

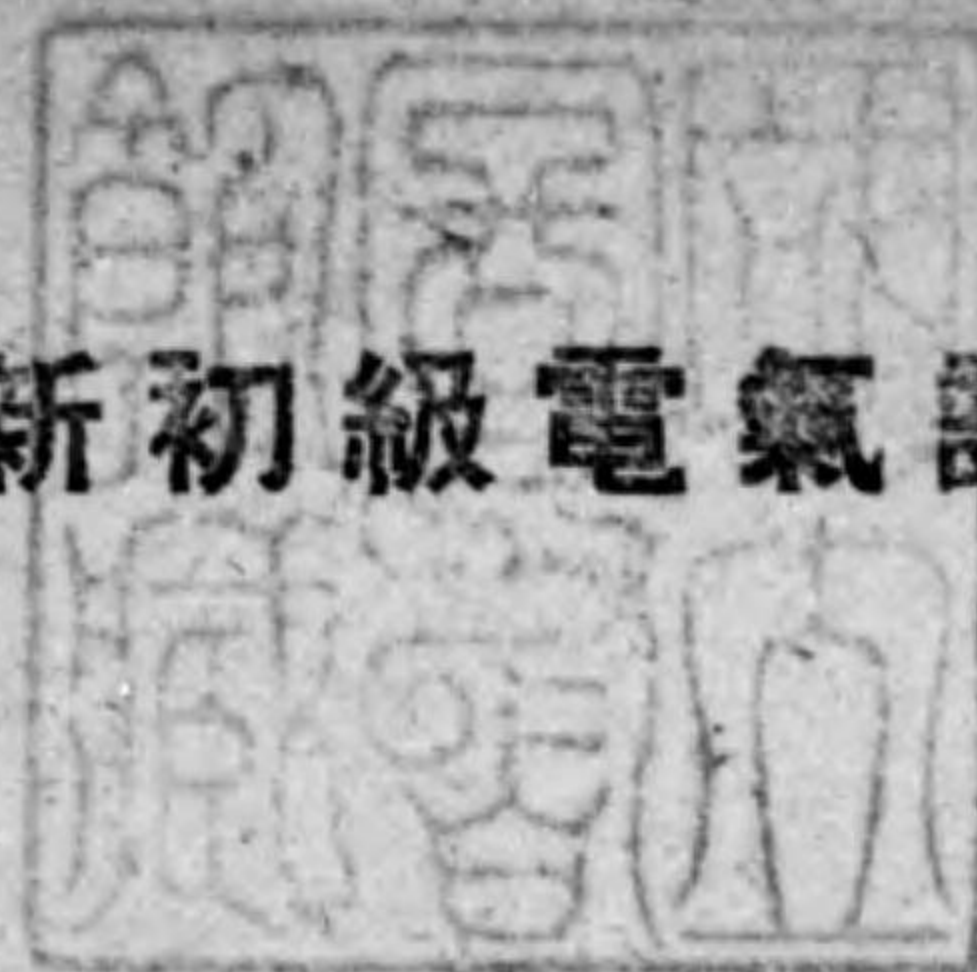
始



541.5

D58

最新初級電氣計測法



電氣技術研究會

著

820

電氣書院

南京

1933

94/
D-1
1



最新初級電氣計測法

目次

本書に講述したる説明圖並説明の轉用は絶対に許容せず

1. 電氣測定の基本常識	3.1 可動線輪型計器30
1.1 測定の意義..... 1	3.1.1 原理及構造.....30
1.2 測定法の分類..... 2	3.1.2 電圧計として使用する場合.....31
1.3 電氣測定の原理..... 4	3.1.3 電流計として使用する場合.....32
1.4 誤差及更正..... 5	3.1.4 温度誤差補償の方法.....33
1.4.1 誤差箇の概要..... 5	3.1.5 可動線輪型の特長.....34
1.4.2 %誤差と%更正..... 7	3.2 可動鐵片型計器34
1.4.3 測定感度と測定精度..... 7	3.2.1 吸引型.....34
1.5 測定工學上に用ふる略算式..... 8	3.2.2 傾斜線輪型.....35
1.6 電氣諸單位.....10	3.2.3 反撥型.....35
1.6.1 C.G.S 電磁單位と靜電單位.....10	3.2.4 理論及特性.....35
1.6.2 實用單位.....11	3.3 電流計型計器37
1.6.3 M.K.S 單位.....12	3.3.1 ケルビンアンペア秤.....37
1.7 二次標準器13	3.3.2 レーメンス電流計.....39
1.7.1 マンガニン線標準抵抗器.....13	3.3.3 直讀式電流計.....39
1.7.2 ウェストン標準電池.....14	3.3.4 電力計として使用する場合.....40
1.7.3 二次標準器の取扱法.....14	3.3.5 電流計型の特性特長その他.....42
1.7.4 自己誘導及相互インダクタンス標準器.....15	3.4 熱型計器42
1.7.5 標準蓄電器.....16	3.4.1 熱線型計器.....42
2. 電氣計器の總説	3.4.2 熱電型計器.....44
2.1 電氣計器の分類.....16	3.4.3 熱型の特性.....45
2.2 電氣計器の主要要素.....21	3.5 靜電型計器45
2.2.1 動作裝置.....21	3.5.1 ケルビン靜電々壓計.....45
2.2.2 制御裝置.....22	3.5.2 ウェスチングハウス靜電電壓計.....46
2.2.3 制動裝置.....23	3.5.3 靜電電壓計の測定範圍の擴大.....46
2.2.4 指示裝置.....25	3.5.4 靜電型の特性.....47
2.3 電氣計器として具備すべき要件と誤差.....28	3.6 誘導型計器48
2.3.1 具備すべき要件.....28	3.6.1 回轉磁界と移動磁界.....48
2.3.2 電氣計器に生ずる誤差.....28	3.6.2 フェーリス型計器.....52
3. 指示計器	3.6.3 移動磁界型計器.....53
	3.6.4 變成器型計器.....53
	3.6.5 誘導型の特性.....54

3.7 整流型計器.....55	3.7.1 酸化銅整流器.....55	3.7.2 整流型計器の接続.....56	3.7.3 整流型の特徴.....56					
3.8 真空管型電圧計.....57	3.8.1 三極真空管の整流作用.....57	3.8.2 陽極整流型真空管型電圧計.....58	3.8.3 格子整流型真空管型電圧計.....58	3.8.4 真空管型の特徴.....59				
4. 特殊指示計器								
4.1 周波計.....59	4.1.1 共振型周波計.....59	4.1.2 誘導型周波計.....60	4.1.3 整流器型周波計.....61	4.1.4 真空管型周波計.....61	4.1.5 各種周波計の特性.....62			
4.2 力率計.....62	4.2.1 単相力率計.....62	4.2.2 平衡回路用三相力率計.....64						
5. 記録計器								
5.1 記録計器の構成要素.....64	5.2 直動記録計器.....65	5.3 間歇記録計器.....66	5.4 繼電器型記録計器.....66					
6. 積算計器								
6.1 一般.....67	6.1.1 分類.....67	6.1.2 一般要素.....68						
6.2 誘導型積算電力計.....68	6.2.1 一般構造及原理.....68	6.2.2 駆動トルク及制御トルク.....71	6.2.3 位相補償装置.....71	6.2.4 軽負荷補償装置.....72	6.2.5 計器定数.....73	6.2.6 計器特性.....73	6.2.7 三相用誘導型積算電力計.....75	6.2.8 積算無効電力計.....76

6.3 水銀電動機型積算電力計及電力計.....77	6.4 整流子電動機型積算電力計.....78
----------------------------	-------------------------

7. 検流計

7.1 検流計一般.....79	7.2 可動磁針検流計.....79	7.2.1 正切検流計.....79	7.2.2 無定位検流計.....80	7.3 可動線輪型検流計.....81	7.3.1 ダルソンベル検流計.....81	7.4 検流計の回轉角度を見る方法.....82	7.4.1 ランプと尺度を使用する方法.....82	7.4.2 尺度と望遠鏡を使用する方法.....82	7.5 検流計の感度.....83	7.5.1 電圧感度.....83	7.5.2 電流感度.....83	7.5.3 メグオーム感度.....83	7.5.4 最小感度.....83	7.6 弾動検流計.....84	7.7 振動検流計.....84	7.8 電話受話器.....85	7.9 熱電検流計.....85	7.10 象限電位計.....86	7.11 分流器.....86	7.11.1 万能分流器.....86	7.11.2 補償型分流器.....87
------------------	--------------------	--------------------	---------------------	---------------------	------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	----------------------	-------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------	-----------------	---------------------	----------------------

8. 電位差計

8.1 電位差計一般.....87	8.2 直流電位差計.....88	8.2.1 原理.....88	8.2.2 實例.....89	8.3 交流電位差計.....91	8.3.1 極座標電位差計.....91	8.3.2 直角座標電位差計.....92	8.3.3 複相交流電位差計.....93	8.4 電位差計の應用.....94	8.4.1 電圧の測定.....94
-------------------	-------------------	-----------------	-----------------	-------------------	----------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------	--------------------

8.4.2 電流の測定.....94	8.4.3 電力の測定.....95	8.4.4 抵抗の比較測定.....95
--------------------	--------------------	----------------------

9. 同期検定器、相回轉表示器、檢漏器及檢電器

9.1 同期検定器.....95	9.1.1 電燈同期検定器.....96	9.1.2 指針型同期検定器.....98	9.2 相回轉表示器.....98	9.3 檢電器.....99	9.3.1 靜電檢漏器.....99	9.3.2 電壓計型檢漏器(電磁型檢漏器).....99	9.4 檢電器.....100
------------------	----------------------	-----------------------	-------------------	----------------	--------------------	------------------------------	-----------------

10. オシログラフ

10.1 オシログラフ一般.....101	10.2 電磁オシログラフ.....101	10.3 靜電オシログラフ.....102	10.4 陰極線オシログラフ.....103
-----------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------

11. 遠隔測定

11.1 遠隔測定方式.....103	11.2 遠隔測定方式の實例.....105
---------------------	------------------------

12. 計器の更正試験

12.1 電圧計及電流計の更正試験.....106	12.2 電力計の更正試験.....107	12.3 積算電力計の試験.....108	12.3.1 誤差試験.....108	12.3.2 計量装置試験.....110	12.3.3 始動電流試験.....110	12.3.4 潜動試験.....111
---------------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------	-----------------------	-----------------------	---------------------

13. 電壓、及電流の測定

13.1 電壓、電流の測定方法一般.....112

13.2 微小電壓及電流の測定.....113	13.3 電池起電力の測定.....114	13.4 中位電壓及電流の測定.....116	13.4.1 倍率器及分流器.....116	13.4.2 計器用變壓器及變流器.....120	13.5 高電壓及大電流の測定.....122	13.5.1 交流電壓及高値の測定.....122	13.5.2 大電流及衝擊電流の測定.....125	13.6 高周波電壓及電流の測定.....125	13.7 閉電路の電流測定.....126
-------------------------	-----------------------	-------------------------	------------------------	---------------------------	-------------------------	---------------------------	----------------------------	--------------------------	-----------------------

14. 電力の測定

14.1 電力測定一般.....127	14.2 微小電力の測定.....128	14.3 直流電力の測定.....129	14.4 單相交流電力の測定.....130	14.4.1 三相電力計法.....130	14.4.2 三電流計法.....131	14.5 多相交流電力の測定.....132	14.5.1 n相回線の電力測定.....132	14.5.2 三相回線の電力測定.....133	14.6 交流無効電力の測定.....136	14.6.1 單相無効電力の測定.....136	14.6.2 三相無効電力の測定.....137	14.7 高周波電力の測定.....137
---------------------	----------------------	----------------------	------------------------	-----------------------	----------------------	------------------------	--------------------------	--------------------------	------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------------------

15. 抵抗の測定

15.1 抵抗測定一般.....138	15.2 中位抵抗の測定.....139	15.2.1 ホイートストンブリッジ.....139	15.2.2 栓型ブリッジと摺動線型ブリッジ.....140	15.2.3 電位差計法.....142	15.2.4 置換法.....142	15.2.5 電圧計、電流計法.....143	15.3 低抵抗の測定.....144	15.3.1 電位差計法.....144	15.3.2 電壓比較法.....144	15.3.3 ホイートストンブリッジ法.....144
---------------------	----------------------	----------------------------	--------------------------------	----------------------	--------------------	-------------------------	---------------------	----------------------	----------------------	-----------------------------

15.3.4	ケルビン・ダブルブリッジ法	146
15.4	高抵抗の測定	146
15.4.1	直偏法	146
15.4.2	漏洩法	146
15.4.3	直偏法に依る絶縁材料固有抵抗の測定	147
15.4.4	絶縁電線絶縁抵抗の測定	147
15.4.5	電阻計法	148
15.5	電解液抵抗の測定	149
15.5.1	コーラウシュブリッジ	149
15.5.2	コーラウシュブリッジに依る電解液固有抵抗の測定	149
15.5.3	ヘンダーソンブリッジに依る電解液固有抵抗の測定	150
15.5.4	置換法に依る電解液の抵抗測定	150
15.5.5	接地抵抗の測定	151
15.6	特殊抵抗の測定	153
15.6.1	検流計内部抵抗の測定	153
15.6.2	電池内部抵抗の測定	155
15.6.3	抵抗の校正及導電率の測定	156
15.7	直讀抵抗測定器	159
15.7.1	ダクタ	159
15.7.2	オーム計	160
15.7.3	メガ	160
15.7.4	ブリッジメガ	161
16. インピーダンスの測定と交流ブリッジ		
16.1	インピーダンスの測定	162
16.2	交流ブリッジの原理	164
16.3	自己インダクタンスの測定	165
16.4	静電容量の測定	166
16.5	相互インダクタンスの測定	166
16.6	周波数の測定	167

16.7	各種の交流ブリッジ	167
17. 磁気測定		
17.1	磁気測定一般	168
17.2	磁界強さの測定	169
17.2.1	磁力計	169
17.2.2	弾動検流計法	170
17.2.3	磁束計法	171
17.3	磁束密度の測定	171
17.3.1	磁束計	171
17.3.2	着鉛測巻	172
17.4	B-H曲線及ヒステリシス環線の測定	172
17.4.1	測定上の心得	172
17.4.2	弾動検流計法(磁束計法)	173
17.4.3	繰繰法	175
17.4.4	導磁率計法	176
17.5	鐵損の測定	177
17.5.1	エプスタイン法	177
17.5.2	交流ブリッジ法	179
17.5.3	鐵損の分類	181
18. 應用測定		
18.1	應用測定一般	182
18.2	温度の測定	183
18.2.1	抵抗温度計	183
18.2.2	熱電温度計	183
18.3	回轉速度の測定	184
18.3.1	發電機法	184
18.3.2	ストロボスコープ法	185
18.3.3	蓄電器充放電法	185
18.4	壓力の測定	186
18.4.1	壓電氣を利用するもの	186
18.4.2	静電容量の變化等を利用するもの	186
18.4.3	炭素板抵抗器によるもの	186
18.5	真空度の測定	186
18.6	流量の測定	187
18.7	瓦斯量の測定	187

最新初級電氣計測法

1. 電氣測定の基礎智識

1.1 測定の意義

えーと、諸君、これから愈々測定工學の講義に入る。元來、此の測と云ふ字はサンズイ扁が示して居るやうに、「水の深さをためしみる」と云ふのが原義に
つたそうだが、夫れから廣く、廣狹、長短、遠近、高低等を計量する意味になつた。測量と云へば、物品又は土地、河海の長短、高低、深淺を調べることであり
測地と云ふと土地の面積、高低等から進んでは地球の形狀、質量、大き等も研究
する。又測定と云ふのははかりさだめることであつて、測量、測地等の手段とな
る方法を指す。分つたかね。……字を見ただけでも夫れ位のことは分るで、何に
例へば、先生の禿頭ヒツに何本毛が残つて居るか、恐らく數本を出でまいが、これを
數へることも測定だらうて、以ての外だ、けしからん、何んたることを云ふか、
けしからん、そんなことは嚴正な意味で測定と云はんぞ、非禮と云ふものだ、即
ちだ、先生の此の數本の美髮と諸君のフケだらけの雜草的存在とは同じ一本でも
斷じて其の内容が違ふ。何に、朝夕、あの位、手入れをすれば、愛惜の限りを盡
せば、美髮にもならうて、……そうだ、單に美しさだけでない、長さも違ふ。餘
り身近い處で例を取るのはお互に迷惑だ、即ち同じ1本の髪の毛でも、大象をも
つなぎとめると云ふ美女の頭髮も、ヒンズー土人のゲチゲチ頭に密生するもの、
1本は1本である。斯様に同じ1本でも其の内容の異なるものは測定の眞の對象
とはなり得ない。従つて、こんなのを數へるのは測定と云はない。
處が、長さの1米は何處へ行つても1米で變りはない。又電壓の1ボルト
は何處に行つても1ボルトで變りがない。斯様な定つた單位で測れる量を調べ
ることが測定である。従つて、測定は二つの事柄から成り立つ。其の一つは測定
せんとする量に定量的な單位のあること、他の一つは測定する方法のあること
である。例へば長さは米突尺メートルで、電壓は電壓計等で測定せられる。然し、諸君の馬
鹿さ加減等は基準となる單位もなければ之れを測る具体的な方法もないから、遺
憾ながら測定の對象とはなり得ない。……やれやれと云つて居るのは誰だ……

ともかく、量を測定すると云ふことが、あらゆる研究に先行すべき事柄で、之れがなくては研究は一步半歩も進み得ない。例へば、オームの法則も、電圧なり電流なり抵抗の値が測定せられて初めて活用されるのであつて、測定を離れては紙上の空論に終る。此の意味に於て、應用電氣工學への第一歩を測定工學から踏み入れるのは理の當然である。では之れから愈々本舞台にかゝるから、余分のことを云はずに、しつかり聞き給へ。

即ち「此の糸の長さは1メートルである」とか、「此の水は10リットルである」とか「屑鐵10キログラムの献納があつた」とか云々される言葉は、一般の人が日常口にする處である。斯様な、糸の長さや、水の量や、鐵の重さの大小を數字的に比較する爲には、何か單位になる長さ、量、重さの値が必要である。此の事は國民學校で既に習ひ、且つ第1卷1.4に種々なる例で説明され、諸君の既に知つて居る所である。

電氣に於ても、種々なる物理量値(電壓、電流、電力、抵抗等の値)の大小を數學的に比較するには、其の單位の値を適當に定めて測定すべき電壓や電流等が單位の値の何倍あるか、或は何分の一あるかを調べる。此の「何倍あるか? 何分の一か?」を測り定めるのが測定である。例へば何アンペアの電流が電線に流れてゐるか、と云ふ事を測定するには、先づ1アンペアとは、如何程の値の電流であるかを定めなければならない。そしてそれを、明確に正しく不變に定めて置いて、それから測定される電流の値を比較する。

以上の例で判る様に、測定を行ふには、先づ單位になる値を定める事と、比較の爲の計器が必要になつて来る。

單位の値の概念に就ては章を改めて詳説するが、第1卷1.4 P5及2.2 P20以下にその大体を説明した。

1.2 測定法の分類

前節で、測定とは「單位の値と、與へられた値との大小を數字的に何等かの方法で比較決定する事である」と説明したが、之れには種々の方法がある。例へば糸の長さ、水の量、鐵の重さ等は其の大小關係が吾々人体の五官(目、耳、口、鼻、皮膚)に感じるもので、又その測定されるものが、糸や水や鐵の様に物体であつて目に見えるので、測定も容易で、直接的に測定される。斯様な測定方法を

直接測定法(direct measurement)と云ふ。處が電氣の測定に至つては、なんしる相手が幽霊と親類^{つきあひ}附合をして居るのだから、しかく容易ではない。

電氣は物質である。と云ふ事は、現代の物理學者の謂ふ所であり、諸君も第1卷1.2の電子の説明で^{おぼろげ}朦朧ながら判つて居ると思ふ。然し乍ら、此の物質たるや甚だ容易ならざる性質を持ち、質量も^{おぼろげ}鑿に近いものであるから、吾々の官能では其の大小關係等を比較する事は出来ない。

と云ふと諸君の中には「イヤ、自轉車の豆ランプ用等の乾電池は舌の先でターミナルをなめると電壓のあるかないかが判るよ」と云ふビョウキン者が居るかも知れぬ。然し此の實驗は、小さな乾電池であつて幸ひである。一々電線に觸れて見て、其のショックで電壓の大小を比較しようなんて危険極まりない話で、生命を^{グース}百打も二百打も用意しなければならぬ。即ち電氣の種々な値の大体を、鐵や石の重さを一寸持ち上げて知る様に吾々の官能に直接觸れさせて見る譯には行かない。それで電壓や電流等の値を測定するには、直接に「サン」や「ハカリ」で測る譯に行かないから、電氣の種々なる物理的、化學的作用を利用する。即ち其の値の分つてゐる電壓又は電流の此の作用の値を記録して置いて、今度は測られる電壓や電流で以つてその作用を行はせて、その作用の値を前の記録と比較して電壓又は電流の値を知る方法をとらねばならない。

即ち電氣測定は、物体の長さや量や重さ等の直接測定法ではなく、間接測定法(indirect measurement)である。

補註 ① 元來、間接測定法と云ふのは、求めんとする量が他の量と定つた關係にあるとき、後者を測定して前者を求むる方法である。時として、電力を電力計で測定することを直接測定法と云ひ、電壓を電壓計で測定し、電流を電流計で測定して、電力=電壓×電流より電力を求める方法を間接測定法と云ふこともある。

② 茲で注意を要する事は1ボルトとか1アンペア等の値もその物理的作用を基として協議の上、國際的に決められたものであつて、1メートルや1リットル等の決め方と同様で、別に1ボルトの電壓が有史以前からあつた譯ではない。

上述の如くに、測定量と單位の量の大きさを比較する、所謂、測定方法には直接法と間接法があつたが、尙次のやうにも分類出来る。

絶対測定法(absolute measurement)と云ふのは、基本單位となる長さ、質量、時間の測定に依つて間接に測定する方法である。比較測定法(relative measure-

ment) と云ふのは、未知量と同じ性質の既知量と比較する方法である。

補註 比較測定法に於ける比較の方法を掲げると次の如くである。

① 置換法 (substitution method) 未知量と既知量とを交換して兩者を比較する方法で
ちかん サブスタイテューションメソッド
 手数を要するが、精度が高い。

② 差動法 (differential method) 未知量を測定回路に入れた場合と除いた場合の差を
ディファレンシャル
 標準器に依つて知り、測定量を求める。簡單で然も正確である。

③ 零位法 (zero method) 未知量に依る作用を標準の量に依る作用で打ち消させる方法
ゼロ
 であつて、精密測定に適する。

④ 偏位法 (deflection method) 一般に行ふ電圧計、電流計、電力計に依る測定で、指
 針の振れから直ちに測定される。精密ではないが迅速な爲め工業上廣く採用せられる。

此の外に既知量を元として逐次は比較して測定量を知る方法を、逐次比較法 (method of
ちんじ メソッド オブ
サクセッシブ コンパライズン
 successive comparison) と云ふ。又既知量の偏位と未知量の偏位を比較する方法を偏位法と
 稱し、電圧計のやうに直接的の指示を與へる方法を直偏法 (direct deflection method) と
 も云ふ。

上述のやうに云ふと難しそうではあるが、置換法とは象を船に乗せて沈む深さと重量の判
 つて居る何人かの人が乗つて沈む深さを等しくして象の重量を知る方法であり、差動法とは
かんかん
 一人で衡器に乗つたときと赤ん坊を抱いたときの差より赤ん坊の重さを知る方法である。又
 零位法は天秤が其のよい例であり、偏位法は常にお目にかゝつて居るもので、斯く云ふと何
 んだそんなことなら先刻御存知だよと云はれよう。學問と云ふものは、くだいて去へばこん
 なもので、之れをこけおどしに難しそうに命名したに過ぎない。鬼面に驚かず深く考へて、
 なんだこんなことかと、安心してどしどしと進歩せられたい。

1.3 電氣測定の原理

上述したやうに、電氣自身は吾々の五官に依つて知り得ないから、其の表はす
 作用から逆に電氣的諸量を測定する。先づ電氣の行ふ諸作用の内、測定の對象
 とせられる主なるものを掲げると次の如くである。

① 電流の發熱作用 (第一卷 P152 以下)

抵抗線に電流を通すると抵抗線が熱せられる作用である。……發熱作用と云ふ
 が熱が創造せられるのではなく、抵抗で消費せられた電力即ち此の電氣的エネル
 ギが熱エネルギーに変化するに過ぎない……。

② 電流の磁氣作用 (第二卷 P8 以下)

電線に電流を通じると、その周圍に磁氣が生ずる作用である。

③ 電磁誘導作用 (第二卷 P32 以下)

之は電流の磁氣作用の逆であつて、發電機 (磁石式) 等に利用されてゐる。

④ 電流相互間の吸引、反撥の作用 (第二卷 P16 以下)

之は電流の通じてゐる導体間に生ずる吸引又は反撥力の作用であつて、各々の
 電流に依つて作られた磁界の相互作用に依る。

⑤ 靜電氣、磁氣に於ての吸引、反撥の作用 (第二卷 P3 及第三卷 P5 以下)

二つの帶電体間及磁極間に働く力で、其の大きさはクーロンの法則に依り定めら
 れる。

⑥ 電流の電解液分解作用

電流を電解液中に通すると、電解液が分解拆出される作用で、アンペア原器は
 後述するやうに此の作用より定められてゐる。

以上に就ては、何れ再び述べる機會もあらうし、是等の作用より如何に電氣諸
 量を測定するかの方法を説明するのが元々本書の目的であるから、追々と理解せ
 られやう。極く一般的に云ふと、上記の諸作用と之れを生じた電流なり電壓の間
 には定量的の一定の関係があるから、……例へば ① に於て、抵抗 R なる導線
 に I アンペアを t 秒間通すると $H = 0.24 I^2 R t$ カロリの熱量を生じた……従つ
 て此の作用の大きさを測定すれば、電流なり電壓の値が定められる。例へば、抵抗
 線が發熱すると其の溫度が上昇して膨脹する。其の伸びは發熱量、従つて電流の
 自乗に比例するから、此の伸びの長さより、電流の値が測定せられる。

1.4 誤差及更正

1.4.1 誤差論の概要

我が輩が若かりし頃、同宿の B 君とよく角の焼芋屋で芋を買つたものである
 處が同じ 200 匁を買つても、我が輩が買ふ場合は B 君が買ふ時よりも 1 匁か
 2 匁多いのだ。不審だと思つた。……處が芋屋の娘の云ふことにや……

「A さんが買ひに来られると、思はずポーズとして、はかこ 衡り込むのよ」

(合成酒を呑んだ酔ばらしいのやうな歌だて、けしからん)

熊製くまぞうの後裔が洋服を着て現はれたやうな B 君に比し、我が輩は斷然、垢抜あかぬけけ

のした好男子だつたからなあ……。何に！何に！拵抜けでなく、昔から心臓抜けがして居つたのだらうて、^{はげたか}禿頭のやうな目付きで睨まれると誰だつて恐しくて因縁をつけられまいと餘計に衝るだらうて、けしからん奴等だ、どうも云ふことだけは一人前だ……。

ともかく、芋屋の娘ならずとも、測定を人間が行ふ以上、特にボーズとしなくとも必ず誤差 (error) を生ずるもので、其の原因は

- (i) 測定方法の良否
- (ii) 測定に用ひた器具の良否
- (iii) 観測者の熟練程度
- (iv) 観測者の肉体的欠陥

等であつて、是等に依つて生ずる誤差を分類すると-

① 過失的誤差 (mistakes) ^{ミステイクス} 之れは過失に依つて生ずるもので、慎重に行へば避けられるものであるから研究の對象とはならない。

② 組織的誤差 (systematic error) 之れは測定の際に常に過大或は過小に観測せられるものである。

(註) 電氣測定に於て組織的誤差を生ずる原因となるものは、大体次の諸項である。

- (i) 温度の變化に依る長さ、起電力、電氣抵抗の變化
- (ii) 電池の成極作用に依る起電力の變化
- (iii) 地球磁界に依つて受くる影響
- (iv) ストップウオフチを用ふるとき、人に依つて生ずる遅速
- (v) 指示計器又は反照檢流計の零位の狂ひ

此の組織的誤差も原因が分つて居るから、之れを更正して測定結果から除くことが出来る。故に之れも誤差論の對象とはならない。

③ 偶發的誤差 (accidental error) ^{アクシデンタル エラー} 以上の二つの誤差は避け得るが、此の偶發的誤差は以上の何れにも含まれないもので、原因も狀況も判然としない。又誤差の大きき並符號も不定であつて、避け得られないものである。之れが誤差論に於て研究の對象となる。

上述よりも明かなやうに、過失的誤差とか、組織的誤差は避け得られるが、最後の偶發的誤差は人間が造つた機器で人間が測定する以上、どうしても免れ得ない。其處で何等かの方法で、最も信頼し得る結果を求めねばならない。此の方法を研究するのが誤差論であつて、此處では詳述する餘裕はないが、要するに最小自乗法の理論を應用して最も確からしい値を求むるのが目的である。例へば直接

測定法の場合には、測定を何回も繰返して行ひ、各測定値を加へ合せて、其の回数で除し、算術的平均を求めると、之れが最も確からしい値となる。

補説 ① 最小自乘法 (method of least square) ^{メソッド オブ リストスクエア} とは、「同一程度の精確さを有する數多の測定値があつた時に最も信頼し得る値は殘差の總和を最小とするが如き値である」と云ふことを基本原理としたものである。

② 何に、芋屋の娘のやつたのはどの部門に屬する誤差かて、勿論組織的誤差だよ、原因がはつきりしとるぢやないか、長命型だて、餘計なことを云はずに先に進み給へ。

1.4.2 %誤差と%更正

誤差、誤差と云つたが、往年の芋屋の娘の仇妾を想ひ出して居つたので、誤差の定義を與へることをすつかり忘れた。上述のやうに、如何なる量を測定するにしても、其の眞値を見出すことは、神様ならでは出来る業でなく、眞値との間に多小の差異が生ずる。其處で

$$\text{測定値 (M)} - \text{眞値 (T)} = \text{誤差}$$

と云ひ、誤差は正數のこともあれば負數のこともある。然して通常、誤差を百分率で示す。

$$\% \text{誤差} = \frac{\text{測定値} - \text{眞値}}{\text{眞値}} \times 100 \quad \epsilon = \frac{M - T}{T} \times 100$$

$$\epsilon = \left(\frac{M}{T} - 1 \right) \times 100 \quad M = T \left(1 + \frac{\epsilon}{100} \right) \quad T = \frac{M}{1 + \frac{\epsilon}{100}}$$

前にも云つたやうに、組織的誤差の原因となる使用機器に依る誤差は一定の値を有するから、更正 (correction) ^{こうせい コレクション} することが出来る。其の更正量は (眞値 - 測定値) であつて、之れを百分率で示したものを百分率更正又は更正率 (correction factor) と稱する。

$$\% \text{更正} = \frac{\text{眞値} - \text{測定値}}{\text{測定値}} \times 100 \quad \delta = \frac{T - M}{M} \times 100$$

$$\delta = \left(\frac{T}{M} - 1 \right) \times 100 \quad T = M \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) \quad M = \frac{T}{1 + \frac{\delta}{100}}$$

1.4.3 測定感度 (sensitivity) ^{センシビリティ} と測定確度 (accuracy) ^{アキュラシー}

感度と云ふのは人間で云へば神経の鋭敏さであり、測定感度と云へば測定器具

及装置が測定量の何%迄読み得るかの限度を示すものである。之れに對して測定精度と云ふのは、測定された値がどこ迄正確であるかと云ふ限度を示すものである。

此の測定精度は測定感度を越ゆることが出来ない。此の点を初學者は往々にして誤る。例へば今、電壓降下法で抵抗を測定する場合を例にとると、電壓計の感度はボルト迄であり、電流計の感度は 10 ミリアンペア迄であつたとし、電壓計の指示を 12 ボルト、電流計の指示を 560 ミリアンペアとすると、抵抗の値 R は

$$R = \frac{12}{0.56} = 21.4286 \dots \text{オーム}$$

と計算される。それでどうだ、小数点以下 4 桁も求めたぞ、精密だらうと自慢したとすれば、アンボンタン風薬である。電壓計の感度はボルト迄であるから、12 ボルトとは云ひ條、12.4 ボルトかも知れないし 11.9 ボルトかも知れない。又電流計も 563 ミリアンペアかも知れないし 557 ミリアンペアであるかも知れない。そんなあやふやな數値を元として、幾くも小数点以下を計算しても眞値に近寄る譯ではない。従つて此の場合の精度は R の 10 の桁迄であつて、R=20 オームとして置くのが理屈であり、或は小数点以下 1 位を 4 捨 5 入して R=21 オームとするのが限度であつて、之れ以上を示すのは、馬鹿さ加減を示すに止る。又後述するやうに、計器の内部抵抗に依る接続誤差があるので、此の場合の測定では一位の桁は頗るあやしいものである。

補註 測定の結果を數字で書くとき、例へば抵抗 R=540 オームと測定され、此の最後の 0 の桁は精度がないとすれば 54×10^2 と記するがよい。單に 2.9 とすると 2.90 とするのでは根本的に違つて来る。

即ち 2.9 は 2.85~2.94 までの間の數を示す (4 捨 5 入すると 2.9 となるから) 之れを 2.90 とすると、小数点以下第二位は零だと明示する。従つて測定精度に応じて數字及零を記さねばならない。此の精度に應ずる數字を有効數字と云ふこともある。

1.5 測定工學上に用ふる略算式

實用的に測定の結果を整理するやうな場合に用ふる略算式を記す。此處では數學的證明は行はないから、一應、斯くなるものと暗記せられ、進んで「電氣用

應用數學講義」に依て根本的に學習せられたい。

① x が 1 に比して小なるとき

$$(1 \pm x)^n \approx 1 \pm nx + \frac{n(n-1)}{1 \times 2} x^2$$

之れを代數學では二項定理と云つて居る。x が極めて小であるか n が大でないといふと上式右邊は 1 項迄でよく

$$(1 \pm x)^n \approx 1 \pm nx \quad n \text{ は整数でも分数でも負数でも成立する。}$$

例へば $\sqrt{1+0.05} = (1+0.05)^{1/2} \approx 1 + \frac{1}{2} \times 0.05 = 1.025$

② $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \lambda, \mu$ が 1 に比して小なるとき

$$(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta)(1 \pm \gamma) \dots \approx 1 \pm \alpha \pm \beta \pm \gamma \pm \dots$$

$$\frac{(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta) \dots}{(1 \pm \lambda)(1 \pm \mu) \dots} \approx 1 \pm \alpha \pm \beta \pm \dots \mp \lambda \mp \mu \mp \dots$$

例へば、更正率 $\alpha_0\%$ なる電壓計と更正率 $\alpha_1\%$ の電流計を用ひて回路を測定したときの讀みを E 及 I とすると

$$\text{眞の電力 } P = E \left(1 + \frac{\alpha_0}{100}\right) \times I \left(1 + \frac{\alpha_1}{100}\right)$$

$$\text{回路の抵抗 } R = \frac{E \left(1 + \frac{\alpha_0}{100}\right)}{I \left(1 + \frac{\alpha_1}{100}\right)}$$

α_0, α_1 は、1 に比して極めて小さいのが普通であるから、上記の略算式に依つて

$$P \approx EI \times \left(1 + \frac{\alpha_0 + \alpha_1}{100}\right) \quad R \approx \frac{E}{I} \left(1 + \frac{\alpha_0 - \alpha_1}{100}\right)$$

と求められる。

(註) 略算式に依つて、%誤差と%更正の關係を求めると

$$M = T \left(1 + \frac{\epsilon}{100}\right) = \frac{T}{1 + \frac{\delta}{100}} \quad 1 = \left(1 + \frac{\epsilon}{100}\right) \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) \approx 1 + \frac{\epsilon + \delta}{100}$$

$$\therefore \epsilon + \delta \approx 0 \quad \epsilon \approx -\delta$$

即ち略近的には%誤差は%更正の符號を變へたものに等しいと云ふことになる。

⑥ A と B が殆んど相等しいときは $\sqrt{A \cdot B} \approx \frac{1}{2}(A+B)$ となる。

極端な一例として $\sqrt{5 \times 5} = \frac{1}{2}(5+5) = 5$ と正しいことが分る。

⑦ 三角函数に於て、 x をラジアンで示すと

既に第二巻 P 112 以下で説明したやうに

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots \text{但し } x < \infty$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots \text{ } x < \infty$$

$$\tan x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2}{15}x^5 + \frac{17}{315}x^7 + \dots \text{ } x^2 < \frac{\pi^2}{4}$$

(註) 2! とは ^{かいじょう}2階乗又はファクトリ 2 と読み 1×2 を表す。同様に 3! は 1×2×3 を、4! は 1×2×3×4 を表す。以下何階乗でも同様である。

1.6 電気諸単位

1.6.1 C.G.S 電磁単位及静電単位

既に述べたやうに、測定の基礎として、其の基準となるべき一定量の単位が必要である。吾々が日常取扱ふ量の種類は實に多種多様ではあるが、其の中の適量にだけ単位を設けると、他の量は之れを組合して表はすことが出来る。此の前者を基本単位 (fundamental unit) と云ひ、後者を組立単位 (derived unit) と稱する。學術上、基本単位として選ばれて居るのは、諸君が既に學ばれた、長さの単位として纏 (centimeter) 重さの単位として瓦 (gram) 時間の単位として秒 (second) を取つた、所謂 C.G.S 単位…各項の頭文字を取つて表はされてゐる…である。1 米 (100 纏) 1 瓦 (1000 瓦) の原器に就ては既に第一巻 P 20 以下で説明した。従つて、面積は (纏×纏) で体積は (纏×纏×纏) で速度は (纏/秒) なる組立単位で表はされる。

此の C.G.S 単位を電気単位に導入する爲めには、長さ、重さ、時間の外に第四の基本単位が必要となる。此の第四の基本単位として、真空中の導磁率 μ_0 を 1 ($\mu_0 = 1$) としたのが C.G.S 電磁単位 (C.G.S electromagnetic unit) である。即ち、二つの相等しい強さの磁極を真空中に於て、1 纏隔て置き、其の間に働

く力が 1 ダインであるやうな磁極の強さを単位として、電流、電圧、抵抗、其の他の諸量の単位を定める。又第四の基本単位として、真空中の誘電率 ϵ_0 を 1 ($\epsilon_0 = 1$) としたのが C.G.S 静電単位 (C.G.S electrostatic unit) である。即ち、二つの相等しい強さの電荷を真空中に於て、1 纏隔て置き、其の間に働く力が 1 ダインであるやうな電荷を単位として、他の電気諸量の単位を定めたものである。此の電磁単位と静電単位間の關係は第三巻 P 34 以下に示した如くである。

補註 単位の磁極より他の諸量を定めるには、例へば、単位磁極に働く力を測定して磁界の単位とし、圓電流の中心に生ずる磁界の強さから電流単位を求める (第二巻 P 4~P 11 以下参照)

単位の電荷から他の諸量を定めるには単位時間中に移動する電荷の量より電流を定め、単位電荷を動かす仕事より電位を定むる (第三巻 P 12 以下参照)

1.6.2 實用単位 (practical unit)

上述の電磁単位及静電単位を學術上に用ふる場合には差支へないが、之れを日常の技術上に用ふるには其の大きさが餘りにも大きかつたり小さかつたりして不便である。其處で其の適當な倍數のものを以て實用単位とせられて居る。此の實用単位は電磁単位を基礎として定められたもので 1 オームは C.G.S 電磁單位の 10^9 倍を取り、1 ボルトは 10^8 倍を取つてゐる。

之等の實用単位を具体的に表示したものが原器であつて、第一巻 P 20 で示した如くである。

補註 ① 度量衡の單位はメートル法、尺貫法、ヤードポンド法と種々あつて、國際的に甚だ不便を感じて居るが、電氣の諸單位は萬國共通で甚だ便利である。之れは電氣工學が交通運輸の十分に發達した最近に於て勃興した爲めである。

② 實用單位の制定が行はれた頃、起電力として多く使用せられてゐたダニエル電池の起電力が丁度 1 電磁單位の起電力の 10^8 倍あつた爲に、1 電磁單位の 10^8 倍を以て起電力の實用單位と定めた。そして之にボルダ氏の名を附してボルトと稱する事にした。同様に抵抗の實用單位はレーメンスの水銀標準抵抗の値が電磁單位の 10^9 倍であつたので之を抵抗の實用單位とした。そして之れにオームの名を附した。起電力と抵抗の標準が定まるとそれに依つて電流の實用單位が定まる譯である。即ち電磁單位の起電力を E_m 、抵抗を R_m 、電流を I_m とし、實用單位の起電力を E_p 、抵抗を R_p 、電流を I_p とすると

$$I_p = \frac{E_p}{R_p} \text{ であるが } R_p = R_m \times 10^9 \quad E_p = E_m \times 10^8 \text{ であるから}$$

$$I_p = \frac{10^9 E_m}{10^9 R_{in}} = 10^{-1} I_m = \frac{I_m}{10} \quad \text{となる。}$$

即ち電流の實用單位は電磁單位の 1/10 である。

斯様に實用單位が制定されるに至つたが、世界に於ては各國、各地域にてその値が多少異なるが不便であつた。それで 1908 年、ロンドンに於て高國電氣標準會議 開催し、電氣の基本となる起電力 (ボルト) 電流 (アンペア) 抵抗 (オーム) 電力 (ワット) の 4 單位が制定されるに至つた。吾國に於ても、明治 43 年 8 月「電氣測定法」が制定公布せられてその單位が確立するに至つた。(第二卷 P 20 以下参照)

⑤ 電磁諸量には實用單位がない。

⑥ 原器は早晚廢止せらるゝ運命にあるから、標邊を説明しなかつた。詳細は「電氣理論と電氣測定法」P 191 以下の水銀標準抵抗器及銀分離器を参照せられたい。

1.6.3 M.K.S 單位 (M.K.S system of unit)

上述の如くに、電氣單位には C.G.S 靜電單位と、同電磁單位、並之れと一定の關係にある實用單位の三つがあつて、實用單位の原器として、水銀標準抵抗器だの銀分離器が採用せられて居る。然して是等の原器の表はず國際オーム及アンペアは、測定工學の進歩と共に、當初定めた値には誤差のあることが發見せられた。即ち現在に於て

1 平均國際オーム $R_M = 1.0005$ (絶對オーム)

1 平均國際アンペア $A_M = 0.9999$ (絶對アンペア)

(註) 絶對オームとかアンペアと云ふのは、絶對測定法に依り求められた値である。

と發表されて居るが、今後の絶對測定法の進歩と共に更に修正せらるべき運命にある。

斯様にふらふらとした單位は好しくないし、又三つも單位があると云ふことは仕事の上にも種々の不便を生ずる。其處で是等の單位系を一つのものとして合理化した新單位系が研究せられ、其の結果として M.K.S 單位が提唱せられて居る不幸今回の大戦勃發に依つて最後の決定は見てみないが、其の大体は次の如くである。即ち長さにはメートル法の原器である 1 米 (meter) を、質量には同じ原器である 1 疋 (kilo-gram) を、時間には秒 (second) を取つたものを M.K.S 單位系…各單位の頭文字を取つて居る…として、之れを電氣單位に導く第四の單位として抵抗オームを採用しやうと云ふので、云はゞ M.K.S. Ω 單位系とも稱すべきものである。此の抵抗は長さ時間から求める絶對測定法に依つて定められ

6.

補脚 ① 斯くて從來用ひられて来た才銀柱及銀分離器のやうな原器は廢止せらるゝこととなり、之れに代るものが抵抗、電流の絶對測定法である。

② 或は又、第四の單位として眞空中の導磁率 μ_0 を採用すべしと云ふ説もあり、國際的には大戦の爲め決定されてゐない。

③ 絶對測定法に就ては餘裕があれば後で述べることにする。

④ M.K.S 單位に依ると、電氣磁氣學、靜電氣學の數式は從來と異つた形となる。例へば平行板の靜電容量の式に 4π と云ふ球係数のあつたのがなくなる等である。

⑤ 要するに、此の M.K.S 單位は今直ちに採用せられると云ふ處迄行つてゐないし、此の種の國際會議は大戦後でないで開催せらるゝ見込みがないから、全面的に採用せらるゝ迄には尙、相當の時日を要する。然し將來、必ず電氣の 3 單位は統一合理化せらるゝ運命にあるから、今から心の準備だけはして置かれたい。

1.7 二次標準器 (Secondary standard)

前に述べた抵抗原器としての水銀標準抵抗器及び電流原器としての銀分離器を一次標準器 (primary standard) と云ふ。之れは上述の如く、早晚、廢止せらるべきものであり、又吾々として滅多にお目にかゝる譯でもないから説明を省略して、此處では二次標準器に就て説明しやう。

元來、一次標準器なり、絶對測定法は其の取扱ひ及操作が極めて面倒であるから、之れを常用標準器とすることは不便である。其處で抵抗にはマンガニン線標準抵抗器 (standard resistance) を用ひ、電流は之れを其のまゝ保有出来ないから電壓を標準とし、ウェストン標準電池 (weston standard cell) を採用する。

1.7.1 マンガニン線標準抵抗器

抵抗の二次標準器として金屬線を用ふる場合、抵抗線として所要條件は

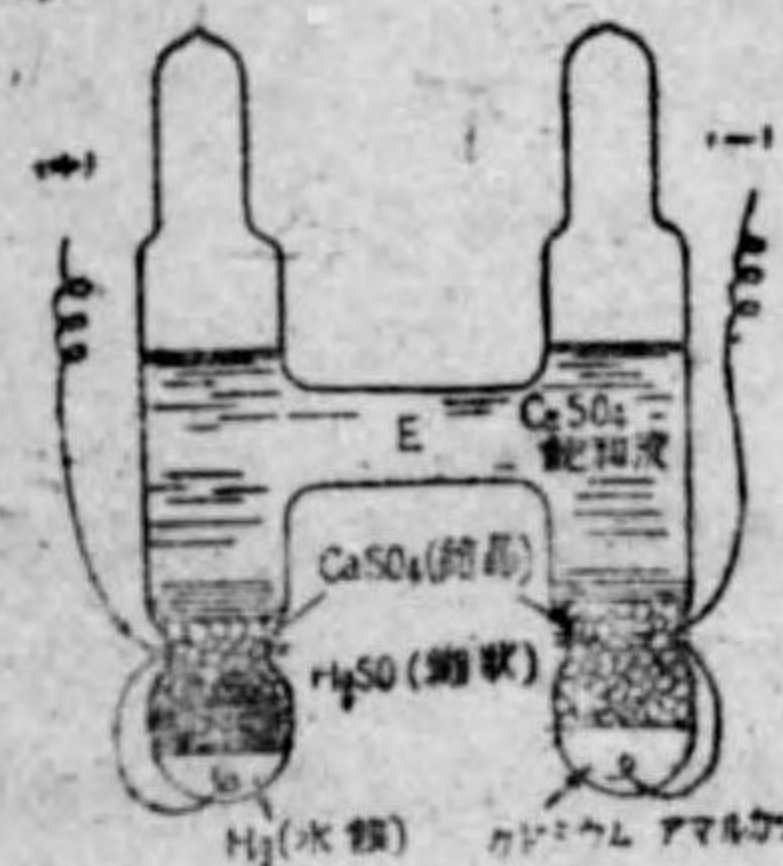
- (i) 温度係数の小なること
- (ii) 固有抵抗の大なること
- (iii) 抵抗値が時日と共に變らないこと
- (iv) 銅に對する熱起電力が小なること

等であつて、之れを満足するものはマンガニン (manganin) 線で、銅 84%、ツケル 4%、マンガニン 12% から成る合金である。其の固有抵抗は $36 \sim 55 \mu \Omega$ で、銅の 25 倍である。又温度係数は $20 \sim 50^\circ \text{C}$ に於て 1×10^{-8} 程度で、實用

上温度に依る抵抗変化はないと考へてよい。更に銅と接続したときに生ずる熱起電力は 1°C に就き $1\sim 2\ \mu\text{V}$ (マイクロボルト) で極めて小である。之れを眞空罐中で 500°C に熱し、焼鈍しすると抵抗値の時日に依る変化が極めて小さくなる。缺点として酸化し易いので、其の表面にシエラツクを塗つて酸化を防止する。漏氣の影響を防ぐために、此の抵抗線を気密な金属筒内におさめて居る。然して外部への引出し端子として $1\ \Omega$ 以下のものは電流端子と電圧端子の 2 組が設けられて居る。

1.7.2 ウェストン標準電池 (電池の原理は第七巻参照)

第 1.1 圖に示したやうな H 型硝子容器の一方に水銀を入れて陽極とし、其の上



第 1.1 圖

上に減極劑として硫酸カドミウム (CaSO_4) 結晶の粉末と硫酸第一水銀 Hg_2SO_4 とを飽和溶液で練り合せた糊状のものを入れる。又陰極としてはカドミウムアマルガムを詰め、更に容器全部に電解液として硫酸カドミウムの飽和溶液が入れられて居る。此の電解液を常に飽和状態にして置く爲めに、兩極の上部には硫酸カドミウムの結晶が入れられる。尙引出し導線として、兩極に白金線が封入さ

れて居る。此の標準電池の起電力は 20°C に於て 1.01827V で、任意の温度 $t^{\circ}\text{C}$ に於ける起電力 E_t は次式に依つて與へられる。

$$E_t = 1.01827 - 0.0000406(t-20) - 0.00000095(t-20)^2 + 0.00000001(t-20)^3$$

1.7.3 二次標準器の取扱法

標準抵抗器の取扱上、注意しなければならないことは、容量以上に使用しないと云ふことである。即ち、普通 1W 位に設計せられて居るから、此の程度に用ゐると精密である。又 10W を越す電流は絶対に流してはならない。

標準電池の取扱は、抵抗と比較してやゝ複雑である。その注意すべき第一の事柄は、電池の電圧を電圧計で測定する等して、電流を取出すことで、之れは絶対に禁物である。其の内部抵抗は數百乃至數千オームあつて、 $1\ \mu\text{A}$ を流しても電池の起電力に著しい影響を與へ、其の端子電圧を低下し、標準とならない。従つて電池を短絡し、又は逆方向に電流を流すことは最も避くべき事柄である。……

誤つて短絡したときは 30 分間位放置すると元の状態となる。

又、電池自身に振動を與へたり日光に直射させたり、或は轉倒させないやうにする。尙温度に急激な變化を與へないことで、パラフィン油を満した槽の中におさめ、油槽内の温度を一定に保つことが理想である。尙年に 1~2 回逓信省電氣試験所の檢定を受くるやうにすると十分に信頼の出来る標準器となる。

1.7.4 自己誘導及相互インダクタンス標準器

① 固定標準器

自己及び相互インダクタンス標準器には絶対標準器と二次標準器がある。米國標準局の自己インダクタンス標準器は約 0.2 ヘンリーであつて、外徑 54cm 、厚さ 11cm の白色大理石の中空圓筒の表面に 1cm に 15 回の割合で 46cm に亘つて單層巻線を施したものである。二次標準器は大理石の圓筒枠に巻線を施し、之にパラフィンを加へて巻線を固定したものであつて、絶対標準器にて更正し、實驗用に使用する。

(注) 自己インダクタンス標準器としての必要な條件は、形状が不變で抵抗が零に近く、インダクタンスが時間に依つて變化せぬ事、電流値に依つて變化しない事及周波數に依つて變化しない事

相互インダクタンスの標準器の一例として、キャンベル氏の考案になるものは大理石の中空圓筒に一次巻線は上下各 $\times 75$ 回捲きで直列にされ、二次は 488 回捲かれてゐて、相互インダクタンスは 10.0177 ミリヘンリ (15°C に於て) を有して居る。

② 可變標準器

實際の使用に當つては可變標準器が有用である。其の一例として、古くから使用されてゐるエールトン・ベリー誘導器は二つの圓形の線輪が其の面を垂直に同じ軸上に取付けられ、外側の線輪は固定され、内側の線輪は其の軸の周圍に回轉し得るやうになつてゐる。然して其の回轉角は目盛板の上で直讀することが出来る。今内側の線輪面が外側の線輪面と一致する位置に置くと、内外兩線輪間の相互インダクタンスは最大で、互に直角の位置に置くと零となる。従つて此の二つの線輪を夫々一次線輪及二次線輪として用ゐると、相互インダクタンスが $+M$ より $-M$ 迄連続的に變化する可變相互誘導器となる。又二つの線輪を直列にすると自己インダクタンスが L_1+L_2+2M より L_1+L_2-2M 迄 (第二巻 P49 以

下を参照) 連続的に變化する可變自己誘導器となる。

1.7.5 標準蓄電器

静電容量の標準器としては蓄電器が使用されるのは勿論であるが、蓄電器には構造上、空気蓄電器、雲母蓄電器、紙蓄電器、油蓄電器等があるが、標準器としては一般に空気及び雲母標準器が使用されてゐる。

(註) 標準蓄電器として必要な條件は、絶縁抵抗が高く、絶縁耐力が大である事、誘電体損失が少い事及び電流及び周波數に依りキャパシタンスが變化せぬ事等である。

此の標準蓄電器にも固定標準器(固定蓄電器)と可變標準器(可變蓄電器)がある。前者の空気蓄電器で其の寸法から静電容量が計算せられるやうな構造のものは、絶對標準器として用ひられるが、静電容量は甚だ小さい。普通の標準空気蓄電器は多數の圓筒又は極板を並列に配列して、其の静電容量を大とし、測定に依つて其の値を決定する可變蓄電器は第三卷 P21 に示したやうに、可動板と固定板より成り、任意の静電容量が得られる。

2. 電氣計器の總説

2.1 電氣計器の分類

電氣計器とは既に述べたやうに、各種の電氣作用を利用して、電流、電壓、電力等の値を直接實用單位で指示させる測定器であつて、之れを分類すると第 2.1 表、第 2.2 表及第 2.3 表となる。先づ動作上より分類すると第 2.1 表の如くである。

第 2.1 表 動作上よりの分類

計器の名稱	動作
指示計器 インダイケイテイング インスツルメント (indicating instrument)	指針に依つて測定時の値を示すもの、一般の電圧計、電流計は之れに屬する。
記録計器 レコーディング メーター (recording meter)	時間と共に變化する測定値を圖紙上に記入するもの、指示計器に、記録装置(用紙及ペン)と時計機構を組合せてゐる。
積算計器 インテグレイテイング (integrating meter)	測定値を積算して行くもので、例へばメーター制御用家の引込口に設置される積算電力計(帶稱メーター)が之れに屬する。

遠隔計器
(telemeter)

測定すべきものより遠く離れた場所で、測定量を指示せしむるもの。

夫々の用途に應じて、之等の計器の何れかを撰定する。

次に、動作原理に依つて…と云ふことは如何なる電氣作用を利用するかと云ふことである…分類すると、第 2.2 表の如くで、之れは主として指示計器に就て示した。

第 2.2 表 動作原理上よりの分類

計器の名稱	用途	動作	主として製作せらるる計器
可動線輪型 パーマネント マグネット (permanent-magnet moving-coil type)	直 流 専 用 注(1)	永久磁石に依る磁界内に線輪を置き、之れに電流を通じて受くる作用力を以て指針を動かす。	電圧計 電流計
電解型 エレクトロライタイク (electrolytic type)	直 流 専 用	電流の電解液分解作用を利用する。	特殊な用途、例へば一次標準器としての銀分離器
誘導型 注(2) インダクション (induction type)	交 流 専 用	位相の異なる 2 箇以上の交流に依つて移動磁界又は回轉磁界を生ぜしめ、其の中に置かれた金屬に作用する力を利用する。	電圧計 電流計 電力計 周波計 積算電力計
振動片型 バイブレーチングリード (vibrating-reed type)	交 流 専 用	振動片の共振作用を利用する。	周波計
可動鐵片型(2) ムービングアイアン (moving-iron type)	交 直 兩 用	電流に依る磁界が軟鐵片に作用する力を利用する。	電圧計 電流計 周波計

電流力型 (2) エレクトロダイナミック (electrodynamic type)	交直 兩用	電流相互間に働く力を利用する 電流力計型(electrodynamometer type)とも云ふ。	電圧計 電流計 電力計
熱型 サーマル (thermal type)	交直 兩用	電流の發熱作用に依る金属の膨 脹又は異種の金属間に生ずる熱 起電力を利用する。(3)	(熱線型) 電圧計、電 流計、電力 計(熱電型) 高周波電流 計及電流計 又は波長計
静電型 エレクトロスタチック (electrostatic type)	交直 兩用	充電せられた帯電体の間に働く 吸引力、反撥力を利用する。	電圧計 検測器
真空管型 バキューム (vacuum tube type)	交直 兩用	真空管に於ける電子の働きを利用 する。	電圧計 その他、 特殊用途

補講 上記の動作原理の中には諸君のまだ習はないものもあるが、何れ後で、大々の項で説明をするから、此處ではそんなものもあると名稱のみを記憶せられたい。

(1) 交流を直流に直して可動線輪型に流すと、交流が測定せられる。……交流用計器があるのに、何故左様なことをするかと云ふに、可動線輪型は感度がよく、微小な電流を精密に測定し得る爲めである。此の種の計器を整流器型 (rectifier type) と云ひ、電圧計、電流計 (低周波及高周波用)、或は周波計として採用される。

(2) 誘導型にも、回轉磁界型 (rotating-field type) と変成器型 (transformer type) 及移動磁界型 (divided-pole type) があり、可動線片型にも傾斜線輪型 (inclined-coil type) 反撥型 (repulsion type) 吸引型 (attraction type) 等がある。

電流力型及可動線輪の變形として交叉線輪電流力計型がある。之れは、力率計、周波計、抵抗計、同期検定器と廣く採用されてゐる。

又、可動線輪型と同じやうに電磁作用を利用するものに唧子型 (plunger type) がある。(ソレノイドの内部に鐵片があつて、ソレノイドに電流を通ずると此の鐵片を引き上げる作用を利用したもので、最も原始的な型の一つである。)

(3) 熱型は熱線型 (hot-wire type) と熱電型 (thermoelectric type) にはつきりと分れて

ある。

其の他、細分すると種々の型があるが、何れ夫々後述することとする。尙是等の原理を表示する記號は巻末 J.E.C-47 の 401 を参照されたい。

尙、用途に依つて分類すると第 2.3 表の如くである。

第 2.3 表 用途に依る分類

用 途	特 徴
配電盤用 スイッチボードパターン (switch-board pattern)	配電盤に取付けて用ふるもので確度は最も低い。
携 帶 用 ポータブル (portable pattern)	携行し得るやうにせられ (運搬に依る狂ひが少い) 標準用として確度は前者より高い。
實 験 所 用 ラボラトリー (laboratory pattern)	實驗所に於て精密な測定を行ふ場合に用ひ確度は高い。但し移動して用ふるに適さない。

補講 ① 尙此の各々に就き、丸型とか角型と云ふやうに形に依つても、或は目盛の様式 (平等目盛とか不平等目盛) に依つても種々分類せられるが、それ等に就ては何れ後述することとする。

② 配電盤用としては、外觀がよくて、見易く、空間利用率もよい点から、最近は、角形 (rectangular form) 又は線形 (edgewire type) が多く用ひられて居る。

携帯用は、携帯に便利なやうに手さげ皮をつけ、計器の底にはゴムをつけて衝撃を緩和して居る。

以上の外に、計器の確度に依り、特別精密級、精密級、普通級、準普通級と分類せらるゝが、之れは巻末の J.E.C-47 計器標準規程の 801 に示されて居るから参照せられたい。

2.2 電氣計器の主要要素

群盲象を撫でるの圖と云ふのを承知してゐるかね、そんな今日の國際情勢と關係のないことを知るものかつて、そうせつかちではいかん、大いに國際情勢の現状を諷刺して居るかも知れんよ。夫れは夫れとして、大勢の盲人が象を見物に行つて撫でさすつて見た。其處で足をさすつたのが曰く「象つて圓柱のやうなものだ。」腹を撫でたのが曰く「象つて壁のやうなものだ。」鼻にさはつたのが曰く「象

つて大蛇のやうなものだ。耳を持つたのが曰く「象つて大きな風呂敷のやうなものだ」と云ふ風に物の局部、局部のみを見ると本体から外れて、とんでもないことになる。處が諸君が象を見たなら、象は頭部、胴体部、足部から構成され夫々は斯様な形で、此の様な作用をすると、要領よく其の全貌を紹介することであらう。斯様に一つの構成物を幾つかの主要部分に分つて考察することは其の全貌を明かとする上によい手段である。

此の要領で電氣計器を構成する要素を考へると、次の4部分となり、此の中の何れの1つを缺いても、最早、計器としての用をしない(但し、記録及積算計器には制動装置がない)

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| ① 動作装置 (driving device) | ② 制御装置 (controlling device) |
| ③ 制動装置 (damping device) | ④ 指示装置 (indicating device) |

此の指示装置は目盛、指針、軸受及外函より成つて居る。以下是等の各部分に就て説明するが、其の前に簡単に其の大体を示して置こう。

さあ、諸君、机の上端に手を當て、向方に押して御覽、……オツト、ドツコイ、ドツコイ、インク壺の蓋をして置かないと、勿体なくもこぼれあそばす、……机が傾くだらう。あつたり前だて、そら「此のあつたり前でしやう」と云ふ處に動作装置と制御装置の眞理があるのだ。もう少し力を入れて御覽、尙傾くだらう處で之れを支へてゐる諸君の腕には前より強い押し返す力が感ぜられるだらう。つまりだね、此の傾く机の角度の大小から、諸君が机に加へた力を測定することが出来る。然してだ、此の力の測定を可能としたのは、力を加へると机が傾くこと(之れが計器の動作装置に相當する)ともう一つは、机が元に戻らうとする反抗力があることだ(之れが計器の制御装置に相當する)何となれば、若し此の反抗力がないと1の力を加へても2の力を加へても、さては10の何やら力と云つて諸君の持ち合せて居る力、何に馬鹿力だと云ほうと思つてだて、そうはつきりあきらめて居れば結構、その馬鹿力で押しも同じやうに机がひつくり返つてどれ程の力を加へたのか分らない。丁度或る力が加へられて傾いた状態で

$$\text{加へられた力} = \text{反抗する力}$$

と云ふことになる。更らに大きい力が加はると、机の傾きは大きくなり、反抗する力も大きくなつて、此の二つの力が釣合ふ處で止る。従つて机の傾角から加へられた力の大きさが定められる。

(注) 此のことは……導体に電流を通じて或る温度に上昇したとき、此の時の発生熱量=放熱量であつて、電流を更らに増加すると発生熱量が大となり、温度が上昇して放熱量が大となり、発生熱量=放熱量となる温度に迄達する……のと同様で、熱量の発生が動作装置に熱量の放散が製歯装置に匹敵する。

即ち、電氣計器には加へられた電圧なり電流なりに比例した力で指針を動かす部分(動作装置)と此の力に反抗する力(其の反抗力の大きさは加へられた力に比例する)が存在しなければならない。之れを與へるのが制御装置である。此の制御する力……制御トルク(controlling torque)……が動作を與へる力……駆動トルク(driving torque)……に比例せずに一定だと、例へば机の制御トルク(押しもどす力)が一定であると、駆動トルク(押し倒す力)が此の値以上となると、どのやうな大きさの力でもひつくり返る。又此の一定の制御トルク以下の駆動トルクではどのやうな大きさの力でも机は傾かないから測定が出来ない。

以上、くしやくしやとやゝこしいことを云つたが、賢明な諸君は……何に今度は賢明か、上げたり下げたり、いやはやだつて、まあそう恐縮せずに聞き給へ。……電氣計器には駆動トルクと之れに比例する制御トルクがあつて、始めて測定が實行されると承知されたことであらう。制動装置は指針が早く 駆動トルク=制御トルク の位置に止る装置であつて、連続回轉する積算又は記録計器には此の装置は不用である。指示装置の役目は今更らに説明する迄もあるまい。

2.2.1 動作装置

動作装置は測定せんとする電氣値に比例した駆動トルクを發生する部分と、その駆動トルクを受けて指示装置を動かす可動部分の二つよりなる。指示が正確で目盛が廣くて読み易い爲には、同じ電氣値を與へた時、駆動トルクがなるべく大なることが望ましい。然しそうすると大抵の場合は、可動部分が大きくなり、摩擦力の増加する原因になるから、駆動トルクを増してもその効果が少くなる譯である。従つて計器は、(駆動トルク/摩擦力)の比が大であることが望しく、此の程度を計器の機械的良度と稱することがある。

$$\text{良度 } \gamma = \frac{10 \times (\text{指針を } 90^\circ \text{ 振らせる駆動トルク 瓦數)}}{(\text{可動部分の重さ 瓦數})^{1.5}}$$

主なる計器 γ の値: 熱線型 1.57, 可動鐵片型 1.09, 可動線輪型 1.06, 電流計型 0.45, 誘導型 0.60

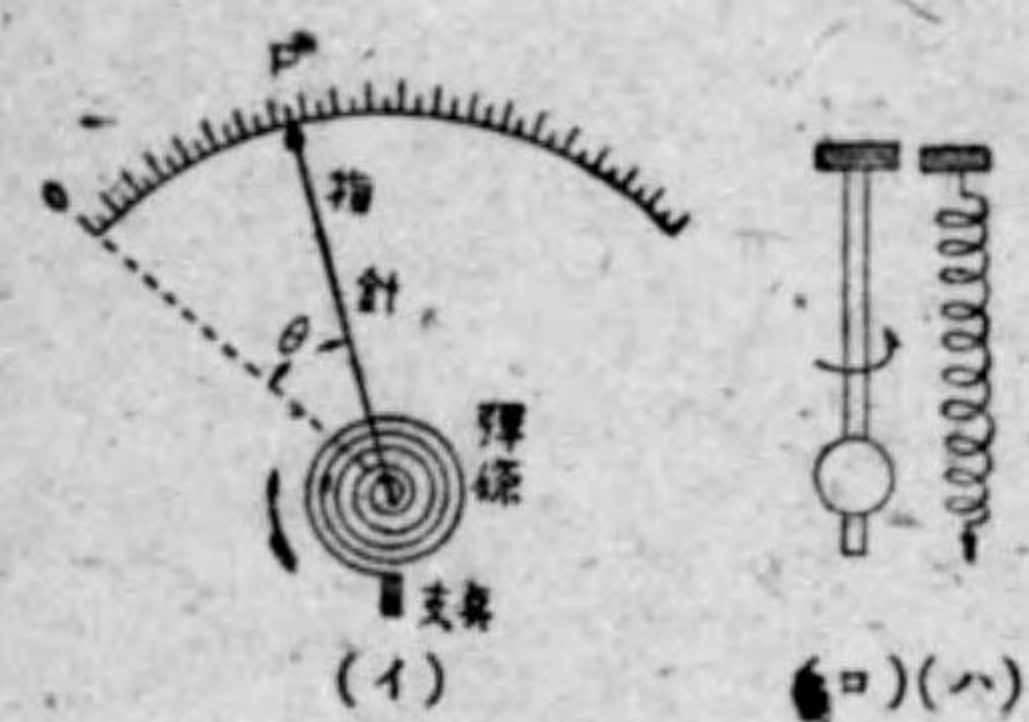
上式 γ の式での分母は摩擦力を示す。即ち摩擦力は垂直軸で可動部分の重量の 1.5 乗(小

平軸では [乗] に比例する。分子に 10 を乗じたのは、r の値を 1 に近くする爲めであつた。

2.2.2 制御装置

適正な指示をする爲めには駆動トルクに抗する制御トルクを發生する制御装置が必要である。此の制御トルクを發生させるのに弾條の作用に依るもの、重錘の重力作用に依るもの及び渦流作用に依るもの等が現在使用されてゐる。

① 弾條制御 (spring control) スプリング コントロール 之れには第 2.1 圖に示す如く (イ) のやうな渦巻き弾條、(ロ) のやうな片條金属、(ハ) のやうな変巻き弾條がある主として (イ) が用ひられる。之れは圖示の如くに一端を固定し、他端を可動部分に固着して置く。斯くすると可動部分が回轉するにつれて弾條は巻かれるので、之れに反抗する力を生ずる。此の力は巻かれた角度 (即ち指針の移動した角度) θ に比例する。……時計のゼンマイを巻くと、巻き進むにつれて反抗する手應への大きくなるものが感受されやう。夫れと同一である……。之れを制御トルク τ_c とするのであつて、渦巻弾條では



第 2.1 圖

但し E (kg/cm²) で表はされた弾條の弾性係數、又 b は幅、t は厚さ、l は全長で何れも、K は一括した常數を表はす。

$$\tau_c = \frac{Ebt^3\theta}{0.6875l} = K\theta \quad \text{瓦綱}$$

斯様な制御装置用の弾條としては、無磁性なこと、自然酸化をしない(錆ない)こと、製作容易なこと、永久歪の程度の小なること(伸び切つてしまはしないこと)之れを可動体への導線として用ふるから電氣抵抗が小さく溫度係數が小なること銅に對する熱起電力の小なること等が望ましい。是等の條件を満足するものとして一般に用ひられて居るのが磷銅 (phosphor bronze) であつて、錫 4~10%、

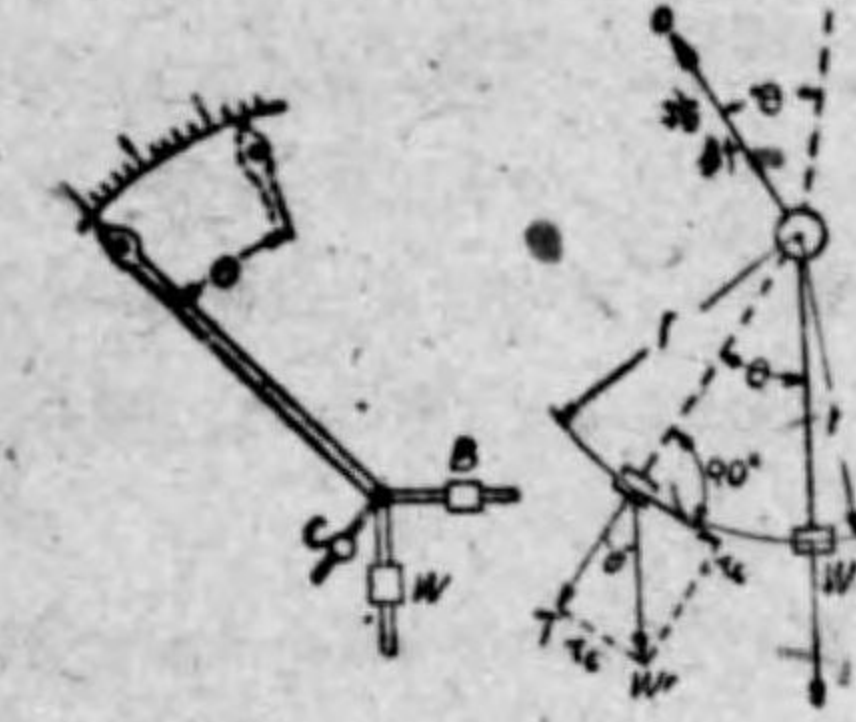
錳 0~0.5% の銅合金である。尙最近はベリウム 2.25% 含有したベリウム銅が有望視されてゐる。(ロ) (ハ) は主として檢流計に用ひられ (ロ) はよちれ反力を (ハ) は引張り反力を制御トルクとしてゐる何れも指針の偏れ θ に比例した制

御トルクを與へる。材料としては、磷銅の外に絹糸、石英糸が用ひられることもある。

註 ① 磷銅は、弾性係數 (E) $10 \sim 13 \times 10^8$ g/cm²、弾性の溫度係數 $-0.04\%/^{\circ}\text{C}$ 、電氣抵抗 $8 \sim 20 \mu\Omega\text{cm}$ 、抵抗の溫度係數 $0.1 \sim 0.05\%/^{\circ}\text{C}$ 、銅に對する熱起電力 $2 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$

② 渦巻弾條の場合で、2 箇の弾條の巻き方を反對として可動軸の上下に取付けて溫度の影響を相殺したのものもある。

③ 重力制御 (gravity control) グラビテイ コントロール 之れは可動部分に取付けられた重錘 W に作用する重力を利用するもので、第 2.2 圖の (イ) は其の 1 例であつて B 及 C は W を取り除いたとき、其の位置を調整して指針が任意の位置で靜止するやうにせられる平衡用重錘である。従つて指針の回轉角 θ に應ずる制御トルクは W に働く重力作用のみを考ふればよい。今 W が垂直の位置にあるとき、指針が零位を示すやうにして置くと、之れより θ 角偏れたとき W に働く力は零位に



第 2.2 圖

戻そうとする τ_c (重錘半徑 r に直角なる分力) と半徑方向の T に分解して考へることが出来る。従つて

$$\text{制御トルク } \tau_c = Wr \sin\theta = K \sin\theta \quad K \text{ は常數}$$

支点 (回轉軸) に働く力は (支点と其の点の距離 \times 其の点に働く力) となる……挺子に働く力を考へられよ……

従つて、重力制御に依る制御トルクは指針の振れの角 θ の正弦に比例することになり、弾條制御のやうに θ に正比例しないことが缺點である。然し構造が簡單で廉價であり、比較的正確であつて、主として配電盤用計器に採用される。

尙、渦流制御に就ては積算計器の處で述べることにしやう。

2.2.3 制動装置

今、駆動トルクが可動部分に與へられて回轉をすると、それに應じて制御トルクが増大し始め、可動部分の回轉を制止する様に働き、駆動トルクが制動トルクに等しくなつた位置で回轉は止り、指針は或る指示をする。……

註 假りに儲君が自轉車で走つてゐる時、横の辻から子供がヨチヨチ走り出して來た。

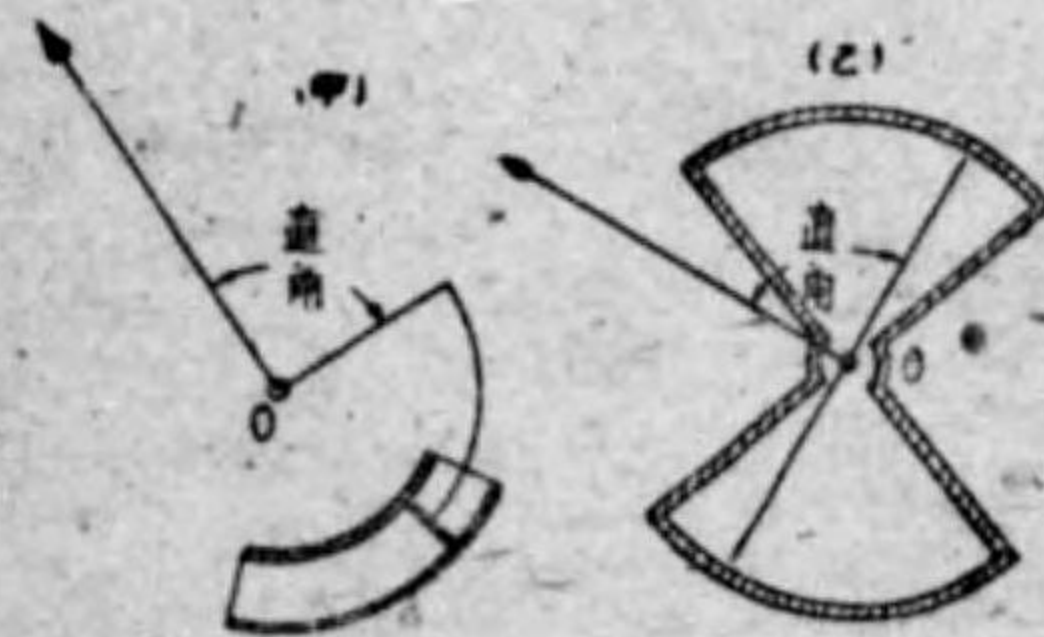
……「あつ、危い」と急にブレーキ(制動)をかけた……子供は幸ひにも怪傷はなかつた……が、車上の君は其のアフリを喰つて前にのめり出す……と云ふ様な経験があらう。之が慣性(物体一般が有する性質)の中で重要な慣性の作用である。

そして此ののめり出す力は、走つて居る速度が大である程大きく、又同じ速さの時であると自轉車に荷物を載せて居た時の方が強い事も経験済みであらう。

斯様な慣性の作用は、たとひ小さな計器の可動部分にも生ずるもので、制御トルクが発生しても慣性の作用で回轉が直ちに止まらないで一寸行きすぎる。所が回轉しすぎた以上に制御トルクが駆動トルクよりも大きくなるから、その力の差だけ、可動部分は逆戻りせよれるすると今度は制御トルクが小さくなつて、駆動トルクの爲に又始めの方向に回轉されるのである。斯様に回轉部分は止るべき点を中心にして「振動」を生ずる。そして可動部分の摩擦力のために振動する力が(駆動トルクと制御トルクの差)減少して遂に駆動及び制御トルクの値の等しい位置に静止する。此の「振動」に要する時間が大であると其の時の電氣値が測定されない。特に自記計器等では此の点に困難を感じる。

又例を自轉車に持つて来て……諸君が自轉車に乗つて口吹えでも吹き乍ら至極く愉快に走つてゐる……と道端に蛇がトグロを巻いてゐる……ハツと氣が付いてハンドルを切つた時は最早遅く人家の土壁に衝突……と云ふ事に若しなつたとしたら、衝突の瞬時迄氣が付かずに居たとすると、よもや無事にはすむまい……氣持の悪い例ばかりだねて、次には又いゝ例を出すよ……先づ土壁の1メートル前位で氣が付いてブレーキをかけたとなると、たとひ衝突したとしても、一寸の衝撃だけで済む。ブレーキで慣性の力を減殺したから、それだけ衝撃が少なく済む。此の例の様に、可動部分に制動装置を取付けて慣性の力を減殺して置くと、制御トルクと等しい所で指針はピッタリと止まる事が出来、可動部分の受ける衝撃も少く耐久性を増す。

此の制動装置には、空氣や濃厚な液体の壓縮力や摩擦力に依るもの、渦流に依る方法等がある。



第 2.3 圖

可動部分の速度に比例して空氣が強く壓縮されて制動力が増加する。

② 液体制動 (liquid damping) 之れは第 2.4 圖にて示す様に、油やグリセリン

の様な粘着力の大きい液体中に板を置くと、可動部分の回轉に依つて板と液体



第 2.4 圖



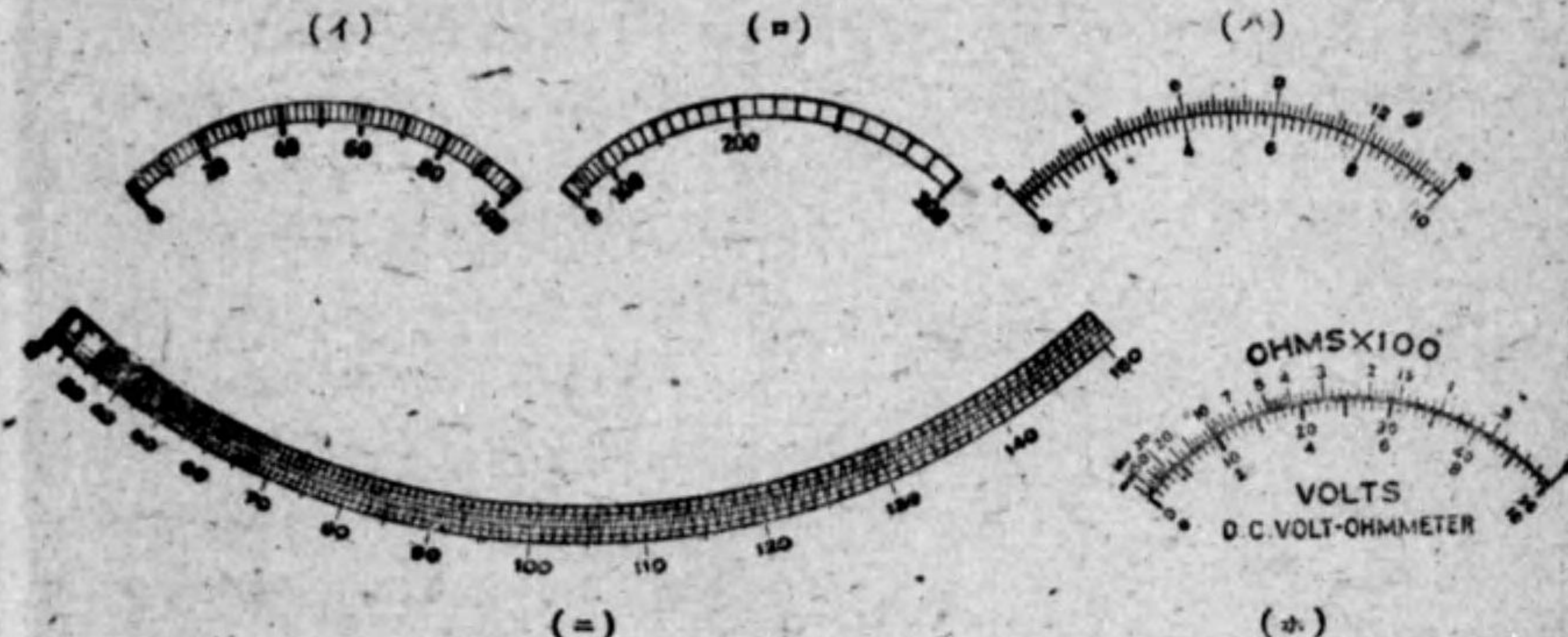
第 2.5 圖

の間に摩擦力が生じて之が更に大きな…制動力は可動体の速度の自乗に比例する…制動の作用をする。然し計器の傾斜の爲め液が漏れたり、液体が樹脂化し、或は温度に依つて制動力が變化するので、可動部分の重量の大きい記録計器、ケルビン多層靜電電壓計等の他には殆んど用ひられない。

③ 電磁制動 (electromagnetic damping) 之れは第 2.5 圖に示す如く、可動部分と共に回轉する金屬棒又は金屬圓板を強力な耐久磁石内に置いて、圓板が磁力線を切つて渦流を生じ、此の渦流と磁力線の間を生ずる回轉力を利用する。此の回轉力は圓板の速度に比例し、第二卷 P 50 以下に説明したやうに圓板の回轉方向と反對となるから制動作用を行ふ。

2.2.4 指示装置

① 目盛 (scale) 第 2.6 圖は各種の目盛の一例を示したもので、(イ)は平目盛 (uniform scale) と云ひ、單位電氣値に對する目盛の長さは全目盛に亘つ



第 2.6 圖

て一様である。そうでないものが不平等目盛であつて(ロ)の如くである。斯く相違するのは駆動トルクと制御トルクの性質に依るのであつて、例へば可動線輪

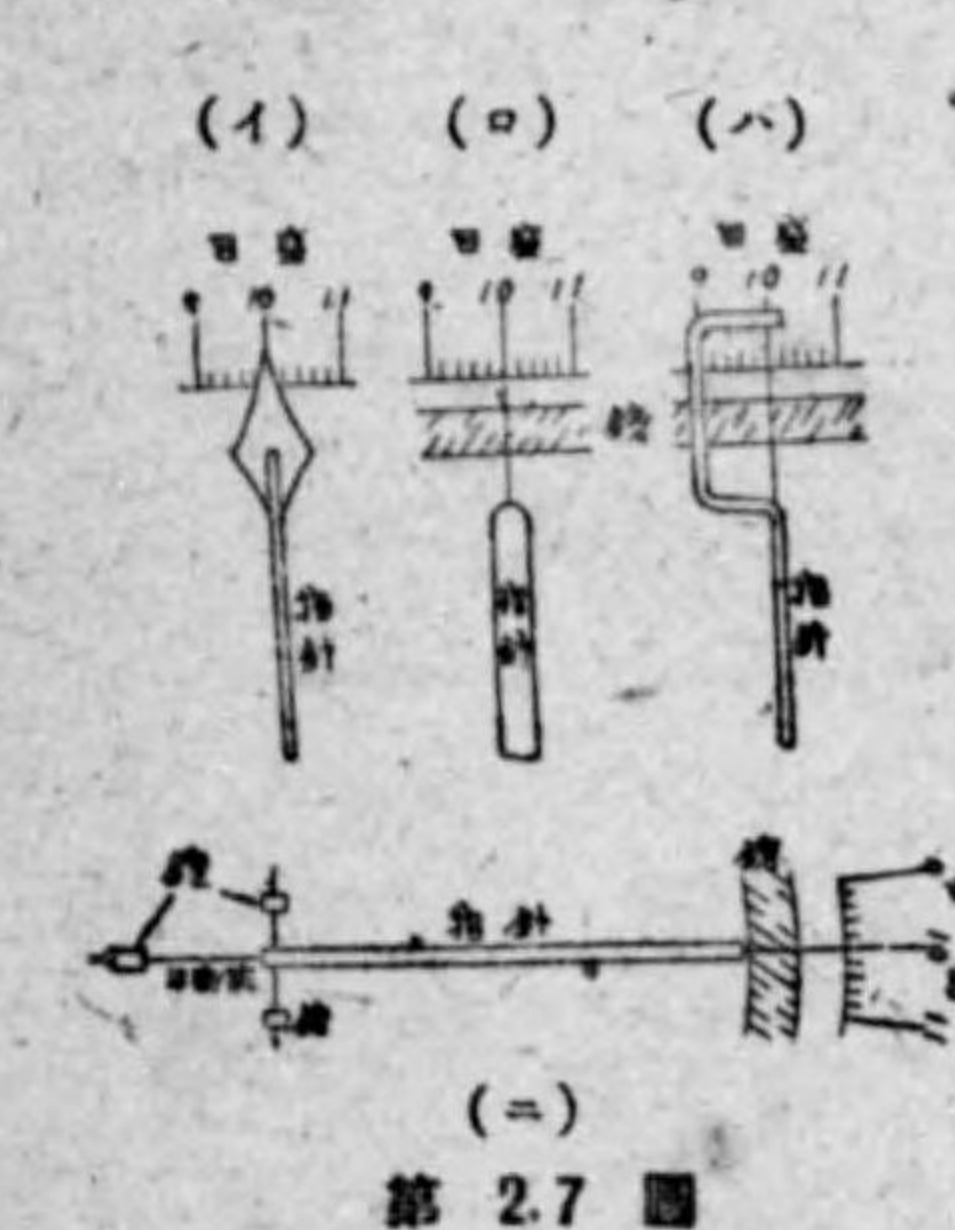
型計器、電流力型電力計は駆動トルクが電氣値に比例し彈條制御に依ると平等目盛となり、電流力型電壓計、電流計、熱線型、靜電型、可動鐵片型は駆動トルクが電氣値の自乗に比例するので彈條制御を用ふると自乗目盛の不平等目盛となつて(ロ)の如くに零の附近で目盛が著しく縮少して來る。……但し最近は動作装置及制御装置を工夫してなるべく平等目盛となるやうにせられてゐる。……或は又、一つの計器で電壓と電流を測定したり、測定範圍を2段以上とするときには二重目盛(double scale)とせられることもある。(ハ)は之れを示してゐる。

(ニ)は對角線目盛(diagonal scale)と云ふものであつて、特別精密級計器に用ひられ、普通の計器の1目盛の1/5迄が正確に読み取られる。(ホ)は對數目盛(logarithmic scale)と云つて、計算尺と同様のもので、メガとかオーム計のやうな廣い測定範圍のものに對して、目盛の各部に於ける読み取りの誤差が一定なるやうにせられて居る。

補講 ① 精密級には眞鍮板、亜鉛板等にケント紙を貼付したものが用ひられる。其の眞鍮板の表面を銀梨地に鍍金仕上げしたもの、アルミニウム板の表面を梨地に仕上げたもの金屬板に白色塗料を施したものがあつた。尙夜間使用するものは目盛板の素地を黒色とし、目盛を白色文字として發光塗料を施したのもある(指針にも夜光塗料を施す)之れは航空計器や燈火管制の設備として發變電所に用ひられてゐる。

② 目盛を行ふには標準器と合せて無地目盛板に主要な点を5~20点つけて、之を適當に細く分割して墨入を一々手で行ふ。(豫じめ機械的に行ふと誤差が相當に生ずる)

③ 指針(pointer) 指針は輕くて丈夫で慣性作用が少く、讀取りの容易なやうな形状のものが望ましい。一般にアルミニウム又はヂュラルミンの引抜中空管が用ひられてゐる(管の太さ、外径0.3~1.0 耗、厚さ0.03~0.1 耗)指針を形状から分類すると第2.7圖の如く、(イ)槍形指針(spear pointer) (ロ)双形指針(knife-shaped pointer) (ハ)織條指針(string pointer) (ニ)粹型指針(truss pointer)等になる。槍形は配電盤用等に用ひられ、遠方より読み易いやうにせらる。 (目盛にも太い線が用ひられる)

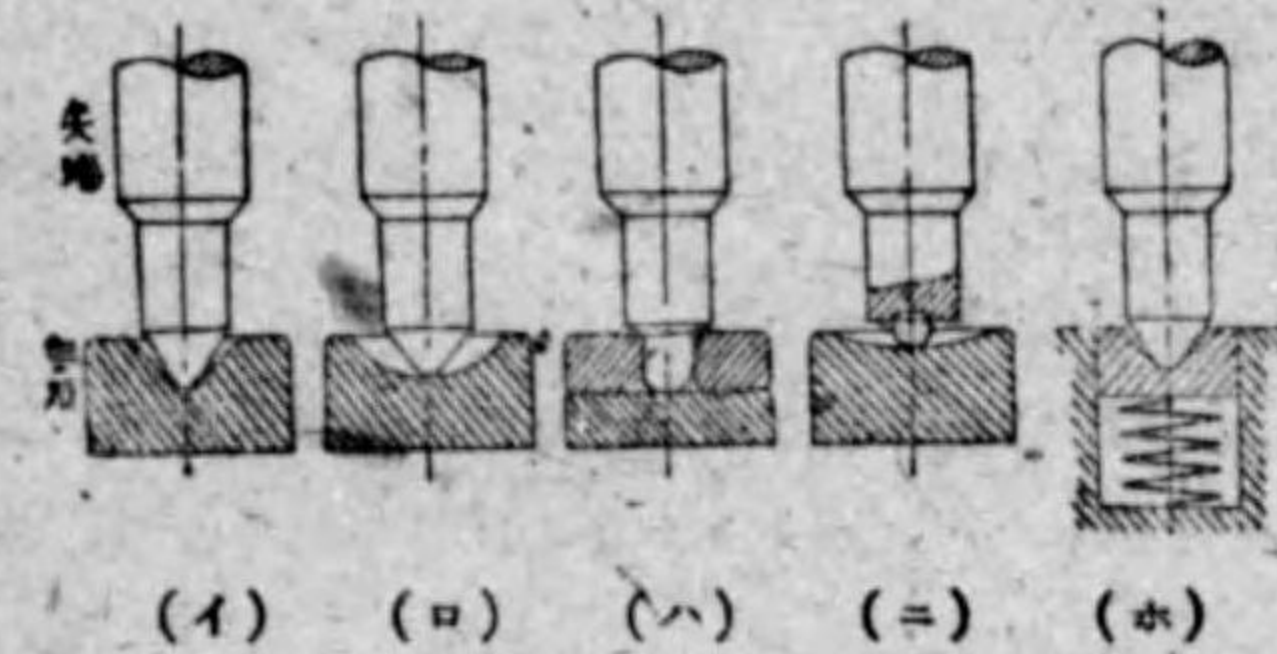


第 2.7 圖

双形は細い引抜中空管の先を平く押しつぶして双状としたもので、目盛りに沿つて取り付けられた鏡に寫る双影と双を合すやうに見ると視差(parallax error)を除き得る。織條型は指針の先を弓状として之に絹糸又は金屬線を張つたもので鏡面を利用して見る。交流用計器では指針の固有振動と電流の周波數が一致して共振し、讀み取り難くなる。之れを防止したのが粹型であつて、本指針に依るとあらゆる周波數に對して共振せず、輕快、堅牢で、交流用として適當である。……第2.7圖では指針は總て10を示してゐる……

彈條制御のものは可動部分が常に平衡して居る要がある。……不平衡であると少しの水平の狂ひでも誤差を生ずる。……前後、上下の平衡用としては(ニ)圖のやうな腕と錘が採用され、其の位置を調整して平衡を取る。尙指針の衝撃を緩和する爲めに、エポナイト、硝子等の針止めを用ふる。

④ 軸受(bearing) 電氣計器の可動部分を支持回轉させるものには、(i)軸受石及軸針を用ふるもの、(ii)ナイフ、エツチ及受石を用ふるもの、(iii)織條で吊るものの3つがあるが、現在主として用ひられて居るのは(i)であつて、



第 2.8 圖

其の各種を示すと第28圖の如くである。(イ)(ロ)は普通の軸受であり、(ハ)は車軸軸受(journal bearing) (ニ)は球入軸受(ball bearing)と云ひ、可動部分の

重量の特に大きいものに用ひられる。元來、軸受の良否は計器の精度、壽命に大なる影響を與へるから、極力摩擦を少くする爲めに、尖軸(pivot)を鋼鐵で作つて、其の尖端は約60°の角度で圓錐形とし、最尖端は摩擦を防ぐために0.005~0.03 耗の曲率半徑を持たす。軸受としては寶石を用ひ高級品には紅玉(ruby) 青玉(sapphire)を主とし、稀に、金剛石(diamond)を用ひ、普通品には紅石、柘榴石、瑪瑙等を使用する。之れを90°~120°の圓錐形に磨いて凹ませ、最低部の曲率半徑は0.15~0.3 耗とせらる。電管用、航空機用の如くに振動を受くる場所に用ふるものは(ホ)圖の如くに、寶石の受くる衝擊力を緩和する爲めに織條を以て寶石を支へてゐる。

(註) 重量の大きいもの程(ロ)の如くに寶石を淺い皿孔とする。

① 外函 (case) 計器の構造部分を納める外函には、丸型、錐型、扇型等があつて、十分に気密に作られる。材料は携帯用精密級はチーク、胡桃製の本函を用ふる（ベークライト製、金属製のものもある）鐵板製カバーを施すと相當の遮磁効果がある。特に目盛部分のみを硝子窓とすれば破損の虞少く、遮磁効果もよく適當である。……配電盤用には鐵函として、全正面を硝子として見易くしたものもある。又濕氣の多い處とか防水の必要のある場所を使用するものはパツキングとしてゴムを用ひ、端子引出部に特に注意された耐水外函 (water-tight case) を用ひ、航空機用の如く振動の激しい場所を使用するものは合はせ硝子を用ふることが多い。

2.3 電氣計器として具備すべき要件と誤差

2.3.1 具備すべき要件

電氣計器として具備すべき要件は大體次の如くである。

- ① 指示が正確で見易く、使用状態に依る影響の少いこと。
- ② 應答度が良好で速指であること。
- ③ 過負荷耐量が大で、絶縁抵抗、耐力共に良好なこと。
- ④ 構造が堅牢で取扱ひに便で耐久性のあること。

(註) 應答度と云ふのは、計量値の變化に對する指示變化の遲速を云ふのであつて、勿論計量値の變化に速應じ、應答度の高いことが望ましい。速指もこれに關聯したことで、制動作用が十分に利いて、速かに指針が止ることである。

2.3.2 電氣計器に生ずる誤差

電氣計器に於て誤差の原因となるものに、計器の機械的の不良、外部の熱や磁界や靜電界の影響、尙此の外に交流計器として、交流の周波數が異なる (60サイクルのものが 59 サイクルに低下する等) 事や、正しい正弦波交流でなくて、波形が歪む事等の影響がある。次に原因を細別して説明しよう。

① 計器の機械的の不良 之には (i) 軸受の摩擦が大となる事、(ii) 指針の歪み (之は計器を分解した時の不注意等で生ずる) (iii) 彈條の強さが長い間の使用で弱くなる。 (iv) 計器可動部分の中心不平衡等である。尙目盛の不正 (不平等目盛のものに多い) も先天的の誤差原因となる。

② 外部状態の影響に依るもの (i) 外氣温度の影響; 外氣温度が變化すると

耐久磁石の磁界、鐵心の導磁率、制御装置の彈條の強さ及び導体の抵抗等の變化があり、熱型計器では熱の放散係數が異つて來るので之も誤差の原因となる。又計器の通電部分自身の發熱の爲に矢張り誤差の原因となる。

(ii) 外部磁界又は靜電界の影響; 計器の近傍に磁界がある時は、計器内の磁力が變化して誤差の原因となる。そして斯様な事が豫め判つて居る場合には計器を磁界の方向に 180° 回轉して二度測定した値の平均を採れば、誤差の \pm が相殺せられて略々眞の値が得られる。それから、計器内部の漏洩磁束の影響で誤差を生ずる事もあるから、之には磁氣遮蔽を可動部分に施す必要がある。

靜電型計器では、外部靜電界の影響を受ける。計器の窓硝子を拭つた爲に指針が帯電して誤差を生ずる事もある。(之を防止するには硝子板の周圍に錫箔を張つて指針と電氣的に接續する) 又電磁力を利用する計器でも、電壓が高い時は線輪相互の間の靜電力の爲に電磁力に誤差を生ずる事がある。之を防止するために靜電遮蔽 (金屬板) を施す必要がある。

(iii) 交流周波數の影響、歪波の影響; 交流計器が例へば 60 サイクル用として製作されて居るのに、昭和 14 年の電力飢饉の時の様に周波數が低下したとすると、計器の線輪のインピーダンスが變化して電流の變化を生じ、誤差を生ずる事になる。

又、正弦波形で定めた目盛であるから、波形が變化すると、その實効値や平均値が變化して誤差の原因となる。

以上に分類した様な誤差が種々と組合つて、或は相減じ合ひ、或は相助けて、計器全体の誤差となるので、之を豫め知つて置いて計器の指示の誤りを正さねばならない。其處で必要な時に、逓信省電氣試験所や、電氣協會の計器試験所等で試験の上「誤差表」を作つて貰つて、それで正しい値に更正する必要がある。

補講 ① 摩擦に依る誤差試験 計器に通ずる電流を除々に變化して指針を適當な位置に静止させ、計器を軽く叩いて指針の移動を検する。之れが指針の幅以内であれば上儀である尙、尖軸と軸受の間には多少の遊び (空隙) が置かれてゐるから、目盛の零点が時として變化することがある。

② 可動部分の不平衡に依る誤差 計器を軸の周りに左右 90° 傾斜させた時の指針の零点よりの最大移動が 5 耗以内のこと、一般に計器は其の使用位置を目盛板上に記號で表示する。

● 弾條の疲勞 30分間定格電氣値を加へた後、之れを遮斷した時の零位の狂ひが0.2%以内のこと。

● 自己加熱に依る誤差があるから15分間以内に指示が一定となるやうに規定されてゐる(熱型計器を除く)従つて暫く電流を通じてから讀みを取るのが精確である。

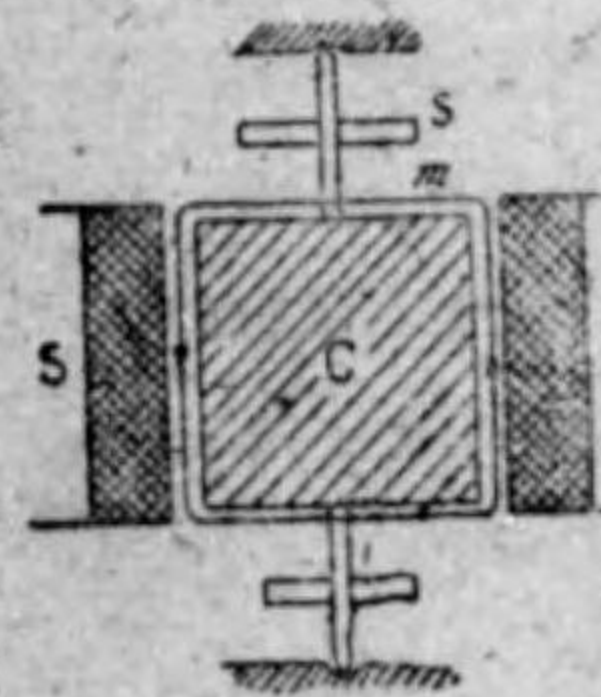
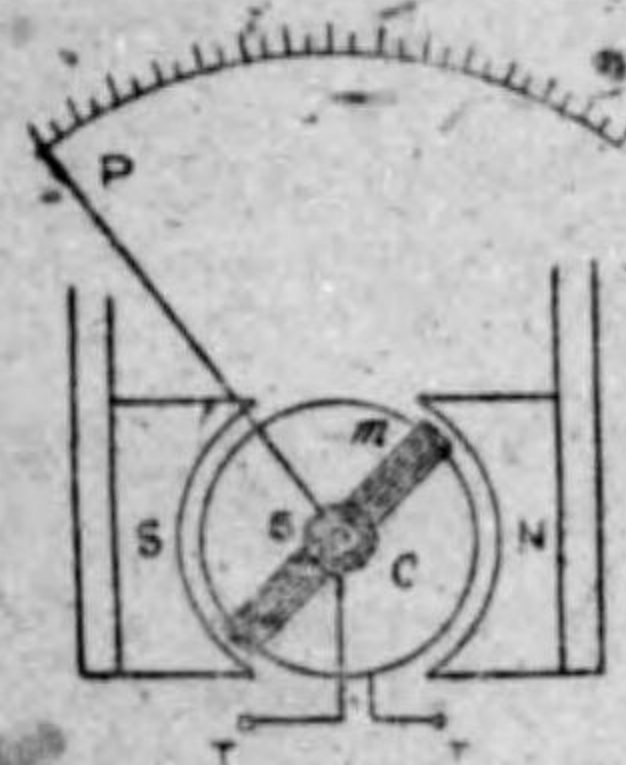
● 漏洩磁界の影響を受けるのは、電流力型、可動鐵片型、可動線輪型、誘導型等の電磁力を利用するものであり、熱型、靜電型は影響を受けぬ。周波數變化の影響を受けるのは誘導型が最も大で、可動鐵片型が之れに次ぎ、電流力型が最も少い。

3. 指示計器(一般電壓、電流、電力計)

3.1 可動線輪型計器(Permanent-magnet moving coil type)

以下の説明は成る可く簡単に、然も要点が得られる様に箇條書きとし、原理及び構造、特性及使用法(特に注意すべき事柄)の順に述べることにする。

3.1.1 原理及び構造 此の計器は磁界内に置かれた電流の受くる力(第二巻 P14 以下参照)を駆動トルクとして利用する。構造は第 3.1 圖に示す如くで



第 3.1 圖

耐久磁石の空隙内に可動線輪が置かれる。即ち N, S; 耐久磁石の兩極 C; 圓錐形軟鐵心(固定) m; 可動線輪 S; 制御トルクを與へる彈條、尚、ピボット上下には寶石軸受があり、P は指針、TT は電流を m に導く端子である。

扱 N, S に依つて生じた磁束は C の中心に向つて入る(斯様な磁界を向心磁界と謂ふ)それで N, S と C との空隙には何處でも強さの相等しい磁界が出来て、之れと m に流れた電流の作る磁界が作用して m に駆動トルクを生ずる。然して S の制御トルクと相等しい点で m の回轉は止り、P は目盛を指示する。S は上下の巻き方が逆になつてゐて、……巻き込む方と、巻きホイス方になつてゐる……彈條の溫度に依る伸縮の影響が相殺せられる。

H; 空隙に於ける磁界の強さ(エルステツド)

l : m の長さ(cm) b : m の幅(cm) n : m の巻數

I : m の電流(アンペア)

とすると、m の受ける駆動トルク τ_a は

$$\tau_a = \frac{H/bnI}{10} \text{ ダイン糎 (第二巻 P 15 以下参照)}$$

彈條の制御トルク τ_c は m の回轉角度 θ に比例するから

$$\tau_c = K\theta \text{ ダイン糎 である。}$$

此の $\tau_a = \tau_c$ となつて m の回轉は止むから、その時の θ を求めるには、上の 2 式を等しいと置いて

$$\frac{H/bnI}{10} = K\theta \text{ 故に } 10.K\theta = H/bnI \text{ より}$$

$$\therefore \theta = \frac{H/bnI}{10.K} = K_0 I \text{ 但し } K_0 \text{ は一つの計器では定つた一定數}$$

となる。即ち m の回轉角 θ は電流 I の値に比例する。だから假に 1 アンペアの電流が流れて 10° 回轉すれば、2 アンペアの電流を流した時は 20° 回轉するので、目盛は等間隔となる。制動装置は m を巻く棒をアルミニウムで作り、之に生ずる渦流が磁界 H と働いて生ずる反抗力を利用してゐる。(第二巻 P50 を参照)

此の計器に交流を流すと m の作る磁界の方向が交番するので m の受ける回轉力は時間と共に方向が交番して振動する譯であるが、實際は可動体の慣性の爲めに指針は振れない。即ち交流用としては用ひられない。然し整流器で交流を直流に整流して測定することがある。

3.1.2 電壓計として使用する場合 オームの法則に依ると $I = E/R$ であつて、此の R を計器の内部抵抗とすると、計器に流れる電流 I は計器に加へられた電壓 E に比例することになる。然るに計器の指示は之れに流れる電流を指示するから、目盛を適當にして置くと、計器は電壓を指示する。即ち、電流計も電壓計も本体は全く同一であつて、電流計として用ふるときは回路に直列に結び電壓計として用ふるときは回路と並列に結ぶ。然るに m の電流容量……線輪を焼損しない許された電流値……は最大 10~80mA (ミリアンペア) (電壓降下 45~100 mV)…… ~ の符號は乃至の意味……である。然るに 100 V や 200 V の電壓を計器の m に與へると m の内部抵抗は小さいから (1~10 Ω) 非常に大

きな電流が流れる爲、忽ち m は焼けてしまふ。其處で電流を $10 \sim 15 \text{ mA}$ 程度に止めて 100 V や 200 V の電圧を測定するには、大きな抵抗を m と直列に使用して、線輪の電圧……従つて電流を……を小さくする必要がある(動作電流を 7 mA 位とする)例へば、許容電流が 10 mA のもので 200 V の電圧を測定するには $\frac{200}{10 \times 10^{-3}} = 20,000 \Omega$ の抵抗を直列としなければならない。 750 V 位迄の電圧計は、直列抵抗を計器中に入れてあるが、それ以上の電圧になると直列抵抗に於ける消費電力が大きくなり、その發熱量のため計器に誤差を生ずるから、計器の外部に直列抵抗を装置する。(配電盤用は一般に斯くする)

補講 ① 最大目盛電流 10 mA の電流計を 100 V 回路の電圧計として用ふるには、内部抵抗を無視して $100 \div 10 \times 10^{-3} = 10,000 \Omega$ の直列抵抗を附する。斯くして 10 mA の目盛を 100 V とすると 5 mA の目盛は 50 V となる。事實 5 mA が流れた時の電圧は $5 \times 10^{-3} \times 10,000 = 50 \text{ V}$ で正しい。即ち斯く電流計を電圧計とすると、指示は電圧に比例し、目盛を變へると正しく電圧計となる。

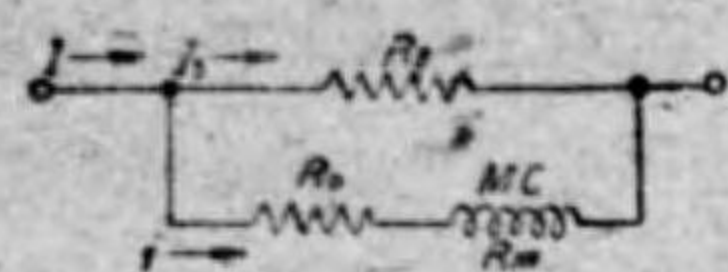
② 此の直列抵抗としては温度に依つて抵抗の變化しない、即ち、抵抗の温度係数が零に近いマンガニン線を用ふる。此のことに就ては次項で更らに述べる。

③ 直列抵抗を變へると電圧計としての測定範圍が異なる。例へば上記で直列抵抗を $20,000 \Omega$ とすると 10 mA の指示は 200 V となり、最大目盛 200 V の電圧計が得られる。此の直列抵抗を倍率器とも云ふ。

④ 計器内で失はれる電力は、其の内部抵抗を r とすると電流計では $I^2 r$ であり、電圧計では E^2/r である (I 及 E は測定電流及電壓) 此の損失は全く無用のものであるから、之れを能ふ限り小とせねばならぬ。即ち電流計の内部抵抗は能ふ限り小とし、電圧計の内部抵抗に能ふ限り大とする。此の点からも前述の直列抵抗及後述の分流器の意義がある。

3.1.3 電流計として使用する場合 此の場合も 10 A や 50 A の電流が其の儘 m に流れたのでは計器は焼けてしまふ。それで m に低抵抗 R_s を並列に接続して、殆ど大部分の電流を之に流し、 m には全電流に比例する小電流を流すのであつて、與へられた電流を I とし、 m の抵抗を R_m とすると、 R_m の電流 $i_m = I \times \frac{R_s}{R_m + R_s}$ となるから R_s が一定であると m の電流は I に比例する。従つて目盛を i_m が流れたとき I として置くと、回路の全電流を指示する。第 3.2 圖に示す R_0 なる抵抗は、温度誤差補償抵抗と云ふものであつて、普通マンガニンで作られた抵抗である。此の作用を説明すると m は銅線であるから

温度に依る抵抗變化が大きく誤差の原因となる。それで抵抗温度係数が零に近い



第 3.2 圖

マンガニンの直列抵抗を用ひる、今 R_m の温度係数を α とすると $t^\circ \text{C}$ の温度上昇に依る抵抗の増加は $R_m(1 + \alpha t)$ となる。 R_0 が殆ど變化しないから $t^\circ \text{C}$ の温度上昇に依る全体としての抵抗増加は

$$\{R_0 + R_m(1 + \alpha t)\} - (R_0 + R_m)$$

となり、 R_0 と R_m の合成に対する温度係数 α_0 は

$$\alpha_0 = \frac{\{R_0 + R_m(1 + \alpha t)\} - (R_0 + R_m)}{(R_0 + R_m)t} = \frac{R_0 + R_m + R_m \alpha t - R_0 - R_m}{(R_0 + R_m)t}$$

$$= \frac{R_m \alpha t}{(R_0 + R_m)t} = \frac{R_m \alpha}{R_0 + R_m}$$

従つて、直列抵抗 R_0 を大にすれば、合成温度係数 α_0 を減少する事が出来る。(電圧計の場合も同様である) 然し余りに大とすると、前述の如く電流計としては内部電力損失が増大する缺点を生ずる。

補講 ① 並列抵抗 R_s を取り換へることに依つて、種々の測定範圍が得られる。之れを分流器と稱する。

② 第 3.2 圖に於て

$$I_s R_s = i(R_0 + R_m) \quad I_s = I - i \quad \therefore R_s = \frac{(R_0 + R_m)i}{I_s} = \frac{(R_0 + R_m)i}{I - i}$$

として I_s が定められる。

3.1.4 温度誤差補償の方法 温度に依る誤差は次の如くである。耐久磁石は 1°C の温度上昇に對して $0.02 \sim 0.03\%$ 程その強さが減少する。一方、彈條の強さは 1°C につき 0.04% 程弱まるので、互に打ち消しあつてその影響は少い。次に

$$m \text{ の抵抗 } R_m \text{ の温度係数は } \alpha = \frac{1}{234.5 + t} \quad (t \text{ は當初の温度})$$

であつて、 0°C の時は略々 0.4% 程の誤差を生ずる。之の影響も、電圧計であると、直列抵抗(マンガニン線)が大きく勘いが、電流計の方は、直列抵抗 R_0 を餘り大きく出来ないから相當の影響を受ける。これが補償方法も種々考へられてゐる。

3.1.5 可動線輪型の特長 本型の特長を掲げると次の如くである。

(i) 感度が良好であること 耐久磁石の作る磁界は強力(500~2000 エルステツド)であつて、従つて外部磁界の影響も少い。……可動部分の重量が他の型より軽い……従つて軸受摩擦の影響も少い……ので感度がよい。微小電流が精密に測定される。これが交流をわざわざ整流して本器で測定する理由である。

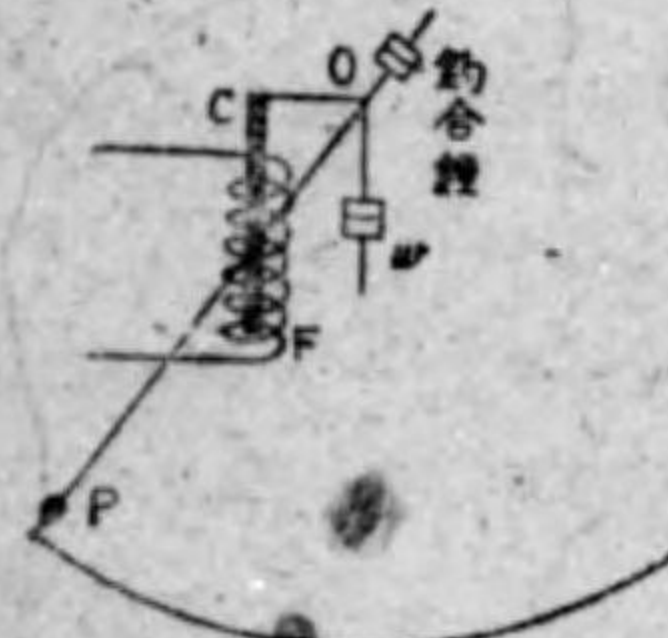
- (ii) 前に示したやうに、機械的良度がよく、確度が高い。……消費電力も少い
- (iii) 平等目盛で、測定範囲を容易に変更し得る。

3.2 可動鐵片型計器 (moving-iron type)

此の型は固定線輪に通する電流に依つて磁界を生じ、之が軟鐵片を吸引又は反撥する力を利用して駆動トルクを得て居る。

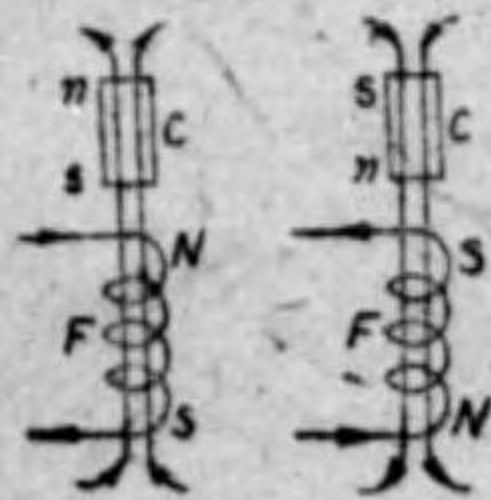
3.2.1 吸引型 (嚙子型) (attraction type plunger type)

その構造を示すと第 3.3 圖の如くであつて、F は固定線輪で、測定される電氣値に應ずる電流が流れる。C は F に吸引される可動鐵片、w は制御トルクを發生する重錘である。F に流れた電流に依つて磁界を生じ、其の作用で C が F 中に吸込まれる。此の力を駆動トルクとする又制御トルクは重錘の重力作用に依り制動は空氣制動に依つて居る。F が C を吸引する力は、電流の方向には關係がないから (補講参照) 交直兩用である。F と C との作用力は單位電流値に對して小さいから感度が悪い。駆動トルクを大とする方法として、磁束密度を大とするために C を大にする方法もあるが、w の重量も大きくなり、摩擦力が大となつて所期の効果が上らない。一般に配電盤用計器として使用されて居る。



第 3.3 圖

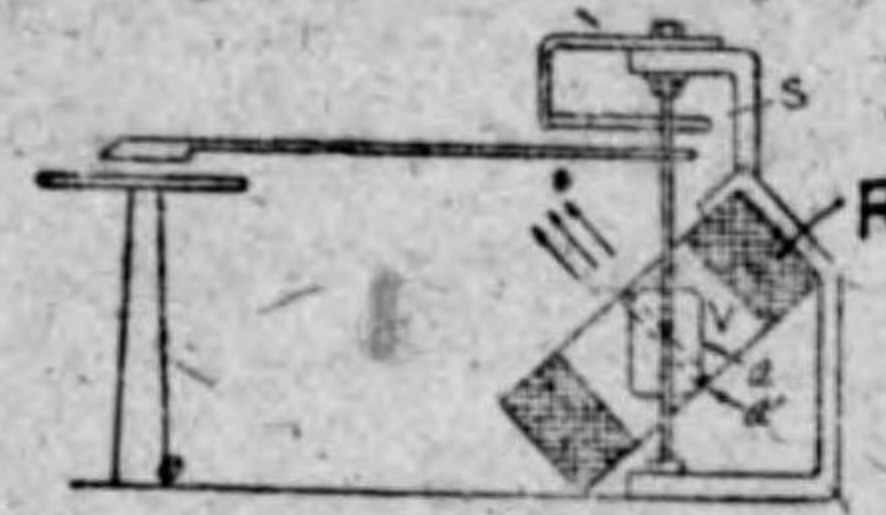
補講 電流の方向が反對となると第 3.4 圖の如くに F の作る磁界の方向が反對となるが、C を通る磁力線の方向も反對となり、其の極性が前と反對になるから C が F 内に吸込まれることには變りがない。即ち F に交流を流しても C の受ける力は上より下の方向に常に一定である。



第 3.4 圖

3.2.2 傾斜線輪型 (inclined-coil type)

之は第 3.5 圖のやうな構造を有するもので、F は固定線輪で、回轉軸に對して 45° の傾斜をするやうに取付けられて居る

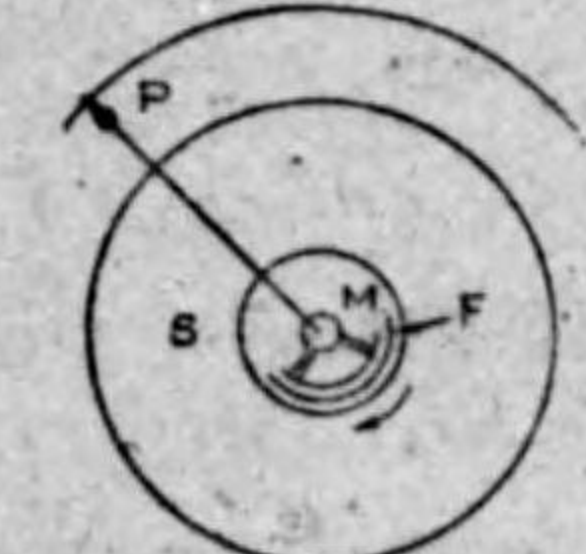
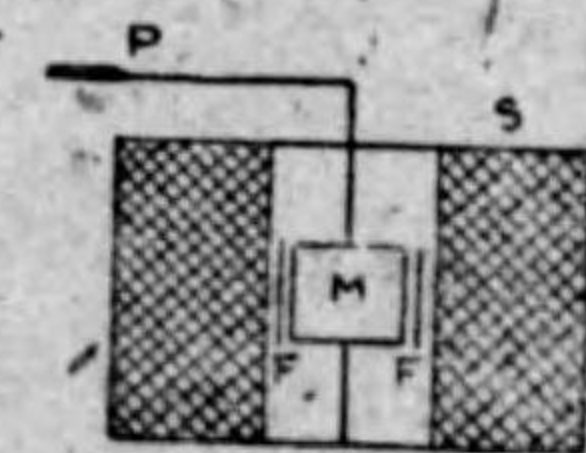


第 3.5 圖

V は F の磁界の作用を受ける可動鐵片であつて、之も軸と 45° の傾斜をするやうに取付けられ、F との間に 90° の角度がある。S は制御トルクを發生する彈條である。F に流れた電流に依つて、矢の方向に磁界を生ずる

V は此の磁界の方向と平行なる様、即ち a より a' の方向に回轉する。(可動鐵片 V が成る可く磁界の磁氣抵抗を小さくする様な位置に移る) 之れを駆動トルクとする。又彈條 S が制御トルクを與へ、制動裝置として空氣制動を用ふる。此の型も交直兩用である、V の重量が前者に比べて小さいから感度は良好であつて、主として配電盤用として用ひられる。

3.2.3 反撥型 (repulsion type)



第 3.6 圖

此の型の構造は第 3.6 圖の如くで S は固定線輪で線輪の長さに比し直徑を大に取つて居る。F は固定鐵片であつて S の圓周に沿つて其の内部に取付けられて居る。M は可動鐵片で S の内周に沿つた圓周を持つもので、之に軸が取り付けられて居る。F と M とが S に依つて同一極性に磁化されるから、F と M の間に反撥力を發生して駆動トルクとなる。制御トルクは彈條の作用に依り制動には空氣制動が採用されて居る。F を下圖に示すやうに特殊な形に作つて、目盛が成る可く、等間隔目盛 (平等目盛) となる様に設計されて居て、交直兩用に供せられ、携帶用としても用ひられる。

3.2.4 理論及び特性

固定線輪に電流を流すと、之れは普通圓筒線輪であるから、其の内側に生ずる磁界の強さは

$$H = \frac{4\pi nI}{10} \text{ エルステツド} \quad \text{で表される。}$$

但し I : 固定線輪に流れた電流 (アンペア) n : 同巻数 (1 cm 當りの) であつて $4\pi n/10$ は同一の計器では一定数であるから

之を常數で表すと $H = K_1 I$ である。

此の磁界に依つて可動鐵片は磁化せられて固定線輪に作用されるのであるが、此の作用力は ① 及び ② の型では磁界の強さを鐵片の磁束密度に關係し ③ の型では兩鐵片の磁束密度に關係する。

① 及び ② の型では、可動鐵片の磁束密度 B は磁氣飽和 (第 2 卷 1.8 参照) になるまでは固定線輪の磁束即ち其の電流に比例するから

$$B = K_2 I \quad \text{で表される。}$$

駆動トルク τ_a は

$$\tau_a = K_3 H B = K_3 \times K_1 I \times K_2 I = K_3 K_1 K_2 I^2 = K_4 I^2$$

で表される。茲に $K_4 = K_3 K_1 K_2$ で何れも定數である。即ち τ_a は電流 I の 2 乗に比例する。

又 ③ の型式にあつては F の磁束密度は前と同様に $B_0 = K_0 I$ であるから

$$\text{駆動トルク } \tau_a \text{ は } \tau_a = K_5 B B_0 = K_5 \times K_2 I \times K_0 I = K_5 K_2 K_0 I^2 = K_6 I^2$$

となる。茲に $K_6 K_5$ は常數である。

即ち ③ の型式にても ① ② と同様、 τ_a は I の 2 乗に比例する。

一方、制御トルク τ_c は ① の場合は重力制御であるから $\tau_c = K' \sin \theta$

② ③ は場合は $\tau_c = K'' \theta$ である。

茲に θ は回轉部分の回轉角度である。

指針の止るのは τ_a と τ_c が等しい時であるから

$$K I^2 = K' \sin \theta \dots \dots \text{重力制御} \quad K I^2 = K'' \theta \dots \dots \text{彈條制御}$$

と置く事に依り

$$\sin \theta = \frac{K}{K'} I^2 \quad \therefore \theta = \sin^{-1} \frac{K}{K'} I^2 \dots \text{重力制御} \quad \text{又は} \quad \theta = \frac{K}{K''} I^2 \dots \text{彈條制御}$$

となるから、回轉角度は電流の 2 乗に比例する事になり、單位電流に對する回轉角度 θ は電流 I の値が大となるに従つて増大する。即ち先開き目盛となる (線輪、鐵片の形、相互位置を適當にして零に近い部分の他は殆んど平等目盛に作られる)

以上は直流を使用した時の事であるが、交流に使用した場合でもその力の生ず

る方向は同一である。電流は時々刻々變化するから、電流の瞬時値 i の 2 乗に比例した τ_a を生ずる筈である。可動部分には慣性があるから、その回轉は瞬時的の變化に應じ切れないでその平均値で動作する。所が交流の瞬時値の 2 乗の平均値は、實効値の 2 乗であるから、(第 2 卷 2.7 参照) 結局、可動部分の動作は、交流の實効値の 2 乗に比例した値を示す事になり、交流にても差支へなく使用出来る。然し固定線輪のリアクタンスや磁氣ヒステリシスの影響があるから直流と同一目盛にはならない。(交流使用の時に蓄電器を使用してリアクタンスを打ち消す方法を探ることもある) 又、直流の場合でも、磁氣ヒステリシスの作用で残留磁氣を生ずるから、電流を増加して行く時の指示と、減少する時の指示が異つて来る。(同一電流で其の方向を何回も切り換へ、計器の読みが略々一定となつた後に更に電流の方向を切り換へて 2 回の讀みの平均を取ると略々正確な結果となる) 此の欠点を根本的に除くためには、残留磁氣の少いもの、即ち導磁率大なる硅素鋼等を使用する。(第 2 卷 1.9 参照)

斯様に本型の誤差は大きいから、精密級には使用出来ない。然し構造簡單従つて値段が低廉で交直兩用であり、配電盤用計器として廣く使用されてゐる。

此の種の計器は磁界の強さが弱いから、附近の電流等に注意して使用する必要がある。

補註 ① 本型は可動部分に電流を導く必要がないから構造が簡單となり、直接大きな電流を導き得る。

② 鐵片のヒステリシス損及渦流の爲に周波數及波形の影響を受け、温度及外部磁界に依る誤差も大きい。

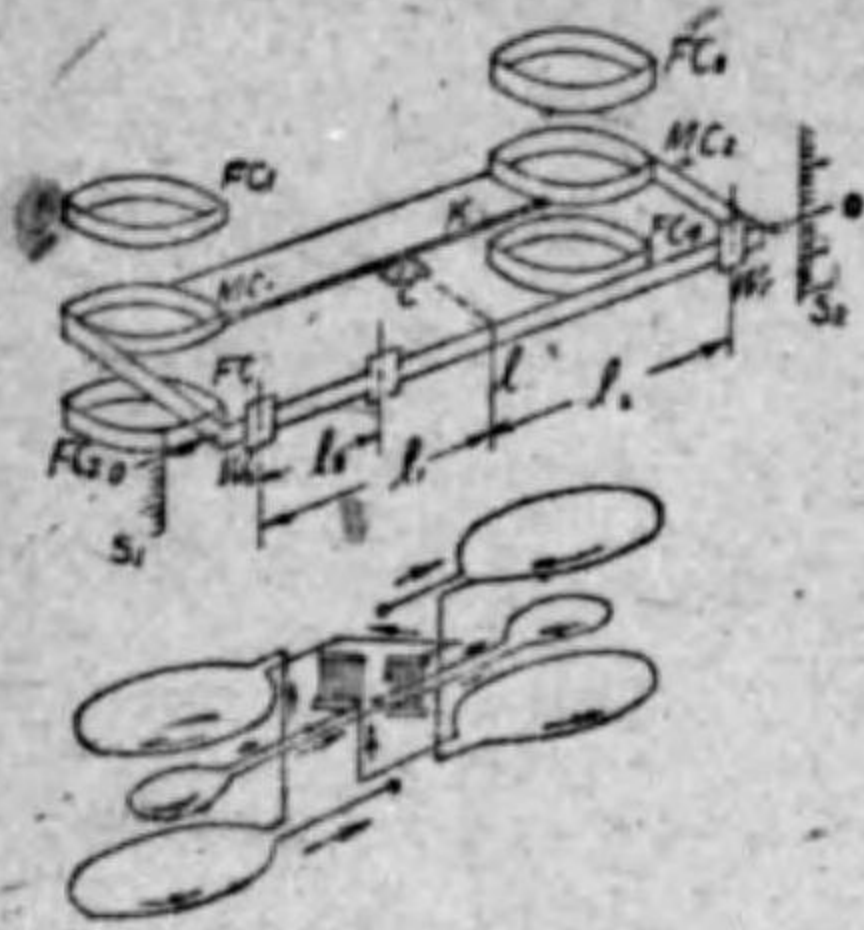
③ 電流計として用ふるときは巻數太さを變へて 0.02~750A と云ふやうな廣い範圍の電流を直接固定線輪に導く。電壓計の場合はマンガン線を直列とする。

3.3 電流力計型計器 (electrodynamic type)

此の型の計器は固定線輪と可動線輪に流した電流相互の間に生ずる反撥力又は吸引力を利用して、駆動トルクを得る。第二卷 (P 16 以下参照)

3.3.1 ケルビンアンペア秤 (ampere-balance) 此の型は電流の値を積で測定するものであつて、實驗所に於ける精密測定に使用する。構造は第 3.7 圖の如くであつて、 FC_1, FC_2, FC_3, FC_4 ; 固定線輪、 MC_1, MC_2 ; 可動線輪、 K ; MC_1

と MC_2 とを結ぶ横杆であつて、その中心は支点 C にて支えられてゐる。 l_1 之



第 3.7 圖

は目盛であつて、重錘が附いてゐるから重さを測る様に見えるが、その目盛は電流目盛である。 W_1, W_2 : 横杆の重錘で、此の位置で l_1 上の電流目盛を読むのであつて、之は又制御トルクを生ずる。 S_1, S_2 : 水平調整用目盛である。此の 4 箇の線輪に流れる電流の方向は下圖の通りであるから、 FC と MC の間に

(i) 電流の方向が等しい時は吸引し、反対の時は反撥する力を發生し

(ii) その力は、兩方の導体の電流値の 2 乗に比例する。
 之れに依つて吸引又は反撥の力が生ずる。(第 2 卷 1.5 参照) MC_1 は FC_1 に反撥され、 FC_2 に吸引され、 MC_2 は FC_2 に吸引され、 FC_3 に反撥されるので横杆 K は反時計式(左廻り)に駆動トルクを發生する。それで、横杆上の重錘 W_1, W_2 を平衡して K を水平とする。その時の W_1 の位置で電流値が知られる。今線輪に流れる電流を I とすると、一つの FC と MC との間に生ずる力は $f = KI^2$ となる。即ち FC と MC とには同一の電流が流れるのであるから f は I の 2 乗に比例する。そして FC_1 と MC_1 間の反撥力が f であり、 FC_2 と MC_1 間の吸引力が f である。之が加はり合つて MC_1 は反時計式に $2f$ の回轉力を生じる。又 FC_3 と MC_2 との間に吸引力 f があり、 FC_4 と MC_2 との間に反撥力 f があるから之が加つて MC_2 の回轉力は $2f$ となり MC_1 のそれと等しい。即ち MC_1 の回轉力と MC_2 の回轉力の値は相等しく、その方向は同一で K を反時計式に回轉せんとする。斯様な力の作用を偶力と云ふ……そして其の力は支点 C より l なる長さの点に生ずるから、其の回轉力は

$$\tau_a = 2fl_1 + 2fl_2 = 2fl = 2KI^2l = KI^2l$$

$$\therefore l = l_1 + l_2 \quad \text{普通 } l_1 = l_2$$

即ち、電流の 2 乗に横杆の長さを乗じたものに比例する。……之を力のモーメントと云ふ。

始め W_1 が l_1 に、 W_2 が l_2 にある時、横杆が水平にあつたとすると

$$W_1 l_1 = W_2 l_2 \quad \text{である。}$$

MC に回轉力が生じて、横杆は傾斜する。その時 W_1 を l_3 に移動して、横杆が再び水平になつたとする。若し此の時、回轉力が無かつたとすると

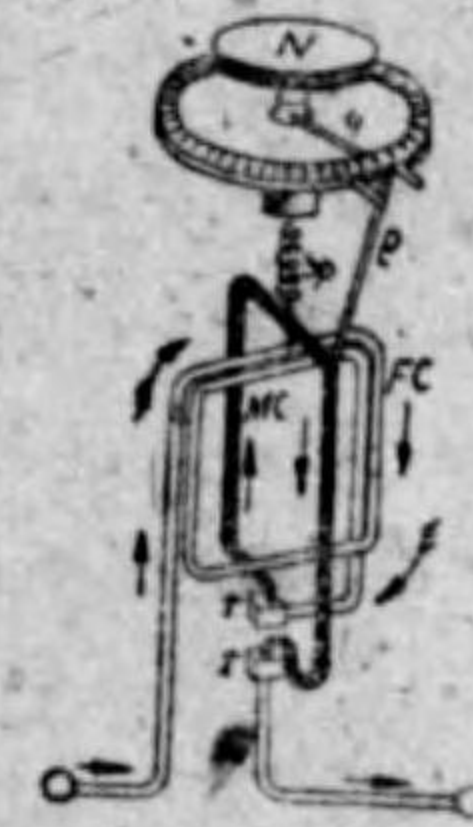
$$W_1 l_2 = W_2 (l_1 - l_3)$$

と云ふ力のモーメントに依つて、横杆は時計式に回轉を始めてゐた筈である。それが回轉力の作用で平衡したのだから次の等式が成立つ。

$$K_1 I^2 l = W_1 l_2 - W_2 (l_1 - l_3) = W_2 l_3 \quad \therefore l_3 = \frac{K_1 I^2 l}{W_2}$$

然るに l 及び W_2 は一定であるから $l_3 = K_2 I^2$
 即ち W_2 の移動目盛は、電流の 2 乗に比例する。

3.3.2 シーメンス電流力計 第 3.8 圖のやうな構造のもので、普通の電



第 3.8 圖

流計と非常に異つた形であつて、前のケルビンアンペア秤と共に實驗所用である。圖で FC : 固定線輪であつて、之に先づ外部からの電流が流入する。 MC : 可動線輪である。 t : 水銀の入つた器で FC と MC を連絡するが、機械的連絡はないから MC は自由に回轉し得る。 S : MC を吊したツル巻彈條である。之れに圖の如く電流が流れるから MC と FC の間に電流力を生じ、 MC は矢

の方向に回轉せんとする。それで今度は捻子の頭 N を廻して指針 P が零を指示する様に戻す。その時 N に別に附した指針 q の回轉角度を読むと、之が求むる電流値を示す。

駆動トルク τ_a は電流の 2 乗に比例し $\tau_a = KI^2$ 此の時に回轉した捻子の頭の角度は q の指示に依り $\tau_c = K'\theta$ である。

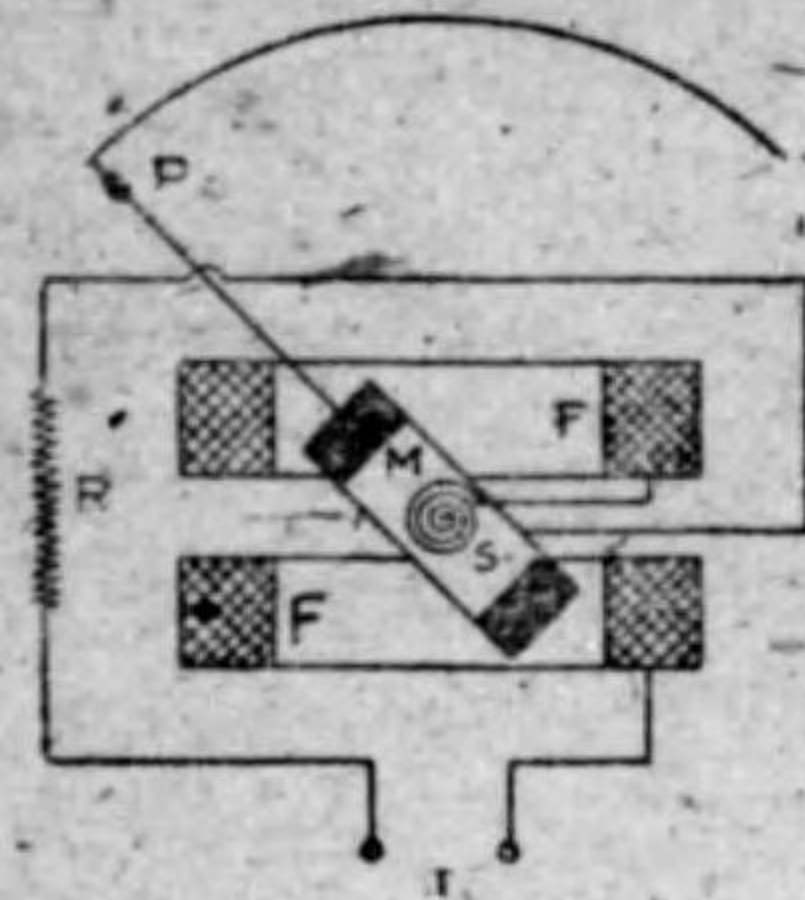
$$\tau_a = \tau_c \quad \text{より} \quad K'\theta = KI^2 \quad \therefore \theta = \frac{K}{K'} I^2 = K_0 I^2$$

即ち捻子の頭の回轉角度 θ は電流の 2 乗に比例する。

3.3.3 直讀式電流力計 ① ② は實驗室用であつて、精密であるが取扱が面倒である。次に一般用の直讀式のものに就て述べる。

之は指針の指示から直ちに電流(電壓)値が求められるもので、第 3.9 圖は此の種の計器の構造を示す。圖に於て F : 固定線輪、 M : 可動線輪、 S : 制御用彈

條、向 α を駆動トルクが零である時の M と F の中心線がなす角とすると F



第 3.9 圖

に依つて生じた磁界は、強さ H なる均一磁界であり M に流れる電流 I_M との間に駆動トルクを發生する。

即ち $\tau_d = K_1 H I_M \cos(\alpha - \theta)$
但し、駆動トルクを受けて、M が θ だけ回轉したものとす。

(註) 此の式に就ては第 2 卷 1.4 を参照

そして F に依る磁界の強さはその電流 I_F に比例する。

即ち $H = K_2 I_F$ であるから

$$\tau_d = K_1 K_2 I_M I_F \cos(\alpha - \theta) \quad \text{となる。}$$

電圧計や電流計の場合は $I_F = I_M$ であるから、 τ_d は電流の 2 乗に比例するが電力計として用ふ時は I_M には電圧に相當する電流を流し I_F には電流を流すとその指示は電力に比例する事になる。

制御トルク τ_c は S の作用に依るから $\tau_c = K_3 \theta$ となり M の回轉角度 θ は

$$K_1 K_2 I_M I_F \cos(\alpha - \theta) \leq K_3 \theta \quad \frac{\theta}{\cos(\alpha - \theta)} = \frac{K_1 K_2}{K_3} I_M I_F$$

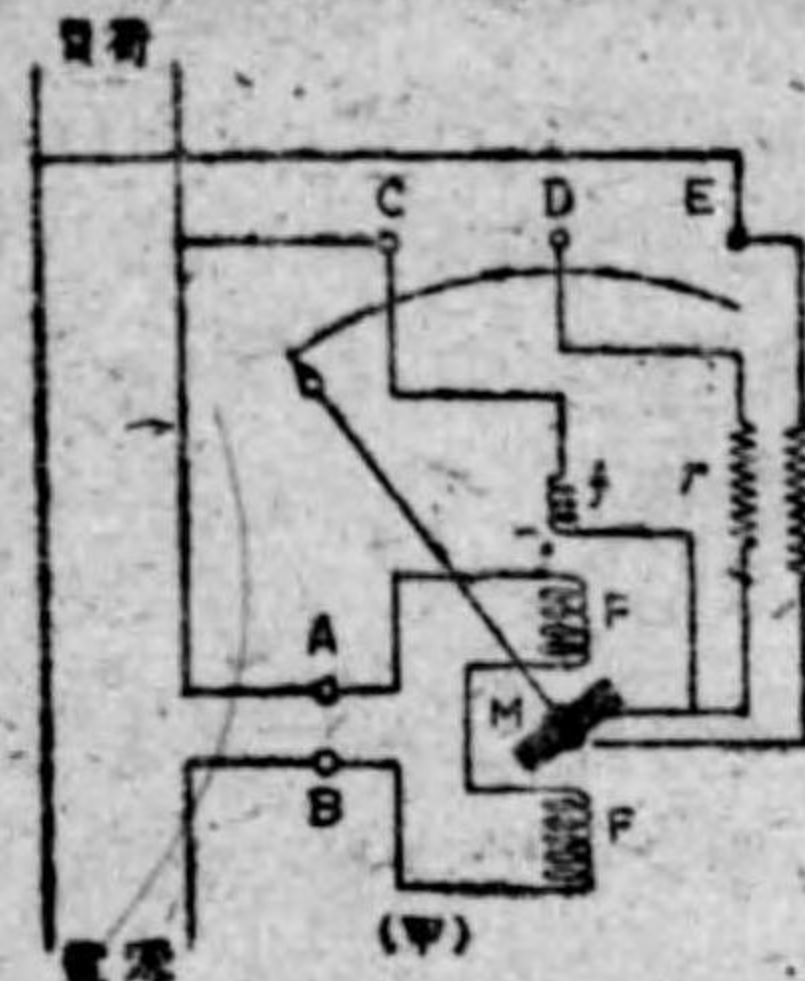
$$I_M = I_F = I \quad \text{とすると} \quad I = K \sqrt{\frac{\theta}{\cos(\alpha - \theta)}} \quad K \text{ は總て常數}$$

交流が流れた時は、可動鐵片型計器の處で説明した様に、その指示は瞬時値の 2 乗の平均を示す。即ち交流の實効値の 2 乗を示すから線輪のリアクタンスの影響をなくすると、交直兩用として、しかも同一目盛で使用される。

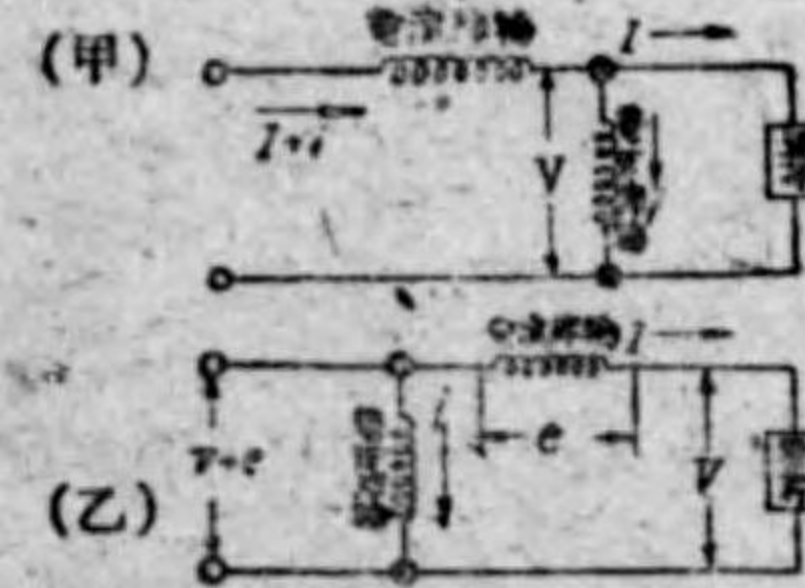
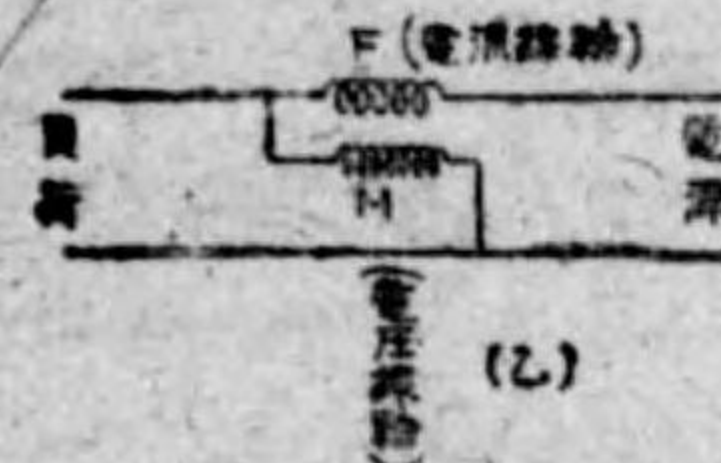
制動装置として 空氣制動を用ふる。又 M をアルミニウム枠に巻いて、可動線輪型の場合と同様に渦流制動を行ふと、交流の場合には電流の方向が交替し、渦流のために誤差を生ずるから適當でない。

3.3.4 電力計として使用する場合 電圧計、電流計の場合には F と M には同一の電流を流したが、電力計とする場合には、電圧に相當する電流を F か M の何れか一方へ流し、他方へ、電流に相當する電流を流すと、駆動トルクは (電圧) × (電流) 即ち電力に比例する事になり電力計となる。M は摩擦力が

大とする事を防ぐため、細い線輪を巻くから普通は之に電圧に比例した小電流を流す。之を電圧線輪とも云ふ。F には電流を流すから、之を電流線輪とも云ふ



第 3.10 圖



第 3.11 圖

此の構造は第 3.10 圖の如くであつて、R はマンガン抵抗であるが、之は回路電圧に應じて調整されるものである。此の計器で電力を測定するには、電圧線輪を電源—負荷と並列に接続し、電流線輪は線路と直列に接続するが、電流線輪の位置が第 3.11 圖の (甲) の如く電圧線輪より電源側にある時と (乙) の如く負荷側にある時の兩方の接続方法がある。(甲) の場合、電流線輪の電流は電圧線輪の電流 i と負荷電流 I との和が流れるから、電力計の指示は眞の電力 $W = KIV$ に対し $W' = K(I+i)V = KIV + KiV$ となるから、電圧線輪の電力損失だけ余分になり、之が誤差となる。(乙) の場合は電圧線輪に掛る電圧は、負荷の電圧 V と、電流線輪の電圧降下 e との和となるから、其の指示は

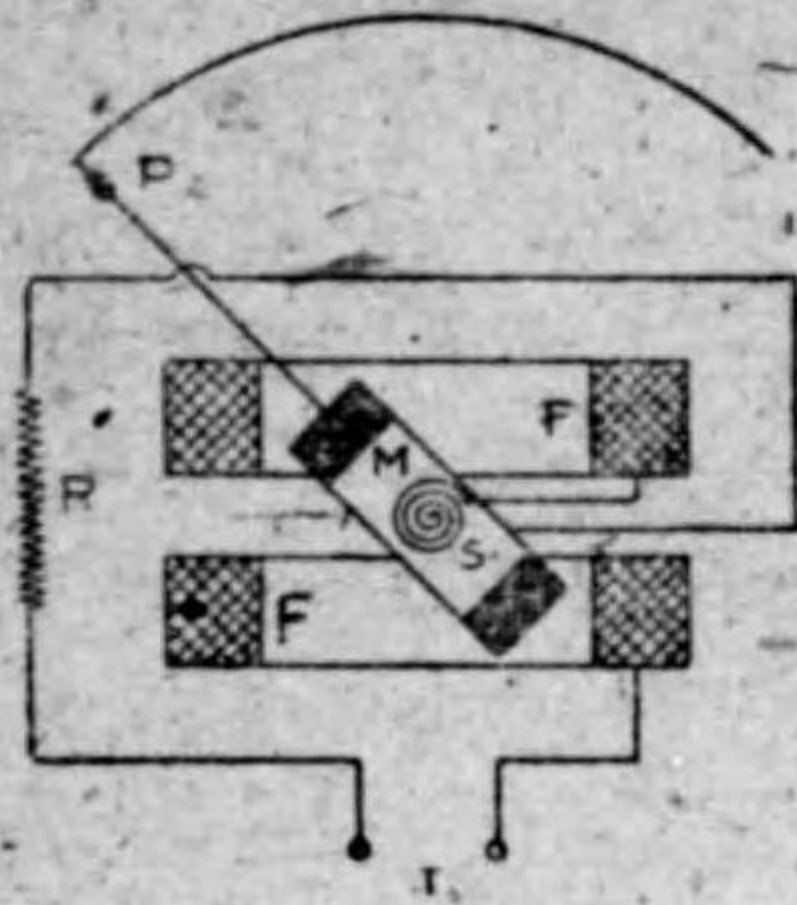
$$W'' = KI(V+e) = KIV + Kie$$

となり、電流線輪の電力損失を余分に計量する。此の誤差となる電力値は小さいから、大電力測定では大した影響はないが、小電力の場合は無視出来ない。

之を防止するのが f なる線輪である。今負荷電力が零の時を考へると (甲) の接続では電流線輪に電圧線輪の電流が流れるから、之に依つて駆動トルクを生じ、或る指示を與へる。それで電圧線輪と直列に f なる線輪を挿入し、無負荷の時の電流線輪の磁束を打ち消す磁束を生ずる様にその巻数を調整して置く。斯くすると其の指示には電圧線輪の損失を含まず、常に眞の電力を指示する。此の線輪 f を補償線輪と云ふ。

尚 D (E) の端子は試験端子と云つて、電力計を試験する際、實負荷をかけず

係、尚よを駆動トルクが零である時の M と F の中心線がなす角とすると F



第 3.9 圖

に依つて生じた磁界は、強さ H なる均一磁界であり M に流れる電流 I_M との間に駆動トルクを発生する。

$$\text{即ち } \tau_d = K_1 H I_M \cos(\alpha - \theta)$$

但し、駆動トルクを受けて、M が θ だけ回転したものとする。

(註) 此の式に就ては第 2 卷 1.4 を参照

そして F に依る磁界の強さはその電流 I_F に比例する。

即ち $H = K_2 I_F$ であるから

$$\tau_d = K_1 K_2 I_M I_F \cos(\alpha - \theta) \quad \text{となる。}$$

電圧計や電流計の場合は $I_F = I_M$ であるから、 τ_d は電流の 2 乗に比例するが電力計として用ふ時は I_M には電圧に相当する電流を流し I_F には電流を流すとその指示は電力に比例する事になる。

制御トルク τ_c は S の作用に依るから $\tau_c = K_3 \theta$ となり M の回転角度 θ は

$$K_1 K_2 I_M I_F \cos(\alpha - \theta) = K_3 \theta \quad \frac{\theta}{\cos(\alpha - \theta)} = \frac{K_1 K_2}{K_3} I_M I_F$$

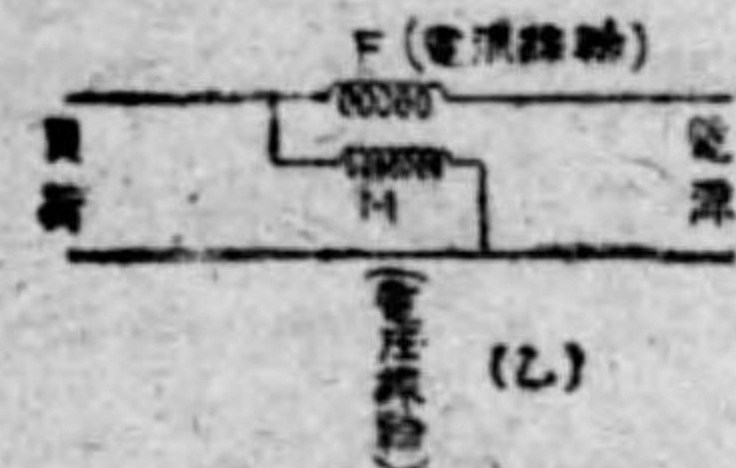
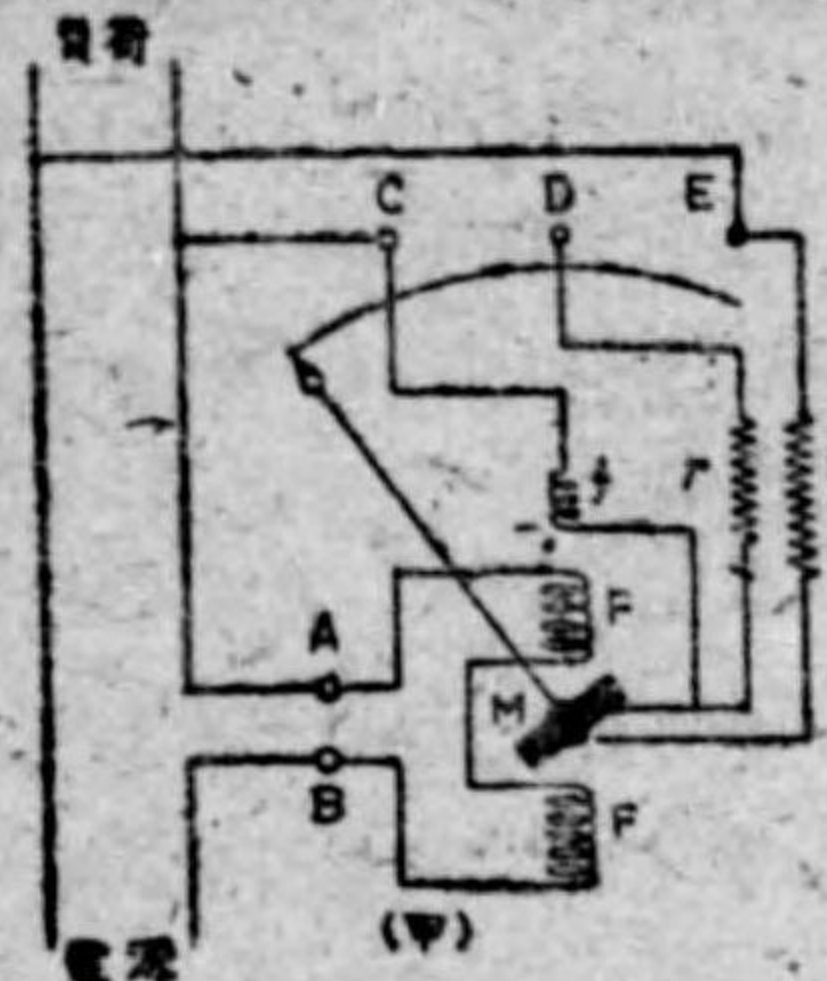
$$I_M = I_F = I \quad \text{とすると} \quad I = K \sqrt{\frac{\theta}{\cos(\alpha - \theta)}} \quad K \text{ は總て常數}$$

交流が流れた時は、可動鐵片型計器の處で説明した様に、その指示は瞬時値の 2 乗の平均を示す。即ち交流の實効値の 2 乗を示すから線輪のリアクタンスの影響をなくすると、交直兩用として、しかも同一目盛で使用される。

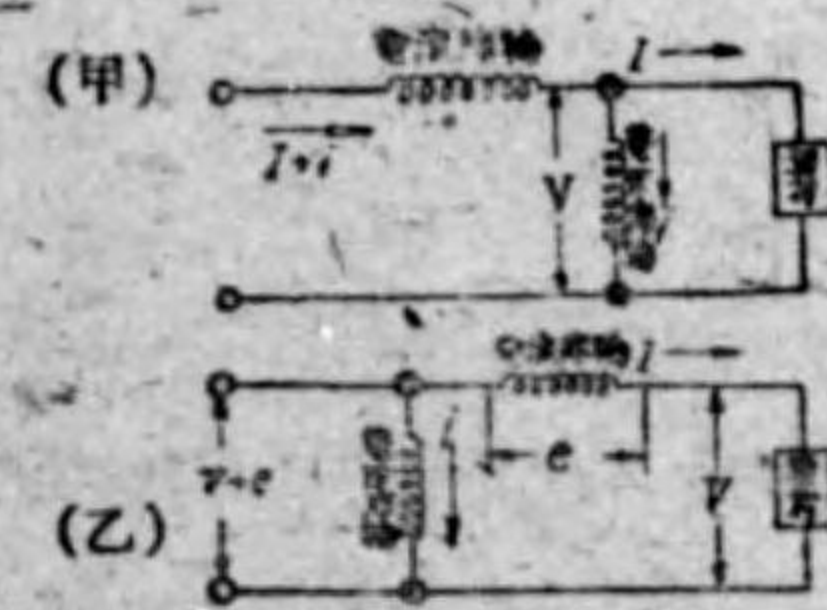
制動装置として 空氣制動を用ふる。又 M をアルミニウム枠に巻いて、可動線輪型の場合と同様に渦流制動を行ふと、交流の場合には電流の方向が交替し、渦流のために誤差を生ずるから適當でない。

3.3.4 電力計として使用する場合 電圧計、電流計の場合には F と M には同一の電流を流したが、電力計とする場合には、電圧に相当する電流を F か M の何れか一方へ流し、他方へ、電流に相当する電流を流すと、駆動トルクは (電圧) × (電流) 即ち電力に比例する事になり電力計となる。M は摩擦力が

大とする事を防ぐため、細い線輪を巻くから普通は之に電圧に比例した小電流を流す。之を電圧線輪とも云ふ。F には電流を流すから、之を電流線輪とも云ふ



第 3.10 圖



第 3.11 圖

此の構造は第 3.10 圖の如くであつて、R は

マンガン抵抗であるが、之は回路電圧に應

じて調整されるものである。此の計器で電力

を測定するには、電圧線輪を電源一負荷と並

列に接続し、電流線輪は線路と直列に接続す

るが、電流線輪の位置が第 3.11 圖の (甲)

の如く電圧線輪より電源側にある時と (乙)

の如く負荷側にある時の兩方の接続方法があ

る。(甲) の場合、電流線輪の電流は電圧線輪

の電流 i と負荷電流 I との和が流れるから、

電力計の指示は眞の電力 $W = KIV$ に対

し $W' = K(I+i)V = KIV + KiV$ となるから、

電圧線輪の電力損失だけ余分になり、之が誤

差となる。(乙) の場合は電圧線輪に掛る電

圧は、負荷の電圧 V と、電流線輪の電圧降

下 e との和となるから、其の指示は

$$W'' = KI(V+e) = KIV + Kie$$

となり、電流線輪の電力損失を余分に計量す

る。此の誤差となる電力値は小さいから、大

電力測定では大した影響はないが、小電力の

場合は無視出来ない。

之を防止するのが f なる線輪である。今負荷電力が零の時を考へると (甲) の接続では電流線輪に電圧線輪の電流が流れるから、之に依つて駆動トルクを生じ、或る指示を與へる。それで電圧線輪と直列に f なる線輪を挿入し、無負荷の時の電流線輪の磁束を打ち消す磁束を生ずる様にその巻数を調整して置く。斯くすると其の指示には電圧線輪の損失を含まず、常に眞の電力を指示する。此の線輪 f を補償線輪と云ふ。

尚 D (E) の端子は試験端子と云つて、電力計を試験する際、實負荷をかけず

に電圧電流を別々に供給するときの電圧端子に用ふる。

3.3.5 電流力型の特性、特長、その他 電圧計や電流計ではマンガニンの高抵抗が接続されるから、温度変化の誤差に対する影響が小さい。そして其の上制御用弾條の力は温度上昇に對して-であるから、其の影響は相互に打ち消し合ふので、温度特性は良好である。外部磁界に對しては、計器線輪の作る磁界が弱いので、相當の影響がある。普通の場合では、地磁氣があるから、之を考慮して線輪の電流を方向反對にして2回測定して其の平均値を採る。交流の場合には其の心配のないことは申す迄もあるまい。

目盛は、傾斜角 θ が電流の自乗に比例するので、初めの方は非常に小さい。従つて普通、最大目盛の $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{6}$ 以下を目盛することは困難である。例へば 150 V の電圧計では 20~30 V 以下は讀み取れない。

本型の確度は可動線輪型よりも劣るが、交流の波形及周波数の影響が少く、直流で更正したものを交流用の標準器として用ふことが出来る。然し駆動トルクを大とする爲めには線輪のアンプ回数を大とせねばならない。……従つてインダクタンスの影響を打ち消す補償装置を必要とする……故に計器内の電圧降下が大きく、配電盤用計器としては適當でない。

3.4 熱型計器 (thermal type)

金属には熱による線膨脹(長さが伸びる)と云ふ性質がある。それで、測定せんとする電氣値に應じた電流で熱を發生させ、其の熱で金属線を膨脹させ、其の程度で電流値を知ることが出来る。又熱電對に熱起電力を發生させて、其の電流を測定し、間接に電流を測定する方法もある。前者の原理に依る方法を熱線型計器と稱し、後者の原理に依る方法を熱電型計器と謂ふ。

3.4.1 熱線型計器 (hot-wire type)

R オームなる抵抗の發熱体に電流 I アンペアを通するとその消費電力 P は $P = I^2 R$ ワット である。

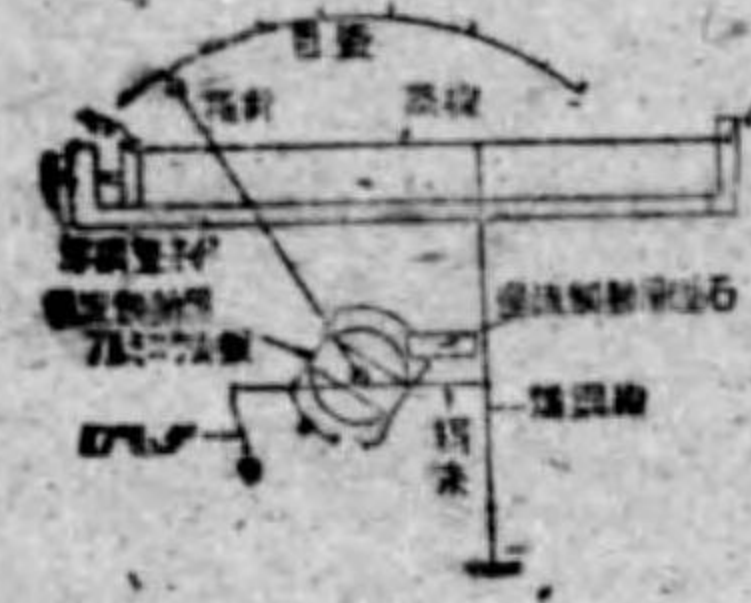
そして此の電力が t 秒間流れたとすると

$$H = I^2 R t \text{ ジュール} = 0.24 I^2 R t \text{ カロリー} \quad (\text{第一巻 P 152 以下参照})$$

なる熱量を發生し、その温度は上昇して行くが、一方、傳導、輻射、對流の三作用に依つて熱が放散される。そして發生熱量と放散熱量とが等しくなる温度でそ

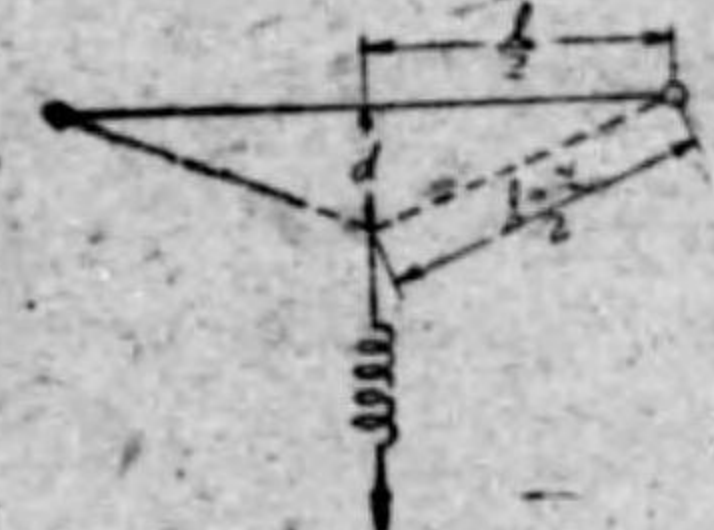
の温度上昇が止る。熱線の線膨脹係數は温度上昇に比例するから、線膨脹は結局發生熱量 $I^2 R t$ 従つて電力 $I^2 R$ 又換言すれば通過電流に比例する事になる。

構造は第 3.12 圖の如くであつて、膨脹する金属と發熱金属は同一のもので、その作用を兼ねさせる。之が爲めに抵抗の温度係數が小で、膨脹係數が大きい白金とイリヂウム合金等が用ひられる。此の熱線に電流が流れ、温度上昇で膨脹する。その長さの變化だけでは小さいので、之で圓の様に弛度に變化を與へると、補講で説明する様にその伸長を約 10 倍に擴大し得る。更に之を擴大する 2 段擴大の方法が實際に於て採用されてゐる。



第 3.12 圖

補講 熱線の長さ l であつたのが、熱の爲に膨脹して $l+x$ になつたとすると、バネで熱線を引張つてゐるから第 3.13 圖の様になる。ピタゴラスの定理に依ると



第 3.13 圖

$$\left(\frac{l+x}{2}\right)^2 = \left(\frac{l}{2}\right)^2 + d^2$$

の關係が成立つ事が判る。之から

$$d^2 = \frac{l^2}{4} + \frac{x^2}{4} + 2 \frac{l}{2} \frac{x}{2} - \frac{l^2}{4} = \frac{x^2}{4} + \frac{l x}{2}$$

$$\therefore d = \frac{1}{2} \sqrt{x^2 + 2lx}$$

◆ $l=100\text{mm}$ のとき $x=0.5\text{mm}$ 伸長したとすると

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{0.25 + 2 \times 100 \times 0.5} = \frac{1}{2} \sqrt{100} = \frac{1}{2} \times 10 = 5\text{mm}$$

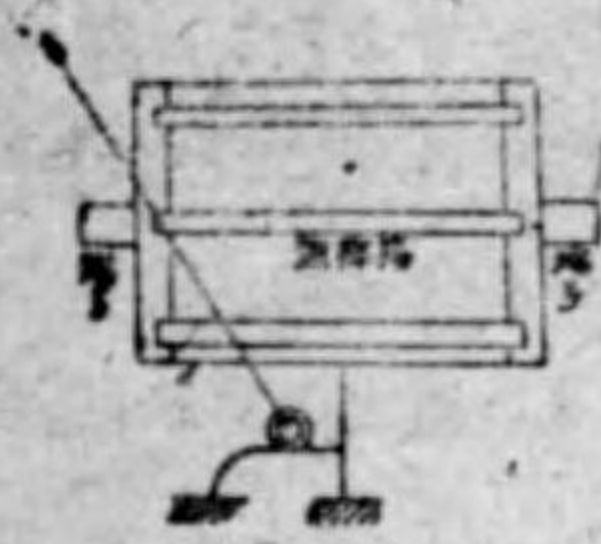
0.25 は小さいので之を省略した。即ち $d \approx 10x$ となり、伸びが約 10 倍に擴大される。即ち熱線が熱して弛むと、銅線も又弛みを生ずる。其處でスプリングの力に依り、銅線が銅線の弛みを引張る。此の時、銅線が移動するから、其の移動に應じてアルミ板の滑車が回轉され、その角度は指針に依つて指示される。

此の動作を表すと、電流→發熱→温度上昇→熱線膨脹→弛み→滑車の回轉→目盛の指示、であつて、目盛の指示は正しく電流の 2 乗に比例する事が判る。

制動はアルミニウム板と制動用耐久磁石の間に生ずる渦流制動に依る。此の指示は發生熱量、従つて電流の自乗に比例するから、交直兩用である。然して、交

波の波形や周波数等の影響を受けずに常に実効電流を指示する。又外部の電界や磁界の影響を受けない特長がある。従つて高周波電流の測定に使用せられる。然し大きな電力損失を生じ、熱線が細いから過負荷に耐へ難く、温度上昇に時間を要するからその指示に時間的の遅れを生ずる欠点がある。

又、高周波測定に於て、普通分流器ではリアクタンスが大となる(インダクタンスは小さくとも周波数が大となるからリアクタンスが大きくなる)欠点があるので、圓形の端子板の周縁に對稱的に同一寸法の熱線箔を取付けて、其の一つの弛度を指針に傳へることもある。(第 3.14 圖参照)



第 3.14 圖

3.4.2 熱電型計器 (thermoelectric type)

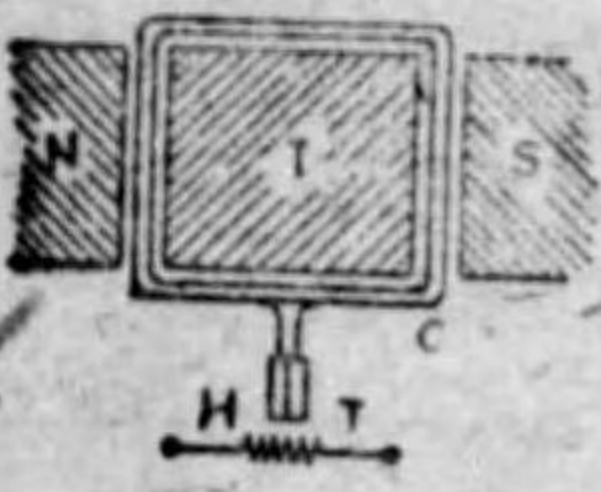
一般に 2 種類の金屬線を似て第 3.15 圖の様に閉回路を作り、一方の接續部を熱して温度が上昇すると、此回路中に起電力を發生し、電流を生ずる。此の起電力を熱起電力、電流を熱電流と云ひ、斯様な金屬線の結合を熱電對と稱してゐる。此の金屬の組合せは通常鉛を基準とし、大抵の場合は鉛を一方の金屬とし、他方に適當なる金屬を用ひてゐる。



第 3.15 圖

そして、大体熱起電力はその温度差に比例するから、測定電流を熱線に流して其の發生熱で熱電對の結合部を熱し、温度を上昇させて起電力を生ぜしめ、その電流を他の計器で測定して間接に電流を測定する。此の加熱方法には對流及び輻射を利用した傍熱型と、傳導を利用した直熱型がある。

① 傍熱型 その構造は第 3.16 圖(ダツデル熱電流計)の如くであつて、N S; 耐久磁石、I; 鐵心、C; 可動線輪、T; 熱電對(蒼鉛とアンチモン) H; 抵抗發熱体(150 オーム程度)である。加熱部分を除くと、他は全く可動線輪型計器と同様であつて、放熱度を大ならしめる爲に放熱器が付いてゐる。



第 3.16 圖

② 直熱型 之は傍熱型と同様であるが H の中心部分に T を結合したものであつて、此の部分は眞空管中に藏められる。

3.4.3 熱型の特性

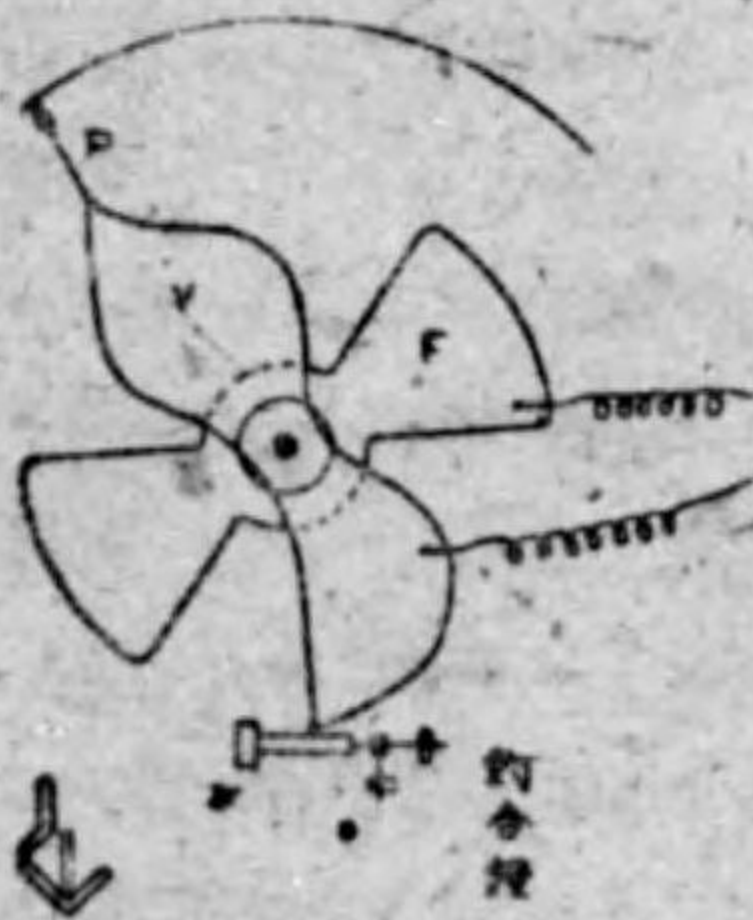
熱線の伸び、又は熱起電力の大きさは測定電流の自乗に比例するから交直兩用であつて、周波数に無關係であるから高周波計器に用ひられる。然し外界温度の影響を受け易く、熱線の弛度が變化して指針の零位置に狂ひを生ずる(零位を調整するネジがある)故に熱線の支持台は熱線と同一膨脹係数を有する特殊合金が用ひられる。然し局部的に取付台が熱せられて誤差を生ずることがある。又、指示に遅れのあること、過負荷の出來ないこと(過電流保護用として可熔片が装置される)及消費電力の大なることが欠点である。

3.5 静電型計器 (electrostatic type)

2 箇の導体に帯電させると、クーロンの法則に依つて兩者の間に吸引又は反撥力を生ずる。之を利用して驅動トルクを得るものを静電型計器と云ひ、その原理上、電圧計としてのみ使用される。

3.5.1 ケルビン静電電圧計 (kelvin's electrostatic voltmeter)

第 3.17 圖はその構造を示すもので、F; 固定眞鍮板、V; 可動アルミウム板 w; 制御用重錘である。



第 3.17 圖

F と V は完全に絶縁されてゐて、測定される電壓を F と V 間に加へると F と V には大き相等的い + 及 - の電荷が與へられるから、V は F 中に吸引されて驅動トルク τ_a を生ずる。然して、電荷 q は電壓 V_0 に比例して $q = KV_0$ であり

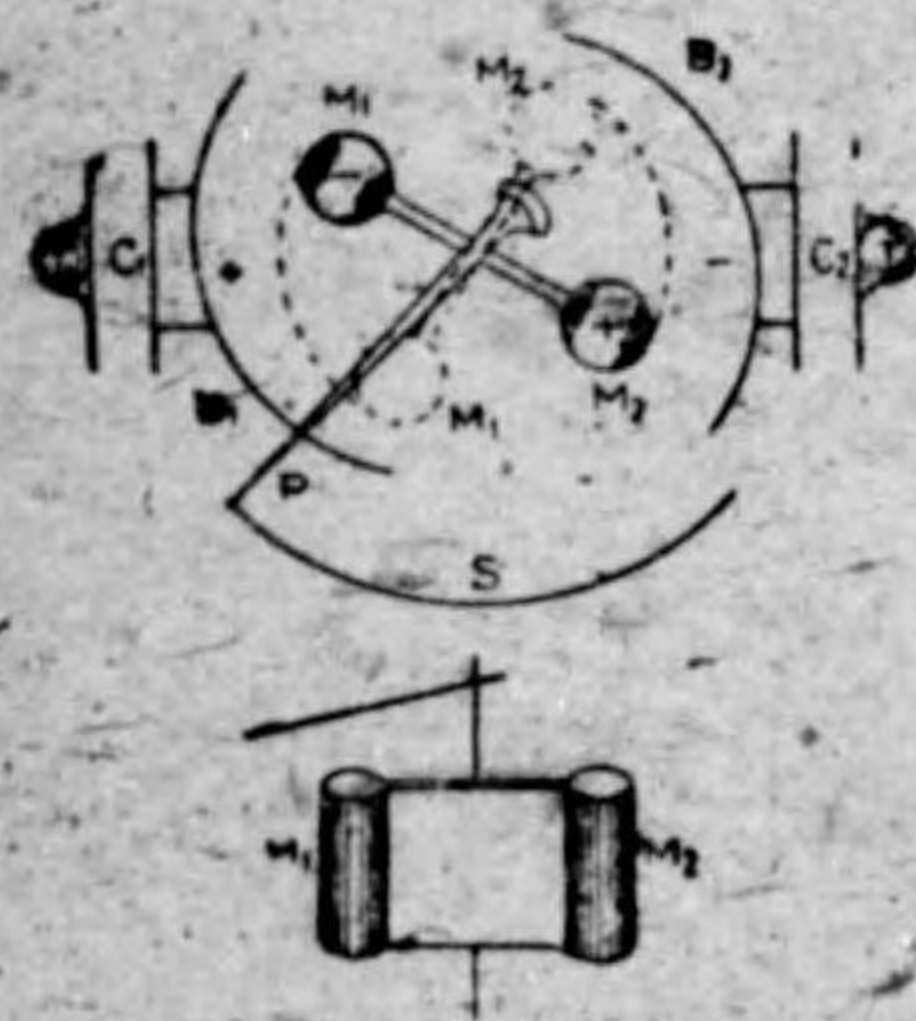
その吸引力は $f = K_1 \frac{q \times q}{r^2}$ (第三卷 5 頁参照)

茲に r は兩導体間の距離であつて、之れを定數と考へると $f = K_1 q^2 = K_0 V_0^2$ 即ち驅動トルクは電壓の 2 乗に比例する。制御トルクは重錘 w の重力制御に依り、此の重量を變更して、その測定範圍を調整する。

然し f は小さいので低電壓では動作しない(測定範圍は 1,000~20,000 V 程度である)低電壓を測定するために、第 3.18 圖の様に、F と V の要素を多數組合せた、多房電圧計 (multicellular voltmeter) が使用されてゐる。



第 3.18 圖



第 3.19 圖

此の計器の制御トルクは V を吊した銅筒の振れを利用し、その制動は油中にアルミウム板を回轉して生ずる摩擦力を利用してゐる。その測定範囲は最低 20~80 V から最大 1,000V 程度である。

3.5.2 ウエスチングハウス静電々壓計

之の構造は第 3.19 圖の如くであつて、 B_1, B_2 固定金屬圓板で離心的に配置される。 M_1, M_2 回轉金屬球であつて、此の部分は油中に浸されてゐる。 T_1, T_2, F を電源に結ぶための端子である。

今 T_1, T_2 に電壓を加へると、 B_1, B_2 に夫々正負の電荷が帯電せられる。そしてその電荷の静電誘導に何つて、 M_1, M_2 には B_1, B_2 の電荷と極性が反對である電荷が誘起され、 B_1, M_1, B_2, M_2 間に夫々吸引力が働き M_1, M_2 は回轉して圖の如く B_1, B_2 に近づく。従つて M_1, M_2 の軸に取付けられた制御直條の力と平衡する点まで回轉をして止る。此の回轉部分は全体が油中に浸される。其の理由は

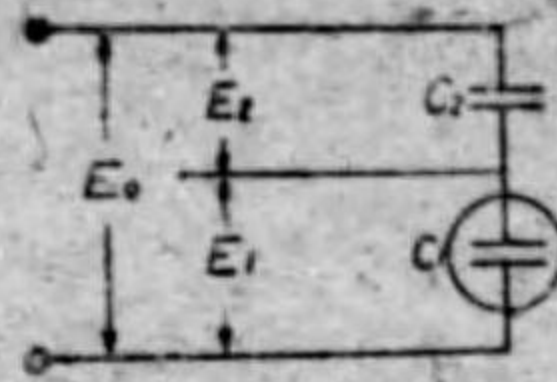
- (i) F と M の間の絶縁耐力が増加するから、その距離を短小して駆動トルクを大にし得る。
- (ii) 油の誘電率は空氣のそれより大であるから回轉力は一層に増大する。
- (iii) 可動部分が浮力を受けるから、摩擦力が減少すると共に、油の抵抗で制動力を兼ね得られる得点がある。

測定範囲は最大 300,000V 位のものもある。

3.5.3 静電々壓計の測定範囲の擴大

前節までに述べた様な計器では、電流が流れるから、分流器、倍率器を使用してその測定範囲を擴大したが、此の計器では電壓のみが掛り、電流は皆無（交流では極めて少い充電々流が流れる）であるから、蓄電器を用ひて測定範囲を擴大する。

第 3.20 圖の如く静電々壓計と直列に蓄電器を挿入すると



第 3.20 圖

C_1 = 静電々壓計の静電容量 C_2 = 蓄電器の静電容量

E_1 = C_1 の電壓 E_2 = C_2 に加る電壓

E_0 = 回路の電壓 = $E_1 + E_2$

であるから、 C_1, C_2 に E_0 を加ふれば、その各々の蓄電器の電氣量は Q で相等しく

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

此の兩邊に 1 を加へると

$$\frac{E_2}{E_1} + 1 = \frac{C_1}{C_2} + 1 \quad \therefore \frac{E_2}{E_1} + \frac{E_1}{E_1} = \frac{C_1}{C_2} + \frac{C_2}{C_2} \quad \therefore \frac{E_2 + E_1}{E_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_2}$$

之に $E_0 = E_1 + E_2$ を代入すると

$$E_0 = E_1 \times \frac{C_1 + C_2}{C_2} \quad \text{となる。}$$

今 $\frac{C_1 + C_2}{C_2} = n$ とすると $E_0 = E_1 n$ となり、 n を種々に選ぶと E_1 が一定でも任意の回路の電壓 (E_0) が測定される。此の n を直列蓄電器の倍率と云ふ。

例へば、静電々壓計の定格電壓の 10 倍の電壓まで測定出来る様にするには

$$n = 10 \quad \text{即ち} \quad \frac{C_1 + C_2}{C_2} = 10 \quad \therefore \frac{C_1}{C_2} = 9 \quad \text{従つて} \quad C_2 = \frac{1}{9} C_1$$

なる容量の蓄電器を電壓計と直列に用ふればよい。

3.5.4 静電型の特長

駆動トルクが電壓の自乗に比例するから、直流、交流兩用に供し得、直流で更正して直ちに交流に用ひられる。極く極く僅小の損失はあるが、他の計器に對して消費電力は零であると云つてよい。交流の場合には充電々流が流れる譯であるが、静電容量が小さく 1 マイクロアンペアの程度であつて、測定回路に與へる影響は皆無である。外部磁界の影響はなく、溫度に依る影響も誘電体が空氣のものはない。(油其の他に依るものは多少ある) 其の他、周波數、波形に依る影響がないこと、尙直列蓄電器を用ふると測定範囲を自由に擴大し得る……交流の場合には電壓は静電容量の比となるが、直流の場合には漏洩抵抗(第三卷 P43 以下参照)の比となり、漏洩抵抗は溫度、濕度で相當に變化し不安定である。故に直流の場合には直列蓄電器で測定範囲が擴大されない……以上は特長であつたが、缺點としては、可動部分の重量に對して駆動トルクの小さなこと、外部靜電界の影

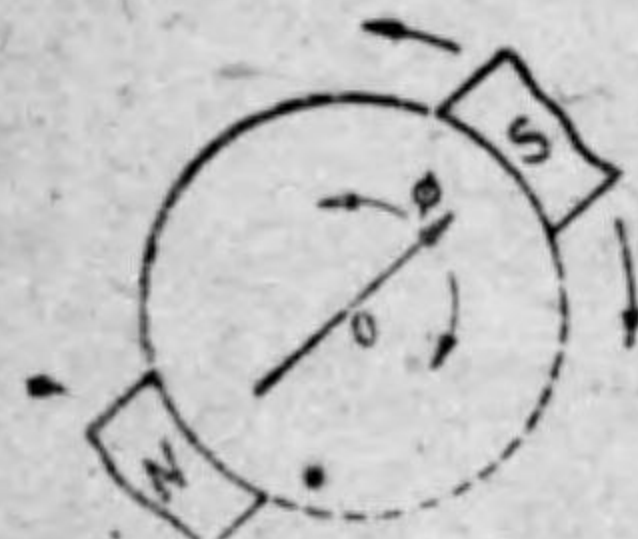
響を強く受けること、温度の影響の大なること、電流計として用ひられないこと等であらう。携帯用としては不適當で、主に高壓測定用に用ひられる。

3.6 誘導型計器 (induction type)

此の型の計器は交流に依る回轉磁界又は移動磁界内に金屬板を置いて、之れに渦流を發生させ、渦流と磁界の相互作用に依つて金屬板に驅動力を與へるものである。其の原理は第二卷 P50 第 1.59 圖のアラゴの圓板で圖解した通りである。

3.6.1 回轉磁界と移動磁界

① 回轉磁界とは、第 3.21 圖に示す如く、N, S 磁極が一定圓周上を回轉するものを云ひ、磁束 ϕ が O を中心として時計式方向に或は反時計式方向にくるくと回轉することになる。此の回轉磁界は磁極を回轉させて得るのが最も簡單であるが、そうしなくとも、之れを電氣的に得る方法がある。例へば、圓周上に $2\pi/n$ 宛間隔を置いて n 箇の線輪を配置し、之れに n 相交流を流すと、回轉磁界が得られる。但し $n=2$ の 2 相

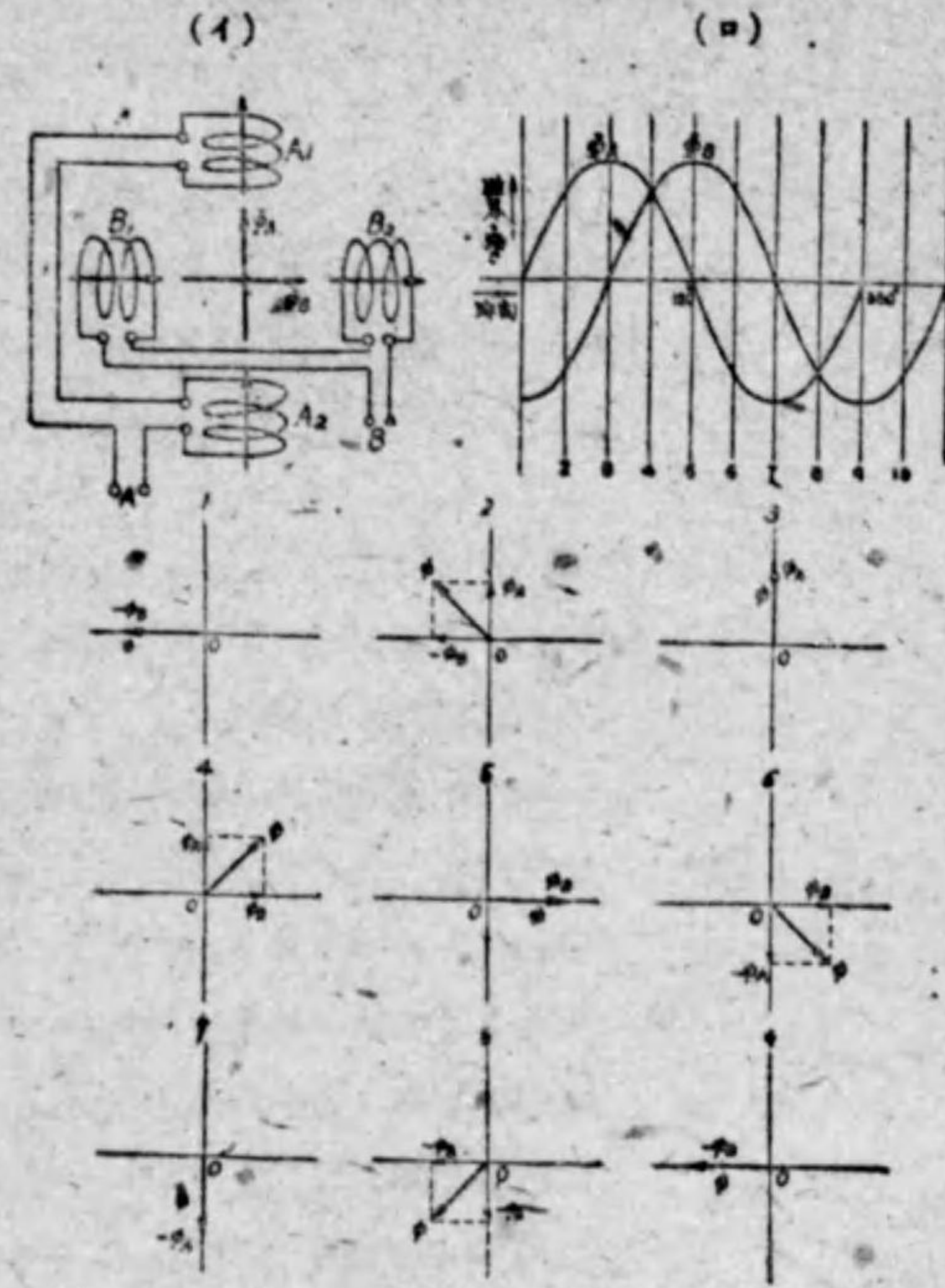


第 3.21 圖

の場合には線輪を 90° 宛に配置すること第 3.22 圖 (イ) の如くにする。即ち A_1 と A_2 を直列とし、之れと空間的に 90° の間隔にある B_1 と B_2 を直列とし夫々に (ロ) 圖のやうな 90° の相差のある 2 相交流電流を流す。各線輪の作る磁束は此の交流に比例し (大体電流と同相にあると考へてよい)

ϕ_A ϕ_B の如くに變化する。此の各瞬時に於て線輪に包まれた空間内の磁束 ϕ ……各瞬時に於ける ϕ_A と ϕ_B のベクトル合成……を考へると (ハ) 圖の如くに時間と共に時計式方向に回轉する回轉磁界が得られる。然して此の回轉磁界は電流が 1 サイクルする間に 1 回轉し、第 3.21 圖の場合と同様に考へられる。従つて、今此の回轉磁界内に第 3.23 圖のやうに圓筒金屬回轉体を挿入すると、之れに渦流が流れる。其の方向は回轉磁界 ϕ が圖示の方向にあつて、時計式方向 (羽根のある矢の方向) に回轉すると、磁界が靜止して、金屬体が反時計式方向 (点線の矢の方向) に磁界を切つたのと同様であつて、此の磁界を切つて生ずる誘起電力の方向は右手三指の法則より圖示の如くに定められる。従つて、之れ

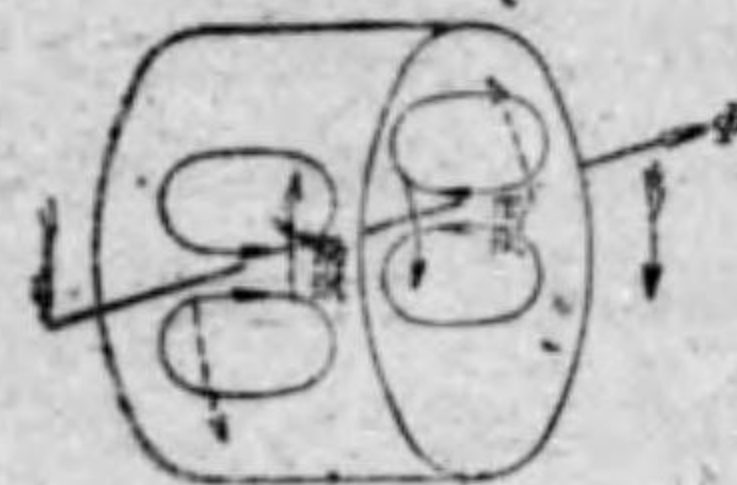
に依つて流れる渦流と回轉磁界に依つて回轉力を生ずる譯で、其の方向は左手三



第 3.22 圖

指の法則より、實線の矢の方向、即ち回轉磁界の方向となる。故に回轉磁界内に金屬回轉体を裝置すると、金屬体は回轉磁界に追隨して回轉する。

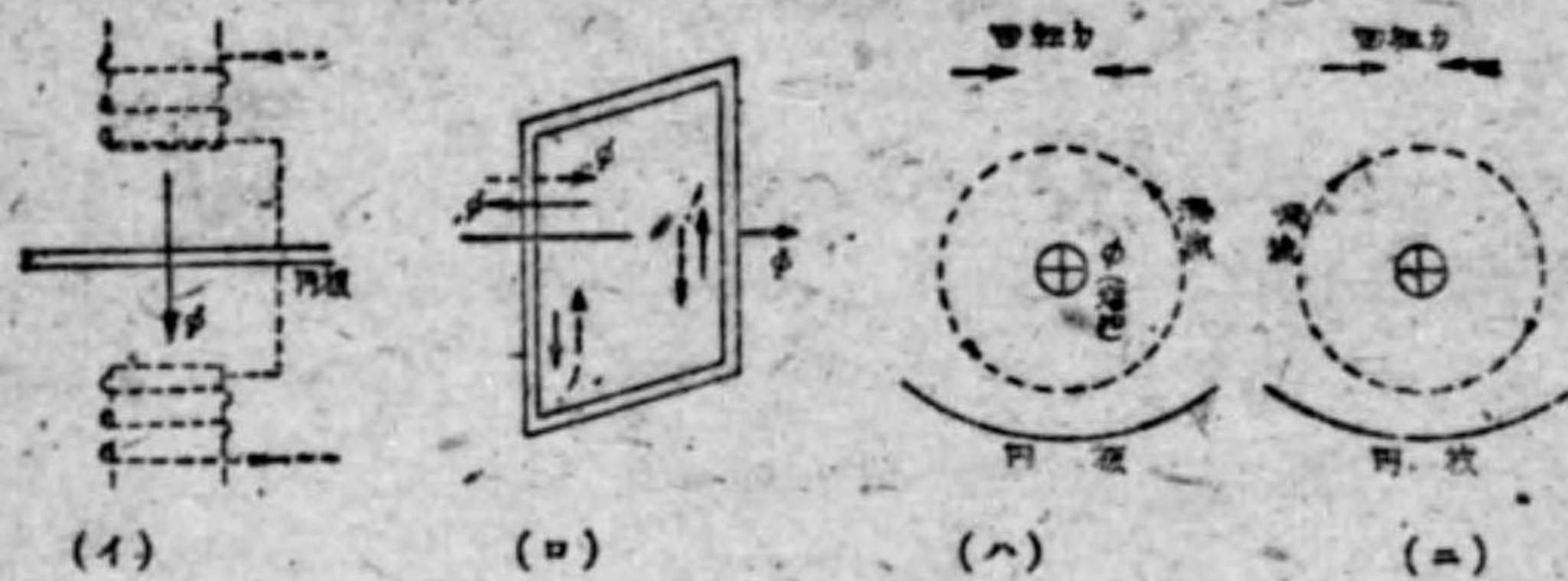
② 移動磁界に就ては、從來、初學者によく分るやうに説明されてゐない。茲ではやゝ詳しく、移動磁界に依つて圓板に回轉力を生ずる所以を説明しよう。



第 3.23 圖

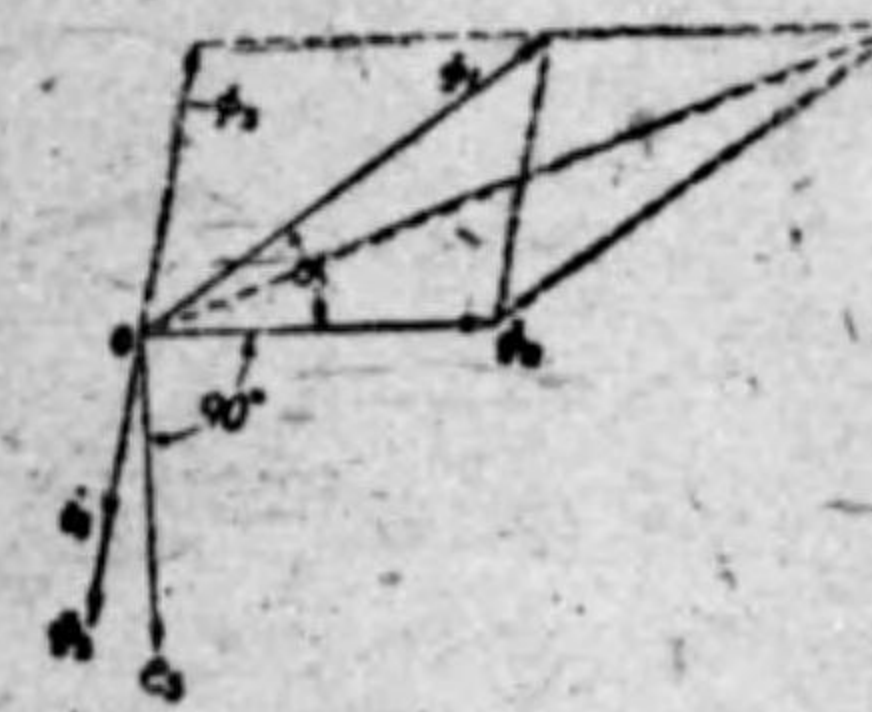
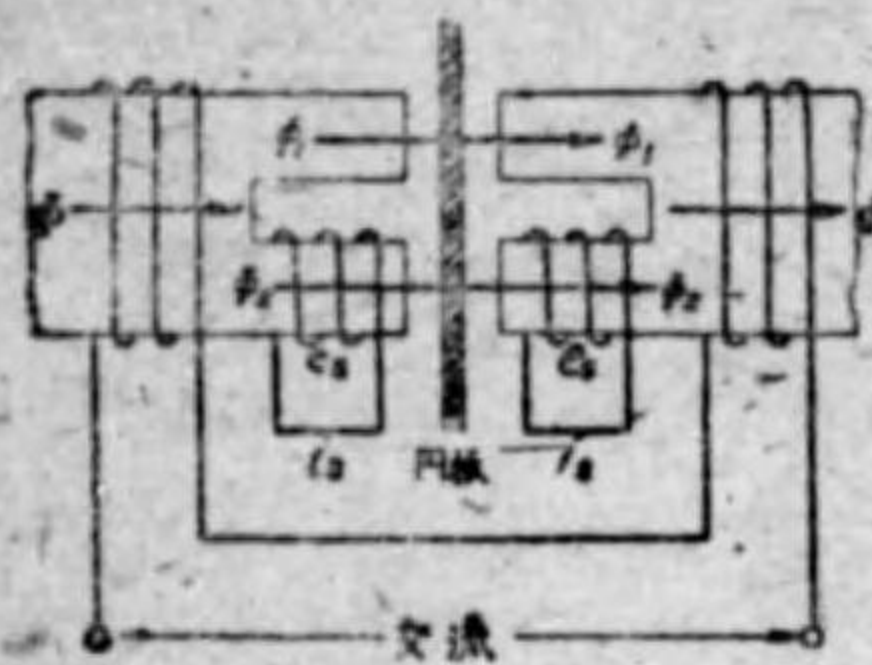
初、第 3.24 圖に於て (イ) 圖の如くに回轉金屬板を挿んで上下に磁極を設け之れを交流で勵磁すると、圓板を貫通する ϕ なる磁力線の瞬時値は正弦波的に

變化する。之れに依つて圓板に生ずる渦流の方向は例へば(ハ)(ニ)圖の如くなる。其の理由は、渦流回路を(ロ)圖の如くに考へると、之れを貫く磁束 ϕ が



第 3.24 圖

磁束の方向に増加したとき、渦流 i に依る磁束 ϕ' は ϕ の増加を阻止しようとする方向にあらねばならないから(第二巻 P39



第 3.25 圖

……誘起電流に依る磁力線は原の磁力線の變化を妨げんとする方向にある) 渦流 i は實線の矢の方向に流れる。 ϕ が同一方向で減少したときは点線の如くに渦流が流れ ϕ' の如き磁力線を生じ、 ϕ の減少を妨げる。(ハ)(ニ)は之れを圓板に就て示したもので、+ は磁力線 ϕ の方向を示す……(イ)を上より下に見た圖……此の渦流と磁力線 ϕ との間を生ずる回轉力は(ハ)(ニ)の土圖の如くに互に反對方向であつて、全体として圓板に何の作用も與へない。即ち磁力線と其の磁力線が作る渦流との間には回轉力を生じない。

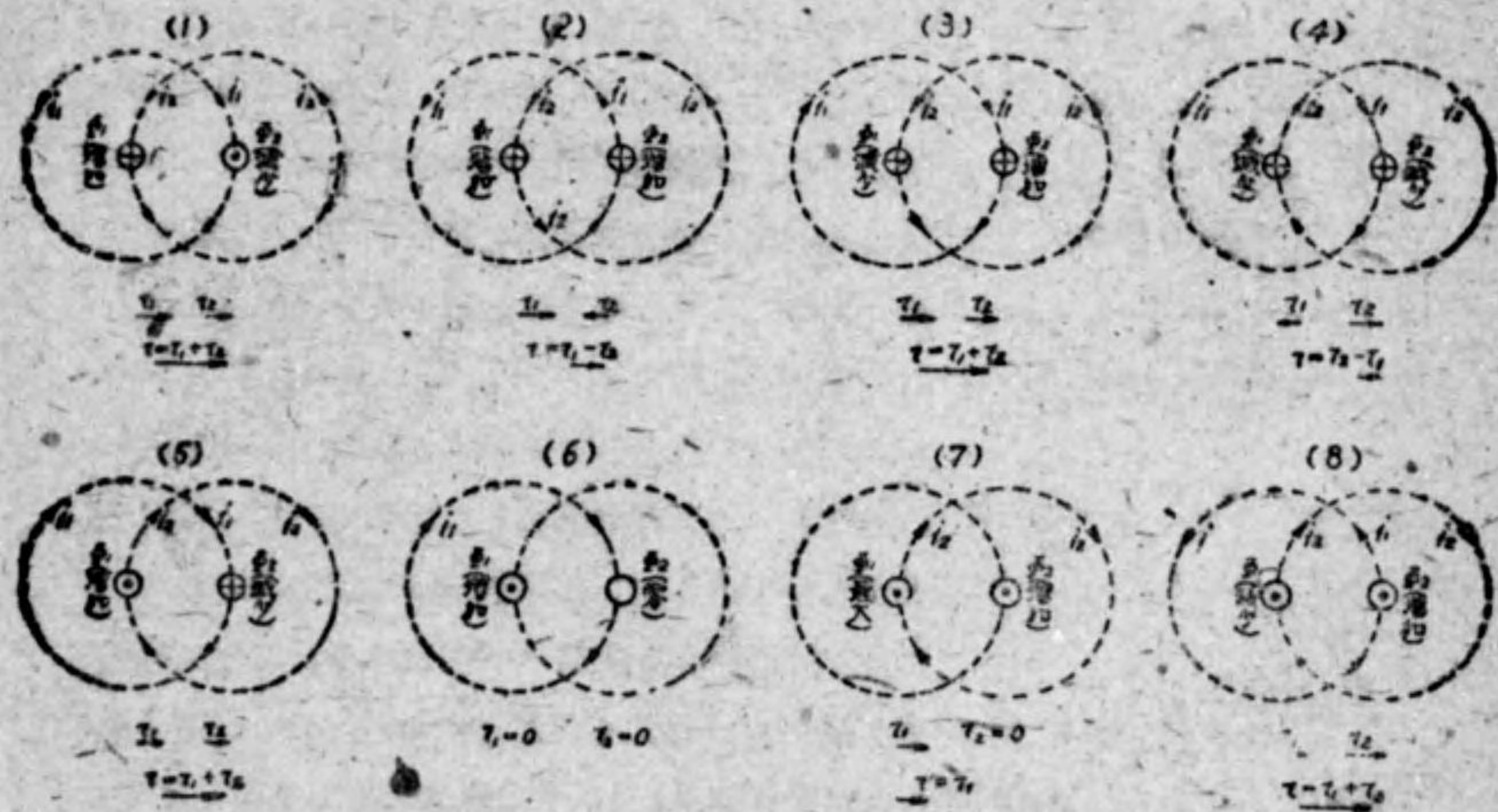
次に第 3.25 圖の(イ)に於て、回轉圓板を挟む磁極を 2 つの部分に分割して、一方の磁極に短絡線輪を捲く。斯くすると此の線輪に誘導せらるゝ誘起起電力 e_s は(ロ)圖の如く此の線輪に通つた磁力線 ϕ_2 より 90° 遅れる。 e_s に依つて、短絡線輪に流れる電流

i_s は e_s より少し遅れて i_s の如くである。此の i_s に依る磁束を ϕ_s とすると(鐵損を無視して i_s と ϕ_s は同相にあるとした。實際は ϕ_s は i_s よりヒステリシス進角だけ遅れる) 短絡線輪がないときの磁力線を ϕ_1 とすると $\phi_2 = \phi_1 + \phi_s$ より $\phi_1 = \phi_2 - \phi_s = \phi_2 + (-\phi_s)$ であらねばならない。即ち磁極を 2 等分して、一方の分轄磁極に短絡線輪を捲くと、此の部分の磁力線 ϕ_2 は、他の部分の磁力線 ϕ_1 より遅れる。此の遅角を α とする。磁極の勵磁巻線に交流を流すと $\phi_1 \phi_2$ は(ハ)圖の如く、相差角が α である 2 つの正弦波となる。此の磁極の間に圓板を置くときにも述べたやうに渦流と之れを生じた磁力線の間には回轉力を生じないから

(i) ϕ_1 の作る渦流と ϕ_1 間に生ずる回轉力 r_1

(ii) ϕ_2 の作る渦流と ϕ_2 間に生ずる回轉力 r_2

の 2 つを考ふればよい。今(ハ)の各瞬時 (1)(2)……(8)に就て r_1 と r_2 を考へると第 3.26 圖の如くなる。但し i_1 は ϕ_1 の變化に依つて生ずる渦流、 i_2 は ϕ_2 の變化に依る渦流である。……渦流の方向は第 3.24 圖(ニ)の要領で定め、 $r_1 r_2$ の方向は左手 3 指の法則で定めた…… $r_1 r_2$ の大きさは (1) で $\phi > 1$



第 3.26 圖

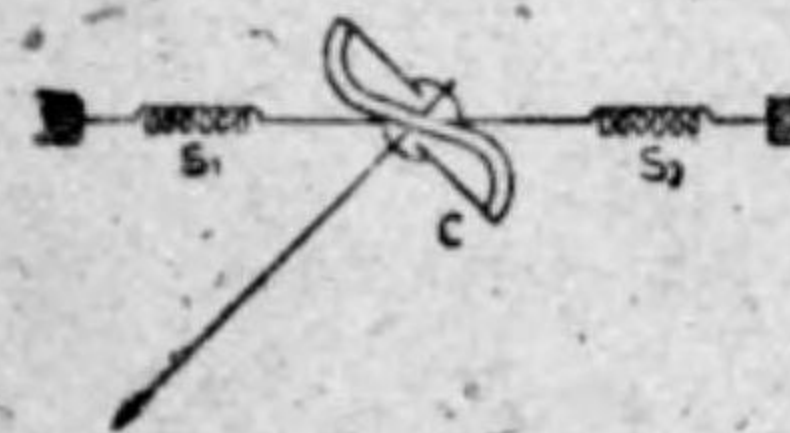
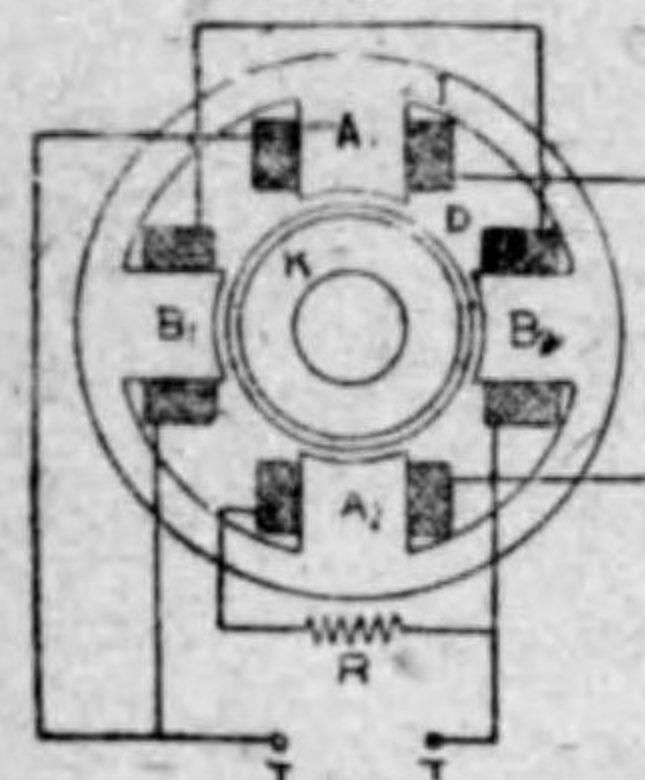
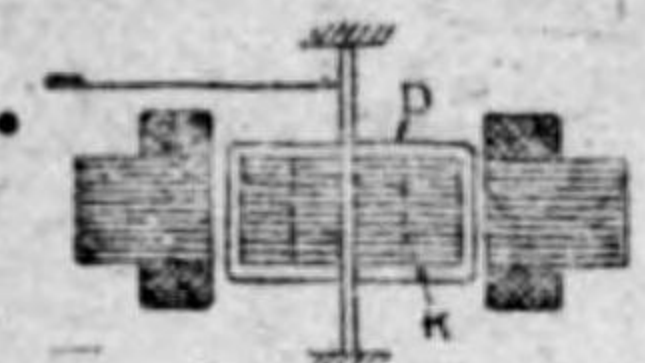
ϕ_1 とすると $i_1 < i_2$ (第二巻 P118 第 2.49 圖の説明より、 ϕ の零に近い處の方が ϕ の變化量が大きく、 e_s 従つて i も大きい) 又 $\tau_1 = \phi_1 \times i_2$ $\tau_2 = \phi_2 \times i_1$ より $\tau_1 > \tau_2$ となる。(2) でも同様に、 $\tau_1 > \tau_2$ で τ_1 と τ_2 は方向が反對であるから全回轉力 $\tau = \tau_1 - \tau_2$ となる。

以上の各瞬時の回轉力は大小はあるが、何れも ϕ_1 より ϕ_2 の方向であつて、圓板は此の方向につゞけて回轉力を受ける。

(註) 従來の書は此の説明がインチキで ϕ_1 から ϕ_2 の方向に耐久磁石が移動するのと圓板だとか、分つたやうな分らぬ説明が多かつたので、以上、根本的に解説してみた。よく考へれば十分に納得せられやうし、此の種の事項を研究するのに對し根本的の考察力を養得せられたものと思ふ。

3.6.2 フェラリス型計器 (Ferraris type)

之はフェラリス氏の考案に成る回轉磁界型であつて、その構造は第 3.27 圖に



第 3.27 圖

示す如く、成層鐵心に線輪を巻き A_1-A_2 にはインダクタンス L を結び B_1-B_2 には抵抗 R を結びと兩回路の電流間には略々 90° の相差を生ずる。

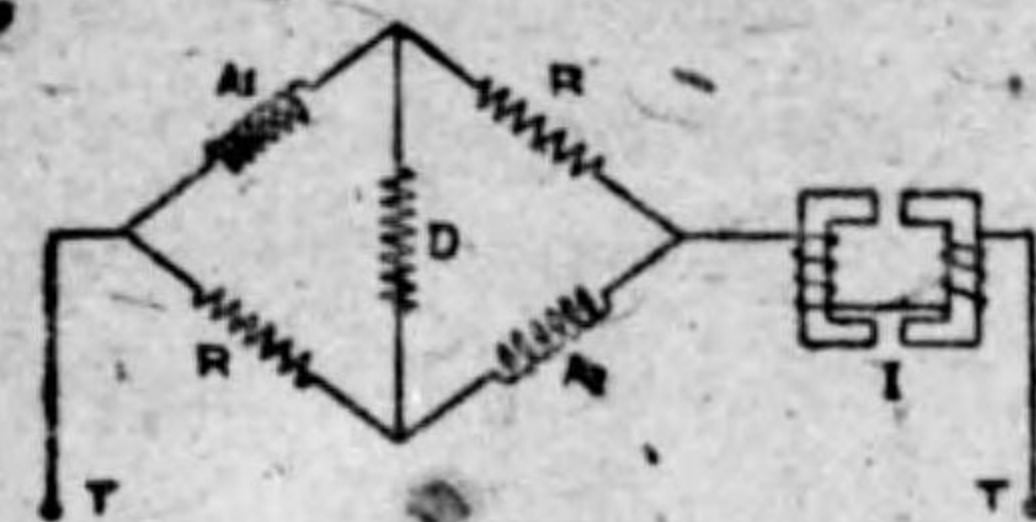
第 3.22 圖より之れに依る回轉磁界が発生し、内部のアルミニウム圓筒 D が回轉磁界の回轉に依つて回轉をする (第 3.23 圖参照) 制御トルクは彈條に依つて得、制動力は別に耐久磁石をアルミニウム圓筒に作用させて渦流制動を行ふ。尙圖の K は成層鐵心である。此の場合の驅動力は線輪に流れる電流の自乗に比例する。

又之を電力計として使用する時は A_1-A_2 B_1-B_2 の何れか一方を電壓線輪とし、他の一方を電流線輪とするのであるが、電壓線輪は巻數が多いため、その電流は電壓よりも略々 90° 遅れる。又電流線輪は巻數が少い爲、インダクタンスが少く、略々電壓と同相であるから、電壓計や電流計の様に $L-R$ 等の分相装置が不要となる。

そして、電壓線輪に依る磁束と電流線輪に依る磁束との相乗積に比例した回轉力が發生するが、電壓線輪の磁束は電壓 E に、電流線輪の磁束は電流 I に比例

するから、 E と I の相差角を θ とすれば (電壓線輪に依る磁束は電壓より 90° の位相差がある) 電流線輪に依る磁束は $I \cos \theta$ に比例する分力と $I \sin \theta$ に比例する分力とに分解せられる。然して、電壓線輪に依る磁束との間に回轉磁界を作る磁束は $I \cos \theta$ に比例する分力であるから、電力 $P = EI \cos \theta$ に比例した驅動力が得られる。

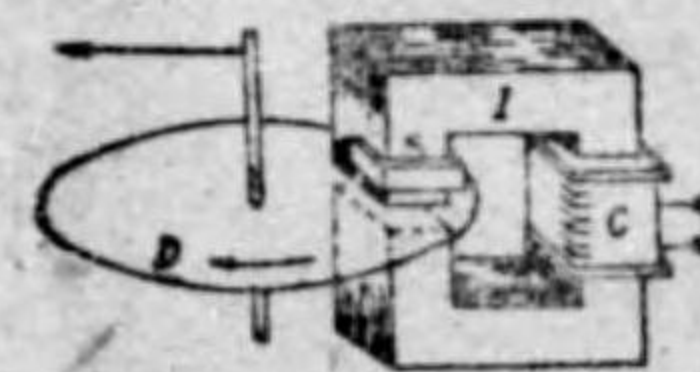
電壓線輪の電流が電壓に對して略々 90° 位相が遅れる事は前に述べたが、計器の原理上より、之は大抵 90° 遅れば宜いと云ふ様な事では駄目で、 90° 確實に遅れねばならない。それで第 3.28 圖の様な位相調整装置を用ふるのである。圖に於て A_1 A_2 は電壓線輪であり、 R 及び D は無誘導抵抗、 I は電流線輪と云ふもので、鐵心に線輪を巻き付けたインダクタンスの大きい線輪である。そして、 R 及び D の値を電壓線輪のインピーダンスに對して適當に選ぶと、 A_1 A_2 に流れる電流は、 $T-T$ 間の電壓に對して正しく 90° 遅れさす事が出来る。



第 3.28 圖

の原理上より、之は大抵 90° 遅れば宜いと云ふ様な事では駄目で、 90° 確實に遅れねばならない。それで第 3.28 圖の様な位相調整装置を用ふるのである。圖に於て A_1 A_2 は電壓線輪であり、 R 及び D は無誘導抵抗、 I は電流線輪と云ふもので、鐵心に線輪を巻き付けたインダクタンスの大きい線輪である。そして、 R 及び D の値を電壓線輪のインピーダンスに對して適當に選ぶと、 A_1 A_2 に流れる電流は、 $T-T$ 間の電壓に對して正しく 90° 遅れさす事が出来る。

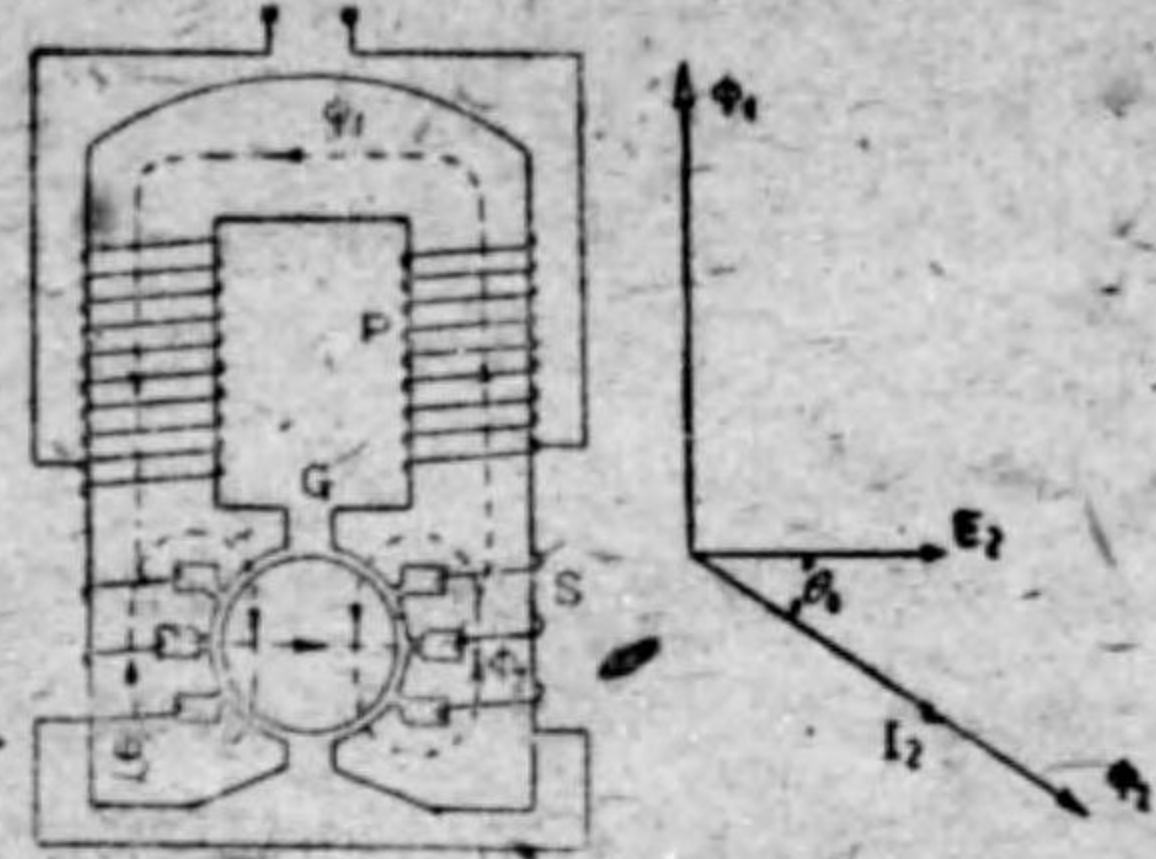
3.6.3 移動磁界型計器 (shielded-pole type) 其の原理は既に説明した。構造は第 3.29 圖の如くで、 C : 磁束發生の線輪、 I : 成層鐵心、 S : 短絡線輪……之れを、すみせり 限取線輪 (shading coil) と云ふ……。 D : アルミニウム圓板 D は圖示の方向に驅動力 (C の電流の自乗に比例する) を受けて回轉する。制御トルクは D の回轉軸に取付けられた彈條が與へ、制動力は渦流制動を用ひてゐる。



第 3.29 圖

3.6.4 變成器型計器 (transformer type)

回轉磁界型の一つで第 3.30 圖の如き成層鐵心に一次線輪 P 及二次線輪 S を巻き、 S を短絡する。今 P の作る磁力線を ϕ_1 とすると之れに依つて S 線輪に誘導せらるゝ誘起電力 E_2 は ϕ_1 より 90° 遅れ E_2 に依つて S に I_2 が流れる (I_2 は E_2 より θ 遅れるとする) 鐵心を無損失とすると I_2 に依る磁力線 ϕ_2 は I_2 と同相に生じ ϕ_1 と $90^\circ + \theta$ の相差角にあつて、空間的には、圖示の如くに 90° の相差にあるから ϕ_1 と $\phi_2 \cos \theta$ に依つて完全な回轉磁界を生じ、此の空間



第 3.30 圖

に置かれた回轉金屬圓筒に與へる駆動トルク τ_d は $\phi_1 \phi_2 \cos \theta_0$ に比例する。 θ_0 は極めて小さいから $\tau_d = K \phi_1 \phi_2$ と考へてよい。此の ϕ_1 及 ϕ_2 は P の電流 I_1 に比例するから、駆動トルクは電流の自乗に比例し、彈條等で適當な制御トルクを與へると、金屬圓筒の回轉角より電流 I_1 の大きさを知ることが出来る。電壓計として使用するときには P 線輪を細小とし數多く捲く。

3.6.5 誘導型の特性

誘導型計器は其の原理上より交流専用であつて、主なる特長としては

- ① 可動体に電流を導く必要なく、アルミニウムの圓板又は圓筒より成るから構造が簡單で堅牢である。
- ② 駆動トルクは回轉部分の回轉角に不向、均一であるから、極めて長い目盛 (300° 以上) を用ひ得るので見易い。又割合に小さな電力で相當に大きい回轉力が得られる。
- ③ 自己磁界が強いので外部磁界の影響は受けない。
- ④ 制御装置を除くと連続的に回轉し得るから積算計器として用ひられる。
- ⑤ 其の他、直流計器の様に狭い間隙に可動線輪を入れる必要なく、調整の容易なこと、又可動圓板に耐久磁石を裝置すると直ちに制動装置となる。

等を擧げ得る。然し一方、周波數や波形の影響を受け易く、温度に依る影響も大きく、ヒステリシス損、渦流損も誤差の原因となり、精密用として適當でなく配電盤用として用ひられることがある。然し誘導型として獨歩の位置は積算計器としてである。

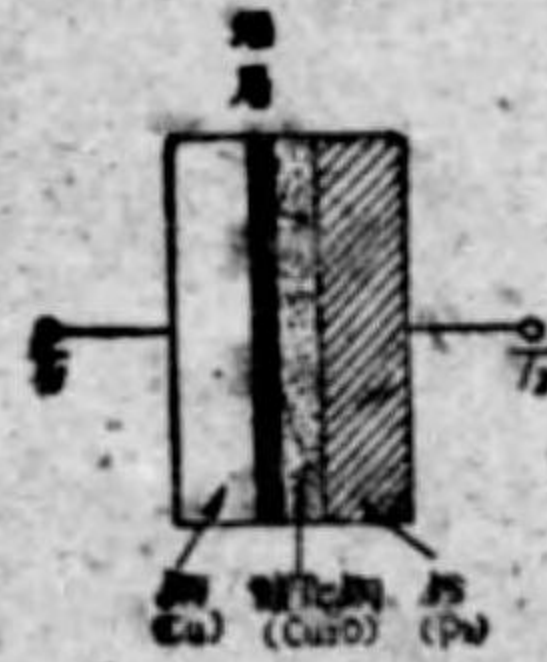
補講 誘導型を指示計器として用ひた時は、温度の上昇に依つて圓板の電気抵抗を大として回轉力を減少し、誤差を生ずるが、積算計器の場合には耐久磁石の制動作用も働くので総合誤差は少い。

3.7 整流型計器 (rectifier type)

交流の測定をするのに、之れを直流に整流してから測定を行ふもので、整流器の性質がよく、可動線輪型のやうな感度のよいものを用ふると微小交流が測定される。

3.7.1 酸化銅整流器 (copper-oxide rectifier)

計器用整流器としては酸化銅整流器及セレニウム整流器があるが、我が國では主として前者を用ひて居るから之れに就て説明する。純銅を 1000 °C 位の高温



第 3.31 圖

度で空氣中にて數十分間熱して、其の表面を酸化させ……酸化銅 (Cu_2O) の皮膜を生ずる……次に温度を 500 ~ 600 °C に下げ、之れを水中に投入して急冷すると銅と酸化銅の間に絶縁性の堰層 (Cu_2O) が生ずる。之れに依つて整流作用が行はれる。 Cu_2O は誘電率が悪いから第 3.31 圖に示すやうに、其の表面に銅鍍金をして、尙其の上に鉛 (Pb) のやうな軟金屬を押しつけて接觸抵抗を減ずる。斯様に組立てられたものから端子 T_1 T_2 を引出して交流電壓を加へると、 T_1 が陰極となるときは Cu より電子を射出して之れが Cu_2O に至り電流を通すが、 T_2 が陰極となると電流は流れない。即ち T_2 より T_1 の方向には電流を流すが、其の反對方向には電流を流さない。従つて交流が直流 (正しくは脈流) に整流せられる。

補講 ① 電流が著しく小 ($1\mu\text{A}$, 1mV 以下) となると、整流能率が甚だしく低下し、實用にならない。又温度上昇に依つても低下する (セレニウム整流器は却つて上昇する) 100 °C 以上になると永久的に特性が劣化するから、温度を之れ以下に保つやうに注意すること。

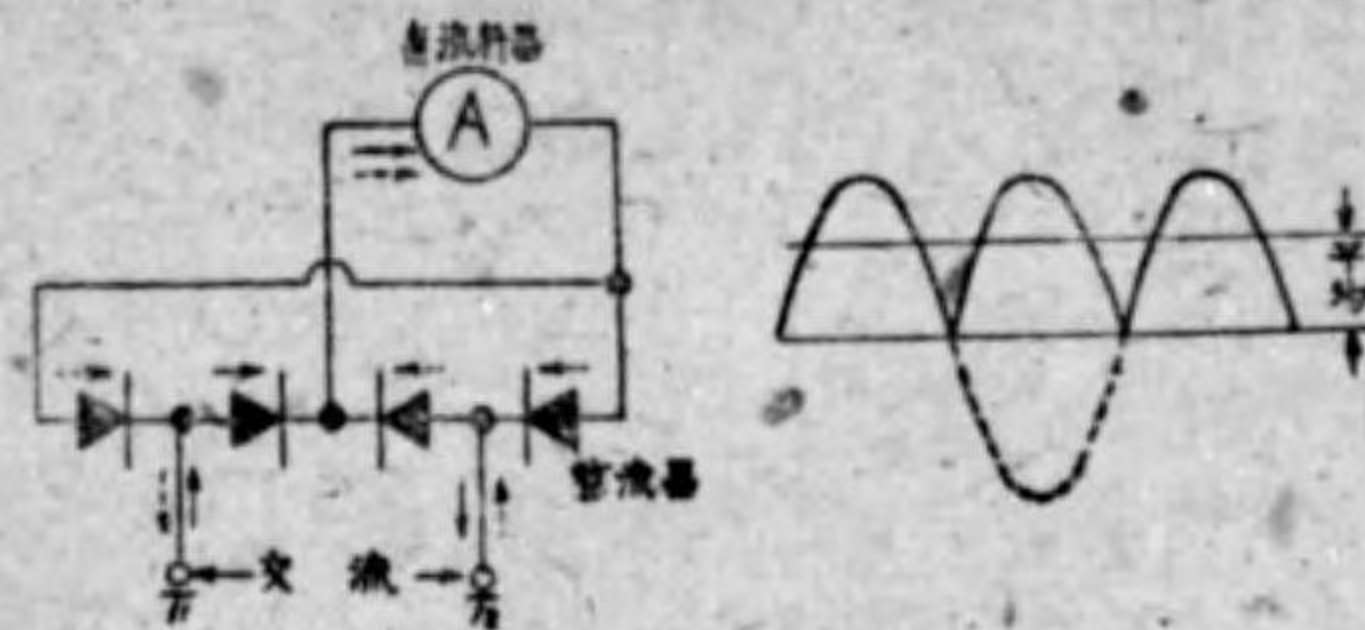
② Cu と Cu_2O の間に靜電容量を形成する (約 $0.16 \mu\text{F}/\text{cm}^2$) ので、充電電流は整流器を素通りし、周波數の影響を受けるが、商用周波數では之れに依る影響は無視される。又電流の大きい程、整流器の抵抗が少く、周波數特性が良好となる。

③ 過電流を通ずると I^2R 損が大となり、温度を上昇して整流器を破損する。又逆電圧が 10V 以上 (セレニウム整流器は 25V) となると破損する。

④ セレニウム整流器、一方の電極として鐵の上にセレニウムを融着せしめ、尙其の上に鉛合金を吹きつけ、之れを鍍層して作つたものである。電流はセレニウムより鉛合金の方向に流れ、逆方向には流れ難い。温度に依る特性變化の少いことが特長である。

3.7.2 整流型計器の接続

整流電圧に應じて上記の整流要素の何枚かを積み重ねた……電流に應じて其の面積を定める……ものを



第 3.32 圖

夫々の整流単位とし、例へば第 3.32 圖の如くに 4 箇の整流単位を用ふると全波整流が得られる。

(計器用整流器は小型のものであるから殆んど此

の全波整流を用ふる) 即ち T₁ T₂ 間に交流を加へると、T₁ が +, T₂ が - の時は實線の矢の如くに電流が流れ T₂ が +, T₁ が - の時は点線の矢のやうに電流が流れる……整流器の → は → 方向にのみ電流の流れることを圖示する……然して、直流計器 A には常に左より右の方向に右圖に示したやうな脈流が流れる。A が可動線輪型計器であると此の平均値 (I_m) を指示する。従つて交流實効値 I と計器の指示 I_m との間には次の關係がある。(第二巻 P92 以下参照)

$$\text{波形率 } K = \frac{\text{實効値}}{\text{平均値}} = \frac{I}{I_m} \quad I = KI_m$$

即ち、測定交流の太さは直流計器の読みを波形率倍したものである。一般に、交流回路の波形は正弦波であるから K=1.11 であつて、直流計器の目盛を直流の場合の 1.11 倍して置くと、殆んど平等目盛である。計器の指示より直ちに交流が測定される。斯く正弦波として目盛られると、高調波を含んで交流波形が歪んで來ると誤差を生ずる。電圧計としてはミリ電流計に高抵抗を挿入し、温度に依る誤差、周波數に依る影響を補償するやうに種々工夫されて居る。

備考 實際は直流計器としての目盛を波形率倍するだけでなく、之れに整流能率 (0.90~0.95) を乗じて目盛らねばならない。

3.7.3 整流器型の特徴

此の整流器型の特徴は、強い耐久磁石を用ひた可動線輪型を使用することに依つて微小交流 (最低 100μA より) を測定し得ることにある。……電圧計としては電壓の低い時の整流器の特性が極めて悪いので、最低 3V 以上でない温度係數の少いものの製作は困難である。従つて斯様な微小交流電壓の測定は熱電對

電計の方が適當である。又内部消費電力の少いことも特長である。

然し、前述のやうに温度の影響を受けることが大である。即ち整流器自体の抵抗は温度上昇と共に減少する負の温度係數を有するので、正の温度係數を有する金屬抵抗を直列として、兩者の作用を打ち消させる等の温度補償装置を必要とする。又周波數の影響を打ち消す爲めに、直列抵抗の一部分に蓄電器を並列としたものがある。夫れでも、整流器の靜電容量が大きいので高周波 (10キロサイクル以上) となると誤差が大きく用ひられない。又、波形の影響の著しいことは既に述べた通りである。

補註 ① 他の可動鐵片型、電流力型では、指針の驅動力が電流の自乗に比例して減少するので……例へば電流が 1/10 となると驅動力は 1/100 となつて……微小電流では之れが極端に小さく成つて測定出来ない。

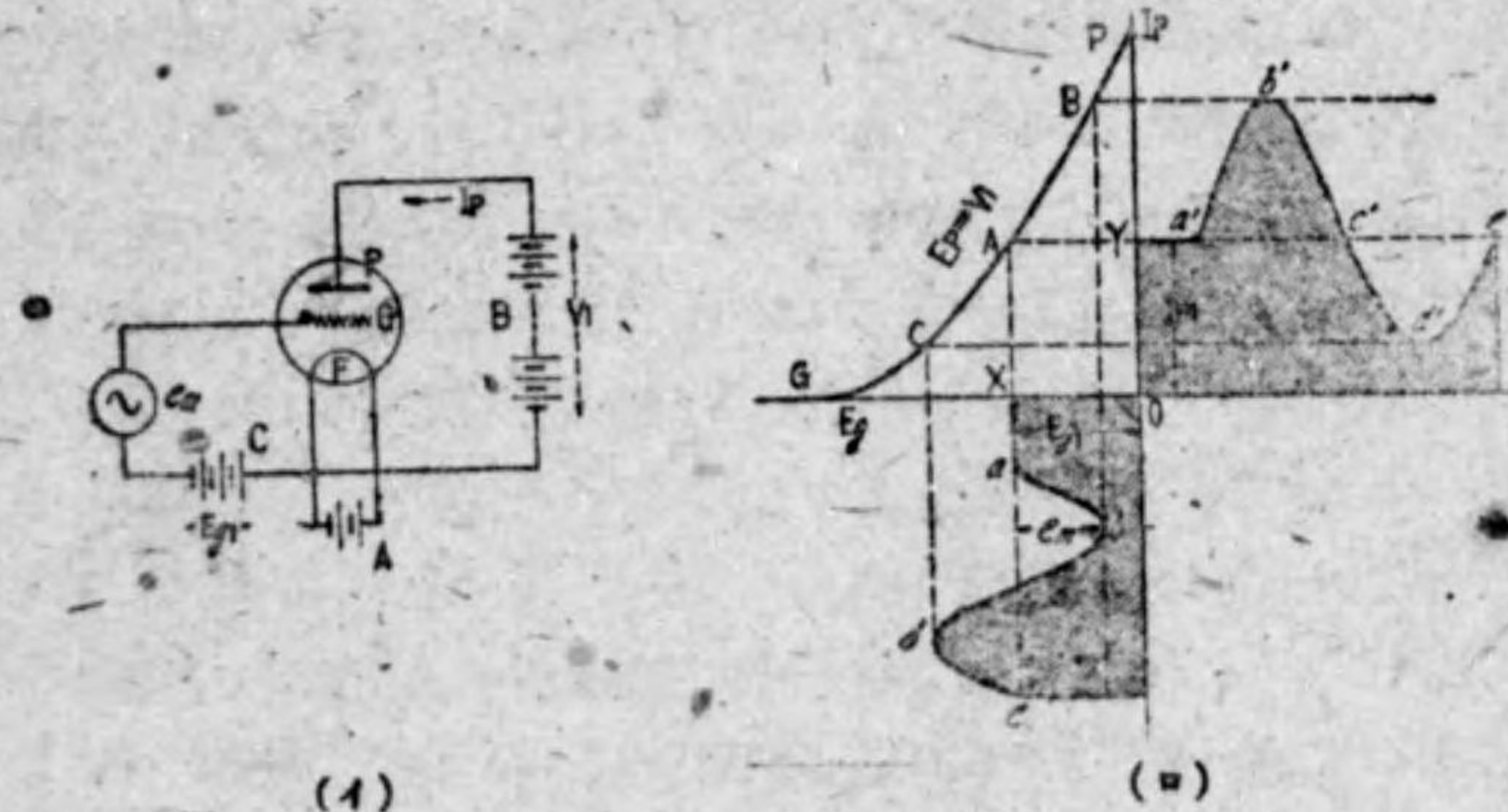
② 此の整流型に應用して、1 箇の計器で、電流、電壓、抵抗、容量を測定し得るやうに作られた萬能試験器 (universal tester) も作られてゐる。

3.8 真空管型電壓計 (vacuum-tube voltmeter)

此の型は 1 種の整流型計器であつて、真空管の整流性を利用して整流型と同様に交流を直流に直して可動線輪型計器で測定する。真空管としては三極真空管を用ひ、整流方法より分類して陽極整流型と格子整流型がある。

3.8.1 三極真空管の整流作用

第 3.33 圖 (イ) は三極真空管を示し、P はニツケル又はモリブデンの金屬板

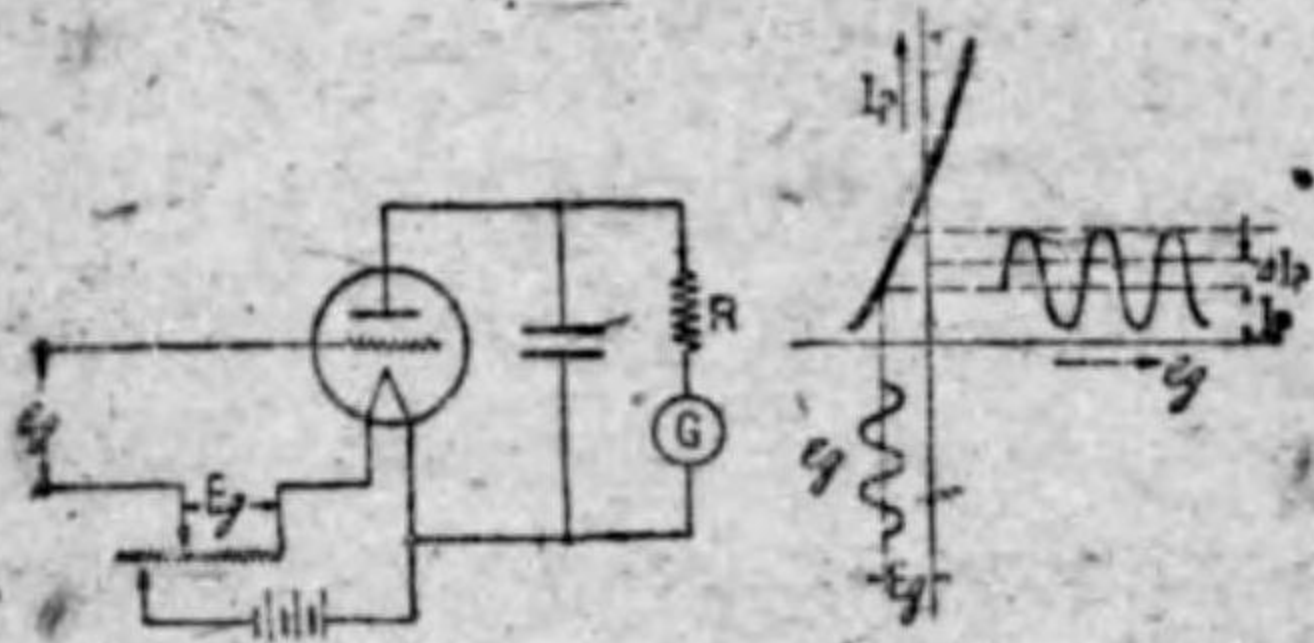


第 3.33 圖

陽極 (プレート) F はタングステン線陰極 (フィラメント) 格子 (グリッド) G はモリブデンで圓筒形格子型で F を押し包むやうな形になつてゐる。是等を一体として硝子製の真空管内に納め、F を A 電池で加熱すると、之れより電子を放出する。電子は負電荷を有するから、電流は P より F の方向に流れるが、F より P の方向には流れない。斯様に使ふと二極真空管であつて、一般に整流用としては此の二極管が用ひられてゐる (例へばケノトロン) 處が第三極格子に負電位 $-E_g$ を加へると F の電子放出を抑制して…… F より來た電子を反撥する……電流を抑制する。P, F 間に一定電壓を加へて種々の E_g の値に對する B → P → F → B と流れるプレート電流の変化を圖示すると (a) 圖の CAB のやうな曲線となる。扱、今 $OX = -E_g$ として、格子回路に最大値が e_m である交流を加へると、之れに應ずるプレート電流は CAB 曲線より a' b' c' d' e' のやうになり、一種の脈流に整流される。斯くて格子回路に加へられた交流に對し、之れに比例する脈流 I_p が得られる。

3.8.2 陽極整流型真空管電壓計

第 3.34 圖に其の接続を示す。使用前に G の零位調整装置に依つてその指針



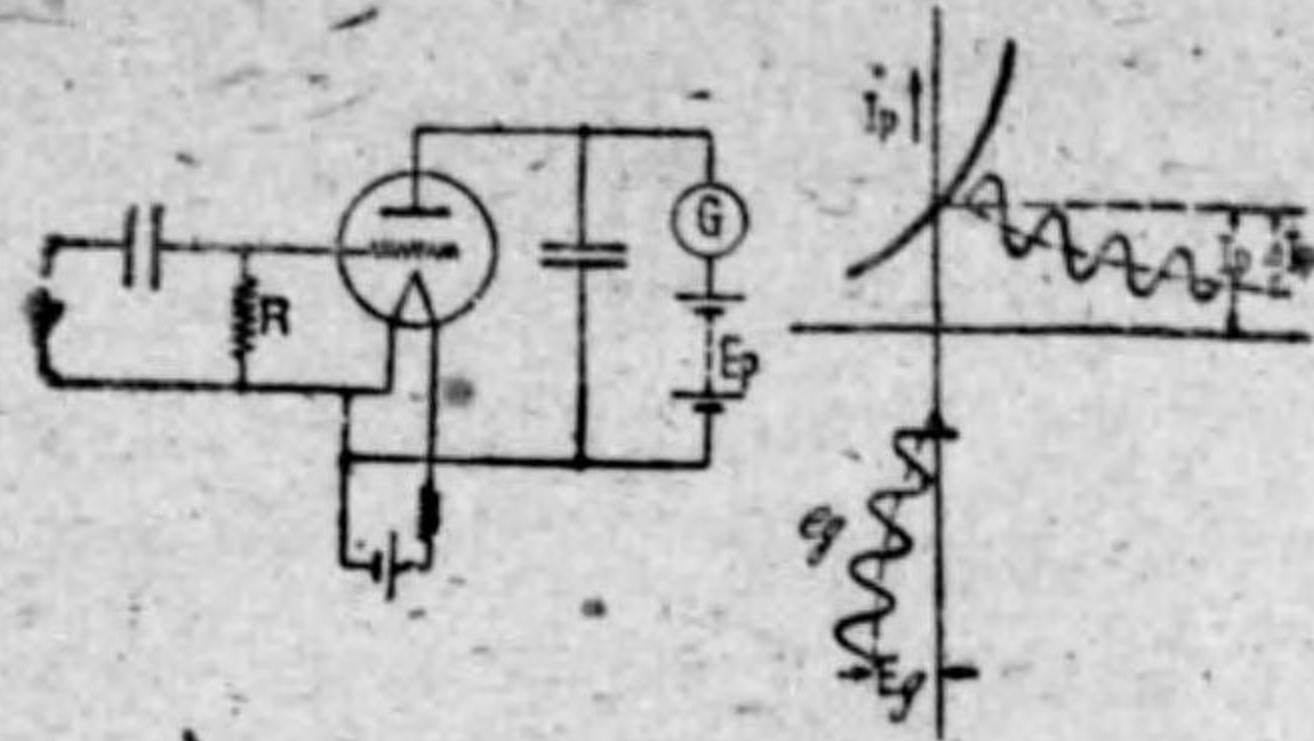
第 3.34 圖

の位置を零位 (赤色) として、グリッド回路を短絡して E_g の抵抗を調整し G の振れを零位 (黒色) とする。斯くて格子回路を開いて之れに測定交流電壓 e_a を加へると、陽極電流 I_p は ΔI_p だけ増加する。勿論、此の ΔI_p は測定交流電壓 e_a に比例する譯であつて、指示は I_p では零となるやうにせられて居るのだから e_a が加はれば G は之れに相當する ΔI_p なる指示をする筈である。依つて G を e_a に對して目盛ると測定交流が得らるゝ。

(註) G は申す迄もなく可変線輪型計器である。

3.8.3 格子整流型真空管電壓計

第 3.35 圖のやうに三極真空管の格子に格子抵抗及格子蓄電器を接続して格子に交流電壓 e_a を與へると、格子回路の整流作用の爲、格子の電位が線條より低くなり、プレート電流が此の格子の負電位に支配されて ΔI_p だけ減少する。此



第 3.35 圖

の ΔI_p は e_a に比例するから前と同様に G の読みから交流電壓が求められる。

(註) 要するに前者はプレート檢波、後者はグリッド檢波であつて、斯くなることの詳細は『電気技術講座』第 7 卷 P 244 以下、檢波装置に就て學習せられたい。

5.8. 4 真空管型の特徴

陽極整流型は周波数の影響が殆んどなく、高周波電壓を測定することが出来る之れに反して、格子整流型は周波数の影響を受ける。然し、直流分を含む交流は交流分のみが測定される。真空管電壓計の一般的な特長としては、殆んど回路より電流を取ることなく、高周波の電壓も容易に測定し得ることである。又 I_p の増加なり減少 $\pm \Delta I_p$ は e_a の自乗に比例するやうな $e_a - I_p$ 曲線上の点を動作点とするので常に實効値を示し、波形の歪みに依る影響は極く僅少である。然し波形に依る誤差は皆無とは云へない (10% 位もあるものがある) ので、此の誤差を除いた真空管實効値電壓計が採用せられつゝある。

4. 特殊指示計器

以上は一般の電壓、電流及び電力計を原理上の分類に従つて夫々説明したのであるが、本章では、特殊指示計器として、周波計及び力率計に就て述べる。

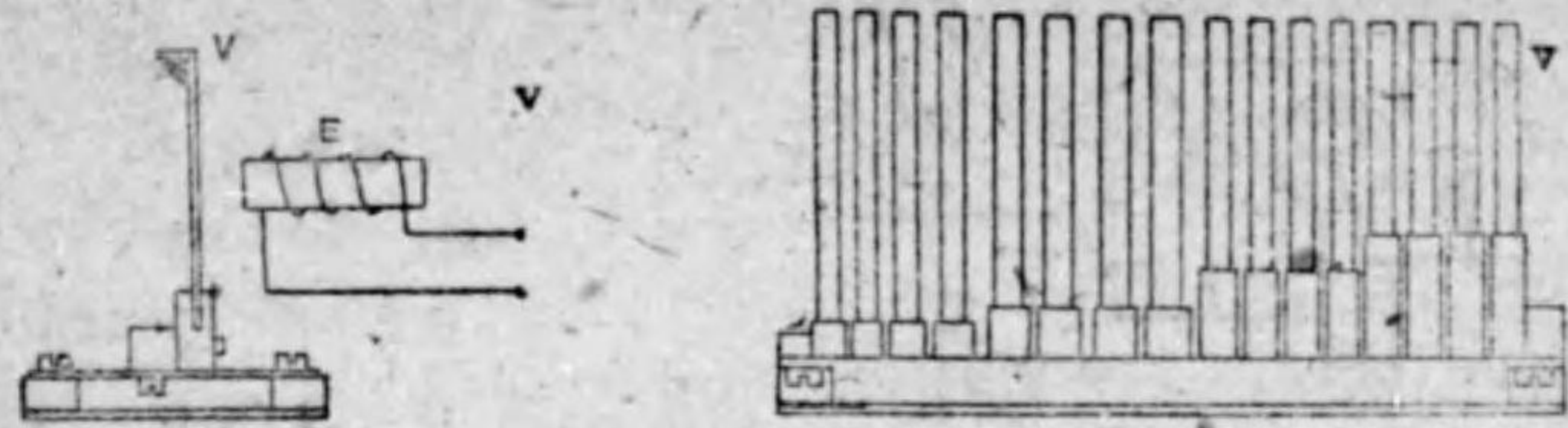
4.1 周波計 (frequency meter)

一般に、交流回路の發電機の極數と回轉數とが判れば $n = \frac{120f}{P}$ なる同期速變の公式 (第二卷 P 80 参照) より $f = \frac{Pn}{120}$ として周波數が求められる。然し茲ではその方法が不可能な場所で、回路の周波數を測定する計器に就て説明する

4.1.1 共振型周波計

第 4.1 圖左の様に電磁石 E を交流で勵磁すると、電流の 1 サイクルにつき 2 回振動片を吸引する。そして此の振動片の固有振動數が此の吸引の振動數 (交

流のサイクル数の2倍)と相等しくなつた時、此の振動片の振幅が非常に大き



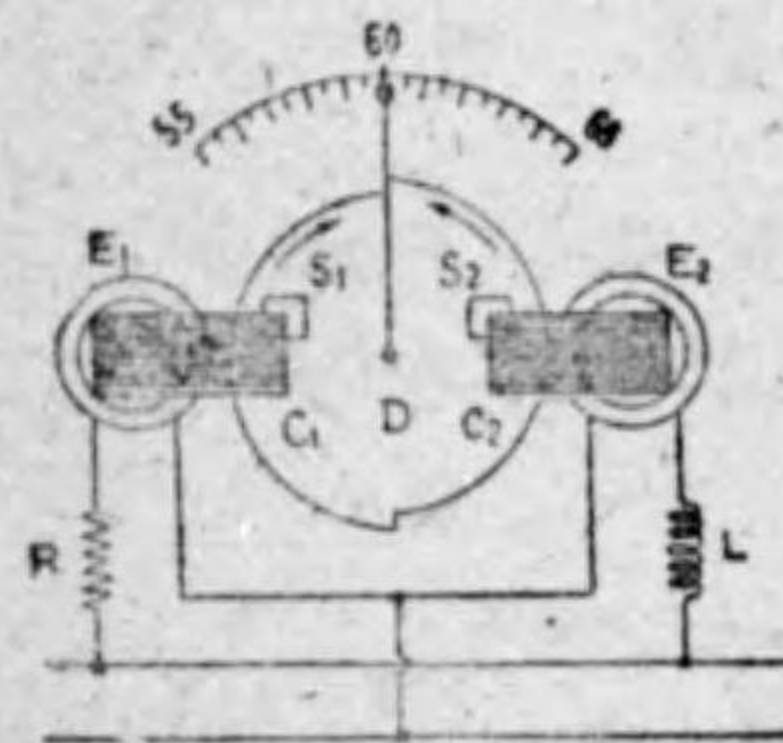
第 4.1 圖

くなる。(大きく振動する)

今、豫め 50 サイクルか 60 サイクルを中心として固有振動数が之れに近い種々なる長さの振動片を右圖の様に並べて置く。そして之に相對して電磁石を置くと、電磁石の振動数と合つた振動片が大きな振幅で振動をする(振動片の頭を白く塗布して置くと之れがよく識別せられる)此の振動片の固有振動数より電磁石の振動数、従つて電源の周波数が判る。此の測定範圍を擴大するには、交流電源の最大値に等しい直流を重疊して流すと、交流の 1 の時は直流に打ち消されるから電波の 1 サイクルに對して 1 回のみ吸引する事になる。振動片の固有振動数が元の値であるから、結局その測定範圍は 2 倍となる。

4.1.2 誘導型周波計

第 4.2 圖は此の型の周波計の構造であつて、 $E_1 E_2$: 勵磁線輪、 $C_1 C_2$: 鐵心、 $S_1 S_2$: 同上の限取線輪、 D : 回轉圓板にして E_1 には抵抗 R が、 E_2 にはインダクタンス L が直列に



第 4.2 圖

されてゐる。 $S_1 S_2$ の作用に依つて移動磁界を生じ D にはその大き等しく方向反對である回轉力が生ずるが、力の平衡のため D は回轉せず静止してゐる。そして E_1 の電流は周波数には無關係であるが E_2 の電流はリアクタンス $2\pi/L$ が周波数に比例するので周波数に關係する。

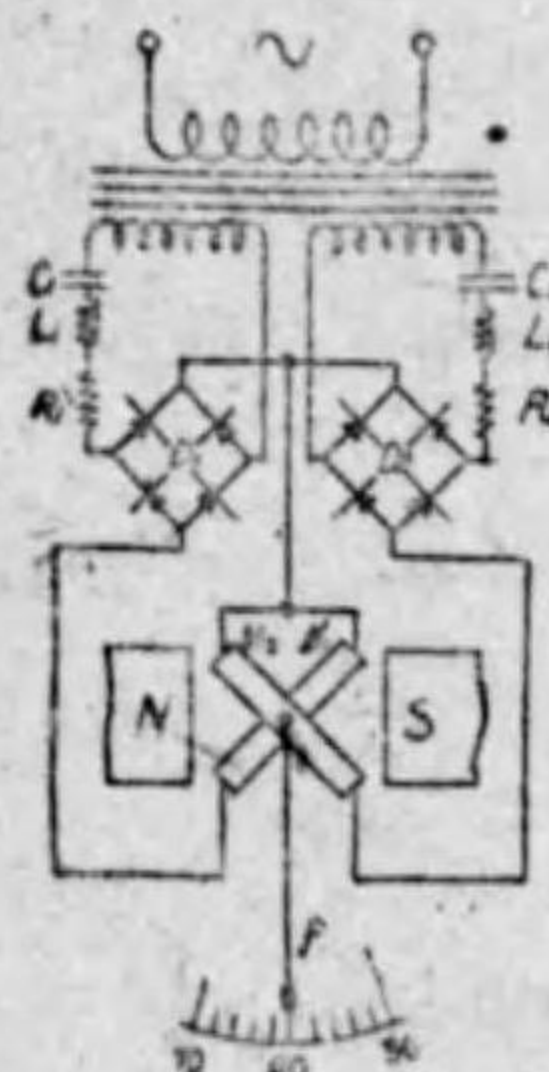
今例へば、60 サイクルの時に $E_1 E_2$ の回轉力が平衡してゐたとする。そして周波数が低下すればリアクタンス $2\pi/L$ が減少し、そのため E_2 の電流は大となり、 S_2 に依つて D は反時計式方向に回轉をする。然るに回轉軸は左半分を中心とあり、右半分は偏心せられてゐるので、左半分は何れに回轉しても C_1 の下

に来る部分は同一であるが、右半分は C_2 の下に来る部分が反時計式に回轉する程減少するから S_2 に依る回轉力は漸次減少し、そして S_1 に依る回轉力と平衡する位置にて回轉は止む。此の時の指針は低下周波数を指示する。周波数が 50 サイクルより増加した時も亦同様に動作して、逆(時計式)方向に回轉をして指示を與へる。此の型であると、共振型周波計に比して精密に周波数が判る。

以上の外に可動鐵片型及可動線輪型(電氣技術講座第二卷 P 156 以下参照)があるが、茲では最近、よく用ひられるやうになつた新型の 2 種を示すこととする。

4.1.3 變流器型周波計

第 4.3 圖の如く、變壓器の二次側を 2 組に分つて、夫々に整流器 D_1 及 D_2

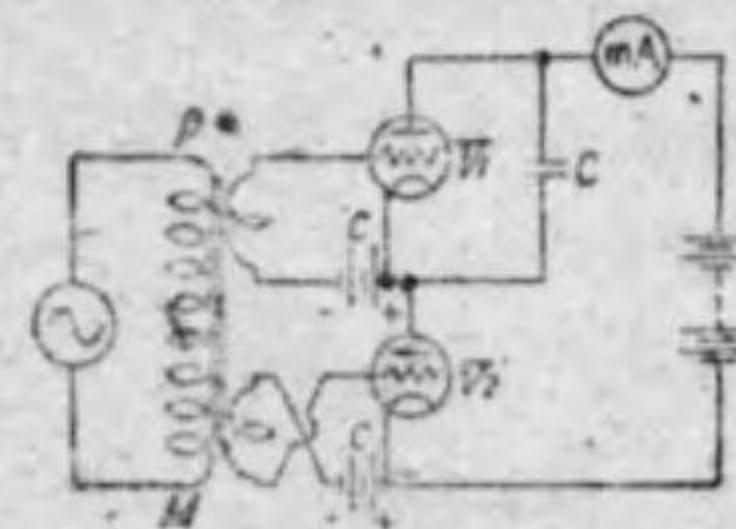


第 4.3 圖

を結び、耐久磁石 N, S の中に設けられた 2 線輪 M_1 及 M_2 に接続する。且つ $L_1 C_1 R_1$ を 60 サイクル以上(例へば 65 サイクル)で共振し $L_2 C_2 R_2$ を 60 サイクル以下(例へば 55 サイクル)で共振するやうにすれば 60 サイクル以上になると D_1 に依つて全波整流せられて M_1 に流るゝ電流が大となり、之れが N, S との間を作る回轉力を大として指針 P が左に振れる。60 サイクル以下になると M_2 の回轉力が大となつて P は右に振れ、夫々の周波数を指示する。一般に指示周波計が電流を流さないときは指針は何處にでも靜止する。

(註) 第 4.3 圖の N, S の代りに、固定線輪を設け、之れに M_1, M_2 の電流を共にして置き、一方 M_1, M_2 の夫々を $L_1 C_1 R_1$ 及 $L_2 C_2 R_2$ の共振回路に繋いだものが可動線輪型周波計である。

4.1.4 眞空管型周波計



第 4.4 圖

第 4.4 圖の如く、直流ミリアンペア計と三極眞空管を組合せて蓄電器の充放電を利用した周波計である。今 M が $+$ 、 P が $-$ の時は V_2 の C 電池の電壓は低下して V_2 のプレート (P) と線條 (F) には B 電池より mA 及蓄電器 C を通じて電流が流れ C は充

電せらるゝ。此の時 V_1 の格子電圧は C 電池に交流電圧が重畳して負電位を高めるから、 V_1 の P と F 間には電流が流れない。逆に P が + に、M が - になると V_2 は電流を通ぜず V_1 は通ずるから C の充電は、 V_1 の PF を通じて放電する。斯く静電蓄電器 C の充放電は電源の周波数に比例し、周波数に比例した電流が mA に流れるから mA の指示から周波数が分る。(mA は周波数で目盛られる)

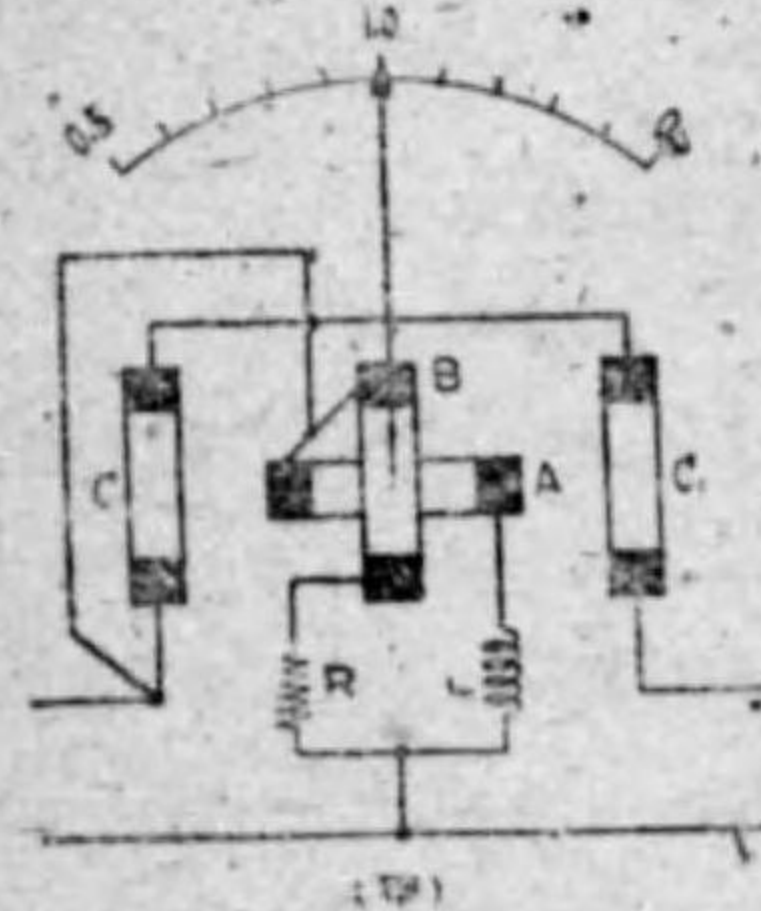
4.1.5 各種周波計の特性

最も一般的に用ひられるのは共振型であつて、構造が簡単で電圧の大きさ波形の歪みに依る影響が少くて信頼度が高いが、指示が不連続的で振動片の中間が読めない(0.5 サイクル以下は読み取り不能) 又指示に時間の遅れを伴ふ缺點がある。普通 20~1000 サイクル間の測定に用ひられる。誘導型以下は高価であるが、指示は連続的で 0.1 サイクル位の變化も読み、真空管は 20~1000 サイクルの測定範囲を有する。……一般に 50 サイクル用では 48~52 サイクル、60 サイクル用では 58~62 サイクルの目盛がせられてゐる。

(註) 10,000 サイクル程度には交流ブリッジ法が、10,000 サイクル以上には高周波波長計を用ふる。

4.2 力率計 (power factor meter)

力率とは、交流回路に於て実効電力を皮相電力で除した値である。従つて回路の実効電力を電力計で測定し(電圧計の読み×電流計の読み)より皮相電力を知ると力率が算定される。然して之れを直ちに知るやうにせられたのが力率計である。



第 4.5 圖

4.2.1 単相力率計

第 4.5 圖は単相力率計の構造を示すもので

C C; 固定(電流)線輪 A B; 可動(電圧)線輪

R; 抵抗で B に接続される。

L; インダクタンスで A に接続される。

圖の様に接続したものに電流が流れると C の電流は回路の電流に等しく、B の電流は電圧と同相であるが、A の電流は電圧より約 90° 遅相となる。力

率が 1 なる時は C の電流と B の電流とが同相となり、その磁束に依つて生ずる回轉力が最大となり、C と A 間の回轉力は零である。故に可動部分は回轉して、C の磁束の方向と B の磁束の方向が一致する様な点(圖では B が垂直の位置)で回轉は止る。此の場合の指針が力率 1 を指す様に目盛する。又力率が 0 なる時は C の電流と B の電流間に 90° の相差が生じ、A の電流が同相となるから、今度は C と B との間の回轉力が最大となり C の磁束と B の磁束の方向が一致する位置にまで可動部分は回轉する。此の時の指針の位置が力率零の場合である。そして任意の力率(位相角)の時は、それに應じて指針は其の力率を指す(註参照)……指針の角度は位相角に等しく、それより力率が與へられる。……そして力率が進相の場合と遅相の場合では回轉方向が反對となる。(力率 1 を中心として)之れは進電流と遅電流では磁束の方向が逆になるからである。

(註) E; 回路の電圧…… $e = E_m \sin \omega t$ I; 回路(C)の電流…… $i = I_m \sin(\omega t - \varphi)$

$$i_R; R-B \text{ 回路の電流} \dots i_R = \frac{E_m}{R} \sin \omega t = I_{mR} \sin \omega t$$

$$i_L; L-A \text{ 回路の電流} \dots i_L = \frac{E_m}{\omega L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = -I_{mL} \cos \omega t$$

今 B, A の抵抗及びインダクタンスを無視し、且つ $R = \omega L$ とすると

$$I_{mR} = I_{mL} = \frac{E_m}{R} = \frac{E_m}{\omega L} \text{ である。}$$

C の磁界の強さの最大値を H_m , 瞬時値を h とすると

$$h = K I_m \sin(\omega t - \varphi) = H_m \sin(\omega t - \varphi)$$

可動部分の回轉角度を θ とすると B に依る回轉力は

$$f_1 = K_1 h i_R \sin \theta = K_1 H_m \sin(\omega t - \varphi) I_{mR} \sin \omega t \sin \theta$$

$$= K_1 \frac{H_m I_{mR} \sin \theta}{2} \{ \cos(-\varphi) - \cos(2\omega t - \varphi) \}$$

{ } 中の $\cos(2\omega t - \varphi)$ の一周間の平均は零であるから

$$f_1 \text{ の平均は } F_1 = K_1 \frac{H_m I_{mR}}{2} \sin \theta \cos \varphi$$

又 A に依る回轉力 f_2 は

$$f_2 = K_1 h i_L \sin(90^\circ - \theta) = -K_1 H_m I_{mL} \cos \theta \sin(\omega t - \varphi) \cos \omega t$$

$$= -\frac{K_1 H_m I_{mL} \cos \theta}{2} \{ \sin(2\omega t - \varphi) + \sin(-\varphi) \}$$

{ } 中の $\sin(2\omega t - \varphi)$ の平均値は零であるから

$$f_2 \text{ の平均値 } F_2 = K_1 \frac{H_m I_m L}{2} \cos\theta \sin\varphi$$

静止した時は $F_1 = F_2$ と置くと

$$K_1 \frac{H_m I_m L}{2} \sin\theta \cos\varphi = K_1 \frac{H_m I_m L}{2} \cos\theta \sin\varphi$$

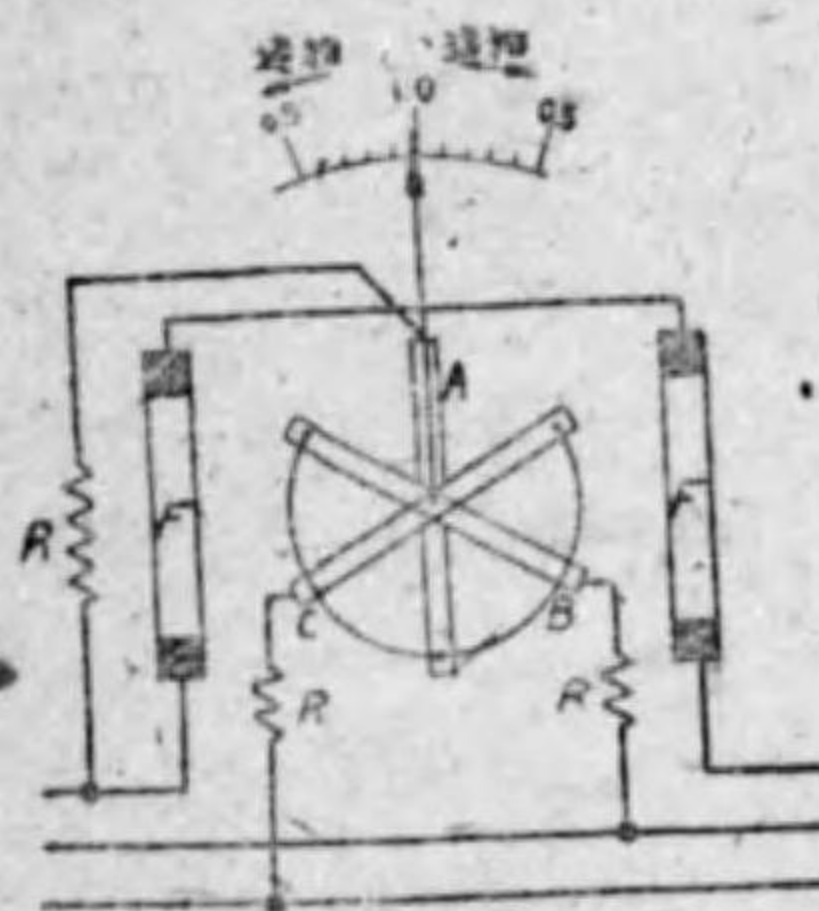
之の兩邊を $\cos\varphi \cos\theta$ で除すと $I_m R = I_m L$ であるから

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

即ち回路の力率角は指針の角度に等しい。

4.2.2 平衡回路用三相力率計

第 4.6 圖は三相力率計の原理を示すものであつて、C C; 固定(電流)線輪、



第 4.6 圖

A B C; 星形に 120° 宛の角度に配置せられた可動(電圧)線輪で、同一回轉軸に取付けられて居る。此の可動線輪は夫々抵抗 R を通じて三相回路に接続せられ、三相電圧を受けるので、回轉磁界を生ずる(第六巻で説明する)一方、電流線輪は負荷電流に依つて軸方向に交番磁界を生じ、回轉磁界との相互作用で可動線輪に驅動トルクを與へ、可動線輪を回轉させるが、其の角度は斯くて1周期間

の平均回轉力を零とするやうな位置で、力率 1 の時は C 線輪の磁界が最大となつた瞬時、回轉磁界は A の軸と一致する位置である。此の時の指針は力率 1 を示す。其の他の力率では可動線輪が適當に回轉して、指針は其の時の力率を示す之れを不平衡三相回路に用ふると正確な指示は與へない。

5. 記録計器 (recording meter)

5.1 記録計器の構成要素

電壓、電流、電力、力率、周波數等の電氣値が、時々刻々變化する時、之れが時間に対する變化の状況を記録するのに……斯くの如き記録に依つて、作業の合理化とか設備の改善が計られる……一々測定者が指示計器の計量値を見て記録してゐたのでは面倒であり、且つ瞬時に於ける指示を記録し續けることが出来ない

其處で、指示計器の動作装置に記録装置と時計機構を設けて、指針が目盛を指示する代りに、グラフ用紙にペンで自動的に瞬時の電氣値を記録する計器を用ふる此の種の計器を記録計器と稱する。此の種の計器は前述のやうに次の三部分から成る。

- (i) 動作装置 (ii) 記録機構 (iii) 時計機構

動作装置は普通の指示計器と同一原理であつて、可動部分にペンを附けて、圖紙上を觸れて指針が運動するから相當に大きい摩擦を伴ひ、回轉力は指示計器の場合よりも遙かに大きくする必要がある。

記録機構はペンと圖紙 (chart) より成り、ペンは指針に取付けられる。圖紙には圓形圖紙 (disc chart) と帶形圖紙 (band chart) があつて、前者は 1 日又は 1 時間で 1 回轉して記録を終る。變化狀況が一目で判然とするが、取換へに手数を要する。之れに反して後者は長時間連續して使用し得る。圖紙としての條件は、紙面が滑かでペンとの間に摩擦力が少い事、湿度、温度等にて紙が伸縮せぬ事等である。ペンの條件としては、紙面との摩擦が小さい事、重量が軽く腐蝕の心配なく、又インクの貯藏量が大きい事等である。

時計機構は圖紙を時間と共に押し進めるもので……グラフの時間軸である……強力なゼンマイを持つた手巻時計、又は電氣巻時計が使用されてゐる。

又記録計器は記録する方式に應じて次の 3 種に大別せらるゝ。

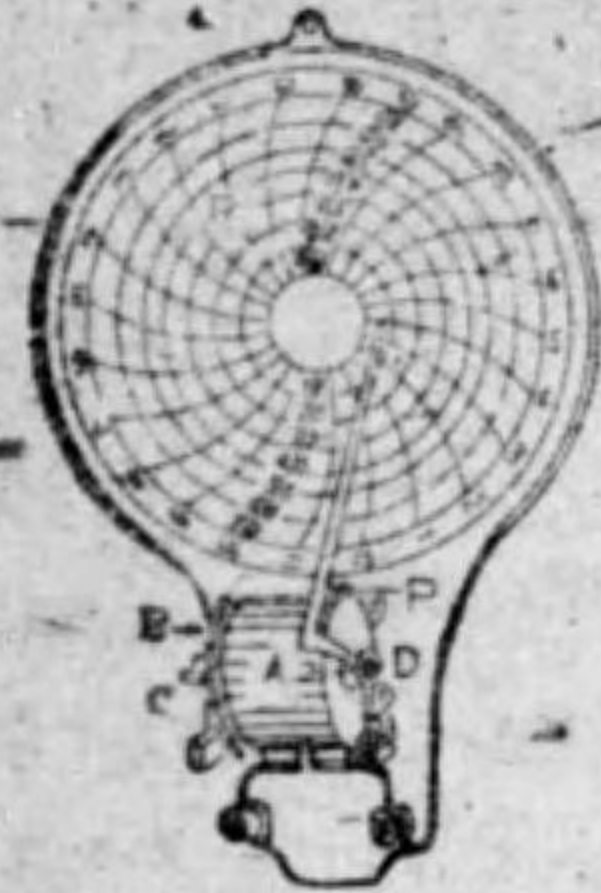
- (i) 直動型 (ii) 間歇型 (iii) 繼電器型

次に是等の原理の概要を述べる。

5.2 直動記録計器 (direct writing meter)

此の型のものは可動軸にペン P を取付けたもので、計器の驅動トルクで直ちに圖紙上に記録する。構造は簡單であるが、ペンと圖紙間の摩擦の大きいことが缺點である。其の一例を示すと第 5.1 圖の如くで、圖は可動鐵片型計器を示す圖中、A; 固定線輪、B; 可動軟鐵圓板、C D; 制御トルク用刃形彈條、P; ペンである。

今 A に電流が通すると、驅動トルクが発生して B は吸引(又は反撥)されるさして C, D の制御トルクと一致した点で靜止する。即ち計量値に比例してペンが動き、圖紙が時間と共に動くと共に圖紙上に時間と共に變化する電氣値が記録せら



第 5.1 圖

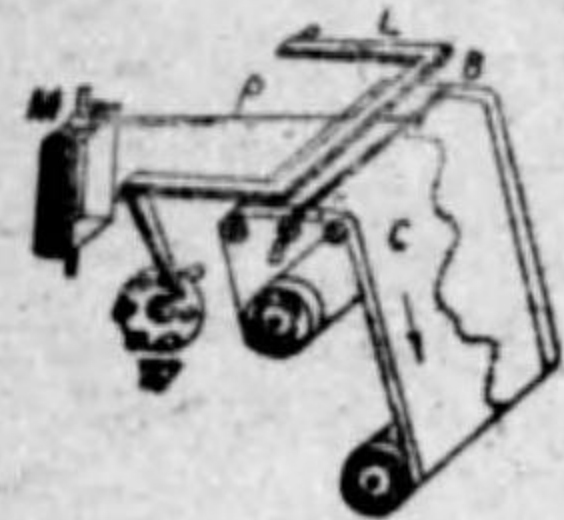
れる。又 B の軸の延長に翼を付け、之を油の中に入れてその摩擦力に依つて制動せられる。圖紙は圖の様に圓形であつて、圖に表されてゐるものは 1 日 (24 時間) で一回轉するものである。

(註) 圖はブリストル型記録電圧計で、此の型の記録電圧計及電力計の加動部分は電流計型計器である。驅動トルクは指示計器で 0.3~0.8 gcm 程度であるのに、自動式記録計器では約 20 倍程のトルクを要する。

5.3 間歇型録計器 (intermittent recorder)

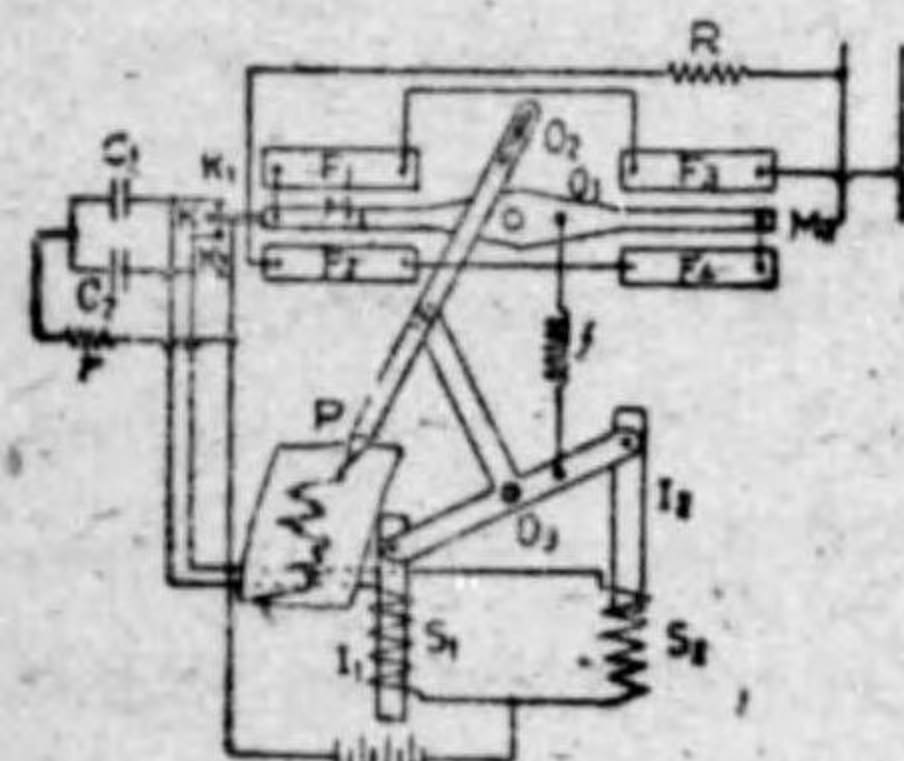
直動型のものでは、圖紙とペンが常に接觸して居るから、其の間の摩擦力が大きく、加動部分の回轉力が小さい計器には用ひられない (例へばオーム計、溫度計等) 此の種のものに對し、ペンの記録方法が間歇的な本型を用ふる。

その記録装置の構造は第 5.2 圖の如きであつて、P は腕、L は槓杆、B はインキを含んだタイプライター用のリボンである。L はカムを有する圓板 W に圖の如くに連結され W は時計機構で回轉されるから W のカムが外れる時に L が下り、P が B を圖紙に押しつけて点を記録する。一般に 10~30 秒間に此の点が叩きつけられる。従つて点の數で時間が分かる。



第 5.2 圖

5.4 繼電器型記録計器 (relay-operated recorder)



第 5.3 圖

此の型は記録装置を動作させるのに、繼電器に依つて補助電源を用ひ、ペンと圖紙の間の摩擦力を補償するやうにしたもので、記録は連続線となるので、極く僅かな變化量も顯示することが出来る。第 5.3 圖は其の一例として、繼電器として 2 箇の電磁石を用ひ、動作装置としてアンペア秤を用ひたケルビン電流秤式記録電圧計を示した。即ち、 F_1, F_2

F_1, F_2 は固定線輪、 M_1, M_2 は可動線輪で、第 3.7 圖に示したアンペア秤と同一の構造である。此の可動線輪の一端に可動接觸片 K があつて、其の上下に 2 箇の固定接点 K_1 及 K_2 があり、 C_1, C_2 を經て補助電源用電池に接續される。又可動鐵心 I_1, I_2 は T 型腕金の固定された軸受 O_1 で支へられる。此の腕金の他の一端はペン軸 P と可動ピンで連結せられる。ペンの上端は誘導溝 O_2 内を滑動し、ペン先きは直角座標式に記録する。尙彈條 S は記録機構の運動を可動線輪の傾斜に比例させる爲めに採用される。今測定電壓が一定であると、各部は平衡が保たれ、ペン先きは一定値の点にあつて K の接点は開いて居る。此の時電壓が増加すると可動線輪 M が時計式にトルクを受けて上方の接点 K_1 を閉ぢ、S を勵磁して P を左方に動かす。同時に彈條 S は反時計式のトルクを生じ、両者が平衡して指針 P を此の時の電壓値の増加に比例する左方の或る点を記録する電壓が減少すると反時計式トルクを生じ、下方の接点 K_2 を閉ぢ S_2 を勵磁し P を右方に動かす、 f は M に時計式トルクを與へて平衡する。尙蓄電器 C_1, C_2 は接点閉時に之れに生ずる火花を軽減する作用を爲す。

6. 積算計器 (integrating meter)

6.1 一般

6.1.1 分類

或る期間内に於ける電流及電力を積算計量する計器を積算計器と云ふ。電力の取引には主として積算電力計 (wat-hour meter) が使用され、電氣化學工業等に於てはその通電量を計量する爲に積算電流計 (アンペア×時間……ampere-hour meter) が使用されることもある。積算計器をその動作原理に依つて分類すると次の様になる。

- ① 電解型 (electrolytic type) エレクトロライティック 電解液を電氣分解させてその析出する物質の量に依つて通過した電量を測定する。
- ② 電動機型 (motor type) モーター 之れには整流子電動機型 (commutator-motor type) コンミューター、水銀電動機型 (mercury-motor type) マーキュリイ、誘導型 (induction type) インダクション の三種類がある。何れも電力に比例して回轉子が回轉するから、その回轉數に依つて電力量が計量される。整流子及び水銀電動機型は主に直流用で誘導型は交流用である。

④ 振動型 (oscillatory type) ^{オシレータリイ} 測定される電力、電流に依つて電磁石に磁束を生じさせ、二箇の振動子の振動の周期を制御してその時間中に於ける兩振動数の差より電力或は電量を測定する。

以上の各型の中で、構造が簡単であり使用に便で価格も低廉である ④ の電動機型が現在は主として用ひられて居る。尙その中でも廣く使用されてゐるのが交流用の誘導型である。但し直流専用の化学工場、電機等では水銀又は整流子電動機型が使用される。故に本書では誘導型積算電力計を主として述べ、次に整流子及び水銀電動機型に及ぶ。

6.1.2 一般要素

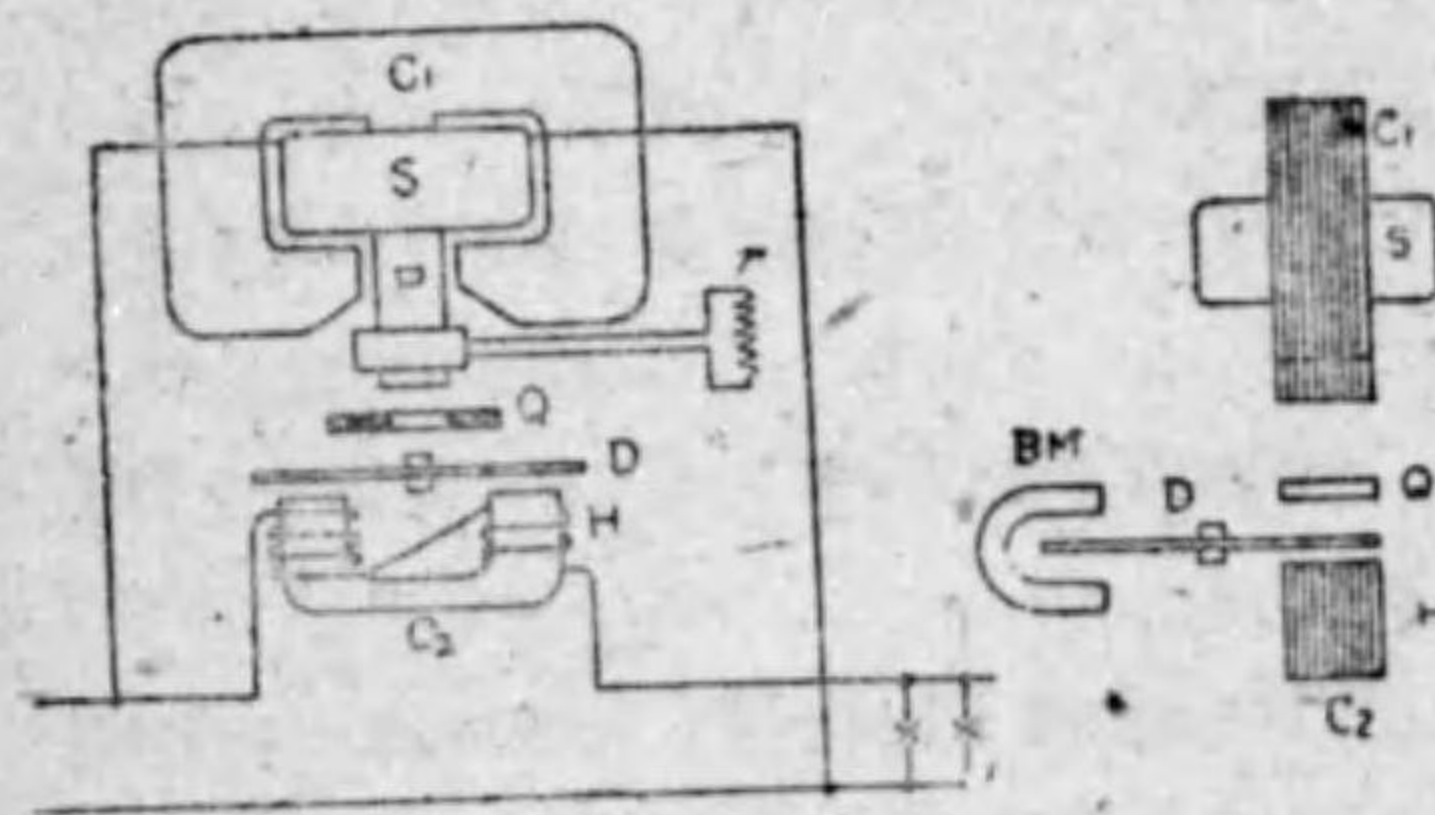
積算計器の一般要素としては

- (i) 電力或は電量に比例した回轉力を發生し、之に依り回轉部分を回轉する可動部分
- (ii) 回轉部分の回轉數に應じて回轉部分を制御する制御部分
- (iii) 回轉部分の回轉數を時間的の遅れ (視覚に感ずる程度の) を生じない様に計量する部分で指針型と現字型とがあるが、一見して見易く、讀取りに誤り生じない現字型が最近専ら用ひられる。

6.2 誘導型積算電力計

6.2.1 一般構造及び原理

説明の都合上、先づ單相のものについて述べる。第 6.1 圖は一般の構造を示すものである。



第 6.1 圖

此の S に電壓が加はると電流が之に流れ、磁束 ϕ_e を發生するが、S はインダクタンスが大であるから ϕ_e の位相は E のそれより約 90° 遅れる。そしてその ϕ_e の爲に D 上に渦流 i_e が流れる。一方 H にも電流が流れ磁束 ϕ_c を生ずる。此の位相は電流 I より鐵損のために僅か

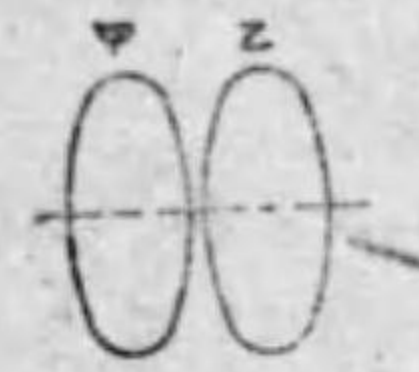
C_1 C_2 : 成層鐵心、S: 電壓線輪、H: 電流線輪、D: アルミニウム回轉圓板、BM: 制御用耐久磁石

許り遅れる (但し略々同相と考へて宜い) そして此の ϕ_c に依つて D に渦流 i_e が流れる。此の渦流と磁束の間に電磁力が發生し、之が駆動トルクとして働く。此の回轉力で圓板は回轉するが、回轉數を正しく電力に比例さす爲めには制御トルクを必要とする。圓の B.M なる耐久磁石が之の働き……矢張り渦流に依つて……をして呉れるのである (制御トルクがないと、電力の値の如何に依らず一様な速度で回轉する……丁度、指示計器で制御装置のない場合と同様である)

扱、斯く圓板が何回轉かして 1 キロワット時となるのであるが、これは計量装置の齒數比で選定される。

補講 以上の説明では渦流と磁束の相互間の電磁力で D が回轉する……とアツサリ片付けてしまつたが、之では餘りアツケが無い。其處で少々詳しく此の間の關係を述べて見る。

茲に一寸前に斷つて置く事がある。……第 2 卷の電氣磁氣の説明でよく納得して居る等ではあるが……第 6.2 圖の様甲、乙の線輪を並べ、甲に電流を流すと乙に起電力が發生する。そして其の方向は甲の作る磁束の變化を妨げる様な方向である……事は先刻御存知の通りである。然して此のことは甲に流れる電流が變化して……従つてその磁束が變化し……初めて乙に起電力が發生するのであつて、甲の電流が一定不變のものなら、乙に起電力を生じない。先づ此の事を墨記して置いて、次に第 6.3 圖を御覽願ふ。



第 6.2 圖

圖は正弦波である。圖に於て 0° の点の y の値は 0 である。然し y そのものの變化と云ふ事を考へると、「- の値のものが急に + になる」と云ふ事を考へても、又「他の y の所と 0° の所の曲線の傾斜を比較すると 0° の点で y の値の變化が最も大である事が判る。それに比べて 90° の点を考へると、その時は y の値には變化がない。即ち一定であると云へる。即ち第 6.4 圖の様に、 90° より極く小さな角度 $\Delta\phi$ だけ後にもどつた点と 90° の点の間では y の値が殆ど一定であるから、 90° の点では y の値の變化は「小で零である。(第 2 卷 P118 第 249 圖参照)

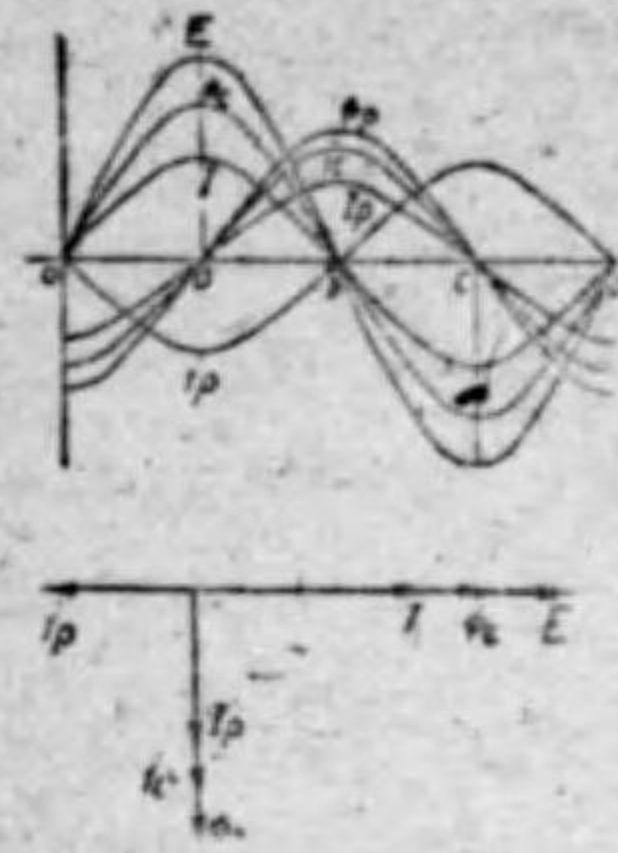


第 6.3 圖



第 6.4 圖

以上の二つの考へから「磁束 (即ち電流) の正弦波變化にて他に起電力を生ずる時、 0° 及 180° の点で最大となり、 90° (270°) の点では起電力は零となり、磁束の正弦波的變化に依る起電力は磁束より 90° 遅れた正弦波となる」と云ふ事が明かである。此のことは第 2 卷以來四度び繰返したが、夫れ程に重要なことであると承知せられたい。



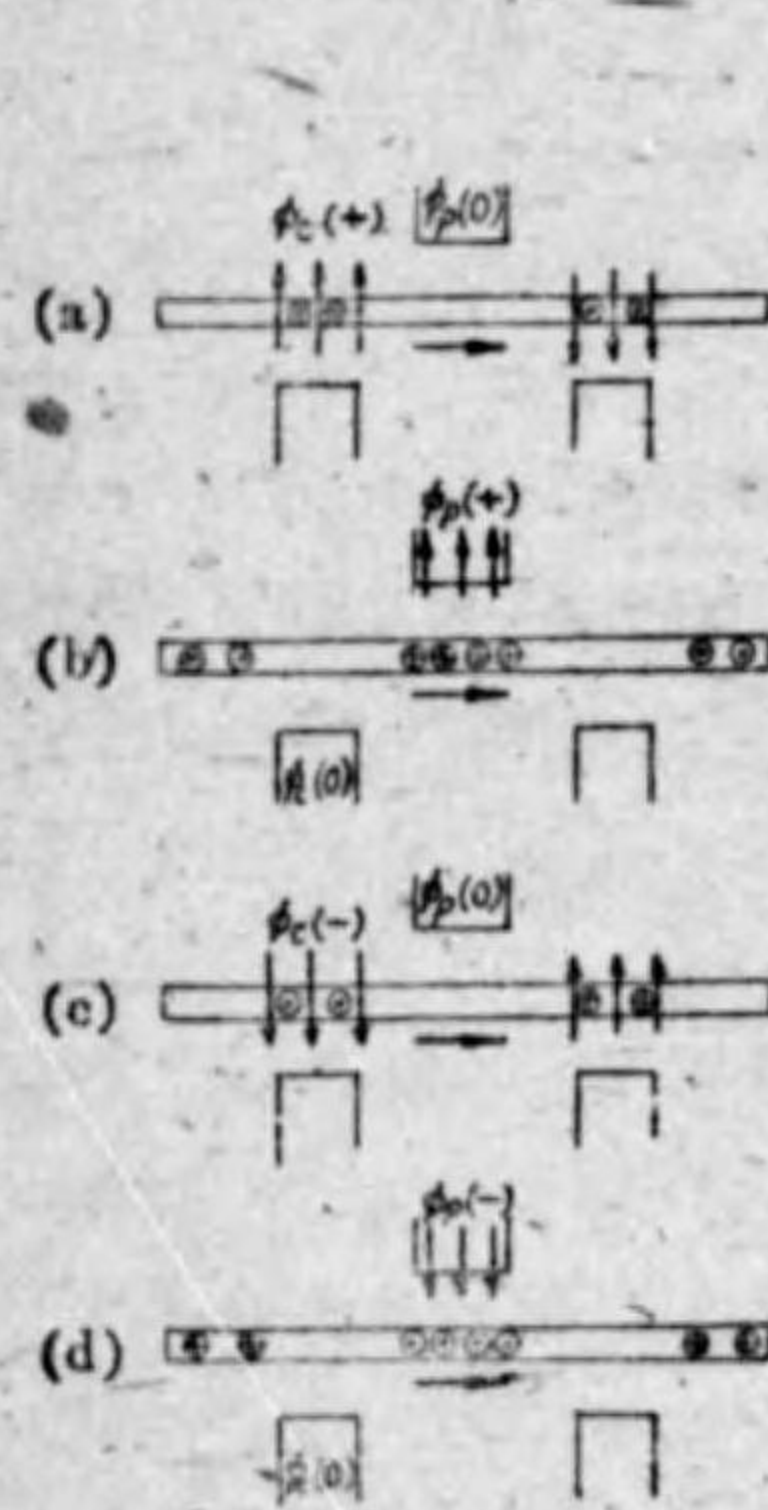
第 6.5 圖

即ち E より 180° 遅相となる。

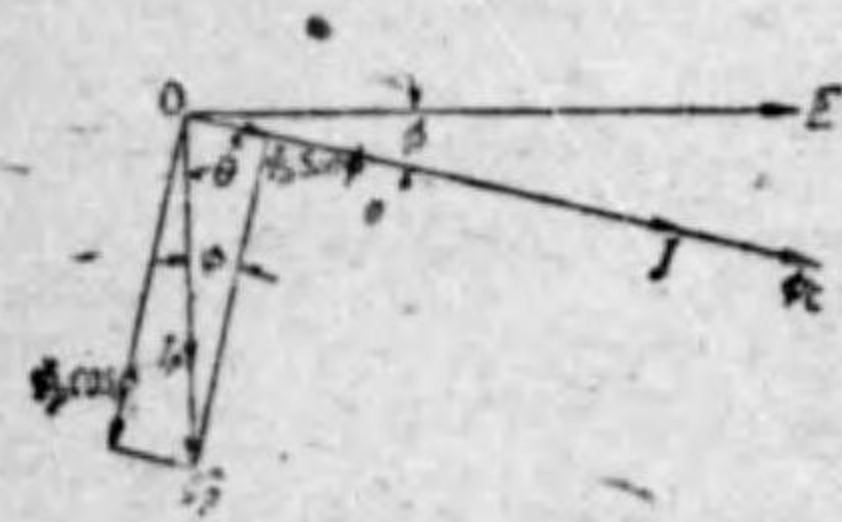
扱、此の電圧、電流、磁束の関係を第 6.5 圖に示して、之に依つて説明して行く。

E; S の電圧、I; H の電流、Ip; S の電流、φP; S の磁束、φC; H の磁束、ip; φP に依る渦流、ic; φC に依る渦流

但し、之れは E と I とが同相、即ち力率 1 の場合の圖である。E に依つて S に Ip が流れるが S は高インダクタンス(且つ位相調整装置に依り)であるから、Ip は E より 90° 遅相となる。そして Ip に依つて同相に磁束 φP が生ずる。此の φP が變化(交流なる故)するから、D に電流が誘起される。之を ip で表すと前述の考へより之は φP より更に 90° 遅相である



第 6.6 圖



第 6.7 圖

一方 H には I が流れ、殆ど之と同相に磁束 φC を生ずる。そして φC に依り D に電流 ic が生ずる事は前と同様で、その位相は E 及び I より 90° 遅相となる。

第 6.5 圖で (a) の場合は φC が最大であつて第 6.1 圖の如く H の兩方の巻き方が反対であるから第 6.6 圖 (a) の如くに磁束を生ずる。又此の時 φP は 0 であつて ip が最大である。此の ip が - の時圖の様に電流が流れたとすると、ip と φC の間に電磁力が発生し、D はフレミング左手の法則にて矢の様に回轉する。次に (b) の場合は φP が正の最大にて ip は 0 となり ic が正の最大となり ic と φP の間に回轉力を生じ、その方向は (a) の場合と同一である。

(c) の場合は電流磁束の方向が (a) の場合の逆となるが圖にて明かなやうに、その回轉方向は變らない。

(d) の場合は (b) の場合の逆であるが、其の回轉方向は一定である。

以上の説明は力率 1 の場合であつたが、力率 φ なる時を考へて見るに、第 6.7 圖のベクトル圖に於て φP の φC と同相分は φP sinφ、直角分は φP cosφ である。そして回轉力を發生するには、兩者の磁束の位相差が 90° であらねばならないから、φC と作用して實際に回轉力を發生する

φP はその cosφ を乗じたものに減少する譯である。

6.2.2 駆動トルク及制御トルク

以上の説明では、回轉板が如何にして回轉するかを研究したのである。次に果して其の回轉数が測定される電力に比例するか否かを調べて見やう。先づ D の回轉力 TD は φP 及び φC と直角相差の φP cosφ との相乗積に比例するから

$$T_D = K_1 \phi_C \phi_P \cos\phi = K_2 E I \cos\phi = K_3 P$$

即ち駆動トルクは正しく電力 P に比例する事が分かる。

又、回轉板が n 回轉した場合の制御トルクは、制御用耐久磁石の有効磁束を φm とすると

$$\text{平衡する制御回轉力は } T_C = K' \phi_m^2 n \text{ である。}$$

そして定常回轉に於ては TD = TC であるから。

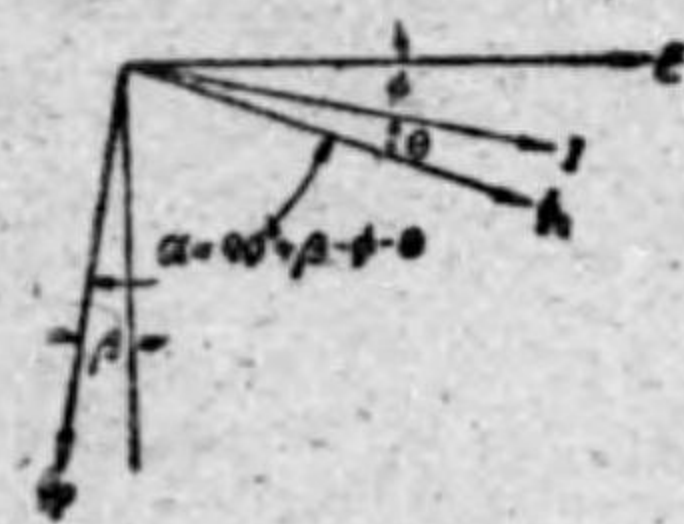
$$K_3 P = K' \phi_m^2 n \quad \therefore n = \frac{K_3 P}{K' \phi_m^2} = K P = K E I \cos\phi$$

即ち回轉数は電力に比例する事が分かる。

以上の説明では、駆動トルクは磁束の交叉に依るもののみ、制御トルクは制御用磁束に依るもののみと限定して考へたが、其の他、摩擦力とか、種々の調整装置の反抗回轉力とかがある。然し之は略々一定なものや、その値の極めて少いもののみであるから、結局は上式が成立する。

6.2.3 位相補償装置 (phase compensating device)

電圧、電流、磁束の間の位相關係のベクトル圖は第 6.7 圖に掲げたが、之は

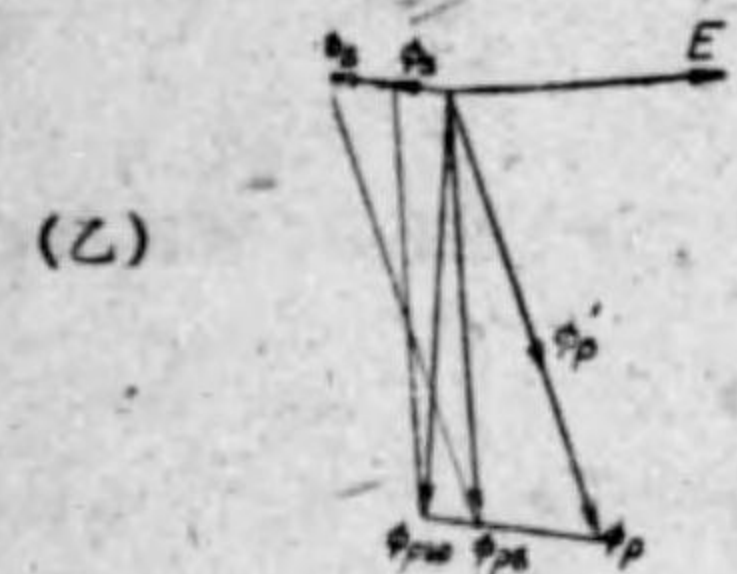
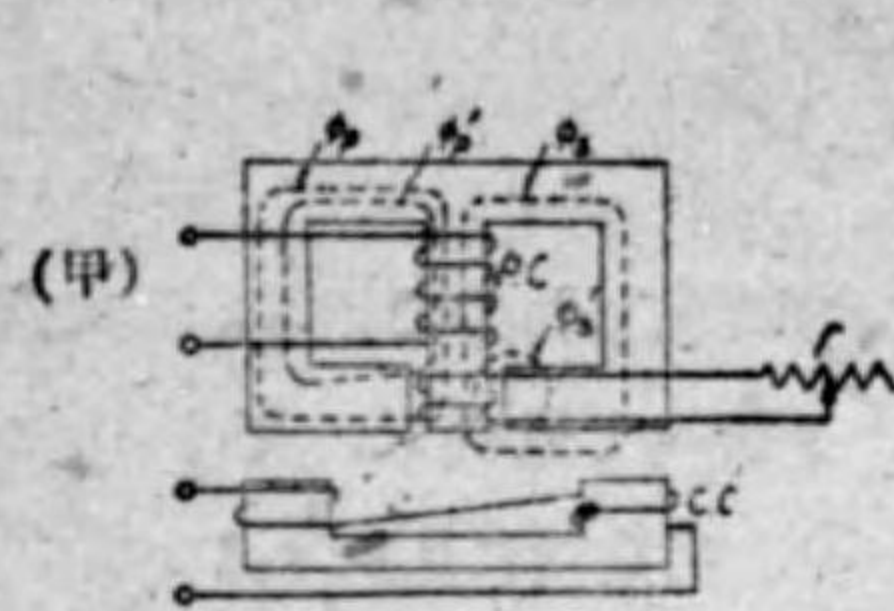


第 6.8 圖

簡略されたもので、實際は第 6.8 圖の如くなる

即ち θ は電流鐵心の鐵損のために φC が I より遅れる角度であり、又 φP は E より正しく 90° 遅れないで 90° + β 遅れるのである。然し回轉数が電力に比例する爲めには φ = 0 の時には α = 90° とする必要がある。それには、90° = α = 90° + β - θ

∴ β = θ とせねばならない。此の關係を與へる爲の装置を位相補償装置と云つてゐる。之れには種々の方法があるが、その代表的なものは第 6.1 圖の P 鐵心上の環取線輪 SS (可變抵抗 r が接續されてゐる) である。今 φP と φC の關係を此の環取線輪を考慮に入れて書くと第 6.9 圖 (甲) の如くなる。圖に於て



第 6.9 圖

ϕ_p は S と SS とを鎖交する S の磁束 ϕ_p' は S のみに鎖交する S の磁束 ϕ_s は S と SS とを鎖交する SS の磁束 ϕ_s' は SS のみに鎖交する SS の磁束である。

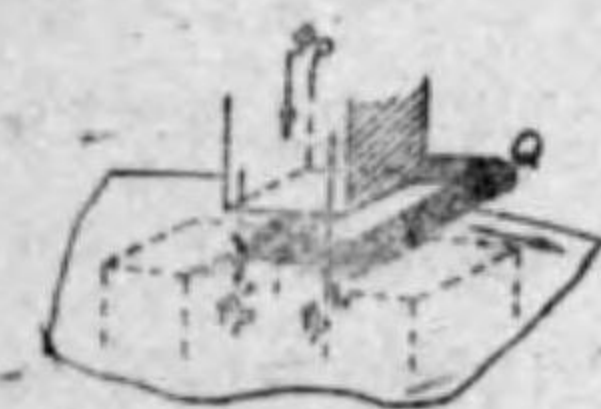
先づ E に依り ϕ_p なる磁束が生ずるが、之中 ϕ_p' なる磁束は SS と鎖交しない。SS には ϕ_p が鎖交するので、それと同相の電流が流れ、磁束を生ずるが、此の磁束は E より約 180° 遅れたものになつてゐる。そして、 ϕ_s と ϕ_p の合成 ϕ_{ps} が結局 PC 及び SS を通る磁束である。そして ϕ_{ps} と ϕ_s' の合成 ϕ_{ps0} が回轉板と鎖交する全 (電圧線輪の) 磁束となる譯であつて、その

ベクトル圖は第 6.9 圖 (乙) の如くなる。其處で SS の抵抗 r を調整するとその電流が加減され ϕ_s が變化する事となつて、結局 E と ϕ_{ps0} が 90° の正しい位相差にされるのである。

(註) 此の調整に過不足を生ずると誤差の原因となる。之に就ては『電氣技術講座』第 2 卷 P164 を参照されたい。

6.2.4 輕負荷補償裝置 (light-load compensating device)

回轉部分には摩擦がある。一方輕負荷の場合には驅動トルクが少いため、之が摩擦に打ち勝ち得ないで、回轉部分が回轉をしない。それで輕負荷の時に摩擦力を補償する回轉力を與へるのが、輕負荷補償裝置である。その方法は第 6.10 圖 (第 6.1 圖の Q) に示した如く、電圧線輪磁極 P の下部に Q なる銅環をズラ



第 6.10 圖

して置くと、 ϕ_p は Q と鎖交する ϕ_p'' と、鎖交しない ϕ_p' となり、 ϕ_p'' は ϕ_p' より位相が遅れるから ϕ_p が移動磁界となつて、回轉板には回轉力が生ずる。其の方向を圓板の回轉方向と一致させ、且つ Q の位置を適當に調整するとその回轉力が變化するから、摩擦力を補償

……摩擦補償 (friction compensation) ……する事が出来る。然し此の調整も過度にすると……過補償 (over compensation) ……電壓が上昇したり振動が生じ無負荷の場合でも回轉する事がある。之を潛動 (creeping) と云ふが、勿論斯様

な事の無い様に潛動阻止裝置 (anti-creep device) を必要とする。之には圓板中に小鐵片を埋め込んで置き、それが回轉して來て、制御用磁石の下に來た時に、生ずる吸引力で潛動回轉を止める方法や、圓板に二三箇の小孔を等間隔に明けて置くと回轉板が回轉して其の何れかの孔が PC の下に來ると、孔の空隙のため磁氣抵抗が増し、その点で回轉力は摩擦回轉力に相殺せられてしまつて回轉が止む様な方法がある。

上記の如くに、積算電力計には位相調整 (lag adjustment) 輕負荷調整 (light-load adjustment) 及び潛動阻止の三裝置が必要である。

補講 以上の他に、特別の裝置ではないが、重負荷補償裝置 (heavy-load compensating device) がある。既に述べたやうに、圓板が電力に比例した速度で回轉し、正確な計量をする爲には驅動トルクに等しい制御トルクを要する。之れが爲め計器に定格電壓を加へ定格電流 (力率 1) を流したとき圓板の速度が規定値に一致するやうに制御磁石の位置を調整する。此の制御磁石及其の位置調整用の捻子類を一括して重負荷補償裝置と稱するのである。

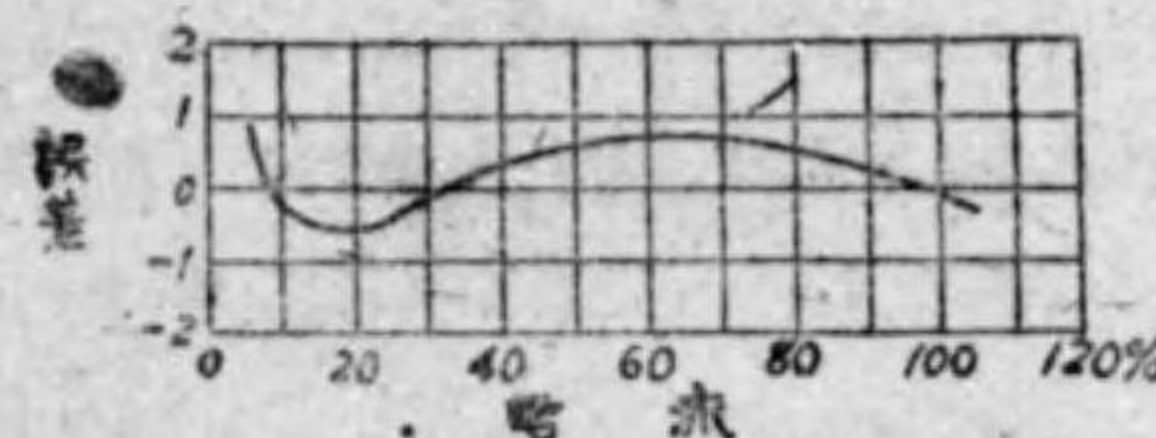
6.2.5 計器定數

1 キロワット時を計量するのに要する回轉板の回轉數を積算電力計の計器定數と云ふ。……或は時として 1 回轉に要するワット秒又は全負荷 1 分間の圓板回轉數で表される事もある……。それで計器の調整に當つては此の計器定數を都合よく選ぶ必要がある。

6.2.6 計器特性

此の型の計器は、その原理上、交流専用であつて、電流、力率、電壓、周波數等に依つて特性が變化する。

① 負荷特性 (電流特性) (load characteristic) これは定格電壓、定格周波數に於て、力率 100% の負荷電流を定格



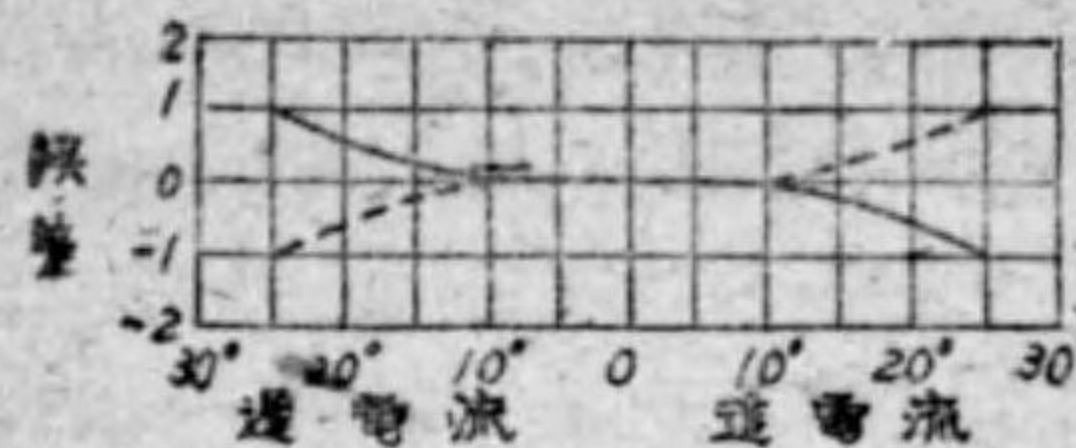
第 6.11 圖

値よりその 10% まで變化した時の誤差の特性を云ひ第 6.11 圖の如くである。

輕負荷では摩擦力が大やうなため誤差は負となり、次に驅動トルクが増大して正

の誤差を與へ、過負荷では電流線輪の逆回轉力が大となり負の誤差を與へるが、誤差變化の許容限度は 2% と定められてゐる。

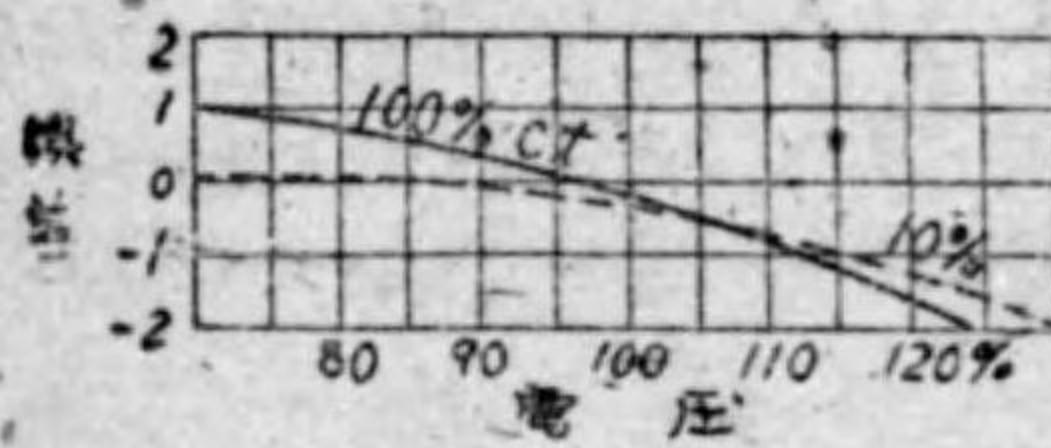
力率特性 (power-factor characteristic) 定格電圧、定格周波数の元で力



第 6.12 圖

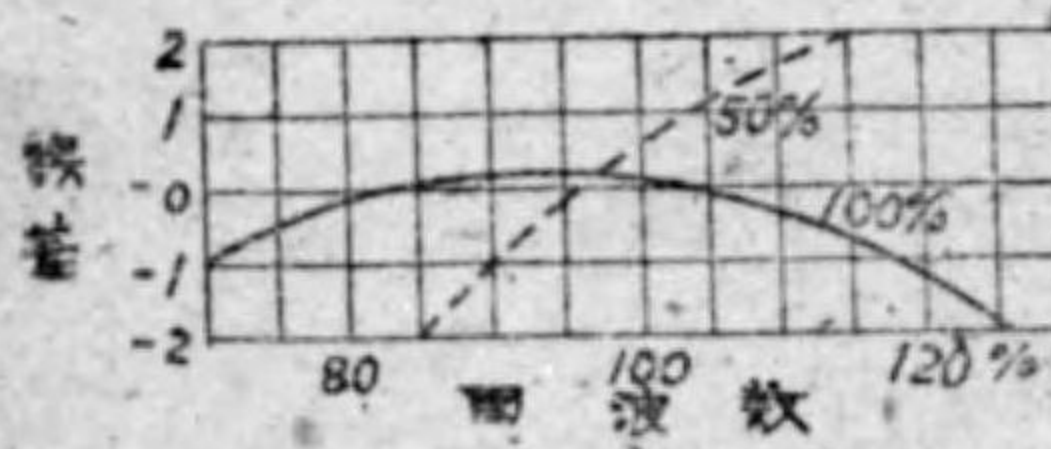
率を 100% から遅れ 50% まで變化した時の誤差の變化特性であつて、第 6.12 圖の如くである。位相調整過度の時は、遅電流では、誤差は正、進電流では、負であるが、不足補償 (undercompensation) の時は反對となる。その變化の許容限度は、定格電流で 2%、20% 電流で 3% である。

電圧特性 (voltage characteristic) これは定格周波數、力率 100% の元



第 6.13 圖

周波數特性 (frequency characteristic) これは定格電壓、定格電流の元



第 6.14 圖

で周波數が定格値より ±5% 變化した場合の誤差特性であつて、第 6.14 圖の如くである。力率 100% の時は、回轉板のインピーダンスが大となり、圓板の力率が悪くなるので、その驅動トルクは減少し、従つて負の誤差を生ずる。その許容限度は 1.5% である。又遅れ 50% の時では、周波數の増大は正の誤差を與へ、減少は負の誤差を與へる。その許容限度は 2.5% である。

温度特性 (temperature characteristic) これは定格電壓、定格電流、定格周波數の元に於て、温度の變化に對する誤差特性であつて、第 6.15 圖の如くである。



第 6.15 圖

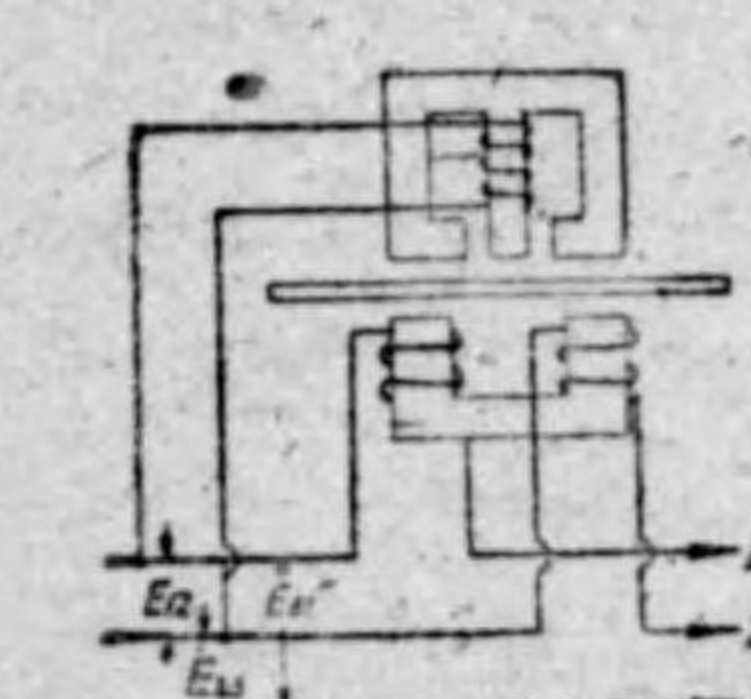
力率 100% の時、温度が上昇すれば驅動トルクは小となる (電流減少) が制動用磁石の強さが減少するので、結局全体としては正の誤差である。低力率になると位相調整装置の抵抗値の増大が影響して逆に負の誤差となる。此の限度は温度變化 1°C につき力率 100% では 0.12% である。遅れ 50% では 0.15% である。

(註) 以上でその特性の大略を述べたが、尙詳細は『電氣技術講座』第二巻 P174 以下を参照されたい。

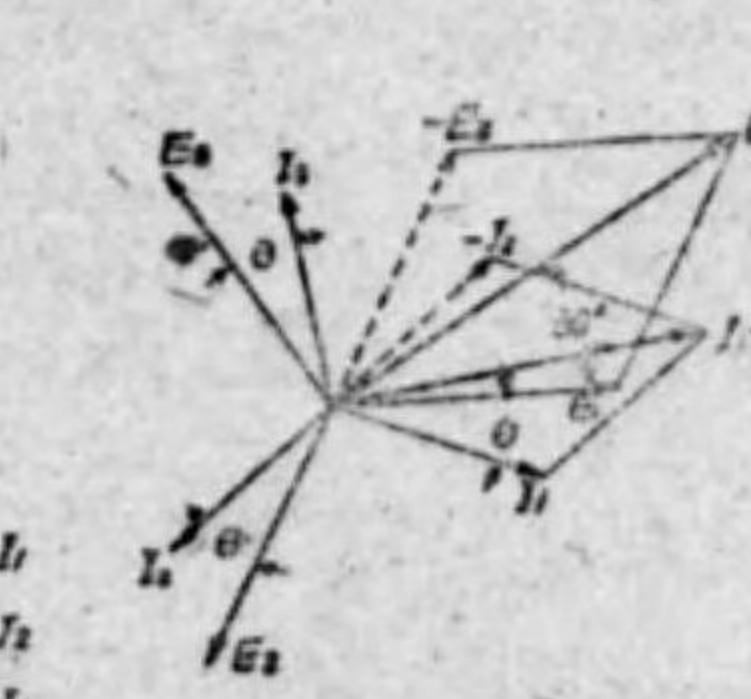
6.2.7 三相誘導型積算電力計 (three phase induction type watt-hour meter)

三相電力計は普通の单相電力計を二箇使用して不平衡回路の三相電力を測定するブロンデル法 (11.5 参照) と同様に作用する様に、单相電力計の素子を一箇の計器に蔵める。三相積算電力計も是と同様であつて、单相積算電力計の種々な素子……上述した様な……をブロンデルの方法と同様に 2 箇組合せて同一軸に回轉力を與へるやうにして外函内に蔵めてある。そして之等の二素子は電磁的に平衡を得て居り、同一電力に對して、同一回轉力、従つて同一回轉數が得られる様、寸分異なるものを使用する。又素子相互間の種々な電磁的靜電的影響を防止する爲に、一般に遮磁 (magnetic shielding) 及遮電 (electrostatic shielding) を施してゐる。

ブロンデル法は三相不平衡回路の電力測定法であるから、以上の二素子を有するものは不平衡回路用計器 (unbalanced-load meter) として充分であるが、又三相回路が恒に平衡してゐる負荷等に之を使用する事は、費用から見て損である。



第 6.16 圖



第 6.17 圖

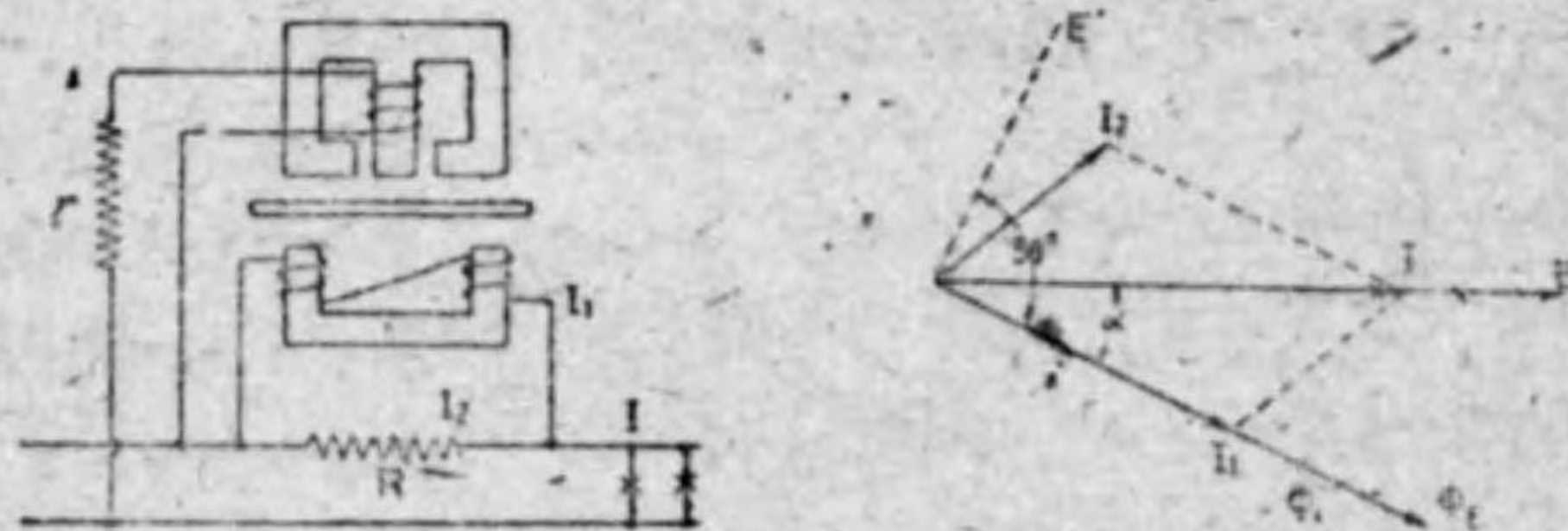
それで三相平衡回路には一素子のもので間に合はせる方がよい。第 6.16 圖は、平衡回路用計器 (balanced-load-meter) の構造を示すものであつて、電流線輪は二つに分けられ、その各々に I1 及び I2 が流れてゐるが、其の巻き方が反對であるから、之は丁度線輪を直

列に接続して $\frac{I_1 - I_2}{2}$ を流した事に相当する事である。次に此の時の電圧、電流のベクトル関係は第 6.17 圖の如くなる。即ち電圧線輪の加電圧は $E_{12} = \dot{E}_1 - \dot{E}_2$ であつて、之は E_1 より 90° 進み、その實効値は E_1 の $\sqrt{3}$ 倍である。

I_1 と I_2 は對稱三相であるから、各々 E_1 E_2 より θ だけ遅れるが、矢張り、 $\dot{I}_1 - \dot{I}_2$ は I_1 より 30° 進んでゐる。そして I_1 の $\sqrt{3}$ 倍である E_{12} は E_1 より 30° 進み $\dot{I}_1 - \dot{I}_2$ は I_1 より 30° 進んでゐるから E_{12} と $\dot{I}_1 - \dot{I}_2$ との間の相角は矢張り θ である。故に電力計の回轉力は $\dot{E}_{12} \times \frac{\dot{I}_1 - \dot{I}_2}{2} \cos\theta$ に比例するから即ち $\sqrt{3}E_1 \times \frac{\sqrt{3}}{2} I_1 \cos\theta = \frac{3}{2} E_1 I_1 \cos\theta$ に比例する事になる。然るに三相電力は $3E_1 I_1 \cos\theta$ であるから、計量装置を單相の場合に比し $\frac{1}{2}$ の回轉數でその電力を指示する様に調整すれば、三相積算電力計として使用される。

6.2.8 積算無効電力計 (reactive kVA-h meter)

現在、一般に電力の取引は kW-h で行はれて居る。然るに同じ 1 kW でも、力率が 1 であると 1 kVA で之れに供給する發電機變壓器、電線の太さも之れに相當するものでよいが、力率が 0.5 になると 2 kVA となり、機器、電線の太さは前の 2 倍とせねばならない。……同一電線だと線路の電力損失は 2 倍となる……其處で公平には電氣料に力率を加味した制度を用ふるのが妥當である。此の際、力率を測定する代りに無効電力を積算すると、其の多少に依つて平均力率が判明する。……平均力率 = $(\text{kWh}) \div (\sqrt{(\text{kWh})^2 + (\text{reactive kVA-h})^2})$ ……此の目的に用ふるのが積算無効電力計であつて、此の外に、積算皮相電力計 (kVA-h meter) もある。上述よりも明かなやうに、是等は何れも積算電力計と併用せら



第 6.18 圖

れる。第 6.18 圖は單相回路用の積算無効電力計であつて、前述した誘導型積算電力計と同様な構造である。但し、電圧線輪鐵心の磁路には適當に大なる空隙が

あつて、電圧線輪のリアクタンスを小とし、直列抵抗 r が接続される。電流線輪には並列無誘導抵抗 R が結ばれる。力率 1 に於て I なる負荷電流は R に流れる I_2 と電流線輪に流れる I_1 のベクトル和となる。…… I_1 の遅れるのは電流線輪のリアクタンスに依る……此の I_1 と同相に ϕ_1 を生じ r を適當な値として電圧線輪の電流 i (其の磁束 ϕ_E) を I_1 と同相とする。……前述した普通の誘導型では r がなく ϕ_E は電圧より 90° 遅れた……

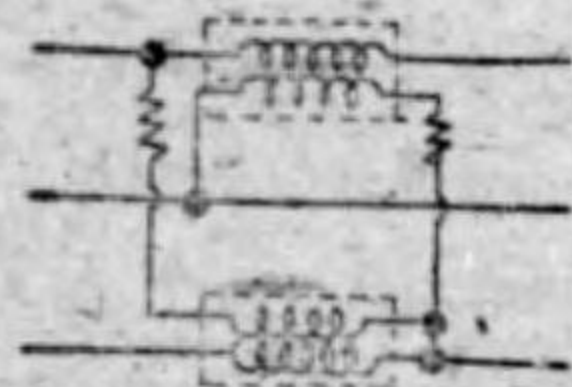
駆動トルク $\tau_a = K\phi_E\phi_1\sin 0^\circ = K'EI\cos 90^\circ = 0$

但し K 及び K' は比例常數である。

即ち、力率 1 では無効電力は零で、 τ_a も亦零である。然るに力率 $\cos\theta$ では

$\tau_a = K\phi_E\phi_1\sin\theta = K'EI\sin\theta$

として無効電力に相當する回轉力を生じ、計量装置に傳へて無効電力を積算する。尙三相の場合は、以上の素子を二箇、第 6.19 圖の様に組み合すれば電圧が平衡してゐる時はその三相無効電力を計量する事が出来る。



第 6.19 圖

補註 電力料に力率を加味するのが妥當であることは既に理解せられたことであらう。同時に負荷率も考へねばならない例へば同じ平均電力 100 kW でも、負荷率が 1 であると供給設備は 100 kW でよいが、負荷率が 0.4 なら、最大電力 = $100 \div$

$0.4 = 250$ kW となり、供給設備として 250 kW を要する。之れを前と同一の料金では割に合はない。従つて或る期間の最大需用電力を知る必要がある。記録計器を用ふると容易に此の目的が達せられるが、此處では更らに簡単な最大電力表示器 (maximum power indicator) ……又は最大需用表示器 (maximum demand indicator) ……を説明する。其の原理は積算電力計の計量機構と別々に今一組の簡單装置を設け 15 分とか 30 分間だけの電力量に相當する回轉を指針に與へるやうにする。之れが爲めに押腕を以て表示器の指針を押し進め或る時限に達すると押腕は元の零位置に歸るので、指針は常に或る一定期間の最大電力量を示す。此の時限を與へるのに電氣時計等を用ふる。此の装置は原理上から、短絡時の電流とか電動機の起動電流の如き極く短時間しか持続しないものは指示しない。

6.3 水銀電動機型積算電流計及び電力計

之れは原理上、直流専用であつて、積算電流計 (電量計) の一例を示すと、第 6.20 圖の如くである。(イ) は構造の一般を示すもので、NS は耐久磁石、B は

内側に絶縁紙を貼布した水銀槽で、此の中に圓板 D が軸 T₁ で支へられて浮遊



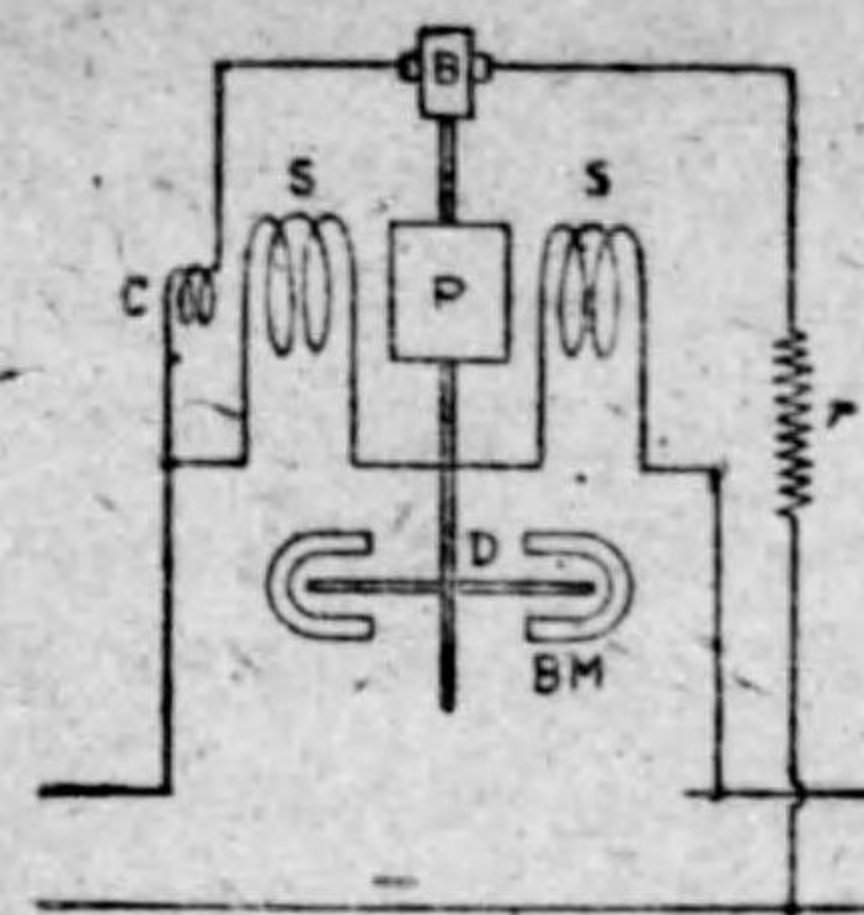
第 6.20 圖

してゐる。圓板は両面に絶縁塗料が施され、半径方向の電流のみが通じ得るやうにされてゐる。今 T₁ T₂ 間に電流を流すと T₁ よりの電流は圓板の中心より放射状に圓板を流れ……圓板に放射状の切り込みを作る……周囲の水銀を経て端子 T₂ に向ふ。従つて此の電流と耐久磁石の磁束 φ との間に回轉力を生ずるが、其の方向は (ロ) 圖に於て左手の法則を用ふると、反時計方向 (矢のある羽根の方向) であつて、圓板 A は此の方向に回轉する。斯く回轉すると、圓板が φ を切つて (ハ) 圖の如くに渦流を生じ、右手の法則で其の方向が定められる。……φ と渦流の間に制御トルクを生ずる (左手の法則より矢の如く、制御トルクは時計式方向となり、駆動トルクと反対方向である) 従つて、或る時間内の圓板回轉数は通過した電流の總量 (電量) に正比例し、圓板軸により計量装置が動かされる。此の電量計では圓板と水銀の接觸面の摩擦が考へられる。此の大きさは圓板回轉速度の略々自乗に正比例するので耐久磁石を前面で連結する軟鐵片 K₁ K₂ に補償巻線を施し、之れに負荷電流を流して、電流の自乗に比例する回轉力を與へる。

之れを電力計とするには NS を電壓に依つて励磁すれば、駆動トルクは電壓に比例する磁束と電流の積、即ち電力に比例することになる。

6.4 整流子電動機型積算電力計

此の計器は電流力型に屬し、連結回轉するので、整流子と刷子に依つて回轉部分に電流を流す。その構造は第 6.21 圖に示す通りである。圖で S は固定線輪



第 6.21 圖

(電流線輪) P は回轉部分巻線、B は整流子及刷子、D は制御用アルミニウム圓板、B.M は制御用耐久磁石、C は輕負荷補償装置であつて駆動トルクは S の作る磁束と P の電流従つて電力に比例し D と B.M に依り回轉數に比例した制御トルクが與へられる。

(註) 原理としては交直兩用であるが、交流用としては適當でない。

ガルバノメーター

7. 検流計 (galvanometer)

7.1 検流計一般

電流計は電流を測定する計器であつた。検流計も電流計の 1 種で極めて微小な電流又は電氣量を測定するものである。然し實際には測定と云ふよりも、極く微小な電流が流れてゐるか否かを検出するのに用ひられてゐる。此の検流計には電流を通する固定線輪内に小磁針を附して、磁針の振れから電氣的諸量を測定する可動磁針型と、耐久磁石内に輕い小線輪を設け、之れに電流を通じ、其の振れから測定する可動線輪型等の直流用と、交流用として電話受話器及び振動検流計等がある。以下、是等に就て説明する。

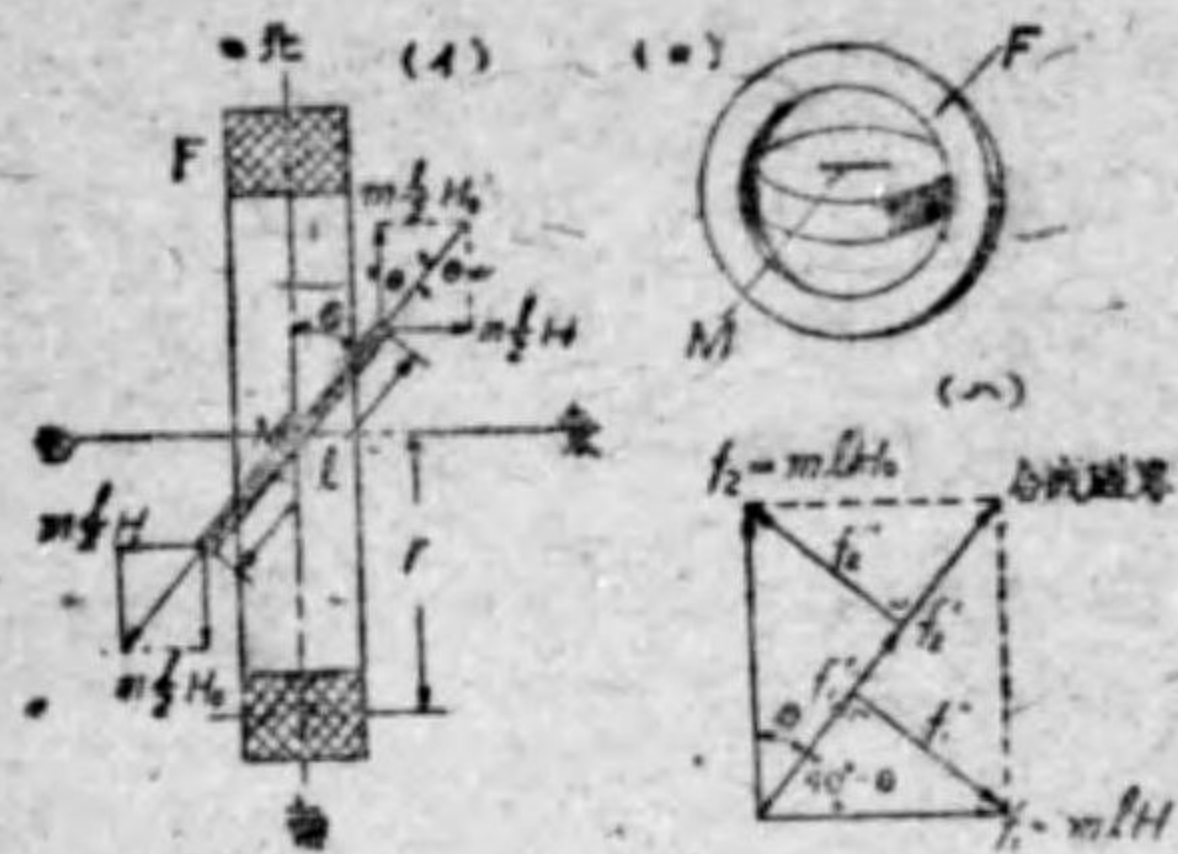
7.2 可動磁針検流計 (moving-needle type galvanometer)

7.2.1 正切検流計 (tangent galvanometer)

その構造は第 7.1 圖 (イ) 及 (ロ) の如きである。F は固定線輪、M は可動小磁針で細い絹絲で吊られてゐる。使用の際は F の軸心の方向を東西に向け、M が南北を指し、F の面と M が正しく平行するやうに位置を定める。此の F に電流が流れると、その中心部分に生ずる磁界の強さは (第二卷 P11 以下参照)

$$H = \frac{2\pi ni}{10r} = Gi \quad \text{エルステツド}$$

但し i…電流値(アンペア) n…F の巻數 r…F の平均半径(cm) G…定數であつて、其の方向は東西の方向である。M は H の無い時は地磁氣に作用され



第 7.1 圖

で南北に向つてゐるが H が生ずると之れと地磁氣の合成磁界の方向にまで回轉する。此の、(ハ)圖に於て H_0 を地磁氣の水平分力 m を磁針の磁極の強さ l を磁針の長さとするとき H に依る f_1 なる力……兩端で $f_1 = m/H$ ……は f_1' と f_1'' に分解され、 f_1' は磁針を引き轉すやうに働き f_1'' が回轉力を與へる

駆動トルク $\tau_a = f_1'' = Hm l \sin(90^\circ - \theta) = G i m l \cos \theta$

である。又地磁氣に依る力 f_2 を f_2' と f_2'' に分解すると f_2'' が f_1'' に反對する制御トルクとして働き

制御トルク $\tau_o = f_2'' = H_0 m l \sin \theta$

τ_a と τ_o が等しくなつた時に、磁針の回轉は止むから $\tau_a = \tau_o$ と置き

$G i m l \cos \theta = H_0 m l \sin \theta \quad \therefore i = \frac{H_0}{G} \tan \theta$

即ち、電流は $\tan \theta$ …… θ の正切……に比例する事が判る。

此の型の缺點とする所は、地磁氣の水平分力は處に依つてその方向及び強さが異なるので、地球上の或る地点で更正した計器が他の地点では必ずしも正しくない又同一地点でも常に地磁氣は常に一定でないから、測定に誤差を生ずるに至る。之の防止策として、ケルビン氏の考案になる無定位磁針に依る検流計が専ら使用されてゐる。



第 7.2 圖

7.2.2 無定位検流計 (astatic galvanometer)

第 7.2 圖の如く、その強さ、大きさの全く相等しい磁針を上下に、その極性を反對にして絹絲等で吊り下げると、磁針はその極性が反對な爲に、地球磁界に依つて受ける力が反對で互ひに打ち消し合ひ、その指示する方向は不定(即ち無定位)である。そして、上下磁針別々に F を設け、その巻き方を反對として、電流が之れを直

列に流れる様にする。従つて上下磁針の受ける回轉力は相加つて働く。此の磁針では制御トルクを生じないから、他の磁石を必要とし、圖の如くに取り付けられる。此の制御用磁石は上部の磁針に制御力を與へる様にその磁極が選ばれてゐて下部の磁極は反對の極性であるから、却つて加動力を生ずる事になる。然し上部の磁針の方が距離が近いから、その力は下部の加動力より大となる。今上部の制動力を與へる磁界を H_1 、下部の加動力を與へる磁界 H_2 とすると

$\tau_o = H_1 m l \sin \theta - H_2 m l \sin \theta = (H_1 - H_2) m l \sin \theta$ となつて

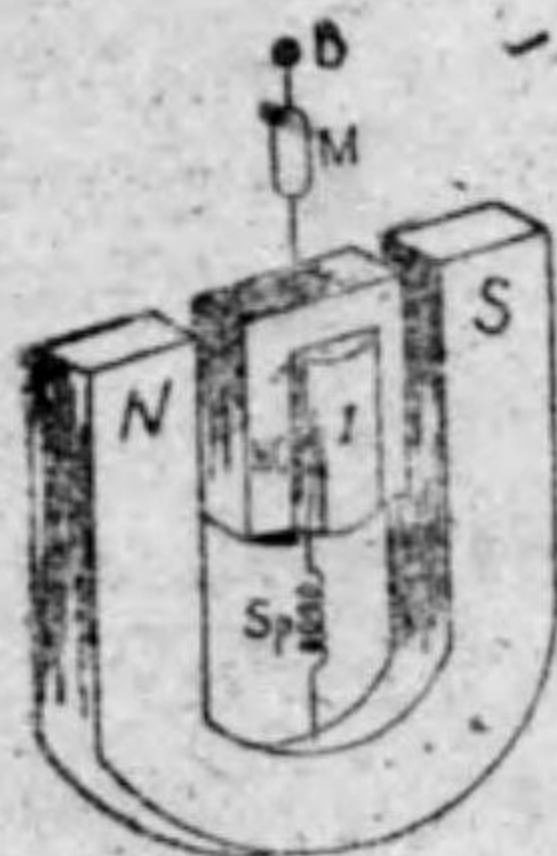
$\tau_a = G i m l \cos \theta = \tau_o = (H_1 - H_2) m l \sin \theta \quad \therefore i = \frac{H_1 - H_2}{G} \tan \theta$

となる。上式に於て $H_1 - H_2$ の項が小さいと、等しい電流 i に於ける $\tan \theta$ は大きく、それだけ θ が大きくなる。即ち同一電流に對してその振れ・感度・が大きくなる。此の計器は現在使用される検流計の中で感度が良いものの一つで、 10^{-13} A 程度の検出も可能ではあるが、外部磁界の影響が大きく、調整が困難である。此の型は直流専用である。

7.3 可動線輪型検流計

7.3.1 ダルソバル検流計 (d'Arsonval galvanometer)

その構造は第 7.3 圖の如く、その原理は可動線輪型計器と同様で、 $N S$ は強力なる永久磁石、 I は軟鐵心、 S_p は制御用弾條、 B は燐青銅線、 $M C$ は可動線輪、 M は鏡である。今 $N S$ の磁界の強さ H エルステッド、 $M C$ の巾 w (cm)、 $M C$ の長さ l (cm)、 $M C$ の巻数 n とすると $M C$ に i アンペアを流す時は $M C$ には駆動トルク τ_a が發生する。



第 7.3 圖

$\tau_a = \frac{H l w n}{10} i = G i$ ダイン・センチ

B 及び S_p に依る制御トルクは $M C$ の回轉角度を θ とすると

$\tau_o = K \theta$

$\tau_a = \tau_o$ の時に $M C$ は靜止するから

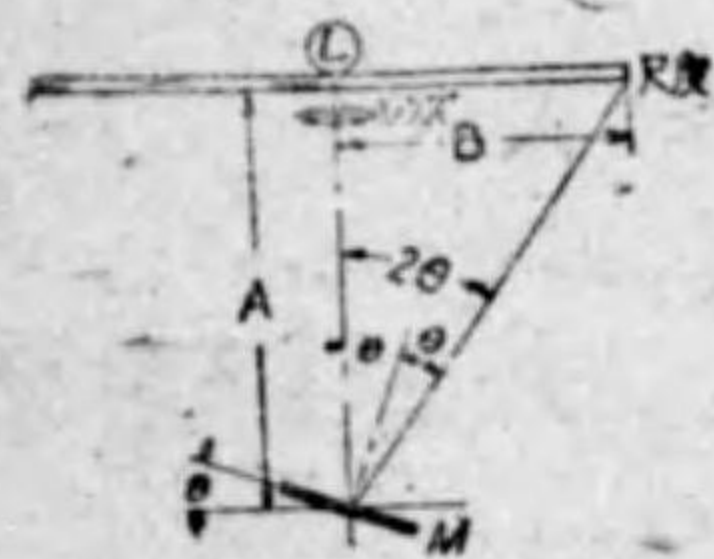
$$Gi = K\theta \quad \therefore \theta = \frac{G}{K} i = K_0 i$$

となり、その回轉角度は電流に比例する事が分る。此の型は可動磁針型檢流計に比し、その最大感度は劣るが、普通のブリッジや電位差計（後述）用の檢流計としては充分である。NSの強さが大であるから、外部磁界の影響は比較的少いし、使用の時前者の様にその位置を調節する手間がない。勿論直流専用である。

7.4 檢流計の回轉角度を見る方法

普通の指示計器では指針の指示から回轉角度が分つたが、檢流計ではその回轉力が一般に小さい爲、指針を取り付けるとそれだけ回轉力が減殺される。その回轉角度が小さいのでそれを擴大して讀む爲めに第7.2圖の様な反射鏡Mを可動体に取り付けてその反射角を讀む方法に依ることが多い。これを、反照檢流計 (mirror galvanometer) と云ふ。可動鏡型は一般に之れである。

7.4.1 ランプと尺度を使用する方法



第7.4圖

その方法は第7.4圖の如くであつて、回轉部分が θ だけ回轉したとするとMも θ だけ回轉するそれにLなるランプより光が到達すると光の入射角 θ に等しい反射角で反射されるから、入射光線と反射光線との角度は 2θ となつてその角度はMの回轉角度の二倍に擴大する事が出来る。……入射角とは入射光線と面の垂線の爲す角、反射角は反射光線と面の垂線の爲す角、一般に入射角は反射角に等しい……LとMの距離をAとすると、その振れは 2θ であるから

$$\text{反射光線の到達する尺度 } B \text{ は } B = A \tan 2\theta$$

である。そして θ が小さい時は $\tan 2\theta \approx 2\theta$ となるから $B \approx 2A\theta$ 即ち尺度は略々 θ に比例し、且つその角度を擴大して讀み取る事が出来る。

Mに平面鏡を使用すると、反射光線が擴散するから、途中に集光レンズを用ひる事が必要である。Mに凹面鏡を使用すると擴散する事が無いが、Mと尺度の距離を一定にする必要がある。

7.4.2 尺度と望遠鏡を使用する方法

その構造は第7.5圖の如く、Tが望遠鏡である。前の方法では室を暗くして



第7.5圖

見なければならぬが、此の方法ではその必要がない。如圖に於て、Mが θ だけ回轉した時には望遠鏡TよりKが觀られる。……即ちKの点の尺度が目に見へる……それより電流値が判る。此の尺度は圓形にされ、Mより等距離にある。

7.5 檢流計の感度 (sensibility)

或る電氣量に對して檢流計がどれ程の振れを與へるか、此の程度を示すのが感度であつて、次のやうな各種の表はし方がある。

7.5.1 電壓感度 (voltage sensitivity)

檢流計の反射鏡と尺度の距離を1mとし、檢流計に $1\mu\text{V}$ (マイクロボルト)を加へた時、尺度上の振れ (反射光線の焦点の移動) の長さ (mm) を以て電壓感度を表す。

$$\text{電壓感度 } S_v = \frac{d}{v} \text{ mm}/\mu\text{V}$$

但し d … 振れの長さ (mm) v … 加電壓 (μV)

7.5.2 電流感度 (current sensitivity)

上記の條件で、電流 $1\mu\text{A}$ を流した時の尺度上の振れ (mm) を以て電流感度を表す。

$$\text{電流感度 } S_i = \frac{D}{i} \text{ mm}/\mu\text{A} \quad \text{但し、} D \dots \text{振れの長さ (mm) } i \dots \text{電流 } (\mu\text{A})$$

(註) 一般に制御用トルクを弱くするとその感度が増加するが、そうすると振動の周期が大きくなるので指示の遅れが大きくなる。それで電壓や電流感度が良い事が必ずしも檢流計の良好なる事を意味しない。

7.5.3 メグオーム感度 (megohm sensitivity)

檢流計端子電壓を1Vとし、その時上記條件の下にその振れを1mmとする爲に檢流計と直列にすべき電氣抵抗値 (M Ω) を以て表す。

7.5.4 最小感度 (figure of merit)

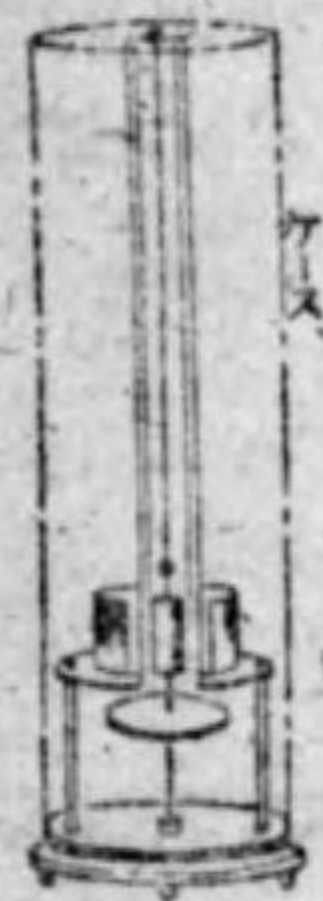
檢流計の反射鏡と尺度の距離を1mとし、それに電壓又は電流を與へて尺度上の振れの長さを測定し、1mmの振れを與へるに要する電壓又は電流を最小感

度と稱する。此の感度は上記感度と異り、檢流計の最小の感度如何を知る時に都合がよい。

補講 ① 外部回路の抵抗と等しい抵抗を有する檢流計を用ふると最良の感度を得られる。従つて絶縁抵抗を測定するやうな場合で外部抵抗の大きいときは、高抵抗で電流感度のよい檢流計を用ひ、ボイートストンブリツヂ又は電位差計のやうに抵抗の低いときは比較的感度のよい電圧感度のよい檢流計を用ふる。

7.6 彈動檢流計 (ballistic galvanometer)

以上の檢流計では電流が一瞬にして流れてしまつた様な場合は正確な指示を與へない。彈動檢流計は主として斯様な場合、或る短時間内に通過した電氣量を測定するのに使用される。その可動部分は慣性能率が非常に大きく、且つその運動

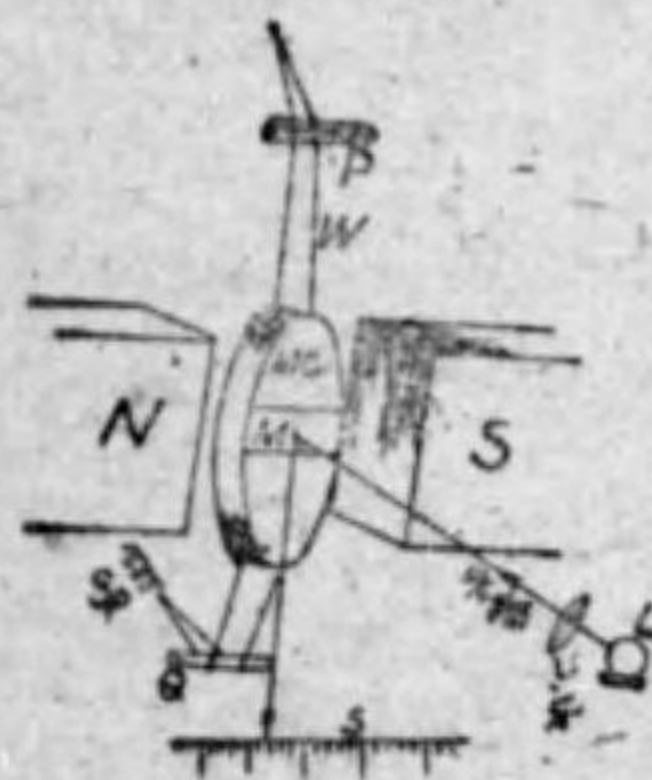


第 7.6 圖

抵抗が最も小さい様にしてあつて、普通は第 7.6 圖の様に可動磁針 (又は可動線輪) の軸に大きな半径のハズミ車が附けられてゐる。

短時間 t に電流 i が流れると、その電氣量 Q に比例した回轉力を受けて振動子は回轉するが、制御力で反撥され、再び元に戻り、振動を続ける。然して慣性能率が大きいから、その振動が非常に慢つくりとなされ、初めの振幅が最も大きく、之を θ とすると θ は通過電氣量 Q に比例し $Q = K\theta$ なる關係にある。此の K は彈動檢流計の定數であつて、之は檢流計に既知の電氣量を流し、其の時の振れ θ を測定すれば決定される。

7.7 振動檢流計 (vibration galvanometer)



第 7.7 圖

その構造は第 7.7 圖の如くで、 N, S は耐久磁石、 W は磷青銅吊線、 M, C は可動線輪、 P, Q は支持点、 M は反射平面鏡、 S_p はバネ、 L はランプ、 S は受光板を示す。

今、可動線輪 M, C に交流が流れると、電流の方向が變る毎に M, C の回轉方向が逆になり、その振動の振幅は交流の最大値に正比例する。斯く M, C

が振動すると M も振動をするから、 S には光の帯が出來て、その巾の大小に依つて交流の瞬時値が測定される。可測周波数は 25~1000 サイクル程度である。此の振動は交流の周波數と M, C の固有振動數が合致した時に最大の振幅となる。固有振動數の調整は S_p の強さを加減し Q の位置を調整して行ふ。斯様に共振した場合でないとは殆ど感度は零であるから、その使用周波數に應じて豫め定めた Q の位置を調整して使用する。

7.8 電話受話器 (telephone receiver)

電話受話器は、微小なる電流で感應するから、電流の有無を検査する爲に使用される。然し聴覺に依つて音の強弱を正しく比較する事は出來ないから、一般檢流計の様に測定用としては使用出來ない。交流電位差計やブリツヂに於て、電壓電流の有無を検出するのに廣く用ひられる。又人間の聴覺によく聞へる周波數は一般の交流商用周波數より大きいから、商用周波數の場合には感度が鈍くなる。周波數と可聽最小電流との關係を示すと次表の如くである。

第 7.1 表

周 波 數	可聽最小電流 (μA)	周 波 數	可聽最小電流 (μA)
64	12	1500	0.024
128	1.5	2030	0.03
256	0.135	2400	0.01
512	0.027	4000	0.3
720	0.003	16000	17
1024	0.015		

7.9 熱電檢流計 (thermo galvanometer)



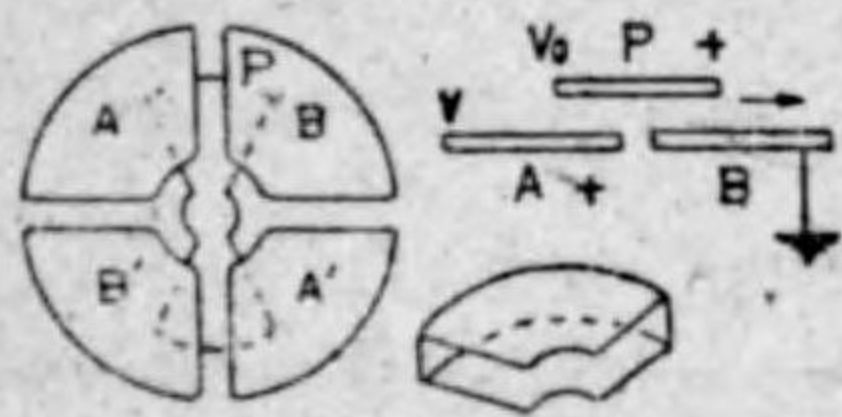
第 7.8 圖

第 7.8 圖に示すものはダツデル熱電檢流計であつて、之は傍熱型の一つで交直兩用に供されると共に、高周波電流用として最も良い性能を示すものである。圖に於て N, S は耐久磁石で、 C は其の間に置かれた可動線輪、 H は發熱器、 B_1 と B_2 は蒼鉛とアンチモニーの熱電對で C には反射鏡が附され石英線で吊下されて居る。 H に電流が流れ、之れに應じた熱が發生して熱電對に

起電力を発生し、G に電流を流して鏡を振らせる。勿論其の振れは T に流れた電流に比例する。

7.10 象限電位計 (quadrant electrometer)

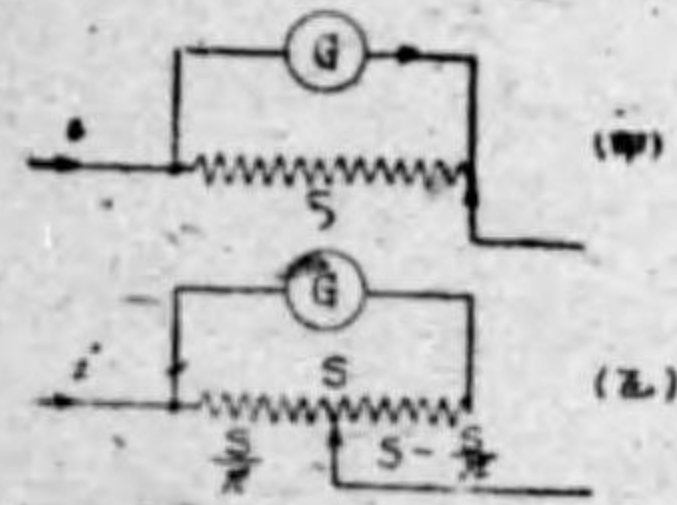
第 7.9 圖に示す如く、四象限……平面に直交する二直線を引いた時出来る区劃に……相當する固定片 AA', BB' があり A と A', B と B' が共に結ばれ、その中に回轉体 P が吊り下げてある。例へば AA' に高電位を與へ BB' に低電位が與へられると P がその電位差 (電壓) に相當する回轉力を受ける。制御トルクは吊線の振れ角に比例するから、結局 P の回轉はその電位差に比例する事になる。



第 7.9 圖

7.11 分流器 (shunt)

検流計にて測定される (通電部分に流される) 電流の値は數 mA, 又はそれ以下の微小電流であるから、それ以上の電流値を流す場合には検流計に分流器を使用して通電部分に流れる電流を制限する必要がある。尙斯様に制限せられても不測に大なる電流が流れると、検流計が振り切つてしまふので、最初分流器抵抗を大にして置いて、徐々に其の値を減じ、検流計の電流を増大して行く。此の場合普通分流器の有する欠点を補ふ爲め次のやうな特殊な分流器が使用されてゐる。



第 7.10 圖

7.11.1 万能分流器 (universal shunt)

第 7.10 圖 (甲) の如くに、検流計と並列に抵抗 S を入れると、検流計電流は

$$i_g = I \times \frac{S}{G+S}$$

但し G…検流計抵抗 I…回路の電流

次に (乙) 圖の如く S/n なる点から端子を出すと

$$i_g' = I \times \frac{S/n}{G + (R - \frac{S}{n}) + \frac{S}{n}} = I \times \frac{S/n}{G+S} = \frac{1}{n} I \times \frac{S}{G+S} = \frac{i_g}{n}$$

即ち、検流計の電流は始めの 1/n となつて、之は検流計抵抗 G と無関係で

あるから、如何なる検流計に用ひても倍率を変更し得る。

7.11.2 補償型分流器 (compensating universal shunt)

普通分流器でも、万能分流器でも $m = \frac{G+S}{S}$ を変更すると検流計一分流器の合成抵抗が變化するから、之を恒に一定に保つ必要のある回路では、別に補償抵抗を挿入する必要がある。此の欠点を除く爲に補償分流器が使用される。S を G と並列すると合成抵抗は $\frac{GS}{G+S}$ となるが、此の値は G, S の何れ



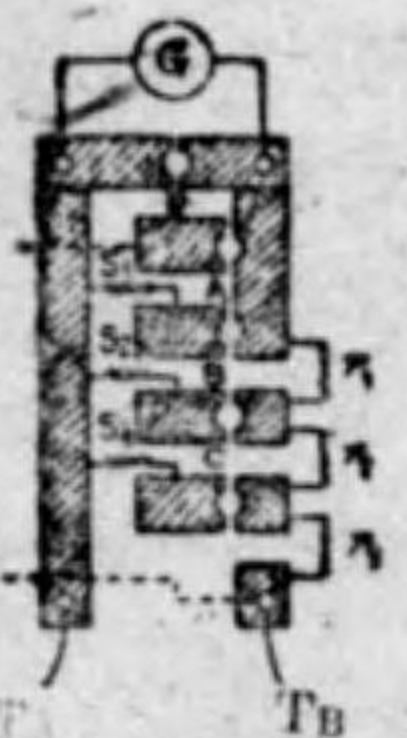
第 7.11 圖

よりも小さいものである。其處で第 7.11 圖の如く、r なる抵抗を直列にして $G = \frac{GS}{G+S} + r$ となる様に r を選んで置くと、S を並列にしても全回路の合成抵抗は G であつて不変である。

又 $\frac{G+S}{S} = m$ であるから

$$r = G - \frac{GS}{G+S} = G \left(1 - \frac{S}{G+S}\right) = G \left(1 - \frac{1}{m}\right)$$

としても選定される。實際の構造は第 7.12 圖の如くであつて、A, B, C の任意の穴にプラグが挿入されると G の電流は變化するが、端子 T_A T_B 間の合成抵抗は恒に一定値 G に等しくなる様に S₁, S₂, S₃ 及 r₁, r₂, r₃ が選定される。



第 7.12 圖

8. 電位差計 (potentiometer)

8.1 電位差計一般

例へば電池の起電力を測定するやうな場合、其の端子間に電圧計を結ぶと、之れが静電型とか真空管型のやうに電流を流さないものなら、電圧計の指示は正しく起電力となるが、一般の電圧計では之れに動作電流……電池と直列に流れる……が流れて、初めて指示を與へる。其處で

電圧計の指示 (電池の端子電壓) = 起電力 - 電池の内部抵抗電壓降下となつて、電圧計の指示から其の起電力を定めることは出来ない。之れは電池に限つた譯でなく、發電機其の他の起電力を測定する場合にも云へる事柄である。

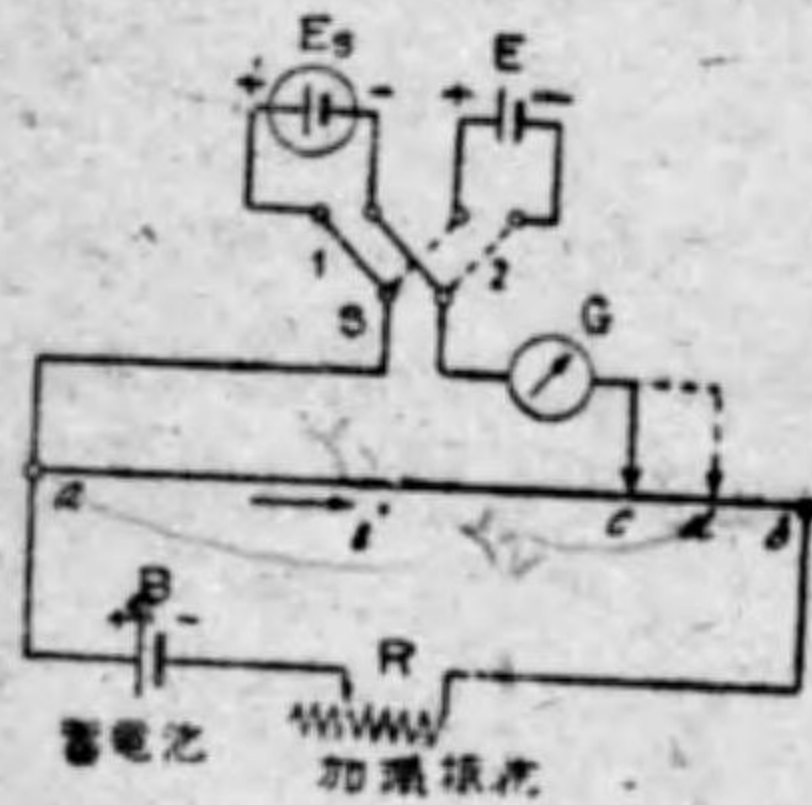
電位差計は次に述べるやうに、電池に電流を流さずに、此の起電力を標準電池

の起電力と比較して測定する装置である。

8.2 直流電位差計 (D.C. potentiometer)

8.2.1 原理

その原理を示す図は第 8.1 圖の如くで、a, b は抵抗線、c, d は摺動端子、B は電位差計用蓄電池、E_s は標準蓄電池 (ウエ



第 8.1 圖

ストン) E 供試蓄電池 (未知起電力) R は可変抵抗、G は検流計、S は切換開閉器である。先づ S を E_s 側 (1 側) に入れると、a, c 間に E_s の電圧が加はる。そして a, b 間には B に依る電圧が加はり、之に依る a, c の電圧と E_s が等しくなるやうに c 点を選

ぶと G の振れは零 (E_s から電流の流出しないことを意味する) となる。其の時の c の位置と a との間の抵抗を r₁ とすると

$$E_s = ir_1 \quad \therefore a, E_s, c \text{ の閉回路にキルヒの第二法則を適用すると } E_s = ir_1 \text{ となる}$$

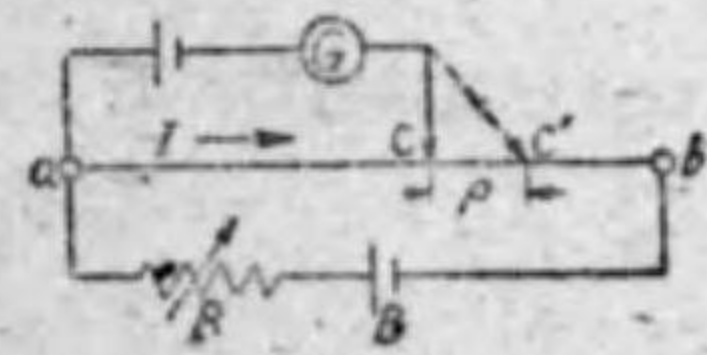
但し i は B に依り a-c-b-R に流れる電流、次に S を E 側 (2 側) に入れ、c を加減して d の位置で G の流れが零になつたとすると

$$\text{前と同様で } E = ir_2 \quad E_s = ir_1$$

茲に r₂ は a と d の間の抵抗である。そして a-c-b-R の回路の合成抵抗は前後不変であるから、電流 i も一定である。

$$\text{以上の兩式より } \frac{E_s}{r_1} = \frac{E}{r_2} \quad \therefore E = E_s \frac{r_2}{r_1}$$

として未知起電力 E の値が標準電池の起電力と比較して求められる。申す迄もなく、此の測定では電池から電流を取り出さない。



第 8.2 圖

補註 感度 (検流計抵抗の選び方) 第 8.2 圖に於て G の振れが c 点で零であつたとする。次に c の位置を c' に移動すると、抵抗が變化する。此の變化した抵抗値を ρ とすると c-c' 間の電圧降下は Iρ に等しい。起電力が新に發生したものと考へられ、それで此の起電力 Iρ に依つ

て G にも電流が流れる筈である。此處に「テブナンの定理」を用ふると a-c' と c'-b の抵抗の並列に G が直列になつた新しい回路が考へられる。それで G の電流 i_g は

$$i_g = \frac{I\rho}{R_g + R_0} \quad \text{但し } R_g \text{ 検流計抵抗 } R_0 \text{ 抵抗線の合成抵抗}$$

となる。次に G の電流感度を S_g とすると検流計の振れは $d = S_g \times i = \frac{S_g I \rho}{R_g + R_0}$ となる

S_g は又 R_g の平方根に略々比例するから

$$d = K \sqrt{R_g} \frac{I\rho}{R_g + R_0} = \frac{K I \rho}{\sqrt{R_g} + \frac{R_0}{\sqrt{R_g}}}$$

d が最大となるには上式の分母が最小となるを要する。……然るに

$$\sqrt{R_g} \times \frac{R_0}{\sqrt{R_g}} = R_0 \quad \text{即ち一定であるから二数の和が最小なるには } \sqrt{R_g} = \frac{R_0}{\sqrt{R_g}}$$

……即ち R_g = R₀ の時にその感度が最大となる。

(註) 二数の積が一定なるとき、二数の和の最小は二数の等しい時である。

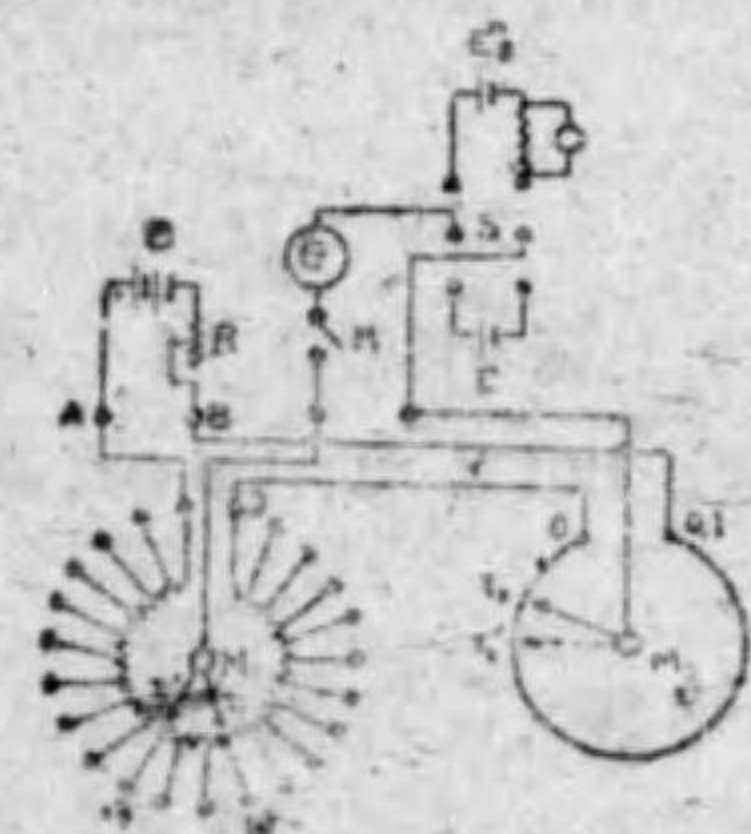
以上の關係式より低抵抗の電位差計ではその検流計の抵抗が低い (電流感度大) 方がよく高抵抗の時は高抵抗検流計 (電流感度大) の方が感度がよい。

以上の理由で電位差計には a, b 間の抵抗の高い高抵抗型とそれの低い低抵抗型とがある。

8.2.2 實 例

實際の電位差計には、a, b を全部摺動線とせず、大部分は抵抗線論とし、一部分を摺動線とした摺動線型と、全部を抵抗線論とした抵抗線論型がある。主として前者は 100Ω 内外の低抵抗型に、後者は 10,000Ω 内外の高抵抗型として採用されてゐる。

第 8.3 圖に示したものは、實驗用の簡單なもので摺動抵抗を有し、一見は低抵抗型のやうであるが、抵抗線論の抵抗は 2200Ω



第 8.3 圖

で高抵抗型に屬する。圖中、M₁ は各々の抵抗線論が 100 オームの値を持つてゐて、それが 22 箇直列にされ、その接点より端子を出す。M₂ は摺動抵抗線 (抵抗値 100 オーム)、E_s は標準電池 (起電力 1.0183 ボルト)、E は供試電池、B は電源、G は検流計、S 及び K は切換開閉器、R は可變抵抗である。

E_s の起電力は大凡 1.0183 ボルトで既知であるから、 M_2 の T_2 を摺動して、その抵抗 ($0-T_2$ 間の) を 18.3 オームとして置き、 M_1 の T_1 を移動して 10 の端子まで廻して置くと、 T_1 端子から T_2 端子までの抵抗は $100 \times 10 + 18.3 = 1018.3$ オームとなつてゐる。次に S を E_s 側に入れ K を押さへると、 $T_1 T_2$ 間には $E_s = 1.0183$ ボルトの電圧が加はる。又 E なる電池より電流が $A \rightarrow M_1 \rightarrow M_2 \rightarrow B$ の回路に流れるから、その間の高抵抗のため電圧降下を生ずる。此の時 R を調節して i を加減し、 i に依る $T_1 T_2$ 間の電圧降下と E_s の電圧とが等しくなるやうにする。即ち G の振れを零にする様に R を加減すれば、その時の E に依る電位差計電流は

$$i = \frac{1.0183}{1018.3} = 10^{-3} \text{ アンペア} \quad \text{である。}$$

次に此の i を一定に保つて S を E 側に入れ、 G の振れが零となるまで T_1 及び T_2 を加減する。そして例へば T_1 の位置が 13 の端子で T_2 の位置が 25 の所であれば、その時の抵抗は $1300 + 25 = 1325$ オームであつて、電流 i に依る $T_1 T_2$ 間の電圧降下は $1325 \times 10^{-3} = 1.325$ ボルトであつて、此の電圧降下と E の起電力が打ち消し合つてゐるのであるから $E = 1.325$ ボルトである事が判る。

此の電位差計の測定範囲は直接には 2.3 ボルトまでであつて、之れ以上の電圧を測定するには後述の分壓器を用ふる。

補講 上記の電位差計では、電池起電力と電圧降下を平衡させるのに、検流計の振れを零とする様に抵抗を加減した。然し一方の電圧は検流計に振れを生じさせ、今度は別の電圧は検流計の振れを生じさせ、此の振れが相等しくなるやうに抵抗を加減して電圧を比較することも出来る。前者を零位法、後者を偏位法と稱する。そして此の二種の方法は電位差計に限らず一般測定に於ても度々用ひられる。然して零位法は電流を流さないから、電流に依る種々の作用を除去し得るので精密測定に適する。

低抵抗型の一例は M_1 に 5Ω の線輪 15 箇を有し、 M_2 は 5.5Ω の摺動線 (B S 20, マンガニン線) を有する。動作電流は 20 mA で 1 箇の線輪は 0.1 V 摺動線の 1 目盛は 0.1 mV に相當する。従つて測定範囲は 1.61 V で、更らに低い電圧を測定するには並列抵抗を用ふる。

抵抗が全部抵抗線輪から成る高抵抗型は、摺動線の如く磨滅して抵抗の變化することは無いが、刷子を動かすことに依つて全抵抗が變化しないやうにする必要がある。

補講 ① 高抵抗型と低抵抗型の比較 低抵抗型の方が測定感度が高いが、動作電流が大きいので電源電圧の變動、各部加熱に依る抵抗變化等の影響を受ける缺點がある。

② 電位差計の使用上の注意 先づ各部特に刷子等の接觸部を清掃して、接觸抵抗等に依る誤差の入りやうにする。次に十數分動作電流を通じて自己加熱をし、全ダイヤルを零として検流計が偏れるかどうかを見る。標準電池には殆んど電流を流さないやうに注意する。即ち大きな保護抵抗を之れと直列として極く短時間電鍵を押さへて平衡を取り、保護抵抗を除き除いて感度を増して平衡させる……標準電池から電流を取り出すと其の起電力に影響を受ける……又電源蓄電池 B はなるべく容量の大きなものを用ふる (低抵抗型に於て特に然り)……でないで電源電圧が變動し、動作電流が一定でなくなる。……蓄電池にあつては充電直後の電圧は安定でないから多少放電してから用ふる。

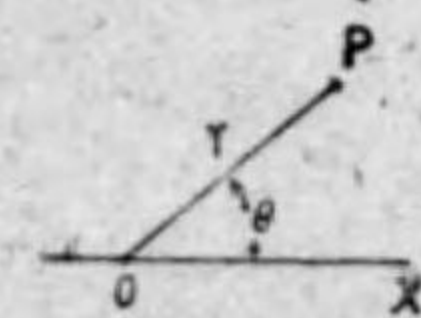
③ 電位差計の測定範囲は $3V \sim 5 \mu V$ の程度で、 $3V$ 以上の測定には後述の分壓器を用ふる。

8.3 交流電位差計 (A.C. potentiometer)

交流電位差計は未知の交番電圧を直流にて較正した既知の交流電圧と比較して測定するもので、その原理は直流電位差計と大体同様である。然し比較する可き標準電源及び供試電源の最大値、位相、波形及び周波數等が精密に一致する事が必要であつて、その實効値及び位相角の求め方に依つて、直角座標式と極座標式とに分たれる。前者は計算の必要があり、不便であるが正確である。

上述の様に、平衡を取らねばならない因子が多いので、直流電位差計のやうには精密に行かないので餘り使用されない。

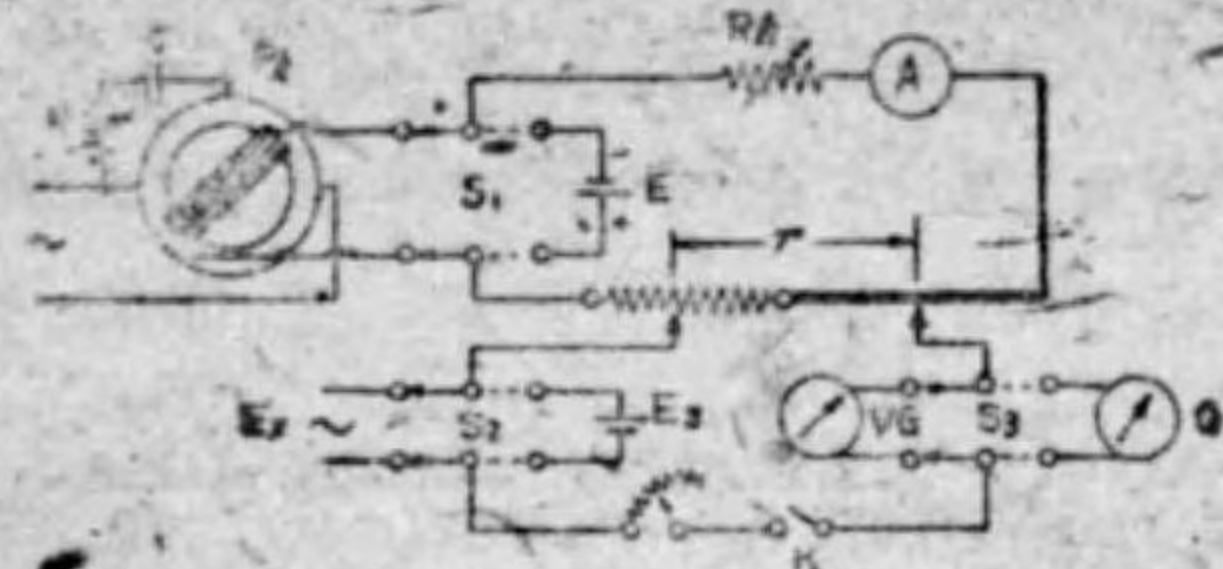
補講 直角座標とは、第 1 卷 P 62 以下に於て説明した如く、平面上に直交する二直線を考へ、その水平線を x 軸とし、垂直線を y 軸とすると、方程式は $y=f(x)$ のグラフで表はされた。此の直交 2 軸で或る点を表はすことを直角座標と云ふ。之れに對し極座標とは第 8.4 圖の如く、原点 O と其の点 (P) の結ぶ直線 OP が水平軸 OX と爲す角 θ と OP の長さ r で P 点を表はす方式である。



第 8.4 圖

8.3.1 極座標電位差計 (polar co-ordinate type potentiometer)

第 8.5 圖はドライスデールの考案した極座標式の交流電位差計である。今、 $S_1 S_2 S_3$ を夫々右側に入れると $E \rightarrow r \rightarrow (A) \rightarrow R_h$ と回路が出来る。次に K を押すと r には E_s の電圧が加はる。 R_h を加減して G の振れを零ならしめると共



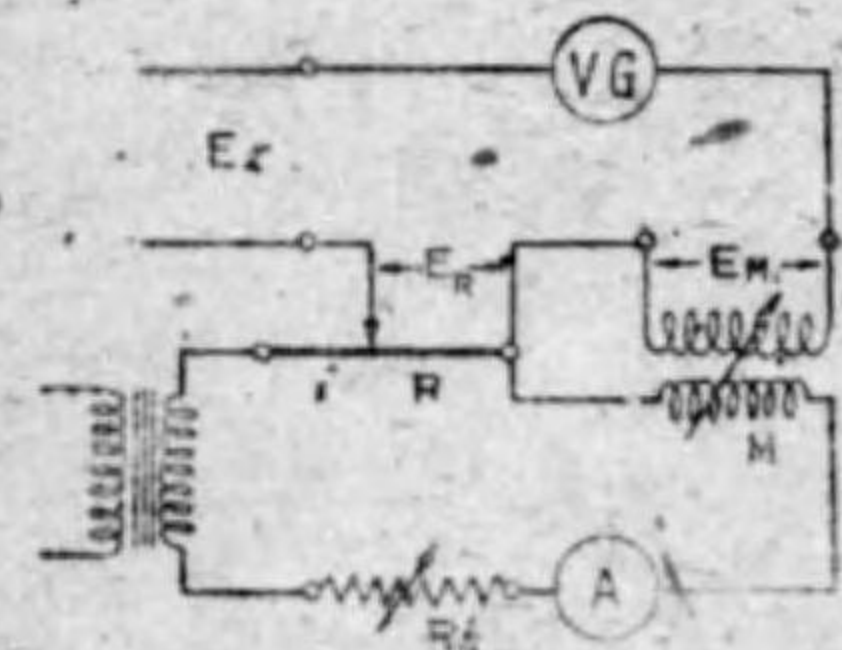
第 8.5 圖

に、交直兩用電流計型電流計 (A) の指示を 50mA にして置く。次に S_2, S_3 を開き、 S_1 を左側に入れると、交流標準電圧が加はり $S_1 \rightarrow R_n \rightarrow (A) \rightarrow r \rightarrow S_1$ の回路に交流が流れる。 R_n を加減して (A) の指示が 50mA である様にする。その後 S_2, S_3 を左側に入れて、 F_2 の代りに E_x 、 G の代りに振動檢流計 VG を接続し、摺動子を移動して移相器 P_n の回轉子の位置を加減する。斯くて VG の振れが零になる様にする。此の時、 r の位置に依り E_x の實効値が判り、回轉子の回轉角度によりその位相角を知る事が出来る。

茲に述べた移相器 (phase shifter) に於て、電源一次側には蓄電器 C 及び抵抗 R を入れて二次側の電流と 90° の位相差を生ずる様にしてあるから、一次及二次側に依つて茲に回轉磁界を生ずる。之れは誘導型計器の處で述べた通りである。此の磁界に依つて二次に誘起電圧が生じ、之が S_1 に與へられるのであるが此の二次線輪を回轉すると位相角が變じ、電壓の實効値が變化し得るのである。(此の理論は第 6 卷の誘導電壓調整器を参照)

8.3.2 直角座標電位差計 (rectangular co-ordinate type potentiometer)

其の一例としてラルゼン交流電位差計を示すと、第 8.6 圖の如く至極く簡單なものである。圖に於て R は無誘導抵抗、M は相互誘導、(A) は交流電流計、 R_n は可變抵抗、VG は振動檢流計である。



第 8.6 圖

標準電圧に依つて、 $R_n \rightarrow (A) \rightarrow M \rightarrow R$ と流れる電流を i とすると、R の電壓降下 $E_R = iR$ であつて、之は標準電圧と同相であるが、M に依つて二次側に發生する電壓は $E_M = 2\pi f M i$ であつて、その位相は標準電圧より 90° 遅相である。そして M を調整して E_M の大きさを加減する事が出来る。今此の M を變化して VG の振れを零とすれば

に、交直兩用電流計型電流計 (A) の指示を 50mA にして置く。次に S_2, S_3 を開き、 S_1 を左側に入れると、交流標準電圧が加はり $S_1 \rightarrow R_n \rightarrow (A) \rightarrow r \rightarrow S_1$ の回路に交流が流れる。 R_n を加減して (A) の指示が 50mA

$$E_x = \sqrt{E_R^2 + E_M^2} = \sqrt{(iR)^2 + (2\pi f M i)^2} = i \sqrt{R^2 + (2\pi f M)^2}$$

なる等式が成立つ。

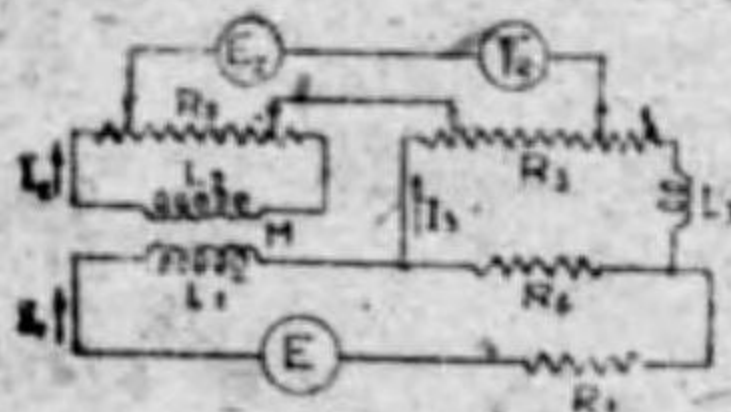
茲に R は一定であり、M も判り、 i は (A) に依り知れるから E_x が算出され得ると共に

$$\phi = \tan^{-1} \frac{E_M}{E_R} = \tan^{-1} \frac{2\pi f M}{R}$$

として其の位相角も求められる。

8.3.3 横河交流電位差計

第 8.7 圖は此の計器の原理を示すものであつて、周波数と無関係に 2 相を直角に保つために、特殊な分相装置 (phase-splitting device) がある。



第 8.7 圖

電源の電圧 E に依り $L_1 \rightarrow R_3 \rightarrow R_4$ なる回路に I_1 なる電流が流れたとすると R_4 の電壓降下は $I_1 R_4$ である。そして此の電圧に依つて、 $R_5 \rightarrow L_3 \rightarrow R_4$ と I_2 なる電流が流れると考へられるから

$$I_2 = \frac{I_1 R_4}{\sqrt{(R_3 + R_4)^2 + (\omega L_3)^2}} \quad \text{但し } \omega = 2\pi f \text{ である。}$$

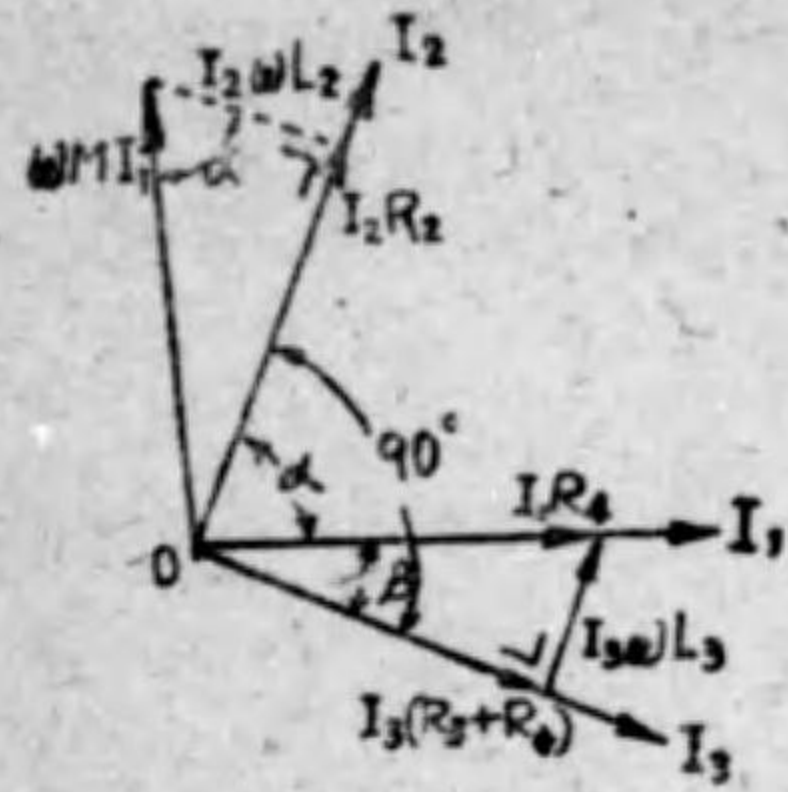
又 L_1 に I_1 が流れると M の作用で L_2 に $\omega M I_1$ なる電圧を誘起する。そして此の電圧で I_3 が流れるから $I_3 = \frac{\omega M I_1}{\sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}}$ であつて I_2 が I_1 より進む角度及び I_3 が I_1 より遅れる角度は夫々 $\alpha = \tan^{-1} \frac{R_2}{\omega L_2}$ 、 $\beta = \tan^{-1} \frac{\omega L_3}{R_3 + R_4}$ である。そして R_3 及び R_4 の電圧が第 8.6 圖の R 及び M の電圧…… 90° の位相差がある……の代用となるのであるから $R_2 I_2$ 、 $R_3 I_3$ の間、従つて I_2 、 I_3 の間には 90° の位相角を必要とする。即ち

$$\alpha + \beta = 90^\circ \text{ である。} \quad \therefore \tan(\alpha + \beta) = \tan 90^\circ = \frac{\tan \alpha + \tan \beta}{1 + \tan \alpha \tan \beta}$$

となるが $\tan 90^\circ = \infty$ であるから上式の分母が零、即ち $\tan \alpha \tan \beta = 1$ でなければならぬ。

$$\therefore \frac{R_2}{\omega L_2} \frac{\omega L_3}{R_3 + R_4} = 1$$

故に $L_2 = L_3$ 、 $R_2 = R_3 + R_4$ とすれば R_2 と R_3 の電圧は f と無関係に 90°

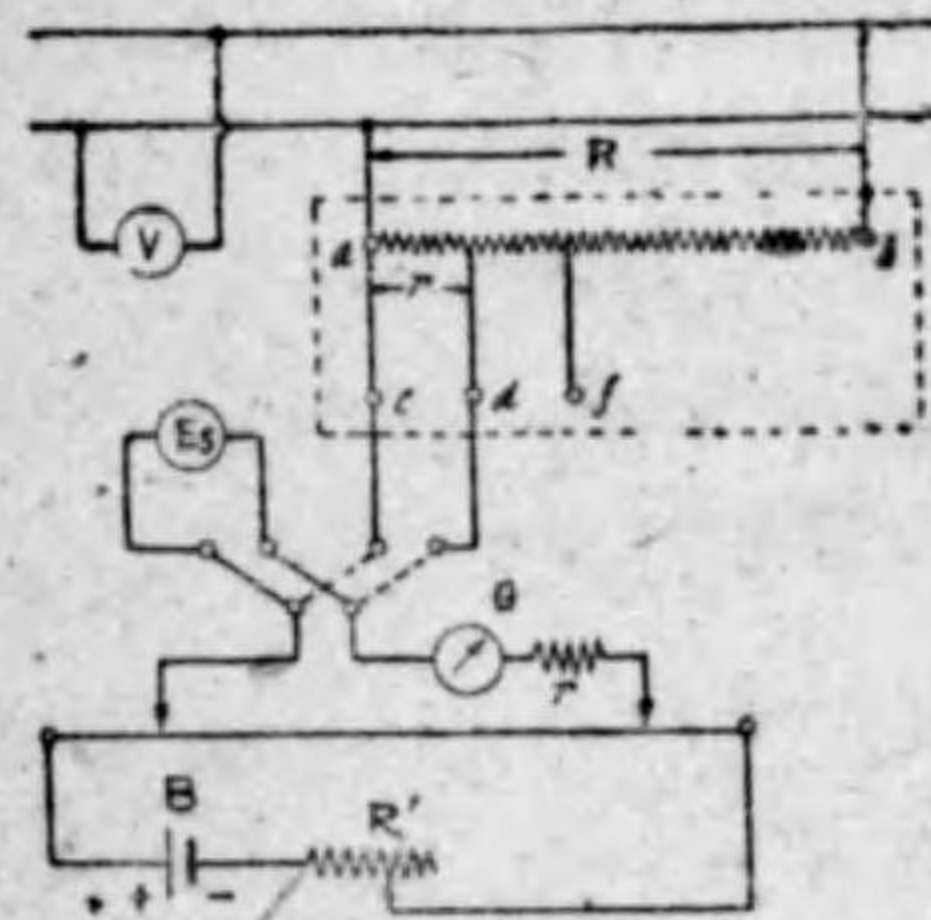


第 8.8 圖

の位相差が生ずる事になる。
 又 $L_1=L_2$ $R_1=R_2+R_4$ を前記の兩式に代入すると
 茲で $\omega M=R_4$ とすると $I_2=I_3$ とし、且つ直角位相が生じ E_1 と平衡さす事が出来る。此の原理を應用したのが横河製交流電位差計である。

8.4 電位差計の應用

8.4.1 電壓の測定



第 8.9 圖

高い電壓を電位差計で測定するには第 8.9 圖の如く分壓器 (potential divider) を用ふる。即ち標準抵抗に測定せんとする電壓を與へて、其の一部分の電壓を測定し、全電壓を知る。今分壓器の全抵抗を R 、一部分の抵抗を r とすると、直列回路の電壓分布は抵抗の比となり

$$\frac{\text{全電壓 (E)}}{\text{測定電壓 (e)}} = \frac{R}{r}$$

$$\therefore E = e \frac{R}{r} = em \quad m = \text{倍率}$$

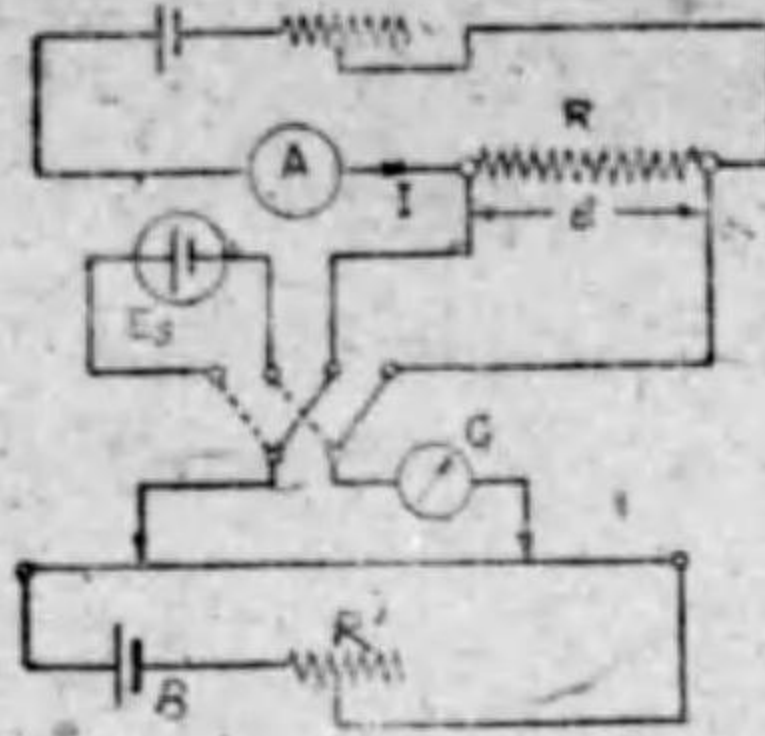
此の回路に電壓計 V を接続して置き、其の指示が V であつたとすると

$$\text{電壓計の更正 } \mu = \frac{E-V}{V} \times 100 \quad (\text{誤差 } \epsilon = \frac{V-E}{E} \times 100)$$

として電壓計の更正が求められる。

(註) 申す迄もなく電位差計は電流を取らないし、直接標準電壓の起電力と比較するから其の結果は精密である。

8.4.2 電流の測定



第 8.10 圖

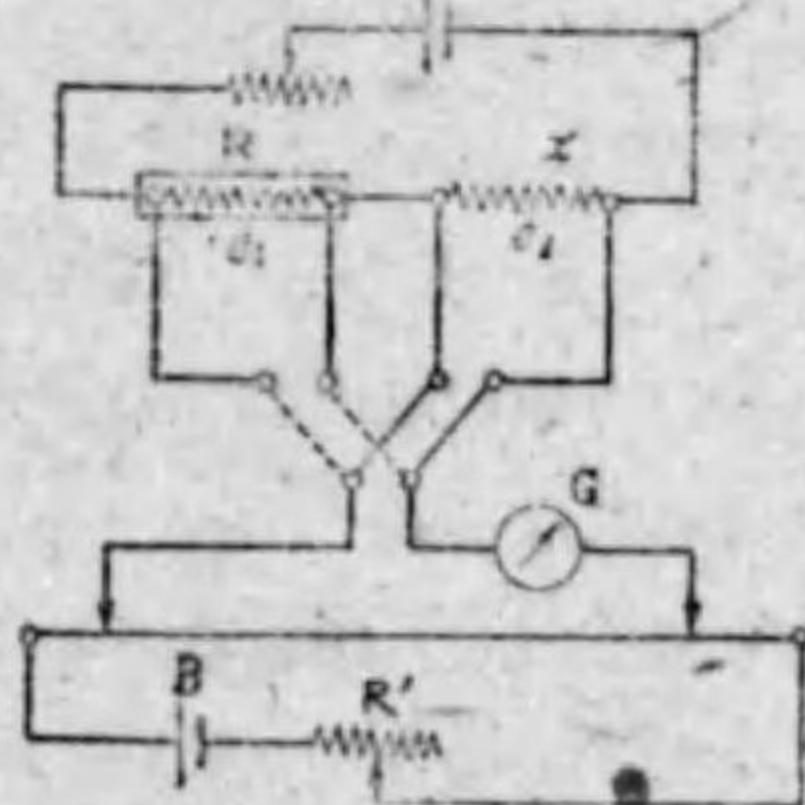
電位差計で電流を測定するには第 8.10 圖の如く接続し、標準抵抗 R に測定電流を流し、其の電壓 e を測定すると電流 $I = \frac{e}{R}$ より算定される。

此の回路と直列に電流計を接続して置くと前記と同一の要領で電流計の更正を行ひ得る但し R は安全に測定電流を通じ得、且つ其の電壓降下が電位差計で測定されるやうな値とせねばならない。

8.4.3 電力の測定

上記の要領で回路の電壓と電流を測定すれば、電力 = 電壓 × 電流 より測定せられ、此の回路に電力計を接続すれば更正を行ひ得る。

8.4.4 抵抗の比較測定



第 8.11 圖

第 8.11 圖の如くに、未知抵抗 x と標準抵抗 R を直列にして之れに電流を流し、夫々の端子電壓を摺動子抵抗に依つて比較すると、其の比からも x の値が求められる……従つて標準電池は不用である……假に夫々の端子電壓 (摺動子抵抗に比例) を e_R e_x とすれば

$$e_R = iR \quad e_x = ix \quad \therefore x = R \times \frac{e_x}{e_R}$$

として求められる。此の方法は接続線の抵抗や接觸抵抗を含まないから低抵抗の測定に適する。

9. 同期檢定器、相回轉表示器、檢漏器及檢電器

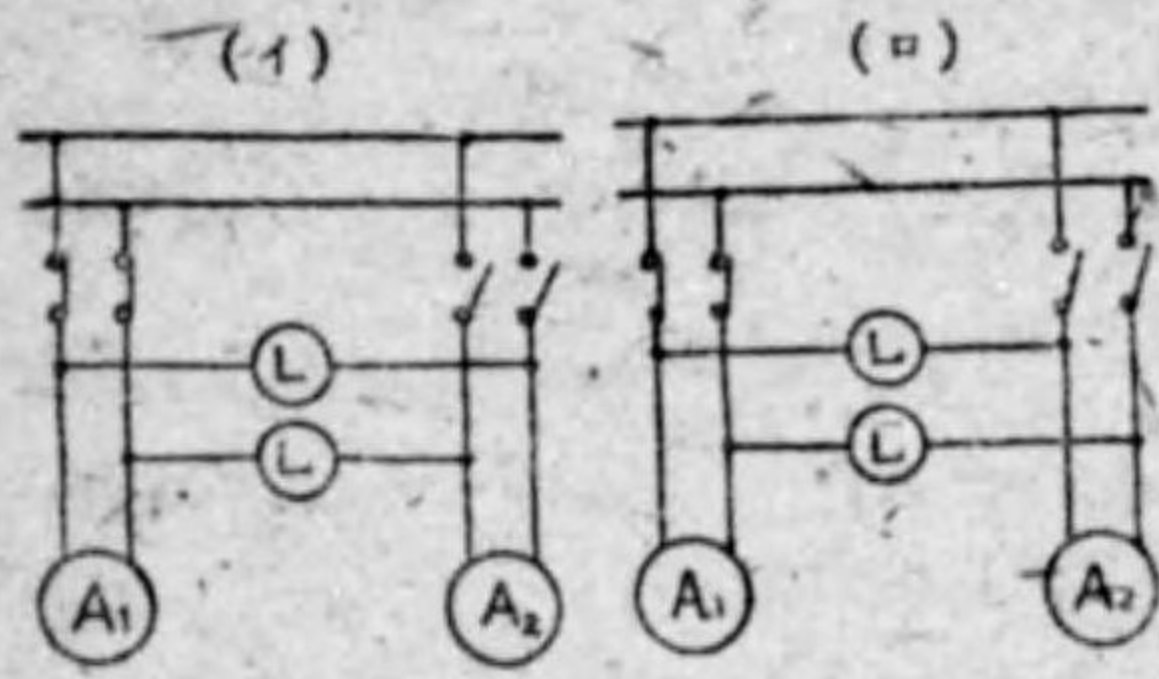
9.1 同期檢定器 (synchronoscope 又は synchronizer)

1 台の發電機が負荷を擔つて運轉中、負荷が増加したため更らに他の 1 台を起動して前の 1 台と並行運轉 (parallel runing) を爲さしめるには、直流機の場合

合には単に電圧の大きさへ等しければ並列とすることが出来るが、交流発電機の場合には兩機の電圧が等しいだけでなく、其の周波數及位相も等しくなければならぬ。(第六卷参照) 従つて直流機では電壓計の指示のみで並行運轉を行ひ得るが、交流機では以上の3者が一致するかどうか(即ち同期にあるか否か)を見る特別の計器を必要とする。之れが同期檢定器であつて、以下其の代表的な二三に就て説明する。

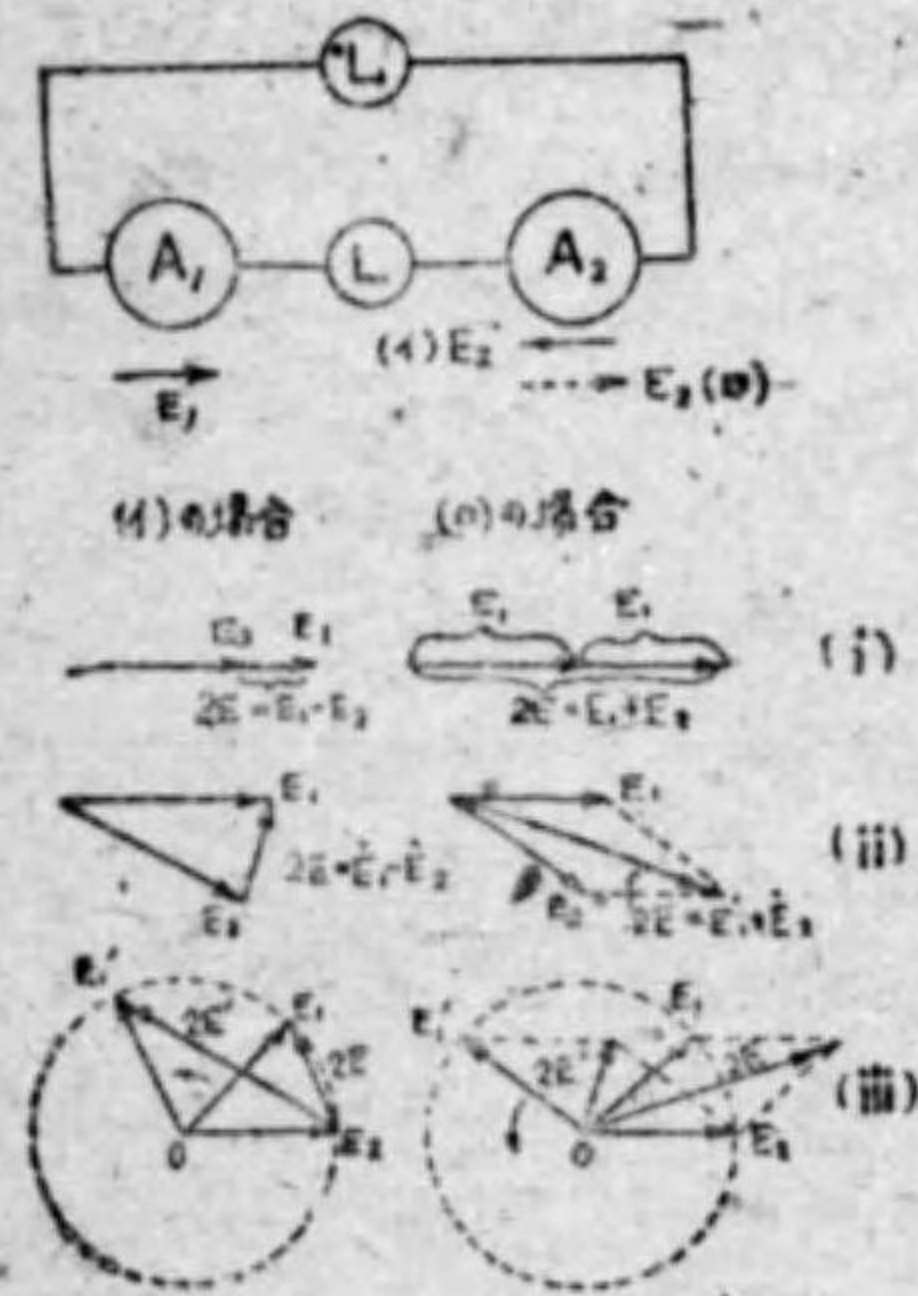
9.1.1 電燈同期檢定器

第9.1圖は2台の單相交流發電機を並行運轉する際の同期檢定装置を示すものである。(イ)圖の接続に於て、電燈Lが兩發電機端子電壓の差を受くるものとする、(ロ)では其の和を受くることになる。此の狀況は第9.2圖に示す如くであつて、即ち(イ)で電燈Lの受ける電壓をEとすれば $2E = \dot{E}_1 - \dot{E}_2$ と兩發電機電壓のベクトル差を $\frac{1}{2}$ したものとなり、(ロ)では $2E = \dot{E}_1 + \dot{E}_2$ と兩發電機電壓のベクトル和を $\frac{1}{2}$ したものになる。



第9.1圖

今此の兩場合に於て (i) 兩電壓の位相周波數は一致し大きさ異なる場合、(ii) 兩電壓の周波數大小等しく位相の異なる場合、(iii) 兩電壓の大きさ相等しく周波數の異なる場合、電燈Lの受ける電壓の狀況を示すと、左圖の(i) (ii) (iii)の如くなる。

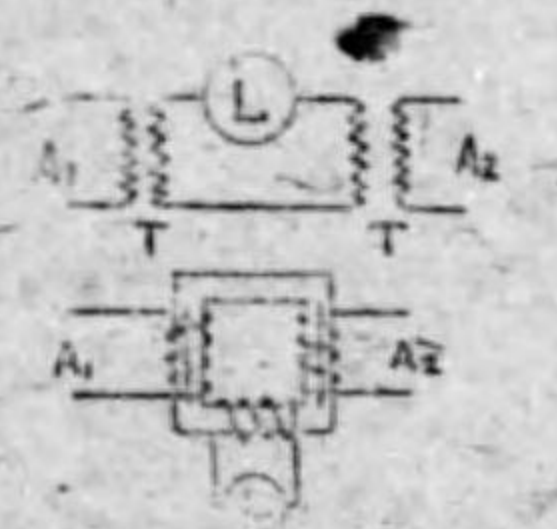


第9.2圖

補講 (i) (ii) の場合は圖より容易に理解せられる。(iii) の場合に於て A_1 の回轉數が早く、其の周波數が A_2 より大であると、 E_1 と E_2 のベクトル關係は、 E_2 が静止して E_1 が兩周波數の差に等しい速度で反時計式に回轉すると考へてよい。とすると (イ) の場合に於ても L の受ける電壓は次第に $2E$ より $2E'$ の如くに大となり E_1

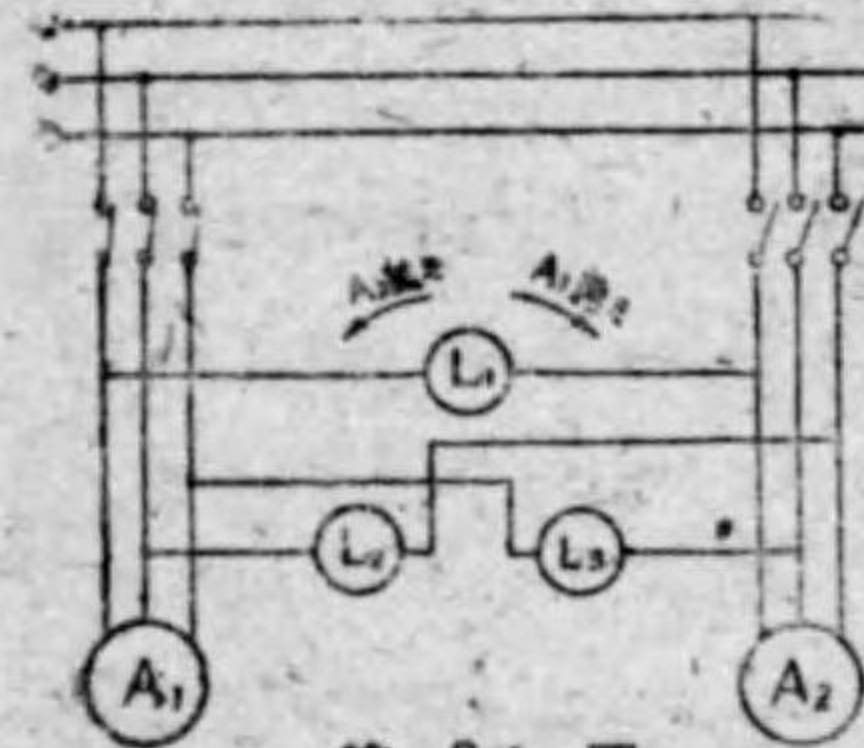
が 180° 回轉して最大となり、夫れ以上では次第に小となる。(ロ) では次第に小となり、 180° 回轉して零となり、次に次第に増加する。何れにせよ電燈の受くる電壓は或は大となり或は小となつて明滅する。其の度合は兩周波數の差が小となるに従つてゆるやかになるから明滅がゆるやかになるやうに A_2 の回轉數を調整する。

同期になると (ロ) では最大の輝きとなり (イ) では消燈する。最大の輝きは肉眼で判別が困難であるから一般に (イ) の接続に依るが、此の場合、電球線條の斷線に注意しなければならない。



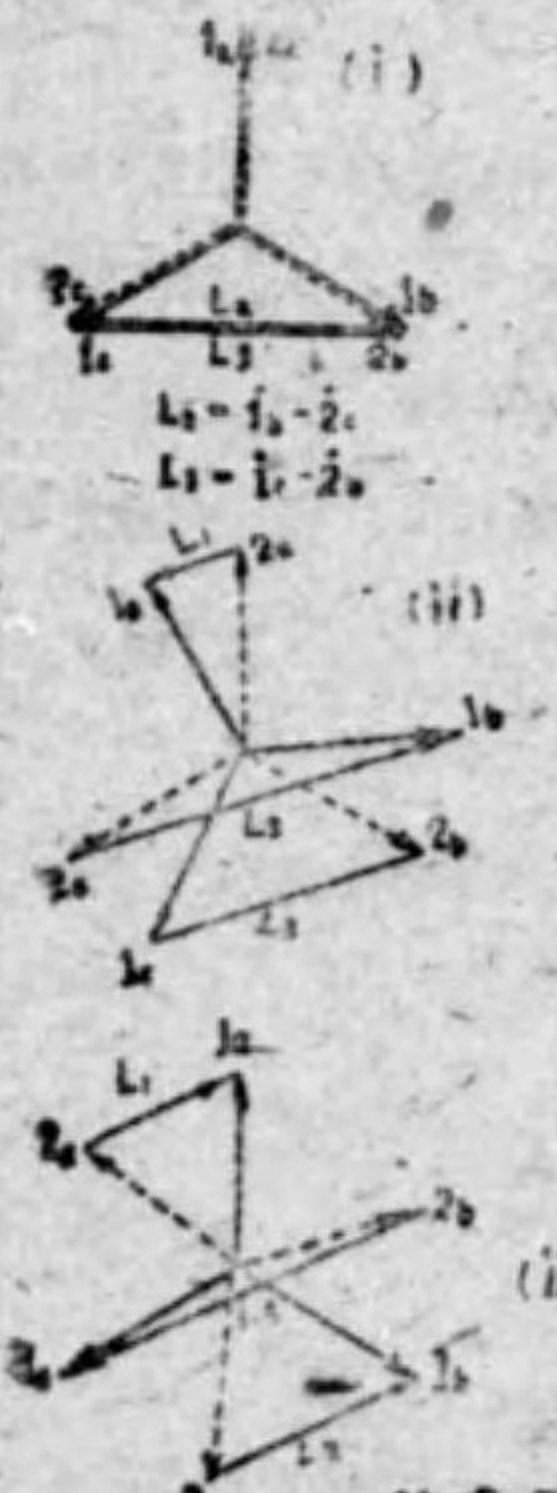
第9.3圖

一向電壓の高いときは第9.3圖の如くに、變壓器Tを通じて兩線に接続したり、或は下圖のやうに1つの變壓器鐵心に3つの線輪を捲いてもよい。斯くしてLに兩電壓の差に相當する電壓が加はるやうにする。



第9.4圖

三相交流發電機の並行運轉に對しては、第9.4圖のやうに3箇の電燈 L_1, L_2, L_3 を夫々兩機の線間に接続するのであるが、此の際 A_1 機の a と A_2 機の a の間に L_1 を、他の2相は取り換へて A_1 の b と A_2 の c 間に L_2 を、 A_1 の c と A_2 の b 間に L_3 を接続する。斯くして兩發電機が同期になつたとすると、第9.5圖の(i)の如くなり、 L_1 は 1_a と 2_a のベクトル差で電壓は零で消へ $L_2 = 1_b - 2_c$ 、 $L_3 = 1_c - 2_b$ の電壓(即ち線間電壓)を受けて等しく輝く。逆に斯様な状態に達すれば兩機は同期になつたと云ふことが出来る。次に A_1 の回轉數が大で、其の周波數が A_2 より大きい場合には、 A_2 の電壓 $2_a, 2_b, 2_c$ は静止して、 A_1 の電壓 $1_a, 1_b, 1_c$ が兩機周波數の差に相應する速度で反時計式方向に回轉すると考へると (ii) の圖より明かなやうに、 L_2 が次第に明くなり L_1 が之れに次で明くなり更に L_3 が之れに次で。(消へる順序で云ふと $L_3 \rightarrow L_1 \rightarrow L_2$) 従つて最大光度が $L_2 \rightarrow L_1 \rightarrow L_3$ と移動するから光が右廻りに回轉するやうに見へる。同様に A_2 の回轉數が大であると (iii) 圖のやうに最大光度は $L_3 \rightarrow L_1 \rightarrow L_2$ と移動するから光が左廻りに回轉するやうに見へる。

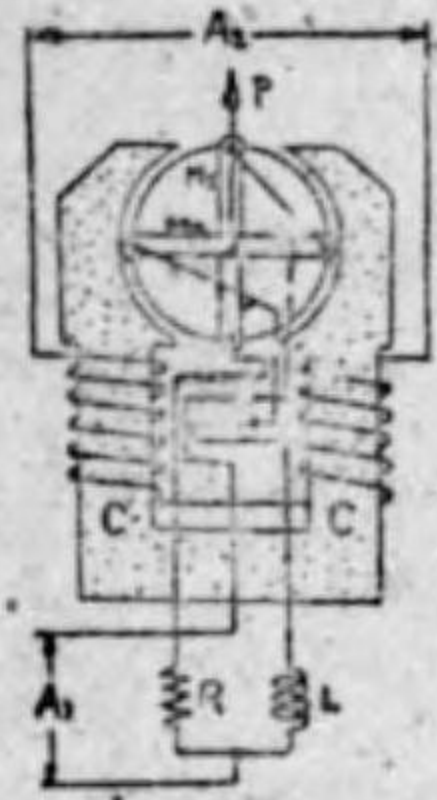


第9.5圖

従つて光の回轉方向に依つて何れの機の周波數が大であるかが判り、之れを調整して同期化し得る。

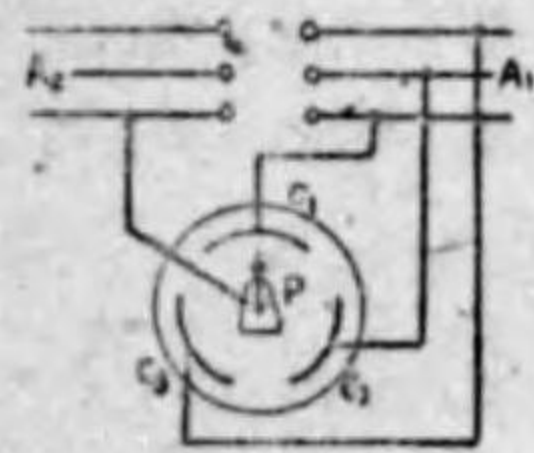
9.1.2 指針型同期檢定器

此の型の同期檢定器として、電流力型を示すと第 9.6 圖の如くであつて、電流力計型周波計 (又は力率計) と全く同一原理である。
A₂ を電磁石の線輪 C に接続し、可動線輪 M₁ 及 M₂ には A₁ より抵抗 R, 自己インダクタンス L を通じて 2 相交流を流す。斯くすると A₁ と A₂ が同相にあると M₁ の磁界が C の磁界の方向と一致するやう (圖の位置) に移動し A₁ の電壓 E₁ が A₂ の電壓 E₂ より 90° 遅れると圖の位置より 90° 回轉して、M₂ の磁界が C と一致するやうな位置を取り、E₁ が E₂ より 90° 進むと 180° 回轉する。又兩機に周波數の差がある。例へば A₂ の周波數が大きいと可動部分の作る回轉磁界は C の磁界より遅れるから、磁束の方向を一致させる爲めに周波數の差で指針は進み (Lead 又は Fast) の方に回轉し、以上と反對の場合には遅れ (Lag 又は Slow) の方に回轉する。従つて電壓計に依つて電壓を等しく調整して、指針が中央にあるやうにすれば同期である。



第 9.6 圖

補講 其の他、圖の可動線輪を固定線輪とし、其の中に可動鐵片を設け、之れを A₂ で磁化する可動鐵片型、第 9.7 圖のやうな靜電型がある。圖に於て C₁ C₂ C₃ は A₁ 機の三相にて充電されてゐる。P は可動片で A₂ の任意の線に接続されてゐるから、若し兩者の周波數及位相が一致した時は兩者の作用力が大となり、P が靜止する。同期にならなければ P は左右に動搖を續けてゐる。



第 9.7 圖

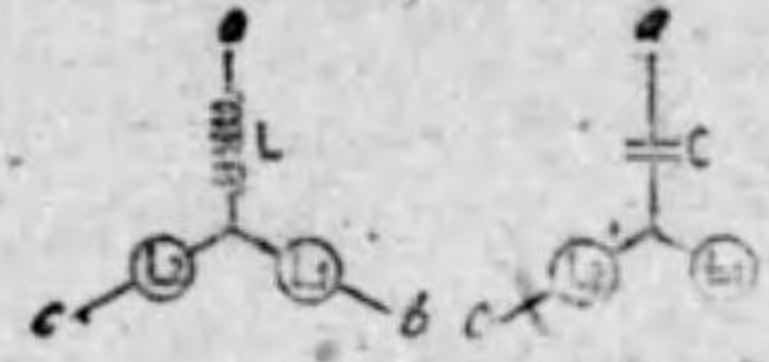
第 9.6 圖は單相用であつたが、此の型の原理より三相の場合は對應する 2 線間に之れを接続すれば遅速が判明するから特に

三相用とする必要はない。

9.2 相回轉表示器 (Phase rotation indicator)

三相交流回路の相回轉 (第三卷 P 122 以下参照) の順序……之れを相順とも、

相回轉方向とも云ふ……を表示するもので、多相誘導電動機の原理 (第六卷に説明する) を應用するもの、其の他があるが、代表的の表示器は第 9.8 圖の如くである。



(イ) (ロ) 第 9.8 圖

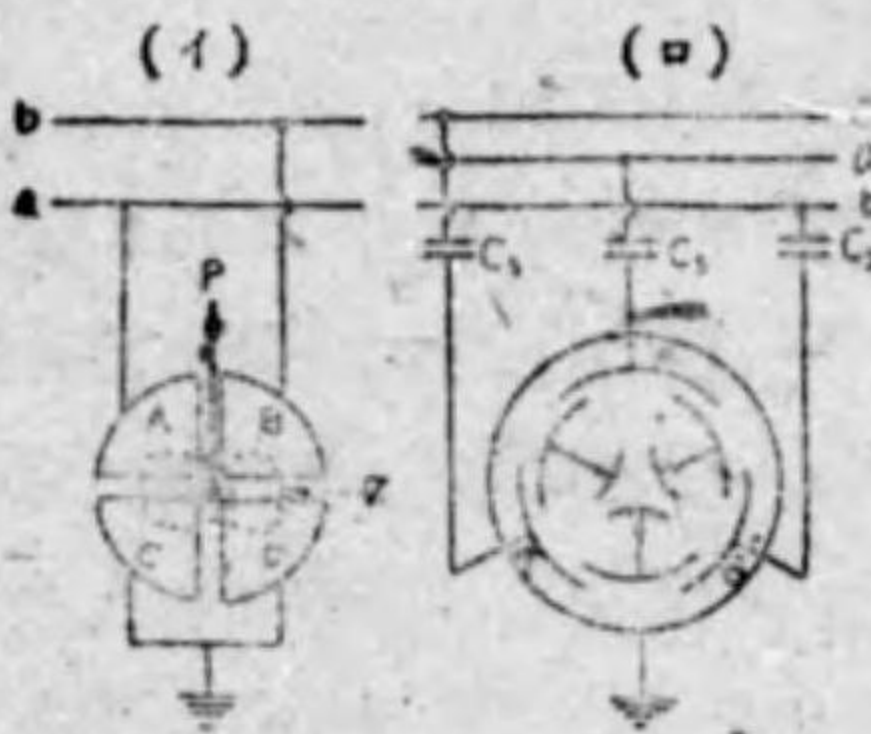
L の代りに靜電蓄電器 C を接続したものが (ロ) であつて、相回轉が abc であると L₁ の方が明く、acb であると L₂ の方が明い。

補講 (イ) の L は現場等では適當な變壓器の 1 側を用ふればよく、 $R = \omega L$ で L₁ と L₂ の明きの差は最大となる。(ロ) では $R = 1/\omega C$ で L₁ と L₂ の明きの差が最大となり、(イ) よりも明きの差が大きく見易いし、C の方が費料を多く要しないので携帯用のものは殆んど此の型である。以上の理論は通試受驗「テキスト」第二種用計算篇 P 21 以下を参照

9.3 檢漏器 (ground detector)

9.3.1 靜電檢漏器

其の構造を示すと第 9.9 圖の如くであつて、(イ) は單相回路用、(ロ) は三相回路用である。(イ) に於て A B C D

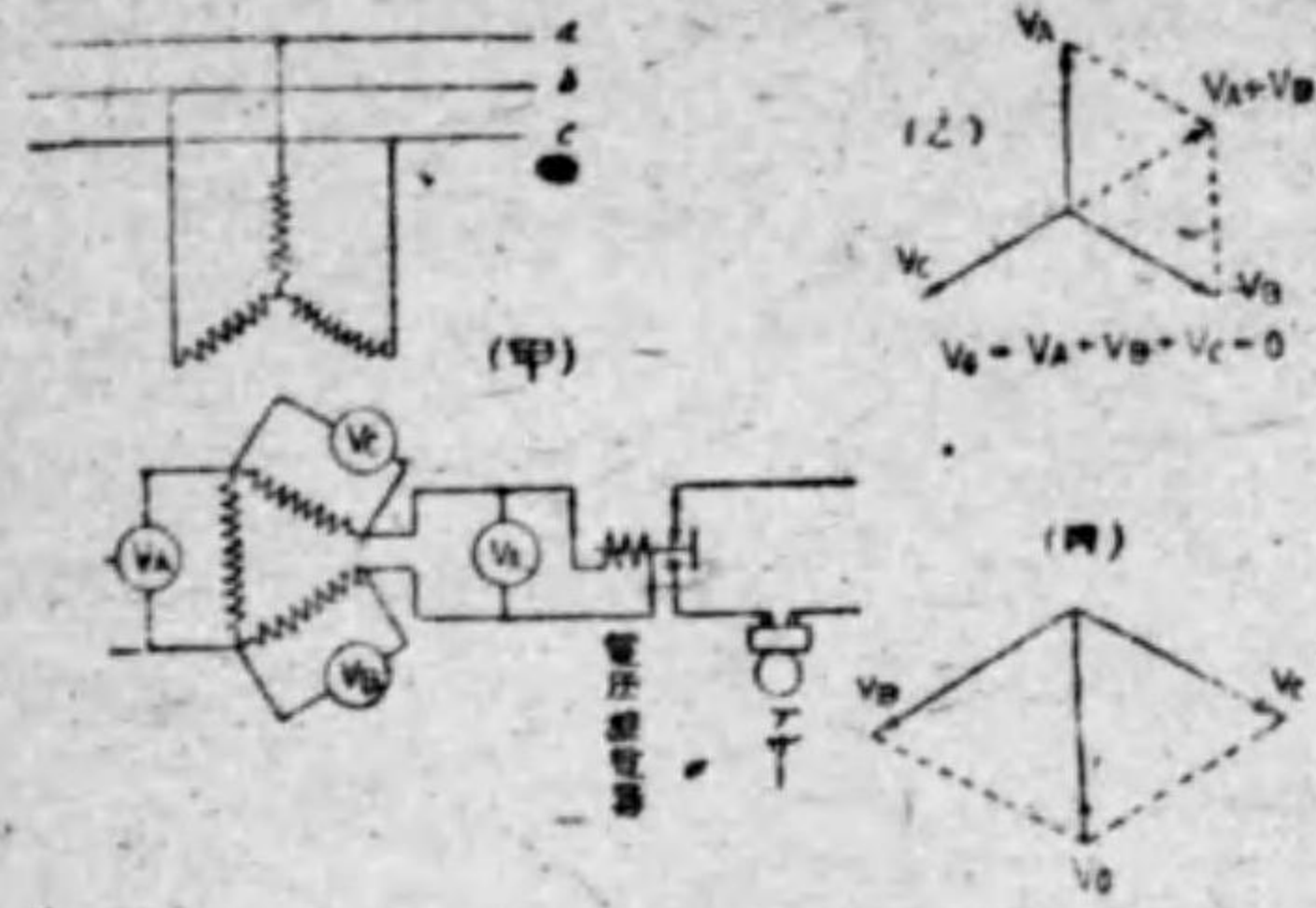


第 9.9 圖

は固定板、V は其の中に吊された可動板である。今 a 及 b 線の大地に對する絶縁が完全であると A と V 及 B と V 間の吸引力は相等しく、V は圖の位置に靜止し、指針は中央を指す。次に a 線の絶縁が低下すると A の電位は減するから B V 間の吸引力が勝つて指針は左方に振れる。反對に b 線の絶縁が低下すると指針は右に振れる。此の振れは線路の絶縁低下が甚しい程大となる。(ロ) も之れと同一原理で 3 線の絶縁が完全であれば指針は中央に位置し、何れかの對地絶縁程度が低下すると指針が振れる。

9.3.2 電壓計型檢漏器 (電流型檢漏器)

第 9.10 圖の如き装置であつて、単相變壓器 3 箇を一次星形に二次ば一端を開いた開放三角形接続とする。



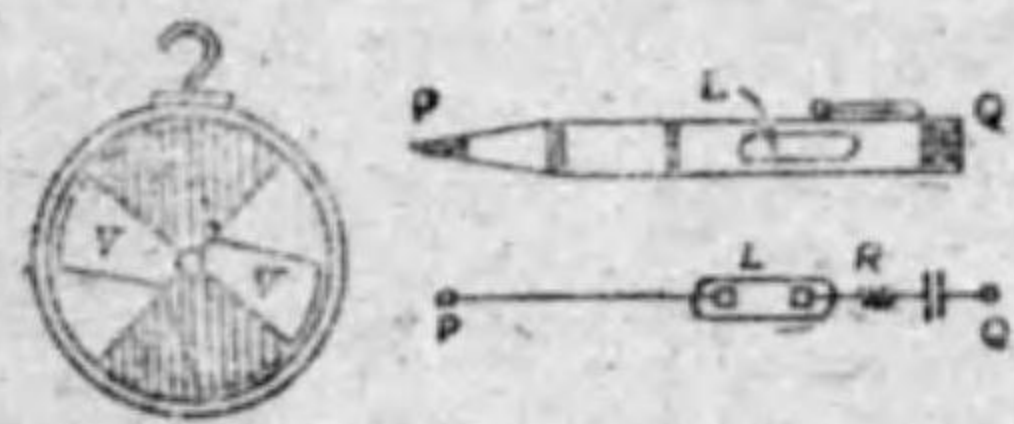
第 9.10 圖

三相各線の絶縁が健全であれば、各相電圧計 V_A V_B V_C は線間電壓の 1/√3 (變壓比にて除した) となり V₀ の電壓は V_A V_B V_C のベクトル和で零となる。(乙圖) 然るに一線、例へば a 線が地絡すると、V_A は零となり V_B V_C は前の √3 倍となり V₀ は (√3 × 線間電壓) となつてブザー回路を閉じて地絡事故を警報する。本器は高價となるが鋭敏正確で最近廣く用ひられつゝある。

補講 此の他に電磁型の 1 種で可動鐵片型電圧計の原理を利用したものがある。即ち電圧線輪の電流は三相三線其健全な場合はその値が等しく、可動鐵片は夫々の位置に釣合つてゐるが、若し漏電して電圧線輪の電流が相異して來ると可動鐵片が移動しその程度が指針に示される。

9.4 検電器 (detector)

線路が充電されて居るかされてゐないか……俗に生きてゐるか死んでゐるか……



第 9.11 圖

…を表示する計器を検電器と云ひ、特別高壓の線路には象限型又は芒光型が採用される。第 9.11 圖の左は象限型の一様であつて V はアルミニウムの可動片で上下 2 枚の硝子板に F なる錫箔を張り周圍は金屬枠で包まれてゐる。此の上部の鉤を線路にかけると靜電力に依つて V

が反撥されて窓に現はれるから、之れを望見して線路の生きてゐることを知る。線路が死んでゐると V は自重に依つて垂直となり、錫箔内にかくれる。

右の圖は低壓回路用の携帶檢電器 (lineman's detector) であつて、萬年筆型である (特高用のものは此の型を大とし、特に接地用の端子が付いてゐる) 原理から云ふと、ネオン檢電器と云ふべきで、Q を手に握つて P を線路に觸れるとネオン管 L は人体を通じて放電し L の部分から赤褐色の光が出る。R は人体に流れる放電電流を制限して危害を與へない目的で挿入される。

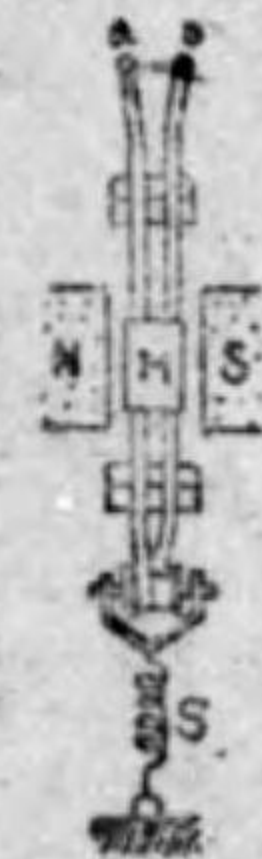
10. オシログラフ (Oscillograph)

10.1 オシログラフ一般

上述した計器類では可動部分の慣性が大きいので、瞬間的(數千分の 1 秒程度)に變化する電壓或は電流の變化を記録又は觀測することが出來ない。然るに交流波形の分拆や過渡現象 (特に雷現象) の研究の爲には是等の瞬時値を測定することが必要となる。此の目的にオシログラフを用ふる。之れを動作原理より分類すると、機械的オシログラフと電子オシログラフになる。其の代表的のものとして前者に屬する電磁オシログラフ及靜電オシログラフ、後者に屬する芒光オシログラフ及陰極線オシログラフを簡単に説明する。

10.2 電磁オシログラフ (electromagnetic oscillograph)

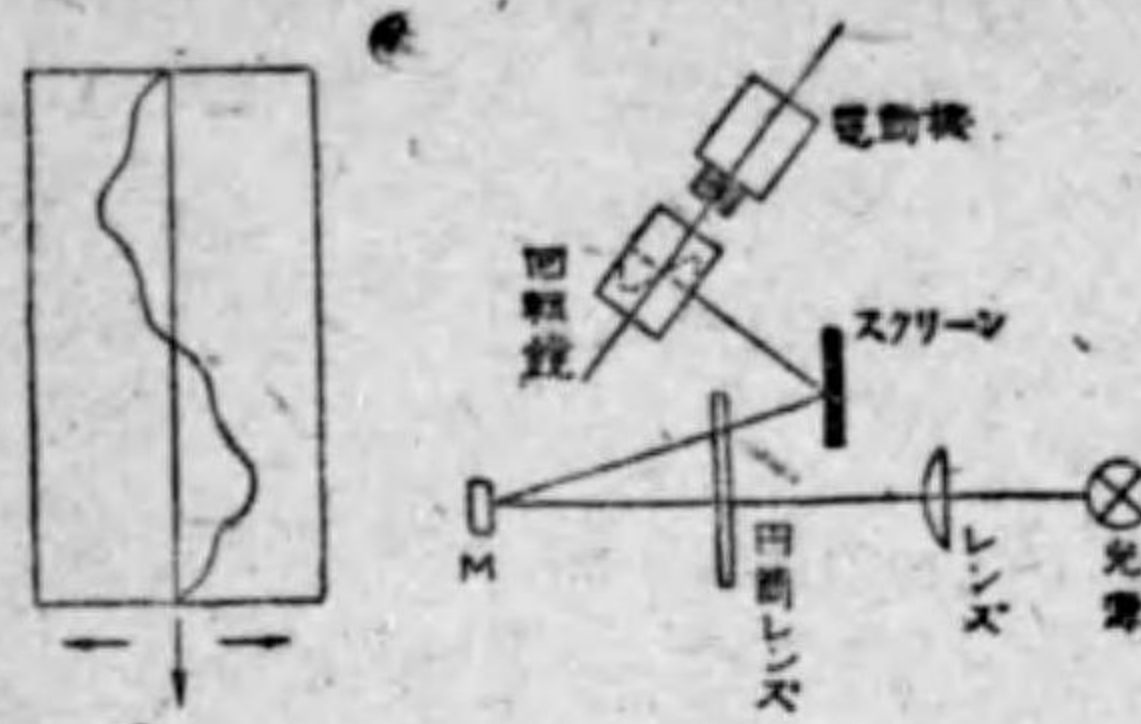
其の構造を圖示すると第 10.1 圖の如くであつて、振動型檢流計と同一原理である。



第 10.1 圖

耐久磁石 N S の間に燐青銅製の可動線輪を吊し、之れに測定電流を流す。斯くすると電流と磁極間に電磁力が働く。此の力は電流の大き及方向に依つて變化するから、可動部分…特に振動子 (vibrator) と云ふ……は電流に應じて左右に振動し、従つて可動線輪に貼付された鏡 M が振動する。此の振動子の振動を電流に應じて十分に輕快とするやうに、其の下端は滑車に巻かれ、バネ S に依つて適當な張力を受けてゐる。尙振動子の兩端に圓の如き枕を與へて、振幅を制限し、可動部分を油中に入れて使用することに依り制動力を與へてゐる。斯くて振動子の固有振動數は 2,000 サイクル以上 20,000 サイク

ル迄となり、線輪に流れる電流の大き及方向に應じ、或は大きく、或は小さく左右に振れ、其の傾角は電流に連應することになる。此の電流變化を觀測又は撮影

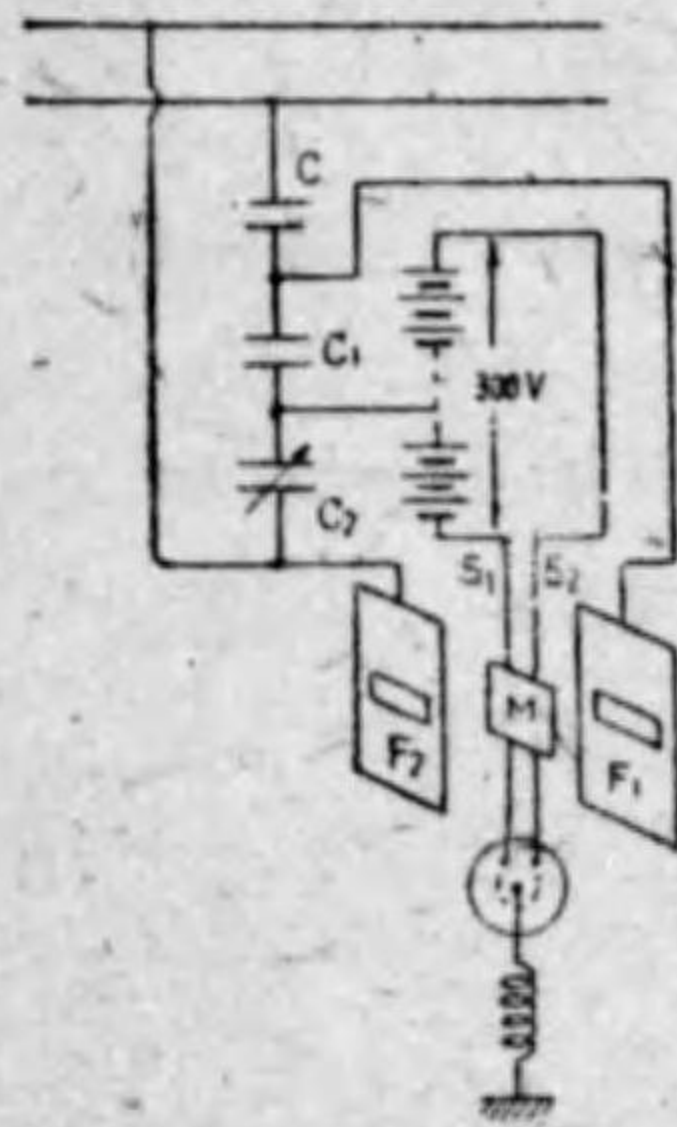


第 10.2 圖

するには第 10.2 圖の如き装置に依る光源として、自動車前照燈用の電球の如く光の集中するものを用ひ、之をレンズで更ちに集中してオシログラフの鏡面 M に當て、之を反射させてスクリーン上に當てる。此のスクリーンで左右に振動する光点を上より一定

の速度で落下する高眞フィルムに撮ると M の電流波形が撮影される。又之を觀測するにはスクリーンで今一度光を反射させて M の電流と同期的に回轉する回轉鏡に當てると、波形は靜止して見へる。
(註) 回轉鏡上の光点は次ぎ次ぎと移動するが、變化が急だから一つの波形として見へる……火をぐるぐる廻ると早く廻すと光り輪が出来るのと同様である。尙一般に振動子を 3 箇又は 6 箇設け、同時刻に變化する諸量を同一畫面に撮る。

10.3 靜電オシログラフ (electrostatic oscillograph)



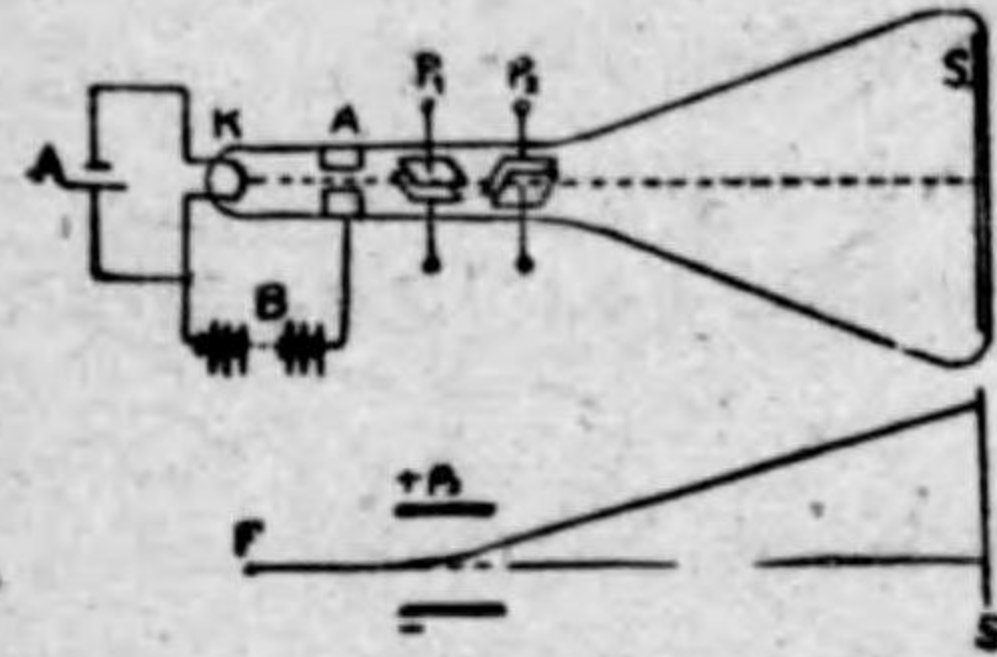
第 10.3 圖

前述の電磁オシログラフで高壓回路の電壓を撮影しやうとすれば、振動子に大きな直列抵抗を要し、電力損失を大とし、誤差も大きくなるので (直列抵抗の靜電容量の爲め) 斯様な場合に 第 10.3 圖のやうな靜電型を用ふる。即ち回路の電壓に應じて直列蓄電器 C を接続して一部分の電壓で動作させる。F₁ F₂ は平行した金屬板で、之れに其の電壓を加へる。其の中央には絶縁された平行鍍青銅線 S₁ S₂ を張り、上端を固定し、下端は絹糸で結び、滑車とバネで下方に引張る。此の平行線は補助電源に依り 300 V で充電される。従つて F₁ F₂ と S₁ S₂ 間には回路電壓に應じて吸引又は反撥力が働き M は之れに應じて振動する。今 F₁ の窓から M に光線を當て、第 10.2 圖のやうな装置に依ると回路の電壓波形が撮影される。

(註) F₂ の窓は F₁ と靜電的に對稱となるやうに F₁ の窓と同一位置に同寸法で作られてゐる。

10.4 陰極線オシログラフ (Cathode-ray oscillograph)

上述した機械的オシログラフでは可動部分に慣性があるので電現象のやうに急激に變化する過渡現象は撮影出来ない。之れに對して電子流を利用するものは慣性がないから如何に瞬間的の變化も撮影することが出来る。第 10.4 圖は最も簡單なブラウン管 (Braun tube) を利用した陰極線オシログラフである。即ち圖の如く硝子管を排氣して管内を高度の眞空とする此の内部に陰極 K 及陽極 A を設け K を A 電池で熱すると電子 (負の電荷を有する) を放出する。此の K と A 間に B なる電池に依り A に正電位を與へると、K より放出せられた電子は A の正電位に引かれて



第 10.4 圖

右方に突進する。然して其の勢が大きいから、陽極 A の中央にあけられた小穴から飛出して螢光板 S に當り螢光を發する。……此の電子流を陰極線と稱する。……陰極線の通路に電界又は磁界を與へると、電子流は負の電荷を有するから其等との間に力が働き陰極線は偏向せられる。此の P₁ 極に測定せんとする電氣値を與へ之れと直角に置かれた P₂ に時間的變位を與へると時間に應じて變化する電氣値の波形が螢光板上に畫かれる。(下圖を参照)

補講 此のブラウン管を應用するものは B 電池の電壓が低いので (300V 位) 靈敏度が高く、過渡現象を十分に撮影出来ない。其處でケノトロンで整流して 5~7 万ボルトと電壓を A K 間に加へるやうにしたのが一般に云ふ陰極線オシログラフである。

又芒光オシログラフは放電管内の瓦斯の壓力を數割に減少し、其の管内に封入された電極間に電壓を加へると陰極は芒光で發される。此の芒光の長さは放電中を通る電流の瞬時値に比例するから、芒光の長さから電壓の瞬時値が判明する。

11. 遠隔測定

11.1 遠隔測定方式 (telemetry system)

遠隔測定の原理は被測定物理量に比例した電気を発生して、之を遠方に傳送して受量側の電氣計器に被測定物理量を直讀させるものであつて、遠隔測定装置として具備しなければならない要件は、

- (i) 傳送距離に制限を受けないこと。
- (ii) 傳送回路の状況に依つて計量に誤差を生じないこと。
- (iii) 補助電源をなるべく必要としないこと。之れを用ふるとしても補助電源に依つて計量に誤差を生じないこと。
- (iv) 測定せんとする現象と計量との間に時間的遅れの無いこと。
- (v) 多重傳送を行ひ得、且つ計量の綜合が容易に行はれること。

是等の條件を満足さず遠隔測定方式は實に多種多様にあるが、之れを大別すると次の3種となる。

- ① 電流方式 ② 位相方式 ③ 周波數方式

① は計量に比例した直流(又は直流電壓)を発生させて之れを傳送する方式であるが、傳送回路で相當の電壓降下を生ずるので遠距離に傳送することは出来ない。即ち此の方式は近距離(10 km 位迄)の他は適當しない。

② は計量に比例した位相を発生させて、之れを傳送させる方式で、① に比して傳送回路の影響を受けることが少いが、傳送回路として3線を必要とするので之れも近距離の外は用ひられない。

③ は計量に比例した時限又は周波數を発生させて、之れを傳送する方式であつて、搬送式に依つて送配電線、電話線を利用することが出来、相當遠距離迄確實に傳送せられるので、一般に此の方式を用ふる。

以下是等の實例の極く簡單なもの二三に就て原理を述べることとする。

補註 測定量の傳送方式に依つて、① 直送法と ② 平衡法に分けることも出来る。

① は測定される量の變化に比例した電流を傳送して測定点の計器を指示さす方式であつて、その傳送電流を制御するのに熱起電力法、整流法、電壓降下法等がある。測定されるべき量が電力量であれば之に比例した起電力(従つて電流)を発生させてそれを電線にて傳送する。(勿論上述の電流式は之れである)

② は上述した位相式で送信側と受信側の計器を電氣的に平衡させて指示さすものであつて、平衡をとる手段としては電壓又は電流平衡式と位置平衡式とがある。その精確度は①よりも大であり、且つ途中の傳送回路の影響を受けない利点がある。

最も廣く用ひられる周波數方式を分類すると次の3種となる。

- ① 時限方式 (impulse time system) ② 衝流方式 (impulse current system)
- ③ 拍周波數方式 (beat-frequency system)

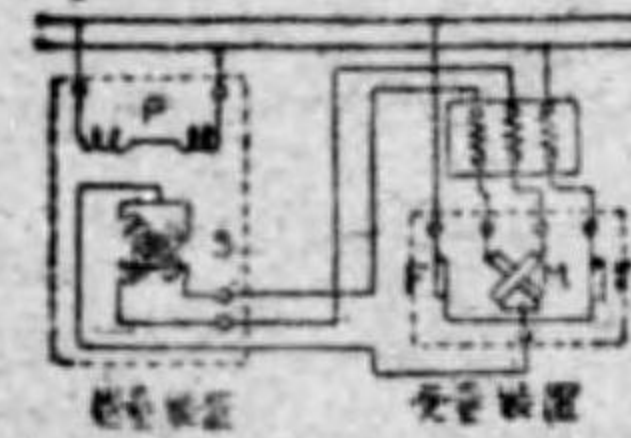
① は一定期間中計量に比例した時間だけ交流を発生させて之れを傳送し、受量側で其の時限だけの直流に直して其の平均電流を直流電流計に指示させるやうにしたものである。

② は計量に比例した周波數衝流を発生し、之れで受量側の電容器を動かして蓄電器を充電し其の平均電流で指示させる。

③ は指示計器に取付けられた可變蓄電器に依り發振周波數が指示に比例するやうにし、之れを定周波數に重畳させて拍周波を発生させて之れを搬送波で變調して傳送し、受量側に共振電流計を用ひ、其の指示で指示計器の測定量を知る。

11.2 遠隔測定方式の實例

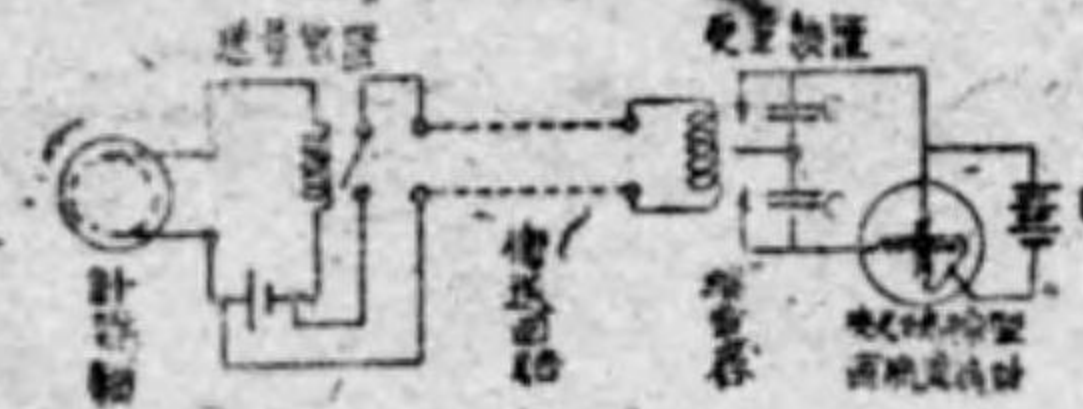
最も簡單な一例は第 11.1 圖の如くであつて、圖は位相式の一例を示す。位相式として古くから知られて居るものはセルレン電動機であつて、圖も之れと同一原理の位置平衡式の場合である。



第 11.1 圖

送量装置は單相誘導電動機と似た構造で、一次 P を單相に、二次 S を二相に巻いて居る。之れを受量装置の可動線輪 M ……互に直角とせられた2線輪に接続する ……此の受量装置は電流力型力率計(及び同期檢定器)と同一の構造を有して居つて、其の固定線輪 F は送量装置の一次 P と同一の電源に接続する。斯くして、送量側の二次回轉子 S を、指示計器の回轉軸に結んで指示に應じて移動さすと、受量装置の可動線輪 M の作る合成磁界の方向が變り、固定線輪 F の磁界の方向と一致するやうに回轉して、送量側回轉子と同一の位置となり、計器の指示が受量側で再現せられる。

(註) 前にも述べたやうに、此の方法は傳送線の電線を要して不經濟であり、又搬送式に適さない不利がある。



第 11.2 圖

第 11.2 圖は周波數方式の中でも現在最も廣く用ひられる衝流方式の一例である。此の送量側は積算電氣計器の回轉軸に取付けられた斷續器に依つて計量

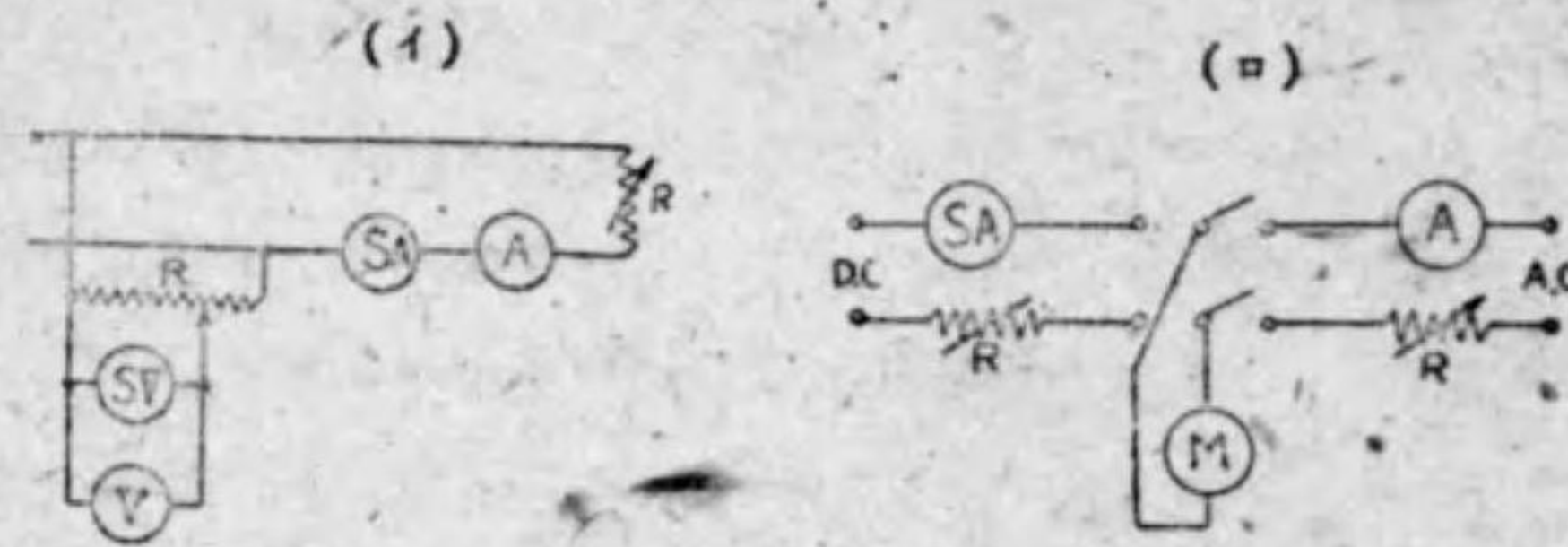
値に比例した周波数 f なる衝流を発生させ之れを傳送し、受量側で此の衝流に依つて動作する繼電器に依つて蓄電器 C を交互に充放電させ、之れを電流計に流すと平均電流 ($2fCE \dots E$ は電源電壓) となり、 f に比例した指示をする。此の E の變動の影響を除く爲めに交叉線型を用ひてゐる。

補註 此の方式では衝流周波数を大きくし得ないので低指示の時に誤差が大きく應答度が十分でないので、斷接器の代りに光電管を用ひたものも實用化されて居る。……一般に電子管を活用した方法が多い……實際上、我が國で實用化されてゐるのは極く少数であつて、之れと云つて定つた方式も推察せられてゐないし、結線が複雑となるので説明は以上の 2 例に止めて置く。

12. 計器の更正試験

12.1 電壓計及電流計の更正試験

電氣計器は最初、精度がよくとも使用年月を経ると軸受の摩擦に依る摩擦の増加、制御用鋼條の劣化、耐久磁石の老化等に依つて精度が低下して来るから、時々、標準計器と比較して誤差の程度を更正しなければならない。此の試験を更正試験 (Correction test) と云ふ。電壓計、電流計及電力計の更正試験に電位差計を用ふる方法は既に 8.4 に説明した通りで、此の方法は精密であるが、電位差計は特殊な所でないと持ち合せてゐないし、試験に手数を要するので、一般には第 12.1 圖のやうな方法を用ひてゐる。(イ) 圖に於て、R は加減抵抗器、S.A



第 12.1 圖

は標準電流計、A は被試験電流計、S.V は標準電壓計、V は被試験電壓計である。即ち電流計は標準電流計と直列とし、電壓計は標準電壓計と並列とし、加減抵抗器の抵抗を調整して種々の電流及電壓に於て兩者の読みを取ると、被試験計器の各読みに於ける更正率を求めることが出来る。

(註) 既に説明した如く

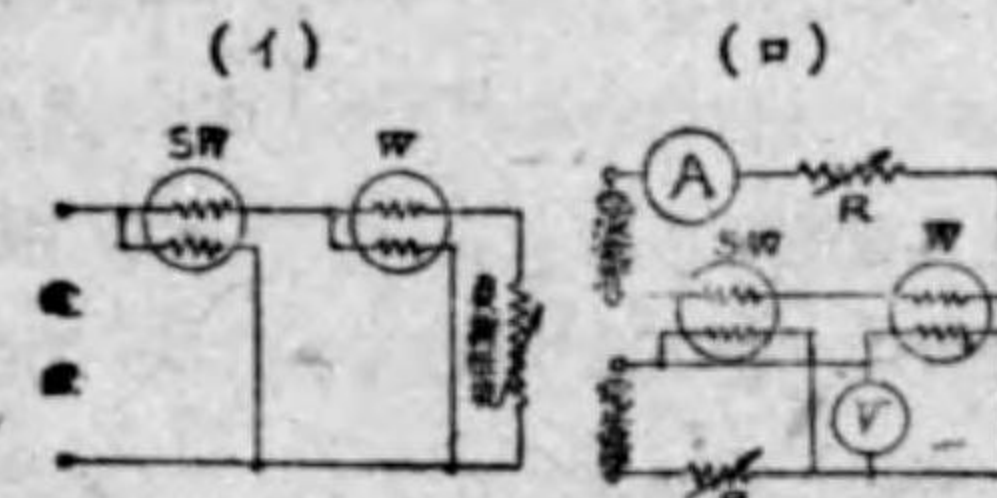
$$\% \text{更正率} = \frac{\text{標準計器の読み} - \text{試験計器の読み}}{\text{試験計器の読み}} \times 100$$

試験計器の各目盛に於ける μ の値を曲線としたものを更正曲線 (Correction curve) と云ひ、之れがあれば容易に正確な値を求めることが出来る。

交流計器で交直同一目盛のものは上記の方法で更正を行ひ得るが、目盛の異なるもの又は交流専用のものは行ひ得ない。此の時は (ロ) 圖に示すやうに交直同一目盛の計器 M を媒介として用ふる。即ち切換開閉器を直流側 (D.C) に倒して M を直流標準計器 S.A と比較更正し、次に切換開閉器を交流側 (A.C) に倒して交流計器 A を M に依つて更正する。

12.2 電力計の更正試験

電力計の更正も前と同様で、種々の電力に於て標準電力計の読みと比較して行ふ。此の場合第 12.2 圖の (イ) に示すやうに、實際の負荷電力をかける實負荷



第 12.2 圖

の場合と (ロ) に示すやうに電流線輪と電壓線輪を別箇として夫々獨立した別箇の電源から電流を流す虚負荷の場合がある。此の場合には僅かに電流線輪及電壓線輪の電力損失のみを供給すればよいのであるから、試験電源の容量は小さくす

み、経済的である。然し交流の場合に此の方法を行ふ爲めには電壓と電流間に移相器 (Phase-shifting transformer) を必要とし、之れに依つて電壓と電流間に任意の位相差を與へ得るやうにしなければならない。又誘導型電力計のやうに交流専用のものは前節 (ロ) に示したやうに、交直同一目盛の媒介計器を用ひて比較更正しなければならない。

(註) 直流電力計に於て (ロ) 圖のやうに更正せられた電壓計 V、電流計 A を讀むると μ_V を電壓計の更正率、 μ_A を電流計の更正率として

$$\text{眞の電力 } W_T = V \left(1 + \frac{\mu_V}{100}\right) \times A \left(1 + \frac{\mu_A}{100}\right)$$

μ_V 、 μ_A を 100 に比し甚だ小とすると

$$W_T \approx VA \left(1 + \frac{\Delta V + \Delta A}{100} \right)$$

$$\text{電力計の更正率 } \Delta W = \frac{W_T - W}{W} \times 100 = \frac{VA \left(1 + \frac{\Delta V + \Delta A}{100} \right) - W}{W} \times 100$$

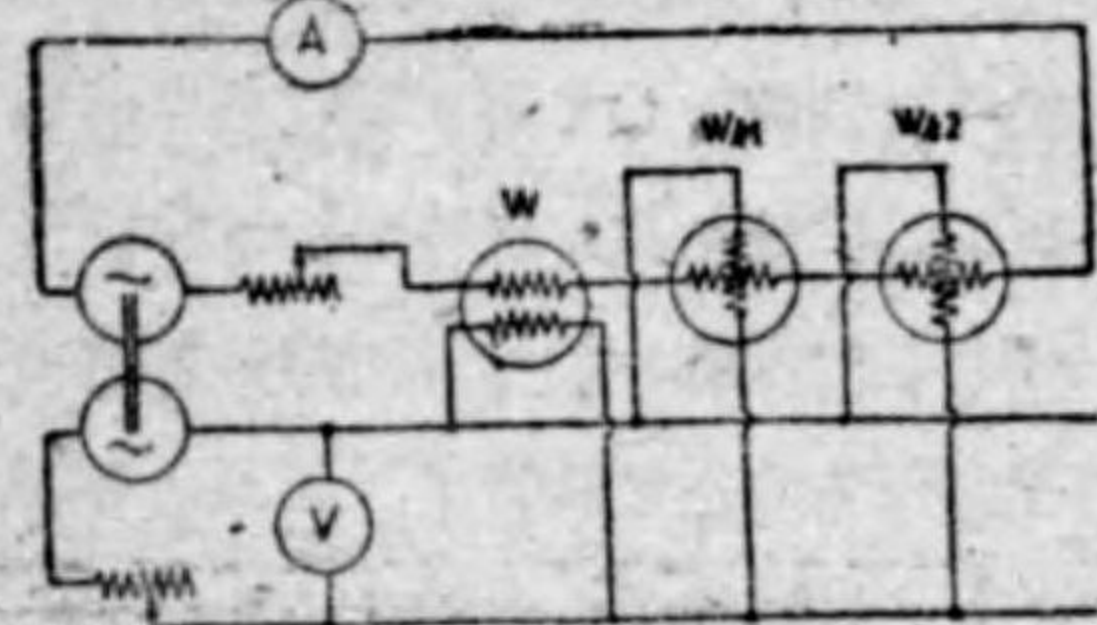
12.3 積算電力計の試験

積算電力計は電力の賣買に使用せらるゝから、特に其の誤差は小でなければならぬ。我が國では誤差の許容範囲は ±3% 以内とせられ、逓信省電氣試験所又は電氣協會で検定が行はれ、之れに合格したものでないと使用することが出来ない。

積算電力計に行はれる試験は上記の誤差試験の他に計量装置試験、定動電流試験及滑動試験等がある。以下其の要領を説明しやう。

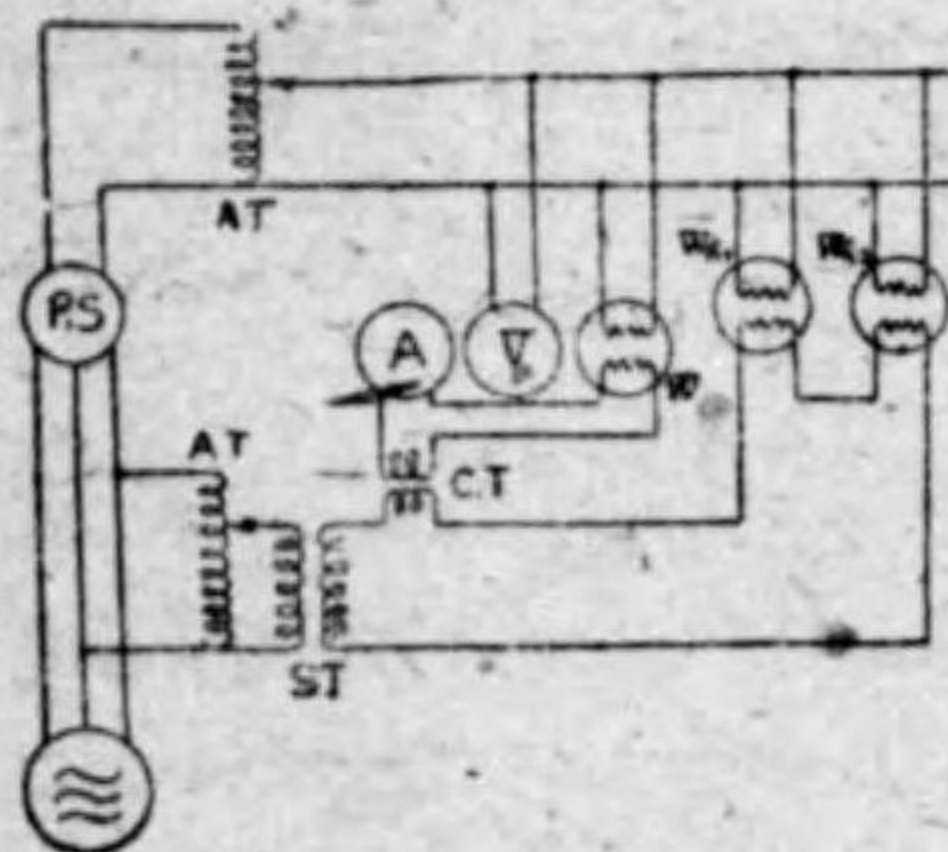
12.3.1 誤差試験

積算電力計に虚負荷を掛ける方法としては第 12.3 圖のやうな移相複流發電機を用ふる。之れは 2 台の交流發電機が直結せられ、計器の電壓及電流回路に別々に電壓及電流を供給する。此の一方の交流發電機の固定子は小型電動機に依つて任意の位置に回轉されるやうにせられてゐるので、電壓、電流間の相角を調整することが出来る。圖の W_{h1} 及 W_{h2} は



第 12.3 圖

被試験積算電力計、 W は標準電力計、 V は電圧計、 A は電流計である。



第 12.4 圖

第 12.4 圖も虚負荷装置の實例であつて、被試験積算電力計 W_{h1} W_{h2} の電流線輪を直列として摺動單卷變壓器 A.T 及昇降變壓器 S.T を通じて試験電流を流す。又其の電壓線輪を並列として摺動單卷變壓器 A.T 及移相器 P.S を經て電壓を加へる。尙 W は標準電力計であつて、可變比標準變流器 C.T に依つて電流計 A 及電力計 W 1 箇で廣範圍

の測定を行ひ得るやうになつてゐる。此の方式に依ると摺動單卷變壓器で電壓電流が微細に調整され、抵抗器で調整する場合のやうに電力損失と發熱を伴はないから電力の經濟となり、装置も小型で済む。

(註) P.S は申す迄もなく移相器で、巻線型三相誘導電動機(誘導電壓調整器)と同一原理で、其の回轉子を任意の位置で停止させて一次二次電壓間の相角を加減し得るやうな構造になつてゐる。

概、斯く負荷して積算電力計の誤差試験を行ふ方法に次の 3 種がある。

- ① 秒時計法
- ② 回轉標準器法
- ③ マスクメータ法

① 秒時計法 本方法は定電壓電源の得られる所に適し、直流で更正せられた標準電流計型電力計を用ひて一定の電力 P を與へて置き、被試験積算電力計の所定の回轉數に對する所要時間(約 100 秒位)を秒時計 (stop watch) で測定して其の誤差を算出する。

今、被試験器の計器定數 (1 kWh に對する毎分の圓板回轉數) を K_0 、計器が N 回轉するに要した時間を t 、秒とする。與へられた電力は P であるから、實際の電力は $W_0 = Pt$ ワット秒となる。然るに計器は K_0 回轉すると 1 kWh 即ち 1000×3600 ワット秒を計量するから

$$N \text{ 回轉での計量値 } W = 1000 \times 3600 \times \frac{N}{K_0} \text{ ワット秒}$$

$$\text{積算電力計の誤差 } \epsilon = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100 = \frac{3,600,000 \times \frac{N}{K_0} - Pt}{Pt} \times 100$$

② 回轉標準器法 第 12.2 圖と同一要領で、一種の標準積算電力計……之れを回轉標準器 (rotary standard) と云ふ……と被試験積算電力計を回路に同様に接続して兩者の回轉數を比較する。例へば今、被試験器が n 回轉する間に標準器が N_0 回轉したとすると

$$\text{誤差 } \epsilon = \frac{N_0 - n}{n} \times 100\%$$

此の方法に於ける回轉標準器は秒時計法に依つて豫じめ誤差が定められる。従つて前方法に對し二次的試験方法であるが、其の特長は、標準器と被試験計器が同一回路にあるから電源が多少變動しても測定結果に影響なく、現場試験だの工場試験に適する。

補講 回轉標準器は標準とする爲め、特に精密に製作せられ、秒時計のやうに回轉子に指針を附して目盛圓板上を回轉させる。目盛圓板は 100 目盛とせられ、更に指針の 10 回轉及 100 回轉毎に 1 巡する目盛を設けて、指針が何回轉したかを直讀出来るやうにして居る。又電壓線輪は 100V、200V と兩様に使用し得るやうにされ、電流線輪も切換スイッチで廣い測定範圍を有する。此の標準器の始動、停止に電壓線輪に附したスイッチに依つて行ふ。

- ④ マスタメータ法 之れは標準計器として試験される計器と同一型式、同一規格のものを用ひ（其の誤差は豫じめ秒時計法にて精密に測定されたもの）標準計器と試験計器を同一電源に依り同時に回轉させ、標準器が一定回轉（普通 10 回轉）をした後電源のスイッチを開き、同時に停止させ、各試験計器の圓板停止位置を適當な分度器（圓板の周圍を 100 等分した目盛板）で讀み取り、標準計器の回轉數との相違から誤差を求める。勿論、試験計器の實際の誤差は之れに標準器の誤差を代數的に加へたものとなる。

（註）此の場合の標準計器をマスタメータ (master meter) と云ひ、此の手法をマスタメータ法と稱する。

本方法は同一型式、同一規格の計器を一時に多數試験する必要がある計器工場又は試験所等で廣く用ひられてゐる。

補講 積算電力計の誤差は一定のものでなく、電圧、電流、力率、周波數が變化すると異つて来る（6.2.6 参照）従つて誤差試験に於ても、是等が或る程度變化しても誤差が一定の限度を越へないことを確かめる。尙波形、周圍溫度、取付方法、使用年月に依つても誤差を生ずる。

12.3.2 計量装置試験

前述の誤差試験は回轉子圓板に就て行つたのであつて、例へ其の誤差が零であつても、計量装置の齒車組合せの正否及嚙合ひの良否に依つて計量に誤差を生ずる。故に標準積算電力計と同一電源で回轉させ、標準器の最低位指針が適當の値を示す迄通電して試験器の計量誤差を見る。

12.3.3 始動電流試験

此の試験は被試験器が定格電壓、定格周波數、力率 100% に於て何アンペアの電流から動き始めるか、其の最小電流を測定するのであつて、一般に普通級計器では定格電流の 1% 以内、精密級計器では定格電流の 0.5% 以内とならねばな

らない。

12.3.4 潜動試験

之れは計器が無負荷に於て、電壓だけで回轉するやうなことはないかを確かめるのであつて、定格周波數、定格電壓の 110% に於て圓板は 1 回轉以上廻らないやうにせられねばならない。

13. 電壓及電流の測定

以上で一般的な電氣計器の一通りを説明したから、以下是等の計器を用ひて電氣的諸量を測定する實際的方法に就て記そう。

處で、項目は多く、又々連續駆足調となりそうだから、我が郷土の先輩、とう六君の寸話を御紹介申上げて、ちよつと息抜きと致そう。

とう六とは、とほうもない六文錢と云ふ處から來た紳名で、以てとう六君のとう六たる風貌が諸君にも勞働としやう。或る夕、村の青年團の寄合で獻金の話から、お寺の鐘は何貫目あるかと云ふメンタルテストになつた。我がとう六君は論より證據と云ふので 2 貫目の棹秤を持つて鐘つき堂に馳けつけたと云ふ。又姉がとう六君に「町に出たつひでに仕立物用の鯨尺を買つて來て呉れ」と依頼したのに、兒童用の曲尺と米突のついた 20 釐尺を買つて歸り、姉さんから人形の着物をこしらへるのじやあるまいしとけんつくを喰つたとも云ふ。又マラソン競争の記録を取ると云ふので運動場に柱時計をかつぎ出して來たとも聞く。ともかく世にまれなる豪傑である。我がとう六君に限らず、世に間々こんなことを平氣でやる御仁が少くない。元來、測定と云ふことは、測定物に應じて計器を撰定し、方法を工夫するのが眼目である。例へば最大目盛 100V の電壓計で蓄電池 1 箇の起電力 (2V 位) を測定しやうとて出来るものでない。従つて夫れに應じた方法を取る。又交流を測定するのに直流専用の計器を直接用ふことは出来ない。とは云ふものの、方法さへ工夫すれば或る程度の融通はつくのであつて、5A の電流計でも適當な分流器なり變流器を用ふると 10A でも 50A でも測定することが出来る。

以下に述べるのは、各種の測定に於ける標準的な方法であるが、諸君が現場で直面するとき、是等の器材の整はないこともあらうし、又目的に依つては左程精

密の結果を必要としないこともあらうから、夫々の場合に應じて利用し得る器材を巧みに用ひて測定目的を達するやう臨機應變の活手腕を工夫されたい。

13.1 電壓電流の測定方法一般

同じ電壓なり電流の測定でも、其の大きさ、周波數、電源の状況等で其の方法が異なる。其の概況を示したのが次表である。

第 13.1 表 各種電壓の測定方法

測定区分	測定方法	備考
微小電壓 直 流	真空管、抵抗、檢流計より成る電橋回路 其他檢流計、可變線輪型電壓計(ミリボルト計)電位差計	10 万 の 1 ボルト程度も測定される 檢流計は主に檢出用、電位差計では 1.5~3V 迄(抵抗分壓器なし)
電池起電力	電位差計法、置換法、等個法、ウエストン法、ワイデマン法、ラムステン法	電源より電流を取り出さない電壓測定法としては電位差計法の他に真空管電壓計がある。静電型は低電圧の測定に適しない。
交 流	整流型計器	交流電位差計は殆んど用ひられぬ
中位電壓 直 流	精密には抵抗分壓器を用ひた電位差計法 一般の直流用電壓計	電壓計の更正等に用ふ 倍率器に依つて測定範囲を變へ得る
交 流	一般の交流用、壓計	計器用變壓器に依つて測定範囲を變へ得て何萬ボルトの測定も可能である
高電壓 直 流 及 交流實効値	帯電電壓計(交流) 計器用變壓器(交)	交流では容量分壓器に依り測定範囲が擴大される 碍子型、抵抗型、リアクトル型、線纜型等
波 高 値 (最大値)	火花開閉(交流)波高電壓計(交流)回轉電壓計(交流)イオン風電壓計(交流)コロナ電壓計(交流)	衝擊電壓の最大値を測定する方法としてクリドノグラフがある
電壓波形	電磁及靜電オシログラフ 衝擊電壓には陰極線オシログラフ	高電壓の測定には電磁型に抵抗分壓器、靜電型に容量分壓器を用ふ
高周波電壓	真空管電壓計、インピーダンス降下法、陰極線オシログラフ	

上表及次表の諸方法に於て、既に説明したもの又は説明する迄もないものを除き其の概略を以下一通り説明する。

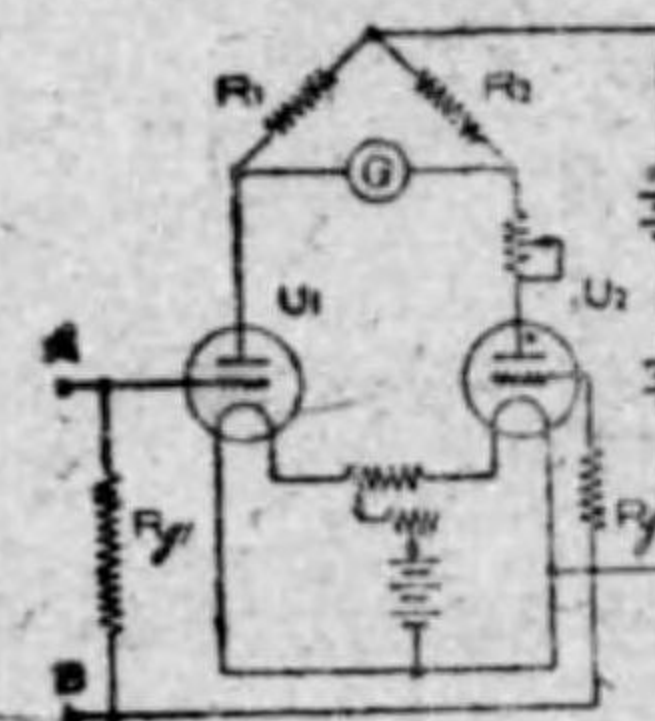
第 13.2 表 各種電流の測定方法

測定区分	測定方法	備考
微小電流 直 流	真空管、抵抗、檢流計より成る電橋回路 其他、檢流計、可變線輪型電流計(ミリアンペア計)及電位差計法	微小電流の場合と同様千萬分の1の千萬分の1アンペア迄測定される 電位差計法では標準抵抗に於ける電壓降下を測定し電流を知る
交 流	整流型計器	10億分の1アンペア迄測定される
中位電流 直 流	精密には標準抵抗器と電位差計を用ふ 一般の直流電流計	電流計の更正等に用ふる 分流器に依つて測定範囲を變へ得る
交 流	一般の交流電流計	變流器に依つて測定範囲が變へられ何萬アンペアの測定も可能
大電流 (雷電流のやうな 衝擊性大電流)	直流變流器、クリドノグラフ、波高電流計(磁銅片)	陰極線オシログラフでも測定し得る
高周波電流 閉回路の電流	熱電對及熱線電流計、整流型電流計、光電管法電壓計、電流計法	其他氣體の熱膨脹を利用する方法、電流の電磁力を利用する方法がある

補説 同じ大電流又は小電流の測定でも高電壓に於ける方法と低電壓に於ける方法では自から異なる。直流では高電壓と云つても知れて居るから一般に大電流測定には分流器を用ひ、小電流にはミリアンペア計等を用ふる。交流では高周波回路に對しては變流器を使用する。

13.2 微小電壓電流の測定

直流微小電壓及電流の測定方法の一種を示すと第 13.1 圖の如くであつて、此

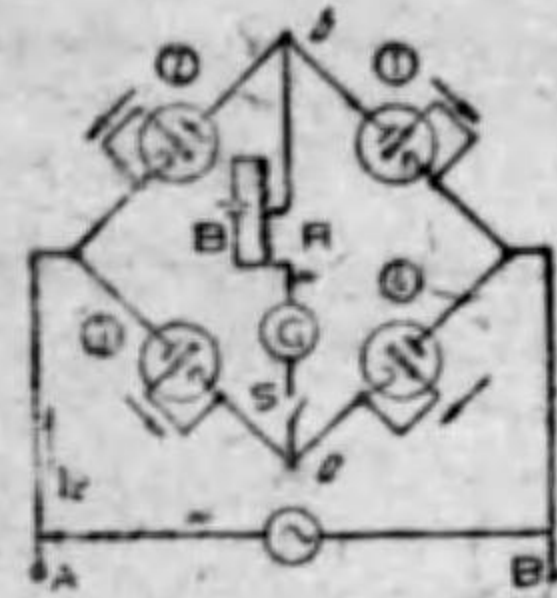


第 13.1 圖

の方法に依ると、 10^{-6} V 又は 10^{-14} A の程度迄測定し得る。即ち抵抗 R_1 R_2 三極真空管 U_1 及 U_2 を以てホイートストーン・ブリッジを作る。…… U_1 U_2 の内部抵抗が R_1 及 R_2 と對應する……先づ此の状態で G の振れを零とし、次に $A B$ 間に測定電壓又は電流を加へると、 U_1 U_2 のグリッドに電壓が加はることになり、其の内部抵抗が變化してブリッジは平衡が破れて檢流計 G は振れる。此の振れを豫め校正して置

くと、電壓及電流の値が分る。

交流微小電圧及電流を測定するには先きに述べた酸化銅整流器を用ひて交流を直流に變成して測定するが、第 13.2 圖には三極真空管の整流作用を利用したもの



第 13.2 圖

のを示した。此の方法に依ると 10^{-9} A 程度の交流が測定せらる。圖に於て、① ② ③ ④ は三極真空管であつて、G は直流檢流計、B は電池、R は抵抗、S は開閉器である。今 AB 間に交流を通すと AB の極性が如何に變化しても G の電流は ab と一定方向に流れ 3.7.2 で説明したやうに G の振れと AB 間の交流値の間には一定の関係があるから G の振れ

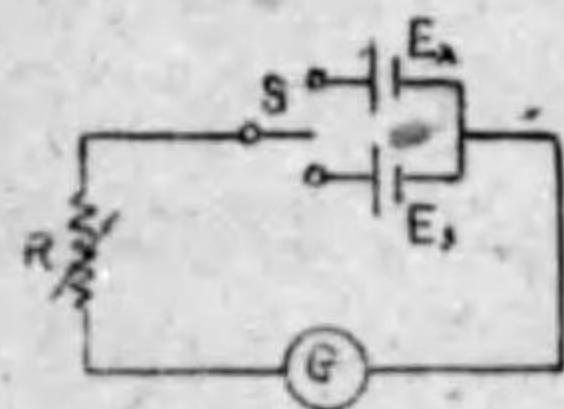
から交流の値が求められる。

(註) AB 間に交流が流れてゐない状態でも真空管線路からの電子流の爲め多少 G が振れるので、電池 B に依つて AB 間に電流のないときには G が振れないやうにする。

13.3 電池起電力の測定

最も簡単なのは適當な目盛 (1~3V 位) の電壓計で測定することであるが、之れが爲めには内部抵抗の高い電壓計を用ひねばならない。此の意味より理想的なのは電源から電流を取り出さない電位差計法で、之れに就ては既に 8.2 に説明したから、以下夫れ以外の比較的簡単な方法を説明することにしよう。

① 置換法 (substitution method) 第 13.3 圖の如き接続にて S を供試電池 E_x 側に入れた時の檢流計の振れを d_1 、標準電池 E_s 側に S を入れた時の檢流計の振れを d_2 とすると R を直列抵抗、G を檢流計の抵抗として



第 13.3 圖

$$d_1 = K \frac{E_x}{R+G} \quad d_2 = K \frac{E_s}{R+G}$$

(檢流計の振れは電流に比例する)

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{E_x}{E_s} \quad \therefore E_x = \frac{d_1}{d_2} E_s$$

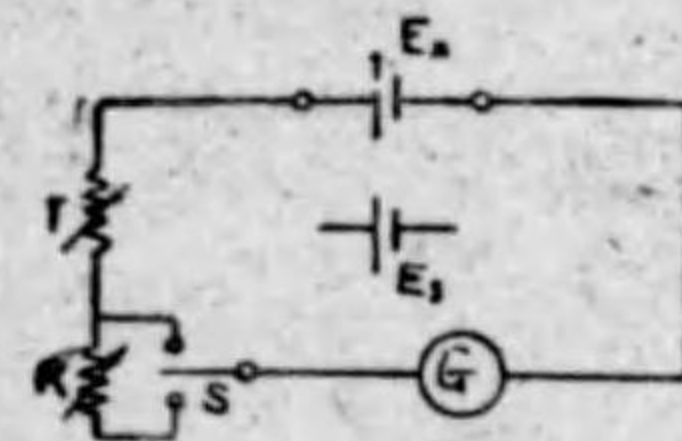
として求める事が出来る。此の測定では電池より電流を取る爲起電力に變化を生ずるので、……最も大きいのは内部抵抗に依る影響……R を成る可く大とし電流を制限すると共に、感度大なる檢流計を使用して微小電流にても正確に振れの讀み取れる様にする事が肝要である。

② 等偏法 (equal deflection method) 前の第 13.3 圖に於て S を E_x 側に入れた時の G の振れを d とし、その時の直列抵抗値を R_1 とする。次に S を E_s 側に入れて R を變化して R_2 とした時 G の振れが前と同一の d になつたとすると、此の兩場合の電流が相等しい譯であるから

$$\frac{E_x}{R_1+G} = \frac{E_s}{R_2+G} \quad \therefore E_x = \frac{R_1+G}{R_2+G} E_s$$

として電池起電力が求める事が出来る。

③ ウェストン法 (Weston method) 第 13.4 圖の如き接続に於て S を上側に入れると G の振れが d_1 であり、下側に入れると G の振れが d_2 となつたとする。次に E_x と E_s を取り換へ S を上側に入れた時前と同様に d_1 を得る爲に r を r' に變化し、S を下側に入れた時に d_2 を得る爲に R を R' に變化したとすると次式が成立つ。



第 13.4 圖

$$d_1 = K \frac{E_x}{r+G} = K \frac{E_s}{r'+G} \quad d_2 = K \frac{E_x}{G+r+R} = K \frac{E_s}{G+r'+R'}$$

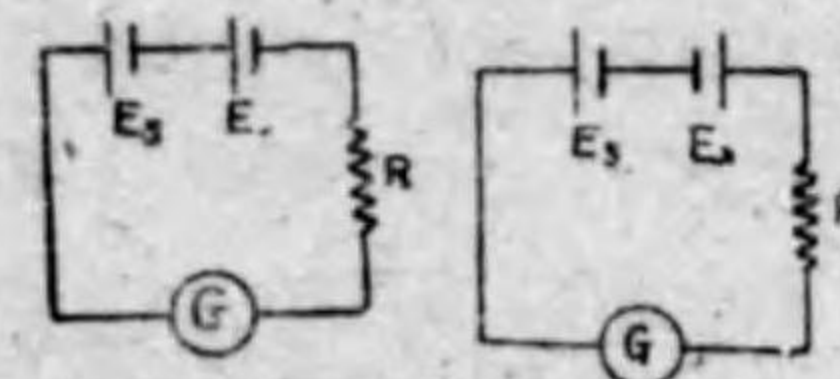
$$\therefore \frac{E_x}{E_s} = \frac{G+r}{G+r'} = \frac{G+r+R}{G+r'+R'} = \frac{R}{R'}$$

$$\therefore E_x = \frac{R}{R'} E_s$$

(註) $\frac{E_x}{E_s} = k$ とすると $G+r = k(G+r') \dots (1)$ $(G+r+R) = k(G+r'+R') \dots (2)$

(2) 式の兩邊より (1) 式の兩邊を引くと $R = kR'$ $\therefore k = R/R'$ となる。

④ ウィーデマン法 (Wiedemann method) 第 13.5 圖 (甲) の如く E_x と E_s を結んだ時の G の振れを d_1 とし、(乙) の如く逆方向にした時の振れを d_2 とする。



第 13.5 圖

(甲) の時は起電力は $E_s + E_x$ となるが (乙) の時は

$E_s > E_x$ ならば d_2

$E_s < E_x$ ならば $-d_2$

(- は振れの方向逆なるを示す)

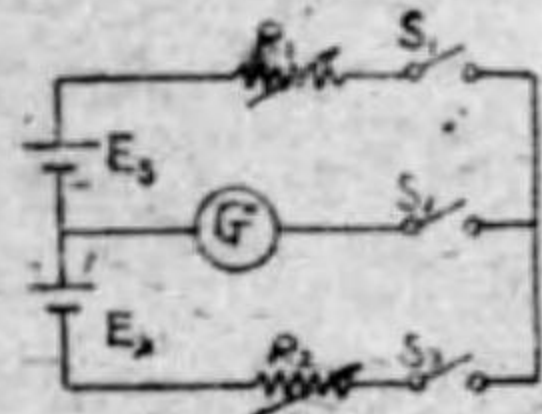
今 $E_s > E_x$ の時をとると

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{E_s + E_x}{E_s - E_x} \quad \therefore d_1 E_s - d_1 E_x = d_2 E_s + d_2 E_x$$

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

として求められる。

④ ラムステン法 (Lumsden's method) 第 13.6 圖の如き接続に於て S_1



第 13.6 圖

S_1 を閉じて G の振れを読み、之を d_1 とする。次に S_1 を開いて S_2 を閉じ R_2 を加減して G の振れが d_1 になる様にする。そうすると、 E_s に依る電流と E_x に依る電流は相等しくなつてゐるから S_1 を閉ぢても G には電流が流れない。即ち $E_s \rightarrow R_1 \rightarrow R_2 \rightarrow E_x \rightarrow E_s$ なる回路に i なる電流が流れるのである。故に

$$E_s = iR_1 \quad E_x = iR_2 \quad \therefore E_x = \frac{R_2}{R_1} E_s$$

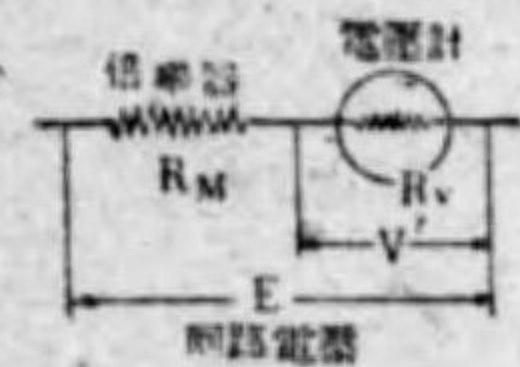
として求められる。

13.4 中位電圧及電流の測定

最も精密なのは抵抗分壓器或は標準抵抗器を用ひた電位差計法であつて、之れに就ては既に第 8 章 8.2, 8.3, 8.4 に述べたから重ねて申さない。又電圧計、電流計に於て直流では倍率器及分流器を用ひて測定範囲が擴大され、交流では計器用變壓器及變流器に依つて何萬 V 何千 A でも測定し得ることは、夫々説明をした。此のことは吾々として最も多く取扱ふ事柄であるから、今一應其の要点をくり返すことにしよう。

13.4.1 倍率器 (multiplier) 及分流器 (shunt)

電圧計の測定範囲を擴大する方法として最も一般的に用ひられるのが倍率器で



第 13.7 圖

あつて、之れはマンガーン線抵抗で、之れを電圧計と直列に使用する。今、第 13.7 圖に於て、倍率器の抵抗を R_M 、電圧計の内部抵抗を R_V とすると、回路電圧を E として

$$\text{電圧計に流るゝ電流 } i_V' = \frac{E}{R_M + R_V}$$

電圧計の最大目盛を V とすると、許容し得る電流は $i_V = V/R_V$ となる。……之れ以上の電流が流れると、電圧計は振り切れ 1.25 倍以上の電流になると焼損する……従つて回路電圧 E を測定し得る爲めには $i_V' = i_V$ なるを要する。

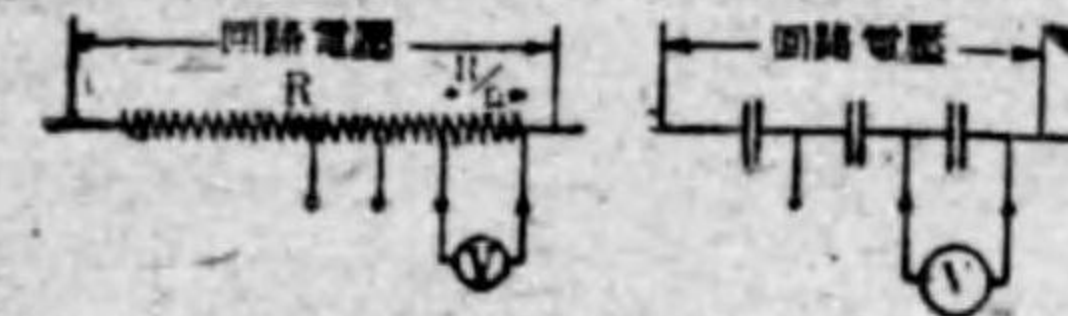
$$\frac{E}{R_M + R_V} = \frac{V}{R_V} \quad E = V \times \frac{R_M + R_V}{R_V} = nV$$

此の n を倍率と云ひ、倍率器を用ふると測定範囲が n 倍に擴大せらるゝことを示す。

補講 静電型電圧計を交流回路に用ふるときは、直列蓄電器に依り、測定範囲が擴大される。(3.5.3 参照) 今、電圧計の目盛を V 、其の静電容量を C_V 、直列蓄電器の静電容量を C_M とすると

$$(E - V)C_M = VC_V \quad E = V \frac{C_M + C_V}{C_M} = nV$$

尙、電位差計、静電型電圧計及真空管電圧計のやうに、電流を取らないものの測定範囲を擴大するには第 13.8 圖 (イ) のやうな抵抗分壓器 (resistance type potential divider) 又は (ロ) のやうな容量分壓器 (capacity type) を用ふ



第 13.8 圖

る。即ち回路電圧の一部 (電圧降下) を測定して全電圧を求むる。

(註) 此の際電圧計が電流を取ると、例へば、(イ) では V の読みを n 倍したものが回路電圧とならない。何となれば、此の部分の抵抗は R/n と V の内部抵抗の合成となるからである。

幾つかの電圧計を直列とすれば、其の測定範囲は擴大せられるが、一般に各電圧計の目盛の和とならない。……各電圧計目盛の和の電圧が測定せられる爲めには (各電圧計の最大目盛) \div (内部抵抗) 即ち最大目盛に相當する許容電流が等しくなければならぬ……。例へば最大目盛 V_1 、内部抵抗 R_1 なる電圧計と、最大目盛 V_2 、内部抵抗 R_2 なる電圧計を直列に接続したとき

$$\frac{V_1}{R_1} > \frac{V_2}{R_2} \quad \text{とすれば}$$

此の回路には V_2/R_2 以上の電流を流し得ない。此の時の V_2 の指示は V_2 で V_1 の指示は電流に比例し

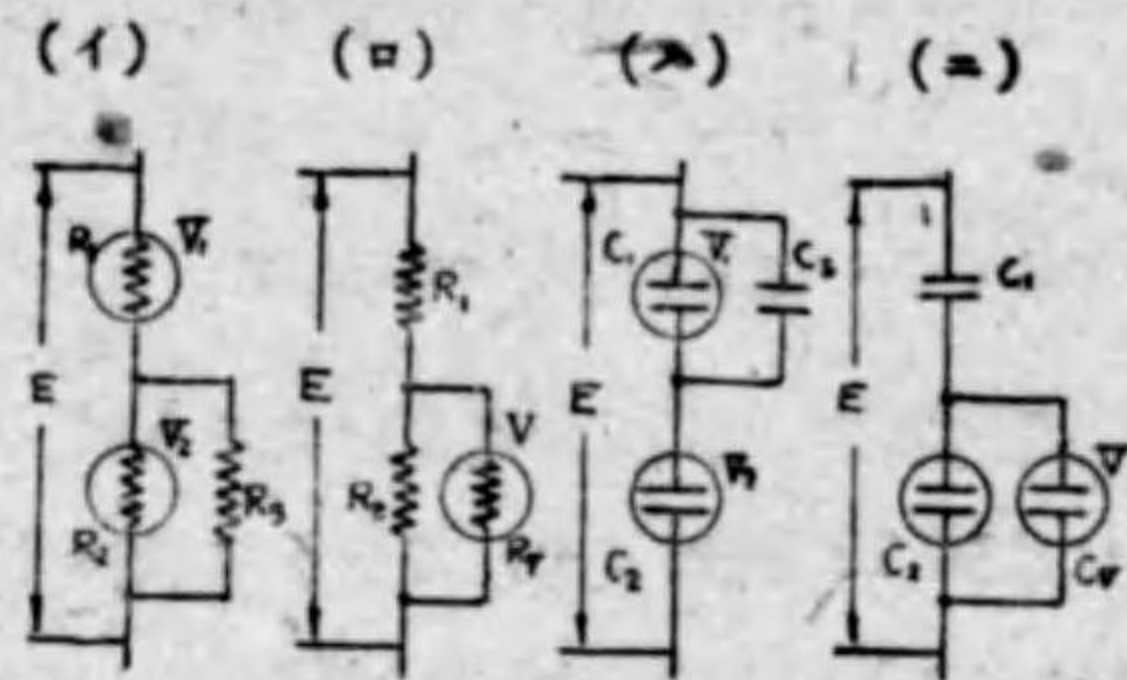
$$V_1' = V_1 \times \frac{V_2/R_2}{V_1/R_1} = V_2 \frac{R_1}{R_2}$$

測定電圧 $E = V_2 + V_1' = V_2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$

同様に $\frac{V_1}{R_1} < \frac{V_2}{R_2}$ とすると $E = V_1 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$

$\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2}$ とすると $E = V_1 + V_2$ となる。

補題 $\frac{V_1}{R_1} > \frac{V_2}{R_2}$ の時、兩電圧計の目盛の和を測定し得るやうにするには第 13.9 圖の (イ) に示すやうに V_2 に並列抵抗 R_s を接続する。



第 13.9 圖

斯くて、此の R_s に $\left(\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2}\right)$ が流れるやうにする。

即ち R_s の値を $R_s = \frac{V_2}{\frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2}{R_2}}$ と撰定すると

$E = V_1 + V_2$ と測定せられる。

又 (ロ) 圖のやうに接続したときの測定電圧は

$E = V + \left(\frac{V}{R_v} + \frac{V}{R_2}\right)R_1 = V_1 \left(1 + \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_2}\right)R_1\right)$

上式の如くなる。

上述のことは静電型電圧計の場合にもあてはまるのであつて、目盛 V_1 静電容量 C_1 なる電圧計と目盛 V_2 静電容量 C_2 なる電圧計を直列として $(V_1 + V_2)$ なる電圧を測定し得る爲めには $q_2 = q_1$ $C_2 V_2 = C_1 V_1$ でなければならない。今 $C_1 V_1 < C_2 V_2$ とすると C_1 に C_s を並列として之れに $q_2 - q_1 = C_2 V_2 - C_1 V_1$ なる電量が貯へられるやうにする。即ち

$C_s = \frac{q_2 - q_1}{V_1} = \frac{C_2 V_2 - C_1 V_1}{V_1}$

とすると $E = V_1 + V_2$ と測定し得る。

尙 (ニ) 圖のやうに接続したときの測定電圧は次式のやうになる。

C_2 の電量 $= C_2 V$ $= C_1$ の電量 $q_1 = C_2 V + C_v V$

$E = V + \frac{q_1}{C_1} = V + \frac{C_2 V + C_v V}{C_1} = V \left(1 + \frac{C_2 + C_v}{C_1}\right)$

電流計で回路の電流を測定するに際して、分路を作つて回路電流の一部を測定するやうにすれば測定範囲を擴大することが出来る。此の分路を分流器と云ふのである。又他方より云ふと、計器の可動部分は之れを軽くする必要から、一般に、3~10 ミリアンペア位に制限せられるので、之れ以上の電流を測定する場合はどうしても分流器を用ひねばならない。分流器は普通マンガエン、コンスタンタン等の帯形抵抗板又は棒を用ひ、大電流用には是等を數箇並列として間隔を適當にして放熱をよくするやうに工夫される。今電流計の抵抗を R_A 、其の最大目盛を A とすれば I なる電流を測定する爲めに用ふべき分流器の抵抗 R_s は

兩端の電圧が $A R_A$ R_s の電流 $(I - A)$

R_s の大小 $R_s = \frac{A R_A}{I - A}$

此の式を變形すると $I R_s = A (R_A + R_s)$

従つて $I = A \frac{R_A + R_s}{R_s} = n A$

此の n を分流器の倍率と云ふ。

換言すると、倍率 n を得るには

$R_s = \frac{A R_A}{n A - A} = \frac{R_A}{n - 1}$

なる抵抗の分流器を用ひねばならない。

次に幾つかの電流計を並列として、全測定電流が各電流計の目盛の和となる爲めには、各電流計に於ける (最大目盛電流 \times 抵抗) 即ち其の電圧降下 (端子電圧) が相等しきを要する。……此の値は一般に 50~60 mV の範圍である……。今假に、最大目盛 A_1 、内部抵抗 R_1 及最大目盛 A_2 、内部抵抗 R_2 なる 2 箇の電流計に於て $A_1 R_1 > A_2 R_2$ とすると、之れを並列に使用したとき、其の端子電圧は $A_2 R_2$ 以上とすることが出来ない。……すれば A_2 は振り切れ (scale over) 甚じいと A_2 を焼損する……此の時の A_2 の読みは $A_2 R_2 \div R_2 = A_2$ であつて、他方

A_1 の電流 A_1' は $A_1' = \frac{A_2 R_2}{R_1}$

測定し得る電流 I は

$$I = A_1 + A_1' = A_2 + \frac{A_2 R_2}{R_1} = A_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \text{ となる。}$$

補講 ① 倍率 n は整數にせられ、倍率器を計器内に自蔵して居るが、配電用計器で 750, 1500, 3000V 用等は計器の外部に置いて居る。又分流器も小さいものは計器内に自蔵して居るが、大電流又は二重目録のものは外部に設け回路用端子と計器用端子の 4 端子を有して居る。極く特殊なものとして、分流器と内部抵抗の大きいミリボルト計を組合して大電流用の電流計としてミリボルト計に電流目盛をしたものがある。

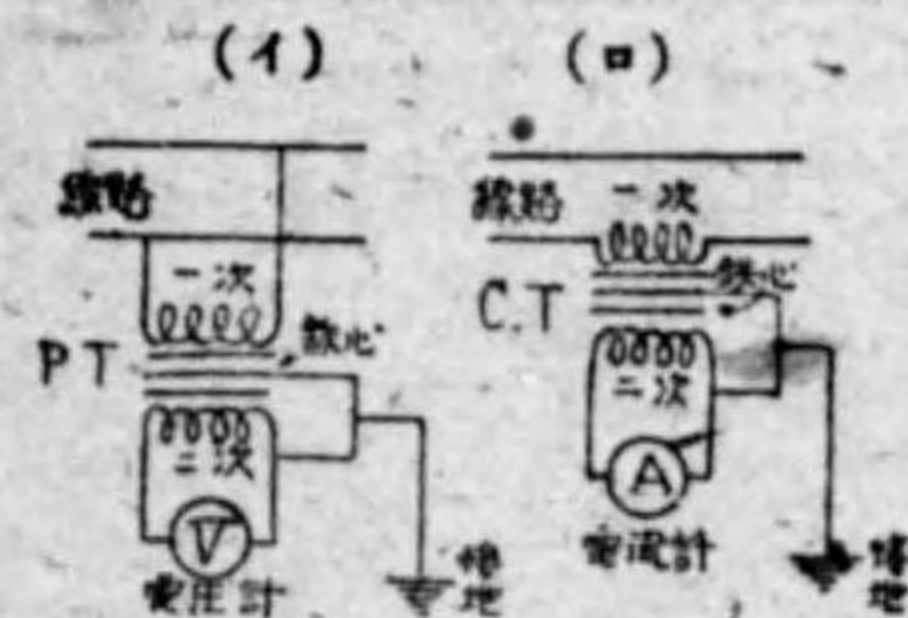
② 不完全な蓄電器を用ふると漏洩電流と電力損失の爲めに倍率通りにならぬことがあるから特殊な場合には豫じめ更正して置かねばならぬ。

13.4.2 計器用変壓器ポテンシャル トランスフォーマー (potential transformer) 及變流器カレント トランスフォーマー (current transformer)

交流回路の測定には高電壓大電流の場合が直流の場合よりも多い。是等の高電壓回路に直接計器を接続して人が觸れることは危険である。従つて計器を高電壓回路と絶縁することが望ましい。又交流回路では倍率が周波數及波形の影響を受けるので分流器等を用ふることは不可能である。

(註) 分流器を交流回路に用ひたとき、電流分布はインピーダンスの比となる。然るに電流計にはインダクタンスを含むから周波數に依つてインピーダンスが相違し、電流分布が一定しない。兩回路の抵抗とインダクタンスの比を一定とすればよいが、實際製作上、左様なことは行ひ得ない。故に交流回路には分流器は用ひられぬ。

計器用變壓器 (略して P.T. … ビーティ … 又はボットと云ふ) 及變流器 (略して C.T. … シーティ … 又はカートと云ふ) は此の目的に對し十分なる満足を與へる。



第 13.10 圖

と一次電壓が測定される。……一次二次巻線の太さは配電用變壓器と異つて、細くせらるゝので小型であり、勿論自冷式である。3300V 級は乾式であるが、夫れ以上のものは油入とせられる。然し最近は磚子型等、油を用ひないものも高い電壓に使用される……。一次電壓と二次電壓の比は巻數比となると云つたが、實

第 13.10 圖 (イ) は P.T. を (ロ) は C.T. を示す。P.T. は普通の配電用變壓器と同様で、一次電壓と二次電壓の比は殆んど一次線輪と二次線輪の巻數に等しいから、其の二次電壓 (一般に 100 又は 110V … 110V が多く、一次電壓に應じて巻數比を定める) を電壓計 V (150V のものでよい) で測定する

際は勵磁電流抵抗及リアクタンスに依る電壓降下があるので、一次電壓と二次電壓との比は一定でなく、従つて一次電壓の高低に依つて變壓比は一定でなくなる變壓比を能ふ限り一定とするには鐵心の磁束密度を低く取らねばならない。勿論斯様にすると鐵心の容積を増し、大型高價となるから、其の程度にも自から限度がある。

(註) 今電壓計の讀みを V、電壓計の誤差を $\epsilon_V\%$ 、P.T. の公稱電壓比を n、其の誤差を $\epsilon_P\%$ とすると

$$\text{一次電壓の眞値 } E_1 = \frac{V}{1 + \frac{\epsilon_V}{100}} \times \frac{n}{1 + \frac{\epsilon_P}{100}} = Vn \left(1 - \frac{\epsilon_V + \epsilon_P}{100}\right)$$

又 P.T. の二次側に一次の高電壓が漏電しても危険のないやうに、二次回路の一端子と鐵心を接地する。

次に變流器は普通の變壓器と餘程形が異つて來る。即ち一次巻線の巻回数は 1 巻又は 2 巻位にせられ、二次回線を數多く巻く。此の一次を回路に直列とし、二次側に電流計を接続する。一次と二次の電流比は巻數比の逆となる筈であるが、實際は勵磁電流の爲め比誤差を生ずる。

(註) 電流計の讀みを A、電流計の誤差を $\epsilon_A\%$ 、C.T. の公稱變流比を n、其誤差を $\epsilon_C\%$ とすると

$$\text{一次電流の眞値 } I_1 = \frac{A}{1 + \frac{\epsilon_A}{100}} \times \frac{n}{1 + \frac{\epsilon_C}{100}} = An \left(1 - \frac{\epsilon_A + \epsilon_C}{100}\right)$$

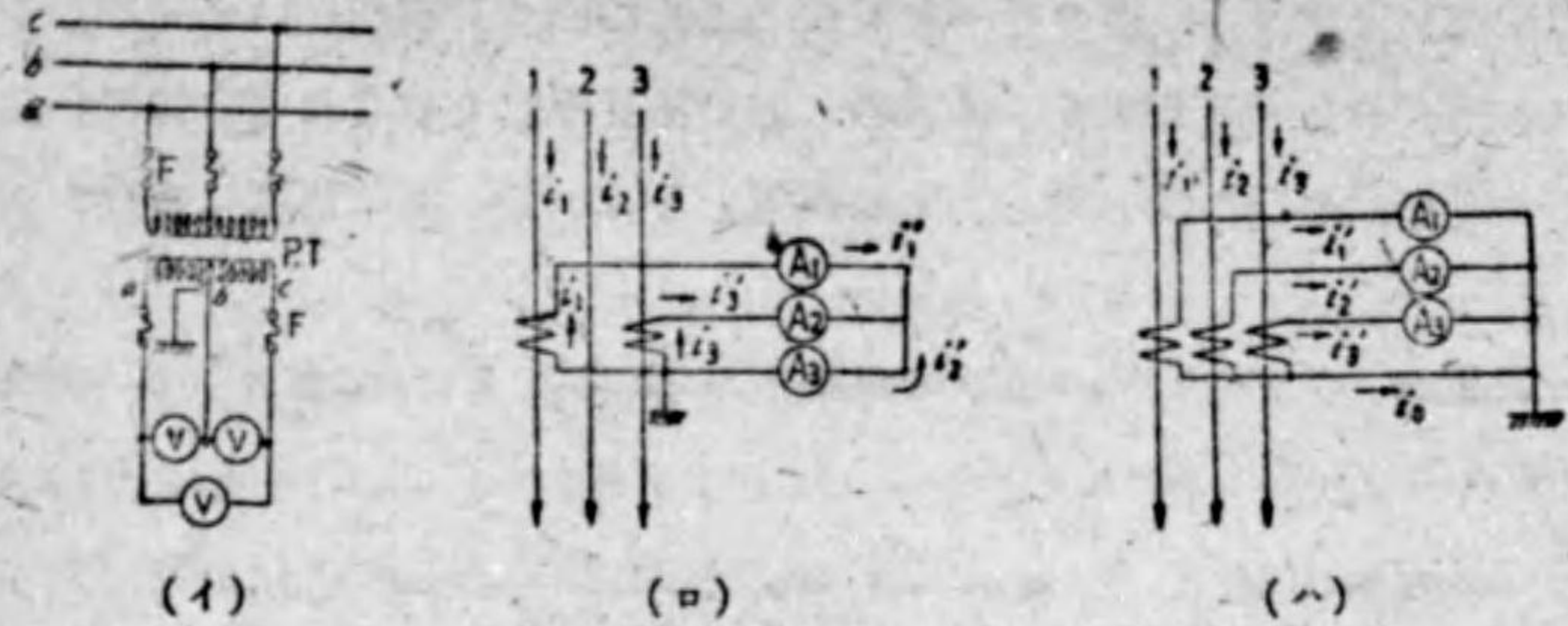
普通 C.T. の二次電流は 5A とせられ、一次電流に應じ n が定められるから電流計としては 5A のものでよい。變流器の取扱ひに於て、使用中は絶対に二次回路を開かないことで、電流計を取り外すときは短絡して置かねばならない。

補講 一般に變壓器の一次、二次の磁束は互に打ち消し合ふ。P.T. で二次を開路すると二次電流に相當する一次電流は流入しなくなり、鐵心内には依然として勵磁電流に相當する磁束のみがある。然るに C.T. では二次電流が零となつても一次回路の電流は回路が開かれない限り流れて居るから、此の電流に依り莫大な磁束が鐵心内に生じ……二次電流が流れると之れを打ち消す……鐵損は増加し、變流器の温度を上昇して線輪を焼損する。又二次誘起電壓が大となつて感電危険を生ずる。

尙 P.T. の場合と同様に鐵心と二次回路の一端子を接地する。

是等の C.T. 及 P.T. を用ひて三相回路の電壓電流を測定する接続法を示すと

第 13.11 圖の如くであつて、(イ) は P.T. 2 箇を用ひて V 接続とし、各線間



第 13.11 圖

電壓を 3 箇の電壓計 (或は 1 箇の電壓計で切換栓を設ける) で測定する場合を示す。(ロ) は三相三線の電流が $i_1+i_2+i_3=0$ なるとき $i_2' = -(i_1'+i_3')$ より 2 箇の C.T. と 3 箇の電流計で三線の電流を測定する場合である。(ハ) は $i_1+i_2+i_3=0$ の場合の測定法である。

13.5 高電圧及大電流の測定

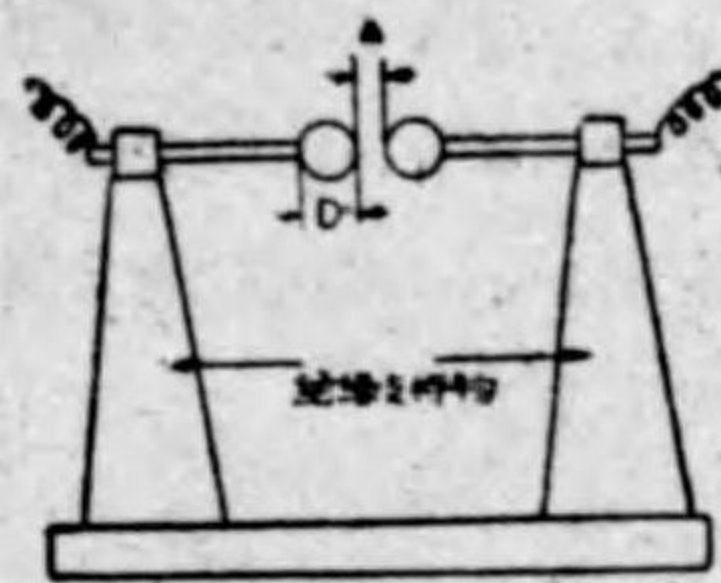
静電電圧計及計器用變壓器に依る實効値の測定に就ては既に述べたから、次に波高値の測定に就て記す。

13.5.1 交流電壓波高値 (peak value) の測定

交流電壓の波高値を知りたい場合が少くない。例へば絶縁耐力試験に於ける絶縁破壊は電壓の實効値に依るのでなく最大値に依るから、此の最大値(波高値)を測定しなければならない。交流が純正弦波であれば實効値を測定して夫れを $\sqrt{2}$ 倍すれば最大値となるが、絶縁耐力試験等では例へば電源の電圧が正弦波でも破壊電壓の波形が相當に歪んで来る。従つて直接に波高値を測定する方法に依らねばならない。次に此の波高値の測定法を記す。

① 火花間隙 (spark gap) に依る方法 之れは絶縁耐力試験等に於ける高電壓の波高値測定に採用せられる方法で、簡單で實用的である。(50 kV 以下には針狀電極が以上には球狀電極が用ひられる 今 空氣中に 2 箇の電極を相對立して置き、其の兩極に電壓を加へ、其の値を徐々に増加すると、遂に兩極間の空氣の絶縁が破壊せられて、兩電極間に火花放電 (spark discharge) を發生する。此の火花放電は電壓の最大瞬時値に依つて生じ、其の値は湿度、氣壓、湿度、電極の

形状が一定であると、電極間の距離に比例する。……火花距離が一定なら火花電壓 (sparking voltage) も一定である……。逆に火花放電をした距離を測定すれば加電壓の最大値が定められる。電極には針狀のもの及球狀のものが多く使用せられる。後者を示すと第 13.12 圖の如くである。圖に於て A は間隔長 D は電極の直徑であつて、兩者の比 A/D を 1 以下に撰定する。商用周波數 (50 Hz とか 60 Hz の普通の周波數) に於て、A が 30~300 種の範圍では火花放電電壓 V_{max} は A に直線的に比例し



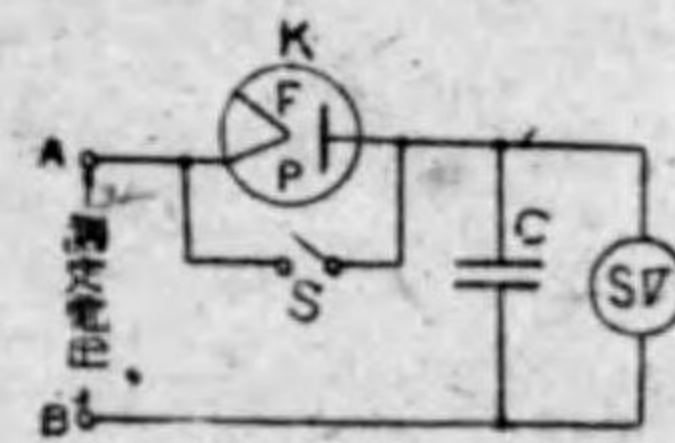
第 13.12 圖

$V_{max} = 18.4 + 5.01 A$ (キロボルト)

(註) ① 實効値では $V_{eff} = 13 + 3.55 A$ (キロボルト) である。

② 球の直徑 (種) は 2, 5, 6.25, 10, 12.5, 15, 25, 75, 100 等が用ひられ、測定電壓が高くなる程直徑の大きいものを採用する。球の表面は常によく磨いて置くこと。

③ 波高電圧計 (crest voltmeter) に依る方法 第 13.13 圖は其の一種を示すものであつて、K はケノトロン (kenotron) ……



第 13.13 圖

二極真空管で織條 F は別の電源で加熱される。電流は陽極 P より F の方向にのみ流れる……C は静電蓄電器、S.V. は静電電圧計である。此の接続で S を入れると S.V. は測定電壓の實効値を示す。S を開くと C は整流された電壓で充電され、此の充電電壓は A, B 間に加へられた測定電壓の最大値に保たれ、静電型電圧計は蓄電器の充電電壓即ち測定電壓の最大値を示す。従つて S を開閉して波形率が定められる。此の測定法は火花間隙法のやうに外界の影響を受けず直讀式で簡單である。然し装置としては高價になり、K は測定電壓の最大値の 2 倍に耐へねばならない。

(註) 更らに高い電壓を測定する場合には静電分壓器を用ふる。其の他の波高電圧計に就ては『電氣技術講座』第二卷 P198 以下を参照

④ コロナ電圧計 (corona voltmeter) に依る方法 導体に電壓を加へ、其の値を増加して行くと、先づ導體周囲の空氣の絶縁が破れ發光する。此の導體を包む薄い發光を暈光放電 (glow discharge) と云ひ、更らに電壓を増すと刷子狀

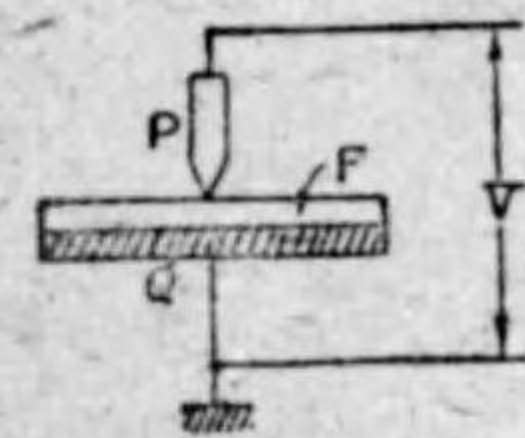
の数多の光條を爲して放電する。之れを芒光放電 (brush discharge) と云ひ、此の兩者を總稱してコロナ放電 (corona discharge) と稱する。申す迄もなく電壓を更らに増加すると遂には電弧放電 (arc discharge) となり、電極間は火花連絡 (spark over) する。

扱、圓形導体の表面を清掃して、周圍狀態を一定とすると、コロナの發生電壓は一定である。従つて、目視してコロナの發生を知り、又はコロナに依つて其の部分の空氣が導電性を帯ぶることより逆にコロナの發生を知ると、電壓の最大値を定めることが出来る。斯く作られたのがコロナ電壓計である。

(註) 構造は上記の書 P196 以下を参照

高價な割合に正確でなく、測定も面倒である。

① クリドノグラフ (klydonograph) に依る方法 第 13.14 圖の如く、平

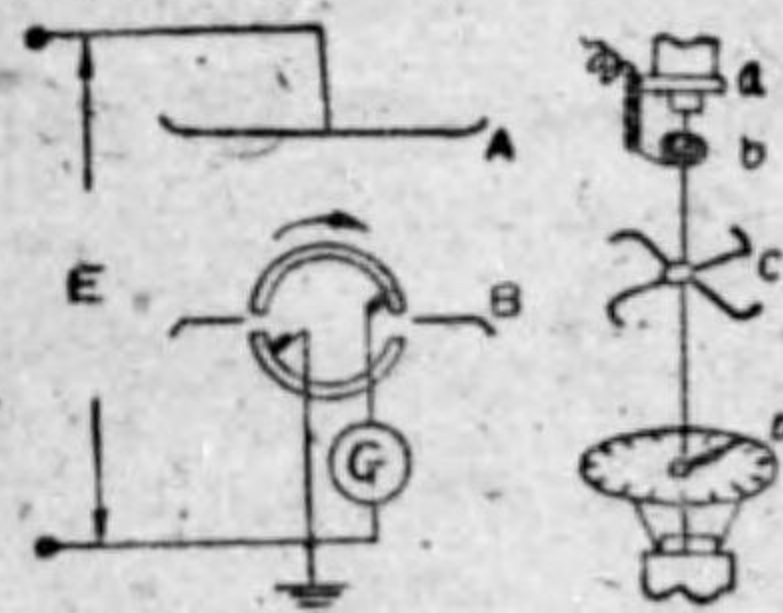


第 13.14 圖

面金屬電極 Q の上に乾板 F を置き、其の上に針狀電極を裝置して P, Q 間に電壓 V を加へると、電壓の種類及大いさに依つて乾板上に異つた圖形を得る。此の乾板を現像して得らるゝ放射狀の圖形の直徑は V の最大値と一定の關係にあるから、圖形の直徑から逆に電壓の最大値を知ることが出来る。乾板の代りにフィルム

A を用ひ、時計仕掛に依つて回轉し得るやうにして、送配電線に結んで置くと、是等に起つた異常電壓、雷電壓等が測定せられる。

補註 其の他、回轉電壓計は第 13.15 圖 (イ) の如く、イオン風電壓計は (ロ) の如く



(イ) (ロ)
第 13.15 圖

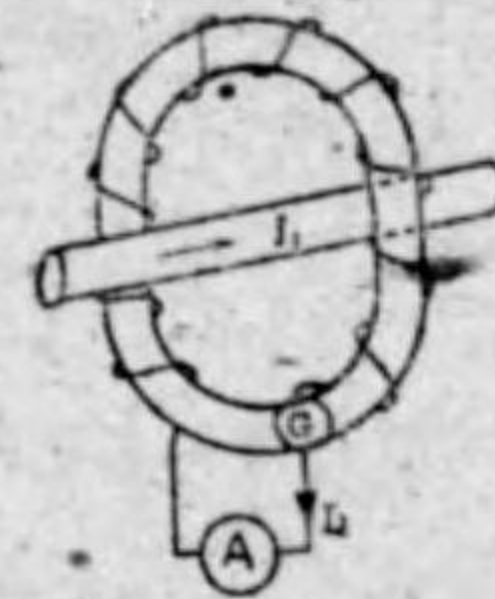
である。回轉電壓計は波高電壓計と同様に蓄電器の充放電に伴ふ電量を測定して電壓を決定するもので (イ) と異なる處は電壓の變化を利用する代りに、回轉部を設けて靜電容量を周期的に變化させてゐる。即ち測定せんとする電壓を電極 A, B 間に加へる。此の接地側の電極 B の中央部に圓筒形を半分に分つた 2 箇の半圓筒から成る整流子を設け、之れを測定回路と同期的に回轉する同期電動機で回轉させると、檢流計 G の読みより E の最大値を知り得る。

又針狀電極を用ひてコロナ放電をさせると、その尖端からイオンを放出して周圍の氣體分子と衝突してイオン風を生ずる。例へば (ロ) 圖のやうな

コロナ風車 C に電壓を加へると、4 箇の針狀尖端にイオン風を生じ、其の反動で風車が回轉する。此の回轉力を d で指示させて加電壓の波高値を知る。尚 a は縛子、b は制御用彈簧である。

13.5.2 大電流及衝擊電流の測定

交流の數千アンペア程度の強電流を測定するには、勿論、變流器が使用される。直流の場合には分流器の使用と併用される。第 13.16 圖のやうな直流變流器が



第 13.16 圖

使用される。即ち G なる直流發電機で I₁ の作る磁束を打消させる様にしたもので、その相殺が完全であると

$$I_1 N_1 = I_2 N_2$$

但し I₁: 導体電流 I₂: 發電機電流

N₁: 導体回數 N₂: 發電機磁石の巻數

なる等式が成立つから $I_1 = \frac{N_2}{N_1} I_2$ として求められる事は交流の場合と同様である。……普通 N₁=1 である

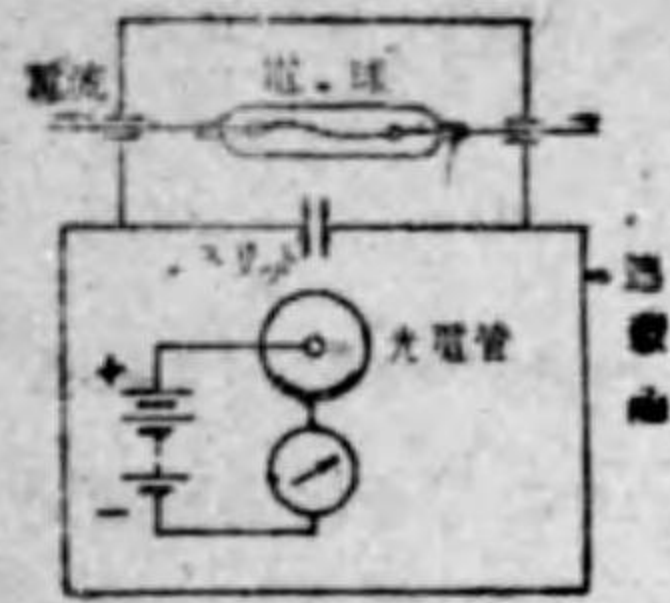
から $I_1 = N_2 I_2$ として求められる……

又、衝擊電流の測定に用ひられる磁鋼片 (波高電流計) は高殘留磁氣性の鐵片で、互に絶縁せられた磁鋼薄板を多數積み重ねて作られるか、或は多數の細線を束ねて堅く締めつけられて居る。之れを測定せんとする電流の流れる導体附近に置くと、電流に依つて磁化せられる。此の磁化率は流れた衝擊電流の波高値に比例するから、其の殘留磁氣を測定して電流の波高値を知ることが出来る。

13.6 高周波電壓及電流の測定

高周波電壓の測定法として最もよいのは真空管電壓計である。又陰極線オシログラフに依つても測定せられる。是等は既に説明した。インピーダンス降下法と云ふのは、高周波電流計と既知インピーダンスを直列とした回路を用ひ、インピーダンス降下として電壓を測定する。インピーダンスとしては抵抗、蓄電器が主に使用されるが、其の値は導線の有するインダクタンより十分に大きいものである必要がある。

高周波電流の測定方法として最も廣く用ひられるのは熱電對電流計である。……熱線型も用ふるが指示の安定性を缺く……或は整流型も採用される。標準測定法とされるのは第 13.17 圖の如くであつて、電球に測定電流を流して、其の發



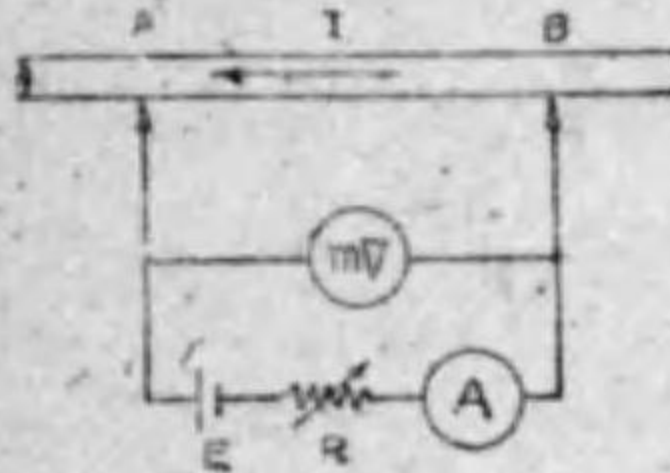
第 13.17 圖

光を適當なスリットを通して光電管に受け、光電流を直接に直流電流計で讀むと測定電流と光電流の間に一定の関係があるから測定電流の大きさが定められる。

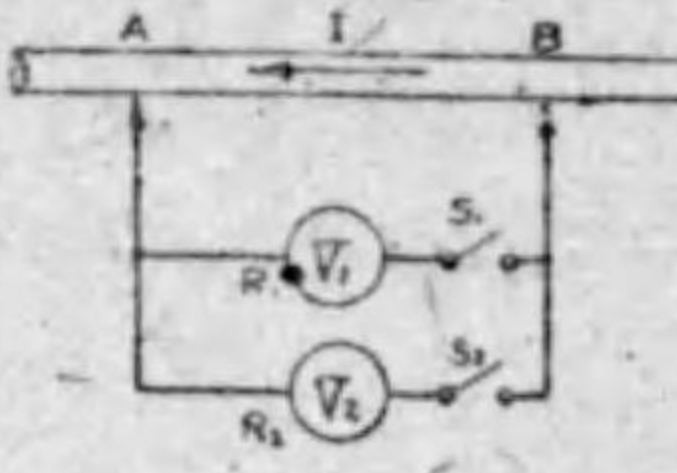
補講 或は U 字管の一方の上部に熱線を入れ、之れに電流を通じて一方の氣體を膨脹させ、其の側の液体を押し下げさせて其の程度で知る。或は又電流の電磁力を應用する等の方法もある。

13.7 閉電路の電流測定

架空交流配電線の電流とか、電車軌條の電流等の測定をする場合は、まさか導体を切斷して電流計を挿入する譯にも行かないから、回路を開かずに測定する必要がある。斯様な時、交流の場合には電線を晋又の様な部分に挟むと之れが變流器と鐵心となり、此の上に捲かれた二次線輪に結ばれる附屬電流計に依つて電流が指示される。又直流の場合には第 13.18 圖の如く接続する方法が最も正確に測定されるが、第 13.19 圖の如く内部抵抗の判つてゐる電壓計 2 箇を使用する



第 13.18 圖



第 13.19 圖

方法や、第 13.20 圖の如く電壓計、電流計を使用する方法等がある。今各々の場合に就て説明するに、第 13.18 圖の方法は軌條電流等の豫め電流の大きさ及び方向の判るものに宜く、E なる電池から出る電流を R にて加減し（方向は I の逆）ミリボルト計 mV の指示が零となつた時の A の指示を取ると之れが導体の電流 I に等しい。此の原理は電位差計の原理と同様であつて、I に依る A, B 間の電壓降下と電池電流に依る A, B 間の電壓降下を打ち消させ $I r_{AB} = A r_{AB}$ $\therefore A = I$ となる。

第 13.19 圖の方法で、 S_1 を入れた時の (V_1) の指示が V_1 、 S_2 を入れた時の (V_2) の指示が V_2 であつたとし、 $R_1 = (V_1)$ の抵抗、 $R_2 = (V_2)$ の抵抗、A B 間の電流を I、その抵抗を r とすれば

$$\frac{V_1}{r} = I - \frac{V_1}{R_1} \dots\dots (i) \quad \frac{V_2}{r} = I - \frac{V_2}{R_2} \dots\dots (ii) \quad \text{が成立つ。}$$

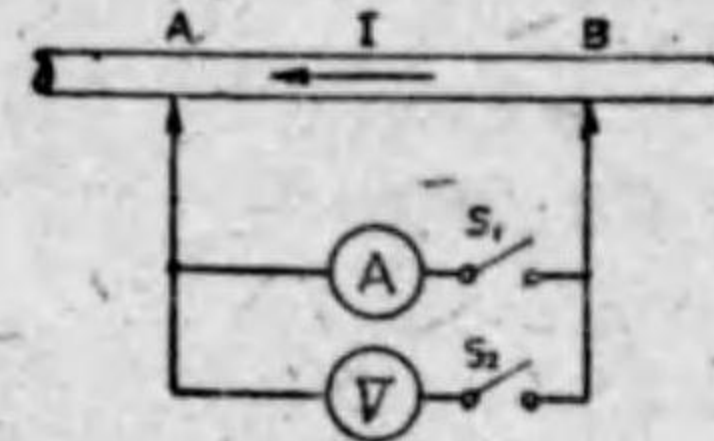
$$(i) \times V_2 \quad \left. \begin{aligned} \frac{V_1 V_2}{r} &= I V_2 - \frac{V_1 V_2}{R_1} \\ (ii) \times V_1 \quad \frac{V_1 V_2}{r} &= I V_1 - \frac{V_1 V_2}{R_2} \end{aligned} \right\}$$

$$\text{前式より後式を引き} \quad 0 = I(V_2 - V_1) - \frac{V_1 V_2}{R_1} + \frac{V_1 V_2}{R_2}$$

$$I(V_2 - V_1) = \frac{V_1 V_2}{R_2} - \frac{V_1 V_2}{R_1} = V_1 V_2 \left(\frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = V_1 V_2 \times \frac{R_1 - R_2}{R_1 R_2}$$

$$\therefore I = \frac{V_1 V_2}{V_2 - V_1} \times \frac{R_1 - R_2}{R_1 R_2}$$

として求められる。又第 13.20 圖の如き接続の場合に先づ S_2 を閉じて V の指示を V_1 とすると



$$V_1 = I r \dots\dots\dots (i)$$

但し電圧計電流は無視する。

次に S_1, S_2 を入れた時の A の指示が i であり、V の指示が V_2 であると

第 13.20 圖

$$i = I \frac{r}{r + R_A} \dots\dots (ii) \quad V_2 = i R_A \dots\dots (iii)$$

の兩式が成立つ。そして (i) より $r = \frac{V_1}{I}$ (iii) より $R_A = \frac{V_2}{i}$ であるから、

(ii) は

$$i = I \times \frac{V_1 / I}{\frac{V_1}{I} + \frac{V_2}{i}} = \frac{V_1}{\frac{V_1}{I} + \frac{V_2}{i}} \quad \therefore V_1 = \frac{V_1}{I} i + V_2$$

$$V_1 - V_2 = \frac{V_2}{I} i \quad \therefore I = \frac{V_2}{V_1 - V_2} i$$

として求められる。此の方法では、A 及び V の内部抵抗値を知る必要もなく、V が唯充分に大なる内部抵抗を有してゐる事のみで宜い。

14. 電力の測定

14.1 電力測定一般

一口に電力の測定と云つても、直流電力もあれば交流電力もあり、其の大小又は電圧の高低或は交流では相数、周波数の多少で測定方法が異つて来る。従つて極く特殊な測定方法もあるが、其の一般的なものを表示すると第 14.1 表の如くである。

第 14.1 表 各種電力の測定方法

測定区分	測定方法	備考
微小電力 直流	電位差計法	電圧電流を別々に測定 (8.4.3 参照)
交流	交流電位差計法、象限電位計法、電力計法、ブリッジ法、リアクタンス変化法	多くは誘電体損の如き特殊測定である
直流電力	電圧計電流計法、電力計	高電圧の時は倍率器を、大電流の時は分流器を用ふ
単相交流電力	電力計、三電圧計法、三電流計法	高電圧回路では P.T. 及 C.T. を用ふる
三相交流電力	2 箇の単相電力計、三相電力計	高電圧回路では P.T. 及 C.T. を用ふる
n 相交流電力	(n-1) 箇の電力計を用ふ	(ブロンデルの定理)
電力積算	積算電力計を用ふ	(第 6 章を参照)
交流無効電力 (力率測定)	特殊接続法、無効電力計、皮相電力計、力率計法	
高周波電力	自熱電球法、熱量計法、熱電対法、整流管法	

14.2 微小電力の測定

低電圧に於ける微小電力の測定には電位差計法 (8.4.3 に説明した) が適當であらうが、高電圧に於ける微小電力……例へば誘電体損、(静電蓄電器に於ける電力損失等)……の測定には象限電位計法、電力計法、ブリッジ法、リアクタンス変化法等がある。何れも極く特殊な方法であるから、其の一例として象限電位計法 (一種の静電型電力計) を説明する。其の接続は



第 14.1 圖

第 14.1 圖の如くであつて、象限固定片 A A と可動片 C との間には負荷の端子電圧 e が加はり、可動片を反時計式方向に動かさんとする回轉力は e^2 に比例する。次に負荷と直列に抵抗 R を接続し、負荷電流を i とすれば象限 B B と可動片 C との間には $(e+iR)$ が加はり、可動片を時計式方向に動かさんとする。其の回轉力

は $(e+iR)^2$ に比例する。故に可動片 C の時計式方向の振れを θ とすれば K を常數として

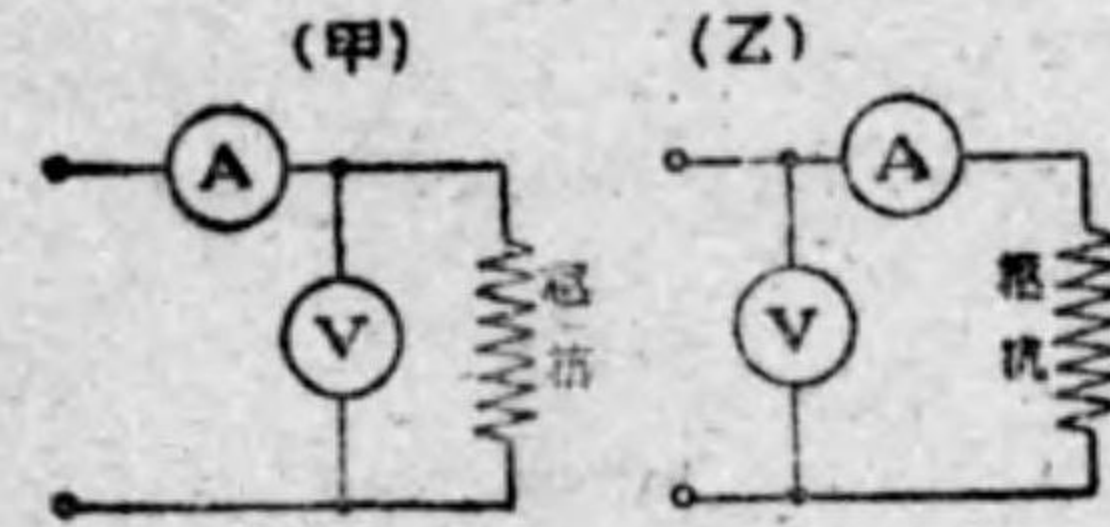
$$K\theta = (e+iR)^2 - e^2 = 2Rei + i^2R^2$$

$$\text{負荷電力 } ei = \frac{K\theta}{2R} - \frac{i^2R}{2} \quad \text{各値の平均を取り } P = \frac{K\theta}{2R} - \frac{I^2R}{2}$$

14.3 直流電力の測定

普通一般の直流電力の測定には電流型電力計が主として使用せらるゝ (3.3.4 参照) 又電圧計と電流計を第 14.2 圖 (甲) 又は (乙) の如くに接続して各読みを取ると、直流電力 = 電圧 × 電流 = ボルト × アンペア = ワット としても求められる。

(註) 交流回路でも力率が 1 であると此の方法を用ひ得る。



第 14.2 圖

圖の (甲) の場合に於て負荷抵抗の電流を I、電圧計の電流を i_v 、内部抵抗を R_v とすると、電流計 A の読みは $(I+i)$ に相當し、電圧計 V の読みは負荷の電圧となる。

$$VA = V(I+i) = VI + Vi = VI + \frac{V^2}{R_v}$$

眞の負荷電力は VI であるから

$$\text{眞の負荷電力}(VI) = VA - \frac{V^2}{R_v} = VA - \text{電圧線輪損失}$$

即ち眞の負荷電力は電圧計の読みと電流計の読みの積から、電圧線輪の抵抗損失を引いたものとなる。

(註) 或は VA は負荷抵抗と R_v の並列合成抵抗に電流 (A) を乗じたものとも云へる

又 (乙) の接続で、電流計の電圧降下を e_A 、内部抵抗を R_A とすると、電圧計 V の指示 V は負荷の端子電圧 E に電流計の電圧降下 $e_A = AR_A$ を加へたものとなり、電流計の指示は負荷の電流 A であるから

$$VA = (E + e_A)A = EA + e_A A = EA + A^2 R_A$$

此の場合の負荷の電力は EA であるから

$$\text{眞の負荷電力}(EA) = VA - A^2 R_A = VA - \text{電流線輪損失}$$

即ち眞の負荷電力は電圧計の読みと電流計の読みの積から電流線輪の抵抗損失を引いたものとなる。

(注) ① 或は VA は負荷抵抗と RA の直列合成抵抗に電流 (A) を乗じたものとも云へる。

② 電力計の電圧線輪と電流線輪の接続に就ても同様のことが云へるが、補償線輪を有し此の線輪内の自己損失を差し引いて指示するやうになつてゐる。

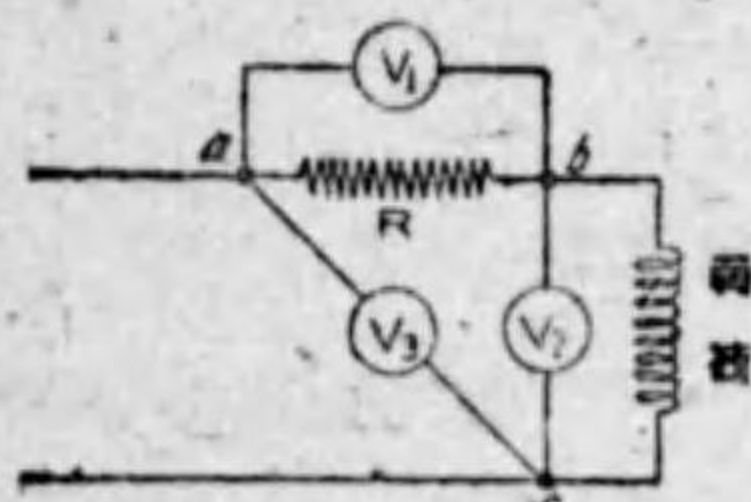
③ 上記より、低電圧大電流の測定には (甲) が適し、高電圧小電流の測定には (乙) の適することが明白に分らう。

14.4 単相交流電力の測定

交流電力は電圧と電流の積に力率を乗ぜねばならないので、力率が 1 (純抵抗負荷) 以外の場合には電圧計と電流計では電力が求められない。其處で、電流力型電力計を用ひたり、比較的精密ではないが、誘導型電力計も用ひられる。尙、高電圧大電流回路に対しては P.T. 及 C.T. を用ひて、夫々電圧計の電圧線輪及電流線輪に接続する。次に極く特殊な測定法として三電圧計法及三電流計法を説明しやう。

14.4.1 三電圧計法

単相交流電力を 3 箇の電圧計と無誘導抵抗とを使用して測定するもので、其の結線は第 14.3 圖の通りであつて、電圧計 V_1, V_2, V_3 の指示を夫々 V_1, V_2, V_3 , その瞬時値を v_1, v_2, v_3 負荷電流を I , その瞬時値を i とすると



第 14.3 圖

$i = \frac{v_1}{R}$ であり、負荷の瞬時電力は $p = iv_2$ である。

∴ 平均電力 $P = p$ の平均 $= iv_2$ の平均 $= \frac{v_1 v_2}{R}$ の平均 となる。

又 $v_3 = v_1 + v_2$ であるから

$$v_3^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2v_1 v_2 \quad v_1 v_2 = \frac{1}{2} (v_3^2 - v_1^2 - v_2^2)$$

故に $P = \frac{v_1 v_2}{R} = \frac{1}{2R} (v_3^2 - v_1^2 - v_2^2)$ の平均

然るに各電圧計の瞬時値の 2 乗の平均は實効値の 2 乗であるから

$$P = \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_1^2 - V_2^2)$$

として負荷電力が求められる。



第 14.4 圖

補註 之をベクトル圖より求めると第 14.4 圖の通りである。圖に於て負荷電圧 V_2 と I の相差を θ とすると $V_1 = IR$ は I と同相であるから之も V_2 より θ 角遅相となる。そして $\vec{V}_3 = \vec{V}_1 + \vec{V}_2$ とベクトル圖が描ける。

$$\begin{aligned} \therefore V_3^2 &= (V_2 \cos \theta + V_1)^2 + (V_2 \sin \theta)^2 = V_2^2 + V_1^2 \cos^2 \theta + 2V_1 V_2 \cos \theta + V_1^2 \sin^2 \theta \\ &= V_2^2 + V_1^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) + 2V_1 V_2 \cos \theta = V_2^2 + V_1^2 + 2V_1 V_2 \cos \theta \end{aligned}$$

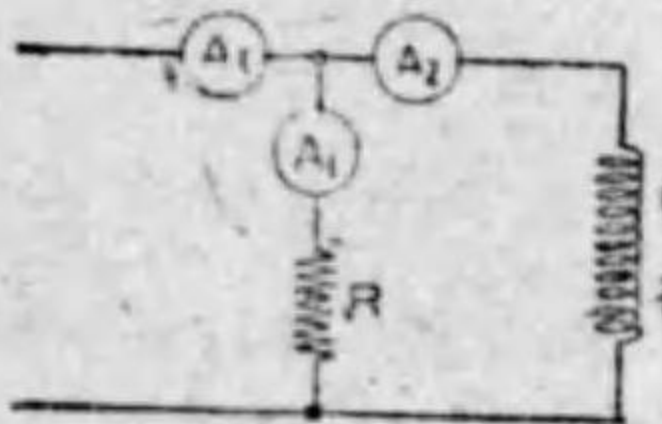
然るに $V_2 I \cos \theta = P$ ……電力であるから

$$V_3^2 = V_1^2 + V_2^2 + 2RP \quad \therefore P = \frac{1}{2R} (V_3^2 - V_1^2 - V_2^2)$$

として求められる。

14.4.2 三電流計法

単相交流電力を 3 箇の電流計と無誘導抵抗に依つて測定する方法であつて、其の接続は第 14.5 圖の如くである。 A_1, A_2, A_3 の指示を夫々 I_1, I_2, I_3 その瞬時値を i_1, i_2, i_3 とすると



第 14.5 圖

であり、負荷の瞬時電力は $P = vi_2$ であり

平均電力 $P = P$ の平均 $= vi_2$ の平均 である。

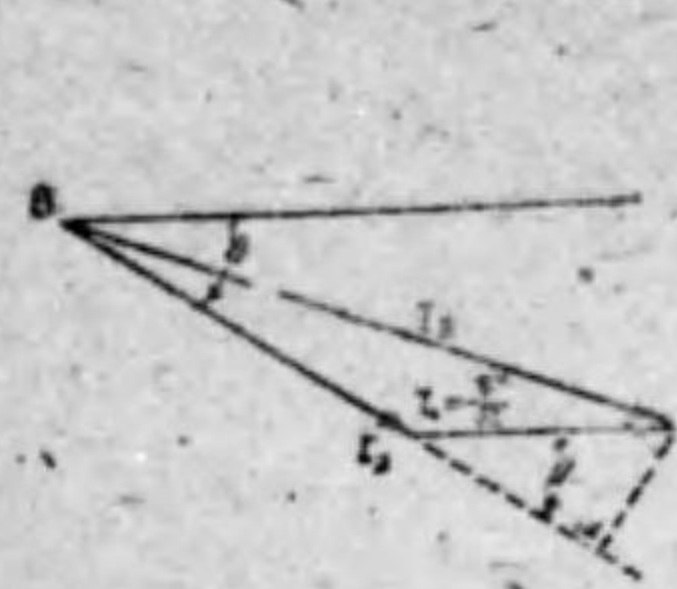
電流計抵抗は小さいからその電壓降下を無視すると $v = i_1 R$ なる式が成立つので $P = i_1 i_2 R$ の平均となる。之れに i_1, i_2 の値を代入すると

$$P = \frac{R}{2} (i_3^2 - i_1^2 - i_2^2) \text{ の平均} = \frac{R}{2} (I_3^2 - I_1^2 - I_2^2)$$

上式の變化は前節の説明と全く同様である。

補註 尙ベクトル圖に就て考へると第 14.6 圖の如くである。

負荷電圧 V を基準にとると、負荷電流 I_2 は之より θ 角遅相となる。電流計の内部イン



第 14.6 圖

ピーダンスを無視するから I_1 は V と同相となり、 I_2 と θ の位相を生じ I_3 は $I_3 = I_1 + I_2$ である。

$$\begin{aligned} I_3^2 &= (I_1 + I_2 \cos \theta)^2 + (I_2 \sin \theta)^2 \\ &= I_1^2 + I_2^2 \cos^2 \theta + 2I_1 I_2 \cos \theta + I_2^2 \sin^2 \theta \\ &= I_1^2 + I_2^2 (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta) + 2I_1 I_2 \cos \theta \\ &= I_1^2 + I_2^2 + 2I_1 I_2 \frac{V}{R} \cos \theta \end{aligned}$$

然るに $VI_2 \cos \theta = P$ であるから

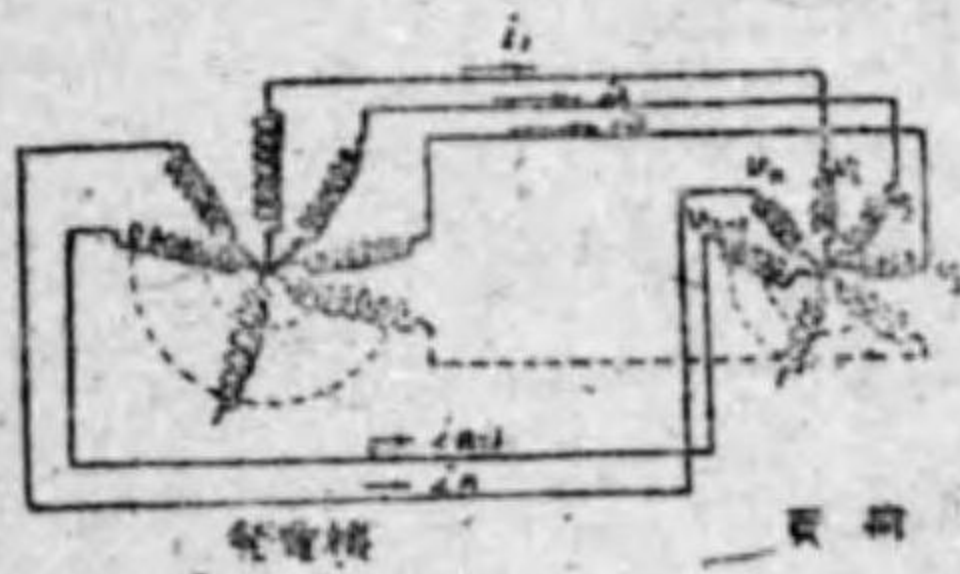
$$I_3^2 = I_1^2 + I_2^2 + \frac{2P}{R} \quad \therefore P = \frac{R}{2} (I_3^2 - I_1^2 - I_2^2)$$

上記の三電圧計法でも三電流計法でも指示を自乗するから、誤差は約2倍となる。従つて使用する計器は正確なものを用ひねばならない。尙力率の小さい時は大きな誤差を生ずるから適當でない。何れの場合でも抵抗と負荷の皮相電力が等しいやうにすると最も精密である。

14.5 多相交流電力の測定

對稱多相回路であれば、1相の電力を測定して相數倍すれば全電力となるが、非對稱多相回路ではそう云ふ譯に行かない。次に先づ n 相回路の一般の場合を述べ、吾々が常々取扱ふ三相回路の場合に及ぶことゝしやう。

14.5.1 n 相回路の電力測定(ブロンデルの定理)



第 14.7 圖

第 14.7 圖の如く n 相 n 線式の交流回路を考へるに、各線の電流の和は各瞬時に於て零であるから

$$i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_{n-1} + i_n = 0 \dots (i)$$

の式が成立つ。そして、各相の電圧を夫々 $V_1, V_2, \dots, V_{n-1}, V_n$ とすると、 n 相 n 線の電力は

$$P = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 + \dots + v_{n-1} i_{n-1} + v_n i_n \dots (ii)$$

となる。然るに (i) 式を變化すると $i_n = -(i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_{n-1})$ であるから、之を (ii) 式に代入して

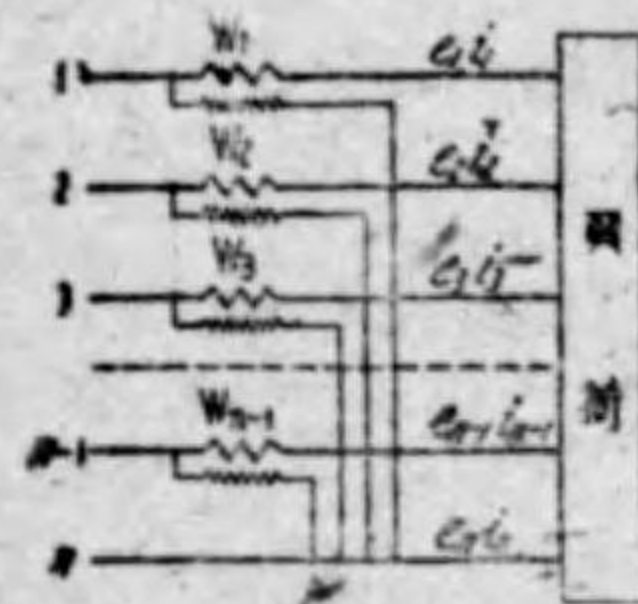
$$P = v_1 i_1 + v_2 i_2 + v_3 i_3 + \dots + v_{n-1} i_{n-1} - v_n (i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_{n-1})$$

此の式の右邊を $i_1, i_2, i_3, \dots, i_{n-1}$ の項に別けると

$$P = i_1(v_1 - v_n) + i_2(v_2 - v_n) + i_3(v_3 - v_n) + \dots + i_{n-1}(v_{n-1} - v_n)$$

上式に於て各項の電力値(電圧×電流)を調べて見ると $i_1, i_2, i_3, \dots, i_{n-1}$ は n 線を除く各線の電流であり、 $v_1 - v_n, v_2 - v_n, \dots$ 等は各相電圧より n 相目の電圧を差引いたもの、即ち各相と n 相間の線間電圧である。そして電力計に $i_1(v_1 - v_n)$ を指示さすには電流線輪を i_1 が流れる 1 線に接続し、電圧線輪は 1 番目の線と n 番目の線の間接続する。同様に $i_2(v_2 - v_n)$ を指示さすには電流線輪を 2 線に結んで i_2 を流し、電圧線輪には $v_2 - v_n$ の電圧が加はる様に接続する。斯様な電力値は $i_1(v_1 - v_n)$ より $i_{n-1}(v_{n-1} - v_n)$ まで $(n-1)$ 項あるから、全電力を指示さすには $(n-1)$ 箇の電力計が必要である。

そして各電力計の指示の代數和を求むると、 n 相 n 線式交流電力が測定される



第 1.48 圖

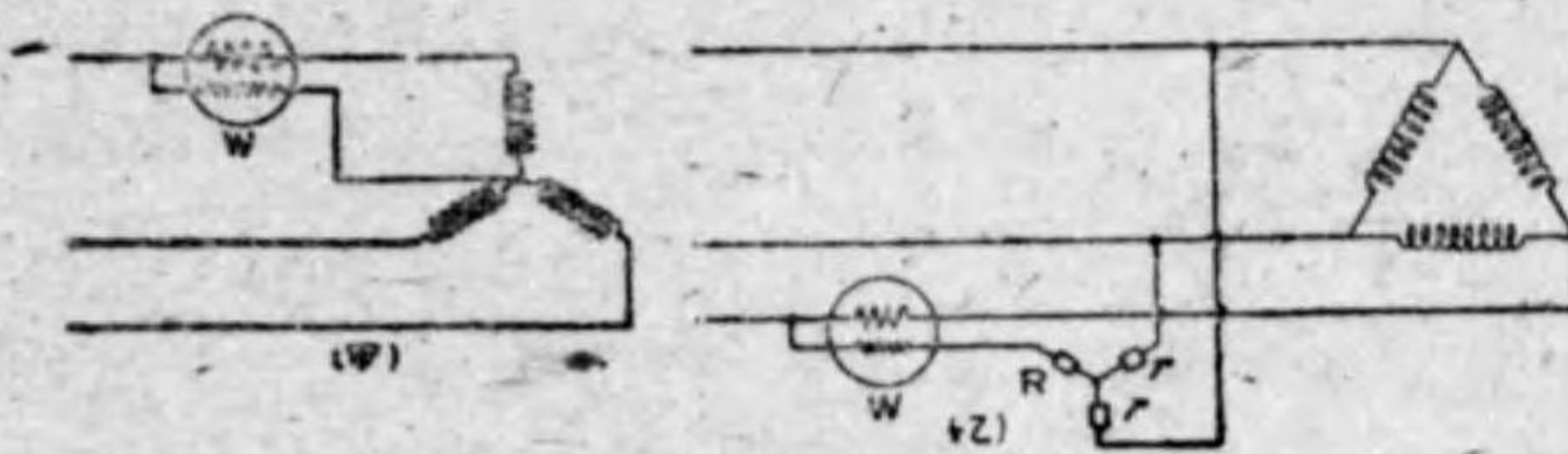
此の法則をブロンデルの法則と稱し、その電力計の接続方法は上述の通りで、第 14.8 圖にて示される。

(註) 此の測定で電力計の中には逆にふれるものがある。之れは電圧と電流間に 90° 以上の相差を生じた場合で、斯様な時には電圧線輪(又は電流線輪)の接続を反對として指示させ之れを負の電力として代數和を取ればよい。

14.5.2 三相回路の電力測定

① 對稱回路の場合

(i) 三相四線式及び中性点のある場合 第 14.9 圖(甲)の如く接続する即ち電流線輪は任意の電線に接続し、電圧線輪はその線と負荷中性点の間に接続



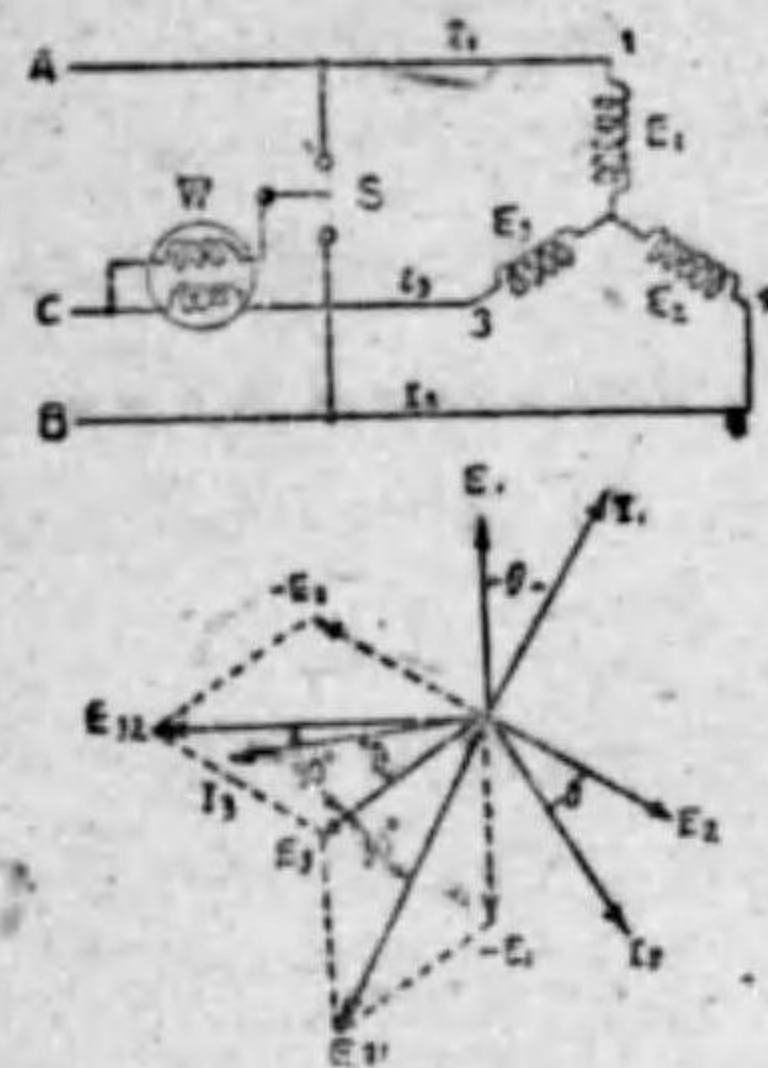
第 14.9 圖

すれば W の指示は一相の電力を指示するから此の指示を 3 倍する。

(ii) 中性点の出し得ない時 同圖(乙)の如く接続して W の電圧線輪の抵抗と R の和が他の 2 相の抵抗 r に等しいやうな R, r, r の 3 つの無誘導抵

抗を星形接続とする。斯くすると電圧線輪には負荷の星形相電圧が加はるからその指示を3倍すればよい。

(iii) 二電力計法を利用した一電力計法 その接続は第14.10圖の如くであつてSを上下に入れて各々の場合の電力計讀みの代数和を採ればそれが三相電力である。先づ、Sを上側に入れた時のWには、電流 I_3 が流れ電壓 $\dot{E}_3 - \dot{E}_1$ が加はるから、下圖のベクトル圖よりも明かなやうに



第 14.10 圖

その指示は $P_1 = E_{31} I_3 \cos(30^\circ + \theta)$
同様に S を下に入れた時の指示は
 $P_2 = E_{32} I_3 \cos(30^\circ - \theta)$

然るに $E_{31} = E_{32} = \sqrt{3}E$ (相電壓 $E = E_1 = E_2 = E_3$)
及 $I_1 = I_2 = I_3 = I$ であるから
 $P_1 + P_2 = \sqrt{3}EI \{ \cos(30^\circ + \theta) + \cos(30^\circ - \theta) \}$

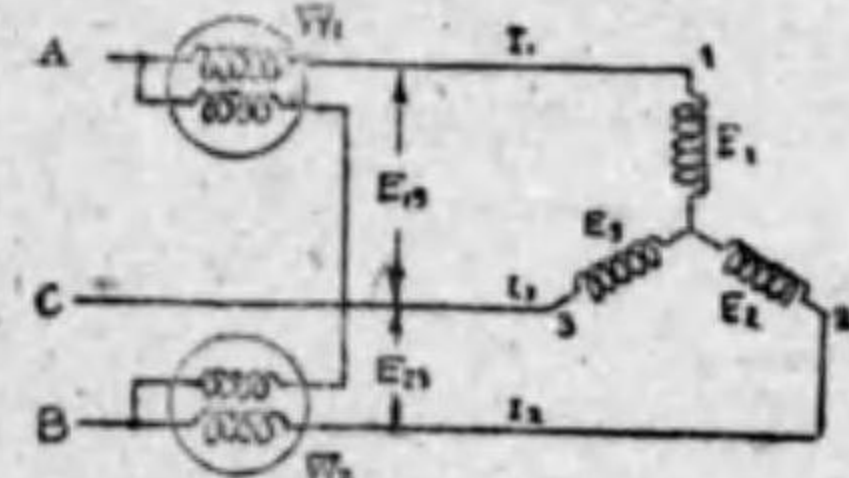
(註) $\cos(30^\circ + \theta) + \cos(30^\circ - \theta) = \cos 30^\circ \cos \theta - \sin 30^\circ \sin \theta + \cos 30^\circ \cos \theta + \sin 30^\circ \sin \theta$
 $= 2 \cos 30^\circ \cos \theta = 2 \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta = \sqrt{3} \cos \theta$

であるから $P_1 + P_2 = \sqrt{3}EI \times \sqrt{3} \cos \theta = 3EI \cos \theta$

即ち E は相電壓であるから、各相電力の3倍として全電力が求められる。

⊙ 不平衡回路の場合

ワットメーターの法則に依つて第14.11圖の如く単相電力計 W_1, W_2 2箇を接続して其の指示の代数和を求めると之が回路の全電力となる。瞬時値を各々圖の如くに定むると



第 14.11 圖

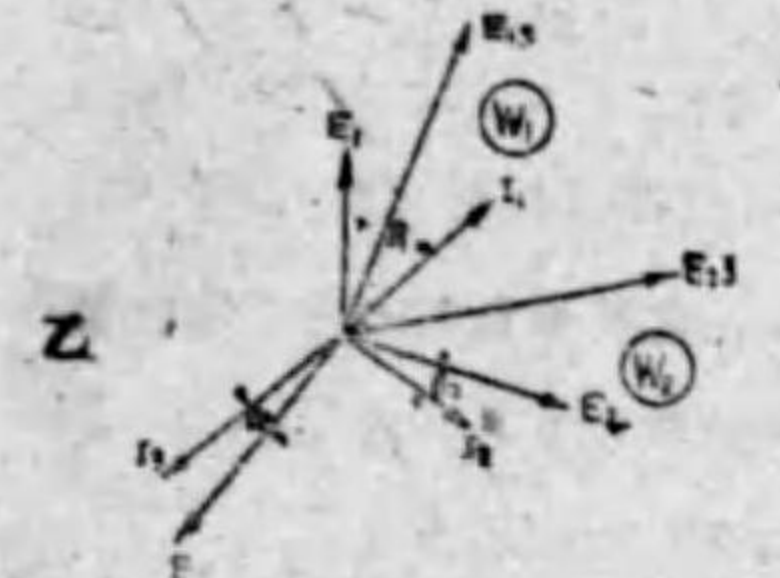
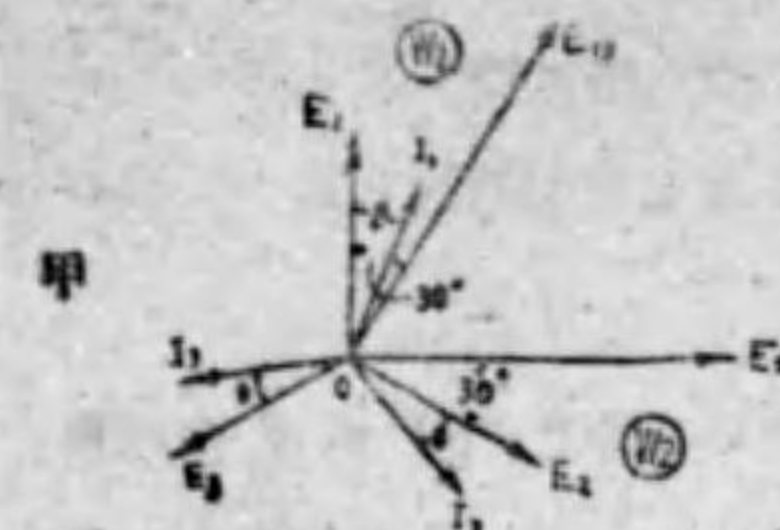
瞬時電力 $P = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$
然るに $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ であるから $i_3 = -i_1 - i_2$
之を前式に代入すると

$$P = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 (-i_1 - i_2)$$

$$= i_1 (e_1 - e_3) + i_2 (e_2 - e_3)$$

$e_1 - e_3, e_2 - e_3$ は W_1, W_2 電圧線輪の電壓に相異なるから W_1, W_2 の指示の和は

全電力を示す。此の關係をベクトル圖に書くと第14.12圖(甲)(乙)の如くなる。(甲)は平衡回路の場合で、その數式的證明は前項に盡した。(乙)は不平衡回路の一例を示したものであつて、其の數式的證明は甚だ厄介な形となるが、 $P = W_1 + W_2$ となることは



第 14.12 圖

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

$$P = i_1 (e_1 - e_3) + i_2 (e_2 - e_3)$$

の式よりも明かであるから之を省く事にする。平衡回路では此の接続より回路力率を求める事が出来る即ち

$$P_1 - P_2 = EI \sin \theta \quad P_1 + P_2 = 3EI \cos \theta$$

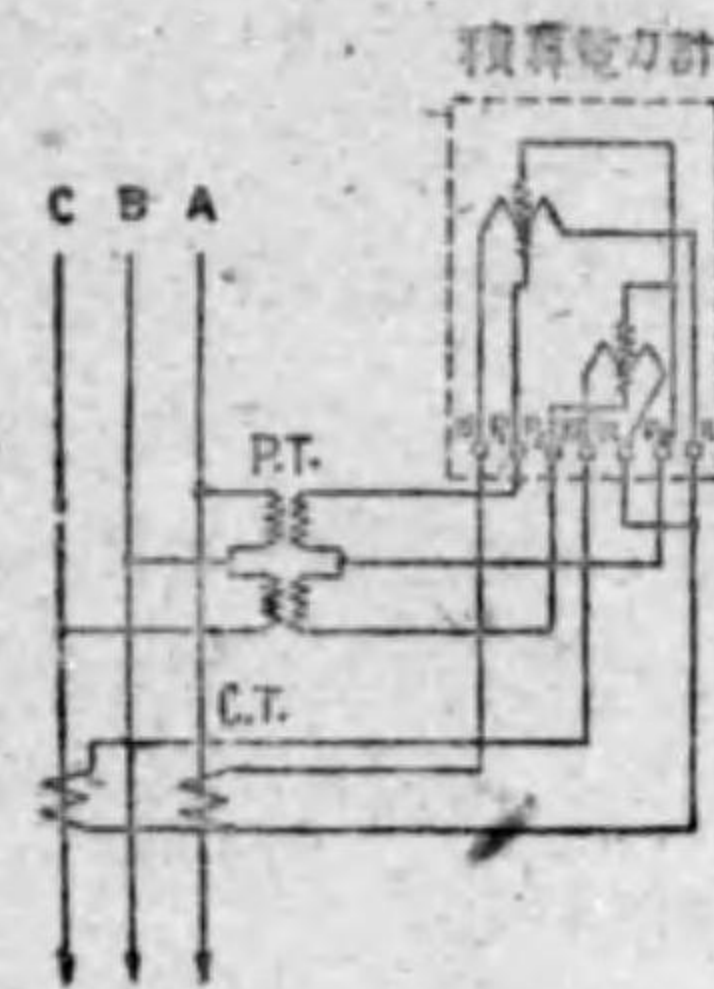
$$\therefore \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} = \frac{EI \sin \theta}{3EI \cos \theta} = \frac{1}{3} \tan \theta$$

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}} = \frac{1}{\sqrt{1 + 3 \left(\frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2} \right)^2}}$$

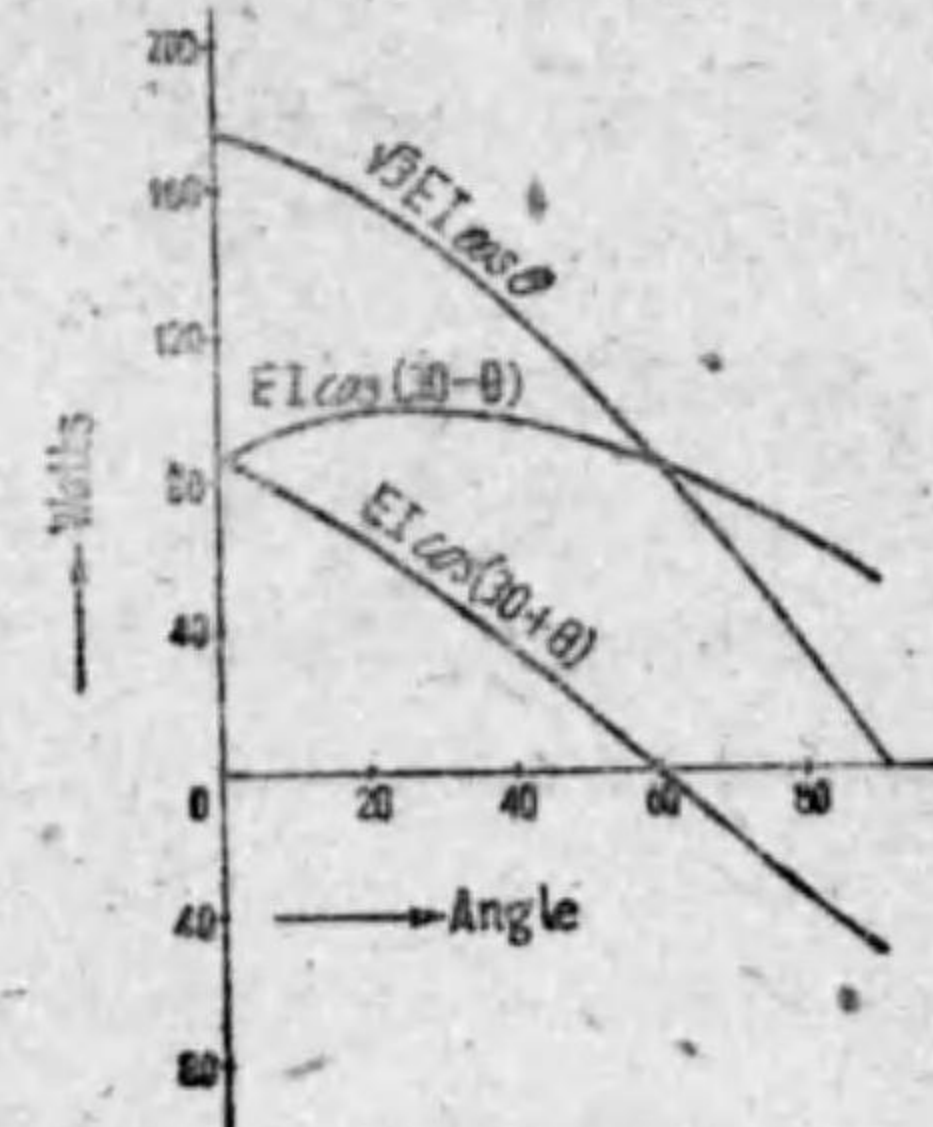
として求められる。

又 $\theta = 60^\circ$ となると $P_1 = \sqrt{3}EI \cos(30^\circ + \theta)$ の $\cos(30^\circ + \theta)$ が $\cos 90^\circ = 0$ となり θ が 60° より大となると $\cos(30^\circ + \theta)$ は負の値となるが、電力計目盛は正のみであるから極性を反対にして指示を求め、計算に於てはマイナスとする事が必要である。

補註 三相電力計は此の W_1, W_2 が共通軸に回轉力を與へるやうにしたものであること



第 14.13 圖

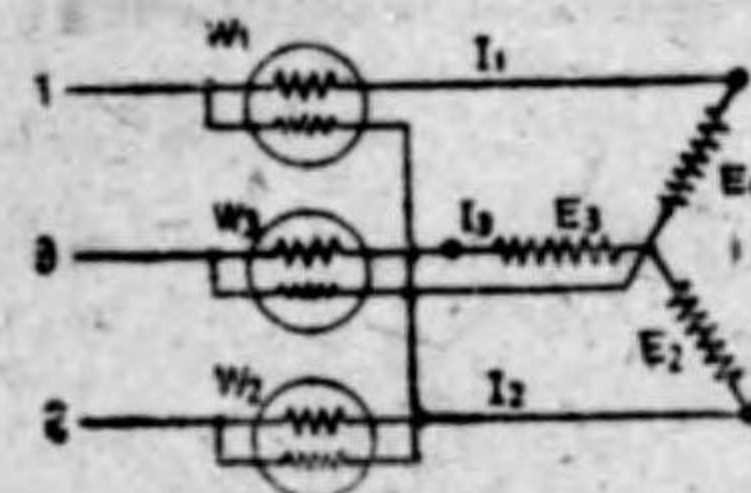


第 14.14 圖

は既に説明した。(6.2.7 参照)

此の三相電力計なり三相積算電力計を P.T. 或は C.T. を通じて回路に接続する場合を示すと第 14.13 圖の如くであつて、原理は全く上記の通りであることを結線圖を辿つて得心せらるゝやう希望する。

次に θ に對する各電力計の読み $P_1 = EI \cos(30^\circ + \theta)$ $P_2 = EI \cos(30^\circ - \theta)$ が θ の變化に對し如何に變化するかを示すと第 14.14 圖の如くで $\theta = 60^\circ$ 以上で P_1 は負となる。全電力は $\sqrt{3} EI \cos \theta$ で $\theta = 90^\circ$ で零となる。



第 14.15 圖

尚 3 箇の電力計を用ふる場合は第 14.15 圖の如くで、電力計電壓線輪を星形接続とし、之れを負荷の中性点に纏んで居る。……結び得ないときは其のままでもよい……。此の場合の全電力は各電力計の読みの和となる。

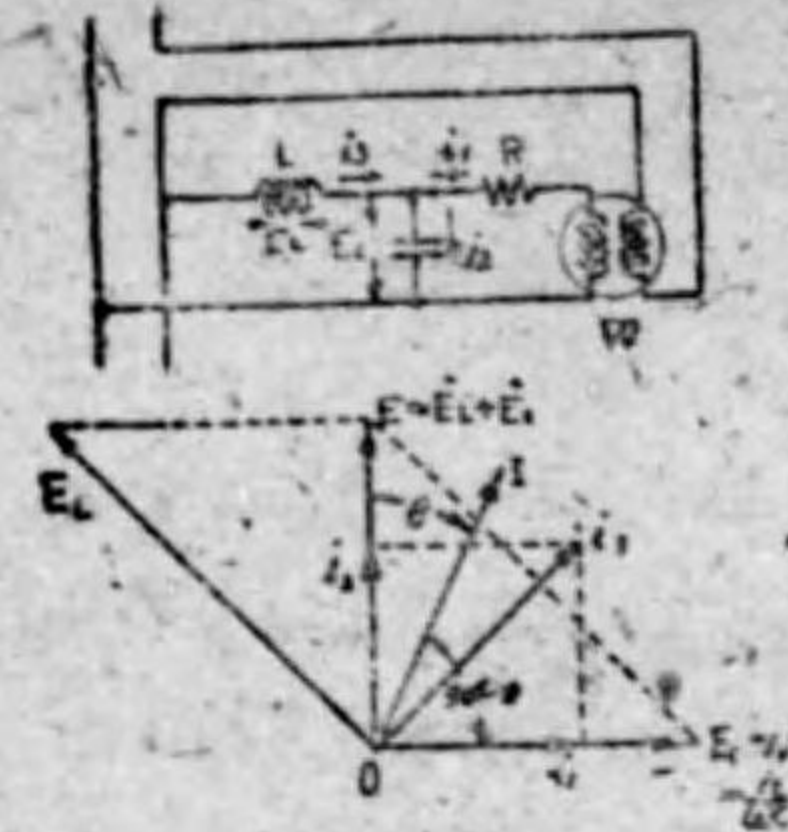
14.6 交流無効電力の測定

無効電力の測定を大別すると直接法と間接法になる。後者は力率計を用ひて力率 ($\cos \theta$) を測定し、 $\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$ より $\sin \theta$ を求めて之れを電壓計と電流計の読みの積に乘じたり、電力計の指示 P を $P \div \cos \theta \times \sin \theta$ として無効電力を求める。或は皮相電力計…… (電壓) \times (電流) を求めるもので、例へば交流回路の電壓電流を別々に整流して (電壓は 90° の位相差を作つて別々に整流して重疊し、一定値直流に近くする) 電力計に導くと、其の指示は皮相電力に比例する……と電力計を用ひても測定し得る。前者は既に述べた無効電力計を用ひたり、或は三相回路では特殊な接続法に依つて直接、無効電力を指示させる。次に其の一般的な方法を説明する。

14.6.1 単相無効電力の測定

回路の電壓を E 、電流を I 、 E と I の相差角を θ とすると、皮相電力は EI であつて、その無効電力は $EI \sin \theta$ 即ち電壓 E と、之れと 90° の位相差にある電流 $I \sin \theta$ の積であるから、電壓線輪には回路の電壓を加へ、電流線輪には回路に別に分路を設け、それに流れる電流を E より 90° 遅れ又は進みにとれば宜い。或は電流を基準として電壓を遅れさす方法でも宜い。

其の一例として、第 14.16 圖の如き結線方法がある。そして各分路の電流、電壓を圖の如く定むると、其のベクトル圖は下圖の如くになり、電壓、電流兩線輪



第 14.16 圖

のインピーダンスを考へない時は $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ なる如く L 及び C を選定すれば、電壓線輪の電流 i と電流線輪の負荷電流 I との相差角は $90^\circ - \theta$ となり

$$P = EI \cos(90^\circ - \theta) = EI \sin \theta$$

即ち電力計は無効電力を指示する事になる。

14.6.2 三相無効電力の測定

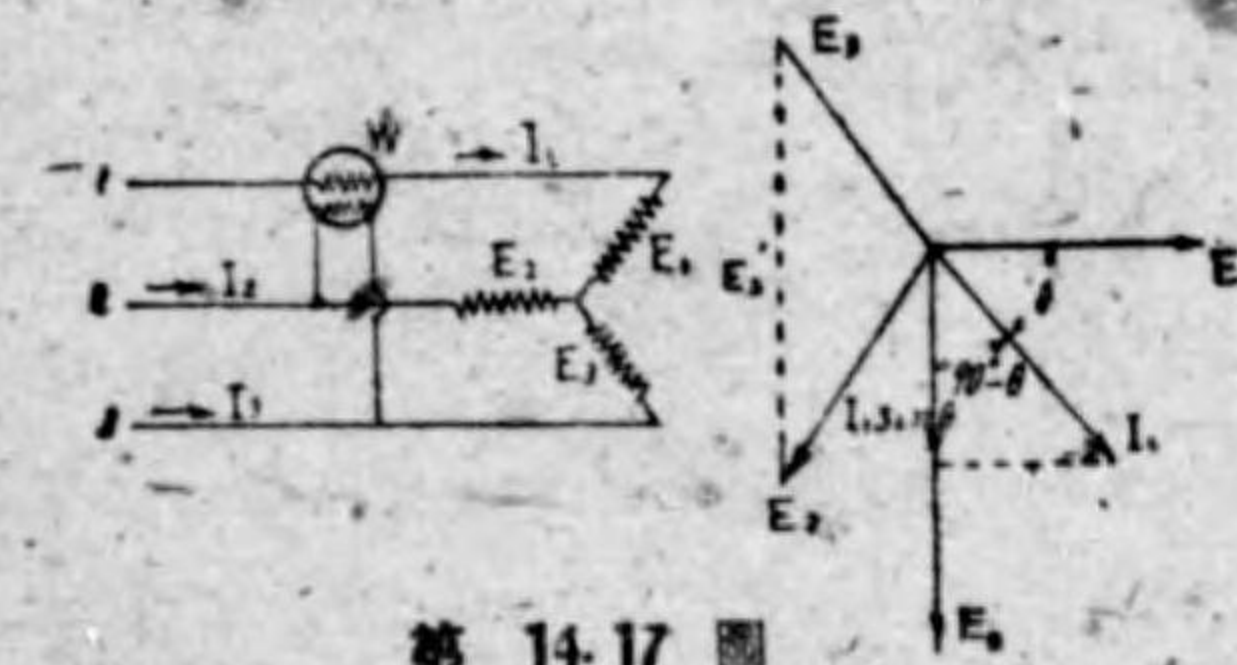
三相平衡回路の場合は、第 14.17 圖の如き接続にすればよい。各相各線の電壓、電流を圖の如く定めると、電壓線輪の加電壓は $E_2' = E_2 - E_3$ となり、之は E_2 より 30° 進相にあるから、結局 E_1 より 90° 遅相となる。故に負荷電流 I_1 との相差は $(90^\circ - \theta)$ となり、その指示電力は

$$P = \sqrt{3} EI_1 \cos(90^\circ - \theta) = \sqrt{3} EI \sin \theta$$

但し $E = E_1 = E_2 = E_3$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \text{ である。}$$

即ち此の指示を $\sqrt{3}$ 倍すれば三相無効電力を得る。或は第 14.10 圖及第 14.11 圖の電力計法に於て、兩電力計の読みの差を取ると $P_1 - P_2$



第 14.17 圖

$= EI \sin \theta$ となるから之れを $\sqrt{3}$ 倍すると全無効電力 $Q = \sqrt{3} EI \sin \theta$ が得られる或は又三電壓計法、三電流計法よりも次の如くに求められる。

$$\cos \theta = \frac{V_3^2 - V_1^2 - V_2^2}{2V_1V_2} \quad \text{又は} \quad \cos \theta = \frac{I_3^2 - I_1^2 - I_2^2}{2I_1I_2}$$

之れより $\sin \theta$ が求まり、無効電力が算出される。

14.7 高周波電力の測定

高周波電力の測定は大抵、電力の熱作用を利用する。此の場合、使用する抵抗は静電容量及インダクタンスが少く一定抵抗であることが望しい。直線織條の白熱電球は之れに適し 100 W 位迄の電力測定に使用される。此の電球の出す光は其の入力に比例するから、第 13.17 圖のやうな接続で光電管の電流を測定し、之れと同一の電流を與へる直流電力と比較して測定する。或は又抵抗に依つて水その他の液体を溫度上昇させ、其の獲得した熱量よりも測定が行はれ、或は熱電對を用ふるもの、二極管で整流して直流抵抗に加へて測定する等の方法がある。

15. 抵抗の測定

15.1 抵抗測定一般

電気抵抗とは申す迄もなく之れに加へた直流電圧を流るゝ電流で除したものであつて大体一定値のものであるが、次章に述べるやうに、同じ導体でも直流と交流では多少其の値を相違することもあり、又電解液では電流が流れると反起電力を生ずるので、通過電流の大小に依つても見掛けの抵抗は異つて来る。又絶縁物の抵抗も絶縁破壊をすれば論外であるが、夫れに至らなくとも加電壓の大小で絶縁抵抗値が相違する。更らに温度に依つても抵抗値が違つて来る。此の影響は相當に大きいから、一般に抵抗を示すには測定時の抵抗を記録して攝氏何度に於ける抵抗と云はねばならない。

補註 従つて抵抗測定に使用する標準抵抗は温度係数の小なるものを用ひ、測定電流を小とし、使用温度で測定する。

尚、導線と抵抗の接觸抵抗を小とし(よく磨き、接觸面を廣くする)異なる材質の導体の接觸部に生ずる熱起電力を小とする爲め各部の温度上昇を能ふ限り小とせねばならない。

一般的に云つて、抵抗を低抵抗、中抵抗、高抵抗と分ち、又抵抗の性質に應じて其の測定法を示すと第 15.1 表の如くなる。

第 15.1 表 各種抵抗の測定法

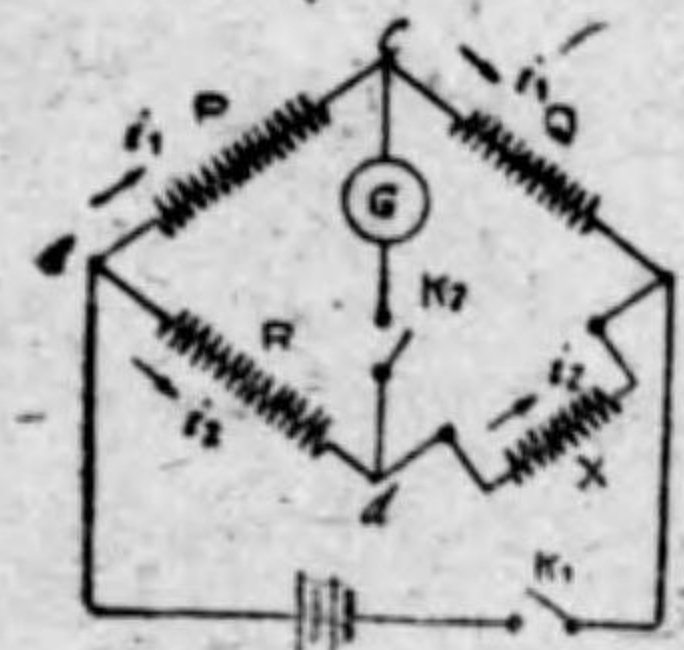
測定区分	測定方法	備考
低抵抗	電位差計法、電阻比較法、ホイートストンブリッジ法、ケルビンダブルブリッジ法、ダクター	低抵抗とは大体 0.1Ω 以下を指す
中位抵抗	ホイートストンブリッジ法、電位差計法、電阻降下法、置換法、電阻計電流計法、オーム計	中位抵抗とは大体 0.1Ω ~ 10 萬 Ω を指す
高抵抗	直備法、漏洩法、電阻計法	高抵抗とは大体 1 萬 Ω 乃至 10 萬 Ω 以上を指す
絶縁抵抗	直備法、メガ	
電解液の抵抗	コーラウシユブリッジ、ヘンダーソンブリッジ、置換法	
接地抵抗	コーラウシユブリッジ、ウイーヘルト、接地抵抗試験器	
特殊抵抗		
検流計内部抵抗	半備法、等備法、ケルビン法	
電池内部抵抗	半備法、コーラウシユブリッジ法、マンズ法、電阻計法、電阻降下法	
抵抗の校正	ケリーフォスターブリッジ、導電率計	

(註) 導体の接觸抵抗のやうな微小な(大体 0.1Ω 以下)抵抗を低抵抗とし、絶縁抵抗のやうな大抵抗を高抵抗としたとき、其の中間に位する抵抗を中位抵抗と云ひ、人に依つては 0.1Ω から 1 萬 Ω 迄を、又は 0.1Ω から 10 萬 Ω 迄を、或は 0.1Ω から 100 萬 Ω 迄と云ふやうに區々してゐる。吾々として最も多く取扱ふのは中位抵抗の測定であり、之れが又抵抗測定法の基幹となるから、之れから説明をすることとする。

15.2 中位抵抗の測定

15.2.1 ホイートストンブリッジ (Wheatston bridge)

○ 原理 1823 年に S.H. Christie (クリスチイ) に依つて始めて提言された



第 15.1 圖

回路を C. Wheatston (ホイートストン) が實際に應用したものである。その結線圖は第 15.1 圖の如くで、圖中 P, Q, R は標準抵抗、X は未知抵抗、G は検流計、K₁, K₂ は開閉器、E は電源用電池である。普通 P, Q, R, X の各々を腕(アーム)と稱し此の場合は四ツ腕ブリッジと云ふ。先づ K₁ のみを押すと a, b 間に電池電壓 E が加はる。そして a,

e 間の電壓は $e_1 = E \times \frac{P}{P+Q}$ であり、a, d 間の電壓は $e_2 = E \times \frac{R}{R+X}$ で表される。故に c, d 間の電壓は

$$e = e_1 - e_2 = E \left(\frac{P}{P+Q} - \frac{R}{R+X} \right) = E \frac{P(R+X) - R(P+Q)}{(P+Q)(R+X)}$$

である。次に K₂ を入れた時に G に流れる電流を i とすると、テブナンの定理に依り G より見た回路の合成抵抗は

$$R_0 = \frac{PQ}{P+Q} + \frac{RX}{R+X} + G = \frac{PQ(R+X) + RX(P+Q) + G(P+Q)(R+X)}{(P+Q)(R+X)}$$

である。(但し E の内部抵抗は無視する) 故に

$$\begin{aligned} i &= \frac{e}{R_0} = E \frac{PR + PX - PR - RQ}{(P+Q)(R+X)} \\ &\times \frac{(P+Q)(R+X)}{PQ(R+X) + RX(P+Q) + G(P+Q)(R+X)} \\ &= E \frac{PX - RQ}{PQ(R+X) + RX(P+Q) + G(P+Q)(R+X)} \end{aligned}$$

となる。G に電流が通じない……これを平衡 (balance) 状態と云ふ……爲には上式の分子が零となる事が必要である。即ち

$$PX - RQ = 0 \quad PX = RQ \quad \text{より}$$

$$X = R \frac{Q}{P} \quad \text{として } X \text{ が定められる。}$$

附議 ① 最初から平衡して居るものと考へると、G には電流が流れない。P-Q と i_1 が、R-X と i_2 が流れ、c 点と d 点は同電位……従つて c, d 間には電流が流れない……となる。然るに a 及 b の電位を V_a 及 V_b とすると

$$c \text{ 点の電位 } V_c = V_a - i_1 P = V_b + i_2 Q$$

$$d \text{ 点の電位 } V_d = V_a - i_1 R = V_b + i_2 X$$

$V_c = V_d$ とすると $i_1 P = i_2 R$ $i_1 Q = i_2 X$ 後式の兩邊で前式の兩邊を除くと

$$\frac{P}{Q} = \frac{R}{X} \quad PX = RQ$$

即ち、平衡時にはブリッジ對應邊の抵抗の積は相等しい。これをブリッジの平衡條件と云ふ

② Q/P が一定で R を變化して調整するブリッジを比例腕ブリッジと言ひ、QR が一定で P を調整するものを乗積腕ブリッジと云ふ。

QP の値及び R 又は R, Q の値及び 1/P の値を適當に定め變化出来る様にして置くと G の振れが零となる時の P, Q, R の値を上式に代入して抵抗 X の値が定められる。此のホイートストンブリッジは各種のブリッジ類の基本型であつて、他のものは此の應用變形である。

③ 使用上の注意 (i) 接續用の導線には充分に太いものを用ひて、その抵抗が他に及ぼす影響を尠くする事、各部接續部分が接觸不完全の爲め抵抗を増大せぬ様に注意する。

(ii) K_1 を閉じた後に K_2 を閉じる事、若し順序を逆にするとブリッジが平衡してゐても抵抗の殘留自己誘導作用のため K_1 を閉じた瞬間に不平衡電流が流れてその分布が伸々一定せず G の振れが続いて測定し難い。

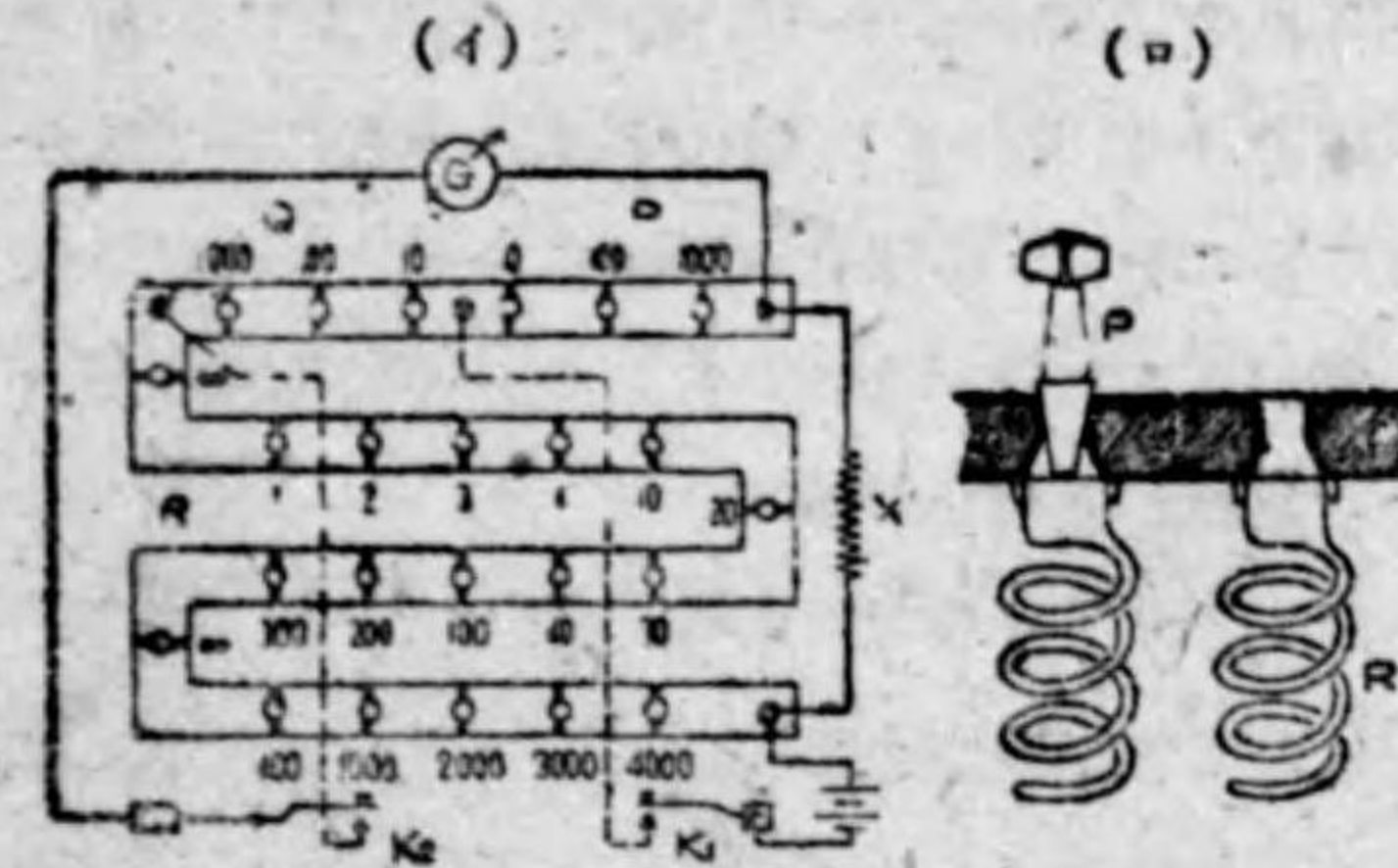
(iii) 一般に檢流計の抵抗は電池の抵抗に比して大きいから、此の場合は檢流計を 4 箇の抵抗の中、2 つの高抵抗の結合点と他の 2 つの低抵抗の結合点間に接續し、電池を殘りの 2 箇の結合点間に結ぶと感度がよく精密な測定を行ひ得る

15.2.2 栓型ブリヂ (plug bridge) と摺動線型ブリヂ (slide wire bridge)

ホイートストンブリッジの原理を其の儘應用したものに次のブリッジがある。

- 栓型ブリヂ
 - P.O.ブリヂ (post office bridge)
 - デケード型ブリヂ (decade bridge)
- 摺動線型ブリヂ

① P.O.型ブリヂ 此の P.O.型は英國郵政廳 (post office) で最初の標準型として採用したものである。その構造は、第 15.2 圖 (ロ) の如く、黄銅片

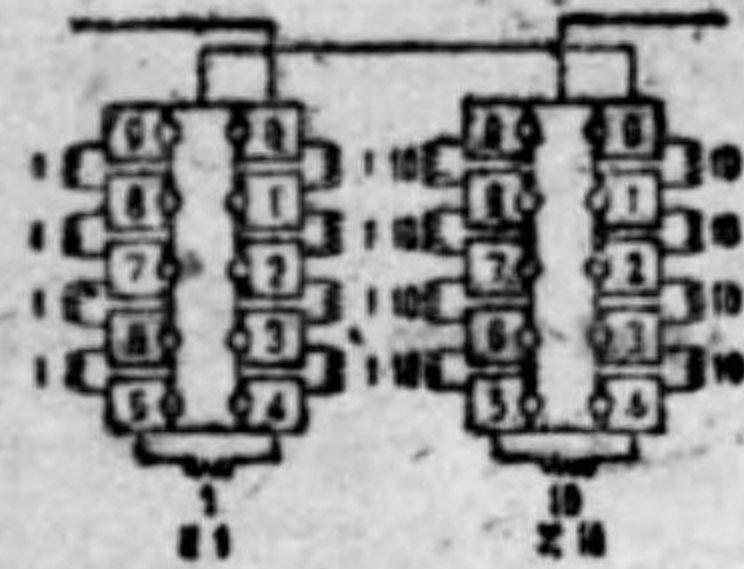


第 15.2 圖

a, b, c を抵抗線輪 R で接續したもので之等が適當の抵抗値を有してゐて (イ) 圖の如くに配列されてゐる。そして P なる栓を a b 間に入れると、P で R が短絡される事となり、P の抜き挿しの數を適當にして抵抗邊の抵抗値を

加減する。之れは比例腕ブリヂであつて、Q/P が豫め與へられる。即ち P の邊は 10 オームの栓を抜き (他は入つてゐる) Q の方は 100 オームの栓を抜くと $Q/P = 100/10 = 10$ 即ち比例腕の値は 10 となる。P, Q を適當に選ぶと、1, 10, 100 の比例値が得られる。又、R の邊には 1, 2, 3, 4, 10, 20, 30, 40, 100, 200, 300, 400, 1000... と抵抗値が與へられる。今此の使用法を示すと、先づ供試抵抗 X を第 15.2 圖の X に接續し、E に乾電池、G には指針型檢流計を接續する。そして P Q 夫々は 10 オームの栓を抜くと Q/P は 1 である。次に、例へば R の 4 と 30 を抜いた時 G の振れが零になつたとすると $R = 30 + 4 = 34$ オームであり $Q/P = 1$ であるから $X = 34$ オームとして求められる。此の型の欠点は、栓の弛み等の爲に抵抗値が變化し易く、同一抵抗の場合でも栓の抜き方で栓の數が異り、全体の接觸抵抗が變化する。即ち 30 オームの場合 30 オームの栓を抜くと 1 箇減するだけであるが、10 オームと 20 オームの栓を抜くと 2 箇減する事になる。

② 選變 (十進法配置) 型ブリヂ 此の型のブリヂの構造は第 15.3 圖に示す如くになつてゐて、1 位の數は 1 オーム組、10 位の數は 10 オーム組... と分たれ、一つの栓の間に夫々 1 オーム、10 オーム、100 オームの抵抗線輪が

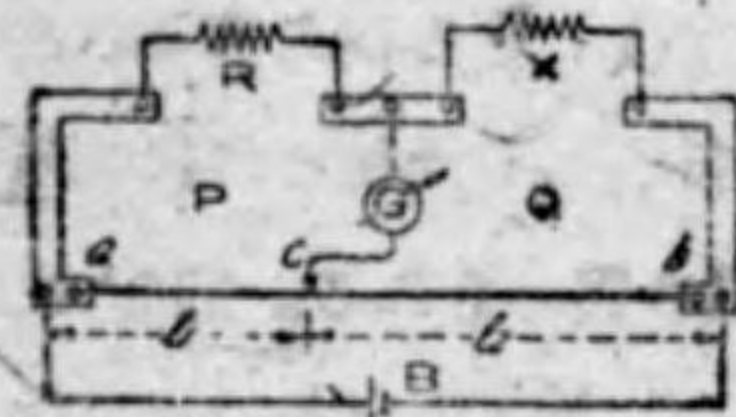


第 15.3 圖

接続されてゐる。今 1 オーム組の 4 の間に栓を入れると 5 以後の線輪は短絡されて、全抵抗は 4 オームとなる。同様に 60 オームの場合なら 10 オーム組の 6 の穴に栓を入れ、又 1 オーム組は 0 であるから 0 の穴へ入れる。325 オームであると 100 オーム組の 3 の穴に、10 オーム組の 2 に、1 オーム組の 5 に入れる。即ち各オーム組に於て唯一

つ栓が常に何れかの穴に挿入されてゐるから、接觸抵抗は常に一定に保たれ、又 100 オーム台のものでも 3 箇の栓があるだけであるから、その接觸抵抗も微々たるもので、殆どその影響はない。之れが本型の特長である。

③ 摺動線型ブリッジ



第 15.4 圖

その原理を示すと第 15.4 圖の如くで、圖に於て、*a b* は等質等断面の金属抵抗線であり、*c* はその移動接觸子であり、*X R* の抵抗の端子と *a b* を接続する爲に眞鍮板が使用されてゐる。*c* を移動して *c* の位置が *a* より l_1 だけ距つた所で *G* の振れが無くなつたとすると、*ac, bc* 間の抵抗は其の長さに

比例するから $X = \frac{l_2}{l_1} R$ として求める事が出来る。

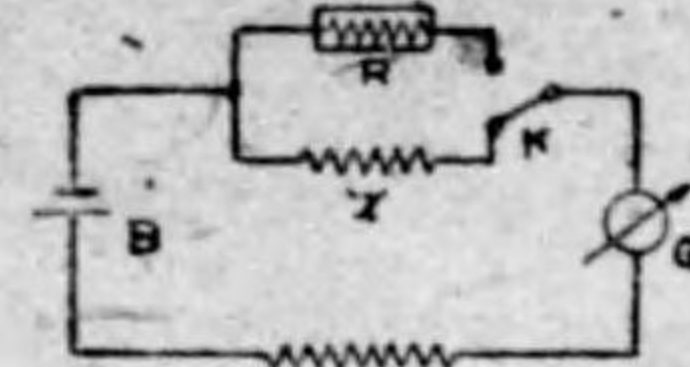
P.O 型及び遞變型は Q/P の値を一定にして R の値を變化するのであつた。此の型も矢張り比例腕ブリッジであるが、比例腕の値自身が變化する。*c* の位置の微妙な變化で X が測定されるので精密に結果が得られる。そして一般に l_2/l_1 の値を直接尺度上に目盛る。測定上の注意として、 R を成るべく X に近い値とすると誤差が少い。又電流を余り長い間通してゐると抵抗の溫度上昇に依つて誤差を生ずる。

15.2.3 電位差計法 (8.4.4 を参照)

前項のブリッジ法と本方法が最も精密である。本方法に就ては既に説明したから重ねて申さない。

補講 電位差計を用ふる代りに内部抵抗の大きいミリボルト計を第 15.7 圖の *G* の代りに用ひても未知抵抗 x の値を測定し得る。之れを電壓降下法又は電壓比較法と云ふ。

15.2.4 置換法 (substitution bridge)



第 15.5 圖

第 15.5 圖に於て

R; 可變標準抵抗 *X*; 未知抵抗
B; 電源電池 *G*; 直流検流計

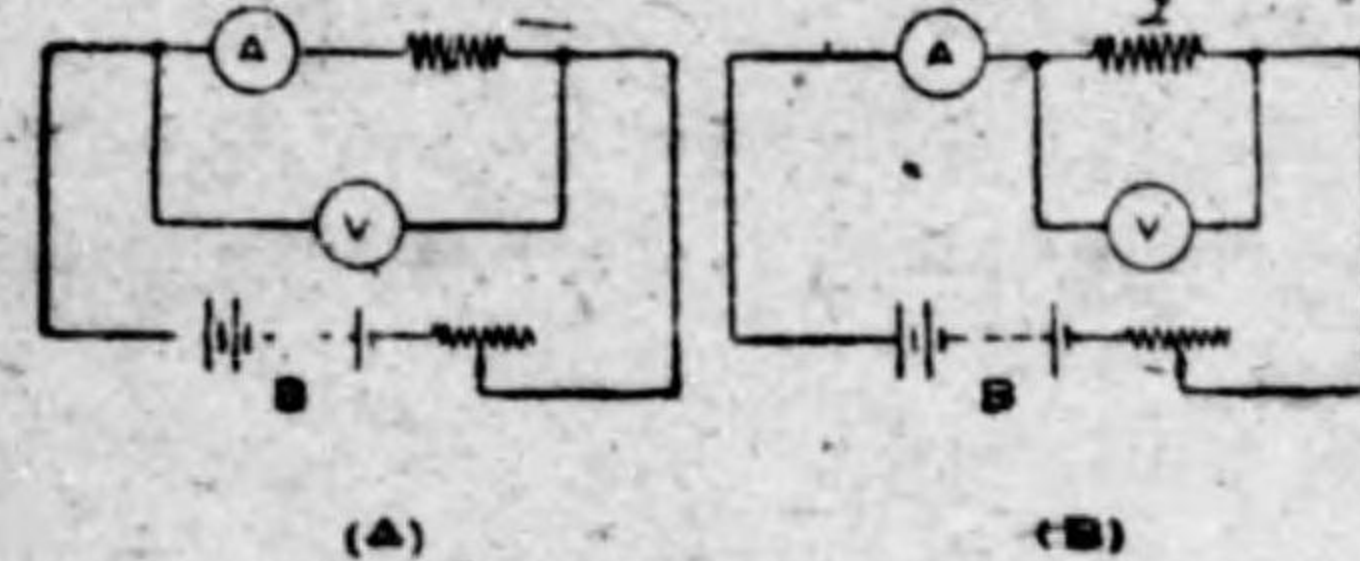
とする。今 *K* を下方に倒した場合の *G* の振れを d_1 とする。次に *K* を上方に倒し *R* を變化して *G* の振れが d_1 である様に調整すると、 d_1 が等しい事

は電流の相等しき事であるから $R=X$ として未知抵抗 X が求められる。

(註) X が中位抵抗で電流がミリアンペア又はアンペアであれば、検流計の代りに之れに應ずる電流計を用ひ、 X と R の電流容量を等しいやうにする。

15.2.5 電壓計電流計法

適當な目盛の電壓計と電流計があれば直ちに行ひ得る極めて實用的な方法で、申す迄もなくオームの法則を其の儘引用して 抵抗 = 電壓 ÷ 電流 より求める。未知抵抗 x に対して電壓計と電流計を結ぶのに第 15.6 圖 (A) と (B) がある



(A) (B) 第 15.6 圖

(第 14.2 圖と比較研究されよ)

今、電流計 *A* の内部抵抗を R_A 、電壓計の内部抵抗を R_V とし、夫々の読みを A 及 V とすると

(A) の接続で

$$\text{眞の } x \text{ の値} = \frac{x \text{ の電壓}}{x \text{ の電流}} = \frac{V - AR_A}{A}$$

$$(B) \text{ の接続で 眞の } x \text{ の値} = \frac{V}{A - \frac{V}{R_V}}$$

となつて、抵抗 = 電壓計の読み V ÷ 電流計の読み A と相違する。 R_V だの R_A の値が分つて居れば、眞の x の値を求め得るが、そうでない場合 $x = V/A$ に近い爲めには (A) は高抵抗の測定に適し、(B) は低抵抗の測定に適する。

(註) (A) に於て $\frac{V}{A} = x + R_A$ (電流計との直列合成抵抗) となるから、 x が大きく、 R_A が小さいと V/A は x に近くなる。

$$\text{又 (B) に於て } \frac{V}{A} = \frac{xR_V}{x + R_V} = \frac{x}{1 + \frac{x}{R_V}} \text{ (電壓計との並列合成抵抗) となり } x \text{ が}$$

小さく R_v が大きい程 V/A は * に近くなる。

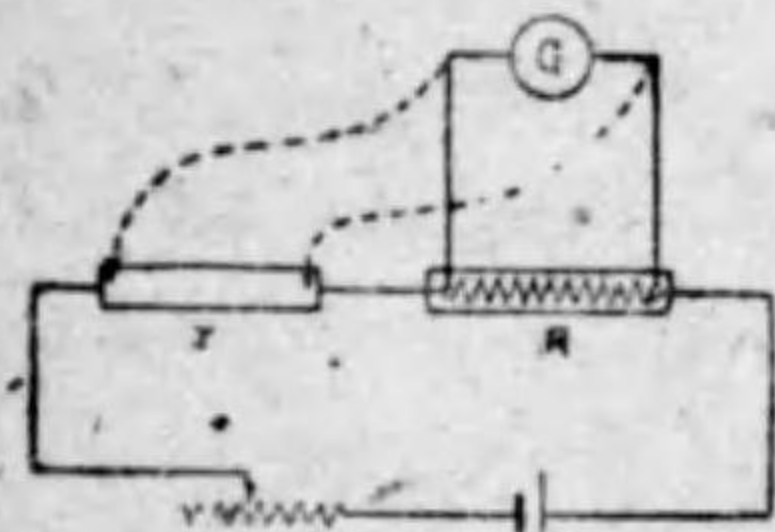
15.3 低抵抗の測定

15.3.1 電位差計法 (8.4.4 参照)

電位差計電源及び上部の抵抗回路の電源としては、成る可くその電流が一定不変な電池を選んで用ひる必要があり、* に近い R を選ぶ方がよい。

15.3.2 電圧比較法

前方法と同一の原理であつて、R, x の直列回路に電流を流し R 及び x の両端に検流計 G を切換開閉器で接続する。G を R に入れた場合の G の振れ



第 15.7 圖

d_1 は $d_1 = KiR$ であり、G を x に入れた場合の G の振れ d_2 は $d_2 = KiX$ であるから

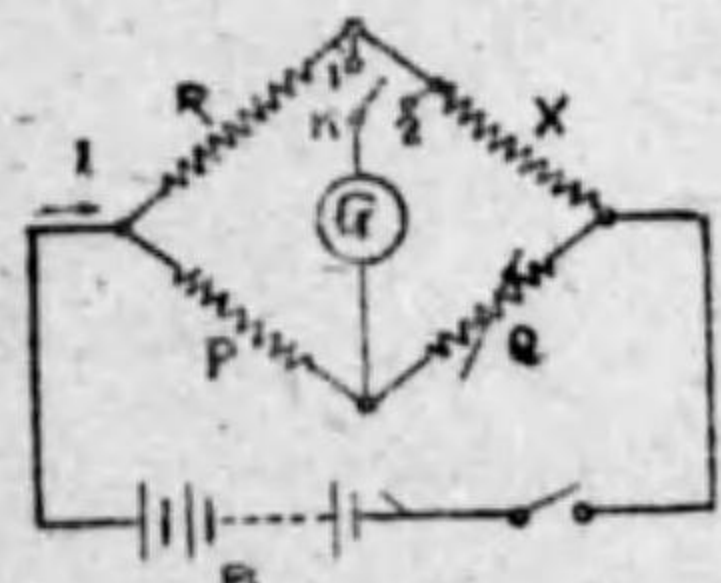
$$i = \frac{d_1}{KR} = \frac{d_2}{KX} \quad \therefore X = \frac{d_2}{d_1} R$$

として求める事が出来る。

此の場合 G は内部抵抗の大なるものを用ふるからその電流は微小であつて、各接続部分の抵抗は無視し得る。

15.3.3 ホイートストンブリッジ法

普通のホイートストンブリッジを以て低抵抗測定を行ふと、接続導体の抵抗が入つて来て誤差の原因となる。其處で、X と R を接続する導体抵抗の影響を除く爲に第 15.8 圖の如く X と接続線の結合 2 と、R の端子との結合 1 より夫



第 15.8 圖

* 端子を出して置く。

接続線の抵抗を例へば r とすると K を 1 の方へ入れて Q が Q_1 にて平衡した時は

$$\frac{P}{Q_1} = \frac{R}{X+r} \quad \therefore \frac{P}{P+Q_1} = \frac{R}{X+r+R}$$

K を 2 の方へ入れて Q が Q_2 にて平衡した時は

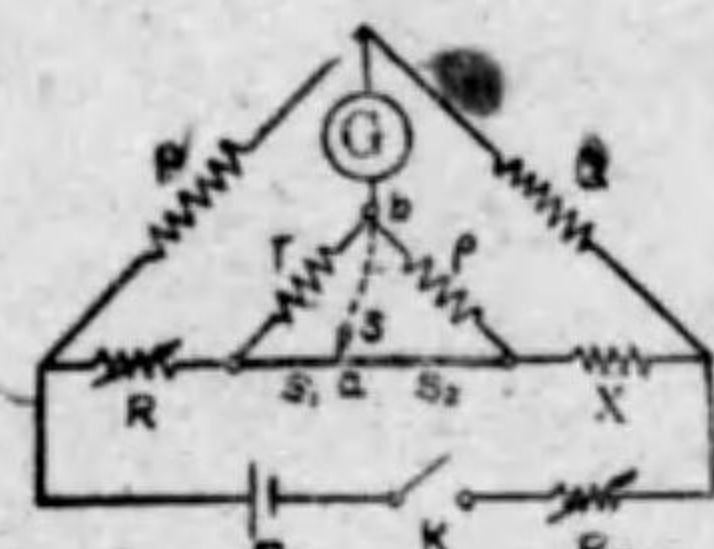
$$\frac{P}{Q_1} = \frac{R+r}{X} \quad \therefore \frac{P+Q_1}{Q_1} = \frac{R+r+X}{X}$$

$$\text{兩式より } \frac{P}{(P+Q_1)R} = \frac{Q_2}{(P+Q_2)X} \quad \therefore X = R \frac{(P+Q_1)Q_2}{(P+Q_2)P}$$

として X が求められ、此の式には r を含んでゐないから r の影響を除き得る

15.3.4 ケルビン・ダブルブリッジ法

此のブリッジは前記のブリッジのやうに、二回に亘つて平衡操作をせず、然かも接続線抵抗の影響を除去する事の出来るもので低抵抗の測定法として最も廣く用ひられてゐる。



第 15.9 圖

X に未知抵抗が接続される。今 K を入れると電流が流れるが、指動抵抗線 S と r, ρ の直列抵抗の部分と並列になつてゐる。今 R を變化して G の振れが零になつたとすると G の電流は零であるから S の両端の電圧と r ρ の抵抗の両端の電圧は

等しいから、S 上には r と ρ の接続点 b の電位と等しい点 a があるのは明かである。そうであれば a と b を接続しても何等の影響がない譯であるから、平衡状態に於ては r と S₁ の並列と、ρ と S₂ の並列抵抗を以て等價な抵抗を考へられる。故に

$$\frac{P}{Q} = \frac{R + \frac{rS_1}{r+S_1}}{X + \frac{\rho S_2}{\rho+S_2}} \quad \text{又} \quad \frac{r}{S_1} = \frac{\rho}{S_2} = \frac{r+\rho}{S_1+S_2} = \frac{r+\rho}{S} \quad \text{であるから}$$

$$S_1 = \frac{rS}{r+\rho} \quad \therefore \frac{rS_1}{r+S_1} = \frac{\frac{r^2S}{r+\rho}}{r + \frac{rS}{r+\rho}} = \frac{rS}{r+\rho+S}$$

$$S_2 = \frac{\rho S}{r+\rho} \quad \therefore \frac{\rho S_2}{\rho+S_2} = \frac{\frac{\rho^2S}{r+\rho}}{\rho + \frac{\rho S}{r+\rho}} = \frac{\rho S}{r+\rho+S}$$

$$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R + \frac{rS}{r+\rho+S}}{X + \frac{\rho S}{r+\rho+S}} \quad \therefore PX + P \frac{\rho S}{r+\rho+S} = RQ + Q \frac{rS}{r+\rho+S}$$

$$X = \frac{RQ}{P} + \frac{Q}{P} \frac{rS}{r+\rho+S} - \frac{\rho S}{r+\rho+S} = \frac{Q}{P} R + \frac{rS}{r+\rho+S} \left(\frac{Q}{P} - \frac{\rho}{r} \right)$$

茲に於て $\frac{Q}{P} = \frac{\rho}{r}$ であれば、上式右邊第 2 項は 0 となり

結局 $X = \frac{Q}{P} R = \frac{\rho}{r} R$ として求められる。

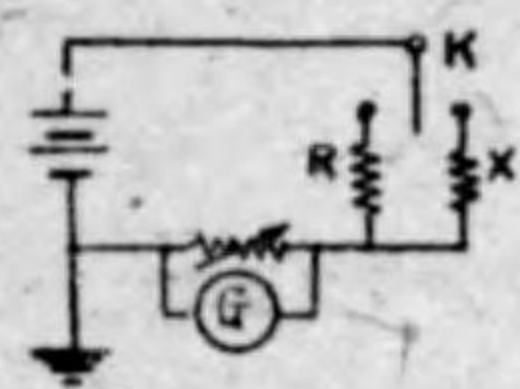
R, S, X の抵抗値より P, Q, r, ρ 等の抵抗を大にしてあるから、検流計等には極く小さい電流のみ流れ、導線の抵抗、接觸抵抗等の影響は殆どなくなる。此のブリツチでは 0.0001 オーム程度のものが精密に測定される。

15.4 高抵抗の測定

實驗室で絶縁材料の絶縁抵抗を測定するやうな場合には、直偏法や漏洩法等を用ふるが、一般の絶縁抵抗、例へば小中型電氣機器、配電線路等に対しては後述のメガを使用する。

(註) 高抵抗をキートンブリツチで測定しようとする時、比例差の比が極端に大となつて大きな誤差を生ずる。

15.4.1 直偏法 (direct deflection method)



第 15.10 圖の如く既知抵抗 R (1~10 MΩ のもの) 及び未知抵抗を接続し、K を R 及び X に切り換へて夫々の G の振れを見ると

$$X = \frac{d_1}{d_2} R \text{ として求められる。}$$

第 15.10 圖

茲に d_1 ; R の場合の振れ d_2 ; X の場合の振れである
検流計の感度は、最高 10^{-10} A/mm 位であるから、試験用電壓として 1000V を使用した時に振れの長さが 1cm 程度を得るには $\frac{10^3}{10^{-10} \times 10} = \frac{10^3}{10^{-9}} = 10^{12}$ Ω 程度の抵抗が要る。即ち 10^{12} Ω 程度のものが測定可能な凡その最高抵抗である。

15.4.2 漏洩法

第 15.11 圖の如き接続をなし、先づ K_1 を閉じて C を充電し、次に K_1 を開くと共に K_2 を閉じると C の充電電氣量は R を通じて放電されるが、此の放電量は抵抗 R の大小に依て異なり、その放電量 (C の両端の電壓の降下) は G の振れに依つて測定される。即ち K_1 を入れて蓄電器を充電し、次に K_1 を開き



K_2 を入れて放電した上記の場合の G の振れを θ_0 。次に K_2 を開き K_1 を閉じ、再び充電し、 K_1 を開き其の儘 R に放電させて t 秒後に K_2 を閉じ、再び G の振れ θ を讀むと、抵抗 R の値は

$$R = \frac{t}{2.3 C \log_{10} \frac{\theta}{\theta_0}} \text{ より計算される。}$$

第15.11圖 15.4.3 直偏法に依る絶縁材料固有抵抗の測定

絶縁材料の固有抵抗や、絶縁電線の絶縁抵抗の測定等には上述の直偏法が行はれ、低抵抗や中抵抗には零位法が行はれる。高抵抗に直偏法が行はれる理由は、高抵抗であるから電流に依る電力損失が大で、電流を長く通じて種々なる調整を行つてゐると電力損失が大となる爲めである。それで手早く出来る直偏法が行はれるのであつて、精密さに於ては零位法に劣るが、元來斯様な高抵抗の測定は他の種々なる條件で相當の誤差を含むから、測定法に依る誤差は無視してよい。絶縁材料の支持するには、第

15.12 圖 (甲) (乙) の如き方法がある。



(甲) (乙)

第 15.12 圖

(註) 何れも絶縁物の表面を通じて兩電極間……(乙) 圖では上下の水銀を電極とする。……に流れる表面漏洩電流の影響を除くやうにしてゐる。…

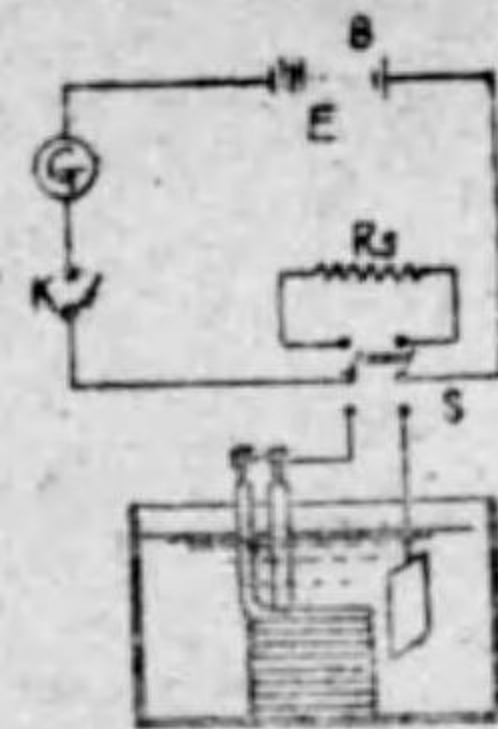
…普通絶縁物に電壓を加へてから約 1 分後の測定値を取る。之は絶縁物で形成される蓄電器の充電電流の影響を除く爲めである。

15.4.4 絶縁電線絶縁抵抗の測定

絶縁電線の心線と、外側の被覆物との間に電壓を加へると電流が流れるが、その電流を以て検流計に振れを生ぜさせ、前述の直偏法に依つてその抵抗を算出するその結線方法は第 15.13 圖の如く、供試電線兩端の心線を別々に、兩端を電氣的に結び付ける。そしてそれを水槽中に入れ、別に水槽中に電極板を入れる。

供試試験電壓の高い時は心線と被覆との間に於て心線より被覆の表面を通じて漏洩する電流が生ずる。之は求めんとする絶縁物を通る電流ではないから誤差の

原因となるので、之を防止せねばならない。防止方法としては第 15.14 圖の如



第 15.13 圖

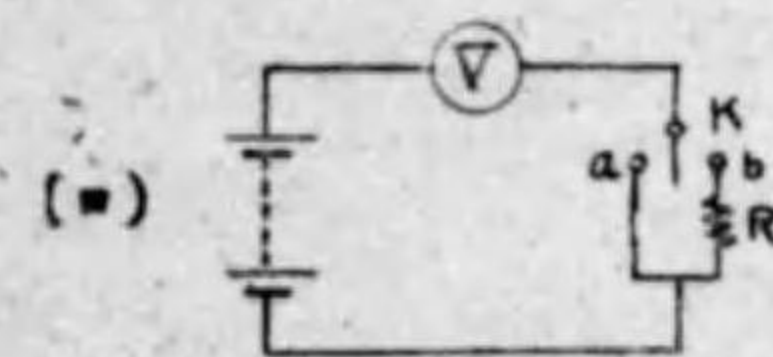
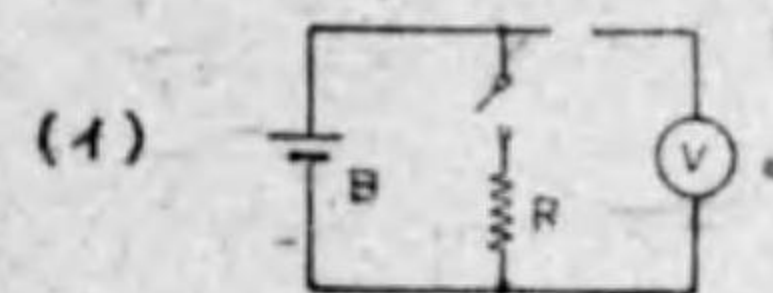
き方法が採られてゐる。即ち表面漏洩電流は保護線を通じて流れ、検流計には流れない。測定方法は、先づ G を短絡して置き、その倍率を最大とした後、S を R₂ 側に入れて後に検流計の短絡を開くと G に振れを生ずるが、此の振れを d₁ とし G の倍率を m₁ とする。次に G を短絡して倍率を m₂ とし S を電線側に入れ、約 30 秒経つてから検流計の短絡を開き、1 分間後の G の振れを d₂ とすると

$$\text{絶縁抵抗 } X \text{ は } X = \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} R_2 \text{ として求められる。}$$

試験に當つては m₁ m₂ を種々に變化して求め、その平均値を取る。
 (註) 試験方法に就ては、逓信省「電氣工作物規程」細第 15 條以下に規定されてゐる。
 その詳細は電氣技術講座第二卷 237 頁参照

15.4.5 電壓計法

之れには第 15.15 圖の (イ) (ロ) の 2 種の方法がある。(イ) に於て先づ開



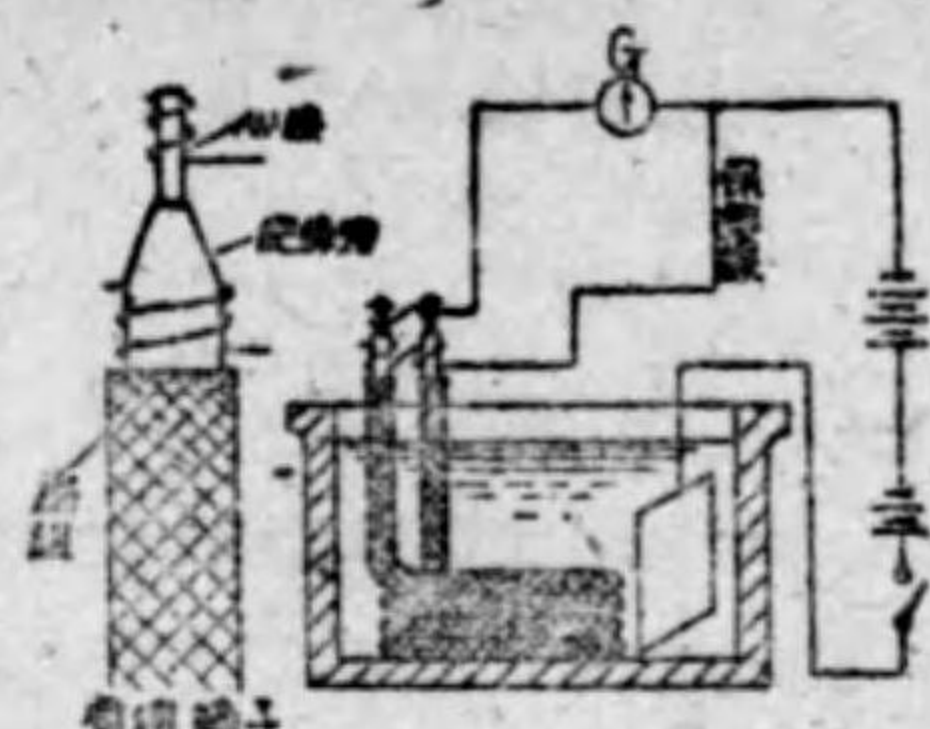
第 15.15 圖

$$R_B = \frac{E_1 - E_2}{E_2} R$$

閉器 K を開いて電壓計 V に依り電源電壓 E₁ を読み、次に K を入れて電壓計を未知抵抗 R と並列としたときの V の読みを E₂ とする。電池の内部抵抗を R_B とし、電壓計の内部抵抗は甚だ大なるものとする

$$E_2 = E_1 \frac{R}{R_B + R} \quad \therefore R = \left(\frac{E_1}{E_1 - E_2} \right) R_B$$

(註) 此の方法で R が既知であると電池の内部抵抗 R_B はとして求められる。



第 15.14 圖

(ロ) 圖に於ては K を a 側に入れて電源電壓 E₁ を知り、次に b 側に入れて V の読みを E₂ とする。又電壓計の内部抵抗を R_V とし、電池の内部抵抗は甚だ小なるものとして無視すると

$$E_2 = E_1 \times \frac{R_V}{R + R_V} \quad \therefore R = \left(\frac{E_1}{E_2} - 1 \right) R_V$$

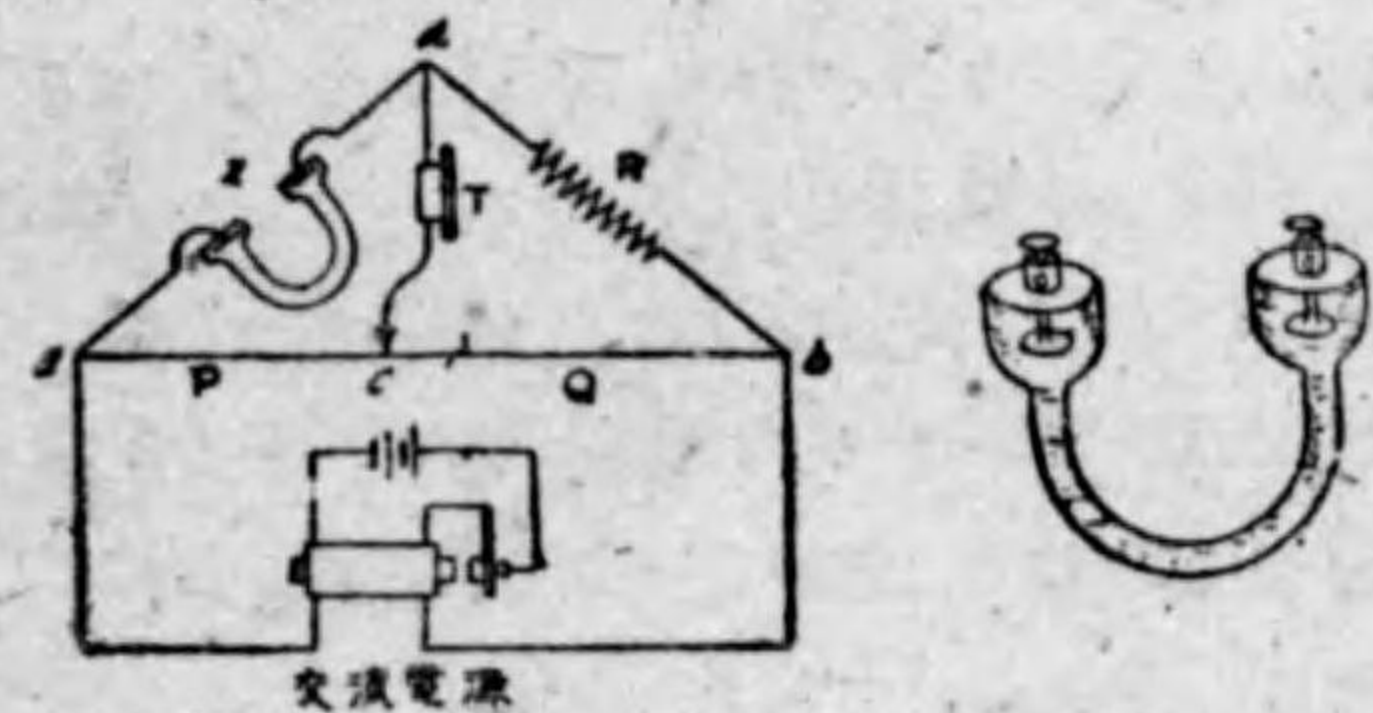
(註) 何れの方法にしても E₂/E₁ (又は E₁/E₂) が 2 の時、感度が最もよい。(イ) は R_V が大きく R の小なるときに適し、(ロ) は R_B が小さく R の大なるときに適する。

15.5 電解液抵抗の測定

電解液 (例へば硫酸銅溶液とか食塩水) の抵抗を測定する爲に之に直流電流を通すると電氣分解を生じ、逆起電力が発生するので、精確にその抵抗値を測定する事は出来ない。従つて交流 (100~1000 サイクル) を用ふるか、或は逆起電力を消去する方法に依る。

15.5.1 コーラウシュブリッジ (kohlrausch bridge)

コーラウシュブリッジはホイートストンブリッジの原理と同様であるが、電源



第 15.16 圖

としては、誘導線輪による交流電源 (100~400 周) が使用されてゐる。第 15.16 圖に於て a, b は摺動抵抗線、R は標準抵抗、x は電解液、T は電話受話器である。

C 点を摺動して T の無音となる点を見出し、a b の目盛より a c が P, b c が Q であるとする

り a c が P, b c が Q であるとする

$$x = \frac{P}{Q} R \text{ として求める事が出来る。}$$

電解液容器が變るとその値が變化するので、一定の容器があり、乙圖の如きものを用ふる。

15.5.2 コーラウシュブリッジに依る電解液固有抵抗の測定

所定の容器に固有抵抗の既知な標準溶液を入れてコーラウシュブリッジで抵抗を測定し、r を得たとする。次に供試電解液を同一の容器に入れて抵抗を測定し

xを得たとすると

$$\rho_x = \frac{x}{r} \rho_r \quad \text{但し } \rho_r \text{ は既知固有抵抗として求められる。}$$

既知の標準溶液としては通常食塩溶液を用ひるが、其の固有抵抗の値は次の如きである。

固有抵抗表

温度 (°C)	固有抵抗 (Cm ²)
15	4.963
16	4.847
17	4.735
18	4.627
19	4.525
20	4.425
21	4.329

蒸溜水.....1000 c.c

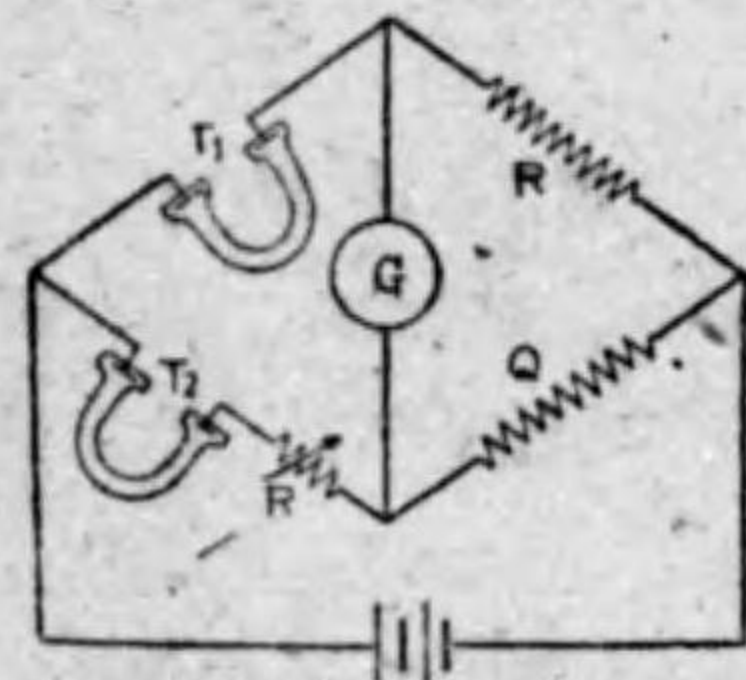
食塩.....264 g

比重.....1.201

15.5.3 ヘンダーソンプリツヂ法に依る電解液固有抵抗の測定

第 15.17 圖の如き接続になるブリツヂをヘンダーソンプリツヂと云ひ、 T_1 及 T_2 は断面同一にして長さの異なる容器で、之に等質の電解液が入つてゐる。R

は可變抵抗、p 及 Q は標準抵抗で其の値は相等しい。



第 15.17 圖

圖の如き接続にて T_1 は T_2 より長いから、當然抵抗は大である。それで R を入れると T_2 の少ないだけ補償される。R を調整して G の振れが零になつたとすると T_1 と T_2 の電流が等しいから成極作用に依る逆起電力は相等しいので、それが回路に與へる影響は平衡されてしまふ。故に

$$T_1 \text{ の抵抗} = \rho l_1 / S \quad T_2 \text{ の抵抗} = \rho l_2 / S$$

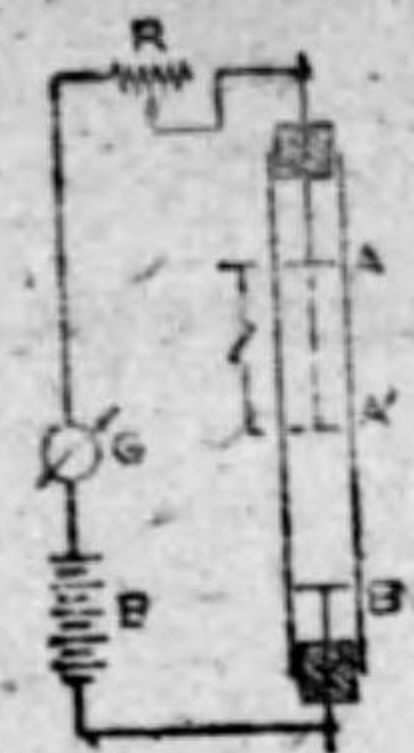
但し ρ : 固有抵抗 l_1 , T_1 の長さ l_2 , T_2 の長さ S : 断面積

$$\rho \frac{l_2}{S} + R = \rho \frac{l_1}{S} \quad \rho \frac{(l_1 - l_2)}{S} = R \quad \therefore \rho = \frac{RS}{l_1 - l_2}$$

として求められる。

15.5.4 置換法に依る電解液の抵抗測定

其の原理は前項と同様で、電解液の成極作用を同一の状態に保つて之れを測定結果より除去する方法である。即ち第 15.18 圖の如き硝子管に液体を入れ、電池 B よりの電流を檢流計 G、可變抵抗 R を經て硝子管内の白金電極 A、B に



第 15.18 圖

接続する。今 R を r_1 とした時の G の振れと A を l だけ下げ A' とし、R を r_2 とした時の振れが同一であつたとする。液体の固有抵抗を ρ 、容器の断面積を S 平方センチとすると

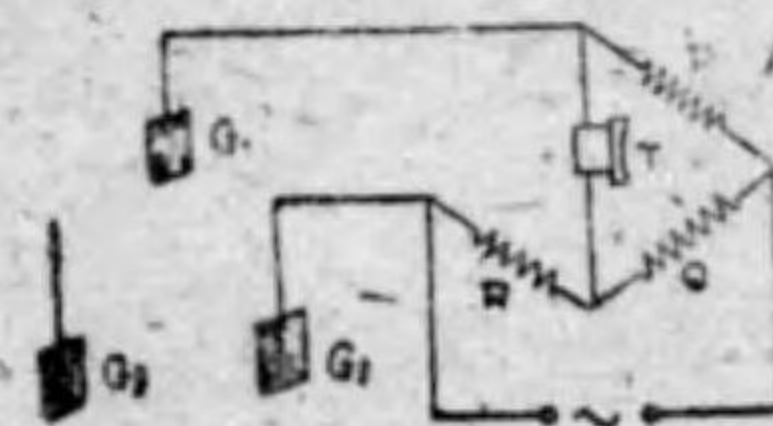
$$r_2 - r_1 = \rho \frac{l}{S} \quad \rho = \frac{S(r_2 - r_1)}{l}$$

以上、兩場合に於て、同一の電流が流れたのだから、 $(r_2 - r_1)$ の値には成極作用に依る誤差が除外されてゐる

15.5.5 接地抵抗の測定

避雷針、避雷器等の落雷を大地に放電さす爲に接地をする必要があり、其の他工作物の保安のために接地する事が度々ある。此の接地の効果は接地抵抗が小さい程よく、大きくなると無効になる。故に常に之を測定して記録して置く必要がある。接地抵抗を直流で測定すると、大地中の湿氣のために、接地板に成極作用を生ずるので交流を使用して測定する。従つてコーラウシュブリツヂやウイーヘルツブリツヂが用ひられてゐるが、近來、直讀式のもの一般に使用されつゝある。接地抵抗は天候、気温、湿度等に依つて非常に變化するものであるから、試験記録には之等の項目を忘れず記する必要がある。

① コーラウシュブリツヂに依る方法 第 15.19 圖の如く、接地板 G_1 の他に補助接地板 G_2 、 G_3 を一辺 3 米程の正三角形に配置し G_1 、 G_2 間、 G_2 、 G_3 間、 G_3 、 G_1 間の抵抗をコーラウシュブリツヂにて測定し、その値を夫々 R_1 、 R_2 、 R_3 とすると



第 15.19 圖

$$R_1 = G_1 + G_2 \quad R_2 = G_2 + G_3 \quad R_3 = G_3 + G_1$$

$$\frac{1}{2} (R_1 + R_2 + R_3) = G_1 + G_2 + G_3$$

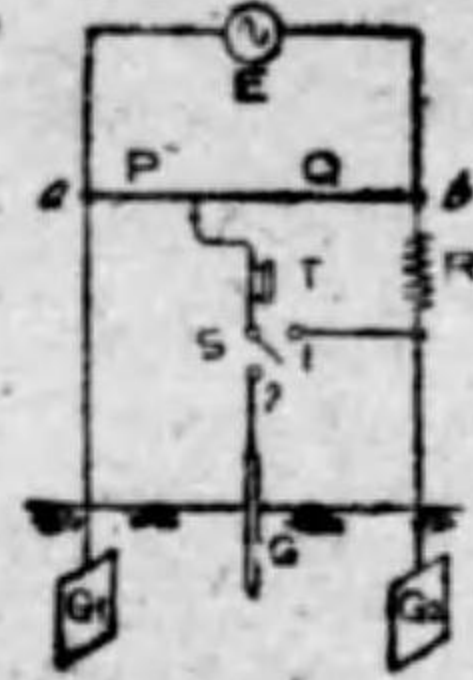
$$\therefore G_1 = \frac{1}{2} (R_1 + R_2 + R_3) - (G_2 + G_3) = \frac{1}{2} (R_1 + R_2 + R_3) - R_2$$

として求められる。

② ウイーヘルツ法 第 15.20 圖の如き接続で、接地板 G_1 の他に補助接地板 G_2 及び探針 G が使用されてゐる。S を右に入れ T の端子を移動して、

ac=P bc=Q なる時 T が無音となれば

$$G_1 + G_2 = \frac{P}{Q} R \text{ である。}$$



第 15.20 圖

次に S を左側に入れ C が P' Q' の点で平衡したとすると $G_1 = (R + G_2) \frac{P'}{Q'}$ となる。

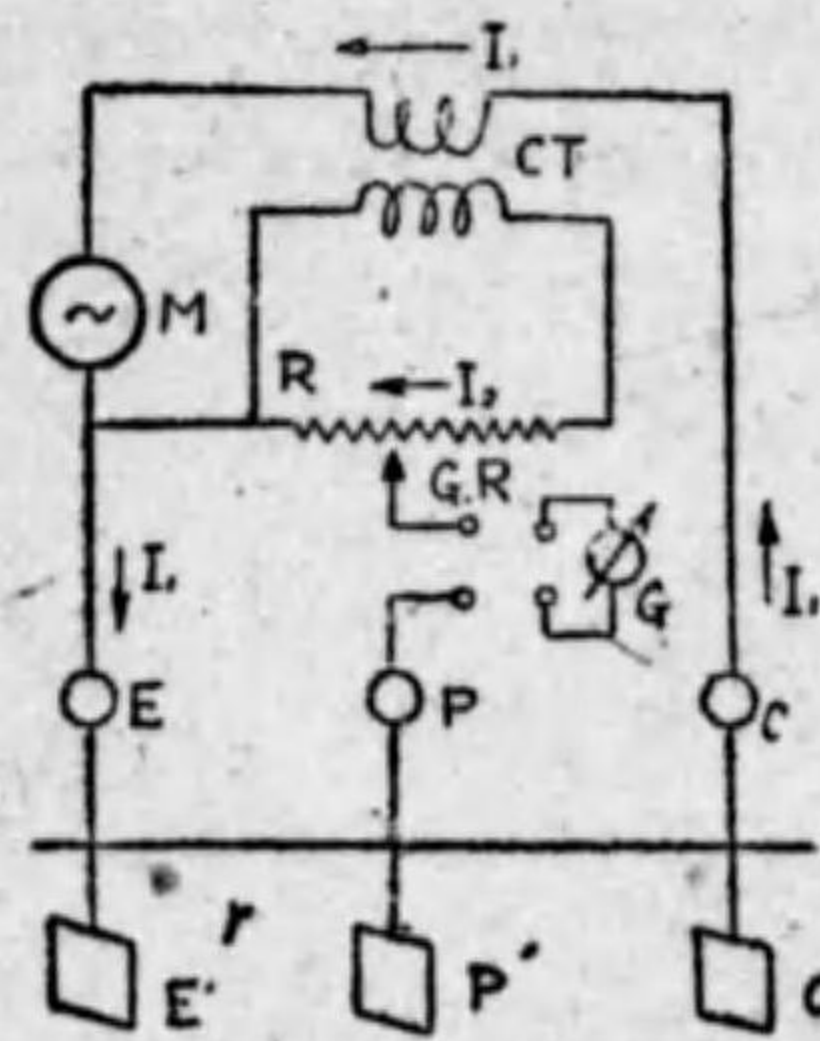
前式より $G_2 = \frac{P}{Q} R - G_1$

後式に代入して $G_1 = \left(R + \frac{P}{Q} R - G_1 \right) \frac{P'}{Q'}$

$$G_1 \left(1 + \frac{P'}{Q'} \right) = R \left(1 + \frac{P}{Q} \right) \therefore G_1 = R \frac{1 + \frac{P}{Q}}{1 + \frac{P'}{Q'}}$$

として求められる。

③ 直讀接地抵抗測定器 第 15.21 圖は横河式 L-9 型であつて、圖の如き接続で、發電機 M を回轉して電流 I_1 を M→E'→C'→C→M と一次回路に流し、 I_2 を二次回路に流す。R を調整して檢流計回路に流れる電流を零とすると、 $I_1 r = I_2 R$ で I_1 と I_2 の比が知れて居ると R の讀みから E' の接地抵抗 r を知



第 15.21 圖

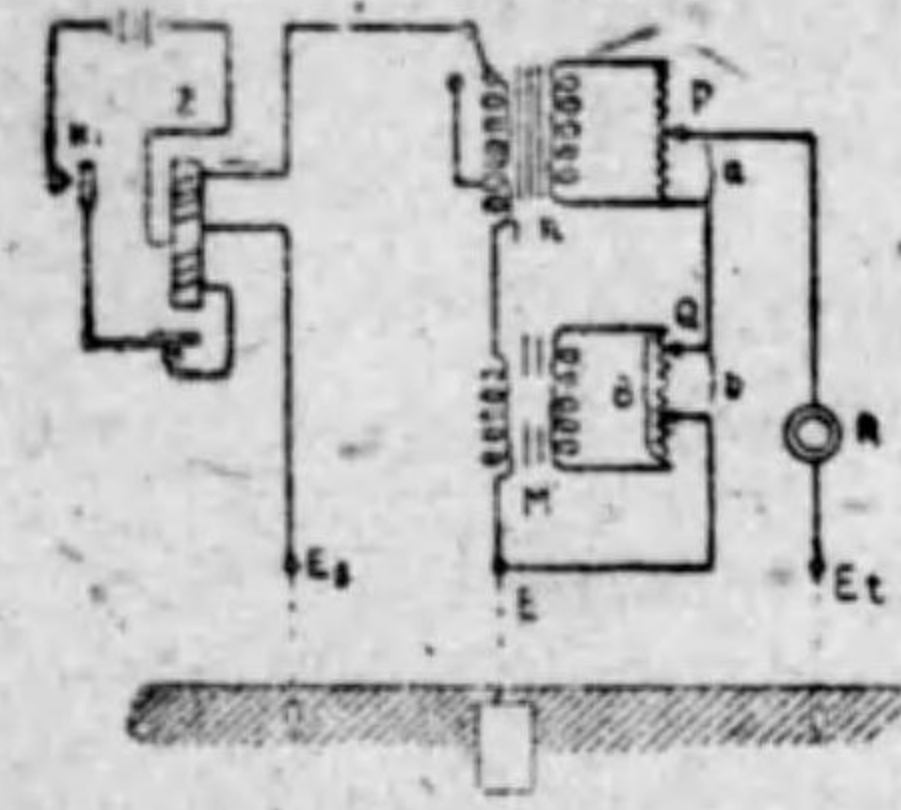
- M……磁石發電機
- C,T……變流器
- R……摺動抵抗
- G……直流檢流計
- G,R……發電機に直結された整流子
- E……測定すべき地板 E' に結ぶ端子
- P'及C'……補助接地
- P'及C……電流端子
- P……電壓端子

り得る。檢流計としては直流檢流計を用ふる……交流檢流計は感度が劣るから、整流 (G, R) した直流で動作させる様になつてゐる。……

(註) 本器は ;1000 Ω 以下であれば十分な感度が得られる。地板は一直線上に約 10 m

直讀接地抵抗測定器の理想である。指示が過大又は過小であれば倍率を調整する。倍率の切換へは 0~10, 0~100, 0~1000 で最低目盛は 0.2Ω である。

他の 1 種の大倉式を示すと第 15.22 圖の如くで、此の接続に於て、先づ電鍵



第 15.22 圖

K_1 を押すとブザー Z が發聲して地板を通じて交流電流が流れる。接觸子 P 及 Q の位置を適當に調整して受話器 R が無音となつた場合を見出すと、之れが地板インピーダンスと測定器内のインピーダンスが全く平衡した場合であるから、a の値に対してダイヤル上に適當に目盛ると P の位置から地板の抵抗値 r が直讀される。

15.6 特殊抵抗の測定

15.6.1 檢流計内部抵抗の測定

檢流計抵抗は可動磁針型で 1~35,000Ω であり、可動線輪型では 1~750Ω 程度が普通であつて、上述の中位抵抗の測定方法でも測定されるが、別に檢流計抵抗の測定として特殊な方法がある。

(註) ブリッジの感度を測定する場合等には檢流計の内部抵抗を知る必要がある。ホイートストンブリッジに依つて測定すると、電鍵を入れる毎に檢流計が強く振れて取扱上よくない。又檢流計が 1 箇しかなく此の抵抗を測定する場合には上記の方法では不便である。

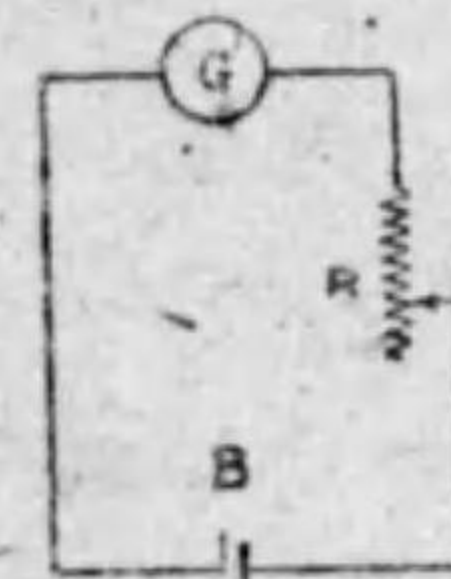
① 半偏法 第 15.23 圖で、調整抵抗 R の値を R_1 とした時 G の振れを

d_1 とすると

$$d_1 = K \frac{E}{G + R_1 + r} \text{ 但し G は檢流計、r は電池夫々の内部抵抗とする}$$

次に R を調整して G の振れが $d_1/2$ となる様にする其の時の R が R_2 であつたとすると

$$\frac{d_1}{2} = K \frac{E}{G + R_2 + r}$$



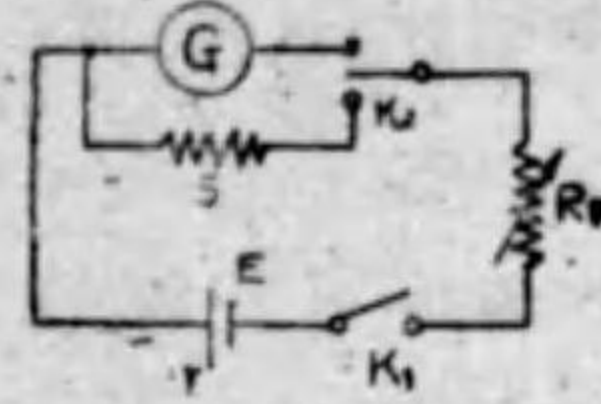
第 15.23 圖

$$\therefore 2(G + R_1 + r) = G + R_2 + r \quad G = R_2 - 2R_1 - r$$

として求められるが、r が G に比して甚だ小さい値であると $G = R_2 - 2R_1$ としても求められる。従つて、電池としては r の成る可く小さいダニエル電池又

は蓄電池一箇が使用される。

② 等偏法 K_2 を入れ、分流器 S を並列にした後 K_1 を入れた場合の G の振れが d_1 であつたとすると G の電流は



第 15.24 圖

$$i_1 = \frac{E}{\frac{GS}{G+S} + R_1 + r} \times \frac{S}{G+S}$$

$$= \frac{E}{G + \frac{G+S}{S}(R_1+r)}$$

である。但し R_1 は R_v のその時の抵抗、 r は E の内部抵抗

故に $d_1 = Ki_1 = \frac{KE}{G + \frac{G+S}{S}(R_1+r)}$

次に、 K_2 を開いて R_v を R_2 として G の振れが前と同じ d_1 になつたとすると、……(G と K_2 は常に結ばれてゐる)……

$$i_2 = \frac{E}{G + R_2 + r} \quad \therefore d_1 = Ki_2 = \frac{KE}{G + R_2 + r}$$

兩式より

$$G + \frac{G+S}{S}(R_1+r) = G + R_2 + r$$

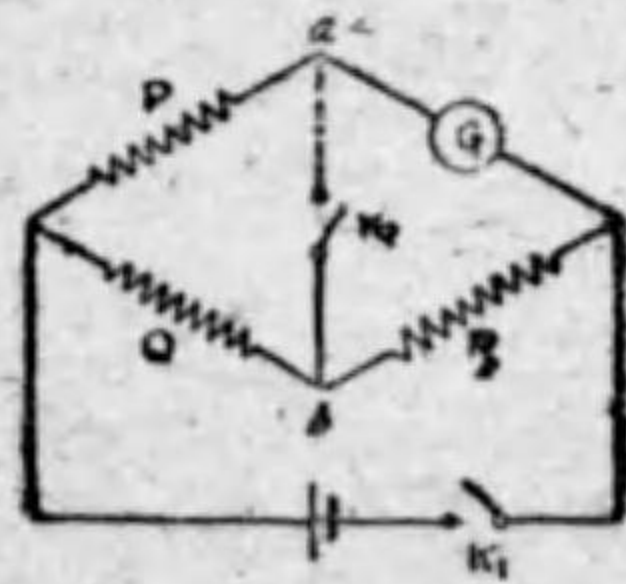
$$\left(\frac{G}{S} + 1\right)(R_1+r) = R_2+r \quad \frac{G}{S}R_1 + R_1 + \frac{G}{S}r + r = R_2+r$$

$$\frac{G}{S}(R_1+r) = R_2 - R_1 \quad \therefore G = S \frac{R_2 - R_1}{R_1+r}$$

として求められる。 r が R_1 や R_2 に比べて小さい時は r を無視し

$$G = S \frac{R_2 - R_1}{R_1} \quad \text{とされる。}$$

此の場合 d_1 を數回に変化してその平均値を探る必要がある。



第 15.25 圖

③ ケルビン法に依る方法 第 15.25 圖に示す如く、ホイートストンブリッジの橋絡回路には K_2 のみ接続し G は未知抵抗として X の腕に接続される。 K_2 を開いても G が振れない様に R を變化する。次に K_2 を閉じた時でも G の振れが變化しない様に、 R を調整して置くと、 K_2 を開閉し

ても橋絡線路に電流が流れないから $a b$ 間には電位差がない譯である。

従つて $PR = QG \quad \therefore G = \frac{P}{Q}R$ となる。

(註) 電源電池として普通の 1.5V の乾電池では電圧が高過ぎるので抵抗分壓器で電圧を低下して用ふことが多い。

15.6.2 電池内部抵抗の測定

電池内部抵抗の測定のために直流電流を流すと、成極作用の爲に内部抵抗が刻々變化する等の不便があるので、交流使用に依りその作用を平衡さす方法を取る又、成極作用の小さいものは直流法に依つても宜いが、豫めその誤差を覺悟しなければならぬ。

① 半偏法 此の方法は第 15.26 圖の如く接続して R を R_1 にし、 K を入れた時 G が d_1 なる振れを生じたとすると



第 15.26 圖

$$d_1 = Ki_1 = \frac{KE}{R_1 + G + r}$$

G ; 検流計抵抗 r ; 電池 E の内部抵抗

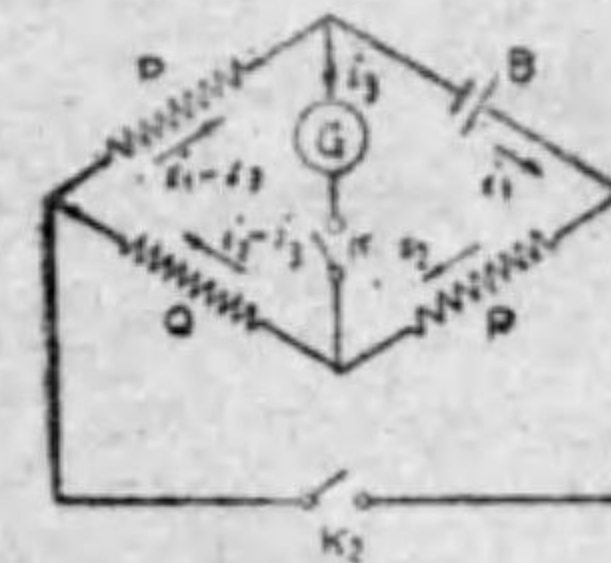
次に $d_1/2$ を與へるやうに R を變化した時 R_2 であつたとすると

$$\frac{d_1}{2} = K \frac{i_1}{2} = \frac{KE}{R_2 + G + r} \quad \therefore 2(R_1 + G + r) = R_2 + G + r$$

$$\therefore r = R_2 - 2R_1 - G$$

として求められる。 R_1 を種々に變化して r を算出し、その平均を探つて r を定めるが、 K を入れる時間を成る可く少くする事が肝要である。

② コーラウシユブリッジに依る方法 此の方法は第 15.16 圖の X の代りに供試電池を接続すればよい。電池が 2 箇あれば極性を反對にして直列とし、2 箇分の内部抵抗を測定する。



第 15.27 圖

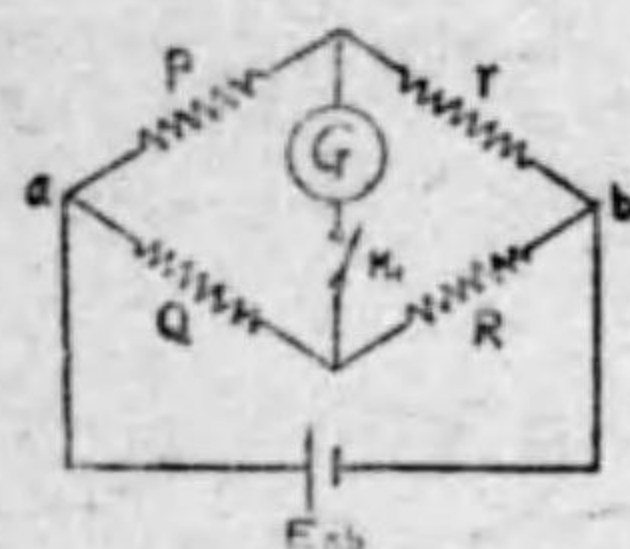
③ マンス法に依る方法 第 15.27 圖の如き接続に成るブリッジをマンス法と云ふ。先づ、 K_1 を開いた儘 K_2 を入れた時の検流計 G の振れを読み d とする。次に、 K_2 をも入れて PQR を變化して G の振れ d が變化しない様に調整すれば

電池 B の内部抵抗 $r = \frac{P}{Q}R$ として求められる。

補譯 此の式の成り立つ事を説明すれば、先づ K_1 を入れた時、G には

$$i_s = \frac{E}{r+R+\frac{(P+Q)G}{(P+Q)+G}} \times \frac{P+Q}{(P+Q)+G}$$

なる電流が流れる。そして両側 ab に電圧が現れる。だから K_2 を入れた時に餘分は流れる電流のみの回路は此の電圧を E_{ab} とすると第 15.27 圖は第 15.27 圖の如く B を無くした回路となる。(テブナンの定理) K_1 を入れても G の振れが無い(此の電圧 E_{ab} に依る電流が G に流れないで依然として i_s である) 標にするにはホイートストン・ブリッジの原理により $r = \frac{P}{Q}R$ とならねばならない。故に上式が成立のである。

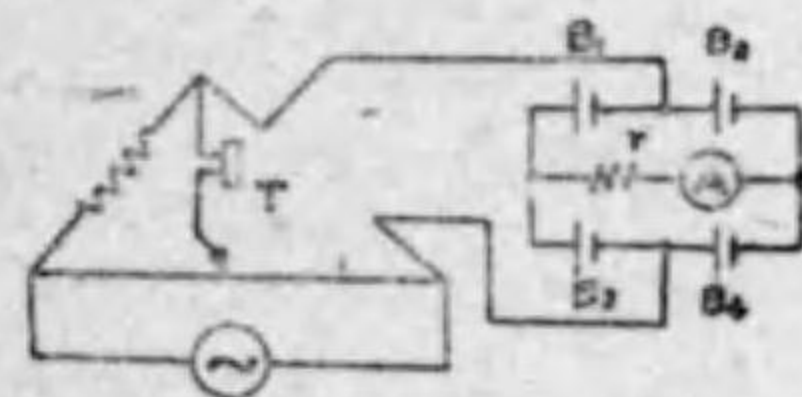


第 15.28 圖

● 電圧計法 15.4.5 の第 15.15 の圖及註を参照
補譯 或は又、電圧計と電流計を用ひ、電壓降下法に依つても内部抵抗を測定し得る。即ち内部抵抗の十分に大なる電圧計で、電池の電圧を計つたとき、之れが E_1 であつたとすれば E_1 は電池の起電力と考へられる。次に電池に適當な抵抗を接続して電流 I を取り出したときの電池の電圧を E_2 とすると

$$E_2 = E_1 - IR_B \quad \therefore R_B = \frac{E_1 - E_2}{I} \quad \text{但し } R_B \text{ は電池の内部抵抗}$$

此の電壓降下法に依ると使用中の電池の内部抵抗を測定し得るが、更らに精密には第 15.29 圖のやうにコーラウシユブリッジを用ふる。圖の接続では、 $B_1 B_2$ 及 $B_3 B_4$ の並列が負荷抵抗 r に電流を供給して居る場合で、漸減な状態で抵抗を測定すると $B_1 B_2$ と $B_3 B_4$ の直列のものが 2 組並列にある合成抵抗で、同様な電池なら 1 箇の内部抵抗に等しい。



第 15.29 圖

15.6.3 抵抗の較正及導電率の測定

殆んど相等しい抵抗の比較、又は摺動線の抵抗、抵抗副原器の較正等に採用せらるゝケリーフオスターブリッジ (carey-foster bridge) を説明する。

(註) 2 つの抵抗の差を求めるもので低抵抗測定ブリッジの 1 種である。

● 原理 その接続圖は第 15.30 圖の如くであつて、P, Q; 相互比較すべき兩抵抗、R, X; 比例腕、A, B; 摺動抵抗線である。



第 15.30 圖

G の端子が C 点の所で G が平衡したとすれば、AC 間の長さを l_1 、單位長の抵抗を ρ とすると

$$\frac{R}{X} = \frac{P+l_1\rho}{Q+(l-l_1)\rho}$$

となるのは圖より明かである。

$$\therefore \frac{R}{R+X} = \frac{P+l_1\rho}{Q+(l-l_1)\rho+P+l_1\rho} = \frac{P+l_1\rho}{Q+P+l\rho}$$

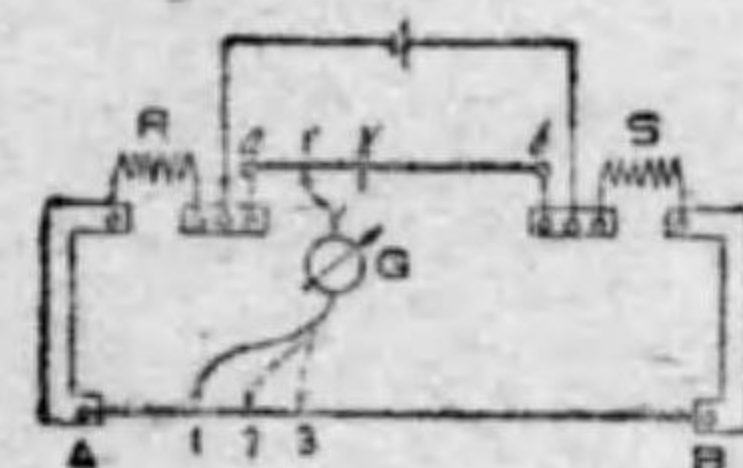
次に P と Q を入れ換へて、G の端子を移動して、d 点の所で G が平衡したとすれば、Ad 間の長さを l_2 とすると

$$\frac{R}{X} = \frac{Q+l_2\rho}{P+(l-l_2)\rho} \quad \therefore \frac{R}{R+X} = \frac{Q+l_2\rho}{P+Q+l\rho}$$

$$\text{上 2 式より } P+l_1\rho = Q+l_2\rho \quad \therefore P-Q = (l_2-l_1)\rho$$

即ち 2 抵抗 P と Q の差は、摺動線上の端子の移動距離より求められる。

● ケリーフオスターブリッジに依る摺動線抵抗の較正方法 第 15.31 圖の



第 15.31 圖

如き接続をする。AB; 較正せんとする摺動抵抗線 (P Q に相等する) ab; 本來の摺動線 RS; 兩者の差が精密に判つてゐる抵抗 (其の差が小さい程精密較正がされる)

檢流計 G の兩端子を夫々 AB 上の 1 の点、a b 上の 1' の点に置いて G が平衡したとする。次に R と S を入れ換へ、1' の位置は變へずに 1 を

2-に移動して再び G が平衡したものとすると、前述の説明の通り

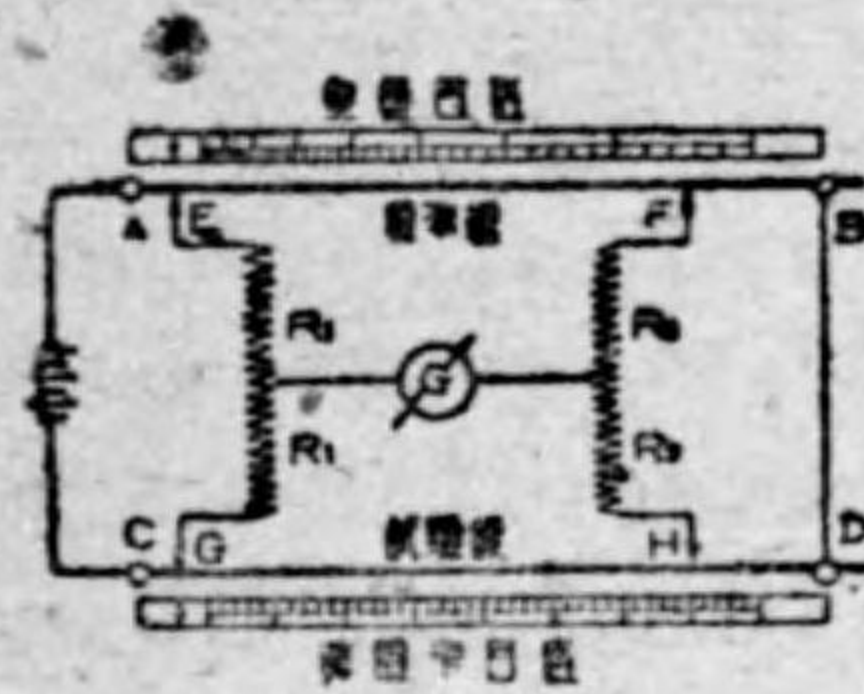
$$1-2 \text{ 間の摺動線の抵抗} = R-S \quad \text{となる。}$$

次に R と S を元に戻し、1' を 2' に移動して (2 は其の儘) 平衡し、次に又 R と S を入れ換へて 2 を 3 に移動 (2' は其の儘) して平衡すれば

$$\bullet \quad 2-3 \text{ 間の摺動線抵抗} = R-S \quad \text{として求められる。}$$

斯様にして求めた 1, 2, 3... の点の間の抵抗は (R-S) の値であるから、例へば 0.1 オーム宛目盛を較正して入れ様とする時は R と S の差が 0.1 オームである様を選べば 1, 2, 3... の間隔は 0.1 オームの間隔となる。

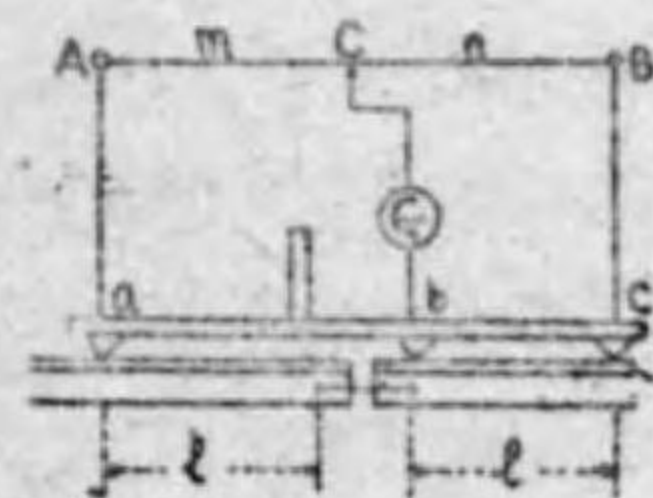
③ 導電率と其の測定 低抵抗の測定の一種として導電率 (第一巻103頁参照)の測定を挙げ得る。此の測定器として有名なフープの導電率ブリッジ (Hoop's conductivity bridge) はケルビンダブルブリッジの原理を應用したもので (圖を



第 15.32 圖

横から見よ) 其の接続圖は第 15.32 圖の如くである。圖に於て CD は試験導線であり、AB は標準導線である。標準線は常に試験線と同一材料で一樣な太さを有するものを用ひ CD は一樣の太さを有し一定の長さに切られ、且つ其の重量は正確に測定される。摺動子の E 及 G を AB 及 CD の左端の一定位置に置き、摺動子 F は AB に沿て設けられた重量目盛にて試験線の重量に相當する目盛を指すやうにし、試験線上の摺動子 H を動かして檢流計 G の振れが零となる位置を見出す。斯くすれば試験線に沿つて設けられた導電率目盛上に摺動子の指す數字は試験線の導電率を表はす。

④ 軌條ボンドの抵抗測定 單線式電氣鐵道では軌條を電車線電流の歸線として使用するから、軌條の轆目を轆目板で機械的に接続した外に、更に電氣的に接続を行ふ爲めに軌條ボンドを用ふる。此のボンドの抵抗は使用年月と共に大となり、電力損失を増加し、軌條から大地へ漏洩する電流を大ならしめる。……漏洩電流が大となると附近の地下に埋設された瓦斯管、水道管を腐蝕する……従つてボンドの抵抗を時々測定し、不良の時は補修しなければならない。一般にボンドの抵抗は軌條何米の抵抗に相當するかで表はされる。従つて、ミリボルト計を用ひてボンドに於ける電壓降下と等しい電壓降下を生ずる軌條互長の 2 点を取ると 2 点間の長さは直ちにボンド抵抗を表はす。或は又ボンド試験器 (bond tester)



第 15.33 圖

を用ふる。即ち、abc の三つの接觸子を軌條面に押付け、檢流計 G の摺動子 AB への可動接觸子 C を動かして G の振れが零なる位置を求めると

$$\frac{m}{n} = \frac{lr+R}{lr} \quad \therefore R = \frac{(n-m)lr}{m}$$

但し R はボンドの抵抗、r は軌條 1 米の抵抗、R を軌

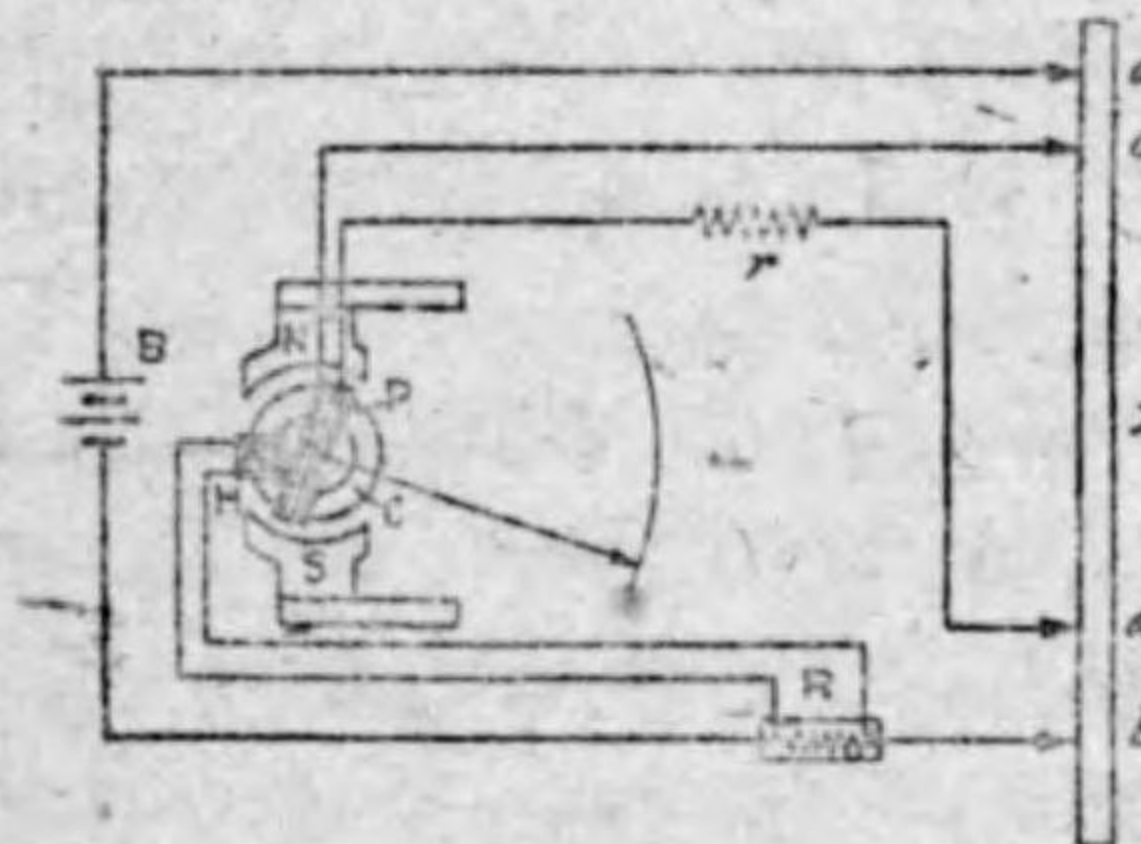
條の長さで表はす爲めには r を乗ぜねばよい。此の摺動線上には (n-m)/m の

値を目盛つて C の位置から直ちにボンドの抵抗に相當する軌條の長さが求められる。本器に依ると一人で簡便迅速に抵抗が測定される。

15.7 直讀抵抗測定器

15.7.1 ダクタ (ductor)

構造は、後述のメガと同様であるが、發電機に代りに蓄電池を用ひ、低抵抗 (5~10 マイクロオーム迄) の測定に使用せらるゝ。其の接続を示すと第 15.34 圖の如くであつて、耐久磁石 N, S 間に中空圓筒形軟鐵心を置き P なる電壓線輪と H なる電流線輪とが設けられ、P は鐵心の外側空際にあるが H は鐵心を



第 15.34 圖

圍んで居り、且つ共に同一の回轉軸に取付けられて居る。電流線輪及電壓線輪には夫々 a, b 及 c, d の接觸子を具へてゐる。圖の r は電壓線輪の直列抵抗、R は電流線輪回路の分流器である。今抵抗を測定すべき導体に abc 及 d なる接觸子を取付け、蓄電池 B より電流を流すと電壓線輪には、cd 間の電壓降下

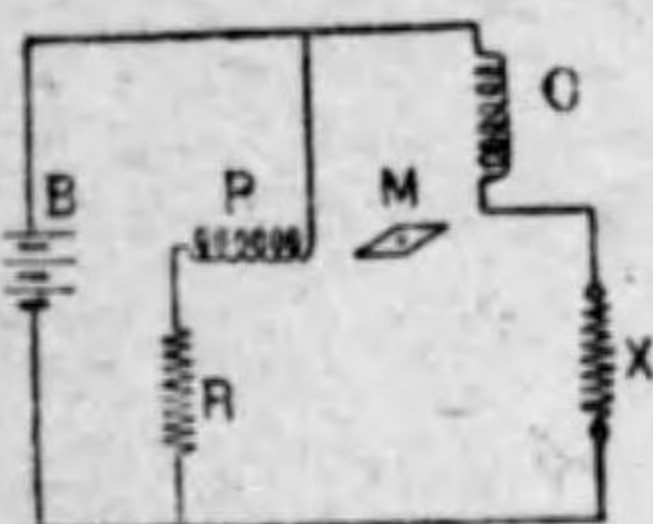
に比例した電流が流れ、電流線輪には導体を通る電流に比例した電流が流れる。電壓線輪及電流線輪に働く回轉力が互に相反し、圖の如くに働くから、軸に取付けられた指針は兩者の回轉力が相等しくなつた位置に於て靜止する。電壓線輪回路を開路した場合の電流線輪は磁極 N S と直角な位置に靜止する。此の場合の指針の指示は零であつて、之れは N S に直角な位置では磁界の強さが零で回轉力も零となる爲めである。導体に流す電流を一定とすると、電流線輪の電流は一定であり、電壓線輪の電流は $i \times$ 即ち抵抗に比例し、回轉力も抵抗 x に比例する。電壓線輪が抵抗 x に比例した回轉力を生じ、反時計式に回轉すると電流線輪は N S と直角な位置より遠ざかり、其の時計式に働く回轉力が増し、此の兩回轉力が相等しくなつた位置で指針は靜止する。従つて既知抵抗で目盛つて置くと直ちに其の指示から未知抵抗が測定される。

(註) 本器は直讀計器で測定が迅速に行はれるから、工場、現場に適する。實際のものは

r 及 R を適宜に切換へて直線間の測定が出来るやうになつてゐる。

15.7.2 オーム計 (ohmmeter)

オーム計は中位抵抗の直讀測定器であつて、之れには可動鐵片型と可動線輪型がある。

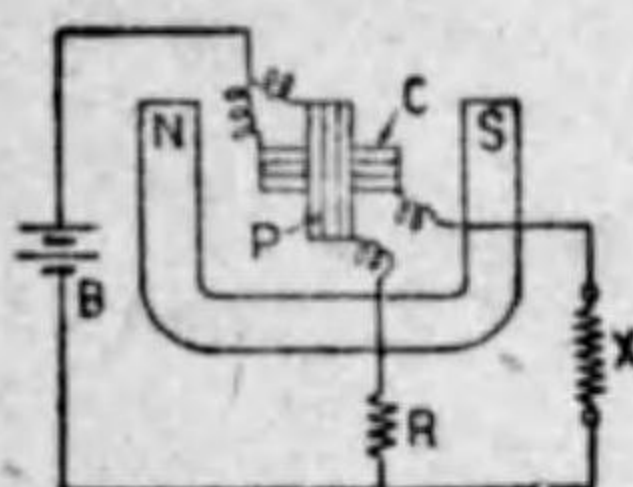


第 15.35 圖

可動鐵片型オーム計の構造は第 15.35 圖の如く、互に直角をなす二つの固定線輪 P と C を、軸受上に支持された可動鐵片 M に作用させたもので、P は直列抵抗 R を經て電池 B へ並列に、また C は被測定抵抗 X と共に電池 B へ直列に接続する。

斯くすると M は二つの線輪の合成磁界の方向に靜止するが、P の通過電流が不變であるのに、C の電流は X の値に依つて變化する。従つて可動鐵片に指針を取付け、較正された目盛蓋上で X の値が直讀出来る。

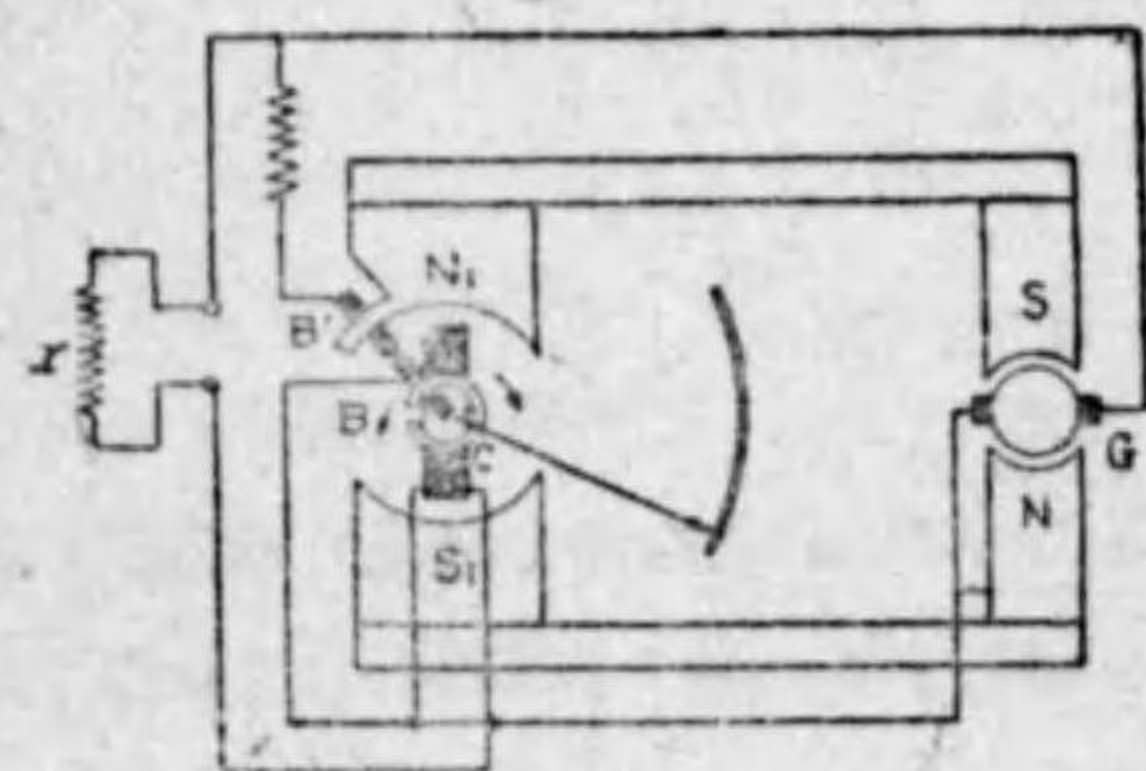
第 15.36 圖は可動線輪型オーム計の原理を示すもので、電壓線輪 P と電流線輪 C を直角に共通の回轉軸に取付け、耐久磁石の磁極 N S 間に挿入してある。而して兩線輪の生ずるトルク



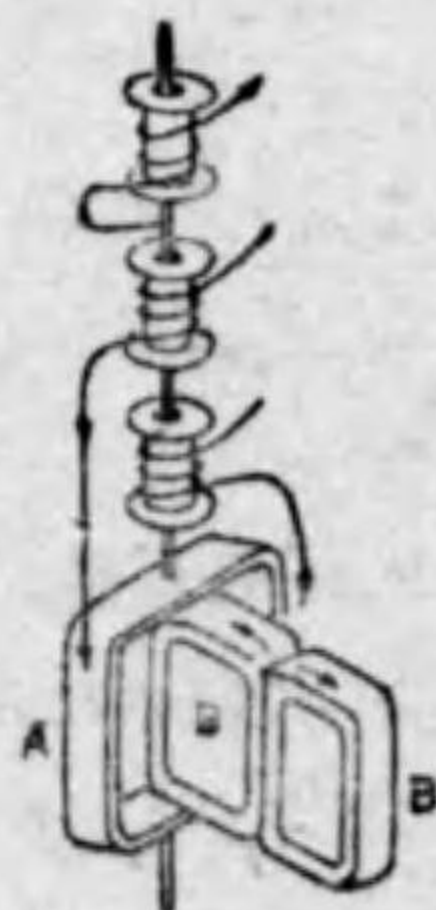
第 15.36 圖

の方向を相反せしめてゐるから、二つのトルクが平衡した位置に靜止する。此の原理に依れば、たとひ電壓が變化しても雙方の線輪に同じ割合に影響するので、指示に誤差を生じない利益がある (前記、ダクタの説明を見られよ)

15.7.3 メガ (megger)



第 15.37 圖



主として絶縁抵抗を測定するもので、其の構造は第 15.37 圖の如くである。NS 及び G は手廻し高電壓発電機、A は電流線輪にして未知抵抗 X と直列とせられ、B B' は電壓線輪にして直列接続になつたものが発電機に並列にある (其の位置は圖の如くである) 又 C は A の内部に位置する軟鐵片である。

A B B' は同一軸に或る角度で取付けられてゐる。今電壓が與へられると B B' には電壓に比例する電流が流れ、之に依り $N_1 S_1$ と作用して反時計式方向に回轉力が發生する。そして此の作用力は C の切れ目に於て最小であり、反時計式に回轉する程作用力は大となる。線輪 A には X と同一の電流が流れ、之も亦 $N_1 S_1$ との作用力で時計式方向の回轉力を受ける。その兩者の力の平衡した点で A B B' 線輪が靜止する。

(i) $X = \infty$ の時 (X が開路された時) は A の電流は零となり、B B' の電流のみとなるから回轉力は反時計式方向となり B B' の磁束と $N_1 S_1$ の方向と一致する点で B B' の回轉は止み、指針の指示は此の時 $\infty \Omega$ である。

(ii) $X = 0$ の時 (X が短絡された時) は A, B B' の何れにも電流が流れるが A の方の回轉力の方が大であるから、始めは時計式方向に回轉する、さうすると B B' の回轉力が次第に増加する事になり、遂には兩者の回轉力が相等しくなつてその点で回轉は停止する。その時、指針は 0Ω を指示する。

(iii) $X =$ 任意の時は $X = \infty$ と $X = 0$ の兩極端の間にて A 及び B B' の回轉力の平衡する点で靜止する。

發電機の回轉数が多少變化しても、電壓の變化は A 及び B B' の兩者に平等に影響するから、測定には何等の不都合も生じない。

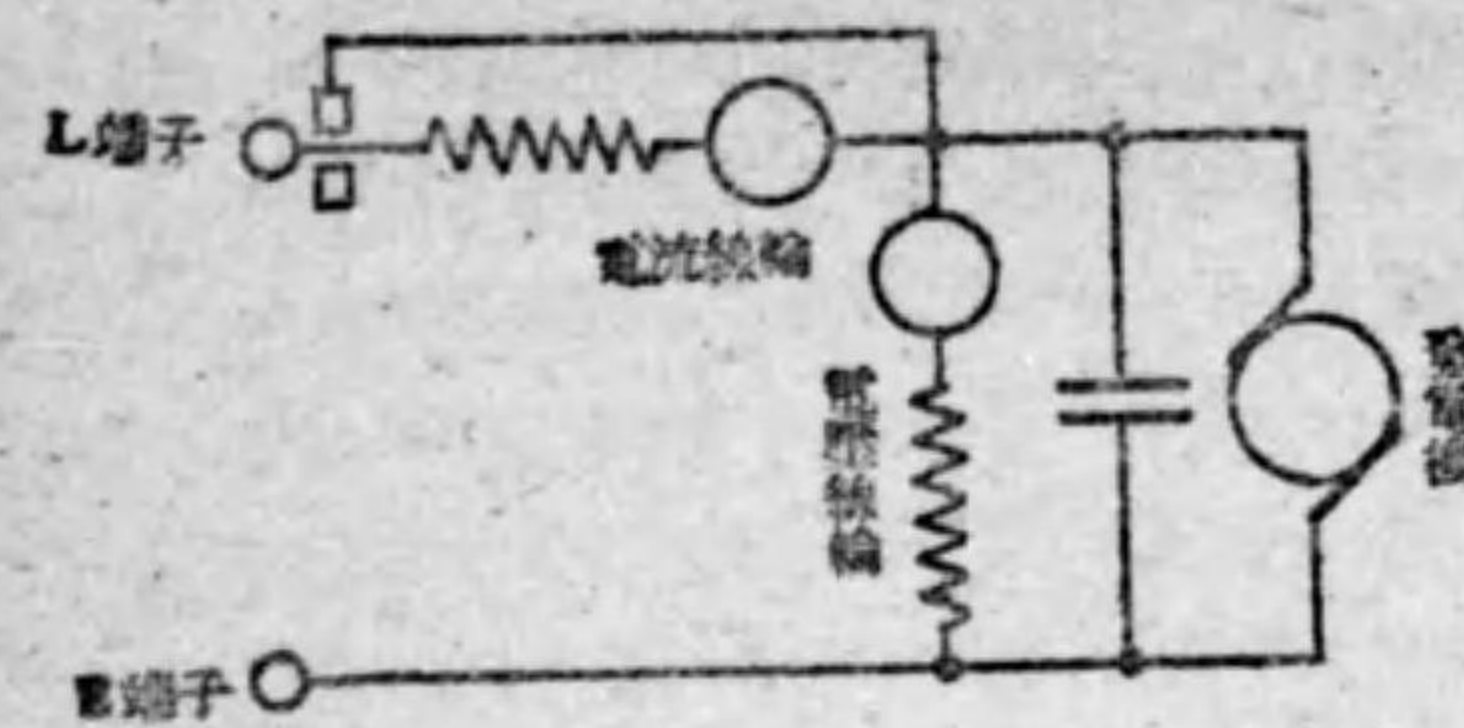
(註) 其の用途、即ち測定抵抗の大小に依つて發電機電壓が相違する。其の一般を示すと次の如くである。

- 100V……電燈配線の絶縁抵抗測定
- 250V……動力配線及低電氣機器の絶縁抵抗測定
- 500V……同上
- 1000V…… } 高度の絶縁抵抗の測定に用ひられ、ケーブル、送電線路、高電用電氣機器
- 2000V…… } の絶縁抵抗測定に用ふ。

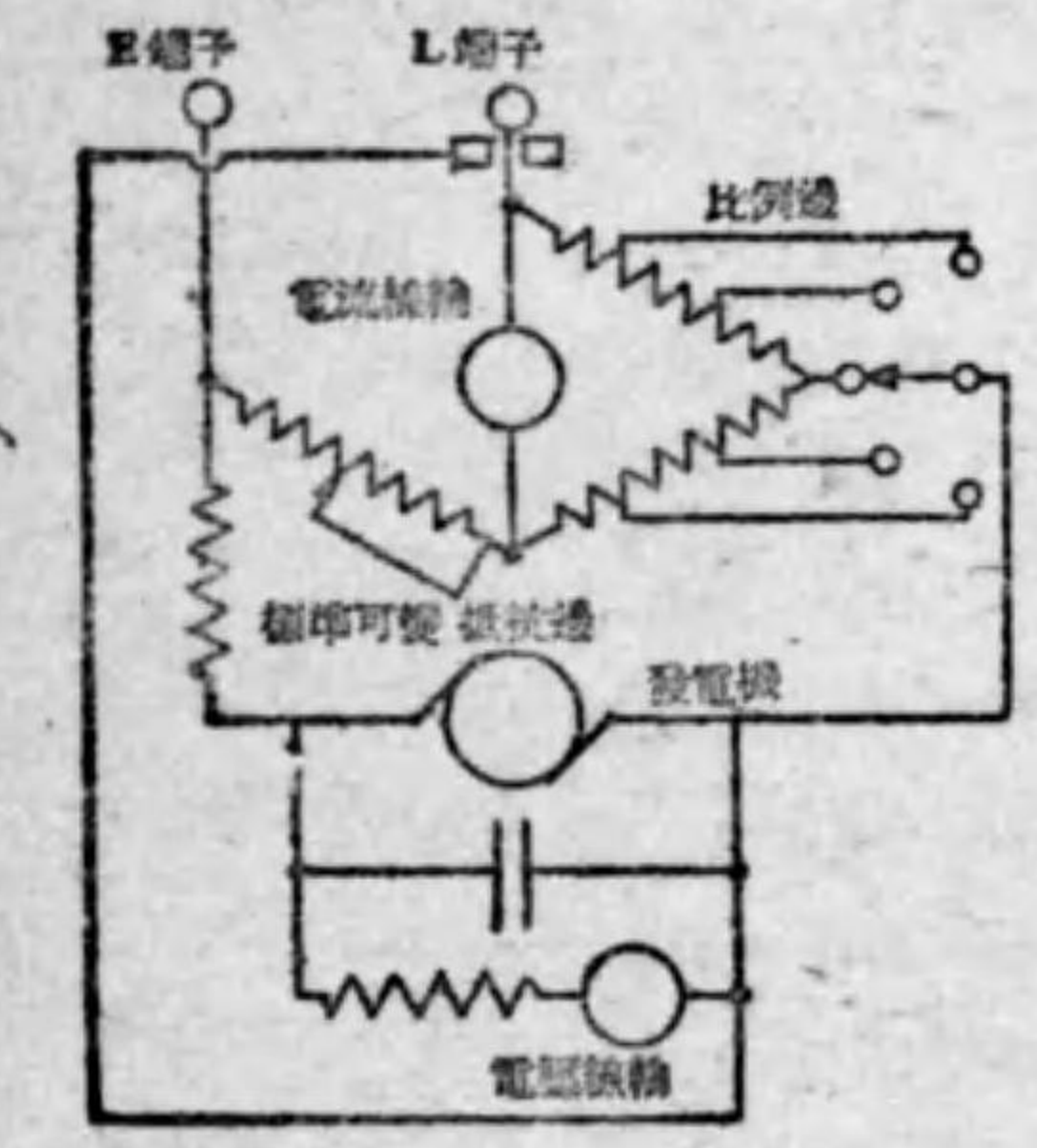
15.7.4 ブリッジ・メガ (bridge megger)

本器はメガにホイートストンブリッジ装置を附屬させて、一つの測定器で 2 役

をさせたものである。切換開閉器をメガ側に入れると、其の内部接続は第 15.33



(甲)



(乙)

第 15.33 圖

圖の(甲)の如く、普通のメガと變りなく、把手を廻すと指針は目盛盤上に絶縁抵抗を示す。又、切換開閉器をブリツチ側に入れると(乙)のやうな接続となり

比例邊ダイヤル及可變抵抗

ダイヤルを調整し、把手を廻して指針がGと云ふ位置に安定するやうにするとブリツチは平衡状態となる。此の時の比例邊の指示がA、可變標準抵抗邊がRを示すと未知抵抗はR×A オームである。

(註) メガの特殊なものとしてはその把手を手で廻さずに電動機に依つたもの、或は、交流100V 回路より三極真空管を通じて直流とし、これを電源としたもの等がある。

16. インピーダンスの測定と交流ブリツチ

16.1 インピーダンスの測定

インピーダンスは申す迄もなく、抵抗、自己、相互インダクタンス及静電容量より構成せられる。交流ブリツチは是等の測定は勿論、その應用として、周波数力率、電力損失、電流等の測定にも使用せられる。交流ブリツチに依ると精確に測定せられるが、本器がなく、又概略値でよい場合には次のやうにしても測定し得る。

例へば、此處に抵抗及自己インダクタンスを有する線輪があるとき、……交流回路としてはRとLの直列回路と考ふればよい。……直流電壓E_dボルトを加へたとき、電流I_dアンペアが流れたとすれば

$$\text{線輪の抵抗 } R = \frac{E_d}{I_d} \text{ オーム} \dots\dots\dots (i)$$

次に、f サイクルの交流電壓 E_a ボルトを加へたとき I_a アンペアが流れたとすると

$$\text{線輪のインピーダンス } Z = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2} = \frac{E_a}{I_a}$$

$$2\pi fL = \sqrt{Z^2 - R^2} = \sqrt{\left(\frac{E_a}{I_a}\right)^2 - \left(\frac{E_d}{I_d}\right)^2}$$

$$\therefore L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{E_a}{I_a}\right)^2 - \left(\frac{E_d}{I_d}\right)^2} \text{ ヘンリ} \dots\dots\dots (ii)$$

或は交流を加へたときの消費電力を電力計で測定して W を得たとすると

$$W = I_a^2 R \quad \text{故に} \quad R = \frac{W}{I_a^2} \dots\dots\dots (iii)$$

此の(i)式で求めたRと(iii)式で求めたRとは數値が多少異つて来る。之れは交流になると電流が導体の中心に流れにくくなる表皮作用(第二卷 P 121 を参照)とか、導体の近くにある磁性体に與へるヒステリシス損及渦流損が外見上の抵抗を大きくする。……(i)のRを純抵抗、(iii)のRを實効抵抗とも云ふ。……

次に蓄電器は既に説明(第三卷 P 56 以下)したやうに、静電容量 C と誘電体損を示す抵抗 r の直列又は並列回路で表はし得る。従つて、蓄電器に交流電壓 E_a を加へたときの充電電流 I_a を電流計で電力損失 W を電力計で測定したとすると

C と r を直列と考へたとき(第三卷第 2.9 圖参照)

$$r = \frac{W}{I_a^2} \quad \frac{1}{(2\pi fC)^2} = \left(\frac{E_a}{I_a}\right)^2 - r^2 \quad 2\pi fC = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{E_a}{I_a}\right)^2 - \left(\frac{W}{I_a^2}\right)^2}}$$

$$\therefore C = \frac{1}{2\pi f \sqrt{\left(\frac{E_a}{I_a}\right)^2 - \left(\frac{W}{I_a^2}\right)^2}}$$

C と r を並列と考へたとき(同上第 2.13 圖参照)

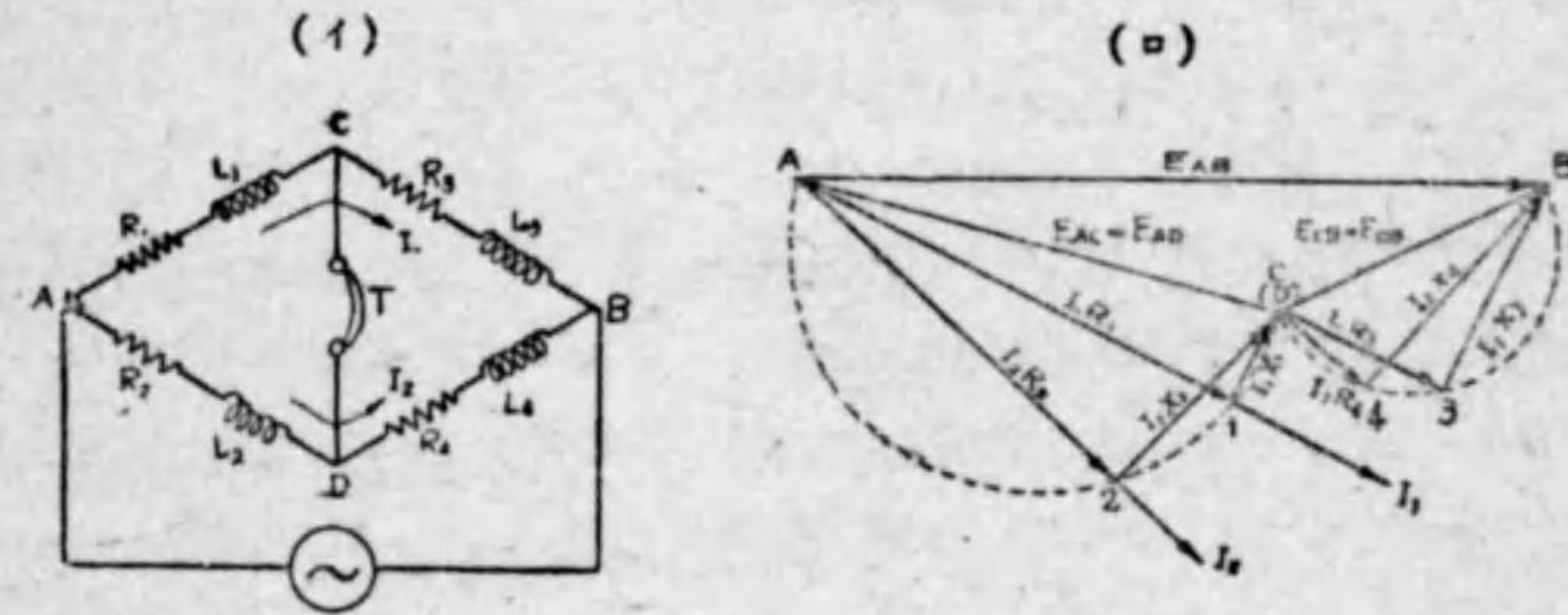
$$r = \frac{E^2}{W} \quad (2\pi fC)^2 = \left(\frac{I}{E}\right)^2 - \left(\frac{1}{r}\right)^2$$

$$\therefore C = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{\left(\frac{I}{E}\right)^2 - \left(\frac{W}{E^2}\right)^2}$$

として求められる。此の充電電流及電力損失は長い地下ケーブル等の場合の外は一般に極めて小さい値で、測定に困難で、此の方法では精密な値は分らない。

16.2 交流ブリッジの原理

今、ホイートストンブリッジを直流電源に結ぶ代りに交流電源に結んだとすると、四邊が普通の線輪であれば抵抗の他に自己インダクタンスが現はれる……相互インダクタンス、静電容量は微小なるものとして無視し……此の時、直流検流計の代りに電話受話器 T を接続するに、受話器が無音であるとすれば第 16.1 圖



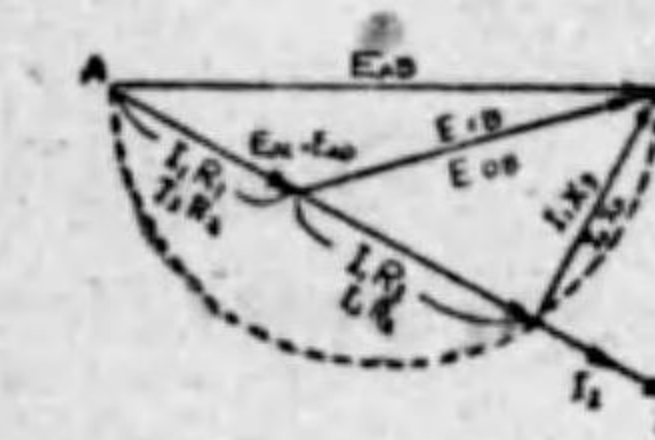
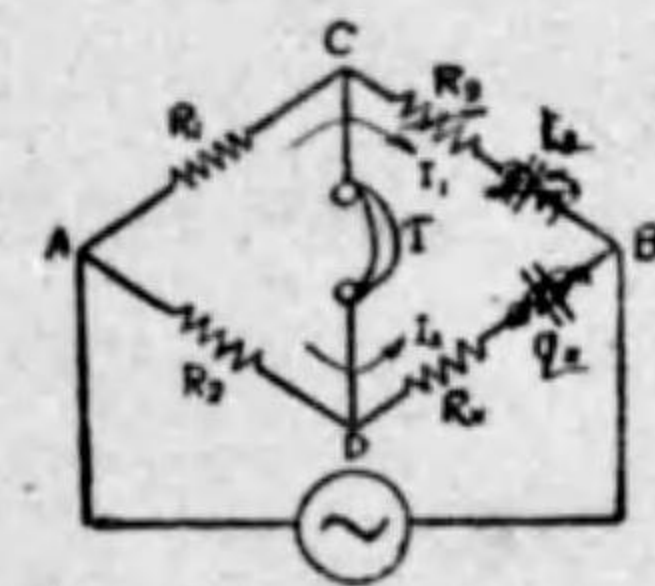
第 16.1 圖

(イ) に於て C D 間に電流が流れないことを意味する。と云ふことは C D 間に電位差がないと云ふことで、直流ブリッジの場合と異つて A C 及 A D C B 及 D B 間の電圧が其の大き及位相も一致しなければ (ロ) 圖のやうに C 点と D 点は一致しない。E_{AC} と E_{AD} の大きさが等しくとも位相が異ると C と D 間に電位差を生ずる。又 C D 間に電流が流れないから A→C の電流を I₁ とすると之れは C→B と流れ、A→D の電流を I₂ とすると之れは D→B と流れる。其處で A C 間で I₁R₁ は I₁ と同相に I₁X₁……但し A B 間に加へた交流電圧の周波数を f とすると X=2πfL の形となる……は I₁ より 90° 進み、I₁R₁ と I₁X₁ のベクトル和が E_{AC} となる。同様に A D 間では I₂R₂ と之れより 90° 進む I₂X₂ とのベクトル和が E_{AD} となつて E_{AC} と E_{AD} の兩ベクトルは大きさも位相も相等しく重なり合ふ。……従つて C と D は同電位で T には電流が流れない……然して半圓角は直角 (第三卷 P 128 第 2.76 圖を参照) であるから I

と 2 は A C を直径とした半圓上にある。同様なことが E_{CB}=E_{DB} に就ても云へる。即ち 3 及 4 は C B を直径とした半圓上にある。

16.3 自己インダクタンスの測定(マックスウエルのブリッジ)

自己インダクタンスの測定に、廣く使用せらるゝ、マックスウエル・ブリッジ (Maxwell bridge) の接続を示すと第 16.2 圖の如くである。圖に於て R₁ R₂ は



純抵抗で比例邊、L₃ は標準可變自己誘導器、R₃ は其の線輪抵抗と附加せられた直列加減抵抗の和であり、R_x L_x は測定しやうとする線輪の實効抵抗及自己インダクタンスである。今 R₃ 及 L₃ の値を調整して T を無音としたとすると C と D の電位は相等しくなる。従つて A C 間の電圧 E_{AC}=I₁R₁ と A D 間の電圧 E_{AD}=I₂R₂ は大き等しく同一位相にあらねばならない。然るに I₁R₁ と I₂R₂ は I₁ 及 I₂ と同相にあるから、両者が同一位相と云ふことは I₁ と I₂ が同一位相だと云ふことである。然して

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \dots\dots\dots (i)$$

同様に C B 間の電圧 E_{CB}=I₁Z₃ と D B 間の電圧 E_{DB}=I₂Z₄ も同一値で同一位相とならねばならないから I₁ と I₂ が同一位相なることより 當然

$$I_1 R_3 = I_2 R_x \dots\dots (ii) \quad I_1 X_3 = I_2 X_x \dots\dots (iii)$$

第 16.2 圖

但し $X_3 = 2\pi f L_3$ $X_x = 2\pi f L_x$ $f =$ 電源周波数

(ii) の兩邊を (i) の兩邊で除すると

$$\frac{R_x}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} \quad \therefore R_x = \frac{R_3}{R_1} R_2 = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

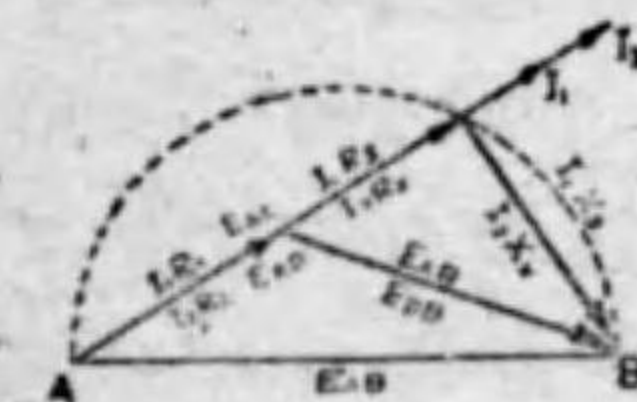
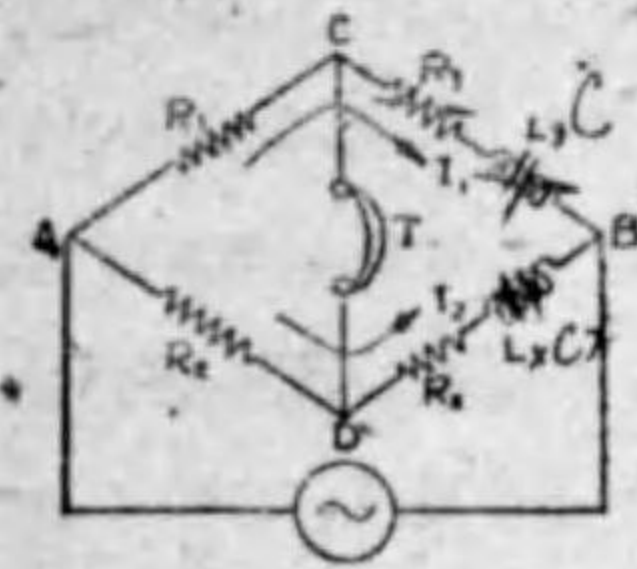
(iii) の兩邊を (i) の兩邊で除すると

$$\frac{X_x}{R_2} = \frac{X_3}{R_1} \quad X_x = X_3 \frac{R_2}{R_1} \quad 2\pi f L_x = 2\pi f L_3 \frac{R_2}{R_1} \quad \therefore L_x = L_3 \frac{R_2}{R_1}$$

斯様にして此の交流ブリッジの平衡を取ると、未知抵抗 R_x、未知自己インダクタンス L_x の値が定められる。

16.4 静電容量の測定(ウインのブリッジ)

此のブリッジは蓄電器の静電容量を測定すると同時に其の損失角(第三巻 P58 以下参照)をも測定するもので、第 16.3 圖は其の接続を示す。



第 16.3 圖

圖に於て R_1, R_2 は比例邊純抵抗、 C_3 は標準可變蓄電器の静電容量、 R_3 は其の損失を表はす抵抗と直列加減抵抗の和、 R_x 及 C_x は未知静電容量及其の損失抵抗であつて、 R_3, C_3 を調整して T を無音とすると、前の場合と同様に考へて

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 \dots (i) \quad I_1 R_3 = I_2 R_x \dots (ii) \quad I_1 X_3 = I_2 X_x \dots (iii)$$

但し f を電源の周波数とすれば

$$X_3 = \frac{1}{2\pi f C_3} \quad X_x = \frac{1}{2\pi f C_x}$$

以上の 3 式より

$$C_x = C_3 \frac{R_1}{R_2} \quad R_x = R_3 \frac{R_2}{R_1} \bullet$$

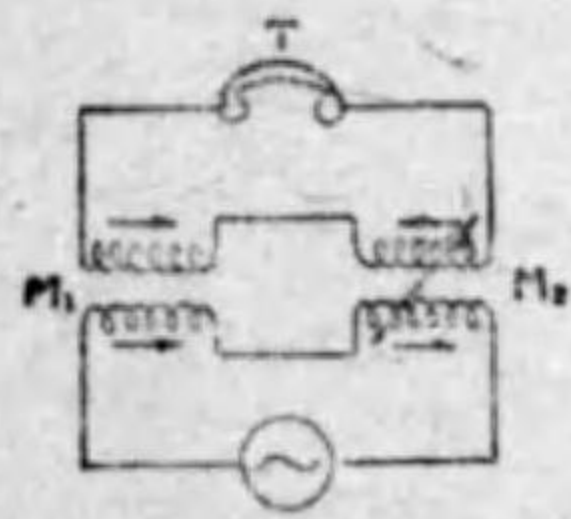
R_3 が C_3 の損失を表はす抵抗 r_3 と直列加減抵抗 r_1 より成り R_x も同様に r_x と r_2 より成るとすると

$$r_x = \frac{R_2}{R_1} (r_3 + r_1) - r_2$$

(註) 此のブリッジをウイン (wien) のブリッジと云ふ。

16.5 相互インダクタンスの測定

相互インダクタンスを測定する一つの方法を示すと第 16.4 圖の如くに、標準



第 16.4 圖

可變相互誘導器と被測定相互インダクタンスの一次及二次を夫々直列とし、一次は電源に、二次は極性を反対として受話器を通じて接続する。M を調整して T を無音とすると M_1 の二次誘起起電力は M_2 の二次誘起起電力と方向反対で値が相等しい。即ち

$$2\pi f M_1 I = 2\pi f M_2 I \quad \therefore M_1 = M_2 \quad I \text{ は一次電流}$$

欠

磁性体(鐵等)の磁氣性能を研究するのに測定を要する諸項目は磁化力(H), 磁束密度(B), 鐵損($w_i = \text{ヒステリシス損 } w_h + \text{渦流損 } w_e$)であつて、是等があると、導磁率($\mu = B/H$), 磁化曲線(Hの變化に應ずるBの變化曲線)ヒステリシス環線(+ H_m より- H_m の連續變化に對するBの變化曲線)の關係も自から定められる。

(註) 第二卷 P16 以下, P17 P28 P49 以下等を一通り復習せられたい。其處でも述べたやうに、起磁力はギルバート(Gilbert) 磁化力はエルステッド(Oersted) 磁束はマックスウェル(Maxwell)……此の 10^8 倍を實用單位としてウェーバー(Weber)と云ふ……磁束密度はガウス(Gauss)を單位として表はす。

其の一般を示すと第 17.1 表の如くである。

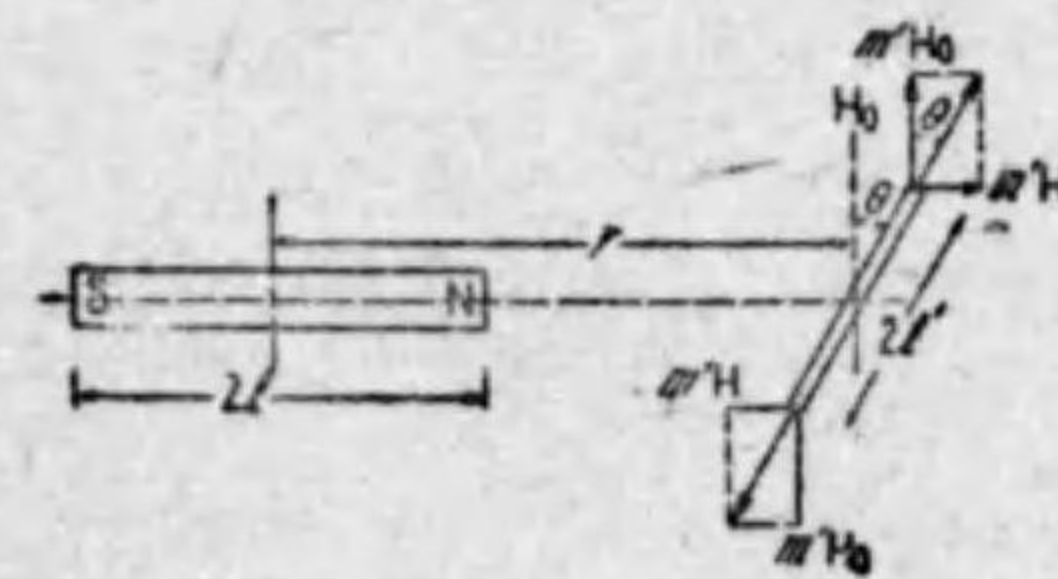
第 17.1 表 磁 氣 測 定 法 一 般

測 定 項 目	測 定 方 法
磁 界 の 強 さ	磁力計法(微弱な磁界)、彈動檢流計法、磁束計法
磁 束 密 度	磁束計、着鉛渦條
B-H曲線及ヒステリシス環線の測定	彈動檢流計法、磁束計法、繼鐵法、導磁率計法
鐵 損 の 測 定	電力計法(環狀法及エプスタイン法) 交流ブリッジ法

17.2 磁界強さの測定

17.2.1 磁力計 マグネットメーター (magnet meter)

之れは、磁氣モーメント及磁界強さの測定を行ふもので、比較的微小な磁界の



第 17.1 圖

測定に用ひられる方法で一般的ではない
其の原理は第 17.1 圖の如く小磁針(長さ $2l'$)を吊糸で吊し、水平面内に於て自由に回轉し得るやうに装置する。此の吊糸には反射鏡を取り付け、其の回轉角度を反射型檢流計の場合と同様に觀測する。今、東西に置かれた棒狀磁石(長さ

$2l$)の中心より r 厘の距離に小磁針を吊すと、小磁針は地球磁界の水平分力 H_0 と棒狀磁石に依る磁界 H との二つの作用を受けて地球磁氣南北の方向と θ な

欠

る角度を爲して静止する。2r' は r に比して甚だ小さいとすると、磁針の両極に働く力は相等しいと考へられ m' を磁針の強さとする

$$m' H = m' H_0 \tan \theta \quad \therefore H = H_0 \tan \theta$$

此の H₀ が分れば棒状磁石に依る磁界の強さが磁針の傾角 θ を測定することに依つて知り得る。

(註) 又棒状磁石の磁極の強さを m とすると

$$H = \frac{m}{(r-l)^2} - \frac{m}{(r+l)^2} = \frac{4mlr}{(r^2-l^2)^2} = H_0 \tan \theta$$

$$\text{棒状磁石の磁気モーメント } M = 2ml = \frac{H_0(r^2-l^2)^2}{2r} \tan \theta$$

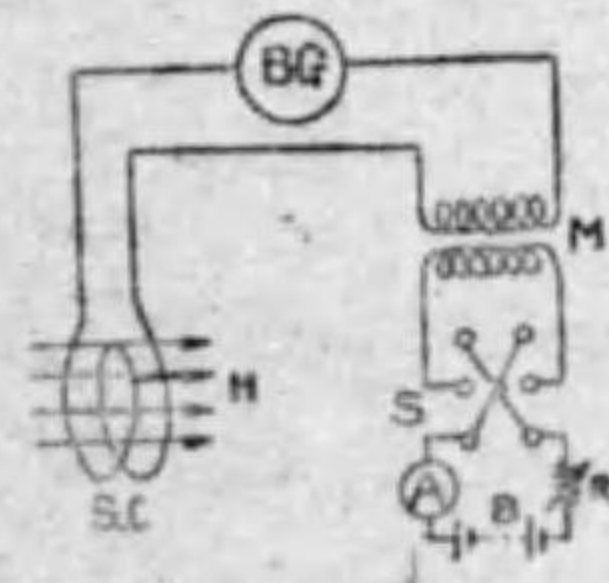
尚 H₀ が未知の時は、棒状磁石を水平に吊して、垂直軸の周りに振動させ、其の周期 T を測定する。

$$MH_0 = \frac{4\pi^2 I}{T^2} \quad I \text{ は磁石の慣性モーメントと云ひ、力學的の性質を表はす定数である。}$$

$$\text{故に } M^2 = \frac{2\pi^2 I r^3 \tan \theta}{T^2} \quad H_0^2 = \frac{8\pi^2 I}{T^2 r^3 \tan \theta}$$

17.2.2 弾動検流計法

弾動検流計法に依り磁界の強さを測定するには第 17.2 圖のやうな接続に依る



第 17.2 圖

圖に於て S.C. は搜索線輪であつて、之れを測定せんとする磁界 H と直角に置き、弾動検流計 B.G. 及相互インダクタンス M の二次と直列に接続する此の M の一次は轉極開閉器 S を經て電池電源に接続し得るやうになつてゐる。今 S.C. を 180° 回轉すると磁束を切つて誘起起電力を生じ、弾動検流計 B.G. に電流を流し、B.G. に偏れを生ずる。之れが θ であつたとすると、θ は通過した電量 Q に比例

する。S.C. の断面積を S, 其の巻数を n, 磁界の強さを H とすると S.C. の兩極の電線は 180° の回轉に依つて夫々 φ = SH の磁束を切るから 180° の回轉にも秒を要したとすると

$$\text{誘起起電力 } e = \frac{2SHn}{t} \times 10^{-8}$$

B.G. 回路の全抵抗を R とすると

$$\text{流れる電流 } i = \frac{e}{R} = \frac{2SHn}{tR} \times 10^{-8}$$

$$t \text{ 秒間の電量 } Q = it = \frac{2SHn}{R} \times 10^{-8} = K\theta$$

$$\therefore H = \frac{RK\theta}{2Sn} \times 10^8 \text{ エルステツド}$$

として磁界の強さ H を B.G. の偏れ θ より知ることが出来る。

(註) K は弾動検流計の定数で 1 クーロンの電量に對する偏れである。之れを定めるには M の一次側に電流 I (A の指示) を流し、轉極開閉器 S を一方から一方に切り變へて I の方向を急に反對として B.G. の偏れ θ₀ を得たとすると

$$M \text{ の二次の誘起起電力 } e_2 = \frac{2MI}{t} \quad (+I \text{ より } -I \text{ となるから } 2I \text{ の変化となる})$$

$$i = \frac{e_2}{R} = \frac{2MI}{tR} \quad Q = it = \frac{2MI}{R} = K\theta_0$$

$$\therefore K = \frac{2MI}{\theta_0 R} \text{ として } K \text{ が定められる。}$$

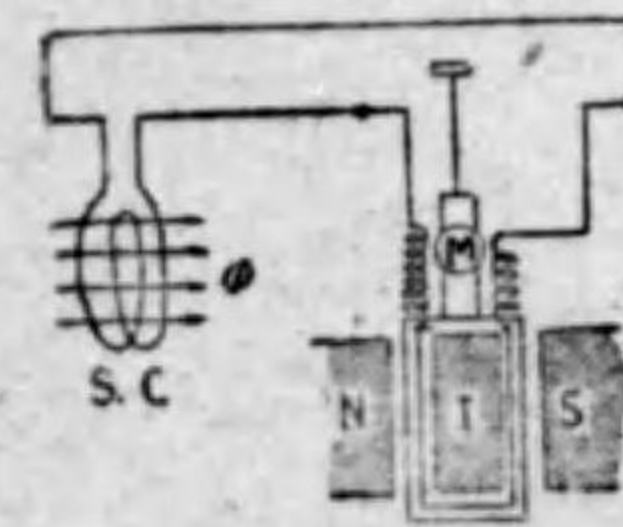
17.2.3 磁束計法

これは次に述べる磁束計 (Flux meter) と搜索線輪に依つて上記と同様に磁束密度を測定して磁界の強さを求むる方法である。

17.3 磁束密度の測定

17.3.1 磁束計

其の代表的の一例として、グラスツト磁束計 (Grassot fluxmeter) の原理を示すと第 17.3 圖の如くである。構造は可動線輪型検



第 17.3 圖

流計と全く同様であつて、可動部分は制御回轉力の極めて小さい絹絲で耐久磁石 N, S の間に吊されてゐる (検流計では周期は 20 秒位であるが、磁束計の周期は制御回轉力が殆んどないので 40~60 秒である。但し電磁制動作用は十分に大きく設計されて居るので端子を短絡すると任意の位置で静止する)

此の可動線輪と搜索線輪を直列に接続するから、搜索線輪を貫く磁束数に變化があつて、之れに誘起起電力を生ずると可動線輪に電流を流し偏れを生ずる。然して前述のやうに周期を長くして居るので、此の偏れ θ は搜索線輪が磁束を切る

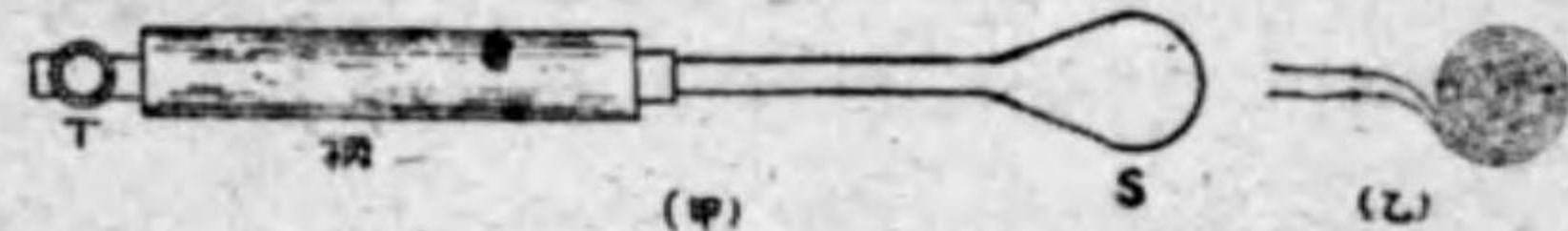
速度に殆んど無関係で、搜索線輪の巻数を n 、磁束の変化を ϕ とすると $n\phi$ に比例し、磁束計の定数を K とすると $K\theta = n\phi$ となる。(磁束計の目盛はマックスウェルで目盛られる) 今搜索線輪の断面積を $S \text{ cm}^2$ とすると

$$\text{磁束密度 } B = \frac{\phi}{S} = \frac{K\theta}{nS} \text{ ガウス}$$

(注) 磁束密度は指針と目盛で直讀する外、可動線輪の吊線に M のやうな反射鏡を取付け、後の方に窓を設けて反射型檢流計の如くにしても使用し得るやうにせられてゐる。又線輪の抵抗が餘り小さいと過剰制動となるので普通數オーム以上とせられてゐる。

17.3.2 蒼鉛渦條 (bismuth spiral) に依る方法

蒼鉛を磁界内に置くと電気抵抗を増加する。其の増加の割合は磁界の強さに比例し 11,000 ガウスで略々 50% 増加する。其處で蒼鉛を第 17.4 圖のやうに扁平な螺旋狀に捲いて之れを雲母板又はセルロイドで保護して磁界内に挿入し、其の抵抗をホイートストンブリッジで測定して抵抗變化の割合から逆に磁界の強さを求める。此の方法は電気機械の空隙等の如く狭い場所の磁束を測定するのに適する。



第 17.4 圖

(注) 蒼鉛の温度係数は +1.4% であつて、温度に依る誤差を除く爲めには抵抗測定に流す電流を小とし、測定を手早く行はねばならない。

17.4 B-H 曲線及ヒステリシス環線の測定

17.4.1 測定上の心得

上記は單に磁界又は磁束密度の測定であつたが、本節以下では鐵其の他の磁性材料の試験を行ふ。同一の鐵であつても磁氣履歴に依つて磁化力に対する磁束密度が異なるから、試験を行ふ場合には徹底的に減磁をして置かねばならない。之れを行ふには磁化電流の最大値より 1 秒間に 1 回位の割合で交番する磁化力を與へ、磁化電流を次第に小さくして、最小値より小さい値を行ふ。

試材 (磁氣試験を行ふ試料) が板狀であると、板の巻延方向と、之れと直角な方向では磁氣抵抗が多少違ふから、兩場合の試材を半分宛切り取る。又試験中、

温度の變化があると磁氣抵抗が相違するから同一温度で行ふ。尚試験中、試材に振動を與へないやうに注意する。

磁化曲線を求めるには、 $B=5, 10, 15, 20$ (キログauss) の 4 点に就て行へば十分であるが、時として 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 の 10 点に就て行ふこともある。

ヒステリシス環線は最大磁束密度、残留磁氣、保磁力を知れば大体の形を推知することが出来る。

(注) 試材の断面積 A (平方寸)

棒状の時 $A = \pi d^2$ d は棒の半径 (寸)

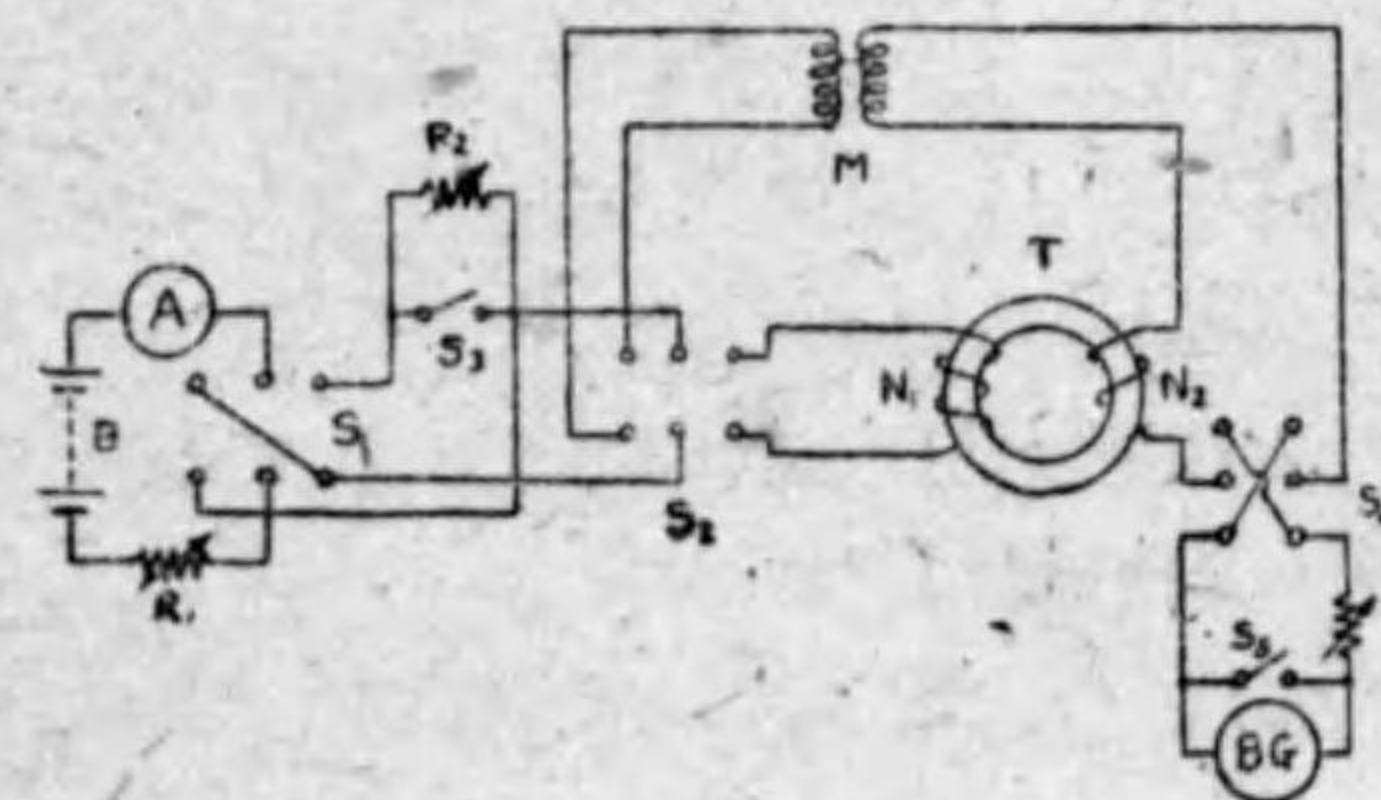
板状の時 $A = \frac{W}{G}$ W 重量 (瓦) G 比重 l 長さ (寸)

但し、 G の値、發電機用鐵板 7.7 特殊鐵板 7.5

17.4.2 彈動檢流計法 (磁束計法)

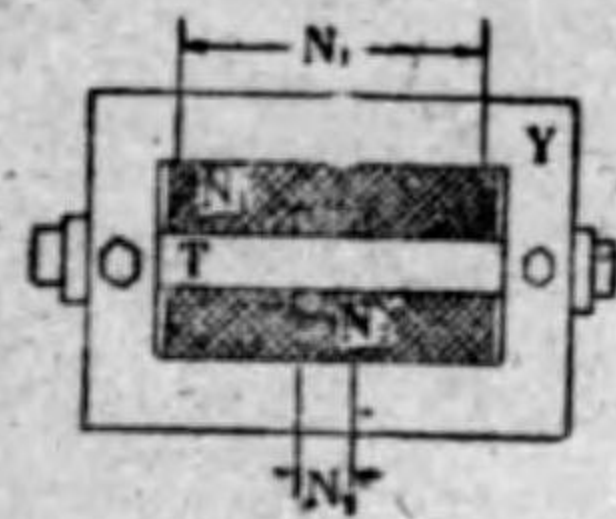
其の電氣的接続を示すと第 17.5 圖の如くであつて、試料 T は環狀とせられ其の上に平等に磁化線輪 N_1 を捲く。……圖では便宜上 1 側に示したが……同様に別に線輪 N_2 を捲く。此の環狀の半径を十分に大とすると試材の全面積の磁束密度は略々平等であることが出来る。圖に於て S_1 を何れかの側に閉ち、 S_2 を左方に閉ずると M の一次に電池 B が接続せられ、右方に閉ずると、試料 T の一次巻線 N_1 に電池 B が接続される。前にも述べたやうに、試験を行ふ前には減磁を行ふ。即ち S_2 を右方に閉ち S_1 を反轉しつゝ R_1 を増加して完全に減磁する。

(注) S_1 を右側より左側に閉ずる反轉操作は、試材が成層の小試料であれば毎秒 1 回以上、大試材 (磁氣抵抗の小なるもの) であれば毎秒 1 回以下位とする。



第 17.5 圖

斯くして減磁を終へたなら S_2 を右方に閉ち、 S_1 を右方に閉ずる。此の時の試材の磁束密度を B 、断面積を A とすると、全磁束數 $\phi = BA$ である。次に S_1 を閉ちて S_2 を反轉すると T の二次巻線 N_2 と鎖交する磁束は $+\phi$ よ



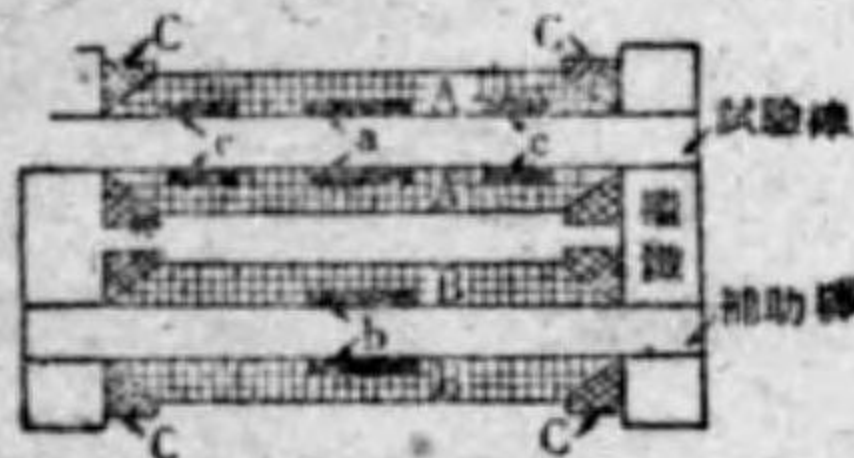
第 17.8 圖

よいが、磁鐵と試材との接觸部の磁氣抵抗は無視することが出来ないから之れを考へて更正しなければならない。

17.4.4 導磁率計法 (Permeameter)

導磁率計としては各種のものがあるが、其の代表的一例と云ふべきパーメーターは、前述の磁鐵法の一變形であつて、其の狀況は第 17.9 圖の如く、

試材と磁鐵とを組合す。此の試験棒と補助棒とは同一の寸法である。又第 17.10



第 17.9 圖

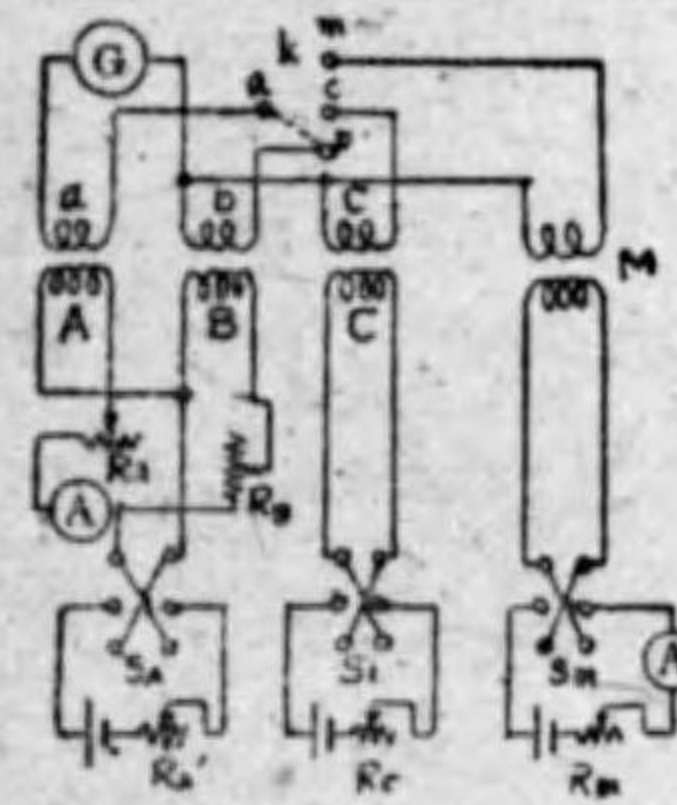
圖はその電氣的接續圖であつて、圖中 A は主磁化線輪、B は補助磁化線輪、C は補償磁化線輪 (大文字は一次、小文字に二次線輪を示す) で、夫々の電流は別箇に調整し得る。先づ試験棒中の磁束密度が均一であるか否かを検する。之れが爲めに、開閉器 k の a と b を結び a 及 b の線輪を直列とし其の誘起

起電力が互に反對方向を取るやうにする。斯くて彈動檢流計 G の偏れが零となる

やうに磁化線輪中の電流を調整する。次に兩部にまたがる C を直列同方向に接續し、k の a と c を結び c と a を反對方向になるやうに直列として c の電流を調整して G の偏れを零とする。斯くすると試験棒中の磁束密度は各部に於て一樣となる。

次に彈動檢流計の定數を檢流計の使用狀態の回路に就て定める。之れを定める爲めに標準相互誘導器 M を用ふるのであつて、本装置では相互インダクタンス $M=0.1$ ヘンリとせられ、制御箱中に納めら

れてゐる。k の a と m を結び、M の一次電流を 0 より +I アンペアに變化したとすると M の二次線輪との鎖交磁束數 ϕ_m は $\phi_m=MI \times 10^8$ である。次に S_m に依つて一次電流の方向を反轉した時の檢流計の偏れを θ_0 とすると、放電電氣量 q_0 は



第 17.10 圖

$$q_0 = \frac{2MI}{R} \quad \text{又} \quad \theta_0 = kq_0 \quad \therefore k = \frac{R\theta_0}{2MI}$$

但し、R は檢流計回路の抵抗、k は檢流計の定數である。

次に k を a と m に結んだまゝとして、 S_A を一方に閉ぢ試験棒中に磁束 ϕ を生ぜしめ S_A を一方より一方に轉極する。此の時の G の偏れを θ とすると

$$\theta = kq' = k \frac{2N\phi}{R \times 10^8} = \frac{N\phi\theta_0}{MI \times 10^8}$$

但し N は A 線輪の巻回數である。

$$\therefore \phi = \frac{MI \times 10^8}{N\theta_0} \theta$$

今、試験棒の斷面積を A とすると

$$\text{磁束密度 } B = \frac{\phi}{A} = \frac{MI \times 10^8}{NA\theta_0} \theta$$

之れに對する磁化力 H は A 磁化線輪每極毎の巻回數を n とし A 線輪に流れた電流を i とすると $H=0.4\pi ni$ ギルバート/極であつて、本導磁率計では $H=100i$ となるやうに n の値が選定せられてゐる。従つて、i を電流計 A に依つて知り G に依つて θ を讀むと H に應ずる B が従つて $B=\mu H$ より $\mu=B/H$ として導磁率が測定せられる。

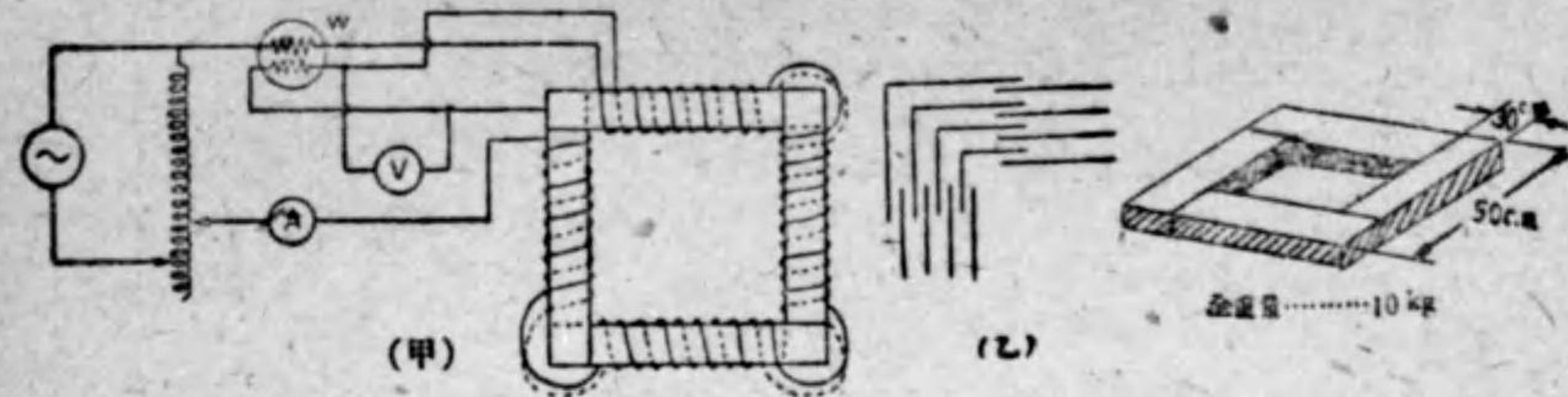
17.5 鐵損の測定

17.5.1 エプスタイン法

第三卷で述べたやうに、鐵を交番磁界内に置くと、ヒステリシス及渦流損を生ずる。此の二つを合して鐵損と云ふのであつて、變壓器、交流發電機及電動機を構成する鐵材には此の鐵損を生じ、溫度上昇の原因となる。此の鐵損を測定する方法を分つと、電力計法 (環狀法及エプスタイン法) と交流ブリツヂ法となる。環狀法 (17.4.2 の方法に相當する) は試材を環狀に打ち抜いて之れを成層して、巻線を施して測定を行ふのであるが、エプスタイン法 (17.4.3 の方法に相當する) に比較して多くの試材を要し、又巻線を施すのにも面倒であるから、特別の場合の外は行はない。之れに反してエプスタイン法は工業的鐵損測定法として電氣用薄鐵板を試験する際等に廣く用ひられる。

(註) 環狀法もエプスタイン法も電氣的接續は同様で、唯試材の形が相違するに過ぎない

第 17.11 圖はエプスタイン装置の原理を示したもので、同圖丙に示すやうに



第 17.11 圖

試材は長さ 50 ㎝、幅 3 ㎝ (繰延方向と之れと直角方向の半分宛) に剪断し、相對する二邊は同方向に取つたものを置く。1 組の重量は 2.5 kg で、全部で 10 kg となる。其の四隅の接觸箇所には、厚さ 0.1 mm の丈夫な紙を挟むか、又は乙圖に示すやうに、別の薄鐵板で磁氣接続とし、正方形に組立てる。一方、磁化線輪は 4 箇所にて、各々は一及二次巻線を外側及内側に夫々 150 回宛 (全体として 600) 二層に捲く。線輪の長さは 42 ㎝、斷面積は 4×4 平方㎝、側壁の厚さ 0.3 ㎝以下で、一次線輪の抵抗は 0.3~0.5 Ω 以下、二次線輪は 1 Ω 以下とする。

但、第 17.11 圖の甲圖に於て、試材に捲かれた一次線輪を電力計電流線輪及電流計を通じて交流電源に接続し、二次線輪に電壓計及電力計電壓線輪を接続する。此の時兩線輪に發生する誘起起電力 E_1 及 E_2 は n_1 及 n_2 を一次及二次線輪の巻数とすると

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{第二卷 P45 以下を参照}$$

此の E_2 に依つて V や W の電壓線輪に電流 i_v 及 i_p が流れる。夫々の抵抗を R_v 及 R_p とすると

$$i_v = \frac{E_2}{R_v} \quad i_p = \frac{E_2}{R_p}$$

$$\text{故に } n_2 \text{ の電流 } i_v + i_p = E_2 \left(\frac{1}{R_v} + \frac{1}{R_p} \right)$$

此の電流を n_1 側に換算すると……二次に i_2 なる電流が流れると此の $i_2 \times n_2$ なるアンペアターンを打ち消す電流 i_1 が一次に流れ、 $i_1 n_1 = i_2 n_2$ 故に $i_1 = i_2 \times \frac{n_2}{n_1}$

即ち二次電流に巻数比 n_2/n_1 を乗じたものが此の二次電流に相應する一次電流である。……又、一次側には此の他に、鐵損に電力を供給する電流 I_0 が流れるから

$$n_1 \text{ の全電流 } I_1 = I_0 + \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{E_2}{R_v} + \frac{E_2}{R_p} \right)$$

之れは電力計電流線輪の電流で、電壓線輪には E_2 が加はるから、電力計の指示 W は

$$W = E_2 I_1 = E_2 \left\{ I_0 + \frac{n_2}{n_1} \left(\frac{E_2}{R_v} + \frac{E_2}{R_p} \right) \right\}$$

$$\text{鐵損 } W_1 = E_2 I_0 = \frac{n_1}{n_2} E_2 I_0 = \frac{n_1}{n_2} W - \left(\frac{E_2^2}{R_v} + \frac{E_2^2}{R_p} \right)$$

然して V_2 の指示 V_2 は略々 E_2 に等しいと見られるから

$$W_1 = \frac{n_1}{n_2} W - \left(\frac{V_2^2}{R_v} + \frac{V_2^2}{R_p} \right)$$

斯くて、電力計 W 及電壓計 V の指示より鐵損が測定せられる。

次に、加へられた電壓の周波数を f 、電壓の波形率を γ とし、試材の斷面積を A 平方㎝、試材の磁束密度を B_m とすると

$$E_2 = 4\gamma f n_2 B_m A \times 10^{-8} \quad (\text{第二卷 P118 以下参照})$$

$$B_m = \frac{E_2}{4\gamma f n_2 A} \times 10^8 = \frac{V_2}{4\gamma f n_2 A} \times 10^8 \quad \text{ガウス}$$

但し 正弦波 $\gamma = 1.11$

(註) n_2 の回路を開くと n_1 の電流は鐵損の電流 I_0 と磁束を作る電流 I_m の和の磁電流であるが I_0 と I_m は略々 90° の相違があるので

$$\text{磁電流 } I_0 = \sqrt{I_c^2 + I_m^2}$$

$$\therefore I_m = \sqrt{I_0^2 - I_c^2} = \sqrt{I_0^2 - \left(\frac{W_1}{E_1} \right)^2} = \sqrt{I_0^2 - \left(\frac{W_1}{V_1} \right)^2}$$

但し V_1 は電源電圧である。又磁化力 H_m は

$$H_m = \frac{4\pi(\sqrt{2} I_m) n_1}{10^4} \quad l \text{ は線輪の長さ}$$

I_m は實効値であるから最大値はその $\sqrt{2}$ 倍である。前式に I_m の値を代入すれば H_m が判り、導磁率 μ は B_m/H_m として求められる。

17.5.2 交流ブリッジ法

此の方法は商用周波数又は可聴周波数に於ける低磁束密度の場合の鐵損の測定に用ふる。其の接続は第 17.12 圖の如くで、P Q は比例邊、L_x 及 R_x は試材



第 17.12 圖

の實効インダクタンス及實効抵抗、L_s 及 R_s は可變自己誘導器の自己インダクタンス及抵抗で R は平衡用の抵抗である。今 L_x 及 R を調整して受話器の無音となる点を見出したとすると 16.2 及 16.3 の説明より明かなやうに

$$i_1 P = i_2 Q \quad i_1 R_x = i_2 (R + R_s) \quad i_1 L_x = i_2 L_s$$

$$\therefore \frac{i_2}{i_1} = \frac{P}{Q} \quad \therefore R_x = \frac{i_2}{i_1} (R + R_s) = \frac{P}{Q} (R + R_s)$$

$$\therefore L_x = \frac{i_2}{i_1} L_s = \frac{P}{Q} L_s$$

$$i_1 = I \times \frac{Q}{P+Q} \quad \text{但し } I \text{ は電流計の指示}$$

$$\text{鐵損 } W_i = i_1^2 R_x - i_1^2 r = I^2 \frac{Q^2}{(P+Q)^2} (R_x - r)$$

但し r は試材線輪の直流に対する抵抗である。

(註) 此の測定で導磁率は次の如くにして求められる。

磁化電流 I_m は i₁ の無効分であつて、試材の位相角 θ は

$$\theta = \arctan \frac{\omega L_x}{R_x - r} \quad I_m = i_1 \sin \theta = i_1 \frac{\omega L_x}{\sqrt{(R_x - r)^2 + (\omega L_x)^2}}$$

$$\therefore H_m = \frac{4\pi \sqrt{2} I_m N}{10^7} = \frac{4\pi \sqrt{2} i_1 N \omega L_x}{10^7 \sqrt{(R_x - r)^2 + (\omega L_x)^2}}$$

但し l は試材の平均長、N は線巻数

又、試材中の誘起電力 E' = i₁ r √{(R_x - r)² + (ωL_x)²}

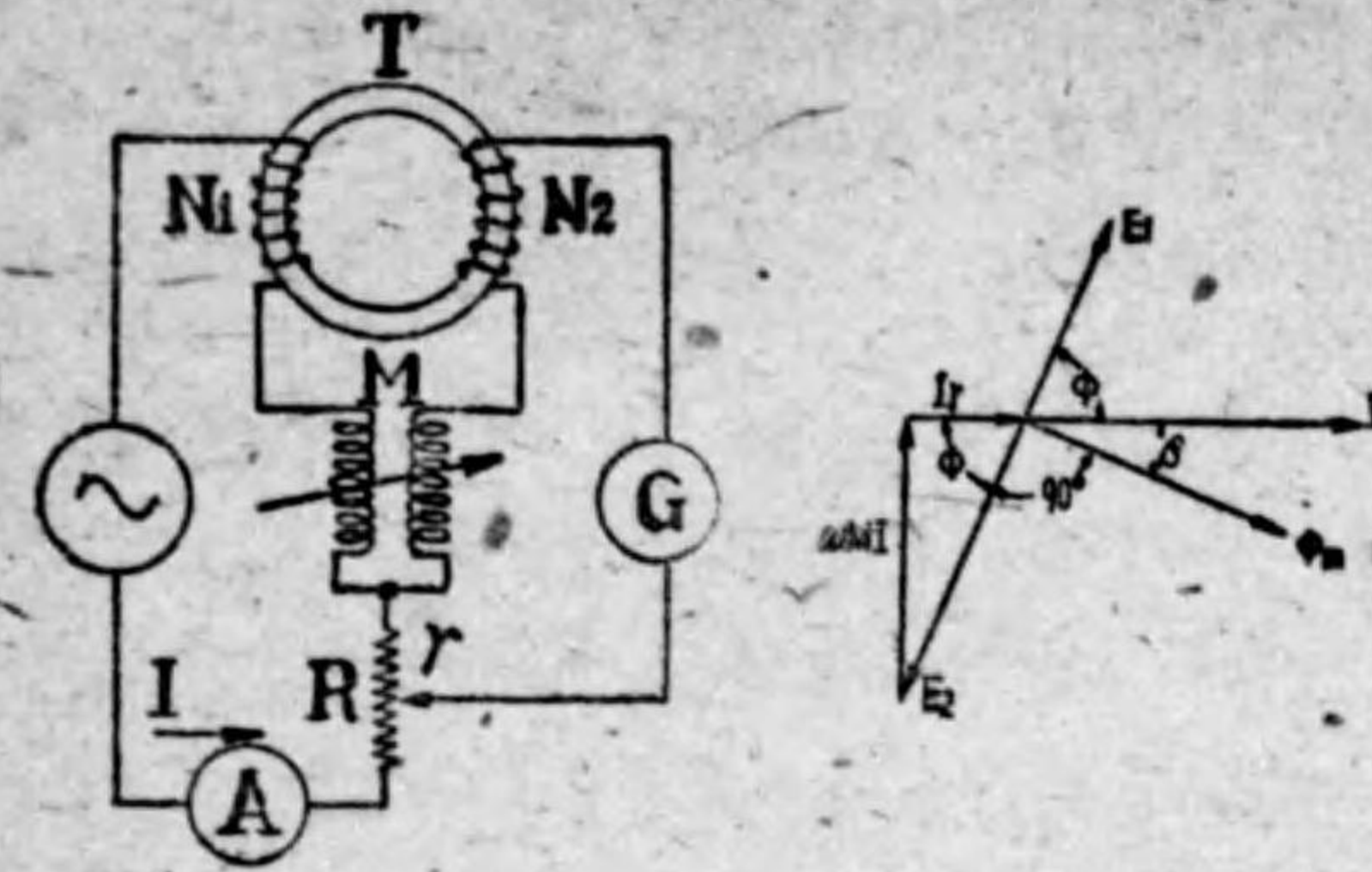
$$\text{試材中の最大磁束密度 } B_m = \frac{E' \times 10^8}{4.44 f AN}$$

但し電源の電圧を正弦波とし、其の周波数を f、試材の断面積を A とした。

$$\text{導磁率 } \mu = \frac{B_m}{H_m} = \frac{l \{ (R_x - r)^2 + (\omega L_x)^2 \}}{8\pi^2 f AN \omega L_x}$$

ブリツチ法に依る鐵損試験法として最も廣く知られてゐるのはキャンベルブリツチ法であつて、其の要領は第 17.13 圖に示す如く、試材 T に一次巻線 N₁ 及二次巻線 N₂ が捲かれてゐる。M は相互誘導器、R、r は可變抵抗で、A は電

流計、G は檢流計又は受話器である。M 及 R を調整して G 回路の平衡を得



第 17.13 圖

たとすると、各部の電壓關係は右圖のベクトルの如くなる。G に偏れがないと云ふことは N₂ の誘起起電力 E₂ が I に依つて M に誘起せらるゝ電壓 ωMI 及 r の電壓降下 Ir と平衡して、(E₂, ωMI, Ir のベクトル和が零) であることを示

す。但し Ir は I と同相、ωMI は I より 90° 進む。一方、鐵心内の磁束 φ_m は I よりヒステリシス進角 β だけ遅れ、E₁, E₂ は φ_m と 90° の位相差にある。今、M の一次電壓を E₁、二次電壓を E₂ とすると、平衡時には各部の電壓關係が上記のやうになり

$$|E_2| = \sqrt{(Ir)^2 + (\omega MI)^2} = I \sqrt{r^2 + \omega^2 M^2}$$

$$E_1 = E_2 \frac{N_1}{N_2} = \frac{N_1 I}{N_2} \sqrt{r^2 + \omega^2 M^2}$$

$$\text{故に鐵損 } W_i = E_1 I \cos \phi = \frac{N_1 I^2}{N_2} \sqrt{r^2 + \omega^2 M^2} \times \frac{r}{\sqrt{r^2 + \omega^2 M^2}} = I^2 r \frac{N_1}{N_2} \text{ ワット}$$

(註) 今試材の断面積を A、電源の周波数を f とすれば

$$E_1 = 4.44 f B_m AN_1 \times 10^{-8} = I \sqrt{r^2 + \omega^2 M^2} \quad B_m = \frac{I \sqrt{r^2 + \omega^2 M^2} \times 10^8}{4.44 f AN_1}$$

$$\text{磁化電流 } I_m = I \cos \beta = I \sin(90^\circ - \beta) = I \sin \phi \quad I_m = I \sin \phi = I \frac{\omega M}{\sqrt{r^2 + \omega^2 M^2}}$$

磁化力の最大値 H_m は R を環の平均半径として

$$H_m = \frac{4\pi N_1}{2\pi R} \times \frac{\sqrt{2} I_m}{10} = \frac{0.4\pi N_1 \sqrt{2}}{2\pi R} \frac{\omega M}{\sqrt{r^2 + \omega^2 M^2}}$$

$$\text{従つて導磁率は } \mu = \frac{B_m}{H_m} = \frac{2\pi R (r^2 + \omega^2 M^2)}{0.8\pi^2 f AN_1 N_2 \omega M} \times 10^8$$

17.5.3 鐵損の分離

前にも述べたやうに、鐵損 W_i はヒステリシス損 w_h と渦流損 w_e より構成

せられ

$$w_h = K_1 / B^{1.6} \quad w_e = K_2 / B^2 \quad K_1, K_2 \dots \text{常數} \quad f \dots \text{周波數} \quad B \dots \text{磁束密度}$$

$$w_l = w_h + w_e = K_1 / B^{1.6} + K_2 / B^2$$

従つて、電源の正弦波電壓の周波數を變化し、一定磁束密度に於ける鐵損を測定すると w_h と w_e を分離することが出来る。

今 $K_1 B^{1.6} = k_h$ $K_2 B^2 = k_e$ と置くと

$$f_1 \text{ に於ける鐵損} \quad W_1 = f_1 k_h + f_1^2 k_e \quad \frac{W_1}{f_1} = k_h + f_1 k_e$$

$$f_2 \quad " \quad W_2 = f_2 k_h + f_2^2 k_e \quad \frac{W_2}{f_2} = k_h + f_2 k_e$$

以上兩式より

$$k_h = \frac{\frac{W_1}{f_1} f_2 - \frac{W_2}{f_2} f_1}{f_2 - f_1} \quad k_e = \frac{\frac{W_2}{f_2} - \frac{W_1}{f_1}}{f_2 - f_1}$$

従つて f サイクルの $W_h = f k_h$ $W_e = f^2 k_e$ となる。

18. 應用測定

18.1 應用測定一般

電氣現象を應用して電氣量を含まない物理量、例へば、溫度、速度、壓力、真空度、 CO_2 等を測定する方法は、従來の方法よりも正確迅速であつて、速く離れた場所で容易に測定せられる等の利点を有し、應用範圍も逐日擴張せられつゝある。

(註) 最近の發達になる電氣式測微計の如きも其の一例で、測定しようとする變位を之れと一定の關係にある靜電容量、抵抗、インダクタンス値の變化に變換し、此の電氣値を電氣測定法に依つて測定する。一萬分の 1 耗又は十萬分の 1 耗の變化をも測定し得るやうになつてゐる。

以下、其の代表的なものの原理を簡単に説明することにしよう。

18.2 溫度の測定

電氣現象を利用して溫度を測定する計器には、溫度上昇に依る金屬線の抵抗の

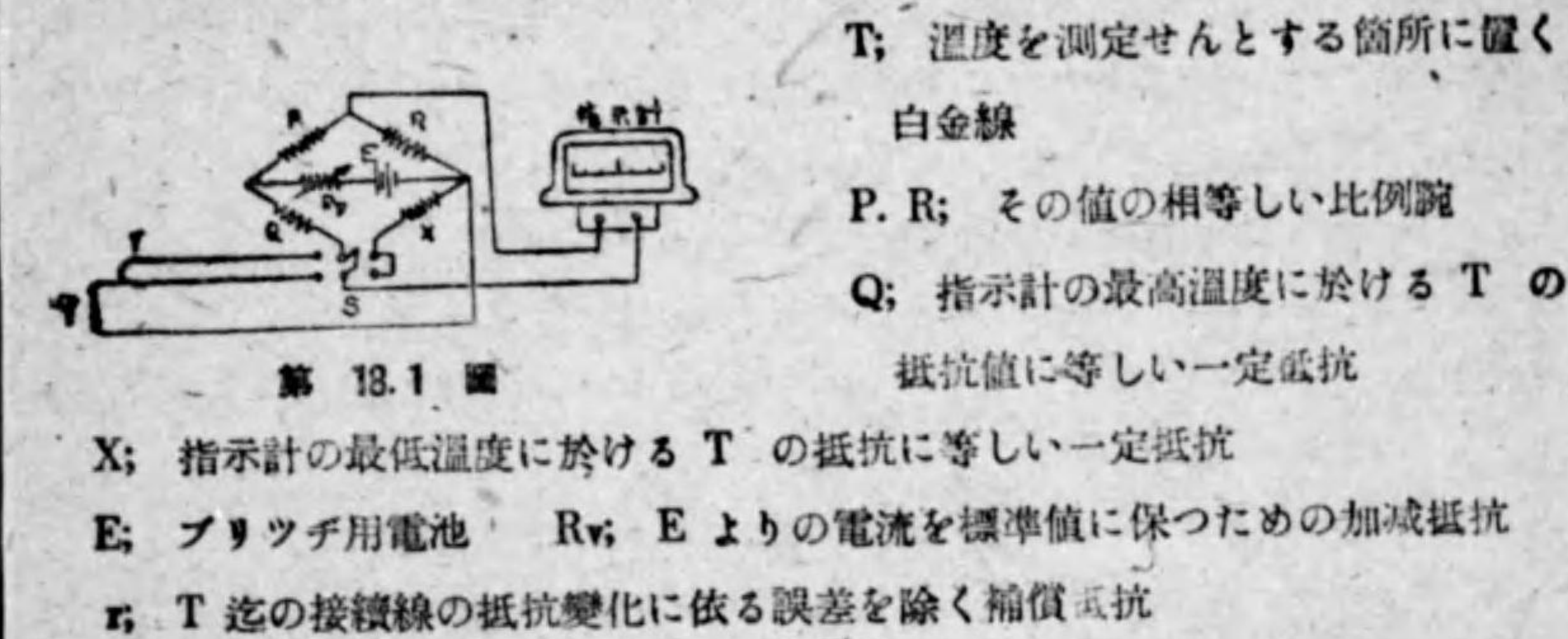
變化を利用する抵抗溫度計 (resistance thermometer) と熱電對を利用する熱電溫度計 (thermoelectric thermometer) がある。

18.2.1 抵抗溫度計

金屬線の抵抗は溫度に比例して増加し、兩者の間には一定の關係がある。此のことは第一卷 P 148 以下で述べた通りであつて、抵抗の變化を測定すると逆に溫度が求められる。

$$T = \frac{R_T - R_0}{\alpha R_0} + t \quad (\text{第一卷 P149 (7) 式を参照})$$

此の抵抗變化は大抵、ホイートストンブリッジの原理に依つて測定する。其の一例を示すと第 18.1 圖の如くである。圖に於て



第 18.1 圖

T; 溫度を測定せんとする箇所に置く

白金線

P, R; その値の相等しい比例腕

Q; 指示計の最高溫度に於ける T の抵抗値に等しい一定抵抗

X; 指示計の最低溫度に於ける T の抵抗に等しい一定抵抗

E; ブリッジ用電池 R_v ; E より電流を標準値に保つための加減抵抗

r; T 迄の接續線の抵抗變化に依る誤差を除く補償抵抗

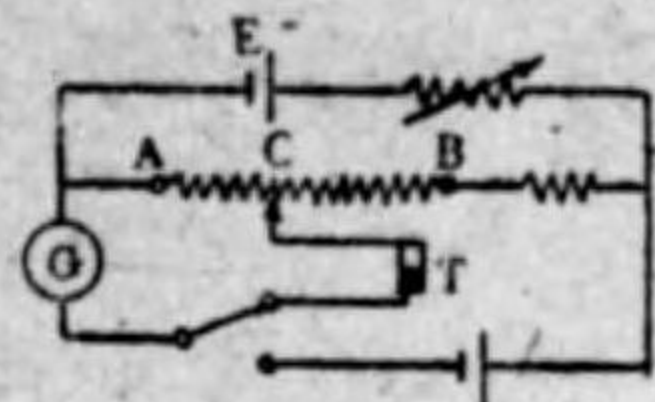
先づ S を右側へ入れて R_v を加減して指示計が最低の指示をする様にして置く。次に S を左側へ入れると T の抵抗變化に比例して指示計 (可動線輪型オーム計と同様) に電流が流れ、溫度を指示する。

(註) 上記は偏位法であつて、指示計の代りに檢流計を用ひ、其の偏れを零とするやうに一邊の抵抗を調整する。此の調整抵抗に溫度を目盛つた零位法もある。此の方が正確である。此の抵抗溫度計は $-190^{\circ} \sim 600^{\circ}C$ の溫度測定に用ひられ、室内溫度、機器の溫度、汽機加熱蒸氣の溫度或は河海底の溫度等を測定するのに便利である。

18.2.2 熱電溫度計

異種の金屬を一端で熔接し、他端を導線で檢流計に接續し、先きの熔接点を熱すると熱起電力を發生し、檢流計は偏れる。……此の高温側の熔接点を熱接点、他端低温側の接合点を冷接点と云ふ……。冷接点の溫度を一定に保つと生ずる熱起電力は熱接点の溫度に依つて定まるから、此の熱起電力を測定して溫度を知る

ことが出来る。……熱起電力の大きさは組合される金属に依つて異なり、線の太さには関係しない……。起電力を測定するのに指示型のミリボルト計を用ふる指示高温計と、電位差計を用ふる電位差計式高温計がある。後者の一例を示すと第18.2



第 18.2 圖

圖の如くである。圖で A B 間には電池 E に依る電流が流れ、A C 間に電圧降下を生ずる。又 T は熱電對で測定温度に依り加熱されて熱起電力を發生する。今 A C の電圧降下の方向と T の起電力の方向が反對となる様に接続して置き、C の位置を變化して G の偏れが零になる様にしたとすると、此の時の A C 間の電圧降下と熱起電力が相殺し合ふ事になり、T の起電力、従つて温度が判明する。此の C が自動的に G の偏れを零とするやうに働き、C にペンを持たせて温度を自記するやうにせられたものが多い。

(註) 組合される異金属と其の測定温度を示すと次の如くである。

白金-白金ロヂウム (ロヂウム 10%~13%) (1200~1400°C 迄)

白金-白金イリヂウム (1400°C 迄) 鐵-コンスタンタン (800°C 迄)

銅-コンスタンタン (500°C 迄)

タロメル-アルメル (1000~1200°C 迄) (工業的に最も多く用ひられる)

ミリボルト計で直接指示するものは、導線抵抗變化の影響を除く爲めに、内部抵抗の高い (200Ω 内外) のものを用ひ、微小電壓で鋭敏に動作するやうにせられる。

此の外に光高温計があるが、これは第八巻に説明せられるから此處では省略する。

18.3 回轉速度の測定

一般に回轉機を測定するには、回轉数を一定時間機械的に積算する回轉速度計 (tachometer) を用ふる。之れを電氣的に測定する方法としては發電機法、ストロボスコブ法、蓄電器法がある。

18.3.1 發電機法

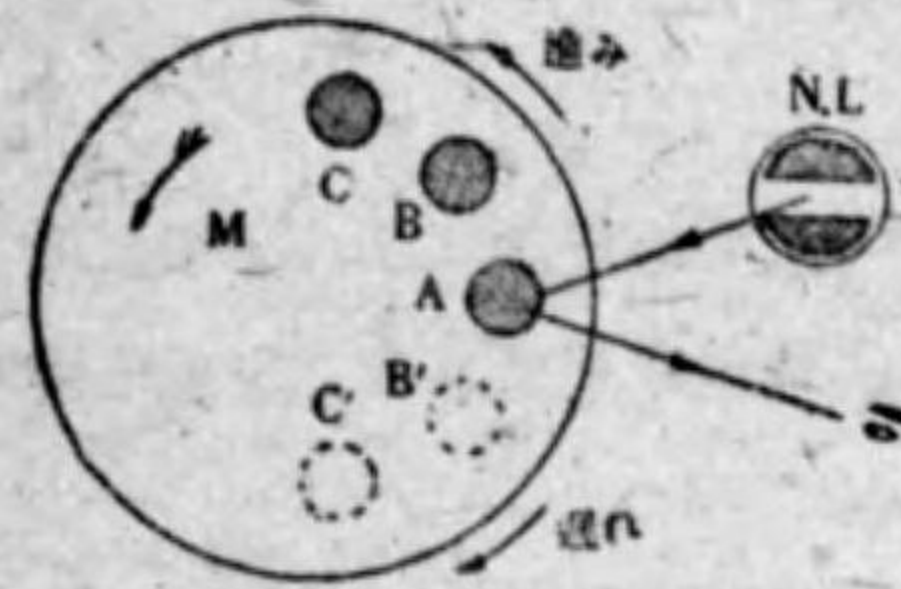
之は大型回轉機械の回轉数の測定に使用せられるもので、回轉機の軸と小型發電機の軸を連結すると發電機は起電力を發生する。此の起電力は軸の回轉数に比例するから、直結電壓計の目盛を速度目盛にして置くと速度を直讀し得る。

(註) 軸との連結には齒車ベルト又は摺り接手が用ひられる。尙直流式と交流式があつて

前者は低速用に、後者は高速用であつて、交流式の場合には、周波数 $f = PN/120$ であるから周波数 f を變波計で測定すると回轉數が分る。直流式では回轉方向も判明する。此の種の回轉計を小型機に連結すると回轉數に影響を受けるので適當でない。

18.3.2 ストロボスコブ法

此の方法は回轉機に觸れないで行ひ得る特長があり、廣く採用せられてゐるから、原理を少しく詳細に述べやう。今 A なる黒丸を印した圓板 M を回轉機の軸に取付け、之れを一定周期で明滅するネオン燈 N.L. で照す。此のネオン燈が点火した時 A の黒丸が圖の位置にあり、次にネオン燈が点火した時 M が丁度



第 18.3 圖

1 回轉して A が元の位置に来るとすると…即ち M の速度とネオン燈点滅の周期が一致すると A は静止して居る様に見へる。處が M の回轉が N.L. の点滅の周期より早いと、ネオン燈が次に点燈した時には A は廻り過ぎて B の位置に、次の点燈時には C の位置と云ふやうに移動するから、見て居ると、A の黒丸が A → B → C と云ふやうに回轉方向に移動する。又 M の回轉が N.L. の点滅より遅いと逆に黒丸が A B' C' のやうに移動する。今圓板を回轉機の極數

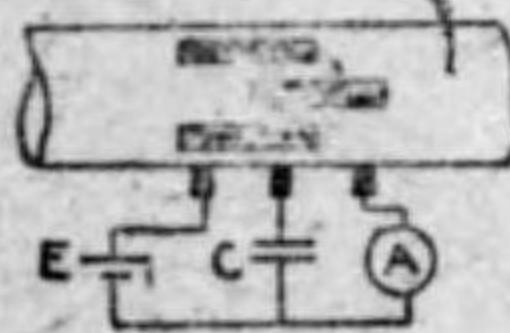


第 18.4 圖

と等しい扇形に區切つて黑白に塗ること第 18.4 圖の如くにする。之れをネオン燈で照すと前の原理に依つて黒の扇形が静止したり前進したり後退したりする。其處でネオン燈に加へる周期を變へて扇形を静止させると回轉機の周期と一致して回轉數を知ることが出来る。之れは後巻で述べられるやうに同期を知るにも採用せられる

18.3.3 蓄電器充放電法

之れは回轉軸の速度に比例して蓄電器を充電放電し、其の放電量より回轉速度を知る方法で一般的でない。



第 18.5 圖

(註) 其の原理は第 18.5 圖の如くで、絶縁筒に金屬片を設け之れを回轉機の軸に取付け、刷子を介して蓄電器 C を結ぶと C は充放電をくり返す。此の放電電流を電流計 A に流すと放電電流は速度に比例する。

18.4 圧力の測定

18.4.1 圧電気 (piezoelectricity) を利用するもの

水晶等の圧電気結晶体に壓力を加へると電荷を生じ、電荷と壓力の間には一定の関係がある。例へば、2枚の水晶片を重ね合せて、之れに壓力を加へると合せ目に壓力に比例した電荷を生ずる。之れを電位計又は真空管を通じて擴大して電流計に依つて測定すると壓力を知り得る。

18.4.2 静電容量の變化等を利用するもの

例へば平行板蓄電器兩板の間隙を壓力に依つて變化させ、其の静電容量の變化を真空管又はオシログラフで測定して壓力變化を測定する。

18.4.3 炭素板抵抗器に依るもの

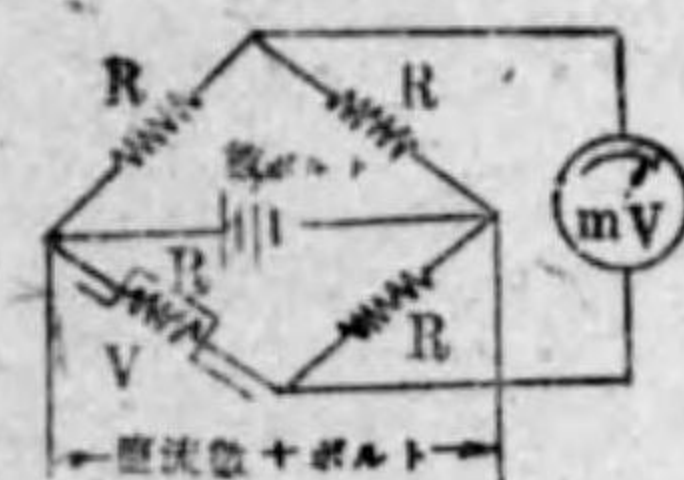
炭素板抵抗器に壓力を加へると、壓力變化に應じて抵抗が變化する。此の抵抗値をホイートストンブリッジで測定して壓力を知る。此の方法は壓力の急激に變化するものに適さない。

(註) 氣壓、水壓、蒸氣壓は水銀柱又はばねの歪を利用する壓力計で測定せられるが、急激な壓力變化(例へば火藥の爆發壓力、水壓鐵管内の水錘作用)を精確に測定し得ない。上記の電氣的の方法に依ると此の點が満足せられる。

18.5 眞空度の測定

電氣的眞空計を分つと、抵抗眞空計 (resistance manometer) と、電離眞空計 (ionization manometer) となる。此處では前者に就て説明する。

之は眞空中に於て、抵抗發熱に依る溫度上昇が眞空度の高くなるにつれて高くなる…熱傳導對流に依る熱の放散が悪くなるから…

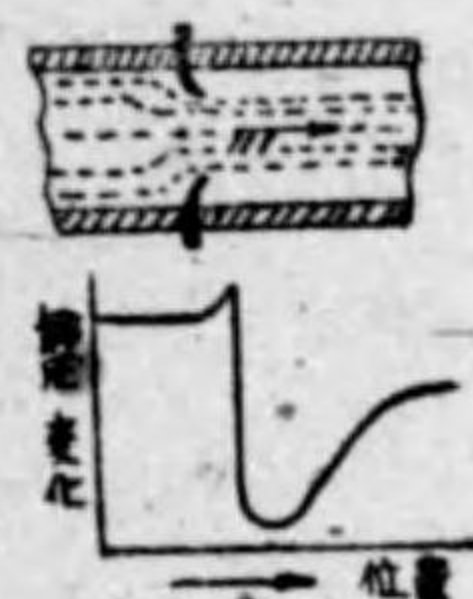


第 18.6 圖

…事を利用したものであつて、第 18.6 圖の如く、ホイートストンブリッジの一邊を眞空管中に封入する。此の四腕の抵抗は等しく R で、始めはミリボルト計 (mV) の指示が零であるが、 V が眞空になるにつれて、 V の R は抵抗値が増加し、ブリッジの平衡は破れ mV に偏れを與へる。mV の目盛を眞空目盛にして置くと之れで眞空度が判明する。水銀整流器等によく使用されてゐる。

18.6 流量の測定

液体燃料、蒸氣、水の時々刻々の流量を電氣的に測定することは、遠方計測を行ひ得るので便利である。吾々としても、例へば水力發電所に於ける流水量、火力發電所に於ける蒸氣流量を測定する必要がある。元來流量は(流速×斷面積)で表はされるから、一定斷面積を通過する流速を測定すれば直ちに流量を得る。其の方法として廣く採用せられて居るのは、薄板オリフィスを用ふるもので、第



第 18.7 圖

18.7 圖に其の原理を示した。即ち流量を測定しやうとする管中にオリフィスを作ると、其の前後の壓力は下圖の如くに變化する。此のオリフィス前後の壓力差は流速に比例する。此の壓力差を抵抗變化に變へたりして流速を、從つて流量を指示又は積算する。

18.7 瓦斯量の測定

瓦斯の種類に依つて熱傳導度を異にするから、抵抗眞空計の場合と同様に、瓦斯中に熱線を置くと溫度上昇に相違を生ずる。從つて熱線の抵抗値より逆に瓦斯量が測定される。此の熱傳導法に依つて測定されてゐる瓦斯には、水素、炭酸、一酸化炭素、亞硫酸瓦斯等がある。吾々の親しみ深い一つは火力發電所の煙道瓦斯中の炭酸瓦斯 (CO_2) 又は一酸化炭素瓦斯 (CO) の混合割合から過剩空氣の量を從つて燃焼度を測定することである。此の場合、炭酸瓦斯 (CO_2) の熱傳導率は空氣の 61.4% であるから、煙道瓦斯中に熱線を置くと、 CO_2 の量が多い程熱線の溫度が上昇し抵抗が増加する。從つて逆に此の抵抗の増加量より CO_2 の量を測定し得る。

以上で、電氣測定の殆んどを盡したから、其の悉くを理解せらるゝなら實用上自在の活手腕を發揮せられやう。尙極く特殊な事柄は省いたが何れ後巻で夫々講述せらるゝから其の節に留得せられたい。