

# 三菱電機

第18卷 昭和17年4月 第4號

## 内 容 目 次

巻線型回転子導體の深溝作用	117
Heaviside 演算子法に對する新しい考察と その電氣回路解析に於ける應用 (I)	121
非線型回路に於ける分數調波振動の發生に就て	128
整流子片雲母板の性質に就て	136
船舶用空冷式冷凍機に就て	141

三菱電機株式會社

# 三菱電機

第十八卷

昭和十七年四月

第四號

## 巻線型回転子導體の深溝作用

長崎製作所 山口良哉

### 1. 緒言

交流機巻線中鐵心に納られた部分においては、溝漏洩磁束のために導體中の電流分布が不均一となり、その結果交流の場合は直流抵抗に比して見掛け上の抵抗が増加するものであることは、既に理論的に研究され計算方法が示されておる。

この理論の應用としては次に示す様なものがある。

(イ) 固定子線輪に於て導體を多數の區分に分割し、これらを溝中にて摺曲し、又は端曲部にて交叉せしめることにより抵抗増加の割合を均等ならしめる方法は大容量交流機に於ては盛に採用され且有効に利用されておる。

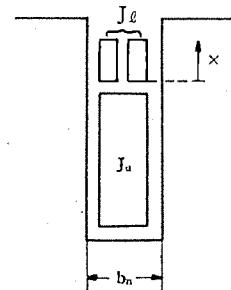
(ロ) 深溝籠形は回転子導體の深さを特に大にし、起動時に於て回転子に誘起せられる交流電流の周波數の變化によつて自動的に變化する抵抗増加の割合を利用し、起動回轉力を増大せしめる方法でこの理論を積極的に應用したものである。

誘導電動機の巻線型回転子では、起動の際は外部に抵抗を追加挿入し、運轉状態に入れば、滑り周波數による極めて低周波の直流に近い電流が流れることになり、抵抗の増加は殆んど問題にならぬものである。然し巻線型回転子には一般に断面の大きな導體を數少く使用するのが普通であつて深さ 10 mm 以上の導體を使用することは比較的小容量の電動機に於ても決して稀ではない。深さ 10 mm 以上の導體を二層巻として上下に積重ねた状態に於て起動時の電源と同一周波數の交流による回転子導體内に於ける抵抗増加は深溝籠形に於けるものと比肩し得る程大きく看過することの出来ないものである。大容量の電動機では導體の高さが 20 mm 以上にも及ぶものがあり、その影響は相當顯著なものとなる。

本文においては深溝作用による回転子導體の抵抗増加を算出し、併せてその影響について考慮して見ることとする。

### 2. 交流抵抗増加の一般式

一般に第1圖の如き配列における交流の場合の見掛け上の交流抵抗と直流抵抗との比を  $K$  とすれば  $K$  の値は次式で表すことが出来る。茲に  $K$  は上層の導體に關するものであつて自身の層の電流によつてのみならず、溝底との間に他の層の電流によつても響影される。



第1圖 溝内導體配列

$$K = \varphi(\xi) + \left[ \left( \frac{J_u}{J_t} \right)^2 + \frac{J_u}{J_t} \cos \gamma \right] \psi(\xi) \dots\dots\dots (1)$$

$$\varphi(\xi) = \xi \frac{\sinh 2\xi + \sin 2\xi}{\cosh 2\xi - \cos 2\xi}$$

$$\psi(\xi) = 2\xi \frac{\sinh \xi - \sin \xi}{\cosh \xi + \cos \xi}$$

茲に

$$\xi = \alpha h$$

$$\alpha = 2\pi \sqrt{\frac{b_{cu}}{b_n} \frac{f}{\rho 10^3}} \text{ cm}^{-1}$$

$J_t$ =上層の電流値

$J_u$ =下層の電流値

$\gamma = J_t$  と  $J_u$  との位相差

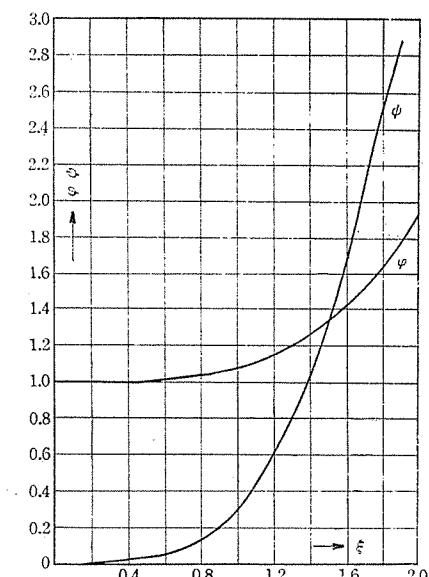
$h$ =導體の高さ cm

$b_{cu}$ =導體の幅の和 cm

$b_n$ =溝の幅 cm

$f$ =周波數

$\rho$ =導電率

第2圖  $\varphi=f(\xi)$  及  $\psi=f(\xi)$ 

標準軟銅の導電率を  $20^{\circ}\text{C}$  にて  $\frac{1}{58}$  とすれば

$$\alpha = 151 \sqrt{\frac{b_{cu}}{b_n} f} \text{ cm}^{-1} \dots \dots \dots 20^{\circ}\text{C}$$

或は

$$\alpha = 137 \sqrt{\frac{b_{cu}}{b_n} f} \text{ cm}^{-1} \dots \dots \dots 75^{\circ}\text{C}$$

となる。

$\xi$  に對する  $\varphi$  及び  $\psi$  の値は第2圖に示す。

### 3. 回轉子導體の抵抗增加

特殊の例として回轉子導體の抵抗増加を考へて見る。

回轉子導體の溝中に於ける配列は普通第3圖の如きものである。即ち二層卷線であつて線輪の跨りは 100% が普通であるから上層と下層との電流の量は等しく、その位相も同一である。この場合には(1)式に於て

$$J_t = J_u$$

$$\gamma = 0 \text{ 或は } \cos \gamma = 1$$

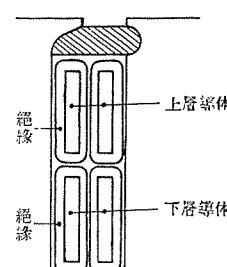
であるから(1)式は次の如くなる。

$$K_1 = \varphi(\xi) + 2\psi(\xi) \dots \dots \dots (2)$$

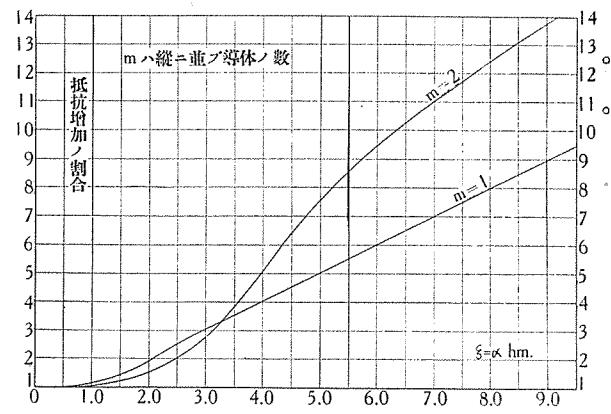
$$\varphi(\xi) = \xi \frac{\sin h 2\xi + \sin 2\xi}{\cosh 2\xi - \cos 2\xi}$$

$$\psi(\xi) = 2\xi \frac{\sin h \xi - \sin \xi}{\cosh \xi + \cos \xi}$$

これは上層の導體に對するも



第3圖  
回轉子溝内に於ける  
導體の配列



第4圖 抵抗增加の割合

ので下層の導體に對しては

$$K_2 = \varphi(\xi)$$

上下の平均を取れば

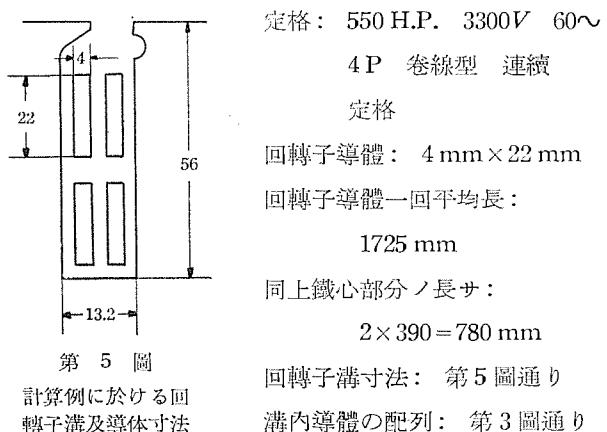
$$K = \frac{K_1 + K_2}{2} = \varphi(\xi) + \psi(\xi) \dots \dots \dots (3)$$

溝内導體 1 本の場合 ( $K_2$ ) 及び 2 本の場合 ( $K$ ) の抵抗增加の割合は第4圖に示す通りである。

以上は回轉子導體中鐵心部分即溝中に納められた部分のみについて抵抗増加の割合を算出する方法であるが鐵心外の端曲部においてはその儘適用することは出来ない。特に大容量のものを除き溝外では此の影響は少いものと考へられるから端曲部では抵抗の増加はないものとし、鐵心部分と端曲部分との長さの割合から回轉子導體全長に對する抵抗増加の値を算出することが出来る。

### 4. 回轉子導體の抵抗増加計算の一例

計算例として使用した電動機の定格及び計算に必要な數値は次の通りである。



第5圖  
計算例に於ける回  
轉子溝及導體寸法

跨り: 100%

從て

$$b_{cu} = 8$$

$$b_n = 13.2$$

$$f = 60$$

$$\alpha = 1.37 \sqrt{\frac{8}{13.2}} \times 60 = 828$$

$$\xi = \alpha h_m = 828 \times 2.2 \times 2 = 3.65$$

但し  $h_m$  は導體の高さの和

第4圖より

$$K = 4.2$$

回轉子導體全長に対する抵抗増加は

$$k = \frac{4.2 \times 780 + 945}{1725} = 2.45$$

即ち本計算例においては起動當初の回轉子抵抗は直流抵抗の 2.45 倍となり起動に順ひ漸減し起動し終ればほど直流抵抗迄低下することとなる。

## 5. 回轉子導體抵抗増加の諸例と その試験結果との比較

回轉子導體の深溝作用の顯著な影響を豫想せられる數種の巻線型誘導電動機について前項に述べた方法により回轉子導體の抵抗増加を求めた結果を第1表に示す。

誘導電動機の銅損は大略全負荷電流による短絡試験の際の入力を以て表すことが出来ることになつており諸種の特性を圓線圖から求め得る理由もこの假定の上に立つてゐる。然るに第1表の諸例では同一電流値に對し直流抵抗による計算値と短絡試験の入力との間には C ÷ A 欄の比率で示す様に格段の差異が認められる。勿論短絡試験の入力中には固定子線輪の交流抵抗増加による銅損失其他正當に銅損として增加すべき漂游負荷損と短絡電壓による固定子並びに回轉子鐵損の如く當然銅損より除外されるべき損失とを含んでゐるので直流抵抗を使用して計算した銅損の値より多少大となるのが普通であるが第1表に示す如き格段の差異を生ずる程大きなものではない。今回轉子導體の深溝作用を考慮に入れて回轉子銅損の補正をなせば全銅損は B 欄に示す如くなり、B ÷ A 欄の比率で示す様に C ÷ A 欄の比率に近接した位となる。B 欄と C 欄との差異は前述の固定子線輪の交流による抵抗増加其他の漂游負荷損及び固定子並びに回轉子鐵損等

第1表 回轉子導體抵抗増加の例

	1	2	3	4	
電動機	容量 電極 周波数	3500 kW 3300 V 6 60~	350 H.P. 3300 V 4 60~	550 H.P. 3300 V 4 60~	100 H.P. 11000 V 14 50~
回轉子導體寸法	4.5 × 25	4 × 22	4 × 22	4.5 × 25	
$\xi$	4.34	3.65	3.65	3.46	
K(溝内)	6	4.2	4.2	3.7	
k(全長)	3.75	2.11	2.45	2.94	
A	65 kW	8.3 kW	12.4 kW	376 kW	
B	149 kW	12.07 kW	19.0 kW	735 kW	
B ÷ A	2.3	1.46	1.53	1.95	
C	177.4 kW	14.22 kW	21.0 kW	803 kW	
C ÷ A	2.73	1.71	1.69	2.14	
A	96.3	93.2	94.4	96.4	
B	94.1	92.1	93.1	94.6	
C	93.3	91.6	92.1	94.3	
A	.86	1.28	1.08	.79	
B	3.15	2.67	2.63	2.5	
C	—	—	—	—	

A 欄は 固定子、回轉子とも直流抵抗を使用せる計算値

B 欄は 固定子は直流抵抗を使用し、回轉子は抵抗増加を考慮に入れて計算せるもの

C 欄は 定格電流における短絡試験の入力

により説明し得る程度のものとなる。換言すれば回轉子導體の深溝作用を考慮に入れた全銅損は短絡試験の入力と近似の値となり、短絡損がその測定の状態での大略銅損を表すものであることは明かと云へる、然もこの回轉子導體の深溝作用は回轉子が始動状態に入れれば急激に減少し、滑り周波数に於ては殆んど消滅する性質のものであるから運轉時の銅損からは當然除外されるべき性質のものである。第1表の能率及び滑り比較欄に上記3種の銅損を使用して算出した値を表示しておいた如く、能率においてその差最大 3%、滑りにおいてはその比最大 3.66 倍となつてゐる。

## 6. 回轉子抵抗増加の影響

(イ) 起動時においては回轉子線輪の抵抗が直流抵抗の数倍になるが外部に挿入する起動用抵抗の値はこれに

比しはるかに大きいので起動電流の大きさに大なる變化を及ぼす程の影響は考へられない。

(ロ) 全負荷滑り附近の回転数においては回転子の深溝作用は殆んど消滅し、回転子線輪の抵抗は直流抵抗と大差ない値となる、従つて運轉時の特性には影響を及ぼさないこととなる。

(ハ) 速度制御が50%程度にもなれば回転子線輪の抵抗増加は相當顯著となる。4項の計算例において  $f=30$  とせる場合  $K=2.1$   $k=1.5$  となり回転子全長に對する抵抗は直流抵抗の50%増となる。從て回転子銅損も50%増となり冷却風量の減少と共に溫度上昇に影響して来る

(ニ) 回転子深溝作用の影響は短絡試験の際に最も顯著にあらはれ入力は回転子抵抗増加と同一の割合で増加する。この短絡試験の數値を用ひて作圖した圓線圖により特性を求めるとき銅損に大なる誤差が入り、實際の運轉時特性よりも特に能率及び滑りにおいて劣つた特性値を得ることになる。これは深溝籠形及び二重籠形誘導電動機の特性が普通の圓線圖では求められないのと同一の理由によるものである。圓線圖に及ぼす影響については更めて次項に述べる。

## 7. 回転子抵抗増加の圓線圖に及ぼす影響

誘導電動機の圓線圖は簡単な二つの試験即ち無負荷試験と短絡試験の結果を以て作圖することが出来、各負荷の運轉時の特性を求め得るので非常に便利であり、盛んに利用されてゐる。そして無負荷試験は無負荷電流と鐵損機械損とを與へ、短絡試験は短絡電流と銅損とを與へるものとされてゐる。圓線の抵抗が短絡試験時と運轉時と同一値である限り圓線圖は運轉時の正しい特性を與へることとなり、普通の場合にはこれで差支ないのである

が既述の如く回転子卷線に深溝作用が顯著に現れる如き場合には圓線圖は不正確を免れない。即ち是の如き場合の短絡試験の入力は、その状態に於ける銅損を代表することに間違はないが運轉状態に於ては回転子線輪の抵抗の減少に應じて銅損も減少することとなり、短絡試験時の入力を以て運轉時の銅損を代表せしめることは銅損を過大に計上する結果となるため、能率及滑りにおいて實際よりも劣つた値を與へることとなる。第1表の能率及び滑りの比較これらの概念を與へるもので、此種の電動機に對しては從來用ひられた圓線圖では正確な特性は求められないことを明にしておる。この點は深溝籠形及び二重籠形電動機では既に明確にされ特性算出の手段として普通の圓線圖を使用せず特殊の方法を採用すべき事が推奨されてゐる。圓線型電動機では從來一般に此點に關し何等の考慮も拂はれてゐないが、例示した様な特別の場合においては、普通の圓線圖の方式では正當な特性は求められないものであることを注意せねばならぬ。特性の相違は誤差の性質上力率及び最大回轉力においては殆んど差が無く、能率及び滑りにおいて影響が大きい、而も過負荷に於ける程其相違は大となるものである。

## 8. 結 言

大容量の圓線型誘導電動機では構造上回転子導體の深溝作用が看過し得ない程度であることを述べた。運轉時の特性に及ぼす影響は殆んど認められないが、運轉時の特性決定法として從來用ひられてゐる圓線圖作圖法は是の如き場合には能率及び滑りに對し、正當な數値を與へるものでない事を説明した。この事は從來等閑に附せられてゐるのであるが最近この影響の顯著な一例に當面したので取調べの結果を報告し御批判を仰ぐ次第である。

## Heaviside 演算子法に対する新しい考察と その電氣回路解析に於ける應用（Ⅱ）

研究部 菅野正雄

### （Ⅱ）N-法の基礎

#### § II.1. 緒言

前章に於て述べた所であるが、H-法の一つの特徴は単位函数 **I** を用ふることにあつた。従つてH-法の修正もある程度 **I** に對して適當な考慮を拂ふことにより達せられることも出来るが、この事に關しては後章に於て述ぶることとし、本章に於てはより根本的な問題に就て考察をなし、N-法の基礎を確立することとする。

さて、前章に於て述べた如く、H-法發展の途中に於て、

$$p \cdot \equiv \frac{d}{dt} \cdot , \quad \dots \quad (\text{II.1})$$

の逆演算子  $p^{-1}$  は

$$p^{-1} \cdot \equiv \int_0^t \cdot dt , \quad \dots \quad (\text{II.2})$$

であると考へられるに至つたが、この考へこそ、H-法をして種々の困難に陥らしめた最大原因なりと断ぜざるを得ないのである。その理由を次に説明しよう。

#### § II.2. 作用子、演算子及び變換子

先づ豫備事項を説明する。一般に適當に定義された數學的量  $F$  及び  $G$  があつて、その間に

$$AF \equiv G, \quad \dots \quad (\text{II.3})$$

なる關係を満足する數學的記號  $A$  がある時、 $A$  を  $F$  の作用子、 $F$  を  $A$  の被作用子と呼ぶこととしよう。たとへば微分記號  $d/dt$ 、積分記號  $\int_a^t \cdot dt$ 、Vector 解析學に於て知られてゐる grad., div., rot. 及び  $\Delta$  等、或は又通常の函数、常數、Vector 等皆然りである。

作用子の中、

$$A(t)F(t) \equiv G(t), \quad \dots \quad (\text{II.4})$$

の如き關係を満す  $A(t)$  を特に演算子と名附ける。前記

の微分記號、積分記號等はそれである。

又、 $\lambda$  をパラメータとする時

$$A(\lambda, t)F(t) \equiv G(\lambda), \quad \dots \quad (\text{II.5})$$

の如き關係を満す  $A(\lambda, t)$  を變換子と名附ける。たとへば

$$A(\lambda, t)t \equiv \int_0^\infty e^{-\lambda t} t dt \equiv \frac{1}{\lambda^2}$$

の如き  $\int_0^\infty e^{-\lambda t} dt$  はこゝに述べた意味の變換子である。

#### § II.3. 演算子算法

適當に定義された數學的量の集り  $F_1, F_2, \dots, F_n$  及びその各々に屬する作用子の集り  $A_1, A_2, \dots, A_m$  があるとする。（何れの集りも必ずしも群を作るとは限らない）。然る時は、適當な條件の下に  $F_k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ ) の任意の一つに對して、種々の關係式、たとへば

$$A_1 F_k + A_2 F_k \equiv A_2 F_k + A_1 F_k$$

$$A_1 A_2 F_k \equiv A_2 A_1 F_k$$

$$A_1 A_2 A_3 F_k \equiv A_1 (A_2 A_3) F_k \equiv (A_1 A_2) A_3 F_k$$

の如き諸關係が成立つ時、上式に於ける被作用子を省いて

$$A_1 \cdot + A_2 \cdot \equiv A_2 \cdot + A_1 \cdot$$

$$A_1 A_2 \cdot \equiv A_2 A_1 \cdot$$

$$A_1 A_2 A_3 \cdot \equiv A_1 (A_2 A_3) \cdot \equiv (A_1 A_2) A_3 \cdot$$

等の如く書き、この恒等的關係を演算子算法と名附ける。

こゝに注意すべきことは、ある特定の一つの被作用子に關してある關係が成立しても、その被作用子を省略して書いた關係——即ち演算子算法——が直ちに成立つとは限らないことである。たとへば  $F_k(t)$  を  $(-2, t > -2)$  なる領域に於て積分可能なる函数とし、又  $C \left( \begin{smallmatrix} t+1 \\ t \end{smallmatrix} \right)$  を

$$C\binom{t+1}{t}F(t) \equiv F(t+1)$$

の如く、獨立變數を  $t$  より  $t+1$  に變する作用子とする時、今  $F_k(t)$  の一つとして

$$\mathbf{I}(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

なる單位函數をとつて、 $t > 0$  のみを考慮すれば、

$$C\binom{t+1}{t} \int_{-2}^t \mathbf{I}(t) dt \equiv t+1$$

$$\int_{-2}^t C\binom{t+1}{t} \mathbf{I}(t) dt \equiv \int_{-1}^t \mathbf{I}(t+1) dt \equiv t+1$$

であるからと言つて、直ちに

$$C\binom{t+1}{t} \int_{-2}^t \cdot dt \equiv \int_{-2}^t C\binom{t+1}{t} \cdot dt, \quad (\text{II.6})$$

とするわけにはゆかぬ。何となれば  $F_k(t)$  の他の一つとしてたとへば  $t$  をとると

$$C\binom{t+1}{t} \int_{-2}^t t dt \equiv \frac{1}{2} \{(t+1)^2 - 4\}$$

であるが、

$$\int_{-2}^t C\binom{t+1}{t} t dt \equiv \int_{-2}^t (t+1) dt \equiv \frac{1}{2} \{(t+1)^2 - 1\}$$

であつて、兩者相等しくはないのである。従つて、被演算函數を  $(-2, t > -2)$  に於て積分可能なるものとの條件の下には、(II.6)式の關係を演算子法として採用するわけにはゆかぬ。併し、被演算函數を  $\mathbf{I}(t) F_k(t)$  ( $F_k(t)$  は  $(-2, t > -2)$  の間で積分可能なる函數) の如く少しく範囲を狭くして考へれば、この時は  $t > 0$  に於て (II.6) 式を演算子算法として採用する事が可能となる。要するに演算子算法の成立し得るのは、ある適當なる條件の下に於てであつて、その條件外のものに迄不適用に適用するわけにはゆかないことを銘記すべきである。

#### § II.4. 逆作用子とそれに關する一定理

(II.3) 式よりもし逆に、

$$BG \equiv F \quad (\text{II.7})$$

なる關係を満足する作用子  $B$  が得られる時は、 $B$  を  $A$  の逆作用子といふ。これを演算子算法を以て示せば、

$$BA \cdot \equiv 1 \cdot \quad (\text{II.8})$$

の如くなる。然らば  $B$  と  $A$  との間には

$$BA \cdot \equiv AB \cdot \equiv 1 \cdot \quad (\text{II.9})$$

なる關係がある。即ち作用子とその逆作用子とは互に交換可能である。何となれば今、

$$AB \cdot \equiv C \cdot$$

とおいて、この兩邊に右側より  $A$  を作用すれば、

$$ABA \cdot \equiv CA \cdot \quad (\text{II.10})$$

を得るが、(II.8) の關係を參照すれば、

$$ABA \cdot \equiv A(BA) \cdot \equiv A \cdot$$

(勿論、結合法則は成立するものとする)。

であるから、(II.10) 式は

$$A \cdot \equiv CA \cdot$$

となる。よつて  $A \cdot \equiv O \cdot$  なるものを除けば

$$C \cdot \equiv 1 \cdot$$

でなければならない。従つて、作用子とその逆作用子との間には (II.9) 式の關係が成立たねばならぬ。一般に  $A$  の逆作用子を  $A^{-1}$  又は  $1/A$  と書く。

§ II.5.  $p^{-1} \cdot \equiv \int_0^t \cdot dt$  の逆演算子は  $\frac{d}{dt}$  に非ず。

前節の  $A$  として  $p^{-1} \cdot \equiv \int_0^t \cdot dt$  をとつて見よう。

領域  $(0, t)$  に於て  $\frac{dF(t)}{dt}$  が積分可能なる如き函數  $F(t)$  を考へる時、

$$\frac{d}{dt} \int_0^t F(t) dt = F(t)$$

であるが、

$$\int_0^t \frac{dF(t)}{dt} dt = F(t) - F(0)$$

であるから、 $F(0) \equiv 0$  ならざる限り、

$$\frac{d}{dt} \int_0^t \cdot dt \equiv \int_0^t \frac{d}{dt} \cdot dt$$

とするわけにはゆかぬ。従つて前節に説明した事實から  $d/dt$  と  $\int_0^t \cdot dt$  とは上記の如き函數  $F(t)$  に關しては互に逆演算子の關係にはあり得ない事になるのである。従來のH一法に於て用ひられる函數は必ずしも  $F(0) \equiv 0$  なる如きもののみには限られてゐないのであるから同法に於て、一般に、

$$p \cdot \equiv \frac{d}{dt} \cdot, \quad p^{-1} \cdot \equiv \int_0^t \cdot dt$$

としてゐた事は誤であつたのである。而して從來の演算

子法の研究者がこの根本的事實に氣附かなかつた事が、  
H一法をして、長い間不完全なる貌のまゝに今日にいた  
らしめたのである。

### § II.6. 微分演算子、不定積分演算子及び定積分演 算子。

H一法に於ては  $d/dt$  を  $D$  と書かずに  $p$  と書いてゐるが、これは  $p^{-1}$  に  $\int \cdot dt$  の意味ではなく、特に  $\int_0^t \cdot dt$  の意味を持たせる爲であつたのであらう。然るに前節に於ける證明の如くこの考へはよくないのである。それを修正する爲に、蛇足の様ではあるが、微分演算子、不定積分演算子及び定積分演算子の定義を順次説明するこの説明には、必ずしも從來の定義とは一致しない部分があるが、筆者は本説明の方が從來のそれよりも妥當なりと考へるのである。以下變數は任意の實數とする。

先づ、微分演算子を

$$D(t) \cdot \equiv \frac{d}{dt} \cdot, \quad (\text{II.11})$$

と書く。これは、從來種々の微分方程式論に於て用ひられて來たと同様でその意味も全く同じである。

$D(t)$  の逆演算子を不定積分演算子と稱し、次の如く書く。

$$D(t)^{-1} \cdot \equiv \int \cdot dt \quad (\text{II.12})$$

こゝに、 $\int \cdot dt$  なる演算はたとへば、

$$\int t \, dt \equiv \frac{1}{2} t^2, \quad (\text{II.13})$$

$$\int \frac{1}{t^2} \, dt \equiv -\frac{1}{t}, \quad (\text{II.14})$$

等の如くであつて、通常の所謂不定積分

$$\int t \, dt = \frac{1}{2} t^2 + C, \quad (\text{II.15})$$

$$\int \frac{1}{t^2} \, dt = -\frac{1}{t} + C', \quad (\text{II.16})$$

等の如く、任意の積分常数  $C, C'$  はこれをとり得ないのである。何となれば定義により

$$D(t)D(t)^{-1} \cdot \equiv D(t)^{-1}D(t) \cdot \equiv 1 \cdot \quad (\text{II.17})$$

でなければならぬからである。

次に定積分演算子  $p \left( \frac{t}{a} \right)^{-1}$  を

$$p \left( \frac{t}{a} \right)^{-1} \cdot \equiv \int_a^t \cdot dt, \quad (a: \text{任意の一定常数}),$$

.....(II.18)

によつて定義する。こゝに注意すべきことは、通常微積分學に於ては

$$\int_a^b F(t) \, dt, \quad (b: \text{任意の一定常数})$$

を定積分と稱し、

$$\int_a^t F(t) \, dt$$

を不定積分と稱する場合のあることである。併し  $a$  を一定とする限り、この兩者は何れも定積分と考へるのが妥當であつて、眞の不定積分とは、(II.15) 又は (II.16) 式等の如く、任意の積分常数を含むものを指すのが適當であらう。然るにも拘はらず、(II.13) 式又は (II.14) 式等の關係を表はす演算子  $D(t)^{-1}$  を不定積分演算子と稱する理由は次の通りである。

今

$$\int_0^t t \, dt \equiv \frac{1}{2} t^2 \equiv D(t)^{-1} t, \quad (-\infty < t < \infty)$$

$$\int_{-\infty}^t \frac{1}{t^2} \, dt \equiv -\frac{1}{t} \equiv D(t)^{-1} \frac{1}{t^2}, \quad (t > 0)$$

$$\int_{-\infty}^t \frac{1}{t^2} \, dt \equiv -\frac{1}{t} \equiv D(t)^{-1} \frac{1}{t^2}, \quad (t < 0)$$

$$\int_1^t \frac{1}{t} \, dt \equiv \log t \equiv D(t)^{-1} \frac{1}{t}, \quad (t > 0)$$

等の如き關係を考察して見るに、

$$D(t)^{-1} F(t) \equiv G(t)$$

とする時、

$$G(t) = 0$$

の適當なる一つの根 ( $\pm \infty$  も含む) を  $C$  とするならば

$$D(t)^{-1} F(t) \equiv G(t) \equiv \int_c^t F(t) \, dt$$

とも書けることがわかる。即ち積分の下限  $c$  は  $D(t)^{-1}$  の被演算函数が定められてはじめて定まる如き常数とも考へ得るのであつて、此の意味で不定積分演算子と稱するのである。これは又一方、たとへば (II.15) 式又は (II.16) 式等の不定積分に於ける積分常数  $C$  又は  $C'$  を常に零ととる如き特別の不定積分を行なふ積分演算子と

も考へられよう。かくの如き考へは、たとへば、次の如き計算をするのに役立つのである。即ち

$$G(t) \equiv \int_0^t e^{-\lambda t} t^s dt, \quad (-1 < s < 0), \quad \dots \dots \dots (\text{II. 19})$$

なる時、 $t=0$  に於ける  $G(t)$  の値  $G(0)$  を求むる場合を考へるに、附録 (I) に示す如き計算により、

$\operatorname{Re}(\lambda) \geq 0$  なら

$$G(0) \equiv \int_0^0 e^{-\lambda t} t^s dt \equiv \int_{-\infty}^0 e^{-\lambda t} t^s dt \equiv -\frac{\Gamma(1+s)}{\lambda^{1+s}},$$

$$(-1 < s < 0), \quad \dots \dots \dots (\text{II. 20})$$

$\operatorname{Re}(\lambda) \leq 0$  なら

$$G(0) \equiv \int_0^0 e^{-\lambda t} t^s dt \equiv \int_{-\infty}^0 e^{-\lambda t} t^s dt \equiv -\frac{\Gamma(1+s)}{\lambda^{1+s}},$$

$$(-1 < s < 0), \quad \dots \dots \dots (\text{II. 21})$$

となるから結局、

$$G(0) \equiv -\frac{\Gamma(1+s)}{\lambda^{1+s}}, \quad \left( \begin{array}{l} -1 < s < 0 \\ \lambda \neq 0 \end{array} \right), \quad \dots \dots \dots (\text{II. 22})$$

を得る。(II. 19) 式の右邊より、 $G(t)$  を  $t$  のまとまつた函数とし得る事が出来ないのであるから、かゝる方法等によるより以外に  $G(0)$  を求めることは困難であらう。(II. 22) 式の結果は實際後章に於て利用する所があるのである。

### § II. 7. 零と零作用子

演算子算法に於て注意を要することは零の取扱ひである。

(1) 零： 適當なる條件の下に作用子  $A_k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ ) 及びそれらの被作用子  $F$  がある時、

$$A_k F \equiv 0, \quad (k=1, 2, \dots, n), \quad \dots \dots \dots (\text{II. 23})$$

ならば

$$F \equiv 0, \quad \dots \dots \dots (\text{II. 24})$$

でなければならぬ。又逆に (II. 24) 式の關係があれば、(II. 23) 式が成立たねばならぬ。たとへば

$$D(t) F(t) \equiv 0, \quad \dots \dots \dots (\text{II. 25})$$

ならば

$$F(t) \equiv 0$$

でなければならぬ。何となれば

$$D(t)^{-1} D(t) F(t) \equiv D(t)^{-1} \cdot 0$$

であるが、(II. 17) 式より

$$D(t)^{-1} D(t) F(t) \equiv F(t)$$

$$D(t)^{-1} \cdot 0 \equiv 0$$

であるからである。これを通常の計算の如くに

$$D(t) F(t) \equiv \frac{d}{dt} F(t) = 0, \quad \dots \dots \dots (\text{II. 26})$$

よつて

$$F(t) = \alpha (= \text{const.})$$

と混同してはならない。(II. 25) 式は恒等式であるのに反し、(II. 26) 式は等式關係（此の場合は微分方程式）であることに注意を要する。従つて又

$$F(t) \equiv \alpha (= \text{const.}) \neq 0$$

なる時

$$D(t) F(t) \equiv \frac{d\alpha}{dt} \equiv 0$$

としてはならない。即ち

$$D(t)\alpha = 0$$

であつても

$$D(t)\alpha \equiv 0$$

ではないのである。それ故に、演算子算法の中途に於て

$$D(t)\alpha, \quad D(t)^2 \alpha, \quad \dots \dots \dots$$

が表はれたる時、是等を零として演算式中より除外してはやこれ以上、その結果に對して演算子算法を施さぬといふ時になつて始めてそれ等を零とおかるべきである。

(2) 零作用子： 適當なる條件の下に、被作用子  $F_k$  ( $k=1, 2, \dots, n$ ) とそれらの作用子  $A$  があるとし、

$$A F_k \equiv 0, \quad (k=1, 2, \dots, n), \quad \dots \dots \dots (\text{II. 27})$$

ならば

$$A \cdot \equiv 0 \cdot$$

でなければならぬ。ある特定の一つ、たとへば  $F_1$  に對して

$$A F_1 \equiv 0$$

であつても

$$A \cdot \equiv 0 \cdot$$

ではないのである。

而して

$$A \cdot \equiv 0 \cdot$$

なる如き作用子を零作用子と呼ぶこととするが、吾々は演算子算法に於て零作用子の逆作用子なるものはこれを

考慮しないから、算法の中途中に於て、零作用子が表はれたる時は常にそれを除外して差支へないのである。

この、零作用子は演算の中途中に於て除外して差支へないことと、前述の  $D(t) \alpha$ ,  $D(t)^2 \alpha$ , ……等の零を除外してはならないことを鬼角混同し勝ちであるから、充分注意を要するのである。

### § II.8. Heaviside 演算子 $p\left(\frac{t}{a}\right)$

定積分演算子  $p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1}$  の逆演算子  $p\left(\frac{t}{a}\right)$  を Heaviside 演算子と稱することとする。この  $p\left(\frac{t}{a}\right)$  を  $d/dt$  とすることの不可なることは既述の通りであるが、然らばそれは如何なるものであらうか、これを求めて見よう。それには定義から

$$p\left(\frac{t}{a}\right)p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1} \cdot = p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1} p\left(\frac{t}{a}\right) \cdot = 1 \cdot , \quad \dots \dots \dots \text{(II.28)}$$

なる関係がある故、これをを利用して次の如くする。

(II.18) 式より

$$\begin{aligned} p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1} \cdot &\equiv \int_a^t \cdot dt \equiv \int^t \cdot dt - \int^a \cdot dt \\ &\equiv D(t)^{-1} \cdot - C\left(\frac{a}{t}\right) D(t)^{-1} \cdot \\ &\equiv \left(1 - C\left(\frac{a}{t}\right)\right) D(t)^{-1} \cdot \quad \dots \dots \text{(II.29)} \end{aligned}$$

を得る。こゝに  $C\left(\frac{a}{t}\right)$  はたとへば

$$C\left(\frac{a}{t}\right) F(t) \equiv F(a) , \quad \dots \dots \text{(II.30)}$$

の如く獨立變數を  $t$  より  $a$  に變更する如き作用子である。(II.27) 式の兩邊に左側より  $p\left(\frac{t}{a}\right)$  を、右側より  $D(t)$  を作用せしむれば、

$$\begin{aligned} p\left(\frac{t}{a}\right) p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1} D(t) \cdot &\equiv p\left(\frac{t}{a}\right) \left(1 - C\left(\frac{a}{t}\right)\right) \cdot \\ &\cdot D(t)^{-1} D(t) \cdot \end{aligned}$$

を得るが、こゝで (II.17) 式及び (II.28) 式の關係を用ふれば

$$D(t) \cdot \equiv p\left(\frac{t}{a}\right) \cdot - p\left(\frac{t}{a}\right) C\left(\frac{a}{t}\right) \cdot , \quad \text{(II.31)}$$

又は

$$p\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv D(t) \cdot + p\left(\frac{t}{a}\right) C\left(\frac{a}{t}\right) \cdot , \quad \text{(II.32)}$$

なる關係が得られる。明かに

$$p\left(\frac{t}{a}\right) \cdot \equiv D(t) \cdot$$

である。

逆に  $p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1}$  が (II.29) 式で、 $p\left(\frac{t}{a}\right)$  が (II.32) 式で表はされる如き演算子であるとすれば、(II.28) 式の關係の成立することは容易にわかる。(附錄 (II) の計算を参照のこと)

さて  $D(t)$ ,  $D(t)^{-1}$  及び  $p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1}$  は夫々微分、積分常數を含まざる不定積分及び定積分なる演算を有してゐるが  $p\left(\frac{t}{a}\right)$  は如何なる演算を有するであらうか、これを (II.31) 式又は (II.32) 式より如何に考察して見ても、殘念乍ら從來の範疇に屬する演算は得られないものである。

併し、吾々は、こゝではそれを深く追求することをせず、たゞ單に

$$p\left(\frac{t}{a}\right) F(t)$$

(但し  $F(t)$  は領域  $(a, t)$  に於て微分及び積分可能な函數と考へる)

が如何なる函數を表はすかと云へば、それは

$$p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1} [ p\left(\frac{t}{a}\right) F(t) ] \equiv F(t) , \quad \dots \dots \text{(II.33)}$$

なる性質を持つ如き函數と言ふに止めておく。その理由は、後にも述べる如く、かゝる形の函數の出現するのは多くは微分方程式の記號的解法の中途中に於てであつて、解の最後の段階に於ては、結局 (II.33) 式の右邊の如く積分された貌となつて表はれるからである。たゞ、たまたま  $F(a) \equiv 0$  なる條件がある時は

$$p\left(\frac{t}{a}\right) F(t) \equiv D(t) F(t) + p\left(\frac{t}{a}\right) C\left(\frac{a}{t}\right) F(t)$$

$$\equiv D(t) F(t) + p\left(\frac{t}{a}\right) F(a)$$

$$\equiv D(t) F(t) , \quad \dots \dots \text{(II.34)}$$

となつて、かゝる場合にのみ  $p\left(\frac{t}{a}\right)$  は微分演算を持つこととなるのである。此の性質の故に Courant u. Hil-

bert: Methoden der Math. Phys. 第 II 卷, 188 頁 (1937) に於ては、 $p\left(\frac{t}{a}\right)$  のとり得る被演算函数  $F(t)$  は  $F(a)=0$  なる如きもののみに限るとの制限を設けてゐるが、かかる制限は演算子法の適用を甚だしく局限するのみであつて、無益の事なのである。たとへば電気回路解析で云へば問題が受動回路解析のみに限られるといふことになるのである。

尙  $p\left(\frac{t}{a}\right)$  を  $1 (-\infty < t < \infty)$  に作用して得られる如き函数

$$p\left(\frac{t}{a}\right) \cdot 1$$

は、所謂  $\delta$ -函数（衝撃函数）とある關係を持つてゐるのであるが、それで就ては後章に於て説明する。

今後紛らはしくない限り、 $D(t)$ ,  $D(t)^{-1}$ ,  $p\left(\frac{t}{a}\right)$  及び  $p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1}$  を簡単に夫々  $D$ ,  $D^{-1}$ ,  $p$  及び  $p^{-1}$  と書くこととする。（續く）

### 附 錄 (I)

$Re(\lambda) > 0$  ならば  $t \geq T$  ( $T$  は充分大なる正数) なるすべての  $t$  の値に對して、

$$\left| \int_T^t e^{-\lambda t} t^s dt \right| < \left| \int_T^t e^{-\lambda t} dt \right| < \left| \frac{2}{\lambda} e^{-\lambda T} \right|, \quad (-1 < s < 0)$$

$Re(\lambda) = 0$  ならば同様の  $t$  の値に對し、

$$\begin{aligned} \left| \int_T^t e^{-\lambda t} t^s dt \right| &= \left| -\frac{1}{\lambda} e^{-\lambda t} t^s - \frac{s}{\lambda^2} e^{-\lambda t} t^{-1+s} \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\lambda} e^{-\lambda T} T^s + \frac{s}{\lambda^2} e^{-\lambda T} T^s \right. \\ &\quad \left. + \frac{s(s-1)}{\lambda^2} \int_T^t e^{-\lambda t} t^{-2+s} dt \right|, \end{aligned} \quad (-1 < s < 0)$$

然るに

$$\left| \int_T^t e^{-\lambda t} t^{-2+s} dt \right| < \left| \int_T^t t^{-2+s} dt \right| < \frac{2}{1-s} T^{-1+s}, \quad (-1 < s < 0)$$

故に

$$\left| \int_T^t e^{-\lambda t} t^s dt \right| < \left| \frac{2}{\lambda} T^s \right| + \left| \frac{4s}{\lambda^2} T^{-1+s} \right|, \quad (-1 < s < 0)$$

故に  $Re(\lambda) \geq 0$  ならば、 $t \geq T$  に對して

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \lim_{t \rightarrow \infty} \left| \int_T^t e^{-\lambda t} t^s dt \right| = 0, \quad (-1 < s < 0)$$

よつて

$$\int_0^\infty e^{-\lambda t} t^s dt = \int_{-\infty}^0 e^{-\lambda t} t^s dt = -\frac{\Gamma(1+s)}{\lambda^{1+s}},$$

$$\begin{cases} -1 < s < 0 \\ Re(\lambda) \geq 0 \end{cases}$$

又  $Re(\lambda) < 0$  の場合は、 $t \leq -T$  ( $T$  は充分大なる正数) なるすべての  $t$  を考へれば

$$\int_{-T}^t e^{-\lambda t} t^s dt = (-)^{s+1} \int_T^{-t} e^{-\mu t} t^s dt$$

(但し  $\mu = -\lambda$  従つて  $Re(\mu) > 0$ )

であるから、すぐ前の證明により、

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \lim_{t \rightarrow -\infty} \left| \int_T^{-t} e^{-\mu t} t^s dt \right| = 0$$

$$\begin{cases} -1 < s < 0 \\ Re(\mu) > 0 \end{cases}$$

であるから結局、

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \lim_{t \rightarrow -\infty} \left| \int_{-T}^t e^{-\lambda t} t^s dt \right| = 0,$$

$$\begin{cases} -1 < s < 0 \\ Re(\lambda) < 0 \end{cases}$$

よつて、

$$\int_0^\infty e^{-\lambda t} t^s dt = \int_{-\infty}^0 e^{-\lambda t} t^s dt = -\frac{\Gamma(1+s)}{\lambda^{1+s}},$$

$$\begin{cases} -1 < s < 0 \\ Re(\lambda) < 0 \end{cases}$$

故に

$$\int_0^\infty e^{-\lambda t} t^s dt = -\frac{\Gamma(1+s)}{\lambda^{1+s}} \quad (-1 < s < 0)$$

である。

### 附 錄 (II)

$$A \cdot \equiv \int_a^t \cdot dt \equiv \left( 1 - C\left(\frac{a}{t}\right) \right) D(t)^{-1} \cdot$$

$$B \cdot \equiv D(t) \cdot + BC\left(\frac{a}{t}\right) \cdot$$

とすれば、

$$AB \cdot \equiv A \left( D(t) + BC\left(\frac{a}{t}\right) \right) \cdot$$

$$\equiv AD(t) \cdot + ABC\left(\frac{a}{t}\right) \cdot$$

故に

$$\begin{aligned} AB\left(1-C\left(\frac{a}{t}\right)\right) &= AD(t) \\ &= \left(1-C\left(\frac{a}{t}\right)\right)D(t)^{-1}D(t) \\ &= \left(1-C\left(\frac{a}{t}\right)\right). \end{aligned}$$

よつて

$$AB \cdot \equiv 1.$$

又

$$\begin{aligned} BA \cdot &\equiv B\left(1-C\left(\frac{a}{t}\right)\right)D(t)^{-1} \\ &\equiv BD(t)^{-1} - BC\left(\frac{a}{t}\right)D(t)^{-1}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \left(D(t) + BC\left(\frac{a}{t}\right)\right)D(t)^{-1} - BC\left(\frac{a}{t}\right) \cdot \\ &\quad \cdot D(t)^{-1}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= D(t)D(t)^{-1} \\ &\equiv 1. \end{aligned}$$

よつて

$$AB \cdot \equiv BA \cdot \equiv 1.$$

従つて

$$A \cdot \equiv p\left(\frac{t}{a}\right)^{-1}.$$

なら

$$B \cdot \equiv p\left(\frac{t}{a}\right).$$

である。

## 衝流式遠隔計測方式

(特許第148510号)

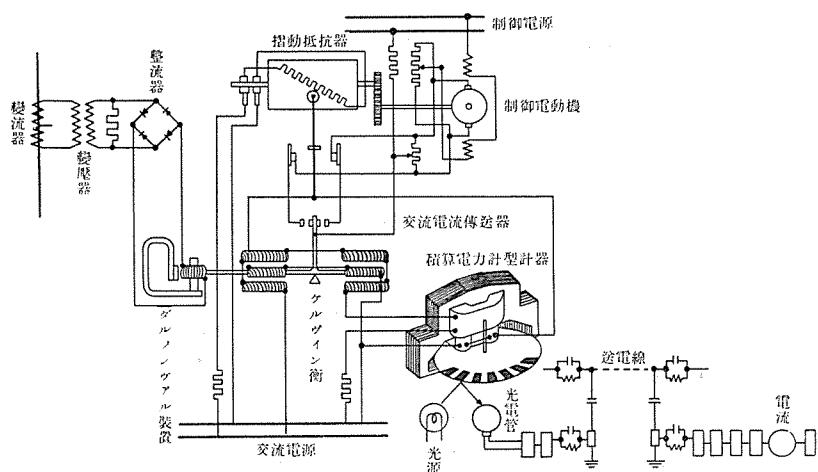
直流電流を搬送式遠隔測定せんとする場合は、測定すべき直流電流を之に比例する衝流に變化せしむる事を必要とする。然るに今日迄斯かる變化を生ぜしむる装置無く、當業者に於いて久しく待望された所であるが、本発明により解決する事が出來た。

本方式は、直流電流に比例する機械力と、交流電力による機械力とを、自働平衡せしむべさ平衡繼電器と、該繼電器の動作により作動する積算電力計型衝流發信器とを備へ、測定すべき直流電流に比例する電氣的衝流を送出すべくせる遠隔測定装置である。

圖は一實施例にして、被測定交流回路の電流に、増減を生じた場合は、ダルソンガル装置の線輪を流るゝ直流電流が、交流變化に比例する爲鐵

心上を上下し、ケルヴィン衡との平衡を破り接點(R)或は(L)を閉じる。従つて、制御電動機が正轉又は逆轉して、摺動抵抗器の抵抗値を變化せしめる。此の變化は積算電力計型發信器及ケルヴィン衡の電壓線輪に夫々加はる電壓を變化せしむる爲、結局電力計の回轉は、被測定回路の電流變化に比例する。電力計圓板の回轉速度に應じて發生する衝流送電線を介し遠隔地に送り電流計に指示せしめんとするのが特徴である。

(中野)



## 非線型回路に於ける分數調波振動の 発生について

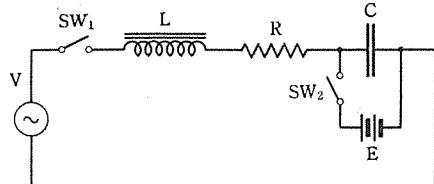
研究部 林 千 博

### 緒 言

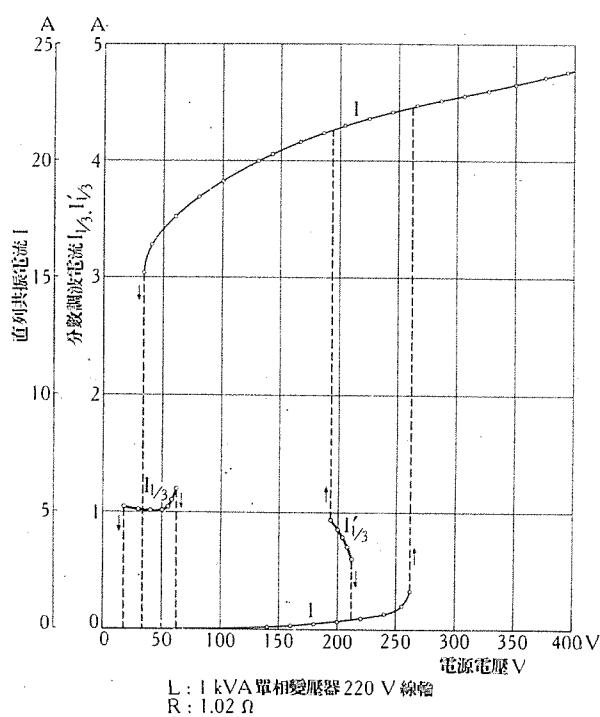
回路要素の値が電圧或は電流によって變化する非線型回路に、一定周波数の交番電圧を加へると、該電圧の分數周波数を有する持続振動を発生する場合がある<sup>(1)</sup>。本論は斯る非線型回路の一例として、可飽和鐵心を有するインダクタンスと抵抗及び容量の直列回路に交番電圧を加へた時に生ずる分數調波振動の姿態及びその発生領域を實験的に明かにせんとするものである。

### 振動電流及びその波形

第1圖に示すが如き可飽和インダクタンス L、抵抗 R 及び

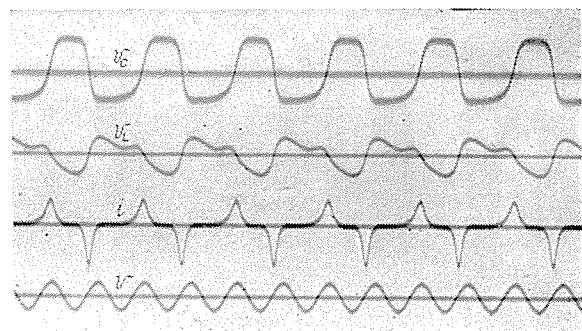
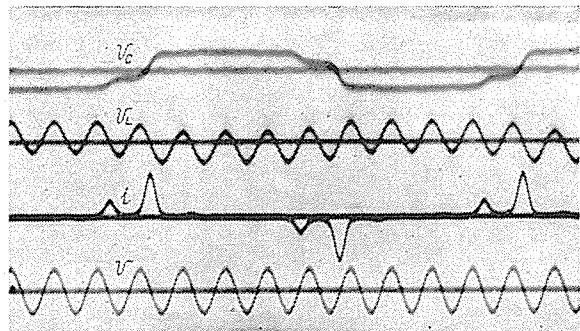
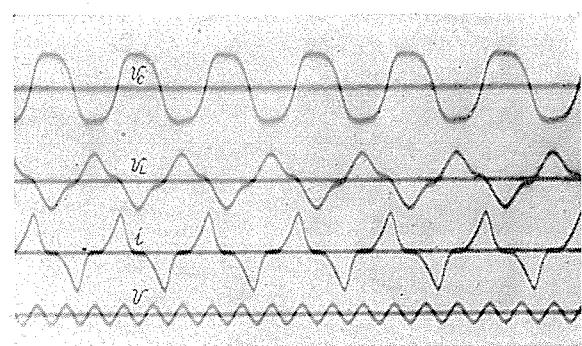
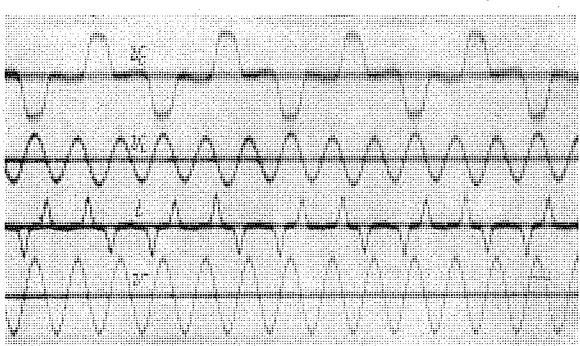
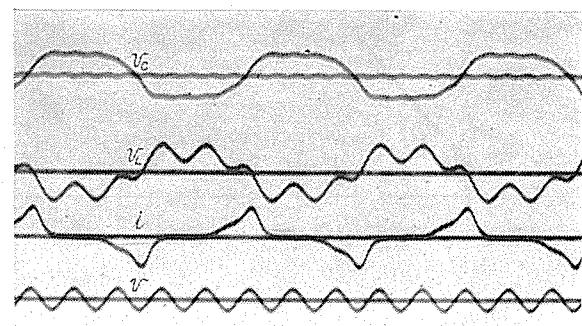
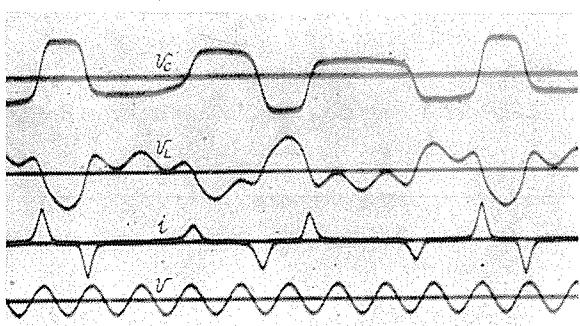
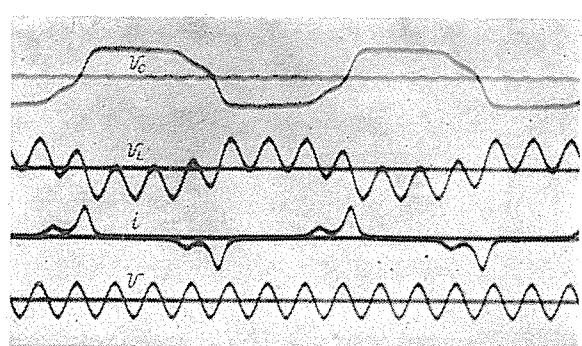
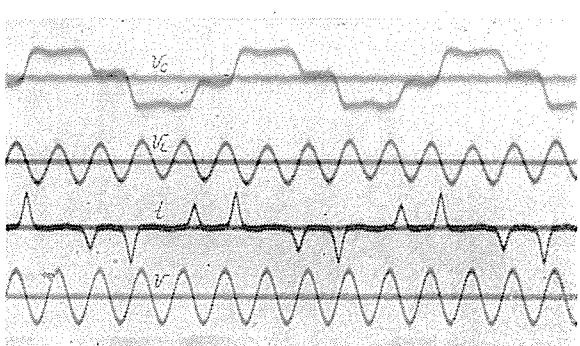


第1圖 振動発生回路



容量 C の直列回路にて、最初 スイッチ SW<sub>2</sub> を閉じて容量 C を直流電源 E により適當なる電圧に充電せる後、SW<sub>2</sub> を開き SW<sub>1</sub> を閉づれば、該直列回路に分數調波振動を発生する。第2圖は電源電圧 V に対する振動電流特性を示すものであつて、圖中太線にて表はした  $I_{\frac{1}{3}}$ 、 $I_{\frac{1}{3}}$  は印加電圧 V の  $\frac{1}{3}$  の周波数 (20 サイクル) を有する振動電流である。尚電流 I (圖中細線にて示す) は印加電圧と同一周波数の直列共振特性を表はすものであつて、圖に示すが如く  $I_{\frac{1}{3}}$  の分數調波振動は、印加電圧が比較的高き為、此の電源周波数の直列共振に移行し易い。此の様に直列抵抗が低い場合に、相異なる二つの範囲の電源電圧に對して、同一周波数の分數調波振動を発生する事は興味ある現象である。此等の分數調波振動は適當なる初期條件 (例へば上記の如く、回路を閉じる前に容量 C を所定の電圧に充電する) の下に始めて発生するものであつて、電源周波数の直列共振現象の如く、印加電圧を零より次第に上昇せしめた場合に、必然的に発生するものではない。即ち單に電源電圧を上昇或は降下せしめたる場合の回路電流は第2圖の I の特性の経路を取り、分數調波振動は現れない。

一般に回路要素の値、電源電圧及び初期條件により、種々の周波数の分數調波振動を発生するが、此等の内、特に確立し易いものは奇數次分數調波振動、即ち電源周波数の  $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{5}$  等の周波数を有する振動である。第3圖のオシログラムはこれ等の振動電圧、電流波形であつて、第1表に夫々の場合の回路要素の値及び電圧、電流實效値を示した。同圖(a)乃至(e)は電源周波数の夫々  $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ 、 $\frac{1}{5}$ 、 $\frac{1}{7}$  の分數調波振動を発生してゐる場合である。これ等のオシログラムより明かなる様に、蓄電器端子電圧  $v_C$  は比較的滑かな波形を有し、電源電圧の影響は殆んど認められない。オシログラム(b) は第2圖の  $I_{\frac{1}{3}}$  の部分に相當する電圧、電流波形であるが、オシログラム(f) は  $I_{\frac{1}{3}}$  の部分に相當する波形である。即ち此の場合には電源電圧が高くなり、分數調波振動は比較的弱勢となる。回路

(a)  $\frac{1}{2}$  調波振動(e)  $\frac{1}{6}$  調波振動(b)  $\frac{1}{3}$  調波振動(f)  $\frac{1}{5}$  調波振動(c)  $\frac{1}{4}$  調波振動(g)  $\frac{1}{8}$  調波振動(d)  $\frac{1}{6}$  調波振動(h)  $\frac{1}{8}$  調波振動 $v$ : 電源電圧 $i$ : 振動電流 $v_L$ : インダクタンス端子電圧 $v_C$ : 蓄電器端子電圧

第3圖 種々の分數調波振動電圧、電流波形

第1表 オシログラム(第3圖)に對する回路要素の値  
及び電壓、電流實效值

オシログラム	分數調波	インダクタンス $L^*$	容量 $C$ ( $\mu F$ )	抵抗 $R$ ( $\Omega$ )	電源電壓 $V$ (V)	電流 $I$ (A)
(a)	$\frac{1}{2}$	440V 線輪	16	2.0	90	1.22
(b)	$\frac{1}{3}$	220V 線輪	160	1.0	40	2.40
(c)	$\frac{1}{2}$	440V 線輪	96	2.0	48	1.18
(d)	$\frac{1}{3}$	440V 線輪	160	2.0	74	0.75
(e)	$\frac{1}{6}$	440V 線輪	320	2.0	147	1.32
(f)	$\frac{1}{3}$	220V 線輪	160	1.0	250	1.50
(g)	$\frac{1}{3}$	440V 線輪	80	2.0	100	3.40
(h)	$\frac{1}{6}$	220V 線輪	240	1.0	240	0.87

\* 1 kVA 單相變壓器を使用す。

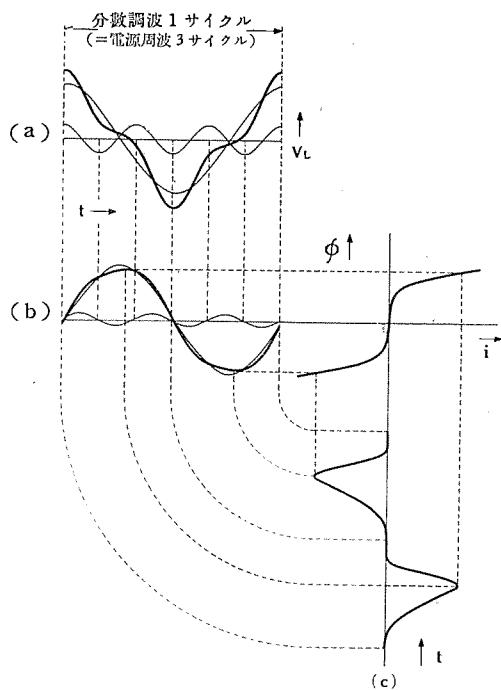
電流の波形は大いに異なるのであつて、(b) の場合には一回の急峻電流によつて蓄電器の電荷は完全に反対となり次の急峻電流は逆の方向に流れるが、(e) の場合には相續く二回の急峻電流により始めて蓄電器の電荷が反対となる。從つてその電流波形は同一方向に二回宛流れる様になる。尙此の急峻電流の流れ始める位相は印加電壓により附勢されて定まる事が判る。

一般にこれ等の オシログラム にて回路電流の波形は、一見すれば極めて不規則な變化をなす様に思はれるが、インダクタンスに加はる電壓  $v_L$  の波形は比較的規則定しく、主として電源電壓周波數と發生した分數調波周波數の電壓の重疊した波形である。これは鐵心中に生ずる磁束も電

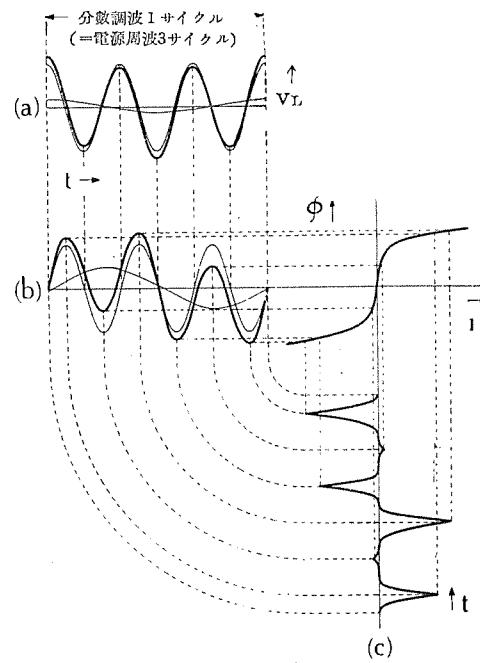
源周波と分數調波の磁束の和よりなる事を意味する。從つて前に述べた様に(2)、磁束に關して回路方程式を立て、上の關係を代入して夫々の磁束の大きさ及び位相を決定し、これより與へられた鐵心の磁化特性によつて回路電流を求むれば、相當實際に近い電流波形が得られる。此處には計算を省略し、これ等の電壓、磁束及び電流の關係を圖解的に示さう。即ち第4圖は第3圖 オシログラム(b)の場合に相當し、インダクタンス端子電壓  $v_L$  の波形を同圖(a)に示した。細線は電源周波と分數調波の電壓波形を示し、太線はこれ等を合成したものである。此の場合には印加電壓は比較的低く、分數調波振動電壓は高い。鐵心中の磁束  $\phi$  は

$$v_L = n \frac{d\phi}{dt}, \quad n \text{ は線輪の捲數}$$

なる關係により定まり、これを同圖(b)に示した。分數調波振動の磁束と電源周波の磁束との振幅の比は、電壓波形に於けるこれ等の周波數の電壓の振幅の比より大きく、その3倍となる。此の合成した磁束の波形を、與へられた磁化特性により、電流波形に變換すれば、同圖(c)の如くになる。これ即ち オシログラム(b)に於ける電流波形と一致する。同様に オシログラム(f)の場合の關係を第5圖に示した。此の時には印加電壓が高く、發生する分數調波振動は弱勢である。從つて電壓  $v_L$  の波形に



第4圖 饱和線輪に於ける電壓、磁束及び電流の關係  
〔第3圖 オシログラム(b) 參照〕



第5圖 饱和線輪に於ける電壓、磁束及び電流の關係  
〔第3圖 オシログラム(f) 參照〕

於ては分數調波振動の振幅は極めて小さいが、第4圖の場合と同様に、磁束の波形では分數調波振動が相當大きくなり、更に磁化特性の關係により電流波形に於ては分數調波振動が著しい影響を與へる。この波形もオシログラム(f)に於ける電流波形と一致する。従つてオシログラム(b), (f)の電流波形は一見して非常に異なるが、これは單に上述の磁束の大いさ異なるに過ぎない。以上は  $\frac{1}{3}$  調波振動に就いて考察したが、他の分數調波振動に對しても全く同様である。第3圖 オシログラム(h)は印加電壓が高い場合に發生する  $\frac{1}{6}$  調波振動の波形である。

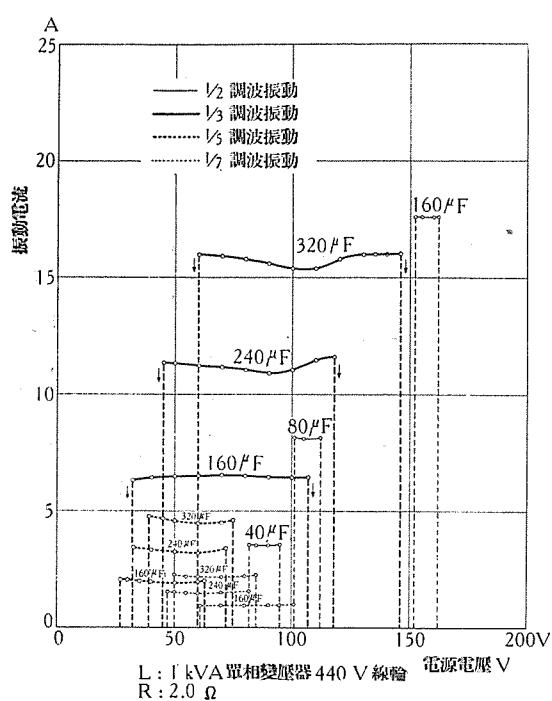
周波數遮減装置として分數調波振動を利用する様な場合には第3圖  $I_{\frac{1}{3}}$  の部分に於ける振動を用ふべきであつて、 $I_{\frac{1}{3}}$  の振動はオシログラムよりも明かなる様に、その波形は比較的悪く、且つ該振動は印加電壓が低い場合よりも却つて劣勢であり、又既に述べた様に電源周波數の直列共振に移行する虞れがある。第6圖は種々の容量に對し、電源電壓の低い方の領域に於ける分數調波電流特性を示すものである。

尚又適當なる條件の下に於てはこれ等の異なる周波數の分數調波振動が重疊する場合がある。例へば第3圖(g)に示すオシログラムは  $\frac{1}{3}$  と  $\frac{1}{6}$  の分數調波振動の重なつた場合であり、電源周波の9サイクル毎に同一の状態を繰返してゐる。又異なる周波數の分數調波振動が数サイクル宛

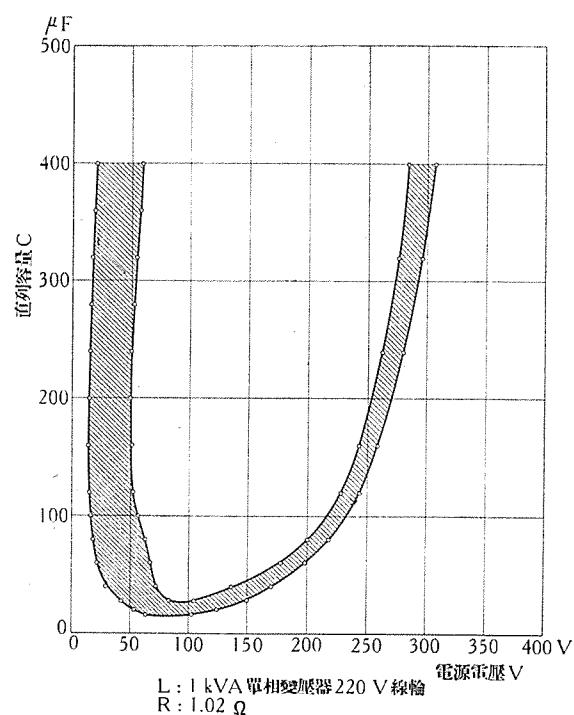
交互に連續して現れる場合もあるが、これ等は概して不安定である。

### 分數調波振動の發生領域

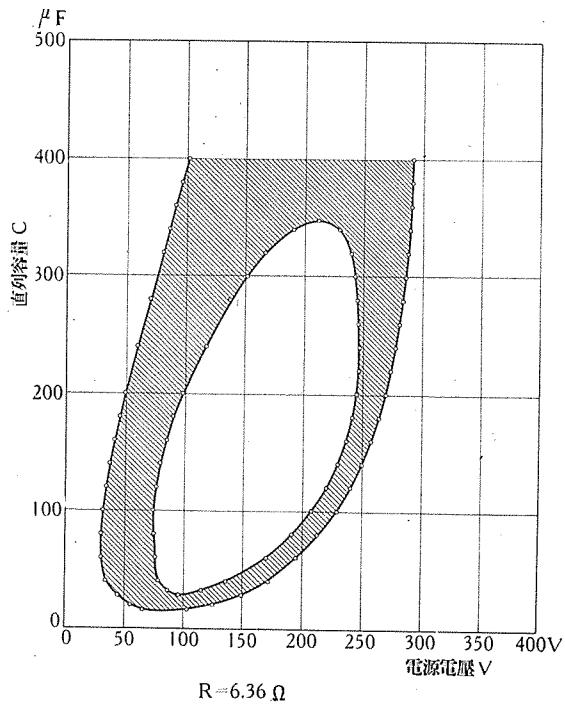
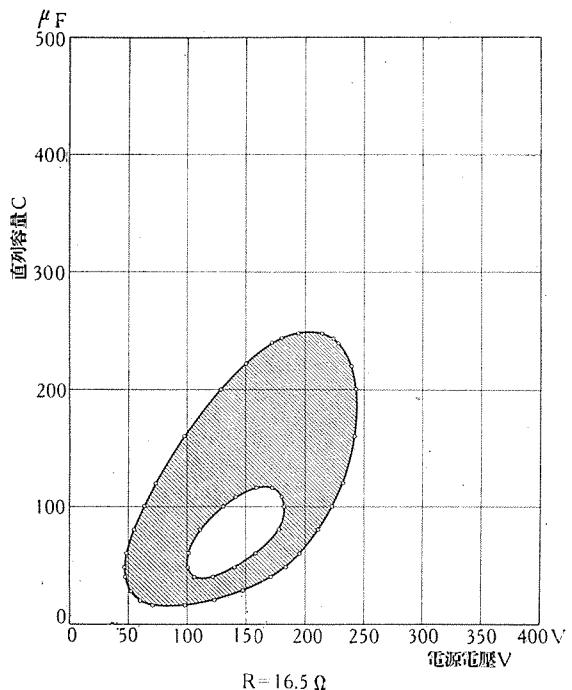
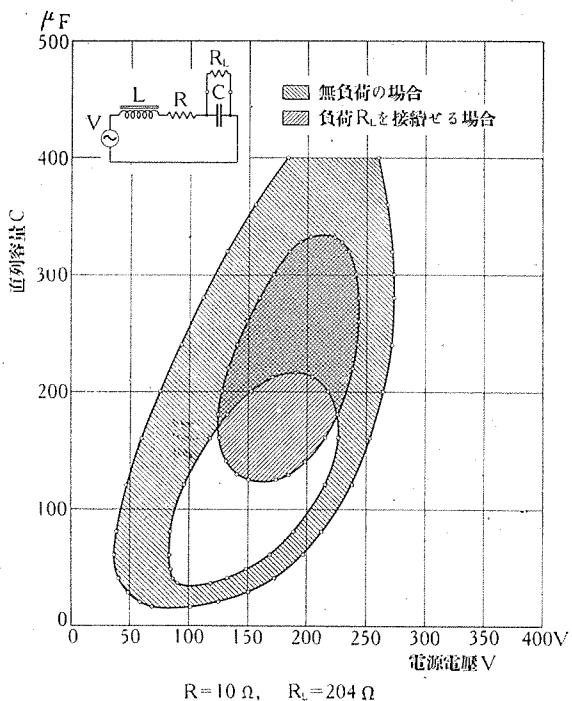
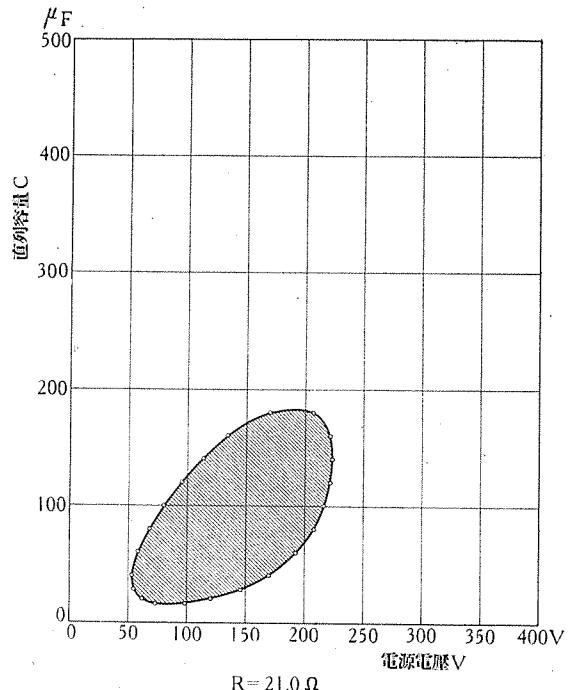
既に第2圖に示した様に一定の容量、同一特性のインダクタンスに對し、同一分數調波の振動を發生する範囲が二つある。然らば一般にこれ等の分數調波振動は、回路要素及び電源電壓の如何なる範囲内にて發生するものであらうか。先づインダクタンスの特性を與へられたるものとし、直列抵抗を比較的低く保つた場合に、容量及び電源電壓を變へて、 $\frac{1}{3}$  の分數調波振動を發生する領域を實驗的に求むれば、第7圖の如くになる。之よりも一般に或る與へられた直列容量に對し、二つの異なる電源電壓の範囲にて同一分數調波振動を發生する事が判る。これ等の領域は同圖より明かなる様に、容量を減少せしむるに従つて接近し、遂には相連り、更に容量を減少せしむれば、振動の發生領域は消失する。尙これ等の領域は直列容量を充分大きくすれば再び相會するものである。即ち此の振動發生の領域は二個の閉曲線に挟まれた部分より成るのであつて、此の關係は第8圖乃至第11圖に示す様に直列抵抗を次第に増加せしむれば明瞭となる。即ち直列抵抗の增加と共に、振動發生の領域は次第に下方に收斂し、第11圖にては内側の閉曲線が消失する。更に直



第6圖 分數調波振動電流特性



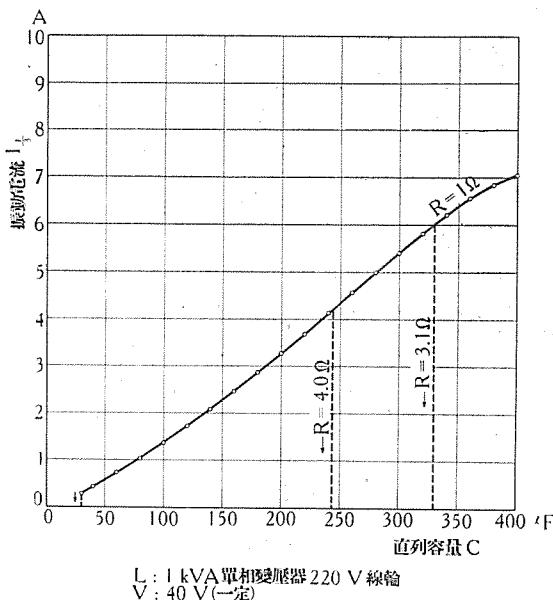
第7圖  $\frac{1}{3}$  調波振動の發生領域（直列容量を變へた場合）

第8圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域第10圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域第9圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域第11圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域

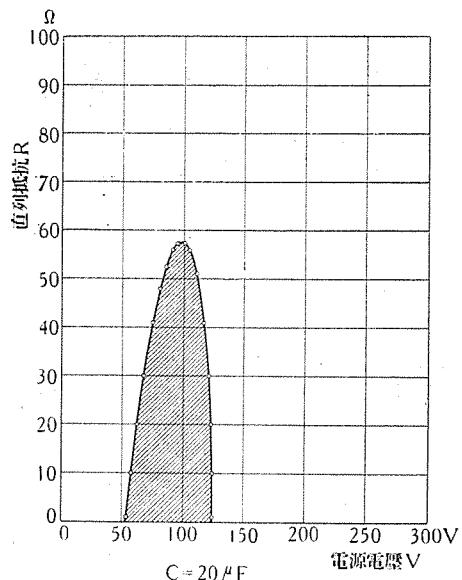
列抵抗を増加せしむれば外側の閉曲線も次第に縮小し、遂には振動発生の領域が全く無くなる。

一般に實用に供すべき振動発生の領域は第7圖の左方の部分であつて、一定の電源電圧に對し非常に廣範囲の容量に對して同一周波數の分數調波振動が発生する事は注目すべき事である。此の容量の最小値は、之と該分數

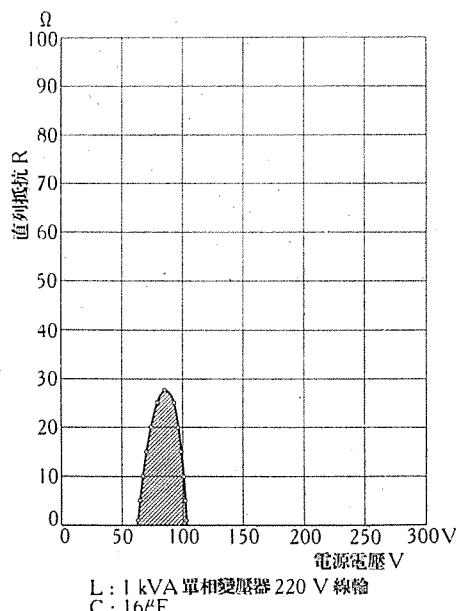
調波の共振をなす可き インダクタンス の最大値により制限せられ、飽和せざる場合のインダクタンスの最大値が定まるから、直列容量を或る一定値以下にする事は出來ない。従つて發生せしむ可き分數調波の振動数が低くなるに連れて使用す可き容量の最小値は大となる。然るに直列抵抗が小なる限り、使用す可き容量の最大値には殆んど制



第12図 直列容量と振動電流(1/2調波)の関係

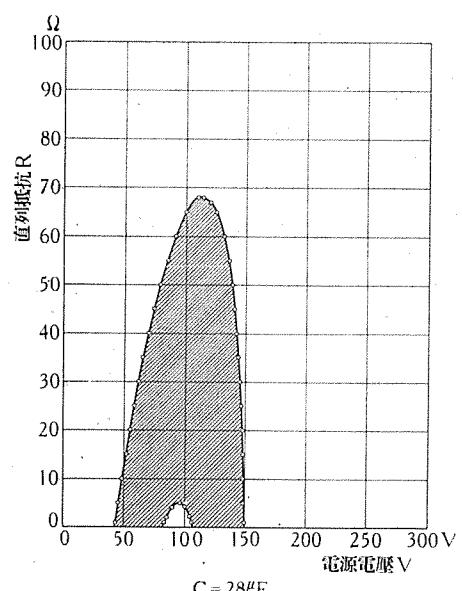


第14図 1/2調波振動の発生領域



第13図 1/2調波振動の発生領域(直列抵抗を變へた場合)

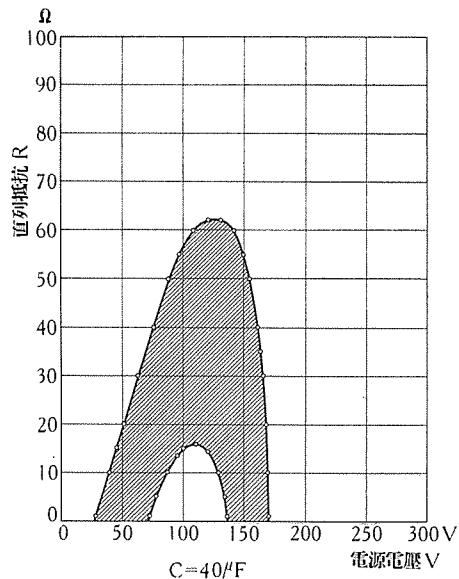
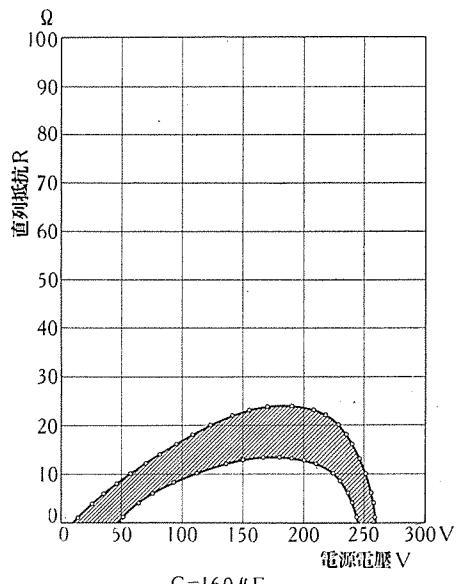
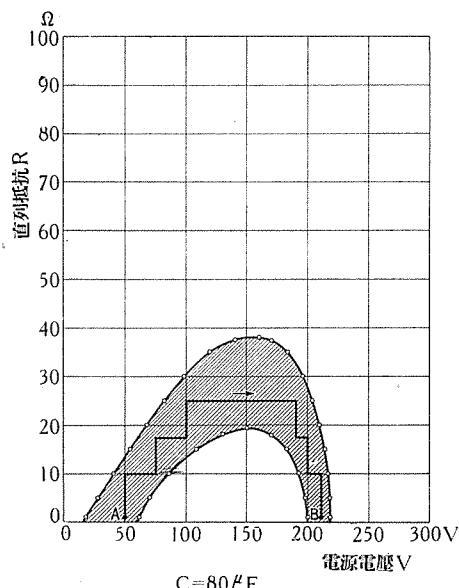
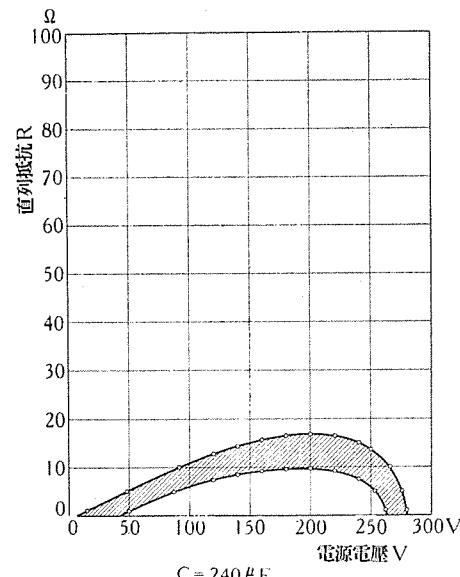
限がない。これは次の様に考ふれば了解する事が出来る。即ち第12図に示す様に、電源電圧を一定とし容量を増加せしむれば、振動電流は次第に増加するから、鐵心の飽和を進める事となり、インダクタンスの平均値を減小せしめ、容量の増加に拘らず同一分數調波に共振し得るのである。然るに回路の抵抗が増加すれば、振動電流の振幅が制限され、容量を増加しても鐵心の飽和を防げ、インダクタンスの減小を阻止する事になる。又直列抵抗の増加は分數調波振動の減衰を増加せしめる。これ等の理由により振動を生ず可き容量の最大値は主として回路の抵抗に



第15図 1/2調波振動の発生領域

より制限される様になる。此の関係は第7図乃至第11図に於て明かに認められる。即ち直列抵抗の増加と共に振動発生領域の上限は次第に降下する。尙直列抵抗を變化せしめても、振動発生領域の下限は、振動電流が小であつて、殆んど影響を受けない。第12図に於ても直列抵抗の僅かの増加は、振動電流の大きさには殆んど影響を与へないが、振動発生領域の上限を著しく降下せしめる事が判る。

分數調波振動を利用する場合の負荷は容量と並列に接続すれば良好なる波形を得る。此の場合の振動発生領域を第9図に併記した。即ち容量Cに並列に負荷抵抗R<sub>L</sub>

第16圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域第18圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域第17圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域第19圖  $\frac{1}{3}$ 調波振動の発生領域

を接続すれば、 $R_L$  の減少は直列抵抗  $R$  の増加と類似の影響を與へる。但し此の並列抵抗の存在は直列抵抗の場合と異り、振動發生に要する容量の最小値を大ならしめ、その領域は圖に示す様に上方に移動してゐる。

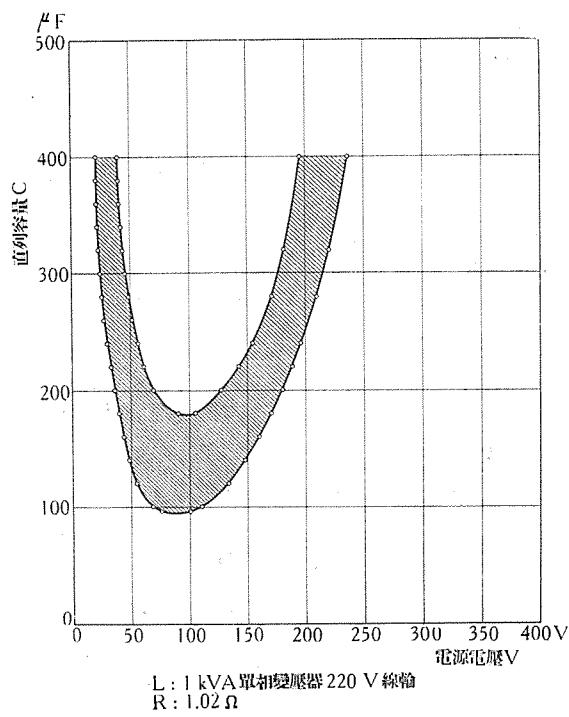
次に第13圖乃至第19圖は容量を一定とし、直列抵抗  $R$  を變化せしめた場合に於ける振動發生の領域を示すものである。一般に電源電圧の高い時には分數調波振動の發生が困難なる場合があり、電源周波數の直列共振を生じ易い。斯る場合には第17圖に示す様に、先づ電源電圧の低い點 A (第2圖  $I_{\frac{1}{3}}$  に相當) にて分數調波振動を發生せしめ、次に電源電圧  $V$  と直列抵抗  $R$  を圖の矢印に

示すが如く交互に變化せしむれば容易に點 B (第2圖  $I'_{\frac{1}{3}}$  に相當) の状態を實現する事が出来る。

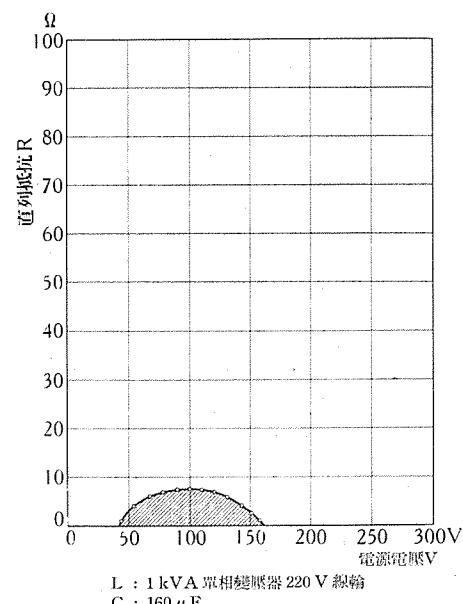
以上は電源周波數の  $\frac{1}{3}$  の分數調波振動に就いて考究したが、その他の分數調波振動に對しても同様の關係を得る。第20圖乃至第22圖は  $\frac{1}{5}$  の分數調波振動に對する振動發生の領域を示すものであつて、第20圖より明かなる様に、該振動を發生せしむるに要する容量の最小値は  $\frac{1}{3}$  の分數調波振動の場合に比較して大きくなる。

## 結論

以上の實驗結果を要約すれば次の如くである。



第20圖 1/3調波振動の発生領域（直列容量を變へた場合）



第21圖 1/3調波振動の発生領域（直列抵抗を變へた場合）

(1) 可飽和鐵心を有する インダクタンス と抵抗及び容量よりなる直列回路に交番電圧を印加すれば、該電源周波数の分數調波振動を發生し、 $1/3$ ,  $1/5$ ,  $1/7$  等の奇數次の振動が主として現れるが、偶數次の振動の發生も可能である。

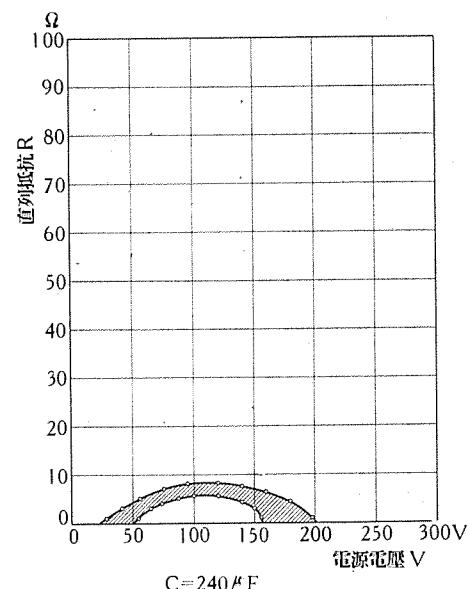
(2) これ等の分數調波振動を發生せしむるには適當なる回路要素の値及び電源電圧を必要とし、又所定の初期條件を與へなければならない。尚回路要素及び電源電圧が等しく共、初期條件が異れば、異なる周波数の分數調波振動を發生する場合がある。

(3) 振動發生の領域は 第7圖 に示すが如くであつて、一般に一定の容量に對し、相異なる二つの範囲の電源電圧に於て、同一周波数の分數調波振動を發生する。尚直列抵抗が増加すれば此の二つの領域は相會する。

(4) 振動を發生せしむ可き容量の最小値は、飽和せざる場合の インダクタンス の最大値及び發生す可き分數周波数により制限され、又該容量の最大値は直列抵抗により制限されるが、一般に極めて廣範囲の容量に對して共振し得る。

(5) 振動電流は容量と共に増加し、電源電圧には殆んど無關係である。(第6圖及び第12圖参照)

(6) 周波数遮減装置として用ふる場合には、負荷を容量と並列に接続し、振動發生の範囲内にて電源電圧を



第22圖 1/3調波振動の発生領域

低く選べば、能率よく且つ良好なる波形を得る。

以上は可飽和鐵心を含む非線型振動回路に関する研究の一部であつて、御懇篤なる御指導を戴いた京都帝大、鳥養利三郎教授に對し厚く御禮申上げる次第である。

#### 参考文献

- (1) 例へば真空管回路に於ける分數調波振動の發生に就いて、Mandelstam, L. und N. Papalex: Über Resonanzerscheinungen bei Frequenzteilung. ZS. f. Phys. 73 (1931) S. 223.
- (2) 林: 電評 29 (昭 16) 604 頁.

## 整流子片雲母板の性質に就て

神戸製作所 柴山一郎

### 1. 緒 言

整流子は直流機の最も重要な部分であつて、その組立工作はその構造上技術的に最も困難なものとされてゐる。然し乍ら現在ではその工作法も大體經驗し論議し盡されて略定まつたものになつて居り（實驗的のものが多く理論的に能く究明した報告は餘りないやうである）相當の経験さへ積めば夫れ程困難なものではない。即ち整流子の主要材料たる整流子片とセグメントマイカとVマイカの質と精度が良ければ入念に工作することによつて立派な整流子を造り得るのである。そのうちで現在最も問題になつてゐるセグメントマイカ 即ち整流子片雲母板について解説を試みる。

今回臨時日本標準規格が制定されて整流子片軟質雲母板（3號雲母板）と整流子片硬質雲母板（2號雲母板）とに分けられた。軟質硬質はその硬さに依つて分けられたものであるが、軟質は金雲母、硬質は白雲母の剥雲母を適當の膠着剤を以て貼り合せ、加熱壓縮して製造したものであつてその間に明確な硬度の限界がある譯ではない。従つて硬質雲母板の中には硬度低く、軟質雲母板の中に入れてよいと思はれるものもあるが、剥雲母の面の平滑さ、接着性、彈性又は馴染みなどが金雲母の夫れと異り、従つて雲母板の性質も異つたものになるので例へ硬度は低くても矢張り硬質雲母板の中に入れる。

### 2. 整流子片軟質雲母板（3號雲母板）

第1表第2表は寸法公差及び特性を示す。

表中雲母量  $98 \pm 1\%$ ,  $97 \pm 1.5\%$  は夫々膠着剤含有量  $1-3\%$ ,  $1.5-4\%$  と解釋してよい。

上記の表によつても判るやうに1級は上等で2級は下等である。然らば1級の規格に合格するものならば、どんなものでも如何なる整流子にも使用し得るかと云へばそれはゆかぬ。大抵の整流子には充分間に合ふが、特別の整流子の場合には1級品の中から更に適當なものを選んで使用しなければならぬ。1級の規格といつても可成

り廣い範囲のものとなつてゐるので、最高と最低とでは可成りの逕庭があるのである。又使用する剥雲母及び膠着剤の材質と雲母板の製作技術にも依るので、數値ばかりでは雲母板の順位を決定することは出来ぬ。然し整流子を造る方から最も希望する性質或は數値といふものがある筈である。夫れに依て雲母板製作の目標がきまることになる。

#### 理想的な3號雲母板

それでは整流子片雲母板として如何なる性質のものが理想的であるかと謂へば、勿論整流子の構造、用途により多少の差はあるが、厚さ均等、組織緊密、表面平滑にして電氣的に有害なる物質を含まず、且寸法の公差極めて少く、抗張力、破壊電圧が充分規格に合格する他に

密 度	2.45~2.50
常温 壓縮率	5.5~6.0
熱 壓 縮 率	2.5~3.0
硬 度	約 16~18
膠着剤含有量	約 2%

であることが理想と考へられる。常温 壓縮率 5% 以下、熱 壓 縮 率 1.5% 以下、膠着剤含有量 1% 以下は後に述べるとろから判るやうに不適當である。

然しこれだけでは理想的な完全な整流子片雲母板とは云はれぬ。更に滲出試験並に高溫高壓に於て滑り出し試験を行つて立派に合格することが必要である。臨時規格には滲出試験に於て膠着剤の著しき滲出なく且雲母片の滑りなきを要すとなつて居るが、この程度では充分でないので次の如くして試験する。

#### 滲 出 試 験

之は雲母板正確に謂へば膠着剤の熱特性試験である。即ち雲母板を更に加熱乾燥した場合に膠着剤の滲出し初める温度の變化を調べるのである。それには  $100^{\circ}\text{C}$  乃至  $130^{\circ}\text{C}$  の乾燥室で時間を變へて加熱乾燥した雲母板に、 $200 \text{ kgs/cm}^2$  の壓力を加へつゝ温度を 30 分間に  $200^{\circ}\text{C}$  に達する位の速さで上昇せしめて調べるのである。A B C D 4種の見本につき試験した結果を第1圖

に示す。

Aは初めの滲出温度が $100^{\circ}\text{C}$ で低いが、乾燥時間と共に滲出温度が上昇するので整流子組立後の加熱乾燥を注意して充分に行へば（雲母板のみの加熱乾燥時間に比し10倍からの時間を要するものであるから、之をよく確めて行へといふ意味である）使用出来る。Cは初めの滲出温度が稍高過ぎて整流子に組立た場合、整流子片と雲母板の馴染み及び接着力に於て缺ける心配がある。Dは初めの滲出温度は適當であるが加熱乾燥時間を増しても滲出温度が餘り上昇しない。之は整流子に組立られた場合、いくら加熱乾燥や枯し方を行つても、膠着剤の滲出が止らず、整流子の變形が止らず、場合に依ては雲母片の滑り出しを生ずることもあるので使用することは出来ぬ。

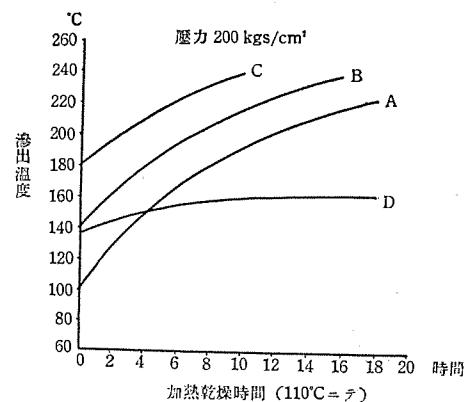
即ちBの如く、初めの滲出温度 $140^{\circ}\text{C}$ 位で乾燥と共に滲出温度が上昇して、8時間も加熱乾燥すれば、滲出温度が $220^{\circ}\text{C}$ 以上になるやうなものが最も良い。

茲に加熱乾燥といふのは、雲母板には時にある程度の熔剤が残つてゐるので（表面に觸つてみて油氣のあるやうに感じられるものであるが、油氣ではなく酒精分である。ジェラチン、パラフィンその他不乾性油の例へ少量でも入つてゐることは絶対禁物である）之を完全に除く意味を含めて、特に加熱乾燥としたのであつて、溶剤の残つてゐない良い雲母板には加熱のみでよいことになる。

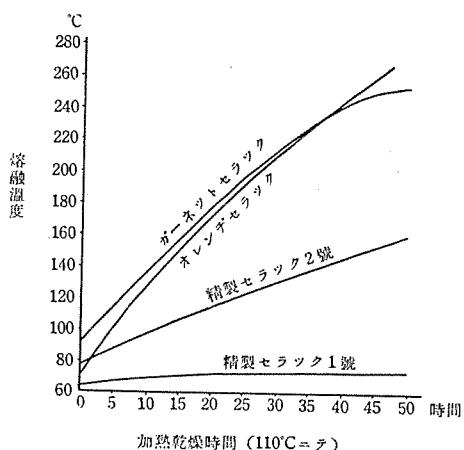
これらの特性は全く膠着剤の性質によるものであつて良質のオレンヂセラックやガーネットセラックを主成分としたものはBの如くなり、現在精製ラックと謂つてシードラックを精製したものを主成分としたものはDの如くなる。精製ラックに硫化砒素を加へて加熱し硫化することに依て、可成り良くすることが出来るが、到底オレンヂセラックやガーネットセラックには及ばぬ。依て理想的な整流子片雲母板を造る爲にはオレンヂセラック又はガーネットセラックは缺くべからざるものである。（ガーネットセラックはロジンを含み稍劣る）。勿論オレンヂセラックにもガーネットセラックにもワックスを含むでゐるから豫め除去することが必要である。参考としてセラックの熔融點と加熱時間の関係を第2圖に示す。

#### 滑出試験

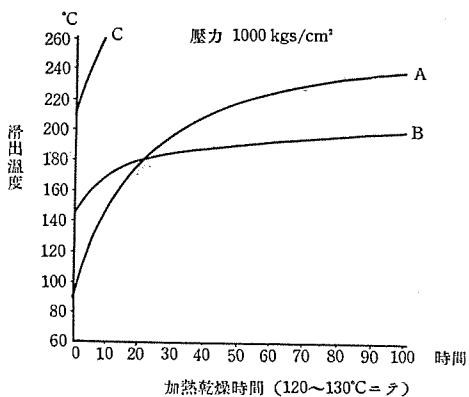
之は滲出試験と同様に雲母板を更に加熱乾燥した場合に雲母片の滑り出し初める温度の変化を調べるのである。



第1圖



第2圖



第3圖

る。この場合 $200\text{ kg}/\text{cm}^2$ の壓力の下では滑出は當然ない筈であるから $1000\text{ kg}/\text{cm}^2$ の壓力の下で行ふ。その試験結果は第3圖の如くである。

A及びBは滑出試験に不合格であるがCは合格である。大體 $250^{\circ}\text{C}$ 迄温度を上げても滑出がなければ良とする。Cは數時間の加熱乾燥により合格するといふ譯で

ある。この時間が 10 時間以上になるものは不適當である。初めから即ち加熱乾燥しなくとも滑出のないのを最上とする。之は良質の軟質剝雲母と良質の膠着剤とを使用し、相當の技術を以て製作したものならば、初めから滑出は無い。

良質の剝雲母とは カナダ 及び朝鮮産の軟質のもので、適當な可撓性を有し、瑕傷破裂等なく、加熱によつて變形しないものであるとされてゐるが、同じ朝鮮産の軟質と云つても、俗に茶と稱するものは全然本目的には使用出来ぬ。即ち產出礦區によつて又同じ礦區でも更にその層に依て質の相違があるから注意を要する。

剝雲母の大きさは 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 號が最も適當である。6 號剝雲母では良質の膠着剤を使用しても滑出があるものと思はなければならぬ。

良質の膠着剤とは簡単に謂へば ワックス を抜いたオレンヂセラックを主成分とし、少量の良質コーパル又はグリプタルを加へたものといふことが出来る。

茲に 1000 kgs/cm<sup>2</sup> といふ高い壓力の下で試験する理由は、整流子組立の際に セグメント マイカ に加はる壓力が一般には 100 乃至 300 kgs/cm<sup>2</sup> であるが、特別の場合には 600 kgs/cm<sup>2</sup> にも達するものがある爲、局部的には猶夫れ以上になるものと考へられるからである。

### 厚さの問題

臨時標準規格に厚 0.88 粑のものが暫定として認められてゐる。これは厚さについて猶明確でない點があることを示唆するものである。現在整流子の組立完成後のセグメント マイカ の厚さを 0.8 粑に設計することは各電機メーカー 何れも一致して居る。

整流子を組立てる際に セグメント マイカ に加はる壓力は 140°C 250 kgs/cm<sup>2</sup> といふやうな場合は必ずしも稀ではないので、この様な場合に上記の如き理想的な雲母板を使用すれば セグメント マイカ の壓縮率は 8% 位になる。従つて雲母板の厚さは 0.87 粑（少し安全をとれば 0.88 粑）が必要であるといふ理屈が成立つ。然し普通の整流子に於てはこれより少く澤山の實驗の結果 6% 位と考へられるを以て標準厚は 0.85 粑が適當である。従つて特に 0.88 粑が必要とされる場合には厚手のものを選んで使用すればよい。

茲で注意すべきことは雲母板の締りの程度である。初

めに密度は 2.45~2.50 が理想的であると記した理由はこれである。締りがよくて叩けば固い音響を發するものは常温壓縮率が 6% 位で、これに熱壓縮率 2.5~3% を加算すれば合計 8~9% となつて上記の數値に合ふが、音が悪くて密度が 2.4 に近いものは常温壓縮率が 8% もあるので之に熱壓縮率を加算して 0.9 粑位の厚さのものが必要となる。然し常温並に熱壓縮率が何れも規格の中間にあるものなれば上記の如く一般には 0.85~0.86 粑となるので標準寸法を 0.85 粑として適當であるといふことになる。

茲で又斷つて置かねばならぬのは厚さの測定は機械用マイクロメーター の ラチエット を使つて行ふものとすることである。然しこれにも異論があつて ラチエット を使用しないで少し強く締めて測定すれば、測定壓力が 20 kgs/cm<sup>2</sup> （ラチエット に依る壓力の約 20 倍）餘りにもなるので、締りの悪い雲母板を締め直し（加熱壓縮し直し）た時と似寄りの測定値が得られるので反つて都合がよいといふのである。整流子雲母板は膠着剤が少い關係で長く貯蔵すると膨れて締りが悪くなる。この様なものの測定には壓力を加へて行ふことが望ましいといふ譯である。

この様にマイクロメーター で壓力を加へて測定すると締りの程度により普通 1~2%、多いになると 3% も常温壓縮率が減少する。この意味から測定の時の壓力を例へば 30 kgs/cm<sup>2</sup> と定めてそれに使用する特殊のマイクロメーター 或はインヂケーター が考案されて、雲母板の厚さの測定には之を使用することに定められれば非常に都合が好いと考へる。實際に整流子の製作を嚴密に行ふ所ではこの邊の見當をつけて作業してゐる筈である。

斯様な意味で壓縮率の多い雲母板を造る所では、それに應じて厚目に造ることを當然考へなければならぬが、平均厚の公差が ±0.03 粑許されてゐるのであるから、整流子の設計に於ても一般に仕上り セグメント マイカ の厚さは 0.8±0.03 粑で支障のないやうに出來てゐなければならぬ。特別の場合には夫れに合ふやうに雲母板の選擇をすることは止むを得ぬことである。

### 硬度の問題

軟質雲母板に於ては アンダー カット しない場合にのみ問題になるのであるが（現在では大部分の整流子を アンダー カット してゐる）硬度は磨耗度とは異なるものであるから、

一般に低い方が安全といふことは出来るが、少し位高くても必ずしも不可といふことは謂はれぬ。普通の硬度のものなれば2や3の差は重要ではない（事實水壓機の下で測ると試験用金具に移して測るとでは2位の相違がある）寧ろ整流子に組立られてからの被切削性のよいものが良いとされる。之は百倍から二百倍の擴大鏡によつて検査される。

### 3号雲母板2級品

之は1級に合格せざる下等のもので、剝雲母6B號を材料とした場合を目標として定められたものである。從つて膠着剤含有量も多く、それに準じて寸法特性（壓縮率試験、滲出試験及び硬度試験に於ける壓力は $150 \text{ kgs/cm}^2$ となつてゐる）もすべて樂になつて居る。勿論重要な整流子には充分使用出来るものである。

第 1 表

種別 級	公稱厚 mm	厚 mm	巾×長 mm	公 差 mm			
				厚	平均厚	巾	長
一 級	0.4	0.40	455 × 910	±0.04	±0.025	-0 +5	-0 +5
	0.55	0.55	"	±0.04	±0.025	"	"
	0.85	0.85	"	±0.05	±0.03	"	"
	1.1	1.10	"	±0.05	±0.03	"	"
二 級	0.4	0.40	"	±0.05	±0.03	"	"
	0.55	0.55	"	±0.05	±0.03	"	"
	0.85	0.85	"	±0.07	±0.04	"	"
	1.1	1.10	"	±0.07	±0.04	"	"

備考 厚 0.88 mm のものを公稱厚 0.88 として當分の間これを存することを得。此の場合巾、長及寸法の公差は公稱厚 0.85 mm と同一とす。

1級品には 5½ 號以上の軟剝雲母を使用し、2級品には 6B 號以上の軟剝雲母を使用することに一般に解釋されてゐるが、6A 號を使用して 1級品を造ることは困難ではあるが不可能ではない。然し 6B 號を以て 1級品を造ることは殆ど不可能である。現在の如く 5½ 號以上の良質軟剝雲母は貴重品と謂はれる位數量の甚だ少い時代に於ては、特に必要なる場合を除き出來得る限り 2級品を使用するやうに努力することが整流子を造る者の義務であると考へる。

然らば 2級品を使用すべき範囲はと云へば、少くとも次に示す範囲のものにあらう。2級品と云つてもすべての點が 1級品の規格に合格せぬ譯ではなく、ある 2級品に於ては重要な特性は立派に 1級に合格するといふものもあるのであるから、その目的に従つて選擇を能くすれば更に廣く 2級品を使用することが出来る。勿論冒頭にも書いたやうに整流子は直流機の最重要部分であるから、輕卒に使用することは嚴重に戒めなければならぬ。

#### 2級品を使用すべき範囲

中小型艦船用直流機

中小型電鐵用直流機

その他一般陸上用直流機全部

但し設計上特別型のもの例へば焼嵌 リング 型等を除く 猶茲に注意すべきことは良質の軟剝雲母と膠着剤の經濟的使用である。例へ剝雲母の大さが 5½ 號以上であつても、マダガスカルマイカ や朝鮮の茶では如何に良質の膠着剤を使用しても、1級品を造ることは困難であつて 2級

第 2 表

種別 級	公稱厚 g/cm <sup>3</sup>	密 度 %	常温壓縮率 %	加熱壓縮率 %	硬 度 シヨア	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	雲母含有量 %	絶縁破壊電圧 V		滲出試験を要する且つ雲母片の著滑り
								平 均	最 低	
一 級	0.4	2.4 以上	4-8	1-4	21 以下	10 以上	98±1	6000 以上	5000 以上	滲出試験を要する且つ雲母片の著滑り
	0.55	"	"	"	"	"	"	8000 "	6500 "	
	0.85	"	"	"	"	"	"	10000 "	8000 "	
	1.1	"	"	"	"	"	"	12000 "	10000 "	
二 級	0.4	2.3 以上	4-10	1-5	22 以下	6 以上	97±1.5	5000 "	4000 "	滲出試験を要する且つ雲母片の著滑り
	0.55	"	"	"	"	"	"	6500 "	5000 "	
	0.85	"	"	"	"	"	"	8000 "	6500 "	
	1.1	"	"	"	"	"	"	10000 "	8000 "	

備考 公稱厚 0.88 の特性は公稱厚 0.85 と同一とす。

品となり、又朝鮮やカナダの良質の剥雲母を使用しても膠着剤が良質のものでなければ工作技術に於て秀れて居ても、2級品しか出来ぬのが現状である。茲に於て現在の如く良質の軟剥雲母及び膠着剤が甚だ貴重な時代に於ては、これらの材料を有効に使用することが甚だ大切な事になつて来る。尤も事情が變つて東亜共榮圏から良質の膠着剤原料が、常に潤澤に入手し得ることになればこの問題は解消である。

### 3. 整流子片硬質雲母板(2號雲母板)

寸法公差及び特性は第3表及第4表の通り。

表中雲母量  $96 \pm 2\%$  は膠着剤含有量 2—6% と解釋してよい。實際には膠着剤含有量 3% 以下では板にはならぬと思はれる。

これは軟質雲母板の代用品である。軟質雲母の產出が現在の如く心細い状態に於ては、將來共硬質雲母を代用することは不可避と思はれる。

硬質雲母板の缺點は

1. 硬度の高いこと
  2. 駆染みの悪いこと
  3. 胶着剤含有量を多くしなければならぬこと
- 従つて
4. 壓縮率が大きく
  5. 胶着剤の滲出多く
  6. 雲母片の滑出の恐れあること である。

故にこの製品は軟質雲母板2級品を使用してよいところに、必ずアンダー カットして用ひられるべきである。ア

第 3 表

公稱厚	厚 mm	巾 × 長 mm	公 差 mm			
			厚	平均厚	巾	長
0.4	0.40	455 × 910	±0.05	±0.03	-0 +5	-0 +5
0.55	0.55	"	±0.05	±0.03	"	"
0.85	0.85	"	±0.07	±0.04	"	"
1.1	1.10	"	±0.07	±0.04	"	"

備考 厚 0.88 mm のものを公稱厚 0.88 として當分の間之を存することを得。

此の場合巾、長及寸法の公差は公稱 0.85 と同一とす。

ンダー カットが又中々容易でないから、硬質雲母の中でも成るべく硬度の低いものを使用すべきで、25 以下のものが望ましい。

### 4. 結 び

以上の如く整流子雲母板は甚だ重要なもので、その性質は最も複雑であるから、使用者は購入の都度必ずその寸法特性を測定並に試験して、1級 2級を區別するのみならず更に夫れを甲乙丙等に小分けして、用途に適したものを使用することが必要で且つ經濟的である。

第 4 表

公稱厚	密 度 $g/cm^3$	常 溫 壓縮率 %	加 热 壓縮率 %	硬 度 シヨー	抗張力 $kg/cm^2$	雲 母 含有量 %	絶縁破壊電圧 V	著 の 滑 り な き を 要 す	
0.4	2.3 以上	4-10	1-5	28 以下	10 以上	96 ± 2	10000 以上	7000 以上	
0.55	"	"	"	"	"	"	14000 "	10000 "	
0.85	"	"	"	"	"	"	22000 "	15000 "	
1.1	"	"	"	"	"	"	28000 "	20000 "	

備考 公稱厚 0.88 の特性は公稱厚 0.85 と同一とす。

## 船舶用空冷式冷凍機に就て

名古屋製作所 島 亮 一

### 1 緒 言

壓縮式冷凍機には往復式と回轉式とあり、往復式には單段壓縮、多段壓縮、多効式壓縮等があり、回轉式にはタービン式とギヤー式がある。又使用冷媒より分類すると、炭酸瓦斯( $\text{CO}_2$ )、アンモニア( $\text{NH}_3$ )、亞硫酸瓦斯( $\text{SO}_2$ )、クロル・メチル( $\text{CH}_2\text{Cl}$ )、フレオン( $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ )冷凍機等がある。こゝに記する空冷式冷凍機とは、冷媒としクロル・メチルを使用する單段壓縮式冷凍機で一般に小型商業用冷凍機として採用せらる  $\frac{1}{2}$  H.P.~5 H.P. 前後の全自動式冷凍機である。凝縮方法には空冷式と水冷式の二種類がある。

この種の小型クロル・メチル冷凍機は、近年船舶用小型冷凍機として多く採用せられているが水冷式、空冷式のいずれを採用するが有利であるかに就ては從來決定的な意見はなかつた。

水冷式と空冷式の特長と欠點について考へると大体次のような事が言へる。水冷式は冷却水として海水を使用するので凝縮器が侵され易く冷凍機の故障の率が比較的に多く又能率の低下を避る爲に冷水管を定期的に掃除する手数を要し且給水ポンプの設備を要す。之に對し空冷式は凝縮器の故障は絶無と言へるし掃除の必要もほとんど無く且つ又給水ポンプの必要がない。然し空冷式は冷凍機室溫度が上昇すると冷凍機能が低下するので冷凍機室の換氣をよくし鬱滯熱による溫度上昇を避る様考慮せねばならぬ。之に對し水冷式は室温上昇による能力低下

は僅少で主として冷却水即ち海水の溫度上昇により能力が低下するが之の場合でも自動給水弁を調整して水量を増加せしめる事により能力の低下を防ぐ事が出来る。

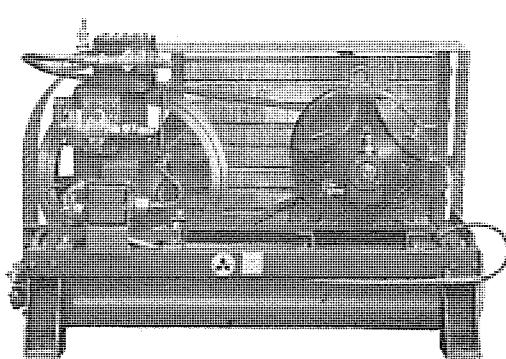
空冷式冷凍機の實績によると  $\frac{1}{2}$  H.P.~2 H.P. までは冷凍機室の換氣に特別の改良をせずとも、室温が  $43^{\circ}\text{C}$  を越す事はまれで實用上  $43^{\circ}\text{C}$  を最高溫度として設計し、負荷容量を決定して差支え無かつたので同馬力の水冷式との容量の差も僅少で、且つ故障が少い利點があるので從來一般に空冷式が採用せられた。

3H.P. 空冷式になると凝縮器の風量は 100 立方米毎分を要するので冷凍機室の換氣に特別の注意をせぬと鬱滯熱による室温上昇が著しき爲に冷凍能力の低下は相當大きい。

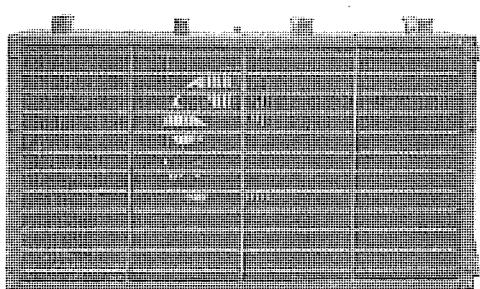
以上の事情より 3H.P. 以上の冷凍機において水冷式空冷式の採用決定に際し次の三點について考慮する必要がある。

- (1) 冷凍能力に重きをおき故障をあらかじめ豫期して充分の豫備品を準備して水冷式を採用する。
- (2) 冷凍能力の低下をあらかじめ豫期して負荷容量に對し充分餘裕のある空冷式を採用する。
- (3) 冷凍容量の低下、故障の發生、いづれも重要視し機械室の位置の決定に注意し、且つ換氣設備を増大して室温上昇を避け空冷式を採用する。

以上の三點について經濟的利益を決定する爲には、冷凍機室の溫度上昇による空冷式の容量低下の程度を知る必要があるが現在クロル・メチルの熱力學的性質は  $40^{\circ}\text{C}$



第 1 圖 SA-220 型 空冷式冷凍機



第 2 圖 3 H.P. リモート 放熱器

以上については調べられて居らぬし勿論 モリエル 線圖を適用して算出する事も出来ぬ故高溫室で冷凍機を運轉し實測により求めるべきである。當社に於ては冷凍機關係者の御資料に供する爲、 $33^{\circ}\text{C}$ ,  $38^{\circ}\text{C}$ ,  $43^{\circ}\text{C}$ ,  $49^{\circ}\text{C}$ ,  $54^{\circ}\text{C}$   $60^{\circ}\text{C}$  の各溫度に於ける運轉試験を行つた。こゝに試験結果を報告する次第である。

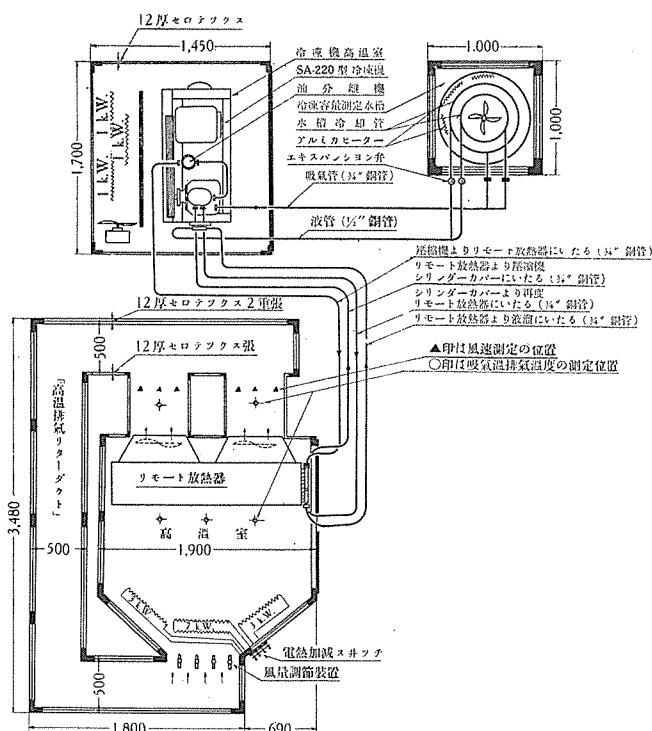
## 2 試験せる冷凍機

名稱 SA-220型空冷式冷凍機  
型式 2氣筒型單動往復式  
孔徑 82.5 粮  
衝程 100 粮  
冷媒 クロル・メチル ( $\text{CH}_2\text{Cl}$ )  
電動機 直流・複捲・3 馬力  
凝縮器 リモート型・冷却面積  $20 \text{ M}^2$

## 3 試験方法と設備

冷凍容量の測定方法として冷媒循環量を測定して求める方法、鹹水を循環し入口出口の溫度差を測定して求める方法又は鹹水槽を用ひ溫度降下を測定して求める方法等がある。冷凍機の容量が小さい故鹹水槽冷却法により試験した。第3圖試験設備要領圖に示す如く、絶縁箱内に水槽を收め、銅管を捲きて蒸發器となし、熱供給装置としてアルミカヒーターを設け、鹹水を充し熱交換を行はしめ、鹹水各部の溫度を出來得る限り平均せしめる爲攪拌器を設けた。數本の寒暖計を用ひて鹹水各部の溫度を測定し平均溫度に近い點を求めて記録式寒暖計の感熱管を取り付けた。冷凍機、放熱器高溫室はセロテックス張とし、電熱器によつて規定の溫度に加減した。第3圖の如く冷凍機、リモート放熱器、鹹水槽を接續配管し、運轉試験し次の事項を測定した。

- (1) 冷凍機高溫室溫度
- (2) 吸入壓力
- (3) 凝縮壓力
- (4) 氣筒蓋溫度
- (5) 壓縮機回轉數
- (6) 電動機軸溫度
- (7) 電動機入力
- (8) リモート放熱器吸氣側溫度
- (9) リモート放熱器排氣側溫度



第3圖 SA-220型高溫試験設備要領圖

- (10) 放熱器風量
- (11) 鹹水溫度
- (12) アルミカヒーター 入力
- (13) 膨脹弁直前溫度
- (14) 工場室溫

冷凍能力  $Q_{\text{kcal}/\text{H}}$  は次式に依り求め得る。

$$Q = Q_h + G_s C_s \frac{T_{2B} - T_{1B}}{H} + G_e C_e + Q_r$$

$Q_h$  ..... アルミカヒーター に依る供給熱量 kcal/H

$G_s C_s$  ..... 鹹水の重量 × 比熱

$T_{2B} - T_{1B}$  ..... 鹹水の溫度降下  $^{\circ}\text{C}$

$G_e C_e$  ..... 装置の金屬材料の重量と比熱

$Q_r$  ..... 防熱壁より侵入した熱 kcal/H

$G_e C_e + Q_r$  の値は試験にさきだち實測して熱漏洩係数  $K = 3.33 \text{ kcal}/\text{H}/^{\circ}\text{C}$  を求めた。

$G_s C_s = 230 \text{ kcal}/^{\circ}\text{C}$  定數である。

前式は次式の如くなる。

$$Q = Q_h + 230 \times \frac{T_{2B} - T_{1B}}{H} + K(T_{2B} - t) \quad \text{公式 (1)}$$

$T_{2B}$  ..... 鹹水平均溫度

$t$  ..... 工場室溫度平均

第1表 冷凍機試験成績表(抜粋)1

測定時刻	室温 °C	電動機		水槽のライン			リモート放熱器			リモート放熱器		冷凍機排氣		圧縮機				摘要 事項
		ヨーク 温度 °C	入力 kW	加熱量 kW	温度 °C	(吸気側温度) °C			排氣側温度 °C	室温 °C	風量 M/min	回轉數 R.P.M.	シリンド ラフタの 温度 °C	吸入 壓力 kg/cm²	凝縮 壓力 kg/cm²			

60°C (140°F) 試験之部 (15-12-26)

11.45	13.7	53.5	3.46	2.94	21.0	63.8	63.8	59.0	—	—	56.5	270	304	68.0	0.9	230	
0.45	13.6	66.5	4.02	3.10	19.3	63.8	64.9	61.0	65.0	62.7	64.5	274	304	74.0	0.9	235	膨脹弁直前の温度は
1.15	13.5	65.0	3.38	3.00	18.0	63.0	63.5	59.8	64.5	61.5	62.0	260	304	72.0	0.73	230	
1.45	13.7	63.8	3.45	3.00	17.0	63.3	64.5	60.3	65.5	62.8	61.3	260	304	72.5	0.77	235	
2.15	13.8	62.5	3.36	3.00	16.0	63.0	64.0	60.0	65.0	62.0	60.0	270	304	71.0	0.72	230	58.35°C
2.45	14.0	62.3	3.36	3.00	14.8	63.0	64.0	60.5	65.0	62.0	62.0	270	304	71.3	0.72	230	

54°C (130°F) 試験之部 (15-12-27)

3.30	15.0	51.5	2.93	3.70	5.5	53.3	55.0	52.0	56.5	54.5	51.0	280	304	61.5	0.68	195	
4.00	15.0	56.5	3.12	3.77	4.7	56.0	57.0	54.7	58.5	56.5	56.7	270	304	65.0	0.78	203	膨脹弁直前の温度は
4.30	15.0	59.0	3.34	3.94	4.0	55.8	57.5	55.0	58.7	57.0	57.7	280	312	66.5	0.80	205	
5.00	15.2	59.5	3.35	4.00	3.5	55.8	58.0	56.0	59.3	58.0	56.5	276	304	66.5	0.75	210	
5.30	15.7	58.5	3.17	3.70	2.5	55.0	57.5	55.5	58.5	57.0	55.2	274	302	65.5	0.72	205	52.7°C

49°C (120°F) 試験之部 (15-12-27)

12.00	16.0	51.0	3.28	2.90	6.5	48.5	50.5	50.0	50.8	51.5	46.5	264	296	56.0	0.86	190	
1.00	16.0	59.0	3.00	2.55	2.0	50.0	49.5	49.0	54.0	52.0	49.0	270	302	59.0	0.75	180	膨脹弁直前の温度は
1.30	15.5	60.5	3.15	2.55	-1	53.0	52.0	51.0	56.0	54.0	50.2	270	300	60.5	0.82	195	47.9°C

第2表 冷凍機試験成績表(抜粋)2

測定時刻	室温 °C	電動機		水槽のライン			リモート放熱器			リモート放熱器		冷凍機排氣		圧縮機				摘要 事項
		ヨーク 温度 °C	入力 kW	加熱量 kW	温度 °C	A點	B點	C點	D點	E點	排氣側温度 °C	室温 °C	風量 M/min	回轉數 R.P.M.	シリンド ラフタの 温度 °C	吸入 壓力 kg/cm²	凝縮 壓力 kg/cm²	

43°C (110°F) 試験之部 (15-12-27)

10.30	16.3	45.5	2.84	2.55	15.5	42.0	46.0	40.0	47.5	44.5	46.8	260	300	54.0	0.77	155	
11.00	16.2	45.8	2.88	2.55	12.0	45.0	48.0	45.0	49.5	48.0	44.0	270	302	54.0	0.72	165	膨脹弁直前の温度は
11.30	16.0	44.5	2.84	2.58	9.2	41.5	45.0	42.0	47.0	45.0	43.0	268	306	53.0	0.72	155	40.7°C

38°C (100°F) 試験之部 (15-12-27)

1.15	14.8	47.0	2.75	3.84	16.0	38.2	42.0	40.0	44.0	42.5	37.5	270	308	47.0	0.73	145	
1.45	14.5	48.0	2.67	3.84	14.0	37.0	41.0	38.0	42.5	41.0	41.0	280	312	48.0	0.67	140	膨脹弁直前の温度は
2.15	14.8	47.0	2.70	3.84	12.0	37.0	40.8	37.8	42.5	41.0	39.8	270	310	47.0	0.68	140	
2.45	14.5	48.5	2.78	3.84	10.0	38.5	42.8	39.8	44.0	42.5	38.8	270	306	48.5	0.78	145	
3.15	14.5	46.0	2.67	3.84	8.5	37.5	41.0	38.0	42.5	41.0	37.5	270	310	46.0	0.70	140	39.6°C

33°C (90°F) 試験之部 (15-12-27)

10.45	15.3	29.0	2.45	3.75	27.0	32.5	35.0	33.0	36.0	35.5	30.0	270	314	39.0	0.60	118	
11.15	14.8	31.5	2.66	3.75	24.0	34.7	37.5	35.0	39.0	38.0	32.5	270	306	41.0	0.78	120	膨脹弁直前の温度は
11.45	14.7	33.5	2.66	3.85	21.5	34.0	37.0	34.0	39.0	37.5	33.8	270	306	42.0	0.78	125	36.5°C
12.45	14.3	31.5	2.58	3.90	18.0	33.0	36.0	33.0	37.5	36.0	32.0	270	310	41.0	0.70	122	

第 3 表

高溫試験種類	33°C	38°C	43°C	49°C	54°C	60°C
冷凍機室溫度 °C	32.10	38.92	44.50	47.90	55.40	61.10
吸込圧力 kg/cm²	0.715	0.712	0.737	0.810	0.740	0.790
凝縮圧力 kg/cm²	8.75	10.00	11.10	13.20	14.40	16.20
圧縮機回転數每分	309	309	303	300	305	304
リモート放熱器 吸氣側溫度 °C	34.55	39.20	43.70	50.20	55.50	62.60
リモート放熱器 排氣側溫度 °C	37.30	42.30	47.00	53.50	57.80	63.60
工場内溫度 °C	14.80	14.60	16.20	16.00	15.20	13.70
鹹水溫度降下 °C	9.0	7.5	6.0	7.5	3.0	6.2
鹹水平均溫度 °C	22.60	12.60	12.20	3.30	4.05	17.70
アルミカヒーター 入力 K.W.H.	3.79	3.84	2.56	2.66	3.82	3.00

第 4 表

試験種類	冷凍容量 kcal/H	換算容量 kcal/H	比 率
33°C	5170	5250	100 %
38°C	4900	5000	95 %
43°C	4800	4800	92.5 %
49°C	4450	4370	83.5 %
54°C	3950	3950	76.0 %
60°C	3450	3380	65.0 %

第 5 表

リモート放熱器 吸氣側溫度 °C	冷凍機室 溫度 °C	兩室 平均値 °C	凝縮圧力 kg/cm²
34.55	32.10	33.32	8.75
39.20	38.92	39.04	10.00
43.70	44.50	44.10	11.10
50.20	47.90	49.05	13.20
55.50	54.00	54.75	14.35
62.60	61.10	61.85	16.20

#### 4 試 験 結 果

(ア) 試験成績表 第1表、第2表の通り

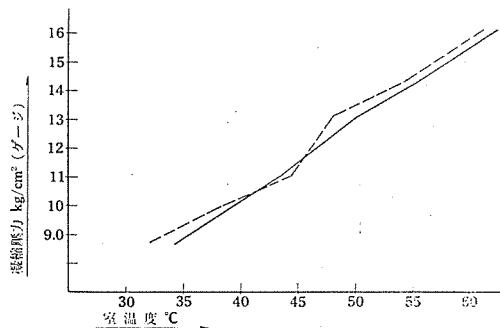
(イ) 測定事項平均値一覧表 第3表

(ウ) 冷凍能力

公式(1)より  $Q \text{ kcal/H}$  を求め、吸込圧力を  $0.74 \text{ kg/cm}^2$  の状況に統一換算し、 $33^\circ\text{C}$  試験によつて得た能力を基準とし百分率を求めるとき第4表の如くなる。

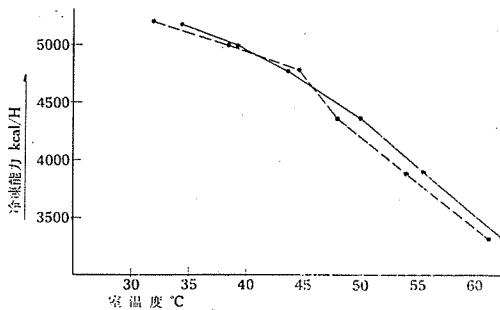
(エ) 室温と凝縮圧力の関係

冷凍機及リモート放熱器は同一室内に收め同一温度で試験し且つ接續管を外気に露出せしめぬが望ましい方法であるが時日の關係上出来なかつた。各室温と平均温度と凝縮圧力との関係を示せば第5表の如くなる。線圖



第 4 図 凝縮圧力と室温關係圖  
實線はリモート放熱器吸氣側溫度をとつた場合  
虚線は冷凍機室溫度をとつた場合

第 4 図 凝縮圧力と室温關係圖



第 5 図 冷凍能力と室温關係圖  
實線はリモート放熱器吸氣側溫度をとつた場合  
虚線は冷凍機室溫度をとつた場合

第 5 図 冷凍能力と室温關係圖

第 6 表

室温 °C	粹温 °C	入力 kW
32.0	32.2	2.66
39.0	40.0	2.72
44.0	45.1	2.86
48.0	49.0	3.15
55.5	58.4	3.20
61.0	64.0	3.42

で表はせば第4圖の如くなる。

(オ) 冷凍能力と室温の関係

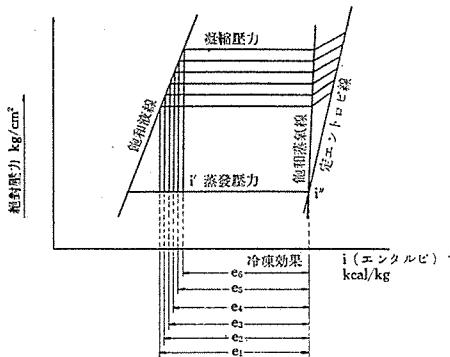
第5圖の如くなる。

(カ) 電動機負荷の状態

第6表の如くなる。電動機粹温上升の僅少なるは電動機構車に取付けられたる扇が  $380 \text{ M/min}$  の風速で電動機を冷却せる爲なり。

#### 5 理 論 的 檢 計

試験結果より得たる冷凍能力  $Q \text{ kcal/H}$  に必要な蒸発瓦斯の理論的体積を求め、ピストンの工程体積との比を求むれば壓縮機体積効率が得られる。



第6圖 クロル・メチル P-i 線圖

$$n_{va} = \frac{Vt}{V}$$

$Vt$  ..... 理論的体積

$V$  ..... 行程体積

蒸發瓦斯の理論的体積  $Vt$  とは次式に依つて求め得られる値なり。

$$Vt = G_n$$

$G$  ..... 冷媒循環量 kg/H

$v$  ..... 蒸發瓦斯の比体積 M<sup>a</sup>

$$G = \frac{Q}{e}$$

$Q$  ..... 所要冷凍容量 kcal/H

$e$  ..... 冷媒の冷凍効果 kcal/kg

$$e = r - (i_2 - i_1)$$

$r$  ..... 蒸發潜熱

$i_2$  ..... 蒸發終點におけるエンタルピー kcal/kg

$i_1$  ..... 蒸發初點におけるエンタルピー kcal/kg

第6圖に示す如く冷凍能力の減少は凝縮圧力の上昇に基き冷媒の冷凍効果の値が小さくなる爲である。クロル・メチルの熱力学的性質が 40°C 以上の場合も判明し  $P-i$  線圖が作成されて居れば上式より求め得らるゝが線圖がないので別の方で求めた。

壓縮機体積効率は シリンダー 隙間に基く体積行率と シリンダー 壁、ピストン 及弁に依り過熱せられる事に依る損失即ち過熱に基く体積効率との積である。

$$n_{va} = n_{vs} \times n_{vc}$$

以下隙間に基く体積効率、過熱に基く体積効率を求む

(P) 隙間に基く体積効率

公式 (2) を適用して求めると第7表の如くなる。

$$n_{ve} = 1 - C \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right] \quad \text{公式 (2)}$$

$C$  = 隙間 シリンダー 体積の %

$P_1$  = 蒸發即ち吸入圧力 (絶対)

$P_2$  = 凝縮圧力 (絶対)

$n$  = ポリトローピー指數 = 1.2

$C$  は試験冷凍機に於て 0.03 であつた。

第 7 表

試験室温度 °C	$P_1$	$P_2$	$C \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$	体積効率
33.32	1.75	9.81	0.105	0.895
39.06	1.75	11.04	0.112	0.888
44.10	1.77	12.14	0.123	0.877
49.05	1.85	14.24	0.137	0.863
54.75	1.78	15.39	0.153	0.847
61.85	1.83	17.24	0.170	0.830

#### (イ) 過熱に基く体積効率

試験結果に従つて得た冷凍能力  $Q$  kcal/H に對し必要な理論的吸入蒸氣体積  $Vt$  を次の如くして求めた。

第8表、獨逸冷凍試験規格表抜萃よりして膨脹弁直前溫度 10°C = 40°C にいたる各溫度の冷媒が吸入壓力 0.75 kg/cm<sup>2</sup> ガージ 即ち蒸發溫度 -10°C で蒸發完了せる場合の蒸發瓦斯 1M<sup>a</sup> についての冷凍効果を知り得る。今縦軸に冷凍能力を横軸に膨脹弁直前溫度をとり線圖を書くと直線を得られる。試験成績に依る膨脹弁直前溫度を横

第 8 表

膨脹弁直前溫度 °C	10	15	20	25	30	35	40
冷凍能力 kcal	381	373	365	357	349	341	333

第 9 表

試験室溫度 °C	凝縮絶對壓力 kg/cm <sup>2</sup>	膨脹弁直前の溫度	冷凍能力 kcal
33.32	9.81	36.5	340
39.06	11.04	39.6	334
44.10	12.14	40.7	332
49.05	14.24	47.9	320
54.75	15.39	52.7	313
61.85	17.24	58.25	304

軸延長上にとり、直線の延長線上に於て冷凍能力の近似値を求むれば第9表の如くなる。

第9表の冷凍能力よりして各溫度測定容量に對する理論的吸入蒸氣体積を求むれば第10表の如くなる。

$Q$  = 試験結果による冷凍能力

$e$  = 第9表による冷凍能力

第 10 表

Qkcal/H	$\ell$ kcal/M <sup>3</sup>	Vt M <sup>3</sup> /H	Va M <sup>3</sup> /H	VM <sup>3</sup> /H
5250	340	15.4	18.80	21.0
5000	334	15.0	18.65	21.0
4800	332	14.5	18.40	21.0
4370	320	13.6	18.20	20.7
3952	313	12.6	17.70	20.7
3380	304	11.1	17.45	20.7

第 11 表

試験室溫度	$n_{vc}$	$n_{vs}$	$n_{va}$
33.32	0.895	0.819	0.73
39.06	0.888	0.805	0.715
44.10	0.879	0.787	0.689
49.05	0.863	0.747	0.642
54.75	0.847	0.715	0.605
61.85	0.830	0.636	0.521

$Vt = Qkcal/H$  に対する理論的吸入蒸氣体積

$Va$  = 實際吸入蒸氣体積

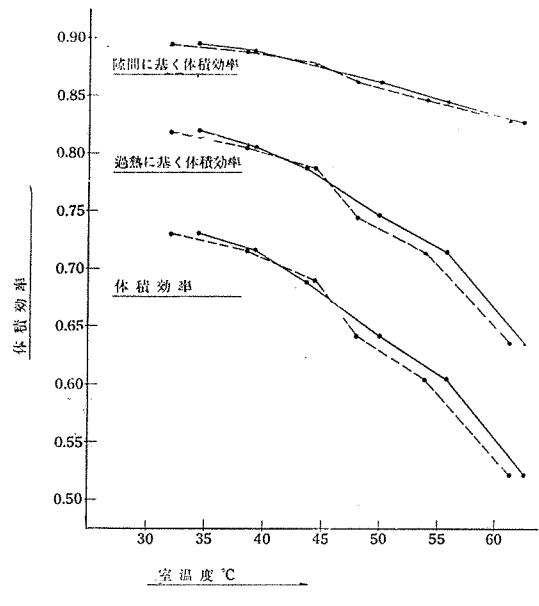
$V_o$  = 試験成績表 R.P.M. より求めめた行程体積

第 10 表より過熱に基く体積効率  $n_s = \frac{Vt}{V_o}$  を求め得る

次に壓縮機体積効率は  $n_{cs} = n_s \times n_c$  又は  $n_{cs} = \frac{Vt}{V_o}$  より求め得る。各試験室温變化に對する  $n_{cs}$ ,  $n_s$ ,  $n_c$  の値は第 10 表の如くなる。線圖で示すと第 7 圖の如くなる。

### 成 績 係 數

壓縮機の壓縮仕事の熱當量を試験成績表に依る電動機入力と能率より求め冷凍機の各試験温度に於ける冷凍能力の比を求め第 12 表の成績係數を得た。



實線はリモート放熱器吸気側温度をとつた場合  
點線は冷凍機室温度をとつた場合

第 7 圖 壓縮機体積數曲線圖

第 12 表

試験室溫度	壓縮仕事の熱當量 kcal/H	冷凍能力 kcal/H	成績係數
33.32	1800	5170	2.87
39.06	1870	4900	2.62

### 6 結 言

3 H.P. 空冷式冷凍機採用に際しては冷凍機室の換氣装置を改良するか若くはリモート凝縮器を室外に設備すべきである。然らざる際は水冷式を採用するが有利である。