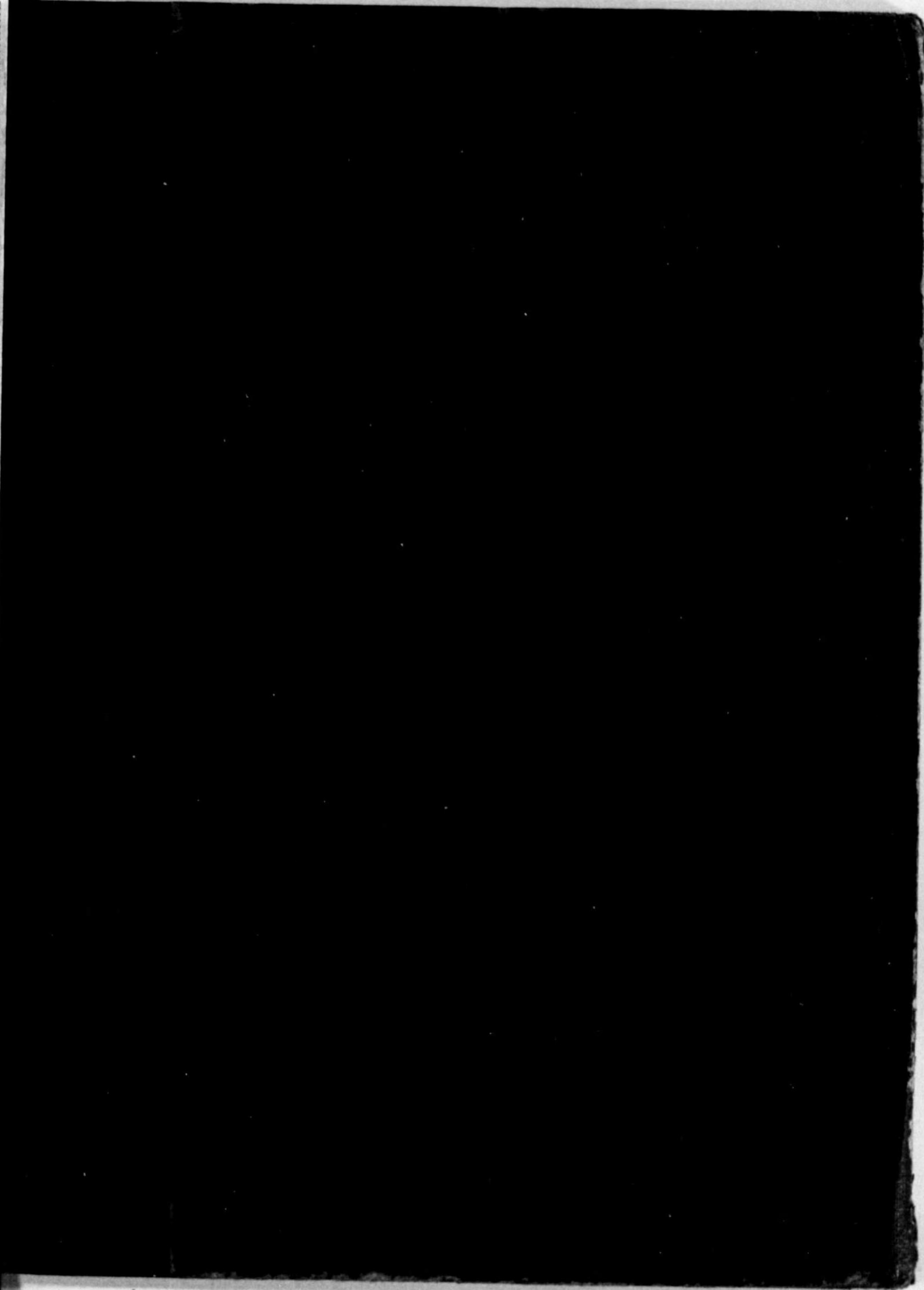
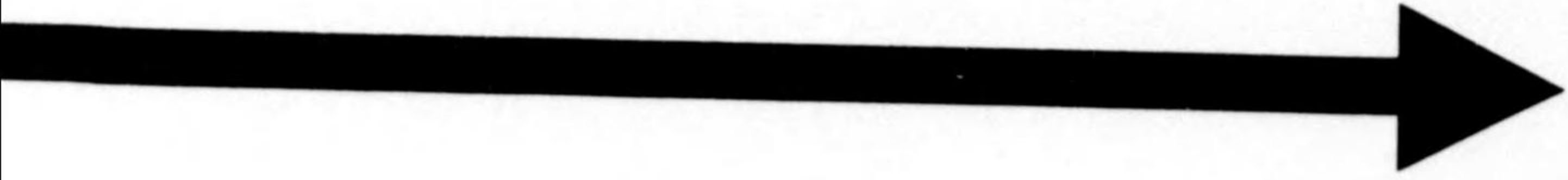


始



541.5
D582

541.5
D582

電氣磁氣測定



電機學園編

序

活氣ある電気の世界に巣立つて行く電気技術者にして、その實力を問われるとしたら、どの程度にまで「電気測定學」を理解し、身につけているかと云ふ事に由つて測る事が出来ると思う。それ程、この測定の學問は電気技術者の素質を仕上げる上に大なる影響を與へるものである。例えば、一つの計器を取扱うにしても、その構造、特性、取扱い方に精通していればいる程、そこに計器に対する充分の理解と深い愛着とを持つことになるから、その計器の持味を存分に發揮することが出来る譯である。なお電気測定の學問位、諸君が、苦勞して學んだ電気の基礎理論の一切を上げて、縦横に應用し活用する舞臺は他には一寸あるまいと思う。

それ故にこそ、本書は、多年本學園の教科書として、多數の生徒に親しまれてきたのは勿論、讀者一般からも良書として、非常な歡迎を受けてきたのである。然るに、近年電気測定は益々精密さを要求せられ、且つ斬新にして實用的な測定器具が多數市場に現われつゝあるに鑑み、今回その内容に再検討を加え、茲に改訂した次第である。

子を視ること親に如かずとか、本書は多年本學園に於て、測定講義に最も經驗の深き具志堅實成によつて執筆されたものにして、新制高等學校電気科生徒並に電檢受験者の參考書として、他に類例なき良書と信ずるものである。

昭和二十三年十二月

編者しるす



電氣磁氣測定

目次

第一章 測定概説..... 1

1. 緒言 2. 電氣磁氣單位 3. 原器 4. 副原器 5. 電氣測定器の種類 6. 誤差 復習問題 I

第二章 検流計.....12

1. 検流計の種類 2. 可動線輪検流計 3. 可動磁針検流計 4. 検流計可動部分の運動 5. 反照検流計の偏れの観測法 6. 検流計の感度 7. 検流計定数 8. 分流器 9. 携帯用検流計 復習問題 II

第三章 抵抗の測定.....28

1. 抵抗 2. ホイートストンブリッジの原理 3. ホイートストンブリッジの實例 4. 電壓降下法 5. 低抵抗測定の要件 6. ダブルブリッジ 7. 直偏法 復習問題 III

第四章 特殊抵抗測定法.....42

1. 電線の絶縁抵抗測定 2. 電圧計による高抵抗測定法 3. 抵抗計 4. メガ 5. 電解液の抵抗測定 6. 接地抵抗の測定 7. 電池内部抵抗の測定 8. 軌條ボンド抵抗の測定 復習問題 IV

第五章 電位差計.....67

1. 直流電位差計の原理 2. 直流電位差計の實例 3. 電位差計の應用 4. 交流電位差計 復習問題 V

第六章 電壓及び電流の測定.....83

1. 電氣指示計器 2. 指示計器の要素 3. 電圧計と電流計 4. 永久磁石可動線輪型計器 5. 電流力計型計器 6. 可動鐵片型計器 7. 熱型計器 8. 靜電電壓計 9. 誘導型計器 10. 整流型計器 11. 計器用變

成器 12. 真空管電圧計 復習問題 VI

第七章 電力の測定 121

1. 電圧計電流計による直流電力の測定 2. 単相交流電力, 附三電圧計及び三電流計法 3. 指示電力計構成の原理 4. 指示電力計の接続法
5. 電流計型電力計の特性 6. 誘導型電力計 7. 多相電力の測定法
8. 三相三線式回路の電力測定 9. 結合多線式電力に関する定理 10. 二電力計法による平衡三相電力測定 11. 一相の電力を測定して平衡三相電力を求める法 12. 三相電力計 13. 高電圧回路の電力測定 14. 無効電力の測定 復習問題 VII

第八章 種々の電気測定器 156

1. 種々の電気測定器 2. 力率計 3. 周波計 4. 同期検定器 5. 静電検漏器 6. 記録計器 復習問題 VIII

第九章 積算計器 177

1. 積算計器 2. 積算計器の構成要素 3. 直流用整流子電動機型積算電力計 4. 交流用誘導型積算電力計 5. 誘導型積算電力計の特性 6. 三相用積算電力計 7. 積算電力計の試験 8. 積算無効電力計 9. 最大需用表示器付積算電力計 復習問題 IX

第十章 オシログラフ 203

1. オシログラフの種類 2. 電磁オシログラフ 3. 陰極線オシログラフ 復習問題 X

第十一章 誘導係数及び静電容量の測定 209

1. 交流ブリッジ法 2. 測定用器具概説 3. 自己誘導係数の測定 4. 相互誘導係数 5. 誘電体損 6. 容量の測定 7. 誘電率の測定 8. 周波数ブリッジ 9. 高周波に於ける誘導係数の測定 10. 高周波に於ける容量の測定 復習問題 XI

第十二章 磁気測定 223


1. 磁気測定 2. 弾動検流計 3. 弾動検流計による磁界の測定 4. 磁

束計 5. 首鉛渦條による磁界の測定 6. 鐵の磁化曲線, ヒステリシス環線の決定法 7. 鐵損の測定 8. 鐵損の分離法 復習問題 XII

第十三章 遠隔測定 234

1. 遠隔測定 2. 電圧電流式遠隔計器 3. 平衡式遠隔計器 4. 衝流式遠隔計器 5. 高周波式遠隔計器 復習問題 XIII

(終)



電氣磁氣測定

第一章 測定概説

1. 緒言 凡てものの「あり高」を量と呼ぶ。或る種類の量の大小はそれと同種類の一定量を標準とし、此の標準量に對する其の量の比を以て表される。此の比を數値又は測數と稱し、標準量を其の種類の量の單位と稱する。即ち量は數値と單位とで表される。或る量が幾何單位を有するかを決定する事を其の量の測定と云ひ、測定に要する器具類を測定器と稱する。本編では電氣磁氣の諸量の測定法及び之に要する測定器を説明する。

2. 電氣磁氣單位 電氣及び磁氣諸量の單位には C. G. S. 靜電單位系, C. G. S. 電磁單位系, 實用單位系等がある。

(i) C. G. S. 靜電單位系は靜電氣學に於けるクーロン法則を基礎として定めたもので、長さ、質量、時間に夫々、厘、瓦、秒を採り、真空の誘電率を獨立量に採つてその値を1とした單位系で、靜電クーロン、靜電ボルト等は其の例である。

(ii) C. G. S. 電磁單位系は磁氣に於けるクーロン法則を基

量	C. G. S. 電磁單位の名稱	實用單位の名稱	(C. G. S. 電磁單位) (C. G. S. 靜電單位)	(實用單位) (C. G. S. 電磁單位)	(實用單位) (C. G. S. 靜電單位)
抵抗		オーム	$\frac{1}{9} \times 10^{-10}$	10^9	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$
電壓		ボルト	$\frac{1}{3} \times 10^{-10}$	10^8	$\frac{1}{3} \times 10^{-11}$
電流		アンペア	3×10^{10}	10^{-1}	3×10^9
電容量		クーロン	3×10^{10}	10^{-1}	3×10^9
インダクタンス		フアラド	9×10^{10}	10^{-9}	9×10^{11}
起磁力	ギルバート	アンペリ	$\frac{1}{9} \times 10^{-10}$	10^9	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$
磁界の強さ	ヘルムホルツ		3×10^{10}	10^{-1}	3×10^9
磁束密度	マクスウェル	ウェーバ	$\frac{1}{3} \times 10^{-10}$	10^8	$\frac{1}{3} \times 10^{-11}$
磁束	マクスウェル		$\frac{1}{3} \times 10^{-10}$	10^{-10}	$\frac{1}{3} \times 10^{-10}$

第1.1表 各單位間の關係

礎として定めたもので、長さ、質量、時間に夫々、厘、瓦、秒を用ひ、真空の導磁率を獨立量に採つてその値を1とした單位系で、電磁クーロン、電磁ボルト等は其の例である。

(iii) 實用單位系はC. G. S. 電磁單位系から導かれたもので、クーロン、ボルト等は其の例である。第1.1表は之等の三系統の關係を示す。

(iv) 國際單位 實用單位は上述の様に定められたが、國際間に之を具體的に現はす爲に明治41年(皇紀2568年)10月ロンドンで電氣單本位國際會議が開かれ、電氣測定上及び法律制定上の基とする目的で、抵抗の國際オーム及び電流の國際アンペアを一次單位に選ひ、夫々次節に述べる水銀抵抗原器及び銀ボルタメータを原器として用ひ、他の單位は之等より導く方法を決議した。之等の單位を國際單位と稱する。我國では此の決議に基き、明治43年3月電氣測定法が發布せられた。此の法律に定めてある定義は次の通りである。

(イ) 電氣抵抗の單位(オーム) オームは氷の融解溫度に於て質量 14.4521 瓦、長さ 106.300 cm にして、均一の切斷面積を有する水銀柱の不變電流に對する電氣抵抗を謂ふ。

(ロ) 電流の單位(アンペア) アンペアは硝酸銀の水溶液を通過し毎秒 0.00111800 瓦の銀を分離する不變電流を謂ふ。

(ハ) 電壓の單位(ヴォルト) ヴォルトは1オームの電氣抵抗

を有する導体に1アムペアの不變電流を發生せしめるため要する不變電壓を謂ふ。

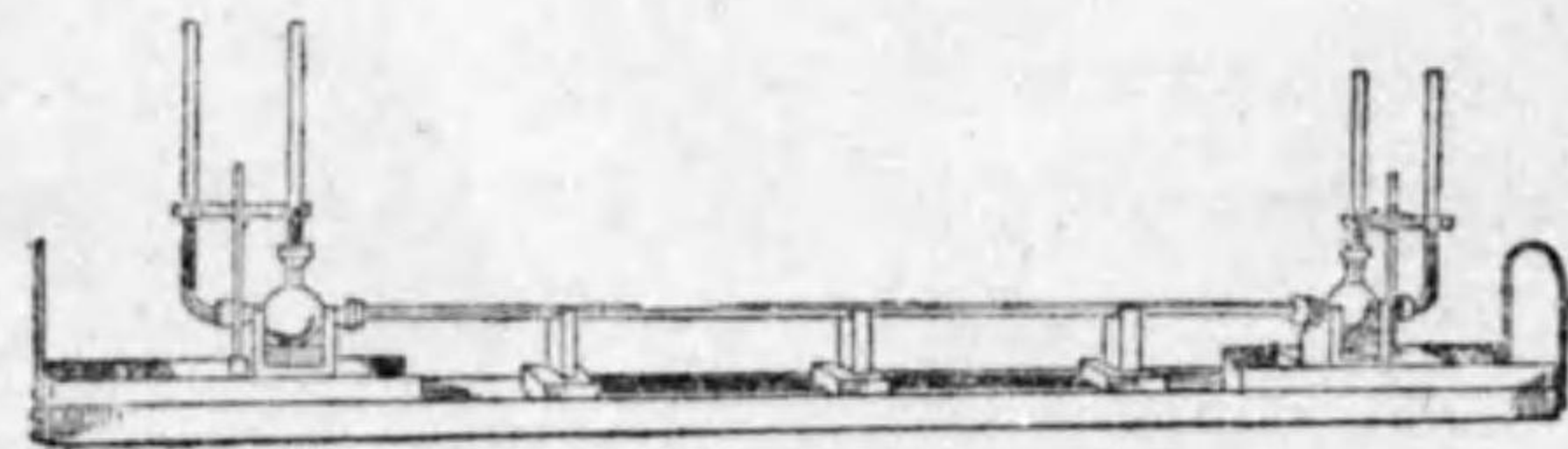
(ニ)電力の單位(ワット) ワットは1ヴォルトの電壓に於て1アムペアの不變電流に依り毎秒費される電氣勢力を以て表示する電力を謂ふ。

所が昭和12年に内閣資源局が電氣用語を官報に公布した際、ヴォルトはボルト、アムペアはアンペアに改められたから、以下之を使ふ。其の他の單位名もすべて上記測定法に依らず電氣用語に依る事とする。

3. 原 器 法律で定めた抵抗のオーム、電流のアンペアを示す標準器を原器と稱し、我國では軍需省電氣試験所に保管されてある。原器は時と處との如何に拘らず常に同じ値を表すもの即ち安定度の高い事と、再生し得る事とが必要條件である。次に抵抗原器及び電流原器を概説する。

(イ)電氣抵抗原器 第1・1.圖は水銀抵抗原器を示す。之は

第 1・1 圖



抵 抗 原 器

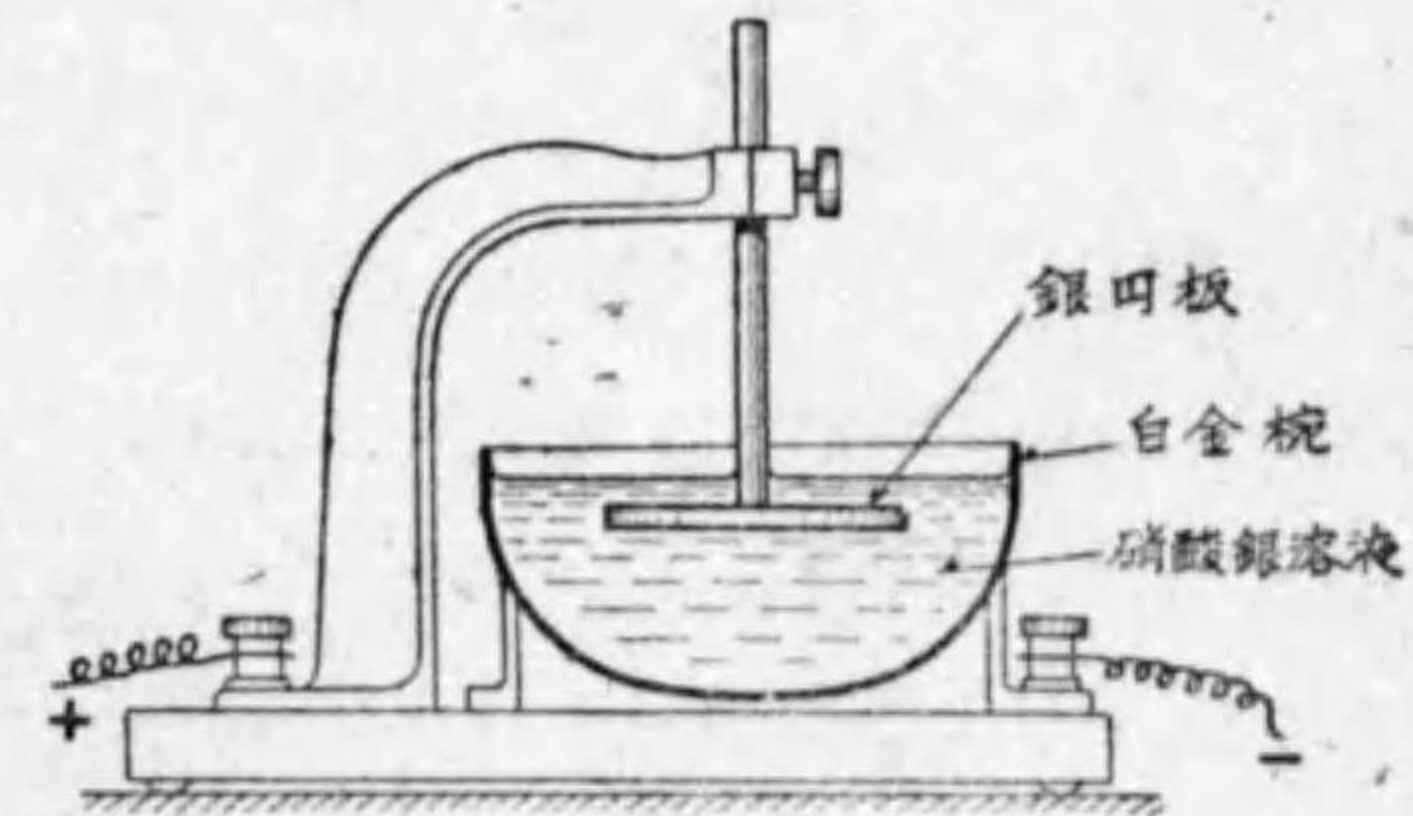
品質優良なガラス管中に純粋な水銀を充したものである。氷の融解温度で丁度長さ106.300 糎、質量14.4521 瓦ある水銀柱を作る事は困難だから、ガラス管の切斷面積約1平方糎、管孔が成る可く一様なものを選び、略1オームとなる様な長さに切つて之で水銀柱を作る。此の水銀柱の抵抗 R は管の長さ L (糎)、管に充した水銀の質量 M (瓦)、管孔の太さの不同の度等を測定して次式で計算される。

$$R = \mu \frac{14.4521}{(106.3)^2} \times \frac{L^2}{M} \text{ オーム} \quad (1 \cdot 1)$$

茲に μ は管孔の太さの不同に依る更正係數である。

(ロ)電流原器 第1・2 圖は電流原器たる銀ボルタメータの

第 1・2 圖



銀ボルタメータ

略圖で、之は銀の電氣分解作用を應用したものである。硝酸銀の溶液を充した白金椀内に、銀の圓板を懸垂したもので、銀圓板を陽極とし、白金椀を陰極として電流を通ずると、電氣分解作用で、硝酸銀溶液中の銀が白金椀に沈澱する。此の分離した銀の量は通過した電量に比例するから、ボルタメータに不變電流を t 秒間通じ

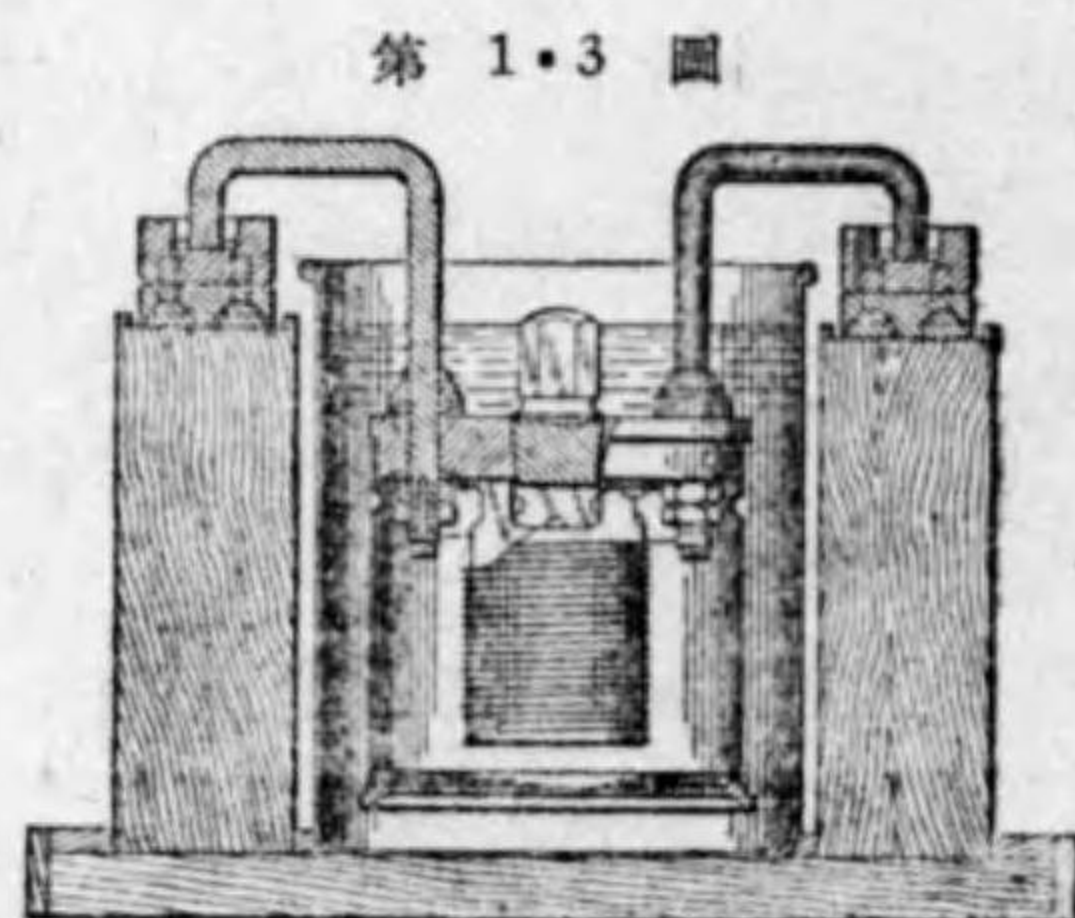
た時、電流を通ずる以前に w_1 瓦であつた白金碗の重量が w_2 瓦に増加したとすれば、通過電流 I は次式で表される。

$$I = \frac{w_2 - w_1}{0.001118 t} \text{ アンペア}$$

4. 副原器 原器は測定上極めて精密な注意を要し、其の取扱ひも簡単でないから、實用上は原器と比較測定して値を定めた便利な標準器が必要となつて来る。この様な標準器を副原器と稱する。副原器には抵抗及び電圧を表す標準器がある。副原器は相當永い間その値が不変で、温度や湿度等の影響が極めて小さければ宜しい。

(イ) 電気抵抗副原器 抵抗副原器に用ひられる抵抗體は、銅 84, マンガン 12, ニッケル 4 の割合で出来たマンガニンと稱する合金である。此のマンガニンは固有抵抗が比較的大 ($12 \mu\Omega/\text{cm}^3$) で、温度係数が極めて小さく (15° 乃至 30°C で殆ど 0), 銅に對する熱起電力が小 (約 $2 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) で、且つ其の固有抵抗が歳月と共に殆ど變らないから、抵抗副原器用の抵抗體として最も適當である。

第 1・3 圖は獨逸理工實驗所型の抵抗副原器を示すも



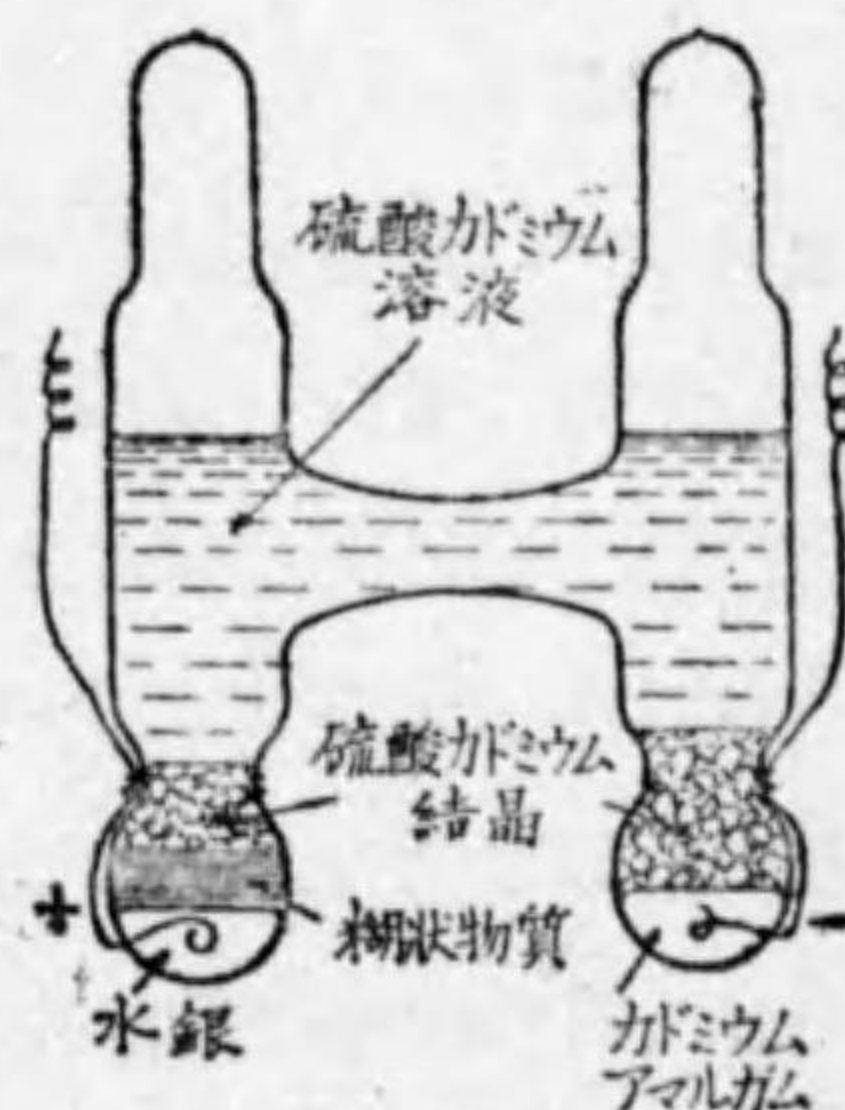
獨逸理工實驗所型抵抗副原器

第 1・3 圖

のである。

(ロ) 電圧副原器 電圧の副原器としてはウェストン標準電池を用ひる。之を一名カドミウム電池とも稱する。第 1・4 圖はウェストン標準電池を示すものである。

第 1・4 圖



ウェストン標準電池

飽和溶液で練り合はせた糊状物質を置いてある。又カドミウム・アマルガムの上部及び糊状物質の上部に硫酸カドミウム結晶を加へて置いて、温度が變化しても常に硫酸カドミウムの溶液を飽和状態になる様にしてある。

ウェストン標準電池は攝氏 20 度で 1.0183 ボルトの起電力を有し、攝氏 t 度に於ける起電力 E_t は次式で表される。

$$E_t = 1.0183 - 0.0000406(t-20) - 0.00000095(t-20)^2 + 0.00000001(t-20)^3 \text{ ボルト}$$

5. 電気測定器の種類 電気諸量の測定に使用する測定器

の名稱及び使用目的の概略を示すと次の様である。

(イ)檢流計 之は主として微小な電流の測定又は微小電流の存在しない事を確める目的に使用される。微小なる電壓の測定に使用されるものに電位計がある。

(ロ)ブリッチ 主に電氣抵抗の測定に使用されるが、インダクタンス、静電容量等を測定する交流ブリッチもある。

(ハ)電位差計 電壓、電流の精密測定が主であるが、電氣抵抗、電力等の測定にも使用する。

(ニ)指示計器 目盛盤上の指針の偏れの讀を取ると、電氣諸量が實用單位で示される計器で、電壓計、電流計、抵抗計、電力計、其の他周波計、力率計等がある。

(ホ)記録計器 電氣諸量の時々刻々の大略の變化を圖紙上に自動的に記録する計器で、記録電流計、記録電壓計及び記録電力計等がある。

(ヘ)オシログラフ 電氣諸量の瞬時的の變化を記録するもので、電流、電壓等の波形の研究とか利用方面は廣範圍である。

(ト)積算計器 電氣諸量を自動的に計量するもので、積算電力計が其の代表的のものである。

(チ)遠隔計器 被測量を遠く離れて測定し得る装置である。

(リ)分流器、倍率器、計器用變成器 測定範圍を擴大するために使用される。

6. 誤差 被測量の測定に際し、其の眞値を求めることは不可能である。測定値と眞値との差を誤差 (error) と云ふ。然し眞値は見出し得ないから、合理的方法で求められた最も確らしい値を以て眞値に代用する。今測定値を M 、眞値を T とすれば、 $M - T$ が誤差である。之が眞値 T に對する比を百分率で表したものを誤差率又は百分率誤差と云ふ。即ち百分率誤差を ϵ とすれば、

$$\epsilon = \frac{M - T}{T} \times 100 \% \quad (1 \cdot 2)$$

誤差の原因を分析すると系統誤差と偶發誤差とに分けられる。系統誤差とは測定値に必ず一定の法則に従つて含まれるもので、例へば、測定の理論或は量の關係式で假定を設けたり、或は省略を用ひたりした爲に起る理論的誤差とか、又は測定器具の値の狂ひ或は溫度變化の影響等により器具の狂を生じた爲の器具的誤差とか、又は測定者の癖により過大に讀み又は過小に讀むために生ずる個人誤差等を云ふ。之等の誤差は充分の注意を以て之を除き得る。即ち理論の省略を正し、器具の狂ひを直ほし(又は狂ひが小なる時は後述の更正值を求めて更正を施し)、測定回数を増して其の平均を取るとか又は測定者を取替へてやるとかすると系統誤差は除き得る。然し之等の誤差を除いても尙ほ残る偶然に起る誤差がある。之を偶發誤差と云ふ。之は其

の原因が豫知出来ない様な現象のため生ずる誤差で、之を軽減する最も簡単の方法は直接測定の場合に、被測量を何回も測定して各測定値の平均値を以て最も確らしい値とするのである。

更正とは眞値 T より測定値 M を引きたる ($T-M$) を云ふ。之が M に對する比を百分率で表したものを**更正率**又は**百分率更正**と云ふ。之を α とすれば、

$$\alpha = \frac{T-M}{M} \times 100 \% \quad (1.3)$$

測定器ではその測定値 M を眞値 T に換算するには此の更正率 α を求めて置くと便利で、(1.3) 式より次の様になる。

$$T = M \left(1 + \frac{\alpha}{100} \right) \quad (1.4)$$

更正率が相當に大であるか或は度々使用するものは、被測値を横軸に、眞値を縦軸にして曲線に描き置き、それに依り被測値から眞値を知る事も多く行はれる。

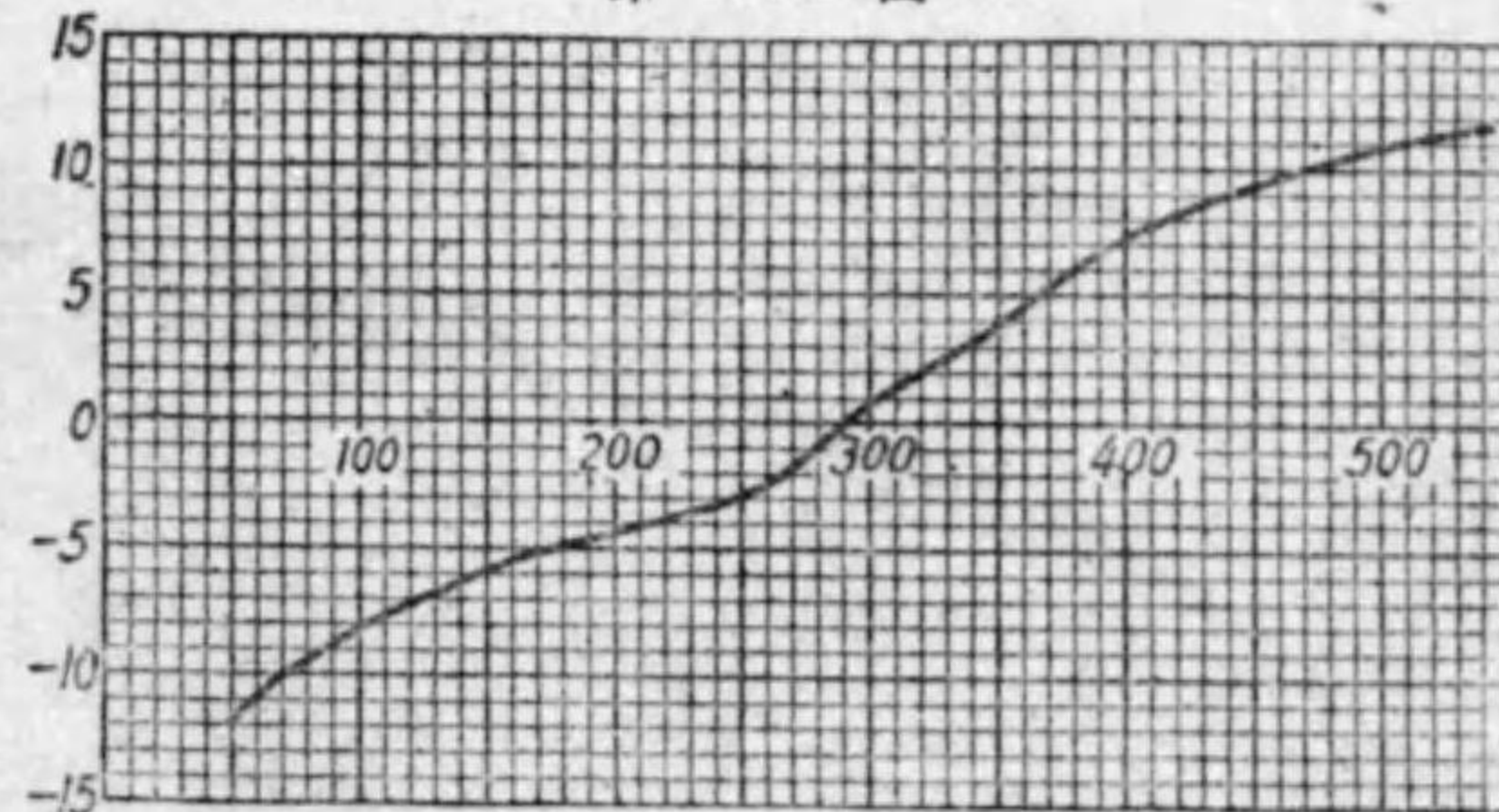
復 習 問 題 I

- 3種の単位系の名稱を挙げよ。
- 電圧の 2,000,000,000 C. G. S. 電磁単位は實用單位で何程か。又電流の 35 C. G. S. 電磁單位は如何。
- 690,000,000 C. G. S. 靜電單位の電量は實用單位で何程か。
- 國際單位とは何ぞや。國際オームの定義を述べよ。
- 我が國では電流の 1 アンペアは如何に定義せられるや。それと國際單位との關係如何。

- 電氣の原器とは如何なるものか。それは何と何とであるか。
- 副原器とは如何なるものか。實例二つを示せ。
- マンガンが抵抗副原器の抵抗材料として適當なる理由 4 項を列記せよ。
- ウェストン標準電池の構造の大要を述べ、且つ攝氏 0° に於ける其の起電力を算出せよ。
- 電氣計器の主なる種類 5 を挙げよ。
- 測定の誤差率とは何か。測定の更正率との相違を述べよ。
- 指定せられた方法に依り指定の計器を使つて誤差を少なくする方法を述べよ。
- 眞値 5.32Ω の抵抗に 100 ボルトの電壓を加へて電流を測定したるに 18.52 アンペアの電流が流れたりと言ふ。この抵抗測定法の誤差率如何。
- 上問の場合に抵抗値及び電壓計は正確なりとすれば電流計の更正率如何。
- 誤差率が負なりとは眞値と測定値とどつちが大なのであるか。更正率の正負は如何。
- 第 1.5

圖は某照度計の更正率曲線なり。測定値が次の場合の眞値を算

第 1.5 圖



出せよ。60 ルクス、210 ルクス、315 ルクス、430 ルクス、520 ルクス

第二章 檢 流 計

1. 檢流計の種類 檢流計 (galvanometer) とはマイクロアンペア以下の微小電流を検するもので、電流と磁石との間に働く電磁力を利用したものである。

檢流計は其の構造上から二種に分けられる。即ち固定線輪の中央に、可動小磁針を懸垂線で吊したものと、固定された永久磁石の極間に、軽い可動線を吊したものとで、前者を**可動磁針檢流計**、後者を**可動線輪檢流計**と呼ぶ。普通多く使用されるのは後者である。

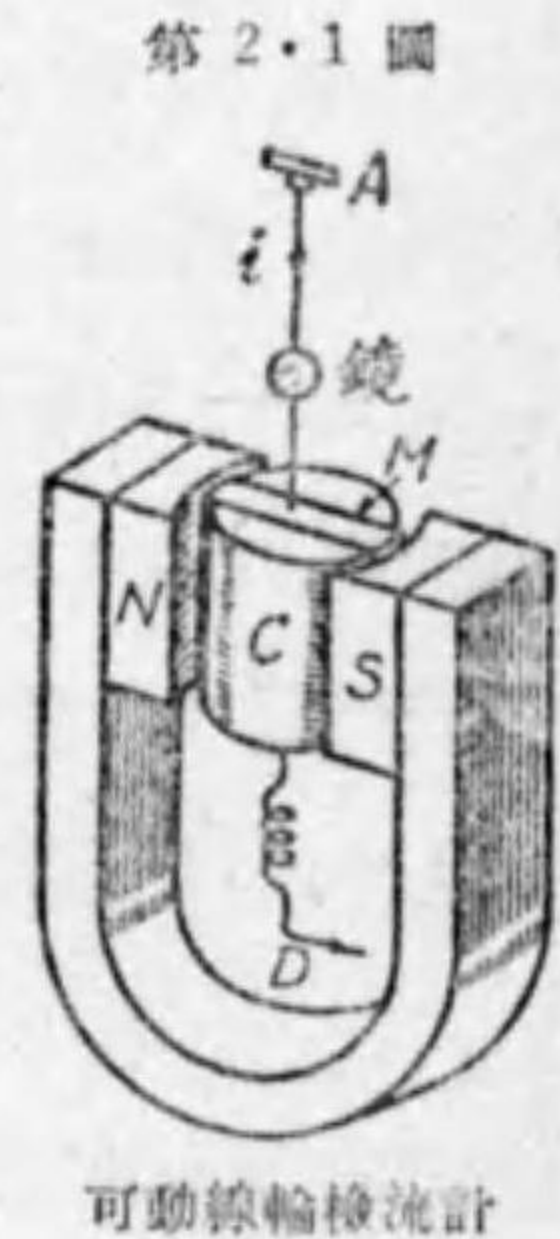
檢流計線輪に電流を通ずると、可動部分は電流の値に應じた角度だけ偏れる。此の傾斜角を檢流計の**偏れ**と稱する。偏れの觀測法に依つて檢流計は又**反照檢流計**と**指針檢流計**との二種に分けられる。前者は可動部分に小鏡を取付け之に光を當て、目盛した尺度上に反射させ、此の尺度上の光點の動いた長さから偏れを觀測する方法のもので、後者は可動部分に指針を取付けてあつて目盛盤上に偏れを指示させるものである。

電流の代りに極めて短時間に通過した全電量を測る測定器を**彈動檢流計**と稱する。之は容量や磁氣測定等に用ひられる。

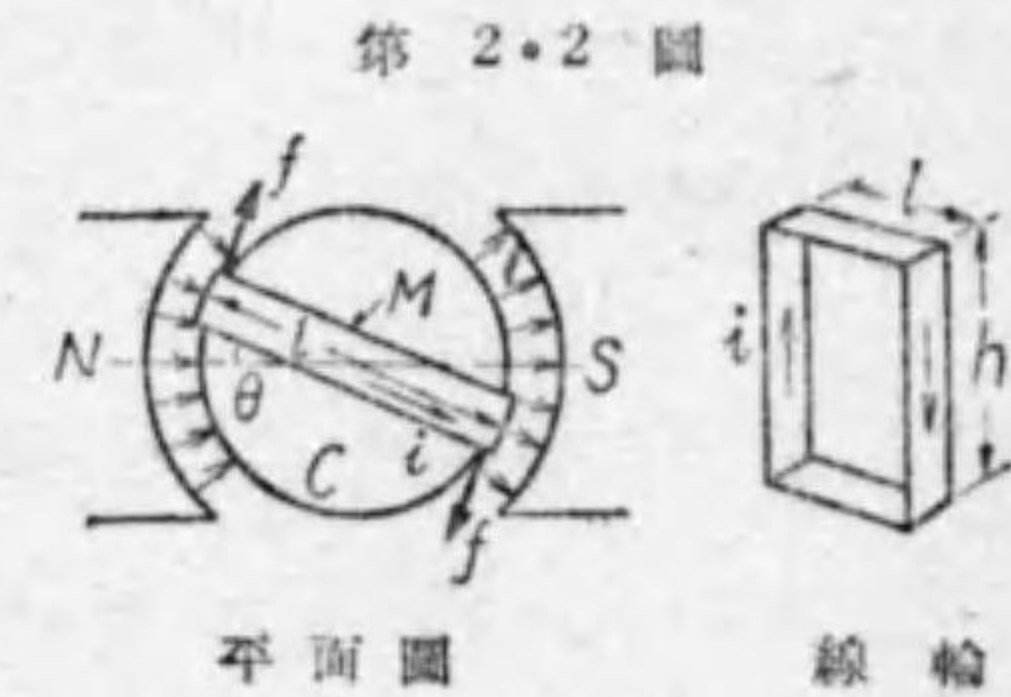
普通に檢流計と云へば直流用檢流計の事であるが、微小な交

流を検する測定器を**交流檢流計**と稱する。交流檢流計には熱檢流計、振動檢流計等がある。前者は電流の熱作用を利用したもので、直流にも用ひられる。彈動檢流計其の他は後で述べる。

2. 可動線輪檢流計 第 2・1 圖は可動線輪檢流計を示す。U 字形永久磁石の磁極 NS 間に圓筒形の軟鐵心 C があつて、空隙の磁界を平等な強さの輻射狀磁界にしてある。空隙には可動線輪 M が磷青銅の線で懸垂され磷青銅線には偏れの觀測用の小鏡が取付けられて居る。第 2・2 圖はその動作原理を示す略圖である。



線輪 M に電流を通じない場合は M は圖で水平の位置 (零位) に静止して居る。磷青銅線を経て M に電流を通ずると、之と NS の作る磁界との電磁力



f により M を回轉せしめるトルクを生じ、一方磷青銅線が捻ぢられるため零位に復歸せんとするトルクを生じ、此の兩トルクが釣合つて線輪 M は圖に示す様に偏れ θ をなして静止する。一般に被測量によつて可動部分を回轉せしめるトルクを**駆動ト**

ルクと稱し、又之に反抗して零位に復歸せしめようとするトルクを制御トルクと稱して居る。

今、 i =線輪の電流 (電磁アンペア)、 $H=NS$ による磁界の強さ (エルステッド)、 h =線輪の高さ (寸)、 l =線輪の幅 (寸)、 n =線輪の巻数

とすれば、駆動トルク T_d は、

$$T_d = f \times l = iHhn \times l = Gi \quad (\text{cm-dyne}) \quad [\text{但し } G = Hhn]]$$

懸垂線の制御トルク T_c は偏れ θ に比例するものであるから、単位角に対する制御トルクを τ (ダインセンチメートル/ラジアン) とすれば (此の比例定数 τ を制御トルク定数と稱する)、

$$T_c = \tau \theta \quad (\text{cm-dyne})$$

此の兩トルクが釣合つて居るから、 $T_d = T_c$. . . 第 2・3 圖

$$\therefore Gi = \tau \theta$$

$$\therefore i = \frac{\tau}{G} \theta = K_0 \theta \quad [\text{但し } K_0 = \frac{\tau}{G}]]$$

即ち電流 i は偏れ θ に正比例する。

可動線輪検流計では、磁界は永久磁石で作られた強い磁界であるから、附近の弱い外部磁界の變動による零點の變動がない。

第 2・3 圖は横河電機製作所製の可動線輪検流計を示す。



横河電機製作所製
可動線輪検流計

3. 可動磁計檢流計 此の型は主として實驗所で使用されるものであつて、次の様な種類がある。

(イ) 正切檢流計 半徑 r 、巻数 n の圓形線輪を地球磁氣の子午面に置き、その中心に長さ l 、極の強さ m なる小磁針を置き、線輪に i 電磁アンペアを通して θ だけ偏れたとすれば

$$\text{電流の生ずるトルク} \quad T_d = \frac{2\pi n}{r} i m l \cos \theta$$

$$\text{地球磁氣水平分力 } H_e \text{ のトルク } T_c = H_e m l \sin \theta$$

磁針が静止したときにはこの兩トルクは等しいから

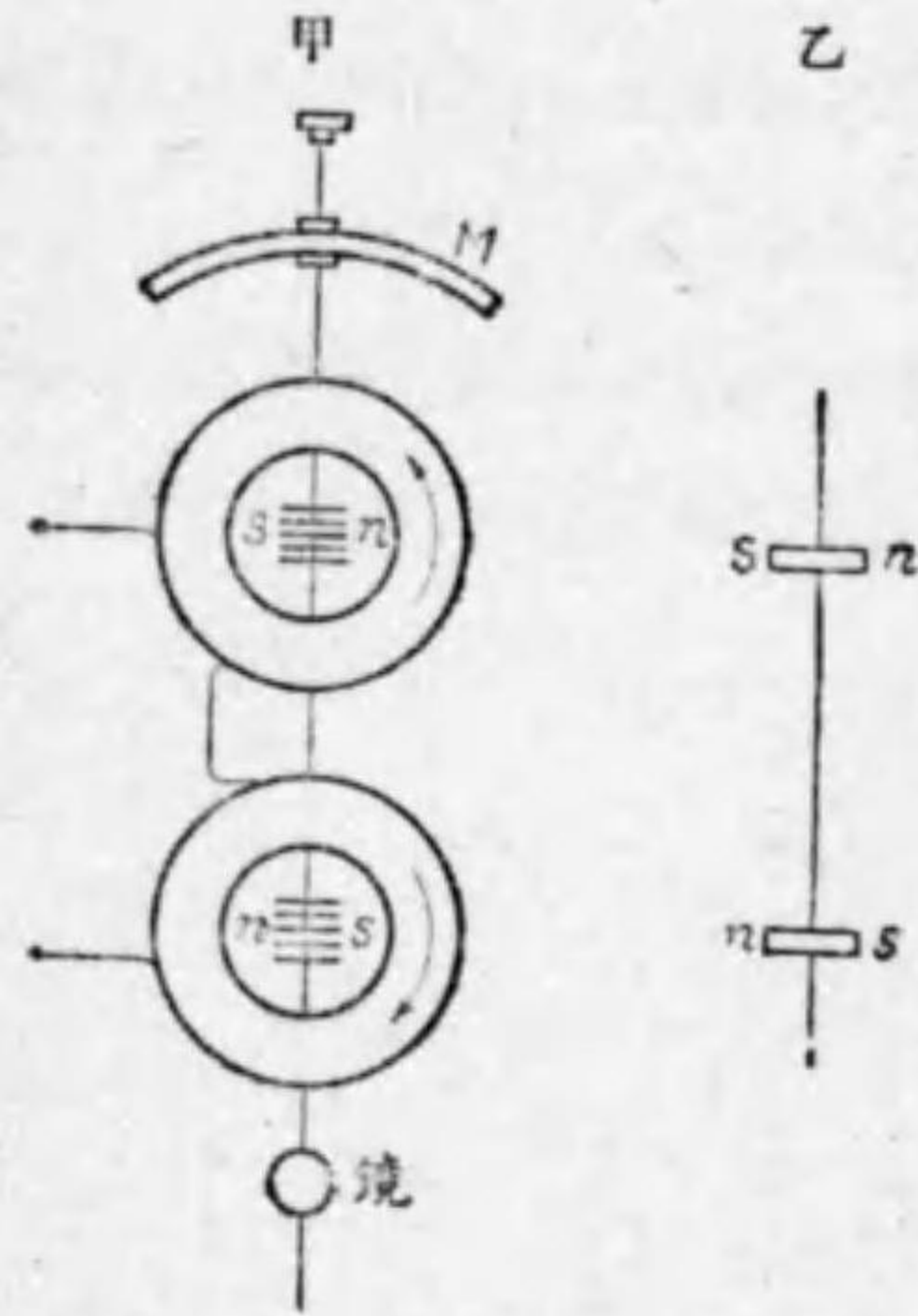
$$i = \frac{H_e r}{2\pi n} \tan \theta$$

この様に基本量から求める測定法を絶対測定法と言ひ、之に對し同種のものの比較に依るものを比較測定法と言ふ。

(ロ) 無定位檢流計 正切檢流計と反對に地球磁氣の影響を除き、線輪の上方に設けた弓形永久磁石の磁界を利用するため、第 2・4 圖乙の様に上下に NS を反對に並べた磁針を多くは反照用小鏡の裏に貼付けたものを使ふ。之を無定位磁針と言ひ、この磁針を使つたものを無定位檢流計と言ふ。第 2・4 圖甲は線輪を 2 個を使つた一例である。

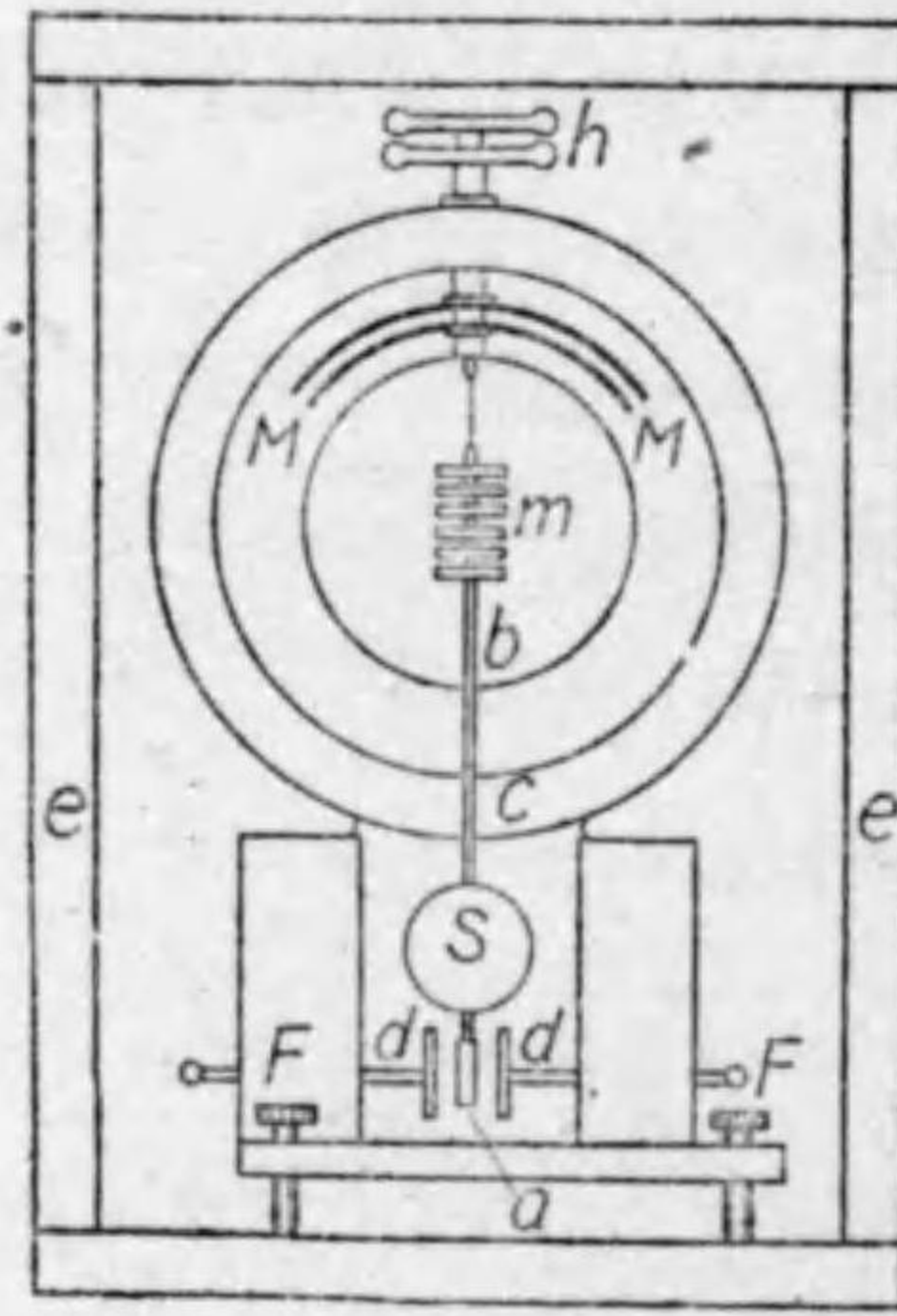
(ハ) 遮磁檢流計 地球磁界や他の外部磁界を遮斷する目的で珪素鋼製の圓筒形遮磁壁で包んだものを遮磁檢流計と言ふ。研

第 2・4 圖



トムソン無定位檢流計 無定位磁針

第 2・5 圖



遮磁檢流計

究所の精密測定に使用せられる。第 2・5 圖は其の一例である。

4. 檢流計可動部分の運動

檢流計に急に電流を流したときとか、流れて居る電流を急に零にしたとき等の檢流計の偏れは止まるべき所の前後に振動して暫く後に正當の所に靜止するのである。之は運動體に慣性があるためである。

檢流計は、出来るだけ早く正當の位置に靜止するのが望ましい。この目的達成のためには、運動のエネルギーを早く消耗させればよい。

運動のエネルギーを消耗させる方法には、電磁的方法とか空氣

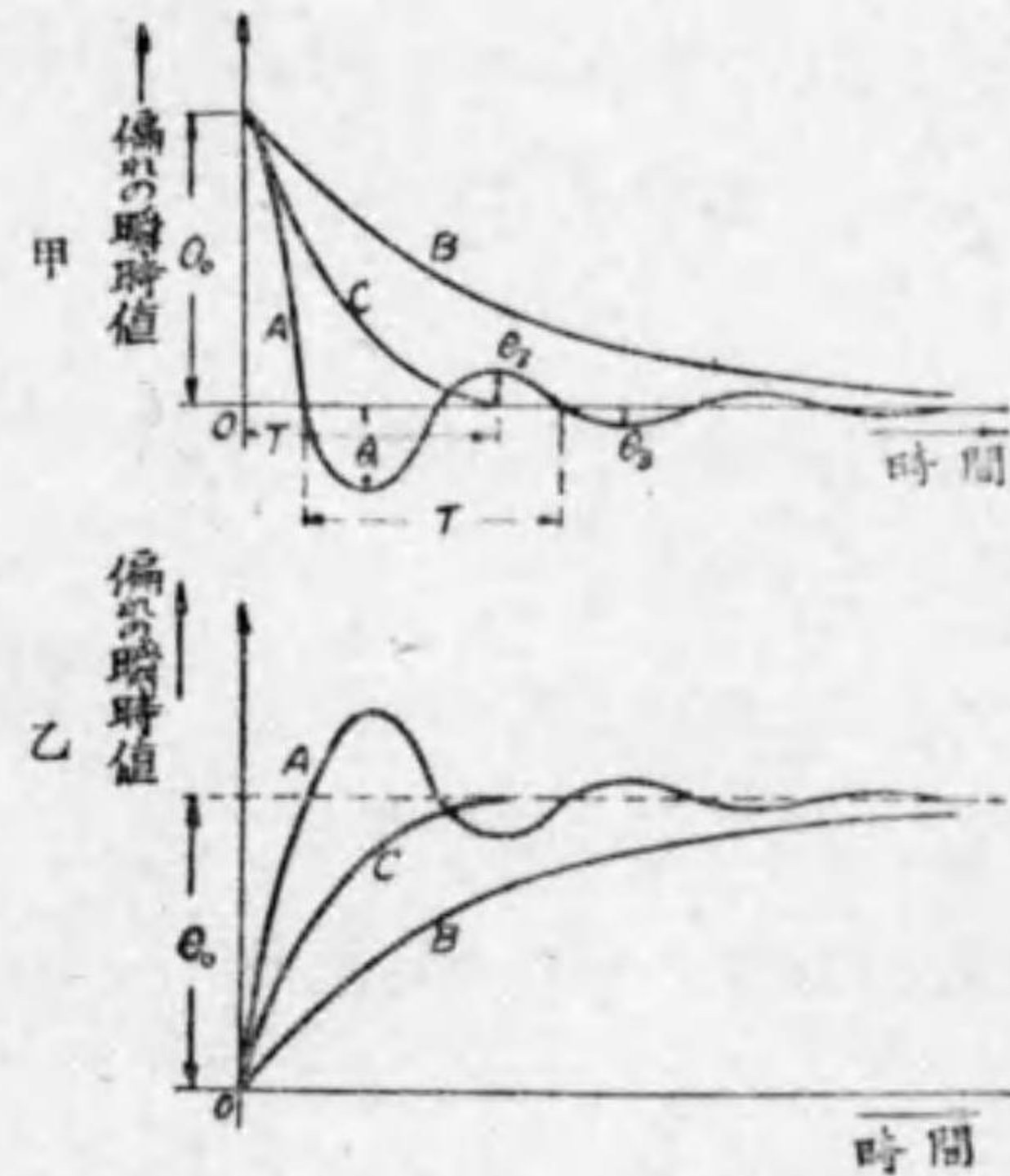
の摩擦等を利用するのである。言を變へて云ふと結局運動の方向と反對方向にトルクを發生せしめる事であつて、このトルクを制動トルクと稱する。

電磁的方法に依つてこの制動トルクを作る方法は、可動線輪の巻枠にアルミニウム枠を使用するのである。斯くすれば可動部分が動くときと枠が磁束を切つて電流が枠に流れる。この電流と磁線との電磁作用によつて制動トルクが出来る。導體枠を使用しなくとも可動線

輪と並列に抵抗が挿入されて居つても制動トルクの出来る理由は同一である。

空氣の摩擦を利用するのは、特に裝置を施さなくとも線輪が運動するとき幾分か空氣制動となる。然しこれでは制動不十分であるから第 2・5 圖の様に、可動部分にアルミニウムの羽根 a を取付けるのである。

第 2・6 圖



甲…檢流計の電流を切つた場合の三種の運動
乙…檢流計に急に電流を通じた場合の三種の運動

制動トルクの大小と可動部分の運動の関係を、横軸に時間、縦軸に偏れを取つて示すと第 2・6 圖甲乙の様である。A は制動トルクが小さいとき、B は大き過ぎたときで、C はこれ等の中間で最も早く正當な所に静止することを示すのである。C のやうな制動を**臨界制動**と稱する。この様に振動がなくて直に静止する事を**速指**と云ふ。

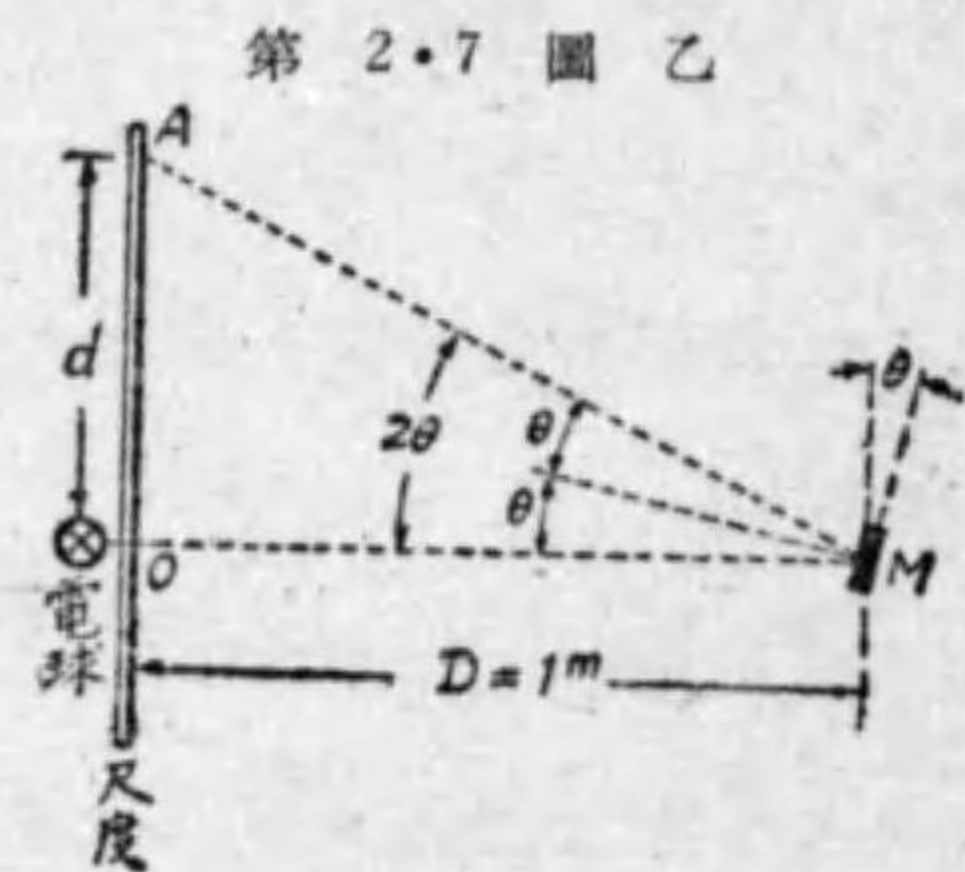
5. 反照檢流計の偏れの觀測法

反照檢流計の偏れを觀測するには普通第 2・7 圖甲に示す様に電球と尺度を使用する。即ち乙圖に示す様に、檢流計の鏡面に平行に距離 D が 1 m なる處に尺度を置き、檢流計が偏れない場合に、電球から出た光が檢流計の鏡に當り反射されて尺度上の中央に光點を生せしめる様に尺度の零位を調整して置く。次に檢流計に電流を通ずると、鏡はそれに應じて偏れ θ だけ傾き、電球から出た光は鏡に入射し反射されて A 點に光點を生ず



第 2・7 圖 甲

電球と尺度



第 2・7 圖 乙

偏れの觀測法

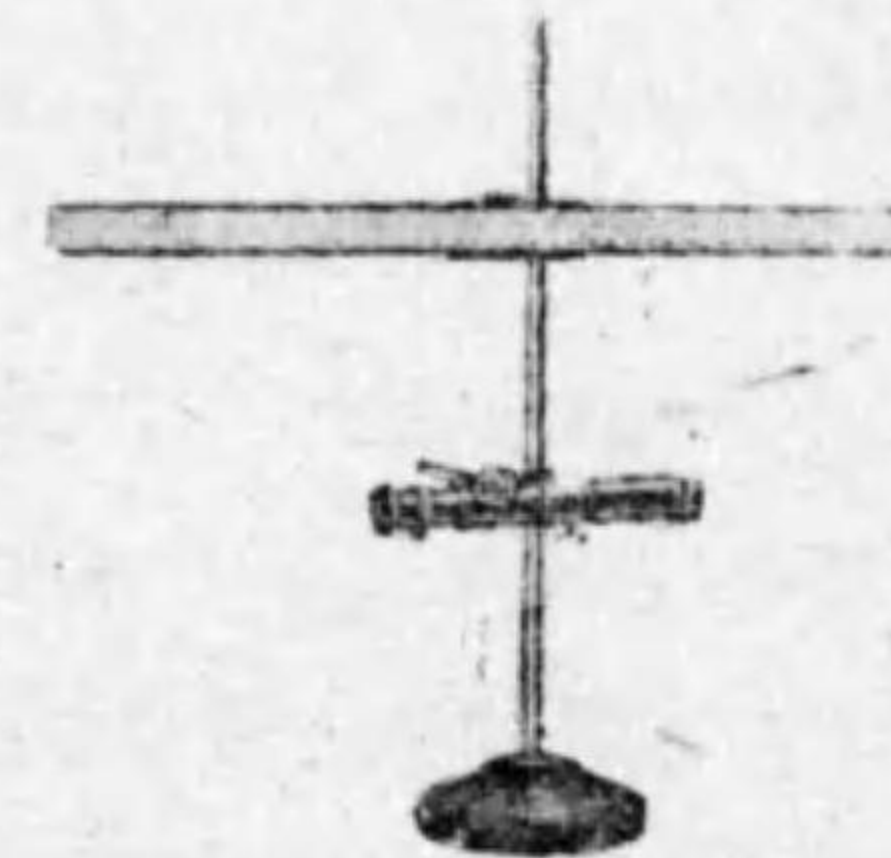
る。入射角も反射角も θ に等しいから、光點移動距離 OA を d とすれば、

$$\tan 2\theta = \frac{d}{D} \quad \therefore \theta = \frac{1}{2} \arctan \frac{d}{D}$$

従つて θ を算出し得る。偏れが小なる場合は、 $\theta \approx \frac{d}{2D}$ としてよい。

偏れの觀測に電球と尺度とを用ふる代りに第 2・7 圖丙の様に望遠鏡と尺度とを用ふるもよい。其の原理は第 2・7 圖乙と同様である。此の場合には鏡にうつる尺度上の目盛を望遠鏡で讀むから、目盛は左文字のものを用ふ。

第 2・7 圖 丙



望遠鏡と尺度

6. 檢流計の感度 檢流計の感度には電流感度と電壓感度との二つある。

(イ)電流感度 電流感度とは單位偏れに對する電流を云ふ。實用上檢流計と尺度との距離 D が 1 m の時、尺度上 1 mm の偏れを生せしめるに要する電流 (マイクロアンペア單位) を以て表す (電流感度の表し方に之と反對に、マイクロアンペアを通した時の偏れの耗數で表す方法もある)。

(ロ)電壓感度 電壓感度とは單位偏れに對する檢流計端子間

の電圧を云ふ。實用上は尺度と鏡との距離が1mの時、尺度上1mmの偏れを生ぜしめる爲に檢流計端子に與ふべき電圧を以て表す(尙ほ詳しく云へば、可動線輪檢流計では檢流計を臨界制動とし、其の回路に電圧 e マイクロボルトを與へた時の偏れ d mmを得たとすれば、 e/d を以て電圧感度とする)。檢流計回路の抵抗が R_g オームで、其の電流感度及び電圧感度が夫々 i_0 ($\mu\text{A}/\text{mm}$), e_0 ($\mu\text{V}/\text{mm}$) ならば次の關係がある。

$$e_0 = i_0 R_g$$

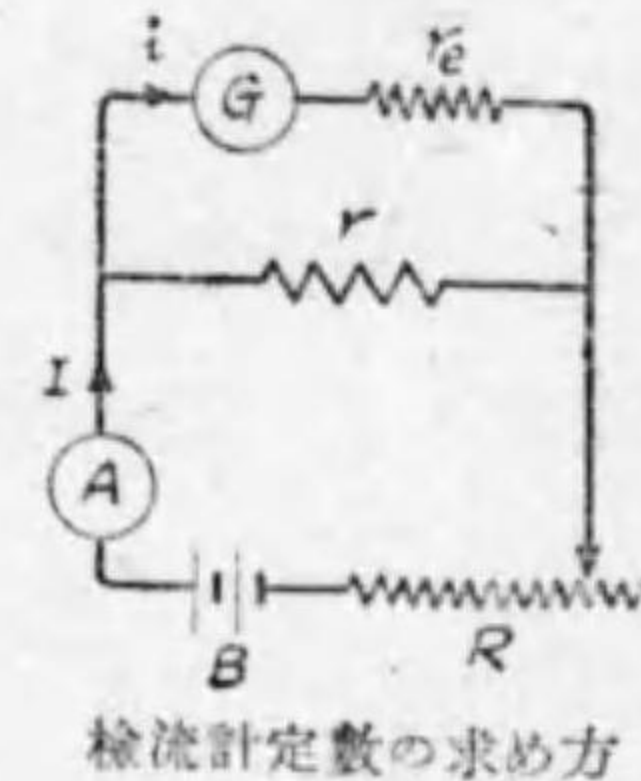
電流感度の良いものを選ぶか電圧感度の良いものを選ぶかは測定の目的に依る。檢流計の偏れに依り電流又は電流の變化を利用する偏位法の場合(例へば絶縁抵抗測定の場合)は電流感度の良い比較的高抵抗の檢流計を使用した方がよい。又二點間の電位差とか又は電位差の有無を検しようとする様な零位法の場合(例へば後に述べるホイートストンブリッジや電位差計等)には電圧感度の良い比較的低抵抗の檢流計を用ひるが良い。

7. 檢流計定數 檢流計の偏れによつて電流の値を決定する場合には、單位偏れに對する電流の値即ち電流感度を決定し置く必要がある。此の爲には偏れが小なる場合は、電流 i は偏れの角 θ 又は尺度上の偏れ d に比例するから、

$$i = K_0 \theta \quad i = K d$$

此の K_0 又は K は電流感度を示すもので、**檢流計定數**と稱せられる。實用上は K を決定しておく。第2・8圖は檢流計 G の電流感度を決定する方法を示す。 r_e は檢流計を臨界制動とする外部抵抗、 r は極く小なる抵抗である。 R は電流を調整する爲の加減抵抗器、 B は2ボルト乃至4ボルト位の電池、 A は電流計(之は後章に詳しく説明するが、可動線輪檢流計と同一原理で作られた電流計)である。

第2・8圖



今檢流計の電流を i 、偏れを d 又電流計の電流を I とすれば、

$$i = I \times \frac{r}{r + G + r_e} = K d$$

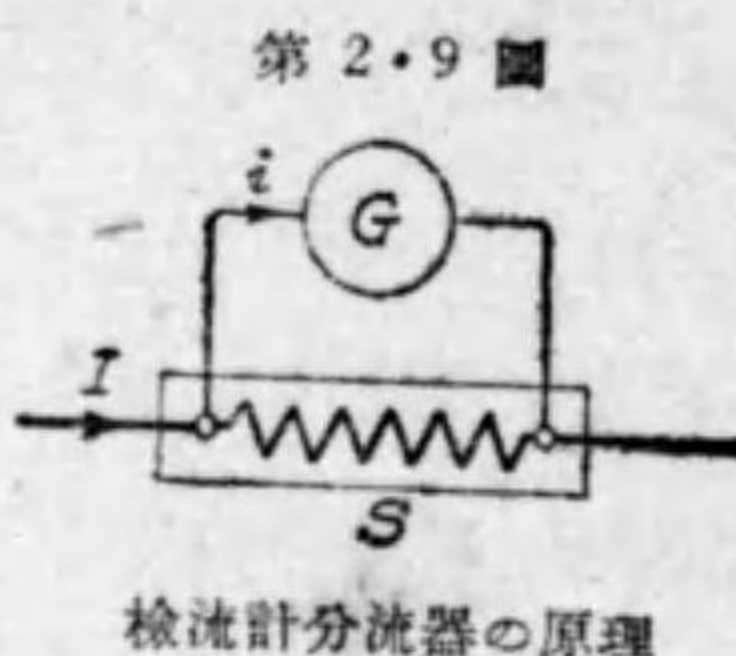
$$\therefore K = \frac{I r}{(r + G + r_e) d} = \frac{I r}{(G + r_e) d}$$

尙ほ序に、此の場合の檢流計の電圧感度(一名電壓定數)を K_v とし、 r の兩端子間の電圧を e とすれば、

$$e = I \frac{r(G + r_e)}{r + G + r_e} = K_v d \quad \therefore K_v = \frac{I r(G + r_e)}{(r + G + r_e) d} = \frac{I r}{d}$$

8. 分流器 檢流計の偏れによつて電流を比較する際、過大な偏れを適當な割合で小さくする爲に檢流計に適當な抵抗器を併用する。斯様な抵抗器を**分流器**(shunt)と稱する。茲に二つの分流器を説明しよう。

(イ)並型分流器 第2・9圖は普通に使用される並型分流器の原理圖である。之は檢流計 G と並列に接続した抵抗器 S である。



第2・9圖 檢流計分流器の原理

今、 G =檢流計の抵抗、 S =分流器の抵抗、 I =被測電流、 i =檢流計電流とすれば

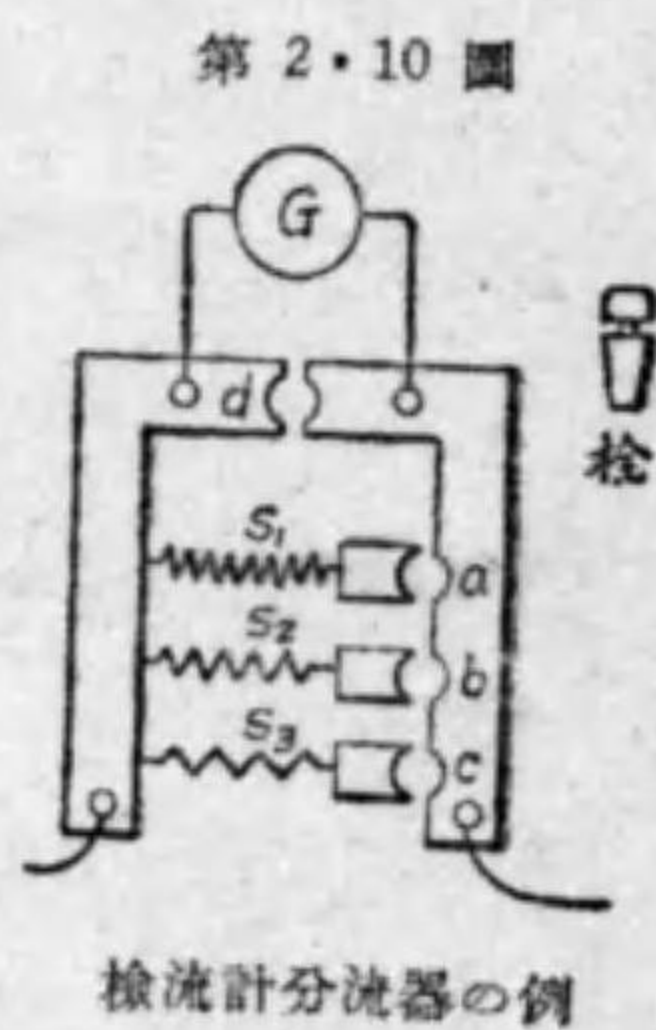
$$I = \frac{G+S}{S} i = m i$$

$m = \frac{G+S}{S}$ を此の分流器の倍率と稱する。

G と m とが與へられると分流器の抵抗は次式で算出される。

$$S = \frac{G}{m-1}$$

第2・10圖は、倍率 10, 100, 1000 を得る分流器を示すもので、 $S_1 = \frac{G}{9}$, $S_2 = \frac{G}{99}$, $S_3 = \frac{G}{999}$ に作られて居る。a, b, c, d は栓を挿入する孔で、d に栓を入れると檢流計は短絡せられ、a に栓を入れると倍率は 10 となり檢流計には全電流の十分の一の電流が通ずる事になる。b,



第2・10圖 檢流計分流器の例

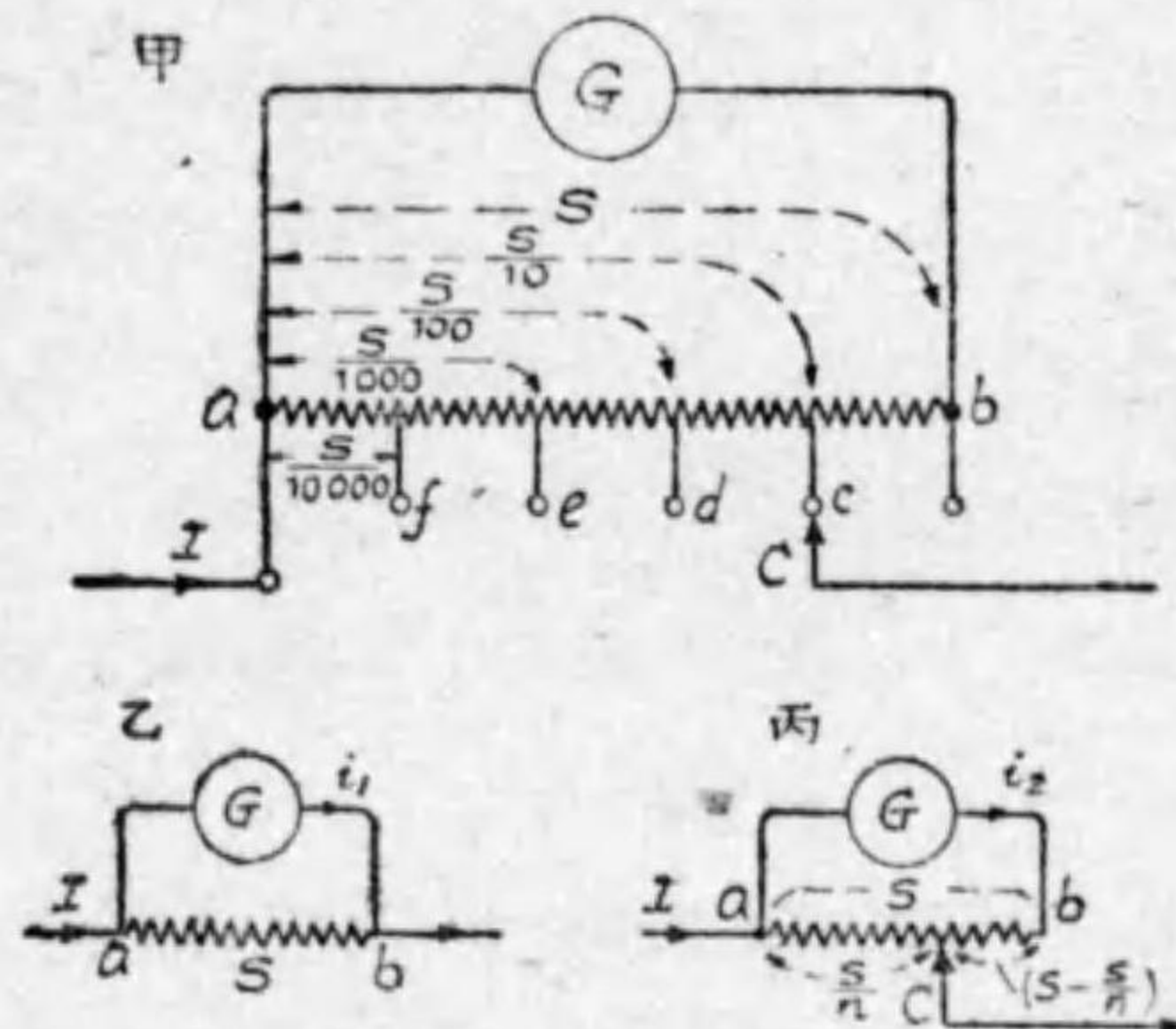
c は夫々倍率 100, 1000 に對する栓の孔である。

(ロ)萬能分流器 前述の分流器はそれに組合された檢流計の

みに適するもので、抵抗の違つた他の檢流計に用ひると倍率が違つて來る。

萬能分流器と云ふのは如何なる檢流計にも共用する事の出来る分流器である。第2・11圖

第2・11圖



萬能分流器の原理

甲は萬能分流器の略圖である。分流器の ab 間の全抵抗が S オームで、 ac, ad, ae, af の抵抗が夫々 $\frac{S}{10}, \frac{S}{100}, \frac{S}{1000}, \frac{S}{10000}$ オームになつて居る。乙圖及び丙圖は其の原理を説明する爲の圖である。甲圖で接觸子 C を b に接した場合が乙圖で、分流器の全抵抗 S が檢流計 G と並列になり最も大なる偏れを與へる。接觸子 C を b 以外の c, d, e, f の何れかに接した場合を一般に丙圖で示す事が出来る (即ち 10, 100, 1000, 10000 等を一般に n で表したのである)。今乙圖の場合の檢流計電流を i_1 , 丙圖の場合の檢流計電流を i_2 とすれば、

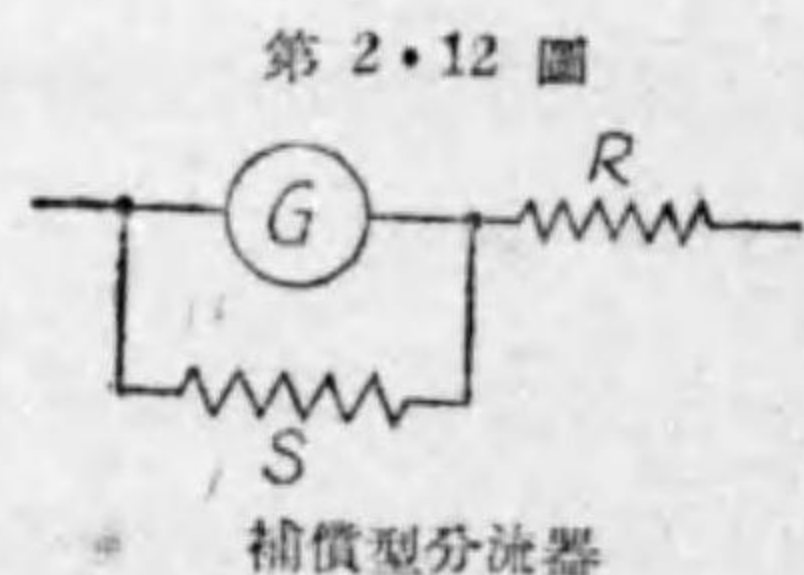
$$i_1 = \frac{S}{G+S} \times I, \quad i_2 = \frac{\frac{S}{n}}{G+\frac{S}{n}} \times I$$

$$\therefore i_2 = \frac{1}{n} i_1$$

即ち丙圖の場合の検流計電流は、乙圖の場合の検流計電流 i_1 の $\frac{1}{n}$ となる。此の分流器では接觸子 C を b に接した時を標準として居るのである。式から判る様に検流計の抵抗 G には無関係であるから、如何なる検流計にも使用し得るので萬能分流器と稱せられる。甲圖の萬能分流器では、接觸子を c, d, e, f と變へると b に接した時の $\frac{1}{n}$ 倍即ち $\frac{1}{10}, \frac{1}{100}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{10000}$ の偏れを得る事になる。

此の分流器の抵抗 S が併用せる検流計の臨界制動外部抵抗の値になつて居ると測定に便利である。

(ハ)補償型分流器 電路の他の部分の関係で検流計に分流器を使つても全體の抵抗が變つて貰ひたくない場合に使ふ。即ち抵抗が G なる検



流計に S なる分流器を使つたために合成抵抗が減つただけ直列抵抗 R で埋合すものである。即ち第 2・12 圖で

$$\frac{GS}{G+S} + R = G \quad \therefore R = \frac{G^2}{G+S} = \frac{m-1}{m} G$$

9. 携帯用検流計 反照検流計は、振動しない基礎の上に据付けて使用するものであるが、任意の場所に携帯して用ひ得る携帯用検流計がある。

(イ)指針検流計 可動部分に指針を備へて簡便に電流値を讀

取る事の出来るものを指針検流

計と稱し、廣く使用される。第

2・13 圖は可動線輪指針検流計

で、可動線輪は磷青銅線で懸垂

され、指針が取付けられて居る。

目盛盤に沿うて鏡が取付けられ

て居るから、讀取りの際は、鏡

に映る指針の像が指針と一致する様に目の位置を正しくして讀

むべきである。指針検流計の感度は其の最小目盛で表す。

一般に指針検流計は勿論反照検流計に比して感度は低いが、それでも第 2・13 圖の様な可動線輪指針検流計は 2×10^{-7} アンペアの電流で感ずる様な高い感度のものである。

(ロ)光針検流計 反照検流計は高感度ではあるが偏れの觀測に相當の注意と時間を要

するし、又指針検流計は

目盛の讀取は前者より簡

便であるが、感度は前者

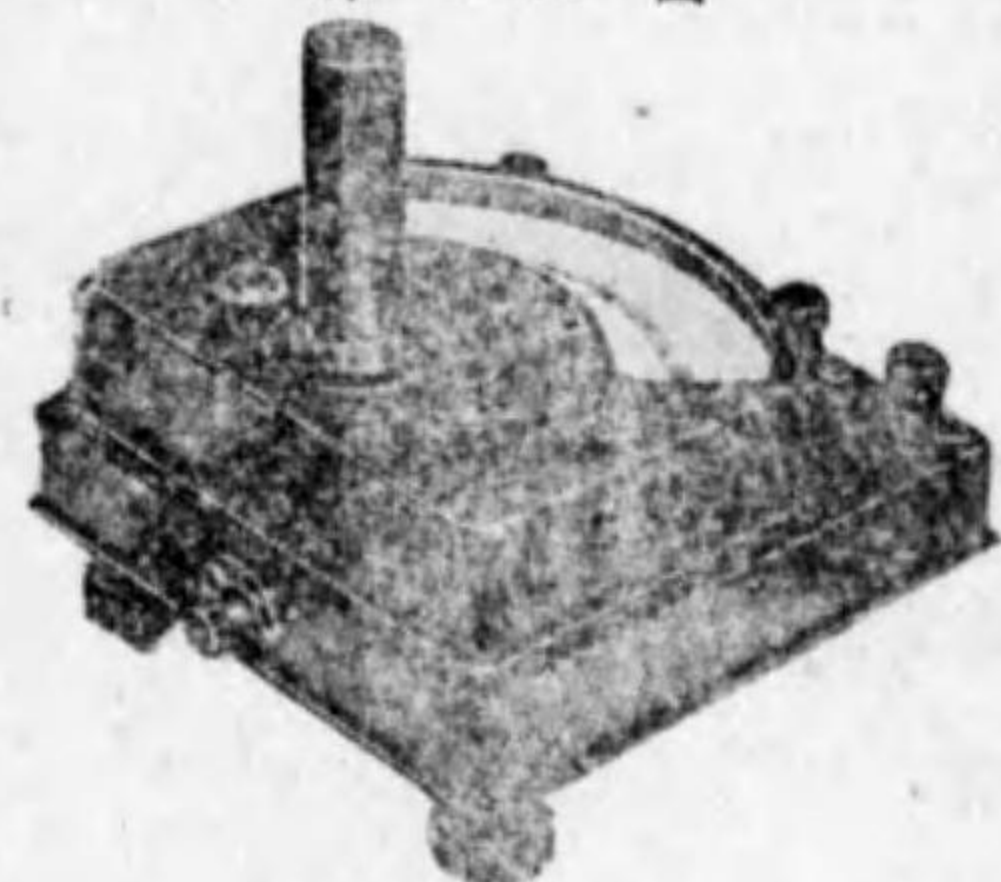
程高くはない。此の兩者

の長所を採つた光針検流

計がある。第 2・14 圖は光針検流計の構造の大要を示す。之は

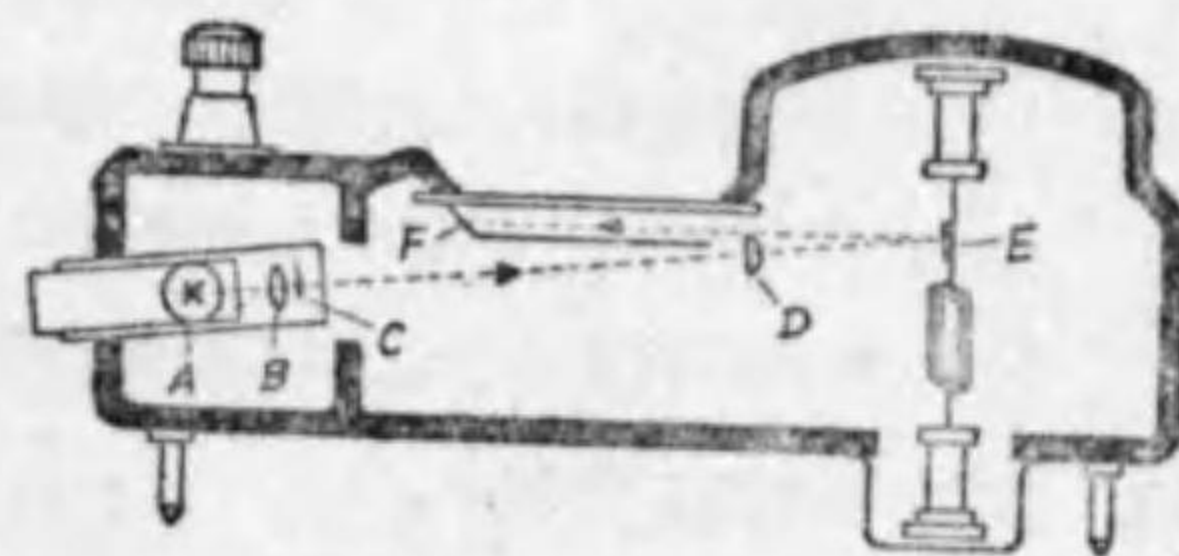
可動線輪検流計であつて、可動線輪の上方懸垂線に鏡 E が取付

第 2・13 圖



携帯用指針検流計

第 2・14 圖



光針検流計の構造

けられ、之に對し光源 A から光線を以て照らし、その途中 A に近い處に固定された指針 C があるため、 C の影像が鏡に入射し、之が更に、少しく傾斜した弧狀目盛盤上に反射される。従つて目盛を指示影像 F により簡単に正確に讀取る事が出来る。反照檢流計と同様に光針を利用して可動部分には指針がなく非常に軽く感度が高い。

復 習 問 題 II

1. 檢流計とは何ぞや。直流用檢流計を構造上より 2 種に大別せよ。
2. 驅動トルクと制御トルクとの差違を説明せよ。
3. 可動線輪檢流計にて同一電流に對し偏れを大に設計するにはどうすれば良いか。
4. 可動磁針檢流計の感度を増す方法を記せ。
5. 正切檢流計は絶對測定法に使用されるとは如何なる事か。
6. 無定位檢流計の特色を述べよ。遮磁檢流計とどう違ふか。
7. 速指檢流計とは何ぞや。臨界制動を併せ説明せよ。
8. 反照檢流計の偏れの觀測法の二種を述べよ。
9. 抵抗 450 オームを有する檢流計に附屬する 10 倍及び 100 倍の二種の倍率を有する分流器の抵抗を算出し、且つ其の接續圖を示せ。
10. 萬能分流器とは何か。
11. 補償分流器とは何か。
12. 第 2・9 圖乙の様な分流器を使用する場合、回路を切らずに倍率を變化することは、甚だ危険である。其の理由を説明せよ。回路を切らずに倍率を變化しても危険を伴ふことのない分流器の一種を考案

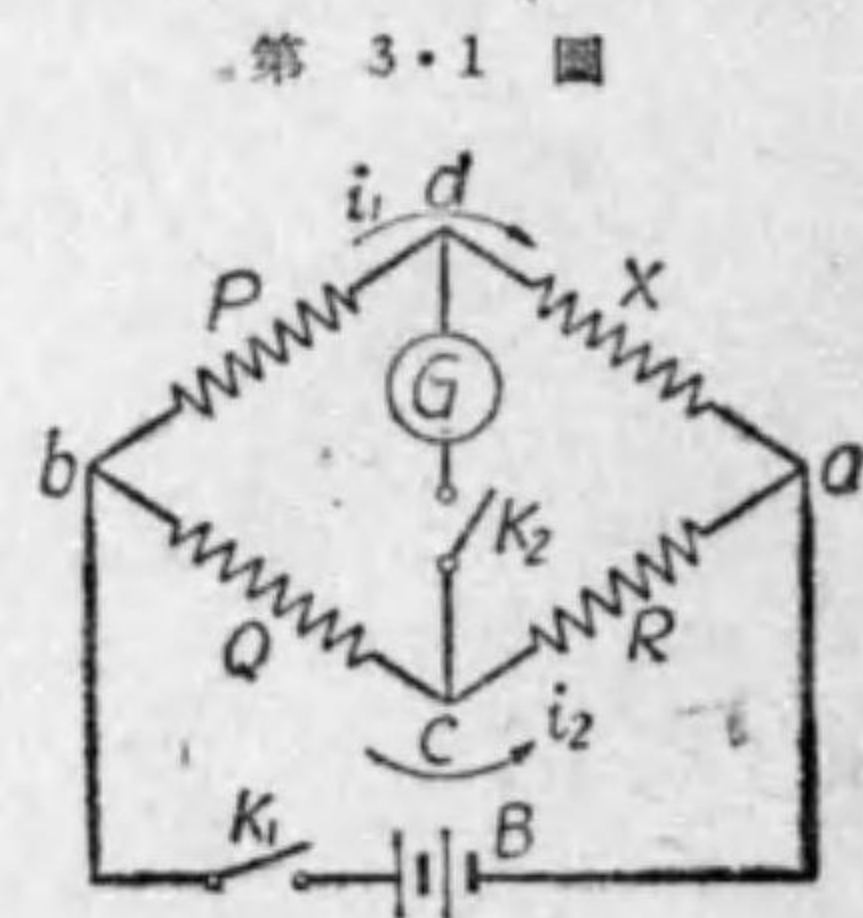
せよ。

13. 檢流計の感度の示し方を記せ。
14. 電流感度 $2.3 \times 10^{-4} \mu\text{A}/\text{mm}$ 、電壓感度 $1.15 \mu\text{V}/\text{mm}$ の檢流計の抵抗を算出せよ。
15. 檢流計の感度と倍率との關係を説明せよ。
16. 電流感度 $2800 \text{ mm}/\mu\text{A}$ 、線輪抵抗 4000 オームの檢流計の電壓感度を $\mu\text{V}/\text{mm}$ で示せ。

第三章 抵抗の測定

1. 抵抗 電気抵抗はその大きさより、低抵抗、中位抵抗、高抵抗と區別される。然し之は確然たる區別はなく大體 0.1 オーム以下を低抵抗、十萬オーム位までを中位抵抗、それ以上を高抵抗と云ふ。又被測物の性質により導體抵抗、絶縁抵抗、液體抵抗、接地抵抗等に分類出来る。抵抗測定法としてはその大きさ及び性質によりそれぞれ適當な方法を用ひる。茲に普通多く用ひられる中位抵抗より順次述べる事とする。

2. ホイートストンブリッジの原理 之は中位抵抗の測定に廣く使はれる精密測定法で、第 3・1 圖はその原理圖である。
 P, Q, R は既知可變抵抗、 X は被測抵抗、 B は電池、 G は檢流計、 K_1, K_2 は夫々電池回路及び檢流計回路開閉用の電鍵である。 P, Q, R の値を適當に調整して、 K_1 を閉ぢ次に K_2 を閉ぢて、檢流計に偏れを生じない場合を見出す。此の場合には a, d は同電位で $P,$



ホイートストンブリッジの原理

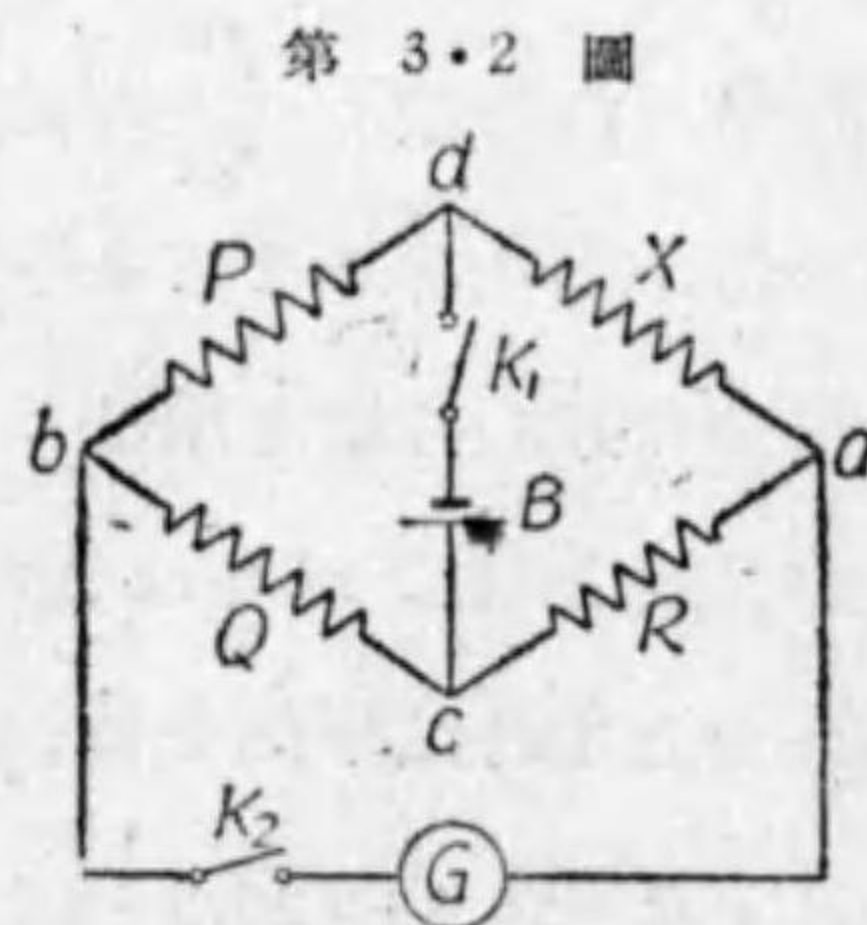
X には等しい電流 i_1 が、又 Q, R には等しい電流 i_2 が流れる。
 bd 間の電壓降下は bc 間の電壓降下に等しく、又 da 間の電壓降下は ca 間の電壓降下に等しいから、次の二式が成立する。

$$P i_1 = Q i_2 \quad X i_1 = R i_2$$

$$\therefore \frac{X}{P} = \frac{R}{Q} \quad \text{又は} \quad XQ = PR \quad \therefore X = \frac{P}{Q} R$$

即ち檢流計に電流が通じない場合（之をブリッジが平衡したと言ふ）は、相對した邊の抵抗の相乗積は相等しい關係がある。之より被測抵抗 X を算出し得る。

檢流計 G と電池 B との位置を入れ換へて、第 3・2 圖の様に接続して平衡した場合も、 $QX = PR$ の關係が成立する（練習例題として之を證明せよ）。然し普通の場合檢流計の抵抗が電池の抵抗より大であるが、かゝる場合は此の檢



電池と檢流計との位置を交換

流計 G を P, Q, R, X の内二つの大きな抵抗の接続點と他の二つの小抵抗の接続點との間に接続し、残りの對角點間に電池を接続した方が少しの不均衡に際しても檢流計に大きな電流が流れる（復習問題 2 参照）。

ホイートストンブリッジに依り、抵抗を測定する場合の注意

事項を挙げると次の通りである。

(1) 電池電鍵を閉じた後に検流計電鍵を閉ざること。何故なれば、若し此の順序を逆に行ふと、たとひブリッジは平衡して居ても、回路に自己インダクタンスを有するとき電池電鍵を閉じた瞬時に検流計に過渡電流通じて偏れを生じ、測定が困難であるからである。又電鍵を開く場合は検流計電鍵を開いてから電池電鍵を開いたが宜しい。

(2) 接續點に於ける熱起電力の影響を避けるために電流の方向を変へて二度試験しその平均を求めるが良い。

附記. 内挿法 $\frac{P}{Q}$ の比を如何様にも選んでも、可變抵抗 R の値の最小變化をさせても平衡が得られず左、右に偏れを生じた場合は次の方法を用ひる。例へば $R=25.4$ オームの時に検流計が尺度上右に 14 mm 偏れ、 $R=25.5$ オームの時に左に 6 mm 偏れたとすれば平衡を得べき R の最も確らしい値は比例に依り

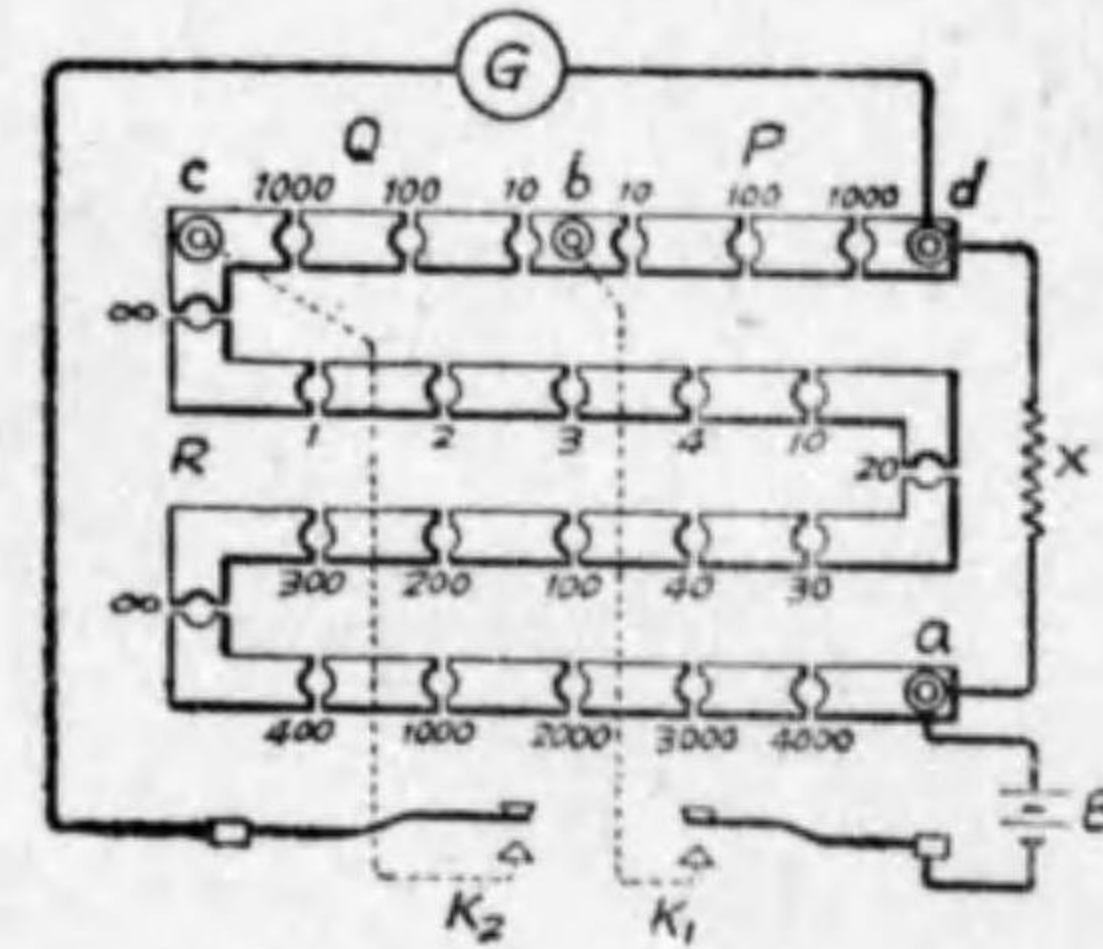
$$R = 25.4 + (25.5 - 25.4) \times \frac{14}{14 + 6} = 25.47 \text{ オーム}$$

として、 $X = \frac{P}{Q} \times 25.47$ で算出する。此の様な装置で、検流計の零位が得られない場合に、正偏位と負偏位とから比例により零位らしい状態を推察して最も確らしい値を求める方法を内挿法と稱する。

3. ホイートストンブリッジの實例 前節第 3・1 圖の

P 、 Q 及び R の既知抵抗を測定に便利のやうに適當に配列したものがブリッジとして實用にされる。

第 3・3 圖は普通 P. O. 箱と稱するものの抵抗配置である。栓の抜き差しに依つて抵抗が回路に入つたり短絡されたりする。 P 及び Q の抵抗は共に 1000、100 及び 10 オ



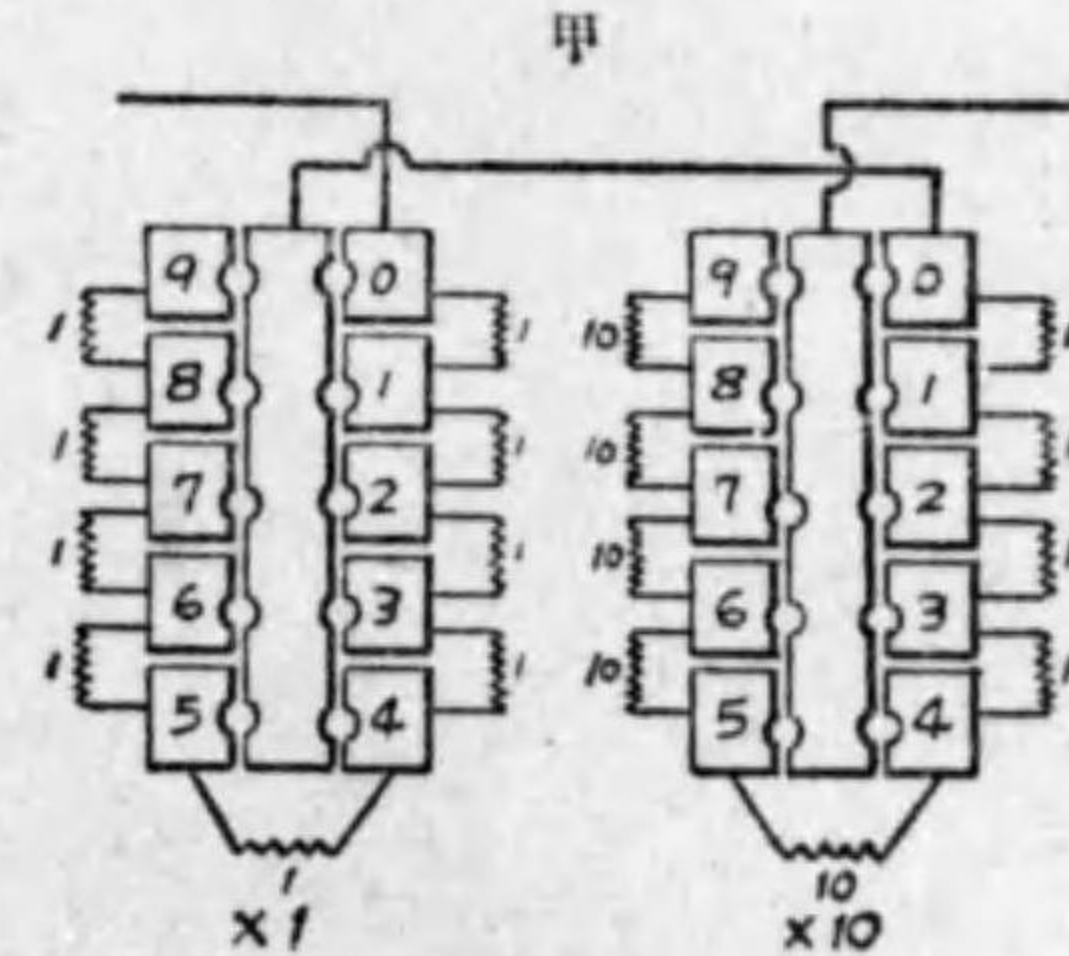
第 3・3 圖

P. O. 箱

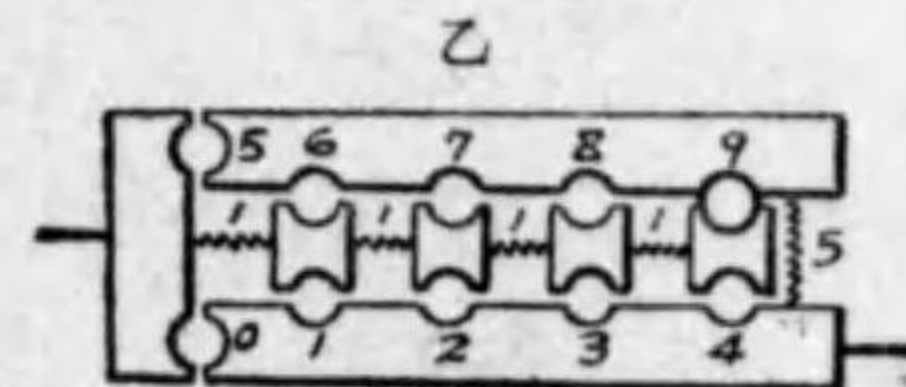
ームの三つから成立する。 R は 1 オームから 11110 オーム迄 1 オームづつ變化出来る。平衡の取れたときは $x = \frac{P}{Q} R$ で求められる。 P 及び Q を比例邊と稱する。

第 3・4 圖甲乙及び丙は、遞變型ブリッジと稱するもの

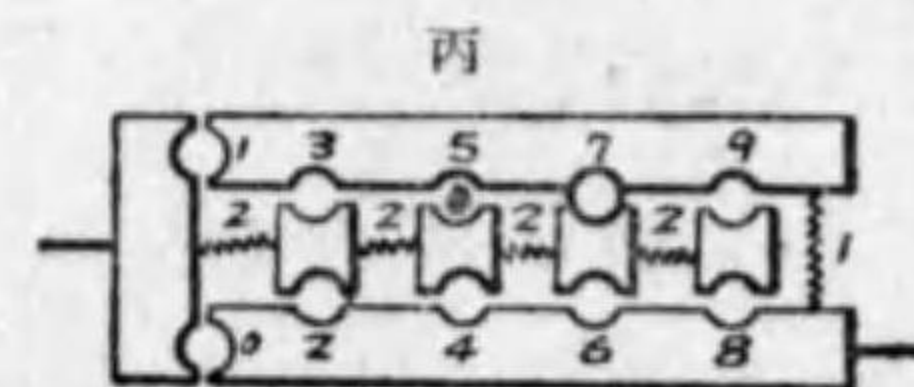
第 3・4 圖



栓型遞變型抵抗器



乙

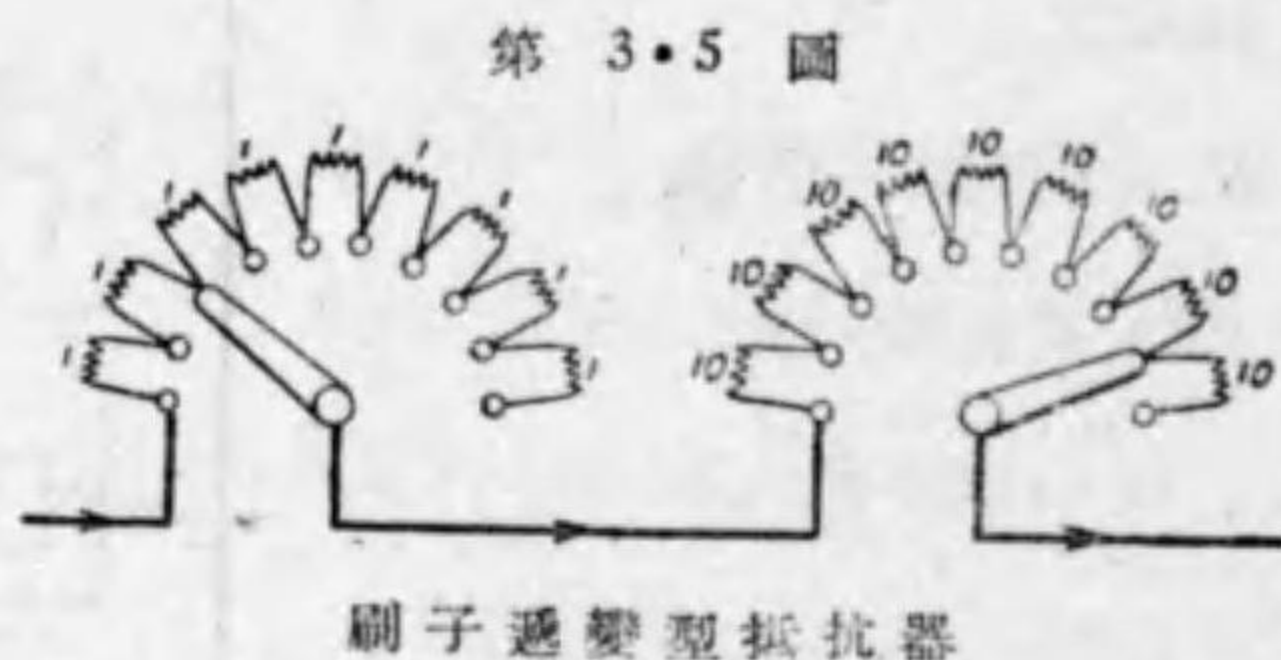


丙

R 邊の抵抗の組合せを示したのである。P. O. 箱と違つて栓の數

が少くてよい。P. O. 箱では栓を取つた所の抵抗が回路に入るのであるが、遮變型では栓を挿した所だけの抵抗が回路に入るのである。P, Q の抵抗は P. O. 箱と同様である。

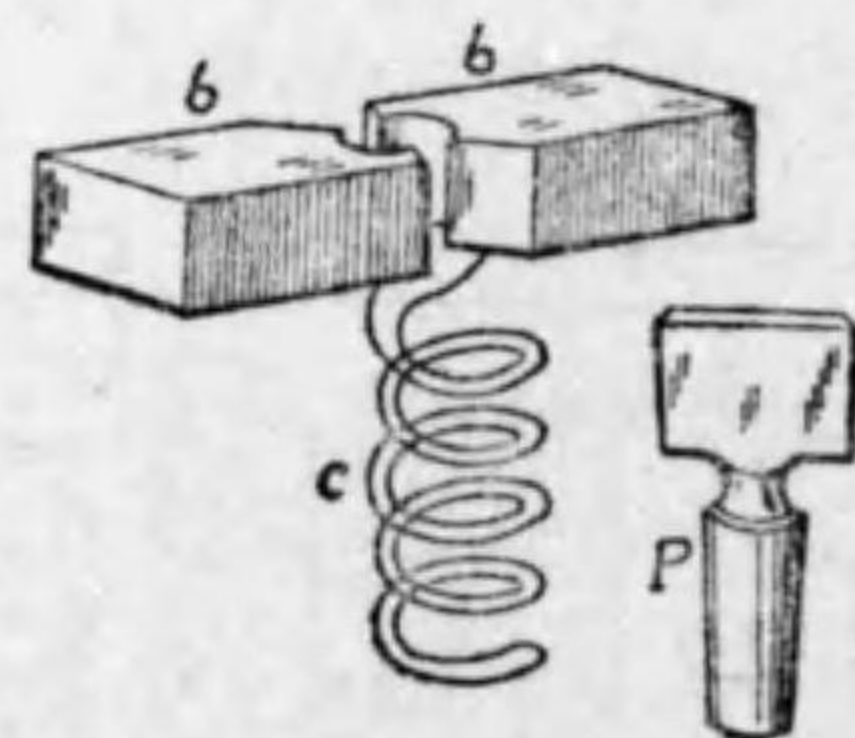
第 3・5 圖は、遮變型と似た所があるが、



第 3・5 圖 刷子遮變型抵抗器

R の抵抗を變化せしめるのに、刷子を使用して居る。故に之を刷子遮變型抵抗器と稱する。

以上各種のブリッジに使はれる抵抗線は、マンガニン線又は白金銀線とかプラチノイド線等の二重絹巻線を使用し、第 3・6 圖のやうに適當な枠に往復二本並べて無誘導巻にしてある。栓を使用する

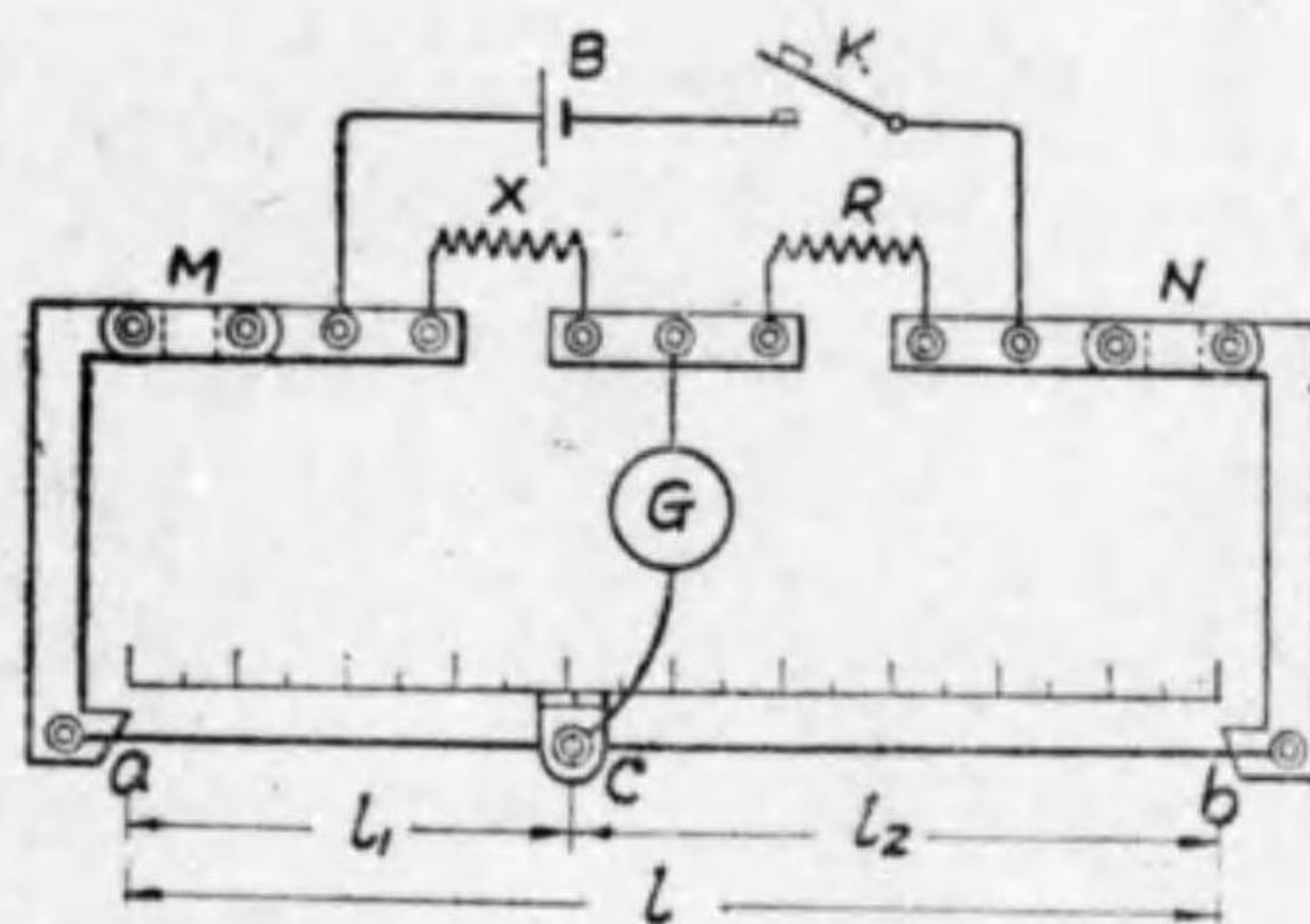


第 3・6 圖 抵抗線輪と栓

ブリッジは、其の抜き差しに良く注意して接觸抵抗の影響がない様に考慮すべきである。尙ほ栓の先の方は手の脂がつかない様に手に觸れないが良い。

第 3・7 圖は P, Q の抵抗を約 1 メートルの摺觸線を使用したもので一樣な太さのマンガニン線を使用して居るので、 $\frac{P}{Q}$ は長さの比の $\frac{l_1}{l_2}$ で良いことになる。之を摺觸線ブリッジと稱

第 3・7 圖



摺觸線ブリッジ

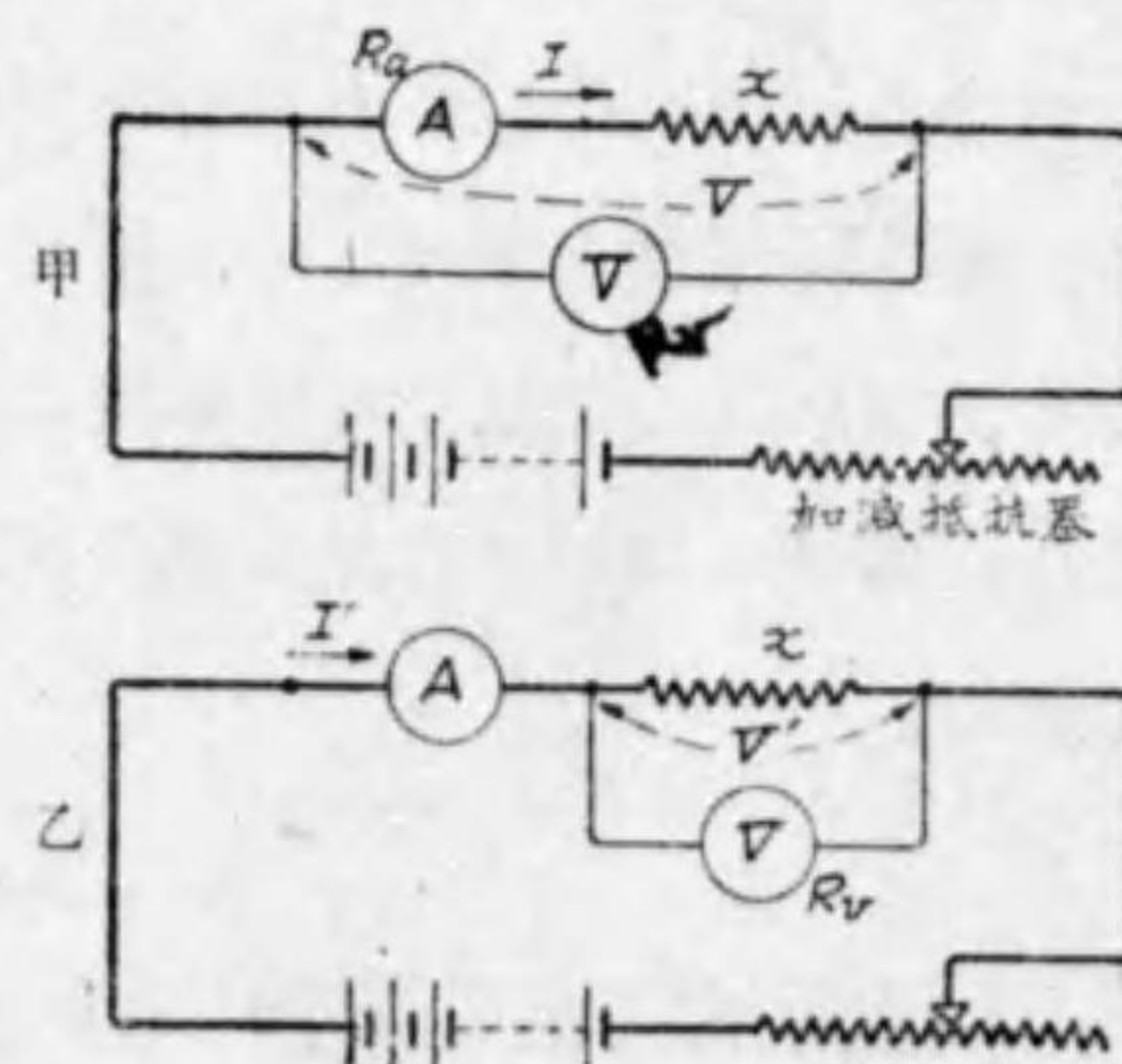
する。

4. 電壓降下法 オーム法則から、被测抵抗 x に通する電流で、被测抵抗の両端の電壓降下を割れば x が求められる。故に電流計と電圧計とを用ひて抵抗を測定することが出来る。

電圧計及び電流計を接続するには第 3・8 圖甲及び乙の様に二様の方法がある。

今 R_v を電圧計 V の抵抗、 R_a を電流計 A の抵抗、 x を被测抵抗とすれば、甲

第 3・8 圖



電 壓 降 下 法

$x = \frac{U}{I} - R_a$
 $x = \frac{U}{I} - R_v$

圖の場合は、

$$x = \frac{V - IR_a}{I} \quad (イ)$$

但し V は電圧計の讀、 I は電流計の讀である。

乙圖の場合には、

$$x = \frac{V'}{I' - \frac{V'}{R_v}} \quad (ロ)$$

但し V' は電圧計の讀、 I' は電流計の讀である。

(イ)に於て、 IR_a が V に比して極めて小なる場合は、 $x = \frac{V}{I}$ と見做してよい。又(ロ)に於て、 $\frac{V'}{R_v}$ が I' に比して極めて小ならば、 $x = \frac{V'}{I'}$ と見做してよい。従つて甲圖は R_a が x に比して極めて小なる場合、乙圖は R_v が x に比して極めて大なる場合に用ふると便利である。

此の方法は x に生ずる電圧降下を測定して抵抗を算出するから、**電圧降下法**と稱せられ、精密を要しない工業的方法であつて、電機子の抵抗や界磁線輪の抵抗測定に屢々用ひられる。殊に點燈時に於ける白熱電球の抵抗の測定は此の方法が適當して居る。

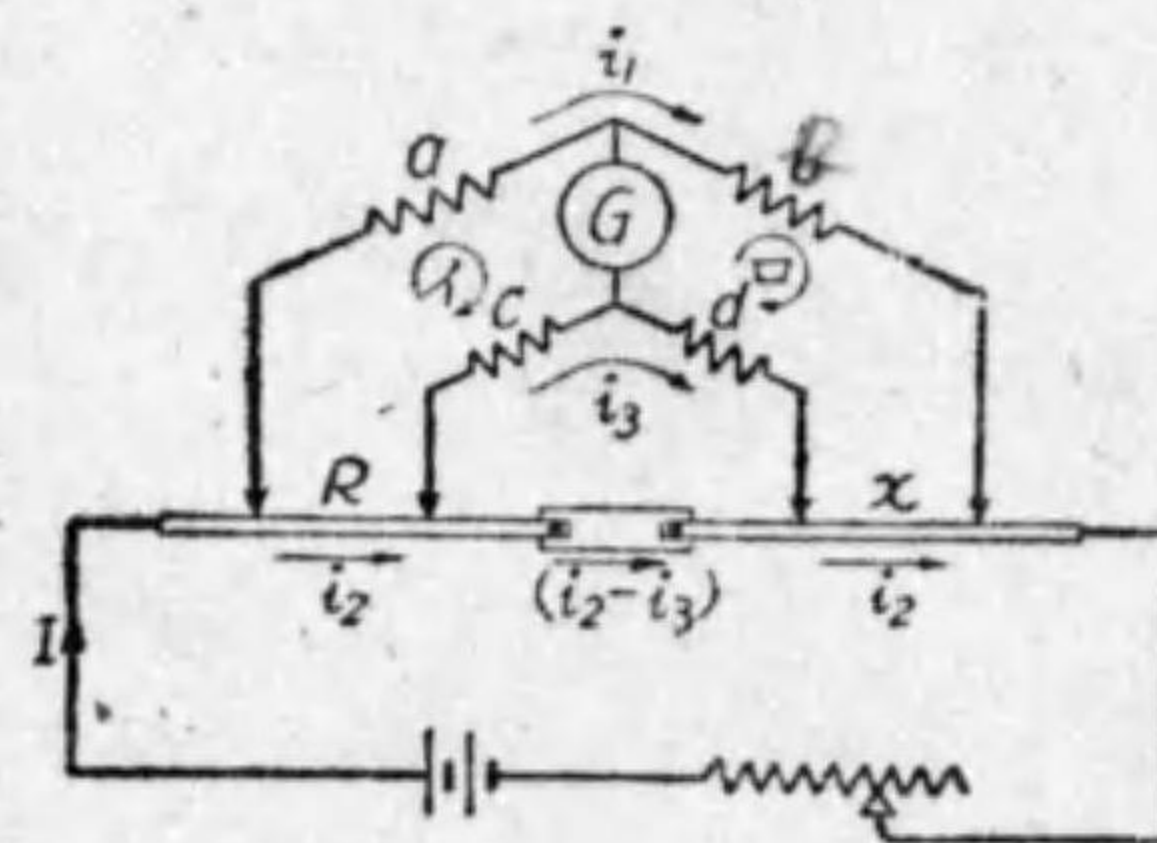
5. 低抵抗測定の要件 0.1 オーム以下の低抵抗の精密測定には、ホイートストンブリッジは適しない。其の理由は次の

通りである。ホイートストンブリッジでは低抵抗に対しては感度が悪く、又測定した値には被测抵抗の外に、被测抵抗をブリッジに接続するための導線の抵抗及び其の回路の接觸抵抗をも含む。導線の抵抗は殆ど一定で、之に對して被测抵抗が小なる程、全體の抵抗の測定結果に於て僅かの誤差があつても、全體の抵抗の値から導線の抵抗値を引去つた残りの被测抵抗の値に對しては相當大なる誤差となる。又導線と被测抵抗との間の接觸抵抗は一定では無く、接觸面の性質、接觸面の大小、接觸面に於ける壓力等によつて異なる。故に低抵抗の測定には、電圧端子を設け接觸を完全にして、電流の出入點を抵抗を測定する部分の外に出す方法を用ひる。低抵抗測定法にも種々の方法があるが、次にケルヴィン・ダブルブリッジを説明しよう。

6. ダブルブリッジ 此のブリッジは低抵抗の精密測定用

である。第3・9圖はケルヴィン・ダブルブリッジの原理を示すものである。 a, b 及び c, d は、二組の比例邊で、常に $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ なるやうにして使用するので、ダブルブ

第 3・9 圖



ケルヴィン・ダブルブリッジ

リッチの名がある。 R は標準低抵抗で、 x は被測抵抗である。例へば今銅棒の抵抗を測るものとする、先づ銅棒上の接触点(即ち電圧端子)間の距離を 50 cm とし、 R 上の電圧端子の位置を適當に調整して其の電圧端子間の抵抗の値を読み、之を R とする。 a, b, c, d を常に $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$ なる比を保たしめながら加減して検流計の偏れを零とする。さうすると此の銅棒の電圧端子間の抵抗 x は次式で算出される。

$$x = \frac{b}{a}R = \frac{d}{c}R$$

次に此の式の誘導をしよう。検流計には電流が流れて居ないから、各部に通ずる電流は第 3・9 圖に示す様になる。(イ)、(ロ)兩回路にキルヒホッフ法則を適用して次の二式を作ることが出来る。

$$ai_1 - ci_2 - Ri_2 = 0 \quad (イ)$$

$$bi_1 - xi_2 - di_2 = 0 \quad (ロ)$$

兩式に $ad=bc$ の条件を使用して i_1, i_2 及び i_3 を消去するやうに工夫するのである。差當り i_1 か i_3 を消去すればよい。 i_3 を消去して見ると、

$$(イ) \times d - (ロ) \times c$$

$$adi_1 - Rdi_2 - cdi_2 = 0$$

$$bci_1 - cxi_2 - cdi_2 = 0$$

$$(ad - bc)i_1 + (cx - Rd)i_2 = 0 \quad (ハ)$$

(ハ) 式で $ad=bc$ であるから i_1 の項は無くなり

$$(cx - Rd)i_2 = 0$$

$$\therefore x = \frac{d}{c}R$$

i_1 を消去して x を出すと

$$x = \frac{b}{a}R$$

となる。

此のダブルブリッチが低抵抗測定に適して居る理由は、標準低抵抗 R 及び被測低抵抗 x の接續点の接触抵抗の影響がなく、又 a, b, c 及び d の比例邊の抵抗は大なるものを用ひるから R 及び x との接触点の抵抗は問題にならない事である。尙ほ a, b, c 及び d が完全に条件を満足して居れば問題はないが、多少の不均衡がある

第 3・10 圖

と誤差が出来るのは無論である。然しこの場合に於ては、特に R



横河製ダブルブリッチ

と x との接續線

の抵抗 S が小さいと a, b, c 及び d の僅かの不均衡に依る誤差を小さくすることが出来る。故に S の抵抗は出来るだけ小さくすることが必要なのである(證明省略)。

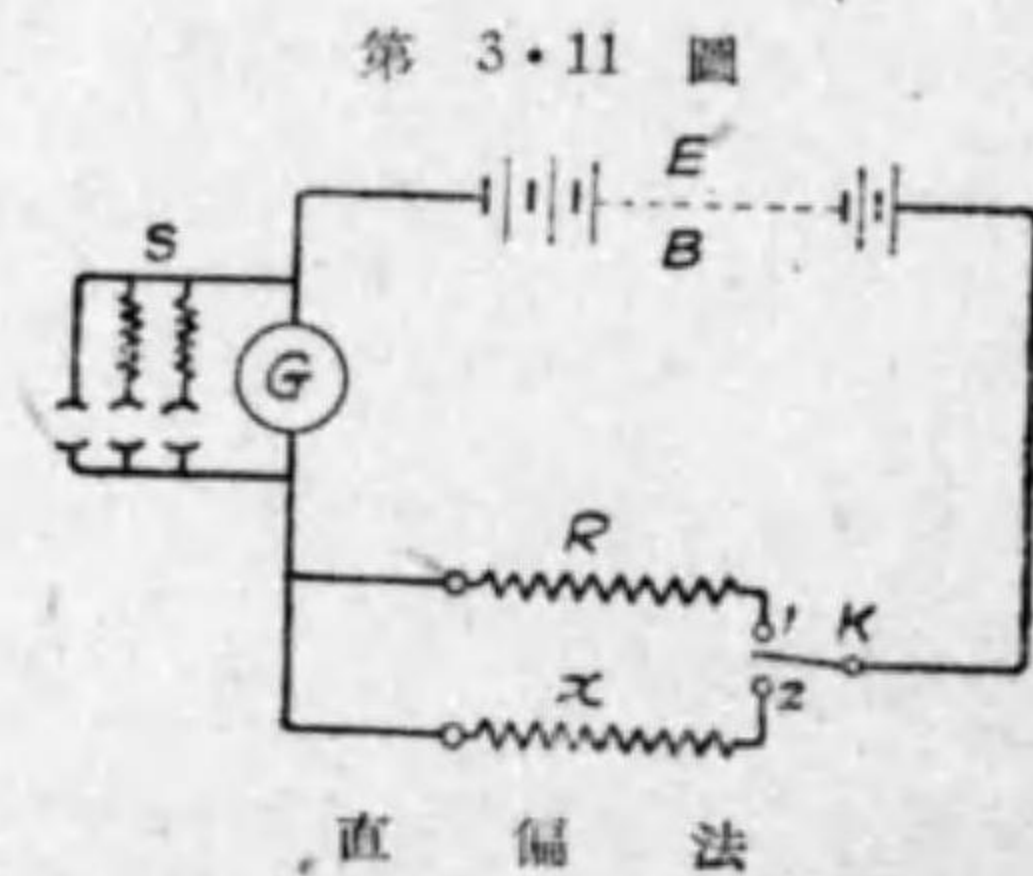
第3・10圖は横河製ダブルブリッジの寫眞である。

7. 直偏法 抵抗の値が1メガオーム以上の高抵抗になると、ホイートストンブリッジ法でこれを測定することは困難である。斯様な高抵抗に對しては、ブリッジの比例邊の比を極端に大にする必要がある。然るに抵抗線輪の抵抗の調整上比例邊の比の大なる程確度が低いので、測定結果の誤差が大きくなる。又測定の感度を相當大きくする爲には高い電壓を必要とするので、線輪の絶縁が不充分だと

漏洩電流の爲に誤差が大きくなるのである。

高抵抗の測定法にも種々あるが、その中理論の簡單なる直偏法を説明しよう。第3・

11圖は直偏法の接續を示した。圖に於て、 R は標準高抵抗で普通十萬オームの抵抗器を用ひる。 x が被測高抵抗である。檢流計 G には電流感度の良いものを用ひ、之に偏れを適當にする爲に分流器 S を用ひる。電源は100ボルト乃至200ボルトの直流を用ひる。先づ切替開閉器 K を1に閉ちて、分流器の倍率 m_1 の時檢流計 G の偏れを読み、これを d_1 とする。今電池の起電力を E 、檢流計定數を K とすれば、電池の抵抗、檢流計



の抵抗等は R に比し閉却し得るから檢流計の電流 i_1 は、

$$i_1 = Kd_1 = \frac{E}{m_1 R}$$

次に K を2に閉ちて被測抵抗 x を代入し、分流器の倍率 m_2 の場合に、檢流計の偏れを読み、これを d_2 とすれば、檢流計電流 i_2 は前の場合と同様に $i_2 = Kd_2 = E/(m_2 x)$ となる。

$$\text{依つて } \frac{d_1}{d_2} = \frac{m_2 x}{m_1 R} \quad \therefore x = \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} R$$

斯様に直偏法では檢流計の偏れは抵抗に逆比例する。上式より $m_1 d_1 R = m_2 d_2 x$ であるから、此の直偏法では分流器の倍率、檢流計の偏れ及び直列にした抵抗の相乗積は等しくて一定である。標準抵抗 R の値をメガオームを單位とした數値で表した場合、 $m_1 d_1 R$ なる一定の常數を、此の測定法のメガオーム常數と稱する。例へば、 $R = 100,000$ オーム = 0.1メガオームの標準抵抗を用ひた場合は、メガオーム常數は $0.1 m_1 d_1$ である。

高抵抗測定の場合は回路の絶縁を完全にすることが特に必要である。何故ならば、絶縁が不完全だとその漏洩電流に對する不明の抵抗が、被測高抵抗と並列になつたものの合成抵抗を測定することになつて、測定結果は全然無意味なものとなるからである。

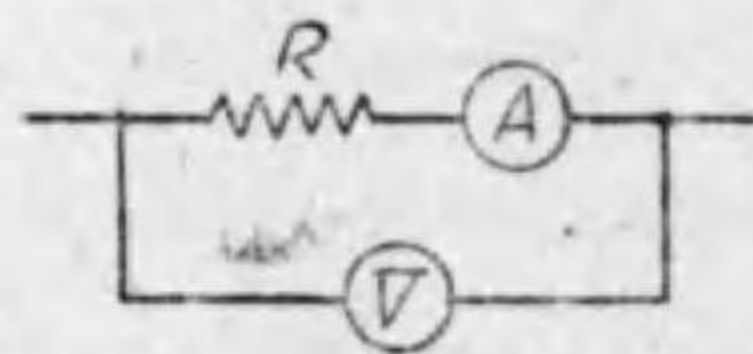
復 習 問 題 III

1. ホイートストンブリッジに依る抵抗測定の方法を説明せよ。
2. ホイートストンブリッジは、検流計と電池を入れ換へても平衡の条件には變りないことを説明し、尚ほ感度の方面から見ると何れを使用したらよいか。
3. 検流計あり、他の検流計を使用せずして其の抵抗を測定する方法を説明せよ。

註 普通の検流計の位置に開閉器を置いた時、之を開閉しても他の部の電流に變化がないとやはり平衡して居るのである。

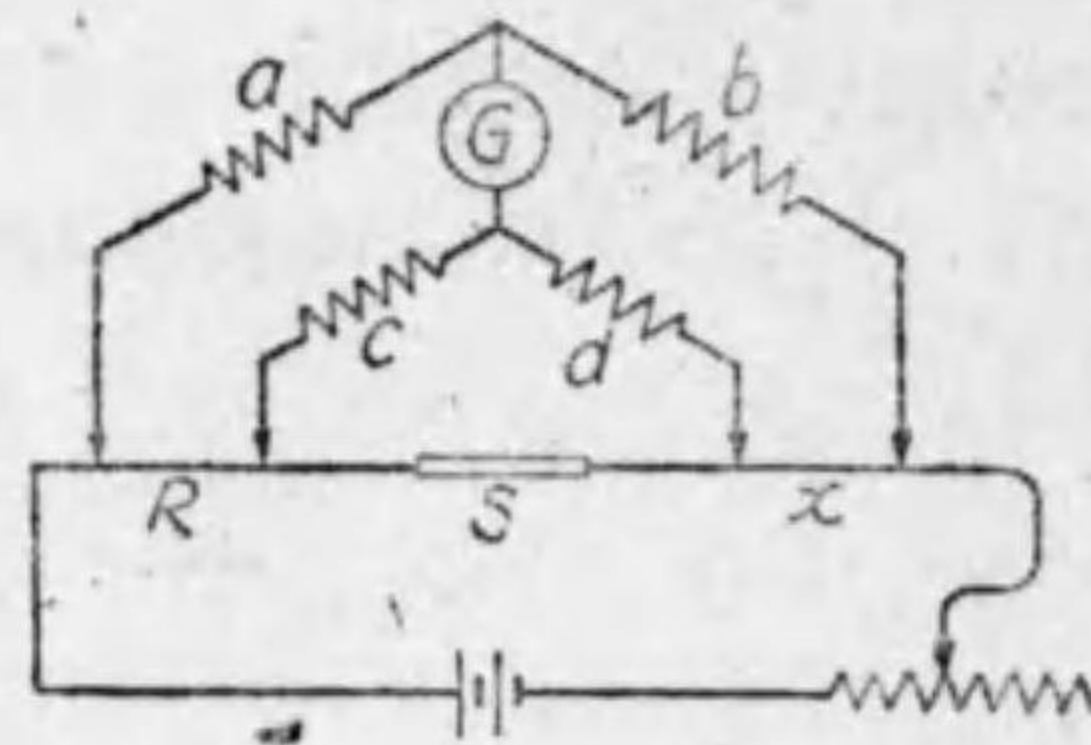
4. ブリッジ用抵抗箱の抵抗線輪の配列方式2種を挙げ、其の優劣を説明せよ。
5. 第3・3圖に於て $P=100 \Omega$, $Q=10 \Omega$ にして $R=125 \Omega$ とすると検流計が右に 16 mm 偏れ、 P 及び Q を同様にして $R=124 \Omega$ とすると検流計が左に 4 mm 偏れたと云ふ。 X を求めよ。

第 3・12 圖



6. R なる抵抗を測定するため第3・12圖の如く電圧計、電流計を使用せり。電流計、電圧計の讀 2.5 アンペア、52.5 ボルトなり。 R を算出せよ。

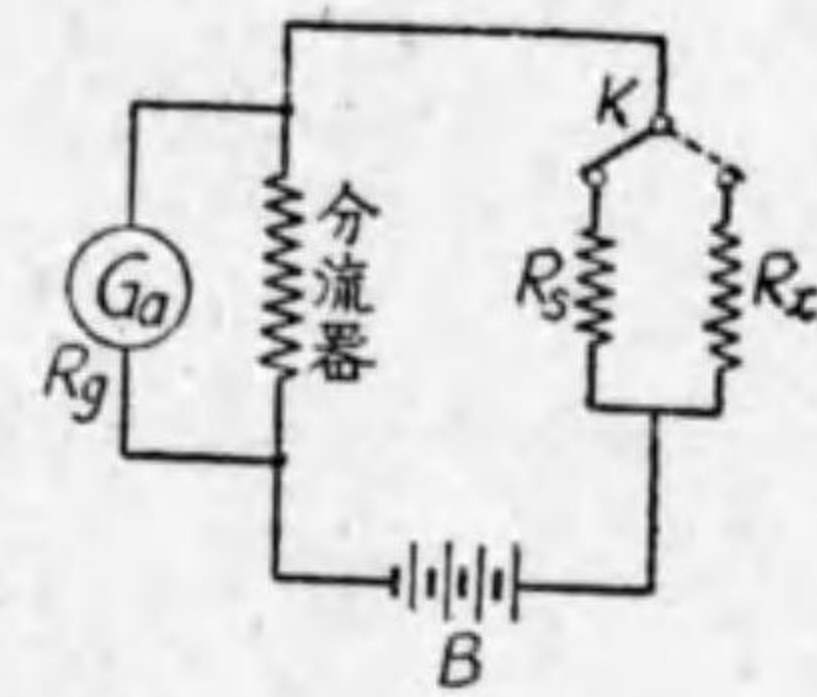
第 3・13 圖



7. 第3・13圖のダブルブリッジに於て R 及び x の接続線の抵抗 S を小さくする必要があると云ふ。其の理由

を説明せよ。

第 3・14 圖



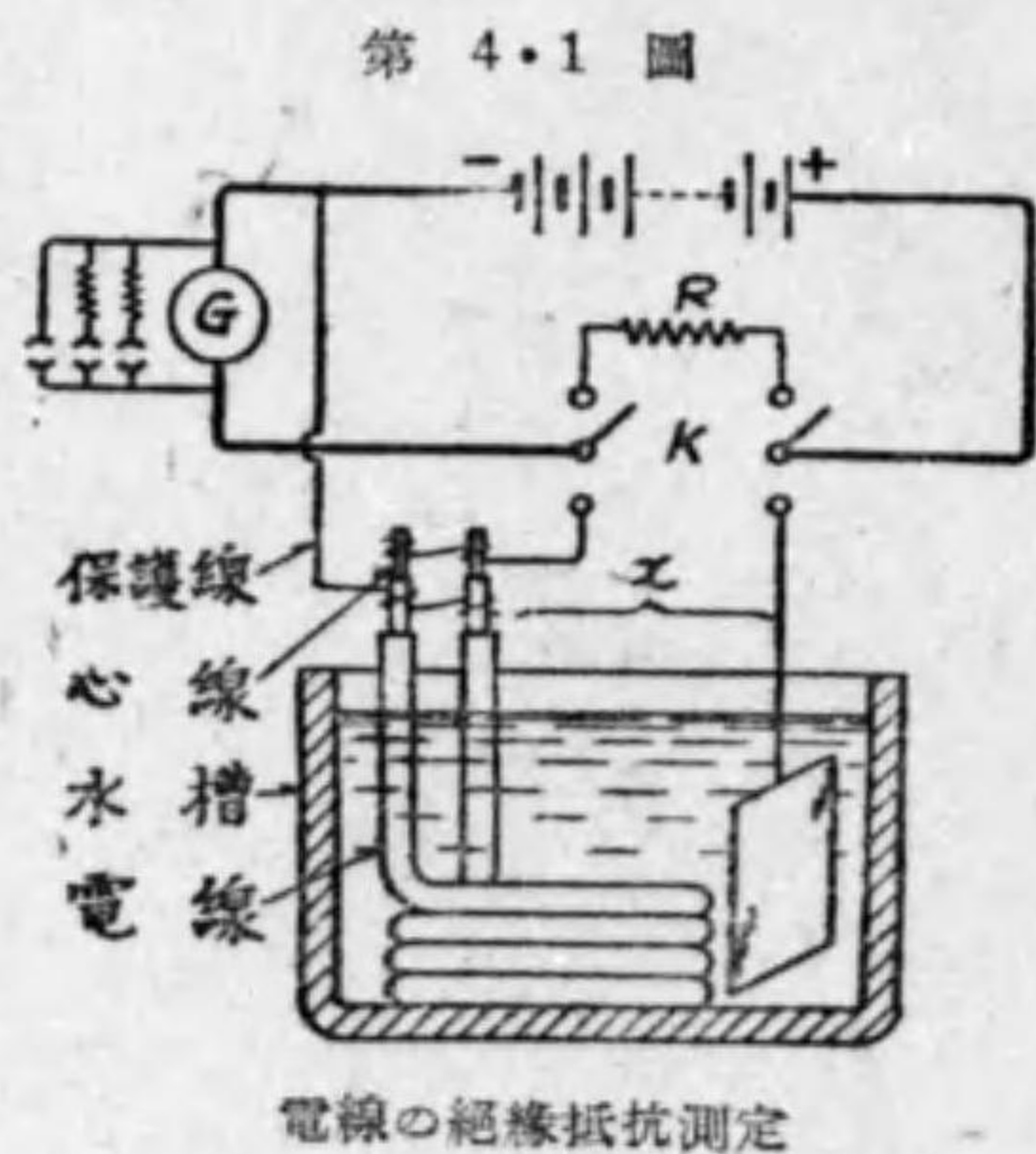
8. 第3・14圖の如き接続に依り既知抵抗 R 、並に分流器を有する検流計 G を用ひ抵抗 R_x の測定を行はんとす。電鍵 K を左方に閉ぢ分流器の抵抗を S_1 とせるととき検流計の偏れは d_1 にして、又電鍵 K を右方に閉ぢ分流器の抵抗を S_2 とせるととき検流計の偏れは d_2 なりとす。 R_x を求めよ。但し検流計の抵抗は R_g とし、電池の内部抵抗は無視するものとす。

第四章 特殊抵抗測定

1. 電線の絶縁抵抗測定 電線又はケーブルの絶縁抵抗と云ふのは、心線と外被との間に電圧を與へた場合、電流が絶縁物を貫いて漏洩するのに反抗する絶縁物の抵抗を云ふので、即ち心線と外被間に與へられた電圧を絶縁物を貫く漏洩電流で割つた値である。絶縁抵抗は高抵抗であるから、直偏法を用ひて測定する事が出来る。

電線又はケーブルの心線と外被間に直流電圧を與へた場合は、瞬間的に大なる電流が流れるが之が急に減少して後次第に漸減する電流が流れ、最後に一定の値に達するのである。而して最後の一定値の電流が漏洩電流である。電圧を與へた瞬時から最後の一定の漏洩電流になる

までにはケーブル等の種類にもよるが長時間を要するものがある。充電後長い間待つて一定の漏洩電流を求めるのは不便であるから、普通は回路を閉ちて一分間充電後の電流を求める規約



になつて居る。

第 4・1 圖は直偏法に依り電線の絶縁抵抗を測定する方法を示した。K を上に閉ち、R を回路に入れて、分流器の倍率 m_1 で検流計の偏れ d_1 を読む。次に K を下に閉ちて x を回路に入れて、分流器の倍率 m_2 で偏れ d_2 を読む。然る時は、實用上次式を得る。

$$x = \frac{m_1 d_1 R}{m_2 d_2}$$

此の測定で注意すべき事がある。心線と外被間に電圧を與へると、電池から出る電流は絶縁物を貫いて通ずる電流と、露出した外被から絶縁物の表面に沿うて心線に傳はる電流との和である。第一の電流は絶縁抵抗に對する漏洩電流で吾々の求めんとするものであるが、第二の表面に沿ふ電流は吾々の求める所のものではないから、特別の方法を講じて検流計に之を通さない様にする必要がある。

之は圖に示す様に絶縁物の表面に銅線を數回巻き付け、其の他端を検流計と電池との間に接続する。之を保護線と言ふ。斯様にすれば假令表面漏洩電流が在つてもその電流は保護線を通じて、検流計を通らない。従つて検流計へは絶縁物を貫く漏洩電流のみが通ずる譯である。

尚ほ絶縁抵抗測定の場合に注意すべき事項を列挙すると次の通りである。

(イ)測定前の浸水時間 絶縁抵抗を測定すべき電線は其の両端を水槽外に出し、他は全部水に浸して測定前少くとも 12 時間以上浸水して置く必要がある。之は電線等に多少の瑕があつた場合、水分が毛細管現象によつて缺點部に浸み込んで、其の絶縁が不良なる事を示す迄には長時間を要するからである。

(ロ)試験電圧 100 ボルト以上の電圧を以て試験すべきである。

(ハ)回路各部の絶縁を完全にすること

(ニ)電池の陰極を電線の心線に接続する事 一般に心線を電池の陰極に接続した場合の方が、陽極に接続した場合より検流計の偏れが大で、絶縁不良なる電線程其の差が多い。依つて陰極を心線に接続した方が絶縁抵抗決定上安全である。尤も電極を交換し二回の測定を行つて、其の結果を比較し良否を判定することを要求する事もあるが、普通は電池の陰極を心線に接続することになつて居る。

(ホ)一分充電後の偏れを読む事 之は既に述べた通りで、電線に電圧を與へる瞬時に検流計を短絡し三十秒後検流計を回路に入れ、其の後三十秒即ち回路を閉じた時刻から一分後の偏れを読み之を d_2 とする。

(ヘ)温度の更正 一般に絶縁抵抗は温度が昇ると減少するから、測定の際の温度を明記しなければならない。尙ほ之を標準

温度攝氏 15 度に換算するのである。種々の絶縁物に對する換算係数はポケットブック等に記されて居るが、その一例としてゴム絶縁電線の換算表を抜き書きしておく(第 4・1 表参照)。

第 4・1 表 ゴム絶縁電線の絶縁抵抗温度換算係数

測定 温度 攝氏	換算係数		測定 温度 攝氏	換算係数		測定 温度 攝氏	換算係数	
	第三種 絶縁電線	第四種 絶縁電線		第三種 絶縁電線	第四種 絶縁電線		第三種 絶縁電線	第四種 絶縁電線
0	0.300	0.477	20	1.403	1.280	40	7.406	3.438
5	0.448	0.610	25	2.230	1.639	45	11.080	4.417
10	0.670	0.781	30	3.330	2.098	50	16.560	5.635
15	1.000	1.000	35	4.973	2.686			

或る温度で測定した結果を攝氏 15 度の場合に換算するには、其の結果に其の温度に應ずる表中の係数を乗すれば良い。

最良の方法としては、常に一定の標準温度攝氏 15 度に保たれる様に装置した水槽を備へ置き、此の中に電線を浸して試験するが良い。

尙ほ電線の絶縁抵抗は電線の長さに逆比例するから、1 米の絶縁抵抗が x メグオームであつたならば、1 杆毎の絶縁抵抗は次式で算出する。

$$1 \text{ 杆毎の絶縁抵抗} = \frac{x l}{1000} \text{ メグオーム}$$

2. 電圧計に依る高抵抗測定法 高抵抗の電圧計と被測

高抵抗 x とを直列に接続して、抵抗を測定することが出来る。第 4・2 圖は之を示すものである。電源の端子電圧を V_0 、電圧計の讀を V とすれば、 x の両端の電圧は $V_0 - V$ である。電圧計の抵抗を R_v とすれば、 x と R_v とが直列であるから各電圧の比は抵抗の比に等しい。

$$\frac{V_0 - V}{V} = \frac{x}{R_v} \quad \therefore x = \frac{V_0 - V}{V} R_v$$

電源の端子電圧を測るには、電圧計を直接電源に接続して電圧計の讀みを取れば、大體に於て之を V_0 としてよい。

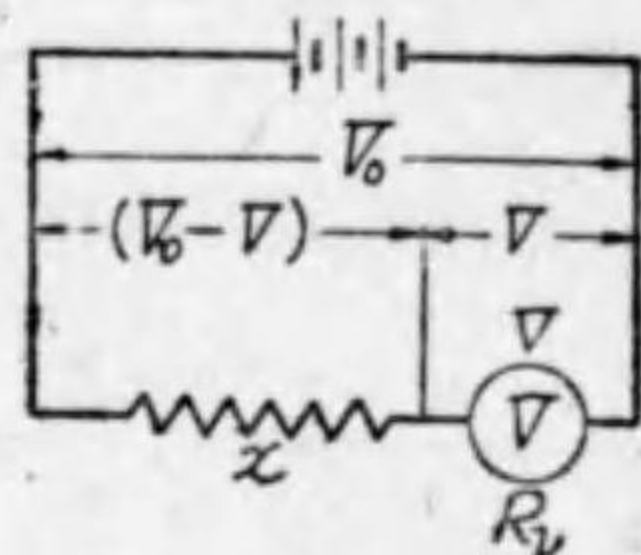
此の原理を應用して電氣機械や配電線路の絶縁抵抗を測定する事が出来る。

(イ) 電氣機械の絶縁抵抗を測定する

方法 第 4・3 圖は電氣機械の絶縁抵抗 x を測定する方法を示した。試験電源、既知抵抗 R_v の電圧計及び x を直列にして電圧計の讀 V 及び電源の端子電圧 V_0 を求める。電圧計の抵抗を R_v とすれば、

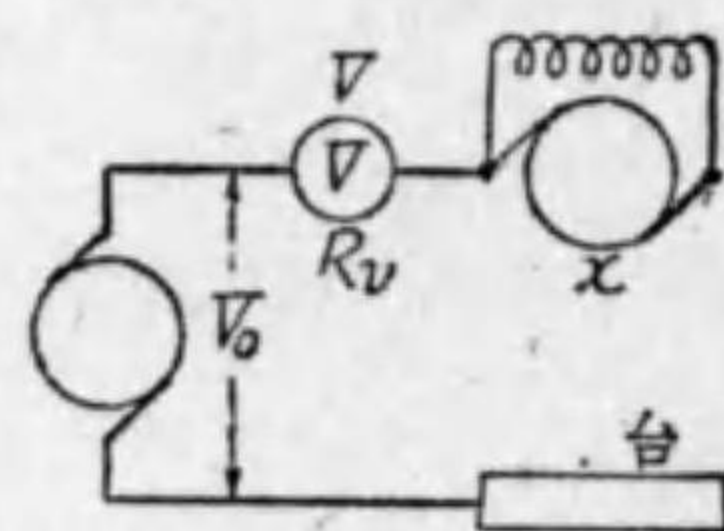
$$x = \frac{V_0 - V}{V} R_v$$

第 4・2 圖



電 圧 計 法

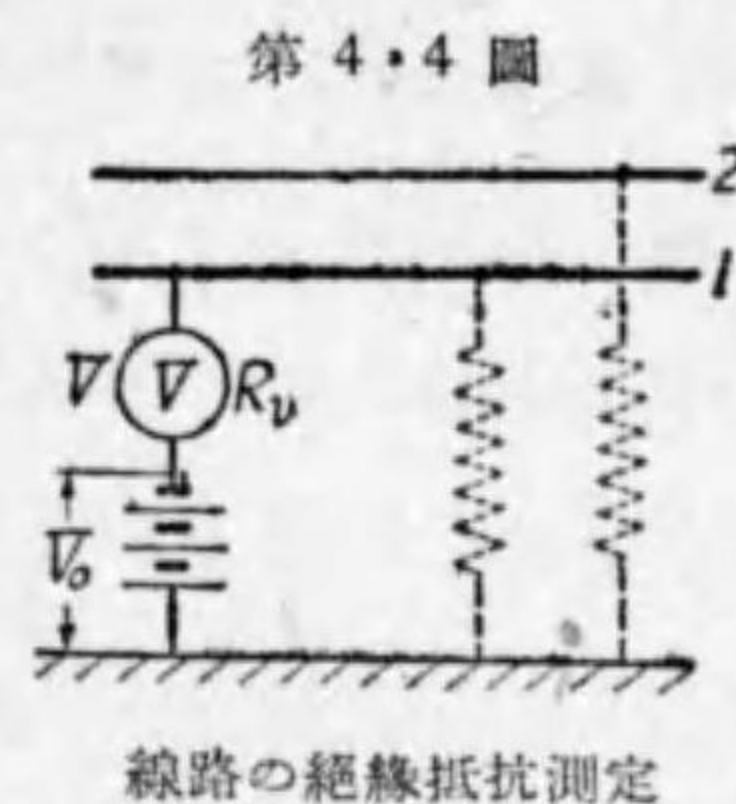
第 4・3 圖



電氣機械の絶縁抵抗測定

(ロ) 電流の通つて居ない配電線路の絶縁抵抗を測定する法

第 4・4 圖は此の接続を示す。試験電源には線路電圧と略ぼ同一の電圧を有する電源を用ひる。先づ電圧計を以て電源の端子電圧 V_0 を測定し、次に圖に示す様に 1 線と大地間に電源及び電圧計を接続して電圧計の指示 V を



線路の絶縁抵抗測定

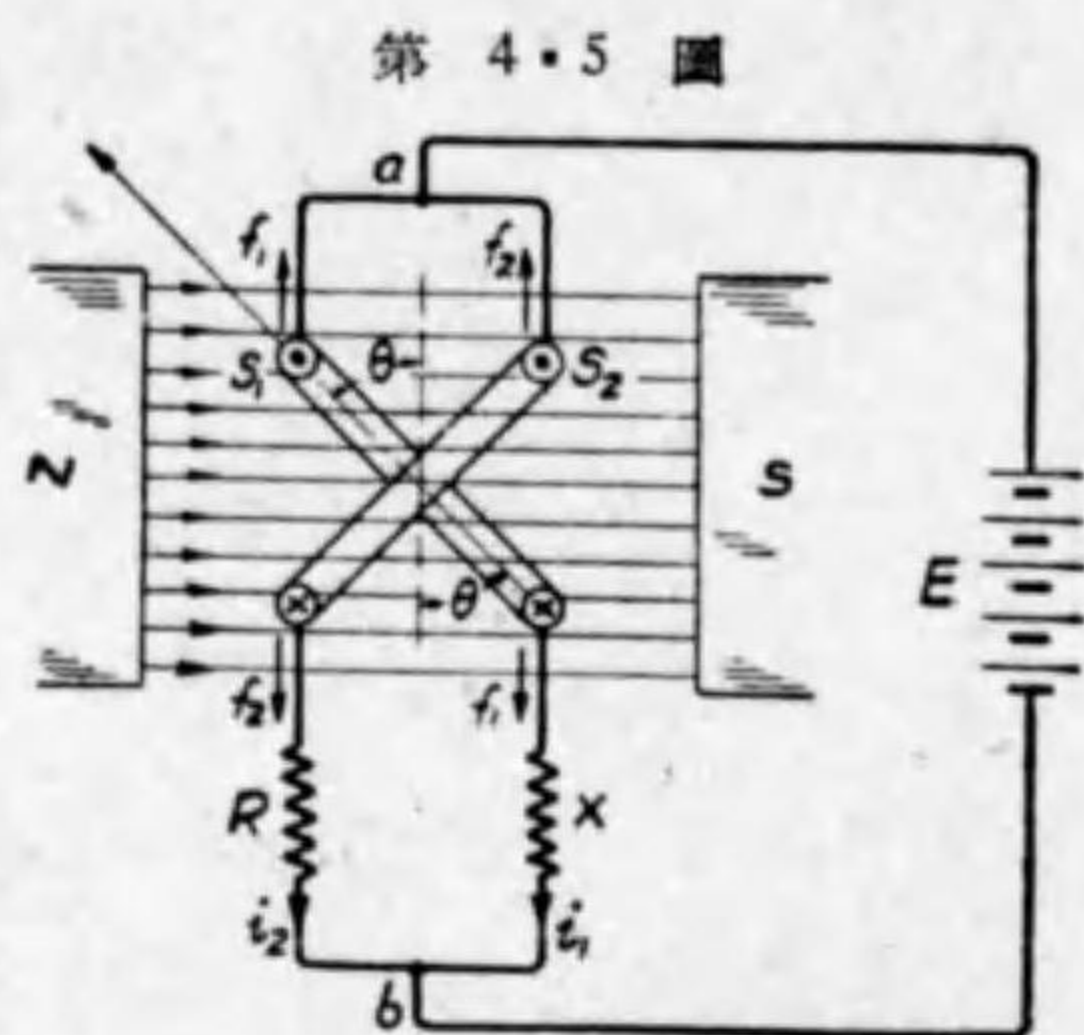
讀む。電圧計の抵抗を R_v とし、1 線の絶縁抵抗を x_1 とすれば、

$$x_1 = \frac{V_0 - V}{V} R_v$$

2 線と大地間に就ても同様に測定を行ひ、2 線の絶縁抵抗 x_2 を求める事が出来る。尚ほ 1, 2 兩線間に負荷を接続し、1 線と大地間に電池及び電圧計を接続すれば 1, 2 兩線の大地に對する合成絶縁抵抗 x を測り得る。

3. 抵抗計 被测抵抗のオーム數を直讀し得る抵抗計 (ohmmeter) にも種々あるが、茲に交叉線輪型抵抗計を説明しよう。第 4・5 圖で永久磁石 NS の作る磁界内に、互に直角に交叉して軸に取付けられた可動線輪 $S_1 S_2$ があり、 S_1 には被测抵抗 X を直列に接続し、又 S_2 には一定抵抗 R を直列に接続したものを共に並列に接続する事次頁に示す圖の様に之に直流

電源から共通の電圧を與へる。可動線輪に電流を導く導線には制御力を生じないものを用ひる。兩線輪に通ずる電流と磁界とによつて生ずるトルクは互に反對方向に生じ、此の兩トルクが平衡する位置に可動線輪は



交叉線輪型抵抗計の原理

静止し、軸に取付けた指針は目盛盤上に被测抵抗 X の値を指示する。次に此の原理を説明しよう。

今 ab 間の電圧を E , S_1, S_2 の抵抗を r_1, r_2 とすれば、各の電流 i_1, i_2 は

$$i_1 = \frac{E}{r_1 + X}, \quad i_2 = \frac{E}{r_2 + R}$$

従つて磁界の強さを H とすれば、 S_1, S_2 に働く電磁力 f_1, f_2 は夫々 Hi_1, Hi_2 に比例し、 θ を圖に示す傾斜角とすれば、 f_1 の間の距離は $b \sin \theta$, f_2 の間の距離は $b \cos \theta$ であるから (但し b は各線輪の幅), S_1, S_2 に働くトルクは夫々 $T_1 = f_1 b \sin \theta$, $T_2 = f_2 b \cos \theta$ で、之に上式を代入すれば、

$$T_1 = k_1 Hi_1 \sin \theta = k_1 EH \frac{\sin \theta}{r_1 + X}$$

$$T_2 = k_2 Hi_2 \cos \theta = k_2 EH \frac{\cos \theta}{r_2 + R}$$

$$T_1 = T_2 \text{ であるから, } k_1 EH \frac{\sin \theta}{r_1 + X} = k_2 EH \frac{\cos \theta}{r_2 + R}$$

$$\therefore X = \frac{k_1}{k_2} (r_2 + R) \tan \theta - r_1 = K \tan \theta - r_1$$

即ち X は θ の函数で、逆に θ は X の函数であるから、目盛盤上に X の値を目盛る事が出来る。

實際の抵抗計に於ては、磁界の強さ従つてトルクを大にして、外部磁界の影響を除外する爲に可動線輪の内部に軟鐵心を設け、その鐵心の形狀及び磁極片 $N S$ の形狀を適當の形にして、磁極と鐵心との空

第 4.6 圖



交叉線輪型抵抗計

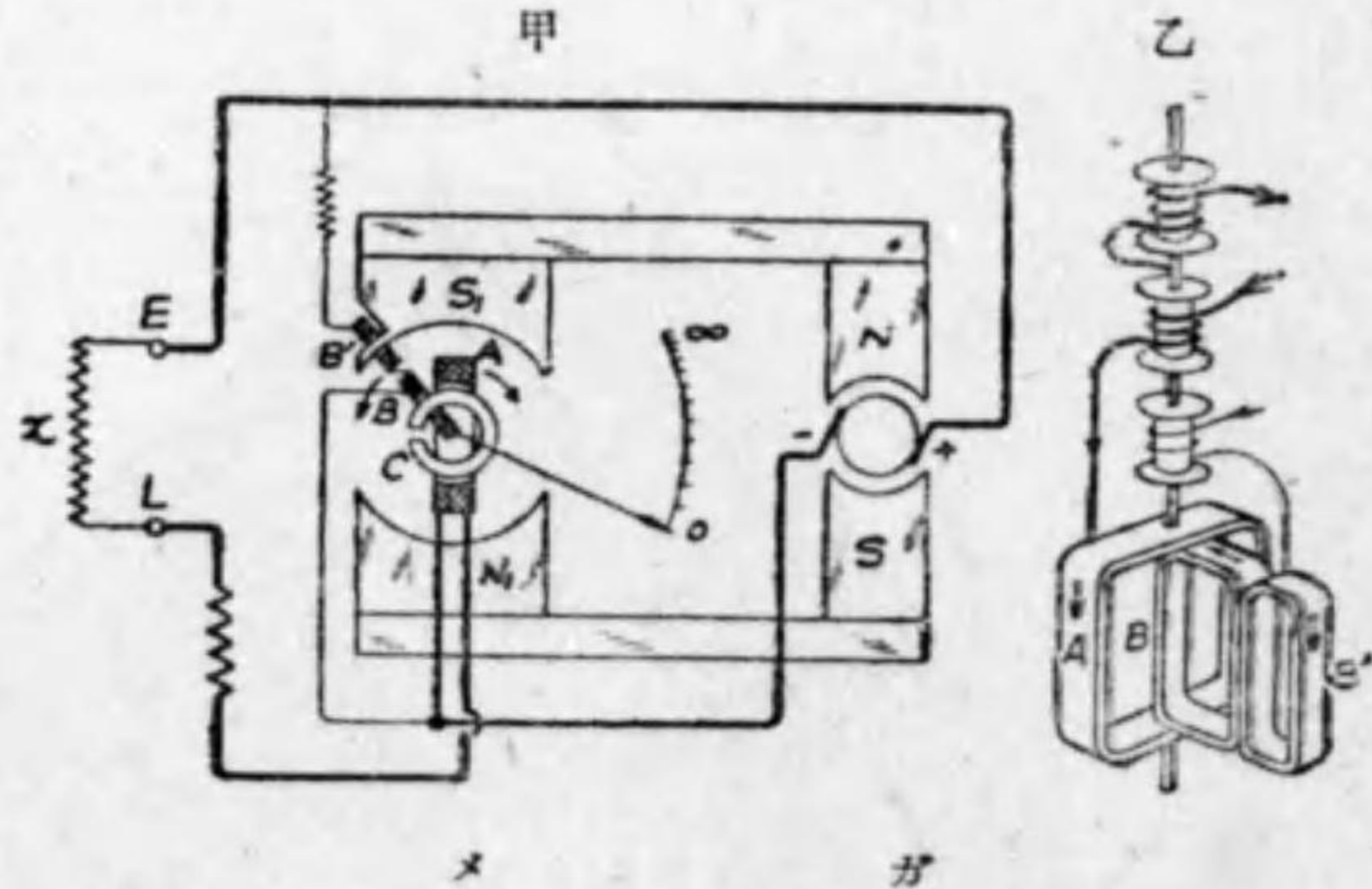
隙の長さを變へて、各部に於ける磁界の強さを適當に變へてある。此の抵抗計には種々の測定範圍のものが作られ、高抵抗用のものには高電壓の電源を用ひ、低抵抗用のもの

には低電壓の電源が用ひられる。第 4.6 圖は交叉線輪型抵抗

計の一例である。此の種の交叉線輪型計器は温度測定や壓力測定等にも應用されて居る。此の種の計器では被測量により兩線輪の電流比が變はるので廣義に之を比率計 (ratio meter) と云つて居る。

4. メ ガ 絶縁抵抗を直接メガオームで讀む絶縁抵抗測定器をメガ (megger) と稱する。第 4・7 圖はメガの構造を示

第 4・7 圖
甲



すもので之も比率計である。A は測定すべき高抵抗 x と直列に接續される様になつて居る線輪で、電流線輪と稱せられる。又 B 及び B' は電源と並列に接續された線輪で、電源の電圧に比例する電流が流れる。之を電壓線輪と稱する。電流線輪 A と電壓線輪 B, B' との三線輪は乙圖に示す様に回轉軸に固定され、軸は尖軸及び寶石軸受に依り自由に回轉し得る様になつて居り、

軸には指針が取付けられて居て、之で一組の可動線輪を形成して居る。N₁ S₁ なる永久磁石の磁極は可動線輪に對し界磁となる。又 A 線輪の内部には C なる中空圓筒形の軟鐵心が装置され、之は N₁ S₁ の作る磁界と直角なる位置で切目がある。又 S₁ は圖の様に切り込まれ、圖の位置では電壓線輪 B' を貫く様になつて居る。斯様に可動線輪の動き得る範圍 (即ち指針が目盛盤上の 0 と ∞ との間を動き得る範圍) 内では、電流線輪 A は平等輻射狀磁界内を動き、電壓線輪 B B' の相隣れる部分は圖の位置、即ち目盛 0 の位置から指針が ∞ に向ふ間に反時計式に漸次弱い磁界内に來る様になつて居る。又 N₁ S₁ の永久磁石の他端に付けた N S なる磁極は磁石發電機の電機子の界磁として用ひられる。電機子はそのハンドルを手で回轉すれば、齒車装置により高速度で回轉せられ、電壓をその端子に發生するものである。而してハンドルを或る程度以上速く廻せば、電機子は一定速度になり、之には一定の直流起電力を發生する様な構造になつて居る。

次にメガの動作を説明しよう。被測抵抗 x を L, E 端子間に結び、磁石發電機のハンドルを廻して電機子に一定起電力 E を生ぜしめると A, B B' に夫々 i_1, i_2 の電流が通ずる。A のトルク T_1 は i_1 と一定磁界に比例するから $T_1 = K_1 i_1$ で表され、B のトルク T_2 は i_2 と線輪の偏れ θ により決まる磁界に關係す

るから、 $T_2 = K_2 i_2 f(\theta)$ と表される。

$$K_1 i_1 = K_2 i_2 f(\theta)$$

然るに $i_2 = E/R_2$ (但し R_2 は電圧線輪 $B B'$ 及び其の直列抵抗の合成抵抗)

$$i_1 = \frac{E}{x+r_1} \quad (\text{但し } r_1 \text{ は電流線輪 } A \text{ 及び其の直列抵抗の合成抵抗})$$

$$\therefore K_1 \frac{E}{x+r_1} = \frac{K_2 E}{R_2} f(\theta)$$

$$\therefore x = \frac{K_1}{K_2} \frac{R_2}{f(\theta)} - r_1$$

となり x は線輪の回転角 θ の函数で、従つて目盛盤上に x の値をメガオームで目盛つて置けば宜しい。

斯様にメガに於ては、電流線輪 A に働くトルクを駆動トルクと考へれば、電圧線輪 $B B'$ に働くトルクが制御トルクの役目をなすものと考え得る。従つて此の外に機械的トルクが働くとすると、電源の電圧の變化があるとそれにより電圧線輪の制御トルクの割合が變はつて來るため、誤差を生ずる。依つて可動線輪に電流を導くべき導線は非常に可撓性で弾力のないものを用ひ、可動線輪が回転しても制御力を生ずることがない様にす必要上、導線を乙圖に示す様に導線の捻回によるトルクが出来るだけ小なる様に作られて居る。故に實用上では此の導線の捻回による機械的トルクは極小で閉却することが出来る。従つ

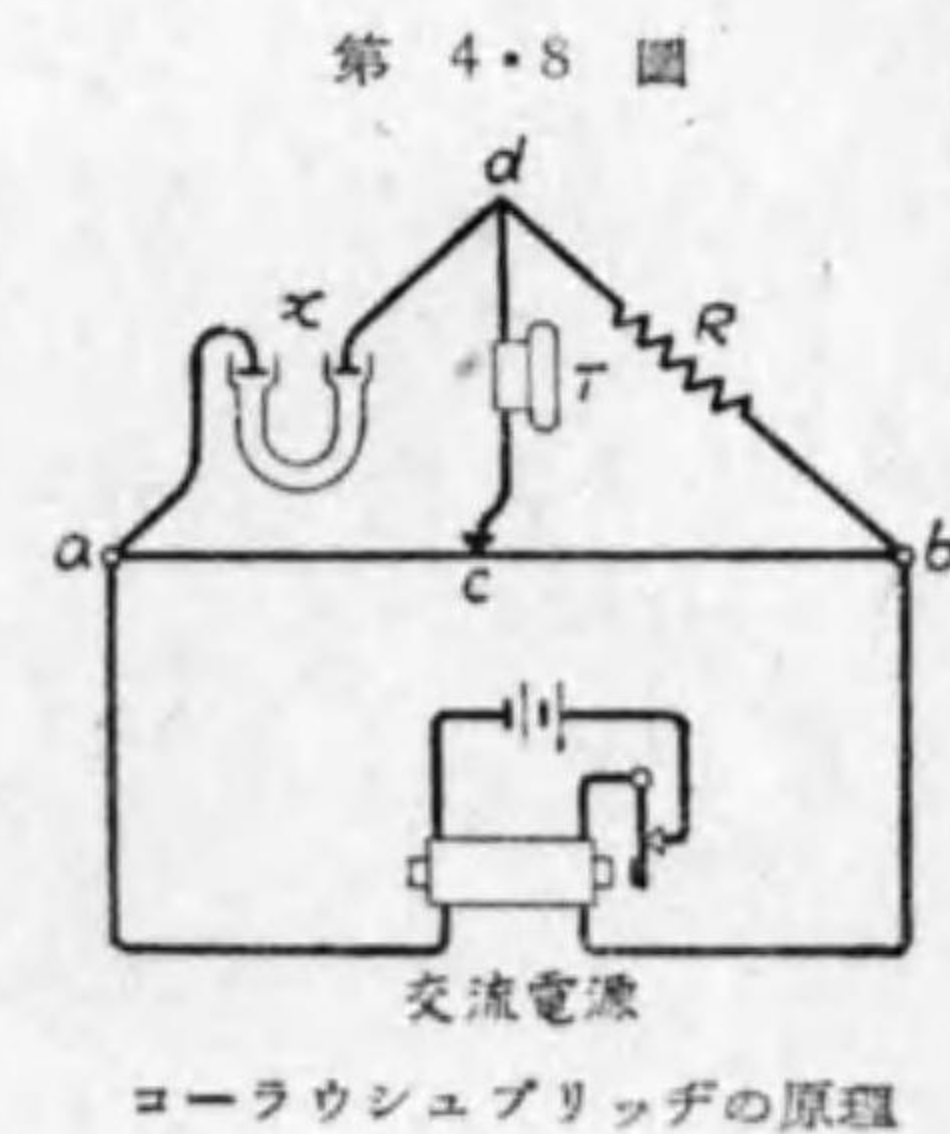
てメガは、發電機のハンドルを回轉して電壓を發生させなければ、指針の位置は全く不定である。

メガは、電壓 100, 250, 500, 1000 ボルト、其の測定範圍も 10, 20, 50, 100, 2000 メグオーム等に作られて居る。

5. 電解液の抵抗測定 電解液に二つの電極を設け、之に直流を通すと成極作用が起り、電流と反方向の逆起電力を生じ、そのため電解液の抵抗が増した結果になる。電解液の抵抗を測定するには出来るだけ成極作用の逆起電力を生じない様にすべきである。成極作用を最小にするには、普通電極に白金板を用ひ、白金板の表面に白金黒を固着せしめて表面積を大にしたものを使用し、電源としては交流を用ひるのである。

電解液の抵抗は一般に濃度に依り異なり、又一般に温度が昇るに従つて急激に減少し、次第に變化の割合は少くなるものである。

(イ) コーラウシュブリッジ法
電解液の抵抗を測定するには普通第4・8圖に示すコーラウシュブリッジ (Kohlrusch bridge) と稱する交流ブリッジ法を用ひ

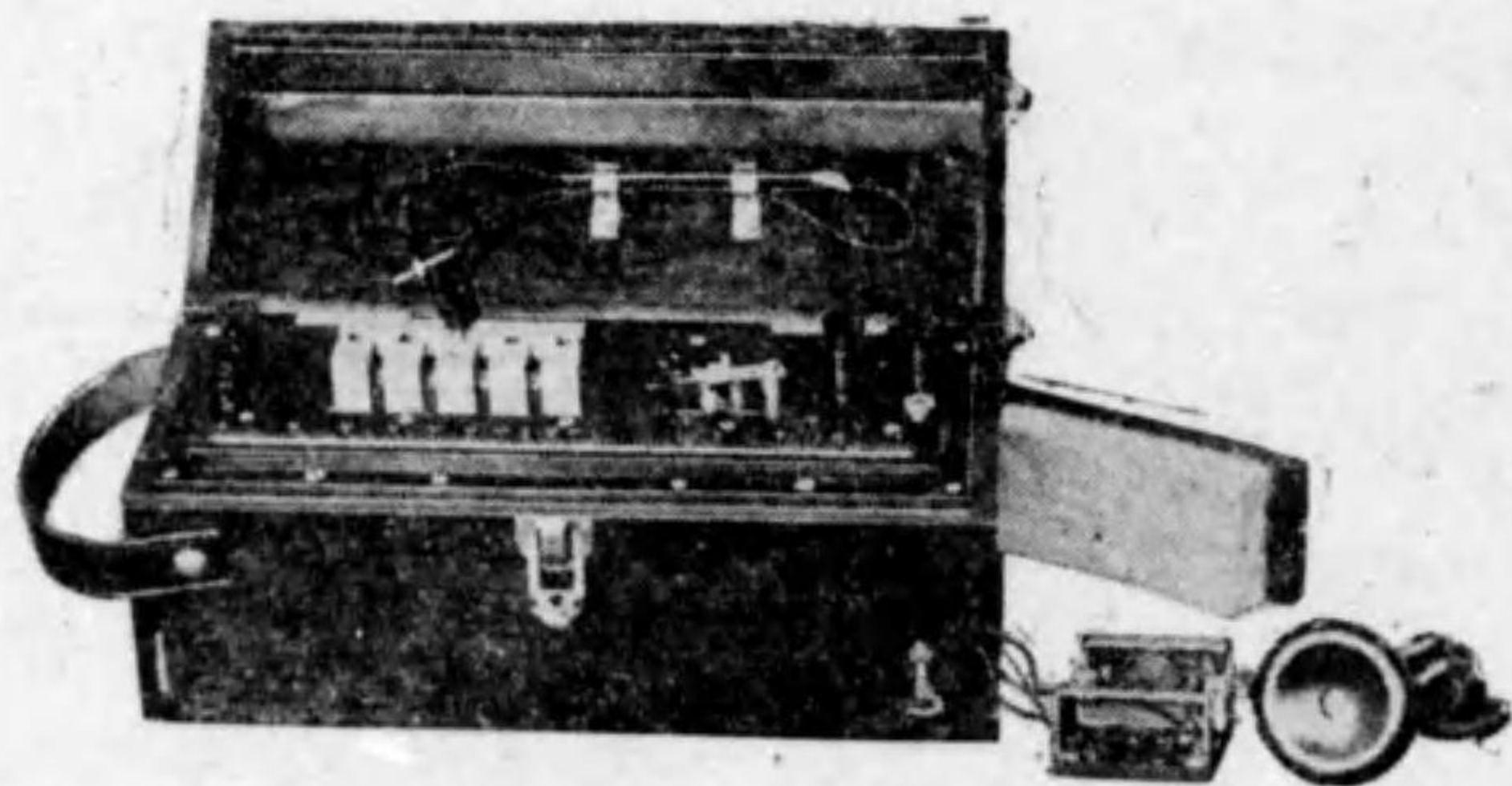


る。これはホイートストンブリッジと同様であるが、電解液の成極作用を最小にするために交流電源を用ひ、従つて検流計の代りに受話器 T を用ひてある。交流電源としては小さな誘導線輪を用ひる。 x が測定すべき電解液、 R が標準抵抗、 ab が摺觸線である。 R に適當の値のものを選び、摺觸線 ab 上の摺動子を動かして、受話器 T に音の感じない點 c を見出す（普通音の全く無くなる點を見出す事は出来ないから、音の最も微弱となる點を見出せばよい）。此の場合には c 點と d 點とは同電位であるから、ホイートストンブリッジと同様な原理に依り、次式で電解液の抵抗は算出される。

$$x = \frac{ac}{bc} R$$

電解液抵抗の値の大小により其の容器も適當のものを用ひるのである。第 4・9 圖は横河製のコーラウシュブリッジの寫真

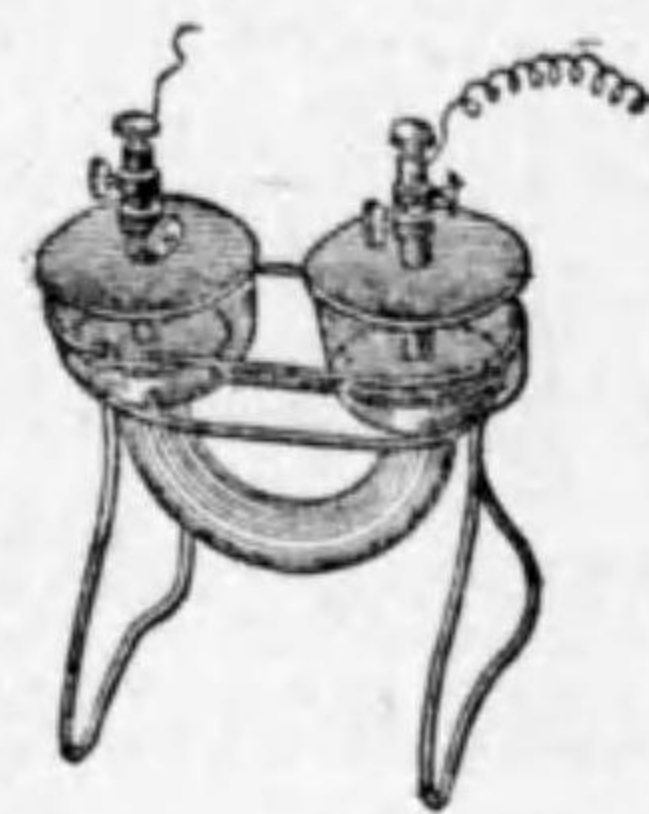
第 4・9 圖



コーラウシュブリッジ

で、抵抗 R は 0.1, 1, 10, 100 及び 1000 オームの五線輪から成つて居る。第 4・10 圖は電解液の容器の一例である。

第 4・10 圖



電解液容器の一例

電解液の固有抵抗 (ρ) 又は導電度 ($\lambda = \frac{1}{\rho}$) を求めるには、上述の様に不規則な容器から直接計算によつて算出する事が出来ないから、既知固有抵抗 (ρ_s)、又は導電度 ($\lambda_s = \frac{1}{\rho_s}$) の標準電解液を同一容器に入れて被測電解測定の場合と同一條件の容積の抵抗を測り、之を x_s とすれば、同一温度、同容積、同形状の條件では、固有抵抗は抵抗に比例するから、

$$\frac{\rho}{\rho_s} = \frac{x}{x_s} \quad \therefore \rho = \frac{x \rho_s}{x_s} \quad \text{オーム/厘立方}$$

$$\therefore \lambda = \frac{x_s \lambda_s}{x} \quad \text{モ-/厘立方}$$

(此の場合本式より明かな通り、 $\lambda x = \lambda_s x_s$ は一定で、これを K とすれば、此の $K = \lambda_s x_s$ を此の場合の容器の抵抗容量と稱して居る。)

標準電解液として、蒸留水 1 リットル中に純粋な食鹽 (NaCl) 26.4 瓦を溶かした比重 1.201 なる食鹽水を用ひると、その種々の温度に於ける導電度 (λ_s) は第 4・2 表の通りである (他の標準電解液に就ては電氣工学ポケットブックを参照せよ)。

第 4・2 表 食鹽水の種々の温度に於ける導電度 (λ_s)

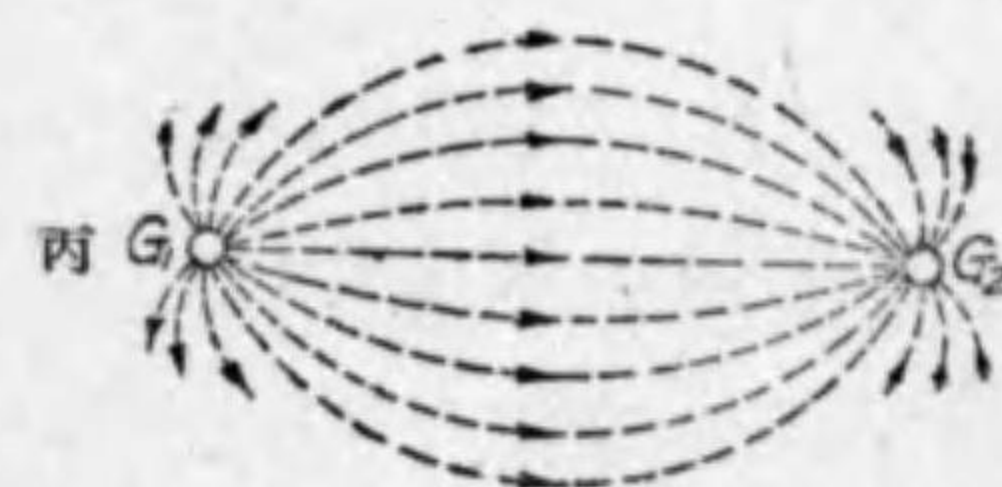
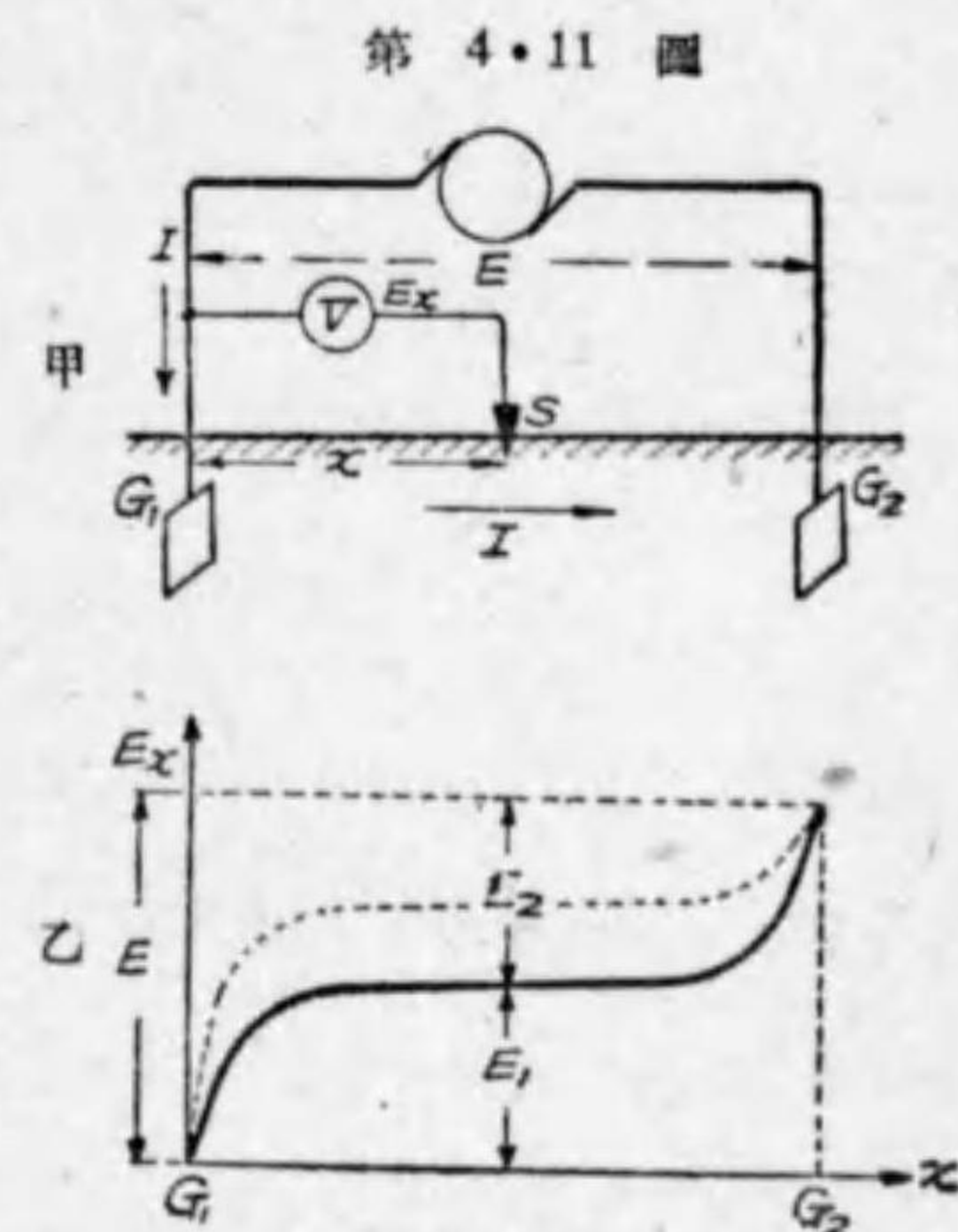
温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	15	16	17	18	19	20	21
導電度	0.2015	0.2063	0.2112	0.2161	0.2210	0.2260	0.2310

表の値は 18°C に於て、 $\lambda_s=0.2161$ モー/種立方 であるから、固有抵抗 $\rho_s=4.66$ オーム/種立方である。

電解液の成極作用を最小にするためには交流の周波数は高い程良い。然し周波数が高い程、ブリッチ各部のインダクタンス及び容量の影響が著しくなつて来る。普通の小さな誘導線輪では周波数は 100 乃至 400 サイクル位である。又誘導線輪を電源とする場合には、之は純正弦波でない爲に完全な平衡を見出し難いので音の最微弱な點を求めめるのである。

6. 接地抵抗の測定 電氣工作物では保安上接地を行ふのである。例へば避雷針、避雷器、低壓電路、變壓器、電動機等の鐵臺の接地の様なものである。接地抵抗とは如何なるものかその意味を考へて見よう。今第 4・11 圖甲に示す様に、二個の地板 G_1, G_2 の間に電圧 E を與へて電流 I を通じ置く。高抵抗の電圧計 V の一端を G_1 と電源の端子との接續點に接續し、他端を S なる接地金屬棒に接續して、 S を G_1, G_2 間の諸點に挿込んで、其の間の電壓降下を測ると乙圖に示す様な電壓降下、

曲線を得る (横軸 x には G_1 から S までの距離を取り、縦軸には其の間の電壓降下、即ち電圧計の讀 E_x を取つたものである)。此の電壓降下曲線から見ると、 G_1, G_2 間の單位長毎の電壓降下即ち電壓降下率は地板 G_1, G_2 の附近で大であつて、電壓降下曲線の水平になつた處、即ち電圧計の讀が E_1 なる處では電壓降下率は零である。地中に於ける電流通路は丙圖に示す様に、



接地抵抗の意義

電流は G_1 の小面積から次第に大地に廣がり、 G_1, G_2 の中間の大地の大面積に廣がつて、これから又 G_2 の小面積に密集して行く。 G_1, G_2 の附近程電流密度大で電壓降下率大、従つて抵抗大であるが、中間の電流密度が極小なる處では電壓降下率零で抵抗が殆ど零である。従つて地板 G_1 の大地との接觸の爲に生じた抵抗即ち G_1 の接地抵抗としては、電壓降下 E_1 (即ち電壓降下曲線の水平となつた時の電圧計の讀) を電流 I で割つた値で表される。

$$G_1 \text{ の接地抵抗 } G_1 = \frac{E_1}{I}$$

同様に、 G_2 の接地抵抗は、 G_2 の電圧降下 $E_2 = E - E_1$ を電流 I で割った値で、

$$G_2 \text{ の接地抵抗 } G_2 = \frac{E_2}{I}$$

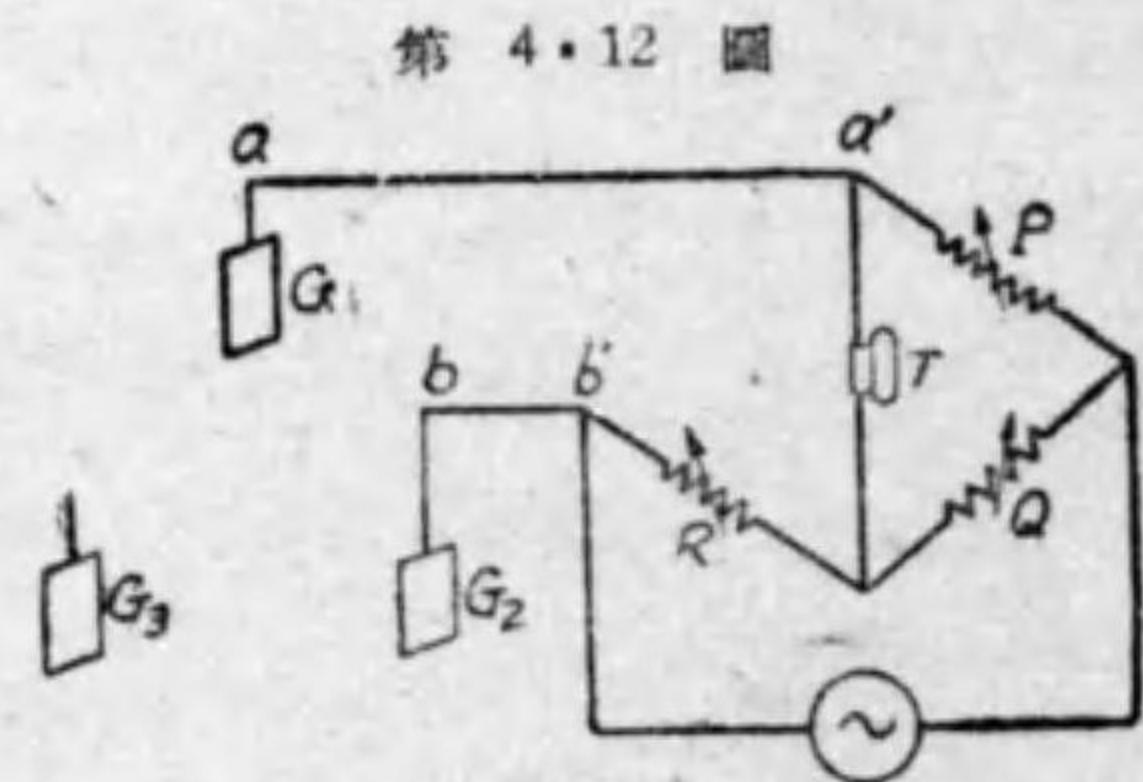
電圧降下曲線の水平部分は地板の周囲約 5 米距つた所から生ずるから、地板 G_1 の接地抵抗測定のため別に補助地板 G_2 を用ふる時は少くも G_1, G_2 間を 10 米以上となる様に補助地板 G_2 を設ける必要がある。大地に直流を通ずると成極作用を生ずるから、電源としては低い周波数の交流電源を用ひる。茲に二個の補助地板を用ひる法、一個の補助地板を用ひる法に依る接地抵抗計を説明しよう。

(イ) 二補助地板を用ひる

法 第 4・12 圖に示す様に、被测地板 G_1 と二補助地板 G_2, G_3 とを相互間の距離 15 米位の正三角形の頂点を形成する様に G_2, G_3 を臨時

に埋設し、二つ宛の接地抵抗をコーラウシュブリッジで測定し、之等三回の測定結果から各の接地抵抗を算出する方法である。

先づ、圖に示す様に、 G_1 と G_2 とをブリッジの一辺を成す



二補助地板を用ふる法

様に、導線 aa', bb' に接続して、 P, Q, R を調整して受話器 T が無音となる場合の P, Q, R の値より、 $G_1 + G_2$ の値を算出し置き、之を α オームとする。即ち、

$$G_1 + G_2 = \frac{P}{Q} R = \alpha \quad (イ)$$

次に導線を G_1, G_3 に接続し、 P, Q, R を調整して平衡した場合を見出し、これより $G_1 + G_3$ を算出し、これを β オームとする。

$$G_1 + G_3 = \beta \quad (ロ)$$

最後に、 G_2 と G_3 とを導線に接続して平衡を得た時の P, Q, R の値より、 $G_2 + G_3$ を算出して、これを γ オームとする。

$$G_2 + G_3 = \gamma \quad (ハ)$$

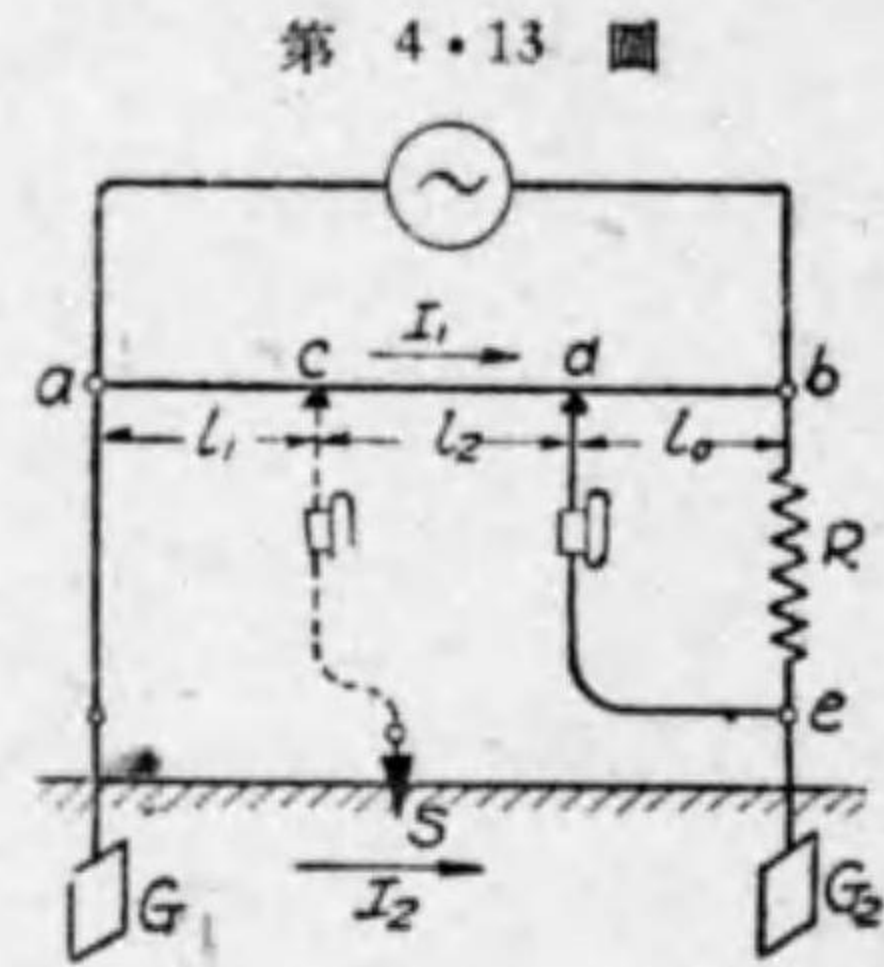
(イ), (ロ), (ハ) 三式より、

$$G_1 = \frac{\alpha + \beta - \gamma}{2}$$

但し aa', bb' の接続線の抵抗を考慮すべきである。

(ロ) 一補助地板及び探針を用ひる法 これもコーラウシュブリッジを用ひる方法である。第 4・13 圖に示すやうに、被测接地抵抗 G_1 の外に、一個の補助地板 G_2 と、中間に電位点として金属棒 S (これを探針と稱する) を地中に挿込んでおく。 R は既知抵抗である。先づ受話器の下端を R と G_2 との接続点 e に接続して、摺動線 ab 上の摺動子を動かして平衡点 d を見

出す。次に点線で示す様に受話器の下端を探針 S に接続して、摺動子を動かして平衡点 e を見出す。今 $acdb$ の電流を I_1 、 aG_1G_2Rb の電流を I_2 とし、 ac 、 ed 、 db の長さを夫々 l_1 、 l_2 、 l_0 とし、摺動線単位長の抵抗を r とすれば、 e と S



第 4・13 圖

とは同電位で、又 d と e とは同電位であるから、次式が成立する。

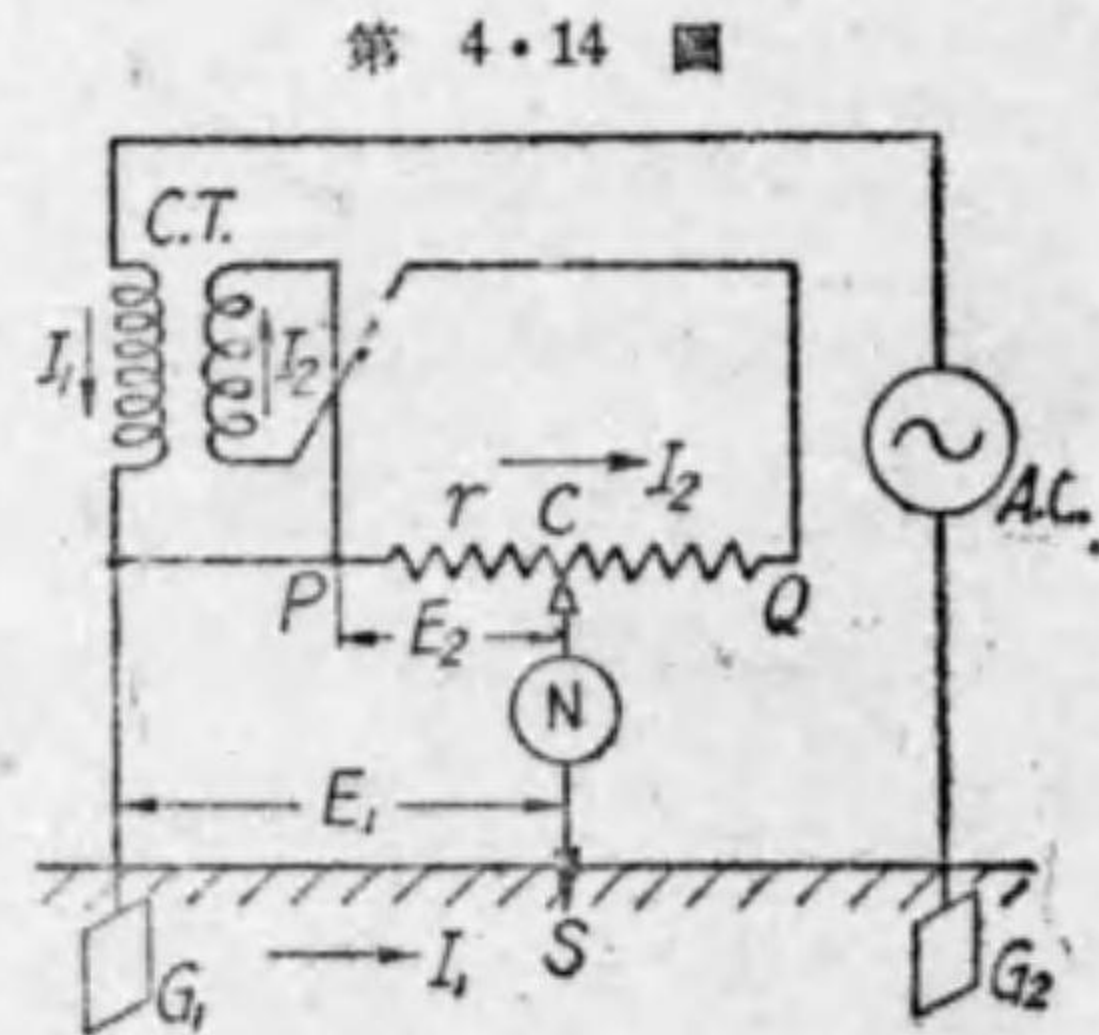
$$I_1 r l_1 = I_2 G_1, \quad I_1 r l_2 = I_2 G_2, \quad I_1 r l_0 = I_2 R$$

$$\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{r l_1} = \frac{G_2}{r l_2} = \frac{R}{r l_0}$$

$$\therefore G_1 = \frac{l_1}{l_0} R$$

第 4・14 圖は、第 4・13 圖の應用と見る事が出来る。

A. C. は手廻しの交流電源であつて、C. T. なる電流變成器の一次線輪と $G_1 G_2$ を I_1 アンペアの電流が流れる。C. T. の二次側には I_2 なる電流が PQ 間の抵抗を流れる。C 點は PQ 抵抗線上を



第 4・14 圖

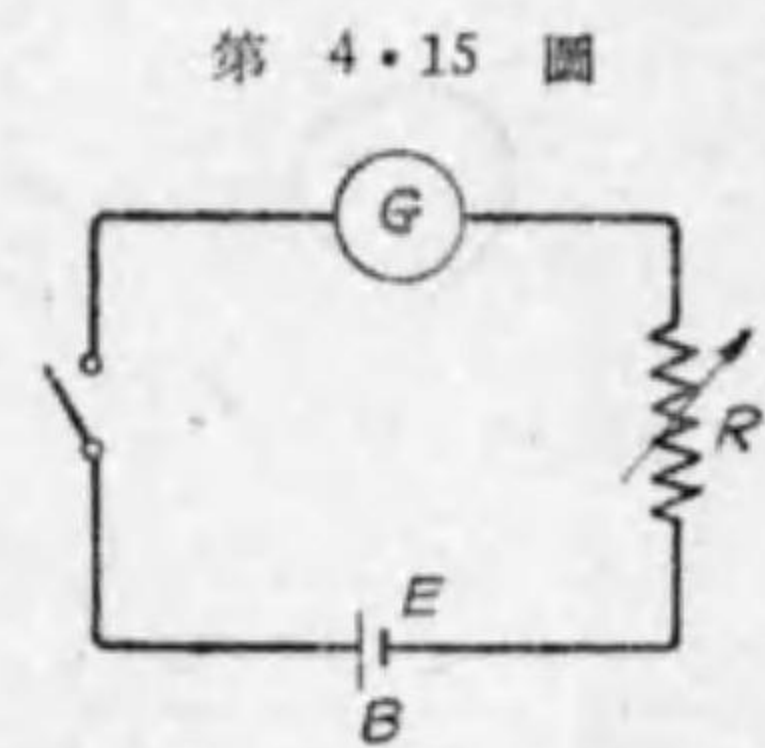
摺動し得るものである。N は交流用檢流計である。C 點を移動して檢流計に電流の流れない即ち平衡した點を求め得たとすると、 $E_1 = E_2$ であり、 $E_1 = I_1 G_1$ 、 $E_2 = I_2 r$ であるから、

$$I_1 G_1 = I_2 r$$

電流變成器 C. T. の一次、二次巻線数を適當にして置けば $I_1 = I_2$ とすることが出来るから結局 $G_1 = r$ となつて測定接地抵抗を PQ 抵抗線上に讀取ることが出来るのである。

7. 電池内部抵抗の測定 電池の内部抵抗は、成極作用のためにその電流の値により抵抗の値が異なるものである。茲に電池自身を試験電源とする二三の方法と交流電源を使用するコーラウシュブリッジ法とを説明しよう。

(イ) 半傾斜法 第 4・15 圖に示す様に既知抵抗の檢流計 G 、可變抵抗 R 及び測定すべき電池 B を直列に接続し、先づ R の値が R_1 の時の檢流計の偏れ d を讀む。次に R の値を増して檢流計の偏れが前の半分 $\frac{d}{2}$ なる時の R の



第 4・15 圖

半傾斜法

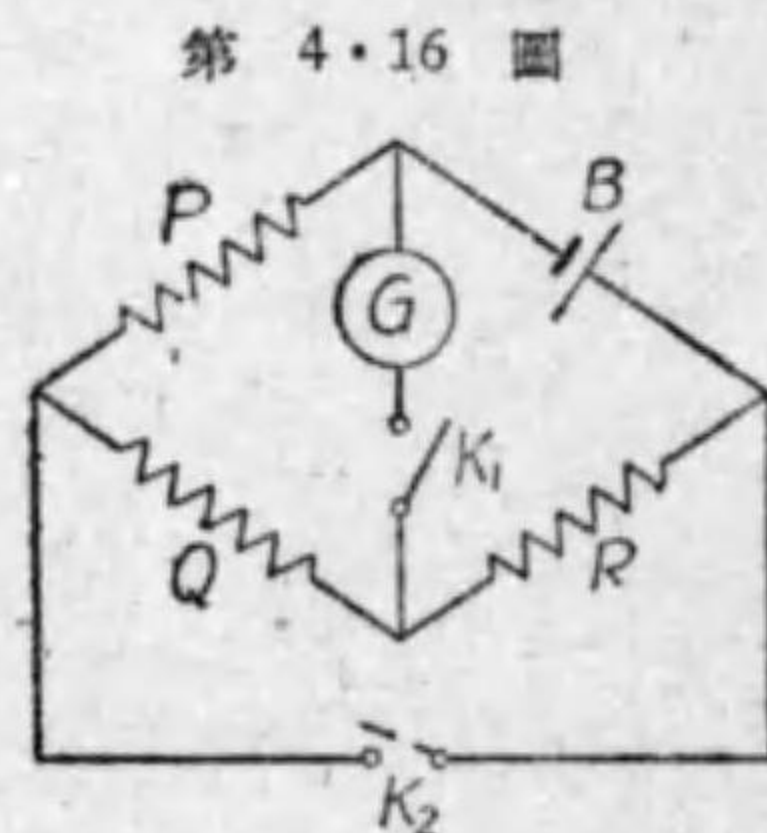
値を求め、之を R_2 とする。檢流計定數を K 、電池の起電力を E 、被测抵抗を B とすれば、二回の電流は夫々次の様になる。

$$Kd = \frac{E}{B + G + R_1} \quad \text{及び} \quad K\left(\frac{d}{2}\right) = \frac{E}{B + G + R_2}$$

此の二式から、 B の値は次式で算出される譯である。

$$B = R_2 - 2R_1 - G$$

(ロ) マンス法 (Mance's method) 此の方法は検流計で自己の抵抗を測定する法 (前章問題3) とよく似て居る。第4・16圖はマンス法の接続を示す。測定すべき電池 B をホイートストンブリッジの一邊に接続し、ブリッジ電源を取除き其の位置に電鍵 K_2 を備へる。此の實驗では検流計 G に大なる電流が流れるから、高抵抗の検流計を用ひるか又は高抵抗を検流計に直列に接続して置くべきである。検流計電鍵 K_1 を閉めて置いて、 P, Q, R を適當に調整して K_2 を閉ちても開いても検流計の偏れが變らないで一定の偏れである場合を見出す。此の場合には次の關係がある。



マンス法

$$B = \frac{P}{Q} R$$

此の方法の缺點は K_2 を開閉する事により、電池電流が變はり電池の抵抗を變へる傾向がある事である。又短時間に成極作用を生ずる様な電池に對しては本法は不適當である。

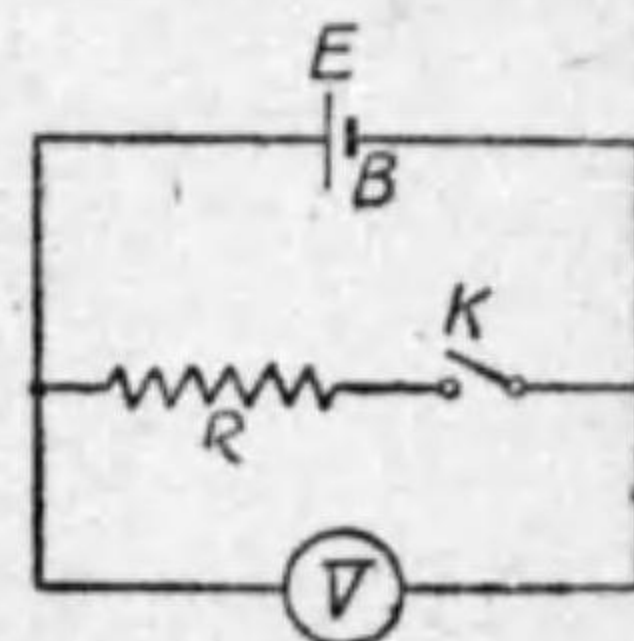
(ハ) 交流ブリッジ法 之は第4・17圖の様にコーラウシュブ

リッジの一邊に測定すべき電池 B を接続し、尙ほ交流電源及び受話器 T の回路に夫々蓄電器 C_1, C_2 を接続し置き、之等の回路に直流が通じない様にして置く。 R 又は摺動線上の摺動子を調整して受話器 T の無音となる場合を見出す。平衡せる場合は

$$B = \frac{P}{Q} R$$

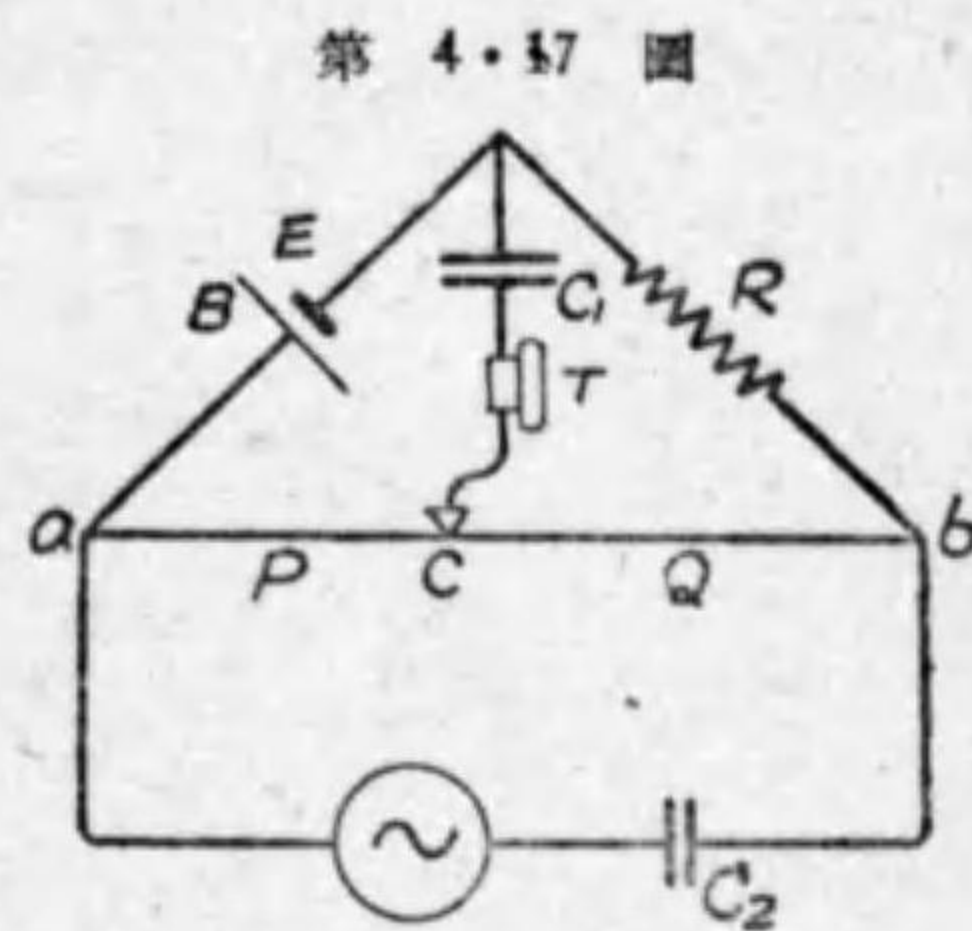
此の場合に電池による直流は $B P Q R$ に通ずる故、電池を流れる直流 i は $i = \frac{E}{B + P + Q + R}$ にて求められる。従つて R の値を種々に變じて此の實驗を繰返へし、電池抵抗が電流増加によつて如何に變化するかを研究する事が出来る。

(ニ) 電圧計法 此の方法は近似的方法で、第4・18圖に示す様に、電圧計 V 、電池 B 、既知抵抗 R を接続する。先づ電鍵 K を開き置き、電池の電圧 E を電圧計で讀む (電圧計の抵抗は高いから、 E は實用上電池の起電力と見做される)。



電圧計法

次に K を閉ちて電池の端子電圧 E' を電圧計で讀む。電圧計



交流ブリッジ法

は高抵抗であるから、電圧計電流を閉却して、

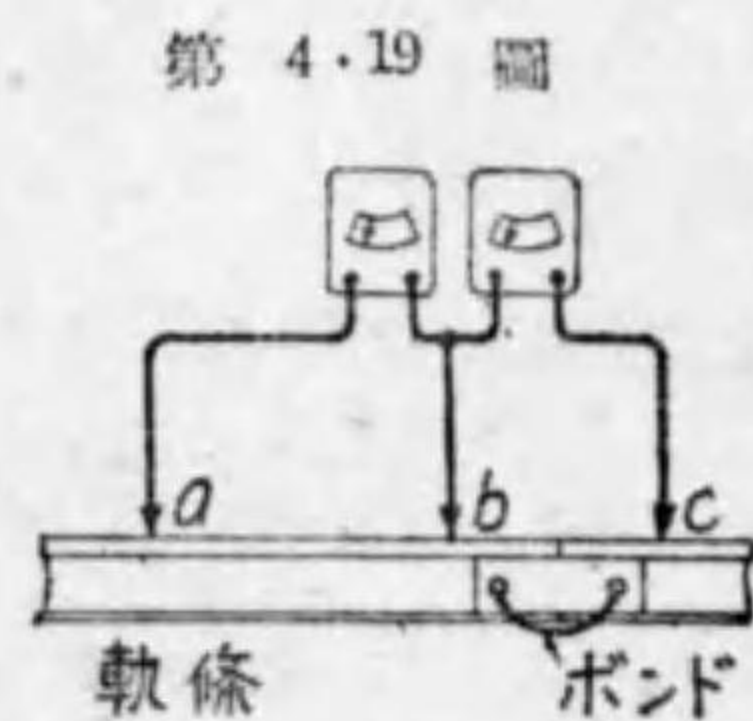
$$E' = \frac{E}{B+R} R$$

$$\therefore B = \frac{E-E'}{E'} R$$

この方法は簡単な方法であるため実用的方法である。

8. 軌條ボンド抵抗の測定 単線式電氣鐵道は電流の歸り道として軌條を使ふので、軌條と軌條との端を熔接する場合の外はボンドを使ふ。このボンドの抵抗は普通それと同一抵抗のその軌條の長さで表される。

ボンドの抵抗を測定するには、電車運轉中は電流が絶えずボンドを流れて居るから、ボンド取付點の上部に固定接點 ba を (第 4・19 圖)、軌條上に移動接點 c を設け、その間の電位差をミリボルト計で測定して、兩ミリボルト計の偏れが等しくなつた時の、移動接點とそれに近い固定接點との長さ bc を測つて



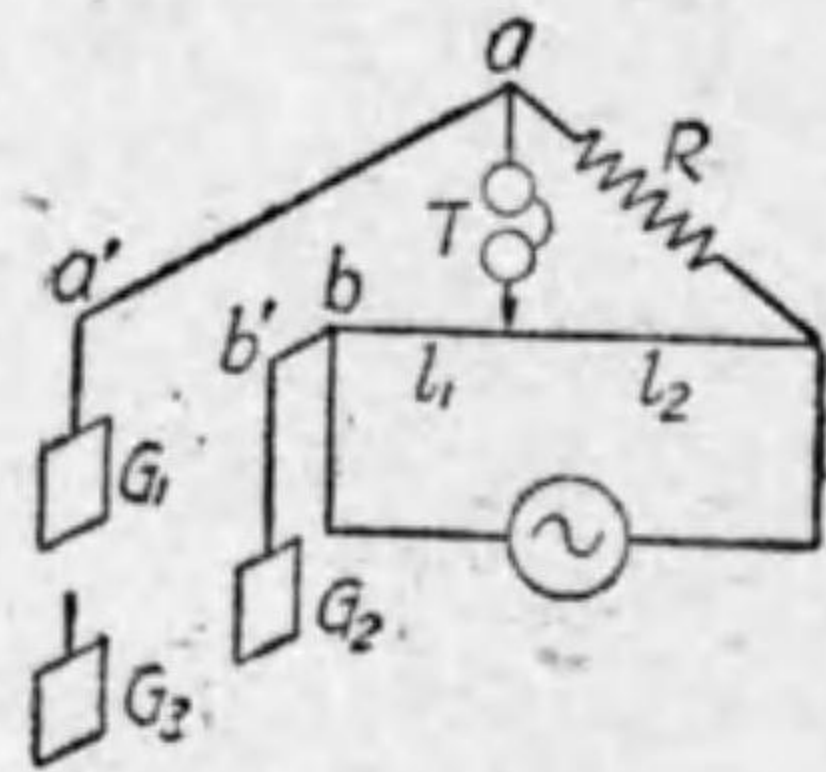
答とする。但し軌條電流は絶えず變化するから兩ミリボルト計の指針も絶えず動くが、それを良く見て最大偏れの等しい事を確めるのである。

問題習復 IV

1. ケーブルの絶縁抵抗測定法を説明せよ。
2. ゴム絶縁電線の絶縁抵抗測定前の処理法及び測定中に注意すべき事項を列挙せよ。
3. 攝氏 25 度に於て 30mm^2 の第四種絶縁電線 200m の絶縁抵抗を測定したら 1500 メグオームであつた。電氣工作物規程に適合するものなりや否や。
註 35mm^2 から 14mm^2 までの第四種絶縁電線の絶縁抵抗は電氣工作物規程により 15°C に於て 1 軒につき 600 メグオーム以上ある事が要求される。
4. 120 V の直流分巻發電機とそれに附屬する電圧計とある。之で該直流發電機の絶縁抵抗を知る事が出来ないか。又交流電燈線 (100 V) と 120 V 交流電圧計とある。之で三相誘導電動機の絶縁抵抗が測れるか。
5. 電鐵用變電所で電車の運轉を開始するに先立ち、電車線又は饋電線の絶縁抵抗をメガに依らず測定する方法を述べよ。
6. 抵抗を直讀し得る抵抗計の一種につき其の原理を述べよ。
7. メガとは何ぞや。メガに依る測定方法を述べよ。
8. 硫酸銅の溶液の抵抗は如何にして測定するか。
9. コーラウシュブリッジの原理を述べよ。
10. 接地抵抗測定装置 3 種を述べよ。

11. 第 4・20 圖に依つて G_1 の接地抵抗を測定せんとす。 $a'b'$ を G_1G_2 に接続して抵抗を求めたるに 18.1 オーム, 同様にして G_2 と G_3 間の抵抗 24.1 オーム, 及び G_3 と G_1 間の抵抗 18.8 オームを得たりと云ふ。 G_1 , G_2 及び G_3 の抵抗を求む。但し a a' 及び b b' 間の接続線の抵抗は全部で 1.8 オームとす。

第 4・20 圖



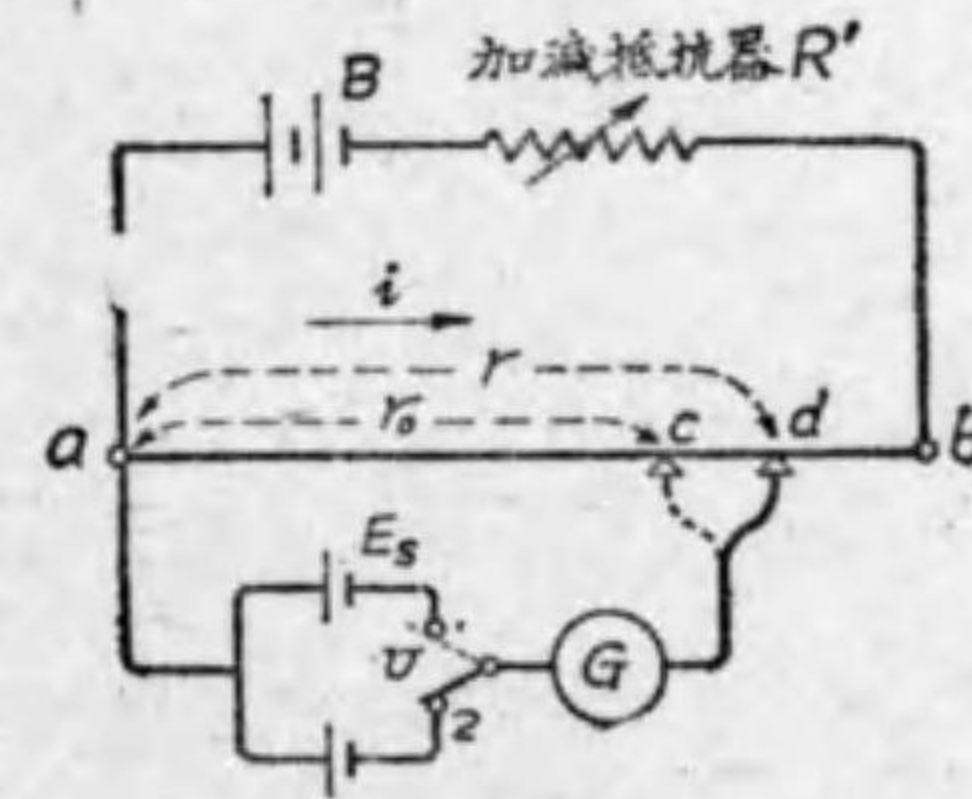
12. 第 4・16 圖に於て電鍵 K_1 を閉ぢたるときの検流計の偏れは、 K_2 の電鍵を閉ぢても變化なかつたと云ふ。然るとき電池の内部抵抗 B は次式で求められることを證明せよ。但し検流計の抵抗を R_g とす。

$$B = \frac{P}{Q} R$$

第五章 電 位 差 計

1. 直流電位差計の原理 電位差計 (potentiometer) とは零位法により標準電池の起電力と比較して任意の起電力を測定する装置である。第 5・1 圖は電位差計の原理を示す。 ab は

第 5・1 圖



電位差計の原理

一定の抵抗で、之に蓄電池 B から一定値の電流 i を通じ置く。先づ開閉器 U を (1) に閉ぢて標準電池 E_s と検流計 G とを直列とし、 ab 抵抗線上の摺動子を動かして検流計が偏れない場合の位置を c 點とする。 ac の

抵抗を r_0 とせば、 E_s には電流が流れないのだから

$$ir_0 = E_s \tag{イ}$$

次に開閉器 U を (2) に閉ぢて摺動子を動かして検流計が再び偏れない場合の位置を見出し之を d 點とする。 ad の抵抗を r とすれば、同様に

$$ir = E \tag{ロ}$$

(イ) の i の値を (ロ) に代入して、

$$E = ir = \frac{E_s}{r_0} r = \frac{r}{r_0} E_s$$

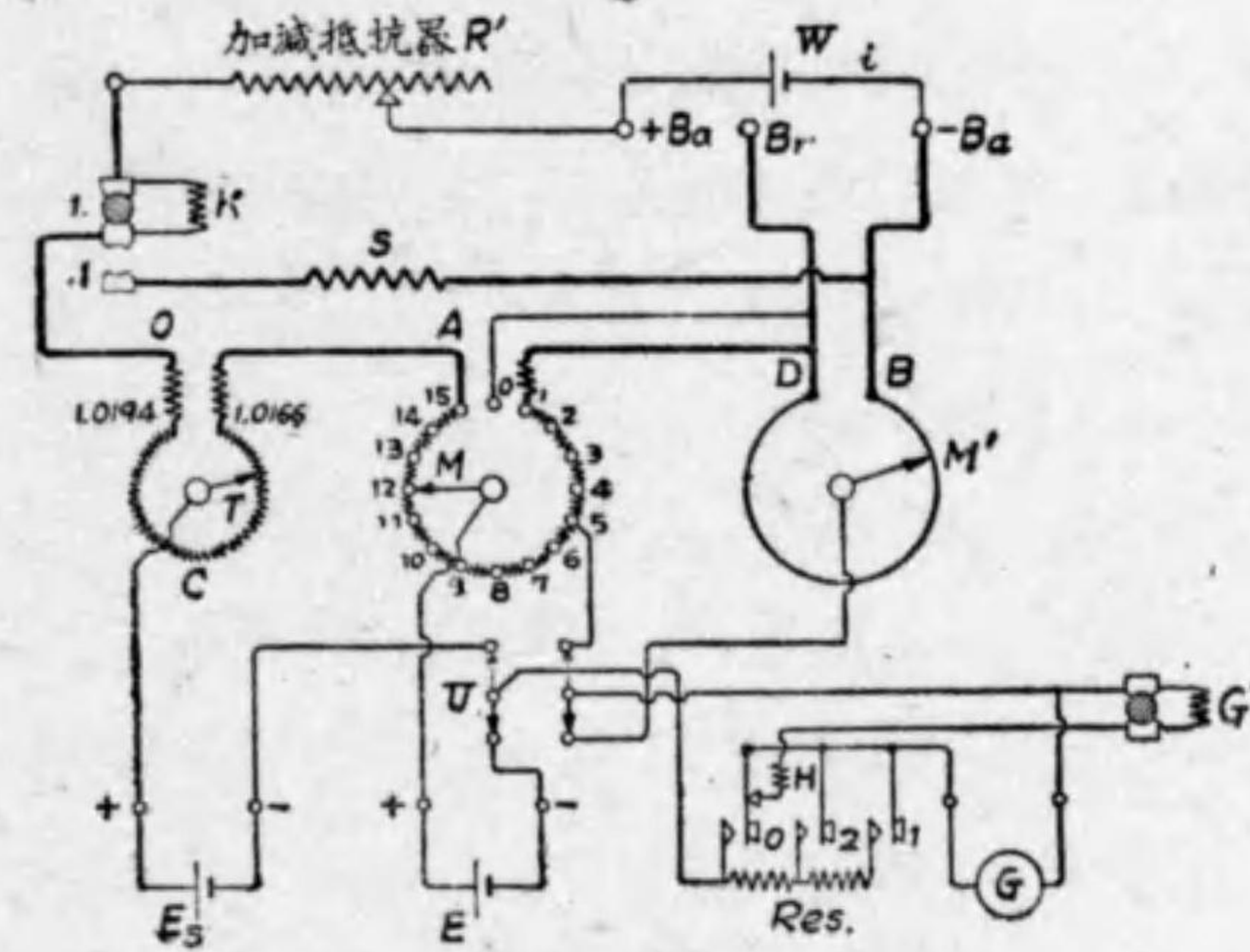
即ち測定せんとする電池の起電力 E は E, r_0, r の値より求められる。実際の電位差計では、測定範囲が約 2 ボルトの電圧降下を得る様な電位差計抵抗 (ab) に作られて居る。 ab 上には抵抗値 (r) の代りに電圧値 (ir) を目盛つてある。之を使用するには、先づ標準電池により電位差計動作電流 (i) を決定する〔即ち標準電池の起電力 (E_s) の値の目盛に摺動子を持来り U を、(1) に閉ちて標準電池を回路に入れ検流計が平衡する迄加減抵抗器 R' を調整して動作電流を決定する〕。次に U を (2) に閉ちて被測起電力 E を回路に入れ、摺動子を動かして検流計の平衡する點より E を読むのである。

電位差計抵抗の構成法には種々あるが 低抵抗型のものと高抵抗型のものとに大別する事が出来る。低抵抗型のもは抵抗線輪と摺觸線との組合せから出来て居て、之を一名摺觸線型電位差計とも稱する。又高抵抗型電位差計は抵抗線輪の組合せから出来て居て、之を一名抵抗線輪型電位差計とも稱する。低抵抗型電位差計の特徴は測定の感度が良い事であり、又高抵抗型電位差計の特徴は動作電流が極めて小なる結果、線輪の加熱作用が少く蓄電池 B の電圧の變化も小さい事である。

2. 直流電位差計の實例

(1) 低抵抗型電位差計 第 5・2 圖は低抵抗型の一例を示す。

第 5・2 圖



低抵抗型電位差計

る摺動子 M' が取付けられて居る。又蓋の下縁に摺觸線一卷の 100 等分目盛があるから、 DB の全長 (その抵抗は 5.5 オームある) は 1 100 等分される譯になる。 OCA の抵抗は温度補償用である。又 S 及び K なる抵抗は測定範囲を十分の一に擴張する爲のもので、抵抗 S は電位差計抵抗の $\frac{1}{9}$ の値、又 K なる直列抵抗は電位差計抵抗の $\frac{9}{10}$ の値を有するものを用ひてある。普通使用する場合には栓を上の上の 1. に挿込む。栓を下の .1 に挿替へれば、電位差計には前の場合の $\frac{1}{10}$ の電流が流れ測定範囲が十分の一になる。

測定に際しては先づ栓を上の上の 1. に挿込み置き、動作電流を調整する。それには其の時の温度に依る標準電池の起電力 E_s の

AD は 5 オーム宛の抵抗線輪 15 個から成る。摺觸線 DB の巻数は 11 回で、その内面には摺觸線と常に接觸して居

値に應じた C の目盛 (E_s の値の目盛つてある) の點に接點 T を定め、開閉器 U を上側に閉ち加減抵抗器 R' を調整して檢流計の偏れを零ならしめる〔此の場合には、 TA 間の抵抗電壓降下 ir_0 が丁度 E_s に等しく、動作電流 $i = \frac{0.1}{5} = 0.02$ アンペアとなる。従つて抵抗線輪 1 個につき 0.1 ボルト宛の電壓降下である。故に摺觸線一目盛は $\frac{0.1}{1000}$ ボルトになつて居る〕。次に被测電壓 E を測るには、 U を下側に閉ちて、接點 M 及び M' を動かして檢流計の偏れを零ならしめると、 MM' 間の電壓降下が即ち求める電壓 E の値である。

栓を 1. の孔に挿せば、最高 1.6 V 又最低は 0.1 mV までの電壓が得られる。次に栓を .1 の孔に挿換へると、前の十分の一即ち最高 0.16 V 又最低は 0.01 mV まで得られる。

(□)高抵抗型電位差計 第 5・3 圖は高抵抗型電位差計を示す。之は a, b, c, d, e の五種の抵抗線輪と外に標準電池の溫度補償用抵抗 T と 180 オーム及び 800 オームの抵抗より成り、全抵抗が 20 000 オームある。 a, b, c, d, e 線輪は次の様になつて居る。

a ……1000 オーム線輪 18 個 1 組、

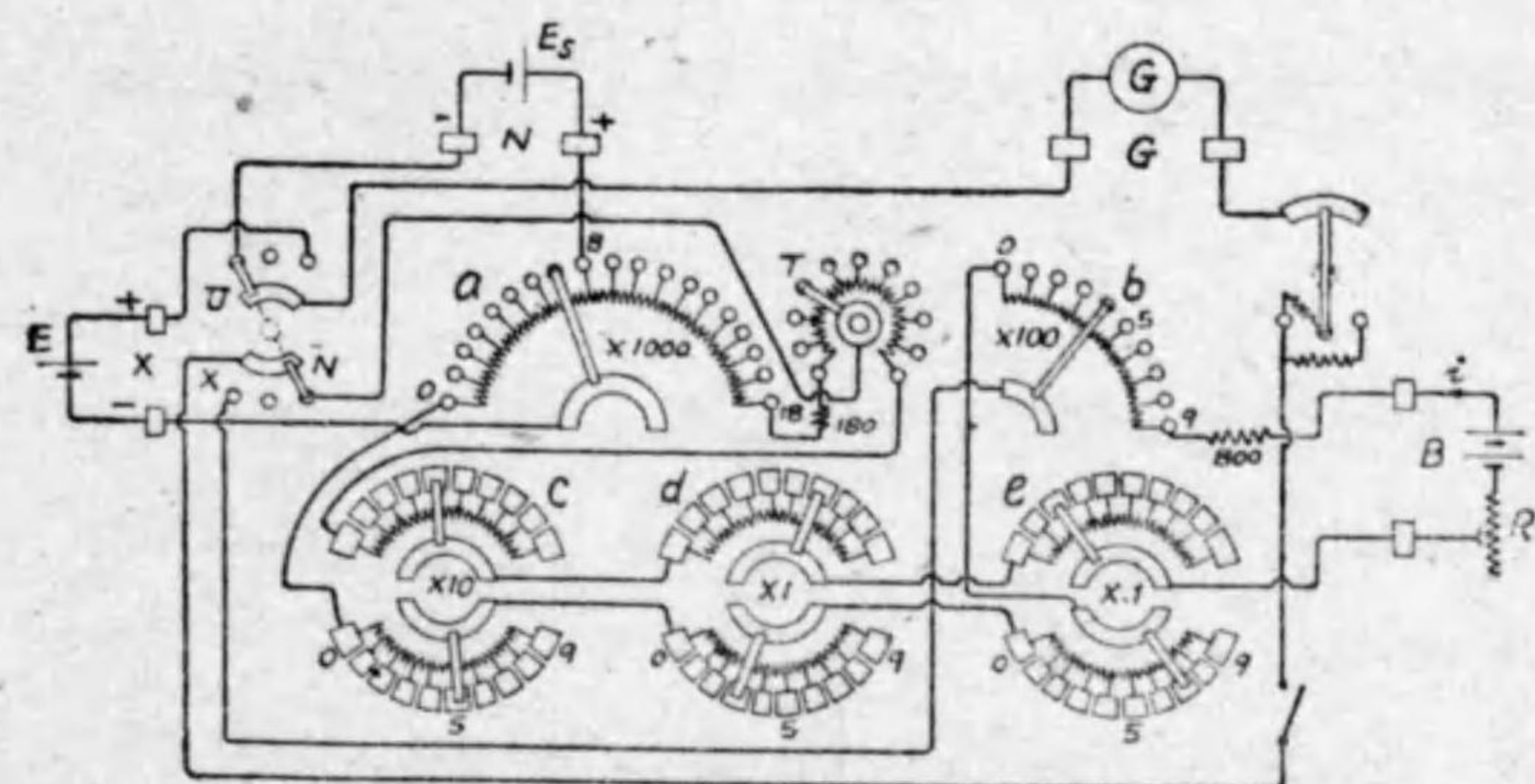
b ……100 オーム線輪 9 個 1 組、

c ……10 オーム線輪 9 個 2 組、

d ……1 オーム線輪 9 個 2 組、

e ……0.1 オーム線輪 9 個 2 組、

第 5・3 圖



高抵抗型電位差計

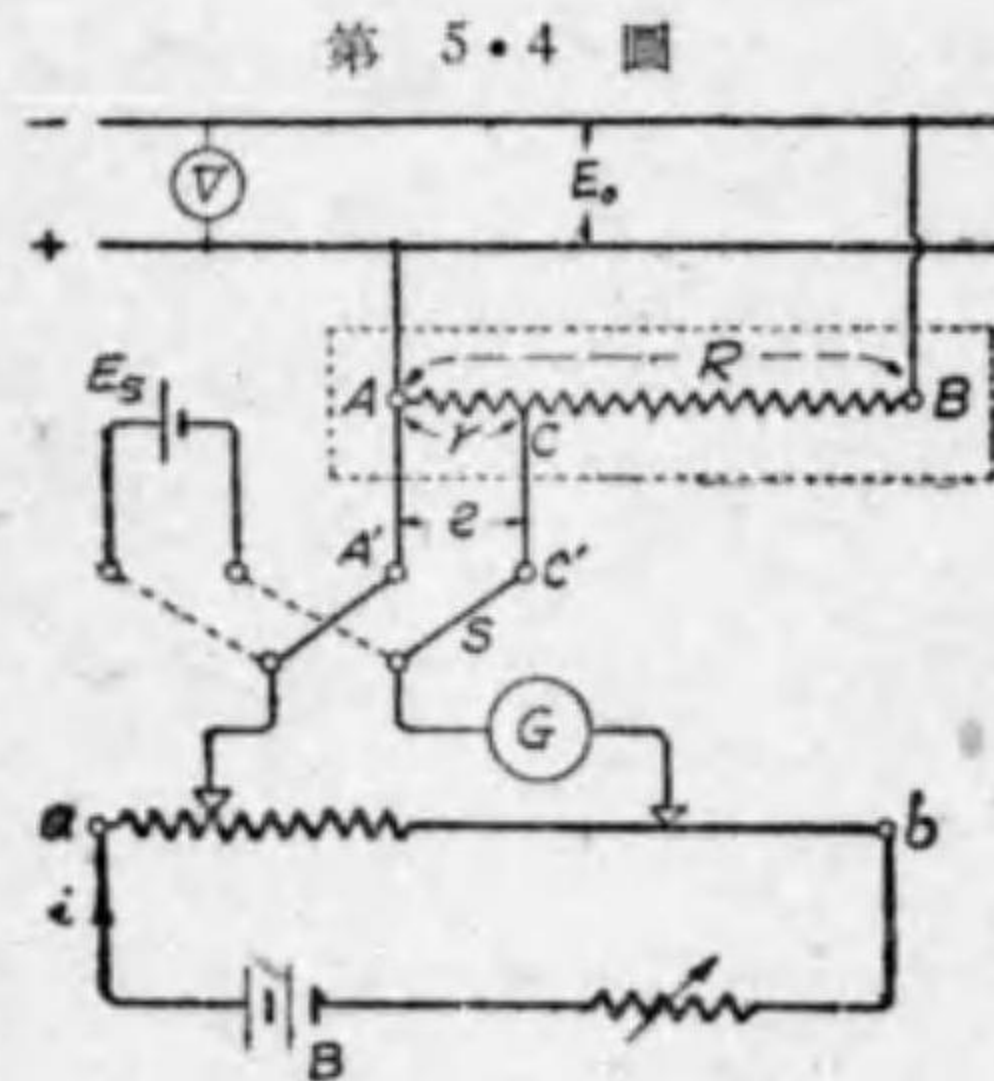
c, d, e を各二組にしたのは、被测起電力 E を檢流計回路に閉ちて平衡を得るために各線輪の接觸子をどの位置に置くも、檢流計回路に接続された丈けの間の抵抗が減じた丈けの抵抗を蓄電池回路に入れる爲で、かくして常に電位差計抵抗を一定にする事が出来る。動作電流は 0.1 mA であるから a, b, c, d, e 各線輪 1 個宛の電壓降下は夫々 0.1, 0.01, 0.001, 0.0001, 0.00001 V 宛となる。

先づ標準電池 E_s により電位差計の動作電流 i を調整するには、溫度補償用抵抗器の接觸子 T を測定溫度に於ける E_s の値の目盛の所に定め、切替開閉器 U を N 側に閉ちて、電源 B の直列加減抵抗器 R' を調整して檢流計の平衡を見出せばよい。

此の場合には電位差計には 0.1 mA の電流が流れる。次に、起電力 E を測定するには、 U を X 側に切替へて a, b, c, d, e の各接觸子を調整し平衡を得れば、各電圧降下の和が即ち E の値である。

3. 電位差計の應用 電位差計は零位法を用ひるから其の測定結果は確度が高い。従つて之を用ひて工業用の直流電圧、電流及び電力等を測定する方法を講ずると、確度の高い測定が出来、又之によつて直流電圧計、電流計等の誤差又は更正率を求めめる事が出来る。

(イ) 直流電圧の測定及び電圧計の較正 電位差計のみで測定し得る最大の電圧は 2 ボルトにも足りない低電圧である。これ以上の高い直流電圧を測るには、電圧降下の原理を應用した分



直流電圧測定及び電圧計の較正

壓箱 (volt box) と稱する抵抗器を併用するのである。

第 5・4 圖甲は電位差計 ab に、分壓箱 AB を併用して直流電圧 E を測定する場合の原理を示す。分壓箱 AB は高抵抗 R から成り、之に全抵抗 R の分數に相當する抵抗

r の兩端から AA', CC' の口出を引出したものである。分壓箱 AB の兩端に電圧 E_0 を與へて置いて、其の分數の電圧即ち $A' C'$ 間の電圧 e を電位差計で測定する。 AB 間の電圧と AC 間の電圧との比は抵抗 R と抵抗 r との比に等しいから、

$$\frac{E_0}{e} = \frac{R}{r} \quad \therefore E_0 = e \frac{R}{r}$$

例へば、 $R=20\,000$ オーム、 $r=100$ オームで、 $e=1.275$ ボルトならば、被測電圧 E_0 は、

$$E_0 = 1.275 \times \frac{20\,000}{100} = 255 \text{ ボルト}$$

分壓箱には 20 000 オーム 300 V 用、30 000 オーム 450 V 用等種々のものがある。

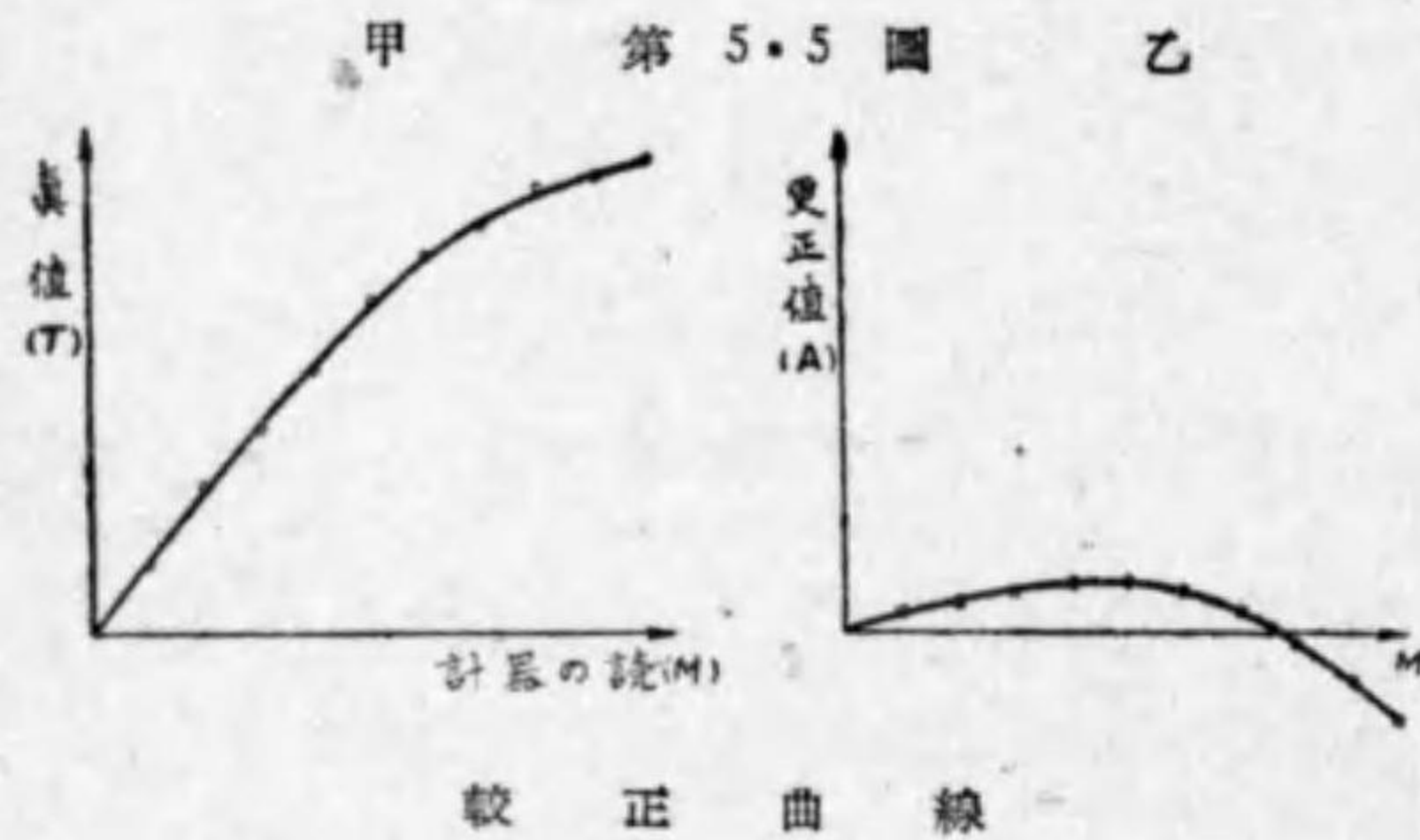
電位差計では通常一萬分の一ボルト位迄は測定し得るから、分壓箱の分壓比が精確のものを用ふれば、上述の様に測定した結果 E_0 は實用上被測電圧の眞値として良い譯である。此の理を應用して直流電圧計の讀みの正否を判断する事が出来る。

例へば、第 5・4 圖に於て、 $E_0=255$ V、電圧計の讀み $E=250$ V ならば、此の場合の電圧計の誤差及び更正率は夫々次の様になる。

$$\text{誤 差 } \varepsilon = \frac{250 - 255}{255} \times 100\% = -1.94\%$$

$$\text{更正率 } \alpha = \frac{255 - 250}{250} \times 100\% = +2.00\%$$

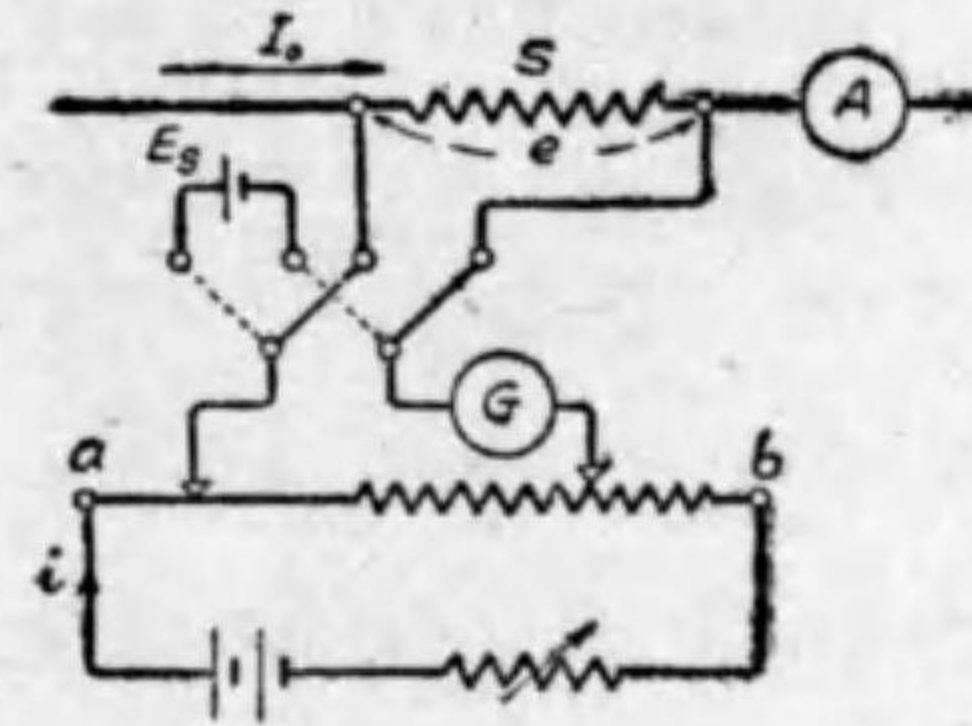
計器の目盛の正否を検定することを**較正試験** (calibration test) と稱する。電圧計 V を第 5・4 圖の様にして電位差計で較正するには、電源側の電圧を調整して電圧計の指針をして試験せんとする目盛 M を指示せしめ、此の時の電位差計により測定した真値 T を求めれば、電圧計の更正率及び誤差率を夫々算出し得る。



斯様に電圧計の各目盛に就き同様な方法で試験し、計器の読み M に対する真値 T 、又は更正 ($A=T-M$) の関係を表又はグラフ (第 5・5 圖甲、乙) にして置けば、その電圧計を使用する場合に便利である。計器の読み M に対する真値 T 、更正 A 又は更正率 α の関係を示す曲線を**較正曲線** (calibration curve) と稱する。

(ロ) 直流電流の測定及び電流計の較正 電位差計は電圧を測定するものであるから、被测電流を適当な値の標準抵抗に通じ其の両端の電圧を電位差計で測定すれば、オームの法則を利用して被测電流を算出することが出来る。第 5・6 圖は此の原理により電流を測定する場合の接續圖である。 S は標準低抵抗器

第 5・6 圖



直流電流の測定及び電流計の較正

で之を電位差計分流器と稱することもある。 S に通ずる被测電流を I_0 とし、 S の両端の電圧を電位差計で測り、之を e ボルトとせば、オームの法則より、被测電流 I_0 は、次式で求められる。

$$I_0 = \frac{e}{S}$$

分流器 S の値は被测電流の値に應じ第 5・1 表の様なものを用ひる。

第 5・1 表 分流器 S の値

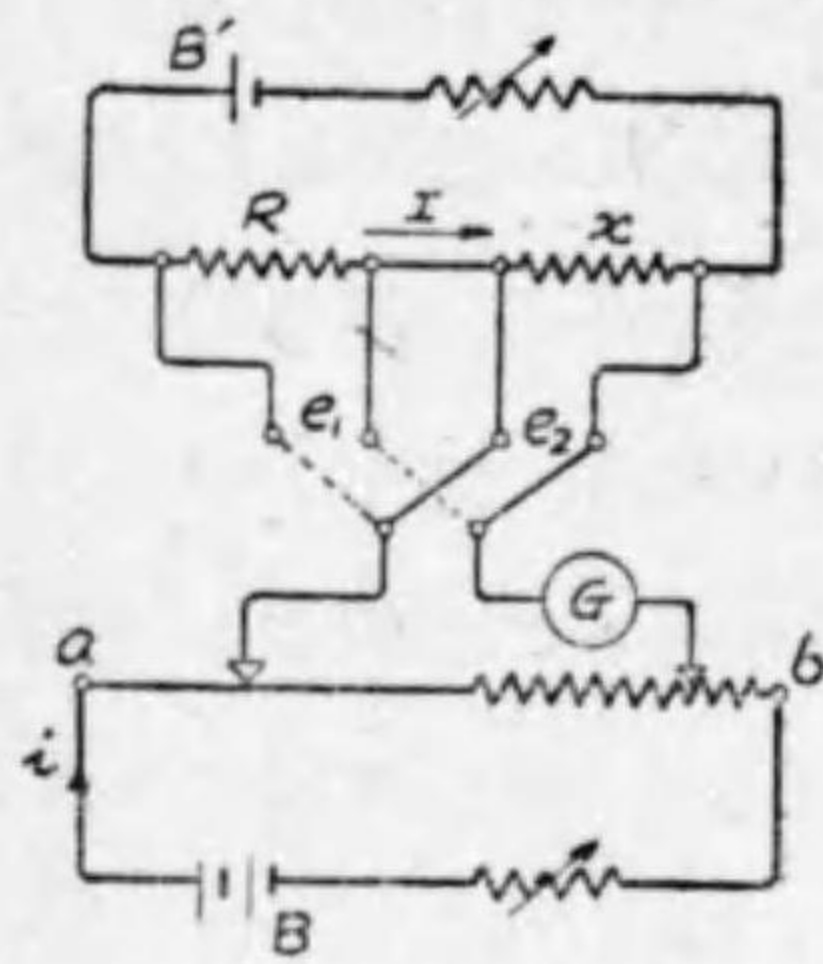
抵抗 S (オーム)	0.1	0.01	0.001	0.00004	0.00002	0.00001
最大電流(アンペア)	15	100	600	1500	2000	3000

直流電流計を較正するには、圖の様に S と直列に電流計を接續し、電流計の読みを I とすれば、此の時の電流計の誤差 ε 及び更正率 α は夫々次の様になる。

$$\varepsilon = \frac{I - I_0}{I_0} \times 100\%, \quad \alpha = \frac{I_0 - I}{I} \times 100\%$$

(ハ) 低抵抗の測定 第 5・7 圖は電位差計により低抵抗を測定する方法を示す。標準低抵抗 R と被测低抵抗 x とを直列に接續し、之に直流電源 B' により一定電流 I を通じ置き、 R 及

第 5.7 圖



低抵抗の測定

び x の電圧 e_1, e_2 を電位差計で測定する。

$$e_1 = IR, \quad e_2 = Ix \quad \therefore \frac{x}{R} = \frac{e_2}{e_1}$$

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

尚ほ此の場合には、 e_2, e_1 の値を求めなくても $\frac{e_2}{e_1}$ なる比を知ればよいから、電位差計の動作電流 i を精密

に調整する必要はなく、只電位差計の電流 i を一定に保ち置きさへすれば、 $\frac{e_2}{e_1}$ の比は、平衡を得た各の場合の電位差計上の接点間の抵抗の比 $\frac{r_2}{r_1}$ に等しいから、 x は次式で算出される。

$$x = \frac{r_2}{r_1} R$$

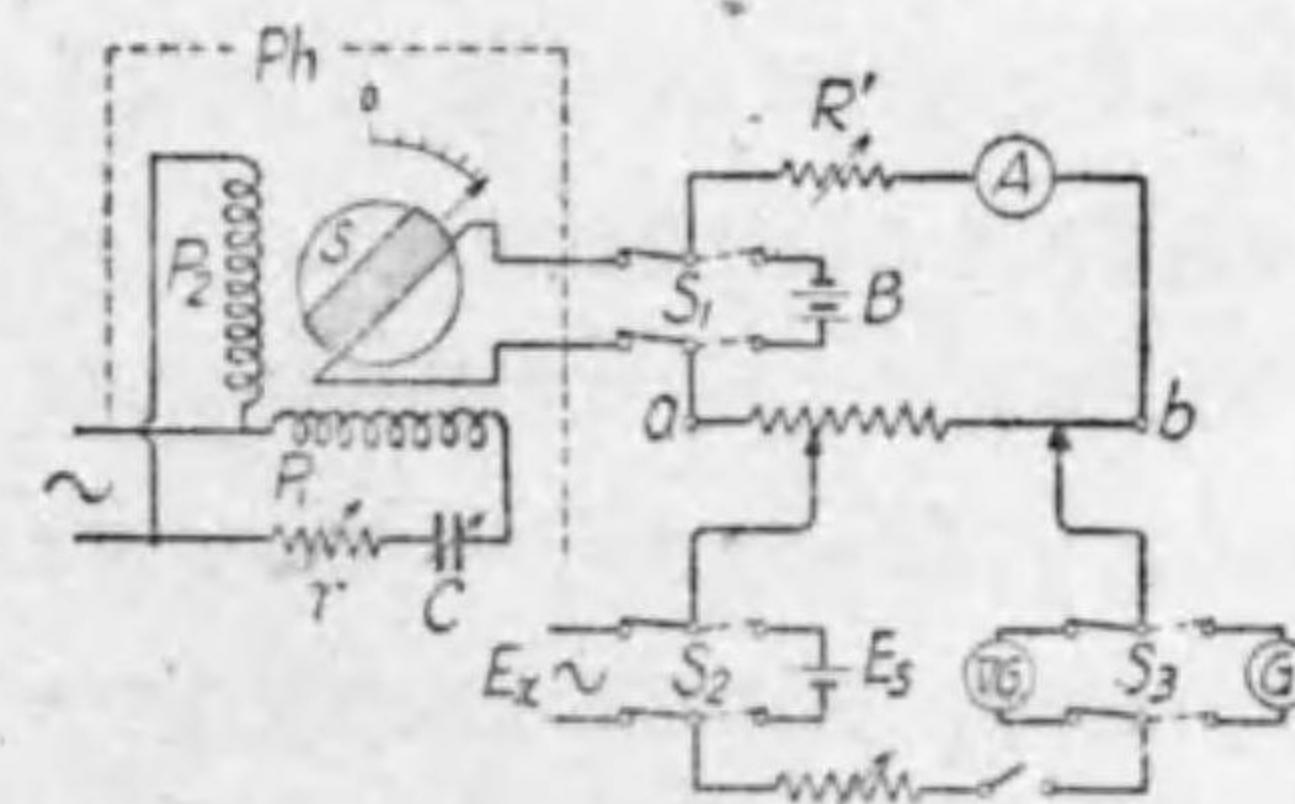
4. 交流電位差計 之は被测交番電圧を既知交番電圧で補償し、その実効値と位相を測定する装置である。直流電位差計で被测直流電圧を既知直流電圧で補償するには只双方の電圧の大きさを一致せしめれば良いのであるが、交流の場合は双方の電圧の最大値、波形、周波数及び位相を一致せしめる必要がある。双方の電圧が同一周波数の正弦波交流の場合には実効値と位相を一致せしめて平衡が得られる。即ちベクトル量の決定であるから之を幾何學的に分類すると交流電位差計は極座標電

位差計と直角座標電位差計とに類別する事が出来る。而して何れの電位差計でも電位差計の動作電流は、先づ直流補償電源と標準電池とを使用して直流により決定し、之を直流交流兩用の電流計型電流計にて読み、交流補償電源に切替へて同一指示値を読む様調整して置くのである。

交流電位差計は直流電位差計に比べて、測定感度が低く迅速に測定し難く、又電源の変動により確度が低い。交流電位差計でも極座標式よりも直角座標式に属するものが種類多く又広く使用されるが、茲には各式につき原理のみを簡単に説明する。

(1) 極座標電位差計 第 5.8 圖は極座標電位差計の原理圖

第 5.8 圖



極座標電位差計

である。ab が電位差計抵抗で、 E_2 が標準電池、B は直流補償電源、G は直流檢流計、A は電流計型電流計である。S₁, S₂, S₃ の三つの切替開閉器を右側に

閉ちれば直流電位差計になる。V. G は振動檢流計、E₁ は被测交番電圧、Ph は移相器と稱する交流補償電源である。移相器とは回轉磁界中に線輪 S を装置したもので此の線輪に誘起する電圧は大き一定であるが、その位相は此の線輪の回轉角により

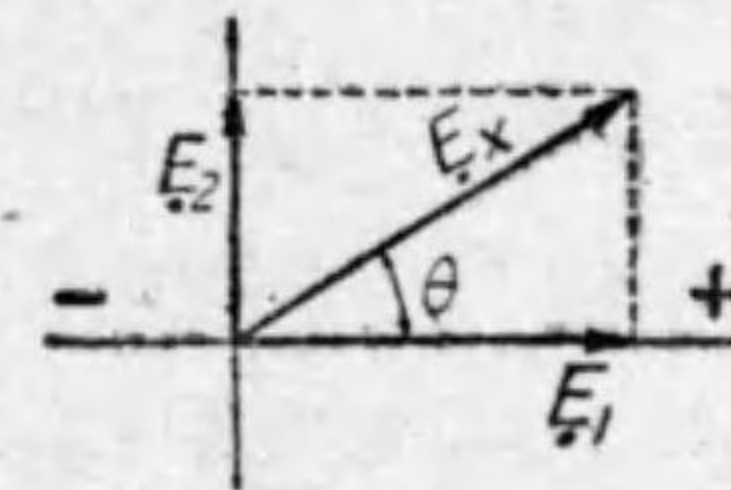
變はるものである。圖に示す P_h では単相から分相法により二相を得て回轉磁界を作る方法である。即ち互に直角に位置せる二つの固定線輪 P_1, P_2 を並列にし P_1 に蓄電器 C 及び抵抗 r を直列にして P_1 の電流を P_2 の電流と値を等しくし、位相を90度進ませて回轉磁界を生せしめ、其の磁界中に二次線輪即ち回轉子 S を設けたものである。 S に誘起する電壓は一定の大きさであるが、その位相は之を廻した角により變はるから S を廻はして任意位相の交番電壓がその端子に得られる。而して S を廻はした角は指針により知られる。

此の電位差計を使用するには、既に述べた通り直流電位差計として S_1, S_2, S_3 を右側に閉ちて電位差計動作電流を決定する。その値を電流力計型電流計 A で見届け置く。次に S_1, S_2, S_3 を左側に閉ちて ab に交流を通じ、その動作電流値は恒に A が前と同一指示をなす様 R' により調整する。振動檢流計 $V. G.$ が偏れなくなる迄 ab 上の摺動子を移動し又 S を廻はせばよい(平衡を見出すには摺動子の調整と S の回轉とを交互にやるがよい)。被測交番電壓 E_x の實効値は摺動子で讀まれ、位相は S の指針より知られる。分壓箱を用ひて2ボルト以上の交流電壓又分流器を用ひて交流を測定し得る事は直流の場合と同様である。又交流電壓電流間の相差は S の回轉角の差であるから、之等電壓電流のベクトル圖を畫く事も出来、又交流電力も測れ

る事が判るであらう。

(□) 直角座標電位差計 第5・9圖に示す様に、一般に一つ

第5・9圖



の交流電壓ベクトル E_x は之を互に90度の相差を有する二つの交流電壓ベクトル E_1, E_2 の和で表される。即ち $E_x = E_1 + E_2$ 従つて、 E_1, E_2 の大き

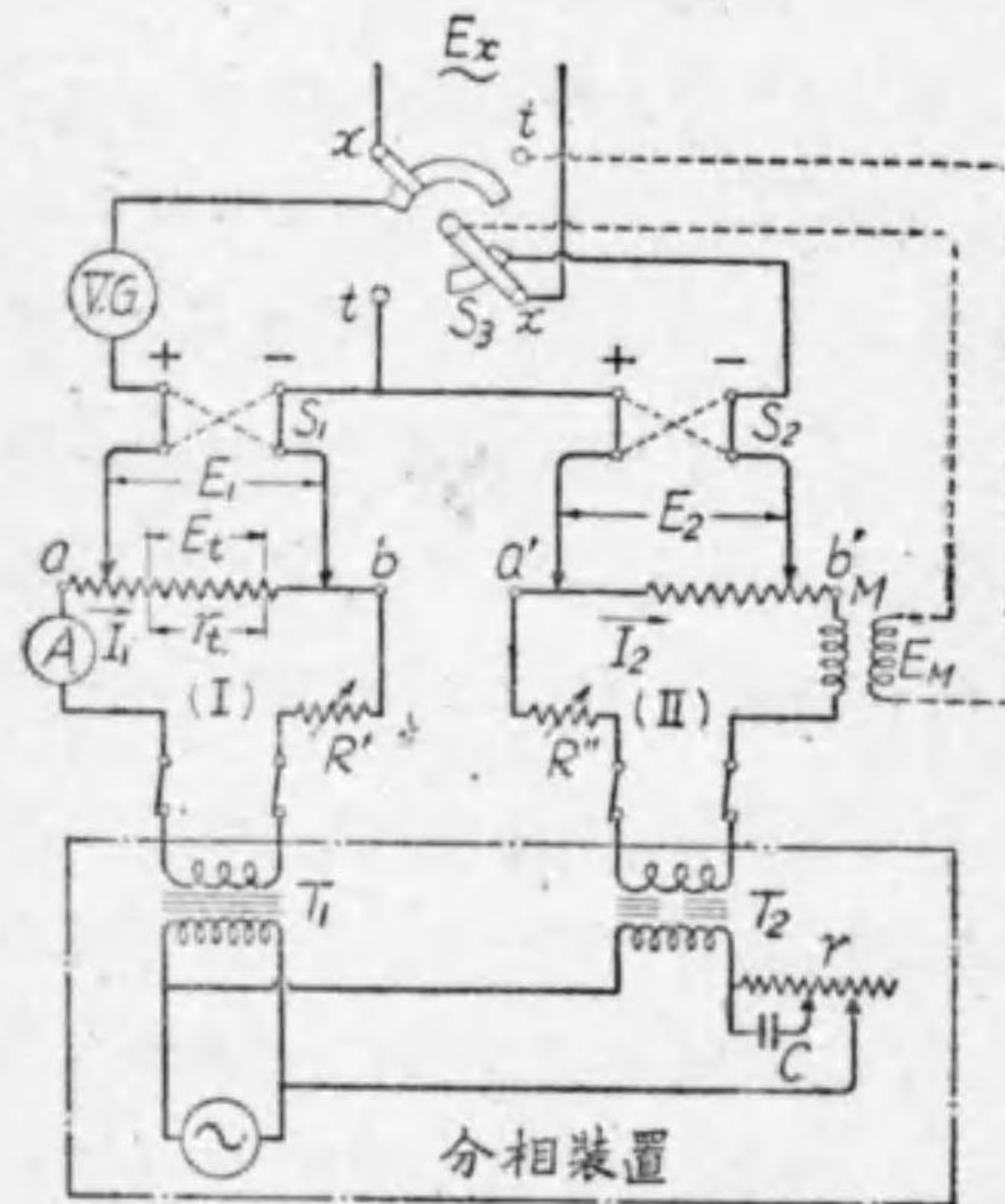
E_1, E_2 を知れば、 E_x の大きさ E_x 及びその E_1 よりの相差 θ は次式で算出される。

$$E_x = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}, \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{E_2}{E_1} \right)$$

之を應用して、互に90度の相差を有する電壓を生ずる二つの交流電位差計を設け、各より適當に E_1, E_2 を選び之を合成して、被測電壓 E_x と平衡せしめ上式に依り E_x 及び θ を求める方式を直角座標電位差計と云ふ。而して θ を測る基準になる E_1 を作る電位差計を同相分電位差計、又之と直角位相の E_2 を作る電位差計を直角分電位差計と云ふ。

第5・10圖は直角座標電位差計の原理を示す。(I), (II) は夫々同相分電位差計、直角分電位差計で、その ab と $a'b'$ との抵抗値は相等しい。 A は直流交流兩用の電流力計型電流計である。 M は相互インダクタンスで、之は (II) の電流 I_2 を (I) の電流 I_1 と値等しく90度の相差を有せしめるに利用するものであつて、之と交流の周波數 f と (I) の特定の抵抗 r との

第 5・10 圖



直角座標電位差計

間には、 $2\pi fM = r_i$ なる関係がある。交流電源は单相を二相に分相せるもので、変圧器 T_2 は空隙を有し、 r, C を変化する事により I_1, I_2 に 90 度の相差を持たせる。之を使用するには、先づ同相分電位差計 (I) を交流電源より切放し、直流電位差計とし標準電池及び R' により電位差計動作電流を決定し、その値を A で讀取る。次に (I) を交流電源に入れ交流を通じ R' を調整して A の値を恒に前と同一値に保つ、之を I_1 とす。(I) 上の兩摺動子を特定の r_i の兩端に持來り、電圧 $E = I_1 r_i$ を S_1 の兩端に發生せしておく。次に (II) を交流電源に入れ之に電流 I_2 を通すれば相互インダクタンス M の二次には I_2 と 90 度の相差ある $E_M = 2\pi f M I_2$ なる電圧が誘起する。此の E_M を E_s と平衡させるために、 S_1 を閉ち、又選擇開閉器 S_3 を tt に閉ちて、振動檢流計 $V.G.$ が偏れなくなる迄 R'', r, C を調整

間には、 $2\pi fM = r_i$ なる関係がある。交流電源は单相を二相に分相せるもので、変圧器 T_2 は空隙を有し、 r, C を変化する事により I_1, I_2 に 90 度の相差を持たせる。之を使用するには、先づ同相分電位差計 (I) を交流電源より切放し、直流電位差

する。此の場合は $E_s = E_M$ 即ち $I_1 r_i = 2\pi f M I_2$ なる関係がある。然るに $r_i = 2\pi f M$ の関係があるから、 $I_1 = I_2$ なる関係があり、而して I_1 と I_2 とは 90° の相差がある譯である。之で準備は出来たから、被測電圧 E_x を測るには、 S_3 を實線の位置 xx に閉ち、 S_1, S_2 を種々に切替へて見て (I), (II) 兩電位差計上の摺動子を摺動して $V.G.$ の偏れない點を求め E_1, E_2 を得る。従つて $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$ 、及び $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{E_2}{E_1} \right)$ が求められる。

實際の電位差計では、動作電流は $I_1 = I_2 = 0.05$ アンペアである。相互インダクタンス M は 31.83×10^{-3} ヘンリに選ばれて居るから、

$$E_s = E_M = r_i \times 0.05 = \frac{f}{100}, \quad \left(r_i = 2\pi f \times 31.83 \times 10^{-3} = \frac{f}{5} \right)$$

故に、 $f = 50$ サイクルの場合は、 $E_s = 0.5$ ボルト、($r_i = 10$ オーム) で、 $f = 60$ サイクルの場合は $E_s = 0.6$ ボルト、($r_i = 12$ オーム) である。

復習問題 V

1. 電位差計の原理を説明せよ。
2. 電位差計を用ひて直流電圧及び電流を測定する方法を説明せよ。
3. 分壓箱とは何ぞや。
4. 第 5・4 圖で $R = 10\,000 \Omega$, $r = 200 \Omega$, $e = 0.875$ ボルト、電壓計の讀み 44.6 ボルトならば、電壓計の誤差如何。

5. 直流電流計を較正する方法を述べよ。
6. 電流計の較正曲線を説明せよ。
7. 電位差計に依り直流電力を測定する方法を示せ。
8. 電位差計に依り電池の内部抵抗を測定する方法を考へよ。
9. 電池の端子電圧を電位差計に依り測定せるに E_1 ボルトを示し、電池の兩端子間に電圧計を接続せるに E_2 ボルトを示せり。 E_1 と E_2 の異なる理由及び其の間の關係を求めよ。
10. 交流電位差計の原理を説明せよ。
11. 直角座標電位差計の一種を挙げ、之が原理を示せ。

第 六 章 電 壓 及 び 電 流 の 測 定

1. 電氣指示計器 電氣指示計器は第一章で述べた様に、例へば電壓、電流、電力其の他電氣諸量の被測量を目盛盤上に實用單位で指示するもので電圧計、電流計、電力計等は之に屬する。指示計器を用途上より分類すれば、副標準器用、携帶用及び配電盤用に大別される。又之を確度より分類すれば、**I 特別精密級**、**II 精密級**、**III 普通級**及び**IV 準普通級**の四階級になる。I は副標準器として使用し得る確度並に構造を有するもの、II は精密測定に使用し得る確度並に構造を有する携帶用計器の様なもの、III は工業上の普通測定に使用し得る確度並に構造を有する携帶用及び配電盤用計器の様なもの、又 IV は確度に重きを置かない場合に使用される携帶用及び配電盤用計器の様ものを云ふ。計器の許容誤差は日本電氣工藝委員會標準規程に第 6・1 表の様定められてある。

有效測定範圍とは計器の目盛で實用上の確度を保證し得る範圍で、之を確度に依り第一有效測定範圍及び第二有效測定範圍に分け、その範圍は目盛の様式に従ひ第 6・2 表の様日本電氣工藝委員會標準規程に定められてある。

第 6.1 表 電流計, 電圧計, 電力計並は無効電力計許容誤差

計器の階級	目盛の様式	許 容 誤 差	
		第一有效測定範囲*	第二有效測定範囲*
特別精密級	平等目盛並に之に準ずる目盛	指示値の ± 0.4 %	定格値の ± 0.12 %
	零の附近に於て著しく縮小せる目盛	指示値の ± 0.4 %	定格値の ± 0.2 %
	對數目盛及び之に準ずる目盛並に部分目盛	指示値の ± 0.4 %	—
精 密 級	平等目盛並に之に準ずる目盛	指示値の ± 1 %	定格値の ± 0.3 %
	零の附近に於て著しく縮小せる目盛	指示値の ± 1 %	定格値の ± 0.5 %
	對數目盛及び之に準ずる目盛並に部分目盛	指示値の ± 1 %	—
普 通 級	平等目盛並に之に準ずる目盛	指示値の ± 2 %	定格値の ± 0.6 %
	零の附近に於て著しく縮小せる目盛	指示値の ± 2 %	定格値の ± 1 %
	對數目盛及び之に準ずる目盛並に部分目盛	指示値の ± 2 %	—
準普通級	平等目盛並に之に準ずる目盛	指示値の ± 4 %	定格値の ± 1.2 %
	零の附近に於て著しく縮小せる目盛	指示値の ± 4 %	定格値の ± 2 %
	對數目盛及び之に準ずる目盛並に部分目盛	指示値の ± 4 %	—

第 6.2 表 有 效 測 定 範 圍

	目盛の様式	有 效 測 定 範 圍	
		第一有效測定範囲	第二有效測定範囲
(イ)	平等目盛又は之に準ずる目盛	定格値~定格値の30%	定格値の30%~定格値の10%
(ロ)	零の附近に於て著しく縮小せる目盛	定格値~定格値の50%	定格値の50%~定格値の25%
(ハ)	對數目盛及び之に準ずる目盛並に部分目盛*	目盛の全部	—
(ニ)	位相計, 力率計, 無効率計並に周波計の目盛	目盛の全部	

* 部分目盛とは, 計器の動作原理並に構造上當然零位目盛を有せしめ得らるゝに拘らず, 便宜上零位を表する劃線を省きたる目盛を云ふ。但し力

率計の如く, 機械的制御トルクを有せざる計器に對しては, 之を部分目盛と稱せざるものとす。

第一及び第二有效測定範囲の最小目盛値に相當する目盛劃線を有せざる計器にありては, その値を超過する最近の目盛劃線を以て之に充つ。

2. 指示計器の要素 指示計器は檢流計と同様に構造上三

要素即ち駆動トルクを生ずる駆動装置, 制御トルクを生ずる制御装置及び制動装置が必要である。尙ほ此の外に指針(pointer),

第 6.3 表 計 器 の 分 類

使用回路 (記號)	型 名	記 號	原 理	計 器
直流用一	(イ) 永久磁石可動線輪型		磁石と電流間の力	電圧計, 電流計
	(ロ) 電流計型		電流と電流間の力	電圧計, 電流計, 電力計, 力率計, 周波計等
直流及び交流兩用	(ハ) 可動鐵片型		磁界内の鐵片に働く力	電圧計, 電流計
	(ニ) 熱線型		電流の加熱作用による導體の伸びを利用す	(電圧計) 電流計, (電力計)
	(ホ) 靜電型		熱起電力を利用す 二帶電體間の靜電力	電圧計, 電流計 電圧計
交流用	(ヘ) 誘導型		回轉磁界又は移動磁界内の導體に働く力	電圧計, 電流計, 電力計
	(ト) 整流型		整流器と直流計器と組合したもの	電圧計, 電流計
	(チ) 振動片型		彈性體の共振作用	周波計

軸 (pivot) 及び軸受 (bearing), 目盛 (scale) 及び之等を藏める外函 (case) 等が必要である。

(イ) 駆動装置

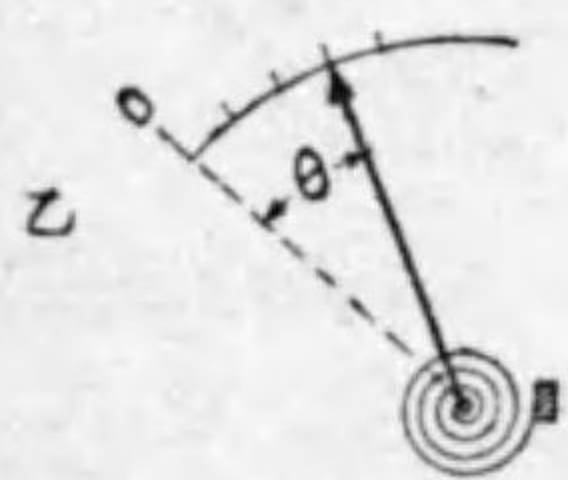
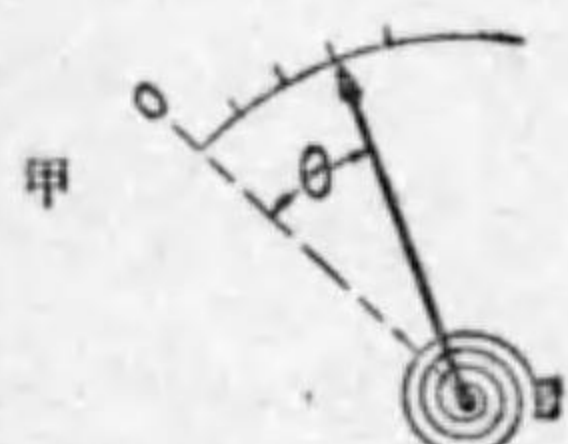
計器は駆動トルクを生ずる原理に依り分類すれば, 第 6.3 表に示す様に型 (type) の名稱がある。

尚ほ此の外に真空管の整流作用を利用した真空管型其の他もある。

計器では、駆動トルクが大で、軸受に於ける摩擦力が無視し得ることを必要とする。然し駆動トルクを大にするため可動部分の重量を大にすると摩擦も大になり不都合である。そこで駆動トルクと摩擦力との比は出来るだけ大なのが耐久性に良い。

(□)制御装置 制御トルクを生ずる爲に普通用ひられる方法

第 6・1 圖



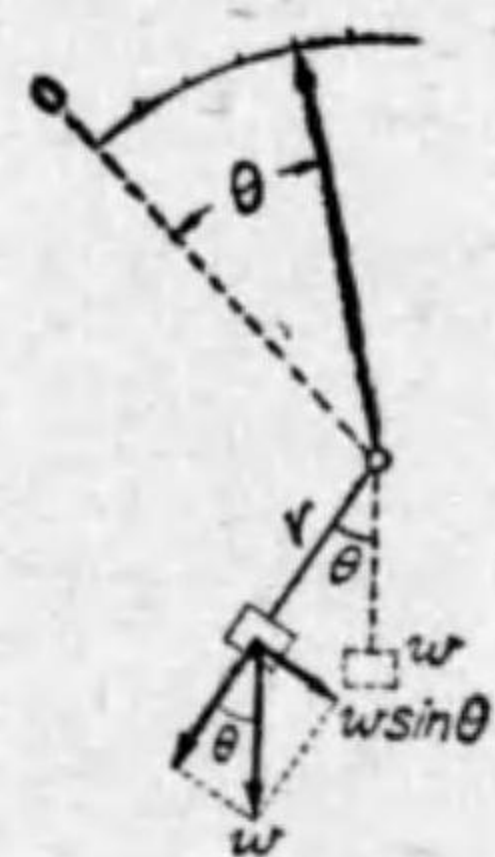
バネ制御法

としては渦巻バネを用ひる方法と重力を利用する方法とがある。

渦巻バネは、第 6・1 圖甲及び乙の様に、細い磷青銅を渦巻状にし中心端を可動部分の回轉軸に取付け他端を固定する。指針が駆動トルクにより傾斜せられる時 (甲は渦巻が廣がり、乙は縮まる)、バネは弾性の爲に元の零位に復歸しようとし、回轉角 θ に比例する制御トルクを生ずる。

重力制御法は、配電盤用計器の様に指針の回轉軸が水平になつて居る場合に用ひられる方法で、第 6・2 圖の様に指針の軸に腕を取付け、之に軸から r なる距離に附した制御重錘 w がある。指針が零位より θ だけ回轉した時は、零位に復歸せしむべき制御トルクは、 $T_c = w \sin\theta \times r$ で表される。

第 6・2 圖



重力制御法

以上の外、駆動トルクの小さな計器では、磷青銅線の懸垂線に依り制御する方法もある。此の場合の制御トルクは傾斜角に比例する。

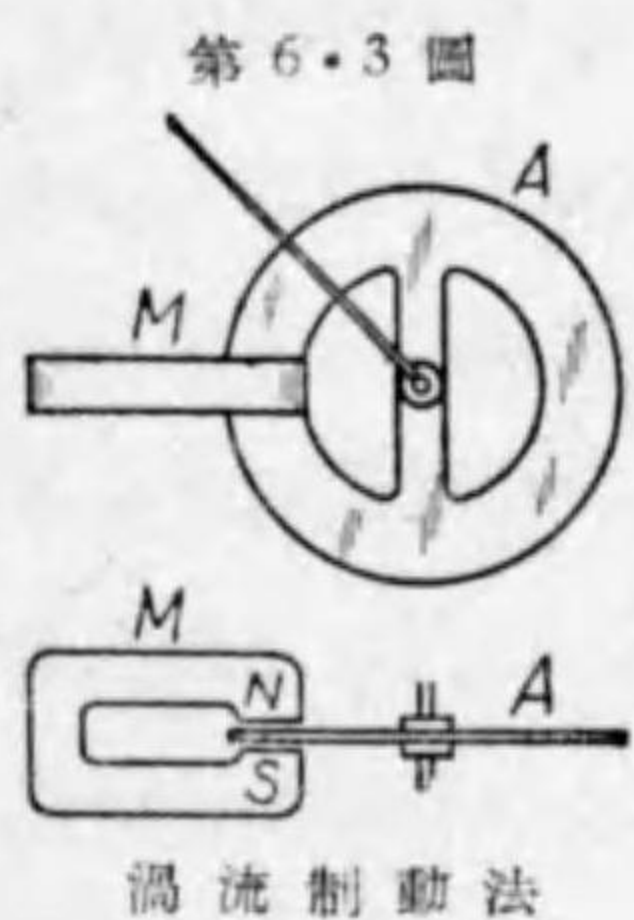
(ハ)制動装置 適當な制動は計器の讀取り上必要であるばかりでなく、計器の耐久性を良好にする上にも必要である。制動の程度は、精密級以下の計器では目盛の長さの $\frac{2}{3}$ に相當

する電氣値を急に與へた瞬時から指針が靜止するに至る迄の時間が 5 秒以内ならば良いとされてゐる。制動法としては、(a) 渦流に依る法、(b) 空氣に依る法、(c) 液體に依る法等がある。

(a) 渦流制動法 此の電磁制動法は更に二種に分けられる。

(i) 永久磁石可動線輪型計器に用ひられる渦流制動法 後に述べる様に、可動線輪の卷枠に金屬枠を用ひる方法である。可動部が動くとき金屬枠が永久磁石の磁束を切る爲め枠内に渦流を誘起し、之が磁束と作用して回轉と反方向に制動トルクを生ずる。此の制動トルクは磁束と渦流との相乗積に比例する。然るに渦流は磁束と枠の回轉角速度とに比例するから、制動トルクは磁束の自乗と角速度との相乗積に比例する。

(ii) 他の型の計器に用ひられる渦流制動法 之は第 6・3 圖に示す様に、可動部分の回轉軸に金屬片 A を取付け、之を永久磁石 M の磁極間に運動せしめて A に誘起する渦流と M の磁



渦流制動法

束との作用で制動トルクを生せしめる方法である。此の場合の制動トルクも磁束の自乗と A の角速度との相乗積に比例する。尚ほ制動トルクは磁極の位置にも関係するから、その位置即ち回転軸よりの距離を変へて制動トルクを調節する事が出来る。

(b) 空気制動法 之は計器に廣く用ひられる方法で、第 6・4 圖甲に示す様なピストン式と乙に示す様な密閉式のもの等がある。何れも可動部の回転軸に取付けたアルミニウムの羽根を制動函内に運動せしめ、運動エネルギーを空気抵抗に消費せしめる方法である。制動力は羽根の速度とその面積に比例し羽根と函との間隙に逆比例する。

第 6・4 圖

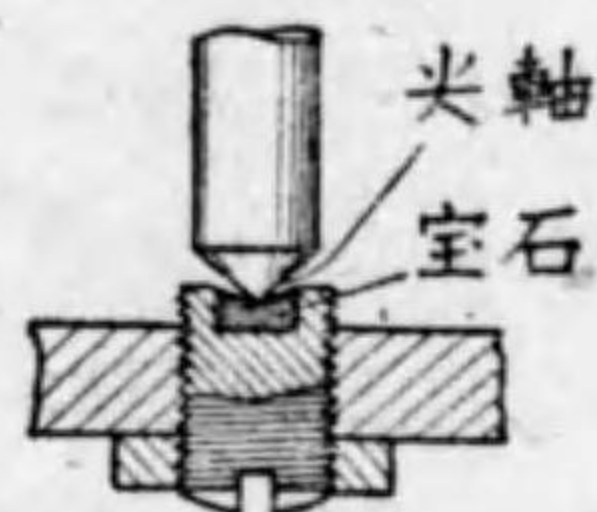


空気制動法

(c) 液體制動法 之は油を充たした箱の中で可動部分に取付けた羽根を運動せしめて、可動部分の運動のエネルギーの一部を液體抵抗に消費せしめる方法である。之は可動部分の慣性の大きなるため他の方法では制動が弱過ぎる様な場合に用ひられる。

次に計器の他の部分を摘記しよう。可動部分は普通上下に鋼

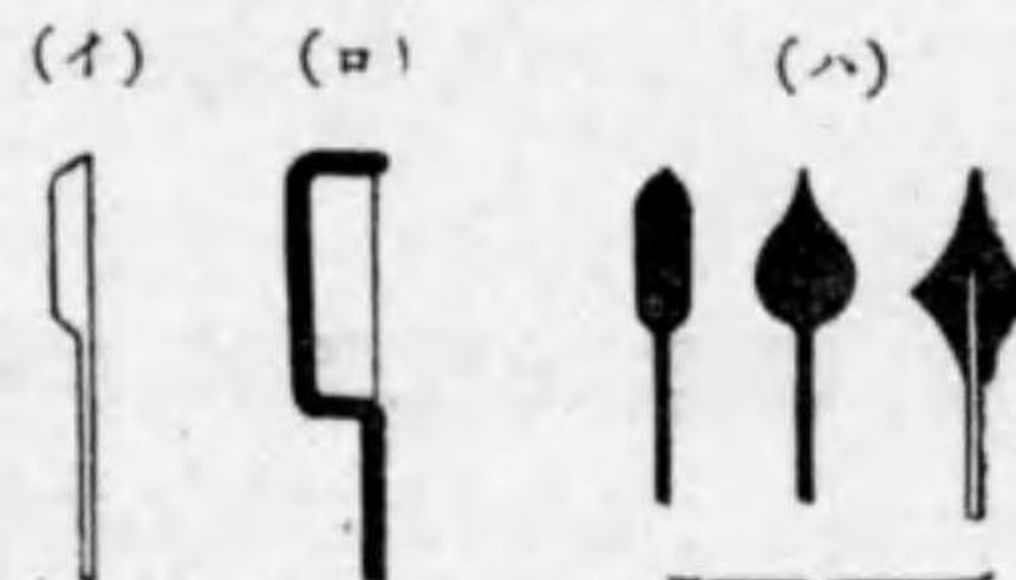
第 6・5 圖



鐵の尖軸を有し之を紅玉又は青玉等の寶石軸受で第 6・5 圖の様に支へて摩擦の影響を防いで居る。指針は普通アルミニウムの様な軽い金屬管を用ひ其の支持點の兩側で自身で重量を平衡させるため指針の他端に

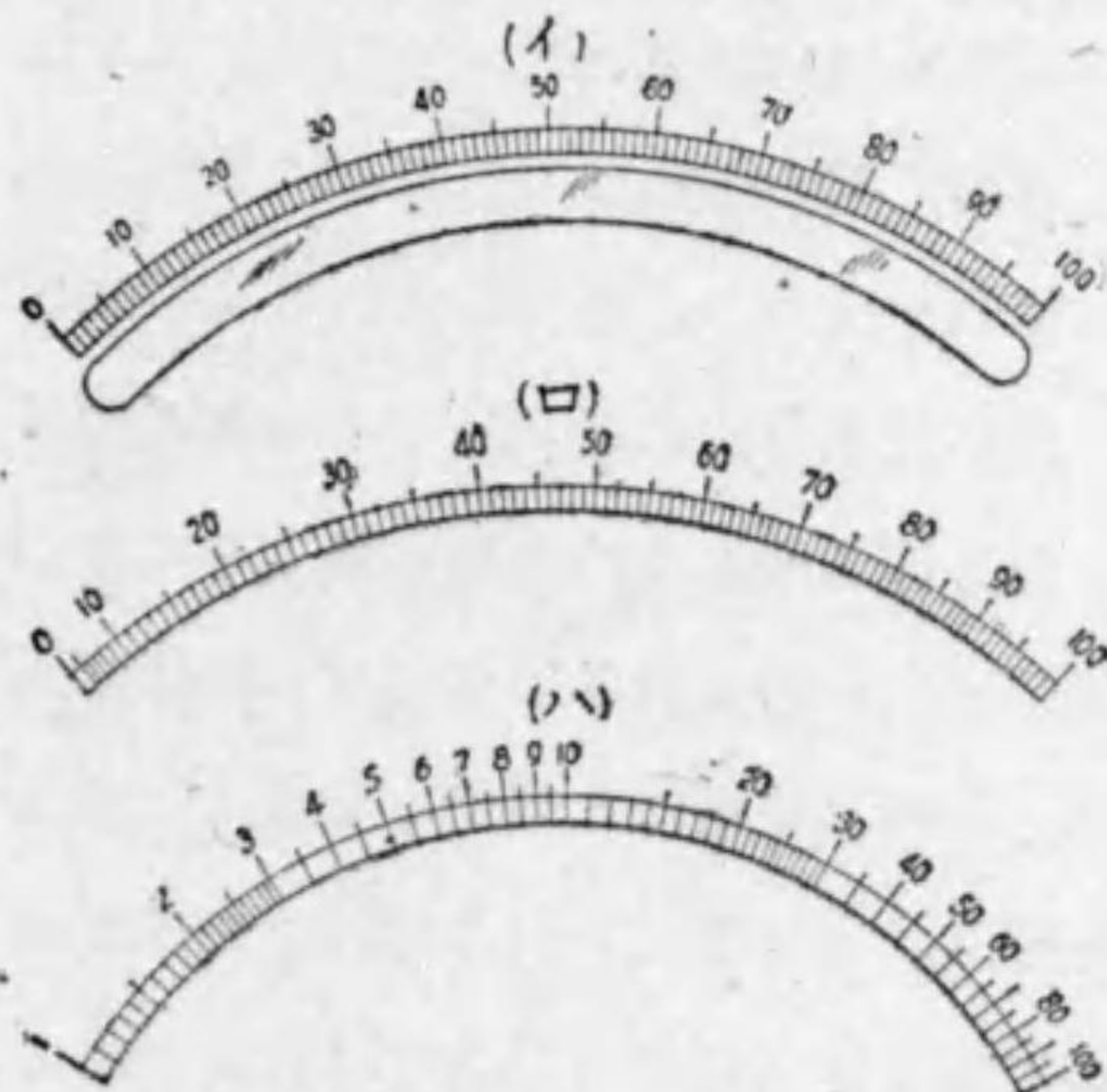
釣合錘を取付けてある。又指針の形は第 6・6 圖に示す様に使用目的により種々あるが、精密級以上の計器には(イ)双形指針及び(ロ)絹糸又は金屬の纖維を張つた纖維指針が用

第 6・6 圖



指 針 の 形

第 6・7 圖

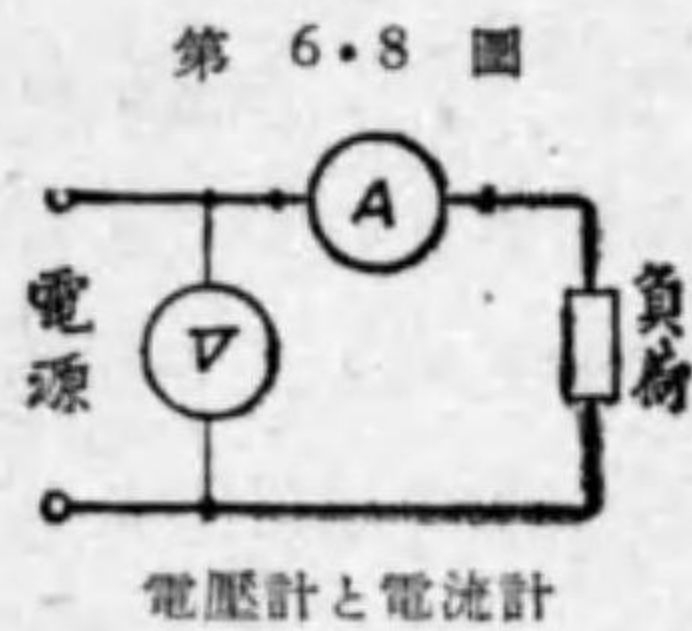


ひられ、配電盤用計器には(ハ)槍形指針が用ひられる。又普通に使用される計器の外形から外函を區別すると丸形、縁形、扇形及び角形等がある。

目盛盤の目盛は計器の特性や用途によ

り種々のものがある。第 6・7 圖 (イ) は平等目盛で読み誤りが少ない。(ロ) は零位附近で間隔の縮小せるもの(ハ)は測定範囲の広い對数目盛である。精密級以上の計器には(イ)の様に視差を防ぐため目盛の下方に鏡を附してある。尙ほ目盛盤には、規程記號、製造者名、計器番號、測定量の單位の名稱、定格、階級、動作原理の型の記號、計器を使用し得る回路の種類、及び製造年を記入する様に定められて居る。

3. 電圧計と電流計 電圧計は之を電壓を測定すべき回路の二點間に接続すれば其の二點間の電壓を指示し、電流計は之を電流を測定すべき回路に直列に接続すれば之に通ずる電流を指示する。第 6・8 圖は電圧計 V 及び電流計 A の接続を示す。

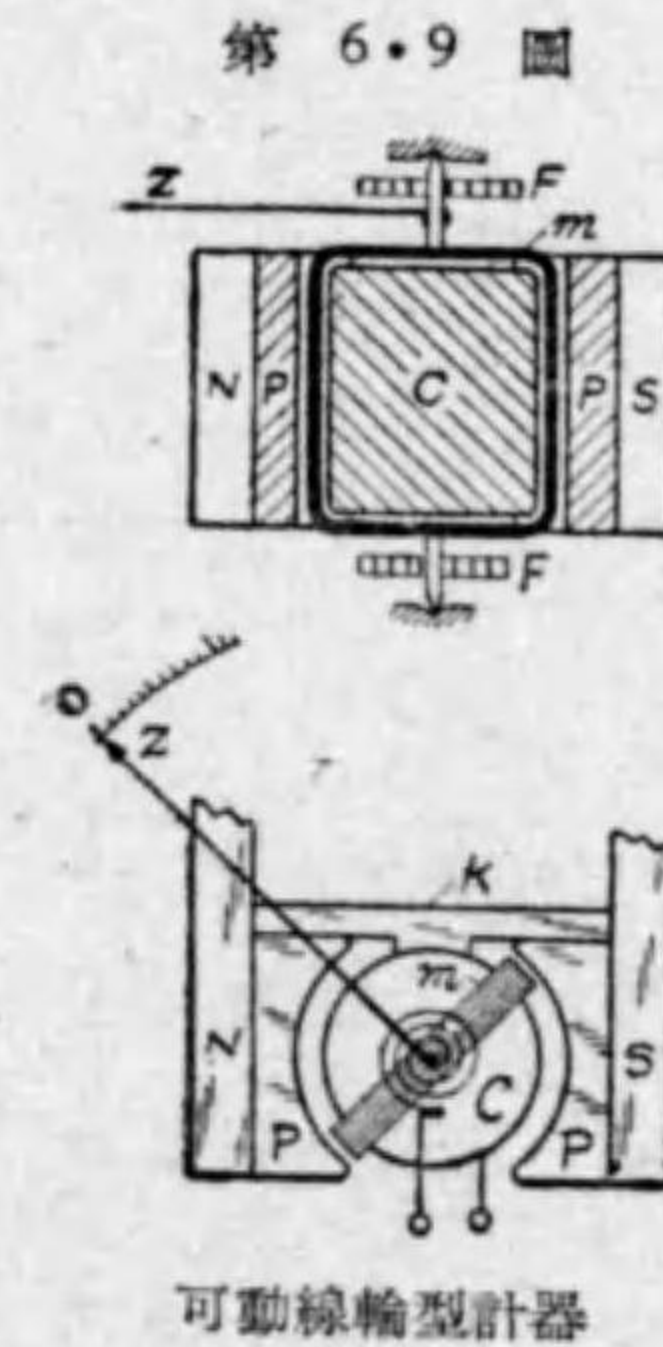


電圧計と電流計

第 6・8 圖 電圧計及び電流計は静電型計器を除けば、其の構造は異なるが、動作原理は同一である。電流計を回路に接続すれば電流計内に電壓降下を生じ電力損失を伴ふ故之を出来る限り小にすべきで、従つて電流計の抵抗は出来る限り小にしなければならない。又電圧計は之に與へられた電壓に比例する電流によつて動作するから電力損失を伴ふ。故に電圧計内の電流を出来る限り小にすべきで、従つて電圧計の抵抗は大にする必要がある。

斯様に電圧計と電流計とは構造上は異なるが其の動作原理は同一に造られる。即ち電圧計は之に與へられた電壓に比例する小電流で動作し電壓が目盛られて居る電流計である。

4. 永久磁石可動線輪型計器 本計器は同型檢流計と同一原理で、第 6・9 圖は之を示す。NS の永久磁石により輻射



可動線輪型計器

第 6・9 圖 狀磁界を作るため極片 P, P を備へ、圓柱形軟鐵心 C を無磁性金屬 K で支持させてある。 m は可動線輪で軸により上下尖軸及び軸受で支持され、制御用渦巻バネ F, F を上下に装置してある。バネ F, F は又電流を可動線輪に導く役もする。上下の F, F は互に反對に巻き温度の變化によるバネの伸縮の影響を無からしめる。

今線輪 m に i なる電流が流れて指針が θ 角だけ回轉したとすれば、可動線輪檢流計と同様に、驅動トルク T_d は磁界 H と電流 i とに比例し、渦巻バネの制御トルク T_c は傾斜角 θ に比例するから、

$$T_d = k_1 H i, \quad T_c = k_2 \theta$$

$$T_d \text{ と } T_c \text{ と平衡して居るから} \quad k_1 H i = k_2 \theta$$

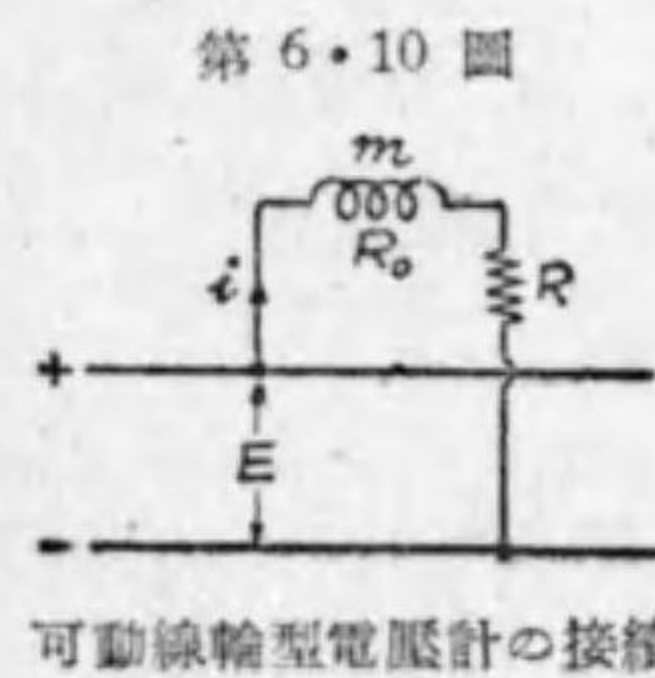
$$\therefore i = \frac{k_2}{k_1 H} \theta = K\theta \quad \left[\text{但し, } K = \frac{k_2}{k_1 H} = \text{常數} \right]$$

即ち電流は指針の傾斜角に正比例するから目盛盤には一様に等分された目盛即ち**平等目盛** (uniform scale) を施し得る。制動法は可動線輪の巻枠に金属枠を用ひ、之と NS の作る磁界とを利用した渦流制動法である。

此の計器は交流には使用出来ない。何故なれば、可動部は慣性を有するから交流の瞬時値に追隨し得ず、交流の一週期の平均により動作する。然るに交流の一週期の平均は零であるから、此の計器は交流に用ひられない。

可動線輪は細い銅線を用ひ小なる電流で動作する。(最大動作電流は 0.01 A 程度である)。斯様に動作電流を小にする事は線輪及びバネの温度上昇を小にし、且つ計器の電力損失又は電圧降下を小ならしめる上に必要である。従つて此の計器を種々の測定範囲の電圧計又は電流計とするには適當な抵抗を用ひる必要がある。

(イ)電圧計 第 6・10 圖は此の型の電圧計の接続を示す。m



が可動線輪 (抵抗 R_0 とす) 之に直列にマンガニン抵抗器 R を接続したものである。直列抵抗 R の値は、その電圧計の最大目盛に相當する電圧を此の電圧計に與へた時電圧計の指針が最大値を示す

様に選定する。

此の電圧計の目盛を考ふるに、被測電圧を E 、此の時の電圧計内に通ずる電流を i とし、指針の傾斜角を θ とすれば、

$$E = i(R_0 + R), \quad i = K\theta$$

$$\therefore E = K(R_0 + R)\theta = K_v\theta \quad \text{但し } K_v = K(R_0 + R)$$

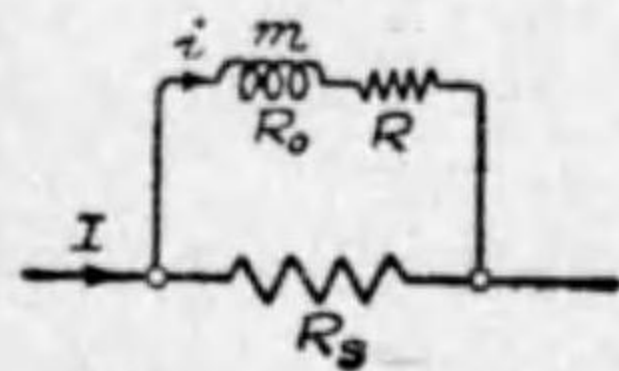
即ち目盛盤には θ の位置に被測電圧値 E を目盛る事が出来る。

直列抵抗 R は計器の外函の内部に装置される場合と外函と別函に装置される場合とある。配電盤用の高電圧の電圧計では普通別函に装置する。 R の値を大にすれば高い測定範囲の電圧計が出来る。此の理によつて、一個の電圧計に更に抵抗器 R_m を直列に接続して使用すると測定範囲を更に擴張し得る。此の場合電圧計に固着した直列抵抗 R と區別して、分離し得る直列抵抗器 R_m を電圧計の**倍率器**と稱する。

直列抵抗 R にマンガニンを用ひる理由は、マンガニンが固有抵抗高く、温度係数小で實用上殆ど零であるため、電圧計全體の合成温度係数を極めて小にする事が出来、従つて温度變化による動作電流への影響を極小にし得る (即ち温度補償をする目的) からである。

(ロ)電流計 第 6・11 圖は可動線輪型電流計の接続を示す。 R_s はマンガニン抵抗で、可動線輪 m に所定の動作電流を通ず

第 6・11 圖



るために接続された分流器である。 R は温度補償用のマンガニン抵抗で之を吸収抵抗とも稱する。

可動線輪型電流計の接続 分流器 R_s の値は、此の電流計の最大目盛に相當する電流を電流計の端子に通じた時、電流計の指針が最大値を示す様に選定する。

此の電流計の目盛を考ふるに、被測電流を I 、此の時の可動線輪の電流を i 、又指針の傾斜角を θ とせば、

$$I = i \times \frac{R_0 + R + R_s}{R_s}, \text{ 又 } i = K\theta$$

$$\therefore I = K \frac{R_0 + R + R_s}{R_s} \theta = K_a \theta \left[\text{但し } K_a = K \frac{R_0 + R + R_s}{R_s} \right]$$

即ち目盛盤には θ の位置に直接被測電流 I を目盛る事が出来る。

分流器 R_s は計器の外函内に装置される場合と外部に装置される場合とある。配電盤用の大電流用計器では外部に装置するのが普通である。

$\frac{R_0 + R + R_s}{R_s}$ を分流器の倍率と稱する。普通は $R_0 + R$ を電流計の抵抗と呼んで居る。分流器 R_s の値を種々に變へれば測定範囲を種々に變へる事が出来る。分流器がマンガニンで作られるのは温度係数が極小なる事及び銅に対する熱起電力が殆ど閉却し得る事による。電流計の電壓降下は普通最大目盛に於て

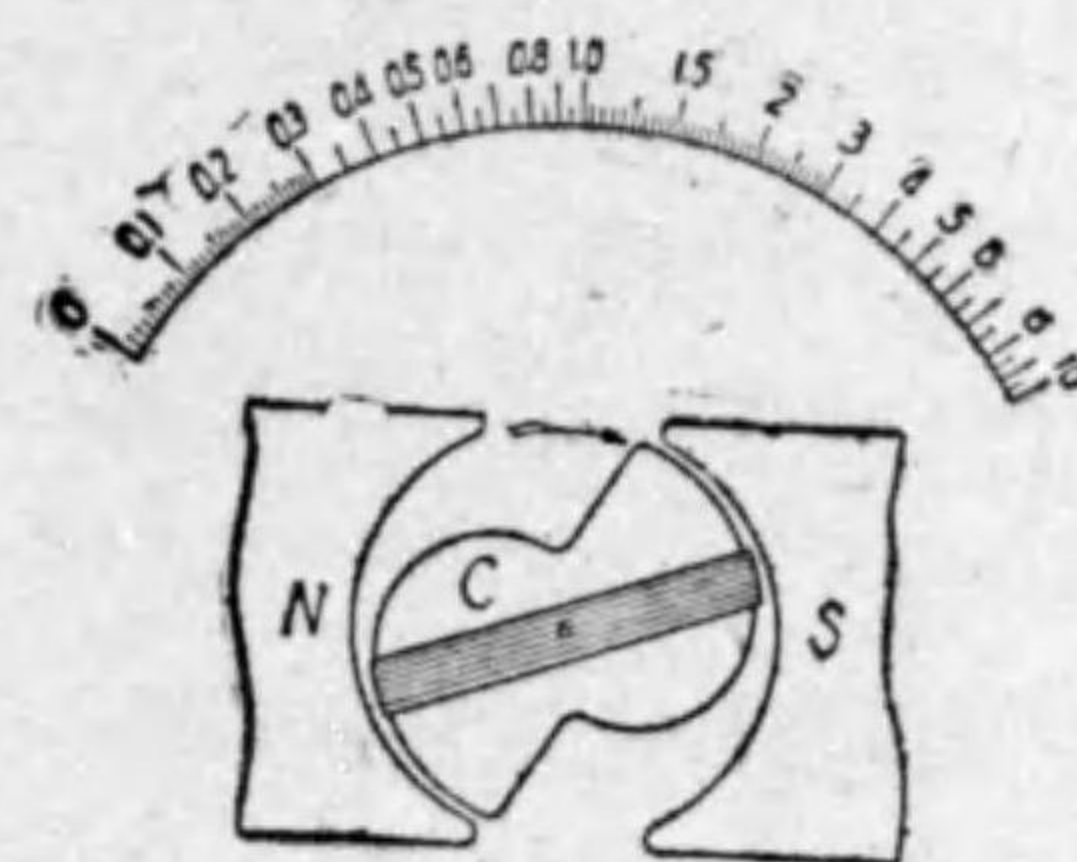
45 mV, 75 mV, 100 mV 等に作られる。

此の型の計器の誤差の原因は温度及び外部磁界の影響である。温度の影響は以上の外にもある。即ち温度が昇ると永久磁石の強さが少しく弱く（攝氏1度に付き0.02%位）なり、又渦巻バネの制御力も少しく弱く（約攝氏1度に付き0.04%）なる。然るに前者は駆動トルクを小にし後者は制御トルクを小にするから、此の両者は互に打消し合ふ様に働くので、實用上は此の兩者の影響は閉却して差支へない。

外部磁界の影響は、強い永久磁石を利用してあるため、地球磁界の様な弱い磁界の影響は殆ど無いが、附近に強電流を使用した直流回路又は強い磁界がある場合は影響を受けるから、使用の際注意すべきである。

一般に永久磁石可動線輪型計器は駆動トルクが大で平等目盛を有するため、感度が良く確度も高いから實用上の副標準計器として使用される。

第 6・12 圖



此の計器は空隙を平等にすることにより平等目盛とし易いが、又空隙をかへて對數目盛にすることも出来る。第6・12圖は鐵心を特別の形狀にし可動線輪の位置に依り磁

界を適當に變へ對數目盛としたもので、廣範圍の測定に便利である。

5. 電流力計型計器 相隣れる固定線輪及び可動線輪に被測電流 i 又は之に比例する電流を通ずれば、各の電流 i_1, i_2 の相乗積 $i_1 i_2$ 従つて i^2 に比例する電流力が作用し、可動線輪は電流 i の自乗に比例する電流力によつて駆動トルクを生じ、之に對し制御バネで制御トルクを生せしめれば電流力計型計器が得られる。

電流力計型計器は交流にも使用される。何故なれば、交流の場合には、可動線輪に作用するトルクは絶えず變化するが可動線輪は慣性を有するから、瞬時トルクに追隨する事が出來ずに、交流の一周期の平均トルクによつて動作する。瞬時のトルクは電流の瞬時値の自乗に比例するから、平均トルクは瞬時電流の自乗の一周期間の平均、即ち交流の實効値の自乗に比例する譯である。此の事を數式で示すと次の通りである。

i = 交流の瞬時値, I = 交流の實効値とせば,

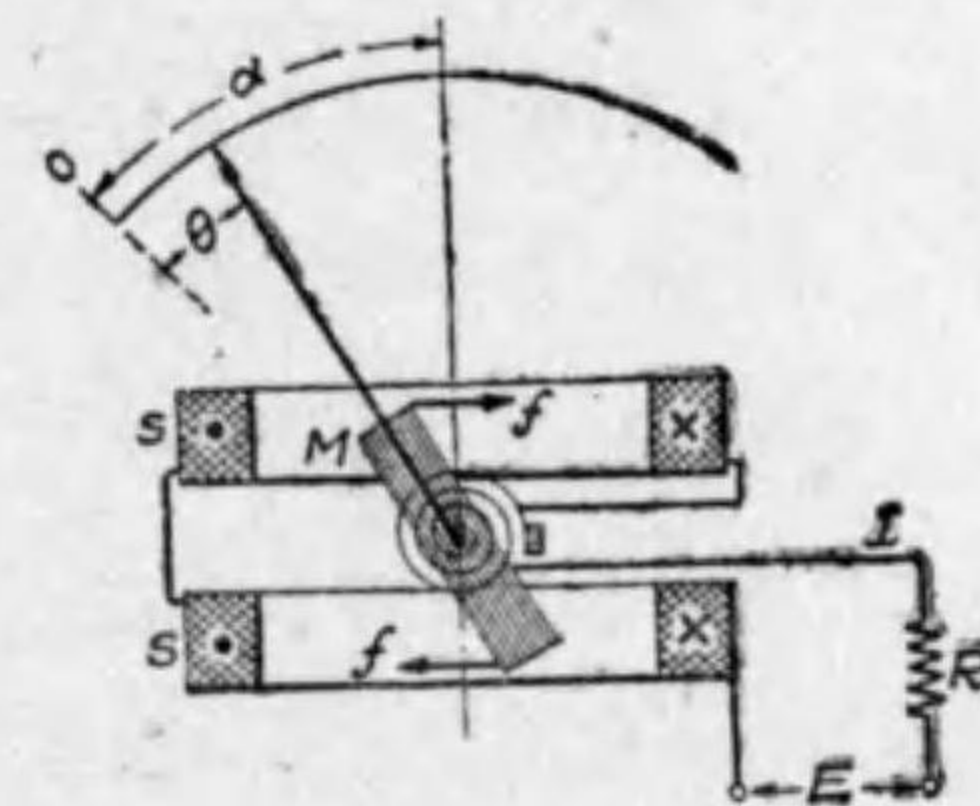
瞬時トルク $\tau = k \times i^2$ [但し k = 比例常數で兩線輪の卷數, 形, 及び相互位置に關係する]

平均トルク $T_a = (\tau \text{ の一周期間の平均}) = k \times (i^2 \text{ の一周期間の平均}) = k \times I^2$

電流力計型計器に限らず、上の理由により一般に電流（又は電壓）の自乗に比例する力を利用する計器は凡て交流用計器となし得る譯である。

(イ) 電壓計 第6・13圖は此の型の電壓計の一例を示す。 S

第6・13圖



電流力計型電壓計

は固定線輪、 M は可動線輪、 R はマンガニン直列抵抗で、之等を直列に接續したものである。制御バネを可動線輪の上下に備へ電流を導く役をもさせることは直流可動線輪型計器と同様である。制動装置は空氣制動法を用ひて居る。

今被測電壓 E を兩端子間に與へると、之に比例する電流 I が S 及び M に通じ、従つて I^2 に比例する電流力のために M に駆動トルクを生ずる。此の駆動トルクは勿論兩線輪の相互位置にも關係する。今 S の作る磁界の方向即ち S の軸と指針の零位の時との間の角を α (之は約 $\frac{\pi}{4}$ ラヂアンである) とし、指針の傾斜角を θ とすれば、 M に働く電流力 f は I^2 に比例し、その方向は S の磁界及び M の電流に直角であるから、 M に作用する駆動トルク T_d は $I^2 \cos(\alpha - \theta)$ に比例する。又制御トルク T_c は傾斜角 θ に比例するから、

$$T_d = k_1 I^2 \cos(\alpha - \theta), \quad T_c = k_2 \theta$$

$$T_d = T_c, \quad \therefore k_1 I^2 \cos(\alpha - \theta) = k_2 \theta$$

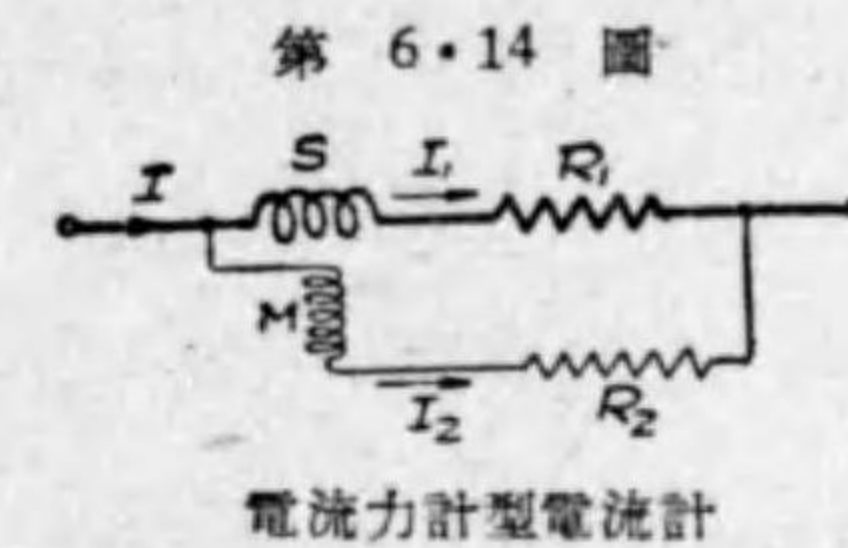
$$\therefore I^2 = K \frac{\theta}{\cos(\alpha - \theta)}, \quad I \propto \sqrt{\frac{\theta}{\cos(\alpha - \theta)}} \quad (イ)$$

$$\text{然るに, } I \propto E, \quad \therefore E \propto \sqrt{\frac{\theta}{\cos(\alpha - \theta)}} \quad (ロ)$$

目盛盤には直接被测電圧 E を目盛る。(ロ)式から判る様に此の計器の目盛は不平等の目盛となる。目盛は中央が幅廣く、零位に近づくに従つて縮少して来る。製造者によつては線輪の形や配置法に工夫をこらして、平等の目盛にしたものもある。此の電圧計にマンガニン直列抵抗を用ひる理由は、合成温度係数を小にする事と測定範囲に應ずる事との外に、更に之を直流及び交流に用ひて同一の確度を得る爲である。即ち固定可動兩線輪には自己インダクタンスが幾分かあるから(全自己インダクタンスは指針が最大目盛を指した場合最大である)、之に直列高抵抗 R を接続することにより普通の商用周波数の交流の場合では全インピーダンスを殆ど全抵抗に近づけ得る〔例へば S, M, R の全抵抗を $R_p = 2500 \Omega$, 全インダクタンス $L = 0.08$ ヘンリ, 周波数 $f = 50$ サイクル/秒の場合は全インピーダンスは $Z = \sqrt{R_p^2 + (2\pi fL)^2} = \sqrt{2500^2 + (2 \times 3.14 \times 50 \times 0.08)^2} = 2500.13$ オーム之は殆ど $R_p = 2500$ オームに等しい〕。従つて同一電圧値に對しては直流でも交流でも殆ど同一電流値となり、實用上殆

ど同一確度を得る譯である。

(ロ)電流計 0.25 A 迄の電流ならば固定線輪と可動線輪を



直列したもので電流計とする事が出来るが、これ以上の電流は渦巻バネに不適當であるから、可動線輪には被测電流に比例する小電流を通する

工夫が必要である。第 6・14 圖は 5 A 用電流計の一例を示す。固定線輪 S 及び可動線輪 M を並列に接続する。但し S にも、 M にも適當なマンガニン直列抵抗 R_1, R_2 を夫々接続してある。 S 及び M には被测電流 I に比例する電流 I_1 及び I_2 が通じ、可動線輪 M に作用する電流力は $I_1 \times I_2$ 従つて I^2 に比例する。依つて(イ)式の關係が得られ目盛盤上には直接被测電流 I を目盛る。

マンガニン抵抗 R_1, R_2 を接続する理由は、(1) S 回路の合成温度係数と M 回路の合成温度係数とを等しくして、温度變化に對する補償をするためと、(2) S 回路の時定數と M 回路の時定數とを等しくして、同一計器を直流及び交流に使用しても確度を同一にする目的のためとの二條件を満足せしめる必要からである。然し此の二條件を完全に同時に満足せしめる事は困難であるから、實用上大體満足せしめる程度にする。此の電流計では商用周波数の交流ならば直流に於ると殆ど同一の確度

と見て宜しい。

電流力計型計器に於ては、固定線輪の作る磁界は直流可動線輪型計器の永久磁石の作る磁界より遙かに弱いから、之を直流計器として用ひる場合には地球磁界の影響が相當大きく現はれて来る。地球磁界の様な一定方向の磁界の影響を除くためには、計器に通ずる電流の方向を變へ二回の測定を行ひ、其の二回の讀みの平均を取ればよい。

又此の計器を交流用とする場合には、地球磁界の様な一定方向の外部磁界の影響は無いが、附近に若し同一周波数の交番磁界があつて、之が可動線輪に漏洩する様な場合は、その影響を受け誤差を生ずるから使用の際注意すべきである。外部磁界の影響を除く爲に、固定線輪及び可動線輪の外側に環状の薄鐵板を重ね合せた遮磁壁を用ひた電流力計型計器も作られて居る。

電流力計型計器は直流計器としては可動線輪型計器に較べて劣つて居る。前者は後者より動作電流大で、又電流計としては電壓降下、損失電力が大で、又目盛の有効測定範圍も小である。然しその目盛を直流を以て電位差計に依り較正して置けば、之を交流の實用標準器として用ひる事が出来る。斯様に直流で較正して之を交流用となし得る計器を一般に**轉位計器**と稱する。

6. 可動鐵片型計器

可動鐵片型計器は、固定線輪に通ず

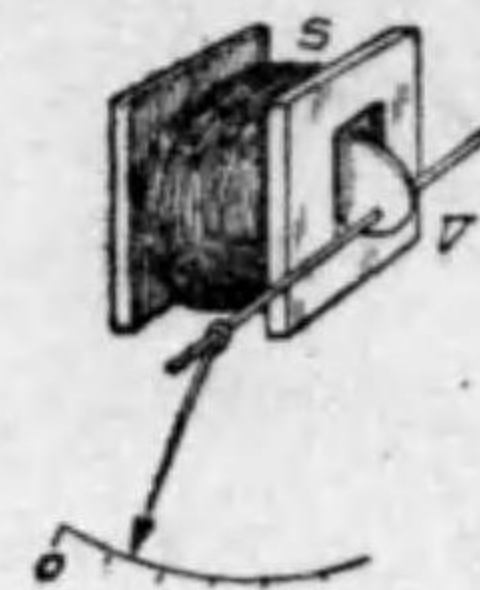
る電流に依つて生ずる磁界内に置かれた可動軟鐵片に作用する電磁力を利用したものである。此の電磁力は磁界の強さと鐵片の磁束密度とに比例する。然るに鐵の磁束密度は磁界の強さの大小に伴て増減し磁界の強さは電流に比例するから、鐵片に作用する力は電流の自乗に伴つて増減する。故に此の型の計器も直流及び交流用となし得るのである。

制御法は渦巻バネ又は重力制御法が用ひられる。又制動法は空氣制動法が多く用ひられる。

此の型の電壓計では固定線輪に細い電線を巻いた卷數大なる線輪を用ひマンガニ直列抵抗を接續してあり、又電流計では固定線輪に太い電線を卷數小にしたものを用ひ最大目盛に於ける線輪のアンペア回數は大體一定にして作られる。制動には空氣制動法が用ひられる。

可動鐵片型計器は更に之を**吸引型**、**反撥型**及び**反撥吸引型**との三種に大別する事が出来る。

第 6・15 圖



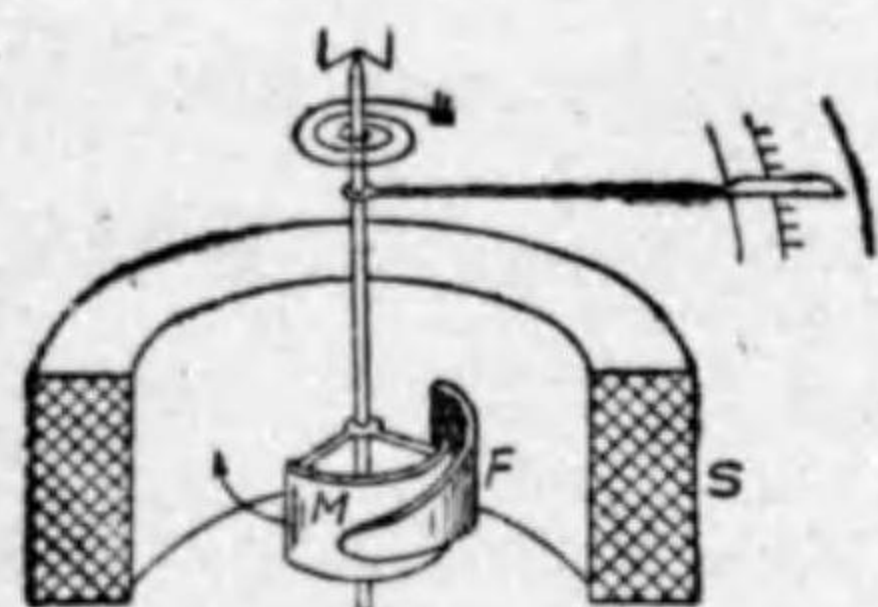
吸引型計器

吸引型計器 第 6・15 圖は吸引型計器の略圖で、 S が固定線輪で、 V は可動軟鐵片である。鐵片 V は橢圓形をなし軸に偏心的に取付けられて居る。線輪 S に電流を通ずると、 V が線輪の内部に吸込まれる力とバネ（圖には示さないが）の制御力とが平衡した位置に

指針は静止する。

反撥型計器 第 6・16 圖は反撥型計器を示す。固定線輪 S

第 6・16 圖



反撥型計器

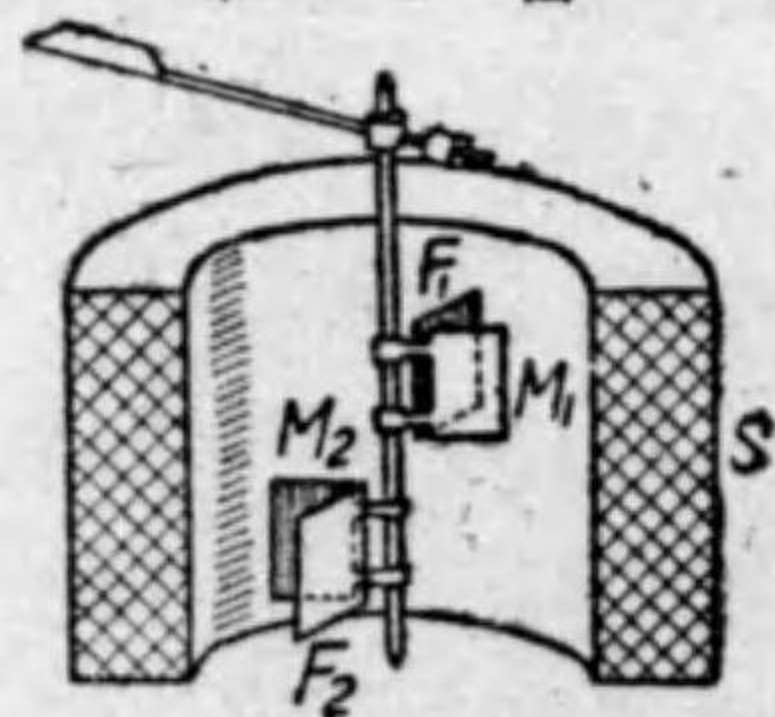
の内部に固定鐵片 F と可動鐵片 M とがある。 S に電流を通すると F 及び M は同様に磁化される (即ち磁界の方向が上方に向つた場合は M, F の上部が N 極、下部が S 極となる) から M は F

から反撥せられ、 M が F より遠ざかる爲には M は上より見て時計式の方向に廻る。此の駆動トルクとバネの制御トルクと平衡した位置に指針は静止する。

反撥吸引型計器 此の型は反撥吸引を兼用したもので、第 6・17 圖に其の一例を示す。固定鐵片 F_1, F_2 及び可動鐵片 M_1, M_2 各 2 個宛あつて駆動トルクを大にすると共に目盛を平等にすることが出来る。電流小なる間は主に M_1, F_1 間及び M_2, F_2 間の反撥力により、最大目盛に近づくに從つて M_1, F_2 間及び M_2, F_1 間の吸引力により動作する。

可動鐵片型計器は之を直流回路に用ひると鐵のヒステリシス現象のため其の使用状態に依り同一値の電流に対しても其の指

第 6・17 圖



反撥吸引型

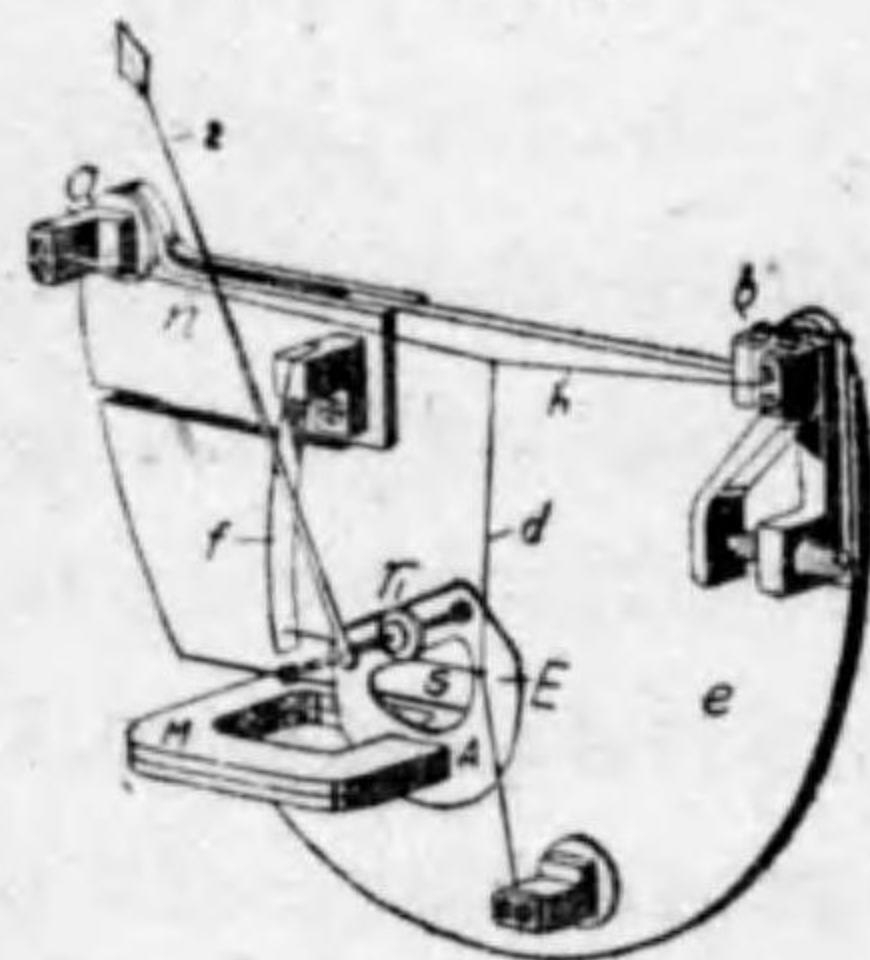
示は變はり、精密測定には直流計器としては不適當である。斯様な計器では電流の方向を數回轉換したる後に電流の方向を變へた時の二回の讀の平均を取ればよい。可動鐵片型計器を交流回路に用ひる場合は、鐵片中のヒステリシス及び渦流損並に線輪のインダクタンスのために、周波數が變はると指示が影響される。電流計の場合は周波數による影響を考へる必要はないが、電壓計の場合は周波數が増すとインピーダンスが増すから同一電壓に対して電流が減少する。此の誤差を小にするには出来るだけインダクタンスを小にして、直列高抵抗を接続し此の直列抵抗に適當な蓄電器を並列に接続し全回路の時定數を小にする。又良質の鐵片少量を用ひ、その磁路の方向の長さを短かくし且つ成るべく他の金屬類を用ひない様にすれば、ヒステリシス及び渦流による誤差を小にする事が出来、又波形の影響も小で、交流計器として適當である。溫度や外部磁界の影響等は電流力計型計器と大差がない。可動鐵片型計器は構造が簡單で價格が低廉であるから交流の實用計器として廣く用ひられる。殊に優良の設計のものでは交流携帯用精密計器として用ひられる。

7. 熱型計器 導體に電流が通すると電流の自乗に比例する熱を生ずる。此の電熱を利用したものが熱型計器である。斯様に電流の自乗に比例する熱を利用したものであるから、直流

及び交流に用ひられる。此の型の計器には**熱線型**と**熱電型**とがある。

(イ) **熱線型計器** 此の型の計器は電熱によつて膨脹する電線〔之を熱線と稱して居る〕の伸びを指針に傳へるものである。即ち熱線には電流の自乗に比例する熱が発生し熱線の温度を上昇させる。此の時熱線からは熱線自身の温度と周圍温度との差に比例する熱が放散され、発生熱量と放散熱量とが等しくなる迄温度が上昇して平衡状態になる。

第 6・18 圖

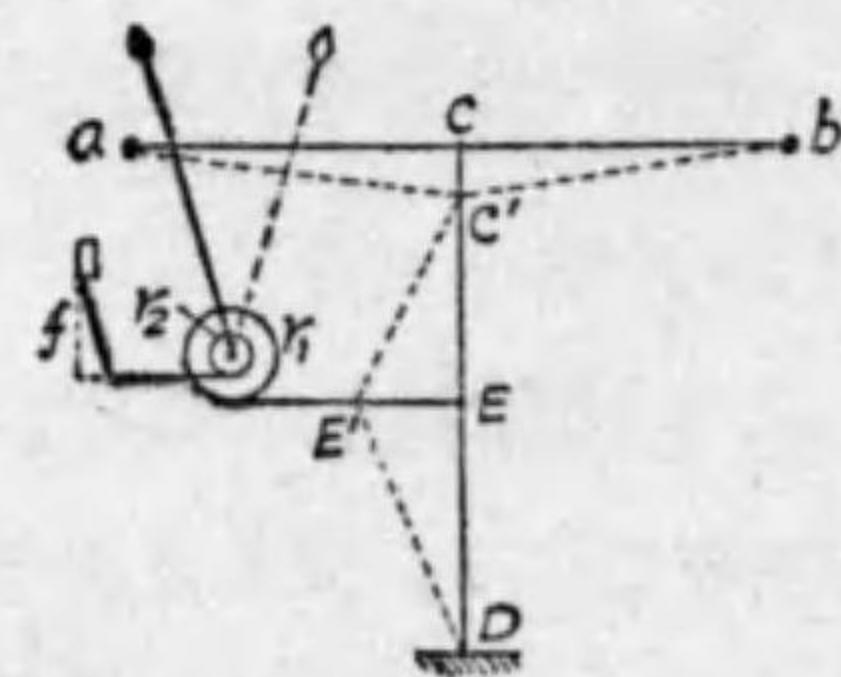


ハートマン会社熱線型計器

熱線は温度上昇に比例して伸びるので、熱線の伸張は電流の自乗に比例するから、之を利用する。第 6・18 圖は熱線型計器の構造を示し第 6・19 圖はその動作を示す略圖である。 h が a, b 二點間に張られた白金イリヂウムの細い熱線で、其の中央 c 點に磷青銅線 d の一端を附し、他端 D は固定されて居る。磷青銅線 d の中央 E 點に絹絲 s を附し之を象牙の滑車 r_1 に巻き付け、他端はバネ f に取付けてある。今熱線に電流を通すると、

迄温度が上昇して平衡状態になる。熱線は温度上昇に比例して伸びるので、熱線の伸張は電流の自乗に比例するから、之を利用する。第 6・18 圖は熱線型計器の構造を示し第 6・19 圖はその動作を示す略圖である。 h が a, b 二點間に張られた白金イリヂウムの細い熱線

第 6・19 圖

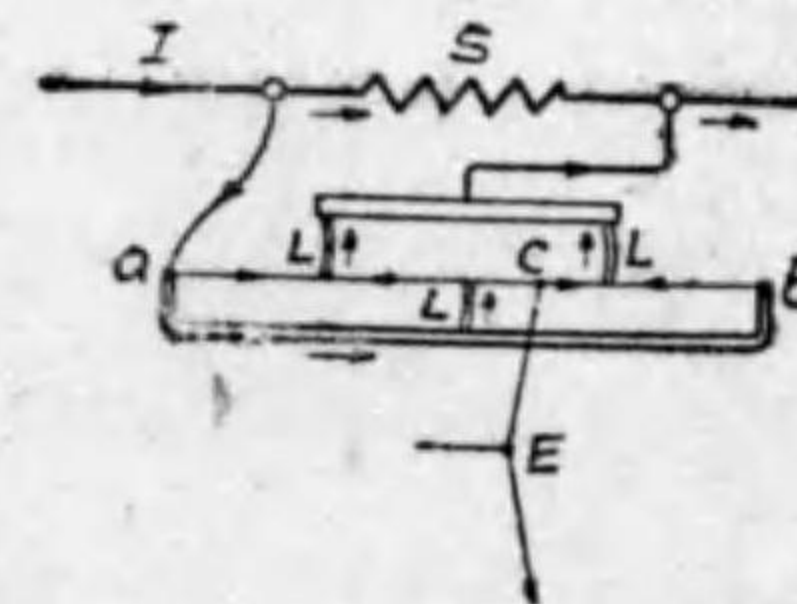


熱線型計器の原理

電流の自乗に比例して熱線が伸びるため、バネの引力によつて各部は點線で示す位置を取る。即ち c は c' に、 E は E' の位置に、従つて軸は回轉して指針は點線で示す位置に来る。此の様に垂直の cc' の弛みと水平の EE' の弛みの二重弛みによつて、熱線の小なる伸長を擴大して指針に傳へる。尚ほ熱線の支持臺はニッケル鋼 n と鐵板 e との組合せで出来て居て、外氣温度の變化による支持臺の伸びと熱線の伸びとが等しい様に作られて居る。制動法は、回轉軸に取付けたアルミニウム片 A と永久磁石 M とによる渦流制動法を用ひて居る。

此の型の電流計は、極く小なる電流用ならば第 6・18 圖の構造そのままでもよいが、大電流用には第 6・20 圖に示す様に、分

第 6・20 圖



熱線型電流計

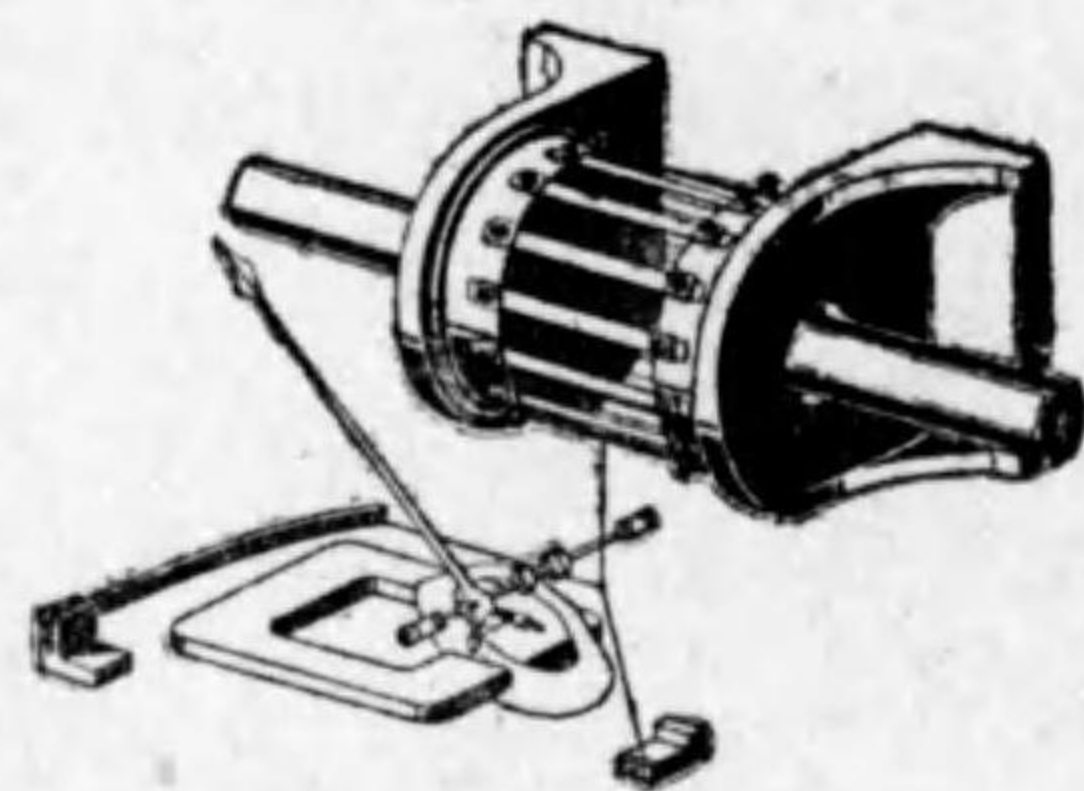
流器 S を用ひ、更に熱線 ab に小電流を通する爲め、之を可撓性の銀箔 L で數區劃に區分して銀箔で電流を導く様にしてある。目盛盤上には被測電流 I を目盛る。

熱線型計器の缺點は、他の型の計器に比して相當大なる電流を要する事、熱線が高温度で動作して居るため過大な電流が通る様な時は熱線を損傷し易い事、外氣温度の影響を多少受ける事、零點が狂ひ易い事等である。

熱線は交流の周波數や波形の影響がないから、高周波用電流

計を作る事が出来る。普通の分流器を有する第6・20圖の様な電流計は、並列回路の時定数が等しくなければ周波数の高い程電流分流の割合が變はり不都合を來たす。第6・21圖は高周波

第 6・21 圖



高周波用熱線型電流計

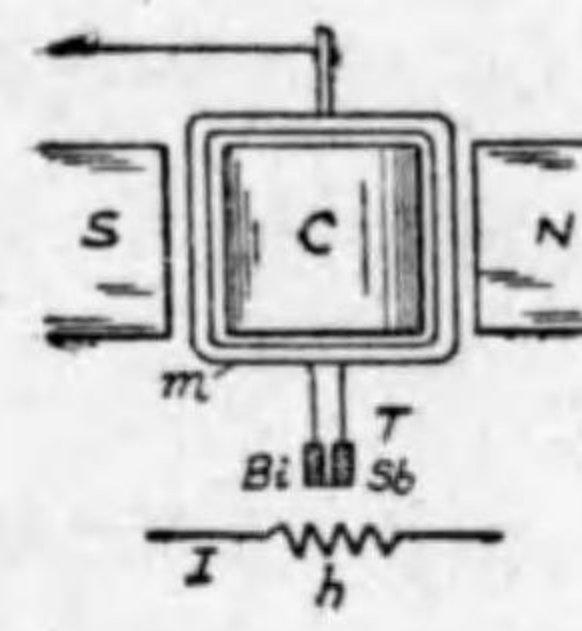
用電流計の構造を示すものである。之は表皮作用を少くするため極く薄い熱線の條片を多數太鼓形に對稱に配列し各の抵抗及びインダクタンスを相等しくし、高周波の電流でも各條片に等

しい電流配分をなす様にしてある。指針に運動を傳へるのは其の中の本の條片を利用する。

(□)熱電型計器 之は被測電流を抵抗體(之を加熱器又は加熱線と云ふ)に通じ、その熱に依り適當な熱電對の接合點を熱し、熱電對に生ずる熱起電力を直流可動線輪型計器の線輪に與へ、之を動作させるもので熱電對型計器とも稱する。一般に永久磁石可動線輪型計器は交流計器に比べて感度もよく確度も高いから、此の型の計器は高周波用として熱線型計器よりも最近多く用ひられる。

第6・22圖は熱電々流計の略圖である。之は永久磁石可動線輪型計器の線輪 m をバネに接続する代りに T なる熱電對(蒼

第 6・22 圖

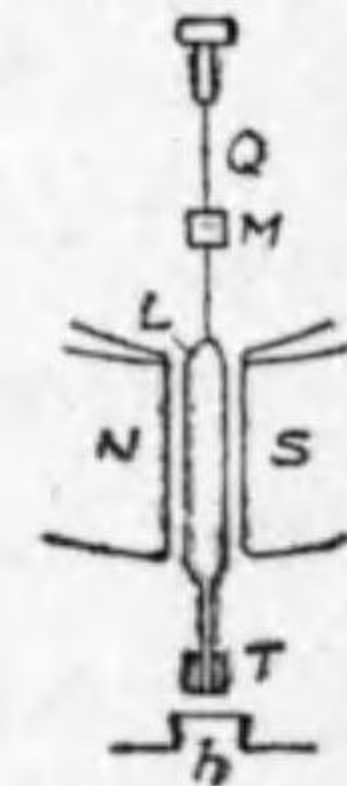


熱電々流計

鉛 Bi とアンチモン Sb より成る) に接続し、熱電對は圓形の受熱板にハンダ接続されてある。受熱板の下に h なる加熱器を備へて居る。被測電流を h に通ずるとその熱が T の接合點に傳はり熱起電力を生じ可動線輪には、熱量従つて被測電流と一定關係の直流が通じ、この電流と NS の磁界との作用で指針を運動せしめる。目盛盤には被測電流 I が目盛られてある。第6・23圖は熱電型檢流計を示すもので、原理は熱電々流計と同様である。只小なる交流測定とするため可動線輪は一回卷の銀線 L を用ひ。之を石英線 Q で懸垂し、讀取用の小鏡 M を取付けてある。

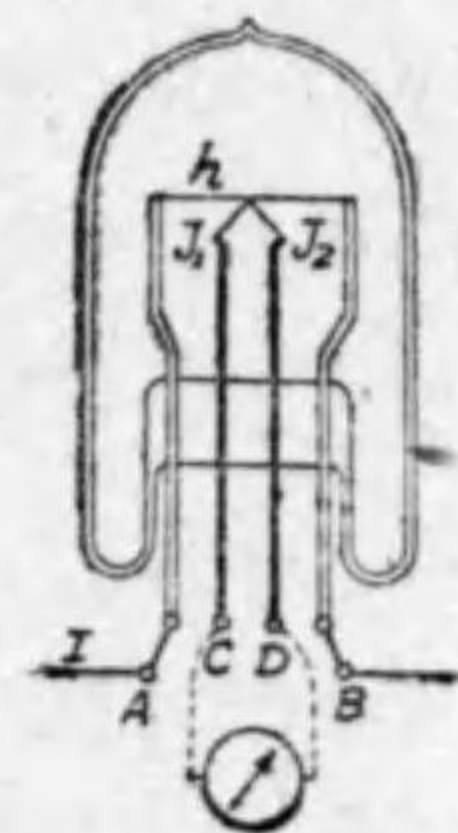
發熱體の熱は輻射及び空氣の對流及び端子への傳導により持ち去られるが、之を第6・24圖に示す様にガラス真空球に封入したものは空氣の對流による冷却がないから、微小電流測定に適する。之を真空熱電對型と稱する。 h が加熱線で之に被測交流を通ずると、 h にハンダ接続された熱電對 $J_1 J_2$ の接點が熱せられ、その CD 端子に接続された直流可動線輪型計器に直流が

第 6・23 圖



熱電型檢流計

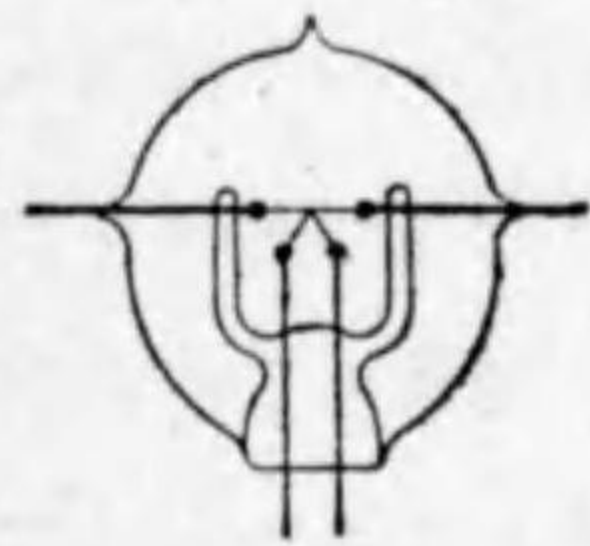
第 6・24 圖



真空熱電對型電流計

示す様にガラス真空球に封入したものは空氣の對流による冷却がないから、微小電流測定に適する。之を真空熱電對型と稱する。 h が加熱線で之に被測交流を通ずると、 h にハンダ接続された熱電對 $J_1 J_2$ の接點が熱せられ、その CD 端子に接続された直流可動線輪型計器に直流が

第 6・25 圖



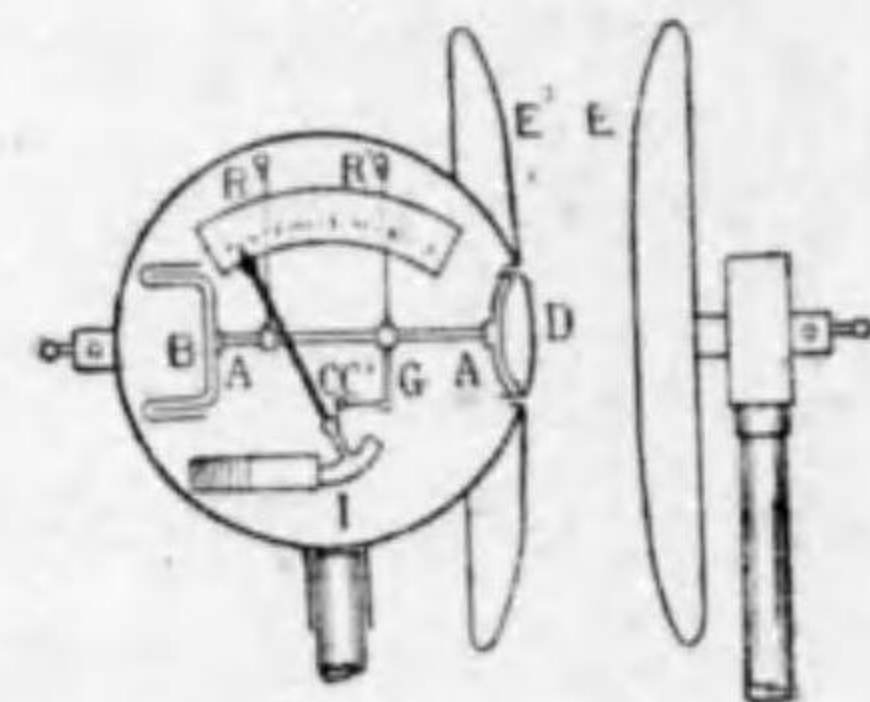
通じて指針を偏れしめるのである。加熱線を真直にした第 6・25 圖の様な真空熱電対型は高周波用として広く使用される。

8. 静電電圧計 互に絶縁された二導

體間に電圧を與へると、電圧の自乗に比例する静電力を生ずるから、一方の導體を固定し他方の導體を可動體とすれば、可動體は兩導體間の電圧の自乗に比例する静電力のために動くから、之に制御装置を施し置けば電圧計を作る事が出来る。静電力は電圧の自乗に比例するから、此の型の計器も直流及び交流回路に用ひられる。

第 6・26 圖甲は可動極が直進する方式の電圧計で、 E が固定板、 D が可動板である。 D は固定板と同形の静電遮蔽板 E' の中央部にあけられた孔の中に置かれ、その軸 AA は R, R' なる帶狀制御バネに懸垂され水平に運動し得る。被测電圧を D, E 兩極間に與へると、 D は E に吸引され R, R' の制御力と平衡した位置に静止する。指針軸はクランク C 、連結棒 C' 及び腕 G を經て AA に連結してあるから、 D の

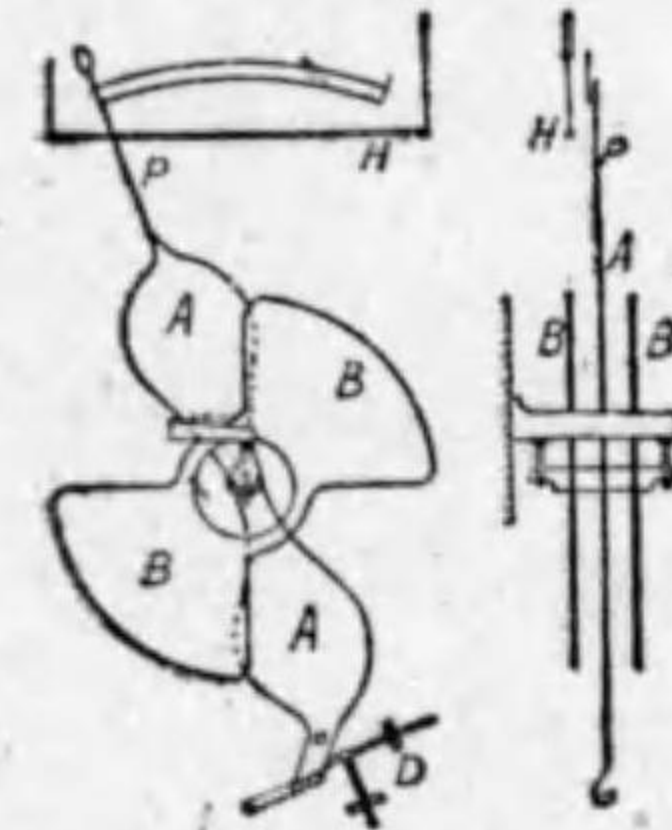
第 6・26 圖甲



静電々電圧計

軸 AA の水平移動は指針に回轉運動として傳へられる。制動法は軸 AA の左端に取付けられた羽根による空氣制動と、指針に取付けた金屬板が永久磁石の極間を動いて生ずる渦流制動との二つを用ひて居る。 EE' の距離を調節することにより、種々の測定範圍が得られる。此の電圧計は 200 000 V まで測れる。

第 6・26 圖乙



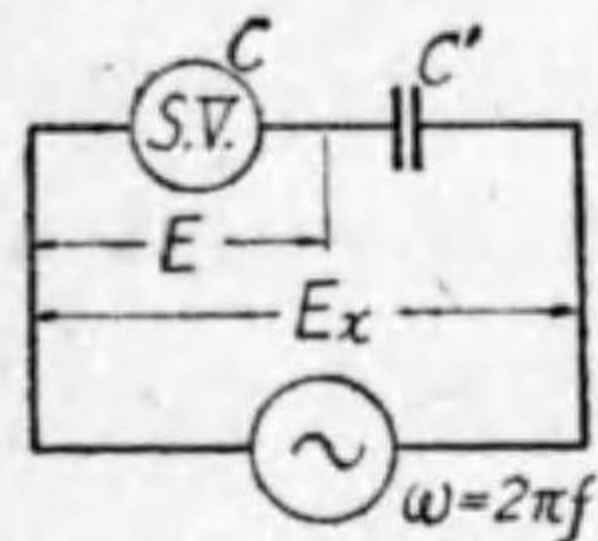
静電々電圧計

第 6・26 圖乙は可動極が回轉する式の静電々電圧計を示す。 B が固定象限で、二枚相對し電氣的に接続され、その中間に可動アルミニウム板 A を装置する。 AB 間に被测電圧を與へると、その自乗に比例する静電力により A は B の内部に吸引され回轉する。その驅動力と D なる

重力制御装置とにより平衡し指針は目盛盤上に被测電圧を指示する。制動法は他の計器と異なり、計器の外部より絶縁體の把手を廻はし、之に附せる水平なる線 H を指針 P の背後より之に接し摩擦により指針の振動を制動せしめるのである。之は實驗室用の計器で 800 乃至 10 000 ボルト迄の測定に適する。

静電々電圧計は一種の蓄電器であるから、その測定範圍を擴張するには之に適當な蓄電器を直列に接続して行ふ事が出来る。即ち第 6・27 圖に示す様に、静電々電圧計 $S.V.$ と蓄電器 C' とを直列に接続した場合に、被测電圧を E 、電圧計の受けた電壓

第 6・27 圖



静電々圧計の測定範囲の擴張法

を E 、又此の場合に於ける静電々圧計 $S.V.$ の容量を C とせば、 C' 、 C が全部直列なる

$$\text{故、} \omega \frac{1}{\frac{1}{C} + \frac{1}{C'}} E_x = \omega CE$$

$$\therefore E_x = E \left(1 + \frac{C}{C'} \right)$$

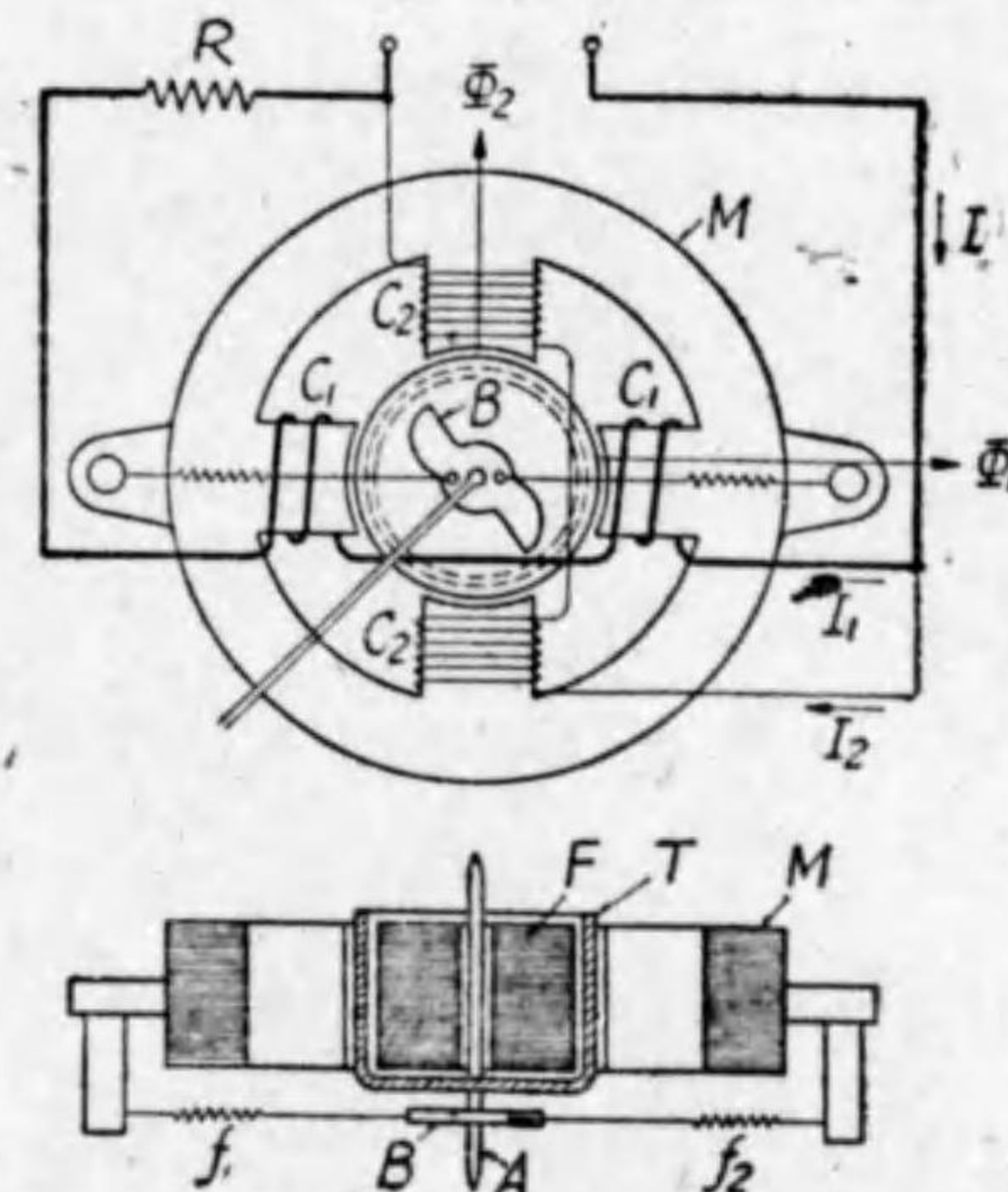
茲に注意すべきは、 C は $S.V.$ の指針の位置に應じて變はる値である。

静電々圧計は外部静電界の影響を受け易いから、計器全體を金屬外函に入れて之を防いで居る。又此の電圧計は外部磁界の影響を受ける事がなく、周波數や温度の影響も殆ど無視し得る。従つて轉位計器とし適當である。只静電型計器の缺點としては電流計が作られない事である。

9. 誘導型計器 誘導型計器は、回轉磁界を應用せる回轉磁界型と移動磁界を應用せる移動磁界型との二つに大別する事が出来る。

(1) 回轉磁界型計器 第 6・28 圖は此の型の電流計を示す。 M は成層鐵心で四極を有し、相對する極に C_1C_1 なる線輪が巻かれ、他の相對する極には C_2C_2 なる線輪が巻かれて居る。 C_1 は卷數少くして無誘導抵抗 R が接續され、又 C_2 は卷數多くし

第 6・28 圖



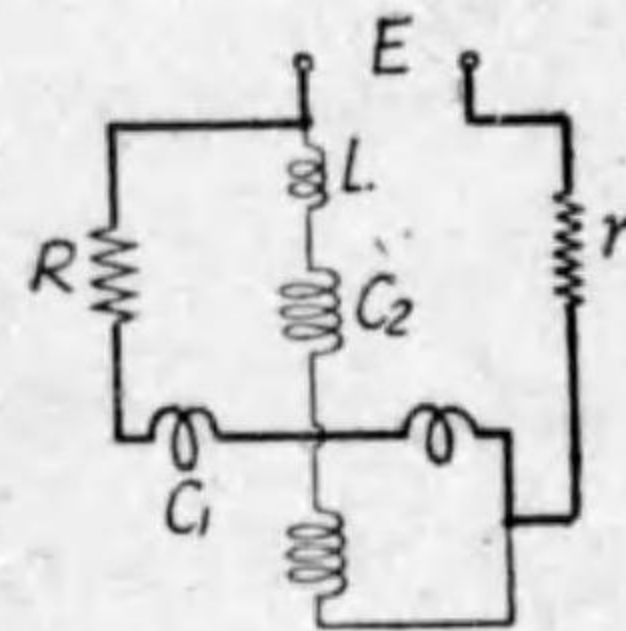
回轉磁界型電流計

てインダクタンス極めて大である。之等が圖の様に並列に接續されて居る。 F は成層鐵心で、之と極との空隙中にアルミニウム圓筒 T が裝置され、圓筒軸 A には指針及び制御裝置が取り付けられて居る。

今端子に被測交流 I を通すると、 C_1C_2 の並列回路に分流する電流 I_1, I_2 は I に比例するが、 C_2 の電流 I_2 は C_1 の電流 I_1 より位相が遅れる。此の相差を ψ とすれば、 I_1 により生ずる交番磁束 ϕ_1 と I_2 により生ずる交番磁束 ϕ_2 とは互に直角の位置に生じ、且つ ϕ_2 は ϕ_1 より位相が ψ だけ遅れるから、 ϕ_1, ϕ_2 の合成は一つの回轉磁界を成し、圓筒 T を回轉せしめる驅動トルクを生ずる。此のトルクは $\phi_1\phi_2 \sin \psi$ 従つて I_1I_2 従つて I^2 に比例する。(目盛を平等にするために制御裝置としてはバネ f_1, f_2 とカム B とを用ひて制御トルクを回轉角の自乗に比例せしめてある。

電圧計の場合は第 6・29 圖の様に、線輪 C_1C_2 は共に細い線

第 6・29 圖



回轉磁界型電壓計

で巻き C_1 に抵抗 R , C_2 にインダクタンス L を接続して之等を並列にしたものに、更に高抵抗 r を直列に接続したものである。トルクは電圧の自乗に比例する。

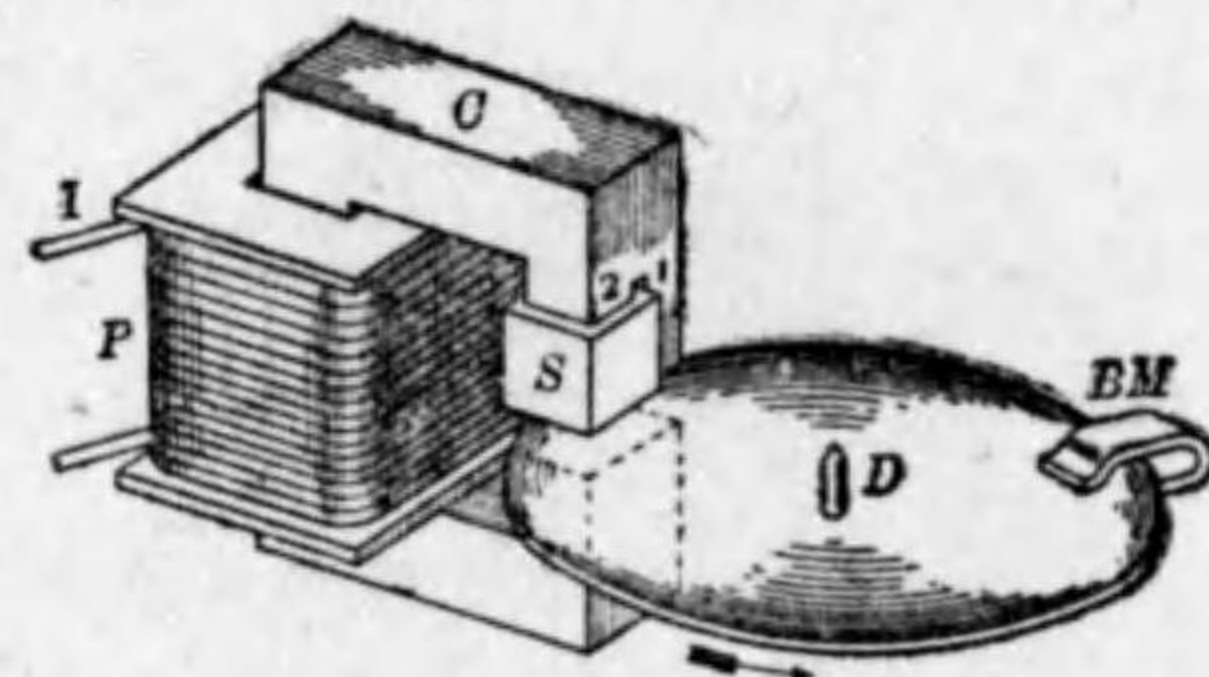
(□)移動磁界型計器 第 6・30 圖は移動磁界型計器を示す。成層鐵心 C に勵

磁線輪 P が巻かれ、之に
被測電流 (又は被測電圧
に比例する電流) I を通
ずる。鐵心 C は二極 1,
2 に分かれたれ、2 には短
絡線輪又は短絡金屬環 S

が巻かれて居る。此の S を隈取線輪 (shading coil) と稱する。
 D はアルミニウム可動圓板で、其の軸には指針及び制御バネが
取付けられて居る。永久磁石 BM は制動用磁石である。

隈取線輪 S は丁度變壓器の二次を短絡したのと同様であつて、一次線輪に當る P に交流を通ずると、 S 従つて極 2 を通つて圓板を貫く磁束 ϕ_2 は、極 1 を通り圓板を貫く磁束 ϕ_1 より位相が遅れる。従つて空隙部で磁界が極 1 の處から極 2 の處へと移動し、圓板を磁界の移動する方向に回轉せしめる驅動力を生ずる。此のトルクも電流又は電圧の自乗に比例する。

第 6・30 圖

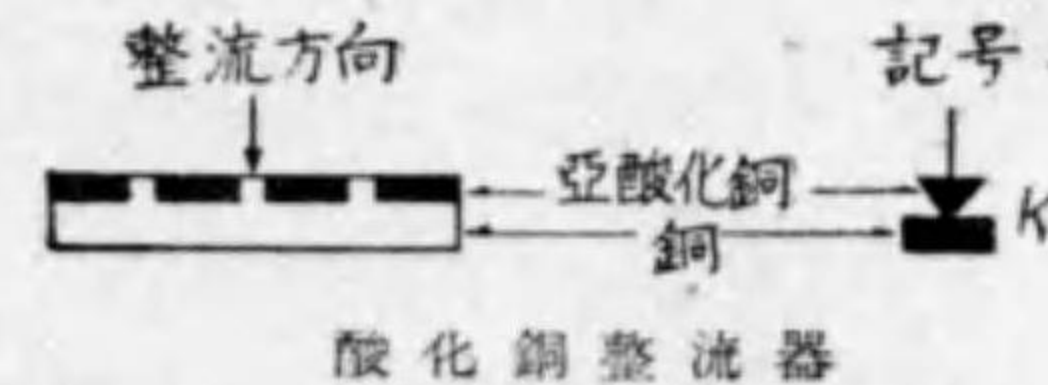


移動磁界型計器

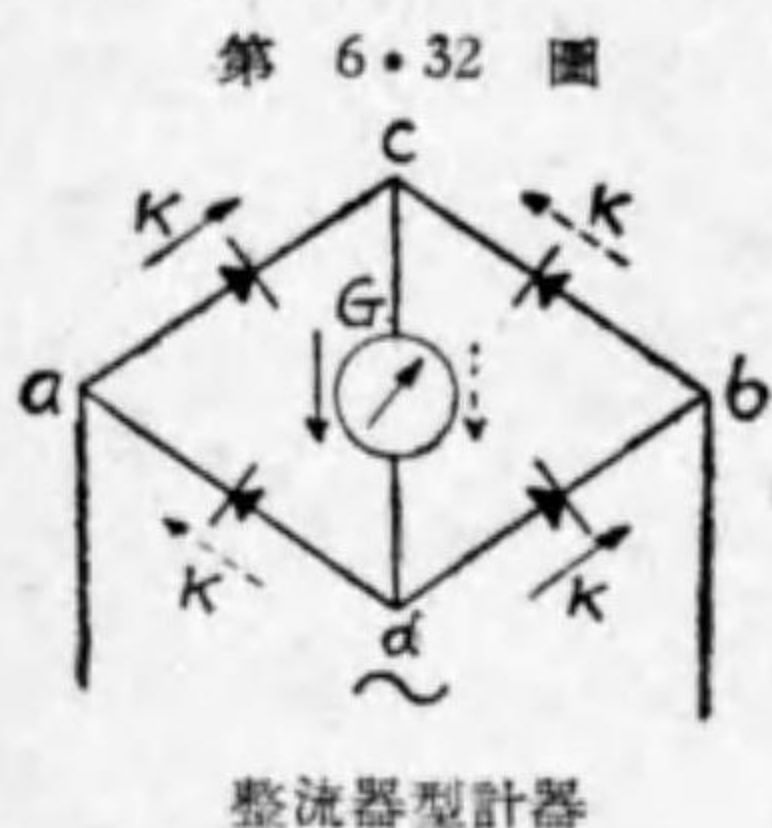
誘導型計器の特徴は殆ど完全に近い鐵の磁路を有するから、圓筒又は圓板を貫く磁束が大で、従つて驅動力が大である。又構造が堅牢で而も可動部分に電流を導くべき何等の装置も要しない。又圓筒や圓板の位置如何に拘らずトルクの生ずる關係は一定であるから、之に普通の制御バネを用ひると目盛の範圍を擴大する事も出来る。此の計器の缺點としては周波數變化の影響が大である事である。又交流波形の影響もある。従つて使用すべき規定周波數の交流を用ひて電流力計型標準計器と比較して (即ち電壓計ならば互に並列にし、又電流計ならば直列にして) 目盛を較正すべきである。尚ほ溫度變化によつても圓筒や圓板に生ずる渦流も變はるから誤差を生ずる。従つて此の計器は配電盤用としてはよいが、精密用計器としては不適當である。

10. 整流型計器 銅を高溫度に加熱しその表面に亞酸化銅皮膜を生せしめた酸化銅整流器は、之に電流を通ずる場合、亞酸化銅より銅の方向へは電流を通ずるが、その反方向には殆ど電流を通さない整流作用を有する。(第 6・31 圖參照)。

第 6・31 圖



此の酸化銅整流器 K を 4 個第 6・32 圖に示す様にブリッジに



整流器型計器

第 6.32 圖 接続し c, d 間に永久磁石可動線輪型計器 G を接続し, a, b 間に交流を通ずれば, 交流の一サイクル中で, 半サイクルの間は實線の矢印で示す様に, 又次の半サイクルの間は點線の矢印で示す様に電流が通るから G には全波整

流された電流が通じ, 従つて G の可動線輪は其の平均値で動作するから, 指針は交流の平均値に比例して偏れる。従つて目盛盤には正弦波交流の實効値を目盛つて置けば, 正弦波交流の計器とする事が出来る。故に波形率 K 實効値 I なる交流を通じた時指示を I_0 とすれば, その平均値は $\frac{I}{K} = \frac{I_0}{1.11}$ なる故, $I = \frac{K}{1.11} I_0$ なる関係がある。酸化銅整流器の抵抗は之に通ずる電流値によつて變はるから, 之に適當な直列抵抗を接続してある。又此の計器は溫度變化の影響もある。尙ほ又交流の周波數が數千サイクルともなると整流器が蓄電器として働くから誤差を生ずる。實用上は一萬サイクル位迄は使用される。此の型の計器は構造が簡單で, 上記の諸注意をすれば感度がよく確度も高いから廣く使用される。

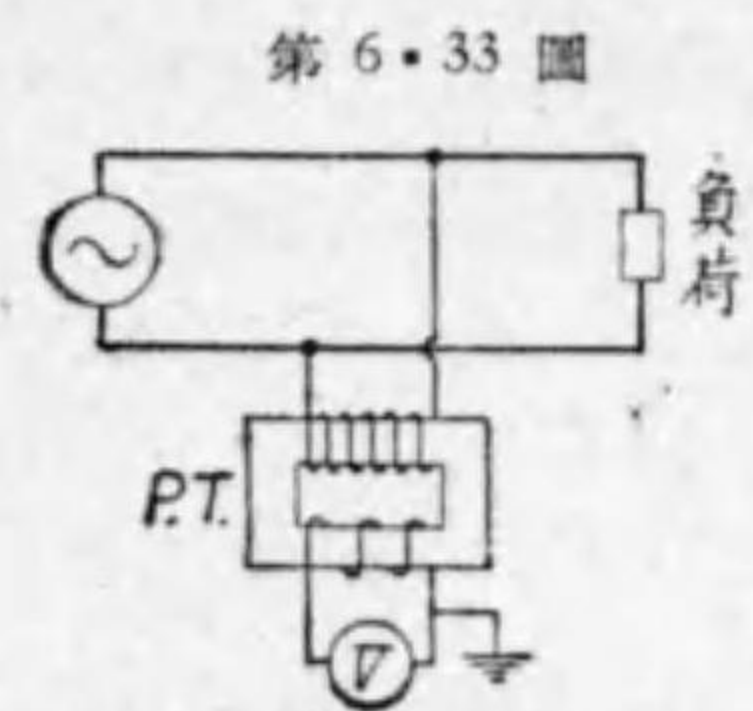
11. 計器用變成器 電壓計の測定範圍を擴大するには直列抵抗器 (靜電々壓計では蓄電器) を使用し, 又電流計の測定

範圍を擴大するには分流器を用ふる事は既に述べた。尙ほ高壓交流回路用として測定範圍を擴大するには, 電壓計では計器用變壓器を用ひ, 又電流計では變流器を用ひるのが普通である。此の變壓器及び變流器を總稱して計器用變成器と稱する。

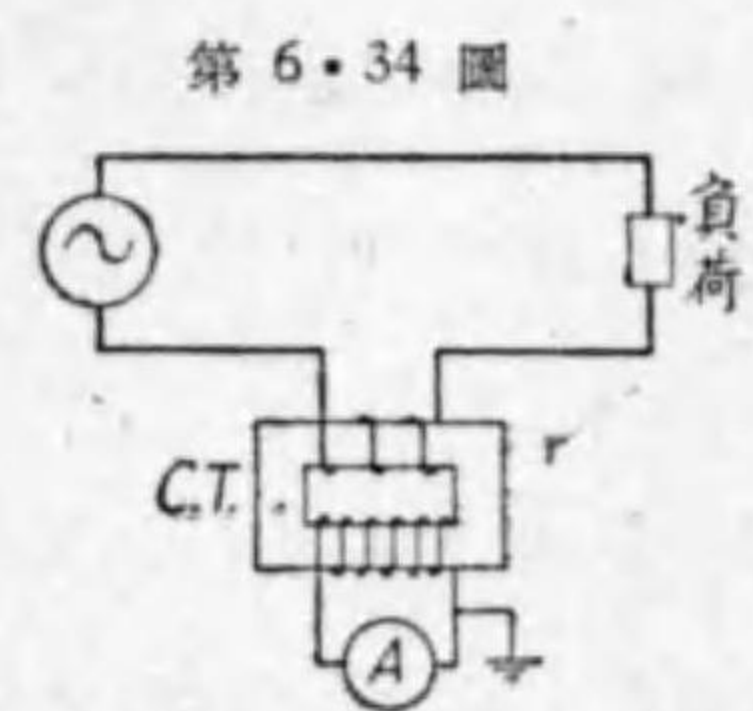
計器用變成器は電力用變壓器と同様に鐵心に巻かれた一次及び二次線輪より成り, 計器用變壓器の一次電壓と二次電壓との比は略ぼ一次線輪の巻數と二次線輪の巻數との比に等しく, 又變流器の一次電流と二次電流との比は, 略ぼ一次線輪の巻數と二次線輪の巻數との比の逆數に等しいものである。

計器用變成器を用ひる一つの目的は計器の測定範圍を擴大する事であるが, 今一つの目的は, 計器を變成器によつて高電壓回路から離し, 計器に絶縁を害する様な高電壓がかゝらない様にし又計器取扱者に危険がない様にする目的である。此の爲に計器に接続される二次側の一線を接地する。

第 6.33 圖は電壓變成器 P.T. と電壓計との接続圖で, 電壓變成器の定格二次電壓は 100 又は 110 V で電壓計には此の二次



第 6.33 圖



第 6.34 圖

定格電壓に適合するものを用ひる。第 6.34 圖は變流器 C.T. と電

流計との接続図である。變流器の定格二次電流は 5 A とするのが普通で、電流計は 5 A に適するものを用ひる。變流器の二次回路は開いてはいけな、即ち電流計を取去る場合には變流器の二次線輪を短絡してから電流計を取去るべきである。

計器用變成器に於ては、其の二次に接続されたインピーダンスを負荷と云はずに特に**二次負擔**と稱する。即ち電壓變成器の場合は、その定格二次電壓 (100 又は 110 V) に於て二次に接続されたインピーダンスに消費されるボルトアンペア (VA) を以て電壓變成器の負擔と稱し、又變流器の場合ならば、その定格二次電流 (5 A) に於て二次に接続されたインピーダンスに消費されるボルトアンペア (VA) を以てその變流器の負擔と稱する。

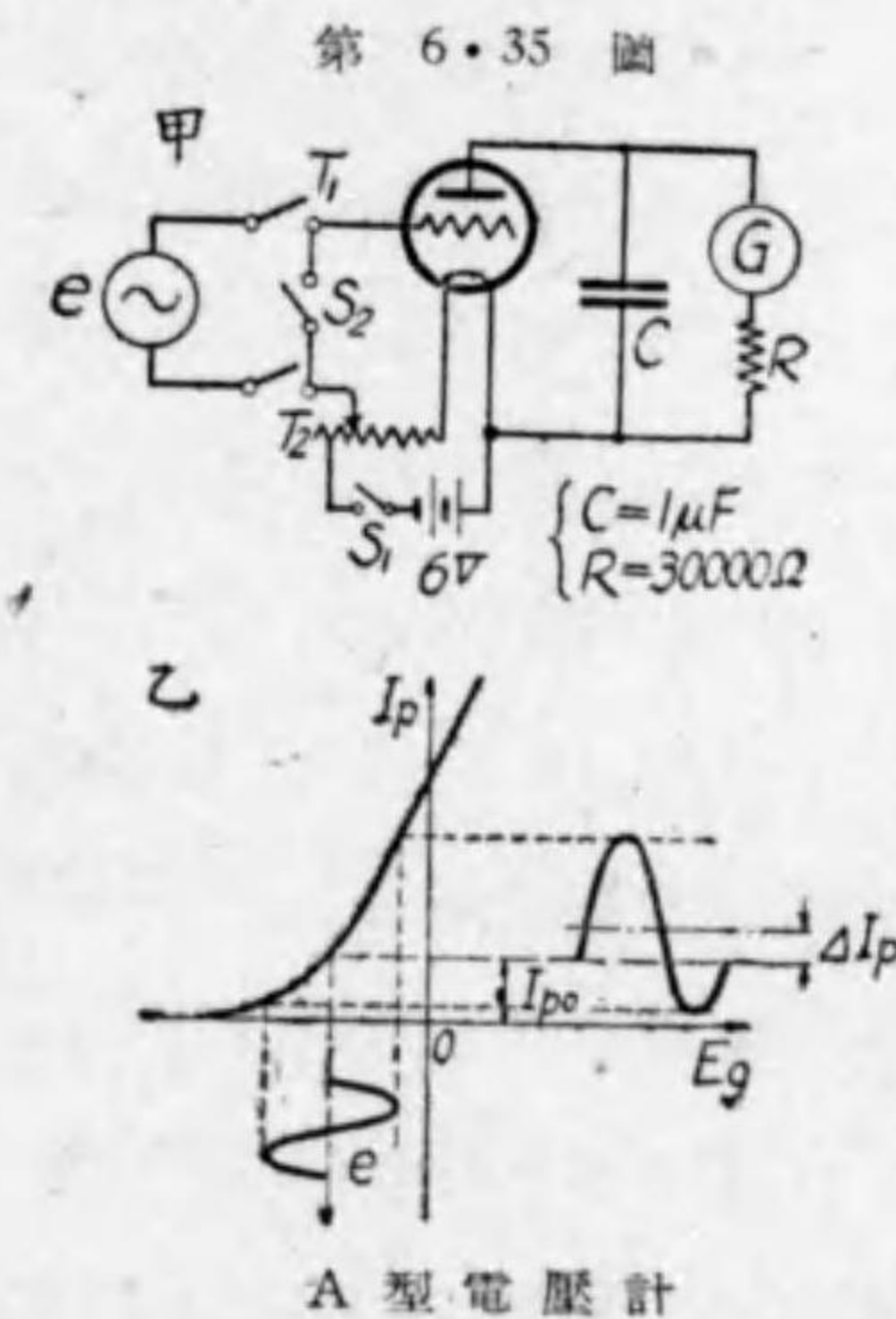
電壓變成器の變壓比や變流器の變流比は出来るだけ變化を小にする様に作られて居るが、此の變成比は二次電流の値によつて變化するため、之等變成器を電壓計、電流計と共に用ひて測定した結果には、計器自身の誤差以外に此の變成器の變成比の誤差も含まれる。勿論豫め變成器を計器と接続して、計器の目盛には一次の電壓値 (又は電流値) を目盛つておけば斯様な事は無い。

12. 真空管電壓計

之は三極真空管の整流作用を利用し

たもので、その入力抵抗が非常に高く且つ周波數の影響が少いから高周波用電壓計として専ら使用される。之は陽極整流型 (一名 A 型) と格子整流型 (一名 B 型) とに大別される。

第 6・35 圖は陽極整流型真空管電壓計を示す。之は陽極電流



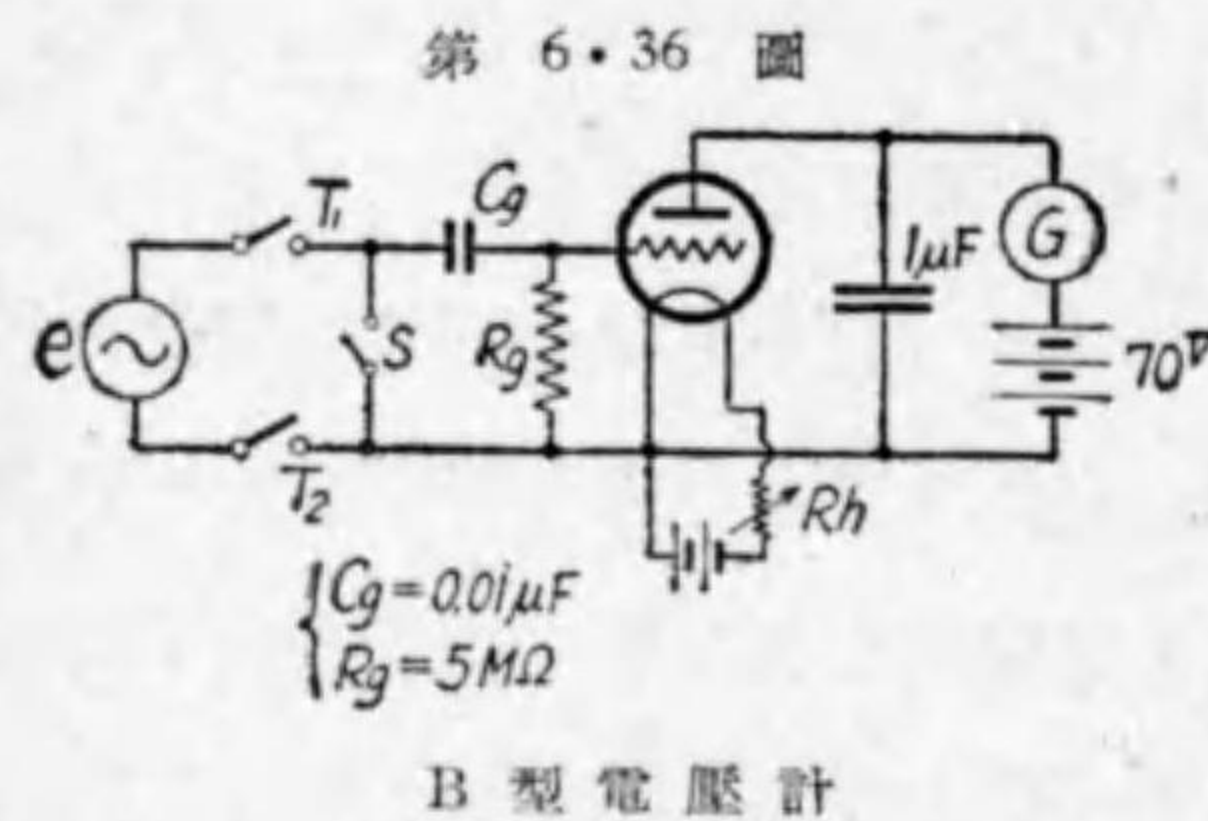
對格子電壓特性曲線(乙圖參照)の非直線性を利用したもので、 S_1, S_2 を閉じて抵抗を適當に調整し偏倚電壓を特性曲線の最も彎曲せる部分に持來ると陽極回路の直流計器 G に電流 I_{p0} が流れる。次に S_2 を開き、端子 $T_1 T_2$ に被測交流電壓 e を與へると、平均陽極電流は ΔI_p だけ増加する。此の ΔI_p は e の實

効値 (E) の自乗に比例する。故に I_{p0} の時の G の目盛を零ボルトとし、 $I_{p0} + \Delta I_p$ の時の目盛を E ボルトとして作り置けば、交流の實効値を測る電壓計とすることが出来る。

圖に示す電壓計の測定範圍は 0~1.5 V で、50 サイクルの電壓で校正して 1 メガサイクル位迄使用される。此の型の電壓計は消費電力が約 $2.5 \mu W$ である。此の型の電壓計では直流分を含んだ交流電壓の測定は出来ない缺點がある。

尙ほ此の型の變形として下側に抵抗を入れたり、陽極回路の R_G に並列に抵抗を入れて測定範囲を變へた C 型電壓計もある。

第 6・36 圖は格子整流型真空管電壓計 (B 型) を示す。之は格



子電流對格子電壓特性曲線の非直線性を利用したものである。先づ S を閉ざれば陽極の直流計器 G には陽極電流 (I_{p0}) が流れる。 S を開き、 $T_1 T_2$ 端

子に被測交流電壓 (e) を與へると、格子の整流作用により格子漏洩抵抗 R_g に整流電流が流れ兩端に生ずる負の電壓降下が真空管の偏倚電壓となるから増幅作用により陽極に流れる平均電流は初めの I_{p0} より減少し、その値は被測電壓の自乗に比例する。従つて G に被測電壓を目盛つておけば宜い。

此の B 型電壓計は整流と増幅とを利用せる故小電壓測定には A 型電壓計より感度が良い。然し格子に電流を通ずる必要があるから消費電力は A 型に比して大である。

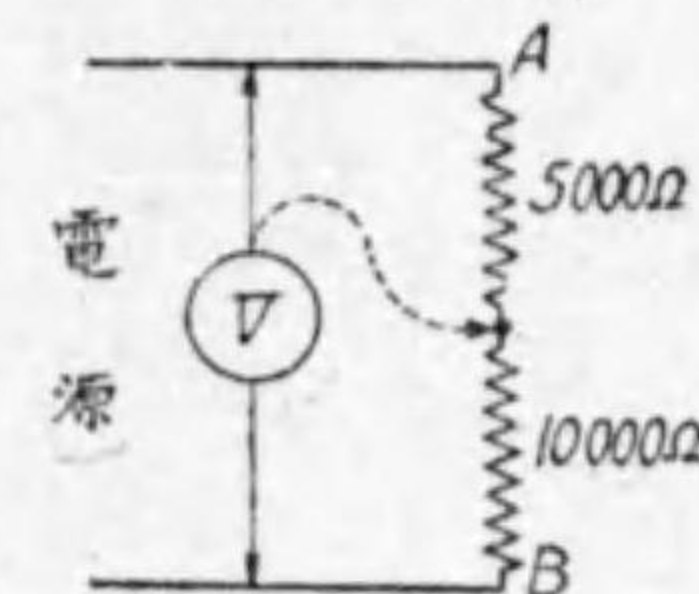
復習問題 VI

1. 指示計器を確度の上より分類し、定格値の 80 % に於て許容される

誤差を示せ。

2. 指示計器の要素を列記せよ。
3. 計器を驅動トルクを生ずる原理により分類し、且つ直流専用、交流専用並に直流交流兩用の何れに屬するか附記せよ。
4. 計器の各型の内、電壓計に専用せられるもの、電流計に専用せられるもの、電力計又は周波計に専用せられるものを示せ。更に電壓計及び電流計の何れにも使用し得るもの、電壓計、電流計及び電力計の何れにも使用せらるゝものを示せ。
5. 計器に制御装置の必要なる理由を述べ、指示計器に使用せられる方法 3 種を示せ。
6. 計器に制動装置の必要なる理由を述べ、指示計器に使用せられる方法 3 種を挙げよ。目盛の 2/3 に對する電氣値が計器に與へられた時指針が靜止する迄に 6 秒を要した。その制動装置の良否如何。
7. 精密計器には双形指針と鏡とが使用され、配電盤計器には槍形指針が使用される理由如何。
8. 同一型の計器の線輪で電壓計は細い導線が數多く巻かれ、電流計は太い導線が少く巻かれて居る理由如何。
9. 永久磁石可動線輪型電壓計の目盛は平等なる理由を説明せよ。
10. 倍率器の倍率とは何ぞや。
11. 最大目盛 150 V、抵抗 10 000 Ω の電壓計がある。之を以て最大電壓 600 V の電路の電壓を測定するには如何にすべきか。
12. 5000 Ω と 10 000 Ω の抵抗を直列につ

第 6・37 圖



ないで、或る電源に接続し置き、先づ電壓計で第 6・37 圖に示す様に電源の電壓を測定したのに 120 ボルトであつた。今點線の様

に接続して BC 間の電壓を測つたら 60 ボルトを示した。AC 間の電壓を測つたら何ボルトを示

すべきか。

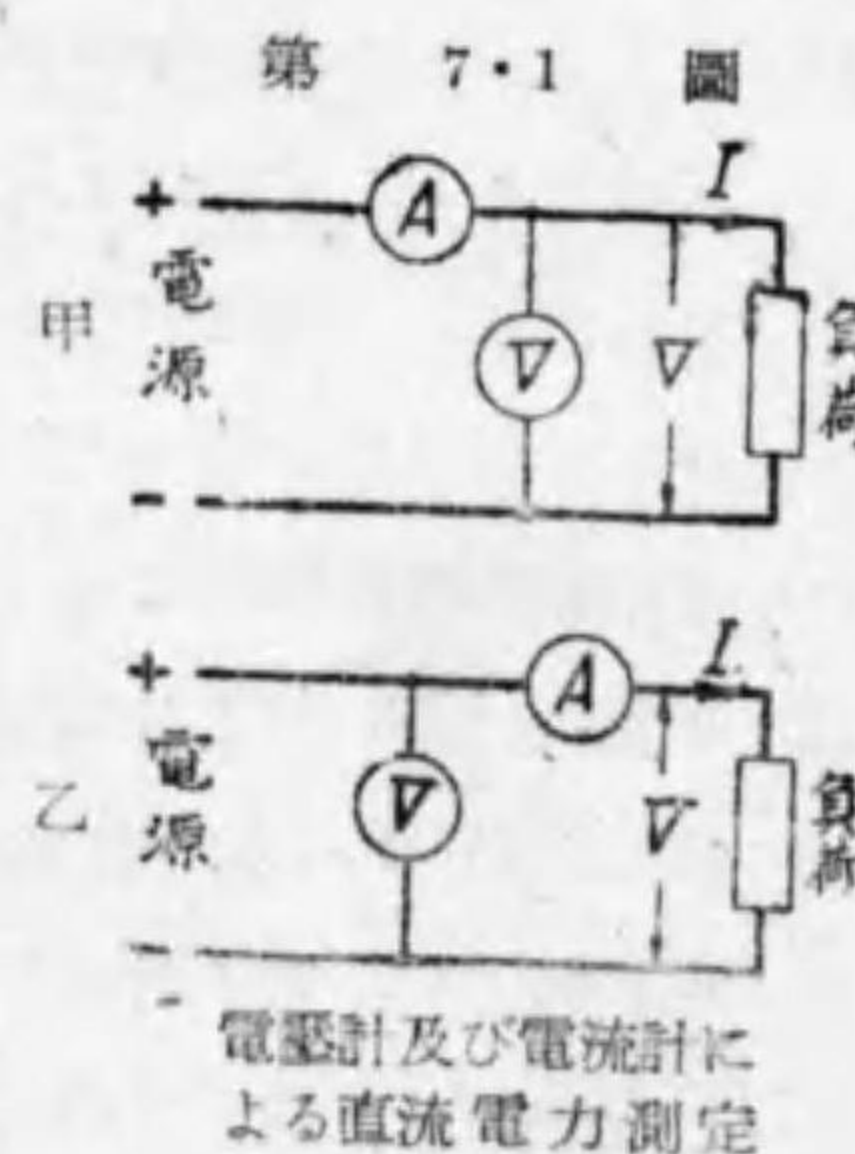
13. 分流器を電流計に使用する目的を問ふ。普通の電流計用分流器の材料は如何。又その材料が使用される理由を挙げよ。
14. 永久磁石可動線輪型電圧計は大氣の温度が上昇すれば、其の讀に如何なる變化を生ずるか。
15. 電流計型電流計は交流にも使用せられるのに、永久磁石可動線輪型は交流には使用せられざる理由如何。
16. 電流計型計器は直流用としては永久磁石可動線輪型に比べて劣つて居ると言ふ。其の理由如何。
17. 轉位計器とは何ぞや。その一例を示せ。
18. 可動鐵片型計器の原理並に其の三種の名稱を問ふ。
19. 熱型計器の二種を挙げ、その原理を述べよ。
20. 最大目盛 50 mV, 抵抗 10 オームなる直流電圧計あり。之を最大目盛が下記の電圧計又は電流計として使用せんとす。如何にすべきか。
 (イ) 50 mA 電流計 (ロ) 150 A 電流計
 (ハ) 3 V 電圧計 (ニ) 600 V 電圧計
21. 靜電々壓計の一種を説明せよ。
22. 1000 V の靜電々壓計がある。之に依り 20 000 V を測定せんとす直列に使用すべき蓄電器の容量如何。但し該電圧計の此の場合の靜電容量は 95 μ F なりとす。
23. 誘導型計器の二種を挙げ、其の原理を示せ。
24. 整流型計器の特色を述べよ。
25. 最大電圧 3500 V, 最大電流 50 A の交流電路の電圧及び電流を、最大目盛 100 V, 5 A の電圧計及び電流計で測定するに必要な計器を示し且つ其の接続を圖示せよ。
26. 陽極整流型真空管電圧計の原理を述べよ。

第七章 電力の測定

1. 電圧計電流計による直流電力の測定 直流回路で、負荷の給與電圧が V ボルトで負荷電流が I アンペアである時は、負荷電力 P は、 $P=VI$ ワット

であるから、電圧計及び電流計で V , I を測り、其の相乗積を取れば負荷電力を間接に測定し得る譯である。

然し實際に電圧計及び電流計を接続するに際しては、第7・1圖甲及び乙に示す様に二様の接続法がある。



今 R_v = 電圧計の抵抗

R_a = 電流計の抵抗、とすれば

甲圖の場合は、

$$\begin{aligned} (\text{電圧計の讀}) \times (\text{電流計の讀}) &= V \times \left(I + \frac{V}{R_v} \right) = VI + \frac{V^2}{R_v} \\ &= P + (\text{電圧計内の損失電力}) \quad (イ) \end{aligned}$$

乙圖の場合は、

$$\begin{aligned} (\text{電圧計の讀}) \times (\text{電流計の讀}) &= (V + IR_a) \times I = VI + I^2 R_a \\ &= P + (\text{電流計内の損失電力}) \quad (ロ) \end{aligned}$$

兩計器の讀の相乗積は、負荷電力と負荷に近く接続された計

器内の損失電力との和に等しい。従つて計器内の損失電力が負荷電力に比べて非常に小である場合は、兩計器の讀の相乗積を負荷電力として實用上差支へない。尙ほ此の場合、甲乙の接続法中、計器の損失の大小を比較して小である計器を負荷に近く接続する方が確度が高い事は勿論である。

例 電圧計及び電流計を用ひて直流電力を測定する場合に回路の電圧約100ボルト、電流約1アンペアである時、計器の損失に対する更正を行はないう測定誤差を

小にするには、第7・2圖

甲乙孰れの接続法を選定す

べきか。但し電圧計の抵抗

は10000オーム、電流計の抵抗は2オームとする。

解 甲接続では、電流計の損失電力は約 $1^2 \times 2 = 2$ ワット

乙接続では、電圧計の損失電力は約 $\frac{100^2}{10000} = 1$ ワット

計器の損失電力は乙の場合が甲の場合より小である故、乙圖の場合を可とする。

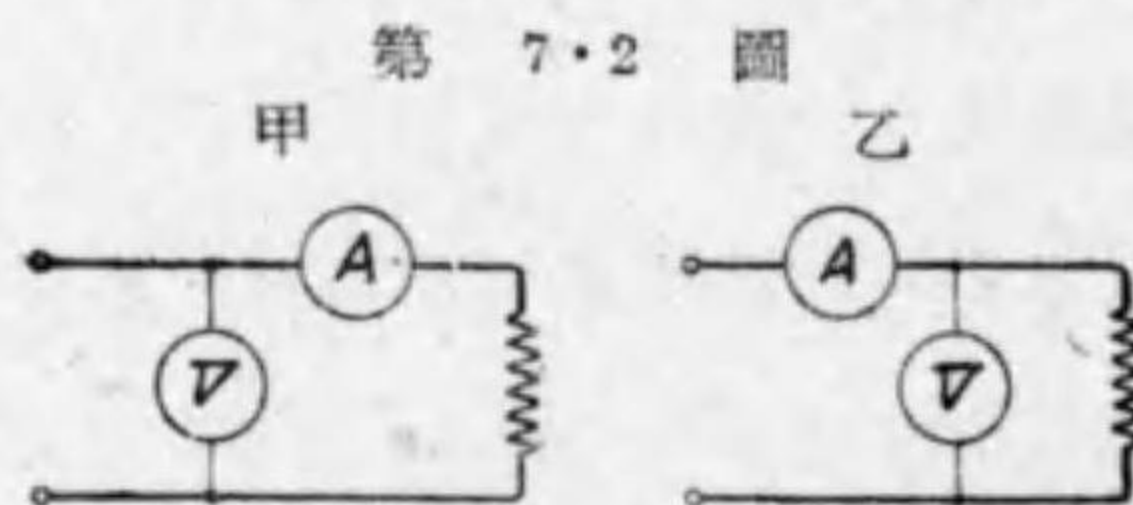
2. 単相交流電力、附三電圧計法及び三電流計法

単相交流回路での電圧、電流の瞬時値が夫々

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

である場合の瞬時電力 p は、

$$p = vi = VI [\cos \varphi - \cos (2\omega t - \varphi)] \text{ で、交流電力 } P \text{ は、}$$



$$P = (p \text{ の一周期間の平均}) = VI \cos \varphi$$

$$= (\text{電圧の実効値}) \times (\text{電流の実効値}) \times (\text{力率})$$

となる。従つて前節の様に交流用の電圧計と電流計とのみを使用しては、皮相電力 VI は測れるが電力 $VI \cos \varphi$ は測れないのである。電力を測るには第3節以下に述べる電力計を用ひる。

電力は直流でも交流でも之を直接、電力計で測るのであるが、茲に単相交流電力を間接に測る方法として三電圧計法及び三電流計法を説明しよう。

(1) 三電圧計法 無誘導抵抗 R を負荷に直列に接続し、三個の交流電圧計 V_1, V_2, V_3 を第7・3圖の様に接続する。今 BC, AB, AC の電圧の瞬時値を夫々 v_1, v_2, v_3 、

実効値を夫々 V_1, V_2, V_3 とし、

負荷電流の瞬時値を i 、実効値を I と

すれば、 $v_3 = v_1 + v_2$

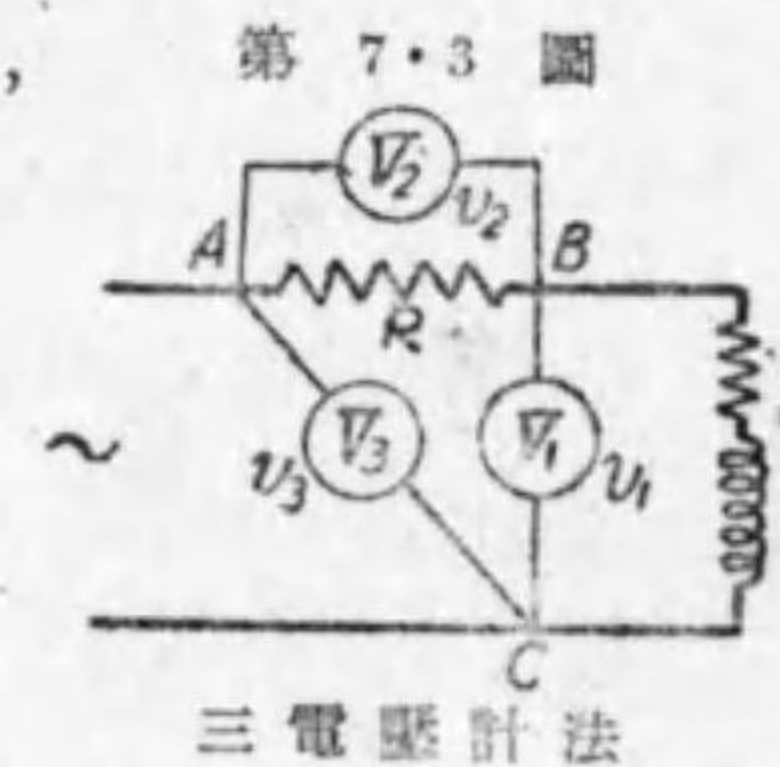
$$\therefore v_3^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2$$

$$\therefore v_1v_2 = \frac{1}{2}(v_3^2 - v_1^2 - v_2^2), \quad \text{又 } i = \frac{v_2}{R}$$

$$\therefore \text{瞬時電力 } p = v_1i = v_1 \frac{v_2}{R} = \frac{1}{2R}(v_3^2 - v_1^2 - v_2^2)$$

此の電力の瞬時値の一周期間の平均を求めれば、交流電力 P を得る。然るに上式の右邊の平均を取る場合、瞬時電圧の自乗の平均は実効値の自乗になる故、

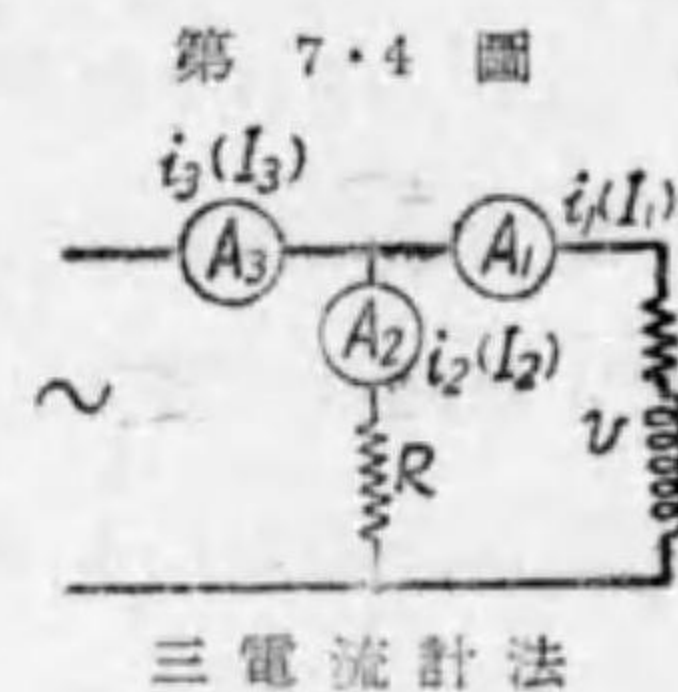
$$\text{交流電力 } P = (p \text{ の平均}) = \frac{1}{2R}(V_3^2 - V_1^2 - V_2^2)$$



即ち各電圧計 V_1, V_2, V_3 の讀 V_1, V_2, V_3 を得れば、上式から交流電力 P は算出される。

(□)三電流計法 無誘導抵抗 R を負荷と並列に接続し、三個の交流電流計 A_1, A_2, A_3 を第 7・4 圖の様に接続する。

各電流計 A_1, A_2, A_3 に通ずる電流の
 実効値即ち讀を夫々 I_1, I_2, I_3 とし、之
 等の瞬時値を夫々 i_1, i_2, i_3 とし、又負荷
 電圧の瞬時値を v (その実効値を V) とす
 れば、 $i_3 = i_1 + i_2$



$$\therefore i_3^2 = i_1^2 + i_2^2 + 2i_1i_2 \quad \therefore i_1i_2 = \frac{1}{2}(i_3^2 - i_1^2 - i_2^2)$$

又 $v = i_2 R$

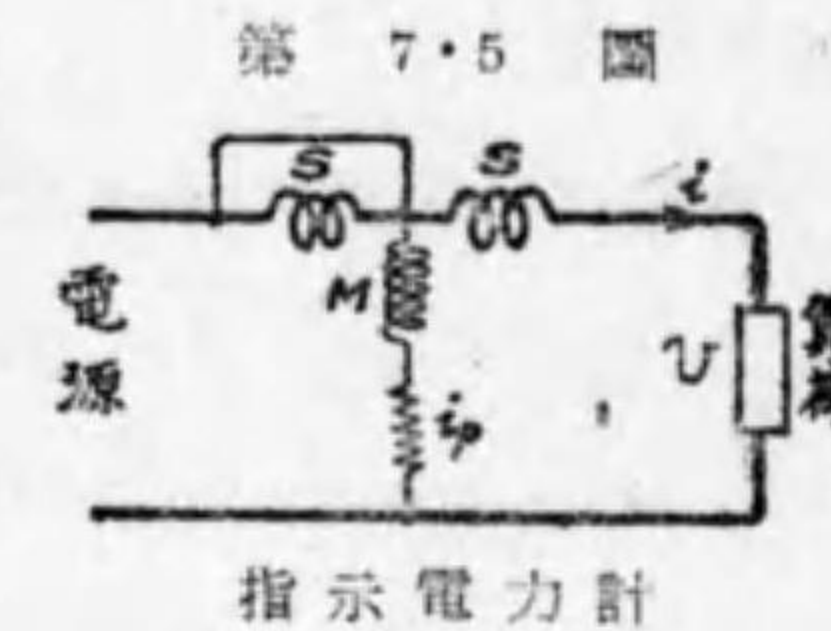
$$\therefore \text{瞬時電力 } p = v i_1 = R i_1 i_2 = \frac{R}{2}(i_3^2 - i_1^2 - i_2^2)$$

$$\therefore \text{負荷電力 } P = (p \text{ の一周期間の平均}) = \frac{R}{2}(I_3^2 - I_1^2 - I_2^2)$$

即ち各電流計の讀 I_1, I_2, I_3 を上式に代入して負荷電力 P は算出される。

3. 指示電力計構成の原理 電力を直接測るには直流電力でも交流電力でも電力計を用ひる。茲に直流交流兩用の電流計型計器を指示電力計と成し得る原理を概説しよう。第 7・5 圖の様に電流計型計器の固定線輪 S に負荷電流を通じ、又可動線輪 M には負荷電圧を與へる様に接続すれば、 M には電

壓に比例する電流通じ、電流力作用によつて可動線輪に駆動トルクを生ずる。



今、 v = 負荷電圧の瞬時値

i = 負荷電流の瞬時値

i_p = 可動線輪に通ずる電流の瞬時値

R_p = 可動線輪回路の全抵抗

とすれば、 S の抵抗及び M のインダクタンスを無視すれば、

$$i_p = \frac{v}{R_p} \quad \text{負荷の瞬時電力 } p = vi$$

$$\begin{aligned} \text{又可動線輪 } M \text{ に働く瞬時駆動トルク } \delta &= k i_p i = \frac{k}{R_p} v i = \frac{k}{R_p} p \\ &= K p \quad (1) \end{aligned}$$

即ち、瞬時駆動トルク δ は瞬時電力 p に比例する。

若し回路が直流回路ならば、電圧電流等は一定値であるから (1) 式は一定値になり、可動線輪に働くトルクは電力に比例する事が判る。

次に回路が交流回路なる場合は、前章で述べた通り交流の一周期間の平均によつてトルクを生ずるものである。此の可動線輪に働く平均駆動トルクを T_a とすれば、

$$\begin{aligned} T_a &= (\delta \text{ の一周期間の平均}) = K \times (p \text{ の一周期間の平均}) \\ &= K \times (\text{交流電力}) \end{aligned}$$

即ち交流の場合でも、可動線輪に働く駆動トルクは交流電力に

比例する。

斯様に、直流の場合でも交流の場合でも、トルク T_a は電力 P に比例する。

$$T_a = KP \quad (\text{ロ})$$

従つて制御バネの制御トルクを T_c とすれば、之は其の時の指針の傾斜角 θ に比例するから、 $T_c = K'\theta$ (ハ)

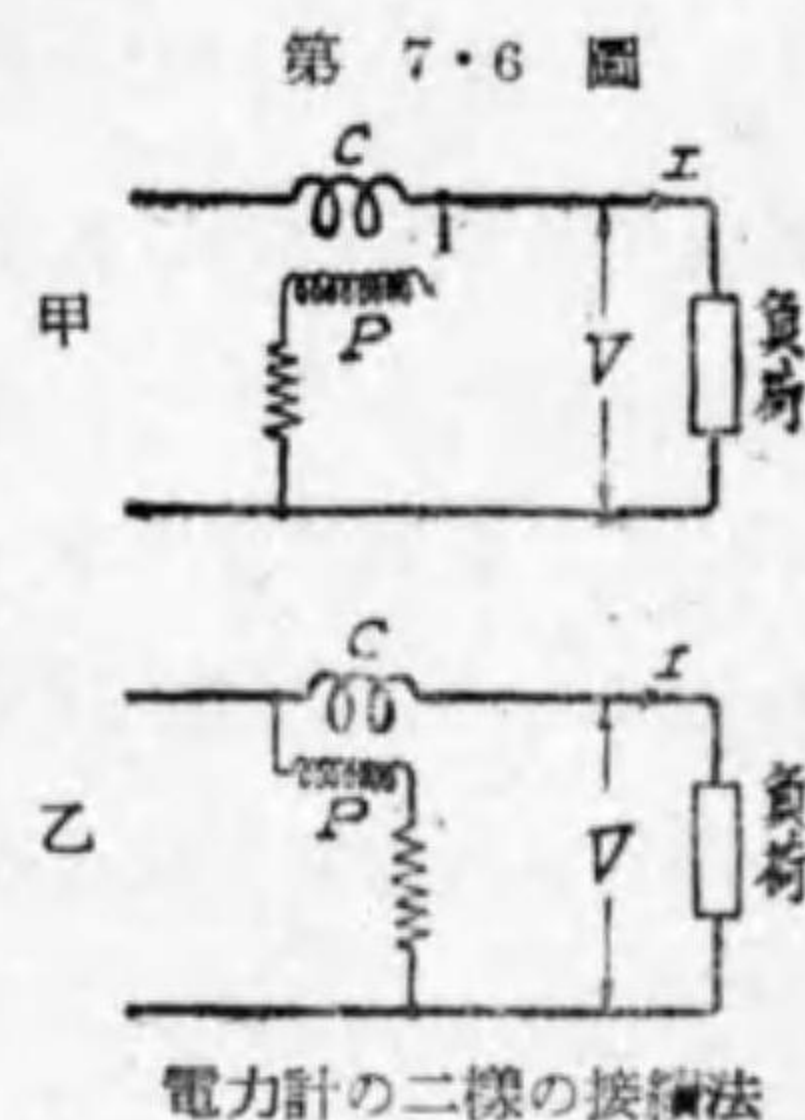
$$\therefore KP = K'\theta, P = \frac{K'}{K}\theta \quad \text{又は} \quad \theta = \frac{K}{K'}P \quad (\text{ニ})$$

従つて目盛盤上に電力値を目盛つておけば指示電力計が出来る。以上は概略の理論であつて、而もトルクが S, M 兩線輪の相互位置にも関係する事を考へに入れてないため(ニ)の様に完全に平等目盛の式が得られたが、実際には目盛は完全に平等とはならず中央部で目盛の間隔が幾分か廣くなる。

電力計で、線輪 M の様に電圧に比例する電流を通ずる線輪を電圧線輪 (pressure coil) と稱し、又線輪 S の様に負荷電流 (又は之に比例する電流) を通ずる線輪を電流線輪 (current coil) と稱する。時には又前者を分巻線輪、後者を直巻線輪とも稱する。電圧線輪と電流線輪の一組を電力計の素子 (element) と稱する事がある。電力計には電流計型、誘導型の外に熱型、静電型、真空管電力計等もあるが茲には前二者を説明する。

4. 指示電力計の接続法 電力計には電圧線輪と電流線

輪とがあるから、電力計で負荷電力を測定する場合には、二様の接続法がある。第7・6圖甲は電圧線輪 P を負荷に近く接続した場合で、乙圖は電流線輪 C を負荷に近く接続した場合である。



今 V, I を夫々負荷の電圧、電流とし、電圧線輪回路の抵抗を R_p とし、又電流線輪の抵抗を R_c とすれば、

甲圖の場合は、

$$\begin{aligned} \text{電力計の讀} &= V \left(I + \frac{V}{R_p} \right) \\ &= VI + \frac{V^2}{R_p} \\ &= (\text{負荷電力}) + (\text{電圧線輪の損失電力}) \end{aligned}$$

乙圖の場合は、

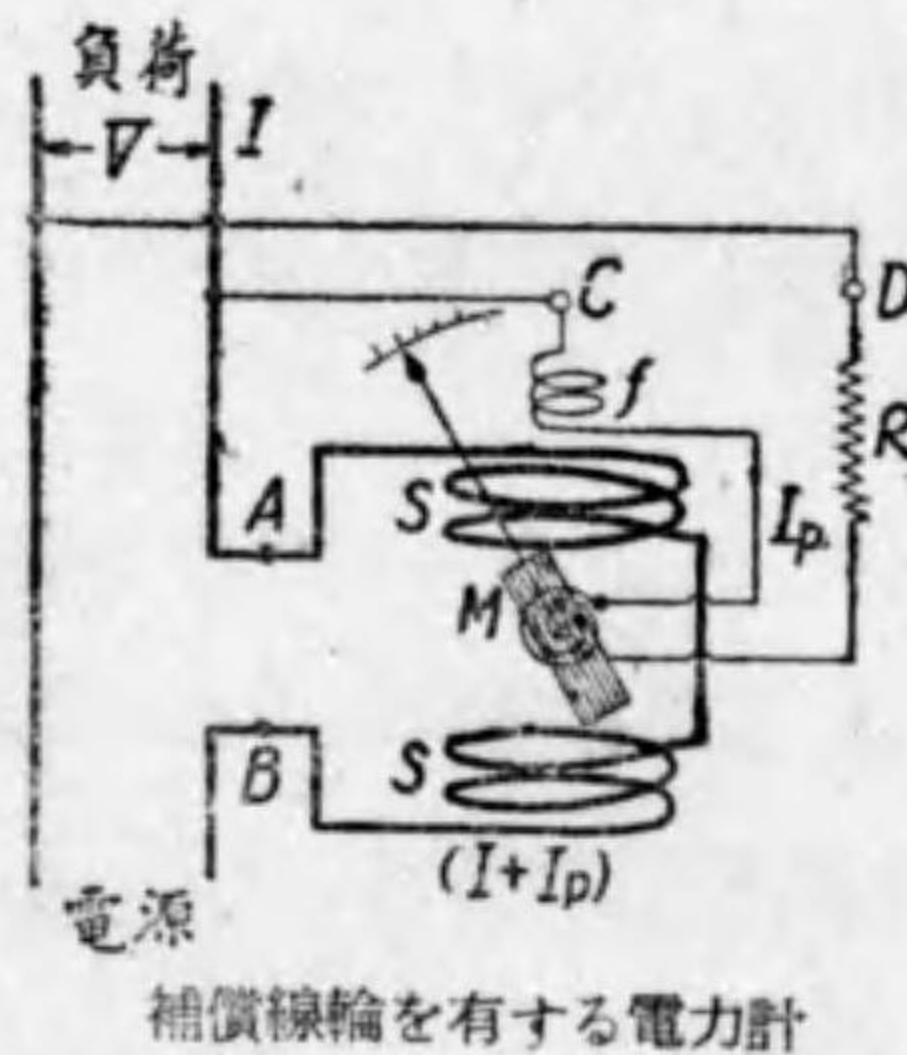
$$\begin{aligned} \text{電力計の讀} &= (V + IR_c) I \\ &= VI + I^2 R_c \\ &= (\text{負荷電力}) + (\text{電流線輪の損失電力}) \end{aligned}$$

即ち、一般に電力計の讀は負荷電力と負荷に近く接続された線輪内の損失電力との和を示すと云ふ結論になる。以上は直流の場合の説明であるが、交流の場合にも同じ結論になる。

そこで電力計の指示が直接負荷電力を示す様にする爲の補償装置を有する電力計を説明しよう。第 7・7 圖は補償装置を有する電流力計型電力計を示す。S

第 7・7 圖

が固定した電流線輪で A, B がその端子, M が可動電圧線輪で, 之に直列に接続された f なる補償線輪があつて C, D がその電圧端子で, 負荷に近く接続され, 電圧に適應した直列抵抗 R が接続されて居る。固定, 可動兩線輪の配置,



補償線輪を有する電力計

制御パネ及び制動装置等は同型の電圧計, 電流計等と同様である。補償線輪 f は電流線輪 S と同軸上に固定されて居る。

無負荷の場合に補償線輪 f により M の位置に生ずる磁界が, S によつて M の位置に生ずる磁界と大き等しく方向が互に反對になる様に f 線輪を設計して置く。さうすると負荷が有る場合は指針は直接負荷の電力を指示する。何故なれば, 負荷の電圧, 電流を夫々 V, I とし, 電圧線輪回路の電流を I_p とすれば, M に働く電流力は, M と S との電流力 $KI_p(I + I_p)$ と M と f との電流力 $KI_p I_p$ との差即ち $KI_p I$ に比例する。 I_p は電圧 V に比例するので, 結局 M に働くトルクは VI 即ち電力に比例するから, 豫め適當に目盛つて置けば指針は負荷電力を

指示する譯である。

以上は直流の場合の説明であるが, 交流の場合でも上と同様に説明する事が出来る。只交流の場合は以上の説明が瞬時に就て成立するから従つて交流の一周期間の平均を取れば, 矢張り電力計は負荷電力を指示する譯である。此の電力計は交流負荷の力率が非常に小なる場合に使用するにも適する。

5. 電流力計型電力計の特性

電流力計型電力計は前節に述べた様に直流でも交流でも全く同一偏れを生ずるから直流で目盛をして, 之を交流回路に使用しても負荷力率が大きな場合は實用上大きな誤差を生じない。然し力率が低い回路程誤差は大になつて來るものである。次に之を正弦波交流の場合に就て説明しよう。

電圧線輪回路は抵抗 (之を R_p とする) が大であるが幾分か自己インダクタンス (之を L とする) を有する。依つて電圧線輪の自己インダクタンスによる誤差を考へる。負荷の電圧電流を夫々 V, I とし電流が φ だけ遅れ居るものとすれば, 負荷電力は勿論 $VI \cos \varphi$ ワットである。インダクタンス L が抵抗 R_p に比し非常に小であれば, 電圧線輪回路のインピーダンスは殆ど抵抗 R_p に等しいとする事が出来るから, I_p の値は直流回路に使用した時の電圧線輪に流れる電流と殆ど等しいが其の位

相は V より幾分か遅れる。今交流の周波数を f とし、 V と I_p との相違を δ とすれば $\tan \delta = \frac{\omega L}{R_p}$ なる関係がある。但し $\omega = 2\pi f$ である。第 7・8 圖は之等のベクトル關係を示すものである。故に電圧電流兩線輪の電流力は $I_p \times I \times \cos(\varphi - \delta)$ に比例する。 I_p は V に比例するから電力計の讀は $V \times I \times \cos(\varphi - \delta)$ ワットである。従つて此の電力計の誤差 (ϵ) 及び更正率 (α) は次式で表される。

$$\text{誤 差 } \epsilon = \frac{VI \cos(\varphi - \delta) - VI \cos \varphi}{VI \cos \varphi} = \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \varphi} - 1 \quad (1)$$

$$\text{更正率 } \alpha = \frac{VI \cos \varphi - VI \cos(\varphi - \delta)}{VI \cos(\varphi - \delta)} = \frac{\cos \varphi}{\cos(\varphi - \delta)} - 1 \quad (2)$$

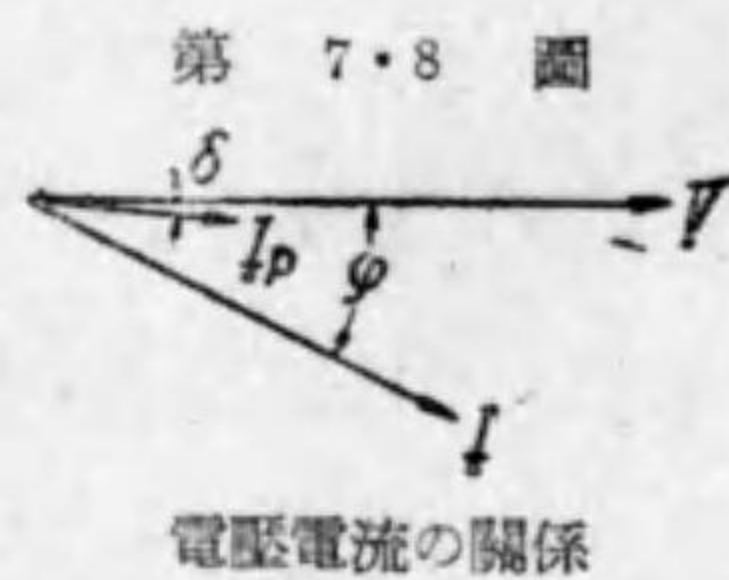
δ は極小なる角であるから、 $\cos \delta \approx 1$ 、 $\sin \delta \approx \tan \delta$ とする事が出来るから、(1)式は大約次の様になる (問題 15)。

$$\epsilon \approx \tan \varphi \tan \delta = \frac{\omega L}{R_p} \tan \varphi = \frac{2\pi f L}{R_p} \tan \varphi \quad (1')$$

又更正率 α の略式は次の様になる。

$$\alpha \approx -\frac{2\pi f L}{R_p} \tan \varphi \quad (2')$$

以上は負荷が遅電流の場合を考へたが、若し負荷電圧より φ 丈け進んで居る場合は、遅れが $(+\varphi)$ だとすれば、進みは $(-\varphi)$ 丈けの遅れと考へてよいから上に得た式で、 φ の代りに $(-\varphi)$ と置けばよい。さうして、 $\tan(-\varphi) = -\tan \varphi$ であるから、電流が電圧より φ 丈け進んだ場合の誤差 ϵ 及び更正率 α は次の



電圧電流の關係

様になる。

$$\epsilon = -\frac{2\pi f L}{R_p} \tan \varphi, \quad \alpha = \frac{2\pi f L}{R_p} \tan \varphi$$

以上の外、電流力計型電力計の誤差の生ずる原因となるものは、同型電圧計電流計と同様、外部磁界及び温度の影響である。温度の影響は、電圧線輪に直列にマンガニン抵抗が接続されて居るから、極小にすることが出来る。又直流に使用する際は地球磁界の影響があるから、之を直流に用ひる場合又は直流で目盛する場合には前節に述べた様に電圧線輪及び電流線輪の電流の方向を同時に反対にして二回の測定をなしその平均を取るべきである。又交流回路に使用の際は、周圍に同一周波数の外部交番磁界がない様に注意すべきである。電力計の動作部分を遮磁壁で包圍した計器では外部磁界の影響は殆ど無い。

6. 誘導型電力計 第 7・9 圖は誘導型電力計の一例で

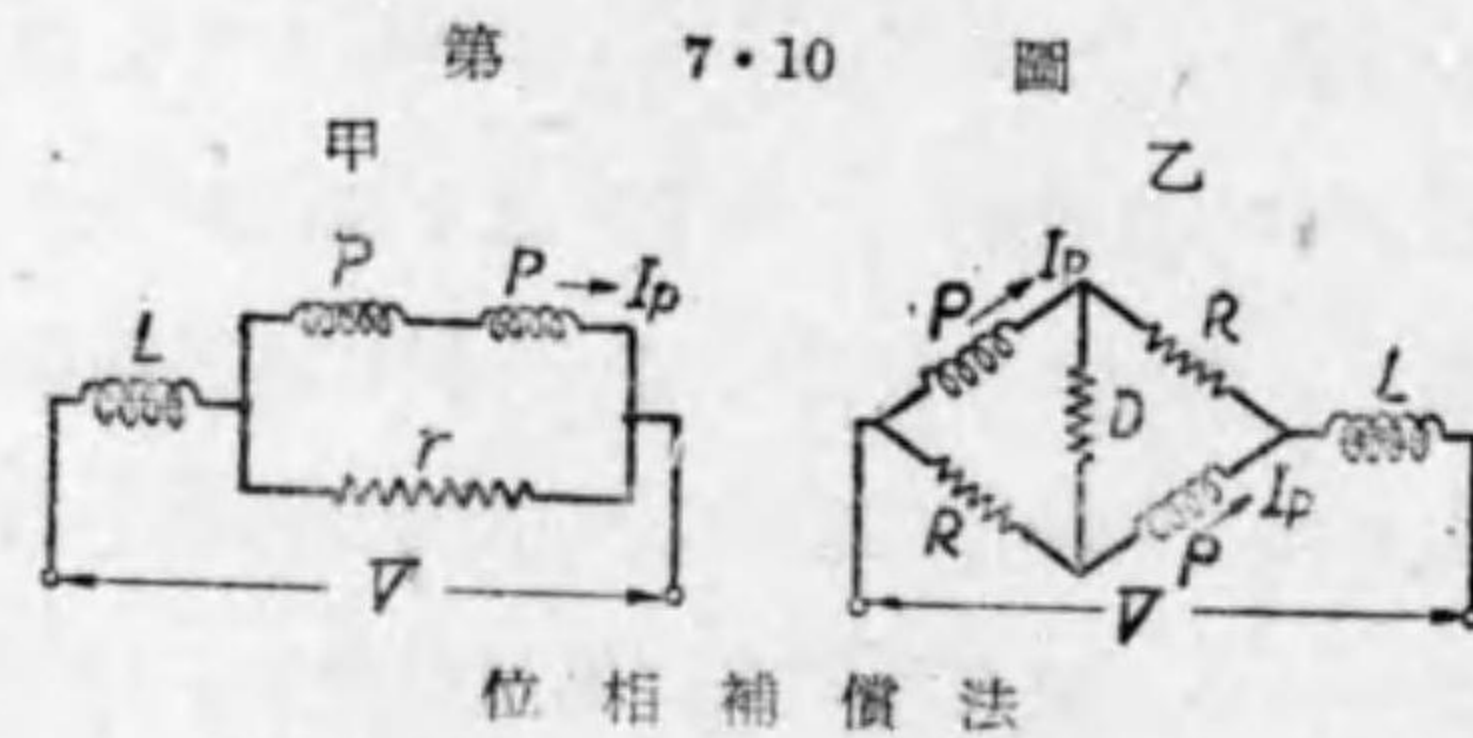
同型の電圧計、電流計等と同様の構造配置であるが、只線輪の接続法を變更したものである。 C, C は電流線輪で太い電線を巻数少くし、 P, P は電圧線輪で細い電線を巻数多くしてある。 S はアルミニウム圓筒で、 K は成層鐵心である。



誘導型電力計

電流線輪 C, C は負荷電流を通ずるが、電圧線輪 P, P の接

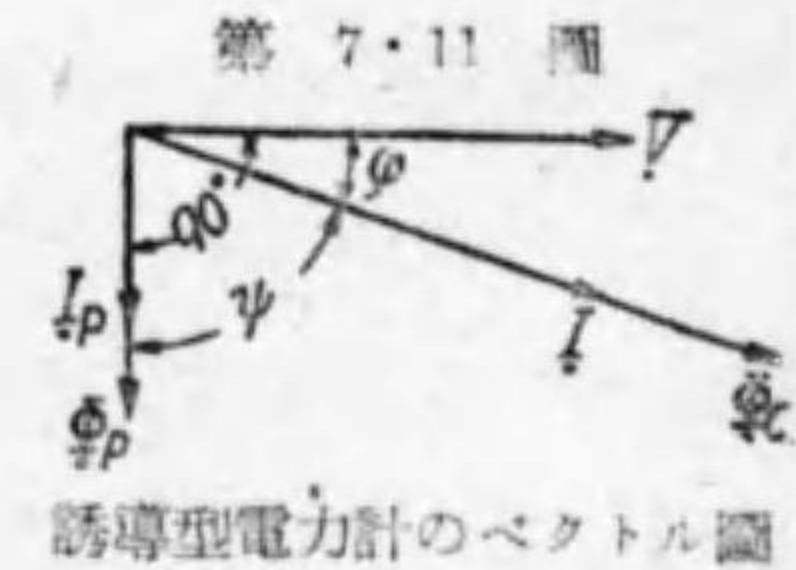
續は直接に電圧を受けさせないで、電圧線輪に通ずる電流をして負荷電圧より 90 度位相を遅れさせる工夫をしてある。此の様に電圧線輪の電流を負荷電圧から 90 度遅れさせる爲の接続法を 90 度接続法又は一般に位相補償法と稱する。本電力計の電圧線輪の 90 度接続法としては第 7・10 圖甲及び乙の様な二つの方法がある。



甲は電圧線輪 P 、 P に並列に無誘導抵抗 r を接続したものに塞流線輪 L を直列に接続して電圧を受けさせたもので、 r 及び塞流線輪の抵抗及びインダクタンスを適當に選び、電圧線輪の電流 I_p をして電圧 V から 90 度遅れさせる方法である。乙は電圧線輪 P, P 及び無誘導抵抗 R, R, D をブリッジ接続にして、之に直列に塞流線輪 L を接続して負荷電圧 V を與へたもので、 R, D 及び塞流線輪の抵抗及びインダクタンスを適當に選び、電圧線輪の電流 I_p を電圧 V から 90 度遅れさせる方法である。

此の誘導型電力計では、電圧線輪 P, P は上述の甲又は乙の接続になつて居り、電流線輪 C, C は負荷に直列に接続されて居るから、負荷電流 I が電圧 V から φ だけ位相が遅れて居る場合には、電流線輪によつて生ずる磁束 Φ_c は電流 I と同相

に生じ、又電圧線輪によつて生ずる磁束 Φ_p は、電流 I_p と同相に生じ、第 7・11 圖に示すベクトル関係となる。従つて誘導型電圧計や電流計と同様に、圓筒 S には、 $\Phi_p \Phi_c \sin \psi = \Phi_p \Phi_c \sin (90^\circ - \varphi) = \Phi_p \Phi_c \cos \varphi$ に比例する駆動トルクを生ずる。然るに Φ_p は I_p 従つて電圧 V に比例し、又 Φ_c は電流 I に比例するから、圓筒 S に働く駆動トルクは $VI \cos \varphi$ に比例する。即ち負荷の電力に比例するトルクを生ずるから、之が制御バネの制御トルクと平衡して指針は目盛盤に電力を指示する譯である。制動装置は同型の電流計電圧計と同様に、二個の永久磁石を圓筒に作用させて渦流制動法を用ひてある。



7. 多相電力の測定法 二相交流電力や三相交流電力の様な多相電力は、相数だけの数の單相用電力計を使つて各相の電力を夫々測定して、之等を加へ合せば測定出来る譯である。

(イ) 二相電力の測定 二相電力を測定するには、各相の電力を読むため二個の電力計 W_1 及び W_2 を各相に接続し、其の讀の和を取ればよい。第 7・12 圖甲は二相三線式の場合、乙圖は二相四線式の場合の接続を示す。何れの場合も、第 1 相の電圧、電流及び其の間の相差を夫々 V_1, I_1, φ_1 とし、第 2 相の

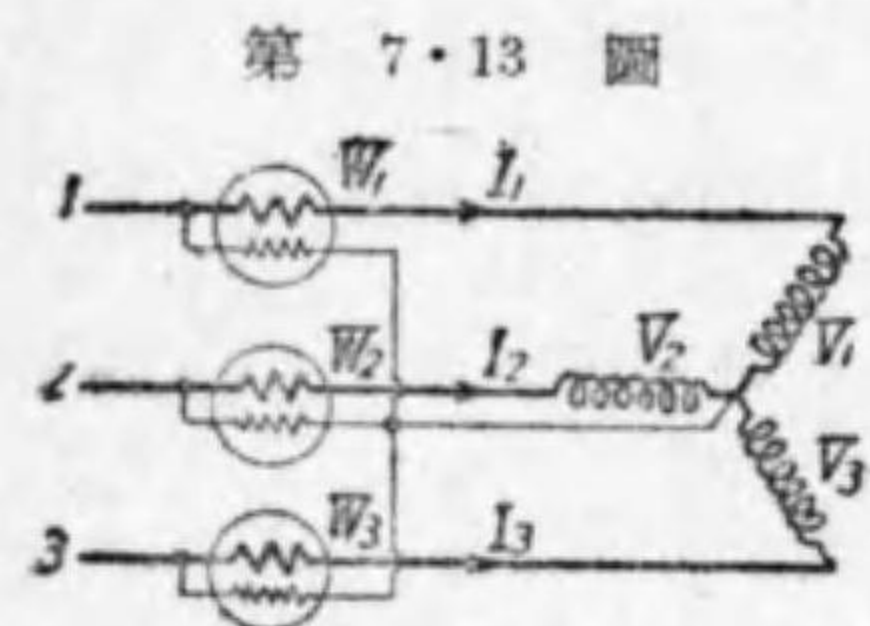
電圧、電流及び其の間の相差を夫
夫 V_2, I_2, φ_2 とすれば、各電力計
 W_1, W_2 の讀 P_1, P_2 は

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \varphi_1, \quad P_2 = V_2 I_2 \cos \varphi_2$$

従つて二相電力は、 $P = P_1 + P_2$ で
ある。

(ロ) 三相電力の測定 三相負荷

の中性點を利用し得る場合は、三
個の電力計 W_1, W_2, W_3 を第 7・13 圖の様に接続すれば、各



第 7・13 圖
中性點を利用し得る場
合の三相電力の測定

電力計は夫々各相の電力を指示し、
其の和が三相負荷電力である。

今 $V_1, V_2, V_3 =$ 負荷の星形電壓

$I_1, I_2, I_3 =$ 各相の電流

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 =$ 各相の電壓電流

間の相差

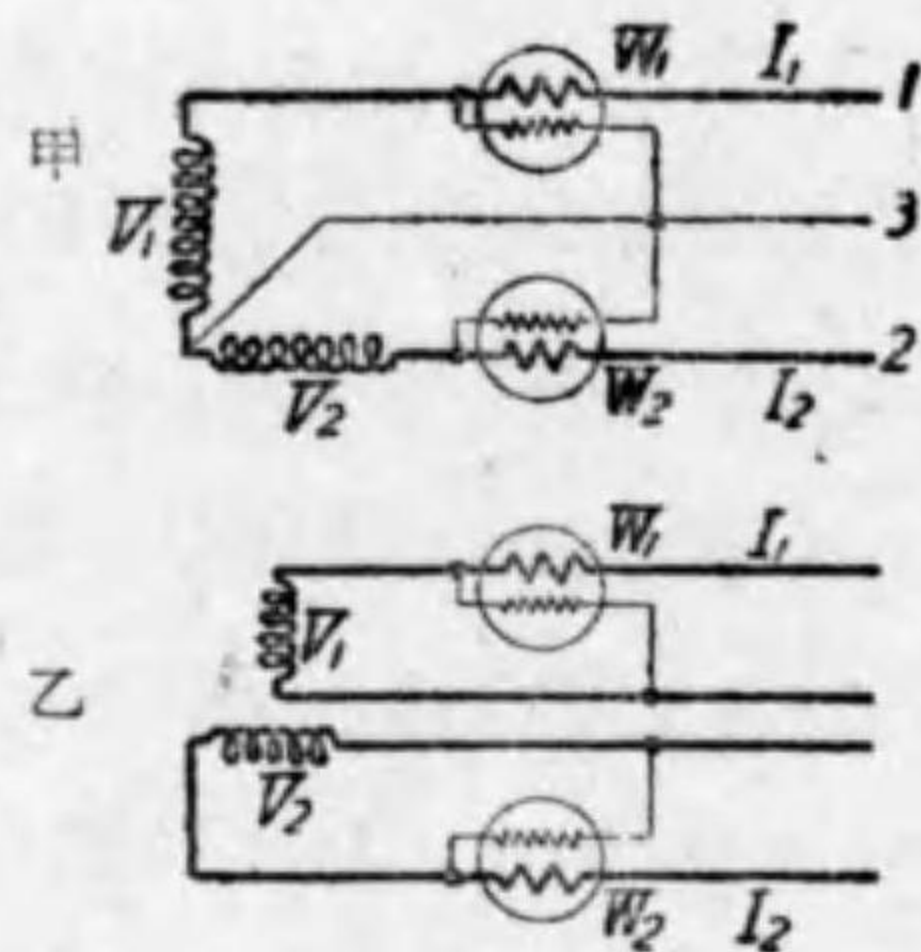
とすれば、各相に接続された電力計 W_1, W_2, W_3 の讀 P_1, P_2, P_3 は、

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \varphi_1, \quad P_2 = V_2 I_2 \cos \varphi_2, \quad P_3 = V_3 I_3 \cos \varphi_3$$

となるから、 $P_1 + P_2 + P_3$ が三相負荷の電力である。然し普通は
次節に示す様に 2 箇ですませる。

第 7・14 圖の様な三相四線式回路の電力を測る場合には、各

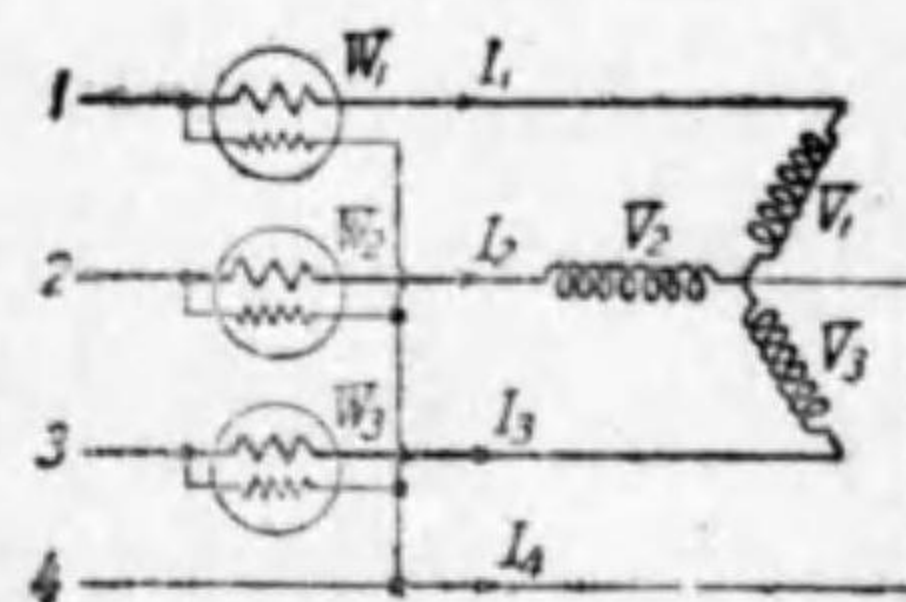
第 7・12 圖



二相電力の測定

電力計の電圧線輪を結んだ共通點
を必ずしも中性點に結ぶ必要な
く、之を中性線に接続してよい譯
である。何故なれば、各電力計は
夫々電流線輪には各相の電流が通
じ、又電圧線輪は各相の電圧を受
けて前の場合と全く同様になるからである。

第 7・14 圖

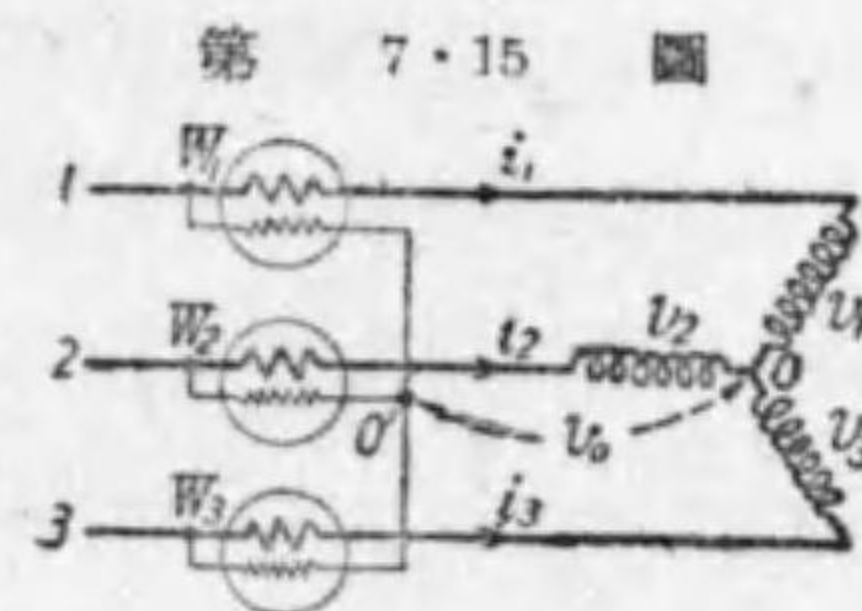


三相四線式回路の電力測定

8. 三相三線式回路の電力測定 前節(ロ)に述べた三

相三線式回路の電力測定法は、三相負荷の中性點を利用し得る
場合の方法であつたが、中性點を利用し得られない場合の測定
方法を茲に説明しよう。それには三個の電力計を用ひる三電力
計法と二個の電力計を用ひる二電力計法とがある。

(イ) 三電力計法 第 7・15 圖に示す様に、三個の電力計 $W_1,$



第 7・15 圖
三電力計法

W_2, W_3 を接続する。即ち各電力計
の電流線輪は夫々各線に接続し、各
電圧線輪の一端は夫々各線に他端は
共通に結ぶ。即ち電圧線輪は O' を
共通點として三線間に星形に接続さ

れる。斯様に接続すれば、各電力計は各相の電力を指示しない
が、之等三個の電力計の讀の和は三相電力となるのである。

次に之を説明しよう。今、

$v_1, v_2, v_3 =$ 負荷の各相の電圧の瞬時値

$v_0 = O' O$ 間の電圧の瞬時値

$i_1, i_2, i_3 =$ 各相の電流の瞬時値

とすれば、三相瞬時電力 p は、

$$p = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 \quad (1)$$

O 點にキルヒホッフの第一法則を適用すれば、 $i_1 + i_2 + i_3 = 0$

$$\therefore v_0(i_1 + i_2 + i_3) = 0 \quad (2)$$

(1) 式より (2) 式を減じて、

$$\begin{aligned} p &= v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 - v_0(i_1 + i_2 + i_3) \\ &= (v_1 - v_0)i_1 + (v_2 - v_0)i_2 + (v_3 - v_0)i_3 \end{aligned} \quad (3)$$

(3) 式の右邊で、第一項の $(v_1 - v_0)$ は O' 間の電圧即ち W_1 の電圧線輪の受ける電圧の瞬時値で、 i_1 は W_1 の電流線輪の電流の瞬時値であるから、第1項 $(v_1 - v_0)i_1$ は W_1 に働く瞬時電力である。同様に第2項、第3項は夫々 W_2, W_3 に働く瞬時電力である。即ち三相瞬時電力 p は W_1, W_2, W_3 に働く瞬時電力の和である。従つて、(3) 式を交流の一周期間に平均すれば、次の結果を得る譯である。

$$\text{三相電力 } P = (W_1 \text{ の讀}) + (W_2 \text{ の讀}) + (W_3 \text{ の讀}) \quad (3')$$

上記は原理を説明したもので、普通は次の方法に依る。3個を使つても別に利益はない。唯 200V 電路に 200V 用が2個な

いが 110V 用なら 3 個あると言つた場合に應用される。

(□)二電力計法 今假りに第 6・15 圖で、各電力計の電圧線輪の共通點 O' を第 2 線に接続したとする。然らば此の場合の $O' O$ 間の電圧 v_0 は v_2 と等しいから、(3) 式で、 $v_0 = v_2$ とおけば、次の結果を得る。

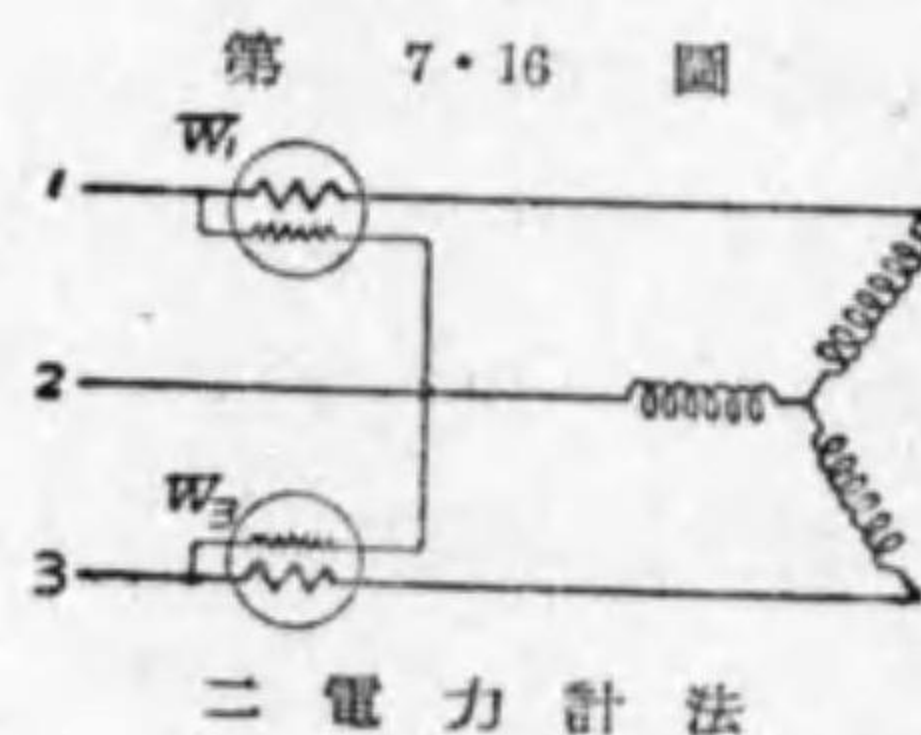
$$\begin{aligned} \text{三相瞬時電力 } p &= v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 \\ &= (v_1 - v_2)i_1 + (v_3 - v_2)i_3 \end{aligned} \quad (4)$$

(4) 式の右邊第1項の $(v_1 - v_2)$ は 1-2 間即ち W_1 の電圧線輪の受ける瞬時電圧で i_1 は W_1 の電流線輪の瞬時電流であるから、第1項は W_1 に働く瞬時電力である。第2項の $(v_3 - v_2)$ は 3-2 間即ち W_3 の電圧線輪の受ける瞬時電圧で、 i_3 は W_3 の電流線輪の瞬時電流であるから、第2項は W_3 に働く瞬時電力である。従つて(4)式を一周期間につき平均すれば、次の結果を得る。

$$\text{三相電力 } P = (W_1 \text{ の讀}) + (W_3 \text{ の讀}) \quad (4')$$

而して此の場合には、 W_2 なる電力計は勿論何等指示しないで不必要となるから、第 7・16 圖の様に二個の電力計を接続して、その讀の和で三相電力が測定される譯である。

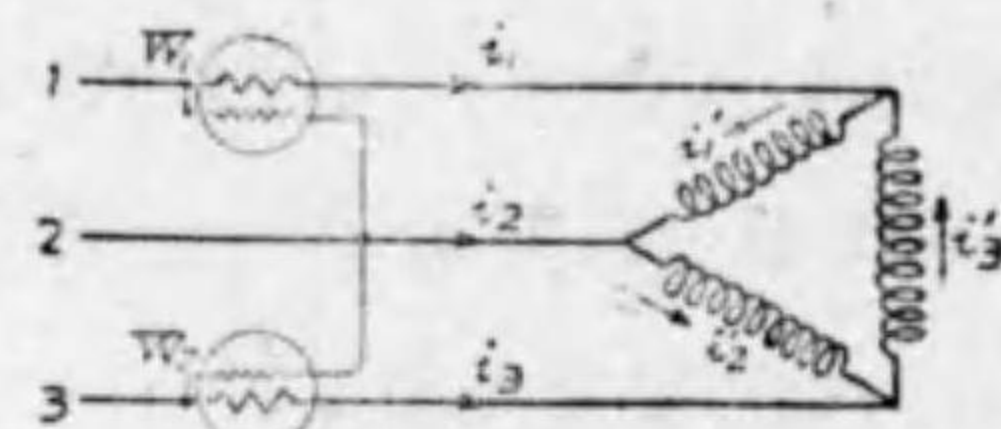
以上は負荷が星形接続の場合に



就て説明したが、負荷が三角接続の場合でも電力計を同様に接続して三相電力を測り得る事は

第 7・17 圖

勿論である。例へば、第7・17圖で、第1、第2、第3線の電位の瞬時値を夫々 v_1, v_2, v_3 とし、 i_1', i_2', i_3' を夫々負荷電流の瞬時値とし、各線の電流の瞬時値を夫々 i_1, i_2, i_3 とすれば、



二電力計法

$$i_1' = i_1 + i_3, \quad i_2' = i_2 - i_3$$

$$\begin{aligned} \text{三相瞬時電力 } p &= (v_1 - v_2)i_1' + (v_2 - v_3)i_2' + (v_3 - v_1)i_3' \\ &= (v_1 - v_2)(i_1 + i_3) + (v_2 - v_3)(i_2 - i_3) + (v_3 - v_1)i_3' \\ &= (v_1 - v_2)i_1 + (v_3 - v_2)i_3 \\ &= (W_1 \text{ に働く瞬時電力}) + (W_2 \text{ に働く瞬時電力}) \end{aligned}$$

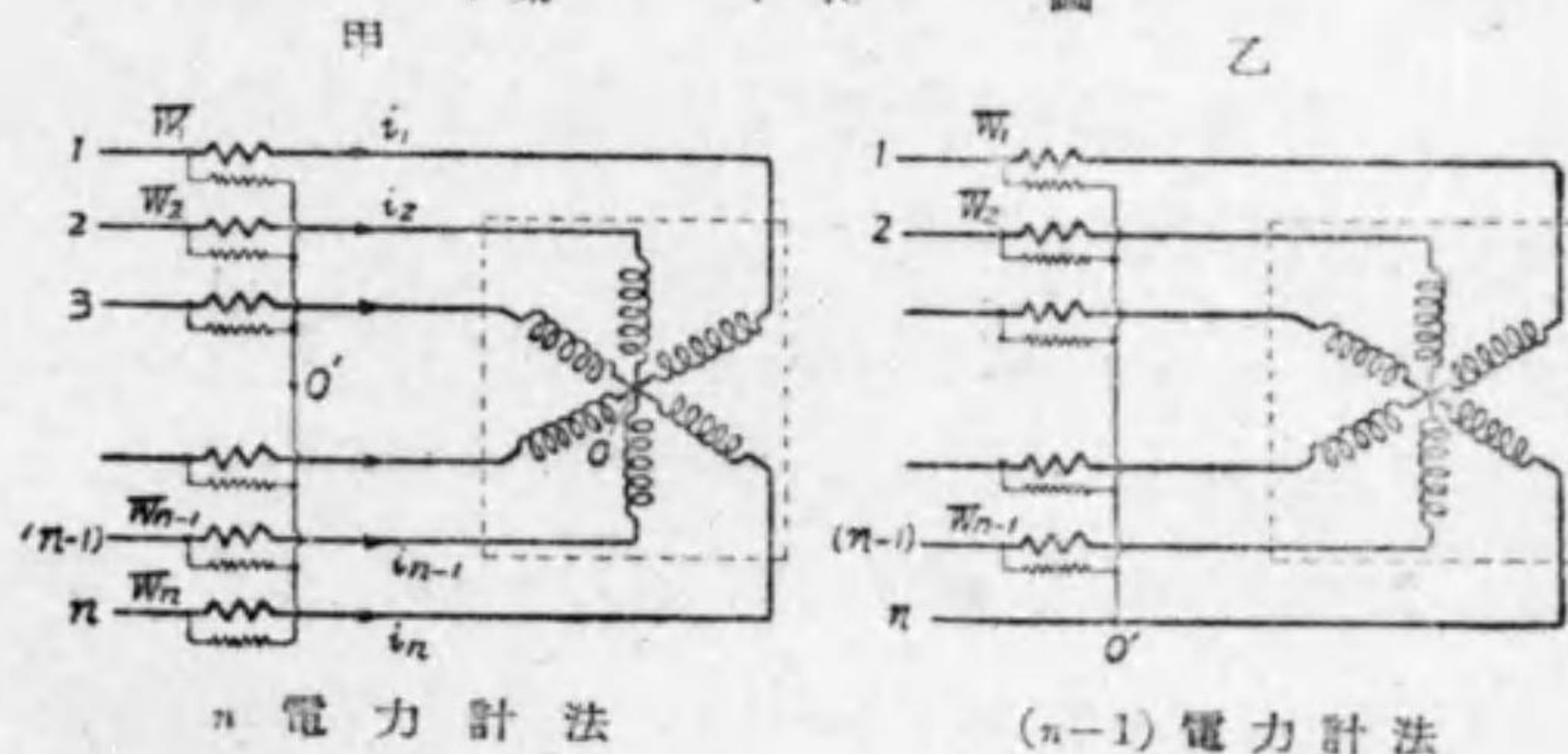
従つて三相電力は二個の電力計の指示の和に等しい。

茲に注意すべき事は、各電力計の指示の和と云ふ事は一般に代数的和と云ふ事である。従つて各電力計を接続する場合、各電力計の電圧端子電流端子は、之等を単相回路に接続する場合の様に各電力計皆一様に接続し、而して其の中若し反方向に偏れるものがあつたら、其の電力計の電圧線輪か又は電流線輪の内何れか一つの線輪の端子を元と反対に取り換へて接続し、其の電力計の讀を負量として代数和を取るべきである。

9. 結合多線式電力に関する定理 前節で三相3線式負荷の電力は(3-1)個の単相電力計の指示の代数的和に依つて表される事を證明したが、之を一般に擴張して、結合 n 線式負荷の電力は $(n-1)$ 個の単相電力計の指示の代数的總和により表される。」と云ふ定理を證明しよう。

今第7・18圖甲に示す結合 n 線式回路に、 n 個の電力計 W_1, W_2, \dots, W_n を接続するに、各電流線輪を各線に、各電圧線輪の一端子を各線に他の端子を共通の一點 O' に結ぶ。

第 7・18 圖



n 電力計法

(n-1) 電力計法

$v_1, v_2, \dots, v_{n-1}, v_n =$ 第 1, 第 2, $\dots,$

第 $n-1$, 第 n 線の電位瞬時値

$v_0 = O'$ 點の電位瞬時値

$i_1, i_2, \dots, i_{n-1}, i_n =$ 第 1, 第 2, $\dots,$

第 $n-1$, 第 n 線の電流瞬時値

とすれば、第1線を通る電流は i_1 で、其の仕事の割合即ち電力

の瞬時値は $v_1 i_1$ である。他の各線に就ても同様の事が云へる。
 故に n 個の線から負荷に供給される電力の瞬時値 p は、

$$p = v_1 i_1 + v_2 i_2 + \cdots + v_{n-1} i_{n-1} + v_n i_n \quad (1)$$

然るに、 $i_1 + i_2 + \cdots + i_{n-1} + i_n = 0$

$$\therefore v_0(i_1 + i_2 + \cdots + i_{n-1} + i_n) = 0 \quad (2)$$

(1) 式から (2) 式を減じて、

$$p = (v_1 - v_0)i_1 + (v_2 - v_0)i_2 + \cdots + (v_{n-1} - v_0)i_{n-1} + (v_n - v_0)i_n \quad (3)$$

(3) 式の右邊の第一項は W_1 の電圧線輪の受ける電圧の瞬時値と其の電流線輪の電流の瞬時値との積即ち W_1 に働く瞬時電力である。以下同様に各項は夫々 W_2, \cdots, W_n に働く瞬時電力である。従つて (3) 式を一周期に就き平均すれば、此の n 線式負荷の電力は n 個の電力計の讀の和である事が判る。

若し共通結點 O' を n 線中の何れか一線例へば第 n 線に取つたとすれば、 $v_0 = v_n$ になるから、之を (3) 式に代入して、

$$p = (v_1 - v_n)i_1 + (v_2 - v_n)i_2 + \cdots + (v_{n-1} - v_n)i_{n-1} \\ = (W_1 \text{ に働く瞬時電力}) + \cdots + (W_{n-1} \text{ に働く瞬時電力}) \quad (4)$$

従つて此の式の一周期間の平均を夫々の電力計が指示するから、次の結果を得る。

$$(\text{結合 } n \text{ 線式負荷の電力 } P) = (W_1 \text{ の讀}) + \cdots + (W_{n-1} \text{ の讀})$$

即ち W_n の一個の電力計は不要となり乙圖の様に $(n-1)$ 個の電力計で負荷電力を測定し得る譯である。

茲に注意すべきは前節にも述べた通り、各電力計の讀の和とは代數和であるから、逆に偏れた電力計の讀は減すべきである。此の正負の混雜しない様にするには、各電力計の電圧及び電流端子には、電源から負荷に流れる電流の入る方の點を豫め符號を付けて置くがよい。それには電力計を單相交流回路に接続して見れば判るから、端子に符號を付けて置く。而して之等電力計を第 7・18 圖甲又は乙圖の様に接続する場合に、電源から負荷へ流れる電流が常に此の符號の付いた端子から入る様にする。斯様な接続をして、指針が目盛のしてある方向に偏れる電力計は正である。又逆の方向に偏れる電力計は負であるから、その電圧線輪端子を初めと逆に接続してその電力計の讀を負として取るべきである。

尙ほ、 $(n-1)$ 電力計法は次の様に簡単に考へ得る。結合 n 線式に於て、第 n 線には他の $n-1$ 個の線の電流の和が負荷から電源へ歸へる、即ち第 n 線は共同歸線と考へられるから、乙圖の様に $(n-1)$ 個の電力計を接続すれば直ちに (4) 式が得られ、従つて $(n-1)$ 個の電力計指針の代數和は負荷電力を示す事が判る。

10. 二電力計法に依る平衡三相電力測定

二電力計法の原理は廣く應用されるから、充分に理解して置かなければならない。其の一般の説明は第8節に述べた通りであるが、正弦波交流電路での平衡三相負荷の場合に之をベクトル圖で説明すると、各電力計の指示の關係が一層判り良くなるから茲に説明しよう。第7・19圖甲に示す平衡三相負荷で、

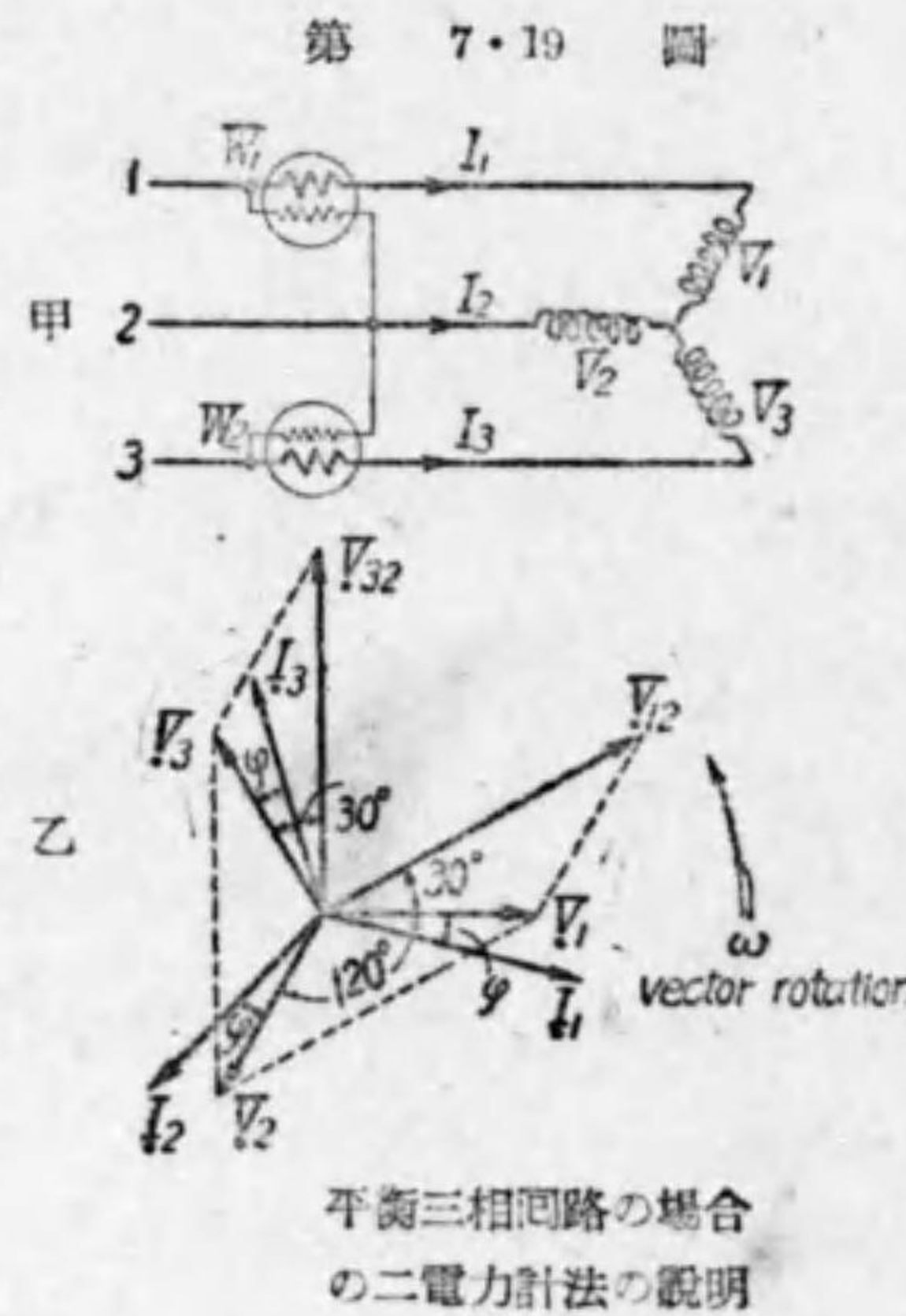
$V_1, V_2, V_3 =$ 各相の星形電壓(實効値)

$I_1, I_2, I_3 =$ 各相電流(實効値)

$\varphi =$ 各相に於ける電流が電壓より遅れる相違角

とし、相順即ち相同轉の順序が $V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow V_3$ の順とすれば、之等のベクトルは乙圖の様にな

る。即ち負荷は平衡して居る故各電壓の値は等しく且つ120度宛の相違があり、又各電流の値は等しく且つ120度宛の相違がある。電力計 W_1 の電壓線輪は1-2間の電壓即ち $V_1 - V_2 = V_{12}$ なる電壓を受け、電流線輪には I_1 が通ずるから、 W_1 の讀は V_{12} と I_1 との生ずる電力である。然る



平衡三相回路の場合
の二電力計法の説明

に圖から明かな通り、 V_{12} と V_1 とは相違30度であるから、 V_{12} と I_1 とは $(30^\circ + \varphi)$ なる相違があり、 W_1 の指示電力 P_1 は、 $V_{12} I_1 \cos(30^\circ + \varphi)$ である。又電力計 W_2 の電壓線輪の受ける電壓は3-2間の電壓即ち $V_3 - V_2 = V_{32}$ で、電流線輪には I_3 が流れるから W_2 の讀は V_{32} と I_3 との生ずる電力である。然るに V_{32} と I_3 との相違は $(30^\circ - \varphi)$ であるから、 W_2 の指示電力 P_2 は $V_{32} I_3 \cos(30^\circ - \varphi)$ である。即ち W_1, W_2 の讀は夫々、

$$P_1 = V_{12} I_1 \cos(30^\circ + \varphi), \quad P_2 = V_{32} I_3 \cos(30^\circ - \varphi)$$

然るに負荷は平衡して居る故、各電壓の値は等しく、各電流の値は等しいから、

$V_1 = V_2 = V_3 =$ 此の星形電壓の値を V とし、

$V_{12} = V_{32} =$ 此の線間電壓の値を V' とすれば

$$V' = \sqrt{3} V$$

$I_1 = I_2 = I_3 =$ 此の線電流の値を I とする。

之等の値を P_1, P_2 の式に代入すれば、

$$P_1 = V' I \cos(30^\circ + \varphi) \tag{イ}$$

$$P_2 = V' I \cos(30^\circ - \varphi) \tag{ロ}$$

$$\begin{aligned} \therefore P_1 + P_2 &= V' I \{ \cos(30^\circ + \varphi) + \cos(30^\circ - \varphi) \} \\ &= V' I \times 2 \cos 30^\circ \cos \varphi = \sqrt{3} V' I \cos \varphi \tag{ハ} \end{aligned}$$

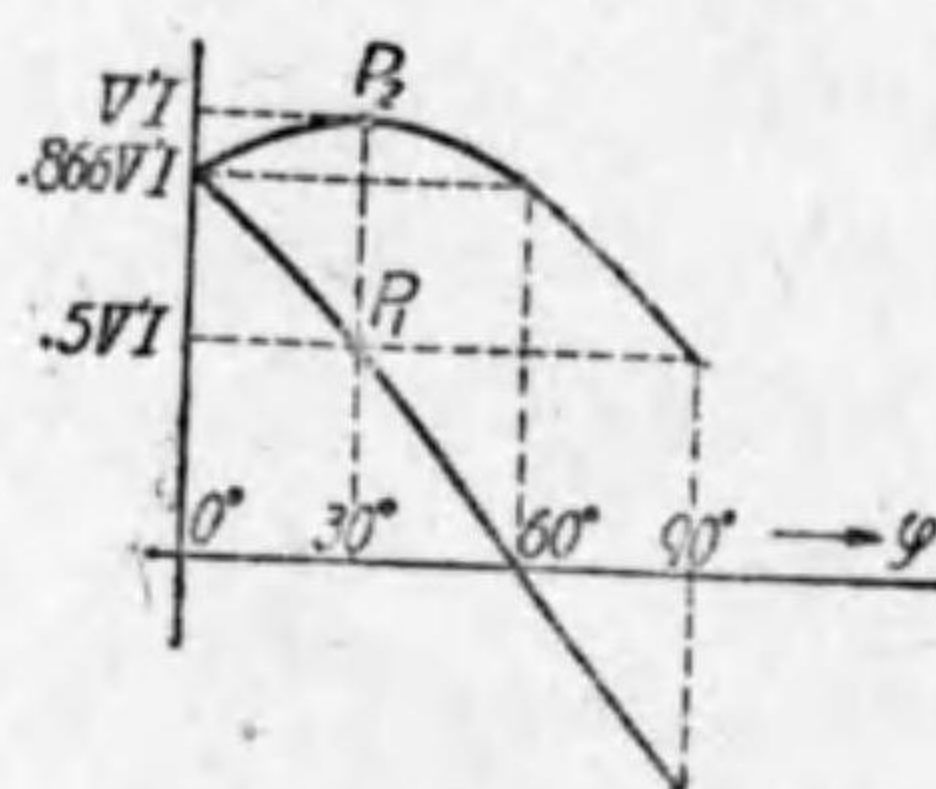
$$\text{又は、} P_1 + P_2 = 3 V I \cos \varphi \tag{ハ'}$$

即ち二個の電力計の讀の和 ($P_1 + P_2$) は三相電力 ($\sqrt{3} V' I \cos \varphi$)

$=3VI \cos \varphi$) に等しい。

次に各電力計の讀 P_1, P_2 は (イ), (ロ) の式から明かに力率角 φ の値に應じて變化する。従つて P_1, P_2 は負荷の力率 $\cos \varphi$ に應じて變化することが判

第 7・20 圖



P_1, P_2 と φ の關係

る。之等と φ との關係をグラフに示すと第 7・20 圖の様になる。此の場合 P_2 は力率の如何に拘らず常に正であるが、 P_1 の値は力率が 0.5 以下は負である。即ち負荷の力率が 0.5 以下では W_1 は反對に偏れる事になるから、その電壓線輪の端子を反對に接続して指針の偏れを正當にして其の時の W_1 の讀 P_1 を負として取るべきである。即ち力率 0.5 以下では三相電力は $P_2 - P_1$ とすべきである。

若し負荷が進電流で各相電流が夫々各相電壓より φ だけ進んで居る場合は、上に得た (イ), (ロ) の式中で φ の代りに $-\varphi$ を代入すればよい。従つて進電流の場合は $P_1 = V' I \cos (30^\circ - \varphi)$, $P_2 = V' I \cos (30^\circ + \varphi)$ となる。

例 本節の結果から、負荷の力率を算出する公式を導き出せ。

解 (イ), (ロ) 二式 $P_1 = V' I \cos (30^\circ + \varphi)$, $P_2 = V' I \cos (30^\circ - \varphi)$ から、

$$P_1 + P_2 = \sqrt{3} V' I \cos \varphi \quad (ハ)$$

$$\begin{aligned} \text{又 } P_2 - P_1 &= V' I (\cos (30^\circ - \varphi) - \cos (30^\circ + \varphi)) = V' I \times 2 \sin 30^\circ \sin \varphi \\ &= V' I \sin \varphi \quad (ニ) \end{aligned}$$

(ニ)を(ハ)で邊々割つて、

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{3}} \tan \varphi &= \frac{P_2 - P_1}{P_1 + P_2} \quad \therefore \tan \varphi = \sqrt{3} \frac{P_2 - P_1}{P_1 + P_2} \\ \therefore \cos \varphi &= \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 3 \left(\frac{P_2 - P_1}{P_1 + P_2} \right)^2}} \\ &= \frac{P_1 + P_2}{2\sqrt{P_1^2 + P_2^2 - P_1 P_2}} \quad (ホ) \end{aligned}$$

11. 一相の電力を測定して平衡三相電力を求める法

三相負荷が平衡せる場合には各相の電力は等しいから、一個の電力計を用ひて一相の電力を測定し、之を 3 倍すれば平衡三相電力を得る譯である。

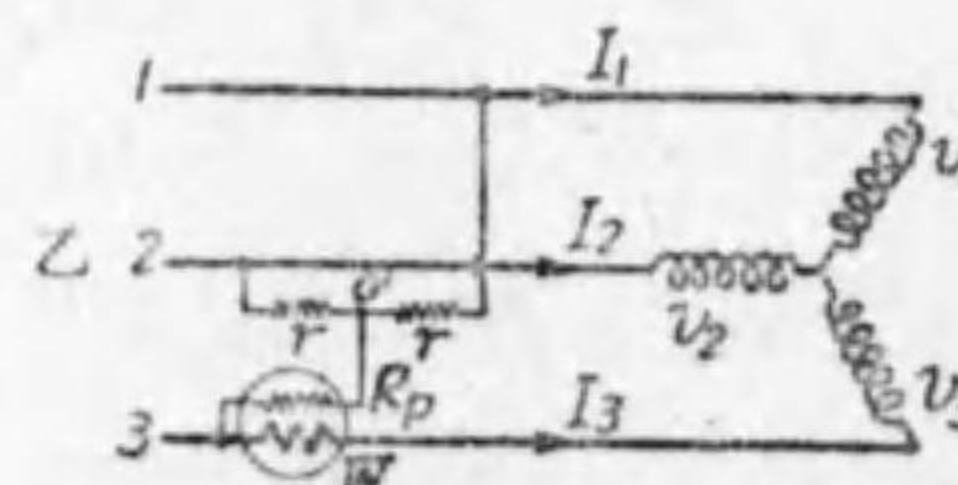
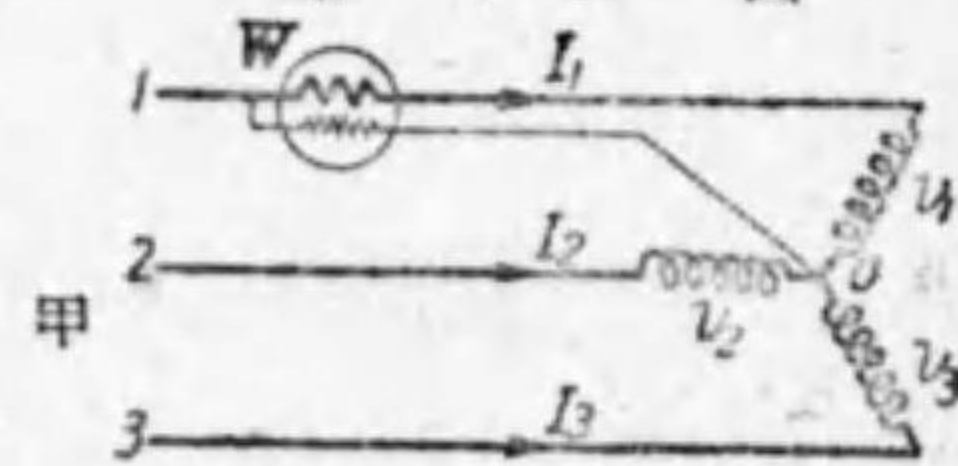
第 7・21 圖

(イ) 中性點を利用し得る場合

第 7・21 圖甲に示す様に電力計を一相に接続して、負荷の一相の相電壓を V_1 , 又電流を I_1 , 相差を φ とすれば、其の讀 P_1 は

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \varphi = V I \cos \varphi$$

但し、各相電壓 $V_1 = V_2 = V_3 = V$ とし、各電流 $I_1 = I_2 = I_3 = I$ とす



一相電力測定法により平衡三相電力を測定する法

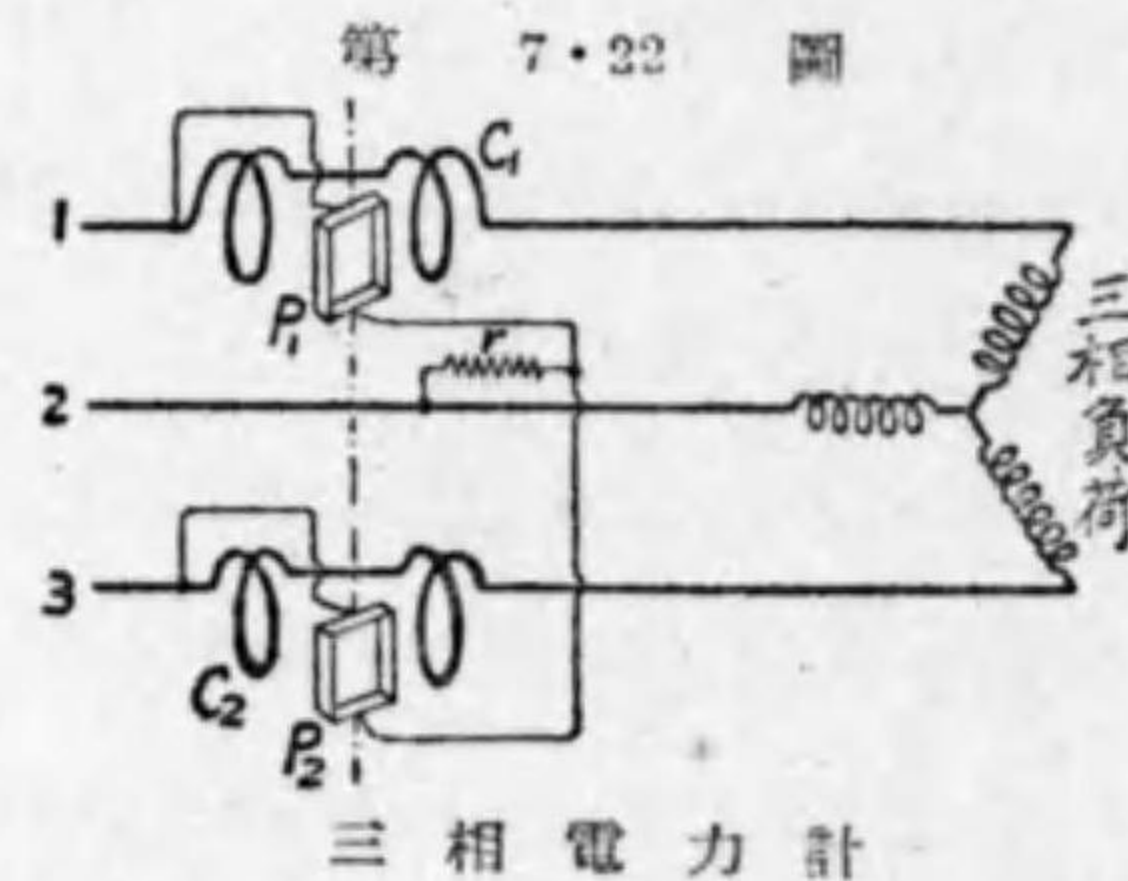
る。故に、此の P_1 の 3 倍即ち

$$3P_1 = 3VI \cos \varphi$$

は三相電力である。

(□)中性点を利用し得ない場合 此の場合には人工的に中性点を作る。即ち乙圖に示す様に電力計の電流線輪は何れか一線例へば第 3 線に接続し、電圧線輪の一端は其の線に、他端は Y 箱 (star box) と稱する抵抗箱の中点 O' に結び、Y 箱の兩端子を 1, 2 の線に接続する。Y 箱は電力計の電圧線輪回路抵抗 R_p と等しい値の抵抗 r を二個直列に接続したもので、中点 O' にも端子を有する。従つて乙圖の様に接続すれば、 $R=r$ であるから O' 點は 1, 2, 3 間の中性点と同電位である。故に電圧線輪には此の場合 V_1 と同値の電圧が與へられるから、電力計の讀 P_1 は第三相の電力を表す。従つて三相電力は $3P_1$ となる。

12. 三相電力計 三相電力計は二電力計法の原理に基づいて作られたものである。第 7・22 圖は三相電力計の略圖である。單相電力計の電圧及び電流線輪の素子二組 P_1, C_1 及び P_2, C_2 を上下に装置し、可動線輪 P_1, P_2

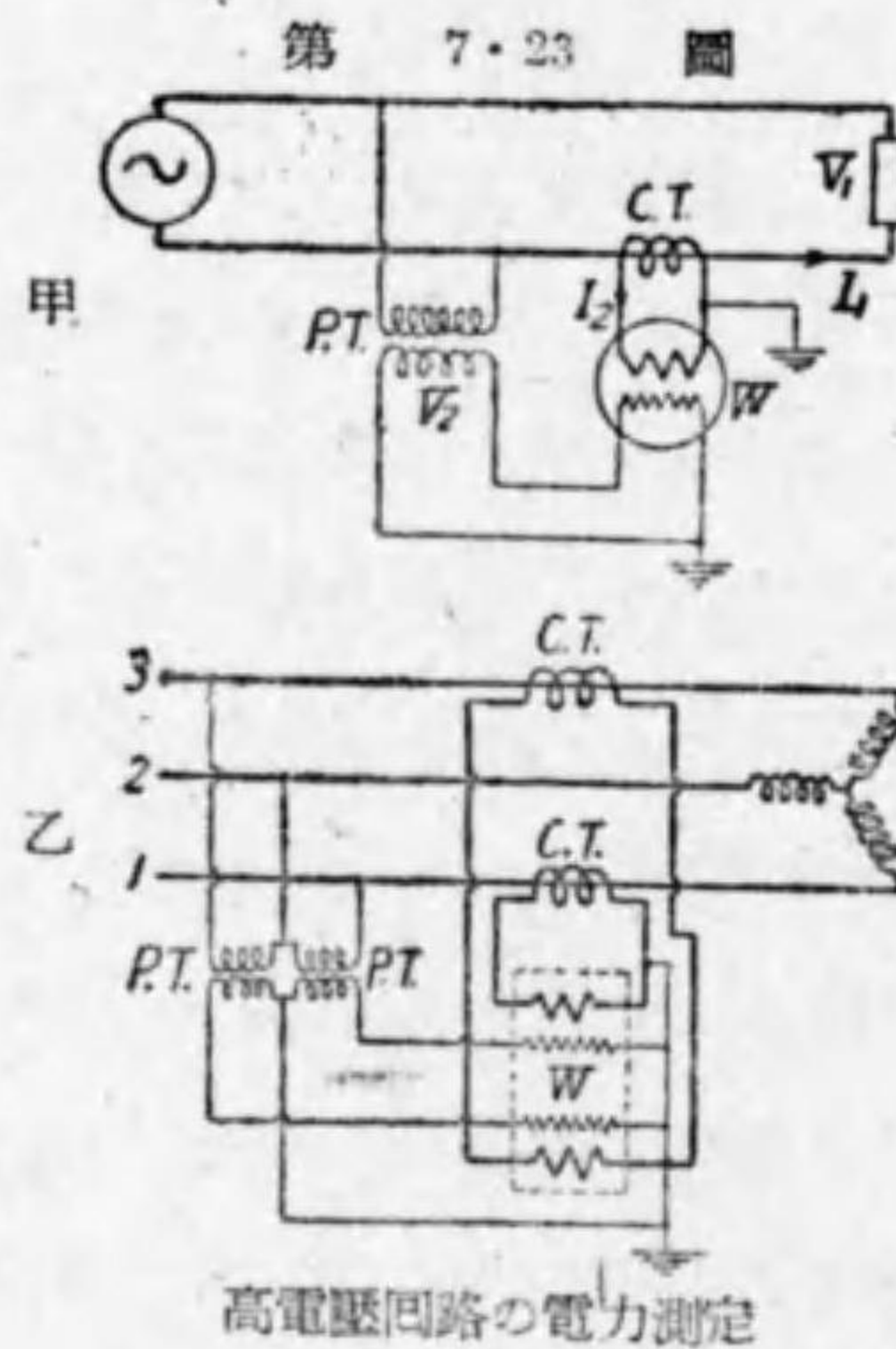


は同一軸に取付けられたもので、接続は二電力計法と同様である。上部の素子 P_1, C_1 に依つて P_1 に生ずる駆動トルクと下部の素子 P_2, C_2 に依つて P_2 に生ずる駆動トルクとの代数和が常に同一軸に働くから、三相電力に比例するトルクの爲に指針は目盛盤に三相電力を指示する譯である。但し此の場合に上部と下部との素子が近い爲に、上部の P_1 と下部の C_2 、及び下部の P_2 と上部の C_1 との間にも幾分トルクを生ずるから、之等の餘分のトルクを補償する爲に適當な値の抵抗 r を圖の様に設けてある。尙ほ此の外に上部の素子と下部の素子との間に鐵板の遮磁装置を施して、相互の干渉を除いた電力計もある。

13. 高電圧回路の電力測定 交流高電圧回路には電圧變成器及び變流器と共に電力計を接続する。第 7・23 圖甲は單相電力測定の場合の接続で、電力計の電圧線輪を電圧變成器 $P. T.$ の二次に、又電流線輪を變流器 $C. T.$ の二次に接続する。従つて電力計のトルクは $P. T.$ の二次電圧 V_2 及び $C. T.$ の二次電流 I_2 及びその間の相差の餘弦に比例する。然るに V_2 は一次電圧 V_1 に、又 I_2 は一次電流 I_1 に比例し、又 V_2, I_2 間の相差は V_1, I_1 間の相差と殆ど等しいから、電力計のトルクは負荷電力に比例する譯である。

乙圖は三相電力測定の場合の接続で、之は二電力計法に基づき

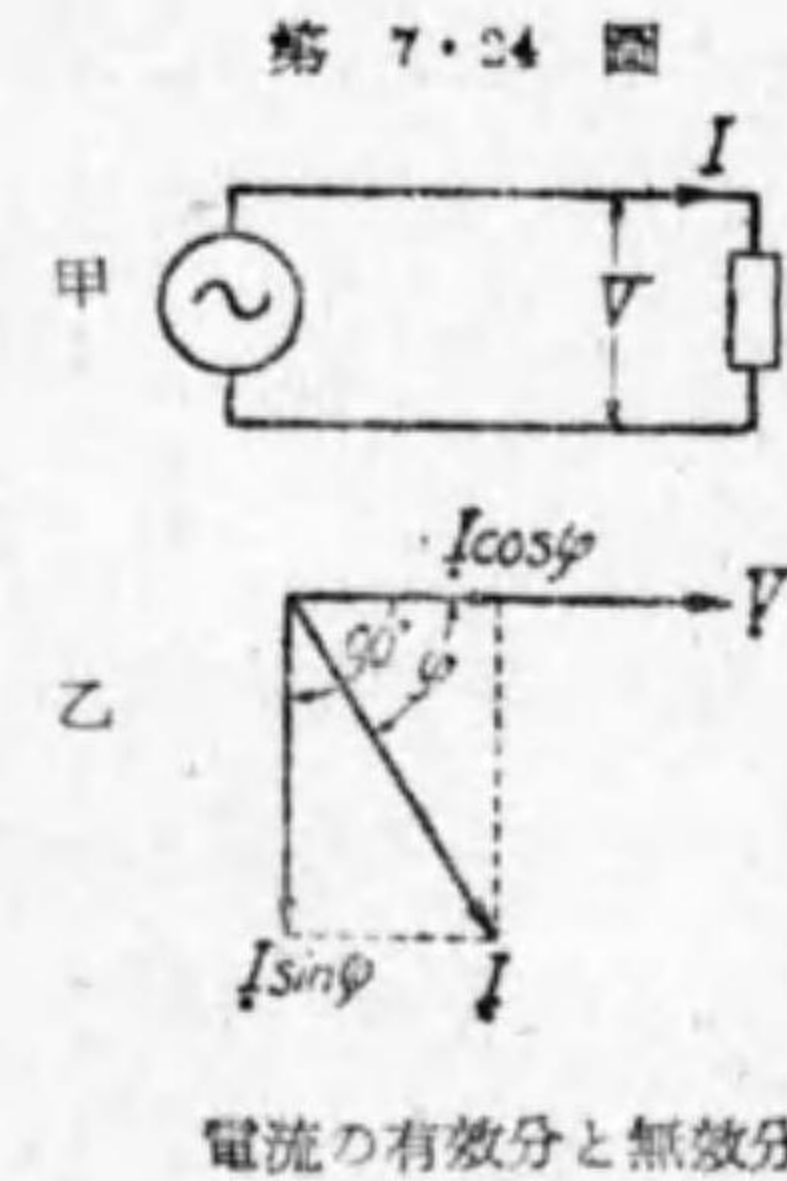
三相電力計の二素子に夫々二個の變壓器 P. T. 及び二個の變流器 C. T. の二次を結べるものである。即ち電力計の上部素子の電壓線輪には 1-2 間の電圧に比例する電圧が與へられ、電流線輪には 1 線の電流に比例する電流を通じ、又下部素子の電壓線輪には 3-2 間の電圧に比例する電圧が與へられ、電流線輪には 3 線の電流に比例する電流が通ずるから、二電力計法の原理により、三相電力計 W には三相負荷に比例するトルクが作用するから、三相電力を測り得る譯である。



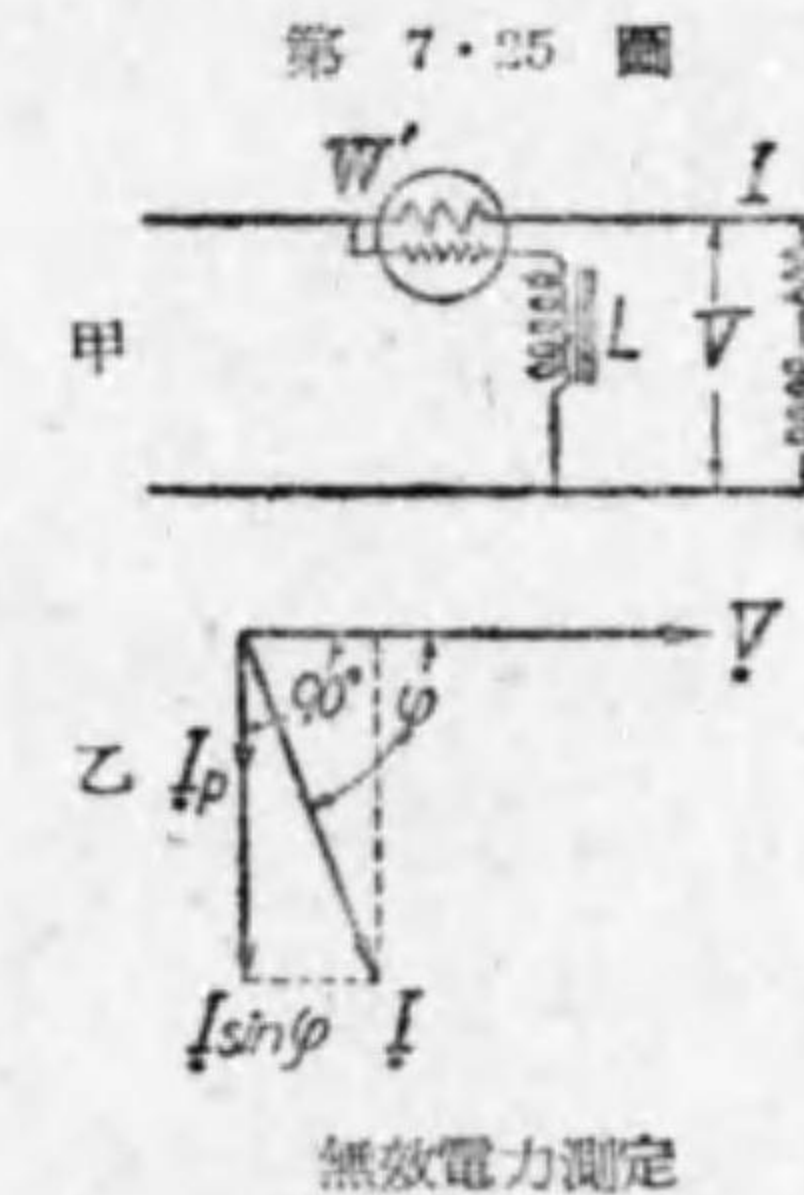
14. 無効電力の測定 第 7.24 圖甲の交流回路で負荷電圧 V ボルト、電流 I アンペア、電流が電圧より遅れる角を ϕ とすれば乙圖のベクトル圖を得る。電流 I を電圧 V と同相及び 90 度の分に分解した $I \cos \phi$ 及び $I \sin \phi$ は、夫々電流の有効分及び無効分である。此の場合 $V \times I \cos \phi$ は電力で、 $V \times I \sin \phi$ は無効電力である。無効電力の單位はバールである。即ち無効電力 Q は、

$$Q = V I \sin \phi \text{ バール}$$

力率の低い回路では電力が非常に小であるから、低力率用電力計以外の普通の電力計で、その電力を測ると誤差が大になる。此の場合には却つて無効電力が大であるから、此の無効電力を測る方がよい。無効電力を測る計器を無効電力計と稱する。



第 7.25 圖甲は電流計型無効電力計を示す。之は普通の電流計型電力計の構造と同様で、只電力計の電圧線輪の直列抵抗の代りにインダクタンス線輪 L (又は蓄電器) を接続したものである。此の無効電力計 W' の電流線輪には電流 I が通じ、又電圧線輪回路はインダクタンスのみであるから、これに通ずる電流 I_p は電圧 V から 90 度遅れる。従つて乙圖の様なベクトル圖を得る。

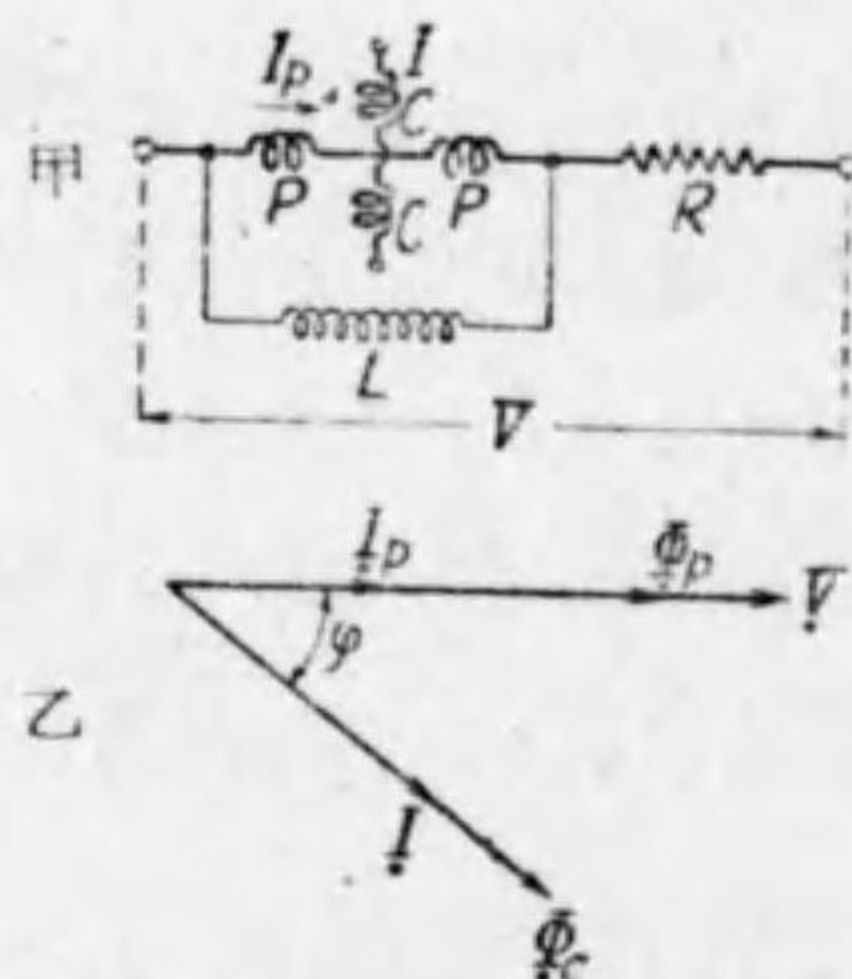


W' の電圧線輪には I と I_p の電流力作用によつてトルクを生ずるから、驅動トルクは $I_p \times I \sin \phi$ に比例する。 I_p は V に比例するから結局驅動トルクは $V I \sin \phi$ 即ち無効電力に比例する。従つて無効電力計が作られる譯であ

る。尤も電圧線輪は幾分抵抗も有する故、 I_p は V から丁度 90 度遅れる事は出来ないから、誤差を伴ふもので、殊に力率の高い程誤差は大となる。

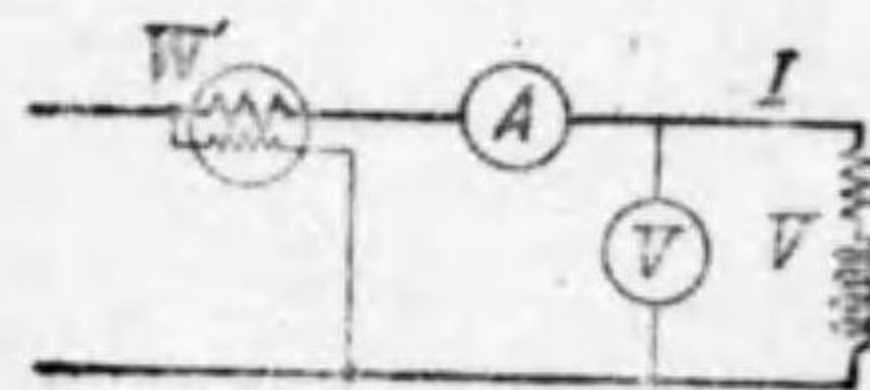
第 7・26 圖甲は誘導型無効電力計を示すもので、電圧線輪 P, P に並列にインダクタンス線輪 L を接続せるものに抵抗 R を直列にして電圧 V を與ふるもので、 L 及び R の値を適當に選定して電圧線輪電流 I_p を電圧 V と同相にする方法を講じてゐる。従つて電圧磁束 ϕ_p と電流磁束 ϕ_c とは乙圖に示す様に電圧電流間の相差 φ に等しいから、圓筒に生ずるトルクは $\phi_p \phi_c \sin \varphi$ 従つて $V I \sin \varphi$ 即ち無効電力に比例する譯である。

第 7・26 圖



誘導型無効電力計の説明圖

第 7・27 圖



単相回路の無効電流及び力率の測定

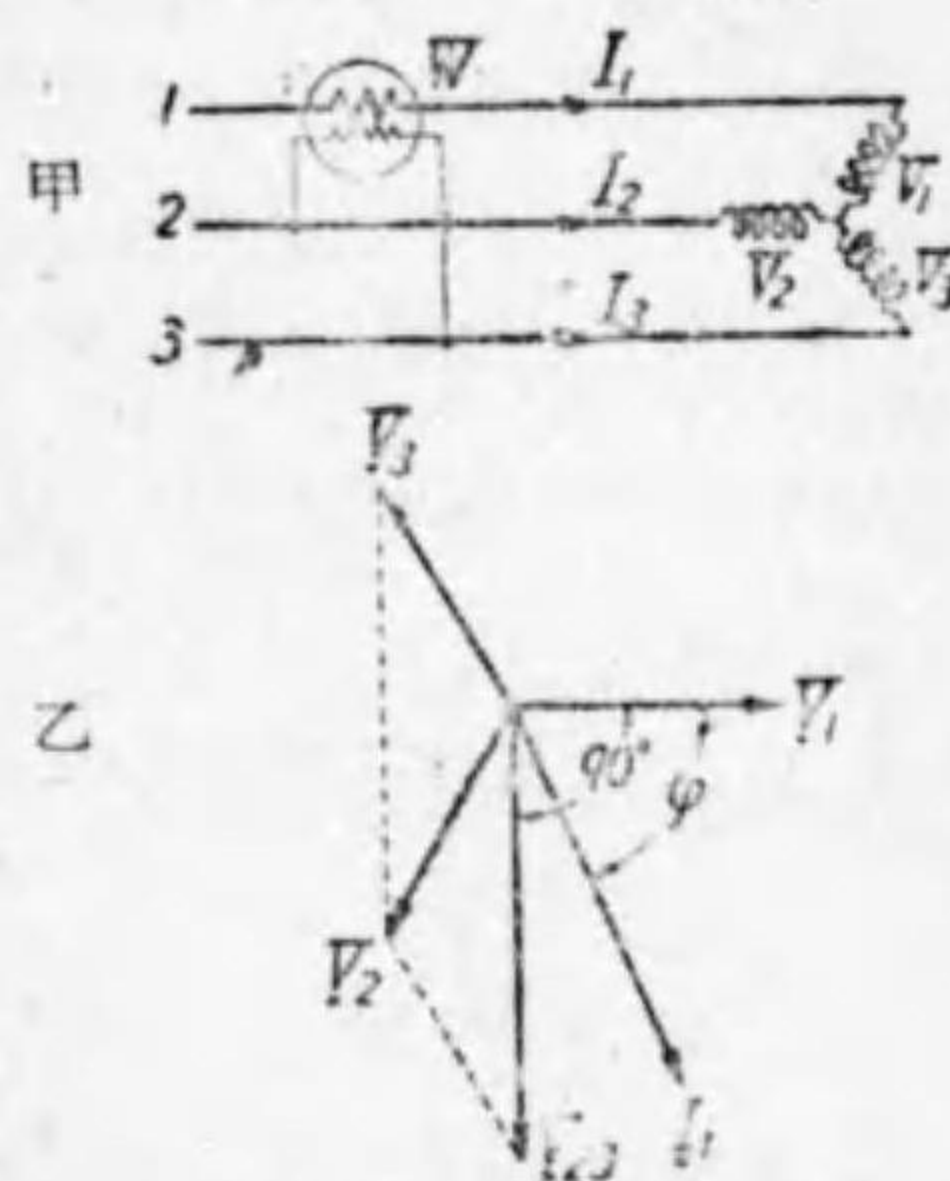
$$\text{無効電流 } I \sin \varphi = \frac{Q}{V}$$

第 7・27 圖の様に無効電力計 W' 、電圧計 V 及び電流計 A を接続すれば、夫々の讀 $Q = V I \sin \varphi$ 、 V, I から無効電流及び力率が求められる。即ち

$$\text{力率 } \cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi} = \sqrt{1 - \left(\frac{Q}{VI}\right)^2}$$

平衡三相式回路では普通の電力計型電力計を使用して無効電力を測定する事が出来る。第 7・28 圖甲は此の場合の接続である。即ち電流線輪には I_1 を通じ、電圧線輪には 2-3 間の電圧 V_{23} を與へる。乙圖は此の場合のベクトル圖で、 V_{23} 即ち $V_2 - V_3$ は V_1 と 90 度の相差を有するから、 V_{23} と I_1 とは $90^\circ - \varphi$ の相差を有する譯で

第 7・28 圖



甲…平衡三相回路の無効電力の測定法
乙…同上の説明圖

従つて電力計 W の讀は $V_{23} I_1 \times \cos(90^\circ - \varphi)$ である。 V_{23} は線間電圧 (V') で、 I_1 は線電流 (I) であるから、電力計の讀は $V' I \sin \varphi$ になる。従つて之に $\sqrt{3}$ を乗ずれば三相無効電力 ($\sqrt{3} V' I \sin \varphi$) となる。

復習問題 VII

1. 電圧計と電流計と各 1 箇に依り直流電力を測定する場合の 2 種の接続法を圖示し、如何なる場合に何れを使用するが良いかを説明せよ。
2. 150 ボルトの電圧計と 20 アンペアの電流計に依り、或る直流電力を測定したのに、電圧計は 96 ボルト、電流計は 15 アンペアを指

- 示した。其の電力はいくらであるか。但し電圧計の抵抗は 1000 オーム、電流計の抵抗は 0.05 オームとせよ（電圧計の抵抗は小さく電流計の抵抗は大きく假定してある）。
3. 或る交流負荷の電力を測定せしに電圧計は 103 ボルト、電流計は 26.5 アンペア、力率計は遅れの 0.85 を指示した。其の電力は何程であるか。但し各計器の損失は考慮する必要なき値とせよ。
 4. 三箇の電圧計を使用して単相電力を測定する場合の接続及び原理を示せ。
 5. 上記の場合に電圧計 1 箇を使用し切換へて 3 箇の代用とする接続法を工夫せよ。
 6. 三電圧計法で単相電力を測定する場合に、 V_1 の讀 100 ボルト、 V_2 の讀 80 ボルト、 V_3 の讀 150 ボルトで、 R の値 50 オームならば、電力はいくらであるか。
 7. 三箇の電流計に依り単相電力を測定する方法を説明せよ。
 8. 上記の場合負荷を停電する事なく 1 箇の電流計を切換使用する場合の接続を工夫せよ。
 9. 第 7・4 圖の接続で、 $I_1=25\text{A}$ 、 $I_2=12\text{A}$ 、 $I_3=30\text{A}$ で、 $R=40\Omega$ ならば負荷電力は何程か。
 10. 家庭用ポンプの電力及び力率を知るために電流計 1 箇、電圧計 1 箇及び 100V 用 60 ワット電球を使用する場合の接続及び操作を示せ。但し供給電圧は正しく 100 ボルトとする。
 11. 電流計型指示電力計の構造を説明せよ。
 12. 電流計型指示電力計は正弦波交流の場合にも直流の場合と同一に使用出来る事をベクトル圖に依り説明せよ。
 13. 電流計型計器の目盛は電流計に於ては目盛が平等でないのに、電

- 力計では略平等であるのは何故であるか。又正しく平等でないのは何故であるか。
14. 指示電力計を使つて交流電力を測定する場合に當つて生ずる最も普通の誤差の原因如何。
 15. 本文第 5 節の誤差 (ϵ') 及び更正率 (ρ') を夫々 (ϵ) 及び (ρ) 式より導き出せ。
 16. 誘導型電力計の構造並に原理を簡単に説明せよ。
 17. 第 7・10 圖甲で P の抵抗及びリアクタンスを R_p 、 X_p 、 L のリアクタンスを X_s として、 i_p を V より 90° 遅らせるための条件を求めよ。
 18. 二相電力の測定法を示せ。
 19. 三相四線式の電力を測定するには単相電力計を何箇必要とするか。
 20. 2 箇の単相電力計を用ひて不平衡三相電力を測定する場合の接続圖を示せ。
 21. 中性点を接地した星形結線の三相発電機から同様の接続をなした負荷に配電する場合に、其の送電線に挿入した、電力計は實際送出した電力より稍小さな讀を呈した。そこで接地しない三角形に接続を変更したら、そんな事が無くなつたと言ふ。其の原因を説明せよ。勿論電力計は正確なものである。
 22. 負荷が V に接続せられた場合、三相不平衡電力が単相電力計 2 箇で測定出来る事を説明せよ。
 23. 6 相 6 線式電路の電力は単相電力計何箇で測定する事が出来るか。其の理由を併せ説明せよ。
 24. 結合 n 線式回路の電力は $(n-1)$ 箇の単相電力計で測定出来る事を證明せよ。

25. 二電力計法に依り平衡三相電力を測定せしに次の結果を得た。其の場合の電力並に力率はそれぞれ何程であるか。
- イ 第一電力計 600 ワット 第二電力計 0 ワット
 ロ 第一電力計 0 ワット 第二電力計 700 ワット
 ハ 第一電力計 800 ワット 第二電力計 400 ワット
26. 二個の電力計を以て三相誘導電動機の電力を測定せしに一方の電力計の指示が他方の指示の2倍であつた。その場合の電動機の力率がいくらかわかるか。
27. 無負荷に於ける三相誘導電動機の電力を2個の電力計で測定して、夫々の讀が W_1 と W_2 であつた。その場合の電力及び力率は何程であるか。
28. 平衡三相電力を Y 箱を使用することなく一個の单相電力計を切換へて測定する場合の接続を示し、且つ其の原理を説明せよ。
29. 三相電力計の構造及び原理を説明せよ。
30. 3300 V 電路で最大 100 kVA の電力を測定するのに 200V 5A の三相電力計を使用するには如何なる補助器が何箇入用であるか。併せて其の接続を示せ。
31. 變壓比 30 の電壓變成器、變流比 20 の變流器を使つて三相電力を測つたのに三相電力計の指示が 950 ワットを指示した。三相電力はいくらであるか。
32. 電流計型無効電力計は同型の電力計に比べて如何なる點で相違があるか。
33. 第 7・26 圖で P の抵抗 R_p 、其のリアクタンス X_p 、 L のリアクタンス X_L として I_p を V と同相とするには、それ等の間にどんな關係が必要であるか。

34. 或る单相負荷に 100 ボルトの電壓を與へたのに、12 アンペアの電流が流れ、其の電力 300 ワットであつた。其の無効電力並に無効電流は何程であるか。
35. 平衡三相回路に於て、普通の電流計型電力計1個で其の無効電力を測定する方法を述べ、之を説明せよ。

第八章 種々の電気測定器

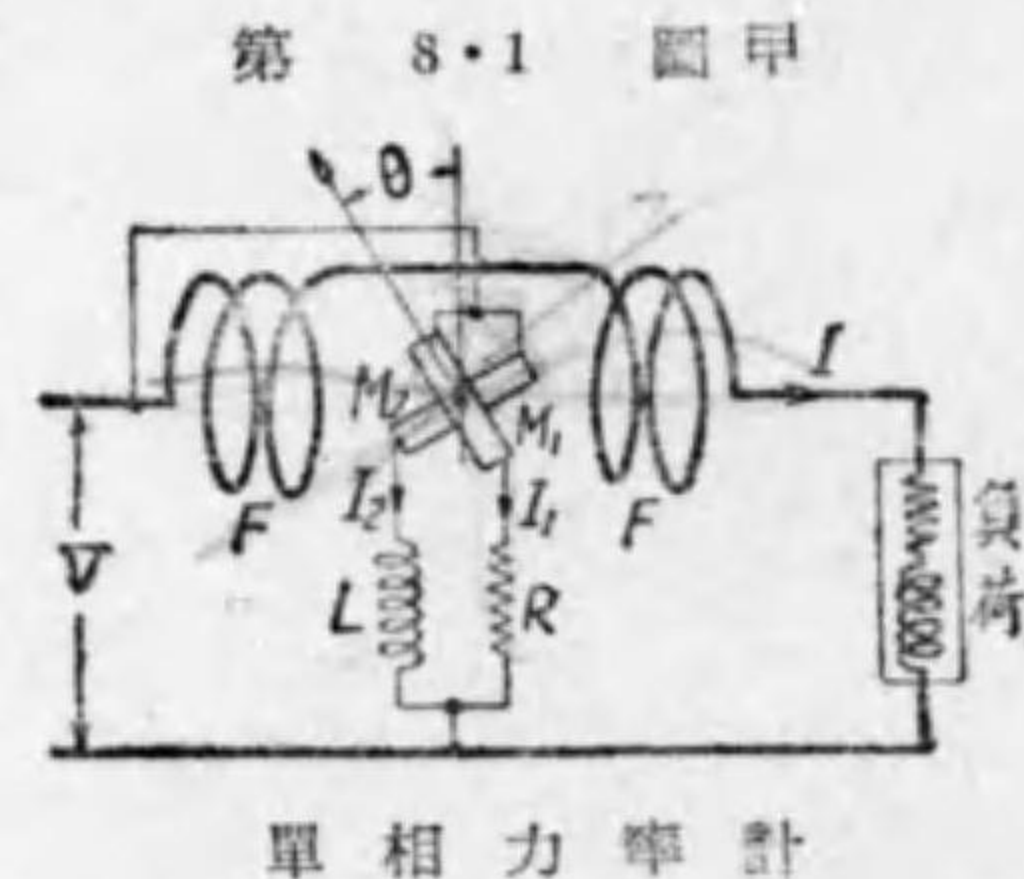
1. 種々の電気測定器 今迄に述べなかつた電気測定器中、次に示す指示計器及び記録計器を本章で説明しよう。

- イ. 力率計……交流回路の力率を指示する計器
- ロ. 周波計……交流回路の周波数を指示する計器
- ハ. 同期検定器……二つの交流機の同期を検する装置
- ニ. 静電検漏器……無接地式高電圧線路の漏電を検する計器
- ホ. 記録計器……電気諸量を圖紙に自記する計器

2. 力率計 第 8・1 圖甲は单相用力率計の一例で、電力計型計器である。F は固定線

輪で之に電流 I を通じ、又 M_1 、 M_2 は可動線輪で互に直角に軸に取付けられ、軸には指針が取付けられて居る。 M_1 には無誘導抵抗 R が直列に接続され、

M_2 にはインダクタンスの大なる塞流線輪 L が直列に接続され之等は圖に示す様に並列に接続されて電圧 V を受ける。此の計器は丁度、 F と M_1 とで電力計の作用をさせ、又 F と M_2 と



で無効電力計の作用をさせた組合せとなつて居て、普通の指示計器に於ける様な制御パネを取付けずに、 $F M_1$ の電流力作用によるトルクと、 $F M_2$ の電流力作用によるトルクとが互に反対方向になる様に装置されてある。

今負荷電流 I が電圧 V より ϕ だけ位相が遅れて居る場合に、指針の傾斜従つて M_1 の傾斜が F 線輪の軸に直角の位置から θ 角をなして居るとする。 M_1 回路は殆ど抵抗のみであるから、その電流 I_1 は電圧 V と同相であり、又 M_2 回路は殆どインダクタンスのみであるから、その電流 I_2 は電圧 V から 90 度遅れる。乙圖は電圧電流等のベクトル圖である。 $F M_1$ の電流力 f_1 は、 $I I_1 \cos \phi$ に比例し、 F の作る磁界 ϕ と直角の方向であるから、トルク T_1 は時計式方向で、

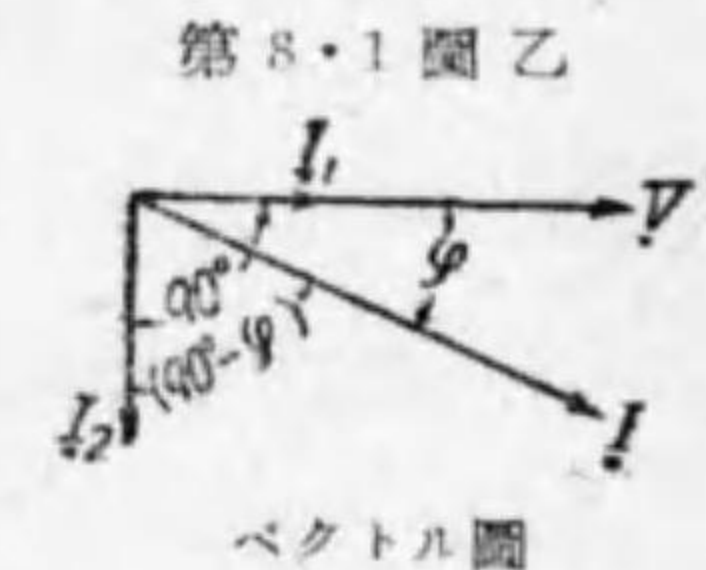
$$T_1 = k I I_1 \cos \phi \times \sin \theta \quad (イ)$$

又 $F M_2$ の電流力 f_2 は、 $I I_2 \cos (90^\circ - \phi) = I I_2 \sin \phi$ に比例し、其の方向は乙圖の様に ϕ と 90° であるから、トルク T_2 は反時計式方向に、

$$T_2 = k I I_2 \sin \phi \sin (90^\circ - \theta) = k I I_2 \sin \phi \cos \theta \quad (ロ)$$

$T_1 = T_2$ より

$$I I_1 \cos \phi \sin \theta = I I_2 \sin \phi \cos \theta$$



$$\therefore \tan \theta = \frac{I_2}{I_1} \tan \varphi \quad (ハ)$$

故に $I_1 = I_2$ に作つて置けば, $\tan \theta = \tan \varphi$

$$\therefore \theta = \varphi \quad (ハ')$$

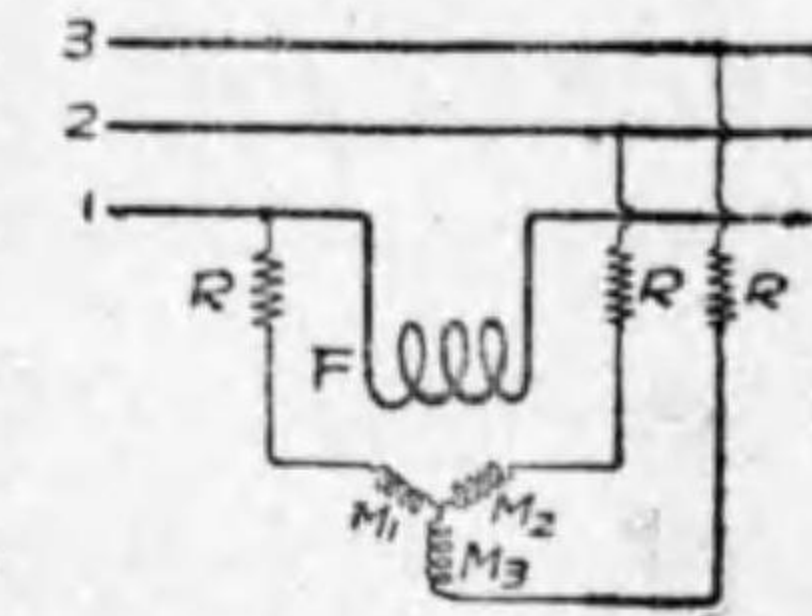
即ち指針の傾斜角 θ は電圧電流間の相差 φ に等しい。従つて目盛盤上には φ の餘弦 $\cos \varphi$ 即ち力率を目盛る事が出来る譯である。若し又負荷が進電流の場合例へば電流が電圧より φ だけ進んで居る場合は, 上の (ハ) 式で, φ の代りに $(-\varphi)$ とおき, $\theta = -\varphi$, $\therefore \varphi = -\theta$ 即ち指針は中央より右側に θ だけ傾いて其の時の力率を指示する譯である。

力率計の動作は又次の様に考へてもよい。固定電流線輪 F の作る交番磁界と, M_1, M_2 なる二つの可動電圧線輪によつて生ずる一つの回轉磁界 (M_1, M_2 は互に直角で, 又各の電流 I_1, I_2 は互に 90 度の相差を有するから一つの回轉磁界を作る) との作用を利用したもの考へてもよい。即ち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, 可動線輪の回轉磁界の方向が F の磁界の方向と一致する様な位置を取つて, 指針は其の相差に相當する力率を指示するのである。

第 8・2 圖は平衡三相式用力率計の一例である。 F が固定の電流線輪, M_1, M_2, M_3 は可動電圧線輪で, F の磁界内に於て各は 120 度宛隔て、同一軸に取付けられ, 各に抵抗 R が接続されて居る。 F は三線中の一線に接続され, M_1, M_2, M_3 は Y

形に結ばれて線間に接続される。 M_1, M_2, M_3 は互に 120 度宛隔てられ且つ相隣れる線輪の電流の位相が 120 度宛の相差を有するから, 可動電圧線輪によつては一つの回轉磁界が作られる。又 F によつては交番磁界が作られる。従つて単相力率計と同様に, 固定線輪の作る交番磁界と可動線輪の作る回轉磁界との作用により, 可動線輪は電圧電流間の相差に應じた位置を取り, 之に取付けた指針は目盛盤上に力率を指示する。

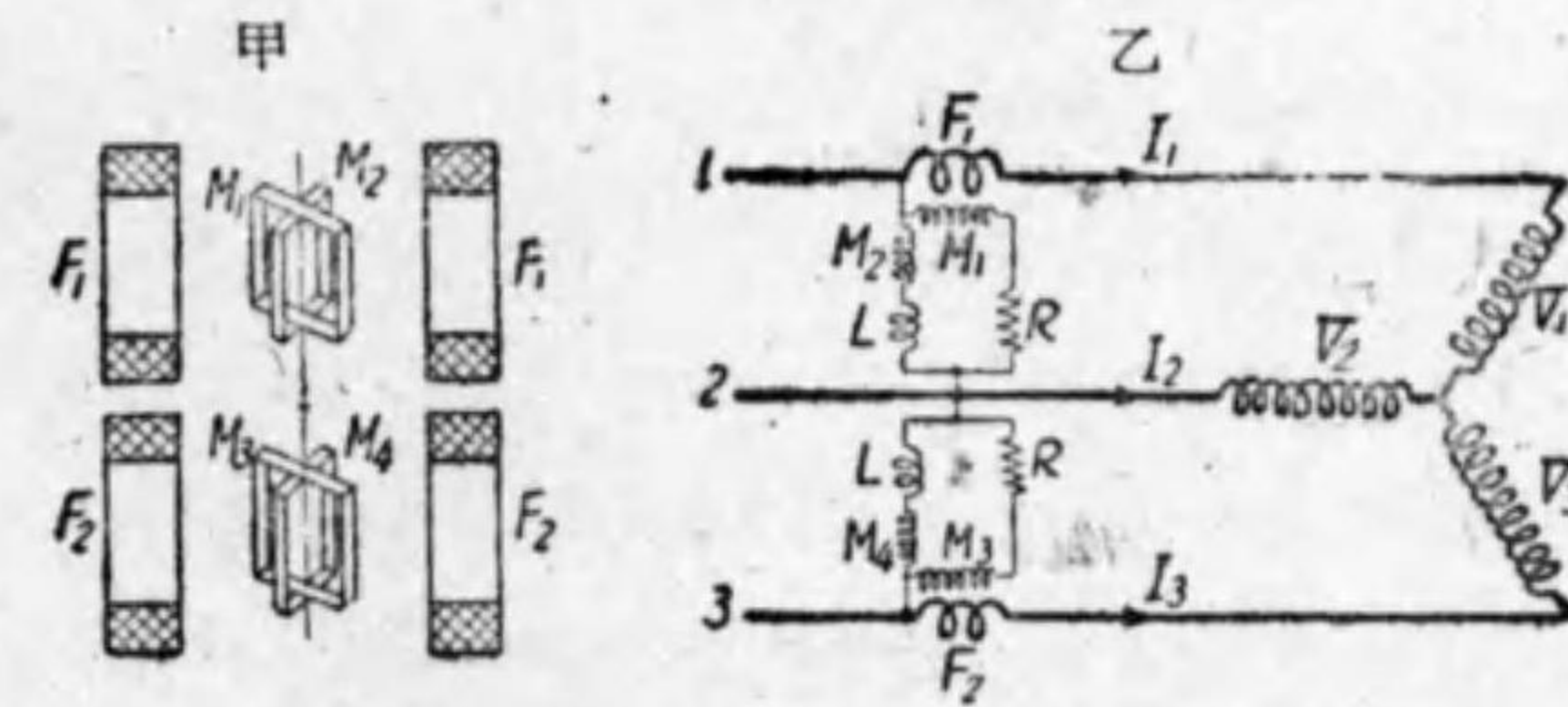
第 8・2 圖



平衡三相力率計

第 8・3 圖は高津博士の力率計で, 之が回路の平衡不平衡の

第 8・3 圖



高 津 氏 力 率 計

如何に拘らず使用される計器である。單相力率計に於ける固定電流線輪及び可動電圧線輪素子を二組上下に装置したもので, 甲圖はその配置圖, 乙圖はその接続圖を示す。 F_1 及び F_2 は夫

夫上下の固定電流線輪, M_1, M_2 及び M_3, M_4 は夫々上下の可動電圧線輪で共通軸に取付けられてある。 M_1, M_3 には抵抗 R が接続され, M_2, M_4 には塞流線輪 L が接続され, 全體が二電力計法の接続になつて居る。軸に取付けられたる指針は常に其の回路の力率を指示するものである。茲に一般の力率とは次式に示す値である。

$$\text{力率} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{V_1 I_1 \cos \varphi_1 + V_2 I_2 \cos \varphi_2 + V_3 I_3 \cos \varphi_3}{\sqrt{[V_1 I_1 \cos \varphi_1 + V_2 I_2 \cos \varphi_2 + V_3 I_3 \cos \varphi_3]^2 + [V_1 I_1 \sin \varphi_1 + V_2 I_2 \sin \varphi_2 + V_3 I_3 \sin \varphi_3]^2}}$$

但し P = 全實効電力
 Q = 全無効電力

V_1, V_2, V_3 = 負荷の各相の星形電壓

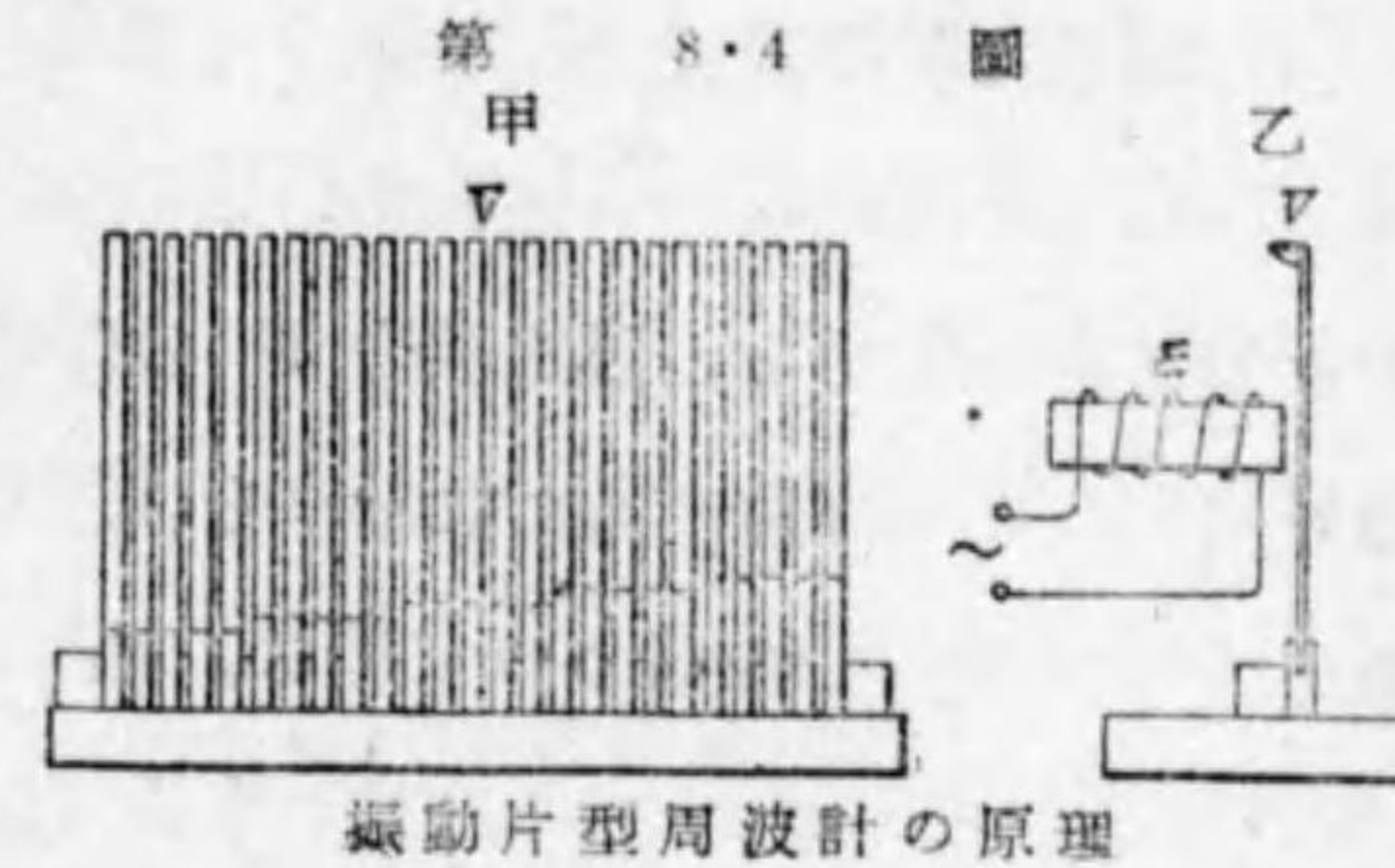
I_1, I_2, I_3 = 各線の電流

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ = 各相の電壓電流間の相差

3. 周波計 周波計には機械的共振現象を利用したものと電氣的のものがあるが, 後者の電氣的のものには種々のものがある。

(1) 振動片型周波計 第 8・4 圖は此の型の周波計の原理を示す略圖である。 V は下端で固定された鋼鐵片の一群で, 各鐵片は其の長さ及び質量等を適當に變へて各の固有振動周期を順次

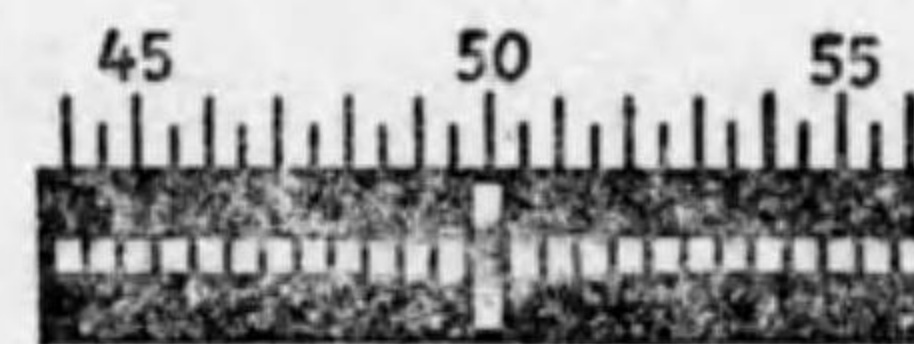
異にしたものである。鐵片に對向して交流電磁石 E を備へて居る。その勵磁線輪には適當な直列抵抗が接



振動片型周波計の原理

續され, 周波數を測るべき電壓回路に接続する。勵磁線輪に交流通ずれば交番磁束を生じ, その一周波毎に二回宛鐵片を吸引するから, 一群の鐵片中, 被测周波數の二倍の固有振動數を有する鐵片のみ共振作用により振動するが, 他の鐵片は殆ど振動しない。各鐵片の頭を白色に塗つて置き, 共振したものが丙圖

第 8・4 圖 丙



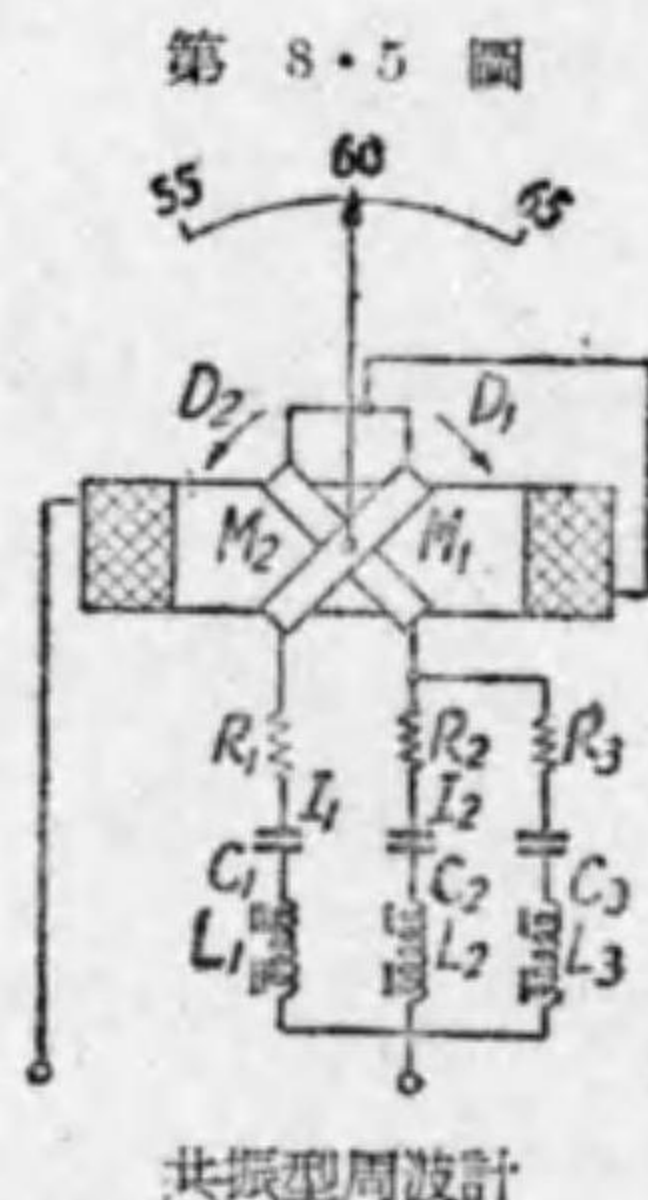
振動型周波計の目盛盤

に示す様に長い白色帯に見え, 目盛盤上に被测周波數を知る事が出来る。測定範圍が 45 より 60 サイクル迄の各振動片の厚さは 0.4

mm, 幅は 4 mm で, 長さは 55.5 mm より 46.5 mm 迄變化して居り, 0.5 サイクル置きに讀む事が出来る。尙ほ交流電磁石の外に適當な永久磁石を併用すると, 交番磁界の一周期中一回丈け鐵片を吸引するから, 永久磁石を用ひない場合に 50 サイクル交流に對して共振する鐵片は永久磁石を併用すると 100 サイクルの交流に共振する事になる。

(□)電流力計型周波計 電流力計型計器の中で電氣的共振現象を利用した周波計の一種を説明しよう。第 8・5 圖はその原理を示すものである。固定線輪 F の作る磁界内に、互に直角に軸に取付けられた可動線輪 M_1, M_2 が装置されて居る。 M_1 には抵抗 R_1 , インダクタンス L_1 , 容量 C_1 が直列に接続され、又 M_2 には R_2, L_2, C_2 が直列に接続されて、之等を並列に接続し、之と固定線輪 F とが接続されて居る。各同調回路の同調周波数は基準周波数の上下 8 サイクルに選ばれて居る。即ち 60 サイクル用周波計では、 L_1 及び C_1 は 68 サイクルの周波数で同調し、又 L_2 及び C_2 は 52 サイクルの周波数で同調する様に作られて居る。即ち周波数が 68 サイクルの場合は M_1 の電流 I_1 は最大で、 M_2 の電流 I_2 は極く少い。周波数が 52 サイクルの場合は M_2 の電流 I_2 が最大で、 M_1 の電流 I_1 は極く少いのである。 M_1 と F とにより生ずるトルク T_1 と M_2 と F とにより生ずるトルク T_2 とは互に反対方向となる様になつて居り、此の兩トルクが平衡した位置に可動線輪は静止するのである。

今周波数 60 サイクルの場合に可動線輪は圖の位置で静止して居るとすれば、周波数が之より大になると、 I_1 が大になり、 I_2

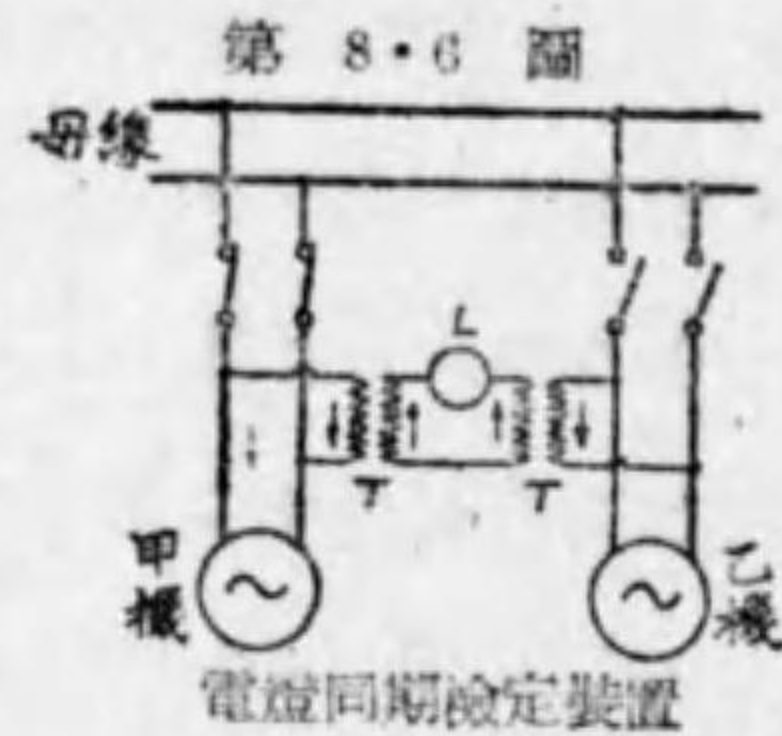


は小になるから、 M_1 に働くトルク T_1 が M_2 に働くトルク T_2 より大になり可動線輪は圖の位置から右方に傾いて来る。然るに可動線輪に働くトルクは固定可動兩線輪の電流の値に関する以外に、可動線輪と固定線輪とが互に直角の時が大であるから、可動線輪が右に傾くに従ひ M_1 によるトルクは次第に減じ、 M_2 によるトルクは増して来るから、遂に兩トルクが平衡の位置に達して可動線輪は静止する。反対に周波数が小になると、 I_2 が大になり I_1 は小になるから、可動線輪は圖の位置から左方に傾き、 M_1, M_2 のトルクが平衡した位置で静止する。此の計器は同調回路を用ひて居る故、共振状態に近づくと電流は急激に増すので、55 サイクル乃至 65 サイクルの目盛を有する極めて感度の良い周波計が得られる。 L_3 及び C_3 は 38 サイクルの同調回路で、之を附けた理由は、52 サイクル以下の周波数では、若し L_3, C_3 がないと、 M_1, M_2 の電流が共に極小となり、指針を極めて不安定にするので、斯様な低い周波数の場合、指針を最低目盛より低い處に止めるためである。

4. 同期検定器 二つの交流發電機を並行運轉しようとする際の必要條件は、(1) 電壓相等しい事、(2) 周波数相等しい事、(3) 位相が一致して居る事の三條件である。同期検定器は此の内の (2) 及び (3) の二條件即ち二つの交流機の同期を検す

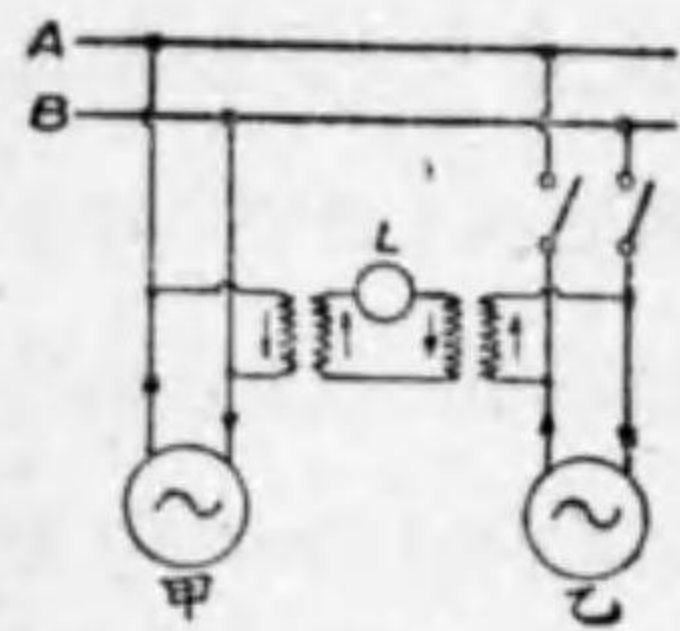
るものである。同期検定器の種類も種々あるが次に二三のものを説明しよう。

(1)電燈同期検定装置 第8・6圖甲は高壓單相同路の場合の電燈 L を使用する最も簡単な電燈同期検定装置である。既に運轉して居る甲發電機又は母線に、平行運轉しようとする乙發電機の開閉器を閉じると、母線（又は甲機）と乙機が同期で



ある場合は両方の電壓の差が與へられるから電燈は消える。若し兩機が同期でなければ電燈は明滅する。

第 8・7 圖

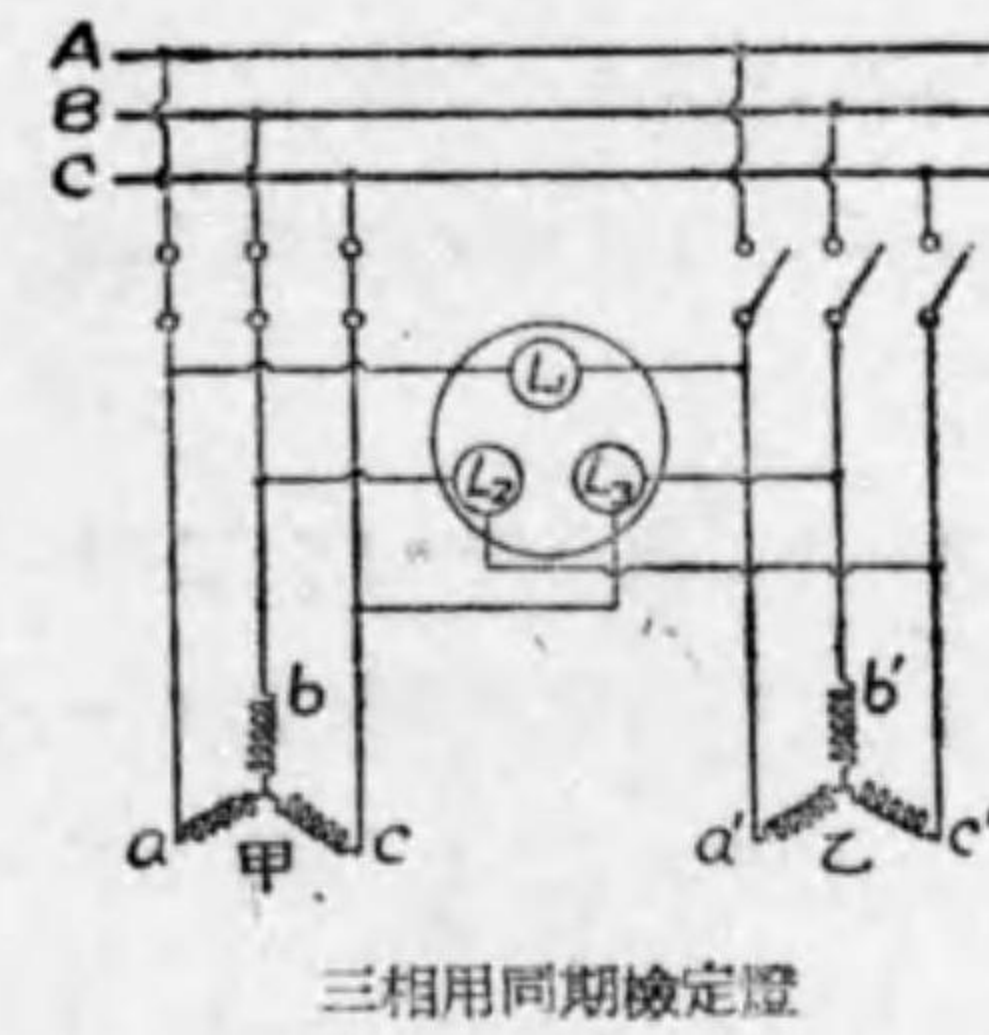


電燈同期検定装置

第8・7圖は異なる線間に電燈を挿入した場合で、此の接続では、電燈が最も明るく點燈して居る場合に甲乙兩機は同期になつて居る。電燈が明滅して居る場合は甲乙兩機の周波數に差がある。而して第8・6圖及び第8・7圖何れの場合でも電燈明滅の速さが大なる程兩機の周波數の差が大で、明滅の速さが小なる程兩機の周波數の差が小である。

第8・8圖は三相用の同期検定燈の接続である。圖は判り易くするため變壓器を除いたものである。三個の電燈 L_1, L_2, L_3 を用ひて L_1 は相對する相に、他の二個 L_2, L_3 は相を入れ違

第 8・8 圖



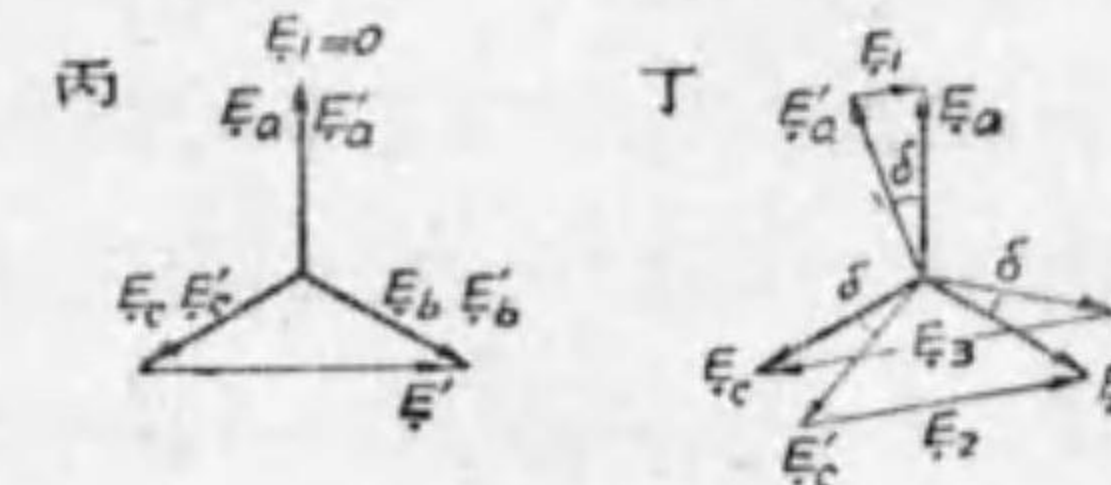
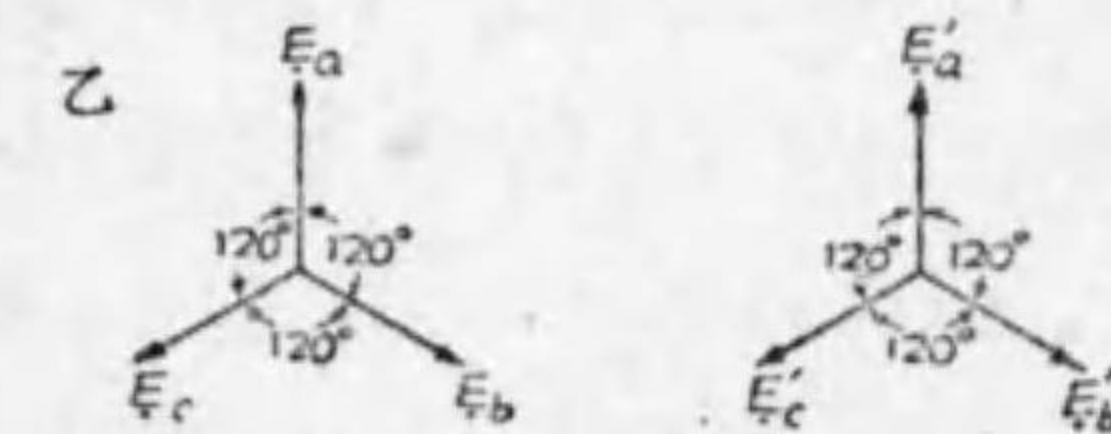
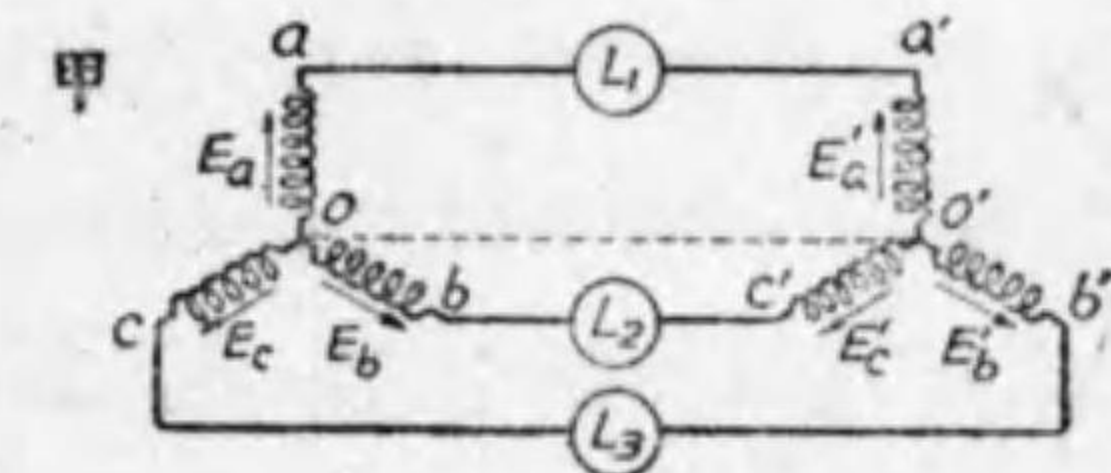
三相用同期検定燈

へて接続したものである。

第8・9圖甲は更に之を判り易くする爲の圖であつて、兩機の中性點 O, O' は同電位である。

甲機の a, b, c 相の起電力ベクトルを E_a, E_b, E_c とし、乙機の a', b', c' 相の起電力ベクトルを E'_a, E'_b, E'_c とし、相順を夫々 $E_a \rightarrow E_b \rightarrow E_c, E'_a \rightarrow E'_b \rightarrow E'_c$ の順とする(乙圖参照)。甲

第 8・9 圖



圖から明かなる通り、 L_1, L_2, L_3 には夫々 $E_a - E'_a, E_b - E'_b, E_c - E'_c$ なる電壓が與へられる。之等 L_1, L_2, L_3 に與へられる電壓のベクトルを夫々 E_1, E_2, E_3 とすれば、

$$\begin{aligned} E_1 &= E_a - E'_a \\ E_2 &= E_b - E'_b \\ E_3 &= E_c - E'_c \end{aligned}$$

甲乙兩機が同期の場合は、

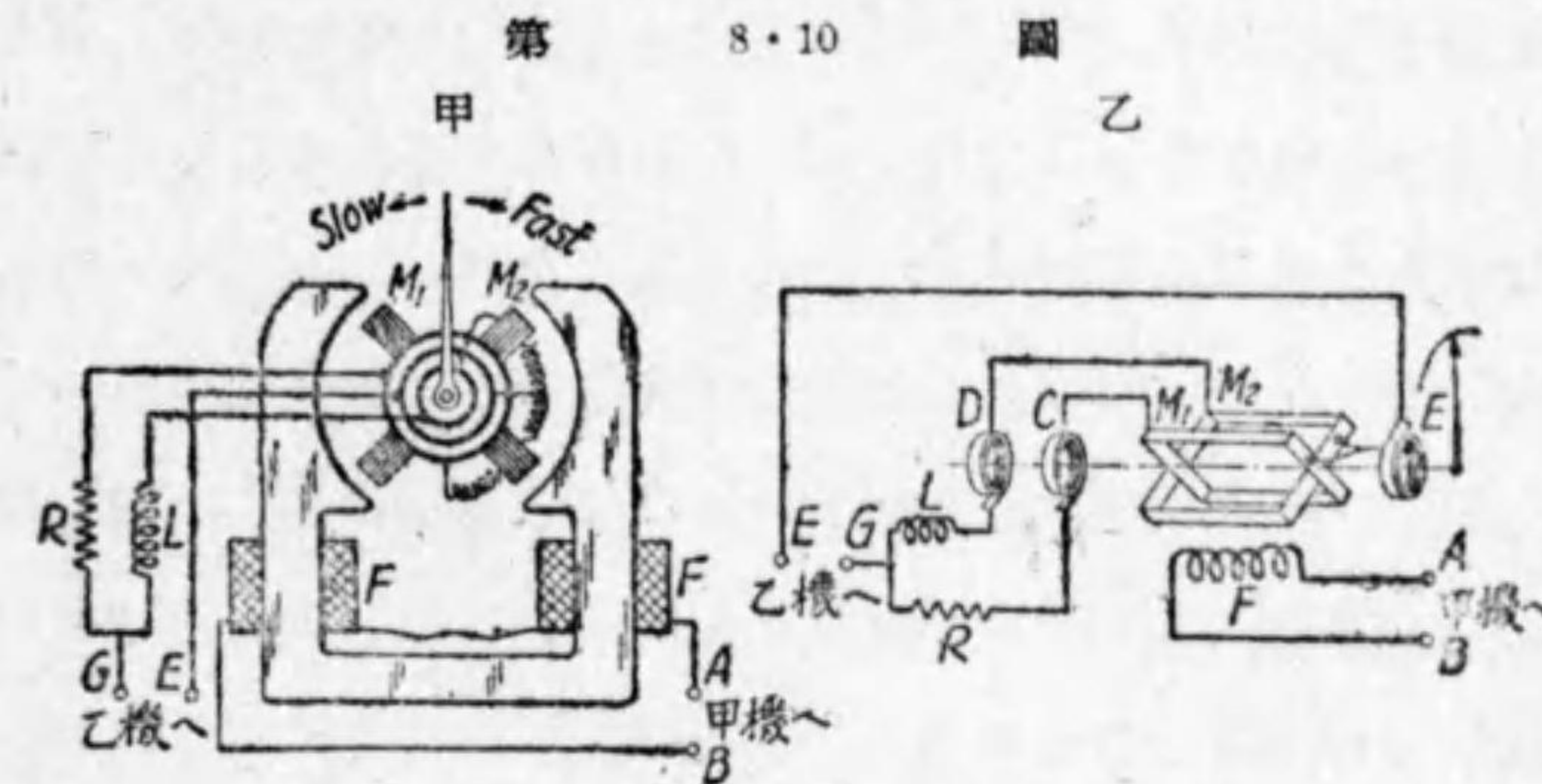
三相同期検定燈説明圖

クトルは丙圖に示す様になり、 $E_1=0$ 、 E_2 、 E_3 の値は線間電圧 E' に等しい。即ち L_1 は消え、 L_2 、 L_3 は $E'=\sqrt{3}E_0$ なる線間電圧を受けて同等に明るいのであるから、此の場合に第 7・8 圖の主開閉器を閉ぢればよい。

若し兩發電機が周波數等しくて位相が違ふ場合例へば、乙發電機が甲發電機より δ だけ位相が進んで居る場合は丁圖に示すベクトル關係を得る。此の場合は L_1 は點火し、 L_2 は前より薄暗くなり、 L_3 は前より増して明るくなる。

若し又兩機の周波數が違つて、例へば乙發電機が甲發電機より同轉が速過ぎる場合は、丁圖の δ が時と共に變はる。即ち丙圖のやうに位相が一致して居た瞬時（即ち $\delta=0$ の瞬時）から次第に δ の値が増して行くから、 E_1 は零より次第に増し、 E_2 は E' より次第に減じ、 E_3 は E' より次第に大になる。従つて此の場合に電燈は L_1 、 L_2 、 L_3 の順序に點滅を繰り返へす。反對に若し乙機が甲機より速度が遅過ぎると電燈點滅の順序は L_1 、 L_3 、 L_2 、 L_1 、 L_3 、 L_2 になる。即ち電燈の點滅の順逆により乙機の速い遅いが判る譯である。又電燈の明滅の速さが速い程甲乙兩機の周波數の差の大きな事を意味し、明滅の速さの緩慢な程兩機の周波數が近づいて居る事を意味する。要するに L_1 が消えて L_2 、 L_3 が同一光力である場合に兩機は同期であるから此の時に乙機の主開閉器を閉ぢればよい。

(□)指針型同期檢定器 第 8・10 圖甲は此の原理を示すもので、これは根本原理に於ては單相力率計と同様である。 F は成



同 期 檢 定 器 の 原 理

層鐵心に巻かれた固定線輪で、その端子 AB を既に運轉中である發電機（甲）又は母線に接續する。 M_1 、 M_2 は可動線輪で、これは球軸受の中で自由に回轉し得る心棒に取付けられ、電流は同一軸に取付けられた三つの集電環 C 、 D 、 E 及び之等に接する刷子から導かれる。乙圖は之を判り易くした接續圖である。 M_1 には抵抗 R を直列に、又 M_2 にはインダクタンス L が直列に接續され、之等が並列に接續されてその GE 端子が並行運轉をせんとする交流機乙に結ばれる。

單相力率計の原理と同様に、固定線輪 F の作る交番磁界と可動線輪の作る回轉磁界との作用により動作するものである。故に甲乙兩機の周波數が等しければ單相力率計と全く同様に、

可動線輪は兩機の電壓間の相差に應じた或る一定の位置を取つて靜止する。従つて今兩機の周波數が相等しく且つ位相が一致して居る場合即ち同期である場合に、指針が直立の位置を取る様に指針を軸に取付けて置けば、**指針が此の直立の位置で靜止した場合は甲乙兩機の同期**になつたことを示し得る譯である。

若し指針が此の直立以外の他の位置即ち右又は左に傾いて靜止して居る場合は甲、乙兩機の間には周波數は等しいが位相は一致して居ない事が判る。而して指針が右に傾いて居る時乙機が甲機より位相が進んで居るとすれば、反對に指針が左に傾いて居る時は乙機が甲機より位相が遅れて居る事を意味するのである。若し又周波數が等しく無ければ、甲乙兩機の位相は時々刻々と變はつて行くので、之に應じて可動線輪は位置を變じて行くから軸の周りに回轉する譯である。若し指針の回轉が時計式方向の時乙機が速度が速過ぎるならば、反對に指針が反時計式方向に回轉する場合は乙機が速度が遅過ぎる事を意味する。而して兩機の周波數の差が大きくな程、指針の回轉速度も大で、周波數の差が小さな程、指針の回轉速度も小になる。

要するに、乙機を調整して、檢定器の指針の回轉が次第に小になれば、甲乙兩機の周波數が近づいて來た事になり指針が右又は左の或る位置に靜止して居る時は周波數は一致したが兩機の間には相差がある事になり、指針が直立して居れば兩

機は同期になつたことを示すのである。

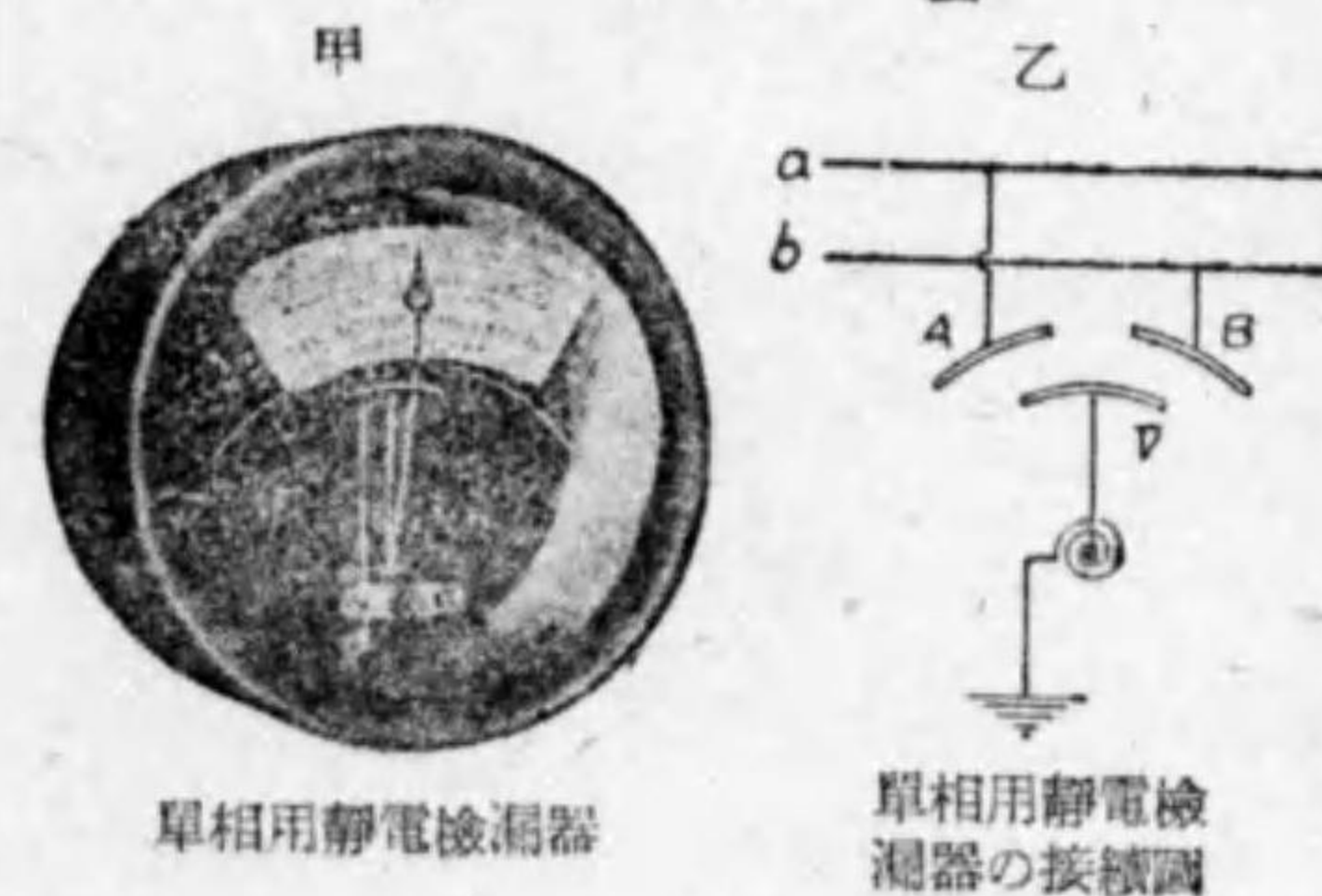
5. 靜電檢漏器 電線路の絶縁が悪くなつて漏電のある場合には送電する譯に行かないから、此の漏電を検する檢漏器が必要である。茲に高電壓回路に用ひられる靜電電壓計と同様な原理を用ひた**靜電檢漏器**を二三説明しよう。

第 8・11 圖甲及び乙は單相用檢漏器の一例を示す。A、B は二枚の固定アルミニウム片で夫々線路 a、b に接續される。V は可動アルミニウム片で、之を大地に接續する。固定と可動片間の吸引力は其の間の電壓の自乗に比例する。従つて a、b 線から大地に漏電がない場合は、a と大地間の電壓は b と大地間の電壓と等しく、

AV 間の引力と BV 間の引力とは等しいから可動片 V は圖に示す中央の位置に靜止して居る。若し a 線に漏電があると、

AV 間の電壓が低く、BV 間の電壓が高くなるから、A の V を吸引する力よりは B の V を吸引する力が大となり可動片 V は右側に傾く。反對に b 線の絶縁が悪い場合は V は左側に傾

第 8・11 圖



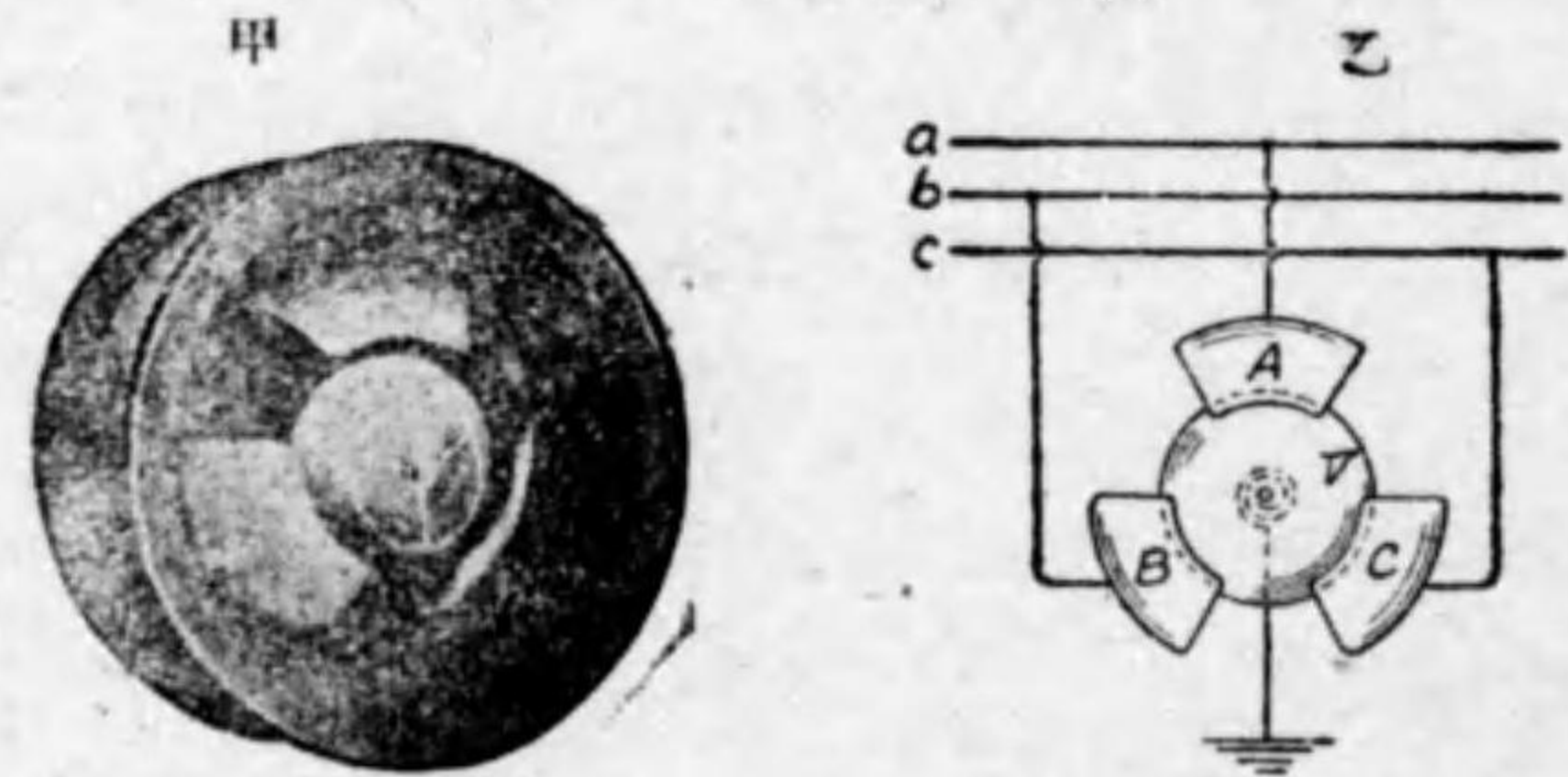
單相用靜電檢漏器

單相用靜電檢漏器の接續圖

く。可動片 V の軸には指針が取付けられ、之に對して目盛盤があるから、その指針の傾斜によつて a, b , 何れの線に漏電があるかが判るのである。

第 8・12 圖甲及び乙は三相檢漏器の一例で、 A, B, C 三個の固定金屬片が夫々三相式三線 a, b, c に接續され、之に對し接地された可動金屬片 V が裝置されて居る。各線の絶縁が等しい

第 8・12 圖



三相用靜電檢漏器

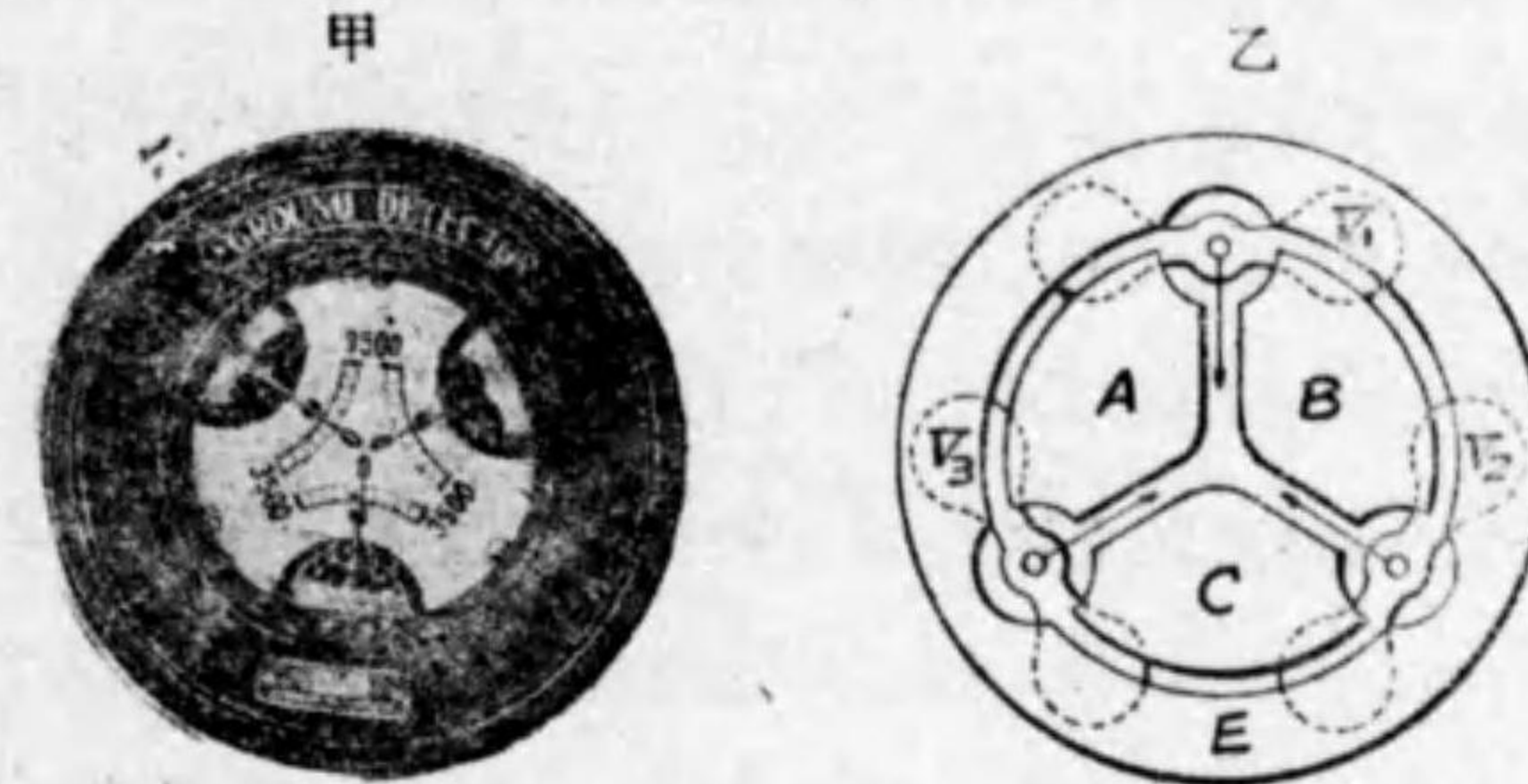
三相用靜電檢漏器の接續圖

時には各固定片と可動片との間の吸引力は等しいから V は中央にあるが、一線 a の絶縁が悪い場合には、 AV 間の電圧小、 BV, CV 間の電圧大となり従つて V は A を遠ざかり BC の中間に傾くのである。

第 8・13 圖甲乙は三相檢漏器の他の例を示すもので、 A, B, C は三個の固定金屬板で、圖には示してないが夫々三線 a, b, c に接續する。別に各象限の周圍に一個の環狀片 E を置き之を接地し、各固定象限の中間に在る可動片 V_1, V_2, V_3 も E と共に

接地される。各線 a, b, c の絶縁が等しい場合は、各可動片と固

第 8・13 圖



三相檢漏器

定片間の電圧等しく従つて可動片の指針は圖に示す様に静止して居るが、若し a 線の絶縁が悪くなると、 AV_1 間、 AV_2 間の電圧小、 BV_1 間、 CV_2 間の電圧大となるため V_1 は B に吸引され、 V_2 は C に吸引され、 V_1, V_2 の指針は A 側へ傾くのである。

以上何れも回路の電圧に應じて適當な蓄電器を線と固定板間に接續してある。

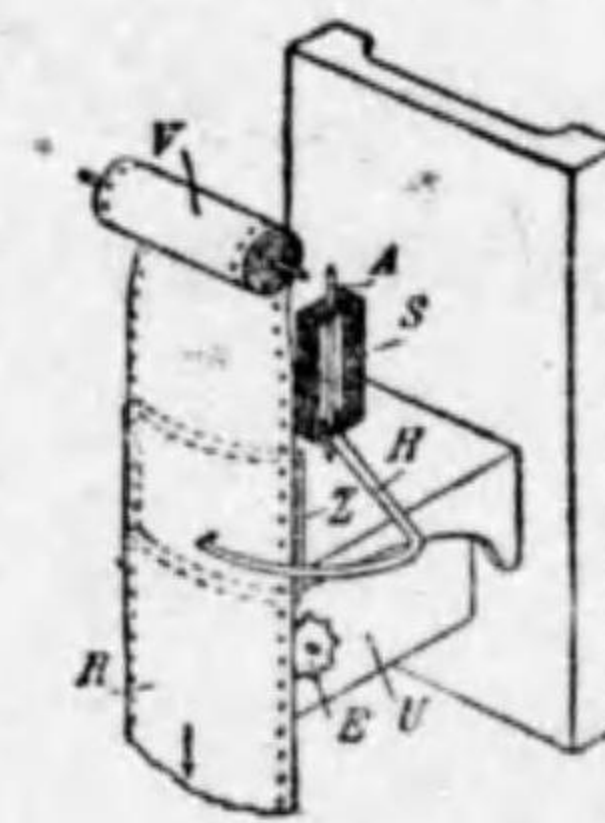
6. 記録計器 或る期間中の發電機の運轉状態を調査したりする様な場合には、指示計器によつて電圧、電流、電力、力率、周波數等を十五分毎又は三十分毎に記入した日誌に依る丈では不充分であつて、絶えず之等の電氣値を記録する計器即ち記録計器が必要になる。記録計器は圖が残るので圖示計器と

も稱する。

記録計器の動作の主要部は今迄述べた諸種の指示計器と同一原理で作られるが、此の外に時計仕掛により一定速度で動きつつある圖紙上に電気値を記録する記録装置が必要である。記録計器は記録装置の種類によつて、(a)記録用ペンを計器の指針の一端に取付け圖紙上に曲線を圖示する**直動記録計器**、(b)記録用針を指針に取付け、針が一定の時間毎(例へば15秒とか又は30秒毎)に圖紙に接觸して點を畫かせる**間歇記録計器**、(c)指針は圖紙に接觸せず、指針と圖紙の下部の導體間に火花を放電させて曲線を記録する**火花式計器**、(d)別の補助電源により働く繼電器によつて記録用ペンを動作させる**繼電器型記録計器**等がある。此の内(a)はペンが常に圖紙と接觸して居る爲に摩擦があるから計器主要部のトルクを大にしなければならぬから(b)、(c)、(d)に比して誤差が大である。茲には(イ)直動記録計器と(ロ)繼電器型記録計器とを説明しよう。

(イ)直動記録計器 普通の指示計器回轉軸に記録用ペンを取付けると簡単に記録計器を作り得る譯であるが、その儘ではペンが圓弧運動をするから、圖紙上の記録曲線から簡単に平均値等を求める事が出来ない。依つて時間に對し被測値が直角座標式の記録計器が望ましいのである。第8・14圖甲は直角座標式の記録計器の記録装置の原理を示すものである。圖紙Rを卷

第 8・14 圖 甲



記録計器の原理

筒Vから垂直に下方へ時計仕掛U及びEに依り移動させておき、その途中に計器の回轉部分Sの回轉軸Aを中心とした圓筒Z片を置いて之に接する部分の圖紙を圓筒状とし、アルミニウム製の鈎形指針Hを運動させたものである。乙圖は此の原理

による記録電力計を示す。鈎形指針の下方に記録用ペンを取付けてある故に下方に動く圖紙上に電力曲線を畫く。又鈎形指針の上方には指針が取付けられ、之に對し目盛盤を有する故、之により電力を示すのである。

第 8・14 圖 乙



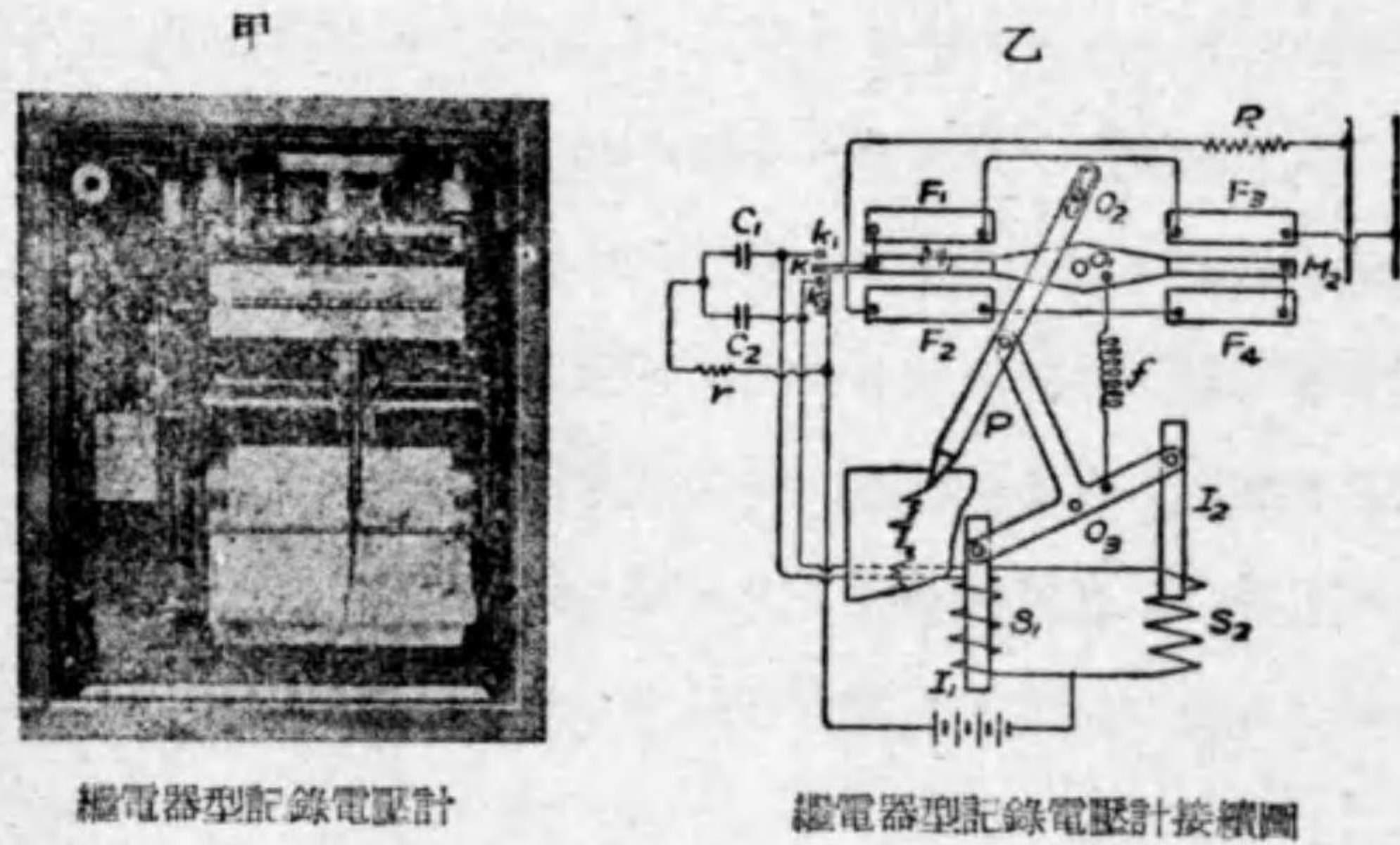
記録電力計

(ロ)繼電器型記録計器 之は記録用ペンと圖紙との間の摩擦により生ずべき誤差を除く爲に、他の補助電源からエネルギーを供給して繼電器を以てペンを動作させ、計器自身の消費電力を軽減させる方法である。

第8・15圖は繼電器型記録電壓計を示すものである。之は計器の主要な驅動トルクは電流力作用を應用したものである。 F_1, F_2, F_3, F_4 は四個の固定線輪で、又 M_1, M_2 は機械的に連結された二個の可動線輪で O_1 點で支持せられて居る。之等六

個の線輪は直列に接続され直列抵抗 R を接続し、回路の電圧を與へる。 k は可動部分に取付けられた接觸片で、其の上下に k_1 及び k_2 なる接點がある。 S_1 及び S_2 は記録用ペン P を動作

第 8・15 圖



繼電器型記録電圧計

繼電器型記録電圧計接続圖

させる筒線輪で夫々 k_1 及び k_2 に接続せられ、各 I_1 及び I_2 なる鐵心を有する。 O_2 は P の支持點、 O_3 は鐵心 I_1 及び I_2 の支持點で共に固定されて居る。 f は制御バネである。繼電器回路中の抵抗 r 及び蓄電器 C_1 及び C_2 は接點 k_1 及び k_2 に生ずべき火花を防止する爲のものである。

計器に電圧を與へない時は P は左端に在つて零を示して可動部 $M_1 M_2$ は水平になつて居るが、電圧を與へると線輪に電流通じ電流力作用により M_1 は F_2 に吸引され F_1 に拒斥され、又 M_2 は F_3 に吸引され F_4 に拒斥されて結局可動部分は電壓

の自乗に比例するトルクにより O_1 の周りに反時計式に傾斜し k_2 間の接觸を生ずる。故に S_2 が繼電器回路に入り I_2 を吸引して P の端を右方に動かす。此の時 I_1 が S_2 に吸引されるに従ひバネ f の制御力が増して來て、遂に此の制御力と $M_1 M_2$ に働く駆動トルクとが平衡する迄 P は右方に動き、 k_2 の接觸が離れる。電圧が一定であればペン P は其の位置に在るが、若し電圧が之より大になると、又駆動トルクが f の前の制御トルクより大になる爲に、又 k_2 の接觸となり S_2 の作用により I_2 を更に吸引し、 P の端は更に右方へ動き、 f の制御力が増し遂に平衡した位置にペンも止まる。若し又電圧が前よりも減じた場合には、 $M_1 M_2$ に働く駆動トルクが前より減じ前の制御力よりも小になるため、 $M_1 M_2$ は O_1 の周りに時計式に廻り k_1 間の接觸を生じ、繼電器回路では S_1 に電流通じ I_1 を吸引し、 P を左方に移動させる。此の場合 f の制御力は次第に減ずるから、之が丁度此の場合の駆動トルクと平衡して k_1 の接觸が離れ P は此の場合の位置に止まる。圖紙は下方へ一定速度で動きつゝあるから、ペンの電圧に應じた左右運動と相まつて圖紙上には直角座標式に電壓の曲線が記録されるのである。

復習問題 VIII

1. 單相力率計の一を説明せよ。

2. 三相平衡負荷用力率計の構造並に原理を記せ。
3. 三相不平衡負荷の力率は如何にして測定されるや。
4. 振動型周波計の構造及び原理を述べよ。
5. 電流力計型周波計とは如何なるものか。
6. 三相式電燈同期検定装置の接続を圖示せよ。
7. 三相式電燈同期検定装置で次に答へよ。
 - イ 兩式の周波数の相違の程度は如何にして判断するや。
 - ロ 同期に入らんとする機が速すぎるか遅すぎるかはどうして知られるか。
 - ハ 丁度同期の状態はどうして知るか。
8. 指針型同期検定器の一を説明せよ。
9. 椀形三相式靜電檢漏器(第 8・13 圖)の構造を述べ、一相に漏電した場合二相及び三相に漏電した場合には如何にしてそれがわかるかを示せ。
10. 第 8・13 圖の指針型靜電檢漏器で A 相のみ、A 相と B 相並に A, B, C 三相共に漏電を生じた場合の指針の動作を述べよ。
11. 直動記録計器の構造及び動作を示し、且つ其の缺點を挙げよ。
12. 繼電器型記録計器の一に就き説明せよ。
13. 直角座標式の記録計器とは何ぞや。何故それが望ましいのであるか。

第九章 積算計器

1. 積算計器 積算計器とは電流、電力、無効電力等の電氣諸量の一定期間の積算量即ち電量、電力量、無効電力量等を測定する計器の總稱で、之に積算電流計、積算電力計、積算無効電力計等がある。

積算電流計は蓄電池の充放電又は電氣化學工業で一定期間中使用された電量を測るに用ひられ、之を電量計又はアンペア時計とも稱する。

積算電力計は電燈、電熱、電動機等に一定期間使用された電力量を積算計量するもので一名ワット時計とも稱する。各家庭で電力量を測つて居る所謂メートルなるものが之である。

力率を加味した商取引に無効電力量を測つて料金を計算する場合がある、かかる場合に使用するのが**積算無効電力計**である。

2. 積算計器の構成要素 積算計器は驅動裝置、制御裝置、及び計量裝置との三要素から成る。**驅動裝置**としては、積算電流計ならば電流に、積算電力計ならば電力に又積算無効電力計ならば無効電力に比例するトルクを生ずる回轉子を用ひる。**制御裝置**としては回轉軸に付けられた導體圓板に永久磁石

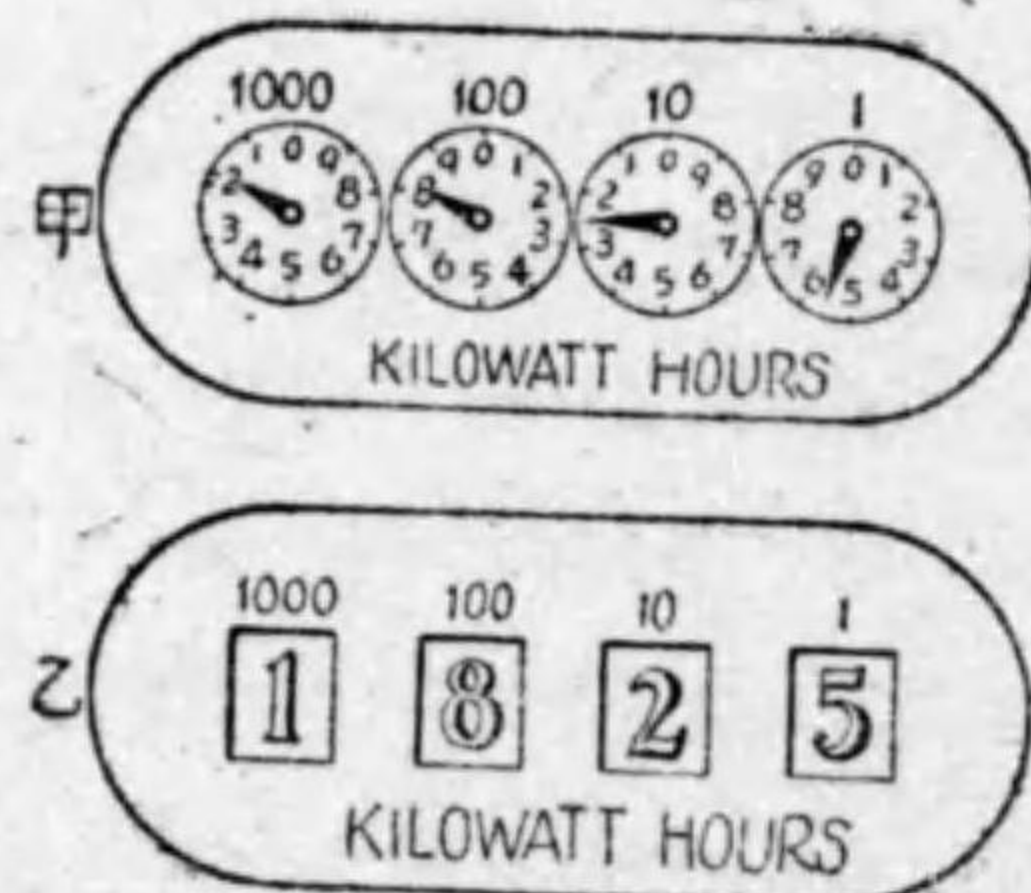
(之を一名制動磁石とも云ふ)を以て渦流を生ぜしめ、回轉速度に比例する制御力を生ぜしめる方法を用ひる。従つて圓板速度は各計器に於いて夫々電流、電力、無効電力に比例する。故に一定期間中の回轉子の回轉數は夫々各計器で電量、電力量、無効電力量に比例する。従つて回轉軸に一聯の齒車裝置を設けておけばその回轉數より夫々電量、電力量、又は無効電力量を測定し得る譯けである。此の一聯の齒車裝置を計量裝置と云ふ。

第 9・1 圖は積算電力計の計量裝置の計量盤を示す。之には

甲に示す指針型と、乙に示す現字型とがある。指針型では相隣る指針の内下位の右方のものが 10 回轉する間に上位の左方の指針が反對方向に一回轉する。現字型では計量盤の窓から數字車上の數字が現はれるので

讀取りが樂である。之等の計量盤によつて或る月中の電力量を讀取るには、その月の終りの讀から先月の讀を差引けばよい。本章では最も必要な積算電力計を主として説明し、其の他の積算計器に就ては簡単に説明する。

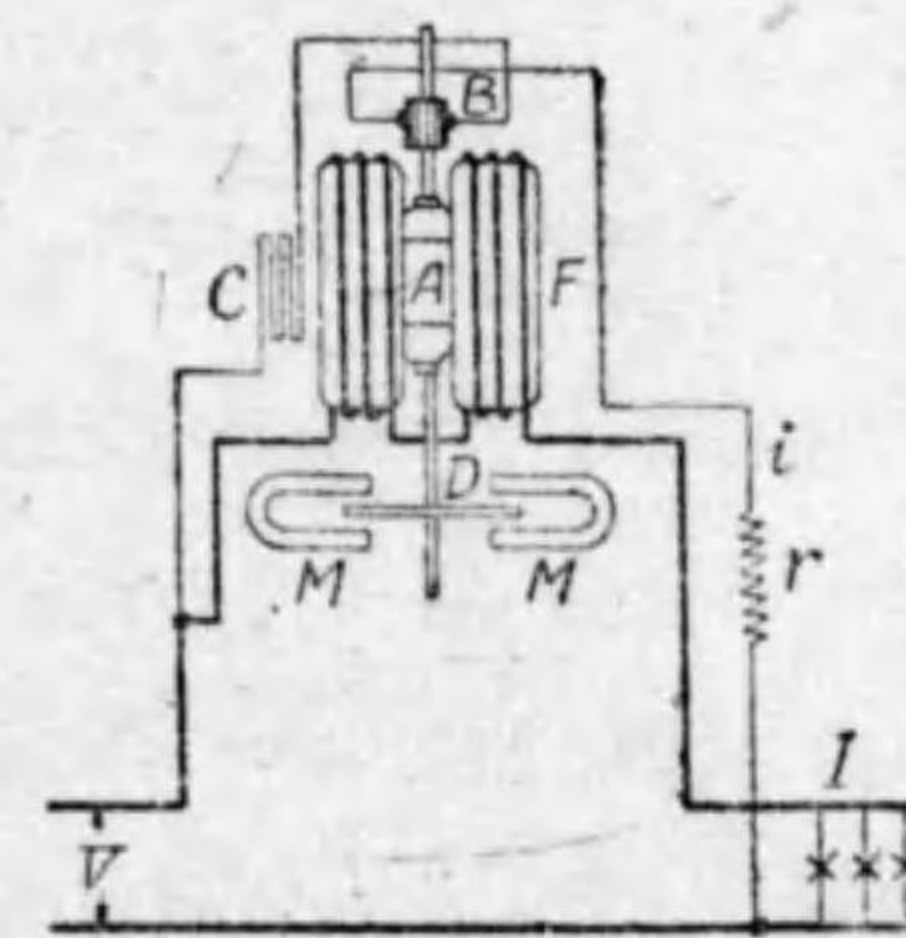
第 9・1 圖



計 量 盤

3. 直流用整流子電動機型積算電力計 第 9・2 圖は直流用整流子電動機型積算電力計の構造を示す。之は電流力計型計器で同型電力計と根本原理は同一である。

第 9・2 圖



整流子電動機型積算電力計接線圖

F は電流線輪で電動機の界磁を成して居る。 A は電壓線輪で電動機の電機子を成し、 B は整流子及び刷子、 r は直列抵抗である。 F 及び A は鐵を含んで居ない。 D は電機子軸に取付けられたアルミニウム圓板で、 M は制動磁石である。

圓板の回轉は軸から計量裝置に傳へられる。

先づ負荷の小さな場合を考へるに、電機子は A, F 兩線輪に通ずる電流の相乘積従つて電力に比例する驅動トルクを生ずる。今電壓を V 、電流を I とすれば、驅動トルク T_d は、電流力計型電力計の場合と同理により、

$$T_d = k_1 VI$$

電機子が此のトルクによつて回轉すると、圓板 D は制動磁石 M により制動される。この制御トルクは圓板の速度 n に比例する。又圓板の回轉に抗するトルクの外に計量裝置並に軸受の摩

擦トルクがある。此の摩擦トルクは圓板の速度には殆ど無関係で一定である。即ち駆動トルクに反抗するトルクは、

$$\text{制御トルク } T_b = k_2 n \quad \text{及び} \quad \text{摩擦トルク } T_f$$

で、圓板が一定の速度で回轉する場合には、

$$T_d = T_b + T_f$$

$$\therefore k_1 VI = k_2 n + T_f$$

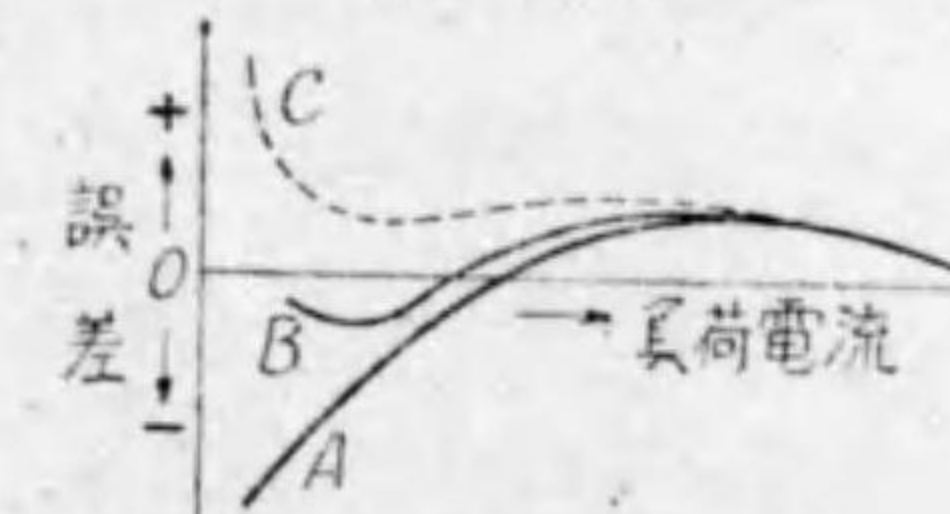
$$\therefore n = \frac{k_1 VI - T_f}{k_2}$$

即ち圓板の回轉速度は電力に比例する値よりも $\frac{T_f}{k_2}$ なる一定値だけ少くなる。さうして、負荷が大きな場合は T_f の影響は小であるが、負荷が小なる程 T_f の影響が大で、計量に大きな誤差を生ずる。此の摩擦トルク T_f を補償する爲には、電圧線輪回路に C なる線輪を設け、之による磁界と電機子とによつてトルク T_c を生ぜしめ、その T_c 値を丁度摩擦トルク T_f と等しくなる様にして置く。従つて此の場合のトルクの平衡式は、 $T_d + T_c = k_2 n + T_f$ となり、 $T_c = T_f$ なる故、 $k_1 VI = k_2 n$ となつて、回轉軸の速度に比例し、計器は電力量を計量する事となる。此の C 線輪を**軽負荷補償装置**又は**摩擦補償線輪**と稱する。

次に負荷電流が大きな場合を考へるに、電機子の逆起電力は、電機子の回轉速度 n と電流線輪 F の電流との相乗積に比例するから、負荷が大きな程逆起電力の影響は大になつて來る。何故ならば軸の回轉速度は略ぼ負荷に比例するから、一定電壓で

は逆起電力は略ぼ負荷電流の自乗に比例する。従つて負荷が大きな程電壓は一定でも電機子電流は減じて、駆動トルクは幾分減じ回轉速度は電力に比例する値より幾分少くなる譯である。従つて重負荷でも計量に誤差を生ずる事になる。然し乍ら實際の計器では此の影響は閑却し得る程小さなものである。

第 9・3 圖



電動機型積算電力計の負荷特性曲線

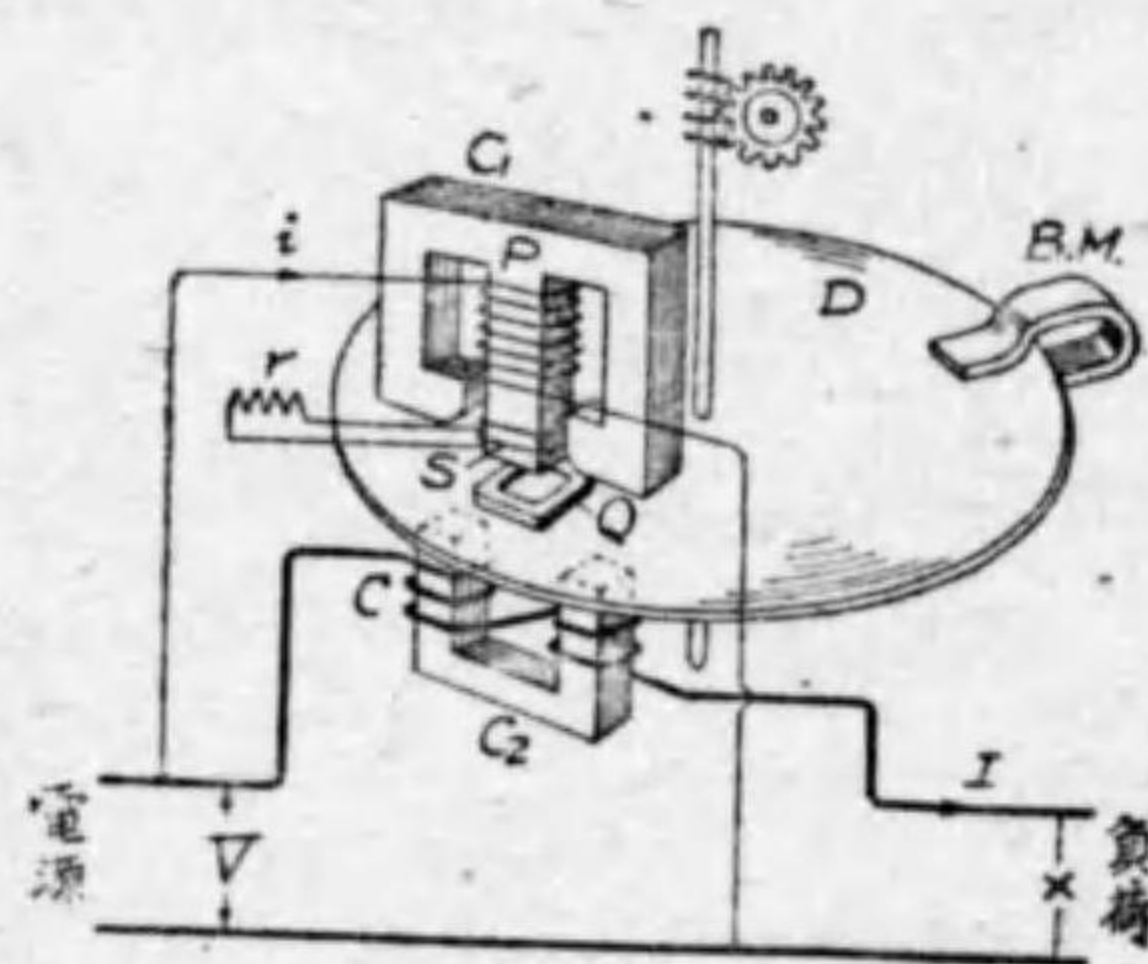
第 9・3 圖は此の計器の負荷電流に対する誤差を示すものである。曲線 A は軽負荷調整装置を装置しない場合の負荷特性曲線であつて、軽負荷で誤差が非常に大である。若し軽負荷調整装置を適當に調整して置けば、曲線 B の様に軽負荷での誤差を小にする事が出来る。若し又軽負荷調整装置の作用が過大になると ($T_c > T_f$) 曲線 C に示す様な特性となり、計器は無負荷でも圓板が回轉する事になる。此の無負荷の場合に圓板の回轉する事を**潜動**と稱する。無負荷でも計量すると云ふ事は無意味であるから、此の潜動を生ぜしめない様にする爲に圓板 D に小鐵片を取付け、之と永久磁石との吸引力作用によつて潜動を防止させるのである。

此の計器は電流力作用を應用したものであるから地球磁界の影響を受ける。又整流子及び刷子を有するため、之が故障の原因ともなる缺點を有する譯である。此の計器は規定周波數の下

調整されたものならば交流用ともなる譯であるが、直流用として専ら用ひられるので、交流用としては次節に述べる構造形式で價格低廉なる誘導型計器が廣く用いられる。

4. 交流用誘導型積算電力計 現今交流用積算電力計として用ひられるものは専ら此の誘導型に限られて居る。第9・4

第 9・4 圖甲



誘導型積算電力計の略圖

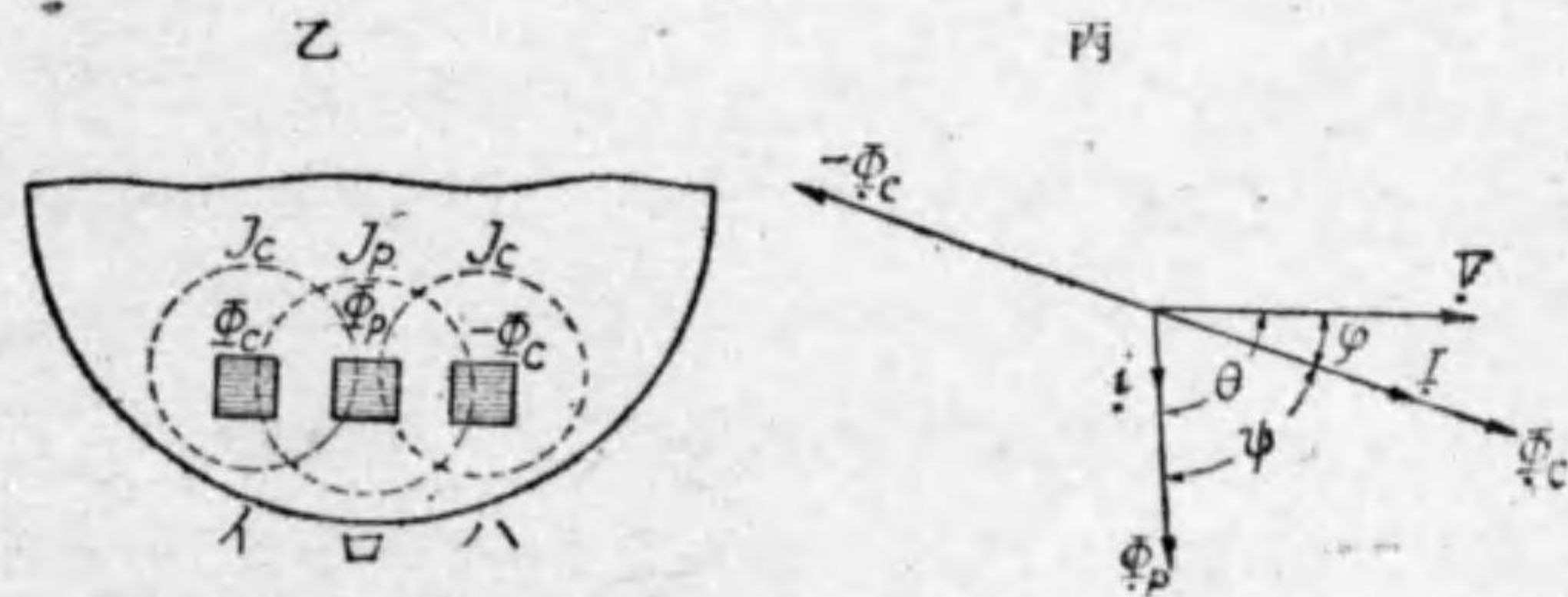
圖甲は誘導型積算電力計の略圖である。Pは電圧線輪で成層鐵心 C_1 に巻かれ、Cは電流線輪で成層鐵心 C_2 に巻かれて居る。Dはアルミニウム圓板で、B.M.は制動磁石である。Sは位相調整線輪で之に抵抗 r が接続されて居る。Qは輕負荷調整装置と稱せられるもので、短絡金屬環を電壓磁極の下に装置される。

電圧線輪の生ずる磁束は大部分 C_1 の磁路を通り一部分は乙圖の圓板 D のロの位置を貫く。此の圓板を通過する部分の磁束がトルクを生ずる有効な磁束で、之を電壓磁束と稱し ϕ_v で表す。又電流線輪によつて生じ圓板を貫く磁束を電流磁束と稱

圖甲は誘導型積算電力計の略圖である。Pは電圧線輪で成層鐵心 C_1 に巻かれ、Cは電流線輪で成層鐵心 C_2 に巻かれて居る。Dはアルミニウム圓板で、B.M.は制動磁石である。Sは位相調整線輪で之に抵抗 r が接続されて居る。Qは輕負荷調整装置と稱せられるもので、短絡金屬環を電壓磁極の下に装置される。

し之を ϕ_c で表す。此の電流磁束は圓板をイの位置で貫きハの位置で貫き歸へる。従つて圓板に就て考へれば、イ、ハを貫く磁束は一方向例へば下より上へ貫く磁束として考へれば、イ、ハの磁束は180度の相違がある譯で、イの磁束を ϕ_c とすればハの磁束は $-\phi_c$ と考へられる。負荷電流 I が電圧より ϕ だけ遅れ居る場合を考へるに、電流磁束 ϕ_c は殆ど I と同相に生じ、又電圧線輪のインダクタンス大なるため電圧線輪電流 i は電圧

第 9・4 圖



磁束、電壓、電流の關係

Vから殆ど 90 度近く遅れ従つて電圧磁束 ϕ_v も Vから θ だけ遅れる。丙圖は電壓、電流、磁束のベクトルを示す。乙丙兩圖より明かな様に圓板を貫く磁束の相順はイ、ロ、ハの順序になる。即ち圓板の在る空隙ではイ、ロ、ハの順序に移動する一つの移動磁界が生ずる。故に圓板は移動磁界の移動する方向にトルクを受ける。

圓板に作用する驅動トルクの式は誘導型電流計電力計等の場合

と同様に導き出される。即ち電流磁束によつて生ずる渦流 J_c と電圧磁束 ϕ_p との電磁力によるトルクと、電圧磁束によつて生ずる渦流 J_p と電流磁束 ϕ_c との電磁力によるトルクとの合成トルクが駆動トルクであるから、同型の電流計等の場合の結果を用ひて、周波数一定の場合の駆動トルク T_d は、圓板を貫く磁束 ϕ_p 、 ϕ_c 及びその相差角 ψ の正弦に比例する。即ち

$$T_d = k \phi_p \phi_c \sin \psi = k \phi_p \phi_c \sin (\theta - \varphi)$$

然るに、 ϕ_p は電圧 V に、又 ϕ_c は電流 I に比例するから

$$T_d = k_1 V I \sin (\theta - \varphi)$$

静止して居た圓板が此のトルクを受けて回轉すると、制動磁石 $B.M.$ の制御トルク T が働くから、此の外に作用する逆トルク（摩擦トルク、電圧磁束及び電流磁束による制御トルク等）を無視すれば、圓板は $T_d = T$ なるトルクの平衡の下で一定速度で回轉して居る譯である。此の時の回轉速度を n とすれば、 $T = k_2 n$ であるから、

$$k_1 V I \sin (\theta - \varphi) = k_2 n$$

$$\therefore n = \frac{k_1}{k_2} V I \sin (\theta - \varphi) = K V I \sin (\theta - \varphi)$$

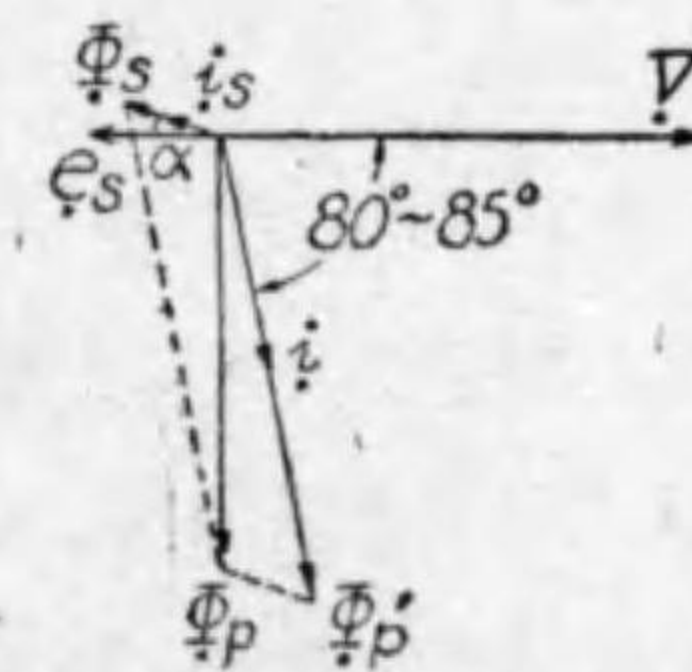
然るに、積算電力計として造るには、 n は電力 ($V I \cos \varphi$) に比例させる必要がある。即ち $\sin (\theta - \varphi) = \cos \varphi$ が必要である。

$$\therefore \theta = 90^\circ$$

即ち電圧磁束 ϕ_p は電圧 V より 90 度遅れさせる必要がある。

電圧線輪の鐵心に S なる線輪を巻き之に抵抗 r を接続して、此の S 線輪によつて ϕ_p を V より 90 度遅れさせるので、此の S 線輪を位置調整又は位相補償装置と稱する。丁圖は此の原理を示す。電圧線輪電流 i は電圧 V より約 80° 乃至 85° 遅れ、之により圓板を貫く ϕ_p' なる磁束を生ずる。又 S 線輪には e_s なる起電力が誘導され、 i_s なる電流が流れ、之により圓板を貫く磁束 ϕ_p を生ずる。 ϕ_p' と ϕ_p との合成磁束が圓板を通る全磁束 ϕ_p となるのである。 e_s は ϕ_p から 90° 遅れ、 i_s の値及び位相は S 回路の抵抗及びインダクタンスの値により定まるも

第 9.4 圖 丁



S線輪の原理説明圖

のであるから、 S 回路の抵抗 r の値を適當に調整して置けば、 ϕ_p が丁度 V から 90 度遅れる様にする事が出来る。 S 線輪の斯様な位相調整作用を限取効果とも云つて居る（限取効果は、電圧線輪の鐵心に短絡環を設け、之を鐵心上に上下して行ふ法もある）。

次に軸受及び計量装置での摩擦の影響は、前節の直流積算電力計の場合と同様に、此の摩擦の逆トルクは圓板速度に無関係と見做されるから、負荷電流に關係の無い電圧磁束に依つて、摩擦を補償すべき餘分のトルクを生ぜしめる。甲圖の Q なる短絡金屬環は此の摩擦補償装置（一名輕負荷調整装置）を示

す。之も限取効果を利用する。即ち電壓磁束の一部分を Q で

限取つて置けば、 Q を通る磁束 ϕ_{p2}

は他の部分の磁束 ϕ_{p1} より位相が遅

れ、従つて戊圖では、左から右へ移

動磁界を生じ、圓板の回轉方向に餘

分のトルクを生ぜしめて摩擦を補償

させる。此の輕負荷調整を餘りに利

かせ過ぎると、潜動を生ずる。潜動を防止する爲に回轉軸に鐵

片を附し永久磁石との吸引力に依つて潜動を防止したものもある

(又圓板に穴をあけて置けば穴が電壓磁極の下に来て摩擦補

償トルクを減少させる方法もある)。

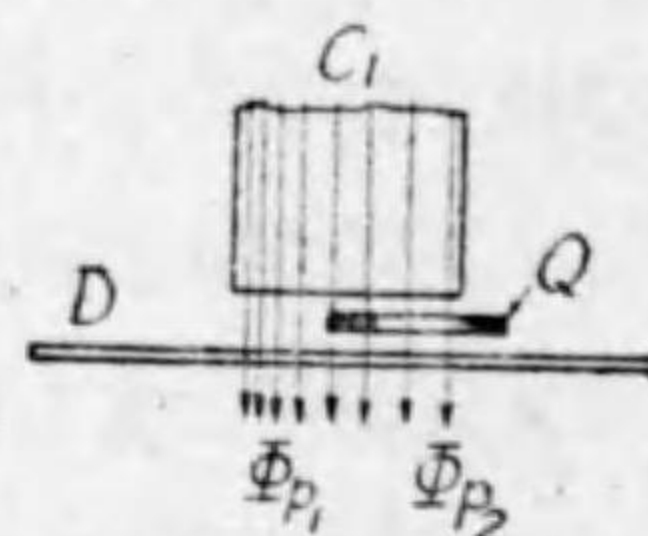
尙ほ圓板が回轉した時には電壓磁束 ϕ_p 及び電流磁束 ϕ_c を

圓板が切る事になるから、之等の磁束に基づく制御トルクも生

ずる。之等は永久磁石による制御トルクに比べて小ではあるが、

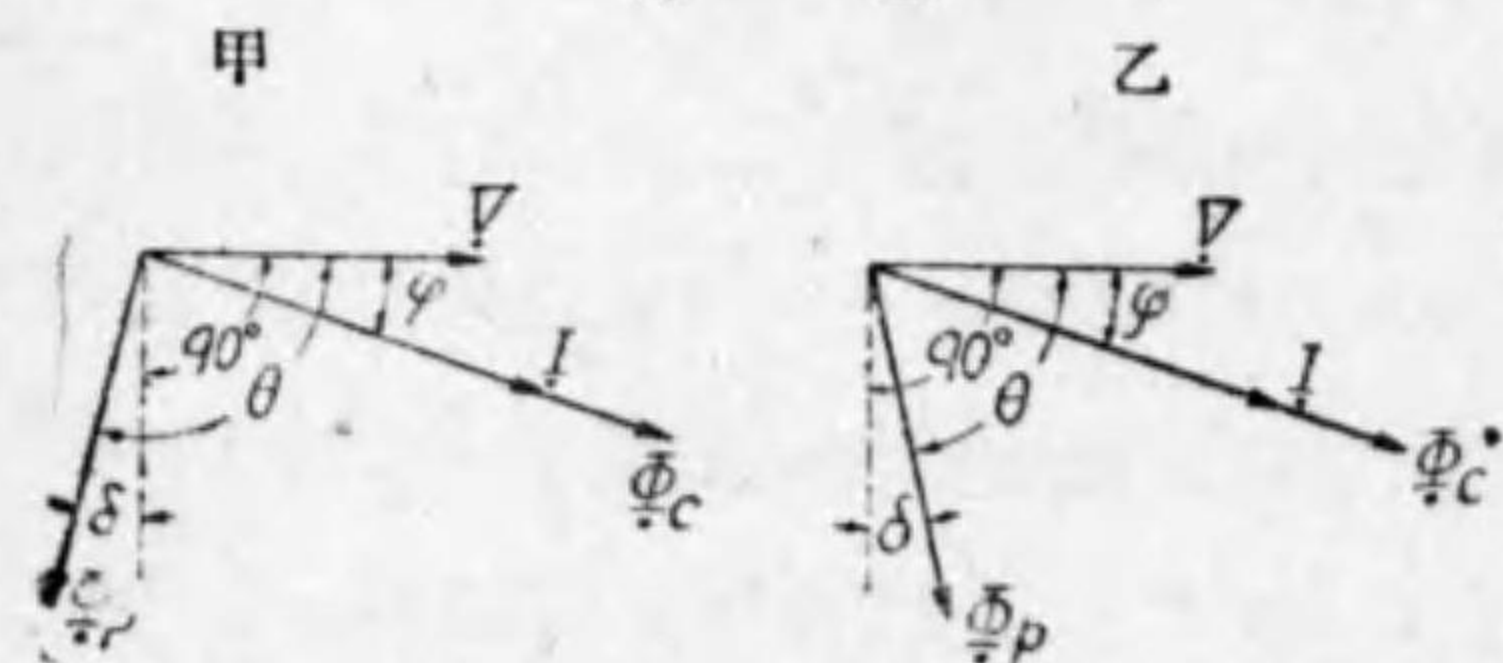
之等は夫々 $\phi_p^2 n$ 、 $\phi_c^2 n$ に比例するから負荷が大きくな程、圓板

第 9.4 圖 戊



摩擦補償装置の説明

第 9.5 圖 *



誘導型積算電力計の位相調整

の回轉速度は負荷

に比例する値より

幾分小になる。重

負荷での調整は圓

板に對する B.M.

の位置を調節して

行ふ。

誘導型積算電力計では、位相調整は最も重要なもので、若し

位相調整が不完全の場合には大きな誤差を生ずるに至るもので

ある。丙圖で θ なる角が 90 度以上の場合を過補償と稱し、 θ

が 90 度以下の場合を不足補償と稱して居る。今第 9.5 圖甲

の様に調整過度の時の圓板速度を n_1 とすれば、

$$n_1 = KVI \sin(90^\circ + \delta - \varphi) = KVI \cos(\varphi - \delta)$$

従つて此の場合の計器の誤差 ϵ_1 は、

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{n_1 - n}{n} = \frac{n_1}{n} - 1 = \frac{KVI \cos(\varphi - \delta)}{KVI \cos \varphi} - 1 = \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \varphi} - 1 \\ &= \frac{\cos \varphi \cos \delta + \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi} - 1 = \cos \delta + \tan \varphi \sin \delta - 1 \end{aligned}$$

$$\approx \tan \varphi \sin \delta \quad [\delta \text{ が小なる程 } \cos \delta \approx 1 \text{ である}]$$

$$\approx \tan \varphi \tan \delta \quad [\delta \text{ が小なる程 } \sin \delta \approx \tan \delta]$$

同様に、乙圖の様に調整不足の時の圓板の速度を n_2 とすれば、

$$n_2 = KVI \sin(90^\circ - \delta' - \varphi) = KVI \cos(\varphi + \delta')$$

此の場合誤差を ϵ_2 とすれば、

$$\epsilon_2 = \frac{n_2 - n}{n} = \frac{\cos(\varphi + \delta')}{\cos \varphi} - 1 = \cos \delta' - \tan \varphi \sin \delta' - 1$$

$$\approx -\tan \varphi \tan \delta'$$

何れの場合でも、力率の小なる程誤差は大となる事は上の ϵ_1, ϵ_2

の二式から明かであらう。