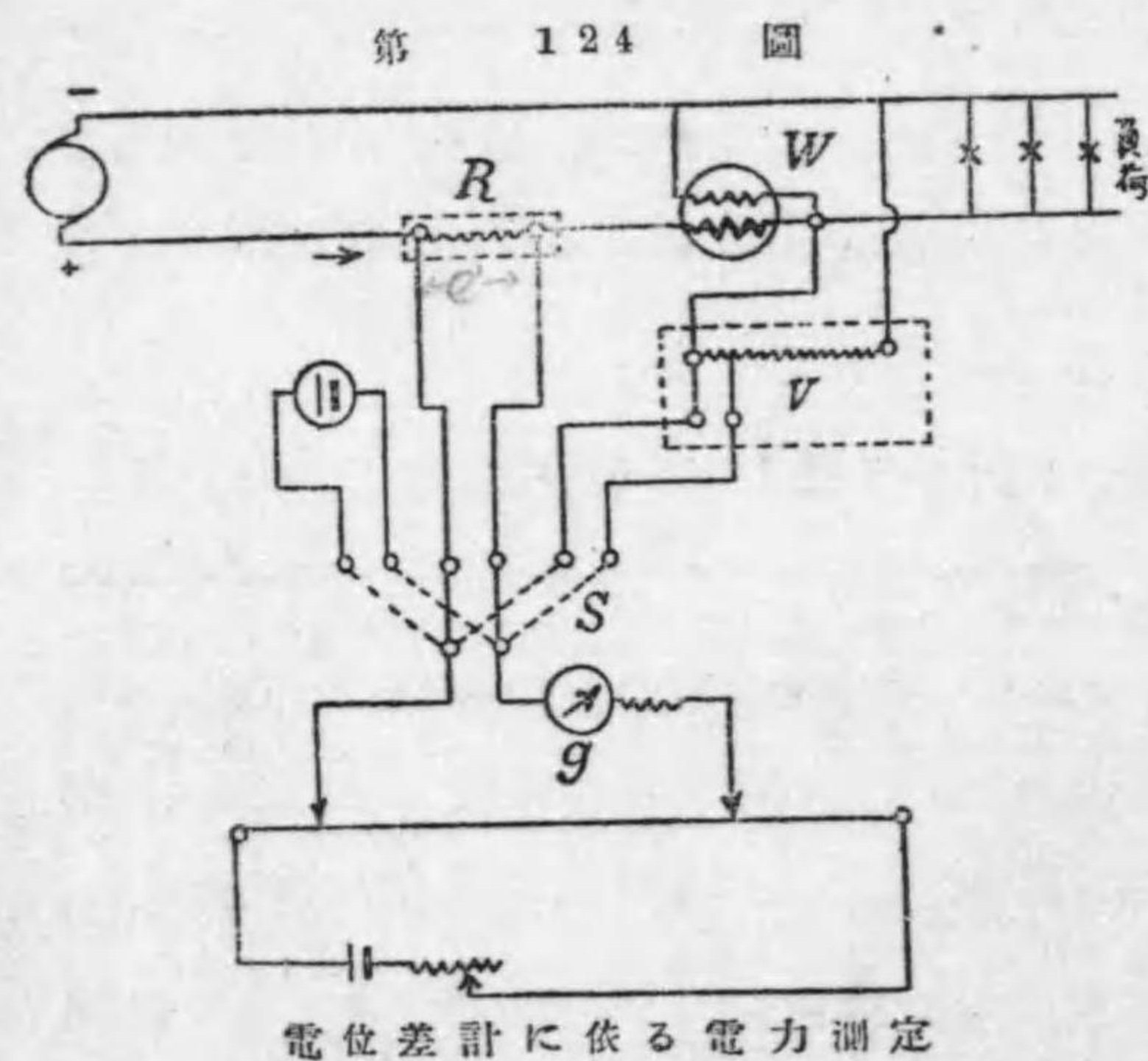


の電圧降下を小さくして、試験の爲に消費する電力を減少するのが普通である。

第一章第 6 節第 5 圖に示す様なマンガニン標準抵抗器も亦電位差計用分流器として用ひ得ることは勿論である。

### 109. 電位差計に依り直流電力を測定する法並 直流電力計の較正試験

前二節に於て直流回路の電圧及電流を電位差計に依つて測定する方法を述べた。然るに直流電力は電圧と電流との積に等しいから直流電力も亦電位差計で測定し得る譯である。第 124 圖は直流電力測定法の接続を示すもので



あつて、先づヴォルト計 V を用ひて電路の電圧を測定し、然る後此電圧を一定に保つて置いて標準抵抗器に依り電流を測定する時は、負荷に於て消費せられる

電力を測定することが出来る。従て直流電力計 W を圖の様に接続して置けば、其の更正值を見出し得るのである。

### 110. 電位差計に依り電氣抵抗を測定する法

之は第四章第 40 節に於て述べた方法である。即ち既知抵抗と未知抵抗との両端の電位差を電位差計で測定し之を比較して未知抵抗を算出するのである。此方法は導線の抵抗及接觸抵抗を測定の結果に含まないから、殊に低抵抗の測定に適當して居る。

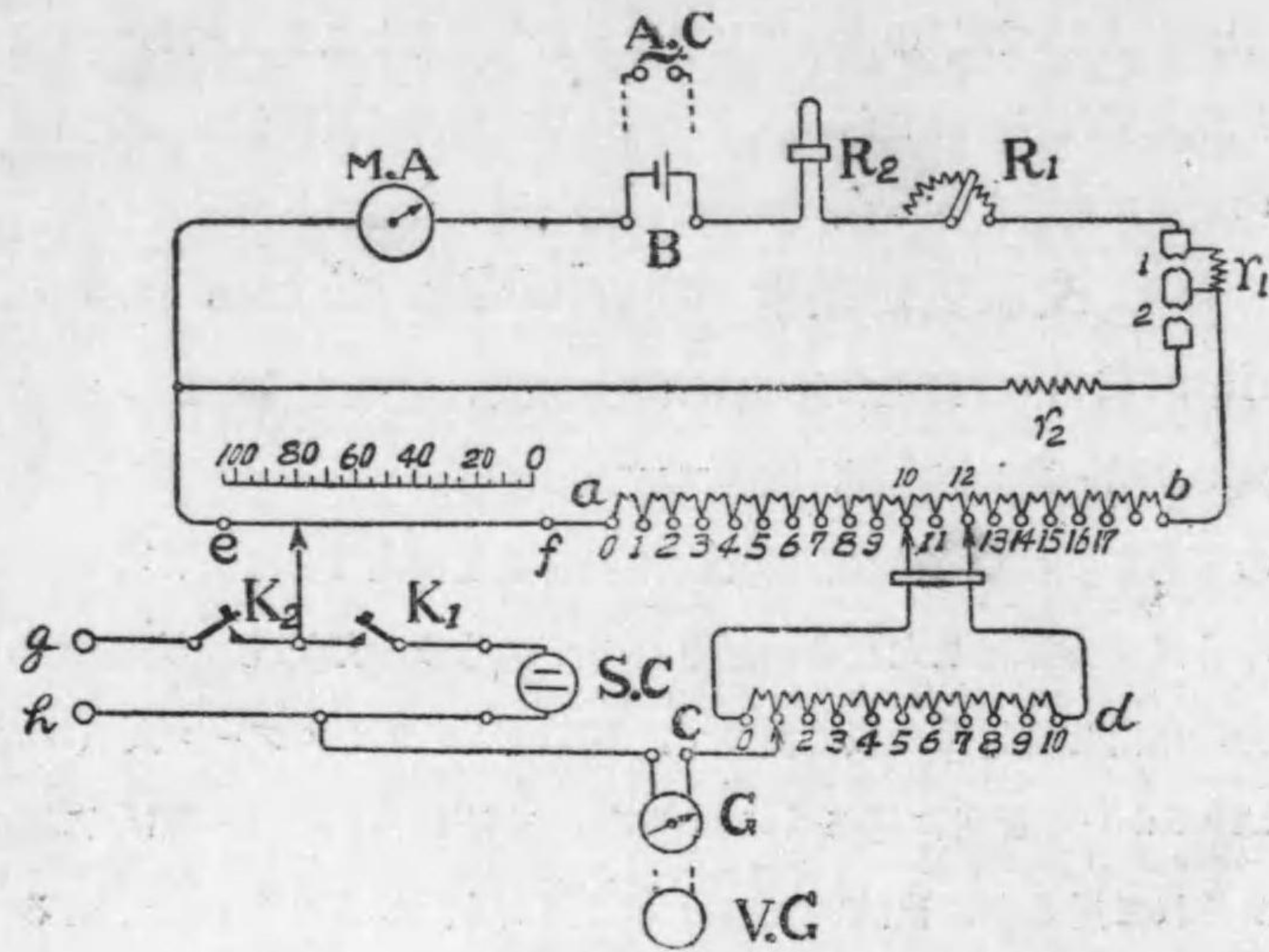
### III. 交流電位差計 (alternating current potentiometer)

以上に於て直流電位差計に就て述べた通り、電位差計は同一器具で電圧、電流及電力の測定が出来る甚だ便利なのである。若し同様な原理で交流の諸量を測定することが出来るならば交流測定上大なる便益を得るであらう。是即ち交流電位差計の案出せられた所以であつて、1911 年ドライスデール氏 (Dr. Drysdale) の發明に係るものである。交流電位差計は一部分に用ひられて居るが、直流電位差計程未だ廣く用ひられない様であるから、今は其の原理を記載するに止める。

第 125 圖は交流電位差計の原理を示す接続であつて直流及交流兩用のものである。圖に於て ab, cd, 及 ef は電位差計用線輪及摺動線である。ab は 19 個の相等しい抵抗線輪から成り、電位差計電流を適當に加減すると、1 個の線輪毎に 0.1 ヴォルト宛の電圧降下を生ずるものである。cd は 10 個の相等しい抵抗線輪から成り、ab の抵抗線輪に附屬する接觸子に依り其の接觸子の位置が何處にあつても、常に ab の抵抗線輪 2 個と並列に接続せられるのである。而して cd の抵抗線輪 10 個の全抵抗は丁度、ab の抵抗線輪 2 個の抵抗に等しい様に調整せられてあるか



第 125 圖



交流電位差計

ら、トムソン・ヴァーレー・ブリッジの場合と全く同様に、 $ab$  の 1 線輪毎に 0.1 ヴォルト宛の電圧降下を生ずる場合には、 $ed$  の抵抗線輪 1 個毎に正に 0.01 ヴォルト宛の電圧降下を生ずる譯である。又  $ef$  は  $ab$  と直列に接続せられて、105 等分した目盛を附した摺動線であるが其の 100 目盛に相當する部分の抵抗は  $ab$  の 1 線輪の抵抗の  $\frac{1}{10}$  に調整せられてある。従て  $ab$  の 1 線輪毎に 0.1 ヴォルトの電圧降下を生ずる場合には、摺動線 100 目盛に付 0.01 ヴォルト、10 目盛に付 0.001 ヴォルト、1 目盛に付 0.0001 ヴォルトの電圧降下を生ずる譯である。

直流用電位差計として用ひる場合は普通の電位差計と全く同様である。即ち蓄電池から電位差計に電流を通じ、標準電池  $SC$  を電鍵  $K_1$  に依り回路に入れ、ガルヴァノメーター  $G$  を用ひ電位差計電流を適當に調整するのである。 $R_1$  及  $R_2$  は此の電流の調整用加減抵抗器で、 $R_2$  は細かい調整を爲すものである。次に未知電圧を  $gh$  の端子に接続し、 $K_2$  なる電鍵を閉ぢ普通の様々に電圧及電流を測定するのである。

交流電位差計として用ひる場合には、先づ直流に依つてウェストン標準電池を用ひ適當な電位差計電流を定め、其の値はミリアマムペア計  $M.A.$  (直流及交流兩用のもの) で讀む、次に直流電源を交流電源に切り換へて直流の場合と同一の電流を通じ、尙ガルヴァノメーター  $G$  の代りに交流の検電器として、振動ガルヴァノメーター  $V.G$  を入れ代へるのである。電位差計電流の適當の値は約 50 ミリアムペアであつて、ミリアマムペア計を除外してある時は約 2 ヴォルトで充分であるが、ミリアマムペア計を回路内に入れる時は約 8 ヴォルトを要するのである。交流電源は電位差計に附屬する變相器 (phase shifting transformer) の二次線から來り其の電圧は一次電圧 100 ヴォルトの時二次電圧が約 8 ヴォルトとなる様に出て居る。斯くして此交流に依つて電位差計線輪及摺動線内に直流の場合と同一の電圧降下を生ぜしめて之と測定すべき交流電壓とを平衡せしめるのである。但し此場合には單に測定すべき交流電壓と電位差計の接觸子間の電圧降下と等しいのみでは平



衡を生じない。必ず此二つの電壓の位相が相反する様調整しなければならぬ。故に電位差計電流の値を直流の場合と同一になすべきのみならず、測定電壓に應じて其の位相を適當に調整する必要があるのである。此位相の調整は變相器で容易に行ふことが出来る。又此の位相の値は變相器に附屬する目盛盤に於ける指針の位置から知ることが出来るから、交流電位差計で測定した種々の交流電壓の相互間の位相を知ることが出来るのである。平衡點を見出すのは振動ガルヴァノメーターに依るので、其の光點が振動しない場合には、測定電壓と電位差計の接觸子間の電壓降下が相等しくなつて且其の位相が一致した場合である。従て測定に於ては接觸子の位置を變ずると共に變相器の位相を變じ平衡點を見出すのである。

變相器は二相式誘導電動機と同一の構造であつて、一次線輪及び二次線輪より成り、一次線輪は互に直角の位置に捲かれた二組の捲線で、之に二相式電流を通ずると、二相式誘導電動機の場合と全く同様に廻轉磁界が出来るのである。此中に二次線輪があると、廻轉磁界の爲に交番起電力を誘導せられる。此二次電壓は二次線輪の位置に依つて其の位相が變ずる譯である。故に二次線輪の位置を細かく變へる爲に把手を備へてある。變相器には二相式電源が必ずしも必要でない。單相式回路に用ひる場合には第 126 圖に示す様に、一次線輪の直角の位置に捲かれてある二つの捲線 I 及 II に對し、II の方に抵抗 R、蓄電器 C を接続する。然る

# 欠



$W = EI$

### 第七章 電力の測定及電力測定器

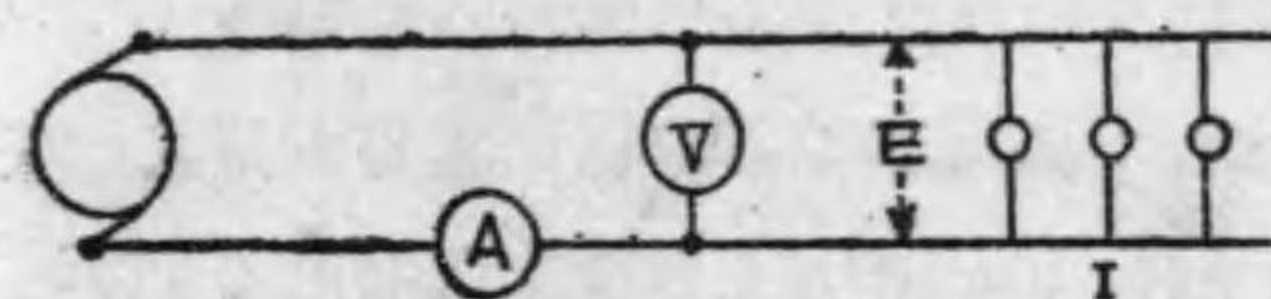
#### 137. 直流電力の測定 直流電力は電圧と電流との相

乗積に等しく、其の単位間の関係は(ヴォルト)×(アムペア)=(ワット)であるから、直流回路に電圧計及電流計を接続して電圧計の読数と電流計の読数とを乗ずると直流電力が得られる譯である。然し乍ら精密に云へば電圧計の読数と電流計の読数との相乗積は負荷に於て消費せられる電力と電圧計又は電流計内で消費せられる電力との和を表はすものである。

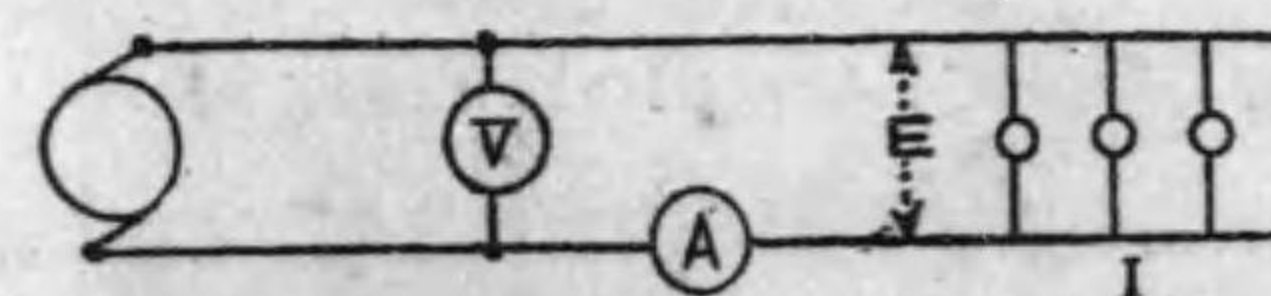
直流電力を測定するに當つて電圧計及電流計を接続するのに第

第 170 圖

甲



乙



直流電力の測定法

170 圖甲及乙に示す様

な二様の接続法があ

る。甲の場合には電圧

計は負荷に與へられる

電圧を示すが、電流計

は負荷電流と電圧計電

流との和を示す。又乙

の場合には電流計は負

荷電流を示すが、電圧計は負荷に與へられる電圧と電流計内で降下する電圧との和を示すものである。

E=負荷に與へられる電圧

I=負荷電流

# 欠



$P=EI$  = 負荷に於て消費せられる電力

$R_v$  = 電圧計の抵抗

$R_a$  = 電流計の抵抗

甲圖の場合 (電圧計讀數) × (電流計讀數)

$$= E \times \left( I + \frac{E}{R_v} \right) = EI + \frac{E^2}{R_v}$$

=  $P$  + (電圧計内の損失)

乙圖の場合 (電圧計讀數) × (電流計讀數)

$$= (E + IR_a) \times I = EI + I^2 R_a$$

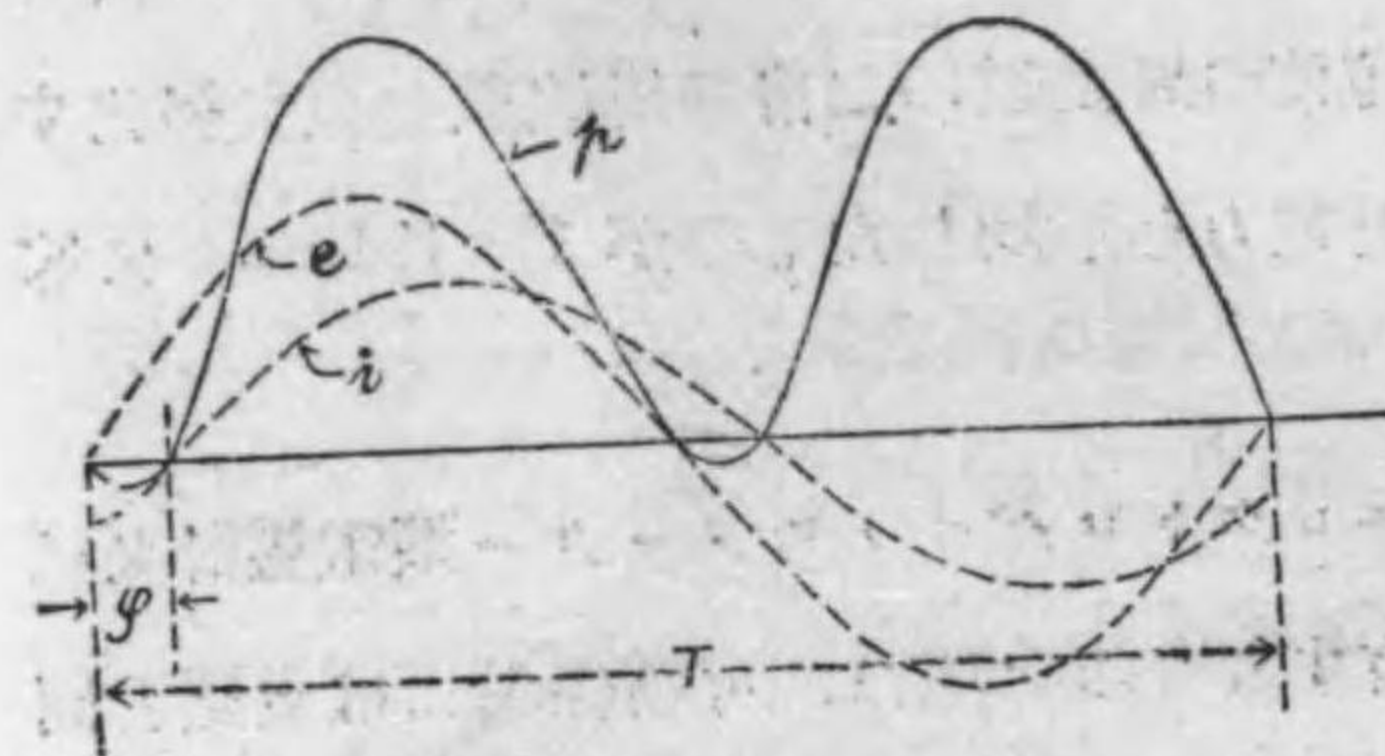
=  $P$  + (電流計内の損失)

即一般に電圧計讀數と電流計讀數との相乗積は、負荷に消費せられる電力と電圧計及電流計の内何れか負荷に近く接続せられる計器内の損失の和を示すものである。若し電圧計又は電流計内の損失が負荷の消費電力に比して甚だ小さければ、電圧計讀數と電流計讀數との相乗積を以て略々直流電力と見做す事が出来るけれども、此場合には電圧計損失及電流計損失の多寡を比較して何れか少い方を負荷に近く接続するが宜しい。例へば電圧計の損失が電流計の損失より少い様な場合には甲圖の接続に依るが宜しい。

### 138. 交流電力の測定

交流電力は一般に 實効電圧 實効電流 及 力率の相乗積に等しい。夫故に第 170 圖に示す様な方法では交流電力を測定することが出来ない。何となれば電圧計及電流計は電圧及電流の實効値を示すが、電圧と電流の相差が分らないから力率を算出することが出来ないからである。然るに交流

第 171 圖



交流電壓、電流及電力の關係  
電力の瞬時値は瞬時電壓と瞬時電流の相乗積に等しいものであつて、其の關係は第 171 圖に示す様なものである。圖に於て e は電壓、i は電流、p は電力を表はすものである。又 T は周期である。

e, i, p = 任意の瞬時に於ける電壓、電流及電力の瞬時値

E, I = 電壓及電流の實効値

P = 交流電力

$\phi$  = 電壓及電流間の相差 とすれば

$$e = \sqrt{2} E \sin \omega t \quad \text{但し } \omega = 2\pi \times (\text{周波數})$$

$$i = \sqrt{2} I \sin (\omega t - \phi)$$

$$p = e i = 2 E I \sin \omega t \cdot \sin (\omega t - \phi)$$

$$= E I \{ \cos \phi - \cos (2 \omega t - \phi) \}$$

P = (p の平均)

$$= E I \cos \phi *$$

瞬時電力 p は瞬時電壓 e 及瞬時電流 i との相乗積 ei に等し

$$* \text{ 註 :- } P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{EI}{T} \int_0^T \cos \phi dt - \frac{EI}{T} \int_0^T \cos (2 \omega t - \phi) dt$$

$$= \frac{EI}{T} [\cos \phi \cdot t]_0^T - \frac{EI}{2\omega T} [\sin (2 \omega t - \phi)]_0^T$$

$$= EI \cos \phi$$

$$= \frac{EI}{T} \omega \phi [T - 0]$$

$$= EI \cos \phi$$



く、従て第 171 圖に示す様に各瞬時に於て其の値を異にする許でなく、一般に電圧又は電流の周波数の二倍の周波数を以て變化するものである。此の瞬時電力を平均したものが  $P = EI \cos \phi$  に等しくなるのである。

今第 122 節で述べたエレクトロダイナモメータ型電圧計又は電流計と同様の構造を有するものを用ひ、可動線輪には電圧と同相で電圧に比例する電流を通し、固定線輪には負荷電流を通す時は、可動線輪に働く廻轉力の瞬時値は可動線輪及固定線輪に流れる瞬時電流の相乗積に比例し、従て瞬時電力に比例する。然るに此瞬時廻轉力は非常に速に周期的に變化するものであるから、可動線輪には平均廻轉力が働く譯である。従て此の平均廻轉力は瞬時電力の平均即  $EI \cos \phi$  なる交流電力に比例するのである。夫故に制御力に螺旋を用ひて指針の位置を制御すれば、計器に直接ワットの目盛を施すことが出来る。斯様な原理で作られる計器を指示電力計 (indicating wattmeter) と謂ふ。

通常使用せられる指示電力計に二種類ある。即直流回路及交流回路に用ひ得るエレクトロダイナモメータ型電力計及交流回路に限り使用すべき誘導型電力計である。何れの場合でも電圧に比例する電流を通す線輪及負荷電流を通す線輪がある。前者を電圧線輪 (pressure coil), 後者を電流線輪 (current coil) と謂ふ。電圧線輪は回路に並列に接続せられるから又分捲線輪 (shunt coil) とも稱せられ、電流線輪は回路に直列に接続せられるから

又直捲線輪 (series coil) とも稱せられる。

139. 指示電力計の接続法 電力を測定する爲に電力計を接続する場合にも、第 170 圖の場合と同様に二様の接続法がある。

即第 172 圖甲及乙に示すが如くてある。圖に於て  $C_1$  は電圧線輪、 $C_2$  は電流線輪である。甲圖の場合には  $C_1$  に流れる電流は負荷に與

へられる電圧に比例するが、 $C_2$  には負荷電流と  $C_1$  に流れる電流の和が流れる。又乙圖

の場合には  $C_2$  には負荷電流が流れるが、 $C_1$  には負荷に與へられる電圧と  $C_2$  内で降下する電圧との和に比例する電流が流れる。

$R_p$  = 電圧線輪 (直列抵抗を含む) の抵抗

$R_c$  = 電流線輪の抵抗

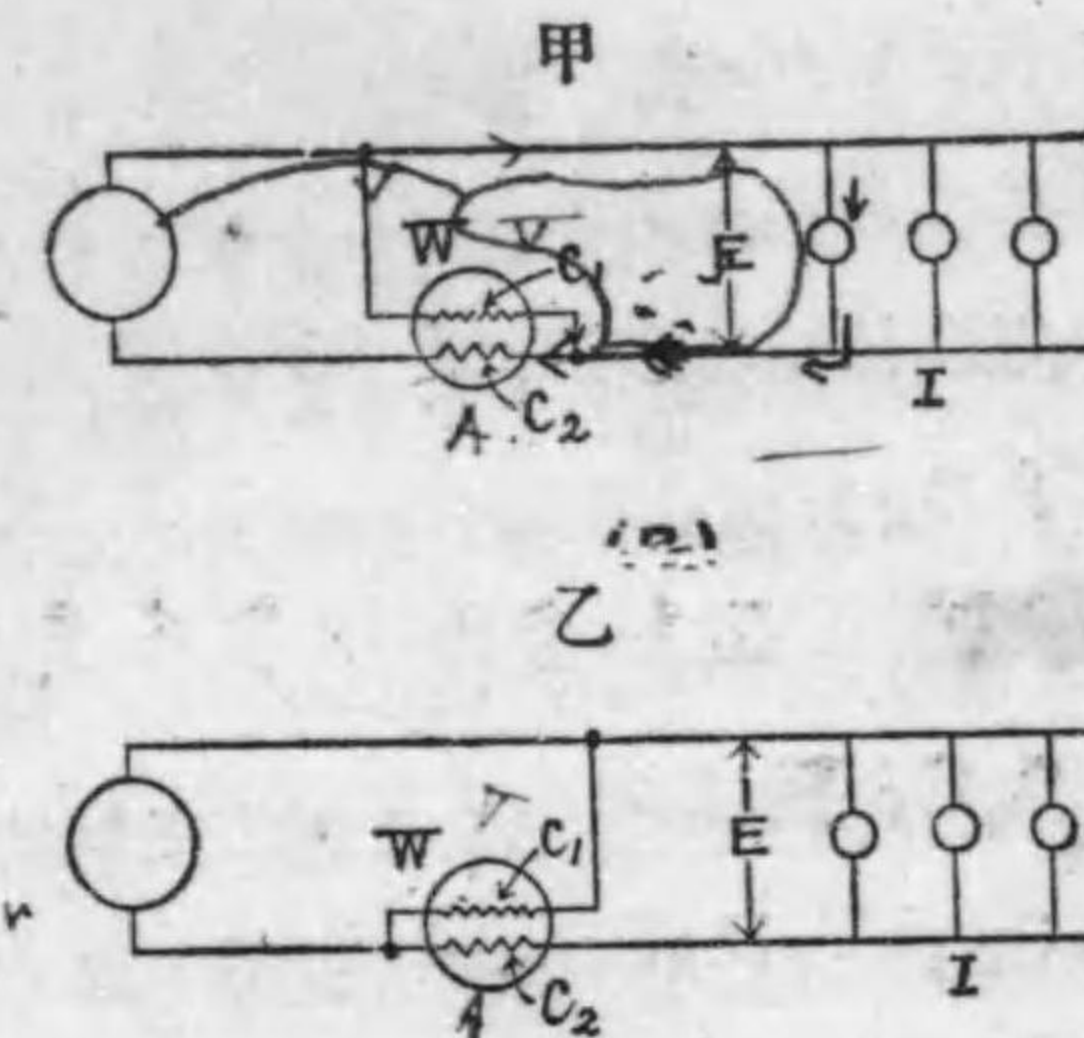
とすれば、直流の場合に就て説明すると

$$\begin{aligned} \text{甲圖の場合 電力計讀數} &= E \times \left( I + \frac{E}{R_p} \right) = EI + \frac{E^2}{R_p} \\ &= (\text{電力}) + (\text{電圧線輪内損失}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{乙圖の場合 電力計讀數} &= (E + IR_c) \times I = EI + I^2 R_c \\ &= (\text{電力}) + (\text{電流線輪内損失}) \end{aligned}$$

即電力計が特殊の補償装置 (compensating device) を有する

第 172 圖



電力計の接続法



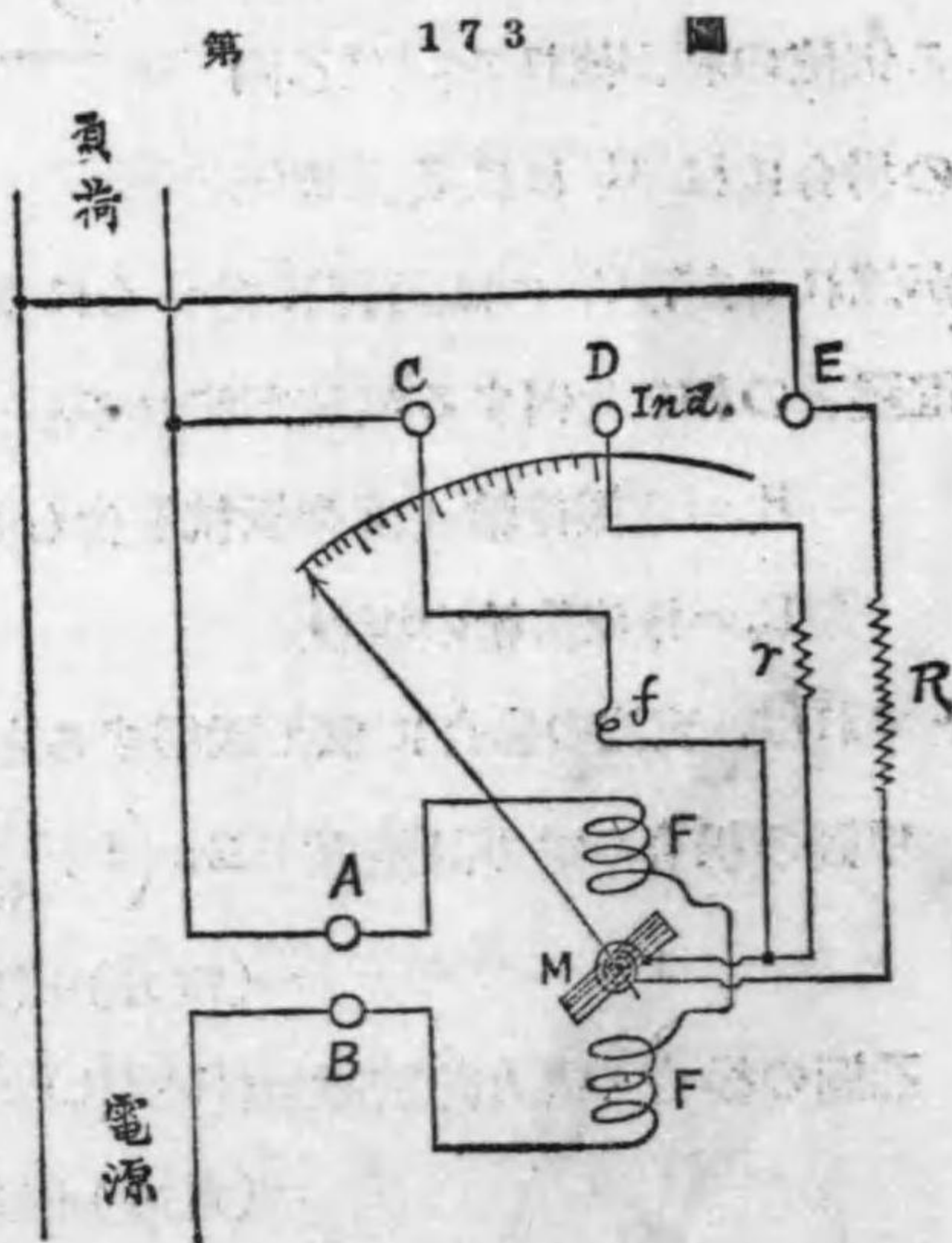
場合を除いては、一般に電力計の指示は負荷に消費せられる電力と電圧線輪又は電流線輪の内何れか負荷に近く接続せられる方の線輪内の損失との和を示すものである。

以上は直流の場合に就て述べたが交流の場合でも単純な和を取る代わりにベクトル的の和を取つて考へれば全く同様の結果となるのである。夫故に電力計の接続に際しては負荷に應じ電圧線輪及電流線輪内の損失の多寡を比較して適當に接続するを要するのである。

#### 140. エレクトロダイナモメーター型電力計

第173圖はウェストン・ダイナモメーター型電力計を示すものである。FFは固定電流線輪でA、Bは其の端子である。又Mは可動電圧線輪でRなる直列抵抗を接続し、C、Eは其の端子である。其の動作はダイナモメーター型電圧計又は電流計と同様であるから直流回路及交流回路に使用し得るのである。

ダイナモメーター型電力計の廻轉力はF及M



ウェストン・ダイナモメーター型電力計

に流れる電流の相乗積に比例し、Mに流れる電流は電圧に比例するから、廻轉力は電力に比例する。而して廻轉力は電圧計又は電流計の場合の様に可動線輪と固定線輪との相互的位置に依つて異なり、同一電力に對してはFとMが直角の位置で廻轉力は最大である。然し乍ら位置に依る廻轉力の變化は割合に少ないから、制御力に螺旋を用ひる場合には電力計の目盛は略々平等目盛に近く、中央部が多少目盛の幅が廣いのである。

ウェストン電力計では電圧線輪は負荷に近く接続せられるから第172圖甲の場合と同様に、若し特殊の装置を施さなければ、電力計の指示は負荷の電力と電圧線輪損失との和を示す譯である。此の缺點を除き眞の電力を指示せしめる爲にウェストン電力計ではfなる補償線輪 (compensating coil) を電圧線輪と直列に接続するのである。今負荷が零なる場合を考へるに、電流線輪には電圧線輪と同一の電流が流れ、従て特殊の装置がなければMは廻轉力を受け無負荷の場合に於ても電力計は或ワットを指示する譯である。此の場合に補償線輪fの作る磁界が固定線輪Fの作る磁界と反對の方向に生じ且その値が相等しければ、F及fの磁界は相殺せられてMには廻轉力が働くことがない。若し斯様に調整せられると任意の負荷に對しても電流線輪に流れる電流の内負荷電流を除いた残りの電流の可動線輪に及ぼす作用は補償線輪fの可動線輪に及ぼす作用と相殺することになるから、電力計は眞の電力を指示することになるのである。此の考へは直流の場合

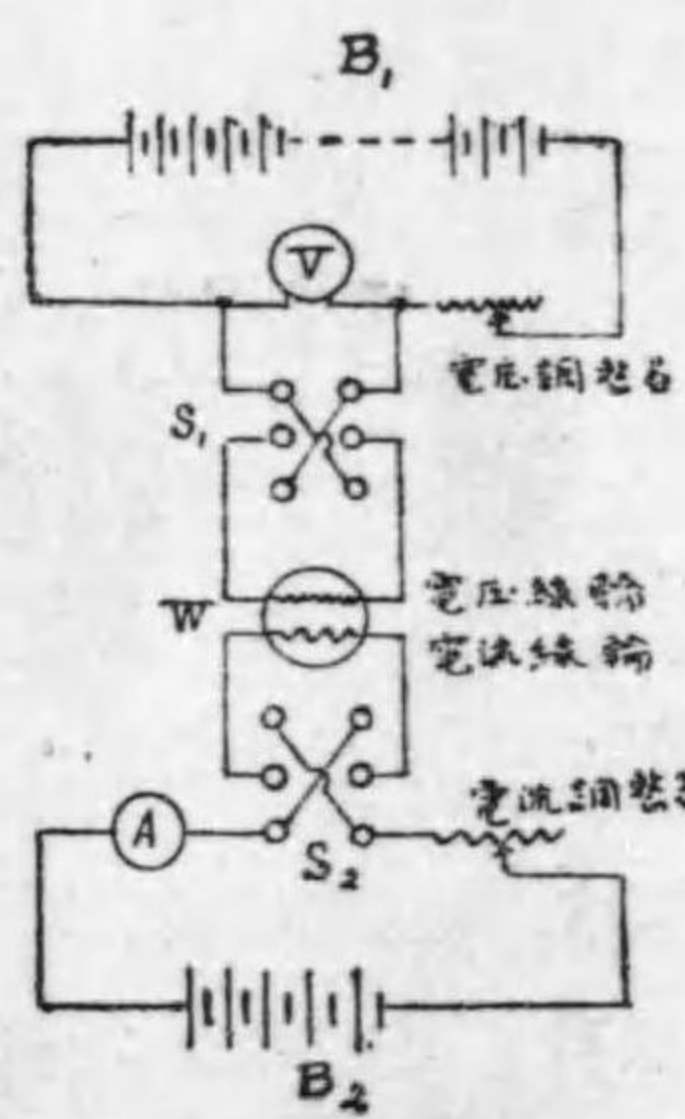


でも交流の場合でも全く同様である。

第 173 圖の D なる端子は獨立端子 (independent terminal) と稱せられるもので、電力計の較正試験を行ふ場合に用ひるのである。一般に電力計の目盛の更正を決定する較正試験に於ては、實際の負荷を用ひて試験すれば、試験の爲に大なる電力を要するから、通常電圧線輪及電流線輪に二つの電源から別々に電圧及電流を供給して試験するので、之に依つて幾かの電力で實際の負荷を用ひた場合と同一の試験を行ふことが出来るのである。第 174 圖

は直流電源に依つて電力計を試験する接続を示すものである。圖に於て W は試験すべき電力計、V は標準電圧計、A は標準電流計である。精密を要する試験には電圧及電流は電位差計を以て試験するから、電圧計の代りにヴォルト函、電流計の代りに電位差計分流器を接続するのである。B<sub>1</sub> は試験電圧を供給する小容量の蓄電池で、B<sub>2</sub> は試験電流を供給し得べき大容量の蓄電池である。電圧線輪の電流は極めて小さいから B<sub>1</sub> の容量は極めて小さいもので宜しいが其の數は試験電圧に依つて定まる。又電流線輪に於ける電壓降下は通常極めて小さいが、電流の調整に便なる爲め 10 ヴォルト位の電源とするのが普通である。B<sub>2</sub> の容量は試験電流に依つて定まる。例

第 174 圖



電力計較正試験接続

へば 100 ヴォルト 100 アンペアの電力計を試験する場合に、實際の負荷を用ひれば少くも  $100^V \times 100^A = 10,000$  ワットの電力を要するが、若し第 174 圖の方法に従ふと、B<sub>1</sub> の電圧を 110 ヴォルト、B<sub>2</sub> の電圧を 10 ヴォルトとし、電圧計及電圧線輪に流るゝ電流の和を 50 ミリアムペアと假定すれば、

$$\begin{aligned} & B_1 \text{ の供給する電力} = 110 \times 0.05 = 5.5 \\ + & B_2 \text{ の供給する電力} = 10 \times 100 = 1,000 \\ \hline & \text{試験の爲に要する電力} = 1,005.5 \text{ ワット} \end{aligned}$$

即實際の負荷を用ひる場合の約  $\frac{1}{10}$  の電力を以て同一の試験を行ふ事が出来るのである。此の方法に依る時は電流線輪に流れる電流は負荷電流に相當するものであるから、何等補償線輪を要しない。従て電圧端子としては C 及 E の代りに D 及 E を用ひる。但し此の場合には同一電圧に對して電圧線輪に同一電流を通す爲に f と同一の抗抵を有する r を直列に接続するのである。

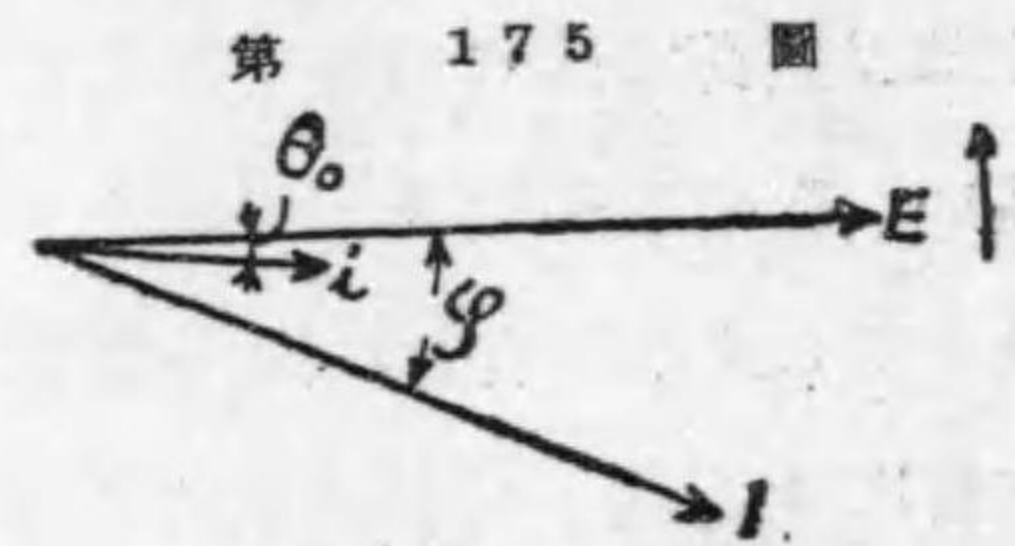
ダイナモメーター型電力計は直流を以て較正試験を行ひ之を交流に使用して實用上大なる誤差を生じない。而して直流回路に用ひる時は一般にダイナモメーター型計器と同様地球磁界の影響を受けるから、電圧及電流の方向を反對とし、二回の測定を行つて其の平均値を取らねばならぬ。

次に直流回路と交流回路とに使用する場合及周波數の變化に依り如何なる程度の誤差を生ずるかを考へて見やう。此の誤差を生ずる原因は電圧線輪のインダクタンスと電圧線輪及電流線輪間の



相互インダクタンスである。相互インダクタンスの影響は割合に少く通常之を閑却することが出来る。夫故に電圧線輪のインダクタンスのみを誤差の源因とすれば、電圧線輪回路の電流はインダクタンスの作用に依つて同一電圧に對し交流の場合は直流の場合より少しく其の値が小さくなるのみならず、交流の場合には電圧より少しく位相が遅れる譯である。然し電圧線輪には無誘導直列抵抗器が接続してあるから、普通の周波數で電圧が100ヴォルト以上であればリアクタンスは抵抗に比し極めて小さく電圧線輪の電流は直流の場合と殆んど相等しいものと見て宜しい。故に計器に誤差を生ずるのは電圧と電圧線輪の電流間の相差である。第175

圖は此の關係を示すもので、  
E は電圧線輪に與へられる電圧、I は負荷電流、i は電圧線輪に流れる電流であつて、i は E より  $\theta_0$  なる角丈遅れて居る。



電力計内の電流の關係

今圖に示す様に負荷電流が電圧より  $\varphi$  なる角丈遅れて居る場合を考へると、眞の電力は  $E I \cos \varphi$  であるが、電力計の可動線輪に働く廻轉力は  $i I \cos(\varphi - \theta_0)$  に比例し、電力計は  $E I \cos(\varphi - \theta_0)$  なる讀を示すことになる。

$a =$  電力計を交流に使用する場合のインダクタンスに依る

更正

$$(\text{電力計讀數}) \times (1 + a) = \text{眞の電力}$$

$$\text{即 } E I \cos(\varphi - \theta_0) \times (1 + a) = E I \cos \varphi.$$

$$\therefore a = \frac{E I \cos \varphi}{E I \cos(\varphi - \theta_0)} - 1.$$

$$= \frac{\cos \varphi}{\cos(\varphi - \theta_0)} - 1.$$

L = 電圧線輪のインダクタンス

$R_p =$  電圧線輪及直列抵抗の抵抗

$$\tan \theta_0 = \frac{\omega L}{R_p}$$

例 L = 0.0053 ヘンリ  $i = 30$  ミリアムペア

周波數 = 50 サイクル

$$\omega L = 2 \times \pi \times 50 \times 0.0053 = 1.664$$

100 ヴォルトに於て  $R_p = \frac{100}{0.3} = 3333.3$

$$\tan \theta_0 = \frac{1.664}{3333.3} = 0.0005$$

200 ヴォルトに於て  $R_p = \frac{200}{0.3} = 6666.7$

$$\tan \theta_0 = \frac{1.664}{6666.7} = 0.00025$$

$\theta_0$  は非常に小さいから

$$\frac{\cos \varphi}{\cos(\varphi - \theta_0)} = \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi \cos \theta_0 + \sin \varphi \sin \theta_0}$$

$$= \frac{1}{\cos \theta_0 + \tan \varphi \sin \theta_0} \doteq 1 - \tan \theta_0 \tan \varphi$$

$$\therefore a \doteq -\tan \varphi \tan \theta_0.$$



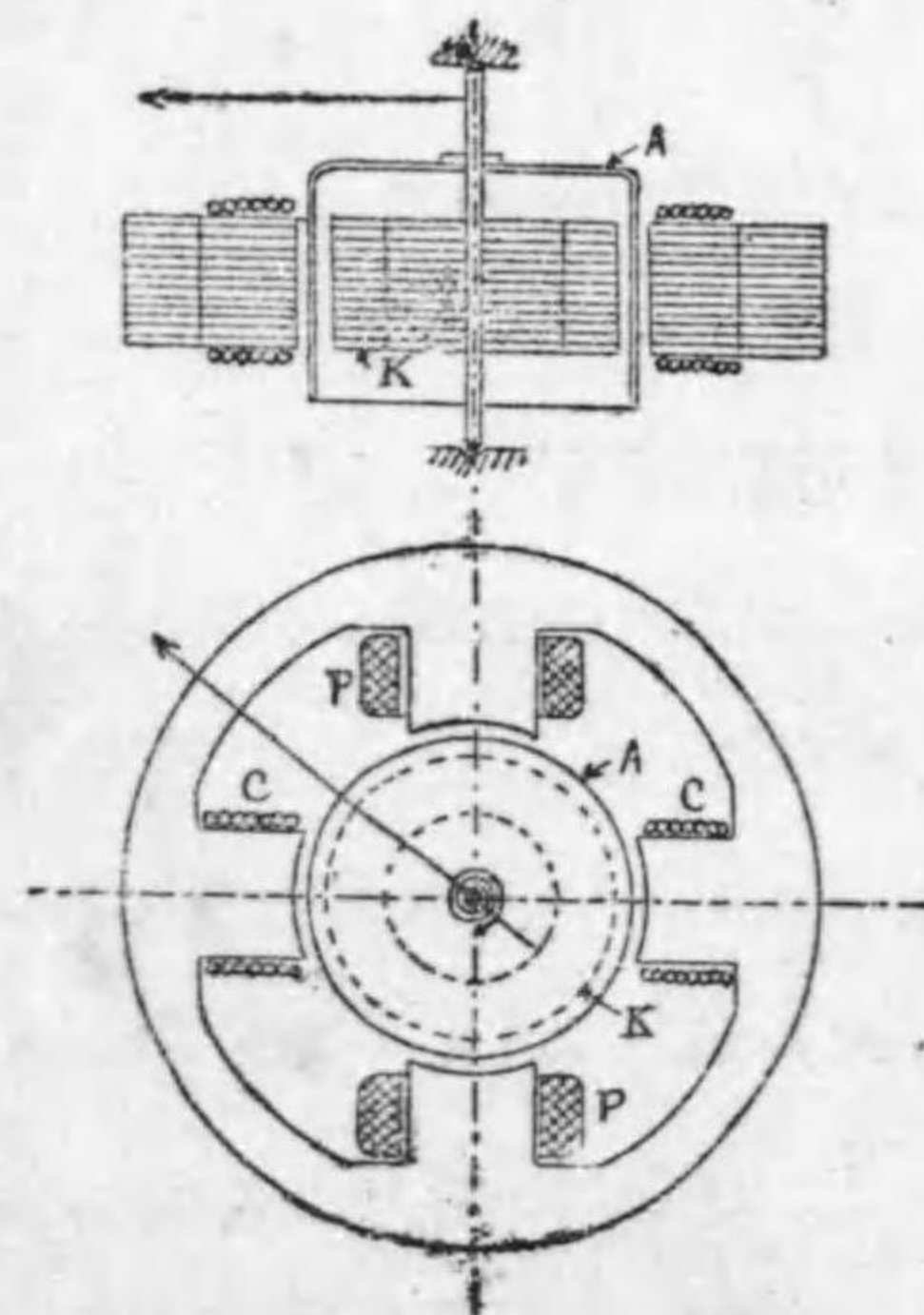
第 16 表 電力計のインダクタンスに依る更正(遅電流)

電 壓	更 正 $\alpha$ %				
	$\varphi=0$	$\varphi=20^\circ$	$\varphi=40^\circ$	$\varphi=60$	$\varphi=80$
100	-00	-02	-04	-09	-28
200	-00	-01	-02	-04	-14

即ちインダクタンスの影響は甚だ少なく、力率が甚だ小なる場合の外は、直流を以て較正試験を行ひ、之を交流に用ひても誤差極めて少く實用上之を閉却することが出来る。又第 16 表から分る様に電圧が増加すると、直列抵抗の割合が多くなるから誤差は益々少くなるものである。

14. 誘導型電力計

第 176 圖



フェラリス誘導型電力計

誘導型電力計は第 132 節に記載した誘導型電圧計又は電流計と同様の原理であつて、フェラリス型及變壓器型の二種がある。

(イ) フェラリス型誘導電力計

第 176 圖はフェラリス型電力計を示す、P は電圧線輪、C は電流線輪であつて共に成層鐵板より成る磁極の上に捲かれ、電圧線輪に依つて生ずる磁界と電流線輪に依つて生ずる磁界とは直角の位置に出来る。A は可動

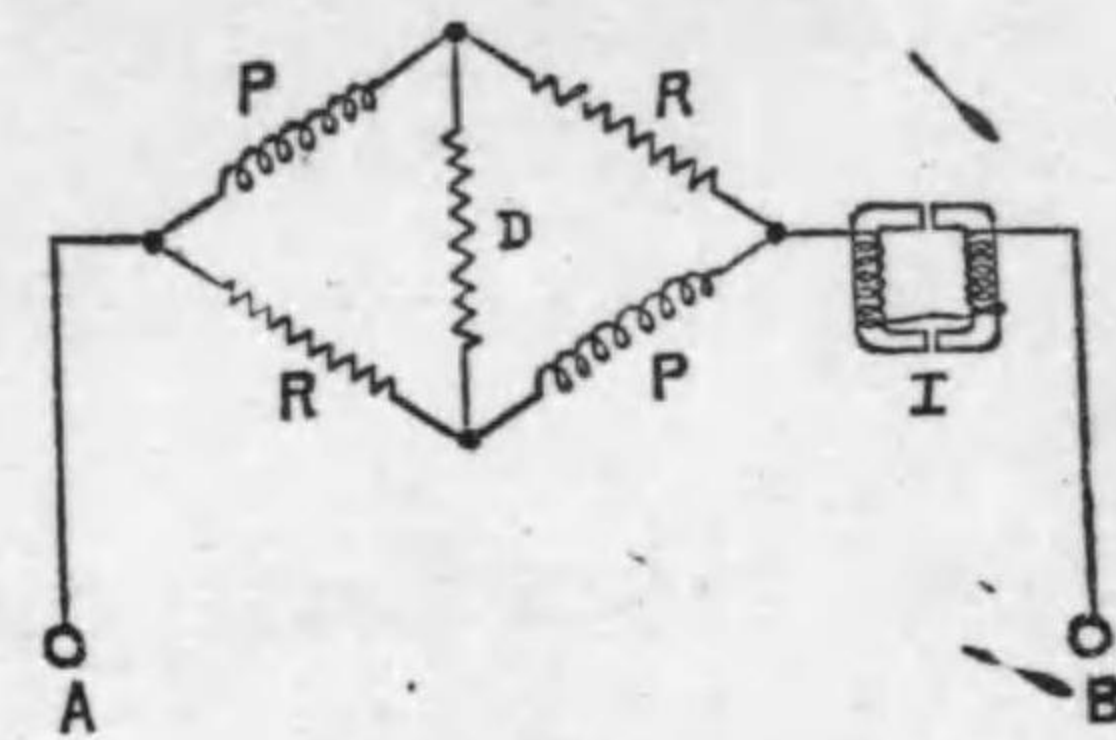
アルミニウム圓筒で其の内部に K なる鐵心がある。

第 177 圖は電圧線輪の接続を示すものである。P, P は電圧線輪で、R, R, D は無誘導抵抗、I は大なるインダクタンスを有する塞流線輪である。斯様な接続に依つて R, R, D 及 I の値を適當に調整すると、電圧線輪 P に流れる電流は A B 間の端子電圧から 90 度遅れさせるこ

とが出来る。

斯の如く P に流れる電流を電圧より 90° 遅れる様に調整すると、電圧線輪に依つて生ずる磁束は電圧に比例するが、電圧より位相に於て丁度

第 177 圖



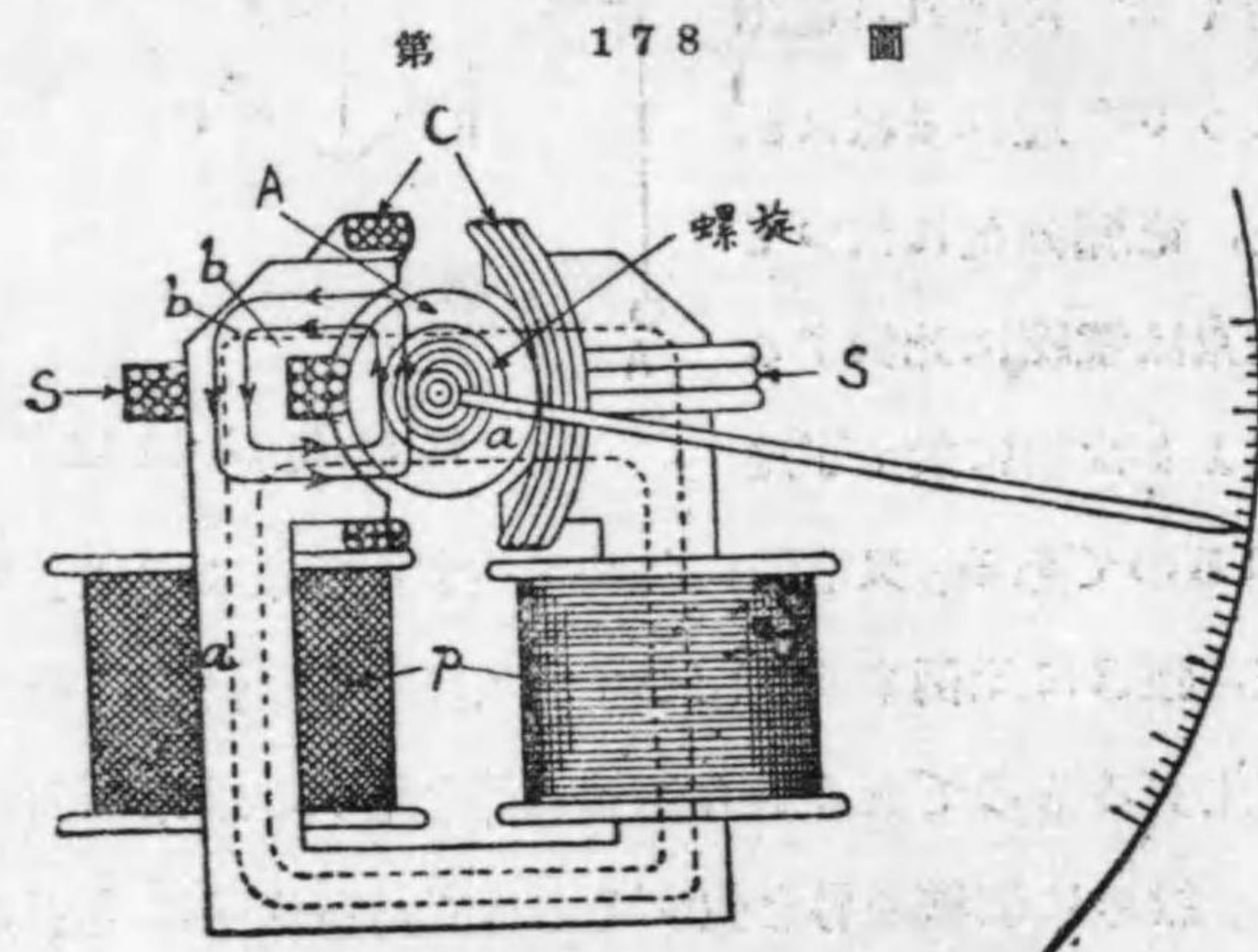
電圧線輪接続

90 度遅れるのである。又電流に依つて生ずる磁束は電流と同相に生じ電流の強さに比例する。而して圓板に働く廻轉力は廻轉磁界に依つて生ずるものであるから廻轉磁界を生ずる磁束の相乗積に比例する、然るに廻轉磁界を生ずるのは直角の位置に生ずる二磁束の内 90° 度の相差を有する部分のみである。今 E を電圧、I を電流とし  $\varphi$  を相差とすれば、電圧線輪に依つて生ずる磁束は電圧と 90 度の相差を有するから、電流に依つて生ずる磁束を、電圧と同相なコンポーネントと電圧と 90° 度の相差を有するコンポーネントに分けて考へると、前者は  $I \cos \varphi$  に比例し電圧線輪に依る磁束と廻轉磁界を作り、後者は  $I \sin \varphi$  に比例し電圧線輪に



依る磁束と同相である爲一定方向の交番磁界を作るのみである。従て圓板に働く廻轉力は  $E I \cos \phi$  即ち電力に比例し、而も圓板の位置に無關係であるから、螺旋の制御力を利用すれば平等目盛を有する電力計が得られる譯である。制動装置としてはアルミニウム圓筒に對し二個の馬蹄形耐久磁石を用ひる。

(□) 變壓器型誘導電力計 第 178 圖はウェスチングハウス誘導型電力計を示すものである。P は電壓線輪、S は電流線輪、A は



ウェスチングハウス・變壓器型誘導電力計

アルミニウム圓筒で、P 及 S は圖の位置に於て成層鐵心の上に捲かれる。P に依つて生ずる磁束と S に依つて生ずる磁束とは圓筒の存在する空隙に於て互に直角の方向に生ずること圖に示すが如くである。而して電流線輪に依つて生ずる磁束は電流と同相であるから、電壓線輪に依つて生ずる磁束が電壓より位相に於て 90 度

遅れて生ずるならばフェラリス型電力計の場合と同様に廻轉力は電力に比例することゝなるのである。然るに電壓線輪は内部に鐵があつて、且其の捲数が非常に多いから其のリアクタンスは甚だ多いけれども而も相當の抵抗を有する爲に電壓線輪に流れる電流は電壓より遅れること 90 度以下である。夫故に單に電壓線輪のみならば電壓線輪に依つて生ずる磁束は電壓より遅れること 90 度以下であつて、此の儘であれば廻轉力は電力に比例しないのみでなく、電力と廻轉力との關係は負荷の力率に依つて甚だしく變化するのである。電壓線輪に依つて生ずる磁束を電壓から丁度 90 度遅らせる爲に位相調整線輪 (phase compensating coil) なるものを用ひる。之は第 178 圖の C なる線輪で二個の線輪は直列に接続せられ無誘導抵抗器を以て短絡してある。此の位相調整線輪の作用は第 133 節に述べたシェーディング・コイルと全く同一であつて、電壓線輪に於て生ずる磁束を遅らせるものであるから適當に線輪 C の捲數及抵抗等を加減すれば、電壓線輪に依る磁束を電壓から 90 度遅れさせ、計器の廻轉力を丁度電力に比例せしめることが出来るのである。此等の關係は更に積算電氣計器の處で詳しく述べる積である。

誘導型電力計は大なる廻轉力を有し、長目盛を備へ且外部磁界の影響が少ないと云ふ利益がある。従て配電盤計器としては適當である。其の缺點としては一般誘導型計器の様に電壓線輪のインダクタンスが大きいから、周波數又は波形の影響が大きく、又



温度の影響がある。尚電圧が變ると磁束が電壓に比例しない爲に多少の誤差を生ずるを免れない。

142. 電力測定用ワット衡及電流力計 第120節

に述べた様にアムペア衡と同様な構造を有し、固定線輪を電流線輪とし、可動線輪を電壓線輪として使用するワット衡、又第121節で述べた様に電流力計と同様な構造で、固定線輪を電流線輪とし、可動線輪を電壓線輪として用ひる電力測定用電流力計は何れもアムペア衡又は電流力計と同様の使用法で電力を測定することが出来る。

143. 電圧計及電流計に依り交流電力を測定する法

(イ) 三電圧計法 (three voltmeter method:—Ayrton & Sumpner).

第179圖は三個の電圧計に依つて交流電力を測定する接続を示すもので、無誘導抵抗 R を

負荷と直列に接続する。

$e_1, E_1 = AB$  間の電圧の瞬時

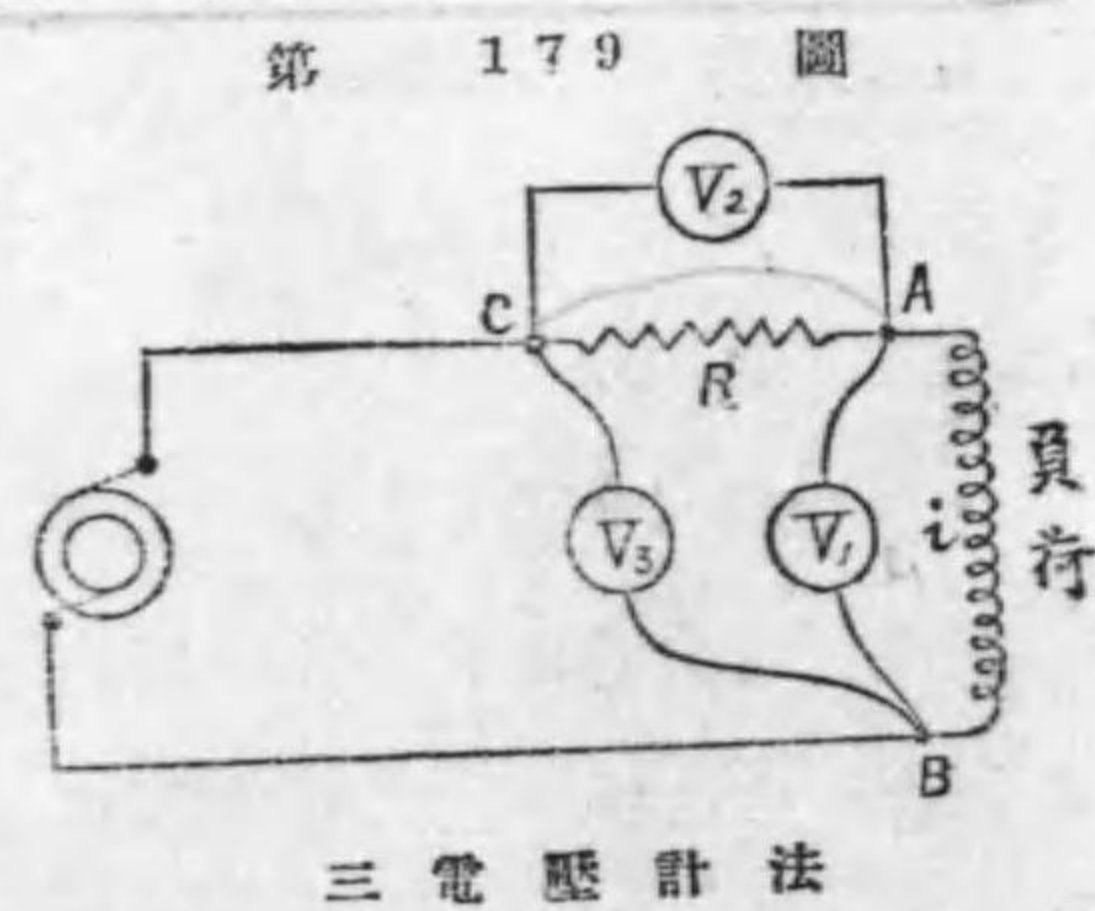
値及實効値

$e_2, E_2 = AC$  間の電圧の瞬時

値及實効値

$e_3, E_3 = BC$  間の電圧の瞬時値及實効値

$i =$  負荷電流の瞬時値



三電圧計法

$p =$  負荷に消費せられる瞬時電力

$$e_3 = e_1 + e_2$$

$$e_3^2 = e_1^2 + e_2^2 + 2e_1e_2$$

然るに  $e_2 = iR, p = e_1i$

$$\therefore p = \frac{1}{2R} (e_3^2 - e_1^2 - e_2^2) \dots \dots \dots (1)$$

$p$  は瞬時電力であるから、之を一周波に就て平均すると平均電力  $P$  となる。故に  $P$  は (1) 式の右側を一周波數に就て平均したものに等しい。然るに瞬時電壓の自乗の平均は實効電壓の自乗に等しいから

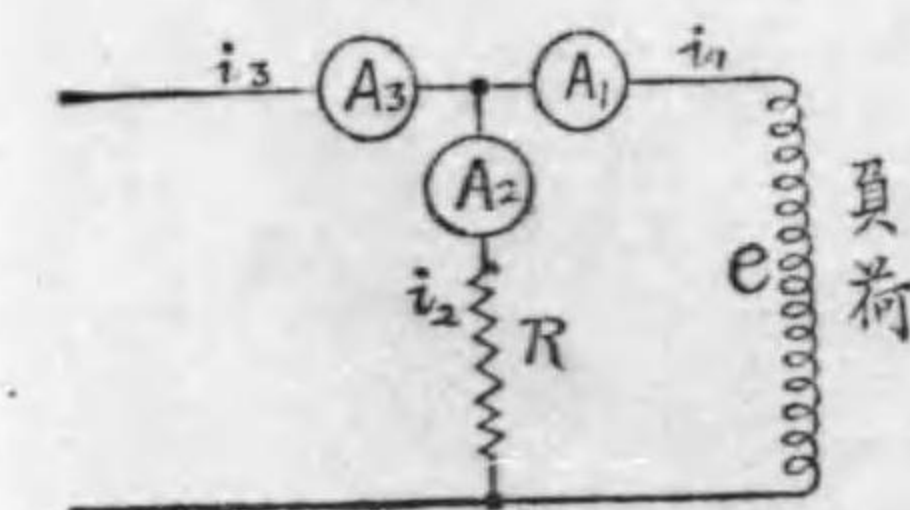
$$P = \frac{1}{2R} (E_3^2 - E_1^2 - E_2^2) \dots \dots \dots (2)$$

$E_1, E_2$  及  $E_3$  は夫々電圧計  $V_1, V_2$  及  $V_3$  の指示する電壓である。

(ロ) 三電流計法 (three ammeter method:—A. Campbell.)

第180圖は三個の電流計に依つて交流電力を測定する接続を示すもので、無誘導抵抗 R を電流計

$A_2$  と直列に接続する。



三電流計法

示すもので、無誘導抵抗 R を電流計  $A_2$  と直列に接続する。

$i_1, I_1 =$  負荷電流の瞬時値及實効値

$i_2, I_2 = R$  を流れる電流の瞬時値

及實効値

$i_3, I_3 = A_3$  を流れる電流の瞬時値及實効値

$e =$  負荷に與へられる電圧の瞬時値



p=瞬時電力

$$i_3 = i_1 + i_2$$

$$i_3^2 = i_1^2 + i_2^2 + 2 i_1 i_2$$

然るに  $i_2 = \frac{e}{R}$   $p = e i_1$

$$\therefore p = \frac{R}{2} (i_3^2 - i_1^2 - i_2^2) \dots\dots\dots(3)$$

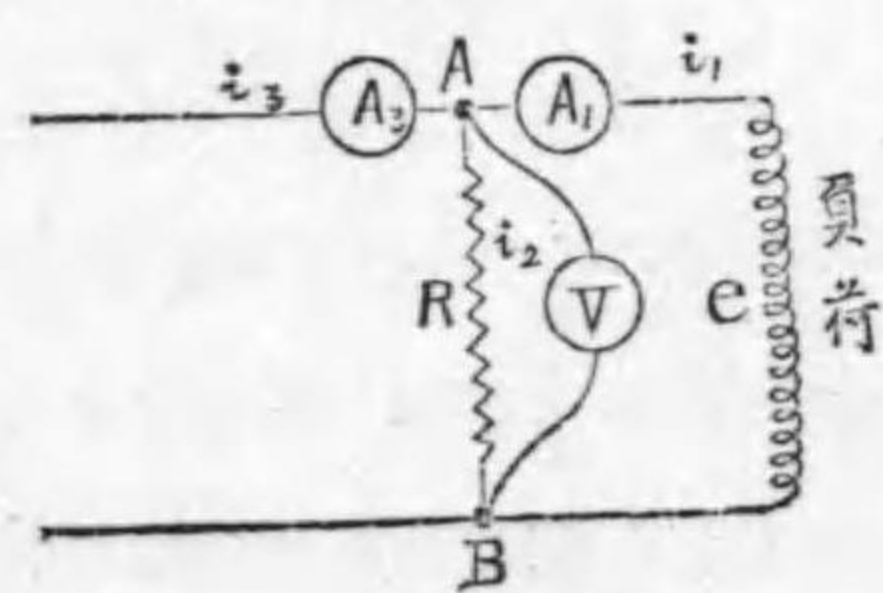
之を一周波に就て平均すれば

$$P = \frac{R}{2} (I_3^2 - I_1^2 - I_2^2) \dots\dots\dots(4)$$

$I_1, I_2$  及  $I_3$  は夫々電流計  $A_1, A_2$  及  $A_3$  の指示する電流である。

(ハ) 電圧計及電流計法 (voltmeter & ammeter method:—

第 181 圖 Fleming.)



電圧計及電流計法

第 181 圖は電圧計及電流計に依つて交流電力を測定する接続を示すもので、無誘導抵抗 R は A B 間に並列に接続せられ電圧計 V を A B 間に接続するのである。

$i_1, I_1$  = 負荷電流の瞬時値及實効値

$i_2, I_2$  = R を流れる電流の瞬時値

$e, E$  = A B 間の電圧の瞬時値及實効値

p = 瞬時電力

$$i_3 = i_1 + i_2$$

$$i_3^2 = i_1^2 + i_2^2 + 2 i_1 i_2$$

然るに  $i_2 = \frac{e}{R}$   $p = e i_1$

$$\therefore p = \frac{R}{2} (i_3^2 - i_1^2 - i_2^2) = \frac{R}{2} \left( i_3^2 - i_1^2 - \frac{e^2}{R^2} \right) \dots\dots\dots(5)$$

之を一周波に就て平均すると

$$P = \frac{R}{2} \left\{ I_3^2 - I_1^2 - \left( \frac{E}{R} \right)^2 \right\} \dots\dots\dots(6)$$

$I_1, I_3$  及  $E$  は夫々電流計  $A_1, A_3$  及電圧計 V の指示する電流及電圧である。

上記(イ)(ロ)及(ハ)の三測定法は何れも實用的方法に過ぎないが、何れの場合にも計器の讀數の自乘に依つて電力を算出するものであるから、正確な電圧計及電流計を用ひなければならぬ。即ち計器に小なる誤差があつても計算の結果には大なる誤差を生ずるに至るのである。此の事實は力率が小さい場合程甚だしい。故に此等の方法は力率が小さい場合の電力を測定するに適しない。而して(イ)の方法では  $V_1$  及  $V_2$  の指示殆んど同一なる時、又(ロ)及(ハ)の方法では負荷電流と R に流れる電流が殆んど同一なる時に最も良好な結果を得るのである。

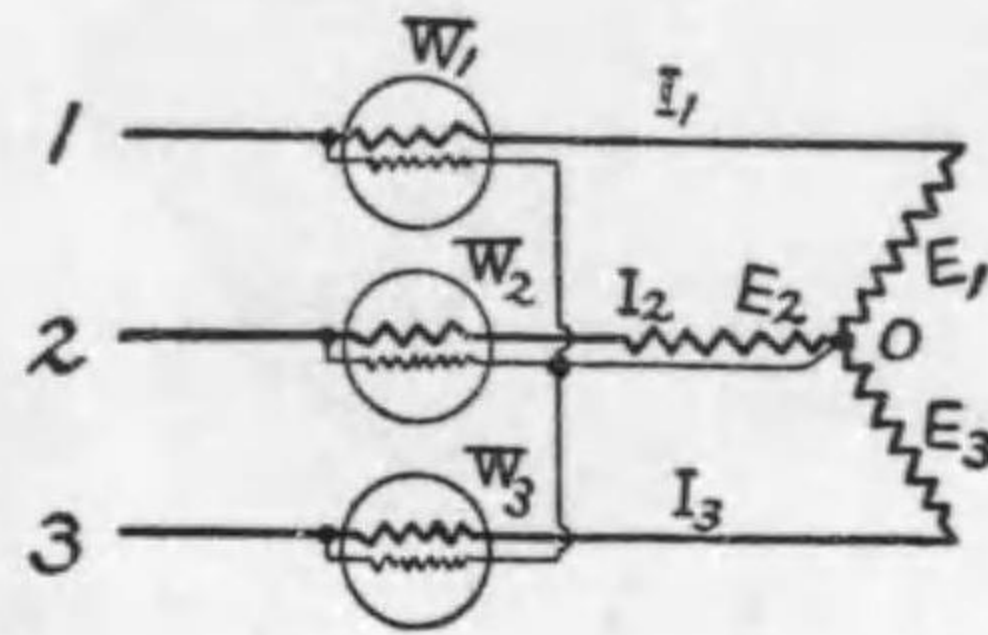
144. 三相電力の測定 三相式回路に於ける電力は各相に於て消費せられる電力の和である。先づ一般に平衡負荷



(balanced load) ても 不平衡負荷 (unbalanced load) ても用ひ得る方法を述べやう。之には三個の電力計を用ふる方法と二個の電力計を用ふる方法とがある。

(1) 三電力計法 (three wattmeter method) 第 182 圖は

第 182 圖



三電力計法の一

三相負荷の中性點に接近し得る場合に用ふる方法で各電力計の電壓線輪の一端を各線に他端を中性點 O に接続するのである。圖に於て負荷に與へらるゝ星形電壓を夫々  $E_1, E_2, E_3$ , 負荷電流を  $I_1, I_2, I_3$  とし, 電壓及電流間の相差を夫々  $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  とすれば電力計  $W_1, W_2$  及  $W_3$  の指示する電力  $P_1, P_2, P_3$  は明かに夫々各相の消費電力に等しい。即ち

$$P_1 = E_1 I_1 \cos \varphi_1$$

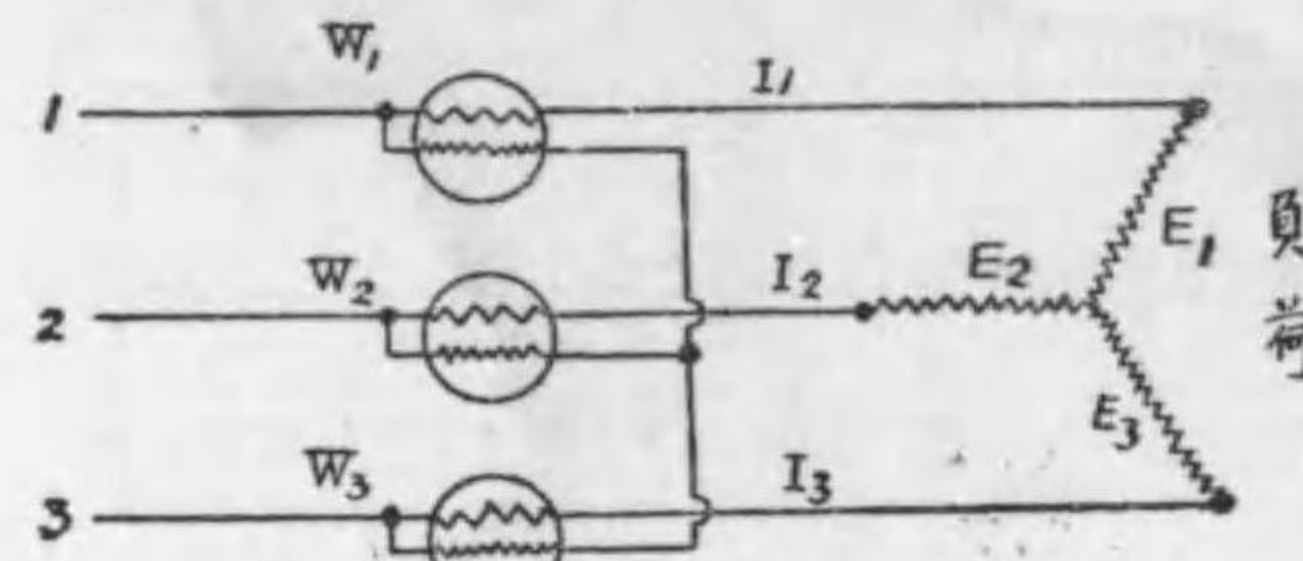
$$P_2 = E_2 I_2 \cos \varphi_2$$

$$P_3 = E_3 I_3 \cos \varphi_3$$

故に  $P_1, P_2$  及  $P_3$  の和は三相電力に等しいのである。

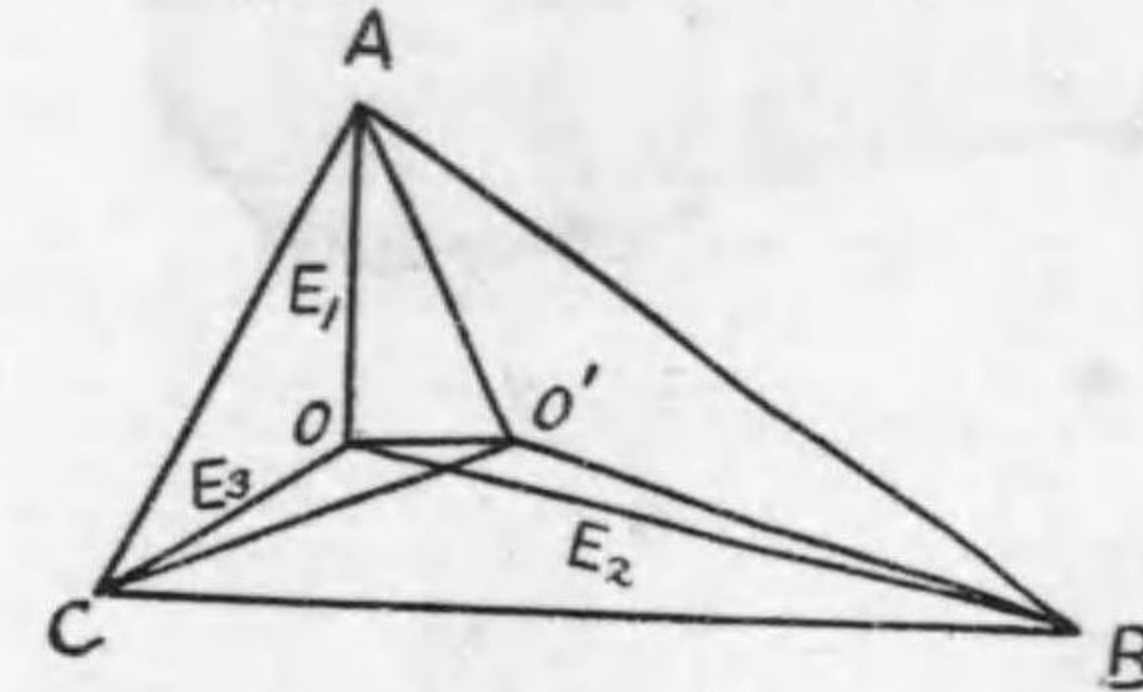
第 183 圖は三相負荷の中性點が利用し得られない場合の接続法で,  $W_1, W_2$  及  $W_3$  なる三個の電力計は全く相等しいものを用ふるのである。此の場合には各電力計は各相の消費電力を表はさないが, 三電力計の讀數の和は三相電力となるのである。今其の

第 183 圖



三電力計法の二

第 184 圖



三電力計法の二の場合の電壓の關係

理を簡単に説明しやう。

第 184 圖は此の場合の電壓の關係を示すベクトル線圖で,  $AO = E_1, BO = E_2$  及  $CO = E_3$  は夫々各相の負荷に與へられる電壓である。然るに電力計の電壓線輪は相等しい抵抗を有するから, 電壓線輪にかゝる電壓は  $AO', BO'$  及  $CO'$  (三角形の中線) の如き電壓である。今  $e_1, e_2, e_3$  を夫々  $E_1, E_2, E_3$  の瞬時値,

$i_1, i_2, i_3$  を負荷電流の瞬時値とし,  $O O'$  の瞬時値を  $e_0$  とすれば, 各電力計に働く瞬時電力,  $p_1, p_2$  及  $p_3$  は夫々次の様になる。

$$p_1 = (e_1 - e_0) i_1$$

$$p_2 = (e_2 - e_0) i_2$$

$$p_3 = (e_3 - e_0) i_3$$

$$\therefore p_1 + p_2 + p_3 = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3 - e_0 (i_1 + i_2 + i_3)$$

然るに三相式回路の性質上  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$  であるから

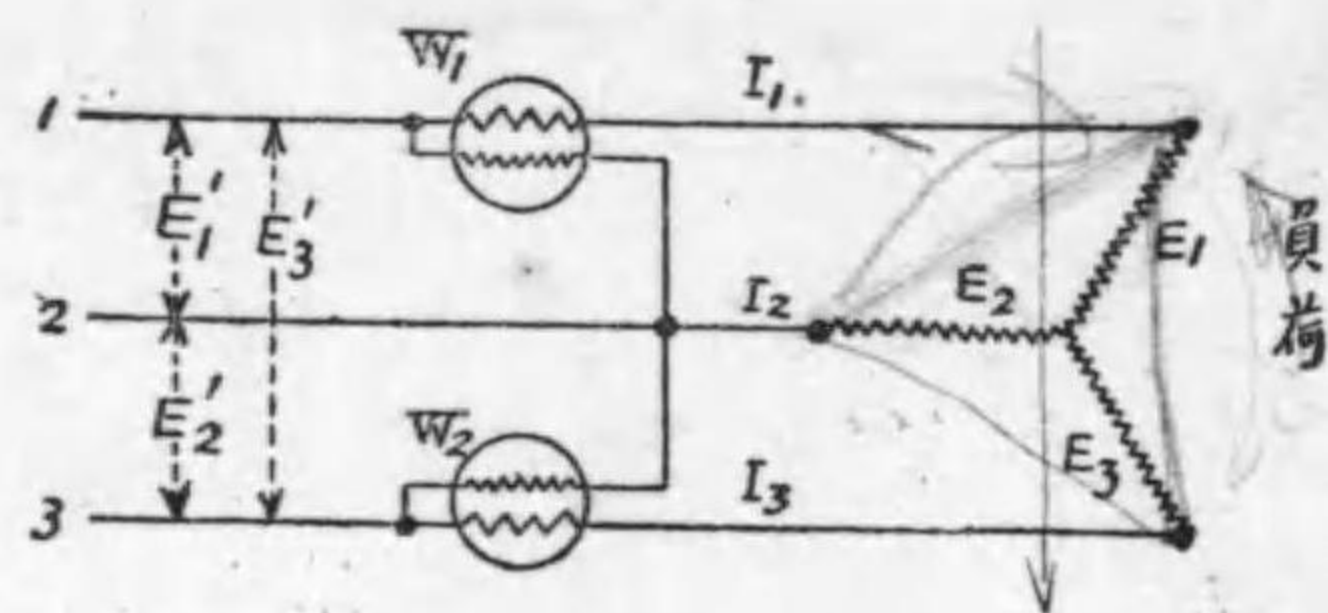
$$p_1 + p_2 + p_3 = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$$



即ち三個の電力計の示す讀数の和は三相電力に等しいのである。

(口) 二電力計法 (two wattmeter method) 第 185 圖は二電力計法の接続を示すものである。此の場合には電力計の電壓線輪には星形電壓の代りに三角形電壓を與へるのである。今  $E_1, E_2, E_3$  及  $e_1, e_2, e_3$  を星形電壓の實効値及瞬時値  $E_1', E_2', E_3'$  及  $e_1', e_2', e_3'$  を三角形電壓の實効値及瞬時値、又  $I_1, I_2, I_3$  及  $i_1, i_2, i_3$  を負荷電流の實効値及瞬時値とすれば瞬時三相電力  $p$  は

第 185 圖



二電力計法の接続

$$p = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$$

然るに

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$e_1' = e_1 - e_2$$

$$e_2' = e_3 - e_2^*$$

$$\therefore p = e_1 i_1 - e_2 \times (i_1 + i_3) + e_3 i_3$$

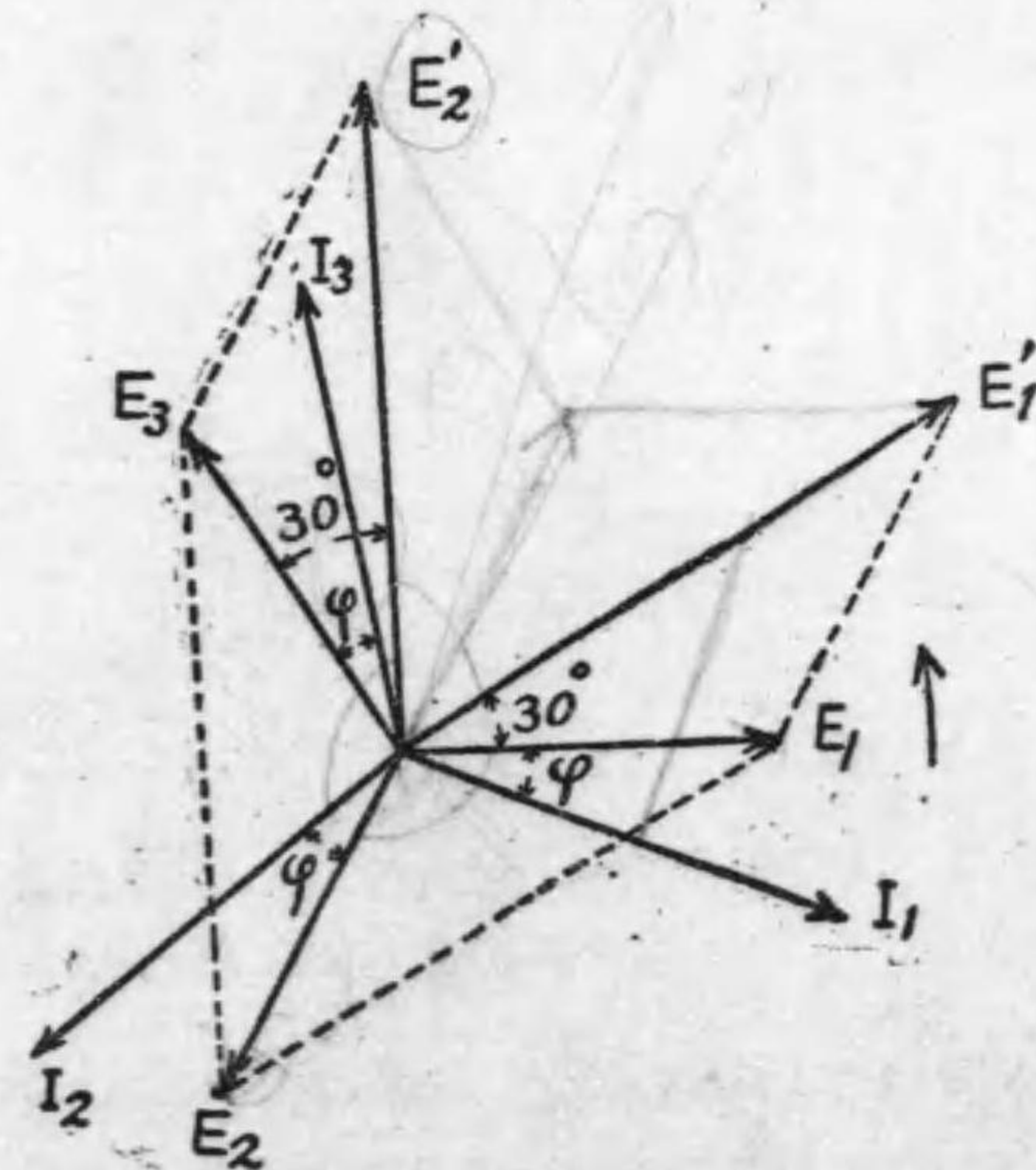
\* 註  $e_2'$  は普通  $e_2 - e_3$  として考へるのであるが、電力計に働く廻轉力は  $e_2 - e_3$  と  $i_3$  では普通反對方向の廻轉力となり  $e_3 - e_2$  と  $i_3$  とで正方向の廻轉力となるのであるから、混雜を避ける爲に  $e_2' = e_3 - e_2$  としたのである。而して圖の接続に於ては  $W_2$  の電壓線輪に與へられる電壓は  $e_3 - e_2$  と見る方が至當なのである。

$$\begin{aligned} &= (e_1 - e_2) i_1 + (e_3 - e_2) i_3 \\ &= e_1' i_1 + e_2' i_3 \end{aligned}$$

電力計  $W_1$  の電流線輪には  $i_1$  なる電流が流れ、電壓線輪には  $e_1'$  なる電壓が與へられるから、 $W_1$  の指示電力は瞬時電力  $e_1' i_1$  の平均である。又電力計  $W_2$  の電流線輪には  $i_3$  なる電流が流れて、電壓線輪には  $e_2'$  なる電壓が與へられるから、 $W_2$  の指示電力は瞬時電力  $e_2' i_3$  の平均である。夫故に電力計  $W_1$  及  $W_2$  の指示する電力の和は三相電力に等しいのである。此關係は負荷が平衡して居る場合でも又不平衡の場合でも全く同一である。

二電力計法に於ける各電力計の指示電力の關係を知る爲、平衡

第 186 圖



二電力計法のベクトル線圖

負荷の場合に就て考へるに、之はベクトル線圖で説明するのが一番簡單である。第 186 圖は平衡負荷の場合の二電力計法のベクトル線圖を示すものであつて、 $E_1, E_2, E_3$  は星形電壓で 120 度宛の相差を有して居



る。又  $I_1, I_2, I_3$  は各相の電圧から夫々  $\varphi$  なる角丈遅れて居る。 $E_1'$  は  $E_1$  と  $E_2$  とのベクトルの差で(1)線(2)線間の線間電圧、又  $E_2'$  は  $E_3$  と  $E_2$  とのベクトルの差で(3)線(2)線間の線間電圧である。而して  $E_1'$  は  $E_1$  より 30 度進み  $E_2'$  は  $E_3$  より 30 度遅れる事は圖の構成から明かである。電力計  $W_1$  の電圧は  $E_1'$  で電流は  $I_1$ 、又電力計  $W_2$  の電圧は  $E_2'$  で電流は  $I_3$  であるから

$$P_1 = W_1 \text{ の示す電力}$$

$$P_2 = W_2 \text{ の示す電力}$$

$$\text{とすれば } P_1 = E_1' I_1 \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = E_2' I_3 \cos(30^\circ - \varphi)$$

平衡負荷の場合であるから  $E_1 = E_2 = E_3 = E, I_1 = I_2 = I_3 = I,$   
 $E_1' = E_2' = E_3' = E' = \sqrt{3} E,$  である。従て

$$P_1 + P_2 = E' I \cos(30^\circ + \varphi) + E' I \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$= 2 E' I \cos 30^\circ \cos \varphi$$

$$= \sqrt{3} E' I \cos \varphi$$

$$= 3 E I \cos \varphi$$

即二箇の電力計の讀数の和は三相電力に等しいことが分るであらう。

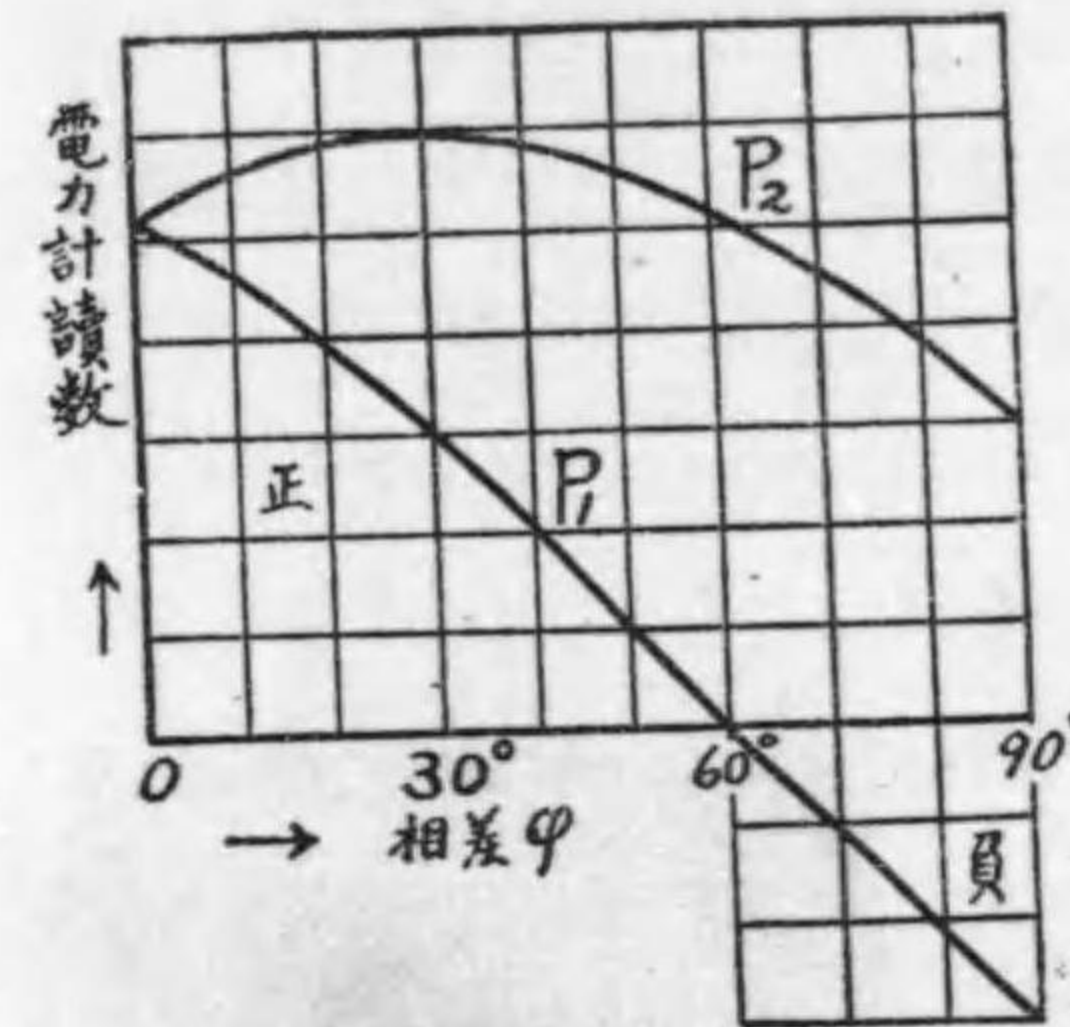
$P_1$  と  $P_2$  の指示は力率が變ると變つて來る。例へば遅電流平衡負荷の場合を考へると第 17 表の様に變化するのである。

第 17 表 二電力計法に於ける電力計の讀数の變化

$$P_1 = E' I \cos(30^\circ + \varphi), \quad P_2 = E' I \cos(30^\circ - \varphi)$$

$\varphi =$	$0^\circ$	$0-30^\circ$	$30^\circ$	$30^\circ-60^\circ$	$60^\circ$	$60^\circ-90^\circ$	$90^\circ$
$P_1$	$\frac{\sqrt{3}}{2} E'I$	次第に減少す	$\frac{1}{2} E'I$	次第に減少す	0	(-)の値となり 次第に増加す	$-\frac{1}{2} E'I$
$P_2$	$\frac{\sqrt{3}}{2} E'I$	次第に増加す	$E'I$ (最大)	次第に減少す	$\frac{\sqrt{3}}{2} E'I$	次第に減少す	$\frac{1}{2} E'I$

第 187 圖



力率に依る電力計讀数の變化

第 187 圖は電圧と電流の相差に依つて如何に電力計の讀数が變化するかを示す曲線である。此等から分る様に  $\varphi = 60^\circ$  即力率が  $\frac{1}{2}$  迄は三相電力は二箇の電力計の讀数の和に等しいが、 $\varphi = 60^\circ$  以上となり力率が  $\frac{1}{2}$  以下に降る時には三相電力としては二箇の電力計の讀数の差を取らな

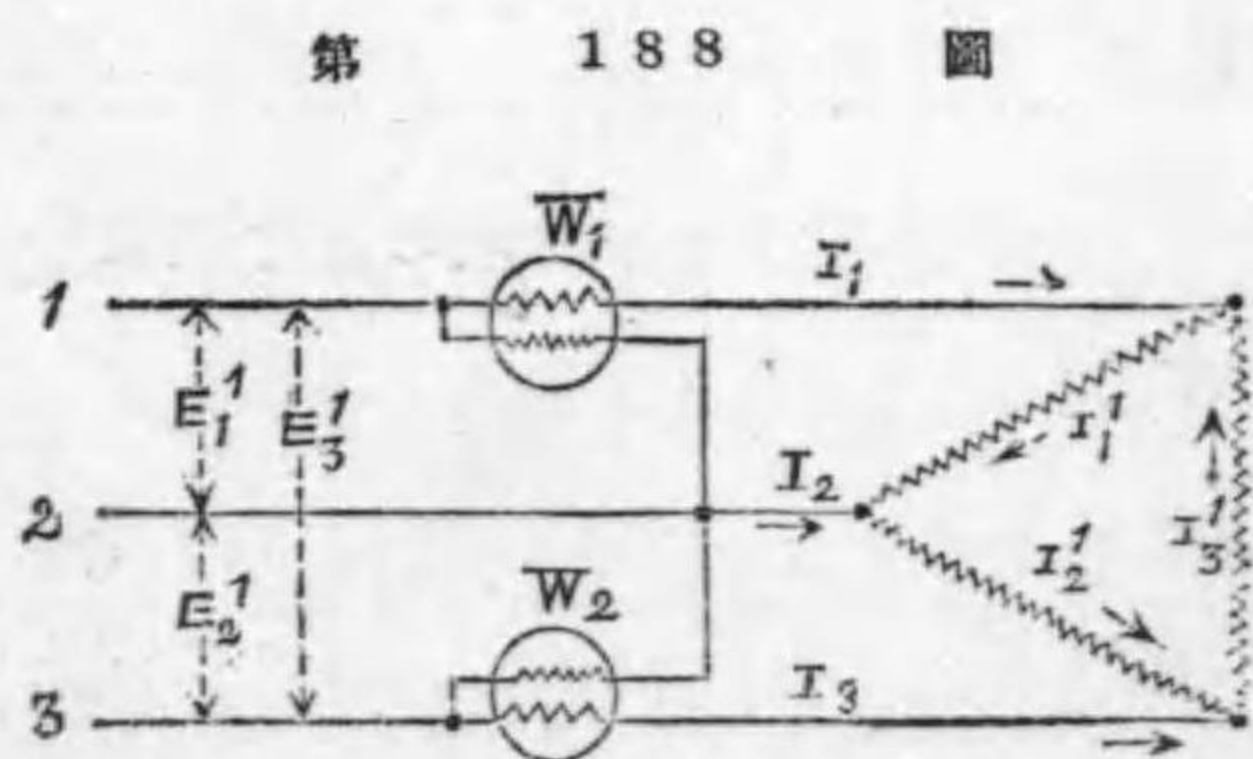
なければならないのである。 $W_1$  なる電力計の指示が(-)となるといふことは力率  $\frac{1}{2}$  以下に降ると計器の廻轉力が反對の方向に働くことを意味するのである。従て電力計の電圧線輪の接続を反對にして電力計の指示を正方向にするを要する。此の事實は特に注意を要すること、例へば三相誘導電動機の無負荷試験の場合の



如きは通常力率  $\frac{1}{2}$  以下であるから二電力計の讀數の和の代りに其の差を取らねばならぬ。又斯様に二電力計の讀が力率に依つて變化する關係から、平衡三相回路の力率を測定するに二電力計法を用ふる場合あること次章に説明する通りであるが、第 17 表からも例へば  $P_1$  と  $P_2$  とが相等しい時は  $\varphi=0^\circ$  の場合、 $P_2$  が最大となる時は  $\varphi=30^\circ$  の場合、 $P_1=0$  となる時は  $\varphi=60^\circ$  の場合であることは直に明かであらう。又  $P_1$  と  $P_2$  との差は常に三相電力  $\sqrt{3}E'I\cos\varphi$  に等しいことは表に挙げた場合に就て調べて見れば明かである。

進電流の場合でも全く同様の關係である。此場合には  $\varphi$  を (-) と考へれば宜しいので、從て第 17 表又は第 187 圖の  $P_1$  と  $P_2$  とが入れ換はるのみである。

第 185 圖は負荷が星形に接続せられた場合であるが、負荷が三角形に接続せられる場合でも全く同様である。第 188 圖は負荷



負荷が三角形に接続せられたる場合の二電力計法

が三角形に接続せられる場合を示すもので、此場合に  $I_1'$ ,  $I_2'$ ,  $I_3'$  及  $i_1'$ ,  $i_2'$ ,  $i_3'$  を夫々負荷に流れる電流の實効値及瞬時値とすれば

$$P_1 = e_1' i_1'$$

$$P_2 = e_2' i_3'$$

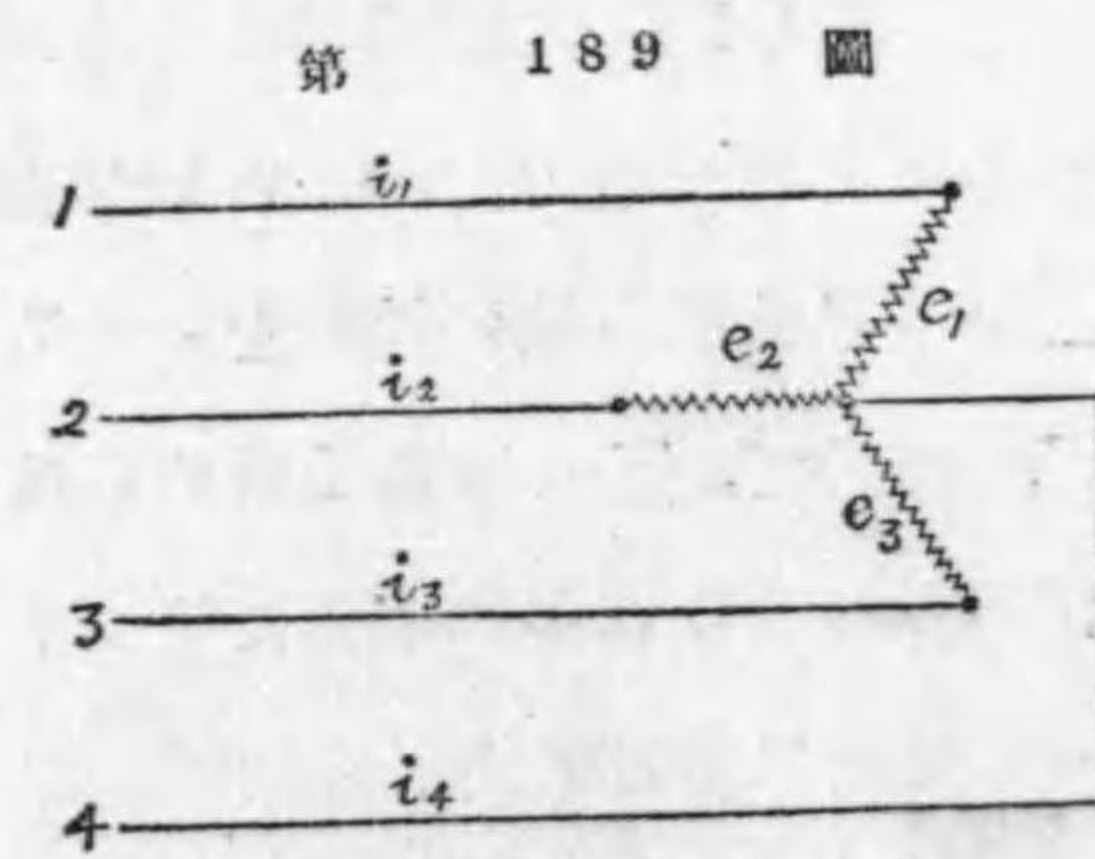
$$\text{又 } i_1 = i_1' - i_3'$$

$$i_3 = i_3' - i_1'$$

$$\begin{aligned} \therefore P_1 + P_2 &= e_1'(i_1' - i_3') + e_2'(i_3' - i_1') \\ &= (e_1 - e_2)(i_1' - i_3') + (e_3 - e_2)(i_3' - i_1') \\ &= (e_1 - e_2)i_1' + (e_2 - e_3)i_2' + (e_3 - e_1)i_3' \\ &= \text{負荷に消費せられる三相電力} \end{aligned}$$

即ち星形負荷の場合と同様である。

以上は三相三線式の場合に就て述べたが、三相四線式の場合には第 182 圖の様にして三個の電力計を以て三相電力を測定し得るが、一般に二電力計法に依つては三相電力を測定することが出



三相四線式の電力

来ない。今第 189 圖に於て  $i_4$  を中性線に流れる電流の瞬時値とすれば、瞬時三相電力は前の場合と同様であつて、

$$p = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$$

而して

$$e_1' = e_1 - e_2 \quad e_2' = e_3 - e_2$$

$$i_1 + i_2 + i_3 + i_4 = 0$$

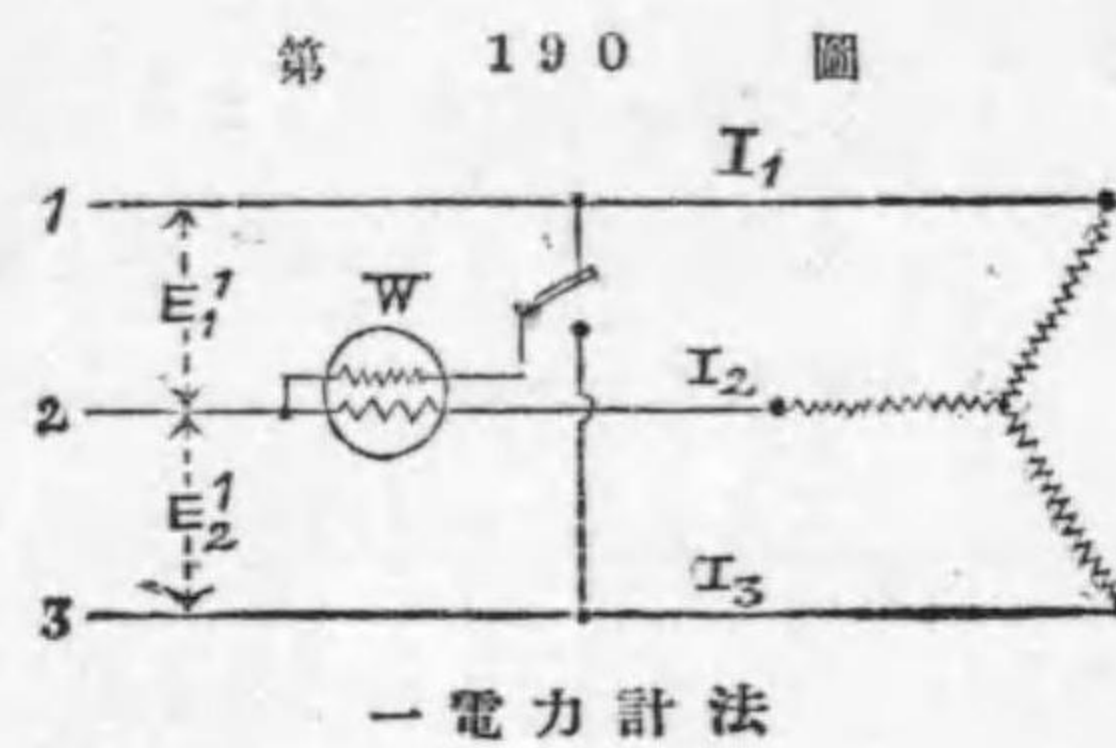
$$\begin{aligned} \therefore p &= e_1 i_1 - e_2 \times (i_1 + i_3 + i_4) + e_3 i_3 \\ &= (e_1 - e_2)i_1 + (e_3 - e_2)i_3 - e_2 i_4 \\ &= e_1' i_1 + e_2' i_3 - e_2 i_4 \end{aligned}$$



二個の電力計を第 185 圖の様に接続すれば、 $W_1$  は  $e_1 i_1$  の平均電力を示し、 $W_2$  は  $e_2 i_2$  の平均電力を示す譯である。従て  $i_3$  が零なる時即平衡回路でない限りは二電力計の讀数の和は三相四線式の場合の三相電力に等しくない。夫故に不平衡三相四線式回路に於ては必ず三個の電力計を用ひて三相電力を測定せねばならぬ。

145. 平衡回路に於て三相電力を測定する法

負荷の全く平衡して居る三相回路では三相電力は一個の電力計



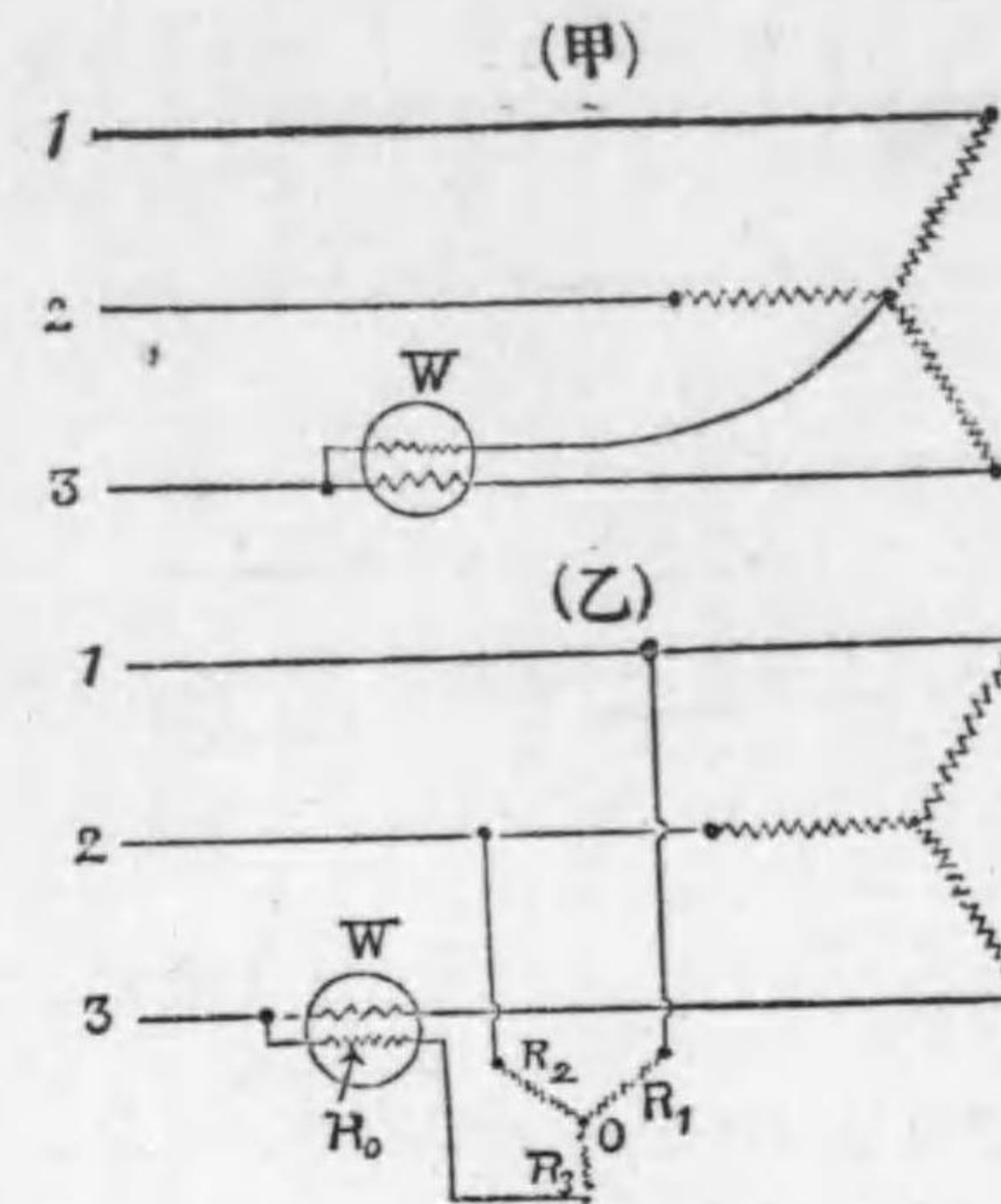
で測定することが出来る。之に二法ある。  
(イ) 二電力計法を應用した一電力計法 第 190 圖は此の方法の接続を示すもので、例へば電力計の電流

線輪には  $I_2$  なる電流を通し、電壓線輪には切替開閉器に依つて交互に  $E_1'$  及  $E_2'$  なる電壓を與へ、此の二回の電力計の讀数の和を以て三相電力とするのである。而して此の二回の電力計の讀は  $E_1'$  を與へた時は  $P_1 = E_1 I_2 \cos(30^\circ - \phi)$  で、 $E_2'$  を與へた時には  $P_2 = E_2 I_2 \cos(30^\circ + \phi)$  であることは、ベクトル線圖を組立てれば直に分るであらう。

(ロ) 一相の電力を測定する法 第 191 圖(甲)及(乙)は一相の電力を測定して三相電力を決定する方法を示すもので、何れの場合

でも電壓線輪には電流の相に相當する星形電壓を與へるのである。(甲)圖の場合は負荷の中性點に電壓線輪の端子を接続し得る場合、(乙)圖の場合は中性點に接近することが出来ない場合である。(乙)圖の場合には  $R_1, R_2$  なる抵抗を電力計の電壓線輪  $R_0$  及直列抵抗  $R_3$  と星形に接続し  $O$  點に於て人為的に中性點を形成するのである。

第 191 圖



一相の電力を測定する法

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_0 + R_3$$

但し此關係はダイナモメーター型電力計の如く、其の電壓線輪のインダクタンスを無視し得る場合であつて、誘導型電力計の如き場合には、電壓線輪回路と全く相等しい抵抗及インダクタンスを有するものを星形に接続するのである。

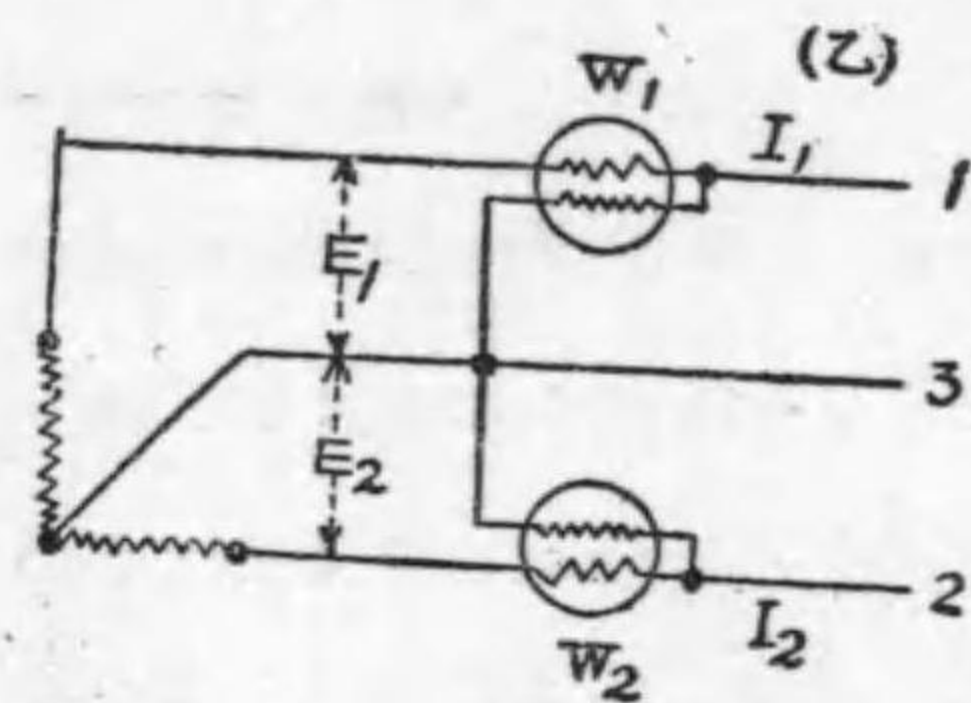
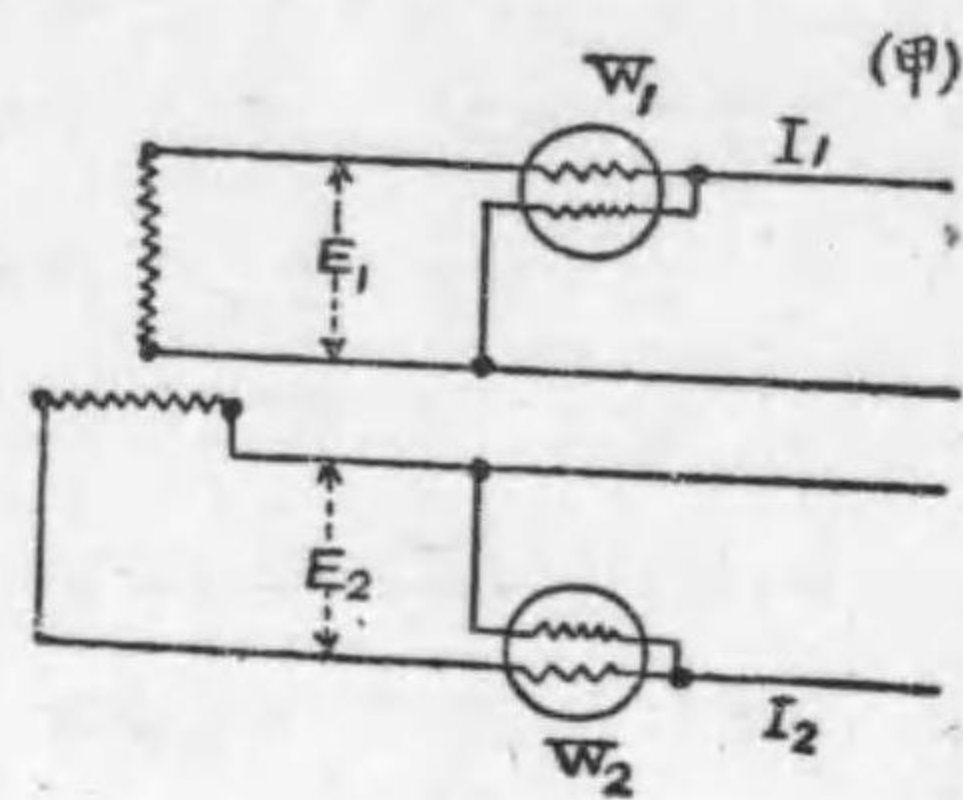
第 191 圖の場合には電力計の讀数は一相の電力を指示するのみであるから、三相電力は電力計讀数の三倍である。

146. 二相電力の測定 第 192 圖甲及乙は二相電力



を測定する方法を示すもので、圖の様に二個の電力計を接続すれば宜しい。甲圖は二相四線式の場合、乙圖は二相三線式の場合である。此の場合には明かに二個の電力計は各相の電力を示すもので、其の讀數の和は二相電力である。

第 192 圖



二相電力の測定

甲圖は二相四線式の場合、乙圖は二相三線式の場合である。此の場合には明かに二個の電力計は各相の電力を示すもので、其の讀數の和は二相電力である。

$$P_1 = E_1 I_1 \cos \phi_1$$

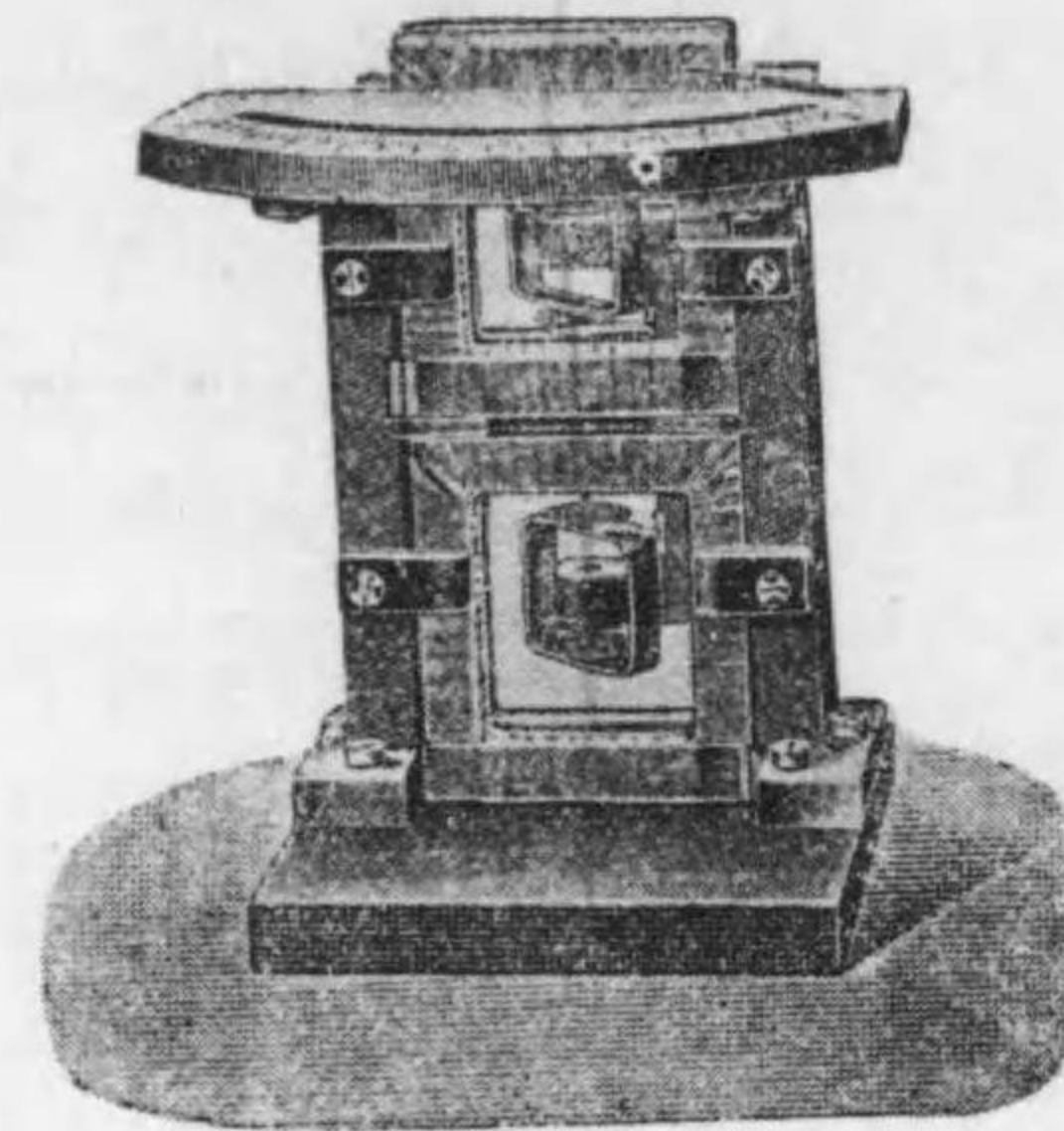
$$P_2 = E_2 I_2 \cos \phi_2$$

注意：一 二相三線式の場合には二個の電力計の電流線輪は必ず夫々(1)線及(2)線に接続し、又電壓線輪には夫々  $E_1$  及  $E_2$  なる電壓

を與へる様接続せねばならぬ。例へば(2)線と(3)線とを誤つて接続する時は各電力計は何を指示するか分らぬことになる。若し平衡回路であれば一方の電力計の電壓線輪には  $\sqrt{2}$  倍の電壓が與へられ、他の電力計の電流線輪には  $\sqrt{2}$  倍の電流が流れる。

147. 三相電力計 三相電力計は二電力計法に依つて三相電力を測定する原理に基いて作られるもので、第 193 圖

第 193 圖



三相電力計

に示す様に二個の單相電力計の要素を上下に装置したものである。即ち各要素に依つて生ずる廻轉力を同一軸に働かせ、之を螺旋に依つて制御せしめると、指針は二つの單相電力計の要素に依つて生ずる廻轉力の和に依つて傾斜するから、三相電力を指示する譯である。斯様な構造のもので

は力率が  $\frac{1}{2}$  以下となる場合には、一方の要素の廻轉力の方向が反對となるから、自然に二電力計の廻轉力の差に依つて指針が傾斜することゝなり、指針は常に三相電力を指示するのである。但し此の場合には各要素の相互間の影響が多少あるのは避けることは出来ぬ。然しシーメンス三相電力計の如きは電壓線輪の接続を多少變更して之を防止して居る。

148. 摘要 本章に於て述べたことを摘記すると

1. 直流電力は電壓計と電流計との讀に依つて決定することが出来るが、精密に云へば電壓計讀數と電流計讀數との積は負荷に於て消費せられる電力と、電壓計及電流計の内何れか負荷に近く接続せられる計器の内部損失との和である。

2. 交流電力は普通電力計に依つて測定するが、電力計の指示



も亦一般に負荷に消費される電力と、電圧線輪及電流線輪中何れか負荷に近く接続される線輪内の損失との和を示すものである。

3 電圧線輪を負荷に近く接続する様になつて居る電力計では、電圧線輪と直列に接続せられる補償線輪に依つて、全く負荷電力のみを指示せしめる様になることが出来る。此の場合には無負荷の時固定線輪に依つて可動線輪のある部分に生ずる磁界を補償線輪の作用に依つて全く打消す様に調整するのである。

4. 電力計にはエレクトロダイナモメーター型及誘導型の二種類がある。

5. 交流電力は電圧計及電流計に依つても測定することが出来る。即三電圧計法、三電流計法並電圧計及電流計法の如きは即之である。

6. 三相電力は三電力計法又は二電力計法で測定することが出来る。二電力計法は最も重要な方法で二個の電力計の讀数の和が三相電力に等しいのである。但し力率が  $\frac{1}{2}$  以下の場合には二電力計の讀数の和を取る代りにその差を取らねばならぬ。又三相四線式回路では一般に二電力計法では三相電力を測定することが出来ぬ。

7. 全く負荷の平衡して居る三相回路では、一個の電力計で三相電力を測定することが出来る。此の場合には二電力計法を行ふ法と一相丈の電力を測定する法がある。

8. 三相電力計は二電力計法に基いて作られる。

## 第八章 力率及周波数の測定並 力率計及周波計

### 第一 力率の測定及力率計

149. 単相式回路及平衡多相式回路に於ける力率の測定。第 194 圖甲及乙は單相式又は平衡多相式回路の力率を電力計、電圧計及電流計を用ひて測定する方法である。此場合に

第 194 圖

E=電圧計の讀數 〇

I=電流計の讀數 〇

P=電力計の讀數 〇

$\varphi$ =E と I との相差とすれば、

力率  $\cos \varphi$  は明かに

$$\cos \varphi = \frac{P}{EI}$$

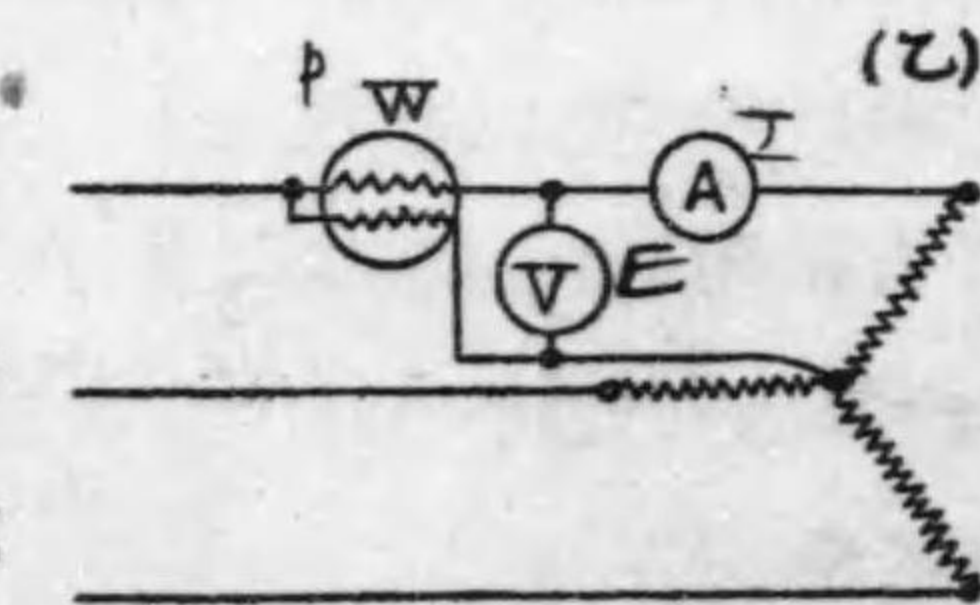
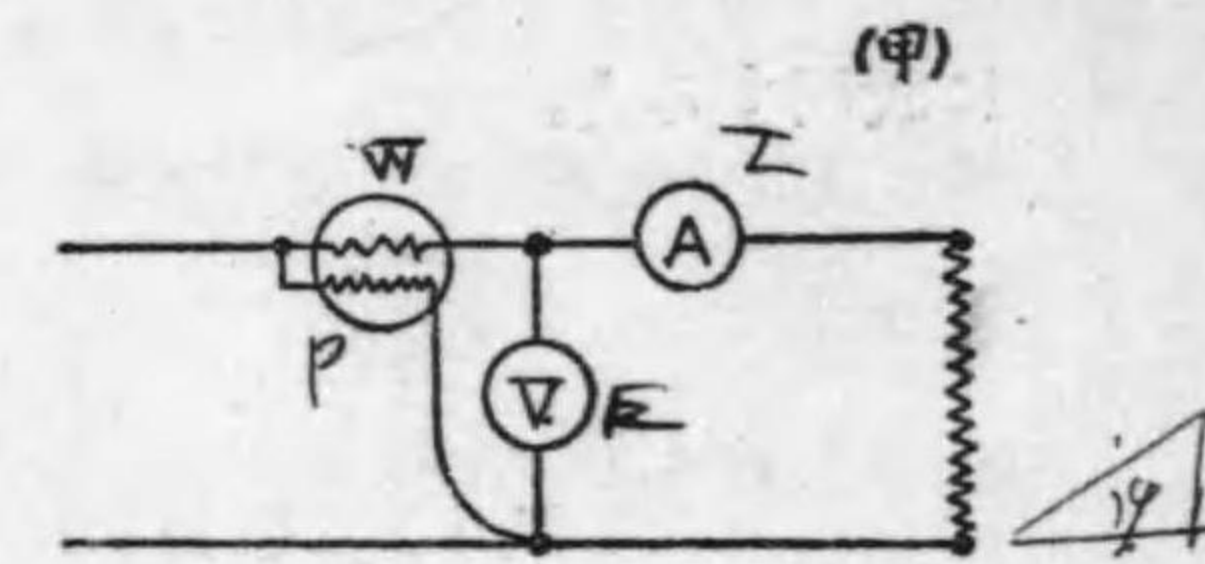
單相式回路の場合には第 143 節

の三電圧計法、三電流計法又は電圧計及電流計法に依つて電力を測

定する方法から、逆に力率を見出すことが出来る。例へば三電圧計法の場合には

$$P = E_1 I \cos \varphi = \frac{1}{2R} (E_3^2 - E_1^2 - E_2^2)$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$   
 $I^2 \quad - \quad E_1^2 \quad + \quad I^2$   
 $\downarrow \quad \quad \quad \downarrow$   
 $\quad \quad \quad 2R$



力率の測定



$$\text{又 } I = \frac{E_2}{R}$$

$$\therefore \cos \varphi = \frac{E_3^2 - E_1^2 - E_2^2}{2E_1E_2}$$

若し  $E_1 = E_2$  の場合には

$$\cos \varphi = \frac{E_3^2 - 2E_1^2}{2E_1^2} = \frac{E_3^2}{2E_1^2} - 1$$

又平衡三相回路の場合には 第 144 節の二電力計法から逆に力率を測定することが出来る。φ が零度, 30 度, 60 度, 90 度の様な特別の場合に就ては第 144 節にも述べたのであるが, 之を一般的に説明すると,

$$P_1 = EI \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = EI \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 &= EI \{ \cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi) \} \\ &= 2EI \cos 30^\circ \cos \varphi \\ &= \sqrt{3} EI \cos \varphi \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{又 } P_2 - P_1 &= EI \{ \cos(30^\circ - \varphi) - \cos(30^\circ + \varphi) \} \\ &= 2EI \sin 30^\circ \sin \varphi \\ &= EI \sin \varphi \end{aligned}$$

$$\therefore \tan \varphi = \sqrt{3} \frac{P_2 - P_1}{P_1 + P_2}$$

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}$$

150. 小なる力率の測定 前節に述べた方法は力率が  $\frac{1}{2}$  以上の場合には適當であるけれども, 電壓電流間の相差が更に大きくなつて力率が甚だ小さくなる時は餘り適當でない。何となれば力率が甚だ低くなると電力計の指示が極めて小さくなり, 電力計の少許の讀違ひも計算の結果に大なる誤差を生ずる様になるからである。夫故に變壓器又は誘導電動機の無負荷の場合の様な小なる力率を測定するには次に述べる様な方法に依つた方が宜しい。尤も小力率に於ても電力計の指示を大きくする爲, 特に電壓線輪の電流を二倍以上にするものや, 又小力率に於けるインダクタンスの誤差を少なくする爲に無定位 (astatic) に装置する電力計がある。斯様な電力計を用ひれば前節の方法で相當の確度を以て小なる力率を測定することが出来るのである。

本章に於て述べ様とする方法は普通の電力計の代りに無効電流電力計 (idle current wattmeter) なるものを用ひるものである。普通の電力計は  $EI \cos \varphi$  を指示するものであるが, 無効電流電力計では  $EI \sin \varphi$  を指示するものである。例へばエレクトロダイナモメーター型電力計で, 普通の電力計では電壓線輪に無誘導直列抵抗を接続してインダクタンスの影響を除外し電壓線輪電流を殆んど電壓と同相とするのであるが, 無効電流電力計では無誘導直列抵抗の代りに, 抵抗が小さくインダクタンスが極めて大きい塞流線輪を直列に接続するので, 之に依つて電壓線輪に流れる電流は電壓から殆んど 90 度遅れ, 従て無効電流電力計の指示は



$EI \sin \varphi$  となるのである。今  $Q$  を無効電流電力計の讀とし  $E$  及  $I$  を電圧計及電流計の讀とすれば、第 194 圖と同一の接続で

$$\sin \varphi = \frac{Q}{EI}$$

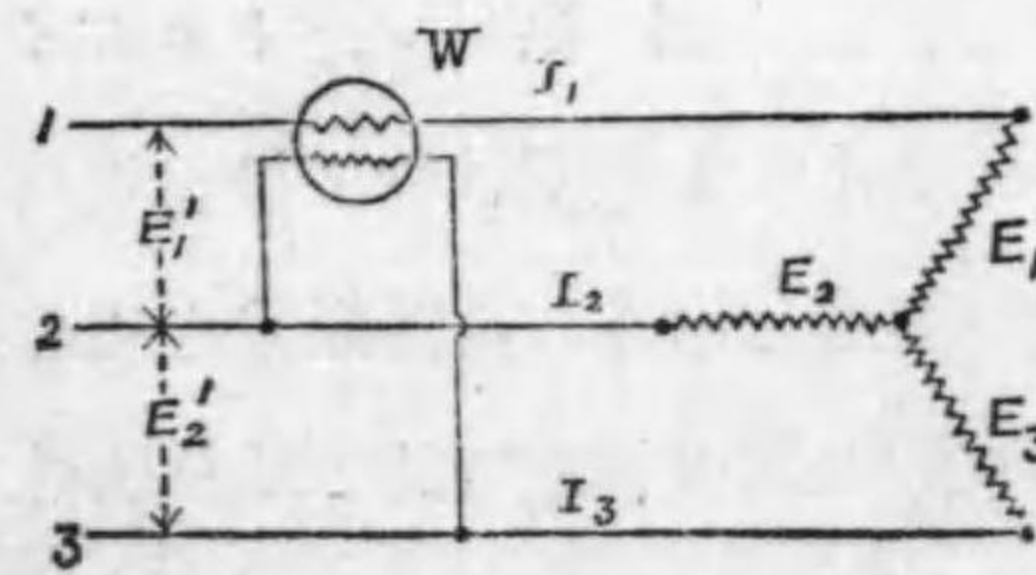
$$\therefore \cos \varphi = \sqrt{1 - \left(\frac{Q}{EI}\right)^2}$$

無効電流電力計の讀数は、電圧電流間の相差  $\varphi$  が大きくなる程大きくなり、 $\varphi=90$  度の時に其の讀は最大である。夫故に力率が  $\frac{1}{2}$  以下の場合には無効電流電力計を用ひ、力率  $\frac{1}{2}$  以上の場合には普通の電力計を用ひるが宜しい。

無効電流電力計は又無効電流の測定に用ひることが出来る。即ち無効電流  $I \sin \varphi$  は

$$I \sin \varphi = \frac{Q}{E}$$

第 195 圖



三相回路に於ける小力率の測定

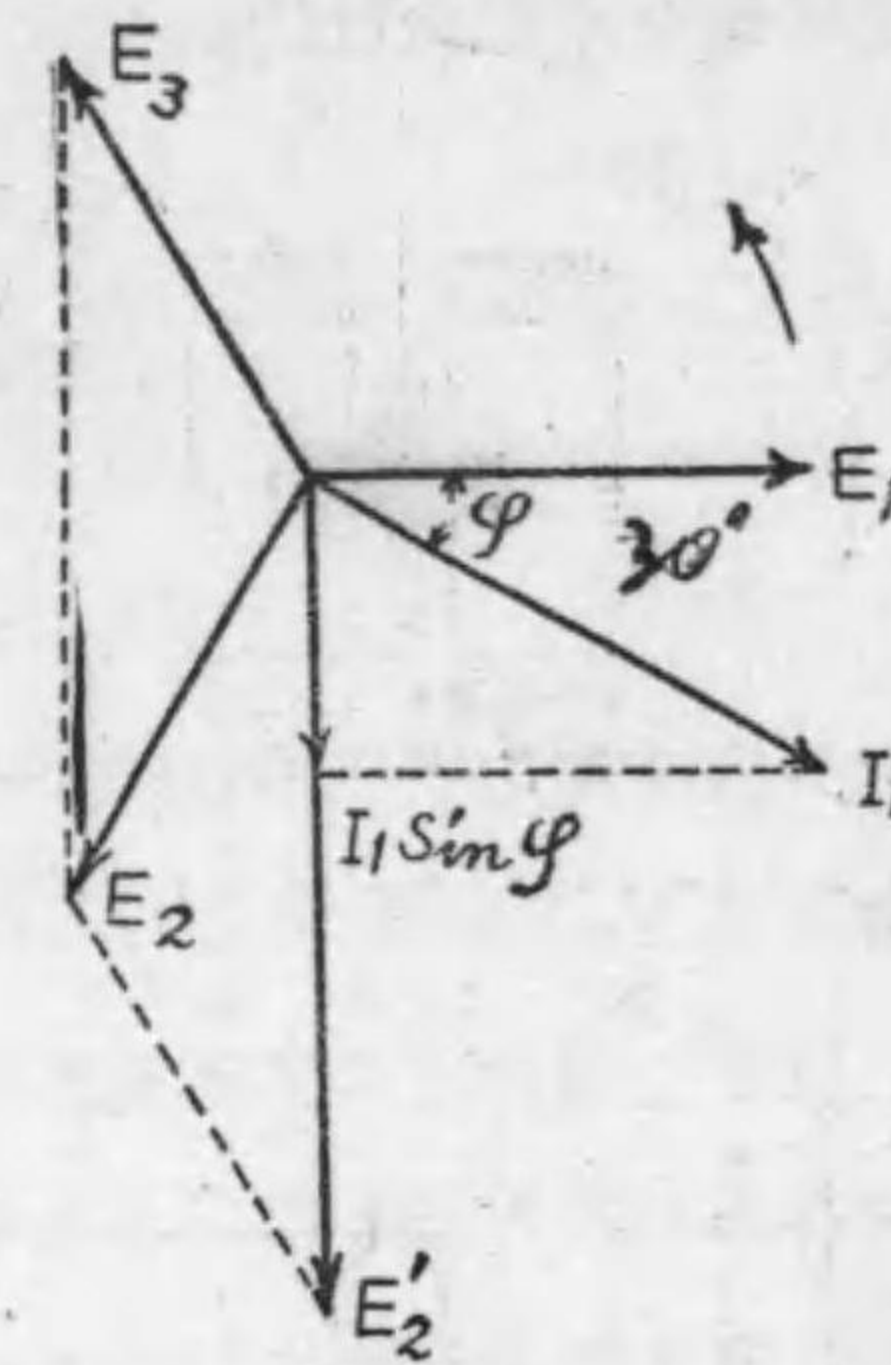
平衡三相式回路では普通の電力計を無効電流電力計として用ひることが出来る。第 195 圖は其の接続を示すもので例へば電力計の電流線輪には  $I_1$  なる電流を通し、電圧線輪は (2) 線と (3) 線の間

に接続して  $E_2$  なる電圧を與へるのである。此の場合のベクトル線

第 196 圖

圖は第 196 圖に示す如くであつて、電圧線輪には  $E_1$  より 90 度遅れる  $E_2$  なる電圧が與へられるのであるから、電力計の指示は  $E_2$  と  $I_1$  の  $E_2$  と同相のコンポーネント  $I_1 \sin \varphi$  との間の廻轉力に依るものである。夫故に電力計の指示は  $E I \sin \varphi$  となる。従て電力計の指示を  $Q$  とすれば

$$\sin \varphi = \frac{Q}{EI}$$



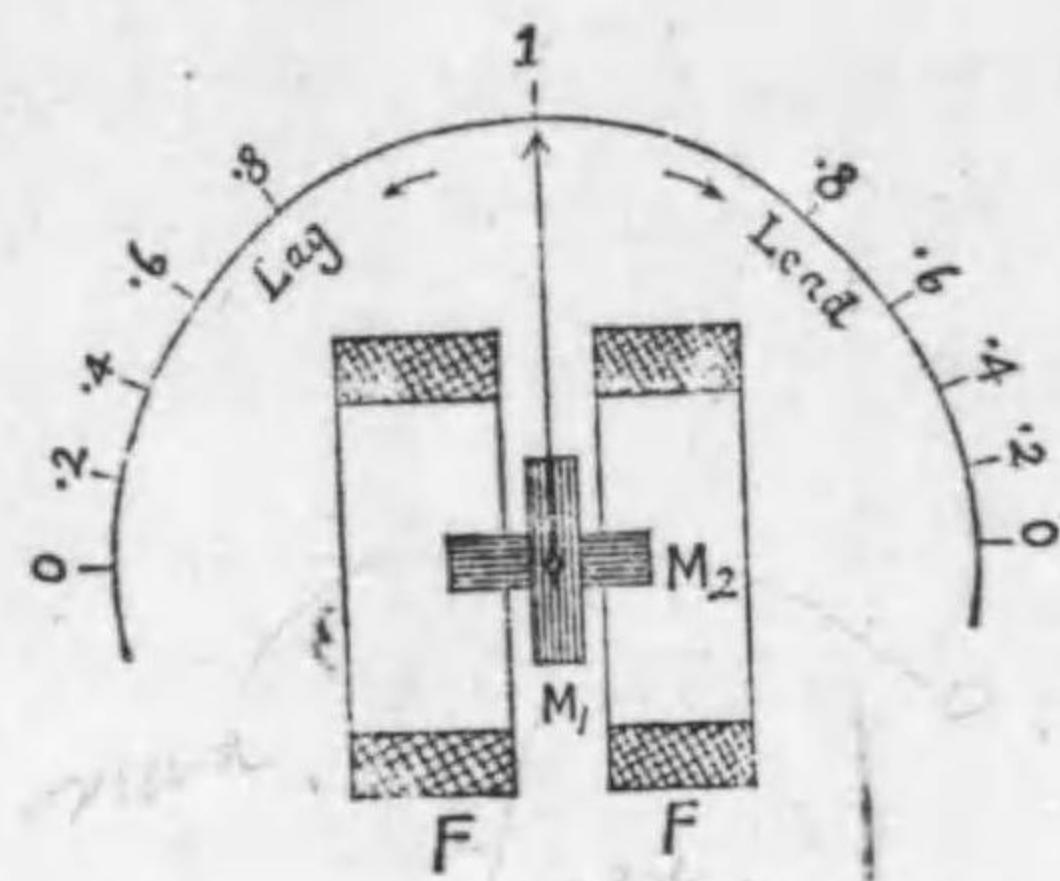
第 195 圖の場合のベクトル線圖

151. 力率計 (power factor meter) 第 197 圖は

エヴァーレット・エッジカムプ會社 (Everett, Edgecumbe & Co.) の力率計を示すものである。圖に於て  $F$  は固定線輪で負荷電流を通し、 $M_1$  及  $M_2$  は可動線輪であつて互に直角に同一の軸に取付けられ  $M_1$  には  $R$  なる無誘導抵抗、 $M_2$  には大なるインダクタンスを有する塞流線輪  $I$  を直列に接続し、回路の電圧を與へる。其の接続は第 198 圖に示す如くである。斯様にして  $M_1$  には回路の電圧と殆んど同相の電流が流れ、 $M_2$  には回路の電圧から殆んど 90 度遅れる電流が流れるのである。故に  $M_1$  及  $M_2$  に依つて生ずる磁束は夫々空間に於て直角の位置に生じ、而も 90 度の相差を

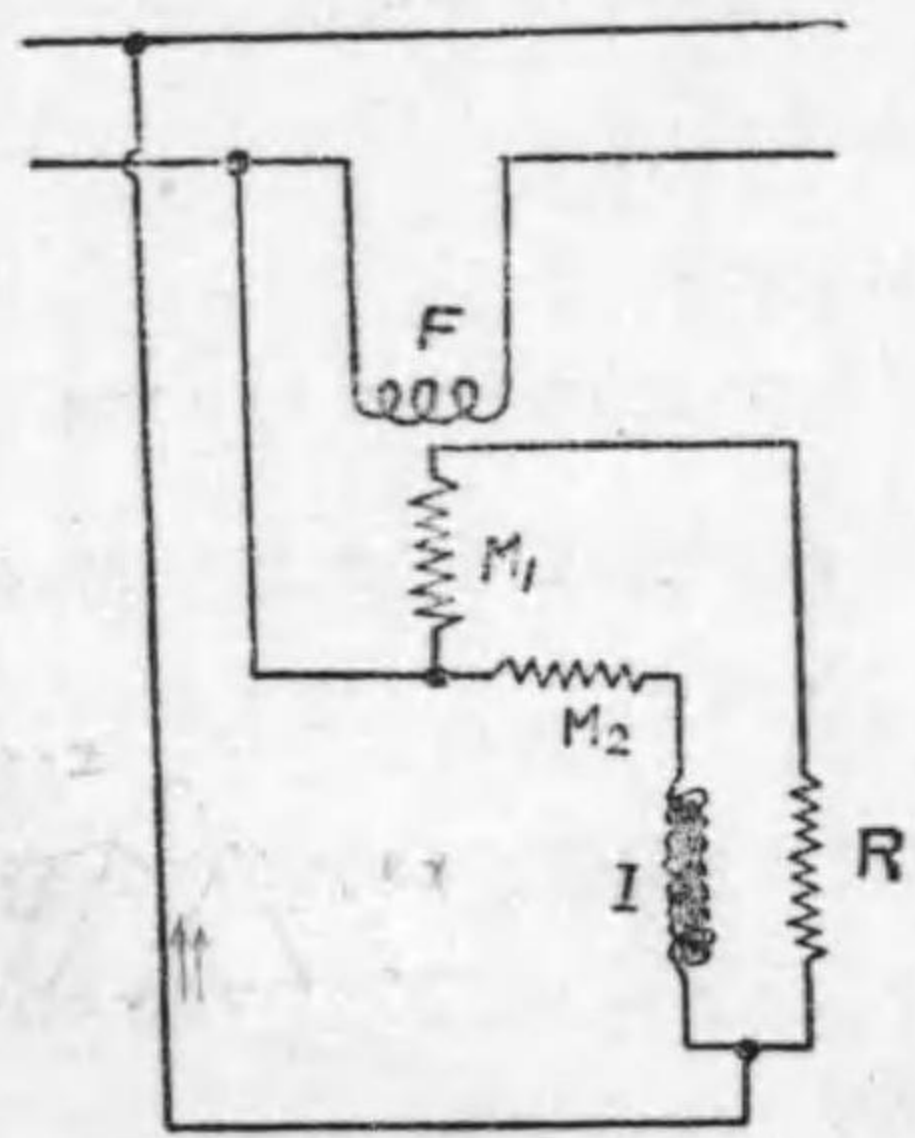


第 197 圖



エヴァーレット・エッジカム力率計

第 198 圖



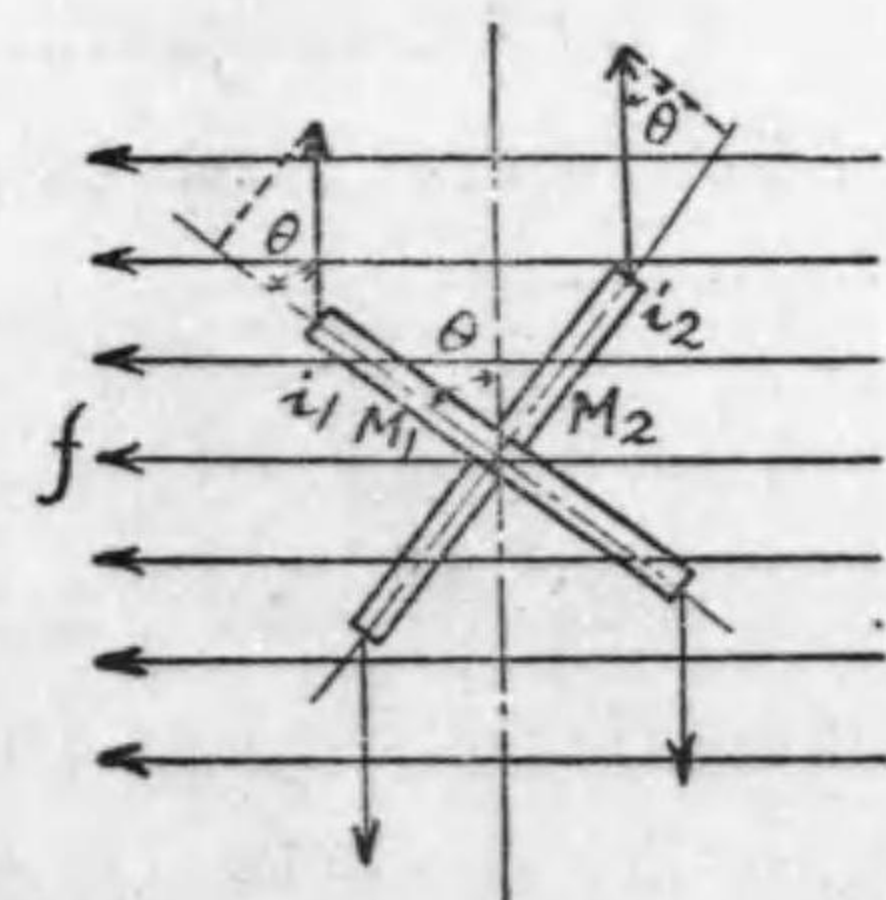
単相力率計の接続

有するから、二相式誘導電動機と同様に廻轉磁界を生ずるのである。若し電圧と電流が同相の時は F に依つて生ずる磁界が最大の時、M<sub>1</sub> に依つて生ずる磁界は最大で M<sub>2</sub> に依つて生ずる磁界が零であるから、可動線輪は M<sub>1</sub> の磁界の方向が F の磁界の方向と一致する様な位置を取る譯である。即ち力率 1 の場合には可動線輪の位置は丁度第 197 圖に示す様に M<sub>2</sub> の面と F の面とが平行となる様な位置になり指針は力率 1 の位置を指示することゝなる。若し電圧と電流の相差が 90 度違ふ時には F の磁界が最大の時、M<sub>1</sub> の磁界が零で M<sub>2</sub> の磁界が最大となるから可動線輪は 90 度廻轉し M<sub>2</sub> は F に平行の位置を取り、従て指針も 90 度廻轉し力率 0 を指示するのである。而して電流が電圧から 90 度進む場合と 90 度遅れる場合とは、F に流れる電流は 180 度の相差が

有するから、二相式誘導電動機と同様に廻轉磁界を生ずるのである。若し電圧と電流が同相の時は F に依つて生ずる磁界が最大の時、M<sub>1</sub> に依つて生ずる磁界は最大で M<sub>2</sub> に依つて生ずる磁界が零であるから、可動線輪は M<sub>1</sub> の磁界の方向が F の磁界の方向と一致する様な位置を取る譯である。即ち力率 1 の場合には可動線輪の位置は丁度第 197 圖に示す様に M<sub>2</sub> の面と F の面とが平行となる様な位置になり指針は力率 1 の位置を指示することゝなる。若し電圧と電流の相差が 90 度違ふ時には F の磁界が最大の

あるから、F に依つて生ずる磁界は電流が電圧から 90 度進む場合と 90 度遅れる場合とは全く正反對である。夫故に右方の目盛が進電流の力率を表はすものとすれば、左方の目盛は遅電流の力率を表はすのである。電圧及電流間に任意の相差がある場合には可動線輪の取るべき位置は、F の磁界が最大となる瞬時に於て可動線輪の廻轉磁界の方向が F の磁界の方向と一致する様な位置を取つて指針は其の相差に相當する力率を指示するのである。力率計は斯様な原理で働くものであるから、制御螺旋を用ひない。即可動線輪に電流を導く爲には、メッガーの場合と同様に制御力を殆んど生じない螺旋を用ひるのである。\*

註：一力率計動作の數學的證明 電圧と電流との相差が φ で、可動線輪が第 197 圖に示す位置から θ 丈傾斜して静止したとする。今任意の瞬間に於て、f を固定線輪に依る磁界、i<sub>1</sub> 及 i<sub>2</sub> を夫々可動線輪 M<sub>1</sub> 及 M<sub>2</sub> に流れる電流とし、i<sub>1</sub> と i<sub>2</sub> の最大値は相等的なものと假定する。f は負荷電流 i に比例し、i<sub>1</sub> 及 i<sub>2</sub> は電圧に比例するから、



電壓  $e = E_m \sin \omega t$   
 電流  $i = I_m \sin (\omega t - \varphi)$   
 $f = k_1 i = k_1 I_m \sin (\omega t - \varphi)$   
 $i_1 = k_2 E_m \sin \omega t$   
 $i_2 = k_2 E_m \sin (\omega t - 90^\circ)$   
 d<sub>1</sub> を M<sub>1</sub> に働く廻轉力の瞬時値  
 d<sub>2</sub> を M<sub>2</sub> に働く廻轉力の瞬時値と

すれば

$$d_1 = k_3 f i_1 \sin \theta = k_1 k_2 k_3 E_m I_m \sin \omega t \sin (\omega t - \varphi) \sin \theta$$

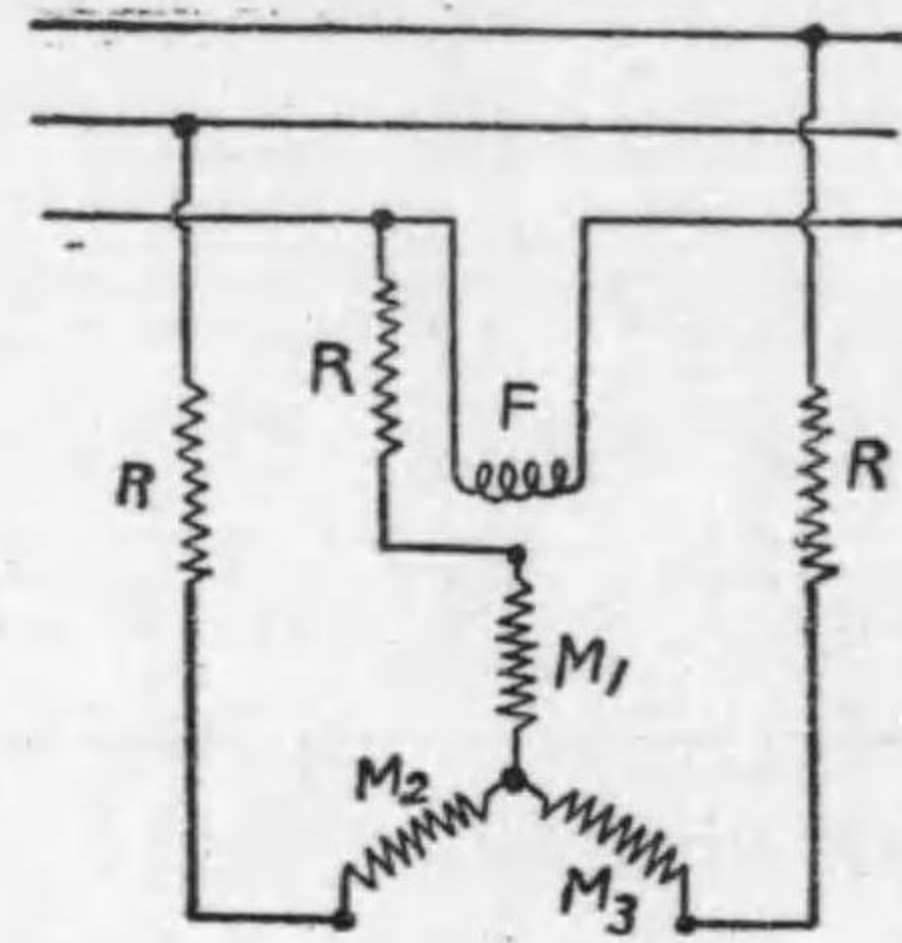
$$d_2 = k_3 f i_2 \cos \theta = k_1 k_2 k_3 E_m I_m \sin (\omega t - 90^\circ) \sin (\omega t - \varphi) \cos \theta$$

~~$$d = d_1 - d_2 = k_1 k_2 k_3 E_m I_m \sin \theta \sin (\omega t - \varphi) \sin \omega t - k_1 k_2 k_3 E_m I_m \cos \theta \cos (\omega t - \varphi) \sin \omega t$$~~



**152. 多相式力率計** 多相式平衡回路に用ひる力率計は前節の単相力率計と同一原理である。二相式用のものは全く同一の構造であるが此場合には  $M_1$  及  $M_2$  には同様に  $R$  なる無誘導抵抗を接続し、 $M_1$  には固定線輪に通す電流と同じ相の電圧を與へ、 $M_2$  には他の 90 度の相差ある電圧を與へるのである。斯様にすれば  $M_1$  及  $M_2$  には 90 度の相差ある電流が流れるから全く単相式力率計の場合と同様に働くのである。又三相式用のものは  $M_1, M_2, M_3$  なる三つの可動線輪を 120 度宛隔て、同一軸に取付け、各

第 199 圖



三相力率計の接続

$R$  なる無誘導直列抵抗器を接続して三相回路に星形に接続し、星形電圧を與へること第 199 圖に示す様にするのである。此の方

$$\begin{aligned} \text{平均廻轉力 } D_1 &= \frac{1}{T} \int_0^T d_1 dt = \frac{1}{2} k_1 k_2 k_3 E_m I_m \cos \varphi \sin \theta \\ D_2 &= \frac{1}{T} \int_0^T d_2 dt = \frac{1}{2} k_1 k_2 k_3 E_m I_m \cos (90^\circ - \varphi) \cos \theta \\ &= \frac{1}{2} k_1 k_2 k_3 E_m I_m \sin \varphi \cos \theta \end{aligned}$$

可動線輪が  $\theta$  度傾斜して静止したのであるから  $D_1 = D_2$  である。

$$\therefore \cos \varphi \sin \theta = \sin \varphi \cos \theta$$

$$\therefore \tan \theta = \tan \varphi$$

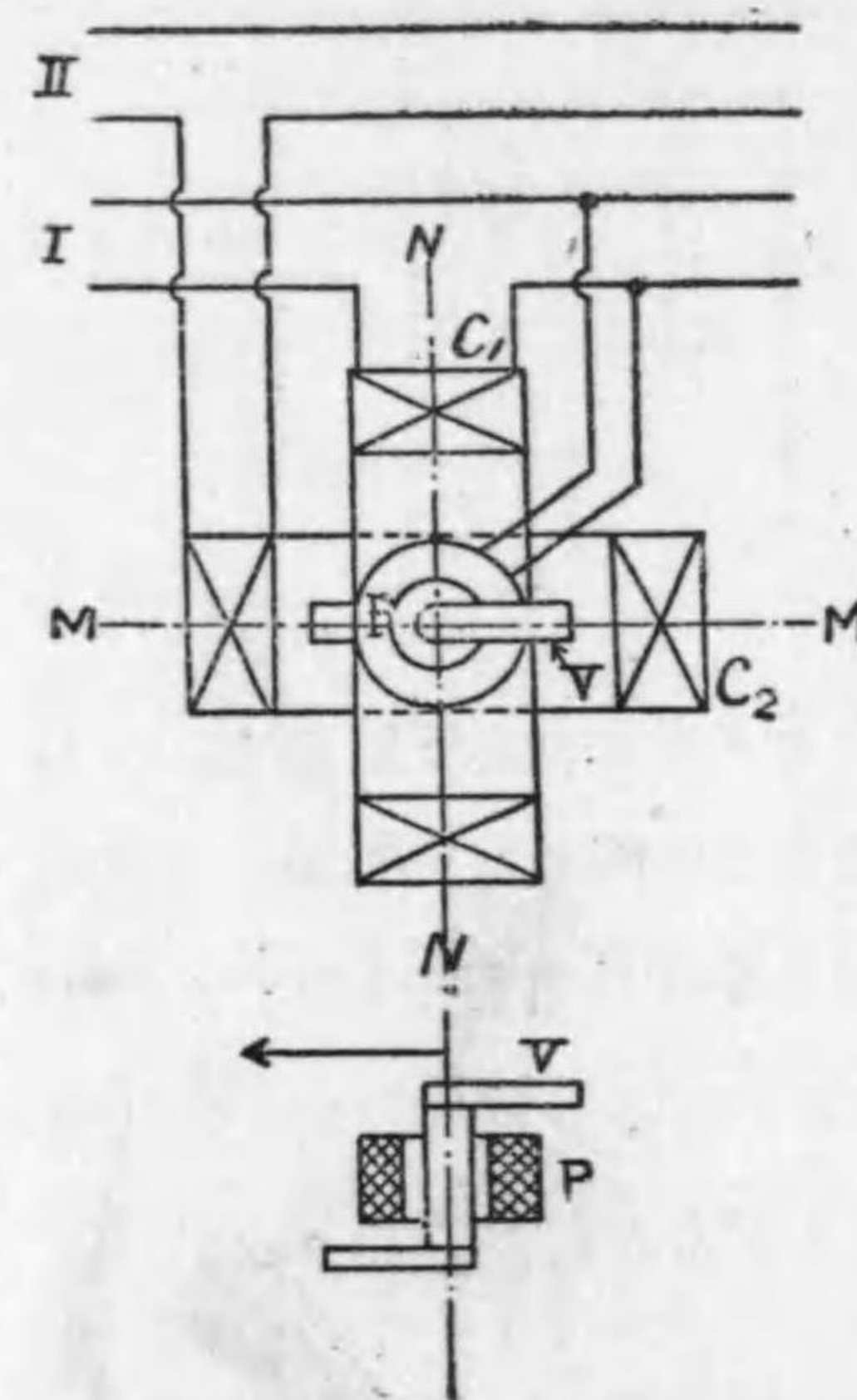
$$\theta = \varphi$$

即指針の傾斜する角度は相差角  $\varphi$  に等しいのである。

法に依つて  $M_1, M_2$  及  $M_3$  に依つて生ずる磁束は空間に於て 120 度隔てた位置に生じ而も位相に於て 120 度宛の差があるから、廻轉磁界を生じ丁度二相式力率計と同様に動作するのである。

以上述べた力率計では固定線輪で一定方向の交番磁界を生じ、可動線輪で廻轉磁界を生ずるのであるが、之を反対にし固定線輪

第 200 圖



ウェスチングハウス二相力率計

で廻轉磁界を生じ、可動線輪で交番磁界を生ぜしめても同様に動作する譯である。第 200 圖は此の原理に依るウェスチングハウス二相力率計を示すものであつて可動線輪の代りに可動鐵片を用ひるの差があるのみである。圖に於て  $C_1$  及  $C_2$  は固定電流線輪で互に直角に装置せられ夫々二相式各相の電流を通すから、 $C_1$  及  $C_2$  に依つて廻轉磁界を生ずる。P は電圧線輪で之に依

つて交番磁界を生じ、軟鐵片 V は交番的に磁化せられる。夫故に P が  $C_1$  の相に接続せられる時は、電圧と電流が同相の場合には V は MM の方向に向ひ、電圧電流間の相差が 90 度の場合には V は NN の方向に向ふ。其の他の場合には V が最大に磁化せら

*cos 90 = 0 + cos 90 = 0*



れる瞬時に於て、丁度 V が固定線輪に依つて生ずる廻轉磁界の方向と一致する位置を取るのである。故に V の軸に指針を取付けて置けば指針は相差に相當する力率を指示する譯である。三相式の場合には三個の固定線輪を 120 度宛隔て、装置し之に三相式電流を通じて廻轉磁界を得るのである。

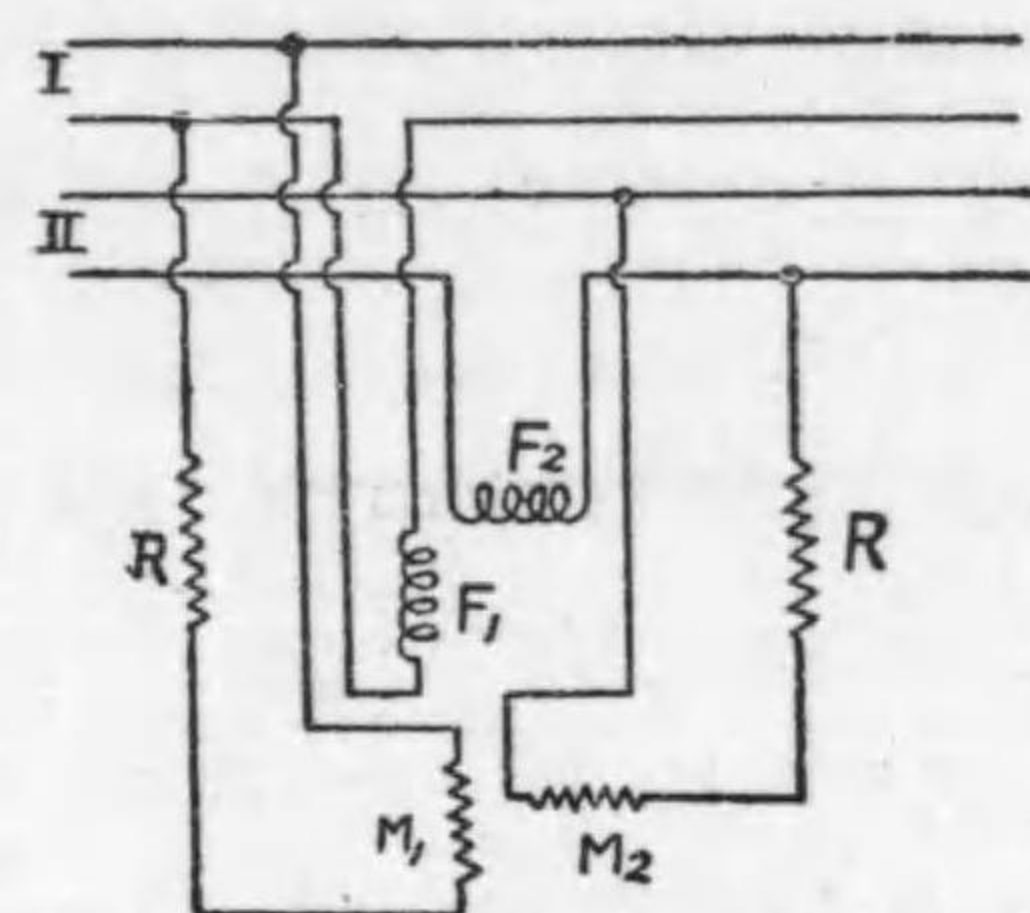
多相式不平衡回路用のものは多少其の構造が異つて居る。第 201 圖は其の一例を示すもので二相式用のもので

ある。此場合には固定線輪  $F_1$  及  $F_2$ 、並に可動線輪  $M_1$  及  $M_2$  があつて、 $F_1$  と  $F_2$  及  $M_1$  と  $M_2$  は夫々直角に装置せられ前者には二相式各相の電流を通じ、後者には二相式各相の電壓を與へ、斯様にして二つの廻轉磁界を生ぜしめるものである。可動線輪は此二つの廻轉磁界の方向が任意の瞬時に於て其の方向が常に一致する様な位置を取る様働作するものである。

## 第二 周波數の測定及周波計

153. 周波數の測定 交流發電機の發生する交流の周波數は交流機の磁極數と其の廻轉數から算出することが出来る。

第 201 圖



不平衡回路用多相式力率計

$p$  = 磁極の對の數

$n$  = 交流機の 1 分間の廻轉數

$f$  = 周波數

$$f = \frac{pn}{60}$$

例へば  $n$  が 500 廻轉で磁極の數が 12 の時は  $p=6$  で  $f=50$  サイクルである。

交流機の廻轉數は廻轉計とストップ・ウォッチ (stop watch) を以て測定するのであるが、最も都合のよいものは廻轉計とストップウォッチと一所になつて居るもので、廻轉計を機械の軸に當てると同時に時計の指針が動き出し、機械を軸から外すと時計も止る様になつて居るものである。之を用ひると割合に正確な結果が得られる。

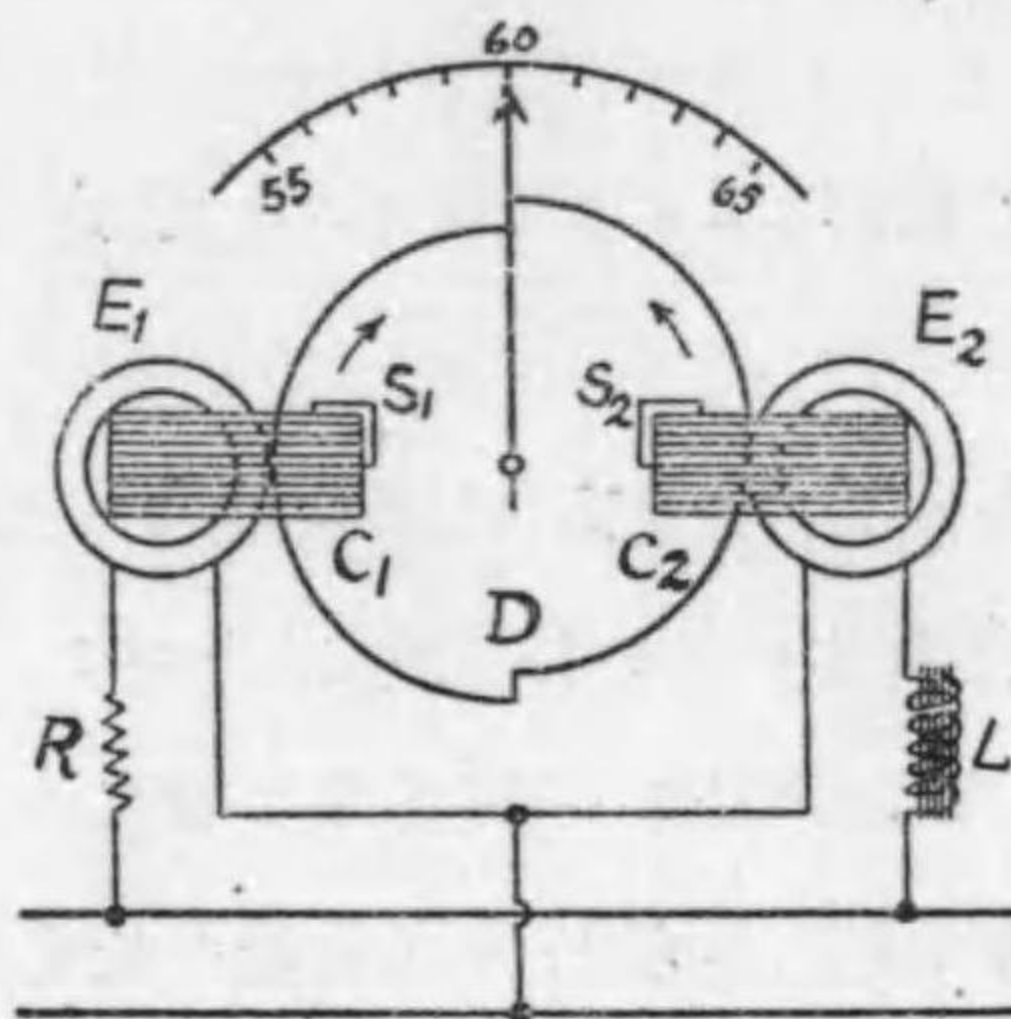
此の方法は交流機の据付場所に於てのみ利用し得る方法であるが、任意の場所で交流周波數を測定するには所謂周波計 (frequency meter) なるものを用ふるのである。周波計は任意の瞬時に於ける周波數を指示するもので、周波數が少しでも變ると其の變化が計器に表はれる利がある。普通用ひられる周波計には誘導型及共振型の二種類ある。

154. 誘導型周波計 第 202 圖はウェスチングハウス誘導型周波計を示すものであつて、第 133 節に述べた移動磁界型誘導電壓計の二要素を組合せたものに過ぎない。即ち  $E_1$  及  $E_2$



は夫々成層鐵心  $C_1$  及  $C_2$  の上に捲かれた勵磁捲線で  $E_1$  には無誘導抵抗  $R$ ,  $E_2$  には塞流線輪  $L$  を直列に接続し回路の電壓を與へるのである。而して移動磁界を得る爲に各鐵心の極を二分

第 202 圖



誘導型周波計

し,  $S_1$  及  $S_2$  なるシェーデング・コイルを装置し,  $E_1$  と  $E_2$  とに依り反對の方向に移動磁界を生ぜしめ,  $E_1$  及  $E_2$  の要素に依つてアルミニウム圓板  $D$  に働く廻轉力の方向が相反する様にするのである。  $E_1$  に流れる電流は回路の周波數には無

關係であるが,  $E_2$  には大なるインダクタンスが直列に接続せられてあるから, 周波數が増加すれば電流は減じ周波數が低くなれば電流は増加するのである。圓板  $D$  は圖の様に左の半分は軸を中心とする半圓で, 右の半分は其の中心は軸より少し上部にある半圓である。此構造に依れば  $C_1$  の極の下に来る圓板の部分はいつも同じであるが,  $C_2$  の極の下に来る圓板の部分は指針の位置に依つて違ふ。例へば周波數 60 サイクルの場合に圓板は圖の位置で,  $E_1$  及  $E_2$  に依る廻轉力が相平衡して居るものとする。若し周波數が之より高くなると  $E_1$  の電流は一定であるが  $E_2$  の電流は小さくなるから,  $E_1$  に依る廻轉力が  $E_2$  に依る廻轉力より大きくなり,

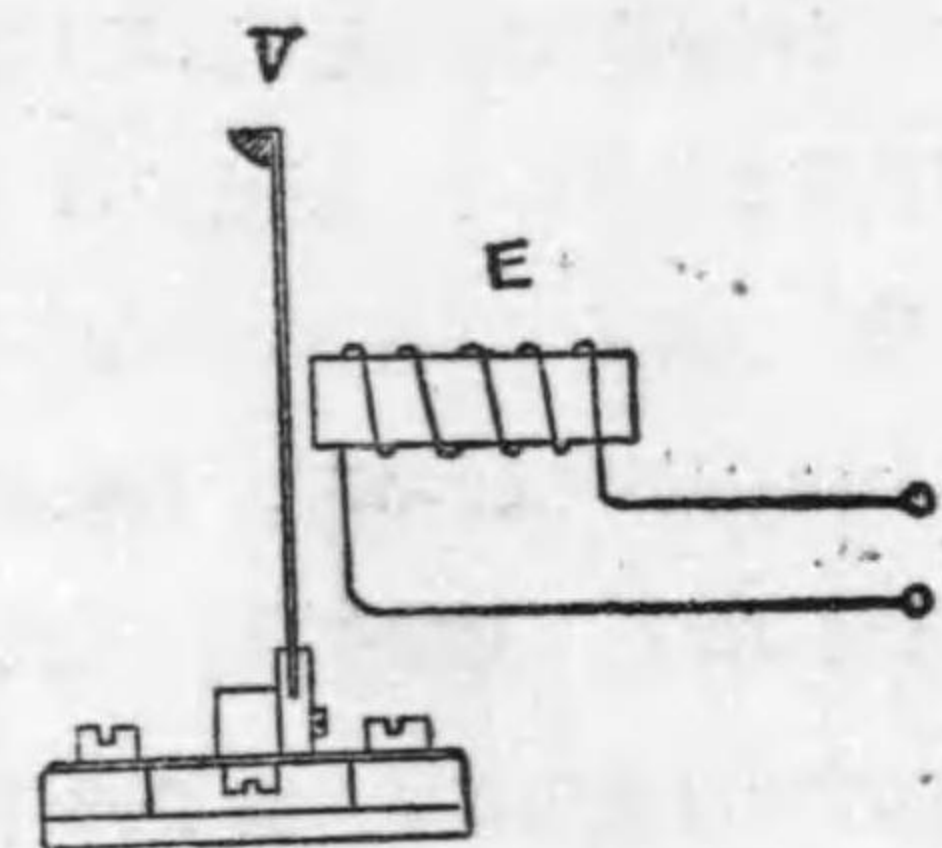
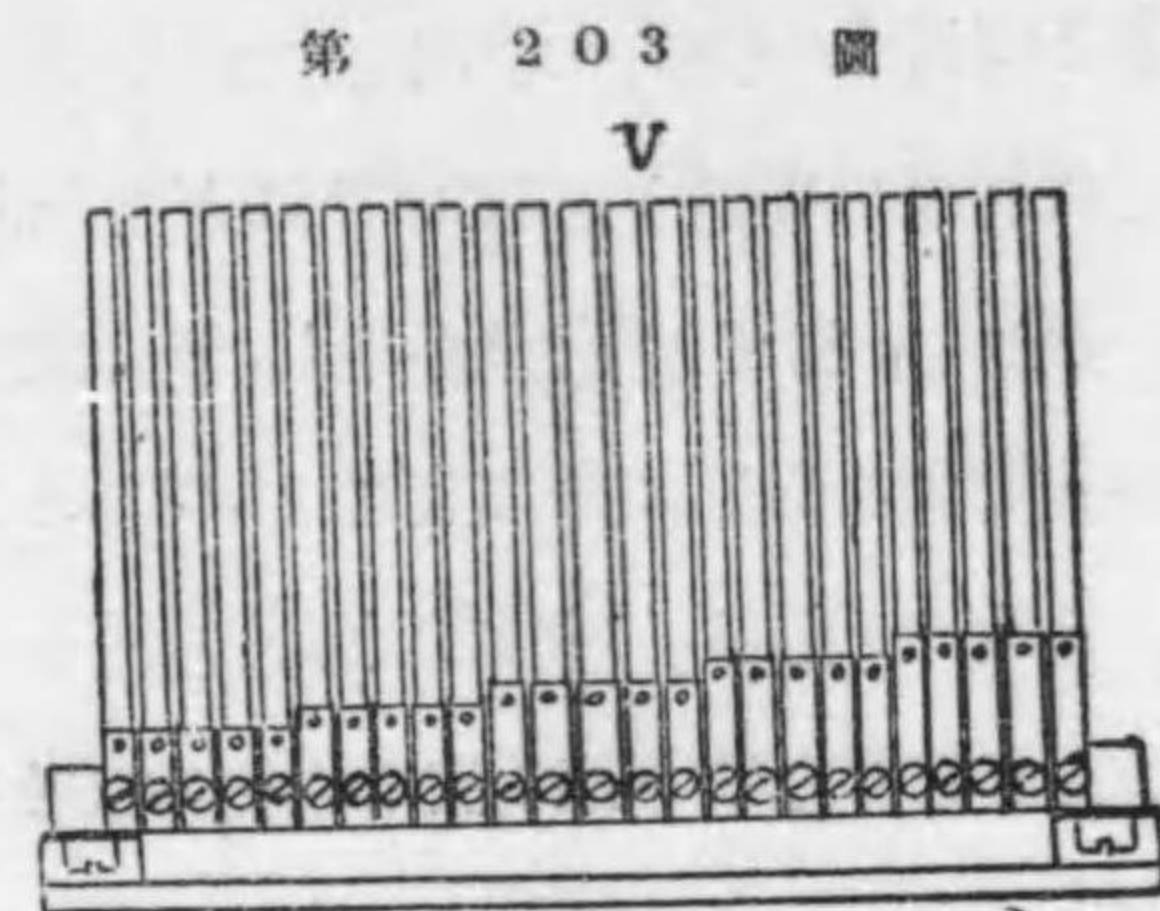
爲に圓板は時計式に動く。此の場合に  $C_1$  の極の下にある圓板は初めと少しも變りがないけれども,  $C_2$  の下に来る圓板の部分は漸次増加し, 従て廻轉力が増し,  $E_2$  に依る廻轉力が  $E_1$  に依る廻轉力と平衡する位置に来て靜止し, 指針は右方に傾斜して周波數を指示するのである。次に周波數が低くなれば  $E_2$  の電流は増加し,  $E_2$  に依る廻轉力は  $E_1$  に依る廻轉力より大きくなるから, 圓板は反時計式に動く。此の時には  $C_2$  の極の下に来る圓板の部分が漸次減少するから廻轉力は減少し,  $E_2$  に依る廻轉力が  $E_1$  に依る廻轉力と相平衡する位置に来て止まるのである。即指針は左方に傾斜し低い周波數を指示する。此の型の周波計は電壓の變化に依つて多少誤差を生じ其の指示は次の共振型の様に大なる確度を有しない。

**155. 共振型周波計 (resonance type or vibrating reeds type).** 第 203 圖はハルトマン・エンド・ブラウン會社の共振型周波計を示す。  $V$  は其の一端に於て固定せられて居る鋼鐵片の一群であつて, 各異なる長さ及異なる重さを有し, 其の固有振動周期 (natural period of vibration) を漸次變へて排列してある。  $E$  は交流電磁石で之に周波數を測定すべき交流を通すのである。斯くして電磁石は鋼鐵片を一周波毎に二回吸引するから, 交流の周波數の二倍の固有振動數を持つて居る鐵片は共振作用に依つて第 204 圖に示す様に盛に振動するが, 其の他の固有振動數の鐵片は電磁石に依つて與へられる強制振動と自分の固有振動とが一致しないから殆んど振動しない。従て交流の周波數



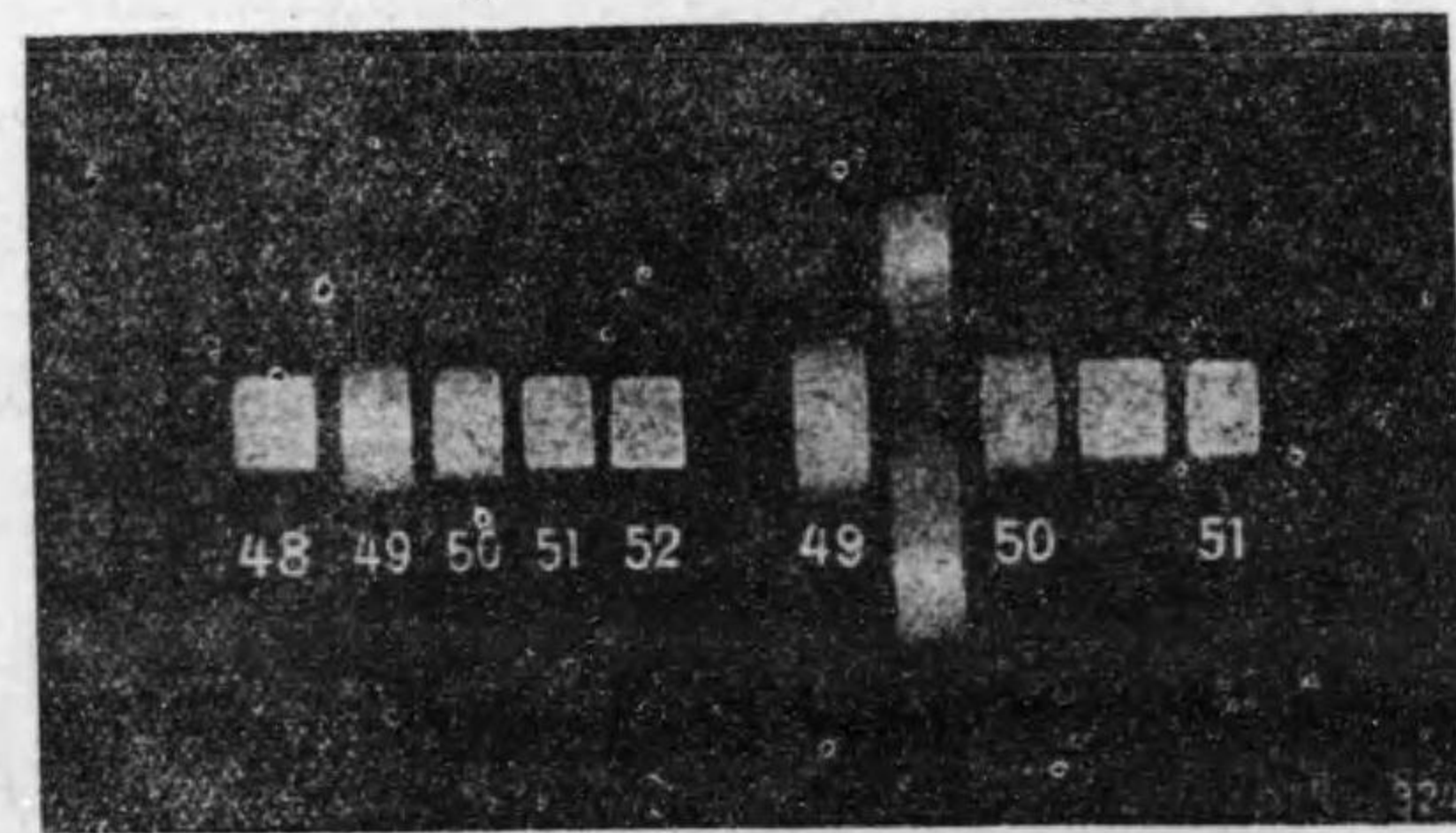
を定めることが出来る。

共振型周波計に交流電磁石と直流電磁石とを併用すると、其の測定範圍を二倍にすることが出来る。何となれば直流電磁石は鋼鐵片を磁化して、鋼鐵片に一定の磁極を與へる爲に、交流の一周波毎に半サイクルの間は吸引せられ、他の半サイクルの間は拒斥せられるから、交流の周波數と同一の固有振動數を有する鐵



共振型周波計

第 204 圖



共振型周波計の動作

片が振動する様になるのである。即ち直流電磁石を用ひない場合の二倍の周波數で同一鐵片が振動することゝなる。

鐵片の固有振動周期は鐵片の上部に附してある錫鐵を削り又は之を附加することに依つて調整することが出来る。

共振型周波計は又之を廻轉計として用ひることが出来る。此の場合には機械の廻轉軸に依つて斷續器 (interrupter) を廻轉し、之と直流電源とに依つて斷續電流を周波計に送れば、其の斷續數に應じ鐵片は振動する。夫故に之に廻轉數の目盛を附することが出来る。

156. 摘要 本章に於て述べたことを摘記すると

1. 力率は電力計電壓計及電流計に依つて測定することが出来る。但し力率  $\frac{1}{2}$  以下の場合には普通の電力計の代りに無効電流電力計を用ひるが宜しい。普通の電力計は  $EI \cos \phi$  なるものを指示するが、無効電流電力計は  $EI \sin \phi$  なるものを指示するものである。
2. 平衡三相式回路の力率は三相電力を測定する二電力計法から逆に算出することが出来る。
3. 交流の周波數は交流機の磁極數を知り、一分間の廻轉數を測定すると計算に依つて見出すことが出来る。
4. 力率及周波數を指示する計器に力率計及周波計がある。力率計には單相式用及多相式用のものがある。但し平衡多相式用のものは單相式力率計と全く同様の原理及構造を用ひる。周波計に



は誘導型及共振型の二種あるが、共振型は誘導型に比して大に確度が高い。

5. 共振型周波計は、直流電磁石と交流電磁石とを並用することに依つて、其の測定範圍を二倍にすることが出来る。

6. 共振型周波計は之を廻轉計として用ふることが出来る。此の場合には廻轉軸に斷續器を取付けて斷續電流を周波計に送るのである。

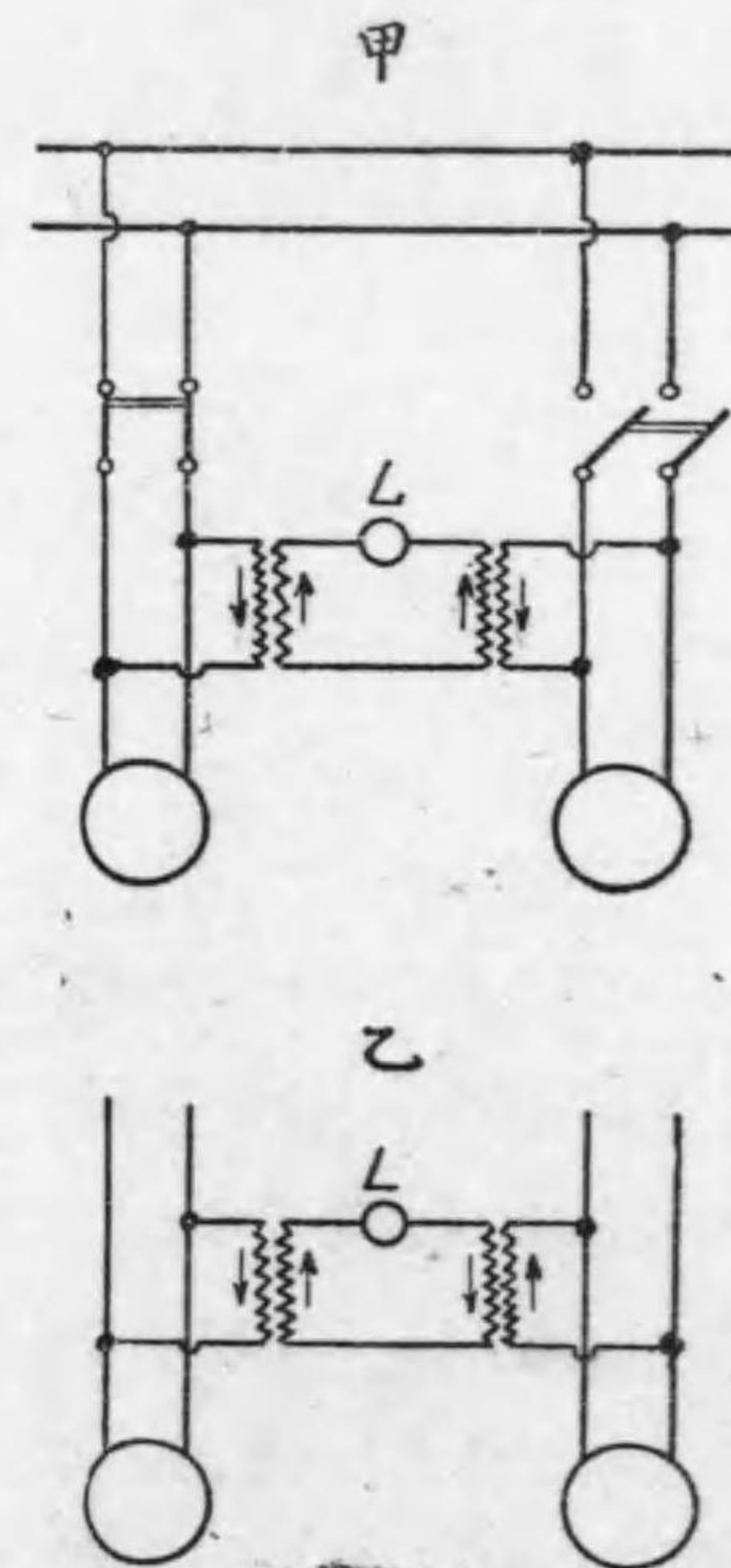
## 第九章 同期檢定器及檢漏器

### 第一同期檢定器 (synchronizing indicator)

#### 157. 電燈同期檢定裝置 (lamp synchronizer)

同期檢定器は交流發電機の並行運轉に於て、交流機が同調 (syn-

第 205 圖



chronism) になつたかどうかを検する装置である。二交流機の並行運轉の必須條件は (1) 電壓相等しい事, (2) 周波數相等しい事, (3) 位相が相一致することの三條件である。同期檢定器は此内主に後の二條件を検するものである。

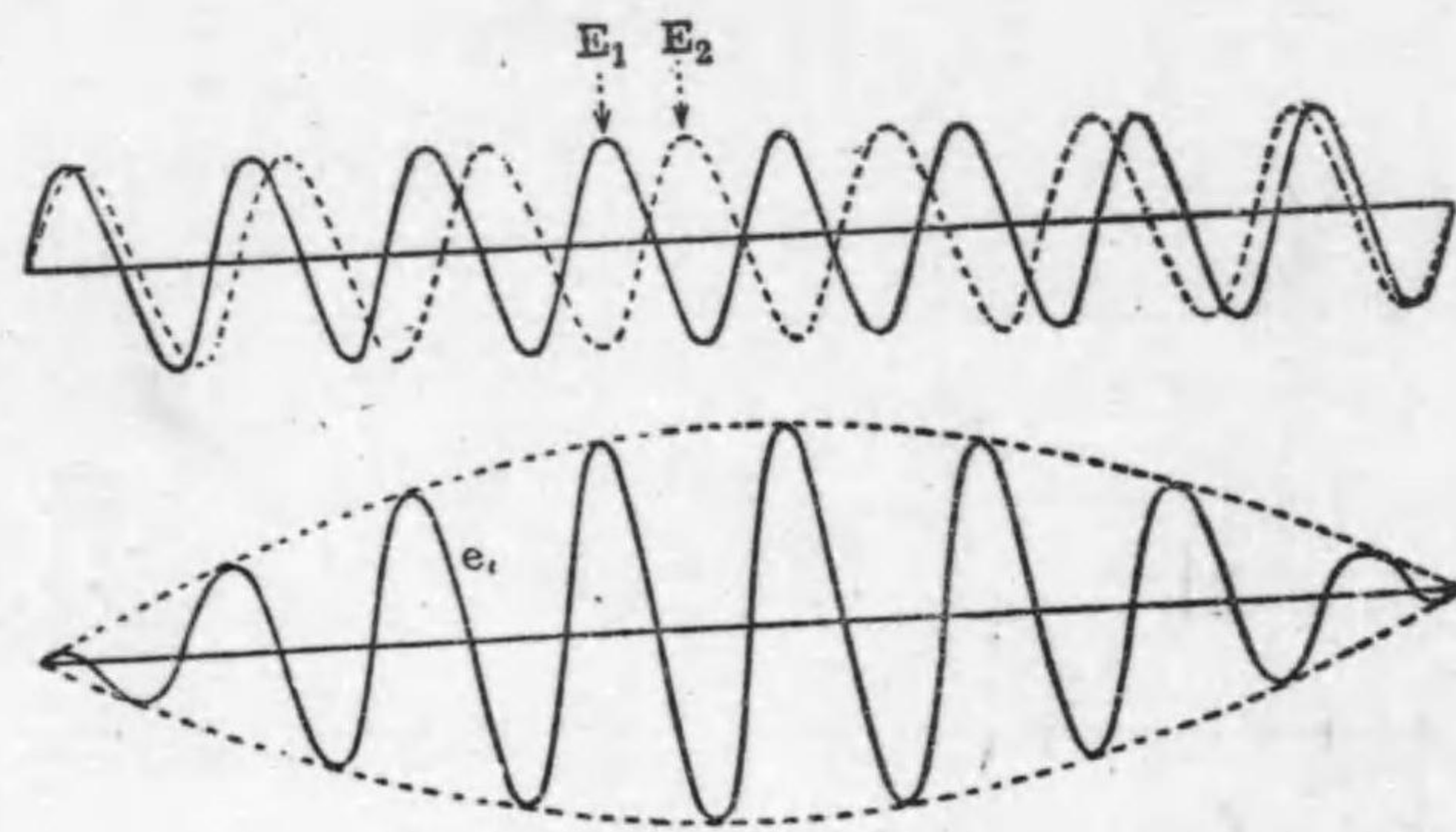
第 205 圖は電燈を使用する最も簡単な同期檢定法を示すものである。甲圖の場合は兩機が同調の場合には電燈は全く消え、乙圖の場合は兩機が同調となる時電燈の光力は最大となるのである。若し兩機の周波數が一致しなければ、兩機の電壓は

電燈同期檢定器



時としては相加はり、時としては相反し、従て第 206 圖 に示す様な電圧が電燈に加はるから、電燈は明滅する。而して兩機の周波数の差が大なる程明滅の度数は多い。そこで新に並列にし様とする機械の速度を加減すると共に其の電圧を母線の電圧と一致せしめると、周波数は漸次相近づき、電燈の明滅は極めて遅くなる。若

第 206 圖



周波数一致せざる場合

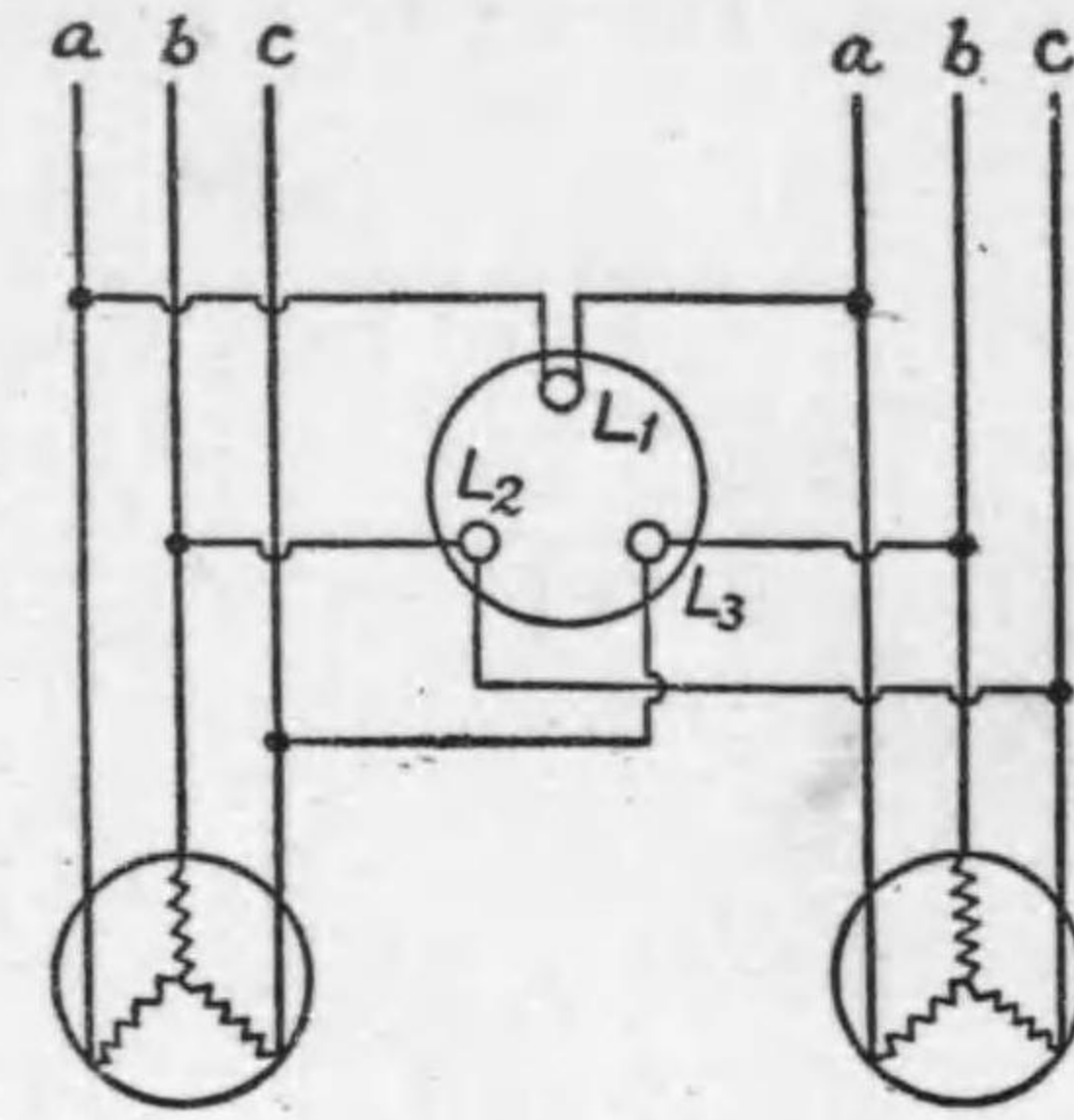
し兩機の周波数が全く一致すると、電燈は一般に或一定の光力を保つことゝなる。此の場合に電燈に加はる電圧は兩機の電圧のベクトル的の和或は差である。更に機械の位相を進め或は遅らせて、兩機の周波数及位相を一致せしめると、第 205 圖甲の場合には電燈は消え、乙圖の場合には電燈は最も明るくなるのである。此の場合に開閉器を閉ぢれば兩機は並列に入るのである。

第 207 圖は三相交流機の並行運転に用ひられる方法であつて

三個の電燈  $L_1, L_2, L_3$  を圖の如く一個は相對する相に、他の二個は相を入れ違へて接続する。此の場合には兩機の周波数が一致しないと、單相回路の場合と全く同様に明滅するが、其の明滅の位相は  $L_1, L_2, L_3$  に於て 120

第 207 圖

度の相差があるから、結局電燈は  $L_1, L_2, L_3$ 、又は  $L_1, L_3, L_2$  の順序で段々點火し、光が廻轉する様に見える。光の廻轉の方向に依つて並行運転を行はうとする機械が速過ぎるか、又は遅過ぎるかが分るし、又廻轉の速度が速い程周波数の差



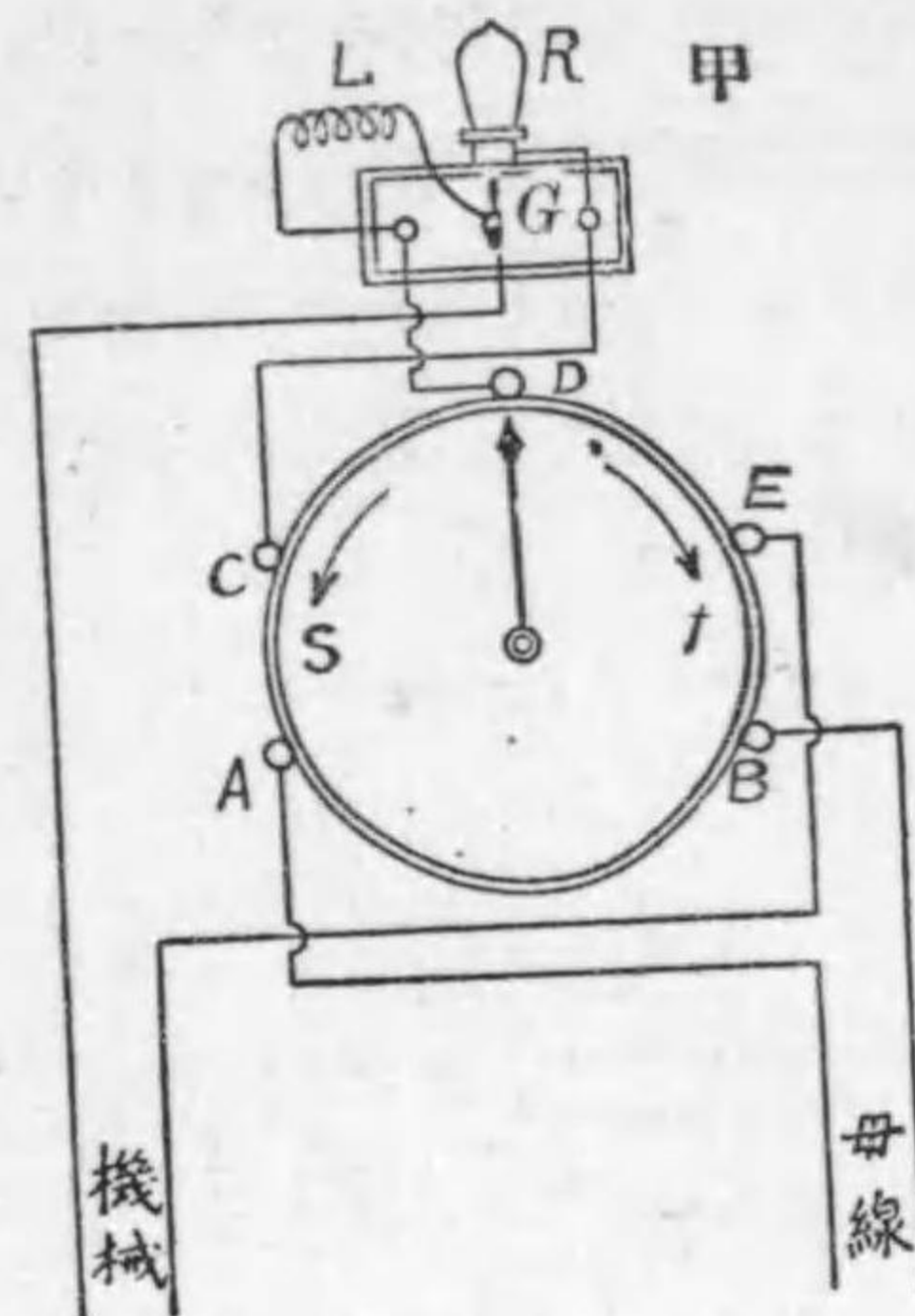
三相交流機用電燈同期檢定器

が甚だしく、廻轉の速度が遅い程周波数が相近づいたことを意味するのである。若し周波数が全く一致すれば、各電燈は各一定光力を示し、更に兩機の位相が全く一致すれば  $L_1$  なる電燈は消え、 $L_2$  及  $L_3$  は同一の光力を示すのである。

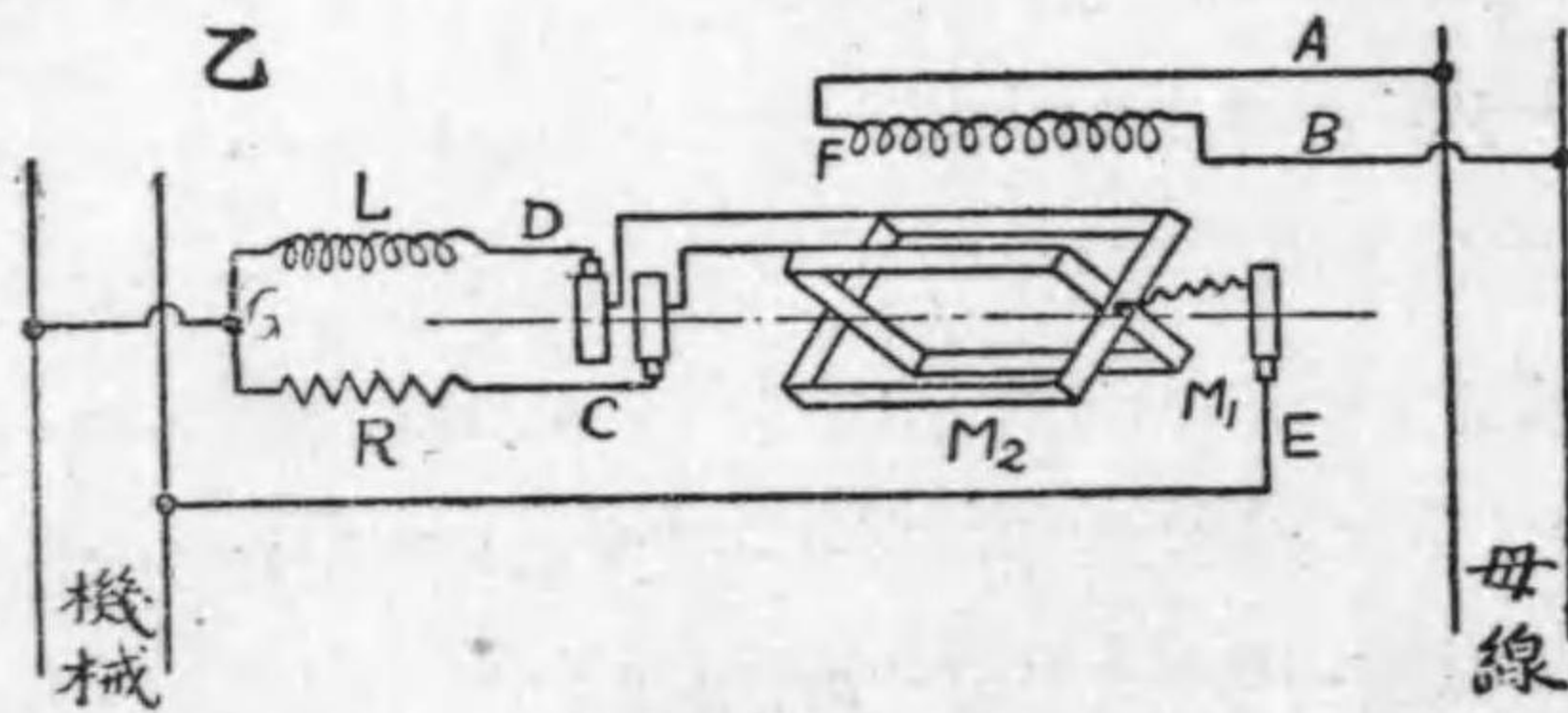
158. 指針型同期檢定器 指針型同期檢定器は 其の原理に於て全く力率計と同一である。第 208 圖はゼネラル電氣會社のリンコルン型 (Lincoln type) 同期檢定器を示すもので、乙圖は其の動作の原理を示す接続圖である。圖に於て F は固定線輪で既に運轉して居る機械の電圧が與へられ、可動線輪のある部分



第 208 圖



に交番磁界を生ずる。可動線輪は互に直角になつて居る二個の線輪から成り  $M_1$  には無誘導抵抗  $R$  (通常白熱電燈を用ふ) を、又  $M_2$  には大なるインダクタンスを有する誘導線輪  $L$  を直列に接続し、並行運轉を行はうとする機械の電壓を與へる。然る時は  $M_1$  及  $M_2$  に流れる電流は 90 度の相差を有するから、可動線輪に依つて廻轉磁界を生ずるのである。斯の如き構

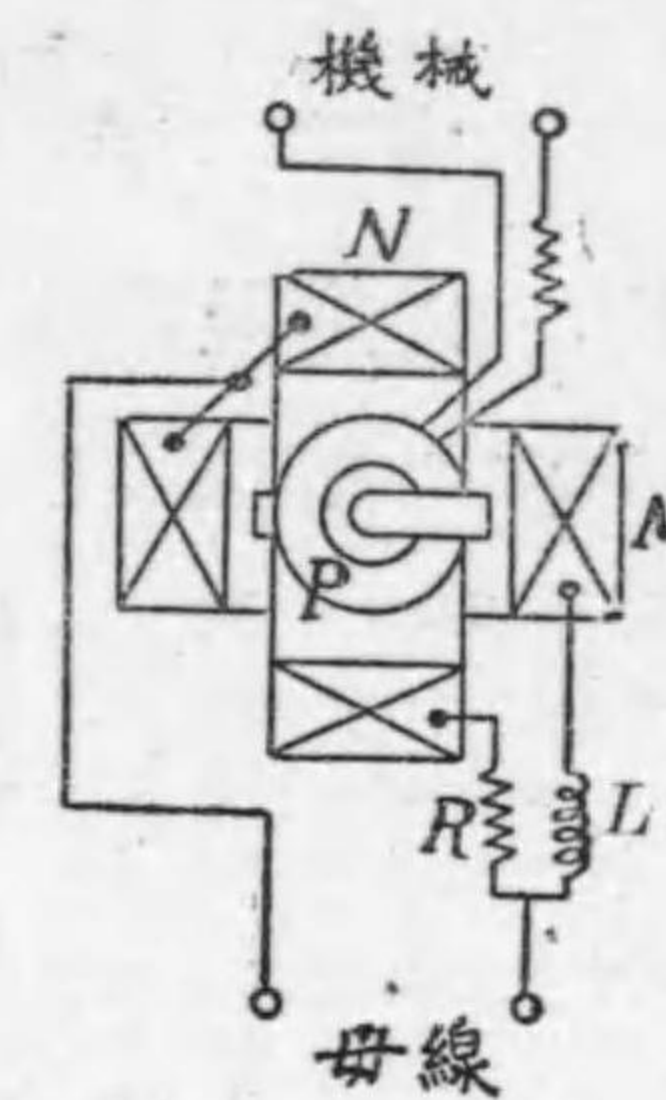


ゼネラル電氣會社同期檢定器

造に依れば力率計の場合と全く同様に可動線輪は  $F$  に依つて生ずる磁界が最大である瞬時に、廻轉磁界の方向が交番磁界の方向と一致する様な位置を取るべき筈である。若し兩機の周波数が相等しければ可動線輪は兩機の位相に従ひ或一定の位置を取る。若

し兩機の周波数が相等しく且位相が一致する時指針が直立の位置を指す様に指針を廻轉軸に取付けてあるとすれば、指針が之より右方或は左方で靜止して居れば、兩機の周波数は相等しいけれども兩機の間には指針の傾斜角に等しい様な相差があり、右方に傾いて居る時は新に入れ様とする機械の位相が進んで居るとすれば、指針が左方に傾いて居れば位相

第 209 圖



ウェスチングハウス同期檢定器

が遅れて居ると云ふ事を意味するのである。若し兩機の周波数が相等しくなければ、兩機の電壓の位相は時々刻々變つて行くから之に應じて可動線輪は適當の位置を取る爲に軸の周りに廻轉する譯である。若し廻轉の方向が時計式である時機械の速度が速過ぎるならば、反時計式に廻轉する場合には機械が遅過ぎることを意味するのである。而して其の廻轉速度が大なる程周波数の差が大きく、周波数の差が少い程廻轉速度が遅いのである。故に此の同期檢定器に於ては兩機の周波数が等しくなければ指針は何れかの方向に廻轉し、機械の速度を加減して周波数を一致させると指針は或位置に於て止まり、更に兩機の位相を等しくすれば指針は直立の位置を取つて兩機が同調になつたことを示すのである。

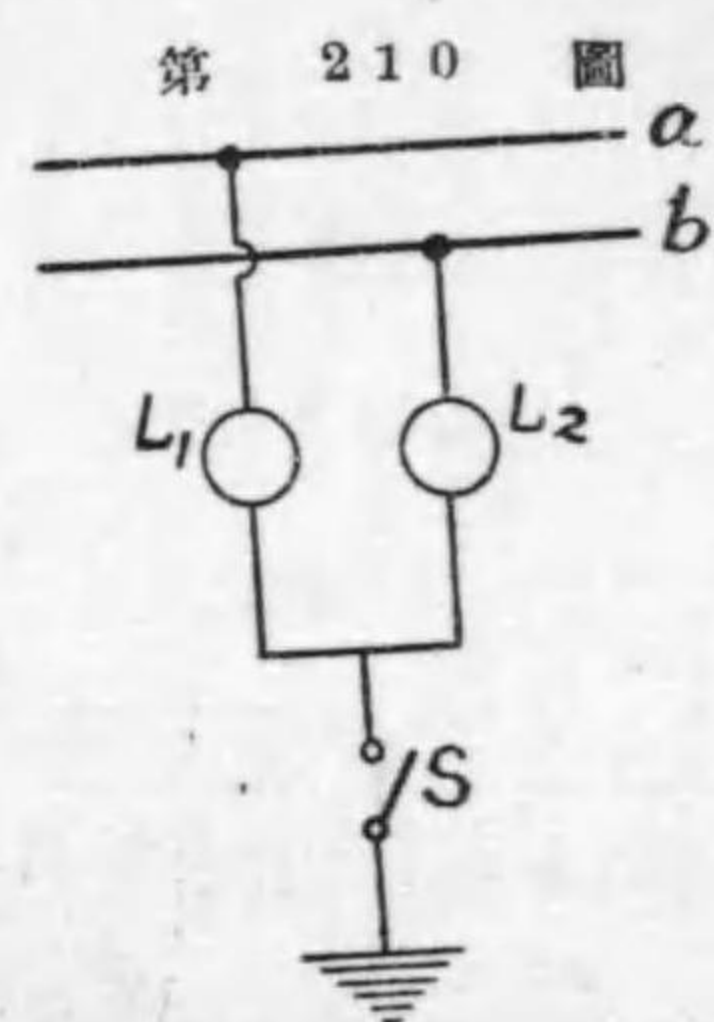
第 209 圖はウェスチングハウス同期檢定器を示すもので、其の



構造は同社の力率計(第200圖参照)と同様で其の働きの原理は全くリソコルン型同期検定器と同一である。即ちM及Nに夫々インダクタンスL及無誘導抵抗Rを直列にして母線の電壓を與へて廻轉磁界を作り、新に並行運轉を行ふべき機械の電壓をPに與へて、可動鐵片を交番的に磁化するのである。

第二 檢漏器 (ground detector)

159. 電燈及電壓計檢漏器 第210圖は低壓回路に用ひられる電燈檢漏器を示すものである。開閉器Sが開いてある



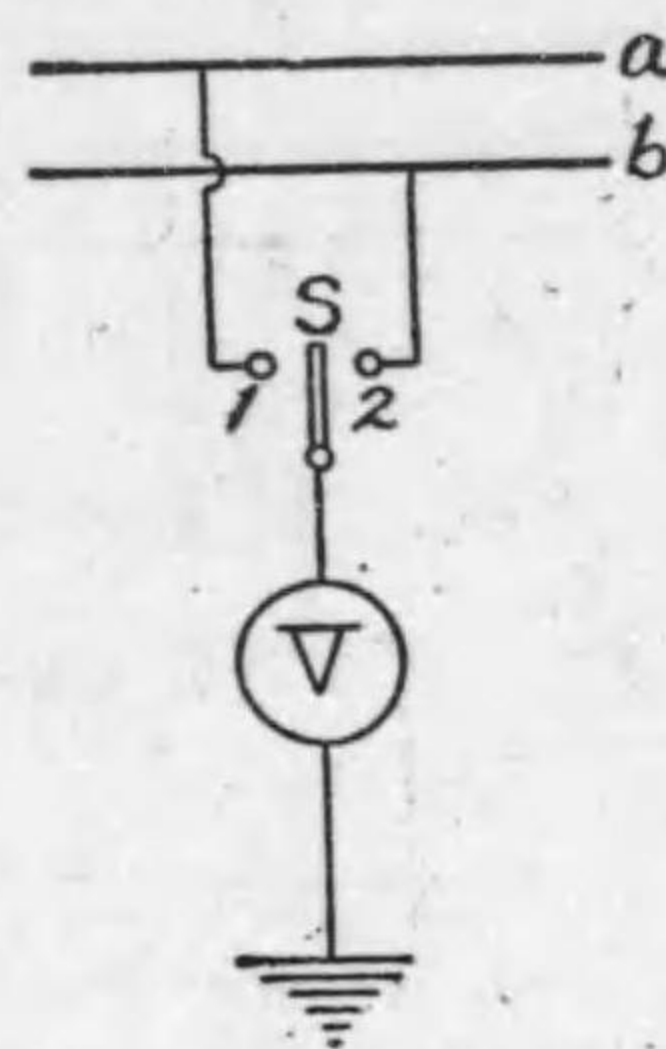
ラムプ檢漏器

第210圖 場合には、 $L_1$ 及 $L_2$ なる電燈は線路電壓の $\frac{1}{2}$ に等しい電壓を受けて同様に弱い光を放つて居る。Sを閉むるときは、若しa, b二線と大地間の絶縁抵抗が相等しければ $L_1$ 及 $L_2$ の光には何等變化を生じないけれども、例へばa線の絶縁が悪くなると、 $L_1$ の光は更に弱くなり $L_2$ の光りは強くなる。若しa線が全地氣を生じたならば、 $L_1$ は消え、 $L_2$ は線路の全電壓を受け最大光力を示すに至るのである。b線の絶縁が悪くなる場合は之と反對である。

之と同じ原理で、電燈の代りに電壓計を用ひることが出来る。

即第211圖の様に電壓計を接続し、開閉器Sを(1)又は(2)に接觸する。若し兩線の絶縁抵抗が相等しければ電壓計の讀は相等しいが、例へばa線の絶縁が悪くなれば、Sを(1)に接觸する場合は電壓計の讀が少くなり、Sを(2)に接觸する場合には電壓計の讀が増加する。若しa線が全地氣となれば、Sを(1)に接觸した場合は電壓計の指示は0で、Sを(2)に接觸する場合は電壓計の讀は線路の全電壓に等しいのである。此の場合の直流回路に於ける絶縁抵抗の關係は第68節(ロ)乙の場合と全く同様である。

第211圖



電壓計檢漏器

又第68節(ハ)に述べた直流電壓計を用ひて線路の絶縁抵抗を算出する方法を利用して檢漏計として配電盤に裝置するものがある。

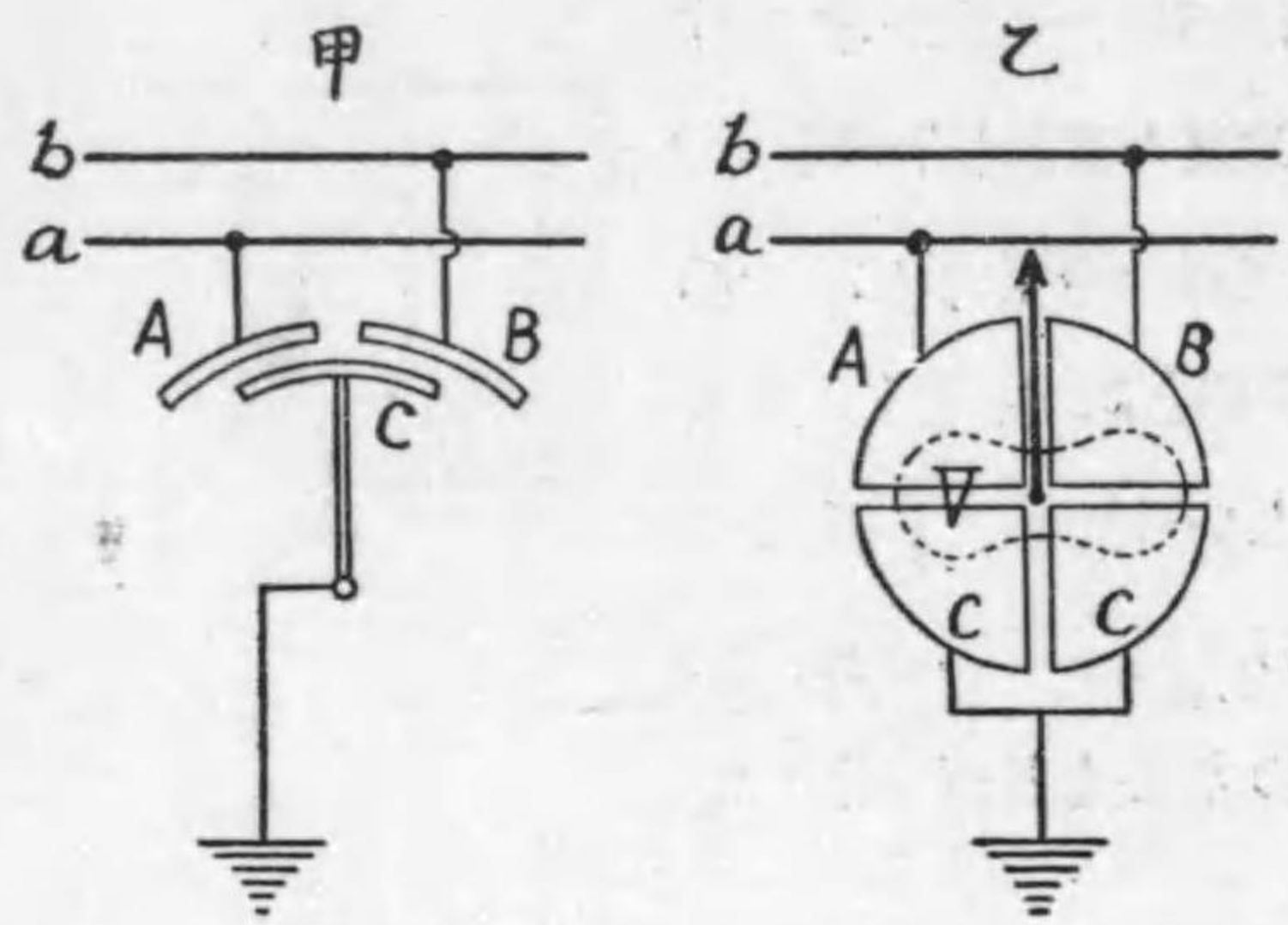
160. 靜電式檢漏器 (static ground detector)

第212圖は單相二線式用檢漏器を示すもので、甲圖はウヰスチングハウス會社の檢漏器、乙圖はゼネラル電氣會社の檢漏器である。甲圖はA, Bなる二枚の固定金屬片があつて之を線路に接続し、之に對しCなる可動金屬片を裝置し之を接地する。兩線の絶縁力が同一である時はCはA及Bから同一の吸引力を受けて指針は中央にあるが、例へばa線の絶縁が悪くなれば、AのCに對



する吸引力は減じ、BのCに對する吸引力は増し、從て指針は右方に傾くのである。乙圖の場合では檢漏器は象限電位計であつて上部の二象限は線路に接続せられ、下部の二象限は接地してある。

第 212 圖



靜電式檢漏器

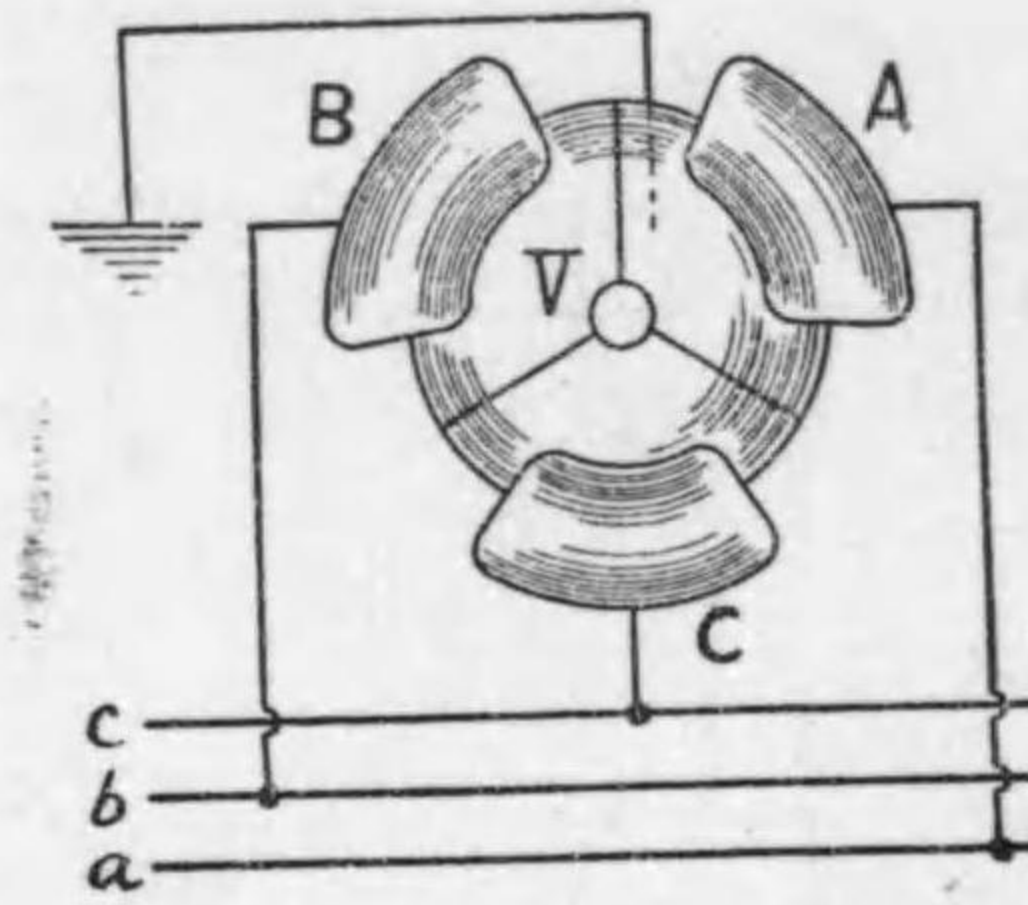
結果 A の吸引力は減じ、B の吸引力は増すから、可動片は B の方に吸引せられ、從て指針は左方に傾くのである。甲圖及乙圖何れの場合に於ても指針の傾斜が多くなる程線路の絶縁が悪くなつたことを意味するのである。

第 213 圖は三相式靜電檢漏器の一を示すものである。圖はウェスチングハウス三相檢漏器の動作部分を示すもので、ABC の三個の固定金屬片が三相式各線に接続せられ、之に對して可動金屬片 V がある。若し各線の絶縁抵抗が相等しい場合には各固定片と可動片間の吸引力は星形電壓の自乗に比例し相平衡するから V は

兩線の絶縁力相等しければ可動片 V は圖の位置で静止し指針は中央にあるが、例へば a 線の絶縁が悪くなれば AC 間の電圧は減じ BC 間の電圧が増す結果

固定片に對し丁度同様な關係位置を保つて居るが、若し a 線の絶縁が悪くなると AV 間の電圧は減じ BV, CV 間の電圧は同様に増加するから、可動片 V は A を遠ざかり BC の中間の方に吸引せられるのである。可動片 V は第 212 圖甲の様に支へられ且如何なる方向にも動き得る様に装置せられてある。第 212 圖乙圖の様な靜電檢漏器二個を組合せても三相式回路に用ふることが出来る。

第 213 圖



ウェスチングハウス三相檢漏器

靜電檢漏器は高壓回路に用ひらるゝものである。若し電圧が更に高くなれば第 125 節に於て述べた様に蓄電器を直列に接続して檢漏器にかゝる電圧を減ずる様にする場合がある。

161. 摘要 本章に於て述べたことを摘記すると

1. 交流發電機の並行運轉に於て兩機が同調となつたことを檢する同期檢定器としては、簡單なる電燈同期檢定装置及指針型同期檢定器がある。前者は電燈の明滅程度に依つて檢し、後者は指針の位置に依つて檢するのである。但指針型同期檢定器の原理は力率計と全く同様である。

2. 線路の絶縁程度を發電所に於て知る爲に配電盤に檢漏器を



用ふる。其の最も簡単なものは電燈又は電圧計を用ひる検漏器て之は低圧用のものである。高圧用のものとしては静電式検漏器を用ふる。之は静電々壓計の原理を應用したものに過ぎない。

## 第十章 交流波形の決定及 交流波形の分解

162. 交流波形 (wave form of alternating current). 交流の現象を論ずるには通常電圧及電流の瞬時値は正弦波に従つて變化するものと假定するのであるが、普通の交流機から出る交流電圧又は電流の波形は實際は決して嚴正な正弦波ではない。

一般に任意の波形を以て周期的に變化するものは、之を數多の周波数を異にした正弦曲線の合成したものと考へることが出来る。即  $y$  を瞬時値とすれば

$$y = C_1 \sin(\theta + a_1) + C_2 \sin(2\theta + a_2) + C_3 \sin(3\theta + a_3) \\ + C_4 \sin(4\theta + a_4) + C_5 \sin(5\theta + a_5) + \dots \quad (1)$$

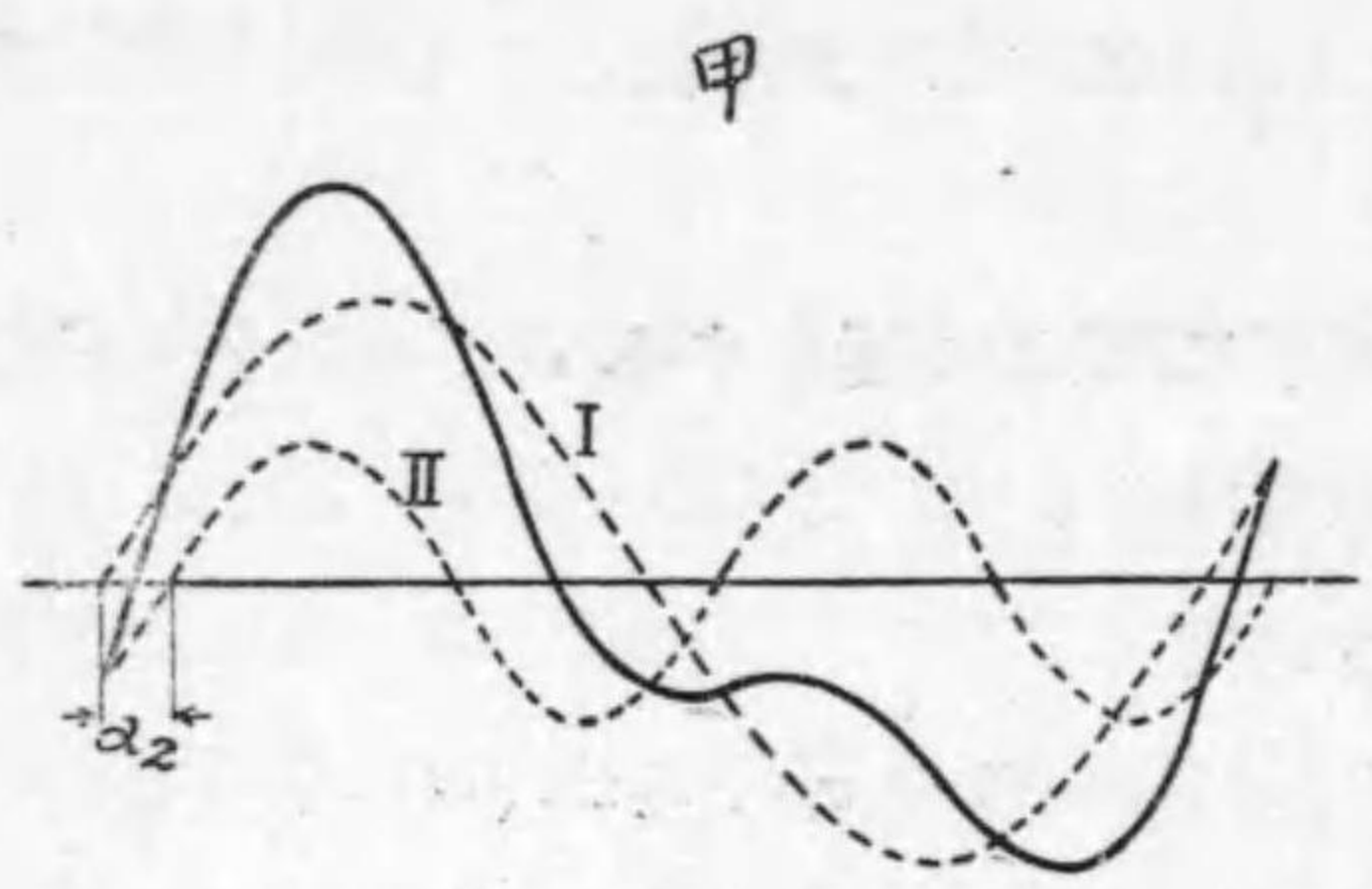
之はフーリエ級數 (Fourier Series) と稱せられるもので、式中  $C_1, C_2, C_3$  等は定數で各正弦波の最大値に相當し、 $a_1, a_2, a_3$  等は夫々各正弦波の位相を表はし、 $\theta$  は  $2\pi ft$  に等しいものである。任意の波形は  $C_1, C_2, C_3, \dots$  及  $a_1, a_2, a_3, \dots$  等を適當に選べば之を表はし得るのである。(1) 式右邊の第一項を基本波 (fundamental wave) と云ひ、第二項以下を高調波 (higher harmonics) と云ふ。而して (1) 式から分る様に第二次の正弦波は基本波の二倍



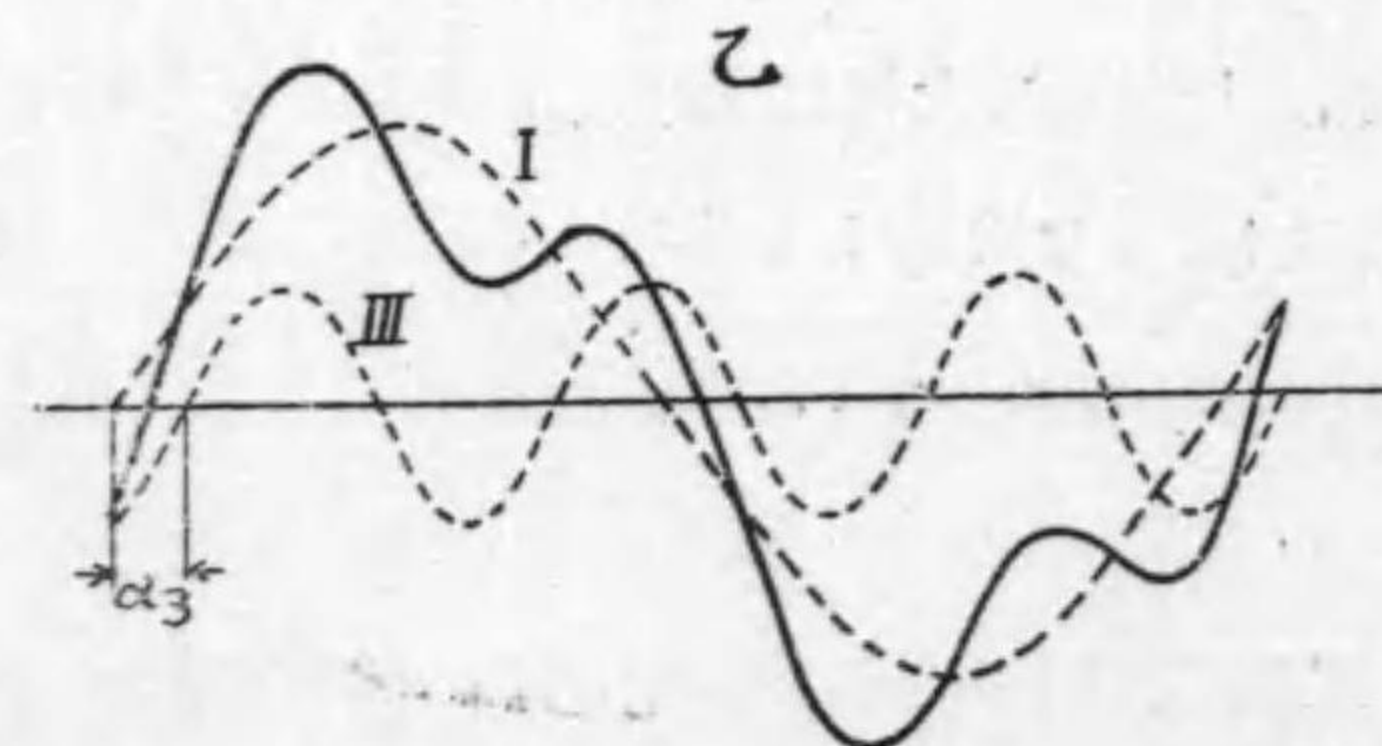
の周波數, 第三次の正弦波は基本波の三倍の周波數を有して居る。故に之等を順次 第二調波, 第三調波等 (second harmonic, third harmonic) と云ふのである。

交流機から實際に得られる交流電壓及電流の波形は, 波形の (+) の半サイクルと (-) の半サイクルとは全く相等的いから, 交流電壓又は電流の波形には第二次, 第四次等の偶數の高調波を含まない。之は第 214 圖甲及乙圖から明瞭であらう。即ち甲圖

第 214 圖



基本波及第二調波の合成



基本波及第三調波の合成

は基本波と第二調波との合成であつて (+) の半サイクルと (-) の半サイクルとは全く違つた波形であるが, 乙圖の様に基本波と第三調波との合成は (+) の半サイクルと (-) の半サイクルとが全く同一の波形で, (-) の部分を折り返して左にずらせ (+) の波に

重ねれば全く一致するを見ることが出来やう。又此の波形から 1 サイクルの波に於ける山と谷の數を勘定すれば, 主なる高調波は第何次のものであるかが分るのである。例へば甲圖に於ては山と谷の數が 4 て, 乙圖の場合には山と谷の數が 6 である。故に 1 サイクルに於ける山と谷の數の  $\frac{1}{2}$  は高調波の次數を表はすものである。(+) の波形と (-) の波形が等しい時は半サイクルの山と谷の數は高調波の次數に等しいのである。但し澤山の高調波がある場合には單純に之のみで判定は出来ないが, 或高調波が格段に大きい割合で含まれると此の高調波に相當する山と谷は明かに表はれるのである。

以上の考へから交流の電壓又は電流の瞬時値  $y$  は一般に次の式で表はすことが出来る。

$$y = C_1 \sin(\theta + \alpha_1) + C_3 \sin(3\theta + \alpha_3) + C_5 \sin(5\theta + \alpha_5) + \dots \quad (2)$$

然るに  $C \sin(\theta + \alpha)$  なる形は一般に  $A \sin \theta + B \cos \theta$  なる形で表はすことが出来る。何となれば

$$A = C \cos \alpha$$

$$B = C \sin \alpha$$

とすれば

$$\sqrt{A^2 + B^2} = C \sqrt{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = C$$

$$\frac{B}{A} = \frac{C \sin \alpha}{C \cos \alpha} = \tan \alpha$$

$$C \sin(\theta + \alpha) = C \cos \alpha \sin \theta + C \sin \alpha \cos \theta$$



$$= A \sin \theta + B \cos \theta$$

夫故に (2) 式は又次の形で表はすことが出来る。

$$y = A_1 \sin \theta + A_3 \sin 3\theta + A_5 \sin 5\theta + \dots \\ + B_1 \cos \theta + B_3 \cos 3\theta + B_5 \cos 5\theta + \dots \quad (3)$$

$$\text{但し } \sqrt{A_1^2 + B_1^2} = C_1, \quad \frac{B_1}{A_1} = \tan \alpha_1$$

$$\sqrt{A_3^2 + B_3^2} = C_3, \quad \frac{B_3}{A_3} = \tan \alpha_3$$

$$\sqrt{A_5^2 + B_5^2} = C_5, \quad \frac{B_5}{A_5} = \tan \alpha_5$$

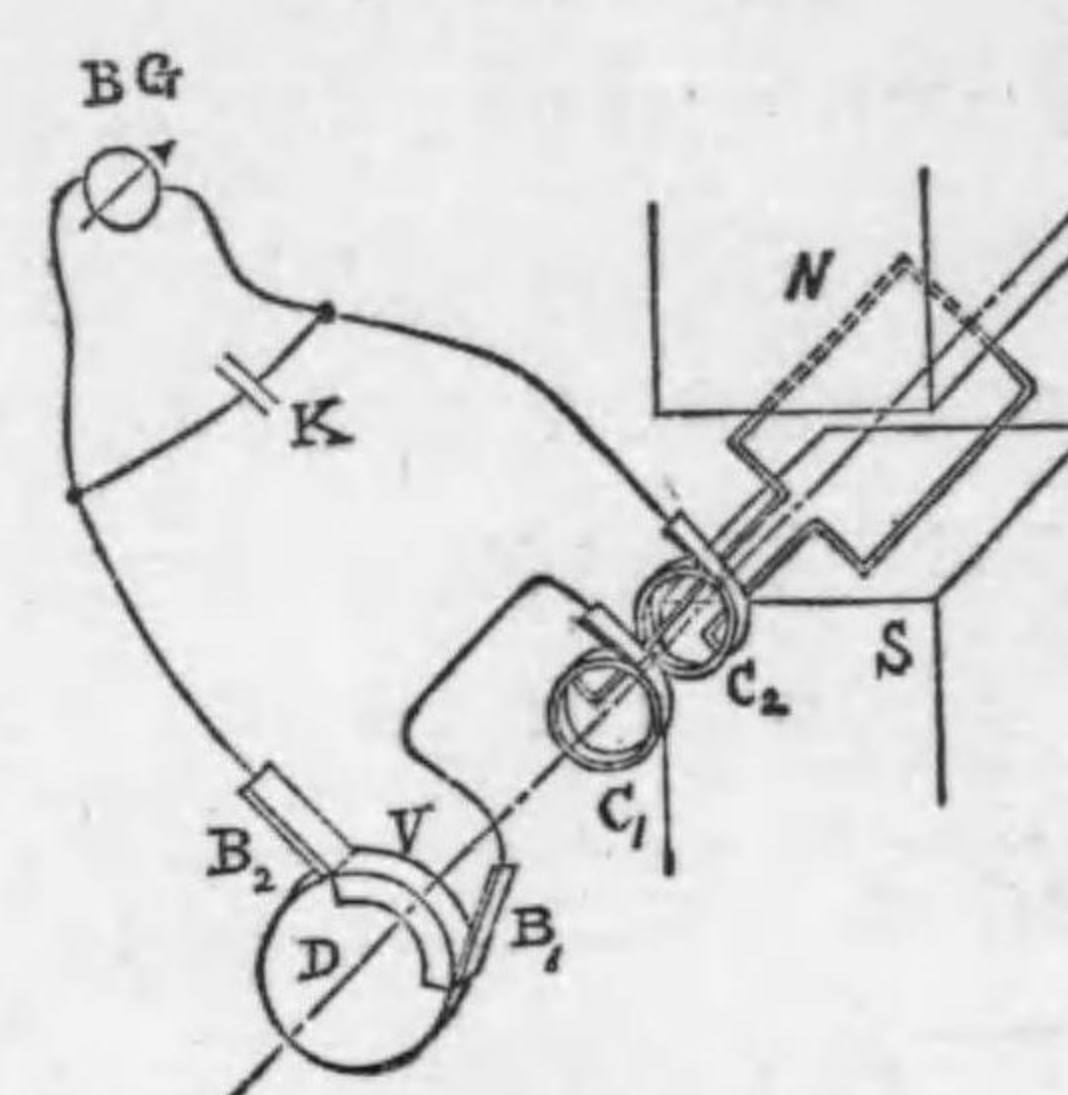
即ち任意の電圧又は電流の波形は  $C_1, C_3, C_5, \dots, \alpha_1, \alpha_3, \alpha_5, \dots$  又は  $A_1, A_3, A_5, \dots, B_1, B_3, B_5, \dots$  を決定することに依つて、如何なる基本波及高調波の合成から成るものであるかを知ることが出来る。此等の定数を見出すのは即波形の分解であるが、波形の分解法を述べる前に電圧又は電流の波形を決定するには如何なる方法に依るかを述べやう。

電圧又は電流の波形を決定するには二つの方法がある。第一は電圧又は電流の瞬時値を順次に見出して曲線を描く方法で、第二はオッシログラフ (oscillograph) を用ふる方法である。

163. 瞬時値を順次測定して波形を決定する方法 (point to point method) 第 215 圖は電圧波形を決定する方法の接続を示すもので、 $C_1$  及  $C_2$  は交流機の聚電環 (collector ring),  $B, G$  はバリスタック・ガルヴァノメーター、 $K$  は

蓄電器である。又  $D$  はコンタクト・メーカー (contact maker) と稱せられるもので絶縁物から成り其の周邊の一部分に  $V$  なる金属片を取付けてある。 $D$  は交流機の軸に取付けられ交流機と同期的に廻轉する。コンタクト・メーカー

第 215 圖



電圧波形を決定する法

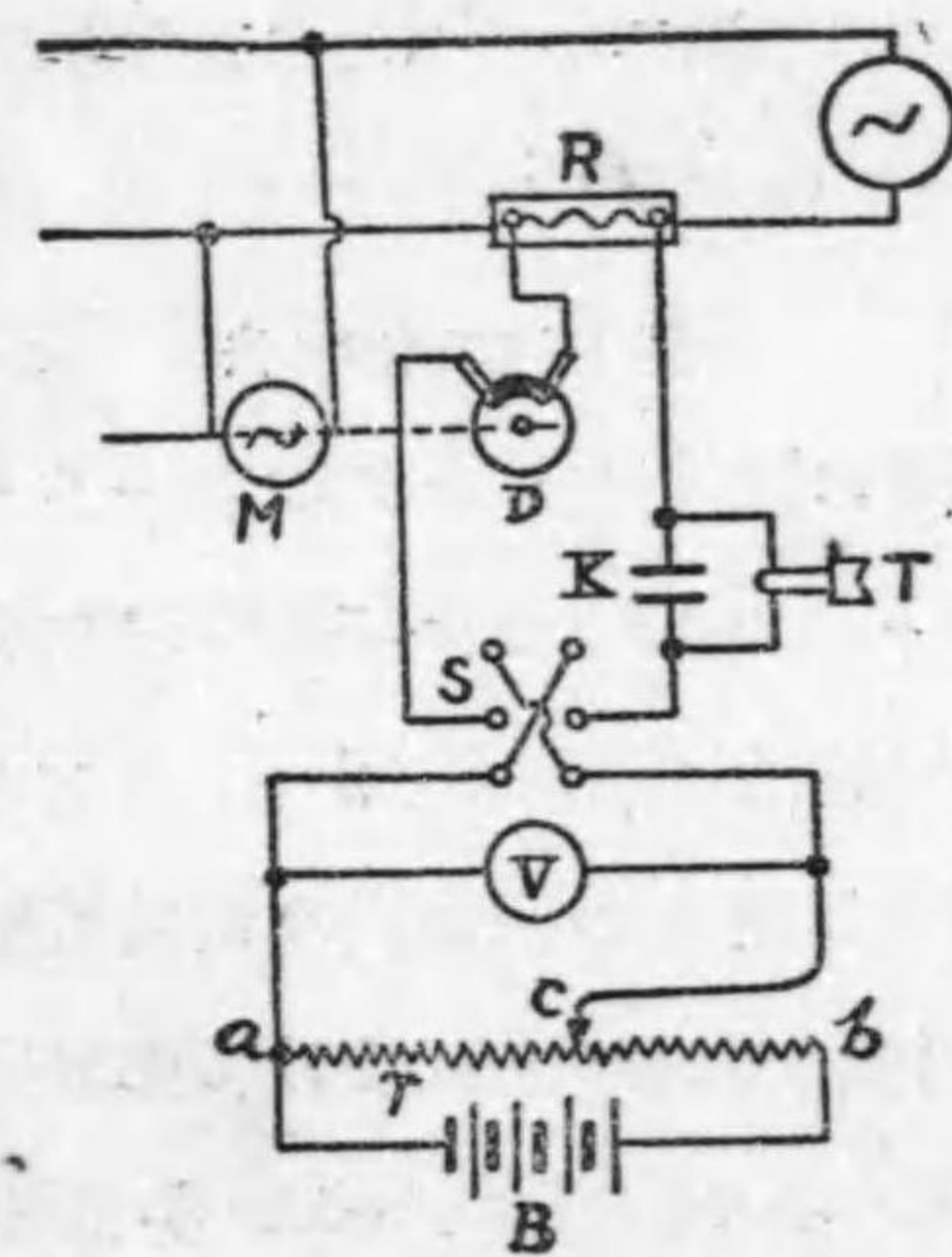
カーには二個の刷子  $B_1$  及  $B_2$  を備へて其の間隔を丁度  $V$  の長さに等しく調整し、斯様にして  $D$  の一廻轉中一回  $B_1$  及  $B_2$  が同時に  $V$  と接觸する一瞬間のみ回路を形成し、其の瞬時に於ける瞬時電壓に依つて蓄電器  $K$  を充電する

のである。回路が開かれると蓄電器の電量はガルヴァノメーターを通じて放電し、ガルヴァノメーターにキックを與へる。然るに  $D$  は交流機の廻轉軸に直結せられて同期的に廻轉するから、コンタクト・メーカーに依つて回路を形成する瞬時の交流機の瞬時電壓は常に同一である。従て蓄電器は引續き同一電壓を受けて充電せられ、引續きガルヴァノメーターに同一のキックを與へるから、蓄電器が充電せられる瞬時電壓に比例する一定の振れを生ずるのである。若し刷子  $B_1$  及  $B_2$  の間隔を同一に保ちつゝ、刷子の位置を固定子に對して少しく變へる時には、回路がコンタクト・メーカーに依つて形成せられる瞬時に於ける瞬時電壓の値は變り、従てガルヴァ



ノメーターに異なつた振れを生ずるのである。夫故に刷子の位置を同一角度宛變へて同一の試験を繰返すと各の場合のガルヴァノメーターの振れから電壓の波形を決定することが出来る。若し交流機の磁極の数が二極であるならば刷子を動かした角度は電氣角度に等しいけれども、一般に  $p$  對の磁極を有する交流機の場合には實際に刷子を動かした角の  $p$  倍が電氣角度となるのである。斯様にして決定した電壓波形では各瞬時の瞬時電壓の値は分らないが、此の波形から任意の尺度を用ひて其の瞬時値の自乗の平均の

第 216 圖



電流波形決定法

平方根を定め、之と交流機の實効電壓を實際に電壓計で測つた値と比較して、各瞬時の瞬時電壓を定めることが出来るのである。電流の波形を決定するのも同一原理に依るのである。此の場合には無誘導抵抗を通じて波形を決定すべき電流を通し其の兩端の端子電壓の波形を定めれば宜いのである。其の一例として前法を少し變へた方法に就て述べやう。其の接続は第 216 圖に示す如くである。D はコンタクト・メーカーで、電流波形を決定すべき同一電源に依つて運轉せられる同期電動機と直結せられ同期

的に廻轉せられるのである。R は無誘導抵抗で之に波形を決定すべき電流を通し、其の兩端に於ける瞬時電壓を直流電壓と平衡せしめるのである。直流電壓は蓄電池 B から得るので之と並列に高抵抗  $r$  を接続し、 $r$  上の接觸子の位置を調整して ac 間に任意の電壓を得ることが出来る。即ち此の場合にはコンタクト・メーカーの刷子を任意の位置に定め接觸子 c を動かして受話器 T に音響を感じない點を見出す時は、其の刷子の位置に相當する R の兩端の瞬時電壓は ac 間の電壓に等しく其の値は電壓計 V の指示に依つて知ることが出来る。故に D の刷子の位置を順次相等しい角度宛移動して同一の試験を繰返す時は R の兩端の電壓の波形を決定することが出来る。此の波形は電流の波形と同じく、瞬時電流の値は此の電壓を R の抵抗で除したものである。S なる切替開閉器は電流波形の (+) の半サイクルと (-) の半サイクルとを決定する場合に用ふるのて、之を切り替へて直流電壓の極を反對とし以て平衡せしめるのである。

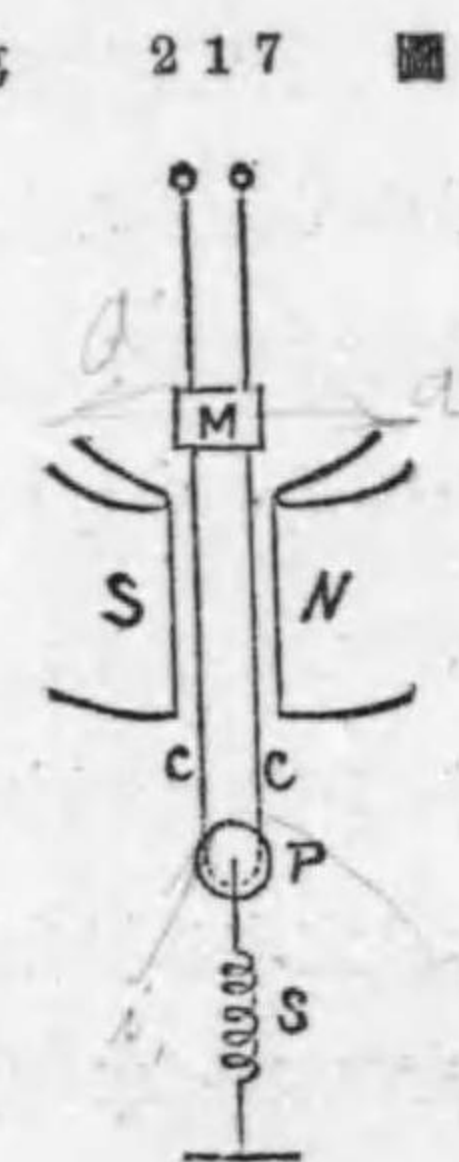
164. オッシログラフ コンタクト・メーカーを用ひて波形を決定する方法は刷子の種々の位置に於ける瞬時値を見出して、此等の點を結び付けて波形を定めるものであるから、非常に急激に變化する一時的の非周期現象、例へば送電線の開閉器を開閉する瞬時に於ける波形、其他一般に過渡現象 (transient phenomena) を研究する目的に利用することが出来ない。又コンタクト・メーカーは非常に高速度で廻轉することが出来ないから高周



波電流の波形を決定するにも用ふることが出来ない。オッシログラフは波形が一定となつた場合は勿論上記の様な一時的非周期現象の波形の決定にも用ふることが出来るのである。

第 217 圖はダッデル・オッシログラフ (Duddel oscillograph) の働作部分の原理を示すもので、耐久磁石 (或は電磁石) の二極 NS の空隙に二本の平行なる金屬線 CC がある。其の上端は固定せられ、下端は象牙滑車 P を通過し、螺旋 S の作用に依つて CC は適當の張力を以て緊張せられて居る。CC

には小鏡 M を取付けてある。CC を振動子 (vibrator) と謂ふ。若し CC に直流を通せば普通の反照ガルヴァノメータと同様に M は何れか一方に傾き、M の振れは CC に通す電流に比例する。若し CC に直流の代りに交流を通すと M は一定の方向に傾く代りに左右に振動する譯である。而して可動部分は非常に軽く且適當の張力を以



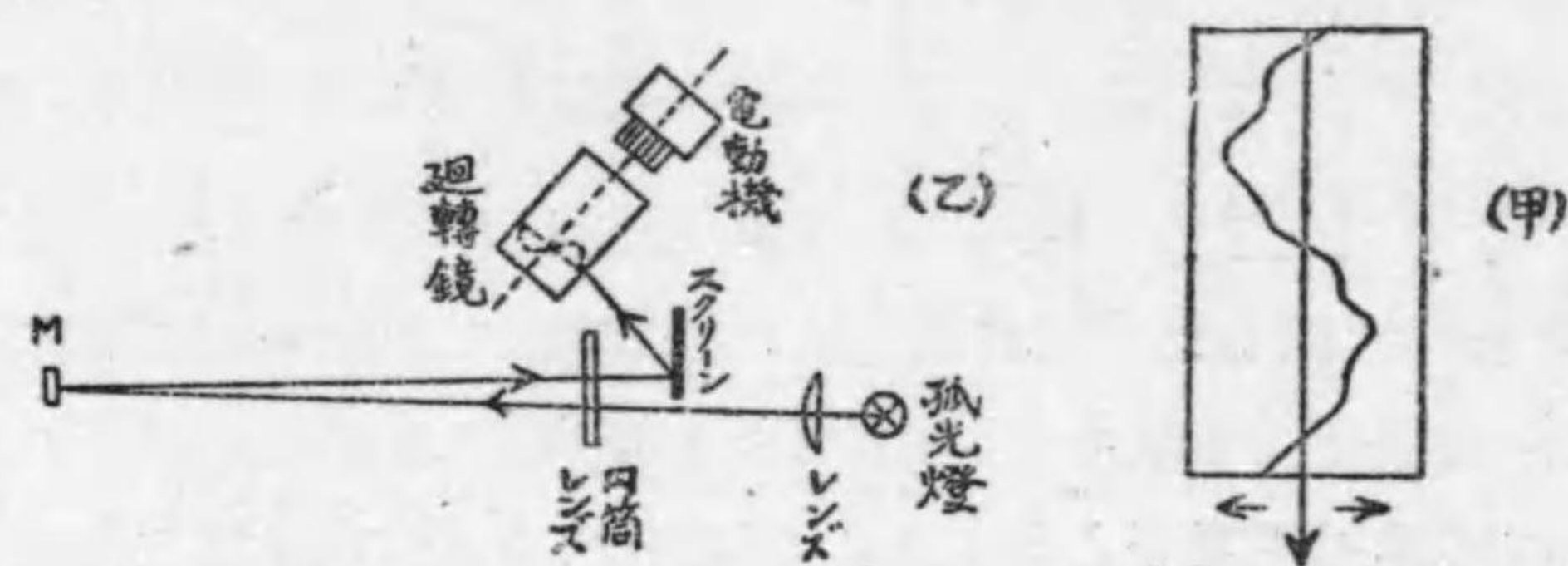
オッシログラフ

て緊張せられ、可動部分の固有振動周期は極めて短い様に (通常 1 秒の  $1/3,000$  乃至  $1/10,000$ ) 調整せられてあるから、鏡面 M は交流の極めて速かな變化に伴つて其の振れの方向及大きさを變ずることが出来る。従て任意の瞬時に於ける鏡面の振れは瞬時電流の方向に關係し且其の瞬時値に比例するのである。夫故に鏡面 M に弧光燈の強い光をあて暗函内に反射せしめると、其の光點は暗函

内のスクリーン (screen) に於て水平の方向に左右に振動することとなる。今此のスクリーンの位置に寫眞の乾板を垂直に落下させると、乾板の落下と光點の左右の振動と相俟て乾板には交流の波形を印象する譯である。此の装置は第 218 圖から多くの説明を俟たないで明かであらう。

次に交流波形を觀測するには如何にすれば良いかと云ふに、第 218 圖乙に示す様にスクリーンから更に光を廻轉鏡に反射させる

第 218 圖



オッシログラフ觀測装置

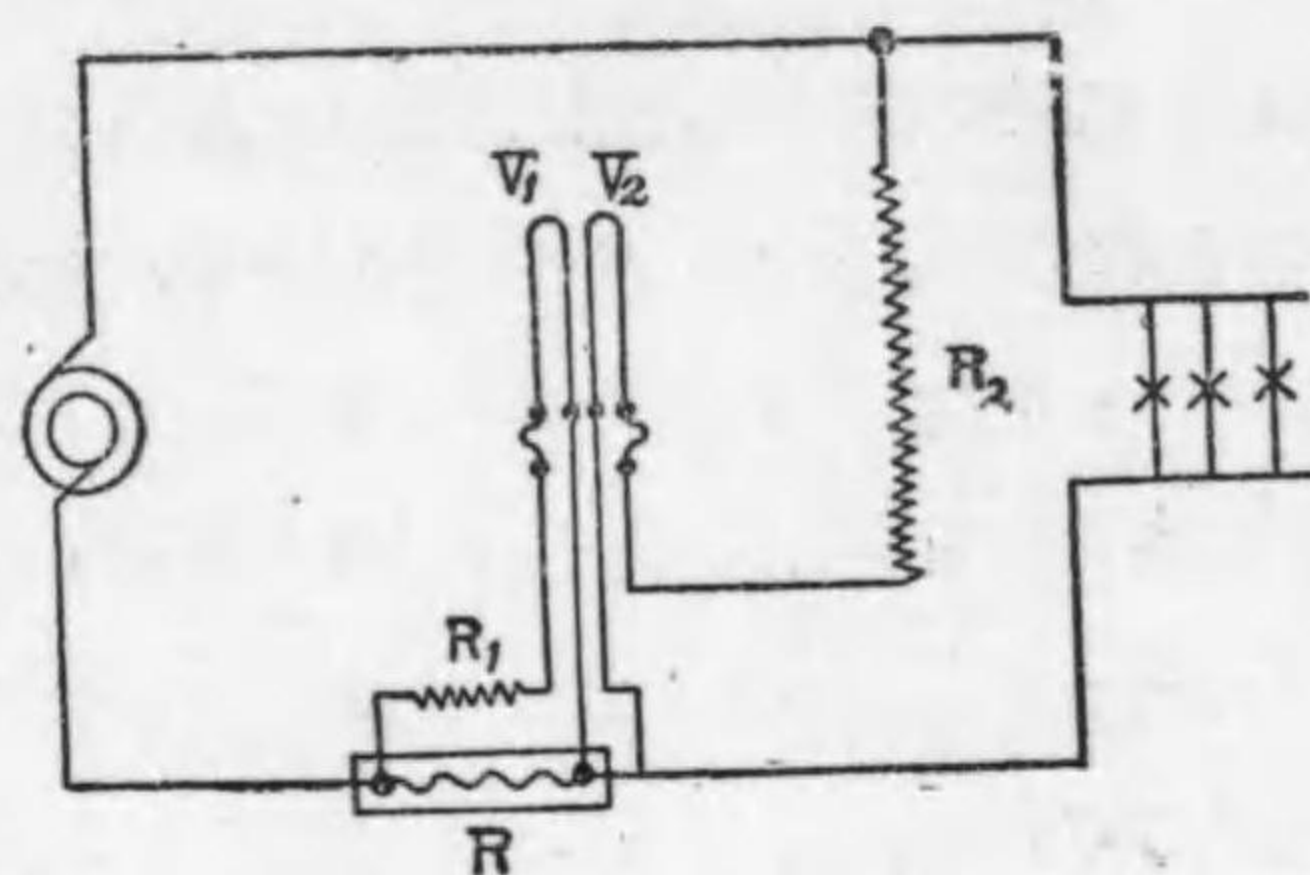
と、廻轉鏡に於て交流波形が顯はれる。廻轉鏡は直流電動機で一定速度で廻轉し、其の速度は抵抗器に依つて同期速度となる様調整するので、摺動型抵抗器の接觸子を動かし速度を調整すると、波形は明かに廻轉鏡に現出するのである。實際は廻轉鏡には單に光點を結ぶのみであるけれども、吾人の目は一度印象を受けると其の印象は暫らくの間は續くものであるから、引續いた線から成る波形を廻轉鏡で見ることが出来るのである。

第 219 圖はオッシログラフで電壓及電流の波形を同時に決定す



る場合の電線接続を示すものである。普通オシログラフには電圧と電流の関係又は多相式電圧又は電流の関係を見ることが出来る爲二個の振動子が装置してある。圖に於ては  $V_1$  は電流用振動

第 219 圖



オシログラフの接続

子、 $V_2$  は電圧用振動子として用ふる場合、 $V_1$  は分流器  $R$  と並列に接続し、 $V_2$  は無誘導直列抵抗器  $R_2$  と直列に接続してある。 $R_1$  は  $V_1$  に通る電流を調整する加減抵抗器である。 $V_1$  及  $V_2$  に通す電流は通常 0.1 アムペア以下である。

**165. 亂形波形の分解 (analysis of distorted wave)** コンタクト・メーカー又はオシログラフに依つて、交流電圧又は電流の波形を見出したら、次に起るべき問題は其の波形は如何なる基本波及高調波から成るかを決定することである。之即ち波形の分解である。第 162 節に於て述べた様に交流電圧又は電流の瞬時値  $y$  は次の式で表はされる。

$$y = C_1 \sin(\theta + \alpha_1) + C_3 \sin(3\theta + \alpha_3) + C_5 \sin(5\theta + \alpha_5) + \dots (1)$$

$$= A_1 \sin \theta + A_3 \sin 3\theta + A_5 \sin 5\theta + \dots$$

$$+ B_1 \cos \theta + B_3 \cos 3\theta + B_5 \cos 5\theta + \dots (2)$$

交流波形の分解は與へられたる波形から  $C_1, C_3, C_5, \dots, \alpha_1, \alpha_3, \alpha_5, \dots$  或は  $A_1, A_3, A_5, \dots, B_1, B_3, B_5, \dots$  の定数を決定することである。現今の交流機では高調波として第三次第五次又は第七次位迄を取れば充分であるが、尙精密を要しない場合には高調波は第五次位迄を取れば宜しい。尤も前にも述べた様に交流の半サイクルの波形に就て山と谷とを数へれば特に多く含まれる高調波を知ることが出来るから、少くも其の高調波を含む丈の式を假定する必要があるのである。

例へば第五次迄の高調波を取れば、此の場合の未知数は  $A_1, A_3, A_5$  及  $B_1, B_3, B_5$  の六個の未知数である。夫故に任意の波形を等分し其の等分點に於ける瞬時値を曲線から見出し、其の電氣角度を (2) 式に代入して、6 個の未知数を關聯する六つの方程式を作れば、之から六つの未知数を算出することが出来るのである。

然し乍ら此の方法は高調波の数を多く假定し未知数の数が多くなる程其の解法が困難となるから、普通他の性質を利用し定数を定めるのである。

(イ) **ペリー氏の法 (Perry's method)** 與へられたる波形の半サイクルを 5 度或は 10 度毎に等分し、其の等分した数を  $q$  とすれば、第  $n$  次の高調波に相當する定數  $A_n$  及  $B_n$  は夫々次の



式で表はすことが出来る。A<sub>n</sub> 及 B<sub>n</sub> は q を多く取る程正確である。

$$A_n = \frac{2}{q} \sum_0^q y \sin n\theta \quad (3)$$

$$B_n = \frac{2}{q} \sum_0^q y \cos n\theta \quad (4)^*$$

註  $\frac{1}{\pi} \int_0^\pi y \sin n\theta d\theta = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (A_1 \sin \theta \sin n\theta + A_3 \sin 3\theta \sin n\theta + \dots + A_n \sin^2 n\theta + \dots + B_1 \cos \theta \sin n\theta + B_3 \cos 3\theta \sin n\theta + \dots) d\theta$

$$\begin{aligned} \text{然るに } \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sin m\theta \sin n\theta d\theta &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \{\cos(n-m)\theta - \cos(n+m)\theta\} d\theta \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sin(n-m)\theta}{n-m} - \frac{\sin(n+m)\theta}{n+m} \right]_0^\pi = 0 \end{aligned}$$

(m 及 n は共に奇数なるを以て (n-m) 及 (n+m) は共に偶数なり)

$$\begin{aligned} \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \cos m\theta \sin n\theta d\theta &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \{\sin(n+m)\theta + \sin(n-m)\theta\} d\theta \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[ -\frac{\cos(n+m)\theta}{n+m} - \frac{\cos(n-m)\theta}{n-m} \right]_0^\pi = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sin^2 n\theta d\theta &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (1 - \cos 2n\theta) d\theta \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[ \theta - \frac{\sin 2n\theta}{2n} \right]_0^\pi = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{1}{\pi} \int_0^\pi y \sin n\theta d\theta = 0 + 0 + \dots + \frac{1}{2} A_n + \dots + 0 + 0 + \dots = \frac{1}{2} A_n$$

$$\therefore A_n = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi y \sin n\theta d\theta = 2 \times (y \sin n\theta \text{ の平均値})$$

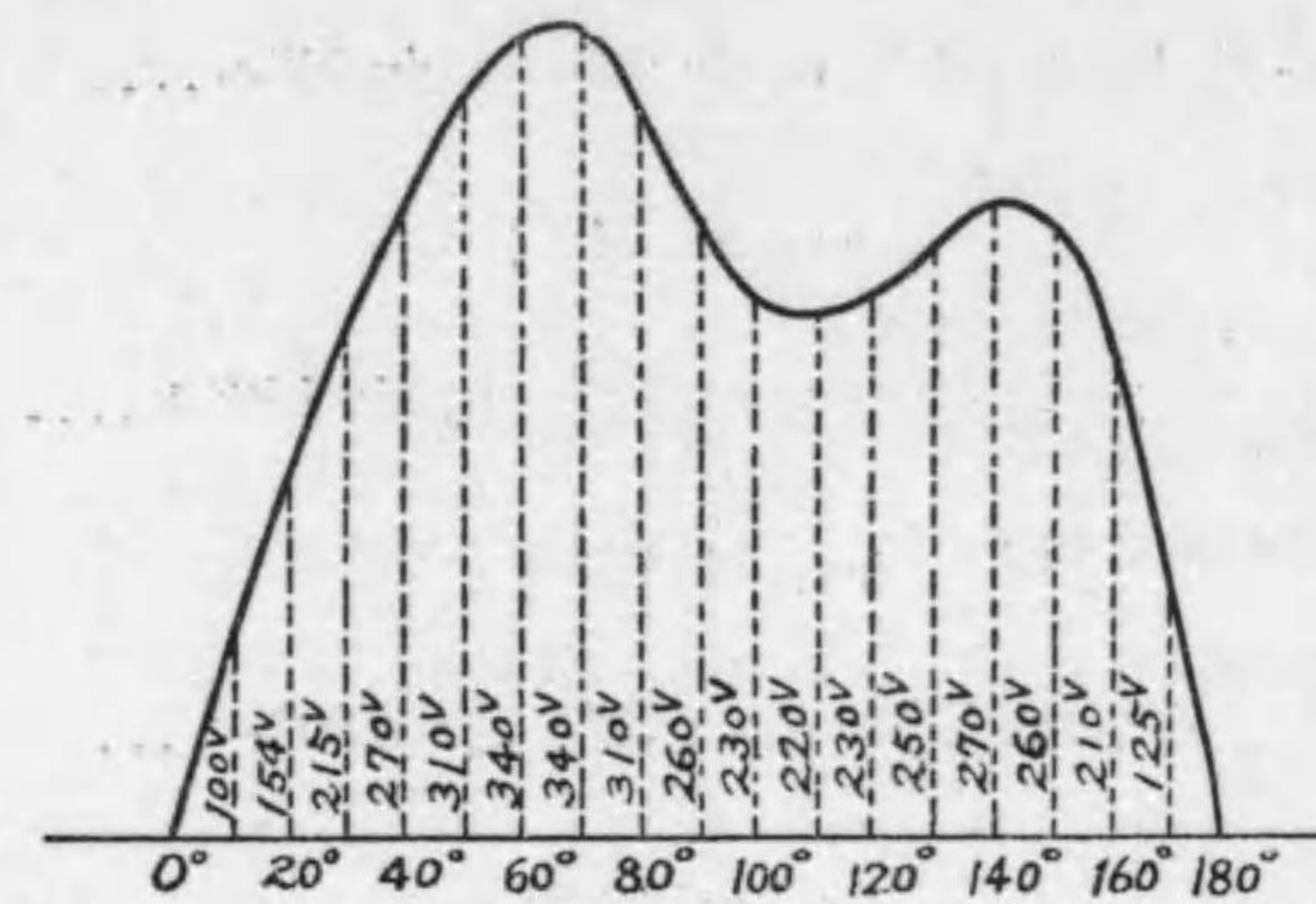
$$\begin{aligned} \text{同様に } \frac{1}{\pi} \int_0^\pi y \cos n\theta d\theta &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (A_1 \sin \theta \cos n\theta + A_3 \sin 3\theta \cos n\theta + \dots \\ &\quad + B_1 \cos \theta \cos n\theta + B_3 \cos 3\theta \cos n\theta + \dots + B_n \cos^2 n\theta + \dots) d\theta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{然るに } \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \cos m\theta \cos n\theta d\theta &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi \{\cos(n-m)\theta + \cos(n+m)\theta\} d\theta \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\sin(n-m)\theta}{n-m} + \frac{\sin(n+m)\theta}{n+m} \right]_0^\pi = 0 \end{aligned}$$

今 (3) 式及 (4) 式に依つて波形を分解する實例を述べやう。

第 220 圖は或る電壓の半サイクルの波形である。此の波形を

第 220 圖



電 壓 波

10 度毎に即半サイクルの間を 18 等分する。e を瞬時電壓とし、e<sub>10</sub>, e<sub>20</sub>, e<sub>30</sub>... を夫々 10 度, 20 度, 30 度... に於ける電壓の

値とし、又此の波形は第五次迄の高調波を含むものと假定すれば、(3) 及 (4) 式に依り

$$\begin{aligned} \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \cos^2 n\theta d\theta &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (1 + \cos 2n\theta) d\theta \\ &= \frac{1}{2\pi} \left[ \theta + \frac{\sin 2n\theta}{2n} \right]_0^\pi = \frac{1}{2} \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{1}{\pi} \int_0^\pi y \cos n\theta d\theta = 0 + 0 + \dots + 0 + 0 + \dots + \frac{1}{2} B_n + \dots = \frac{1}{2} B_n$$

$$\therefore B_n = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi y \cos n\theta d\theta = 2 \times (y \cos n\theta \text{ の平均値})$$

實用上は半サイクルの波形を q 等分し、各縦線に對する y sin nθ の平均値の 2 倍及各縦線に對する y cos nθ の平均値の 2 倍を以て A<sub>n</sub> 及 B<sub>n</sub> と見做すことが出来る。即ち (3) 式及 (4) 式に依つて A<sub>n</sub> 及 B<sub>n</sub> を算出し得る筈である。



$$A_1 = \frac{2}{18} \{e_{10} \sin 10^\circ + e_{20} \sin 20^\circ + e_{30} \sin 30^\circ + \dots$$

$$+ e_{180} \sin 180^\circ\}$$

$$A_3 = \frac{2}{18} \{e_{10} \sin 30^\circ + e_{20} \sin 60^\circ + e_{30} \sin 90^\circ + \dots$$

$$+ e_{180} \sin 540^\circ\}$$

$$A_5 = \frac{2}{18} \{e_{10} \sin 50^\circ + e_{20} \sin 100^\circ + e_{30} \sin 150^\circ + \dots$$

$$+ e_{180} \sin 900^\circ\}$$

$$B_1 = \frac{2}{18} \{e_{10} \cos 10^\circ + e_{20} \cos 20^\circ + e_{30} \cos 30^\circ + \dots$$

$$+ e_{180} \cos 180^\circ\}$$

$$B_3 = \frac{2}{18} \{e_{10} \cos 30^\circ + e_{20} \cos 60^\circ + e_{30} \cos 90^\circ + \dots$$

$$+ e_{180} \cos 540^\circ\}$$

$$B_5 = \frac{2}{18} \{e_{10} \cos 50^\circ + e_{20} \cos 100^\circ + e_{30} \cos 150^\circ + \dots$$

$$+ e_{180} \cos 900^\circ\}$$

今第220圖の電壓波形から之を實際に計算して見やう。之は第18表の様な形にして  $e \sin n\theta$ ,  $e \cos n\theta$  の中正號を有するものと負號を有するものと分けて別々に之を加へるのが便利である。

第18表から分る様に第220圖の電壓波の定數は次の結果となる。即

$$A_1 = 332$$

$$B_1 = 3.6$$

第 18 表 の 一

角 $\theta$	e	基 本 波					
		sin $\theta$	e sin $\theta$		cos $\theta$	e cos $\theta$	
			正	負		正	負
10°	100	.173 6	17		.984 8	98	
20°	154	.342 0	53		.939 7	145	
30°	215	.500 0	107		.866 0	186	
40°	270	.642 8	174		.766 0	206	
50°	310	.766 0	238		.642 8	200	
60°	340	.866 0	295		.500 0	170	
70°	310	.939 7	320		.342 0	116	
80°	310	.984 8	305		.173 6	54	
90°	260	1.000 0	260		.000 0	0	
100°	230	.984 8	226		-.173 6		40
110°	220	.939 7	206		-.342 0		75
120°	230	.866 0	200		-.500 0		115
130°	250	.766 0	192		-.642 8		161
140°	270	.642 8	174		-.766 0		207
150°	260	.500 0	130		-.866 0		225
160°	210	.342 0	72		-.939 7		197
170°	125	.173 6	22		-.984 8		123
180°	0	.000 0	0		-1.000 0		0
合 計			2 991			1 175	1 143
			$A_1 = \frac{1}{9}(2991) = 332$			$B_1 = \frac{1}{9}(1175 - 1143) = 3.6$	



第 18 表 の 二

角 $\theta$	e	第 三 調 波					
		sin 3 $\theta$	e sin 3 $\theta$		cos 3 $\theta$	e cos 3 $\theta$	
			正	負		正	負
10°	100	.500 0	50		.866 0	87	
20°	154	.866 0	134		.500 0	77	
30°	215	1.000 0	215		.000 0	0	
40°	270	.866 0	235		-.500 0		135
50°	310	.500 0	155		-.866 0		270
60°	340	.000 0	0		-1.000 0		340
70°	340	-.500 0		170	-.866 0		235
80°	310	-.866 0		270	-.500 0		155
90°	260	-1.000 0		260	.000 0		0
100°	230	-.866 0		200	.500 0	115	
110°	220	-.500 0		110	.866 0	190	
120°	230	.000 0		0	1.000 0	230	
130°	250	.500 0	125		.866 0	215	
140°	270	.866 0	235		.500 0	135	
150°	260	1.000 0	260		.000 0	0	
160°	210	.866 0	180		-.500 0		105
170°	125	.500 0	62		-.866 0		110
180°	0	.000 0	0		-1.000 0		0
合 計			1651	1010		1049	1410
		$A_3 = \frac{1}{9}(1651 - 1010) = 71.3$		$B_3 = \frac{1}{9}(1049 - 1410) = -40.2$			

第 18 表 の 三

角 $\theta$	e	第 五 調 波					
		sin 5 $\theta$	e sin 5 $\theta$		cos 5 $\theta$	e cos 5 $\theta$	
			正	負		正	負
10°	100	.766 0	77		.642 8	64	
20°	154	.984 8	152		-.173 6		27
30°	215	.500 0	107		-.866 0		186
40°	270	-.342 0		92	-.939 7		253
50°	310	-.939 7		290	-.342 0		106
60°	240	-.866 0		290	.500 0	170	
70°	340	-.173 6		59	.984 8	335	
80°	310	.642 8	200		.766 0	237	
90°	260	1.000 0	260		.000 0	0	
100°	230	.642 8	149		-.766 0		175
110°	220	-.173 6		38	-.984 8		215
120°	230	-.866 0		200	-.500 0		115
130°	250	-.939 7		235	.342 0	85	
140°	270	-.342 0		92	.939 7	255	
150°	260	.500 0	130		.866 0	225	
160°	210	.984 8	207		.173 6	36	
170°	125	.766 0	96		-.642 8		80
180°	0	.000 0	0		-1.000 0		0
合 計			1378	1296		1407	1157
		$A_5 = \frac{1}{9}(1378 - 1296) = 9.1$		$B_5 = \frac{1}{9}(1407 - 1157) = 27.8$			



$$A_3 = 71.3 \quad B_3 = -40.2$$

$$A_5 = 9.1 \quad B_5 = 27.8$$

従て第 220 圖の電壓波は

$$e = 332 \sin \theta + 71.3 \sin 3\theta + 9.1 \sin 5\theta \\ + 3.6 \cos \theta - 40.2 \cos 3\theta + 27.8 \cos 5\theta$$

此式から又  $C_1, C_3, C_5$  及  $a_1, a_3, a_5$  を見出すと次の様になる。

$$C_1 = \sqrt{332^2 + 3.6^2} = 334 \quad \tan a_1 = \frac{3.6}{332} = .0108$$

$$a_1 = 37'$$

$$C_3 = \sqrt{71.3^2 + 40.2^2} = 81.8 \quad \tan a_3 = -\frac{40.2}{71.3} = -.564$$

$$a_3 = -29^\circ 30'$$

$$C_5 = \sqrt{9.1^2 + 27.8^2} = 29.3 \quad \tan a_5 = \frac{27.8}{9.1} = 3.06$$

$$a_5 = 71^\circ 54'$$

$$\therefore e = 334 \sin(\theta + 37') + 81.8 \sin(3\theta - 29^\circ 30') \\ + 29.3 \sin(5\theta + 71^\circ 54')$$

(ロ) トムソン氏の法 (Thompson's method) 前法に依つて波形を分解するのは甚だ複雑である。殊に第九調波以上迄も算出する場合には手数が更に多い。トムソン氏の法は次の関係を利用したもので計算が甚だ簡単となる。

$$\sin \theta = \sin(180^\circ - \theta)$$

$$\cos \theta = -\cos(180^\circ - \theta)$$

此の關係を利用して適當に排列すれば計算は大いに簡単となるので、殊に多くの高調波迄算出する場合に甚だ便利である。茲には一例として單に第五次迄の高調波を見出す場合を説明しやう。高調波が多くなる場合も全く同一の理屈である。

與へられたる波形の半サイクルを 30 度毎に六等分し、五つの縦線の値を圖から測る。(第七調波迄の場合には 8 等分、第九調波迄は 10 等分と云ふ工合にする。) 之を  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$  とする。

$$A_1 = \frac{2}{6} \{y_1 \sin 30^\circ + y_2 \sin 60^\circ + y_3 \sin 90^\circ + y_4 \sin 120^\circ$$

$$+ y_5 \sin 150^\circ\}$$

$$= \frac{1}{3} \{(y_1 + y_5) \sin 30^\circ + (y_2 + y_4) \sin 60^\circ + y_3 \sin 90^\circ\}$$

$$A_3 = \frac{2}{6} \{y_1 \sin 90^\circ + y_2 \sin 180^\circ + y_3 \sin 270^\circ + y_4 \sin 360^\circ$$

$$+ y_5 \sin 450^\circ\}$$

$$= \frac{1}{3} \{(y_1 + y_5) \sin 90^\circ + (y_2 + y_4) \sin 180^\circ - y_3 \sin 90^\circ\}$$

$$= \frac{1}{3} \{(y_1 + y_5) \sin 90^\circ - y_3 \sin 90^\circ\}$$

$$A_5 = \frac{2}{6} \{y_1 \sin 150^\circ + y_2 \sin 300^\circ + y_3 \sin 450^\circ + y_4 \sin 600^\circ$$

$$+ y_5 \sin 750^\circ\}$$

$$= \frac{1}{3} \{(y_1 + y_5) \sin 30^\circ - (y_2 + y_4) \sin 60^\circ + y_3 \sin 90^\circ\}$$



$$\begin{aligned}
 B_1 &= \frac{2}{6} \{y_1 \cos 30^\circ + y_2 \cos 60^\circ + y_3 \cos 90^\circ + y_4 \cos 120^\circ \\
 &\quad + y_5 \cos 150^\circ\} \\
 &= \frac{1}{3} \{(y_1 - y_5) \cos 30^\circ + (y_2 - y_4) \cos 60^\circ\} \\
 &= \frac{1}{3} \{(y_1 - y_5) \sin 60^\circ + (y_2 - y_4) \sin 30^\circ\} \\
 B_3 &= \frac{2}{6} \{y_1 \cos 90^\circ + y_2 \cos 180^\circ + y_3 \cos 270^\circ + y_4 \cos 360^\circ \\
 &\quad + y_5 \cos 450^\circ\} \\
 &= \frac{1}{3} \{-(y_2 - y_4) \cos 0^\circ\} = -\frac{1}{3} (y_2 - y_4) \sin 90^\circ \\
 B_5 &= \frac{2}{6} \{y_1 \cos 150^\circ + y_2 \cos 300^\circ + y_3 \cos 450^\circ + y_4 \cos 600^\circ \\
 &\quad + y_5 \cos 750^\circ\} \\
 &= \frac{1}{3} \{-(y_1 - y_5) \cos 30^\circ + (y_2 - y_4) \cos 60^\circ\} \\
 &= \frac{1}{3} \{-(y_1 - y_5) \sin 60^\circ + (y_2 - y_4) \sin 30^\circ\}
 \end{aligned}$$

上の様な関係があるから、次の様な形に書き列べる

	$y_1$	$y_2$	$y_3$
$\pm$	$y_5$	$y_4$	
和	$a_1$	$a_2$	$a_3$
差	$d_1$	$d_2$	
又		$a_1 - a_3 = c_1$	

更に此の結果を用ひて第 19 表の様に排列する。表中  $a_1', a_2', d_1'$  及  $d_2'$  は夫々  $a_1, a_2, d_1$  及  $d_2$  に表に列べてある列の左側にある正弦の値を乗じたものである。

第 19 表

角 $\theta$	$\sin \theta$	正 弦 項		餘 弦 項		
		一次	五次	三次	一次	五次
$30^\circ$	0.500	$a_1'$			$d_2'$	
$60^\circ$	0.866		$a_2'$		$d_1'$	
$90^\circ$	1.000	$a_3$		$c_1$		$-d_2$
第一行の和		$a_1' + a_3$		$c_1$	$d_2'$	
第二行の和			$a_2'$		$d_1'$	$-d_2$
和		$3A_1$		$3A_3$	$3B_1$	$3B_3$
差		$3A_5$			$3B_5$	

註  $a_1' = 5a_1, \quad a_2' = 866a_2, \quad d_1' = 866d_1, \quad d_2' = 5d_2$   
 $A_1 = \frac{1}{3}(a_1' + a_3 + a_2'), \quad A_3 = \frac{1}{3}c_1, \quad A_5 = \frac{1}{3}(a_1' + a_3 - a_2')$   
 $B_1 = \frac{1}{3}(d_2' + d_1'), \quad B_3 = -\frac{1}{3}d_2, \quad B_5 = \frac{1}{3}(d_2' - d_1')$

例へば第 221 圖の例を取れば

$$\begin{aligned}
 y_1 &= 250, & y_2 &= 380, & y_3 &= 560, & y_4 &= 400, & y_5 &= 300 \\
 &250 & & 380 & & 560 & & & & \\
 &300 & & 400 & & & & & & \\
 \hline
 \text{和 } a_1 &= 550 & a_2 &= 780 & a_3 &= 560
 \end{aligned}$$



第 20 表

$\theta$	$\sin \theta$	正 弦 項		餘 弦 項		
		一次	五次	三次	一次	五次
30°	0.500	550			-20	
60°	0.866		780		-50	
90°	1.000	560		-10		20
sin $\theta$ を乗ずれば:—						
30°	0.500	275			-10	
60°	0.866		675		-43.3	
90°	1.000	560		-10		20
第一行の和		835		-10	-10	20
第二行の和			675		-43.3	
和		1510		-10	-53.3	20
差		160			33.3	
$A_1 = \frac{1510}{3} = 503.3$		$B_1 = -\frac{53.3}{3} = -17.8$				
$A_3 = -\frac{10}{3} = -3.3$		$B_3 = \frac{20}{3} = 6.7$				
$A_5 = \frac{160}{3} = 53.3$		$B_5 = \frac{33.3}{3} = 11.1$				

差  $d_1 = -50$      $d_2 = -20$

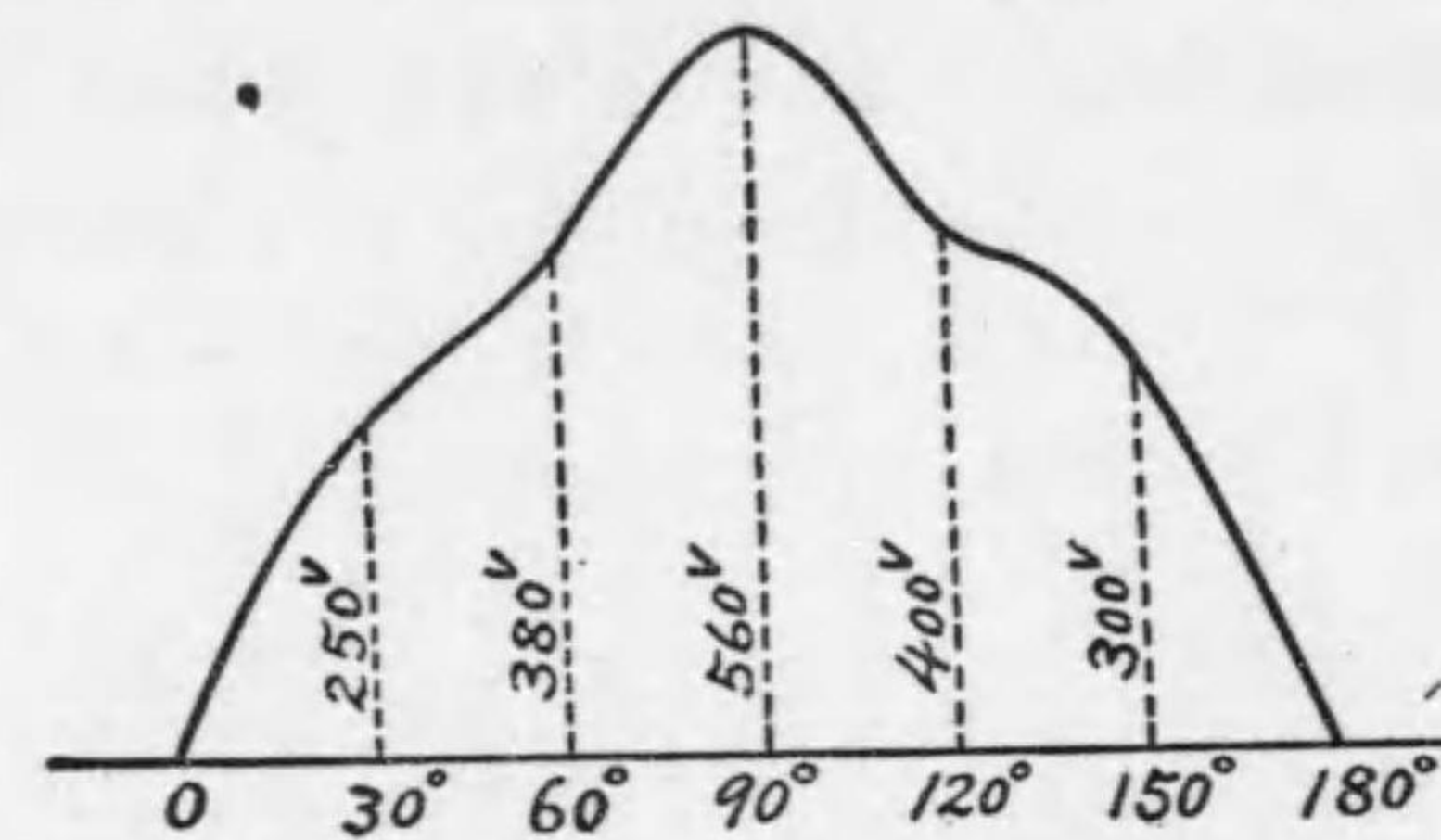
$e_1 = 550 - 560 = -10$

此の計算は 第 20 表に示す通りである。従て電圧波は

$$e = 503.3 \sin \theta - 3.3 \sin 3\theta + 53.3 \sin 5\theta - 17.8 \cos \theta + 6.7 \cos 3\theta + 11.1 \cos 5\theta$$

此の方法は簡単ではあるが第 221 圖から分る様に各縦線の間は如何なる波形でも同一の結果を得る譯であるから、第一法に比

第 221 圖



電 壓 波 形 の 分 解

較すると確度が低い。併し多くの高調波を見出す場合には、等分する数も多くなるから確度も高くなるので

ある。然し第二法でも又 30° 毎に他の縦線を立て同様の方法を行ひ、位相の差を考に入れて之等の平均の値を取れば餘程確度の高い結果を得るのである。

166. 摘要 本章に述べたことを摘記すると

1. 任意の波形は一般に種々の周波数の正弦波のフーリエ級数で表はすことが出来る。而して交流電圧又は電流の波形は基本波及第三次第五次...等の奇数の高調波から成立つもので、偶数の



高調波は含まない。

2. 電圧又は電流の波形を決定するには二法ある。第一法はコンタクト・メーカーを用ひて各瞬時値を漸次見出し波形を決定する方法で、第二法はオッシログラフに依つて波形を観測し又は寫眞に取る方法である。オッシログラフは一時的の過渡現象に依る非周期的波形をも決定し得るの利がある。

3. 波形を表はすフーリエ級数の定数を定めることを波形の分解と云ふ。即ち之に依つて與へられたる波形は如何なる割合で基本波及高調波が含まれて居るかを知らることが出来るのである。波形分解法として普通用ひられる方法にベリー氏の法及トムソン氏の法がある。

## 第十一章 記録測定器 (recording instruments).

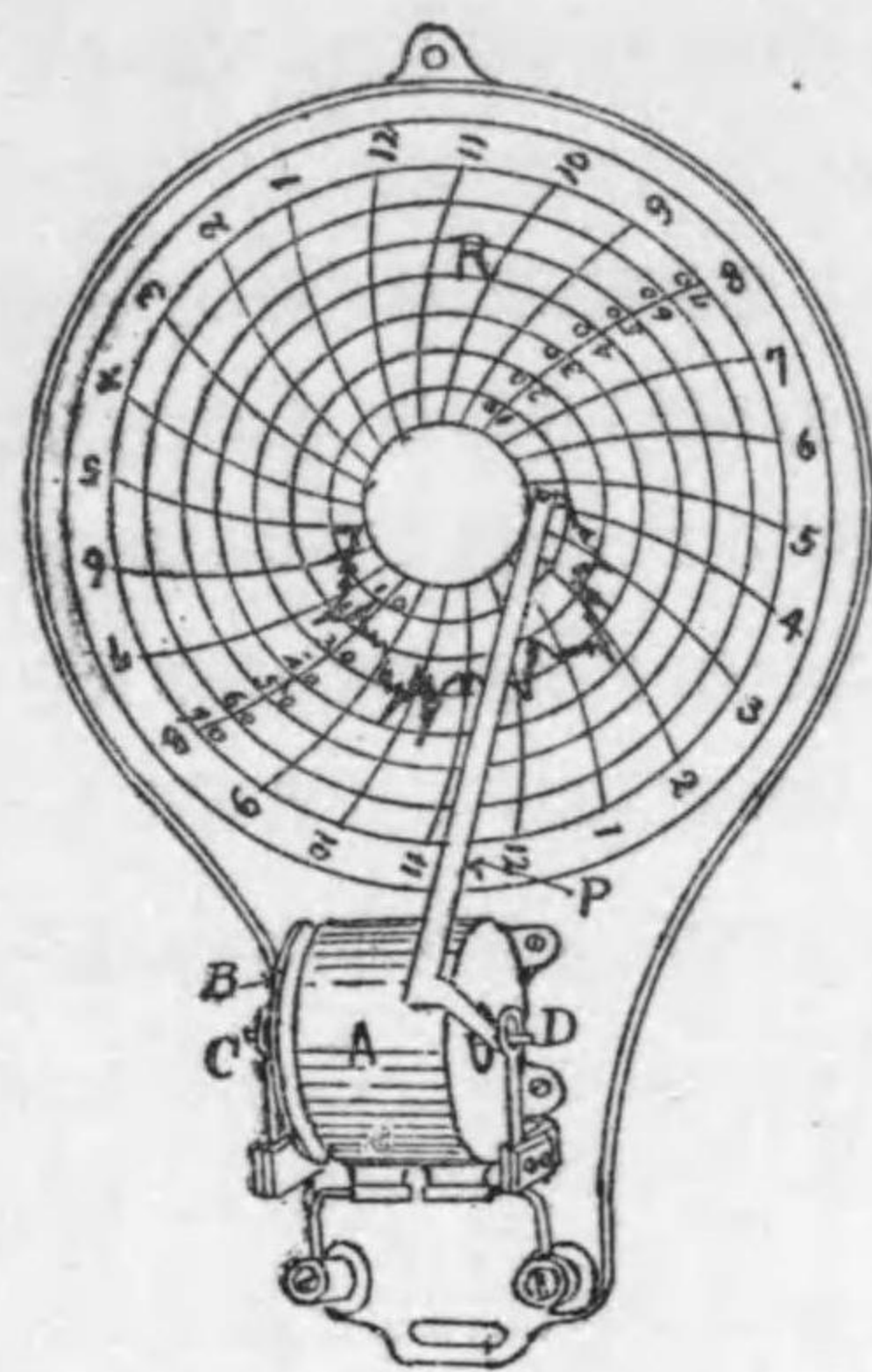
167. 記録測定器の種類 電圧電流又は電力の時々刻々變化する値を時計仕掛で動きつゝある紙上に記録し負荷の變化の状態を示すものを記録測定器と稱することは既に述べた通りである。此の測定器の働作部分は之迄に述べた指示測定器と同様な原理を利用するものであるが、只之に曲線を記録する装置を附した差があるのみである。此の記録装置の構造に依つて記録測定器は次の三種に分つことが出来る。

- (イ) 第一種記録測定器 記録用ペンを測定器の指針の一端に附し指針の振れの變化に伴ひ、紙上に曲線を記録するもの
- (ロ) 第二種記録測定器 記録用針と紙を常に接觸せしめないうで一定の時間毎に紙上に點を記録し、又は火花の作用に依つて紙に曲線を記録するもの
- (ハ) 第三種記録測定器 記録用ペンを繼電器 (relay) に依つて働作せしめるもの

168. 第一種記録測定器 第 222 圖は第一種記録測定器に屬するブリistol記録電流計 (Bristol recording ammeter) を示すもので其の働作部分は一種の可動鐵片型計器である。即ち圖に於て A は固定線輪、B は圓形軟鐵片であつて線輪 A の中心



第 222 圖



ブリストル記録電流計

を通過する軸に取り付けられ、此の軸は其の両端で刃形發條支持物(knife-edged spring support) C 及 D に安置せられて居る。線輪 A に電流を通すと線輪は鐵片 B を吸引し指針を傾斜せしめる。此の場合に發條支持物 C 及 D は制御力を生じ、従て軸に取付けてある指針 P は線輪の電流に應じて傾斜するのである。指針 P の一端には記録用ペンを附し、ペンにはインキが入れてある。記録せられる

紙 R は時計仕掛に依り例へば 12 時間或は 24 時間に軸の周りを一廻轉する様に装置せられる。紙には圖に示す様に時間並に電流の目盛を盛つてある。時間の線は指針 P の畫く圓弧である。斯様にして指針の傾斜が時々刻々變りつゝある間に一定の速度を以て紙面は動くから紙上に電流の時間と共に變化する状態を曲線で記録し得るのである。

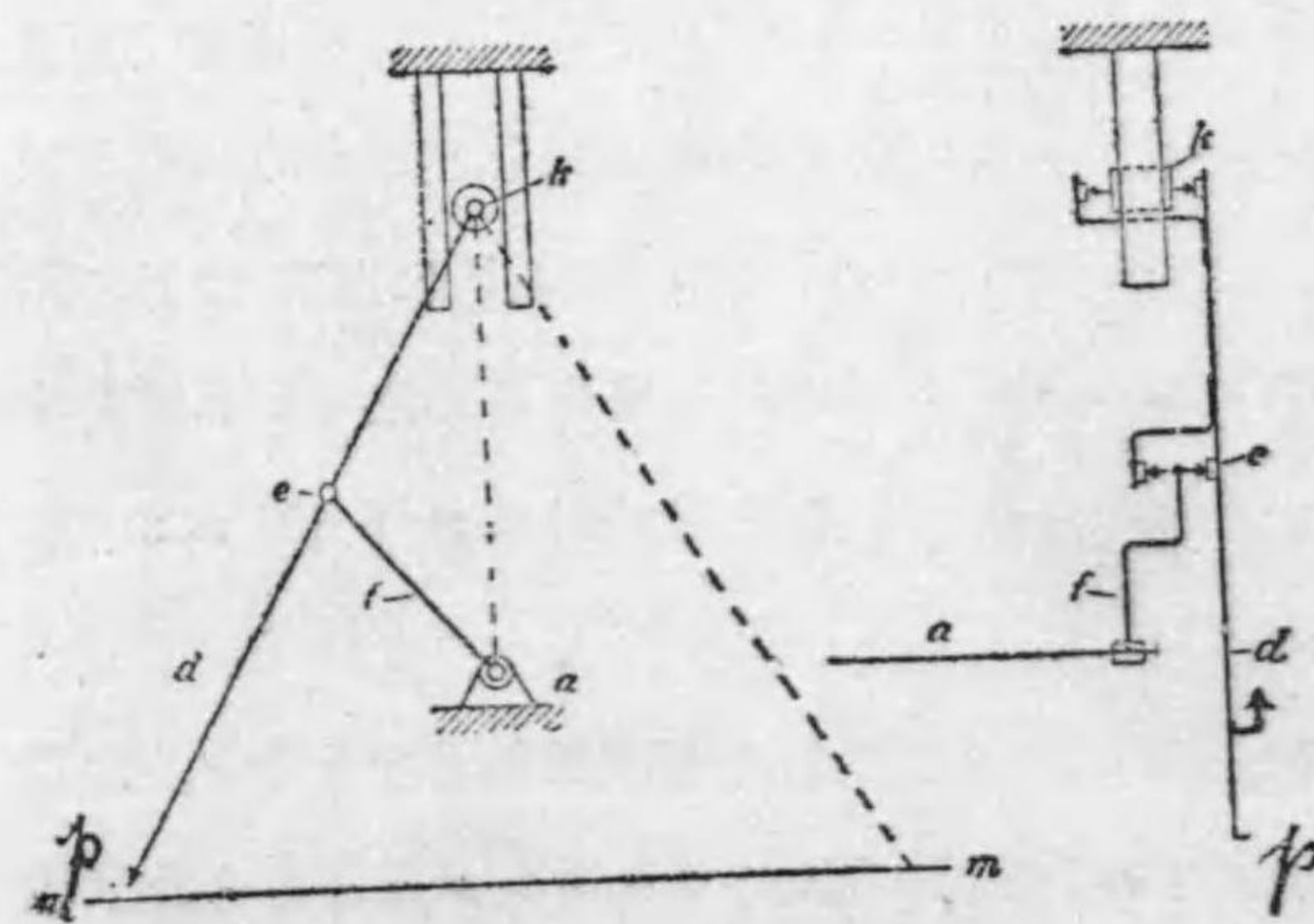
電流が常に變化しつゝある場合に之を記録せしむるには、特に有效な制動装置を附する必要がある。ブリストル計器では可動部分に制動翼を附し之を油の中で動く様にしてある。

ブリストル記録電壓計及電力計の働作部分は可動鐵片型を用ひないでダイナモメーター型である。即可動鐵片の代りに可動線輪を用ひ電壓計の場合では、之を固定線輪と直列に接續し、電力計の場合には可動線輪を電壓線輪として用ひるので、其の他の構造は全く記録電流計と同一である。

ブリストル記録計器の缺點を挙げると、

- (1) 時計を巻き、紙を取替へ且インキを入れる手数を要すること
- (2) ペンの畫く線は圓弧であるから、紙上に記録された曲線から直に求積計(planimeter)を用ひて其の平均値を見出すことが出來ぬこと
- (3) ペンと紙の間には摩擦が多いから記録は正確を缺き、殊に

第 223 圖

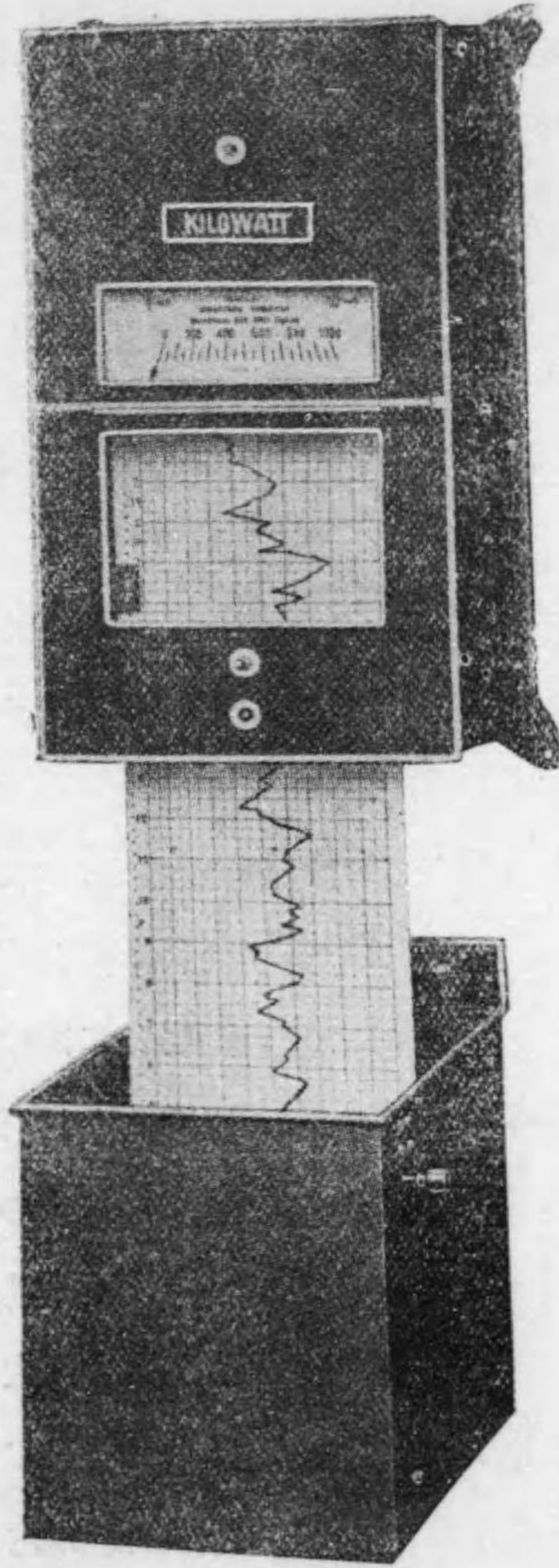


シーメンス記録計器の記録用ペンの取付

負荷が變化する場合に此の影響は甚だしい。若し此の缺點を除く爲に廻轉力を大きくし様とすれば、計器内の電力損失を多くしなければ



第 224 圖



シ-メ-ンス記録電力計

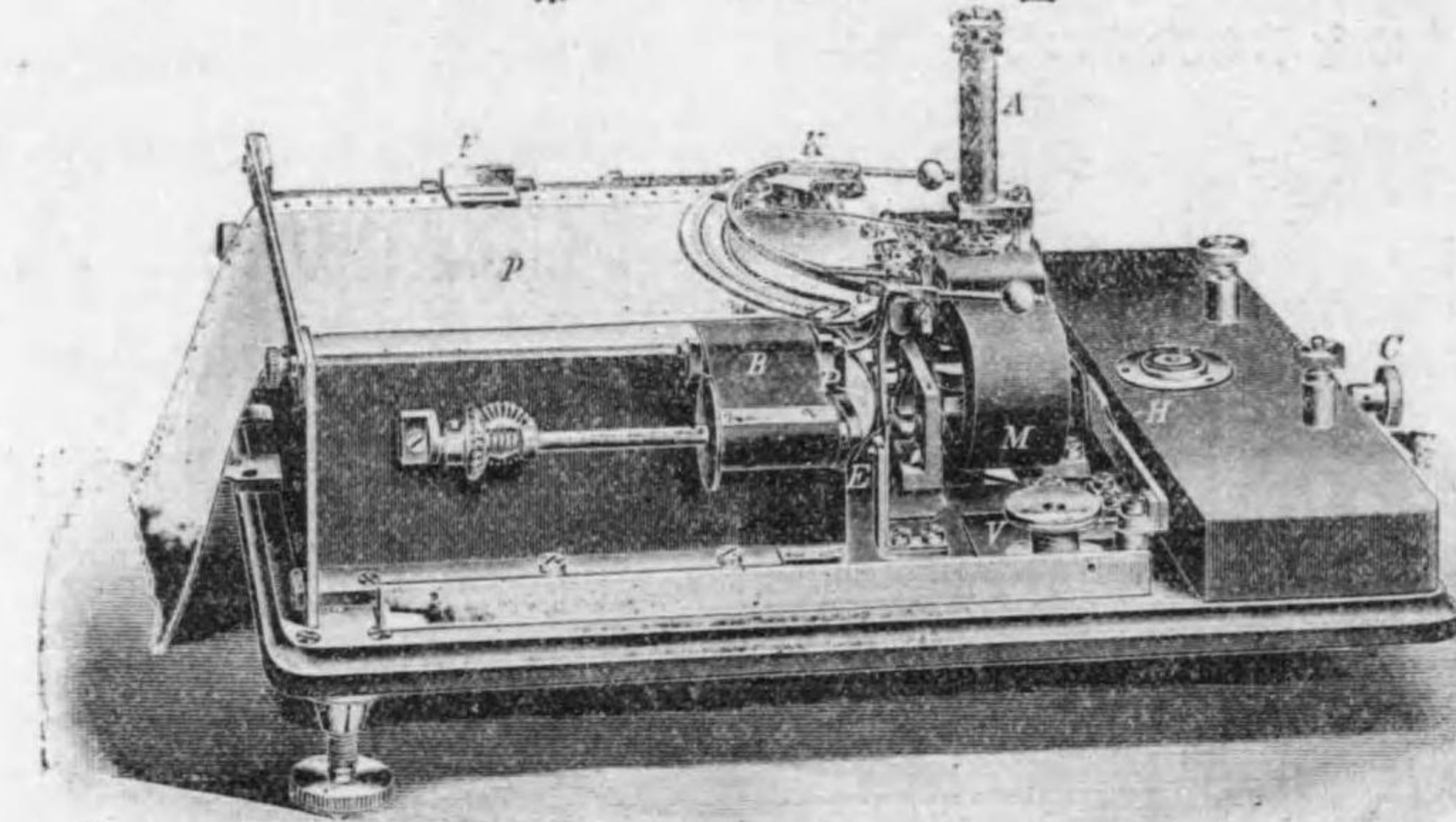
ばならぬ。普通の場合に於ても此の種の記録計器の廻轉力は指示計器の場合より遙に廻轉力を大きくしてあるのである。

第一種に屬する記録計器でも適當なる方法で記録用ペンの動く線を直線にすることが出来るのである。第 223 圖はシ-メ-ンス會社記録計器の一種に用ひられる方法である。a は計器の働作部分の軸で、之に f なる連接桿 (link) を取付け、更に記録用ペンを取付けた d に連接するのである。f と d の連接點 e は自由に廻轉し、又 d の一端 k は ak なる直線上に上下し得る様になつて居る。従て a が廻轉すると記録用ペン p は mm なる直線を描くことになるのである。第 224 圖は此の方法を用ひたシ-メ-ンス記録電力計を示すものである。同社の此の型の

記録計器には可動線輪型、ダイナモメーター型、フェラリス型等の働作部分を有する電壓計、電流計、電力計、周波計、力率計等が作られて居る。又此の型の計器では第 224 圖からも分る様に d の中途に指針を取付け之に對して目盛盤を備へ、記録計器と同時に指示計器の用をも兼ねて居る。

169. 第二種記録計器 第 225 圖は第二種に屬する記録計器を示すものである。此の記録計器では指針の一端に記録用針

第 225 圖



第二種記録計器

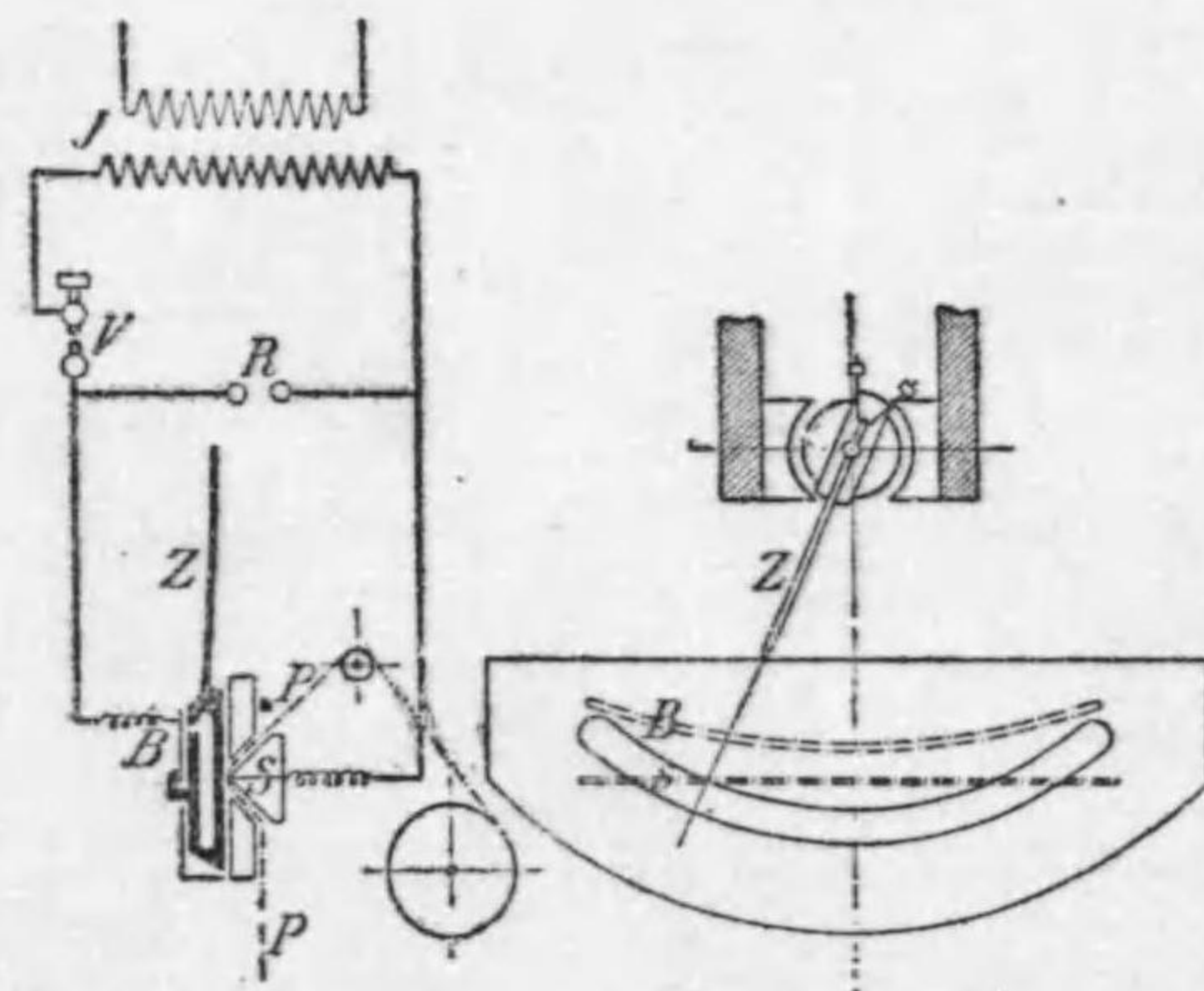
を附し此の針は常に紙面に接觸して居ないで、一定の時間毎(例へば一分毎に一回)に指針の上部に裝置してある腕金 K に依り自動的に押し下げられ、斯様にして一定の速度(例へば毎秒 20 mm)を以て動きつゝある紙の上に、針を押し下げる瞬間の電壓又は電



流の値に相當する點を記録するのである。夫故に此の種の計器の記録する曲線は線でなく點線で出來て居る。腕金を押し下げるには紙を動かす時計仕掛を利用するのである。

此の記録計器では、記録用針は常に紙面に接觸して居ないから、摩擦に依る誤差が少く、指針は負荷の變化に伴つて普通の指示計器と同様に其の指度を變化する。従て働作部分の廻轉力が小さいものに利用することが出来るのである。第 225 圖に示したのはシーメンス会社の記録高温度計 (recording pyrometer) に利用したものを示したものである。

第 226 圖



火花記録計器

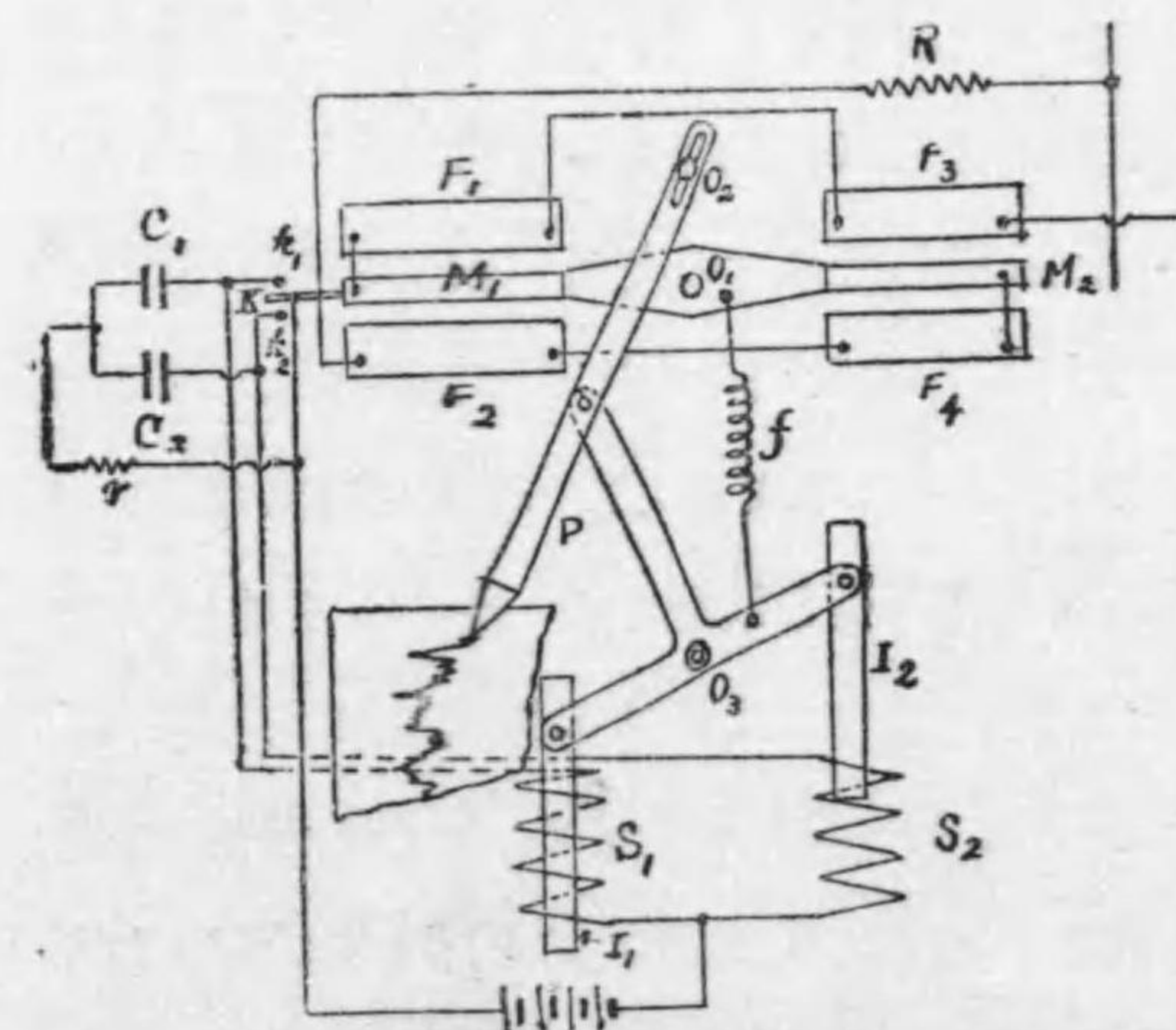
第 225 圖の原理とは違ふが、記録用ペンを常に紙に接觸せしめない様にする記録計器にも一つ異なつた原理を用ひて居るものがある。即シーメンス会社の火花記録計器 (spark recording

meter) である。第 226 圖は其の記録装置の原理を示すものである。圖に於て J は 4 ヴォルト蓄電池に依つて一次線輪に斷續電

流を通じ、二次に高電壓を誘起する誘導線輪である。Z は計器の指針で之に對し S なる金屬片があり、S と Z との間に記録用紙 P が動くのである。誘導線輪の二次線輪の端子は金屬製目盛盤 B と S とに接續せられ、目盛盤 B と指針 Z と金屬片 S との間に火花を生ぜしめて、紙に電壓電流等の變化を記録せしめる。V は調整し得べき直列火花空隙で、之に依つて火花電流を適當に加減する。又 R は記録用紙を取替へる際に二次回路が開かれ二次線輪に甚だ高い電壓が生じて危害を生ずるを防ぐ爲の保護火花空隙である。

170. 第三種記録測定器 第 227 圖は第三種に屬する

第 227 圖



ウエスチングハウス繼電器型記録電壓計

ウエスチングハウス繼電器型記録電壓計を示すもので。計器の働作部分は全くケルヴィン-アムペア衡と同一である。即ち F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, F<sub>3</sub> 及 F<sub>4</sub> は 4 個の固定線輪であつて、M<sub>1</sub> 及 M<sub>2</sub> は機械的に



連結せられる 2 個の可動線輪で  $O_1$  點に於て支持せられる。6 個の線輪は總て直列に接続せられ直列抵抗  $R$  を接続する。K は可動部分に取付けられる接觸片で、其の上下に  $k_1$  及  $k_2$  なる接點がある。S<sub>1</sub> 及 S<sub>2</sub> は記録用ペン P を働かせしめる筒線輪 (solenoid) で夫々  $k_1$  及  $k_2$  に接続せられ、各  $I_1$  及  $I_2$  なる鐵心を有して居る。O<sub>2</sub> はペン P の支持點、O<sub>3</sub> は鐵心  $I_1$  及  $I_2$  の支持點で共に固定せられてある。f は螺旋彈條で計器の制御力を生ずるものである。C<sub>1</sub> 及 C<sub>2</sub> は蓄電器で接點  $k_1$  及  $k_2$  に生ずる火花を防止する用を爲す。此の計器の働作を説明すると、回路の開閉器を閉むる前には P は左端にあつて零を指示して居るが開閉器を閉むると、M<sub>1</sub> は F<sub>2</sub> に依り吸引せられ F<sub>1</sub> に依り拒斥せられ、又 M<sub>2</sub> は F<sub>3</sub> に依り吸引せられ F<sub>4</sub> に依り拒斥せられ、結局可動部分を反時計式に傾斜し Kk<sub>2</sub> の接觸を生ずる。故に S<sub>2</sub> は繼電器回路に入り I<sub>2</sub> を吸引してペンの尖端を右方に動かすのである。此場合に I<sub>2</sub> が S<sub>2</sub> から吸引せられると同時に f の制御力が次第に増して來るから、斯くして生じた f の制御力が丁度 M<sub>1</sub> 及 M<sub>2</sub> に働く廻轉力と相平衡し接觸片 K が k<sub>2</sub> を離れる迄は I<sub>2</sub> は S<sub>2</sub> から吸引せられてペンは右方に動くのである。K k<sub>2</sub> の接觸が無くなれば P は其の位置で止まる。若し電路の電圧が一定であれば M<sub>1</sub> M<sub>2</sub> の廻轉力は丁度 f の制御力に等しく従てペンの位置は移動しないが、若し電圧が増加すれば傾斜廻轉力は f の制御廻轉力より大きくなり又 K k<sub>2</sub> の接觸を生じて、I<sub>2</sub> は

更に S<sub>2</sub> に依り吸引せられ、P を更に右方に移動するのである。又若し電圧が減少すれば f の制御力は傾斜廻轉力より大きくなるから、可動部分は前と反對に時計式に傾斜し、K k<sub>1</sub> の接觸を生じて S<sub>1</sub> に電流が流れ I<sub>1</sub> を吸引しペン P を左方に移動せしめる。此場合に f の制御力は漸次減少するから、傾斜廻轉力と相平衡し K が k<sub>1</sub> を離るゝに至つて P は其の位置に止まるのである。斯様にして P は一定の速度を以て動きつゝある紙上に電壓の變化を表はす曲線を記録することゝなる。

記録電流計及電力計も殆んど同様の構造である。電流計の場合には全くケルヴィン・アムペア衡と同様で、電力計の場合には固定線輪を電流線輪とし、可動線輪を電壓線輪として、用ひるの差があるのみである。尙ウェスチングハウス會社の誘導型周波計及力率計を働作部分として用ひる、繼電器型記録周波計及記録力率計が作られる。

此の型の記録測定器の利とする所は記録用ペンを働かせしめるには計器の働作部分に無關係な繼電器に依るものであるから、ペンを動かすのに充分な力を與へることが出来る。従て紙面とペンとの間の摩擦に依る誤差を除きその感度を減ずることがない。又記録用ペンの紙上に畫く線は第 223 圖と同構造であるから直線となり、曲線は直角座標で表示せられると云ふ利益がある。

171. 摘要 本章で述べたことを摘記すると。

1. 記録計器は時々刻々變りつゝある電壓、電流、電力等の變化



を曲線に記録するもので、指示計器に加ふるに記録装置を附したものである。記録計器は記録装置の種類に依つて三種に分つことが出来る。

2. 第一種に属するものは指示計器の指針に直接記録用ペンを取り付けて、時計仕掛で動きつゝある紙に曲線を記録するものであつて、其の最も大なる欠點はペンと紙面との間に大なる摩擦があることである。

3. 第二種に属するものは指示計器の指針に記録用針を取付けて置き、常に紙と接觸せしめないうち、一定の時間毎に指針を押し下げ紙に點より成る曲線を記録するもの、又は指針と紙の下にある金屬片との間に火花を生ぜしめて之に依つて曲線を畫かしめるものである。

4. 第三種に属するものは指示計器の廻轉力に依つて、繼電器回路を作り、繼電器に依つて記録用ペンを働かせしめるものである。

## 第十二章 積算電氣計器 (integrating meters)

172. 積算電氣計器の種類 積算電氣計器には積算電量計 (quantity meter) 及積算電力計 (energy meter or integrating wattmeter) の二種類がある。前者は消費電流を使用時間の間積算するもので又クーロム計或はアムペア時計 (coulomb meter or amperehour meter) とも稱せられる。後者は消費電力を使用時間の間積算するもので又ワット時計 (watt-hour meter) とも稱せられる。

今  $I$  を電流,  $P$  を電力,  $t$  を時間とする時は積算電量計は  $\Sigma It$  を示し、積算電力計は  $\Sigma Pt$  を示すものである。而して通常積算電量計ではキロアムペア時を單位とし、積算電力計ではキロワット時を單位とするのである。

直流定壓回路 (constant potential circuit) では、消費電氣勢力を測定する爲に積算電量計を用ひることが出来る。何となれば直流電力は電壓と電流の相乗積であるから、電壓一定であれば或期間に消費せられたキロアムペア時に電壓を乗ずる時はキロワット時を算出し得るからである。然し乍ら交流の場合には電壓及電流の積は一般に電力に等しくなく力率は使用期間中一定であることが出来ないから交流回路では電氣の取引上積算電量計を用ひることがない。又交流の積算電量計を構成するには直流積算電量計の様に簡単に作ることが難かしいのである。積算電量計の利とす



る所は無負荷の場合には計器に少しも損失を有しないことであつて、積算電力計では負荷の有無に關せず其の電壓線輪は回路に接続せられるから需用家で少しも電力を消費しない場合にも尙發電所から積算電力計の電壓線輪内に生ずる損失に相當する電力を供給しなければならぬのである。

積算電力計の場合には電壓線輪は必ず電源に近く接続するのである。従て電壓線輪内の損失は電力供給者側で持つことになるので、若し之を負荷に近く接続すれば需用家は電力を消費しないのに積算電力計は計器内の損失に相當するワット時を示し其の料金をも支拂はねばならぬと云ふ不合理を生ずるからである。

積算電氣計器を其の構造の原理から次の様に大別することが出来る。

#### (1) 直流積算電氣計器

##### (甲) 積算電量計

- (イ) 電氣分解型計器 (electrolytic type)
- (ロ) 電動機型計器 (motor type)
- (ハ) 水銀電動機型計器 (mercury motor type)

##### (乙) 積算電力計

- (イ) 電動機型計器 (motor type)
- (ロ) 水銀電動機型計器 (mercury motor type)
- (ハ) 振子型計器 (pendulum type or clock meter)
- (ニ) 振動型計器 (oscillating type)

#### (2) 交流積算電氣計器(積算電力計)

- (イ) 電動機型計器 (motor type)
- (ロ) 振子型計器 (pendulum type)
- (ハ) 誘導型計器 (induction type)

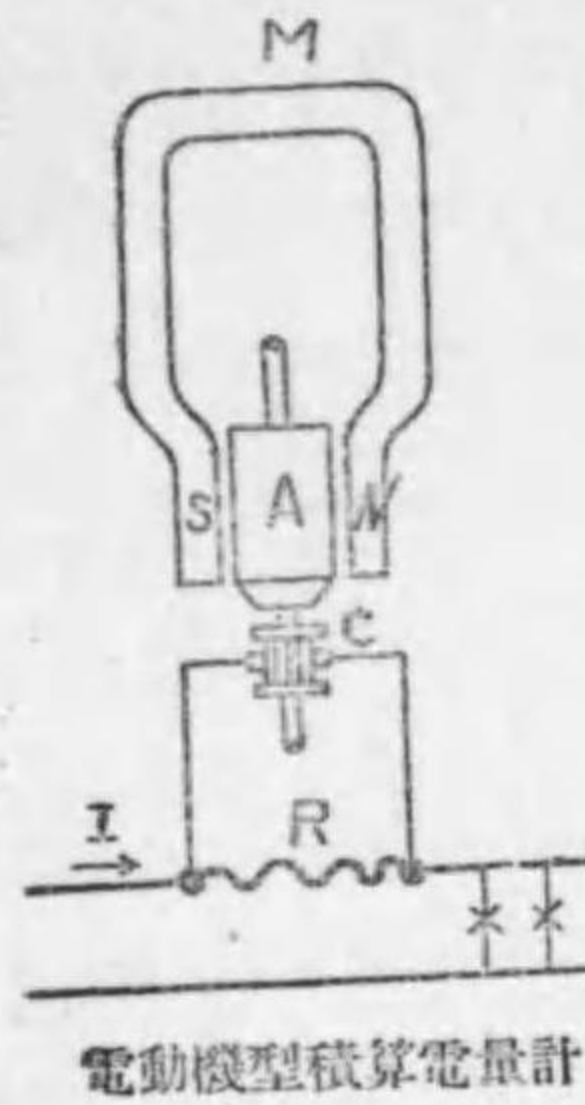
### 第一 積算電量計

**173. 電氣分解型積算電量計** 之は現今用ひられる他の積算電氣計器が発達する以前に用ひられたもので、此の型を代表すべきエヂソン電氣分解型計器は一の亜鉛分離器に過ぎない。即ち陽極及陰極に亜鉛板を用ひ電解液に硫酸亜鉛の溶液を用ひるものである。之に負荷電流又は分流器を用ひて負荷電流の一部を通過せしめると電氣分解作用に依つて、陽極は次第に其の重量を減ずるから、或期間の後に陽極板の重量の減少を測定し亜鉛の電氣化學當量を1アムペア時に付1.213グラムとしてアムペア時を計算するのである。

**174. 電動機型積算電量計** 第228圖は電動機型積算電量計を示す。Aは無鐵電動子、Cは整流子、Rは分流器である。又Mは耐久磁石で電動機の界磁を形成して居る。圖の接続でAには負荷電流に比例する電流が流れ此の電流と界磁との作用に依つて電動子は廻轉するのである。此の型の計器では電動子の廻轉を制動 (brake) するものは單に軸受及キロアムペア時指示装置の齒車装置に於ける摩擦のみであるから、電動子に流れる電



第 228 圖



流は極めて小さく従て電動子内の電壓降下は之を無視することが出来る。夫故に電動子端に加へられる電圧は殆んど電動子内逆起電力に等しい。而して電動子逆起電力は耐久磁石の一定磁界に於ては單に速度に比例するものであるから、電動子の廻轉速度は供給電壓 IR 或は負荷電流 I に比例し、或時間の中に廻轉した電動子の廻轉數はアムペア時に比例するのである。

**175. 計量装置** 前節に於て電動機型積算電量計の電動子軸の廻轉速度は負荷電流に比例することを説いた。又之から次第に述べる様に一般に積算電氣計器に於ては、電氣分解型の計器を除くの外總て電動子軸又は圓板軸の廻轉速度は、積算電量計では負荷電流 I に、又積算電力計では負荷電力 P に比例する様に造られるものである。今任意の瞬時に於ける計器の廻轉速度を毎秒 n 廻轉とし、之が t 秒間一定であるとすれば、或時間の中の計器の廻轉數は  $\sum nt$  に等しい。故に或時間の中の全廻轉數を N とすれば

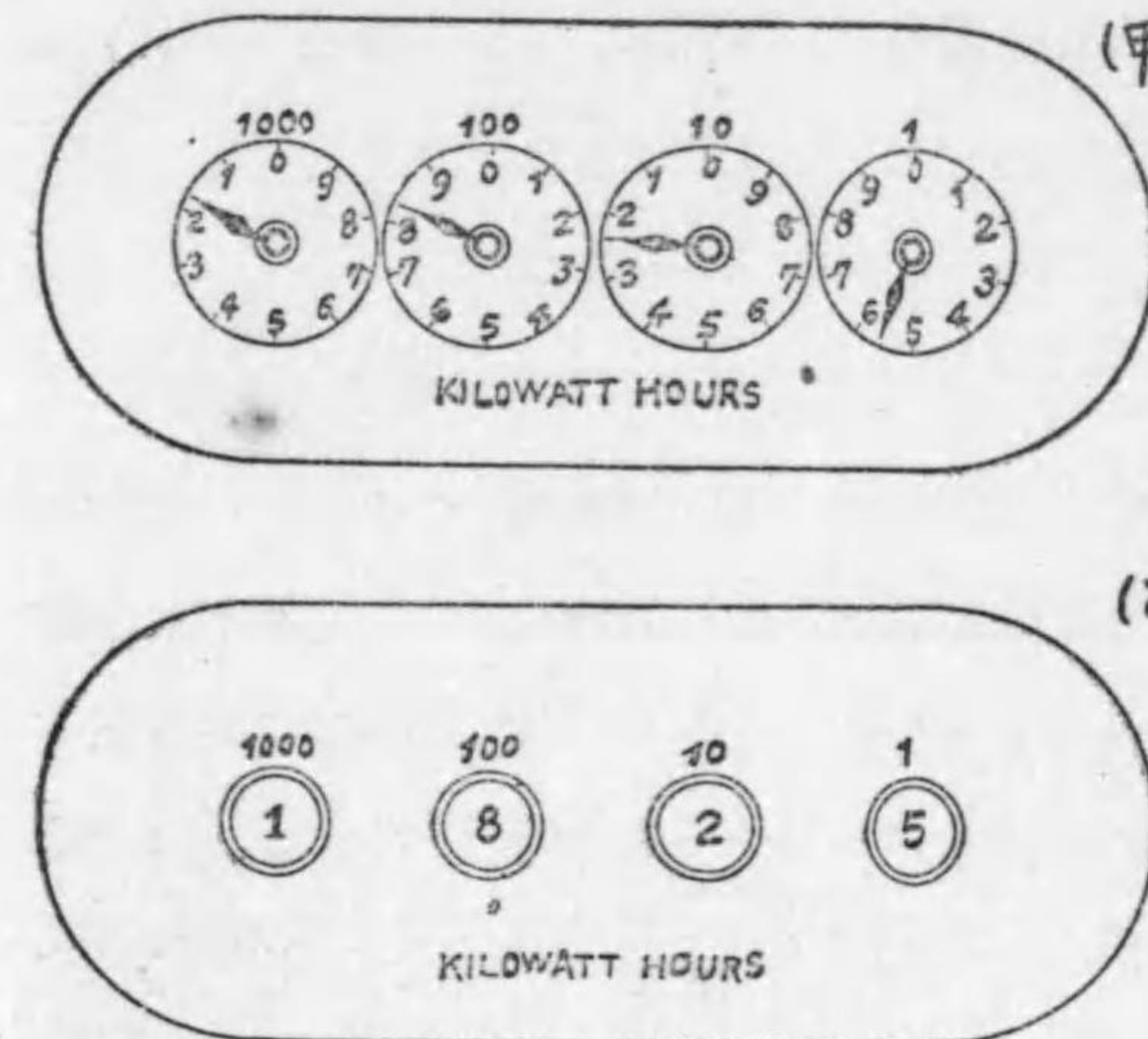
$$N = \sum nt = K \sum It \quad (\text{積算電量計の場合})$$

$$\text{又は} \quad N = \sum nt = K \sum Pt \quad (\text{積算電力計の場合})$$

即ち計器の或時間の中の廻轉數 N は消費キロアムペア時、又はキロワット時に比例する譯である。故に或時間の中に消費せられ

た電量又は電氣勢力を測定するには、其の間に廻轉した計器の全廻轉數を知れば宜しい。此爲に電動子軸又は圓板軸に螺絲(worm)を設け之に依り齒車を廻轉し、更に此齒車の廻轉を齒車装置に傳へて指針を動かす時は指針は軸の廻轉數を示す譯である。然るに

第 229 圖



軸の廻轉數とキロアムペア時又はキロワット時とは一定の比を有して居るから、若し軸に設けた螺絲のピッチ (pitch) と之に接する齒車の齒の數を適當に選定すれば指針をして直にキロ

計量装置

アムペア時數、又はキロワット時數を指示せしめることが出来る。實際の計器では指針が直にキロアムペア時數又はキロワット時數を示す様に造られて居る。又アムペア時計でも屢々回路の電壓を假定し、之を乗じたキロワット時數を示す様になつて居るものがある。第 229 圖甲及乙は指針型及サイクロメータ型計量装置の指示盤を示すもので、乙圖のサイクロメータ型では指針の代



りに齒車軸に數字盤を附したものである。

本節に於て序てに計器の読み方を述べると、第 229 圖の指示キ  
ロワット時数は 1825.6 キロワット時である。之は計器の各指針が  
總て 0 を指して居た時から積算せられた總電力量を示すもので  
あつて、之がその月の消費電力量ではない。若し此の読みを其月  
の末の読みとし、前月末の讀を 1792.3 キロワット時とすれば、そ  
の月の使用電力量は

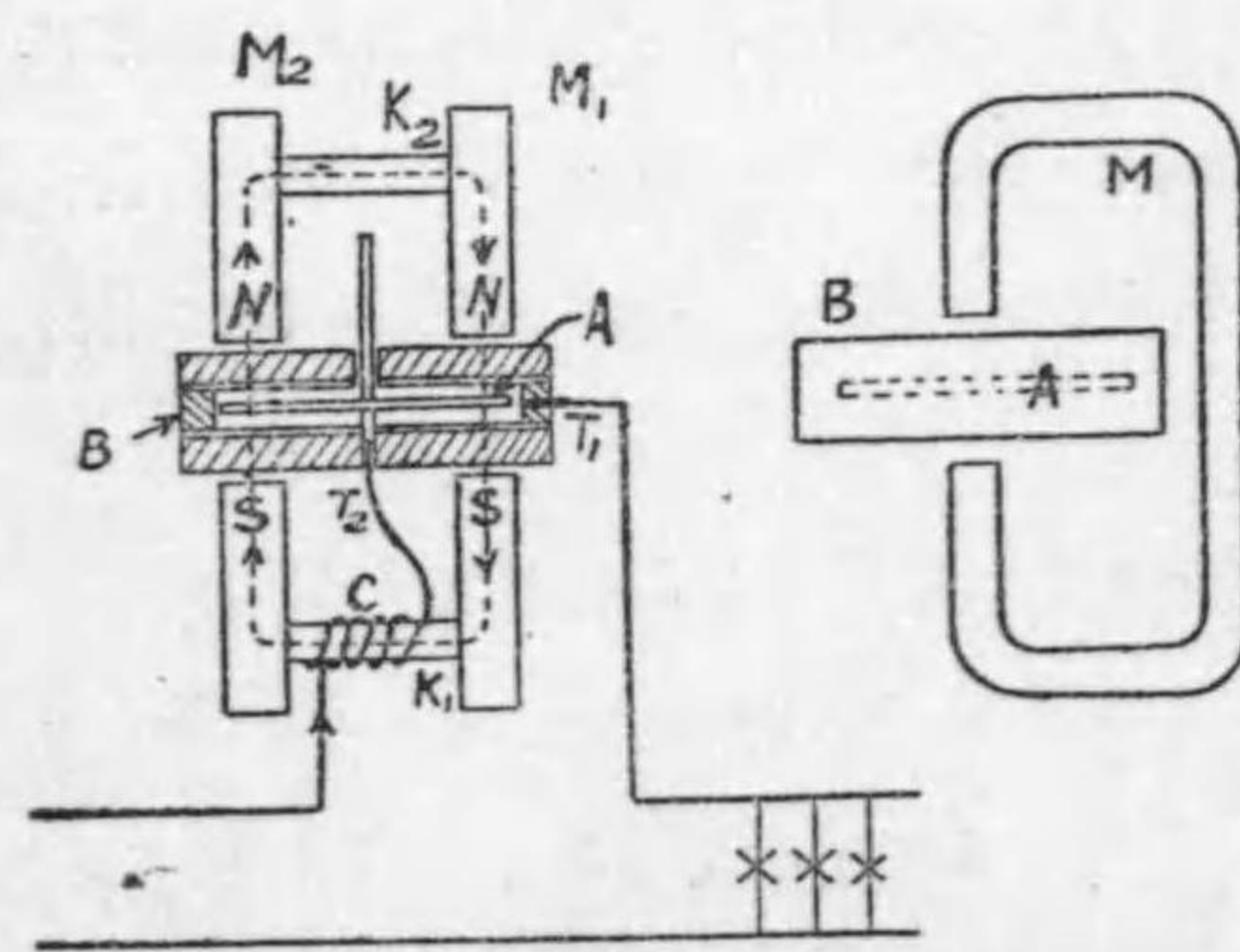
$$1825.6 - 1792.3 = 33.3 \text{ キロワット時}$$

若し 1 キロワット時の料金を 18 錢とすれば

$$\text{電力料} = 33.3 \times 18 = 5,994 \text{ 錢}$$

176. 水銀電動機型積算電量計

第 230 圖



フェランチ水銀電動機型積算電量計  
アムペア時計で確  
度の高いのは此水銀電  
動機型である。第 230  
圖はフェランチ (Fer-  
ranti) 水銀電動機型の  
原理を示すものであ  
る。A は銅製圓板で水  
銀槽 B 内にある。A は  
其の周邊と下面の軸の  
周りを白金鍍してある  
外悉く絶縁塗料を塗つてある。斯様にして圓板を通る電流の通路  
を制限すると同時に銅板が水銀に依て汞化 (amalgamate) せられ

アムペア時計で確  
度の高いのは此水銀電  
動機型である。第 230  
圖はフェランチ (Fer-  
ranti) 水銀電動機型の  
原理を示すものであ  
る。A は銅製圓板で水  
銀槽 B 内にある。A は  
其の周邊と下面の軸の  
周りを白金鍍してある

るのを防ぐのである。水銀槽 B はニッケル鍍圓形眞鍮板及ファイ  
バー環 (fibre ring) から成り眞鍮板内面には絶縁紙を貼付してあ  
る。T<sub>1</sub> 及 T<sub>2</sub> は水銀槽端子である。M<sub>1</sub> 及 M<sub>2</sub> は耐久磁石で M<sub>1</sub>  
は廻轉力を生ずるのに必要な磁界を作り、又 M<sub>1</sub> と M<sub>2</sub> とは共に  
圓板の廻轉を制動する用を爲すものである。電流は T<sub>2</sub> から入り  
水銀を経て圓板の中心下面から圓板に入り圓板の周邊に向ひ更に  
水銀を経て T<sub>1</sub> に出るので、此の圓板に流れる電流と M<sub>1</sub> の磁界と  
の作用に依つて廻轉力を生じ圓板を廻轉する。M<sub>1</sub> の磁界は一定  
であるから廻轉力は電流の強さに比例する。然るに圓板が廻轉す  
ると M<sub>1</sub> 及 M<sub>2</sub> の磁束を圓板が切る爲に圓板に渦流を生じ此の渦  
流と磁界とに依つて生ずる逆廻轉力に依つて圓板の廻轉を制動す  
る。此の制動力は渦流と磁界との相乗積に比例し、渦流は圓板の  
速度及磁束に比例するから、耐久磁石の生ずる一定磁界に於ては  
制動力は單に圓板の廻轉速度に比例するのみである。若し計器の  
摩擦を閑却すれば此の制動力と廻轉力とが相平衡する速度で圓板  
は廻轉するのである。

n = 圓板の廻轉速度

I = 電流

$$\text{廻轉力} = k_1 I$$

$$\text{制動力} = k_2 n$$

$$\therefore k_1 I = k_2 n$$

$$\therefore n = \frac{k_1}{k_2} I = KI \quad \text{但 } K = \frac{k_1}{k_2} = \text{常數}$$

軸承の摩擦及水銀と圓板間の液體摩擦 (fluid friction) は其の



圓板の廻轉速度を減じ、計器の計量に誤差を生ずる原因と爲るものである。而して軸承の摩擦は殆んど圓板の速度に無關係で略々一定であるが、水銀の液體摩擦は圓板の速度の約自乗に比例して増加するものである。故に大なる電流が流れて圓板の速度が速くなる程圓板の速度は多く減少する。Cは水銀の摩擦に依る誤差を少なくする爲に装置せられる補償線輪で、之に負荷電流を通じ、かくして電流に比例して  $M_1$  の磁界の強さを増し、略々電流の自乗に比例する餘分の廻轉力を増加し、水銀の摩擦を補償するのである。  $K_1$  及  $K_2$  は  $M_1$  及  $M_2$  と前面に於て接續せられる軟鐵片で  $M_1$  及  $M_2$  と相俟て C の磁路を形成するのである。而して C に依つて生ずる磁界は  $M_1$  及  $M_2$  の空隙に於て相等しいが其の方向は反對であるから、C の磁界に依つては制動力に變更を及ぼさない。

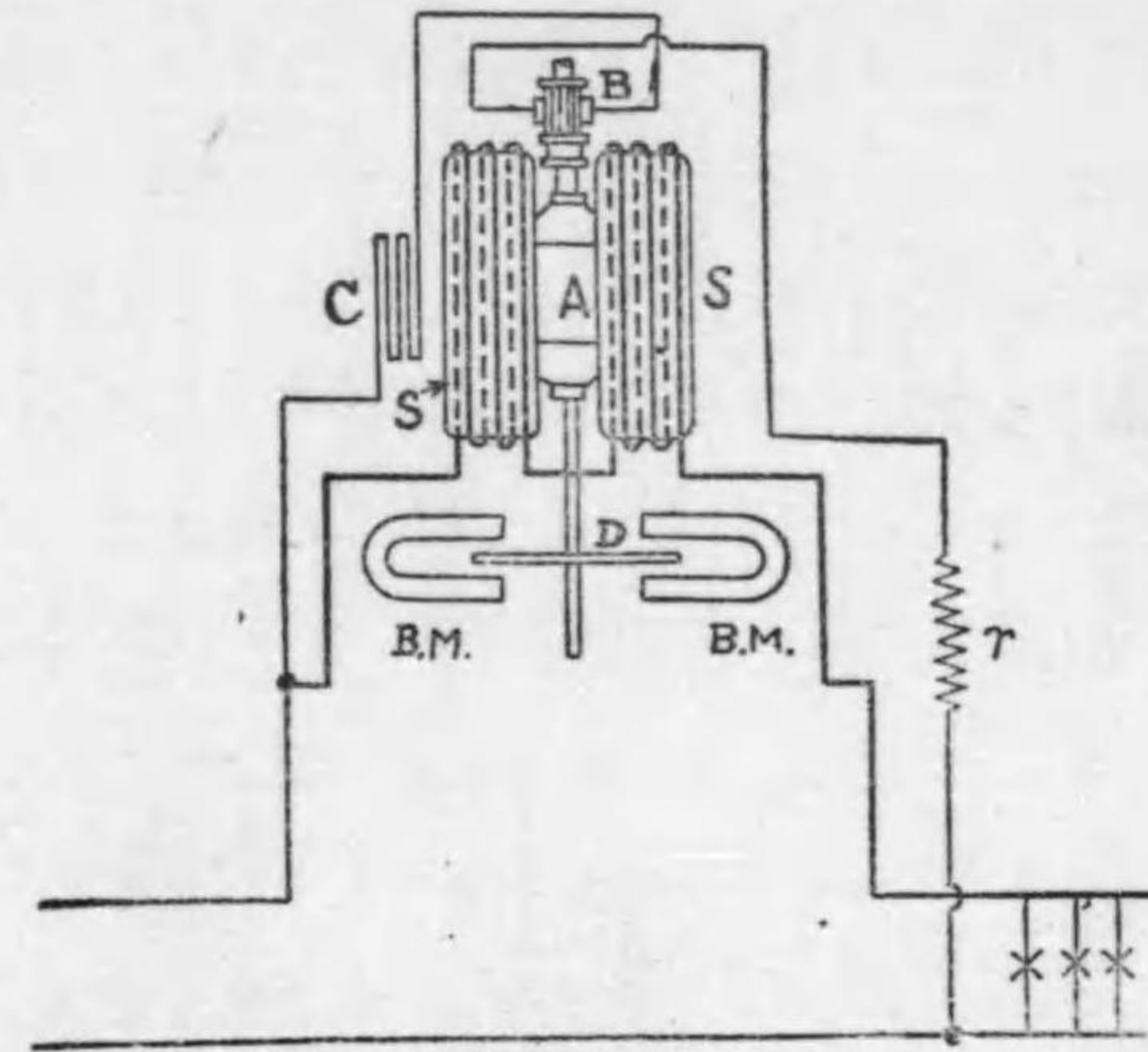
水銀電動機型の利とする點は普通の電動機型計器の弱點なる整流子及刷子を要しない點と、水銀の浮力に依つて軸承の摩擦を極めて少くし之を閉却し得る點にある。

## 第二 直流積算電力計

177. 電動機型積算電力計 第 231 圖はゼネラル電氣會社のトムソン (Thomson) 電動機型積算電力計を示す。A は電壓線輪で電動機の電動子を形成し、B は整流子及刷子、r は直列抵抗器である。S は電流線輪で電動機の界磁を形成する。但し S 及 A は鐵を含まない。夫故に電壓線輪には回路の電壓に比例す

る電流が流れ、此の電流と S の負荷電流に依つて生ずる磁界との相互作用に依つて電動子 A は廻轉するのである。電動子の廻轉は普通 1 分間 40 廻轉乃至 80 廻轉であつて、又電流線輪に依る

第 231 圖



トムソン電動機型積算電力計

磁界は弱いから電動子の逆起電力は極めて小さく實用上之を無視することが出来る。故に電動子 A を廻轉すべき廻轉力は電壓及電流兩線輪に流れる電流の相乗積に比例する。從て此の廻轉力は電壓及電流の相乗積なる電力に比例するのである。D は電動子軸に取付けられるアルミニウム圓板、B.M. は圓板 D を挟む耐久磁石で圓板に渦流を誘起し此の渦流と耐久磁石との間の相互作用で圓板の廻轉に反對する逆廻轉力を生じ以て圓板の廻轉を制動するのである。此の様な目的に用ひられる耐久磁石を特に制動磁石 (brake magnet) と稱するのである。

回路の負荷が一定であれば電動子に働く廻轉力と廻轉に反對する逆廻轉力と相平衡する速度に於て圓板は廻轉するのである。反



對の廻轉力として働らくものは前記制動磁石に依る制動逆廻轉力と軸承及計量装置等に於ける摩擦とである。制動逆廻轉力は既に述べた様に圓板の廻轉速度に比例するものである。又軸承等に於ける摩擦は殆んど圓板の速度に關係がなく一定である。今

$E$  = 電壓

$I$  = 負荷電流

$n$  = 圓板の廻轉速度

$f$  = 軸承及計量装置に於ける摩擦の逆廻轉力

$$k_1 EI = k_2 n + k_3 f \quad \text{但 } k_2 n = \text{制動逆廻轉力}$$

$$\therefore n = \frac{k_1}{k_2} EI - \frac{k_3}{k_2} f$$

$f$  を無視すれば

$$n = \frac{k_1}{k_2} EI = KEI \quad \text{但 } K = \frac{k_1}{k_2} = \text{常數}$$

即ち摩擦の影響を無視すると圓板の速度は電力に比例するのである。従て或時間の間の廻轉數は其間の消費キロワット時に比例する譯である。軸承及計量装置に於ける摩擦は既に述べた通り圓板の速度に殆んど關係なく一定と見做すことが出来る。而して一般に計器は可動部分の重量を出来る丈減少し軸承には寶石軸承を用ひてあるから、負荷大なる時には摩擦は制動磁石の作用に比して極めて小さく摩擦の影響は無視しても宜しい。然し乍ら負荷が小となり圓板の速度が減少すると、制動磁石に依る制動力は減少して摩擦の影響が割合に大きくなり従て輕負荷に於ては圓板の廻

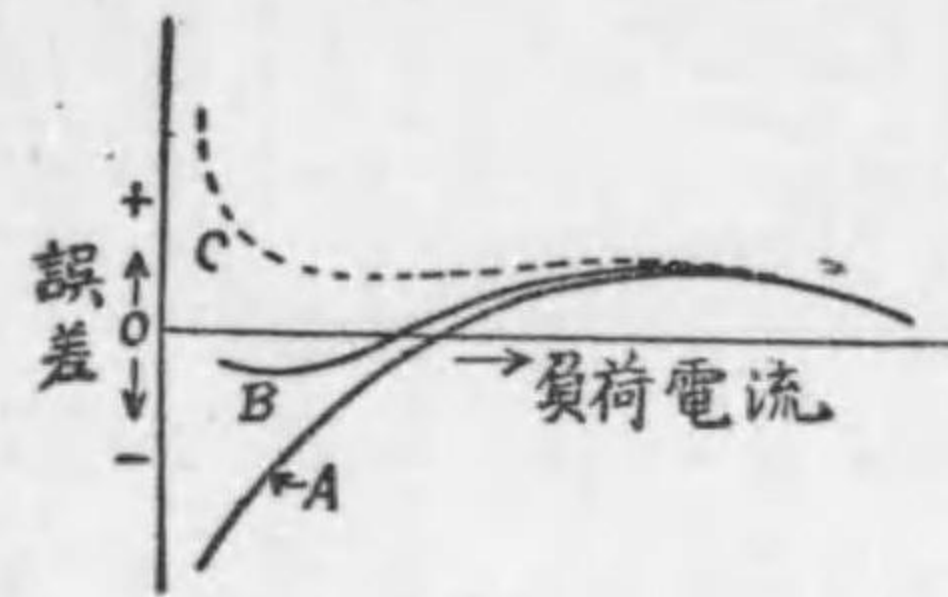
轉は負荷電力に比例する速度よりも減少し、負荷が小なる程此の影響は大きく殊に計器の規定容量の十分の一以下の負荷に於て甚だしくなる。此の摩擦の影響を減少する爲に電壓線輪と直列に  $C$  なる固定線輪を装置し、電流線輪に依つて生ずる磁界の外に電動子の存在する處に磁界を生じ負荷電流と電動子との間に働く廻轉力の外に、 $C$  なる線輪の生ずる磁界と電動子電流に依つて丁度摩擦に打勝つ丈の廻轉力を與へる様にするのである。 $C$  なる線輪は輕負荷調整装置 (light load compensation) 又は摩擦補償線輪 (friction compensating coil) と稱せられる。若し輕負荷調整装置を適當に調整すれば圓板の廻轉速度は略々電力に比例するに至るのである。

上記の説明に於ては電動子内の逆起電力を閉却したが實際に於ては之を無視し得ない。逆起電力は圓板の廻轉速度と負荷電流に依る磁界との相乗積に比例する。而して圓板の廻轉速度は略々負荷に比例するから一定電壓に於ては計器の逆起電力は略々負荷電流の自乗に比例する。故に重負荷となる程電壓一定であつても電動子電流は減少し従て計器の廻轉力を減じその速度も減少する譯である。又一方に於て輕負荷に於ては摩擦の影響が段々大きくなり圓板の速度を減少するから、輕負荷調整装置を装置しない計器の負荷特性曲線は第 232 圖 A の如くなるべき筈である。即全負荷に於て誤差がない様に調整すると輕負荷に於ては誤差は (-) となり負荷が増加すると誤差は (+) となるのである。若し輕負荷調



整装置を適當に調整すると曲線 B の様に輕負荷に於ける速度を

第 232 圖



直流電動機型計器の負荷特性

増加することが出来る。但し輕負荷調整作用が餘りに過ぎると曲線 C の様な特性となり計器は無負荷に於ても廻轉することがある。此の現象をクリーピング (creeping) と稱する。クリーピングの防止装置として圓板に

小鐵片を附し之と制動磁石との作用に依つてクリーピングを生ぜしめない様にするものがある。

實際に於ては圓板の速度を出來る丈電力に比例せしめる爲に輕負荷調整装置たる線輪 C の位置を電動子に對して變へ、其の有効磁束を増減することが出来る様にしてある。又重負荷に於ける圓板の速度を調整する爲に制動磁石の圓板に對する位置を加減して其の制動力を調整することが出来る様にしてある。

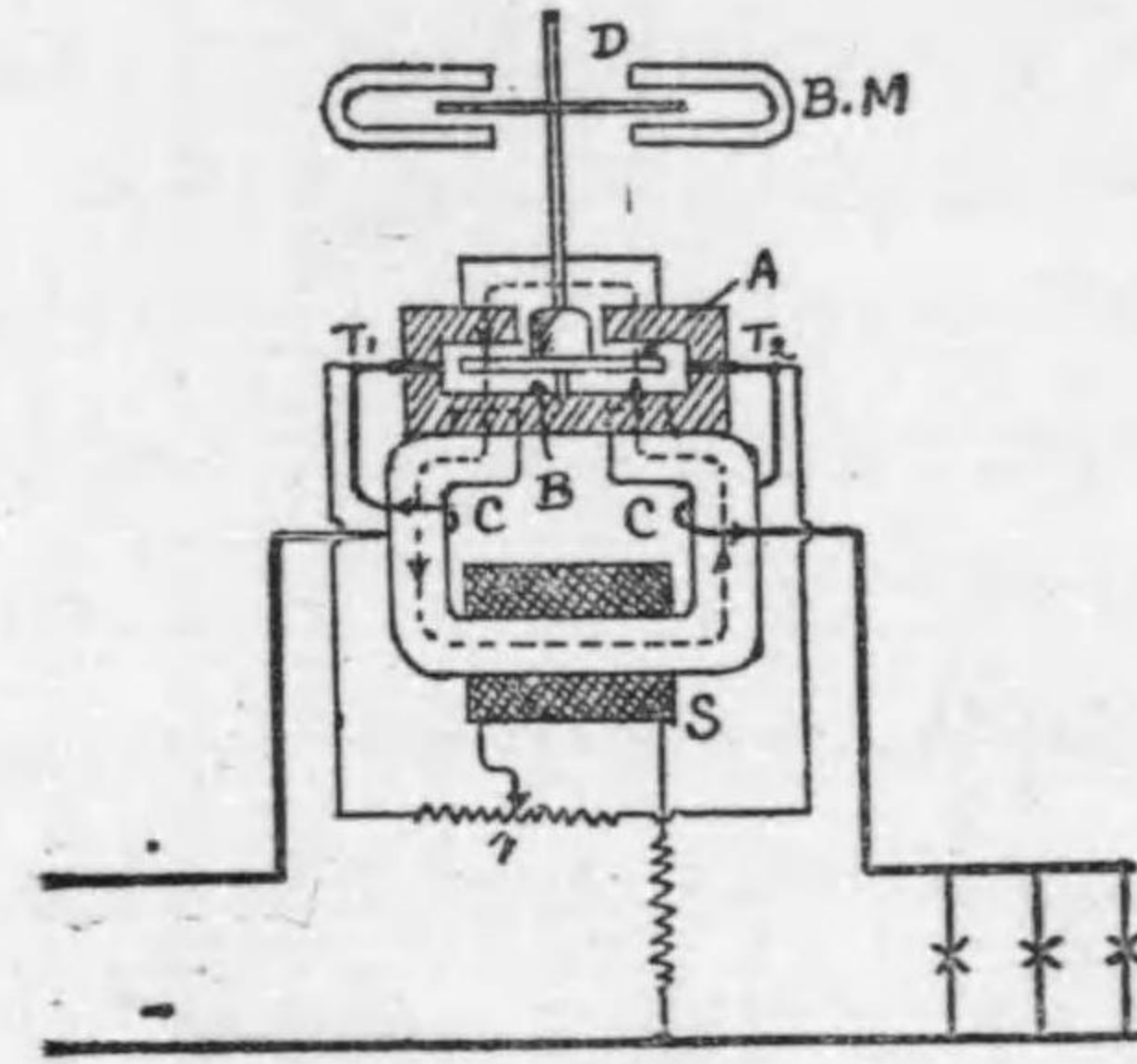
此の型の計器は一種のダイナモメーター型計器であるから、地球磁界の影響を受け電流の方向を變へると其の計量に差を生じ、又計器取附位置の方向に依つて計量に多少の差を生ずるを免れない。又其の整流子及刷子は此の型の計器の弱點であつて屢々故障の原因となることがある。

178. 水銀電動機型積算電力計 第 233 圖はサンガ

モ (Sangamo) 水銀電動機型積算電力計を示す。A は銅製圓板で

水銀槽 B 内にある。又  $T_1$  及  $T_2$  は其の端子である。電流は  $T_1$  から水銀を経て圓板に入り中心に向ひ、更に中心から反對の周邊に出て水銀を経て  $T_2$  に至るのである。S は電壓線輪で成層鐵心の上に捲かれ之に依つて前記鐵心と水銀槽の上部にある成層鐵の圓板から成る繼鐵とて圖に於て點線で示す様な磁界を生ずるので

第 233 圖



サンガモ水銀電動機型計器

ある。S に流れる電流は電壓に比例するから、S に依つて圓板の位置に生ずる磁界は電壓に比例する。夫故に A に働く廻轉力は電力に比例するのである。D はアルミニウム圓板で制動磁石 B.M と共に制動作用を爲し、かくして圓板の速度を電力に比例せしめるのである。

水銀の摩擦に依つて重負荷に於て圓板の速度が減少するのを防ぐ爲に、CC なる補償線輪を装置して、之に負荷電流を通じ水銀の摩擦を補償する丈重負荷に於ける廻轉力を増加せしめる。又輕負荷に於ける軸承等の摩擦の影響を減少する爲には、r なる抵抗を  $T_1$  及  $T_2$  間に並列に接續して電壓線輪 S の一端を r に接觸する接觸子に接續する。此の装置に依り電壓線輪 S に流れる電流の一部

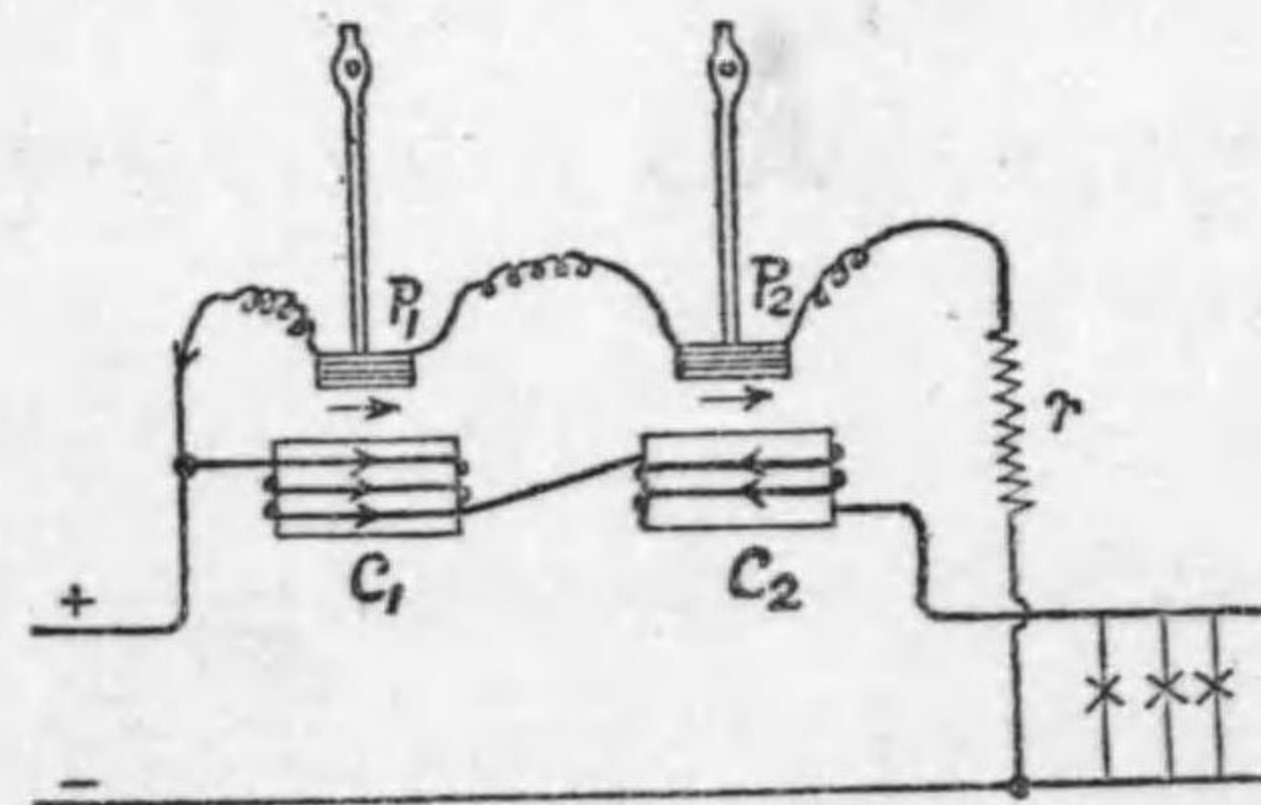


分を圓板 A に通じて、摩擦に打ち勝つ丈の餘分の廻轉力を與へるのである。電壓線輪に流れる電流は r の接觸子の位置に關係なく一定と見做し得るから、接觸子を左方に動かす程圓板に流れる補償電流は減少し、又之を右方に動かす程補償電流は増加するのである。又サンガメ計器に用ひられる他の輕負荷調整装置は、熱電對 (thermo-couple) を用ひる方法であつて、電壓線輪と直列に熱電對の加熱線輪を接続し、熱電對に生ずる熱起電力に依つて圓板 A に適當の補償電流を通すのである。

此の計器の利とする所は整流子及刷子を有しないこと、摩擦の影響が少ないこと、及電壓線輪は鐵心を有するから大なる廻轉力を得ると云ふ點にある。

179 振子型積算電力計 第 234 圖はアロン振子型計器 (Aron clock meter)

第 234 圖

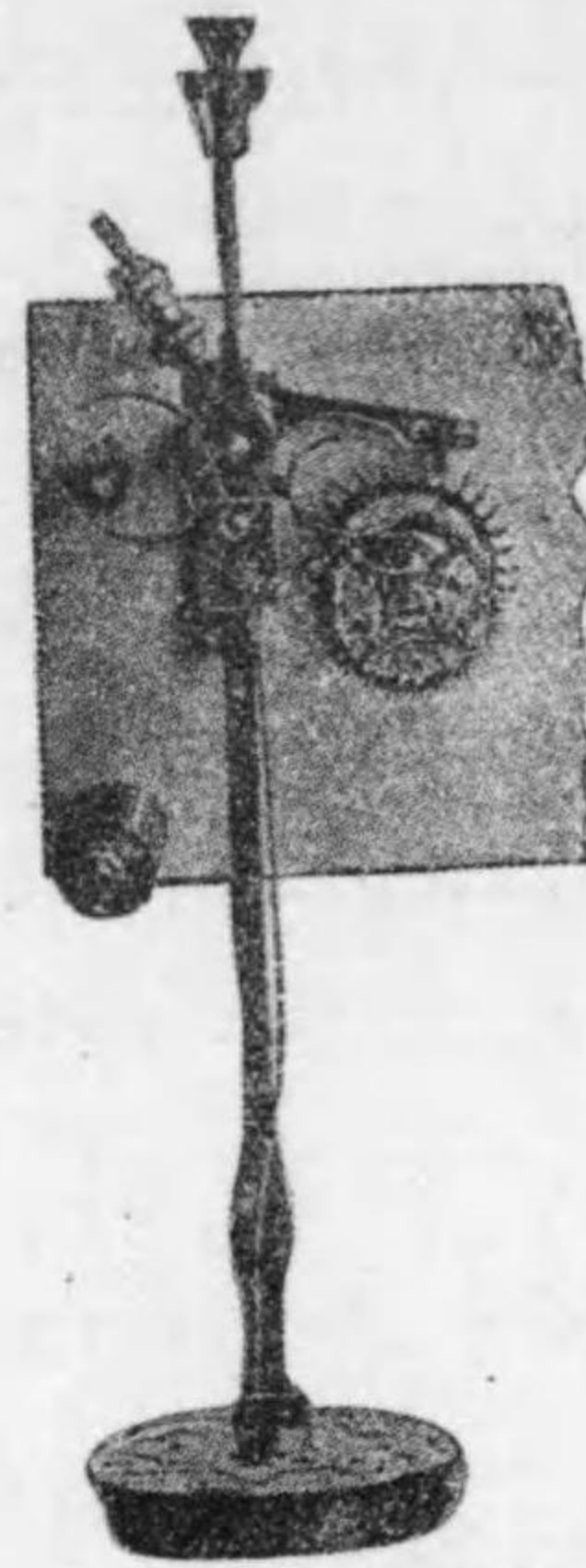


アロン振子型計器

を示すものである。P<sub>1</sub> 及 P<sub>2</sub> は電壓線輪で振子 (pendulum) を形成し、C<sub>1</sub> 及 C<sub>2</sub> は固定電流線輪である。又 r は電壓線輪に直列に接続せられる直列抵抗である。電壓線輪及電流線輪に流れる電流は圖に示す様に P<sub>1</sub> 及 C<sub>1</sub> は同方向で、P<sub>2</sub> 及 C<sub>2</sub> は反對の方向である。故に P<sub>1</sub> 及 C<sub>1</sub> 間には吸引力

が働き、P<sub>2</sub> 及 C<sub>2</sub> 間には拒斥力が働くのである。第 235 圖は電

第 235 圖



アロン計器電壓線輪

壓線輪の構造を示すもので恰も時計の振子の様になつて居り上部にエスケープメント (escapement) を備へて居る。

若し C<sub>1</sub> 及 C<sub>2</sub> に電流が通らない時、即無負荷の時は P<sub>1</sub> 及 P<sub>2</sub> は何れも單に地球の引力に依つて時計の振子と同様に同一速度を以て左右に振動するのみであるが、若し C<sub>1</sub> 及 C<sub>2</sub> に電流が流れると、P<sub>1</sub> は C<sub>1</sub> から吸引せられるから、地球の引力に依つて振動するよりも速い速度で振動し、P<sub>2</sub> は C<sub>2</sub> から拒斥せられるから地球の引力に依つて振動するよりも遅い速度で振動する。

n<sub>0</sub> = P<sub>1</sub> 及 P<sub>2</sub> が地球の引力に依つてのみ振動する場合の

毎秒の振動數

n<sub>1</sub> = P<sub>1</sub> の毎秒の振動數

n<sub>2</sub> = P<sub>2</sub> の毎秒の振動數

P := 電力

$$n_1 = n_0(1 + kP)$$

$$n_2 = n_0(1 - kP)$$

$$n_1 - n_2 = 2kn_0P$$



$$=KP \quad * \text{ 但し } K=2kn_0$$

即ち振子  $P_1$  及  $P_2$  の毎秒の振動数の差は電力に比例する。従て或時間の間の振動数の差はキロワット時数に比例する譯である。故に此計器では二個の振子の振動数の差を所謂差働ギア (differential gear) に依つて計量装置に傳へる様に成つて居る。

第 236 圖は差働ギアを示すものである。  $W_1$  及  $W_2$  は夫々  $P_1$  及  $P_2$  の振子に依つて廻轉せられる齒車であつて反對の方向に廻轉する。但し何れも軸  $A$  とは固定せられて居ない。齒車  $W_3$  は  $W_1$  及  $W_2$  と噛み合ひ且  $A$  と機械的に連結せられて居る。若し  $W_1$  及  $W_2$  の速度が相等しければ  $W_1$  及  $W_2$  は反對の

\* 註:—  $g$ =地球の引力,  $M$ =振子の質量,  
 $h$ =振子の支點と重心間の距離,  $K_m$ =粘性率.

$$n_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Mgh}{K_m}}$$

電壓線輪と電流線輪間に働く吸引力又は拒斥力は兩線輪の電流の相乗積に比例するから、電力  $P$  に比例する譯である。故に

$$n_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Mgh+k_1P}{K_m}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Mgh}{K_m}} \sqrt{1+\frac{k_1P}{Mgh}}$$

$$= n_0(1+k_2P)^{\frac{1}{2}} \approx n_0\left(1+\frac{1}{2}k_2P\right) \quad \text{但 } k_2 = \frac{k_1}{Mgh}$$

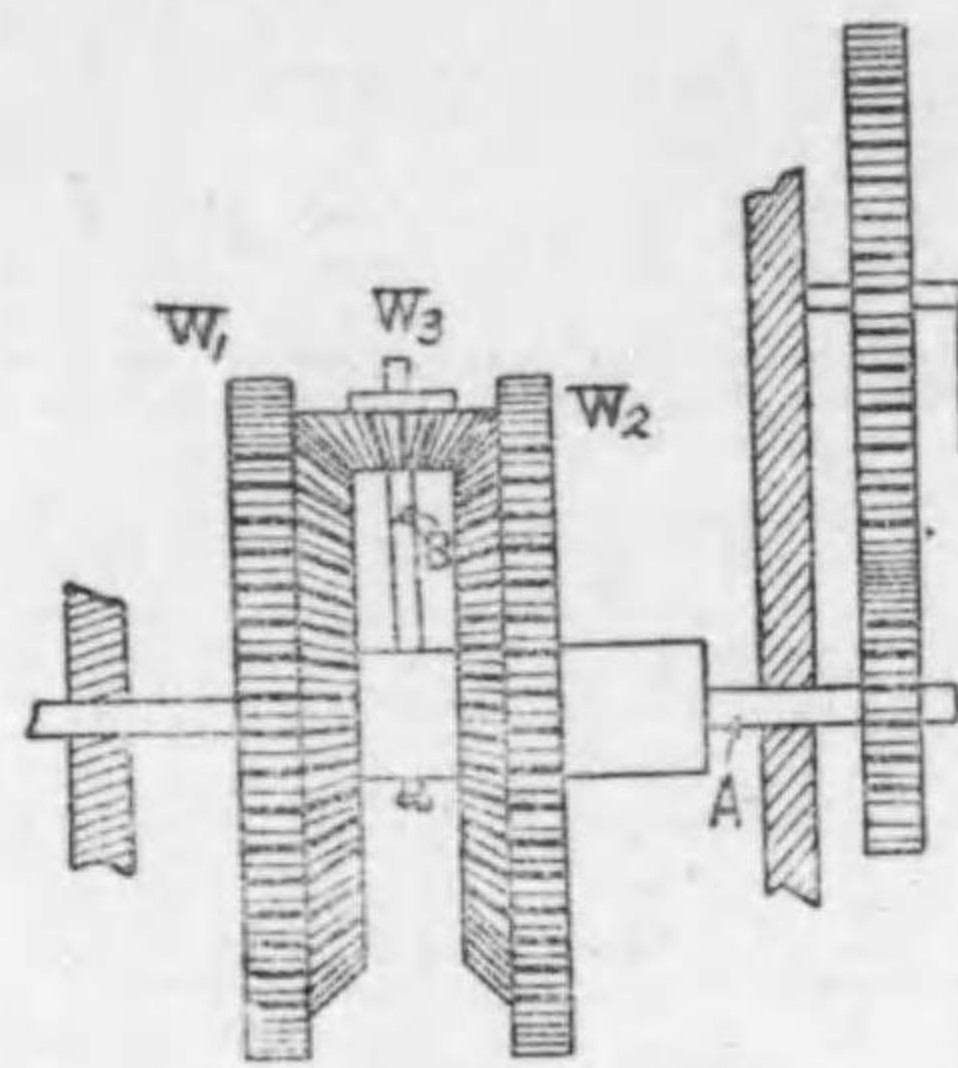
同様に  $n_2 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{Mgh-k_1P}{K_m}} \approx n_0\left(1-\frac{1}{2}k_2P\right)$

$$\therefore n_1 - n_2 = k_2 n_0 P = KP. \quad \text{但 } K = k_2 n_0$$

$k_1P$  は  $Mgh$  に比して小さいから、二項式定理を應用し  $k_2P$  の自乗以下の項は之を省略し得るのである。

方向に廻轉するものであるから、 $W_3$  は其の軸  $B$  の周りに廻轉す

第 236 圖



差働ギア

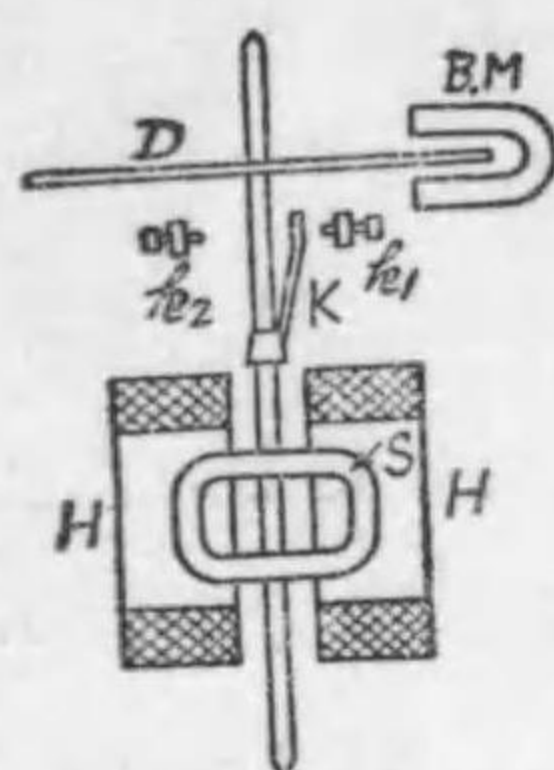
るのみて  $A$  軸は廻轉しない。若し計器に負荷がかゝり  $W_1$  が  $W_2$  より速く廻轉する時は  $W_3$  は  $W_1$  と  $W_2$  の速度の差に等しい速度を以て  $W_1$  の廻轉する方向に  $A$  軸の周りに廻轉し、斯くして  $A$  軸を廻轉せしめ、 $A$  軸の廻轉は普通の方法に依つて計量装置に傳へられるのである。

此型の計器は外部磁界の影響を受けない。其の理は電壓線輪  $P_1$  及  $P_2$  に流れる電流は同方向であるから、外部磁界は  $P_1$  及  $P_2$  に同様に作用して、 $P_1$  及  $P_2$  の振動速度を同一の割合に増減するが、此の計器は  $P_1$  及  $P_2$  の振動数の差に依つて電力量を示すものであるから、外部磁界の影響は計器の指示するキロワット時数には無關係である。然し乍ら其の構造上高價である。

180. 振動型積算電力計 第 237 圖はアルゲマイネ會社の振動型積算電力計を示すものである。  $H$  は固定電流線輪、 $S$  は振動電壓線輪、 $K$  は  $S$  の軸に取付けられる接觸子、 $k_1, k_2$  は  $K$  の接點である。  $S$  に流れる電流は後に述べる様に電流の方向が交互に變ずるから、 $H$  に依つて  $S$  に働く力の方向は交互に變り、従て其の軸の周りに左右に振動する。  $D$  はアルミニウム圓板、 $B, M$

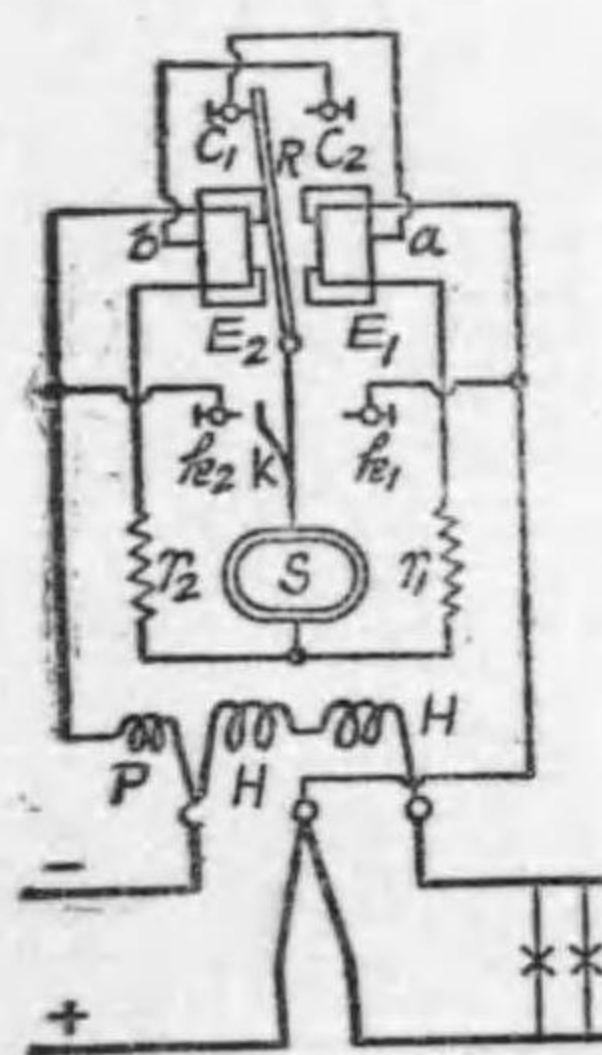


第 237 圖



振動型積算電力計

第 238 圖



振動型計器の接続

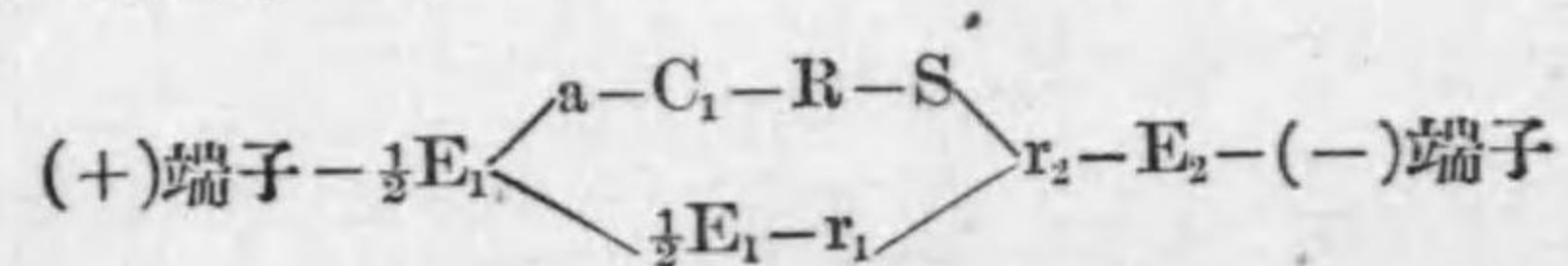
は制動磁石である。

第 238 圖は振動線輪 S が右方から左方に動きつゝある場合の接続であつて、接觸子 K が未だ  $k_2$  に接觸しない場合である。圖に於て  $E_1$  及  $E_2$  は繼電器で振動線輪 S が一回完全な振動をする時、接極子 R の先端に取付けられる爪に依つてラッチエツト・ホイール (ratchet wheel) の歯を一つ動かし、ラッチエツト・ホイールの廻轉は齒車装置に依り計量装置を動作せしめるのである。接極子 R は振動線輪 S に接続せられ、R の二つの接點  $C_1$  及  $C_2$  は夫々  $E_1$  及  $E_2$  の中央部 a 點及 b 點に接続せられる。

今 S の振動する作用を説明すると

(イ) S が右方から左方に動きつゝある場合。此の場合の回路の接続は圖の如くであつて、又 R は  $C_1$  に接

觸して居る。即ち 回路は次の如くである。



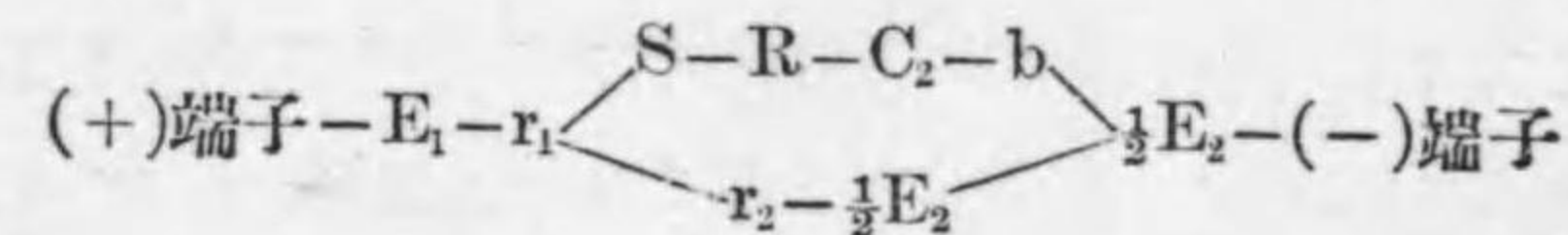
此の場合に S に流れる電流の方向は S を右から左に廻轉せ

しめる。又  $E_1$  の半分と S が並列に接続せられるから  $E_1$  の吸引力は  $E_2$  の吸引力より少く、従て R は  $E_2$  に吸引せられて  $C_1$  と接觸して居る。

(ロ) K が  $k_2$  と接觸する場合

此場合には  $E_2$  は  $K k_2$  の接觸に依つて殆んど短絡せられ其の吸引力が極めて小さくなるから、R は  $E_1$  に吸引せられ R は  $C_2$  に接觸する。又 K が  $k_2$  に接觸すると其の反動で  $k_2$  を離れる。

(ハ) K が  $k_2$  を離れるや否や回路は次の様になる。



即ち S に流れる電流の方向は反對となり、従て S は左から右に廻轉する。此の場合に  $E_1$  の吸引力は  $E_2$  の吸引力より大きいから R は  $C_2$  と接觸を保つて居る。

(ニ) K が  $k_1$  と接觸する場合 S が左方から右方に動いて遂に K が  $k_1$  と接觸すると、 $E_1$  は殆んど短絡せられ従て R は  $E_2$  に吸引せられ、R は  $C_2$  に接觸する。K が  $k_1$  を離れるや否や、S に流れる電流の方向は反對となり S は右方から左方に移動するのである。

斯くの如くにして S は左右に振動する。而して S に働く廻轉力は S 及 H に流れる電流の相乗積に比例するから、S の振動速度は電力に比例する。S の一振動に對し R は又  $C_1$  及  $C_2$  の間



を往復し、此の間にラッチエット・ホイールの一歯を動かすのである。第 238 圖中の P は電圧回路に接続せられる軽負荷調整線輪である。

此の型の計器の利とする所は整流子及刷子を要しないこと、及常に齒車装置を動かすことがないから摩擦が割合に少ない點である。然し乍ら其の構造は複雑で且高價である。

### 第三 交流積算電力計

#### 181. 電動機型及振子型交流積算電力計 第 177

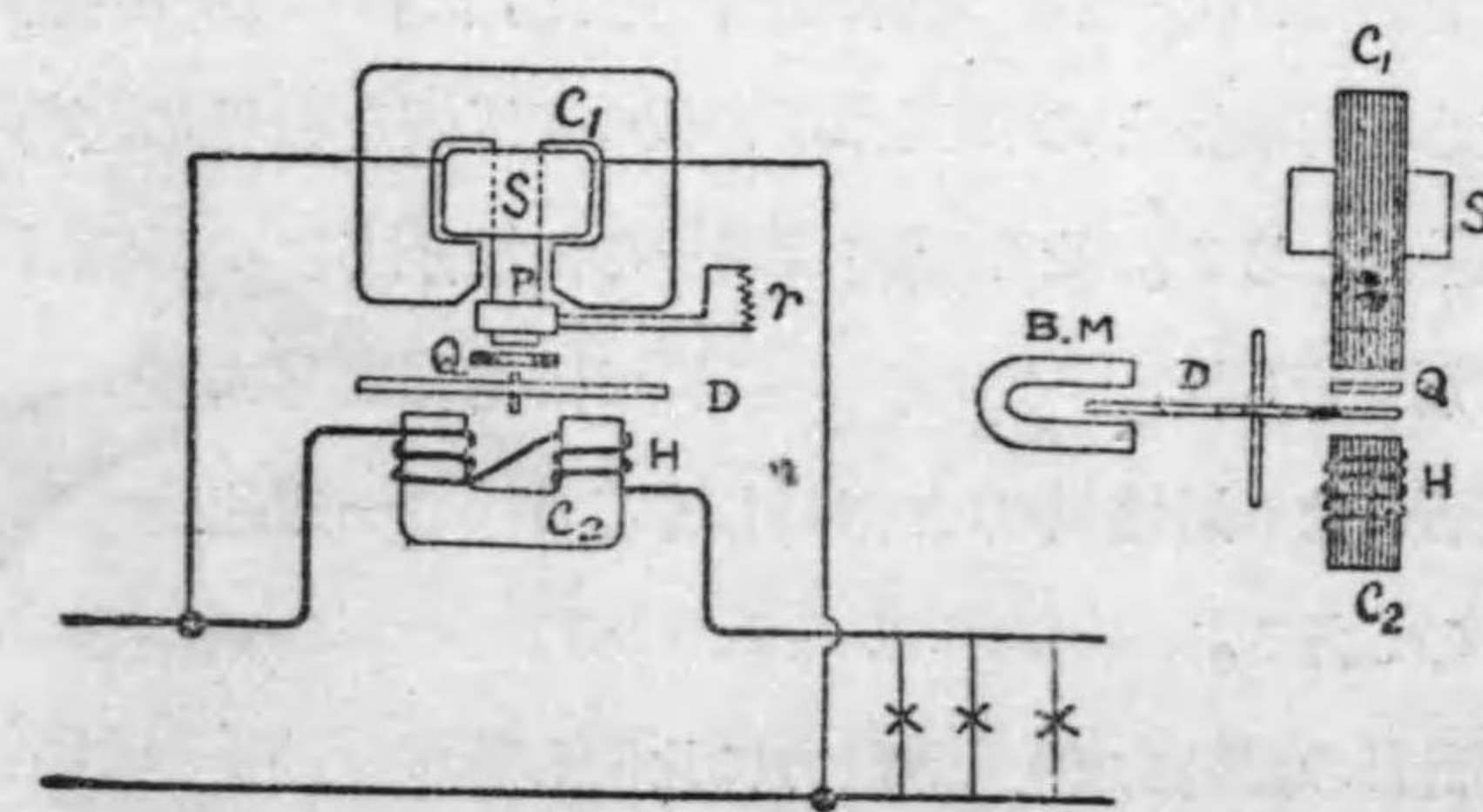
節及第 179 節に於て述べた電動機型及振子型計器は、何れも電流力作用を應用したものであるから、之を交流回路に用ひることが出来る。然し乍ら電圧線輪のインダクタンスに依つて多少の誤差を生ずるを免れない。尤も内部に鐵を用ひて居ないから通常インダクタンスの影響は割合に小さいのである。夫故に規定周波数の下に交流用として調整せられたものは交流回路に用ひても差支がない。又第 178 節に述べた水銀電動機型計器も交流用のものがある。但し交流用水銀電動機型では第 178 節に述べた構造では電圧線輪のインダクタンスが非常に大きくなるから、電圧回路と電流回路を入れ換へ、電磁石は回路の負荷電流に依つて勵磁し、又別に回路の電壓を與へる變壓器を備へて、變壓器の二次線から圓板に水銀を経て電壓に比例する電流を通す様になつて居る。

上記の様な交流計器は其の構造上割合に高價であるから、現今では交流計器としては次節に述べる誘導型計器を用ひるのである。誘導型計器は其の構造が頑丈である許でなく、刷子整流子等の必要もなく其の價格も比較的低廉である。

182. 誘導型積算電力計 誘導型計器は電氣誘導の原理に基いて造られるものであるから、交流以外には之を用ひることが出来ない。現今各國の製造會社で造られる誘導型計器の種類は極めて多數であるけれども、其の原理に於ては全く同一であつて、只電圧線輪及電流線輪並に其の磁路の配置或は調整方法等を少しく異にする差があるのみである。

第 239 圖はゼネラル電氣會社トムソン・ハイ・トルク誘導型計器 (Thomson high torque induction meter) を示すものである。S は電圧線輪、H は電流線輪で夫々成層鐵心  $C_1$  及  $C_2$  の上に捲

第 239 圖

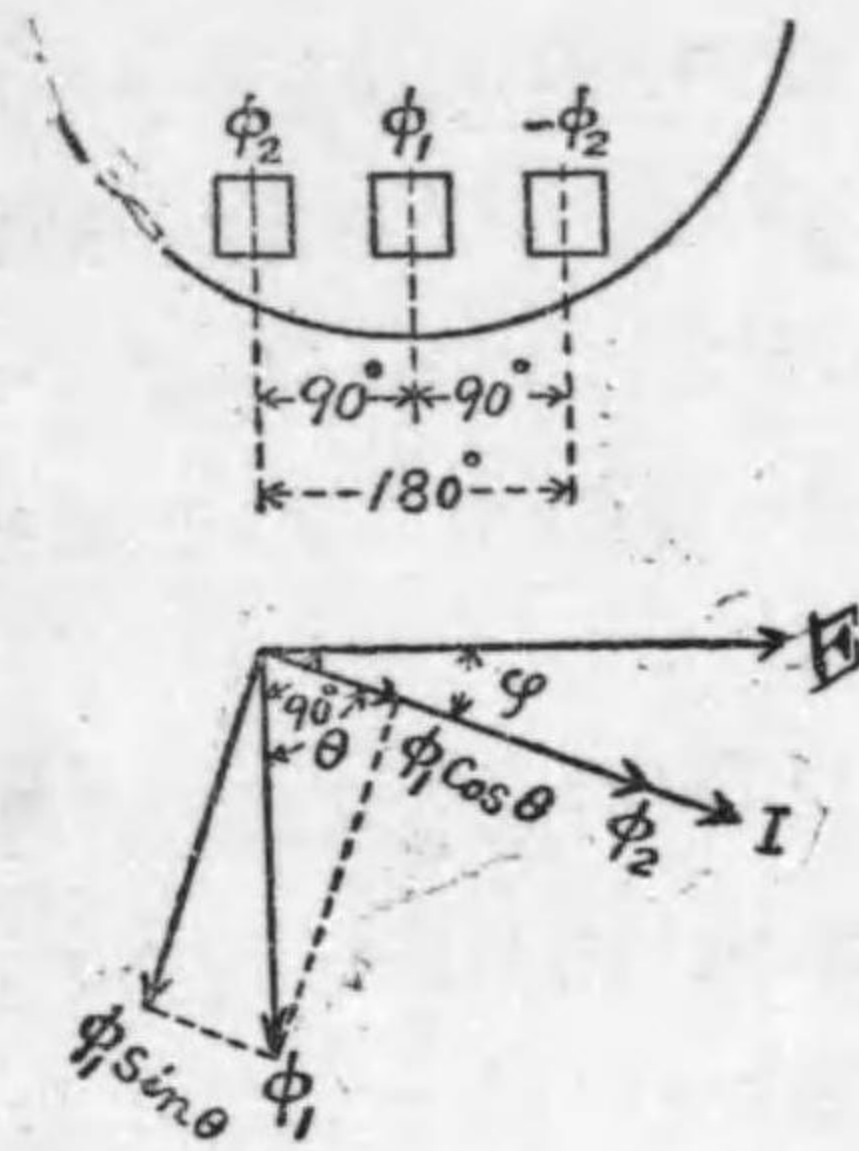


誘導型積算計器



かれる。Dはアルミニウム圓板、B.Mは制動磁石である。電壓線輪及電流線輪に依つて生じ圓板を貫通する磁束の位置は第240圖に示す様に夫々空間に於て異つて居る。而して電流線輪に依つて生ずる磁束は電流と同相であるが、電壓線輪の磁路は極めて僅

第 240 圖



誘導型計器のベクトル線圖

かの空隙を有する外殆んど鐵より成り其のリアクタンスは抵抗に比し甚だ大きいから電壓線輪に流れる電流は供給電壓から位相に於て約  $90^\circ$  近く遅れ、従て電壓線輪に依て生ずる磁束は電壓より位相に於て  $90^\circ$  近く遅れるのである。夫故に電壓及電流兩線輪に依つて生ずる磁束は圓板の存在する空隙に於て、異なつた位置に生じ且位相に於て差があるから一種の廻轉磁界を生じ、圓板に渦流を誘起し此の渦流と廻轉磁界との相互作用に依つて圓板を磁界の廻轉する方向に廻轉せしめる。此の廻轉は同一の圓板を挟む制動磁石 B.M に依つて制動せられ、一定の負荷に於ては廻轉磁界に依る廻轉力と制動磁石に依る逆廻轉力と相等しくなる様な一定速度で圓板は廻轉するのである。

誘導型計器の廻轉力が負荷電力に比例し計器の計量を正確ならしめる爲に必要な條件は、電壓線輪に依つて生ずる磁束を電壓

から位相に於て丁度  $90^\circ$  遅れしめることである。今簡單の爲に此の條件が充たされて居ると假定して其の關係を調べて見やう。

E=電壓

I=負荷電流

$\varphi$ =EとIとの相差角

但 遅角の時  $\varphi \dots (+)$ , 進角の時  $\varphi \dots (-)$

$\phi_1$ =電壓線輪に依る磁束 (Eより  $90^\circ$  遅れるものと假定す)

$\phi_2$ =電流線輪に依る磁束

$\theta$ = $\phi_1$ と $\phi_2$ との位相差

$\phi_1$ 及 $\phi_2$ は第240圖の様に異なつた位置に於て圓板を貫くものであつて、兩側の電流捲線に依る磁束 $\phi_2$ は其の方向が反對であるから、其の間隔は電氣角度に於て  $180^\circ$  隔たれるものと見做すことが出来る。従て其の中間に生ずる $\phi_1$ と $\phi_2$ との間隔は電氣角度に於て  $90^\circ$  の差があるものと見做し得るのである。夫故に二相式誘導電動機の場合と同様に $\phi_1$ と $\phi_2$ との間に丁度  $90^\circ$  の相差があれば $\phi_1$ と $\phi_2$ とて廻轉磁界を生じ圓板に働く廻轉力は $\phi_1$ と $\phi_2$ との相乗積に比例するのである。若し第240圖下圖の様に一般に $\phi_1$ と $\phi_2$ との間に $\theta$ なる相差があるとすれば $\phi_1$ を $\phi_2$ と同相の $\phi_1 \cos \theta$ なるコンポーネントと $\phi_2$ と  $90^\circ$  の相差ある $\phi_1 \sin \theta$ なるコンポーネントに分けて考へると、 $\phi_1 \cos \theta$ 及 $\phi_2$ は同相であるから空間に於て一定方向の交番磁界を生ずるのみで毫も



廻轉力を生じない。然るに  $\phi_1 \sin \theta$  と  $\phi_2$  とは  $90^\circ$  の相違があるから之に依つて廻轉磁界を生じ圓板を廻轉せしめるのである。夫故に圓板に働く廻轉力  $D$  は  $\phi_1 \sin \theta$  と  $\phi_2$  との相乗積に比例する。即ち

$$D = k\phi_1 \phi_2 \sin \theta$$

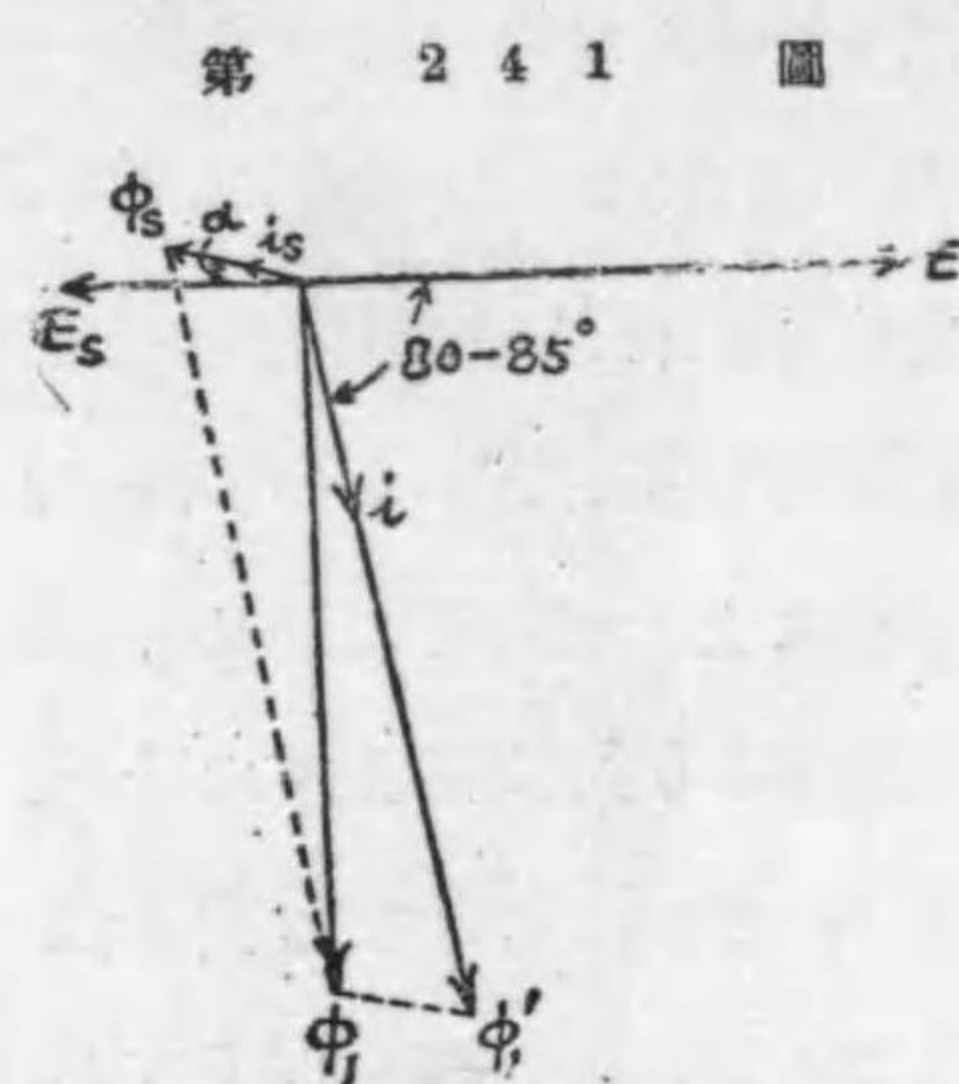
然るに  $\phi_1$  は電圧線輪の電流に依つて生ずる磁束であつて、一定周波数の交流回路では電圧線輪のインピーダンスが一定であるから  $\phi_1$  は電圧  $E$  に比例する。又  $\phi_2$  は負荷電流  $I$  に比例する。而して  $\phi_1$  が  $E$  から  $90^\circ$  遅れて居るものと假定したから  $\theta = (90^\circ - \varphi)$  である。故に

$$\begin{aligned} D &= KEI \sin(90^\circ - \varphi) \\ &= KEI \cos \varphi \end{aligned}$$

即ち  $\phi_1$  が  $E$  から相違に於て  $90^\circ$  遅れて居るものと假定すれば、一定周波数の交流回路では廻轉力は電力  $EI \cos \varphi$  に比例することが分る。制動磁石に依る逆廻轉力は圓板の廻轉速度に比例するから、圓板の廻轉速度は電力に比例することゝなるのである。

電圧線輪は大なるインダクタンスを有し、其のリアクタンスは抵抗に比し甚だ高いけれども、而も抵抗があるから電圧線輪に流れる電流は電圧から遅れる事  $90^\circ$  以下であつて通常  $80^\circ$  乃至  $85^\circ$  である。従て特殊の方法を講じなければ電圧線輪に依つて生ずる磁束を電圧より  $90^\circ$  遅れしめることが出来ない。第 239 圖に於て  $P$  なる線輪は此の調整を行ふもので位相調整線輪 (phase com-

pensation coil) と稱せられるものである。  $P$  は電圧線輪鐵心の中央肢の突出部に捲かれてある線輪で適當な無誘導抵抗  $r$  を以て短絡せられる。其の作用は第 241 圖のベクトル線圖に示す様



位相調整装置のベクトル線圖

に  $P$  なる線輪の捲かれてある鐵心には交番磁束が通つて居るから丁度變壓器の短絡二次線輪と同様の作用をするのである。圖に於て  $E$  は回路の電圧、 $i$  は電圧捲線に流れる電流で  $E$  から  $80^\circ$  乃至  $85^\circ$  遅れ、此の電流に依り之と同相に  $\phi_1'$  なる磁束を生ずる。又短絡二次線輪  $P$  には  $i_s$  なる電流が誘導せられて此の電流に依つて之と同相に  $\phi_s$  なる磁束を生ずる。 $\phi_1'$  と  $\phi_s$  との合成は實際に圓板を貫通する  $\phi_1$  なる磁束である。 $E_s$  は  $P$  に誘導せられる起電力で合成磁束  $\phi_1$  より  $90^\circ$  遅れ、 $i_s$  は  $P$  線輪の回路の抵抗及リアクタンスに依つて  $E_s$  から更に  $\alpha$  なる角丈遅れるのである。故に若し  $P$  の捲數  $P$  回路の抵抗及リアクタンスを適當に撰定すれば合成磁束  $\phi_1$  を電圧線輪の電流  $i$  より遅れしめて  $E$  から  $90^\circ$  遅れる様に調整し得るのである。而して此の調整は實際の計器に就ては  $r$  なる無誘導抵抗を加減して可なり廣い範圍に調整を行ふことが出来る。又計器によつては線輪の代りに短絡回路を形成する金屬環を用ひ其の位置を



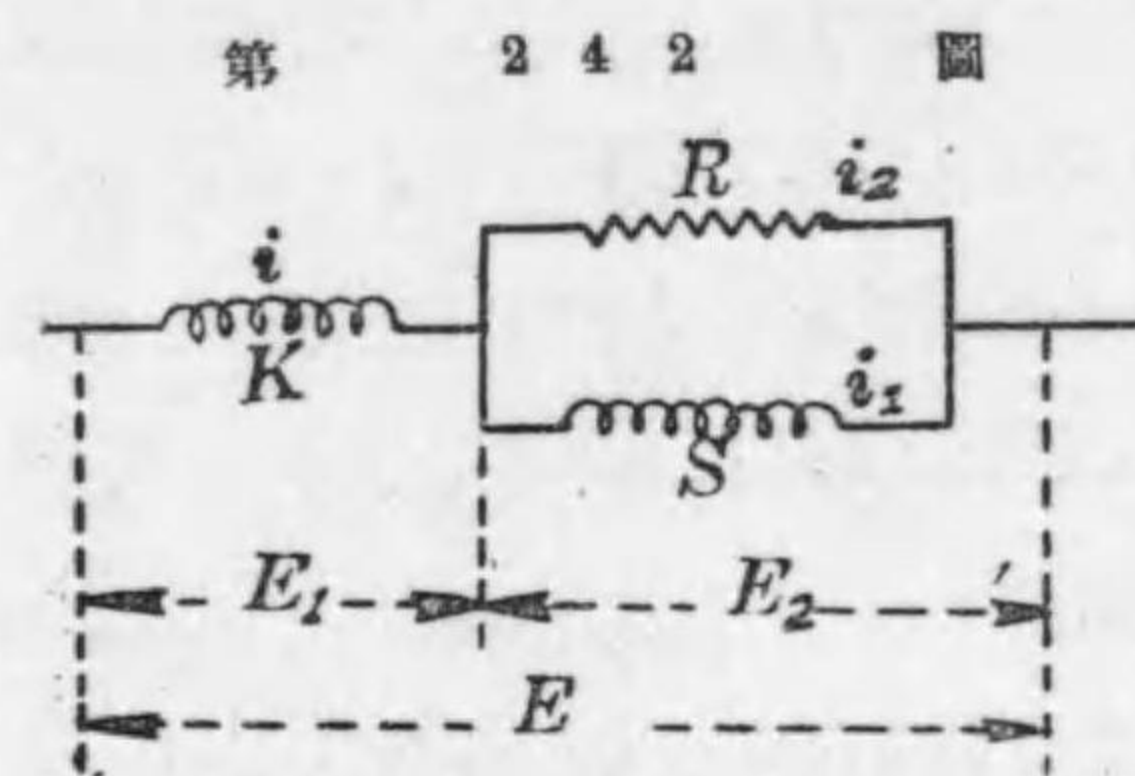
上下して位相の調整を行ふものもある。

軽負荷調整装置即ち摩擦の影響を減少する爲には第 239 圖に示す様に電圧線輪磁極の下部に短絡金屬片 Q を装置する。此の短絡金屬片は前記位相調整線輪又はシェーディング・コイルと同一の作用を爲し其の部分を通る磁束を原の磁束より遅れしめるから、Q を圓板の廻轉の方向に動かすと電圧線輪に依つてのみ生ずる磁束の中で圓板の廻轉の方向に移動磁界を生じ、かくして圓板の廻轉力を増加し摩擦の影響に打ち勝つことを得るのである。即實際計器の調整に於ては Q を圓板の廻轉の方向に移動すると軽負荷に於ける圓板の廻轉を速くし、又 Q を圓板廻轉の方向と反對の方向に移動すると軽負荷に於ける圓板の廻轉速度を遅くするのである。

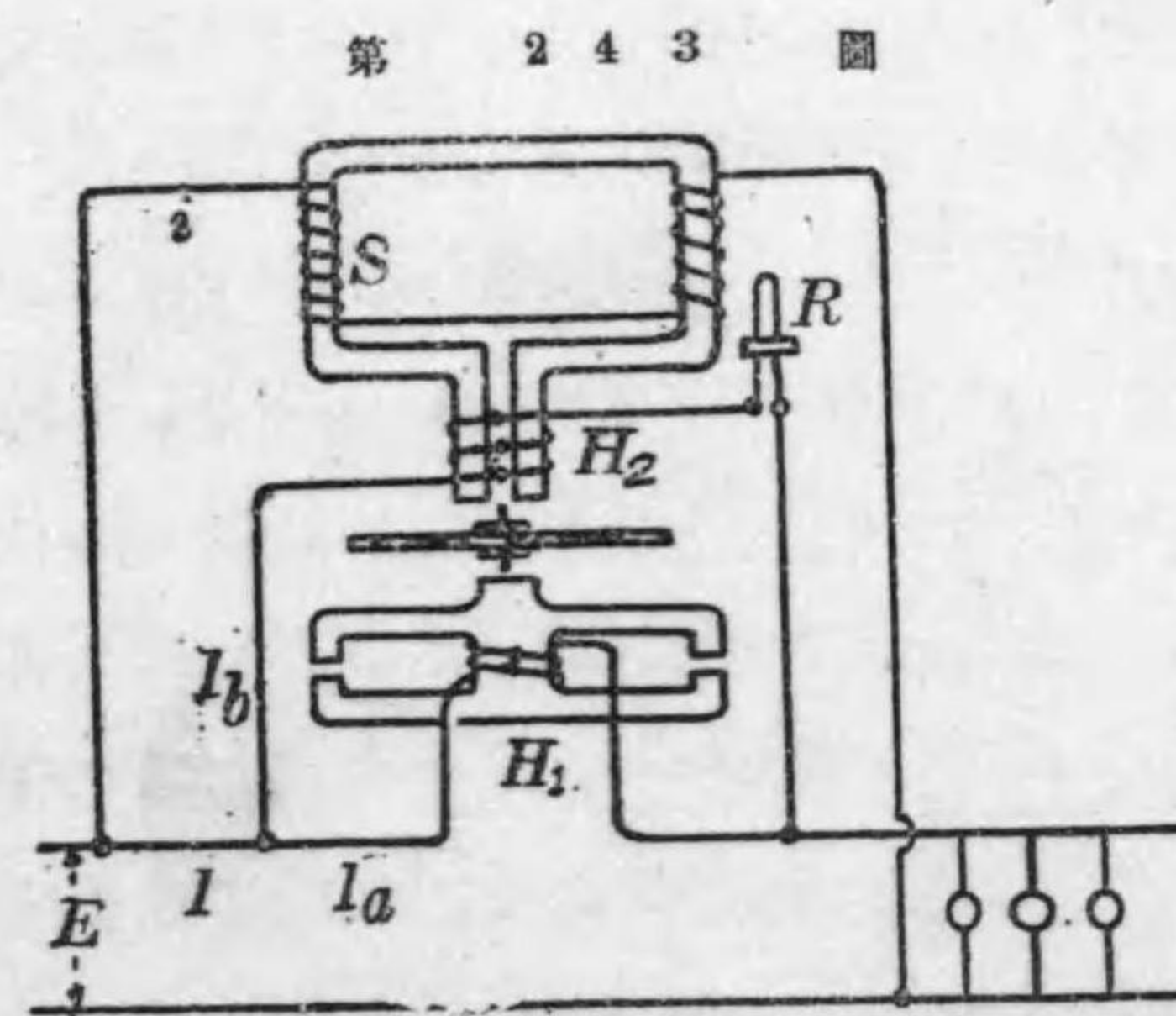
全負荷に近い處で計器圓板の廻轉速度を電力に比例する様に調整するのは、直流計器の場合と同様に制動磁石の圓板に対する位置を変更するのである。又計器に依つては耐久磁石の附近に軟鐵板を置き其の位置を加減して耐久磁石の漏洩磁束を増減する方法を用ひるものもある。

第 232 圖に於て直流電動機型計器の負荷特性を圖示したが、交流計器でも亦一般に同様な負荷特性を持つて居る。其の理を簡単に説明すると電圧線輪及電流線輪に依る磁束  $\phi_1$  及  $\phi_2$  は圓板に作用して圓板を廻轉する様に働くが、之と同時に圓板が廻轉すれば制動磁石の作用と同様に制動作用を生ずる。此の制動作用は負

荷が大となり圓板の速度が増すに従ひ増加するから、結局重負荷に於ける圓板速度は電力に比例するよりも遅くなる。又軽負荷に於ける圓板の廻轉速度と軽負荷調整装置との關係は直流計器の場合と全く同様で従て交流計器に於ても一般に第 232 圖の様な負荷特性となるのである。



位相調整法 (二)



位相調整法 (三)

位相調整装置は誘導型計器中で最も重要なもので、普通は本節に於て述べた方法を用ひるのであるが、以前には他の方法を用ひたものがある。其の種類は大略次の二つに分つことが出来る。

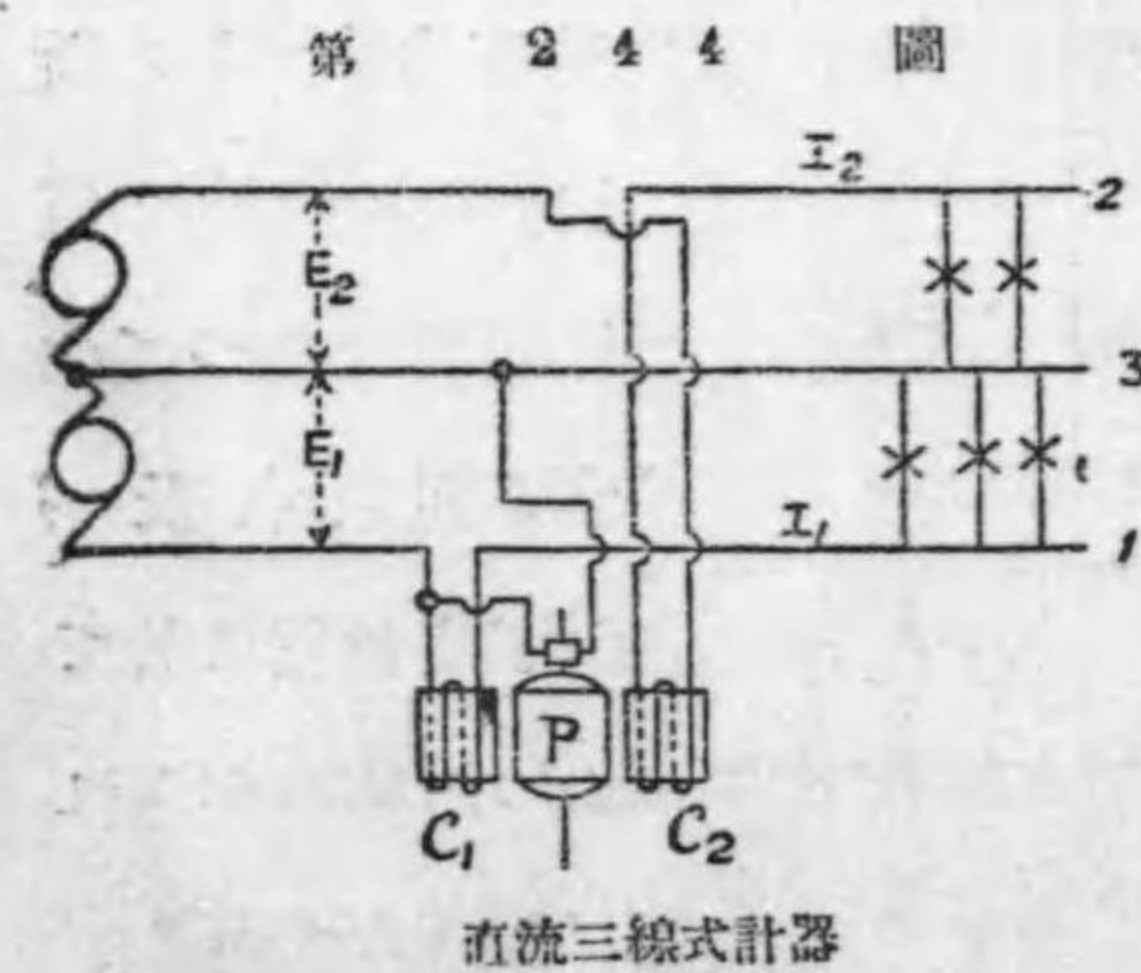
位相調整は要するに電壓と電流の位相が同一なる時即力率=1の時に電圧線輪及電流線輪に依つて生ずる磁束  $\phi_1$  及  $\phi_2$  が丁度位相に於て  $90^\circ$  の相違があればよいのである。



例を以て説明すると第一法は第 242 圖の様に電圧線輪 S, リアクタンス線輪 K, 無誘導抵抗 R を直並列に接続して, 電圧線輪に流れる電流  $i_1$  を供給電圧 E より丁度  $90^\circ$  遅れしめる方法である。第二法は電圧線輪には何等の装置を施さず, 従て其の磁束は電圧より  $80^\circ$  内外遅れるが, 別に第 243 圖の様に二個の電流線輪  $H_1$  及  $H_2$  を並列に接続し,  $H_1$  の捲き方を  $H_2$  と反対にし, 兩電流線輪に依つて生ずる合成磁束を負荷電流 I の位相より進ませ, かくして力率=1 に於て  $\phi_1$  と  $\phi_2$  の相差を  $90^\circ$  とすのである。此の二法はベクトル線圖を組立てれば容易に分るが, 茲には煩雜を避ける爲に其の説明を省略する。

183. 三線式用積算電力計 直流三線式又は交流單相三線式用計器は二線式用計器と全く同一の構造で, 只其電流捲線を二個に分ち之に兩外線の電流を通す様になつて居る差があるのみである。今一例として直流三線式計器に就て述べやう。

第 244 圖は直流電動機型三線式計器の接続を示すもので二個



の電流線輪  $C_1$  及  $C_2$  は夫夫外線 (1) 及 (2) に接続し電圧捲線 P は外線と中性線 (3) 間又は外線 (1) 及 (2) の間に接続する。

今  $I_1$  及  $I_2$  を夫々外線

(1) 及 (2) に流れる電流,  $E_1$  を (1), (3) 間の電圧,  $E_2$  を (2) (3) 間の電圧とすれば

$$\text{電力} = E_1 I_1 + E_2 I_2$$

$$\text{計器廻轉力} = K E_1 (I_1 + I_2)$$

$$= K (E_1 I_1 + E_1 I_2)$$

故に一般に廻轉力は電力に比例しない。若し  $E_1 = E_2$  であれば

$$\text{廻轉力} = K (E_1 I_1 + E_2 I_2)$$

となるから直流の場合には  $E_1 = E_2$  即ち平衡回路でなければ誤差を生ずるを免れない。而して

$$(E_1 I_1 + E_1 I_2) - (E_1 I_1 + E_2 I_2) = (E_1 - E_2) I_2$$

であるから第 244 圖の場合は  $E_1 > E_2$  であれば計器の計量は實際の消費電力量より多くなり,  $E_1 < E_2$  であれば計器の計量は實際消費電力量よりも少なくなる。

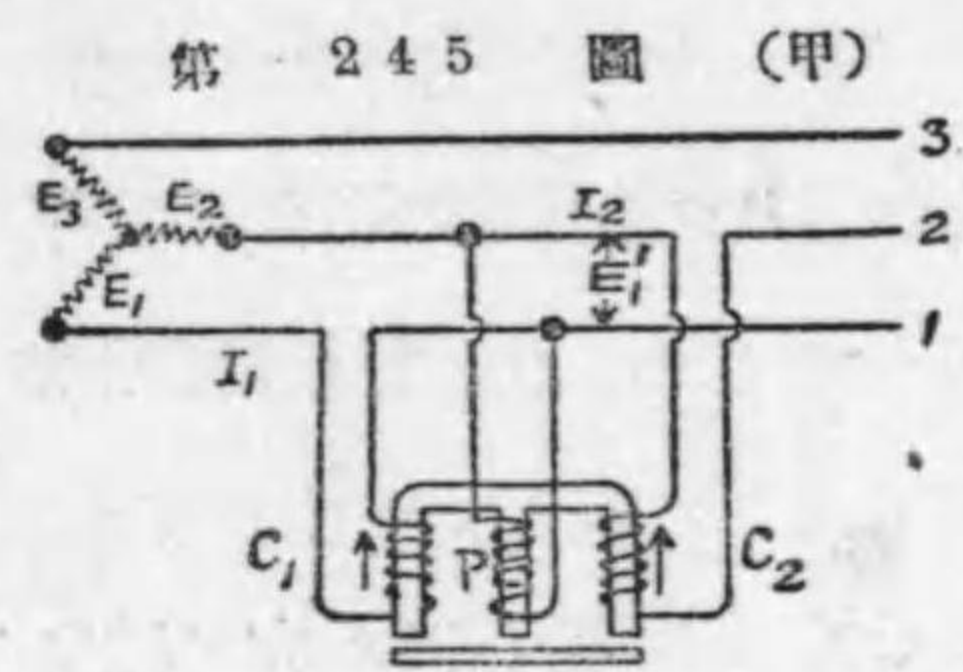
電圧捲線が外線 (1), (2) 間に接続せられる場合にも亦同様な關係がある。交流の場合でも負荷が平衡した時は計量は正確であるけれども, 負荷が平衡して居なければ又同様の誤差を生ずるのを免れないのである。

184. 多相回路用積算電力計 二相三線式及四線式及三相三線式回路では二相電力又は三相電力は二個の電力計を用ひて測定し得る事既に述べた通りである。此の原理に基いて二個の單相式積算電力計を組合せて多相式用積算電力計を構成することが出来る。此計器は負荷が平衡であると不平衡であるとに論なく



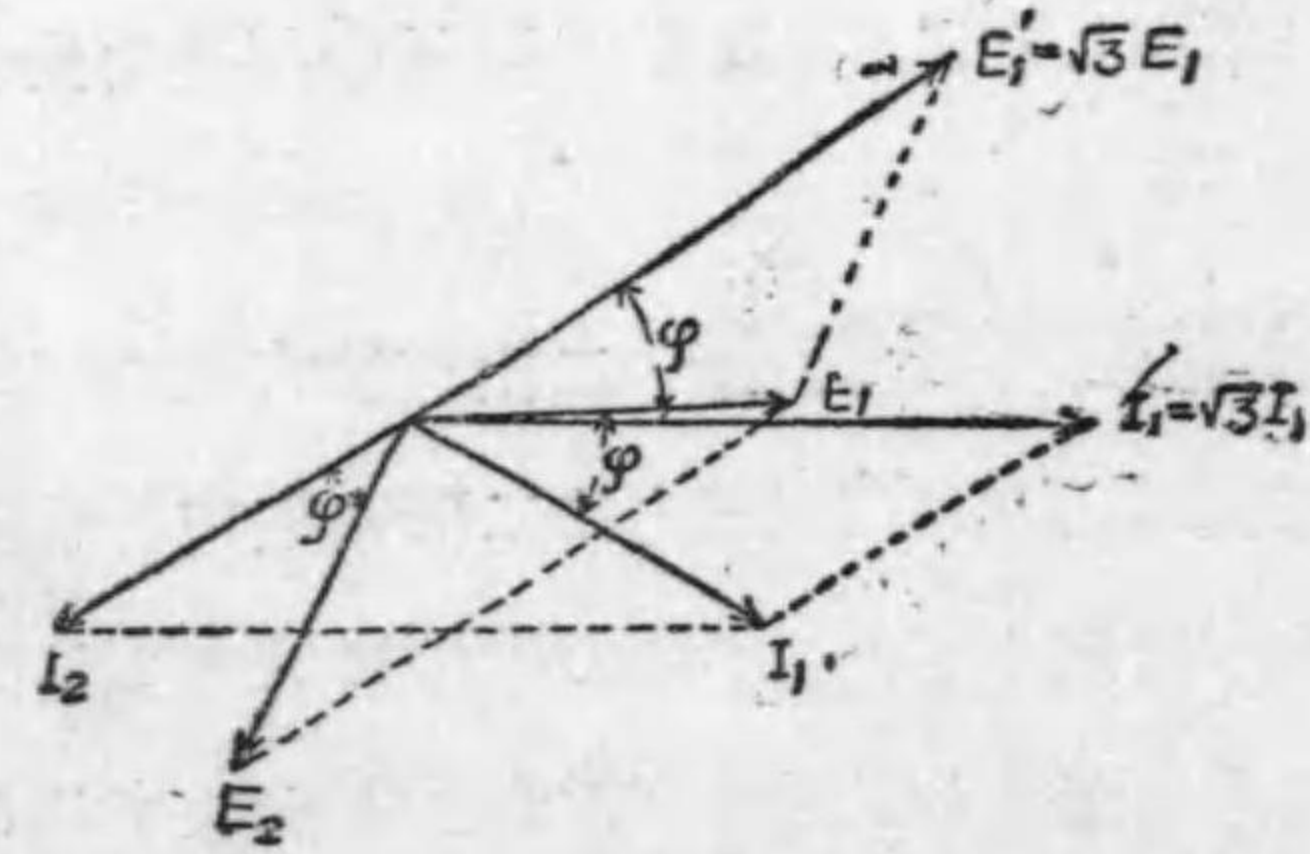
相當の確度を以て多相式回路の電力量を計量することが出来る。此計器では普通二個の單相積算電力計の要素を上下に装置し上下の圓板は同一軸に取付けられ二要素に依る廻轉力は相加はる様になつて居る。尤も三相式回路で力率  $\frac{1}{2}$  以下の場合には廻轉力の方向が反對となつて其の差で圓板を廻轉するのである。各調整装置は各要素に單相式の場合と同様に装置してある。但し計器によつては制動磁石は一方の要素にのみ装置してあるのがある。

三相三線式用計器で特に平衡負荷にのみ用ひる様になつて居るものは必ずしも二電力計法に依らないで、其の外観は全く單相式



第 245 圖 (甲)

第 245 圖 (乙)



三相平衡回路用計器 (一)

積算電力計と同様に動作装置は單に一個のみを用ひるものがある。第 245 圖乃至第 247 圖は平衡三相式回路用積算電力計構成の原理を示すものである。第 245 圖に於

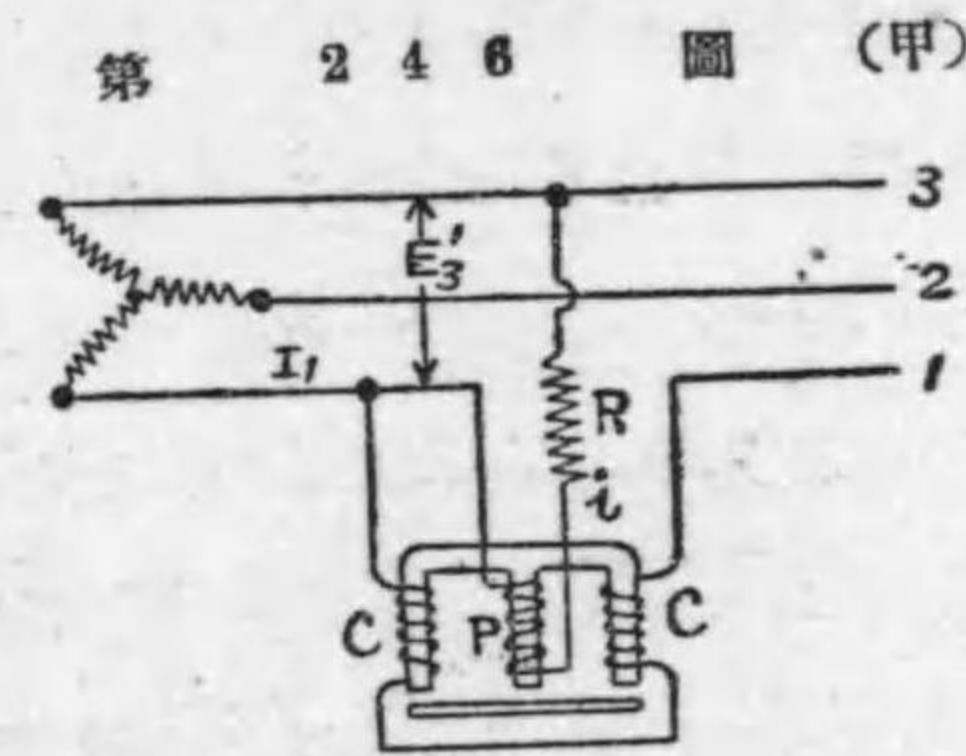
ては單相式計器の電流線輪は  $C_1$  及  $C_2$  に二分せられ其の巻き方を反對にしてある。夫故に乙のベクトル線圖から分る様に

電流線輪  $C_1$  及  $C_2$  に依つて生ずる磁束は  $I_1$  と  $I_2$  の異なる  $I_1' = \sqrt{3} I_1$  に比例し之と同相である。又電壓線輪には  $E_1'$  なる電壓が與へられるから計器に働く廻轉力は

$$E_1' I_1' \cos \varphi = \sqrt{3} E_1' I_1 \cos \varphi$$

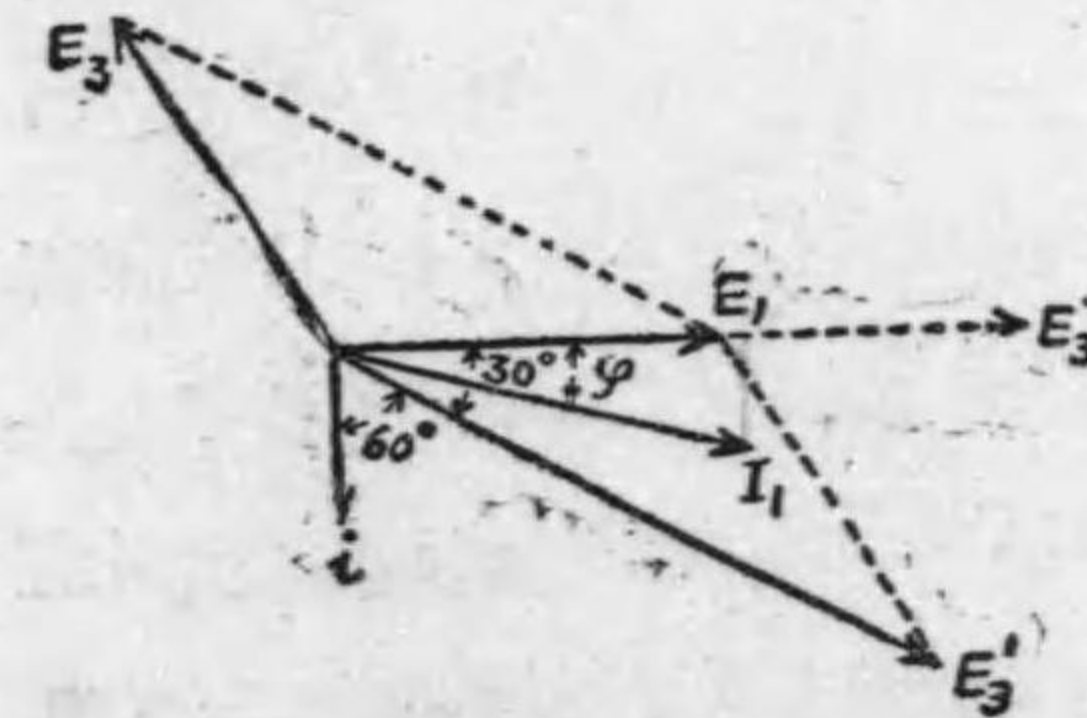
即三相電力に比例する。夫故に一組の動作装置で平衡回路に於ける三相電力量を測定することが出来る。但し  $C_1$  及  $C_2$  は各々單相計器の場合の電流線輪の巻数の  $\frac{1}{2}$  であるから、計器係數 (圓板一廻轉に對する電力量) は單相計器の場合の二倍である。

第 246 圖の場合は電壓線輪に特に適當な無誘導抵抗  $R$  を接続



第 246 圖 (甲)

第 246 圖 (乙)



三相平衡回路用計器 (二)

して其の電流  $i$  を供給電壓  $E_3'$  から丁度  $60^\circ$  遅れる様にするのである。然る時は乙のベクトル線圖から分る様に  $E_3'$  は星形電壓  $E_1$  から  $30^\circ$  遅れて居るから電壓線輪に依つて生ずる磁束は  $E_1$  から  $90^\circ$  遅れる様になる。夫故に計器は  $E_3'$  を  $E_1$  の位相にある者と假定した  $E_3''$  なる電壓及  $I_1$  なる電流の單相回路に使用せらるる單相計器と同様である。



即ち廻轉力は

$$\sqrt{3} E_1 I_1 \cos \varphi = E_1' I_1 \cos \varphi$$

夫故に單相計器に比して計器の係数を $\sqrt{3}$ 倍にすれば計器は三相電力量を計量することになるのである。

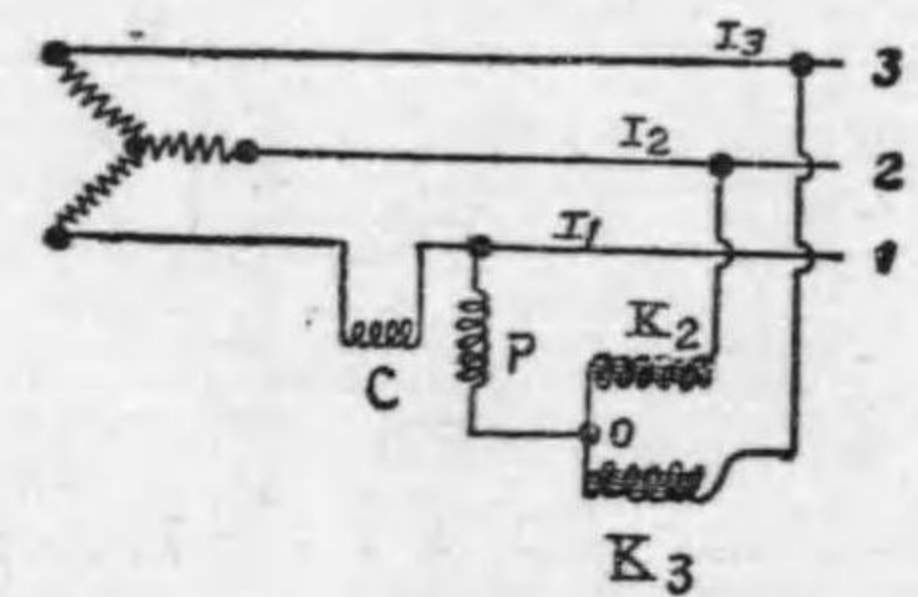
第 246 圖と同一接続で電圧線輪の鐵心に位相調整装置を備へて其の磁束を電圧から約  $80^\circ$  遅らせ、又電流線輪鐵心に短絡金屬環を装置して其の磁束を電流から約  $20^\circ$  遅らせ、力率 = 1 の場合に兩磁束に  $90^\circ$  の相差を與へる様にしたものもある。

第 247 圖に示すものは電流線輪 C に  $I_1$  なる電流を通し、電圧線輪 P は之と同一の抵抗及リアクタンスを有する塞流線輪  $K_2$  及  $K_3$  と共に回路に星形に接続し、

斯様にして 0 點に於て人工的に中性點を作り P に星形電壓  $E_1$  を與へる様にするのである。故に回路の力率を  $\cos \varphi$  とすれば計器に働く廻轉力は  $E_1 I_1 \cos \varphi$  に比例する。故に計器係数を單相計器の場合の三倍にして置けば三相回路の電力量を測定することが出来る。塞流線輪  $K_2$  及  $K_3$  は計器の外部に接続するのが普通である。

三相平衡回路用計器は負荷の全く平衡した三相式回路では上述の様に理論的に正しいものであるが、若し負荷が不平衡であれば上記の關係は全く破れて誤差を生じ、不平衡の度が甚だしい程誤

第 247 圖



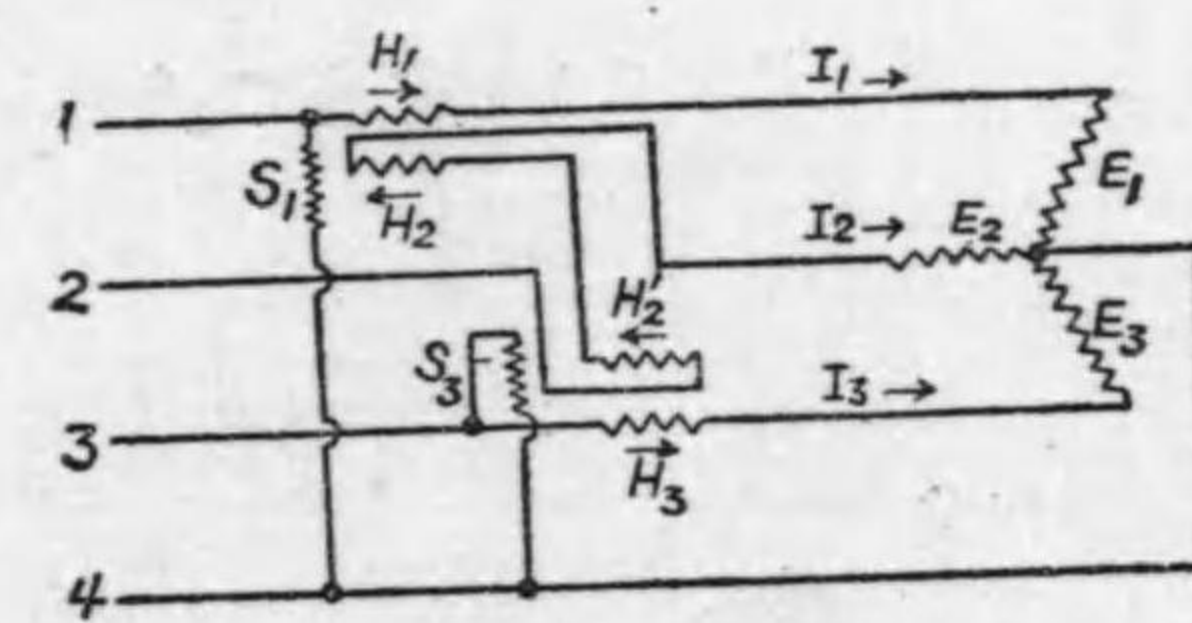
三相平衡回路用計器 (三)

差は甚だしくなる。實際の三相式回路では警令三相誘導電動機のみを運轉する様な回路でも理想的の平衡回路となることが難かしいから三相平衡回路用計器は餘り良い計器と云ふことが出来ぬ。只其の價格が二要素から成る多相式計器に比して低廉である事實から屢々使用せられるのである。

### 185. 三相四線式用積算電力計

前節に述べた二電力計法に基いて作られた三相計器は之を三相四線式回路に用ひ得られないことは第 144 節二電力計法の項に於て述べた通りである。但し三相四線式用積算電力計は二電力計法を少しく變へて構成する事が出来る。第 248 圖は三相四線式用の計器の原理を示すもので、二組の働作装置から成るが、各組の働作装置は各二個の電

第 248 圖



三相四線式用計器

流線輪及一個の電圧線輪から成り、圖の様に接続せられる。即  $H_1$  には  $I_1$ 、 $H_2$  及  $H_2'$  には  $I_2$ 、 $H_3$  には  $I_3$  なる電流が流れ、 $S_1$  には  $E_1$ 、 $S_3$  には  $E_3$  なる

電壓が與へられる。但し  $H_2$  及  $H_2'$  は  $H_1$  及  $H_3$  と其の捲き方を反對にしてある。今各星形電壓及電流の瞬時値を夫々  $e_1, e_2, e_3$  及  $i_1, i_2, i_3$  とすれば

$$\text{三相電力 } p = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$$

圖の計器に働く瞬時廻轉力  $d$  は次の様になる。



$$\begin{aligned}
 d &= k(e_1 i_1 - e_1 i_2 - e_3 i_2 + e_3 i_3) \\
 &= k(e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3 - e_1 i_2 - e_2 i_2 - e_3 i_2) \\
 &= k\{e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3 - (e_1 + e_2 + e_3) i_2\} \\
 &= k p. \quad (\because e_1 + e_2 + e_3 = 0)
 \end{aligned}$$

即斯の如き計器の計量は三相四線式回路で消費せられる電力量を表はすものであることが分るであらう。

**186. 高壓回路用積算電力計** 高壓用の積算電力計は普通電圧變壓器及變流器と共に使用する。通常計器は 100 ヴォルト, 5 アムペア用のものを用ひるのである。變壓器及變流器は第 135 節に述べた様に變壓比及變流比に於て誤差を有するのみならず, 尙變壓器の一次電壓と二次電壓の間並變流器の一次電流と二次電流との間には相差を生ずるものであるから此の二つの原因に依つて積算電力計の計量に誤差を生ずるに至るものである。\*

E = 供給電圧

I = 負荷電流

$\varphi$  = 電圧及電流間の相差

$\alpha$  = 變壓比の誤差

$\theta_1$  = 變壓器の一次電壓及二次電壓間の相差

$\beta$  = 變流比の誤差

\*註 變壓器及變流器の理論に就ては電氣機械後編交流變壓器を参照せよ。變壓器は普通の變壓器と同様であるが, 變流器は同業第 72 節及 73 節に於てその理論及特性が説明せられてある。

$\theta_1$  = 變流器の一次電流及二次電流間の相差

$\theta_1$  は遅角の場合と進角の場合とあるが,  $\theta_2$  は通常進角である。

今計器其のものは正確であるとすれば

計器に働く廻轉力 =  $K(1-\alpha)E \times (1-\beta)I \times \cos(\varphi \pm \theta_1 - \theta_2)$

此式に於て  $\varphi$  を遅角とすれば  $+\theta_1$  は進角,  $-\theta_1$  は遅角を表はし,  $-\theta_2$  は進角を表はすのである。若し  $\varphi$  が進角ならば  $-\varphi$  とすれば宜い。眞の電力は  $EI \cos \varphi$  に等しいから, 變壓器及變流器を使用した爲に生ずる誤差  $\xi$  は

$$\begin{aligned}
 \xi &= \frac{(1+\alpha)E \times (1+\beta)I \times \cos(\varphi \pm \theta_1 - \theta_2)}{EI \cos \varphi} - 1 \\
 &= \frac{(1+\alpha)(1+\beta) \cos(\varphi \pm \theta_1 - \theta_2)}{\cos \varphi} - 1
 \end{aligned}$$

例へば  $\alpha=0, \beta=0, \theta_1=-10'$  (遅角),  $\theta_2=60'$  (進角) とすれば

$\varphi$	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$
$\xi\%$	-0.021	+1.155	+3.506

即ち變壓比及變流比に於て誤差がないとしても, 力率が小さくなると其の誤差は甚だ大となるものである。此の事は單に積算電氣計器の場合のみでなく, 指示電力計を變壓器及變流器と共に使用する場合にも同様に生ずる誤差である。但し變壓比及變流比の誤差と相差に因る誤差とが相償却して, 合成の誤差を緩和する場合がある。



## 187. 良好なる積算電氣計器の具備すべき條件

第 177 節及第 182 節に於て直流積算電力計と交流積算電力計の負荷特性の概略を述べたが、本節に於て其の他の特性の概略を述べ良好なる計器の具備すべき條件を挙げやう。但最も普通に用ひられる直流電動機型と交流誘導型に關するものゝみに止める。

既に述べた負荷特性から分る様に規定電壓、交流の場合には尙規定周波數に於て計器の廻轉速度は負荷電力に全く正比例しない。其の誤差を表はす曲線は第 232 圖に示す通りであるが、負荷が甚だ小さくなる時は摩擦の影響が甚だしくなり誤差は甚だ多くなる。又圓板が廻轉し始めるには或程度迄の電流が流れねばならぬ。電氣計器に關する英國標準仕様書に依れば、良好なる計器は此等の點に關して次の様な條件に適合せねばならぬ。

- (イ) 最小始動電流 計器に規定電壓（交流の場合には尙規定周波數で）を與へた時、負荷電流が計器の規定電流の  $\frac{1}{100}$  以下で廻轉を始める様なものでなければならぬ。但し 5 アムペア以下の計器では始動電流は  $\frac{1}{20}$  アムペア以下であれば宜しい。
- (ロ) 計器の誤差は規定溫度（攝氏  $15^{\circ}$ ）、規定電壓、交流の場合には尙規定周波數及力率 1 の時其の誤差は次の値を超過してはならない。

計器容量	全負荷より $\frac{1}{10}$ 負荷迄	$\frac{1}{20}$ 負荷に於て
1.25 キロワット以下	$\pm 2\%$	$\pm 5\%$
1.25 キロワット以上	$\pm 2\%$	$\pm 2\%$

計器は無負荷に於て廻轉してはならぬ。何となれば需用家が電流を取らぬ場合にも計器には回路の電壓が與へられるからである。夫故に英國標準仕様書には

- (ハ) 規定電壓より 10% 高い電壓を加へても負荷電流が零であれば計器は廻轉してはならぬ。

無負荷の場合に廻轉を開始してはならぬ關係から、計器の電流線輪は負荷に近く接續せられる。従て電壓線輪内の損失は當然供給會社の負擔となるから良好な計器では其の損失は甚だ少ないものでなければならぬ。又電流線輪内の電壓降下は負荷の供給電壓に關係し、電流線輪内の電力損失は需用家の負擔となるから、之も又小さくなければならぬ。英國標準仕様書に依れば

- (ニ) 容量 12.5 キロワット以下の計器では規定電流を通した時、電流線輪内の電力損失は 10 ワット以下で、又其の電壓降下は 2 ヴォルト以下でなければならぬ。
- (ホ) 容量 12.5 キロワット以下の計器では規定電壓を加へた時、電壓線輪回路内の電力損失は 100 ヴォルト毎に 2 ワット以下でなければならぬ。

理論的に述べるのは多少複雑であるから、茲には之を避けるが



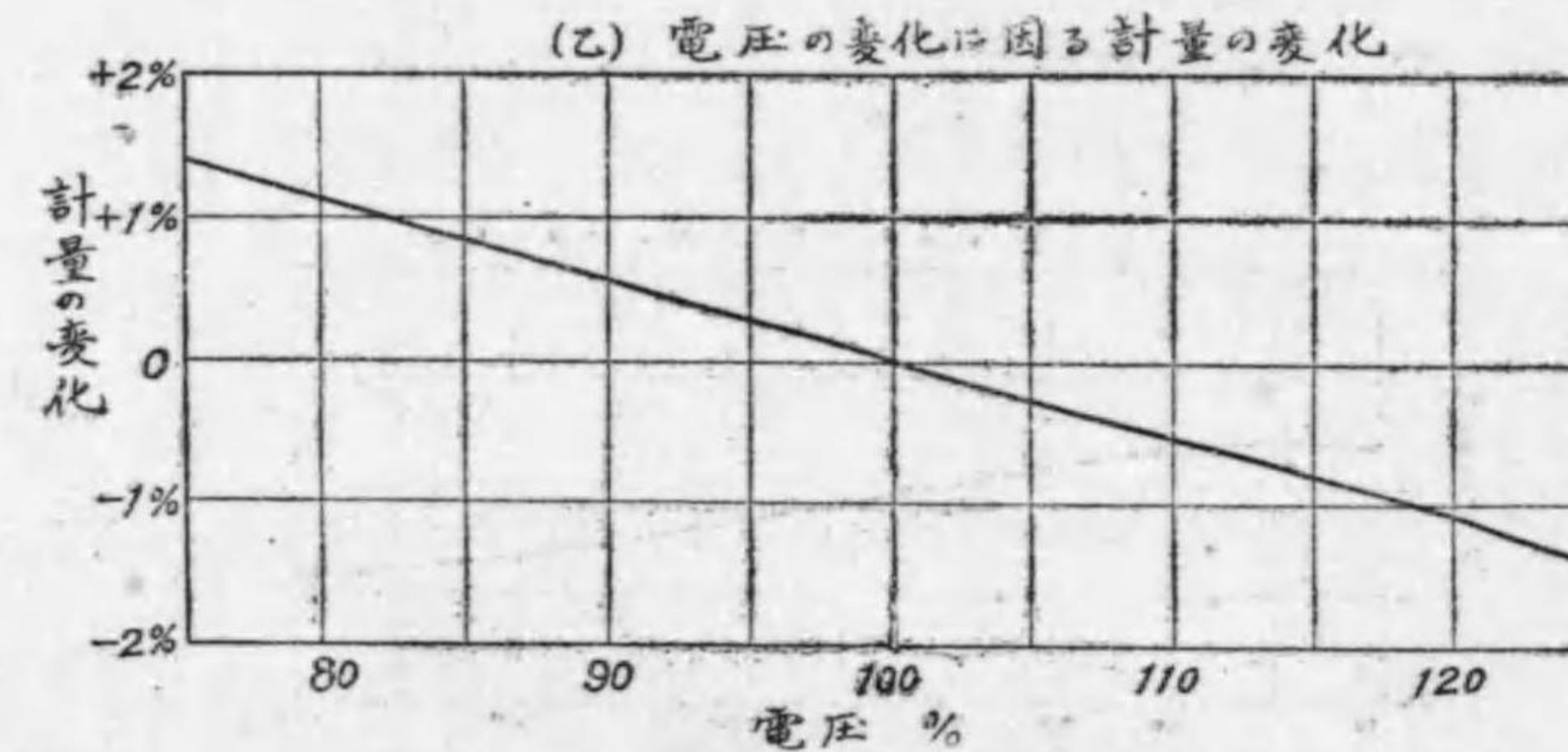
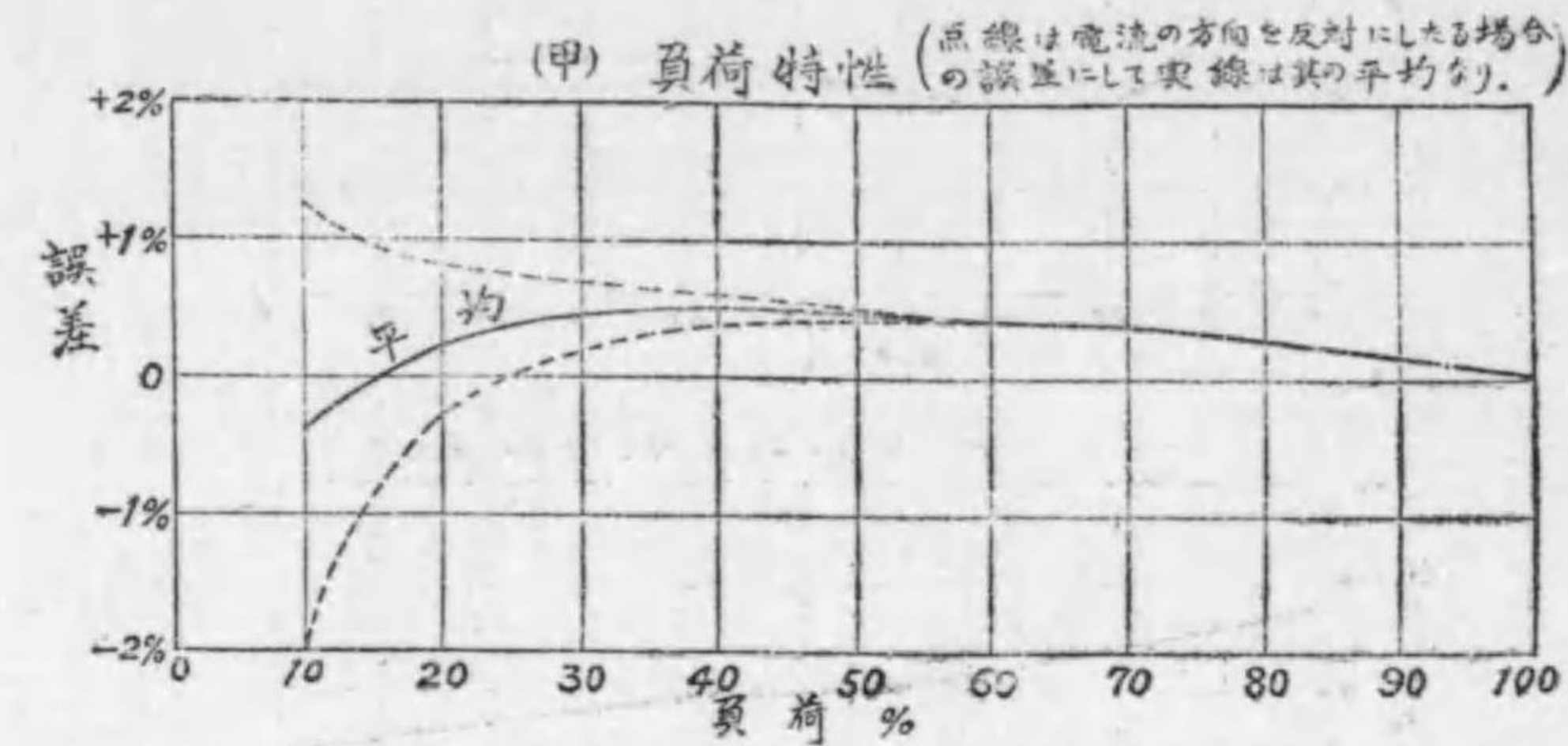
計器は電圧、室内温度、又交流の場合には周波数及力率の變化に依つて誤差を生ずるのを免れない。計器使用者は殊に之等の事實に關して注意を要するのである。英國標準仕様書に依るに

- (へ) 電圧を計器の規定電圧の上下に 10% 變更した場合に、全負荷から  $\frac{1}{10}$  負荷に至る間の各負荷に於て電圧變化の爲に計量に 1% 以上の變化を生じてはならぬ。
- (ト) 温度攝氏 10° の變化に對し計器の計量に 0.1% 以上の變化を及ぼす様な場合には、特に其の温度係数を銘板に記載せよ。
- (チ) 周波数を計器の規定周波数の上下に 5% 變へた場合に、計器の計量は全負荷の時此の爲に 1% 以上の變化を生じてはならぬ。
- (リ) 規定電圧及規定周波数の下に計器に全負荷電流を通し、力率を 1 から 0.5 (遅電流) まで變化した場合に計器の計量に 2% 以上の變化を生じてはならぬ。又力率 0.5 で規定電圧及規定周波数の下に負荷電流を規定電流から  $\frac{1}{4}$  負荷電流まで變化させた時、誤差は 3% を超過してはならぬ。

一般に電圧及周波数が漸次増加すると計器の廻轉は漸次遅くなるものである。又力率は 1 から減少するに従つて計器の廻轉が遅電流では速くなり進電流では遅くなるのが普通である。但各部の調整に依つて特性は必ずしも同一ではない。

第 249 圖は直流計器の特性曲線第 250 圖は交流計器の特性曲線の一例を示すものである。

第 249 圖

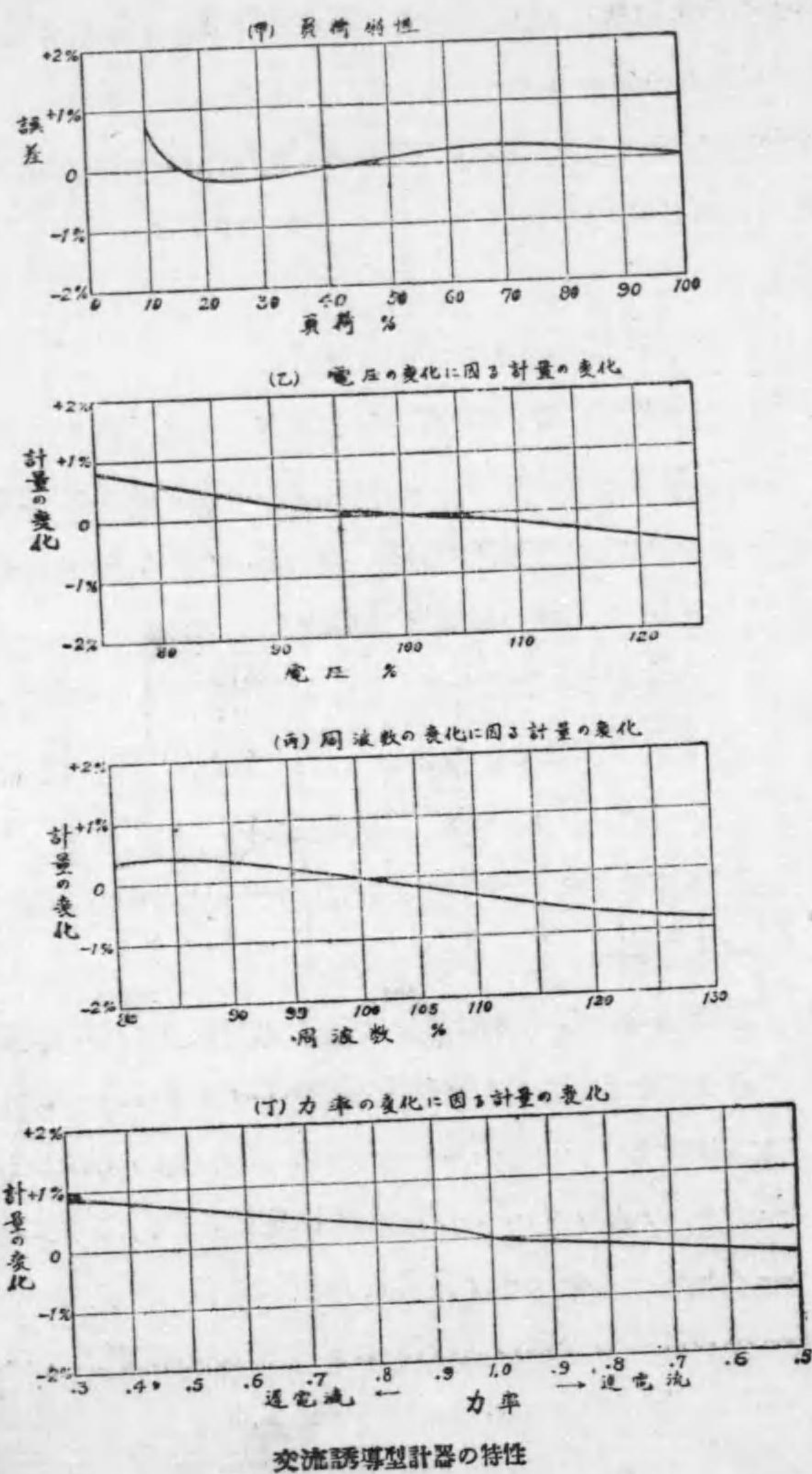


直流電動機型計器の特性

以上述べた外直流計器は外部磁界の影響を有し、地球磁界の影響も相當にあるから、其の取付位置又は電流の方向に依つて多少誤差を生ずるのを免れない。又二電力計法に依つて組立てられる三相積算電力計は各要素の間の相互の影響及位相調整、輕負荷調



第 250 圖



整が各要素全く同様に調整されて居ないから、其の端子の接続は三相式の相廻轉 (phase rotation) の方向に對し豫め決定して置く必要があるのである。

我國に於ては電氣の取引に用ふる電氣計器は總て遞信省の檢定を経たものでなければならない。我國で規定せられて居る限度を摘記すると

(イ) 電氣計器の公差は百分の四とす

(ロ) 積算電氣計器の誤差の試験は次の方法に依る

- 1 規定電壓に於て (交流の場合に在りては規定電壓、規定周波數及無誘導負荷に於て) 規定電流並に其の二分の一及十分の一を以て試験す
- 2 規定電壓、規定電流、規定周波數に於て 力率二分の一を以て試験す。但し特に無誘導負荷に限り使用する計器に在りては本號の試験を省略す

積算電氣計器以外の電氣計器の誤差の試験は前項に準じ之を行ふ

(ハ) 積算電氣計器の始動電流は規定電壓に於て (交流の場合に在りては規定電壓、規定周波數及無誘導負荷に於て)、規定電流三アムペア以下のものに在りては規定電流の百分の三以下、又規定電流三アムペアを超過するものにありては規定電流の百分の二以下たるべし

188. 摘要 本章に於て述べたことを摘記すると



1. 積算電氣計器は大別して積算電量計及積算電力計の二種に分つことが出来る。積算電量計は直流用のものと、交流計器として構成せられたものはない。
2. 積算電量計には電氣分解型、水銀電動機型及電動機型の三種がある。
3. 直流積算電力計には電動機型、水銀電動機型、振子型及振動型の四種がある。
4. 交流積算電氣計器としては電動機型、水銀電動機型、振子型も利用することが出来るけれども、普通は誘導型計器である。
5. 最も普通に用ひられる計器は直流では電動機型、交流では誘導型で其の他の型の計器は現今では極めて少ない。
6. 一般に積算電氣計器は電力に比例する廻轉力に依つて廻轉する部分と、廻轉圓板竝に耐久磁石に依つて廻轉を制動する二要素から成立する。かくして廻轉部分の廻轉速度は電力に比例し、或時間の間の圓板の廻轉數は其の時間内に消費せられた電力量に比例するのである。従て廻轉部分の廻轉數は通常螺子及齒車装置に依つて計器の計量装置に傳へられ、計量装置には指針型又はサイクロメーター型があつて共にキロワット時數を読み得る様になつて居る。
7. 積算電氣計器には輕負荷調整装置及重負荷調整装置なるものがある。輕負荷調整は軸承計量装置等に於ける摩擦に打ち克

- つ丈の廻轉力を附加するもので、摩擦の程度は廻轉子の廻轉速度に殆んど無關係であるから電壓回路に依つて輕負荷廻轉力を増加する様になつて居る。重負荷調整装置は通常制動磁石の位置を圓板に對して加減する様になつて居るのである。
8. 交流誘導型計器では(7)に挙げた外、位相調整装置なるものを要する。此の目的は力率1の場合に電壓線輪及電流線輪に依つて生ずる磁束の相差を $90^\circ$ 違ふ様に調整し、以て廻轉力を電力に比例せしめるのである。
9. 積算電氣計器は負荷の變化、電壓の變化、周波數の變化、力率の變化及溫度の變化に依つて影響を受け多少の誤差を生ずるのは免れ難いものである。
10. 直流三線式計器、交流三線式計器及平衡回路用三線式計器は其の外観は二線式計器と同様であるが何れも不平衡負荷に於ては其の計量に誤差を生ずるものである。
11. 高壓用計器は普通100ヴォルト5アムペア計器と變壓器及變流器とを組合せるものであるが、變壓器及變流器は單に變壓比及變流比に於て誤差がある許でなく、變壓器の一次電壓と二次電壓との間及變流器の一次電流と二次電流との間に相差がある爲計器の計量に誤差を生ずる。而して相差に基く誤差は負荷の力率が減少する程其の影響は大きくなるものである。



### 第十三章 特殊料金計器

189. 諸種の料金制 電氣を供給し其の料金を徴収する方法を適當に選ぶことは電氣事業經營上甚だ重要な事項である。我國で用ひらるゝ料金制は比較的簡単な二三種に限られて居るが、歐米諸國では甚だ複雑な方式を採用して居る所が澤山ある。昔から行はれた種々の料金制を詳細に述べることは此の講義の範圍外に屬すると信ずるから、先づ極めて簡単に主なる料金制を擧げ之等に用ひられる特種計器の數種を概説することとする。

料金制を大別して定額料金制と従量料金制に分つことが出来る。定額料金制は普通我國で用ひられるもので、例へば電燈の燭光及個數に依つて一ヶ月何程と云ふ様に定められ、實際に消費せられた電力量には無關係である。従量料金制は需用家で實際に消費した電力量を測定して其の電力量に應じて料金を計算する方法である。従量料金制は更に均一料金制と特殊料金制に分つことが出来る。前者は一日中の使用時刻又は最大需用に關係なく單に消費電力量に依つて料金を算出するもので、後者は料金の決定を理論的に正確にし、或は負荷率を増進せしめ又は電力電熱の需要を増進せしめるといふ政策の下に構成せられるものである。

(イ) 定額料金制 既に述べた様に此の料金制は最も簡單で最も需要家に了解し易いと云ふ利益がある。又料金を決定するには



何等の計器をも要しないのである。然し乍らまゝ電力盗用等の弊を伴ふから之を防ぐ爲電流制限器 (current limiter) などを用ふる事がある。電流制限器は初めに契約せられた電流より大なる電流を使用すると自動的に回路を切り、或は回路に大なる抵抗を入れて供給電圧を甚だしく下げ、或は電圧を絶えず上げ下げして其回路に接続せられる電燈の光に甚だしくちらつき (flicker) を生ぜしめる様に働作する。此の場合には電流制限器の容量に依つて一ヶ月の料金は決定せられるので、實際に使用せられた電力及時間には無關係である。同様の目的に需用家の消費した最大電流又は最大電力を表示する最大需用表示器 (maximum demand meter) なるものを用ふることも出来る。此の場合には需用家は其の使用電力を制限されないが、料金は其の計器の示す最大需用に依つて決定せられることになるのである。電流制限器又は最大需用表示器を用ふる料金制は單純な定額料金制とは異なるけれども、定額料金制の變態と見る事が出来る。

(ロ) 均一従量料金制 定額料金制では電力を消費すると否とに拘らず一定の料金を支拂はねばならぬ。之は電力を販賣すると云ふ點から考へれば不合理である。定額料金制から少しく進む方法は需用家が電力を消費した時間を測定し豫め契約に應じ電力料を算定する方法で、電力を消費した時間を積算せしめる爲時間計 (hour meter) なるものを用ふる。之は普通の時計仕掛に繼電器を併用すれば宜いので、電力を使用して居る間丈時計は働作し

其の時間を積算するものである。更に進む方法は供給電圧を一定と見做して電量を積算する積算電量計を用ひ其の示すアムペア時に依つて電力料を算出する。尙一段進んだ方法は積算電力計を用ひて實際消費した電力量に依つて一キロワット時何程と云ふ割合に依つて料金を算出するのである。何れの場合にも多量の電力消費を奨励する爲に或る電力量以上を消費する時は之に割引を行ふ方法が行はれて居る。

均一従量制の得點は其の料金計算が割合に簡單で又其の方式が一般需用家に分り易いと云ふ點にある。

此の様な方法で日々料金を徴収する時は料金の未拂を生ずる場合がある。之を防ぐ爲に電力を使用する前に先づ料金を支拂はしむる方法がある。此の目的に用ひる計器を前拂料金計器 (prepayment meter) と云ひ、先づ以て金を計器内に入れなければ電氣を使用することか出来ない様になつて居る。此の方法は均一従量料金制の一種に過ぎない。

(ハ) 特殊従量料金制 均一従量料金制は使用電力量に依つて料金を算出するのであるから稍合理的であるが、實際に於て電力供給の費用は使用電力量のみに比例する様な單純なものではない。ポプキンソン氏 (Dr. Hopkinson) は電力供給の費用は (一) 供給の準備に要した費用と (二) 供給を繼續するに要する費用、即準備費と電力發生費の二つに分けた。電力發生費の方は使用電力量に比例するが準備費の方は設備の大きさに依つて定まり、使用



電力量に無関係である。例へば甲乙の二需用家があつて、甲は一日平均二時間、乙は一日平均十時間宛使用し同一キロワット時を消費する場合を考へるに、甲は乙の約五倍の電力を使用する譯である。然るに甲乙二需用家は其の使用電力量同一であるから電力發生費は同一であるけれども、發電所機械電線器具等何れも甲に對して乙より遙に大なるものを設備しなければならない。即ち甲は乙に比して遙に大なる準備費を要する。従て甲に對しては乙より大なる料金を徴収するのが至當である。又斯の如く料金を違はせると自然乙の様な需用家を奨励し負荷率を増すことが出来る。又一日中一般に日中は電力使用少く夜間殊に夕方から午後十一時頃迄は電力の使用は著しく多くなり又午後十二時過から夜明け迄は甚だしく電力使用が減少するものである。夫故に日中電力の使用を奨励し夜間電力の使用を制限する必要がある。之に對しては1キロワット時の料金を夜間に於て電力使用の多い時は高くし其他の時間は安くすれば自然負荷率を増進せしめることが出来る。又電熱等の使用を奨励する爲に電熱等に對しては特に料金を安くすることもある。又豫め協定せられた限界より以下の電力ならば低率料金で夫以上の電力を使用する場合には之を制限する爲に協定限界以上の電力に相當するキロワット時に對して高率料金とする方法もある。之等は特殊料金制を構成する要素である。其の中主なるものを擧げると

(1) 二種料金計器 (double tariff meter) に依る料金制 日中

電力の除裕ある時は低率で夜間は高率とする爲に、日中の電力量と夜間の電力量を別々に積算する様になつて居る計器がある。之を二種料金計器と云ふ。同じ計器と開閉器と組合せ適當に回路を作れば負荷の種類即電燈、電力又は電熱等の種類に依つて料金を違はせる様に用ふることも出来る。

(2) 最大需用表示器と積算電氣計器を併用する料金制 之は電氣供給の費用が準備費と電力發生費との二つから成立つものとする考の下に、使用最大電力は最大需用表示器に依り全使用電力量は積算電氣計器に依つて定めるので、需用家は成る可く大なる電力の使用を避けて結局發電所に於ける負荷率を改善することゝなるのである。

ホブキンソン氏の方法は或期間の間に使用した最大電力に對し其の大きさに應じ一定料金を課し、之に加ふるに實際消費したキロワット時數に依る料金を徴収するのである。

ライト氏 (Arthur Wright) の方法は或期間の間に使用した最大電力即最大需用表示器の示す最大電力を例へば毎日一時間宛使用したものと假定し其の電力量を最大需用電力量と名け、之に對しては高率料金で計算し、更に普通の計器の示す實際消費電力量から前記の最大需用電力量を減じた残りのキロワット時に對し低率料金で計算し、二者を合したものを其の期間の料金とするのである。

供給者の側から考へると最大需用は一日中に使用する時刻に依



つて大なる相違がある。日中電力に澤山餘裕のある時は大なる電力を消費せられる程好都合であるが、夜間では大きい電力を無闇に使はれるのは閉口である。夫故に一日中に如何なる時刻にどれだけの電力を消費したかと云ふことを知る爲に**プリント・メーター** (printometer) なるものを用ふことがある。

(3) **差働計器** (differential meter or excess meter) に依る**料金制** 之は或協定限界以上の電力に相當するキロワット時を示すもので、此の超過電力量に對して高率を課する方法である。

此外以上の方法を組合せた更に複雑な料金制があるが茲には之を略する。我國では定額料金制、均一従量料金制が最も普通で二種料金制或は最大需用表示器に依る料金制を採用して居る所も

第 251 圖



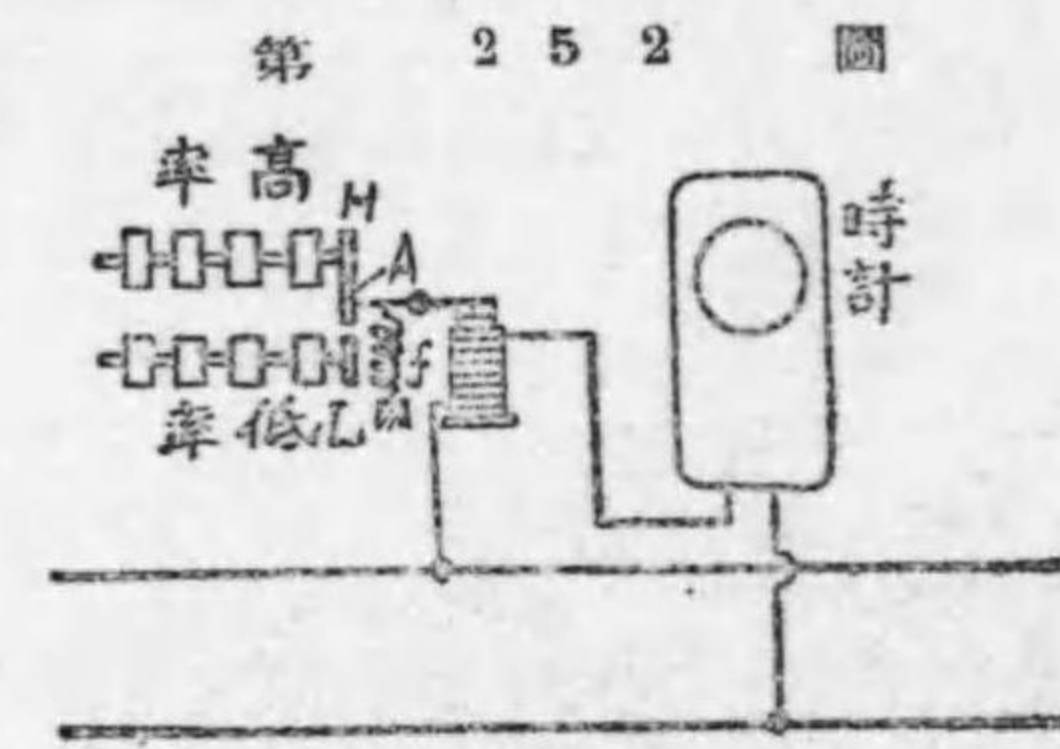
前拂料金計器

二三ある。

**190. 前拂料金計器** 第 251 圖は前拂料金計器の一を示すものである。計器夫自身(左側)は普通の積算電力計と何等異なる所がない。右側の函の中央部には金を入れる穴があつて、其の穴から金を入れ把手を廻し

金を函内に藏めると、其と同時に開閉器を閉ぢ電気回路を作り電氣を使ふことが出来る。電氣を消費すれば其の電力に應じ計器の圓板は廻轉を初め其の金額に相當するキロワット時丈圓板が廻轉した時に回路は自動的に開かれる。従て更に電氣を使用する場合には新に金を入れねばならないのである。勿論金を入れねば把手を廻して回路を作ることが出来ない様になつて居る。

**191. 二種料金計器** 第 252 圖は二種料金計器働作の原理の一例を示すものである。計器の働作部分は全く普通の積算電力計と同一であるが、其の異なる所は二個の計量装置を備へ其の一を低率料金に對する計量装置他を高率料金に對する計量装置となすことである。計器の圓板の廻轉は齒車 A に傳へられるから A が低率計量装置 L と噛み合へば低



二種料金計器の原理

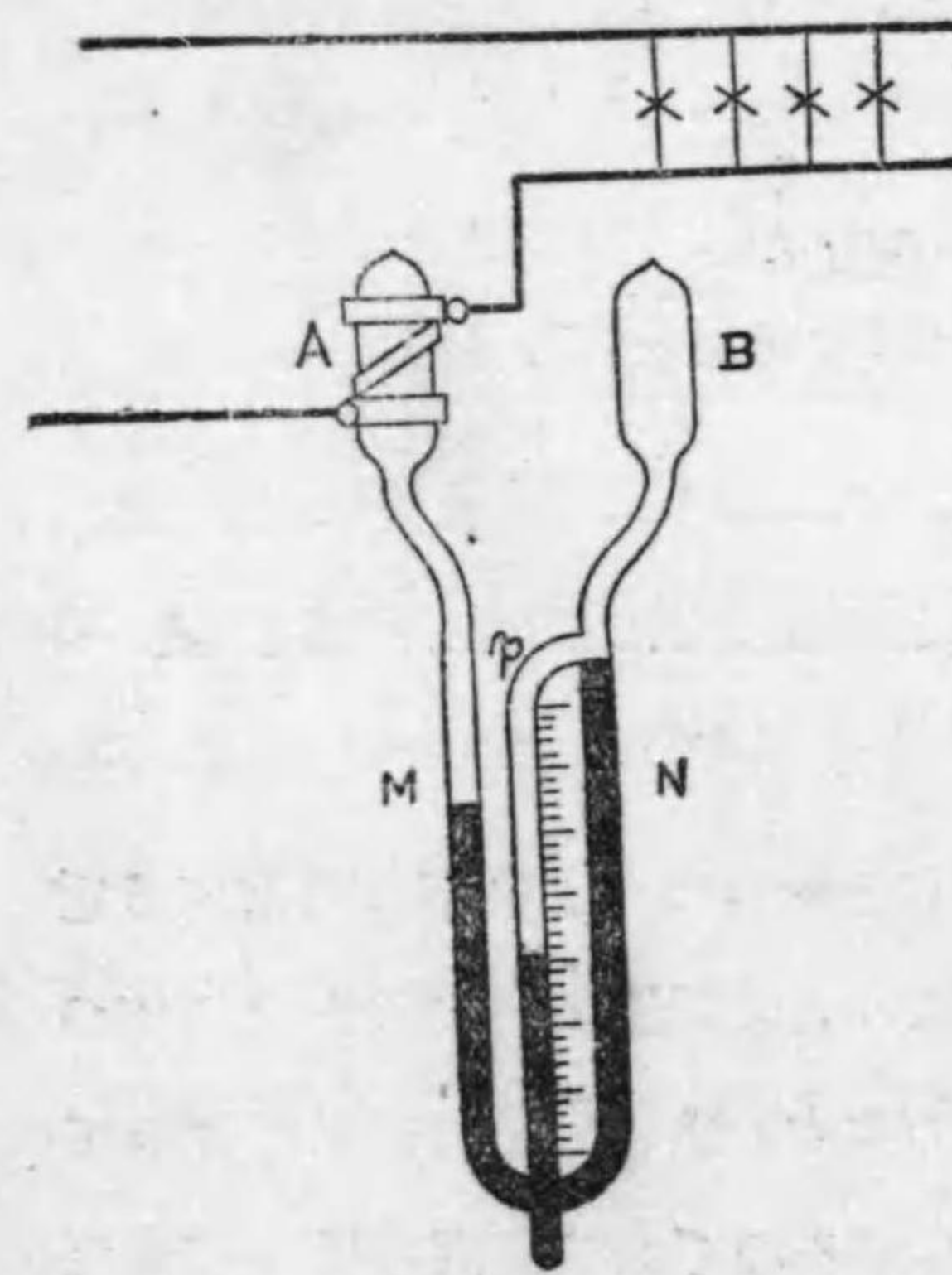
率に相當する電力量を計量し、H と噛み合へば高率に相當する電力量を計量するのである。此の噛み合は開閉器付時計と之に依つて支配せられる電磁石に依つて行はれ、豫め定めた時間に従つて高率又は低率計量装置を働作せしめるのである。圖の場合には夜間には(例へば午後六時より十二時迄)時計内の開閉器が閉ぢられ電磁石の回路が出来電磁石は回路の電壓に依つて勵磁せられて、



接極子を吸引し、齒車 A は H と噛み合ひ高率計量装置を働かせしめ、其の他の時間では時計内の開閉器が開かれ電磁石の回路が出来ない爲、齒車 A は彈條 f の作用に依つて低率計量装置と噛み合ふのである。時計内の開閉器は時計内にある特殊の機構に依つて自動的に開閉せられるのである。時計は計器と別になつて居る場合と計器と同一函内に装置せられる場合とがある。

負荷の大小又は負荷の種類に依つて電力料を異にせんには、上記の二種料金計器を開閉器又は繼電器と適當に組合せれば出来る。

第 253 圖



ライト最大電流表示器

ける液體の面を押し下げ N に於て液體面を上げ、斯様にして液

### 192. ライト最大電流表示器 (Wright maximum demand meter)

第 253 圖はライト最大電流表示器を示すもので、圖の様に密封した硝子管に一種の液體を充し、加熱球 (heating bulb) A に高い固有抵抗を有する合金の金屬帶を巻き、此金屬帶に負荷電流を通す。然る時は A は熱せられて A 内の

空氣を膨脹せしめ M に於

體は中央の管 p に溢れ出るのである。A 球に於ける加熱作用は電流が大きい程多いから、従て電流大なる程 p に溢れ出る液體の量は多い。而して前に通つた電流より小さい電流が通れば加熱作用が少くなるから N に於ける液體面は下る。夫故 p 管に豫め電流の値を目盛つて置く時には p 管の液體面の高さは或期間内に使用した最大電流を示す譯である。

此種の計器は A の加熱作用に依つて動作するものであるから瞬間的の負荷の變化に對しては殆んど動作しない。此點は最大負荷表示器の性質上有用な點である。何となれば極めて瞬間のみ繼續する電流は供給者の側から見て最大負荷と見做す必要がないからである。ライト最大電流表示器は通常次の様に調整してある。

若し五分間最大電流が繼續すれば其の電流の九割を示し

若し十分間最大電流が繼續すれば其の電流の九割七分を示し

若し四十分間最大電流が繼續すれば全電流を示す

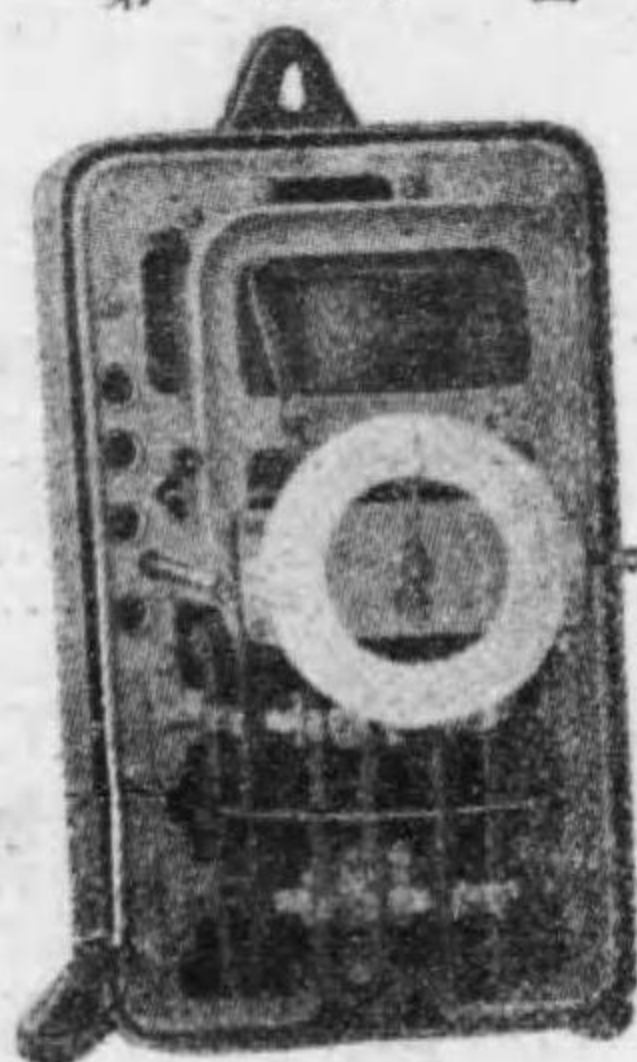
### 193. ゼネラル電氣會社最大電力表示器 第 254

圖はゼネラル電氣會社 W 型最大電力表示器を示すもので、誘導型指示電力計に強力なる制動装置を施したものである。圖に於て上半部は普通の誘導型積算電力計と同一の構造であるが、之を自由に廻轉せしめないで指示電力計の作用を爲さしめる爲に制御螺旋を軸に取付けてある。かくして上部の圓板には電力に比例する廻轉力が働き圓板の廻轉は螺旋及齒車装置に依り前面の指針に傳へられ、負荷一定であれば指針は圓板に働く廻轉力と螺旋の制御



廻轉力とが相平衡する位置迄動く譯である。此指針を第一指針と名付ける。夫故に若し下部の制動作用が強くなれば普通の指示電力計と異なる所がない。下半部は制動装置であつて強力な耐久磁石八個を下部銅製圓板の上下に装置し之に依つて強力な制動作用を生ぜしめるものである。故に負荷の電力に應じ適當の指示を與へる爲圓板が廻轉すると下部の制動作用に依つて第一指針が最後の傾斜を爲す迄には或時間を要し圓板の廻轉速度従て指針の運動は極めて遅い。若し此の耐久磁石の制動作用を更に大きくすれば圓板の廻轉は益々遅くなり従て最後の指示を與へる迄には更に大なる時間を要する。若し反對に耐久磁石の制動作用を弱くすると短かい時間で最後の指示を與へるのである。普通五分間同一の負荷が繼續する時は其の電力の9割を指示する様に調整せられる。最大電力指示装置としては計器の前面に目盛盤に對して装置せられる前記の第一指針の外尙一個の第二指針がある。此第二指針は圓板の廻轉軸とは全く無關係であつて單に第一指針の前進に依つて前方に推されるのみで決して後退することがない。第一指針は電力に應じ絶へず其の位置を變ずるから第二指針は或期間の間に第一指針の動いた最大指示の位置に止まる。従て第二指針は或期間内に使用した最大電力を表示する譯である。

第 254 圖

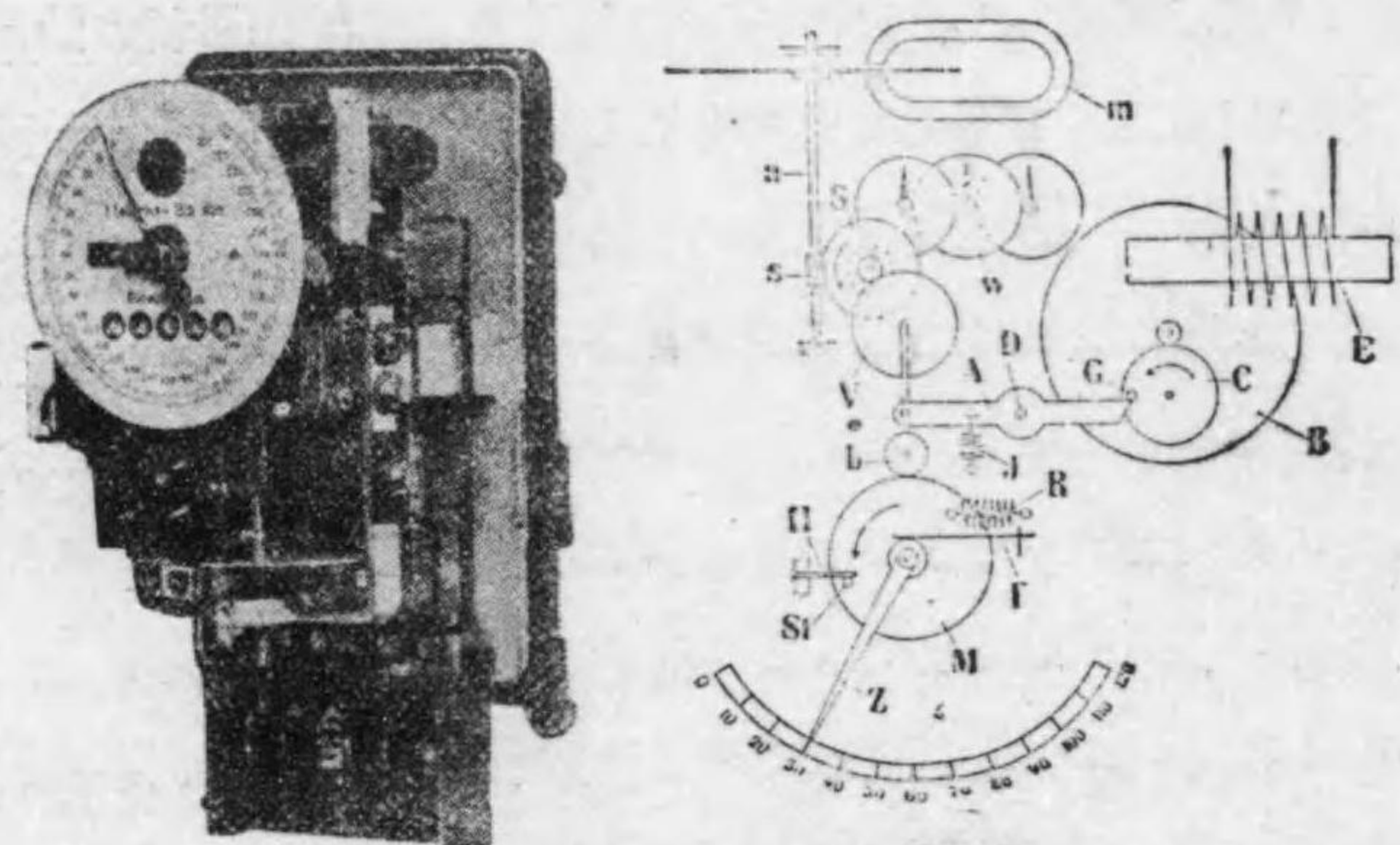


ゼネラル電氣會社最大電力表示器

普通五分間同一の負荷が繼續する時は其の電力の9割を指示する様に調整せられる。最大電力指示装置としては計器の前面に目盛盤に對して装置せられる前記の第一指針の外尙一個の第二指針がある。此第二指針は圓板の廻轉軸とは全く無關係であつて單に第一指針の前進に依つて前方に推されるのみで決して後退することがない。第一指針は電力に應じ絶へず其の位置を變ずるから第二指針は或期間の間に第一指針の動いた最大指示の位置に止まる。従て第二指針は或期間内に使用した最大電力を表示する譯である。

194. 最大負荷表示器付積算電力計 第 255 圖は最大負荷表示器と積算電氣計器と組合した計器を示すものでシーメンス又はアルゲマイネ會社で製造せられる。圖から分る様に働作部分は普通の積算電力計であつて、圓板軸の廻轉は積算電氣計器の計量装置に傳へられると共に最大負荷表示装置に傳へられる

第 255 圖



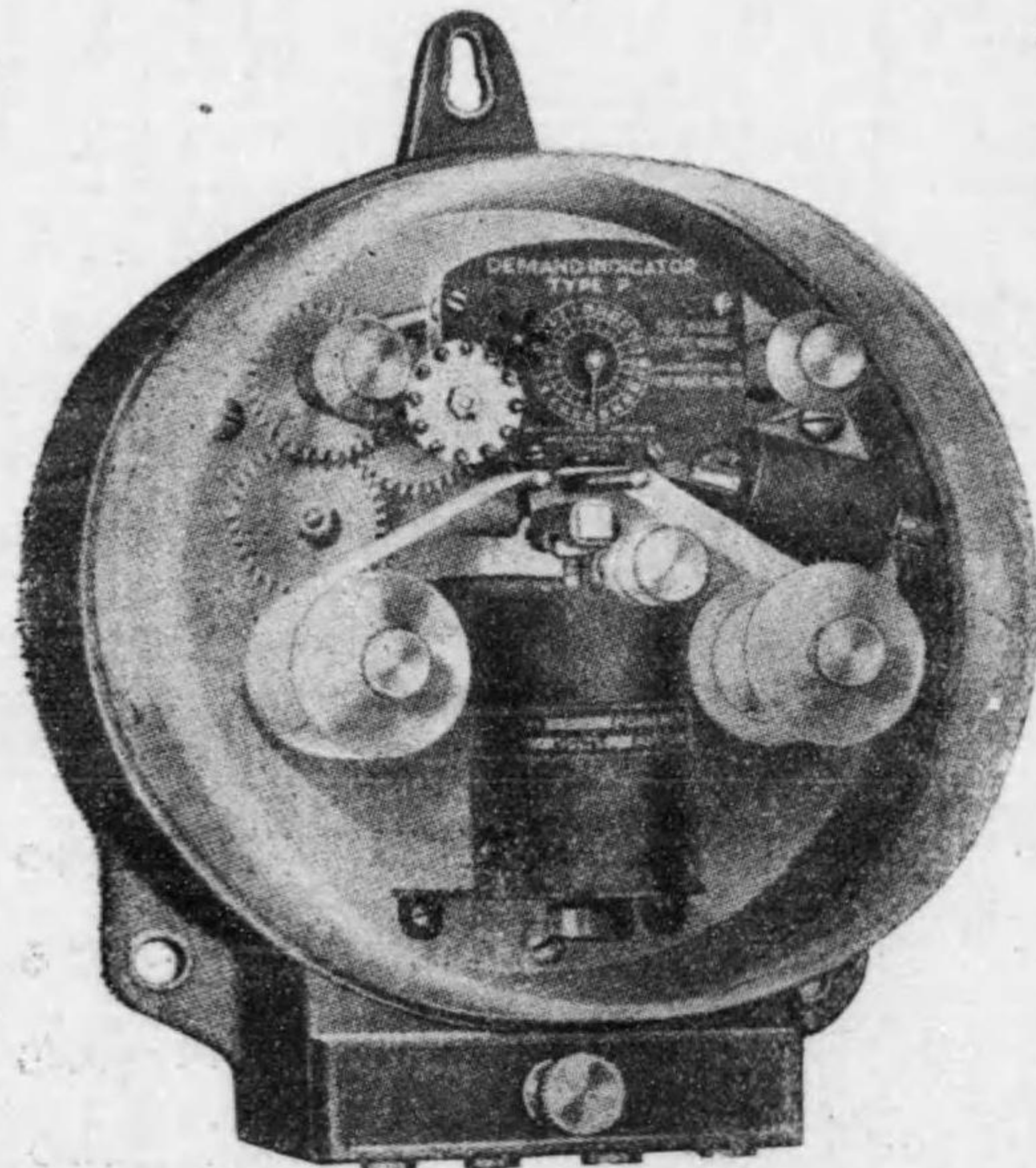
最大負荷表示器付積算電力計

のである。此の場合には積算計器の圓板の廻轉は齒車裝置に依つて表示装置の小圓板 M に傳へられるので、小圓板 M には St なる突起がある。表示装置には一個の指針があつて前記小圓板の突起に依つて動かされる。此指針は前節に述べたゼネラル電氣會社の最大電力表示器の第二指針と同様に計器圓板軸とは無關係で小圓板 M の突起から推されて前進するが後退することは無い。然るに別に回路の電壓に依り働作する電氣時針 B があつて、之に依つ



て十五分毎に一回小圓板 M と計器迴轉軸との關係が斷たれる爲に突起 St は螺旋 R の作用に依つて自動的に零に歸り、更に又零から 15 分間前進する。夫故に指針の位置は或期間内に十五分間に消費せられた最大電力量に比例する。従て此の指針の位置は或期間内の 15 分間毎に消費せられた平均最大電力を指示するものである。圖の場合には電氣時計は計器内に裝置せられたが、此の

第 256 圖



プリントメーター

代りに計器と別に普通の振子型時計に電氣接觸裝置を附したるものを用ひるものがある。

近年ゼネラル電氣會社でも前節の最大負荷表示器の代りに本節に述べた原理の最大負荷表示器を製作するに至つた。但ゼネラル電氣會社のものは最大負荷表示

器は別の函に裝置せられ表示器と積算計器と機械的に接續する代りに電氣的に接續して圓板迴轉の働作を最大負荷表示器に傳へる

様に出來て居る。

195. **プリントメーター** 之は一種の記録計器であつて、第 256 圖は其の外観を示すものである。此プリントメーターは任意の積算電氣計器と組合せ得るもので、此場合には積算計器の計量裝置とプリントメーターの計量裝置とは電氣的に連絡せられ、プリントメーターの計量裝置を積算計器の計量裝置と全く同一に動かすのである。而してプリントメーターの計量裝置はサイクロメーターの數字が活字になつて居り其の上にタイプライターの様態に騰寫用リボンと紙があつて、豫め調整せられた一定の時間毎に護謨製の印字板で叩きサイクロメーターの活字に依り數字を紙に印刷する様になつて居る。護謨印字板は電氣接觸付時計に支配せられる筒線輪に依つて働作するのである。印字板は目的に應じ 1 時間、30 分、20 分、15 分、10 分 或は 5 分 毎に働作する様に調整し得るのである。

第 257 圖

1	439
1	455
2	493
2	539
3	579
3	615
4	653
4	685
6	713
5	741
6	747
6	753

(ACTUAL SIZE)

プリントメーターの記録

第 257 圖はプリントメーターの記録を示すもので、左方の小文字は時刻、右方の文字はキロワット時を示す。即ち之に依つて各時刻に於ける平均最大電力を算出することが出来る。例へば圖の例から算出すると



時刻	キロワット時	差	平均キロワット
1.0 <sup>時分</sup>	439	16	32
1.30	455	38	76
2.0	493	46	92
2.30	539	40	80
3.0	579	36	72
3.30	615	38	76
4.0	653	32	64
4.30	685	28	56
5.0	713	28	56
5.30	741		

即二時と二時半の間に最大電力を使用したとが分る。之に依り各時刻に於る負荷の様及消費キロワット時を知り得るのである。

196. 差働計器 此計器の機構は稍々複雑であるから詳しい説明は略するが、一般に回路の電壓に依つて勵磁せられシェーディング・コイルの作用に依り一定速度を以て廻轉する圓板がある。此の圓板の速度は丁度協定せられた電力に相當する様になつて居る。此の計器の一例を述べると二個の計量装置があつて第一の計量装置は前記の一定界限電力に相當する速度で廻轉する圓板（之をパウシャル・モートル (pauschal motor) と云ふ）の軸に依つてのみ廻轉せられ一定時間に對し一定電力量を示すが、第二の計量装置はパウシャル・モートル及計器圓板軸の何れかに依つて廻轉せ

られる。若し計器の圓板の速度がパウシャル・モートルの速度より遅ければ第二計量装置はパウシャル・モートルに依つて廻轉せられるが、若し計器圓板の速度がパウシャル・モートルの速度より速くなると第二計量装置は計器の圓板軸から廻轉せられる。夫故に使用電力が協定限界以下であれば二つの計量装置の示す讀は同一であるが、使用電力が協定限界を超過する場合には第二計量装置の讀は第一計量装置の讀より多くなる。斯くして第二計量装置と第一計量装置の示すキロワット時の差は或期間内に協定限界以上の電力を使用した時其の限界を超過する餘分の電力に相當するキロワット時に等しいのである。

上記の様な構造のものでは全消費電力量を知ることが出来ない。他の差働計器では同じく二個の計量装置を備へ第一の計量装置は計器の廻轉軸に依つて廻轉せられ普通の計器の様に或期間の全消費電力量を指示するが、第二の計量装置は計器の圓板軸及パウシャル・モートルに依つて廻轉せられる差働ギアに依つて廻轉せられるもので、若し計器圓板の廻轉速度がパウシャル・モートルの廻轉速度より遅ければ差働ギアの廻轉は傳へられないが、計器の圓板の廻轉速度がパウシャル・モートルの速度より速くなれば、差働ギアの廻轉方向は反對となり初めて第二の計量装置に計器圓板の廻轉とパウシャル・モートルの廻轉との差が傳へられる様になつて居る。斯様にして第一計量装置は全消費電力量を示し、第二計量装置は協定限界以上の餘分の電力に相當するキロワッ



ト時を示すことゝなるのである。

197. 摘要 本章に於て述べたことを摘記すると

1. 料金制には定額料金制と従量料金制がある。前者は取付電燈數及燭光又は取付馬力數に依つて料金が定まり、使用電力量には無關係であるが、後者は少くも使用時間、使用電量又は使用電力量に依つて料金を定めるもので、之等を測定する爲計器を使用するのである。

2. 従量料金制の最も簡單なるものは使用時間、使用電量又は使用電力量に依つて均一の割合で料金を決定するものである。然し乍ら電力供給の費用は電力供給に要する準備費と電力發生費の二つから成るものであるから、使用電力量が同じであつても使用電力の大きさに依つて料金を異にするのが正當である。又發電所に於ける負荷率を増進し、或は電熱の様な特殊の電力の利用を奨励する目的を以て、或は夜間と晝間の電力料を異にし、或は負荷の大小及性質に依つて電力料を異にし、或は一日中の使用時刻に依る電力消費の様様を考へて電力料を定める場合がある。

3. 均一の従量料金制で用ひられる計器は、最も簡單なものは時間計であるが、普通積算電量計或は積算電力計を使用する。

4. 特殊の従量料金制で用ひられる計器には二種料金計器、最大需用表示器、プリント・メーター、差働計器等がある。

5. 電力料の未拂を防ぐ爲に前拂料金計器を使用する場合があるが、之は均一従量料金制の一種に過ぎない。

## 第十四章 指示電氣計器及積算電氣計器の試験

198. 指示電氣計器の較正試験(calibration) 直流電壓計及直流電流計は第五章に於て述べた様に電位差計を以て其の目盛の較正試験を行ふことが出来る。又直流及交流に用ひ得る計器中ダイナモメーター型電壓計、電流計及電力計、熱線型電壓計及電流計並靜電型電壓計の様に普通の周波數の範圍では直流回路に用ひても交流回路に用ひても實用上其の指度を變じないものは同様に電位差計に依り直流を以て較正試験を行ひ之を直流回路及交流回路に使用することが出来る。但しダイナモメーター型計器は既に述べた様に地球磁界の様な弱い外部磁界も其の指度に影響を及ぼすから其の較正試験に於ては計器の電流の方向を反對とし(電力計の場合には電流及電壓共に其の方向を變じ)二回の測定を行ひ其の平均値に依つて更正(correction)を見出すのである。何れの場合でも電位差計を用ひる場合には其の電源として蓄電池を用ひるが宜しい。又一般に較正試験を行ふには試験すべき計器の指針を丁度目盛の線の上に合せて其の目盛に相當する眞の電壓、電流又は電力の値を電位差計に依つて測定するのである。

例へば 150 ヴォルト用ダイナモメーター型電壓計の較正試験を行ひ、100 ヴォルトの目盛に指針を合せて、之に要する眞の電壓を



電位差計で測定した處が、一方向に電流を通した時電位差計の測定電壓 101.63 ヴォルトで、電流の方向を變へて同じ目盛を指示せしめるに要する電壓が 98.97 ヴォルトであつたとすれば其の目盛に相當する眞の電壓は  $\frac{1}{2}(101.63+98.97)=100.3$  ヴォルトである。即計器は眞の電壓よりも少き指示を與へ、目盛から實際の電壓を得る爲には 100 ヴォルトの處で 0.3 ヴォルトを加へなければならぬ。此の場合に計器は 100 ヴォルトの目盛に於て -0.3 ヴォルト (- は眞の値より少ないと云ふ事を意味する) の誤差を有すると云ひ、又 +0.3 ヴォルト (+ は目盛の値に加へると云ふことを意味する) の更正を有すると云ふのである。指示電氣計器では誤差よりも寧ろ更正の方を用ひるのが便利である。何となれば更正で表せば計器の指示にどれ丈を加へ又は減ずれば眞の値となるかを直に表はすからである。

計器の較正試験に於て電位差計で測定する程の確度を要しない場合には電位差計で豫め較正試験を行ひ其の更正を見出して置いた計器を標準として試験すべき計器の試験を行ふ。電壓計の場合には標準計器と試験計器を並列に接続して兩計器に同一電壓を與へ、電流計の場合には標準計器と試験計器とを直列に接続して兩計器に同電流を通し、又電力計の場合には標準計器と試験計器の電壓線輪は並列に接続し電流線輪は直列に接続して兩計器に同電壓及同電流を與へ、何れの場合にも試験計器の目盛を一定に保つて之に對する標準計器の指示を読み、之に依つて其の更正値を見

出すのである。勿論標準計器の指示に對し豫め見出した更正を施し眞の電壓電流又は電力の値を取るのである。電力計の較正試験には既に述べた様に電壓及電流の電源として別々の二電源を用ひるのが實用上便利である。又直流標準電流計としては電流が餘り小さくない場合には標準低抵抗器とミリヴォルト計を用ひるのが便利である。

可動鐵片型計器を直流計器として試験するにはヒステリシスの影響があるから、既に述べた様に其の極を數回轉換した後極を變へて行つた二回の試験に對する平均値を取るが宜い。但し交流用としては交流で試験しなければならない。

交流用可動鐵片型又は誘導型指示電氣計器は一般に周波數の影響を有するから、其の較正試験は計器の規定周波數の交流を用ひなければならない。標準計器としてはダイナモメータ型計器、アムペア衡、熱線型計器及靜電型計器の様に直流を以て較正試験を行つたものを交流に用ひて實用上誤差を生じない様な計器を用ひるのである。斯くの如き計器は直流から交流に移すものであるから轉位計器 (transfer instrument) と稱せられるのである。

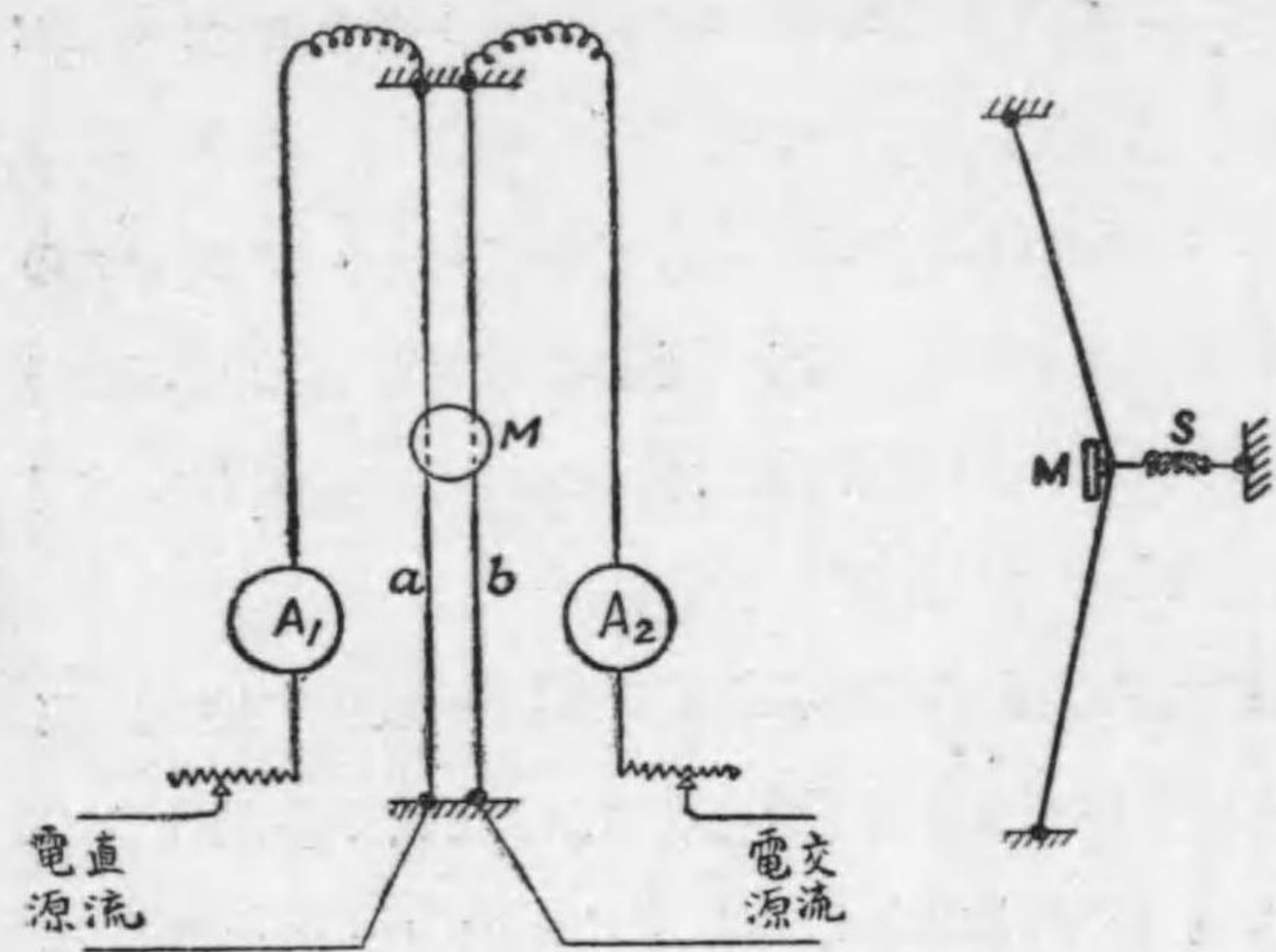
### 199. 交流及直流比較器 (AC-DC comparator)

交流計器の較正試験を轉位計器を用ひないで直に直流計器と交流計器とを比較して行ふ方法がある。第 258 圖に示したものは米國リーズ・エンド・ノルスラップ會社の交流及直流比較器と稱せられるもので其の一例である。比較器は一種の差働熱線計器であつ



て、a 及 b なる二本の同一な熱線から成り之に鏡面 M を取り付けてある。初めに a 及 b を直列に接続し同一の電流を通し M より反射する光点を尺度上の零に来る様に調整し、次に圖の様に

第 258 圖



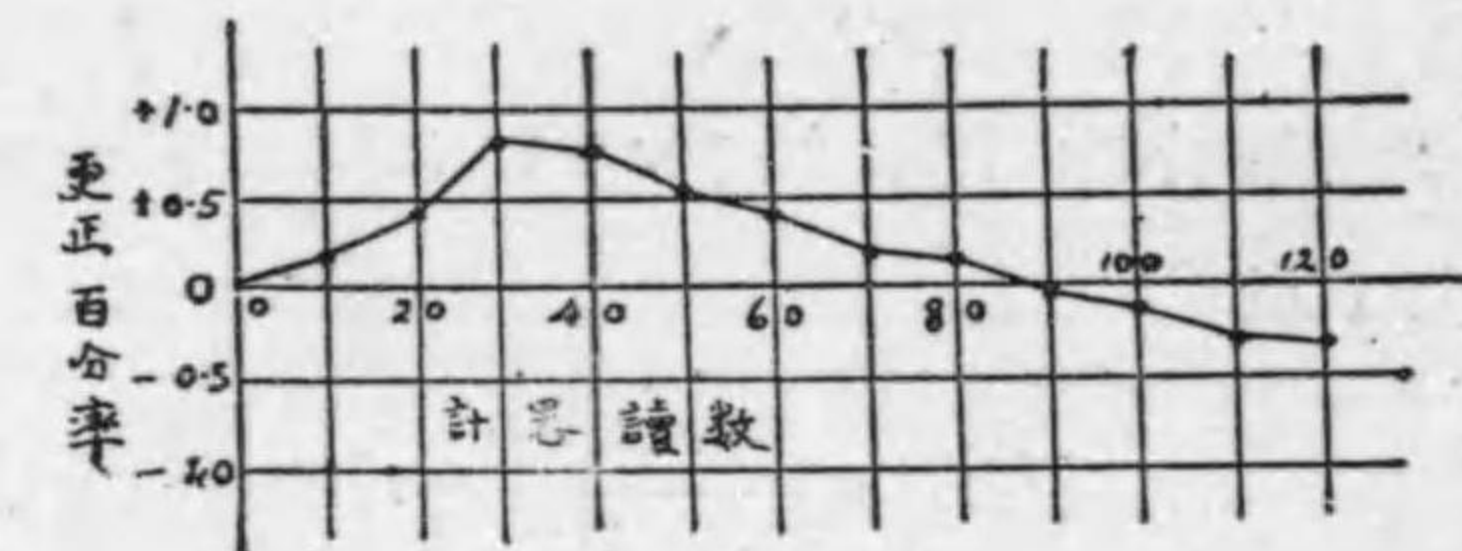
交流及直流比較器

例へば a を較正試験を行つた直流電流計 A<sub>1</sub> と共に直流電源に接続し、b を試験を行ふべき交流電流計 A<sub>2</sub> と共に交流電源に接続する時は、若し a 及 b に通ずる電流が相等しくなく其の伸長に相違があると、M は螺旋 S の作用に依つて何れか一方に傾き M より光点は尺度上に於て零から移動する。夫故に試験交流計器の指示を一定に保ち直流電流を加減抵抗器に依つて加減し M より光点を零に復せしめると、a 及 b の伸長は同一となつた場合であるから、a 及 b の加熱作用は相等しく、従て a 及 b に通つた電流は相等しい譯である。夫故に兩計器の讀を比較して交流計器の更正を見出すことが出来るのである。

實際に於ては熱線に大なる電流を通すことが出来ぬから適當な分流器を用ひて測定すべき電流の一部を通すのである。又電壓計の較正試験も多少の變更を行ひ同様に行ふことが出来る。

200. 更正曲線 (calibration curve) 前二節に於て述べた様にして較正試験を行つた計器は其の結果を曲線に畫くのが普通である。但し更正は普通目盛の百分率で表はすのである。第 259 圖は此曲線の一例を示すもので、計器の目盛を横軸に取り更正を縦軸に取つたもので、斯様な曲線を更正曲線と云ふ。

第 259 圖



更正曲線

(+) の更正を有するものは計器の讀に其の更正を加へれば眞の値が得られ、(-) の更正を有するものは計

器の讀から其の更正を減ずれば眞の値が得られるのである。

更正と誤差に就ては第 198 節にも一寸述べたのであるが、尙一般的に之を説明しやう。例へば I を或電流計の讀とし其の指示に對する眞の目盛を I<sub>0</sub> とすれば、更正 a は次の式で表はされる様な意味を持つて居る。但し a は百分率で表はした更正である。

$$I(1 + \frac{a}{100}) = I_0$$

$$\therefore a = \frac{I_0 - I}{I} \times 100 \%$$



即  $\alpha$  が (+) であれば計器の讀は眞の値より小さく、 $\alpha$  が (-) であれば計器の讀は眞の値より大きいのである。

計器の誤差は計器の讀が眞の値より大きいか小さいかを表はすものである。従て計器の讀が眞の値より小さくて更正が (+) である場合には誤差は (-) である。反對に計器の讀が眞の値より大きくて更正が (-) であれば誤差は (+) である。又更正は計器の讀の百分率で表はすが、誤差は眞の値に對する百分率である。前例の場合で誤差  $\xi$  (百分率) は

$$\xi = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100 \%$$

例へば計器の指示 10 アムペアに對する眞の値が 9.85 アムペアであれば

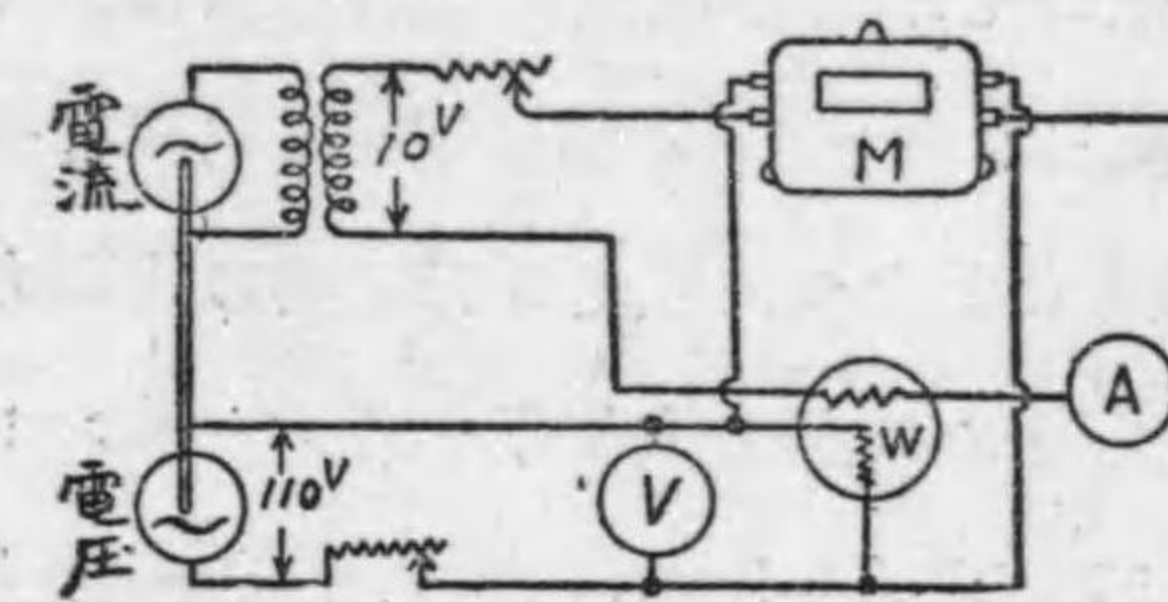
$$\text{更正 } \alpha = \frac{9.85 - 10}{10} \times 100 = -1.5\%$$

$$\text{誤差 } \xi = \frac{10 - 9.85}{9.85} \times 100 = +1.52\%$$

**201. 積算電氣計器の試験** 積算電氣計器の試験に於ては、第 140 節で電力計の校正試験に就て述べた様に實際の負荷を用ひて試験する時は試験の爲に大なる電力を消費するから同節第 174 圖に示した様に二箇の電源から電壓線輪及電流線輪に別々に所要の電壓及電流を與へて、小なる電力で實際と全く同様な負荷状態で試験を行ふのが宜しい。此方法は多數の計器の試験を行ふ時殊に便利である。第 174 圖は直流電源の場合であるから直

流積算電力計の試験に於ては全く同様に行ふことが出来る。交流積算計器の試験に於ても亦同様な方法を行ひ得るのである。此の場合には同一の軸に直結せられる電壓用交流機及電流用交流機を備へて例へば直流電動機に依つて之を運轉し、電壓及電流を別々に計器に供給するのである。第 260 圖は此の場合の接続を示すもので試験計器 M と標準電力計 (又は標準積算電力計) W とは

第 260 圖



二交流機法

其の電流線輪は直列に、電壓線輪は並列に接続して同一電壓及同一電流を與へるのである。而して交流計器の試験に於ては電壓及電流間の位相を變じて種々の力率 (本邦に

於ける電氣計器の檢定には力率 1 及 0.5 の二點に於て試験す) に於て試験する必要がある。この目的に對しては二個の交流機の中例へば電壓用交流機の固定子 (stator) をウォーム・ギア (worm gear) 等の作用に依つて極めて少し宛廻轉し得る様に裝置し、電流用交流機の固定子に對して其の相互的位置を變へる時は電壓及電流間に任意の相差を與へ又は位相を一致せしめることが出来る。又一個の三相交流機に依つても變相器 (phase transformer) なるものを用ひて同様の試験電源が得られる。此變相機は第 111 節に述べた交流電位差計用のものと全く同一の原理であつて普通

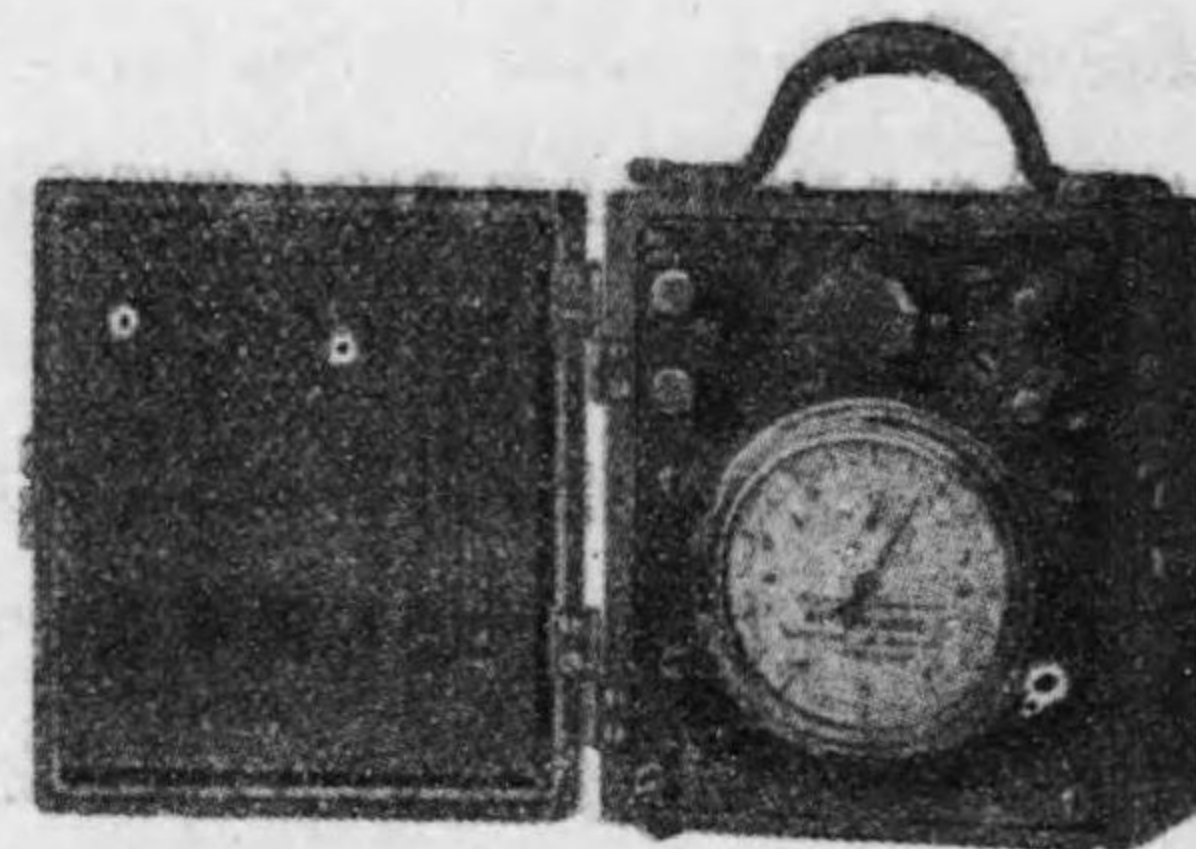


三相誘導電動機の廻轉子 (rotor) を廻轉せしめず、之を變壓器として使用するものである。即廻轉子を變壓器の一次線輪とし之に三相交流電壓を與へると、廻轉磁界を生ずる爲に固定子なる二次線輪に電壓が誘導せられる。二次電壓の一次電壓に対する位相は廻轉子の固定子に対する相互的位置に關係するもので、廻轉子をウェム・ギアで少し宛廻轉すれば二次電壓の位相を任意に變ずることが出来る。即此の場合には變相器の二次電壓を計器の電壓線輪に與へ、別に電流變壓器に依つて小なる電壓で電流線輪に電流を通ずるのである。此等の場合に力率 1 の點は電壓及電流を一定にして置いて電力計の讀が最大となつた點で定め。其の他の力率は同一電壓及電流の下に電力計の讀が最大指示の幾パーセントであるかに依つて決定する。例へば最大指示電力の  $\frac{1}{2}$  の時は力率は  $\frac{1}{2}$  の場合である。

實際の負荷で試験する場合には電燈の様な無誘導負荷を入れた場合を以て力率 1 とし、其の他の誘導負荷を得るには回路に可變リアクタンス線輪 (例へば鐵心を抜挿することが出来る様になつて居る線輪) の様なものを用ふれば宜い。又多相式回路ならば二次電壓を種々に變じ得べき二個の變壓器の組合せに依つて之を行ふことが出来る。

積算電氣計器を試験する方法に二法ある。一つの方法は標準積算電氣計器を用ふる方法で、他の方法は指示電氣計器を標準として用ふる方法である。

標準積算電氣計器は又廻轉標準計器 (rotating standard) とも稱せられるもので、普通の積算電氣計器と同一の原理に依つて動作する様に造られて居るが、其の各負荷に於ける調整は特に注意し其の誤差を極めて少くする様にしてある。其の特徴とする所は同一計器で數種の測定範圍を得ること及圓板の廻轉數を指示せしめる爲に計器に大なる指針を裝置することである。第 261 圖はウェスチングハウス廻轉標準計器を示すもので、大なる指針は直接圓板軸に取付けられ、圓板と同一速度で廻轉し、其の目盛は百等分せられてあるから、此の計器で圓板の一廻轉の  $\frac{1}{100}$  迄正確に讀むことが出来るのである。小さい指針は圓板一廻轉に付一目盛宛進むものである。斯



第 261 圖

廻轉標準計器

様な標準計器を以て試験する場合には標準計器と試験計器と其の電流線輪を直列に其の電壓線輪を並列に回路に接続して、試験計器の圓板の廻轉數と標準計器の指針の指示する圓板の廻轉數とを比較して試験計器の誤差を算出するのである。夫故に此方法では試験時間を測定する必要がなく、又試験中負荷が多少變化しても差支がない。又計器の取付場所て之を試験し得る便がある。然し乍ら積算計器の性質上標準計器でも各種の負荷状態で誤差がある



のを免れない。従て各種の負荷に對して豫め試験して其の誤差を定め置く必要があるし、又計器の誤差が恒久的でなく尙温度によつても變るから、時々試験する必要があるのである。又試験積算電氣計器の圓板の廻轉は一廻轉の分數を讀むことが出來ないから、多數の計器を同時に試験することが出來ない不便がある。

第二の方法では指示電氣計器を標準として使用するものであるから、試験計器の圓板の一定廻轉數に對し其の間に要する時間をストップ・ウォッチで測定する必要がある。又其の間は負荷を一定に保つ必要がある。此の場合には圓板の廻轉數の讀み始め及讀み終りに對する時間の誤差を除く爲圓板の廻轉數を相當に多く取らねばならぬ、普通試験時間は 100 秒内外である。然し乍ら此の方法の利益とする所は指示計器の更正は比較的正確に決定し得る事及多數の計器を同時に試験し得ることである。又第一の標準積算計器は第二の方法に依つて其の誤差を試験しなければならぬから、第二の試験方法は第一の試験方法に比して試験の確度が高い。

計器の製造會社で計器の速度を調整するには他の方法に依るのである。此の場合には同一の型式及同一容量の多數の計器を製作するのであるから同一容量の計器で極めてよく調整したものを備へて置き、之を標準として此の標準計器と多數の計器に同一電壓及同一電流を與へて、組立てられた計器の重負荷調整、位相調整及輕負荷調整を適當に調整し、試験計器の圓板の速度を標準計器の速度と一致せしめるのである。調整の順序は先づ計器に  $90^\circ$  の相

差を有する電壓及電流を與へて位相調整装置で圓板に働く廻轉力が零となる様に調整する。之に依つて電壓及電流兩線輪に依る磁束の位相が適當となつたのである。次に重負荷に於て制動磁石の位置を加減し圓板の速度を標準計器と合せ、最後に輕負荷で輕負荷調整装置を動かして圓板の速度を調整するのである。

202. 計器係數 (meter constant) 積算電氣計器の圓板の廻轉は螺絲及齒車装置に依つて逐次計量装置に傳へられ、

第 21 表 計器係數

係數 K の表はし方	圓板一廻轉に對する ワット秒 $K_0$
$K_1$ = 毎秒圓板の一廻轉に要するワット = 圓板一廻轉に對するワット秒	$K_0 = K_1$
$K_2$ = 毎分圓板の一廻轉に要するワット = 圓板の一廻轉に要するワット分	$K_0 = 60 K_2$
$K_3$ = 毎時圓板の一廻轉に要するワット = 圓板一廻轉に對するワット時	$K_0 = 3,600 K_3$
$K_4$ = 1 000 ワットに對する毎分圓板の 廻轉數	$K_0 = \frac{60 \times 1,000}{K_4}$
$K_5$ = 規定電力に對する毎分圓板の廻 轉數	$K_0 = \frac{\text{規定電力} \times 60}{K_5}$



指示盤に於て指針の指示する数字は直にキロワット時数を示すものであるけれども、一般に計器の計量装置指示盤の目盛はあらく不精密で且指針が相當の数字を指示する迄試験する爲には長い時間を要する。夫故に圓板の廻轉數を數へて之に依つて計器の指示すべきキロワット時を計算するのである。此の爲には計器の圓板の一廻轉に對し計器に規定せられるキロワット時数を知らねばならぬ。此の關係は製造會社に依つて種々の方式に依つて表はされる。此關係を表はす常數を計器係數と云ふ。例へば其の數種を擧げると第 21 表の如くである。

### 203. 積算電氣計器誤差の計算

#### (イ) 廻轉標準計器を用ひて試験する場合

$K_0$  = 試験計器の圓板一廻轉に對するワット秒で表はされる計器係數

$n$  = 試験計器の圓板廻轉數

$K'_0$  = 標準計器の計器係數

$n'$  = 標準計器の廻轉數

計器の指示すべきワット秒 =  $K_0 n$

標準計器の指示ワット秒 =  $K'_0 n'$

$$\therefore \text{誤差 } \xi = \frac{K_0 n - K'_0 n'}{K'_0 n'} = \frac{K_0 n}{K'_0 n'} - 1 \dots \dots \dots (1)$$

但實際には  $K'_0 n'$  には標準計器の更正を施すべき必要がある。

#### (ロ) 指示電氣計器を用ひる場合

$W$  = 負荷の電力 (ワット)

直流の場合  $W = (\text{電壓計讀數}) \times (\text{電流計讀數})$

交流の場合  $W = \text{電力計讀數}$

$K_0$  = 試験計器の計器係數

$t$  = 圓板  $n$  廻轉に要した時間 (秒) (ストップ・ウォッチの讀數)

試験計器の指示すべきワット秒 =  $K_0 n$

眞のワット秒 =  $Wt$

$$\therefore \text{誤差 } \xi = \frac{K_0 n - Wt}{Wt} = \frac{K_0 n}{Wt} - 1 \dots \dots \dots (2)$$

若し  $T$  を計器が正確である場合に  $W$  ワットの電力に對し圓板  $n$  廻轉に要する時間とすれば、 $T = \frac{K_0 n}{W}$  である。 $T$  は與へられたる計器係數及豫定の試験條件  $W$  及  $n$  に依つて豫め算出することが出来る。故に誤差は又次式に依つて表はされる。

$$\xi = \frac{K_0 n}{W} \times \frac{1}{t} - 1 = \frac{T}{t} - 1 = \frac{T - t}{t} \dots \dots \dots (3)$$

實際に於ては電壓計電流計又は電力計の讀は何れも適當な更正を加へて  $W$  を計算し(2)式に依つて誤差を算出せねばならぬ。若し(3)式を用ふる場合には更正値が餘り大きくなければ少しく式を變化し次に記載する(4)式に依つて算出するのが便利である。今  $\alpha, \beta, \gamma$  を夫々電壓計、電流計及電力計の更正とすれば計器の眞の誤差は

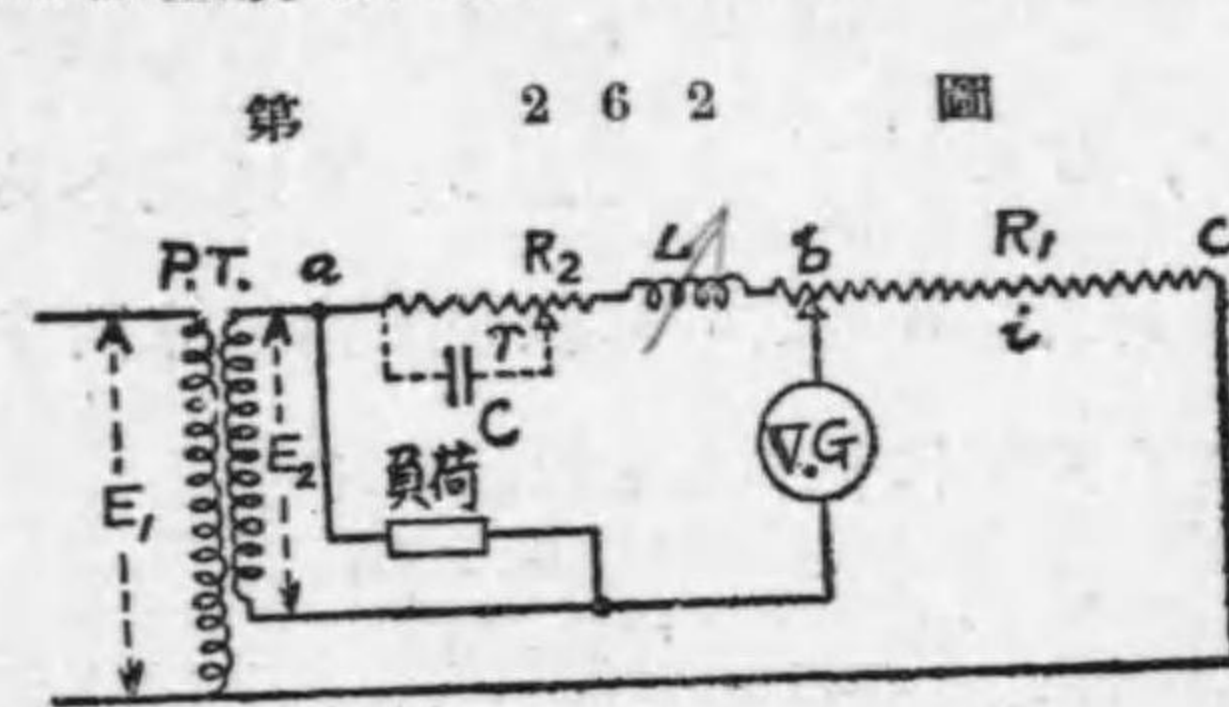


$$\left. \begin{array}{l} \text{直流の場合 } \xi_1 = \xi - (a + \beta) \\ \text{交流の場合 } \xi_2 = \xi - \gamma \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4)^*$$

直流積算電氣計器の試験に於ては地球磁界の影響を除く爲に電壓及電流の方向を反對にした、二回の試験の平均に依つて誤差を算出すべきことは既に述べた通りである。

**204. 計器用變壓器及變流器の試験** 計器用變壓器及變流器の試験法は諸大家に依つて種々の方法が試みられた。今其一例として米國標準局で行はれた次の方法を述べやう。

(1) 變壓器 第 262 圖に於て P. T. は試験變壓器、 $R_1$  及  $R_2$  は無誘導抵抗、 $L$  は可變インダクタンス、 $C$  は容量、V. G は振動ガルヴァノメーターである。先づ容量  $C$  は接続されな



變壓器の試験法

間を  $R_2$ 、 $bc$  間の抵抗を  $R_1$  とし、 $2\pi fL = x$  とすれば

\*註 E, I を電壓計及電流計の讀とし直流の場合の誤差を求めると

$$\begin{aligned} \text{眞のワット時} &= E(1+a)I(1+\beta)t = W(1+a)(1+\beta)t \\ \xi_1 &= \frac{K_n n}{W(1+a)(1+\beta)t} - 1 \\ &= \frac{T}{t(1+a)(1+\beta)} - 1 \doteq \frac{T}{t}(1-a)(1-\beta) - 1 \\ &= (1+\xi)(1-a)(1-\beta) - 1 \\ &\doteq \xi - (a+\beta) \end{aligned}$$

交流の場合も同様にして算出することが出来る。

$$E_1 = i\{(R_1 + R_2) + jx\} = i\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + x^2}$$

$$E_2 = i(R_2 + jx) = i\sqrt{R_2^2 + x^2}$$

今  $\theta_1$  を  $E_1$  と  $E_2$  との間の相差とし、 $E_1$  と  $i$  との間の相差を  $\alpha_1$ 、 $E_2$  と  $i$  との間の相差を  $\alpha_2$  とすれば、 $\theta_1$  も  $\alpha_1$  も  $\alpha_2$  も普通極めて小さいから、

$$\alpha_1 \doteq \tan \alpha_1 = \frac{x}{R_1 + R_2} \quad (\text{ラデアン})$$

$$\alpha_2 \doteq \tan \alpha_2 = \frac{x}{R_2} \quad (\text{ラデアン})$$

$$\text{相差 } \theta_1 = \alpha_2 - \alpha_1 \doteq \frac{x}{R_2} - \frac{x}{R_1 + R_2}$$

$$= 2\pi fL \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1 + R_2} \right) \quad (\text{ラデアン})$$

$$\text{又 變壓比 } \frac{E_1}{E_2} = \sqrt{\frac{(R_1 + R_2)^2 + x^2}{R_2^2 + x^2}}$$

$$= \frac{R_1 + R_2}{R_2} \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{R_1 + R_2}\right)^2}}{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{R_2}\right)^2}} \doteq \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

容量  $C$  を以て  $R_2$  の一部分  $r$  と並列に接続する場合には測定上便利を得られる。此の場合には上式のインダクタンス  $L$ 、及  $R_2$  の代りに次の値を代入すれば宜しい。

$$L' = L - \frac{Cr^2}{1 + (2\pi fCr)^2}$$

$$R_2' = \frac{R_2}{1 + (2\pi fCr)^2}$$



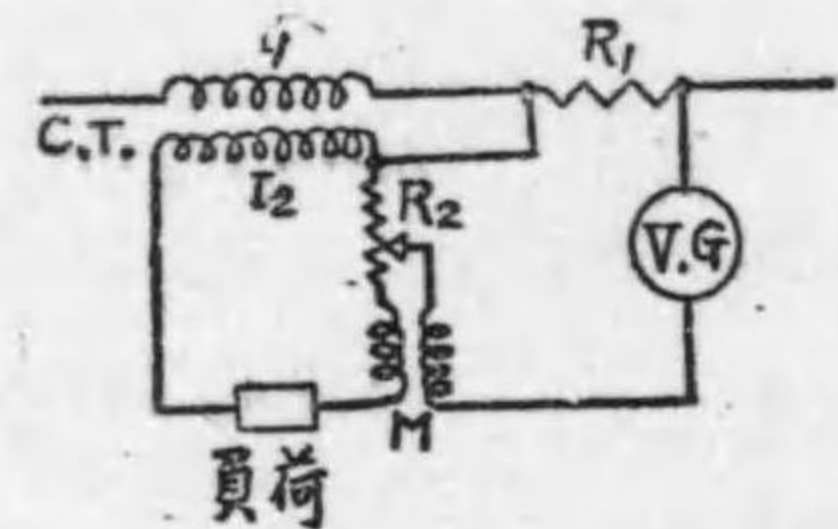
然るに實際上  $(2\pi fCr)^2$  は極めて小さく 1 に比して之を閉却することが出来る。従て實用上

$$L' = L - Cr^2$$

$$R'_2 = R_2$$

(□) 變流器 第 263 圖で C.T 試験變流器,  $R_1$  及  $R_2$  は無誘導抵抗器である。M は可變相互誘導標準器で其の相互誘導リアクタンス  $x_m = 2\pi fM$  である。圖

の接続で先づ  $R_2$  の接觸子を動かして、振動ガルヴァノメータの振動を最小とし、次に M の値を加減して振動ガルヴァノメータの振動を零とする。



變流器の試験法

$$I_2(R_2 + jx_m) = I_1 R_1$$

$I_1 R_1$  なる電圧降下が  $I_2 R_2$  と之に直角な  $I_2 x_m$  とのベクトル和に等しいから、 $I_1$  及  $I_2$  間の相差を  $\theta_2$  とすれば

$$\tan \theta_2 = \frac{x_m}{R_2} = \frac{2\pi f M}{R_2}$$

$$\begin{aligned} \text{變流比 } \frac{I_1}{I_2} &= \frac{\sqrt{R_2^2 + x_m^2}}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} \sqrt{1 + \left(\frac{x_m}{R_2}\right)^2} \\ &= \frac{R_2}{R_1} \times \frac{1}{\cos \theta_2} \end{aligned}$$

$\theta_2$  は小なる角であるから  $\cos \theta_2$  は實用的には略々 1 に等しい。

従て

$$\text{變流比 } \frac{I_1}{I_2} \doteq \frac{R_2}{R_1}$$

$$\text{相差 } \theta_2 \doteq \tan \theta_2 = \frac{2\pi f M}{R_2} \quad (\text{ラデアン})$$

205. 摘要 本章で述べたことを摘記すると

1. 指示電圧計、電流計及電力計は直流用のもの又は直流及交流兩用のものは直流を以て電位差計で較正試験を行ふことが出来る。但ダイナモメータ型は極を變へて二回の測定を行ひ其の平均値を取らねばならぬ。

2. 交流用計器は直流を以て試験して交流の標準となし得る轉位計器を標準として計器に規定せられる周波数の交流を以て較正試験を行ふのである。ダイナモメータ型、熱線型又は静電型の如きは轉位計器として之を用ひることが出来る。

3. 轉位計器の助けを借らないで直流計器を直接比較する装置に交流直流比較器なるものがある。比較器は一種の差動熱線計器である。

4. 積算電力計を試験するには標準積算電力計を用ふる法と標準指示計器を用ふる方法とがある。後法は前法に比し一般に其の試験の確度が高いが、前法は計器の取付場所に於て試験する場合などに便利である。

5. 積算電氣計器の試験に於て必要なることは計器の圓板の一廻轉に對し計器に規定せられる電力量はどの位に調整せられて居るかと云ふことである。此の關係を表はす常数を計器係數と云



ふ。計器係数の表はし方は製造会社に依つて種々あるが要するに  
圖板の一週轉に對するワット秒を表はす關係である。

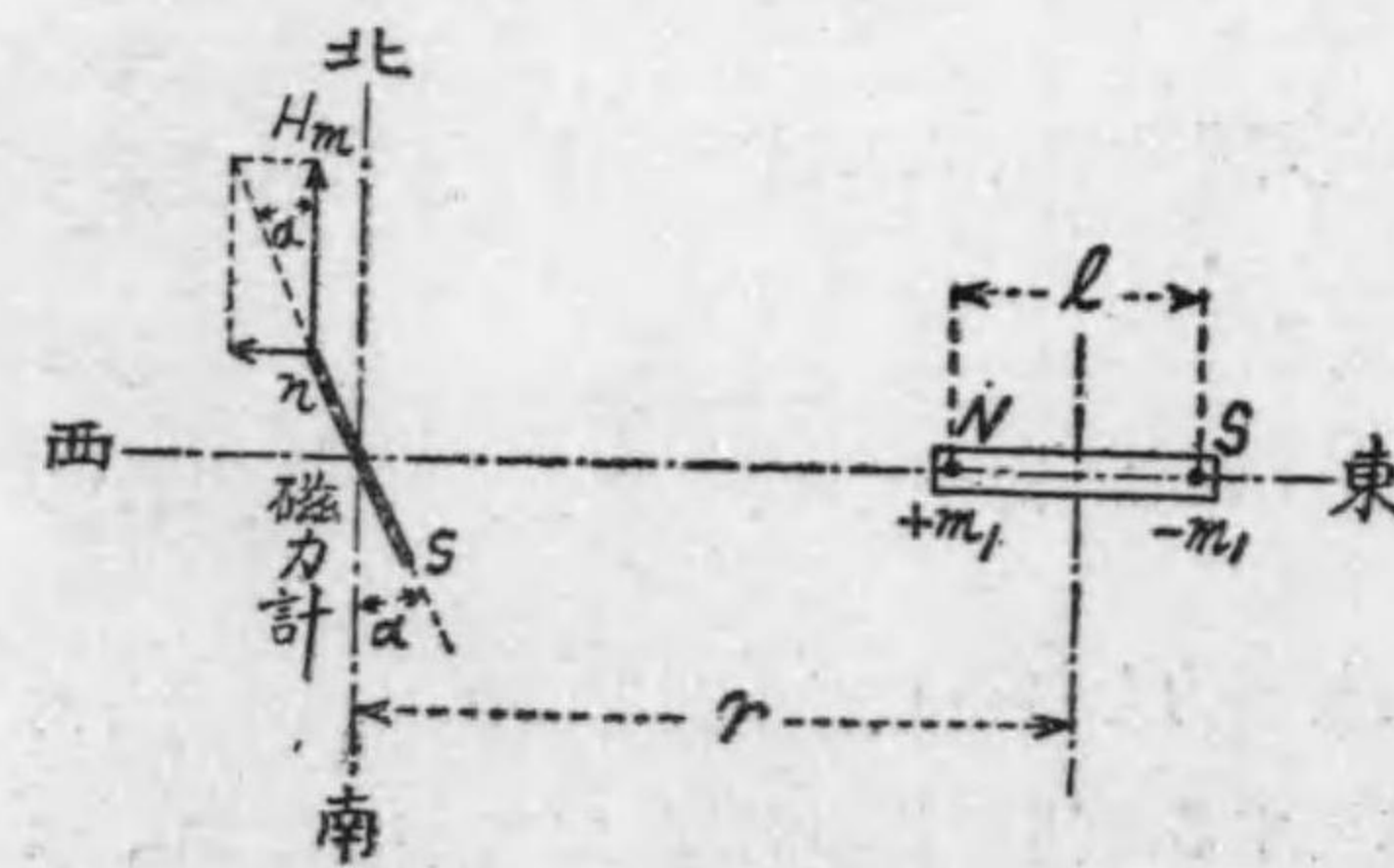
## 第十五章 磁氣測定 (magnetic measurement)

### 206. 地球磁界水平分力の測定 (horizontal intensity of earth's field).

茲には磁力計 (magnetometer) を用ひるガウス氏の法 (Gauss's method) を述べやう。磁力計と云ふのは小さい磁針を捻廻力を無視し得る絹絲の纖維で吊したもので、小鏡面を取付け反照ガルヴァノメーターの様に、ランプ及尺度又は望遠鏡を用ひて磁針の傾斜角を読み得る様になつて居る。磁力計は他の磁界がない場合には必ず其の磁針は磁氣的南北の方向を取るのである。

第 264 圖は磁力計を用ひるガウス氏の方法を示すもので、先づ圖の様に磁力計の磁針と同一平面上に磁力計から  $r$  なる距離に棒狀磁石 NS を東西の方向に置き磁力計に  $\alpha$  なる振れを生じたと

第 264 圖



地球磁界の水平分力の測定

する。此の場合に磁力計の磁針は極めて小さいから、棒狀磁石の二極 NS の磁針に及ぼす力は東西の方向に總て平行して働くものと見て宜しい。今磁針の極の強



さを  $m$ , 棒状磁石の極の強さを  $m_1$  とすれば磁針の  $n$  極に働く力は地球磁界の水平分力  $H$  に依つて南北の方向に  $Hm$ , 又棒状磁石に依つて東西の方向に  $N$  極から  $\frac{mm_1}{(r-\frac{l}{2})^2}$ ,  $S$  極から  $-\frac{mm_1}{(r+\frac{l}{2})^2}$  なる

三つの力であつて、此の三つの力が  $\alpha$  なる振れを生じた位置に於て相平衡するのである。磁針の  $s$  極に働く力は全く正反對の方向である。前式に於て  $l$  は棒状磁石の極間の長さである。

$M = \text{棒状磁石の磁気モーメント} = m_1 l$

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \left\{ \frac{mm_1}{(r-\frac{l}{2})^2} - \frac{mm_1}{(r+\frac{l}{2})^2} \right\} / Hm \\ &= \frac{m_1}{H} \frac{2rl}{(r^2 - \frac{l^2}{4})^2} \\ &= \frac{M}{H} \times \frac{2r}{(r^2 - \frac{l^2}{4})^2} \end{aligned}$$

若し  $r$  を  $l$  に比して充分大きく取れば  $\frac{l^2}{4}$  は  $r^2$  に比して之を閑却し得るから

$$\frac{M}{H} = \frac{1}{2} r^3 \tan \alpha = A \dots \dots \dots (1)$$

次に前記棒状磁石を捻廻力を無視し得る絹糸で吊し地球磁界内で振動せしめ一振動に要する時間即其の周期  $T$  を測定する。然る時は  $T$  は實用上次式に依つて表はし得るものである。

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{K}{MH}}$$

但し  $K = \text{棒状磁石の惰性率}$

$$\therefore MH = \frac{4\pi^2 K}{T^2} = B \dots \dots \dots (2)$$

(1) 及 (2) 式から

$$H^2 = \frac{B}{A} \quad \therefore H = \sqrt{\frac{B}{A}} = \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{2K}{r^3 \tan \alpha}} \dots \dots \dots (3)$$

即之に依つて地球界の水平分力  $H$  を算出し得るのである。圆柱形の棒状磁石で其の長さを  $l$ , 直径を  $d$ , 重量を  $W$  とすれば惰性率  $K$  は次式に依つて表はすことが出来る。

$$K = \left( \frac{l^2}{12} + \frac{d^2}{16} \right) W \quad (l, d, W \text{ 共に C.G.S. 単位})$$

東京附近に於ける地球磁界の水平分力は  $0.29$  C. G. S. 単位である。

ガウス氏の方法は又棒状磁石の磁気モーメントを決定することが出来る。即ち

$$M^2 = AB \quad \therefore M = \sqrt{AB} = \frac{2\pi}{T} \sqrt{\frac{1}{2} Kr^3 \tan \alpha}$$

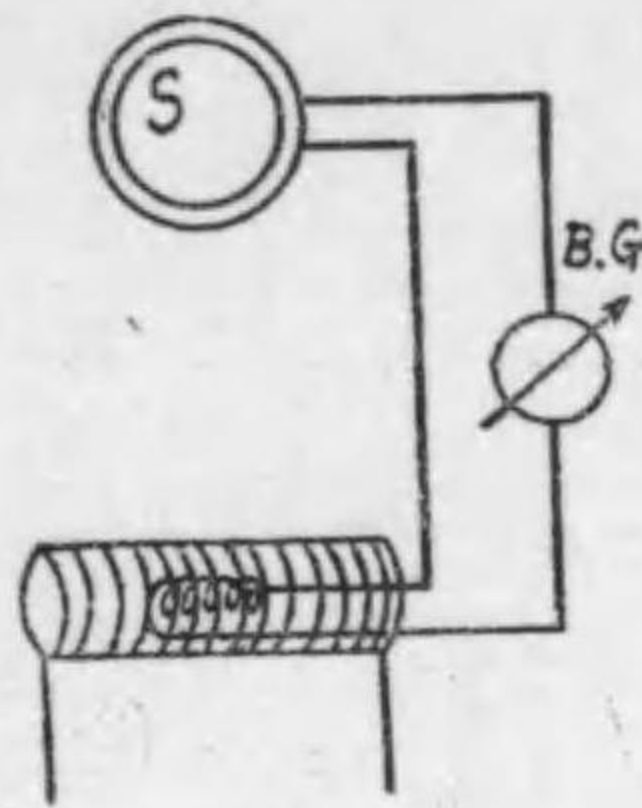
207. 磁界の強さの測定 本節に述べる方法は多少強い

磁界の測定に用ふる方法である。

(イ) **パリスチック・ガルヴァノメーターに依る法** 之は平等磁界の強さを測定するに用ふることが出来る。第 265 圖は此方法の接続を示すもので  $S$  は探索線輪 (exploring coil or search



第 265 圖



バリスチック・ガルヴァノメーター法

coil) と稱するものである。普通磁氣測定に於ては可動線輪型バリスチック・ガルヴァノメーターを用ふるものであるから、搜索線輪 S は第 27 節に述べた様にガルヴァノメーターの定数を決定するに用ふる標準筒線輪の二次線輪と直列に接続するのである。先づ此標準筒線輪に依つて第 28 節で述べた様にしてバリスチック・ガルヴァノメーターの定数  $K_g$  を決定し置き、次に搜索線輪の面を磁界の方向に直角に置き急に搜索線輪を  $90^\circ$  廻轉して磁界の方向に平行にする。

A = 搜索線輪の面積

N = 搜索線輪の捲數

B = 磁界の強さ

とすれば搜索線輪を磁界に直角に置いた場合には線輪を貫通する磁束は  $\phi = BA$  であつて、線輪の面を磁界に平行にすれば線輪を貫く磁束は 0 となるから、此の磁束の變化に依つて線輪に起電力が誘起せられ其の爲にバリスチック・ガルヴァノメーターを通じ電量が流れガルヴァノメーターにキックを與へるのである。今假に磁束が  $t$  秒間に一様に變化したとし

R = ガルヴァノメーター回路の全抵抗

Q = ガルヴァノメーターを通過する電量

a = ガルヴァノメーターのキック

e = 搜索線輪に生ずる平均起電力

$$e = N \frac{d\phi}{dt} = \frac{NBA}{t}$$

$$Q = \frac{e}{R} t = \frac{NBA}{tR} \times t = \frac{NBA}{R}$$

$$= K_g a \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)$$

$$\therefore B = \frac{QR}{NA} \dots \dots \dots (1)$$

若し搜索線輪の面を急に  $180^\circ$  廻轉して又磁界の方向に直角にすれば此の間に線輪を貫く磁束に  $\phi - (-\phi) = 2\phi = 2BA$  の變化を生ずるから

$$B = \frac{Q'R}{2NA} \dots \dots \dots (2)$$

此場合には勿論  $Q' = 2Q$  でガルヴァノメーターのキックは  $2a$  となるのである。

(1) 又は (2) 式で R 及 Q が夫々オーム及クーロムで表はされると、B を C. G. S 單位にする爲には右邊に  $10^8$  を乘ずる必要がある。

\*註 此の式の完全なる解は次の如くである。

$$e = N \frac{dBA}{dt} = NA \frac{dB}{dt}$$

$$Q = \int \frac{e}{R} dt = \int \frac{NA}{R} dB = \frac{NAB}{R}$$

$$\therefore B = \frac{QR}{NA}$$

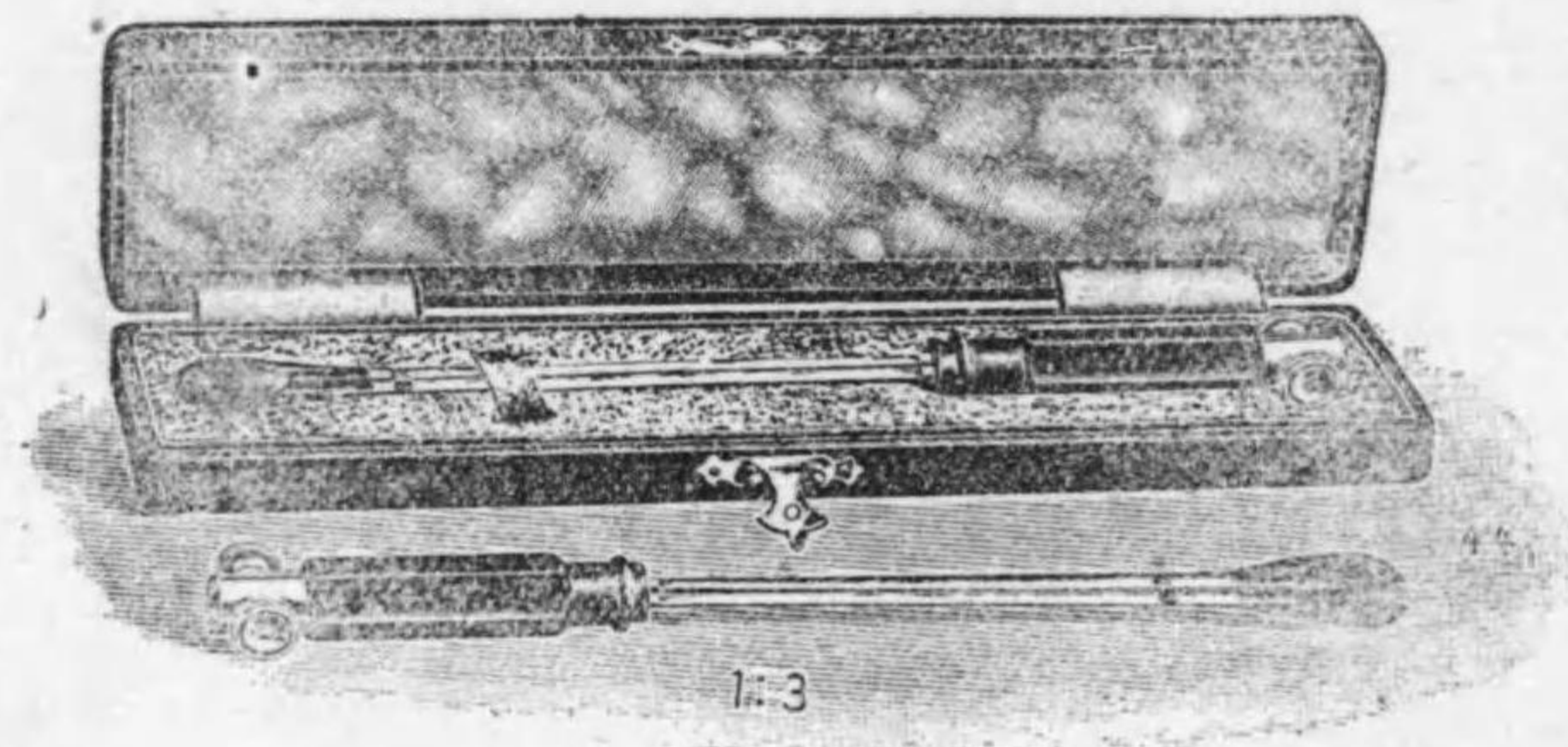


若し面積の大なる捲数の多い線輪を用ふると同様に地球磁界の強さを測ることが出来る。此線輪は或は地磁氣誘導器 (earth inductor) と稱せられる。

(ロ) **ビスマス・スパイラル (bismuth spiral)** を用ひる法。純粋なビスマス線は磁界内に於ては電氣抵抗を増し磁界が強くなる程一定の法則で段々抵抗が増加する性質がある。此の性質を利用して相當に強い磁界の強さを測定することが出来る。

第 266 圖はビスマス・スパイラルを示すもので、電氣的方法で

第 266 圖

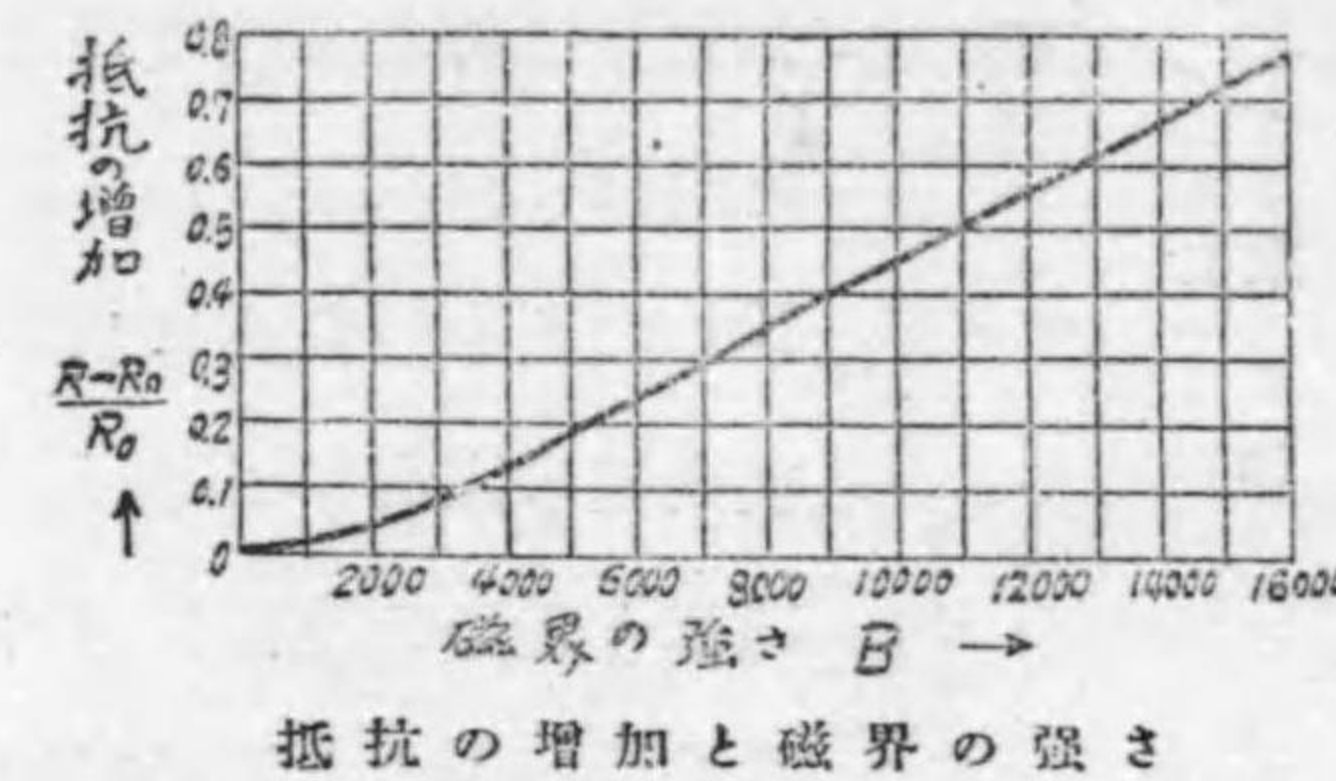


ビスマス・スパイラル

精製したビスマスの細い針金を無誘導的に螺旋状に巻き其の上に雲母板を被ひ之を保護する様にしたものである。此のビスマス・スパイラルを測定すべき磁界内に磁界の方向に垂直に置き其の抵抗を測定し、磁界外で測定した抵抗と比較し、其の抵抗増加の割合から磁界の強さを決定するのである。測定の際に注意すべきことはビスマスは大なる温度係数を有して居るから測定電流に依つて

熱せられるのを防ぐ爲出来得る丈早く抵抗を測定し温度の更正を省略する様にすること及ビスマス・スパイラルの面を磁界に垂直に置いた場合と平行に置いた場合とは抵抗の増加に相違があつて、磁界の方向に垂直な時に抵抗の増加は最大で、平行に置いた時抵抗の増加は約半分減ずるから、實際に於ては最大抵抗を與へる様な位置で抵抗を測定することである。ハートマン・ブラウン會社のビスマス・スパイラルは平均每平方厘に付 1000 ガウスの磁界に對し約 5% の抵抗の増加がある。

第 267 圖



抵抗の増加と磁界の強さ

第 267 圖は 1 オームのビスマス・スパイラルの抵抗の増加と磁界の強さを表はす曲線である。 $R_0$  を磁界外で測定した抵抗、 $R$  を磁界

内で測つた抵抗とすれば

$$\text{抵抗の増加率 } A = \frac{R - R_0}{R_0}$$

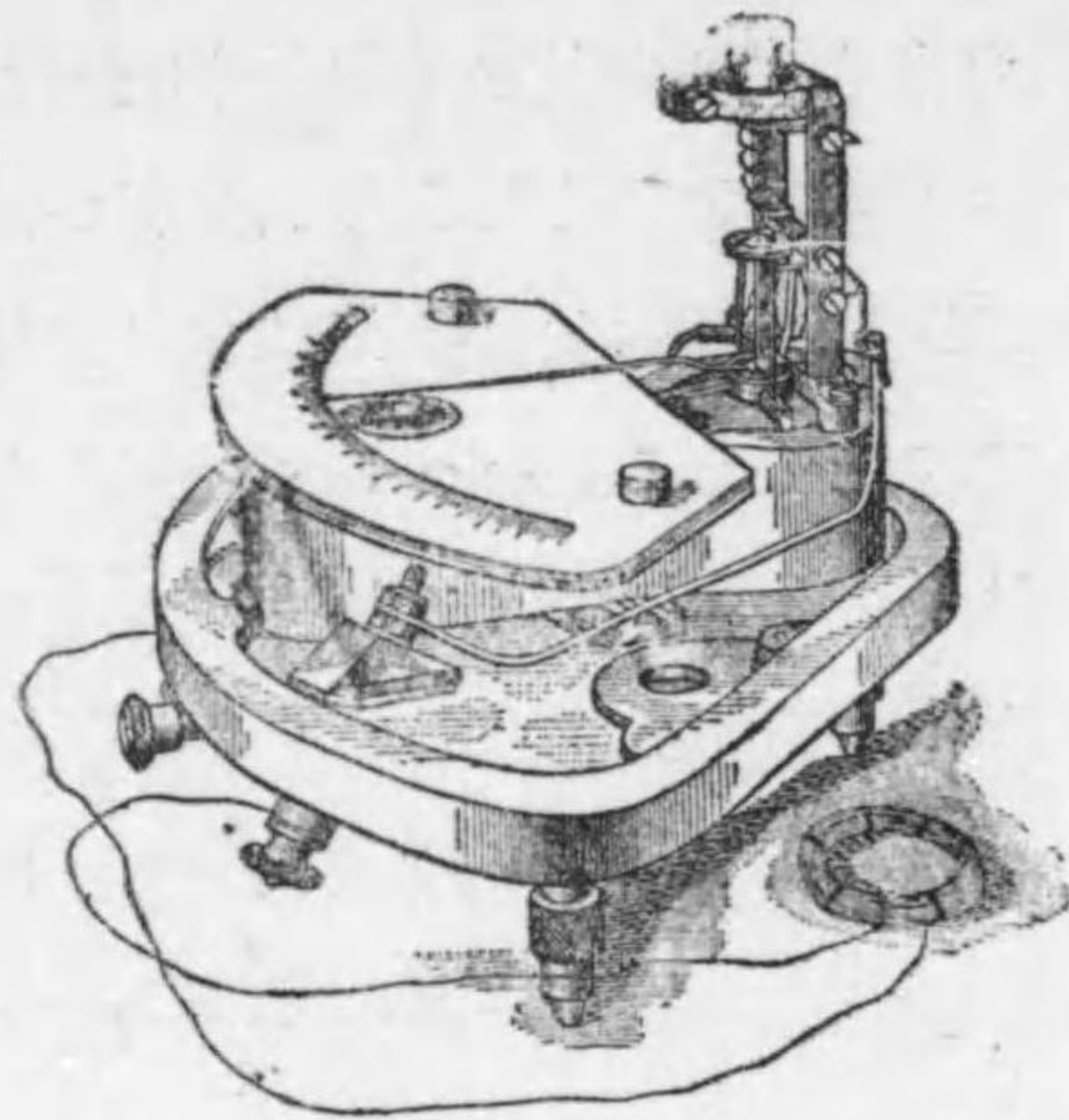
第 267 圖に於ては此の抵抗の増加率を縦線に取り、磁界の強さ  $B$  を横線に取つてある。

ビスマス・スパイラルは發電機の空隙に於ける磁界の強さなどを測定するに適當であつて、之に依つて各部の磁界の強さの變化の状を知るのに便利である。



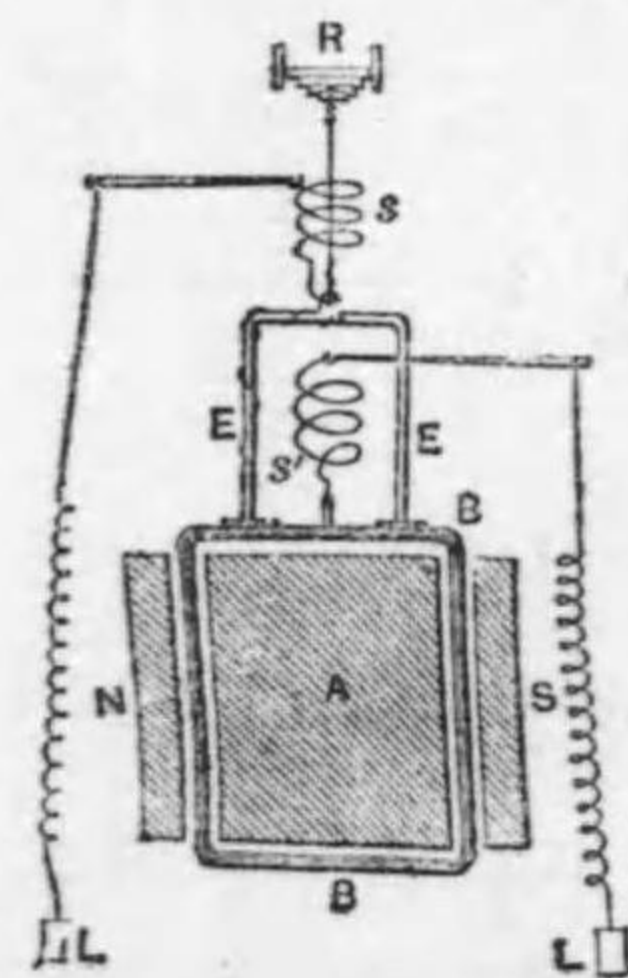
## 208. グラッソット磁束計 (Grassot flux meter).

第 268 圖



グラッソット磁束計

第 269 圖



磁束計の可動線輪

磁束計はバリスチック・ガルヴァノメーターの原理を應用して磁束密度を測定する指針型計器である。第268圖はグラッソット磁束計を示すものであつて、第269圖は其の可動部分の構造を示す。可動部分は可動線輪型計器と同様に耐久磁石の極NSの圓形空隙内に軟鐵製圓柱の鐵心Aがあり、磁極と鐵心の空隙に可動線輪Bがある。可動線輪は制御力を生じない絹糸の織維で吊され、銀線SS'に依つて電流が導かれるのである。

磁束計は一種のバリスチック・ガルヴァノメ

ーターに過ぎない。従て搜索線輪を接続し、搜索線輪を貫く磁束に

變化があると、線輪にキックが與へられ、指針は傾斜する。但しバリスチック・ガルヴァノメーターでは懸垂線に制御力を生ずるから、キックが與へられてガルヴァノメーターの光點は左右に振動するが、磁束計では懸垂線には制御力を生じないから、可動線輪に與へられる廻轉力に依つて線輪が動くと線輪内に逆起電力を誘起し、制動作用を生ずるのである。此電氣的制動作用に依つて支配せられて線輪は搜索線輪内の磁束の變化に比例して或角丈傾斜し、其の位置に止まるのである。夫故にバリスチック・ガルヴァノメーターを用ひる場合と違ひ、搜索線輪内の磁束の變化が急に起らなくても差支がなく、傾斜角は單に磁束の全體の變化に比例するのみで、磁束の變化の時間には無關係である。又回路の抵抗に無關係であるから搜索線輪を變へても目盛は變らない。尙指針は一度傾斜すると其の位置に止まるから、傾斜角を知るのは極めて容易であると云ふ便がある。又携帯用であると云ふ便もある。目盛はマックスウエル (maxwell) で目盛られてあるが、實は搜索線輪内で變化する磁束と線輪の捲數との相乗積を表はすものである。

搜索線輪の代りに次節以後に述べる様に試験鐵片に捲かれた二次線輪を接続し、二次線輪の面積及捲數を知れば一般の鐵の試験と全く同様に鐵の B-H 曲線を決定することが出来る。

209. 鐵の試験の種類 鐵の磁氣的試験は次に述べる様な種類に分つことが出来る。

(イ) ヒステリシス曲線の決定



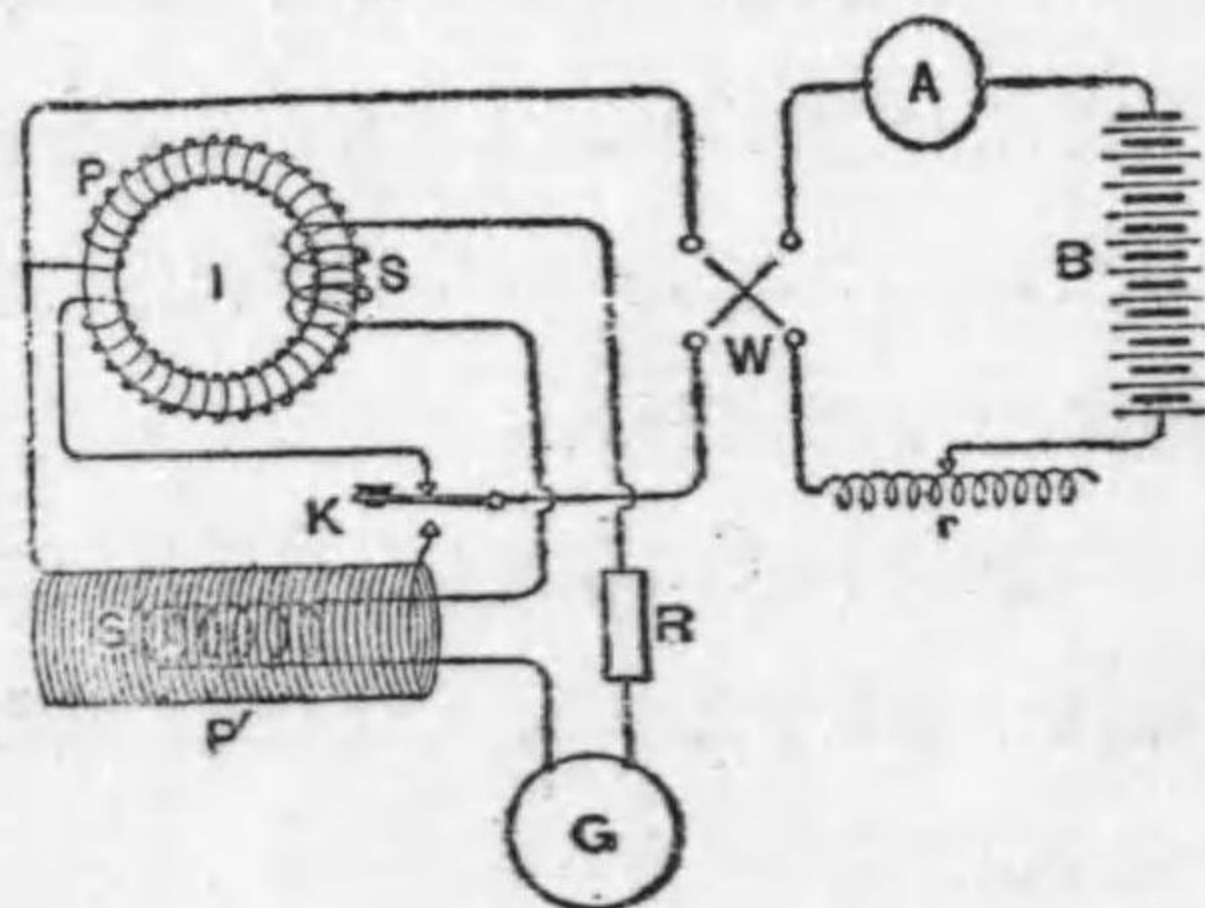
(ロ) B-H 曲線の決定及之に依り鐵の導磁率を見出すこと

(ハ) ヒステリシス損失の決定

ヒステリシス曲線及 B-H 曲線は同一の装置で出来る場合が多く、之にはバリスタック・ガルヴァノメーター法、磁力計法、牽引法 (traction method)、差働法等がある。又指針型測定器を用ひる方法もある。ヒステリシス損失の測定にはヒステリシス試験器 (hysteresis tester)、交流法等がある。以下順次之等に就て述べる。

**210. バリスタック・ガルヴァノメーター法(一):一環状法 (ring method)** 此の方法は試験すべき鐵を環状にして試験するものであるから環状法なる名がある。若し薄鐵板 (sheet iron) を試験する場合には薄鐵板を環状に打ちぬき (punch) 適當の厚さに積み重ねるのである。

第 270 圖



環 状 法

メーターの定數決定用の筒線輪 P' の二次線輪 S' とを直列に接続する。直流電源には二個の切替開閉器 W 及 K を備へ、此内 W

第 270 圖は環状法の接続を示すもので、試験すべき環状の鐵の上に一次線 P を一様に巻き、又二次線 S を巻く。此二次線とバリスタック・ガルヴァノメ

ーター及ガルヴァノメ

は電源の電流の方向を反對にするに用ひ、Kは鐵の上に捲いた一次線輪 P に電流を通じ或は筒線輪 P' に電流を通す様にするものである。r は一次電流を調整する加減抵抗器である。試験すべき鐵は豫め精密に其の切斷面積及磁氣回路の平均の長さを測定し、又鐵の上に捲いた一次線及二次線の捲数を數へて置く。

先づヒステリシス曲線を定める順序を述べると、若し鐵が磁化せられたことがあるものであれば充分之を減磁 (demagnetize) して一回も磁化せられたことのない最初の状態即ち中性状態 (neutral state) としなければならぬ。此減磁を行ふ簡單なる方法は P に電流を通じ鐵を充分強く磁化し切替開閉器に依つて電流の方向を替へ乍ら漸次電流を少くし遂に電流を零にする。然る時は鐵は交替的に磁化せられ其の磁化力は漸次減少し遂に零となるから中性状態となるのである。斯の如くにして中性状態にした後加減抵抗器 r を最大の値とし W なる開閉器を急に閉ぢ一次線輪 P に電流を通す。然る時は今迄鐵中には少しの磁束もなかつたものが急に P の電流に依つて磁化せられ磁束を生ずるから、二次線輪 S を貫く磁束を生じ従つて S に起電力が誘起せられバリスタック・ガルヴァノメーターにキックを生ずるのである。今

A = 鐵の切斷面積 平方糎

L = 鐵環の磁路の平均長さ ( $\cong 2\pi \times$  環の平均半径) 糎

$N_1$  = 一次線輪 P の捲數

$N_2$  = 二次線輪 S の捲數



$I_1 = P$  の電流 アムペア

$H_1 =$  磁化力 C. G. S. 単位

$B_1 =$  磁束密度 C. G. S. 単位

$a_1 =$  ガルヴァノメーターのキック

とすれば、磁化力  $H_1$  (magnetising force) は電氣磁氣學の理論から

$$H_1 = \frac{4\pi I_1 N_1}{10L} = 1.25 \frac{I_1 N_1}{L} \dots\dots\dots(1)$$

此の場合に  $S$  を貫通する磁束の變化は  $B_1 A$  に等しいから第 207 節(4)の(1)式と全く同様に

$$B_1 = \frac{Q_1 R}{N_2 A} \dots\dots\dots(2)$$

(2) 式に於て  $R$  はガルヴァノメーター回路の全抵抗、 $Q_1$  は此の場合にガルヴァノメーターを通過した電量で、共に C.G.S. 単位で表はしたものとする。

$$Q_1 = K_b a_1 \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)$$

$K_b$  なるガルヴァノメーター定数は第 28 節で述べた様に筒線輪  $P'$  及  $S'$  に依つて豫め決定せられるのである。

次に加減抵抗器  $r$  を適當の値丈急に減少すると、 $P$  を流れる電流は  $I_1$  から  $I_2$  に増加し、磁化力は  $H_1$  から  $H_2$  に増加し、磁束密度は  $B_1$  から  $B_2$  に増加し、従て  $S$  を通る磁束に  $B_2 A - B_1 A$  の變化を生ずる。従て  $S$  に起電力が誘起しガルヴァノメーターに  $a_2$  なるキックを與へる。此の場合に

$$H_2 = \frac{4\pi I_2 N_1}{10L} = 1.25 \frac{I_2 N_1}{L}$$

$$B_2 - B_1 = \frac{Q_2 R}{N_2 A}$$

$$Q_2 = K_b a_2 \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)$$

} .....(3)

次に  $r$  を又急に減少し、電流を  $I_2$  から  $I_3$  に増加し、 $a_3$  なるキックを得たとすれば

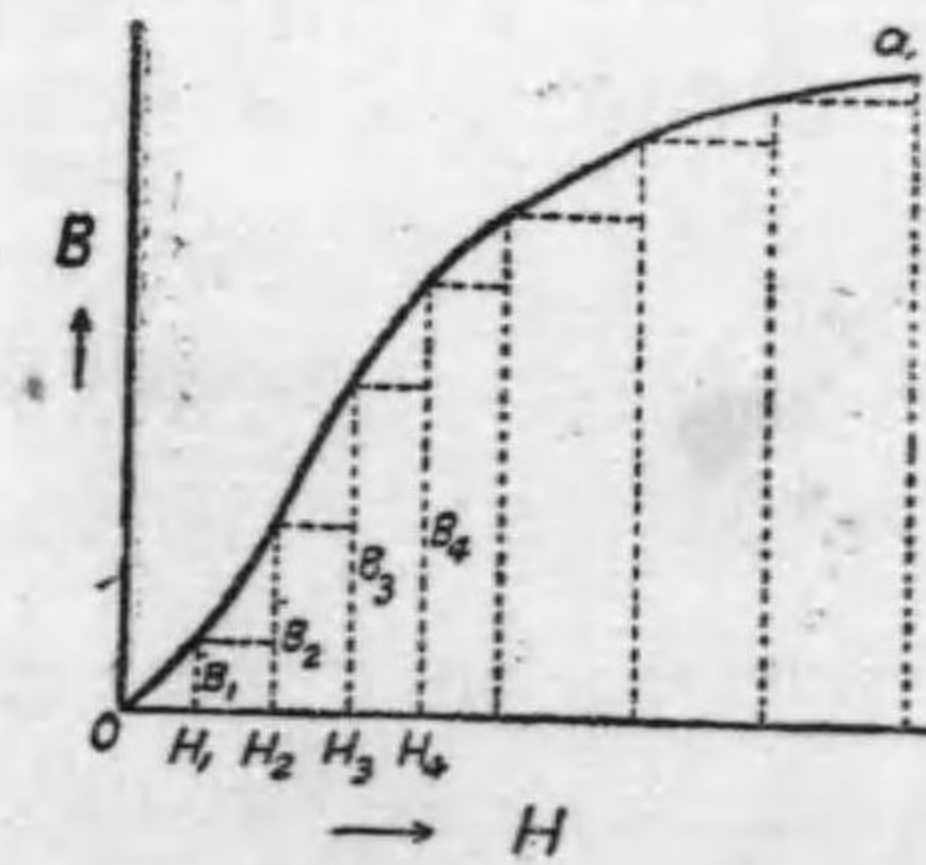
$$H_3 = \frac{4\pi I_3 N_1}{10L} = 1.25 \frac{I_3 N_1}{L}$$

$$B_3 - B_2 = \frac{Q_3 R}{N_2 A}$$

$$Q_3 = K_b a_3 \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)$$

} .....(4)

第 271 圖



ヒステリシス曲線の畫法

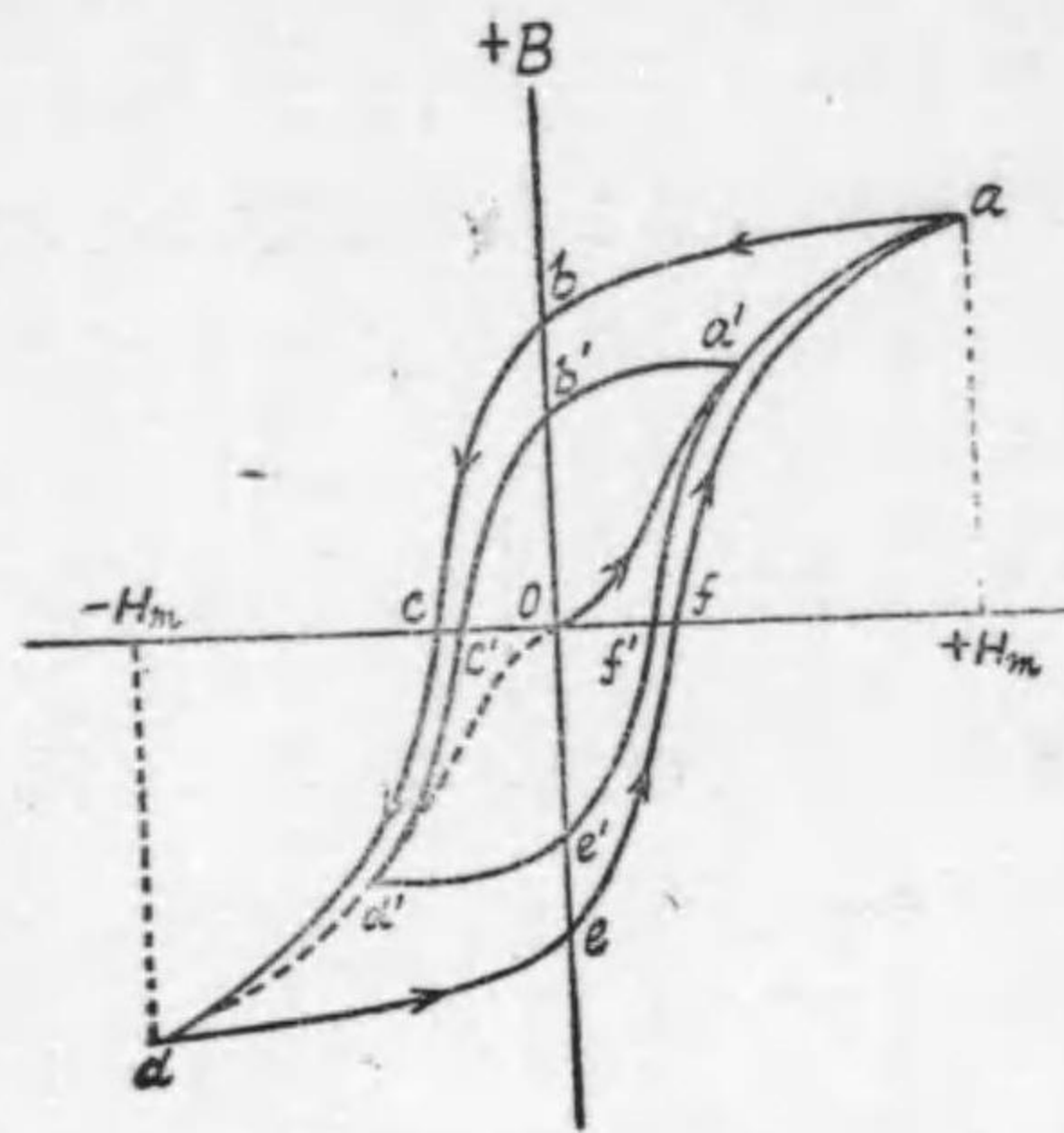
斯の如く順次磁化力を増加して行くと第 271 圖に示す様に  $H, H_2, H_3, \dots$  に對する  $B_1, B_2, B_3, \dots$  の點を定め之等の點を結び付ければ  $Oa$  なる曲線を得る。此の曲線は處女曲線(virgin curve)と稱せられるものである。

磁化力を鐵の種類に應じ適當な値迄増加した後(軟鐵の場合には普通最大磁化力  $H_m$  は約 150 ガウス内外である), 抵抗を順次



増加して行くと磁化力は漸次減少し、二次線輪を貫く磁束の減少に依りガルヴァノメーターにキックを興へることとなる。此場合

第 272 圖



ヒステリシス曲線

の磁化力と磁束密度との関係は同様に決定し得るのである。第 272 圖は此等の関係を示すもので  $Oa$  が最初に決定せられた處女曲線とすると、磁化力を  $+H_m$  から順次減少すると、同一磁化力に対して磁束密度が大となり  $H$  と  $B$  の関係は  $ab$  なる曲線で表はされる。即  $H=0$  の場合でも  $Ob$  なる磁束密度がある。 $Ob$  は残留磁氣 (residual magnetism) と稱せられる。次に切換開閉器  $W$  を切り替へて電流の方向を反対にし順次磁化力を増加すると  $B$  と  $H$  の関係は  $bed$  の曲線となる。磁化力が反対の方向で  $Oe$  の値となる時磁束密度は  $0$  である。 $Oe$  は保磁力 (coercive force) と名付けられる。磁化力が  $-H_m$  に達した後磁化力を漸次減少すると  $B-H$  曲線は  $de$  となり、更に電流の方向を變じ磁化力を増加すれば  $B-H$  曲線は  $efa$  となる。而して磁化力を  $+H_m$  と  $-H_m$

との間に引續き増減すれば常に  $abcdefa$  なるループ (loop) を畫くこととなるのである。之をヒステリシスループ (hysteresis loop) と云ふ。若し最大磁化力を異にすればヒステリシスループは  $a'b'e'd'e'f'$  の如くなり、各ヒステリシスループは其の最大磁化力に相當する點は處女曲線上にあるのである。

ヒステリシスループはヒステリシス損失の多少を表はすもので鐵の一立方センチメートル毎のヒステリシス損失は次の式に依つて算出することが出来る。

$$\text{ヒステリシス損失} = \frac{1}{4\pi} \times (\text{ヒステリシスループの面積})$$

ヒステリシスループの面積は求積計を以て簡単に見出すことが出来る。但普通  $B$  は  $H$  の數の 100 倍以上であるから、曲線は  $B$  と  $H$  の尺度を異にして居る。例へば  $H$  は  $1\text{mm}$  に付  $1\text{C.G.S.}$  單位、 $B$  は  $1\text{mm}$  に付  $200\text{C.G.S.}$  單位に取つてあるとすれば求積計で測つた平方ミリメートルの面積に 200 倍したものを以てヒステリシスループの面積とするのである。

ヒステリシスループの決定に於て注意すべきことは、 $r$  なる加減抵抗器は回路を開くことなしに其の値を變化し得るものであることが必要である。若し其の値を變へる時回路が開かれば磁化力が零となることを意味するから所要のヒステリシスループを得難い。又加減抵抗器の値を變へる時には一階段毎に急に其の値を變へ且一旦變じたならば決して其の値を變へぬことである。若し電流を適當な値とし様として抵抗を種々に調整する様なことが



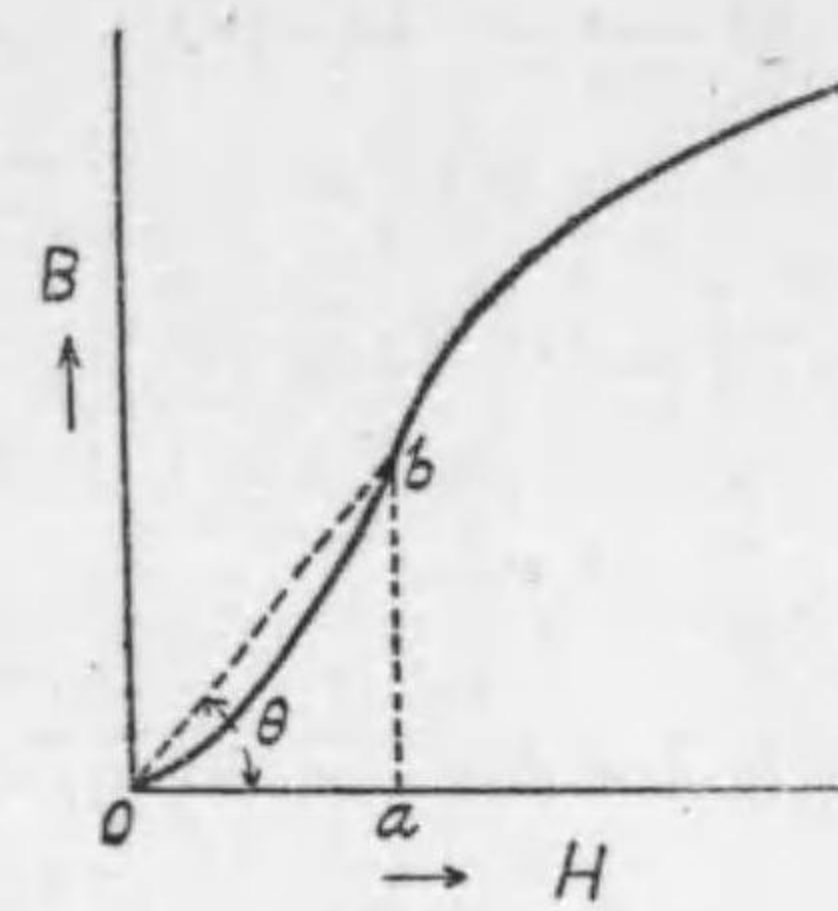
あれば、眞のヒステリシスループを得ることが出来ない。

ヒステリシスループを求める必要がなく、単に平均の磁化曲線 (normal magnetization curve) を求める場合には次の方法に依るのが便利である。此場合には初め P に通ずる電流を最大にし最大磁化力を與へ、切替開閉器に依つて電流の方向を變ずるのである。然る時は二次線輪 S を貫通する磁束 BA は急に反對の方向となるから、磁束の變化は 2AB となり、S に起電力を生じバリスタック・ガルヴァノメーターに a なるキックを與へる。此の場合電流を I とすれば第 207 節(イ)の(2)式と全く同様の場合であるから

$$\left. \begin{aligned} \text{磁化力 } H &= \frac{4\pi IN_1}{10L} = 1.25 \frac{IN_1}{L} \\ \text{磁束密度 } B &= \frac{RQ}{2N_2A} \\ Q &= K_b a \left( I + \frac{\lambda}{2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots (5)$$

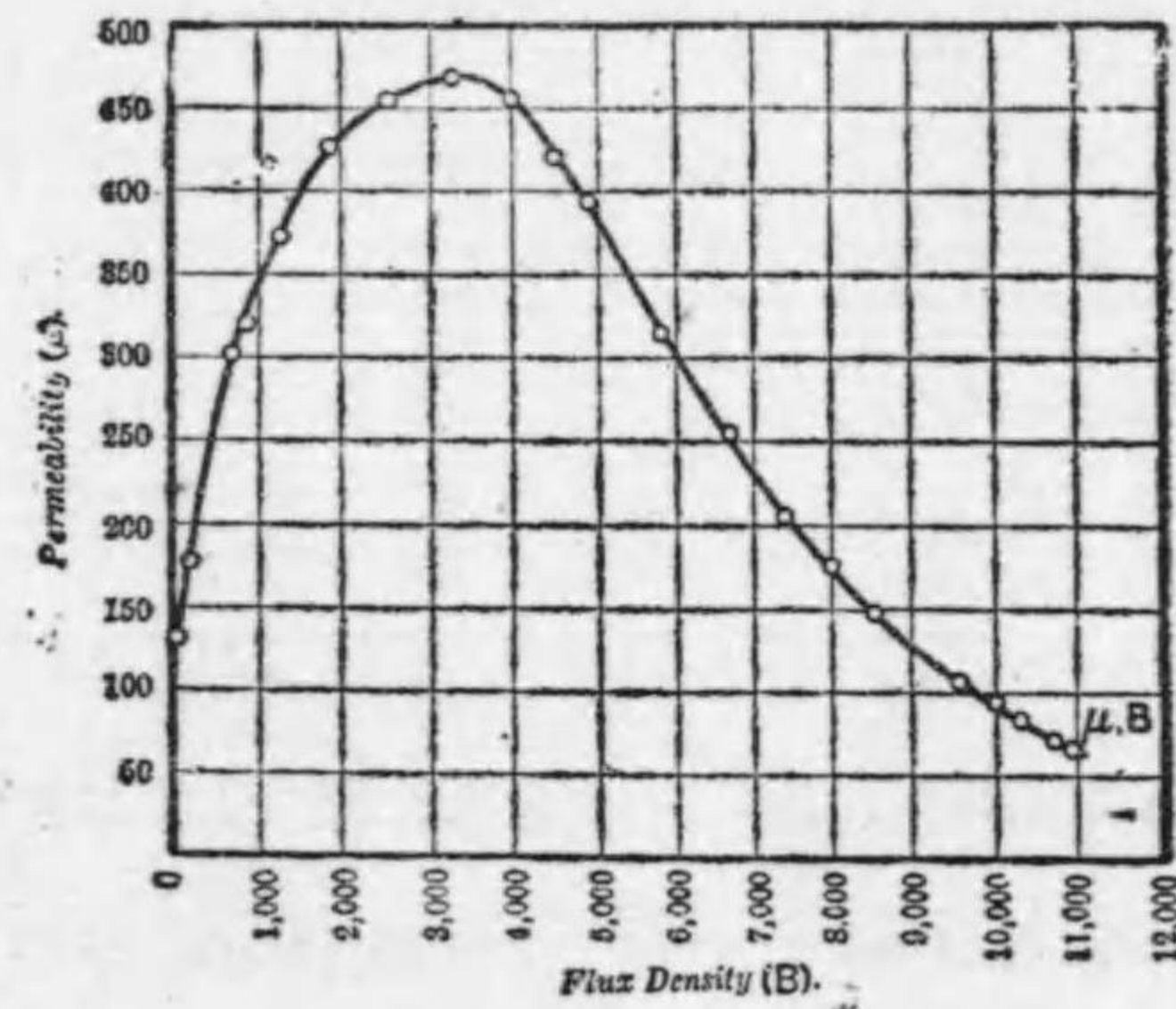
次に電流の値を減じ適当な値に調整し又切替開閉器に依つて電流の方向を反對にし、ガルヴァノメーターのキックを觀測して(5)式に依り第二の磁化力に對する磁束密度を算出することが出来る。同様に P の電流を種々に變じ、種々の磁化力に相當する磁束密度を見出せば、第 273 圖の様な平均 B-H 曲線を見出すことが出来る。此の測定に於て注意すべきことは各磁化力に相當する磁束密度を見出す場合には、電流の方向を數回反覆して轉換し然

第 273 圖



B-H 曲線

第 274 圖



B-μ 曲線

$$\mu = \frac{B}{H} = \frac{ab}{Oa} = \tan \theta \dots\dots (6)$$

θ は Ob と H 軸との爲す角である。かくして種々の磁束密度に對する導磁率を見出すことが出来る。第 274 圖は斯様にして見出

る後ガルヴァノメーターのキックを觀測することである。此注意を怠れば電流の方向を轉換して +H より -H とする時に相當する磁束密度はヒステリシス現象に依り +H の時と -H の時と其の値が變ずるからである。

第 273 圖に於て任意の H=Oa に對する B=ab を求めると、鐵の導磁率 μ は其の磁束密度に對し



した  $B$  と  $\mu$  との関係を表はす曲線である。

鐵の磁化の強さ (intensity of magnetization) を  $J$  とすれば

$$B = H + 4\pi J$$

$$\therefore J = \frac{B - H}{4\pi}$$

即  $B-H$  曲線から又  $J$  と  $H$  との関係を見出すことも出来る。

$$J = kH$$

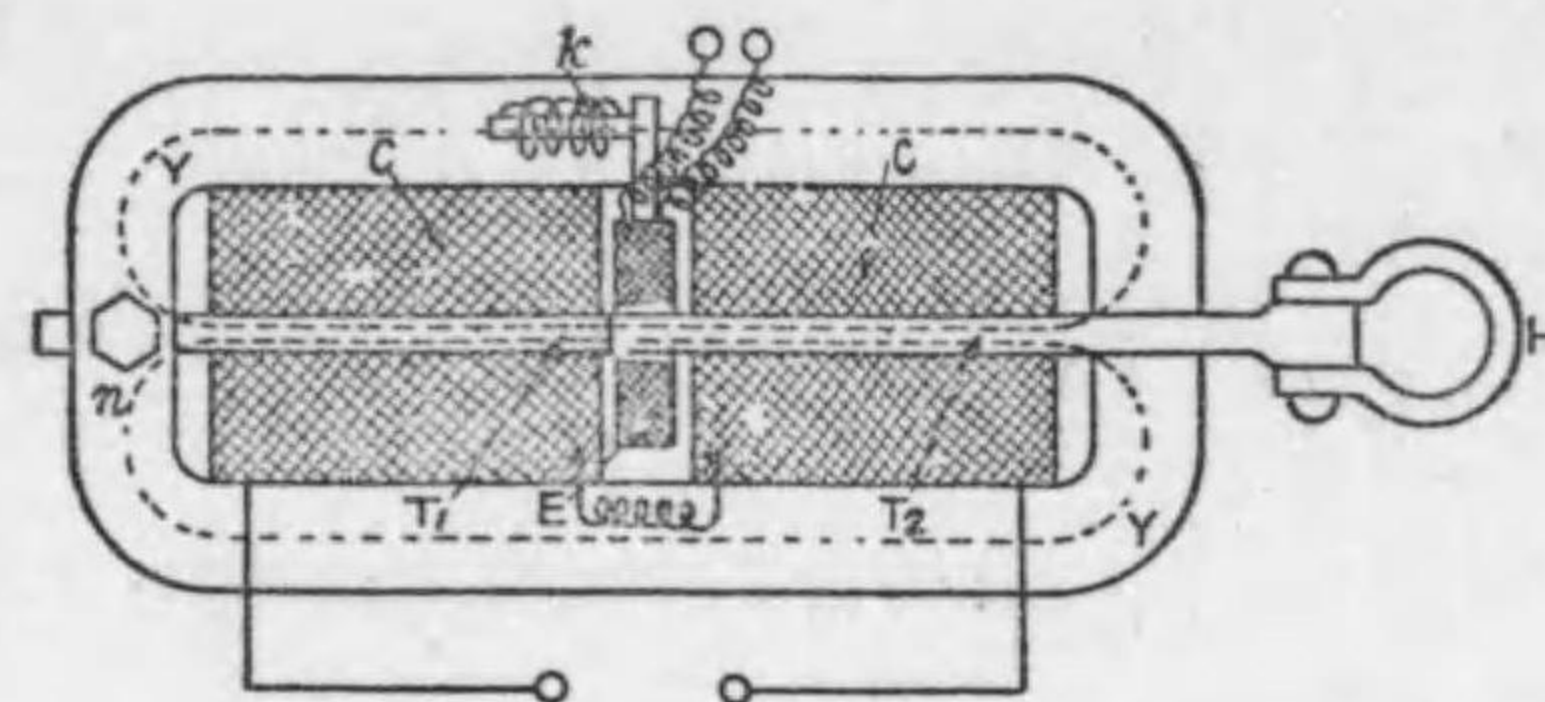
$$\text{とすれば } k = \frac{J}{H} = \frac{B - H}{4\pi H} = \frac{1}{4\pi}(\mu - 1)$$

$k$  は磁化率 (susceptibility) と稱せられる常數である。

本節に述べたヒステリシスループ及  $B-H$  曲線の測定に於て注意すべき事項は以後に述べる他の方法に於ても同様に注意すべき事項である。

211. バリスチック・ガルヴァノメーター法 (二):—  
ホプキンソン氏バー・エンド・ヨーク法 (Hopkinson's bar and yoke method). 環狀法に於ては試験すべき鐵を環狀とし、一々之に磁化線輪  $P$  及二次線輪  $S$  を捲かねばならない不便がある。此の方法に於ては豫め一つの繼鐵 (yoke) 及磁化線輪及二次線輪を造つて置いて、試験すべき鐵は棒狀となし、之を繼鐵に挿入して試験するのである。第 275 圖は此の方法を示すものである。圖に於て  $C, C$  は磁化線輪、 $E$  は搜索線輪で、 $E$  はバリスチック・ガルヴァノメーターに接続せられる。 $Y$  は

第 275 圖



ホプキンソン・バー・エンド・ヨーク法

導磁率の大なる鐵より成る繼鐵で切斷面積の大なるものを用ひるから、其の磁氣抵抗は極めて少く實用上

之を無視し得るのである。試験鐵棒は  $T_1$  及  $T_2$  の二部分から成り、 $T_1$  は  $n$  に於てクランプせられ  $T_2$  には  $H$  なる把手を取付け之はクランプされない。 $T_1$  と  $T_2$  の接合は極めて良く磨り合せて、此の接合點に於いて大なる磁氣抵抗を生ぜぬ様にする。

今  $C$  に  $I$  なる電流を通し、試験鐵棒を磁化すれば鐵棒内の磁束は  $E$  なる線輪を貫通する。茲に於て  $H$  なる把手に依り  $T_2$  を急に  $T_1$  から引き離すと、線輪  $E$  は螺旋彈條  $k$  の作用に依つて磁氣回路外に飛び出し、爲に  $E$  を通過する磁束は零となる。夫故に此の磁束の變化に依り  $E$  に起電力を誘起し、バリスチック・ガルヴァノメーターにキックを與へる。磁化線輪  $C$  の全捲數を  $N_1$ 、線輪  $E$  の捲數を  $N_2$ 、繼鐵間に跨る試験鐵棒の長さを  $L$ 、試験鐵棒の切斷面積を  $A$ 、磁化線輪に通した電流を  $I$ 、 $R$  をガルヴァノメーター回路の抵抗とすれば、前節の場合と全く同様に



$$\text{磁化力 } H = \frac{4\pi IN_1}{10L} = 1.25 \frac{IN_1}{L}$$

$$\text{磁束密度 } B = \frac{QR}{N_2 A}$$

$$Q = k_b \alpha \left(1 + \frac{\lambda}{2}\right)$$

故に線輪 C の電流を種々に變じて種々の H に対する B の値を算出すれば、B-H 曲線が得られる。但し此の方法ではヒステリシス曲線は得ることが出来ぬ。

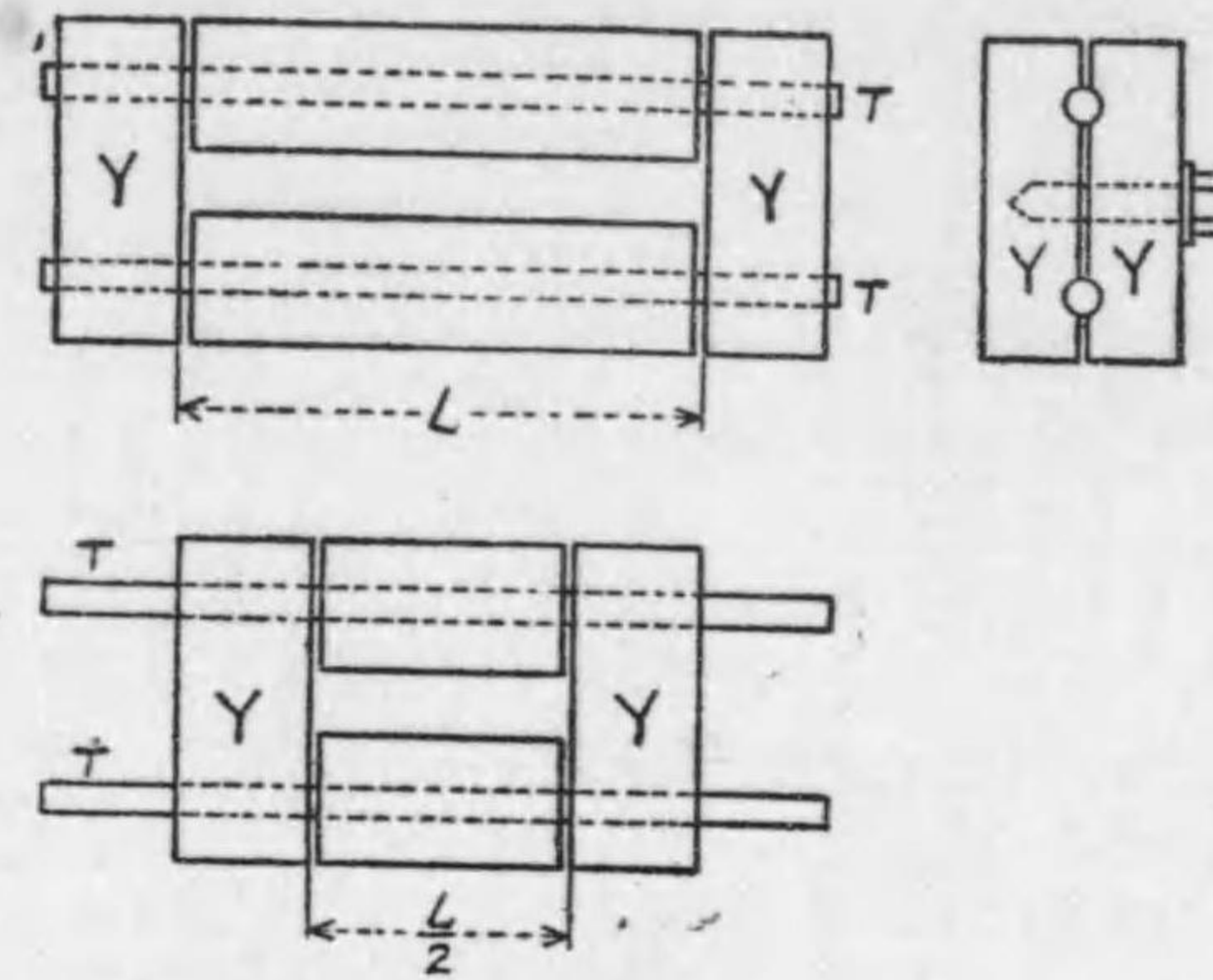
二個の試験鐵棒を用ふる代りに一本の鐵棒をも用ふることが出来る。此の場合には磁化線輪 C は全面に涉りて成る可く一様に捲き中央部に二次線輪 E を磁化線輪 C の内部に捲くが宜しい。而して或 H に対する B を決定するには環狀法の場合の様に C の電流を切り或は切替開閉器に依つて其の方向を轉換し、此の場合に生ずるガルヴァノメーターのキックを觀測して之を定めるのである。之は繼鐵法 (yoke method) と稱せられる。

此の方法は實用上差支ないが、多少精密を要する場合には二つの試験鐵片間の接合點、試験鐵片と繼鐵との接合部及繼鐵に於ける磁氣抵抗を考へに入れ相當修正を行はねばならぬ。夫故に之等接合點に於ては極めて良好な磁氣的接觸を得る様注意せねばならぬ。

212. バリスチック・ガルヴァノメーター法 (三):—  
ユーイング氏の法 (Ewing method) 前節の磁氣的接觸

部並繼鐵の磁氣抵抗の影響を除外し眞の B-H 曲線を見出す爲にユーイング氏は次の方法を案出した。

第 276 圖



ユーイング氏の法

第 276 圖は

ユーイング氏の法を示すもので試験鐵棒は二個で之を圖の様に軟鐵製繼鐵 Y でよくクラムプする。磁化線輪は二個から成り各試験鐵棒に裝置し、其の中央

部の内側に二次線輪があつて之をバリスチック・ガルヴァノメーターに接續する。此の方法では磁化線輪は二組あつて、第一に長い磁化線輪を用ひ繼鐵間の鐵棒の長さを L とし種々の磁化電流に対する B を測定する。第二に短い磁化線輪を用ひ繼鐵間の鐵棒の長さを半分に縮め即  $\frac{L}{2}$  なる長さとして同様に種々の磁化電流に対する B を測定する。其の測定法は全く環狀法の場合と異なる所がない。

$N_1$  = 第一の磁化線輪一個の捲數

$N_2$  = 第二の磁化線輪一個の捲數



第一及第二の測定に於て、同一磁束密度を與へる磁化電流を夫々  $I_1$  及  $I_2$  とし、各の場合に於ける外見的磁化力を夫々  $H_1$  及  $H_2$  とすれば、

$$H_1 = 1.25 \frac{I_1 N_1}{L} \quad H_2 = 1.25 \frac{2I_2 N_2}{L} \dots\dots\dots (1)$$

此の磁束密度に相當する眞の磁化力を  $H$  とし、試験鐵棒と繼鐵間の接合部及繼鐵に同一磁束を通ずるに要する起磁力を  $m$  とすれば、第一及第二の場合に於て  $m$  は同一であるから

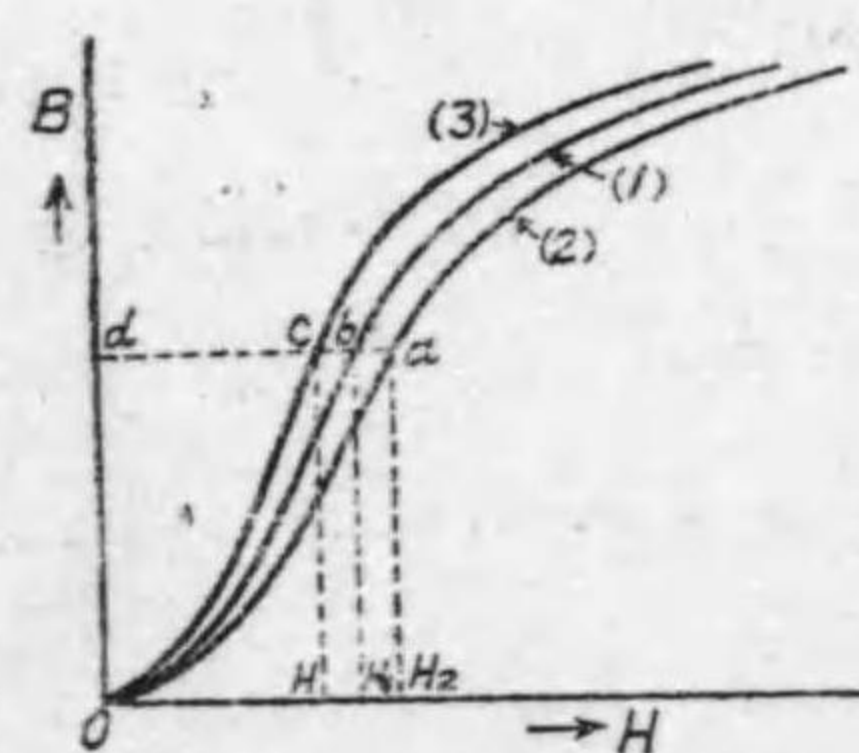
$$H_1 L = HL + m \quad \text{或は} \quad H_1 = H + \frac{m}{L} \dots\dots\dots (2)$$

$$H_2 \frac{L}{2} = H \frac{L}{2} + m \quad \text{或は} \quad H_2 = H + \frac{2m}{L} \dots\dots\dots (3)$$

(2) 及 (3) から、 $m$  を消去すれば

$$H = 2H_1 - H_2 \\ = H_1 - (H_2 - H_1) \dots\dots\dots (4)$$

第 277 圖



ユーイング氏の法に依る眞の B-H 曲線の求め方

故に第277圖に示す様に第一の實驗に依つて求めた結果から  $H_1$  と  $B$  との關係を曲線 (1) に畫き、第二の實驗に依つて求めた結果から  $H_2$  と  $B$  との關係を曲線 (2) に畫き、次に曲線 (2) と (1) との同一磁束密度に對する磁化力の差を曲線 (1) の左側に移し

て曲線 (3) を求めると曲線 (3) は眞の B-H 曲線である。例へば

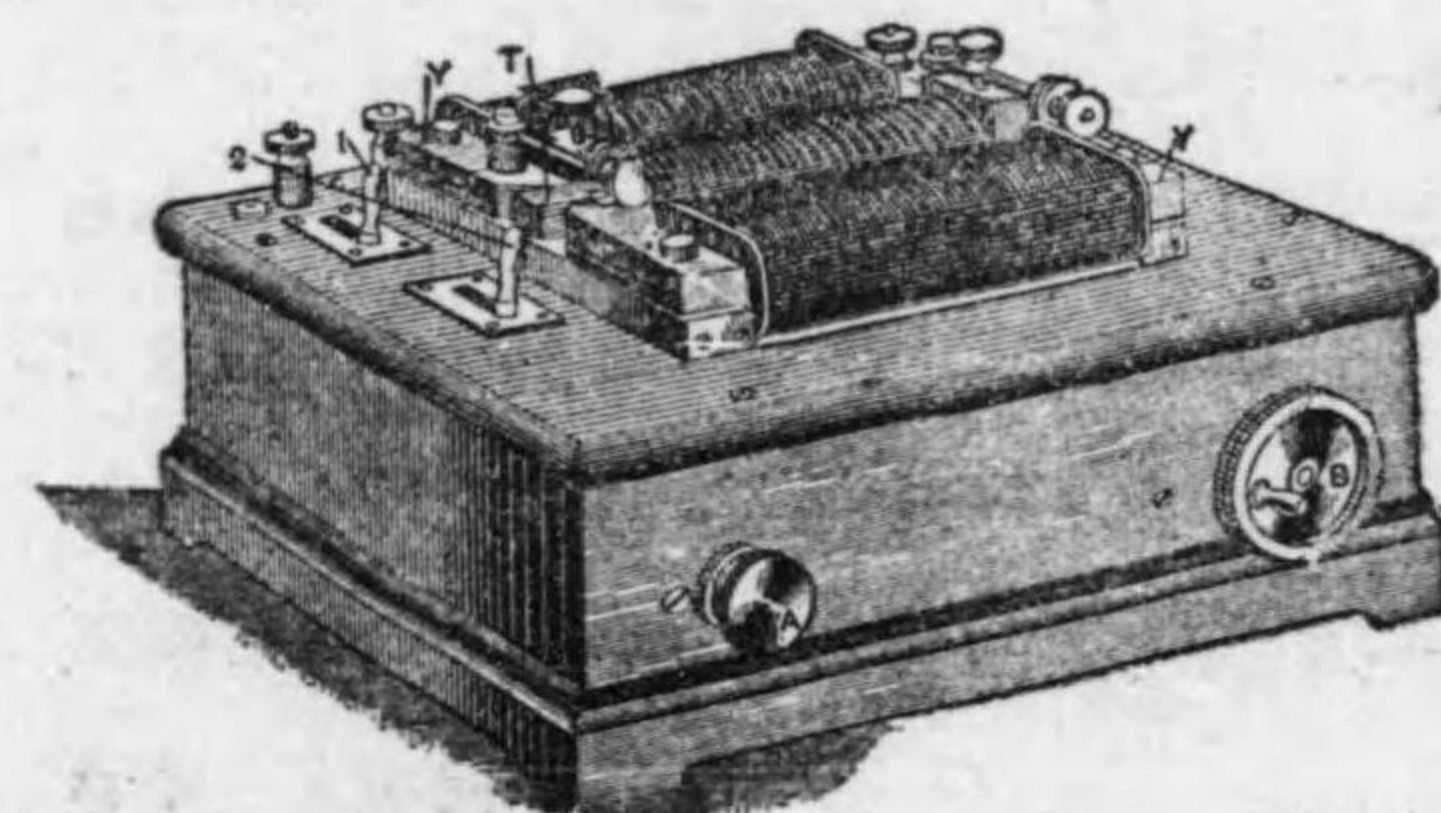
0d なる磁束密度に於て abcd なる直線を OH に平行に引き、 $ab=bc$  なる様に c 點を求める。此の場合に  $bd=H_1$ 、 $ad=H_2$  であるから、曲線 (3) に對する磁化力  $H$  は

$$H = cd = bd - bc = bd - (ad - bd) \\ = H_1 - (H_2 - H_1)$$

213. バリスチック・ガルヴァノメーター法 (四):—  
ピクー導磁率計 (Picou permeameter) 第 278 圖はピ

クー導磁率計を示す。之は YY なる二個の繼鐵を兩側に備へて其の中間に試験鐵片 T を置くのである。而して二個の繼鐵には夫

第 278 圖



ピクー導磁率計

々  $C_1$  及  $C_2$  なる磁化線輪を備へ、試験鐵片に對して又  $C_3$  なる磁化線輪を備へる。各磁化線輪には内側中央部に二次線輪を備へて之をバリスチック

ク・ガルヴァノメーターに接続し各部の磁束密度を測り得る様になつて居る。

測定の順序は先づ第 279 圖甲圖に示す様に  $C_3$  には電流を通さず、 $C_1$  及  $C_2$  を直列にし電流を通し、其の電流の方向は丁度同一の方向に磁束を生ずる様にして適當な磁束を各繼鐵に通す。其