

三菱電機

昭和 15 年 6 月

第 16 卷

第 6 號



6

高周波誘電体損失及びその測定 155

豎型水車發電機の据付法 167

尖頭波變壓器 181

三菱電機

第十六卷

昭和十五年六月

第六號

高周波誘電體損失及びその測定

本店研究部 菅 野 正 雄

1 緒 言

此の數年來、高周波工學の發展は實に目覺ましいものがあり、それにつれて、此の方面に使用さるべき絶縁材料の性能に對する種々の要求も次第に厳しくなつて來た結果、それに關する調査、研究が各所に於て行なはれてゐる。

吾が國に於ては、日本學術振興會に於て、電氣材料の研究を目的とする第 18 小委員會の一部に第 3 分科會を設け（昭和 12 年 1 月）専ら、高周波に於ける絶縁材料の性能に關する調査、研究に取りかかり、着々その業績を擧げつゝある。⁽¹⁾⁽²⁾

蓋し、交番電界内にある絶縁物の絶縁性能を表はす諸種の因子の中、最も重要なものは、その誘電體損失及びその溫度係數とであつて、是等の値の小なるもの程、優秀なる絶縁物と考へられるものであるが、その値の大小は専ら測定によつて比較される。而して低周波に於けるかゝる測定が、主としてブリツヂ法に頼つて來たのに對し、高周波に於ては、從來種々の方法が採用されて來て居る。然るに高周波に於ける電氣的諸量の測定には、種々の困難が存在するものであるが、高周波に於ける誘電體損失測定の問題もその例に洩れず、異なる測定法による測定結果が互々であるばかりでなく、假令同一測定法により、同一試料の測定を行なつても、測定者又は測定の時が違へば、異なつた結果の得られた事も珍らしくない。その理由は、たとへ測定法が同一であつても、測定に際しての種々の條件、例へば印加電壓の大きさ、試料とそれを挟む電極との接觸狀態等が必ずしも何時も一定であるとは云へないなどのためであらう。従つて、確實に絶縁物の良否を判定するためには、その測定方法並

に測定條件を確立する事が望ましい。そのため前述の分科會に於ても先づ此の問題を取り上げ、種々研究の結果最近一應の解決をつけたのである。⁽¹⁾ それによれば「數十キロサイクル乃至數十メガサイクルに及ぶ周波數に於ける固體絶縁物の誘電體損失の標準測定法としては、リアクタンス變化法を採用する事とし、同時にその具體的實施要項を規定した。但し、こゝで云ふ標準測定法とはこれによつて常に測定を行ふといふ意味ではなく、種々のもつと取扱ひの簡便な實用的方法による測定結果を補正する場合の規準となるべき方法を意味するのである。従つて、標準測定法を制定すると同時に、實用的方法をも併せ考へ、此の目的に對しては、抵抗置換法及びダイナトロン法を採用することとした」と云ふのである。

元來、誘電體損失は、その測定方法が充分正確である限り、如何なる方法によつても、一定條件の下には常に一定の値を示すべき筈であつて、かの材料試験に於ける硬度試験、衝擊試験等の如く、これこれの方法にてこれこれの値といふ様なものではないのであるが、現在の所リアクタンス變化法を除く他の方法には、避ける事の出来ない種々の困難のための誤差が多く、しかも容易にはそれを除去出来ないといふ理由で、上述の如き制定が約束されたと云ふ事も已むを得ない事であらう。併し之は飽迄も暫定的のもので、將來の研究により、何れの方法もその確度を増すことによつて、此の制定の廢棄を期すべきであらう。リアクタンス變化法に優る方法もない現在は、當分此の制定に従つて研究を行なはなければならないであらう。

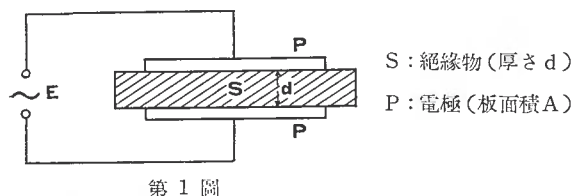
當研究部に於ては、夙に昭和 11 年末より、高周波用絶縁物の誘電體損失測定の必要に迫られ、抵抗置換法の一つたる、差働變成器法による測定裝置を組立てつゝあ

つたが、その後、前述の分科會が設立せられたので、リアクタンス變化法、ダイナトロン法等による測定も併せて行なふこととし、その二三の結果はすでに報告された所である。(3)(4)

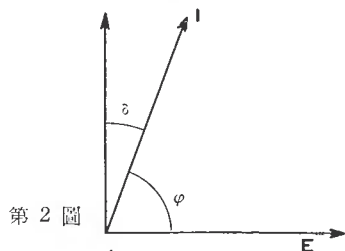
筆者は、當初よりその測定に當つて來た關係で、此處に標題の如き題目の下に、今日迄行なはれて來た測定方法及び得られた結果に就き、総合的な報告を概略述べて見る積りである。

2 絶縁物の誘電體損失 力率及び損失率

先づ順序として、絶縁物の誘電體損失、力率及び損失率に就き簡単に説明する。蓋し絶縁物は、それが電気回路に使用せられて、電界内にある限り一つの蓄電氣回路を形成することは明らかである。回路が直流回路なる時は、絶縁物は單にその絶縁抵抗及びその絶縁破壊強度のみが問題とされるだけであるが、それが高流回路に使用されるとなると事情は少しく異なつて來て、所謂誘電體損失なる考へが必要となつて來るのである。今上に述べ



た蓄電氣回路を第 1 圖に示す如き平行板蓄電氣によつて代表させて考へることとするに、若し絶縁物が理想的のものである場合には、それに流れる交番電流 I の位相は印加交番電壓のそれより丁度 90° だけ進んで居るわけで従つて絶縁物に流入する電氣的エネルギーは皆無であるが、通常吾々の使用する絶縁物にあつては、電流 I の位相は、理想的な場合に比べて實際の場合は、 $\delta = 90^\circ - \varphi$ だけ遅れる事になる。(第 2 圖参照) 従つて此の絶縁物には

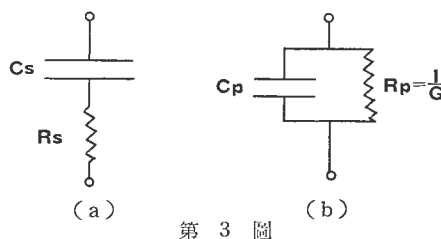


$$W = EI \cos \varphi = EI \sin \delta \dots\dots\dots (1)$$

なる電氣的エネルギーが流入する事となり、これは絶縁物内に於て熱となつて失なはれる。此の W を稱して此の絶縁物の誘電體損失と言ふのである。

實測の結果によれば、一般に W は絶縁物の漏洩抵抗に基因する熱損失よりは遙かに大なるもので、かかる損失が如何なる機構により生ずるかといふ問題に對しては、從來幾多の説(5)が提示されて居るが、極めて簡単な場合を除き、その適用は一般に困難であつて、將來の研究に俟つ事が多い。

通常絶縁物の誘電體損失を論ずるには、等價回路を用ひる。第 1 圖の如き蓄電氣回路で代表された絶縁物の損失の周波數特性、溫度並に濕度特性等を考慮して種々の等價回路が考へられるが、最も普通に用ひられて居るのは、或る特定の溫度、濕度及び周波數に對するもので第 3 圖 (a) に示す等價直列回路及び同圖 (b) に示す



等價並列回路がそれである。こゝに C_s, R_s は夫々等價直列靜電容量及び等價直列抵抗であり、又 C_p, R_p (又は G) は夫々、等價並列容量及び等價並列抵抗 (又は等價コンダクタンス) を表はす。而して、誘電體損失は是等の抵抗に於けるジュール熱として生起するものと考へられる。勿論 R_p は單なる漏洩抵抗よりは遙に小なるものである。

簡単な計算により、上記の諸量の間には次に示す様な關係のある事がわかる。即ち

$$C_p = C_s \cdot \frac{1}{1 + \omega^2 C_s^2 R_s^2} \dots\dots\dots (2)$$

$$R_p = R_s \left(1 + \frac{1}{\omega^2 C_s^2 R_s^2} \right) \dots\dots\dots (3)$$

但し、 ω は第 3 圖に示した等價回路の兩端に加へられた電壓の角周波數である。(2), (3) 兩式及び第 2 圖を参照すれば更に次の關係が導かれる。

即ち

$$\omega C_s R_s = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \frac{G}{\omega C_p} = \tan \delta \quad \dots\dots (4)$$

こゝに $\tan \delta$ は直ぐ後にも述べる様に、絶縁物の誘電體損失の大小の比較に際して一つの測度 (measure) を與へるもので、通常吾々が用ふる絶縁物に就いての實測の結果によれば、常溫に於て $\tan \delta < 1$ のものが多く、此の様な場合は 1% 以内の誤差で、

$$C_p = C_s \quad \dots\dots (5)$$

$$R_p = \frac{R_s}{\omega^2 C_s^2 R_s^2} = \frac{R_s}{\tan^2 \delta} \quad \dots\dots (6)$$

と書くことが出来る。

次に、絶縁物の誘電體損失 W を上の等價回路に就いて計算すれば、

$$W = E^2 \cdot \omega C_p \cdot \tan \delta \quad \dots\dots (7)$$

となるが、之より更に單位體積當りの損失 W を求めると

$$W = \frac{F^2}{2} \cdot f \cdot K \cdot \tan \delta \quad \dots\dots (8)$$

を得る。こゝに、

$$f = \frac{\omega}{2\pi}, \text{ 印加電壓の周波數}$$

$$F = \frac{E}{d}, \text{ 電界の強さ}$$

$$K = \frac{C_p}{S} \cdot \frac{1}{4\pi d}, \text{ 絶縁物の誘電率}$$

従つて、一定周波數に於て、單位電界強度の下に於ける單位體積當りの誘電體損失は、

$$K \tan \delta$$

に比例する事となる。而して $K \tan \delta$ は絶縁物の大いさには関係しない量であるから、これによつて種々の絶縁物の損失の大小を比較する事が出来るわけである。因つて之を損失率と稱して種々の絶縁物の損失比較の測度とする。所で、蓄電器用誘電體の如く、誘電率が大きても $\tan \delta$ の小なるものを必要とする場合を除き、通常の絶縁物の誘電率は 10 以下のものが多く、且つ同系統のものでは、その値の間に著しい差異はないので、一般には $\tan \delta$ の値を以て比較する場合が多い。前にも述べた様に $\tan \delta < 1$ の場合には、

$$\cos \varphi = \sin \delta = \tan \delta \quad \dots\dots (9)$$

なる關係が成立つ。それで $\tan \delta$ を力率と稱して居る。

又 δ は損失角と呼ばれ、上に述べたと同様の近似で

$$\tan \delta = \delta \quad \dots\dots (10)$$

なる關係が成立つので、 δ を以て比較する場合もある。

さて (8) 式から明かな様に、許し得る一定の損失に對して力率 $\tan \delta$ の値は、低周波に於けるよりも高周波に於て小なる事が要求される。商用周波數或は數千サイクル程度の低周波に於て優秀と認められる絶縁物も、之を數百キロサイクル以上の高周波回路に使用する時はその絶縁性能を著しく低下し、回路の能率を悪くする事が多々あるので高周波絶縁物に對しては特に注意を拂ふ必要があるのである。

而して、かゝる損失による絶縁性能の低下、回路の能率の悪化の具體的表はれは、大電力無線通信裝置の各部及び送信用真空管の管壁並に内部電極等の支持絶縁物の溫度上昇、各種高周波ケーブルの減衰、高周波發振器の出力、能率及び周波數安定度の低下等々である。殊に一般に、絶縁物の損失は、溫度上昇と共に益々増加するものであるから、損失増加と溫度上昇とは互に原因となり結果となつて、急激に能率低下を招來するので、特に考慮すべきである。

3 高周波誘電體損失測定方法

緒言に於て述べた如く、すでに標準測定法及び實用的測定法が確立せられて居るが、こゝには、從來行なはれて來たその他の方法に就いても同様、概略説明をする。

先づ測定法を大別すると、

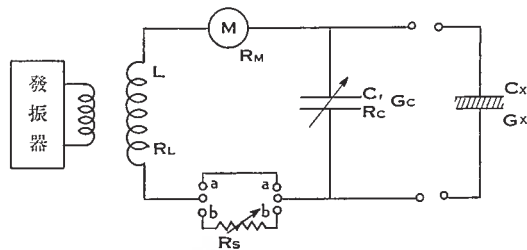
- | | |
|----------------|-----------------|
| (I) 標準抵抗を用ふるもの | (IA) 抵抗變化法 |
| | (IB) 抵抗置換法 |
| | (IC) ブリツヂ法 |
| (II) 然らざるもの | (IIA) リアクタンス變化法 |
| | (IIB) ダイナトロン法 |
| | (IIC) 熱的方法 |
| | (IID) 電磁波法 |

の如くなる。而して前者に於ては、標準抵抗の高周波に於ける表皮作用、殘留インダクタンス及び分布容量等の爲に、測定可能な周波數の上限が制限され、現在の所高々 20 メガサイクル程度迄しか使用出来ない。後者の場合に於ては、前者に於ける如き抵抗による制限は除かれて、(IIA), (IIC) の場合は理論上、電氣的に發生し得る極限の短波長迄も利用出来る。又 (IIB) は専ら極短波に於ける測定法と見做されるものである。たゞ (IIE)

の場合は、ダイナトロン特性、又は負抵抗特性を作る装置が現在の所、四極真空管又は五極真空管であるので、その構造から發振限界が制限され、20メガサイクル程度が上限である。

以下、上記各種の測定法に就き簡単にその原理及びそれらの間の長短を述べる。

(I A) 抵抗變化法 第4圖に示す如き回路に於て、先



- L : 同調コイル
C : 同調蓄電器
Rs : 標準可變抵抗
M : 高周波電流計
RL, RC, RM : L, C, M の夫々の直列抵抗
Cx : 試料蓄電器
Gx : 試料の等価コンダクタンス
Gc : Rc に等価なコンダクタンス

第 4 圖

づ $R_s = 0$ で且つ試料蓄電器を挿入しない状態で、C を加減して同調をとり、その時の電流 I を電流計 M にて読む。次に R_s を挿入してその時の同調電流 I' を読めば發振器の出力がその間一定である限り、

$$RI = (R + R_s)I' \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$(\text{但し } R = R_L + R_C + R_M)$$

なる關係から、此の時の回路の全抵抗 R が求められる。特に $I' = I/2$ なる如く R_s を加減すれば、

$$R = R_s \quad \dots\dots\dots (11)$$

である。此の R_s と同調時の容量 C を知つておき、次に試料蓄電器を挿入した場合に就き、上と同様の測定を行なつた時の R_s と C との値を夫々 R_s' , C' とすれば

$$C = C' + C_x \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$G_c = \omega^2 C'^2 R_c \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$G_c + G_x = \omega^2 C'^2 R_c' \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$R_s' - R_s = R_c' - R_c \quad \dots\dots\dots (15)$$

なる關係があるから、(こゝに R_c' は $G_c + G_x$ に對應する等価直列抵抗である。)

$$\tan \delta = \frac{G_x}{\omega C_x} = \frac{\omega C^2}{C - C'} (R_s' - R_s) \quad \dots\dots\dots (16)$$

此の方法は比較的簡單であるので、從來よく用ひられて來たものであるが、先に述べた標準抵抗を用ふる難點と、同調電流を測定するに必要な高周波電流計の確實なものが容易に得られないといふ缺點がある。蓋し市販の高周波計器は、その使用に際して充分の注意を拂はないと意外の誤差を招來するもののあることに留意せねばならない。又發振器はその出力並に周波数の充分安定なものを必要とする。

次に抵抗置換法及びブリツヂ法であるが、先づ兩者に共通な原理を述べる。即ち第3圖の等價回路に相應して標準可變蓄電器 C 及び標準可變抵抗 R を直列又は並列に接続し、その兩端に、試料蓄電器の兩端に於けると同一周波数の等しい電壓を印加したる時、C 及び R を加減して此の回路に流れる電流 I が、試料蓄電器を流れる電流 I_x と位相相等しく、大いさがその k 倍である如くしたものとするば

$$R_s (\text{又は } R_p) = kR \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$C_s (\text{又は } C_p) = \frac{1}{k} C \quad \dots\dots\dots (18)$$

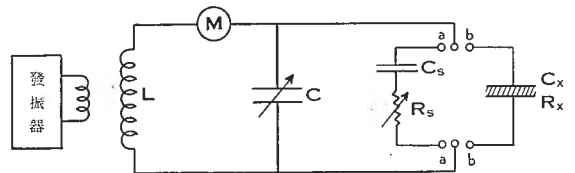
であるから

$$\text{直列接続では } \tan \delta = \omega C_s R_s = \omega C R \quad \dots\dots\dots (19)$$

$$\text{並列接続では } \tan \delta = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \frac{1}{\omega C R} \quad \dots\dots\dots (20)$$

なる關係によつて力率 $\tan \delta$ が求められる。

(I B) 抵抗置換法 これは、上の説明に於て、 $k = 1$ の場合に相當するもので、第5圖の如き接続を用ひ、ス



- L : 同調コイル
C : 同調蓄電器
M : 高周波電流計
Cs : 標準可變蓄電器
Rs : 標準可變抵抗
Cx : 試料蓄電器
Rx : 試料の等価直列抵抗

第 5 圖

キツチを bb (試料側) 及び aa (標準側) の何れに倒した場合にも、同調時の電流の読みが等しい様に C_s , R_s を加減すれば

$$C_x = C_s \dots\dots\dots (21)$$

$$R_x = R_s \dots\dots\dots (22)$$

故に

$$\tan \delta = \omega C_x R_x = \omega C_s R_s \dots\dots\dots (23)$$

此の方法に於ても、標準抵抗及び發振器の安定度が問題となることは前の場合と同様であるが、たゞ此の場合には、二つの測定に於て同調電流の相等しい事を知りさへすればよいのであるから、假令電流計に誤差があつてもそれは、兩者の場合に略々同様に入つて来るので、結果には殆んど影響がなくなるから、此の點は抵抗變化法より都合が良い。

此の方法も亦、抵抗變化法同様、從來廣く用ひられて來たもので、前にも述べた様に、學術振興會分科會に於て、標準法に對する實用的補助方法と定められたものであるが、實際測定に當つて遭遇する種々の困難を除く爲に、標準抵抗、同調電流指示計器、及び接續回路等に、種々の改良が行なはれて來た。

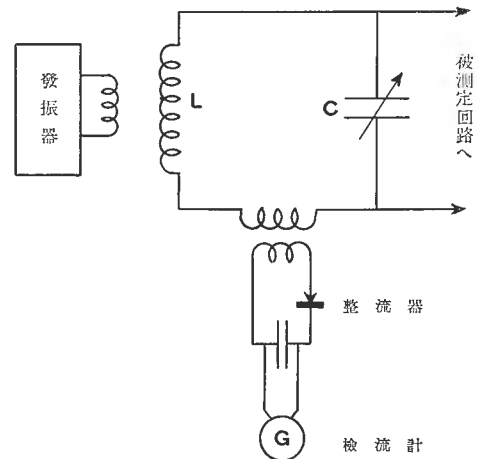
(a) 標準抵抗 從來の抵抗置換法は、 R_s としてマンガイン等の細線を用いた直列置換法であつて、高周波に於けるその表皮作用、残留インダクタンス等に注意を拂つて可く誤差を小ならしめて居る。⁽⁶⁾ 併し周波数が極めて高くなつて來ると

$$\tan \delta = \omega C_s R_s$$

から明らかな様に、同一の $\tan \delta$ に對して R_s は甚だ小となるが、1 オーム以下の小抵抗では、接續點に於ける接觸抵抗が問題となつて來る。理化學研究所赤平研究室に於ては、此の難を避けるため、並列置換法を用ひ、並列標準抵抗として特に誤差の少ない形のもの (短波用リケノーム) を作製した。⁽⁷⁾⁽⁸⁾

併し何れにしても、現在の所簡單で且つ信頼するに足る可變抵抗體は得られて居ないので、已むを得ず抵抗値の異なる數個の固定抵抗を用意し、内挿法によつて試料に等價な直列抵抗又はコンダクタンスを求めて居たが、實際に當つては可成り手数を要する。理研の一條氏は此の不便を救ふべく、差働蓄電器と固定抵抗とを直列に接續したものを、上記の並列抵抗の代りに用ひ、これにより連續的に變化し得る可變コンダクタンスを得た。⁽⁹⁾

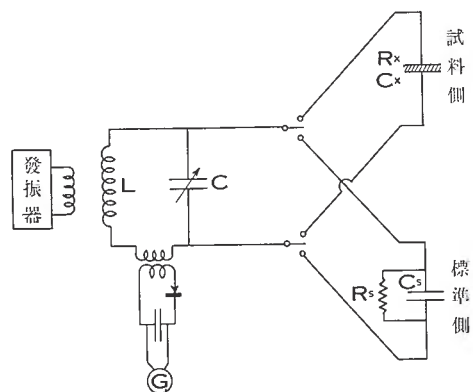
(b) 同調電流指示計器 通常の高周波用電流計にあつては、その内部抵抗が大に過ぎ、測定の感度を悪くするので、第6圖に示す如く檢流計と鐵石檢波器又は二極整流管とを用ひる。



第 6 圖

(c) 接續回路 回路の導線の有するインダクタンス及び分布容量は、避け得られないものであるが、それらを可及的小ならしむる事は勿論、結果に於ては之等の量の影響が殆んど無視出来る程度でなければならない。此の目的に對しては對稱置換回路及び差働變成器回路がある。

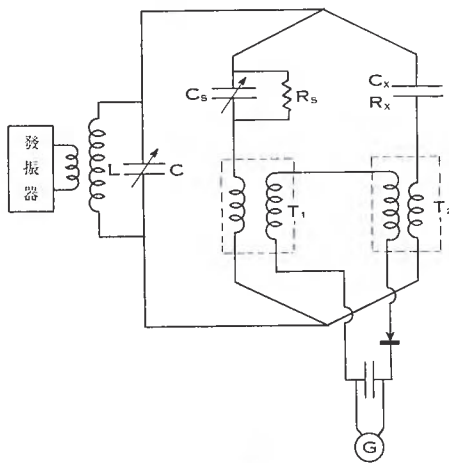
C, 1) 對稱置換回路 これは理化學研究所赤平研究室に於て提案されたもので、⁽¹⁰⁾ 第7圖に示す如く、電源



第 7 圖

に對して標準側回路及び試料側回路が略々對稱になる如き構造、配置をなすものである。

C, 2) 差働變成器回路 これは第8圖に示す如く標



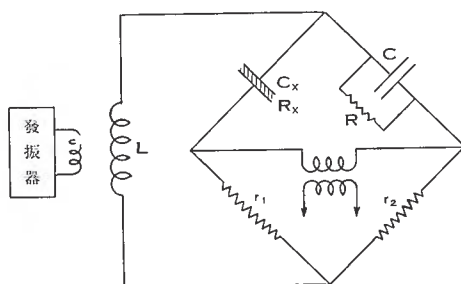
第 8 圖

準側回路と試料側回路とを電源に對して對稱且つ並列に接続し、 C_s, R_s を加減して、兩回路に等しい電流の流れたる時の C_s, R_s の値から損失を求むるものであるが、兩回路に相等しい電流の流れたることの判定は、圖に示す如く兩回路に相等しい構造を持つ高周波變壓器 T_1, T_2 を挿入し、その二次側を差動的に零電流檢出回路（圖では整流器と檢流計とより成る。）に接続して行なふ。從來の置換法が偏位法であるのに對し、是は零位法であり従つて、電源の出力安定度が從來のもの程厳しくなくともよいこと、又漂遊容量及び試料の表面漏洩による損失を防ぐため、蓄電器に保護環を付け得ること等、次に述べるブリツヂ法に似た特徴をもつて居る。實際に使用された例は餘り多くないが、⁽¹¹⁾⁽¹²⁾ 筆者は真空中に於いて損失を測定するに便利な方法として是を用ひた。⁽⁴⁾

（Ic）ブリツヂ法 此の方法の最も簡単な接続は、低周波に於て専ら利用されて居るシェーリング、ブリツヂで、（第 9 圖參照）此の場合（17）式又は（18）式の k は、

$$k = r_1/r_2 \dots \dots \dots (24)$$

となる。



第 9 圖

最近、此の方法の適用周波數範圍を更に高周波の方に擴張しようとする試みが種々發表せられてゐる。⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

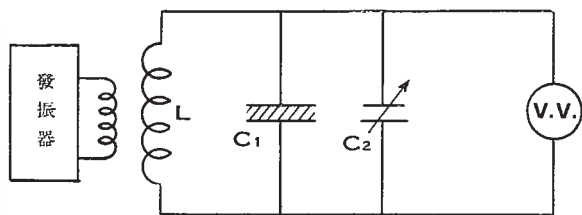
その試みの向けられた問題は、遮蔽、接地装置、配線及び標準抵抗器の残留インダクタンス、並びに残留静電容量等である。抵抗器に關しては、抗抵置換法に於ける場合と同様に、並列可變抵抗に代へるに、差働蓄電器と固定抵抗との直列組合せを用ひる事も出来るが、ブリツヂ法の場合には、もう少し簡単な接続で、此の代用が得られてゐる。⁽¹⁵⁾

此の方法では、C, 2) の項でも述べた様に、零位法であるため、電源の出力安定度が余り矢筈しくなく、又試料蓄電器に保護環を用ひ得るといふ利點があるのであるが、何分、高周波に於て、信頼度の劣る抵抗 r_1, r_2 等を餘分に使用するだけに、適用周波數の上限も著しく制限され、現在報告されて居る所では、高々 1 メガサイクル程度である。

（IIa）リアクタンス變化法 この方法は又減衰法、或は離調法とも呼ばれる。一般に、同調回路の同調曲線の峻鋭度は回路の損失の少ない程大なるものであるから、同調回路に損失ある絶縁物を挿入した場合と然らざる場合とに於ける同調曲線の峻鋭度の比較からその絶縁物の損失を知ることが出来る。而して同調曲線を求めるには、發振器の發振周波數を、又は同調コイルのインダクタンスを、或は又、同調蓄電器の容量を變化することが考へられる。一般にコイルのインダクタンスを變化することは餘り簡単でない。又可變蓄電器は、電極間間隙と對向面積とから算出される静電容量の外に、近接容量（body capacity）があり、是が電極間間隙の變化と共に變り、更にその配置状況によつて定まる漂遊容量があつて、是等は極めて高い周波數に於ては、種々の複雑な分路アドミッタンスを提供して誤差の原因を作る。電源の周波數を變化して離調する方法は、測定回路への誘起電壓が常に一定である様に加減する事さへ出来れば最も簡単で且つ誤差も少ないわけであるが、實際上、誘起電壓を常に一定に加減することに困難があるためか、或は一定周波數の下に測定するといふことが出来ないためか、あまり用ひられず、主として容量變化法が用ひられてゐる。

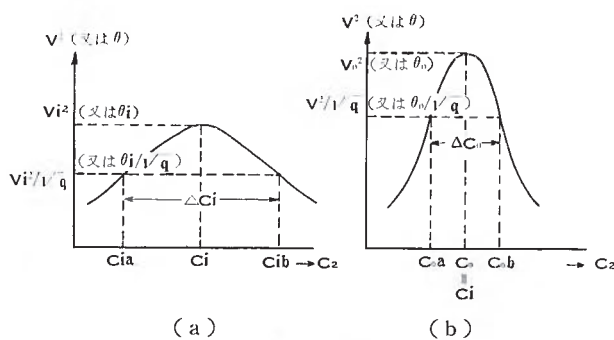
此の方法は、相當早くから利用されて來たものであるが、⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾ 英國國立物理實驗所（N. P. L.）の L. Hart-

shorn 氏の装置⁽¹⁸⁾ によるものが優秀なりと認められ、
學振分科會に於ても、之に多少の改良を加へて、⁽¹⁹⁾ こ
ゝに標準測定法を確立せしめたのである。⁽¹⁾ その回路を
第 10 圖に示す。L 及び $C = C_1 + C_2$ は夫々同調コイル



第 10 圖

及び同調蓄電器で、主蓄電器 C_1 は試料挿入並に容量測
定用可變蓄電器であり、補助蓄電器 C_2 は同調用として
その容量變化は、マイクロメーターの變化によつて得ら
れる。學振に於て制定せられた標準方法のものでは、マ
イクロメーター—目盛 (1/100 耗) 當りの靜電容量變化
は、凡そ 0.0025 マイクロ、マイクロフアラツドとなつ
て居る。又 V.V. は真空管電圧計で、その指針の偏れ θ
は入力電壓 V の二乗に比例する如き特性を持つものであ
る。測定は先づ、試料を主蓄電器 C_1 に挿入し、 C_2 を
變化して第 11 圖 (a) に示す如く、 C_2 の容量變化對 V^2
(又は θ) の曲線 (これを同調曲線と呼ぶこととする。)



第 11 圖

をえがく。その時の同調電壓を V_i とする時、 V_i^2/q (q
 > 1) に對應する C_2 の値 C_{ia} 及び C_{ib} とを知れば、此
の回路の全コンダクタンス G_t は

$$G_t = \frac{\omega (C_{ib} - C_{ia})}{2\sqrt{q-1}}$$

$$= \frac{\omega \Delta C_i}{2\sqrt{q-1}} \quad \dots\dots\dots (24)$$

こゝに $\Delta C_i = C_{ib} - C_{ia}$ で之を離調の幅と呼ぶ。

次に試料を取除き、 C_1 の電極間間隙を變化して、再び
同一周波數に對して前と同様に、第 11 圖 (b) に示す
如く同調曲線をえがき、同じ q に對する離調の幅 ΔC_o
を知れば、此の時の回路のコンダクタンス G_o は

$$G_o = \frac{\omega \Delta C_o}{2\sqrt{q-1}} \quad \dots\dots\dots (25)$$

従つて試料絶縁物の等價コンダクタンス G_x は

$$G_x = G_t - G_o = \frac{\omega (\Delta C_i - \Delta C_o)}{2\sqrt{q-1}} \quad \dots\dots\dots (26)$$

而して試料の靜電容量は、第二の測定の際に於ける主蓄
電器 C_1 の幾何學的大いさから計算されるから結局、試
料の力率 $\tan \delta$ は

$$\tan \delta = \frac{G_x}{\omega C_x} = \frac{\Delta C_i - \Delta C_o}{2C_x \sqrt{q-1}} \quad \dots\dots\dots (27)$$

通常は $q = 2$ ととるので

$$\tan \delta = \frac{\Delta C_i - \Delta C_o}{2C_x} \quad \dots\dots\dots (28)$$

又 $\theta \propto V^2$ なる關係から

$$\sqrt{\frac{\theta_o}{\theta_i}} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{G_i}{G_o} = \frac{\Delta C_i}{\Delta C_o} \quad \dots\dots\dots (29)$$

であるので $\tan \delta$ は又

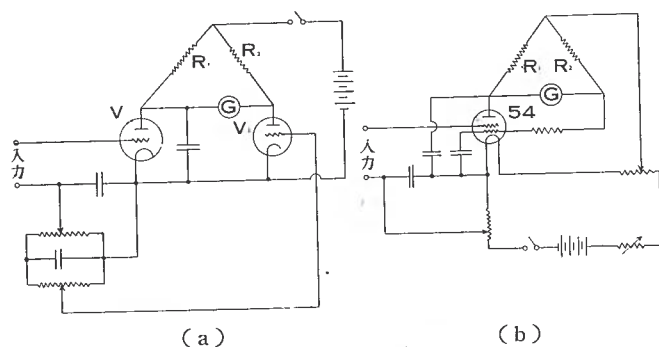
$$\tan \delta = \frac{\sqrt{\frac{\theta_i}{\theta_o}} - 1}{2C_x} \Delta C_o \quad \dots\dots\dots (30)$$

からも求められる。

前にも述べた如く、此の方法に於ては、高周波に於て
信頼性の劣る抵抗體を標準として全然用ひない點に一つ
の特徴を有するのであるが、更に (27) 式から明らかな
様に力率 $\tan \delta$ の計算には、角周波數 ω が含まれてゐ
ないので周波數の精密な測定値を必要としない便がある
尤も、電源發振器の周波數及び出力安定度は極めて高い
事を必要とする事は他の偏位法の場合と同様である。又
測定すべき量が相當に多い事、力率の溫度特性、濕度特
性等の測定に不適當な事等の缺點があるが、是等は、標
準方法としての此の測定法に對しては本質的のものでは
ない。又 (I) の諸方法では、力率の電壓又は電流特性

といった様なものを求める事が出来るが、此の方法ではそれが出来ない。たゞ、多くの絶縁物が、餘り大ならざる印加電圧、又は流入電流の下に於ては、その力率は電圧、電流によつて著しい變化をなす事はあるまいといふ假定が豫想されて居るので、大なる誤差を招くことなしに測定をなし得ると考へて居るわけであるが、嚴密には此の點に關しても將來吟味を必要とするであらう。コイルの磁性心の損失を測定する一つの方法としても此の方法が採用されて居るが、同様の注意が絶縁物の損失測定の場合より、尙一層肝要であらう。

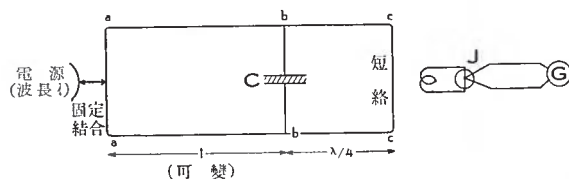
猶、真空管電圧計であるが、之は相當に感度の高いものが必要であり、且つ、上に述べた事柄から明らかな様に、電圧計の偏れに對する入力電圧の絶対値を知る必要はないが、測定の便宜上、偏れが、入力電圧の二乗に比例した平衡型のものが望ましい。此の目的のため、従來は入力コンダクタンスの小さな真空管を用ひた第 12 圖



第 12 圖

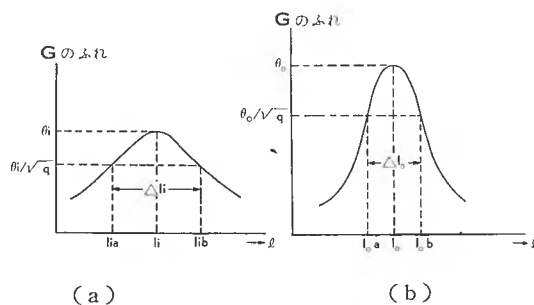
(a) の如きブリツヂ型が使用されて來たが、 V_1 及び V_2 として、その特性の極めて良く一致したものを必要とする結果、その選擇に數多の費用と手數とを要する。又假に特性の良く一致したものを選んだとしても、織條の電子放射の不整に基づく不規則な偏れの變動は之を避ける事が出来ない。是等の缺點を避けるために、筆者は同圖 (b) に示す様に、UX-54 の如き空間電荷格子四極管一個のみを使用した平衡回路を作り、これにより充分満足な結果を得て居る。⁽²⁰⁾

リアクタンス變化法を超短波或は極超短波に於けるインピーダンス又は力率測定に用ひた例は未だ多くはないが、⁽²¹⁾ 吾國に於ては、東京工業大學の森田氏の研究がある。⁽²²⁾ 第 13 圖にその略圖を示す。



第 13 圖

電源はマグネトロン又は其の他による超短波發生装置で、それに固定して結合されたレツヘル線回路の兩平行線の間に、試料を挿入すべき蓄電器を挟み、且つ滑かにその間を滑り動かせる如くしておく。そして此の蓄電器の兩端の電圧を $\lambda/4$ 長のレツヘル線の先端短絡部に電磁結合をなせる熱電對 J と檢流計 G とよりなる電圧計にて測定し、a b 間の長さ l に對するその値より、第 14 圖に示す如き二つの同調曲線をえがく。然らば、試料の



第 14 圖

力率 $\tan \delta$ は次式により求められる。

$$\tan \delta = \frac{1}{2V \sqrt{q-1}} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta l_i - \Delta l_o) \times \left[\frac{1 + (\omega CZ)^2}{1 + \omega C_s Z} \right] \quad \dots\dots\dots (31)$$

又は

$$\tan \delta = \frac{1}{2V \sqrt{q-1}} \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta l_o \left[\sqrt{\frac{\theta_i}{\theta_o}} - 1 \right] \times \left[\frac{1 + (\omega CZ)^2}{\omega C_s Z} \right] \quad \dots\dots\dots (32)$$

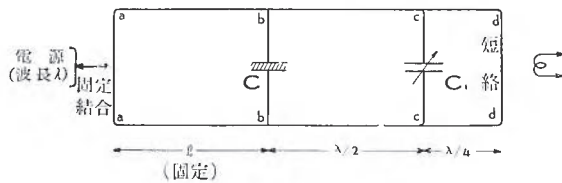
$$\text{但し、} \quad \omega CZ = \cot \left[\frac{2\pi l_o}{\lambda} \right]$$

$$Z = 277 \log_{10} \left[\frac{D}{r} \right] = \text{波動インピーダンス}$$

D: 二平行線の中心間の距離

r: レツヘル線單線の半径

C_s : 試料の静電容量

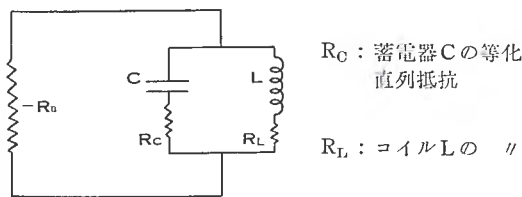


第 15 圖

最近理研の岡崎氏は、第 15 圖に示す如く、試料挿入用蓄電器 C の位置 bb より $\lambda/2$ だけ隔たつた點 cc にマイクロメーター蓄電器 C_1 を挿入し、これによつて C_1 を直接 C に並列に接続したのと同じの効果を、従つて従来の、長、中、短波範囲で用ひられたリアクタンス變化法に於けると同一の手續で力率を求める方法を提案してゐる。

(II B) ダイナトロン法 ダイナトロン特性とは、真空管の二次電子放射による負抵抗特性の謂で、力率測定に用ひられる負抵抗特性がすべてダイナトロン特性であるといふわけではないから、負抵抗法とでも言ふべきであらうが、通常さう言ひ慣はしてゐるので、慣用に従つておくこととする。

此の方法は、初め同調回路の實効抵抗、同調インピーダンス等の測定を目的として使用されたものであるが⁽²³⁾之を絶縁物の誘電體損失を測定する事にも利用出来る。第 16 圖に於て、L, C 同調回路に並列に負抵抗 $-R_n$ を接続し、その大いさを加減して、



第 16 圖

$$R_n = \frac{L}{CR} + \frac{R_c R_L}{R} \quad (33)$$

($R = R_c + R_L$)

ならしめれば、L, C 回路には

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{\sqrt{LC}} \sqrt{\frac{1 - \frac{R_L}{R_n}}{1 - \frac{R_c}{R_n}}} \quad (34)$$

なる周波数 f の持続振動が発生する。通常の装置では

$$R_c \ll R_n, \quad R_L \ll R_n \quad (35)$$

であるから、(33) 及び (34) 式は夫々

$$R_n = \frac{L}{CR} \quad (36)$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (37)$$

と書いて差支へない。

今試料絶縁物の等価直列抵抗を r_x 、等価直列静電容量を C_x とし、先づ C に試料を挿入して後、 R_n を加減して上述の如き發振限界點を求めれば

$$R_n = \frac{L}{C_x(R + R_x)}, \quad (38)$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_x}} \quad (39)$$

次に試料を取除き、同一周波数の振動の發生する迄 C 及び R_n を加減すれば、此の時の R_n 及び C の値を夫々 R_n' 及び C_s とする時

$$R_n' = \frac{L}{C_s R} \quad (40)$$

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{L C_s}} \quad (41)$$

なる故

$$C_x = C_s, \quad (42)$$

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega C_s} \left(\frac{1}{R_n} - \frac{1}{R_n'} \right) \quad (43)$$

の如く、 C_x 及び $\tan \delta$ が求められる。こゝに C_s は他の方法の場合と同様、蓄電器の幾何學的大いさから計算され、周波数 f はたとへばヘテロダイン波長計等により知る事が出来る。

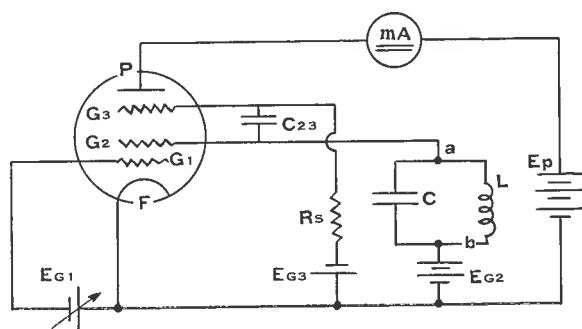
負抵抗 $-R_n$ は利用せんとする負抵抗装置の如何によりそれぞれ測定の方法があるわけであるが、⁽²⁴⁾ 現在の目的に使用されてゐる負抵抗は、

(1) 四極真空管の二次電子放射による負コンダクタンスを利用する所謂ダイナトロン

(2) 五極真空管の負相互コンダクタンスを利用する所謂トランジトロン⁽²⁵⁾

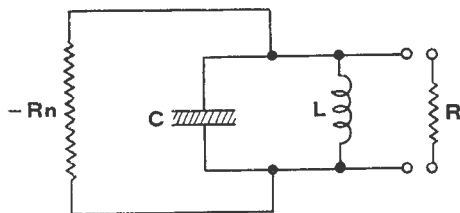
の二種類によつて得られるもの故、その大いさは、真空管の靜特性曲線から、或は適當な負抵抗ブリツヂにより測定することが出来る。

實際の測定装置に於ては、その安定性の故を以て、負抵抗として多くは (2) によるものが用ひられてゐる。筆者の行なつたものも亦その例で、五極管としては、UX—510B を用ひたが、その他 UZ—77, UZ—78, UZ—38



第 17 圖

等もよく用いられる。その装置の略圖を第 17 圖に示す。圖の如き接続に於て、陽極電圧 E_p 、第二及び第三格子電圧 E_{G2} 、 E_{G3} 等を適當に定め、 C_{23} を G_2 と G_3 とが高周波電圧に對して短絡される如く挿入すれば、a, b 兩端子から見た真空管内部交流抵抗を負となすことが出来る。然も此の負抵抗は、第一格子電圧 E_{G1} を加減する事により、或る程度自由に變化し得られるものであるから、之を第 16 圖の $-R_n$ とおけば良いのである。

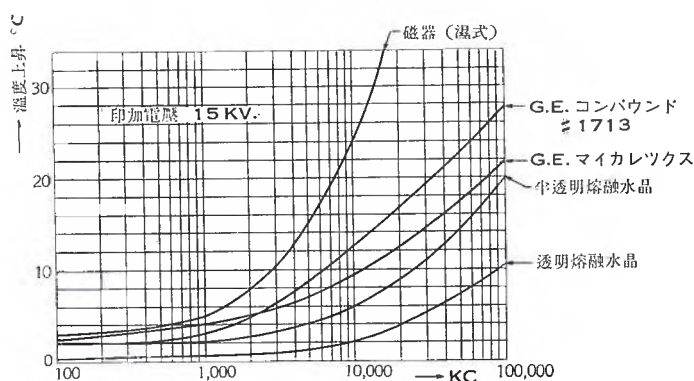


第 18 圖

又負抵抗を測定することなしに、並列置換法を流用する場合も多い。即ち、第 18 圖に示す如く、先づ試料を C に挿入して發振點を求め、次に試料を取除き、同一周波數及び R_n の値（即ち同一の E_{G1} ）の下に發振する如く C 及び並列抵抗 R を加減すれば、之によつて試料の等価並列容量並に抵抗が知られ、從つて力率を求める事が出来る。此の並列抵抗としては、先に抵抗置換法の項に於て述べた短波用リケノーム及び差働蓄電器と固定抵抗との直列組合せ等を用ひる事が出来る。殊に後者を用ひた場合には、測定の精度を高くし、且つ L, C 回路の減衰度が測定の精度に無關係であるといふ利點がある。横須賀海軍工廠の谷氏の考案になる、ダイナトロン法⁽²⁶⁾も亦同様の利點を持つものであるが、此の場合には、二組又はそれ以上の四極管を必要とする。

此の方法の長所は、取扱ひ簡單なため、比較測定に便なること、精度の低い高周波用計器を必要としない事等にあるが、何分負抵抗を得るに真空管を用ひる關係上、その安定度が問題となる欠點がある。適用周波數範圍は 100 キロサイクル ～ 20 メガサイクルとされてゐる。

(IIc) 熱的方法 又熱量計法とも呼ばれる。絶縁物が高周波電界の下に於て、その誘電體損失のため發熱し、溫度上昇を來す事は前にも述べた通りで、その模様はたとへば第 19 圖に示す如くである。⁽²⁷⁾ 此の效果を利用し



第 19 圖

て、今迄述べた如き電氣的諸量の測定によらずに、直接此の誘電體内に發生した熱量を知ることによつて、誘電體損失を求めることが考へられるわけである。此の方法に於ても、抵抗體、高周波用計器等を全然使用せず、從つて周波數の充分高い領域に於ても利用し得る可能性があるもので、將來の研究に期待される所が多いのであるが現在では未だ克服し得ない種々の缺點のため、實際に行なはれた例は少ない。⁽²⁸⁾ その缺點は、溫度の定常狀態に達する迄に、長時間を要すること、液體試料の場合は兎も角として、固體試料の場合は、試料各部の溫度を一樣ならしむる事の困難なこと、及び溫度の實際測定し得られる場所が試料表面に限られ、しかも此の表面溫度たるや、試料の形狀、熱傳導率、比熱、比重、表面よりの熱放散の割合等によつて影響される所大なるものがあること等である。⁽²⁹⁾ たゞ、形狀、表面の狀況等を同一にして、その溫度上昇を比較することにより、試料の良否を比較判別するには便利であらう。⁽²⁷⁾⁽³⁰⁾

一方逆に、此の現象を利用して、高周波電流、電壓等を測定せんとする試みもある。⁽³¹⁾

(IIIb) 電磁波法 これは主として極超短波の領域に於

て利用される方法で、極超短波が試料絶縁物を通過する時生ずるその減衰度を測定する事により、その誘電率及び力率を決定せんとするものである。実際には試料の厚さを變化し、その時々電波の反射率及び透過率を測定し、これより試料の屈折率 n 及び吸収係数 k を求め

$$K = n^2 (1 - k^2) \dots\dots\dots (44)$$

$$\tan \delta = \frac{2k}{1 - k^2} \dots\dots\dots (45)$$

により、誘電率 K 及び力率 $\tan \delta$ を算出する。此の方法は主に、液體誘電體の異常分散、異常吸収等の研究に用ひられて來たものであるが、近年は更に固體絶縁物に對しても利用される様になつて來た。(32)(33)(34)

4 試料の形狀、大いさ及び その他の測定條件

單に理論の上から言へば如何なる形狀、大いさの試料でも同一の力率を與へる筈であるが、實際上、測定に際して起る種々の誤差を成可く小ならしむるため、直徑 60 mm 厚さ約 3 mm の圓板のものが大體の基準となつてゐる。此の際電極の直徑は 50 mm である。

電極と試料との接觸は、出来るだけ緊密な程良いわけであるから、通常は試料表面に錫箔又はアルミ箔を、パラフィン又はワセリンで張り附ける。

併し、すべての試料を上のような條件に持ち來す事は必ずしも出来ないで、極めて薄い試料などの場合には、特に電極間隙を一定量だけ引離して測定を行ひ、後に補正を施すといふ方法も用ひられる。

その他、前述の方法は何れも特定の周波數、溫度及び濕度等の下に於ける損失を求めるものであるから、絶縁物の特性を知るには、是等の條件を種々に變化して測定を行なつて見なければならぬ。

5 種々の絶縁物の誘電率及び力率

以上に述べた各種の方法により、種々の絶縁物に就いての誘電率及び力率の値が測定されて居るが、それ等の値の間には、初めに述べた様に、各測定法により相當の開きがあり、同一方法に依つても測定者により、或は又その他の種々の條件の相違などにより異なるものがあるまして、同一名の試料であつても、製造者及び製造法の異なるに従ひ、その値の相違する事は當然である。併し

多くの測定の結果の平均として、夫々の大いさの程度は略々定まつて居るので、主なるものに就き、それ等の値を挙げれば、第一表の如くである。こゝに注意すべきことは、是等の測定値はすべて、試料に流れる高周波電流が殆んど零か、或は極めて小なる範圍で得られたものであつて、測定中、損失の爲の溫度上昇等は問題となつてゐない。

第 一 表

材 料	誘 電 率	力 率 (10^{-4} 單 位)	
		長波乃至短波	超 短 波
1. 水 晶	4.7	2~10	
2. 熔 融 水 晶	4.0	1~3	
3. 雲 母	7.0	2	2
4. マイカレツクス	8.0	20	
5. ミノスガラス	7.5	6	
6. 窓 ガ ラ ス	9.0	70	
7. 乾 板 ガ ラ ス	6.5	50~100	
8. 硼硅酸ガラス	5.0	10~50	
9. 磁 器	7.0	70~150	
10. ステアタイト	5~6	1~40	
11. チ タ ン 磁 器	40~100	3~10	
12. ポリスチロール	2~3	1~10	8
13. エポナイト	3.0	50~100	50
14. ベークライト	4~6	200~700	400
15. パラフィン油	2.1	4	
16. 變 壓 器 油	2.2	14	12
17. ベ ン セ ン	2.3	2	
18. 大 豆 油	3		80

測定溫度 10~35°C

測定濕度 40~90%

6 結 言

以上述べて來た所から明らかな様に、吾國に於ける絶縁物の誘電體損失の問題に關しては、漸くその測定法の大綱が定められ、既製の絶縁物試料に就いての一通りの測定をなしたといふ状態に過ぎない。しかも之等の測定は、低電壓、低電流の下に於てなされただけであるが、今後の研究により、更に優秀なる絶縁物の製作が行なはれ、損失の電壓又は電流及びその他の特性もすべて明らかとなつて、高周波工學の一層の發展に資する一方、誘電體現象の物理的、化學的探求により、その機構の詳かとなる日の一日も早からんことを祈るものである。尙參考の爲に、學術振興會に於て、現在高周波用として使用さるる絶縁物に對し要求される力率の値を第二表に掲げておく。

第 二 表

(測定周波数はすべて 10 メガサイクル)

材 料	力 率 (10 ⁻⁴ 単位)	測定温度 (°C)	測定湿度
1. 高周波絶縁用磁器	<10	40	24 時 間 浸 水 后
2. 真空管絶縁用磁器	<30	300	絶對乾燥
3. 高周波絶縁用硝子	<20	40	乾 燥
4. 真空管絶縁用硝子	<100	300	"
5. 高周波絶縁用 エポナイト	<80	40	"
6. 高周波絶縁用 フェノールレジン	80	40	"
7. 高周波絶縁用 スチロールレジン	3	40	"

最後に、これ迄に種々御指導を受けた研究部大野技師及び部品製作に御面倒を願つた尾島技師に深謝しつゝ、擧筆する。

(以上)

文 献

- (1) 日本學術振興會 第 18 小委員會 電學誌. 59, 519 (昭. 14.)
- (2) 西、坂本、岡崎 電學誌. 59, 683 (昭. 14.)
- (3) 菅 野 三菱電機 15, 76 (昭. 14.)
- (4) 菅 野 第 15 回聯合大會講演豫稿 No. 36 (昭. 14)
- (5) J. B. Whitehead Lectures on Dielectric Theory and Insulation
- P. Debye Polare Molekeln
- A. Gemant Phil. Mag., 19, 746 (1935)
- N.L. Yates-Fish Phil. Mag., 21, 226 (1936)
- O' Kane Phil. Mag., 21, 369 (1936)
- Jackson Proc. Roy. Soc., 150, 197 (1935)
- 金 子 電試彙報 3, 28 (1939)
- D.R. Pelmore Proc. Roy. Soc., 172, 502 (1939)
- (6) R.M. Wilmotte J. Sci. Instr., 5, 369 (1928)
- 小 林、小 野 第 15 回聯合大會講演豫稿 No. 34 (昭. 14)
- (7) 赤平、釜澤、中島 理研彙報 17, 1 (昭. 13)
- (8) 岡崎、一條 電學誌 59, 346 (昭. 14)

- (9) 一 條 電學誌 59, 74 (昭. 14)
- (10) 赤平、釜澤、中島 電學誌 57, 565 (昭. 12)
- 赤平、釜澤、中島 電學誌 57, 994 (昭. 12)
- (11) 湯淺、西崎、佐々木 電學誌 55, 688 (昭. 10)
- (12) 二井内 第 14 回聯合大會講演豫稿 No. 42 (昭. 14)
- (13) 沼 倉、塚 本 電學誌 57, 1063 (昭. 12)
- (14) 宮 崎 芝浦レビュー 16, 67 (昭. 12)
- (15) 沼 倉、塚 本 第 14 回聯合大會講演豫稿 No. 41 (昭. 14)
- (16) W. Anderson Phil. Mag., 13, 986 (1932)
- (17) M. Boella Alta Frequenza 4, 647 (1935)
- (18) L. Hartshorn and W. H. Ward J.I.E.E., 79, 597 (1936)
- (19) 西、岡崎、一條 電學誌 58, 268 (昭. 13)
- (20) 菅 野 電學誌 59, 234 (昭. 14)
- (21) P. Drude Zeits. f. Phys. Chem. 23, 267 (1897)
- E. Djakov H.F.T.E.A. 53, 54 (1939)
- H. Kanfmann H.F.T.E.A., 53, 61 (1939)
- (22) 森 田 第 14 回聯合大會講演豫稿 No. 43 (昭. 14)
- 森 田 電學誌 59, 234 (昭. 14)
- (23) 飯 沼 電學誌 49, 916 (昭. 4)
- " " " 50, 16 (昭. 5)
- Iinuma I.R.E., 18, 537 (1930)
- " " 19, 467 (1931)
- H. Pauli Z.S.f. techn. Phys., 10, 592 (1929)
- (24) E.W. Herold I.R.E., 23, 1201 (1935)
- (25) C. Brunetti I.R.E., 25, 1595 (1937)
- C. Brunetti Rev. Sci. Instr., 10 85 (1939)
- (26) 谷、石 井 電氣通信學會二十周年記念大會講演豫稿 No. 41 (昭 12)
- (27) W.W. Brown I.R.E., 21, 1339 (1933)
- (28) H.H. Race and S. C. Leonard E.E., 55, 1347 (1936)
- (29) 岡 崎 電學誌 59, 83 (昭. 14)
- (30) G.E. Owen Phys. Rev., 34, 1035 (1929)
- (31) F.W. Grundlach H.F.T.E.A. 53, 162 (1939)
- (32) G. Biz Diss., Jena (1936)
- G. Biz Phys. Zeits 40., 394 (1939)
- (33) W. Kebbel H.F.T.E.A., 53, 81 (1939)
- (34) 正 木 第 15 回聯合大會講演豫稿 No. 35 (昭. 14)

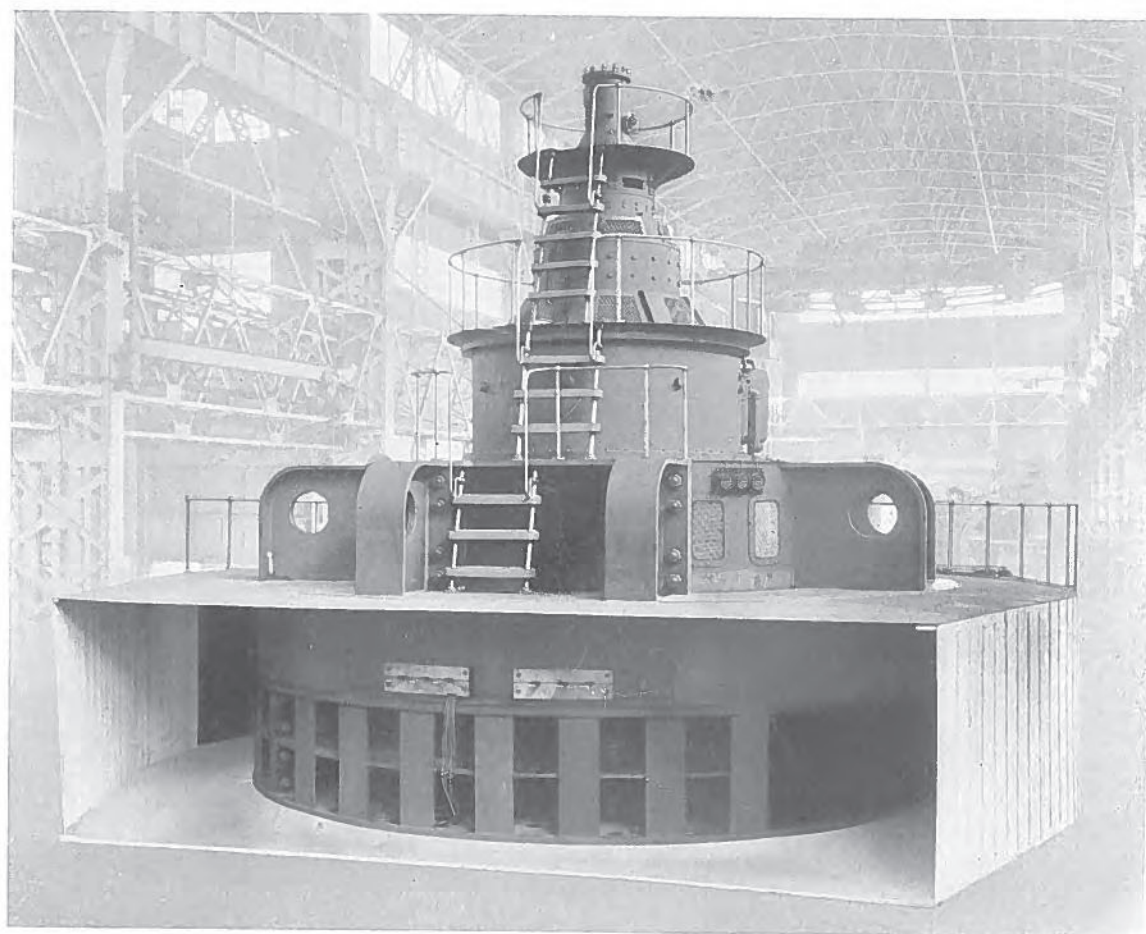
堅型水車発電機の据付法

神戸製作所 落合忠七

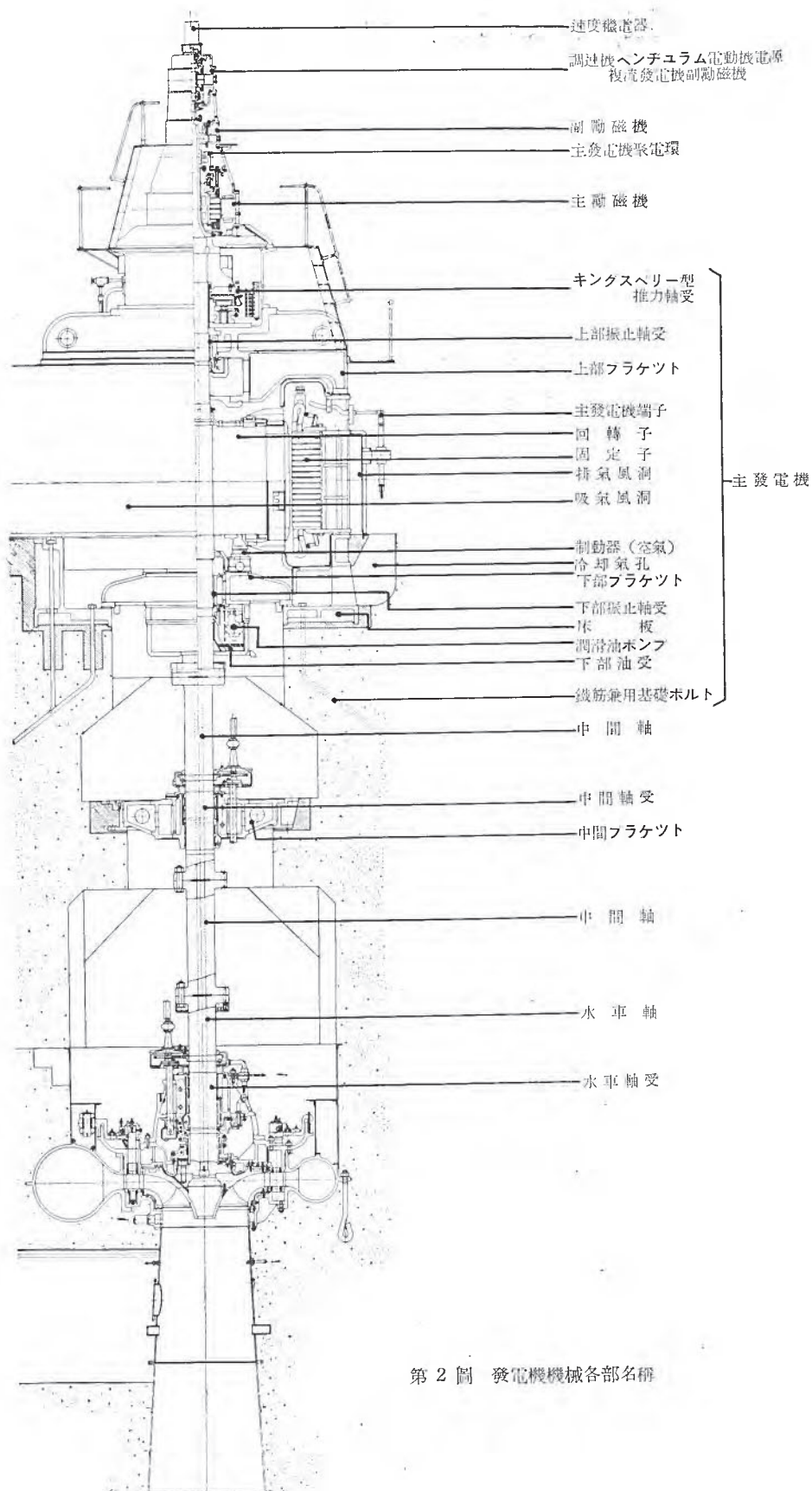
緒言

最近五ヶ年間に於ける我國の水車発電機は、その設計及び構造上に於て急速な進歩を遂げ、製作台数と単位容量の増加は實に目覚ましいものがある。又昨年夏には未曾有の渇水に見舞はれると同時に、石炭の供給が圓滑を缺き、生産擴充の眞最中に電力飢饉が誘發された。斯くなる上は東西を連絡する送電網の完備は勿論、益々水力開發に拍車かけられる事となる。而して開發されるべき地點が既に上流には少くなり次第に下流に移つて来る結

果、低速大容量の堅型交流発電機の要求が多くなつて来る。一方材料の節約が重大なる問題となつて來て、機械の構造も次第に従來とは變つた點が出て来る。例へば輪床型が次第に少なくなり、分割床板型が多くなつて來たのもその一つである。又建家の高さを節約するために、傘型発電機も出現しようとして居る。かくの如く発電機が大物になり特殊な型を取る様になれば色々据付組立上困難な問題に當る事があると思はれるが、今こゝに堅型水車発電機据付に關し一通り述べて見やう。



第1圖 14,000 kVA カプラン水車発電機



第2圖 發電機機械各部名稱

§ 4 現 品 調 査

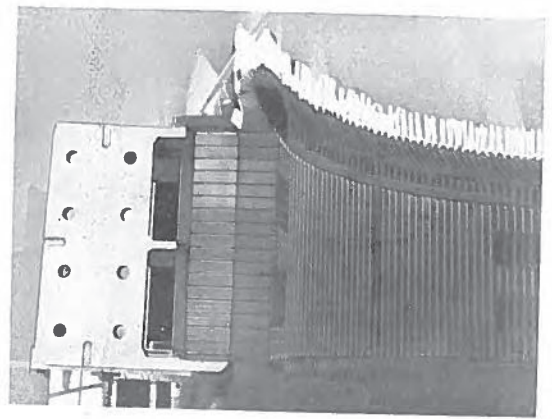
工程表を作成すれば工事の進捗と共に必要なる部分品が分るから、之に依つて工事着手以前に部分品を製作所の發送通知書と照合して調査し、重量物はその工程順序に依つて何時でも運搬出来る様に配列し、ボルトナット類及其他の小部分品は解荷して、數を正確に調査の上倉庫内或は發電所内適當の所に棚を作つて配列して置く。尙所定の時期迄には錆止めを洗落して置かねばならない。此の現品の整理が不確實なる時は非常に工程に支障を來すものであるから繁雜な仕事ではあるがボルト一本なりともゆるがせにせずには是非實行しなければならぬ。

此の外建物の中に徒に重量物を持運んで作業上支障を來たしたり、平行に作業が出来ぬ様な仕事を平行に進める様な工程を立てない様に場所の問題も注意しなければならぬ。

§ 5 固定子の結合

固定子はその大きさに依り二個以上に分割されて送られるから現場に於て再び組合されねばならぬが、一般に割れ目を除いてはコイルを挿入してあるから、取扱に當つてそれ等を傷ける事なき様充分の注意を要する。

分割されたる部分は弧狀を爲して居るから、吊上には

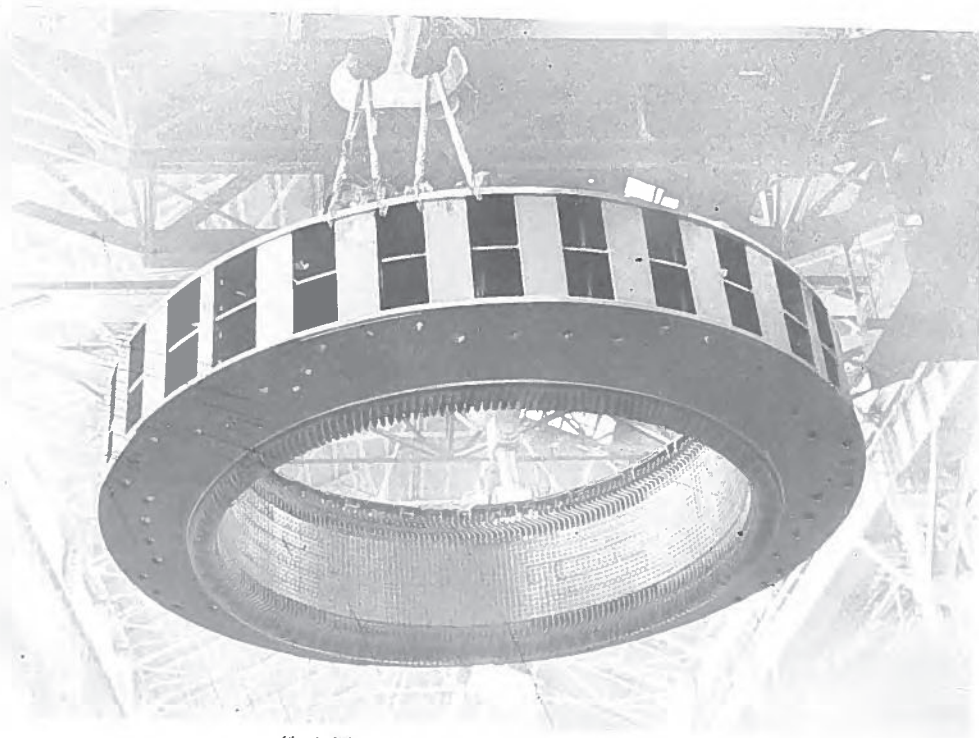


第 3 圖 固定子結合の姿勢

重心の配置に充分注意し、クレーン操作は慎重に行はねばならぬ。

組合せ姿勢を取らせたならば、第3圖の如く合せ目の下側をヂヤツキで受け水準器で測定しつゝ兩者の微小な高さの差を調整し全く一致した時にノックを規準にしてボルトを充分強く締付ける。之等の結合作業は建家内の充分廣い床面上で行はれる。

かくして全部を結合したならば愈々コイル挿入、結線及び乾燥等發電機の電氣的生命に關する重要作業が始められるのである。



第 4 圖 完成されたる固定子

回轉子組立作業

§ 6 構造

回轉子は軸、スパイダー及磁極から成り立つて居り附屬物としてはファンや制動輪等がある。高速度機に於てはスパイダーは1箇又は2箇の鍛鋼で作られ中速機では壓延鋼板を重ね合せて作られる。低速機で直径が大になり所要の大さの壓延鋼板が得られなくなると、スパイダーを熔接組立した鋼板或は鑄鋼にて作り、その外側に成層鉄心にてスパイダーリムを作り、それに磁極を取付けるのであるが第6圖はかゝる方式を採用した回轉子である。

多くの場合は軸、スパイダー及磁極は分解されて送られ、現場に於て回轉子組立を行はねばならぬから、以下簡単に回轉子の組立に就いて述べる。

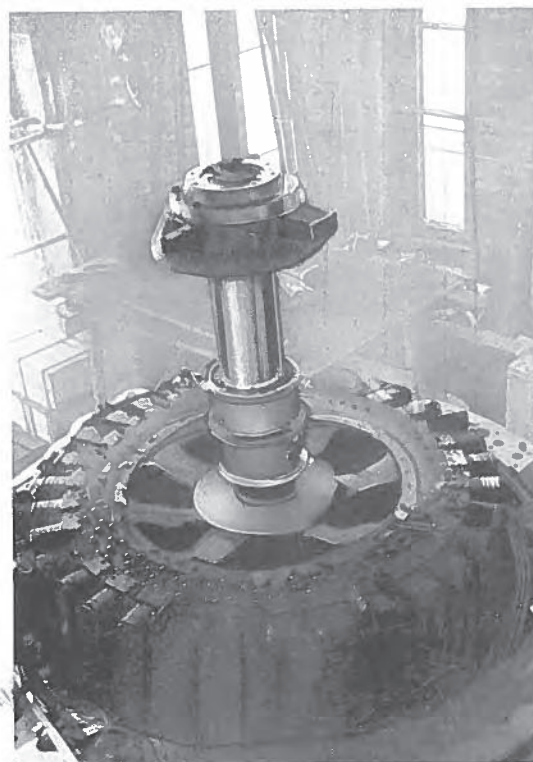


第5圖 スパイダー素板

§ 7 スパイダーの焼嵌

現場にてスパイダーを軸に嵌合するには主として焼嵌法が採用される。これにはスパイダーを軸端が入り込む寸の孔のある床面上に置いて加熱膨脹せしめ軸を逆釣して挿入するのが普通である。

スパイダー加熱の熱源としては炭火、蒸氣、瓦斯、電氣等があるが、現場では炭火及電氣による事が多い。炭火を使用するとスパイダーが不均等に加熱される場合が多く、これは冷却後内部応力を残す原因となるから、出来る限り炭火の使用は避けねばならぬ。一般には電熱器を使用して第7圖の如く外側を板で圍つて加熱するが、此の際スパイダーの下部が上部よりは加熱され勝ちなのは止むを得ない事である。加熱中は参考の爲めにスパイダーの孔の近く、ダブテイルの近く、上面及下面の温

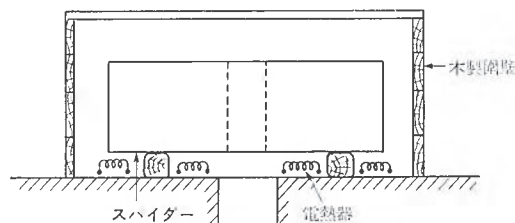


第6圖 組立式スパイダーの回轉子

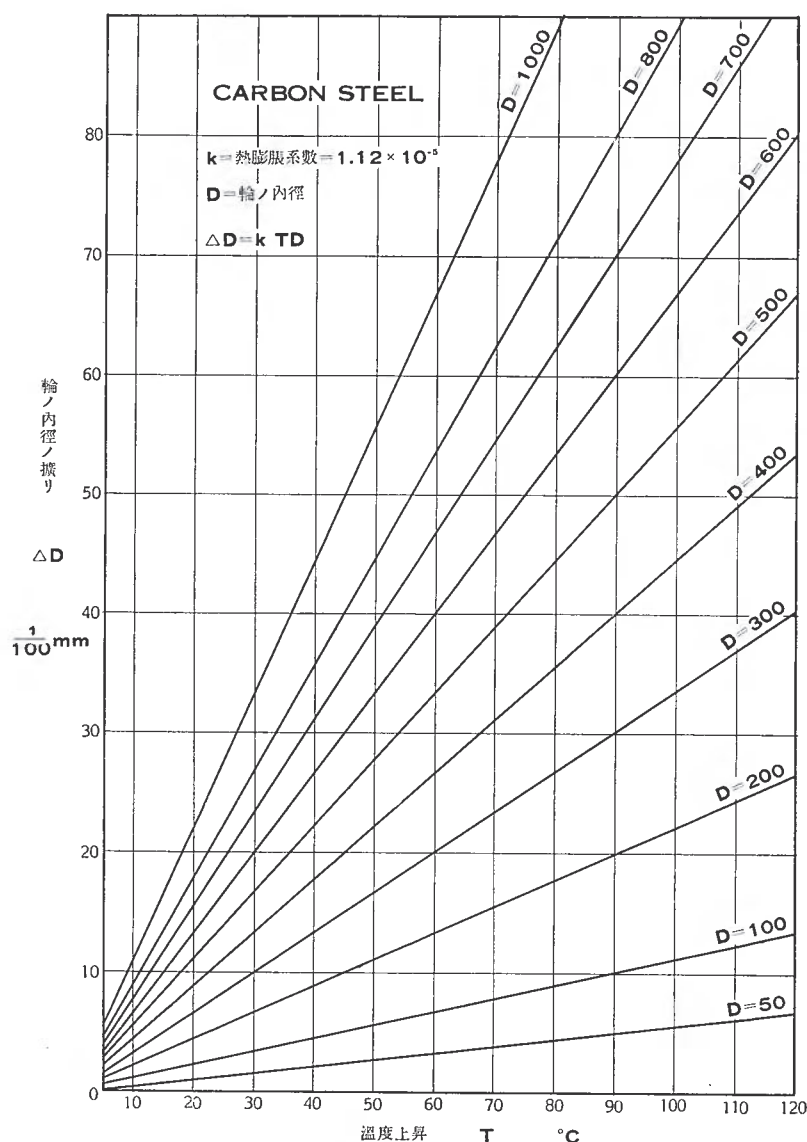
度を測定しその差の甚だしき時は一時電氣を切つて一樣になる様調整する。

この外に電氣を使用する方法で渦流熱を利用する方法がある。即ちスパイダーの周りに低壓ゴム線を巻いてその線輪に商用周波数の交流を流すと、スパイダーは渦流に依り温められる。此の方法は表皮作用の爲内側よりも外側の方が幾分暖くなり勝であるが、スパイダーは内部から加熱され而も温度は軸方向には一樣であるから最も理想的な方法であり、又最も手輕な方法であるがこの場合でも前と同様に板圍のある方が有効である。

加熱に先立つて先づスパイダーを正しく水平に設置し孔の内徑及軸の外徑をマイクロメーターで測定して孔徑



第7圖 電熱器に依るスパイダー加熱法



第 8 圖 肉薄き輪の温度上昇に依る内径の張り
炭 素 鋼

を何程膨脹せしめるかを算定し、その値に對するスパイダーの必要なる温度上昇を大略計算する。肉の薄い輪の場合の内径の張りは第 8 圖、第 9 圖の ΔD に依り定める事が出来る。

大体所要温度に迄加熱されたならば、孔径を再び測定し、所要の寸法に達した時にクレーンにて逆釣りされたる軸の嵌合部にグラフアイト或は白ペンキを塗布して挿入する。

この際軸は正しく垂直に釣りねばならぬ。もし垂直でないとスパイダーが軸に喰込む恐れがある。又急激な加熱或は必要以上の加熱は出来る丈避けねばならぬ。膨脹

をマイクロメーターにて測定する時は速に操作せぬとマイクロメーターが膨脹して誤差が大きくなる。

§ 8 スパイダーリムの組立

リム型スパイダーの回転子では回転中の應力はリム中で最大になり、その應力に耐えるのは成層鐵板間の摩擦力であるから、リム組立に當つて最も注意を要するのはその鐵板のボルトの締め方である。このボルトの締め付ける力は周上、放射方向及び軸方向に於て凡べて一樣でなければならぬ。もし不均一なる個所がある場合は遠心力に對する強さは非常に低下する。

二つに割られたスパイダーボスを、合せ目を充分掃除し軸の入るだけの間隔を置いて向ひ合せ § 7 と同様の注意を拂つて軸を挿入し各ボルトを一樣に締め付けて軸に抱合せ、ボス締輪を焼嵌めする。次に軸を正しき姿勢に轉位し、下側スパイダー端板を床上 30cm 以上の高さにジャッキで支え、その中にボスを丈夫な I ビームで床上に支へ、而る後ジャッキ及びライナー等を用ひてボスは垂直に、端板は水平に正しく位置させる。

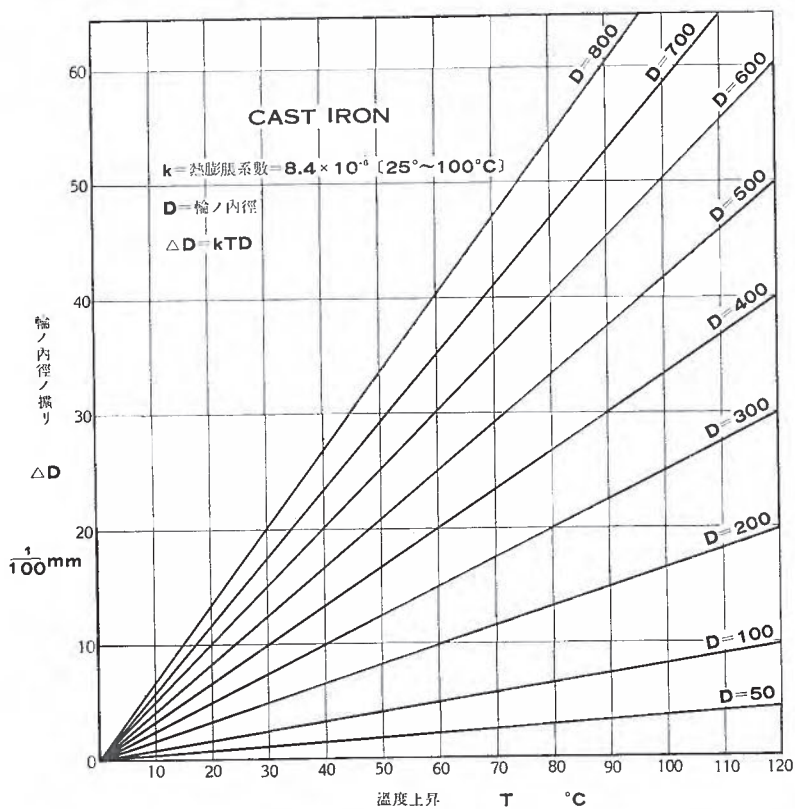
端板にボルトを全部立て、ダブテイルスロットを規準としてリムの鐵板を積重ね全周に亘り適當な厚さに達する毎にボルトを一樣に締め付け、全部を積重ね

る。最後に上側スパイダー端板を重ねて締め付け出来上りたる上はリム全体を加熱膨脹せしめてボスとリムの間にコッターを打込む。加熱膨脹の方法及注意は前節と同様である。

出来上つたスパイダーのダブテイルスロットのキーの當る部分は軽く鑿でならして置く。リム組立中の状態は第 10 圖に示す如くである。

§ 9 磁極取付作業

回転子中に遠心力により發生する應力は高、中速機ではダブテイル部分とコイルを支えるボールチップの所に於て最大であり、低速機ではスパイダーリム自身の重量



第9圖 肉薄き輪の温度上昇に依る内径の膨り
鋳 鐵



第10圖 組立中のスパイダーリム

が非常に大なる爲りリム中に於て最大となり、同時にダブテイル部分に於ても可成り大きくなる。従つて磁極の取付には細心の注意を必要とする。

磁極及コイルは各計量されて回転子の静的釣合を考慮され、ダブテイルキーは磁極個々に就いて充分の摺合せを行つてあるから合印を見て必ず所定の箇所に所定の磁極を所定のダブテイルキーで取付けねばならぬ。磁極を取付けるには直径に比して鉄心幅の長き機械即ち高速機では軸を水平にして、又直径に比して鉄心幅の短き機械即ち低速機では軸を垂直にして作業をするのが便利である。前者の場合は木製の軸受台を作り、軸を支える部分に三角の切込を作つて銅板を敷きグリースを塗り而して此の台で軸の軸頭とならぬ所を支えて磁極を取付ける。此の際は1ヶ磁極を入れたならば次はその直径上の反対側に取付ると言ふ具合に、釣合を取つて磁極を入れなければならぬ。

もしスパイダー周上の一方にのみ磁極を入れると重量の不釣合の爲に木台上でスパイダーが獨りでに回轉し出して危険である。

磁極は磁氣中心を一致せしめて取付け、ダブテイルキーを充分深く打込む。此の際キーには白ペンキを塗つて置かぬと充分入らぬ先にキー同志が焼付いて抜き差ししなくなる事がある。

§10 細部組立

界磁線輪の結線は電氣的及機械的の兩方面から充分注意する。コイル支えはコイル及スパイダーによく密着させて締付ねばならぬ。それが済むとファン及ブレーキリングを取付、滑動環のつくものは滑動環を取付て回転子の組立は完了する。ボルトは凡べて回轉中に緩む事がない様に充分注意して置かねばならない。

勵磁機の軸が主軸と一体になつて居るものでは細くて非常に曲り易いから軸の取扱を注意すると同時に推力受金を挿入する時はこの軸承を支點として入れてはいかぬ。一度曲つた軸を矯正する事は非常に困難である。かくして出来上つた回転子は第11圖の如くなる。



第 11 圖 組立完成せる回轉子

セ ン タ ー リ ン グ

§ 11 種 類

センターリングの方法は大体次の3種に大別される。

- a. 水車のケーシング設定後中間軸受中心出しを遂行してから発電機床板、下部ブラケット、固定子、上部ブラケットの順に假組立を行ひて水車の軸受に発電機ブラケットの中心を合せる法。
- b. 水車のケーシング設定後中間軸受中心出しを遂行してから発電機床板及び下部ブラケットの中心を水車の軸受に合せ、その儘床板及下部ブラケットにコンクリートを打込み、硬化後水車本体は直に組立に取かゝる。而して発電機、固定子及上部ブラケットは下部ブラケットに合せて中心を出す方法
- c. 水車のみ先に組立てを行ひ、その水車の軸に合せて発電機の中心を出す方法。

而してセンターリングはaを以つて常道と心得るべく

これが最も正確を期する事が出来る方法であるから、止むを得ざる場合の他は此の方法を取るべきである。bはaの工程に含まれて居るからaを主として述べbの場合に注意すべき點をその都度述べcについて簡単に述べる。

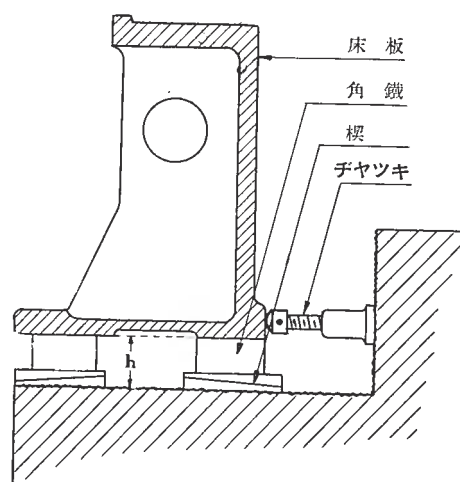
§ 12 床 板 の 据 方

輪床型のものでは先づ床板のみをノックを規準にして組立てて据付けその上に固定子を載せる。分割床板のものでは床板を固定子に取付けて、而る後輪床と同様に取扱つて据付ける。従つて輪床型に就いて据付方を述べれば分割床板型も全く同様である。

床板が置かれる基礎コンクリート表面を大体水平面に削り水を打つて適當の濕りを與へて次に打込むコンクリートの着きを良くする。第12圖の如く一組の楔を置き其の上に角鐵を置き其の角鐵で床板を支える。

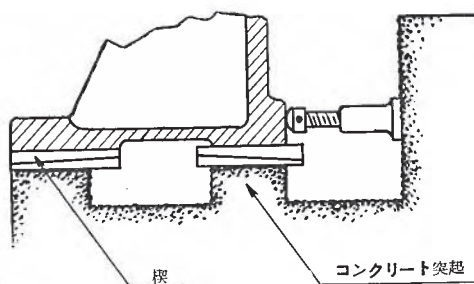
此の角鐵は通常床板の置かれる圓周上に6ヶ所、乃至16ヶ所位設置する。角鐵の巾は50mm~150mmで長さは床板に合せて作る。

楔の巾は角鐵の巾と同じくし長さは角鐵よりも50~100mm長くする。楔の傾斜は約 $\frac{1}{100}$ 位とし、高さhはコンクリートが充分流れ込める様100~150mmに保つ。かゝる寸法の角鐵が手に入らぬ時は二枚は又三枚の平鐵を重ね用ひてもよいが餘り薄いものを澤山積重る事は面白くない。それは



第 12 圖 床板の据付方

鉄板には皆歪があつて澤山積重ると一重の鉄板は一種のスプリングとなり固定子のみを支えて居る時の高さと回転子の重量がかゝつた時の高さとが違つて来るからである。材料節約の折柄かゝる角鉄を使用せず角鉄に相当する高さだけ基礎面にコンクリートの突起を作りその突起の上に楔を置いて、その上に床板を直接置くのも甚だ有効な方法である。第13圖は其の状態を示す。



第 13 圖 コンクリートの突起

以上の如く据えられたる床板の高さは水車軸受から測定されて、圖面通りでなくてはならない。従つて据える前に巻尺でこの寸法を測定し角鉄又は突起の高さと、楔の高さを考慮して基礎コンクリート面の高さを検べて、その粗面を何程削り取るか或は更に敷板を敷くかを算定し所定の寸法になる様努める。床板が座つたならば下部ブラケットを取付ける。分割床板型のものでは、その床板を下部ブラケットに締付けて而る後上記と同様の方法に依つて据える。

§ 13 高さの決定

かくして床板の据付が定つたならばその上に固定子を置き、上部ブラケットを載せる。而して先づ発電機、中間軸、水車軸の長さに現物で合せた棒ゲージを作り、これにより上部ブラケットの高さを決定する。此の高さの決定には實際の軸長以外に温度上昇に依る軸の伸び、重量及び水壓に依る軸の伸び、及び重量及び水壓に依る上部ブラケットの撓み等を考慮しなければならない。この作業を平均して上部ブラケットの水平を出す。此の水平は上部ブラケットの推力軸受座の所で測定し、測定用としては 0.02mm/m 位の精度を持つ水準器を使用する此の際座に直接小さな水準器を當てたのでは仕上面の傾向に非常に影響されるから、ストレートエツヂを用ひる

のを最善とする。

発電機の上部ブラケットと水車軸受迄の高さが非常に高く一本の棒ゲージを作り難い時は、中間軸受に規準點を移すとか或は又中間軸受上に太い棒ゲージを立てその頭を規準としてその上に発電機上部ブラケット迄とゞく棒ゲージを立てる等の手段を取る。棒ゲージとしては軽く強いコンデット・チューブを使用するのが便利である。

此の場合床板と固定子、床板と下部ブラケット、固定子と上部ブラケットとの締付ボルトは總てボルト孔の中心に来る様にして充分締付けねばならぬ。又固定子と上部ブラケットは絶縁ボルトになつて居るから此の時に絶縁管を挿入して置かねばならない。之等の事を怠ると後にコンクリート硬化後出来た狂を矯正出来ない事がある

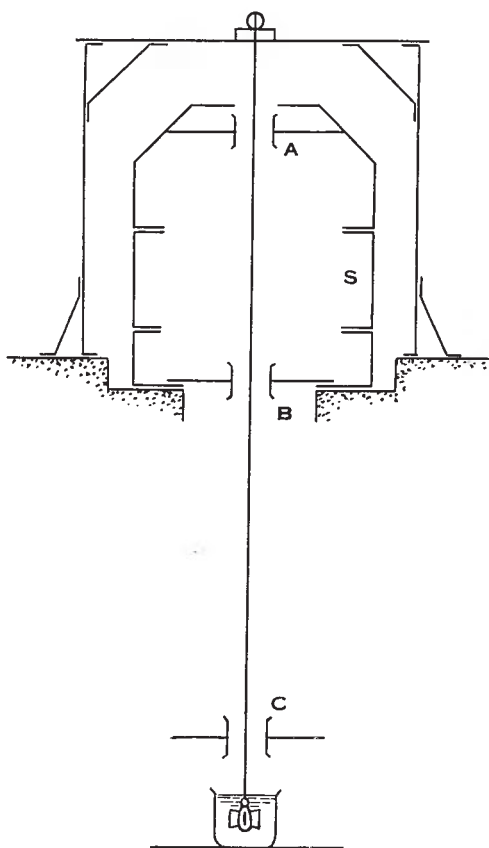
此の様にして高さを定めれば軸の實長に合致した高さとなるからたとへ工作上、誤差(僅なものである)が固定部分及び軸にあつたとしても互に打消される。

§ 11 の如く唯圖面の寸法のみに依る時は工場で検査せる物指と現場で使用する物指とが異れば、大きな誤差を生じて圖らざる寸法の違ひにぶつかる事がある。之れが § 1 a の方法を採用する理由の一つである。

§ 14 中心決定

高さの決定及び水平決定と全く平行して発電機ブラケットの中心決定が行はれる。即ち上、下部ブラケットのメタルガイドの中心を水車メタルガイドの中心に一致させるのである。それには第14圖に示す如く発電機部分に全く接觸を持たぬ櫓を發電機を覆つて組立て、それから上部ブラケットのメタルガイドA、下部ブラケットのメタルガイドBを通過して水車メタルガイドC迄至る一本のピアノ線を下げその下端に羽根の着いた 10kg~15kg の重錘を下げ、その重錘を罐に入れた油の中に沈める。此の油は重錘の振動を制動する役割を果すものである。

インサイド・マイクロメーターを用ひてCの中心にピアノ線を合せる。次に A, B, S を總べてピアノ線を中心となる如く調整する。この時はインサイド・マイクロメーターがピアノ線に觸れたならば電気回路が出来て受話器に感ずる如く装置するのが普通で此の方法に依る時は非常に精密にセンターリングする事が出来る。Sの調整には第12圖の如くジャツキにより、又A, Bを調整するにはデヤツキボルトで移動させるが、デヤツキをきか



第 14 圖 センターリング

せる時は反対側の一群のダイヤキを緩めて後必要とする側一帯のダイヤキを一樣にきかせる事が肝要で、一ヶ所のダイヤキのみをきかせる時は固定子の重量が重いので床板全体が動かずにダイヤキで押れた所のみ變形する。かくして高さ、水平中心を決定したならば各部に弛みや移動の起らぬやうに注意しモルタルを流し込んで硬化を待つ。打込むモルタルは 1:2 乃至 1:3 のものが普通用ひられる。

ピアノ線は途中で繼いだものやキンクしたものを絶対に用ひてはならない。油は機械油程度の粘度が良く餘り粘度が高いと重錘が一度偏つたならばピアノ線が再び鉛直になる迄には非常な長時間を要する。櫓は出来る限り第14圖の如く發電機部分から獨立して建てるべきであるが、萬止むを得ぬ場合は發電機上部ブラケットからピアノ線を下げ、發電機ブラケット中心にそれを合せて後發電機床板を移動させる事に依つてそのピアノ線をCの中心に合せる。此の方法による時はA、C間の距離の長い時は重錘の振動周期が長くなり従つて調整に長時間を要

すから充分の注意が必要である。

又建物を利用してピアノ線を下げる場合は、一日の温度の變化に依つて建家の膨脹、收縮が起り比較的一定温度に近い水車室の方とかなりの差を生ずる爲めに、一日中の時間に依つてセンターリング記録が異つて來る事がある。殊に夏季に於てこの現象が著しい。

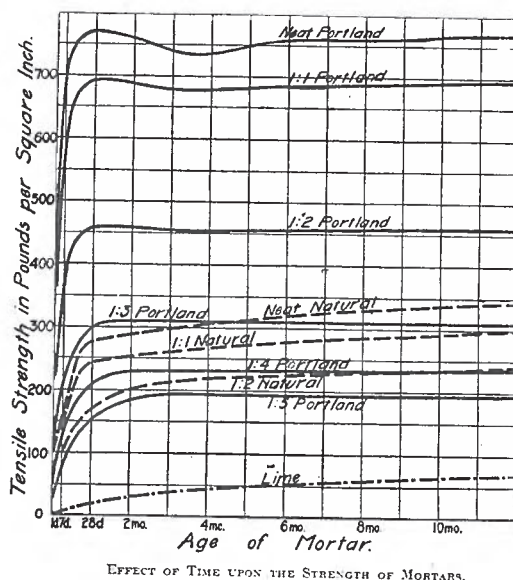
尙此の現象は第14圖の如く櫓を獨立に建てた場合にも起る事があるから水車室と發電機室の温度の比較的等しい朝方に心出しを行ふのが宜しい。勿論センターリング中はクレーンの運轉等は停止して置かねばならぬ。

§ 15 コンクリート硬化及センターリング再檢

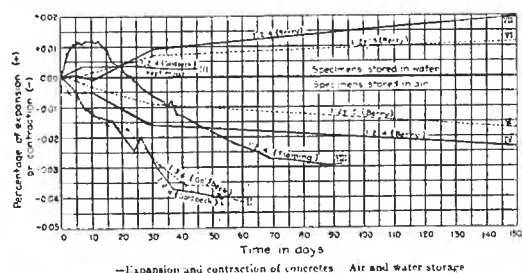
モルタルが充分に硬化してから、センターリングを再點檢する。ポルトランド・セメントの材齡と強さの關係は第 15 圖に示す如くで引張り強度は 28 日を以つて最大となり、其後は大なる變化がない。一方硬化迄の收縮状態は第 16 圖の如くで測定者に依つて一致して居ないが大体 3 ケ月以上では何れも變化が少なくなつて居る。

しかし 3 ケ月は勿論 28 日とは非常に大きな時日の空費となるから、大体強さが最大値に近づいた時をセンターリング再檢の時とする。

大体 10 日経てば 28 日材齡の約 $\frac{3}{8}$ ~ $\frac{1}{2}$ (1:2~1:3 ポルトランド) に達する。従つて經驗をも考慮に入れて夏期に於ては 10 日、冬期に於ては 14 日を無難とする。最



第 15 圖 ホートランドセメントの引張強度と材齡



第 16 図 材齢と収縮、膨張の関係

短許容日数は夏期7日、冬期10日位である。モルタルが硬化したならば水車側と立倉でセンターリングを再び検査し狂ひがあれば矯正する。

これで全くセンターリングが完了したので下部ブラケット、固定子、上部ブラケットの各部にリーマールボルトを打ち固定させる。

ここに注意すべきはセメントは急硬化性のものは狂ひが多いから使用を避けねばならない。又モルタルの硬化不十分の間はセンターリングの再点検を行つてならない。若し再検後に狂ひが来ると全く修正困難であり再び中心を合せるには発電機回轉子も水車ランナーも引抜かねばならぬと言ふ結果になるから硬化に當てる日数は切りつめず充分餘裕を以つて計畫しなければならない。

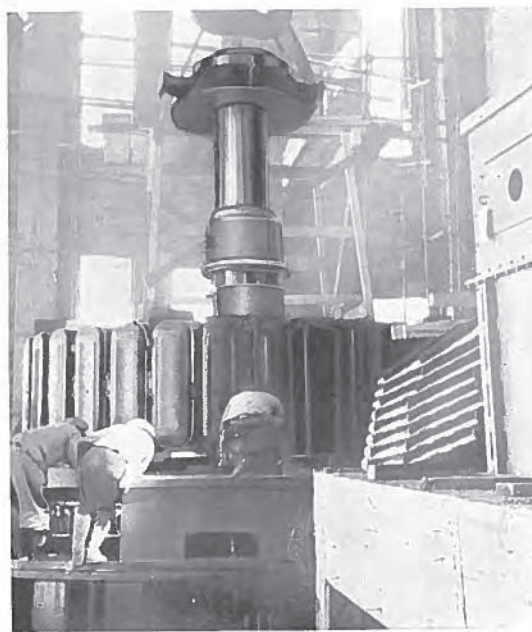
§ 16 回轉子挿入

センターリングが完了したならば先づ上部ブラケットと固定子間の絶縁をメガー又はベルで検査する。絶縁状態が完全な時は上部ブラケットを取除き、下部ブラケットのブレーキ上に回轉子制動輪とブレーキシューとの間隙よりも約5mm位厚い鐵板を載せその上に回轉子を安置する。この時はギャップゲージで空隙を測定しながら固定子中心に回轉子を置く様にしなければならない。上エンドベルを取付けブラケットに上部振止軸受を取付回轉子の上から覆せて、リーマールボルトを規準にして固定子上に固定する。通風扇は此の時に取付け、次に推力軸を取付けて愈々調整にかゝる。第17圖は回轉子を挿入する所を示す。

推力軸受調整

§ 17 推力軸受

発電機と水車の回轉体の全重量及び水壓を一身に引受けて安全に回轉させる推力軸受は固定部と回轉部の最も



第 17 図 回轉子の挿入

重要な接觸部であるから充分注意深く取扱はねばならない。此の軸受としては主にキングスベリー式推力軸受が使用されるから此の軸受に就いて述べる。

キングスベリー式推力軸受が發明されてから大きな堅型水車發電機の出現が可能になつたと言はれて居り、その作用は非常に巧妙であるが構造は至つて簡單である。その全貌は第18圖に示す。構造は大別して全負荷を受けて回轉する回轉板、回轉板を支へる6ケの扇形のスラストパッド、各スラストパッドを支える6ケのパッド受けパッド受を支えると同時に高さを調整する6本の調整ボルト及び以上の物を支える骨組構造の5部分から成立して居る。(第19圖参照)

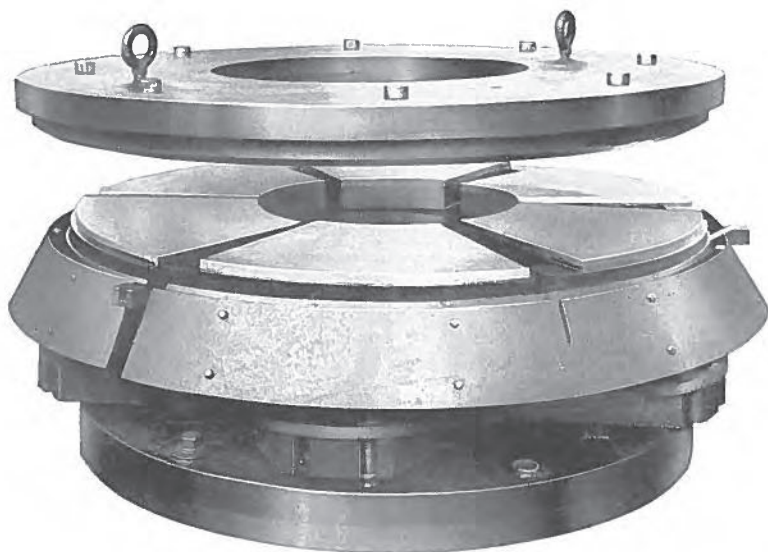
此の軸受を上部ブラケットに取付けるに先立つて先づ各部分に分解し、調整ボルトは6本が皆同様な滑らかさになる様にネズを摺合せる。これが済んだならば再び組立て、パッド一枚毎の傾きの感度を手で押して検査する。

以上で推力軸受の点検を終りパッドの表面に潤滑油を充分注いで回轉板を静かに載せ、上部ブラケット上に取付けける。

§ 18 軸受調整法

軸の傾きの一般の場合は第20圖に示す如くである。

SS を軸、RR を回轉板とし、SS なる状態にある軸を180回轉させると S'S' なる状態になる。



第 18 圖 キングスベリ推力軸受組立圖

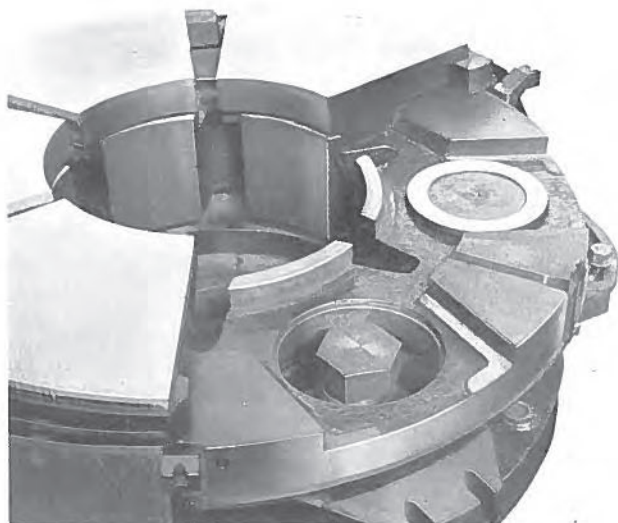
此の場合スラストパッドは水平でなく回轉板 RR は水平 R_0R_0 に對し α なる角を持ち同時に、軸は回轉板に對し直角に非ずして $O'O'$ に對し θ なる角を持つ。軸が全く $O'O'$ と一致すれば即ち $\theta=0$ となれば軸端のふれは無くなり、次に OO と一致すれば即ち $\alpha=0$ となつて回轉板の水平が完全にとれば軸は全く垂直に回轉する。

此の θ なる角を無くする事を振れ直し

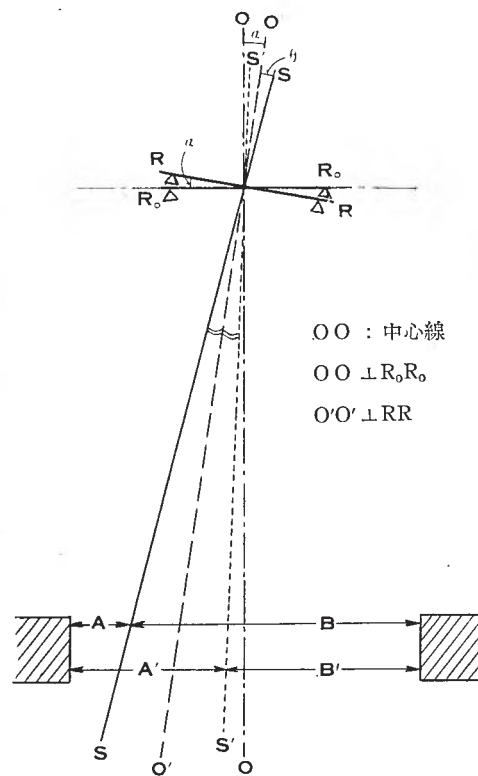
α なる角を無くする事を水平出し

と言ふ。

推力軸受調整はこの振れ直しと水平出しの二つに分析



第 19 圖 キングスベリ推力軸受分解圖



第 20 圖 軸の傾き

され、振れ直しは回轉板と軸の傾きを矯正する事により遂行し、水平出しはスラストパッドの高さを調整する事によつて遂行する。

i 振れ直し

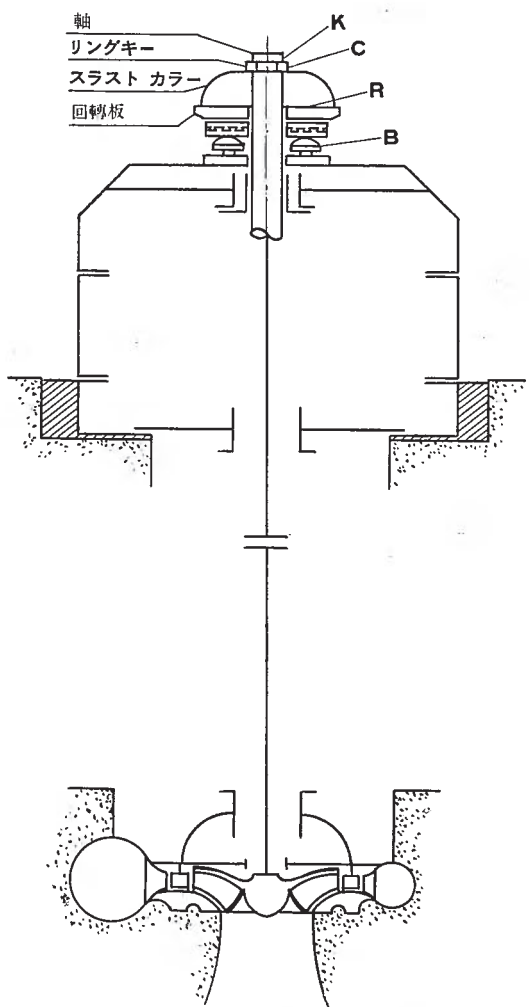
SS を $O'O'$ に一致させるには、如何程 RR を傾けるかは次式による、

即ち $A, B : A', B'$ を既知とすると、

$$\frac{\frac{B-A}{2} - \frac{B'-A'}{2}}{2} = \frac{(B-A) - (B'-A')}{4} = I$$

これだけ下部メタルガイドに於て SS を右方に移動させればよい。

發電機及水車の骨格圖は第21圖に示す如くである。回轉板が軸に直角でないのは K, C, R 各面に於ける工作上の僅なる誤差の集積に原因するのであるから、振れ直しに當つては、K, C, 及 R の何れかの面を修正すれば宜いのである。實際には K 或は C 面を鑪にて修正する事が理想的であるが、その都度回轉子の重量を一度下部ブラケットに受けねばならないので非常に作業が繁雑になる R 従つて一般には面にライナーを挟む方法によるが、實



第 21 図 発電機及水車骨格図

用上之れで充分である。但しこの場合ライナーとしては永久に変形せぬ物質を使用しなければならない。

ii 水 平 出 し

i の操作でSSと O'O' とが一致したから次に RR を R₀R₀ に一致される事によつて O'O' を OO に一致せしめればよい。それには

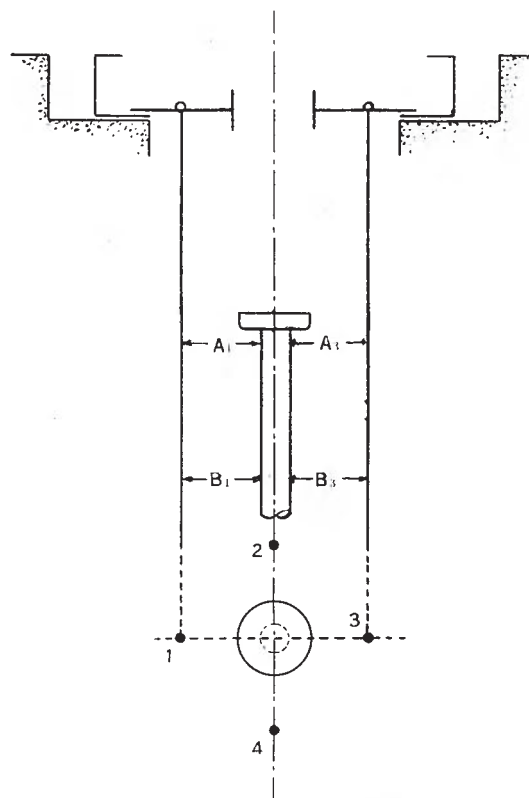
$$\frac{B-A}{2} - \frac{B'-A'}{2} + \frac{(B'-A')}{2} = \frac{(B-A)+(B'-A')}{4} = |L|$$

スラストパッドを調整してこれだけ下部メタルガイドに於て SS (即ちこの時は既に O'O') を右に移動させれば宜しいのである。

水車のみ先に組立たるセンターリング

§ 19 4本のピアノ線に依る方法

水車の軸受と軸との間隙をシツクネスゲージで測定し



第 22 図センターリングの方法

て、正しく軸を軸受の中心に置く。次に発電機下部ブラケットの足から4本のピアノ線を第22図の如く降し、而してピアノ線 1,2,3,4 は軸接手と同一圆周上にあつて而も1-3 を結ぶ直線と2-4 を結ぶ直線が互に直角なる如くにする。これは水車軸の接手面を規準にして配列すは出来る。

而してインサイドマイクロメーターにて測定して

$$A_1 - A_3 = B_1 - B_3$$

$$A_2 - A_4 = B_2 - B_4$$

なる関係が成立した時軸は正しく垂直である。

従つて上の関係を成立する如く軸の傾きを矯正し、再びピアノ線の配置を修正した後 A,B の値を測定すると言ふ具合に漸進的に軸は垂直へと矯正される事が出来る。

かくして軸が軸受中心にあり而も垂直であると言ふ状態になれば、接手を規準にしてピアノ線を再び正しく修正し、そのピアノ線を規準として軸中心に更に一本のピアノ線を降し、この最後のピアノ線を規準にして発電機のセンターリングを行うのである。高さは接手面を規準として定める事が出来る。

推力軸受調整は既述と全く同様に行ひ、調整後直に水車軸と發電機軸を直結する。接手面の工作誤差は非常に僅であるから水車軸受と軸との間隙内で測定することが出来、既述と同様に接手面の修正を行ふ事が出来るが、この場合 A,B 間距離は出来るだけ長い方が正確を期すことが出来、又ピアノ線は出来る限り緊張させねばならぬ。

總 組 立

§ 20 潤 滑 系 統

推力軸受調整が終つたならばこれ以後の組立作業は比較的簡單であるが、油滑系統には充分注意を要する。

推力軸受槽内の水冷管に錆を生じて居ると冷却効果を減じるから取付に先立つて充分錆を落す。而して取付けた後は油を入れる前に水だけ流入して見て漏水を検する配管類中の塵埃は軸受の加熱、焼損の原因となるから注意深くワイヤブラシでボロに揮發油を浸したもの等で掃除する。管中にボロ等が残らない様に注意しなければならない。

配管類の取付作業には瓦斯熔接の用意が必要である。油管類の取付が完了したならば油滑系統と直列に油濾過機を運轉し、一晝夜以上油を潤環せしめるのを理想とする。

尚潤滑油の選擇も非常に大切に良質な油を使用せねばならない。低速發電機用には大体 100°F で 250~325 秒シーボルト位のものを最適とし、高速用には 150 秒シーボルト位が適當である。

§ 21 勵磁機の直結

勵磁機の電機子は發電機軸頭に別に取付けられるものが多いが、この式ではどうしても工作上の誤差から接手面の傾きの爲に電機子の頭が振れる。此の振れは電機子の接手面を修正して矯正する事が出来るが、振れが甚しい時は發電機のバランスにも影響するから、これは始運轉を始めたならば直に手直しを行はねばならない。

試運轉及バランスング

§ 22 試 運 轉

始運轉に當つて先づ滑油系統を點檢し、油が順調に流れるかどうかを検査する。次にオイルブレーキの動作を實際に働かせて検査する。次に冷却水の流動を検査する以上の點檢が済んだならば、水車により軽く五、六回廻轉させて當る所がないか音を聞き分ける。之等の點檢が済み、愈々定格速度迄上昇せしめて運轉する。この時は絶えず油の流れと溫度計の指示に注意する。同時に勵磁機の頭の振れを検べ、發電機全体の振動状態に注意する。

§ 23 バラ ン シ ン グ

工場試験の済んで居るものではバランスを取つてあるが、済んでないものではバランスの悪いものがある。この場合は先づ勵磁機の頭の振れを先に矯正したる後、試し寄り方法に依つて發電機のバランスを取るのが一般である。

當社研究部にて考案した可搬釣合試験器を（第十四回電氣學會大會豫稿、電氣機器 128 頁）使用すると正確に釣合を取る事が出来る。この器械は勵磁機軸端に直結された正弦波單相交流發電機と上、下オイルパンに取付られたる 2 ケの受振器とから成つて居り、一度回轉中に振動の記録を測定し次に二度試重を附して回轉中の振動状態を測定し、この三組の記録を参照して圖式解法に依つて不釣合の位置と重量を決定するもので、實際の運轉状態に於て釣合を取る事の出来る優秀なる試験器である。

結 言

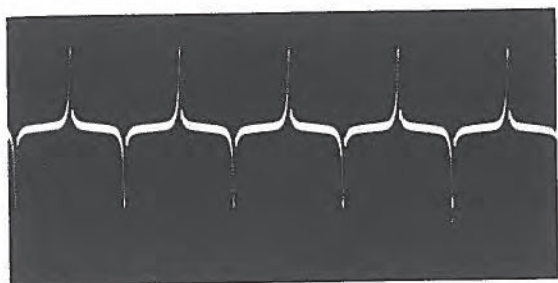
一通り堅型交流發電機の据付に就いて述べたのである勿論これ以外にも種々の方法がある。又現場に於ては思はぬ事態に立至る事もあるが、それ等に對しては其の時に最善の方法を採つて進むべきで、その現場に適した方法も自然生じて来るものと思はれる。この爲には工夫研究に依つて種々据付に對する改良進歩がなされなければならない。以上述べた所が多少なりとも讀者の参考になれば筆者の幸甚とする所である。

尖頭波變壓器

本店研究部 小 椋 義 正

1. 緒 言

尖頭波變壓器は一次巻線に正弦波電圧を加へ、二次巻線は第1圖の如き尖頭波形の電圧を得る變壓器である。



第1圖

之の使用目的は後で述べる如く、近年放電管装置の發達と共に、その格子制御が必要となつた爲に主として、その方面に用ひられるのである。

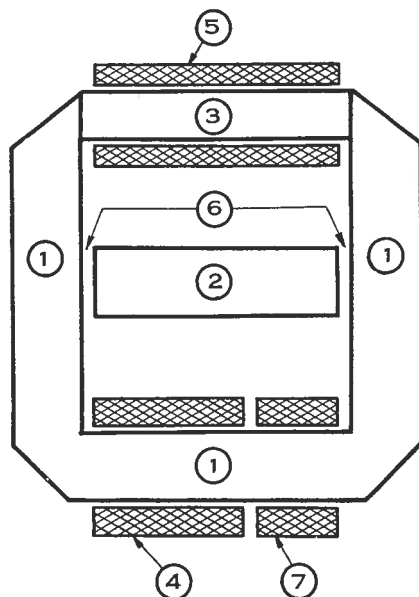
放電管の格子制御には機械的方式と靜止的方式とがあるが、前者は回轉による接觸の開閉であるから作動精確とは言ひ難いといふ缺點がある。尖頭波變壓器を用いたものは後者に屬し、構造、結線共に簡單で回轉部分を含まず作動精確であり、放電管自體が靜止器である事を考へれば、その本質的特徴に合致したものと言ひ得るのである。

2. 構造、機構

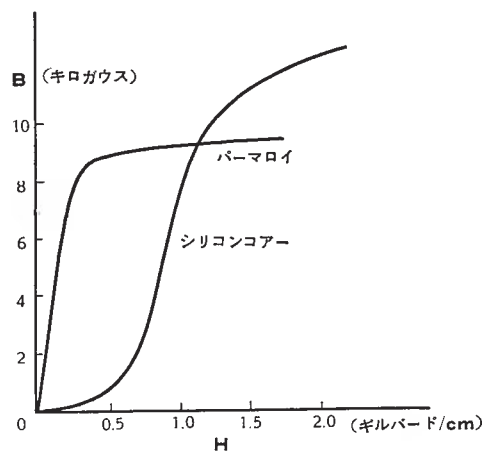
構造には多少異つたものもあるが原理的に見れば大體同様で次に述べる様なものである。

第2圖の①、②はシリコンコア、③はパーマロイを用いた鐵心、④は一次巻線、⑤は二次巻線、⑥は空隙⑦は三次巻線である。パーマロイは鐵 78%、ニツケル 22% の合金で、初導磁率 20,000、最大導磁率 50,000 で BH-曲線は第3圖の如きものである。

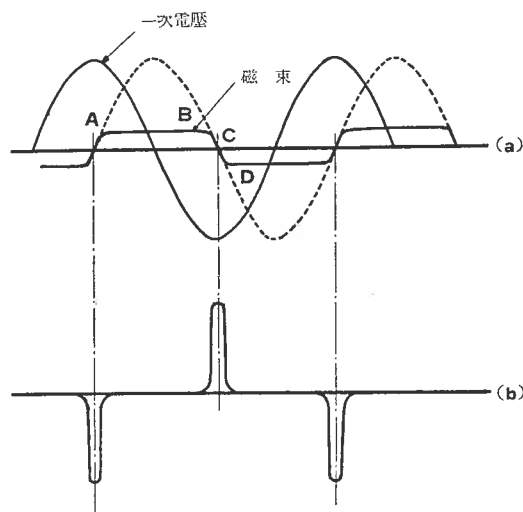
扱て之の尖頭波發生の機構は次の如くである。一次巻線④に正弦波電圧を加へると鐵心②には正弦波磁束が生ずる事は普通の變壓器と同様であるが、パーマロイ③は初導磁率が大きく、而もHの小なる所でBが飽和する



第2圖



第3圖



第4圖

ために、それ以上の H に対しては磁束は空隙⑥を通して鉄心①を通るから鉄心③即ち二次巻線を切る磁束は第4圖(a)の實線の如くなる。

即ち磁束 ϕ は AB 間では一定であるから誘起される電圧 E は零である。即ち

$$E = \frac{d\phi}{dt} = 0$$

BD 間に於ては $\frac{d\phi}{dt}$ は C に於て最大となるから第4圖(b)の如き電圧が誘起される。

而して適当な構造にすれば第1圖の如く非常に巾の狭い尖頭波を出すことが出来て、第1圖では無負荷の場合ピークの半波高値に於て約 5° (電氣度) の巾となつて居る。この巾の狭い事が尖頭波變壓器の目的であつて、放電管の格子制御の場合にしても、氣體のイオン化時間は10 マイクロ秒程度であるから、出来るだけ巾の狭い波形を得る事が望ましいのである。

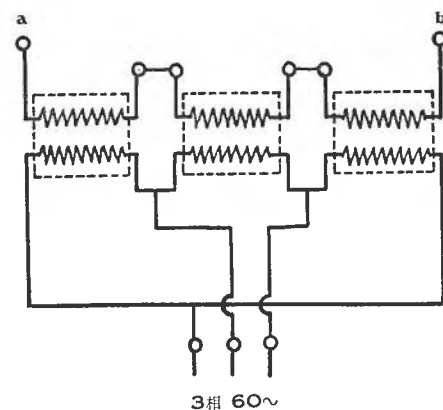
三次巻線⑦の目的は尖頭波形の移相であつて、之で直流勵磁をすると飽和磁束の變化する位相を變へる事が出来るから、尖頭波を移相させる事が出来る。

3. 用 途

(A) 放電管の格子制御

近時電氣化學工業の隆昌に伴ひ、この方面への格子附水銀整流器の進出が目醒ましいものがある。

電解工業に於いては、直流大電流の制御が必要であつ



第5圖

て、之には格子附水銀整流器が價格の點からも操作の點からも最適であると考へられるのである。

又大型の直流電動機速度制御にも格子附水銀整流器が近來盛に用ひられて居る。

格子制御の靜止的方式は尖頭波變壓器の二次電圧を格子に加へるのであるが、前記の如く三次巻線による直流勵磁によつて移相するか (之は小範圍の制御のみ可能) 或は移相器を用ひ一次側の移相を行つて廣範圍の制御を行ふ事が出来るのである。

この外に、逆變流器、周波數變換器の格子制御に使用せらるゝのは勿論である。

(B) 高周波尖頭波の發生

尖頭波變壓器を數個用ひると高周波の尖頭波を發生させる事が出来る。

例へば第5圖の如く三個を用ひ、二次側に結ぶと a b 間には 180 $\sim$ の尖頭波を得る事が出来る。

(C) ストロブスコープへの應用

これは未だ實際に用ひられた事はない様であるが、之の二次側出力で例へばネオンランプの如き放電管を光らせると、非常に短時間のフラッシュが得られるからストロボの目的に沿ふわけである。

4. 理 論 的 考 察

尖頭波變壓器を理論的に正確に論ずる事は困難であり非常に複雑となるので色々省略を行つて極く近似的な考察を行ふ事にする。

以後斷り書なしに適宜省略を行つて居るところがあるが豫め御承知を乞ふ。

鐵心を通る磁束 ϕ と磁場 H との関係が Frölich-Kennedy の式に従ふとすれば

$$\phi = S \cdot B = \frac{SH}{a' + b'H} \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し S は鐵心の斷面積、 a' 、 b' は鐵心の材質及び H に關係した常數である。

從て導磁率 μ は

$$\mu = \frac{1 - b' B}{a'}$$

磁氣抵抗 R は

$$R = \frac{l}{\mu S} = \frac{a' l}{S - b' \phi} = \frac{a}{1 - b \phi} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(l は磁路の長さ)

となるから、 BH -曲線を適當に數個に區分してその夫々に對する常數 a 、 b を決定する事が出来る。

(A) 無負荷の場合

磁路の磁氣抵抗及び之を通る磁束を夫々次の如く、(第6圖)

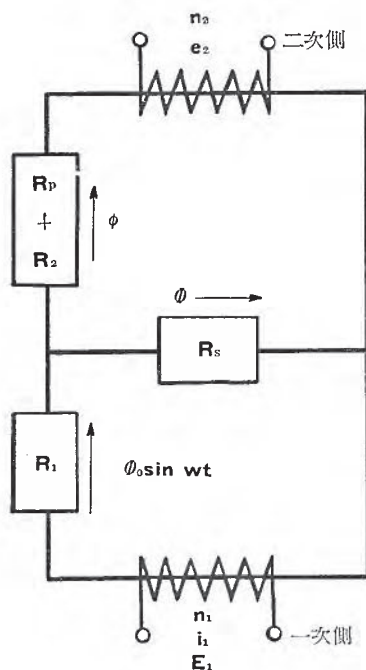
一次側……… R_1 , $\phi_0 \sin \omega t$

二次側……… $R_p + R_2$, ϕ

(R_p はパーマロイの部分)

磁氣分路……… R_s , ϕ

(R_s は空隙による抵抗も含む)



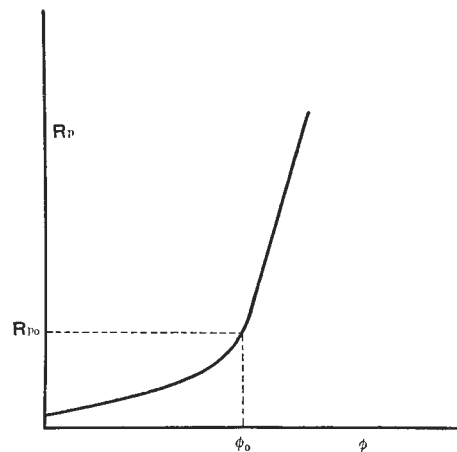
第6圖

とすれば

$$(R_p + R_2)\phi = \frac{1}{\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_p + R_2}} \phi_0 \sin \omega t$$

$$\therefore \phi = \frac{R_s}{R_s + R_2 + R_p} \phi_0 \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (3)$$

R_p と ϕ との關係は第7圖の如くなるから $\phi \leq \phi_0$ の範



第7圖

圍では $R_p = \frac{a}{1 - b \phi}$, $\phi \geq \phi_0$ の範圍では $R_p = m(\phi - \phi_0) + R_{p0}$ とする。

(i) $\phi \leq \phi_0$

$$R_p = \frac{a}{1 - b \phi}, R' = R_s + R_2, \omega t = \theta$$

とおけば

$$\phi = \frac{1}{2bR'} \left\{ (R' + a + bR_s \phi_0 \sin \theta) - \sqrt{(R' + a + bR_s \phi_0 \sin \theta)^2 - 4bR'R_s \phi_0 \sin \theta} \right\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

二次側の電壓は

$$e_2 = -n_2 \frac{d\phi}{dt} = -\frac{n_2 \omega \phi_0 R_s \cos \theta}{2R'} \left\{ 1 + \frac{R' - a - bR_s \phi_0 \sin \theta}{\sqrt{(R' + a + bR_s \phi_0 \sin \theta)^2 - 4bR'R_s \phi_0 \sin \theta}} \right\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

(ii) $\phi \geq \phi_0$

$$\phi = \frac{1}{2m} \left\{ \sqrt{(R' - m\phi_0 + R_{p0})^2 + 4mR_s \phi_0 \sin \theta} - (R' - m\phi_0 + R_{p0}) \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

二次側電圧は

$$e_2' = -n_2 \frac{d\phi}{dt} = -\frac{n_2 R_s \omega \phi_0 \cos \theta}{\sqrt{(R' - m \phi_0 + R_{p0})^2 + 4m R_s \phi_0 \sin \theta}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$\text{となり } \theta_0 = \sin^{-1} \frac{R' + R}{R_p \phi_0} \phi_0$$

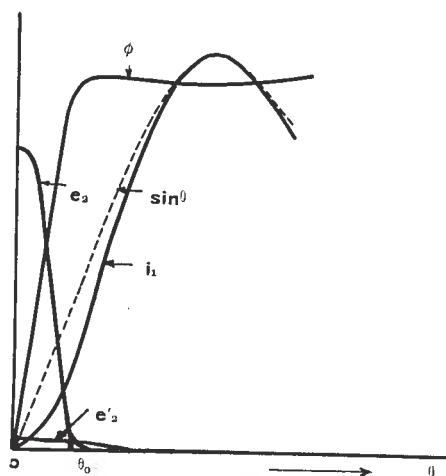
に於て $e_2 = e_2'$ となる。

一次電流を i_1 とすれば

$$4\pi n_1 i_1 = R_1 \phi_0 \sin \theta + \frac{R_2 + R_p}{R' + R_p} R_s \phi_0 \sin \theta$$

$$\text{或は } i_1 = \frac{\phi_0 \sin \theta}{4\pi n_1} \left\{ R_1 + \frac{R_2 + R_p}{R' + R_p} R_s \right\} \quad \dots\dots(8)$$

以上の諸式に實際の数値を入れ圖示すれば第8圖の如くなる。



第8圖

(5) 式に於て $\theta=0$ の時 e_2 は最大となるが $R' \gg a$ であるから括弧内の第二項が零になる時 e_2 はその最大値 e_{2m} の約 $1/2$ となる。即ちこの時の θ を θ' とすれば

$$\theta' = \sin^{-1} \frac{R' - a}{b R_s \phi_0}$$

従て尖頭波の半波高値に於ける巾は $2\theta'$ である。

$$2\theta' = 2 \sin^{-1} \frac{R' - a}{b R_s \phi_0}$$

$$= 2 \sin^{-1} \frac{R'}{b R_s \phi_0} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$= 2 \sin^{-1} \frac{1}{b \phi_0}$$

$$= 2 \sin^{-1} \frac{\phi_m}{\phi_0} \quad \dots\dots\dots(10)$$

但し $\phi_m = \frac{1}{b}$ で飽和磁束である。

□磁気分路の空隙と $2\theta'$ の関係

(9) 式より

$$2\theta' = 2 \sin^{-1} \frac{(R_s + R^2) \phi_m}{R_s \phi_0}$$

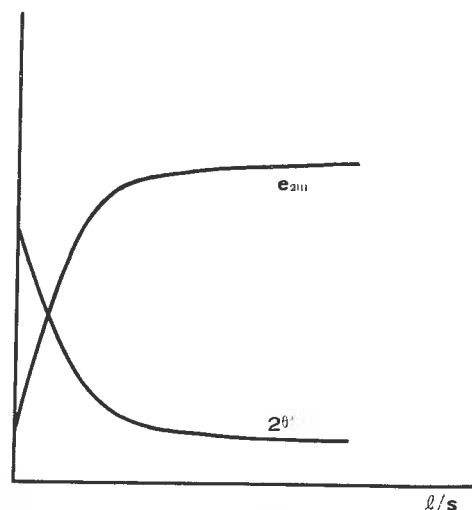
(5) 式で $\theta=0$ とおけば

$$e_{2m} = \frac{n_2}{n_1} E_{1m} \frac{R_s}{R_s + R_2}$$

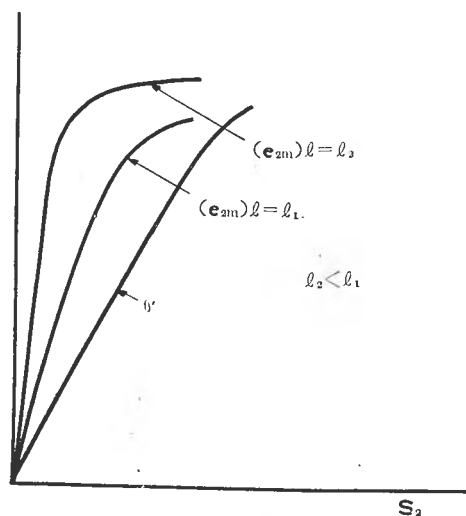
即ち磁気分路の空隙の長さを l_1 断面積を S として圖示すれば第9圖のようになる。

□二次コアーの大きさ S_2 と θ' 及び e_{2m} の関係

(10) 式より



第9圖



第10圖

$$2\theta' = 2 \sin^{-1} \frac{S_2 B_{2m}}{\phi_0}$$

(S_2 は二次鐵心の斷面積)

$$\begin{aligned} \text{又、} e_{2m} &= \frac{n_2}{n_1} E_{1m} \frac{R_s}{R' + a} \\ &= \frac{n_2 E_{1m}}{n_1} \times \frac{S_2 R_s}{S_2 R' + a' l_s} \end{aligned}$$

(l_s は二次鐵心の長さ)

此等の關係は第10圖に示す。

□一次電壓と $2\theta'$ の關係

$$\begin{aligned} 2\theta' &= 2 \sin^{-1} \frac{\phi_m}{\phi_0} \\ &= 2 \sin^{-1} \frac{1/\sqrt{2\pi} f n_1 \phi_m}{E_{1m}} \end{aligned}$$

で第 11 圖の如くなる。

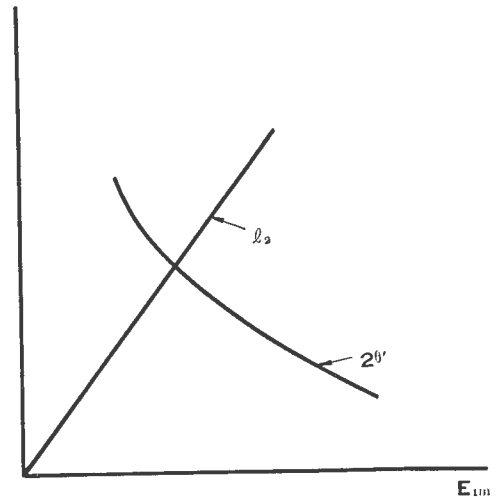
(B) 負荷のある場合

負荷を Z とすれば

$$\begin{aligned} \frac{4\pi n_2^2}{Z} \frac{d\phi}{dt} + (R_p + R_2)\phi \\ = \frac{R_p + R_2}{R_s + R_p + R_2} R_s \phi_0 \sin \omega t \end{aligned}$$

然るに R_p , R_2 , R_s は何れも ϕ の函数であるからこの微分方程式を解くには數值的解法をとらなければならぬ。

然し尖頭波變壓器を實際に使用するのは負荷が極めて小さくて充分の場合が大部分であるから、負荷のある場合については茲では省略する事にしたい。



第 11 圖

昭和 15 年 7 月 7 日 印 刷
昭和 15 年 7 月 11 日 内務省納本
昭和 15 年 7 月 14 日 發 行

〔本誌代價〕 章部ニ付 金 貳 拾 錢
(郵 税 不 要)

編輯兼
發行者

印刷者

印刷所

發行所

神戸市兵庫區和田崎町 三菱電機株式會社神戸製作所内
稻 垣 健 三

大阪市東區北久太郎町一丁目一六
久 保 專 治

大阪市東區北久太郎町一丁目一六
サ・ン 製 版 印 刷 所

神戸市兵庫區和田崎町三丁目
三菱電機株式會社 神 戸 製 作 所