

以上は補助線の断面積が地氣を生じた線の断面積と同一と考へたが、若し前節の如く S_1 なる断面積を有するものとすれば、一般に

$$\frac{P}{Q} = \frac{(l_1 + l - x)\rho}{x\rho + R} = \frac{\left\{ \left(1 + \frac{S}{S_1}\right)l - x \right\} \rho}{x\rho + R}$$

$$\therefore x = \left(1 + \frac{S}{S_1}\right)l \frac{Q}{P+Q} - \frac{R}{\rho} \frac{P}{P+Q} \quad (2)$$

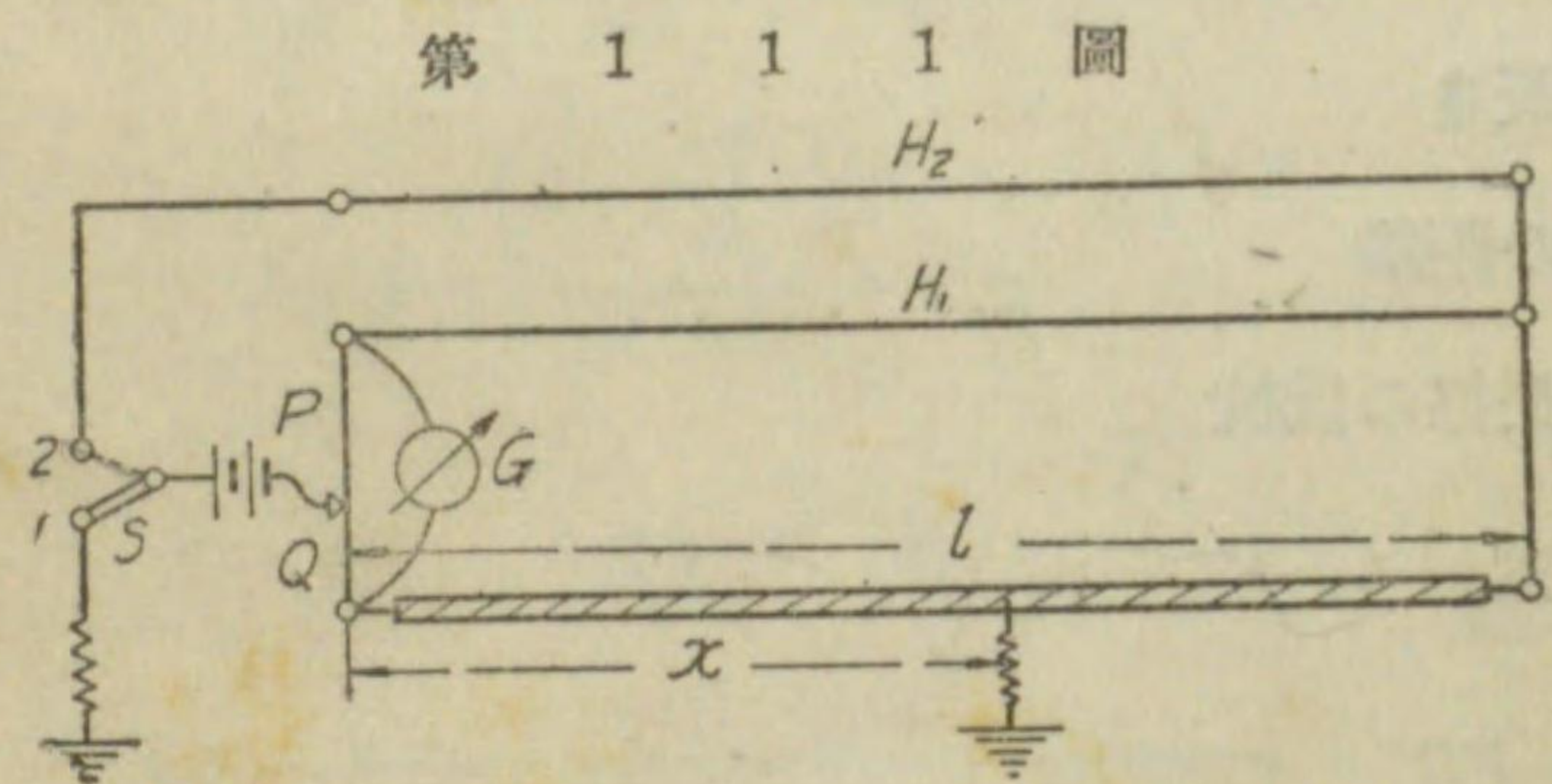
$P=Q$ の時は

$$x = \frac{\left(1 + \frac{S}{S_1}\right)l - \frac{R}{\rho}}{2} \quad (3)$$

此の方法も前節第 109 圖と同様な接続に依り、混線地點の決定に用ひることが出来る。

74. ハイ ツェルマン氏法 (Heinzelmann's method)

此の方法は二本の補助線を利用し得る場合に於て、補助線の抵抗又は断面積が既知たることも要しない方法である。第 111 圖



第 1 1 1 圖
ハイ ツェルマン氏法

は其の接続を示すもので、 H_1 及 H_2 は二本の補助線、地氣を生じた一線は地中線である場合を示して居る。今切替開閉器 S を (1)

側に閉ぢ、摺動線の比 $\frac{P}{Q}$ に於て平衡を得たと假定する。今補助線 H_1 の地氣を生じた線と同一断面積の場合に換算した等價長を l_1 とすれば

$$\frac{P}{Q} = \frac{l_1 + l - x}{x} \quad (1)$$

次に S を (2) 側に切り換へ、摺動線の比 $\frac{P'}{Q'}$ に於て平衡を得たとすれば、此場合には地氣の點から大地に電流が流るゝことがなく、平衡條件は次式の如くなる。

$$\frac{P'}{Q'} = \frac{l_1}{l} \quad \therefore l_1 = \frac{P'}{Q'} l \quad (2)$$

此の關係を (1) 式に代入すれば

$$\frac{P}{Q} = \frac{\left(1 + \frac{P'}{Q'}\right)l - x}{x}$$

兩邊に 1 を加へ

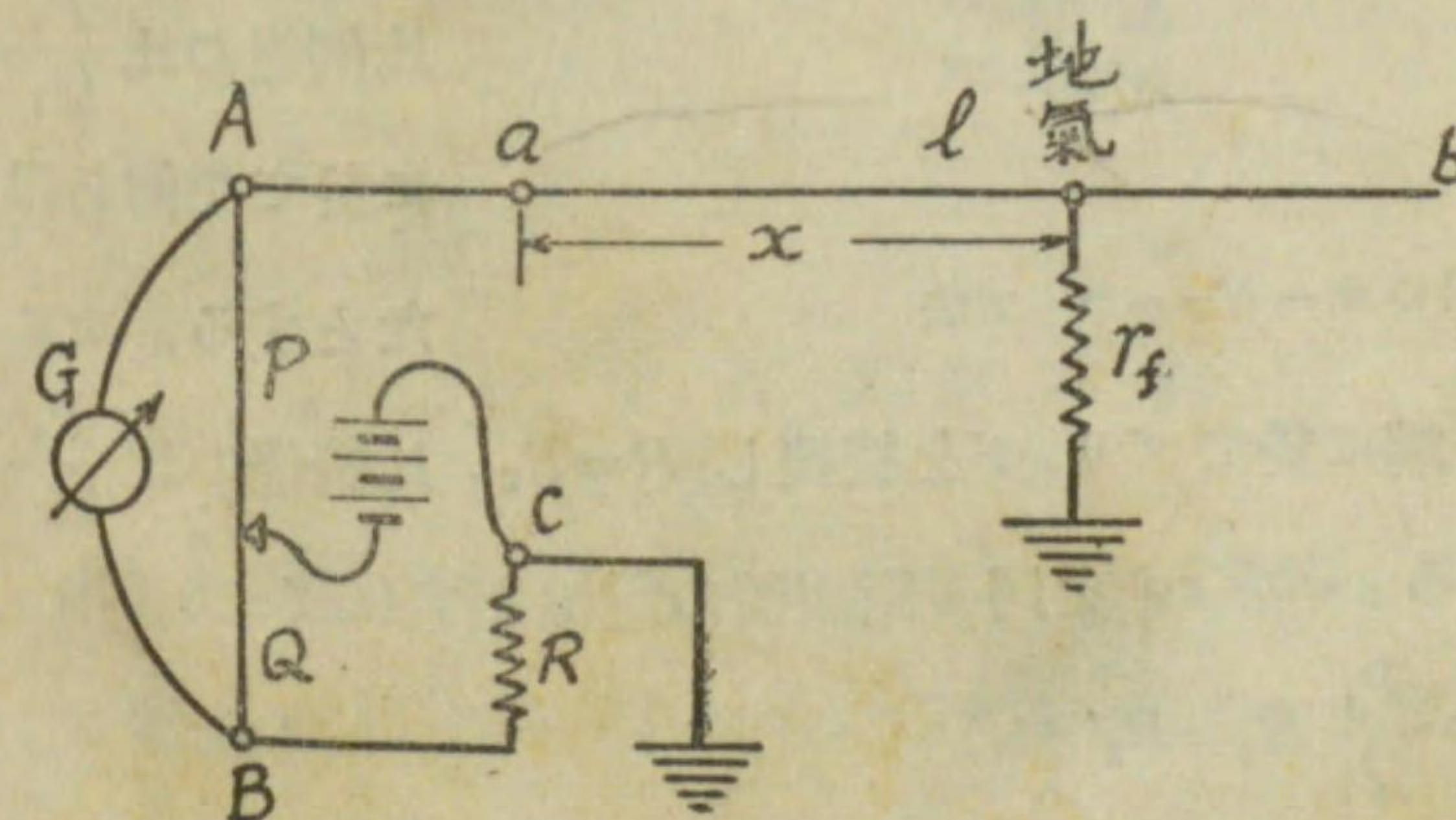
$$\frac{P+Q}{Q} = \frac{P'+Q'}{Q'} \frac{l}{x}$$

然るに $P+Q=P'+Q' =$ 摺動線全長の抵抗 であるから

$$x = \frac{Q}{Q'} l \quad (3)$$

75. オーヴァーラップ法 (overlap method)

此の方法は利用し得べき補助線がない場合に用ひらるゝ方法で、送端及受端の双方から測定を行ひ、之に依つて地氣又は混線箇所を決定する方法である。



第 1 1 2 圖
地氣検出のオーヴァーラップ法

第 112 圖は地氣點決定法の接続を示すもので、先づ b 端を絶縁し a 端を摺動線 AB の A に接続し、 c 點を接地して $R=R_1$

に於て摺動子を加減し平衡点を求める。摺動線の比を $\frac{P_1}{Q_1}$ であつたとし、地氣の抵抗を r_f で表はし、電線單位長の抵抗を ρ とすれば

$$x\rho + r_f = \frac{P_1}{Q_1} R_1 = R_1' \quad (1)$$

次に a 端を絶縁し、 b 端をブリッジに接続して測定し、 $R=R_2$ 、摺動線の比 $\frac{P_2}{Q_2}$ に於て平衡を得たとすれば

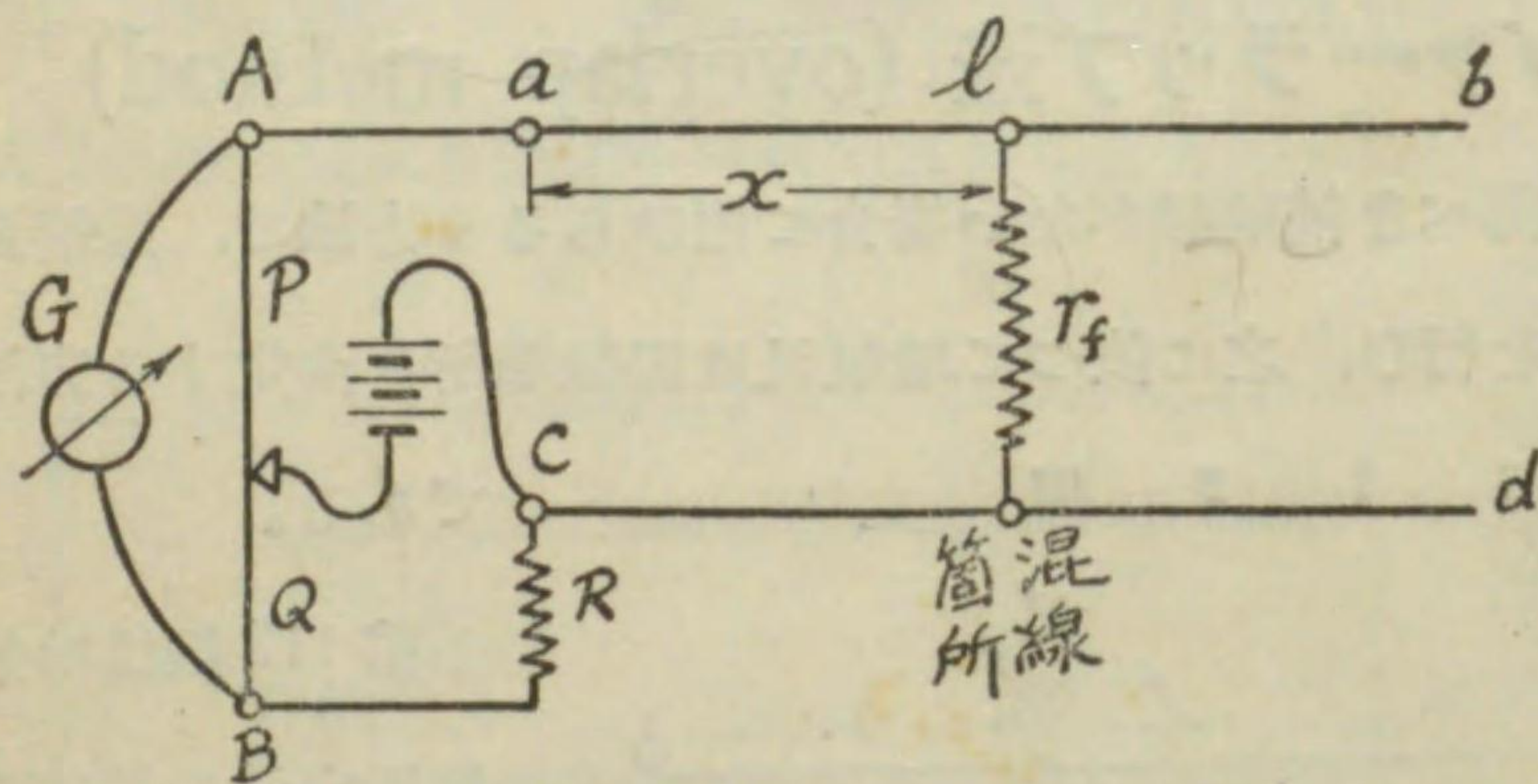
$$(l-x)\rho + r_f = \frac{P_2}{Q_2} R_2 = R_2' \quad (2)$$

(1)及(2)式から r_f を消去すれば

$$2x\rho - l\rho = R_1' - R_2' \\ \therefore x = \frac{l}{2} + \frac{R_1' - R_2'}{2\rho} \quad (3)$$

第 113 圖は混線箇所を發見するオーヴァーラップ法を示す。 r_f を混線の

第 1 1 3 圖



混線検出のオーヴァーラップ法

抵抗とする。前法と同様、先づ b, d 端を絶縁し a, c 端にブリッジを接続し $R=R_1$ 、比例邊の比 $\frac{P_1}{Q_1}$ に於て平衡を得たとする。次に a, c 端を絶縁し b, d 端に於てブリッジを接続し $R=R_2$ 、比例邊の比 $\frac{P_2}{Q_2}$ に於て平衡を得たとする。 ab, cd を同一斷面積の電線とすれば

$$2x\rho + r_f = \frac{P_1}{Q_1} R_1 = R_1' \quad (4)$$

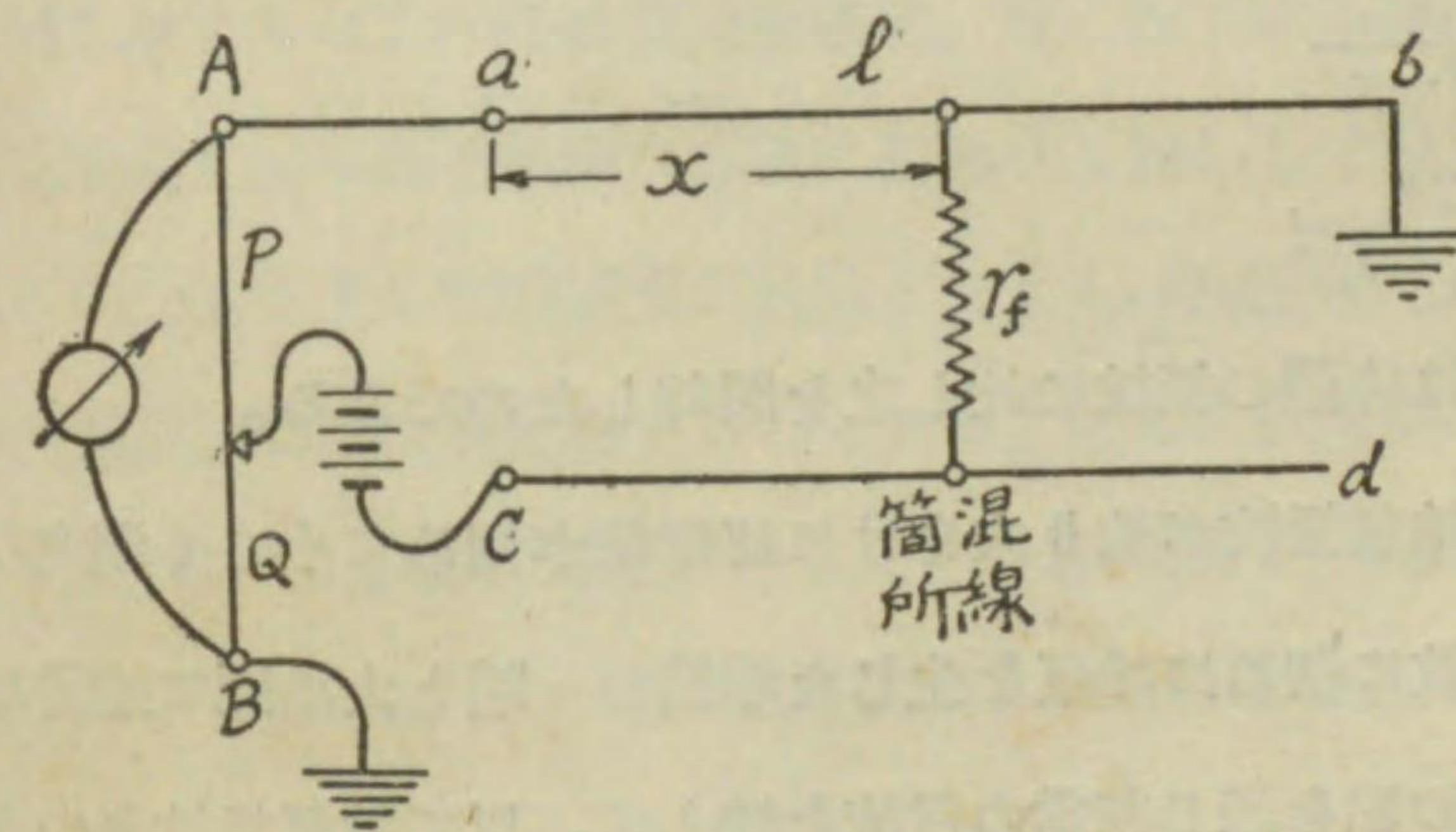
$$2(l-x)\rho + r_f = \frac{P_2}{Q_2} R_2 = R_2' \quad (5)$$

$$\therefore 4x\rho - 2l\rho = R_1' - R_2' \\ \therefore x = \frac{l}{2} + \frac{R_1' - R_2'}{4\rho} \quad (6)$$

オーヴァーラップ法は前述の如く、二回の測定結果から地氣又は混線箇所の抵抗を除外する方法であるが、此の方法の缺點とする所は、地氣又は混線の抵抗を二回の測定に於て一定なりと假定した點である。實際に於て地氣又は混線箇所の抵抗は少しの状態の變化に依り異なる許でなく、測定電流に依つても抵抗を變ずる場合が多い。故に前諸法に比して其の確度は遙に低いのを免れないのである。

他に利用し得べき補助線がない場合と雖も、二線間に混線を生じた場合には、オーヴァーラップ法に依らず、第 114 圖に示す様な接続にすれば、只

第 1 1 4 圖



混線箇所發見法

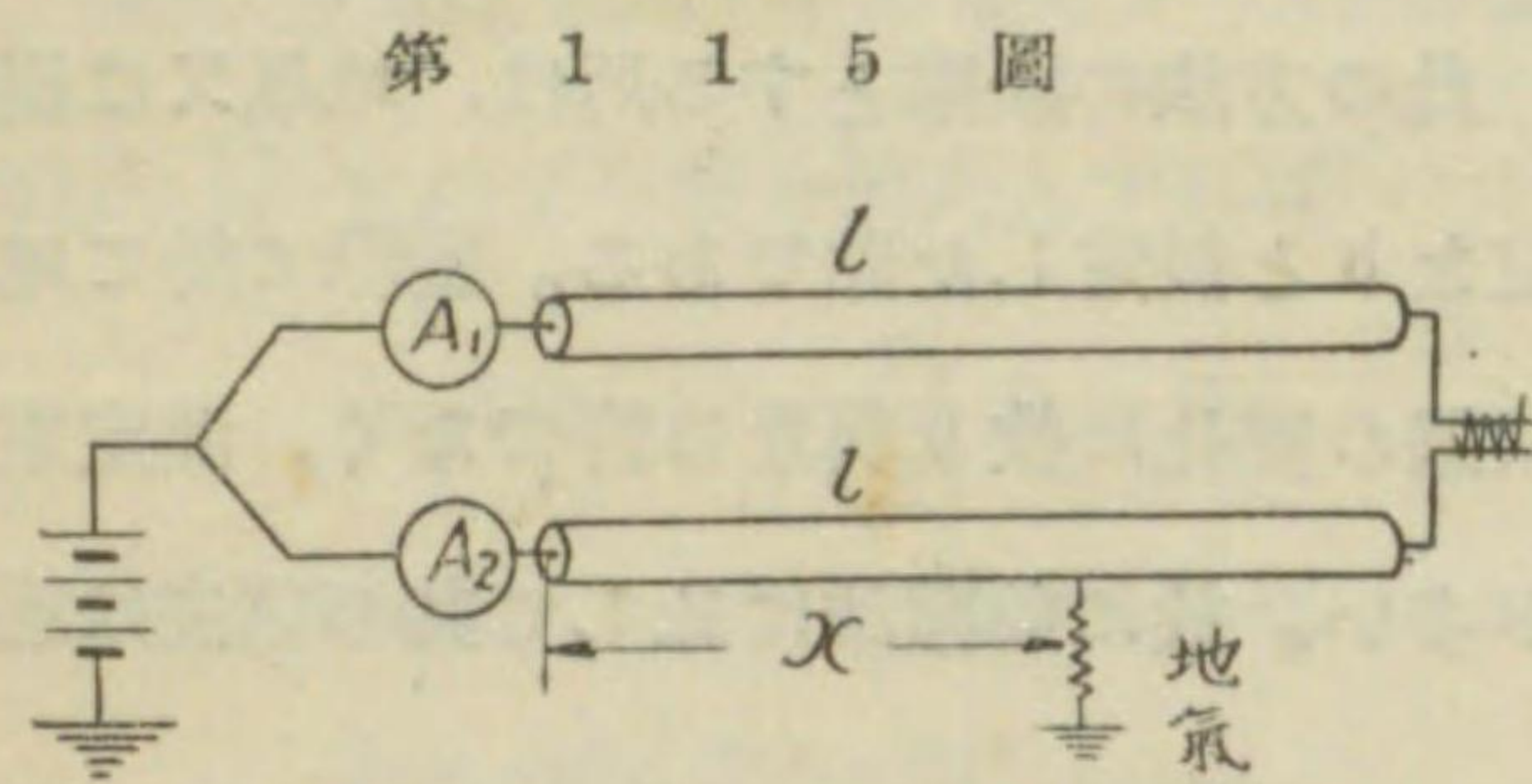
一回の測定結果から混線箇所を決定することが出来る。即圖に於て ab 線の a を摺動線に接続し b 端を接地し、又 cd 線の c を電池に接続し

d を絶縁し、摺動線の B を接地するのである。然る時は混線抵抗 r_f は單に電池の歸線の役目をなすに過ぎないから、平衡状態に於ては明かに

$$\frac{P}{Q} = \frac{x}{l-x} \quad \therefore x = \frac{P}{P+Q} l \quad (7)$$

76. 二電流計ループ法

此の方法は地中電線の地気の箇所を発見する方法に用ひらるゝ方法で、地気を生じた導体と完全な導体とを用ひてループを作り、第115圖に示す様に各導体に A_1 及 A_2 なる



第 1 1 5 圖

二電流計ループ法

電流計を入れて電池の一端に接続し、電池の他端を接地する。此の場合には地気の箇所を通じて並列回路を形成し、各電流計を通る電流は並列回路の抵抗に逆比例する譯である。故に電流計 A_1 及 A_2 の読みを夫々 I_1 及 I_2 とし、二導体を同一の断面積及同一の長さとし、其の長さを l とすれば

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{x}{2l-x}$$

$$\therefore x = \frac{2I_1}{I_1+I_2} l$$

但し電流計の抵抗は導体の抵抗に比し之を閉却したのである。

此の方法に於ては地氣抵抗が餘り大きければ電流が極めて小さく測定の感度が極めて悪い。故に初めに地氣を生じた導体の一端と大地間に適當な電壓を加へて、地氣の點を通じ相當の電流を流して、以て地氣抵抗を小さくすることが必要である。蓋し斯くの如き場合に、此の方法に依つて地氣點が炭化せられ、以て地氣抵抗が減少するのである。

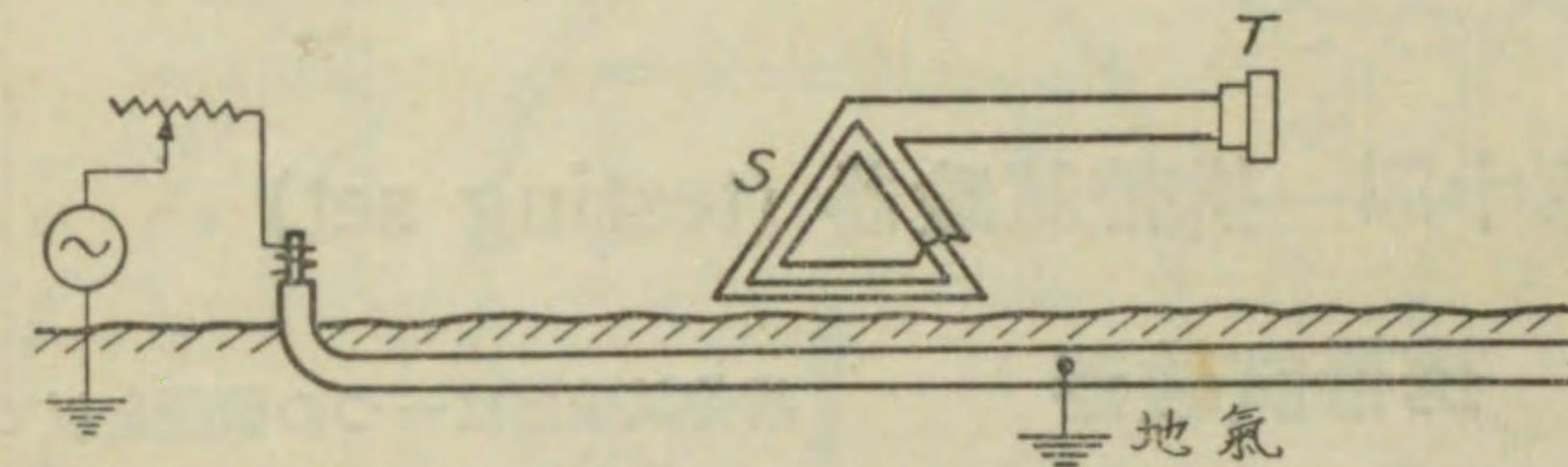
77. 誘導地氣搜索器 (induction localizer)

此の方法は抵抗測定法に依つて地氣の地點を見出す方法ではないが、序

を以て茲に述べるのである。

誘導地氣搜索器は第116圖に示す様に、適當の捲數から成る線輪 S と其

第 1 1 6 圖



誘 導 地 氣 搜 索 器

の端子に接続せらるゝ電話受話器から成る。地中電線に地氣が生じた場合には、先づ其の電線に適當な高電壓を與へて電線を全地氣の状態に近づけ、次に圖の様に交流電源に接続して、地氣の生じて居る導体に地氣の點を通じ數アマペア内外の交流を通す。茲に於て道路面にて電線に沿ふて、搜索線輪を其の面を電線の方向に保ちつゝ動かして行くと、電線を通る交流に依つて生ずる交番磁束が線輪と交叉し、線輪内に交番起電力を誘起し、爲に電話受話器に音を感じるのである。然るに搜索器が地氣の點を過ぎると、其の先には導体に電流が通らないから、電話受話器の音は急に低くなるか又は全く聞えなくなる。即之に依つて地氣の地點を決定し得るのである。

78. 断線箇所の發見

地氣或は混線を伴ふことなく、線路に断線が生じた場合には屢々容量測定法を利用して故障地點を発見する。此方法は相當の静電容量を有する場合に應用し得る方法である。其の方法を簡単に説明すれば、線路の静電容量は其の長さに正比例すると云ふ原理を應用したもので、長さ l なる導体の x なる距離に断線を生じたと

すれば、線路の両端から測定した容量を C_1 及 C_2 とすれば

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{x}{l-x}$$

$$\therefore x = \frac{C_1}{C_1 + C_2} l$$

第十四 携帯試験器 (testing set)

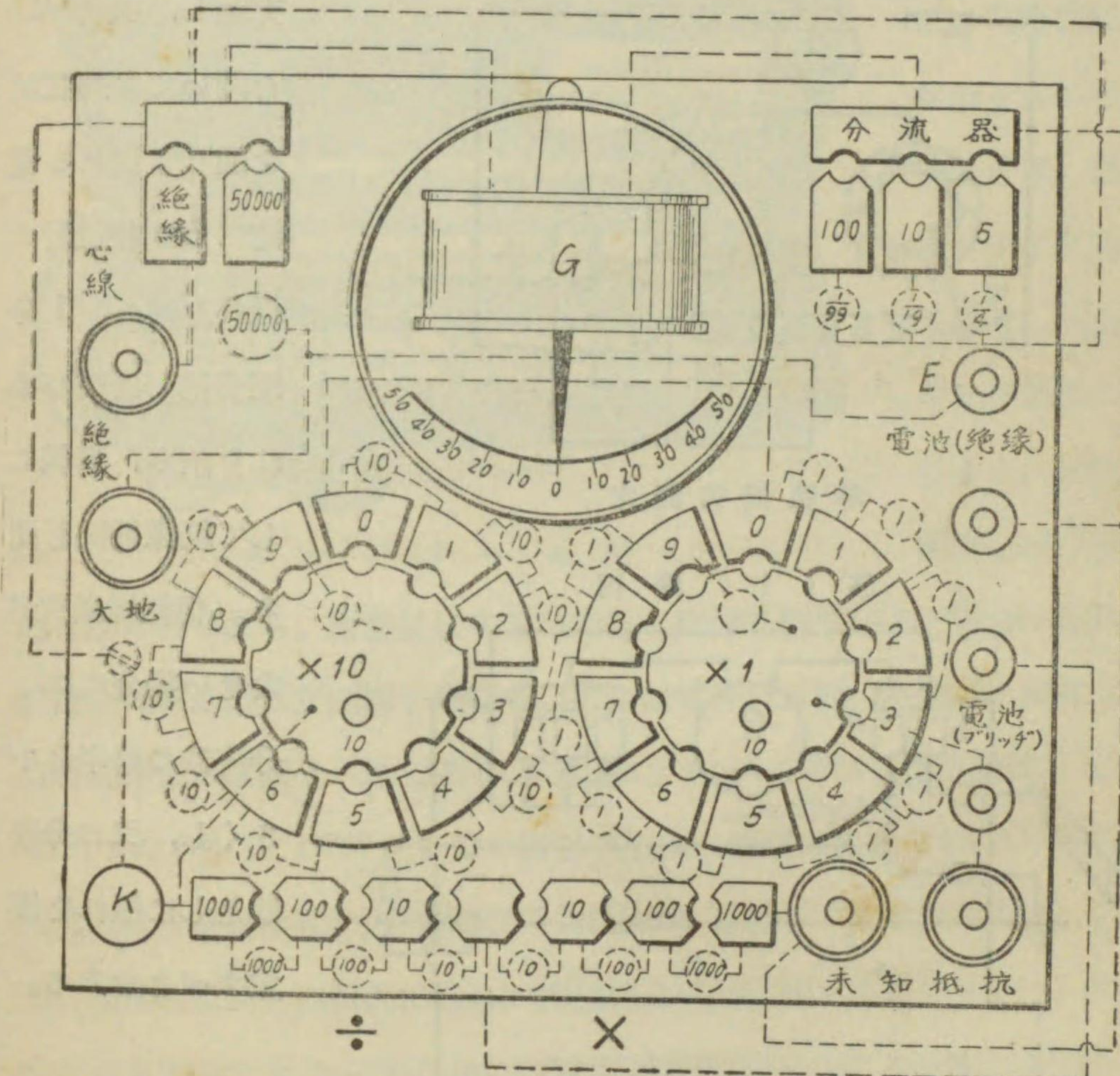
79. 携帯試験器

携帯試験器は一つの装置を以て便利に數種の測定を行ひ得る様に造られて居るもので、各國の測定器製作者は種々の方式のものを市場に出して居るが、其の測定の原理に至つては何等新しいものがある譯ではない。通常ホキートストーン・ブリッジ、直偏法に依る絶縁抵抗測定、地氣の箇所の發見等に用ひ得るやうに成つて居る。又屢々電解液の抵抗測定又は静電容量の測定をも行ひ居る様になつて居るものがある。或は電纜試験器として電纜の各測定を總て行ひ得る様にして居るものもある。檢流計も電纜試験器の如きは、反照檢流計を備へて居るものもあるが、通常は指針型檢流計を用ひる。携帯試験器は勿論精密な測定に用ひる目的ではなく、工業的に便利に試験を行ふのに適するものである。今其の例として次の二つを述べやう。

80. シルヴァータウン携帯試験器 (Silvertown testing set)

第 117 圖甲は英國シルヴァータウン會社製の携帯試験器の内部接続を示す。之はホキートストーン・ブリッジ法に依る導體抵抗測定と、直偏法に依る絶縁抵抗測定とを行ひ居るものである。第 117 圖の乙圖は導體抵抗測定の場合の接続、丙圖は絶縁抵抗測定の場合の接続を

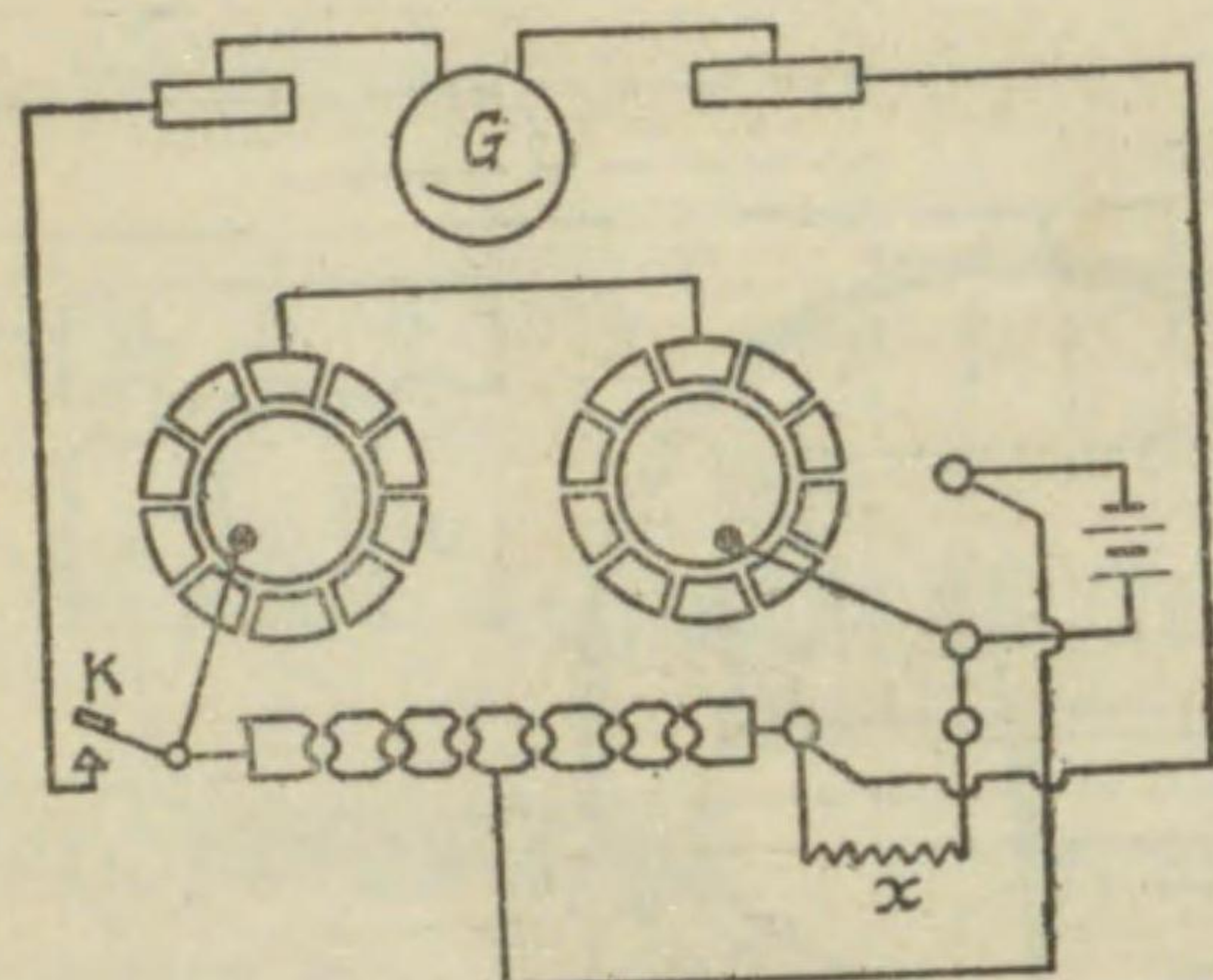
第 1 1 7 圖 甲



シルヴァータウン携帯試験器

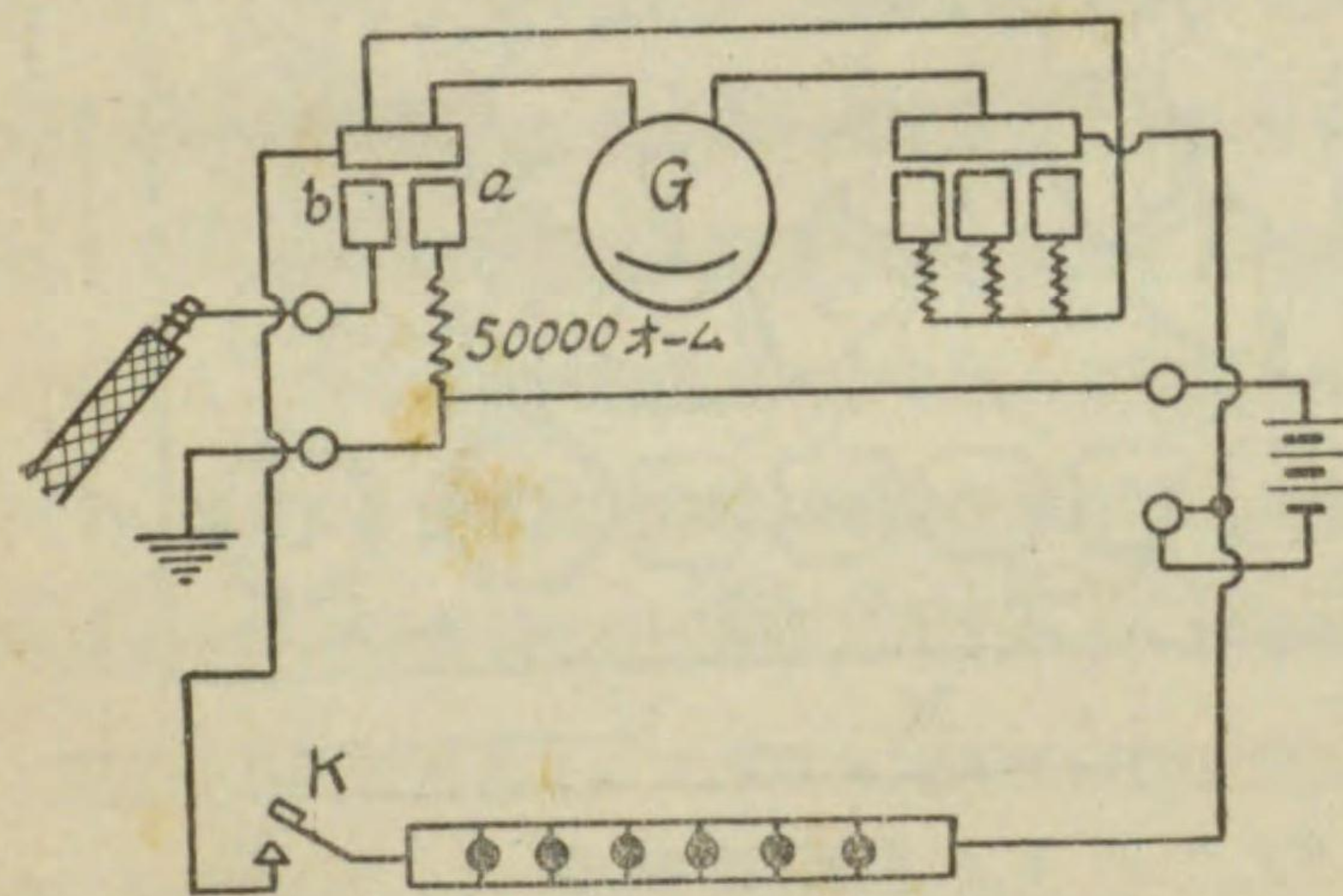
すものである。乙圖は其の接続から説明を要せずして明かであらう。丙圖の場合には比例邊の栓孔に全部栓を挿し込み然る後先づ栓を a に挿入し、適當な分流器の位置に栓を挿し込むときは 50 000 オーム標準抵抗が回路内に直列に入り、檢流計に振れを與へる。此の振れを檢流計の指針の位置から目盛盤で讀む。次に a に挿した栓を抜き、之を b に挿し換へると、求むる所の絶縁抵抗が回路内に入るから、先づ電鍵 K を押へて檢流計を短絡し

第 1 1 7 圖 乙



導 體 抵 抗 測 定

第 1 1 7 圖 丙



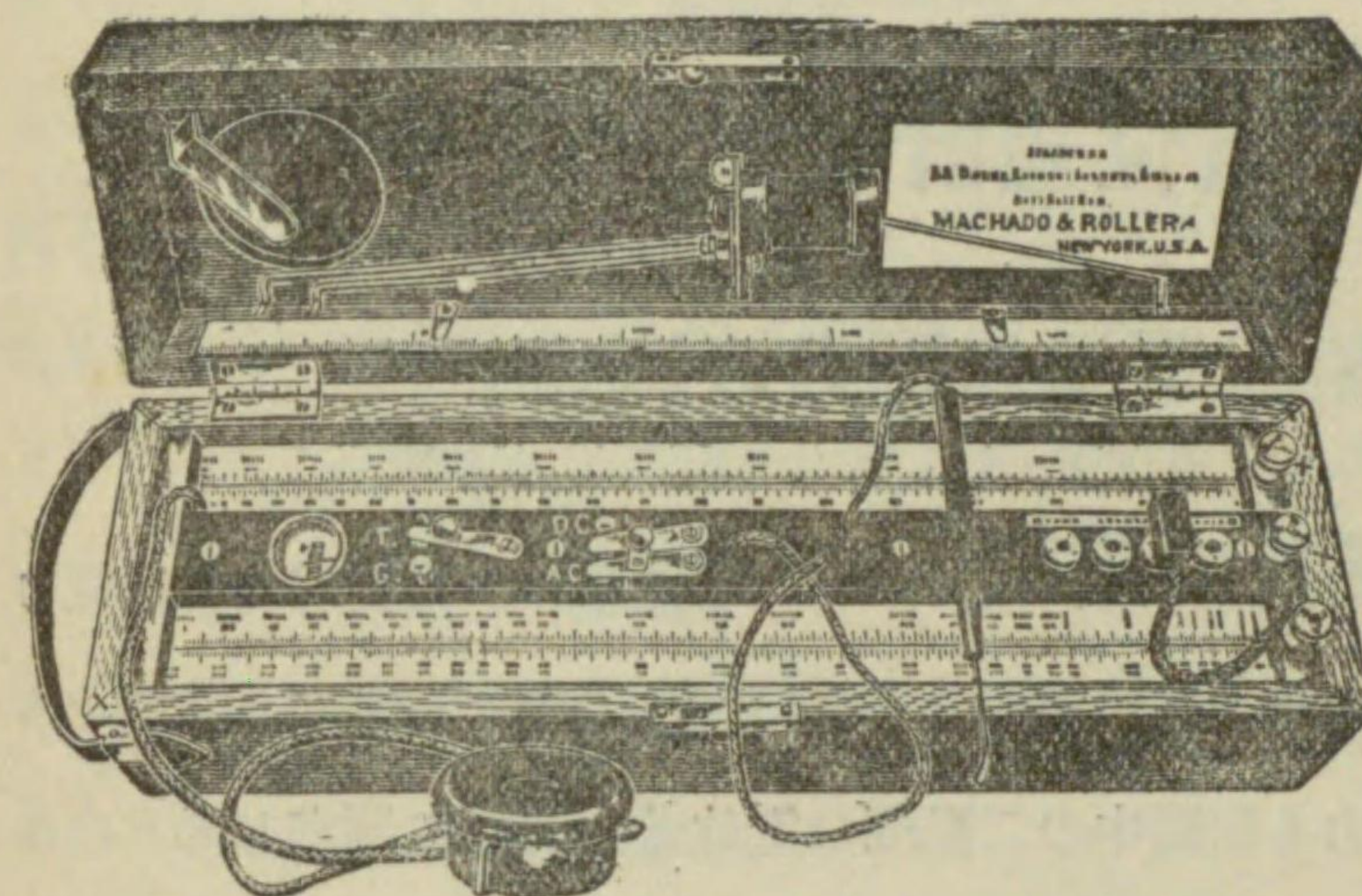
絶 縁 抵 抗 測 定

約 30 秒間電線を充電し、次に K を開いて絶縁抵抗を通じて流れる電流に依り検流計に振れを與へ、1 分間充電した後の振れを読み、斯様にして絶縁抵抗を測る。但絶縁抵抗が大きい場合には、分流器の倍率を小さくし、又は分流器なしに振れを測定すべきである。

81. セージ・オーム計 (Sage ohmmeter)

之はオーム計と稱するが、一種の携帯試験器で、ホキートストーン・ブリッジ、電解液抵抗測定、地板抵抗測定、地氣箇所發見等に用ひ得る様になつて居る。第 118 圖は之を示すもので、二本の摺動線を兩側に装置し、之を直列に接続し、斯様にして本装置の寸法を短縮して居る。摺動線の接觸

第 1 1 8 圖



セージ・オーム計

子は圖に示す様に、可撓導線に接続されて居る金屬片で、絶縁物の把手を備へて居る。此金屬片を摺動線に觸れると、検流計回路を閉づることとなるのである。検流計は中央部左方に装置されて居り、場合に應じ検流計の代りに電話受話器を用ひる。此の切替を行ふ爲、検流計に接近して切替開閉器が装置せられてある。摺動線ブリッジに用ひる標準抵抗としては 1, 10, 100 及 1000 オームの四個の線輪が函内に装置せられ、中央部右側に四個の金屬栓孔を備へ、之に可撓導線に接続してある栓を挿入すると、任意の抵抗を回路内に入れ、摺動線及未知抵抗と共にブリッジの四邊を形成するのである。摺動線には四種の標準抵抗を入れた場合に相當する四通りのオームで目盛つた目盛が異なつた色で記してあり、抵抗線輪の栓孔も同一の色で塗つてある。電源用の電池も函内に装置せられ、交流電源用の誘導線輪は蓋に装置してある。交流電源を用ひる場合には中央部にある切替開閉器を直流側 (D.C) から交流側 (A.C) に切り替へ、之と同時に受話器を回路に入れるのである。此の説明から此のオーム計を以て導體抵抗、液體抵抗、地板抵抗等を測定し、且マーレー・ループ法又はヴァーレー・ループ法等に依つて地氣箇所を發見し得ることが分るであらう。

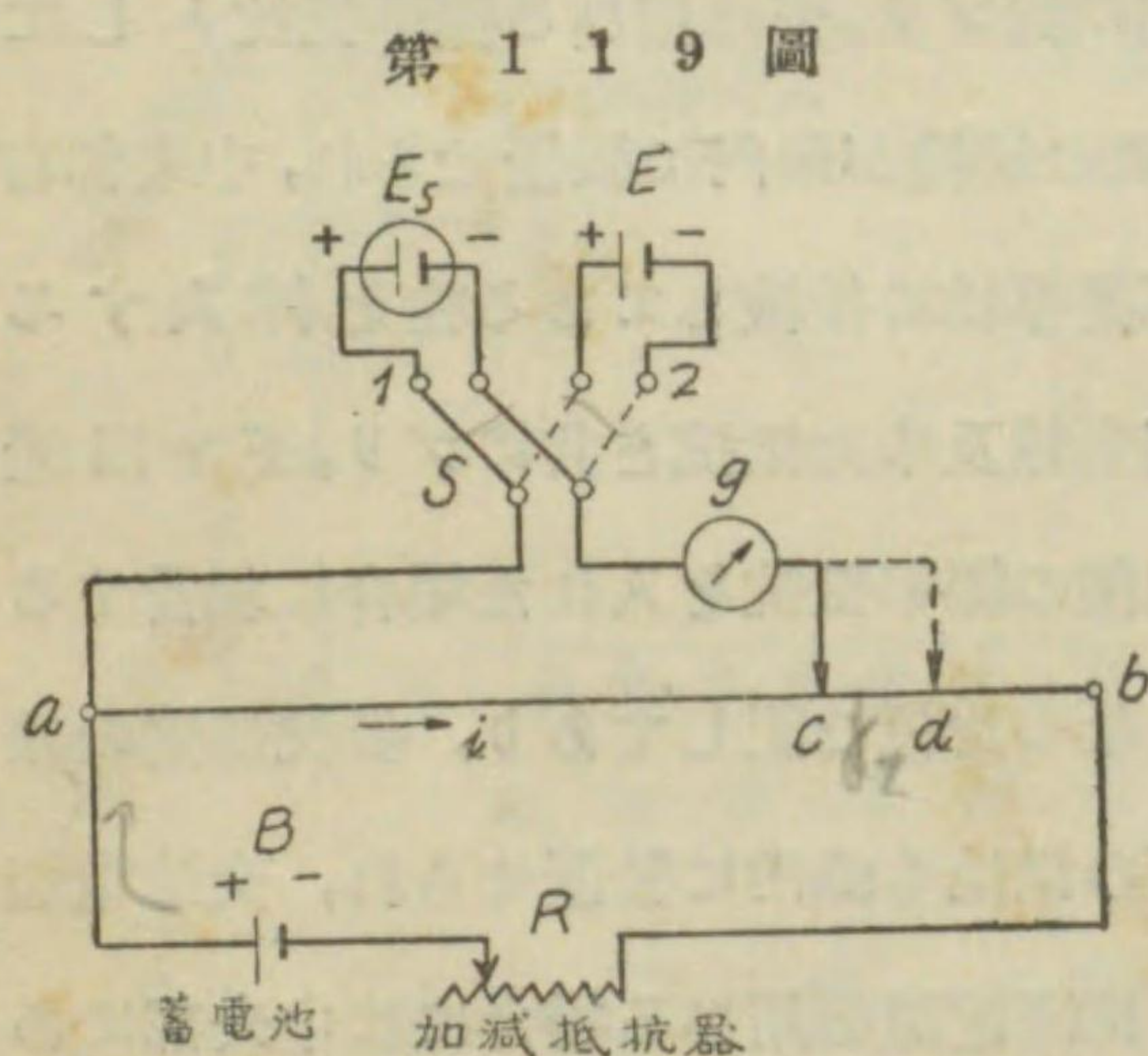
第四章 電位差計 (potentiometer)

附 電池起電力の測定

82. 電位差計の原理

電位差計は標準電池の起電力と比較して、任意の電位差又は電圧を零位測定法に依り測定する装置である。従て電池の起電力も回路中の二点間の電位差も同様に測定し得るのみでなく、既知抵抗の電圧降下を測定して電流をも測定し得るのである。之等の測定法に就ては更に節を改めて説く所があらう。

第 119 圖は電位差計の原理を示すもので、圖に於て ab は一様な太さを有する摺動線であると假定する。



第 119 圖 電位差計の原理

之に蓄電池 B から圖の方向に適當な電流 i を通じ置き、 S なる切替開閉器を (1) の位置に閉ぢ、標準電池 E_s と檢流計 G とを直列とし、電池の陽極が a に接続せらるゝ様にし、摺動線上の接觸子の位置を適當に調整すれば、檢流計に振れを生じない點を見出すことが出来る。此の場合の接觸子の位置を c 點とする。此の條件に於ては、標準電池の起電力が摺動線 ac 間の電圧降下と相等しいことを示すのである。次に切替開閉器 S を (1) から (2) に切り替へ、 E_s の

有する摺動線であると假定する。之に蓄電池 B から圖の方向に適當な電流 i を通じ置き、 S なる切替開閉器を (1) の位置に閉ぢ、標準電池 E_s と檢流計 G とを直列とし、電池の陽極が a に接続せらるゝ様にし、摺動線上の接觸子の位置を適當に調整すれば、檢流計に振れを生じ

代りに測定すべき電圧 E を檢流計回路内に入れ、 E の陽極を同様に a に接続する様にして、摺動線には前と同一の電流を通し置き、摺動線上の接觸子を動かして、檢流計の振れを零とする點 d を見出す。此の場合には E なる電圧は丁度摺動線 ad 間の電圧降下に等しい。今

E_s = 標準電池の起電力 (攝氏 20 度に於て 1.0183 ヴォルト)

E = 測定すべき電圧

r_1 = ac 間の抵抗

r_2 = ad 間の抵抗

i = ab に流るゝ電流

とすれば

$$E_s = r_1 i \quad E = r_2 i$$

$$\therefore E = \frac{r_2}{r_1} E_s$$

之れ電位差計の構成せらるゝ原理である。但し實際に於ては ab は一本の摺動線を用ひるのではなく、次節以下に説くが如く、抵抗線輪と摺動線とを併用するか、又は抵抗線輪のみを用ひるのである。又電位差計に通す電流は標準電池に關聯して適當なる値を選び、抵抗線輪又は摺動線に豫定の電圧降下を生ぜしめる様にして、未知電圧に對する接觸子の位置から直に測定すべき電圧の値を読み取ることが出来る様になつて居る。

市場にある電位差計の型式も種々に異なつて居り、又異なつた特色を有して居る。次節以下に其の代表的のもの數種を掲げやう。

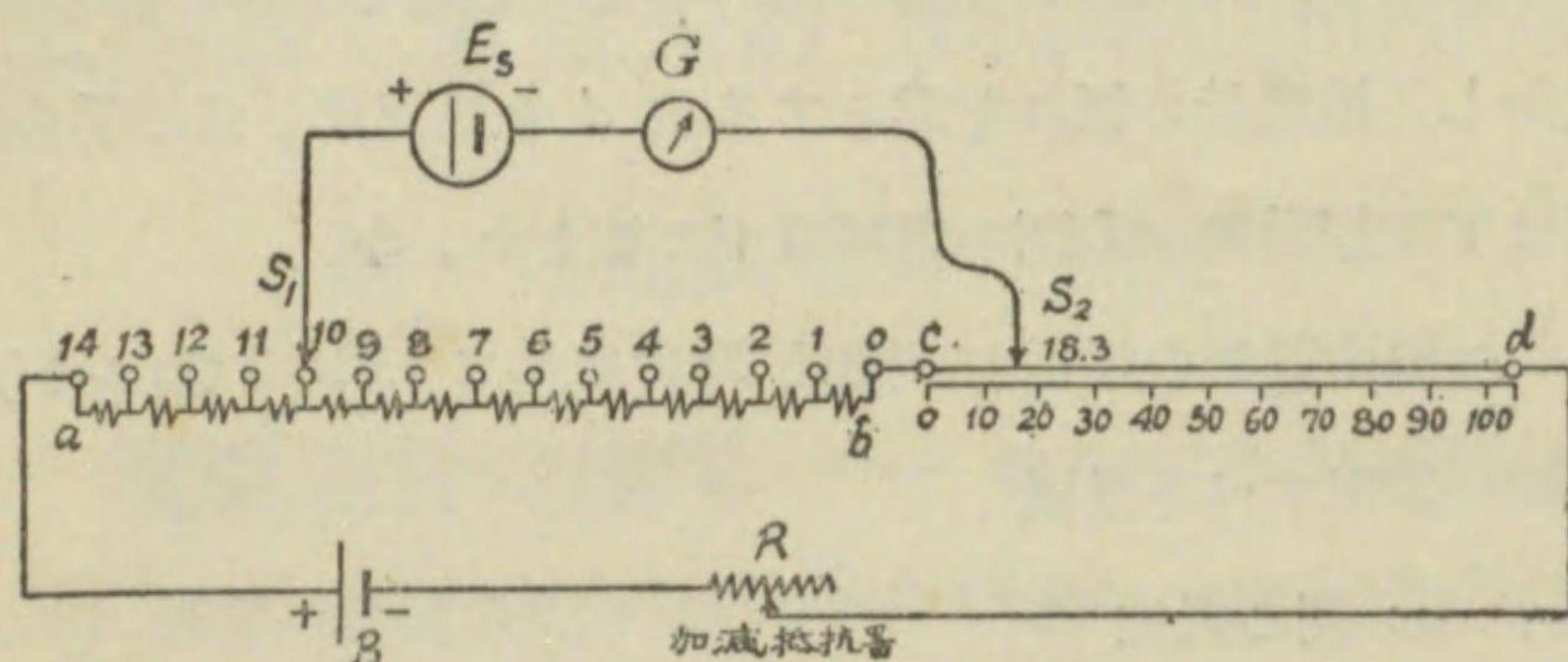
83. 低抵抗型電位差計

比較的抵抗が大きくない電

位差計で、此の種の電位差計は抵抗線輪と摺動線とを併用する所から、或

は摺動線型と稱せらるる場合がある。

第 1 2 0 圖



クロムプトン電位差計の接続

(イ) クロムプトン電位差計 (Crompton potentiometer) 第120圖はクロムプトン電位差計の接続を示すものである。圖に於て ab は14箇の10オーム抵抗線輪から成り、 cd は摺動線で之に105等分した目盛を附し、 cd の100目盛に相當する電壓降下が丁度 ab の線輪一箇に生ずる電壓降下と相等しい様に調整せられて居る。故に電位差計電流を適當に調整して、抵抗線輪1箇に生ずる電壓降下を丁度0.1ヴォルトに等しくなる様にすると、摺動線に於ては100目盛に付0.1ヴォルト、10目盛に付0.01ヴォルト、1目盛に付0.001ヴォルトの電壓降下を生ずることとなる。

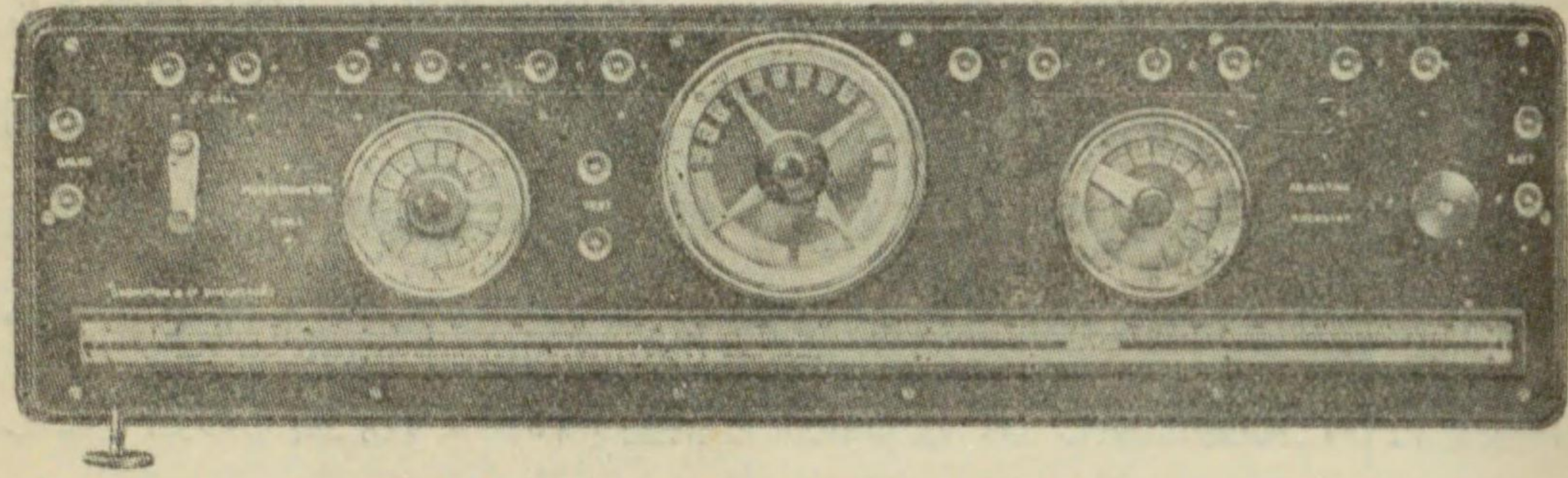
電位差計電流を斯様に調整するには、如何にすべきかと云ふに、先づ切替開閉器に依りてウェストン標準電池を検流計回路内に入れ、例へば室内溫度攝氏20度の場合には抵抗線輪上の接觸子 S_1 を10の位置に、又摺動線上の接觸子 S_2 を摺動線上の18.3の目盛の位置に置き、電池回路の加減抵抗 R を加減して、檢流計の振れを零とすれば、ウェストン標準電池の電壓は1.0183ヴォルトであるから、10箇の線輪内で $0.1 \times 10 = 1$ ヴォルト、摺動線の18.3目盛内で $18.3 \times 0.001 = 0.0183$ ヴォルトの電壓降下を生じて、電

位差計内に所要の電流を通じたこととなるのである。勿論室内溫度が20°でなければ、其の溫度に相當するウェストン電池の起電力の値に相當する様に、 S_1 及 S_2 の接觸子の位置を定めて、同様の操作を行へばよい。又測定中電位差計電流が適當の値に保たれ、抵抗線輪及摺動線内に所要の電壓降下を生じて居るかを確むるには、時々ウェストン標準電池を以て以上の調整を行ひ、必要に應じ R なる抵抗を調整すればよい。斯くの如くにして電位差計電流を適當に調整すれば、標準電池の代りに任意の電壓を入れ替へ、 S_1 及 S_2 の位置を調整し、檢流計の振れを零とすれば、 S_1 及 S_2 の位置から直に其の電壓を知ることが出来る。例へば S_1 の位置が抵抗線輪 ab 上の8の位置、 S_2 が摺動線 cd 上の72.6の位置で平衡を得たとすれば、測定すべき電壓の値は直に0.8726ヴォルトなることが分る。

第120圖の接続に於ては、摺動線 cd は單に抵抗線輪と直列に接続せられて居るが、實際は摺動線 cd に並列に抵抗を入れ、之に依つて電壓降下を調整する方法を取つて居る。之は實際製作上の便宜の爲で、若し第120圖の接続であるとすれば cd の100目盛は丁度抵抗線輪1箇の抵抗10オームに等しくなければならぬ。之が爲には、一定の長さの摺動線に對し其の太さを嚴密に選ぶべき必要がある。併し乍ら10オームより大なる摺動線に高抵抗を並列に接続して、此の並列抵抗を加減する方法を取れば、容易に其の電壓降下を調整し得るのである。

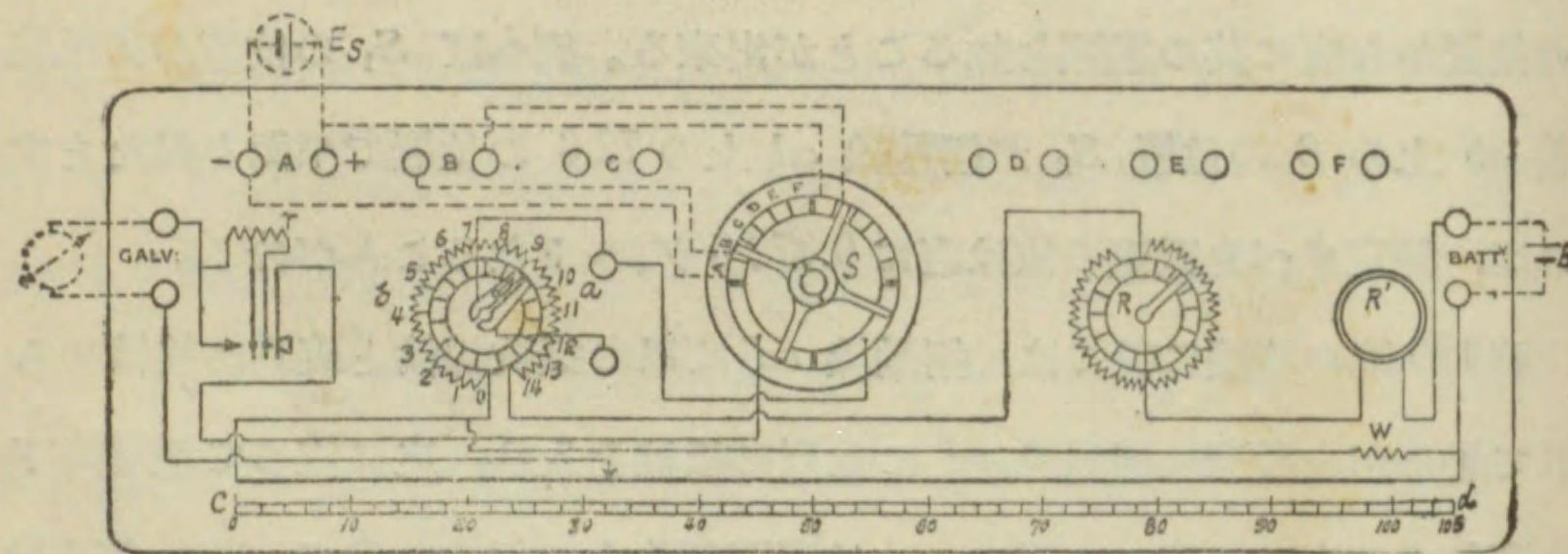
第121圖はクロムプトン電位差計を示すもので甲圖は外形、乙圖は其の内部接続である。乙圖に於て示す様に ab の抵抗線輪は圓形に配置せられてある。又 cd なる摺動線には並列に W なる抵抗が接続せられる。 R 及 R' は電位差計電流の加減抵抗器で、 R' は細微な電流の調整用である。

第 1 2 1 圖 甲



クロムプトン電位差計の外形

第 1 2 1 圖 乙



クロムプトン電位差計の内部接続

は検流計の直列抵抗で、測定すべき起電力と二つの接觸子間の電圧降下との間に大きい差ある場合にも、検流計に大なる振れを生ぜしめず、又標準電池に大なる電流を通さない様にする爲である。而して接觸子を動かし、測定すべき起電力と二接觸子間の電位差とが殆んど相等しくなるに至つて、電鍵に依つて漸次之を短絡するのである。 r は第一に 10 000 オーム、第二に 2 000 オーム、第三に零となるのである。 S は切替開閉器で、之に依り、 A, B, C, D 等の任意の端子に接続する起電力を随時検流計回路に入れる様になつて居る。

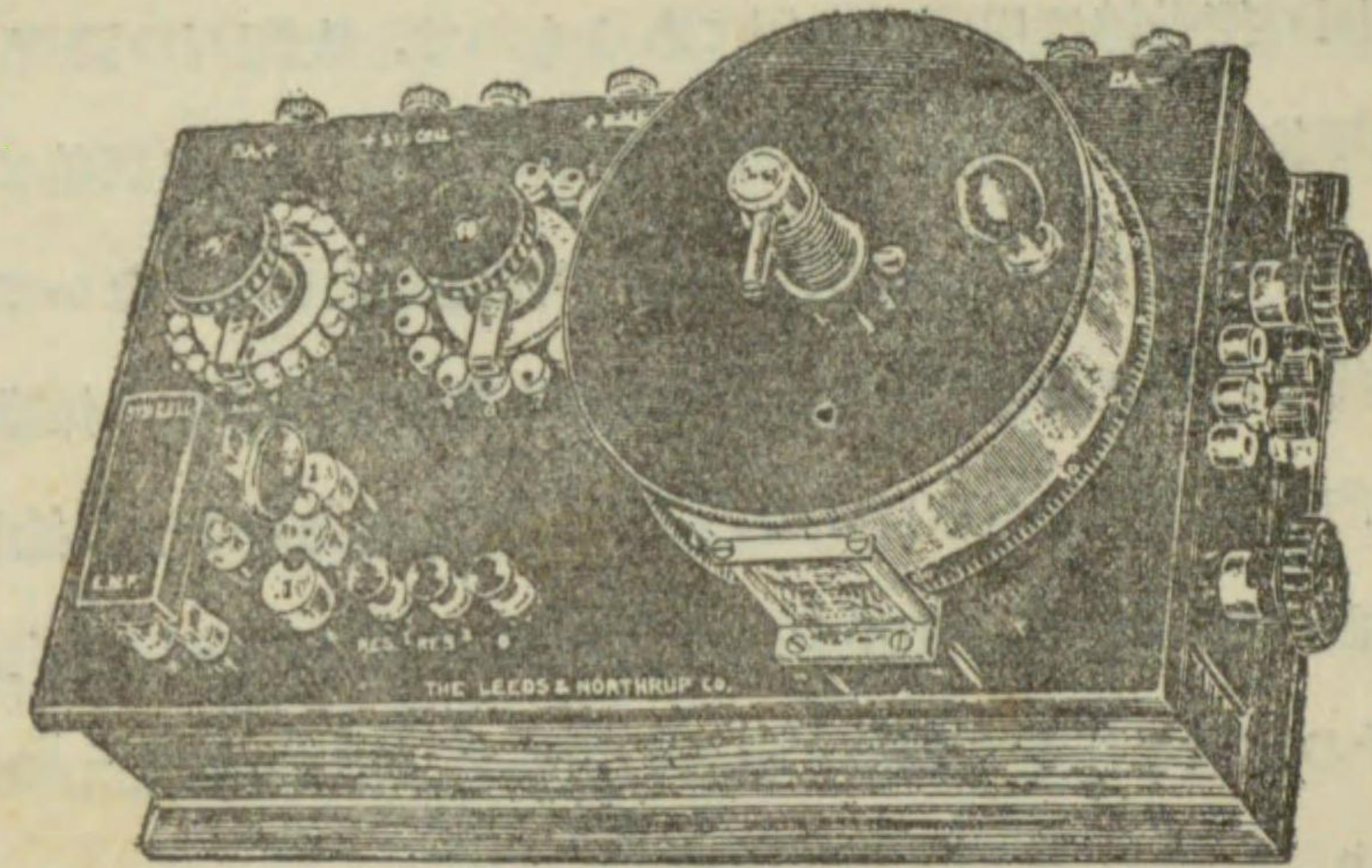
電源としては略々 2 ヴォルトの起電力を有する一個の蓄電池を用ひれば

足るものである。但し電位差計電流を一定に保つ爲に蓄電池を用ひる必要があるので、蓄電池の充電後少しく放電した後のものを用ひると甚だ好結果を得る。

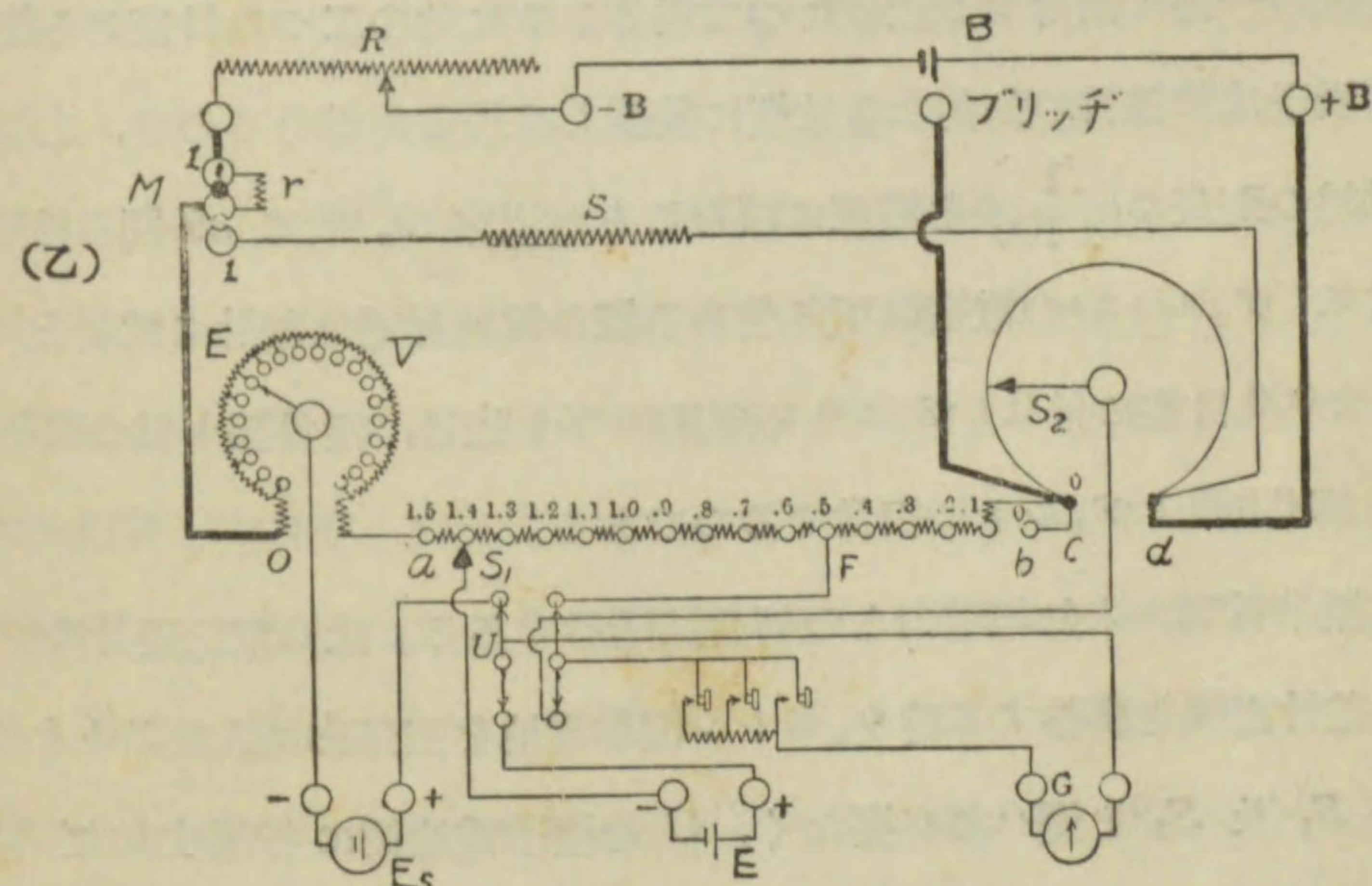
(ロ) リーズ・エンド・ノルスラップ電位差計 (Leeds and Northrup

第 1 2 2 圖

(甲)



(乙)



リーズ・エンド・ノルスラップ電位差計

potentiometer) 第122圖は米國リーヅ・エンド・ノルスラップ會社電位差計を示すもので、甲圖は其の外形、乙圖は其の内部接続である。其の原理はクロムプトン電位差計と大差ないが、構造上異なつた點を述べると、乙圖に於て ab なる部分は、甲圖の中央にある圓形に配置せらるゝ抵抗線輪の部分の便宜上廣げて表はしたもので、15個の5オーム線輪から成つて居る。 cd 間の摺動線は甲圖の右側にあるもので、大理石の圓筒上に精密に刻まれた螺旋に沿ひ11回に捲かれ、精密に5.5オームに調整せられる。摺動線を斯様に装置することに依り、全體の装置を大きくしないで、長い摺動線を用ひ得るのである。摺動線はエポナイト製の外筒に依り保護せられ、此の外筒の内面に接觸子が取付けてある。外筒は中央の螺子に捻ぢ込み装置せられてあつて、其一侧の把手を以て廻せば、外筒は廻轉しつゝ上下に移動し、接觸子の位置を任意に調整し得るのである。外筒の下縁に100等分した目盛があり、之に對して硝子板に目盛つた垂直目盛があつて、其の一目は恰度摺動線の一捲に相當する様になつて居る。故に此の二つの目盛から摺動線の接觸子は幾捲目の如何なる位置に接觸して居るかが分るので、之に依り摺動線の全長の $\frac{1}{1100}$ を精確に讀むことが出来る。故に ab 間の線輪1箇に付0.1ヴォルト宛の電壓降下を生ずる様な電流を電位差計に通すと、摺動線の1000目盛に付0.1ヴォルトの電壓降下を生じ、摺動線1目の讀みは $\frac{0.1}{1000}$ 即0.0001ヴォルトに相當するのである。

U は標準電池と未知起電力との切替開閉器である。此の電位差計に於ては電位差計電流を調整する爲ウエトン標準電池を回路内に入れるときは、接觸子 S_1 及 S_2 を變へる必要なく、 U を標準電池側に接觸すればよいのである。此の場合に標準電池の電壓と平衡するものは、抵抗線輪 ab の

5の位置に相當する F 點と V なる抵抗線輪の接觸子間の電壓降下である。從て F の左方で5オーム線輪10個及此線輪と V との間に接続せられる小抵抗と V の線輪中接觸子より右方にある部分である。 V の線輪はウエトン標準電池の温度に依る起電力の變化に對し室内温度に應じ變化すべき値に相當する抵抗で、從て F 點と V の接觸子の位置 E との間には1.0183ヴォルト内外の電壓降下を生ぜしめるのである。故に電位差計電流を調整する場合には、先づ V の接觸子の位置を室内温度に相當する起電力の點に置き、 U を標準電池側に切替へて、電池電流を加減し、檢流計の振れを零とすればよい。此の方法は甚だ便利で、測定中容易に屢々電位差計電流の正否を檢することが出来るのである。

此の電位差計で尙クロムプトン電位差計と異なる特色を有して居るものは、電壓の測定範圍を更に $\frac{1}{10}$ 迄擴げ得ることである。圖に於て M と記入した栓孔は此の役目を爲すので、栓を(1)の孔に挿した場合は普通の測定範圍で、5オーム線輪に0.1ヴォルト宛の電壓降下を生ずる。此の場合は最高約1.6ヴォルト迄測定し得るので、摺動線1目の讀みは0.0001ヴォルトである。若し0.1ヴォルト以下の様な低い電壓を測る場合に、電位差計電流が此儘であれば、摺動線のみ電壓降下と比較することとなり、從て測定の確度が低い。然るに若し5オーム線輪に0.1ヴォルトの代りに0.01ヴォルトの電壓降下を生ぜしむれば、1ヴォルト附近の電壓と同様の確度を以て測定し得ることが分るのであらう。此の方法を行ふ爲に M に於て1の孔に挿入してある金屬栓を、1の孔に挿し替へると、 S なる抵抗が電位差計抵抗と並列となり、 r なる抵抗が直列に接続せられる。 S は電位差計抵抗の $\frac{1}{9}$ に等しい抵抗であつて、かくして全電流の $\frac{1}{10}$ の電流が電位差計に流れ

る。然るに S と電位差計との合成抵抗は $\frac{1 \times \frac{1}{9}}{1 + \frac{1}{9}} = \frac{1}{10}$ 即ち元の電位差計抵抗の $\frac{1}{10}$ に減ずるから、電位差計抵抗の $\frac{9}{10}$ に等しい r なる抵抗を直列に接続すれば、回路の全抵抗は前と同一で、従て全電流は前と同一である。故に栓を 1 に挿し、普通の通りに電位差計電流を調整した後、栓を 1 の孔に挿し替へると、電位差計電流は $\frac{1}{10}$ となり、従て ab の線輪 1 箇に付 0.01 ヴォルトの電圧降下を生じ、摺動線 1 目の読みは 0.000 01 ヴォルトとなるのである。

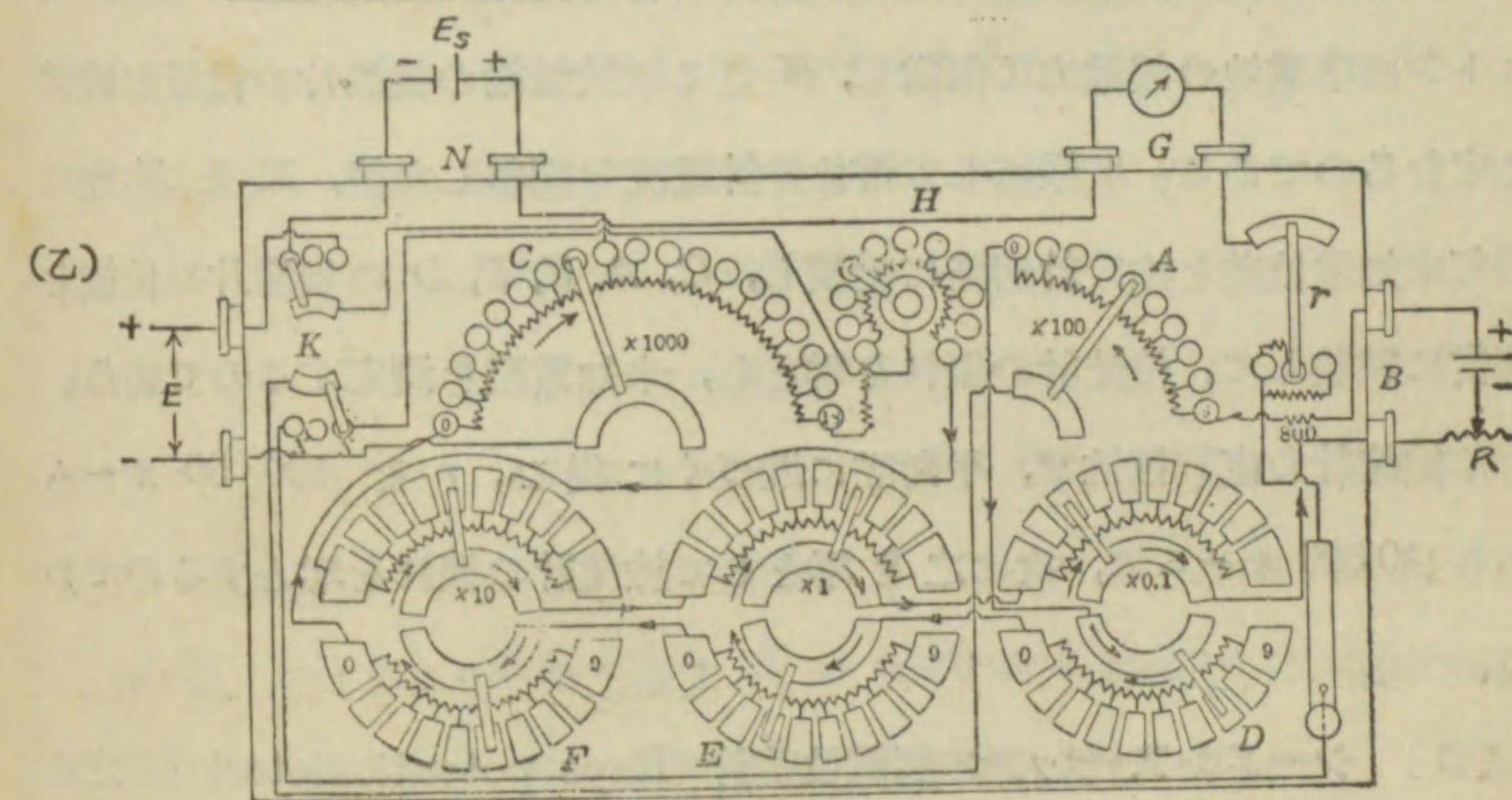
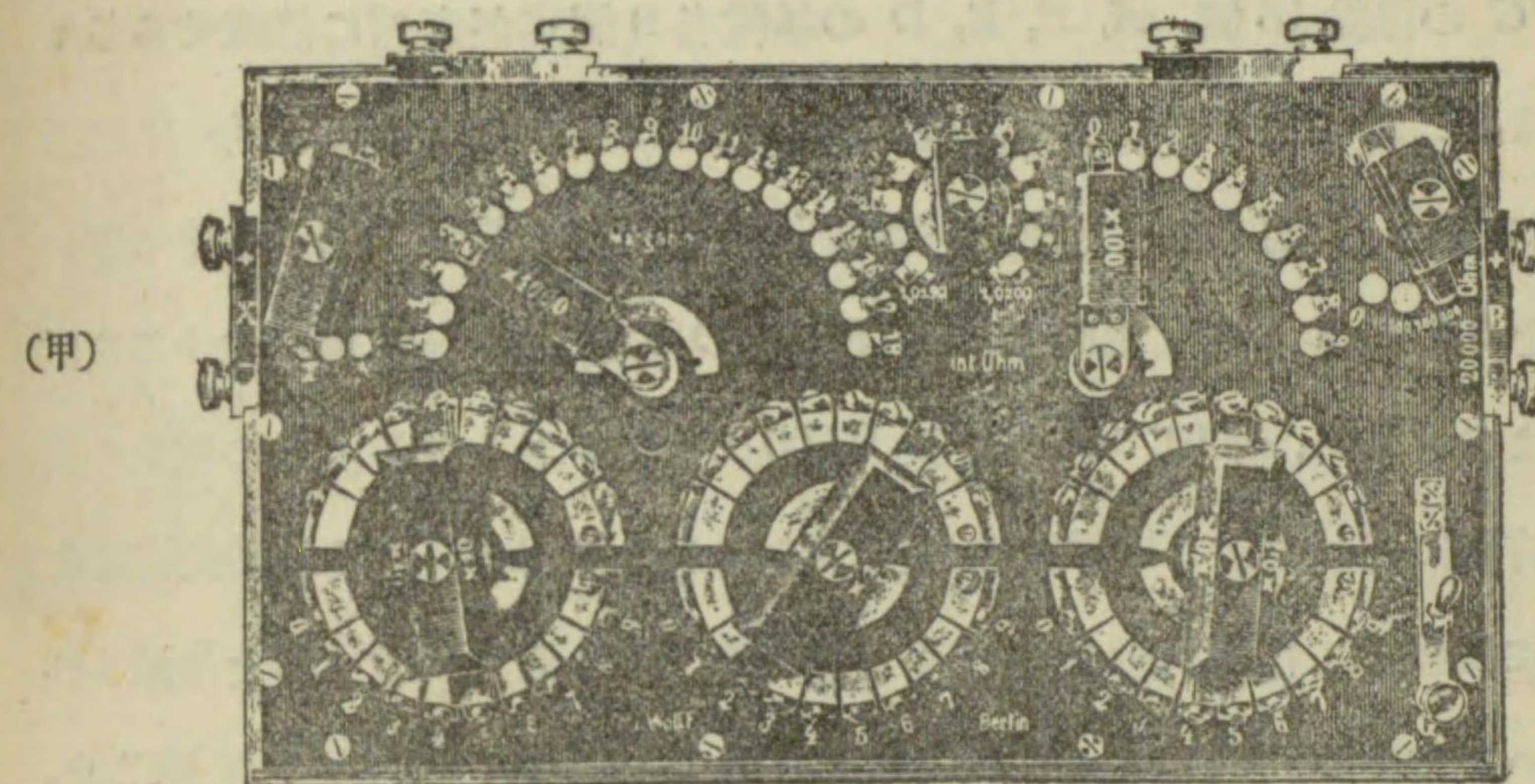
84. 高抵抗型電位差計

前節の電位差計は其の抵抗が數百オームのもので、従て電位差計電流も 10 乃至 20 ミリアムペア内外を要するのである。本節に述べる電位差計は摺動線を用ひず、總て抵抗線輪から成るもので、其の抵抗も 20 000 オーム程度である。故に電位差計電流は極めて小さく、測定中電位差計電流の變化することが少い許りでなく、全部抵抗線輪を用ひる爲、抵抗の調整が容易で、摺動線の場合に比し測定の確度が高いものである。此の種の電位差計は抵抗線輪のみを用ひる關係上、又抵抗線輪型電位差計とも稱せられる。

(イ) オット・ウォルフ電位差計 (Otto Wolff potentiometer) 第123 圖は獨國オット・ウォルフ製の電位差計を示すもので、甲圖は其の外観、乙圖は其の内部接続である。電位差計は C, A, F, E, D の五種の抵抗線輪から成る。

C	1 000 オーム線輪	18 個	1 組
A	100 オーム線輪	9 個	1 組

第 1 2 3 圖



オット・ウォルフ電位差計

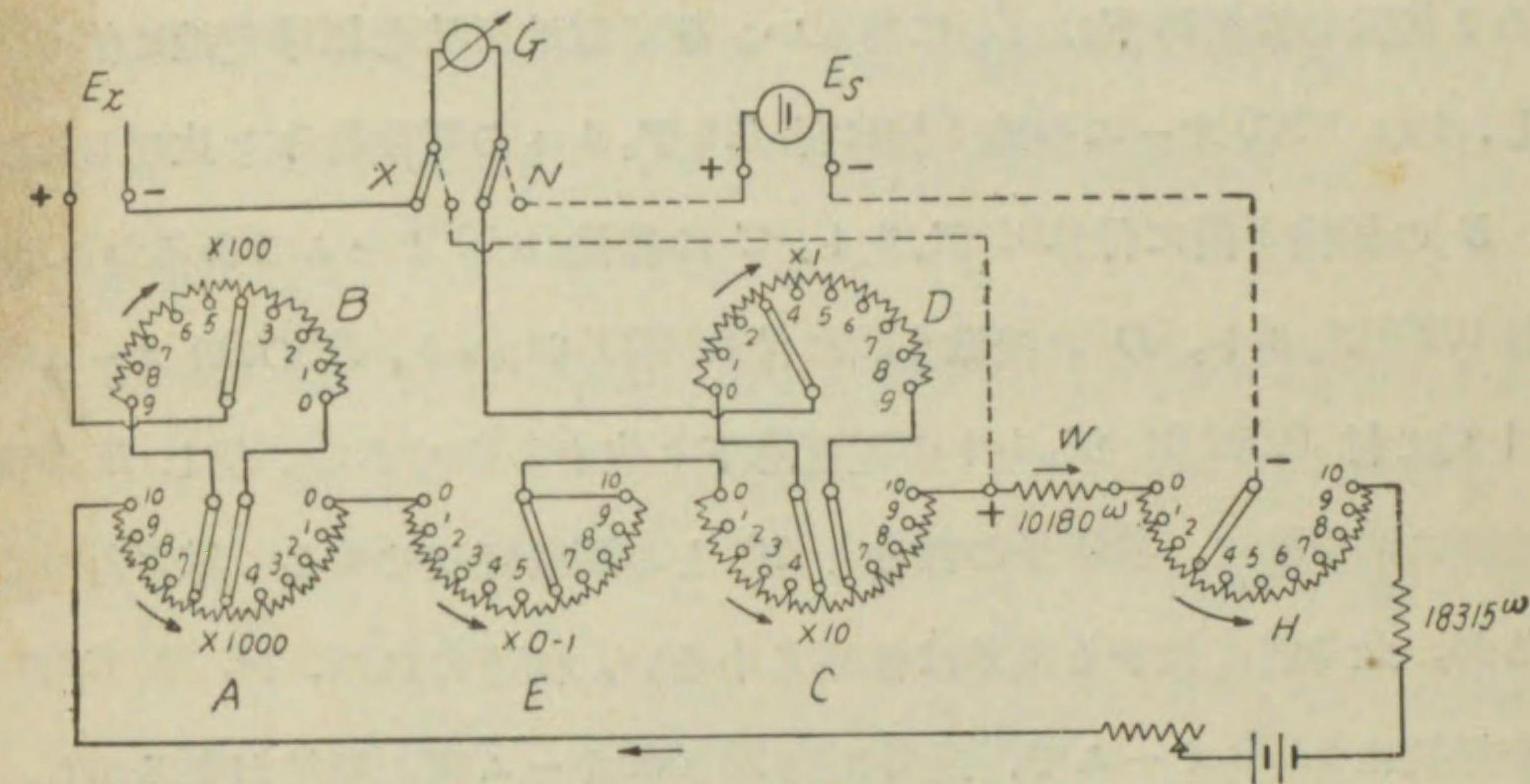
F	10 オーム線輪	9 個	2 組
E	1 オーム線輪	9 個	2 組
D	0.1 オーム線輪	9 個	2 組

此の内 F, E, D は夫々相等しい 9 個の線輪 2 組を圖の様に装置し、直徑上相對する二個の接觸片を有し、乙圖の様に接続せられてあるから、其

の接觸片の位置を何處に換へても常に各組9個宛の線輪が回路内に入り、結局 C の線輪 18 個、A, F, E, D の線輪各 9 個宛が直列に接続せらるゝことは、乙圖に矢で示した電流の通路を辿れば明かであらう。今 R の抵抗を加減し、線輪に通す電流を適當に加減し、C の線輪 1 個に生ずる電壓降下を 0.1 ヴォルトとする時は、A, F, E, D の線輪各一個毎に生ずる電壓降下は夫々 0.01, 0.001, 0.0001 及 0.00001 ヴォルトとなる。此の電流の調整は前節に述べた如く標準電池に依つて行ふので、即 K なる切替閉閉器を N 側に接觸して檢流計の振れが零となる迄、R なる加減抵抗器を加減すればよいのである。但しリーツ電位差計の場合と同様、室内温度に應じウーストン標準電池の起電力に相當し、H なる抵抗線輪の接觸片の位置を適當に定むるのである。斯様にして電位差計電流を調整した後、K を X 側に閉ぢ未知電位差を檢流計回路に接続し、C, A, F, E, D の接觸片の位置を適當に調整して、檢流計の振れを零とし、未知電壓を測定するのである。r は檢流計の直列抵抗で、平衡點に近づくに従ひ、r を 100 000 オームから 10 000 オームに、次に之を零として檢流計の振れを零とするのである。

(ロ) シーメンス・ラップス型電位差計 (Raps potentiometer) 之は (イ)とは異なる考案に依る抵抗線輪型電位差計で、第 124 圖は其の原理を示す接続圖である。電位差計は A, B, C, D, E の 5 組の線輪群から成り、A と B, C と D は同様な装置法で、接觸片の位置如何に拘らず B の 9 線輪は A の 1 線輪と、又 D の 9 線輪は C の 1 線輪と並列に接続せられ E なる線輪は A 及 C に直列に接続せられる。各線輪の抵抗は次の様になつて居る。

第 1 2 4 圖

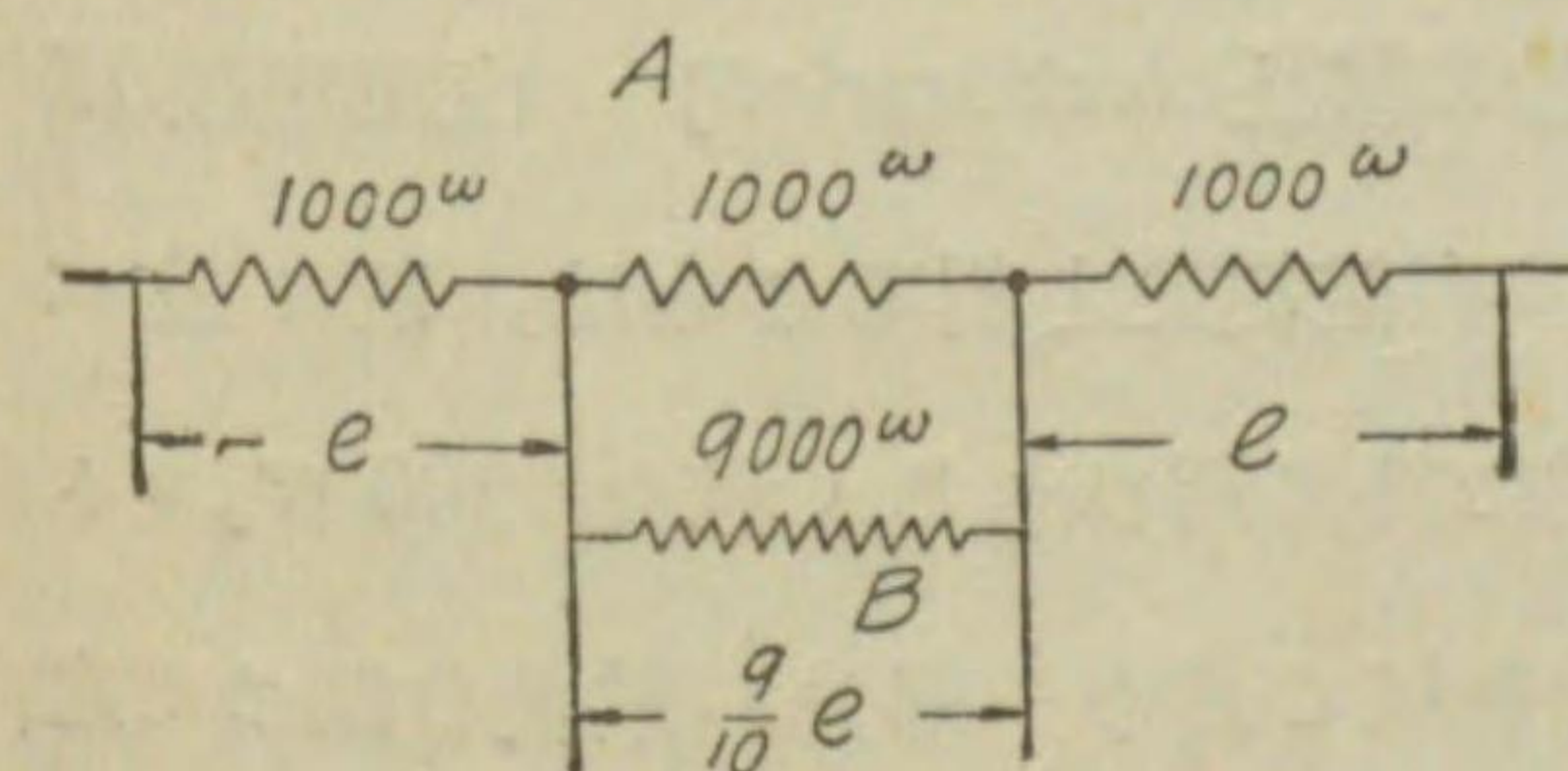


シーメンス・ラップス型電位差計の接続

A	1 000 オーム線輪	10 箇
B	1 000 オーム線輪	9 箇
C	10 オーム線輪	10 箇
D	10 オーム線輪	9 箇
E	0.1 オーム線輪	10 箇

A の 1 000 オーム線輪 1 箇と B の 1 000 オーム線輪 9 個と並列に接続せられる結果は第 125 圖に示すが如くで、其の合成抵抗は

第 1 2 5 圖



抵抗線輪接続

$$\frac{1\,000 \times 9\,000}{9\,000 + 1\,000} = 900 \text{ オーム}$$
である。故に A 線輪の 1 個に付 e ヴォルトの電壓降下を生ぜしむるときは、B 線輪 9 個に付
$$e \times \frac{900}{1\,000} = \frac{9}{10} e \text{ ヴォルト}$$
の電壓降下を生ずる譯で、従て

B線輪1箇に付 $\frac{e}{10}$ の電壓降下となる。同様にDの1線輪の電壓降下はCの1線輪の電壓降下の $\frac{1}{10}$ に等しい。故に電池電流を標準電池に依り調整し、Aの1000オーム線輪1個に付0.1ヴォルトの電壓降下を生ぜしむれば、Bの線輪1箇に付0.01ヴォルト、Cの線輪は10オームであるから1箇に付0.001ヴォルト、Dの線輪1箇に付0.0001ヴォルト、Eの0.1オーム線輪1個に付0.00001ヴォルトの電壓降下を生ずる譯である。但しEの線輪は圖に示す様に、接觸子の部分と10との間は短絡せらるゝ様になつて居るが、此の爲に生ずる誤差は極めて小さい。何となれば、A、B、C、Dの全抵抗は9999オームで、此外に約28500オーム程の抵抗があるから、Eの全抵抗1オームは全回路の抵抗の約 $\frac{1}{40000}$ で、之に依る電位差計電流の變化は、Eの接觸子が0の位置と10の位置とにある場合に約 $\frac{1}{40000}$ で、其中間に於て電位差計電流を調整すれば、誤差は $\pm \frac{1}{80000}$ に過ぎないからである。電位差計電流調整の爲、標準電池の起電力に平衡せしむべき電壓降下を生ずる抵抗としては別にW及Hを備へてある。Hは温度に依る標準電池の起電力變化に對應するものである。

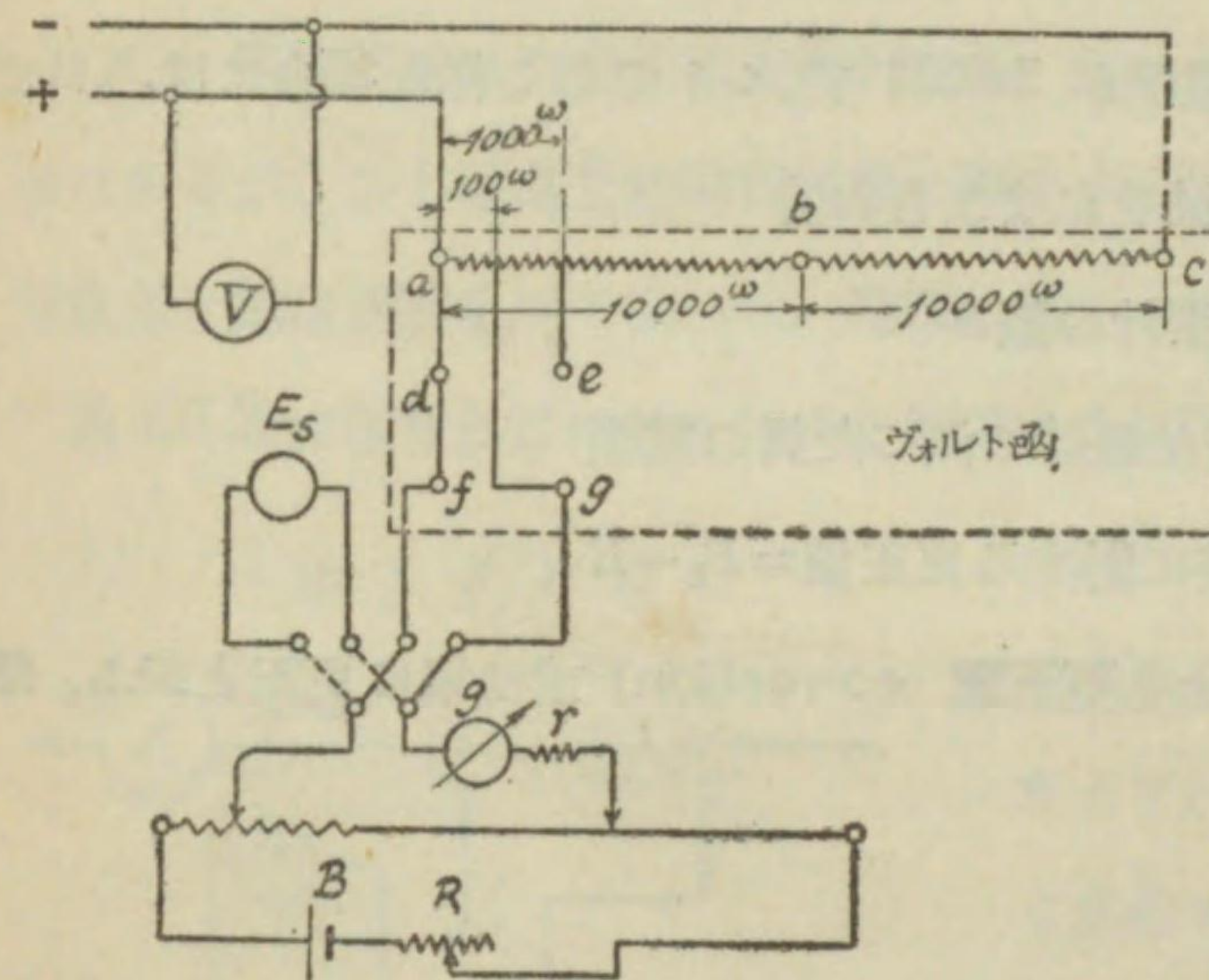
85. 電位差計に依り直流電壓、電流及電力の測定並抵抗の測定

(イ) 直流電壓の測定並直流電壓計の較正 (calibration) 直流電壓1.5ヴォルト以下の場合、電位差計を以て直接測定し得ることは、既に述べた通りである。然し乍ら通常電氣事業に於て用ひらるゝ様な100ヴォルト以上の直流電壓の如き値も、電位差計を以て其の一部分の電壓を測つて之を決定することが出来る。此の場合には分壓函 (volt box) なるものを

用ひる。分壓函は一組の高抵抗から成り、之に全抵抗の $\frac{1}{10}$ 、 $\frac{1}{100}$ 又は $\frac{1}{200}$ 等の抵抗に相當するタップ (tap) を備へたもので、分壓函の兩端に全電壓を與へ、電位差計に適當のタップを接続して、全電壓の $\frac{1}{10}$ 、 $\frac{1}{100}$ 又は $\frac{1}{200}$ 等の電壓を測定するのである。

第126圖は電位差計及分壓函を用ひて電壓を測定する接続を示したもので、圖は300ヴォルト用分壓函の一例を示す。即ち此分壓函にはa、b、c、d、e、f、gの端子を備へ、ab、bc間は何れも10000オームの抵抗を有し10000オームに對し150ヴォルト迄用ひ得るやうになつて居る。de間の抵抗はab又はbc間の抵抗の $\frac{1}{10}$ 即1000オームで、fg間の抵抗はab又はbc間の抵抗の $\frac{1}{100}$ 即100オームである。故に測定すべき電壓を圖の如くac間に加へ、fg間の電壓を電位差計で測ると、回路の電壓は電位差計で測定した電壓の200倍である。又若しab間に測定すべき電壓を加へると、電位差計で測つた電壓の100倍が回路の電壓である。電位差計の各部の抵抗の比が精密に調整せられ、又分壓函の抵抗比が精密に調整せられて居れば、電位差計で測る電壓はウェストン標準電池に比較して測定するものであるから、萬國單位と一致するものである。既に

第 1 2 6 圖



電 壓 測 定 の 接 續

電 壓 測 定 の 接 續

述べた様に電位差計に於ては、通常 $\frac{1}{10000}$ 位迄精密に測定を行ふことが出来るのである。故に圖の如く直流電圧計を接続し、回路の電圧を調整して電圧計の指示を或目盛に一致せしめ、其の電圧を電位差計で測れば、其の目盛に對する眞の電圧を測定することが出来る。例へば 250 ヴォルトの目盛に對し、電位差計に依り測定した値が 250.84 ヴォルトであつたとすれば、其の目盛に對して 0.84 ヴォルトの更正值を加へなければならぬ。(若し電位差計で測つた電圧が 249.24 ヴォルトである様な場合には、目盛の値から 0.76 ヴォルトを減ぜねばならぬ。)

一般に E = 電圧計の読み

E_0 = 電位差計で測つた眞の電圧

E なる目盛に對する更正值 = $E_0 - E$

$E_0 - E$ の E に對する比を **更正率** (correction) 或は單に更正と云ふ。即ち α を更正率とすれば

$$\alpha = \frac{E_0 - E}{E}$$

E_0 なる電圧を與へた場合に、電圧計は E なる読みを指示するのであるから、更正值の代りに $E - E_0$ なる値を考へ、之を眞の値 E_0 に對する比を以て表はす場合がある。此の比は計器の読みが眞の値に對し如何なる割合に多いか又は少いかを表はすもので、目盛の誤差を表はすものである。 ξ を以て誤差を表はせば

$$\xi = \frac{E - E_0}{E_0}$$

E と E_0 との差が小さければ、 α と ξ とは其の數値に於ては大差ないが、其の符號は反對である。

計器の更正值又は更正率若くは誤差を試験することを計器の**校正** (cali-

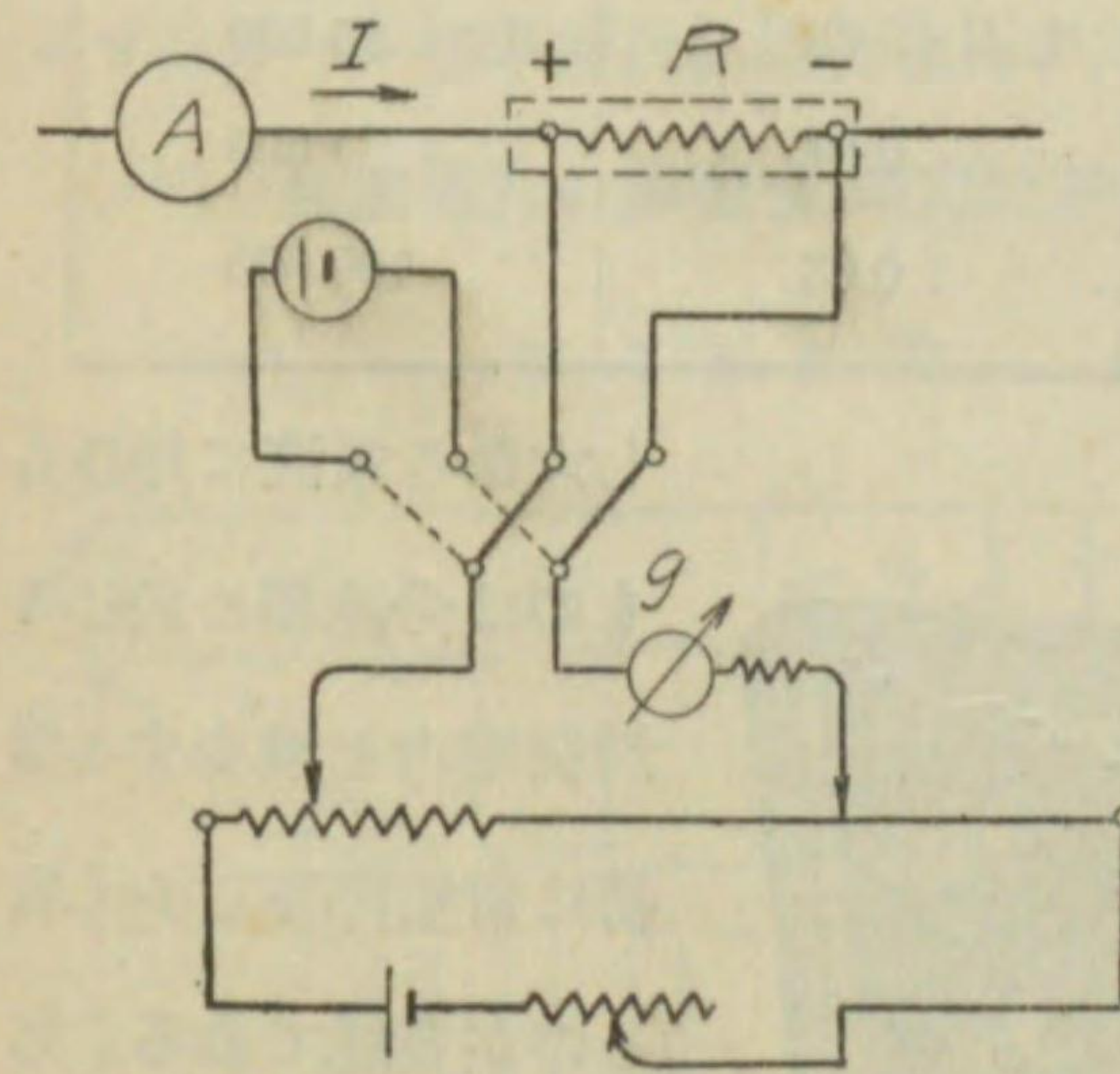
bration) と云ふ。校正の試験に於ては回路の電圧を調整して、漸次目盛の各部を指示せしめ、電圧計目盛の全般に亘つて更正值を見出すのである。通常全目盛の内 5 點位迄を選んで其の更正を見出す。

分壓函の抵抗を増し 30 000 オーム、40 000 オーム等とすれば、450 ヴォルト用、600 ヴォルト用等の分壓函が得られる。斯の如くにして 750 ヴォルト用、1 000 ヴォルト用等の分壓函も市場にある。

(ロ) **直流電流の測定並電流計の校正** 電位差計は電位差を測定するものであるが、若し適當な標準抵抗器に測定すべき電流を通じ、其の兩端の電位差を電位差計を以て測れば、間接に電流を測定することが出来る。

第 127 圖は電位差計に依り電流を測定する接続を示すものである。今電

第 127 圖



電位差計に依る電流測定

位差計を以て標準抵抗 R の兩端の電圧を測り、 e ヴォルトであつたとすれば、電流 I_0 は次式に依り算出することが出来る。

$$I_0 = \frac{e}{R} = e \times \left(\frac{1}{R} \right)$$

例へば $R = 0.1$ オームとすれば $\frac{1}{R} = 10$ で電位差計で測つた電圧の 10 倍は回路に流るゝ電流である。

若し圖の如く電流計 A を接続し、回路の電流を加減して電流計の或目盛 I を指示せしめ、其の目盛に對する眞の電流 I_0 を電位差計に依り測定すれば更正值は $I_0 - I$ である。従つて其の更正率 α 及誤差 ξ は次の如くなる。

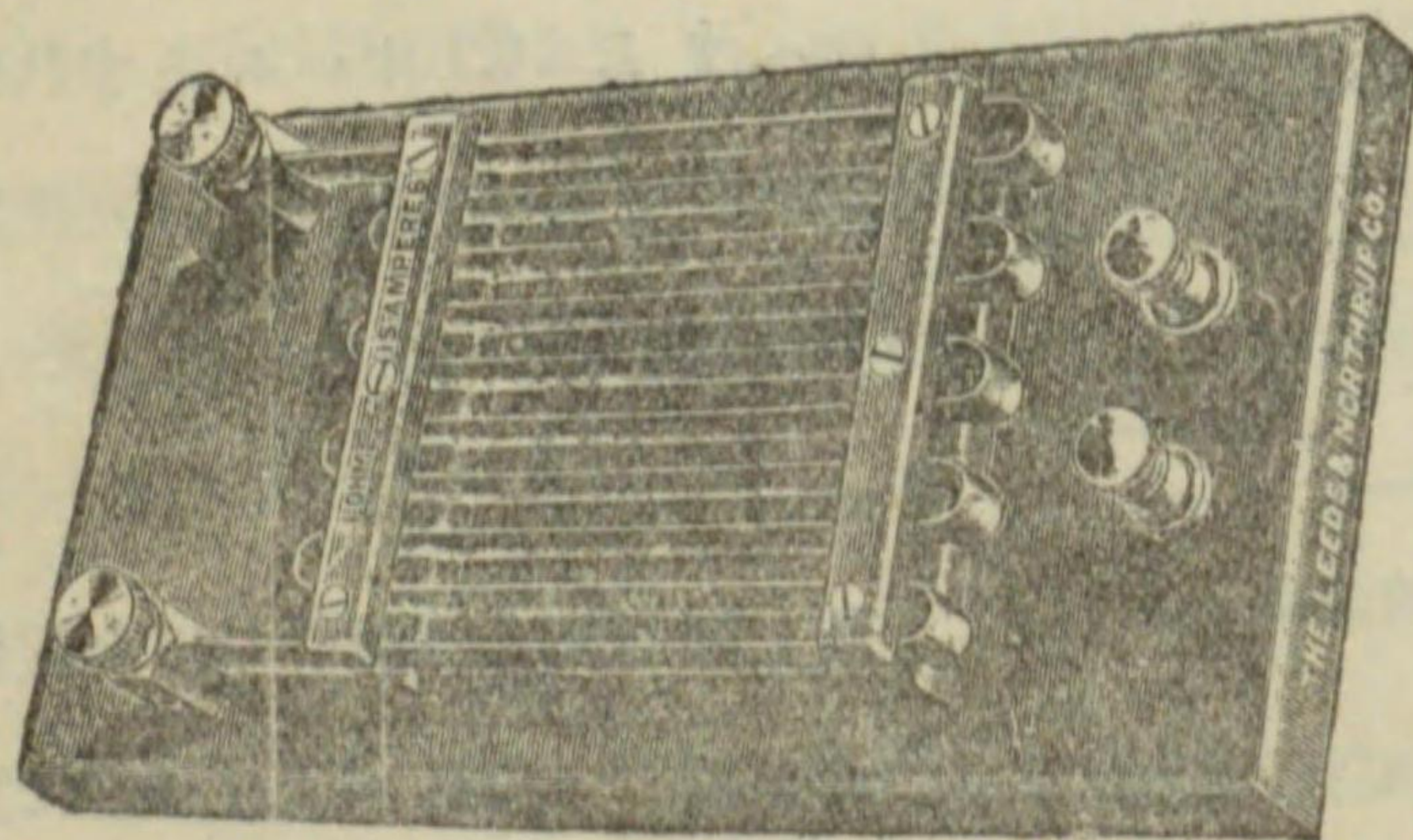
$$\alpha = \frac{I_0 - I}{I} \quad \xi = \frac{I - I_0}{I_0}$$

標準抵抗器 R は電位差計用分流器とも稱せられ、勿論測定すべき電流を安全に通じ得る断面積を有し、而も電流を通じた爲に生ずる温度上昇に依り、其の抵抗が實用上變化しないものでなければならぬ。此の爲に電位差計用分流器はマンガニンを以て作られ、其の電壓降下は最大電流に於て電位差計に依り測定するに適當な値となる様抵抗の値を調整してある。但

第 1 2 表

抵 抗 オ - ム	最 大 電 流 ア ム ペ ア	最大電流に於ける 電壓降下ヴォルト	電位差計讀數に乘 ずべき倍數 $\frac{1}{R}$
0.1	15	1.5	10
0.01	100	1.0	100
0.001	600	0.6	1 000
0.000 04	1 500	0.06	25 000
0.000 02	2 000	0.04	50 000
0.000 01	3 000	0.03	100 000

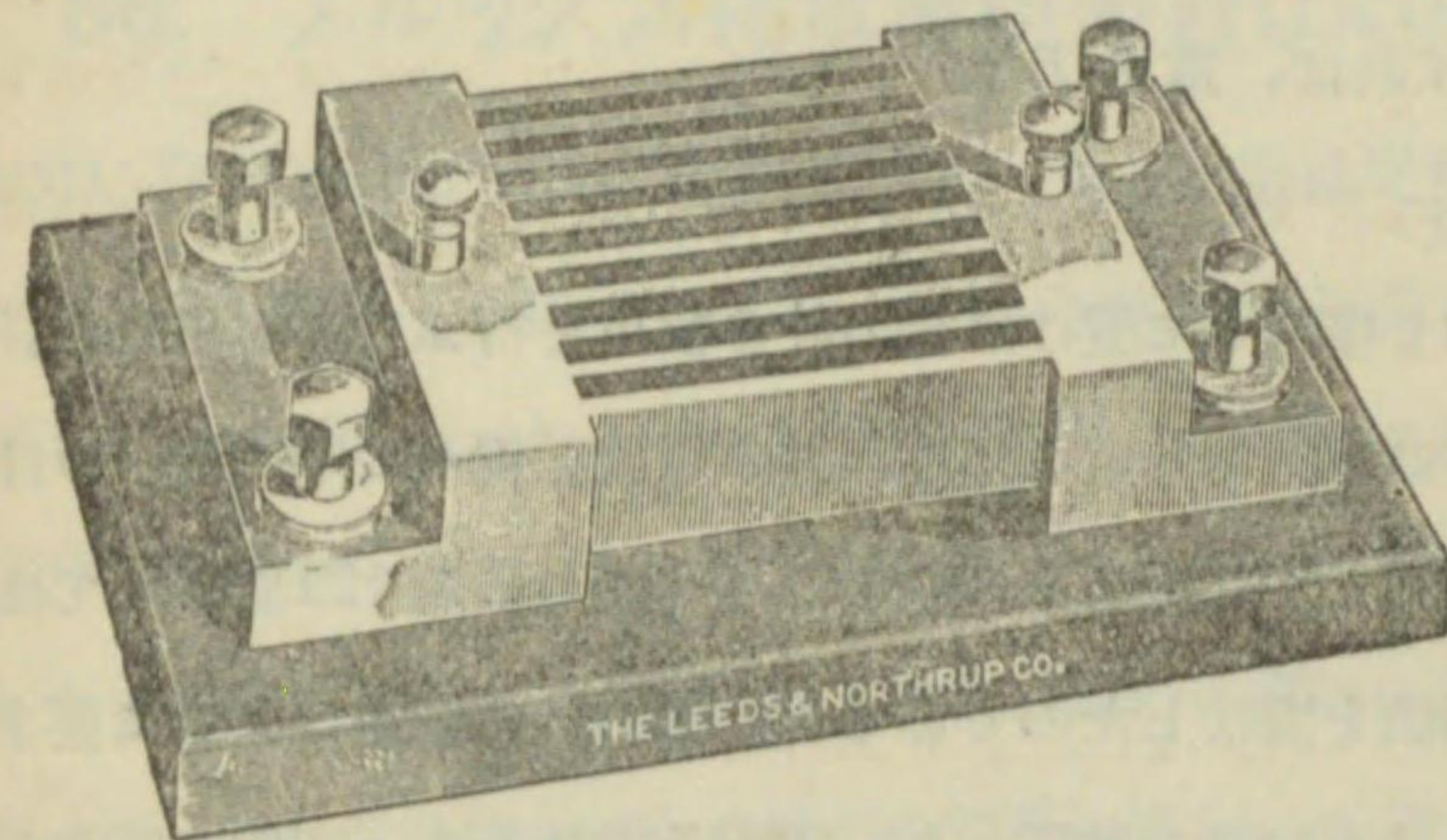
第 1 2 8 圖 甲



0.1オーム, 15アムペア
電位差計用分流器

し大なる電流に用ひるものは分流器に於ける消費電力を減少する爲特に電壓降下を少く取るのが普通である。第12表は普通用ひらるゝ分流器の抵抗値、最大電流並電壓降下を示す。又 $\frac{1}{R}$ に相當する

第 1 2 8 圖 乙

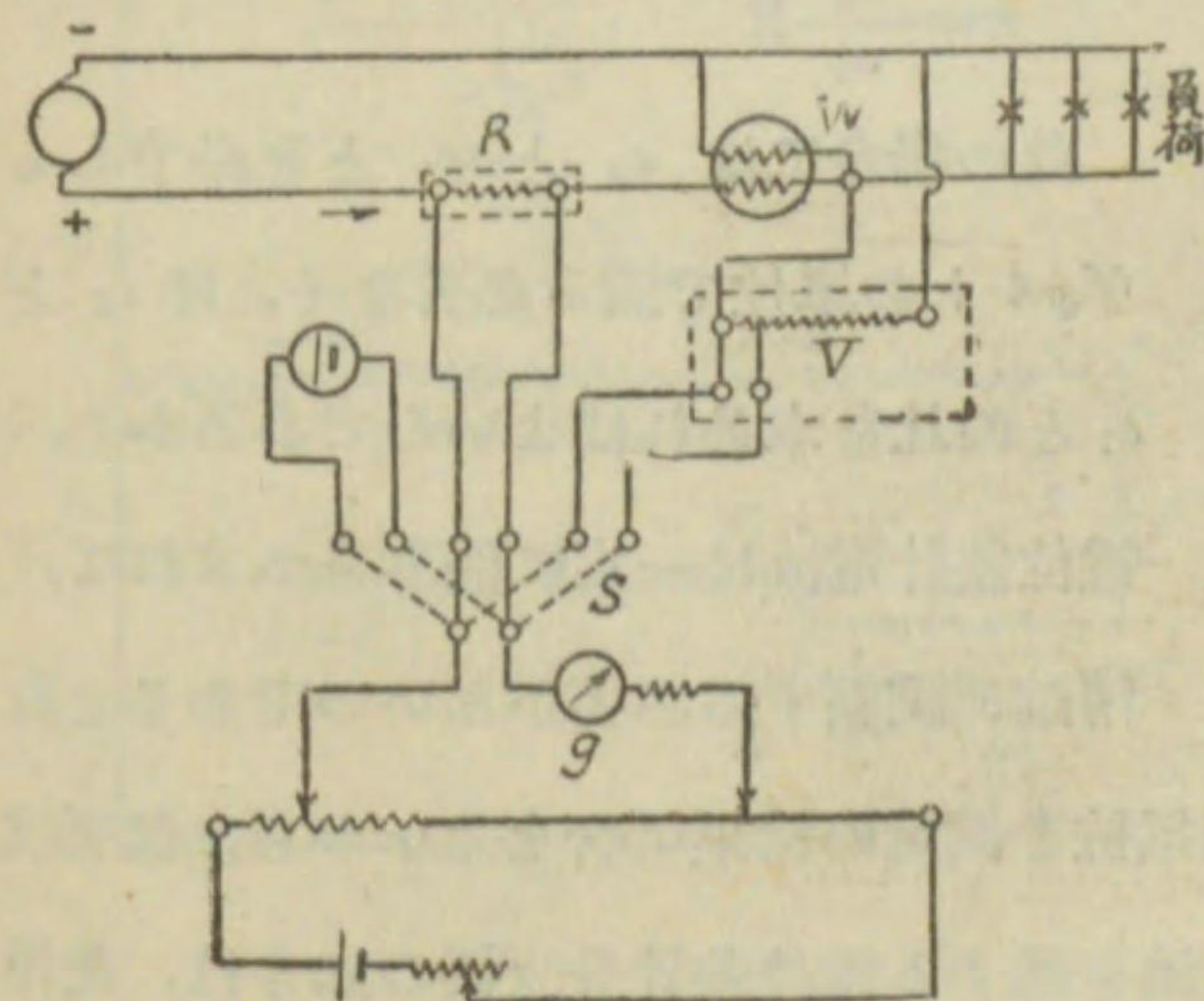


0.000 02 オーム, 2 000 アムペア
電位差計用分流器

然し乍ら更に精密用のものとしては第1章第6節に述べたマンガニ片を油を充たした函内に装置し、冷却管を通じ冷水を循環せしむる様に作らるゝマンガニ標準低抵抗器を使用するのである。

(ハ) 直流電力の測定 並 電力計の較正 (イ)及(ロ)に於て電位差計に

第 1 2 9 圖



電位差計に依る電力測定

倍數をも示してある。

第 128 圖は電位差計分流器の一例を示すもので、特別の冷却装置を有しないものである。

依り直流電壓及電流を測定する方法を述べた。故に此二法を併用して電壓と電流を測定すれば、直流電力を測定し得ることは勿論である。第 129 圖は此の電力測定の接続を示すもので、先づ分壓函を用ひ回路の電壓を測り、然る後電流を測れば回路に消費せらるゝ電力を測定することが出来

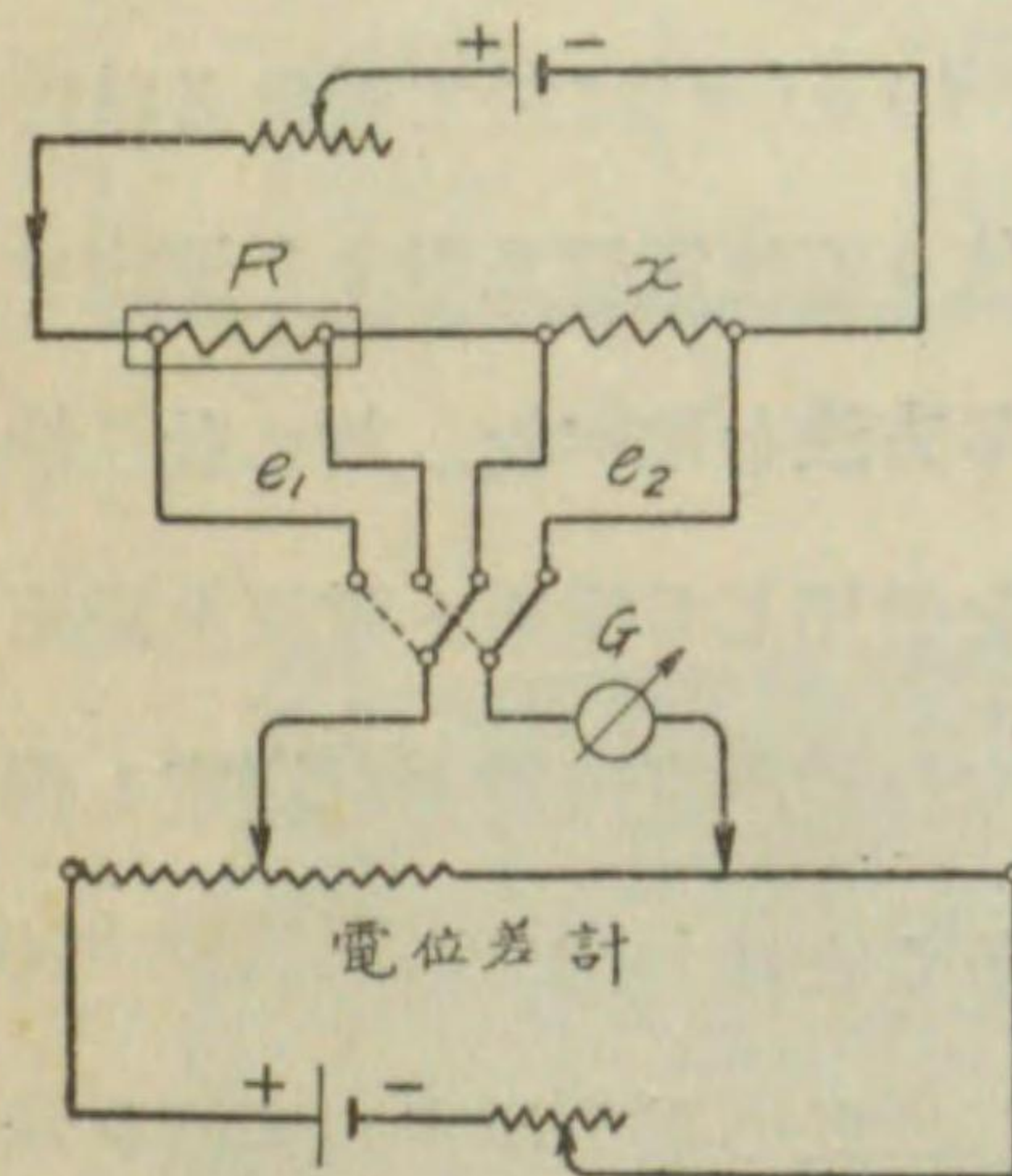
る。今分壓函の比を $\frac{1}{n}$ 、分流器の抵抗を R とし、電位差計で測つた二つの値を e_1 及 e_2 とすれば、電力 P は

$$P = e_1 e_2 \times \frac{n}{R}$$

若し電力計を圖の如く接続して置けば電力計の較正を行ふことが出来る。但此の場合には回路の電圧を一定に保ち、其の電流を變へて順次種々の目盛を指示せしめ、之に對する電力を測定するのである。第129圖に於ては電力計の普通の接続法を表はしたのであるが、電力計の較正は試験に要する電力の關係並電力計の特殊の性質から、電壓及電流を夫々別個の電源から供給して試験を行ふのが普通である。此の方法は更に後節に於て説く所があらう。

(二) 電氣抵抗の比較 第130圖に示す様に標準抵抗 R 及未知抵抗 x

第 1 3 0 圖



電位差計に依る抵抗比較

を直列に接続し、之に適當なる電流を通じ、其の兩端の電壓 e_1 及 e_2 を電位差計に依り測定すれば

$$x = \frac{e_2}{e_1} R$$

此の場合には e_2 と e_1 とを必ずしもヴォルトの單位で測る必要なく、只 e_2 と e_1 との比を求めればよいのであるから、電位差計電流は一定に保ちさへすれば、

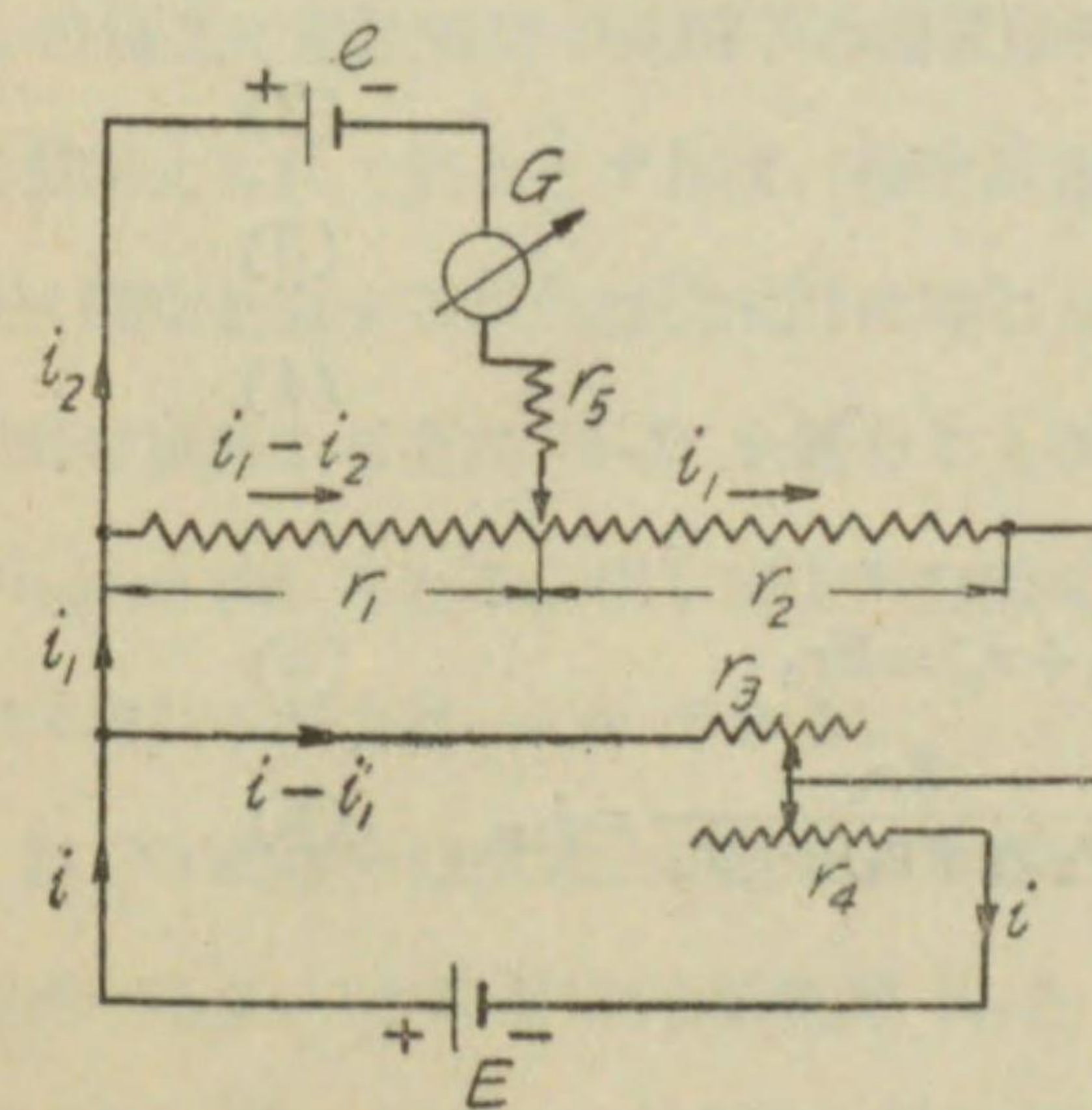
精確に調整する必要がないのである。此

86. ブルックス指示電位差計(Brook's deflection potentiometer)

電位差計は元來零位測定法に依つて電位差を測定する装置である。故に一定の電圧を測るには極めて適當であるが、變動しつゝある電圧を測定することは困難である。實際に於て檢流計の振れを一旦零としても、若し測定する電壓が變れば、檢流計に振れを生ずるからである。然るに若し電位差計の各部の抵抗を適當に調整して置けば、檢流計の指示は此の僅かの電壓の變化に比例するので、從つて指針型檢流計を備へ電圧の目盛を附して置けば、其の指示から直に其の電壓の變動した値を読むことが出来るのである。之即指示電位差計と稱せらるゝ所以である。

今指示電位差計の構成せらるゝ原理を述べやう。第131圖はブルックス

第 1 3 1 圖



ブルックス指示電位差計の原理

指示電位差計の原理を示す接続である。圖に於て e は未知電位差を表はすものとする。 e は必ずしも電池を表はすものでなく、分壓函の一部分の電圧でも又は分流器の兩端の電圧でもよい。從て e は可變電圧を表はすものとする。 r_5 は檢流計 G の直列抵抗、 r_1, r_2 は電位差計抵抗で之は既に記載した電位差計と全く同一で $r_1 + r_2 = r_0$ は一

定である。 r_3 及 r_4 は電位差計電流 i_1 を調整する抵抗である。 r_3 及 r_4 には複接觸子を有する一箇の接觸子を備へ、此の接觸子を左方に動かせば r_0 の並列抵抗 r_3 が減少し、直列抵抗 r_4 が増加するから、結局電位差計電流は減少する。又之を右方に動かせば r_0 の並列抵抗 r_3 が増加し、直列抵抗 r_4 が減少するから、結局電位差計電流は増加するのである。斯様な方法に依つて電位差計電流を他の電位差計と同様にウェストン標準電池に依つて調整するのであるが、この様な電流調整器を用ひる必要は、指示電位差計を構成する關係から來るのであることは、順次了解せらるゝであらう。今標準電池に依り調整せられたる電流を $i_{1,0}$ とし、加減抵抗器の抵抗を r_3, r_4 とすれば、此の場合には檢流計には電流が流れないから

$$i_{1,0} = \frac{E}{\frac{r_0 r_3}{r_0 + r_3} + r_4} \times \frac{r_3}{r_0 + r_3} = \frac{Er_3}{r_0(r_3 + r_4) + r_3 r_4} \quad (1)$$

次に未知電壓 e を檢流計回路に入れたとき、各部の電流を圖に記入した通りとすれば

$$i(r_3 + r_4) - i_1 r_3 = E \quad (2)$$

$$-i r_3 + i_1(r_0 + r_3) - i_2 r_1 = 0 \quad (3)$$

$$-i_1 r_1 + i_2(r_1 + r_5 + G) = -e \quad (4)$$

(2)及(3)式から i を消去すれば

$$i_1\{r_0(r_3 + r_4) + r_3 r_4\} - i_2 r_1(r_3 + r_4) = Er_3 \quad (5)$$

$$\text{或は } i_1 - i_2 \frac{r_1(r_3 + r_4)}{r_0(r_3 + r_4) + r_3 r_4} = \frac{Er_3}{r_0(r_3 + r_4) + r_3 r_4} = i_{1,0} \quad (6)$$

(4)及(6)式から i_1 を消去すれば

$$i_2 = \frac{i_{1,0} r_1 - e}{r_1 + r_5 + G - \frac{r_1^2(r_3 + r_4)}{r_0(r_3 + r_4) + r_3 r_4}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{i_{1,0} r_1 - e}{G + r_5 + r_1 - \frac{r_1^2}{r_1 + r_2 + \frac{r_3 r_4}{r_3 + r_4}}} \\ &= \frac{i_{1,0} r_1 - e}{G + r_5 + \frac{r_1(r_2 + R)}{r_1 + r_2 + R}} \quad (7) \end{aligned}$$

上式中 $r_0 = r_1 + r_2$ と置き又 $\frac{r_3 r_4}{r_3 + r_4} = R$ と置いて(7)式を誘導したのである。 R は r_3 と r_4 とが並列にあると看做した場合の合成抵抗である。

若し $e = i_{1,0} r_1$ であれば i_2 は零であつて檢流計の振れは零である。此場合には勿論ウェストン標準電池に依つて調整せられた電流 $i_{1,0}$ に依つて r_1 に生ずる電壓降下は e と相等しく且平衡するのである。若し e が此の値より少しく大なるか又は小なる時は、 $i_{1,0} r_1 - e = \pm \Delta e$ とすれば

$$i_2 = \frac{\pm \Delta e}{G + r_5 + \frac{r_1(r_1 + R)}{r_1 + r_2 + R}} \quad (8)$$

若し電位差計の構成上(8)式の分母が、電位差計電流調整用抵抗 r_3 及 r_4 の値並に電位差計の接觸子の位置如何に拘らず、常に一定の値となる様に製作せられて居るとすれば、檢流計電流 i_2 は Δe に正比例し、従て中央に零點を有する指針型檢流計に零の左右に電壓の目盛を附して置けば、指針の振れから直に $\pm \Delta e$ を読むことが出来る。故に測定電壓は

$(i_{1,0} r_1 \pm \Delta e)$ となる。但し零より右側に振れる場合を $+\Delta e$ とすれば、左側に振れる場合は $-\Delta e$ である。

扱(8)式の分母が常に一定である爲には、如何なる構造にすればよいかを考へるに、先づ R なる抵抗即 r_3 と r_4 とが並列にあるものと考へた場合の合成抵抗を一定なる値に保ち、而も電位差計電流の調整上支障ない様にする。

$$R = \frac{r_3 r_4}{r_3 + r_4} = \frac{1}{\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}} = \text{一定}$$

或は $\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} = \frac{1}{R} = \text{一定}$ (9)

(9) 式の関係は r_3 が増せば r_4 を減じ、 r_3 が減ずれば r_4 を増して、其の増減の割合を適當にすれば、 $\frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4}$ が一定となることを示す。而して斯様な関係に依つて電位差計電流を調整し得ることは既に述べた通りである。即ち (9) 式を満足する様に r_3 と r_4 とを複接觸子に依り變化せしむる様にすれば R は一定となる。斯くして R が一定であれば、(8) 式の分母の $r_5 + \frac{r_1(r_2+R)}{r_1+r_2+R} = r_5 + \frac{r_1(r_2+R)}{r_0+R}$ が、 $r_1+r_2=r_0$ 一定で、 r_1 と r_2 との割合が變つても、常に一定の値となる様にすればよい。此の第二項は r_1 と (r_2+R) とが並列に接続せらるゝ場合の合成抵抗であつて、 $r_1+r_2+R=r_0+R$ は一定であるから、其の値は r_1 と (r_2+R) との比に依つて異なり、 $r_1=r_2+R=\frac{r_0+R}{2}$ の場合に最大である。其の最大値は $\frac{1}{4} \frac{(r_0+R)^2}{r_0+R} = \frac{r_0+R}{4}$ に等しいから

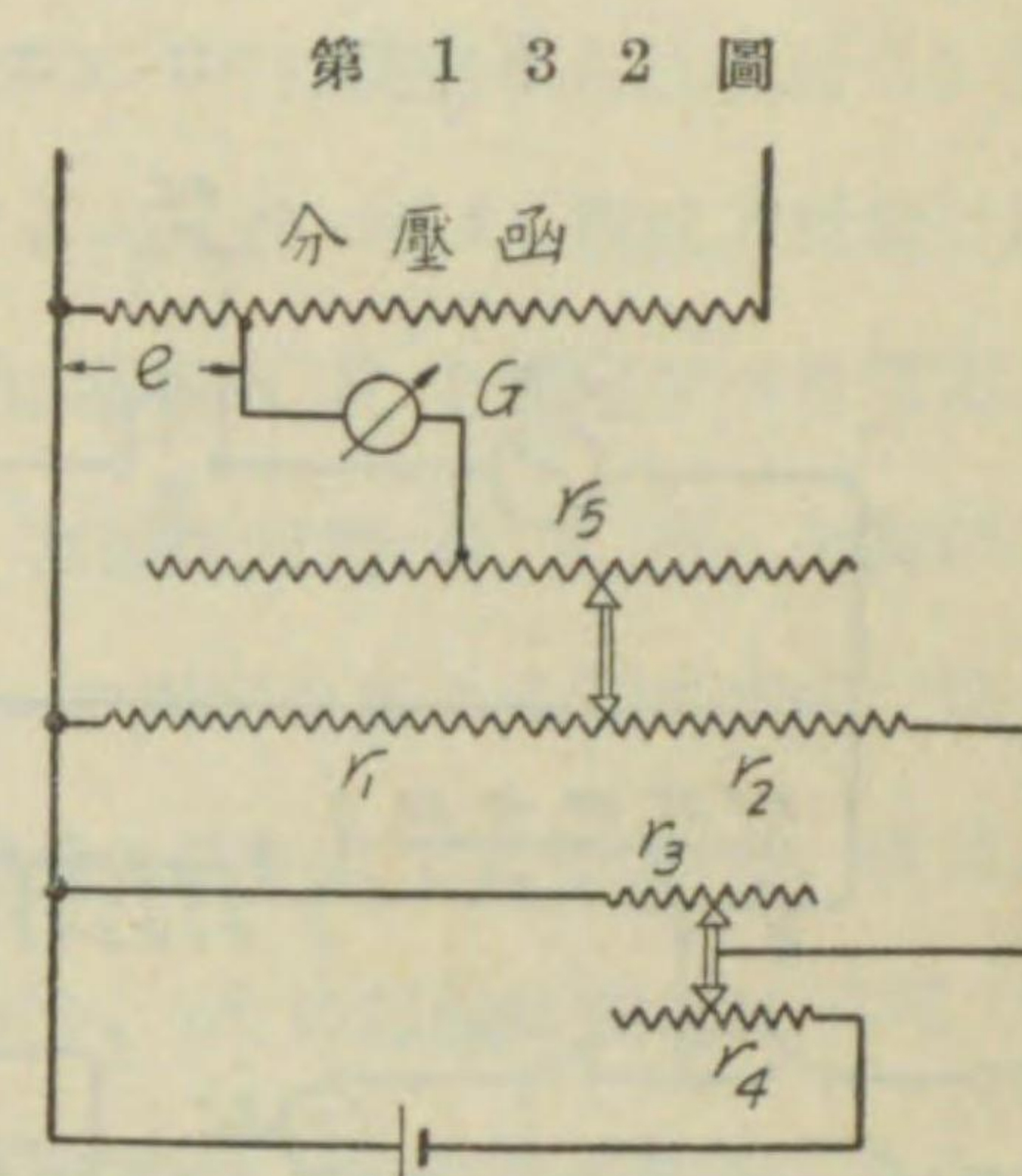
$$r_5 + \frac{r_1(r_2+R)}{r_0+R} = \frac{r_0+R}{4} = \text{一定} \quad (10)$$

になる様な関係に r_5 を選定すればよい。即ち

$$r_5 = \frac{r_0+R}{4} - \frac{r_1(r_2+R)}{r_0+R} \quad (11)$$

の関係を保たしむればよい。此の爲には第 132 圖に示す様に r_5 と電位差計抵抗との間に複接觸子を備へ、 $r_1 = \frac{r_0+R}{2}$ の時 r_5 が 0 で、之より r_1 が小さくとも又大きくとも、(11) 式の関係を満足する様に r_5 を附加する様にするのである。此の方式はブルック氏の考案になるものである。但第

132 圖は分壓函を備へて回路の電圧を測定する場合を示すもので、第 131 圖の場合と少しく異なるが、此の場合に於ても全く同一の関係が成立するので、 r_3 と r_4 との関係、 r_5 と r_1 との関係は全く (9) 及 (10) 式の関係を満足すればよいのである。



ブルックス指示電位差計

87. ドライスデール

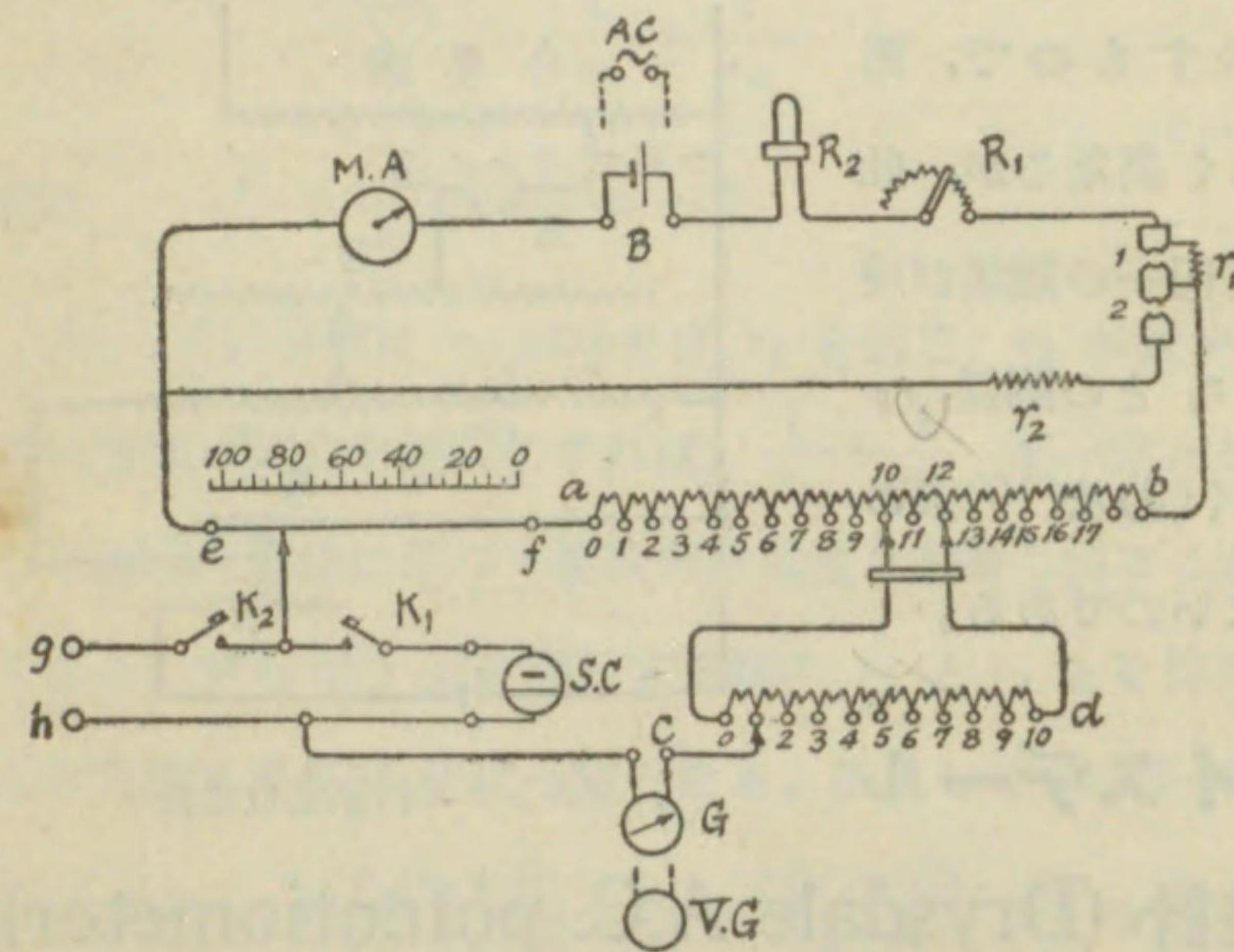
氏交流電位差計 (Drysdale A.C. potentiometer)

以上述べた電位差計は直流用のものであつて、直流回路の電圧、電流、電力及抵抗等を同一の測定器で精密に測定し得るものである。若し同様の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ことは想像に難くない。之即ち交流電位差計が考案せられた所以で、現今に於ては本節に述ぶるドライスデール氏交流電位差計と次節に述べる座標式交流電位差計との二種がある。

第 133 圖はドライスデール氏交流電位差計の原理を示すもので、直流及交流兩用のものである。圖に於て ab , cd , ef は電位差計の線輪及摺動線で、次に示すものから成る。

ab	2 オーム線輪	19 個
cd	0.4 オーム線輪	10 個
ef	摺動線 115 等分せられた目盛を附し、100 目の抵抗 0.2 オーム	

第 1 3 3 圖



フライスデール氏交流電位差計

に接続せられてある。故に ab の抵抗線輪 1 個に付 0.1 ヴォルト宛の電圧降下を生ずる様な電流を蓄電池 B に依つて通すと、 cd には其の $\frac{1}{2}$ の電流が流れ、従て cd 間の電圧降下は 0.1 ヴォルトとなり、 cd の線輪 1 個に付 0.01 ヴォルト宛の電圧降下を生ずる。又 ef の 100 目の抵抗は ab の線輪 1 個の $\frac{1}{10}$ であるから、摺動線 100 目に付 0.01 ヴォルト、10 目に付 0.001 ヴォルト、1 目に付 0.0001 ヴォルトの電圧降下を生ずる譯である。此の電位差計電流の調整は標準電池 $S.C$ に依り行ふこと、全く直流電位差計と同様である。 R_1 及 R_2 は電位差計電流の調整を行ふ加減抵抗器で、此内 R_2 は細微調整用である。斯くして標準電池の代りに任意の直流電位差を検流計回路に接続し、之を測定することも全く普通の直流電位差計と同様である。

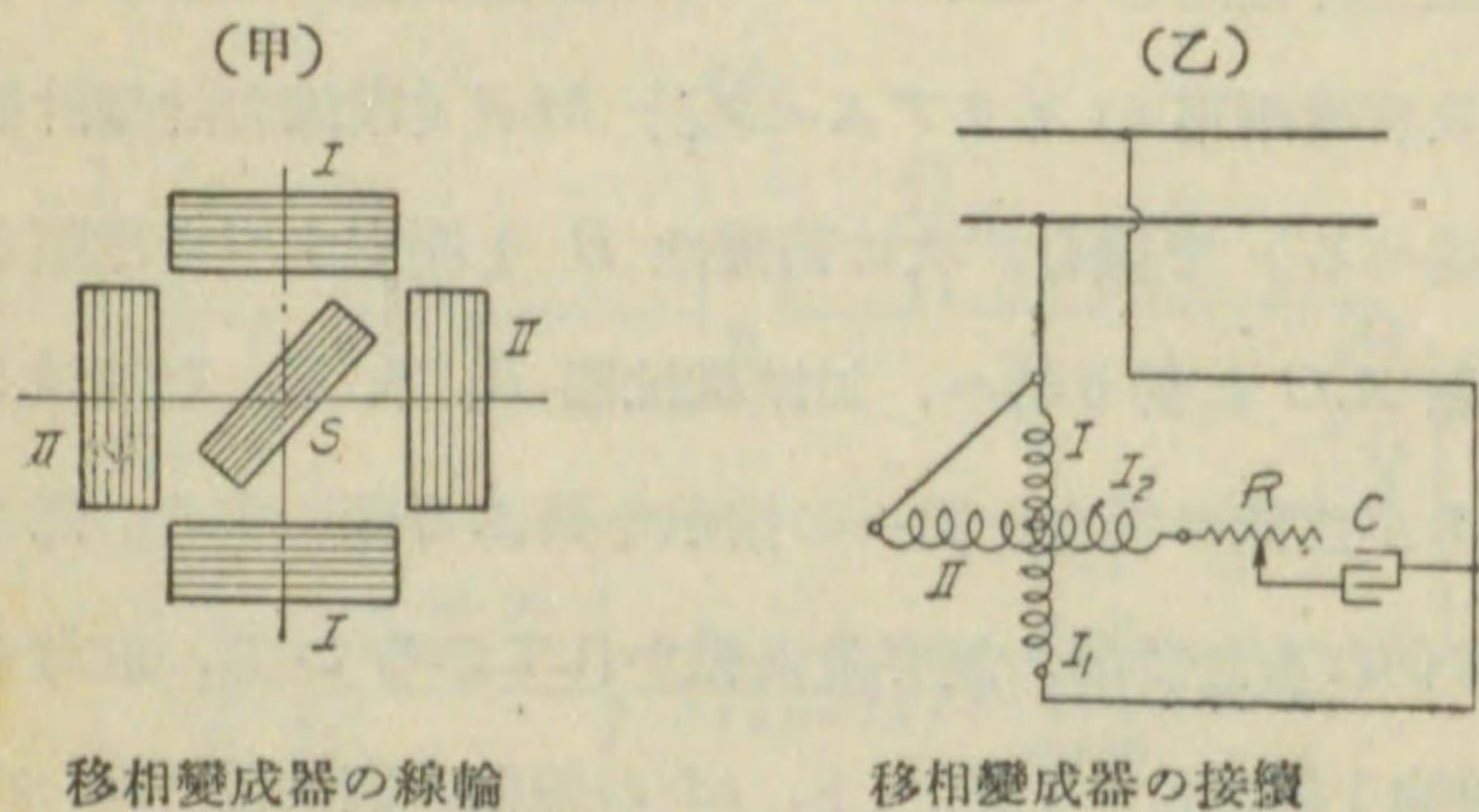
交流電差位計として用ひる場合には、先づウェストン標準電池に依り直

cd の全抵抗は 4 オームで、 ab の線輪に附屬する接觸子に依り其の接觸子の位置如何に拘らず、常に ab の線輪 2 箇即 4 オームと並列に接続せられる。又 ef は ab に直列

流電位差計として電位差計電流 (50 ミリアムペアに調整せられて居る) を定め、其の値を直流及交流兩用の ミリアムペア計 $M.A$ (電流力計型計器で其の構造は後節に述べる) で讀む。次に蓄電池 B を測定すべき電圧と同一周波数の交流電源 $A.C$ に切り替へ、加減抵抗器 R_1 及 R_2 を加減しミリアムペア計 $M.A$ が直流の場合と同一の指示を與ふる様にする。然る時は ab, cd の線輪は何れも無誘導、無容量に捲かれてあるから、直流の場合と同様、 ab の線輪 1 個に付 0.1 ヴォルト、 cd の線輪 1 個に付 0.01 ヴォルト、摺動線 1 目に付 0.0001 ヴォルト宛の電圧降下を生ずべき筈である。茲に於て直流検流計 G の代りに振動検流計 $V.G$ を入れ替へ、 gh 間に未知交流電差位を接続し、 K_2 を閉じて接觸子の位置を加減し、電位差計内の電圧降下と平衡せしめ、振動検流計の振れを零とするのである。但し此の場合には、未知交流電圧と電位差計の接觸子間の電圧降下と等しいのみでは検流計の振動は零とならない。何となれば二つの交流電圧は其の値が相等しくとも、其の位相に於て相違があれば、其の差は零でないからである。故に未知交流電圧と電位差計電圧降下とは其の値を等しくし、而も其の位相が相等しくなる様に調整しなければならぬ。此の爲には交流電源として特殊の装置即移相變成器 (phase shifting transformer) を用ひ、電位差計電流の位相を變へ、以て接觸子間の電圧降下の位相を調整するのである。

第 134 圖は移相變成器の原理を示すもので、 I 及 II は互に直角に装置せらるゝ二組の線輪で、乙圖の如く單相電源に接続せられる。即線輪 I は直接電源に接続せられ、線輪 II は直列無誘導抵抗 R 及靜電容量 C と共に電源に接続せられる。若し R 及 C を適當に選定すれば線輪 I 及

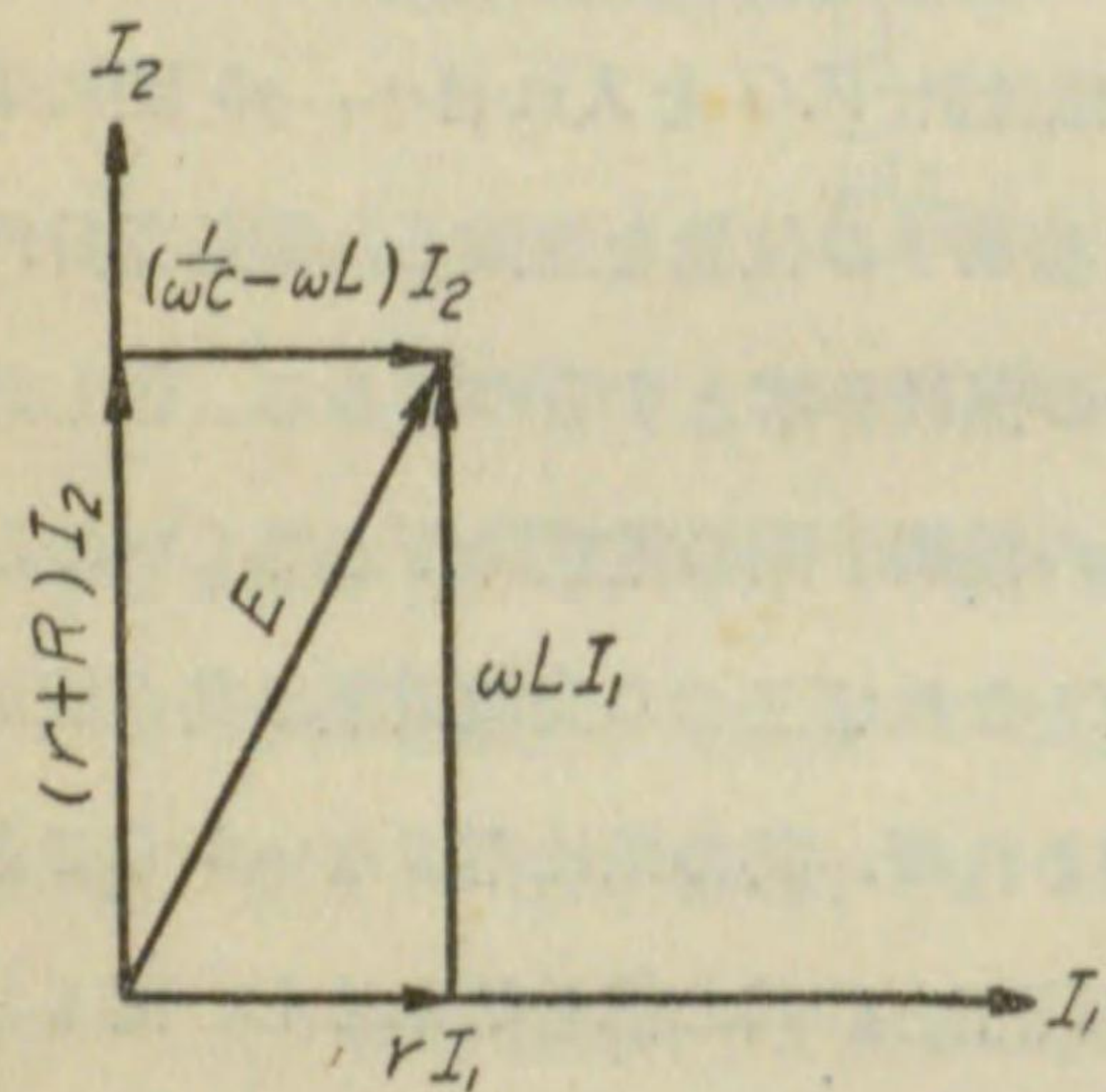
第 1 3 4 圖



移相變成器の線輪

移相變成器の接續

第 1 3 5 圖



移相變成器に於ける電流と電壓

ベクトル圖に示す如くであらねばならぬ。故に

$$\left. \begin{aligned} r+R &= \omega L & \therefore R &= \omega L - r \\ \frac{1}{\omega C} - \omega L &= r & \therefore C &= \frac{1}{\omega r + \omega^2 L} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

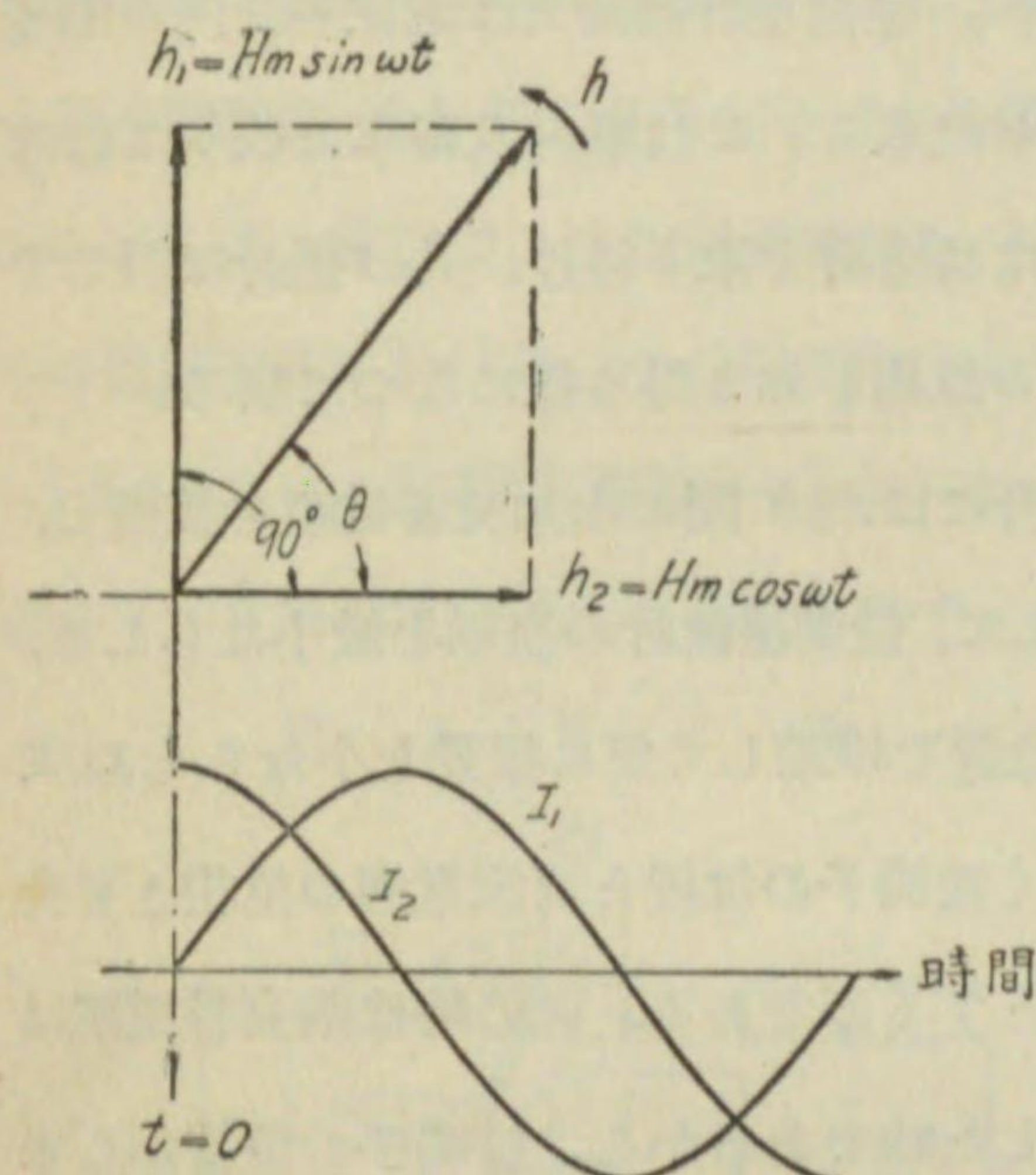
即(1)式に適合する様な R 及 C を用ひると、單相電源に依り線輪 I 及 II に相等しく且位相に於て 90° 度相違した電流を通す事が出来るのである。

II には値が相等しく位相に於て 90° 度異なる二相式電流を通すことが出来る。其の條件は大體次の如くにして求めることが出来る。

今 I_1 及 I_2 を線輪 I 及 II の電流とし、 I_2 は I_1 と數値に於て相等しく、位相に於て 90° 度進むこと、第 135 圖に示すが如きものとする。線輪 I 及 II の抵抗及リアクタンスを夫々 r 及 ωL とすれば、電源の電壓 E と各線輪の電流並各回路の抵抗降下及リアクタンス降下の關係は第 135 圖の

然るときは線輪 I 及 II に依り空間に於て 90° 異なつた位置に 90° の相差

第 1 3 6 圖



移相變成器に於ける電流と磁界

を有する二つの交番磁界を生ずる譯で、之に依り二相式誘導電動機の場合と全く同様な廻轉磁界を生ずるのである。其の現象を簡単に説明すると、 I_2 は I_1 から 90° 進むで居るから、線輪 I 及 II に依つて生ずる交番磁界 h_1 及 h_2 は次の如く表はすことが出来る。

$$h_2 = H_m \cos \omega t$$

$$h_1 = H_m \sin \omega t$$

h_1 と h_2 とは第 136 圖に示

す如く、空間に於て 90° 度異なつた位置に生ずるから、任意の時刻に於ける合成磁界 h は

$$h = \sqrt{h_1^2 + h_2^2} = \sqrt{H_m^2 \cos^2 \omega t + H_m^2 \sin^2 \omega t} = H_m = \text{一定} \quad (2)$$

合成磁界の方向 θ は

$$\left. \begin{aligned} \tan \theta &= \frac{h_1}{h_2} = \frac{H_m \sin \omega t}{H_m \cos \omega t} = \tan \omega t \\ \therefore \theta &= \omega t \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

故に合成磁界の強さは H_m なる一定の値で、其の方向は時間と共に變化し、其の角速度は $\omega = 2\pi f$ である。即同期速度を以て廻轉する一定の強さの廻轉磁界を生ずる。故に第 134 圖甲に示す様に線輪 I 及 II の中心軸

に二次線輪 S を置けば、此の廻轉磁界に依り S に交番起電力が誘起せられ、其の電圧の位相は S の位置に依り異なる譯である。故に S の位置を細かく變へて誘導電圧の位相を變へ、電位差計電流又は電位差計内の電壓降下の位相を任意に調整することが出来る。 S は螺絲及齒車に依りて廻轉する様に装置せられ、其の廻轉軸には指針を取り付け、其の指針に對して 360° に等分した目盛を附して、其の位相を知り得る様になつて居る。

即交流電位差計として用ひる場合には、 gh 間に未知交番電圧を接続し、 K_2 を閉ち、接觸子の位置を調整して、振動檢流計の振動を最小ならしめ、次で位相變成器の二次線輪 S の位置を移動して更に振動を小ならしめ、又接觸子の位置を調整し、斯くの如く接觸子の位置と交流電源の位相とを交互に調整しつつ檢流計の振動を零とするのである。此の時は兩交番電圧は其の値が相等しく、且位相が合致した時であるから、接觸子の位置から未知交番電圧の値を直に求むることが出来る。かくして無誘導、無容量の分壓函及分流器を用ひ、直流の場合と同様に、交流電圧及電流を測定し得るのである。更に電圧と電流とを測つて、此の兩回の S の指針の目盛の差から、電圧と電流との間の位相差を見出せば、此の三つから交流の電力を測定することが出来る。

第 133 圖の栓孔(1)及(2)はリーツ電位差計の場合と同様な測定範圍變更装置で、栓を(1)より(2)に挿し替へることに依り、電位差計電流は $\frac{1}{10}$ となり、測定範圍を(1)の場合の $\frac{1}{10}$ に下げる用を爲すものである。

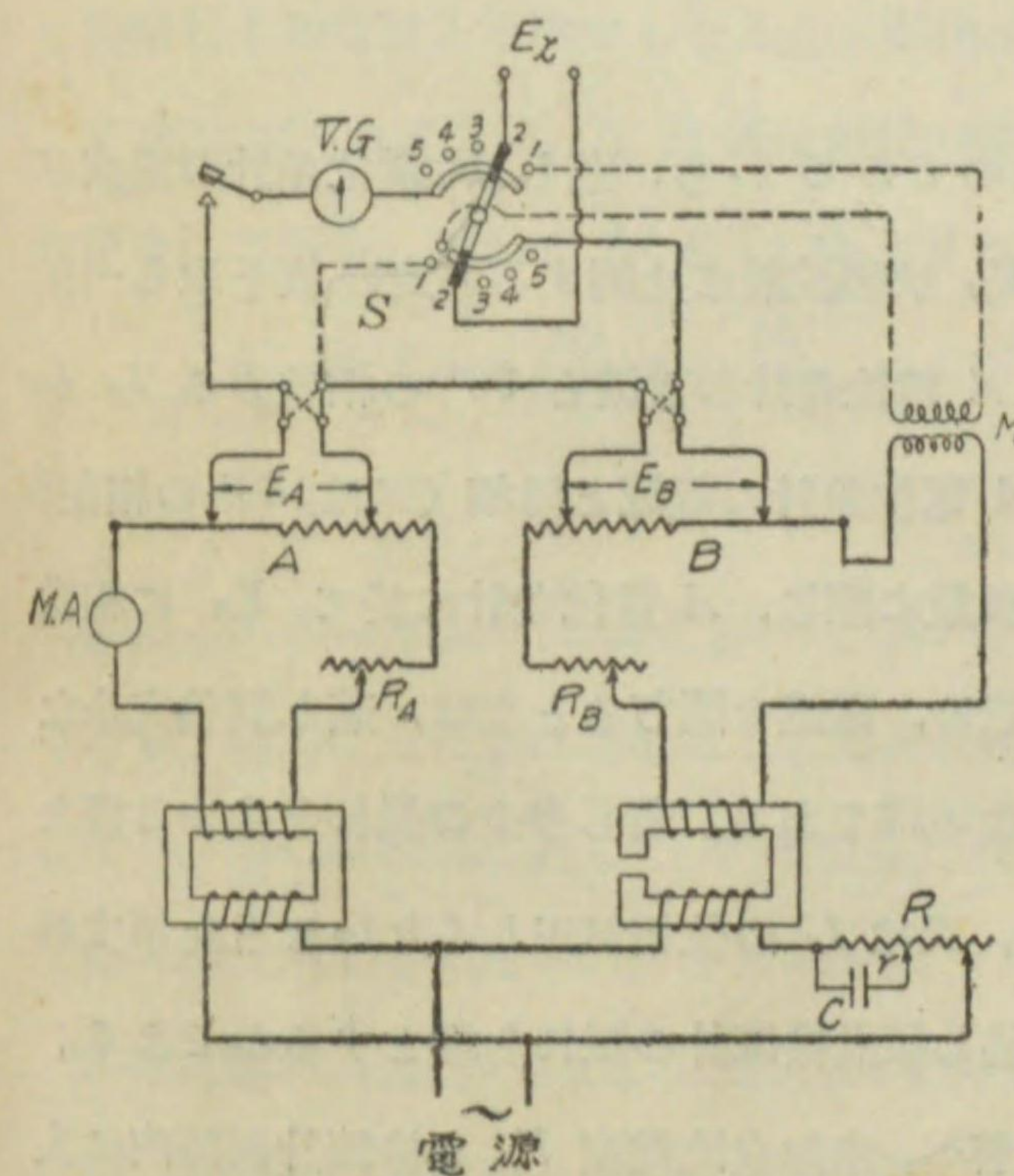
88. 座標式交流電位差計 (coordinate A.C. potentiometer)

ドライスデール交流電位差計に於ては、二

つの電圧の相差は移相變成器の指針の讀みの差を取るのだから、餘り精密に測定することが出来ない。本節に述ぶる座標式交流電位差計は、相差角を精密に測定し得る利點がある。此の種の電位差計の原理は、任意の位相の交流電圧は、之を互に直角なる二つの電壓分 (component) に分ち得ると云ふ理に基くもので、未知交流電圧を 90° の相差を有する電流を通ずる二つの電位差計に於ける二つの電壓降下と平衡せしめて測定するのである。

(イ) ゴール座標電位差計 (Gall coordinate potentiometer) 第 137 圖はゴール座標電位差計の接続を示す。 A 及 B は二つの電位差計で、 A

第 137 圖



ゴール座標電位差計の接続

は基準ベクトルに相當する電位差計、 B は之と直角なる位相のベクトルに相當する電位差計である。 A には先づ蓄電池から直流を通じ、ウェストン標準電池に依り電位差計電流の適當なる値を定め、其の電流を電流計型ミリアンペア計 $M.A$ を以て測り、次に交流電源に切り換へてミリアンペア計が同一の指示を示す迄 R_2 を加減し、 A

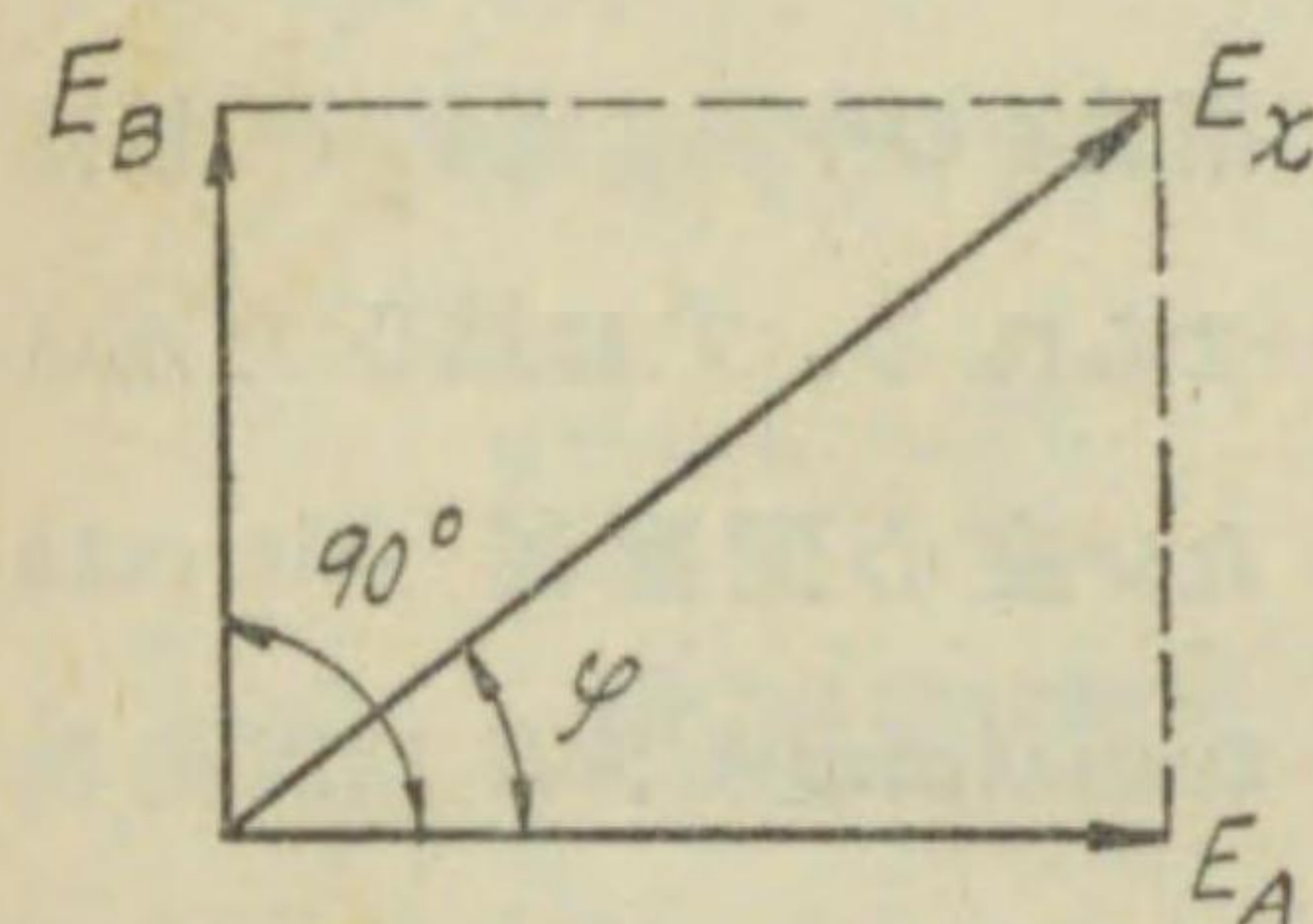
電位差計の抵抗線輪及摺動線に所要の電壓降下を生ぜしめる。 B 電位差計は A 電位差計と同様な構造で、之には A 電位差計の電流と其の値は相

等しく、位相に於て 90° の差を有する電流を通じ、 A 電位差計と 90° の相差を有するが、其の數値に於ては同一の電壓降下を生ぜしむる。 B 電位差計の此の調整が完全に行はれたか否やを検する爲に、 B 電位差計には相互インダクタンス M が接続せられて居る。今切替開閉器 S の接觸を (1) の點に接觸せしむれば、相互インダクタンスの二次線は振動檢流計 $V.G$ と直列となつて A 電位差計の兩接觸子に接続せられる。 M の二次線に誘起せらるゝ電壓は、 I_B を B 電位差計の電流とすれば、 I_B より 90° 遅れる位相で、次式で表はされる値を有する。但し M は相互インダクタンスの値である。

$$E_M = 2\pi f M I_B$$

I_B は一定の値となすべきものであるから、若し B 電位差計の電流が正確に調整せられたならば、 E_M は周波數に比例する一定の値を取るべき筈である。而して其の位相は A 電位差計の電流と 90° の相差ある I_B から 90° 遅れるのであるから、 A 電位差計の電流と同相 (又は 180° の相差) であるべき筈である。故に周波數に應じ、 A 電位差計に於て E_M に相當する電壓に兩接觸子の位置を定め、電鍵を閉ぢるときは、若し調整完全ならば振動檢流計は振れを生じない譯である。若し多少の振れを生ずる様ならば、 I_B の値が正しくないか、又は I_B の位相が正しくないことを示すので、此の兩方面から I_B を調整し振動檢流計の振れを零とするのである。斯くして S を (2) の位置に切替へ、未知交流電壓 E_x を檢流計回路内に入れ、 A 電位差計及 B 電位差計の接觸子を適當に變へ、檢流計の振れを零ならしむれば、 E_x は次式に依つて算出し得ることは、第 138 圖のベクトル圖から明かである。

第 138 圖



座標電位差計に於ける電壓の關係

$$E_x = \sqrt{E_A^2 + E_B^2}$$

但 E_A 及 E_B は夫々 A 電位差計及 B 電位差計の讀みである。

E_x と E_A との相差 ϕ は又明かに次式から算出することが出来る。

$$\phi = \tan^{-1} \frac{E_B}{E_A}$$

E_A 及 E_B は轉極開閉器に依り夫々其の極を反對に接続し得る様になつて居る。之に依り必要に應じ E_A 及 E_B の位相を 180° 轉極して、之を直列に接続し未知電壓と平衡せしむることが出来るのである。

A 電位差計の電流 I_A 及 B 電位差計の電流 I_B は夫々 50 ミリアムペアに選まれて居る。而して M は 31.83 ミリヘンリーに選まれて居るので

$$E_M = 2\pi f \times \frac{31.83}{1000} \times \frac{50}{1000} \\ = \frac{f}{100}$$

故に $f=50$ では $E_M = .5$ ヴォルト、 $f=60$ サイクルでは $E_M = .6$ ヴォルトである。尙 M の値を n 倍に増して同様な操作を行へば I_B は I_A の $\frac{1}{n}$ となり、同一の相差に對して B 電位差計の讀數が増すことになるから、小なる相差角をも測定し得るのである。

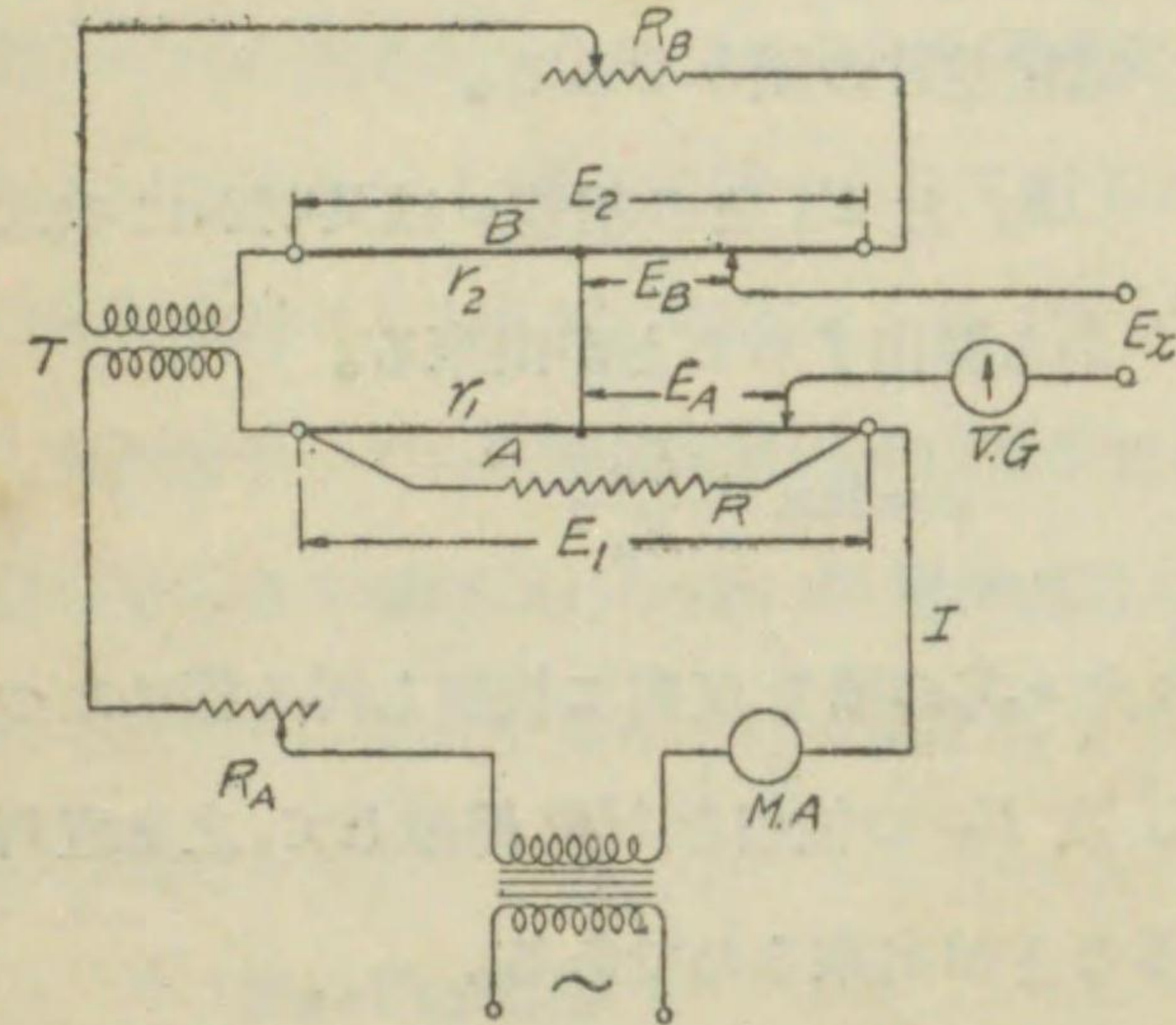
單相電源から I_A 及 I_B なる二相電流を得る爲の相分割法 (phase splitting) に種々の考案があるが、第 137 圖の方法は便利な一方法を示したものである。

(ロ) ガイゲル座標電位差計 (Geyger coordinate potentiometer)

第 139 圖はガイゲル座標電位差計を示すもので、 A 及 B は摺動線より成

る二つの電位差計で、 A は基本ベクトルに相當するものである。二つの

第 1 3 9 圖



ガイゲル座標電位差計

摺動線の中點は電氣的に接續せられる。 T は鐵心を用ひない空心變壓器 (air core transformer), R は固定無誘導抵抗, R_A 及 R_B は加減抵抗器, $M.A$ は直交兩用ミリ

アムペア計である。若し T なる變壓器が理想的のものであれば、兩電位差計に生ずる全電壓降下 E_1, E_2 間には 90°

$$E_1 = I \frac{r_1 R}{r_1 + R} \quad (1)$$

の相違が存在し、且其の値は次に述ぶるが如くである。即ち兩摺動線の全抵抗を r_1 及 r_2 とし、 I を $M.A$ の示す電流とすれば、 A 電位差計を流る電流は $I \times \frac{R}{r_1 + R}$ であるから

$$E_2 = I \frac{\omega M r_2}{r_2 + r} \quad (2)$$

又變壓器 T の相互誘導係数を M とすれば、誘起電壓は I より 90° 遅れ、其の値は $\omega M I$ である。 B 電位差計回路の摺動線以外の抵抗を r とすれば

故に若し種々の周波數に對し r を適當に変更するときは、 $E_1 = E_2$ とすることが出来る。即 R_B を豫め種々の周波數に對して適當なる値に選定して置けばよい。斯くして此の條件に於て未知電壓に對し E_A 及 E_B なる二

つの電壓を以て平衡せしめたとすれば

$$E_x = \sqrt{E_A^2 + E_B^2} \quad (3)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{E_B}{E_A}$$

89. 電池起電力の測定

本章に於て電位差計を以て

電池の起電力を測定する方法を述べた。即ち電位差計があれば容易に且精密に電池起電力を測定し得るのである。本節に於ては序を以て電位差計を用ひない電池起電力の測定方法の二三を述べやう。

(イ) 傾斜法 (deflection method) 此の方法は未知起電力の電池と標準電池とを交互に接續して、檢流計に振れを與へ、此の振れを測定して標準電池の起電力と比較し、任意の起電力を決定するものである。

電池、檢流計及高抵抗を直列に接續し、檢流計の振れを読む。今一定の直列高抵抗 R を用ひた場合に標準電池に依る振れを d_0 とし、未知起電力の電池に依る振れを d とする。標準電池の起電力を E_s 、未知起電力を E とすれば、電池の抵抗を閉却するときは回路の抵抗は一定であるから、檢流計の振れは起電力に正比例する譯である。故に

$$E = \frac{d}{d_0} E_s$$

此の方法を等抵抗法と云ふ。

若し未知起電力の場合に直列抵抗を加減して振れ d を d_0 に等しくすれば、檢流計電流は相等しいから、標準電池を接續した場合の直列抵抗を R_1 とし、未知起電力の電池を接續した場合の直列抵抗の値を R_2 とし、檢流計の抵抗を R_g とすれば、電池の抵抗を閉却するとき

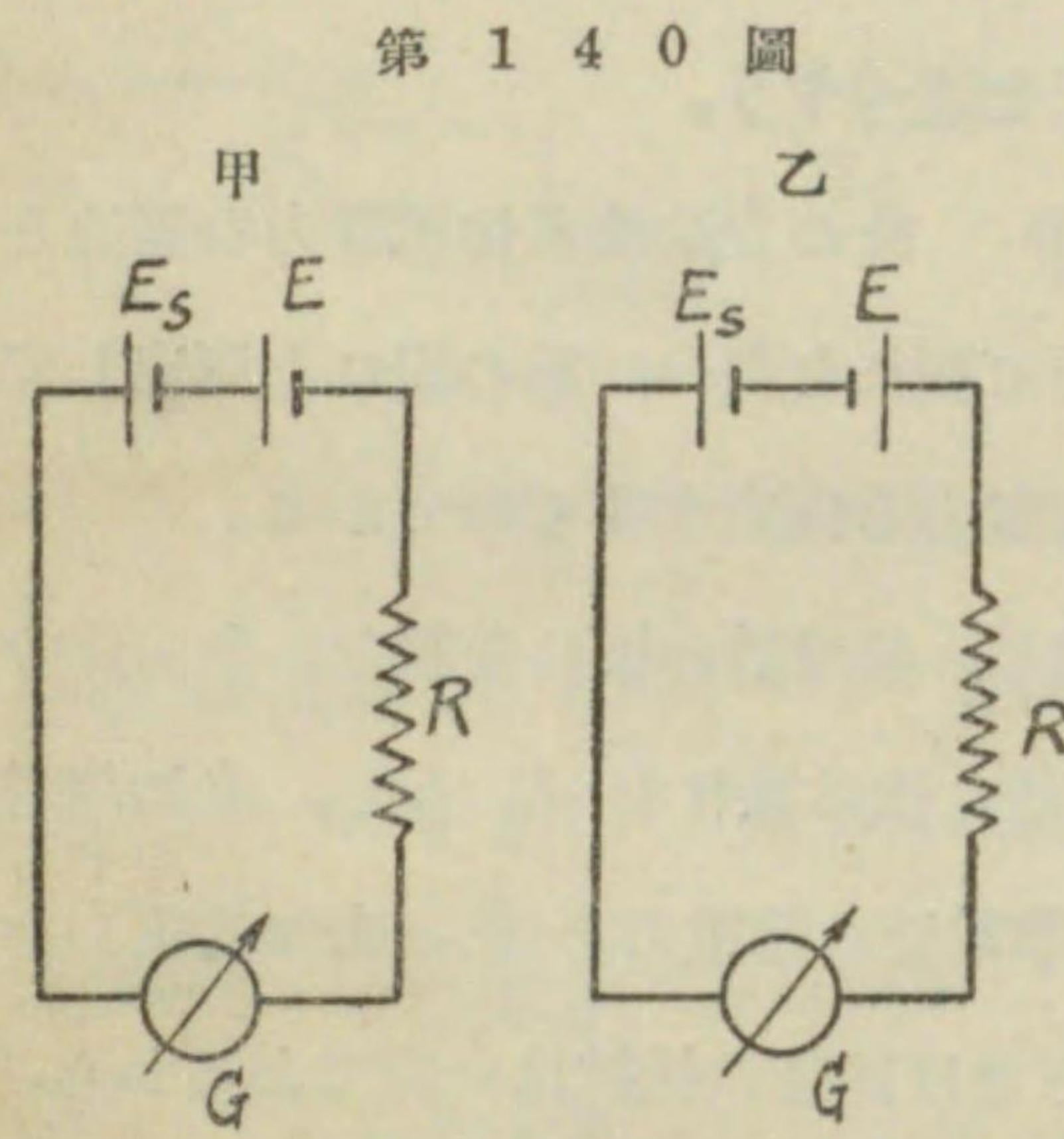
$$\frac{E_s}{R_1 + R_g} = \frac{E}{R_2 + R_g}$$

$$\therefore E = \frac{R_2 + R_g}{R_1 + R_g} E_s$$

此の方法を等傾斜法と云ふ。

(ロ) ウィーデマン氏の法 (Wiedemann's method) 此の方法では先づ第140圖甲の如く、標準電池 E_s と試験電池 E とを起電力が相加はる様に直列にし、適当な直列抵抗 R を入れて、検流計の振れ d_1 を読む。

次に乙圖の様に試験電池の極を反対にして、回路の抵抗は元の儘として



第 1 4 0 圖

ウィーデマン氏法

検流計の振れ d_2 を読む。第一の場合には $E_s + E$ の電圧で電流を生ずるが、第二の場合には $E_s - E$ の電圧で回路に電流を生ずるのである。而して此の二つの場合に回路の抵抗は全く同じであるから

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{E_s + E}{E_s - E}$$

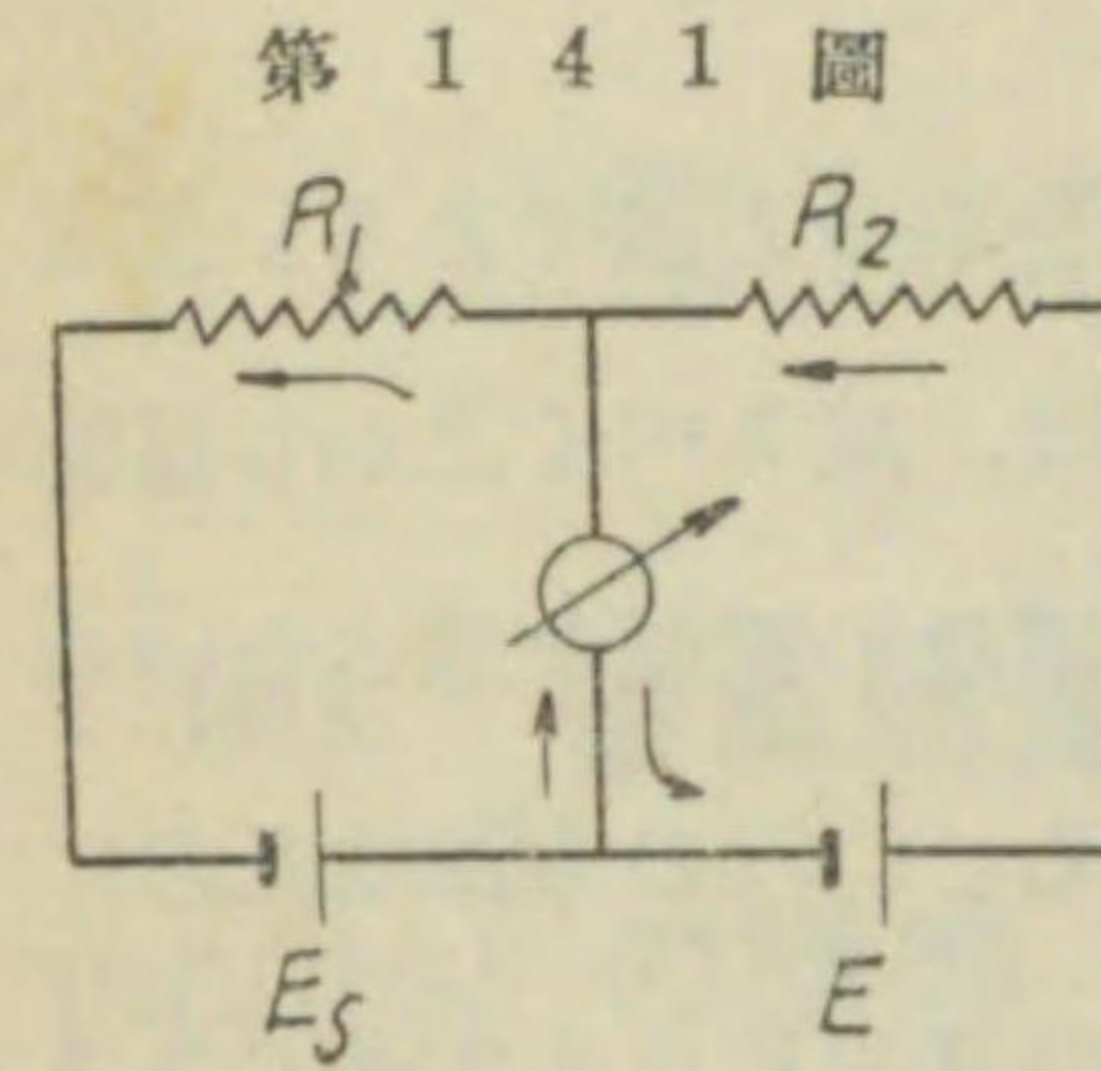
$$\therefore E = \frac{d_1 - d_2}{d_1 + d_2} E_s \quad (1)$$

之は E_s が E より大きく d_2 が

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{E_s + E}{E - E_s}$$

$$\therefore E = \frac{d_1 + d_2}{d_1 - d_2} E_s \quad (2)$$

(ハ) ラムステン氏法 (Lumsden's method) 第141圖の様に試験電池 E 、標準電池 E_s を接続し、 R_1 及 R_2 の抵抗を適当に加減する時は、



第 1 4 1 圖

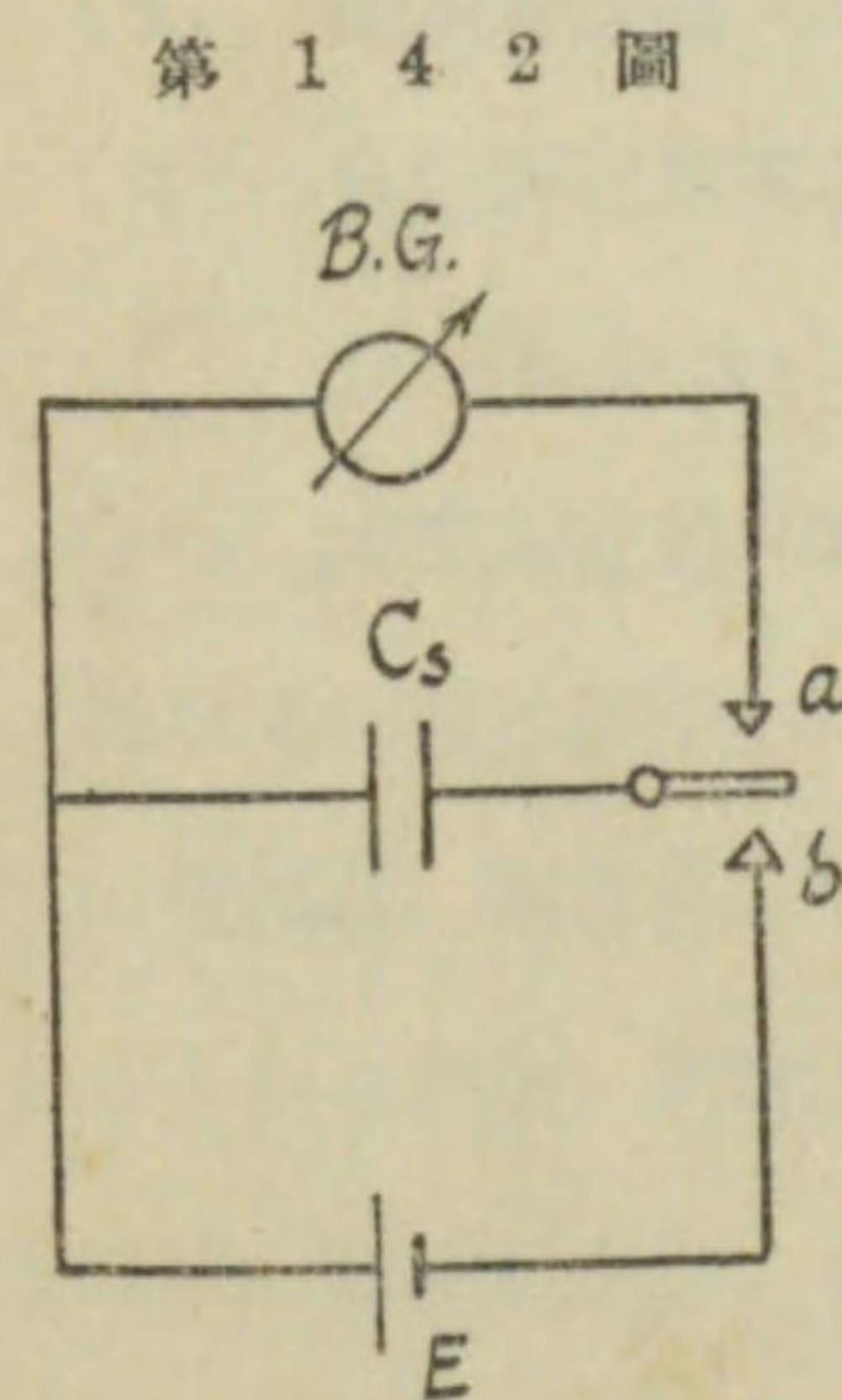
ラムステン氏法

$$E_s = iR_1$$

$$E = iR_2$$

$$\therefore E = \frac{R_2}{R_1} E_s$$

(ニ) 蓄電器法 (condenser method) 第142圖の様に電池 E 、標準蓄電器 C_s 、弾動検流計 $B.G.$ を接続し、電鍵を b 側に閉ち、試験電池の起電力 E を以て蓄電器を充電する。次に電鍵を b から放し、 a に閉ちると、蓄電器の電量は検流計を通じ放電し、 a なるキックを與へる。次に試験電池の代りに標準電池を入れ換へ、全く同様の手順で標準電池の起電力 E_s を以て C_s を充電し其電量を検流計を通じて放電し a_0 なるキックを得たとすれば、蓄電器の電量は夫々電池の起電力に比例し、検流計のキックは夫々各の場合の電量に比例するから



第 1 4 2 圖

蓄電器法

$$\frac{E}{E_s} = \frac{a}{a_0}$$

$$\therefore E = \frac{\alpha}{\alpha_0} E_s$$

(イ)乃至(ハ)の方法は何れも標準電池から電流を取る方法である。然るに標準電池は其の起電力を長時日一定に保つ爲には、成るべく之から電流を取らない様な方法に依らなければならぬ。故に電池に電流を通さないのを本則とする測定方法に依るのが最良の方法である。(ニ)の方法は此點に於て他の諸方法に優るが、最も適當な方法は電位差計を用ひる方法であることは云ふ迄もない。

第五章 電壓及電流測定器

90. 電氣測定器 (electric measuring instruments) の種類 電氣測定器とは電壓を測定する電壓計 (voltmeter), 電流を測定する電流計 (ammeter), 電力を測定する電力計 (wattmeter), 力率を指示する力率計 (power factor meter), 周波数を測定する周波計 (frequency meter), 電量又はアムペア時を測定する電量計又はアムペア時計 (quantity meter or ampere-hour meter), 電氣仕事又はワット時を測定する積算電力計又はワット時計 ((integrating wattmeter or watt-hour meter) 等の電氣測定器の總稱であつて、之を大別して次の三種とすることが出来る。

- (イ) 指示測定器 (indicating instruments)
- (ロ) 自記測定器又は圖示計器 (recording instruments or curve-drawing instruments)
- (ハ) 積算測定器 (integrating instruments)

指示測定器は測定しようとする際の電壓、電流又は電力を指示するもので、電壓計、電流計、電力計等は之に屬する。自記測定器は時々刻々變化しつゝある電流、電壓又は電力を紙上に曲線として記録するもので、自記電流計、自記電壓計、自記電力計等は之に屬する。又積算測定器は或期間内に消費せられた電量又は電氣勢力を積算するもので、アムペア時計、ワット時計等は之に屬する。

指示電氣測定器の内で指針及目盛を備へ、目盛はヴォルト、アムペア又はワット等の値を目盛り、指針の指示する目盛から直に電圧、電流又は電力等を読み得る様にしてあるものを直讀計器 (direct reading meter) と稱する。電圧計、電流計、電力計の如きは直讀計器である。

本章に於ては指示測定器中、電圧及電流を測定するものに就て述べる。

91. 指示電氣計器の要素 電圧計、電流計、電力計

等の働作に關し、通常構造上三つの要素がある。第一は計器に與へらるゝ電圧、電流、電力等に依つて其の指針を傾斜せしめやうとする傾斜廻轉力 (deflecting torque) を生ずる装置である。第二は第一の傾斜廻轉力に對し指針の位置を定むる制御廻轉力 (controlling torque) を生ずる装置である。第三は指針を其指示すべき最後の位置に於て速に静止せしむべき制動装置 (damping device) である。但し特別の場合には第三要素を備へて居ないものもある。

(イ) 傾斜廻轉力を生ずる装置 傾斜廻轉力は測定せんとする電圧、電流又は電力の増減に伴ひ増減するものでなければならぬ。斯様な廻轉力を生ぜしむる爲には磁石と電流との間に働く力、電流と電流との間に働く力、電流に依りて生ずる熱の作用、充電せられた二導體間に働く靜電力、電流に依つて生ずる磁界内にある鐵片に働く力、廻轉磁界又は移動磁界内にある金屬圓筒又は金屬板に働く力等を利用するもので、此の傾斜廻轉力を生ぜしむる原理に依つて、電氣計器は次表の様な型に分類せらるゝのである。

制御廻轉力 --- 制御トルク
 傾斜廻轉力 --- 駆動トルク
 = 改正を小た。

第 1 3 表

使用回路	型 名	原 理	製作せらるゝ計器
1. 直流回路	(イ)可動線輪型	磁石と電流間の力	電圧計、電流計
2. 直流回路 及交流回路	(ロ)電流計型	電流と電流との間の力	電圧計、電流計、電力計、力率計、周波計、同期檢定器
	(ハ)電熱型	電流に依る熱の作用	電圧計、電流計、電力計
	(ニ)靜電型	二導體間の靜電力	電圧計、檢漏器
	(ホ)可動鐵片型	磁界内の鐵片に働く力	電圧計、電流計
3. 交流回路	(ヘ)誘導型	廻轉磁界内の導體に働く力	電圧計、電流計、電力計

此の外の原理に依つて構成せられて居る測定器もある。例へば空氣中に於ける火花放電、コロナ現象、ネオン放電燈の如きを利用して高電圧を測定するものがある。之等は後節に詳記しよう。

傾斜廻轉力は成るべく大きい方が宜い。何となれば廻轉力が大きい程、可動部分を支持する軸承及尖軸 (pivot) に於ける摩擦の影響を少くし、長い間其の確度を保つことが出来るからである。良好なる計器に於ては尖軸は鋼針の先端を適當の角度で尖らし、之を支持する軸承には碧玉(sapphire) (積算計器の如く廻轉するものには屢々ダイヤモンドを用ひる)等の寶石を嵌めた所謂寶石軸承を用ひ摩擦を少くしてある。然し乍ら可動部分の重量を増すことに依り廻轉力を増加しても大なる効果がない。何となれば軸承に於ける摩擦は可動部分の重量に比例して増加するからである。通常携帯用計器に於ては、計器が最大目盛を指示する場合の廻轉力を瓦糧の單位で表はした數と、可動部分の重量を瓦の單位で表はした數との比を $\frac{1}{20}$ 以上となる様に設計するのである。又配電盤用計器に於ては更に大なる割合

の廻轉力を用ふるのが普通で、此の比を $\frac{1}{10}$ 以上となる様に設計するのである。

(口) 制御廻轉力を生ずる装置 制御廻轉力を生ぜしむる爲に通常用ひらるゝ方法は、螺旋彈條 (spiral spring) を用ひるものと、重力 (gravity) 作用を用ひるものとの二種である。

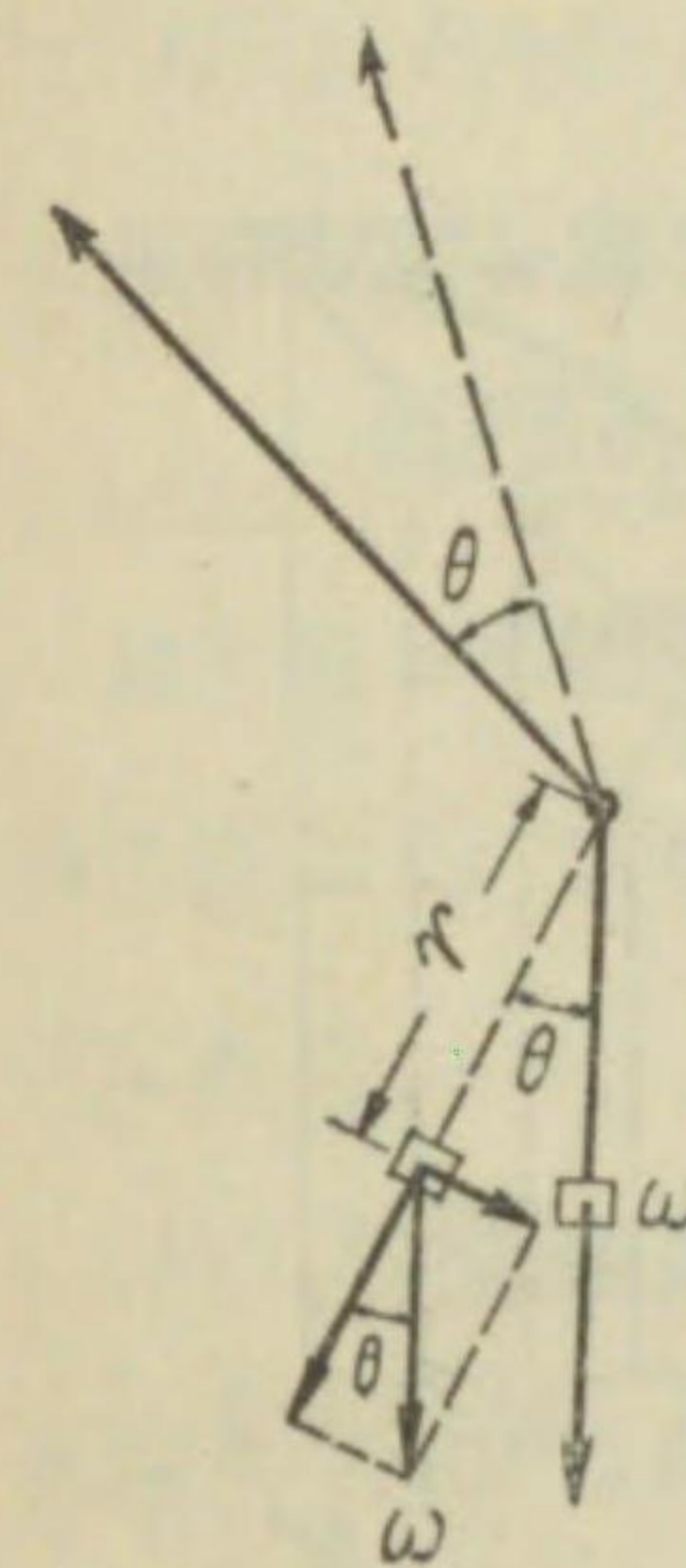
制御用螺旋彈條として最も良好なる材料は磷青銅 (phosphor-bronze) である。通常磷青銅の細い薄い片を螺旋状にしたものを用ひ、其内側の一端を廻轉軸に取付け、外側の他端を固定して置けば、指針が傾斜すると螺旋は縮まり又は擴がる爲に (取付方に依りどちらにもなる)、螺旋は原状に復さうとして、指針を零に復歸せしめる制御廻轉力を生ずるのである。此の制御廻轉力は指針の傾斜角 θ に正比例する。即ち T を制御廻轉力とすれば

$$T = k\theta \quad (1)$$

靜電型計器の如く傾斜廻轉力の小さい計器では、檢流計と同様に螺旋彈條の代りに、扁平な磷青銅片を以て可動部分を懸垂することがある。此場合にも亦制御廻轉力は指針の傾斜角に正比例するので、(1) 式を以て表はすことが出来る。

地球の重力作用を利用して制御廻轉力を生ぜしむる方法は、主として水平軸を使用する配電盤計器に用ひらるゝ所であるが、第 143 圖に示す様に制御重錘 w を指針の軸に取付けるのである (指針其のものは軸に對して又重力作用を受けるが、之は通常反對側に釣合錘を附し指針に對して釣合を保たしめ、指針其のものに依つては何等の傾斜を生ぜしめない様にしてある)。指針が零を指して居る時は、 w は丁度垂直の位置を取るが、若し指針

第 143 圖



重力制御法

が θ なる角丈傾斜したとすれば、 w も原位から θ 丈傾斜するから、之に依つて生ずる制御廻轉力 T は、次式で表はすことが出来る。

$$T = wr \sin \theta \quad (2)$$

但し r は廻轉軸と w との間の距離である。故に w を變へるか、又は w の位置を上下して r を變へれば、制御廻轉力を増減することが出来るのである。

斯くの如く彈條制御法 (spring control) では、制御廻轉力は單に傾斜角 θ に比例し、重力制御法 (gravity control) では、傾斜角 θ の正弦に比例するから、同一の計器に於ても制御法を變へれば其の目盛が變るのである。

計器の目盛は傾斜廻轉力と制御廻轉力との關係に依つて定まるものである。今 D を傾斜廻轉力とし、 T を制御廻轉力とすれば、 $D = T$ の條件は目盛を定むるものである。例へば簡單なる一例を取つて説明しよう。直流可動線輪型電流計に於ては、 D は指針の位置如何に拘らず電流 I に正比例し、之に彈條制御法を用ひたとすれば、 T は傾斜角 θ に比例する。故に $D = T$ の條件から

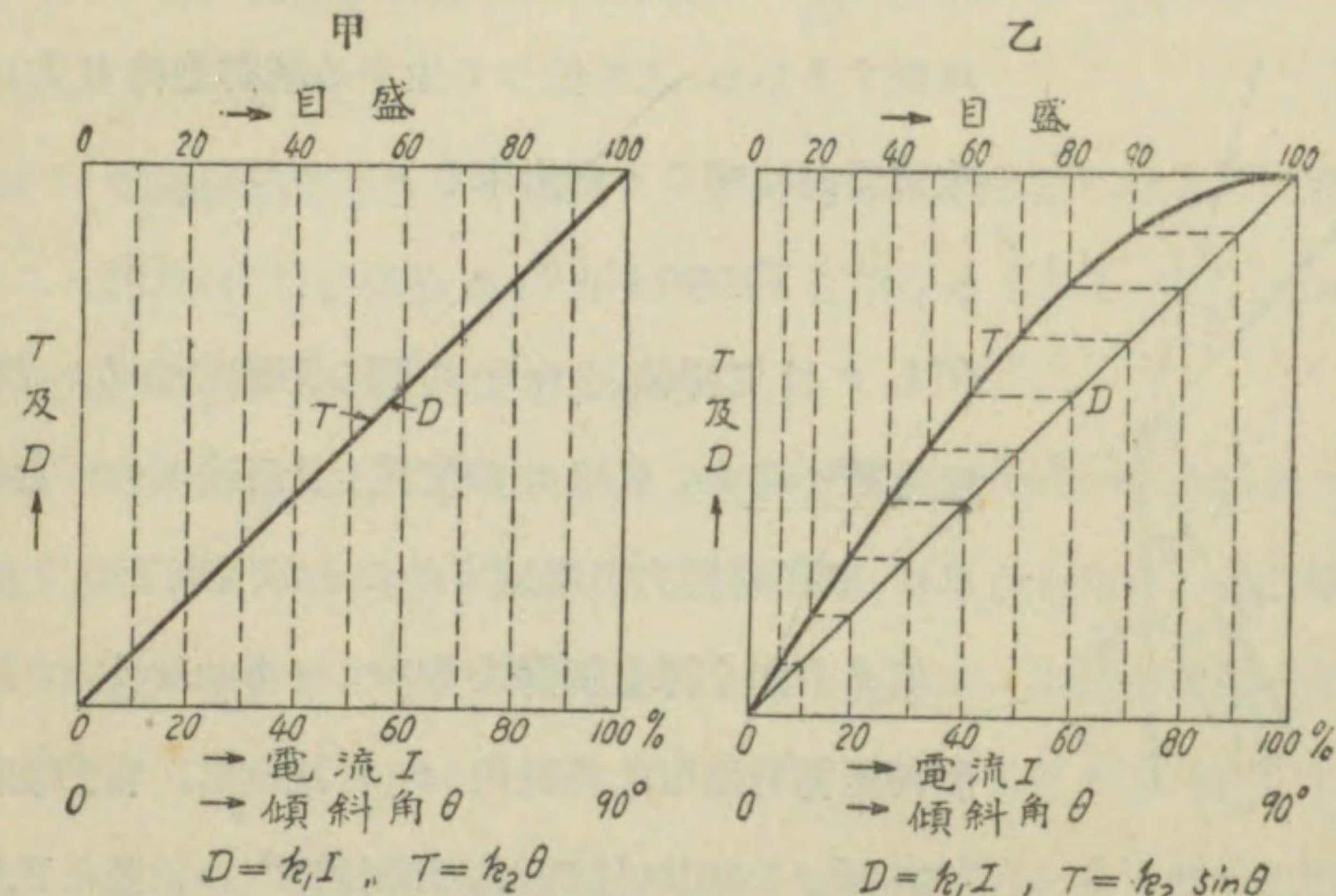
$$\theta = KI \quad (3)$$

即電流が二倍になれば傾斜角は二倍となるから、目盛は一様に等分せられた平等目盛 (uniform scale) を有するものである。併し乍ら若し彈條制御の代りに重力制御を用ひる場合には

$$\sin \theta = K'I \quad (4)$$

となり、一樣な目盛を得ることが出来ない。第 144 圖甲及乙は (3) 式と

第 1 4 4 圖

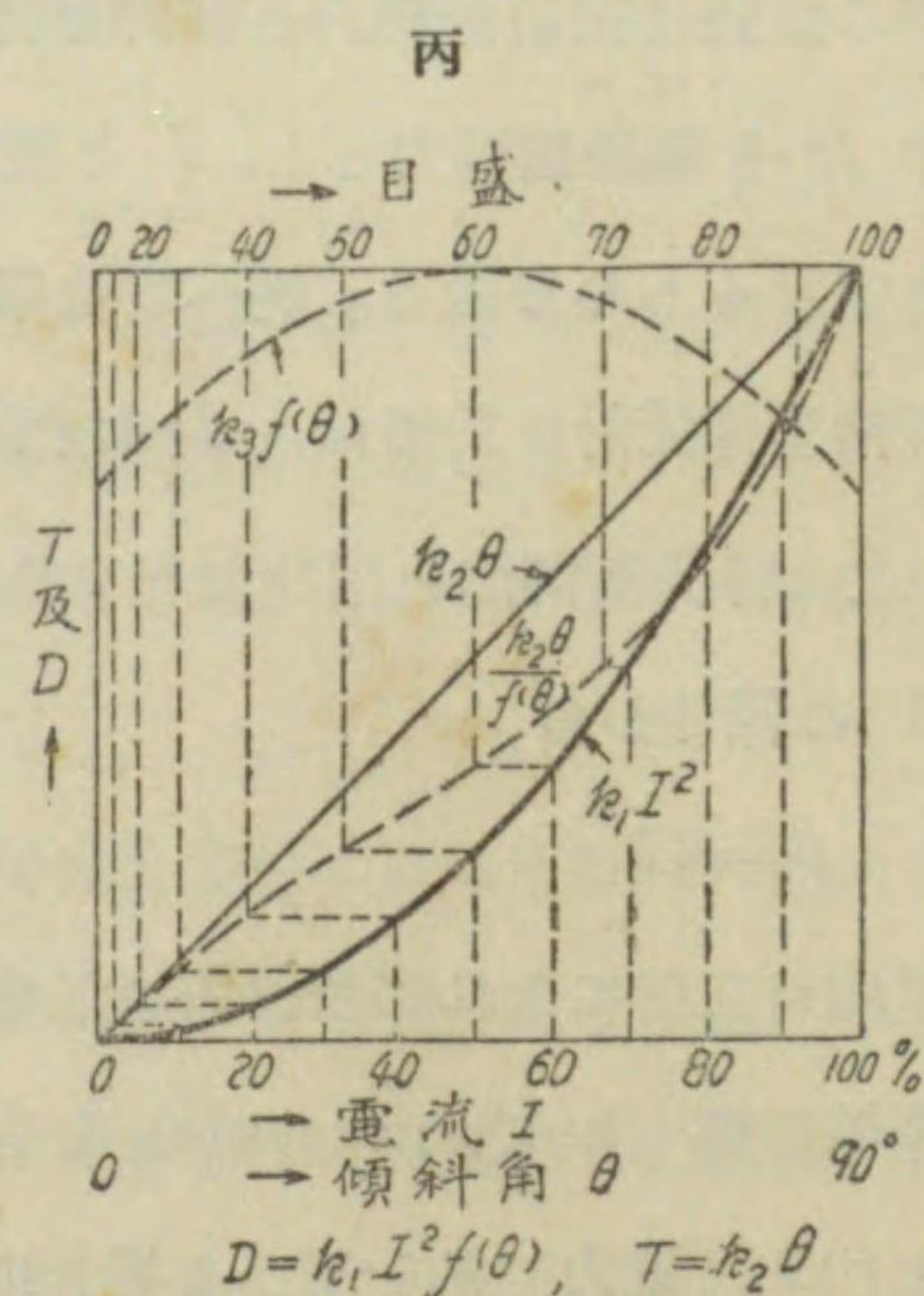


彈條制御による平等目盛

重力制御による目盛

(4) 式とに依る目盛の相違を圖式的に見出した一例で、 T は制御廻轉力、 D は傾斜廻轉力で、或電流に相當する傾斜廻轉力に等しい制御廻轉力を生ずる傾斜角に、其の電流に相當する目盛を與ふるのである。傾斜廻轉力が單に電流に關係する許でなく、又位置に依つても變る様な場合には、甲圖又は乙圖の方法では目盛を決定することが出來ない。例へば電流計型電流

計の如き場合には、其の傾斜廻轉力は固定線輪及可動線輪の電流の相乗積



電流計型計器の目盛

に比例する許でなく、固定線輪と可動線輪との關係的位置に關係する。従て D は $I^2 f(\theta)$ に比例するものである。 $f(\theta)$ は θ の函數を表はす。故に彈條制御を用ひた場合には次の關係がある。

$$k_1 I^2 f(\theta) = k_2 \theta \quad \text{或は} \quad \frac{k_2 \theta}{f(\theta)} = k_1 I^2$$

故に第 144 圖丙の如く $k_1 I^2$ と $\frac{k_2 \theta}{f(\theta)}$ と相等しい様な關係を有する傾斜角に對して、其の電流の目盛を附するので、之に依つて目盛を決定し得るのである。

(ハ) 制動装置 (damping device) 傾斜廻轉力、制御廻轉力及制動廻轉力の關係は第 13 節に於て檢流計の可動部分の運動に關して述べたと同様で、制動廻轉力が強過ぎれば指針は運動が鈍く、最後の位置を指示する迄には相當の時間を要し、若し制動廻轉力が弱過ぎれば指針は最後の位置の左右に振動して暫く止まらない。指示計器に於て最も適當な制動の程度は、計器に傾斜廻轉力を與へた時、指針が最後の目盛より少し振れ過ぎて四五回振動した後に靜止する程度である。制動装置として通常用ひらるゝ方法は

- (i) 可動線輪を金屬棒に捲き、此棒内に生ずる渦流の作用を利用するもの
 - (ii) 空氣の抵抗を利用するもの
 - (iii) 流動體の抵抗を利用するもの
 - (iv) 可動部分に別に金屬片を取付け、之を耐久磁石の極の間を運動せしめ、金屬片内に生ずる渦流の作用を利用するもの
- 之等の制動装置に就ては、以下各種の計器を説明する場合に述べることとする。

制動作用の效果は、通常與へられたる目盛 (最大目盛の約 $\frac{2}{3}$) に相等

する電流、電圧等を急に與へて、指針が最後の位置に於て靜止する迄に要する時間、及靜止する迄に爲した振動回数を以て云ひ表はす。又時としては其目盛以上に行き過ぎた最大の振れをも考慮することがある。制動効果の一例を述べると、(i)の方法は甚だ有効で靜止迄の時間は 0.5 乃至 1 秒、(ii)の方法では 2 秒乃至 5 秒である。

以上に於て計器の働作に關する要素を述べたが、計器の構造に關する主なる要素を列擧すると、傾斜廻轉力を生ずべき働作装置、指針、目盛盤、制御装置、制動装置及之等を藏める外函である。

指針は普通アルミニウムの様な軽い金属を用ひ、携帯用の計器では指針の尖端を極めて薄く扁平にしてある。又目盛盤の目盛も細い線で目盛つてある。尙精密用のものでは目盛盤に鏡面を附してあつて、鏡に映る指針の影と指針とを一致せしめて指針の先の目盛を読み取り目盛の読み誤りを少くする様になつて居る。但し配電盤用計器の如く遠くから計器を見る必要がある場合には、目盛も太い線で目盛り、指針も特別に分り易い形にしてある。

92. 計器の指示に誤差を生ずる原因

計器に誤差を生ずる原因は、各種計器に共通なもの、其の計器の型に依り特有なものに分つことが出来る。

各種計器に共通な誤差としては軸承摩擦の爲に生ずる誤差、及可動部分の機械的不平衡に因る誤差である。軸承摩擦に因る誤差を少くする爲には前節に述べた様に適當に磨いた尖軸及寶石軸承を用ひ、傾斜廻轉力を成るべく大きくする様に設計するのである。但し測定に際して計器を軽く叩くと、略々摩擦に因る誤差を除くことが出来る。次に可動部分の機械的不平

衡は廻轉軸が水平な配電盤用計器の如き場合に、指針の指示に大なる影響を及ぼすことになるので、製作に當つてよく可動部分の機械的平衡を取る必要がある。前節に述べた様に通常指針の軸に對する反對の端に平衡用重錘を取付け、其の位置を加減し平衡を取るのである。

第二の計器の型に依り特有なる誤差を生ずる原因を挙げると、次の様なものがある。其の主なるものに就ては各種の計器の説明に於て多少具體的に述べることにする。

(イ) 自熱 (self-heating) の影響 電流を通ずる計器では其の電流に依つて線輪其他電流の通ずる部分を加熱し、其の抵抗を變じ又は制御力等を變へ、誤差を生ずる原因となる。即ち電流を通じた初と、電流を通じ各部の温度が一定となつた後とは、其の讀みに多少の相違を生ずるものである。良好なる計器に於ては此の差は極めて少いが、精密を要する實驗に於ては電流を通じて暫く經過した後の讀みを取る必要がある。

(ロ) 漏磁界 (stray magnetic field) 又は外部磁界の影響 漏磁界又は地球磁界の如きものに依り、可動線輪に廻轉力が加はり又は反對の廻轉力を生じ、誤差の原因となる場合がある。

(ハ) 周波數及波形の影響 交流用計器では周波數が變ると其の線輪のリアクタンスを變じ、又周圍の金属部分に誘起せらるゝ渦流の値を變じ之等の原因に依つて誤差を生ずる。又波形が高調波を含む場合には、其の高調波の爲に誤差を生ずる。直流回路及交流回路兩用の計器に就ても同様であつて、直流用として用ひる時はリアクタンスは零であり、又周圍の金属部分に渦流が誘起せらるゝことがない。

(ニ) ヒステリシス (hysteresis) の影響 直流磁界内にある鐵片に

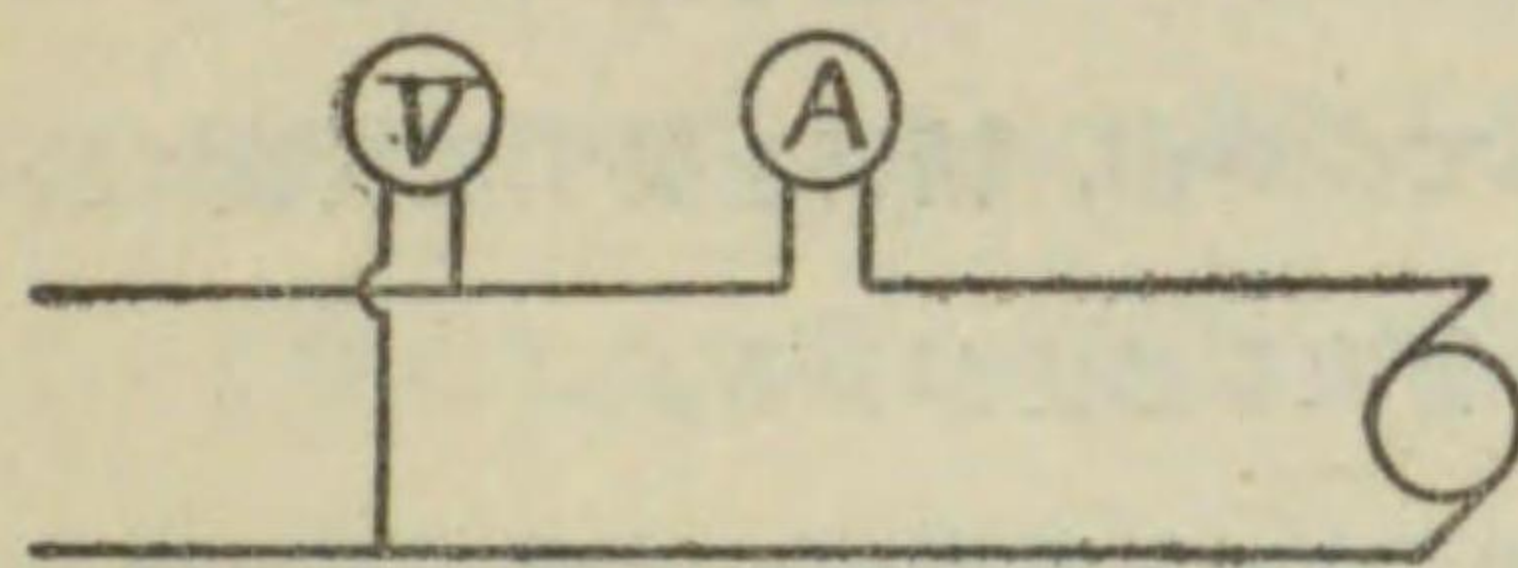
働く力を利用するものではヒステリシスの影響に依り、磁界が強くなる場合と弱くなる場合とに於て、同一の電流又は電圧に對し指示を異にする。

(ホ) 室内温度の影響 室内温度又は計器の周圍温度の變化に依り、線輪の抵抗又は制御力等を變じ誤差を生ずる原因となる。

其の外、特殊の原理に基いて構成せらるゝ測定器に於ては夫々特有の誤差があるが、以上は普通の電流計、電圧計等に於て生ずる主なる誤差の原因である。之等の誤差を如何にして出来る丈小さくする様にしてあるかは夫々の計器の項に於て述べることにする。

93. 電圧計と電流計

第 1 4 5 圖



電圧計及電流計の接続

第145圖に於て A は電流計、

V は電圧計を示すもので、電流計は電流を測定すべき回路に直列に接続し、其の電流又は之に比例する電流を計器内に通じ、電圧計は電圧を測定すべき回路の二點間に接続し、其

の二點間の電圧を計器に與へるのである。

電流計及電圧計は特殊のもの（例へば靜電型電圧計の如き）を除いては一般に其の動作の原理に於て全く同一である。蓋し電圧計は大なる抵抗を有し、微小なる電流に依つて動作する一種の電流計であつて、其の電流は電圧計の端子に與へらるゝ電圧に正比例し、此の電流に依る傾斜廻轉力に依つて指針を傾斜せしめるので、目盛盤にはヴォルトの目盛を施してある。電圧計の抵抗は其の測定する電圧に對し甚だ大きいから、電圧計を回路に接続した爲に回路の主要電流又は回路電圧に殆んど影響を及ぼさない。又

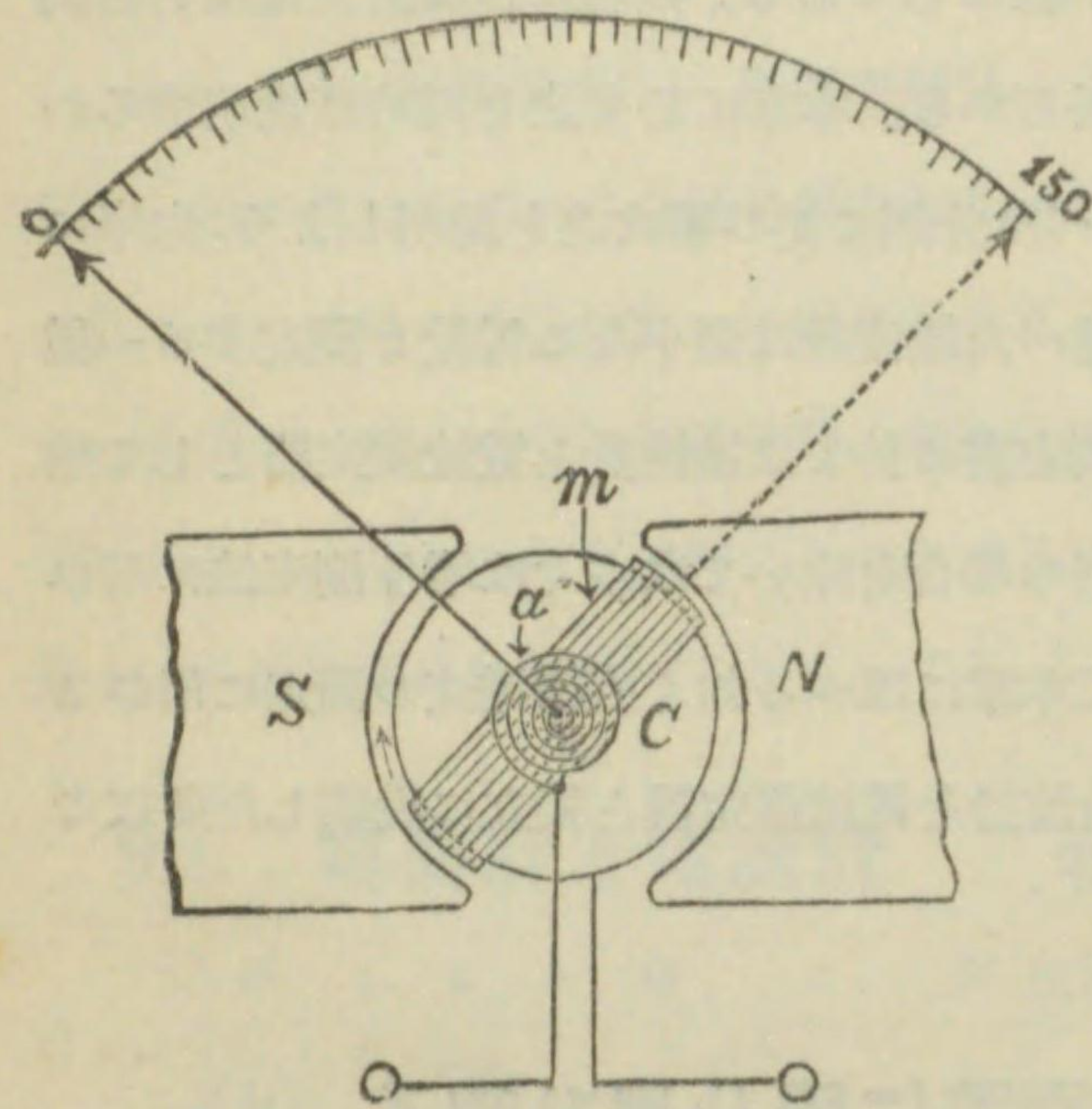
電流計は通常其の抵抗は極めて小さく、電流計を接続した爲に電流計内に大なる電圧降下を生ぜしめない様にしてある。斯様に電流計及電圧計は同一原理に依つて構成せられて居るから、本章に於て之を同時に説明するのである。以下第91節に於て述べた分類に従ひ順次之を説明しよう。尙序に述べて置くことは、第二章に述べた檢流計は微小なる電流を測定する一種の電流計である。従て多くの測定書に於ては檢流計を電流測定器として述べて居るが、元來檢流計は特別の場合を除いては多くは零位測定法に用ひるので、所謂電流測定器として本章に述べる如く直接電流の測定に用ひる場合が少い。之れ本書に於て檢流計を電流測定器と獨立に説明した所以である。

第一 直流回路に限り用ひ得る 電 壓 及 電 流 測 定 器

94. 直流可動線輪型計器 (moving coil type instrument)

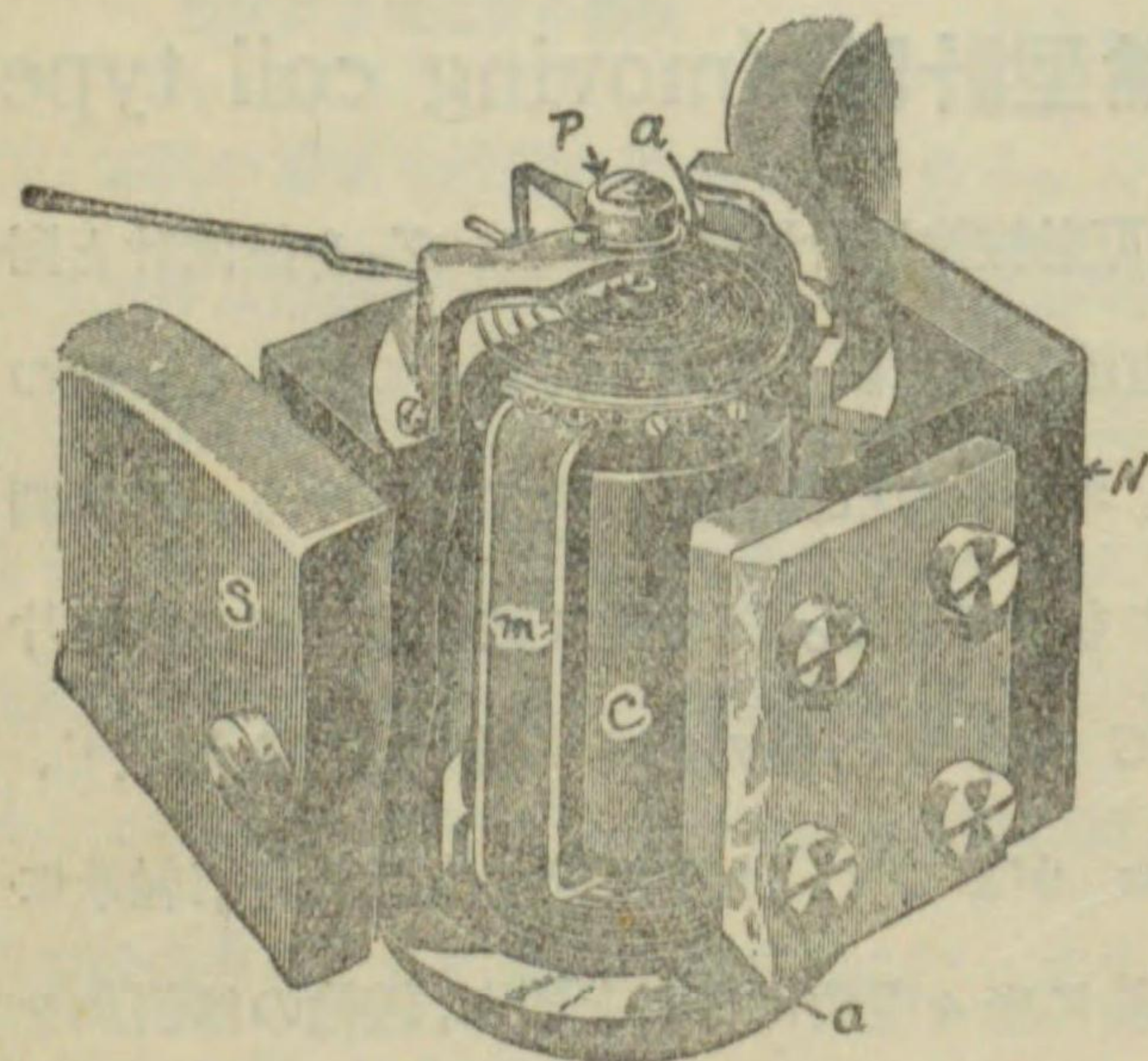
直流可動線輪型計器はダルソングェル檢流計と同一の原理で動作するもので、直流回路に限り使用し得るものである。此の型の計器の代表として米國ウェストン會社製計器に就て述べやう。第146圖甲及乙は其の原理及構造を示すものである。即ち耐久磁石の二つの磁極片 NS の内部に圓柱形の軟鐵心 C があつて、圖の如く一樣な空隙を形成し、此の空隙に長方形の可動線輪 m があつて、上下に於て尖軸及寶石軸承に依つて支へられて居る。可動線輪に略々直角に指針を附し、線輪の傾斜角を擴大して目盛を指示せしめる。圓柱形軟鐵心 C は空隙に於ける磁束分布

第 1 4 6 圖 甲



ウェストン可動線輪型計器の原理

第 1 4 6 圖 乙



ウェストン可動線輪型計器の外形

を輻射状にすると共に磁束密度を一様にする。故に可動線輪 m に i なる電流を通すと、線輪の位置に関係なく電流に比例する傾斜廻轉力を生じ、線輪を矢の方向に傾斜せしめやうとする。此線輪の上下に aa なる螺旋彈條があつて、之に依り可動線輪 m に電流を導くと共に、線輪の傾斜角即指針の傾斜角に比例する制御廻轉力を生ぜしむるのである。此の二つの螺旋彈條は上部のものと下部のものは其の捲き方を反對にしてあつて、之に依り温度が變つても螺旋の膨脹又は收縮を互に消し合ふ様にしてある。今 i なる電流が線輪に流れた場合に指針が θ なる角を傾斜して静止したとすれば、此の位置に於て傾斜

廻轉力と制御廻轉力とは、相等しく且反對で平衡して居るのであるから、

$$k_1 i = k_2 \theta$$

$$\therefore \theta = \frac{k_1}{k_2} i = Ki \quad (1)$$

$$\text{但し } K = \frac{k_1}{k_2} = \text{定數}$$

即ち傾斜角 θ は電流に正比例する。換言すれば電流が二倍になれば、傾斜角も亦二倍になるのである。故に此の型の計器では一様に等分せられた目盛即ち平等目盛 (uniform scale) を有すると云ふ特徴がある。

可動線輪型計器の制動装置としては可動線輪をアルミニウムの枠に捲き線輪が耐久磁石の磁界内を動くときに、此のアルミニウム枠は磁束を切る爲、枠内に渦流 (eddy current) を誘起し、之に依つて有効なる制動作用を生ぜしむるのである。

此の型の計器の確度を長い時日一定ならしむる爲には、耐久磁石の強度が長時日不變のものであることを要する。優良なる耐久磁石としては特に良質のタングステン鋼を用ひ (本邦本多博士の發明に係る約 40% のコバルトを含む所謂 K.S. 鋼は工作上稍々困難で價格も比較的高いが、更に優秀なものである)、約攝氏 900 度に於て焼入し、之を水中に急冷 (quench) して更に 300 度位の温度で焼鈍 (anneal) し、然る後之を磁化する。斯様にして磁化したものは、直に之を用ひると磁力が弱くなるものであるから所謂人工的熟成 (artificial aging or maturing) を施すのであるが、其の一法としては之を 100 度位の温度に於て約 10 時間位熱し、且機械的震動又は衝撃を與へて磁氣の幾分を減するのである。斯様にして磁化し且熟成した磁石は軟鐵接極子を附して倉庫内に藏ひ置き、數ヶ月の後に之を用ひ

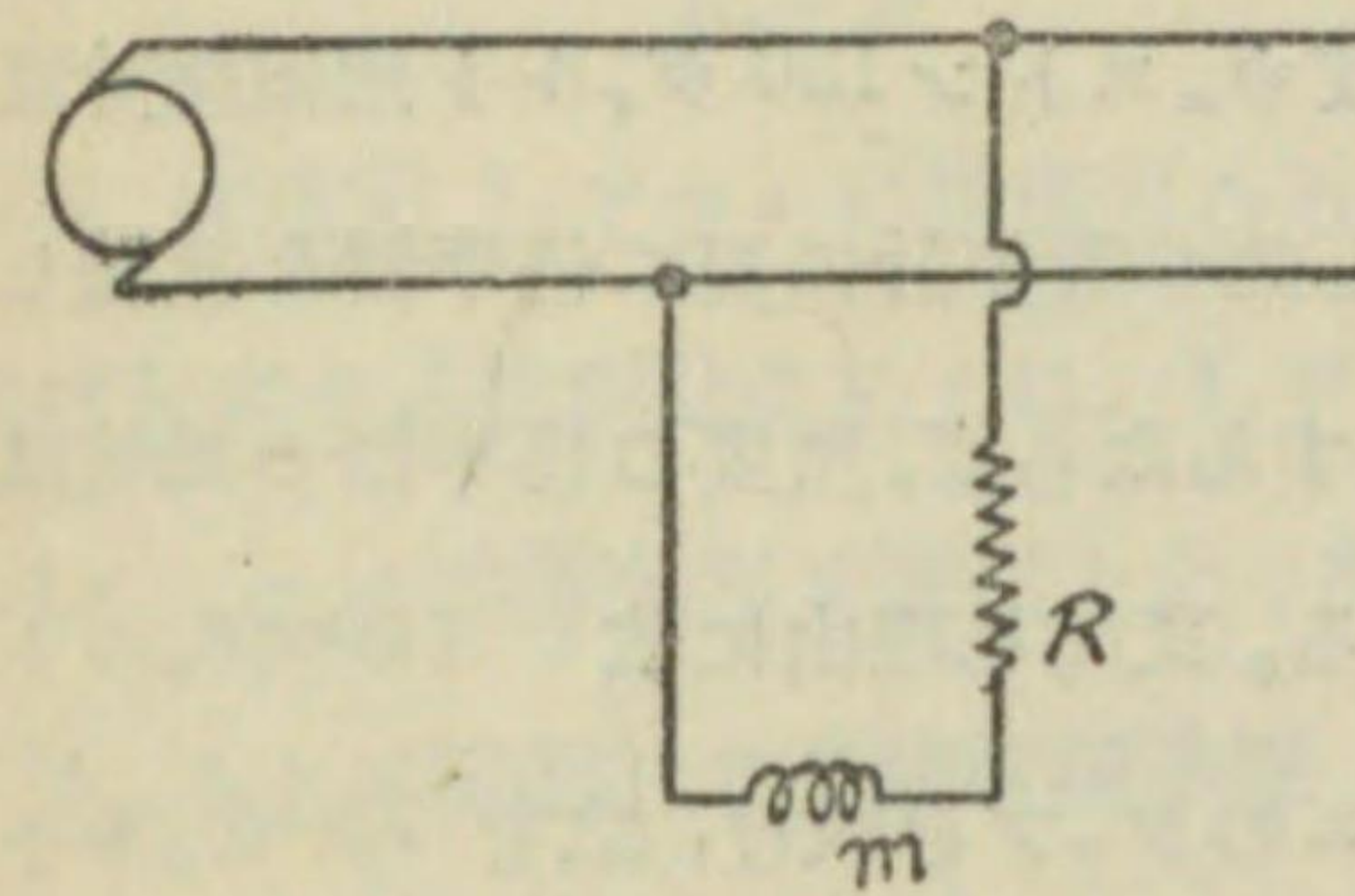
るやうにすれば、長時日磁力の一定な耐久磁石が得られるのである。尤も磁石の形は、自己減磁力 (self-demagnetising force) に依つて減磁せられぬ様、適當の形にすることが必要である。可動線輪型計器に於ては尙圓柱形軟鐵心も充分良質のものを選び、空隙も出来る丈小さくしてある。通常空隙に於ける磁束密度は毎平方糎に付 500 乃至 2500 ガウスである。

(可動線輪型計器は耐久磁石を用ひてあるから、電流の方向を反對にすれば傾斜廻轉力の方向が反對となる。従て計器の端子の極を一定して線輪に通す電流の方向を一定にしなければならぬ。又之を交流回路に用ふれば廻轉力の方向は電流の方向が轉換する毎に變り、結局平均廻轉力は零で、何等の指示を與ふることがない。即ち交流回路には之を使用することが出来ない。

可動線輪型計器の可動線輪は細い銅線 (時としてはアルミニウム線) を以て捲かれ、其の重量を極めて軽くしてあるから、非常に小なる電流を以て動作する。例へば最大目盛を指示するに要する電流は、電圧計に於ては 10 ミリアムペア内外、電流計に於ては 15 乃至 20 ミリアムペア位である。即ち之に依つて電流を可動線輪に導くべき螺旋彈條及線輪に通す電流を小にして、溫度上昇を少くし、且計器内の電力損失又は電壓降下を小ならしむるのである。従て之を電圧計及電流計として用ひるには特殊の方法に依らねばならぬ。

(イ) 電圧計 第 147 圖は電圧計の接続を示すもので、可動線輪 m と直列に R なる直列抵抗器を接続する。斯様にして計器の最大目盛に相當する電圧を計器に與ふる場合に、可動線輪に通る電流を所定の電流に等しくするのである。今

第 1 4 7 圖



電 壓 計 の 接 続

i_0 = 最大目盛に於て可動線輪に

通すべき電流

R_0 = 可動線輪 m の抵抗

R = 直列抵抗

E_0 = 計器の最大目盛に相當する

電壓

とすれば、所要の條件は

$$i_0 = \frac{E_0}{R_0 + R}$$

$$\therefore R = \frac{E_0}{i_0} - R_0 \quad (2)$$

例へば $i_0 = 0.01$ アムペアの計器に於て $E_0 = 150$ ヴォルト用の電圧計を作る場合には

$$R + R_0 = \frac{150}{.01} = 15000 \text{ オーム}$$

電圧の目盛の關係は任意の電圧 E を與へた場合に i なる電流が計器に流れたとすれば、(1) 式から

$$\theta = K \frac{E}{R + R_0} = K_* E \quad (3)$$

$$\text{但し } K_* = \frac{K}{R + R_0}$$

即ち計器に直接ヴォルトの目盛を附することが出来る。

直列抵抗 R は計器の内部に装置せらるゝ場合と外部に装置せらるゝ場合とがある。配電盤用電圧計の場合には外部に直列抵抗を接続するのが普通である。直列抵抗器は時としては倍率器 (multiplier) と稱せられる。之

れ同一の計器を以て直列抵抗の値さへ變へれば、其の測定範圍を任意に擴大することが出来るからである。例へばウェストン150 ヴォルト用電壓計は其の全抵抗が約18000 オームある。若し此の電壓計に更に倍率器を接続して750 ヴォルト迄の測定範圍を得やうとするならば、所要の倍率器の抵抗は $18000 \times 5 - 18000 = 72000$ オームである。又同じ理由に依り150 ヴォルト用電壓計の直列抵抗に於て9000 オームのタップを設け、之を75 ヴォルト用端子に接続すれば、此の電壓計は75 及 150 ヴォルトの二重測定範圍を有するものと成る。同様に一個の計器に附隨して澤山の端子を同一の倍率器から分岐して設け、種々の測定範圍を有する倍率器を作ることが出来る。

直列抵抗としては通常マンガイン線を用ひる。此の理由は第一にマンガイン線は銅に比し約25倍の固有抵抗を有するから、比較的短かい長さで所要の高抵抗を得る便がある。第二にマンガイン線の温度係数は普通の室内温度に於ては略々零であるから、室内温度の變化に依る電壓計の抵抗の變化は極めて小さくなり、實用上同一電壓に於て同一の電流が計器に流れるものと看做し得るからである。銅線の温度係数は攝氏一度に對し約0.4%である。故に若し電壓計が全部銅線より成るものとするれば一度の温度上昇毎に抵抗は0.4%宛増加し、從て傾斜廻轉力を生ずべき計器電流も亦攝氏一度毎に約0.4%宛減少すべき筈である。今 a を銅線の温度係数とし、 R_0 なる抵抗の可動線輪 m に R なるマンガイン直列抵抗を接続したとすれば、合成温度係数 a' は次の如くにして求むることが出来る。但しマンガインの温度係数は零と假定したのである。

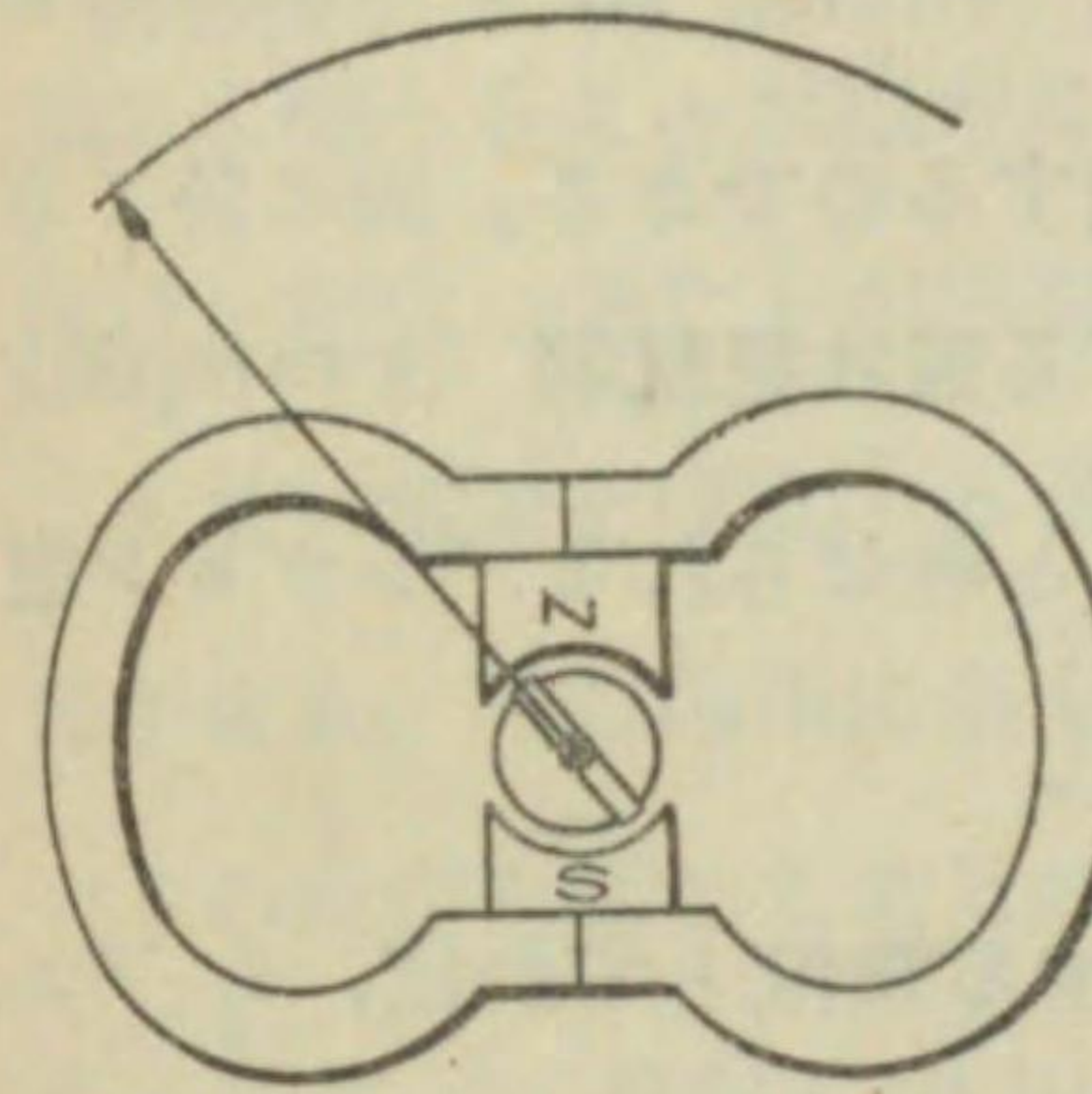
$$(R_0 + R)\{1 + a't\} = R_0(1 + at) + R = (R_0 + R)\left\{1 + \frac{R_0 a}{R_0 + R} t\right\}$$

$$\therefore a' = \frac{R_0 a}{R_0 + R} \quad (4)$$

R_0 は通常1 オームの程度であるから1 ヴォルトに付100 オーム程度の抵抗を有する電壓計に於ては、1 ヴォルト用電壓計に於ても、温度係数は $0.4 \times \frac{1}{100} = 0.004\%$ で實用上全く閉却し得ることが分るであらう。

ウェストン電壓計で實驗所標準型 (laboratory standard type) と稱せ

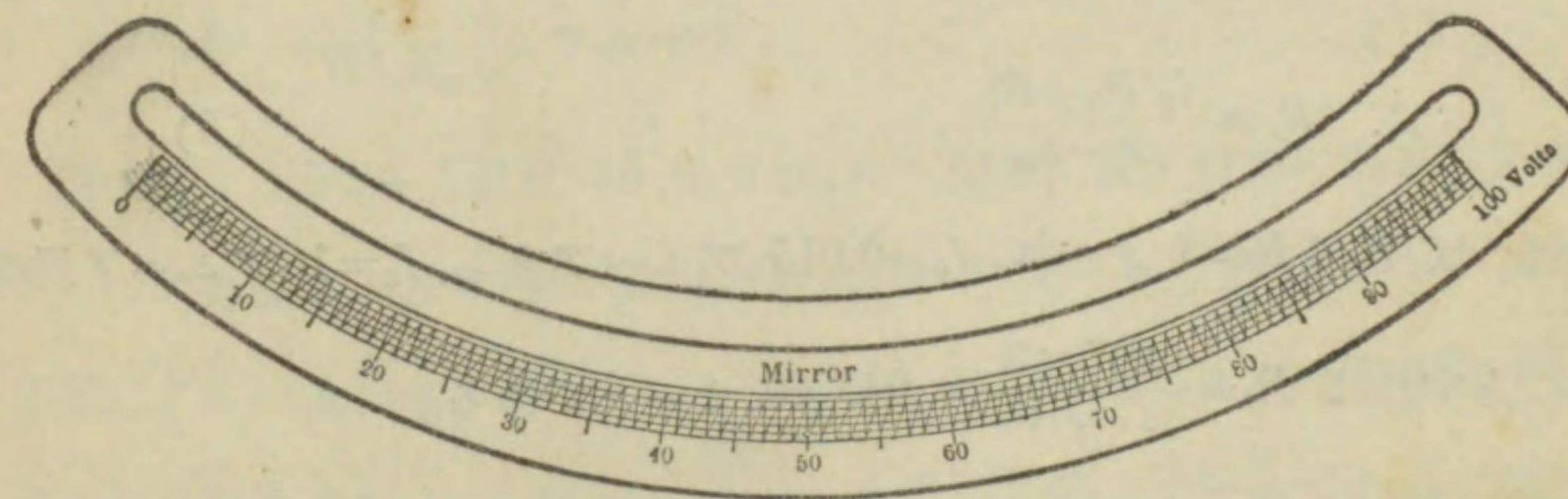
第 1 4 8 圖 甲



ウェストン電壓計
(實驗所標準型)

らるゝものがある。其の原理は全く第146圖のものと同一であるが、第148圖甲に示すが如く二個の耐久磁石を組合せて自己減磁作用を出来る丈少くし、動作電流も普通の電壓計の約 $\frac{1}{2}$ 以下で、而も相當の廻轉力を得る様に造られて居る。指針は普通のものより遙に長く、同一傾斜角に對し指針の動く距離を大きくし、其の感度を増してある。又其の目盛

第 1 4 8 圖 乙



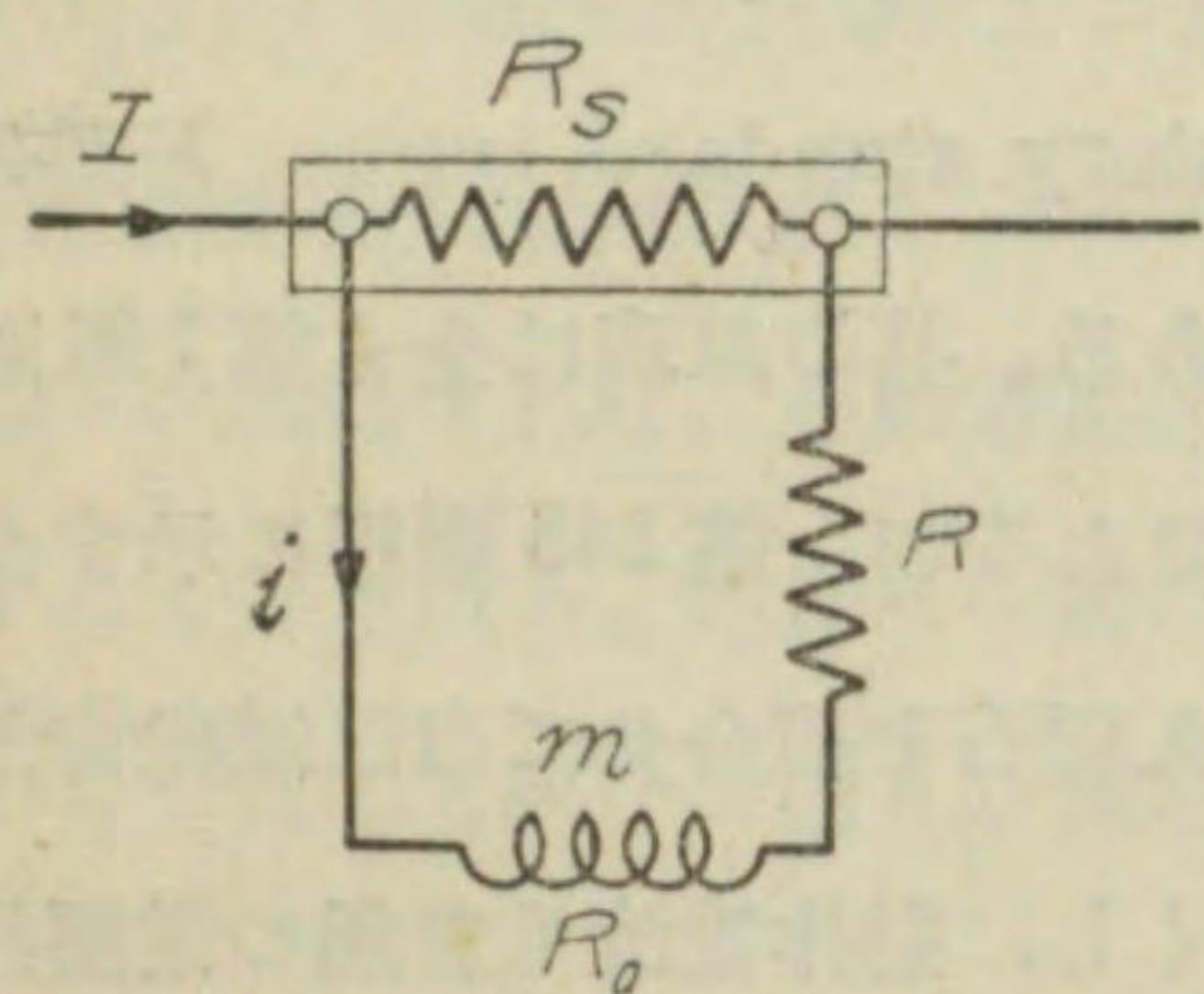
ウェストン實驗所標準型計器の目盛

は乙圖に示す如く六本の同心圓弧を引き、之を100等分又は150等分し、更に此の一目盛の間に斜線を引いて一目の $\frac{1}{5}$ 迄正確に讀み得るやうにし

である。

(口) 電流計 可動線輪に安全に通じ得る様な小さい電流を測定するミリアンペア計(例へば100ミリアンペア以下)は第146圖の儘で何等の

第149圖



電流計の接続

装置を要しないが、之より大きい電流を測定する目的のものは、可動線輪に適当な電流を通す様にする爲、第149圖に示す様に分流器(shunt) R_s を可動線輪 m と並列に接続するのである。圖に於て R は後に説明する吸収抵抗器(swamping resistance)と稱せられるマンガニ直列抵抗である。

今 i_0 を可動線輪に通すべき最大目盛に相當する電流とすれば、 I_0 アムペアの測定範圍を有する電流計を得る爲には、 R_s の値は次の様にして見出すことが出来る。

$$(I_0 - i_0)R_s = i_0(R_0 + R)$$

$$\therefore R_s = \frac{i_0(R_0 + R)}{I_0 - i_0} \quad (5)$$

例へば $R_0 + R = 3$ オーム、 $i_0 = 0.015$ アムペアとし、 $I_0 = 1$ アムペア用のものとすれば $R_s = \frac{.015 \times 3}{1 - .015} = .04569$ オームである。

目盛の關係は次の様になる。即ち I を測定すべき電流、 i を可動線輪に流るゝ電流とすれば、(1)式から

$$\theta = KI \frac{R_s}{R_0 + R + R_s} = K_a I \quad (6)$$

$$\text{但 } K_a = \frac{KR_s}{R_0 + R + R_s}$$

即ち直接アムペアの目盛を附することが出来る。分流器 R_s は計器の内部に装置せらるゝ場合と其外部に装置せらるゝ場合とがある。配電盤計器では之を計器の外部に接続するのが普通である。 $\frac{R_0 + R + R_s}{R_s}$ を分流器の倍率(multiplying factor)と云ふ。之れ電流計の場合に於ても電壓計の場合と同様、同一の計器で分流器の値さへ變へれば、其の測定範圍を如何様にも變へることが出来るからである。又同様に依つて多重測定範圍の電流計を組立つることが出来る。

大きい電流を測定する場合には、分流器とミリヴォルト計とを用ひる場合がある。その理由は全く第149圖の場合と同様で、只計器にはミリヴォルトの目盛を附してあるのみである。測定すべき電流が大きければ R_s は $R_0 + R$ に比し非常に小さいから、全電流が R_s を通過したものと見て差支なく、其の場合の R_s の電壓降下をミリヴォルト計で測ることとなるのである。故に e をミリヴォルト計の読みとすれば

$$I = \frac{e}{1000R_s} \text{ アムペア} \quad (7)$$

例へばミリヴォルト計は45ミリヴォルト用で、最大目盛に對し15ミリアンペアを要するとすれば $R_0 + R = \frac{45}{15} = 3$ オーム。最大100アンペアを測定する分流器は100アンペアに於て45ミリヴォルトの電壓降下を生ずるものであるから $R_s = \frac{45}{1000 \times 100} = 0.00045$ オームである。故に分流器に100アンペアの電流が通れば $e = 45$ ミリヴォルトで、 $i_0 = 15$ ミリアムペアとなり、回路の全電流は次の如くなる。

$$I = 100 + 0.015 = 100.015 \text{ アムペア}$$

之を 100 アムペアと見做せば $\frac{15}{100000}$ 即 0.015% の誤差を生ずるに過ぎない。之は通常閉却し得べき程度である。測定電流が更に大きければ、誤差は更に小さくなる。但し特定のミリヴォルト計に對しては、(5)式に依り R_s の値を選定して置けば、何等の誤差を生ぜざること勿論である。

一個のミリヴォルト計に數種の電流測定範圍の分流器及數種の電壓測定範圍に對するタップを有する倍率器を備へて、之を一組としたものがある。之は電壓電流計と云ふ名稱の下に發賣せられて居る。

電流計の分流器は通常マンガニン片を以て作られる。之はマンガニンの溫度係数が略々零であることと其の銅に對する熱起電力が殆んど閉却し得るからである。之に依り溫度が變つても殆んど其の電壓降下に影響を及ぼさない。又可動線輪 m に直列に R なるマンガニン直列抵抗を接続する理由は、電壓計の所で述べたと同一の理由で、溫度に依る $R_0 + R$ の變化を閉却し得る様にせんが爲である。此の爲に R を吸収抵抗 (swamping resistance) と云ふので、蓋し溫度に依る抵抗の變化を此の部分で吸収すると云ふにある。一例を示せば可動線輪及螺旋彈條の抵抗 R_0 は約 0.6 オームで、直列抵抗 R は約 2.4 オームである。此の場合の合成溫度係數 a' は(4)式に依り

$$a' = \frac{\alpha R_0}{R_0 + R} = \frac{0.4 \times 0.6}{0.6 + 2.4} = 0.08\%$$

電流計の電壓降下は通常 45, 75, 100 ミリヴォルト等が用ひられ、配電盤計器に於ては大なる廻轉力を得る爲、比較的大なる電壓降下が用ひられる。

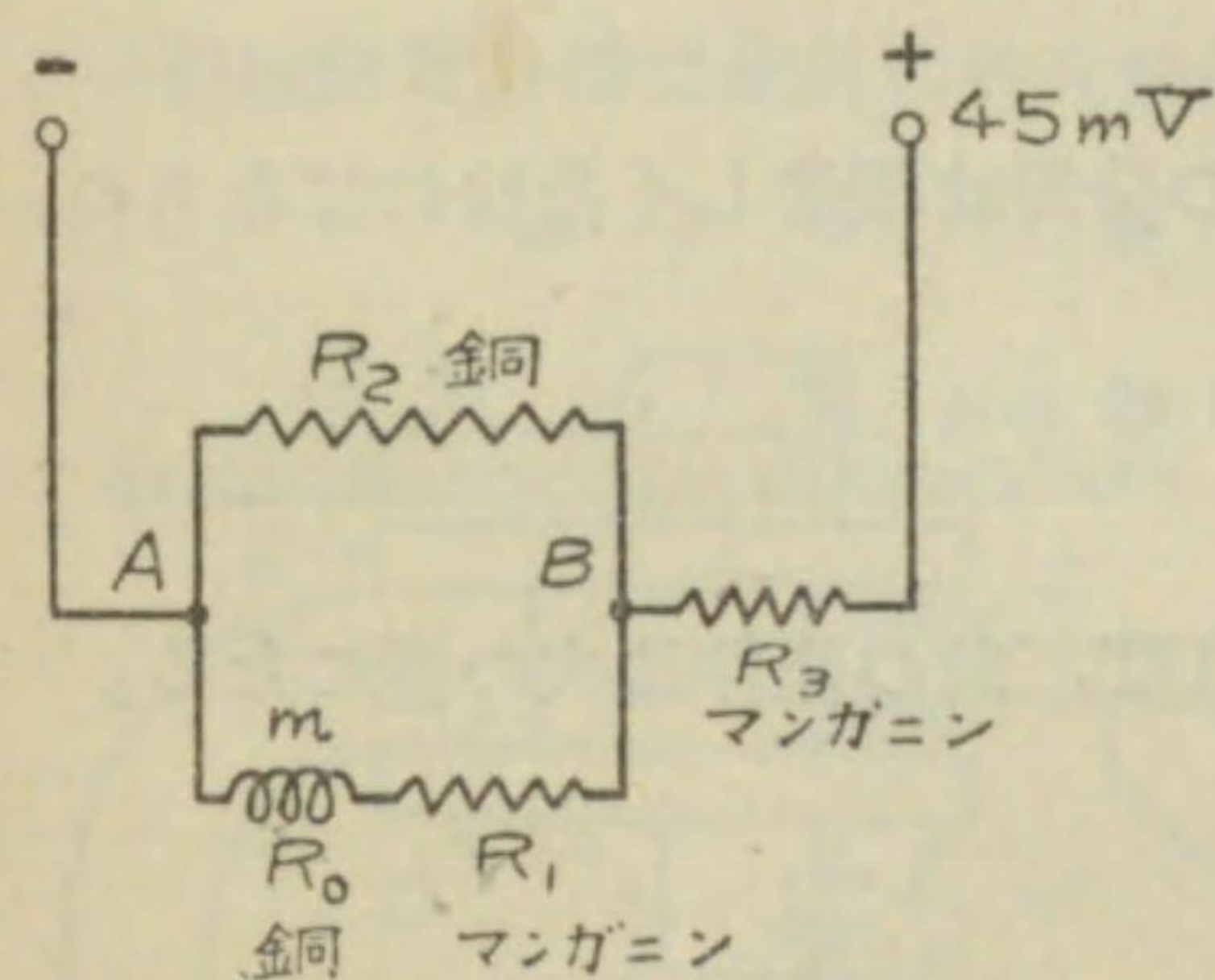
可動線輪型計器は耐久磁石の強い磁界を利用する爲、傾斜廻轉力が大きく従つて其の確度が高い。又等分せられた目盛を有する利點があるので、

實用上直流の標準計器として使用するに適して居る。

可動線輪型計器に於て特有なる誤差を生ずる原因として考ふべきものは溫度と外部磁界との影響である。

溫度の變化に對し可動線輪に通ずる電流は、可動線輪に直列に接続するマンガニン直列抵抗に依り、一定電壓に對し殆んど其の變化を閉却し得る程度に爲し得ることは、既に述べた通りである。更に完全に溫度の影響を

第 150 圖



シーメンス製ミリヴォルト計の接続

補償する目的を以て、シーメンス社の精密級 10 オーム、45 ミリヴォルト計器に於ては、第 150 圖に示す様な接続を採用して居る。 R_1 はマンガニン抵抗で可動線輪 m と直列にし、之に R_2 なる銅の並列抵抗がある。更に之等と直列に R_3 なるマンガニン抵抗を接続するのである。其

の原理は溫度上昇と共に $R_0 + R_1$ も R_2 も共に増加するが、 R_2 の増加の方が大きい。故に端子に一定電壓を與へる場合には R_2 及 $R_0 + R_1$ の増加の爲に全電流は少しく減少するが、 $R_0 + R_1$ の増加は R_2 に比し少い爲に可動線輪に分歧する電流の割合を増し、結局 m に通る電流を一定にするのである。マンガニン抵抗 R_3 を加へることは、結局端子間の全抵抗の増加率を適當に減少するに外ならないのである。之を數式で説明すれば、端子電壓を E とし、 i を可動線輪 m に通る電流とすれば、或溫度に於て

$$i = \frac{E}{\frac{(R_0 + R_1)R_2}{R_0 + R_1 + R_2} + R_3} \times \frac{R_2}{R_0 + R_1 + R_2}$$

$$= \frac{E}{R_0 + R_1 + (R_0 + R_1 + R_2) \frac{R_3}{R_2}}$$

$$= \frac{E}{R_0 + R_1 + R_3 + (R_0 + R_1) \frac{R_3}{R_2}} \quad (8)$$

此温度より t 度上昇した場合に同一電流が m に流れたとすれば同様に

$$i = \frac{E}{R_0(1+at) + R_1 + R_3 + \frac{R_0(1+at)}{R_2} R_3 + \frac{R_1 R_3}{R_2(1+at)}} \quad (9)$$

但 a は銅の温度係数である。

(8) 式と (9) 式と相等しい爲には、其の分母は相等しくなければならぬ。

$$\text{故に } R_0 at + \frac{R_1 R_3}{R_2(1+at)} - \frac{R_1 R_3}{R_2} = 0$$

a は小さいから $\frac{1}{1+at} \approx 1-at$ とすれば、此の條件は次の様になる。

$$R_0 at - \frac{R_1 R_3}{R_2} at = 0$$

$$\therefore R_0 R_2 = R_1 R_3 \quad (10)$$

即ち斯様な條件に於て可動線輪の電流を温度に無關係に一定に保つことが出来るのである。

然し乍ら温度の影響は尙此の外にも存在する。一般に温度が上れば耐久磁石の強さが少しく弱くなり、又螺旋彈條の制御力が少しく弱くなるのである。但し耐久磁石の磁力の減少は攝氏1度に付約0.02%内外、螺旋彈條の制御力の減少は約0.04%内外であるが、此の二つは夫々傾斜廻轉力と制御廻轉力とを弱くし相殺する様に働くから、結局特に精密を要する場合の外は、實用上温度の影響に對し更正を要しない。

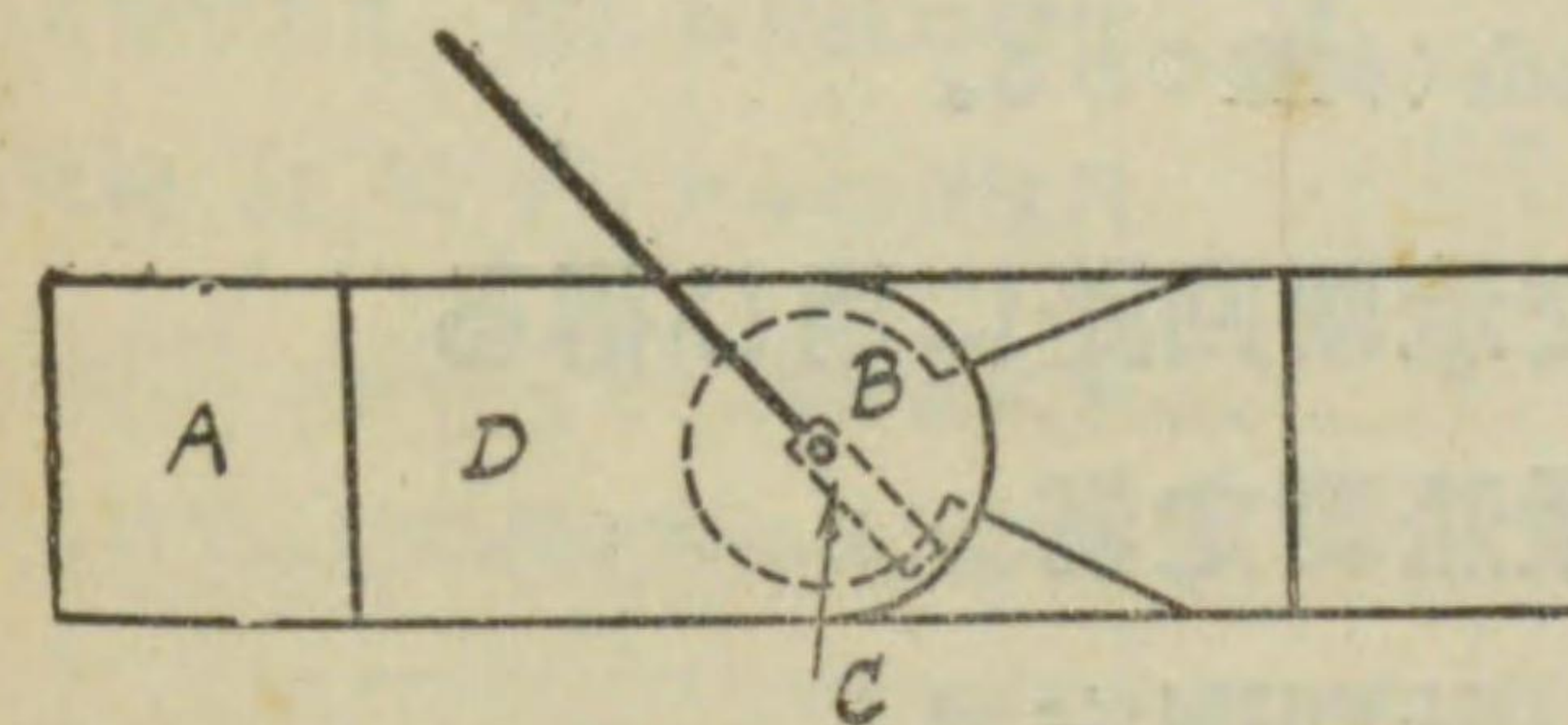
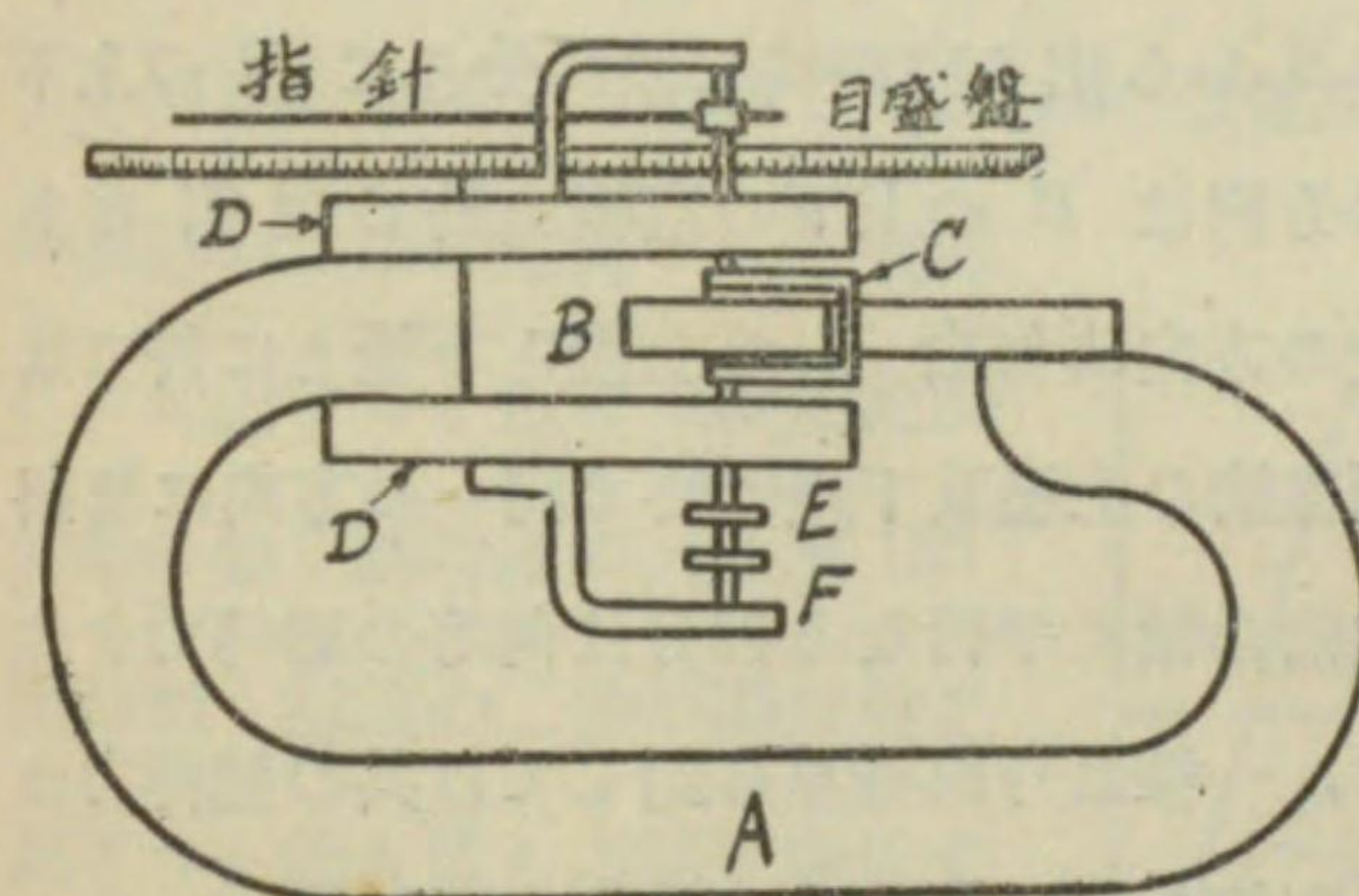
外部磁界の影響は空隙に於ける磁界が充分強いから、地球磁界の様な弱

い磁界の影響は殆んど之を閑却して差支がない。然し乍ら發電機の附近とか、大なる直流を通じて居る導體の附近などに近づけると、強い外部磁界の爲に指度に誤差を生ずる。同様の理由に依り、二つの計器を餘りに接近して置くと、誤差を生ずる場合があるので、使用に當つて注意を拂ふ必要がある。又大なる電流を測る場合には、接続電線の電流に依り計器の部分に磁界を生じない様電線の配置に注意を要するのである。

95. 圓目盛計器 (circscale instrument) 前節

の可動線輪型計器は指針の最大傾斜角は約90度内外であるが、若し第151

第 1 5 1 圖



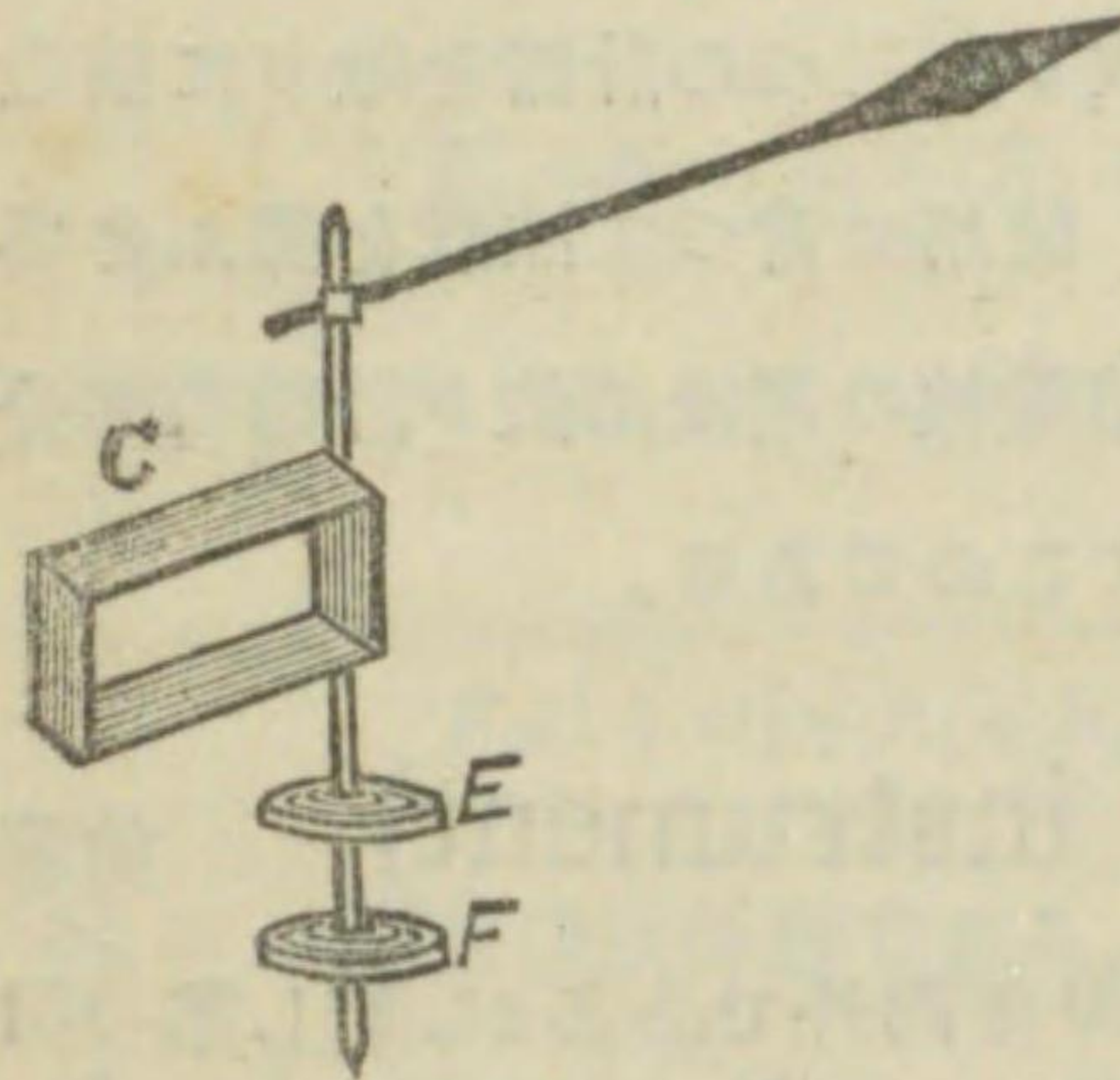
レコード圓目盛可動線輪型計器

圖に示す様な構造とすれば、指針の傾斜角を約300度位迄擴げることが出来るから、同一の測定範圍のものでは感度は約3倍に増加し、同一の感度のものでは測定範圍を約3倍にすることが出来る。斯様な計器は英國レコード電氣計器會社 (Record Electric Instrument Co.) に於て製作して居る。第151圖に於てA

はC形の耐久磁石で其の一方の極にBなる圓形の軟鐵極片を取付け、他の極には二個の軟鐵極片DDを取付け、Bの上下に於て空隙を隔て、相

對峙せしめてある。C は可動線輪で第 152 圖に示す如く、其の一側に於

第 152 圖



レコード計器の可動部分

て B の中心を通る軸に取付けられ B の半径を掩ひ B と D との間の空隙で B の周囲約 300 度の角度を廻轉し得る様に装置せられてある。E 及 F は二個の螺旋彈條で之に依り可動線輪に電流を導くと共に制御廻轉力を生ぜしむるものである。

此の計器に於ては、空隙に於ける磁束分布は前節の計器と異なり、B から出る磁束は二つに分れて B の上下の軟鐵極片に向ふ。故に磁界の方向は B の上下の空隙に於て反對である。而して可動線輪に通る電流の方向は勿論 C の上邊と下邊とに於て反對の方向であるから、但し可動線輪の上邊及下邊に於て同一の方向に傾斜廻轉力が働く譯である。可動線輪の軸に平行なる部分は何等の廻轉力を生じない。故に此の計器に於ては、一樣な外部磁界に對しては其の廻轉力は反對となり、此爲に外部磁界の影響を受くることがない。

制動装置は可動線輪型計器と全く同様である。

第二 直流及交流兩回路に用ひ得る 電壓及電流測定器

(イ) 電流力計型測定器

(electrodynamometer type instrument)

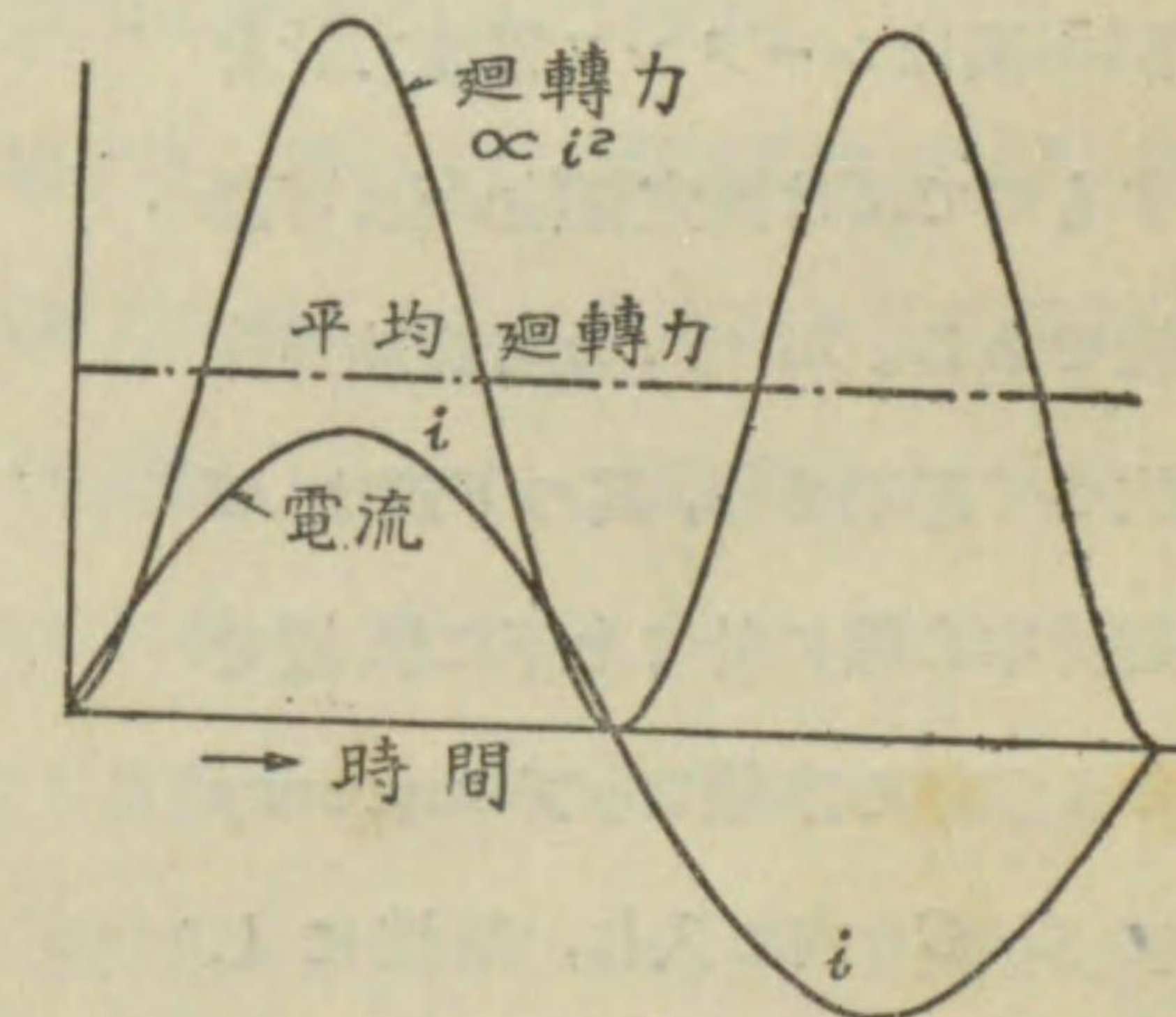
96. 電流力計型測定器

電流力計型測定器は電流と電流と

の間に働く力を利用するものである。若し二つの平行せる導體に同一方向に電流が流れる時は二導體間に吸引力が働き、電流の方向が反對の時は拒斥力が働く。而して此の力は二導體に流るゝ電流の相乗積に比例するものである。若し二つの電流が相等しければ此の力は電流の自乗に比例する。故に此の型の電流又は電壓測定器に於ては電流の自乗又は電壓の自乗に比例する廻轉力を生ずるもので、電壓又は電流の方向が反對となつても廻轉力の方向には變りがない。何となれば廻轉力を生ずる二導體の電流の方向が同時に反對となるからである。従つて此の型の測定器を交流回路に用ひても廻轉力の方向は常に一定方向であつて、交流の場合に於ては電流の實効値の自乗に比例するものである。例へば電流測定器の場合に就て云へば、瞬時廻轉力は瞬時電流 i の自乗即

第 153 圖

i^2 に比例する。故に交流電流測定器に働く瞬時廻轉力は第 153 圖の如く電流の二倍の周波數を以て 0 と最大値との間を變化するのである。然し乍ら此の變化は例へば 50 サイクルの交流回路では一秒間に 100 回繰返さるゝので、結局測定器には其の平



電流力計型計器の廻轉力變化

註 瞬時廻轉力 $\delta = ki^2$
 平均廻轉力 $D = \frac{1}{T} \int_0^T ki^2 dt = k \left[\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt \right] = kI^2 = k \frac{I_m^2}{2}$ 但 $T = \text{周期}$
 電流實効値 $I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \text{瞬時値の自乗の平均の平方根} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$
 (正弦波電流の場合)

均の廻轉力が働くこととなる。然るに瞬時廻轉力は i^2 に比例するから、平均廻轉力は瞬時電流の自乗の平均に比例する。故に平均廻轉力は瞬時電流の自乗の平均即ち實効値の自乗に比例するのである。(前頁の脚註を見よ)

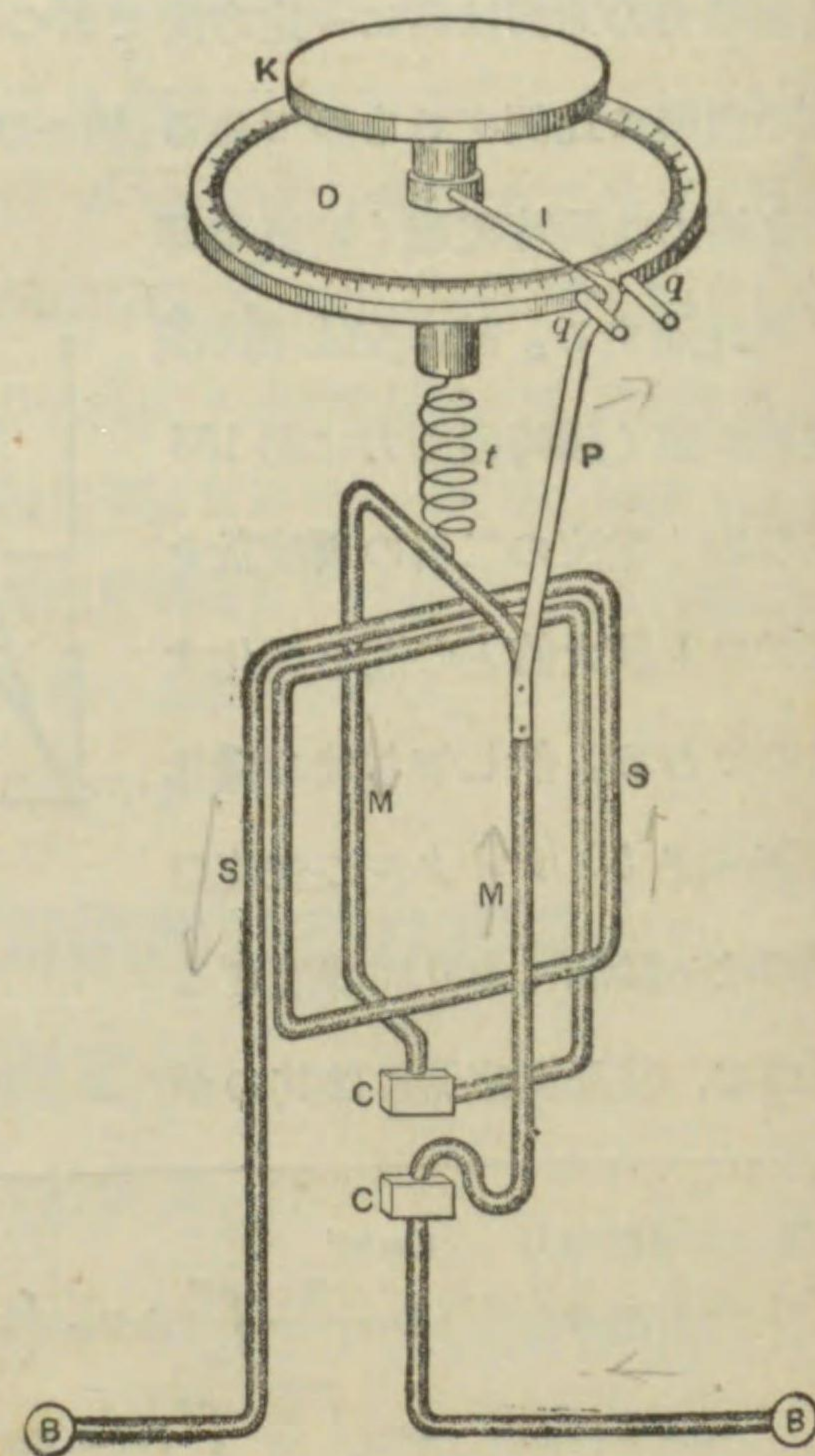
上述の理由に依り此の種の測定器は直流回路及交流回路の何れにも使用し得るのである。

此の型の測定器には普通の電流計及電圧計の外、實驗所等に於て用ひらるゝ電流力計、アムペア衡等がある。之等は餘り一般的でないから簡単に之を説明しよう。

97. 電流力計 (electrodynamometer)

第154圖はシーメンス電流力計を示すもので、 S は固定線輪、 M は可動線輪である。 M は t なる螺旋彈條に依つて懸垂され、其の下部は M の廻轉中心軸に於て上下に装置せらるゝ二個の水銀コップ (mercury cup) C, C に入れ、斯様にして可動線輪は水銀に依り固定線輪と直列に電氣的に接続せられると共に、水銀コップ内で自由に廻轉し得る様になつて居る。螺旋彈條 t は捻頭 (torsion head) K に

第 1 5 4 圖



シーメンス電流力計

取付けられ、捻頭を振ることに依り、可動線輪の一定位置に於て、制御廻轉力を任意に變へることが出来る。捻頭 K には I なる指針が取付けられ、之に對し 360 度に目盛られた目盛盤 D がある。又可動線輪 M にも P なる指針が取付けられて目盛盤 D に對し、其の兩側にある q, q の間に於て動き得る様になつて居る。此の測定器では固定線輪 S と可動線輪 M とが互に直角をなす位置に於て電流を測定するもので、此の場合の傾斜廻轉力は、單に固定線輪と可動線輪とに流るゝ電流の相乗積、即圖の如く兩線輪が直列に接続せらるゝ時には、其の電流の自乗に正比例するものである。兩線輪が互に直角なる位置は恰度 P なる指針が目盛盤の零を指示する場合である。電流力計の電流が零の時には、捻頭 K の指針 I が零を指す時、指針 P も目盛の零を指示する様に調整せられて居る。

今 I なる電流を圖示の方向に通すと、同一方向の電流間には吸引力が働き、反對の方向の電流間には拒斥力が働くから、上方から見て可動線輪には之を反時計式に廻轉せしむべき廻轉力が働き、可動線輪 M は反時計式に動き、指針 P は前面から見て右に動く。但し M の動く範圍は q, q に依つて制限せられて居る。茲に於て捻頭 K を時計式の方向に捻廻して制御廻轉力を生ぜしめ、指針 P を零目盛に復せしむる迄 K を廻す。此の場合に K を捻廻した角度は指針 I の示す度盛 θ であつて、制御廻轉力は θ に比例し、此の制御廻轉力は丁度 S と M とが互に直角なる位置に於て生ずる傾斜廻轉力に等しく、兩廻轉力は相平衡する譯である。然るに此の傾斜廻轉力は I^2 に比例するから

$$k_1 I^2 = k_2 \theta$$

$$\therefore I = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}} \sqrt{\theta} = K\sqrt{\theta} \quad \text{但し } K = \sqrt{\frac{k_2}{k_1}}$$

即ち電流 I は捻頭 K を廻した角の平方根に比例するのである。 K なる定数は既知電流を通じ測定を行ふことに依り、 $K = \frac{I}{\sqrt{\theta}}$ なる関係から豫め之を決定することが出来るのである。

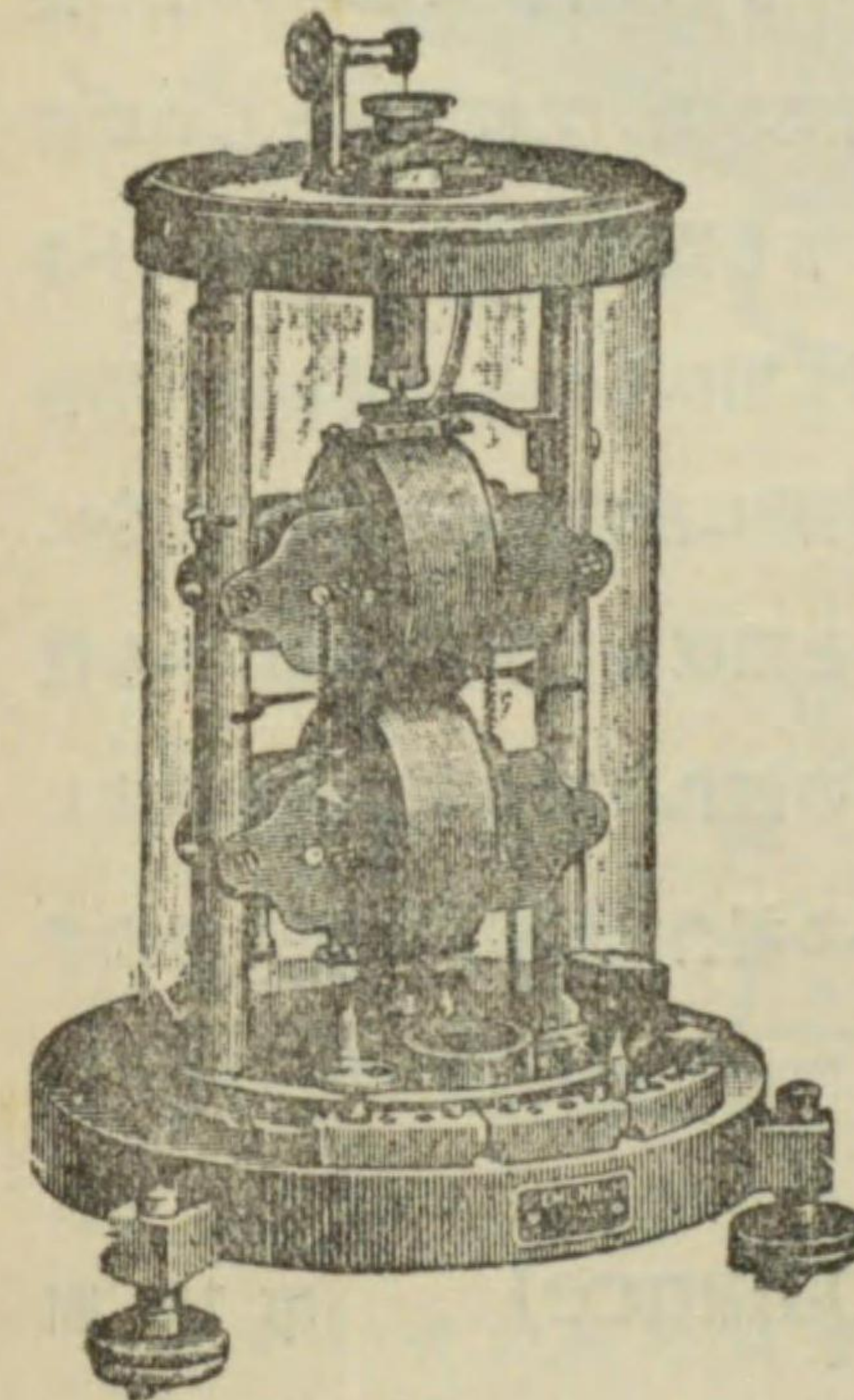
電流計の傾斜廻轉力は I^2 に比例するから、前述の如く直流回路及交流回路に同様に使用し得るもので、既知の直流を通じて豫め定数 K を決定し、次に未知交流を通じて M を S と直角ならしむべき捻頭の回轉角 θ を測定すれば、 $I = K\sqrt{\theta}$ に依り交流の値を決定することが出来る。

電流計使用に際して注意すべきは外部磁界の影響である。他の電流又は磁石に因る外部磁界が無い場合にも地球磁界は常に存在する。而も固定線輪に依る磁界は、可動線輪型計器の耐久磁石の磁界の如く強くないから直流に用ひる場合には地球磁界の爲に M に廻轉力を生じない様に、電流計の位置を定むる必要がある。此の爲には固定線輪 S の面を略々南北の方向詳しく云へば磁氣子午線 (magnetic meridian) の方向に置けばよい。何となれば此の場合には、地球磁界の方向は M の面に垂直であるから、地球磁界と M の電流とに依る力は、 M の平面に於て電流の方向に直角に働き、 M を廣げ又は縮めやうとするに過ぎない。故に M を廻轉せしむべき何等の廻轉力を生じないからである。斯様にして地球磁界の影響は除き得るが、附近の電流又は磁石に因る外部磁界が存在すれば、其の方向に依り此の外部磁界と M の電流とに依る廻轉力は、或は S と M との間の廻轉力と同方向であり、或は之と反対方向に生じて誤差を生ずるのを

免れないから、之等の外部磁界を生ずることがない様に注意せねばならぬ。但し交流の場合には、 M の電流の方向は絶えず交番するから、一定方向の外部磁界は何等の影響を有しないが、同一周波数を以て交番する交番磁界が存在すれば、同様に誤差を生ずるに至るから、注意を要するのである。

第154圖と同一の原理で、外部磁界の影響、殊に地球磁界の影響を除き

第 1 5 5 圖



無 定 位 電 流 計

如何なる位置でも使用し得る無定位電流計 (astatic electro-dynamometer) なるものがある。第155圖は其の構造を示すもので、二組の固定線輪及可動線輪があつて、之を上下に装置し、上部にあるものと下部にあるものとを、電流の方向が反対となる様に接続するのである。此の構造に依れば上部と下部とに於て、固定線輪及可動線輪間の廻轉力の方向は同一の方向で相加はるが、地球磁界の様な一定の外部磁界の可動線輪に及ぼす廻轉力は、上下に於

て相等しく且反対の方向である爲に相殺せられて、外部磁界の影響は全く除外せられるのである。

電流計は元來電流を測定する爲に作られたものであるが、若し兩線輪に細い針金を用ひ捲数を多くし、之に適當な直列抵抗を接続すれば、直交流兩用の電壓測定器として用ひることが出来る。何となれば此の場合に電流

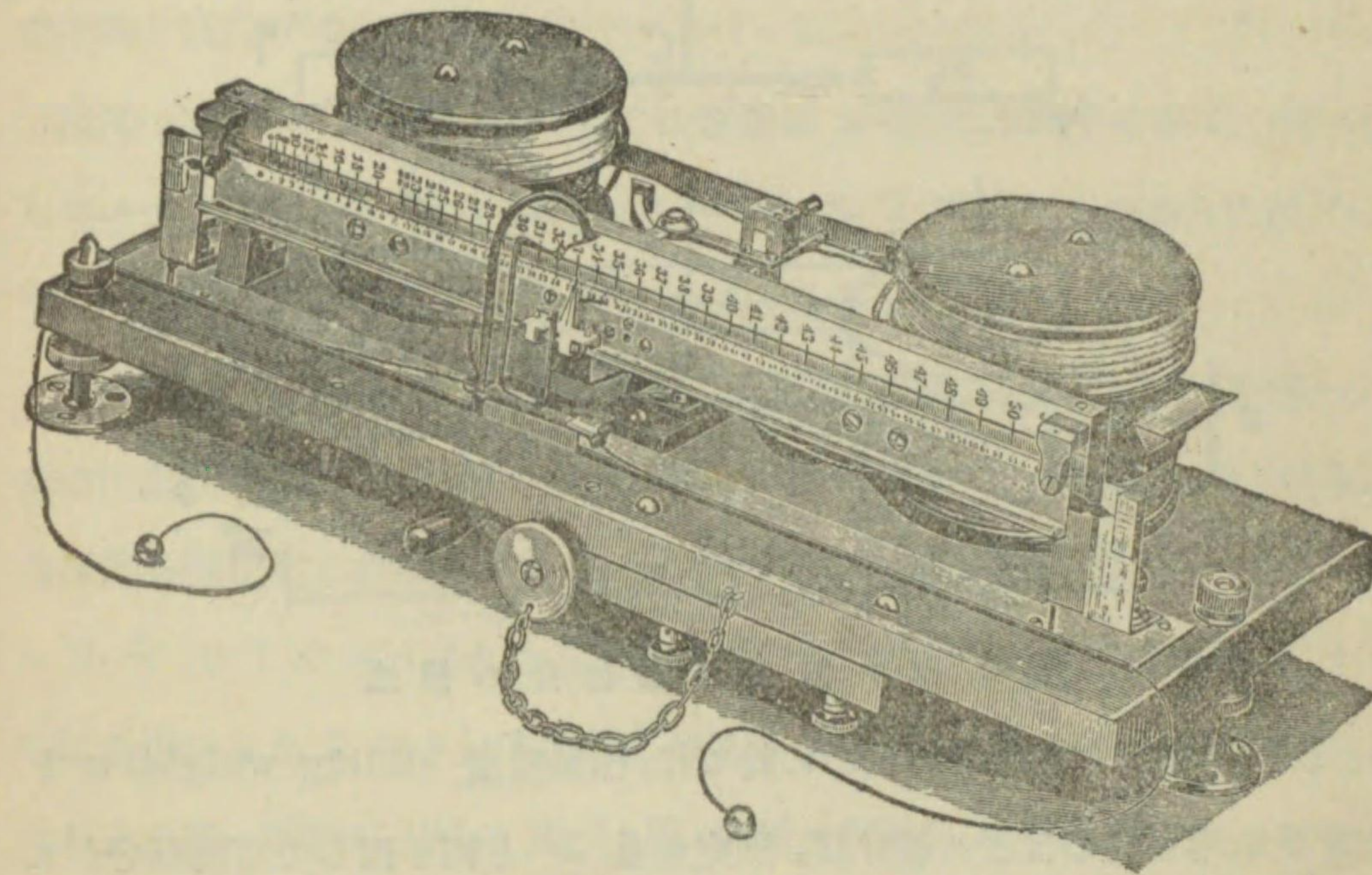
力計に通る電流は電圧に比例するからである。又固定線輪に太い線を用ひ回路の電流を通し、可動線輪は固定線輪と分離して細い線で捲数を多くし、適当な直列抵抗を接続し回路の電圧を與へ、之に電圧に比例する電流を通すやうにすれば、可動線輪に働く廻轉力は電圧と電流との相乗積に比例することとなり、結局直交流兩用電力計として用ひることが出来る。此のことに就ては次章に詳しく説明する。

電流計其ものは現今では餘り用ひられない。蓋し同一の原理に依る便利な電圧計、電流計、電力計等が發達した爲である。又標準用としては更に精密なるアムペア衡が發達して居る。併し乍ら實驗室に於て極めて小さい交流を測定する場合に甚だ便利なものとして用ひられる。但し此の場合には捻頭を用ひないで、可動線輪は檢流計と同様に懸垂せられ、可動部分に小さい鏡を附し、檢流計と同様尺度上に光點を結ばしめ光點の振れから電流を測定するので、豫め既知直流を以て種々の振れに對する定數を決定して置くのである。但交流用檢流器として用ひる場合には此の定數を見出す必要はない。

98. アムペア衡 (ampere-balance) 第 156 圖

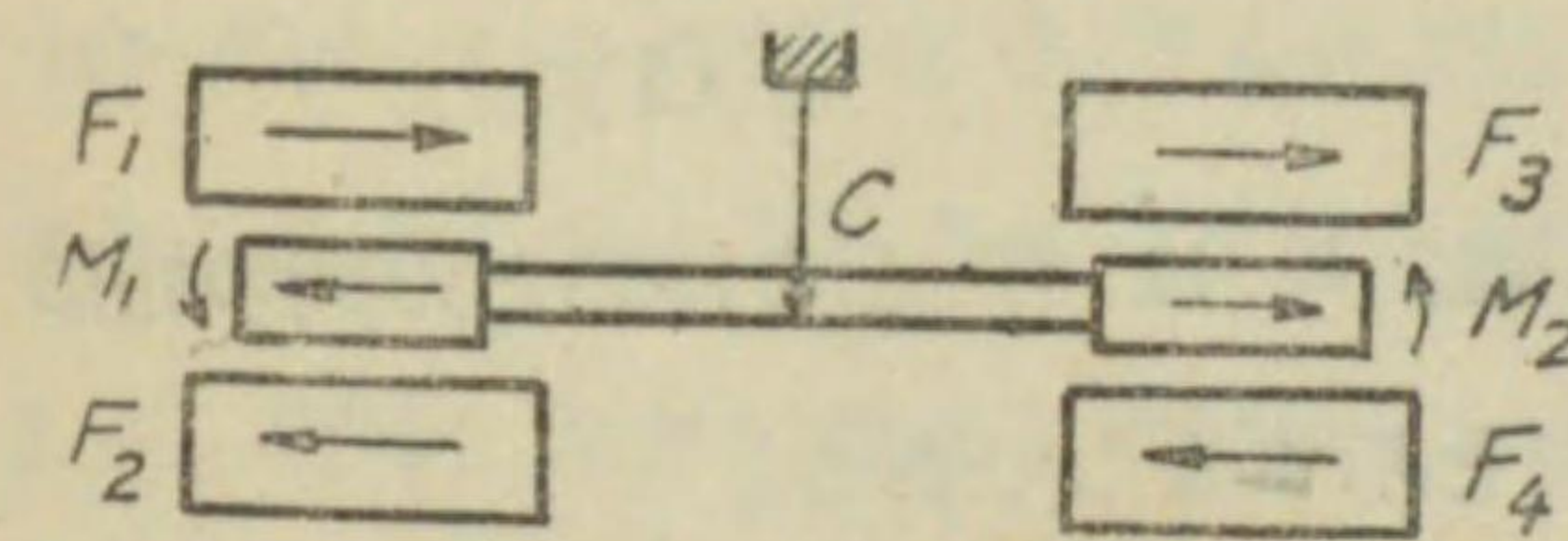
はケルヴィン・アムペア衡 (Kelvin ampere-balance) を示すもので、第 157 圖は其の原理を示す。圖に於て $F_1, F_2, F_3,$ 及 F_4 は固定線輪で、 F_1 と F_2, F_3 と F_4 とは夫々左右に於て上下に相對せしめてある。 M_1 及 M_2 は可動線輪で機械的に連結せられ、 M_1 は F_1 と F_2 との間、 M_2 は F_3 と F_4 との間にある様に其の中點 C で懸垂せられる。之等六箇の線輪は總て直列に接続せられ、其の電流の方向は第 157 圖の如くなる様

第 1 5 6 圖



ケルヴィン・アムペア衡

第 1 5 7 圖



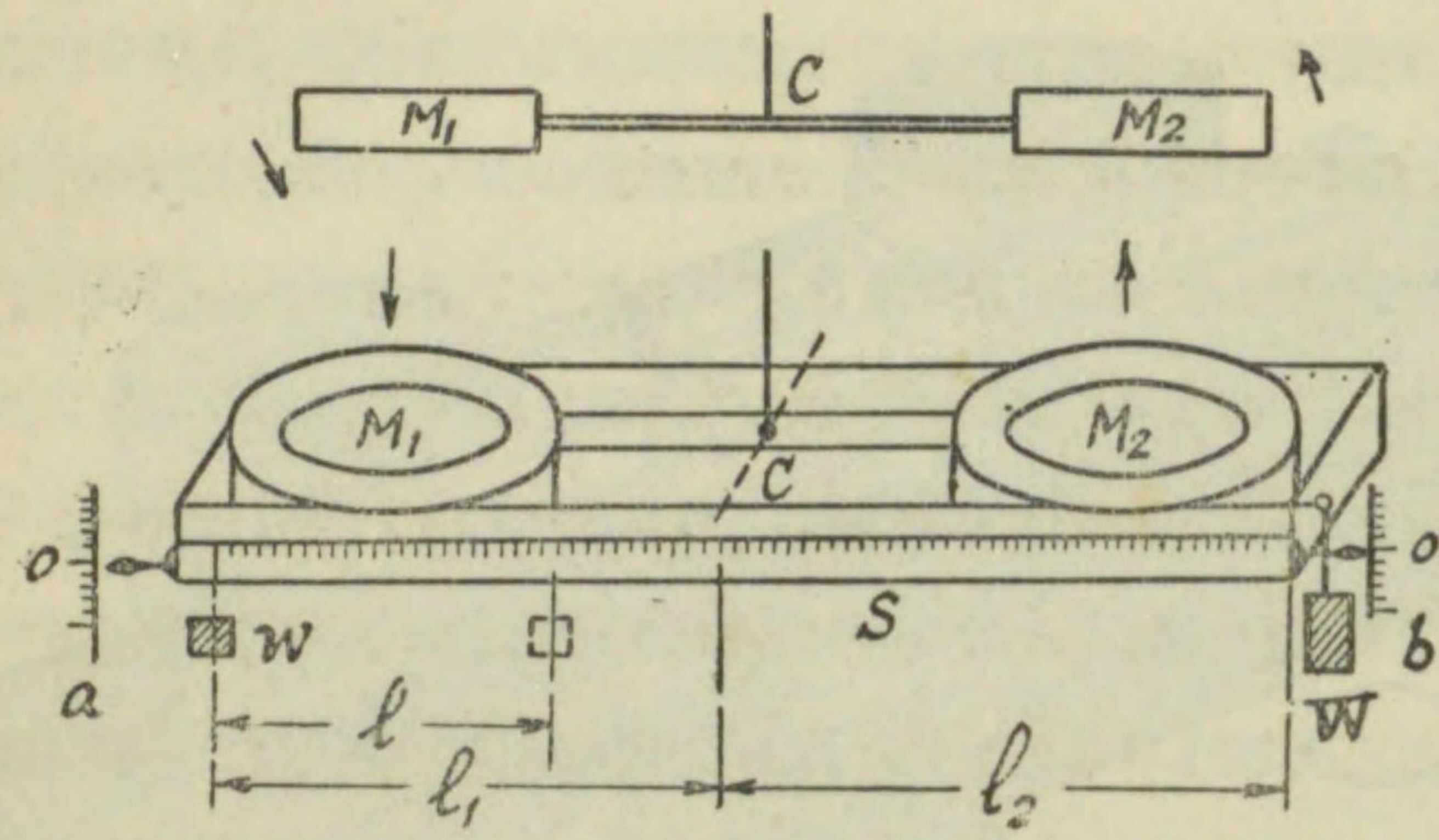
アムペア衡の原理

にする。故に M_1 は F_2 に依り吸引せられ、 F_1 に依り拒斥せられ、又 M_2 は F_3 に依り吸引せられ、 F_4 に依り拒斥せられて、結局 M_1 を下に下げ、 M_2

を上にする様な力が働き、 C を中心として可動部分を反時計式に傾けやうとする廻轉力が働くのである。

第 158 圖はアムペア衡可動部分の構造を示すものである。即可動部分には S なる水平尺度が取付けられ、其の両端に垂直尺度 a, b に對する指針を附してある。若し兩指針が垂直尺度 a, b の零を指して居れば可動部分は水平で M_1 及 M_2 は丁度固定線輪の間にあることを示すものであ

第 1 5 8 圖



アムペア衡の可動部分の構造

る。線輪に電流を通さない初めに於ては、摺動重量 (sliding weight) w を尺度 S の零目盛の位置に置けば、固定重量 W と相平衡して可動部分が水平になる様に調整せられて居る。故に若し此の場合に M_1 及 M_2 竝に之を支持する部分の重さが支點 C に對し平衡して居るものとすれば

$$\vec{w}l_1 = \vec{W}l_2 \quad (1)$$

但し l_1 は w と支持點との間の距離、 l_2 は W と支持點との間の距離である。(1)式の矢印は廻轉力の方向を示すものである。

次に I なる電流を通すと、可動線輪には反時計式の廻轉力が働くから、 w を適當な距離丈右方に動かせば、可動部分を水平に復せしむることが出来る。此の場合に w を動かした距離を l とすれば、可動部分の水平位置に於て電流に依り働く廻轉力は電流の自乗に正比例するから

$$kI^2 + w(l_1 - l) = \vec{W}l_2$$

$$wl_1 = \vec{W}l_2 \text{ の関係を入れると } kI^2 = wl$$

$$\therefore I = \sqrt{\frac{w}{k}} \sqrt{T} = K\sqrt{T} \quad \text{但 } K = \frac{\sqrt{w}}{\sqrt{k}} \quad (2)$$

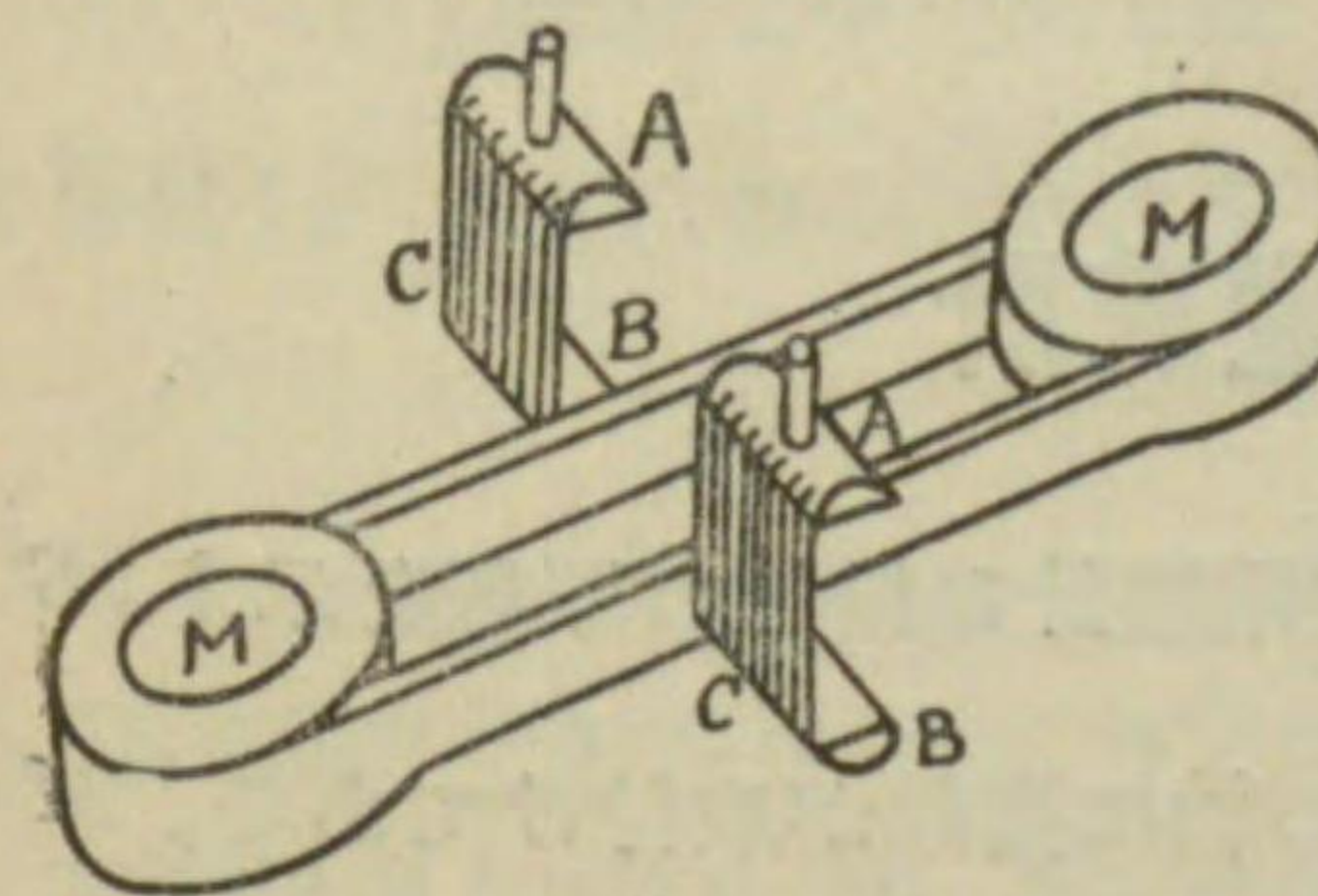
即ち電流 I は摺動重量 w の平方根及摺動重量 w を動かした距離 l の平方根に比例する。

故に一定の w 及 W に対しては電流は \sqrt{T} に比例するので、例へば 1 アムペアの場合に $l=1$ 種であるとすれば、2 アムペアの場合には $l=4$ 種、3 アムペアの場合には $l=9$ 種となる。

ケルヴィン・アムペア衡では通常同一の装置で四組の w 及 W を備へ、其の比を 1 : 4 : 16 : 64 とし、斯様にして四通りの異なつた測定範囲に用ひ得る様にしてある。 I は w の平方根に比例するから、例へば第一の w 及 W で 1 アムペアとなる摺動重量の位置に於て、第二の $4w$ 及 $4W$ の組を用ひると 2 アムペア、第三の重量 $16w$ 及 $16W$ の組を用ひると 4 アムペア、第四の $64w$ 及 $64W$ の組を用ひると 8 アムペアとなるのである。

アムペア衡は種々の測定範囲に作られる。最も小なるセンチアムペア衡では 0.01 アムペアから 1 アムペア迄を、又最大の特別キロアムペア衡と稱せられるものは 100 アムペアから 2500 アムペア迄を測定し得るものである。斯様に大きな電流を可動線輪に導く爲には、其の導線は可動部分の運動を妨ぐる様なものであつてはならぬ。電流力計に於ては水銀カップに

第 1 5 9 圖



アムペア衡のリガメント

依つて此の役目を爲したが、アムペア衡では第 159 圖に示す様に A 及 B なる金屬製半圓柱又は圓柱の表面に極めて細い多數の銅線を A の上面及 B の下面に列べて鐵着した所謂リガメント (ligament) と稱せらるゝものを用

ひるのである。リガメントは細い多数の針金から成るものであつて、従て其の断面積に對する熱の冷却面積甚だ大きく、又其の兩端に於て A 及 B なる大きな金属塊に接続せられてあるから、熱の輻射及傳導に依り温度を上昇せしむること少ない、故に同一断面積に對し一本の導體を用ふる場合より遙に大なる電流を通すことが出来る。之と同時に可動部分は極めて自由に動き得るのである。

可動部分に働く廻轉力は I^2 に比例するから、直流回路及交流回路に同様に使用せられる。又其の構造上甚だ鋭敏で、電流の副原器として用ひることが出来る。

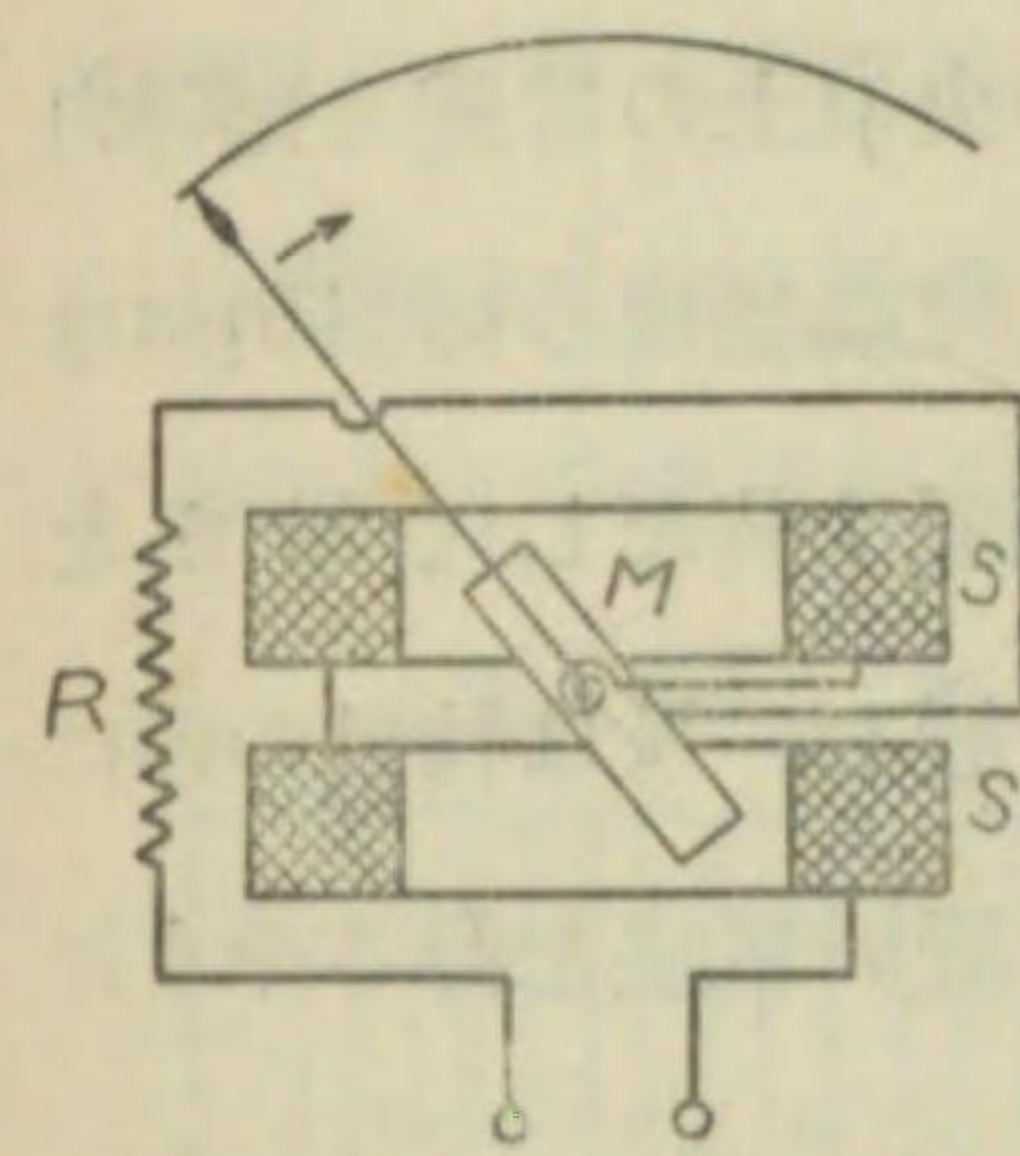
同様の構造で、線輪に細い捲數の多いものを用ひ、適當な直列抵抗を接続すれば、電壓測定器として用ひることが出来る。之を**ヴォルト衡** (volt balance) と云ふ。又固定線輪はアムペア衡と同様のものを用ひ、之に回路の電流を通じ、可動線輪は細い線の捲數の多いものを用ひ、之に適當の直列抵抗を接続して回路の電壓を與ふる様にすれば、電力測定器として用ひることが出来る。之を**ワット衡** (watt balance) と云ふ。

アムペア衡では地球磁界のやうな一定方向の外部磁界に依つては影響がない。何となれば支點の左右にある可動線輪 M_1 及 M_2 に通る電流の方向が反對であるからである。

99. 電流力計型電壓計及電流計

(イ) 電壓計 第 160 圖は電流力計型電壓計の構造の原理を示す。 S は固定線輪、 M は可動線輪であつて、 M の軸に指針が取付けてある。 M と S とは直列に接続せられ、電壓計の測定範圍に應じて適當な値の直列

第 160 圖



電流力計型電壓計の構造の原理

抵抗 R を接続すること、直流電壓計と同様である。可動線輪 M に電流を導く爲には、磷青銅の螺旋彈條を用ひ、之は同時に制御廻轉力を與へるのである。今此の電壓計に電壓を與へると、 S 及 M に電壓に比例する電流が流れ、 M に傾斜廻轉力が働く。此の傾斜廻轉力は S と M に流るゝ電流の自乗に比例し、換言すれば計器に與へらるゝ電壓の自乗に比例し、且 S と M の相互的位置に關係するものである。而して螺旋彈條の制御廻轉力は傾斜角に正比例するから、 S 及 M に流るゝ電流、或は電壓計に與へらるゝ電壓に依つて、指針の取るべき位置は定まり、従て計器に電壓の目盛を施し得るのである。計器の廻轉力は電壓の自乗に比例する許でなく、可動線輪の位置に關係のあることは既に述べた如くであるが、若し S と M に同一電流が流れて居るとすれば、圖の如く固定線輪に依つて生ずる磁界が、 M の位置に於て略々一定の方向に生ずる様な場合には、 M が S と直角な時に廻轉力が最大で、之より左右に傾くに從つて減少するものである*。故に此の型の計器では目盛は直流可動線輪型計器の場合の如く一様でなく、一目の間隔は中央部で最大であり、又廻轉力が電流の自乗に比例する關係上、目盛の初の部分は甚だ小さく、通常最大目盛の $\frac{1}{6}$ 又は $\frac{1}{5}$ 以下

*註 S の磁界が一定方向の平等磁界であれば可動線輪に働く力は電流及磁界を含む面に直角の方向であるから、可動線輪に働く廻轉力としては線輪の面に垂直な方向の分力を取らねばならぬ。故に廻轉力は M と S とが直角の位置で最大で、其の左右の位置では最大廻轉力の位置から離れた角の餘弦に比例して減少する。

は目盛を施すことが出来ない。故に此の型の計器では通常有効測定範囲としては最大目盛の約 $\frac{1}{4}$ 以上とせられて居る。又中央以上の目盛は廻轉力が電流の自乗に比例するとは云へ、中央部以上では可動線輪の傾斜角が増すに従ひ、前述の如く位置の關係に依つて一目の間隔は甚だしく増さない。(第 144 圖丙参照) 尙製作者は線輪を特別に配置し、又は特殊の形に作つて、有効測定範囲に於ては實用上殆んど平等に近い目盛を得るやうにしたものもある。

電流計型電圧計の廻轉力は電流の自乗に比例するものであるから、電流の方向が變つても同一方向の廻轉力を生じ、従て直流及交流回路に用ひることが出来る。併し乍ら電圧計として直流回路及交流回路に使用し、同一の目盛を用ひ得べき爲には電圧計は出來得る丈無誘導でなければならぬ。何となれば R を端子間の全抵抗、 L を全インダクタンスとし、直流及交流共に E なる同一電圧を與ふるものとすれば、電圧計に流るゝ電流は次の如くなり、一般に交流の場合は直流の場合より電流が少くなるからである。

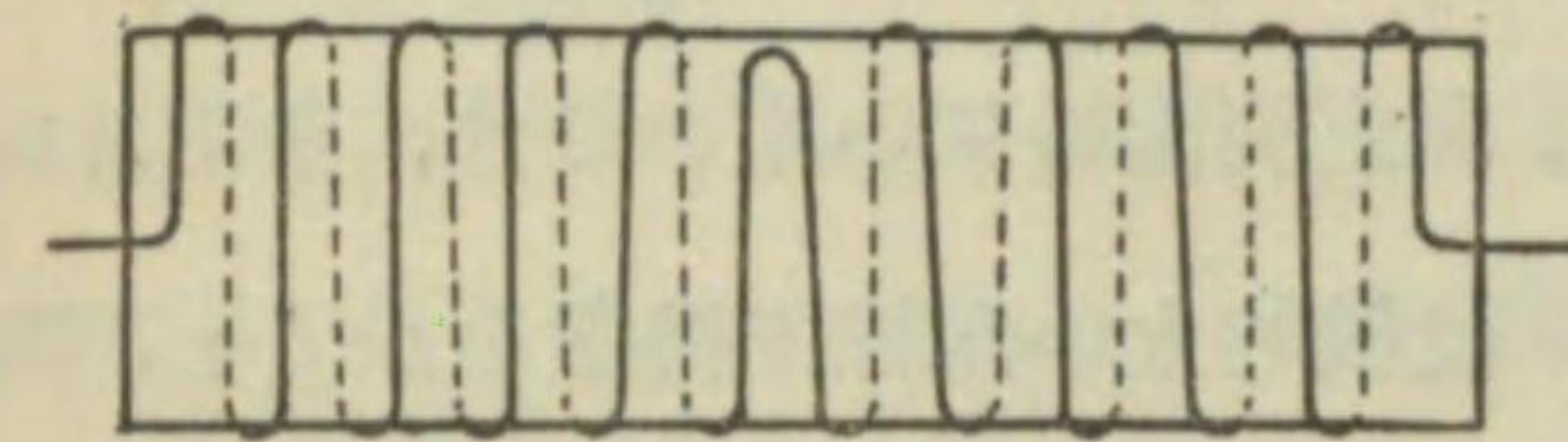
$$\text{直流の場合} \quad i_a = \frac{E}{R}$$

$$\begin{aligned} \text{交流の場合} \quad i_a &= \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} = \frac{E}{R \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi fL}{R}\right)^2}} \\ &= \frac{i_a}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi fL}{R}\right)^2}} \end{aligned}$$

但し f は交流の周波数である。故に L が相當大きければ、交流の場合の指度は直流の場合より小さくなることを免れない。故に電圧計を直流及交流回路に用ひ、同一の目盛で實用上充分なる確度を得る爲には、インダク

タンス L を抵抗 R に比し極めて小さくする必要がある。然るに充分なる廻轉力を得る爲には、固定線輪及可動線輪は夫々相當の捲数を要するから、線輪のインダクタンスは之を除外することが出来ぬ。故に直列抵抗 R に充分大なる抵抗を接続し、之を無誘導無容量にする必要がある。第 161

第 161 圖



直交流兩用電圧計の直列無誘導抵抗の構造

圖は此種の直交流兩用電圧計に使用する直列無誘導抵抗の構造の一例を示すもので、マイカナイトの薄い絶縁板に圖の如くマ

ンガニ線を捲けば、板が薄い爲に殆んど磁束を生ぜず、又普通抵抗線輪に用ひらるゝ無誘導捲の如く二本の線を列べてないから、分布せられた容量も極めて少く、實用上兩端の間は殆んど無誘導及無容量になし得るのである。

例へば 150 ヴォルト用電圧計の一例を示せば全抵抗約 2500 オーム、インダクタンスは 0.082 ヘンリー(最大)である (S と M との間の相互インダクタンスに依り、全インダクタンスは目盛の位置に依り變り、* 全インダクタンスは最大目盛に於て最大である)。故に 50 サイクルに於ける電圧計のイムピーダンスは $\sqrt{2500^2 + (2\pi \times 50 \times 0.082)^2} = 2500.13$ オームとなる。此の爲に 50 サイクルに於ける電圧計の電流 i_a は、直流の場合に比し小なること約 0.005 % であるから、實用上全く之を閉却し得るのである。

* 註 全インダクタンス L は、固定線輪のインダクタンスを L_1 、可動線輪のインダクタンスを L_2 、 S と M との間の相互インダクタンスを M とすれば

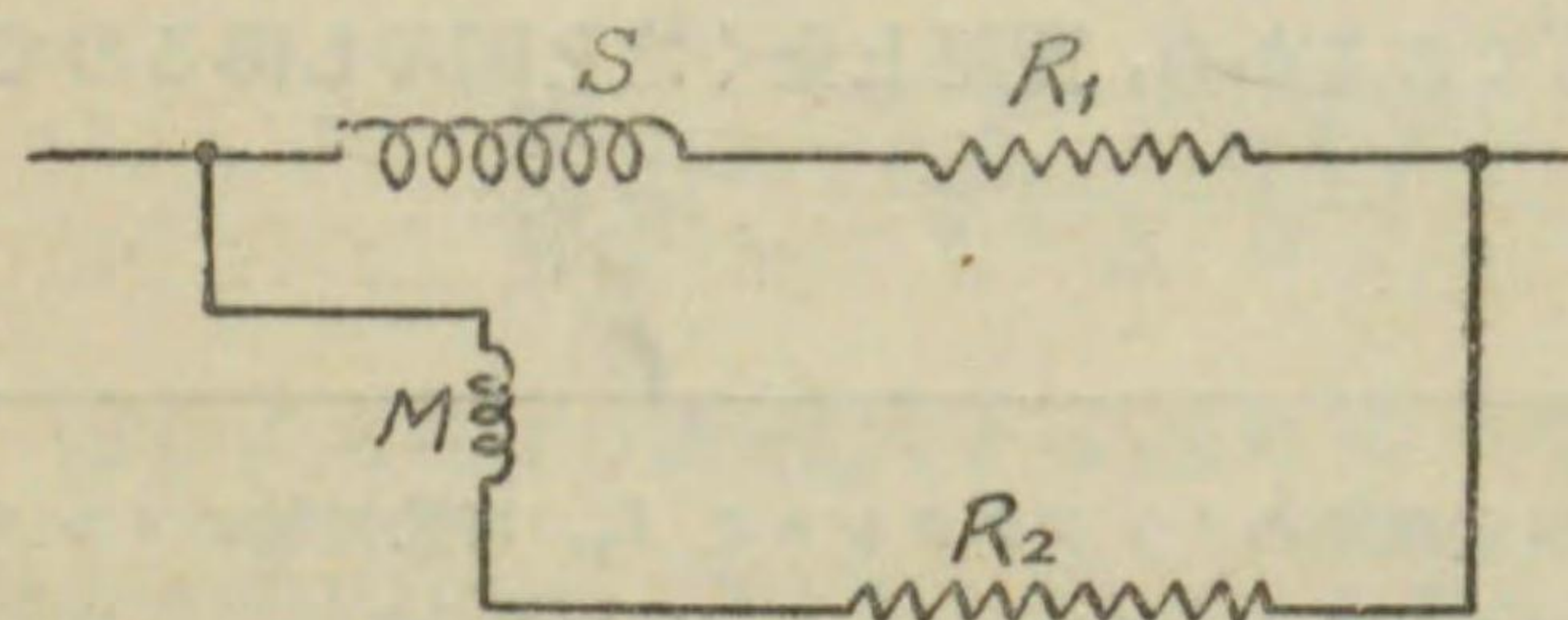
$$L = L_1 + L_2 \pm 2M$$

直列抵抗 R にマンガイン線を用ひることは、マンガインが固有抵抗大なるため許でなく、直流電圧計の場合と同様に温度係数零なるマンガイン直列抵抗を用ひて、温度の影響を之に依つて除外する爲である。例へば前例の 150 ヴォルト用電圧計に於て線輪の抵抗は約 140 オームで、全抵抗が約 2500 オームである。故に電圧計の合成温度係数は $\frac{0.4 \times 140}{2500} = 0.022\%$ となり、實用上之を無視してよい。測定範囲の低いものでは、全抵抗が少いから線輪に通す電流を多くして、比較的太い銅線で捲数を少くし、銅線の抵抗の全抵抗に対する比を少くする。此の方法は又線輪のインダクタンスを減じ、直交流兩用計器としての要求を満足せしむるのである。一例を示せば最近のウェストン電圧計に於ては次の様になつて居る。

1 ヴォルト用	2 オーム	1 ヴォルトに付	2 オーム
75 "	1180 "	"	15.7 "
150 "	3300 "	"	22 "

(ロ) 電流計 以上の電圧計の構造其の儘で 500 ミリアムペア位迄の電流計として用ひ得ることは明かである。但し此場合には勿論直列抵抗を要しない。然し乍ら可動線輪には大きい電流を通すことが出来ないから、大なる電流を測定する電流計としては特別の方法に依らねばならぬ。第 162

第 162 圖

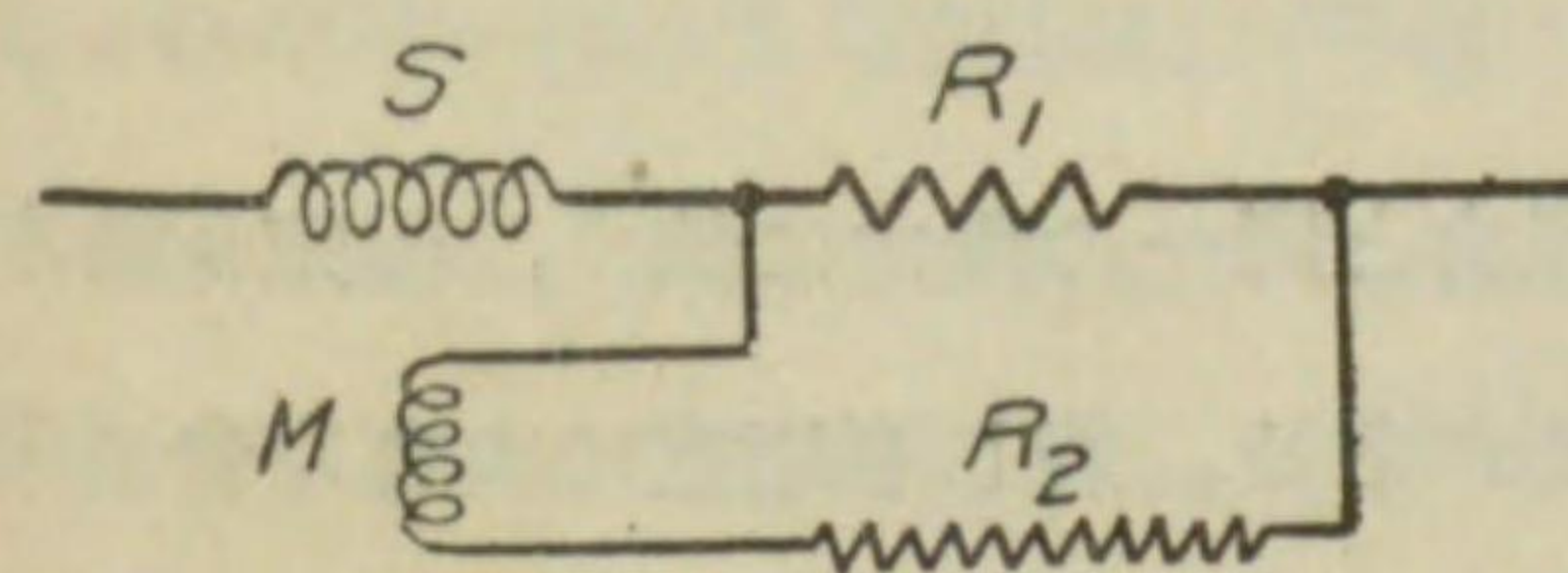


シーメンス電流計型電流計の接続

圖はシーメンス會社電流計型電流計の接続を示すもので、固定線輪 S は測定範囲に應じ適當の太さの銅線を用ひ略々同一のアムペア回数(ampere-

turns) を得る様に捲数を選び、之に R_1 なるマンガイン無誘導直列抵抗を接続する。可動線輪 M は電圧計の場合と同様のものを用ひ、之に R_2 なるマンガイン無誘導直列抵抗を接続し、固定線輪回路と可動線輪回路とを並列に接続するのである。但し構造上は S と M との配置は第 160 圖の電圧計の場合と同様である。斯様にして S 及 M には夫々回路の全電流に比例する電流が流れ、結局 M に働く廻轉力は回路の電流の自乗に正比例することゝなるのである。直交流兩用電流計として何れの場合にも正確な指示を爲す爲には、直流の場合と交流の場合とに於て S と M に通る電流の割合が不變でなければならぬ。此の爲には S 回路と M 回路との時係数 (time constant) 即ち L と R との比を同一にすればよい。又温度に依る誤差を除く爲には、温度が變つても S と M との電流の割合が一定であればよい。此の爲には S と R_1 との合成温度係数が、 M と R_2 との合成温度係수에等しい様に調整せらるればよい。然し乍ら此の二つの條件を同時に満足せしむることは實際上困難なことであるから、之等の影響を實用上閉却し得る程度に止むるのである。之が爲に一般に電流計型電流計の電壓降下は、他の型の電流計に比し割合に大きく設計せられて居る。従て實驗用としては適當であるが、配電盤用計器としては不適當である。

第 163 圖



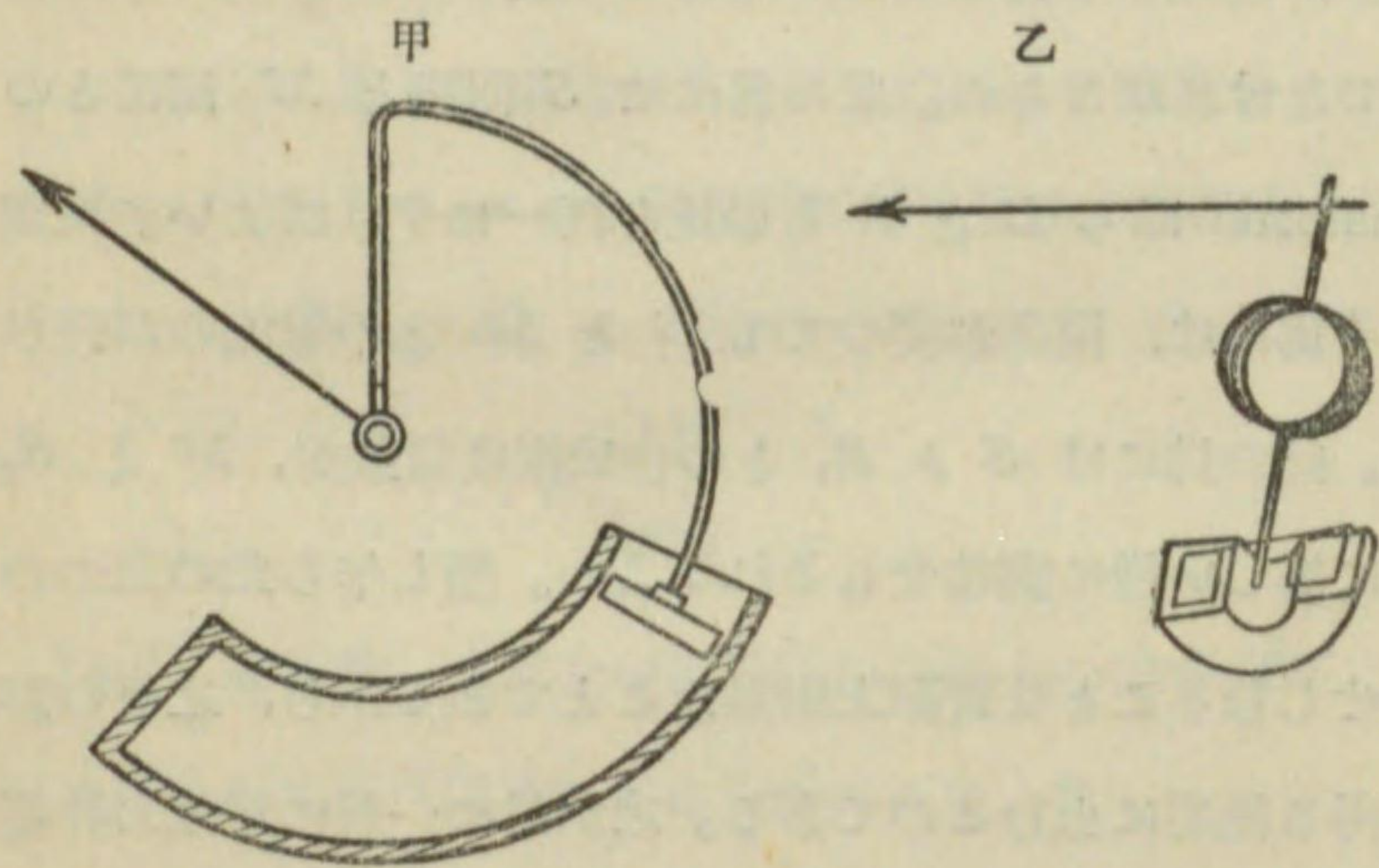
電流計型電流計の接続

電流計型電流計に於て第 163 圖の如く接続し、固定線輪 S に全電流を通じ、可動線輪回路は R_1 と並列に接続する方法を取る場合がある。此の場合には R_2 は相當

大なるマンガイン無誘導抵抗を用ひ、可動線輪其のものゝ抵抗及インダクタンスを R_2 に比し極めて小さくすれば、同様の目的を達することが出来る。

電流計型計器の如く交流回路にも用ひる計器の制動装置は、直流計器の如く可動線輪を金屬棒に捲く方法を用ひることが出来ない。何となれば金屬棒の制動装置を有するものを交流回路に使用すれば、金屬棒内に常に渦流を誘起し、之が爲に誤差を生ずるに至るからである。第164圖は電流計

第 1 6 4 圖



シーメンス制動装置

ウェストン制動装置

計型に用ひらるゝ制動装置で、甲はシーメンス計器に用ひらるゝ空筒制動装置、乙はウェストン計器に用ひらるゝ空函制動装置で、何れも可動部分にアルミニウム翼を附し、指針の運動に連れ之を空筒又は空函内に運動せしめ、之に對する空氣の抵抗に依つて制動作用を生ぜしむるのである。

金屬棒を制動装置として用ひない理由と同一の理由に依り、固定線輪も亦金屬棒の上に捲くことを避ける必要がある。若し不用意に大きな金屬棒を用ひると、渦流の影響に依り直流と交流との指度が異なるのみでなく、交流回路に於ても周波数が變ると相當の誤差を生ずるに至るものである。

良設計の計器で上記の注意を以て作られたものは、交流の波形及普通の周波数の範圍(例へば 100 サイクル以下)では、其の誤差は實用上之を閉却し得るのである。故に線輪に依つて生ずる磁界内に金屬部分を置く必要がある場合には適當な切り目を設けて渦流の發生を少くする必要がある。

電流計型計器の特性として特筆すべきは外部磁界の影響である。直流計器として用ひる場合には固定線輪の作る磁界が弱い爲、直流可動線輪型計器では考慮する必要のなかつた地球磁界の影響も相當大きく現はれて來る。此の影響は可動線輪に通る電流の方向と可動線輪と地球磁界の方向との關係に依つて異り、電流の方向に依り或は指度を減じ或は指度を増加する。地球磁界の影響を除外する爲には、電流の方向を變へて二回の測定を行ひ、其の平均を取るのである。斯様にすれば初めの場合に地球磁界に依る廻轉力が電流力に依る廻轉力に相加はるとすれば、第二の場合には其の方向が反對となり、從て其の平均値に於て大體此の影響が相殺せらるゝことになるのである。交流に用ひる場合には地球磁界の如き一定方向の外部磁界の影響はないが、同一周波数の交番磁界の影響は相當大きいから、斯様な漏磁界を生じない様に計器へ接続すべき導線の配置に注意すると共に他の計器と餘り接近して使用しない様にする必要がある。

外部磁界の影響を實用上閉却し得る様にする爲に、近年ウェストン會社其他に於て固定線輪及可動線輪の外側に環狀の薄鐵板を重ね合せた遮磁装置を用ひて居る。斯様にすれば外部磁界は殆んど働作部分に入ることがないから、外部磁界の影響は殆んど除外せられるのである。

電流計型計器は直流及交流兩用であるが、直流計器としては直流可動線輪型計器に比して多少劣つて居る。之れは相當廻轉力を得る爲には、直

流計器より大なる電流を要し、又電流計の場合には直列抵抗を有する爲に電圧降下を多くする必要があり、従て内部損失が多い。又其の目盛は平等目盛でないから有効測定範囲が小さい。尙特に遮磁装置を施さない計器では、外部磁界の影響が大きいからである。然し乍ら其の目盛を豫め直流を以て例へば電位差計に依り校正試験を行ひ、種々の目盛に對する更正值を見出して置けば、之を交流の實用標準器として用ふるに極めて適當である。斯様な性質を有する計器を轉位計器 (transfer instrument) と云ふ。蓋し直流を以て更正し、之を交流に轉用し得るの謂である。

(ロ) 電熱型測定器 (electro-thermal type)

100. 電熱型測定器の種類

電線に電流を通すと、

電線は其の電流に依つて熱せられる。此の電流に依る熱は電流の自乗に比例するもので、直流でも交流でも同一である。電熱型測定器として利用せられるものに二種類ある。第一は熱線型 (hot-wire type) と稱せられるもので、計器に装置せらるゝ合金の熱線があつて之に流るゝ電流の爲に加熱せられ、熱線の長さが伸長するから、此の線の伸長を利用し、適當なる方法で之を指針に傳へ、指針を動かすものである。第二は熱起電力型とも稱すべきもので、電流に依つて生ずる熱に依り熱電對を熱し、之に生ずる熱起電力を利用し、直流可動線輪型計器を動作せしむるものである。

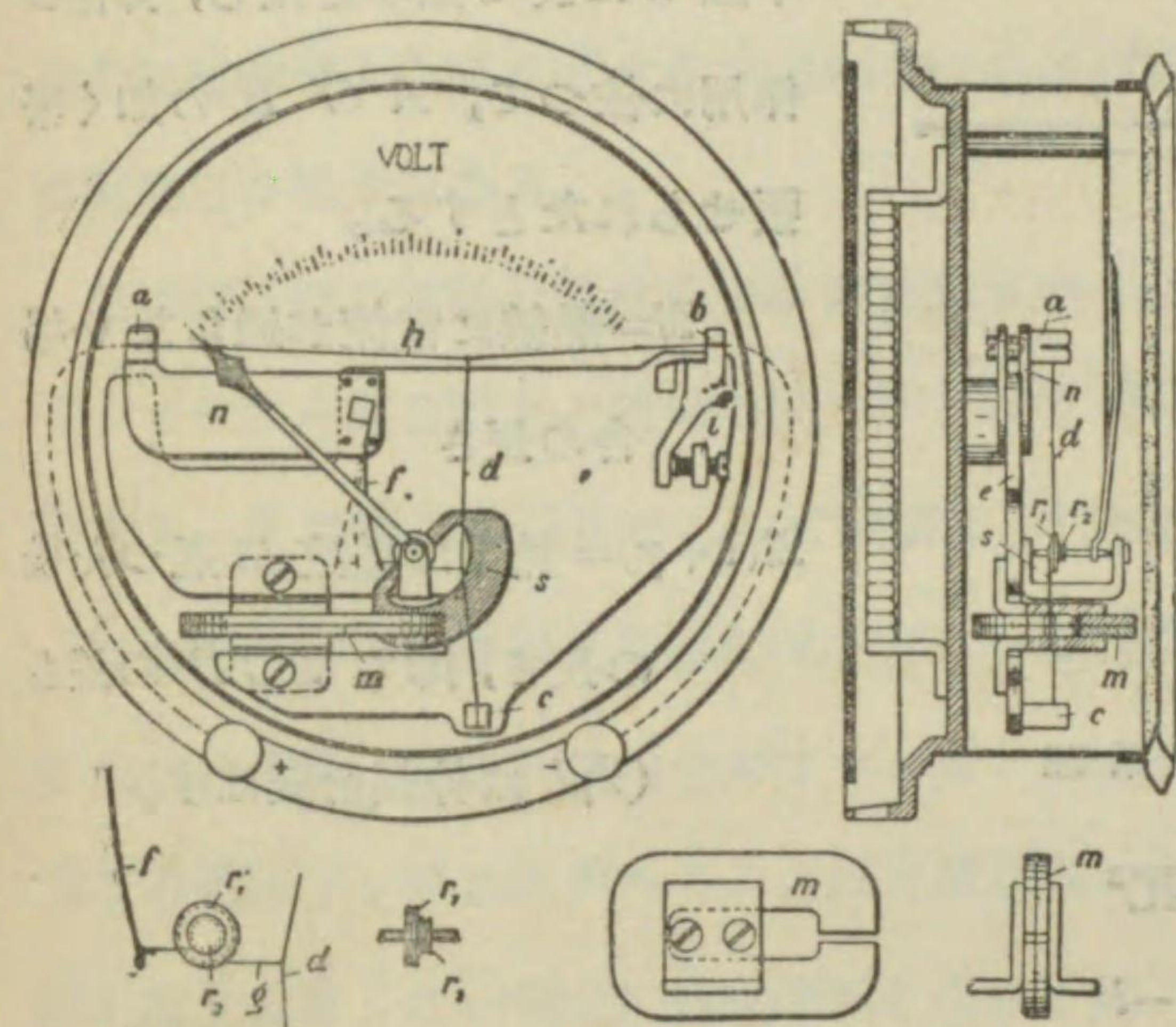
何れの型に於ても電流に依つて生ずる熱は電流の自乗に比例するから、直流回路及交流回路に同様に用ひ得るものである。但し其の目盛は電流の自乗に比例する熱の作用を利用するから、直流計器の如く平等目盛を得る

ことが出来ない。目盛の幅は全目盛に近づくに従ひ廣くなる。

101. 熱線型電壓計及電流計 (hot wire type)

第165圖は獨國ハルトマン・エンド・ブラウン (Hartmann and Braun)

第 1 6 5 圖



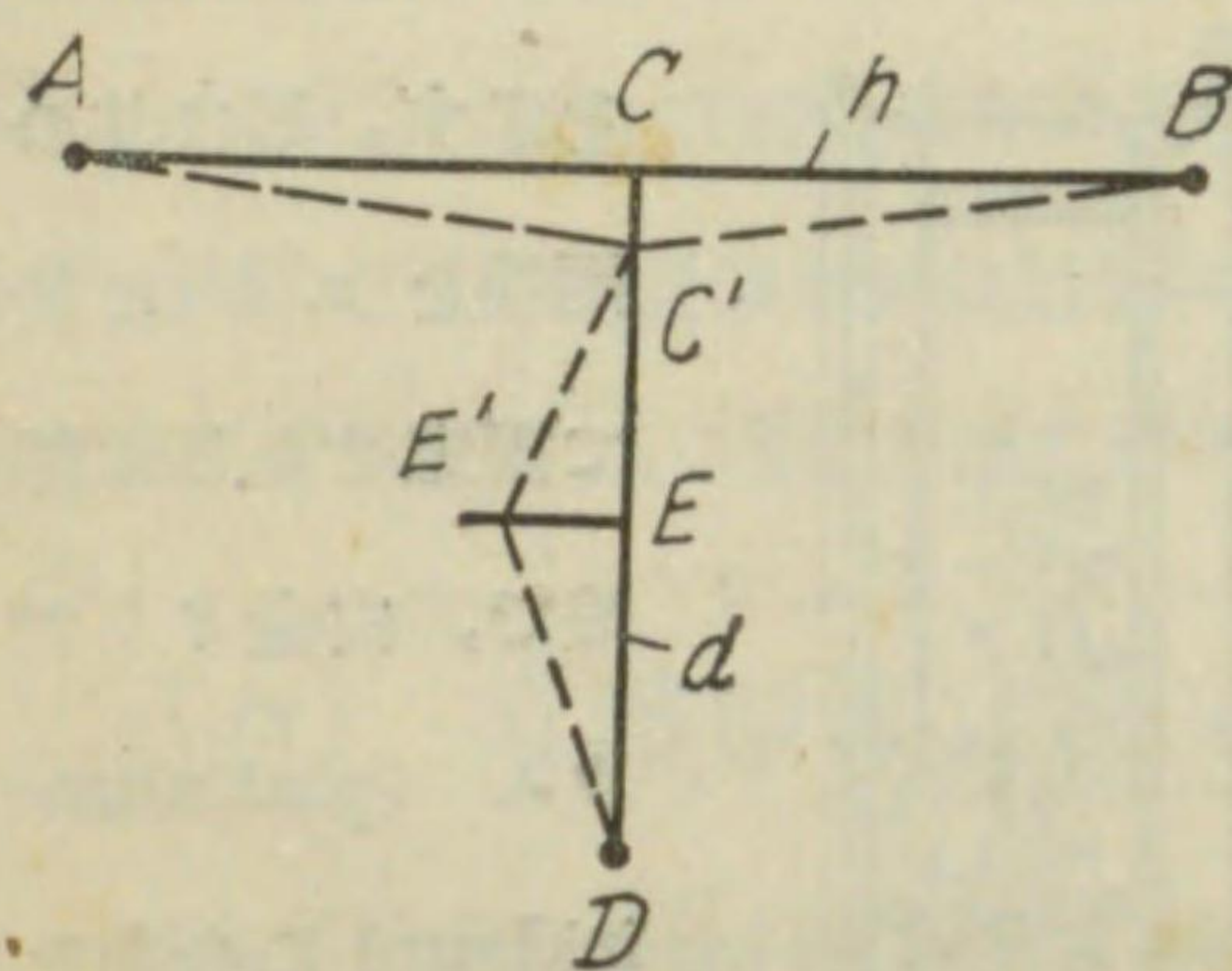
ハルトマン・エンド・ブラウン熱線型計器

會社の熱線型計器を示す。h は其の兩端を a, b に於て固定せらるゝ熱線で、白金イリヂウム (platinum-iridium) の合金を用ひる。以前には白金銀 (platinum-silver) なる合金が用ひられたが、白

金イリヂウムは白金銀より膨脹係数が小さいが、遂に高温度に用ひ得るので結局白金イリヂウムに代つたのである。熱線 h に電流を通すと電流に依る熱の爲に h は伸長し其の中點に於て弛み (sag) を生ずる。d は磷青銅の細線で h の中點と c との間に固定せられる。d の中點に絹絲を附し、之を象牙の小滑車 r₁ に巻き付けてある。此小滑車には下圖の如く他の小さい車 r₂ を固定し、r₂ に巻き付けた絹絲は其の端を彈條 f に取付けてある。彈條は絹絲を常に左方に引いて居るから、熱線 h が極めて僅か伸びて弛みを生じても、彈條の作用に依り滑車を廻し h 及 d を緊張せしむ

るので、此際滑車の廻轉に伴ひ其の軸に取付けてある指針は傾斜して目盛を指示するのである。此の装置に依ると熱線 h が僅か伸びても、其の結果は擴大せられて指針に傳へらるゝのである。此の理由を説明する爲、第

第 166 圖



熱線型計器の原理

$$\begin{aligned} \overline{CC'}^2 &= \overline{AC'}^2 - \overline{AC}^2 \\ &= l^2(1+\gamma)^2 - l^2 \\ &= 2\gamma l^2 + \gamma^2 l^2 \end{aligned}$$

伸長 γl は極めて小さいから、 $\gamma^2 l^2$ を無視すると

$$\overline{CC'} = \sqrt{2\gamma} l$$

例へば $\gamma = \frac{1}{5000}$ とすれば $\overline{CC'} = \sqrt{\frac{2}{5000}} l = \frac{l}{50}$

即ち熱線 h が $\frac{1}{5000}$ 丈伸びても、 C に於ける弛みは AB の長さの $\frac{1}{50}$ に擴大せられる。同様に d の中点 E の動く距離も CC' の大きさより遙に大きくなり、斯様にして熱線の伸長は二重に擴大せられて指針に傳へられるのである。故に AB に於ける電壓降下が約 120 ミリヴォルト位で最大目

166 圖に於て h が伸長し、其の中点 C に於て弛みを生じ、弾條の作用に依つて、 $A C' B$ の如く緊張せられたとする。

$2l$ = 熱線に電流が通らない場合の長さ

$2l(1+\gamma)$ = 熱線に電流が通つた後の長さ、即ち $AC'B$ の長さ
($2\gamma l$ は伸長を表はす)

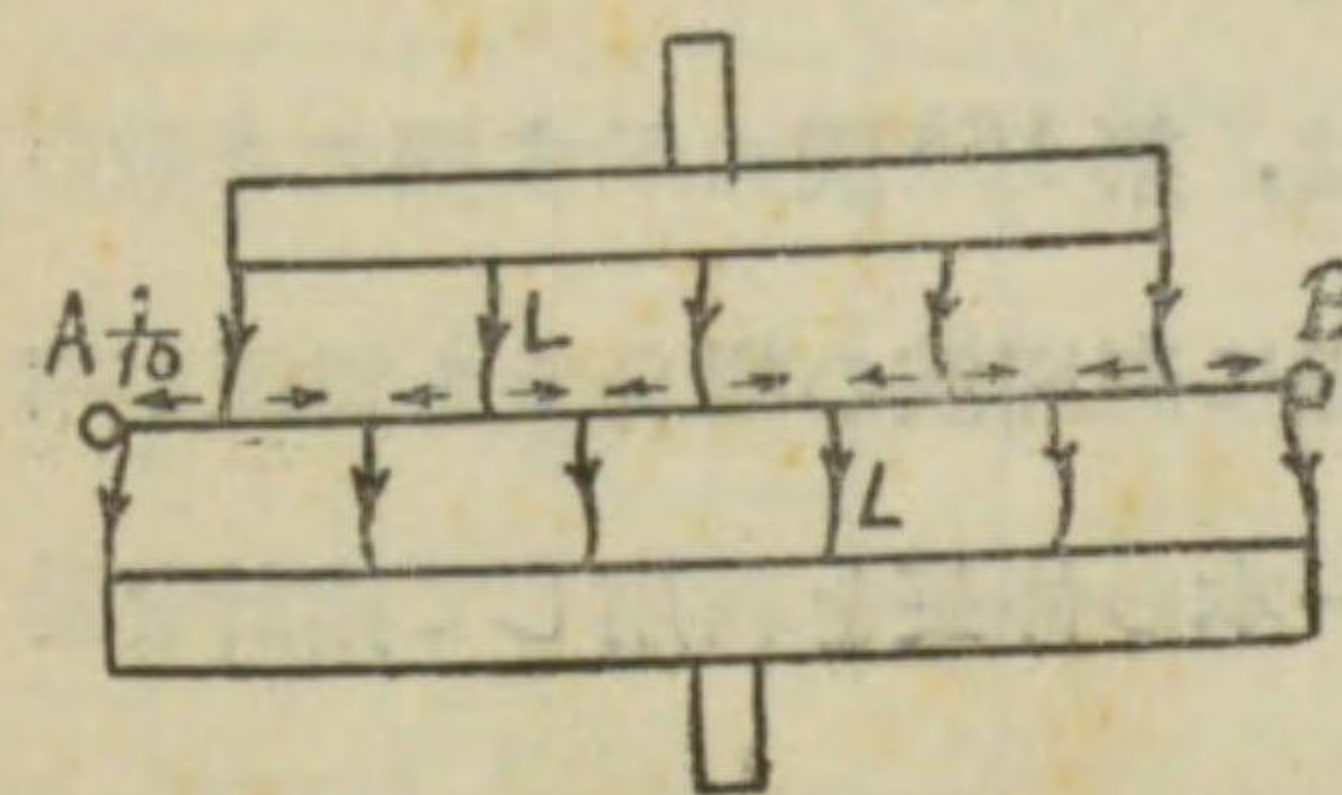
盛を指示せしむることが出来るのである。

熱線を支持する枠は第 165 圖の如く二個の枠を組合せたものから成り、 AB の方向に於て熱線と同一の膨脹係数を有せしめ、周囲の温度の變化に依つては C に弛みを生ぜず、電流を通ずることに依つて初めて C 點に弛みを生ずる様にしてある。然らざれば周囲温度が高まると熱線は伸び、指針を傾斜せしむる結果を生ずるからである。第 165 圖に示す t は零點の調整用の捻子である。

熱線型計器の制動装置は第 165 圖に示すやうに指針の廻轉軸に S なるアルミニウム片を附し、指針の動くにつれて S は耐久磁石 m の極片の間を動き、 S に渦流を誘起せしめて制動せしむるのである。

電圧計の場合には單に熱線にマンガニン無誘導直列抵抗を接続すればよいのであるが、電流計の場合にはマンガニン分流器を熱線に並列に用ひ適當な電壓降下を熱線に與へることは直流計器の場合と同様である。但し電流が餘り大きくない場合には分流器を用ひず第 167 圖に示す様に熱線を數

第 167 圖



分流器を用ひざる熱線型電流計

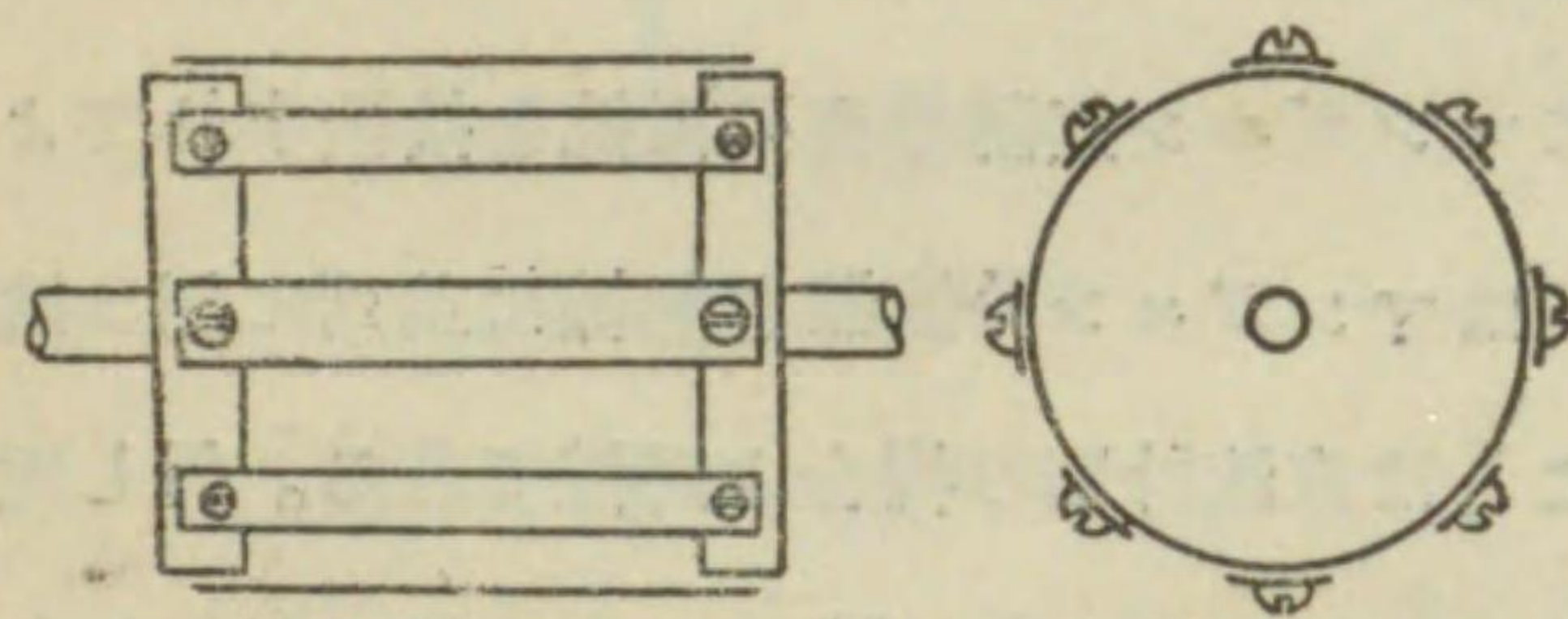
區割に分ち熱線に通る電流を小さくする方法を用ひる事が出来る。圖の場合には全電流の $\frac{1}{10}$ が熱線に通る場合を示すものである。 L は熱線に電流を導く爲の導線の用を爲すもので、銀箔の様な可撓性のものを用ひ、熱線の伸長に對し何等の影響を及ぼさない様にする。

熱線型計器は電流に依る熱作用を利用するものであるから、交流の周波數及波形には全く無關係で、且外部磁界の影響は全く無い。故に直流を以

て目盛したものを交流に用ひて何等の誤差を生ぜず、轉位計器として極めて適當である。然し乍ら此の型の計器は其の原理上、最大目盛を生ずるに他の型より比較的大なる電流を要すること、過負荷に依つて熱線を損傷し易いこと、零點が時々變ること、外氣の溫度又は通風の影響を多少受くること、負荷が變動する回路に使用すると、其の電流に對する溫度迄加熱せらるゝに多少の時を要する爲、負荷の變動に應じ電壓の指示は多少遅れると云ふ様な欠點がある。

熱線型計器の最も大なる得點は交流の周波數の影響がないことである。従て分流器を用ひない電流計は無線用の高周波電流計として最も適當である。

第 1 6 8 圖



高周波電流計の箔狀熱線

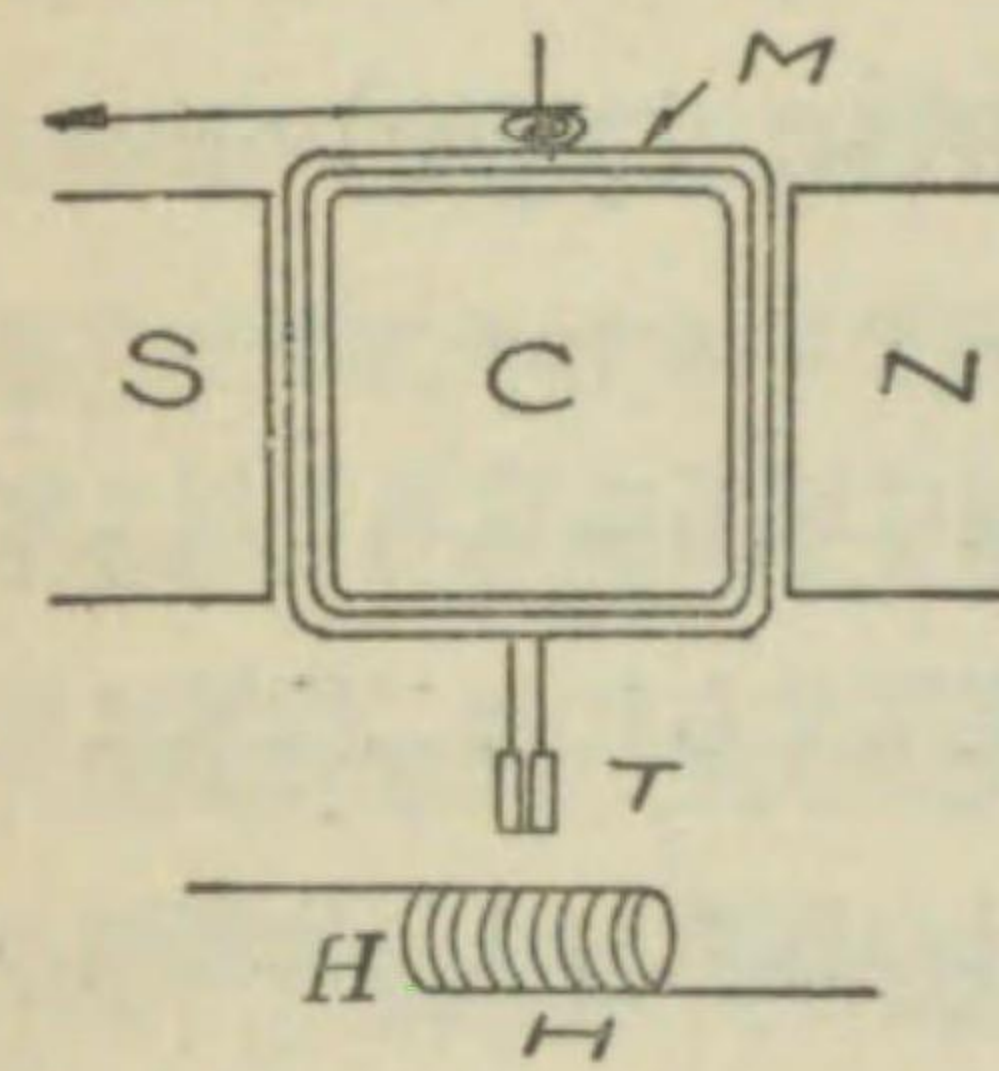
る。然し乍ら分流器を有するものは、無線に用ひらるゝ様な高周波交流に對しては、並列回路のインダクタンスの影響が顯著になつて來て、熱線に流れる電流の分配の割合が直流の場合又は低周波の場合と異なつて來る。故に無線用の大なる電流を測定する目的には、第168圖に示す様に多數の箔狀熱線を太鼓形に對稱的に排列して、各線に高周波の場合でも電流が相等しく分配せらるゝ様にし、箔狀熱線の内一本の伸長を利用して指針を動かす様にするのである。

102. 熱起電力型計器

第169圖はダッデル熱電流計 (thermo-ammeter) を示すもので、第20節に述べたダッデル熱檢流計と全

く同一の原理であるが、只熱電對に接続せらるゝ可動線輪を尖軸及軸承で

第 1 6 9 圖



ダッデル熱電流計

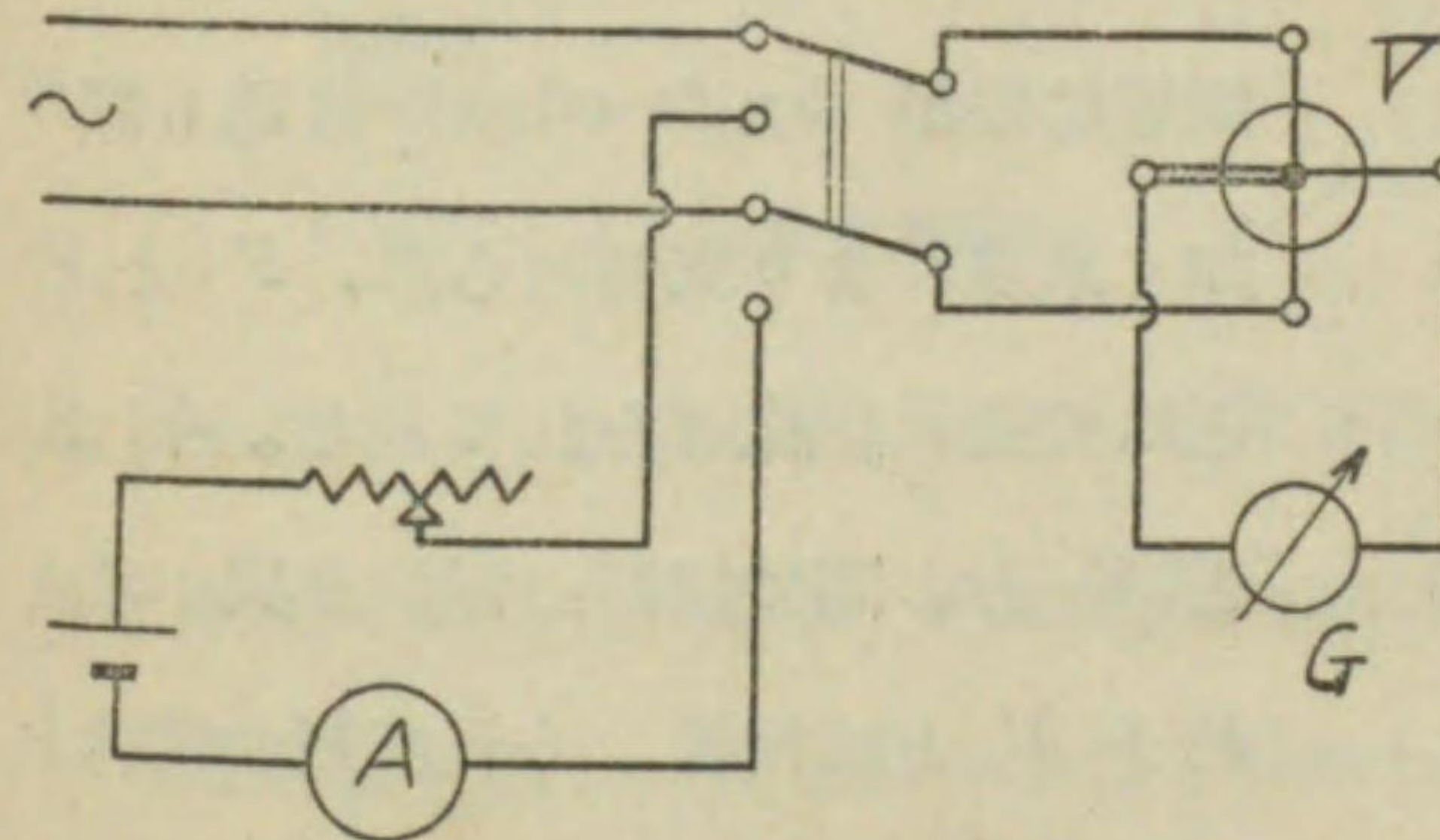
支へ、其の軸に指針を取付け直讀計器としたものである。即 T は熱電對、 M は之に接続せらるゝ可動線輪、 NS は耐久磁石の極、 C は其の鐵心である。測定せんとする電流を加熱器 H に通じ其の熱に依つて熱電對を熱するのである。

此の電流計は主として電話用の電流の如き高周波の小電流を測定するのに用ひられる。

無線用として第168圖に示す様に太鼓形に對稱的に抵抗線又は抵抗片を配置し、其の各に熱電對を取付け之等熱電對を直列に接続して、其の兩端を直流可動線輪型計器の可動線輪に接続し、以て指針を動かす様にしたものもある。

小なる交流の測定には第170圖で示す様に真空熱電對 (vacuum thermocouple) V を用ひるものがある。真空熱電對とは真空硝子球内に抵抗線と

第 1 7 0 圖



真空熱電對を用ひる電流計

熱電對とを十字形に封入したもので、抵抗線に測定すべき電流を通じ、熱電對の兩端を指針型ダルソンヴァル檢流計又は可動線輪型ミリヴァルト計に接続するのである。斯様にして抵抗線

は加熱せられ、熱電對に生じた熱起電力で計器の指針を傾斜せしむるので、圖に示す如く切替開閉器に依り直流回路に切り替へ、計器の同一指度に對

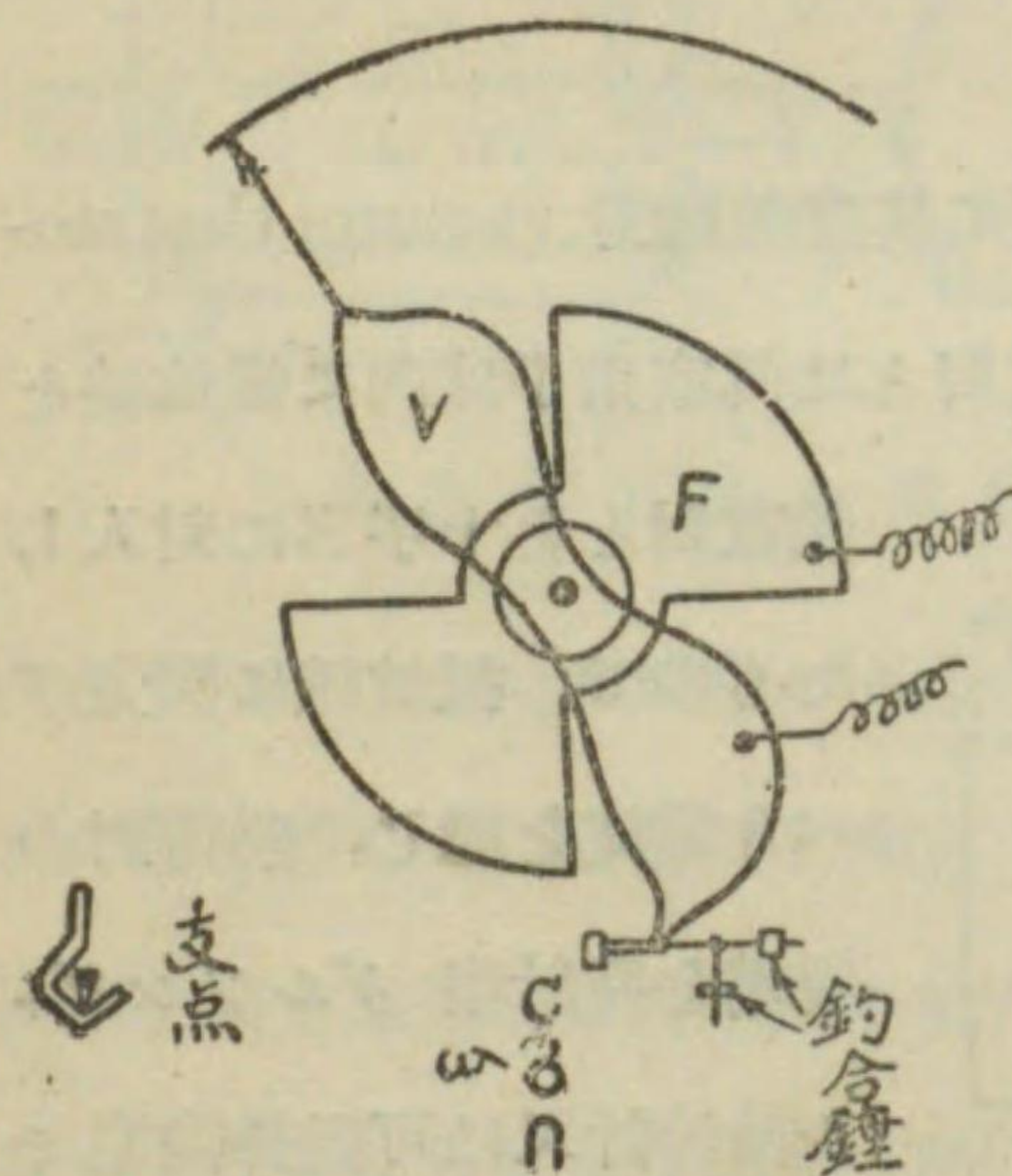
する直流を測り、其の値を定むることが出来る。

(ハ) 静電型測定器 (electrostatic type)

103. 静電電圧計

静電型測定器は同名の電氣を以て充電せられた二物體は相拒斥し、異名の電氣を以て充電せられた二物體は相吸引するといふ静電力の原理を應用したもので、此の静電力は二物體間の電位差の自乗に比例するものであるから、直流にも交流にも使用することが出来る。蓋し交流の場合には二物體の電位は半周波毎に同時に反対になるから静電力の方向は相等しいのである。

第 171 圖



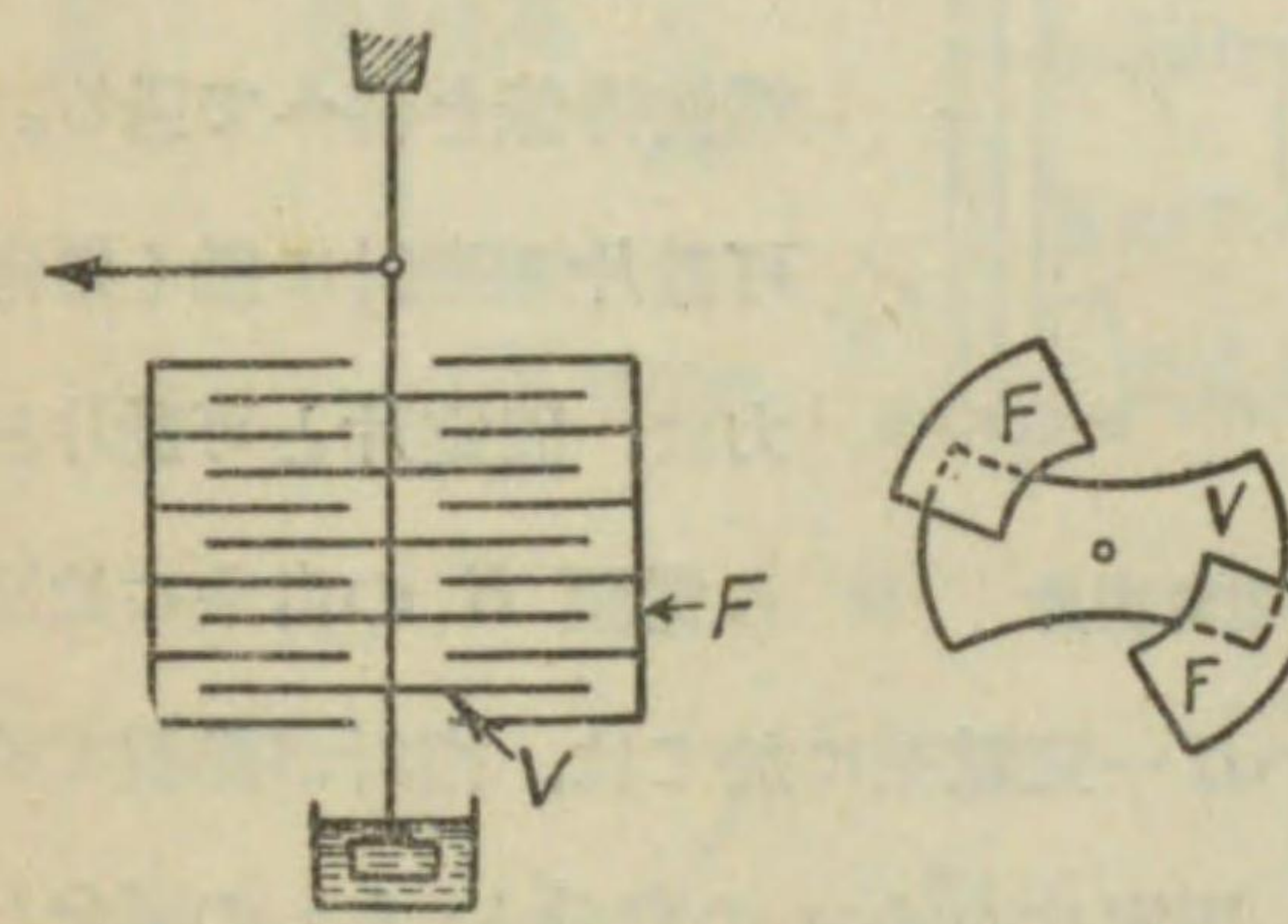
ケル イン 静電電圧計

第171圖はケルヴィン静電電圧計 (Kelvin electrostatic voltmeter) を示すもので、 F は真鍮製固定象限で二枚を相對せしめ、其の間に V なる可動アルミニウム片がある。 V の軸の兩端は双形 (knife-edge) に爲し圖の如く承金により支持せられ、 F と V とは完全に絶縁せられてある。今 F と V との間に回路の電壓を與へると F と V とは相等しく且反對の電荷を以て充電せられ、 V は電壓の自乗に比例する静電力に依つて F に吸ひ込まれ、斯くして傾斜廻轉力を生ずる。但

し廻轉力は電壓の自乗に比例するの外 F と V との相互的位置にも關係するものである。制御廻轉力としては重力を利用するもので、可動金屬片の下端に制御重量 w を掛け、之に依つて制御力を生ずるのである。制御重量は圖に示す如く三個の重量を備へ、 C 形のを掛ける時と、之に δ 形のを附加する時と、更に Ω 形のを加へる時とに依り、順次同一電圧計を以て其の測定範囲を高め、結局三種の測定範囲を得るのである。此の形の電圧計は静電的吸引力が甚だ小さいから、高電壓測定用としてのみ作られ 1 000 ヴォルト位から 20 000 ヴォルト位迄の範囲に製造せられる。

第 171 圖の様な構造では、高電壓を與へなければ充分な廻轉力が得られ

第 172 圖



ケルヴィン多房静電電圧計

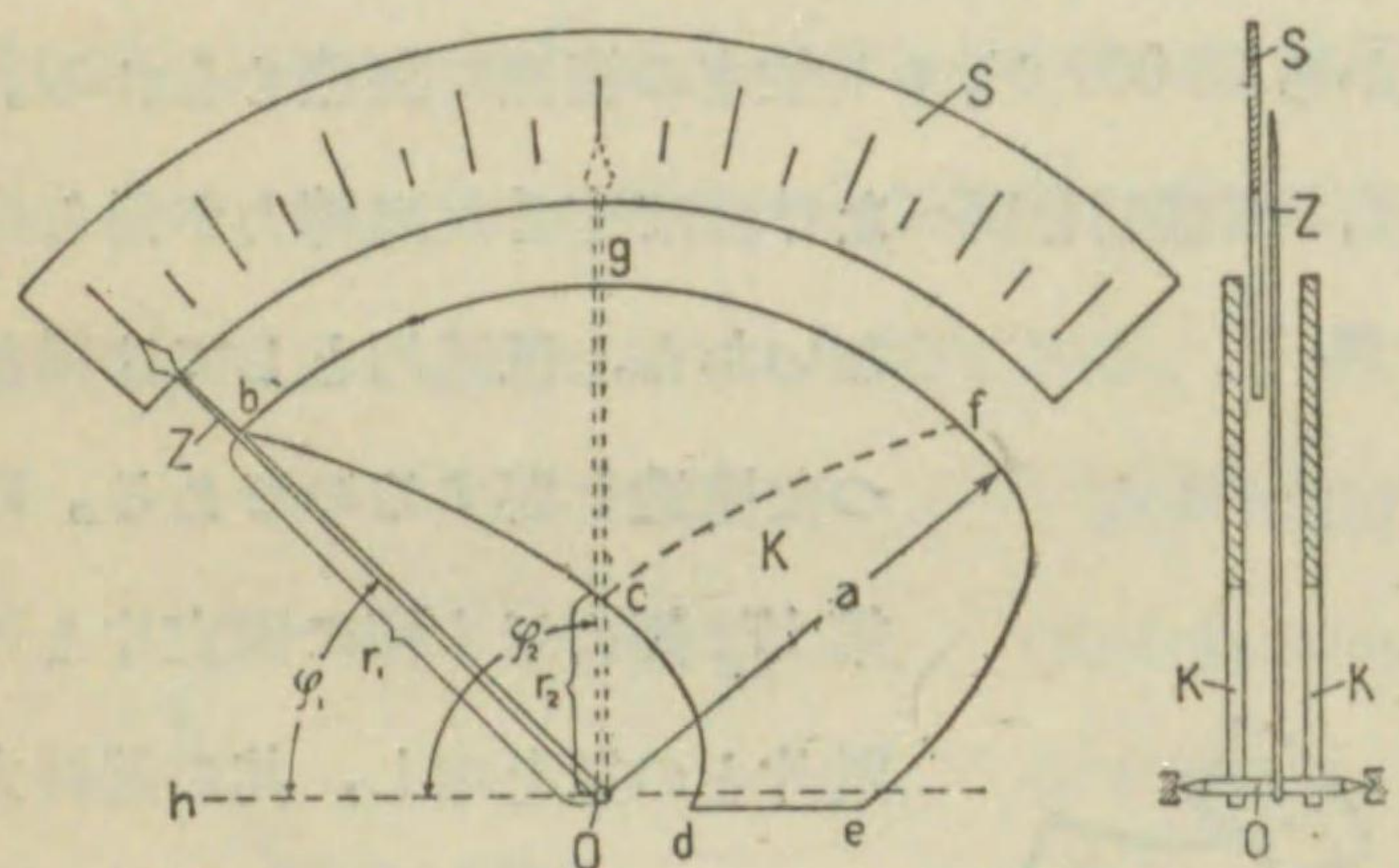
ないから、低壓用としては異なつた構造を要するのである。即第 172 圖に示す様に固定片と可動片との數を増し、其の廻轉力を増加せしむるのである。圖はケルヴィン多房静電電圧計 (Kelvin multi-cellular electrostatic voltmeter) と稱せら

れるもので、 F は固定片、 V は可動片である。制御力は可動片を懸垂する磷青銅線に依るのである。又此電圧計の制動装置は可動部分の下部にアルミニウム翼を附し、之を油中で動く様にしてある。此の形では最低測定範囲として 20 乃至 80 ヴォルトで、最大 1 000 ヴォルト位迄此の形を用ひる。又同様の原理で可動部分を尖軸及軸承で支持する様にしたものもある。

上記の静電電圧計では廻轉力は電壓の自乗に比例し、且可動片の位置に

関係する。此の爲に計器の目盛は勿論平等でなく、目盛は $\frac{1}{5}$ 位から初まるのである。但し目盛は固定板の形と可動片の形を適當に設計すれば、或程度迄は變へ得るのである。一例を示せば獨國ハルトマン・エンド・ブラウン會社では第 173 圖の様な構造に依つて、 $\frac{1}{10}$ 内外の目盛から始まり殆んど平等目盛を有する靜電電壓計を製作して居る。圖に於て K は圖に示す様な特殊の形の固定片で、此の様な二枚の固定片の間に Z なる直線狀の針

第 1 7 3 圖



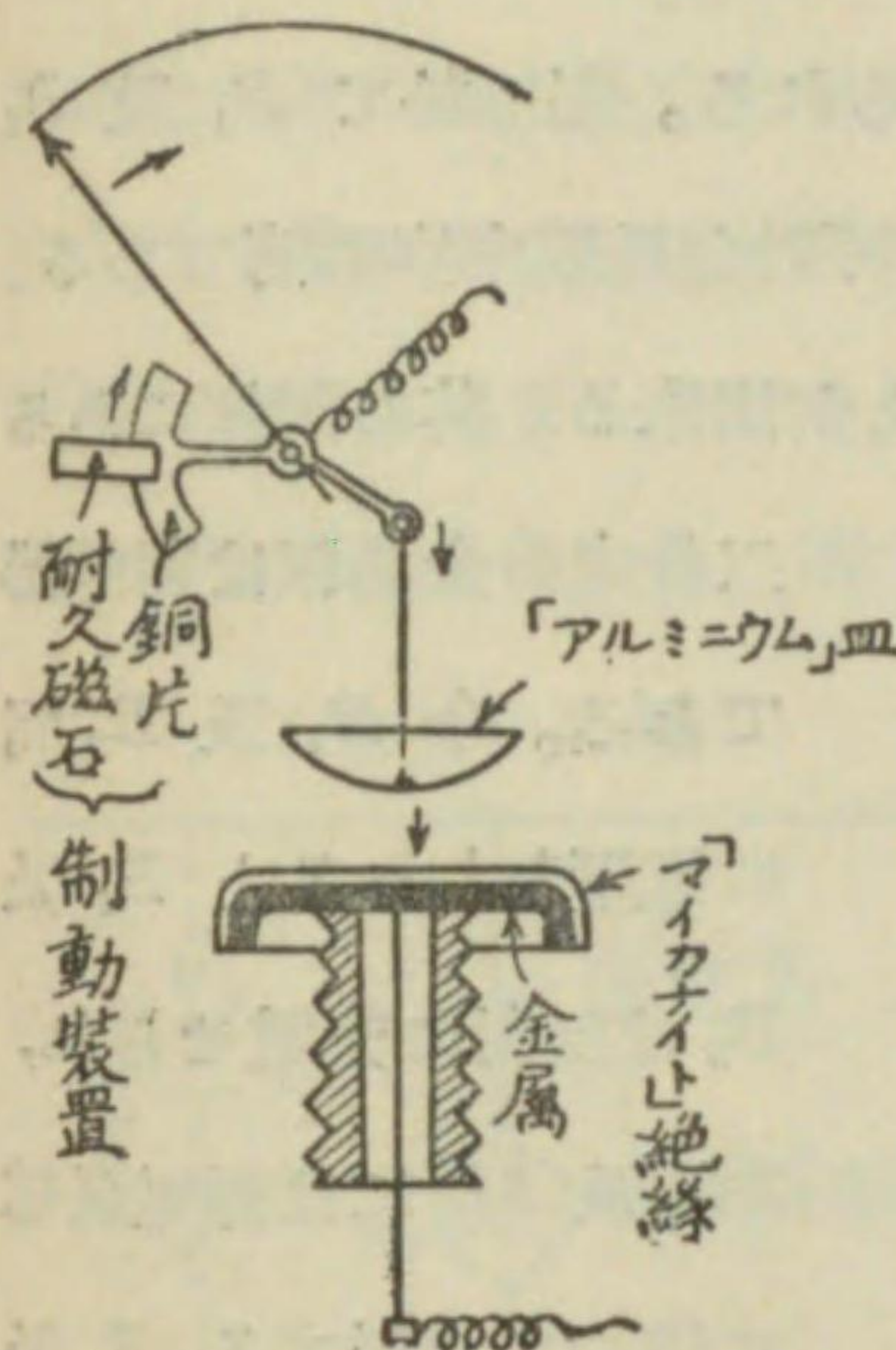
ハルトマン・エンド・ブラウン靜電電壓計

金又は管よりなる可動片がある。此可動片は同時に指針用を兼ねるもので、其の廻轉軸には制御螺旋彈條を備へて居る。可動片即指針に働く廻轉力は、固定片と可動片との電壓 E の自乗に比例し、且指針の位置に關係する。例へば一定電壓に於ては、指針が點線に示す様に中央部にある時を考へるに、固定片の bcg の部分と fcg の部分が指針に及ぼす作用は相等しく平衡するから、此の場合に指針に働く廻轉力は $cdef$ なる部分に依る廻轉力のみである。然るに靜電力は距離の自乗に逆比例するから、此の $cdef$ なる部分の廻轉力は大部分指針の r_2 なる部分に働くものと考へてよい。故に廻轉力は E^2 と r_2 との相乗積に比例するものと見て宜しい。今 bgf の曲線は a を半径とする圓の一部とし、 bcd の曲線を $r_2 = k \frac{a}{\varphi}$ なる如く決定する。但し φ は oh なる水平線より測つた角である。 $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$ に於て $r_2 = r_1 = a$ となる。斯様な條件に於ては

廻轉力は $E^2 r_2$ 又は $\frac{E^2}{\varphi}$ に比例する。故に螺旋彈條の制御廻轉力を φ に比例する様にすれば（最低目盛に於ても或制御力を生ぜしめてある。）

第 1 7 4 圖

$$k_1 \frac{E^2}{\varphi} = k_2 \varphi \quad \therefore \varphi = KE$$

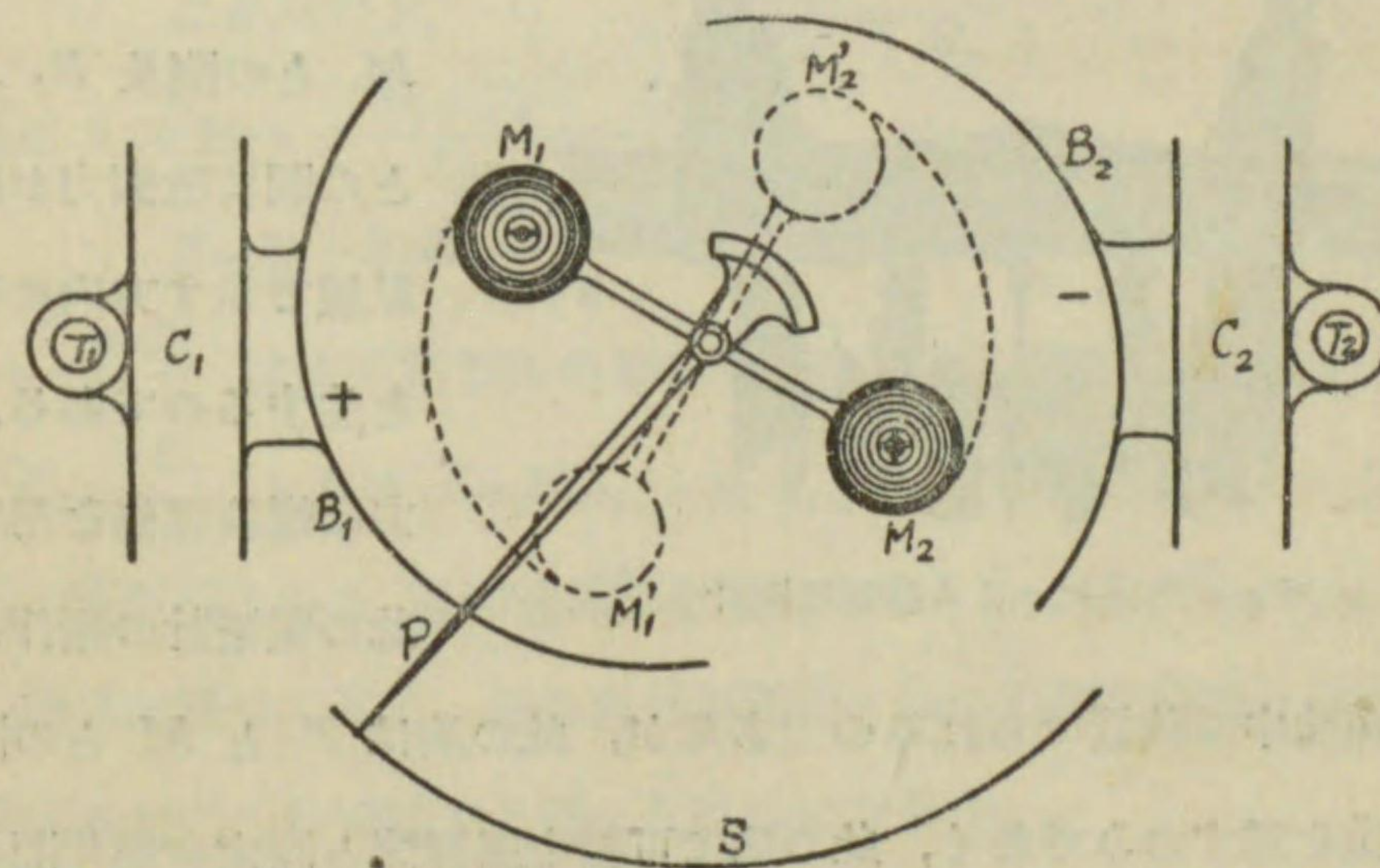


ケルヴィン靜電電壓計

即 φ は E に比例することとなり、或電壓以上は殆んど平等目盛とすることが出来るのである。ハルトマン・エンド・ブラウン會社では、此の原理に基いて平等目盛の多房靜電電壓計をも製作して居る。

第 174 圖に示すはケルヴィン靜電電壓衡 (electrostatic volt-balance) と稱せられるもので、20 000 ヴォルト以上、100 000 ヴォルト位迄此形を用ひて居る。重力制御を用ひ

第 1 7 5 圖

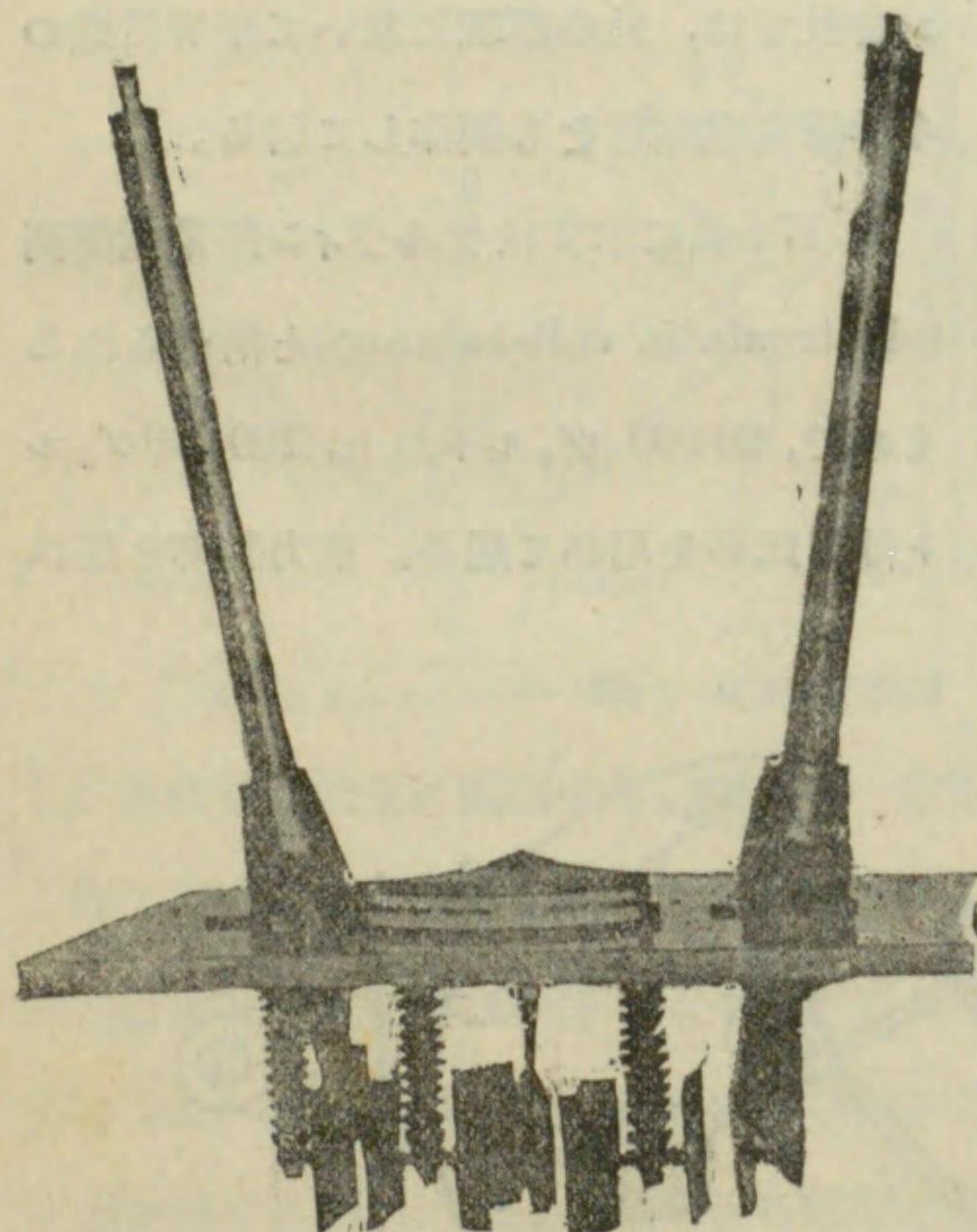


ウェestingハウス靜電電壓計

耐久磁石及銅片に依り制動作用を生ぜしむること、圖に示すが如くである。

第 175 圖は米國ウェスチングハウス (Westinghouse) 會社の靜電電壓計を示すもので、ケルヴィン電壓衡より更に高い電壓を直接測定する目的であつて、200 000 ヴォルト迄の測定範圍に造られる。圖に於て B_1 及 B_2 は二個の屈曲した固定金屬板で、 M_1 及 M_2 は可動金屬製中空圓筒である。其の全體の構造は第 176 圖の寫眞から見る事が出来る。其の兩側にある

第 1 7 6 圖



ウェスチングハウス靜電電壓計

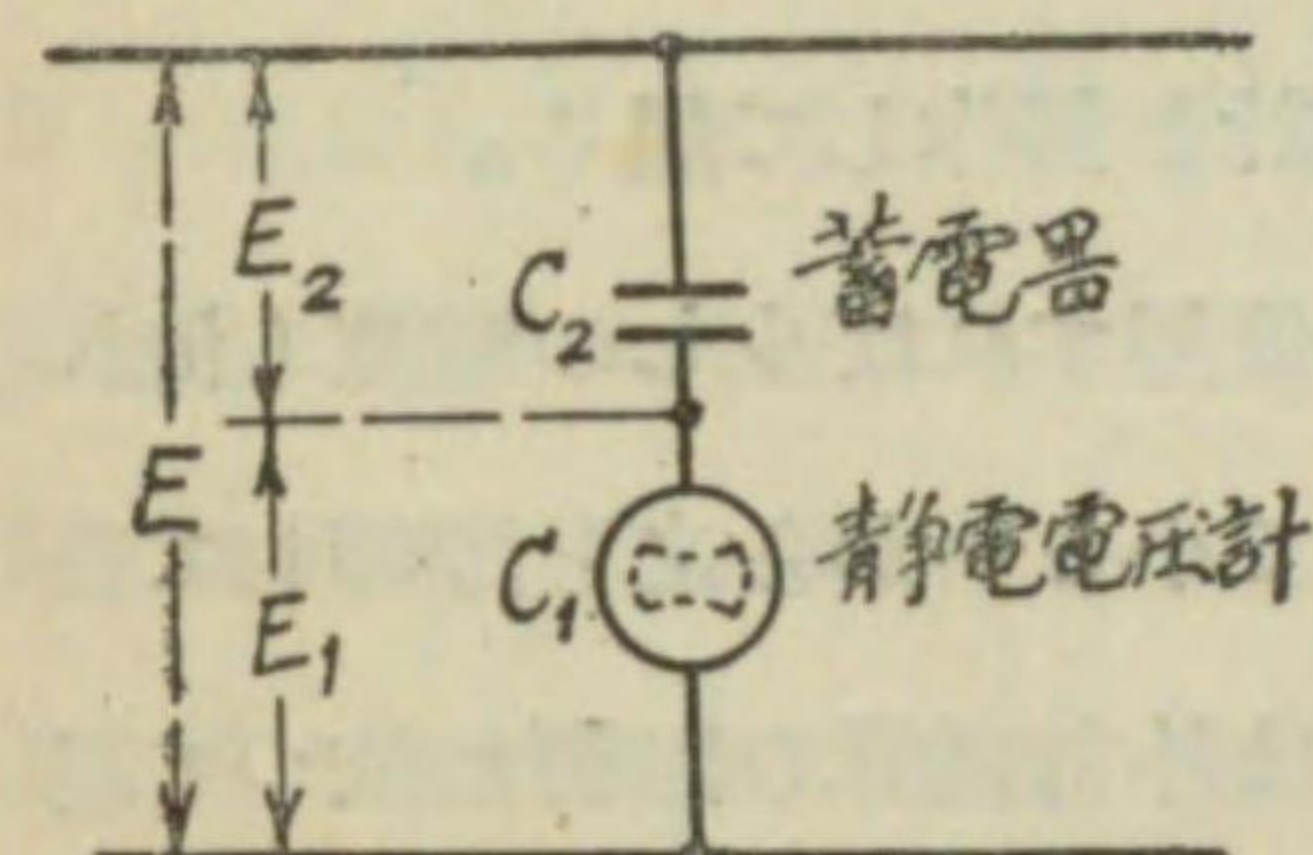
全部絶縁油中に装置せられるのであるが、此の油は B と M との間の必要な絶縁を爲すのみでなく、此の爲に可動金屬圓筒と固定金屬片間の間隔を狭くすることが出来、且油の誘電率が空氣より大なる爲に廻轉力も増加

二枚宛の金屬板は蓄電器である。今 B_1 及 B_2 間に電壓を加へると B_1 及 B_2 は反對に充電せられ、 M_1 及 M_2 には靜電誘導に依つて相對する B_1 及 B_2 と反對の電荷が誘導せられ、斯くして B_1 と M_1 との間及 B_2 と M_2 との間に吸引力が働き、點線で示す方向に廻轉力を生ずるのである。制御力は螺旋彈條を用ひる。

此の電壓計の働作部分は

せられるのである。又此の油を用ひることに依り、可動部分を押し上げ軸承に於ける摩擦を減少すると共に、之に依り必要なる制動作用を生ぜしむるのである。圖に於て C_1 及 C_2 は前記の平行金屬板から成る蓄電器で、靜電電壓計の測定範圍を増加する用を爲すものである。此の方法は靜電型測定器で屢々用ひらるゝ所であつて、恰も他の型の電壓計の直列抵抗器と同様の役目を爲すものである。今其の原理を説明するに、靜電電壓計は一種の蓄電器であるから、第 177 圖に於て

第 177 圖



直列蓄電器に依る靜電電壓計の測定範圍の擴大

C_1 = 靜電電壓計の容量

C_2 = 直列蓄電器の容量

E_1, E_2, E = 電壓計端子電壓、蓄電器端子電壓及回路の電壓

とすれば、 C_1 及 C_2 は直列に接続せられるから其の電荷は相等しく、又 E_1 と E_2 とは同相である。故に

$$C_1 E_1 = C_2 E_2 \quad \therefore \frac{E_2}{E_1} = \frac{C_1}{C_2}$$

兩邊に 1 を加へ $\frac{E_1 + E_2}{E_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_2}$

$$\therefore E = E_1 + E_2 = \frac{C_1 + C_2}{C_2} E_1 = m E_1$$

$m = \frac{C_1 + C_2}{C_2}$ は直列蓄電器の倍率である。若し $C_1 = C_2$ ならば $E = 2E_1$ 、

又 $C_2 = \frac{C_1}{9}$ ならば $E = 10E_1$ となる。但 C_1 は一般に指針の位置に依

つて其の値が變るから、直列蓄電器を用ひる場合と、之を用ひない場合とは目盛の關係が變つて来る。即ち直列蓄電器に依つて測定範圍を擴大することは出来るが其の目盛はやり變へなければならぬ。

以上述べる様に靜電電壓計は、小さい靜電力を利用する原理の下に作ら

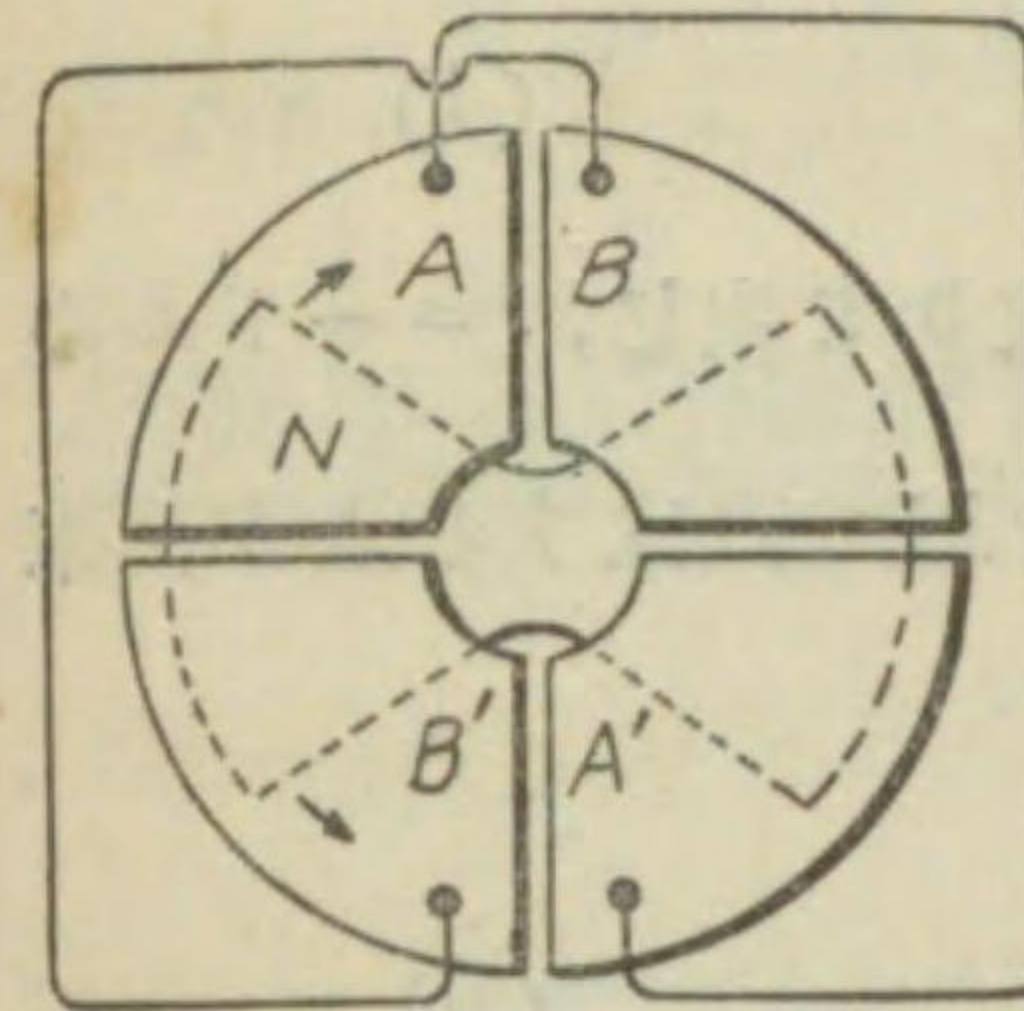
れて居る關係上、元來高壓測定用のものであつて、多房靜電電壓計の構造に於ても、實用上 20 ヴォルト以下の目盛を盛ることが出来ない。靜電電壓計を用ひ更に低い電壓を測定する爲に、ハルトマン・エンド・ブラウン會社では特定の計器用變壓器（後章参照）を用ひて居る。計器用變壓器は通常高い電壓を二次に於て低い電壓に變壓し、二次に計器を接続する爲に用ひるのであるが、此の場合には低い電壓を一次に與へて、一定の比で二次に高い電壓を得る様にし、二次の電壓を多房靜電電壓計に與へるのであつて、此の方法に依り最大目盛 0.15 ヴォルト乃至 15 ヴォルトの測定範圍を有する計器用變壓器を附屬する多房靜電電壓計を製作して居る。

靜電電壓計の特徴を述べると、之を直流に使用すれば少しの電流も流れず、交流に用ひる時にも其の充電電流は極めて小さいから之を閉却して差支がない。又其原理上交流の周波數、波形又は外部磁界の影響に依つて誤差を生ずることがなく温度の影響も之を無視することが出来る。故に轉位計器として適當である。但し可動部分の重量に比し廻轉力が小なることは大なる缺點で、又之が爲に電流計として用ひることが出来ない。何となれば電流計としては甚だ大なる電壓降下(例へば 80 ヴォルトの如く)を生ずる分流器を必要とするからである。

104. 象限電位計 (quadrant electrometer)

象限電位計は電位又は電位差を測定する器具で、ケルヴィン卿 (Lord Kelvin) の發明に係るものである。第 178 圖は象限電位計の原理を示す。A, A', B, B' は四つの象限で、浅い圓形の箱を互に直角に交る二つの直徑の所で切り離した様なものである。A と A' 及 B と B' とは夫々電線

第 178 圖



象限電位計の原理

で接続せられ、夫々同電位に保たれる。此の象限の上下の板の中間に於て圖の位置に、ニードル (needle) と稱せられる薄いアルミニウムの可動片 N が水平に二本の石英線を以て吊されて居る。可動部分には小鏡を附し、檢流計と同じ様にランプ及尺度に依つてニードルの傾斜角を読むのである。

今ニードル N を V_0 なる電位に充電し、A 及 A' の電位を V_1 、B 及 B' の電位を V_2 とすれば、異なる電位を有する二物體の間に働く靜電力は電位差の自乗に比例するから、N は A の方に $(V_0 - V_1)^2$ に比例する力を以て吸引せられ、又 B の方に $(V_0 - V_2)^2$ に比例する力を以て吸引せられる。故に傾斜廻轉力は次の様になる。

$$\begin{aligned} D &= k_1 \{ (V_0 - V_2)^2 - (V_0 - V_1)^2 \} \\ &= k_1 \{ (V_0 - V_2) - (V_0 - V_1) \} \{ (V_0 - V_2) + (V_0 - V_1) \} \\ &= 2k_1 (V_1 - V_2) \left\{ V_0 - \frac{V_1 + V_2}{2} \right\} \end{aligned}$$

通常 V_0 は正電位で V_1 及 V_2 より遙に高い電位を以て用ひられる。此の場合に若し $\frac{V_1 + V_2}{2}$ を V_0 に比し閉却し得るものとすれば

$$D = 2k_1 V_0 (V_1 - V_2) \quad (2)$$

又若し V_1 及 V_2 が値は相等しいが、正負を反對にする電位であれば、 $V_1 + V_2 = 0$ であるから V_0 の値の如何に關せず、傾斜廻轉力は

$$D = 4k_1 V_0 V_1 \quad (3)$$

又若しニードルの電位が何れか一方の象限の電位に等しくなつた場合、

例へば $V_0 = V_1$ の場合には

$$D = k_1(V_0 - V_2)^2 \quad (4)$$

制御廻轉力は、ニードルを吊す石英線の捻廻に依りて生じ、ニードルの傾斜角に比例する。故に傾斜角 θ は一般に次式を以て表はすことが出来る。

$$\theta = K(V_1 - V_2) \left(V_0 - \frac{V_1 + V_2}{2} \right) \quad (5)$$

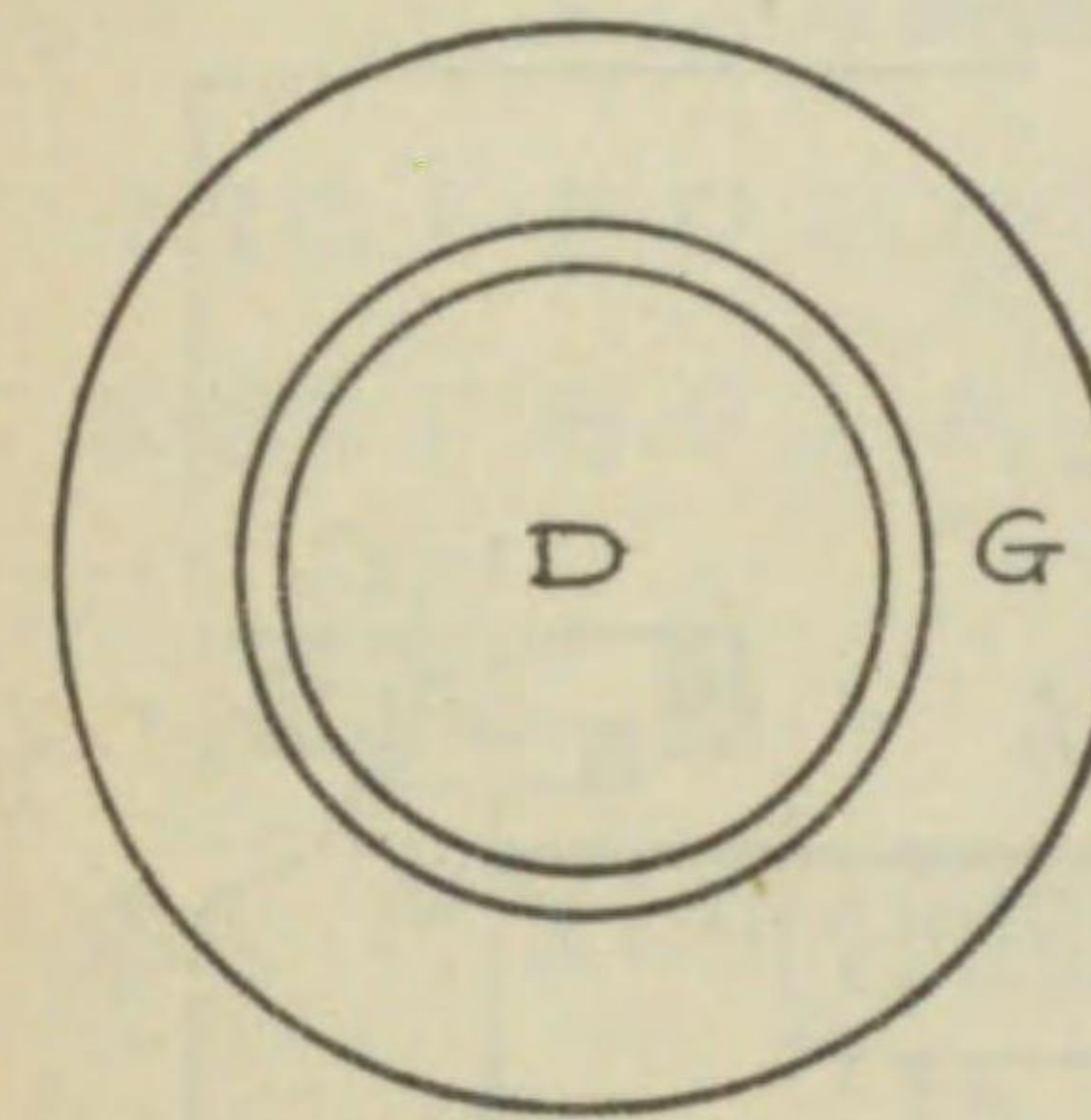
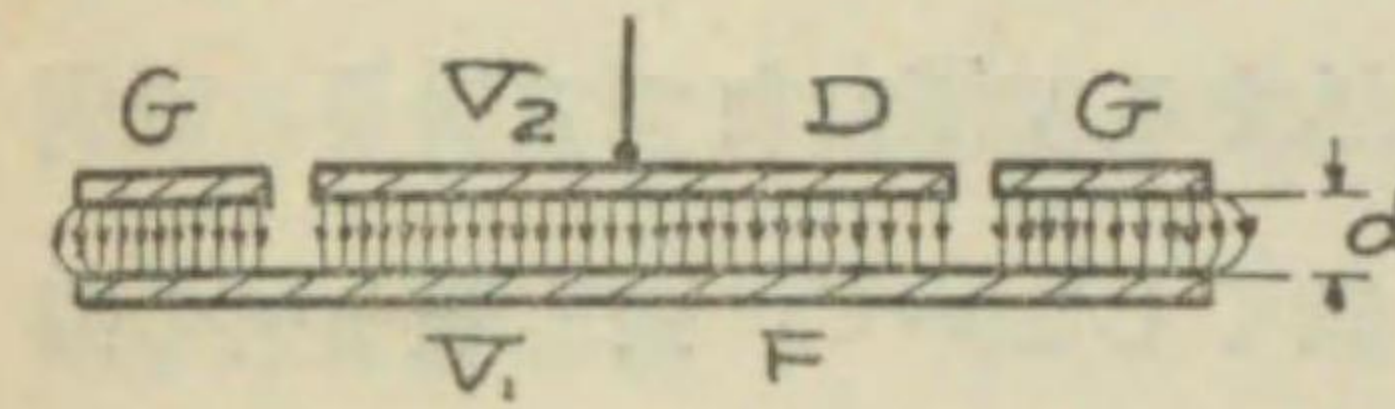
故に傾斜角 θ は V_1 及 V_2 の同一の値に對し V_0 が大なる程大きくなる。換言すれば V_0 大なる程感度を良くすることが出来るのである。

象限電位計は元來靜電的電位又は電位差を測定する目的を以て作られたのであるが、後章に述べる様に靜電電力計として用ひられる。但し此の場合にはニードルは磷青銅線に依り懸垂せられ、一定の電位を與へ又之に依つて制御力を生ぜしめる。

又象限電位計の原理を應用して線路の地氣を表示する檢漏器 (ground detector) は發電所に於て用ひらるゝが、之は要するに電線と大地の電位差又は電壓を示すものである。此檢漏器も後章に於て之を述べることとする。

105. 吸引圓板電位計 (attracted-disc electrometer) 附 絶對電壓計 吸引圓板電位計も亦靜電電位又は電位差の測定に用ひる爲に作られたものである。之は平行せる二枚の圓板に電位差が與へられ、一方の圓板を固定し他を可動とすれば、可動圓板は電位差の自乗に比例する靜電力を以て吸引せられる。然るに二枚の圓板を平行に置いた丈では、電氣力線の分布が其の周邊に於て一様でなく從て理論

第 179 圖



吸引圓板電位計

上此の力を正確に算出することが出来ない。故に實際には第179圖に示す様に、可動圓板 D の周圍に同心圓の環よりなる保護環 (guard ring) G を備へると、可動圓板 D と固定圓板 F との間には一様に垂直なる電氣力線が分布せられる様になり、其の力は次式を以て表はすことが出来る。

$$F = \frac{A(V_1 - V_2)^2}{4\pi d^2} \text{ ダイン}$$

式中 A は可動圓板の面積を平方糎で表はしたもの、 V_1 及 V_2 は夫々固定板 F 及可動板 D の電位で靜電單位

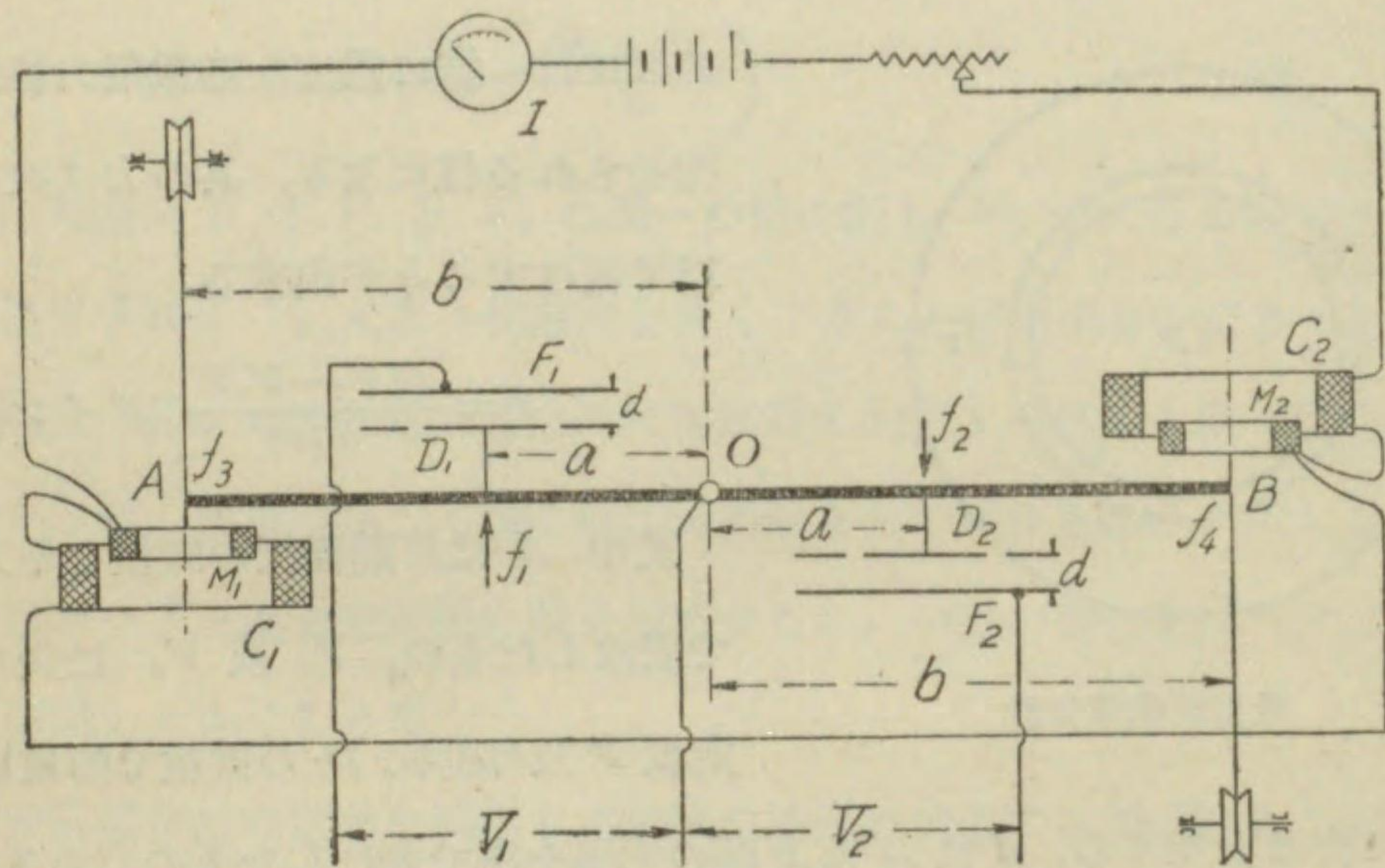
を以て表はしたもの、 d は D 及 F 間の間隔を糎で表はしたものである。

此の吸引圓板電位計は相當高い電位差でなければ吸引力は餘り大きくない。例へば $A=100$ 平方糎、 $d=1$ 糎で電位差 100 ヴォルト位でも、吸引力は僅かに約 1 ダインに過ぎない。故に寧ろ高い電壓の測定に利用し得るのである。

獨國ハルトマン・エンド・ブラウン會社では此の吸引圓板電位計の原理を利用して、250 000 ヴォルト迄使用し得る絶對電壓計 (absolute voltmeter) なる名稱のものを製作して居る。第 180 圖は此の絶對電壓計を示すものである。圖に於て AOB は天秤腕で O は其の支點である。 O より a なる等距離に可動吸引圓板 D_1 及 D_2 がある。各圓板は保護環に依り包

圍せられ d なる間隔に於て固定圓板 F_1 及 F_2 に對して居る。天秤腕の
 兩端即支點 O より b なる相等しい距離に二箇の可動線輪 M_1 及 M_2 が
 あつて、二箇の固定線輪 C_1 及 C_2 に吸ひ込まれる様になつて居る。吸引
 圓板電位計の D と F との間の間隔を餘り廣くしないで、高電壓を其の間

第 1 8 0 圖



ハルトマン・エンド・ブラウン絶対電圧計

に加へ得る爲に全體を氣密の室に装置し、此の中に約 12 氣壓の窒素瓦斯
 を充たして置く。此の理由は二箇の電極間に電壓を加へる場合に、高い氣
 壓の窒素瓦斯を充たして置けば、普通の空氣中の場合より、何等の放電を
 起すことなく遙に高い電壓を加へ、之に耐へることが出来るからである。

今圖に示す如く F_1 及 D_1 間の電壓を V_1 , F_2 及 D_2 間の電壓を V_2 と
 すれば、各吸引力は電壓の自乗に比例するから、電壓に依る廻轉力は
 $(V_1^2 + V_2^2)$ に比例する。又兩側の各線輪に蓄電池から I なる電流を通す
 と、 M_1 又は M_2 が C_1 又は C_2 に吸引せらるゝ電流力は電流の自乗に比

例するから、電流に依る廻轉力は I^2 に比例する。若し適當に電流を調整
 すれば兩廻轉力は平衡し、天秤腕を水平の位置に保つことが出来る。之を
 觀測するには天秤に小鏡を附し、望遠鏡を以て觀測するのである。故に平
 衡状態に於ては

$$k_1(V_1^2 + V_2^2) = k_2 I^2$$

$$\therefore \sqrt{V_1^2 + V_2^2} = KI$$

全電壓 V を O と F_1 との間に與ふる場合には $V = KI$

全電壓 V を O と F_1 及 O と F_2 との間に並列に加へるときは

$$V = \frac{K}{\sqrt{2}} I$$

F_1 と F_2 との間に直列に全電壓を加ふるときは $V_1 = V_2 = \frac{V}{2}$

$$V = \sqrt{2} KI$$

故に電壓は電流に比例し、豫め電流回路に入れる電流計に電壓の目盛を
 施すことが出来るのである。

(二) 可動鐵片型計器 (moving iron type)

106. 可動鐵片型計器

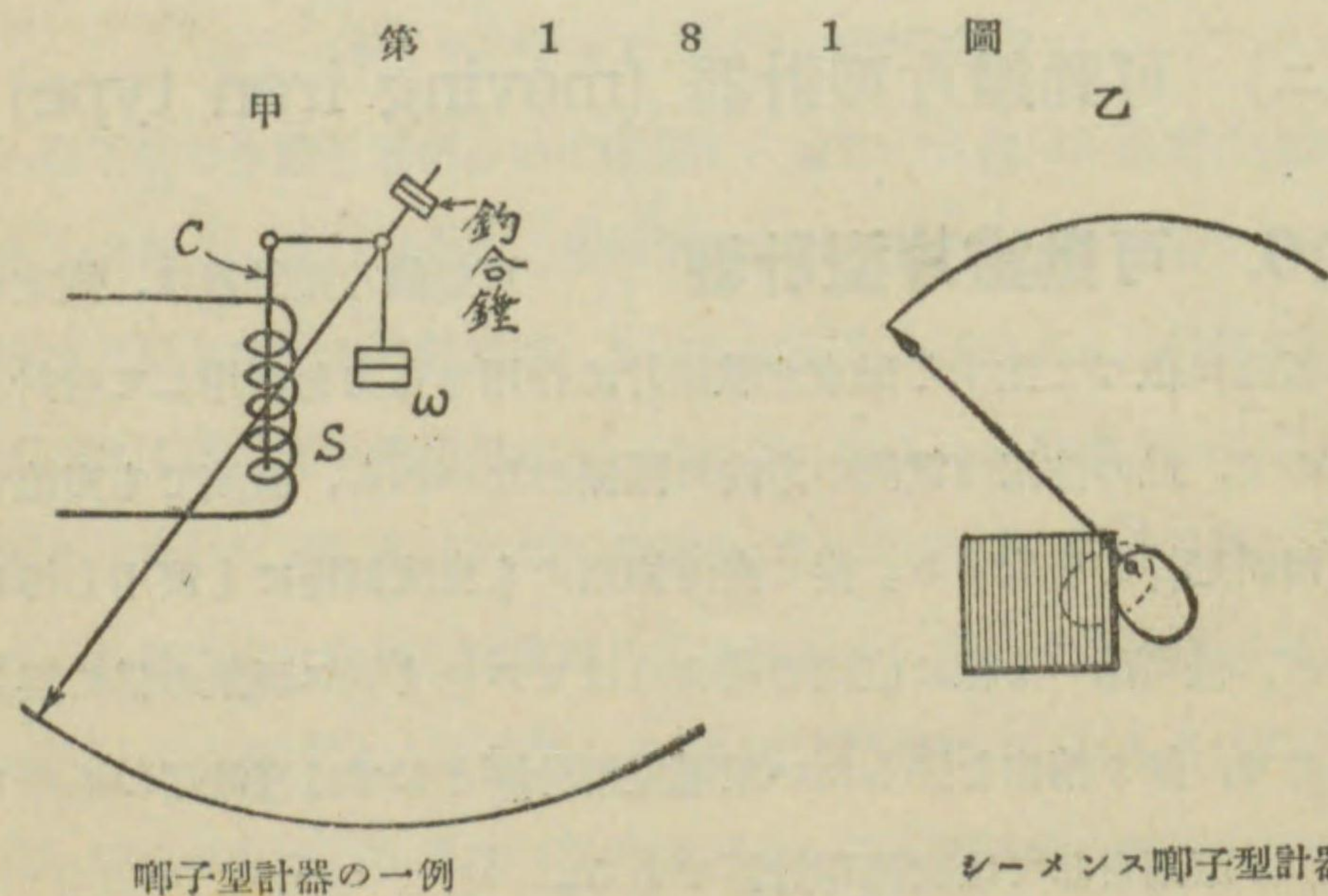
可動鐵片型計器は、固定線輪
 に通る電流に依つて生ずる磁束が軟鐵片に作用する力を利用して指針を動
 かすもので、此の作用は電流の方向に關係がないから、直流でも交流でも
 同様に傾斜廻轉力を生ずる。従て直流回路にも交流回路にも使用し得る譯
 であるが、後に述べる様に直流の場合にはヒステリシス現象の爲に誤差を
 生ずるので、餘り精密を要しない配電盤用計器としては直流用のものも作
 られるが、原則としては交流用計器である。

可動鐵片型計器は次の三種に大別することが出来る。

- (イ) 唧子型軟鐵計器 (plunger type soft iron instrument)
- (ロ) トムソン傾斜線輪型計器 (Thomson inclined coil type)
- (ハ) 反撥型計器 (repulsion type meter)

此の型の計器は只一個の固定線輪を有するのみで、電圧計と電流計との差は他の型の計器と同様である。即電流計に於ては、線輪は其の測定範囲に應じ電流を安全に通し得る太さの針金から成り、大體に於て全目盛に於て同一廻轉力を得る爲、最大電流に相當するアマペア回数を同一に選ぶのである。電圧計は一般に細い針金を捲いた捲数の多い線輪から成り、其の最大目盛に相當するアマペア回数は又電流計の場合と大體同一となる様にし、電圧の測定範囲に應じ適當なる抵抗の無誘導マンガニ直列抵抗を接続するのである。

又制動装置は大體電流計型計器の場合と同様に空氣制動装置が用ひられる。



唧子型計器の一例

シーメンス唧子型計器

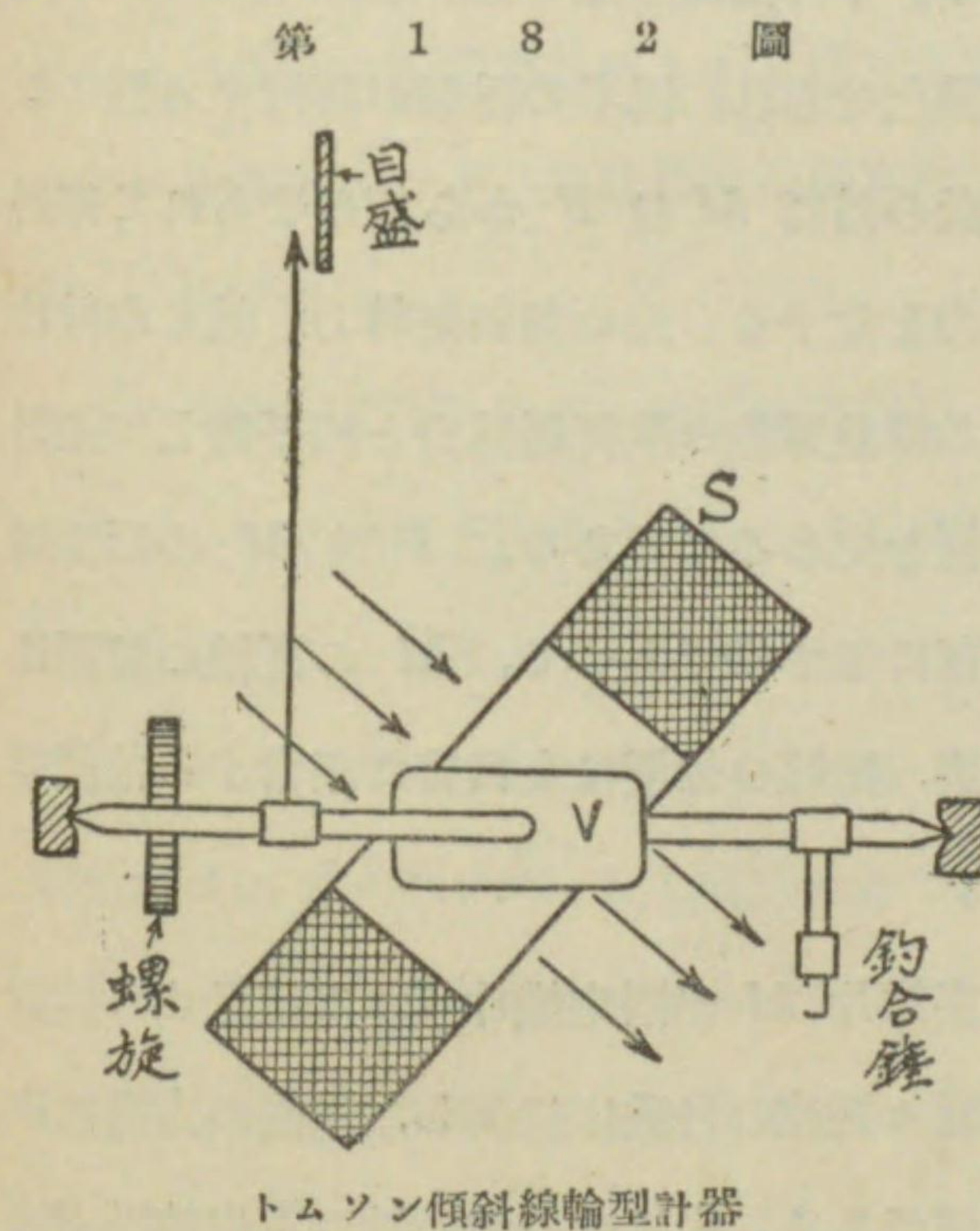
107. 唧子型軟鐵計器

第 181 圖 甲 は唧子型計器の一例を示すもので、 S は固定線輪、 C は軟鐵片である。 S に電流が通ると、軟鐵片 C は線輪内に吸ひ込まれる爲に、指針を傾斜すべき廻轉力が出来る。圖は制御力として重力制御を用ひた場合を示すが、螺旋彈條を用ひても差支がない。

同乙圖に示すものも亦唧子型計器の一種であつて、可動鐵片には異なる形のものを用ひて居る。

108. トムソン傾斜線輪型計器

第 182 圖はトムソン傾斜線輪型計器を示す。 S は固定線輪で、可動部分の廻轉軸と約



トムソン傾斜線輪型計器

45° 度傾けてある。 V は線輪の内部に於て軸に取付けてある軟鐵片で、 S に電流が通らない時には、制御螺旋の作用で圖の様な位置を取り、指針は零を指して居るが、 S に電流が通れば此の爲に矢の方向に磁束を生じ、可動軟鐵片 V の面は磁線の方に平行な位置を取らうとして傾斜廻轉力を生ずる。即ち軟鐵片の取ら

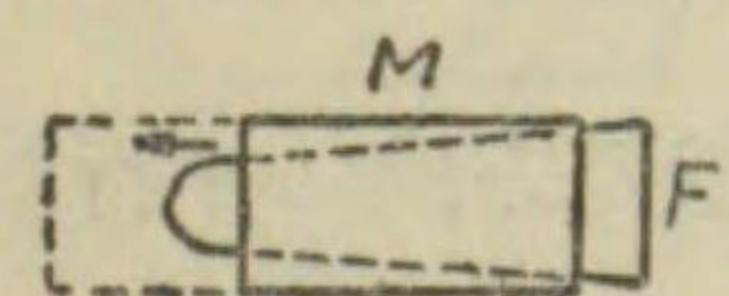
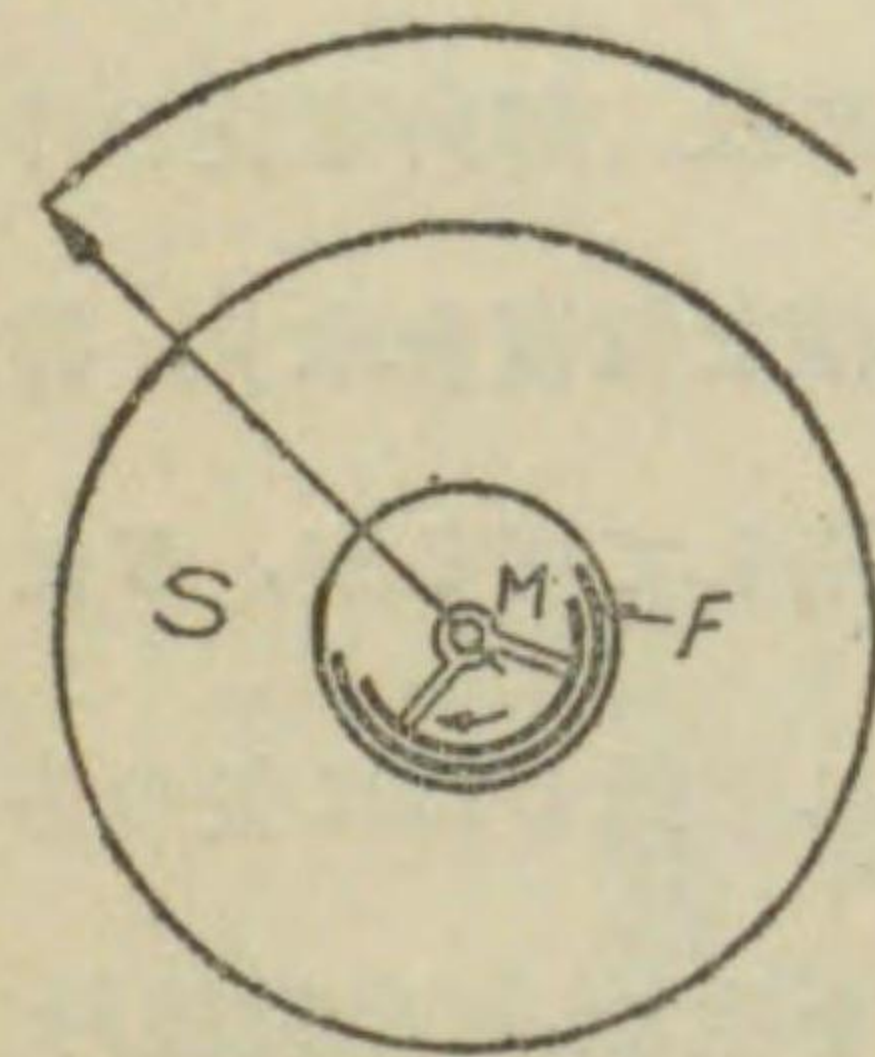
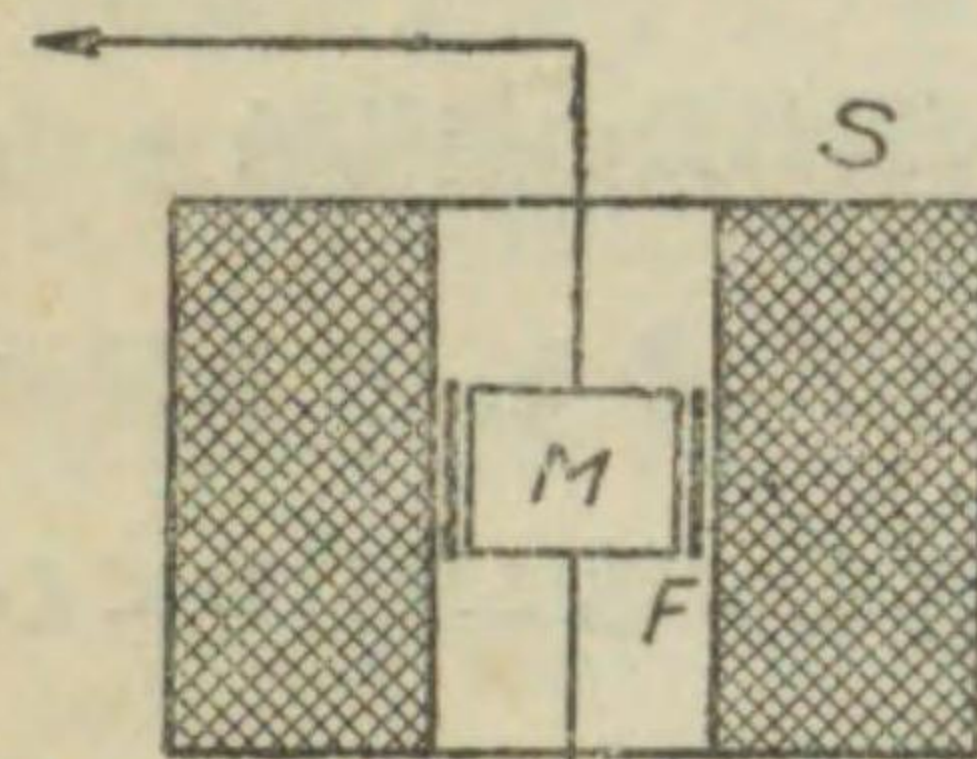
うとする最後の位置は、 S に依つて生ずる磁界の磁路抵抗 (magnetic

reluctance) を最小とする様な位置であつて、若し指針の位置を制御すべき螺旋弾條がなかつたならば、線輪に電流が通れば可動鐵片は常に此の位置迄振れるのである。此の力は線輪の電流が増加する程増加するが、電流の方向には無関係である。即ち螺旋弾條の制御廻轉力と相俟つて指針の位置は定まり、直流及交流回路に使用することが出来るのである。

109. 反撥型計器

第 183 圖はウェストン會社製反撥型

第 183 圖



ウェストン反撥型
可動鐵片計器

可動鐵片計器を示すものである。圖に於て S は固定線輪で、其の内部に F 及 M なる二個の軟鐵片がある。 F は固定鐵片、 M は可動鐵片である。今線輪に電流を通すと、 F 及 M は同様に磁化せられ、同名の磁極が相對する様になり、此の爲に M は F から拒斥せられて傾斜廻轉力を生ずる。此の傾斜廻轉力と軸に取付けてある螺旋弾條の制御廻轉力と相平衡して指針の位置を定めるのである。 F 及 M の形は圖の下部に示す様であつて、 M の實線の位置は零目盛、點線の位置は全目盛に相當する位置である。

可動鐵片 M が固定鐵片 F に拒斥せられる力は略々電流の自乗に比例し、電流の方向には無関係である。従て此の型の計器も直流及交流兩回路に用ひ得るのである。

110. 可動鐵片型計器の特性

可動鐵片型計器は直

流回路及交流回路に於て動作するものであるが、電流力計型、電熱型又は靜電型と異なる點は、直流を以て目盛し之を交流回路に用ひることが出来ない點である。其の理由は計器の内部に鐵を用ひてあるから、直流計器として用ひる場合にはヒステリシスの現象に依り、電流を増加する場合と減少する場合とに於て、同一電流に對し其の指示を異にするからである。一般に電流を増加して行く場合より、電流を減少する場合の方が同一電流即同一磁化力に對し磁束密度が大きく、従て廻轉力が大となり、其の指示を増すこととなるのである。此の影響は相當に大きいので、精密測定には直流計器として使用されない。只其の構造が簡單で價格低廉な爲に、精密を要しない場合の配電盤計器として屢々直流にも用ひられる。但しヒステリシスの影響を少くするには良質の鐵を用ひ、成るべく磁路の方向の長さを短くすれば良い。

故に可動鐵片型計器は元來交流計器で、従て其の目盛も交流に依り電流力計型、又は熱線型計器と比較して施される。而して交流計器としては良質の鐵を用ひ、成るべく少量の鐵を用ひる様に設計すれば、鐵片内の渦流損及ヒステリシス損の如きは殆んど考へる必要がなく、電壓計の場合には線輪のインダクタンスに比し充分大なる無誘導抵抗を接続して置けば、周波數又は波形の影響を極めて少くすることが出来るし、電流計の場合には周波數の特性は寧ろ並列回路より成る電流力計型電流計に比し優る場合が屢々ある。

周圍溫度及外部磁界に對しては電流力計型計器と大差がない。

以上の點から考へ可動鐵片型計器は、構造簡單、價格低廉で、而も相當優良なる特性を有して居るので、交流の實用計器として極めて便利なもので、前節の反撥型計器の如きは交流携帯用精密級計器として珍重せられるものである。

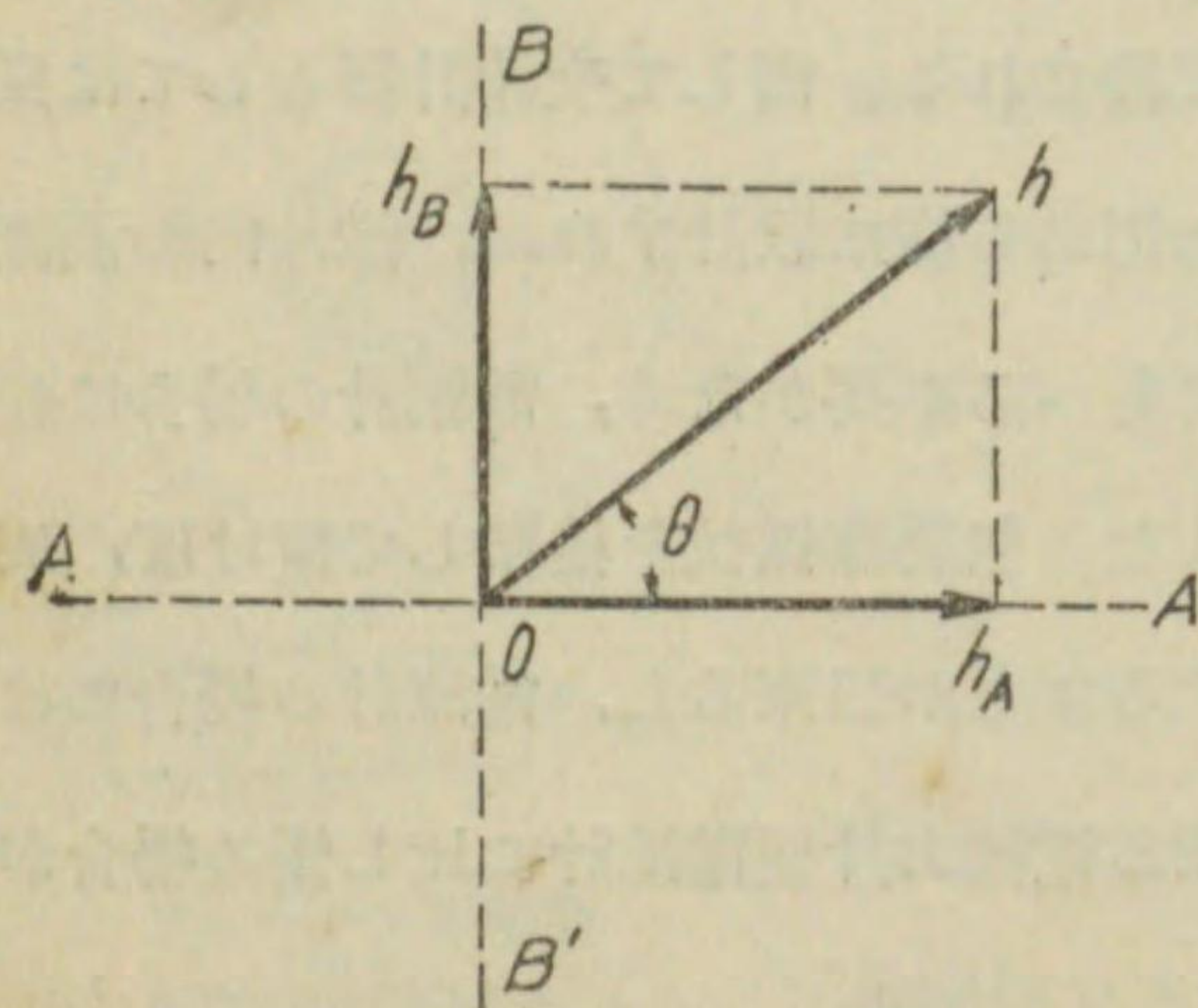
第三 交流回路に限り用ひ得る測定器

111. 誘導型計器

同一周波数の二つの交番磁界があつて、其の方向が空間に於て異なつた方向に生じ、且其の磁界の位相に差があつて、其の最大値及最小値が同時に生じない時には、其の合成磁界は一種の廻轉磁界又は移動磁界を形成するものである。此の廻轉磁界又は移動磁界の中に金屬板が存在する時には、之に渦流が誘起せられ、此の渦流と磁界との相互作用に依り、金屬板を廻轉磁界の方向に廻轉せしむべき廻轉力を生ずるものである。此の原理を應用したものが誘導型測定器である。

廻轉磁界の生成に就ては茲に詳しく説明することを避けるが、只一般的

第 184 圖

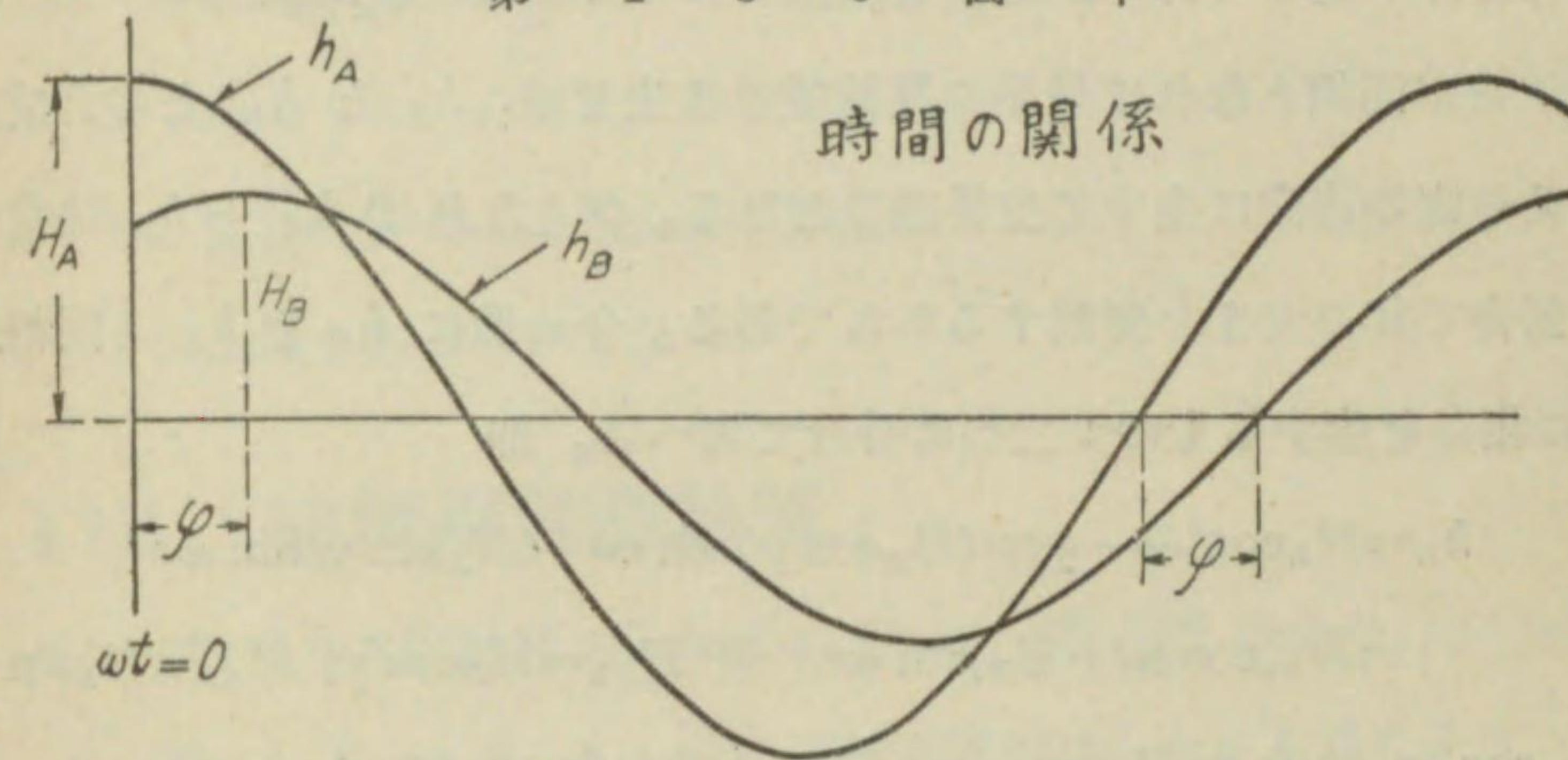


廻轉磁界の空間ベクトル

概念を與へる爲に、空間に於て 90° 異なつた位置に生ずる廻轉磁界に就て簡単に説明しよう。例へば第 184 圖に於て h_A は AOA' の方向に生ずる交番磁界の或瞬時に於ける値、 h_B は BOB' の方向に生ずる交番磁界の同じ瞬時に於ける値であるとすれば、其の時刻に於ける合成

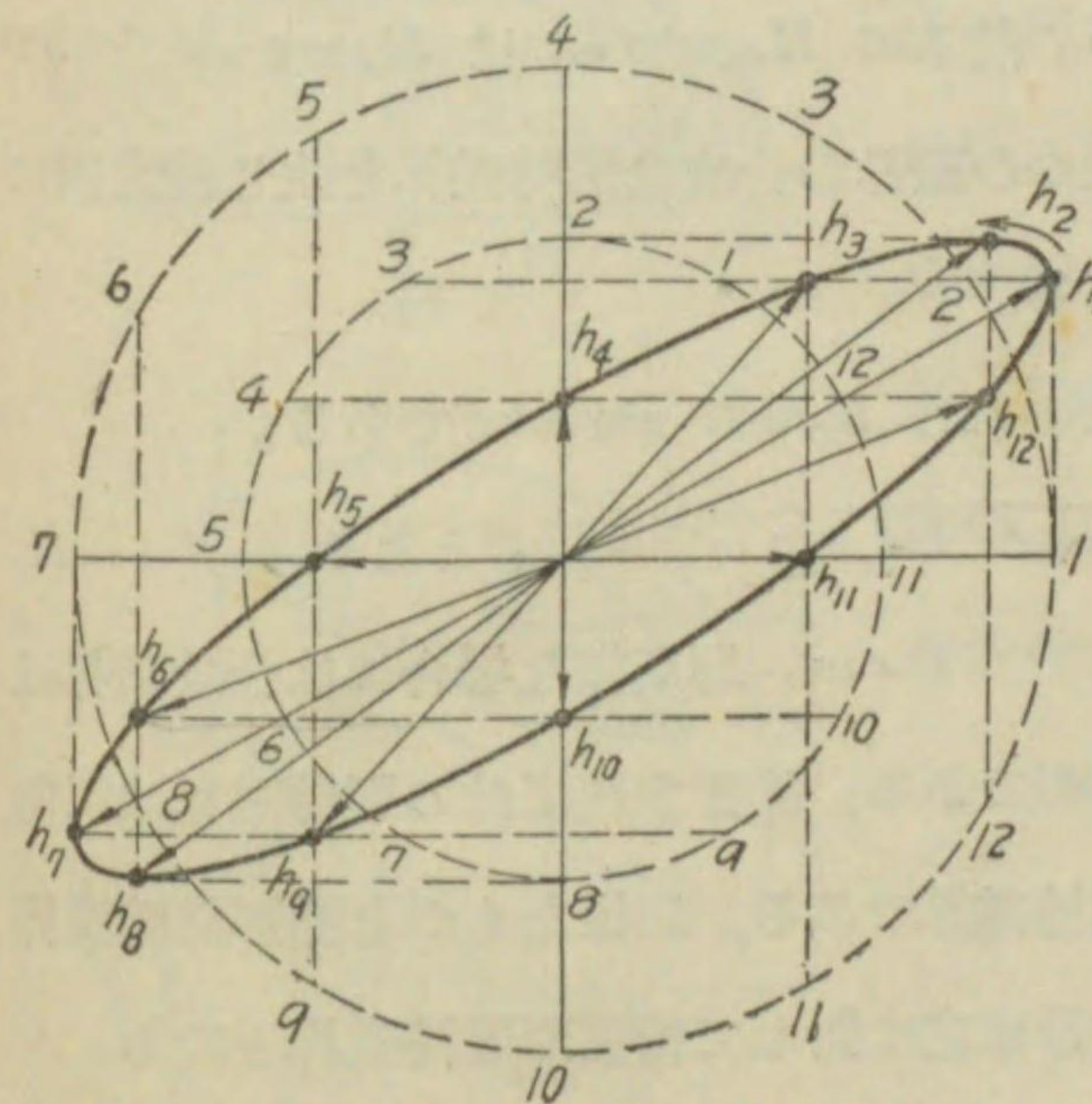
磁界 h は h_A と h_B との合成で $h = \sqrt{h_A^2 + h_B^2}$ である。又任意の時刻 t に於ける h と OA 間の空間角度は $\tan\theta = \frac{h_B}{h_A}$ に依つて與へられる。

第 185 圖 甲



二 磁 界 の 變 化

第 185 圖 乙



楕圓形廻轉磁界

今 $h_A = H_A \cos \omega t$ とし、
 $h_B = H_B \cos(\omega t - \varphi)$ とする。即 H_A 及 H_B は各交番磁界の最大値で h_B は h_A より φ 丈位相が遅れて居る。此の場合に合成廻轉磁界の強さ並に空間の位置が時間と共に變化して行く狀況は第 185 圖乙から分るであらう。圖は $\varphi = 30^\circ$ の場合を示したもので、大圓の

半徑は H_A 、小圓の半徑は H_B である。合成磁界を求めるには同一の符號 1, 1, 2, 2, …… に付大圓から垂直線、小圓から水平線を引き其の交點を求

め h_1, h_2, \dots を見出せばよい。此の變化の状は勿論 H_A 及 H_B の大さ及 h_A h_B 間の相差 φ に關係するものであるから、 φ を種々に變じて如何に此の廻轉磁界が變つて行くかを讀者は檢せらるゝがよい。此内 $\varphi=0$ 即 h_A と h_B とが同相となれば最早や廻轉磁界は生ぜず、 h_A と h_B との合成磁界は又一定の方向に生ずる交番磁界となる。何となれば h_A と h_B は常に同一割合で其の大さを變動するからである。今一般に h_B を h_A と同相及 90° の相差を生ずるものゝ二つに分けて考へる。即

$$h_B = H_B \cos(\omega t - \varphi) = (H_B \cos \varphi) \cos \omega t + (H_B \sin \varphi) \sin \omega t$$

$$= H_{B1} \cos \omega t + H_{B2} \sin \omega t \quad \text{但 } H_{B1} = H_B \cos \varphi, H_{B2} = H_B \sin \varphi$$

$H_{B1} \cos \omega t$ は $h_A = H_A \cos \omega t$ と同相の磁束分で、 $H_{B1} \cos \omega t$ と h_A とは前述の如く一定方向の交番磁界を生ずるに過ぎない。従て之が爲には金屬板に何等の廻轉力を生じない。然るに $H_{B2} \sin \omega t$ は $H_A \cos \omega t$ と 90° の相差を有するもので、此の二つの磁界の合成は廻轉磁界を生じ測定器に必要な廻轉力を生ずるものである。

若し $H_B = H_A$ で $\varphi = 90^\circ$ であれば $h_B = H_A \sin \omega t$ である。

故に合成磁界 $h = \sqrt{(H_A \cos \omega t)^2 + (H_A \sin \omega t)^2} = H_A$ となり、

$$\tan \theta = \frac{H_A \sin \omega t}{H_A \cos \omega t} = \tan \omega t \quad \therefore \theta = \omega t, \text{ 即斯様な場合には合成磁界は}$$

常に一定の値で、其の位置は ωt である。換言すれば此の廻轉磁界は同期速度を以て廻轉する一定値の廻轉磁界である。斯様なものを圓形廻轉磁界と云ふ。第 185 圖の如き廻轉磁界は之に對して橢圓形廻轉磁界と云ふ。

廻轉磁界は位相の異なる二つの交番磁界が異なる方向に生じて居る場合に生ずるものであることは上述の通りで、交番磁界は交流に依つて生ずるのであるから、此の型の計器は直流回路には用ひることが出来ない。

誘導型計器は之を大別して次の二種とすることが出来る。

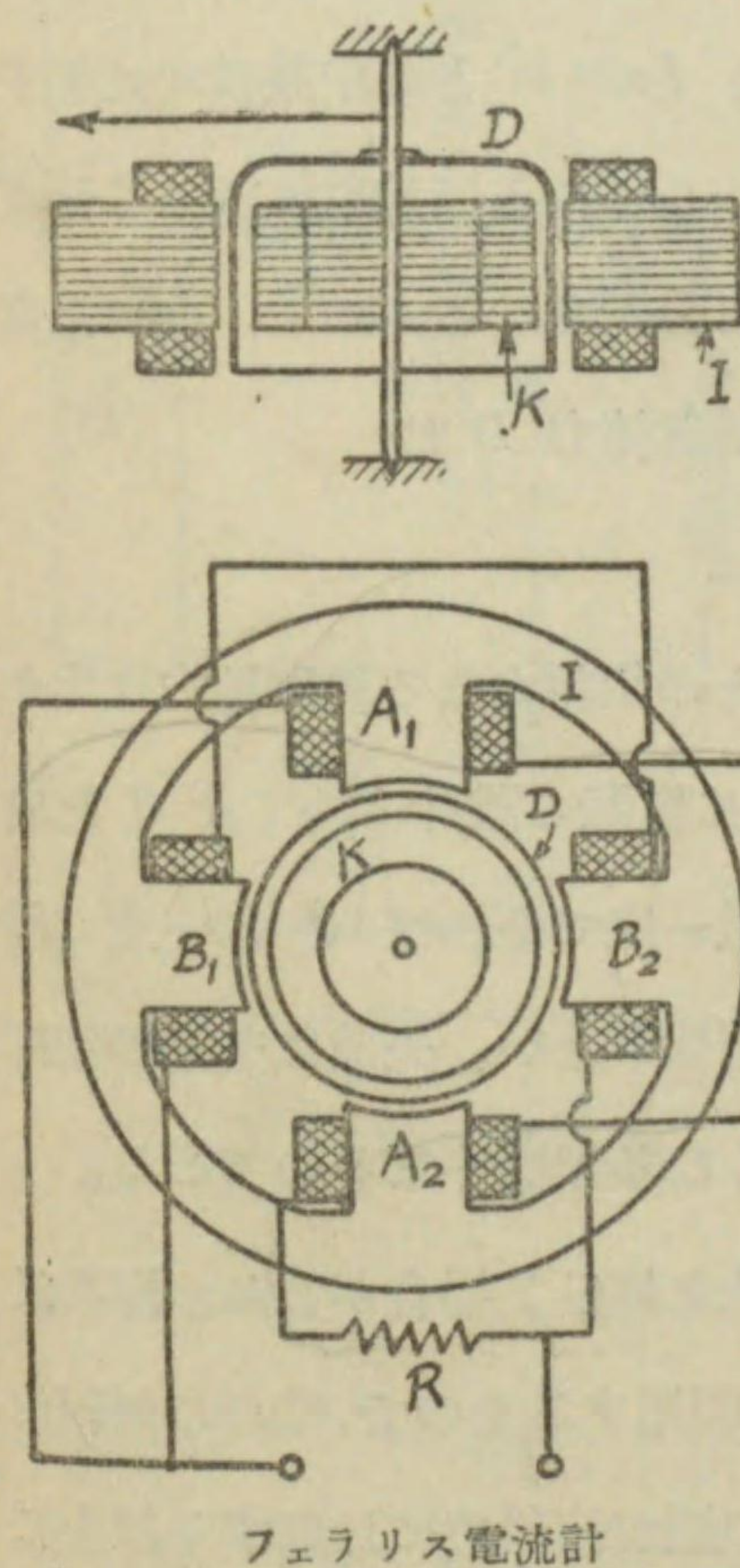
- (イ) 廻轉磁界型 (rotating field type)
- (ロ) 移動磁界型 (shifting field type)

此の二つは全く同一の原理であるが、前者に於ては磁界が完全に廻轉磁界となり、後者に於ては磁界は或一局部のみに生じて、磁界が局部的に移動すると云ふ差があるのみである。

112. 廻轉磁界型計器

(イ) フェラリス型計器 (Ferraris type) 第 186 圖はフェラリス廻轉

第 186 圖



磁界型電流計を示すものである。I は成層鐵心から成り四極を有し、各磁極には夫々 A_1, A_2, B_1, B_2 なる線輪を捲いてある。K は成層鐵心である。D は磁極と鐵心との空隙にあるアルミニウム圓筒で、其の軸に指針が取付けてある。線輪 A_1 及 A_2 と B_1 及 B_2 とは並列に接続せられ、 A_1 及 A_2 の方には無誘導抵抗 R が接続せられてあるのみならず、 B_1 及 B_2 は A_1 及 A_2 に比し捲數多くインダクタンスが遙に多い。従て B_1 及 B_2 に流れる電流の位相は A_1 及 A_2 に流れる電流の位相から遙に遅れて居る。然るに A_1 及 A_2

フェラリス電流計

に依る磁界と B_1 及 B_2 に依る磁界とは空間に於て互に直角であるから、一種の廻轉磁界を生ずるのである。即此の廻轉磁界に依りアルミニウム圓筒 D に渦流を誘起し、圓筒を廻轉磁界の方向に廻轉せしめやうとする廻轉力を生ずるのである。

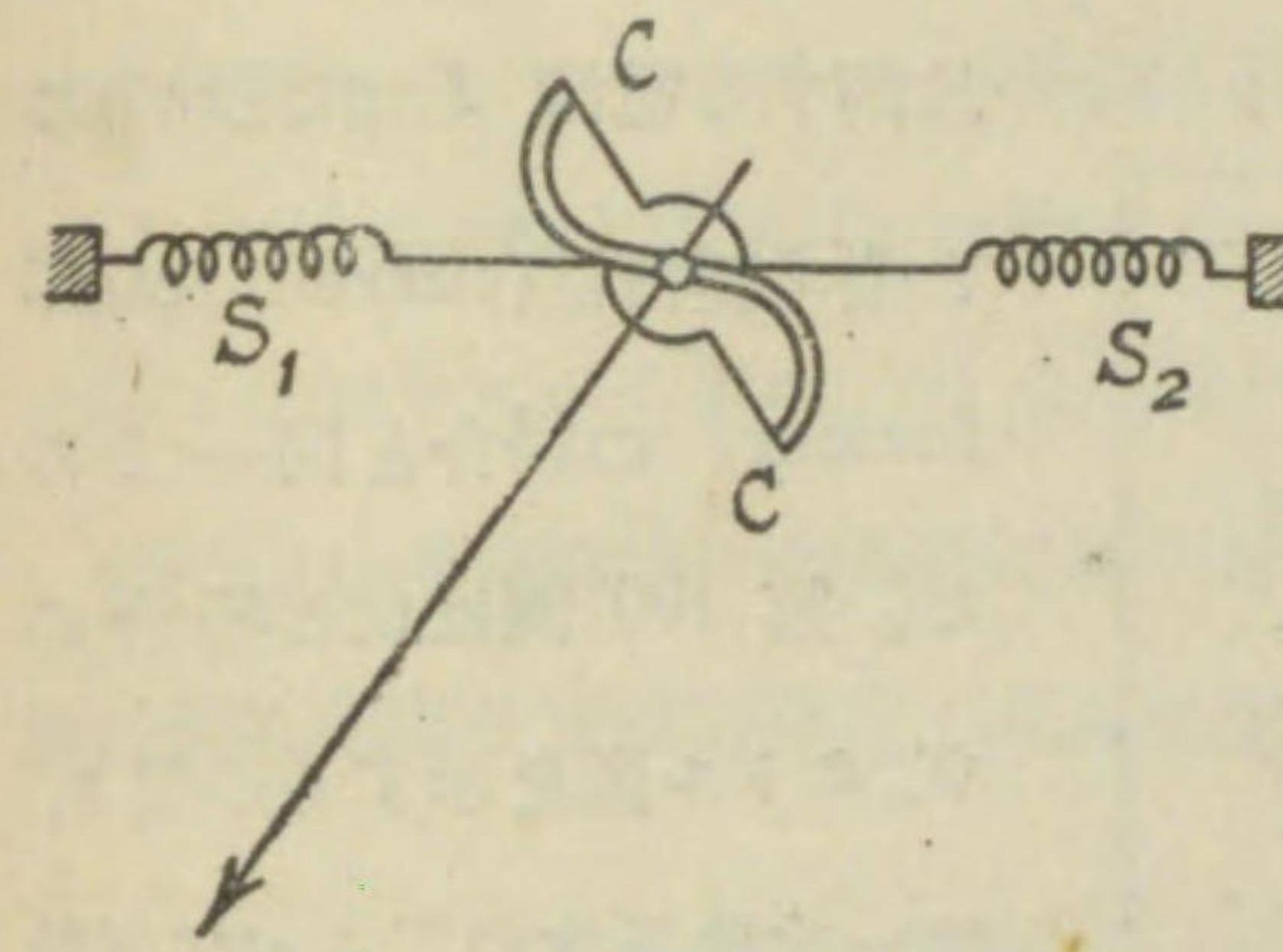
今 A_1 及 A_2 に流るゝ電流を I_1 , B_1 及 B_2 に流れる電流を I_2 とし、 I_1 及 I_2 間の相差を θ とすれば、前節に述べた如く I_2 の I_1 と同相なる電流分 $I_2 \cos \theta$ は I_1 と一定方向の交番磁界を生ずるのみで何等の廻轉力を生ずることがない。然るに I_2 の I_1 より 90° 遅れて居る電流分 $I_2 \sin \theta$ に依つて生ずる磁界と I_1 に依つて生ずる磁界との合成磁界は廻轉磁界を形成し、圓筒に廻轉力を生ずるものである。而して此の廻轉力は兩磁界の相乗積に比例するもので、大體に於て I_1 と $I_2 \sin \theta$ との相乗積に比例するものと見てよい。而して I_1 及 I_2 は與へられたる周波數に於ては全電流が並列回路のイムピーダンスに逆比例して分配されるもので、共に全電流に比例するから、 I を全電流とすれば傾斜廻轉力 D は

$$D = KI^2 \sin \theta$$

即與へられたる周波數に於ては I_1 と I_2 との相差大なる程廻轉力は大きく、 $\theta = 90^\circ$ に於て廻轉力は最大である。故に實際の設計に於ては θ を成るべく大きくする様にするのである。周波數一定であれば θ は一定で廻轉力は I^2 に比例し、而も圓筒の位置には關係がない。夫故に普通の制御螺旋彈條を用ひると目盛の幅は電流が大きくなる程廣くなるのである。

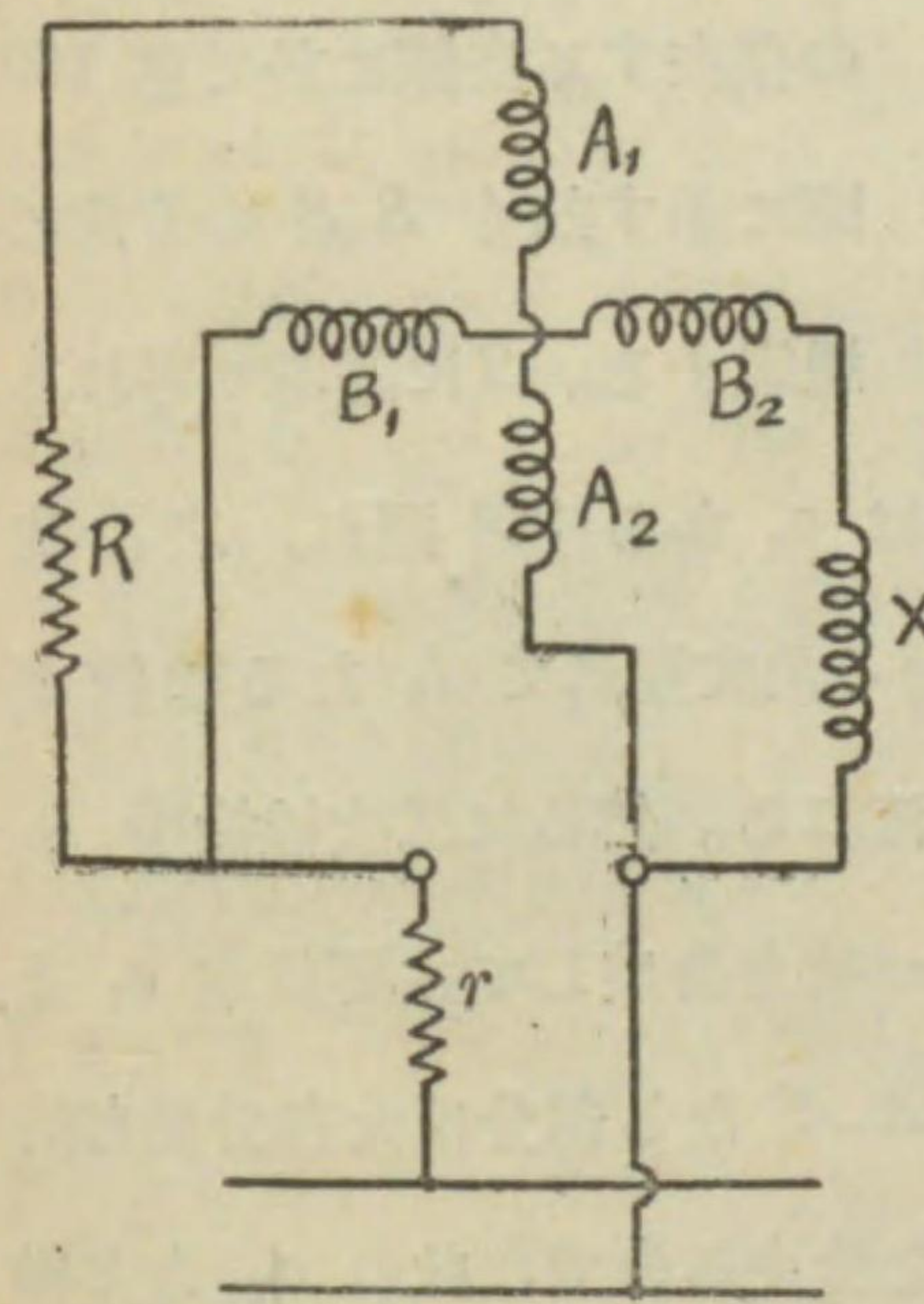
目盛を改良する爲に第187圖の様な制御法を用ひる場合がある。即ち二個の螺旋彈條 S_1 S_2 とカム (cam) C とを利用するもので、指針の傾斜角が大きくなる程、カムの作用に依つて彈條の歪が傾斜角に比例する以上に

第 1 8 7 圖



フェラリス計器特殊制御法

第 1 8 8 圖



フェラリス電壓計の接續

増加する。故に若しカムの形を適當にすれば、全目盛の約 $\frac{1}{5}$ 以上は殆んど目盛を一樣にすることが出来るのである。

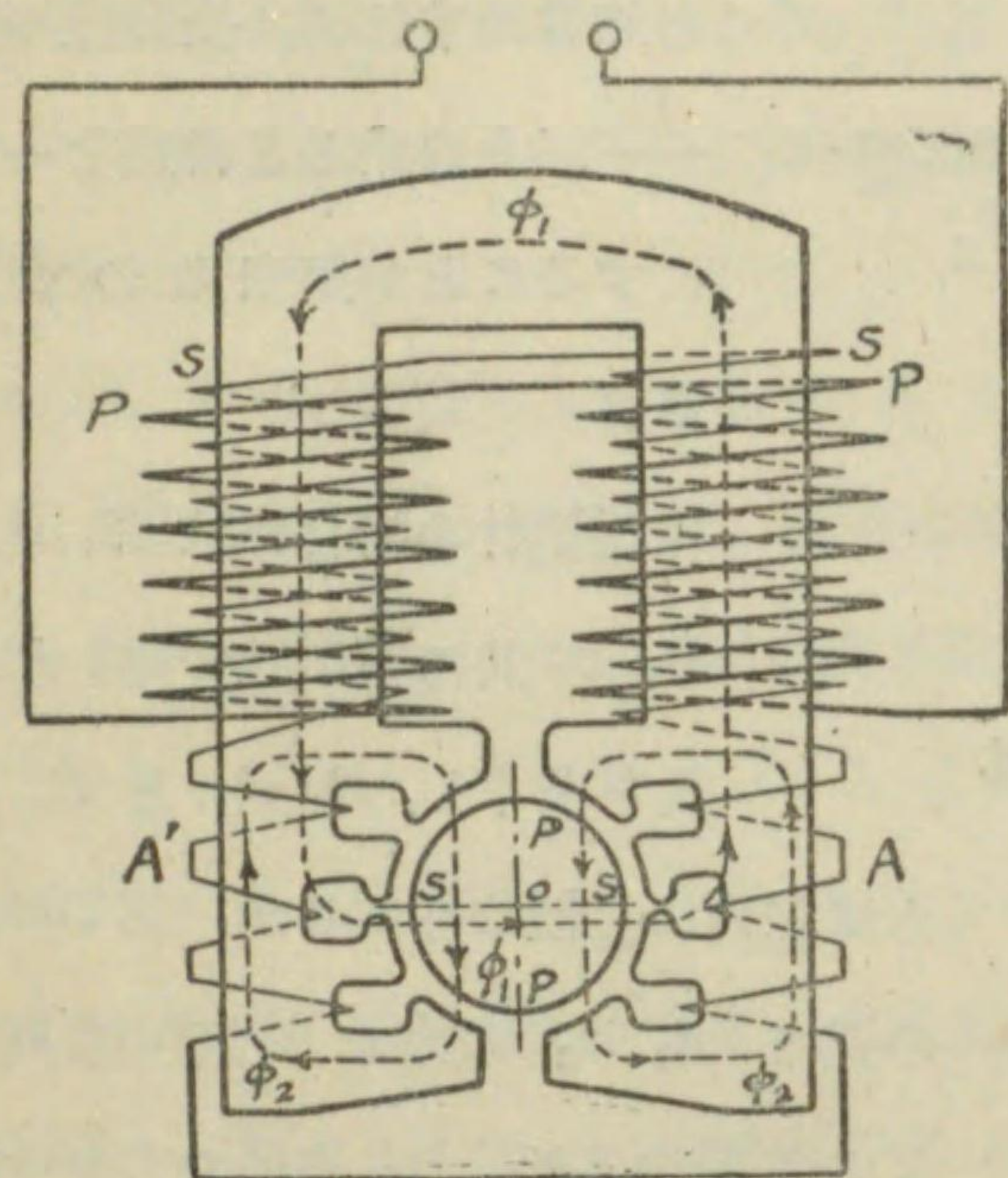
電壓計の場合には A_1 A_2 , B_1 B_2 共に細い線で捲かれ捲數を多くし、 A_1 A_2 と B_1 B_2

とは並列に接續せられるが、第183圖の様に A_1 A_2 の方には無誘導抵抗 R を接續する外、 B_1 B_2 の方にはリアクタンス線輪 X を接續して、斯くして A_1 A_2 に流れる電流と、 B_1 B_2 に流れる電流との相差を 90° に近くするのである。更に電壓計の測定範圍に應じ適當なる無誘導抵抗 r が接續せられる。

(口) 變壓器型電壓計及電流計 (transformer type) 第189圖は米國ウェスチングハウス會社變壓器型計

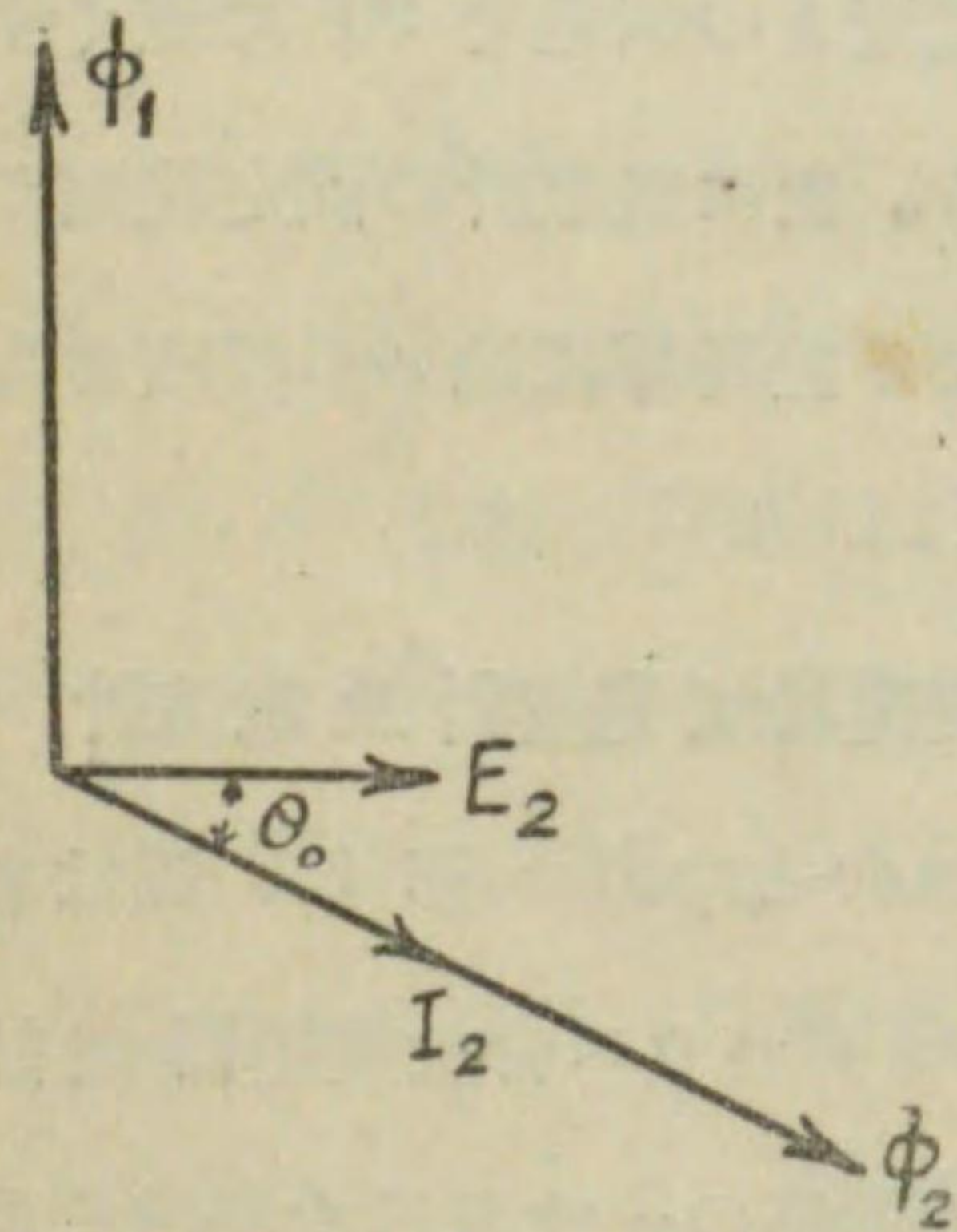
器を示すものである。圖に於て P 及 S は變壓器の一次及二次線輪を形成するもので成層鐵心の上に捲かれて居る。 P には測定電流を通じ、 S は AA' なる線輪を以て短絡せられて居る。今 P に I_1 なる電流が通ると、

第 1 8 9 圖



ウェスチングハウス変圧器型計器

第 1 9 0 圖



變壓器型計器のベクトル圖

Sには一次及二次の捲數に逆比例する電流 I_2 が流れること全く變流器* (current transformer) の場合と同一である。第 190 圖は此の場合のベクトル圖を示すもので ϕ_1 は一次及二次のアムペア回数の合成に依つて生ずる主要磁束で、可動アルミニウム圓筒の存在する空隙に於て第 189 圖に示す如く SS の方向に通過する。Sに誘導せられる

起電力 E_2 は ϕ_1 から 90° 遅れ、之に依り更に θ なる角丈遅れて I_2 なる電流が二次回路に流れる。然るに二次線輪中 S なる部分は一次と合成して主要磁束 ϕ_1 を生ずるが、 $A A'$ なる部分は大部分局部的の磁束 ϕ_2 を生ずるので、此の ϕ_2 なる磁束は可動圓筒の存在する空隙に於て ϕ_1 と直角の方向即 PP の方向に生ずること第 189 圖に示す如くである。斯様にして ϕ_1

* 註 變流器に就ては後章に詳説する。

と ϕ_2 とは可動圓筒の位置に於て互に直角なる方向に生じ、 $90^\circ + \theta$ の相違がある爲 ϕ_1 と $\phi_2 \cos \theta$ とが廻轉磁束を生ずることとなり、結局圓筒に $\phi_1 \phi_2 \cos \theta$ に比例する廻轉力が働くのである。然るに ϕ_1 及 ϕ_2 は共に I_1 に略々比例するから廻轉力は $I_1^2 \cos \theta$ に比例すると見做し得るのである。

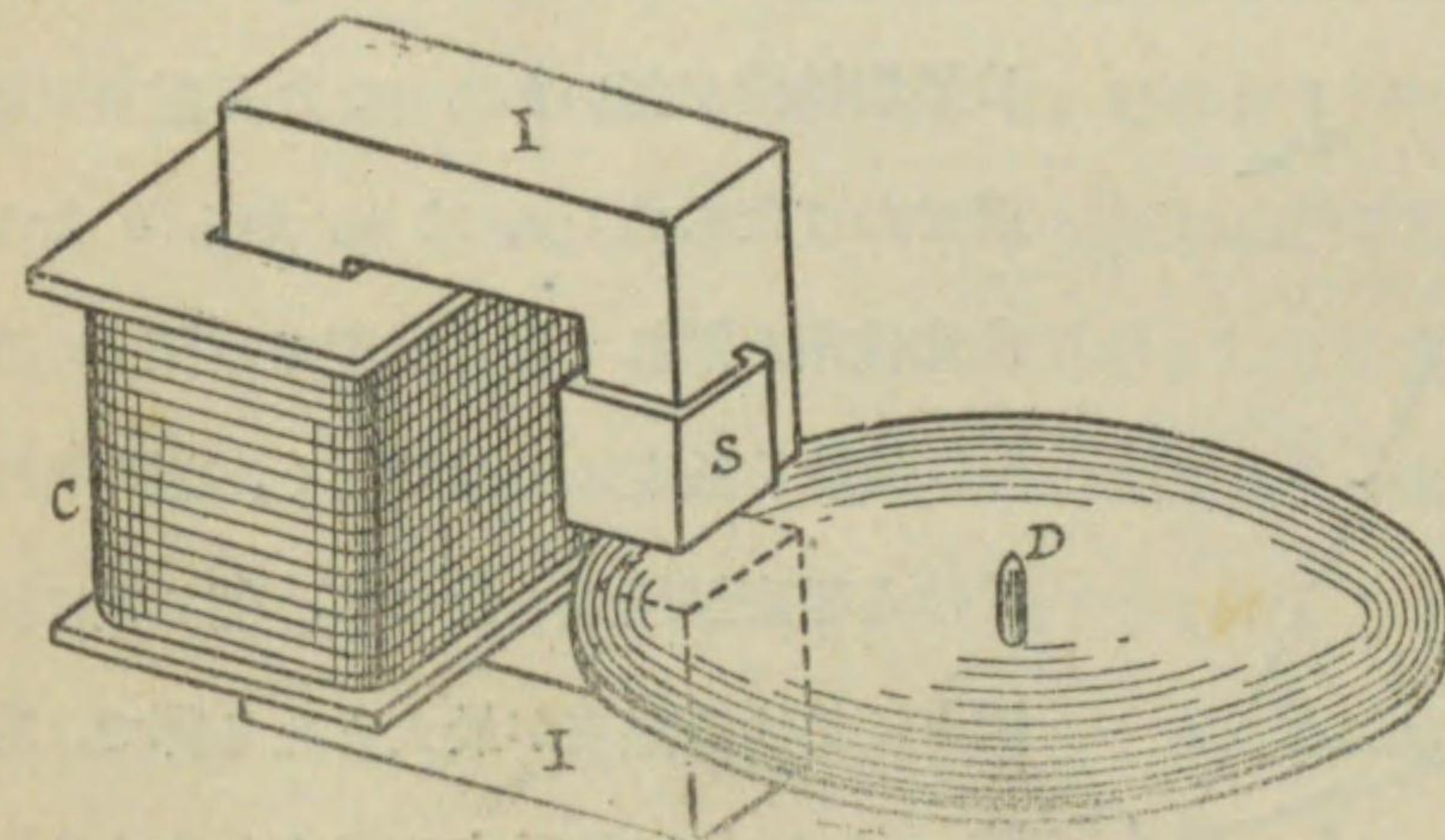
電壓計の場合には一次線輪に細い線を用ひ捲數を多くし、電壓の測定範圍に應じ適當なる無誘導直列抵抗器を接続する外、電流計と同様である。

113. 移動磁界型計器

第 191 圖は移動磁界型計器の

構造を示すものである。I は薄鐵板を重ね合せて作られた成層鐵心で、此の上に C なる線輪が捲いてある。此の輪線には測定すべき電流を通じ、

第 1 9 1 圖



移 動 磁 界 型 計 器

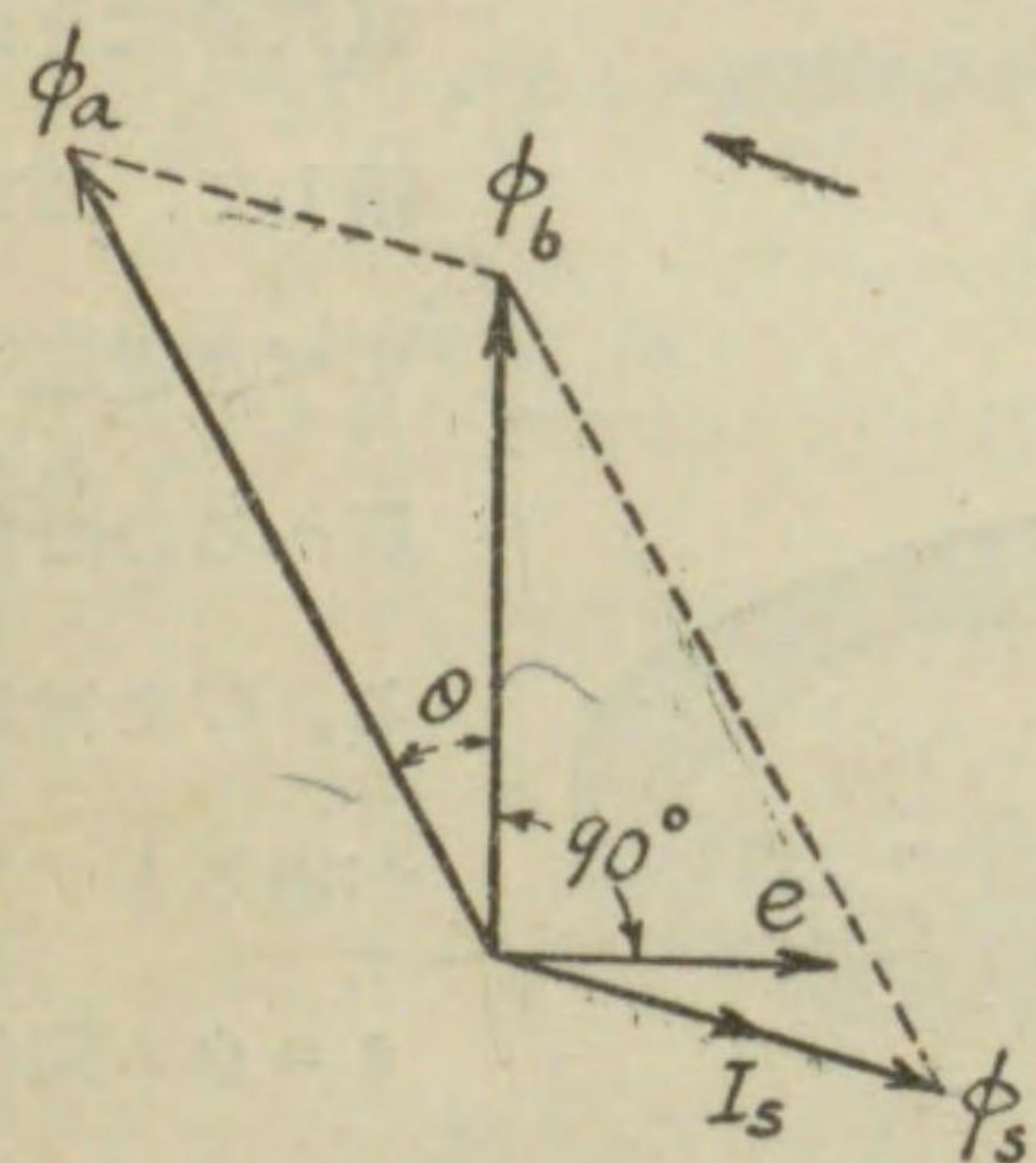
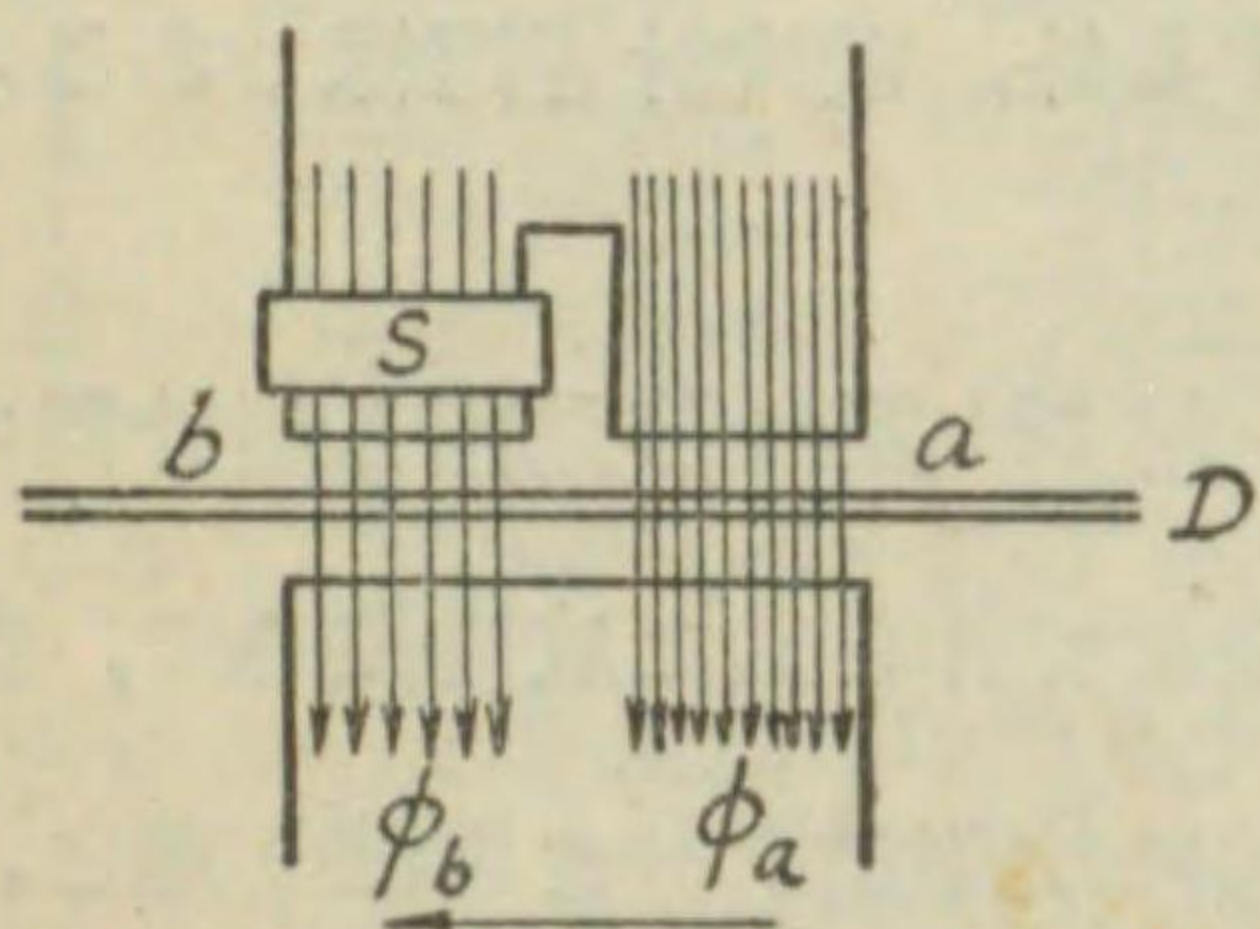
又は適當なる直列抵抗を接続して、測定すべき電壓を與へるのである。Cに電流が通るとアルミニウム圓板 D の存在す

る空隙に於て交番磁界を生ずる。然るに I なる鐵心は圖に示す如く空隙の所で二つに分割され二つの相隣れる磁極を形成し、其の一極に短絡線輪又は短絡金屬環 S を裝置する。此の短絡線輪は隈取線輪 (shading coil) と稱せられるもので、其の作用に依り空隙に於て移動磁界を生ずるのであ

る。

第 192 圖は移動磁界を生ずる原理を示すものである。今 ϕ_b を空隙 b に於ける合成磁束とすれば、 S は恰度變壓器の短絡二次線輪と同様に作用し、 ϕ_b より 90° 遅れて S に e なる起電力を誘起し、之に依り S には

第 192 圖



移動磁界を生ずる原理

斯くの如く鐵心の空隙に於て移動磁界が生ずれば、圓板 D には渦流が誘起せられ、此の渦流と磁界との相互作用に依り、磁界の移動する方向に圓板を廻轉すべき廻轉力を生ずること、廻轉磁界型計器の場合と同様で、其の廻轉力は $\phi_a \phi_b \sin \theta$ に比例する。故に圓板軸に制御螺旋を取付けて

I_s なる電流が流れる。此の I_s のアムペア回數に依り、之と同相に ϕ_s なる磁束を作るべき管であるから、 ϕ_b から ϕ_s をベクトルの減じた ϕ_a なる磁束は S なる隈取線輪がない場合に b に生ずべき磁束である。換言すれば ϕ_b は ϕ_a と ϕ_s との合成である。故に空隙 a に於ては隈取線輪が無いから ϕ_a なる磁束が通過せねばならぬ。 ϕ_b は ϕ_a から θ なる角丈位相が遅れて居る。従て空隙 a 及 b に於ける磁束は同相でなく、空隙 a に於ける磁束が最大となつて、然る後に空隙 b に於ける磁束が最大となる譯で、空隙 a から b に移動する磁束を生ずる譯である。

置けば、電流計又は電壓計が得られるのである。制動装置としては圓板を挟む耐久磁石に依るので、圓板が動けば圓板に渦流が誘起せられ、以て制動作用を生ずるのである。

114. 誘導型計器の性質

誘導型計器は殆んど完全

な鐵の磁路を有して居るから、空隙に於ける磁界は強く、従て充分大なる廻轉力を得ると同時に、外部磁界の影響は極めて少ない。可動部分は簡單で堅牢な構造を有し、尙可動部分に電流を導くべき何等の装置をも要しない。又計器動作の原理上、圓板又は圓筒の位置が變つても、廻轉力を生ずる關係は全く同様であるから、第 187 圖の如き制御装置を用ひない限りは、目盛の長さを擴大することが出来る。即誘導型計器の目盛は約 300 度に亘る廣い目盛を備ふるのが普通である。斯の如き長目盛を有するの利益は第 90 節に述べた通りである。之等の性質から誘導型計器は配電盤用計器としては適當である。然し乍ら精密用計器としては電流力計型又は可動鐵片型に比し遙に劣つて居る。其の缺點の主なるものを挙げると、次の様なものである。即ち計器は其の内部に鐵を含むで居るから、電壓計の場合には線輪のインダクタンスが極めて大きく、周波數の影響が甚だしい。電流計の場合でも、廻轉磁界又は移動磁界を生ずべき二磁界の位相が周波數に依り變ずるのみならず、鐵心内にヒステリシス及渦流損を伴ふ爲に、周波數の影響は他の型の計器に比し遙に大きい。交流波形の影響も亦同様である。故に使用すべき周波數に於て目盛の較正を行はねばならぬ。尙溫度の變化に依りアルミニウム圓板の抵抗が變化する爲に、圓板に誘起せらるゝ渦流も變化し、従て一般に溫度が増加すると廻轉力は減少し、溫度が減

少すれば廻轉力は増加するものである。但し變壓器型計器は割合に周波数の影響が少く、例へば 20 サイクルから 60 サイクル位の間で、其の誤差を 1% 以内に保つことが出来ると云はれて居る。

第四 交流高電壓最大值測定装置及測定器

115. 交流高電壓最大值測定装置 第 103 節に

於て交流高電壓を測定する種々の静電型測定器を述べた。之等の測定器は何れも電壓の實効値を指示するものである。然るに絶縁物の絶縁耐力を試験する様な場合には、之に加へらるゝ電壓の實効値よりは、寧ろ其の最大値を知ることが必要である。但し若し電壓波形が純正弦波であれば、静電電壓計の指示電壓を $\sqrt{2}$ 倍すれば最大値を得られるが、一般に電壓波形は必ずしも正弦波でない。従て實効電壓は必ずしも絶縁破壊電壓を表示するものではない。尙静電々電圧計の製作せらるゝ範圍以上、例へば 200 000 ヴォルト以上の電壓を測定する爲には、他の方法に依らねばならないのである。此の目的に向つて空氣の絶縁耐力に基く火花放電現象、コロナ現象、或は眞空管、ネオン管の特殊の性狀を利用する様な測定法が考案せられて居る。

今迄は一般の電壓電流測定器を其の型に依つて分類して述べたが、本項に於ては交流高電壓の最大値を測定する特殊の装置に就て以下節を追ふて述べることにする。

116. 火花間隙 (spark gap) に依る高電壓の測定

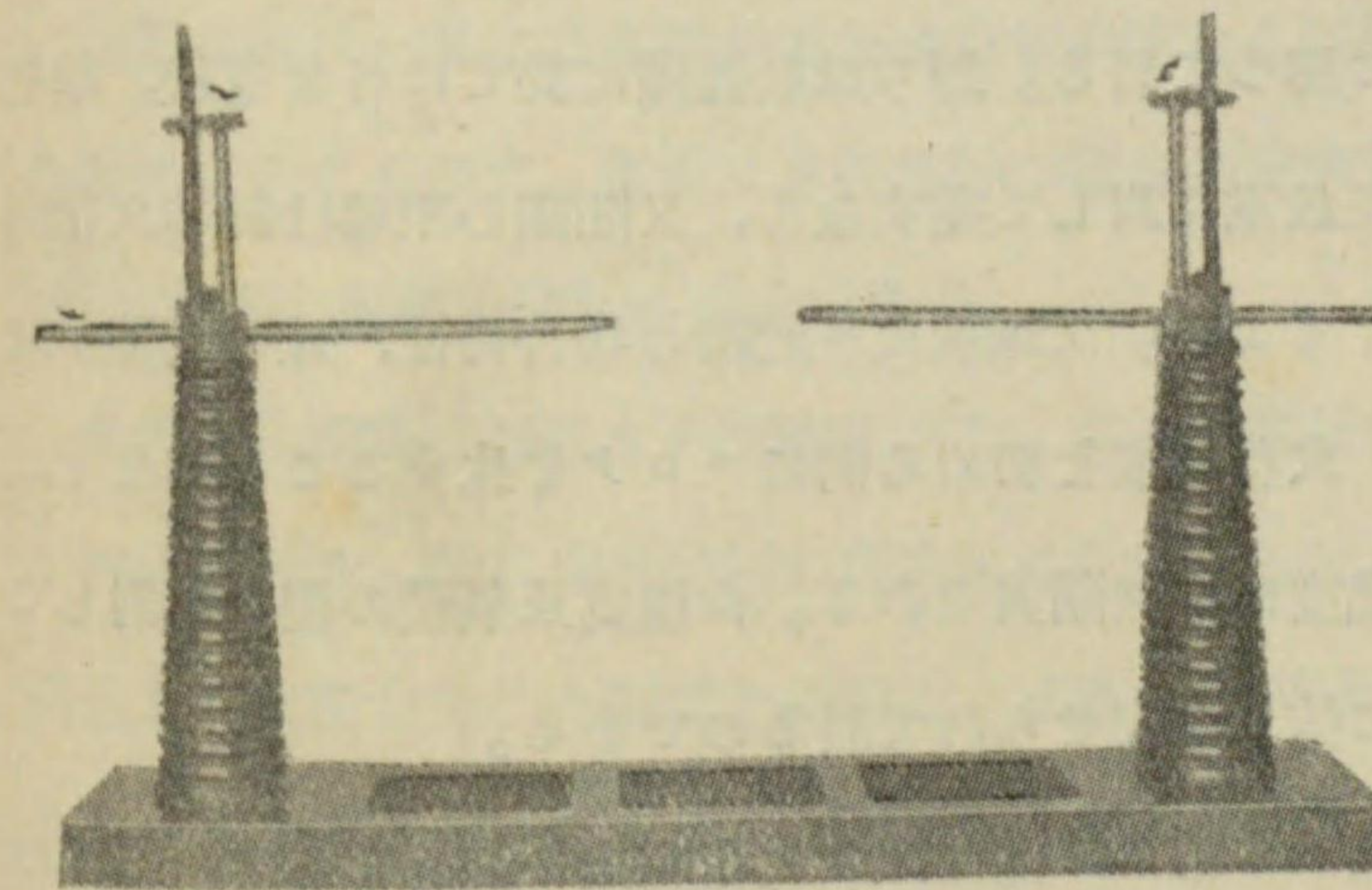
空氣中に或る距離を離隔する二つの電極の間に電壓を加へ

其の電壓を漸次増加すれば、電壓の値が或る値に達すれば火花放電を生ずる。此放電々電壓は電極の形及電極間の間隔が一定であれば、同一の空氣状態に於ては一定であつて、各國とも電氣機器又は碍子等の絶縁耐力試験に於て其の電壓を測定する爲に、此の原理に基づく火花間隙電壓測定法を採用して居る。

火花間隙には二個の縫針の尖端の間に火花を生ぜしめる針端火花間隙 (needle-point spark gap) と、二個の金屬球電極の間に火花を生ぜしむる球狀火花間隙 (sphere gap) との二種が標準として採用せられて居る。前者は電壓一萬乃至五萬ヴォルトの間、後者は電壓五萬ヴォルト以上の電壓に使用することゝなつて居る。但し三萬ヴォルト以上の電壓には球狀間隙を使用することが出来る。

(イ) 針端火花間隙 第 193 圖は針端火花間隙の装置を示すものである。圖に於て碍子に依り水平に支持せられる直線導體は針を支へる金屬棒

第 1 9 3 圖



針 端 火 花 間 隙

で、少くも針端間隙の二倍以上の長さになつて居る。此直線導體の端に新しい縫針を軸に沿ふて支へ間隙の周圍には少くも間隙の二倍の半径内には何物も無い様にする。

第 14 表は日本電氣工藝委員會の定むる針端火花間隙の距離と火花放電

電圧との関係を示すもので、電圧は正弦波の實効電圧を以て表はされる。従て若し波形が正弦波でなければ、火花を生ずる瞬時電圧の最大値は、表の値の $\sqrt{2}$ 倍であることを意味するのである。又表の値は直径1.4 耗の縫針(二零番米利堅針相當)を用ひ、溫度攝氏 25 度、氣壓 760 耗、濕度 80 %に於ける値である。

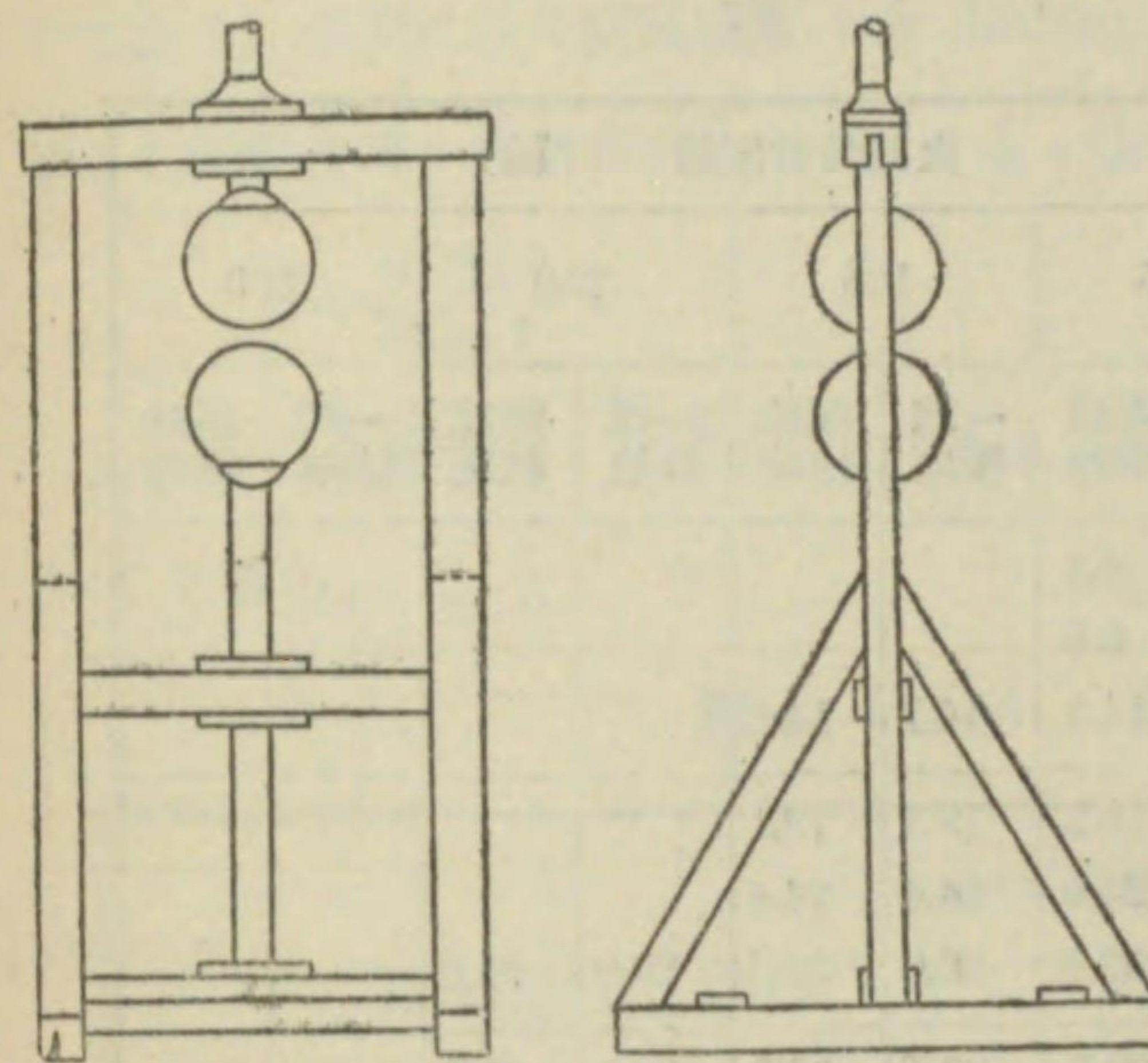
第 1 4 表

實効電壓 (キロヴォルト)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80
火花間隙(耗)	11.9	18.4	25.4	33.0	41.0	51.0	62	75	90	118	149	180

針端火花間隙は電圧が高くなると、火花發生前にコロナを針端に生ずる。従てコロナ電圧に關係ある濕度の影響を受け、尙溫度及氣壓の變化も亦影響がある。而も之等の空氣狀態の變化に對する更正を正確に行ふことが出來ない。加之、針の端が鋭くないと火花電圧は變つて來るから、毎回新しい縫針を取替へる必要があり、又電圧が甚だ高くなると間隙の距離が増加し、大なる空間を要する不便がある。之等の點に關しては、球狀火花間隙は針端火花間隙に勝つて居る。即ち球狀間隙に於ては各放電後、球を綺麗に拭へば次の火花放電に對して差支なく、又間隙の距離は針端火花間隙の場合に比し短かくてよい。又球狀火花間隙の場合には、球の間隙が球の直径の一倍半迄は、火花放電を初める前にコロナを生ずることがなく、従て火花放電々壓は濕度には無關係である。尙溫度及氣壓の變化に對しては、其の更正が實驗に依り確定せられて居るのである。

(口) 球狀火花間隙 第 194 圖は球狀火花間隙の裝置を示す。即圖の如く適當に裝置せられた同大の二個の金屬球から成り、間隙の周圍に於て球の直径の二倍の距離以内には、他の物體又は回路の一部分もない様にす

第 1 9 4 圖



球 狀 火 花 間 隙

る。球の直径は標準から 0.1 % 以上の差がなく、又其の曲率 (curvature) は眞の球の曲率から 1 % 以上の差があつてはならぬ。現在各國に於て標準として用ひらるゝものは、直径 62.5 耗、125 耗、250 耗及 500 耗の四種である。球狀間隙は双方の球を絶縁し、或は一球を

接地して用ひることが出来るが、双方共絶縁する場合には、火花間隙は床又は大地から球の直径の約 5 倍以上の距離に裝置すべきことが規定せられて居る。

次頁の第 15 表は日本電氣工藝委員會の定むる間隙の距離と火花電圧との關係を示すもので、電圧は正弦波形の場合の實効値を以て表はし、溫度攝氏 25 度、氣壓 760 耗の場合である。

球狀火花間隙は針端火花間隙に比し、其の放電特性は電圧の上昇に對して鋭敏である。故に球狀間隙の場合には電圧を一定に保ち、間隙を徐々に縮少して火花の生じた間隙を測定し、或は一定間隙に保ち電圧を徐々に高めて火花を生じしめ、之に依り上表から其の電圧を決定することが出来る。

球狀火花間隙の場合には前述の如く空氣の溫度及氣壓の影響に對する更

第 1 5 表

球の直径 (耗) 条 件 火花電壓 (キロヴォルト)	火花放電距離 (耗)							
	62.5		125		250		500	
	一球 接地	兩球 絶縁	一球 接地	兩球 絶縁	一球 接地	兩球 絶縁	一球 接地	兩球 絶縁
10	4.2	4.2						
20	8.6	8.6						
30	14.1	14.1	14.1	14.1				
40	19.2	19.2	19.1	19.1				
50	25.5	25.0	24.4	24.4				
60	34.5	32.0	30.0	30.0	29.0	29.0		
70	46.0	39.5	36.0	36.0	35.0	35.0		
80	62.0	49.0	42.0	42.0	41.0	41.0	41.0	41.0
90		60.5	49.0	49.0	46.0	45.0	46.0	45.0
100			56.0	55.0	52.0	51.0	52.0	51.0
120			79.7	71.0	64.0	63.0	63.0	62.0
140			108.0	88.0	78.0	77.0	74.0	73.0
160			150.0	110.0	92.0	90.0	85.0	83.0
180				138.0	109.0	106.0	97.0	95.0
200					128.0	123.0	108.0	106.0
220					150.0	141.0	120.0	117.0
240					177.0	160.0	133.0	130.0
260					210.0	180.0	148.0	144.0
280					250.0	203.0	163.0	158.0
300						231.0	177.0	171.0
320						265.0	194.0	187.0
340							214.0	204.0
360							234.0	221.0
380							255.0	239.0
400							276.0	257.0

正を行ふことが出来る。第 16 表は温度及氣壓に對する更正係數を示すものである。但表に於て空氣密度 (air density) と稱するものは、温度と氣壓とを同時に考へた次式に依り表はさるゝ値である。

$$\delta = \frac{0.392b}{273+t}$$

式中 b は氣壓(耗), t は攝氏温度である。若し $b=760$, $t=25^{\circ}C$ の時は $\delta=1$ である。

第 1 6 表

球の直径(耗) 空 氣 密 度	空氣密度に對する更正係數			
	62.5	125	250	500
0.50	0.547	0.535	0.527	0.519
0.55	0.594	0.583	0.575	0.567
0.60	0.640	0.630	0.623	0.615
0.65	0.686	0.677	0.670	0.663
0.70	0.732	0.724	0.718	0.711
0.75	0.777	0.771	0.766	0.759
0.80	0.821	0.816	0.812	0.807
0.85	0.866	0.862	0.859	0.855
0.90	0.910	0.908	0.906	0.904
0.95	0.956	0.955	0.954	0.952
1.00	1.000	1.000	1.000	1.000
1.05	1.044	1.045	1.046	1.048
1.10	1.090	1.092	1.094	1.096

與へられたる間隙に對する任意の空氣密度に於ける火花放電電壓は、第

15 表の間隙に対する電圧に第 16 表の更正係数を乗すればよい。又或る空気密度に於て測定せんとする電圧に対する間隙は、其の電圧を此の更正係数で除した電圧の値に対する間隙を第 15 表から求むればよいのである。

電気機器等の絶縁耐力試験を行ふ時には、試験回路の外の部分で火花放電を起さない様に注意する必要がある。又火花間隙には 1 ヴォルトに對し約 1 オームの割合で無誘導抵抗を間隙に直列に接続する。此の目的は間隙に於て火花放電を起した時に生ずる高周波振動を弱め電流を制限する爲であつて、水管抵抗が最も信頼し得るものとせられて居る。炭素抵抗は電流が通り加熱せられると、抵抗が甚しく低下するから不適當である。若し回路の一端を接地して試験を行ふ場合には、此の直列抵抗は接地しない方の側に入れ、兩極共接地されない場合には抵抗を二分して兩側に接続するのである。又此の試験を行ふ際には開放弧光燈を附近に點じてはならない。何となれば此の弧光の爲に放電々壓を變ずる虞があるからである。

絶縁耐力試験を行ふ場合に當つては、此の試験と同時に火花間隙の放電を起さない様にしなければならぬ。従て實際には次の様な手段に依るのである。若し試験機器又は材料の静電容量が小さくて、電圧波形を亂すこともなく、或は試験用變壓器の變壓比を變ずるが如き充電々流をも要しない場合には、先づ機器又は材料を接続しないで、火花間隙を所要の試験電圧に對して設定し、試験電圧を徐々に上げて間隙に於て火花放電を生ぜしめ、此の場合の一次電圧を測定し置き、然る後に機器又は材料を接続し、火花間隙の距離を約 20% 長くして、前に定めた一次電圧に於て絶縁試験を行ふのである。若し静電容量の大なる機器又は電線を試験する場合には、其の充電々流に依り電圧の波形を變じ、又は試験用變壓器の變壓比を變ずるか

ら、此の場合には始めから試験機器又は材料を回路に接続し、火花間隙の距離は所要の試験電圧の約 80% に相當する様に調整して火花放電を生ぜしめ、其の變壓比を求め置き、次に火花間隙を所要電圧に相當するより約 20% 長くして置き、既に求めた變壓比を以て計算し、所要の試験電圧を與ふる一次電圧を以て試験を行ふのである。但し大なる碍子の弧光連続試験に於けるが如く、部分弧光放電に依つて振動を生じ、火花間隙に規定値より低い電圧で放電を生ずる様な虞がある場合には、試験に際し火花間隙の距離を甚だ長くして、試験装置のみに弧光放電を起す様にするのである。之等の注意は球状間隙のみならず、針端間隙に於ても亦同様である。

117. コロナ電壓計 (corona voltmeter) 一定

の太さの清淨なる圓筒形の導體を金屬圓筒の中心軸に裝置し、此の圓筒形導體と圓筒との間に電圧を加へると、導體の太さ、圓筒の直徑及圓筒内の空氣の状態に依つて、一定電圧に達すればコロナを發生するものである。而してコロナ現象は電圧の最大値に關係するもので、ピーク (Peek) 氏の實驗に依れば、次の公式を以てコロナ發生電圧を算出することが出来る。

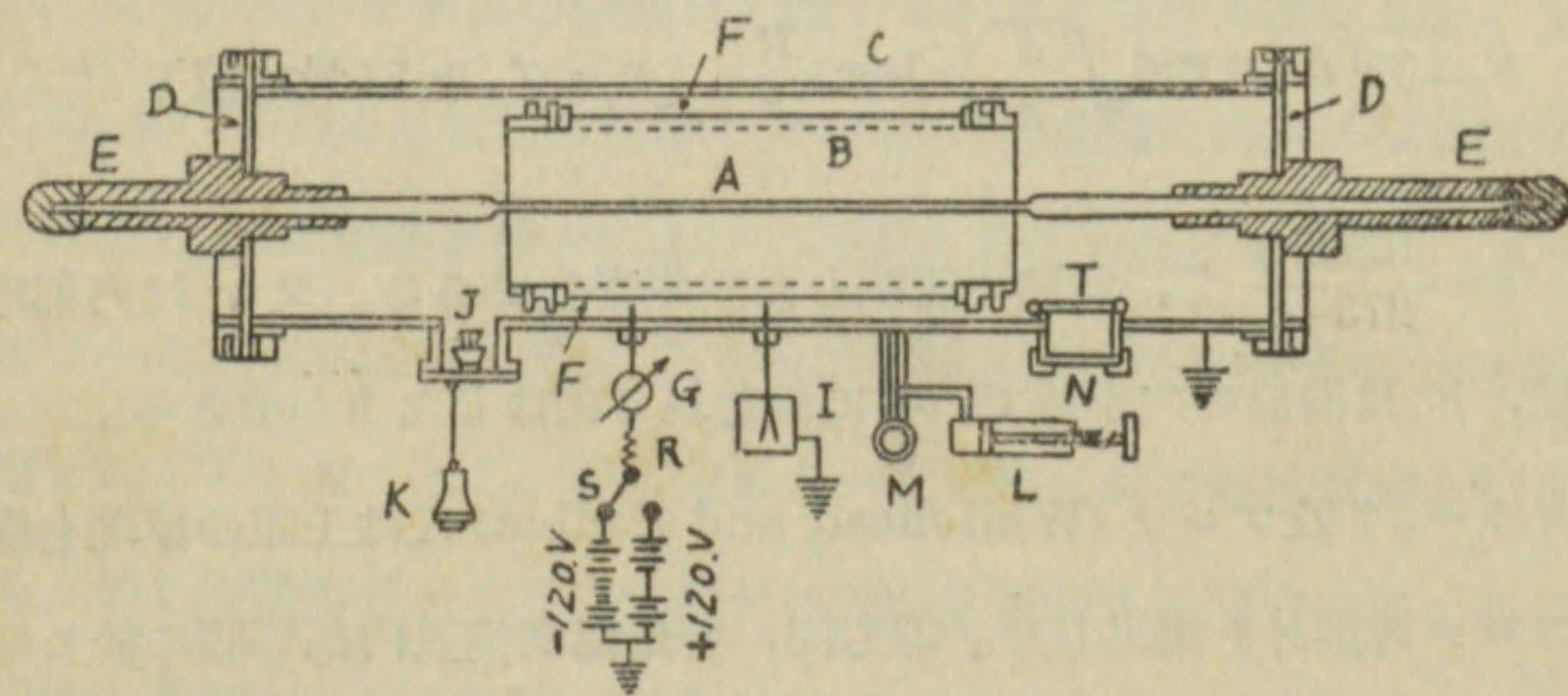
$$E_c = 32 \left(\delta + 0.296 \sqrt{\frac{\delta}{r}} \right) r \log_e \frac{R}{r} \quad \text{キロヴォルト (最大値)}$$

但し $\delta = \frac{0.392 b}{273 + t}$ で、前節に記載した空氣密度である。又 r は内部導體の半径、 R は圓筒の内半径で、共に輻を以て表はしたものである。

ホワイトヘッド及ブレン (Whitehead and Pullen) 氏は上記の原理を應用してコロナ電壓計を案出した。即ち同一の金屬圓筒及内部導體に於てはコロナ電圧は空氣密度に關係するのみである。此の空氣密度は溫度及氣壓

に關係するのであるが、コロナ電壓計として、實用的とする爲に、溫度は特に變化することなく、氣壓 b を排氣唧筒に依り變へることとした。之に依り空氣密度 δ が變りコロナ電壓が變るのである。然るに上式から氣壓を低くする程 δ は小さくなり、 δ が小なる程コロナ電壓は低くなるから、結局氣壓を減すれば小なる電壓に於てコロナを發生することとなるのである。故にコロナ電壓計に於ては測定すべき電壓を與へて置き、排氣唧筒に依りコロナが發生する迄氣壓を減じ、其の場合の氣壓を氣壓計で測り、同時に溫度を寒暖計で測つて δ を計算し、コロナ電壓を算出するのである。但し δ に依る E_c の値は、與へられたる R 及 r の値に對し、豫め計算に依り種々の δ に對する E_c の値を計算し、表又は曲線に作製して置くのである。コロナの發生は直接肉眼で觀測し、或はコロナが發生すると其の部分の空氣はイオン化 (ionise) せられ導電性を帯びるから、檢電器又は檢流計に依つて檢することが出来る。又コロナの發生に伴ひ一種の音響を發するから、圓筒に顯微音器 (microphone) を取り付け之を受話器に接続して檢することも出来る。

第 1 9 5 圖



コ ロ ナ 電 壓 計

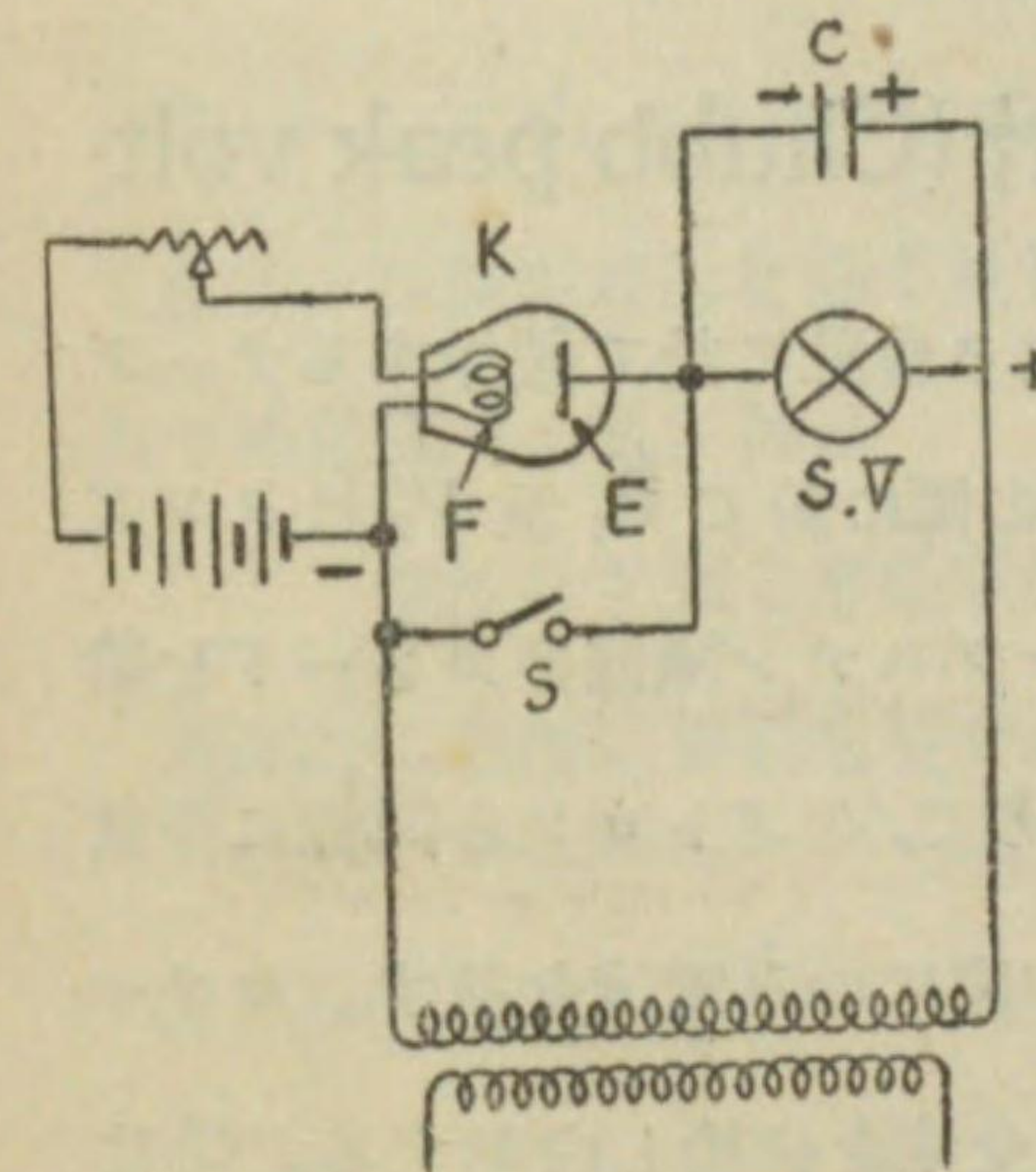
第 195 圖はコロナ電壓計を示すもので、圖に於て A は圓筒形導體、 B は多數の小孔を有する圓筒で、之と僅かの空隙を隔て F なる圓筒がある。 C は密閉せられた圓筒で B と共に接地せられる。即ち測定電壓は一極を A に、他極を B に接続し、 B 側は接地せらるることとなるのである。 L は圓筒内の氣壓を減ずる排氣唧筒、 M は氣壓計である。又 I は檢電器、 G は檢流計、 J 及 K は電話送話器及受話器で、此の三者は何れもコロナの發生を檢する装置である。 T は圓筒内の溫度を測定する寒暖計である。

118. ケノトロン (kenotron) を用ひる波高電

壓計

第 196 圖はシャープ及ドイル (Sharp and Doyle) 氏波高電

第 1 9 6 圖



シャープ・ドイル氏波高電壓計

壓計の原理を示すものである。圖に於て K はケノトロンと稱する二極真空管で、真空硝子球の中にタングステン纖維條 F 及之に對しタングステン又はモリブデン板よりなる電極 E を封入したものである。タングステン纖維條に局部電池から適當な電流を通じ、之を白熱すれば、白熱タングステンから負電荷を有する電子 (electron) が飛び出す。此場合に E をアノード即ち陽極、

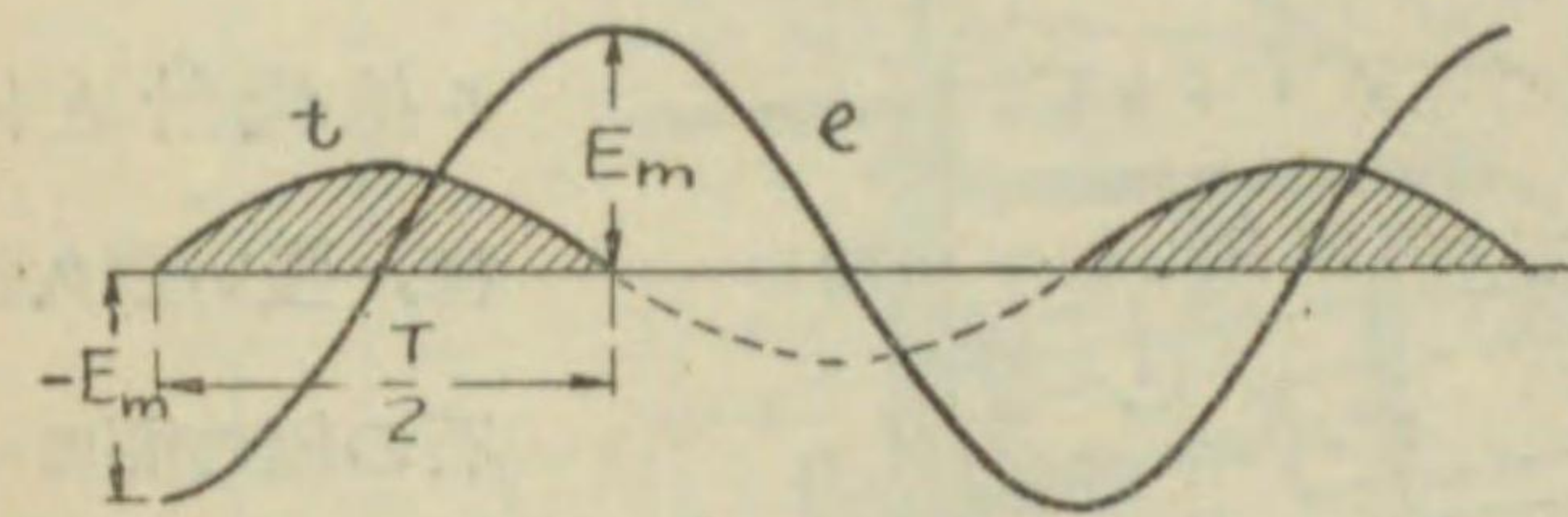
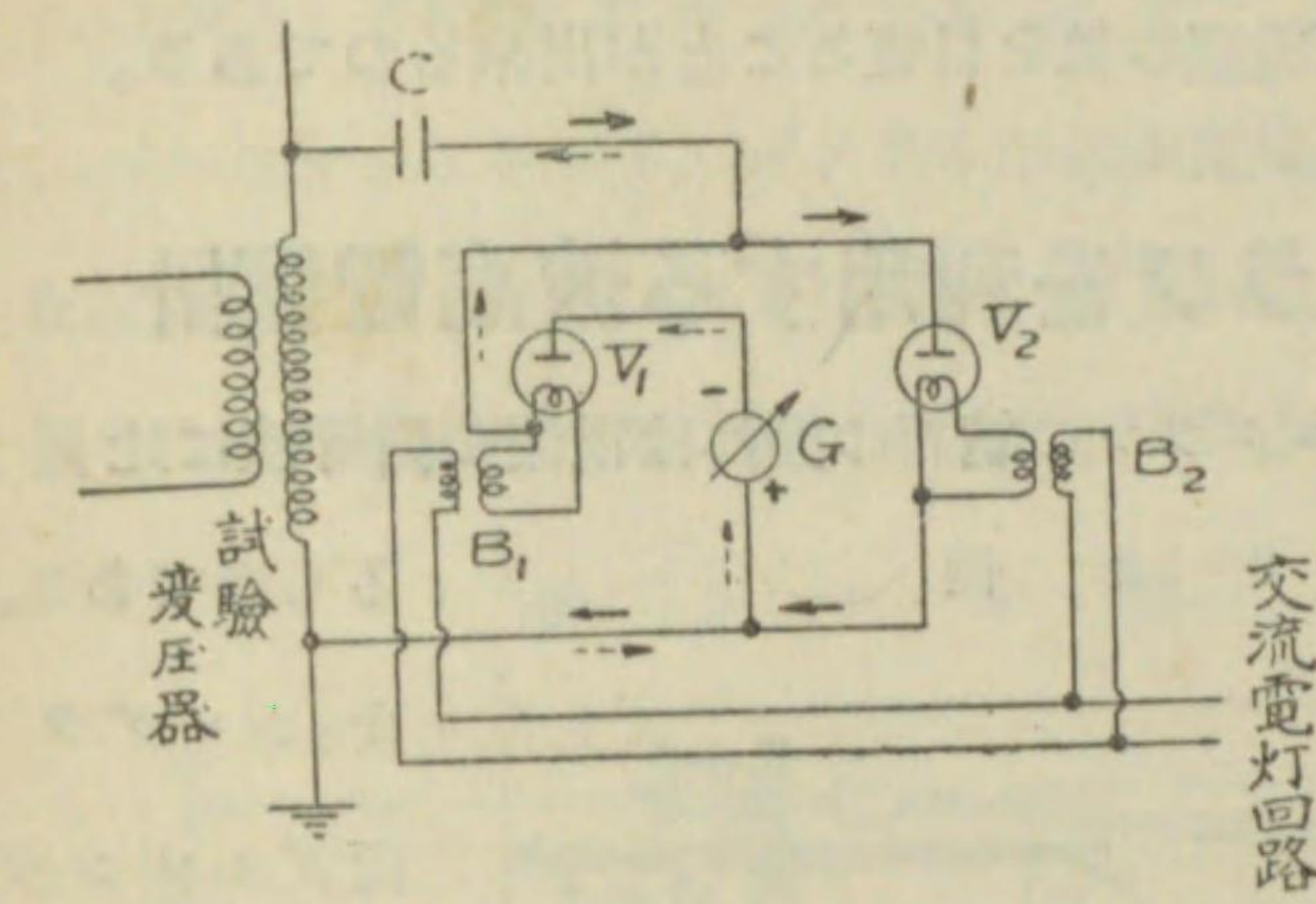
F をカソード即ち陰極とする様に電壓を加へると、負電荷を有する電子は陽極 E に吸引せられ茲に電子流を生ずる。之即ち電流である。然し乍ら

E が負極の場合には何等の電流が流れない。故にケノトロンは EF 間に
 交番電圧が加へらるゝ時は、 E が正なる時のみ電流を通じ、 E が負なる時
 には電流を流さない一種の電気瓣として働くものである。圖に於て C は
 蓄電器、 $S.V$ は静電々壓計である。故に開閉器 S を開き置き、電圧の最
 大値即波高値を測定すべき交番電圧を與へると、蓄電器 C には F を(-)
 とする方向の充電々流に依り、暫時にして F を(-)とする方向の電圧の
 最大値に充電せられ、ケノトロンは逆方向に電流を通さないから、其の電
 荷は放電せらるゝことなく其の儘に残留する。故に静電々壓計は蓄電器 C
 の端子電圧、即ち所要の瞬時電圧の最大値を指示する譯である。次に開閉器
 S を閉ぢると、電圧計は明かに電圧の實効値を指示することゝなるから、
 此の二つの読みから最大値と實効値との比なる波高率 (crest factor) をも
 算出することが出来るのである。

119. チャップ氏波高電圧計 (Chubb peak volt- meter)

第 197 圖はウェスチングハウス會社に於て製作するチャップ
 氏波高電圧計の原理を示す接続圖である。此の圖に於て V_1 及 V_2 はタン
 グステン又はモリブデンのアノード及白熱タングステン織條のカソードを硝
 子球に封入し、球内に水銀蒸氣を充たしたもので、ケノトロンと同様に電気
 瓣として働き、白熱織條をカソードとする方向にのみ電流を通す。カソー
 ドの織條は二つの小變壓器 B_1 及 B_2 に依り交流を供給し白熱する。 C は
 蓄電器で、實際は試験用變壓器の端子として用ひる蓄電器型套管 (conden-
 ser type bushing) を利用するのである。 G は直流可動線輪型電流計で
 ある。圖から分る様に、蓄電器 C の充電々流は第一の半波は V_2 を通り、

第 1 9 7 圖



チャップ氏波高電圧計

第二の半波は V_1 を通り
 V_1 を通る一定方向の電
 流 (下圖の電流曲線にて
 ハッチングを施した部分)
 のみが電流計 G を通
 る。故に電流計の指示は
 此の充電々流 i の平均値
 に比例する譯である。換
 言すれば充電々流の半波
 毎に電流計を通る電量
 は、電圧の最大値を E_m
 とすれば、蓄電器 C を

$-E_m$ から $+E_m$ に充電する電量、即 $2E_m C$ に等しい。故に f を周波數と
 すれば、毎秒電流計を通る電量は其の f 倍に等しく、之即ち電流計を通
 る平均電流である。故に

$$\text{電流計を通る平均電流} = 2fCE_m$$

電流計は直流可動線輪型であるから、其の平均廻轉力は $2fCE_m$ に比例

* 註 充電々流 $i = C \frac{de}{dt}$ 又 周期 $T = \frac{1}{f}$

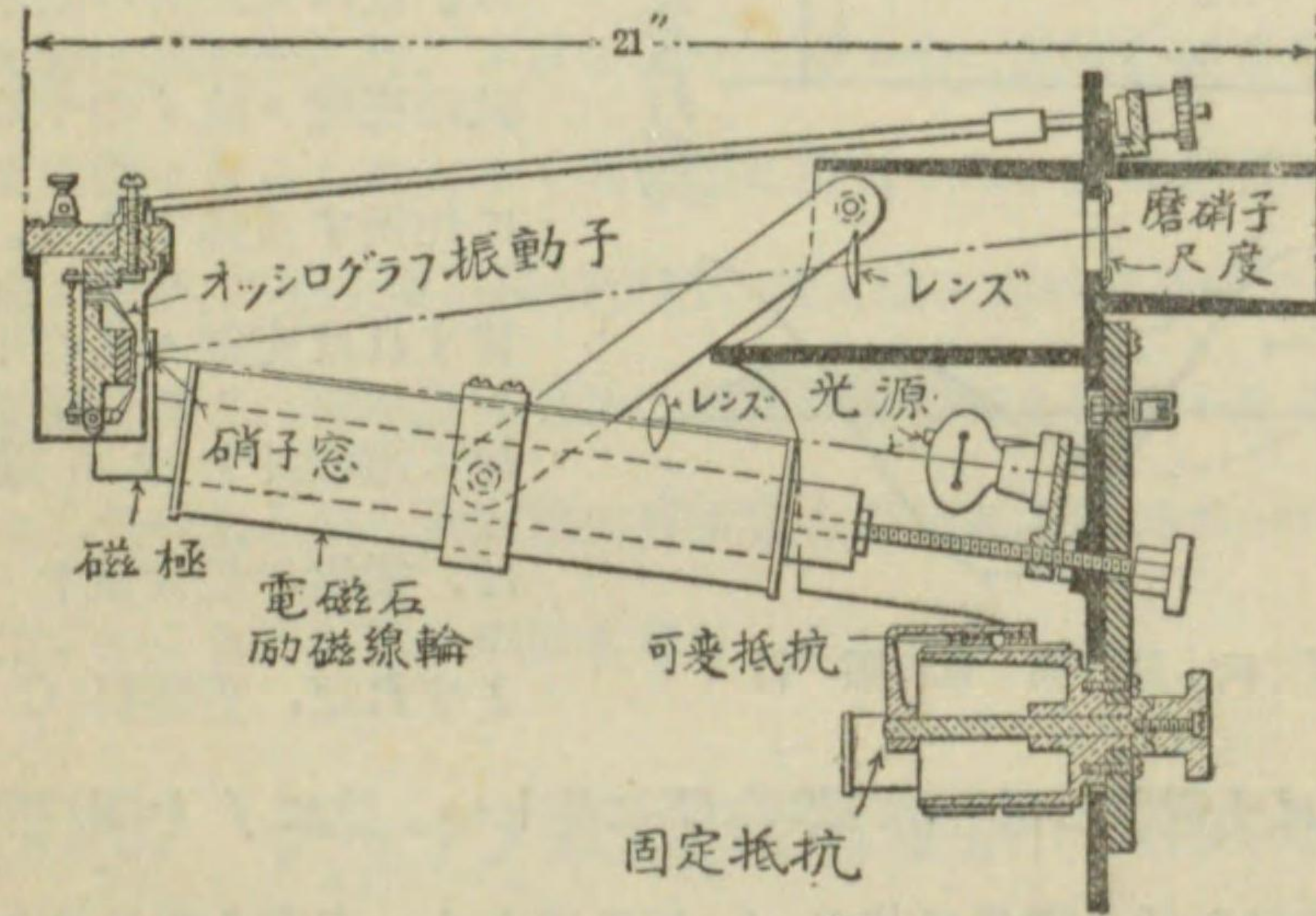
$$\begin{aligned} \text{平均電流} &= \frac{1}{T} \int_0^T i dt = \frac{1}{T} \int_0^T C \frac{de}{dt} dt \\ &= \frac{1}{T} \int_{-E_m}^{+E_m} C de = fC \int_{-E_m}^{+E_m} de \\ &= 2fCE_m \end{aligned}$$

し、従て電流計の指示は波高電圧 E_m に比例するから、 f 及 C が一定であれば、電流計に直接波高電圧の値を目盛ることが出来るのである。

120. オッシログラフを利用する波高電圧計

後章に述べる様にオッシログラフの鏡面の振れは電流の瞬時値に比例するものである。

第 1 9 8 圖



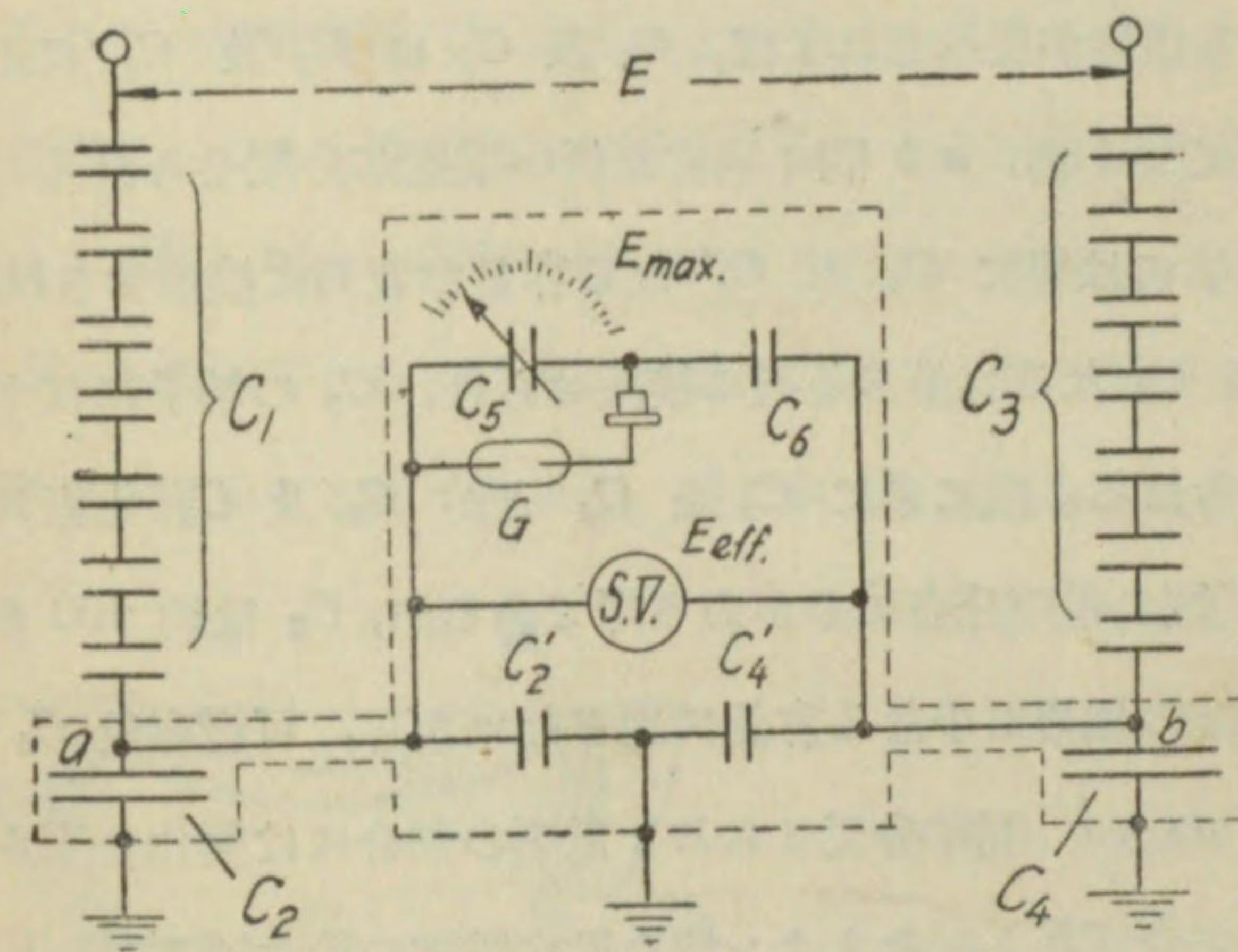
シムプレックス波高電圧計の断面

オッシログラフはガルソンヴァル検流計と同様、強い耐久磁石の極の間に一つのループより成る可動線輪があつて、適當の張力を以て緊張せられてある。此のループに交流を通すと、電流の方向が交番する爲にループは振動し、之に附した鏡面は振動するので、其の振動の最大振幅は電流の最大値に比例する譯である。故に交流零の場合に鏡から反射する光を尺度上に細い線に結ばせて置き、電圧に比例する交番電流を通じ鏡面を振動せしめると、之に依つて尺度上に生ずる光帯の幅は瞬時電圧の最大値に比例する譯である。此の原理を應用して作られたのが第 198 圖のシムプレックス波高電圧計 (Simplex peak voltmeter) である。

121. ハルトマン・エンド・ブラウン波高電圧計

ハルトマン・エンド・ブラウンの波高電圧計はネオン燈の特性を利用した波高電圧計である。ネオン燈は二極を封入した硝子球を真空にし、之にネオン瓦斯 (neon gas) を低い氣壓で充たしたもので、二極間に電圧を與へ低い電圧から之を漸次高めて行くと、或電圧に達する迄は全く電流が流れないが、一定の電圧に達すれば急に電流が通るやうになり赤い色の光を發する。此の電圧を點火電壓と云ひ、與へられたるネオン燈に對しては一定である。一旦點火の後は電圧を下げ點火電圧に達しても消えないで、之より低い略々一定の電圧に於て消え電流は零となる。此の電圧を消火電壓と云ふ。但し一般に點火電圧は一定で、消火電圧より信頼し得る爲、點火電圧を利用するのである。而して點火電圧は電圧の最大値に關係するものである。第 199 圖はハルトマン・エンド・ブラウン會社のネオン燈を利用する波高電圧計の接続を示すもので、 C_1 及 C_3 は後に説明する様な高壓蓄

第 1 9 9 圖



ハルトマン・エンド・ラウン波高電圧計

蓄發する。此の電圧を點火電壓と云ひ、與へられたるネオン燈に對しては一定である。一旦點火の後は電圧を下げ點火電圧に達しても消えないで、之より低い略々一定の電圧に於て消え電流は零となる。此の電圧を消火電壓と云ふ。但し一般に點火電圧は一定で、消火電圧より信頼し得る爲、點火電圧を利用するのである。而して點火電圧は電圧の最大値に關係するものである。第 199 圖はハルトマン・エンド・ブラウン會社のネオン燈を利用する波高電圧計の接続を示すもので、 C_1 及 C_3 は後に説明する様な高壓蓄

へ低い電圧から之を漸次高めて行くと、或電圧に達する迄は全く電流が流れないが、一定の電圧に達すれば急に電流が通るやうになり赤い色の光を

電器で、 C_2 及 C_4 と相俟つて蓄電器分壓器を形成するものである。斯くの如く蓄電器が直列に接続せられる場合には、各蓄電器の電量は相等しい。故に任意の蓄電器の容量を C_n 、之に分布せられる電圧を E_n とすれば $E_n C_n = Q$ は一定であるから $E_n = \frac{Q}{C_n}$ となり、各蓄電器に分配せられる電圧は其の容量に逆比例するものである。圖に於て C_2 及 C_4 は低電用の大なる容量を有する蓄電器である。故に C_1, C_2, C_3, C_4 が直列に接続せられ、之に E なる電圧が與へられれば、 C_1 及 C_3 は C_2 及 C_4 に比し其の容量が甚だ小さいから、 $a b$ 間に適當な低い電圧が分配せられるのである。但し C_2, C_4 には更に C_2' 及 C_4' なる容量が並列に接続せられ、それより又 C_5 及 C_6 なる容量が並列に接続せられ、 C_5 の端子にはネオン燈 G が接続せられる。故に單に C_2 と C_4 とが C_1 及 C_3 と直列にある場合とは、 $a b$ 間の電圧分布に差がある譯であるが、 C_6 は約 100 糎、 C_5 は最大 2000 糎の極めて小なる容量に過ぎないから、可變容量 C_5 の値を變へても、 E の $a b$ 間に分配せられる電圧の割合には變化を來さぬものと見て宜しい。今 $[E_g]_m$ をネオン燈の點火電壓の最大瞬時値とし(約 150 ヴォルト)、可變容量の値を C_5 にした時點火したとすれば、 $a b$ 間の電圧の最大瞬時値 $[E_{ab}]_m$ は次の様にして算出することが出来る。電圧は容量に逆比例して分配せられるから、 $[E_6]_m$ を C_6 の端子間の電圧の最大瞬時値とすれば

$$\frac{[E_6]_m}{[E_g]_m} = \frac{C_5}{C_6}$$

兩邊に 1 を加へ

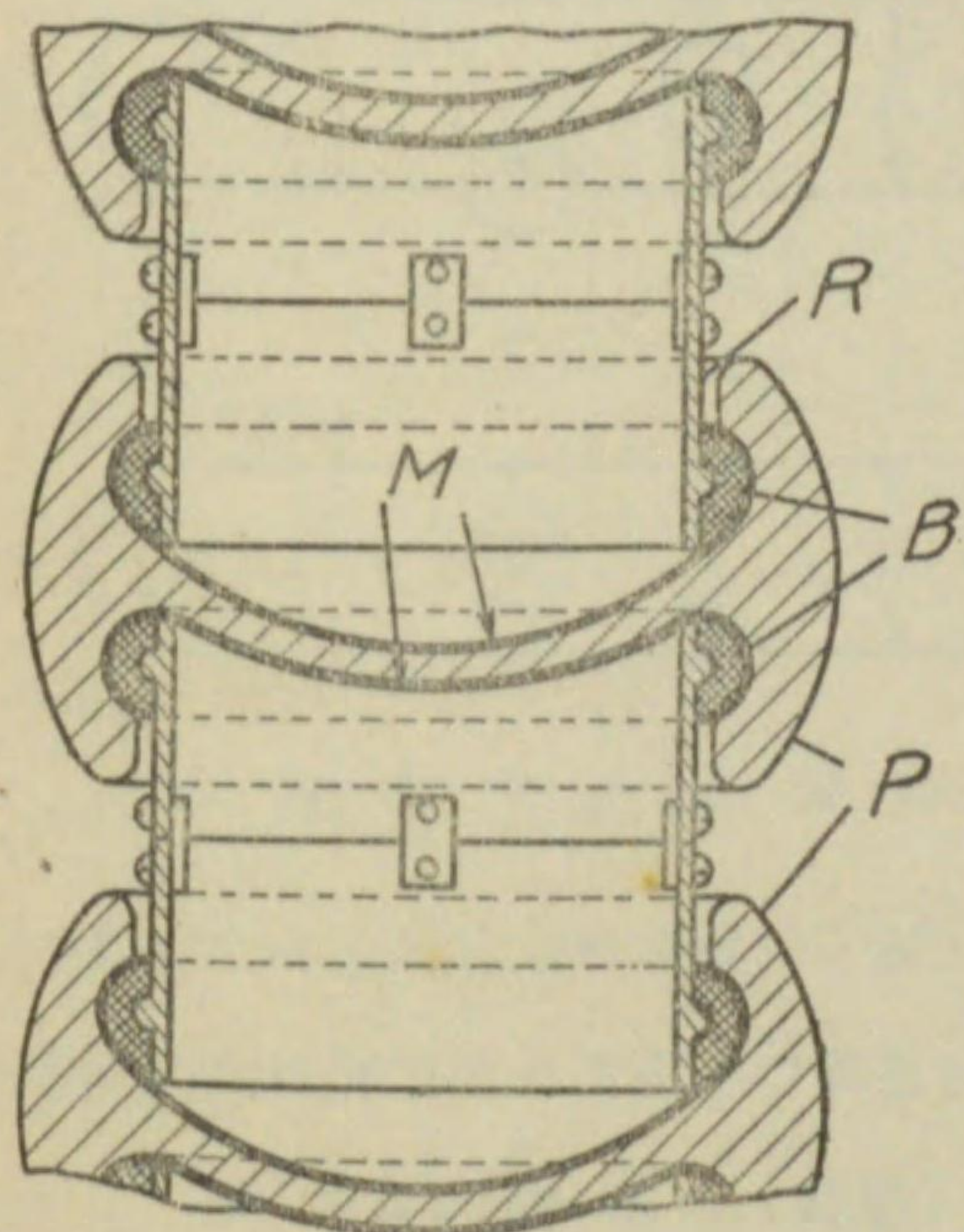
$$\frac{[E_6]_m + [E_g]_m}{[E_g]_m} = \frac{[E_{ab}]_m}{[E_g]_m} = \frac{C_5}{C_6} + 1$$

$$\therefore [E_{ab}]_m = [E_g]_m \left(\frac{C_5}{C_6} + 1 \right)$$

故に回路電壓の最大値 $E_m = K [E_g]_m \left(\frac{C_5}{C_6} + 1 \right)$

K は $C_1, C_3, C_2 + C_2'$ 及 $C_4 + C_4'$ の關係に依つて定まる定數である。 $[E_g]_m$ も C_6 も一定であるから、 E_m は C_5 の函數である。故に可變蓄電器 C_5 として把手を廻すことに依り其の容量を變へ得る様なものを用ひ、其の軸に指針を附し、之に對し電壓の最大値 E_m に相當する目盛を備へることが出来る。 T は電話受話器で、ネオン燈が點火すれば交流が通じ音を發するので、測定者は C_5 の大なる容量の位置より、容量を減ずる方向に把手を廻し、ネオン燈の正に點火する點をネオン燈の發光及受話器の音響から知り、其の場合の指針の指示に依り電壓の波高値を知るのである。圖に $S. V.$ と記してあるのは多房靜電々壓計で、此の接続に依り $a b$ 間の實効電壓を指示する譯であるが、其の目盛は回路の實効電壓 E を示す様に

第 200 圖



直列蓄電器 C_1 及 C_5 の構造

目盛らるゝのである。點線で記したのは點線内の全装置の靜電遮蔽装置で、金屬板を以て包圍し之を接地し外部の靜電的影響を防ぐと共に、 C_2 及 C_4 並 C_2' 及 C_4' 間の中點を此の遮蔽装置に接続して接地し、之等の點を零電位に保ち且取扱者の安全を期するのである。

第 200 圖は直列蓄電器 C_1 又は C_5 の構造を示すもので、 P は圖の如き形の磁器製絶緣體で、其の上下の兩面に薄い金屬板 M を

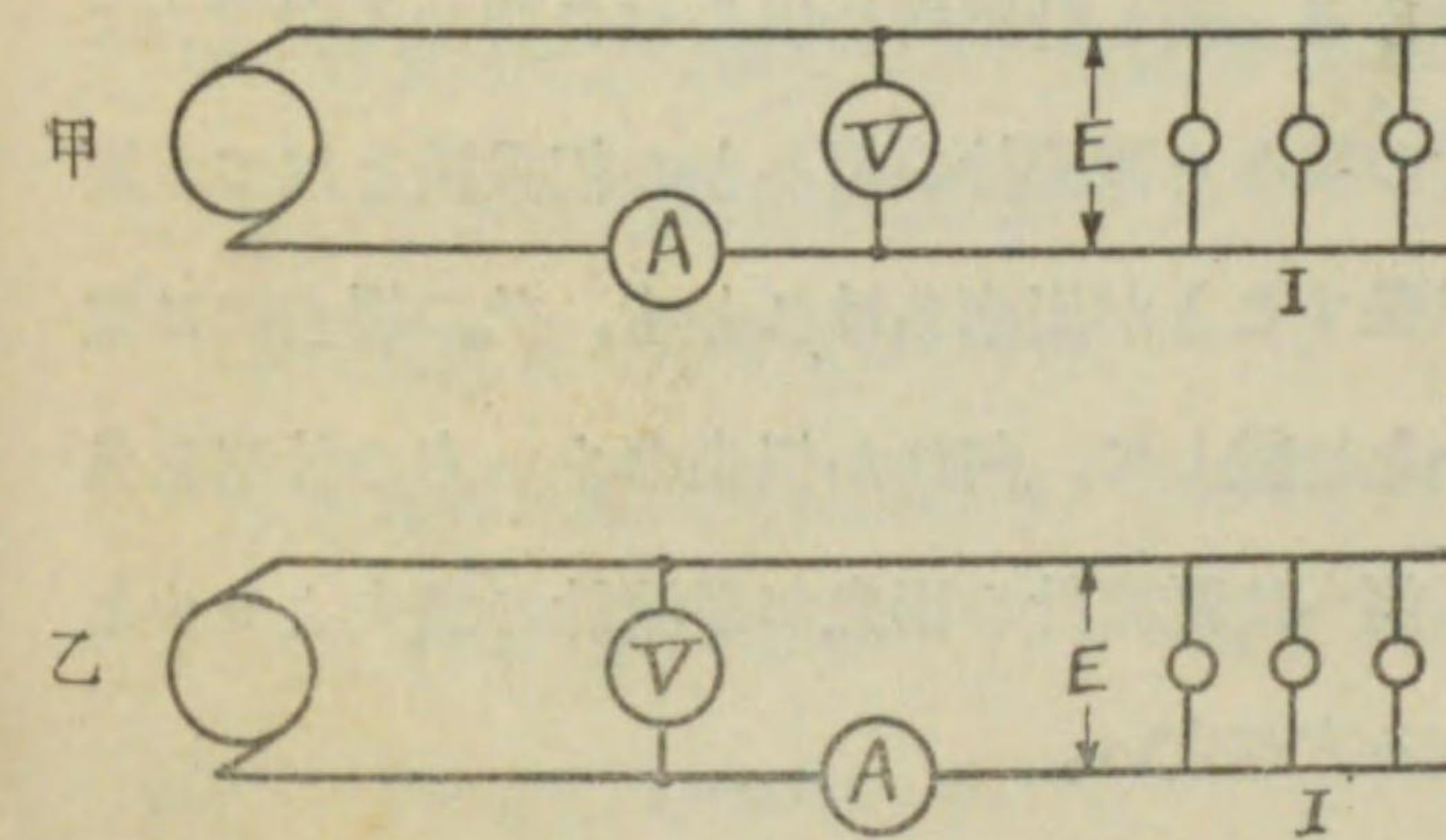
張り、以て蓄電器を形成し、之等の蓄電器を R なる支持鐵管を以て支持し、 B なる鉛を填充して P を固着せしむると共に、斯様にして積み重ねた蓄電器を直列に電氣的に接続するのである。一個の蓄電器の容量は約 130 糎で、閃絡電壓は 65 キロヴォルト、使用電壓は最大 40 キロヴォルトに規定せられて居る。400 000 ヴォルト用としては C 、 C_3 共に 7 個を用ひることになつて居る。尙斯様に積み重ねた蓄電器群の上端に電壓端子として大なる木製圓板に亞鉛板を張り付けたものを用ひ、之に依り積み重ねた各蓄電器の電壓分布を平等ならしめて居る。

第六章 電力の測定及電力測定器

122. 電壓計及電流計に依る直流電力の測定

直流電力は電壓と電流との相乗積に等しく、其の單位の間の關係は (ヴォルト) × (アムペア) = (ワット) であるから、直流回路に電壓計及電流計を接続し、電壓計の読みと電流計の読みとを乗すれば、直流電力が得られる譯である。然し乍ら精密に云へば、電壓計の読みと電流計の読みとの相乗積は、負荷に於て消費せらるゝ電力と電壓計又は電流計内で消費せらるゝ電力との和を表はすものである。

第 2 0 1 圖



直 流 電 力 の 測 定 法

直流電力を測定するに當つて、電壓計及電流計を接続するのに、第 201 圖甲及乙に示す様な二様の接続法がある。甲圖の場合には電壓計は負荷に供給する電壓を示すが電流計は負荷電流と電壓計電流との和を示す。又乙

圖の場合には電流計は負荷電流を示すが、電壓計は負荷に與へらるゝ電壓と電流計内で降下する電壓との和を示すものである。故に

E = 負荷に加へらるゝ電壓

I = 負荷電流

$P=EI$ =負荷に於て消費せらるゝ電力

R_v =電圧計の抵抗

R_a =電流計の抵抗

甲圖の場合 (電圧計の読み)×(電流計の読み)

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

$$=P + (\text{電圧計内の損失})$$

乙圖の場合 (電圧計の読み)×(電流計の読み)

$$=(E + IR_a) \times I = EI + PR_a$$

$$=P + (\text{電流計内の損失})$$

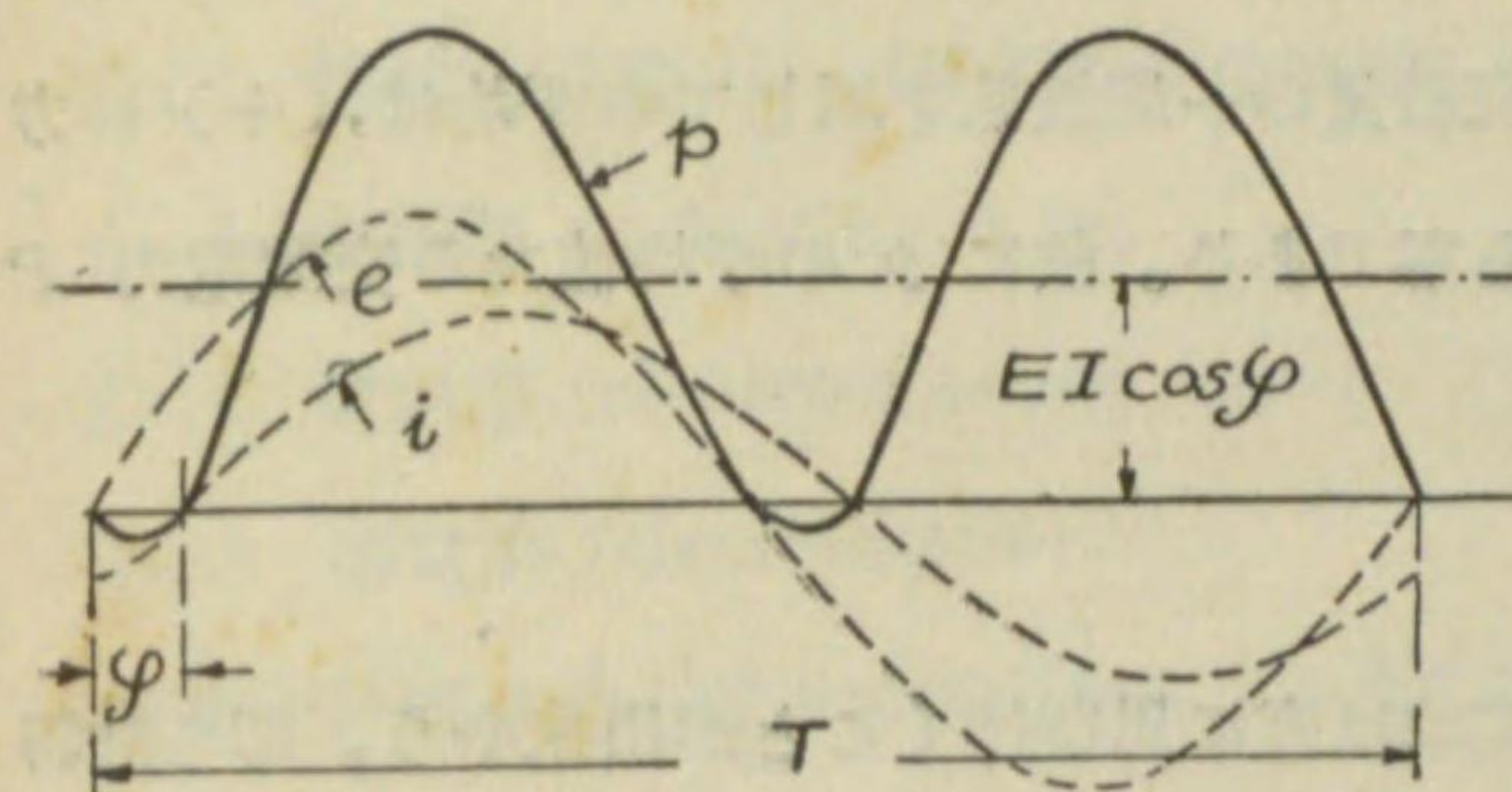
即一般に電圧計の読みと電流計の読みとの相乗積は、負荷に消費せられる電力と、電圧計又は電流計の内、何れか負荷に近く接続せられる計器内の損失との和を表はすものである。若し計器内の損失が負荷の消費電力に比し甚だ小さければ、電圧計の読みと電流計の読みとの相乗積を以て、實用上略々負荷の消費電力と見做すことが出来るけれども、此の場合には電圧計損失及電流計損失の大小を比較して、何れか損失の少ない方の計器を負荷に近く接続するが宜しい。例へば電圧計の損失が電流計の損失より少ない場合には、甲圖の接続に依る方が宜しい。

123. 交流電力の測定

交流電力は一般に実効電圧、

実効電流及力率の相乗積に等しい。故に前節第201圖の様な方法では、交流電力を測定することが出来ない。何となれば交流用電圧計及電流計は電圧及電流の実効値を示すが、電圧と電流との相差が分らない爲、力率を知ることが出来ないからである。然るに交流電力の瞬時値は單に瞬時電圧と

第 2 0 2 圖



交流の電圧、電流及電力の關係

瞬時電流との相乗積に等しいものであつて、其の關係は第202圖に示すが如くである。圖に於て e は電圧、 i は電流、 p は電力を表はすもので、又 T は電

壓又は電流の一周波に相當する周期である。圖から分る様に、瞬時電力 p は各瞬時に於て其の値を異にする許でなく、一般に圖の如く電圧又は電流の二倍の周波數を以て變化し、或瞬時には p は (一) となつて居る。換言すれば電圧又は電流の一周波の間に、電力は二サイクルを繰返して居る。

今 e, i, p = 任意の瞬時に於ける電圧、電流及電力の瞬時値

E, I = 電圧及電流の実効値

P = 交流電力瞬時電力の平均

φ = 電圧及電流間の相差角 とすれば

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

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

$$p = ei = 2EI \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi)$$

$$= EI \cos \varphi - EI \cos(2\omega t - \varphi)$$

即瞬時電力 p は第一項の一定値を有する $EI \cos \varphi$ と第二項の電圧又は電流の二倍の周波數を以て交番する $EI \cos(2\omega t - \varphi)$ との合成と見做すことが出来る。故に第202圖に示す如く時間軸を $EI \cos \varphi$ 丈上方に移すと

p は此の軸の上下に於て交番する量となるのである。 p の平均は交流電力に等しい。而して第二項の交番量の一周波数を通じての平均は、(+) の方と (-) の方と相等しいから零である。故に p の平均値たる交流電力 P は次の様になる。

$$P = EI \cos \varphi *$$

茲に於て交流用電力計の構成は直に思ひ付くことが出来やう。即ち計器の可動部分に働く瞬時傾斜廻轉力が瞬時電力に比例し、此の瞬時廻轉力の平均に依つて指針を動かすものであれば宜しい。例へば電流計型電圧計又は電流計と同様の構造を有するもので、可動線輪には電圧と同相で電圧に比例する電流を通じ、固定線輪には負荷電流を通す様にすれば、可動線輪に働く瞬時廻轉力は可動線輪及固定線輪に流る瞬時電流の相乗積に比例するから、結局瞬時電圧と瞬時電流との相乗積即瞬時電力に比例する。而して此の瞬時廻轉力は非常に速に周期的に變化するから、結局可動線輪は此の瞬時廻轉力の平均、即瞬時電力の平均 $EI \cos \varphi$ に比例する平均傾斜廻轉力が働き、制御廻轉力と相俟つて指針の位置を定めることとなり、目盛には直接ワットの値を目盛ることが出来るのである。斯様な原理で作られる計器を指示電力計 (indicating wattmeter) と云ふ。指示電力計を直流回路に使用すれば、同様に直流電力を指示すべきことは特に説明を加ふる必要がなからう。此場合には一定電圧又電流に對し瞬時電力は常に一定不変である。

$$\begin{aligned} * \text{註 } P &= \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{EI}{T} \int_0^T \cos \varphi dt - \frac{EI}{T} \int_0^T \cos(2\omega t - \varphi) dt \\ &= \frac{EI}{T} [\cos \varphi t]_0^T - \frac{EI}{2\omega T} [\sin(2\omega t - \varphi)]_0^T = EI \cos \varphi \end{aligned}$$

通常使用せらるゝ電力測定器には次の四種がある。

- (イ) 電流計型 (electrodynamometer type)
- (ロ) 誘導型 (induction type)
- (ハ) 電熱型 (electro-thermal type)
- (ニ) 静電型 (electrostatic)

電流計型は最も普通に使用せらるゝもので、直流及交流両用である。誘導型は交流専用であること勿論である。電熱型及静電型は直流にも用ひ得る理であるが、多くは交流の特殊測定の目的に利用せられて居ること以下に述べる通りである。

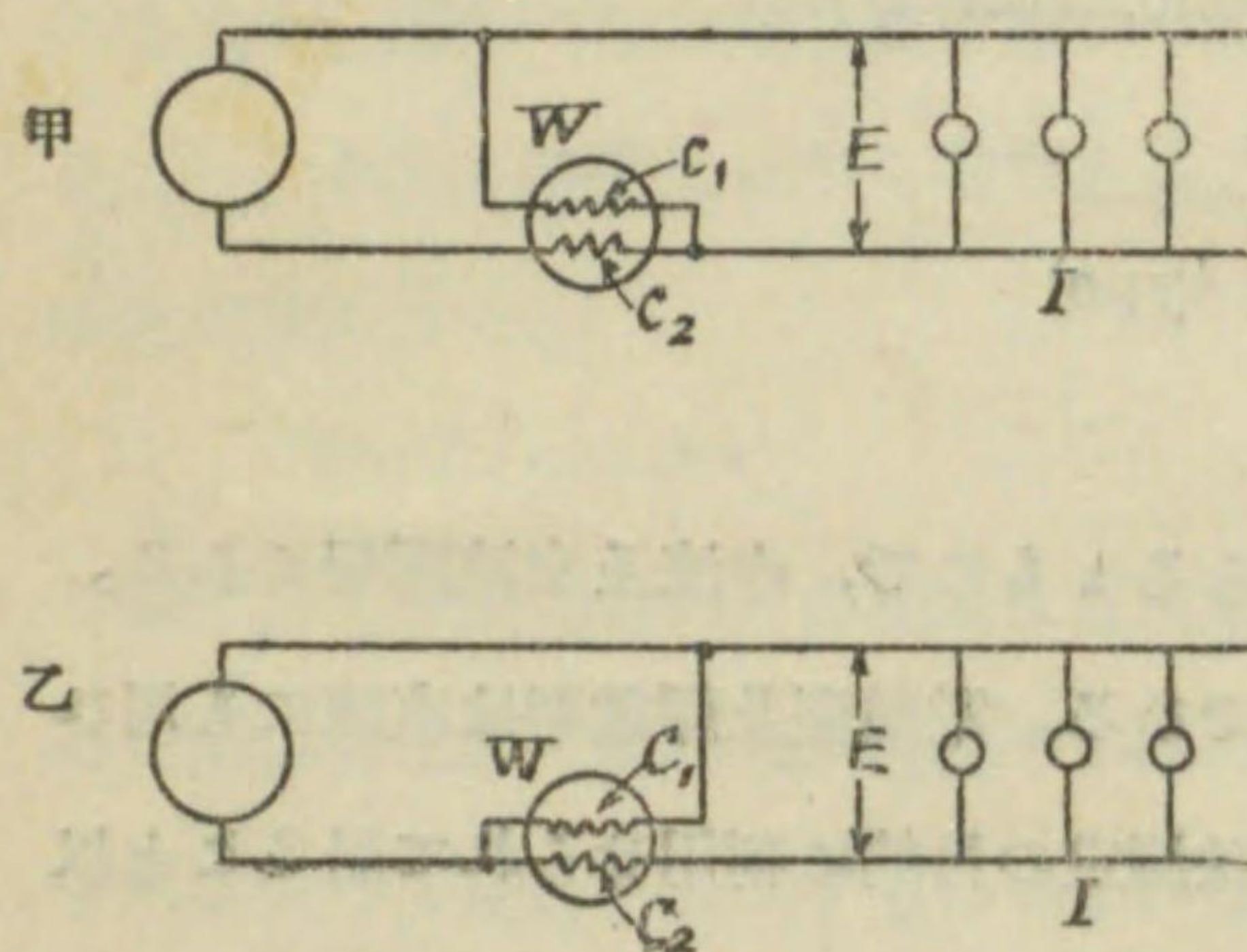
電流計型及誘導型電力測定器には電圧に比例する電流を通す線輪、及負荷電流又は之に比例する電流を通す線輪がある。前者を電圧線輪 (pressure coil)、後者を電流線輪 (current coil) と云ふ。電圧線輪は回路に並列に接続せられるから又分捲線輪 (shunt coil) とも稱せられ、電流線輪は回路に直列に接続せられるから又直捲線輪 (series coil) とも稱せられる。

交流電力を測定するに、交流電圧計と交流電流計とを用ひる方法があるが、先づ各種電力測定器を説明して、然る後に之を述べることとする。

124. 指示電力計の接続法

電力を測定する爲に指示電力計を接続する場合にも、第201圖の場合と同様に二様の接続法がある。第203圖は其の接続を示すもので、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るゝ電圧に比例し、 C_2 には負荷電流と C_1 に流るゝ電流との合成電流が流れ

第 2 0 3 圖



電力計の接続法

甲圖の場合 電力計の読み = $E \times \left(I + \frac{E}{R_p} \right) = EI + \frac{E^2}{R_p}$
 =(負荷電力)+(電圧線輪内損失)

乙圖の場合 電力計の読み = $(E + IR_0) \times I = EI + PR_0$
 =(負荷電力)+(電流線輪内損失)

即ち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、交流の場合でも全く同様の結果となる。何となれば上式の関係は其の瞬時値の関係を表はすものと見做し、之を一周波に就て其の平均を取れば全く同一の結果に到達するからである。

最近製作せらるゝ電力計の多くは、電圧線輪回路の損失を極めて小さく取つてある爲、甲圖の如き接続を用ひて測つた電力計の読みは、實用上負荷電力を指示するものと看做し得るのである。但し特に精密を要する場合

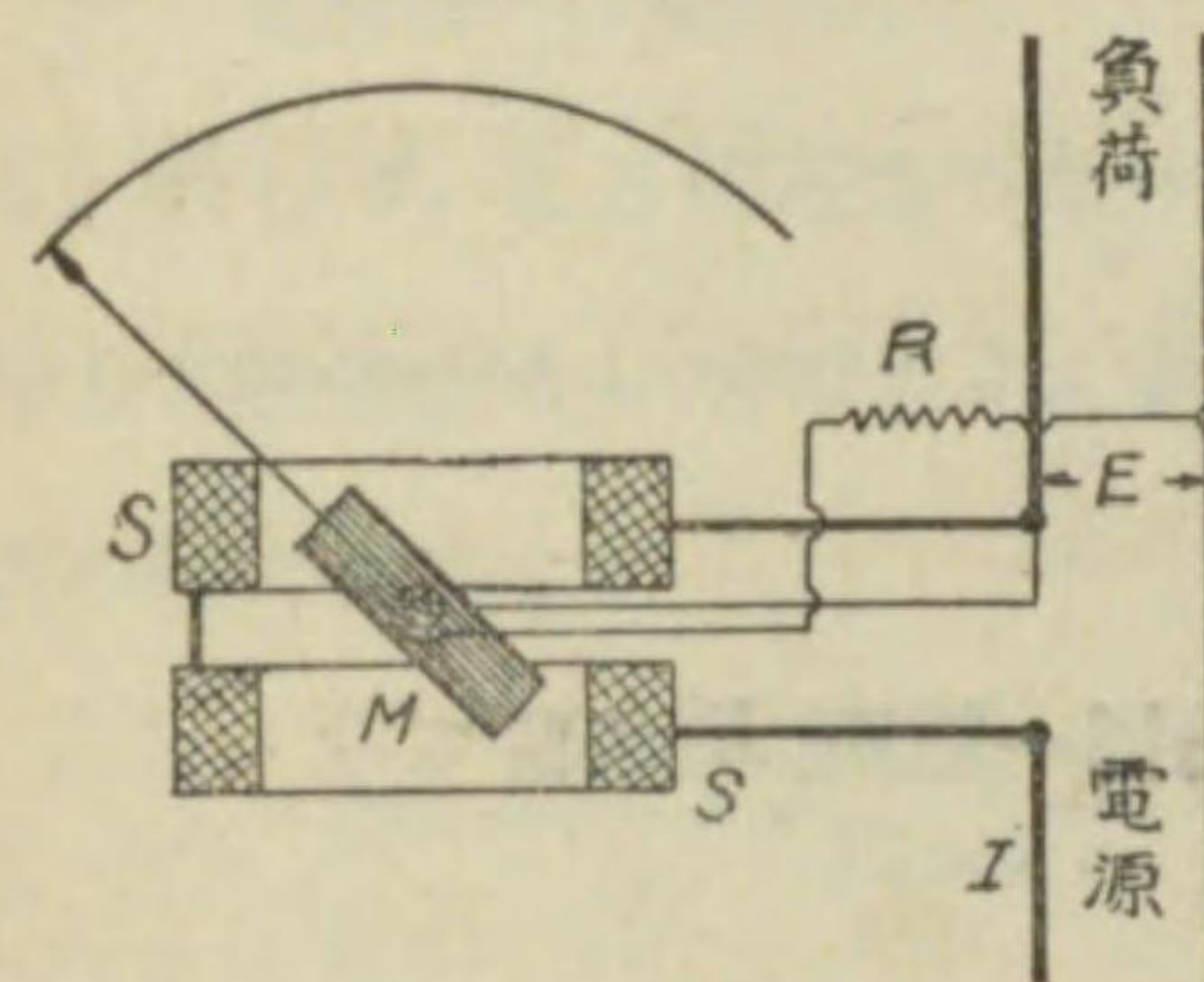
る。又乙圖の場合には、 C_2 には負荷電流が流れ、 C_1 には負荷に加へらるゝ電圧と C_2 内で降下する電圧との和に比例する電流が流れる。今 R_p を電圧線輪回路(直列抵抗を含む)の抵抗、 R_0 を電流線輪の抵抗とし、簡單の爲に直流の場合に就て説明すれば

には、線輪の抵抗を豫め測定して置いて、適當なる修正を施せばよいのである。

125. 電流力計型指示電力計

第204圖は電流力

第 2 0 4 圖



電流力計型指示電力計

計型指示電力計を示すものである。固定線輪及可動線輪の配置及構造、制御法並制動装置等は全く電流力計型電圧計又は電流計と同様である。 S は固定電流線輪で、負荷電流 I を通す様に電流の測定範囲に従ひ、線の太さ及線輪の捲数を適當に設計する。 M は可動電

壓線輪であつて、電圧に比例する小なる電流を通す様に電圧の測定範囲に従ひ適當なる抵抗のマンガニ無誘導直列抵抗 R を接続するのである。

可動線輪 M に働く平均傾斜廻轉力は、前節に述べた如く回路の電力に比例する外、 S と M との相互的位置に關係する。圖の様な線輪の配置に於ては、同一電力に對し S と M とが直角の場合に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小さいから、制御力として螺旋彈條を用ひる場合には、電力計は大體に於て略々平等目盛に近い目盛を有する。但し中央部に於ける一目の幅は多少廣いのである。

電流力計型電力計は同型電圧計又は電流計と同様、直流及交流兩用である。故に直流を以て較正試験を行ひ、之を交流回路に用ひて實用上殆んど誤差を生じない。併し乍ら回路の力率が甚だしく低い時には、相當誤差を生ずるのを免れ難いのである。今少しく此關係を述べて見やう。

交流回路に使用する場合に、直流回路の場合に比し廻轉力に差を生ずる原因となるものは、電壓線輪のインダクタンスと電壓線輪及電流線輪間の相互インダクタンスである。此の内、相互インダクタンスの影響は割合に少く、實用上之を閑却することが出来る。故に茲には電壓線輪のインダクタンスの影響のみに就いて述べる。

R_p = 電壓線輪回路の全抵抗

L = 電壓線輪のインダクタンス

f = 周波數

とすれば、電壓線輪に流るゝ電流は直流と同一電壓 E に於て

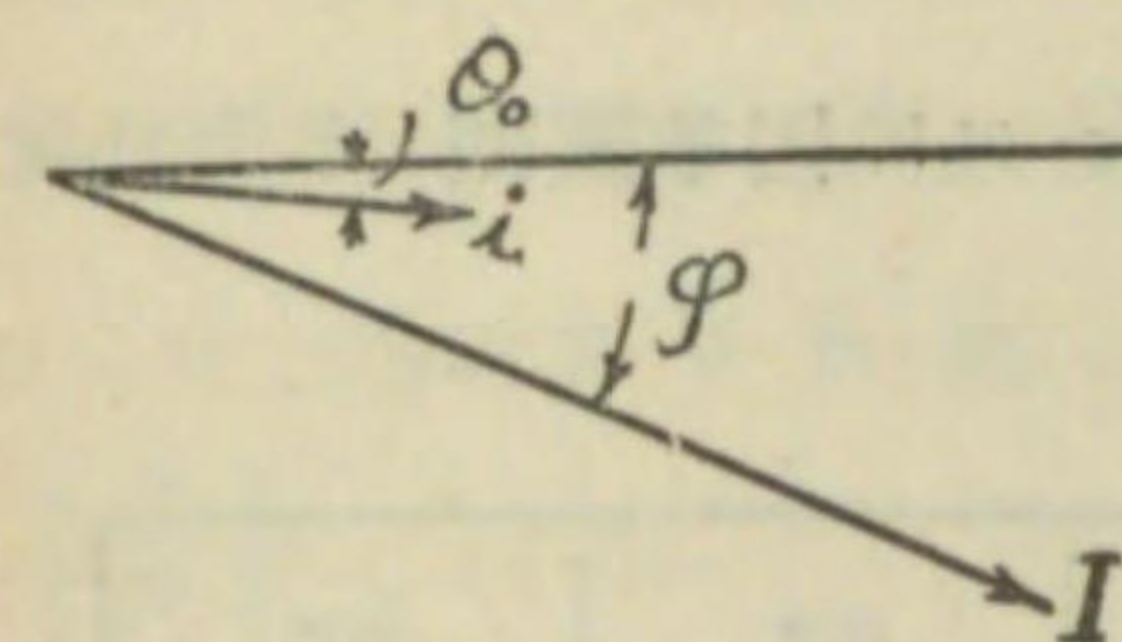
$$\text{直流の場合 } i_a = \frac{E}{R_p}$$

$$\text{交流の場合 } i_a = \frac{E}{\sqrt{R_p^2 + (2\pi fL)^2}} = \frac{E}{R_p} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\pi fL}{R_p}\right)^2}}$$

$$\approx i_a \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi fL}{R_p}\right)^2 \right\} \quad (1)$$

$2\pi fL$ は通常 R_p に比し甚だ小さいから、最後の近似式を用ひて差支がないのである。即交流の場合は直流の場合より、いくらか電壓線輪電流は小さくなる譯であるが、 $\frac{1}{2} \left(\frac{2\pi fL}{R_p}\right)^2$ は通常 1 に比し甚だ小さく、従て i_a は實用上 i_a と等しいと見て宜しい。例へば $f=50$ 、 $L=0.0053$ ヘンリー、 $R_p=3333$ オーム とすれば、 $\frac{1}{2} \left(\frac{2\pi fL}{R_p}\right)^2 = 0.000013\%$ で、殆んど之を考へる必要がない。故に電壓線輪に流るゝ電流 i_a は、其の大きさに於ては直流の場合の電流 i_a と等しいと見ることが出来るが、交流の場合は i_a は電壓 E より $\theta_0 = \tan^{-1} \frac{2\pi fL}{R_p}$ なる角丈遅れる譯で、此の關係は第 205 圖のベクトル圖に示す如くである。故に交流回路に使用する場合に

第 205 圖



電力計内の電流關係

は、廻轉力は $Ei \cos \varphi$ に比例する代りに $Ei \cos(\varphi - \theta_0)$ に比例することとなる。何となれば可動線輪に働く廻轉力は固定線輪の電流と可動線輪の電流との間に働く平均廻轉力に等しいからである。若し θ_0 なる相差さへなければ、交流回路に用ひて直流の場合に比し殆んど誤差がない筈である。故に電壓線輪のインダクタンスに依る誤差は次の様になる。

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{Ei \cos(\varphi - \theta_0) - Ei \cos \varphi}{Ei \cos \varphi} \\ &= \frac{\cos(\varphi - \theta_0) - \cos \varphi}{\cos \varphi} - 1 \\ &= \cos \theta_0 + \sin \theta_0 \tan \varphi - 1 \end{aligned}$$

θ_0 は極めて小さいから $\cos \theta_0$ は 1 に等しいと見て大差なく、又 $\sin \theta_0 = \tan \theta_0 = \frac{2\pi fL}{R_p}$ と見て差支がない。故に

$$\xi = \sin \theta_0 \tan \varphi = \frac{2\pi fL}{R_p} \tan \varphi \quad (2)$$

前例に於けるが如く、 $L=0.0053$ ヘンリー、 $f=50$ 、 $R_p=3333$ オーム (電壓 100 ヴの回路に使用する場合) とすれば

$$\frac{2\pi fL}{R_p} = 0.0005$$

$$\xi = 0.0005 \times \tan \varphi$$

若し更に直列無誘導抵抗を増加し 200 ヴ用とする爲 $R_p=6666$ オームとすれば

$$\xi = 0.00025 \times \tan \varphi$$

第 17 表は電圧線輪のインダクタンスに依る誤差を示す。

第 17 表 電力計電圧線輪のインダクタンスに因る誤差
(遅電流の場合)

相 差 φ	0	20°	40°	60°	80°
電 圧					
100 V	.00	.02	.04	.09	.23
200 V	.00	.01	.02	.04	.14

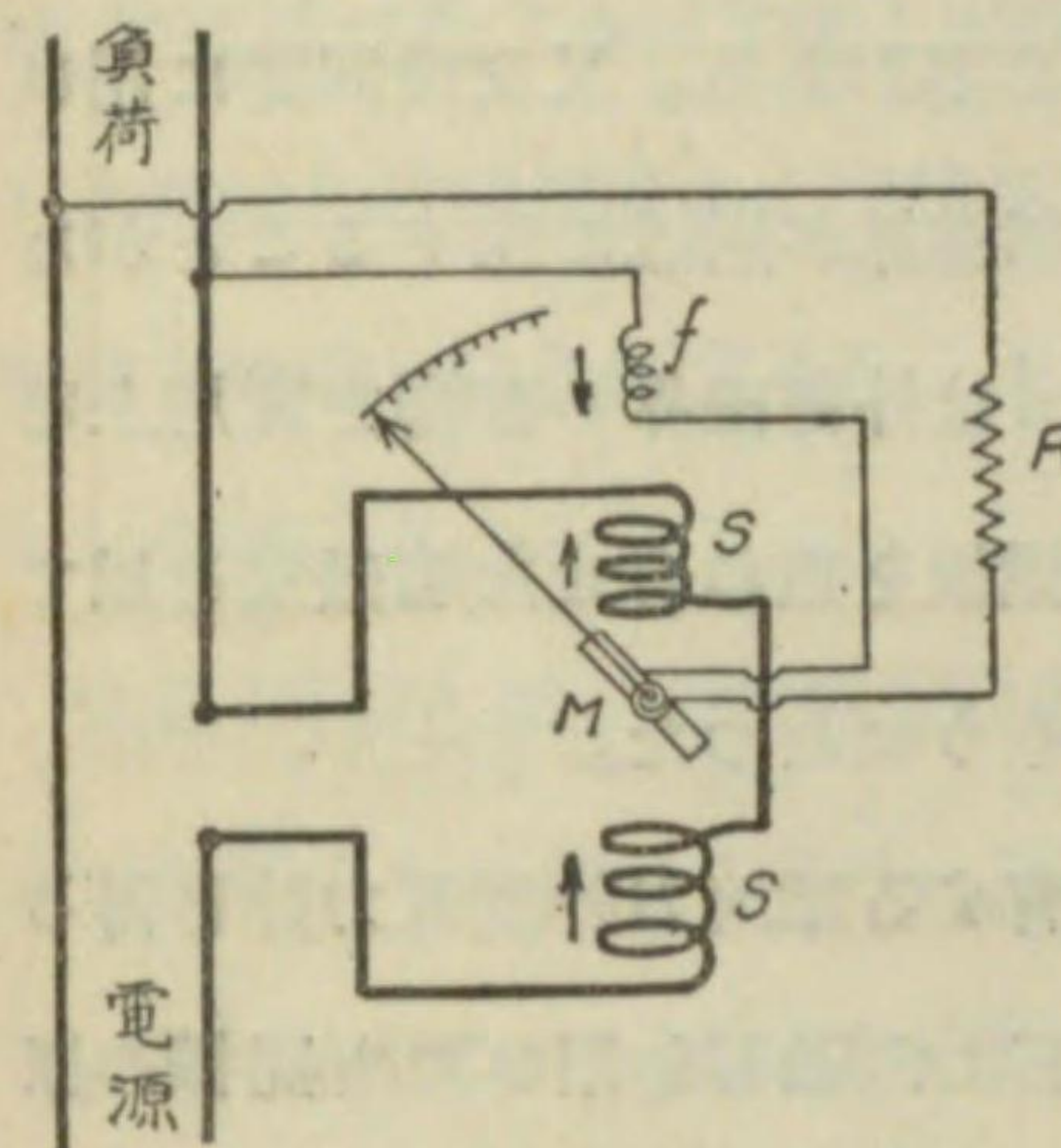
φ が (+) なることは遅電流の場合で、 φ が (-) なることは進電流の場合である。故に (2) 式から遅電流の場合は誤差が (+) で、進電流の場合は誤差が (-) となることが分るであらう。此の事は第 205 圖のベクトル圖からも明かで、圖の如く遅電流の場合には $\varphi - \theta_0$ は φ より小さく、従て電力に比例するよりは大なる廻轉力を生じ、指針は實際よりも大なる電力を指示するが、進電流の場合には $\varphi - \theta_0$ の代りに $\varphi + \theta_0$ となり、其の餘弦の値が減少するから廻轉力は減少し、誤差は (-) となるのである。

第 17 表から φ が小さく、従て力率が 1 に近い時は、誤差は極めて小さく、之を無視することが出来るが、 φ が漸次大きくなり、力率が低下するに従ひ、誤差が増加して來ることが分るであらう。故に低力率用の電力計に於ては、充分大なる無誘導直列抵抗を接続し、 $2\pi fL$ の R_p に對する比を極めて小さくすることが必要である。

前節に於て電力計の指示は、負荷に於て消費せらるゝ電力と、負荷に近く接続せらるゝ線輪内の損失との和を示すものであることを述べたが、低力率用の電力計に於ては、測定すべき電力に比し此の線輪内の損失が最早や

閉却し得ない様になる場合がある。之が爲ウェストン會社で製作する低力率用電力計(力率 0.2 に於て全目盛を指示する様に作られて居る)では、第

第 206 圖



ウェストン低力率用電力計

206 圖に示す様に電圧線輪を負荷に近く接続する様にし、電圧線輪と直列に f なる固定補償線輪 (compensating coil) を設け、電力計の読みは單に負荷の消費電力を示す様にしてある。此補償線輪 f の作用を説明すると、負荷が零なる場合に於て電流線輪 S 、補償線輪 f 及電圧線輪 M は直列に接続せらるゝこととなり、同一の電流が通る。

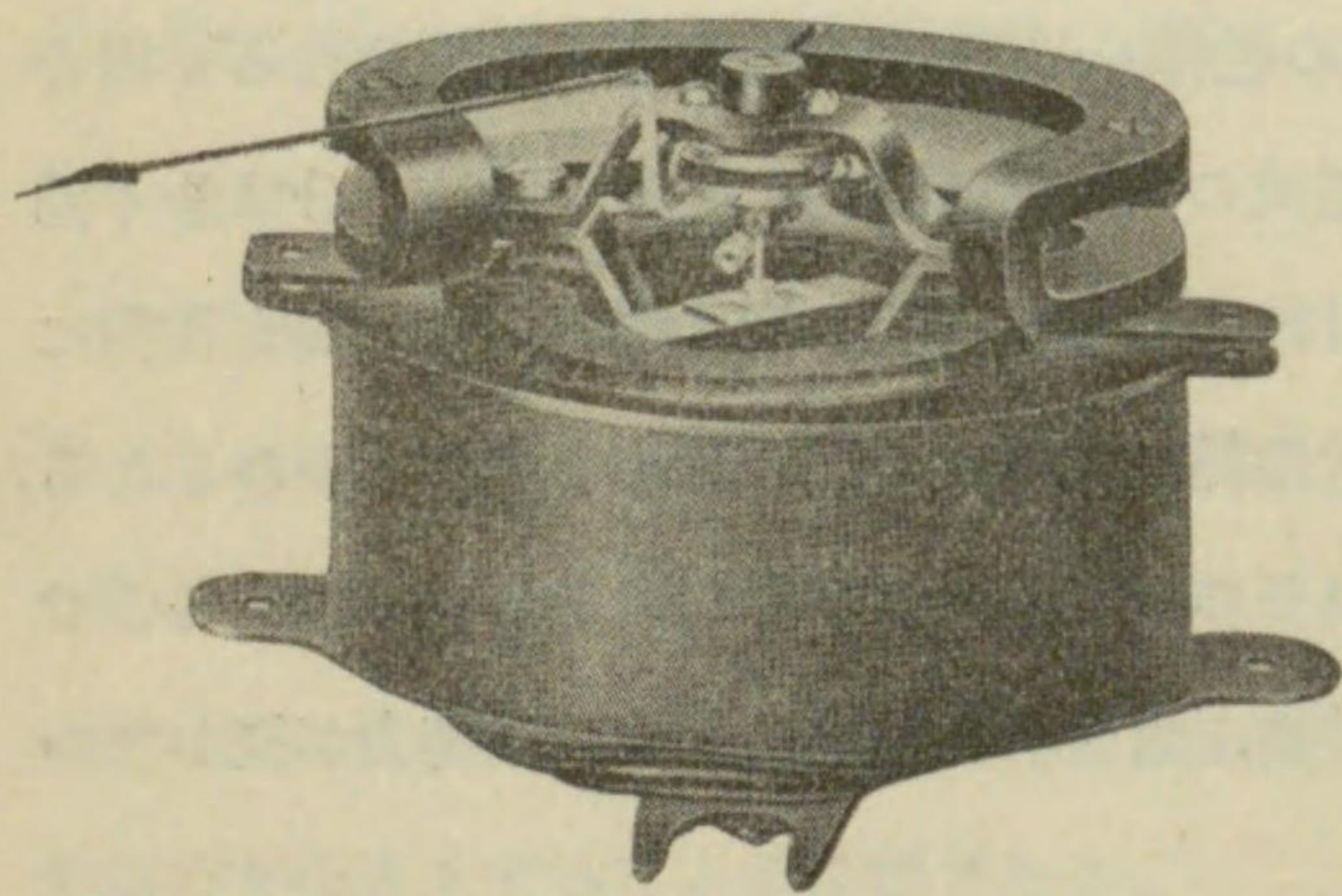
此の場合に可動線輪の位置に於て f の作る磁界が、丁度 S の作る磁界と相等しく且正反對の方向に生ずる様に調整せられてあると、其の合成磁界は零で、従て可動線輪には何等の廻轉力が働かない。負荷が接続せらるゝ場合に於ても、固定線輪に通る電流の内、電圧線輪に流るゝ電流の分は全く補償線輪 f に依つて補償せられ、結局可動線輪に働く廻轉力は、固定線輪に通る電流の内、負荷電流と電圧線輪電流との間の廻轉力に因るのみとなるから、電力計の指示は全く負荷の消費電力のみを指示するやうになるのである。 f なる補償線輪の調整は、負荷零なる時に何等の廻轉力が働かない様にすればよいのである。

以上の外、電流力計型電力計の誤差を生ずる原因となるものは、温度及外部磁界の影響である。温度の影響は、電圧線輪の直列抵抗 R に温度係數零なるマンガニン直列抵抗を使用することに依り、極めて小にすること

が出来る。外部磁界の影響は一般電流計型計器と同様に、地球磁界の如き弱い磁界も相當に影響があるから、直流回路に用ひる場合又は直流を以て校正試験を行ふ場合には、電圧及電流兩線輪の電流の方向を同時に反對とし、二回の測定を行つて其の平均値を取る必要がある。又交流回路に用ひる場合には、同一周波数を以て交番する外部磁界が附近に生ずることがない様に注意する必要がある。但し最近に於ては外部磁界の影響を實用上殆んど閑却し得る様にする爲、働作部分を薄鐵板を重ね合せた遮磁壁を以て包圍したものを、各製造者に於て製作するやうになつた。

配電盤用電力計の如く強い傾斜廻轉力を有する電流計型電力計を得る爲には、恰も直流可動線輪型計器の耐久磁石に電磁石を用ひたと同様の原理で、電流線輪の磁束の磁路を殆んど鐵を以てする電力計も作られて居る。第 207 圖は此種のシーメンス鐵磁路電力計を示すもので、固定電流線輪は

第 2 0 7 圖



シーメンス鐵磁路電力計

薄鐵板を重ね合せた鐵枠中に装置せられ、其の内部の圓筒形の空間に圓筒形鐵心があり、其の空隙に可動電壓線輪が装置せられてゐる。此の型では廻轉力の大きなることは勿論で、又外部磁界の影響も殆んど無いが、鐵磁路の飽和、直流の場合のヒステリシス現象、及交流の場合の鐵損等種々誤差を生ずる原因があるから、相當良好なる特性を得る爲には、設計上苦心を

薄鐵板を重ね合せた鐵枠中に装置せられ、其の内部の圓筒形の空間に圓筒形鐵心があり、其の空隙に可動電壓線輪が装置せられてゐる。此の型では廻轉力の大きなることは勿論で、又外部磁界の影響も殆んど無いが、鐵磁路

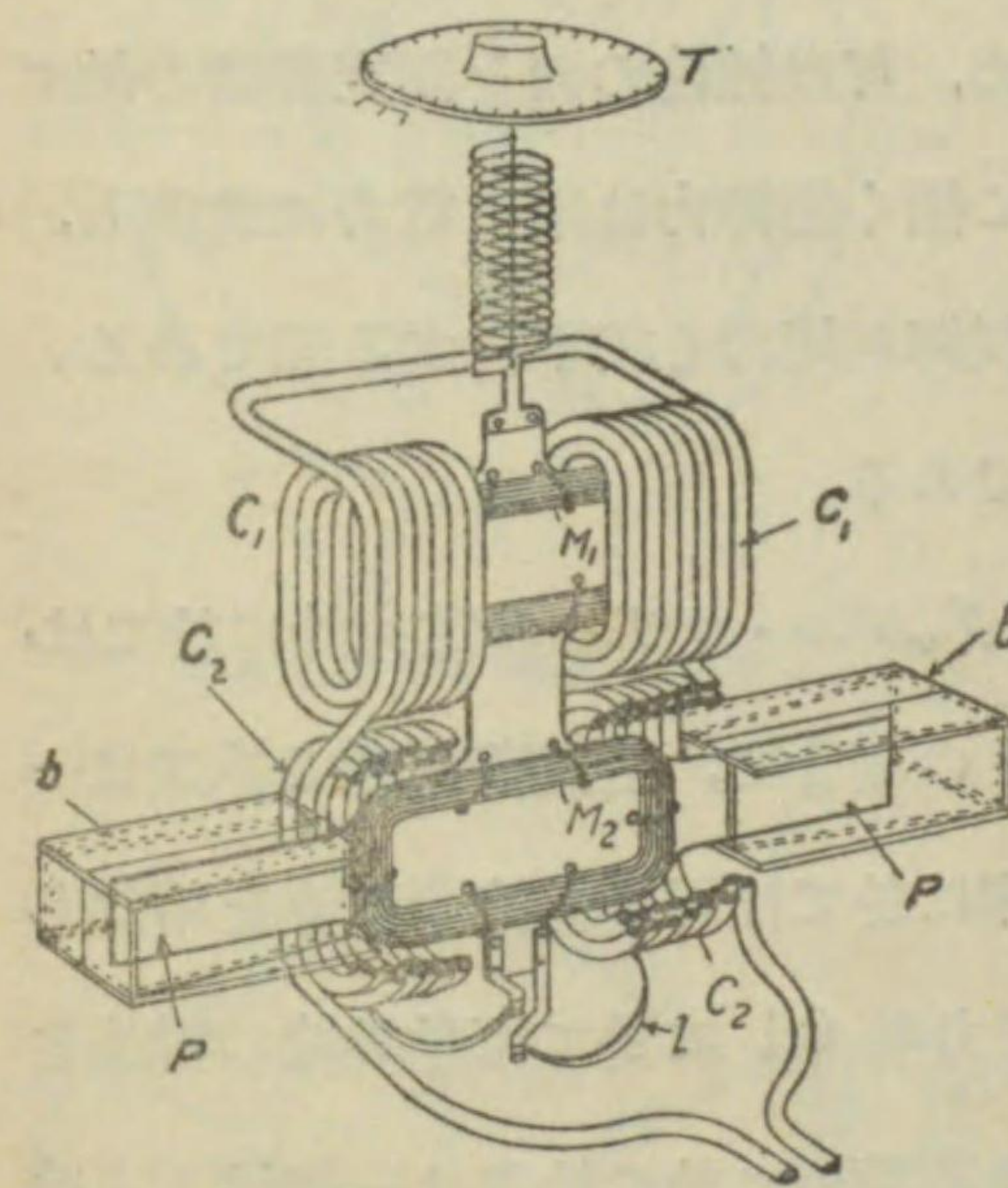
要するものがある。

126. 電力測定用ワット衡及電流力計 前章第

98 節に述べた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、可動線輪を電圧線輪として使用する時はワット衡となる。但し此の場合には廻轉力は電力に比例することとなるので、電力は可動重量を動かした距離に比例することとなる。

又第 97 節に述べた電流力計に於て固定線輪を電流線輪とし、可動線輪を電圧線輪として用ひる時は、同様に電力計として使用することが出来るので、此の場合ワットは捻頭を廻轉した角度に比例することとなるのである。

第 2 0 8 圖



ダッデル・マザー電力計

めて居る。制御法としては捻頭に取り付けた螺旋彈條を用ひ、可動線輪に電流を導くには二條の金箔片 l を用ひて居る。捻頭の盤は 450 耗の長さ

第 208 圖はダッデル・マザー (Duddell-Mather) の電力計を示すものであるが、其の原理は無定位電流力計に過ぎないのである。即ち圖の如く二組の固定線輪 C_1 、 C_2 、及二箇の可動線輪 M_1 、 M_2 から成り、之を圖の様に上下に装置する。二箇の可動線輪は雲母板に支持せられ、下部に於て此雲母板を延長して硝子函内に突出せしめ、茲で空氣制動装置を形成せし

の目盛を有し、之を 100 に分ち、更に各區劃を 5 等分した目盛(500 等分)を目盛つてある。固定線輪は電流線輪として用ひるので絶縁した素線から成る撚線を用ひ、之を直並列に接続することに依つて測定範囲を 1, 2, 5 及 10 の割合に變へる。可動線輪は電壓線輪として用ひるので、之に適當な無誘導マンガニ直列抵抗を接続し、其の常規電流を約 0.01 アムペアにしてある。上下の線輪は固定線輪及可動線輪共其の捲方を反對にし、電流の方向が上下に於て反對になる様にしてある。即ち之に依つて無定位電流力計を形成し、外部磁界の影響を零にするのである。電力が零の場合には可動線輪の面は固定線輪の軸に一致する様に調整せられてある。今固定線輪に電流、可動線輪に電壓が與へられると、電力に比例する廻轉力が可動線輪に働き、可動線輪を一方に傾斜せしめる。茲に於て捻頭 T を廻し、彈條に依る制御廻轉力を漸次増加せしめ、可動線輪の面を固定線輪の軸に一致せしむると、此の場合に可動線輪に働く廻轉力は單に電力に比例し、此の廻轉力は捻頭の傾斜角に比例する制御廻轉力と相平衡する譯である。故に電力は捻頭の日盛に正比例する譯である。

英國ケムブリッジ會社に於て製作するグッデル・マザーの電力計に於ては、可動線輪の電流 0.01 アムペア、力率 1 の場合に、全負荷電流で捻頭は一廻轉する様に作られて居る。然し低力率に於ては可動線輪の電流を増加し感度を増す様になつて居るので、例へば力率 0.1 に於て可動線輪の電流を 0.1 アムペアに増加すれば、同じく全負荷電流に於て捻頭は一廻轉し、此の條件に於て使用すれば、力率 0.01 に於ても 45 耗丈捻頭を廻轉することとなるのである。此の電力計の得點としては、無定位である爲に外部磁界の影響がないこと、低力率に於ても感度の高いことが擧げられて居り、實驗所

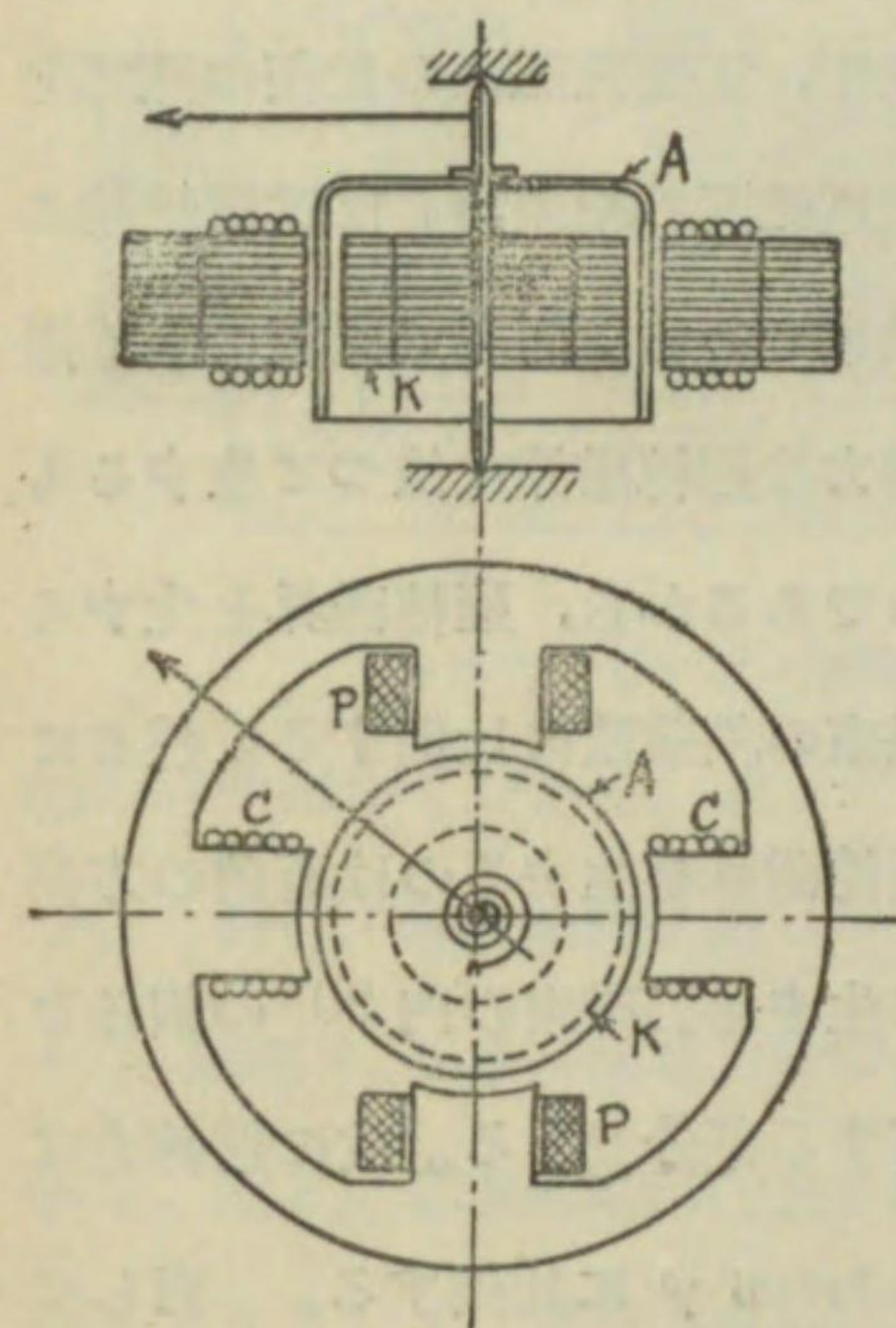
用として推賞せられて居る。

127. 誘導型指示電力計

前章第 112 節に述べた誘

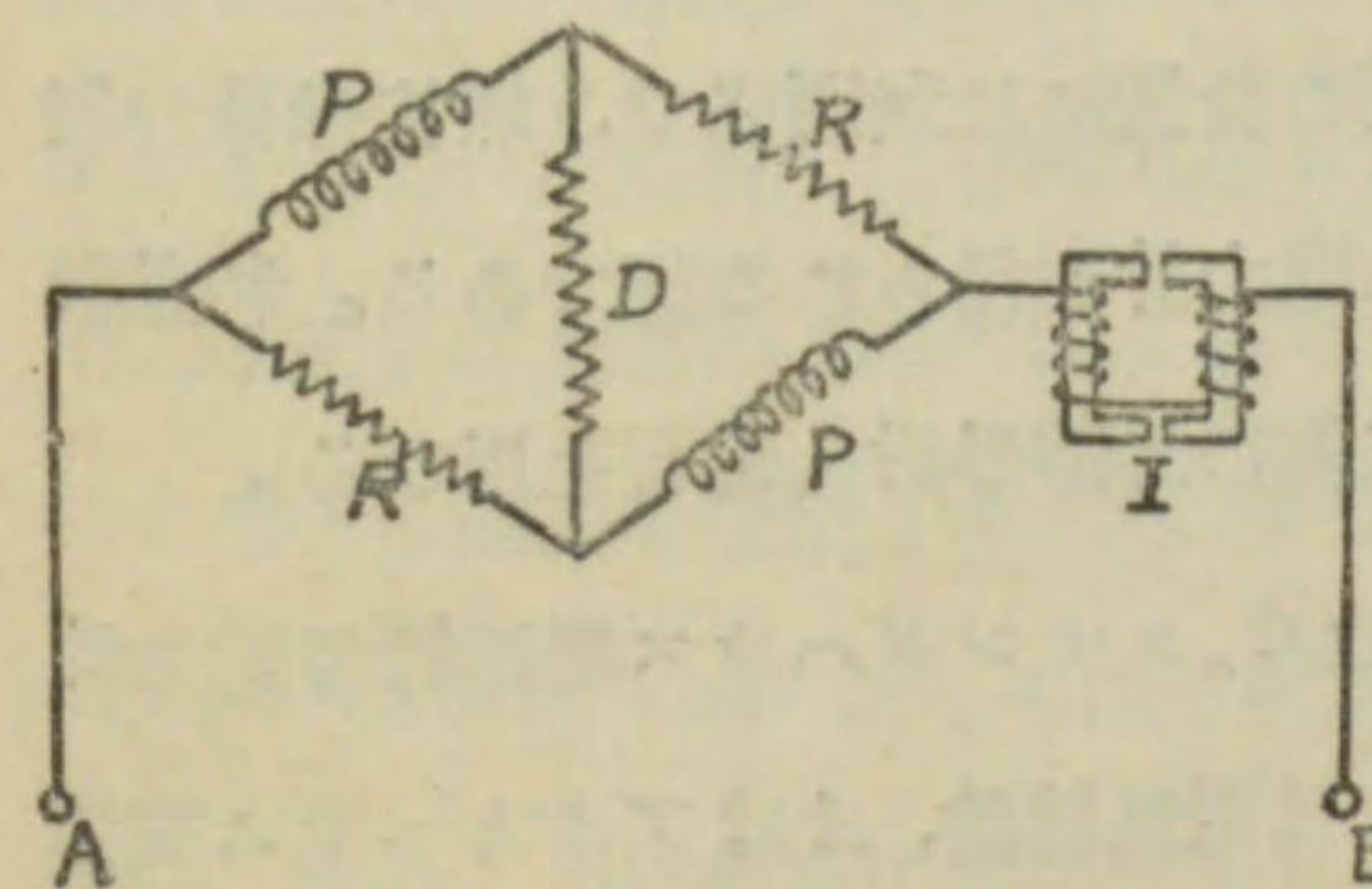
導型電壓計又は電流計と同様の原理で現今製作せられて居るものに、又フェ

第 209 圖



フェラリス誘導型電力計

第 210 圖



フェラリス電力計の電壓線輪接續

ラリス型及變壓器型の二種がある。

(イ) フェラリス型電力計 第209

圖はフェラリス型電力計を示す。 P は電壓線輪、 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、電壓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方向に出来る。 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 210 圖は電壓線輪の接續を示すもので、 PP は電壓線輪、 RRD 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。

電壓線輪は抵抗の外相當大なる

インダクタンスを有して居る。

斯様な接續に依つて R, R, D

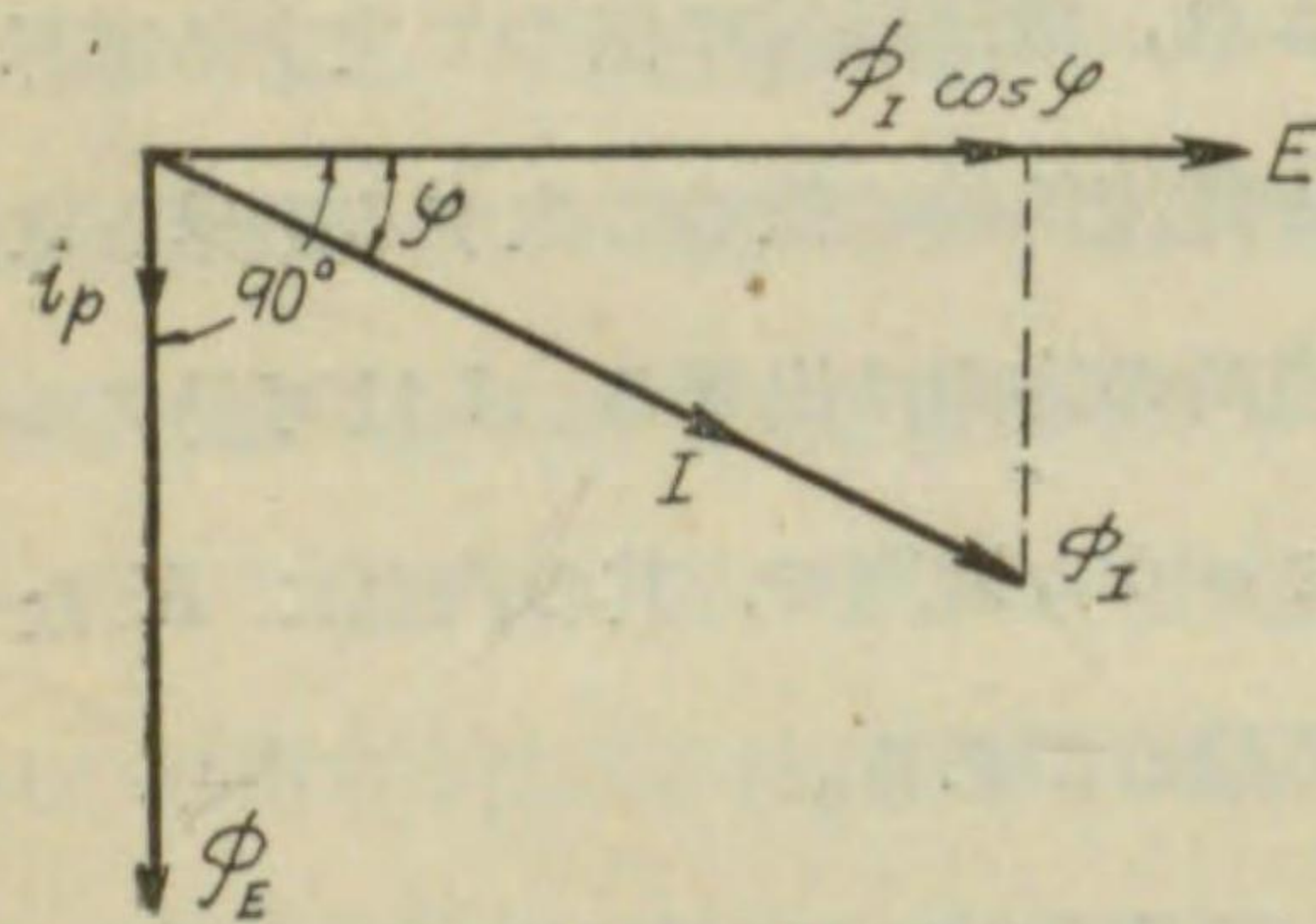
及 I の値を P, P のイムピー

ダンス即抵抗とインダクタンス

に對し適當に調整すると、電壓線輪 P, P に流れる電流は AB 間の端子電壓から 90° 遅れさせることが出来る。

斯くの如くに PP に流るゝ電流を電壓より 90° 遅れる様に調整すると、電壓線輪に依つて生ずる磁束は電壓に比例するが、電壓より位相に於て丁度 90° 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。第211圖は之等の電壓、電流及磁束の位相の關係を示すもので、 E は電壓、 I は電流、 φ は電壓電流間の相差、 i_p は電壓線輪に流るゝ電流、 ϕ_E は電壓磁束、 ϕ_I は電流磁束である。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方向に生ずる二磁束の内 90° の相差を有する部分である。故に廻轉力は $\phi_E \phi_I \cos \varphi$ に比例する。而して ϕ_E は電壓 E に比例し、 ϕ_I は電流 I に比例するから、傾斜廻轉力は $EI \cos \varphi$ 即ち電力に比例することとなるのである。此の傾斜廻轉力は圓筒の位置には無關係で、螺旋彈條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。制動裝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。

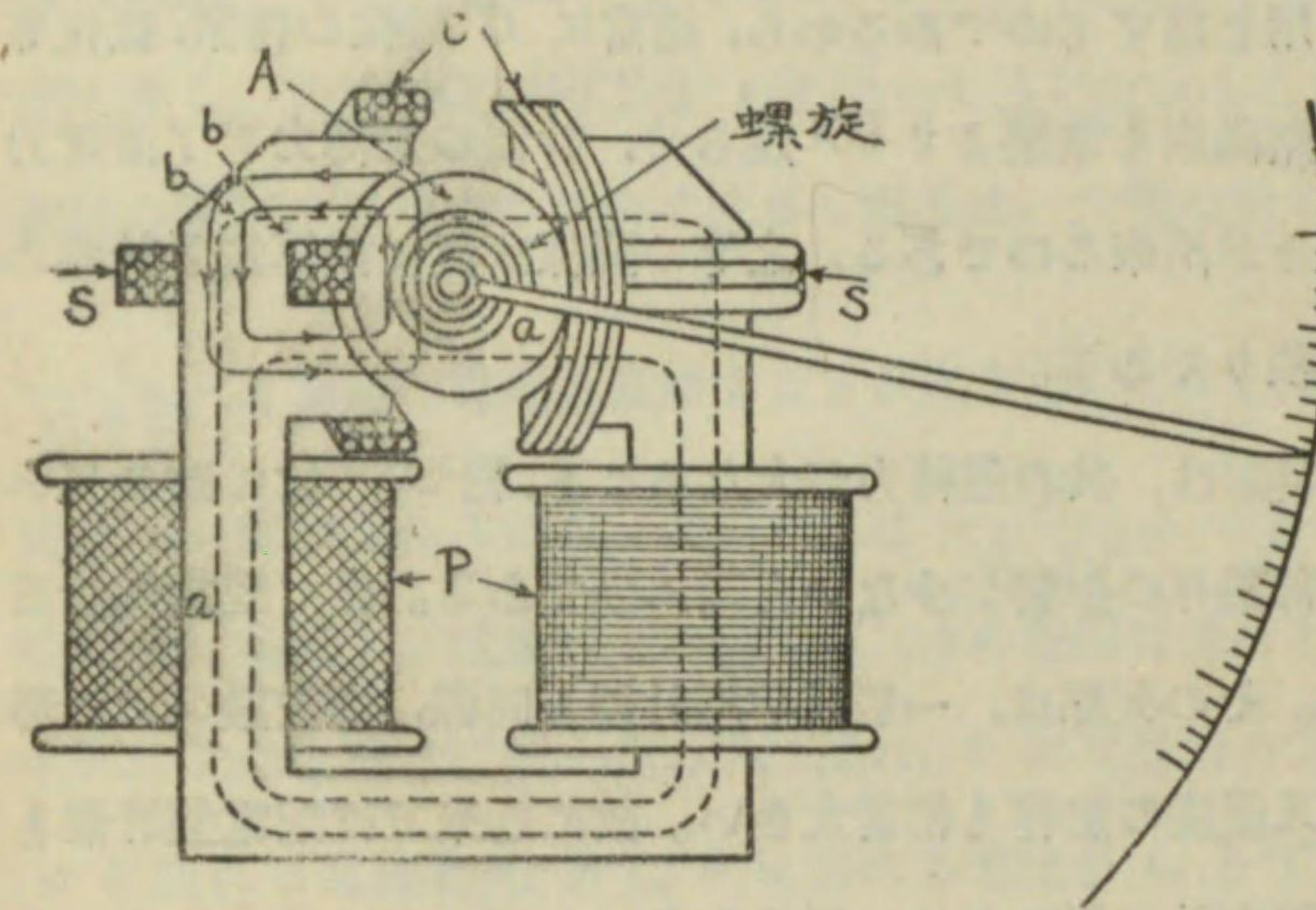
第 2 1 1 圖



フェラリス型電力計の電壓電流及び磁束の位相關係

（口） 變壓器型電力計 第212圖はウェスチングハウス變壓器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 はアルミニウム圓筒で、 P 及 S は圖の位置に於て成層鐵心上に捲かれて居る。圓筒 A の内部

第 2 1 2 圖



ウェスチングハウス變壓器型誘導電力計

には圓柱形鐵心がある。 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 90° 遅れて生ずるならば、前記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譯である。然るに電壓線輪は内部に鐵があり且其の捲數も非常に多いので、其のリアクタンスは甚だ大きいけれども、而も相當の抵抗をも有する爲に電壓線輪の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° 以下であつて、此の儘では廻轉力は電力に比例しない許でなく、廻轉力と電力との關係は負荷の力率に依り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より丁度 90° 遅れさせる爲に、位相調整線輪 (phase compensating coil) なるものを用ひる。之は第212圖の C なる二箇の線輪で、此の二つは直列に接続せられ、無誘導抵抗を以て短絡してある。此の位相調整線輪の作用は第113節に述べた隈取線輪と全く同一で、丁度變

壓器の短絡二次線輪と同様の働きをし、電圧線輪電流に依つて生ずる磁束を更に遅らせる作用を爲すものであるから、適當に C 線輪の捲數、抵抗等を調整すれば、電圧磁束を電圧より 90° 遅らせ、計器の廻轉力を丁度電力に比例せしむることが出来るのである。之等の關係は更に積算電氣計器の處で詳しく述べる積りである。

誘導型電力計の利點は、其の廻轉力が大なること、約 300° 位に跨る長い目盛を備へ、且外部磁界の影響が少ないと云ふ點である。従て配電盤計器として適當である。その欠點は、一般誘導型計器と同様、周波數又は波形の影響が大きく、又温度の影響も相當大きい。故に近來では配電盤計器としても電流計型電力計が用ひられる場合が多い。

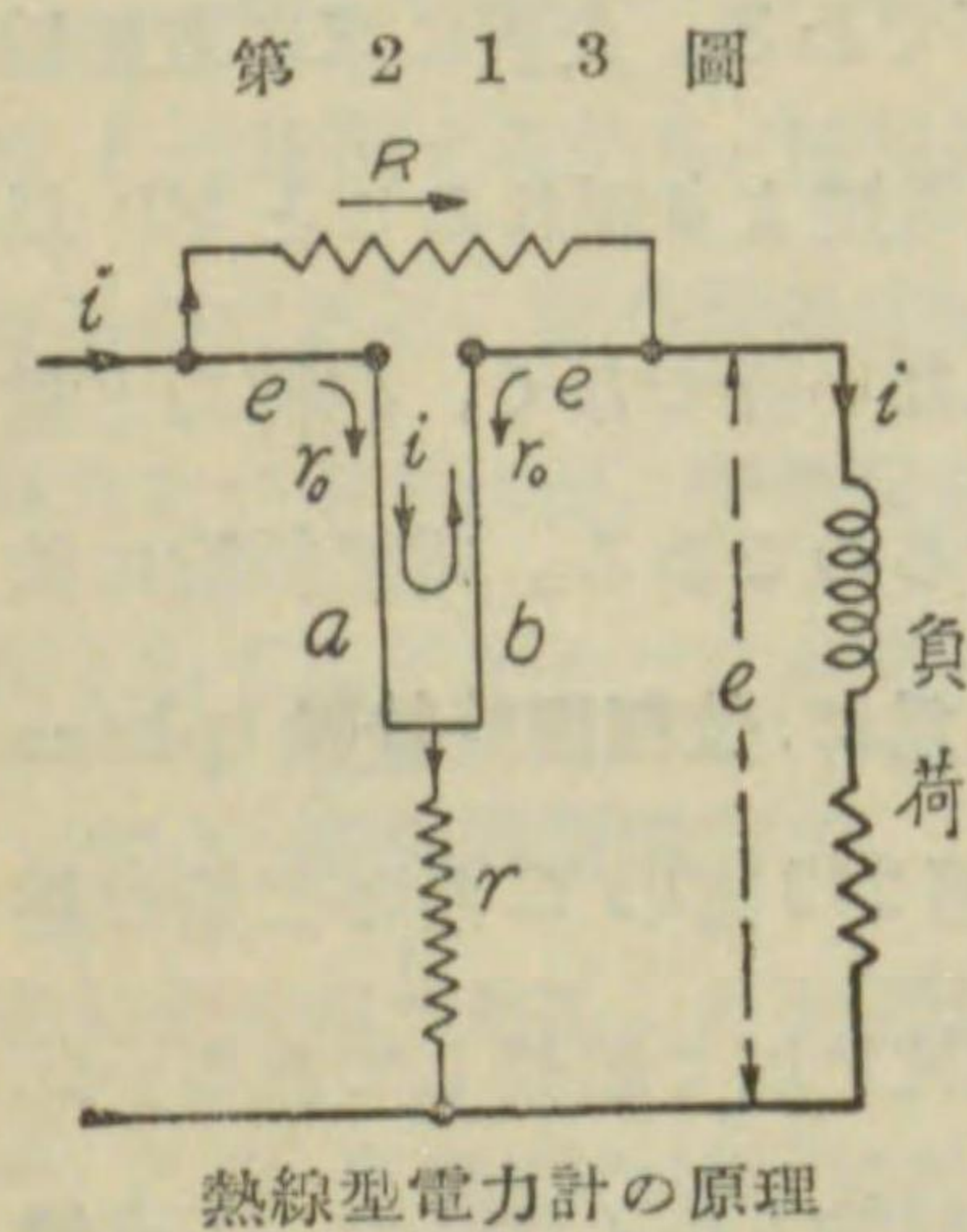
128. 電熱型電力計

電熱型電力計は次の原理に基いて居る。

e を瞬時電圧、 i を瞬時電流とすれば

$$(e+i)^2 - (e-i)^2 = 4ei$$

であるから、二本の熱線を備へ、一つには $(e+i)$ に相當する電流を、他に $(e-i)$ に相當する電流を通せば、二本の熱線は各電流の自乗に比例して加



熱せられ、その熱量の差は電力に比例することとなる。故に二つの熱線の伸張の差又は各熱線に取付けらるゝ熱電對の起電力の差は電力に關係することとなるのである。

(イ) 熱線型電力計 第 213 圖は熱

線型電力計の原理を示すものである。

圖に於て a, b は二本の熱線で、低抵抗 R に並列に接続せられると共に、直列抵抗 r と共に回路に接続せられる。 R は熱線の抵抗 r_0 に比して甚だ小さく、又其の電圧降下も e に比して甚だ低いものとする。然る時は回路の電圧に依つて各熱線に流るゝ電流は、大體に於て $\frac{1}{2} \frac{e}{\frac{r_0}{2} + r} = \frac{e}{r_0 + 2r}$ なる同一電流と見做すことが出来る。又 R と並列にある爲に負荷電流の一部が流れる譯で、此の電流は $\frac{R}{2r_0 + R} i$ である。此の電圧及負荷電流に相當する電流の合成電流が二本の熱線に流れるのであるが、熱線 a には此の二電流は同一の方向に流れ、 b には反對の方向に流れる。故に a に流れる電流を i_1 とし、 b に流れる電流を i_2 とすれば (混雜を避ける爲、圖に於ては熱線に通る電流中、電圧に比例するものを e 、電流に比例するものを i と記して置いた。)

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= \frac{e}{r_0 + 2r} + \frac{Ri}{2r_0 + R} \\ i_2 &= \frac{e}{r_0 + 2r} - \frac{Ri}{2r_0 + R} \end{aligned} \right\} * \quad (1)$$

二本の熱線に生ずる熱量は各電流の自乗に比例するから、二本の熱線の伸長の差は $i_1^2 - i_2^2$ に比例するものと見ることが出来る。然るに

$$i_1^2 - i_2^2 = \frac{4Rei}{(r_0 + 2r)(2r_0 + R)}$$

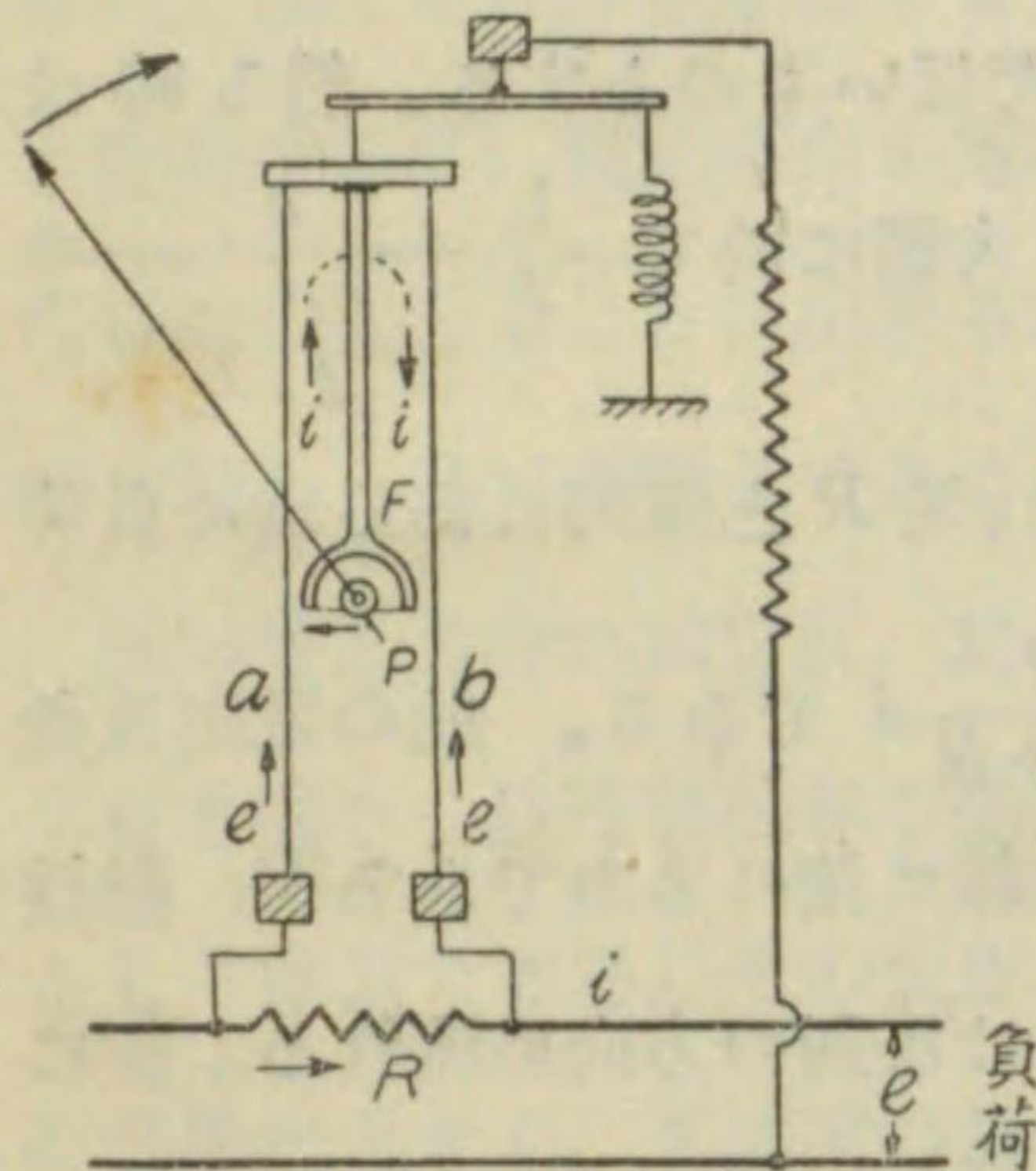
故に二本の熱線の伸長の差は電力 ei に略々比例するものと見ることが出来るのである。

ローラー (Roller), 又はアーウィン (Irwin) の計器は此の原理を使用

* 註 キルヒホッフの法則を應用して i_1 及 i_2 を解けば (1) 式と異なるが、大體の原理を説明するに止めた。

して二本の熱線の伸長の差を指針に傳へるやうにしてある。第214圖は

第 2 1 4 圖

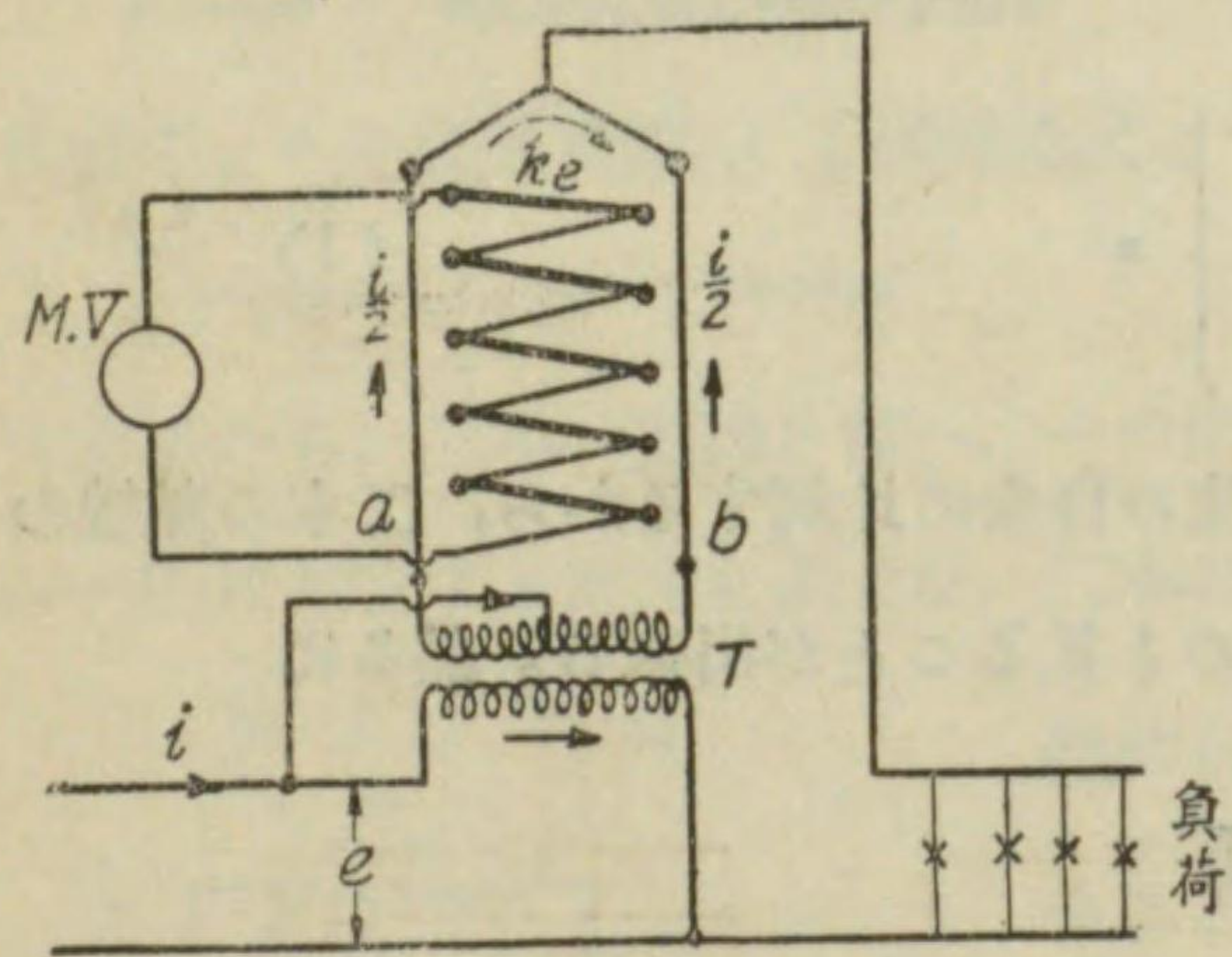


ローラー熱線型電力計

ローラーの熱線型電力計の一例を示すもので、二本の熱線を平行に張り、之を槓桿の一侧に於て螺旋彈條を以て緊張してある。二本の熱線 a, b に伸長の差が起れば、フーク F が左に傾き、其の端に滑車 P を一捲きした絹糸の作用に依り滑車を廻し、滑車の軸に取付けた指針を動かすのである。目盛は他の電力計に比較して定めることが出来る。

(ロ) 熱電對型電力計 第215圖は熱電對型電力計の原理を示すもの

第 2 1 5 圖



熱電對型電力計の原理

で、 a, b は二つの抵抗線である。然るときは圖の如き接続に依り、負荷電流は二分して $\frac{i}{2}$ 宛各抵抗線を通り、又二つの抵抗線は變壓器 T の二次回路を爲すので、電壓 e に比例する電流が a, b に重疊して流れる。故に a には $i_1 = ke + \frac{i}{2}$ なる電流が通り、 b には $i_2 = ke - \frac{i}{2}$ なる電流が流れる譯である。 a, b に対し熱電對を直列に装置すれば、 a の方に接した熱電對には i_1^2 に依る熱に因り熱起電力を生じ、 b に接する方の熱電對には i_2^2 に依る熱に因つて熱起電力が生じ、而も此の熱起電力は其の方向が反對である

から、結局其の熱電對の端子には $i_1^2 - i_2^2$ に相當する起電力が生ずることとなるのである。

$$i_1^2 - i_2^2 = \left(ke + \frac{i}{2}\right)^2 - \left(ke - \frac{i}{2}\right)^2 = 2kei$$

即ち熱電對の端に於ける直流起電力は電力 ei に関係することとなるから、之に直流ミリヴォルト計を接続し、此のミリヴォルト計の目盛をワットで目盛ることが出来るのである。

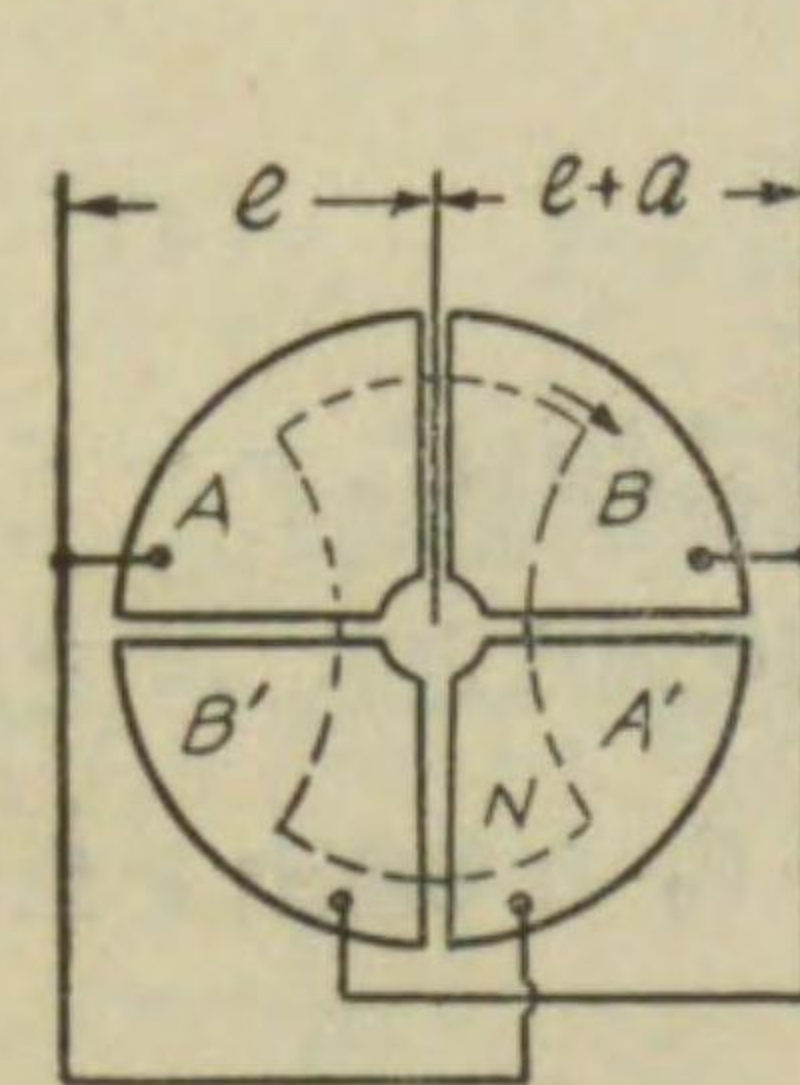
若し電力を供給する代りに、電力の供給を他より受ける場合には、負荷電流 i の方向が反對となるから、 a より b の方が餘計に熱せられ、熱電對端子の起電力の方向が反對となる。故に斯様な計器は電路の一點に於て或る時は他に電力を供給し、或る時は逆に他より電力を受くる様な場合に用ひるに適して居ると云はれて居る。

129. 靜電電力計

之は象限電位計を用ひて電力を測定

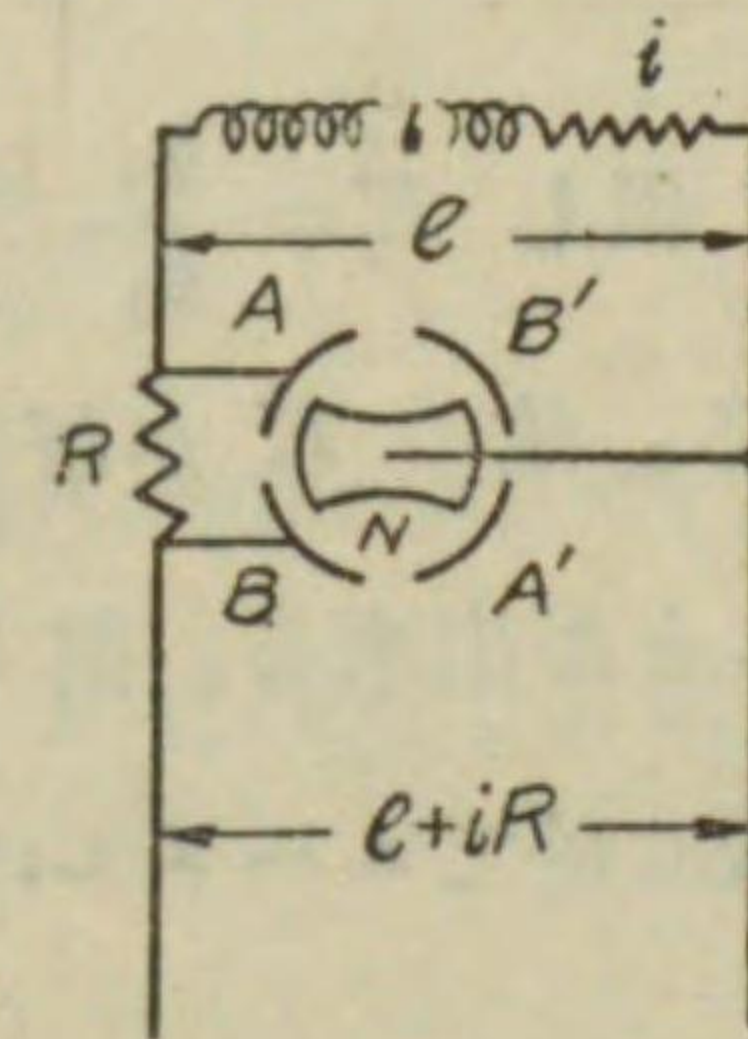
する方法であつて、第216圖に示す様に象限電位計の相對する象限 A, A' と B, B' との間 N との間 e 、象限 B, B' と N との間 $e+a$ なる電壓が

第 2 1 6 圖



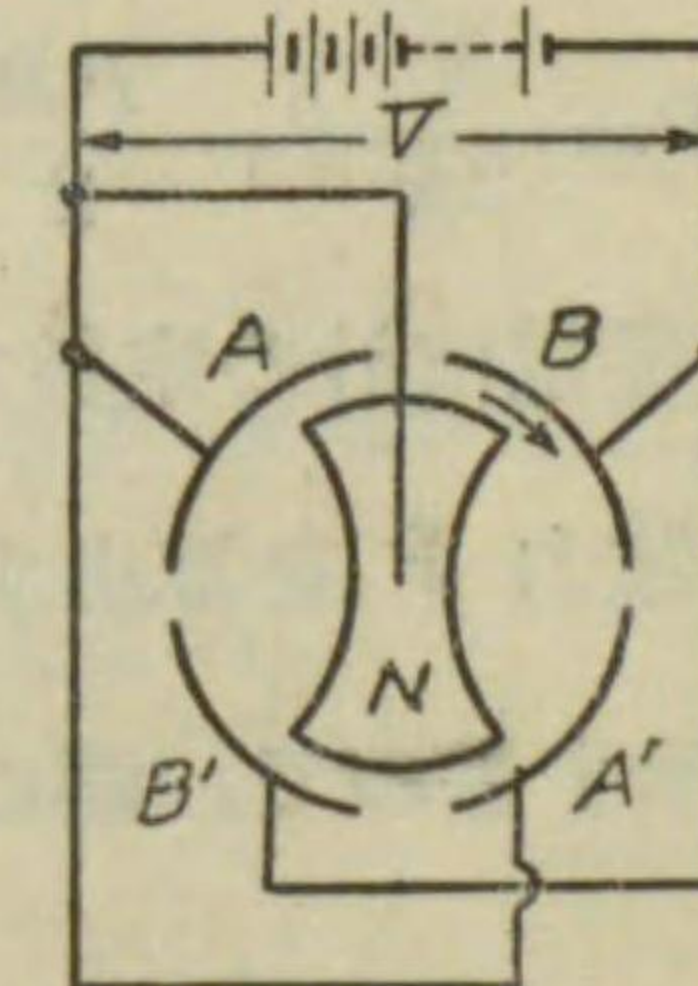
靜電々力計の原理

第 2 1 7 圖



象限電位計による電力測定

第 2 1 8 圖



象限電位計定数の決定法

與へられたとすれば、ニードルは象限 BB' の方に吸引せられるが、此の場合の傾斜廻轉力 τ は次式を以て表はされる。(第104節参照)

$$\begin{aligned}\tau &= k_1[(e+a)^2 - e^2] \\ &= k_1(2ae + a^2)\end{aligned}\quad (1)$$

故に第217圖の如く負荷に直列に R なる無誘導抵抗を接続し、其の兩端を象限 A, B に接続し (A' は A に、 B' は B に接続せられること第216圖の通りであるが、混雜を避ける爲に第217圖には略す) ニードル N を負荷の他端に接続すれば AN 間には e 、 BN 間には $e+iR$ なる電圧が加はるから

$$\tau = k_1(2eiR + i^2R^2) \quad (2)$$

直流の場合は ei は直に電力に等しいが、此の方法は主として交流の測定に用ひられるから、交流の場合に就て説明すれば、 ei は瞬時電力に等しい。故に一周波に就き上式を平均すれば

$$\text{平均廻轉力 } D = 2k_1PR + k_1I^2R^2 \quad (3)$$

但し P は電力、 I は電流の實効値である。 θ をニードルの振れとすれば、ニードルを懸垂する磷青銅片の制御廻轉力は θ に比例するから

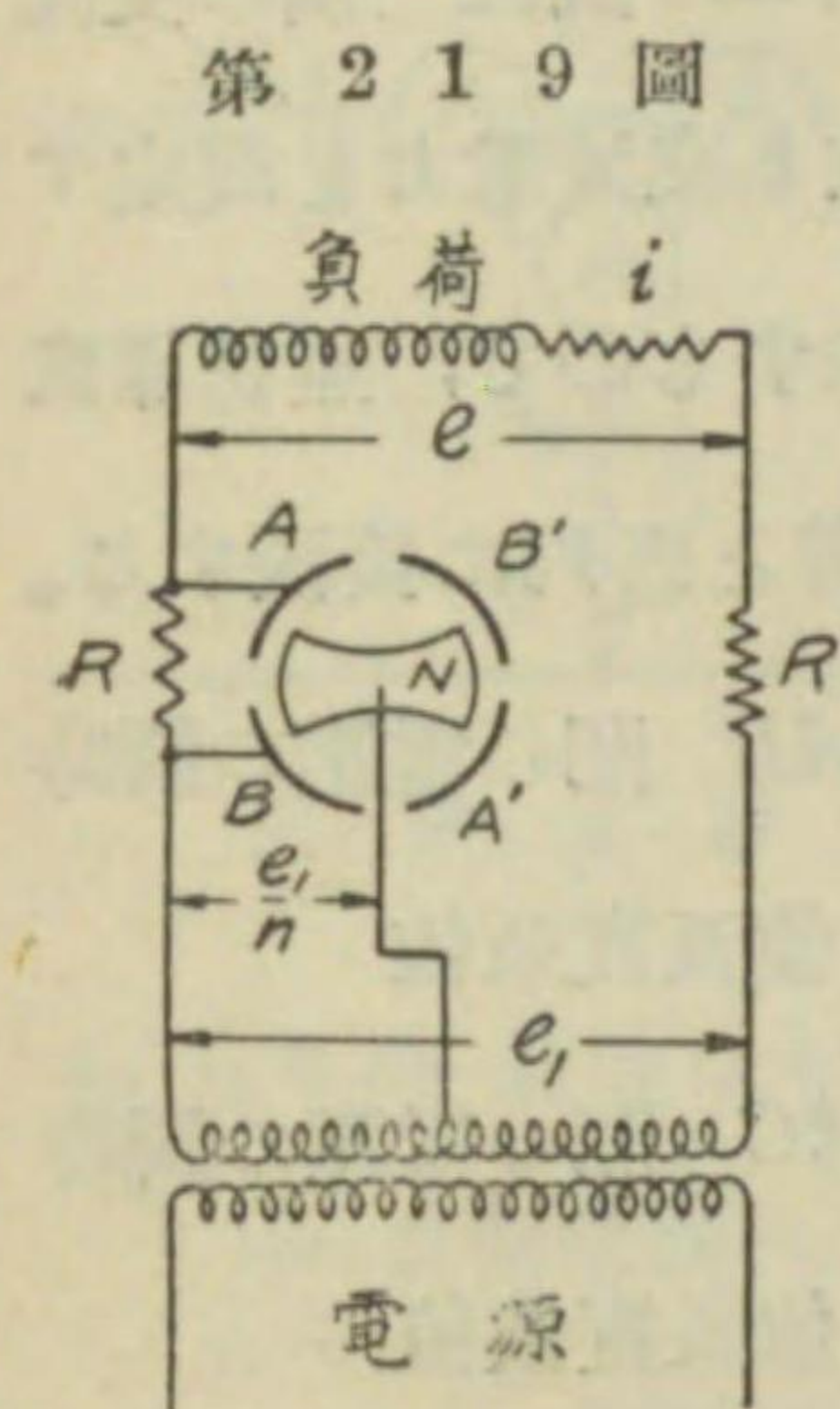
$$\begin{aligned}2k_1PR + k_1I^2R^2 &= k_2\theta \\ P &= \frac{K}{2R}\theta - \frac{I^2R}{2} \quad \text{但し } K = \frac{k_2}{k_1}\end{aligned}\quad (4)$$

K は象限電位計の定数である。故に K が既知であれば、ニードルの振れ θ から電力 P を算出することが出来る。第218圖は定数 K を決定する方法を示すもので、圖の接続に於てニードルに θ_0 なる振れを生じたとすれば

$$k_1V^2 = k_2\theta_0$$

$$\therefore K = \frac{k_2}{k_1} = \frac{V^2}{\theta_0} \quad (5)$$

上記の方法では電力 P は θ に正比例しないが、若し象限電位計の接続を第219圖に示す様にすれば、 P は θ に比例する様になるのである。此の



静電々力計の接続

場合は圖に示す如く、ニードルは電源の電圧の $\frac{1}{n}$ のタップに接続し、新に負荷に直列に $R' = R\left(\frac{n}{2} - 1\right)$ に等しい無誘導抵抗を附加するのである。此の場合に電源の電圧 e_1 は

$$\begin{aligned}e_1 &= e + i(R + R') \\ &= e + \frac{n}{2}iR\end{aligned}$$

故に BN 間の電圧 $= \frac{e_1}{n} = \frac{e}{n} + \frac{iR}{2}$

$$\begin{aligned}\text{又 } AN \text{ 間の電圧} &= \left(\frac{e}{n} + \frac{iR}{2}\right) - iR \\ &= \frac{e}{n} - \frac{iR}{2}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \text{瞬時廻轉力 } \tau &= k_1 \left\{ \left(\frac{e}{n} + \frac{iR}{2}\right)^2 - \left(\frac{e}{n} - \frac{iR}{2}\right)^2 \right\} \\ &= \frac{2k_1eiR}{n}\end{aligned}$$

$$\therefore P = \frac{Kn}{2R}\theta \quad (6)$$

若し $n=2$ 、即電源變壓器の中間にタップを設けると $R'=0$ となり、 R' を接続する必要なく、電力 P は次式で算出すればよい。

$$P = \frac{K}{R}\theta \quad (6')$$

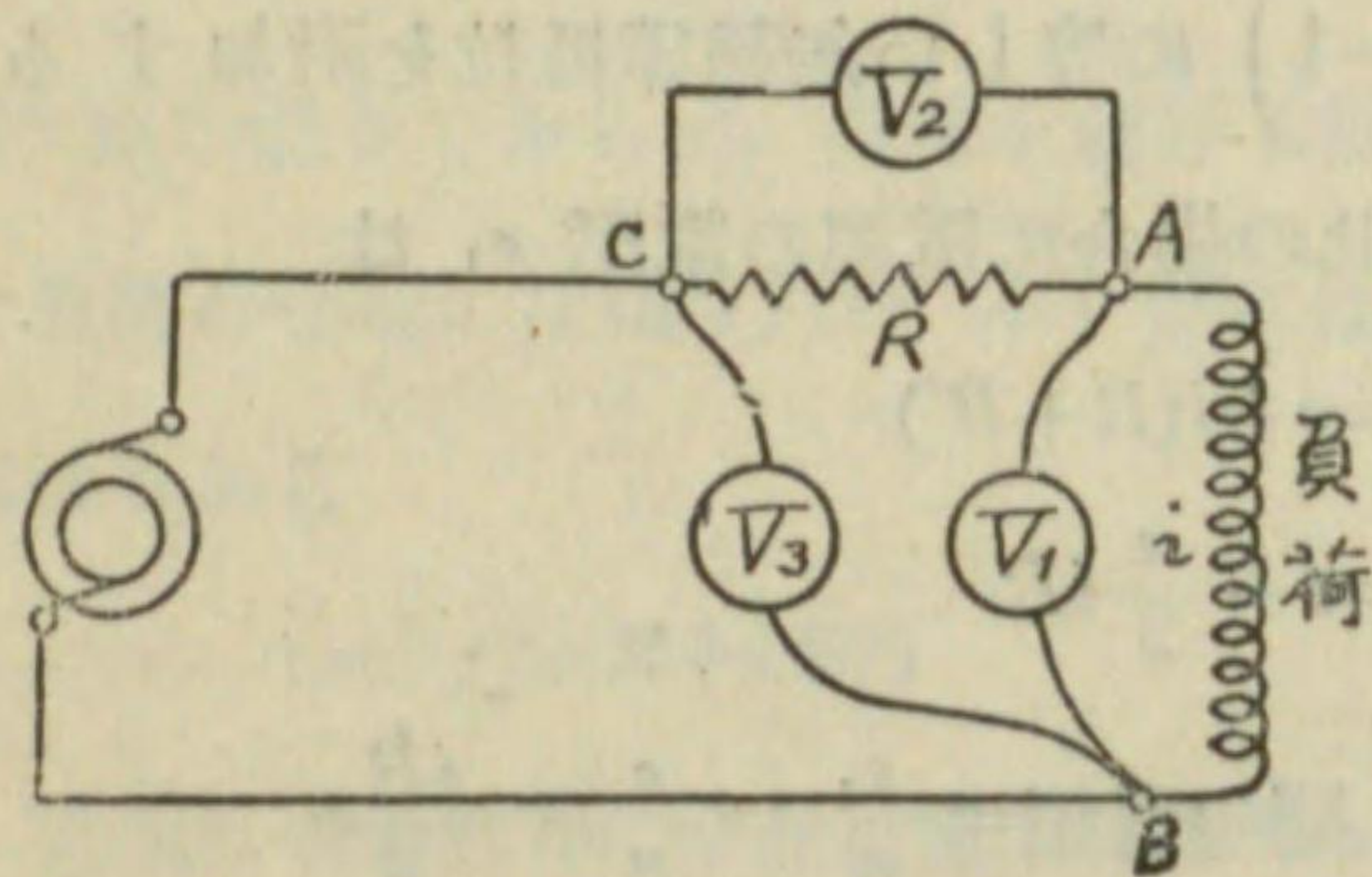
象限電位計法は絶縁物の損失試験の際に於けるが如く、電圧が高く力率

が低い場合、又は低圧低力率の電力測定に適當である。

130. 交流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) 第 220 圖は三個の交流

第 220 圖



三 電 圧 計 法

$e_3, E_3=BC$ 間の電圧の瞬時値及實効値

i = 負荷電流の瞬時値

$p=e_1i$ = 負荷電力の瞬時値

電圧の瞬時値の間には次の關係がある。

$$e_3=e_1+e_2$$

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

然るに $e_2=iR \therefore e_1e_2=e_1iR=pR$

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

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) 式の右側を一周波に就て平均したものに等しい。然るに瞬時電圧の自乗の平均は實効電圧の自乗に等しいから

電圧計に依り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

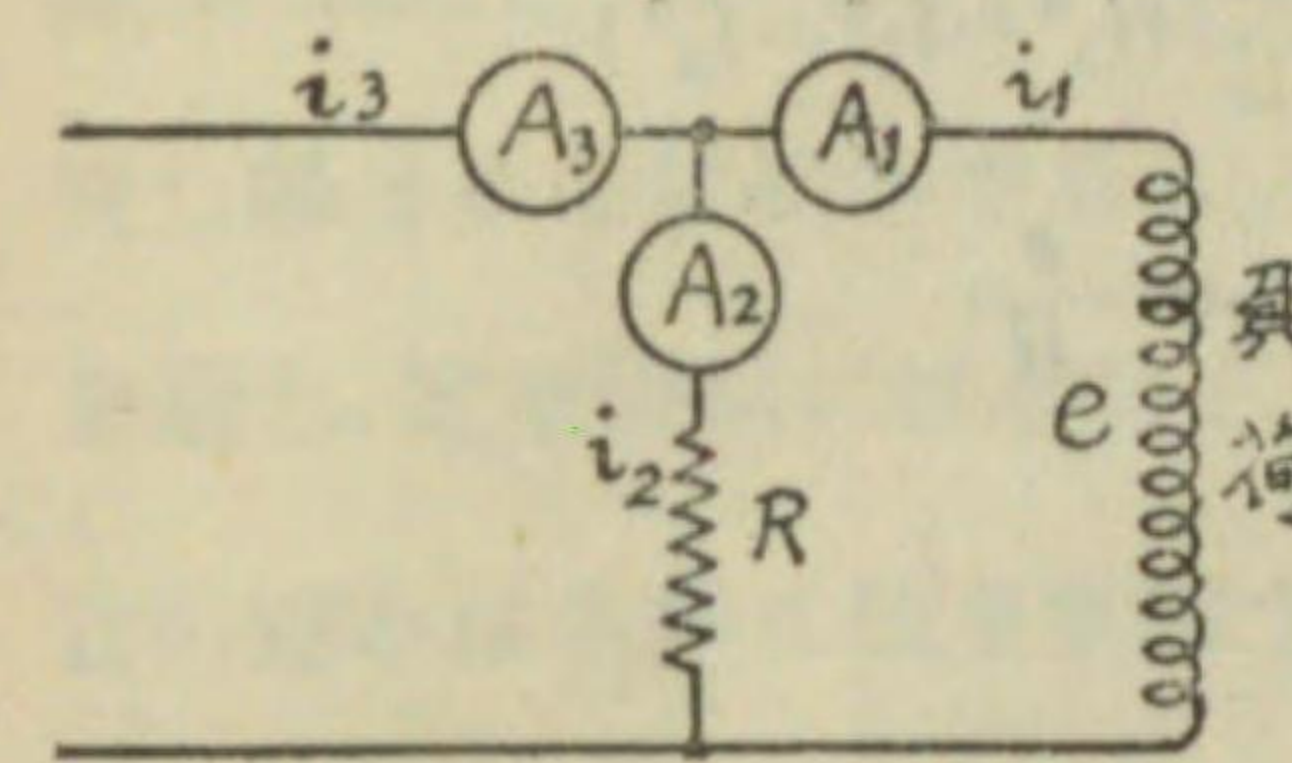
$e_2, E_2=AC$ 間の電圧の瞬時値及實効値

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

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

(ロ) 三電流計法 (three ammeter method) 第 221 圖は三個の交流

第 221 圖



三 電 流 計 法

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。

i_1, I_1 = 負荷電流の瞬時値及實効値

$i_2, I_2=R$ を流るゝ電流の瞬時値

及實効値

$i_3, I_3=A_3$ を流るゝ電流の瞬時的値及實効値

e = 負荷に與へらるゝ電圧

$p=ei_1$ = 瞬時電力

$$i_3=i_1+i_2$$

$$i_3^2=i_1^2+i_2^2+2i_1i_2$$

然るに $i_2=\frac{e}{R} \therefore i_1i_2=\frac{p}{R}$

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

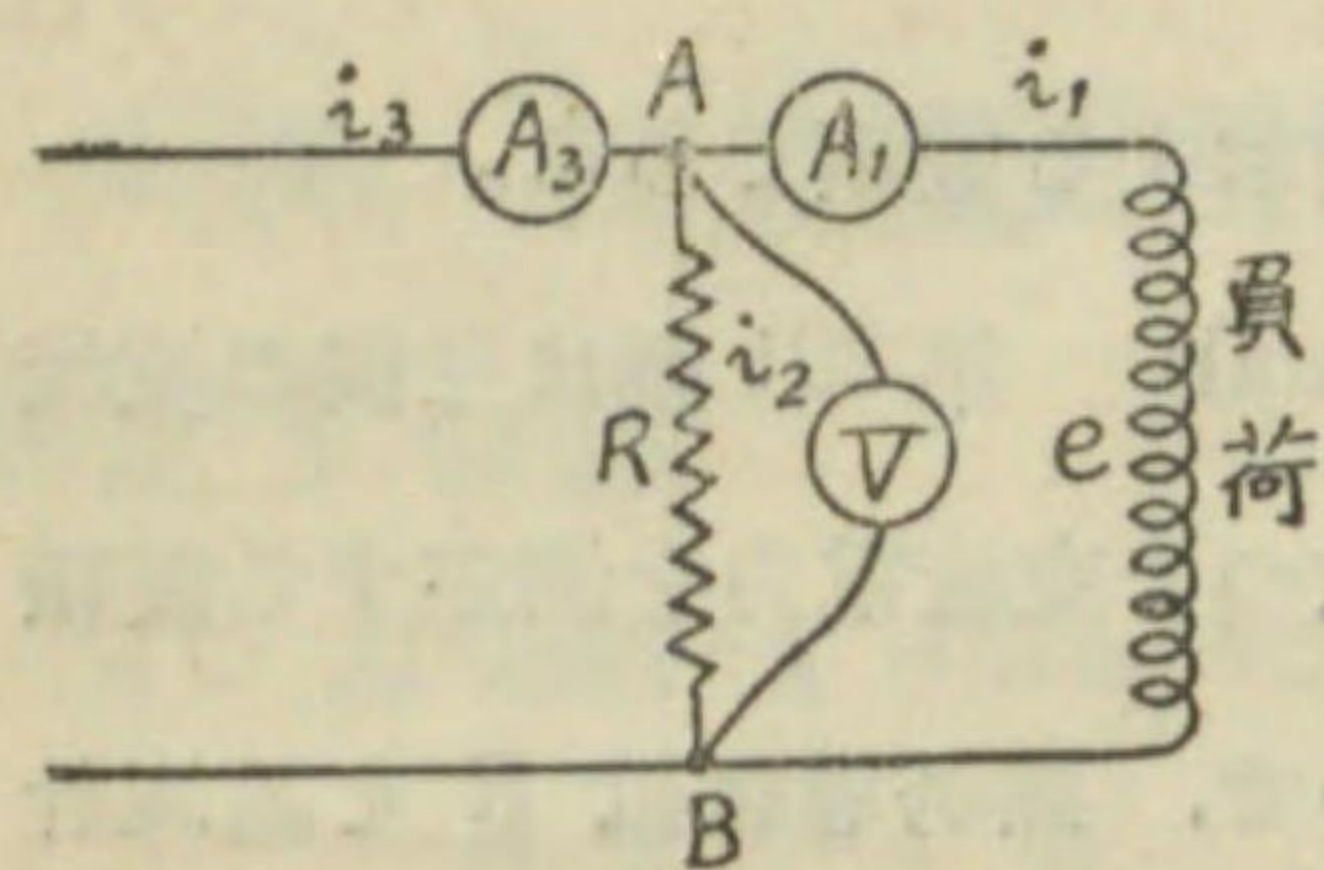
之を一周波に就て平均すれば

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

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

(ハ) 電圧計及電流計法 第 222 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、三電流計法の變形に過ぎない。此の場合

第 2 2 2 圖



電圧計及電流計法

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

之を一周波に就て平均すると

$$P = \frac{R}{2} \left(I_3^2 - I_1^2 - \frac{E^2}{R^2} \right) \quad (4)$$

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。

(イ) の三電圧計法に於ては電圧計電流を閉却し、(ロ) 及 (ハ) の三電流計法に於ては電流計の電圧降下を閉却して居るので、之等の方法は實用的方法に過ぎないが、何れの場合に於ても計器の讀みの自乗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ねばならぬ。何となれば計器の讀み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からである。此の事實は力率が小なる程甚だしい。故に之等の方法は低力率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 の指示が殆んど同一なる時、又 (ロ) 及 (ハ) の方法では負荷電流と R に流れる電流とが殆んど同一なる時、最も良好な結果を得るのである。

には無誘導抵抗 R を AB 間に接続し、且電圧計 V を此の二點間に接続するのである。 R に通る電流を i_2 とすれば、三電流計法の場合と同様に

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

然るに $i_2 = \frac{e}{R}$

131. 多相式交流回路の電力測定法—フロンデル

氏定理 (Blondel's theorem) 一般に結合 n 線式回路 (interconnected n -wire system) の電力は各線に依り供給する電力を測定し得る様 n 個の電力計を接続し、 n 個の電力計の讀みの和を取ることに依つて測定し得ることは明かである。即ち各電力計の電圧線輪には各線を通る電流を通し、電圧線輪には各線と負荷の中性點との間の電圧を加へれば、各電力計の讀みは各線に依り供給すべき電力を指示すべき筈である。此のことは單相二線式回路に於ても亦適用し得ることで、一個の電力計を用ひる普通の方法の代りに、二個の電力計を上記の様に接続して、其の二つの讀みの和を取ればよいのである。

上の方法に於ては、負荷の中性點を電力計の電圧線輪の一端を接続すべき共通點と考へたが、此の共通點は必ずしも負荷の中性點に選む必要がなく、回路の何れの點を選んでも差支がないことは次に説明する通りで、若し此の共通點を第 k 線に選むだならば、第 k 線に接続する電力計の電圧線輪に加はる電圧は零となる爲、此の電力計を接続する必要がなくなり、従て $(n-1)$ 個の電力計で足りることとなるのである。

今 $e_1, e_2, \dots, e_n =$ 各線と負荷中性點間の電圧の瞬時値

$i_1, i_2, \dots, i_n =$ 各線に流るゝ電流の瞬時値

第 k 線に依り供給する電力の瞬時値は $e_k i_k$ に等しい。故に結合 n 線式の電力の瞬時値 p は

$$p = e_1 i_1 + e_2 i_2 + \dots + e_k i_k + \dots + e_n i_n \quad (1)$$

然るに結合 n 線式に於ては各線の電流の和は 0 に等しいから

$$i_1 + i_2 + \dots + i_k + \dots + i_n = 0$$

$$\therefore i_k = -(i_1 + i_2 + \dots + i_n) \quad (\text{但右邊には } i_k \text{ を含まず}) \quad (2)$$

(2) 式の関係を (1) 式に代入すれば

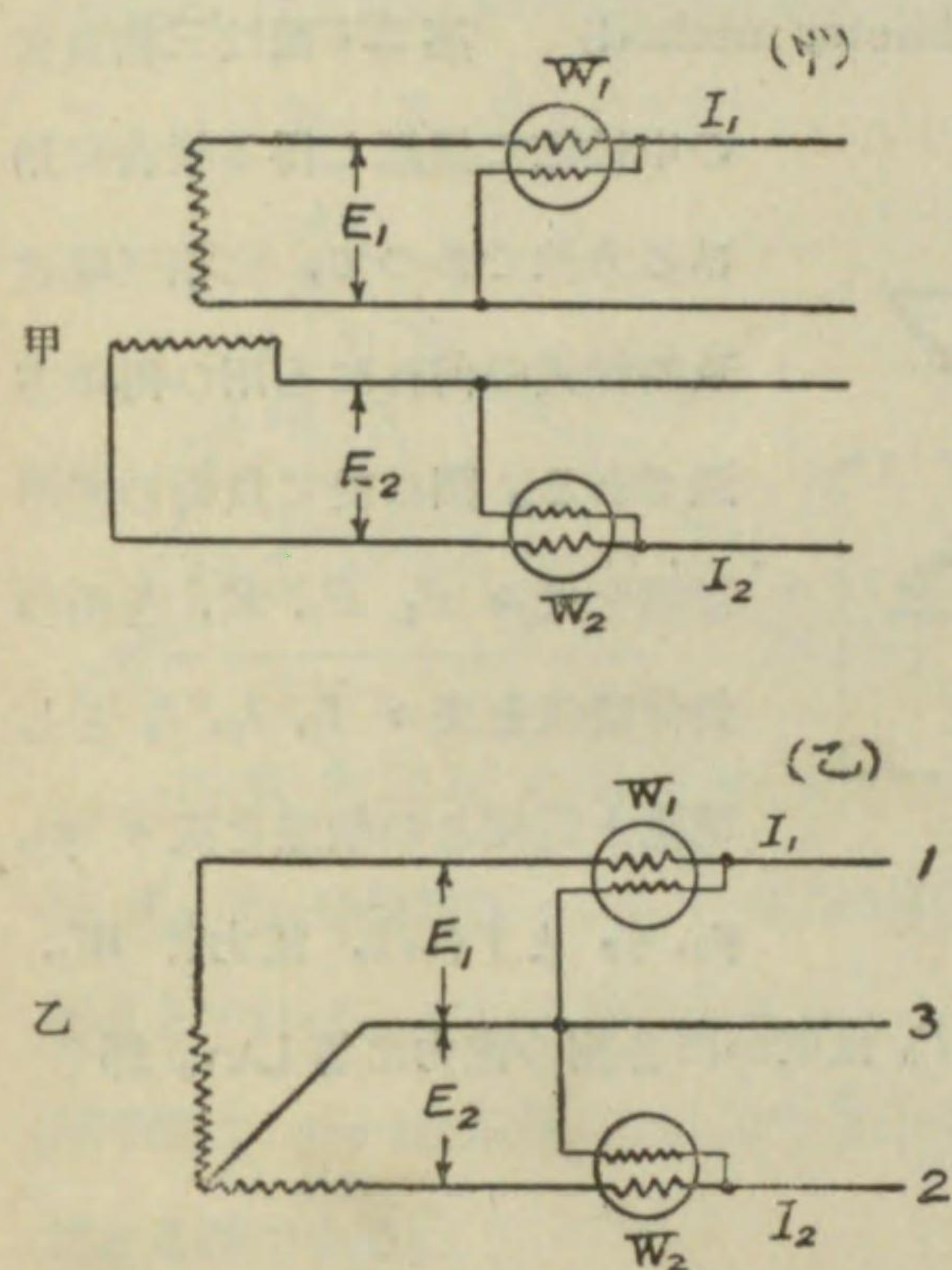
$$p = (e_1 - e_k)i_1 + (e_2 - e_k)i_2 + \dots + (e_n - e_k)i_n \quad (i_k \text{ の項を缺く})$$

之を一周波に就て平均すれば多相電力 P を得るので、右邊の各項は $(n-1)$ 個の電力計を k 線以外の $(n-1)$ 個の線に電流線輪を接続し、電圧線輪には例へば l 線に接続する電力計に於ては、 l 線と k 線との間の電圧を與ふる様にした場合の各電力計の指示に等しい。故に結合 n 線式の電力は $(n-1)$ 個の電力計を以て測定し得るので、多相電力は $(n-1)$ 個の電力計の讀みの和に等しいのである。但し此の場合には各電力計の讀みの代數的和を取らねばならぬ。何となれば後に特別の例に就て詳しく述べる様に、回路の力率の関係で電力計の或るものは廻轉力が反對となり、正方向の指示を與へる爲には、電流又は電壓の内何れか一方の方向を反對にする必要があるので、此の反對の廻轉力を生じたものに就ては (−) の電力と考へ、之を加へる代りに引かなければならないからである。即ち結合 n 線式の電力は $(n-1)$ 個の電力計に依り測定し得るもので、各電力計の代數的和は回路の電力である。之をブロンデル氏の定理と云ふ。單相二線式の回路に於て一個の電力計を以て電力を測定し得るのも亦此理に外ならぬのである。

132. 二相電力の測定

第 223 圖 甲及乙は二相電力測定の場合の接続法を示すもので、甲圖は二相四線式の場合、乙圖は二相三線式の場合を示す。何れも二個の電力計を用ひるので、四線式の場合に三

第 2 2 3 圖



二 相 電 力 の 測 定

個の電力計を要せざる理由は結合四線式でなく、二つの單相二線式回路に過ぎないからである。此の場合は明かに各電力計は各相の電力を示すので、電圧、電流及相差を夫々 E, I 及 φ を以て表せば
 W_1 の讀み $P_1 = E_1 I_1 \cos \varphi_1$
 W_2 の讀み $P_2 = E_2 I_2 \cos \varphi_2$
 二相三線式の場合に共通點の選み方は、必ずしも乙圖の如く (3) 線即ち共通線に選む必要はないが、圖の如く接続すれば各電力計は各相の電力を表はす許でなく、同一測定範圍の電力計を用ひ得るので、實際上便利なのである。若し共通點を (1) 線又は (2) 線に選めば、二つの電力計の讀みの代數的和は又二相電力に等しいが、平衡負荷の場合には一方の電力計の電流は他の $\sqrt{2}$ 倍となり、又第二の電力計の電圧線輪には第一の $\sqrt{2}$ 倍の電圧が加へらるゝことゝなるのである。

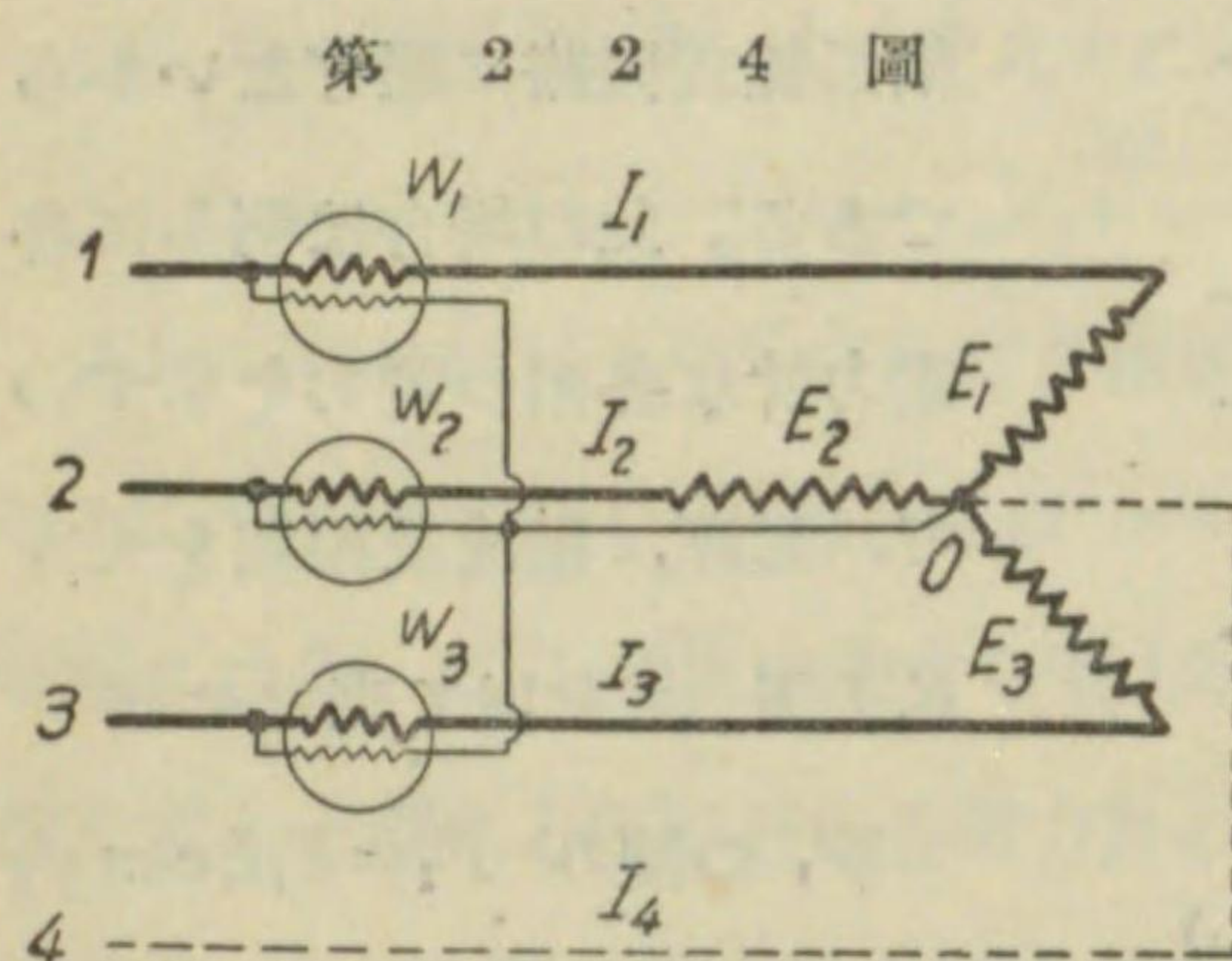
133. 三相電力の測定

本節に於ては一般に平衡回路

(balanced circuit) にも不平衡回路 (unbalanced circuit) にも適用し得る方法を述べやう。平衡回路と云ふのは、各相の電圧、電流及力率が全く相

等しい回路で、何れが異なる場合にも不平衡回路である。

(イ) 三電力計法 (three wattmeter method) 第 224 圖は三相負荷



第 2 2 4 圖
三相負荷の中性點に接続し得る場合の三電力計法

の中性點に接近し得る場合に用ひる方法であつて、三相三線式及四線式の何れにも用ひ得る方法である。圖に於て負荷の星形電壓を夫々 E_1, E_2, E_3 、各相の負荷電流を夫々 I_1, I_2, I_3 とし電壓と電流との相差を夫々 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ とすれば、電力計 W_1, W_2, W_3 の指示する電力 P_1, P_2, P_3 は明かに各相の電力に等しい。即ち

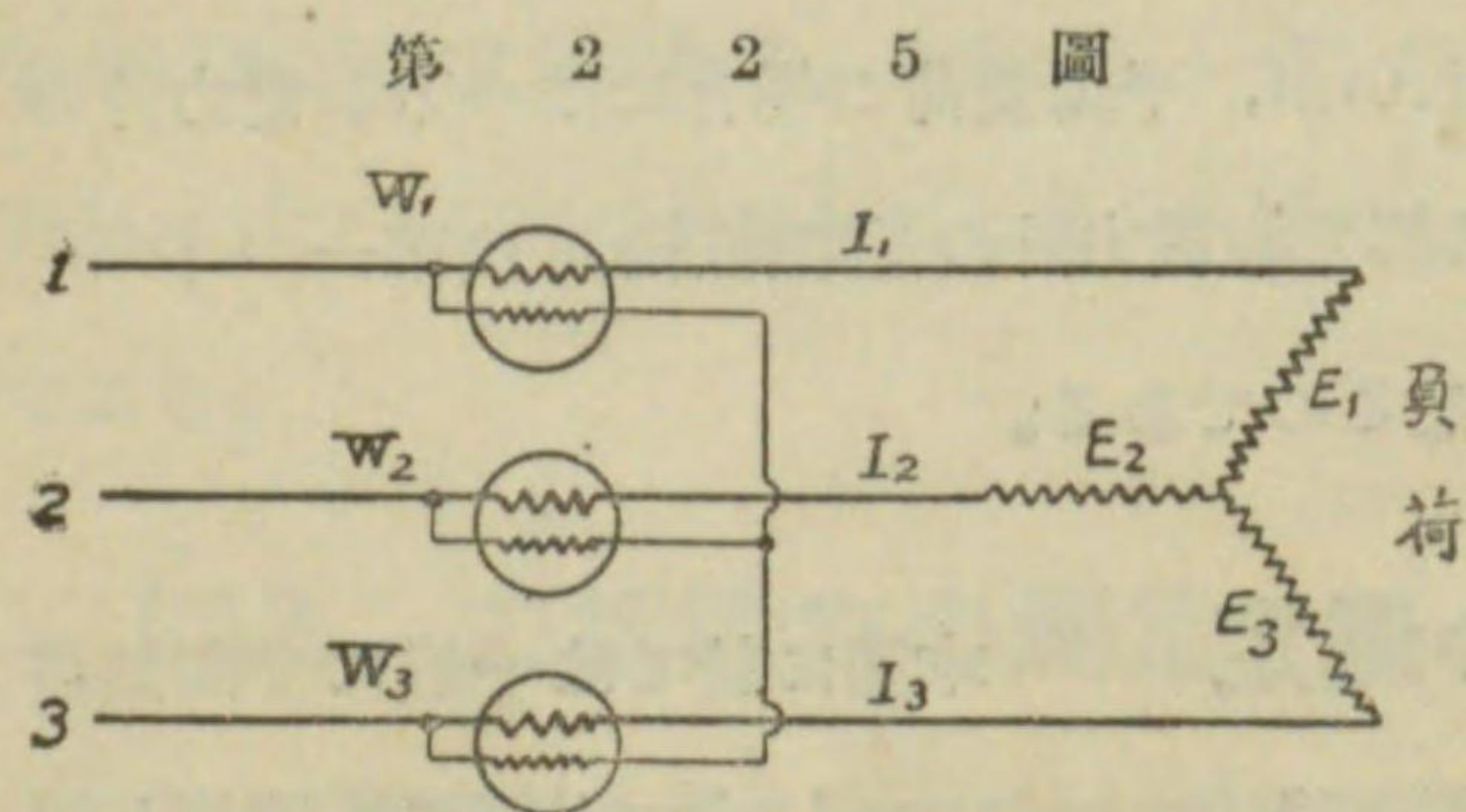
$$P_1 = E_1 I_1 \cos \varphi_1$$

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

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

故に $P_1 + P_2 + P_3$ は正に三相電力に等しいのである。

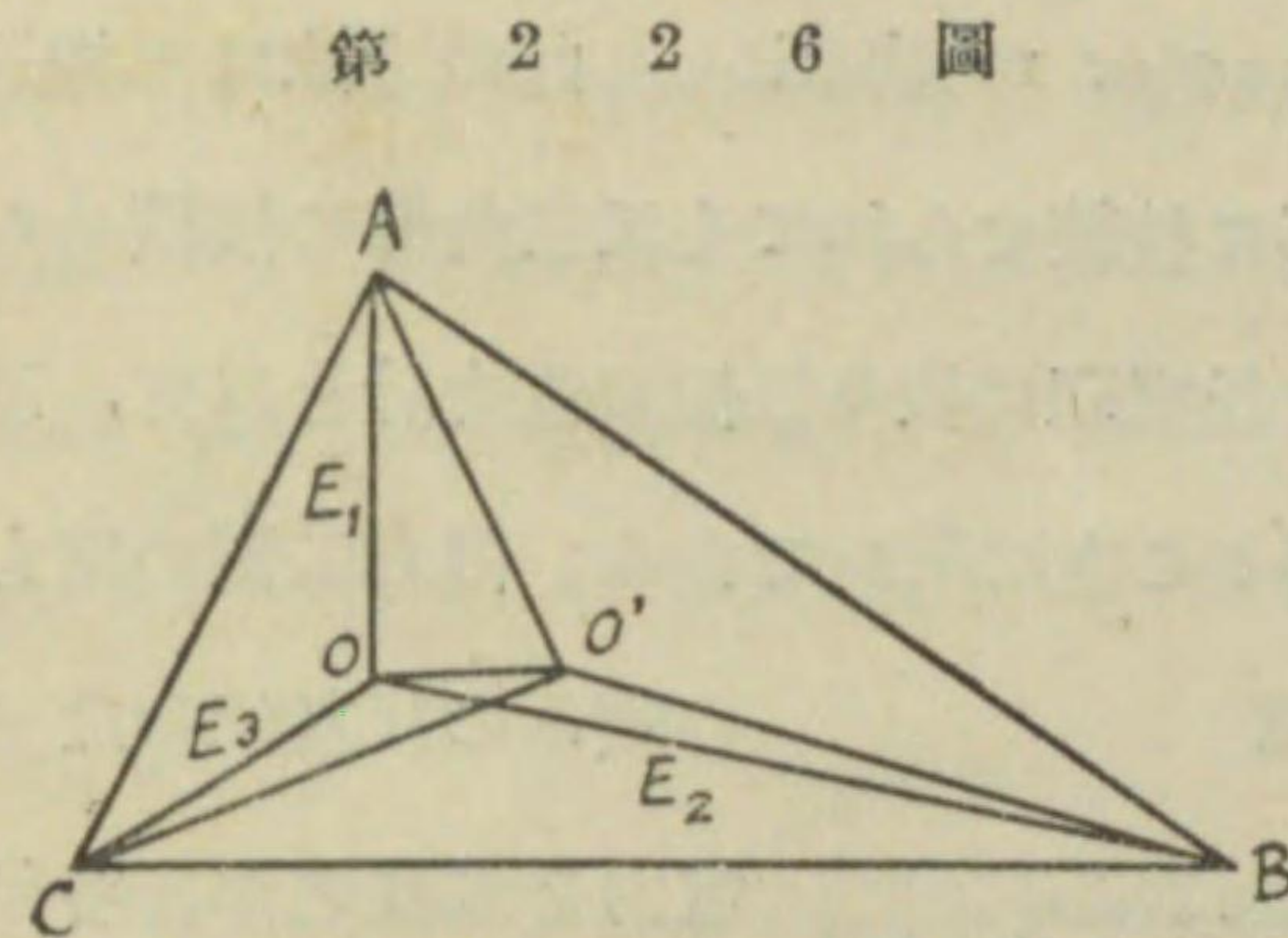
第 225 圖は三相三線式に於て負荷の中性點に接近し得ない場合の接続法



第 2 2 5 圖
三相負荷の中性點に接続し得ざる場合の三電力計法

である。(負荷が三角形に結ばれて居る場合は之に屬する。)此の場合には各電力計は一般に各相の電力を表はさないが、三個の電力計の讀みの和は又三相電力に等しいのであ

る。第 226 圖は此の場合のベクトル圖を示すもので、 $AO = E_1, BO = E_2, CO = E_3$ は負荷の各相の電壓を表はすものとする。然るに相等しい三個の



第 2 2 6 圖
三電力計法の電壓關係

電力計を用ひた場合には、電壓線輪の抵抗(或は一般にイムピーダンス)は相等しいから、電壓線輪に加はる電壓は AO', BO' 及 CO' (O' は三角形の中線の交點)なる電壓である。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、 e_0 を電壓 OO' の瞬時値とすれば、 AO' の瞬時値は $e_1 - e_0, BO'$ の瞬時値は $e_2 - e_0, CO'$ の瞬時値は $e_3 - e_0$ に等しい。故に各電力計に働く瞬時廻轉力は次の量に比例する譯である。

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

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

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

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

然るに三相三線式に於ては $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

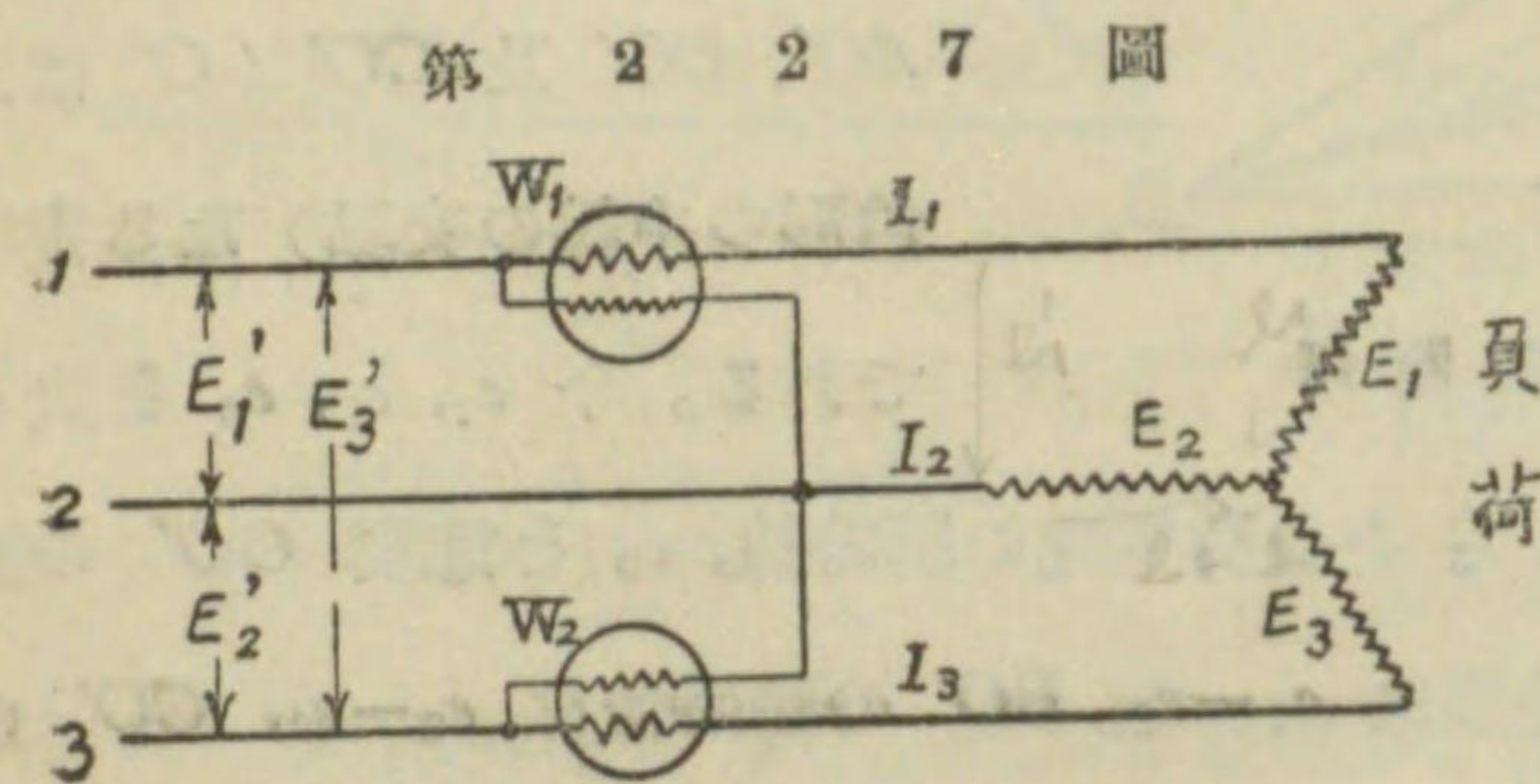
$$\therefore p_1 + p_2 + p_3 = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$$

故に三個の電力計の讀みの和は三相電力に等しい。

第 225 圖の方法は三相四線式に用ひることが出来ない。何となれば此の場合には一般に $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ でないからである。但し三相四線式の場合には第 224 圖の如く共通點を必ずしも負荷の中性點に求むる必要がなく、

ブロンデル氏の定理に従ひ、共通点を第四線に選めばよいので、第 225 圖の電圧線輪の共通点を (4) 線に接続すればよいのである。

(口) 二電力計法 (two wattmeter method) 此の方法は三相三線式に用ひ得る方法で、負荷が星形に接続せられても又三角形に接続せられても差支がない。即ちブロンデル氏定理に依り二個の電力計を以て、三相電力を第 227 圖の接続で測定し得ることは明かである。但し二個の電力計



第 2 2 7 圖

二電力計法の接続

の讀みの代數的和は三相電力を表はすが、各相の電力は之に依つて知ることが出来ない。此の場合には一般のブロンデル定理に依り明かで、更に解説を加ふるの必要を認めないが、此方法は三相電力の測定法として最も普通に用ひられるから、特殊の一例として更に詳しく説明しよう。

今 E_1, E_2, E_3 及 e_1, e_2, e_3 を夫々星形電壓 (各相電壓) の實効値及瞬時値、 I_1, I_2, I_3 及 i_1, i_2, i_3 を夫々各相負荷電流の實効値及瞬時値、 E_1', E_2', E_3' 及 e_1', e_2', e_3' を夫々線間電壓の實効値及瞬時値とすれば

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

三相電力の瞬時値 p は

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

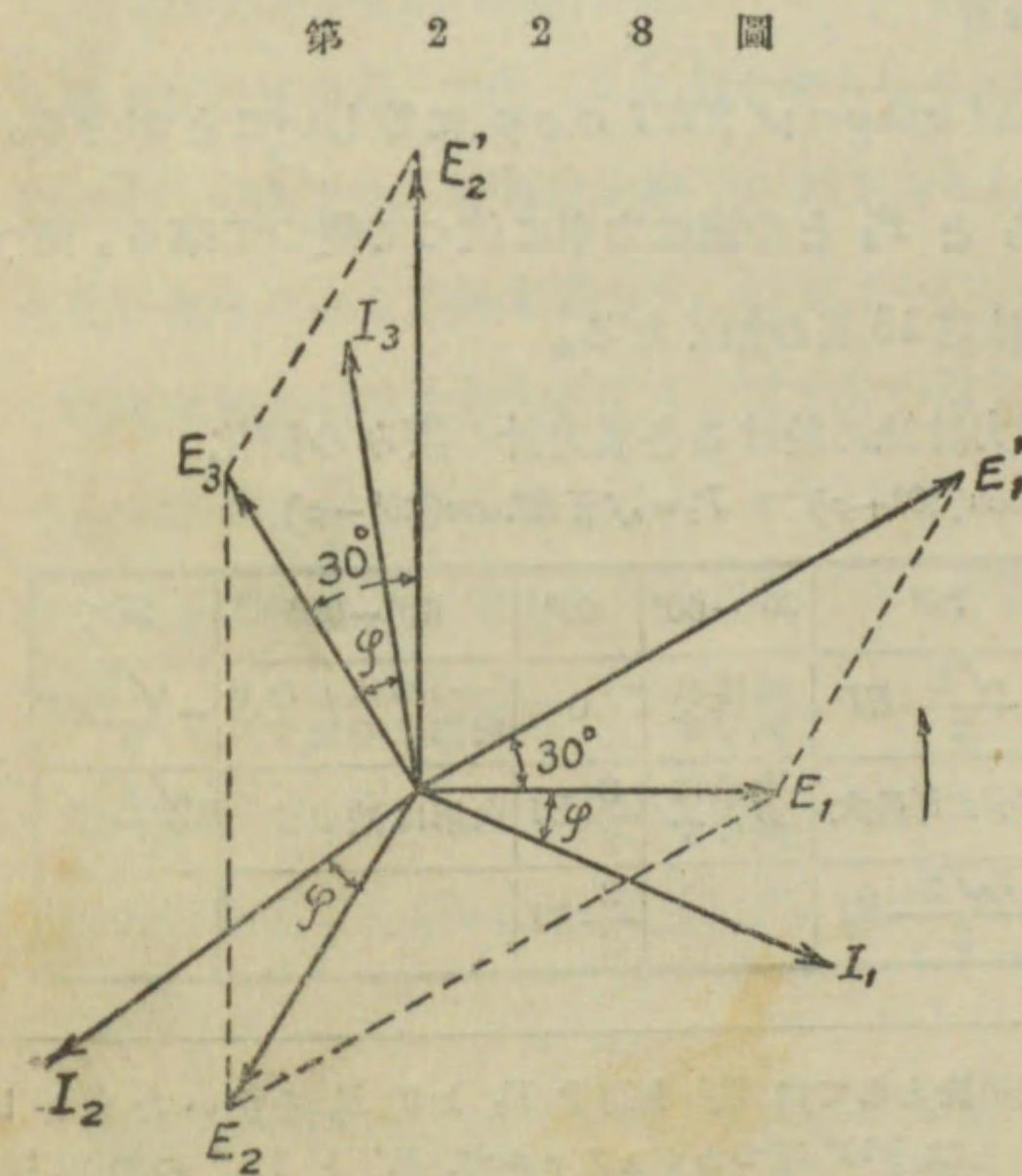
然るに $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ であるから

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

$$= e_1' i_1 + e_2' i_3$$

電力計 W_1 の電流線輪には i_1 なる電流、電圧線輪には e_1' なる電圧が與へられるから、其の指示電力 P_1 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、電圧線輪には e_2' なる電圧が與へられるから、其の指示電力 P_2 は瞬時電力 $e_2' i_3$ の平均である。故に W_1 及 W_2 の指示する電力の代數的和 $P_1 + P_2$ は三相電力 P に等しいのである。

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に、平衡負荷の場合に就て少しく考へて見やう。第 228 圖は平衡負荷の場合のベクトル圖



第 2 2 8 圖

二電力計法のベクトル圖

を示すものである。即線間電壓 E_1' は E_1 から E_2 をベクトル的に引いた差であり、 E_1 より 30° 進んだ位相で、其の大きさは星形電壓 E_1 の $\sqrt{3}$ 倍である。又 E_2' は E_3 から E_2 をベクトル的に引いた差で、 E_3 より 30° 遅れ、其の大きさは又星形電壓 E_3 の $\sqrt{3}$ 倍であ

る。* 星形電壓 E_1, E_2, E_3 の大きさを E で表はし、負荷電流 I_1, I_2, I_3 の大きさを I で表はす。但し E_1, E_2, E_3 並 I_1, I_2, I_3 は相互間に 120° 宛の相差を有し、電流は夫々電圧より φ なる角丈遅れて居るものと假定する。電力計 W_1 には E_1' と I_1 との間の廻轉力、 W_2 には E_2' と I_3 との間の廻轉力が働くから、其の指示電力 P_1 及 P_2 は次の如くなる譯である。

$$P_1 = E_1' I_1 \cos(30^\circ + \varphi) = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = E_2' I_3 \cos(30^\circ - \varphi) = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ - \varphi)$$

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

即 $P_1 + P_2$ は三相電力 $3EI \cos \varphi = \sqrt{3} E'I \cos \varphi$ に等しいことが分る。

上式から分るやうに P_1 と P_2 との値は力率に依つて變つて來る。例へば遅電流平衡負荷の場合は第 18 表の如くなる。

第 18 表 二電力計法に於ける各電力計の讀みの變化

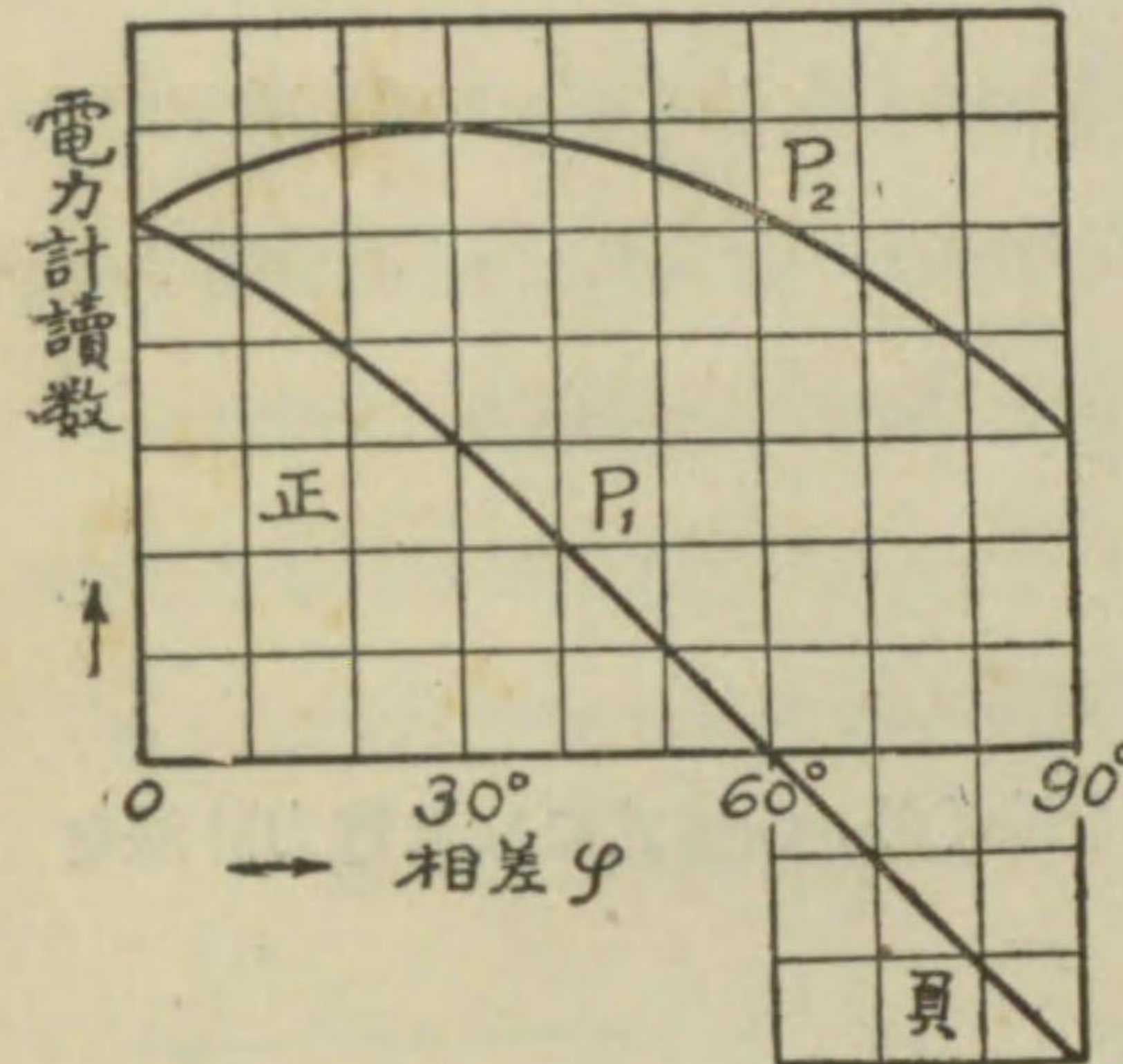
$$P_1 = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ + \varphi) \quad P_2 = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ - \varphi)$$

φ	0°	$0^\circ - 30^\circ$	30°	$30^\circ - 60^\circ$	60°	$60^\circ - 90^\circ$	90°
P_1	$\frac{3}{2} EI$	次第に減少す	$\frac{\sqrt{3}}{2} EI$	次第に減少す	0	(-) の値となり 次第に増加す	$-\frac{\sqrt{3}}{2} EI$
P_2	$\frac{3}{2} EI$	次第に増加す	$\sqrt{3} EI$ (最大)	次第に減少す	$\frac{3}{2} EI$	次第に減少す	$\frac{\sqrt{3}}{2} EI$
$P_1 + P_2$	$3EI$		$\frac{3\sqrt{3}}{2} EI$		$\frac{3}{2} EI$		0

* 註 線間電壓の三相式表示法としては E_2' を通常 E_2 より E_3 を引いた差として表はす。恰度圖の E_2' とは 180° 違つたベクトルで、 E_1' と 120° の相差がある。圖の E_2' は三相式表示法の場合と反対の方向を正方向と考へた場合に相當するので、 E_1' とは 60° の相差を有するのである。電力計 W_2 の接続に於ては、電流と同方向を正方向と取れば、 $E_3 - E_2$ を取るべきである。

第 229 圖は電壓と電流との間の相差に依つて、如何に各電力計の讀みが

第 2 2 9 圖



力率による電力計の讀みの變化

變化するかを示す曲線である。上表及此の圖から分る様に、 $\varphi = 60^\circ$ 即力率 .5 迄は三相電力は二個の電力計の讀みの和に等しいが、 $\varphi = 60^\circ$ 以上になれば三相電力は二個の電力計の讀みの差を取らねばならぬ。之一般に二個の電力計の讀みの代數的和を取るべき所以である。 W_1 なる電力計の讀みは、力率 0.5 に於て零となり、力率 0.5 以下になれば其の指示が(-)となる。此事は力率 0.5 以下となれば、計器の廻轉力の方向が反対となることを意味するので、従て (-) の電力を讀む爲には、電力計の電壓線輪の接続を反対にして、電力計の指示を正方向に變へるのである。此の事實は實際上屢々起ることで、例へば三相誘導電動機の無負荷試験の場合の如き、通常力率 0.5 以下であるから、二電力計の讀みの和の代りに差を取らねばならないのである。

進電流の場合も全く同様で、此場合には φ を (-) と考へればよい。従て第 18 表及第 229 圖の P_1 と P_2 とが入れ換はつたと考へればよいのである。

三相四線式の電力は一般に二電力計法を以て測定し得ないことは、ブロンデル氏定理に依つて明かなことであるが、二電力計法は三相回路の平衡並不平衡回路に使用し得ると云ふことを誤解して、此方法を四線式の場合

にも用ひやうとするものがあるから、念の爲に少しく解説を加へやう。第四線即ち中性線に依る電流の瞬時値を i_4 とすれば

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

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

$$= e_1 i_1 - e_2 (i_1 + i_3 + i_4) + e_3 i_3$$

$$= (e_1 - e_2) i_1 + (e_3 - e_2) i_3 - e_2 i_4$$

$$= e_1' i_1 + e_2' i_3 - e_2 i_4$$

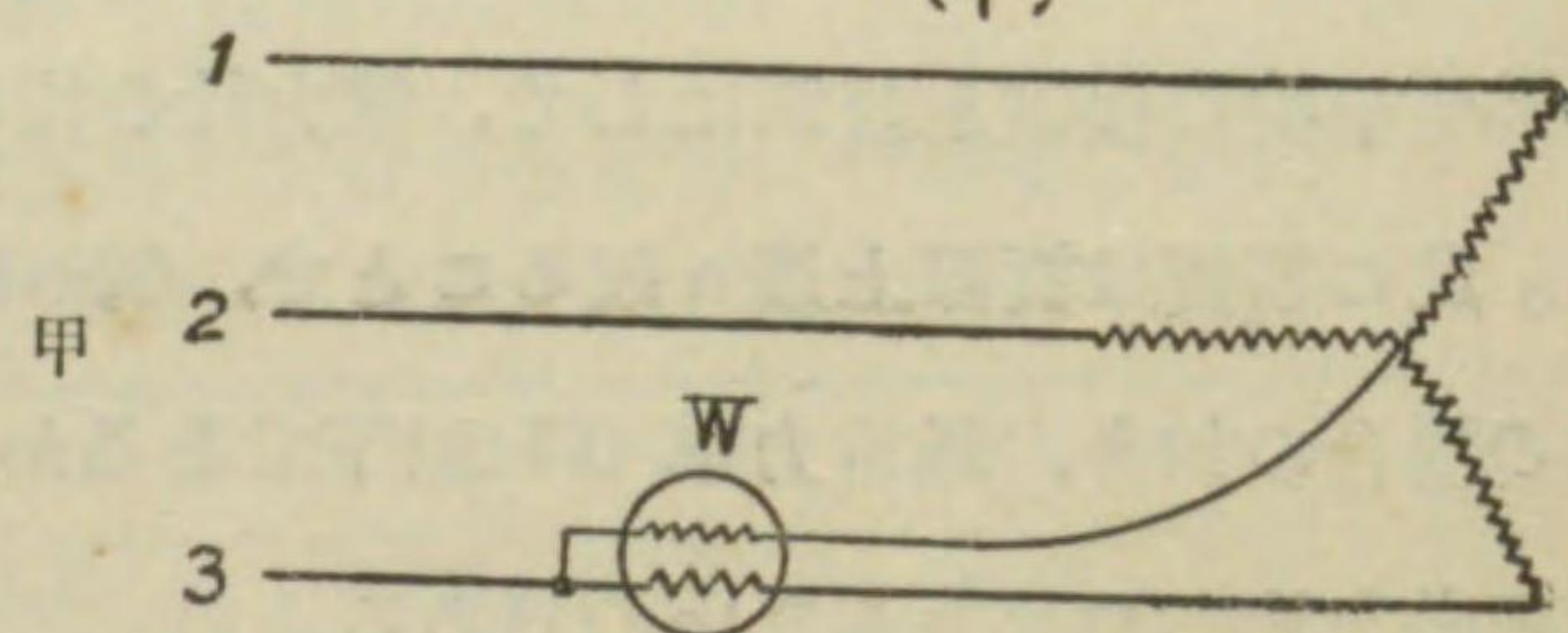
故に平衡回路の場合即 $i_4 = 0$ の場合を除く外、四線式には二電力計法を用ひ得ないことは明かである。

134. 平衡三相回路の電力測定法 負荷の全く

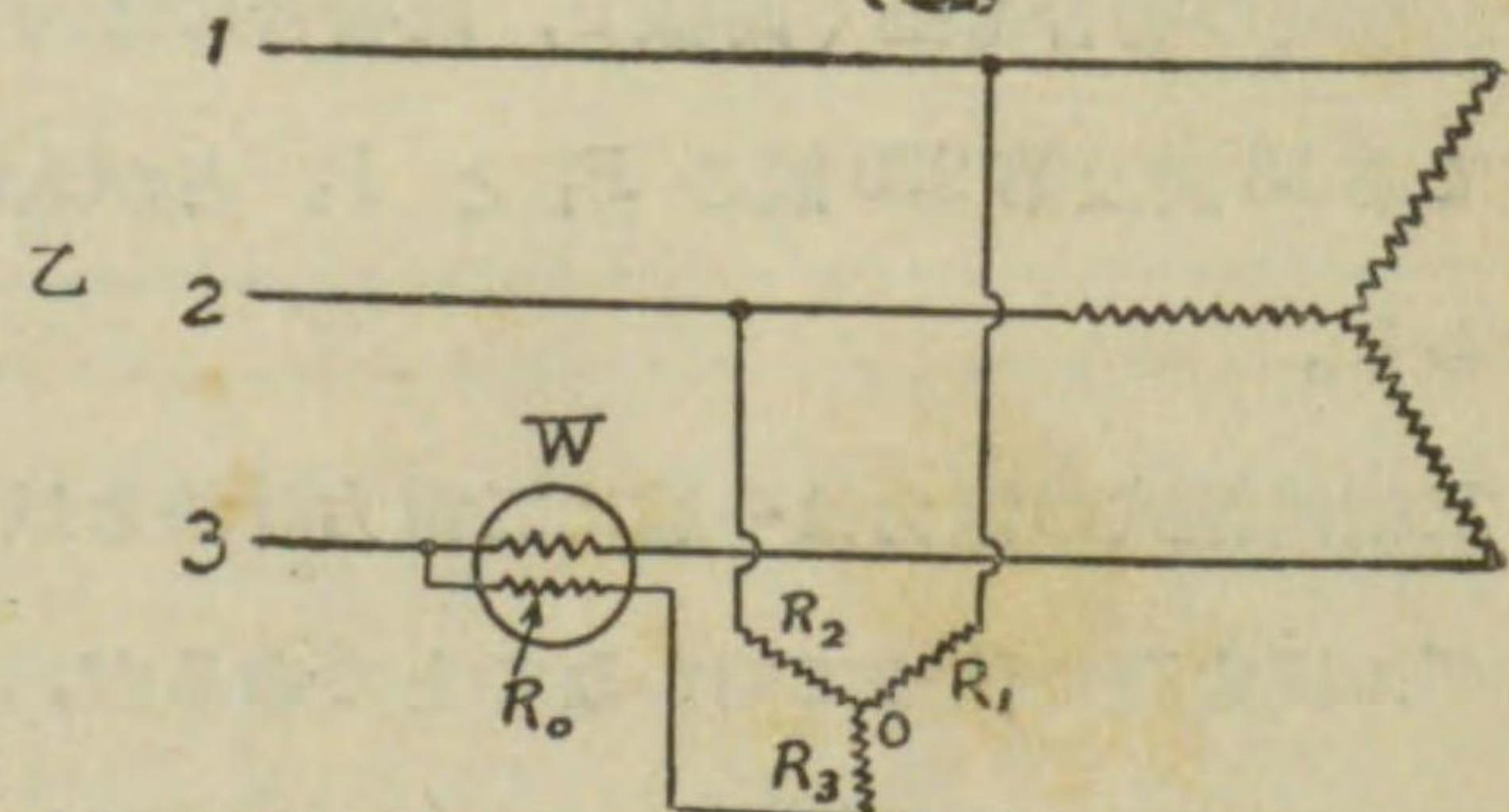
平衡して居る三相式回路に於ては、一個の電力計を用ひて三相電力を測定することが出来る。

第 2 3 0 圖

(甲)



(乙)



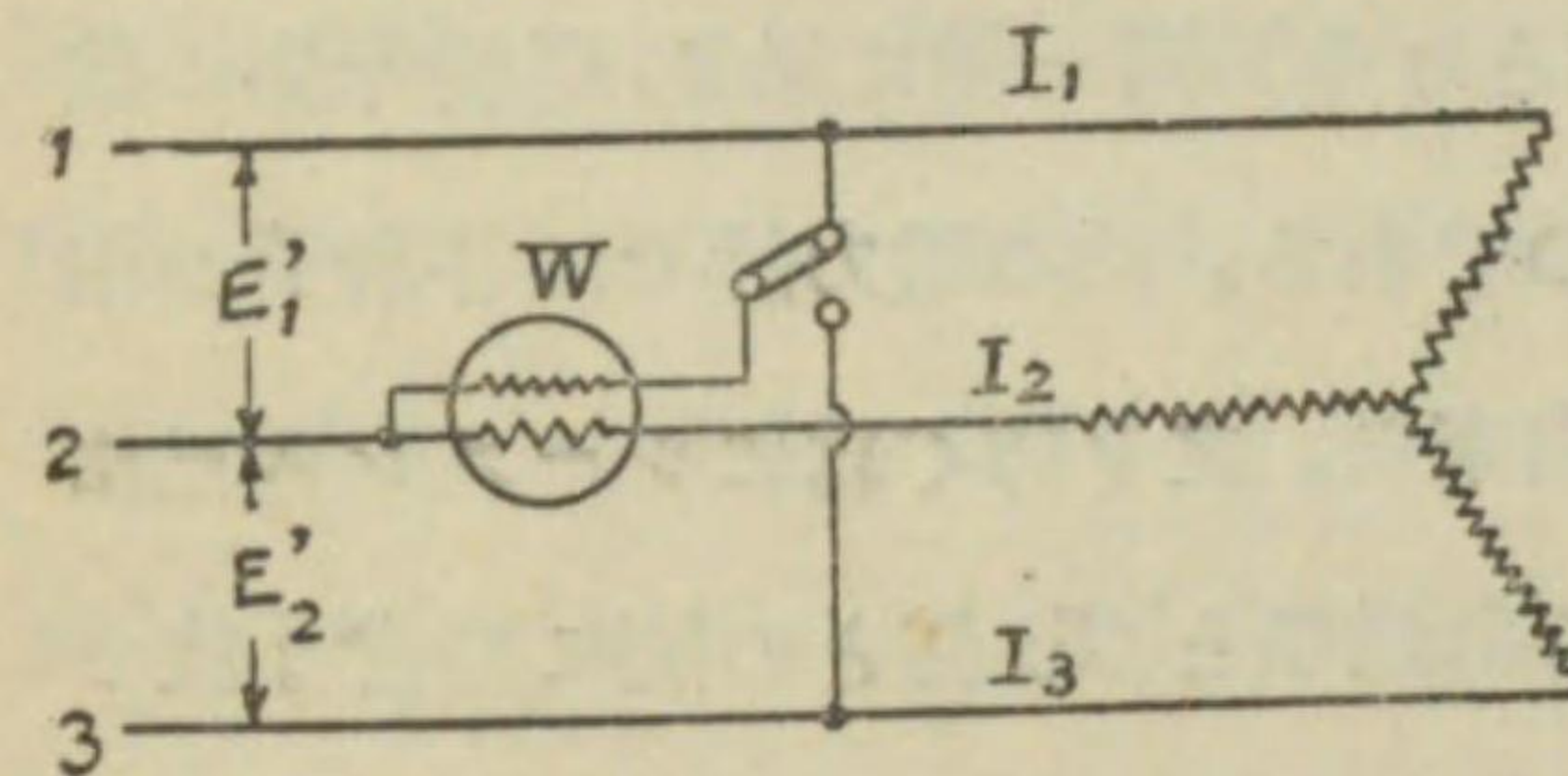
平衡三相負荷の一相電力を測定する法

(イ) 一相の電力を測定する法 第 230 圖甲及乙は一相の電力を測定して、三相電力を測定する方法を示すもので、甲圖の場合は負荷の中性點に接近し得る場合(或は三相四線式の場合)、乙圖は負荷の中性點に接近し得ない場合(三角結線の場合をも含む)であ

る。乙圖の場合には R_1 及 R_2 なる抵抗を電力計の電圧線輪 R_0 及直列抵抗 R_3 と共に回路に星形に接続し、 O 點に於て人為的に中性點を形成するもので、 R_1 及 R_2 は共に $R_0 + R_3$ に等しい抵抗である。(誘導型電力計を用ひる様な場合には勿論相等しいイムピーダンスを星形に接続する。)何れの場合に於ても電力計は明かに一相の電力を示す譯であるから、其の讀みの 3 倍を取れば三相電力である。

(ロ) 二電力計法を應用する一電力計法 第 231 圖の如く接続し、電流

第 2 3 1 圖



一 電 力 計 法

線輪に I_2 なる電流を通じ、電圧線輪には切替開閉器に依り、順次 E_1' 及 E_2' なる電壓を與へ各の場合の電力計の讀み P_1 及 P_2 を讀む。然る時は各電力計の讀みは夫々

$$P_1 = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$P_2 = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ + \varphi)$$

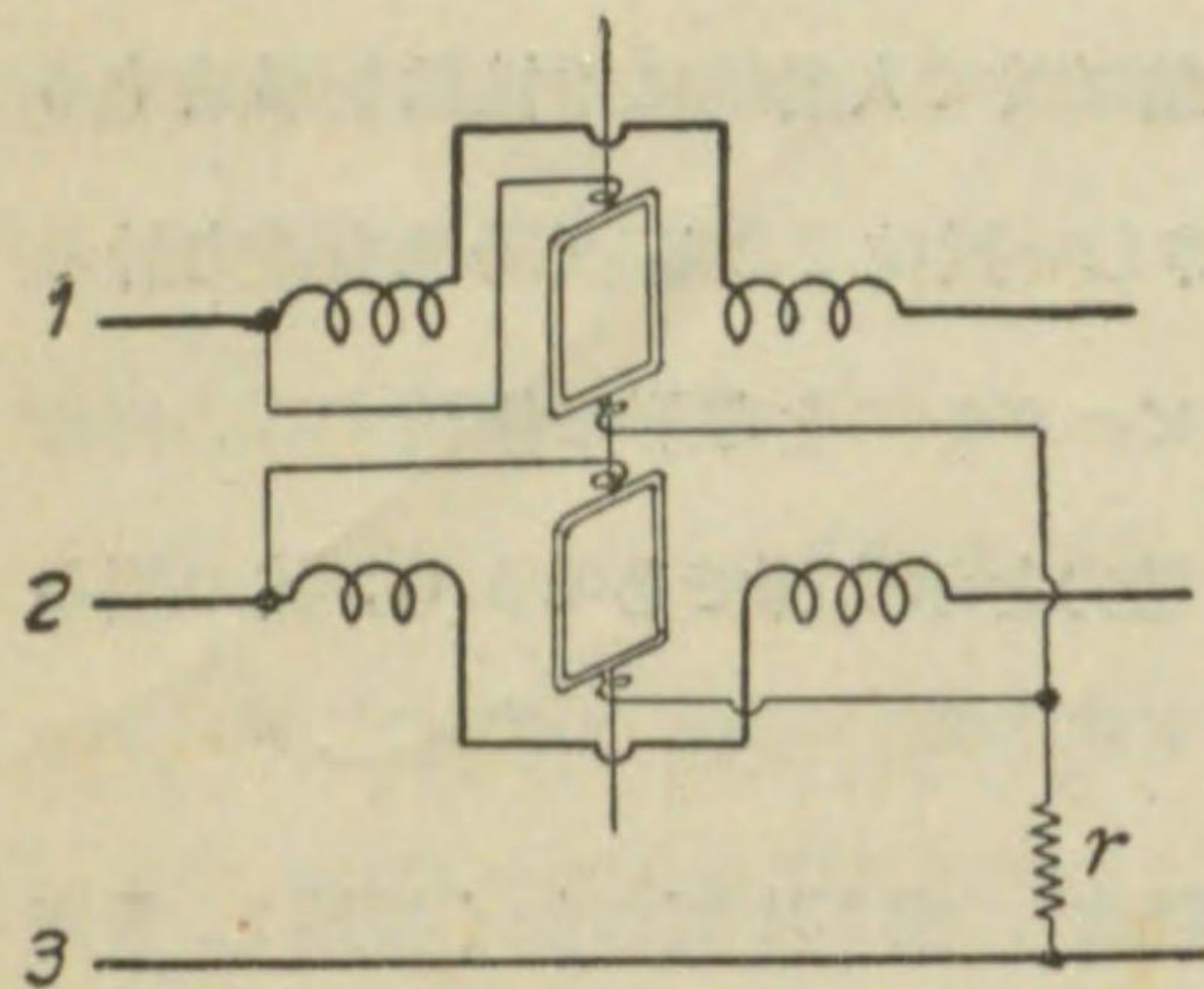
を示すことは前節から明かである。故に P_1 と P_2 との代數的和は三相電力に等しいのである。

135. 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 232 圖に示す様に單相

* 註 電圧線輪の電壓の正方向を電流線輪の電流の正方向と同一に取り、 $e_1' = e_2 - e_3$ 、 $e_2' = e_3 - e_1$ と考ふべきであつて、従て第 228 圖の E_1' 及 E_2' とは反對の方向に取るのである。

第 2 3 2 圖



シーメンス三相電力計

電力計の素子 (element) を上下に装置し、其の可動線輪を同一の軸に装置し、圖の如く接続して使用するものである。即ち此構造に依り各素子に依つて上下の可動線輪に働く廻轉力は相加はつて（但し一方の廻轉力が負方向であれば和の代りに差となり、常に兩素子の廻轉力の代數的和となる）同一軸に働き、螺旋彈條に依つて制御し三相電力を指示せしむるのである。此の電力計では各素子の相互間の影響があるのを避けることが出来ぬ。之を防ぐ爲にシーメンス三相電力計に於ては、圖の如く電壓線輪の共通點と(3)線との間に適當な値の直列抵抗 r を接続する。又ウェストン三相電力計では r を接続することなく、其の代りに各素子を鐵の遮磁壁で圍み、相互間の影響を防止して居る。

此の三相電力計は又二相回路に用ひて、二相電力を測定し得ることは其の構造から明かである。

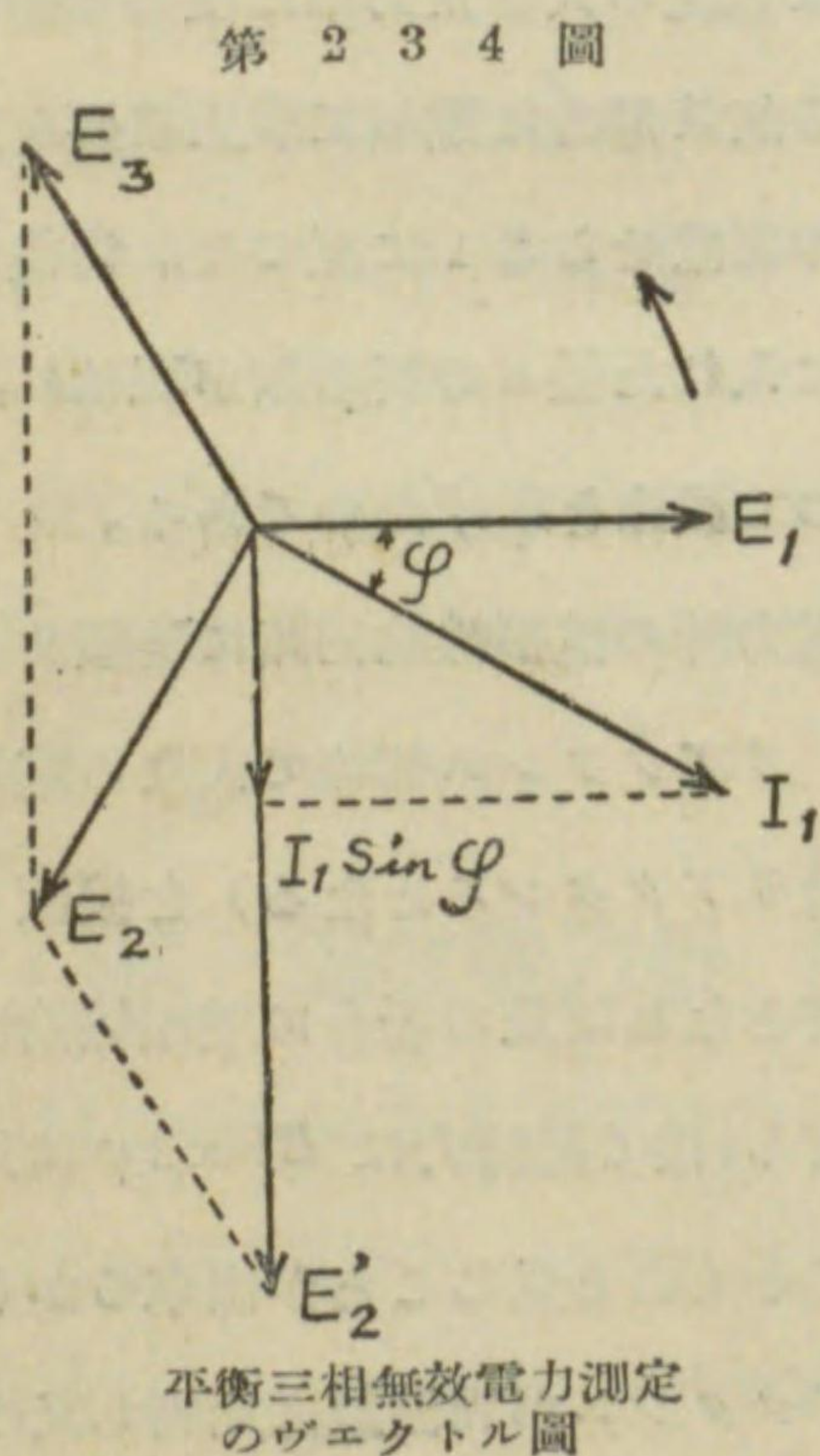
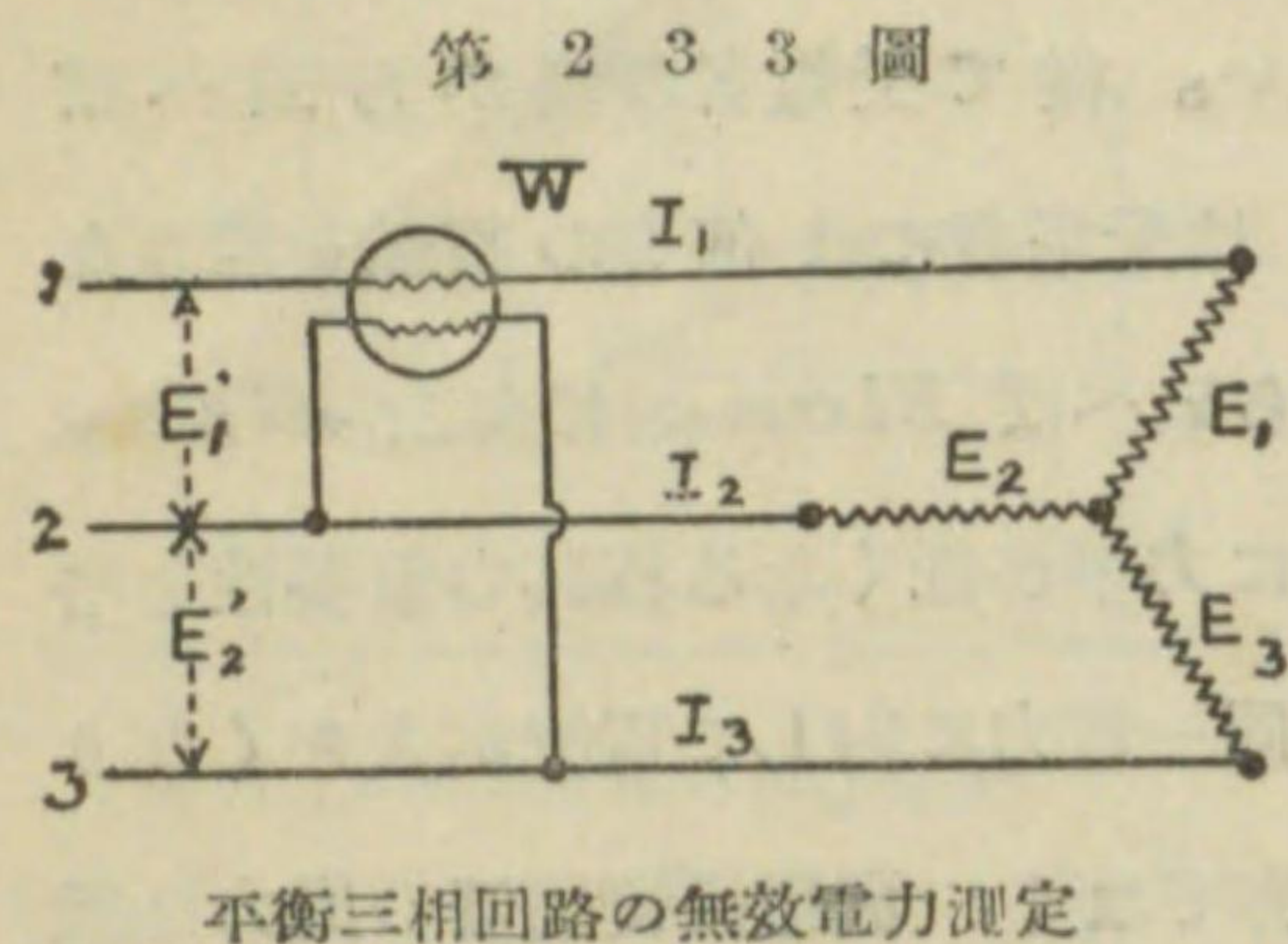
136. 無効電力計 (reactive wattmeter or wattless wattmeter) 回路の電壓を E 、電流を I 、電壓と電流との間の相手を φ とすれば、電力は $EI \cos \varphi$ を以て表はさるゝことは勿論である。茲に $\cos \varphi$ は力率である。又 $I \cos \varphi$ は電壓と同相なる電流分 (component) であつて、電流の有効分 (energy component) と稱せられる。之に對して電壓と 90° の相手を有する電流分 $I \sin \varphi$ は電

流の無効分 (reactive component or wattless component) と稱せられるもので、此の電流の無効分と電壓との相乗積即 $EI \sin \varphi$ は無効電力 (reactive power or wattless power) と稱せられる。此の無効電力は何等勢力又は仕事を構成するものではない。従て受電者の側から云へば $EI \cos \varphi$ 丈が有効であつて、 $EI \sin \varphi$ は受電者には何等の貢獻を爲さないものである。然し乍ら供給者の側から云へば $EI \cos \varphi$ は勿論、 $EI \sin \varphi$ なる無効勢力も亦重要なもので、殊に力率が低くなる程其の重要性を増加する。何となれば力率が低くなる程同一電力に對して電流が大きくなり機器及線路に於ける PR 損失を増す許でなく、發電機變壓器の出力は電流に依り制限せられ、送電線の送電能力は電流の大きさ及力率に依つて制限せられるからである。故に $EI \sin \varphi$ なる無効電力は電氣工學上重要な意義を有するに至り、之を測定する方法も亦考慮せらるゝに至つた。尙後章に述べる様に、力率又は無効勢力を考慮に入れた種々の料金制が現はれ、之に採用すべき種々の計器類も近年に至つて發達を遂げたのである。

單相無効電力計としては、電流計型電力計の電壓線輪回路に接続せらるゝ無誘導直列抵抗の代りに、抵抗少く、リアクタンス極めて大なる塞流線輪又は適當な蓄電器（此の場合には容量リアクタンスとなる）を接続することに依つて構成することが出来る。何となれば此の場合に電壓線輪に流るゝ電流は電壓と殆んど 90° の相手を有し、従て廻轉力は $EI \cos \varphi$ に比例する代りに、殆んど $EI \sin \varphi$ に比例するものと見ることが出来るからである。但し斯様な計器は電壓線輪のリアクタンスが周波數に比例し又は逆比例するから、特定の周波數のみに使用すべきものである。斯様な單相無効電力計二個を恰も三相電力を測定する二電力計法の如く接続すれば其

の読みの代数的和は又三相無効電力に等しいのである。

平衡三相式回路に於ては普通の電流力計型電力計を第 233 圖の如く、例へば電流線輪には (1) 線の電流を通じ、電圧線輪には他の二線 (2), (3) 間



廻轉力を生ずる爲には、 E_2' と 180° の相差を有する電圧を與へねばならないことゝなることが分るであらう。即第 233 圖の接続では計器は正方向

の電圧を加ふる如く接続して、無効電力を指示せしむることが出来る。第 234 圖は此の場合のベクトル圖を示すもので、電圧線輪には E_1 より 90° 遅れる $E_2 - E_3 = E_2'$ なる電圧が與へられるから、電力計の指示は E_2' と I_1 との間に生ずる廻轉力に依ることとなり、電力計の指示は

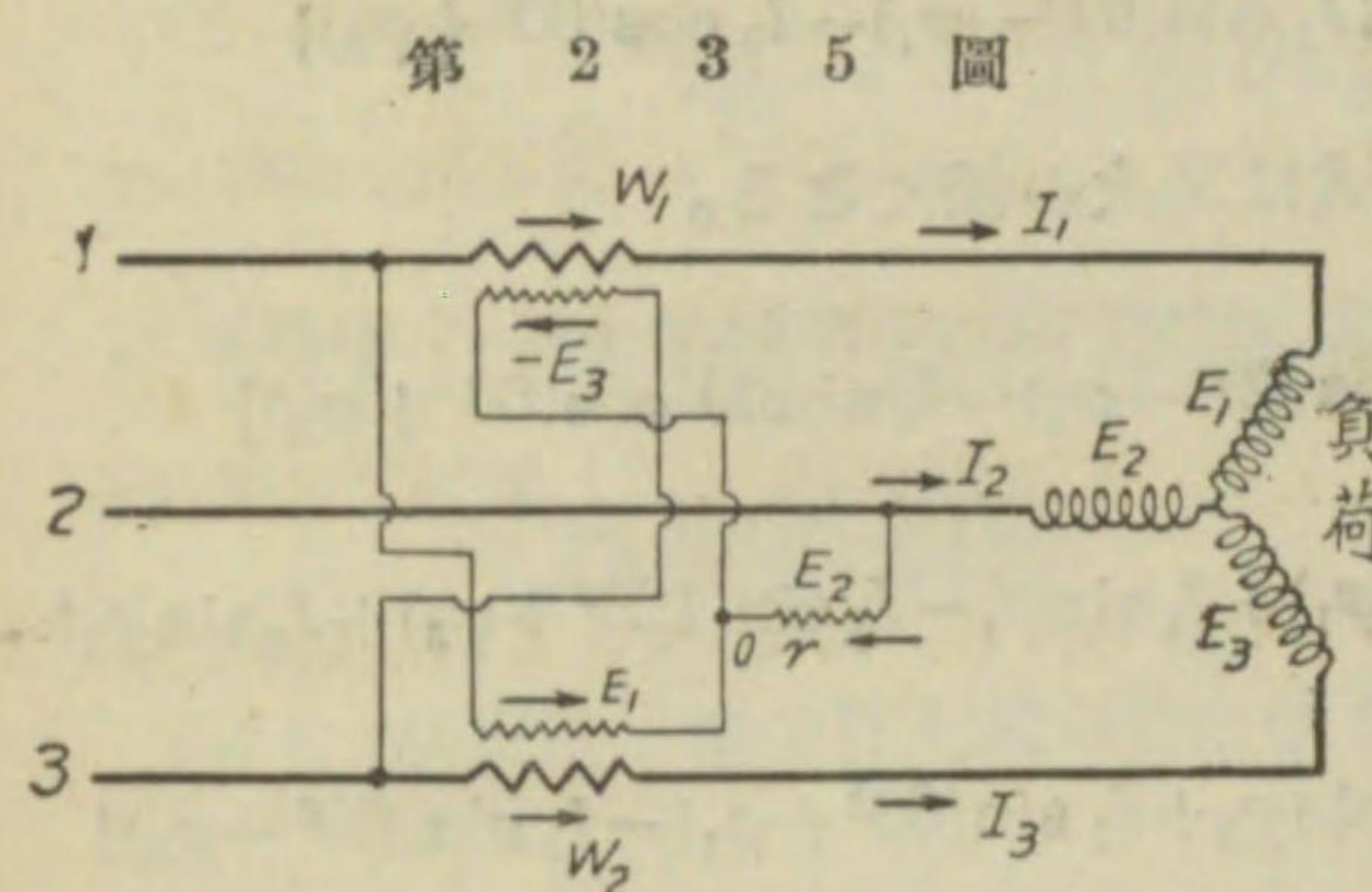
$$Q = EI \cos(90^\circ - \varphi)$$

$$= \sqrt{3} EI \sin \varphi$$

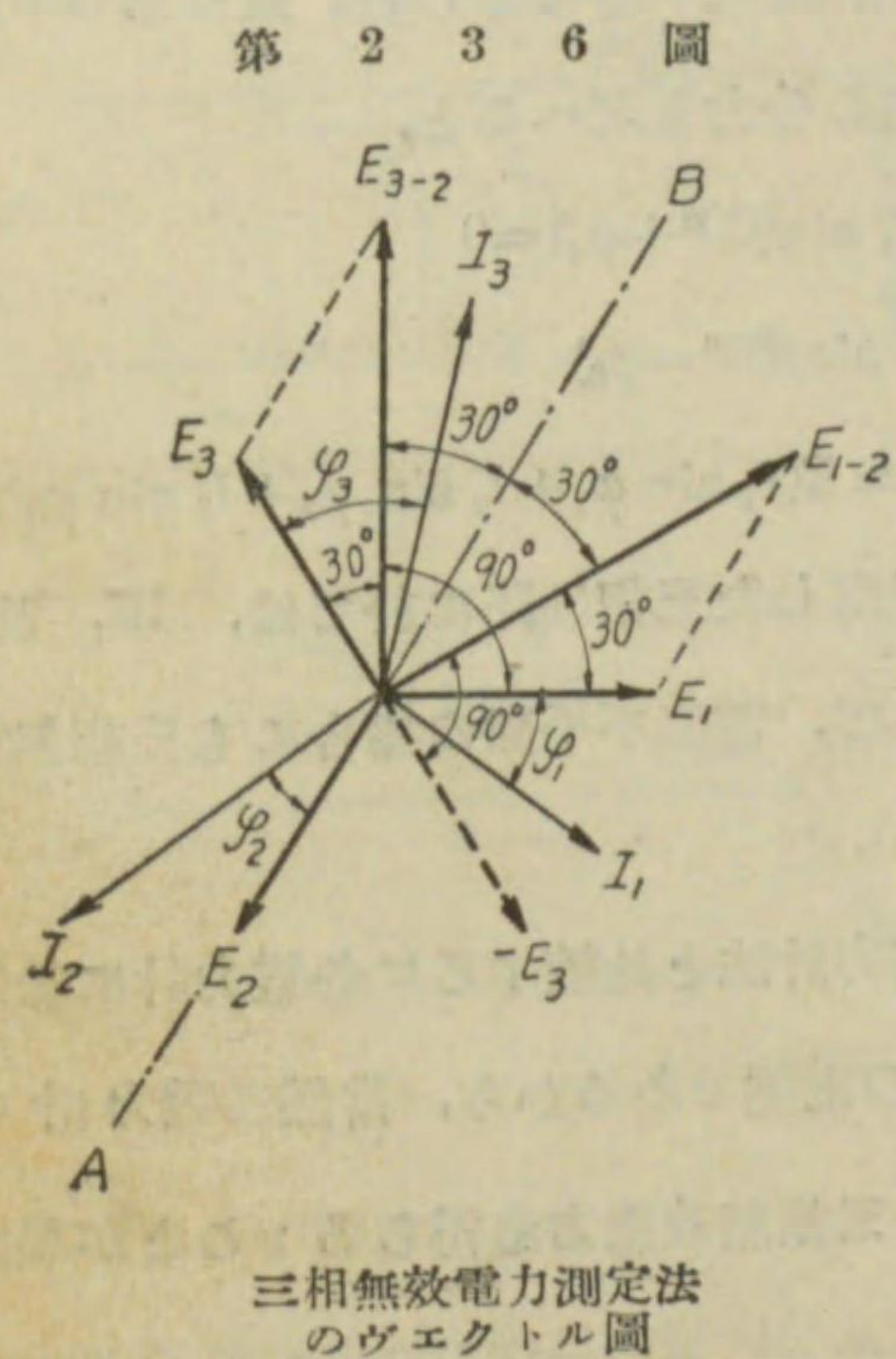
三相回路の無効電力は $3EI \sin \varphi$ であるから、此の電力計の指示の $\sqrt{3}$ 倍を取ればよいことゝなるのである。第 234 圖の場合には遅電流の場合を示したのであるが、進電流の場合に正方向の

の指示を與へない様になるので、此の場合には電圧線輪の接続を (2) と (3) とを入れ變へる必要があるのである。此の事は又 $\sin \varphi$ の φ が (-) ならば Q は (-) となることから分る。

第 235 圖は電圧が平衡して居る三相式回路の無効電力を、二個の電流力



二個の電流力計型電力計により
平衡電圧の三相無効電力測定法



計型電力計に依り測定する方法を示すもので、普通の三相電力を測定する二電力計法と異なる所は、電圧線輪の接続法である。即ち此の方法に於ては電力計 W_1 には $E_1 - E_2 = E_1' = E_{1-2}$ なる電圧を與ふる代りに、(2) 線に抵抗 r を接続して、O 點に於て人為的中性點を作り、 $-E_3$ なる電圧を與へ、電力計 W_2 には $E_3 - E_2 = E_2' = E_{3-2}$ なる電圧を與ふる代りに、 E_1 なる電圧を與へる。第 236 圖は此の場合のベクトル圖を示すものである。 $-E_3$ は E_{1-2} より 90° 遅れて居り、 E_1 は E_{3-2} より 90° 遅れて居る。

故に電力計 W_1 及 W_2 の指示は次の様になる。

$$Q_1 = E_3 I_1 \cos 90^\circ - 30^\circ - \varphi_1 = E_3 I_1 \cos(60^\circ - \varphi_1)$$

$$Q_2 = E_1 I_3 \cos(90^\circ + 30^\circ - \varphi_3) = -E_1 I_3 \cos(60^\circ + \varphi_3)$$

電圧が平衡して居ると考へて居るから $E_1 = E_2 = E_3 = E$, 故に Q_1 と Q_2 との代数的和 $Q = Q_1 + Q_2 = E\{I_2 \cos(60^\circ - \varphi_1) - I_3 \cos(60^\circ + \varphi_3)\}$

$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$ であるから上式は又次の様になる。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{2}{\sqrt{3}} E\{I_1 \sin 60^\circ \cos(60^\circ - \varphi_1) - I_3 \sin 60^\circ \cos(60^\circ + \varphi_3)\} \\ &= \frac{E}{\sqrt{3}} \{I_1 \sin(120^\circ - \varphi_1) + I_1 \sin \varphi_1 - I_3 \sin(120^\circ + \varphi_3) + I_3 \sin \varphi_3\} \\ &= \frac{E}{\sqrt{3}} \{I_1 \sin \varphi_1 + I_3 \sin \varphi_3 + I_1 \sin(60^\circ + \varphi_1) - I_3 \sin(60^\circ - \varphi_3)\} \end{aligned}$$

然るに三相回路の性質上 I_1, I_2, I_3 のベクトルの和は零に等しいから、任意の直交軸上の分力の代数的和は夫々零に等しい。故に第 236 圖の AB 線 (E_2 の方向) に直角な方向の分力を考へると、

$$I_2 \sin \varphi_2 + I_3 \sin(60^\circ - \varphi_3) - I_1 \sin(60^\circ + \varphi_1) = 0$$

$$\text{故に } I_3 \sin \varphi_3 = I_1 \sin(60^\circ + \varphi_1) - I_3 \sin(60^\circ - \varphi_3)$$

此関係を前式に代入すれば $\sqrt{3}Q = E(I_1 \sin \varphi_1 + I_2 \sin \varphi_2 + I_3 \sin \varphi_3)$

故に第 235 圖の接続に依り電圧の平衡した三相回路に於ては、 W_1 及 W_2 の読みの代数的和を $\sqrt{3}$ 倍すれば、電流不平衡の場合にも三相無効電力を測定することが出来るのである。

此のことは三相電力を測定する二電力計法と比較するに各電力計に加はる電圧が、 90° 遅れて居る $\frac{1}{\sqrt{3}}$ の電圧であるから、當然二電力計の読みの代数的和の $\sqrt{3}$ 倍を取れば、三相無効電力を得らるゝことが想像し得られるであらう。

第七章 力率及周波数の測定

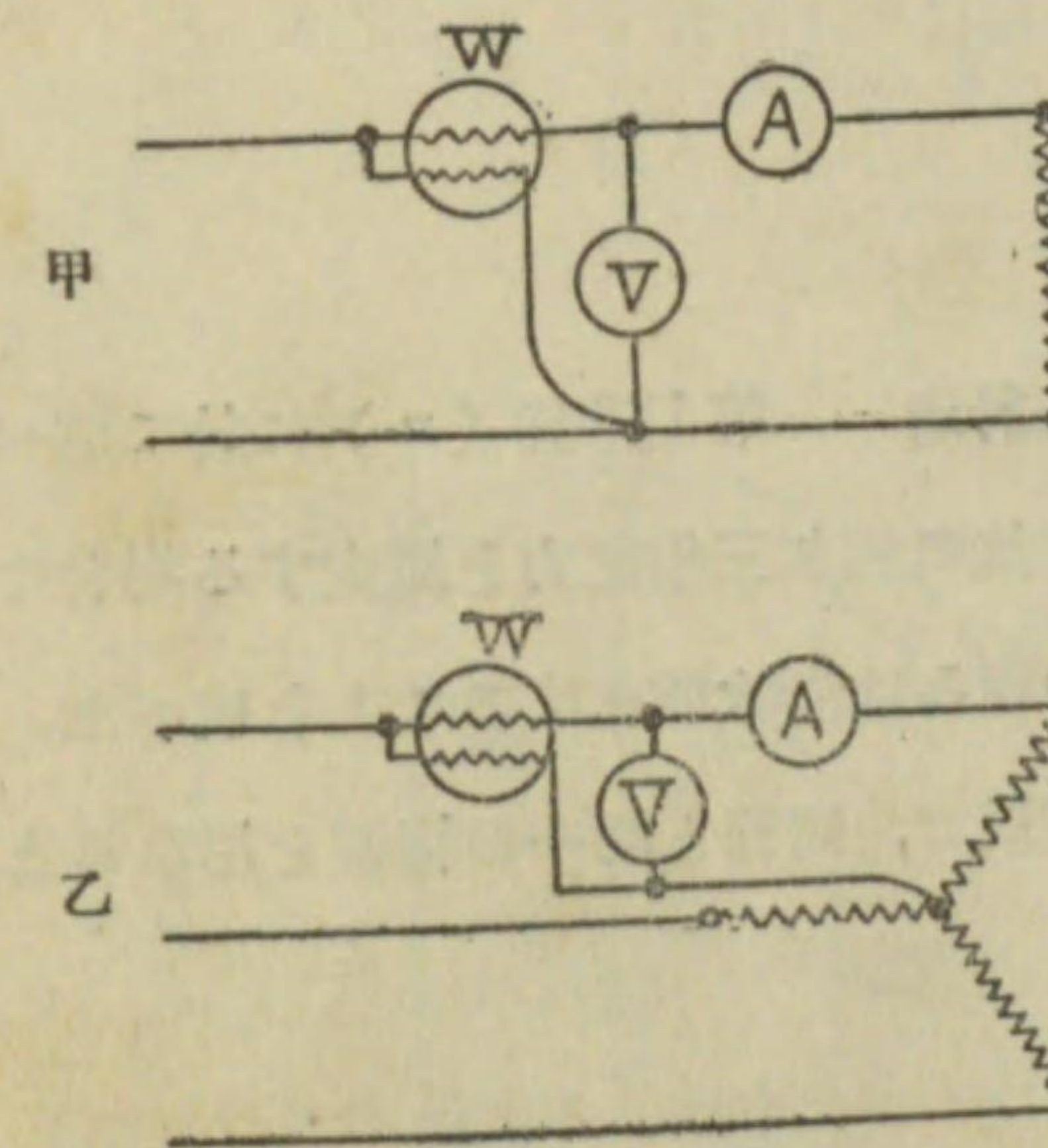
並同期検定器及検漏器

第一 力率の測定及力率計

137. 単相回路及平衡多相式回路に於ける 力率の測定

(イ) 電圧計、電流計及電力計に依る方法 第 237 圖甲及乙は單相式

第 237 圖



力率の測定

又は平衡多相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。今

E = 電圧計の読み

I = 電流計の読み

P = 電力計の読み

φ = E と I との相差

とすれば、力率 $\cos \varphi$ は明かに

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

普通の電力計は力率が小さい時

には其の指示が小さくなり、電力

計の少しの読み違ひも大なる誤差を導入するに至る。故に小なる力率を測定する場合には小力率用電力計として低力率に於ても大なる指示を與へる

様に設計せられた電力計 (第125 節参照) を用ひるがよい。

小力率の場合には又普通の電力計の代りに無効電力計を用ひることが出来る。但し此の場合には無効電力計の読み Q から、先づ $\sin \varphi = \frac{Q}{EI}$ の関係に依り $\sin \varphi$ を計算し、然る後 $\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}$ の関係から力率を算出するのである。

(ロ) 三電圧計法又は三電流計法に依る法 例へば三電圧計法の場合に就て云へば既に述べた如く (第 130 節参照)

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

$$\text{又 } I = \frac{E_2}{R}$$

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

三電流計法の場合も同様に

$$\cos \varphi = \frac{I_3^2 - I_1^2 - I_2^2}{2I_1 I_2}$$

(ハ) 平衡三相回路に於ける二電力計法 第 133 節 (ロ) に於て述べた如く、三相平衡回路に於て二電力計法に依り三相電力を測定する場合には、回路の力率に依り二つの電力計の読みは漸次變化することを述べた。之即ち逆に力率の測定に用ひらるゝ所以で、同節と同一の符號を用ひるときは

$$P_1 = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ + \varphi)$$

$$P_2 = \sqrt{3} EI \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$P_1 + P_2 = 3EI \cos \varphi$$

$$P_2 - P_1 = \sqrt{3} EI [\cos(30^\circ - \varphi) - \cos(30^\circ + \varphi)]$$

$$= 2\sqrt{3} EI \sin 30^\circ \sin \varphi$$

$$= \sqrt{3} EI \sin \varphi$$

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

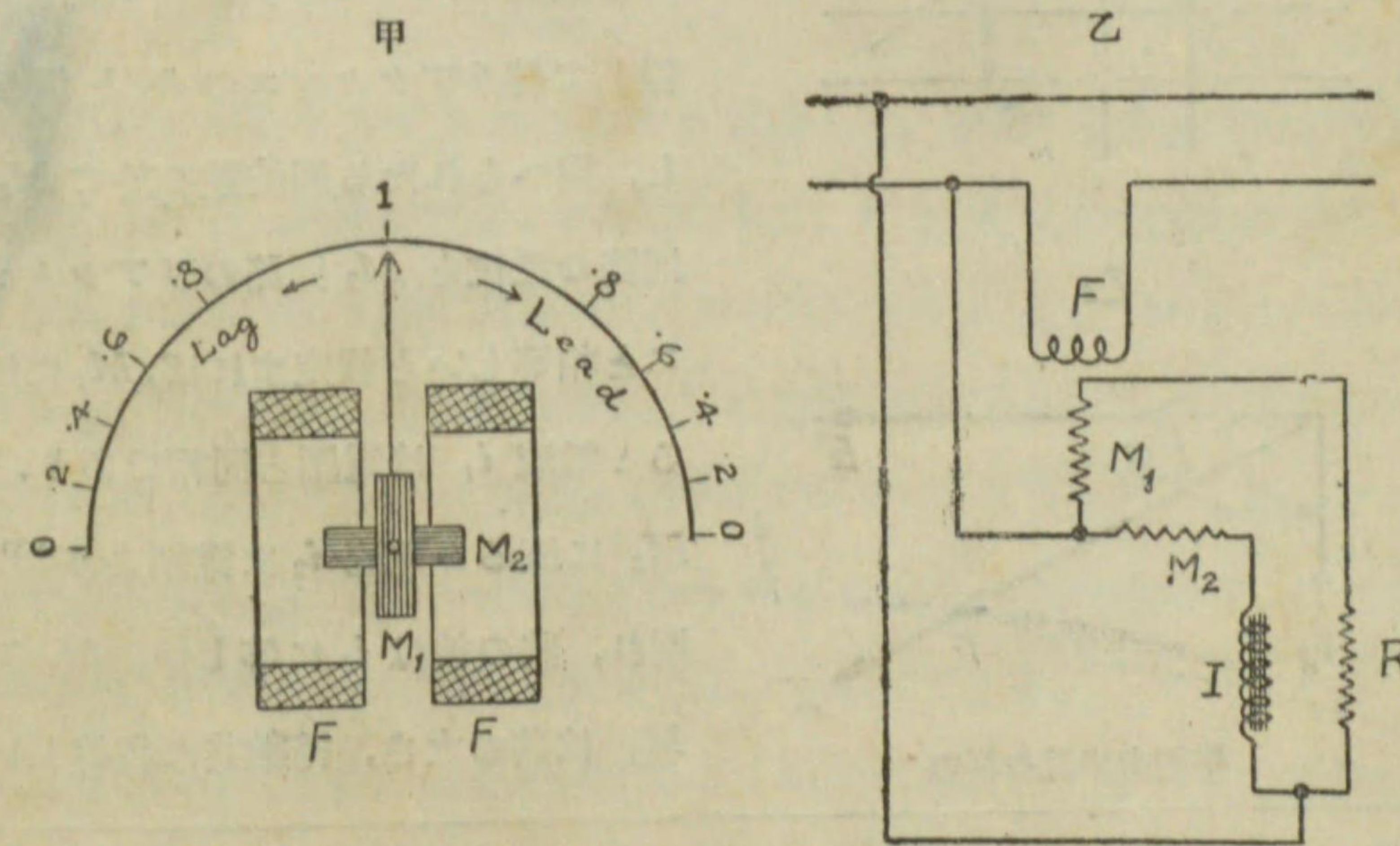
$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}}$$

第 134 節に述べた平衡三相回路の電力を測定する爲、二電力計法の原理を應用した一電力計法に於ても、電壓回路の接続を變へて測定した二回の電力計の読み P_1 及 P_2 から、全く同様に力率を測定し得ることは勿論である。

138. 單相力率計(single-phase power factor meter)

第 238 圖はエヴァーレット・エッチカムプ會社 (Everett

第 238 圖

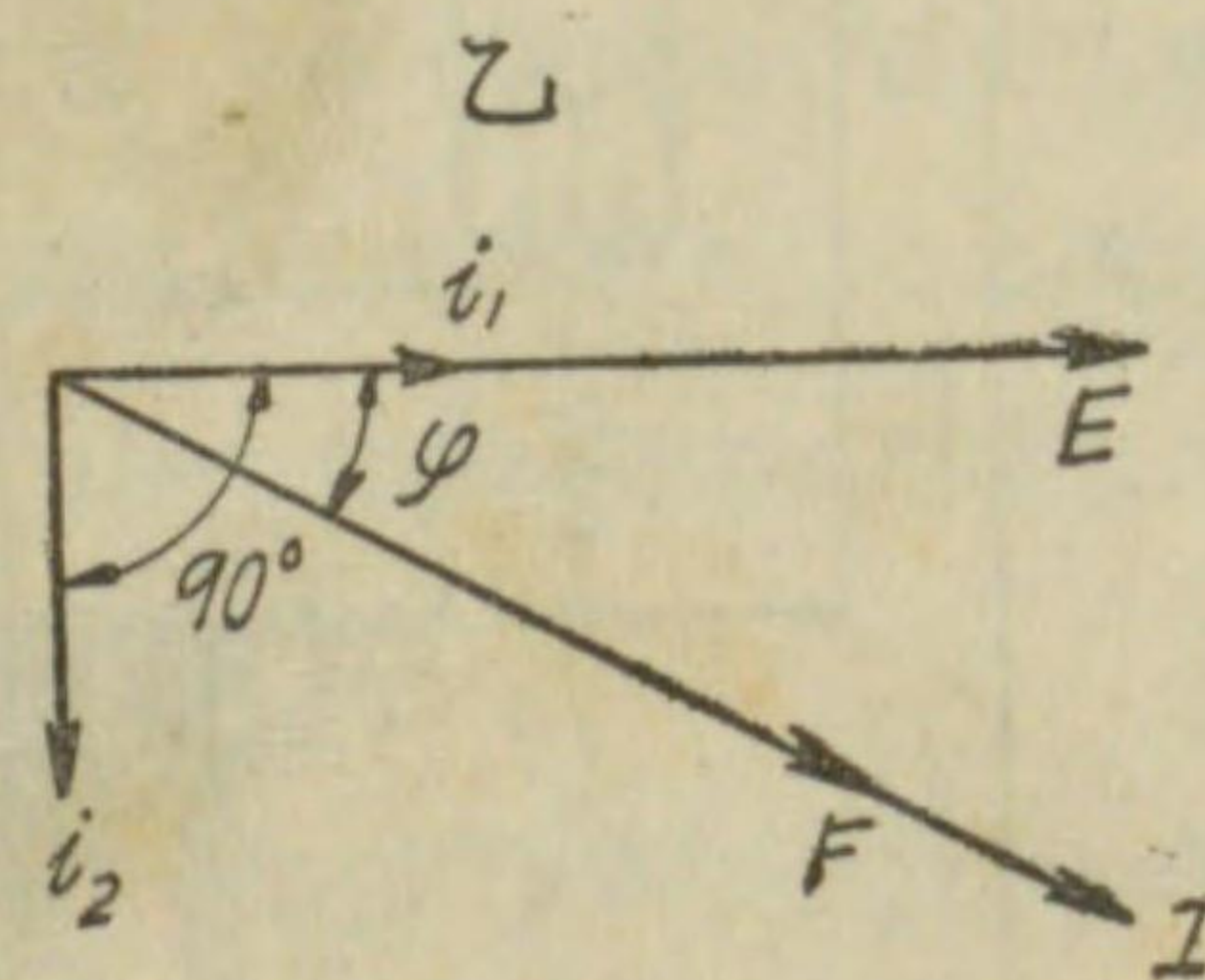
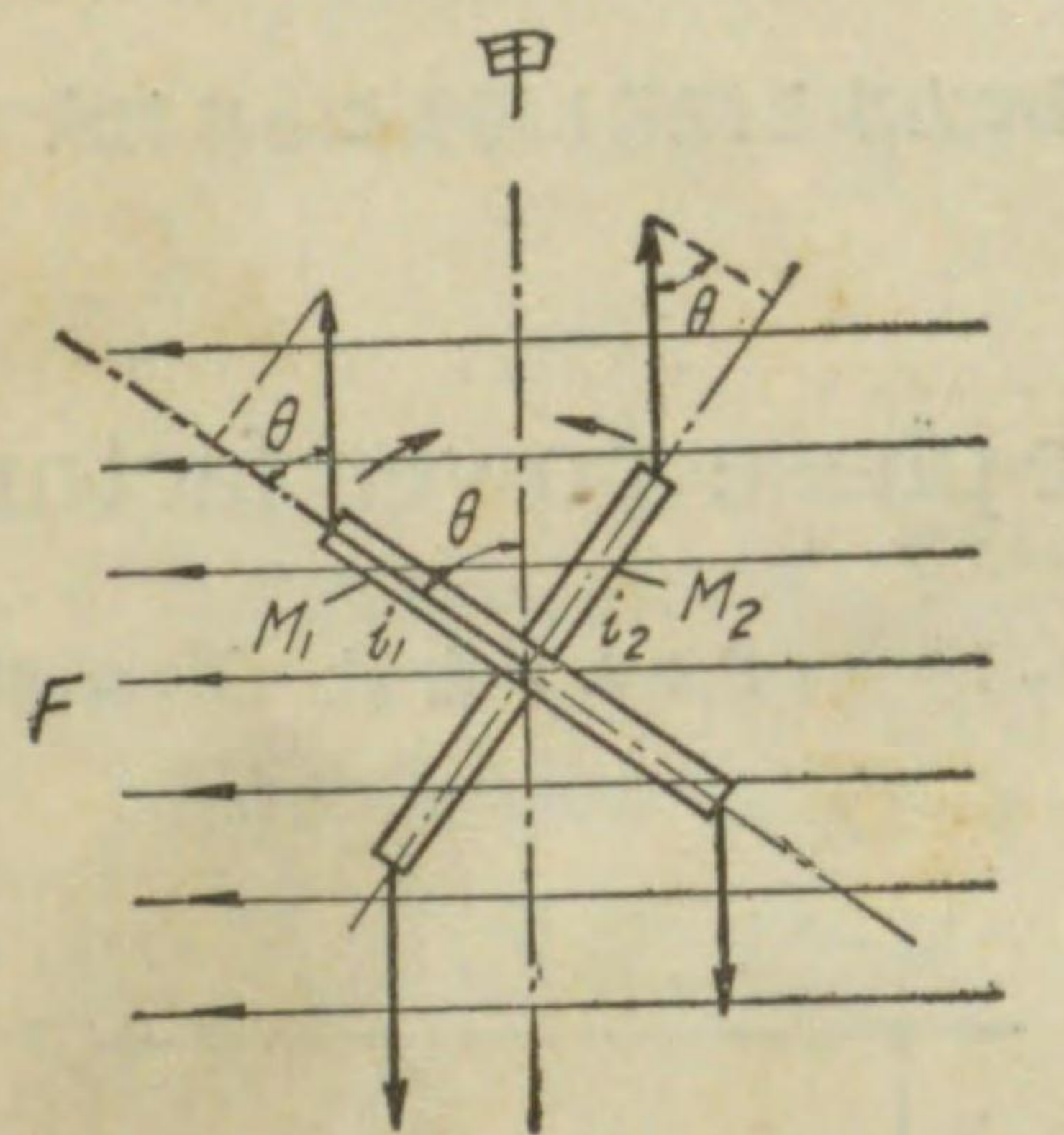


エヴァーレット・エッチカムプ力率計

單相力率計の接続

Edgumbe & Co) の力率計を示すものである。圖に於て F は固定線輪で、之に負荷電流を通す。 M_1 及 M_2 は可動線輪で、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、回路の電圧を加へる。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° 遅れる電流が流れる*。但し M_1 及 M_2 に電流を導く爲には制御力を生ずることのないリガメントを用ひる。然るときは可動線輪 M_1 に働く廻轉力と M_2 に働く廻轉力とが反對の方向に働き、互に相平衡する位置に於て指針は靜止する譯である。今簡單の爲 M_1 のインダクタンスを無視し、又 M_2 回路の抵抗を無視して純リアクタンスのみと假定し、與へられたる周波數に於て M_1 回路の抵抗と M_2 回路のリアクタンスと相等しいと假定すれば、 M_1 に流るゝ電流 i_1 は電圧と同相であり、 M_2 に流るゝ電流 i_2 は電圧より 90° 遅れ、其の値は i_1 に等しい。 M_1 及 M_2 は其の大きさ、捲數共に相等しい

第 239 圖



單相力率計の原理

* 註 斯くの如く單相電源から M_1 及 M_2 回路に殆んど 90° の相差ある電流を流すやうにする手段を分相 (phase-splitting) と云ふ。

とする。又電流線輪に依つて生ずる磁界は、電流 I に比例し、之と同相であつて、可動線輪の位置に於ては平等磁界 F を生ずるものとする。今電壓及電流の相差 φ に於て第 238 圖に示す位置から θ 丈傾斜して靜止したとする。此の關係は第 239 圖甲に示すが如くで、諸量の間位相の關係は同乙圖に示すが如くである。然る時は廻轉力としては、線輪に働く力の内線輪に直角なる方向の分力を取らなければならないから、 F と i_1 又は i_2 との相差をも考慮すると

$$M_1 \text{ に働く廻轉力} = kFi_1 \cos \varphi \sin \theta$$

$$= k'EI \cos \varphi \sin \theta$$

$$M_2 \text{ に働く廻轉力} = kFi_2 \cos(90^\circ - \varphi) \cos \theta$$

$$= k'EI \sin \varphi \cos \theta$$

$$\therefore k'EI \cos \varphi \sin \theta = k'EI \sin \varphi \cos \theta$$

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

$$\text{或は} \quad \theta = \varphi$$

即指針の傾斜する角 θ は相差角 φ に等しく、回路の電壓及電流に無關係である。若し電流が電圧より進むときは、 F と i_2 との相差角は 90° 以上になるから、 M_2 に働く廻轉力は反對の方向となり、結局 $\tan \theta = -\tan \varphi$ となり $\theta = -\varphi$ となる。此の事は θ の廻轉方向が反對となることを意味するので、目盛は第 238 圖の如く力率 1 即 $\varphi=0$ より左方が遅角又は遅力率 (lagging power factor) を表はすとすれば、右方は進角又は進力率 (leading power factor) を表はすと云ふのである。

以上の關係は又次の様に説明することが出来る。互に直交する二線輪 M_1 及 M_2 に流るゝ電流は値が相等しく、位相が 90° 相違して居るから、 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°

度の相違を有する爲に、同期速度を以て廻轉する圓形廻轉磁界を生ずる(第 87 節参照)。故に若し電壓と電流とが同相の時は、 F に依り生ずる磁界が最大の時、 M_1 に依り生ずる磁界は最大で、 M_2 に依り生ずる磁界は零であるから、可動線輪は M_1 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、力率 1 の場合には可動線輪の位置は丁度第 238 圖に示す様に、 M_1 の面と F の面とが平行になる様な位置を取る譯である。換言すれば電流線輪に依る磁界が最大るとき、可動線輪の生ずる廻轉磁界の方向が之と一致する様な可動線輪の位置を取る。又若し電壓と電流との相差が 90 度違ふ時には、 F の磁界が最大るとき、 M_1 の磁界が零で、 M_2 の磁界が最大となるから、可動線輪は 90° 度廻轉し、 M_2 と F とが平行となる様な位置を取ることになる譯で、此場合にも亦電流線輪の磁界が最大るとき、廻轉磁界の方向は之と一致する様になるのである。而して電流が電壓から 90 度進む場合と 90 度遅れる場合とは、 F に依つて生ずる磁界は 180 度の相違、換言すれば正反對の方向であるから、電流が電壓から 90 度進む場合と 90 度遅れる場合とは指針は全く正反對に 90 度傾斜すべき筈である。同様に一般に電壓電流間に任意の相違がある場合に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、指針は其の相違に相當する力率を指示するのである。

以上は M_1 及 M_2 が電磁的に同一なるものと考へたのであるが、若し M_1 と M_2 との捲数を違へて置けば、一般に $\tan \theta = K \tan \phi$ となり、力率の目盛の或部分を適當に變へることが出来るのである。又 M_2 回路には抵抗があり、 M_1 回路には多少のインダクタンスがあるから、實際には上

記の関係とは多少の相違があるのである。

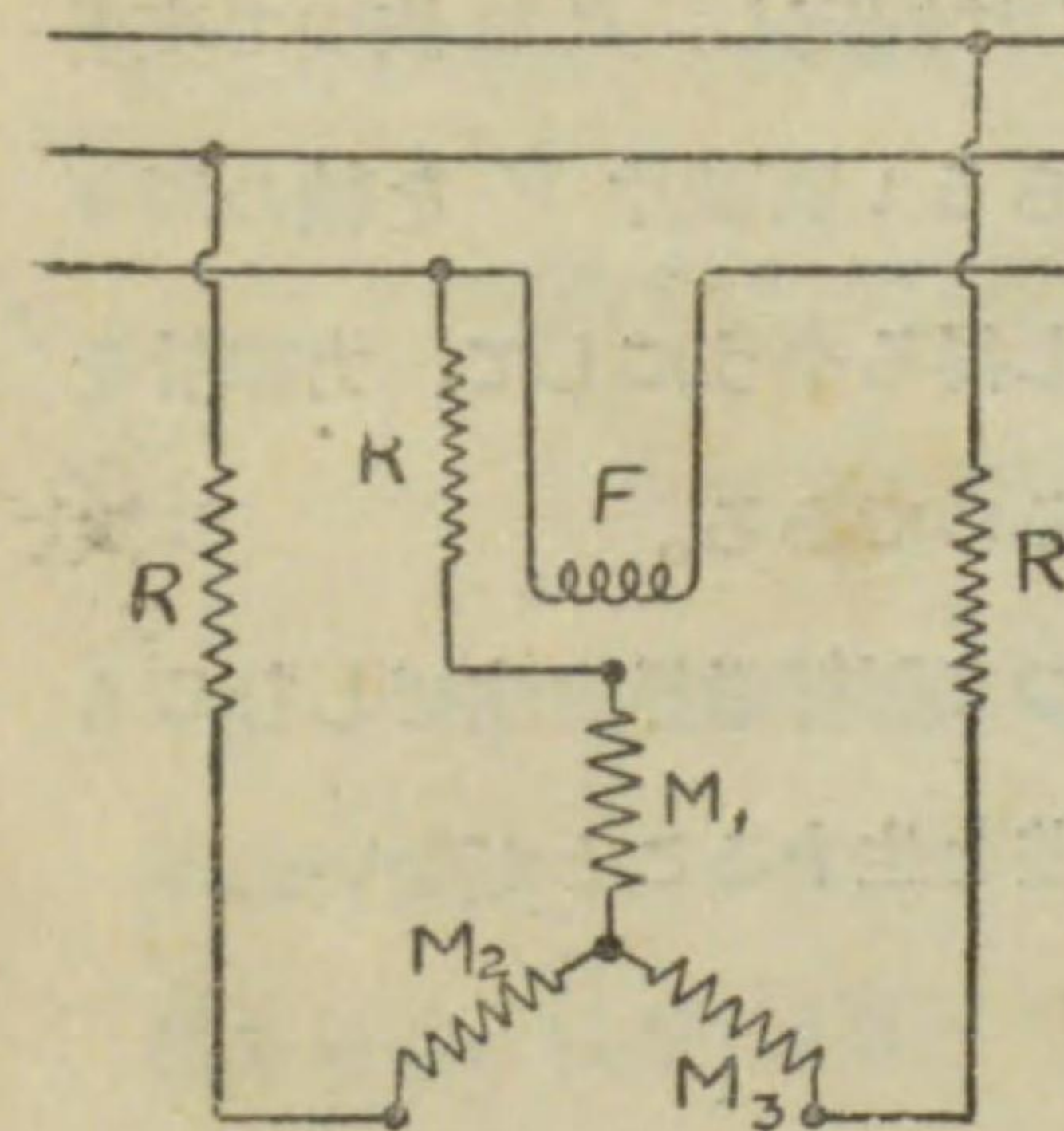
單相力率計は周波數が變ると、可動線輪 M_2 のリアクタンスは周波數に正比例して變化し、電流は大きさ及位相が共に變つて來るので、大なる誤差を生ずる。之を防ぐ爲には、分相 (phase-splitting) の關係が基本周波數の場合と同一に調整せらるればよいのであるから、 M_1 及 M_2 の兩回路に直列抵抗を接続して、之を周波數に應じて適當に變へれば、此の誤差を除くことが出来るのであるが、茲には其の説明を省く。

139. 平衡多相回路用力率計

平衡多相回路用力

率計は前節の單相力率計と全く同一の原理である。即ち二相式用のものは固定線輪及可動線輪は單相力率計と同様な構造であるが、此の場合には可動線輪 M_1 及 M_2 には共に R なる無誘導直列抵抗を接続し、 M_1 及 M_2 に夫々二相式の各相の電壓を與へるのである。而して固定線輪 F には一相に屬する電流を通するのである。之に依り M_1 及 M_2 には相互に 90 度の相違を有する相等しい電流が流れ、全く單相式の場合と同様に働くので

第 240 圖



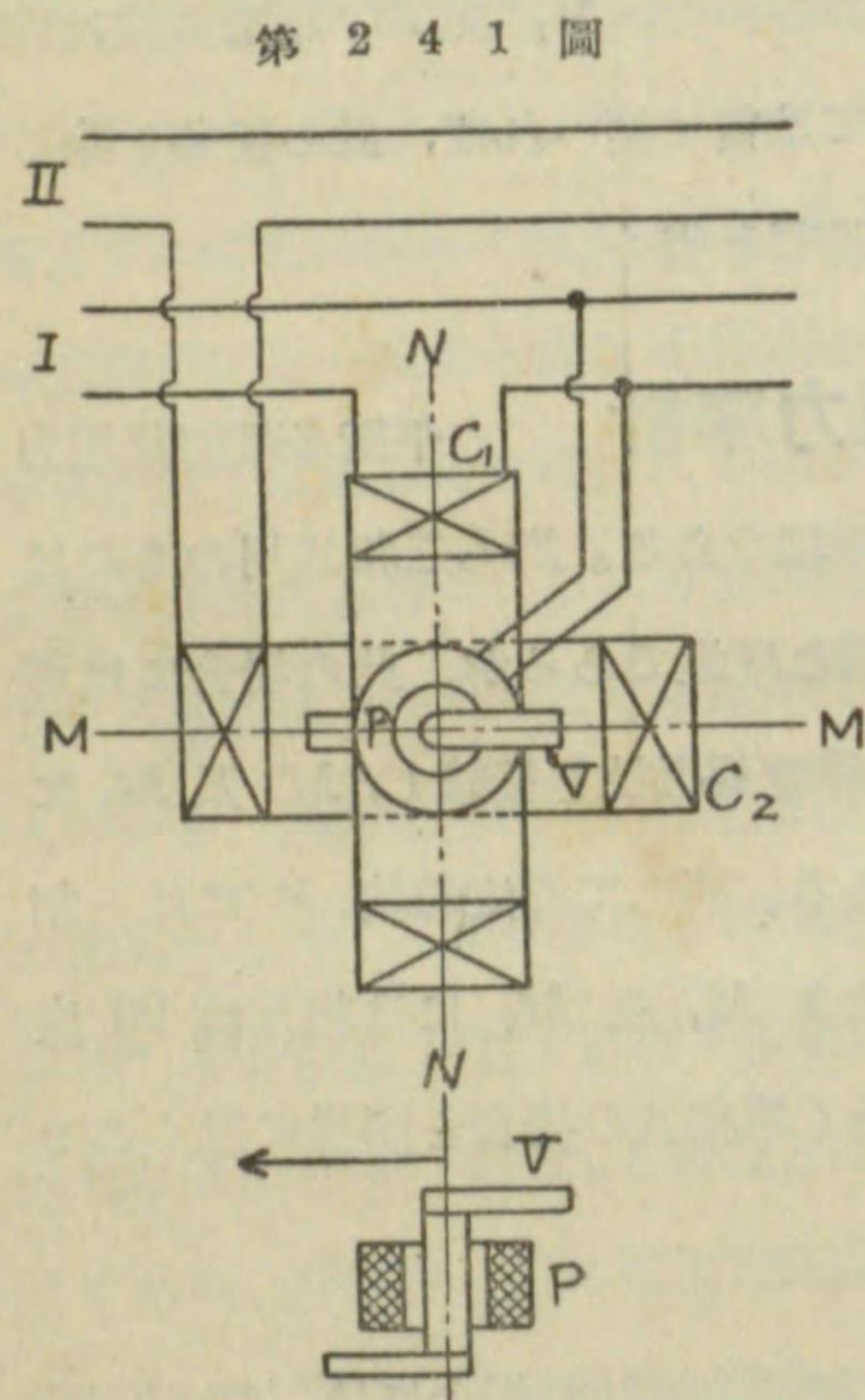
三式相力率計の接続

ある。

三相式力率計の場合には、第 240 圖の如く M_1 、 M_2 及 M_3 なる三個の可動線輪を 120 度隔て、同一軸に取付け各 R なる無誘導直列抵抗を接続して三相回路に星形に接続し、各線輪に 120 度宛の相違を有する電流を通すのである。此の方法に依り M_1 、 M_2 及

M_3 に依つて生ずる磁束は空間に於て 120 度宛隔つた位置に生じ、而も位相に於て 120 度宛の相差があるから、同様に圓形廻轉磁界を生じ、恰度二相式力率計と同様に動作するのである。

以上は電流計型力率計に就て述べたのであるが、第 241 圖に示すもの



ウェスチングハウス二相力率計

は可動鐵片型力率計である。圖は二相式力率計を示したもので、此の場合には電流計型と反對に、電流線輪に依つて廻轉磁界を生ぜしめ、電圧線輪に依つて一定方向の交番磁界を生ぜしむるのである。即ち圖に於て C_1 及 C_2 は固定電流線輪で、互に直角に之を装置し、各相の電流を通じて廻轉磁界を生ぜしめ、電圧線輪 P に依つて交番磁界を生ぜしむるのである。而して P を可動とする代りに P は固定し、 P に依つて交番磁化せらるゝ軟鐵片 V を軸の周りに廻轉し得るやうにして、力率計を形成するのである。

以上の力率計は單相力率計の如く分相に依つて廻轉磁界を生ぜしむるものでないから、周波数が變つても之に依り誤差を生ずることがない。

140. 不平衡多相回路に於ける力率及力率計

不平衡多相回路に於ては、各相の電壓及電流が相等しくない許りでなく、其の相差も亦等しくない。例へば三相三線式の場合に就て云へば、各相の電壓及電流の瞬時値は、次式に依つて興へらるゝ様な量である。

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \sqrt{2} E_1 \sin \omega t & i_1 &= \sqrt{2} I_1 \sin(\omega t - \varphi_1) \\ e_2 &= \sqrt{2} E_2 \sin(\omega t - \alpha) & i_2 &= \sqrt{2} I_2 \sin(\omega t - \alpha - \varphi_2) \\ e_3 &= \sqrt{2} E_3 \sin(\omega t - \beta) & i_3 &= \sqrt{2} I_3 \sin(\omega t - \beta - \varphi_3) \end{aligned} \right\} (1)$$

但し平衡回路に於ては $E_1 = E_2 = E_3 = E$, $I_1 = I_2 = I_3 = I$, $\alpha = 120^\circ$, $\beta = 240^\circ$

$$\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3 = \varphi$$

斯様な不平衡回路に於ける力率は、如何に表はすべきかと云ふことは問題であつて、或論者に従へば、力率は電力のヴァルト・アムペアに對する比と云ふ考から

$$\cos \varphi_1 = \frac{E_1 I_1 \cos \varphi_1 + E_2 I_2 \cos \varphi_2 + E_3 I_3 \cos \varphi_3}{E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3} \quad (2)$$

又他の論者に従へば、分母のヴァルト・アムペアの代りに電力の自乗と無効電力の自乗との和の平方根を用ふべきであるとし

$$\cos \varphi_2 = \frac{E_1 I_1 \cos \varphi_1 + E_2 I_2 \cos \varphi_2 + E_3 I_3 \cos \varphi_3}{\sqrt{(E_1 I_1 \cos \varphi_1 + E_2 I_2 \cos \varphi_2 + E_3 I_3 \cos \varphi_3)^2 + (E_1 I_1 \sin \varphi_1 + E_2 I_2 \sin \varphi_2 + E_3 I_3 \sin \varphi_3)^2}} \quad (3)$$

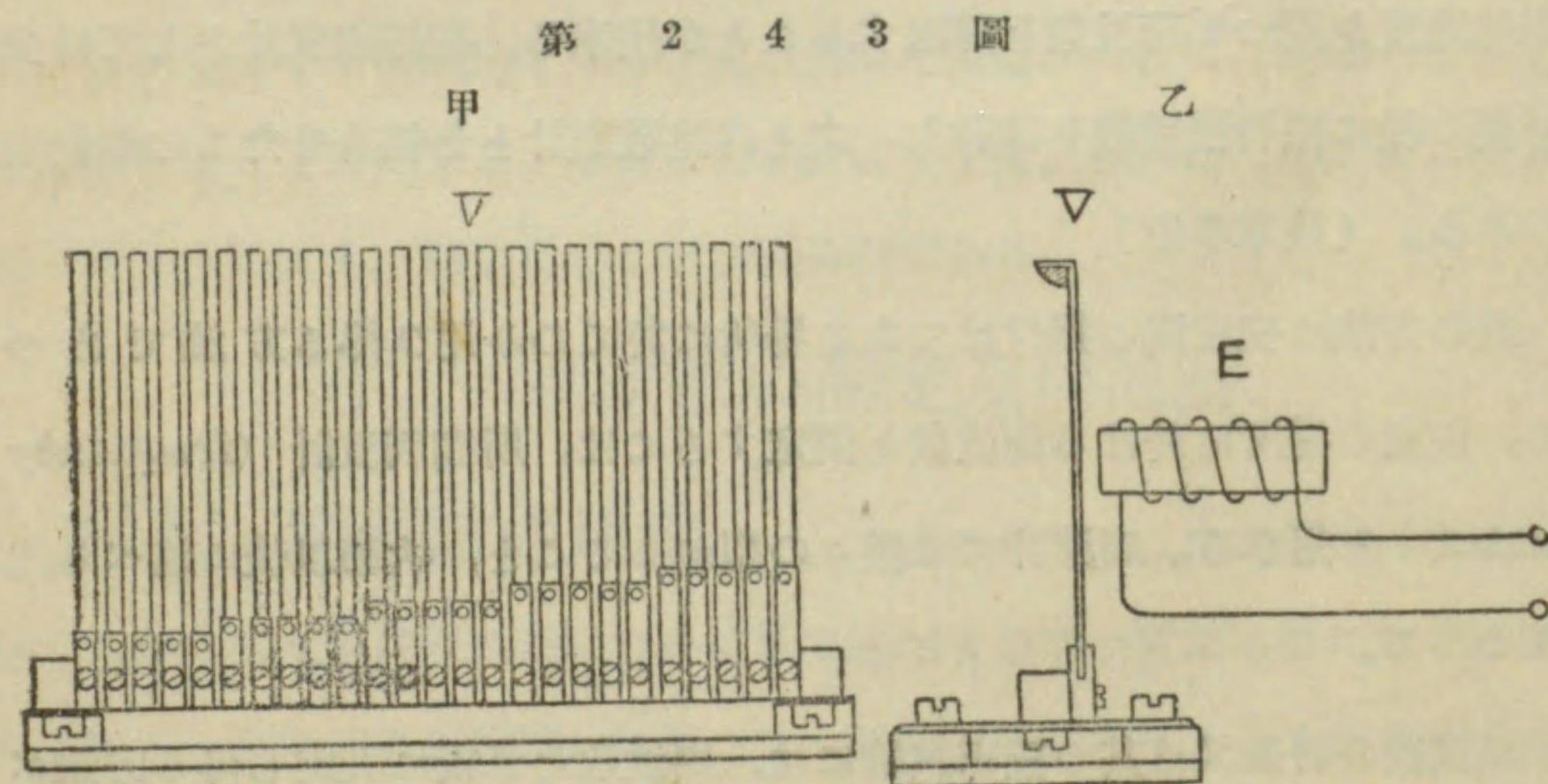
φ_1 と φ_2 とは單相式の場合又は平衡負荷の場合には全く同一であるが、不平衡回路では一致しない。殊に或相が進電流で、他の相が遅電流である様な場合には著しく違つて來る。然し乍ら現今の大體の傾向は (3) 式に依る力率を採用することゝなつて居る。

の上に時間を記録せしむると共に、交流機の一廻轉毎に電気接觸を生ぜしめ、之に依り他の電磁石を働かせて同一紙上に廻轉數を記録せしめ、廻轉數と時間とを比較して可なり精密に周波數を決定し得るのである。

更に一層精密な方法は、標準時計と標準音叉 (standard tuning fork) とを用ひる方法であつて、無線周波數の如き高周波を十萬分の一程度の確度を以て測定せんとする場合には、此の方法に依らねばならないのであるが、本書には之を省く。

142. 共振型周波計 (resonance type or vibrating reed type)

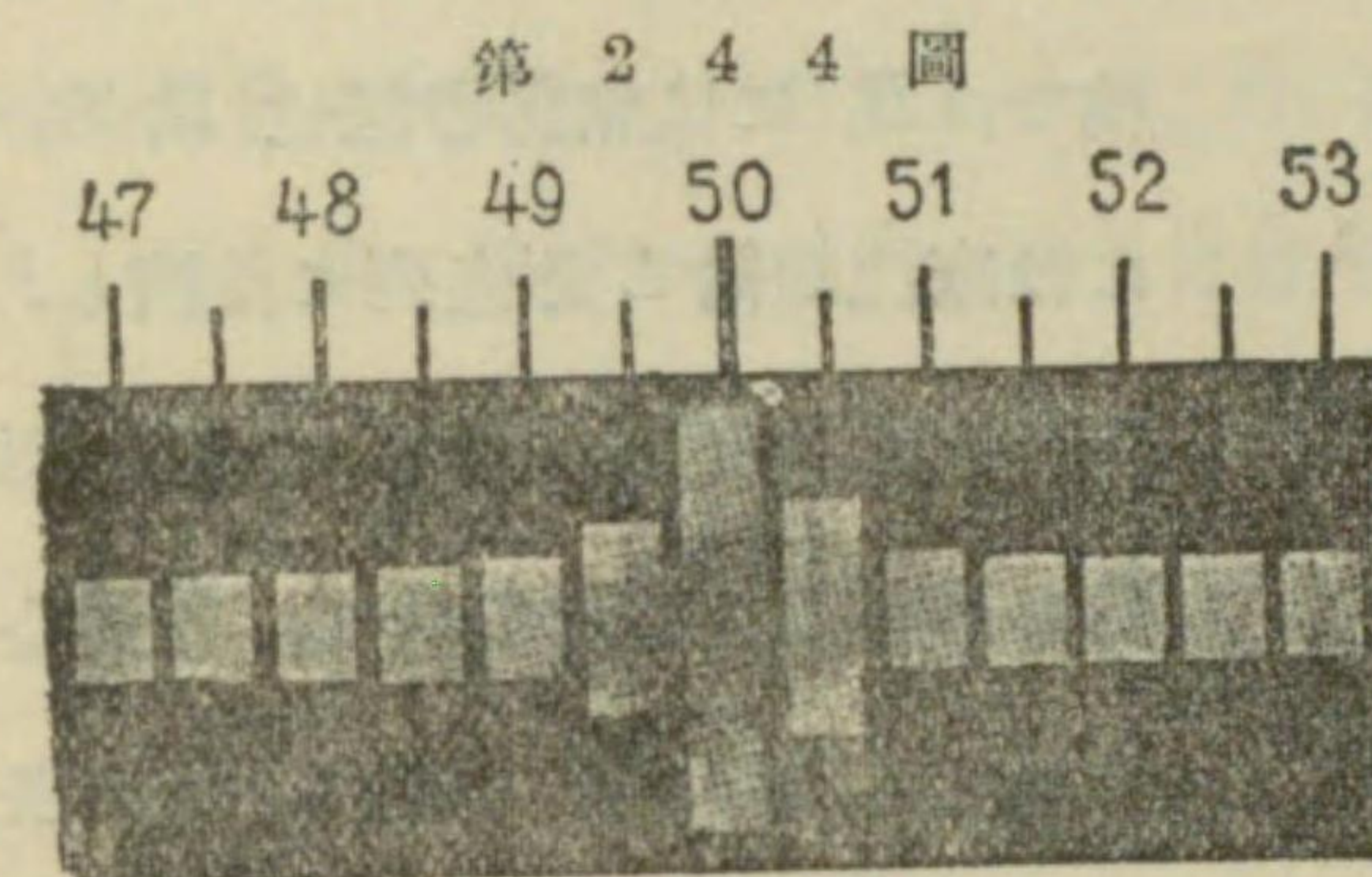
第 243 圖はハルトマン・エンド・ブラウン會社の共振型周波計の原理を示す。V は其の一端に於て固定せら



共 振 型 周 波 計

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、其の固有振動周期を順次少し宛變へて配列してある。E は交流電磁石で鋼鐵片群に對する極片を有し、之に周波數を測定すべき電流を通す。但し勵磁線

輪は適當なる直列抵抗と共に電壓回路に接続せらるゝのである。斯様にして電磁石は鋼鐵振動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有する鐵片は、共振作用に依つて第 244 圖の如く盛に振



共 振 型 周 波 計 の 動 作

動するが、其の他の異なる固有振動數を有する鐵片は殆んど振動しない。故に鐵片に沿ひ周波數の目盛を附することが出来る。鐵片 V の固有振動數の最後の調整は、鐵片の頂部に附してある錫鐵を削り、又は新に之を附加することに依つて行ふことが出来る。共振型周波計は又之を廻轉速度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を廻轉し、直流電源から斷續電流を周波計に送れば、其の斷續數に應じ之と固有振動數の一致した鐵片が振動する。故に直接毎分廻轉數の目盛を施すことが出来る。

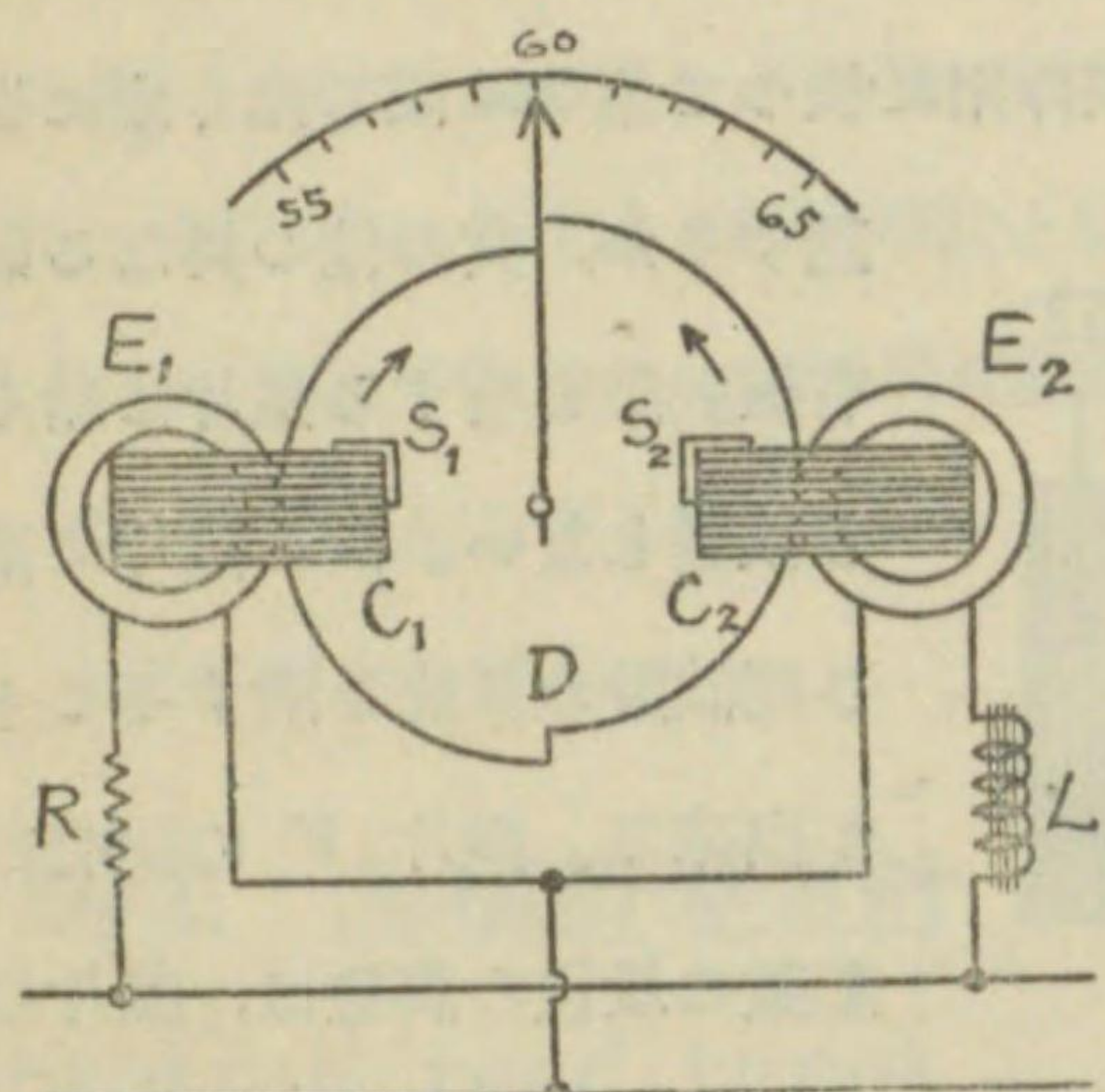
143. 誘導型周波計 (induction type)

共振型周波計は其の動作が確實であるが、其の目盛は 1 サイクル又は $\frac{1}{2}$ サイクルであつて、其の中間の周波數は讀むことが出来ない。然るに最近電氣の供給には、周波數の變動が喧しい問題となり、之に對しては共振型周波計では物足らぬ感じがあり、爲に指針型周波計が盛んに用ひらるゝ傾向となつた。本節に述べる誘導型周波計、及次の二節に述べる可動鐵片型及電流計型周波計の如きは、此目的に適應するものである。

第 245 圖は ウェスチングハウス會社 誘導型周波計を示すものであつ

て、第 113 節に述べた移動磁界型誘導電圧計の二素子を組合せたものであ

第 2 4 5 圖



誘導型周波計

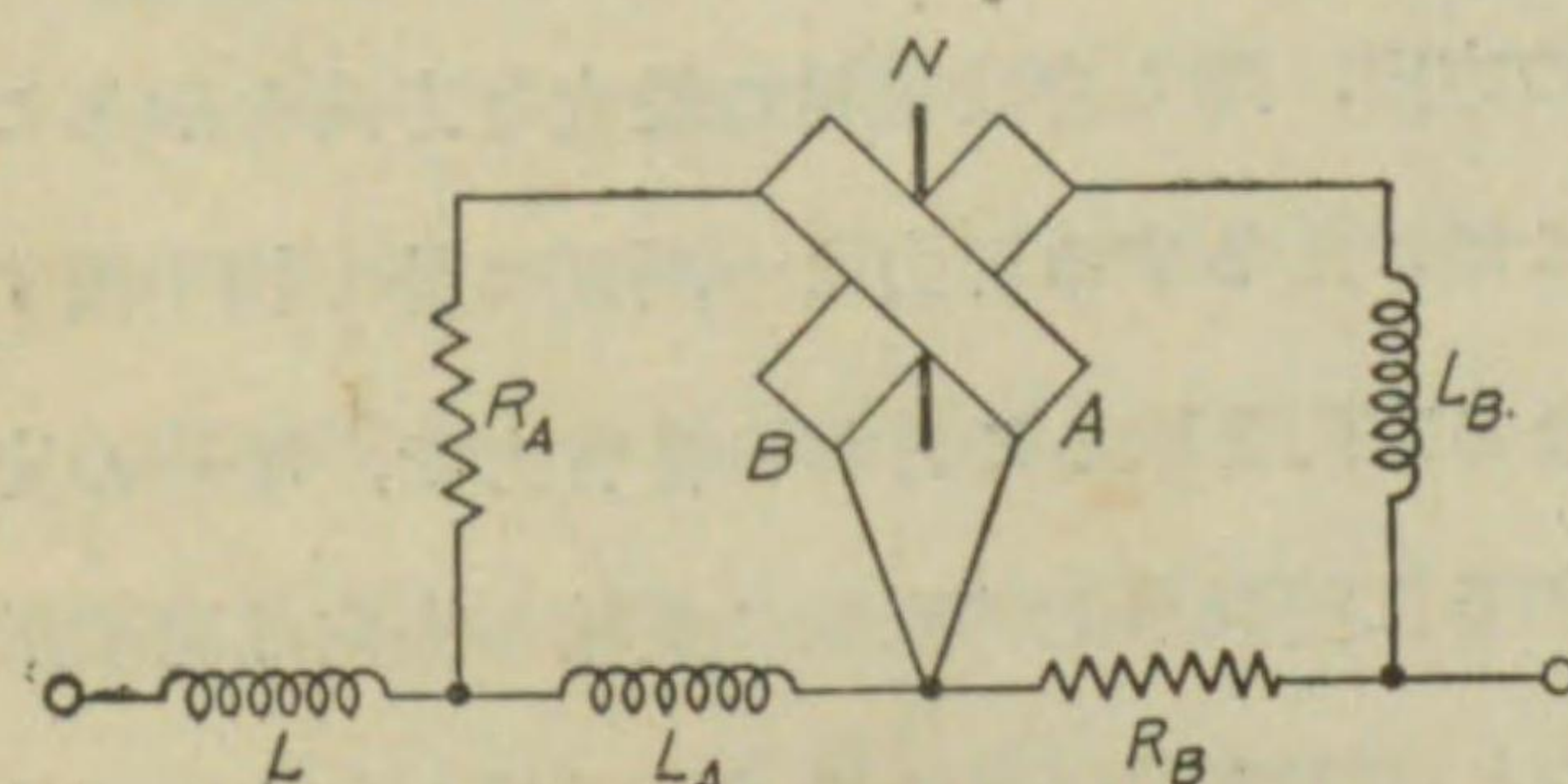
る。即ち E_1 及 E_2 は夫々成層鐵心 C_1 及 C_2 に捲かれた勵磁線輪で、 E_1 には無誘導抵抗 R 、 E_2 には塞流線輪 L を直列に接続し、回路の電壓を與へるのである。而して移動磁界を得る爲に、各鐵心の極を二分し、 S_1 及 S_2 なる隈取線輪を装置し、夫々移動磁界を生ぜしめる。但し隈取線輪の位置は圖の如くなつて居るから、各移動磁界の方向は反對で、 E_1 の素子に依つてアルミニウム圓板 D に働く廻轉力の方向は時計式、 E_2 の素子に依り圓板に働く廻轉力の方向は反時計式で、此の兩廻轉力が相平衡する位置に於て圓板は靜止するのである。圓板 D は圖の如く左半分は軸を中心とする半円で、圓板の位置が變つても C_1 の極と圓板との相互關係は變らない。然るに右の半分は偏心的で、其の中心は軸より少しく上部にある半圓である。故に圓板の位置が變れば、 C_2 の極と圓板との相互的位置が變つて来る。 E_1 に流れる電流は無誘導直列抵抗 R の爲、電壓が一定であれば周波數には殆んど無關係であるが、 E_2 は誘導リアクタンスが抵抗に比して遙に大きいから、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。夫故に例へば圖の如く、60 サイクルの周波數に於て圓板が圖の位置で靜止して居るものとすれば、 E_1 及 E_2 に依る廻轉力は此位置に於て相平衡して居るのである。若し周波數が之より高くなると、 E_1 の

電流は略々一定であるが、 E_2 の電流は減少するから、 E_1 に依る廻轉力は 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變りがなく、從て E_1 に依る廻轉力は圓板の位置に無關係に一定であるが、 C_2 の下に来る圓板の部分は漸次増加し、此の爲に圓板が時計式に動くに従つて E_2 に依る廻轉力が増加するから、或位置に於て E_2 に依る廻轉力が E_1 に依る廻轉力と相平衡することとなり、其の位置に於て圓板は靜止し、指針は右方に傾斜して其の周波數を指示するのである。周波數が低くなると此の反對で、 E_2 の電流が増加し E_2 に依る廻轉力が E_1 に依る廻轉力より大きくなり、圓板は反時計式に動く。然るに此の時には 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、或圓板の位置に於て E_2 に依る廻轉力が E_1 に依る廻轉力と相平衡し、圓板は其位置に止まるのである。即ち指針は左方に傾斜して低い周波數を指示する。

144. 可動鐵片型周波計 (magnetic vane type)

第 246 圖はウェストン周波計の原理を示す。 A 及 B は直角の位置に

第 2 4 6 圖



ウェストン周波計の原理

装置せらるゝ固定線輪で、其の磁界内に長い細い可動軟鐵針 N が尖軸を以て支へられ、之に指針が取付けられてある。線輪 A は抵抗 R_A と直列に接続せられて、之にインダクタンス

L_A が並列となつて居る。然るに線輪 B は逆にインダクタンス L_B と直列になつて、之に抵抗 R_B が並列に接続せられる様になつて居る。インダクタンス L は全回路に直列なインダクタンスで、電圧波形に含まるゝ高調波を之に依つて塞流するものである。

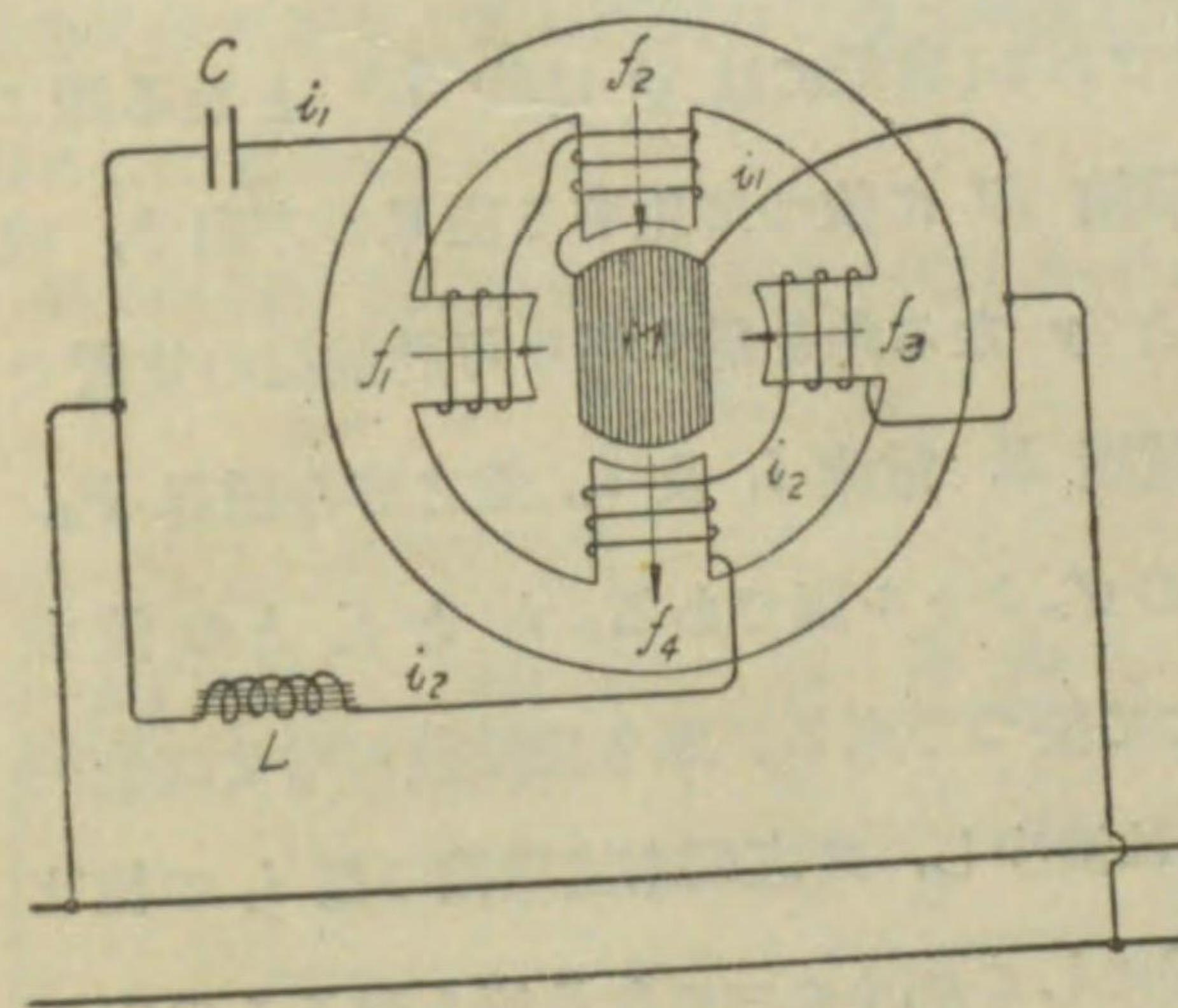
線輪 A 及 B に依つて生ずる磁界は空間に於て直角の方向に生ずる。而して A 及 B に流るゝ電流は、一般に其の大きさ及位相に於て異なること、圖の接続から明かである。故に A 及 B に依り空間に於て直角の方向に生ずる二つの磁界は、其の強さ及位相に於て異なつて居る。故に其の合成は一種の廻轉磁界を生ずるもので、其の合成磁界の強さ及方向は時々刻々異なつて行く。但一周期毎に一廻轉を爲し初の位置に戻つて同じ様に磁界が變つて行く。今時々刻々變つて行く磁界を一點から發するベクトルで表はし、其の尖端を結ぶ曲線を畫けば、之は楕圓形を形成することとなり、所謂楕圓形廻轉磁界を生ずること既に述べた通りである。今楕圓形廻轉磁界の内に軟鐵片 N があれば、 N は常に合成磁界の方向に向はんとする譯である。従て N が極めて軽く殆んど其の慣性がなければ廻轉磁界の廻轉につれて軸の周りに廻轉すべき筈であるが、鐵片 N は長く細く相當の慣性率を有する爲に、磁界の移動に追隨することが出来ない。結局 N は楕圓形廻轉磁界の長軸の方向、即ち合成磁界の最大な方向を取ることとなる。蓋し此方向の左右に傾けんるする努力は一周期に於て相平衡するので、而も合成磁界の最大なる方向を取ることが一番有力で、唯一の安定の位置であるからである。然るに楕圓形廻轉磁界の長軸の方向は周波數に依つて變るのである。何となれば周波數が増せば L_A 及 L_B は之に正比例して増加するから、線輪 A の電流は増加し、線輪 B の電流は減少し、

位相の關係も亦變化する。周波數が減すれば反對に L_A 及 L_B は共に減少し、線輪 A の電流は減じ、線輪 B の電流は増し、位相關係は更に變つて来る。之等の關係は複雑であるから詳しい説明を略するが、結局楕圓形廻轉磁界の長軸の方向が變ることとなり、之につれ鐵片 N の取るべき位置が移動し、指針が周波數を指示するものである。

145. 電流力計型周波計 (electrodynamometer type)

第 247 圖はハルトマン・エンド・ブラウン會社の鐵磁路を有する電流力計型周波計を示す。鐵心は四箇の磁極を有し、之に各々一個の

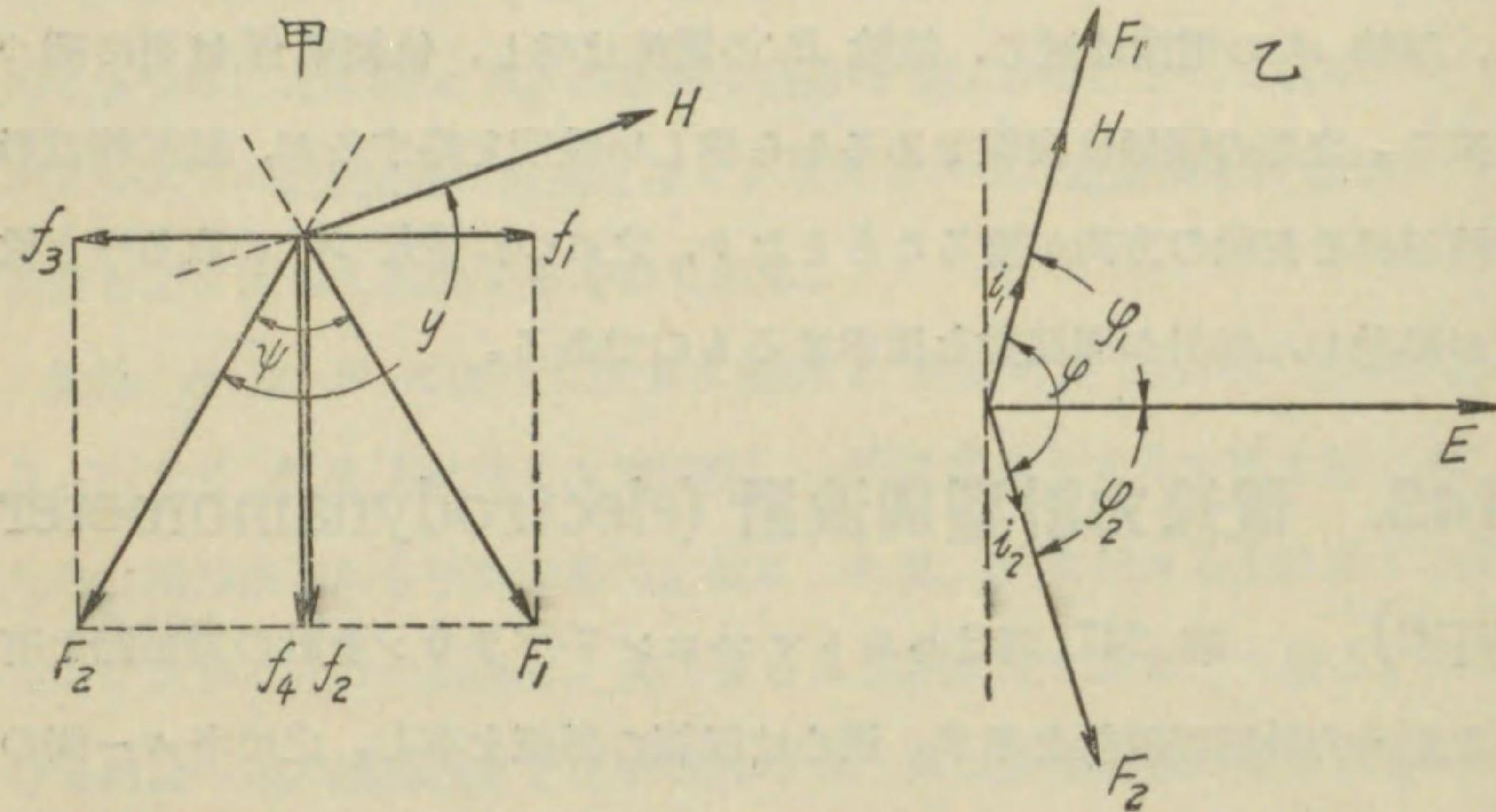
第 247 圖



ハルトマン・エンド・ブラウン電流力計型周波計

勵磁線輪を捲いてある。可動線輪 M と、 f_1 及 f_2 なる磁界を生ずる二勵磁線輪は直列に接続せられ、直列蓄電器 C と共に回路の電壓回路に接続せられる。又 f_3 及 f_4 の磁界を生ずる他の二個の勵磁線輪は直列塞流線輪 L と共に回路の電壓が與へられる。

第 248 圖 甲 は各勵磁線輪の生ずる磁界の方向を示すもので、 f_1 及 f_2 の合成磁界は F_1 、 f_3 及 f_4 の合成磁界は F_2 で、結局四箇の勵磁線輪に依つて F_1 及 F_2 なる磁界を生ずるものと見て宜しい。 F_1 及 F_2 の大きさ及位相は電流 i_1 及 i_2 の關係に依つて異なるが、其の方向は一定であるか



電流力計型周波計の各勵磁線輪の磁界關係

電流力計型周波計のベクトル圖

ら、 F_1 及 F_2 間の角 ψ は一定である(實際には ψ は約 32° となる様に設計せられて居る)。 H は可動線輪 M に依つて生ずる磁界の方向で、或周波數に於て H の方向が F_2 と y なる角を爲す様な可動線輪の位置で靜止するものとする。同乙圖は電壓 E 、電流 i_1 及 i_2 、並之等の磁界 F_1 、 F_2 、 H の位相關係を表はす普通のベクトル圖である。 i_1 と i_2 との値並其の間の相差 φ は周波數に依つて變つて來る。即ち周波數が増せば直列蓄電器の爲 i_1 の値は増加し φ_1 は減少し、又直列塞流線輪の爲 i_2 の値は減少し φ_2 の値は増加する。斯様にして $\varphi_1 + \varphi_2 = \varphi$ なる値も變るものである(設計の實例に依るに $45 \sim$ で $\varphi = 133.5^\circ$ 、 $55 \sim$ で $\varphi = 113.5^\circ$)。可動線輪 M が此の位置で靜止したことは、 F_1 及 F_2 に依り M に働く廻轉力が相平衡した場合である。故に之等廻轉力を夫々 D_1 及 D_2 を以て表はせば

$$D_1 = kF_1H \sin(y - \psi) = k'i_1H \sin(y - \psi)$$

[$\because F_1$ と H とは同相である]

$$D_2 = kF_2H \cos \varphi \sin y = k'i_2H \cos \varphi \sin y$$

[$\because F_2$ と H との相差は φ である]

$$\therefore i_1 \sin(y - \psi) = i_2 \cos \varphi \sin y$$

$$\text{或は } \sin y \cos \psi - \cos y \sin \psi = \frac{i_2}{i_1} \cos \varphi \sin y$$

ψ は一定であるから

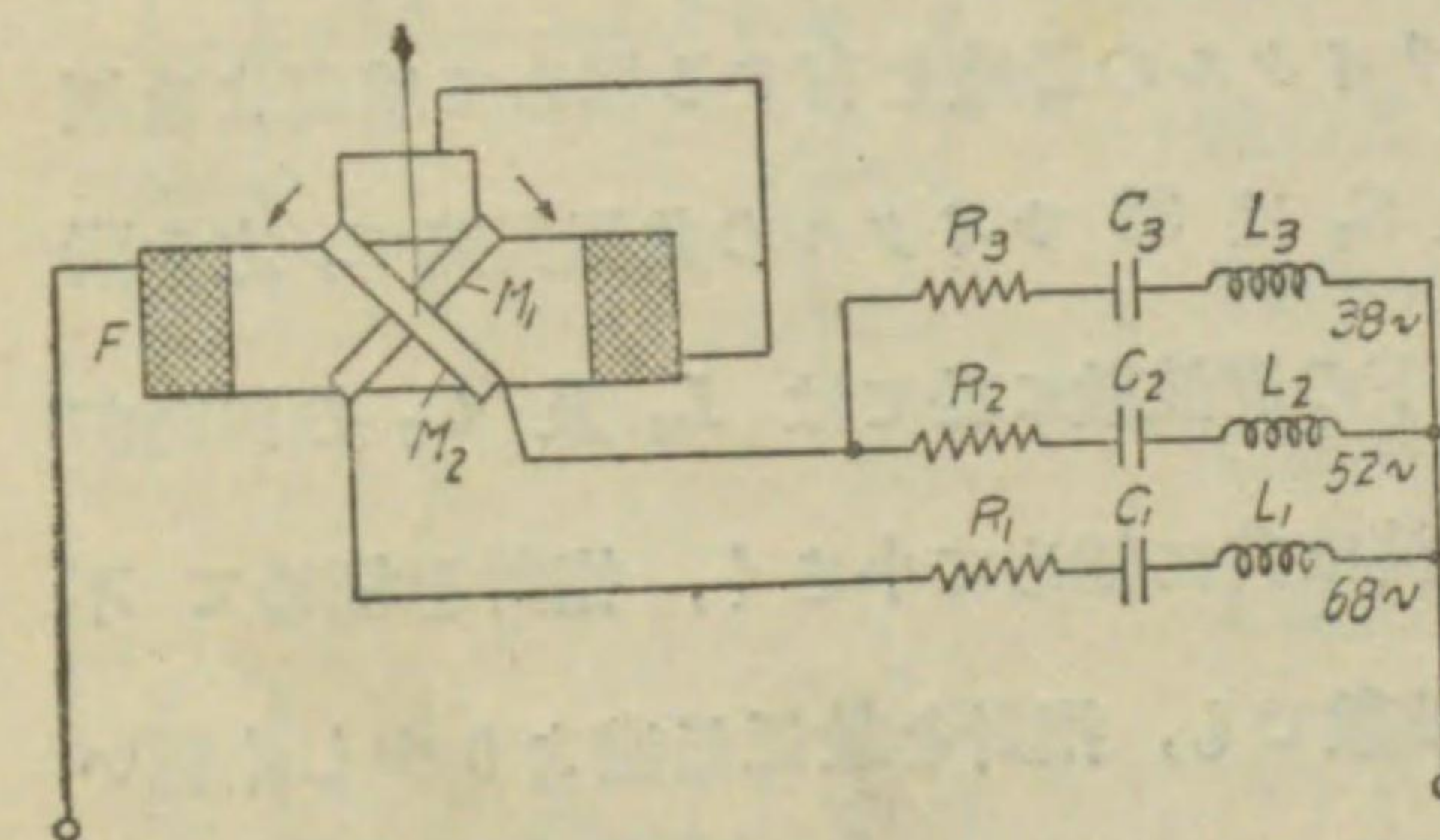
$$\cot y = \cot \psi - \frac{i_2}{i_1} \frac{\cos \varphi}{\sin \psi}$$

$$= a - b \frac{i_2}{i_1} \cos \varphi \quad \text{但} \quad a = \cot \psi, \quad b = \frac{1}{\sin \psi}$$

前述の如く $\frac{i_2}{i_1}$ 及 $\cos \varphi$ は共に周波數の函數であるから、 y なる角は周波數に依り變り、結局指針の位置は周波數に依つて變り、周波計を構成し得るのである。

第 249 圖は電氣的共振回路を利用したゼネラル電氣會社の電流力計型周波計である。

第 2 4 9 圖



ゼネラル電氣會社製電流力計型周波計

M_1 及 M_2 は互に 90° の角を以て軸に取付けらるゝ可動線輪で、 M_1 には抵抗 R_1 、インダクタンス L_1 、容量 C_1 が直列に接続せられ、 M_2 には R_2 、 L_2 、 C_2 が直列に接続せられ

て、之等を並列に接続し、之と直列に固定線輪 F を接続して、 M_1 及 M_2 に流るゝ電流の合成電流を F に通す様になつて居る。而して之等のインダクタンス及容量の値は適當に選定せられてあつて、例へば 60 サイクル

用周波計では L_1 及 C_1 は 68 サイクルの周波数に於て共振回路、即誘導リアクタンスと容量リアクタンスと相等しくなつて相殺せらるゝ状態となり、 L_2 及 C_2 は 52 サイクルに於て共振する様になつて居る。 M_1 及 M_2 に働く廻轉力の方向は反對となる様に捲いてあり、此の二廻轉力が相平衡する位置に於て可動線輪は靜止するのである。斯様な構造に於ては 68 サイクルの附近では M_1 には共振状態に近い爲に大なる電流が流れるが、 M_2 の方は共振状態に遠いので電流が小さい。故に M_1 に働く廻轉力が大なる爲 M_1 を右方に傾斜する。然るときは M_1 に働く廻轉力は F と M_1 とが直角の時最大であるから、右方に傾斜するに従ひ減少する。然るに M_2 と F との角は直角に近づいて来る爲に廻轉力が増し、或位置に於て兩廻轉力は平衡することとなる。又周波数が 52 サイクルに近づいて来れば、反對に M_2 の電流は大きくなり、 M_1 の電流が減少するから、 M_2 は左方に傾き、或位置で靜止することとなるのである。而して共振回路を用ひて居る結果、共振状態に近づくと電流は急激に増加するので、斯様な構造に依り 55 サイクル乃至 65 サイクルの目盛を有する極めて感度よき周波計が得られるのである。 L_3 及 C_3 は 38 サイクルの共振回路で、之を附加してあるのは、52 サイクル以下の周波数に於ては L_3 及 C_3 の回路がない時は、 M_1 及 M_2 流るゝ電流は共に極めて小さく、指針を極めて不安定にするので、斯様な低い周波数でも、指針を最低目盛より少しく低い處で止まることが出来る様にしてあるのである。

以上の外、計器製作者に依つて種々の周波計が組立てられて居るが、餘りに煩雜となる處があるから之を省く。

第三 同期検定器 (synchronizer)

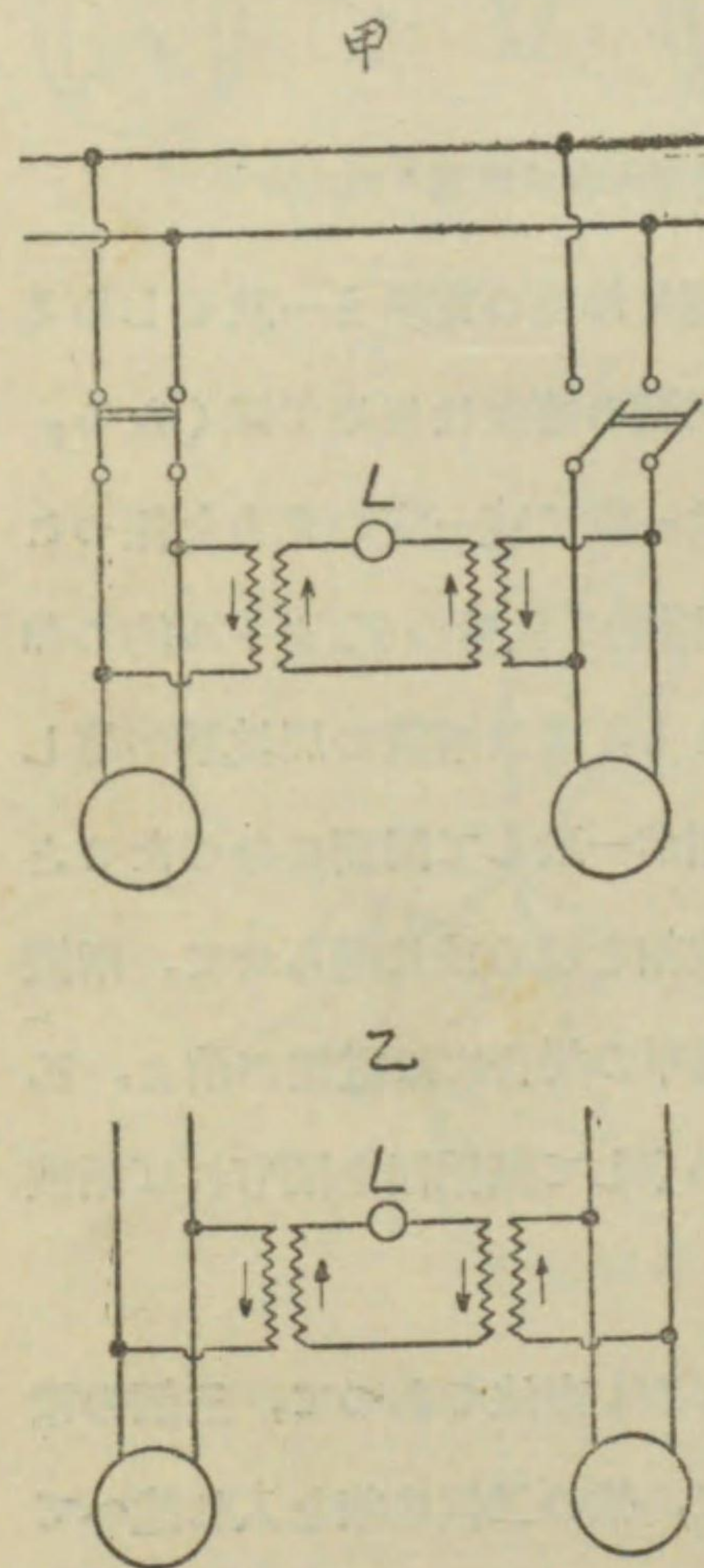
146. 電燈同期検定装置 (lamp synchronizer)

同期検定器は交流發電機の並行運轉に於て、交流機が同調 (synchronism) 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) 電壓相等しいこと、(2) 周波数相等しいこと、(3) 位相が相

一致することの三條件である。同期検定装置は此の内後の二條件を検するものである。

第 250 圖は電燈を使用する最も簡単な同期検定装置を示す。甲圖の場合は兩機が同調の時は電燈が全く消え、乙圖の場合は兩機が同調となるとき、電燈の光力が最大となるのである。若し兩機の周波数が一致しなければ、兩機の電壓は時としては相加はり、時としては相反し、其の結果第 251 圖の下圖に示す様に、周期的に大きさが變る合成電壓が電燈に加はるから、電燈は明滅を繰返すこととなる。而して周波数の差が大なる程、明滅を繰返す度数が多い。そこで新に並列に接続しようとする

第 250 圖



電燈同期検定器