4) 式分母中の  $j N \omega C_p / gr$  項についてみると

$$N \times 2.5 / 5000 = 0.5 \times 10^{-3} N \dots \dots \dots (6.7)$$

この補正項は問題にならぬほど小さい、したがつてこの  
圓線圖による水晶發振器特性の検討・薄井

項は省略できる。

(5.3) 式の

$$x_0 = Q \omega L / r_{p0} = 2.5 \dots \dots \dots (6.8)$$

つぎに定  $n$  圓の定数は (4.8) 式より

$$\left. \begin{aligned} x_n = l_n &= \frac{1}{2} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \frac{r_0 g_m \omega^2 C_p L Q}{n} \\ &\quad \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_g + C_p \right] \\ &= 3.12 \times 10^{-3} / \left\{ 0.775 \frac{n}{1 + n^2} \right. \\ &\quad \left. - 1.9 \times 10^{-3} \right\} \end{aligned} \right\} (6.9)$$

などより一群の圓線圖が得られる。

本例では  $x_g, y_g, l_g$  いづれも  $g$  に逆比例すること、および  $x_g \rightarrow 0$  となつてゐる關係上、定  $g$  圓は非常に簡単に畫ける。また定  $n$  圓においても  $n/(1+n^2) = 1/n$  として大  $n$  に對して作圖できる。

## 7. 発振條件に對する諸検討

前節の數値例においては

$$x_g \simeq 0 \dots \dots \dots (7.1)$$

$$\begin{aligned} -y_g \simeq l_g &= \frac{1}{2} \frac{g_m}{g} \omega^2 C_p L Q \\ &\quad \left[ \frac{C_1 C_2}{C_2} \right] \left\{ \frac{\omega^2}{g} \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + C_g + C_p \right]^2 + g \right\} \\ &\simeq \frac{1}{2} \frac{g_m}{g} \omega^2 C_p L Q \end{aligned} \dots \dots \dots (7.2)$$

圓線圖における最大の發振硬度の  $N_m$  は

$$N_m = l_g - x_0 = \frac{1}{2} \frac{g_m}{g} \omega^2 C_p L Q - \frac{\omega L Q}{r_{p0}} \dots \dots \dots (7.3)$$

にあり、大略最大振幅に一致し、また大體

$$\tan^{-1} Q \left( 1 - \frac{C_n}{C_0} \right) \simeq \frac{n}{4} = \varphi_m \dots \dots \dots (7.4)$$

にある。 $g = 50 \times 10^{-6}$  [ $l_g = 12.5$ ] においては

$$N_m = 12.5 - 2.5 = 10 \dots \dots \dots (7.5)$$

となり、ちようど都合のよい動作狀態になつてゐる。こ

の最大  $N_m$  最大振幅附近では周波数の下降は急激であるから、 $C_a$  も同調點の  $C_a$  よりずっと下げる  $N$  を 6~7 程度におくようすれば、その真空管として大略の最善状態に一致する。

上の  $N_m$  は少くとも 1 以上でないと発振しない。良好の状態としては上述の 10 度が最もよいであらう。この条件は水晶の  $Q = \omega L / r_0$  にほとんど関係がない。もし関係ありとすれば、よほど悪い水晶であらう。タンク回路の  $Q$  に比例して増減することは定石どおりで、 $r_p$  の大なる多極管の方が、三極管より有利であることも簡単にわかる。

周波数においては低周波では  $\omega C_p$  が直接効くから発振しにくくなる。 $C_p$  に並列蓄電器を追加すればよい。しかしあまり  $C_p$  が大きくなると (7.2) 式の分母に効いてくるが、普通はこれが効く程度までには致らない。

逆に周波数の高い水晶は発振しやすくなる。これには限界がないようにみえるが、實際問題として 10 MC 以上になると発振困難となる。これは (7.2) 後項の分母が高周波で著しく増大するためか、あるいは格子入力コンダクタンス  $g$  の高周波における異状増加とみるべきで、恐らくは後者であらう。 $g$  中に周波数の二乗以上に比例する項を含むものと考えられる。

最近水晶の表面の結晶がモザイク化して  $r_0$  の等価値を増大せしめると云われているから（京大・佐治賢吉氏）この影響は水晶板の薄いほど大きいはずである。このため高周波発振を困難なものとするのであらう。また面を正確に平面に仕上げる困難さも影響があらう。

空気間隙を大として  $C_2$  を小さくすると発振しにくくなるのは (7.2) 式の分母でわかる。 $C_1$  は周波数に比例して大となるから、高周波に對しては等便的に  $C_2$  の減少したのと一致し、 $g$  の増加に加えて発振を困難にするとも考えられる。 $x_0$  を省略したが、これも発振限度を下げる方に働いていることは云うまでもない。

$x_0 = \omega L Q / r_0$  の存在および  $y_0$  が僅かながら半径  $l_0$  より大なるために、 $x_0$  点から引いた負荷の動作直線が、定  $g$  圓に切する限界がある。この角以内に  $C_a$  を  $C_a$  に近づけると振幅は充分でありながら突如として発振は停止する。

発振しない場合は自動バイアス電壓はからぬから入力コンダクタンスの  $g$  は比較的大きく、発振して振幅が増加すると幾分減少する傾がある。このために発振停止に履歴現象が現われる。

## 8. 周波数変動に對する緒検討

圓錐圖から周波数変動の限度をみるに (4.8) 式の  $x_n$  あ

るいは  $l_0$  無限大の條件として

$$\left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \frac{n}{1+n^2} - r_0 \omega \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_g + C_p \right] = 0 \quad \dots \dots \dots (8.1)$$

より

$$n_\infty \simeq \frac{1}{r_0} \left( \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \frac{1}{\omega \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_g + C_p \right]} \quad \dots \dots \dots (8.2)$$

を得る。(2.7) より

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_a \left( 1 + \frac{n}{2 Q_0} \right) \\ \frac{\Delta \omega}{\omega_a} &= \frac{n_\infty}{2 Q_0} = \frac{1}{2} \left( \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right)^2 \frac{1}{\omega^2 L_0 \left[ \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_g + C_p \right]} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (8.3)$$

となる。動作範囲でみると上の値を最大限度としてそれ以下であつて、上の値の 90% 内におさまるようである。

上の周波数限度は直接  $C_2$  に關係している。 $C_2 \rightarrow 0$  とせば  $C_2$  以外に起因する周波数変動は極小にすることができる。しかし空気間隙を代表する  $C_2$  も種々の原因で變動するから、(2.7) 式に關聯して

$$\omega = \omega_0 \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{C_0}{C_1 + C_2} + \frac{n}{2 Q_0} \right] \quad \dots \dots \dots (8.4)$$

において、 $n$  に (8.3) の  $n_\infty$  を  $C_0 = 1/\omega^2 L_0$  として

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0 \left\{ 1 + \frac{C_0}{2} \left[ \frac{1}{C_1 + C_2} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \left( \frac{u_2}{C_1 + C_2} \right)^2 \frac{1}{C_1 C_2 + C_g + C_p} \right] \right\} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (8.5)$$

$$\begin{aligned} C_2 \rightarrow \infty \quad [\omega]_1 &= \omega_0 \left\{ 1 + \frac{C_0}{2} \frac{1}{C_1 + C_g + C_p} \right\} \\ C_2 \rightarrow 0 \quad [\omega]_2 &= \omega_0 \left\{ 1 + \frac{C_0}{2} \frac{1}{C_1} \right\} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (8.6)$$

空気間隙長と  $C_2$  とは逆比例するから、間隙を零から増加すると  $[\omega]_1$  から次第に  $[\omega]_2$  に増加する。

$$\begin{aligned} [\omega]_2 - [\omega]_1 &= \frac{C_0}{2} \left\{ \frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_1 + C_g + C_p} \right\} \\ &= \frac{C_0}{2} \frac{m_g + m_p}{C_1 (C_1 + C_g + C_p)} \end{aligned} \quad \dots \dots \dots (8.7)$$

古賀教授の著書にもこの関係を述べておられるが、數式で示せば上のようなものとなる。

タンク回路の調節は普通  $C$  の変化で行わられるが、 $C$  を増加して起動せしめ、次第に上げてゆくと、周波数は始めは緩に、最大振幅を示す  $C$  の値附近から急激に下降することが、圓線圖により明確にわかる。

場合によると最大振幅の  $C$  に對して幾分はあるが、逆に周波数が昇昇してのち、急に下降するデータも示されている。(特に多極管の場合)、これは内部容量  $C_g$  の減少とみることができ(8.3)に示すように大振幅で  $C_g$  が減少するとせば  $n_0$  がそれに應じて増加し、全體として周波数が上昇することになる。この場合 5% 程度の周波数の上昇が豫期できる。

この  $C_g$  減少に起因する周波数變化特性は周波数安定からみて實に都合がよい。格子リーケ抵抗はほどそれに逆比例して  $g$  を變化させ、それによる周波数變動特性、またタンク回路の  $Q$  の変化による特性など、圓線圖により明確に證明がつく。

第二高調波の摘出においてタンク回路の  $C_a$  は  $C_n$  の  $1/4$  にしてなおこの  $C_a$  において基本波も発振できるような調整であることが必要であるが、この場合第二高調波の同調に對して一種の引張り現象が現われ、その本波の

發振周波数が階段的に變化するものである。この現象の説明に、古賀教授も摘要的な説明は未だないと云つておられるが、タンク回路の第二高調波に對する電壓降下が、勵振特性に現われて半波整流を行う (B, C 級の如く) ために内部抵抗の等價値に、無動分を生ずるためとみることができる。

## 9. 結 言

以上でピアース型の水晶發振器の動作特性を圓線圖で考究する方法を紹介した。格子陽極間に挿入の場合も同様の解析で考究できる。これらの詳細は前文<sup>1)</sup>に發表してある。たゞ前文の圓線圖はそのまま 180° 回轉して本文の様式に一致させる必要がある。

この圓線圖に關聯してまだ検討すべき特性が相當あるようであるが、それはつぎの機會に譲り、本文は基本的條項のみに止めた。

## 文 献

### 1). 抽著： 水晶發振器の圓線圖

電學誌. V. 54, No. 548, 昭和 9 年 3 月號

### 2). 古賀逸策； 電氣と高周波. オーム社

## 世界を聞く 蕭酒なラジオ 「ダイヤトーン」48-G型ラジオ受信機 普及型 5 球スーパー

回路方式 5 球スーパー ヘテロダイイン 中間周波 1  
段. 第 2 検波低周波 2 段. 交流式  
受信周波數帶 550~1,500 KC.  
使用真空管 U-6 A 7 周波數變換, U-6 D 9 中間周波  
增幅, 6 Z-DH3 検波, A.V.C 低周波增幅.  
電 源 電壓 85~100 V 50~60 サイクル. 消費  
電力約 40 VA.  
感 度 階 級 極微電界級  
出 力 無歪最大出力 300 mW 以上 (歪率 15%).  
最大出力 約 1.2 W.  
高 聲 器 5 吋バーマネント・ダイナミック・スピーカー. 可動線輪インピーダンス  $Q$ .  
キヤビネット プラステック製

(本機は通信省型式試験合格品)



# ハネカムコイルのQ

Butterworth の多層コイルの高周波抵抗計算式から、比較的低い周波数 ( $z < 1$ ,  $z = \pi d \sqrt{2f/\rho} \cdot 10^{-9}$ ) におけるハネカムコイルの Q を計算し、これを実測と比較した結果について述べたものである。測定周波数は 460 kc/s, 測定したコイルのインダクタンスはすべて約 500  $\mu\text{H}$  である。抵抗の計算値は一般に多少大き過ぎる結果を與えるように思われるが、測定値と大體一致しており、充分実用的であることが確かめられた。測定法として Colebrooke および Wilmette の方法を幾分変化したリアクタンス変化法を使用した。

研究所 北垣根 成茂一樹

## 1. 緒 言

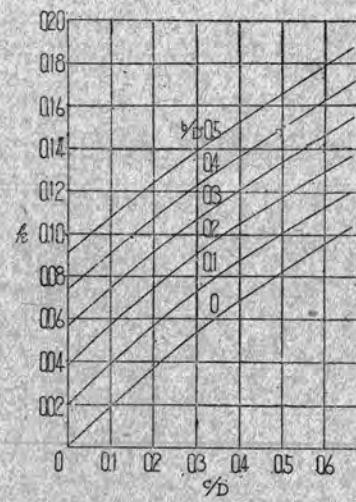
ラジオ受信機の高周波あるいは中間周波同調コイルとして使用されるハネカムコイルは、銅損失が全損失の大部分を占めるから、Q の高いコイルを作るには銅損失を最小にする必要がある。設計において、コイルの形状、インダクタンスおよび使用周波数が與えられたとき、最大の Q を得るために銅線直徑を決定すべきであり、また設計したコイルの Q を計算によって予想できることが必用である。コイルの高周波抵抗あるいは Q を理論的に計算して、これを設計に應用することは、とくに多層コイルにおいては從来甚だ困難とされていた。しかし、この問題について Butterworth の與えた結果は、現在でもなを最も信頼し得るものと思われる。筆者等は、ハネカムコイルの Q を測定し、これを Butterworth の計算式より得た値と比較した結果、計算値と測定値はよく一致し、充分実用し得ることを知つたのでこゝに報告する。

## 2. 數式

### 2.1. 高周波抵抗の計算式

Butterworth<sup>(1)</sup> の與えた多層コイルの高周波抵抗計算式を少し變形して次式が得られる。

$$R_c = R_s + R_h = R \left\{ 1 + F + \frac{1}{4} \left( \frac{Nd}{kD} \right)^2 G \right\} \quad \dots \dots \dots (1)$$



第 1 圖

たゞし

$R_c$  = 全抵抗 (Ω)

$R_s$  = 直線状導線の高周波抵抗 (Ω)

$R_h$  = コイルの磁界によつて生ずる抵抗 (Ω)

$R$  = 導線の直流抵抗 (Ω)

$N$  = 卷数

$d$  = 導線の直徑 (cm)

$D$  = コイルの平均直徑 (cm)

$k$  = コイルの形狀によつて定まる  
係數

$F, G = z$  によつて定まる係數  
である。また

$$z = \pi d \sqrt{\frac{2f}{\rho \cdot 10^9}} \quad \dots \dots (2)$$

たゞし

$f$  = 周波数 (c/s)

$\rho$  = 導線の固有抵抗 ( $\mu\Omega$  cm)

である。

$F$  および  $G$  の値は表にして與えられている (2), また  $k$  の値は 1 圖に示す

### 2.2. 最適直徑

$z$  が 1 より小さい場合、コイルの形狀、インダクタンスおよび周波数が與えられたとき、抵抗が最小になるよな導線直徑を計算しよう。

$z < 1$  のとき

$$1 + F \simeq 1$$

$$G \simeq \frac{Z^4}{64} = \frac{\pi^4}{16} \cdot \frac{f^2}{\rho^2} \cdot d^4 \cdot 10^{-18}$$

となる。したがつて

$$R_s = B(1+F) \approx R = \frac{4\rho DN}{d^2} = \frac{A}{d^2} \quad \dots(3)$$

$$R_h = \frac{R}{4} \left( \frac{Nd}{kD} \right)^2 G \approx \frac{\pi^4}{16} \cdot \frac{N^3}{k^2 \rho D} \cdot$$

$$f^2 \cdot d^4 \cdot 10^{-18} = Bd^4 \quad \dots(4)$$

よつて

$$R_c = R_s + R_h \frac{A}{d^2} + Bd^4$$

となる。上式より  $R_c$  の最小となる  $d$  を求めると

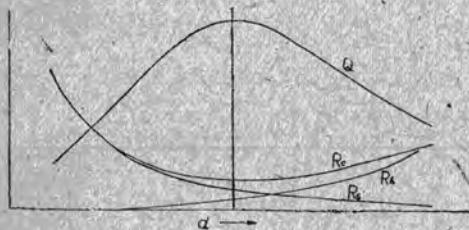
$$d^6 = \frac{A}{2B} = \frac{32}{\pi^4} \cdot \frac{k^2 \rho^2 D^2}{N^2} \cdot \frac{10^{18}}{f^2}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4\sqrt{2}}{\pi^2} \cdot \frac{k\rho D}{N} \cdot \frac{1}{f} \cdot 10^3} \quad \dots(5)$$

となる。この場合

$$R_s = 2R_h \quad \dots(6)$$

$$R_c = 1.5R_s = \sqrt[3]{\frac{27\pi^4}{4} \cdot \frac{\rho DN^5}{k^2} \cdot f^2 \cdot 10^{-6}} \quad \dots(7)$$



第 2 圖

$d$  を変化したときの  $R_s$ ,  $R_h$ ,  $R_c$  および  $Q$  の変化の模様は第 2 圖によつて表わされる。

### 2.3. 最適形狀

インダクタンスおよび平均直徑が與えられたとき、最大の  $Q$  を得るようなコイルの形狀を求めるとき、ハネカムコイルのインダクタンス  $L$  は近似的に次式によつて表わされる。(2)

$$L = \frac{DN^2}{115 \frac{b+c}{D} + 40} \mu H \quad \dots(8)$$

たゞし  $b$  = コイルの幅 (cm)

$c$  = コイルの厚さ (cm)

である。これより

$$N = \sqrt{\left( \frac{115 \frac{b+c}{D} + 40}{D} \right) L} \quad \dots(9)$$

また第 1 圖より  $k$  は近似的に次式によつて表わされる。

$$k = 0.17 \frac{b+c}{D} \quad \dots(10)$$

(7) および (8) を (5) に代入すれば、線徑を常に最適に保つ場合

$$R_c \propto \frac{\left( 115 \frac{b+c}{D} + 40 \right)^{\frac{5}{6}}}{\left( \frac{b+c}{D} \right)^{\frac{2}{3}}} \quad \dots(11)$$

これより  $R_c$  の最小となる條件を求める

$$\frac{b+c}{D} \approx 1.4 \quad \dots(12)$$

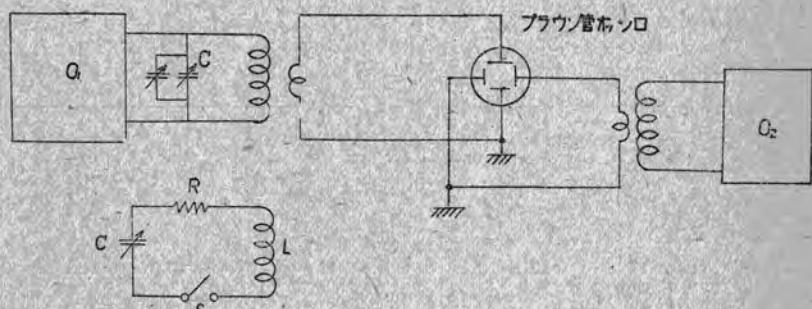
となる。

### 2.4. コイル直徑と $Q$ との關係

インダクタンスが與えられたとき、形態比  $(b/D, c/D)$  を同一に保ち、常に線徑を最適にしてコイルの直徑を變化した場合は、(7) より

$$N \propto \frac{1}{\sqrt{D}}$$

したがつて (5) より



第 3 圖

$$R_c \propto \frac{1}{\sqrt{D}} \quad \dots(13)$$

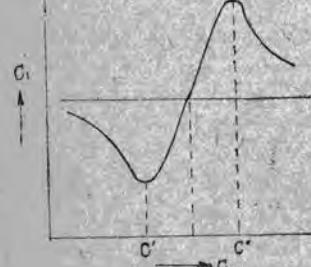
$$Q \propto \sqrt{D} \quad \dots(14)$$

となる。すなわち得られる最大の  $Q$  は平均直徑の平方根に比例する。

### 3. 測定方法

高周波抵抗の測定には種々の方法があり、われわれも二三の方法を試みたが、結局第3図に示す回路によるのが最も確であると考えた。これは Colebrooke および Wilmstte<sup>3)</sup>の方法を、少し変化したものである。図において、 $O_1$  は自励発振器、 $O_2$  は水晶発振器である。 $O_1$  と  $O_2$  の零ビートを正確に読むためにプラウン管オッショログラフを使用した。なお各電源には自動電圧調整器を入れて電源電圧をなるべく一定に保つようにした。

測定方法は、はじめ  $S$  を開放し、 $O_1$  と  $O_2$  とが零ビートとなるように調整して置く。しかる後  $S$  を閉じると  $O_1$  の発振周波数が変化するから  $O_1$  を調節して再び零ビートになるようにする。この時  $C_1$  および  $C_1'$  の関係を画くと第4図のようになる。 $C_1$  の極小ならびに極大値に對應する  $C$  の値をそれぞれ  $C'$  および  $C''$  とすれば、 $L-R-C$  回路の抵抗  $R$  および  $Q$  はそれぞれ次式によつて與えられる。



第4図

$$R = \frac{1}{2\omega} \left( \frac{1}{C} - \frac{1}{C'} \right) \dots (15)$$

$$Q = \frac{C' + C''}{C' - C} \dots \dots \dots (16)$$

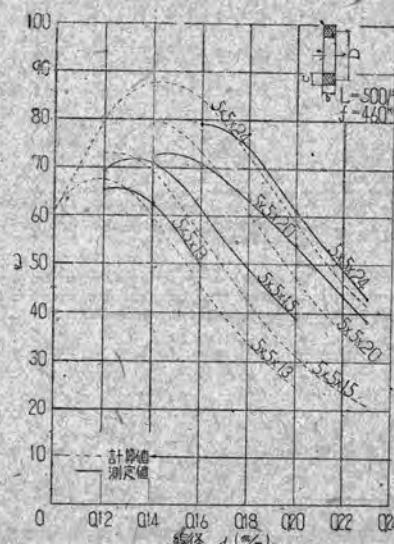
発振器  $O_1$  蓄電器  $C$  は最大容量  $1500 \mu F$  の空気可變蓄電器 (同調時容量約  $600 \mu F$ ) に、微細調整用として容量約  $10 \mu F$  のミゼット・バリコンを並列にしたもので、 $C$  は最大容量約  $300 \mu F$  の標準空気の變蓄電器を使用した。

### 4. 測定結果

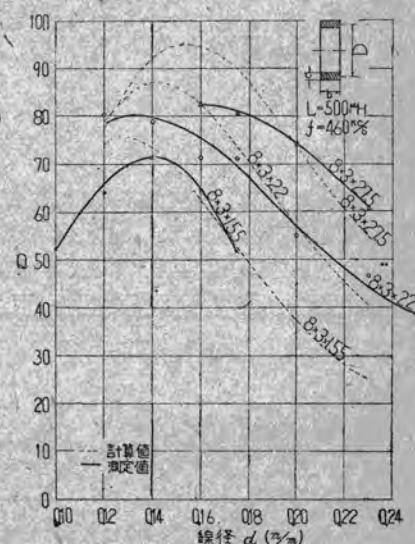
#### 4.1. コイルの説明

測定したハネカムコイルは、厚さ  $0.075$  ないし  $0.12$  mm、幅  $20$  mm のフレーボードはを 3 回巻き、スチロールワニスで固定してものを巻粧とし導線は D.S.C. 銅線、インダクタンスはすべて約  $500 \mu H$  である。測定の際コイルは中空ペーク棒を巻粧の約  $1/3$  だけ挿入してこれを支持した。

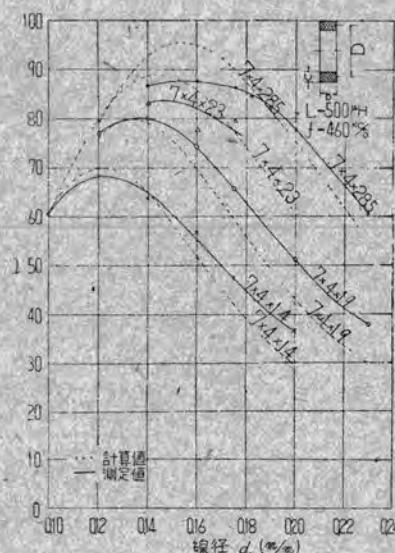
#### 4.2. 直流抵抗の計算と測定値との比較



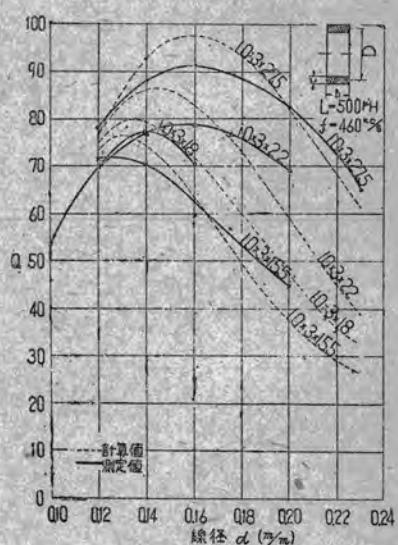
第5図



第7図



第6図



第8図

ハネカムコイルの直流抵抗は、巻線がコイルの圓周の方に向て斜に巻かれるために、(3)式から得られる値より増加するはずである。測定の結果、この増加率は、銅の固有抵抗を  $1.72 \mu\Omega \text{ cm}$  として計算した値に對して、線径  $0.12 \text{ mm}$  のコイルでは負となり、其他の線径のコイルでは正となつた。その最大は約  $15\%$  に上つた。線径によるこの増加率の不同は、恐らく主として使用した銅線の固有抵抗の不同に基くものと思われる。

#### 4.3. 線径と $Q$ との關係

第5圖より第8圖に形狀とインダクタンスの等しいコイルの、線径と  $Q$  との關係について、計算値と測定値との比較を示してある。コイルの形狀は幅  $(b) \times$  厚さ  $(c) \times$  平均直徑  $(D)$  で表わし、寸法の単位は mm である。ここに注意を要することは、圖に示した  $Q$  の計算値は、測定したコイルの寸法ならびに巻數から、(8)式によつて計算したインダクタンスの値と、(3)式において  $\rho = 1.72 \mu\Omega \text{ cm}$  として計算した直流抵抗の値とに基いて計算した値であつて、實際のインダクタンスおよび直流抵抗の測定値を基礎として計算した  $Q$  の値とは、かなりの相異があることが想像されるのである。

測定の結果より判斷すると、一般に  $Q$  の計算値が小さ過ぎるようと思われる。測定値は蓄電器あるいは巻辺などの損失の影響で當然計算値より小となるはずであるが、線径によつては測定値の方が計算値より寧ろ大きくなつた。これは恐らく理論式が巻線間隔の影響を考慮していないことが、その大きな原因であらうと考えられる。

#### 4.4. コイルの形狀と $Q$ との關係

らコイルの形狀與えられた直徑  $D$  に對して、線径を常

に最適に保ちながらコイルの形狀を變化した場合には、既述のよう  $(b+c)/D \approx 1.4$  の場合  $Q$  が最大となるはずである。しかしこの値を得るためには、コイルの幅あるいは厚みを非常に大きくしなりければならず、實用的でない。また (11) 式を調べると  $(b+c)/D > 0.5$  の範囲では、 $Q$  の増加はあまり期待できないことがわかる。測定したコイルの最大の  $(b+c)/D$  の値は  $0.846$  であつた。測定の結果はまゝ予想したとおりであつた。

#### 4.5. コイルの直徑と $Q$ との關係

同一インダクタンスで、コイルの形態比  $(b/D, c/D)$  を一定に保ち、常に最適線径を満足しながら直徑  $D$  を變化した場合、 $Q$  は直徑  $D$  の平方根に比例することが、理論から導かれるることは既に述べたとおりである。第9圖に示す測定によつて、このことがまゝ確められた。

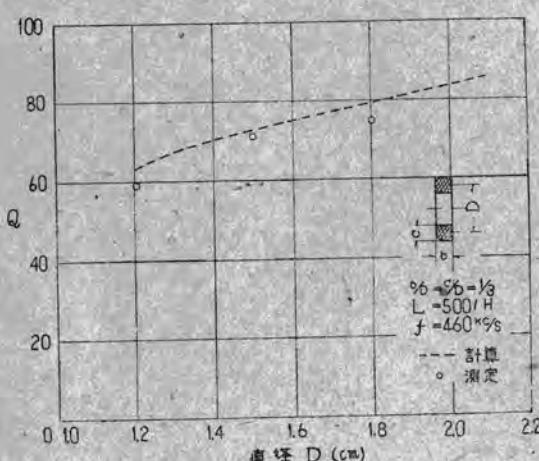
### 5. 結 言

以上 Butterworth の理論式に基いて、ハムカムコイルの  $Q$  につき考察し、計算値と測定値とを比較した。 $Q$  の計算値はコイルの寸法巻數から計算したインダクタンスならびに直流抵抗の値から求めたもので、これらの測定値から計算した値と多少相異があると思われる。正確な比較は得られないが、一般にやゝ小さ過ぎるようと思われ、この傾向は線径が最大の  $Q$  を與えるような値かな距たると大きくなる。この不一致の大きな原因は、Butterworth の理論では、巻線間隔の大小の  $Q$  に對する影響を無視しているためであると考えられる。しかし計算と實測とはかなりの程度に一致しており、計算式は設計に充分實用し得るものと思う。

終りに種々有益な助言を頂いた當所中塚正三郎氏に感謝する。

### 文 献

- (1) S. Butterworth, "Effective resistance of inductance coils at radio frequencies," E.W. & W.E., April, May, June, July, 1926.
- (2) 北垣成一, 「多層線輪のインダクタンス」, 電波日本, 昭和 18 年 7 月.
- (3) 松村定雄, 高谷直弘, 「無線工學測定法」昭和 12 年, 共立社.



第 9 圖

# イグナイトロン整器の點弧回路

我が国においてはかねてから單陽極型水銀整流器の開発が進められていたが、戦後米國のこの種發達に刺戟されて、これが開発は大いに促進せられた。この一種であるイグナイトロンは點弧子をもつて起動するところに著しい特徴があり、その點弧回路もまた獨特である。本文は點弧子および點弧回路について若干の解説を行うと共に筆者の研究結果を報告したものである。

研究所 竹内 宏一

## I. 緒 言

單陽極型水銀整流器には二種類あつて、一つは Westinghouse 社の創始にかゝるイグナイトロンで、他は Alis Chalmers 社のエキトロンである。前者は半導體材料より成る點弧子の尖端を陰極水銀に浸し、これに衝撃電流を流すことによつて陽極を點弧せしめるもので、陽極の休止期間中槽内に電弧のないのが特徴である。この型の整流器には W 社、GE 社製のほかに東北大學渡邊教授の發明された仙臺放電管、日大故大久保教授のアルミニウム點弧子管があり、前者は相當實用に供されている。

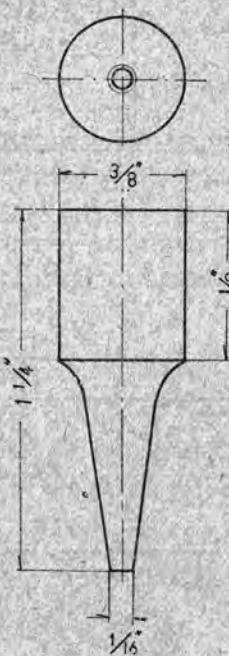
他方エキサイトロンは單に從來の多極型水銀整流器を各陽極別に器槽を分割したもので、陽極に常に電流を流しておく型である。

著者の研究目標とするとところは W 社の型式のイグナイトロンである。したがつて點弧子による起動の確實性はすなわちイグナイトロンの信頼度に等しい。點弧の確実性を得るにはまず點弧子の特性を充分に知つて、つぎにこれに適合する特性の點弧回路を使用することが必要である。これらに基づいて内外の文獻の要點を紹介し、ついで著者の點弧回路に関する研究の一端を報告する。

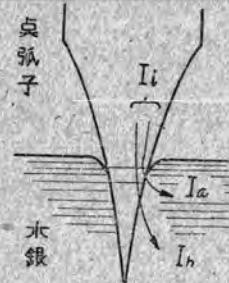
## II. 點弧子

### 1. 點弧子機構

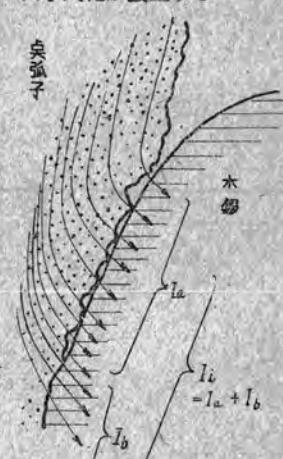
炭化硼素、炭化硅素その他の半導體材料より成る點弧子の尖端を水銀に浸漬せしめ、點弧子より水銀の方向に電流を通せば陽極の點弧が行われるのであるが、この間の機構についてはいまだ定説がない。點弧子と水銀との接觸部に電流が集中することにより、高電界を生じて冷電子放射が行われ、これが電弧に進展するという發明者 Sleman 氏の説、Mieder、Cage 氏等の説によつて點弧するといふ説などがある。更に野本氏によれば、點弧子と水銀の接觸部に、まず高電界により冷電子放射が行わ



第 1 圖  
點弧子の形狀



第 2 圖  
點弧子電流分布(1)



第 3 圖  
點弧子電流分布(2)

(2) 小火花は成長して小弧光となり、その弧光の上足は點弧子側面を匍匐して點弧子導線に到り、これと陰極間に弧光放電が形成される。

(3) かくして陽極附近まで充分電離が及ぶと陽極が點する。

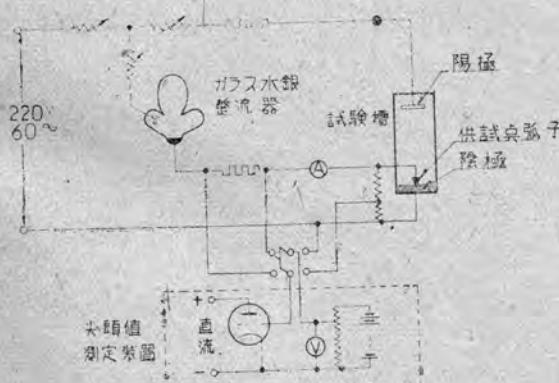
點弧子に電圧を印加してから陽極が點弧するまでの時間は、點弧子の印加電圧が大きくなるにしたがつて短縮されるが、普通10マイクロ秒前後である。

(1)項の最初の小火花の発生に寄與する電流は點弧子側面と水銀の表面張力による曲面との不良接觸部に流れる電流(第2圖および第3圖のIa)であつて、その他の大部分の電流  $I_b$  は點弧子の温度上昇を來すのみで點弧作用には寄與しない。點弧子の形狀は水銀中の浸漬寸法が變化してもなるべく  $I_a$  の電流密度の變化が少ないよう工夫され、第1圖の如く下方を尖らしてある。

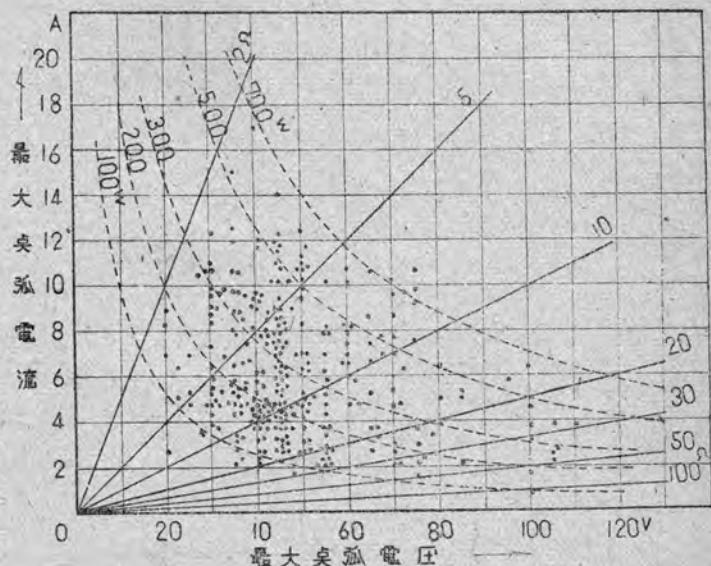
## 2. 点弧電圧および点弧電流

點弧子は製作時の僅少な條件の差、その他種々な原因によつて個々の特性に非常に差異があるものである。本節においては當社製の炭化硼素點弧子の特性を紹介する。なおこゝに述べる特性の測定法、測定結果などは當所物理課大野才三參事および小椋義正技師の御好意によつて著者に提供されたものである。

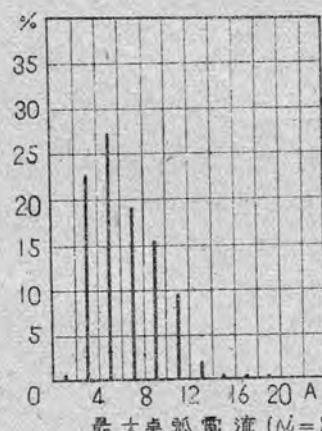
まず測定法は第4圖のように試験槽に點弧子を取り附け、220V 60サイクルの正弦波電圧を水銀整流器を通じて點弧子に與え、點弧後の電流は試験槽の陽極を流れて



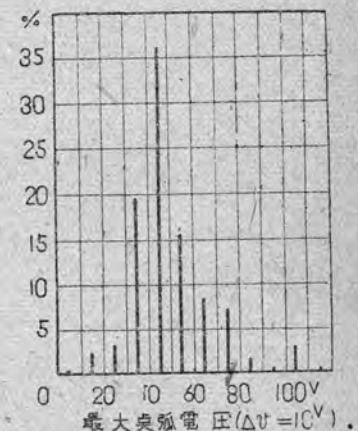
第4圖 点弧子の特性試験装置



第5圖 点弧特性の分布



第6圖 最大点弧電流の分布



第7圖 最大点弧電圧の分布

點弧子には流れないようにしてある。點弧子の水銀中の浸漬寸法を5mmとして、尖頭値測定装置のサイラトロンの格子負電圧を順次大きくなり、30秒間に一度もサイラトロンが放電しなくなつた時の、格子負電圧より求めた値を最大点弧電圧および最大点弧電流とした。すなわち使用率の特性を測定している。

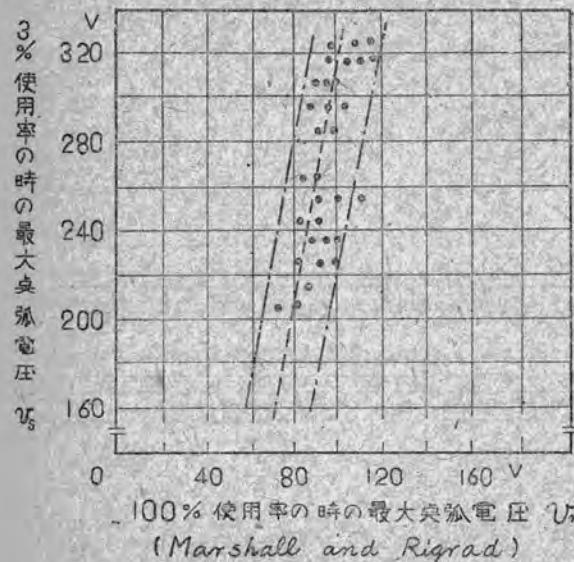
第5圖は點弧子の最大点弧電圧、電流の値を點で示し、一群の點弧子(313個)の點弧特性の分布状況を示したものである。第6圖および第7圖は最大点弧電流および電圧をそれぞれ2A, 10V毎の級と分類した場合、各級に含まれる個数の全験に對する割合を示している。

これらの圖によれば4ないし6Aで點弧するものが最も多く全験の27.5%を占め、最大点弧電圧は40ないし

50Vのものが最も多くて全数の36.5%を占めている。これらの特性は Marshall 氏等の示す GE 製より優秀である。これらの圖が點弧回路の出力特性を決定する基礎となるのである。

### 3. 點弧特性の變化

點弧子は最初に生じた小火花が弧光に進展するという機構上各サイクルの點弧電流、電圧が廣範囲に變化することは容易に想像できる。今この原因を含んで更に他の



第8圖 最大點弧電圧の使用率による差異

特性変化をもたらす若干の原因と、その変化状況を示す。

#### (1) 點弧子起動後の過渡的特性變化

點弧子は負抵抗であるので、起動後點弧子電流および陽極電弧によつて加熱されて抵抗が減少し、水銀との接觸部に點弧に必要な電信傾度を與えるには、より大きな電流が必要となり、電流による水銀面の低下の著るしくない限り起動後點弧電流は漸次増加し、點弧電圧は減少する傾向がある。この一例として一群の點弧子について3%および100% 使用率の場合の最大點弧電圧を示したのが第8圖である。3% 使用率の場合は點弧子の温度上昇が少いから、大體起動當初の特性に等しいと考えられ、100% 使用率の場合は點弧子が定常状態に落着いた時の特性を示すものである。圖のように點弧電圧は3% 使用率より100% 使用率の方が低く、兩者の關係は  $5Vm - 200 = vs$  なる帶で表わされ、その平均として  $5Vm - 200 = vs$  (圖中點線) なる直線關係がある (ただし  $Vm$ ,  $vs$  はそれぞれ 100% および 3% 使用率の點弧電圧)。この關係は熔接機の場合に重要であるばかりで

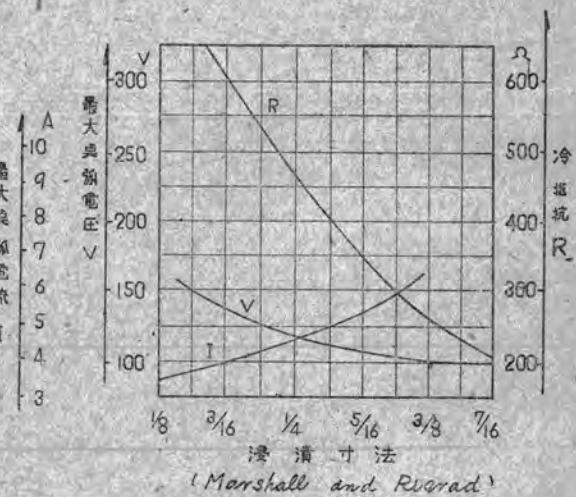
なく、イグナイトロン整流器の點弧回路の設計上重要である。

#### (2) 接觸狀態の變化による點弧特性の變化

負荷電流によつて水銀が蒸発するから、點弧子の浸漬寸法も變化する。第9圖は水銀浸漬度を變えて測定した冷抵抗 (點弧子と水銀の接觸抵抗)、最大點弧電圧および電流を示すものである。點弧子の標準浸漬度を7/32吋とし、その變化を  $\pm 1/16$  吋とした場合、點弧電圧および電流は標準値の  $\pm 20\%$  倍變動することを見込まねばならぬことがわかる。もちろん浸漬度の變動は負荷状態、イグナイトロンの構造によつて異なる。

運轉中には以上のこのほかに更に水銀面の動搖、その他色々な原因が相加わつて、各周期毎に點弧特性は相當の變動を示す。第10圖はイグナイトロンの運轉中ににおける點弧電圧の變動を、656~間のオフシロより測定した分布曲線である。この場合は53Vの最頻點弧電圧を中心としほう對稱的  $\pm 50\%$  間に點弧電圧が分布している。この曲線はある確率で點弧する點弧電圧を示し、例えば30秒間に1回以下しか起らないすなわち確率0.05%以下の點弧電圧は約10Vである。今まで最大點弧電圧と稱していたものはこの80Vを云つているのである。

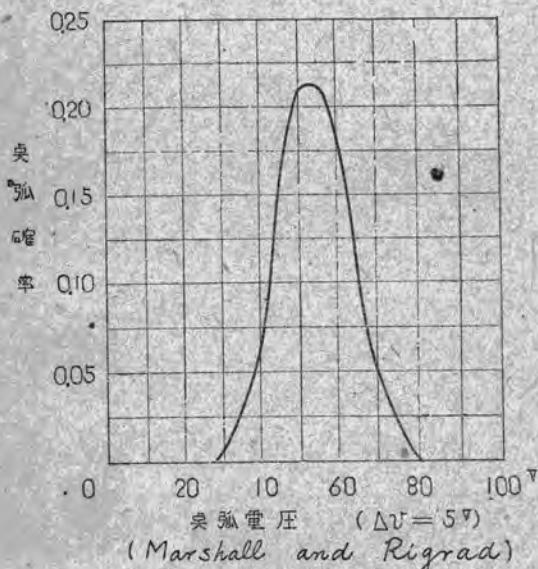
器槽内に不純物が存在する時は水銀面上に浮遊して點弧子周邊に集まり、微妙な働きをする接觸部の機能を害



第9圖 點弧特性の浸漬度による変化

する事がある。また水銀や點弧子が化學的變化を受けるときは水銀の表面張力による點弧子側面との特有の曲面接觸が害されて點弧特性が損われ、甚だしい場合は點弧子は水銀によつていわゆる濡らされて全然點弧能力を失なう。

以上のはか陰極水銀の温度、蒸気圧力、真空度も點弧特性に影響を及ぼし、蒸気圧力または真空度の大なる時點弧は容易である。一般に點弧特性に影響する因子および結果に關する研究は、點弧子およびその機構の研究と共に今後有待こと多大で、イグナイトロン整流器の發達はこれに依存するところ甚だ大きい。



第 10 圖 各周期毎の點弧電圧の變動

## II. 點弧回路

### 1. 點弧回路の具備すべき條件

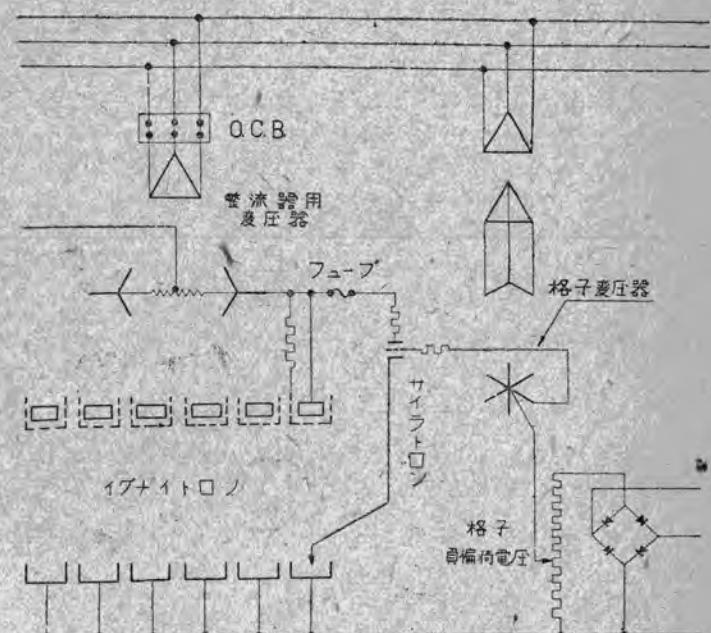
イグナイトロンの點弧回路はつきの機能を要請される。

- (1) 水銀面上に陰極點を發生すること。
- (2) 陽極が點弧するまで陰極點を維持すること。
- (3) 陽極部分まで充分電離すること。

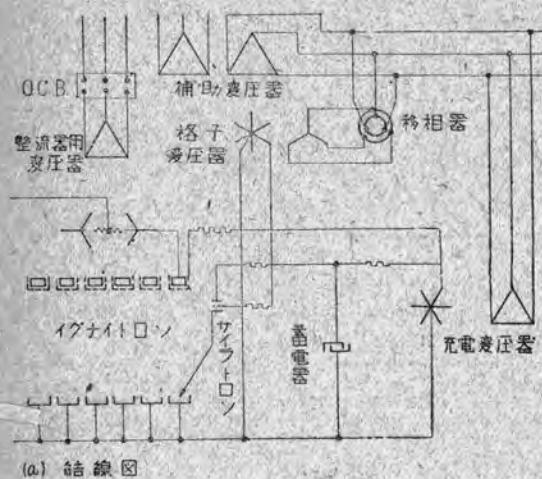
(1)項の陰極點を發生するためには、點弧回路の出力が變動する點弧電圧、電流を充分に供給するに足るものであることを必要とする。陰極點が形成されれば、點弧子の端子と陰極間が電弧によつて短絡され、大電流が流れて點弧子の過熱を來すから、點弧子に與える電圧は陰極點形成後短時間で消滅する衝擊波形であることが必要である。また點弧子に與える電圧波形の勾配が緩慢である時は、

第 10 圖に示した理由により點弧位相の變動を起す。したがつて電圧、電流の勾配はなるべく急峻であることが必要である。また水銀より點弧子の方向に電流を流す時は、點弧子が陰極となるような弧光放電が生じて、點弧子は極く短時間に大きな損傷をうけるから、點弧子には陰極に向う一方向の電流を流さねばならぬ。このようにして點弧回路の出力電圧波形の性質が定められる。

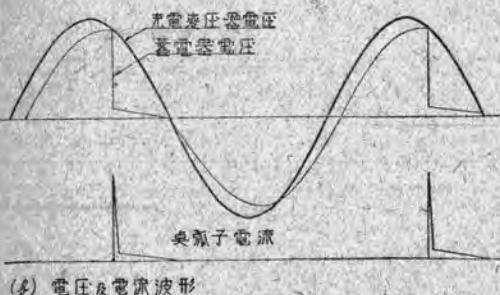
(2) 項については、輕負荷の場合も安定した陽極電流を流すために、點弧回路その他の方法により陽極が點弧するまで點弧子によつて生じた陰極點を維持する必要がある。もし點弧位相の變動が豫想される場合に、點弧子によつて直接陽極を點弧せしめる時は、陽極の點弧位相の變動をもたらし、安定した直流出力を得ることはできない。したがつて點弧子を陽極以前に點弧せしめ、陽極の轉流作用によりあるいはとくに制御格子を設けてこれの開放によつて陽極の點弧位相を均一ならしめるのが良い。この場合も陽極電流が流れ始めるまで點弧子によつて作られた陰極點を維持することが必要となる。かくして點弧回路の陽極に對する位相が定まる。陰極點を維持する方法としては、點弧子の印加電圧の幅を廣くするとか、またはイグナイトロンに屬弧極を設け點弧回路と別個の電源によつて屬弧電流を通ずる方法がある。點弧子に與える電圧の幅を廣くすれば點弧子の負擔が重くなるが、屬弧極を點弧極と並列に接続すれば點弧子の負



第 11 圖 全陽極方式による點弧回路

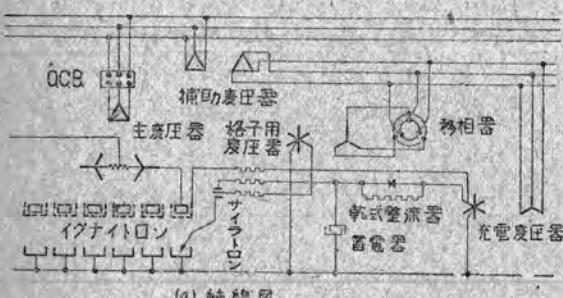


(a) 結線図

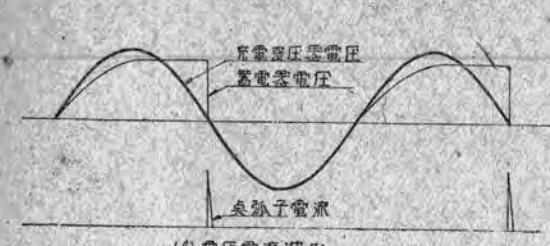


(b) 電圧及電流波形

第12図 儲電器の放電電流を利用する點弧回路(1)



(a) 結線図



(b) 電圧電流波形

第13図 儲電器の放電電流を利用する點弧回路(2)

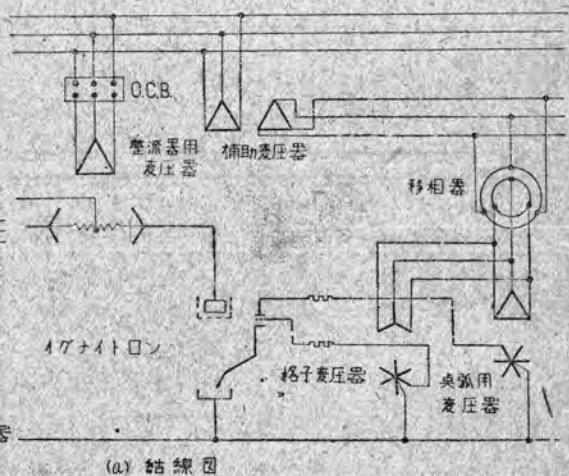
撃を軽減しつつ別個の触弧極電源を必要としない利點がある。これについては第Ⅳ章で詳述する。

(3) 項については、イグナイトロンの陽極附近の構造がこれを決定するが、触弧極を設ける場合はその位置を適当に選んで充分な電流を流せばよい。またこの場合その電流は陽極流通期間だけ流れる方が逆弧の防止上望ましい(陽極の休止期間中も触弧電流を流す方式がすなわちエキサイトロンである)。

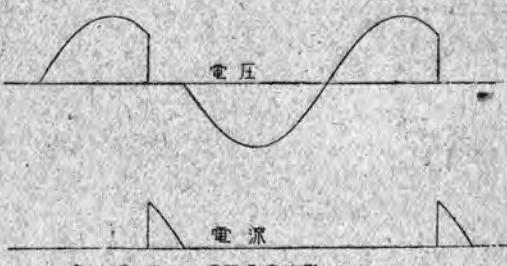
## 2. 各種の點弧回路

### (1) サイラトロンを利用する回路

第11図の回路では點弧電流は整流器、サイラトロン、點弧子、陰極、負荷を通つて流れる。この回路は陽極が點弧するまで點弧子に電流が流れ、陽極電流が流れ始めるとき點弧子にはほとんど電流が流れなくなるので最も確実かつ合理的な方法である。たゞし陽極電圧が低い場合および整流器の負荷抵抗が大きい場合には點弧し得ない。またイグナイトロンにかかるのと同じ逆電圧がサイラトロンにもかかるなどの缺點がある。イグナイトロンを2個逆並列に使用する抵抗溶接機にはこの方式が多く用いられている。

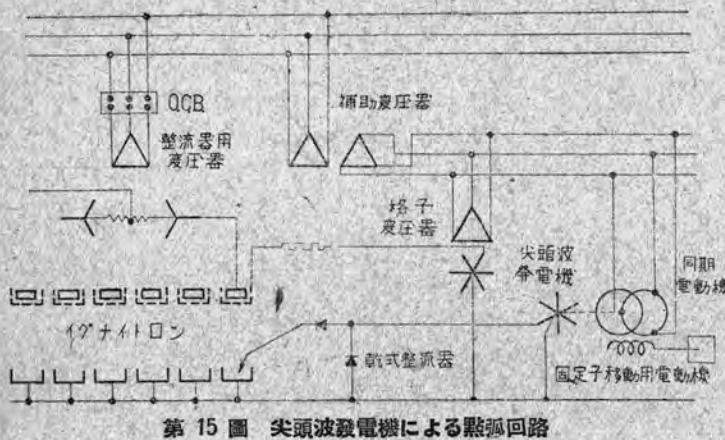


(a) 結線図

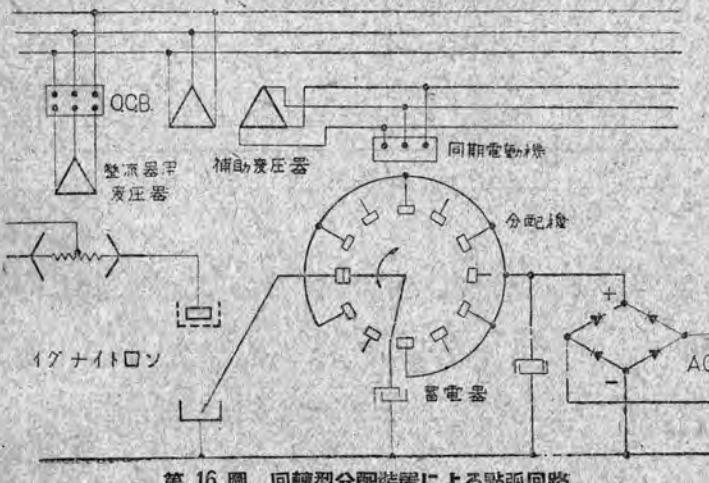


(b) サイラトロンの電圧電流波形

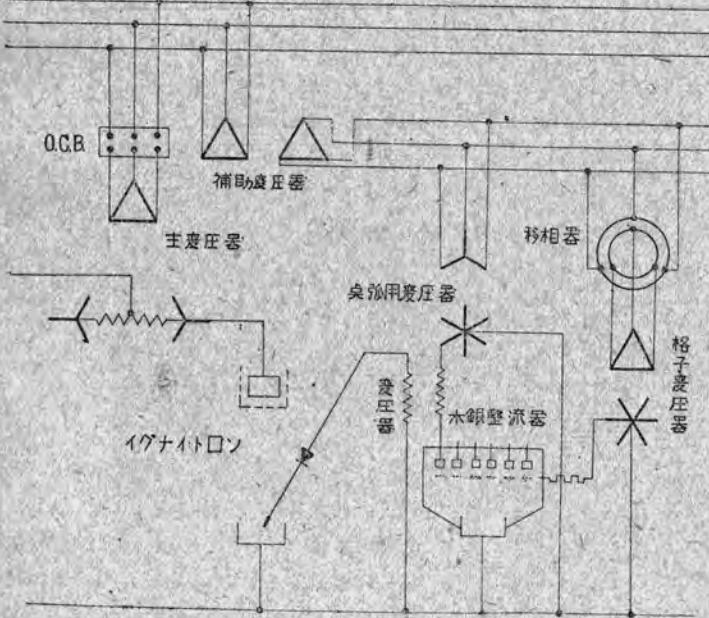
第14図 制御された正弦波電流による點弧回路



第 15 圖 尖頭波發電機による點弧回路



第 16 圖 回轉型分配装置による點弧回路



第 17 圖 水銀整流器を用いる點弧回路

第 12 圖は蓄電器電圧が最大値に近い點で放電電流を點弧子に與える方式で、電流は極めて尖鋭であつて、點弧後に容量および抵抗によつてある一定の後續電流が流れ、負荷電流の少ない時に陽極電流の通流を確實にする。

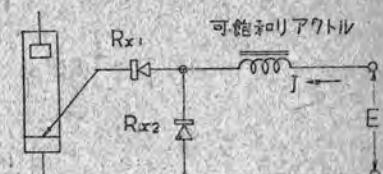
第 13 圖は乾式整流器によつて蓄電器を充電し、この放電電流を點弧子に與える回路で、第 12 圖より廣範囲の直流電圧の制御ができる。

第 14 圖はサイラトロンの陽極電圧の正半波の終期近くで格子を解放し、點弧子に尖頭電圧を印加する方式で、イグナイトロンの直流出力を制御するには、點弧子に與える電力の變化を防ぐためにサイラトロンの陽極電源および格子電源の位相を同一移相器によつて調整する。これは第 12 圖についても同様に行つた方が宜しい。

上記のサイラトロンを用いる回路は一般に理想的な點弧子電圧が得られ、消費電力も僅少で、イグナイトロンの出力の調整も圓滑に行ひ得る。筆者の實驗によつても満足すべき結果を示している。しかし點弧子電流が相當大きいためサイラトロンの容量が大となり、しかもこれが消耗品であること、また點弧子が水銀に漏れた場合サイラトロンに大きな電流が流れてフイラメントを損傷する（とくに第 11 圖の回路）などの缺點がある。

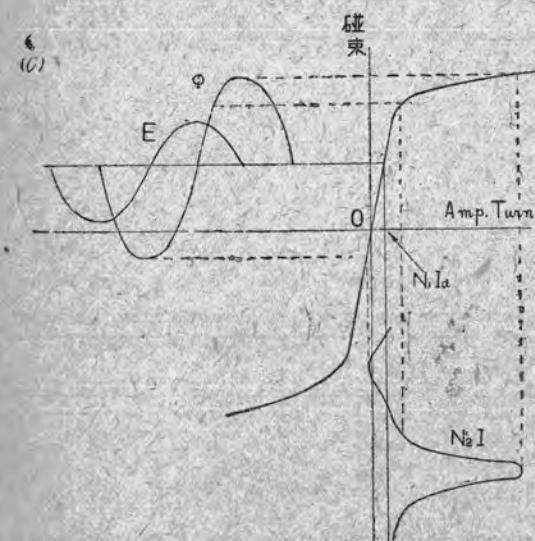
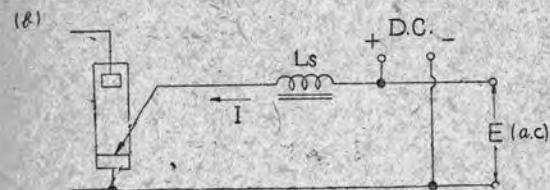
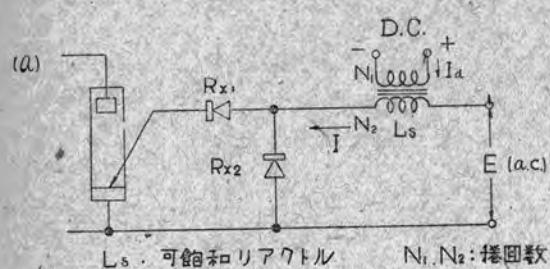
(2) 同期電動機その他の装置を用いる回路

第 15 圖は尖頭波形の出力を有する同期發電機を用いる點弧回路で、イグナイトロンの出力は電動機の固定子を移動することによつて調整し得る。

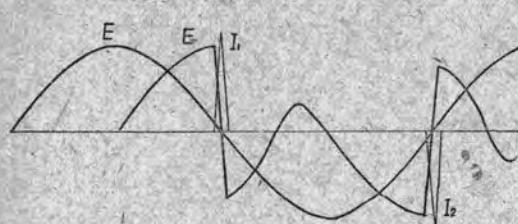
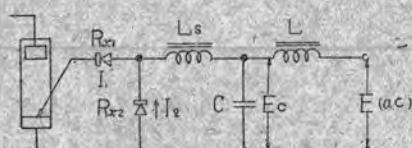


第 18 圖

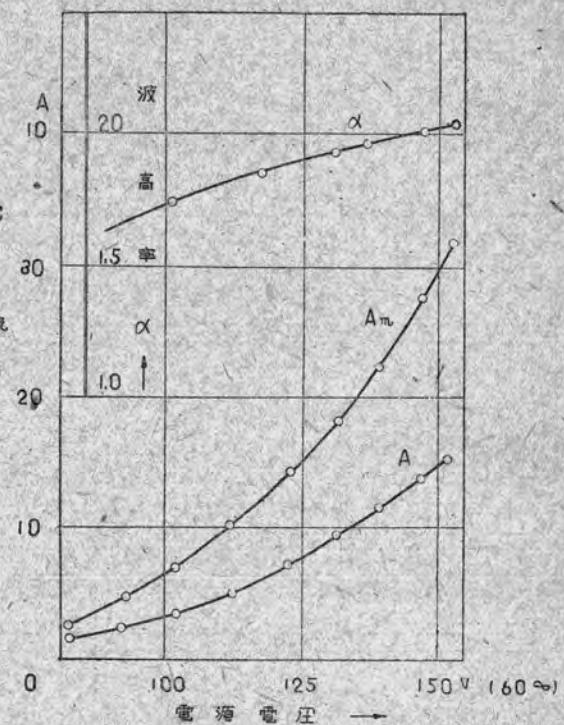
可飽和リアクトル用いる點弧回路



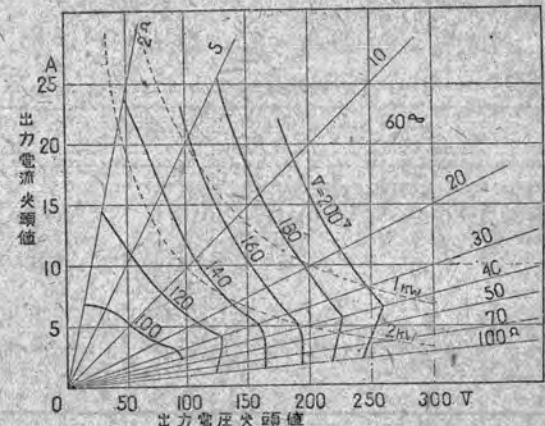
第 19 圖 直流勵磁可飽和リアクトルによる點弧回路



第 20 圖 鐵共振を應用せる點弧回路



第 21 圖 No. 1 可飽和リアクトルの勵磁電流

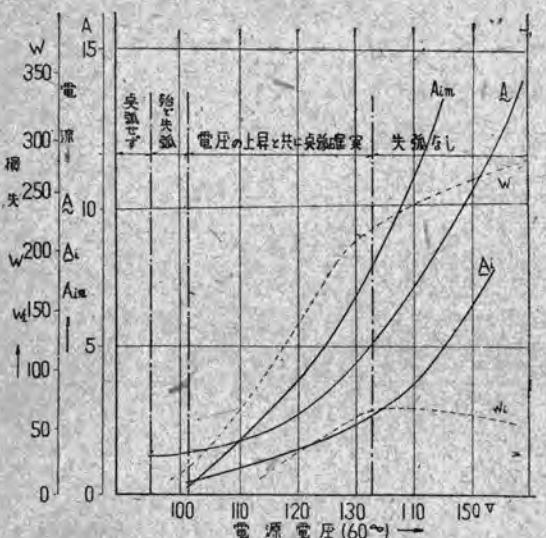


第 22 圖  
出力電圧電流曲線 (No.1 可飽和リアクトル)

第 16 圖 は回転型分配機によつて、蓄電機の放電々流を點弧子につぎつぎ與える方式で、イグナイトロンの出力は固定刷子の移動によつて調整する。

以上の二方法では交換部品はいづれも刷子だけであるが、電動機の騒音のあること、また電源の動搖によつて電動機が亂調を起したり、あるいは同期から外れる缺點がある。

第 17 圖 は水銀整流器の陽極回路に變壓器を挿入し、



第23圖 電源電圧を変化した時の點弧特性  
 Aim : 點弧子電流尖頭値  
 Ai : 點弧子電流平均値  
 A : 可飽和リアクトル実効値  
 W : 點弧子回路損失  
 Wi : 點弧子損失

第23圖 電源電圧を変化した時の點弧特性

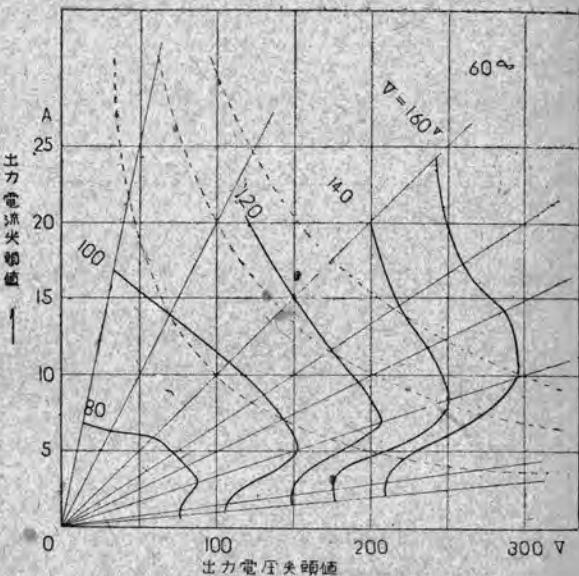
二次巻線に誘起される尖頭電圧を點弧子に與える方式で、イグナイトロンの出力制御は、水銀整流器の格子制御によつて行われる。水銀整流器を使用する方法はサイラトロン法の長所を持ち、しかもその缺點を持たないから、水銀整流器法は今後研究の價値があると思われる。

尖頭波整流器も點弧子電源として使用し得るが容量が相當大きくなる。たゞしこの方法が點弧回路としては最も簡単である。

### (3) 可飽和リアクトルを用いる點弧回路

第18圖は可飽和リアクトルを用いる點弧回路を示し、印加電圧  $E$  によつて充分飽和するように設計されたリアクトルには、 $E$  より  $90^\circ$  遅れた磁束が誘起され、励磁電流  $I$  は鐵心の磁化曲線によつて定まる尖頭波形となる。これを乾式整流器  $R \times 1$  を通じて點弧子に與え、逆方向電流は  $R \times 2$  によつて短絡する。この回路の特性は次章に述べる。

可飽和リアクトルに直流勵磁を行い、交流巻線に正弦波電圧  $E$  を印加すれば半波だけに尖頭波形の励磁電流  $I$  が流れる。第19圖 a および c はこれを示したもので、b は直流勵磁巻線を排して、直流および交流を同一巻線に流す方法である。これらの方法では逆方向の電流は點弧子を傷つけない程度の微小値にし得るから乾式整流器を除去することもできる利點がある。



第24圖 出力電圧電流曲線 (No. 可飽和リアクトル)

第20圖のようないくつかの可飽和リアクトル  $L_s$ 、不飽和リアクトル  $L$ 、蓄電器  $C$  より成る回路に正弦波電圧を印加すれば、 $C$  に加わる電圧により  $L_s$  が飽和し、そのインダクタンスが急激に減少して、 $L_s$  と  $C$  の並列回路に共振的に急峻な尖頭電流が流れる。これを整流して點弧子に與えれば優秀な點弧回路として使用することができる。この回路の特性については稿を改めて報告する豫定である。

以上のようなリアクトル、蓄電器等より成る點弧回路は交換を要する部分がなく回路部分もなく、可飽和リアクトルの鐵心に、初導磁率の大きい材料を使用すれば、出力電流も充分急峻にし得るから、點弧回路として最も實用的である。たゞし第20圖の回路などは現象が複雑で設計上若干困難があるが、先に述べたようにこれについては別な機會に報告したい。

## IV. 可飽和リアクトルを用いる點弧回路の特性

前章に述べた理由により、著者はリアクトル、蓄電器、乾式整流器等より成る點弧回路を第一の研究対象としたが、本章ではまず第18圖のような最も簡単な回路の特性について記述する。

### 1. 可飽和リアクトルの特性

實験に用いた可飽和リアクトルは、鐵心に硅素鋼板 YT を用い、斷面積  $16\text{cm}^2$ 、平均磁路長  $31.8\text{cm}$  で、169回の巻線を両側に一個づつ有し、これを並列に使用した (このリアクトルを No.1 とする)。この可飽和リアクトルの  $60\text{Hz}$  正弦波電圧に對する励磁電流の實効値、波高値およ

び波高率(=波高値/実効値)は第21図の如くである。このリクトルを用いる點弧回路の抵抗負荷の場合の出力電圧、電流の波高値を、電源電圧Vをパラメータとして測定した結果を第22図に示す。この図と第5図を比較すれば、電源電圧140Vでこの回路はすべての點弧子を起動し得ることがわかる。たゞ高い點弧電圧を必要とする起動当初に對しては、更に電源電圧を高く取るかまた別途方法を構する必要がある。

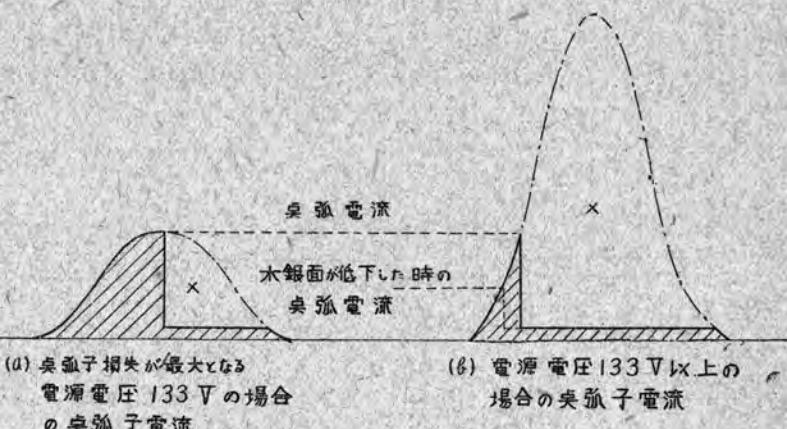
## 2. 電源電圧の變化に

### 對する點弧特性

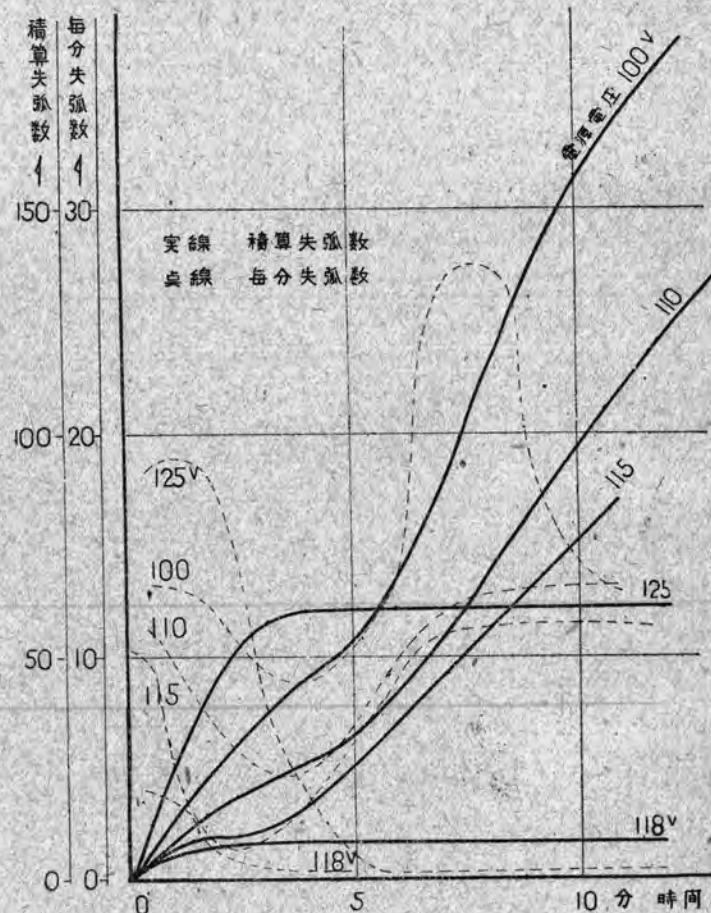
この點弧回路を定格75Aのガラス製イグナイトロンに使用し、電源電圧を変化して點弧特性を測定した結果を第23図に示す。たゞしこの場合には、鐵心の断面積4cm<sup>2</sup>、平均磁路長29.4cm、巻数500回の可飽和リクトル(No.2)を使用している。これを使用した回路の出力電流電圧特性は第24図の如くである。第23図に示すように、電源電圧を上昇せしめる程出力が増加して失弧が減少し、電流尖頭値が7.5Aに達する電源電圧133Vの時から失弧が全く起らなくなっている。これより電源電圧を上昇すれば急激に電流が増加するが、點弧子に消費される損失 $W_i$ はかえつて減少する傾向を示している。今この理由を第25図によつて考えてみよう。

第25図で明らかなように、電源電圧が高く出力電流の急峻な(b)図の方が點弧子内の抵抗損失(斜線部)が少なく、失弧がなく負荷電流が流れるにしたがつて水銀の蒸発量が増大していることを考えれば、點弧子と水銀との接觸抵抗が増大し、これに伴つて點弧電流が減少して點弧子の抵抗損失を一層減少せしめる。これらの理由による抵抗損失の減少が點弧子の電弧損失(第25図×印に相當する)の增大に打勝つて結局第24図の如き $W_i$ の減少を來すものと考えられる。

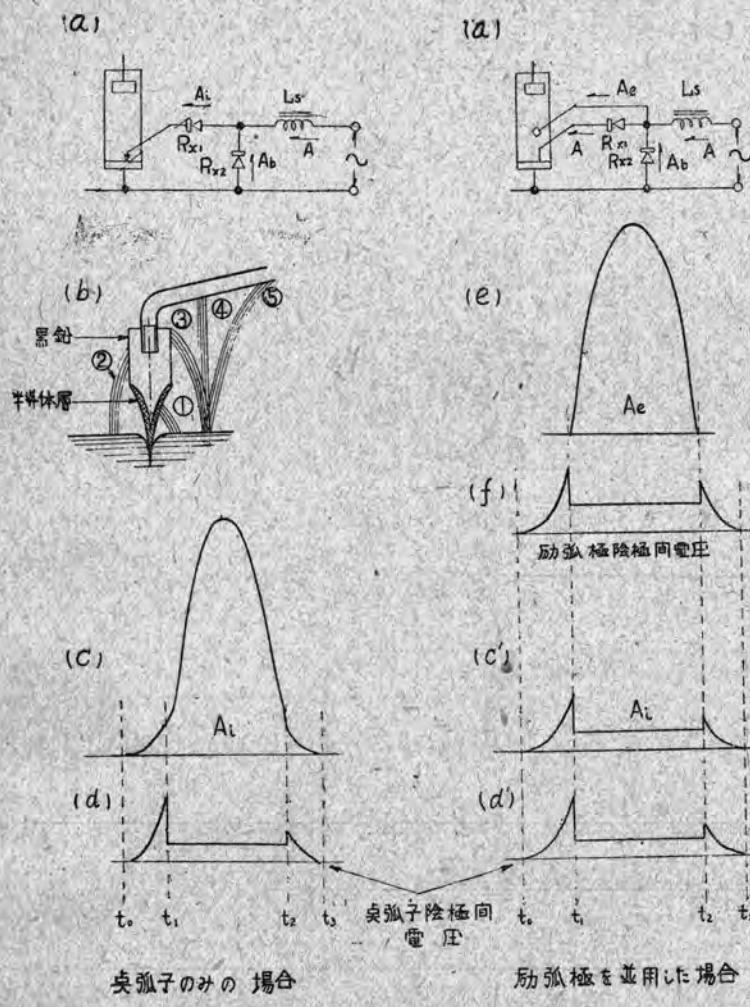
斜線部は點弧子内を流れる電流  
×印の部分は點弧子と陰極間を電弧となつて流れる電流



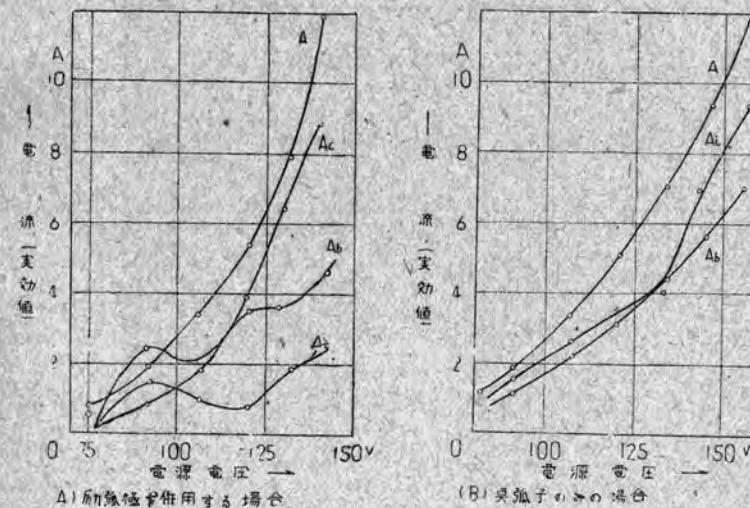
第25図 點弧子損失減少の説明図



第26図 起動後の過度失弧状況



第27圖 励弧極の結線方法およびその作用



第28圖 回路電流の変化

### 3. 失弧の時間的變化

第26圖はNo.2可飽和リアクトルを用い、電源電圧をパラメータとして、起動直後からのイグナイトロンの失弧数をサイクルカウンターで計測したもので、實線は累計した失弧数、點線はこれから求めた毎分当たりの失弧数である。圖のよう、電源電圧が大きい程失弧数は少なく、また118Vにおいては起動後5分を経過すれば、失弧は全くなく運轉し得る。こゝに注意すべきことは、毎分当たりの失弧数が安定するまでに極少値が存在し、この値は電源電圧が大きい程早く表われることである。かゝる現象および125Vの場合のような例外的現象の解明は、點弧現象の一層の研究によつて行われ得るであろう。

### 4. 励弧極の効果

第27圖(a)のような回路の點弧機構を考えてみる。(a)の如く點弧子のみ使用する結線の場合は、電流は(c),(d)圖で時間  $t_0$  より  $t_1$  まで點弧子を通じて水銀中に流れ、この電流が  $t_1$  において點弧電流値に達し、水銀との接觸部に陰極點が形成されると、この時發生した電弧の上足は(b)圖①の半導體層を銅筒上昇し、點弧子の黒鉛部分②、點弧子取付部③、點弧子導體④あるいは⑤に到り、これらの部分より陰極に向つて電弧電流が流れ、この電流は  $t_1, t_2$  間の大きい尖頭電流であるので、これが②または③より流れる時は點弧子を過熱し損耗せしめる。また點弧子の電弧はその附近の空間の電離に止まり、バッフルなどを有するイグナイトロンでは陽極の點弧に困難を來すこともある。

いまイグナイトロンに勵弧極を設げ、これを(c')のように接続すれば點弧子部分に發生する電弧を勵弧極に移行せしめ、電弧を適當に處理利用することができる。(c')において

$t_0, t_1$  までの點弧するまでの點弧子電流は前と同様であるが、 $t_1$ において點弧が完了すれば直ちに勵弧極が點弧して (e) のような尖頭電流が流れ、點弧子に流れる電弧電流は、勵弧極の電弧電圧を點弧子および乾式整流器  $R_{el}$  の抵抗の和で割った値となつて (c<sup>1</sup>) の如く僅少となり、點弧子の餘分な負担を除去することができる。したがつて  $R_{el}$  の容量も小となり、更に勵弧電流により陽極の點弧を容易ならしめることができる。

この兩結線の電流實効値を、定格 75A の硝子イグナイトロンについて測定した結果が第 28 図 (No.1 可飽和リアクトル使用) であつて、(A) は勵弧極を併用した場合、(B) は點弧子のみの場合である。兩者の點弧子電流を比較すれば、電源電圧 140V において (B) の場合は約 7A であるのに對し (A) では約 2A に減少している。イグナイトロンの運轉中に極く短時間回路を切つて測定した點弧子陰極間の抵抗は第 29 図 (No.2 可飽和リアクトル使用) の如くで、勵弧極を使用した場合は、點弧回路の出力電流の増加にかゝらず抵抗は餘り變化せず、したがつて點弧特性の變化も少ない。また勵弧電流は點弧子の状態によつて變化するので、この電流によつて點弧状態を知ることができる。

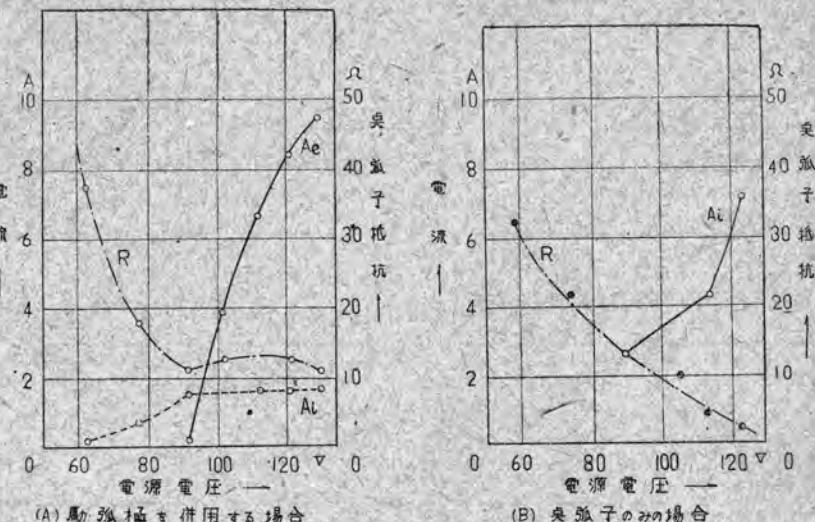
### 5. 六相イグナイトロン用點弧回路

上に述べた點弧回路を二重星型結線のイグナイトロン整流器に使用する場合、點弧子特性ならびに可飽和リアクトル (No.1) の特性上、點弧回路の電源電圧は陽極電圧より 120 度追相とする必要である。電源として 220V, 60Hz を使用する時、6 相點弧回路の電源容量は 5KVA を要するが、 $65\mu F$  の蓄電器を線間に結んで力を 1 ならしめれば、電源の容量は 2.7KVA に減ずることができる。

なおこの回路は性質上電源電圧および周波数の変動に對して回路電流が大きく變化し、また實驗に使用した可飽和リアクトルの鐵心が珪素鋼板であるため電流の波高率はせいぜい 2 に過ぎず、其他改良すべき點は多々ある。

### VI 結 言

本文は點弧子ならびに文献に表われた多數の點弧回路に



第 29 図 勵弧極使用の有無による點弧子抵抗の差異

について若干の解説を行い、ついで著者の行つた可飽和リアクトル 1 個のみ用いる最も單純な回路の實驗的特性を記述したが、つぎの機會に第 20 図に示す回路の特性について詳細な報告を行う豫定である。

最後に懇切な御指導と御批判を賜わつた電氣課長横須賀正嘉技師、濱田賢技師ならびに實驗に協力された松浦準一君に感謝する。

### 文 献

- (1) 渡邊, 笠原 イグナイトロンについて 電氣評論, 昭和 11 年 6 月
- (2) 藤宗 イグナイトロンの構造特性及其應用 電氣評論, 昭和 14 年 3 月
- (3) 野木 イグナイトロンの點弧機構 電學誌, 昭和 15 年 7 月
- (4) J. Slepian; L. R. Ludwig A new methode of Starting an arc E. E. Sept. 1933
- (5) J. M. Cage Theory of the Immersion mercury-arc Ignitor G. E. Rev. Oct. 1935
- (6) G. Michel Über die Zündung von Quecksilberdampflichtbögen durch Ionenzünder Siemens Werk Juni 1936
- (7) D. E. Marshall; W. W. Rigrad Characteristics of Resistance Ignitor Electronics May 1947
- (8) H. C. Myers; J. H. Cox Excitation Circuits for Ignitron Rectifier E. E. Oct. 1941
- (9) H. Klemperer A New Ignitron-Firing Circuit Electronics Dec. 1939

# エナメル銅線の試験結果について

三菱電機株式會社 材料委員會

研究所 石黒克巳  
研究所 野口英男  
神戸製作所 姫井孝太郎

## I. 緒 言

最近エナメル銅線について種々な問題が起り、これが對策として早急に購買規格を確立することとなり、舊 JES 461 號に準じて案を立てたが、その検討を行ふ爲に手持のものについて試験し、併せて品質の良否を判定してみた。

## II. 試 料

なるべく最近のもので行いたい意向で選択したのであるが戦時中の納品および製造年月不明のものも相當數試験した。これを製造元別に擧げれば第1表のとおりである。

製造元	試料個数	製造元	試料個数	製造元	試料個数
A	13	B	13	C	7
D	7	E	6	F	5
G	5	H	5	I	4
J	3	K	3	L	1
M	1	N	1	O	1
P	1	Q	1	R	1
S	1			総計	79個

第1表

## III. 試験方法および規格

大體舊 JES 461 號によつたが試験する線径の範囲その他多少改めた。要點のみを書けばつぎのとおりである。

舊 JES 461 號と異なる場合は(( ))を附して JES の字句を記入した。なお(( ))内は JES にはないが便宜上採用した數値である。

### ア) 斑見試験

範囲 全部 ((2.0φ~0.08φ)) 試料 5m 以上 3本  
0.2%食鹽水にエノールフタレンを滴下  
液(+)-試料(-) D.C.12V 1分間荷電後

疵數 5m 中 15 以内 1m 中最大 5 以内

((一種 15 以下、二種 25 以下、1m 中規定なし))

### イ) 卷付試験

範囲 2.0φ~0.08φ 試料 疵なきもの 3 本宛  
常温および 120°C±5°C の恒温槽中で 6 時間加熱し  
放冷常温になつた後、それぞれ第2表の棒に 10 回  
緊密に卷付けた後ア)に準ずる試験を行い、3 本中 2  
本に疵を生じないこと。

導體徑 (mm)	棒の徑		
	常温	加熱後	導體徑の 8倍
2.0~1.2	導體徑の 8倍	導體徑の 12倍	
1.1~0.8	φ	6φ	φ
0.75~0.08	φ	4φ	φ
		7φ	φ

第2表

### ウ) 引伸試験

範囲 1.0φ~0.08φ 試料 疵なきもの 3 本宛常温および加熱處理後((イ)と同じ)標點距離 200mm  
で常温は 10%, 加熱後は 5% 伸レア)に準ずる試験を行ひ、3 本中 2 本に疵を生じないこと。

### エ) 耐電壓試験

範囲 2.0φ~0.08φ 試料 任意の 3 本 ((2 本))  
徑 25mm の絶縁棒に巾 20mm 宛緊密に 2 層巻き、層  
間に 50~60 サイクルの第 3 表の電壓を 1 分間加へ 3 本  
中 2 本に異常ないこと。

導體徑 mm	電壓 V (二種)	電壓 V (種)
2.0~1.2	1000	((1500))
1.1~0.45	600	((1000))
0.4~0.2	500	((800))
0.19~0.1	400	((600))
0.09~0.08	300	((400))

第3表

### オ) 皮膜の固有抵抗試験

範囲 全部 試料 細なきもの (15cm 3本)

常温水中で D.C. 100V 1分間荷電後の抵抗値から換算し  $10^4 Q \text{-cm}$  以上 (( $10^4 Q \text{-cm}$  以上))。

### カ) 耐油試験

範囲 全部 試料 任意のもの (16cm 1本)

((舊 JES 93 號)) 臨 JES 201 號の變壓器油中で  $100^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  で 7 時間 ((これは第一種相當)) ((第二種は 4 時間)) 加熱しても、被膜の光澤に變化なく、布切で拭つても剝げないこと。

### キ) 耐混和物試験

範囲 全部 (( $1.6 \phi \sim 0.5 \phi$  の第一種のみ))

試料 10cm~15cm (3本)

$145^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  に熱した混和物中に 5 分間浸し、これを取り出し (混和物を軽く布で拭き取り), 常温になつた後、徑 0.45mm の洋銀線を試料の上に直角に置き、これに 3kg の荷重を加え兩者に D.C. 10V を加電し 1 分間たつても短絡しないこと。

### ク) 寸法検査

心線の公差は舊 JES 11 號 ((舊 JES 365 號)) による。被膜厚さは舊 JES 491 號の二種による。

最大仕上外徑は上記兩者の和として計算したものである。

## IV. 試験結果

第 1 次、第 2 次および第 3 次の試験結果を製造元別にまとめて判定符號により表わせば 第 4 表～第 5 表のとおりとなる。

判定符號は良否の段階を明瞭にする爲 5 つに分け表の末尾にその説明を附した。表中斜線の部分は試料不足その他により實施しなかつたものである。

第 1 次の試験試料は所要量だけを別に巻き取つてもつて來たもので悪い結果が出たが、そのまゝ記載した。

製 造 元	試 料 番 號	試 料 番 號 及 其 外 徑	試 料 形 狀	見 出 卷 付 引 伸	耐 電 壓	外 心 線 徑	膜 厚	固 有 抗 拒 度	耐 油	耐 混 和 物
		5m 中 間 加 熱	1m 常 溫 加 熱	常 溫 加 熱						
	21	1.2 $\phi$	○ ○ △ × ○ △	○ △	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	22	0.65 $\phi$	1 × △ □ △ △ ×	× ×	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	23	0.2 $\phi$	× △ × × × ×	× ×	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	24	0.06 $\phi$	× × × ×		○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
A	38	0.9 $\phi$	○ ○ ○ ○ △ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	41	0.6 $\phi$	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	42	0.7 $\phi$	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	43	0.65 $\phi$	2 ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	44	0.6 $\phi$	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○

第 4 表 試験結果一覧表 (1)

製 造 元	試 料 番 號	試 料 番 號 及 其 外 徑	見 出 材 料 引 伸	耐 電 壓	外 心 線 徑	膜 厚	固 有 抗 拒 度	耐 油	耐 混 和 物	
									耐 油 耐 混 和 物	耐 油 耐 混 和 物
		5m 中 間 加 熱	1m 常 溫 加 熱	常 溫 加 熱						
	49	0.32 $\phi$	○ △ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
A	50	0.2 $\phi$	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	57	0.06 $\phi$	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	101	0.2 $\phi$	○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	3	1.0 $\phi$	/ / × △ ○ ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	5	0.9 $\phi$	△ △ × × × /	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	7	0.4 $\phi$	/ / / / / /	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	10	0.29 $\phi$	/ / / / / /	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	12	0.23 $\phi$	○ △ ○ △ △ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	14	0.16 $\phi$	I × × × × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
B	18	0.1 $\phi$	× × × × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	29	0.09 $\phi$	/ / △ × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	36	1.2 $\phi$	○ ○ △ ○ △ ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	202	2.0 $\phi$	△ / / / / /	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	204	1.0 $\phi$	○ / △ △ △ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	205	0.8 $\phi$	3 ○ / △ △ △ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	206	0.6 $\phi$	△ / / / / /	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	8	0.4 $\phi$	/ / / / /	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	15	0.16 $\phi$	× × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	19	0.1 $\phi$		○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
C	45	0.5 $\phi$	○ ○ △ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	52	0.1 $\phi$	2 △ △ × ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	203	1.3 $\phi$	× / × △ × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	213	0.35 $\phi$	3 △ / × × × △	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
D	1	1.5 $\phi$	○ ○ ○ ○ △ ○ ○	○ ○	△ ○ ○ ○ ○	△ ○ ○ ○ ○	△ ○ ○ ○ ○	△ ○ ○ ○ ○	△ ○ ○ ○ ○	△ ○ ○ ○ ○
	2	1.4 $\phi$	△ △ × × × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	4	1.0 $\phi$	△ △ × ○ △ ×	△ △	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	6	0.9 $\phi$	1 × △ × × × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	206	0.8 $\phi$	○ / ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	209	0.55 $\phi$	3 ○ / ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	212	0.4 $\phi$	4 ○ / ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
E	31	1.8 $\phi$	(○ ○ × × × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	32	1.6 $\phi$	○ ○ × × × × ×	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	35	1.2 $\phi$	3 ○ ○ × × ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	40	0.8 $\phi$	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	47	0.4 $\phi$	(○ ○ × ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	201	2.6 $\phi$	3 ○ / / / / /	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
F	51	0.2 $\phi$	(○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	215	0.32 $\phi$	○ / ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	218	0.26 $\phi$	○ / ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	220	0.23 $\phi$	3 ○ / ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○
	225	0.1 $\phi$	○ / ○ ○ ○ ○ ○	○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○

第 4 表 試験結果一覧表 (2)

## V. 考 察

### A) 品質について

前述のように第1次の試料は採取條件が悪く、第2次および第3次のものと同列にして判定することはできないが、これ等のことを考慮に入れて製造元別に比較すれば大約第5表のとおりとなる。

試験番号 及 規格	試験回次	断 長 度 付 り 合			耐 電 圧	外 部 形 状	心 綫 度	内 有 機 物	耐 油 性	耐 溶 物
		5m 中 間 部	1m 中 間 部	常 温 部						
G	37 0.9+	○	△	○	×	○	○	○	○	○
	39 0.8+	○	△	×	△	○	○	○	○	○
	210 0.5+	○	△	○	○	○	○	○	○	○
	222 0.2+	○	△	×	×	○	○	○	○	○
	224 0.12+	○	△	○	○	×	○	○	○	×
H	9 0.32+	×	×	×	△	△	○	○	○	○
	11 0.29+	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	13 0.2+	△	△	△	△	△	○	○	○	○
	16 0.14+	×	△	△	×	△	△	○	○	○
	17 0.1+	○	△	○	○	○	○	○	○	○
I	53 0.08+	×	×	×	×	○	○	○	○	○
	54 0.07+	2	×	×	○	断線	△	○	○	○
	207 0.8+	×	△	△	△	△	○	○	○	○
	214 0.35+	3	○	△	○	△	○	○	○	○
	111 0.35+	○	○	△	×	○	△	○	○	○
J	112 0.16+	2	○	○	○	○	○	○	○	○
	226 0.06+	3	×	×	△	△	○	○	○	○
	33 1.6+	△	×	断 付 部 に 付 ける	△	△	△	△	△	○
	K 34 1.4+	2	×	△	×	×	△	△	○	○
	219 0.23+	3	○	△	○	○	○	○	○	○
L	217 0.3+	3	△	△	△	△	○	△	△	○
	M 216 0.32+	○	△	△	△	△	○	○	○	○
	N 221 0.2+	3	○	△	○	△	○	○	○	○
	O 223 0.16+	○	△	○	△	○	○	○	○	○
	P 48 0.1+	×	×	×	×	△	○	○	○	○
Q	46 0.5+	○	○	△	△	○	○	○	○	△
	R 55 0.07+	2	○	○	○	○	△	○	○	△
	S 56 0.06+	3	×	×	×	△	△	△	△	×
	○締めて良好 △規格に對し △溶剂をもつて △合格	5 1	2本以上	2本以上 規格(△ 規格に合 格)	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	末 3 本 以上	△	△	△	△	△	△	△	△
定	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	下	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	15 5	2本以上	規格(△ 規格に合 格)	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	14 以 2本以上	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	下	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	25 5	△	△	△	△	△	△	△	△
荷	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	以 2本以上	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	下	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	△	△	△	△	△	△	△	△	△
規	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	50 20	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	以 2本以上	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	下	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	△	△	△	△	△	△	△	△	△
明	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	51 21	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	以 2本以上	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	下	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	△	△	△	△	△	△	△	△	△
	△規格に對し △溶剂をもつて △合格	△	△	△	△	△	△	△	△	△

製造元	順位	判定
A	2	全般的に良好
B	5	全般的にやや不良
C	8	0.5μ程度は良好、その兩側太線および細線不良
D	1	全般的に良好、(0.4μ以上だけ細線なし)
E	11	全般的に不良、(同上)
F	3	全般的に良好、(0.32μ～0.1μの細線のみ)
G	7	0.5μ以上概ね良好、0.2μ以下の細線や不良
H	4	概ね良好、(0.32μ～0.1μの細線のみ)
I	9	0.4μ程度は良好、その兩側太線および細線不良
J	6	0.1μ以上は良好、0.1μ未満の細線は不良
K	10	1.0μ以上は不良、0.2μ程度の細線は良好

### 第5表

これは手持品の一部について行なつたもので、かつその製造年月もまちまちであるから、これだけから各製造元の優劣あるいはエナメル銅線全般の現状を論ずることはできない。しかししつぎの事柄がわかる。

- 同じ工場でも太線と細線ではその製造技術に甲乙がある。
- 工場によつて太線が得意なところと、細線が得意なところがある。
- それぞれの製造會社では試験後その製品を出荷するのであるが、やはり製造工程上の條件によつてむらがあり、かつ長年月倉庫などに保存すると絶縁皮膜に變化が起る。また取り扱い上のちよつとした不注意によつても大變に結果が悪くなる。
- 製造會社では種々研究されているとは思うが、最近はワニス原材料の不足と品質低下のためエナメル銅線の品質は昔のものに比して劣つており、使用に際しては充分な注意が必要である。

### イ) 試験方法および規格について

■項に述べたように舊JES 461号によつたのであるが、皮膜厚さ・耐電圧はその二種相當の値を採用したが、疵見および耐溶和物はその一種相當の値を取りかつ試験する線徑範囲を全部に擴げたが、試験結果から推して概ね妥當であると思われる。しかし以上の諸點および耐ベンゾール試験について製造者側から、頂いた御意見と試験中氣付いた點とを考え併せて、つぎの

諸點について検討改善したいと思う。

#### (1) 痕見試験

舊JES 461號では $2\phi \sim 0.08\phi$ のものについて行うことになっているが、 $0.08\phi$ 未満のものについても実施可能で、それ程酷な試験とも思われずまたこれに合格しないものは他の試験にほとんど不合格であるから、すべての径のものについて行つたら簡単にその良否が判別できると思うが、製造者側の意見もあり、當社の規格としては $2.9\phi \sim 0.06\phi$ のものについて行うことしたい。

#### (2) 卷付および引伸試験

この試験は常温、加熱後共合格率極めて低く(不合格率約40%，辛合格率約25%)、卷付棒の径が小さいこと、引伸の率が大きすぎるのではないかと思われる所以、工作上實際に起る状態を考え差支えないと思われる第6表に示す程度にさげても良いのではないかと考える。

導體徑 mm	導の徑(導體徑の倍数)		引伸の率%	
	常温	加熱後	常温	加熱後
2.0~1.2	12	18		
1.1~0.8	9	15	6	3
0.7~0.08	6	10		

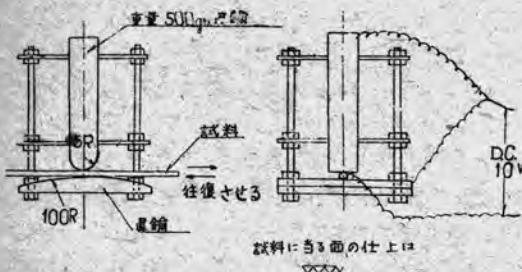
第6表

#### (3) 耐壓試験

$2\phi \sim 0.08\phi$ について行うのであるが、 $0.1\phi$ 以下のものを $25\phi$ の絶縁棒に20mm巾に正確に巻くことは大なる時間を要し、かつ或回数以上に巻いてもその耐壓値には大した差異を生じないと考えられるから、無駄を少なくする爲、 $0.4\phi$ 以下は約50回宛2層に巻くことにしたい。

#### (4) 耐油試験

表面状態をみて、布で拭くと云うのでは數値的にはつきりしないから、『第1圖に示す如き裝置に挿入し試料を水平方向に左右に往復し5回以下で短絡しない事』と追加することが考えられる。



第1圖

#### (5) 耐混和物試験

舊JES 461號では一種の $1.6\phi \sim 0.5\phi$ について行うことになっているが、使用の際混和物含浸をするのは細線が多いので、この範囲は $1.6\phi \sim 0.06\phi$ に擴張すべきだと思う。

またⅡ項オに( )を附して挿入した字句を追加しないとはつきりしないと考えられる。

#### (6) 寸法

心線の公差は電線協会の意向もあり一應舊JES 11號によつたのであるが、これは細線においてゆる過ぎるので、當社としては舊JES 355號が採用されることを希望する。

#### (7) 耐ベンゾール試験

これはJESにも、今回の購買規格にも入れてないが、最近ワニスに侵されるエナメル線が時々ある。ワニスは揮發油稀釋するのが原則であるが、實際上はテレピン油、ベンゾール等も混合されており、揮發油やテレピン油は溶解力が小さいが、ベンゾール其の他芳香族化合物は溶解力が大でエナメル皮膜を膨潤軟化せしめることがある。

そこで『任意の試料約20cmを採り、これを約30°Cのベンゾール(100%~90%)中に浸し1時間経過しても皮膜が膨れたり剝れたりしない事』と云う試験法を追加したい。

なおこの試験結果は後日稿を改めて發表するが最近の購入品で實際に使用して故障を起した線は不合格となるがその他の線は合格しているから、特に悪いものは除去されるが、一般的の良心的な製品には苛酷な試験とは思われない。

### VI 結 言

この試験は購買規格案を検討する目的で行つたのであるが、結果からみて次の二つのことが云える。

ア) 試験方法としては大體妥當であるが、V項に指摘した二、三の點を改善した方が實用に適したものになる。これについてはなお使用者、製造者の意見をもとめ完璧なものにしたいと思う。

イ) 製造年月のはつきりしないもの、また戰時中のものがあるので現状を推論することはできないが、製造會社によつて太線の得意なところと細線が得意なところがあり、使用に際して参考になるものと思う。

### 正 誤

VOL. 22 No. 7 「新製電氣機関車用斷流器」

12 頁右側最下部に別添第1表を挿入します。

## 新製品紹介

### お店の信用と 収入を増す！

#### TA 1型

#### 三菱職業用ミシン

(全回転、足踏式、大型テーブル附)

とくに職業用として設計されたもので、回転数は家庭用の1分間1000に對し、1800以上の能率を持つています。

薄物も、厚物も、一様に縫り縫い、返し針、自由自在の万能ミシンです。



#### 「三菱電機」 VOL. 22 NO. 7 掲載内容

誘導電動機の軸電流 ..... 黒口  
新製電氣機関車用断流器 ..... 小川内  
船舶用 50W 擴聲装置 ..... 春次  
CR-3型レンジについて ..... 堀田

#### 新製品紹介

エアーピンランプ

卓上用ミシン

#### 「三菱電機」 VOL. 23 NO. 2 内容豫定

コンデンサー套管の趨勢 ..... 淺井  
電解研磨の研究(第1編電解液の研究) ..... 齋藤  
シリカゲルの吸収能 ..... 白井  
ハネカムコイルの自己容量 ..... 北中垣根  
AD型車輌用電氣式速度計 ..... 岡前 本田

#### 新製品紹介

## 「三 菱 電 機」 VOL. 23 NO. 1

昭和24年2月15日印刷

「禁無断转载」

昭和24年2月20日發行

定價1部 金15圓(送料共)

編輯兼發行人

小林稻城

東京都港區麻布竹谷町一一番地

印刷者

大橋松三郎

印刷所

東京都港區麻布竹谷町一一番地

發行所

博文堂印刷所

東京都千代田區丸の内2丁目2番地

三菱電機株式會社内

「三 菜 電 機」編輯部

電話丸之内3344(6)

日本出版協會會員番號B213013