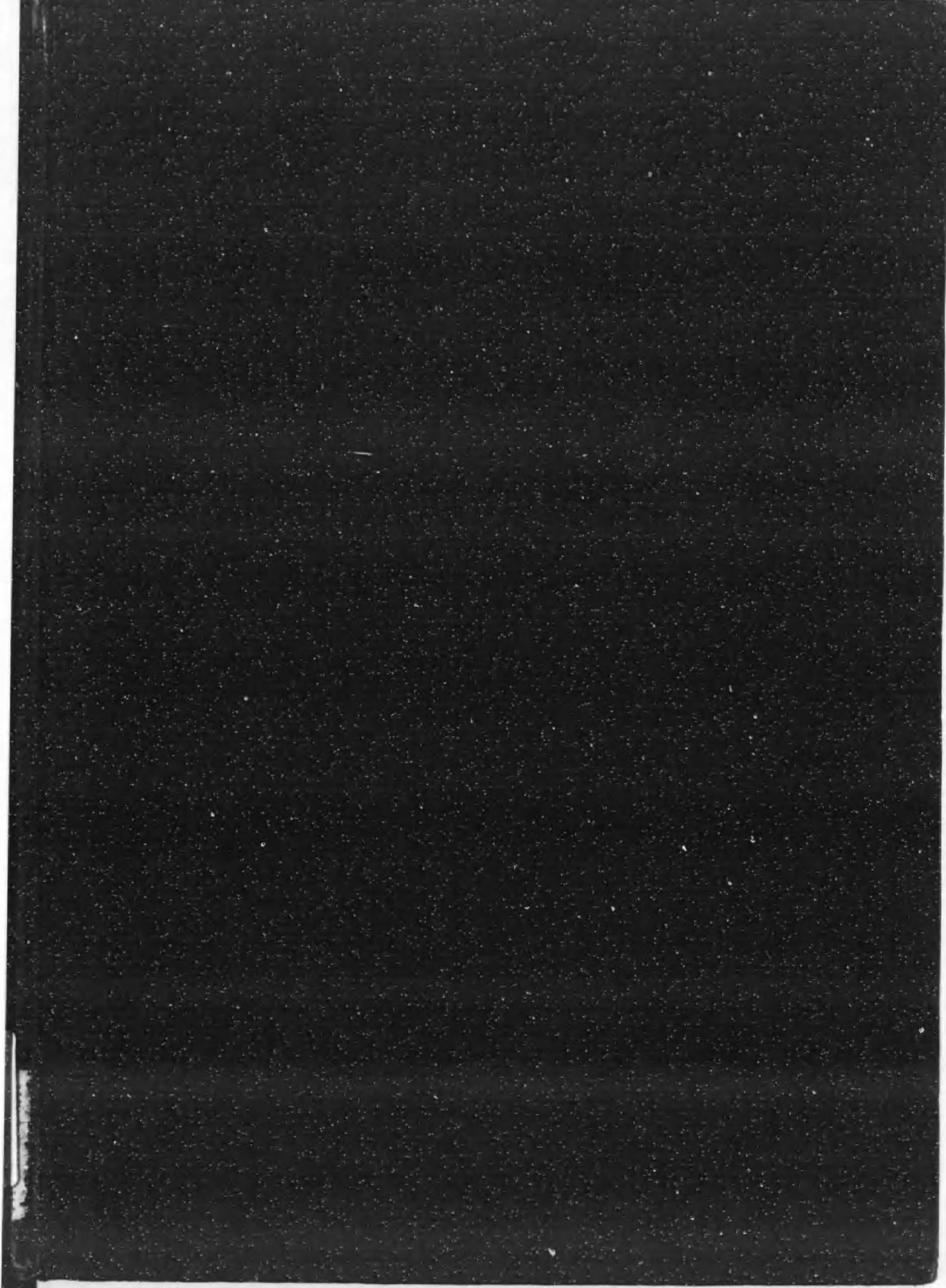


始



料214
661



電氣理論並測定法



大石堂出版部



序 文

本書は大阪公立工業學校數校の電氣科各専門教諭三十名が、眞摯なる教授研究の目的を以て組織する電教社の編纂せるもので、工業學校電氣科用教科書として凡ゆる角度より最新にして合理的なることを目標としたものであります。

現非常時局下工業の大發展につれて技術員の急速養成を必要とする際之に應じ且は初學者にも簡易に其研究に便せんが爲め嘗て發刊せる教科書中より、電氣磁氣。交流理論。電氣磁氣測定法並器具を一括して

電氣理論並測定法

送電配電。電燈照明並電熱工學。電氣鐵道の三冊を

電氣應用一般

直流機械。交流機械前編。交流機械前編の三冊を

電氣機械

として發刊せし者であります。

電氣理論並測定法目次

電 氣 磁 氣 學

第 一 章 磁 氣 學

1. 磁氣及び磁石	1
2. 磁 極	2
3. 磁 性 物	2
4. 磁極相互間の作用	3
5. 磁極の強さ	3
6. 磁氣誘導	4
7. 磁力線及磁路	4
8. 磁界及磁界の強さ	6
9. 磁極に依つて生ずる磁束の數	7
10. 磁位及起磁力	8
11. 遮 磁 壁	8
12. 磁石分子説	9
13. 磁氣飽和	10
14. 残留磁氣及磁氣の保存法	11
15. 磁化率及導磁率	12
16. 磁極の位置	13
17. 地 磁 氣	15

第二章 静電氣

18. 電 氣	16
19. 導體及不導體	18
20. 電氣の分布及密度	19
21. クロームの定律	20
22. 検電器	21
23. 静電誘導	21
24. 電 界	23
25. 電 位	23
26. 絶縁耐力	24
27. 蓄電器	25
28. 静電容量及其單位	26
29. 蓄電器の有するエネルギー	27
30. 蓄電器の接続と合成容量	28

第三章 電 流

31. 電 流	30
32. 起電力	31
33. 電氣量及電流の單位	32
34. 電壓の單位	34
35. 電氣抵抗と其單位	34
36. オームの法則	34
37. 導體の抵抗コンダクタンス及導電率	36
38. 導體の抵抗と温度との關係	38

39. 抵抗變化に依る温度の測定	39
40. 銅 線	40
問 題	42

第四章 電氣化學

41. 電 解	43
42. 電解の應用	44
43. 電 池	45
44. 蓄電池	47

第五章 電氣回路

45. 電氣回路	49
46. 直列接続の全抵抗	50
47. 並列接続の全抵抗	51
48. 分路及び短絡	53
49. 電池の接続	55
50. 電源の内部抵抗と起電力	57
51. 電線路と電壓降下	58
52. キルヒホッフの法則	59
問 題	63

第六章 電力及び電力量

53. 電力量及び其單位	66
54. 電力及び其單位	67
55. 電流の熱作用	69
56. ジュールの法則	70

57. 電線路の電力損失 …… 71
問 題 …… 72

第七章 電磁作用

58. 直線電流の作る磁界 …… 73
59. 線輪の作る磁界 …… 75
60. 電磁石 …… 76
61. 耐久磁石の製法 …… 77
62. 磁界内の電流に加はる力 …… 78
63. 電流に依る仕事 …… 80
64. 電流相互間の作用 …… 81
問 題 …… 82

第八章 磁気回路

65. 磁気回路 …… 83
66. 起磁力及其單位 …… 84
67. 磁気抵抗, 抗磁率及導磁率 …… 84
68. 磁束及磁束密度 …… 85
69. 磁路の法則 …… 86
70. 鐵の磁氣的性質 B—H 曲線 …… 87
71. ヒステレシス …… 88
問 題 …… 90

第九章 電磁誘導

72. 電磁誘導 …… 91
73. 誘導起電力の方向 …… 92

74. 誘導起電力の強さ …… 94
75. 相互誘導 …… 96
76. 自己誘導 …… 97
77. 電氣回路に蓄積するエネルギー …… 98
78. 渦流及渦流損 …… 100
79. 誘導線輪 …… 101
問 題 …… 102

第十章 特殊現象

80. 電子論 …… 103
81. 放電現象 …… 105
82. 真空放電 …… 106
83. 陰極線 …… 107
84. 熱電子現象 …… 108
85. X 線 …… 109
86. ブラウン管 …… 110
87. 真空管 …… 111
88. 光電管 …… 112
89. 熱起電力 …… 114

問題之答

交 流 理 論

第一章 正弦波交流

1. 直流と交流 …… 120

2. 正弦波曲線 ……121
3. 正弦波起電力の発生 ……122
4. 位相及位相角 ……125
5. 平均値及実効値 ……128
6. 正弦波交流のベクトル表示並に其の取扱法 ……130

第二章 交流回路

7. 抵抗のあを有する回路 ……133
8. 自己誘導係数のみを有する回路 ……135
9. 静電容量のみを有する回路 ……139
10. 自己誘導係数と抵抗とが直列なる回路 ……142
11. 抵抗と自己誘導係数及静電容量が直列なる回路 ……144
12. 電圧共振 ……146
13. 直列にわるインピーダンスの合成 ……149
14. 抵抗と自己誘導係数とが並列にある回路 ……152
15. 抵抗と静電容量を並列にしたる回路 ……153
16. 電流共振 ……155
17. アドミッタンス, コンダクタンス, サッセプタンス ……157
18. 並列にあるインピーダンスの合成 ……159
19. 練習問題 ……160

第三章 交流の電力

20. 交流電力と力率 ……162
21. 電圧及び電流の有効分及び無効分 ……166
22. 練習問題 ……167

第四章 多相式交流

23. 多相式の種類 ……168
24. 二相式交流 ……171
25. 三相式に於ける電圧, 電流の関係 ……172
26. 三相式の電力 ……180
27. 対称三相式による廻轉磁界 ……182
28. 多相回路計算問題 ……185

第五章 歪形波

29. 歪形波 ……187
30. 等価正弦波 ……188
31. 變壓器の勵磁電流 ……188

附 録

- (1) ピタゴラスの定理 ……190
- (2) 三角函数 ……190
- (3) 三角函数公式 ……196

電氣磁氣測定法及測定器

第一章 總 論

1. 單 位 ……197
2. 標 準 器 ……198
3. 計器の要素 ……200

38. 鐵心入線輪の誘導係数の測定...288
 39. 可聴周波及高周波交流發生装置...289

第八章 高周波測定

40. 高周波電流計及電壓計...290
 41. 波長計...292
 42. 同調回路の共振周波数の測定...293
 43. 高周波實效抵抗の測定...293
 44. 自己誘導係數及靜電容量の測定...294
 45. 相互誘導係數の測定...295

第九章 磁氣測定法

46. 磁界強度の測定...296
 47. 磁束密度の測定...298
 48. 鐵損失測定法...298

演習問題

電氣理論並測定法

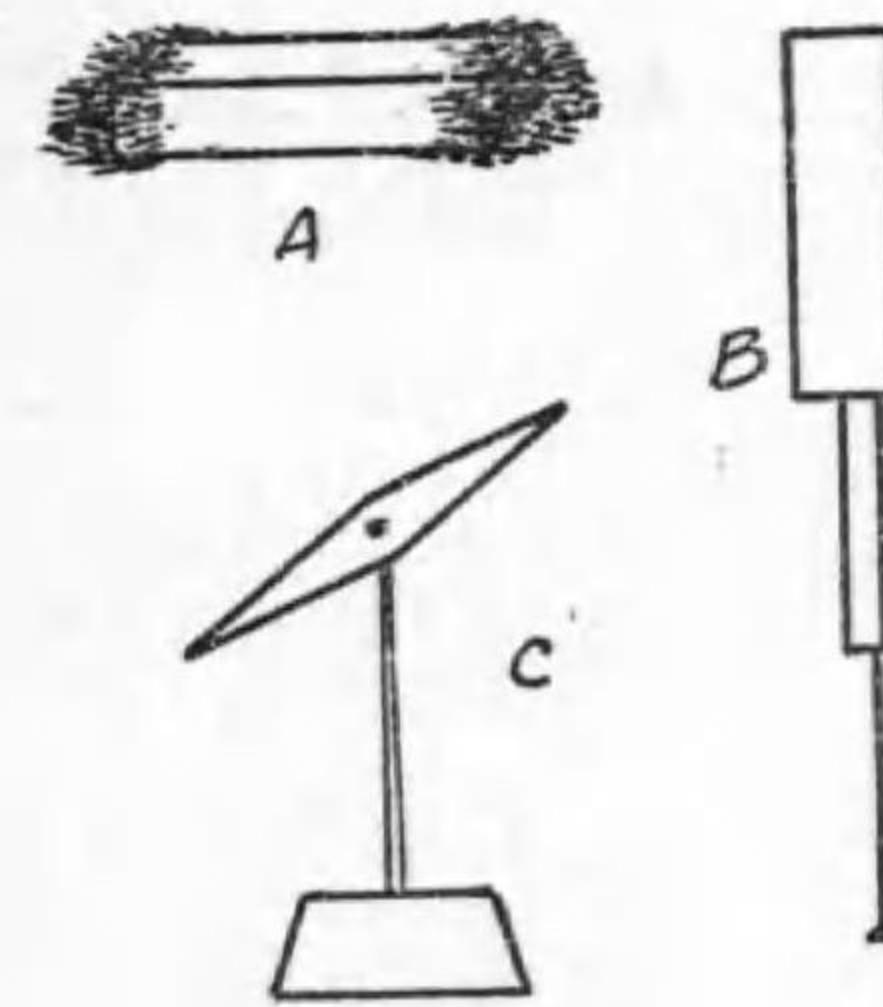
電氣磁氣學

第一章 磁氣學

1. 磁氣及び磁石

磁鐵礦 (magnetite) と云ふ礦石がある。此の磁鐵礦は多量に鐵分を含んで居るものであるが、之れを鐵粉中に置くと或る部分に鐵粉を吸付ける性質がある。之れを**天然磁石** (loadstone) と云ふ。電氣工學上用ひられる**人工磁石** (artificial magnet) は棒狀、馬蹄形、磁針等種々の形のものがあつたが、之れは或物質に人工的に此の性質を帶びさせたものである。

即ち**磁氣** (magnetism) とは或種の金屬 (鐵、鋼、ニッケル、コバルト、マンガン等) が特に持つて居る次の様な性質を云ふ。



第1圖

- (1) 鐵粉、軟鐵、鋼等を吸引すること。
- (2) 他の磁石を吸引し又は反撥すること。
- (3) 重心點で支へるか、糸で吊す時に殆んど南北を指すこと。
- (4) 他の鐵片を摩擦する時に之れに磁石性を與へること。

以上の四つの性質を磁氣と云ひ、此の性質を有するものを**磁石**

(magnet) と云ふ。

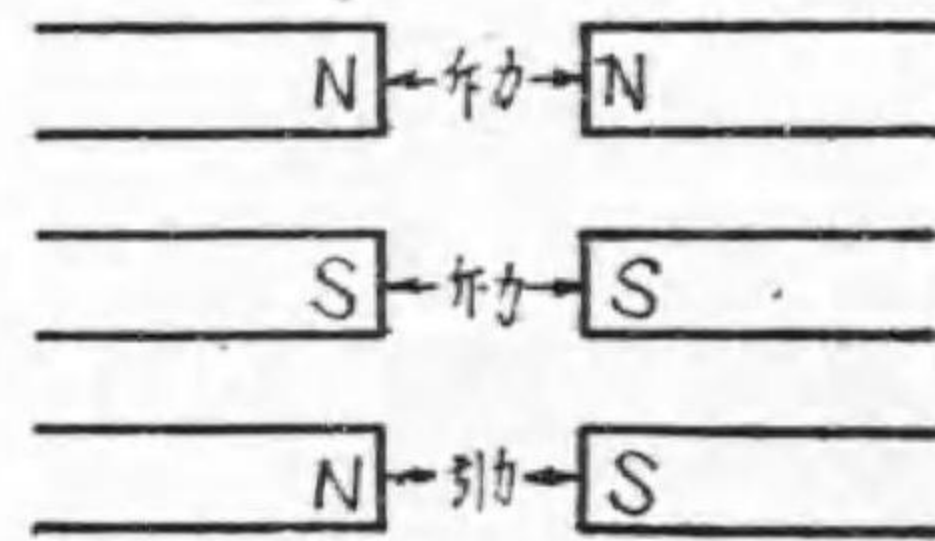
2. 磁 極

一つの磁石が鐵粉又は鐵片を吸つけ又は他の磁石を吸引或は反撥する力は磁石の兩端附近が強く中央に至るに従つて弱くなる。此の兩端附近の最も強い部分を**磁極**(pole)と云ふ。

即ち一つの磁石には二つの磁極がある。そして之を重心點で支へるか又は糸で吊す時は一極は常に北を指し、他極は常に南を指すものである。之れに依つて磁極には二種あることが判る、此の二つの磁極の内北を指す方を**北極**(north pole)又は**正極**(positive pole)と言ひ N 又は(+)で表はし、南を指す方を**南極**(south pole)又は**負極**(negative pole)と言ひ

S 又は(-)で表はす。

二つの磁石を取り、其の極と極とを交互に近づける時は第二圖に示す如く同種の極は相反撥し異種の極は相吸引するものである。



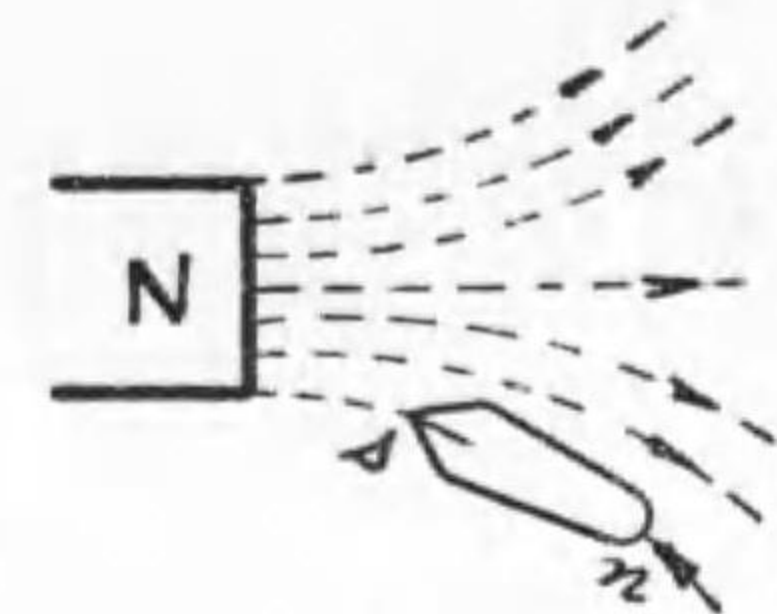
第2圖

3. 磁 性 物

第三圖に示す如く強い磁石の近くにペン先の様な小鐵片を置くと鐵片は吸ひ付けられる。是は強い磁石の爲めに此の鐵片が磁石となつた爲めであつて其の性質は親磁石に近い方が反對の極に、遠い方

が同種の極になつて居るものである。

即ち圖に示す如く親磁石の N に近い方は S 極、遠い方は N 極となる。鐵の代りに他の金屬(ニッケル、コバルト等)を持つて行つても矢張り多少はこの作用を受けるものである。すべて以上の様な作用を受ける物質を**磁性物**(magnetic substance)と云ふ。



第3圖

磁性物の重なるものは、鐵、鋼、ニッケル、コバルト、白金、マ

ンガン、酸素等であるが、此の中で鐵の受ける作用が最も著しいのである。故に磁石を作るには鐵或は鐵を主要成分とする合金以外の物質は殆んど用ひられないのである。

4. 磁極相互間の作用

磁氣學の法則は1785年クーロム氏に依つて發見されたものである

第一法則 同種の磁極は互に相反し異種の磁極は互に相吸引する。

第二法則 二つの磁極間に働く力は各磁極の強さの積に比例し其の距離の自乗に反比例する。

之れを**クーロム氏の法則**(Coulomb's law)と云ふ。

5. 磁 極 の 強 さ

相等しき磁極間の距離が1 釐にしてその間に働く力が、1 **ダイン**

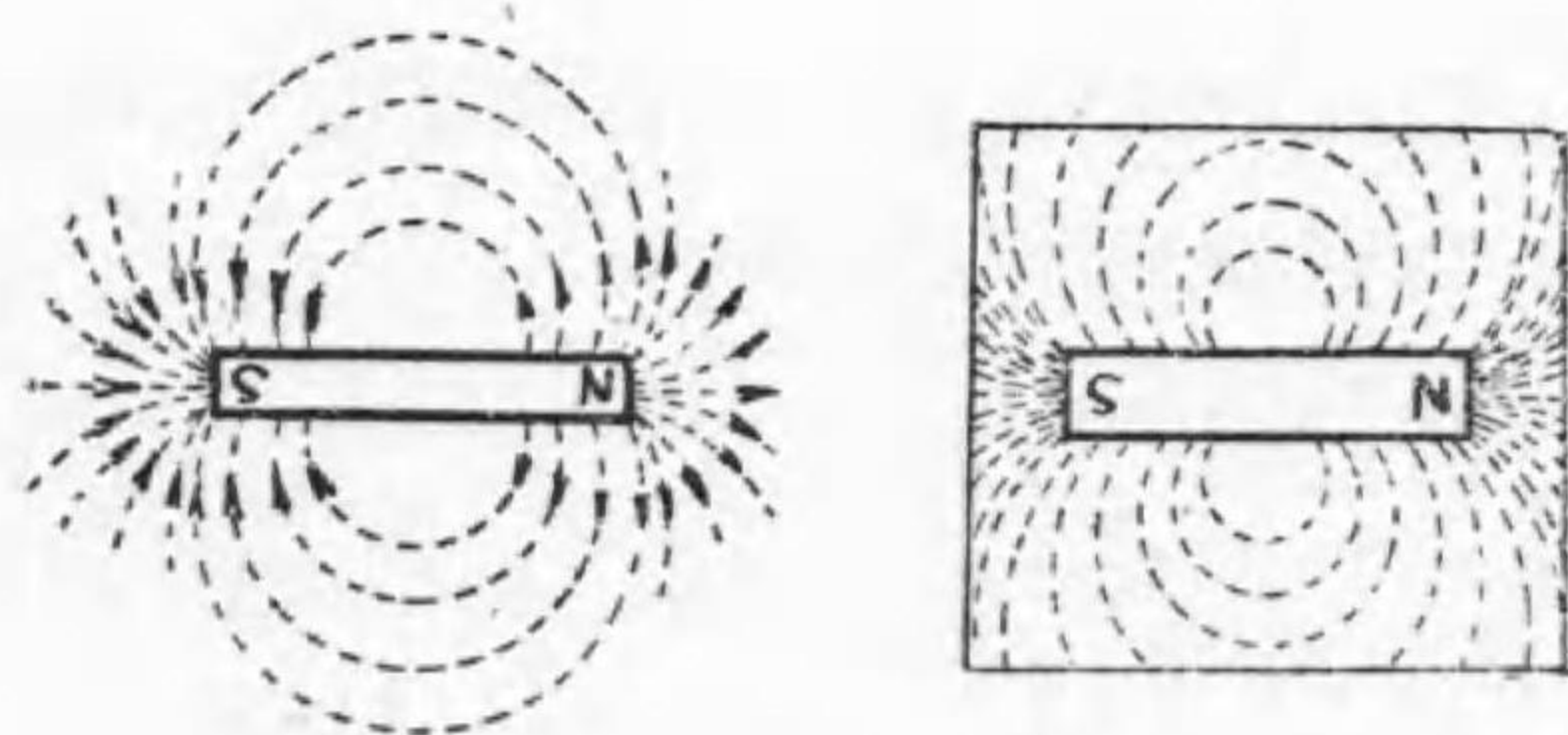
(dyne)(質量1瓦の物體に1種毎秒毎秒(1cm/sec²)の加速度を生ぜしめる力を1ダインと云ふ)なる時,此の二つの磁極の強さは各々1なりと云ひ,之れを **C. G. S 電磁單位** (C. G. S. electro magnetic unit) と云ふ。

6. 磁 氣 誘 導

第3圖に於て説明せる如く強き磁極の近くに小鐵片を持って行くと其の影響を受けて小鐵片は直ちに又一つの磁石となり,此の二の磁極間に互に吸引する力が働くものである。此の現象を**磁氣誘導** (magnetic induction)又は**磁氣感應**と云ひ,鐵片は**磁氣誘導**又は**磁氣感應**に依つて**磁化**されたと云ふ。

7. 磁 力 線 及 び 磁 路

一本の棒磁石を取つて其上に硝子板か厚紙を置き,鐵粉を撒布して軽く硝子板又は厚紙をたたくと第4圖に示す如く鐵粉は曲線を描いて配列する。

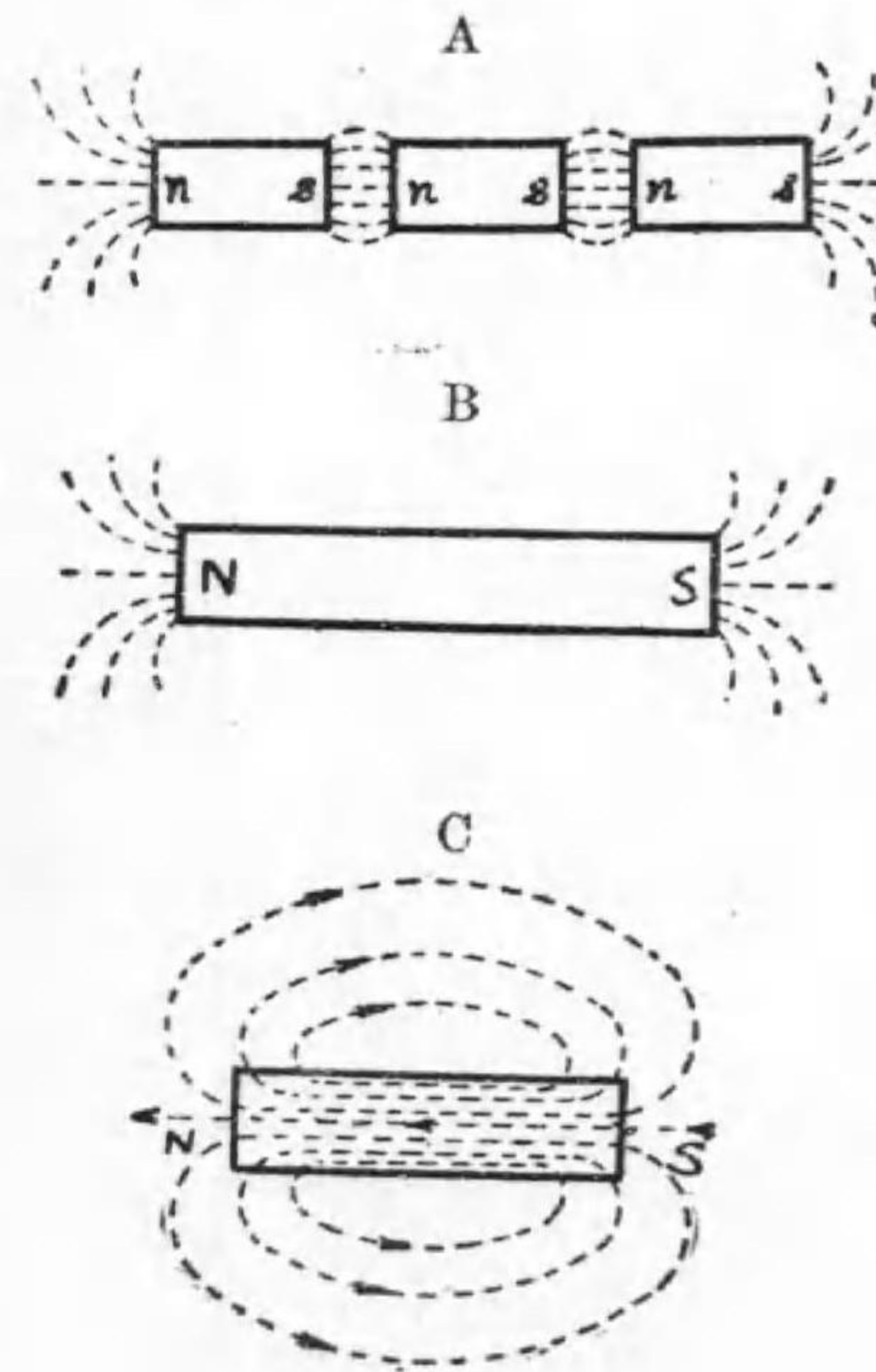


第4圖

此の鐵粉の配列してゐる曲線は磁力の強さと其の方向を示すもので此の曲線を**磁力線** (lines of magnetic force)と云ふ。

此の磁力線はNから出てSに入つて居るものと定められ,その出入口に於ては常に其の面に直角になつ居るものである。磁力線に對する考へ方を一層押し進めて行けば,磁力線は單に磁石の外部のみに存在するものでなく磁石の内部にも存在するものと考へられる。

即ちNから出て空間を通りSに入り更に磁石内をSからNに向つて進み元のNに歸るものと考へる事が出来る。それは第5圖のA



第5圖

に示す如く一つの磁石を小さく切つて見るとその一つ一つの斷片は各々一個の磁石であり之れを並べて密着せしめると第5圖Bの如く又一個の大きい磁石となる。故に磁力線は第5圖Cに示す如く循環せる通路を形成するものと考へられ,之の通路を**磁氣回路**又は**磁路** (magnetic circuit) と云ふ。

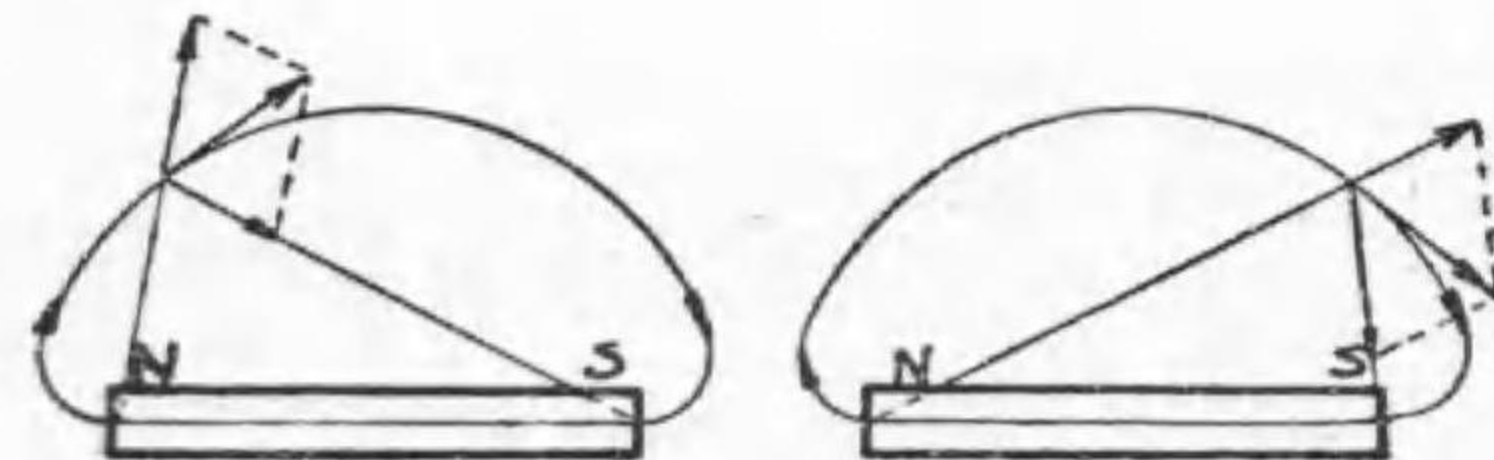
8. 磁界及磁界の強さ

磁力が働く場所を磁界又は**磁場** (magnetic field) と云ふ。即ち磁石の極の附近に小鐵片を置けば此の鐵片が磁石の方に吸付けられる様に磁石が其の作用を及ぼし得る範圍を磁界と云ふのであつて、一般に磁極に近い程此の作用の大なる事は容易に知り得る事である。故に一つの磁界中に於ても其の場所に依つて強さが異なる事は當然である。

今 m なる強さの磁極があると其の附近の空間は磁界となりこゝへ他の磁極を持つて來れば、其の二つの磁極間には必ず或る強さの力が働く、今 m なる強さの磁極の作つて居る磁界の一點に強さ 1 なる (+) 極を持つて來た時に其の (+) 極が受ける力の方向を磁界の方向と云ひ、二極間に働く力の大きさをダインにて表はしたものを其の點の**磁界の強さ**と云ふ。之れを H で表せば

$$H = \frac{m \times 1}{r^2} = \frac{m}{r^2} \dots\dots\dots (1)$$

此の H なる磁界の強さは磁極から離れるに従つて弱くなるもので其の方向は第 6 圖に示す如く磁力線の方と同じである。

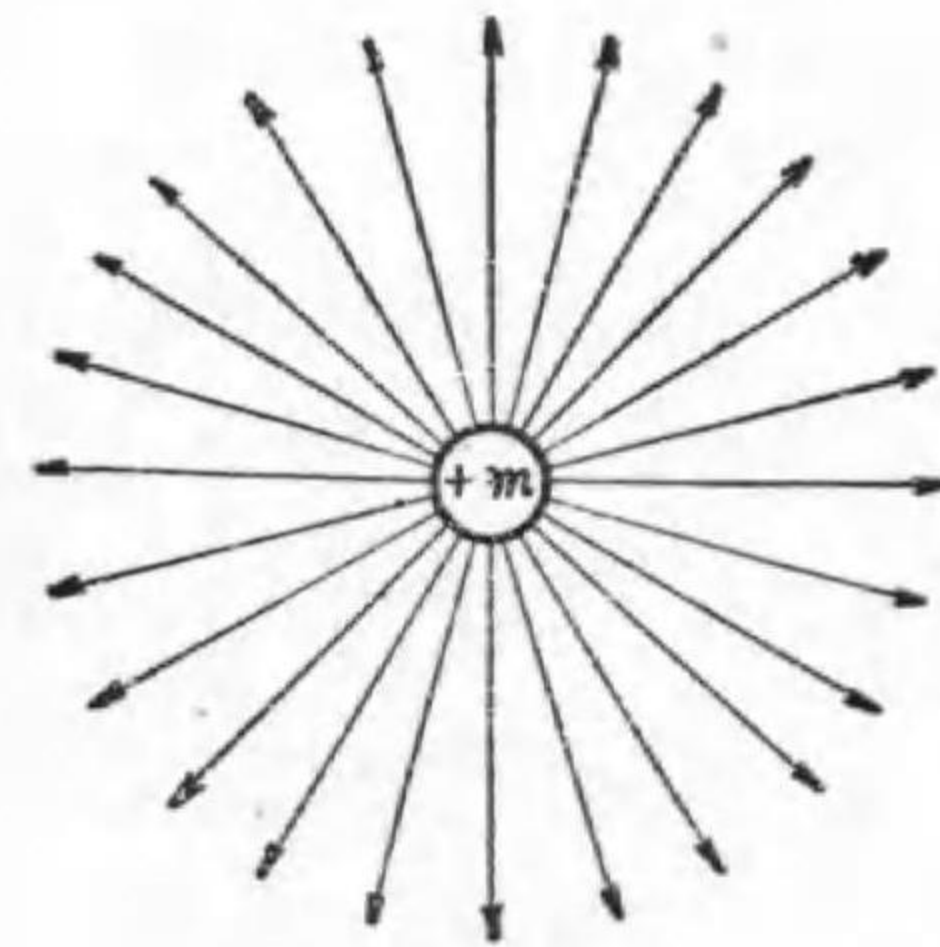


第 6 圖

磁力線も又極から離れるに従つて其の點に於ける單位面積を通る數を減するものであるから磁界の強さは次の様に云ひ表はすことが出来る。即ち「或點に於ける磁界の強さ H とは其の點の單位面積内を通る磁力線の數が H 本である」と云ふことである。此の單位面積内を通る磁力線のことを此の點に於ける**磁束密度** (flux density) と云ふ。

9. 磁極に依つて生ずる磁束の數

強さ 1 なる磁極を中心として半徑 1 厘なる球面上の任意の一點に於ては之れと同じ強さの磁極は 1 ダインの力にて反撥されるから其の點の磁界の強さは 1 である、故に此の球面を貫く磁束密度は毎平方厘當り 1 本である。而して此の球面の面積は 4π 平方厘であるから強さ 1 なる磁極に依つて生ずる磁束の總數は 4π 本である。



第 7 圖

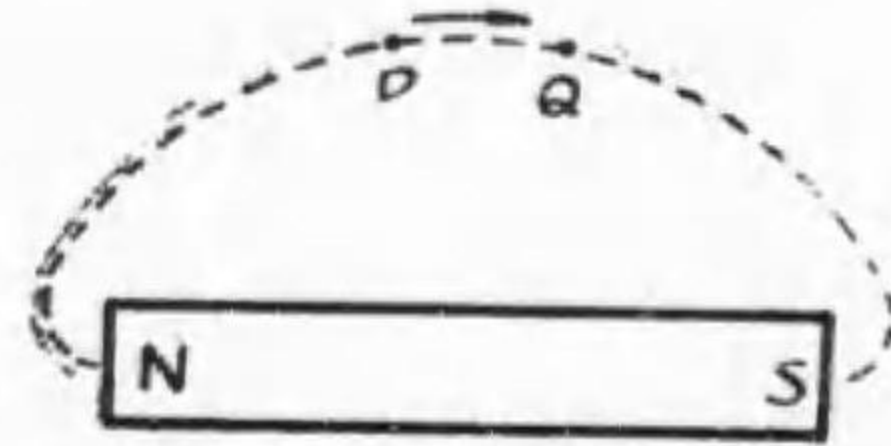
一般に強さ m なる磁極を中心として、四方上下同様の密度を以て磁力線が出てゐるものとする、其の密度は極から r 厘距つた所では單位面積に就いて $\frac{m}{r^2}$ であるから半徑 r 厘なる球の表面を貫く磁束の總數 ϕ は

$$\phi = \frac{m}{r^2} \times 4\pi r^2 = 4\pi m \dots\dots\dots (2)$$

となる。

10. 磁位及起磁力

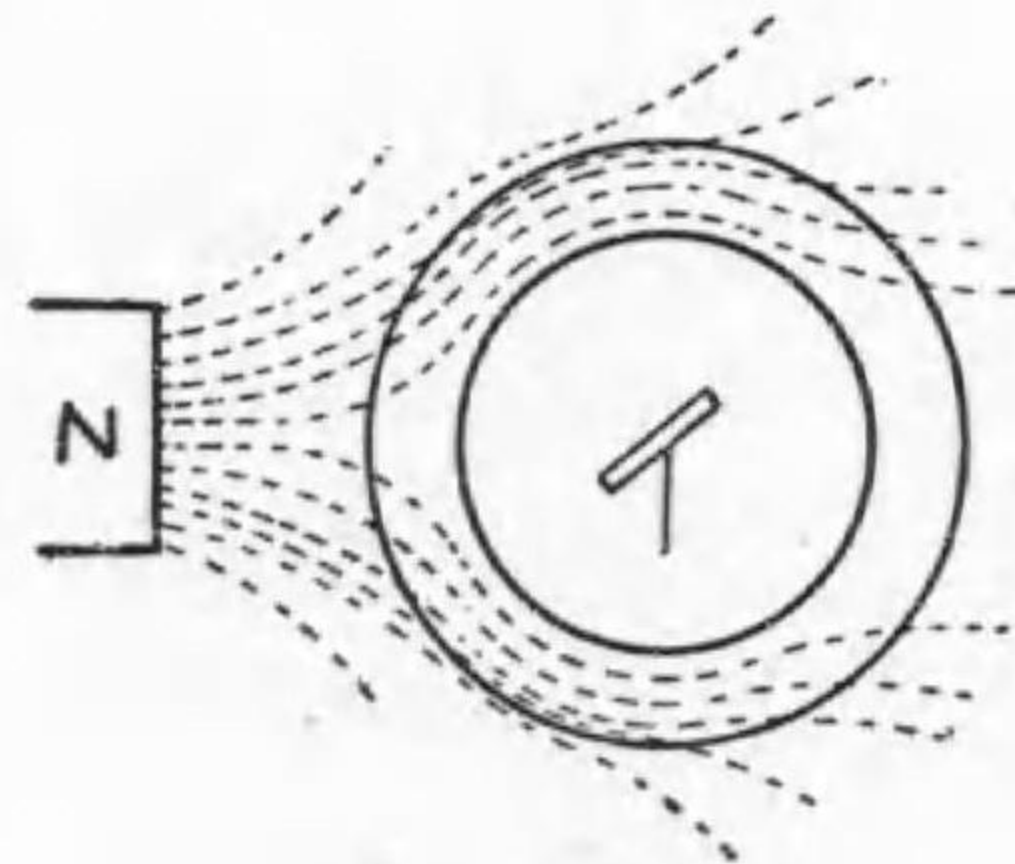
第8圖に示す如く二つの磁極 N.S. に依つて生じたる磁界中に強さ 1 なる正の磁極を置けば、此の極は P 點から Q 點に向ふ力を受ける。此の力に逆らつて磁極を Q 點より P 點に運ぶに要する仕事の量を以て PQ 二點間の磁位の差と云ひ、P 點は Q 點よりも磁位 (magnetic potential) が高いと云ふ。一般に磁束を生せしめる原因を起磁力 (magnet motive force) と云ふ。



第8圖

二點間に働く起磁力は其二點間の磁位の差を以て表はされる。

11. 遮 磁 壁



第9圖

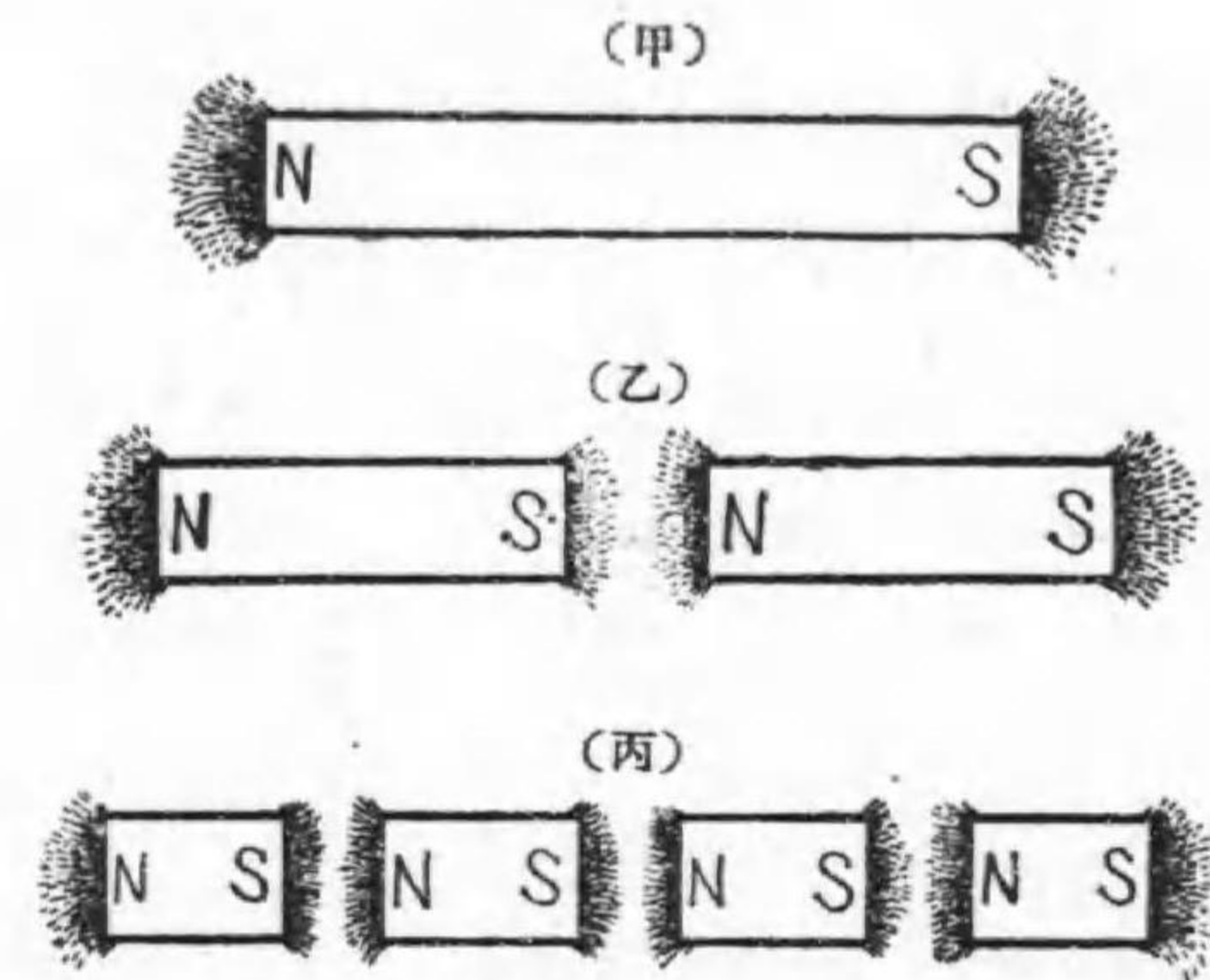
鐵殊に軟鐵は附近の磁界の磁力線を吸収する性質あり、此の性質を利用して空間の一部を磁界でないやうにすることが出来る。第9圖に示す様に磁界内に鐵製中空の球又は圓筒を置けば磁力線は全部鐵の中を通つ

て内部の空間は通らない。従つて此の内部では磁氣の誘導作用を受けることは無いのである。

此の装置を遮磁壁 (magnetic screen) と云ひ、磁氣の誘導を受けてはならぬ機械類を保護する爲め等に用ひられる。

12. 磁石分子説

第10圖(甲)の様になつた棒磁石を取て其上に鐵粉を散布すると鐵粉は其の兩端に最も多く集まることは前に述べた通りである。然るに之れ



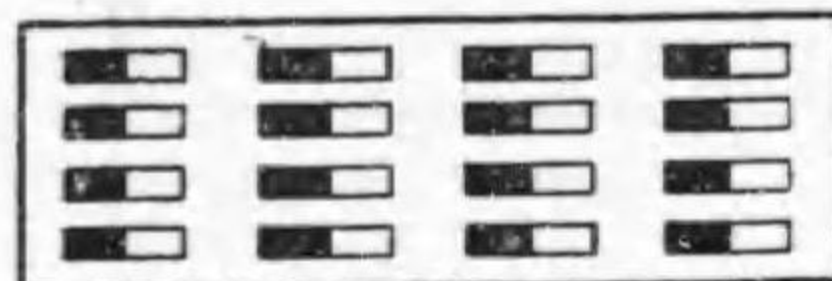
第10圖

を中央で切斷して更に鐵粉を散布して見る第10圖(乙)の様になつて鐵粉は各片の兩端に附着して、結局二ヶの磁石が出来る。之れを更に分割すると、(丙)の如き四ヶの獨立せる磁石となる。之れに依つて見ると磁石は如何に細かく分割してもその各片は矢張り獨立せる小磁石であることがわかる。従つて磁石を構成せる鐵の分子は各々一ヶの磁石であると思ふことが出来る、此の考へ方を磁石分子説と云ひこれに依つて磁化の作用を説明することが出来る。

磁石となつて居る鐵は分子の一つ一つが第11圖の(甲)の如く整然

と並んで居るが特に磁石の内部では相隣れる分子磁石のN極とS極とが互に向ひ合つて其作用を打消し、兩端では一方の端には分子磁石のN極のみが配列し、他の端にはS極のみが配列して何等の拘束をも受けることなく其作用を表はし、結局一つの大きな磁石として働くのである。

之れに反し磁石の性質を有して居ない鐵即ち磁化されて居ない鐵では分子は第11圖(乙)に示す如く、鐵の内部で各種各様に並んで居て互に其の作用を打消し其兩端に於ても矢張り亂雜に配列されて居る爲めに、其作用を表さず結局磁石としての働きをなさないの



(甲)



(乙)

第11圖

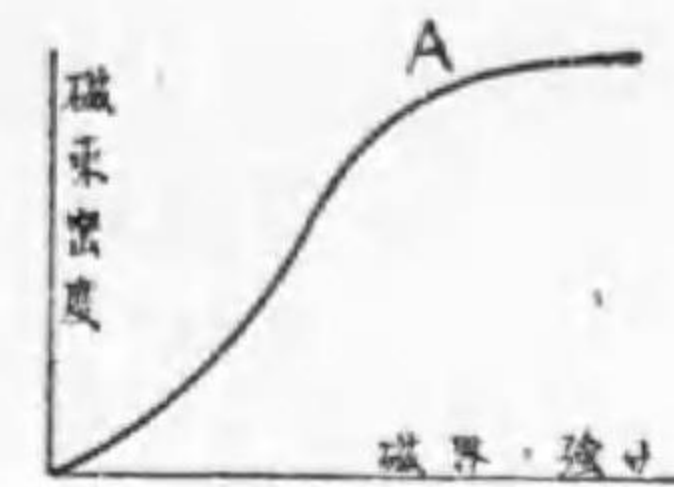
る。即ち磁氣誘導に依つて鐵が磁化されると云ふことは亂雜に並んで居る鐵の分子が一定磁界内に入ると、其磁界中の磁力線の方向に一様に向けられる爲めに、今迄磁石の性質を表さなかつた鐵片が磁石の性質を表はす様になることである。

13. 磁 氣 飽 和

鐵の磁化される割合は磁界の強さの大小に依つて甚だしく變化するものである。今或一ヶの鐵片を取り之れを磁化する爲めに一つの磁界内に置き磁界の強さを漸次高めて行くと鐵もそれにつれて強い磁石となつて行くが、或る一定の強さになるとそれ以上磁界の強さ

を高めても鐵はそれ以上磁石の強さを増さなくなる。

此の關係を圖に表はすと大體第12圖に示す様になる。此の圖は縦軸に磁束密度を取り横軸に磁界の強さを取つて其の關係を示したものである。之れを**磁化曲線** (magnetization curve)と云ふ。



第12圖

此の曲線に於いて見る如く、A點に達すると鐵は最早や磁界を強めてもそれ以上磁化されなくなる、此の點を磁氣の**飽和點** (Saturation point)と云ふ。

14. 残留磁氣及磁氣の保存法

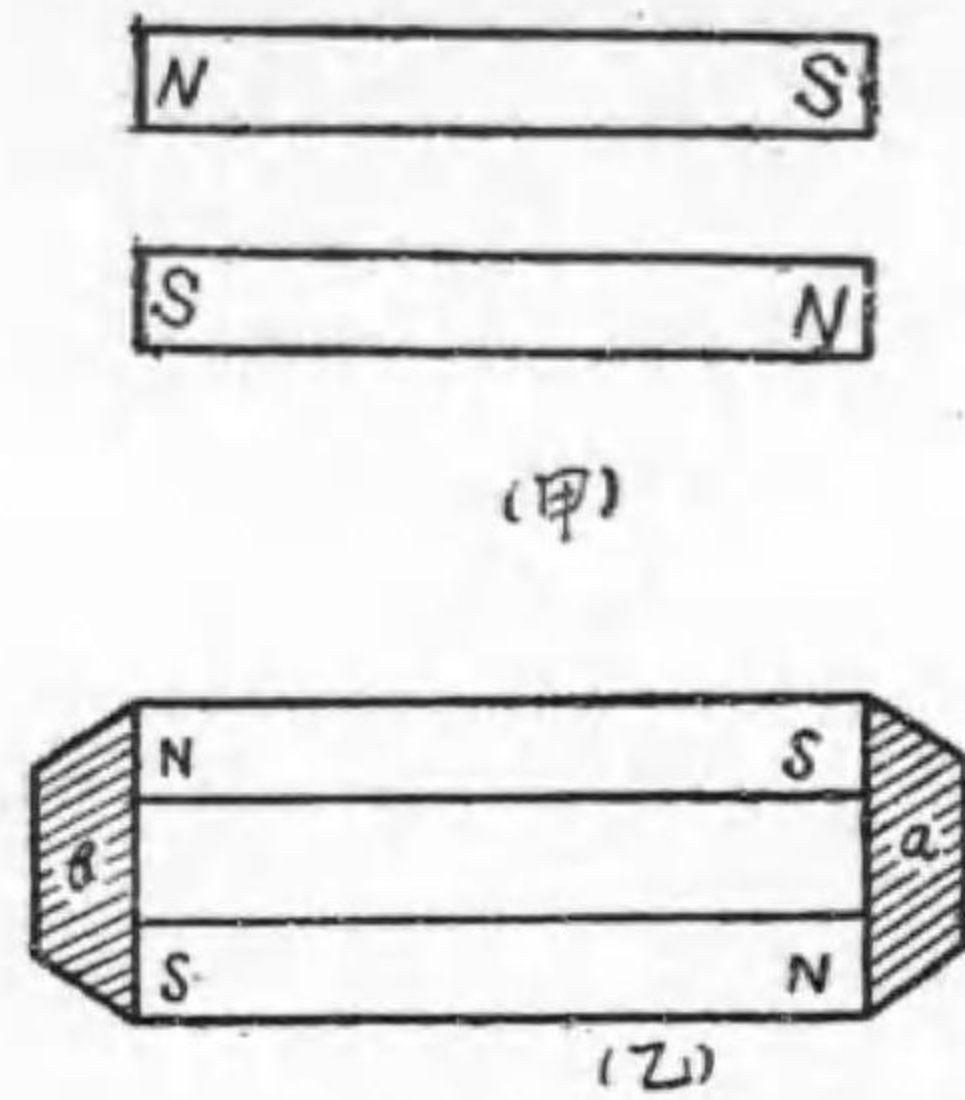
磁石となつた鐵を磁界の外に取出すか、又は磁界を作る原因を取り去る時は鐵は一般に磁氣性の大部分を失つて磁石の性質を現さなくなる。然し乍ら多少の磁氣は何時迄も残つて、容易に消えるものではない。此の残つて居る磁氣を**残留磁氣** (residual magnetism)又は單に**殘磁氣**と云ふ。又永く磁性を保つて居る性質を**保磁性** (retentivity)と云ふ。

此の残留磁氣及保磁性は鐵の性質に依つて大いに異なるものであつて**耐久磁石** (permanent magnet)は鋼鐵で作る又一**一時磁石** (temporary magnet)は軟鐵で作るのである。

鋼鐵は其磁石性を變化させやうとする時、其變化に反抗しやうとする一種の力を有して居るもので、此の抵抗力を**抗磁力** (reluctance)

force) と云ふ。

鋼の残留磁氣を取り去るには之れに強い振動を與へるか、又は赤熱すれば良いのである。此の他にも種々の方法があるが、此の殘磁氣を取り去ることを消極 (demagnetization) と云ふ。



第 13 圖

又磁石を保存するには第13圖甲に示す如く二つの磁石の異名の極を並べて置くのが最も良い方法である。斯くすれば各磁極は互に感應して一つの磁石の(+極)は他の磁石の(-極)を助けて共に其磁氣の消滅することを防ぐことになるのである。尙之れに第13圖乙 a. b.

の如き軟鐵片を兩端に渡して置けば、此の作用は一層活潑で有効であるから、普通には専ら此の方法が用ひられる。

馬蹄形磁石は棒磁石に比して兩極が接近して居る爲めに丁度二本の棒磁石を反對の方向に並べたと同様な作用をなし割合に永く其磁氣を失はないものである。

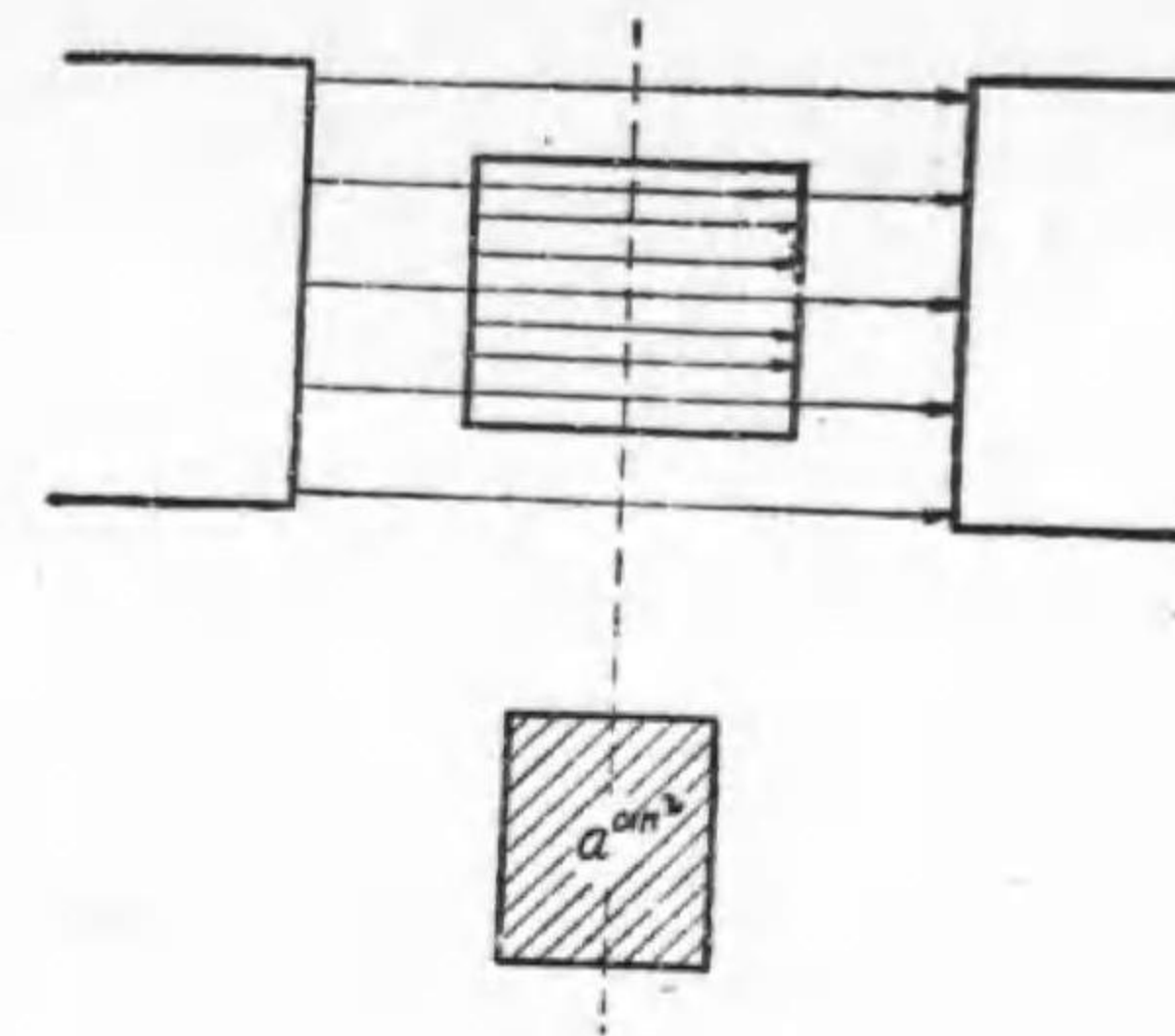
15. 磁化率及導磁率

磁性物を磁界内に置くと磁氣誘導を受けるが、其磁石となる度合は磁性物の種類及び磁界の強さに依つて非常に異なるものである。

此の磁石になる度合を**磁化率** (Susceptibility) と云ふ。

空氣、木炭、銅の如く磁石となら無いものゝ磁化率は0である。磁性物の磁化率は0より大であり、殊に鐵の磁化率は非常に大きい。

次に磁性物が磁界中に置かれて磁石となると自分自身も磁力線を出すから磁性物の中を通る磁力線の數は大變に多くなる。今磁界中に置かれた磁性物の斷面積を a 平方糎 (第14圖) とすれば、此の面積中を



第 14 圖

通る磁力線の數と、磁性物を置かない前に其點の a 平方糎の面積中を通る磁力線の數との比を**導磁率** (permeability) と云ふ。

之れを式で示せば

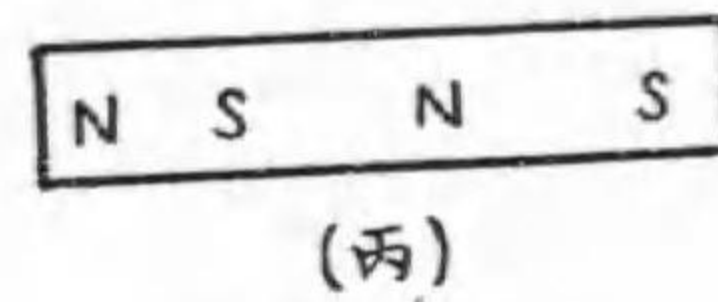
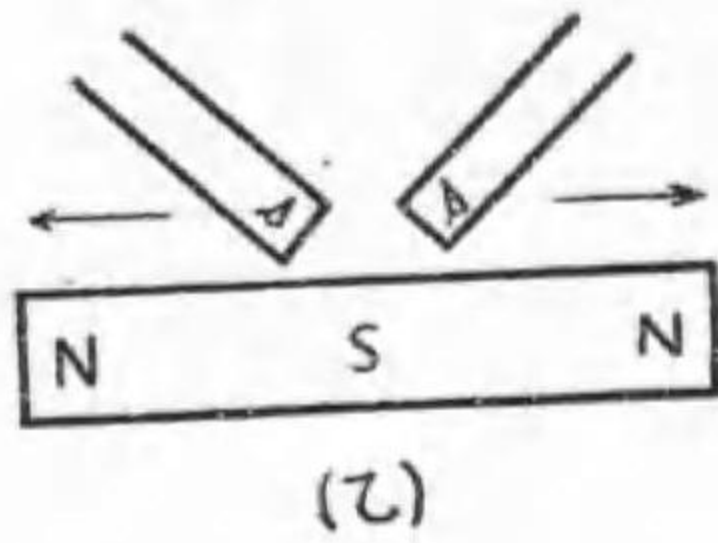
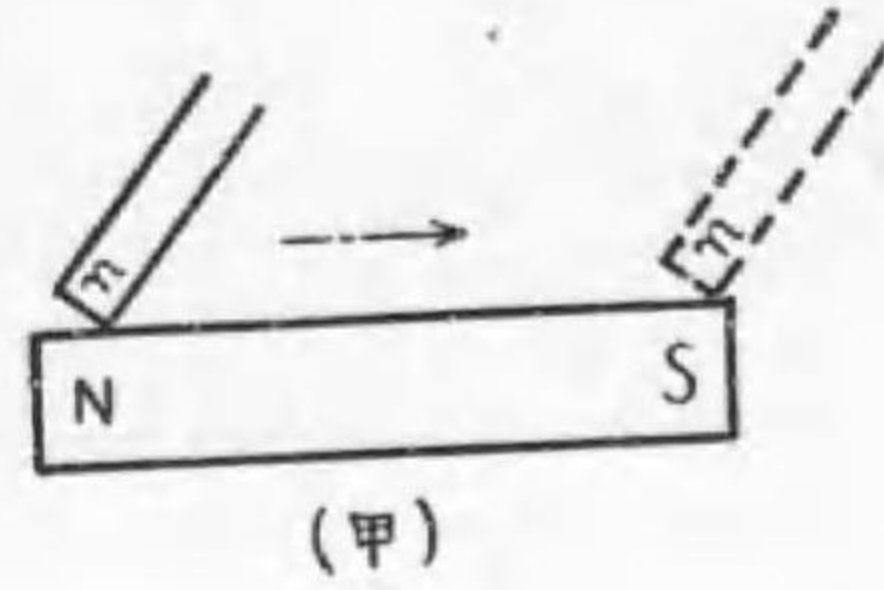
$$\text{導磁率} = \frac{\text{磁性物を置いた時に } a \text{ を通る磁力線の數}}{\text{磁性物を置かない時に } a \text{ を通る磁力線の數}}$$

空氣は磁力線の數に影響を及ぼさないから空氣の導磁率は1である。普通導磁率は μ で表はすことになつて居る。

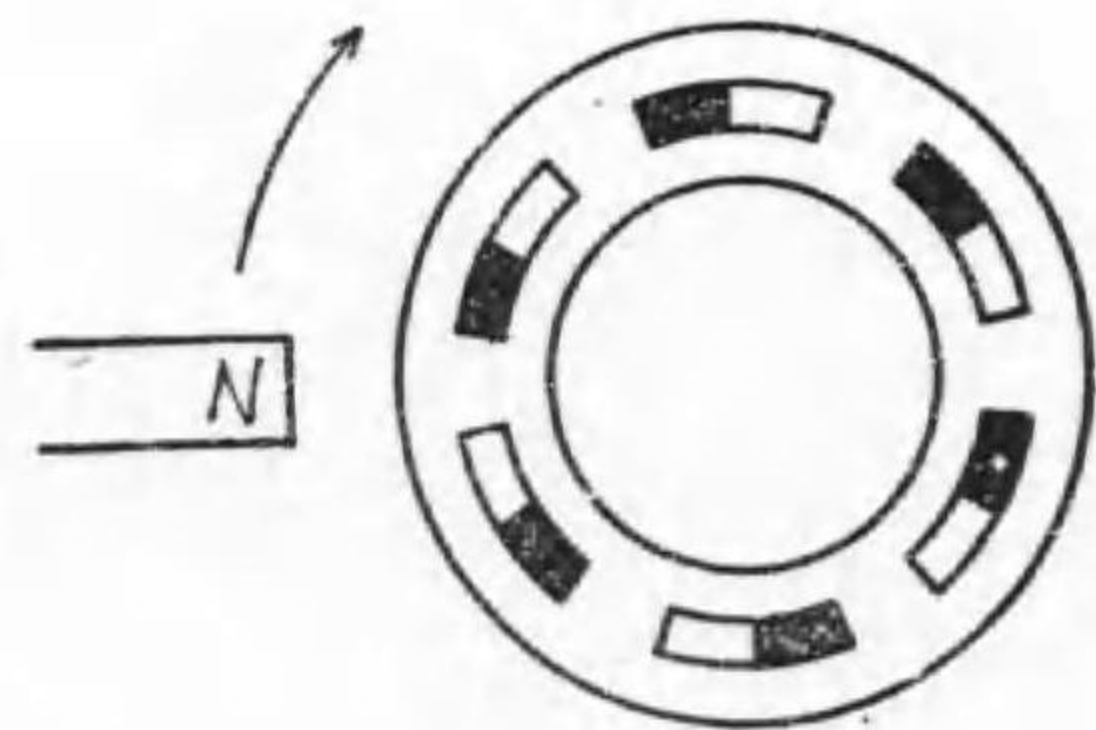
16. 磁 極 の 位 置

一本の鋼鐵棒を取つて之れを第15圖(甲)に示す如く強い耐久磁石のN極で左から右に向つて摩擦すると鋼鐵棒の左はN極となり、右

はS極となつて磁極は兩端に出来る。而し乍ら磁石は作り方に依つ



第 15 圖



第 16 圖

は圖の如く整列し磁線は鋼の内部のみを通つて外部に出ないもので即ち磁極を有しない磁石が出来る。今一部分を切つて空隙を作れば

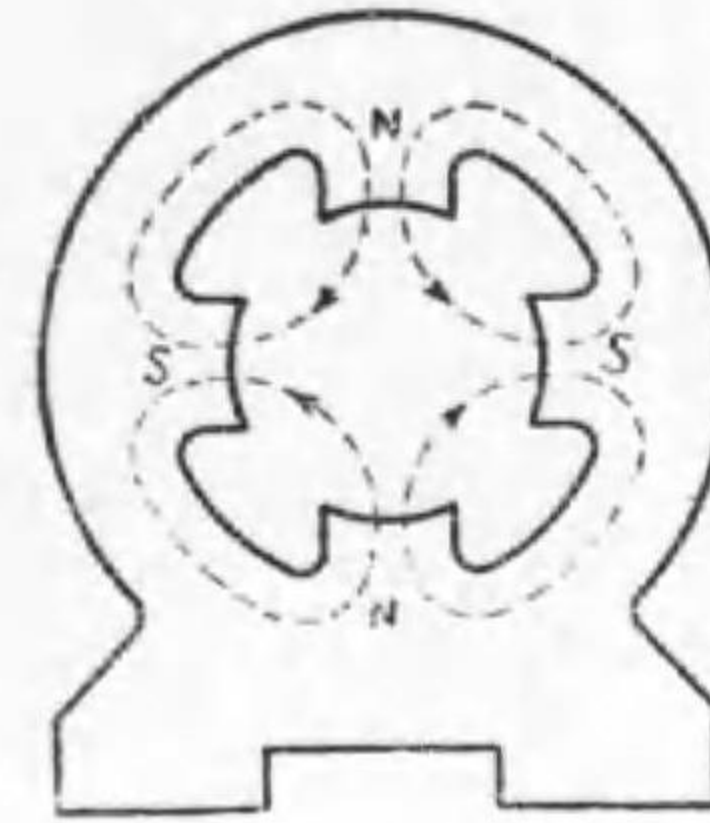
て必ず磁極が兩端に出来るとは限らないものである。時には三個の磁極を有するものも出来るし又四個或はそれ以上の磁極を有する磁石を作ることも出来るのである。

第15圖(乙)に示す如く一個の鋼鐵片の中央から兩端に向つて耐久磁石のS極で交互に摩擦すると鋼鐵棒の兩端にN極が出来て其中央にS極が出来る。此の場合には一つの磁石が三個の磁極を持つて居る譯である。又第

15圖(丙)の如く四の磁極を持たしめることも出来る。同圖(乙)のS及び同圖(丙)のS.N.二個の如く中間にある極を中間磁極と云ふ。

又環狀の鋼を第16圖の如く摩擦すれば鋼の分子磁石

そこに初めて二個の極が生するのである。第17圖に示すは電氣機械に使用する磁石を示すもので之れらの場合には多數のN極及S極が交互に出来るものである。



第 17 圖

17. 地 磁 氣

磁石の重心を糸で吊すか又は磁

石が自由に動き得る様に細い針の先で支へると磁石は常に大體南北を指す事は前に述べた通りである。

之より考へて吾人の住む地球は一つの大きな磁石であり、吾人の住む空間は總て磁界であることが判る。即ち地理學上の北極に近い所に地球磁氣の南極があり、地理學上の南極に近い所に地球磁氣の北極があつて、磁力線は南から出て北へ向つて居ると考へられる。

又第19圖に示す如くA點に於ける磁石を考ふれば磁石は地平面と α なる角を作るもので此の角を伏

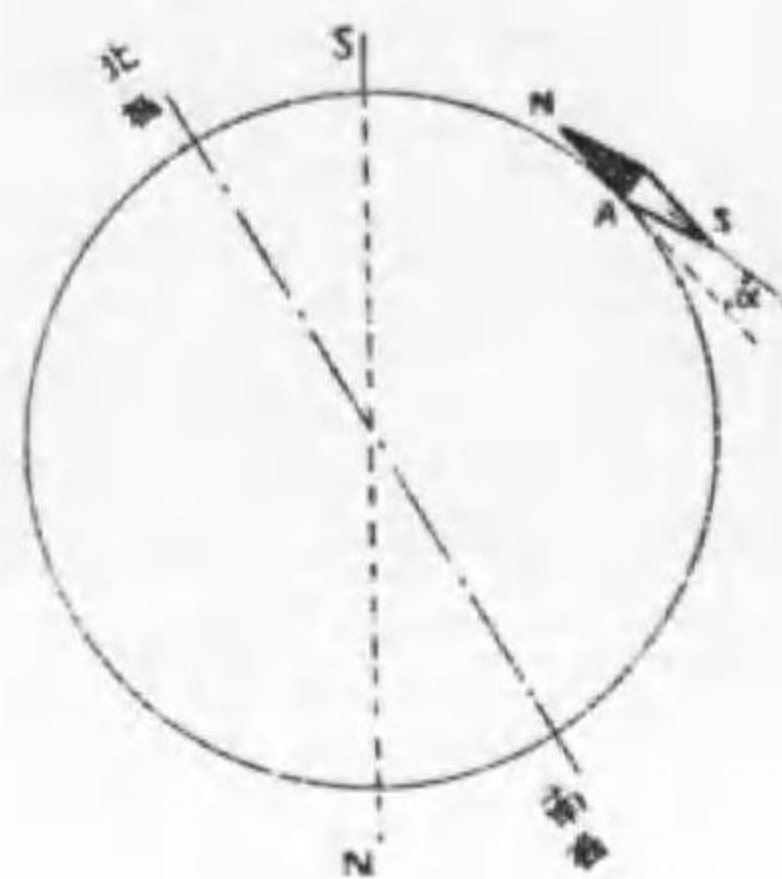
角 (dip) と云ふ。伏角は地球磁石の磁極に於ては 90° であり、赤道



第 18 圖

附近に於ては略 0° であつて磁石は北半球ではN極を下向きに又南半球ではS極を下向きに傾くものである。

地球磁石は地軸と正確に一致せず磁力線も又地球子午線と一致せずいくらかの角をなして居るもので此の角を磁氣子午線の**方位角** (declination) と云ふ。航海に最も重要な羅針盤は磁石が大體南北を指すと云ふ性質を利用して作つたものであつて、圓盤の表面に方位を示し其の裏面に磁針を南北の方向に貼付し圓盤の中心を針頭で支へたものである。



第19圖

第二章 靜 電 氣

18. 電 氣

よく乾いた絹布でよく乾いた硝子棒を摩擦すると硝子棒は小さな紙片、燈心等の軽い物體を吸引する、又硝子棒の代りにエボナイト棒、絹布の代りに毛皮を用ひても同様の現象が起る。此の様に硝子棒やエボナイト棒が軽いものを吸引する様になつたのは、其表面に

生じた電氣 (electricity) に原因するもので、此の硝子棒やエボナイト棒は帶電 (electrification) したと云ひ、帶電したものを帶電體 (charged body) と云ふ。そして帶電體の表面にある電氣を名付けて電荷 (electric charge) と云ふ。

絹布で摩擦した硝子棒をよく乾いた絹糸で吊した木楡球に近づけると、木楡球は硝子棒に吸引され一度硝子棒に觸れて後直に反撥され、そして其後は硝子棒に近づけても、球は逃げ廻つて近かづかない。然るに之れに毛皮で摩擦したエボナイト棒を近づけると、球は又吸引される、同様に帶電したエボナイト棒に觸れて後反撥した木楡球は帶電せる硝子棒に吸引されるのである。此の實驗に依つて絹布で摩擦して起つた硝子棒の電氣と毛皮で摩擦して起つたエボナイト棒の電氣とは其性質が異つて居ることが知れる。

之れを區別する爲めに、此の場合硝子棒の電氣を陽電氣或は正電氣 (Positive charge) と云ひ(+)の符號で表はし、又エボナイト棒の電氣を陰電氣或は負電氣 (negative charge) と云ひ(-)の符號で表はす。

次に硝子棒を摩擦した絹布やエボナイト棒を摩擦した毛皮をしらべて見ると之等にも各々電氣が起つて居ることがわかる。そして硝子棒やエボナイト棒と反對の電氣、即ち絹布には(-)毛皮には(+)の電氣が起つて居るのである。

一般に二種の物體を摩擦すれば一方には正他方には負の電氣が起るもので、この正負の電荷は夫々互に其の量が相等しい。而して同種の電氣は相反撥し、異種の電氣は相吸引する。

次の表に示す何れかの二物體を取つて互に摩擦するときは上位に記したものは正電氣を下位に記したものは負電氣を發生するものである。

- (1) 猫の毛皮 (2) 毛布 (3) シェラック
- (4) 封蠟 (5) 硝子 (6) 紙 (7) 絹
- (8) 手 (9) 金屬 (10) ゴム (11) 硫黃
- (12) エポナイト

19. 導體及不導體

硝子棒を絹布で摩擦すると硝子棒に電氣が起つたが硝子棒の代りに、金屬棒を手で持つて絹布で摩擦すると金屬棒には電氣が起つて居ない。然しもし金屬棒に硝子棒の柄を付けて、その柄を持つて金屬部を絹布で摩擦すると電氣が起つて居ることが判る、これは金屬や人體や大地は電氣を通じやすいから、摩擦に依つて金屬に出來た電氣は人體を経て大地へ逃げるのである。然るに硝子は殆んど電氣を通さない爲め硝子の柄を付けると電氣の逃げ道が無いから、金屬棒に起つた電氣は留つてゐるのである。

此の様に電氣を通さないものを不導體(non conductor)と云ひ、金屬の様に電氣を通じ易いものを導體(conductor)と云ふ。そして此の兩者の間にあるものを半導體(semi conductor)と云ふ。

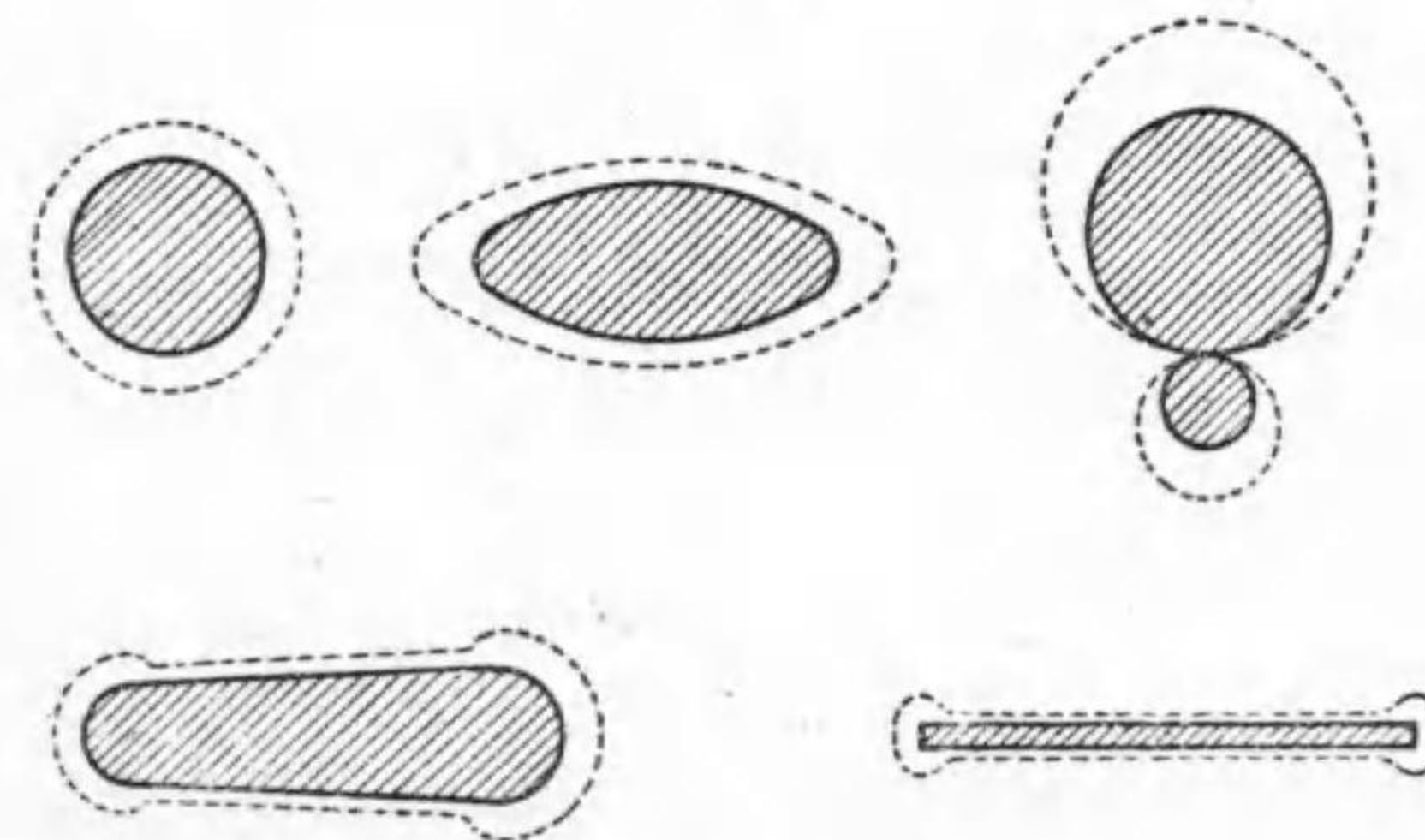
普通の導體、半導體、不導體を舉げると次の如し、

- (イ) 導體 { 金屬, 炭素, 石墨, 身體, 酸, アルカリ水溶液
- { 不純な水, 大地, 雪等, 火焰等

- (ロ) 半導體 { 木材, 石材, 紙, 木綿等
 - { 硝子, 磁器, 硫黃, 石蠟, 絹, 油類, 封蠟,
 - (ハ) 不導體 { シェラック, ガッタパーチャー, エポナイト,
 - { ゴム, マイカ, ベークライト, 氣體, 純粹の水等
- 金屬棒に硝子の柄を付けた様に電氣の逃げるのを防ぐ爲めに用ひられた不導體を特に絶縁體(insulator)と言ふ。
絶縁體で電氣の通路を遮る事を絶縁すると云ふ。

20. 電氣の分布及密度

不導體の一部に電氣が起ると電氣は其部分に止つてゐるが導體に電氣を與へると直ちに全表面に擴がり内部には存在しないのである。そして導體の表面に擴がつても決して一樣に分布せず、第20圖の點線で示す様に一般に尖つた部分は平坦な部分に比し電氣が多く集まるのである。



第20圖

導體表面の單位面積内に於ける電氣の量を其部分に於ける電氣密

度(electric density)と云ふ。

電氣密度が非常に大なる時は電氣は導體の表面から漸次空中に放散するものであつて導體が針狀の尖端をして居ると此の部分より速かに電氣が放散する。此の理を應用したものに避雷針がある。

21. ケーロムの定律

電氣相互間の引力又は反撥力は磁石に於けると同様の法則に依るものである。

兩電氣間に作用する力は各電氣の量の積に正比例し兩電氣間の距離の自乗に逆比例する

故に兩電氣の量を Q 及 Q' 兩者の距離を r , 力を F とすれば

$$F \propto \frac{QQ'}{r^2} \therefore F = K \frac{QQ'}{r^2} \text{ ダイン}$$

之れをケーロムの定律と云ふ。

此の式から電氣量の單位を次の如く定める。「二つの相等しい點狀電荷が空氣中に於て1離れて居る時、兩電荷間に働く力が1ダインである場合各々の電氣の量を1とす」

故に Q 及 Q' 並に r が各々1なる時 F は1であるから

$$1 = \frac{K \times 1 \times 1}{1^2} \therefore K = 1 \therefore F = \frac{QQ'}{r^2}$$

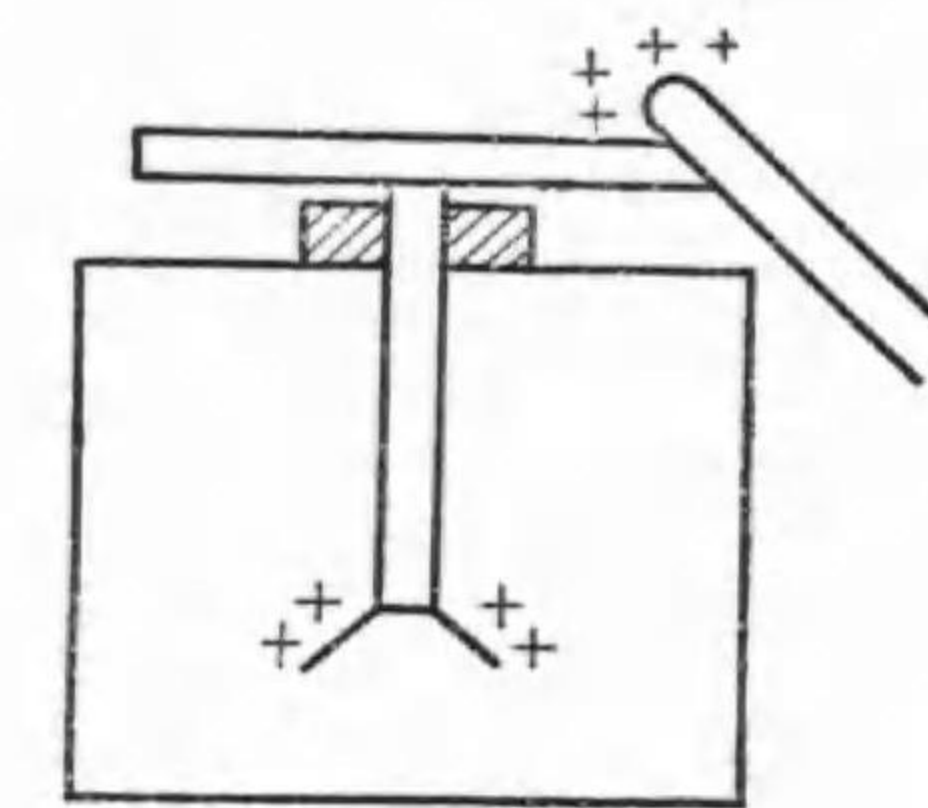
此の單位は、静止せる兩電氣間の力より定めたる單位であるから之れを電氣の靜電單位 (electro static unit) と言ひ、此の靜電單位の (3×10^9) 倍を實用單位の1クーロムと言ふ。

22. 檢電器

物體が帶電して居るかどうかを調べたり又帶電體の電氣の量の多少を比較したり、或は種類を検したりする爲めには檢電器 (electroscope) なるものを用ひる。

之れは第21圖の如く硝子瓶中に金屬片を挿入し其の下端から瓶内に二枚の金箔を下げ上端に金屬板をつけてある。瓶の口の栓にはエポナイト、硫黃等を用ひて金屬棒をよく絶縁する。今帶電體を第

21圖の様に接觸すると帶電體の(+)電氣は金箔に移り同種の電氣は相反撥するから金箔の先端は圖の様に開く、此の開きの角の大小に依り帶電體の電氣の量の多少がわかる。



第21圖

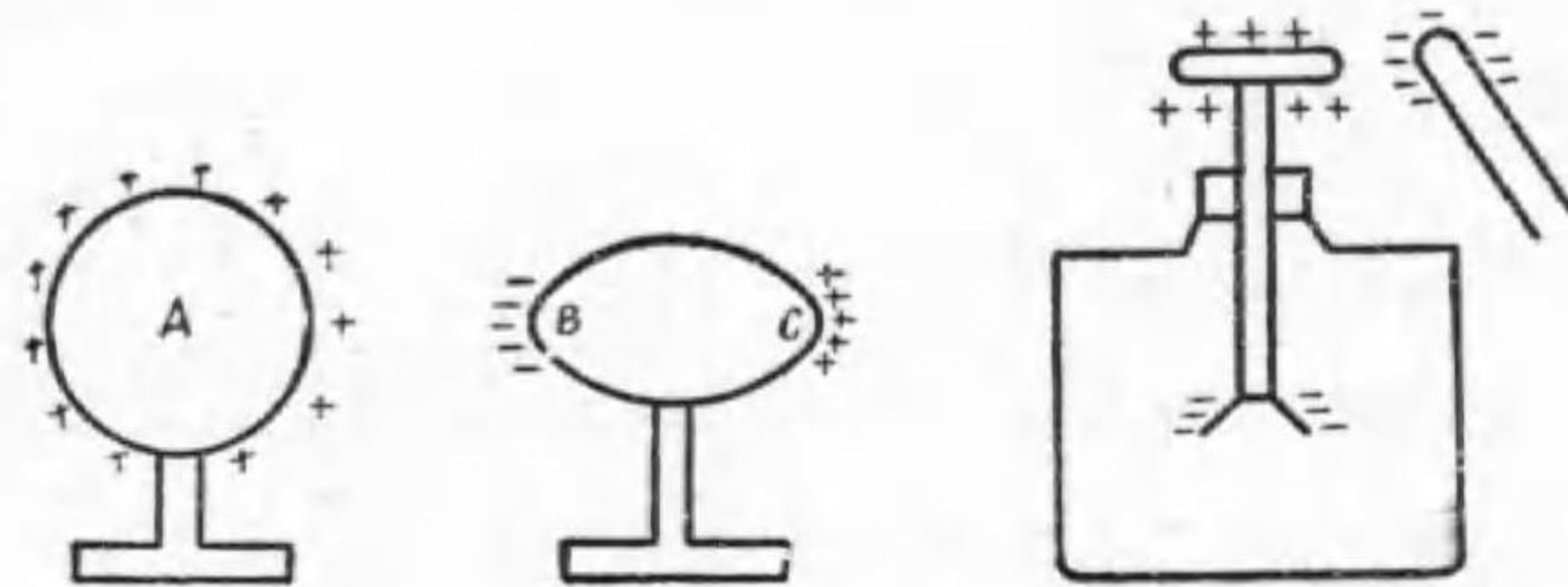
又先づ陽電氣を與へて置いて次に他の帶電體を持つて來ると中の金箔は動くが此の動き方が餘計に開くか閉ぢるかに依りて電氣の種類を知ることが出来る。

23. 靜電誘導

第22圖の如く A なる帶電體をある絶縁せる導體に近付けると、 A に近い側、即ち B の表面に A の電氣と異種の電氣が出來、 A に遠い側即ち C の表面に A と同種の電氣を生ずるのである。此様に帶電體

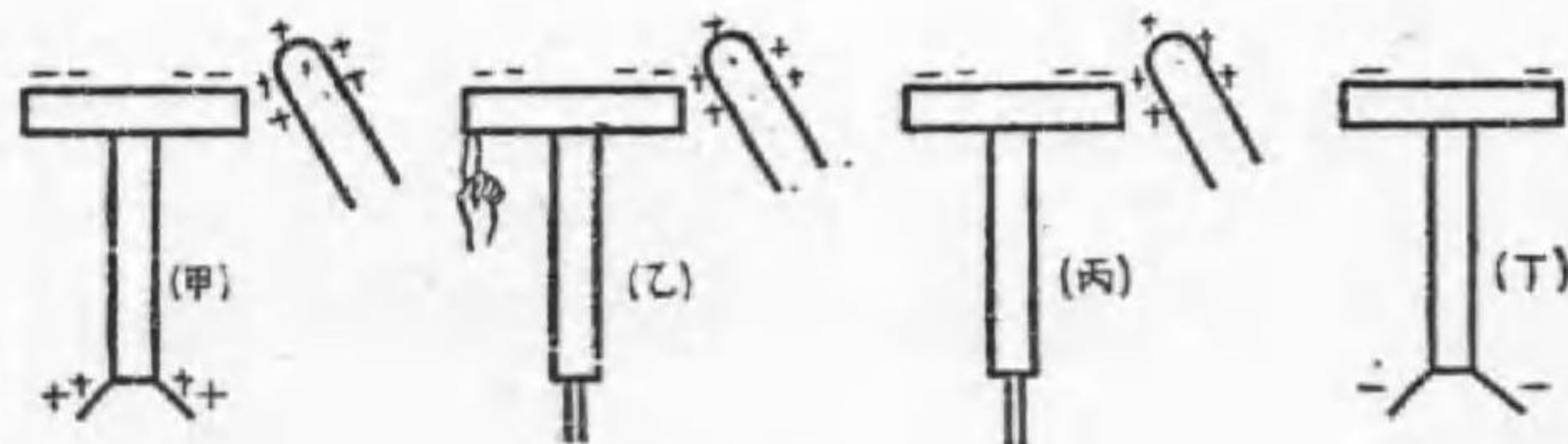
を接觸せしめないでも、其近くにある導體を帶電せしめることが出来る。此の現象を**静電誘導**(electrostatic induction)又は**感應**(induction)と云ふ。而して之れに依つて生じた電氣はAを遠ざけると相結合して全く消滅するのである。

斯様にして兩種の電氣が結び付くことを電氣が中和すると言ふ。故に静電誘導に依つて一つの導體に生じた異種の電氣は共に相等しい量であることがわかる。



第22圖

次に第23圖(甲)の様に檢電器に帶電體を近付けると感應に依つて陽電氣が金箔に出來、金屬板には陰電氣が出來る、同圖(乙)の様に帶電體を近付けて置き乍ら金屬板に手を觸れると金屬板にある陰電氣は帶電體の陽電氣に吸引されて動けないが金箔にある陽電氣は手



第23圖

を傳つて大地に逃げる。

そこで同圖(丙)の様に手を先づ離してから同圖(丁)の様に帶電體を遠ざけると金屬板に吸引されて居つた陰電氣は最早や中和すべき電氣が無いから此の檢電器に止まり金箔は開くのである。此の場合に手をつたつて大地に逃げた電氣を**自由電荷**(Free charge)そして金屬板に拘束された電氣を**拘束電荷**(bound charge)と稱す、感應を應用して電氣を起す機械にウイムシヤルスト起電機がある。

24. 電 界

今空間に陽の電氣が存在する時其附近に他の陽又は陰の電氣を持來る時は相互に或力を生ず。此の時其空間は前の電氣が力を及ぼし得る勢力範圍であつて之れを**電界**(electric field)と稱へる。

電界の性質は全く磁石に於ける磁界と同様であつて電界の1點に1なる陽電氣を持ち來る時、之れが受ける力の方向を電界の方向と云ひ其の力の大きさを以て**電氣力**(electric force)の大きさ又は**電界の強さ**(intensity of electric field)と云ふ、電界の強さHなるところではHダインの力を受けるのである。

25. 電 位

一般に陽電氣は電界を作る陽電氣に反撥せられ陰電氣に吸引される、即ち電界の方向に或力を受ける。従つて今1なる陽電氣を陰電氣から陽電氣迄で運ぶには此の反撥力に抵抗して或仕事Wをせねばならぬ、此の仕事Wを兩電氣間の**電位差**(electric potential difference)

と云ひ、陽電氣は陰電氣よりも高き**電位** (electric potential) にあると云ふのである。

次に電位差を減せしめない様に保持する力を**起電力** (electro motive force) と云ひ、(E.M.F.)なる記號で表はし又は**電壓** (voltage) と稱し其の實用單位を**ヴォルト** (volt) と云ふ。即ち1ヴォルトと云ふのは1なる陽電氣を陰電氣より陽電氣まで運ぶのに要する仕事を1とすれば (之の様な單位を静電單位の1と稱す) 此の $\frac{1}{300}$ を云ふのである。即ち300voltは静電單位の1の電位差に等しい。

26. 絶縁耐力

放電を起すに要する電位差は兩電氣間の絶縁物及電極の形狀及び周圍の情况等に依つて異なるものである。或る厚さの絶縁物を破壊するに要する電位差を其物質の**絶縁耐力** (dielectric strength) 或は**誘電耐力**と云ふ。

第1表 物質の絶縁耐力

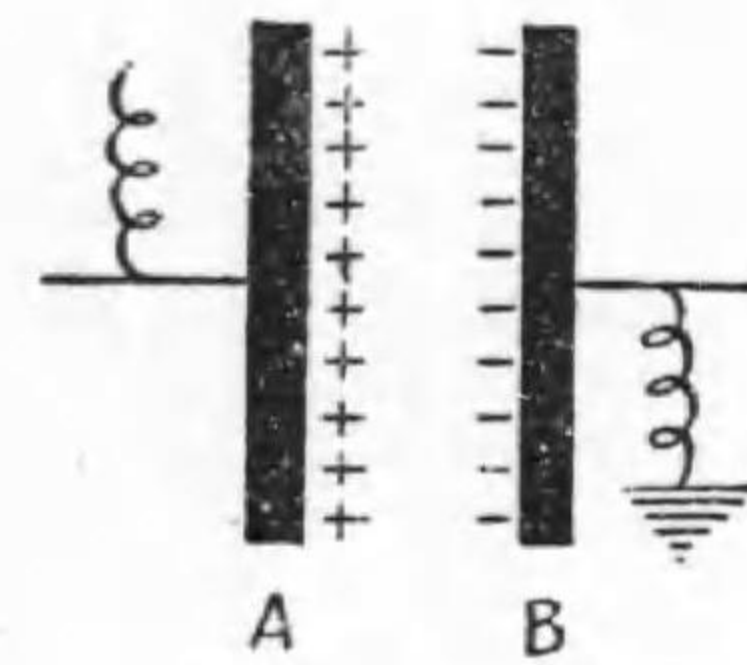
名稱	絶縁耐力K.V./mm	名稱	絶縁耐力K.V./mm
空氣	3	ファイバー	1~5
エポナイト	10~70	硝子	5~10
天然雲母	15~78	磁器	8~25
ペークライト	16~30	プレスパン	8~13
マイカナイト	15~50	パラフィン	8~12
セルロイド	14~23	石綿板	1.2~2
絶縁用鎖油	24~57	大理石	4~6.5
ゴム	10~24	石盤石	1.3~3

絶縁耐力は一般に厚さ1mmの絶縁物を破壊するに要する電壓をヴォルトにて表はしたものを以て云ひ表はす。

空氣の絶縁耐力は3kilo volt/m.m.である。

27. 蓄電器

第24圖に示す如くA Bなる二個の絶縁された導體を接近して相對せしめ、Aに陽の電氣を、Bに陰の電氣を與へれば、兩導體には

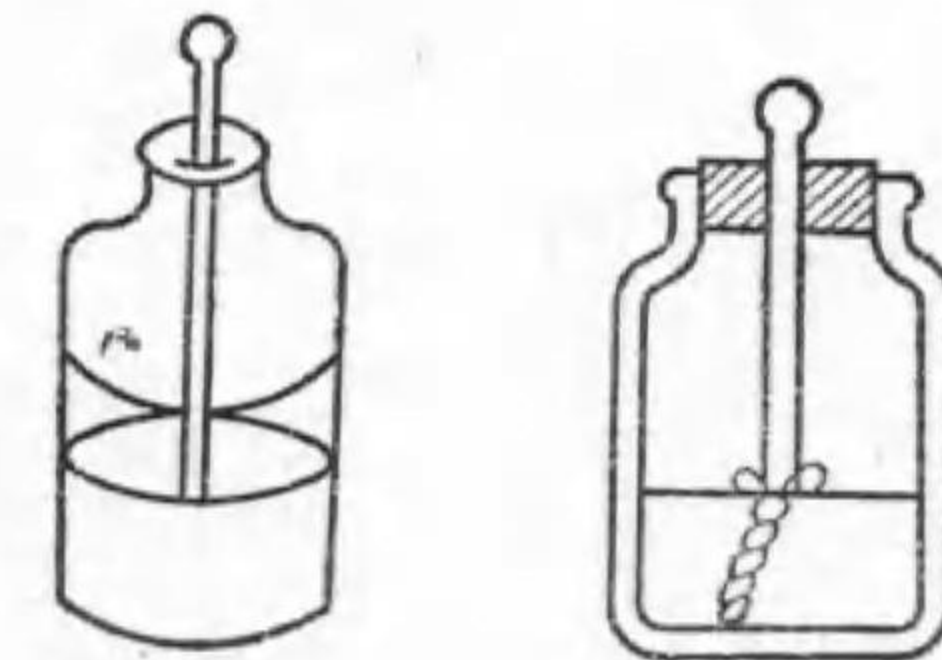


第24圖

多量に電氣が溜まる。これはAに流れて來た陽電氣とBに流れて來た陰電氣とが互に引き合つて他に移動しないからであつて、此の様な装置を**蓄電器** (condenser) と云ふ。又一方に陽電氣を與ふれば他方は大地に接續するのみでも陰電氣が吸集される

のである。

第25圖は古くより用ひられて居るライデン瓶と稱する蓄電器である、これは硝子瓶の内外兩側に相對して錫箔をはりつけ、蓋に金屬棒をさし、其下端に鎖を下げて内面の錫箔と連結してある、即ち内外の錫箔が導體で中間の硝子が絶縁物として働いて居るのである、又紙蓄電器と云つて錫箔と



第25圖

パラフィン紙を交互に積み重ねて奇数番目の錫箔を一組とし、偶数番目の錫箔を他の一組として用ひる蓄電器がある。

28. 静電容量及其單位

蓄電器に於て各導體に電氣を與へる時は兩導體間には電位差を生ずる、此の電位差は與へられた電氣量に比例するものであつて二倍の電氣を與ふれば必ず二倍の電位差を生ずるのである。今各導體の電氣量を Q 、其電位差を V とすれば

$$Q \propto V, \therefore Q = CV, \text{ 又 } C = \frac{Q}{V}$$

にして此の C は兩導體間の距離、面積、兩者間の中介物等に依つて定まる定數であつて、一個の蓄電器に於ては一定である。之れを蓄電器の静電容量 (electrostatic capacity) と稱し中介物のことを誘電體と云ふ。

電位差が 1 であり電氣量が 1 である時は其容量は 1 である。従つて上式から或蓄電器の容量とは電位差を 1 に保つた時の電氣量であることがわかる。

次に二つの同形同大の並行板蓄電器に於て一方の蓄電器の兩導體間は空氣のまゝとし、他方の蓄電器には何か變つた誘電體を入れると後の蓄電器の静電容量は前のものゝ幾倍かになる、此の値は材料に依つて異なるものであり、同じ材料であれば電位差に關係なく一定である。上述二蓄電器の内前者を A 蓄電器、後者を B 蓄電器とし空氣のまゝの A 蓄電器の静電容量を C_a とし、B 蓄電器の静電容量を C_b とすれば

$$\frac{C_b}{C_a} = K > 1$$

なる關係があり、此の K を誘電率 (dielectric constant) と云ふ。空氣の誘電率を 1 とすれば各物質の誘電率は第 2 表の如き結果となる。

第 2 表 物質の誘電率表

物 質	誘 電 率	物 質	誘 電 率
パラフィン	1.9~2.5	硝 子	3.8~10
乾いた紙	1.2~2.6	氷	13.9
ゴ ム	2.3~2.9	水	7.5~8.1
エポナイト	2~3.5	アルコール	26.8
硫 黄	2~4.2	石 油	2.0~2.2
磁 器	4~6.8	水 素	0.9996
石英硝子	3.5~4.5	炭酸ガス	1.0003
雲 母	5~7	眞 空	0.9985

電氣容量の實用單位としては電位を 1 ヴォルトだけ高めるに 1 クーロムの電氣量を要する導體の静電容量を以てし之を 1 ファラッド (Farad) と云ふ。1 ファラッドの百萬分の一を マイクロファラッド と云ふ。即ち

$$1 \text{ マイクロファラッド} = \frac{1}{10^6} \text{ ファラッド}$$

である。

29. 蓄電器の有するエネルギー

正負兩電氣を與へて蓄電器に電位を保たしめるには、必ず或るエネルギーを要す、此のエネルギーは電氣の作る電界内に貯へられる

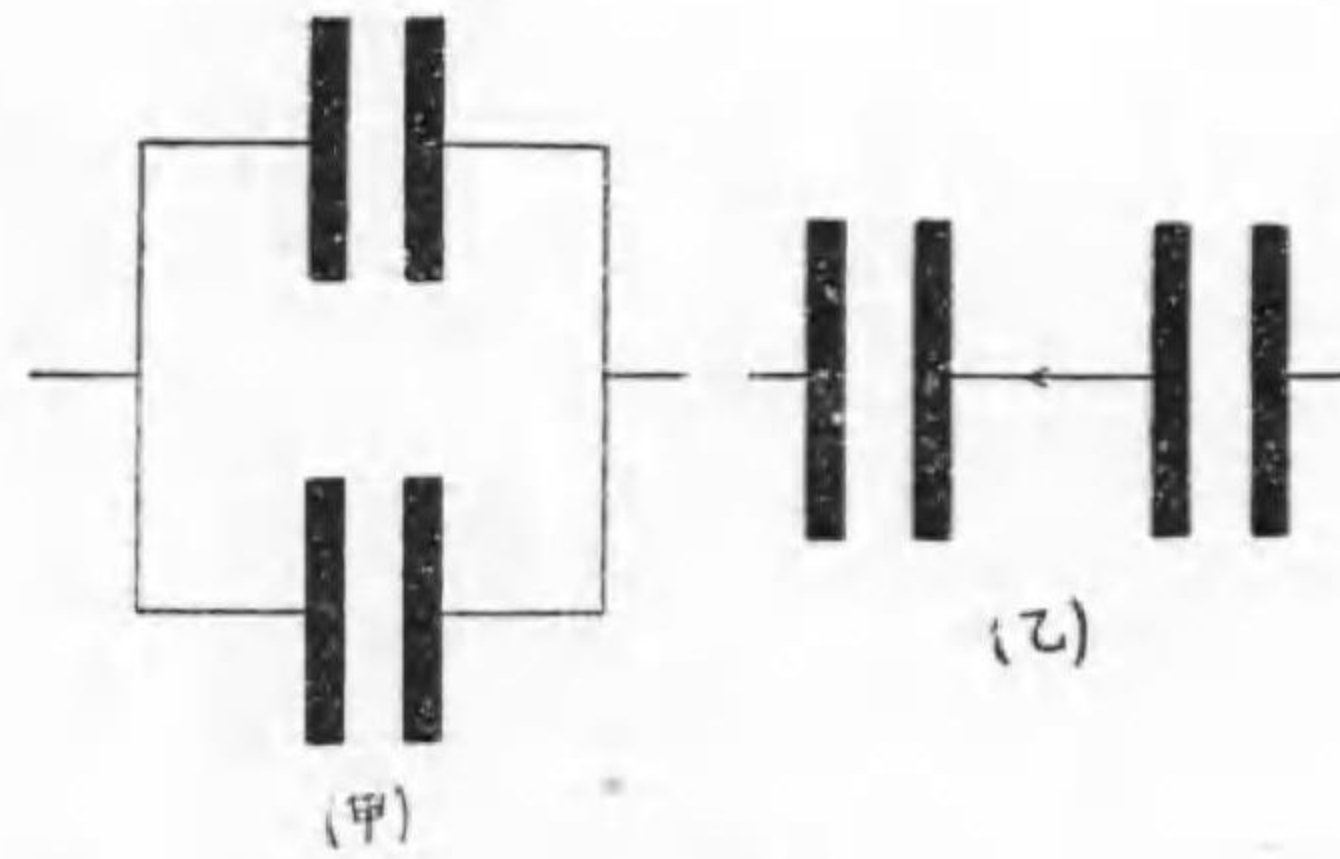
もので電氣が放電する際外部に再現し電氣的仕事をなすものである而して此のエネルギーの量は正負兩電氣を其の引力に抗して引離し或る電位差を保たしめるためになした仕事の量に等し、即ち仕事の量をWとすれば

$$W = \frac{QV}{2} \text{ エルグ}$$

にして是れが蓄電器内に蓄積せられたエネルギーであつて電氣量Qとその電位差Vとの積に正比例する。

30. 蓄電器の接続と合成容量

二個以上の蓄電器を、第26圖(甲)の如く接続することを並列(parallel)接続と云ひ、(乙)の如く接続することを直列(series)接続と云ふ。斯くの如く種々接続したるものを一個と見做して其の静電容量即ち蓄積せる電氣の總量と電位差との比を其の合成容量(combined capacity)と稱す。



第26圖

(a) 並列に接続せる場合の合成容量

第27圖に示す様に容量 C_1, C_2 なる二個の蓄電器を並列に接続し其の兩端にVなる電位差を生ぜしむれば、各蓄電器に在る電氣の量は

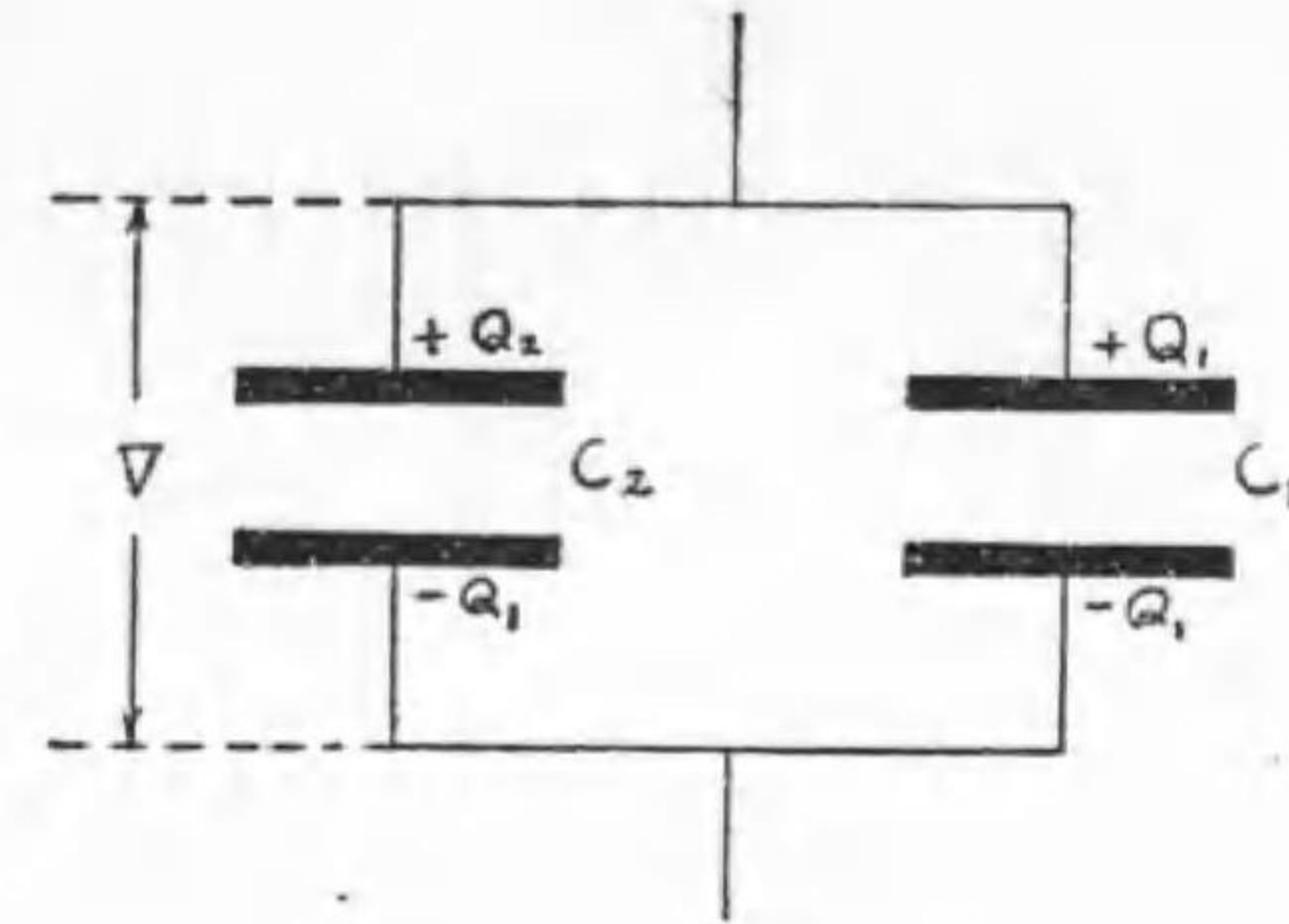
夫々 Q_1, Q_2 であつて

$$Q_1 = C_1 V \quad Q_2 = C_2 V$$

である。

故に此の兩蓄電器に蓄積されてゐる電氣の總量は之れを Q_0 とすれば

$$\begin{aligned} Q_0 &= Q_1 + Q_2 \\ &= C_1 V + C_2 V \\ &= V(C_1 + C_2) \end{aligned}$$



第27圖

なる、故に兩者を一個と見做したる合成容量 C_0 は

$$C_0 = \frac{Q_0}{V} = \frac{(C_1 + C_2)V}{V} = C_1 + C_2$$

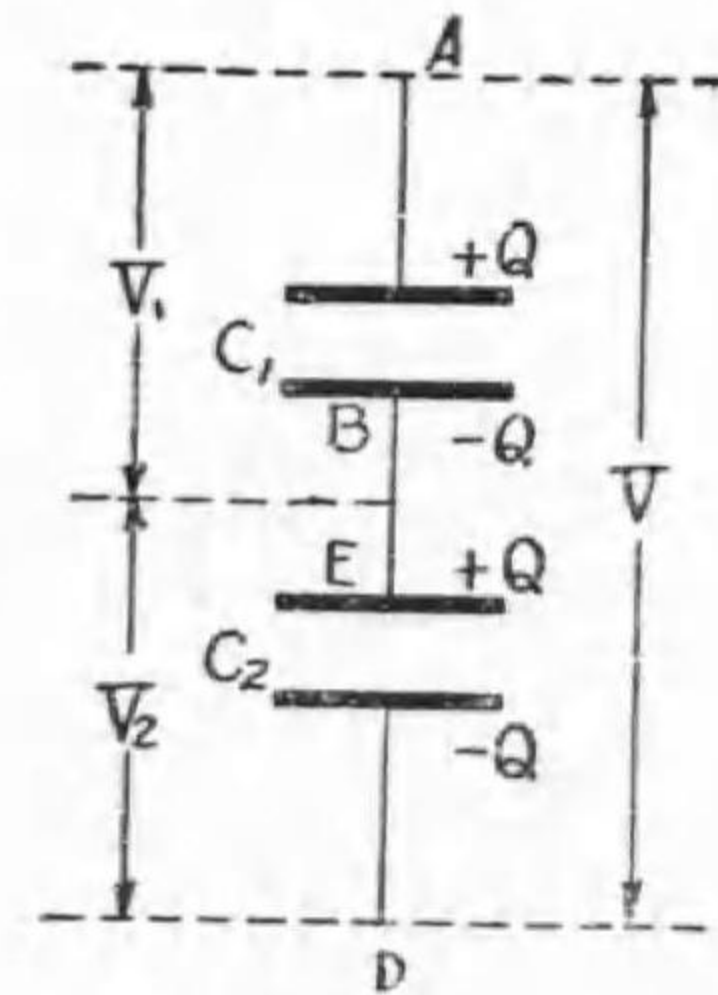
となる。

(b) 直列に接続せる場合の合成容量

第28圖に示す様に容量 C_1, C_2 なる二個の蓄電器を直列に接続し兩端A, D間にVなる電位差を與へAを(+)

とすれば誘導作用でBに負電氣Eに正電氣を誘導し、且つ各板の電氣の

量は全く同一でBはAより V_1 だけ電位低くDはEよりも V_2 だけ



第28圖

低き電位に在るべき理である。故に

$$V = V_1 + V_2$$

次に電氣の量は

$$A, B \text{ 間に於て } Q = C_1 V_1 \quad E, D \text{ 間に於て } Q = C_2 V_2$$

$$\text{故 } V = V_1 + V_2 = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) \quad \text{従つて合成容量 } C_0 \text{ は}$$

$$C_0 = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

又は $\frac{1}{C_0} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ 若し相等しき二個を直列に接続すれば其合成容量は

$$C_0 = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1}} = \frac{C_1}{2}$$

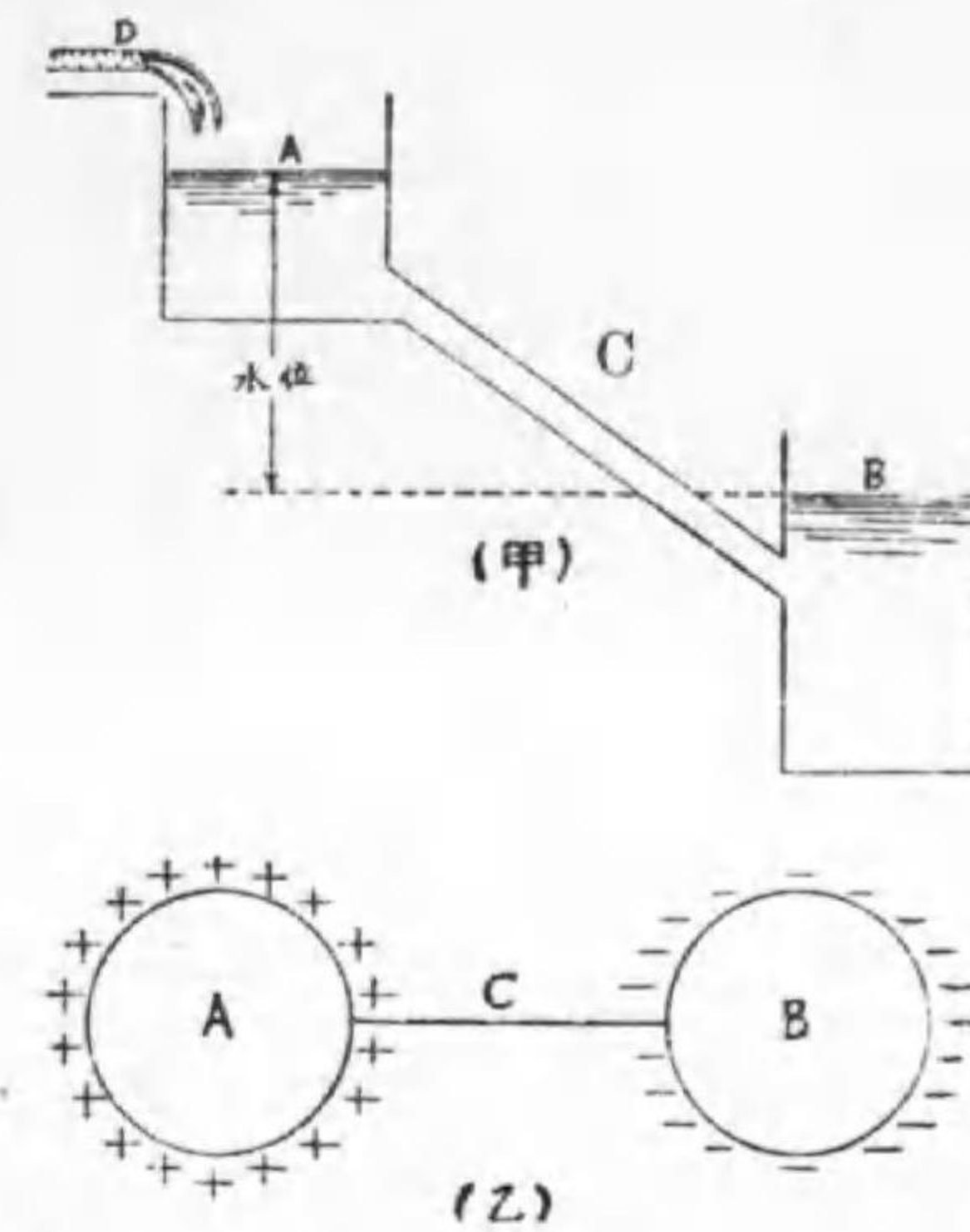
となり一個の容量の半分に成るものである。

以上の外直列、並列を混合した接続もあるが其の計算はすべて以上の應用に過ぎない。

第三章 電 流

31. 電 流

第29圖(甲)の如く水位の違ふ A, B 二つの水槽を、水管 C にて結ばば、水は A より C の中を流れて B に這入るから水が A に補はれなければ A の水は間もなく無くなつて、C の中にも水は流れなくな



第 29 圖

るが、圖の様に水管 D に依り A に水が補はれる時は A と B との水位は何時までも保たれて C には、何時までも水が流れる。之れと同じく、(乙)圖の如く A に陽電氣があり、B に陰電氣があれば、之れを電氣の良く通る導體 C で結べば A から B に向つて C の中に電氣が流れる。之を電流と云ふ。

32. 起 電 力

第29圖(甲)の如き場合に水槽 A に D から水を補はねば水槽の水は直ちに無くなり、A から B への水流は無くなる。

之れと同様に電氣の場合も同圖(乙)の如く A の陽電氣と B の陰電氣が電線 C にて結ばれると電流は A から B に一瞬間だけ流れるが A, B の陽陰電氣が中和すれば電流も無くなる。(甲)圖の如く常に水槽 A の水位を保つ様に、電氣の場合も一方の電位を常に他方より高く保つ事が出来れば、即ち(乙)圖の A に常に陽電氣が補へれば兩方を結ぶ電線には引續き電流が通る。此の様に電位を保持する力を起電力 (eleccero motive force) 又は E. M. F. と云ふ。此起電力は第29圖

(甲)に於ける水の補給とも考へられるから電氣を絶へず發生する力と考へても良い。

水面の高さの相違を落差と云ふ様に(乙)圖のAからBへ電流を通ず力を電位差と云ふ。水位の差は水壓を生じ水流を生ずる様に、電位差は電流を生ずる壓力と考へ、之を**電壓** (voltage)と云ふ。

33. 電氣量及電流の單位

電氣の量を計る實用單位を**クーロム** (coulomb) と云ふ。

電流の強さは1秒間に流れる電氣の量即ち流量を以て表はされる従つて電流の強さを測る實用單位は1秒間に1クーロムの電氣量が流れる量で之れを**1アムペア** (ampere) と云ふ。故に1アムペアの電流がt秒間流れた時の電氣量Qクーロムは

$$Q = It \text{ クーロム}$$

電氣量の單位として、クーロムは小さ過ぎる。従つて大なる電氣量を表はすには1アムペアの電流が一時間流れた時の量を以て單位とし、之れを**1アムペア時** (ampere hour) と云ふ。之れでも單位が小さい時は其の千倍を單位とし、**1キロアムペア時** (kilo ampere hour) と云ふ。之れ等電氣量の實用單位相互間の關係は次の如し。

$$1 \text{ アムペア時} = 3600 \text{ クーロム} = \frac{1}{1000} \text{ キロアムペア時}$$

$$1 \text{ キロアムペア時} = 3600000 \text{ クーロム} = 1000 \text{ アムペア時}$$

$$1 \text{ クーロム} = \frac{1}{3600} \text{ アムペア時} = \frac{1}{3600000} \text{ キロアムペア時}$$

「参 考」

電氣に関する各種の量を計る單位に三つの系統がある。即ち靜電單位、電磁單位、實用單位である。靜電單位は靜電氣の陰陽兩電氣が相吸引する力より決めた單位で、電磁單位は電流が磁極に及ぼす力を基礎として決めた單位であつて以上二つの單位は主として學術研究の方面に用ひられる。

電氣を應用する電氣工學方面では測定や計算に便利な様な單位を決めて用ひる。之れを實用單位と云ふ。電流及電氣量に関する之れ等の單位の關係は

電氣量

$$1 \text{ クーロム} = \frac{1}{10} \text{ 電磁單位} = 3 \times 10^9 \text{ 靜電單位}$$

$$1 \text{ 電磁單位} = 3 \times 10^{10} \text{ 靜電單位} = 10 \text{ クーロム}$$

$$1 \text{ 靜電單位} = \frac{1}{3 \times 10^{10}} \text{ 電磁單位} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{ クーロム}$$

電 流

$$1 \text{ アムペア} = \frac{1}{10} \text{ 電磁單位} = 3 \times 10^9 \text{ 靜電單位}$$

$$1 \text{ 電磁單位} = 3 \times 10^{10} \text{ 靜電單位} = 10 \text{ アムペア}$$

$$1 \text{ 靜電單位} = \frac{1}{3 \times 10^{10}} \text{ 電磁單位} = \frac{1}{3 \times 10^9} \text{ アムペア}$$

即ち電氣量及電流の單位では、靜電單位は極めて小さい單位で實用單位と電磁單位は接近してゐる。

例 題

- (1) 20キロアムペア時は幾クーロムに相當するか。
- (2) 7アムペアの電流が3時間連続して通過した時の電氣量は幾アムペア時か。又幾クーロムか。
- (3) 或る電線に一定の電流が2時間流れて108000クーロムの電氣量が通つ

た、電流は幾アムペアか。

34. 電 圧 の 単 位

電位差、起電力、電圧等の實用單位を**ヴォルト** (Volt)と云ふ。
乾電池の起電力は此の單位で計れば約1.5ヴォルトであり、電燈線の電圧は約100ヴォルトである。

〔参 考〕

$$1 \text{ ヴォルト} = 10^8 \text{ 電磁單位} = \frac{1}{300} \text{ 靜電單位}$$

35. 電 氣 抵 抗 と 其 單 位

水管を通して水を流す時其水流が水管に依つて抵抗を受ける様に電氣が電線内に流れる時は抵抗を受ける、即ち電流を妨げる力を受ける。之れを電氣抵抗又は單に**抵抗** (resistance)と云ふ。

此の抵抗は電線の物質長さ及其切口の大小等に依つて異なる。

電線の抵抗に打勝つて、電氣を流す爲には電氣を流す力即ち電圧を要する。一定の抵抗に對して電流を多くするには高い電圧を必要とする。又同じ電圧であれば抵抗の小さい場合が大きな場合よりも電流が多くなる。

此の抵抗の大小を計る單位として**オーム** (ohm)を用ひる。1オームは1ヴォルトの電圧を加へて1アムペアの電流が通る様な抵抗である。

36. オームの法則

一定の電線ではその電氣抵抗は凡そ一定であるから、之れに流れ

る電流を多くするにはその兩端に加へる電圧を高くせねばならぬ。又電圧が一定なれば抵抗の小さい程多くの電流が流れる。即ち電線に流れる電流はその兩端に加へられる電圧に比例し、抵抗に反比例する。之れを**オームの法則** (ohm's law)と云ふ。

此のオームの法則に依り、電圧 (E. volt), 電流 (I. ampere), 抵抗 (R. ohm) の三者の間には、次の様な關係が成立する。

$$\text{電 流} = \frac{\text{電 壓}}{\text{抵 抗}} \quad I \text{ アムペア} = \frac{E \text{ ヴォルト}}{R \text{ オーム}}$$

$$\text{抵 抗} = \frac{\text{電 壓}}{\text{電 流}} \quad R \text{ オーム} = \frac{E \text{ ヴォルト}}{I \text{ アムペア}}$$

$$\text{電 圧} = \text{電流} \times \text{抵抗} \quad E \text{ ヴォルト} = I \text{ アムペア} \times R \text{ オーム}$$

此の様な三者の關係から、此の中何れか二つの値を知れば一つの値は計算する事が出来る。

従つて此の法則即ち三者の關係は電氣學上諸種の計算に最も必要な事項である。

例 題

- (4) 100 ヴォルトの電圧を與ふれば20アムペアの電流が通する電熱器の電氣抵抗は何オームか。
- (5) 3 ヴォルトの電圧を加へて0.06アムペアの電流が通する豆電球の抵抗は何オームか。
- (6) 25オームの抵抗を有する電熱器に4アムペアの電流を通するには幾ヴォルトの電圧を與ふればよいか。
- (7) 抵抗14オームの電鈴がある、之れを動作さすには最小0.2アムペアの電流を必要とする。最小幾ヴォルトで働くか。

- (8) 16燭光の電球は點火中は其の抵抗が500オームである。之れに100ヴォルトの電圧を與ふれば何アムペアの電流が通るか。
- (9) 點火中100オームの抵抗を有する電球と400オームの抵抗を有する電球とに同じ100ヴォルトの電圧を加ふれば其の電流の比如何。

37. 導體の抵抗, コンダクタンス及導電率

電氣を良く導く物質, 即ち電氣抵抗の比較的少い物質を導體と云ふ。其の電氣抵抗は實驗の結果に依れば, 物質に依つて異なり, 長さに比例し, 切斷面積に反比例することを知る。即ち長さ l cm, 切斷面積 A cm² の導體の抵抗 R オームは

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

で表はさる。但し ρ は其の物質の長さ1 cm, 切口面積1 cm² のものの抵抗で之れを其の物質の**固有抵抗**(specific resistance)と云ふ。即ち固有抵抗は1 cm³の立方體の兩對面間の抵抗で物質に依つて異なる。各物質の固有抵抗を擧ぐれば, 第3表の如し。抵抗の逆数は其の電流を通じ易いか否かを表はす事になる。此の意味で抵抗の逆数を**コンダクタンス**(conductance)と云ひ其の單位を**モー**(mho)と呼ぶ。

固有抵抗の逆数を**導電率**(conductivity)と云ふ。導電率は其の物體は電流を通じ易いか否かを表はすものであるが此の觀念を具體的に明かにする爲電線として最も多く用ひられてゐる標準軟銅の導電率を100と定め, 之れに對して他の金屬が電流を通じ易いか否かの割合を以て導電率を表はす事がある。之れを對稱的導電率或は百分導電率と云ふ。單に導電率と云ふ場合にも此の方法に依るものを示す事が多い。

第3表 金屬及合金の固有抵抗並に固有抵抗の溫度係數

名 稱	主 成 分	固 有 抵 抗 10 ⁻⁶ ohm/cm ³ (20°C)	溫 度 係 數 (20°C附近)	
銀	Ag	1.62	0.0038	
アルミニウム	Al	2.62	0.0039	
金	Au	2.40	0.0034	
蒼 鉛	Bi	115	0.004	
銅	Cu	1.69	0.00393	
鐵	Fe	10.0	0.0050	
水 銀	Hg	95.8	0.00089	
ニ ツ ケ ル	Ni	6.9	0.006	
白 金	Pt	10.5	0.003	
錫	Sn	11.4	0.0042	
タングステン	W	5.48	0.0045	
亞 鉛	Zn	6.1	0.0037	
ニ ク ロ ー ム	Ni-Cr-(Fe)	100~110	0.03~0.4×10 ⁻³	
洋 銀	Ni-Cu-Zn	17~41	0.04~0.38 "	
マンガン	Cu-Mn	34~100	0.01 "	
眞 鍮	Cu-Zn	5~7	1.4~2 "	
コンスタンタン	Cu-Ni	47~51	0.02 "	
デュラルミン	Al-Cu-Mg-Si	3.35	2.18 "	
磷 膏 銅	Cu-Sn-P	2~6	3~4 "	
珪 膏 銅	Cu-Sn-Si	2~4	2.3~3.8 "	
炭 素	C	弧光燈用	6300~7000	-0.00050

例 題

- (10) 直徑5 mmのアルミニウム線の長さ1 kmに就いての抵抗は幾オームか。但しアルミニウムの固有抵抗は2.62×10⁻⁶オームとす。
- (11) マンガン線は18°Cにて固有抵抗44.5×10⁻⁶オームなり直徑0.5mmの

マンガニン線にて200オームの抵抗を得んとせば何mの長さを要するか。

38. 導体の抵抗と温度との関係

導体の固有抵抗は大體に於て一定してゐるものであるが温度に依つて多少變化する。普通温度の範圍内では金属の抵抗は温度が昇れば増加し、炭素の抵抗は之れと反對に温度が昇れば減少する。又液体の抵抗も凡そ温度が昇れば減少する。

今 0°C に於ける或る金属の抵抗を R_0 オームとすれば $t^{\circ}\text{C}$ に於ける抵抗 R_t は

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

で計算される。 α は 0°C を基準とし温度 1°C 昇る毎に抵抗が増加する割合で物質に依り異なる。之れを其物質の抵抗の温度係數 (temperature coefficient) と云ふ。

温度係數は基準の温度にても多少異なる。今 $t_1^{\circ}\text{C}$ の時の温度係數を α_1 とし抵抗を R_1 とすれば $t_2^{\circ}\text{C}$ の時の抵抗 R_2 は次の式で計算される

第4表 銅の温度係數

温 度	軟 銅	硬 銅
0°C	0.00427	0.00413
15	0.00401	0.00389
20	0.00393	0.00381
25	0.00385	0.00374
30	0.00378	0.00364
50	0.00352	0.00342

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$$

普通の金属の温度係數は0.003乃至0.005で、各種の金属の温度係數は第3表の如し、電気導體としては銅が最も多く用ひられるが、銅の各温度に於ける温度係數は第4表の如し。

例 題

- (12) 20°C に於ける抵抗30オームにして温度係數0.0039の軟アルミニウム線 40°C に於ける抵抗は何オームか。
- (13) 0°C に於ける温度係數0.00428なる銅線の抵抗100オームあれば温度が 50°C となれば何オームとなるか。
- (14) 20°C に於ける抵抗135オームの軟銅線の温度が 50°C となれば抵抗如何
- (15) 15°C にて53オームの抵抗を有する軟銅線は 50°C にて抵抗何程か。

39. 抵抗の變化に依る温度の測定

電気機械等は之れを運轉して居れば順次熱くなる。即ち温度が上昇する。温度が上昇すれば抵抗が變るから此の抵抗變化を測定して温度上昇が計算される。

運轉前の捲線の抵抗が、 R_1 オームで其時の機械の温度は室内温度 $t_1^{\circ}\text{C}$ と同一である。次に運轉を始めて一定時間の後再び捲線の抵抗を測り之れが R_2 オームとなれば其時の機械の温度を $t_2^{\circ}\text{C}$ と假定し

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha_1 (t_2 - t_1)]$$

であるから

$$t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha_1 R_1}$$

此の式の α_t は $t^\circ\text{C}$ に於ける温度係数で電気機械内の捲線に使ふ銅は純軟銅に近いから其温度係数は

$$\alpha_t = \frac{1}{234.5 + t}$$

となり温度上昇 $t_2 - t_1$ は

$$t_2 - t_1 = \frac{R_2 - R_1}{R_1} \times (234.5 + t)$$

として計算される。

例題

- (16) 或発電機の捲線の抵抗を 25°C にて測定せるに 0.519 オームなり、之れを数時間運轉して後再び抵抗を測定せるに 0.589 オームとなれり。捲線の平均温度上昇は何程か。

40. 銅 線

銅は電気抵抗小さく且價格も比較的安價なので電線として最も多く用ひられてゐる。電線は常用の大きさが規定され、其れ以外の大きさの電線は特別の場合以外は作られない。此の常用電線には番號が附けられる。之れを線番號 (wire gauge) と云ひ種々の系統がある。我國では現在主として耗ゲージが用ひられるが、之れは番號でなく電線の直徑で呼ばれるものである。米法になる以前は主として BS ゲージが用ひられて居た。

普通の電線は上記の如く大きさが定つて居るから其抵抗を 1km の長さの抵抗で表はし計算に便してゐるが、一般には單位の長さ、單位の長さの銅の抵抗から計算する。即ち 1mm^2 の斷面を有し長さ 1m

の抵抗は

$$\text{純軟銅 } 20^\circ\text{Cにて } 0.01724 \left(\text{又は } \frac{1}{58} \right) \text{ オーム}$$

$$\text{軟 銅 } 20^\circ\text{Cにて } 0.0174 \text{ オーム}$$

$$\text{硬 銅 } \begin{cases} 20^\circ\text{Cにて } 0.0178 \text{ オーム} \\ 30^\circ\text{Cにて } \frac{1}{55} \text{ オーム} \end{cases}$$

なり。

之れに依り斷面 $A\text{mm}^2$ 長さ $l\text{m}$ の軟銅線 20°C の時の抵抗は

$$R = 0.0174 \times \frac{l}{A} \text{ (オーム)}$$

の如く計算される。

時、呎單位の時は電線の斷面積は直徑 $\frac{1}{1000}$ 吋の圓の面積で表はされ、長さは呎で表はさる。此の様な斷面積の單位をサーキュラーミルと云ふ。1サーキュラーミル、1呎の軟銅線の抵抗は 10.358 (約 10) オームである。故に A サーキュラーミルの斷面積を有し l 呎の電線の抵抗 R オームは

$$R = 10.358 \times \frac{l}{A} \text{ (オーム)}$$

である。

例題

- (17) 直徑 3.2mm の硬銅線の長さ 500m の抵抗は 20°C にて幾オームか。
 (18) 前問の銅線を焼き鈍した後に 20°C に於ける抵抗は幾オームか。
 (19) 直徑 5 ミルの銅線の長さ 50 呎なれば、其抵抗幾オームか。
 (20) 直徑 1.2mm の軟銅線の長さ 150m の抵抗は 20°C にて幾オームか。

問 題

- (1) 20ワットの電球に100ボルトの電圧を供給すれば0.2アンペアの電流が通る。其の抵抗は幾オームか。
- (2) 抵抗14オームの電線に15アンペアの電流を通するには何ボルトの電圧を加へればよいか。
- (3) 或る電鈴は400オームの抵抗を有し最小8ボルトの電圧にて働作す此の電鈴が働作する最小電流は幾アンペアか。
- (4) 抵抗19オームの電気ストーブに通る規定の電流は、10アンペアである規定の電圧は幾ボルトか。
- (5) 40ワットの電球に100ボルトの電圧を加ふれば、0.4アンペアの電流が通る。今90ボルトの電圧を加ふれば幾アンペアの電流が通るか。
- (6) 6ボルトの蓄電池に3アンペアの一定電流にて5時間充電せり。蓄電された電気量は幾アンペア時か。
- (7) 20°C にて22.5オームの抵抗を有する軟銅線は 50°C にては幾オームか
- (8) 直径3mm、長さ1kmの硬銅線 30°C に於ける抵抗を求めよ。
- (9) 直径0.5mmの銅線400mの抵抗は幾オームか。但し断面積 1mm^2 の銅線1mの抵抗は、0.0153オームとす。(6.8商船)
- (10) 直径11.7mm長さ1kmにて0.031オームを有する銅線を引伸ばして直径9.0mmとすれば抵抗幾オームとなるか。但し引伸ばしても性質は變化しないものとし容積も變らざるものとす。
- (11) 直径2.5mm長さ54.4cmの銅線の抵抗が 20°C にて0.002048オームなり此の銅線の 20°C に於ける固有抵抗何程か。

第四章 電 氣 化 學

41. 電 解

液體を電氣に對する性質から分類すれば三種になる。

(a) 殆んど電氣を導かない液體、各種の油類がその主なるもので、之れは絶縁油として使用せられる。

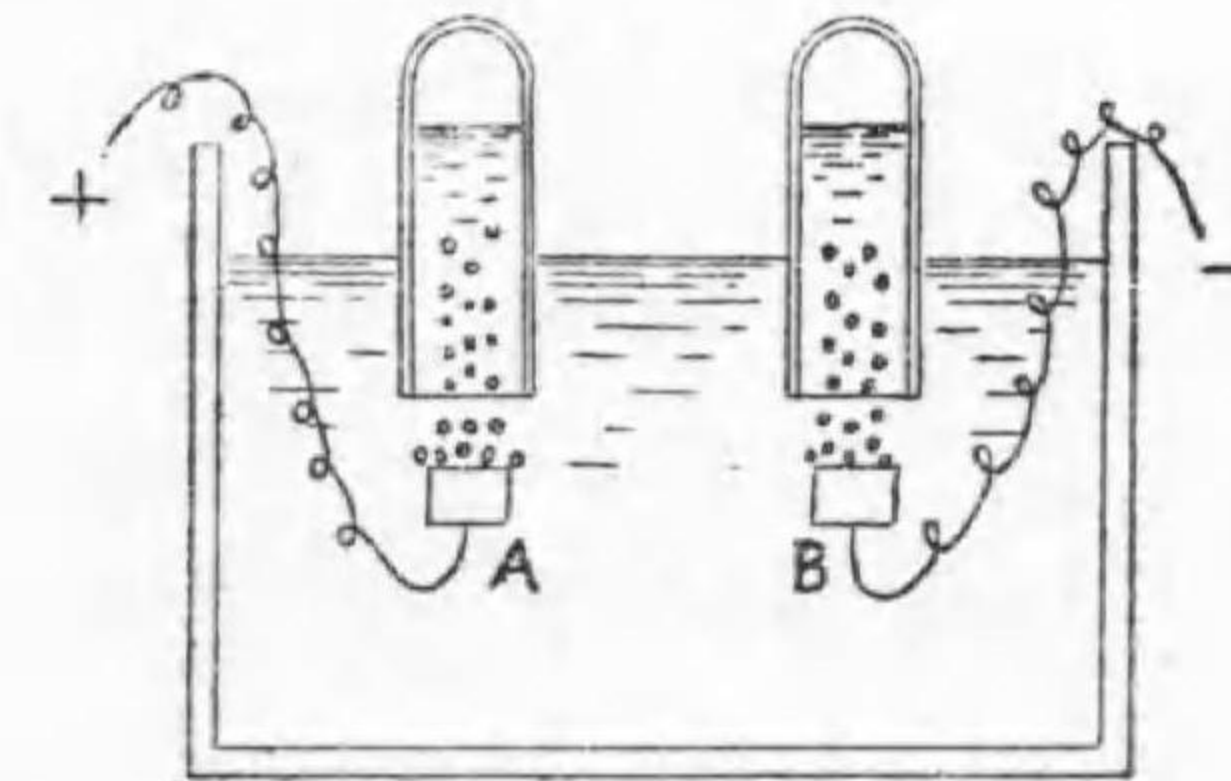
(b) 電氣を導くが導體自身には何の變化もないもの。

(c) 電氣を良く導くが、それと共に液體自身も分解して其の性質が變化するもので、鹽基、鹽類、酸類等の水溶液等多くの液體は之れに屬す。斯の様な液體を電解物或は電解液 (electrolyte) と云ふ。

電解液に電氣が通れば化學分解を起す。此の様に電氣を通じて分解することを電氣分解又は單に電解 (electrolysis) と云ふ。其液を入れる容器を電解槽と云ひ、之れに電解液を入れその液の中に二枚の金屬板を浸し之れから電氣を通する之の金屬板を極板と云ふ。其中電氣が流れ入る方の極板を陽極又はアノード (anode)、電氣が流れ出る方の極板を陰極又は

カソード (cathode) と云ふ。

今第30圖の様な電解槽中に水を入れ之れに少量の硫酸を混じ、A Bの白金極にAをアノ

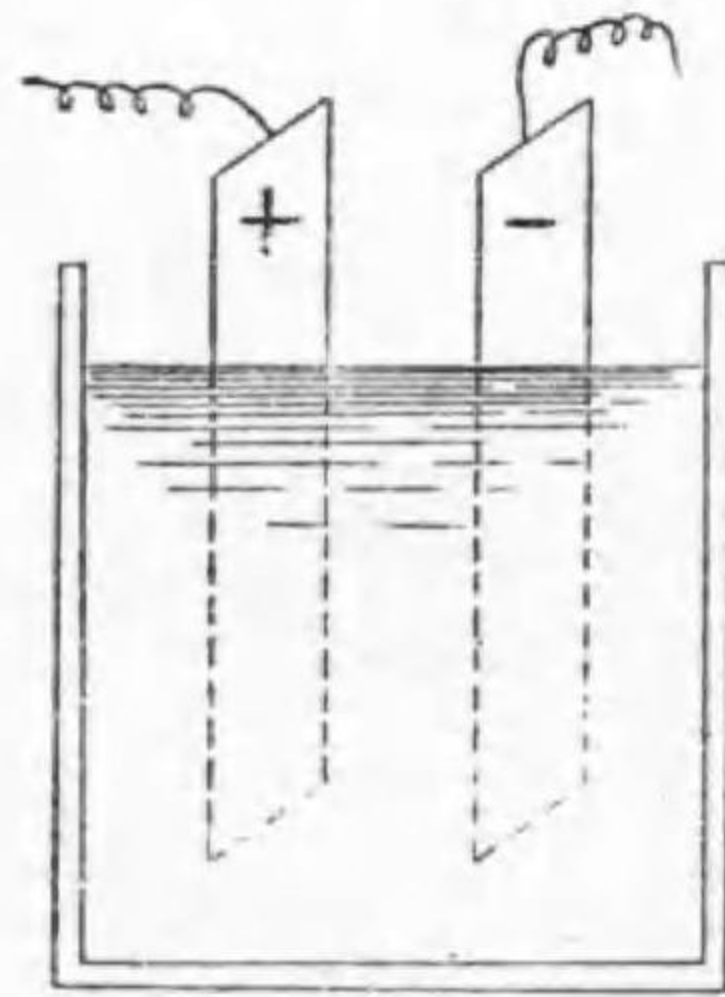


第 30 圖

ードとし、Bをカソードとして電流を通せばABの兩極から氣泡を發生する。之れを圖の如く試験管に集むればアノードの方から出る氣泡は酸素で、カソードの方は水素である。即ち水が電氣に依つて分解され水素と酸素とに分れたのである。

42. 電解の應用

電氣分解は電氣精銅、電氣鍍金等に應用せられる、銅山の熔鑛爐で精練された銅は未だ種々の不純物を含むから粗銅と稱せられる。此の粗銅より純粹の銅を得るには之れを電氣分解する。即ち第31圖の如く電解槽内に硫酸銅 (CuSO_4) の水溶液を入れ、陽極に粗銅を陰極に薄い純銅を入れて、電流を流せば陽極即ち粗銅の中の純銅が



第31圖

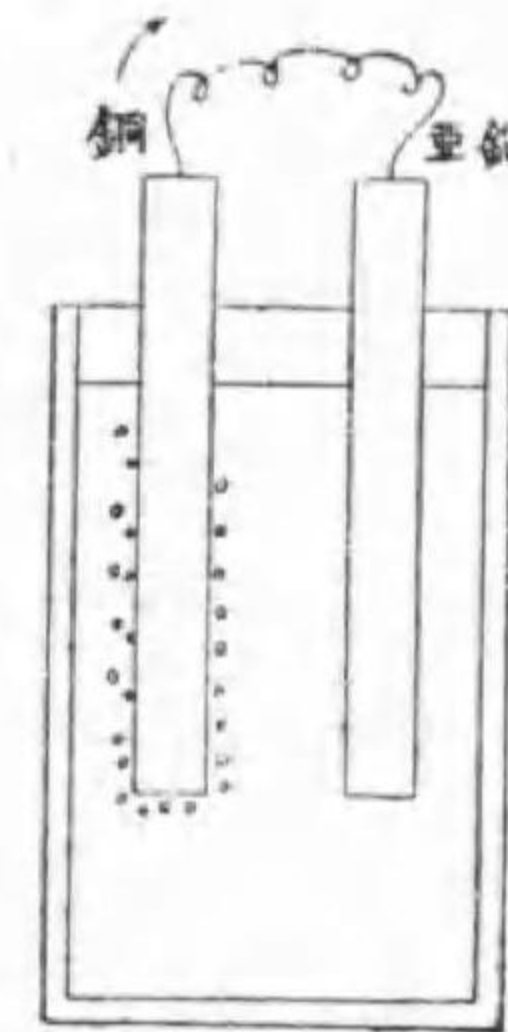
液に溶解液中の純銅が陰極の表面に附着する、故に粗銅の方は純銅のみを取去られ、陰極の表面に純銅が出来る。

電氣鍍金は、鐵、眞鍮の如き錆易い金屬に、ニッケル、クローム等をメッキしたり、或は金銀のメッキ等に廣く應用される。其原理は電氣精銅の場合と同じことでメ

43. 電池

第32圖の様に電解槽(硝子又は陶器)の中に稀硫酸の溶液を入れ、其れに銅板と亞鉛板とを浸し、此の兩極を電線で結べば銅板の方から亞鉛板の方に向つて電流が通る。之れと同時に銅板の表面から氣泡が發生し亞鉛板は次第に溶解し小さくなる。之れは化學作用に依り、電氣が發生するからで、此の様に化學作用に依り電氣を發生するものを電池(cell)と云ふ。

以上の簡単な電池はヴォルタ氏に依つて考案されたものであるが、此の様な簡単な電池では亞鉛が純粹な場合は、亞鉛は兩極を結んだ時にのみ消耗されるが、普通の亞鉛は純粹なものが殆んど得られないから、兩極を結ばない時でも亞鉛は常に消耗する。之れは亞鉛内に含まれた他の金屬と亞鉛とが連絡して一つの小さ



第32圖

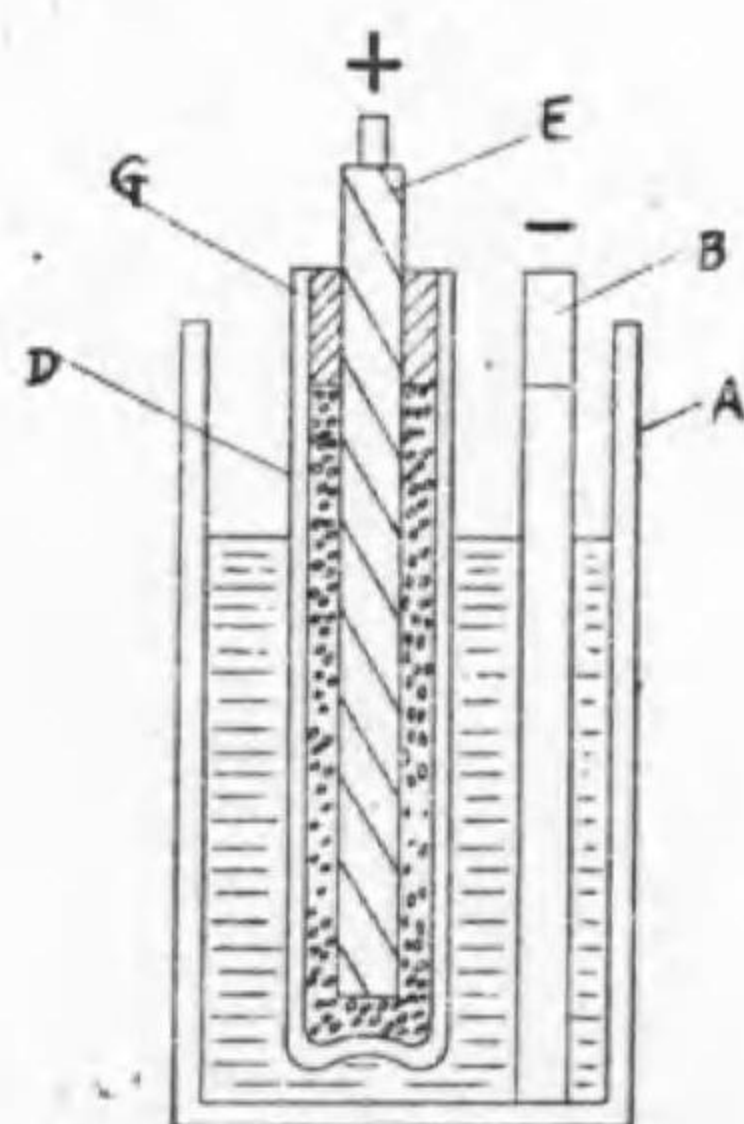
い電池の作用を起しその爲亞鉛は常に消耗されるのである。之れを局部作用(local action)と云ふ。局部作用を防ぐには亞鉛板の表面に水銀を塗つてアマルガムを作ればよい。

ヴォルタの電池では兩極を結んで電流を流せば銅板面即ち陽極面に氣泡を生ずる。之れは化學作用の爲水素瓦斯が出来るからで、此の瓦斯が陽極面に附着するとその表面に於ける化學化用を妨げるか

ら電気の発生力が減少し起電力が降る。之れを**成極作用** (galvanic polarization) と云ふ。實用の電池はこの成極作用を防ぐ事が必要で水素瓦斯が出来る場合は之れと化合し易い物質を置いて水素瓦斯を取り去る。之れを消極すると云ふ。

電池には、電解液と兩極の物質でブンゼン電池、レ克蘭シェ電池、ダニエル電池、重クロム酸電池、グローブ電池、フーバー電池、重力電池等數種あつて其の發生する起電力は多少異なる。起電力の標準として標準電池がある。

次に此等電池の代表としてレ克蘭シェ電池の構造を説明する。



第33圖

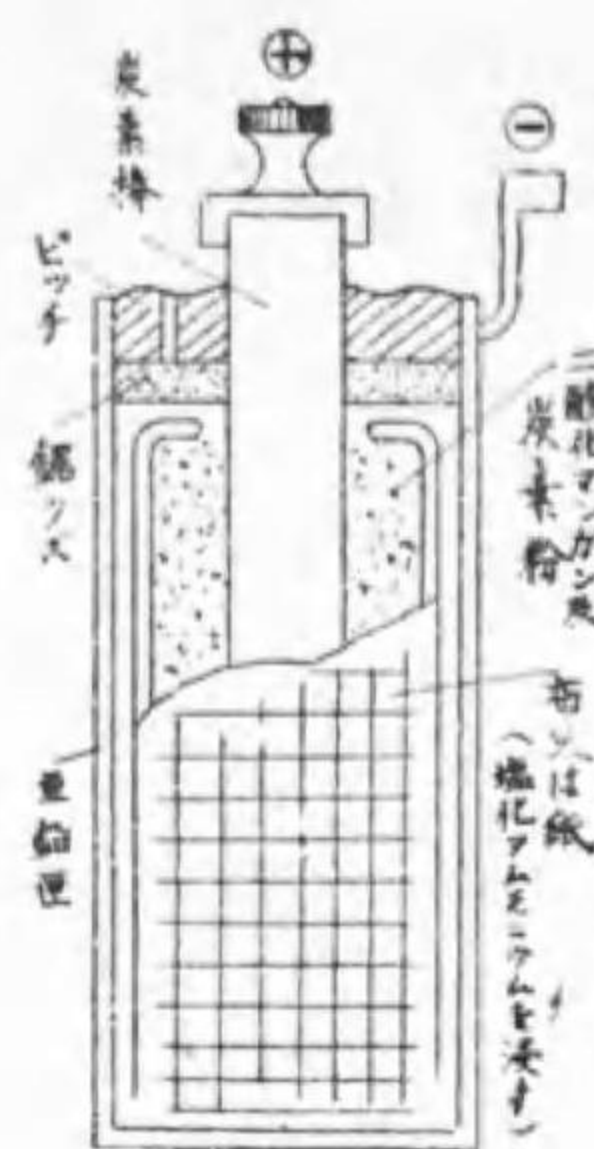
レ克蘭シェ電池は第33圖の如く硝子槽Aの中に鹽化アモモニウムの濃溶液を入れ、陰極として其の中に亜鉛棒Bを立て、陽極として炭素棒Eを用ひ、之れを素焼Pの中に入れ其周圍に二酸化マンガンを炭素粉とを混和して充填する。

二酸化マンガンは酸素を良く放出するから陽極の炭素面に出

来る水素瓦斯を良く吸収して消極劑となる。起電力は1.4~1.6 ヴォルトであるが、永く連続して使用すると、二酸化マンガンの酸素が不足して消極作用が悪くなり電圧が降るが、使用しないで放置すれば再び二酸化マンガンを恢復し

て消極作用が起るから起電力も恢復する。故に長く連続して使用せない電話や電信用等に多く使用される。

今日多く用ひられる**乾電池** (dry cell)は此の電池を改造したもので、第34圖の如く外側の電解槽を亜鉛筒にして之れを陰極とし、其の内側に紙、木綿等の如く液を含み易い物質を置き、之れに鹽化アモモニウム液を含ませ其の中に二酸化マンガンを炭素粉との混合したものを入れ炭素棒を立て、陽極としたものである。



第34圖

44. 蓄電池

電解液に電氣を通せば、化學作用が起り、電解液も極板も變化するが、一方電解液中に異なる物質を對立せしむれば、其極板と電解液との化學作用に依り電氣が起る。前者の現象を應用したものが電氣分解で後者が電池である。特種の電極と電液を用ふれば、電氣を流せば電氣分解が起り、電液や電極が變化し、此の様に變化した状態では自ら化學作用を起して、電氣を發生して又元の状態に戻る。之れを應用したものが**蓄電池** (accumulator) である。鉛が此の様な性質を有することは古くから知られて居つた所で今日の鉛蓄電池が之れである。其他エヂソンの考案せる鐵とニッケルとの蓄電池もあるが、その性質は鉛蓄電池に及ばな

い。今日蓄電池と云へば殆んど鉛蓄電池を意味す。

蓄電池は鉛で作つた格子の間に酸化鉛の粉末を稀硫酸でねつて充填したものを兩極板とし、之れを適當な濃度の稀硫酸の電解溶液内に對立せしめる。斯くて出來たものは兩極が同じであるが、之れに適當な強さの電流を通せば陰極に結ばれた方は酸化鉛の酸素を失つて次第に其表面が鉛となり陽極側は酸化鉛のまゝ残る。之れを初充電又はフォーメーションと云ひ、此の最初の電氣分解に依り一方は鉛となり他は酸化鉛となる。

以上の處理を行つた蓄電池は鉛の方が陰極となり酸化鉛の方が陽極となつて約2ヴォルトの起電力を發生する。従つてその兩端子を回路に結べば電流を取出す事が出来る。之れは蓄電池に初め電氣を送つて化學作用を起さしめたのでその化學變化により電氣が蓄へられてゐるのである。充電 (charge) されて居る蓄電池を回路に結び電流を流すことを放電 (discharge) と云ふ。蓄電池は放電すれば兩極板は次第に化學變化を起し陽陰兩極共表面が硫酸鉛に變る。此の様に兩極板の表面が次第に同じ物質に變れば起電力も減少する。充電された時は2ヴォルトであるが、順次電壓が降り1.8ヴォルトになれば放電を中止して直ちに充電せねば極板を悪くする。

極板は充電された時は陰極は鉛であるから其の表面の色が青灰色で、陽極は酸化鉛であるから赤褐色であるが、放電すると共に其の表面に薄く硫酸鉛が出來てくる、硫酸鉛は白色であるから兩極共其の色が薄くなる。

充電中電解液は其濃度が變る。放電の時は水が出來て稀硫酸の濃

度を減じ、充電すれば濃度を増す。以上の事項に依り蓄電池の充放電の程度は簡単に知る事が出来る。

蓄電池に充電せらるゝ電氣の量は普通アムペア時で表はす。其充電容量を大きくするには極板の作用面を出来るだけ廣くすればよいので、前述の様に格子間に作用物質を填充すれば作用面が廣くなり容量大なるものが出来る。此の様な極板をペースト型 (paste type) 極板と云ひ廣く用ひられる。其他鉛板の表面に多數の線を引いて表面を多くしたプランテ型 (plant type) 極板もある。

第五章 電氣回路

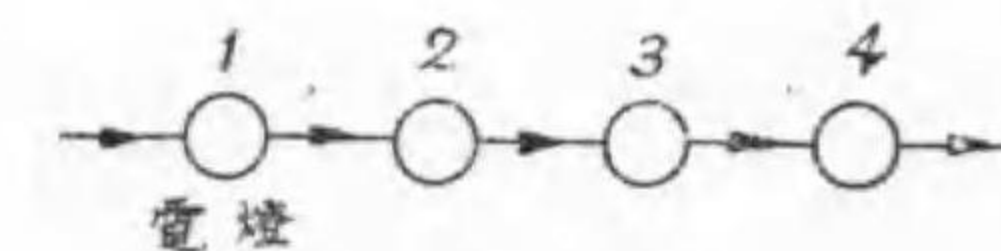
45. 電氣回路

電氣を發生する電源 (Electric source) 即ち電池や發電機と、電氣を使用する負荷 (load) 即ち電燈、電熱器、電動機等とを電線で結んで電源で發生した電氣を負荷で使用する様にしたものを電氣回路 (electric circuit) といひ略して電路又は單に回路 (circuit) ともいふ。

電路中に電源や負荷が多數ある場合には、その結び方に色々な方式があるが之を大別すれば次

の三種になる。

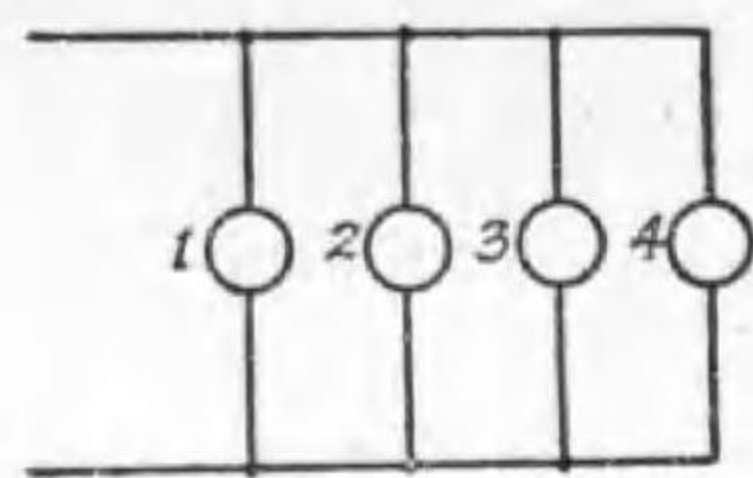
(a) 直列接続 (Series connection) 多數の負荷



第35圖

を次々に接続する方法で、例へば第35圖の如く電燈四個を接続すれば之が直列接続である。このときは 1, 2, 3, 4 の各々に流れる電流は皆相等しい。

(b) 並列接続 (Parallel connection) 多数の負荷を第36圖の如く



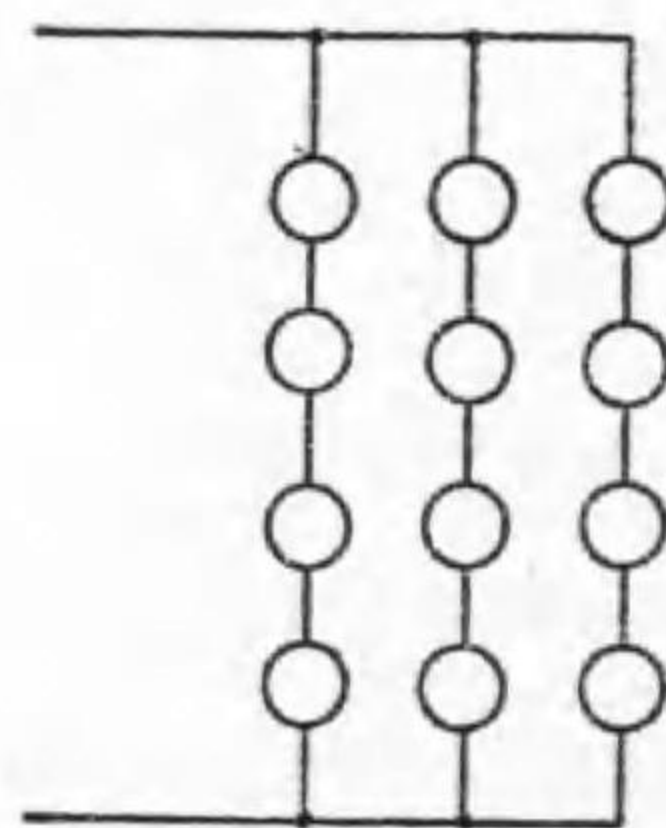
第36圖

接続する方法である。このときは 1, 2, 3, 4 の各々の電燈の電流は通常夫々異つて居て、その和が全體の電流となる。

(c) 直並列接 (Series parallel connection) 以上二つの方法を混

合したもので、第37圖の如く直列に幾個か接続されたものが一組となりその組々が並列に結ばれる。

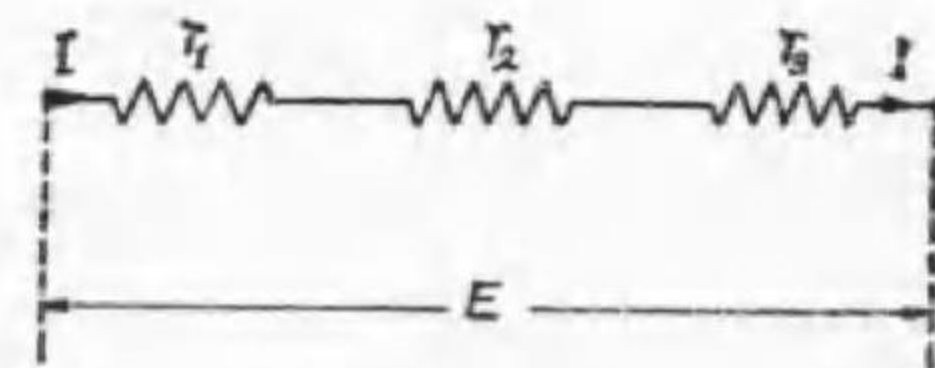
尙電気回路の接続方法を表はす接続圖にては、電源、負荷、その他の機械器具類を通常第5表の如き記號 (symbol) にて示す。



第37圖

46. 直列接続の全抵抗

第38圖の如く抵抗 r_1, r_2, r_3 等を直列に結んで、之に E ヴォルトの電壓を與へた場合、流れる



第38圖

第5表 主要電気記號

記号	名稱	記号	名稱	記号	名稱
	電池 長線 ⊕ 短線 ⊖		電燈		インダクタンス
	直流電動機		抵抗		蓄電器
	交流電動機		抵抗 (變化抵抗)		開閉器 (スイッチ)
	直流電動機		抵抗 (變化抵抗)		可熔片 (フューズ)
	直流電動機		交流電動機		変圧器

電流を I アンペアとする。オームの法則により各抵抗に I アンペアを流すに必要な電壓は、夫々 $I r_1, I r_2, I r_3$ ヴォルト等となり、全體に與へられた電壓は之等の和でなければならぬから

$$E = I r_1 + I r_2 + I r_3 = I (r_1 + r_2 + r_3) \dots \dots \dots (a)$$

今全抵抗を R とすれば、之に I アンペア流れるのであるから

$$E = I R \dots \dots \dots (b)$$

となり、以上 (a), (b) 二式は相等しいから

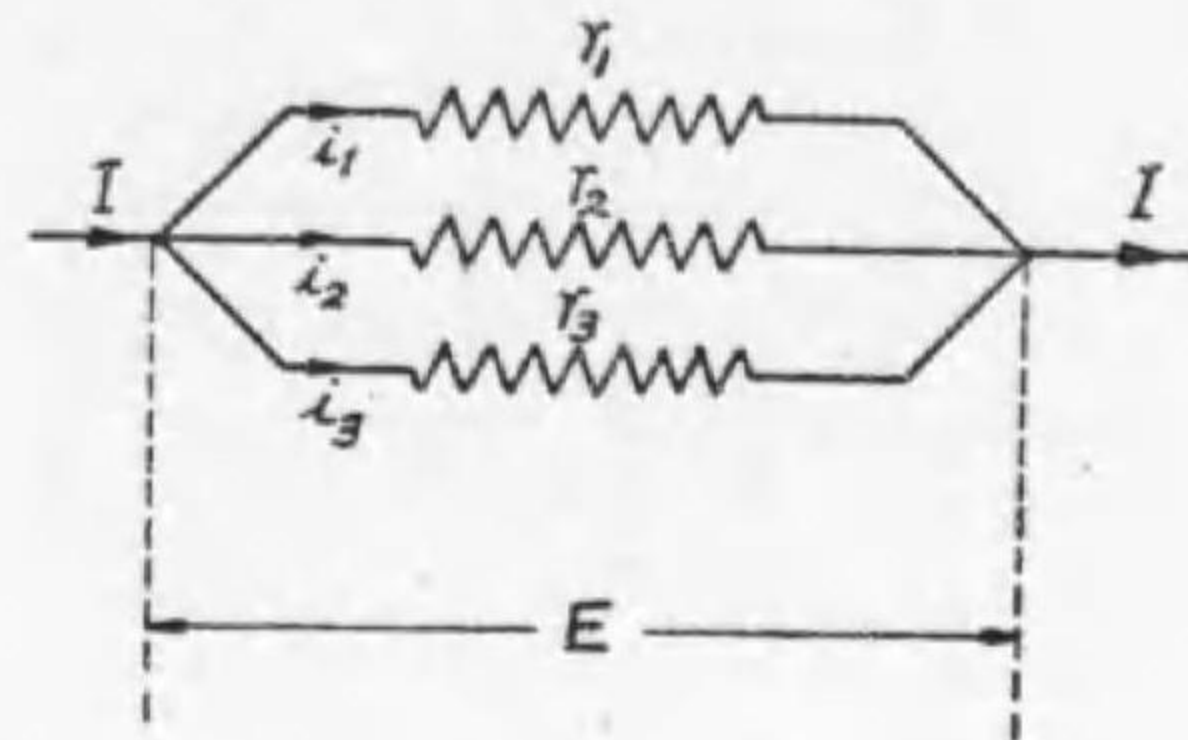
$$I R = I (r_1 + r_2 + r_3)$$

$$\therefore R = r_1 + r_2 + r_3$$

即ち直列接続の全抵抗 (合成抵抗とも云ふ) は各抵抗の和に等し。

47. 並列接続の全抵抗

第39圖の如く r_1, r_2, r_3 等の抵抗を並列に結び、その兩端に E ヴォルトの電壓を與へた場合、各抵抗に流れる電流を夫々 i_1, i_2, i_3 等とする。各抵抗には夫々同一の電壓が與へられることになるから、オ



第39圖

— ムの法則により

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

$$i_3 = \frac{E}{r_3}$$

全電流を I アンペアとすれば之は各部の電流の和であるから

$$I = i_1 + i_2 + i_3$$

となり、之に上記の値を代入すると

$$I = \frac{E}{r_1} + \frac{E}{r_2} + \frac{E}{r_3} = E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right) \dots\dots (a)$$

今全抵抗を R とすれば、E ヴォルトの電圧を與へて I アンペア流るのであるから

$$I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots (b)$$

となり、この(a), (b)二式は相等しいから

$$\frac{E}{R} = E \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right)$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

即ち並列接続の全抵抗の逆数は各部の抵抗の逆数の和に等しい。

次に各抵抗の電流は夫々 $i_1 = E/r_1$, $i_2 = E/r_2$, $i_3 = E/r_3$ 等であるから之等各電流の比は

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{E/r_1}{E/r_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

同様に

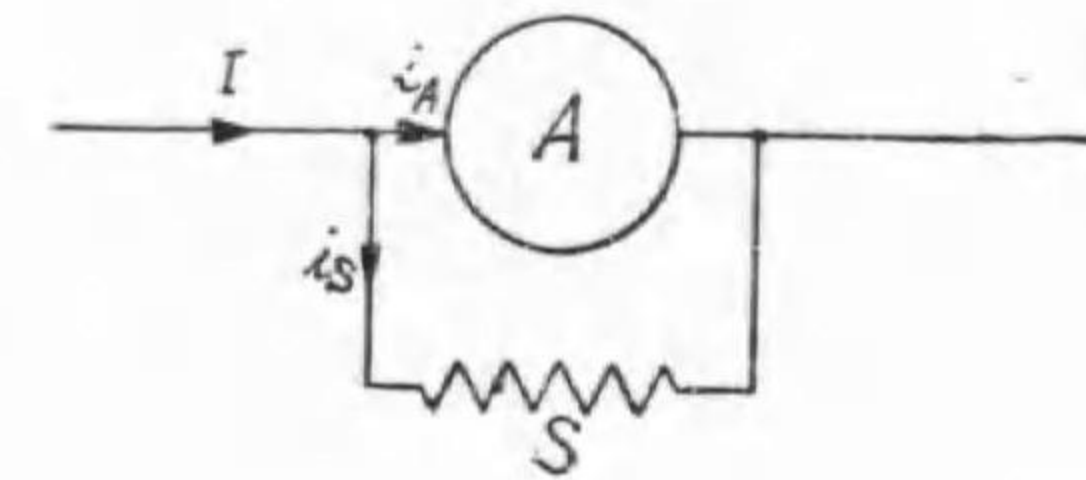
$$\frac{i_2}{i_3} = \frac{r_3}{r_2}, \quad \text{又} \quad \frac{i_3}{i_1} = \frac{r_1}{r_3}$$

等となり、各部の電流はその抵抗に反比例する。

48. 分路及び短絡

电路の一部に抵抗を並列に結びその电路の電流を分流せしむるものを分路 (shunt) と云ふ。

第40圖は計器 A に分路 S を設けた場合であつて、計器の抵抗 A と分路の抵抗 S とは並列に結ばれる。



第40圖

今各電流を夫々 i_A , i_S 全電流を I とすれば

$$I = i_A + i_S$$

にして、前節より明かな様に

$$\frac{i_A}{i_S} = \frac{S}{A} \quad \text{従つて,} \quad \frac{i_A}{i_A + i_S} = \frac{S}{A + S} = \frac{i_A}{I}$$

$$\therefore i_A = I \times \frac{S}{A + S}$$

同様に $i_S = I \times \frac{A}{A + S}$

となる。従つて A に流れる電流を全電流の $1/2$ とするには

$$i_A = I \times 1/2$$

であるから

$$\frac{S}{A+S} = \frac{1}{2}, \quad \text{従つて } 2S = A+S \quad \therefore S=A$$

即ち A の抵抗と相等しい抵抗を分路に用ふれば A の電流は全電流の $\frac{1}{2}$ となる。

回路の一部を抵抗殆ど零なる線で結ぶことを短絡 (short circuit) と云ふ。

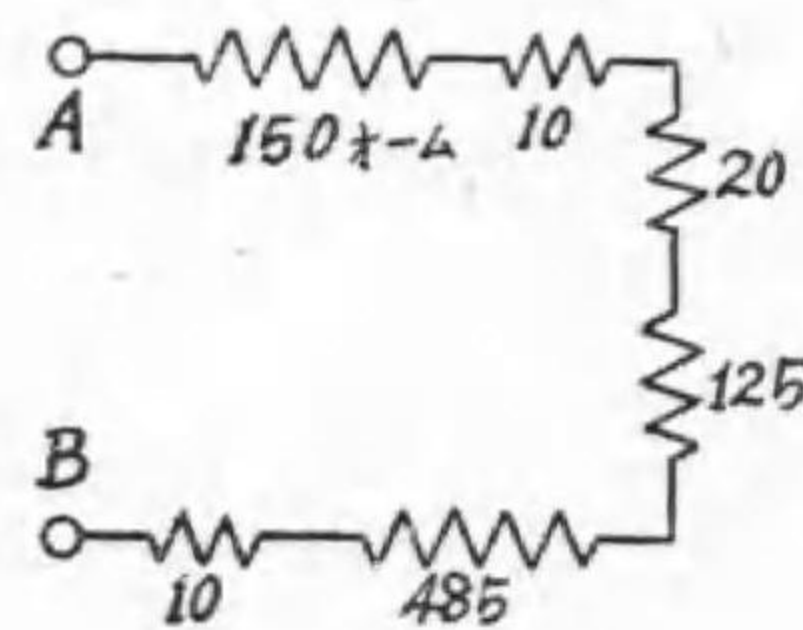
第40圖の場合全抵抗を R とすれば

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{A} + \frac{1}{S} \quad \therefore R = \frac{A \cdot S}{A+S}$$

であるから、短絡の場合で S の抵抗零のときは全抵抗は勿論零となり、電流は抵抗零なる S の方を全部通り短絡された部分には電流は無くなる。

例題

(1) 圖の如き直列回路の全抵抗は何オームか。此の回路の AB 間に 100 ヴォルトの電圧を加へれば電流は幾アムペアか。

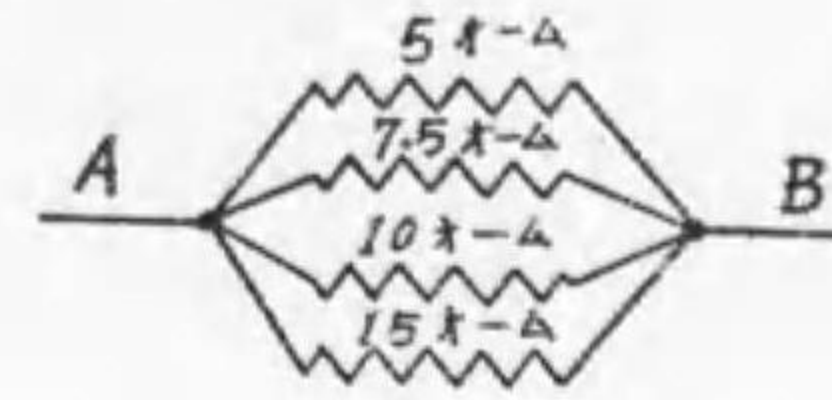


(2) 135 オームの抵抗に直列に抵抗を接続して全抵抗を 268 オームにせんとす。幾オームの抵抗を接続すべきか。

(3) 7 オームと 3 オームの抵抗を並列に結べば全抵抗何オームか。

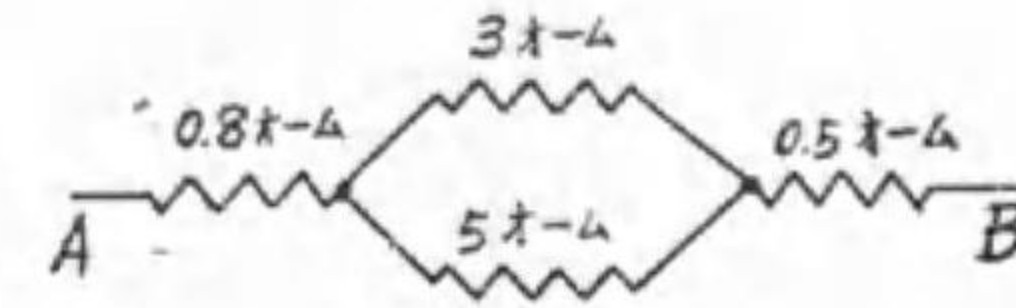
(4) 前問の全電流 9 アムペアなれば各抵抗の電流如何。

(5) 圖の如く A, B 間に 5 オーム、7.5 オーム、10 オーム、15 オームの抵抗を並列に接続すれば全抵抗は幾オームか。



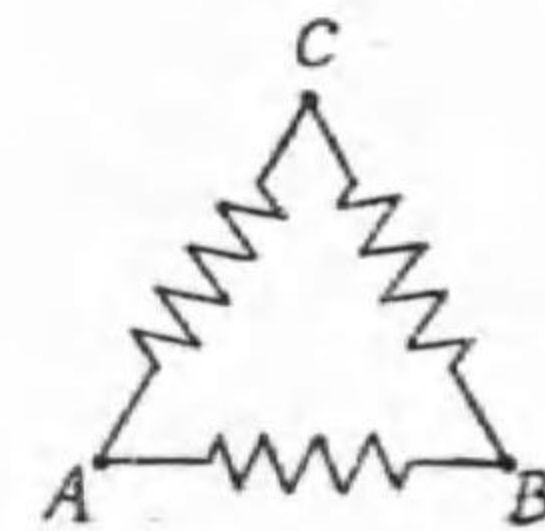
(6) 前問の A, B 間に 100 ヴォルトの電圧を加へれば何程の電流が通るか。

(7) 圖の如く抵抗を接続せる時の全抵抗は幾オームか。

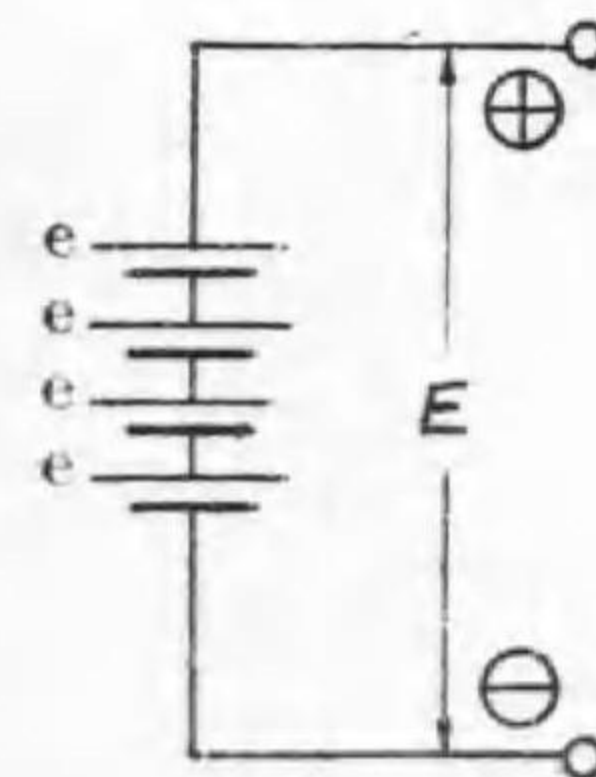


(8) 前問の AB 間に 15 ヴォルトの電圧を加へると各部分には何程の電流が通るか。

(9) 3 オームの抵抗を通る電流を $\frac{1}{2}$ とせんとするには之に何オームの分路を結べばよいか。



(10) 圖の如く同じ抵抗を三個結んだ時 AB 間の全抵抗 0.8 オームなれば各抵抗は何オームか。



第 41 圖

49. 電池の接続

電池一個の出す起電力や電流は小さいので、高い電圧や強い電流を必要とする場合には多數の電池を次の如く接続して用ゐる。

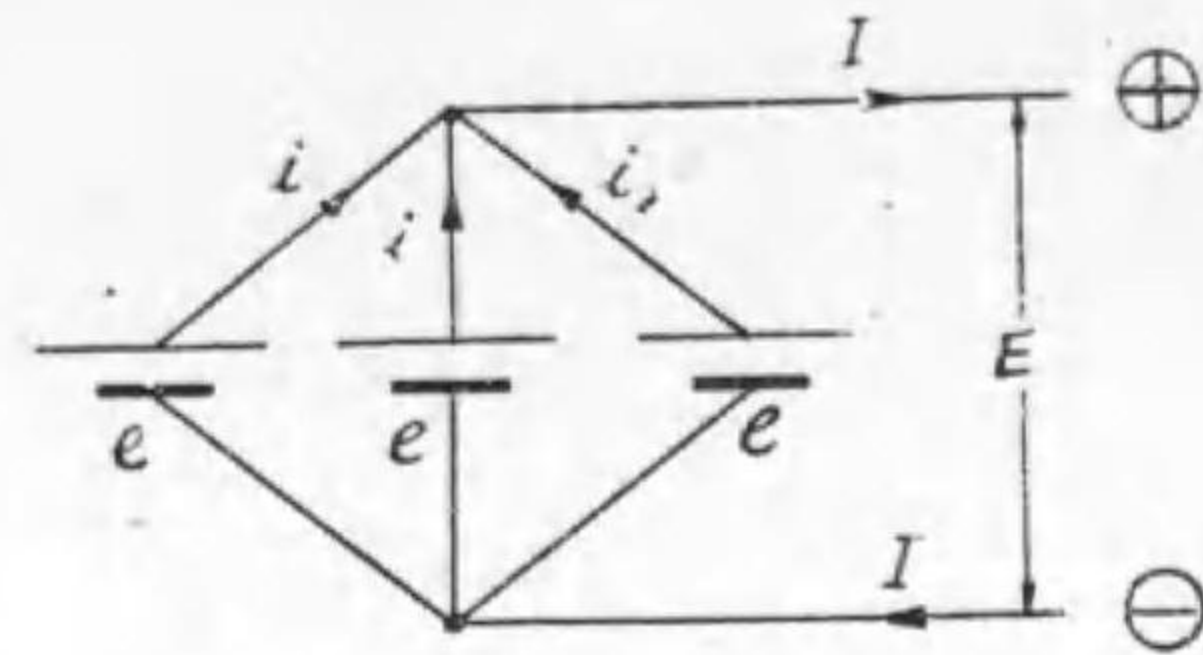
(a) 直列接続 第41圖の如く接続す

る方法で、此の場合電池一個の起電力を e ヴォルト、電池の数を n とすれば、全電圧は $E = ne$ となる。尙端子間に負荷を接続せる場合は各電池に流れる電流は皆等しい。

(b) 並列接続 第42

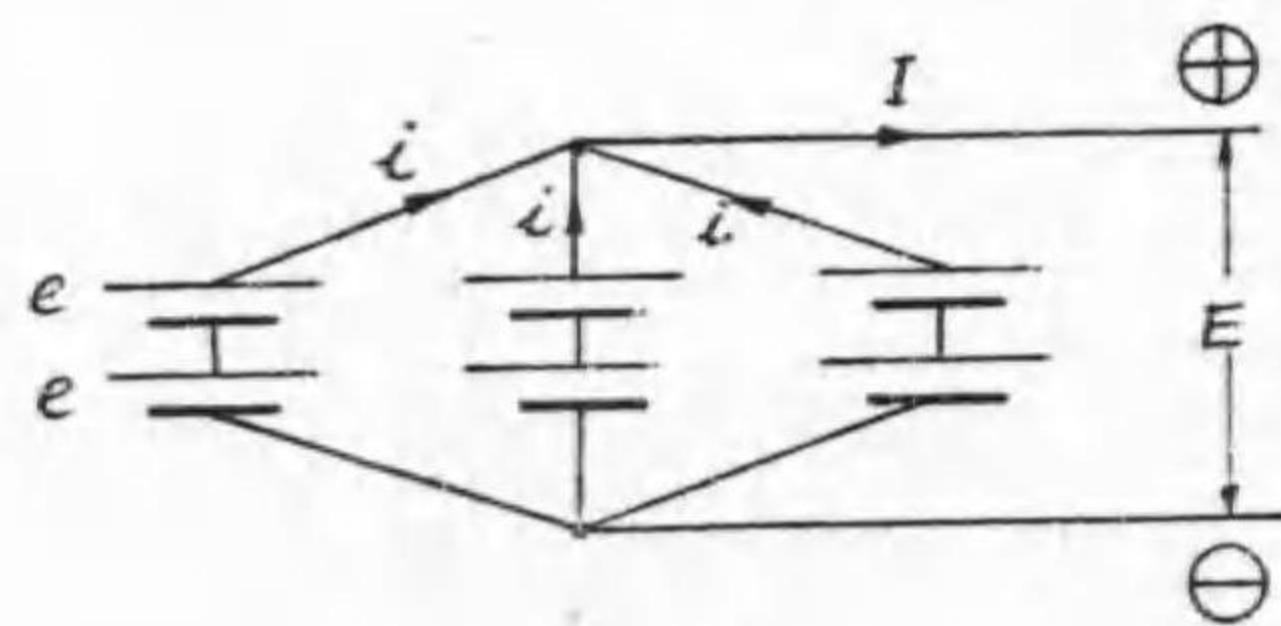
圖の如く接続する方法で、全電圧 E は各電池の起電力 e に等しい。尙端子間に負荷を接続せる場合、

各電池の電流を i とすれば、全電流 I は電池の数が n 個ならば $I = ni$ となる。



第42圖

(c) 直並列接続 第43圖の如く上記二つの方法を混用するもので、直列に結ばれて居る電池の数を n 個とし、その直列に結ば



第43圖

れた電池の組の數即ち並列の數を m とすれば、全電圧 E は

$$E = ne$$

負荷を接続せる時の全電流 I は

$$I = mi$$

である。

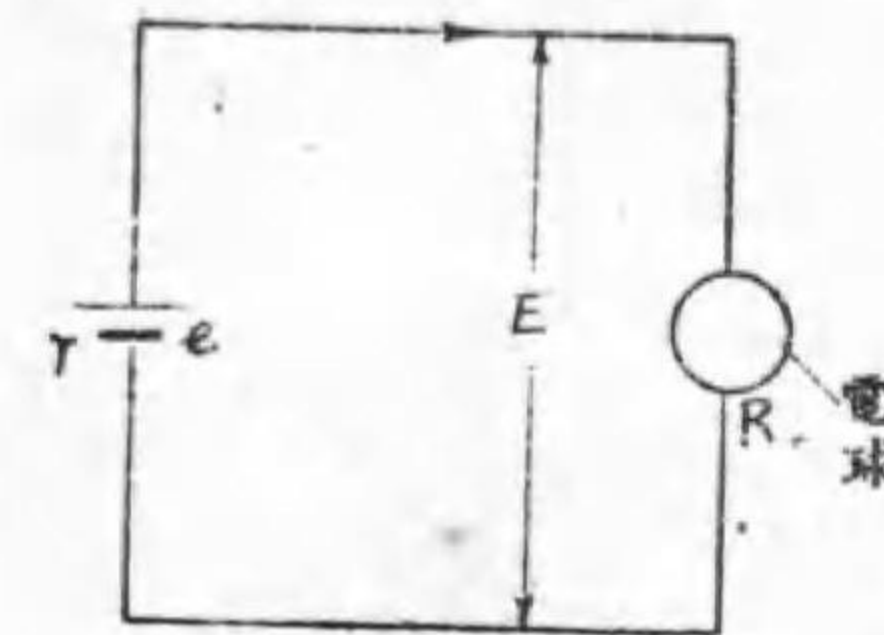
上記より明かな様に、高い電圧を得るには多數の電池を直列に接続し、強い電流を得るには並列に結ぶ。電圧高く電流も相當強くす

る必要あるときは多數の電流を直並列に結ぶ。

50. 電源の内部抵抗と起電力

今第44圖の如く起電力 e ヴォルトの電池に抵抗 R オームの電球を接続し I アンペアが流れた場合、電球に要する電圧 E ヴォルトは

$E = IR$ であるが、此の回路に必要な電圧はこれのみでなく電池内にも同様に I アンペアの電流が還流するのであるから、その内部抵抗 r により Ir ヴォルトの電圧が必要となる。故に回路全體に必要な電圧は $(E + Ir)$ ヴォルト、で之だけが電池で起され



第44圖

てゐるので電流が I だけ流れ得るのである。即ち起電力 e ヴォルトは

$$e = E + Ir$$

然るに Ir の電圧は電池内で消費される故に電池より外に引出されて利用される電圧は起電力 e より Ir を差引いた残りの電圧 E ヴォルトである。即ち

$$E = e - Ir$$

この E は電池の端子に出づる電圧で之を電池の端子電圧 (terminal voltage) と云ふ。一般に電流の端子電圧はその起電力から内部抵抗による消費電圧を引去つたものである。

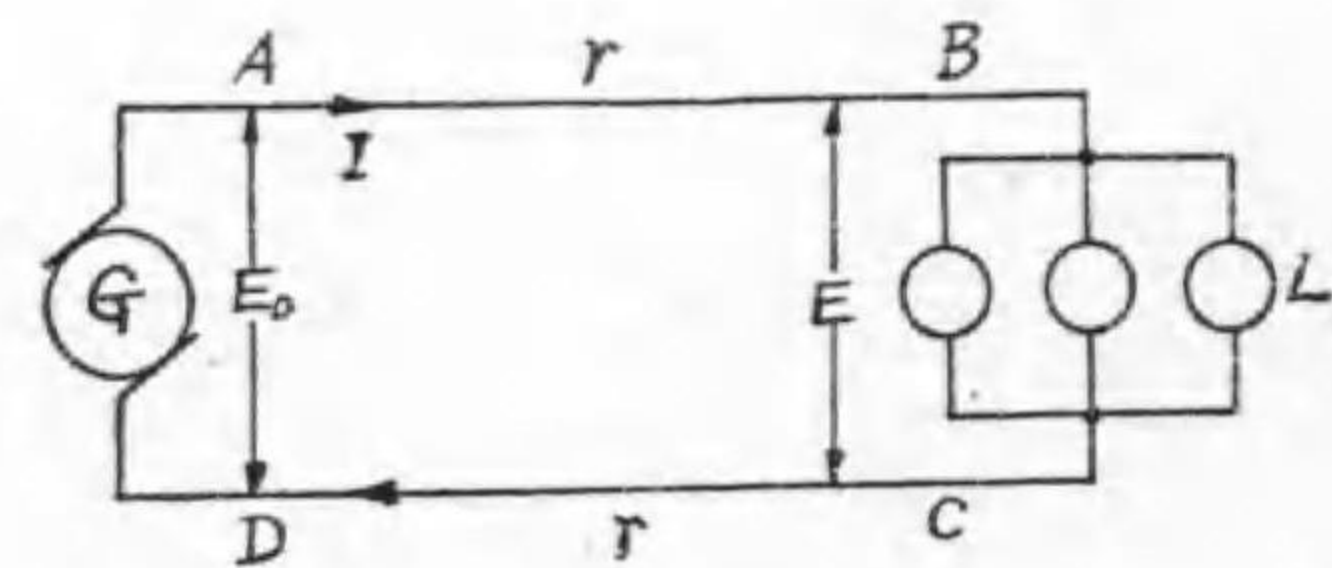
例題

- (11) 0.2 オームの内部抵抗を有する電池より 2 アンペアの電流を取出せば端子電圧 1.6 ヴォルトになる。起電力は何ヴォルトか。
- (12) 0.3 オームの内部抵抗を有する発電機の起電力が 110 ヴォルトなれば電流を 30 アンペア流すとき端子電圧は幾ヴォルトになるか。
- (13) 電池に 2 アンペア流したとき端子電圧 1.4 ヴォルト又 3 アンペア流したとき端子電圧は 1.1 ヴォルトとなる。この電池の起電力及び内部抵抗は何程か。

51. 電線路と電圧降下

電源と負荷とを結ぶ電線及其の附屬物をも含めて電線路 (electric line) と云ふ。電線路はその電線の有する抵抗の爲、之に電流が流れる時はオームの法則により電圧が消費される。

今第45圖の如く発電機 G にて E_0 ヴォルトの電圧を出し、電線 AB, CD にて負荷 L に I アンペアの電流を送つて居るとき



第45圖

AB, CD の抵抗が夫々 r オームであればオームの法則により Ir ヴォルトだけが各線で消費される。故に負荷端子の電圧 E ヴォルトは

$$E = E_0 - 2Ir$$

となる。

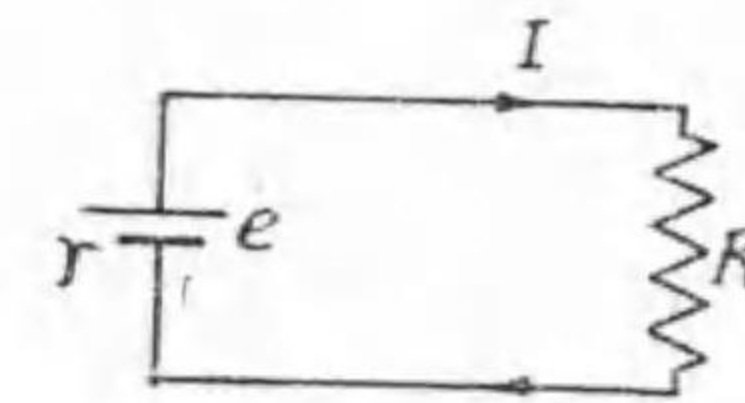
例題

- (14) 抵抗 0.1 オームの電線二條にて 50 アンペアの電流を負荷に供給するに負荷端子の電圧を 100 ヴォルトとするには送電端の電圧は何ヴォルトを必要とするか。
- (15) 二線式配電線にて送電端より電線 1 條の抵抗 0.1 オームの點に 15 アンペアの負荷がある。この點より 0.08 オームの點に更に電流 25 アンペアの負荷がある。送電端の電圧 110 ヴォルトなれば第一及第二の負荷端子に於ける電圧は何ヴォルトなるか。

52. キルヒホッフの法則

今迄は環状回路をなす電路の各部分を別々に考へたのであるが、之等を一括して環状回路全體としてオームの法則を適用することが出来る。例へば第46圖の如く起電力 e ヴォルト、内部抵抗 r オームの電池に外部抵抗 R オームを接続した環状回路に就て考ふれば、此の回路の全抵抗は r と R が直列に結ばれてゐる場合であるから $(r + R)$ オームとなる。従つて此の回路の電流 I はオームの法則により

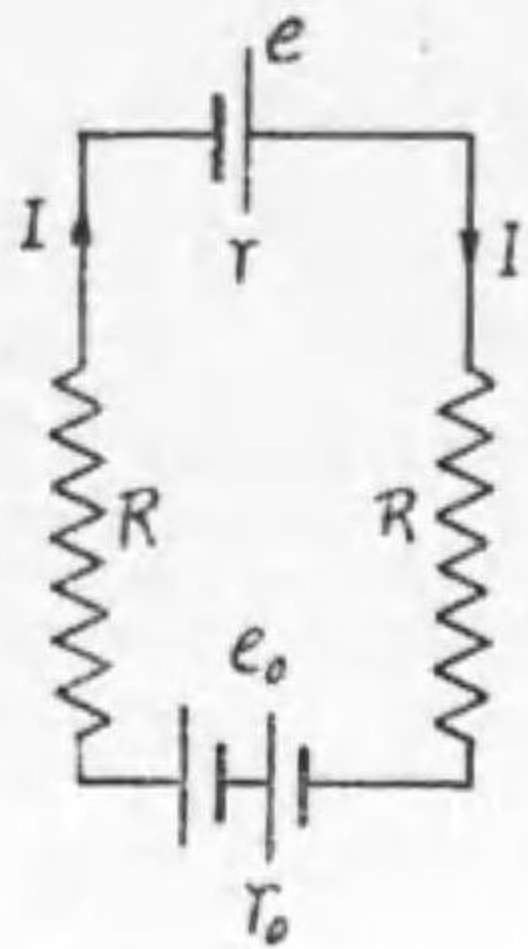
$$I = \frac{e}{r + R}$$



第46圖

上式を書き換へれば $e = Ir + IR$ となり、 Ir は電池の内部電圧降下であり、 IR は電池の端子電圧で抵抗 R に加はる電圧である。

又第47圖の様に抵抗 R オームのみならず電池 e_0 ヴォルトのものが結ばれて環状回路をなすときは、回路の起電力は $e_0 + e$ 、全抵抗は



第 47 圖

$2R + r_0 + r$ オームとなりオームの法則により電流 I は

$$I = \frac{e_0 + e}{2R + r_0 + r} \text{ アンペア}$$

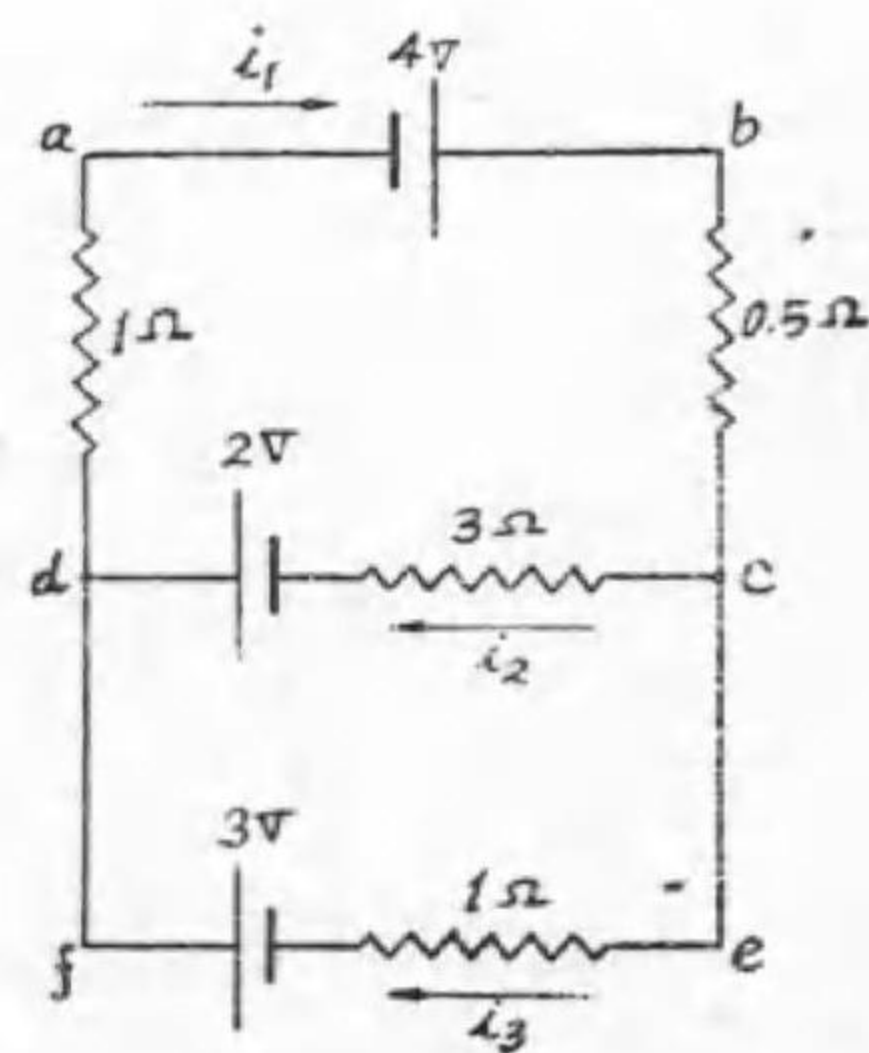
となる。この様な簡単な環状回路の計算はオームの法則を直接用ふれば出来るが、第48圖の如き複雑な網状回路 (net work) になれば各部の電流は直ちにオームの法則では計算さ

れない。

かゝる場合電流を求めるには先づ各部の電流の大きさと方向とを假定する。例へば第48圖で $dabc$ の電流を i_1 とし矢の方向に流れるものとす。同様に ed の電流を i_2 , $cefd$ の電流を i_3 と假定する。

次に勢力不滅の法則から一點に流入する電流はこの點から流出する電流に等しとして各電流の交點にて方程式を作る。之をキルヒホッフの第一法則といふ

例へば第48圖に於て C 點にては i_1, i_2, i_3 の三つの電流が相會するが、初め假定した電流の方向により i_1 は流入する電流で i_2, i_3 は流出する電流である。故に次の方程式を得る。



第 48 圖

$$i_1 = i_2 + i_3$$

この式は次の如く移項される。

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0 \dots\dots\dots (1)$$

之れより流入電流を (+) とし流出電流は之と反對の方向であるから (-) とし加へれば其の總和は零である。このことから第一法則は次の如く述べられる。

第一法則 網状回路の一分岐點に於ける電流の代數和は零である

次に網状回路の一つの網目即第48圖にては $abcd$ をとつて、これだけに就いてオームの法則を適用して方程式を作る。この回路では起電力 $4V$ と $2V$ とが含まれて居るが、方向同一であるから全起電力は $(4+2)V$ となる。此の回路内の電壓降下は夫々 $(1 \times i_1)$, $(0.5 \times i_1)$ 及 $(3 \times i_2)$ でオームの法則から次の方程式が得られる。

$$(4+2) = (1 \times i_1) + (0.5 \times i_1) + (3 \times i_2) \dots\dots\dots (2)$$

此の場合に i_1 と i_2 との方向が反對であれば i_2 による電壓降下は反對方向となるから符號を (-) とせばならぬ。起電力も反對方向のものは (-) 符號とする。例へば他の網目 $cefd$ については起電力 $2V$ と $3V$ とは反對であるから、 $3V$ を (+) とすれば $2V$ は (-) となり全起電力は $(3-2)V$ となる。電壓降下の内 $(1 \times i_3)$ と $(3 \times i_2)$ とは反對方向の電流であるから $(1 \times i_3)$ を (+) とし $(3 \times i_2)$ を (-) としして次の方程式を得る。

$$(3-2) = (1 \times i_3) - (3 \times i_2) \dots\dots\dots (3)$$

以上の如く一つの網目をとつてオームの法則により方程式を作る

とき各項の符號を誤らざる様にする爲キルヒホッフは第二法則として次の如く述べた。

第二法則 網状回路の一つの網目内に働く起動力の代數和は各部の抵抗と之に流れる電流との積の代數和に等しい。

此の代數和といふのは方向によつて符號を正しく附して加へることで、符號を正しく附ける爲には一つの網目内の一點を基點として右廻りに各部を點檢し、右廻りの方向の起電力を(+)としその反對方向のものを(-)とし、抵抗と電流との積の内電流が右廻りと假定してある部分は(+)とし、反對方向は(-)とする。

以上の如くにして第48圖の場合には、假定した三つの未知電流に對して上記の如く

$$i_1 - i_2 - i_3 = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$(4+2) = (1 \times i_1) + (0.5 \times i_1) + (3 \times i_2) \dots\dots\dots(2)$$

$$(3-2) = (1 \times i_3) - (3 \times i_2) \dots\dots\dots(3)$$

なる三方程式を得たから、此の聯立方程式より i_1, i_2, i_3 を計算することが出来る。即(2)式を簡單にして、

$$0.5i_1 + i_2 = 2$$

$$\therefore i_1 = \frac{2-i_2}{0.5} \dots\dots\dots(4)$$

(3) 式より、 $i_3 - 3i_2 = 1$

$$\therefore i_3 = 1 + 3i_2 \dots\dots\dots(5)$$

(1)式へ(4)、(5)式を代入すれば

$$(2-i_2)/0.5 - i_2 - (1+3i_2) = 0$$

$$\therefore i_2 = 0.5 \dots\dots\dots(6)$$

之を(4)式に代入し

$$i_1 = \frac{2-0.5}{0.5}$$

$$\therefore i_1 = 3$$

(6)式を(5)式に代入し

$$i_3 = 1 + 3 \times 0.5$$

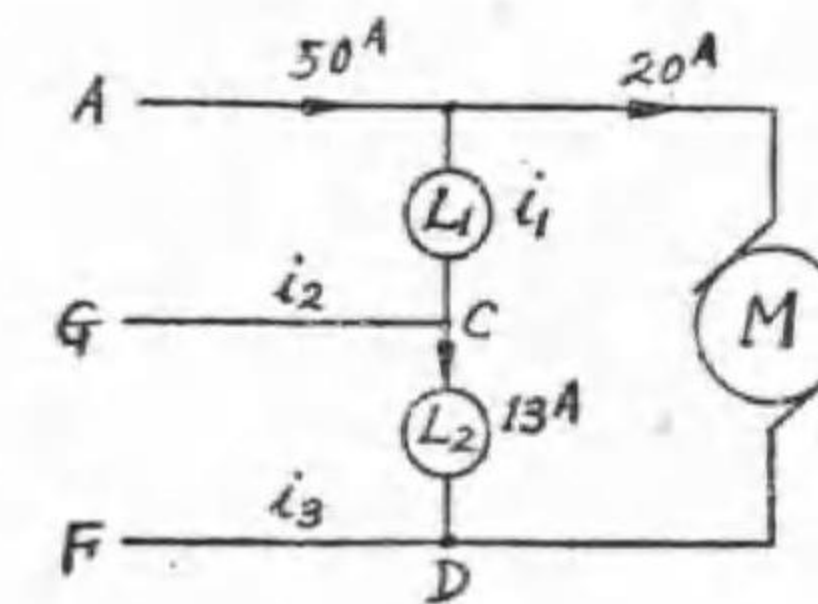
$$\therefore i_3 = 3.5$$

かくして若し電流に(-)符號の答が出たときは、その部分の電流の方向が假定した方向と反對であることを表はす。

例題

(16) 圖の場合に於て i_1, i_2, i_3 の大きさと方向を求む。

(17) 起電力2.3ヴォルト、内部抵抗0.2オームの甲電池と起電力1.2ヴォルト、内部抵抗0.3オームの乙電池とを並列して接



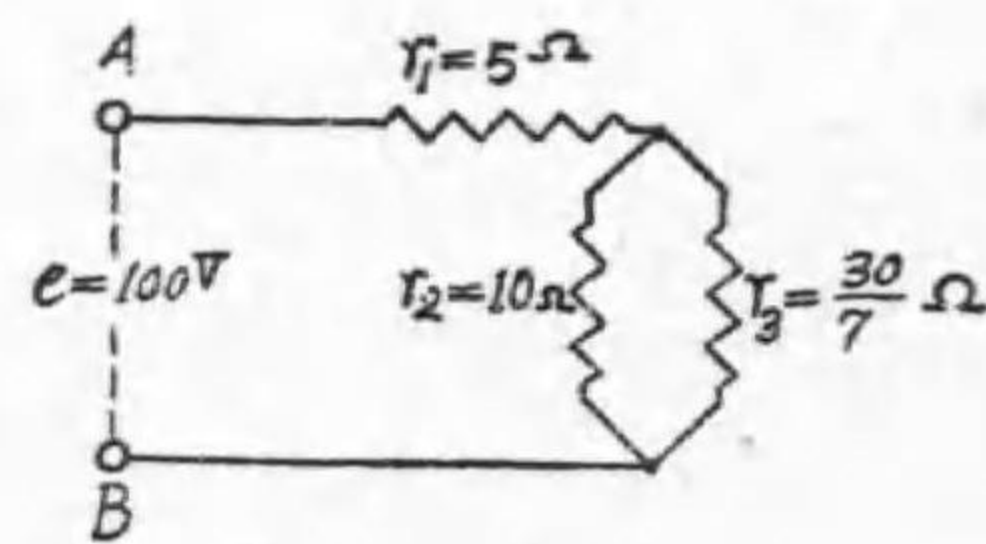
續し之に0.5オームの負荷抵抗を接続する時各部の電流の大きさと方向を求めよ。

問題

- (1) 抵抗Rオームのもの10個あり。之を全部直列して接続したときの全抵抗と全部並列して接続したときの全抵抗との比を求む。
- (2) 抵抗16オームと24オームとを並列して結び、13.5オームを直列に接続すれば全抵抗は何程か。

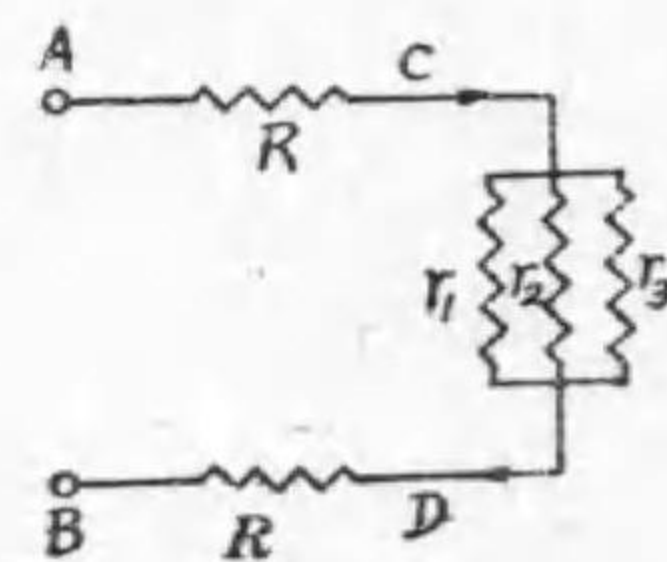
- (3) 抵抗夫々8オームと4オームのものを並列に結び尙之に何程の抵抗を並列に結べば全抵抗が2オームとなるか。
- (4) 120Aを送るに線路中の電圧降下を2.4Vとせんとすれば何オームの電線を用ひるべきか。
- (5) 起電力110Vの発電機が250Aを送り出して端子電圧105Vとなつた。内部抵抗如何。
- (6) 内部抵抗0.024オームの発電機が500Vの端子電圧にて300Aを出す時の起電力如何。
- (7) 1mの抵抗1.5オームの白金線のA線は4m, B線は2mあり。之を並列に結んで起電力24ヴォルト内部抵抗2オームの電池に接続すればA及B線に通る電流如何。
- (8) 3Aの電流が抵抗25オームと125オームとを並列に結んだ回路に分流する時各部の電流は幾アンペアづつか。(6.8上田蠶)
- (9) 3, 5, 6オームの抵抗を有する三本の電線を並列に結ぶ時の全抵抗は幾オームか。(大正八 海軍機經兵)

- (10) 圖の如き電路に於てA B間の電圧 $e = 100$ ヴォルト $r_1 = 5$ オーム, $r_2 = 10$ オーム, $r_3 = \frac{30}{7}$ オームなりとすれば



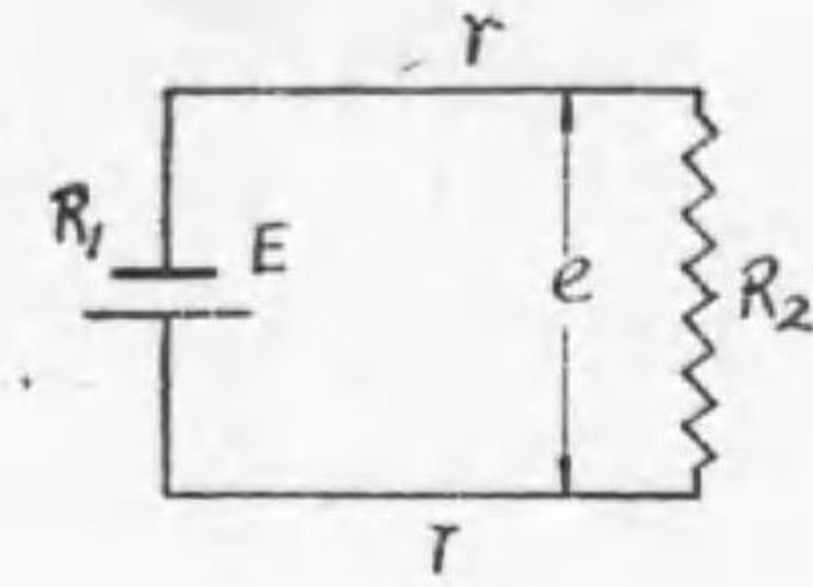
は r_2 の抵抗を通る電流如何。(大正元. 遞檢五級)

- (11) 圖に示す如き電路に於て A B間の電圧 = 104V, 抵抗 $r_1 = 200\Omega$, $r_2 = r_3 = 400\Omega$, $R = 2\Omega$ なりとすれば, CD間の電圧幾ヴォルトなるか。

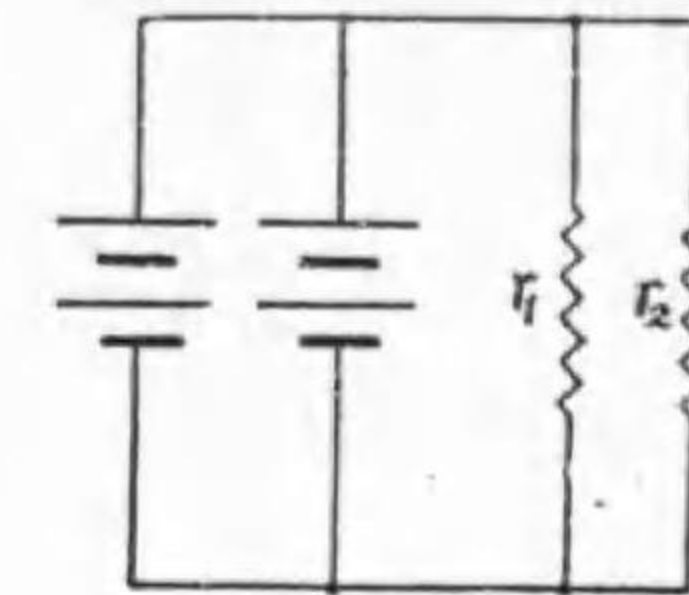


(大正四, 遞試五級)

- (12) 圖の如き回路あり。電池の起電力E, 内部抵抗 R_1 , 負荷抵抗 R_2 , 接続線の總抵抗 $2r$ なる場合 R_2 の端子電圧 e の値を求めよ。(大正三, 遞試五級)



- (13) 下圖の如く電池4個を2個宛直列に結びたるもの二組を並列にし之と r_1 及 r_2 なる抵抗を直列に接続せる電路あり。各電池の起電力2V内部抵抗 0.25Ω にして $r_1 = 1\Omega$, $r_2 = 3\Omega$ なるとき r_1 及 r_2 を流るゝ電流各幾アンペアなるか。(大正六, 遞試五級)

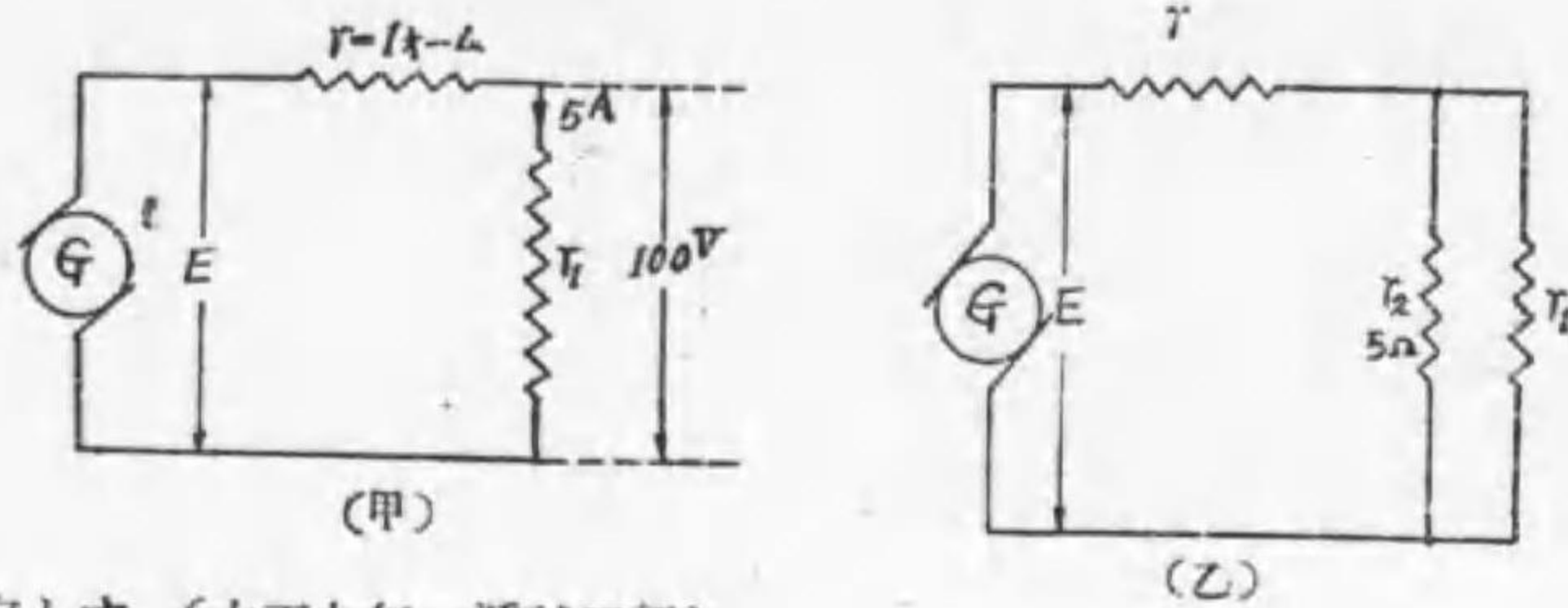


- (14) 50燭光の白熱電燈34個を並列に結び之に點するに直列に結んだ57個の蓄電池を以てす。電燈の全抵抗 6Ω , 各電池の内部抵抗 0.005Ω にして電池を流れる電流の強さは18.7Aなり。

- (a) 各電池の起電力
- (b) 各電燈の抵抗
- (c) 各電燈の電流の強さ (大正九東京高工)

- (15) 抵抗の増加を測定して線輪の溫度上昇を決定する場合に於て當初の抵抗 0.125Ω , 加熱後の抵抗 0.146Ω , なりとせば溫度上昇幾何なるか。但し線輪導體の抵抗溫度係数は攝氏 1° に就き 0.001 とす。(大正八年遞試五級)

- (16) 甲圖の如く抵抗 r 及 r_1 を直列に接続したる場合には r_1 の兩端間の電圧100Vにして r_1 を流れる電流5Aなりといふ。今乙圖の如く $r_2 = 5\Omega$ の抵抗を r_1 に並列に接続するときは r_2 を流れる電流幾アンペアとなるか。但し r は1オームにして發電子端子電圧E



は一定とす。(大正九年、選試五級)

第六章 電力及び電力量

53. 電力量及び其單位

電氣の量は電氣の流れ即ち電流と流れた時間との積で表はされるが、この電流によつてなされた仕事の量は之を**電力量**と稱する。電力量は電氣量と電壓との積であつてその實用單位として次の三つの單位を使用する。

(1) **ジュール(Joule)** 1クーロムの電氣量が1ヴォルトの電壓のある二點間を流れる間にする仕事の量である。

(2) **ワット時(Watthour)** 1アンペア時の電氣量が1ヴォルトの電壓のある二點間を流れる間にする仕事の量である。1アンペア時は3600クーロムであるから

$$1 \text{ワット時} = 3600 \text{ジュール}$$

(3) **キロワット時(Kilo-watt hour)** 1000ワット時をいふので大電力量は多くこの單位を用ふる。

以上の如く電力量は電氣量と電壓との積で、電氣量は電流と時間との積で表はされるので

$$\text{電力量} = \text{電壓} \times \text{電氣量} = \text{電壓} \times \text{電流} \times \text{時間}$$

従つて單位に就て表はせば

$$\text{ジュール} = \text{ヴォルト} \times \text{クーロム} = \text{ヴォルト} \times \text{アンペア} \times \text{秒}$$

$$\text{ワット時} = \text{ヴォルト} \times \text{アンペア時} = \text{ヴォルト} \times \text{アンペア} \times \text{時}$$

$$\begin{aligned} \text{キロワット時} &= \frac{\text{ヴォルト} \times \text{アンペア時}}{1000} \\ &= \frac{\text{ヴォルト} \times \text{アンペア} \times \text{時}}{1000} \dots\dots(1) \end{aligned}$$

54. 電力及其の單位

電流が仕事をなし得る能力を**電力**(electricpower)と云ひ單位時間になしたる仕事の量を以て表す。即ち1秒間に1ジュールの仕事を行はし得るものを單位とし、之を**ワット(watt)**と云ふ。

$$1 \text{ワット} = \text{毎秒の仕事の量が1ジュール}$$

キロワット(Kilo-watt)は1000ワットで、大電力は多くこの單位を用ふる。

今Eヴォルトの電壓でIアンペアの電流がt秒間流れたときになされる仕事の量、即ち電力量Wジュールは

$$W = E \times I \times t (\text{ジュール})$$

従つて毎秒した仕事の割合はw/tジュールとなるから電力Pワットは

$$p = \frac{w}{t} \text{ワット}$$

之れより、電力は電圧と電流との積で表はされてゐることを知る
即ち

$$\left. \begin{aligned} \text{電力} &= \frac{\text{電力量}}{\text{時間}} = \text{電圧} \times \text{電流} \\ \text{ワット} &= \text{ヴォルト} \times \text{アンペア} \\ \text{キロワット} &= \frac{\text{ヴォルト} \times \text{アンペア}}{1000} \end{aligned} \right\} \dots\dots (2)$$

電気機械器具の能力は通常その電力の大きさにて表はす。例へば10
キロワットの発電機だとか、50ワットの電球だとかいふ。

この様にして表はされた機械器具を使用すれば1秒間にそれが示
す電力の仕事をするのだから、之を或る時間使用すればこのときの
電力量は電力と使用した時間との積に等しい。即ち

$$\begin{aligned} \text{電力量} &= \text{電力} \times \text{時間} \\ \text{ジュール} &= \text{ワット} \times \text{秒} \\ \text{ワット時} &= \text{ワット} \times \text{時} \\ \text{キロワット時} &= \text{キロワット} \times \text{時} \end{aligned}$$

電力を測る計器が電力計で、電力量を測る計器を積算電力計とい
ひ各秒の電力を加算して表はす装置である。今日電燈、電力の需要
家に備へてゐる計器（之を普通メートルと稱す）は之の積算電力計
である。

例題

(1) 或る蓄電池に3アンペアの一定電流で8時間充電するときその間の平

均電圧6.5ヴォルトであれば充電せられた電力量は幾ワット時か。

- (2) 100ヴォルトにて15アンペアの電流が通る電熱器を5時間使用した時消
費した電力量幾キロワット時か。又この電熱器の電力は幾キロワット
か。
- (3) 雷は普通のもはその電圧1億ヴォルト、電流は1萬アンペアである
といふ。今10萬分の1秒間続いたこの様な雷の有する電力量は幾キロ
ワット時か。
- (4) 50ワットの白熱電球には100ヴォルトにて何程の電流が通るか。
- (5) 100ヴォルトにて20アンペアの電流が通る様な電熱器は幾キロワット
か。又之を15分間使用すれば消費電力量何程か。

55. 電流の熱作用

電線に電流が流るれば熱を發する。之は電線の抵抗により電流を
妨げんとする力が熱に變化するので、此の作用を適當に利用したも
のが電熱器(Heater)、白熱電燈等である、此等のみならず電線路や
電気機械内の電線等少でも抵抗のある部分には多少熱を發生するが
之等の部分に發生した熱は電力の一部が變化したものでその表面か
ら空中に向つて發散し電力の損失となる。今抵抗Rオームの両端に
Eヴォルトの電圧を供給してIアンペアの電流が流れたものとすれ
ば、この抵抗に供給された電力 p ワットは

$$p = EI = \frac{E^2}{R} = I^2 R$$

である。之は全く抵抗によつて消費された電力で、凡て熱となり空
中に放散される。

- (1) 抵抗により消費される電力は電圧の二乗に比例し、抵抗に反比例す。
- (2) 抵抗により消費される電力は電流の二乗と抵抗との積に比例する。

56. ジュールの法則

前節の抵抗により t 秒間に消費される電力量 W ジュールは

$$W = \frac{E^2}{R} t = I^2 R t$$

で、この電力量は凡て熱となりその電線の温度は昇り、熱は空中に放散する。熱量の単位は普通**カロリー**(Calorie)で表はされ

$$1 \text{ カロリー} = 4.2 \text{ ジュール}$$

なる関係がある。之を熱の**仕事當量**(Heat equivalent)と云ふ。従つて抵抗 R オームにて發生する熱量 H カロリーは

$$H = \frac{1}{4.2} I^2 R t = 0.24 I^2 R t$$

即ち抵抗によつて發生する熱量は電流の二乗と抵抗と時間との相乗積に比例する。之を**ジュールの法則**と云ふ。又この抵抗により發生する熱を**ジュール熱**とも云ふ。

参考

- (1) 熱量の単位カロリーは蒸溜水 1 瓦を攝氏 1 度だけ温度を昇すに要する熱量である。
- (2) カロリーは熱量の単位として小さすぎるので 1 瓦の水を攝氏一度だけ温度を昇すに要する熱量を単位とし、之を**瓦カロリー**と稱する。従つ

て 1000 カロリーが 1 瓦カロリーである。

- (3) 英國では一付度 (453.6) 瓦の水の温度を華氏一度だけ昇すに要する熱量を単位とし、之を B.T.U. (British thermal unit) と稱する。カロリーとの関係は

$$1 \text{ カロリー} = 0.004 \text{ B.T.U.} = 4.2 \text{ ジュール}$$

$$1 \text{ B.T.U.} = 250 \text{ カロリー} = 1054 \text{ ジュール}$$

例題

- (6) 抵抗 250 オームの白熱電球に 0.4 アンペアの電流が通れば消費せらるゝ電力何ワットか。
- (7) 20 オームの抵抗を有するヒーターに 100 ヴォルトを供給すれば消費電力何ワットか。
- (8) 100 ヴォルト、60 ワットのアイロンを 14 分使用すればこの間に發生した熱量何カロリーか。
- (9) 20 キロの電熱器は毎秒幾カロリーの熱を發生するか。

57. 電線路の電力損失

既に述べた様に、電源より抵抗 r オームを有する電線路で、負荷に E ヴォルトの電圧で I アンペアの電流を供給して居る時の電源の端子の電圧 E_0 は

$$E_0 = E + I r$$

である。従つて電源から送り出す電力 P_0 は

$$P_0 = E I + I^2 r$$

となり、負荷に必要な電力 $E I$ ワットの他に $I^2 r$ ワットの電力を餘分に電源から供給しなければならぬ。この $I^2 r$ が電線路の抵抗によつて消

費される電力であつて、之を電線路の電力損失と云ふ。従つて出来るだけ電力損失を少くして電力を送る爲には電線の抵抗 r を出来るだけ小さくせねばならぬ。

例題

- (10) 電線路の抵抗0.5オームにて12アムペアの電流を送るときの電線路内の電力損失如何。
- (11) 5.5キロワット、220ボルトの電熱器に0.6オームの抵抗を有する電線にて電力を供給すれば其電線路内の電力損失幾ワットか。

問題

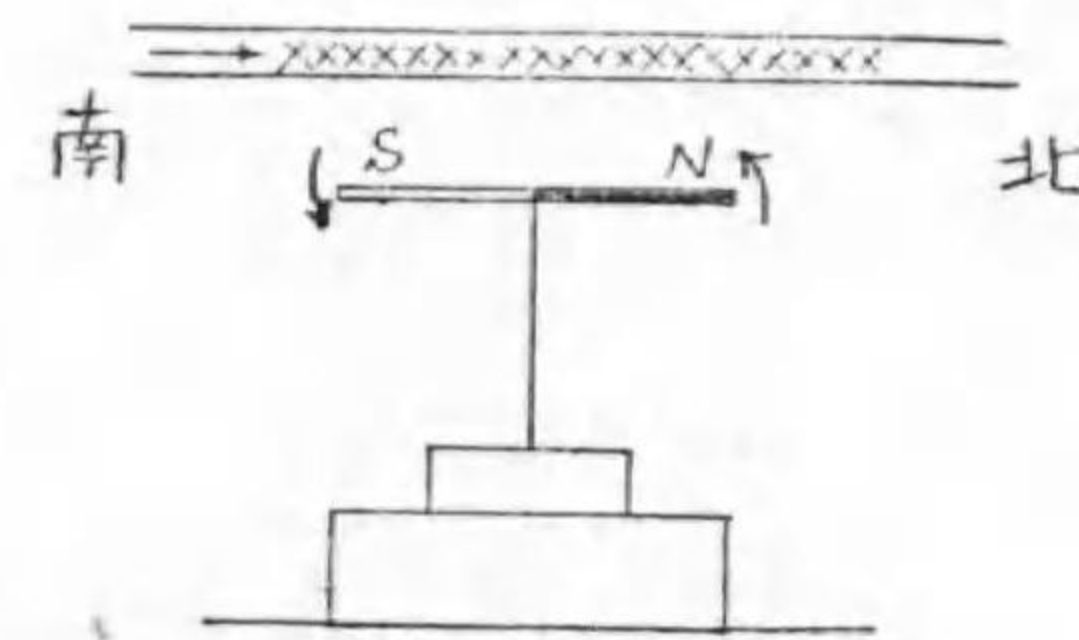
- (1) 50燭光の白熱電燈に100ボルトの電圧を供給し、0.5アムペアの電流が通じた。この電燈を9時間100ボルトの供給電圧にて點火するに要する電力量幾ワット時か。又幾ジュールか。
- (2) 200ボルト、3キロワットの電熱器に流れる電流如何。
- (3) 100ワットの電燈2個、50ワットの電燈3個、200ワットの電燈5個を點火する家庭にて毎日平均3時間點火するものとすれば1ヶ月(30日)間の消費電力量如何。
- (4) 電圧50Vにて點火し光度100燭光の電球あり、この電球1燭光につき電力1.25wを要するものとすればこの電球に通る電流の強さ及電氣抵抗各如何。又電球に供給する電力が悉く熱に變ずるものとすれば、10時間に發生する熱量如何。(大正八、一高工)
- (5) 5Ω の抵抗ある電線に2Aを通するとき、この電線中に毎秒發生する熱量は4.8カロリーなりとす。然るときは 8Ω の抵抗ある電線中に3.5Aの電流を通するとき毎秒發生する熱量幾カロリーなるか。(大正八、海軍兵)

- (6) 1kwの電氣ストーブを毎日10時間使用するものとすれば、1ヶ月(30日)間の電力料金は何程か。但し電力料金は1K.W.Hにつき6錢なりとす。
- (7) 縦100cm、横30cmの浴槽に60cmの深さに温度 20°C の水を入れ、之を電熱を以て1時間に 45°C の湯になさんとす。幾何の電力量を要するか。
- (8) 或る送電線の受電壓Eボルト、送電々力Pワットのとき送電線中の損失はPのq%なり。同じ送電線にて同じ電力Pワットを2Eボルトの電圧にて送れば送電線中の損失はPの何%となるか。

第七章 電磁作用

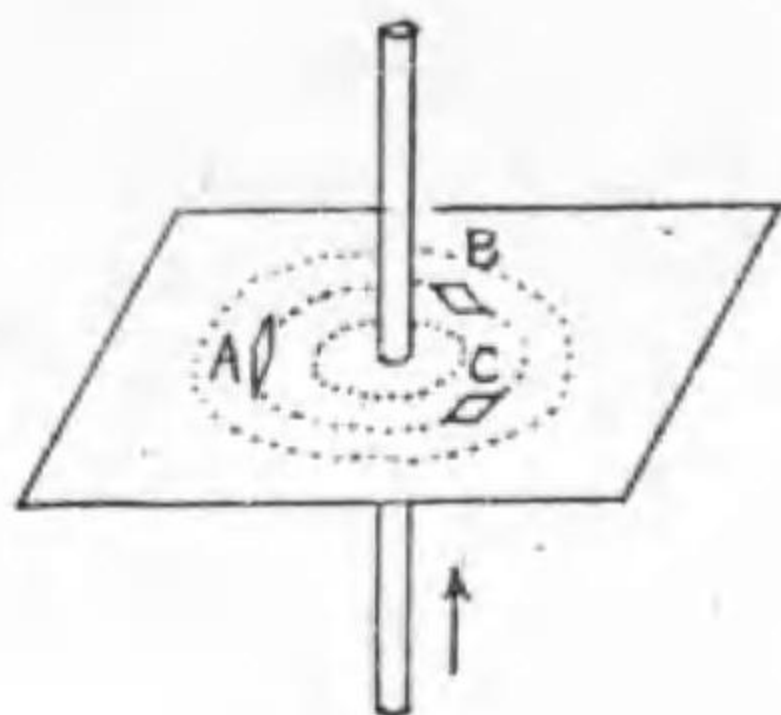
58. 直線電流の作る磁界

第49圖の如く磁針の上に南北に向ふ直線の電線をおきこの電線に矢の方向に電流を通せば磁針は矢の方向に傾く。即ちN極は西に、S極は東に偏る。電流を止めれば針は元の如く南北を指す。電流の方向を前と反對にすれば磁針も亦反對に偏る。之により電流はその附近に磁氣作用を現はすことが判る。即ち電流はその附近に磁界を作る。この様な作用を電磁作用と云ふ。



第49圖

第50圖の如く紙の中央に直線電線を通し之に電流を流し紙の上に鐵粉を撒布して少しく振動すれば、鐵粉は圖の如く電線を中心とする同心圓狀に配列する。又小さな磁石をA. B. C. の如くおけば各々圖の如く同心圓の切線方向を向く。



第50圖

直線電流の周圍の磁界は上記の如く之を取捲く同心圓狀となり、その方向は電流の方向によつて定まる。電流の方向と磁界の方向とを簡単に見出すにはマックスウエルの右ネチの法則が便利である。

即ち

右ネチの進む方向を電流の方向とすればネチを廻す方向が磁界の方向である。

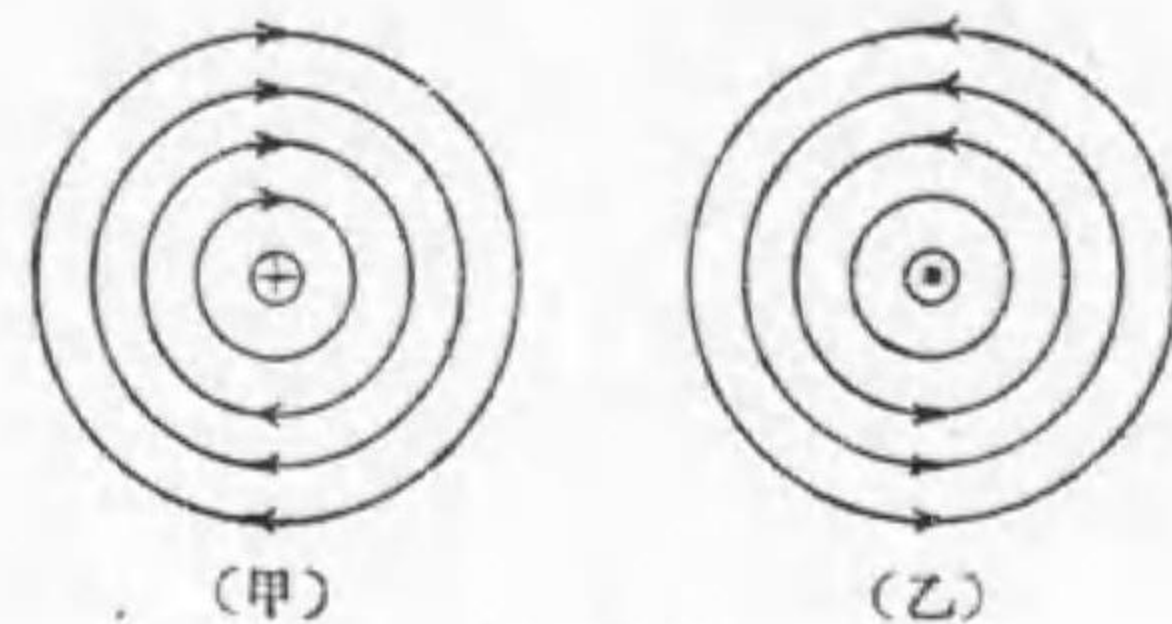
電流の方向や起電力の方向は電線の断面を現はす小圓を描いてその中心に+ (クロス) の符號をつけて紙の表面から裏面に向ふ方向とし、・ (ドット) をつけて之と反對の方向とする。

第51圖はこの方法で電流の方向及磁界の方向を現はしたもので、之によれば右ネチの法則が明かに認識出来る。

即ち同心圓の矢の方向に右ネチを廻せばネチの進む方向が電流の

之等の實驗により電流の周圍には常に磁界が出来ることを知る。この電流によつて生ずる磁界は磁石によつて生ずる磁界と全く同様のもので、その方向及強さは單位正極に働く力の方向及強さにて表はされる。

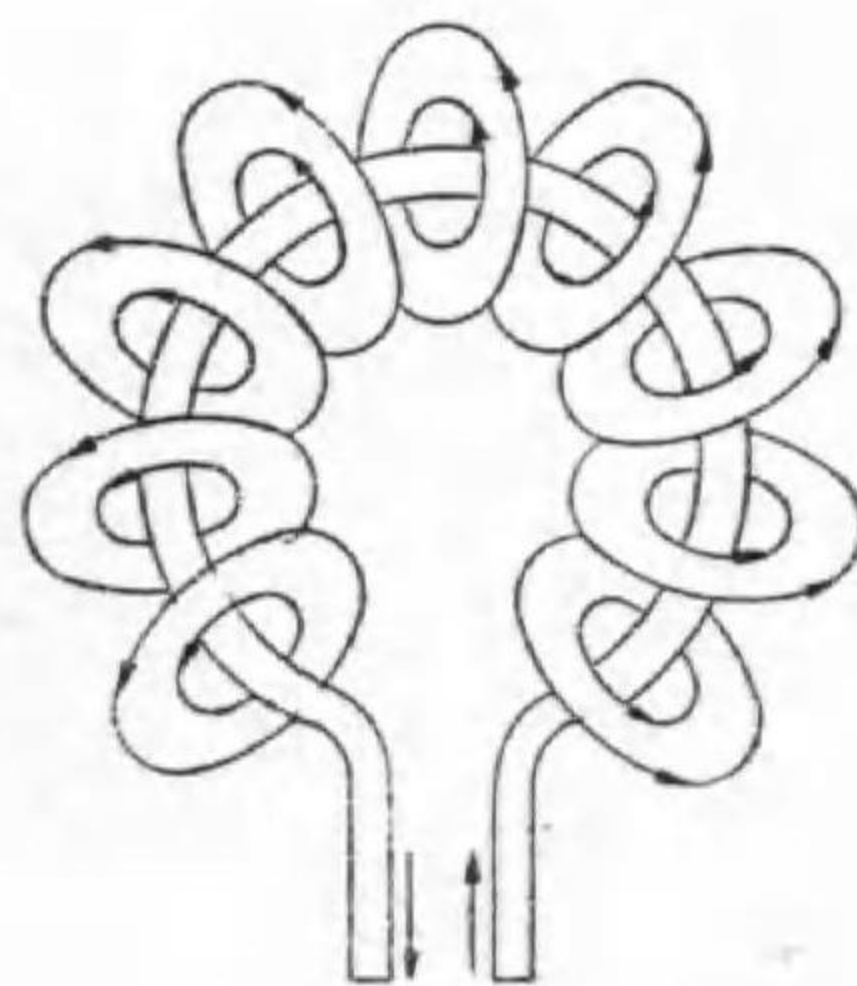
方向である。故に電流が紙の表より裏の方向に流れるときは、第51圖(甲)の如くその周圍に磁界が出来る。而して直線電流によつて出来る磁界内の一點の磁界の強さは、その電流に比例し、その點から導線までの距離に逆比例する。



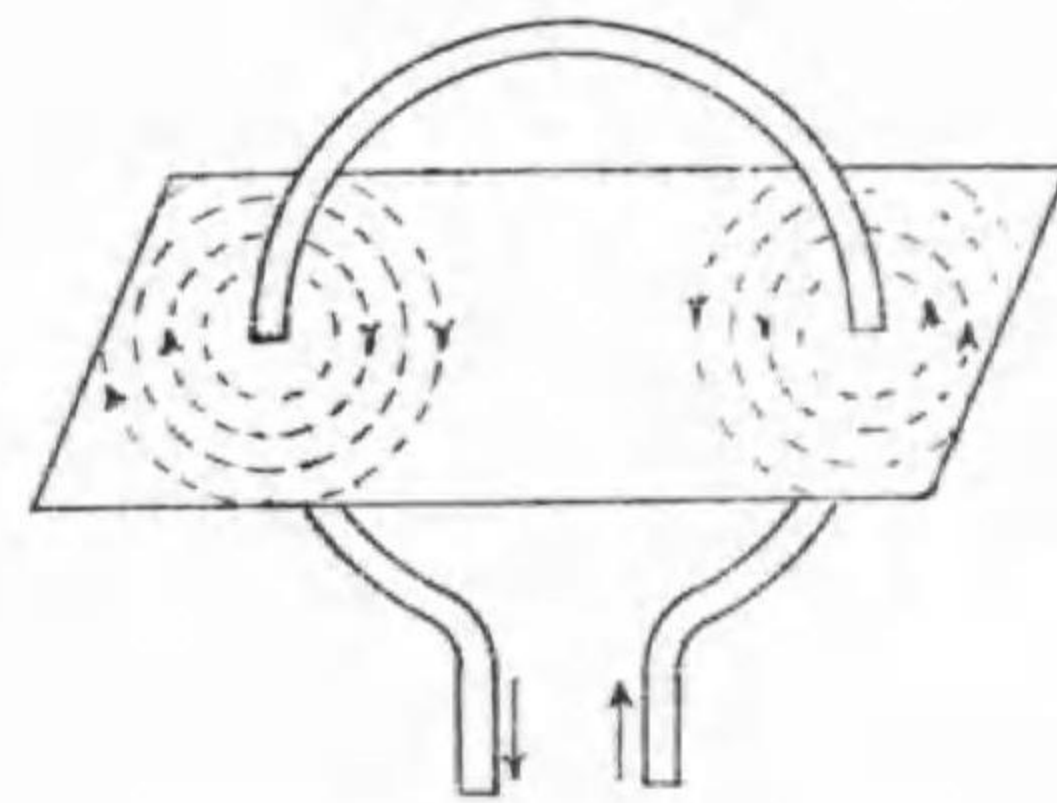
第51圖

59. 線輪の作る磁界

電線を環狀に捲いた線輪 (coil) に電流を通せば第52圖の如き磁界を作る。即ち線輪の中側は總て同じ方向の磁界となり外側は總て之と反對の方向の磁界となる。その状態を實驗して見るには第53圖の

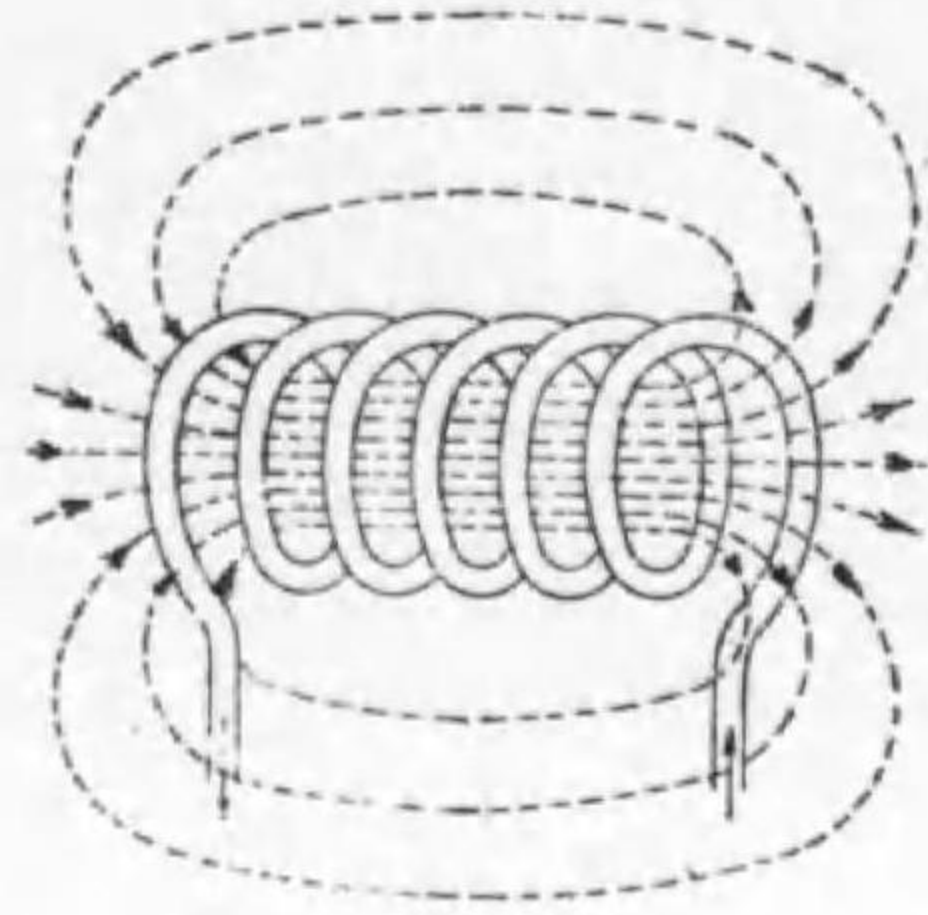


第52圖



第53圖

如く線輪を紙に通し之に電流を通じて紙の上に鐵粉を撒布すれば圖の如く鐵粉が配列して磁界の状態を示す。



第54圖

線輪を幾回も巻けば各回の作用が相加はり磁界が強くなる。第54圖の如く筒形に幾回も巻いたものを筒線輪 (solenoid) といふ。この様なときには各回の作用が相加はり一つの棒磁石の様な作用をする。この様な線輪の作る磁界の

方向は線輪の一部にマックスウェルの右ネジの法則を適用して容易に知ることが出来る。又線輪の内側の磁界の方向をネジの進む方向とすればネジを廻す方向が、電流の方向であると云ふてもよい。而して圓電流の中心における磁界の強さは、其巻數と電流の積に比例し半徑に逆比例する。

例題

- (1) 直線電流を垂直に立て下より上の方向に弱い電流をよせばその電線の東側は西側より磁界が多少強いのはなぜか。
- (2) 長い電線を二つに折りコイルを作れば之に電流を通して磁界が生じないのはなぜか。

60. 電磁石

筒線輪に電流を通せば各巻線の磁力線が相加はり筒線輪は一つの磁石と見做し得るものとなるが内部に鉄を入れれば磁氣誘導作用により一層強い磁石となる。之を電磁石といひ中に入れる鉄を鐵心といふ。

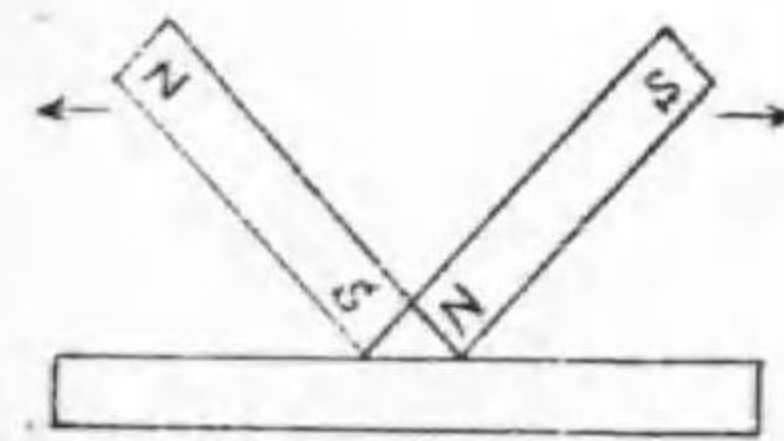
その磁極の極性は前に述べた右ネジの法則により簡単に知ることが出来る。従つてその磁極は耐久磁石の如く固定的のものではなく電流の方向を變へれば反對にすることが出来る。

鐵心に軟鐵、鑄鐵等を用ふればその保磁性が弱いから線輪に電流を通じたときにのみ磁石となり、電流を止めれば磁石の性質を失ふ鐵心に鋼鐵を用ふればその保磁性が強いから一度電流を通じて磁石とすれば、線輪の電流を止めても鐵心が可成り強い磁石となつて残る。

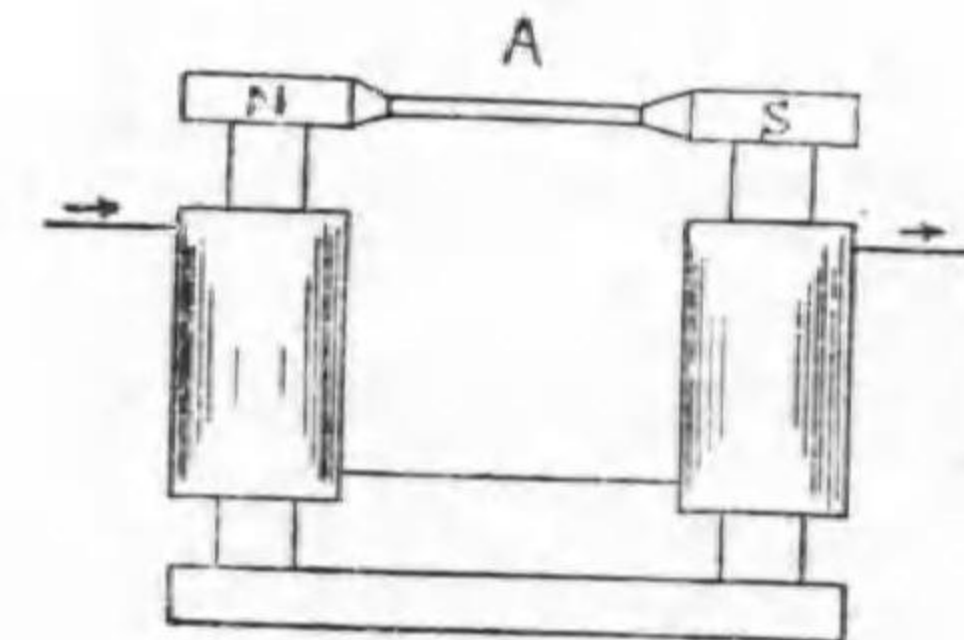
電磁石は電氣機械器具即ち發電機、電動機の磁極、各種計器、遮斷器、電鈴、電信、電話、電氣鐵道等殆んど總ての方面に應用せられてゐる。

61. 耐久磁石の製法

保磁性の大なる鐵、即ち鋼鐵 K.S 鋼等の棒を作り第55圖の如く他の耐久磁石の N・S を以て矢の方向に數十回摩擦すれば、その鋼鐵



第55圖



第56圖

棒は磁化せられ耐久磁石となる。

然しこの方法では餘り強い磁石は出来ない。大規模に且つ強い磁石を作るには電磁作用により鋼鐵棒を磁化して作る。

第56圖の如く磁化せんとする鐵棒Aを兩極NSの間にはさみ線輪に充分大なる電流を流し磁化せしめる。

鋼鐵を磁化して耐久磁石を作るときはその鋼鐵棒の斷面積が小なる程その重量の割合に強い磁石となる。故に大なる磁石を作るには鋼鐵棒を用ふるよりも、薄き鋼鐵片數枚に分ち、之を別々に磁化した後同極を重ね合はして大きな磁石とする方がよい。この様な磁石を複合磁石といふ。

一度磁化された鋼鐵はその保磁性により強き磁氣が残留して磁石となるのであるが、時日を経るに従つて自然に磁氣が減退する。之を磁石の枯れと稱す。この磁石の枯れを少なくするには、鋼鐵棒を磁化する前に一晝夜以上も蒸氣を以て加熱し、然る後に磁氣飽和に達せしめ再び之を三、四時間蒸氣を以て加熱する。

耐久磁石はその枯れを防ぐ處理をしたものであるが、高熱を加へたり或は激動を與へればその磁氣を減退する。従つて耐久磁石や之を用ひた各種の計器類は振動や激動を與へぬ様充分注意して取扱はねばならぬ。

62. 磁界内の電流に加はる力

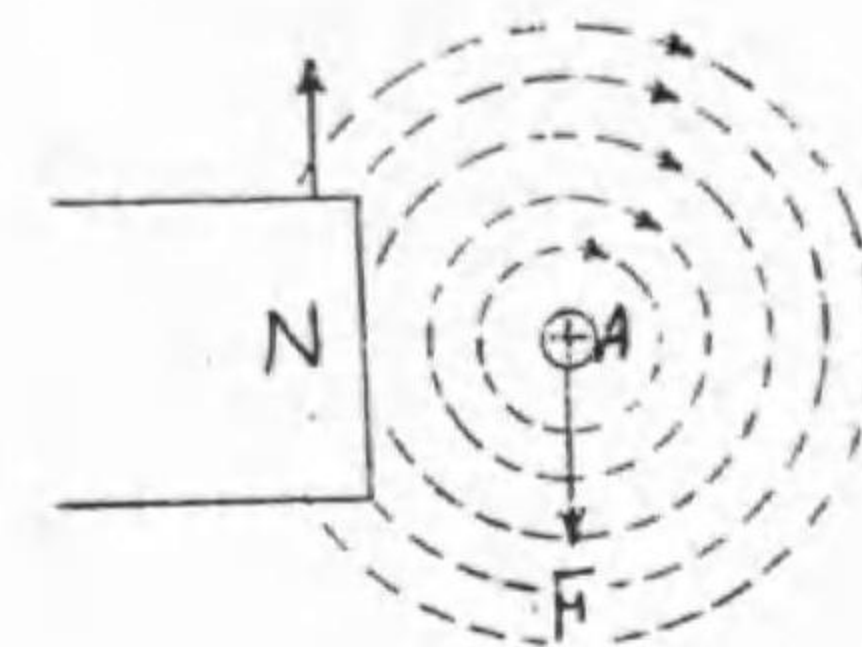
電流はその周圍に磁界を生じ磁針に作用して之を振れしむ。磁針等の如く小磁石の場合は磁石の方で動くが、磁針の代りに大きな磁石を固定しても、やはり磁針を動かしたのと同じ方向に力丈けは加はる筈である。唯磁石が固定されるれば動かないだけである。この様に力が加はるときは作用及反作用の法則により磁石に働く力と同じ

大いさで方向反對の力が電線の方にも加へられる。故に電線の方を動き得る様に装置すれば、電線はその力の方向に動く。今電線AをN極の前におき第57圖の如く電線に紙の表面から裏の方向に電流を通せば、その周圍には圖の方向に磁界が出来る。従つてN極は矢の如く上方に向ふ力を受け電線Aは之と反對の下方に力を受ける。此現象を應用して電動機を作る。

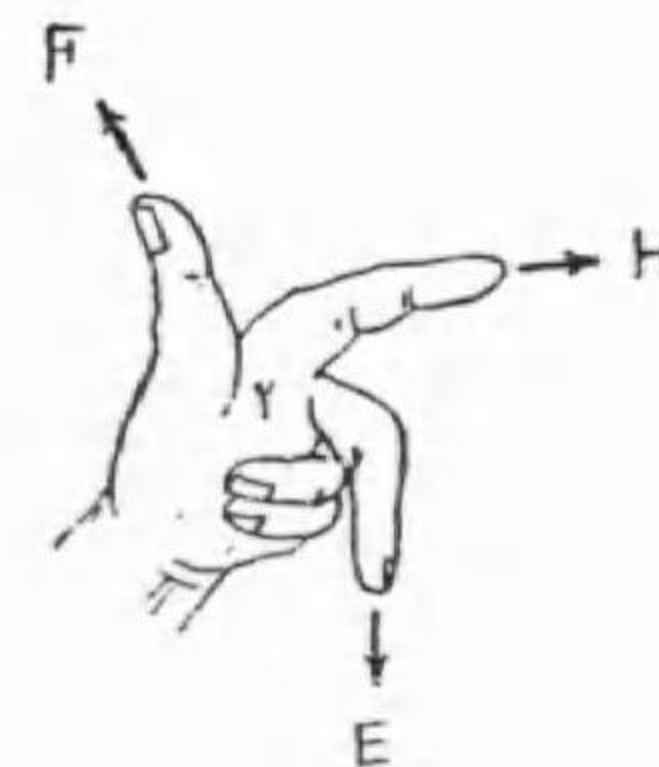
第57圖の如く磁界中に電線をおき、之に電流を通じた時、受ける力の方向を知るに便利なものが**フレミングの左手の法則** (Fleming's left hand rule) である。

即ち第58圖の如く**左手の拇指食指及中指を互に直角に開き、食指を磁力線の方向に、中指を電流の方向に一致せしむれば拇指の示す方向が電線の運動の方向である。**

今第59圖の如く磁極NS間に平等磁界があつて電線Aを之に直

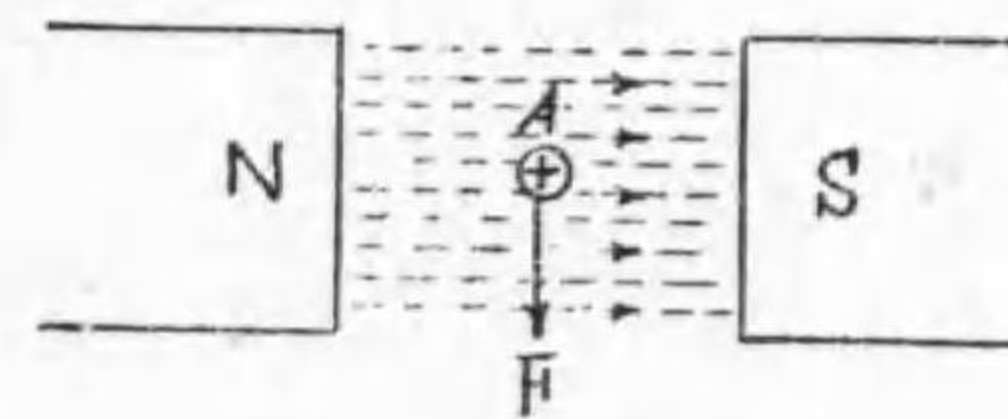


第57圖



第58圖

角の方向におき、電流を紙の表面より裏の方向に向つて流せばこの電線は下方に向つて力を受ける。磁界の強さがH、電流がIアムペ



第59圖

ア、磁界内の電線の長さ l cm ならば電線に加はる下方への力の大きさは

$$F = \frac{H}{10} I l \text{ ダイン}$$

即ち力は電流と磁界の強さとの積に比例する。若し電線が磁界と直角でなく θ だけの角度を以ておかれば、力は

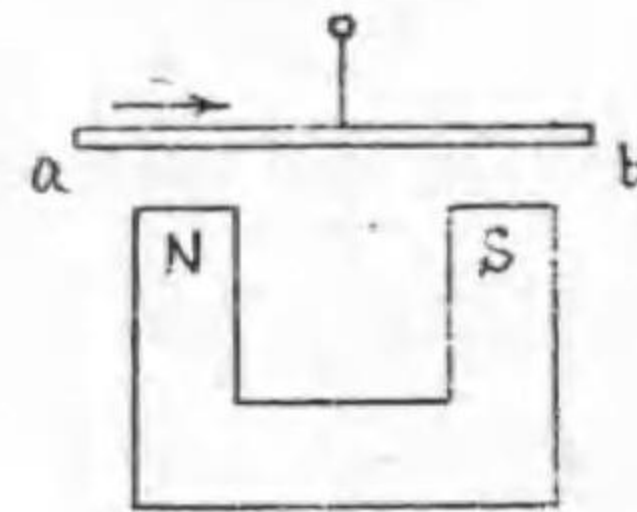
$$F = \frac{H}{10} I l \sin \theta \text{ ダイン}$$

となり、直角におかれた時が最大で傾ひたときは小となる。

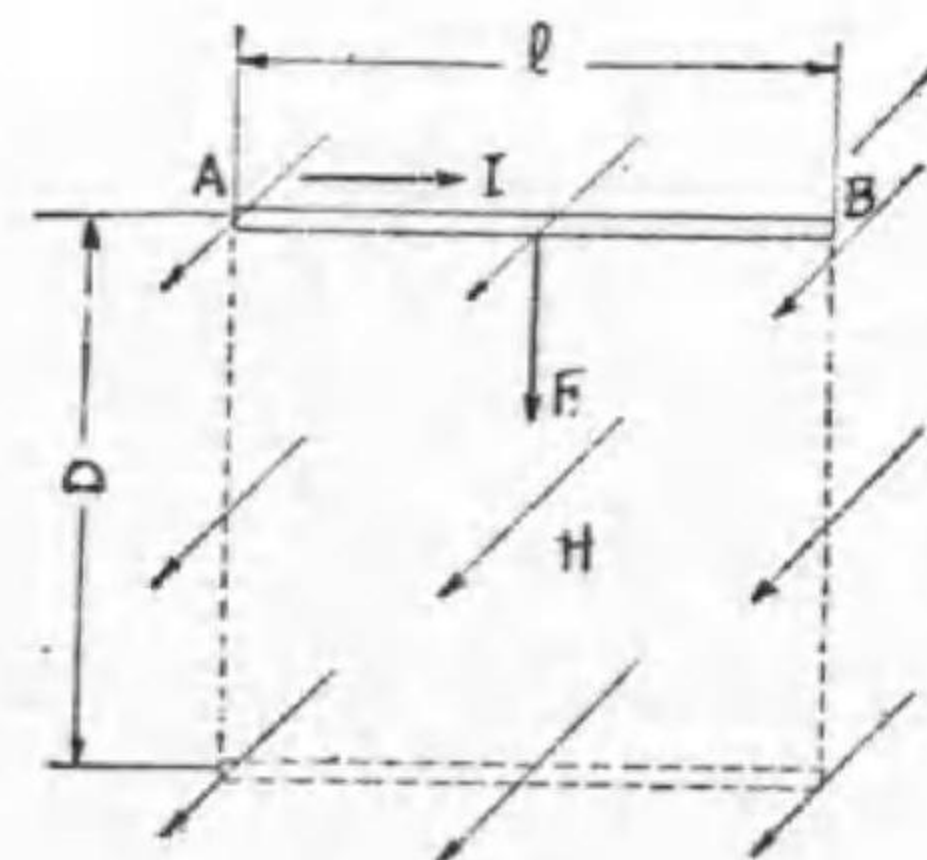
例題

(3) 40 ガウスの磁界内にて 15 cm の電線に 3 アムペアの電流を通せば何ダインの力を生ずるか。但し電線と磁界とは互に直角をなす。

(4) 圖の如く馬蹄形磁石の上に中央を支持して懸垂せる電線に、a より電流を矢の方向に通せばこの電線は如何なる運動をするか。



63. 電流に依る仕事



第60圖

第60圖の如く強さ H なる平等磁界に直角の方向に電線 A.B をおき、之れに I アンペアの電流を通せば電線は下方に

$$F = \frac{H}{10} I l \text{ ダイン}$$

の力を受ける。その力の方向に電線

が D cm だけ動いたとすれば、この間になした仕事は、

$$\begin{aligned} W &= F \cdot D = \frac{H}{10} I l D \text{ エルグ} \\ &= H I l D \times \frac{1}{10^8} \text{ ジュール} \end{aligned}$$

この式の中で、 $l \times D$ は電線が運動した間にすぎた全面積で之に磁界の強さ H を乗じた $H l D$ は全面積中の全磁束数で即ち電線が横断した全磁束数である。この磁束を ϕ で表はせば

$$W = \frac{I}{10} \phi \text{ エルグ}$$

となり次の様な結論を得る。

磁界中にて電流を通せる電線が運動してなす仕事はその電流と電線が切つた磁束数との積に比例す。

例題

(5) 150 ガウスの磁界内にて 20 cm の電線が磁界と直角に 50 cm 運動して 0.006 ジュールの仕事をなすときは電線に流れた電流幾アンペアか。

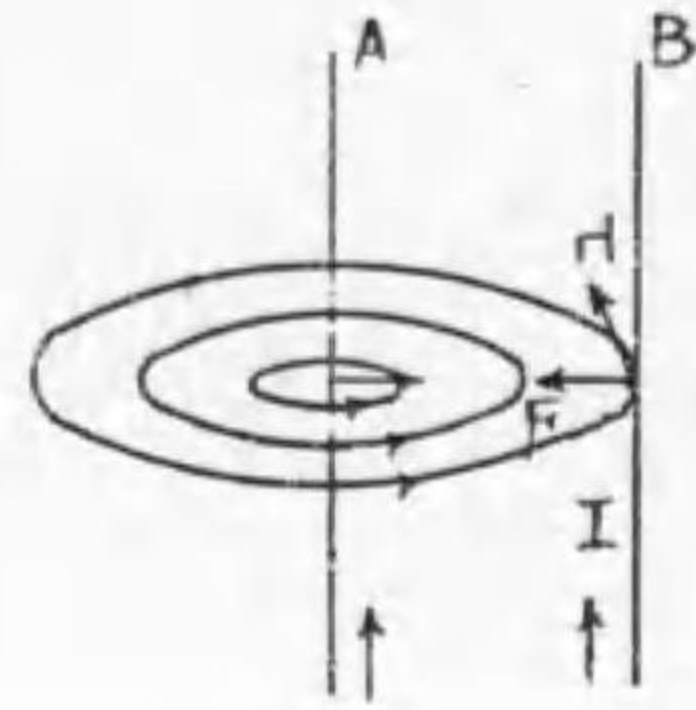
(6) 3 アンペアの電流が 6.5×10^8 本の磁束を切れば何程の仕事をするか。

64. 電流相互間の作用

磁界中の電線に電流が通れば力を受け又電流の周囲には磁界を生ずるから今接近した二本以上の電線があり夫々電流が通つて居れば其等電流相互間に力を生ずる。

今第61圖の如く A.B 二本の電線に同じ方向に電流を通せば電線 A

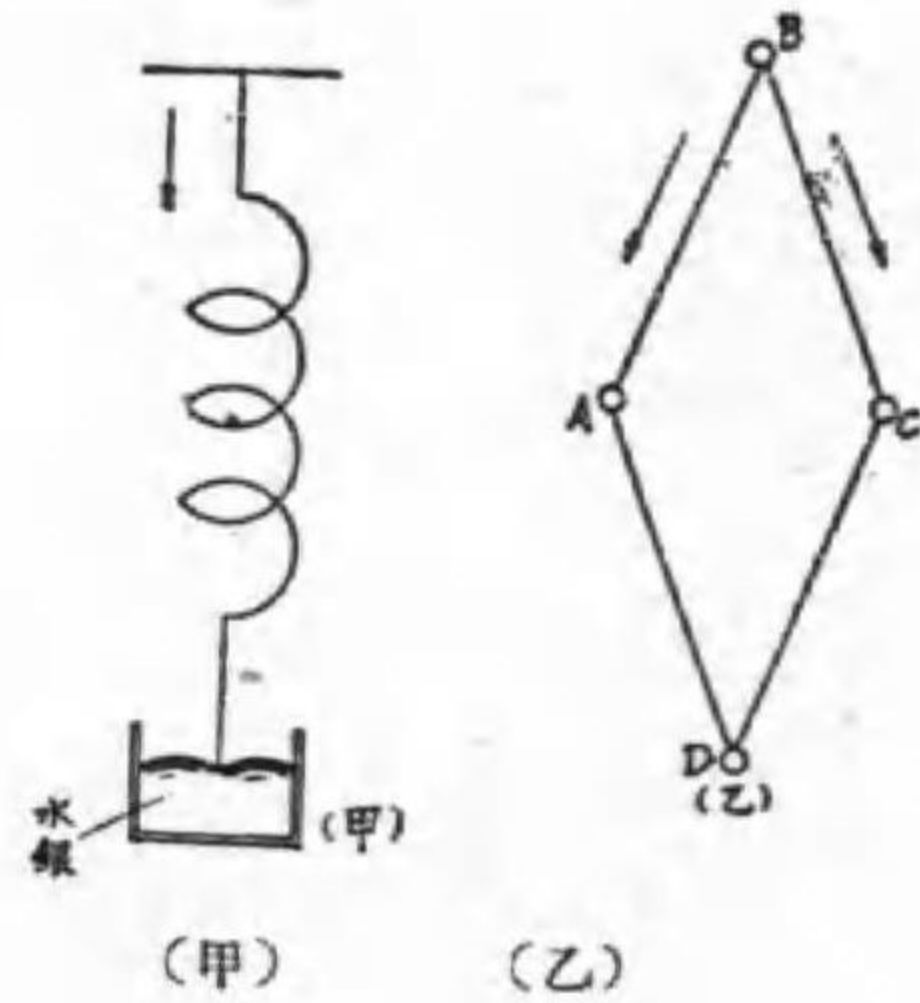
の周囲には右ネジの法則により図の様な磁界を生ずる。この磁力線とBの電流との間に左手の法則に従ふ力を生じ、BはAの方にひかれる。同様にBの作る磁界がAの電流にも作用し、AはBの方にひかれる。ABの電流が互に相反するときは反対方向の力を生じ、互に斥け合ふ。即ち並行直線電流の方向が同方向のときは引力を生じ電流が反対方向のときは斥力を生ずる。



第61圖

例題

- (7) (甲)圖の如きスプリングに電流を流せば之は上下に伸縮運動をなす、何故か。
- (8) (乙)圖の如くA、B、C、Dにて廻轉出来る様に接続した四本の電線にBよりDに電流を流せば如何になるか。



問題

- (1) 直径50cm 捲數20なる圓形線輪に2.5Aを流した時その中心に於ける磁界の強さは直径1cm 捲數1電流1Aの場合の何倍か。
- (2) 磁界の強さ12の所に長さ40cmの電線を磁界に直角におき17Aを流せば何程の力が電線に加はるか。
- (3) 強さ145の平等磁界に直角に長さ15cmの電線をおき35Aの電

流を通じ、生ずる力の方向に4cm運動せるときは何程の磁力線を切るか。又何程の仕事をなすか。

- (4) ある土地の水平方向の地磁氣の強さが0.5ガウスであるといふ。ここに水平に電線を東西の方向におき、電流を西から東の方向に100Aを通せばこの電線は地磁氣のために何れの方向に何程の力を受けるか。

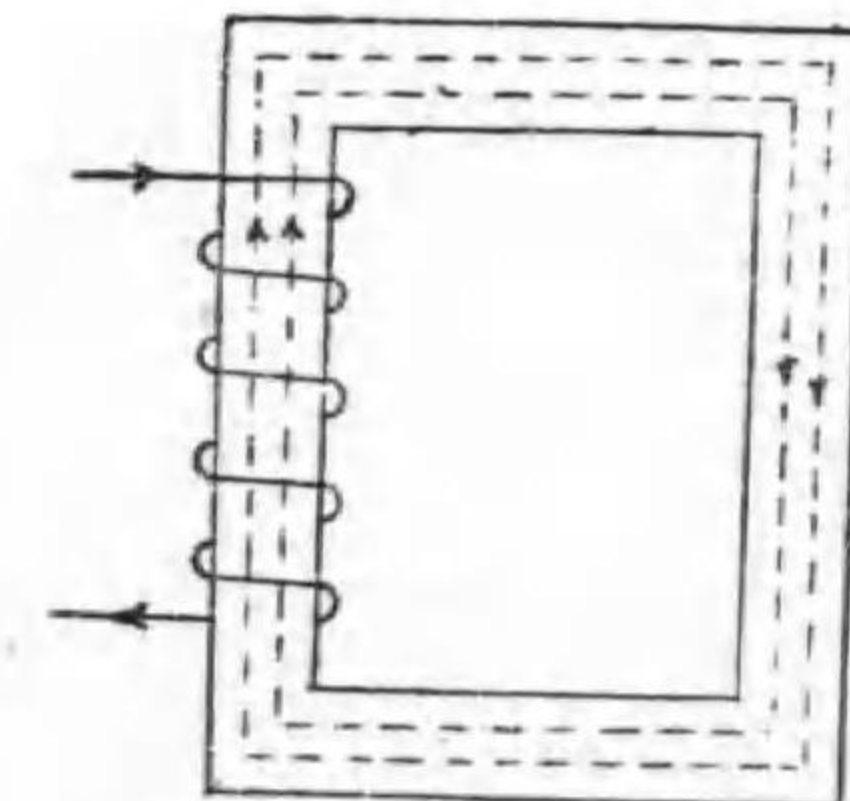


- (5) 圖の如く硝子管の中に水銀を入れ之に電線を上から吊し、之を通じて上から下へ電流を通じ底の中央に小さな磁極を取付けておけば吊した電線は磁極の周囲を廻轉する。何れの方向に廻轉するか。

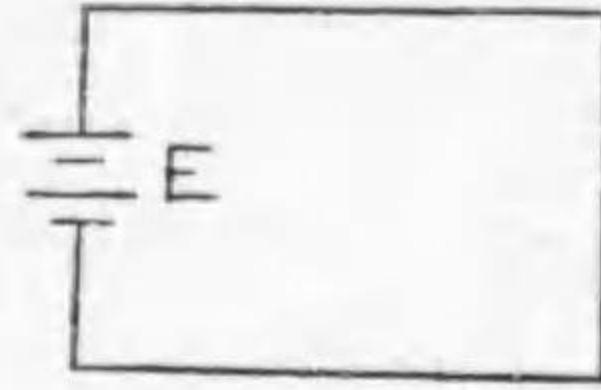
第八章 磁氣回路

65. 磁氣回路

第62圖の如く鐵心 (iron core) に線輪を捲き之に電流を通せば磁化されて點線の如く磁力線が通る。この様に鐵心を用ひれば磁力線の大部分は鐵心を通る。此の状態は恰も第63圖の如く電池Eの兩端子



第62圖



第63圖

を電線で結べば電線に電流が通り之を電気回路といふ様に、磁気の場合も磁力線が通る様にした路を**磁気回路** (magnetic circuit) 又は**磁路**といふ。

磁力を利用する場合には多くの場合磁力線がよく通る様に鐵にて磁気回路を作る。

66. 起磁力及其單位

線輪に電流を通せば磁力線を生ずる、磁力線を生ずる能力を**起磁力** (magnetomotive force) といふ。線輪の磁力線を生ずる能力はその捲數と電流との積に正比例する。起磁力の C. G. S. 單位を**ギルバート** (gilbert) 實用單位を**アムペアターン** (ampere turn) と稱し、N 捲の線輪に I アムペアの電流を通じた時、その線輪のアムペアターン A.T 及び起磁力 F は

$$A.T = NI \quad \text{アムペアターン}$$

$$F = \frac{4\pi}{10} NI \quad \text{ギルバート}$$

にて表はされる。

67. 磁気抵抗、抗磁率及導磁率

電路に電流が通るとき抵抗を受ける様に磁気回路に磁力線が通るとき抵抗を受ける。之を**磁気抵抗** (magnetic resistance) と稱す。電気抵抗も磁路の物質、斷面積、長さ等により變る。長さ 1cm 斷面積 1cm²の空氣の抵抗を單位とし**エルステッド** (ersted) と稱す。

磁気抵抗はその斷面積に反比例し長さに正比例する。故に斷面積 A cm²、長さ l cm の空氣の磁気抵抗は

$$R = \frac{l}{A} \text{ エルステッド}$$

である。

各物質の斷面積 1cm²、長さ 1cm の磁気抵抗をその物質の**抗磁率** (reluctivity) と稱し、その逆數を**導磁率**と稱す。故にある物質の導磁率が μ であればその抗磁率は $\frac{1}{\mu}$ であるから斷面積 A cm²、長さ l cm ならばその磁気抵抗 R エルステッドは

$$R = \frac{1}{\mu} \frac{l}{A}$$

空氣は抗磁率が 1 エルステッドであるから導磁率 μ も 1 である。一般に非磁性體は凡て空氣と同じく導磁率が 1 である。又鐵の如き磁性體は磁気抵抗即ち抗磁率は極めて小さく従つて導磁率は極めて大きい。之は鐵の種類、磁束密度等にて大いに異なる。

68. 磁束及磁束密度

磁気回路に起磁力を加ふれば磁力線が通ると考へるがこの磁力線は假想の線である。吾々は磁気回路の磁氣の強さや方向を表はすに磁力線を以てするのである。而して磁気抵抗が 1 エルステッドの場合に之に加へる起磁力が 1 ギルバートであれば此の磁路には一本の磁力線が通るものと規定する。之を磁路の磁氣の強さ即ち磁力線の單位とし、**マックスウエル** (maxwell) といふ。即ち 1 マックスウエルとは磁力線一本が通ることである。磁力線は又**磁束** (flux) ともい

ふ。

磁路の断面 1 cm^2 當りの磁束数を磁束密度といふ。磁束密度の單位は**ガウス** (gauss) といひ、 1 cm^2 に 1 マックスウエルの磁束が通る様な磁束密度である。

69. 磁路の法則

電気回路にて電流は之に加へる電壓に比例する如く磁気回路にてその磁束数は磁気回路に加へる起磁力に比例する。

今磁気回路の抵抗 R エルステッドにて是に加へる起磁力が F ギルバートなれば此の磁気回路に通る磁束数 ϕ マックスウエルは

$$\phi = \frac{F}{R} \quad \text{or} \quad R = \frac{F}{\phi}, \quad F = \phi R$$

となり電気回路に於けるオームの法則と一致する。従つて之を磁気回路のオームの法則といふ。即ち磁気回路の磁束数は起磁力に比例し磁路の磁気抵抗に反比例する。

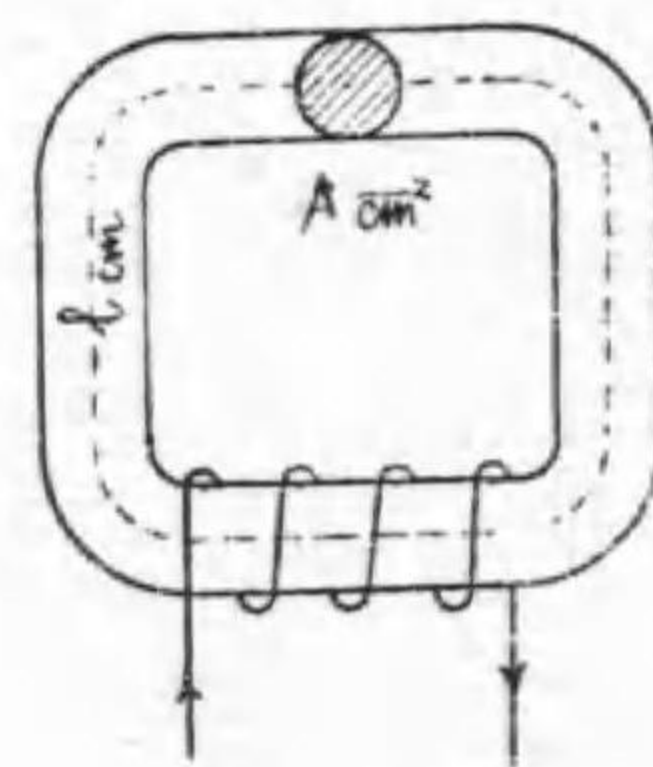
第64圖の如く長さ $l\text{ cm}$ 、断面積 $A\text{ cm}^2$ 、導磁率 μ の鐵心に線輪を n 回巻き I アムペアの電流を通せば此の鐵心の磁気抵抗 R は

$$R = \frac{1}{\mu} \frac{l}{A}$$

にして起磁力 F は

$$F = n I \text{ アムペアターン}$$

$$F = \frac{4\pi}{10} n I \text{ ギルバート}$$



第64圖

にして鐵心に通る磁束数 ϕ は

$$\phi = \frac{F}{R} = \frac{\frac{4\pi}{10} n I}{\frac{l}{\mu A}} \quad \text{マックスウエル}$$

此の式は次の様になる。

$$\phi = \mu A \frac{F}{l}$$

磁路の長さ 1 cm 當りの起磁力を H とすれば

$$\phi = \mu A H$$

又磁束密度を B ガウスとすれば

$$\phi = B A$$

故に

$$B = \mu H$$

一種當りの起磁力を**磁化力** (magnetizing force) と稱する。磁気回路の磁束密度は導磁率と磁化力との積に比例する。一種當りの起磁力は磁界の強さを表はすから磁束密度は導磁率と磁界の強さとの積に等しいとも云へる。

例題

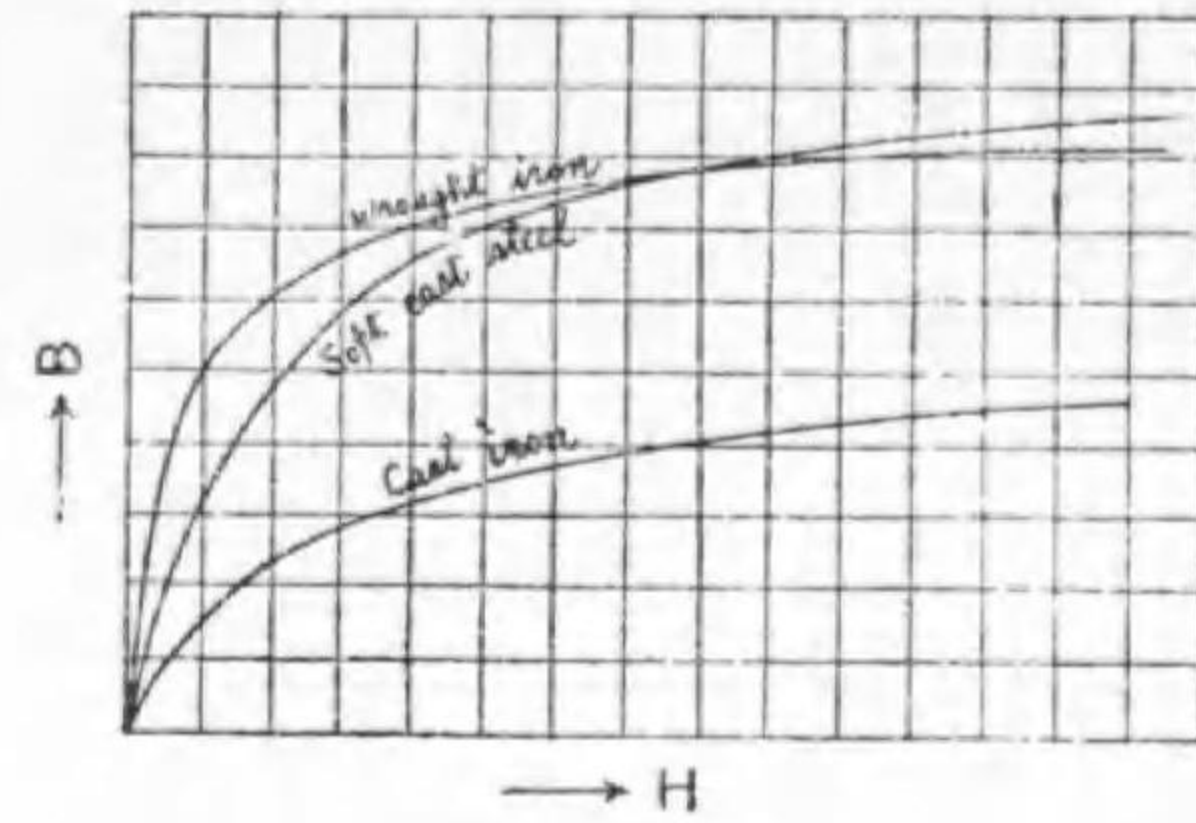
- (1) 導磁率600断面積 30 cm^2 、長さ 45 cm の磁路の磁気抵抗は何程か。
- (2) 前問の磁気回路に 200回の線輪をまき18アムペアの電流を通すれば何程の磁束が通するか。又磁束密度は何程か。

70. 鐵の磁氣的性質 $B-H$ 曲線

磁気回路中の磁束密度と磁化力との間には

$$B = \mu H$$

の関係があり、磁路が空気の場合は導磁率 μ は 1 であるから、 $B = H$ となる。鉄の場合は導磁率が磁束密度によりて変化するため磁束密度は正しく磁化力に比例しない。普通の鉄には H と B との関係は第 65 図の如き曲線となる。之を $B-H$ 曲線と云ふ。



第 65 圖

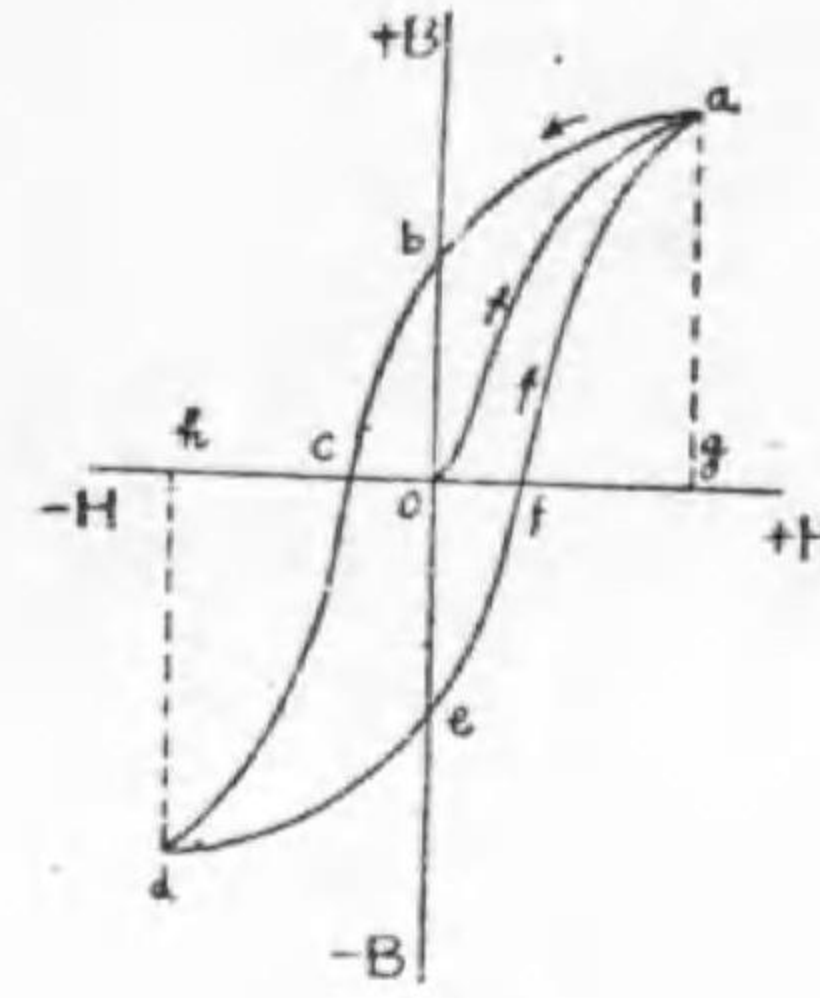
この様に磁束密度 B は磁束密度小なるとき

は凡そ磁化力に比例して増加する。即ち導磁率 μ は凡そ一定であるが、磁束密度が大となれば飽和状態となり、磁化力をましても磁束密度の増加が緩漫になり遂に磁束密度は變らなくなる。

従つてこの曲線を **飽和曲線** (saturation curve) 又は **磁化曲線** (magnetizing curve) といふ。

71. ヒステレシス

今少しも磁気を感じたことのない鉄をとり之に磁化力 H を加へて磁束密度 B の變化を求めれば第 66 図の如き曲線を得る。初め磁化力 H を 0 から順次増加すれば磁束密度 B は初め急速に増加し、順次 B の増加は緩漫になり磁化力が 0 から g 迄増加する間に磁束密度は 0 から (oa) の曲線の如く變化し最後に ag となる。



第 66 圖

次に磁化力を og より順次減少すれば磁束密度 B は ab の如く變化する。即ち磁化力は減少しても磁束密度の減少する割合は少なく磁化力が零になつても磁束密度は未だ ob だけ残る。之を**残留磁気**といふ。即ち鉄は一度磁化すれば磁化力を取去つても磁気を残す。

次に反對の方向の磁化力を加へ oc の磁化力となつて初めて磁束密度零となり、磁化力を一層反對方向に強くすれば反對方向に磁化され磁束密度を順次増加する。磁化力 oh のとき磁束密度は hd となる。

次に磁化力を減少すれば磁束密度も減少するがその割合は緩漫で磁化力が零となつても oe の**残留磁気**がある。

再び正の方向に磁化力を加へれば of となつて磁束密度は零となり磁化力が og となれば磁束密度は ag となる。この様に鐵に交番する磁化力を加ふれば磁束密度の變化は磁化力の變化よりも遅れる之を**ヒステレシス** (hysteresis) 現象といひ $abcdefa$ の如き曲線を**ヒステレシス環線** (hysteresis loop) といふ。

ヒステレシスの現象は鐵の**残留磁気**に原因するもので一度磁化すれば磁気の性質を保たうとする力があるから之を鐵の**保磁力**といふ。この保磁力を打消して異なる方向に磁化せんとすれば勢力の損失

を來す。この損失勢力は熱となつて空中に放散される。この損失勢力を**ヒステレシス損** (hysteresis loss) といふ。

- ヒステレシス損は鐵の種類によりて異り保磁力の大なる鋼鐵は損失が大で保磁力の小なる軟鐵は小さい。

又磁束密度が大なる所まで磁化する程損失大となる。又磁化力の變化、即ち周波数の大なる程損失は大となり鐵の容積が大なれば損失大となる。

問 題

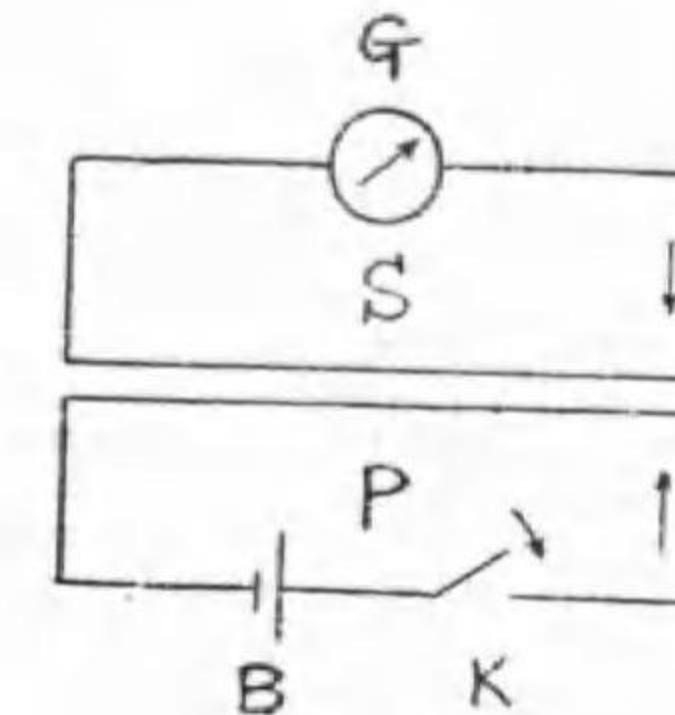
- (1) 450捲の筒線輪に5.5Aを流したときの起磁力をギルバート及アンペーターンで示せ。
- (2) 断面積 5cm^2 の鐵にて作れる長さ100cmの磁気回路に170回の線輪をまきて10.2キロガウスの磁束密度の磁束を生ずるには幾何の電流を通せばよいか。但しこの鐵の導磁率は1200とす。
- (3) 前題の磁路の一部に0.25cmの空隙があれば何程の電流にて同様の磁束密度を得るか。
- (4) 環状鐵心の平均の長さ50cmの磁路に6500ガウスの磁束密度を與へるに要する起磁力如何。又5Aの電流を通せば何回の線輪をまけばよいか。但し鐵心の導磁率を1000とし鐵心の断面積を 16cm^2 とす。

第九章 電 磁 誘 導

72. 電 磁 誘 導

ファラデー (Faraday) 氏は第67圖の如く P, S なる二つの線輪を接

近しておき P には電池 B を結び、又電鍵 K を入れ、S には検流計 (弱い電流を検出する計器) G を結び、電鍵を閉じて P の線輪に電流を通せば他の線輪 S に電流が流れ検流計の針が振れることを實驗によつて知つた



第 67 圖

此の場合 P 線輪、即ち初めに電流を通す線輪を**一次線輪** (primary coil) といひ、之に伴つて電流の誘導される、S 線輪を**二次線輪** (secondary coil) といふ。

一次線輪の電鍵 K を閉じた瞬間には、二次線輪の電流は一次線輪の電流とは反対方向であり、二次線輪の電流は直ちに零となる。次に電鍵を開けばその瞬間には二次線輪は前と反対に電流が流れる。この様に接近しておいた二つの線輪の一方の電流を断続すれば、他の線輪にはその断続の度毎に反対方向の電流が生ずる。

以上の如く一次線輪の電流を断続する代りに電鍵を閉じて一次線輪には常に電流を通じおき之れと二次線輪との距離を變へても二次線輪に電流が通る。P を S に近づければ S には P と反対方向の電流

が生じ、Pを遠ざければPと同じ方向の電流が生ずる。一次線輪Pの代りに耐久磁石を二次線輪に近づけ又は遠ざけても同様の結果を生ずる、以上の様にして生ずる電流を誘導電流 (induced current) といふ。

上記の實驗で最後の磁石を動かす場合、二次線輪を通る磁束に変化が起るから之に電流を生ずるのである。一次線輪に電流を通じておけば一つの電磁石であるから之を二次線輪に近けたり、遠ざけたりすることは磁石を動かすのと同じ結果になる。又一次線輪の電流を斷續すれば電流が通るときは磁石となり、電流を止めれば磁石の性質を失ふから位置は動かさないが磁氣を生じたり、無くしたりすることになり、磁石を動かすのと同じ結果になるのである。この様に電線の周圍に磁束の磁化を起せばその電線に電流を生ずる。この作用を電磁誘導作用といふ。

73. 誘導起電力の方向

誘導電流の方向は磁束の變化を妨ぐる方向に起る。前述の如き場合に一次線輪に電鍵を入れて電流を通せば、その電流によつて生ずる磁束が二次線輪に通るから二次線輪内の磁束が増加する。故に二次線輪には一次線輪と反對方向の起磁力を生じ磁束の増加を妨げんとす。

電鍵を切り電流を止めるときは二次線輪内の磁束を減少するから二次線輪には一次線輪と同じ方向の電流が生じ磁束の減少を妨げんとす。兩線輪の間隔を變へるときも磁石を動かすときも之と同じこ

とである。

レンツ氏は之を次の如く述べた。

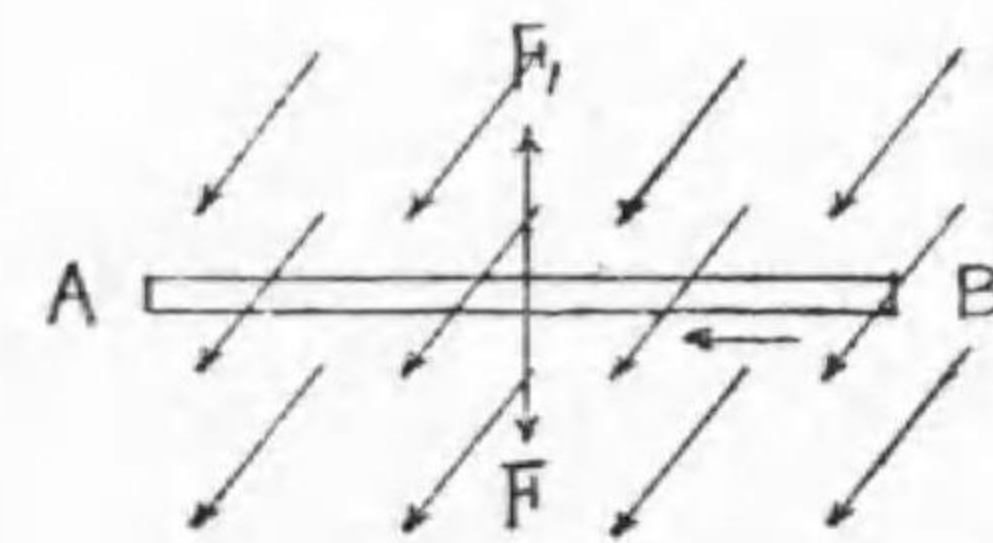
運動によりて磁束の變化を電線に與ふればその運動を妨ぐる方向に誘導電流を生ずる。

之をレンツの法則 (lenz's law) と云ふ。

前述第二の實驗では一次線輪を二次線輪に近づけるときは一次電流と反對方向の電流が二次線輪に生じ兩線輪の電流により生ずる磁束が反對方向となり互に反撥力が生ずる。又一次線輪を遠ざけるときは兩線輪の電流が同方向となり、兩磁界の方向が同一となり、吸引力を生じ遠ざかる運動を妨ぐる力となる。

この法則によれば誘導電流を得るには反力に抗して運動せしめねばならぬ。即ち機械的の仕事せねばならぬ、この機械的仕事により誘導電流を生ずるのである。

誘導作用は線輪内の磁界が變化するとき起る現象のみならず一般に電線の周圍の磁束が變化すれば常に誘導作用は起る。故に第68圖の如く平等磁界中にある電線ABがFの方向に運動すれば磁束を



第68圖

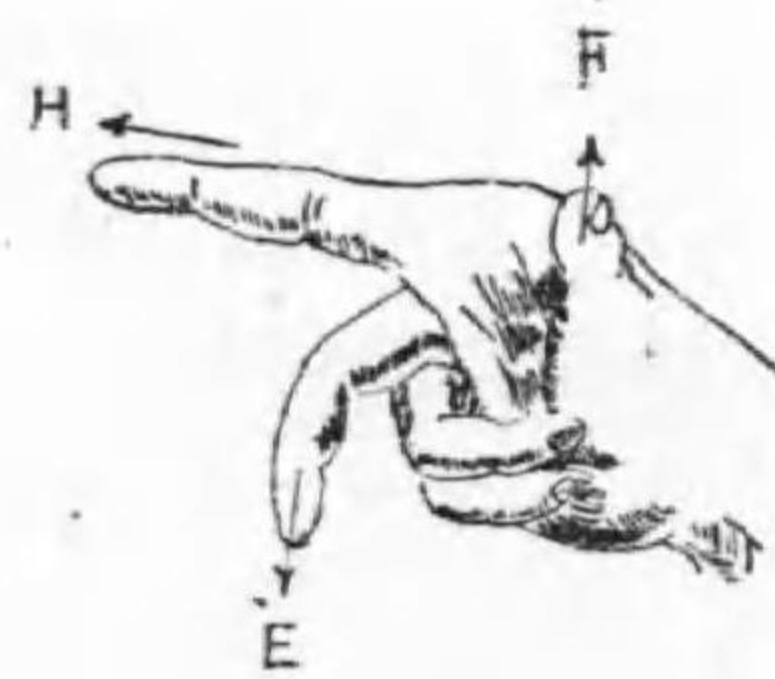
横切る。即ち磁束の變化が起るから誘導作用が起る。レンツの法則によれば誘導電流は運動を妨ぐる方向に生ずるのだから電線ABがFの方向に運動すれば之を

妨ぐる F_1 の方向に力が生ずる様にABに誘導電流が起る。第62節

に述べた如く磁界中の電線に電流が通れば一定方向に力を生ずる。 F_1 の方向に力を生ずるにはABの線には左手の法則によりBよりAの方向に電流が通らねばならぬ。故に電線ABをFの方に運動せしむればBからAの方向に誘導電流を生じ F_1 の方向の反力を生ずる。同一の電線を一定の磁界中にて同じ距離だけ運動せしめ出来るだけ多く誘導電流を得るには出来るだけ多くの反力を生ずる様に磁界中を動かせばよい。最大の反力を得る様にするには第62節に述べた如く電線を磁束に直角の方向におき之等に直角の方向に動かせばよい。

電磁誘導作用を應用して電氣を發生する發電機では最も有効に誘導電流が起る様に磁界の方向と電線の方向と運動の方向とが夫々直角になる如く装置される。この様な場合には誘導電流の方向はフレミングの右手の法則で見出すのが最も簡單である。

フレミングの右手の法則 (Fleming's righthand rule) は第69圖の如く右手の拇指、食指、中指を互に直角に開き、食指を磁界の方向に、拇指を運動の方向に一致せしむれば、中指の方向が誘導電流の方向である。



第69圖

74. 誘導起電力の強さ

誘導電流を生ずるには先づ電磁作用にて誘導起電力を生じ、電路

状態に應じた電流が通るのであつて、誘導起電力は電磁作用の度合により決る。即ち誘導起電力は磁界の變化する割合に比例する。1秒間に 10^8 マックスウェルの磁界の變化があれば1ヴォルトの誘導起電力を生ずる。

電線が1秒間に 10^8 本の磁束を横切る時の誘導起電力は1ヴォルトである。故に今Hの強さの平等磁界内に長さ l cmの電線が磁界に直角に置かれ、之が磁界に直角の方向に V cm/secの速さで運動すれば1秒間には HlV 本の磁束を切るから、誘導起電力 E ヴォルトは、

$$E = HlV \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

故に電線が磁界に直角の方向に運動し生ずる起電力は磁界の強さ、電線の長さ、及び速度の積に比例す。

一つの線輪中を通る磁束が1秒間に 10^8 本變化するときはこの線輪に1ヴォルトの誘導起電力を生ずる。故に一つの線輪の磁束が t 秒間に零から ϕ 本迄に増加すれば、この線輪に生ずる起電力 E ヴォルトは

$$E = -\frac{\phi}{t} \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

此の式に負號を附したるは、此の起電力は磁界の變化を防げんとする方向であるからである。

この様に線輪に生ずる起電力の大きさは磁束の變化の時間に對する割合に比例する。即1秒間に變化する磁束數に比例する。

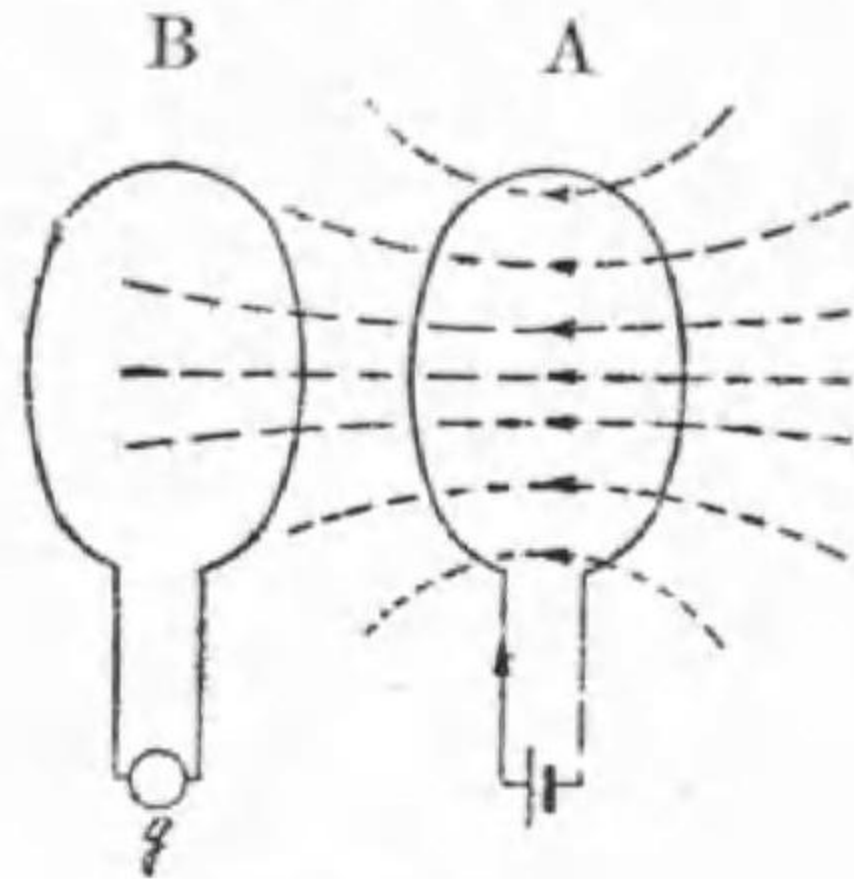
線輪の捲數が一回の場合は上記の様な起電力になるが、捲數 n 回のときは各回で上記の起電力が生ずるから全部ではその n 倍である。

即ち

$$E = -\frac{\phi}{t} \times n \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

75. 相互誘導

第70圖の如く線輪 AB を並べておき線輪 A に矢の方向に電流を通せばその電流によりその内部には矢の方向に磁力線を生ずる。この磁束の一部は B 線輪にも通る。従つて電磁誘導作用により B 線輪



第70圖

には A 線輪の電流とは反対方向の起電力を誘發する。この様に一方の線輪に電流の變化があれば他の線輪に誘導起電力を生ずる現象を**相互誘導** (mutual induction) といふ。

今一次線輪の電流が t 秒間に I_1 アムペアから I_2 アムペアに増加し二次線輪に通る磁束が ϕ_1 から ϕ_2 に増加するとせば電磁誘導による起電力は前節に述べた如く

$$e = -N_2 \frac{\phi_2 - \phi_1}{t} \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

この様に一次及二次の兩線輪を共に貫通する磁束と線輪の捲數との積を**磁束鎖交數** (number of interlinked flux) といふ。又一次或は二次線輪のみに通る磁束を**漏洩磁束** (leakaged flux) といふ。相互誘導起電力は磁束鎖交數の時間に對する變化の割合に比例す。磁束の變化は一次電流の變化によるものであるから一次電流の變化に比

例する。故に

$$\frac{N_2(\phi_2 - \phi_1)}{t} \times 10^{-8} = \frac{M(I_2 - I_1)}{t}$$

故に相互誘導起電力は

$$e = -M \left(\frac{I_2 - I_1}{t} \right) \text{ ヴォルト}$$

この式中の M は一次電流を變化したときに二次線輪に何程の起電力が生ずるかを示すもので、之は一次と二次の捲數や、一次と二次との間隔や、線輪の面積、線輪中の磁路の物質等で定まる定數で**相互誘導係數** (coefficient of mutual induction) 或は**相互インダクタンス** (mutual inductance) と稱す。

而して一次電流を一秒間に 1 アムペア變化したとき二次線輪に誘導される起電力が 1 ヴォルトである様な場合にその一次及二次線輪の相互誘導係數を**1ヘンリー** (henry) といふ。

76. 自己誘導

一つの線輪に電流を通せば磁束を生じ、電流を絶てばその磁束も消滅する。即ち電流を變化すればその周圍の磁束に變化が起る。この磁束の變化によりその線輪自身に誘導起電力を生ずる。この現象を**自己誘導** (self induction) といふ。

一つの線輪の電流が増加すれば磁束がまし、その線輪自身にはその磁束の變化を妨ぐる方向、即ち磁束を減少さず方向に誘導起電力を生ずる。従つてこの自己誘導による起電力は常に電流の變化と反対方向に起る。即ち電流を増加するときは電流と反対方向の起電力

が起り、電流を減少するときは電流と同じ方向の起電力が生ずる。

自己誘導による起電力も相互誘導と同じく磁束の変化の割合に比例し、従つて電流の時間に對する變化の割合に比例す。即ち N 回捲いた線輪の電流が t 秒間に I_1 から I_2 に増加し、磁束が ϕ_1 から ϕ_2 となれば自己誘導起電力 e は

$$e = -N \frac{\phi_2 - \phi_1}{t} \times 10^{-8} = -L \frac{I_2 - I_1}{t} \text{ ヴォルト}$$

この式で L は電流の變化により何程の起電力を生ずるかの割合を示すもので、**自己誘導係數** (coefficient of self-induction) 或は **自己インダクタンス** (self inductance), といふ。又は單に **インダクタンス** (inductance) といふこともある。

自己インダクタンスは電線の形狀、周圍の磁氣的性質に依つて定まる定數で、直線電流でも起るが、その値は極めて小さい。

線輪のインダクタンスは大きいが、線輪でもその形が大きなもの程インダクタンスは大きい。又線輪の中に鐵心があればインダクタンスは極めて大きくなる。

インダクタンスは電流の變化により何程の起電力が生ずるかを示す定數であるからその量を測るには電流の 1 秒間に 1 アムペア變化したとき、1 ヴォルトの起電力を生ずる様なものを單位として之を 1 ヘンリーといふ。

77. 電氣回路に蓄積するエネルギー

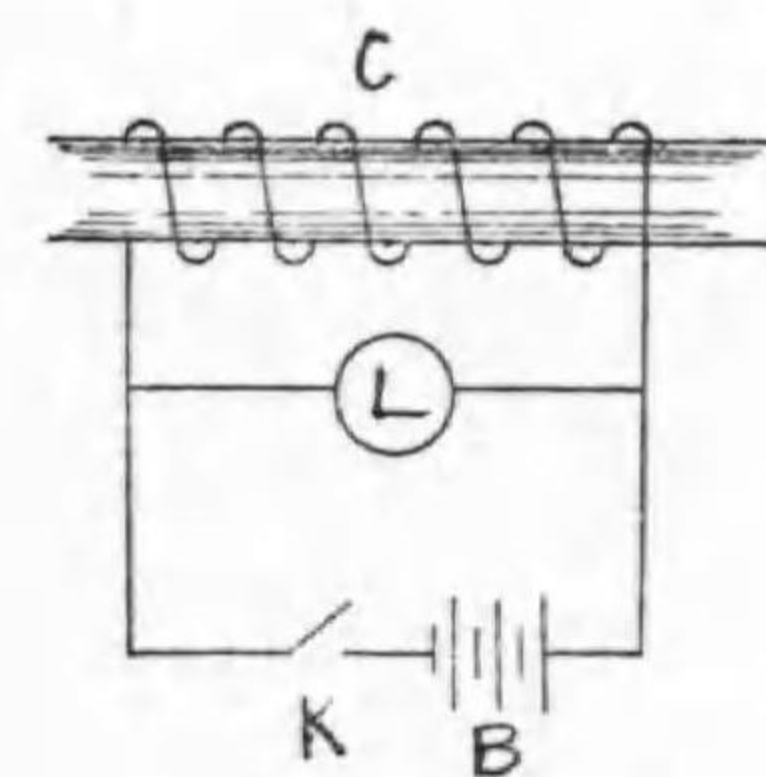
自己インダクタンスの大なるコイルに、電流を通せば之に反對する起電力が起るので、電流がオームの法則に従ふ値に達するまでに

は少しの時間を要する。電流が順次増加して一定になれば磁束も順次増加して一定の値に達する。この電流が増加する間、即ち磁束が増加する間は自己誘導の起電力にうちかつて電流を流し、その間に電氣エネルギーが磁束として磁氣回路中に蓄積される譯である。

電流を断てば磁束として蓄へられた電氣エネルギーは磁束が消えるとともに今までの電流と同じ方向に起電力となつて電氣回路に現はれる。このとき現はれた起電力は磁束の變化の割合、即ち電流の断たれる速さに比例するから電流を急速に切斷する程大なる起電力を生ずる。

故にインダクタンスが大なる電氣回路にてはその電流を急速に切斷すれば甚だ大なる起電力が生ずる理である。

第71圖の様にインダクタンスの大なる線輪 C に 100 ヴォルトの電燈と 10 ヴォルトの電池とを圖の如く結び、電鍵 K を入れて電流を流しても電池は 10 ヴォルトだから電球は點じない。



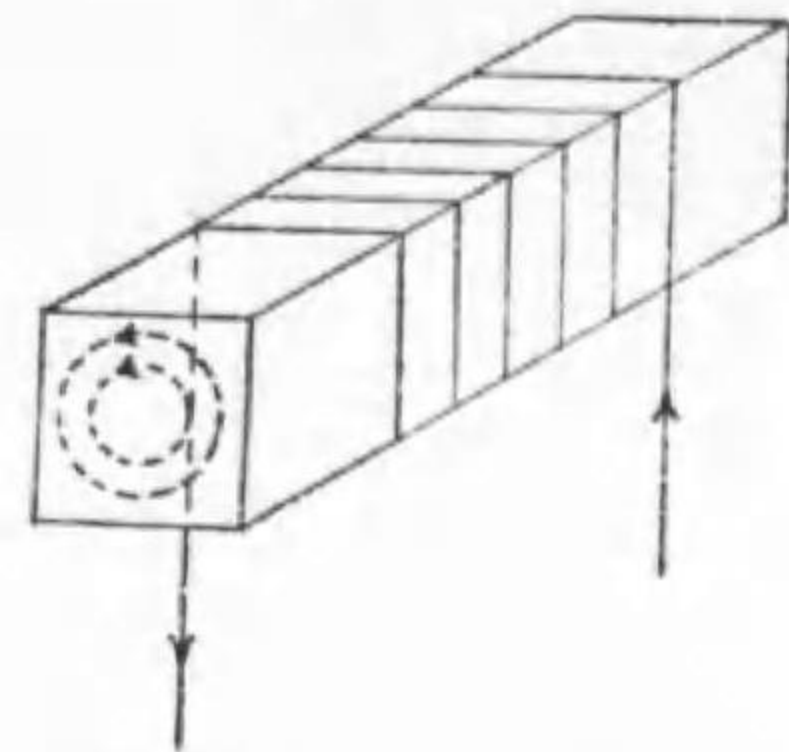
第 71 圖

電鍵 K を急速に切れば C に蓄積されたエネルギーが急に大なる起電力を生じ、一瞬間電燈が點火する。この様に與へられた電壓よりも大なる起電力を出すことも出来る。一般に電路を開くとき開閉器に火花を生ずるの

も此の自己インダクタンスによる蓄積されたエネルギーのためである。

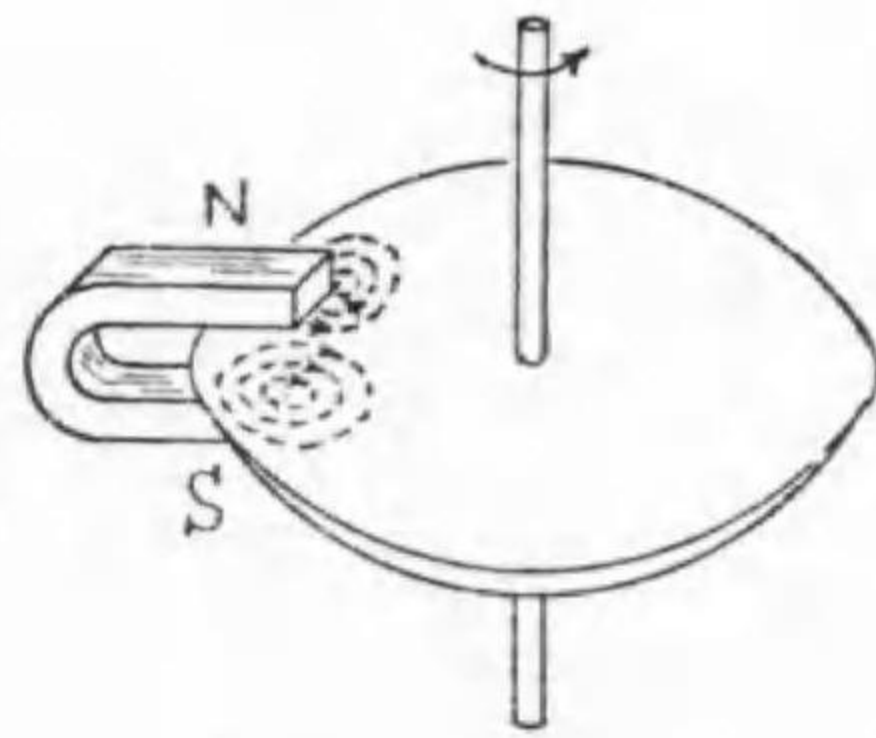
78. 渦流及渦流損

線輪に電流の變化が起れば之によつて生ずる磁束も變化する。第72圖の如く鐵心を有する線輪の場合はこの鐵心内の磁束が變化し、この磁束の變化により鐵心内に誘導起電力が生ずる。丁度相互誘導に於ける二次線輪に起電力が生ずるのと同じであるが鐵心は一體であるから此の起電力は鐵心内にて電氣回路を形成し、圖の如く渦流形の電流となる。之を渦流(eddy current)といふ。この渦流は熱を發生し勢力損失となる。この損失を渦流損(eddy current loss)といふ。



第72圖

渦流は以上の様に鐵心に起るのみならず斷面積大なる導體内の磁束が變化すれば常に發生する。



第73圖

フーコー電流(foucault current)ともいふ。

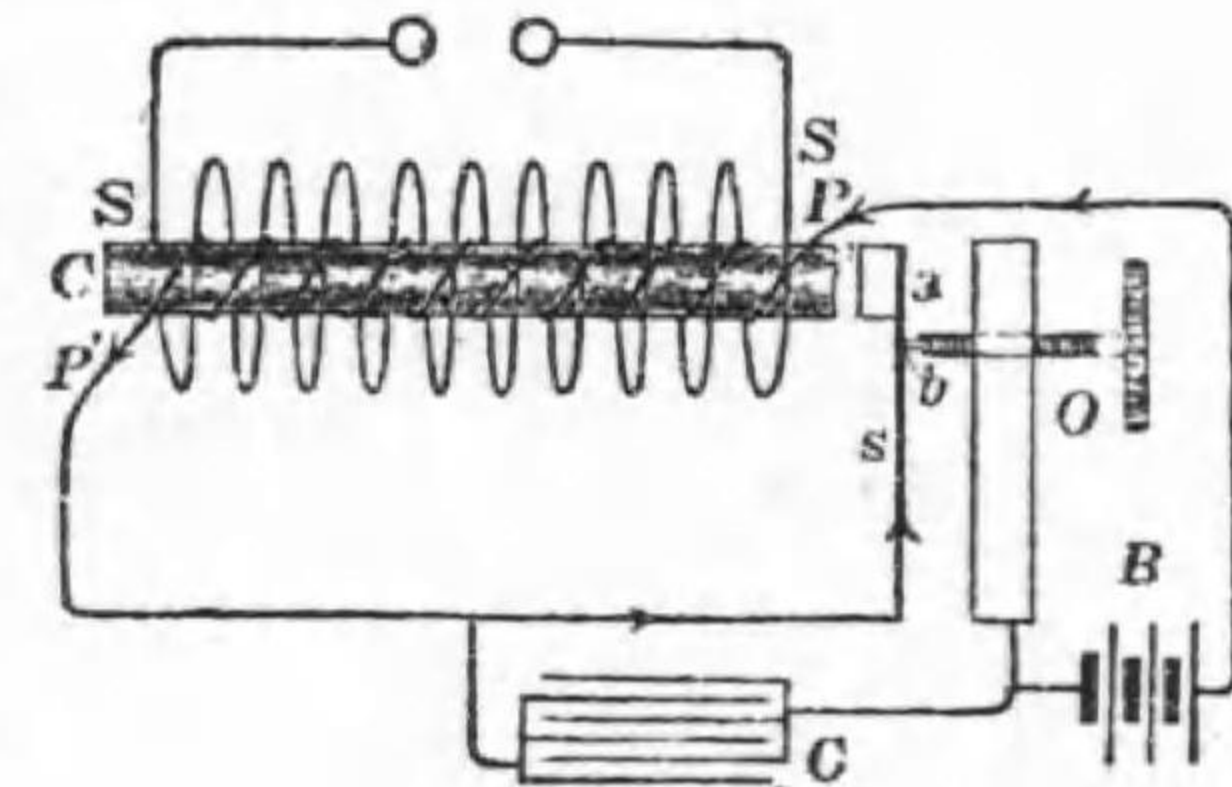
第73圖の如く金屬圓板を回轉してその一部を磁石にて挟めばその部には磁束の變化が生じ、渦流を生ずる。

この様に回轉により磁束の變化を起したとき生ずる渦流をフ

フーコー電流を生ずるときはこの電流と磁界との間に回轉方向と逆の方向に力を生じ回轉圓板は制動力を受ける。之は電器計器等に多く利用される。

79. 誘導線輪

物理實驗に使用する誘導線輪(induction coil)は相互誘導作用を應用したもので其主要部分は第74圖の如く鐵心Cに一次及二次コイルを充分絶縁して捲いてある。一次は捲數少ないが二次は極めて多く捲いてある。一次線輪は電池B、接觸子b、振動片a等が結ばれて電氣回路が出来てゐる。之に電流を通せば鐵心は電磁石となり振動片を吸引し振動片aは接觸子bから離れ、電氣回路は切れて



第74圖

一次線輪の電流が斷たれ鐵心の磁束が消える。従つて振動片aは之を吸引する力が無くなるためスプリングSの力にて元の位置に歸り接觸子bと接觸し、再び回路が出来、電流が通る。この様に振動片の振動により一次線輪の電流は斷續せられるから鐵心内の磁束も急速に變化し二次線輪に高い電壓が誘導される。

コンデンサーCは振動片と接觸子との斷續の際にこゝに火花が出るのを消すために結んであるのである。この斷續せられる毎に出る

火花はコンデンサーを用ひても全く消えないで多少出るから接觸部は火花に耐える様に白金メッキがしてある。

問題

- (1) 大なる磁石の兩極が水平におかれN極が東に、S極が西にあり。その兩極の間の磁場に直角に水平におかれた電線を下方に移動すれば、此の電線には何れの方向に電流が流れるか。
- (2) 120回捲いた線輪に磁石を近づけ、そのために線輪内の磁束が $\frac{1}{50}$ 秒間に 16×10^7 マックスウエルだけ増加した。その時線輪に生じた起電力は何程か。
- (3) 電線が磁場内にて移動して $\frac{1}{5}$ 秒間に 25×10^7 マックスウエルの磁束を切れば何ヴォルトの起電力を生ずるか。
- (4) 500捲の一次線輪が 10cm^2 平均の長さ60cmの環状鐵心上に捲かれその上に1000回の二次線輪を捲く。一次線輪の電流が $\frac{1}{10}$ 秒間に零から5Aに増加したとき二次線輪に幾ヴォルトの起電力を生ずるか。但し鐵心の導磁率を500とし漏洩磁束なきものとす。
- (5) 前問に於て相互インダクタンスは何程か。
- (6) 前問に於て一次線輪の電流が5A通つてゐるとき $\frac{1}{100}$ 秒間に電路を開き電流を0とすれば二次線輪に起る起電力幾ヴォルトか。
- (7) インダクタンス30Hの線輪の電流が $\frac{1}{400}$ 秒間に0より2Aに増加すれば何ヴォルトの逆起電力を生ずるか。
- (8) 1200回捲いた線輪が2Aにて 30×10^6 マックスウエルの磁束を生じ4.5Aにて 50×10^6 マックスウエルの磁束を生ずる。このときの自己インダクタンスを求めよ。

第十章 特殊現象

80. 電子論

電氣學の初期には電氣の本質は液體の如きものと考えられて居たが、19世紀に入り電氣の本質は電氣を帯びた微粒子であると考えられるに至り、次いで19世紀の終期には真空放電(vacuum discharge)の現象より、トムソン(Thomson)等は電氣の本質は陰電氣をおびる微粒子、即ち電子(electron)であることを明かにした。實驗結果によれば電子は次の如き値を持つ微粒子である。

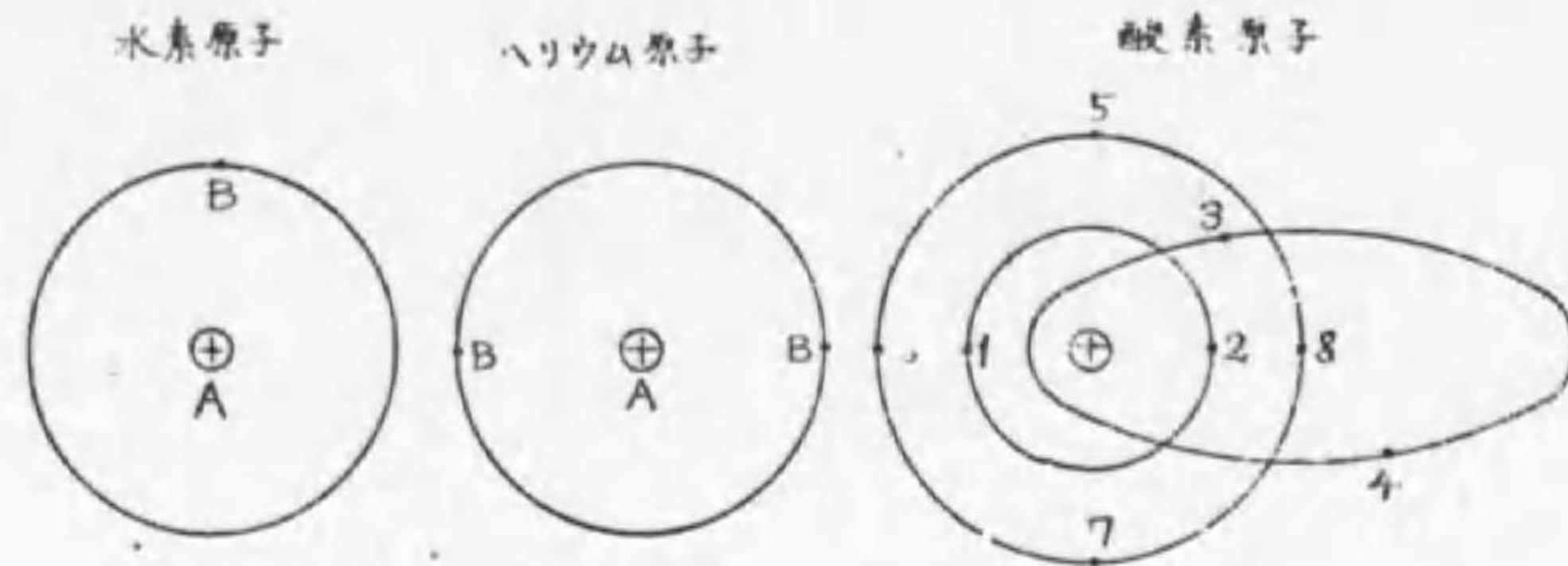
電子の荷電…… $e = 4.774 \times 10^{-10}$ (靜電單位)

“ 質量…… $m = 9.02 \times 10^{-28}$ 瓦 = $\frac{1}{1840} \times$ (水素原子の質量)

“ 半径…… $r = 1.9 \times 10^{-13}$ 糎

その後各種の研究の結果凡ての物質は陽電氣を有する陽核(proton)と其の周圍を一定軌道にて廻轉する電子とより成ることが明かにされ、各種の物質はその電子数により決定されると考へらるるに至つた。即ち原子番號 n なる元素の原子は、 n 個の電子が正電荷 n なる陽核の廻りに配列されて、一定軌道上を廻轉せるもので、原子其の物としては中性となつて居る。

電子の質量は水素原子の質量の約1840倍であるが、水素原子は一個の電子と陽核とから成るから、陽核の質量は電子の質量の約1840



第 7 5 圖

倍である。

原子内の電子はX線(X-rays), 電子衝突等の作用によりその一部を取出すことは容易であるが, 同時に其と等量の陽電子を陽核から取去ることは困難である。之が出来れば物質を全く變化し得るのであつて, 例へば水銀は80の電子を持つが, 之から1個の電子及び之と中和して陽核の一部陽電氣を同時に取去れば, 原子番號79の金の原子となる。之は實驗に成功して居るが, そのためには極めて大なる勢力を要する。

以上の如く物質を構成せる電子は陽核と結び付いて居るが, 物質内には陽核に拘束されずに自由に遊動し得る自由電子なるものがあり, この自由電子が電氣又は熱の傳達を行ふのである。従つて自由電子の多い物質程傳導率が大である。陽核に拘束されて居る拘束電子は, 丁度太陽系の諸星が太陽を中心に運行して居る様に陽核の周圍を運行するが之に外界から電子が飛來したり, 光又は熱を加えてエネルギーを供給すれば, 電子は核の引力に逆つて核より遠い軌道に移る。之を原子が興奮状態にあると云ひ, 興奮状態にある原子が更にエネルギーを得れば電子は陽核の拘束を脱して自由電子となり

空間に浮遊する。この時原子は電離されたと云ひ, 原子は電子の一部が無くなり, 陽イオンと云はれる。自由電子と陽イオンが再結合する時又は興奮状態にある原子が定常状態に復歸する時には, 先に得たエネルギーを放出するため光を發す。

81. 放電現象

空氣は通常絶縁物と見做されて居るが, その絶縁能力は完全ではない。是は空氣中に放射線宇宙線等により若干の電子及び陽イオンが存在するからである。今空氣中に電極をおいて高電壓を加へると電子は陽極に向つて加速され, その途中で空氣分子に衝突してその中の電子を放出せしめ, 斯くて電子は急激に増加しつゝ陽極に向ひ陽イオンも同様の作用を行ひつゝ陰極に向ひ, 結局電流が急増したことになる。之が**火花放電**(spark discharge)であつて, 分子が斯く電離される時には音と光を發する。之は電極間の絶縁物が固體又は液體なる場合にも同様であつて, 電壓がある値に達すれば, 火花と音響を生ず。この時絶縁が破壊されたと云ひ火花の色は絶縁物により異なる。火花放電をなせば兩電極の陰電荷は全く中和される。雷雲の電氣が空氣の絶縁を破つて中和するのが雷である。もし兩極が大なる電源に結ばれ, 火花放電をなすも兩極間の電壓が無くならない時はその火花は引續き生じ, その火花の熱により兩極の物質が蒸發し, その蒸氣を導體として電流が流れ, ために火花は燃え盛る様な**弧光所謂電弧**(arc discharge)となる。この状態は**弧光放電**(arc discharge)と云はれ, 火花の色は初めの場合とは異なる。

今電極間を一定の間隙に保ちつゝ電圧を漸次上昇させて火花放電を生ずるまでの有様を観察するに、ある電圧に達すれば電極附近に帯紫色の薄光を生ずるに至る。是は極附近の強電界により分子が興奮状態に達し又は電離されたものが、再び定常状態に復歸するか又は再結合をなす爲で、之をコロナと云ひ、この程度の放電を**暈光放電** (glow discharge) と云ふ。氣壓低く湿度大なる雨天の日等に送電線が薄紫色の光を出すことがあるのはこの暈光放電のためである。更に電圧を上げると兩極間には無数の光條を生じ弱い音を出し放電する。之を**芒光放電** (Brush discharge) と云ひ、送電線に於て之を支持する碍子の表面に屢々現はれる放電である。更に電圧を上昇すれば遂に強い音と白い火花の飛ぶ前述の火花放電となる。

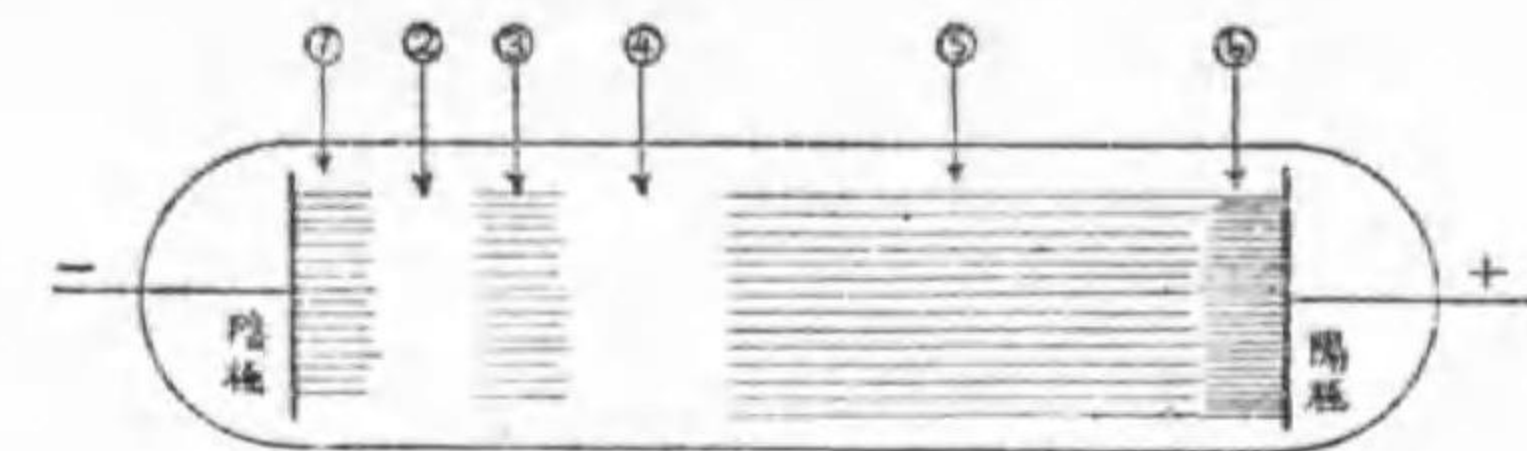
82. 眞空放電

ガラス管の兩端に電極を備えて、中に水銀柱數粒乃至數粒の稀薄なガスを封入せる放電管所謂**ガイスラー管** (Geissler tube) に電圧を加えると、ガスは美麗な光を發して放電が起る。之を眞空放電と云ひ、光の色は封入せるガスにより異り、又ガラス管の色によりても異なる。この光は次の各部分より成る。

1. 陰極暈光 Cathode glow
2. クルツクス暗黒部 Crook's dark space
3. 陰光芒 Negative glow.
4. ファラデー暗黒部 Faraday's dark space.
5. 陽光柱 Positive column.

6. 陽極暈光 Anode glow.

管が相當長くなれば陽光柱が主となる。ネオン管燈はこの様な時の放電管である。又電極間を非常に短かくすれば、陽光柱は無くなり陰光芒のみとなる。斯様なものにネオンランプがある。



第 7 6 圖

ガス壓が更に $\frac{1}{10}$ mm 内外になつた場合には、陽光柱は無くなりクルツクス暗黒部が前方に擴がり陰光芒が陽極に達す。更にガス壓が $\frac{1}{100}$ mm 以下になると、クルツクス暗黒部が管内全部に擴がつて陰極から高速度の電子流を發生す。この程度の放電管は**クルツクス管** (Crooke's tube) と云はれ、陰極から出る電子流を陰極線と云ひ、眼には見えない。

83. 陰極線

陰極線 (Cathode ray) は電子の流れであるから、その速度は兩極の電圧により異り、電圧大なる程電子速度は大となる。今陰極線の性質を個條書に記すと下の如し。

1. 陰極線は衝突する物體を熱する。而してその速度の大なる時にはその衝突する所から線を發する。
2. 陰極線は氣體分子に衝突すれば之を電離する。

3. 陰極線は磁場の作用で曲がる。
4. 陰極線は陰極面に直角に放射され直進する。
5. 陰極線は硝子の如き螢光物質に衝突すれば**螢光** (fluorescence) を發す。

之等の性質により各種の方面に利用される。

34. 熱電子現象

金屬を熱すればその周囲の空間が導體となることは古くから認められて居たが、19世紀の終期に至り初めて組織的研究が行はれ、金屬を熱すればその内部の自由電子がその表面から放出されることが明かにされた。

然し金屬の表面から出た電子は空氣中にて空氣分子に衝突して遠くに飛出すことが出来ないが、氣壓が0.3mm水銀柱以上の眞空中にては熱金屬の表面から盛んに電子を放出する。然し飛出した電子は陰電氣を帯びて居るから、後から出んとする陰電子を反撥して之を止める。故に引續き電子を放出するには熱金屬と相對して金屬板を置き、之に陽電壓を加えて熱金屬の方には陰電壓を與えておけば、熱金屬から出た電子は陽極に引かれ、順次に熱金屬より電子が放出される。従つてこの兩極間には、金屬板より熱金屬の方向に電流が通ることとなる。而してこの電流は陽極の電壓を高める程増加するがこの電壓がある程度大きくなれば、最早電流は増加せず、次の式に示される様な値となる。

$$I = AT^2 e^{-\frac{B}{T}}$$

但し A, B は熱金屬の物質により定まる定數

T は熱金屬の絶對溫度

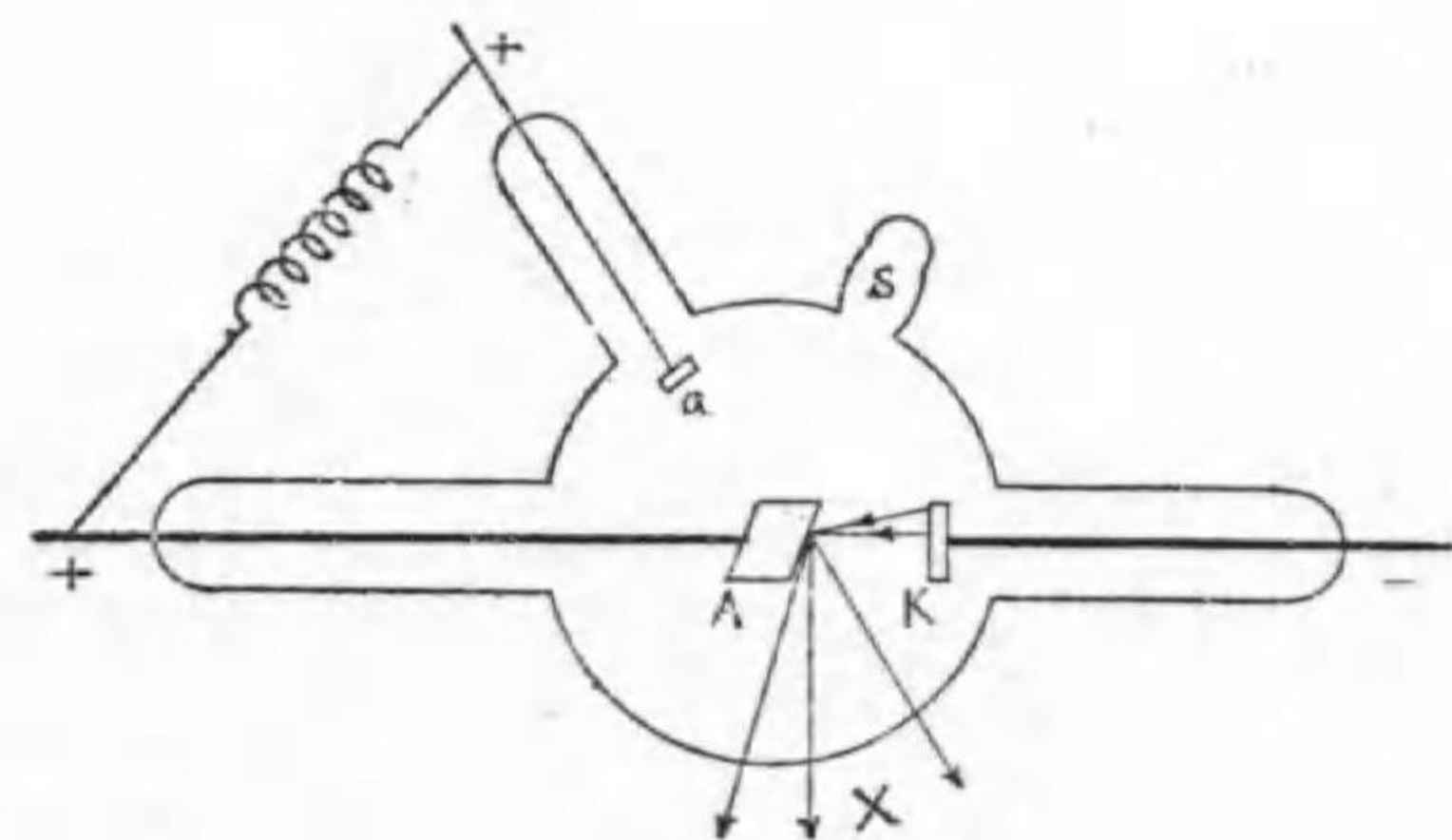
e は自然對數の底數

であり、この電流 I を飽和電流と云ふ。

85. X線

1895年**レントゲン** (Roentgen) は陰極線が衝突して螢光を發して居る硝子壁から眼に見えない放射線を發して居ることを見出し、之にX線と命名した。一般にX線は高速度の電子が固體に衝突する所から發生し、光線と同じく電磁波であるが、その波長は極めて小なるものである。而して之は螢光體に螢光を發せしめ、寫眞の種板に感じ、氣體を電離し光に不透明な物體を通過する。

X線發生装置に2種あり、その一つは第77圖の如く0.015mm(Hg)

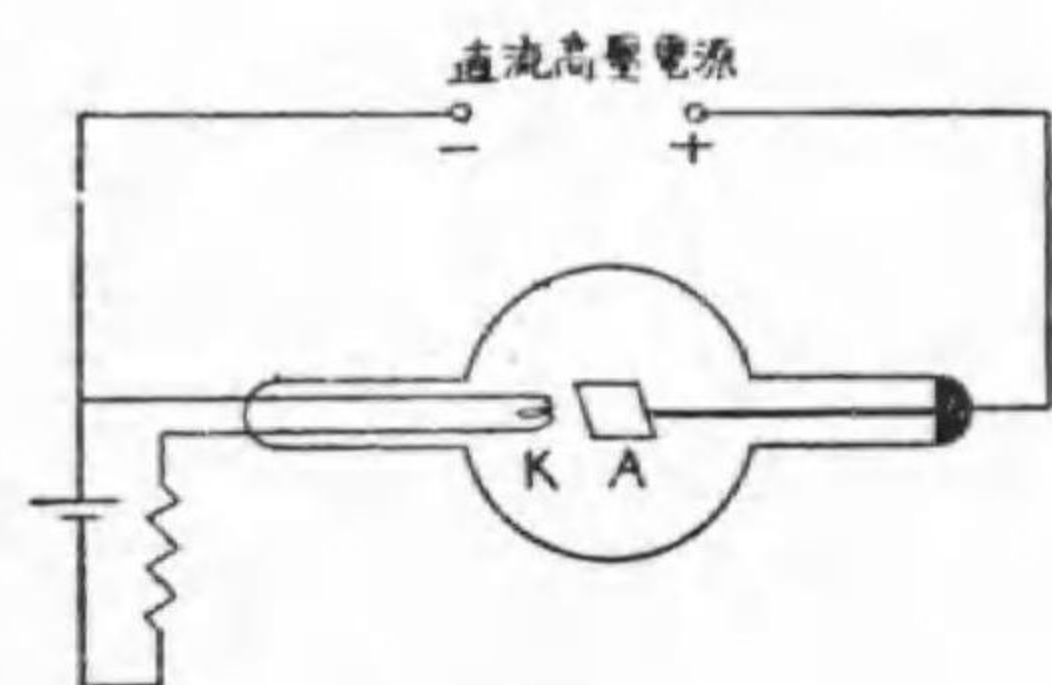


第 7 7 圖

程度に排氣した瓦斯管球で、Kを陰極としA, aを陽極として高電壓を加へれば残留氣體が電離して陽イオンの衝突により陰極面から

陰極線が発生し、之がAの面に衝突してX線を生ず。X線は硝子壁を通して管外に放射する。Aは陰極線の衝突により高温に達するから融解温度の高い白金、ロチウム、タングステン等を用ふ。附屬装置として真空度調節用側管Sがある。一般に放電管は長く使用すると管内の氣壓が減少して放電が困難となるので、このS管中にアスベスト又はアルミニウムを封入すれば、使用中加熱のため之に含まれる氣體が管内に放出され、管内の氣壓を高めることが出来るのである。

他の種類のものは**クーリッジ管球**(Coolidge tube)と云ひ、現在は多く之を用ふ。第78圖の如く熱陰極Kと陽極Aのみを有し、真空度は甚だ高く殆ど完全に排氣されて居る。熱陰極Kは普通の電球の如く



第78圖

くタングステン繊維で、之を點火して熱電子を放出し陽極と陰極との間に高い電圧を加へると、熱電子は強く加速されて陽極に衝突しX線を發生する。従つてこの管球では管内の残留瓦斯

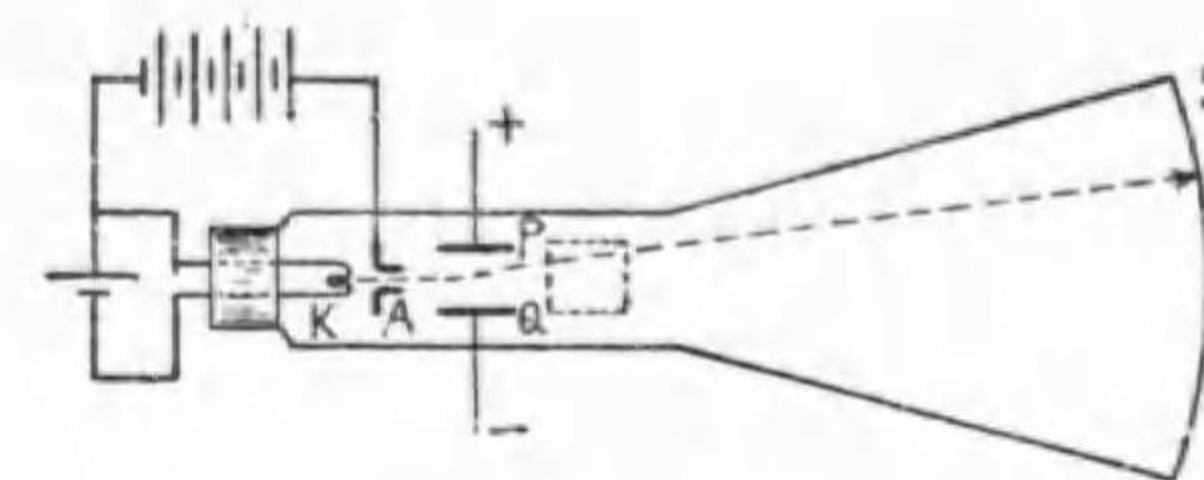
は不必要であり、又繊維の加熱温度によりX線の量を自由に調節し得るので操作上甚だ便利である。

86. ブラウン管

陰極線應用の他の一つに**ブラウン管**(Braun tube)がある。第79圖

の如く熱陰極Kから出た電子は陽極Aに引かれ、陽極に作られた細孔を通して點線の如き陰極線となる。従つて硝子壁Sに螢光物質を塗布すれば之に陰極線が當つて光點を現はす。今この陰極線と直角に靜電界又は磁界を與へると、陰極線は電子の流れであるからその作用を受けて進路が

曲げられる。従つて電極P, Qに交番電圧をかければ光點はS上を連続して振動する。斯様な真空管をブラウン管と云ふ。



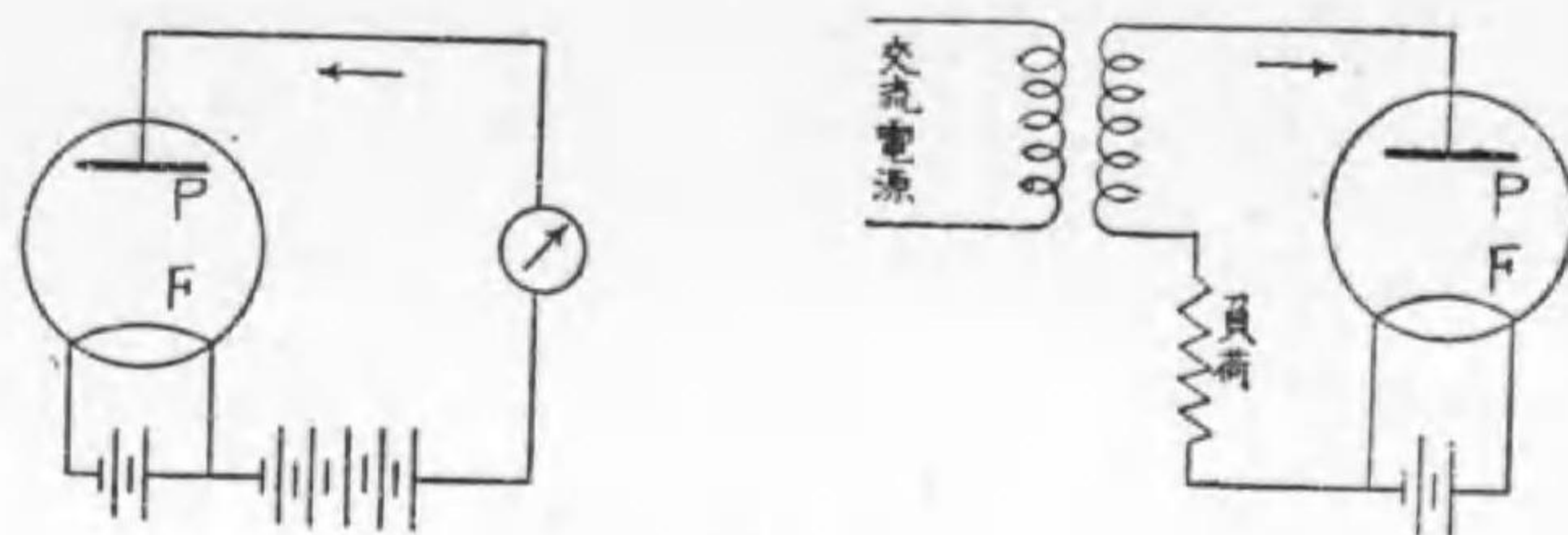
第79圖

更にP, Qの外に之と直角の方向に陰極線を圍んで二枚の電極を對立させ、之に時間と共に變化する電圧を與ふれば、P, Qに加へた交番電圧は螢光板Sの上に光點により正弦波を描くべし。斯様な装置を**陰極線オツシログラフ**(Cathode ray oscillograph)と云ふ。この外ブラウン管は**テレヴィジョン**(television)の送像受像装置にも應用されて居る。

87. 眞空管

第80圖の如く充分に排氣せる硝子管中に、タングステン繊維Fと金屬製陽極Pとをおき、Fに電流を流せば熱せられて電子を放出し、Pに陽電圧を加ふれば84節で説明せる如く電子の流れを生ずる斯様な真空管を二極眞空管と云ふ。もし今繊維をプレートに對して

高電位とすれば、繊維より出る電子は直ちに繊維に引き戻され結局繊維プレート間に電子の流れは生じない。故に二極管に交番電圧を加へれば整流作用をなす。



第 80 圖

二極管のPF間に更に格子状又は網目状の電極（グリッドと云ふ。）をおいた所謂三極管は、グリッドがプレートに比し繊維に近いから、その繊維に対する電位差が電子流に與える影響は甚だ大である。即ちグリッドの電圧を僅か變化しても電子流即ちプレートから繊維への電流に大きな變化を與える。斯様な特性は無線電話、測定方面に廣く用ひられる。

以上の外グリッドを多數備えた四極管、五極管等あり、最近は六グリッド8極管まである。

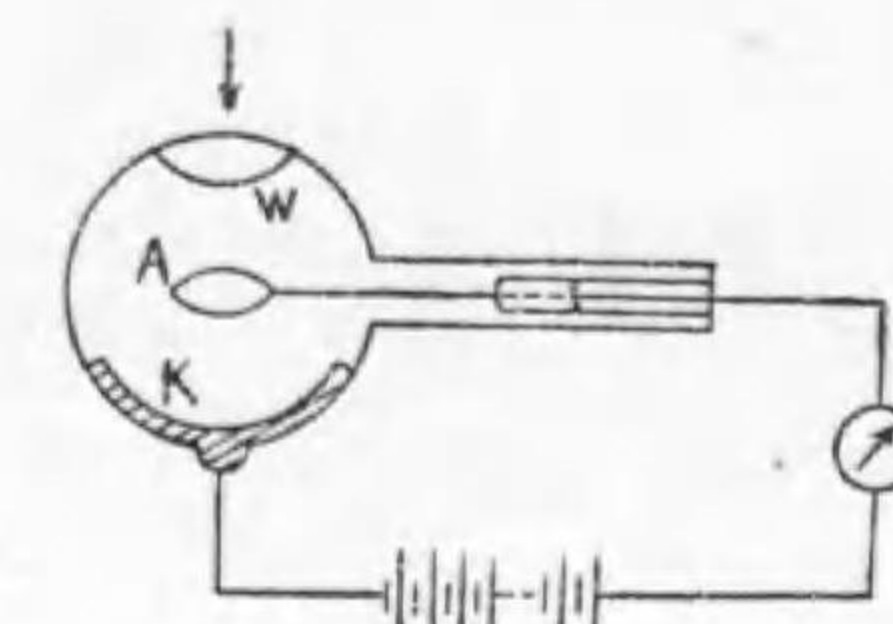
88. 光 電 管

上述の如く金属を熱すればその表面から電子を放出するが、又金属の中セシウム、リシウム、カリウム、ヘリウム、ナトリウム等に光を当てるとその表面から電子を放出する。

光電管(photo-electric tube)はこの光電効果(photo-electric effect)

を應用したもので、管内を真空にした真空光電管と、アルゴン、ネオン等の瓦斯を封入した瓦斯入光電管とがある。

光電管の構造は第81圖の如く、硝子球内面は光の入るべき窓Wの外は全部銀鍍し、その上を上記金属の薄膜で蔽ふ



第 81 圖

たものであり、球の中心には金属の輪又は綱で出来た陽極が置かれる。之を圖の如く接続して、窓Wから光を投射すると陰極から光電子が飛び出し、陽極に流れ込むため検流計が振れる。而して光を遮断すれば、その光電流は無くなる。これは自働警報装置に應用される。

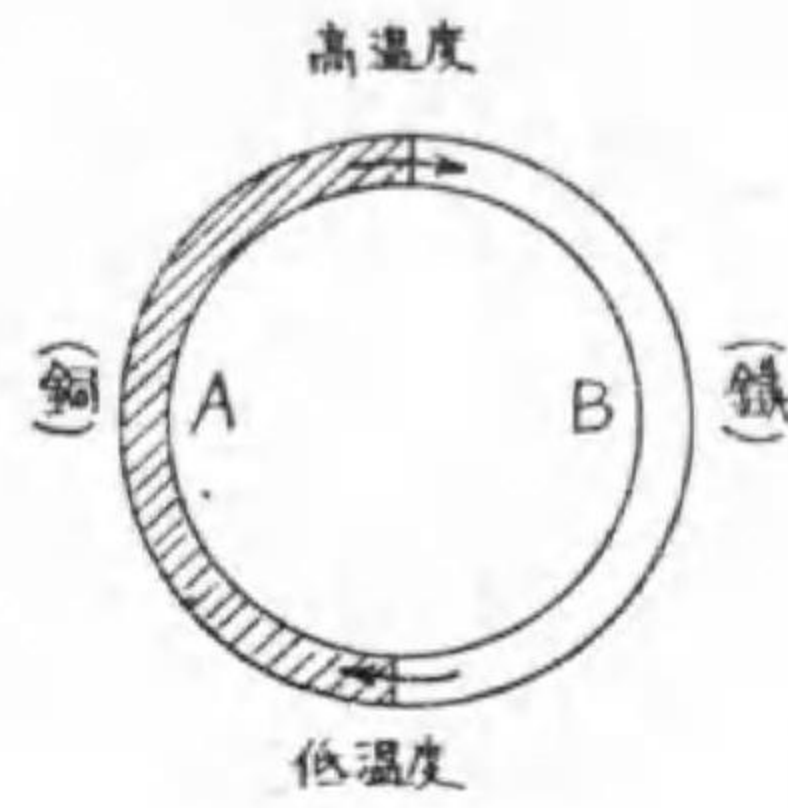
光電流の大きさは陰極に用ひられる金属の種類及び投射された光の種類(光はその波長により各種の色の可視光線不可視光線となる。)により大いに異なるが、投射光が強ければ其に比例して電流も大となるため、光電管は寫真傳送、光線電話、テレビジョン等に廣く應用される。

陽極電圧の光電流に及ぼす影響は、真空管型に於ては陽極電圧の増加と共に光電流も増加するが、或る程度陽極電圧が増加すれば最早や光電流は飽和値に達して、以後は増加しない。即ち斯の程度の陽極電圧の下では光電管の動作は安定である。次にガス入型に於ては高電圧を加ふれば、ガス分子の電離により、却つて光電流は増加し飽和現象は無い。即ち前者に比し、數倍の光電流が得られる。然し

餘り電壓を高めると終に暈光放電となり放電電流は光で制御出来ない。

89. 熱起電力

二種の異なる金属を結合して回路を作り、一方の接合点を熱する時



第 82 圖

は、この回路内に電流が流れる。之を熱電流 (thermoelectric current) と云ひ、この現象をゼーベック効果と云ふ。熱電流は結合點の一方が他方より温度高きときその熱エネルギーが變遷して起電力を生ずるため生ずるのであつて、この起電力を熱起電力 (thermo e.m.f.) と云ふ。熱起電力は

組合せる金属の種類及び兩結合點の温度差により異り、普通は一方の接點を氷の入つた魔法瓶中に入れて零度に保ち他の接點を熱する今白金と種々の金属を組合せて一方の接點を零度とし、他の接點を 100°C とするときの熱起電力を示すと第 6 表の如し。表中 (+) は電流が 0°C の接點にて白金の方に向ふ起電力を示し、(-) はその逆を示す表中の任意の二つの金属を組合はすときは、その白金に対する起電力の差が、その二つの金属より成る熱電對 (thermocouple) の起電力となる。

即ち起電力の最も大なるは蒼鉛とアンチモニンの組合せで

$$4700 - (-6500) = 11200 \text{ マイクロボルト}$$

第 6 表 白金に對する熱起電力

金 屬	熱起電力(10 ⁻⁶ volt)	金 屬	熱起電力(10 ⁻⁶ volt)
蒼 鉛	-6500	鉛	+ 410
コンスタンタン	-3440	マンガン	+ 570
ニッケル	-1640	銀	+ 710
コバルト	-1520	金	+ 730
洋 銀	-1000	銅	+ 740
アルミニウム	+ 380	亞 鉛	+ 750
眞 鍮	+ 400	鐵	+1600
錫	+ 410	アンチモン	+4700

である。然しその起電力は尙小であるから、斯様な組合せの熱電對を數箇直列に接続して大なる起電力を生ずる様にしたものを熱電堆 (thermopile) と云ふ。

熱起電力は接合點の温度差によりその値が異なるから、豫め温度と熱起電力の關係を求めおけば之を温度計に利用することが出来る。熱電對高温計 (pyrometer) は熱電對を耐熱絶縁物で包み一端を高熱部に挿入すれば、他の接合點に入れたミリボルト計の目盛にその温度が指示される如く作られたものである。

一般に二種の金属の低温接合點を 0°C に保ち、高温接合點の温度が t°C なるときの起電力は、

$$E = a\left(\frac{t}{100}\right) + b\left(\frac{t}{100}\right)^2 + c\left(\frac{t}{100}\right)^3 \text{ ミリボルト}$$

で表はされる。普通用ひられる高温計につき a, b, c の値を示せば次表の如し。

組合せ	a	b	c	温度の範囲
白金と白金ロザウム	0.664	0.0388	-0.00096	0° 1700°
コンスタンと銅	3.60	0.445	-0.023	-185° 500°
コンスタンと鐵	4.76	0.317	-0.036	-185° 600°

問題之答

- 33頁 (1) 72×10^6 クーロム (2) 21アムペア時, 75600クーロム
(3) 15アムペア
- 35頁 (4) 5オーム (5) 50オーム (6) 100ヴォルト
(7) 2.8ヴォルト
- 36頁 (8) 0.2アムペア (9) 4:1
- 37頁 (10) 1.33オーム (11) 88.2m
- 39頁 (12) 32.34オーム (13) 121.4オーム (14) 150.9オーム
(15) 60オーム
- 40頁 (16) 35°C
- 41頁 (17) 1.1オーム (18) 1.08オーム (19) 20オーム
(20) 2.3オーム
- 42頁 (1) 500オーム (2) 210ヴォルト (3) 0.02アムペア
(4) 100ヴォルト (5) 0.36アムペア (6) 15アムペア時
(7) 25.15オーム (8) 2.57オーム (9) 31.18オーム
(10) 0.0887オーム (11) 0.000292オーム
- 54頁 (1) 800オーム, 0.125アムペア (2) 133オーム
(3) 2.1オーム (4) 6.3アムペア, 2.7アムペア
- 55頁 (5) 2オーム (6) 20, 13.3, 10, 6.6アムペア
(7) 3.175オーム
(8) 4.7, 2.94, 1.76アムペア (9) 1.5オーム (10) 1.2オーム
- 58頁 (11) 2ヴォルト (12) 101ヴォルト (13) 2ヴォルト
0.3オーム

- 59頁 (14) 110 ヴォルト (15) 102 ヴォルト 93 ヴォルト
- 63頁 (16) 30, 17, 33 アムペア (17) 4, -13 アムペア
(1) 100:1 (2) 23.1 オーム
- 64頁 (3) 8 オーム (4) 0.02 オーム (5) 0.02 オーム
(6) 507.2 オーム (7) 2 アムペア, 4 アムペア
(8) 2.5 アムペア, 0.5 アムペア (9) $10\frac{1}{2}$ オーム
(10) 3.75 アムペア (11) 100 ヴォルト
- 65頁 (12) $\frac{ER_2}{R_1 + 2r + R_2}$ (13) 1 アムペア, 3 アムペア
(14) a. 2.0619 ヴォルト, b. 204 オーム, c. 0.55 アムペア
(15) 168° (16) 16.8 アムペア
- 68頁 (1) 156 W.H.
- 69頁 (2) 7.5 KW.H., 1.5 K.W. (3) 2.7 KW.H.
(4) 0.5 アムペア (5) 2 KW, 0.5 KW.H.
- 71頁 (6) 40 ワット (7) 500 ワット
(8) 12096 カロリー (9) 4800 カロリー
- 72頁 (10) 72 ワット (11) 375 ワット
(1) 459 W.H. 1652400 ジュール (2) 15 アムペア
(3) 40.5 KW.H. (4) 2.5 アムペア, 20 オーム, 4500 キロカロリー
(5) 23.52 カロリー
- 73頁 (6) 18 圓 (7) 14 KW.H. (8) $\frac{9}{4}\%$
- 80頁 (3) 180 ダイソ
- 81頁 (5) 4 アムペア (6) 5.2×10^6 エルグ
- 82頁 (1) 1.256 ガウス (2) 816 ダイソ (3) 8700 本 30450 エルグ
- 83頁 (4) 上方向 5 ダイソ/cm
- 87頁 (1) 0.0025 エルステッド, (2) 1808640 マックスウエル

60288 ガウス

- 90頁 (1) 3108.6 ギルバート, 2475 アムペアターソ (2) 3.98 アムペア
(3) 15.9 アムペア (4) 325 ギルバート, 51 回
- 102頁 (2) 8 ヴォルト (3) 12.5 ヴォルト (4) 157 ヴォルト
(5) 314×10^6 ヘンリー (6) 1570 ヴォルト
(7) 24×10^{-5} ヴォルト (8) 96×10^3 ヘンリー

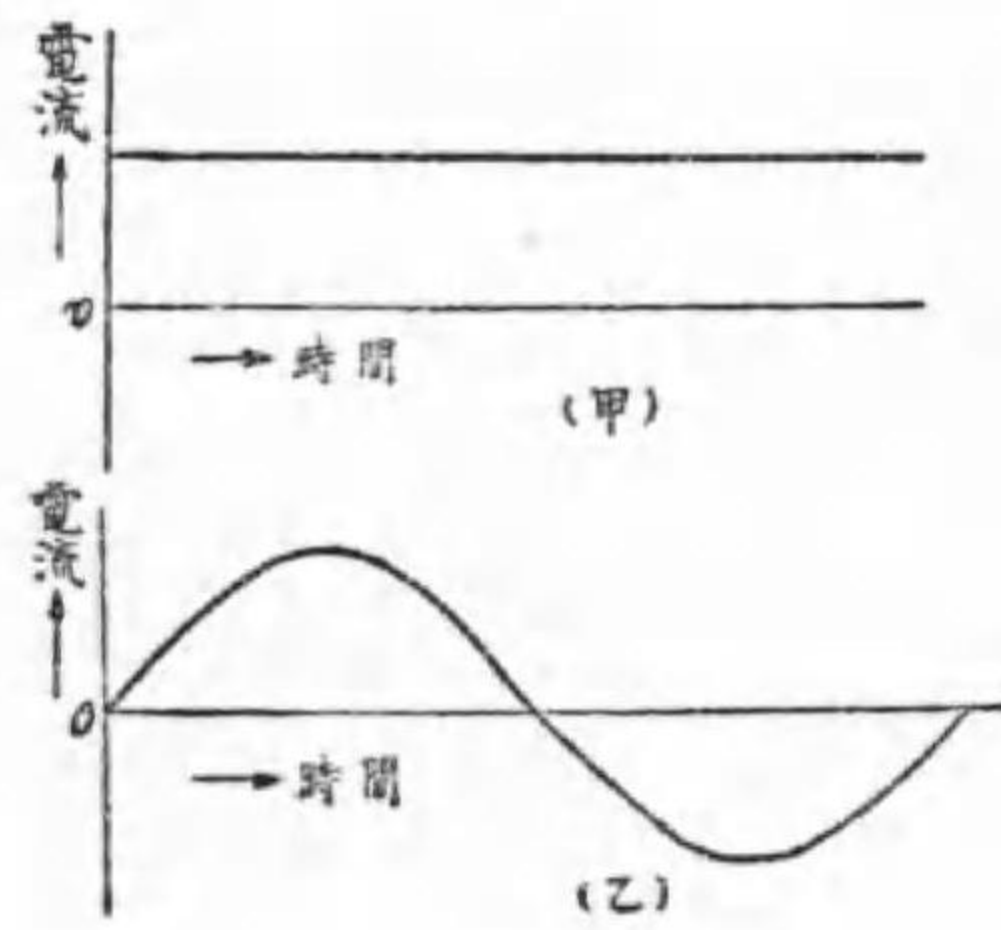
交流理論

第一章 正弦波交流

1. 直流と交流

今電池の陽極と陰極とを銅線で接続すると、常に一定の方向に電流が流れる。この様な電流を**直流** (Direct Current or D. C.) と云ふ。

さて柱時計の振子を見ると、中心より左右に動き中心からの隔りは時間と共に周期的に変化する、**交流** (Alternating Current) も電流の方向が或る一定の時間を置いて規則正しく反対となり、又其の



第 1 圖

大いさも一般に一定時間内で規則正しく刻々時々変化する様な電流を云ふ。

第 1 圖 (甲) は直流, (乙) は交流を各々横軸に時間, 縦軸に電流をとつて表はしたるものなり。

電流は起電力に従つて流れる

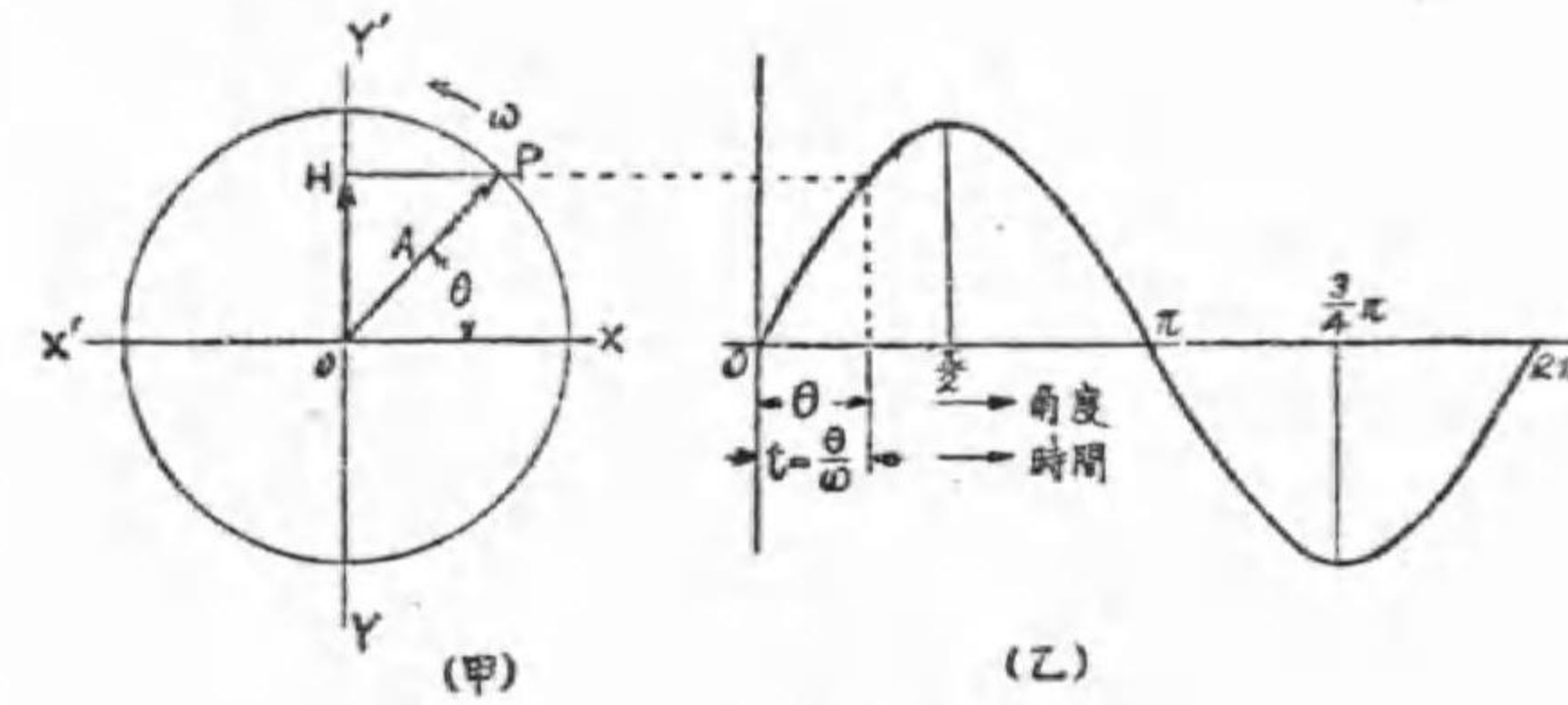
故、交流を流すにはそれと同じ様な起電力即ちその大いさ及び方向が周期的に変化する起電力を加へなければならぬ。

斯る起電力を**交番起電力** (Alternating e. m. f.) と云ふ。又電池の起電力の様な方向一定の起電力を**直流起電力** (Direct Current

e. m. f.) と云ふ。

2. 正弦波曲線

第 2 圖 (甲) に於いて長さ A なる直線 \overline{OP} が O を中心として OX なる位置より反時計式に毎秒 ω ラジアンの一一定角速度で廻轉するものとす。然る時、直線 YOY' 上へ直線 \overline{OP} の投影の長さは時々刻々その値を変化する。



第 2 圖

今任意の時刻迄に直線 \overline{OP} が θ ラジアンなる角だけ廻轉せりとすれば、 $\theta = \omega t$ にしてその瞬時に於ける YOY' 上への直線 \overline{OP} の投影の長さを a とすれば

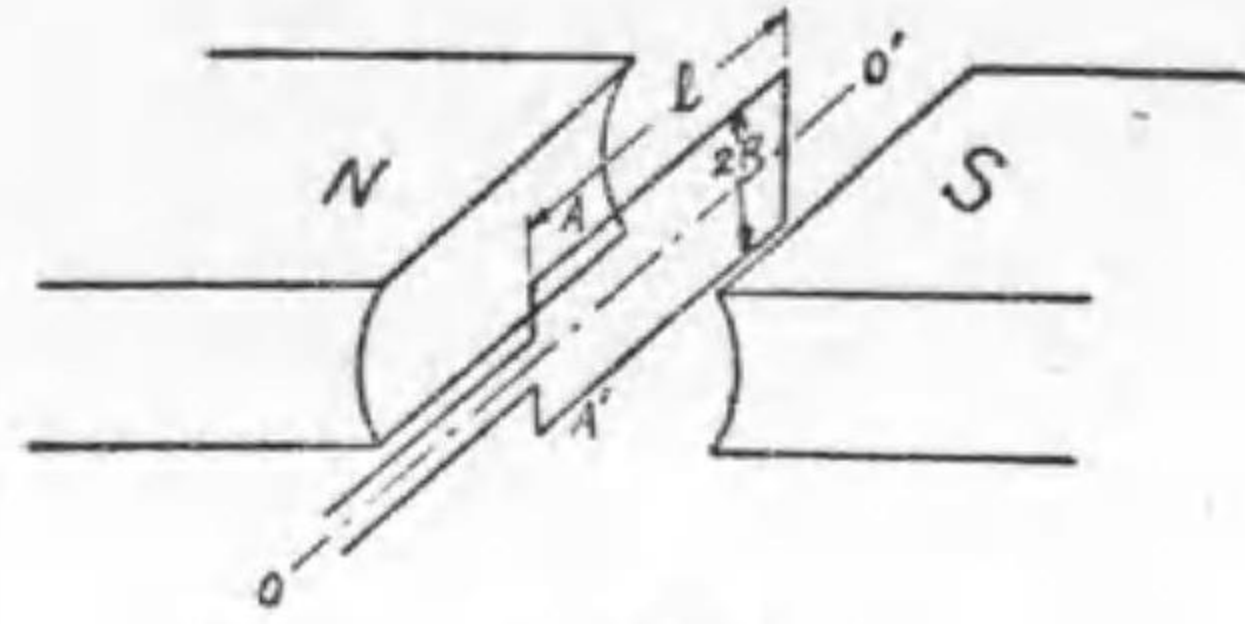
$$a = \overline{OH} = \overline{OP} \sin \theta = A \sin \omega t$$

即ち $a = A \sin \theta = A \sin \omega t$

上式をグラフに表はせば、第 2 圖 (乙) の如くなる。これは 2π ラジアン (360°) を周期として変化する曲線でこの曲線を**正弦曲線**

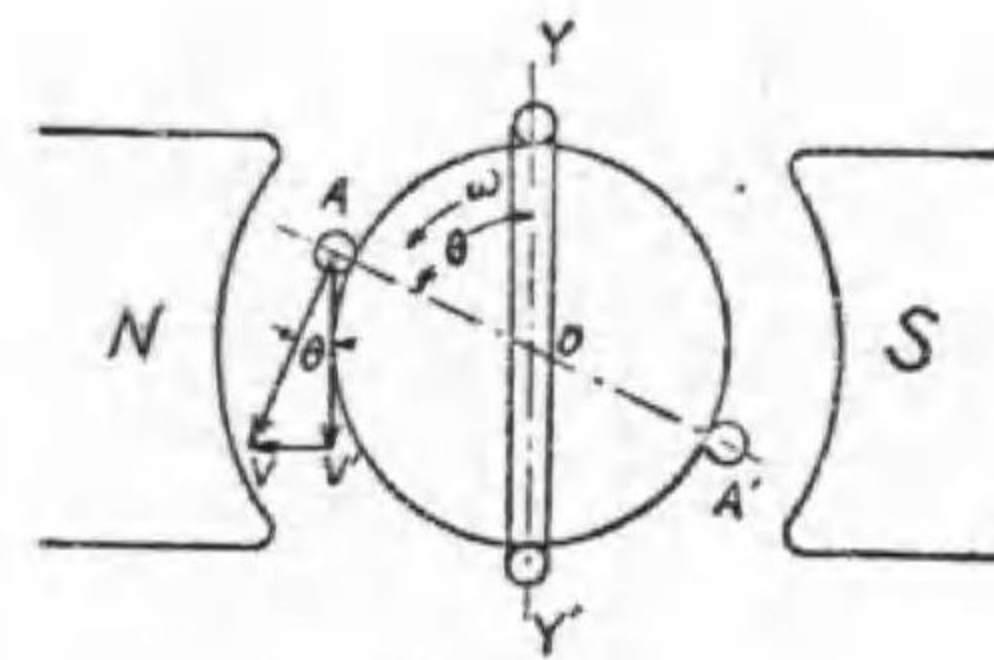
(Sine wave) と云ふ。

3. 正弦波起電力の発生



第 3 圖

第 3 圖の如きもので短形線輪を OO' 軸の周りに廻轉すれば導體 A, A' は磁束を切つて起電力を發生する。



第 4 圖

線輪が磁場に直角な YY' 面の位置から ω なる一定角速度で廻轉を始め、 t 秒後に第 4 圖の如き位置になりたりとすれば

$$\angle AOY = \theta = \omega t$$

である。

この時の圓周速度 V は ωR でそれを \overline{AV} で示す、 \overline{AV} の方向に導體がある速度で移動する時實際有効に磁束を切るのはその速度の磁場に對して直角の分力のみである、この直角分力を $\overline{AV'}$ で表はせば

$$\overline{AV'} = \overline{AV} \cos(90^\circ - \theta) = V \sin \theta = V \sin \omega t$$

となる。

今磁場の強さを B とし、平等磁界とす。

第 4 圖の A の導體について考へると、導體に發生する起電力は磁束を切る割合に比例する故、 l 種なる長さの導體が毎秒 $V \sin \theta$ 種/秒なる速度で磁束を直角に切るから、 A なる導體は一秒間に $l V \sin \theta$ 平方種面積を通る磁束を切ることになる。磁界の強さが B ガウスなる故一秒間に切る磁束は $B \cdot l \cdot V \sin \theta$ となる。 A' なる導體についても同様に考へると結局線輪に起る全體の起電力は

$$\begin{aligned} e &= 2BlV \sin \theta \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \\ &= 2Bl\omega R \sin \theta \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \\ &= (B \times 2Rl) \omega \sin \theta \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \end{aligned}$$

茲に $(B \times 2Rl)$ は全磁束にして、これを ϕ とすれば上式は

$$e = \omega \phi \sin \theta \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots \dots \dots (1)$$

(1) 式は線輪一捲として計算した値なるも、 N 捲の時は

$$e = \omega N \phi \sin \theta \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots \dots \dots (2)$$

なり。 ω, N, ϕ は定數なるを以て

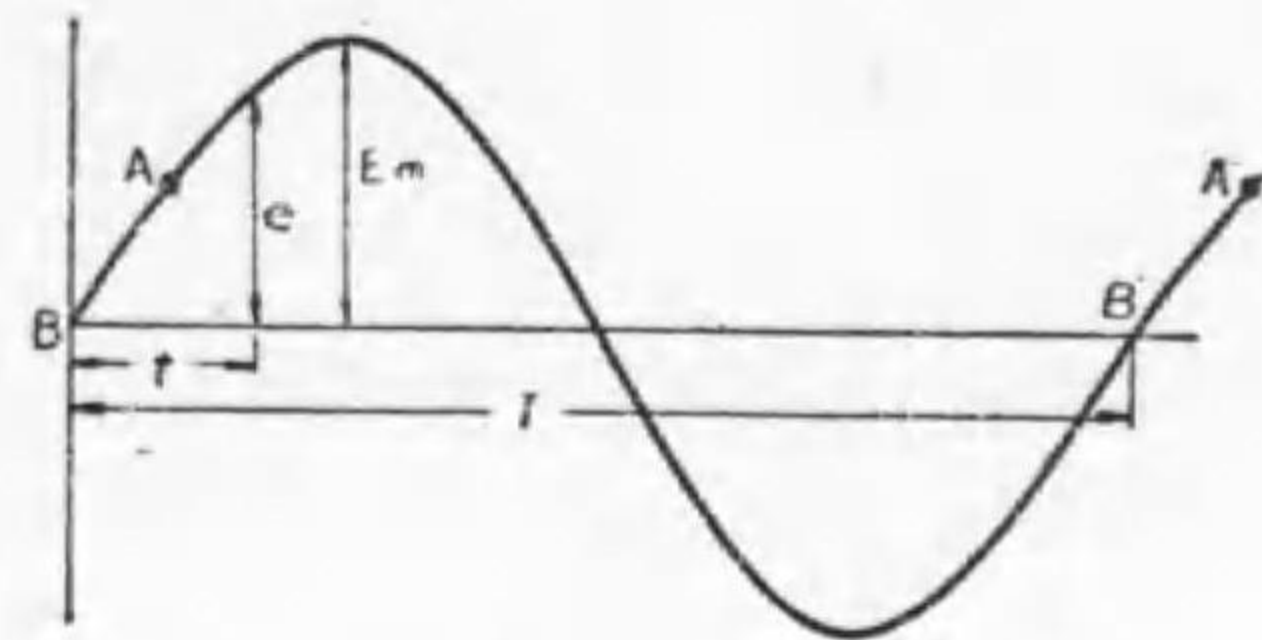
$$\omega N \phi \times 10^{-8} = E_m \text{ とすれば}$$

$$e = E_m \sin \theta \text{ ヴォルト} = E_m \sin \omega t \text{ ヴォルト} \dots \dots (3)$$

(3) 式は磁束密度 B ガウスなる平等磁界内にて廻轉する線輪に誘導される起電力の一般式である。 e は或る瞬時に於ける起電力の値で、是を瞬時値 (Instantaneous Value) と云ひ、 E_m を起電力の最大値 (Maximum Value) と云ふ。

(5) 式を圖示すると第 5 圖の如くなる。

交番起電力及交流の一波形の變化を周波 (Cycle), 一周波の變化



第 5 圖

に要する時間 (秒) を周期 (Period), 一秒時中に生ずる周波の数を周波数 (Frequency) と云ふ, 周波数を f , 周期を T とすれば

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \text{ 秒} \dots\dots\dots(3)$$

従つて

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \text{ ラジアン/秒} \dots\dots\dots(4)$$

$$\theta = \omega t = 2\pi f t \text{ ラジアン} \dots\dots\dots(5)$$

故に (2) 式にて表はされた電圧の瞬時値は

$$e = E_m \sin \theta = E_m \sin \omega t = E_m \sin 2\pi f t \dots\dots\dots(6)$$

(6) 式の ωt の値が零から 2π (360°)迄即ち一廻轉で一周波を完成する。

二極交流発電機に於ては線輪の一廻轉毎に一周波の起電力を生ずる故に今線輪の毎秒の廻轉數 n とすれば一秒時中には

$$f = n$$

即ち n サイクルの起電力を發生する, 四極の場合には線輪一廻轉につき二周波の起電力を生ずる故毎秒 n 廻轉する時は, $f = 2n$

サイクルの起電力を生ず。

一般に P 極の場合は線輪の一廻轉につき $\frac{P}{2}$ 周波を生ずる故に

$$f = \frac{P}{2} n \dots\dots\dots(7)$$

なる關係あり。又線輪の廻轉數を毎分 N 廻轉とすれば

$$f = \frac{P}{2} \cdot \frac{N}{60} = \frac{PN}{120} \dots\dots\dots(8)$$

となる。

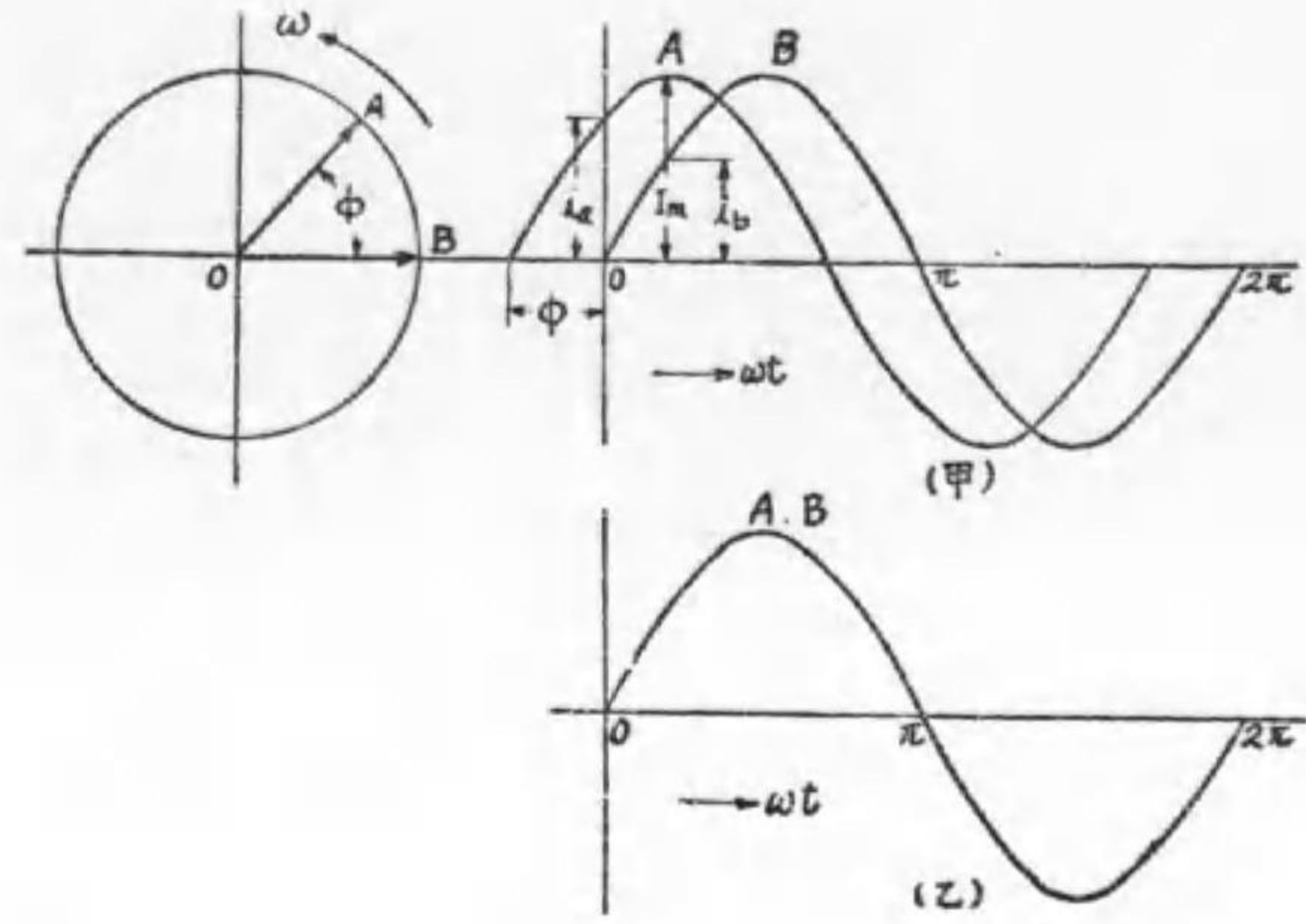
線輪が一對の磁極の下を通過する毎に一周波を發生する, 然して電氣的には一周波を 360° (2π ラジアン)として示す故に N 極→ S 極→ N 極の機械的角は 2π ラジアンに相當する, 故に P 極の交流発電機に於ける一廻轉は電氣角の πP ラジアン或は $180P$ 度に相當する, 交流理論に於ては角度は電氣角を使用する。

問 題

1. 周波數各 25, 50, 60, サイクルなる正弦波の周期及角速度を求めよ。
(答) 0.04秒 0.02秒 0.0166秒 50π 100π 120π
2. 4 極, 1800 R. P. M. (廻轉數/分) の交流発電機あり, その誘導起電力の周波數及線輪の角速度を求めよ。 (答) 60サイクル 120π
3. 50サイクル, 4 極の交流発電機あり, その廻轉數は毎分何廻轉か。
(答) 1500廻轉

4. 位相及位相角

第 6 圖に示す様に同一最大値を持つ A, B , なる二つの正弦波交



第 6 圖

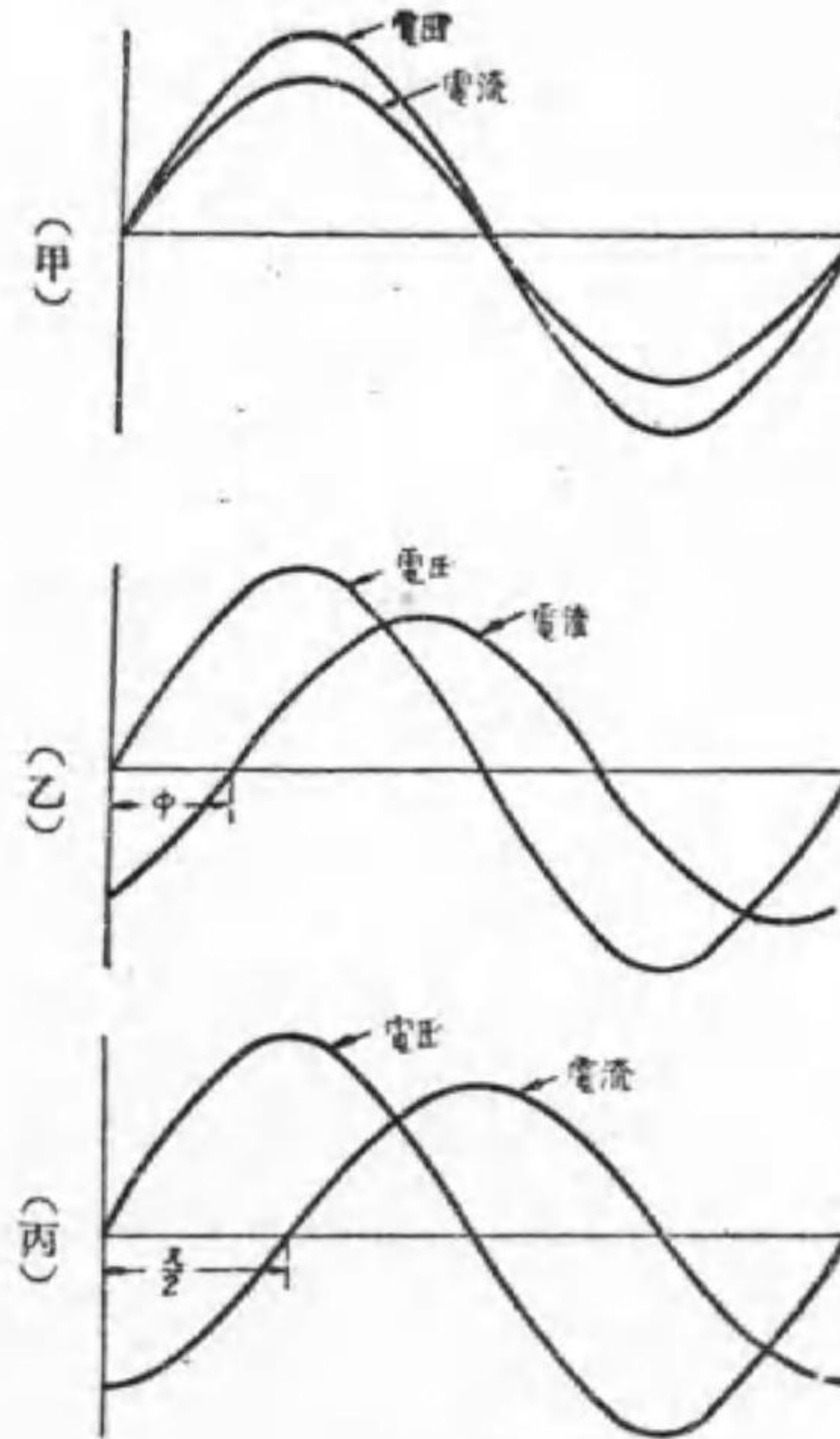
流あり、今 B 交流が零なる時刻に於ては A 交流は i_0 なる値に達して居る、又 A が最大値 I_m の時は B は i_0 の値で未だ最大値 I_m には達して居ない。この様に A なる交流が常に B 交流より先に或る値を取りそれから或る時間を経てから B 交流は初めて A 交流の取つた値になる、換言すれば A 交流の時間的変化は常に B 交流の変化より進んで居る。

交流理論では此の B 交流の A 交流よりの時間的変化の遅れを時間で示さないで電氣角度で示すのである。故に第 6 圖の様な場合は A 交流は B 交流より角 ϕ だけ位相 (Phase) が進んで居り、又 B 交流は A 交流より角 ϕ だけ位相が遅れて居ると云ふのである。

若し A, B 二交流の時間的変化が同じであれば即ち A 交流零

の時刻に B 交流も零であり A 交流が最大の値に達した時刻に B 交流も亦同時に最大値に達すると云ふ様な場合は A, B 二交流は同位相 (略して同相) (In-phase) であると云ひ圖で示せば第 6 圖 (乙) に示す如く、A, B が重なる。以上は最大値の等しいものに就いて述べたが異なつた最大値を持つ二つ以上の交流に対しても同様に云ふ事が出来る。

今最大値の違つた電圧と電流の場合を圖で示して見やう。



第 7 圖

第 7 圖 (甲) は電圧が零の時には電流も亦零であり電圧が最大の時は電流も亦最大となるから電圧と電流とは同位相の場合であり、乙圖では電流の方が電圧の変化より ϕ だけ遅れてゐる。即ち電圧と電流とは角 ϕ だけ位相差のある場合であり又丙圖では電圧と電流との位相差は $\frac{\pi}{2}$ であつて電圧は電流より $\frac{\pi}{2}$ だけ位相が進んで居る場合である。

位相の差 (Phase difference) 即ち一方の位相が他方より進んで居るとか、又遅れて居るとか云ふのは、周波数の同じ交流及び交番

起電力の間でだけ意味があつて若し周波数が違ふ時は位相差も時々刻々變化するから何ら意味をもたないことになる。

問題

1. 三つの回路あり、 $E = \sqrt{2} 100 \sin \omega t$ なる交番起電力を加へたるに

$$(イ) i_1 = \sqrt{2} 20 \sin \omega t$$

$$(ロ) i_2 = \sqrt{2} 20 \sin (\omega t - 90^\circ)$$

$$(ハ) i_3 = \sqrt{2} 20 \sin (\omega t - 30^\circ)$$

の電流が流れたと云ふ。電圧、電流の關係を波形で示せ。

5. 平均値及實効値

一般に交番起電力、及び交流の半周波間の各瞬間値の平均の値を平均値 (Mean Value) と云ひ、正弦波交流及起電力では最大値 I_m 或は E_m と平均値 I_a , E_a の間には次の關係がある。

$$I_a = \frac{2}{\pi} I_m \text{ 或は } E_a = \frac{2}{\pi} E_m \dots \dots \dots (9)$$

ある交流をある導體に一定時間通した時に、その導體に同じ時間だけ1アンペアの直流を通じた時と同量の熱を發生したとすれば、その交流の實効値 (Effective Value) は1アンペアであると云ひ、例へば實効値で5アンペアの交流が或る抵抗中を通る時、生ずる熱は直流5アンペアと同様である。普通10アンペアとか、100ヴォルトとか云ふのは其の實効値を云ふのであつて一般交流電壓計、電流計は其の實効値を指示する。

今ある抵抗に正弦波交流を通せし時を考ふるにその電力は

$[(\text{電流の瞬時値})^2 \times \text{抵抗}]$ の平均にして此の交流の實効値と等しき直流が流れる時の電力は

$$(\text{實効値})^2 \times \text{抵抗} \text{ である。}$$

此の兩者は實効値の定義より考へて全く等しかる可きであるから

$$(\text{實効値})^2 \times \text{抵抗} = [(\text{瞬時値})^2 \times (\text{抵抗})] \text{ の平均}$$

従つて實効値 = $\sqrt{(\text{瞬時値})^2 \text{ の平均}}$ となる。

以上の事は起電力及電壓に就きても同様なり。

故に實効値とは瞬時値の自乗の平均の平方根 (Root-mean-square value) に等しい。

此の様な定義から正弦波交流の最大値と其の實効値 I_m との關係を數理的に求めると次の關係が成立つ

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad I_m = \sqrt{2} I \dots \dots \dots (10)$$

同様にして

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} \quad E_m = \sqrt{2} E \dots \dots \dots (11)$$

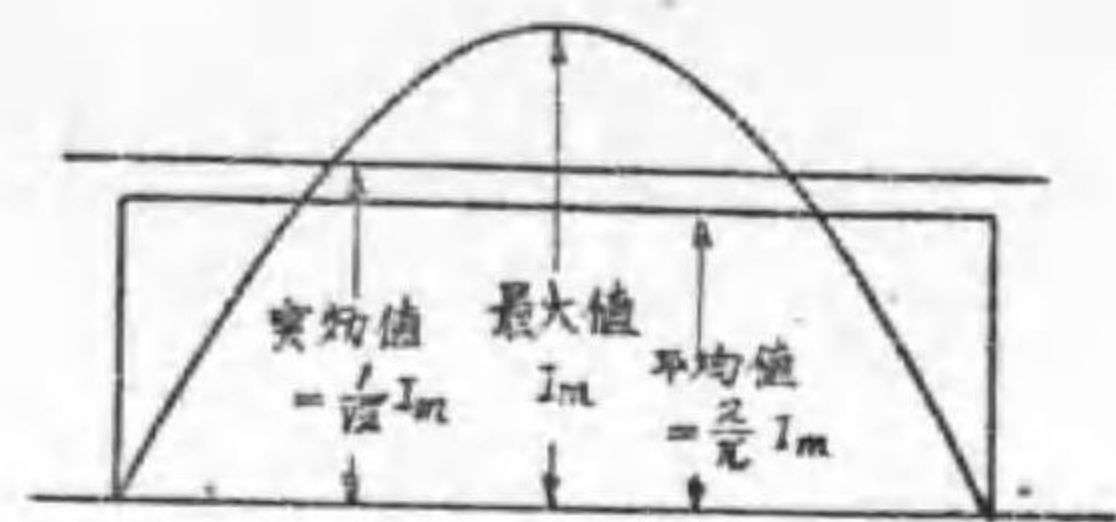
即ち正弦波交流の實効値は最大値の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ である。

一般に實効値と平均値との比を波形率 (Form-factor) といひ、最大値と實効値との比を波高率 (Crest-factor) と云ふ。正弦波の場合には次の様な値になる

$$\text{波形率} = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} I_m}{\frac{2}{\pi} I_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11 \dots \dots \dots (12)$$

$$\text{波形率} = \frac{I_m}{\frac{1}{\sqrt{2}} I_m} = \sqrt{2} = 1.414 \dots \dots \dots (13)$$

最大値, 實効値, 平均値の間の関係は第8圖の通りである。



第 8 圖

問 題

1. 實効値 100 ヴォルトの正弦波電圧の平均値及び最大値を求めよ。
(答) 平均値 90 ヴォルト 最大値 141 ヴォルト
2. 最大値 14.1 アンペアの正弦波交流の實効値及び平均値を求めよ。
(答) 實効値 10 アンペア 平均値 9 アンペア

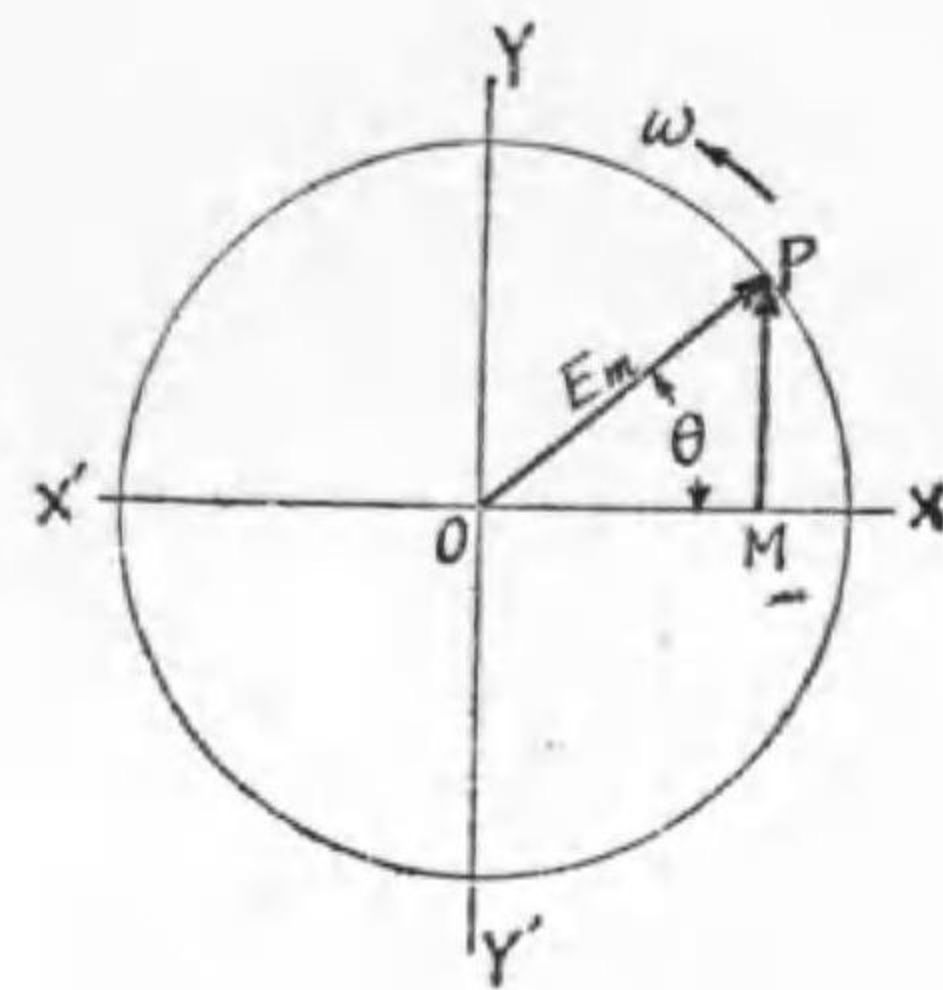
6. 正弦波交流のベクトル表示法並に其の取扱法

一般に大きいさと方向とを有する量を**ベクトル量** (Vector quantity) と稱へ、直線の長さを以つて其の大きいさを表はし、その一端に矢印を付けて方向を示すことにしてゐる。

$$e = E_m \sin \omega t$$

なる交番起電力は t 及び e を夫々横軸及び縦軸にとつて圖示すると正弦曲線となる。然し交流量の取扱に於いてベクトル量として

行ふと甚だ便利である。



第 9 圖

第9圖に於いて電圧の最大値を半径として圓を描き、その圓上の一 P が時計の針の進む方向と反對の方向所謂反時計式に ω の一定角速度で廻轉するものとす。

P が X にある時を $t = 0$ としその時刻から t 秒後即ち P の位置に達した時を考へやう。

P 點から XX' への垂線を PM とすると

$$\angle POM = \theta = \omega t$$

$$PM = OP \sin \theta = E_m \sin \omega t$$

なる故、 PM の長さは t なる時刻の起電力を表はすことになる。

OP は大きいさと方向がある故一つのベクトルである。

第9圖は正弦波起電力をベクトルで示したものであるが正弦波交流についても同様に表はされる。

$$\text{次に } e_1 = E_{m1} \sin \omega t$$

$$e_2 = E_{m2} \sin (\omega t - \phi)$$

なる二つの交番起電力の和をベクトルの和から求めて見ると次の如くなる。上述のことより、 e_1 を OP_1 のベクトルで示せば e_2 のベクトルは OP_1 より ϕ の角度だけ遅れた OP_2 のベクトルで表はされる。 P_1, P_2 から XX' への垂線を夫々 $\overline{P_1 M_1}, \overline{P_2 M_2}$ とする

$$e = e_1 + e_2 = \overline{P_1 M_1} + \overline{P_2 M_2}$$

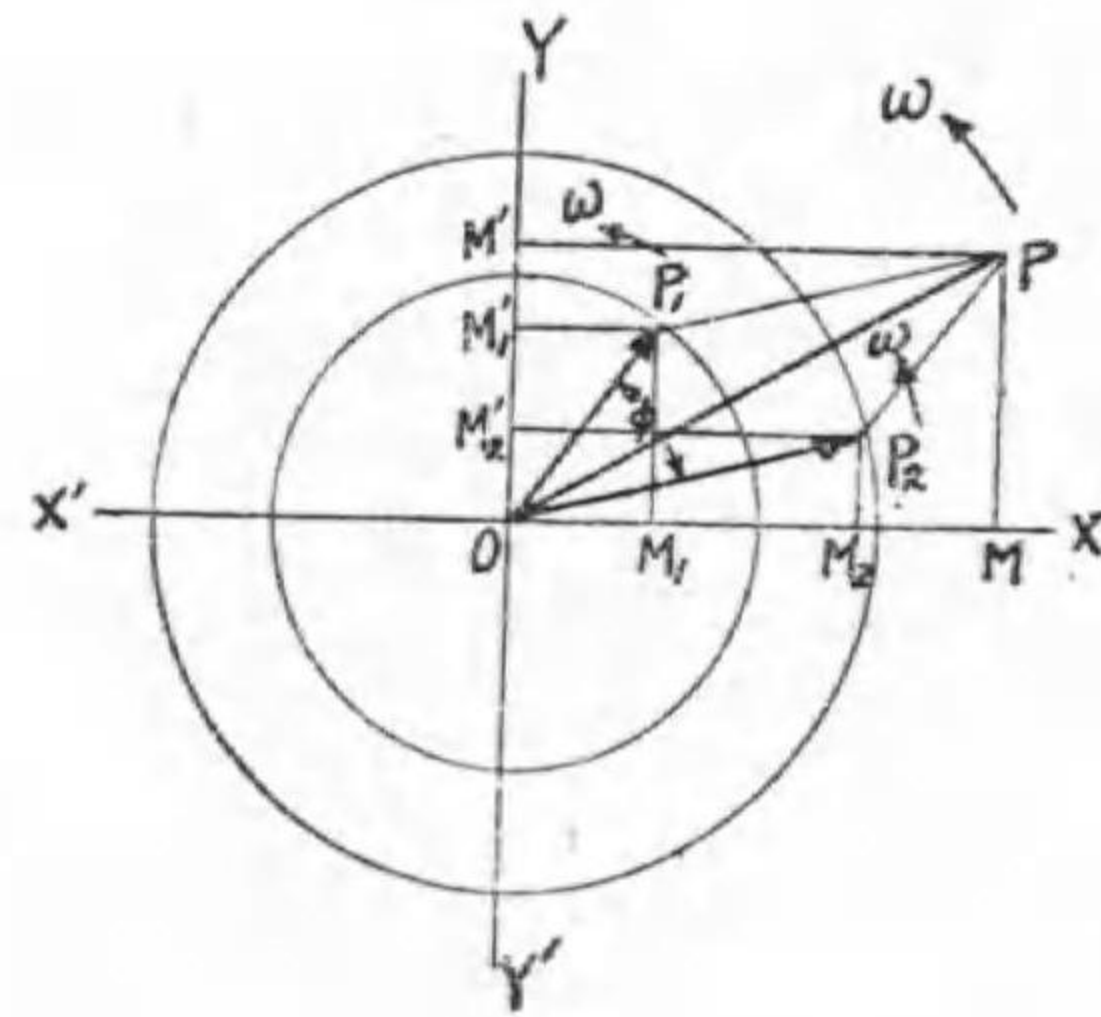
なる故 $\overline{P_1 M_2}$ と $\overline{P_2 M_1}$ の和に等しい垂線の長さを有するベクトルを求めれば合成起電力のベクトルを得られることを知る。

これが爲めには OP_1 と OP_2 を二邊とする平行四邊形を作り對角線 OP を求めればよいこととなる。

何となれば

$$\overline{OM_1'} + \overline{OM_2'} = \overline{P_1 M_1} + \overline{P_2 M_2} = \overline{OM} = \overline{PM}$$

なればなり。



第 10 圖

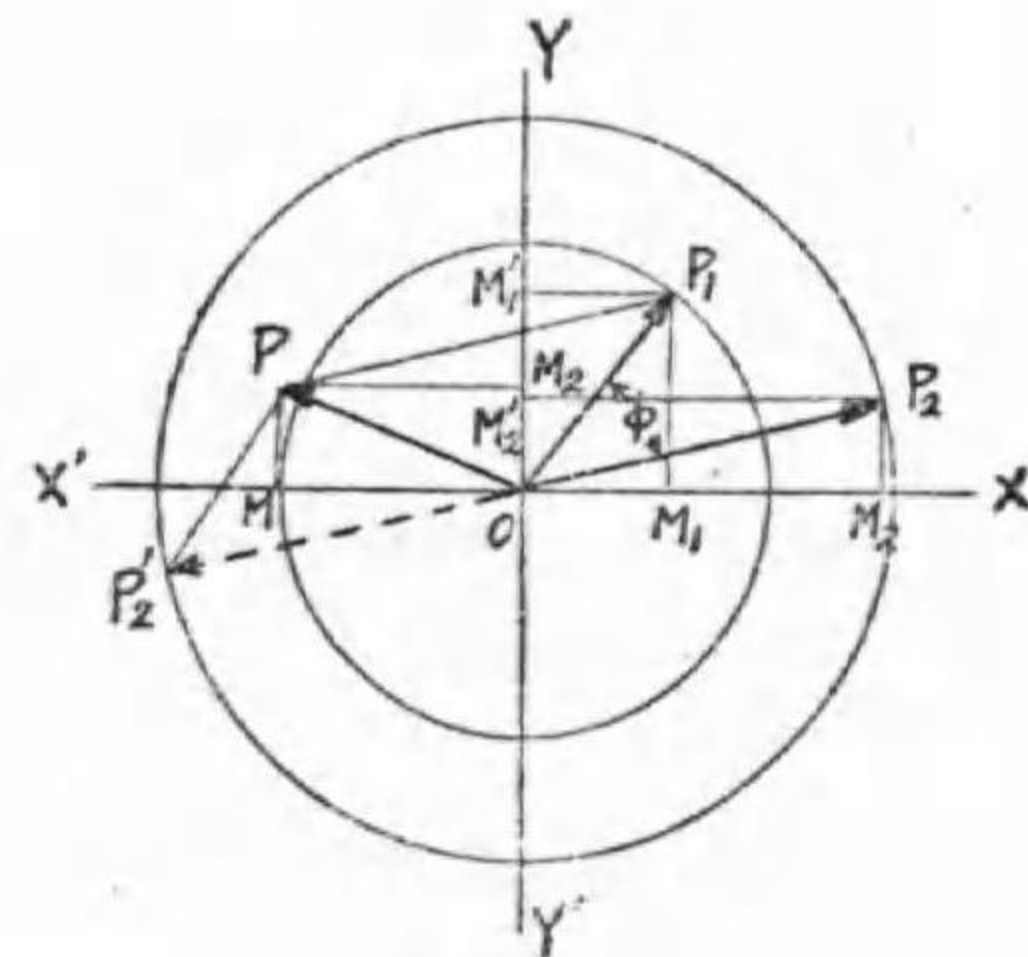
次に $e_1 = E_{m1} \sin \omega t$

$$e_2 = E_{m2} \sin \omega t$$

の兩起電力の差

$$e = e_1 - e_2$$

をベクトル的に求めるには第11圖に示したる如く $\overline{OP_2}$ と大いさ等



第 11 圖

しく方向反對のベクトル $\overline{OP_2'}$ を描き $\overline{OP_1}$ と $\overline{OP_2'}$ のベクトル和 \overline{OP} を前述の方法で求めればよい。

電流の和及び差を求むるものも同様である。今迄のベクトルは最大値で取扱ひたるも各ベクトルを描く時實効値に相當する長さで描けば合成のベクトルも實効値で得られる。

此處に注意すべきは、同一圖面上にベクトル圖の描けるのは各々の周波數が等しいことが必要なことである。

第二章 交流回路

7. 抵抗のみを有する回路

第12圖(甲)の如く R オームの抵抗のみを有する回路に

$$e = E_m \sin \omega t$$

なる交番起電力を加へると各瞬間に於てオームの法則が成立するから R を流れる電流の瞬時値を i とすれば

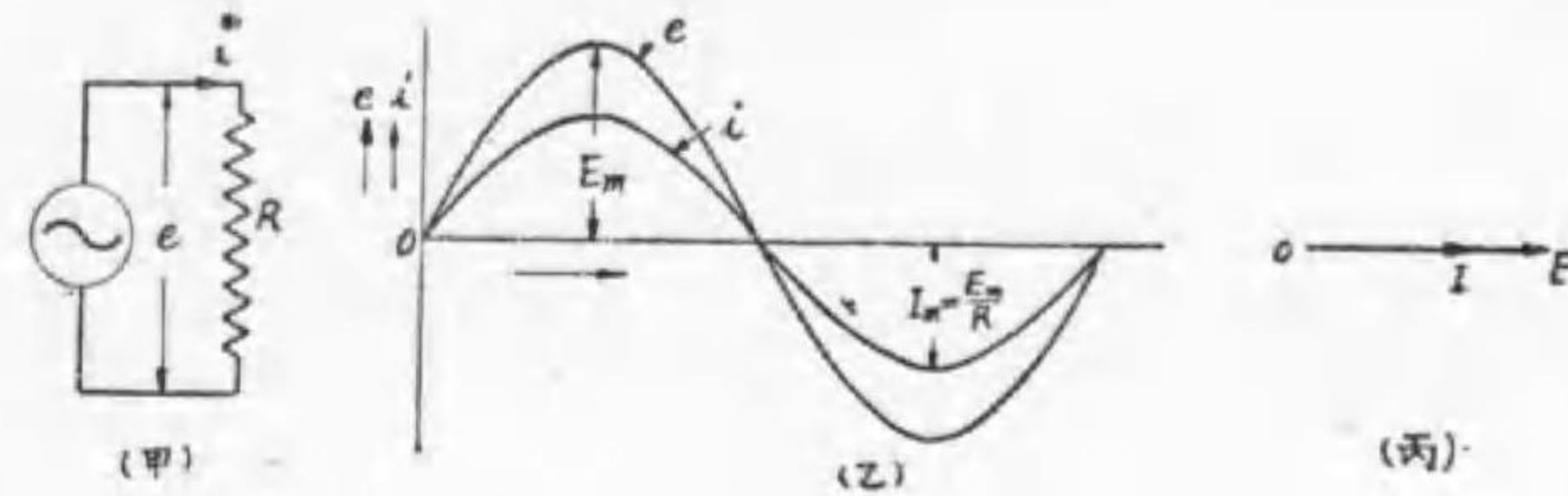
$$i = \frac{e}{R} = \frac{E_m}{R} \sin \omega t \dots\dots\dots (14)$$

即ち抵抗に正弦波電壓を與へれば之と同相なる正弦波交流が流れる。第12圖(乙)は之を示す。

(14)式より電流の最大値 I_m は

$$I_m = \frac{E_m}{R}$$

實効値で表せば



第 12 圖

$$I = \frac{E}{R} \dots\dots\dots(15)$$

$$E = IR \dots\dots\dots(16)$$

(15)式は、R オームの抵抗に実効値 E ヴォルトを加へた時流れる電流の実効値は $\frac{E}{R}$ アンペア、即ち電圧を抵抗で割つた値となる事を示す。

(16)式は R オームの抵抗に実効値 I アンペアの電流を流すに必要な電圧の実効値は IR ヴォルト、即ち電流と電圧とを掛けた値となる事を示す。電圧、電流の関係をベクトル圖で示せば第12圖(丙)の様になる。

問題

1. 100ヴォルト、60サイクルの電源に20オームの抵抗を接続すれば何アンペアの電流が流れるか。又電圧電流のベクトル圖を描け。
2. 30オームの抵抗に7アンペアの電流を流すには何ヴォルトを要するか。

8. 自己誘導係数のみを有する回路

第13圖(甲)の如く自己誘導係数(インダクタンス) L ヘンリーなる回路(抵抗を省略して考へる)に

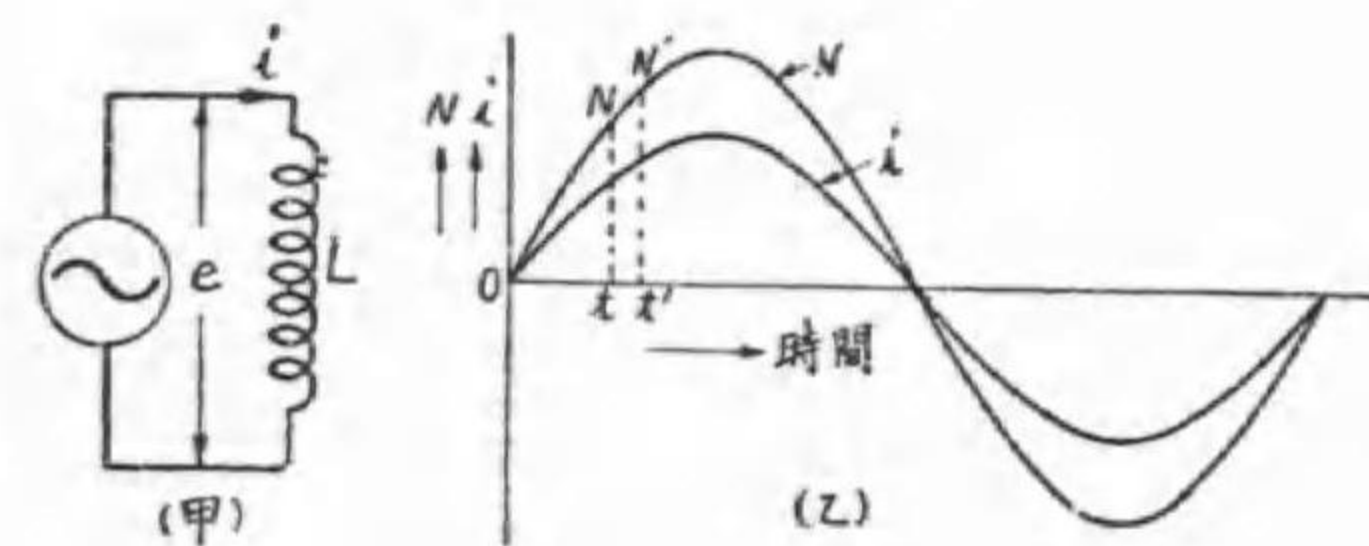
$$i = I_m \sin \omega t$$

なる交流が流れてゐるものとする、然る時は時間と共に其の値が變化するから回路に自己誘導に依る逆起電力を發生する。この逆起電力の性質を與へて見る。

今 t なる時刻に於ける磁束鎖交數 (Flux interlinkage) 即ち電流に依つて生ずる磁束とそれが輪線を貫通する捲線數との積の總和を N とすると、

$$N = Li \times 10^8 = LI_m \sin \omega t \times 10^8 \dots\dots\dots(17)$$

即ち磁束鎖交數は電流と同相なる正弦波で第13圖(乙)の如し。



第 13 圖

t なる時刻から極僅か経過した t' なる時刻に於ける電流 i' は

$$i' = I_m \sin \omega t'$$

従て t' に於ける磁束鎖交數 N' は

$$N' = Li' \times 10^8 = LI_m \sin \omega t' \times 10^8$$

故に t' - t の間に磁束鎖交數は N' - N だけ變化するからこの間に於て發生する平均の逆起電力 e'' は

$$\begin{aligned}
 e'' &= -\frac{N' - N}{t' - t} \times 10^{-8} \\
 &= -\frac{LI_m \sin \omega t' \times 10^8 - LI_m \sin \omega t \times 10^8}{t' - t} \times 10^{-8} \\
 &= -LI_m \frac{\sin \omega t' - \sin \omega t}{t' - t}
 \end{aligned}$$

茲に負號を附けたのは逆起電力は電流が増加する時はその増加を妨げる方向に起り電流が減少する時は却て電流を増加せしむる方向に發生する事を表はしたものである。

e'' は $t' - t$ の間に發生した平均の逆起電力であるから或瞬間例へば t なる時刻に於ける起電力を求むる爲に上式を次の如く變形して考へる。

$$\begin{aligned}
 e'' &= -LI_m \frac{\sin(\omega t' - \omega t + \omega t) - \sin \omega t}{t' - t} \\
 &= -LI_m \frac{\sin \omega(t' - t) + \cos \omega(t' - t) \sin \omega t - \sin \omega t}{t' - t}
 \end{aligned}$$

第13圖 (乙) の t' が次第に t に接近すれば N' は次第に N に接近して t' が t に從て N' が N に殆ど一致したとすれば、

$$\begin{aligned}
 \cos \omega(t' - t) &= 1 \quad (\because N' \doteq N \text{ の時は } t' - t \doteq 0 \text{ 從つ} \\
 &\text{て } \cos \omega(t' - t) \doteq \cos 0^\circ = 1)
 \end{aligned}$$

$$\frac{\sin \omega(t' - t)}{t' - t} = \omega$$

となり、時刻に於ける逆起電力 e' は

$$\begin{aligned}
 e' &= -\omega LI_m \cos \omega t \\
 &= \omega LI_m \sin(\omega t - 90^\circ)
 \end{aligned}$$

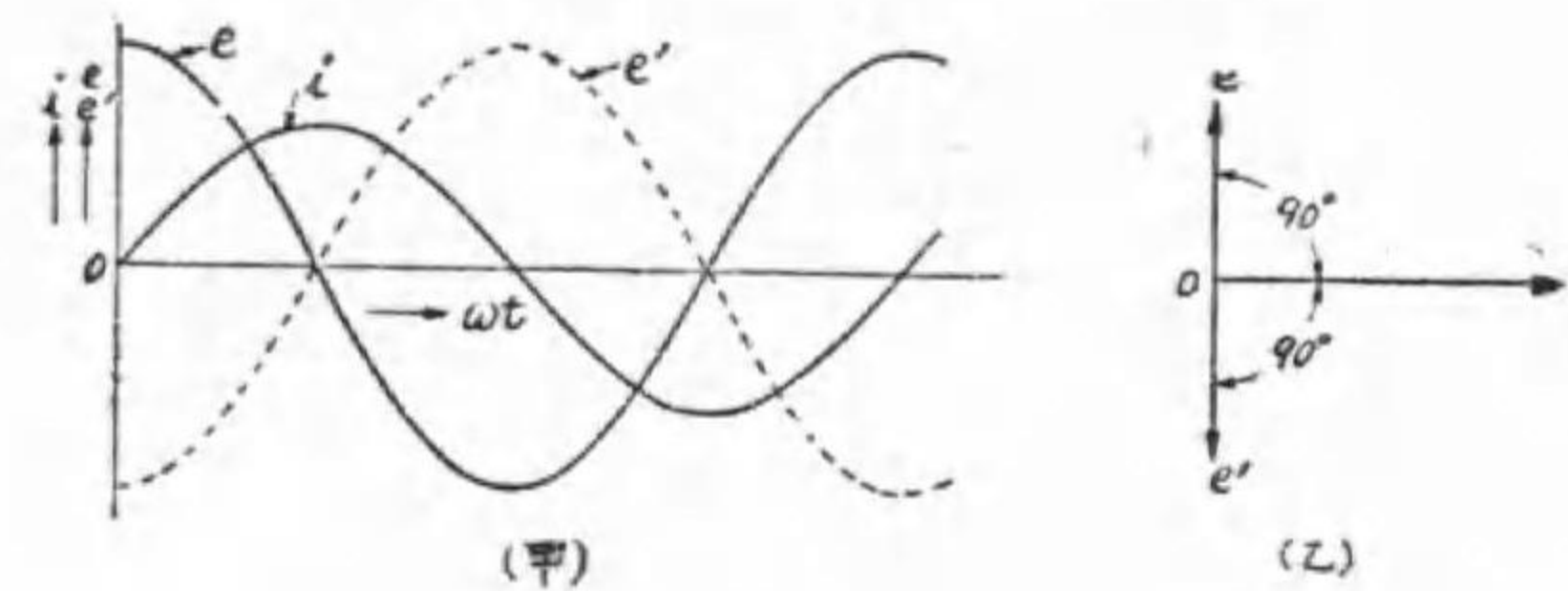
即ち逆起電力は電流より位相が 90° 遅れた正弦波である。從て自

己誘導係数のみを有する回路に電流を流す爲にはこの逆起電力と各瞬間に於て大き相等しく方向反對なる電壓換言すれば位相の 180° 進みたる電壓を供給すべきである。

此の供給電壓を e とすれば

$$\begin{aligned}
 e &= -e' = -\omega LI_m \sin(\omega t - 90^\circ) \\
 &= \omega LI_m \sin(\omega t + 90^\circ)
 \end{aligned}$$

供給電壓、電流、逆起電力を曲線で表はせば第14圖 (甲) の如くなる。即ち自己誘導係数のみを有する回路に於ては電流は供給電壓より 90° 遅れる。



第 1 4 圖

供給電壓の最大値を E_m とすれば上式より、

$$E_m = \omega LI_m$$

實効値で示せば

$$E = \omega LI = 2\pi f LI$$

$$X_L = 2\pi f L \dots\dots\dots(18)$$

とすれば

$$E = IX_L \dots\dots\dots(19)$$

$$I = \frac{E}{X_L} \dots \dots \dots (20)$$

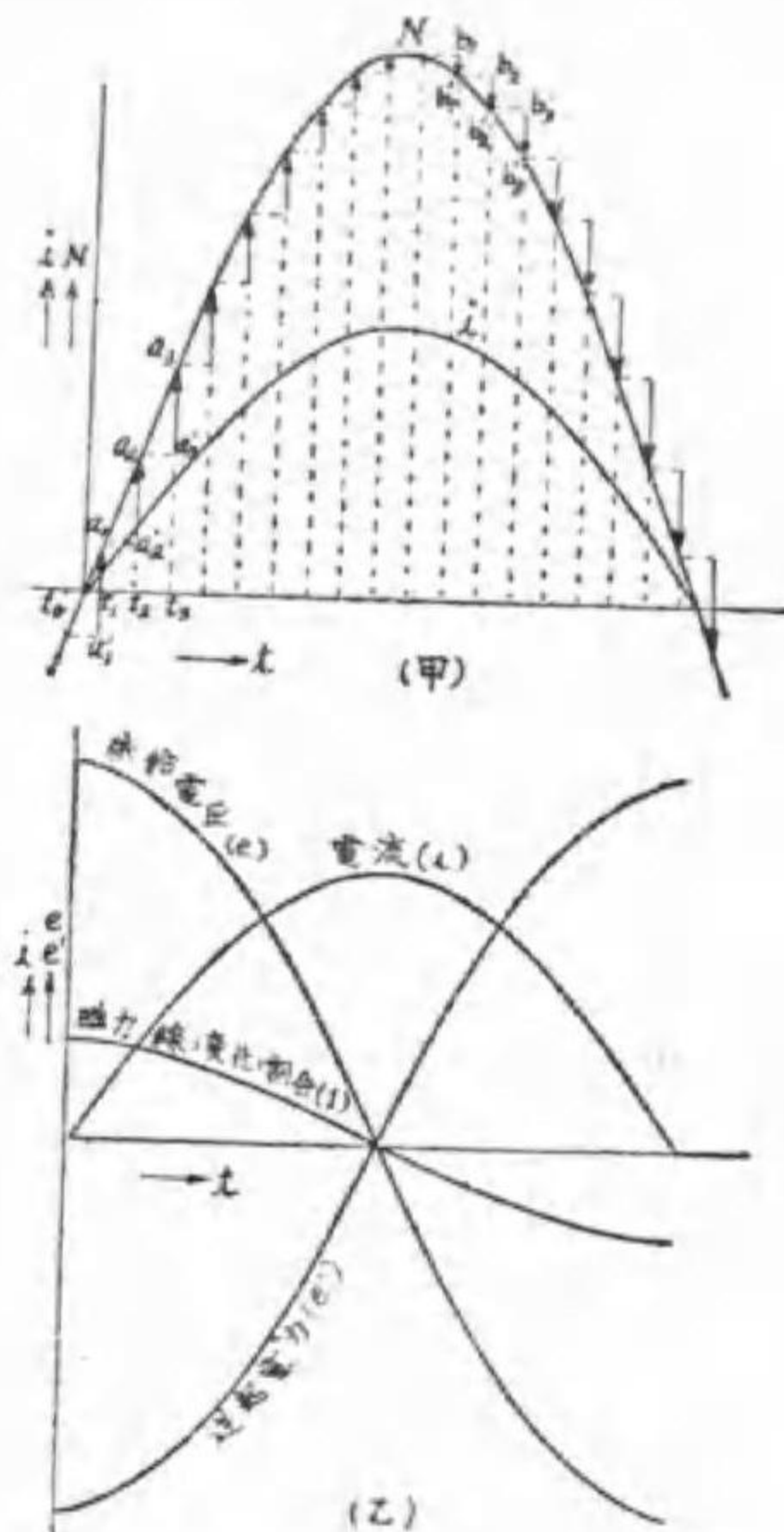
(18)式に於ける X_L は誘導リアクタンス (Inductive reactance) と云ひ抵抗と同じく電流を制限するから単位をオームで表はす。尙 X_L は(18)式に示す如く供給電圧の周波数 f に比例して變化する。例へば L の値が同一でも 50 サイクルの回路と 60 サイクルの回路とでは X_L の値は同一でない。

第14圖(乙)は供給電壓(E)、電流(I)、逆起電力(E')の關係を示すベクトル圖である。

さて、上述の如く自己誘導係數のみを有する回路に交番電壓を加へると、それより 90° 遅れて電流が流れるのであるが此の關係を他の方法で誘導して見やう。但しこの方法は説明の便宜上用ひたので、多少精確さを缺く點のある事は心に置いて頂き度い。

第15圖(甲)に於いて i の電流が流れ、そのために線輪中に N の如き磁力線を生じたとする。

t_0 より t_1 、 t_1 より t_2 等の時間中の磁力線の増加は $a_1' a_1$ 、 $a_2' a_2$ 等で



第 1 5 圖

示され第15圖(乙)に曲線(1)として示してある。

然るに、線輪に生ずる逆起電力の大きさは磁力線の變化の割合に比例し、方向は電流の増減を妨げる如き方向なる故第15圖(乙)の曲線(1)及曲線 i より考へて (e') の如き方向及大きさとなる。

i の電流が流れると e' の逆起電力が発生される故それと丁度大きさは等しく、方向反對の e なる電壓を供給すべきである。

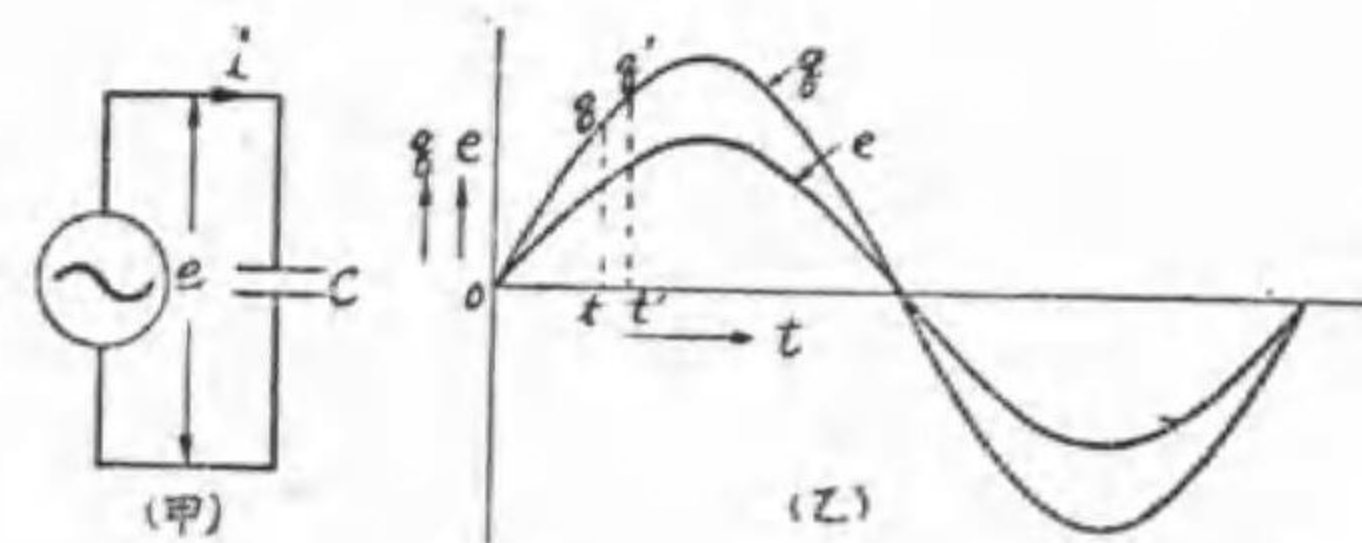
問 題

1. 100 ミリヘンリーの自己誘導係數のみの回路に110 ヴォルト、60 サイクルの電壓を加へた時流れる電流を求め、且つ電壓、電流のベクトル圖を描け。
2. 0.01 ヘンリーの回路に60 サイクル、30 アンペアの電流を流すに要する電壓は何ヴォルトか。

9. 靜電容量のみを有する回路

第16圖(甲)の如く C フアラッドの靜電容量に

$$e = E_m \sin \omega t$$



第 1 6 圖

なる電壓加へたとする、然る時は e は時間と共に其値を變化するから蓄電器に蓄積される電荷

q も時々刻々變化し

$$q = CE_m \sin \omega t$$

従て q は e と同相で第 16 圖(乙)の様になる。

今 t なる時刻から極僅か経過した t' なる時刻に於ける電壓 e' は

$$e' = E_m \sin \omega t'$$

従て t' に於ける電荷 q' は

$$q' = Ce' = CE_m \sin \omega t'$$

故に t' - t の間に移動した電荷は q' - q なるを以て t' - t の間に流れた電流の平均値 i' は

$$i' = \frac{q' - q}{t' - t} = \frac{CE_m \sin \omega t' - CE_m \sin \omega t}{t' - t} \\ = CE_m \frac{\sin \omega t' - \sin \omega t}{t' - t}$$

i' は t' - t の間に流れた平均電流であるから或る瞬間例へば t なる時刻に於ける電流を求むる爲に上式を次の如く變形する。

$$i' = CE_m \frac{\sin (\omega t' - \omega t + \omega t) - \sin \omega t}{t' - t} \\ = CE_m \frac{\sin \omega(t' - t) \cos \omega t + \cos \omega(t' - t) \sin \omega t - \sin \omega t}{t' - t}$$

t' が次第に t に接近し従て q' が q に次第に接近して t' が t に従て q' が q に殆ど一致したとすれば

$$\cos \omega(t' - t) = 1$$

$$\frac{\sin \omega(t' - t)}{t' - t} = \omega$$

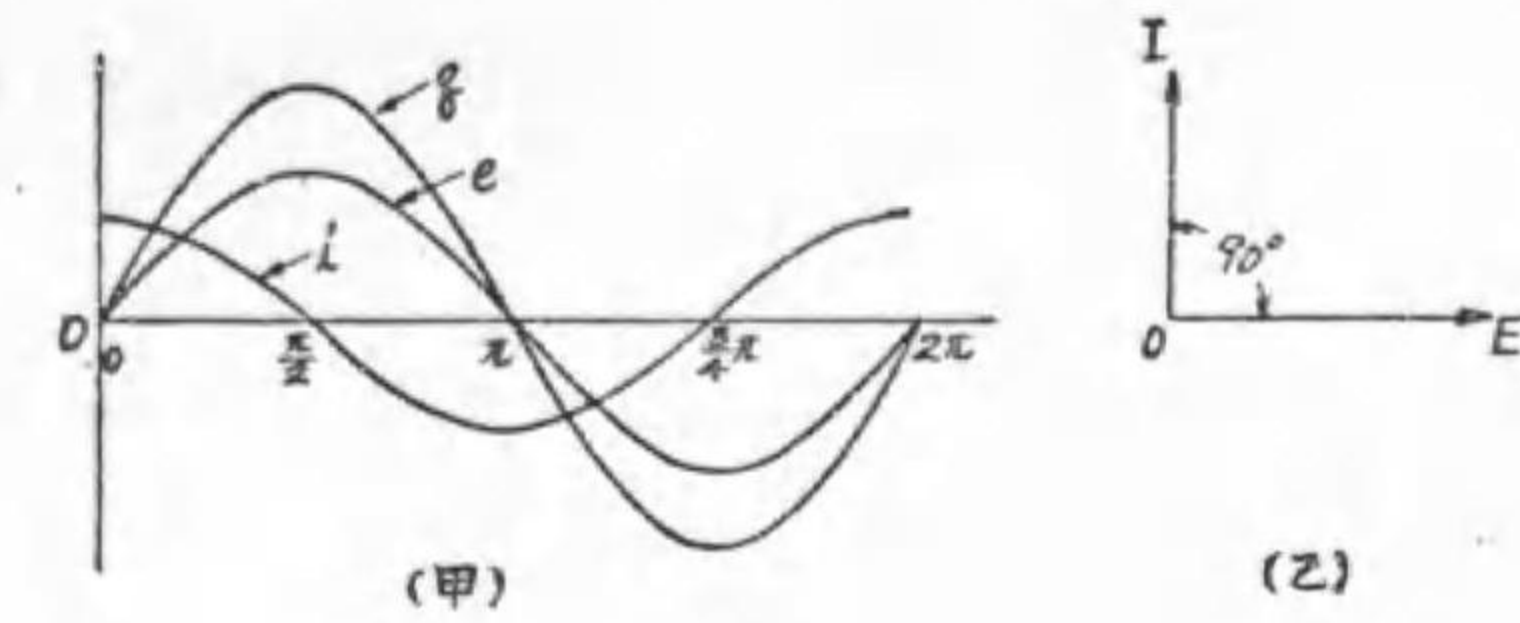
となり、時刻 t に於ける電流 i は

$$i = \omega CE_m \cos \omega t \\ = \omega CE_m \sin (\omega t + 90^\circ)$$

即ち蓄電器を流れる電流は電壓より 90° 位相の進んだ正弦波である。之の電流を蓄電器の充電々流と云ふ。

第17圖(甲)

は電圧、電荷、電流の關係を示す曲線圖である。充電々流の最大値 I_m は



第 17 圖

$$I_m = \omega CE_m$$

之を實効値で示せば

$$I = \omega CE = \frac{E}{\frac{1}{\omega C}}$$

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \dots\dots\dots(21)$$

とすれば

$$I = \frac{E}{X_c} \dots\dots\dots(22)$$

$$E = IX_c \dots\dots\dots(23)$$

第17圖(乙)は電圧、電流を示すベクトル圖である。

此の X_c を容量リアクタンス (Capacitive reactance) と云ひ R 及び X_L と同様電流を制限するから單位をオームで表はす。

容量リアクタンスは(21)式で分る様にその値は供給電圧の周波数に反比例する。

問 題

1. 100マイクロファラッド(μF)の静電容量に60サイクル、110ボルトの電圧を加へた時流れる充電電流を求め、且つ電圧と電流のベクトル図を描け。
2. 静電容量のみの回路に500ボルト、60サイクルを加へたるに5アンペア流れたと云ふ。容量リアクタンス及静電容量を求め。

10. 自己誘導係数と抵抗とが直列なる回路

第18圖(甲)の如くRオームの抵抗と、Lヘンリーの自己誘導係数とが直列になつてゐる回路に周波数fなる電圧Eボルトを加へた時、此の回路に何程の電流が流れるかを考へんとするのであるが逆に此の回路に1アンペアの電流を流す爲には外部より何程の電圧を加ふべきかと云ふ事を考へても同一の結果を得る。

其處でRオームの抵抗にIアンペアの電流を流す爲には電流と同相なる

$$E_R = I \cdot R \text{ ボルト}$$

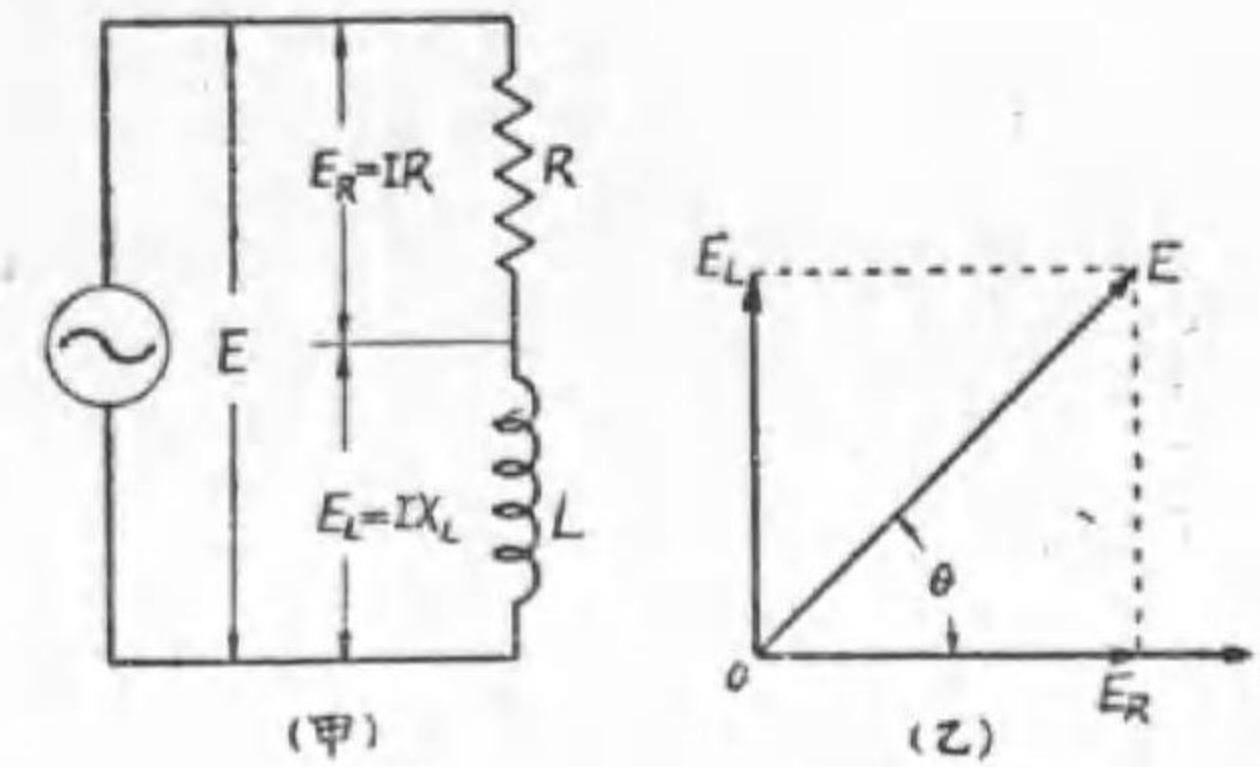
の電圧を要する。

又Lヘンリーの誘導線輪にIアンペアを流す爲には電流より90°位相の進んだ。

$$E_L = IX_L \text{ ボルト}$$

$$(X_L = \omega L = 2\pi fL)$$

の電圧を要する。



第 18 圖

從て供給すべき電圧は E_R と E_L とのベクトル和なる E となる。此の關係を電流 I を基準として示せば第18圖(乙)の様になる。

次に E の大きさを求めて見ると、

$$E = \sqrt{E_R^2 + E_L^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} \\ = I\sqrt{R^2 + X_L^2}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{即ち } E &= I\sqrt{R^2 + X_L^2} = I \cdot Z \\ Z &= \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(24)$$

或は $I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{E}{Z}$

又供給電圧 E と電流 I との位相差を θ とすれば

$$\tan \theta = \frac{E_L}{E_R} = \frac{IX_L}{IR} = \frac{X_L}{R} \\ \theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} \dots\dots\dots(25)$$

上式に於ける Z をインピーダンス (Impedance) と云ひ單位はオームで表はす。

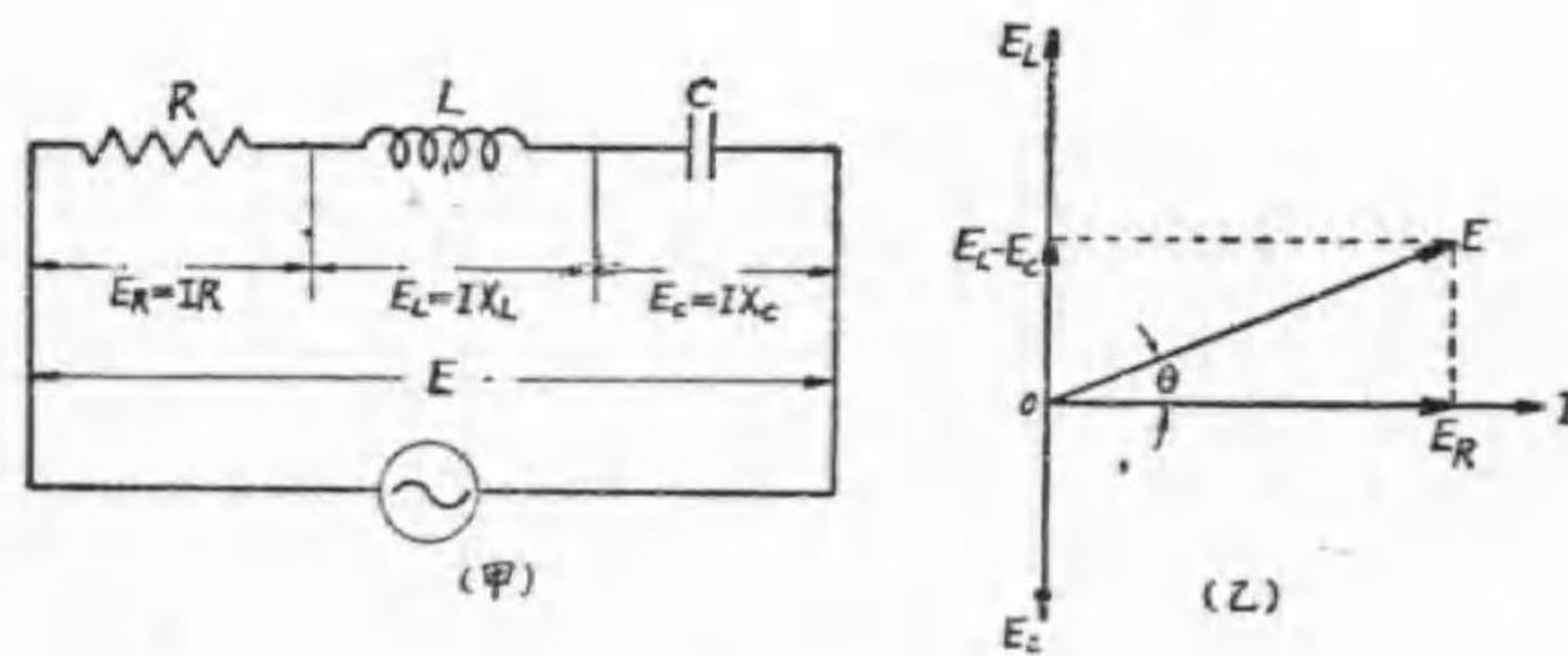
問 題

1. 抵抗3.2オーム自己誘導係数60ミリヘンリーの直列回路に50サイクル、110 ヴォルトを加へた時此の回路のインピーダンス、流るる電流、位相差を計算し、且つベクトル圖を描け。
2. 抵抗10オーム、誘導リアクタンス15オームを直列に接続し、之に20アンペアの電流を通ずる爲には何ヴォルトを供給すべきか。

11. 抵抗と自己誘導係数及静電容量が直列なる回路

第19圖(甲)の様に、Rオーム、Lヘンリー、及Cファラッドの静電容量が直列なる回路に E ヴォルト、f サイクルの電圧を加へた時何程の電流が流れるかを求めて見やう。

先づ前節同様此の回路に I アンペアの電流を流すには何程の電圧を必要とするかと云ふ事から考へる。



第 1 9 圖

R オームの抵抗に打ち勝つて I アンペアを流す爲には電流と同相なる

$$E_R = I \cdot R \text{ ヴォルト}$$

を要し、Lヘンリーの線輪に I アンペアを流す爲には電流より 90° 位相の進んだ

$$E_L = I X_L \text{ ヴォルト}$$

を要し、C、ファラッドの静電容量に I アンペアを流すには電流より 90° 遅れた

$$E_C = I X_C \text{ ヴォルト}$$

を要す。

従て供給すべき電圧 E は E_R, E_L 及 E_C のベクトル和にして第19圖(乙)は電流を基準としたベクトル圖である。圖より明かなる如く E_L と E_C とは位相差が 180°, 即ち一直線をなし、方向が反対である今 $E_L > E_C$ とすれば E_L と E_C のベクトル和は $E_L - E_C$ となり、之に E_R をベクトル的に加ふれば供給電圧 E となる。

圖より E の大きさを求めて見やう。

$$E = \sqrt{E^2 + (E_L - E_C)^2} = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2} = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\text{即ち } E = I \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = I \cdot Z \dots\dots\dots(26)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fc}\right)^2} \dots\dots\dots(27)$$

$$\text{或は } I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{E}{Z} \dots\dots\dots(28)$$

又供給電圧 E と電流 I の位相差 θ は

$$\tan \theta = \frac{E_L - E_C}{E_R} = \frac{IX_L - IX_C}{IR} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R} \dots\dots\dots (29)$$

(27)より此の回路のインピーダンス Z は $\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ となる
位相差 θ は

$$E_L > E_C \text{ 従て } X_L > X_C \text{ 或は } X_L - X_C > 0$$

の時は正となり電圧が電流より進む。

$$E_L < E_C \text{ 従て } X_L < X_C \text{ 或は } X_L - X_C < 0$$

の時は θ は負となる。これは電圧が電流より遅れる事を意味する。

$$E_L = E_C \text{ 従て } X_L = X_C \text{ 或は } X_L - X_C = 0$$

の時は電圧共振の場合にして次節で説明する。

問 題

1. 抵抗 5 オーム、自己誘導係数 0.035 ヘンリー、静電容量 650 マイクロフ
アラッドを直列にして 110 ヴォルト、60 サイクルの電圧を加へた時流
る電流及び位相差を求む。

12. 電 圧 共 振

抵抗 R オーム、自己誘導係数 L ヘンリー、静電容量 C フアラッド
の直列回路に於ける電圧、電流の關係は前節に述べた様に

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}}$$

であつた。今誘導リアクタンスと容量リアクタンスに就てその性質
を考へて見ると、

$$X_L = 2\pi fL$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

で明かな様に X_L は周波数 f に比例して其値が増加し、 X_C は周波数
に反比例して減少する。此の關係を圖示すると第20圖の如くなる。

圖に依つて分る様に周波数

が f_r となると

$$X_L - X_C = 2\pi f_r L$$

$$-\frac{1}{2\pi f_r C} = 0$$

となつてリアクタンスの値が

零となり、その周波数 f_r は上

式より

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (30)$$

となり、 f_r を共振周波数と云ふ。

此の場合に流れる電流 I_r は $X_L - X_C = 0$ であるから

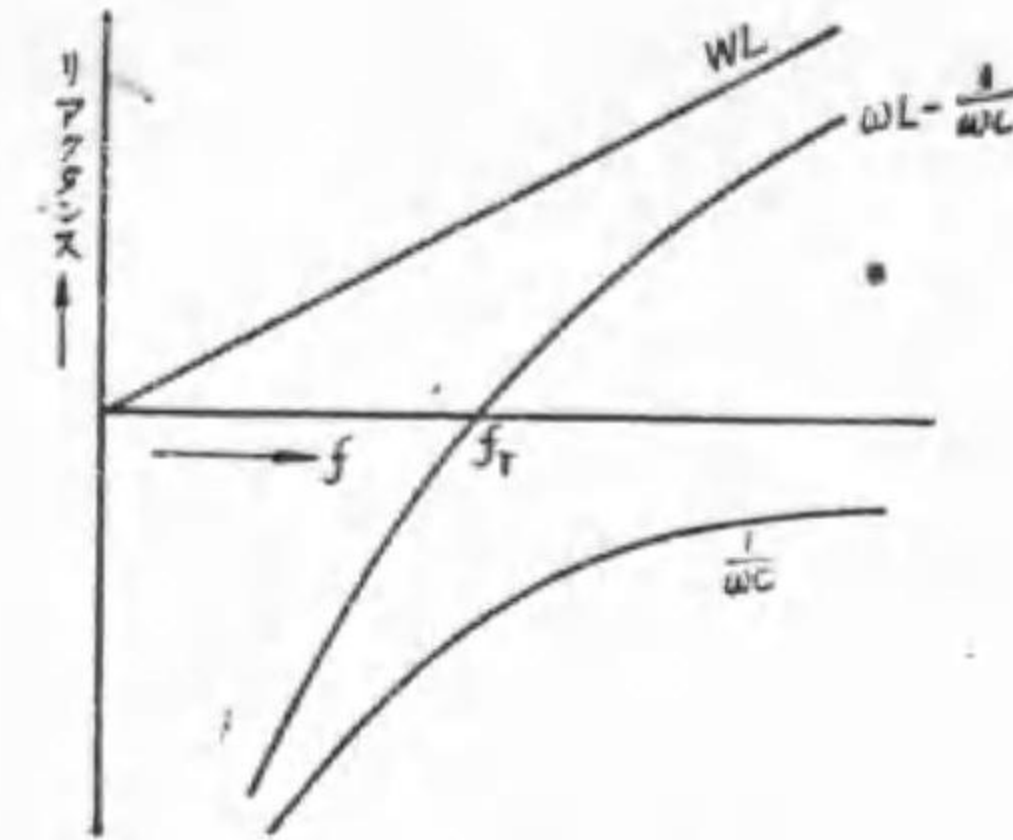
$$I_r = \frac{E}{R}$$

$$\text{位相差は } \tan \theta = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{0}{R} = 0$$

$$\text{従て } \theta = 0$$

となり、一定電圧の下にて電流 (I_r) は最大となり、電圧と同相と
なる。此の様な場合を回路が電圧共振又は直列共振を起したと云ふ。

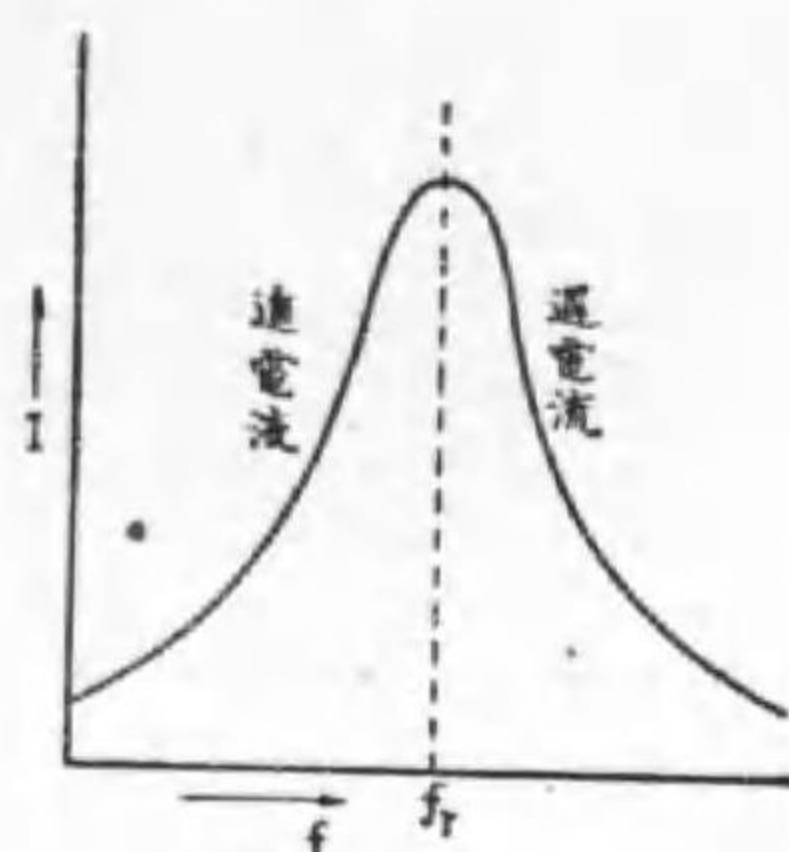
回路の R , L , C の値を一定として、供給電圧の周波数のみを變
化した場合電流の變化を曲線に示すと、第21圖の様になる。此の曲



第 20 圖

線を周波数変化の場合の共振曲線 (Resonance Curve) と云ふ。

供給電圧の周波数 f が



第 2 1 圖

$f < f_r$ 従て $X_L - X_C < 0$ ならば

進電流

$f = f_r$ 従て $X_L - X_C = 0$ ならば

共振

$f > f_r$ 従て $X_L - X_C > 0$ ならば

遅電流

となり、前節の終に述べた事柄が

茲で明確となる。

電圧共振の場合には、 L 及 C の端子電圧 E_L , E_C は

$$E_L = E_C$$

$$E_L = I_r X = \frac{\omega L}{R} E$$

$$E_C = I_r X_C = \frac{1}{\omega C R} E$$

となり、 $\frac{\omega L}{R}$ 或は $\frac{1}{\omega C R}$ が 1 より大なる程、換言すれば R が小なる

程 E_L , E_C は供給電圧より大となる。

例題 誘導線輪あり、その抵抗 $R = 2$ オーム、自己誘導係數

$L = 0.1$ ヘンリーにしてこれと直列に $C = 100$ マイクロファ

ラッドなる蓄電器を直列にして 110 ヴォルトの電圧を加へ

た時の共振周波数、共振時の電流及び誘導線輪、静電容量

の各端子電圧を求む。

解 共振周波数は公式より

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \sqrt{0.1 \times 100 \times 10^{-6}}}$$

$$= \frac{\sqrt{10^5}}{2 \times 3.14} = 50.3 \text{ サイクル}$$

共振時の電流 I_r は

$$I_r = \frac{E}{R} = \frac{110}{2} = 55 \text{ アンペア}$$

誘導線輪の端子電圧 E_L は

$$E_L = I_r \sqrt{R^2 + X_L^2} =$$

$$55 \times \sqrt{2^2 + (2 \times 3.14 \times 50.3 \times 0.1)^2}$$

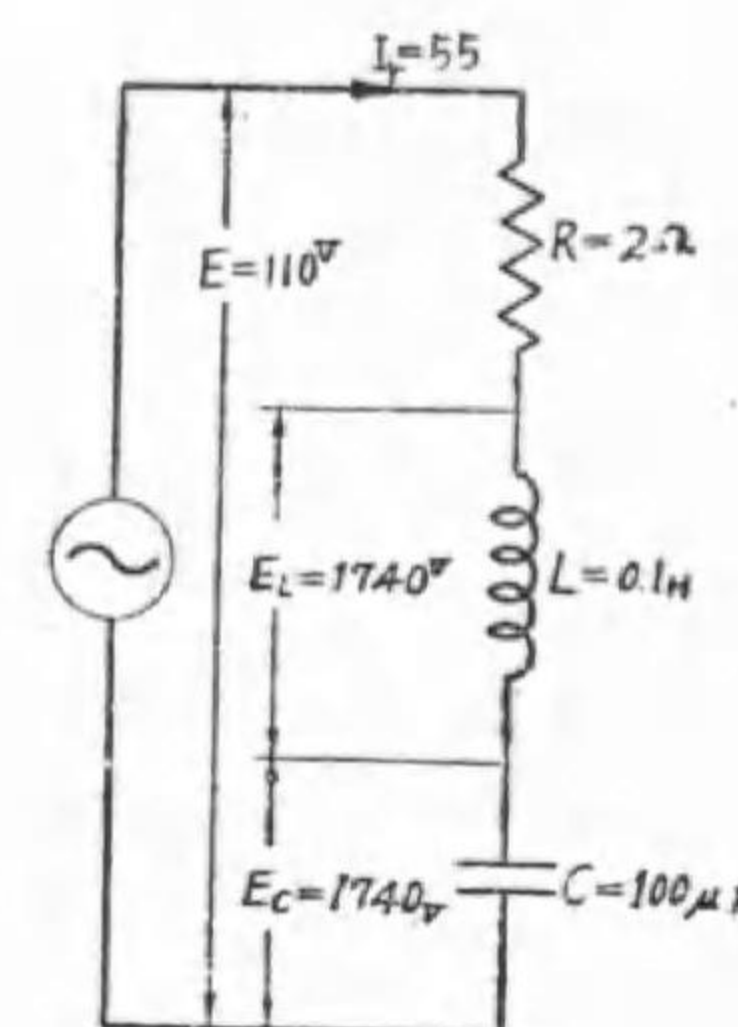
$$= 55 \times 31.6 = 1740 \text{ ヴォルト}$$

静電容量の端子電圧 E_C は

$$E_C = \frac{I}{\omega C}$$

$$= \frac{55}{2 \times 3.14 \times 50.3 \times 100 \times 10^{-6}}$$

$$= 1740 \text{ ヴォルト}$$



第 2 2 圖

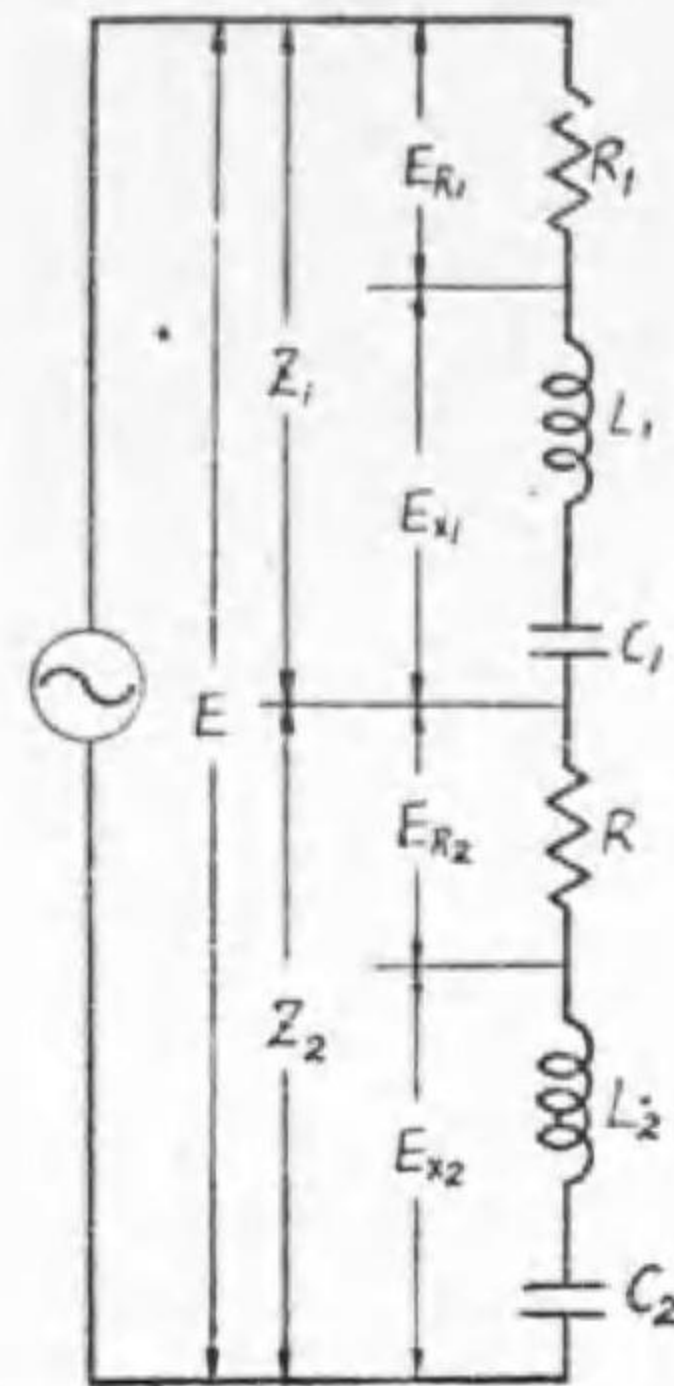
此の例で分る様に電圧共振が起つた場合には僅か 110 ヴォルトを供給して誘導線輪及静電容量の各端子には 1740 ヴォルトの高電圧を發生する。

13. 直列にあるインピーダンスの合成

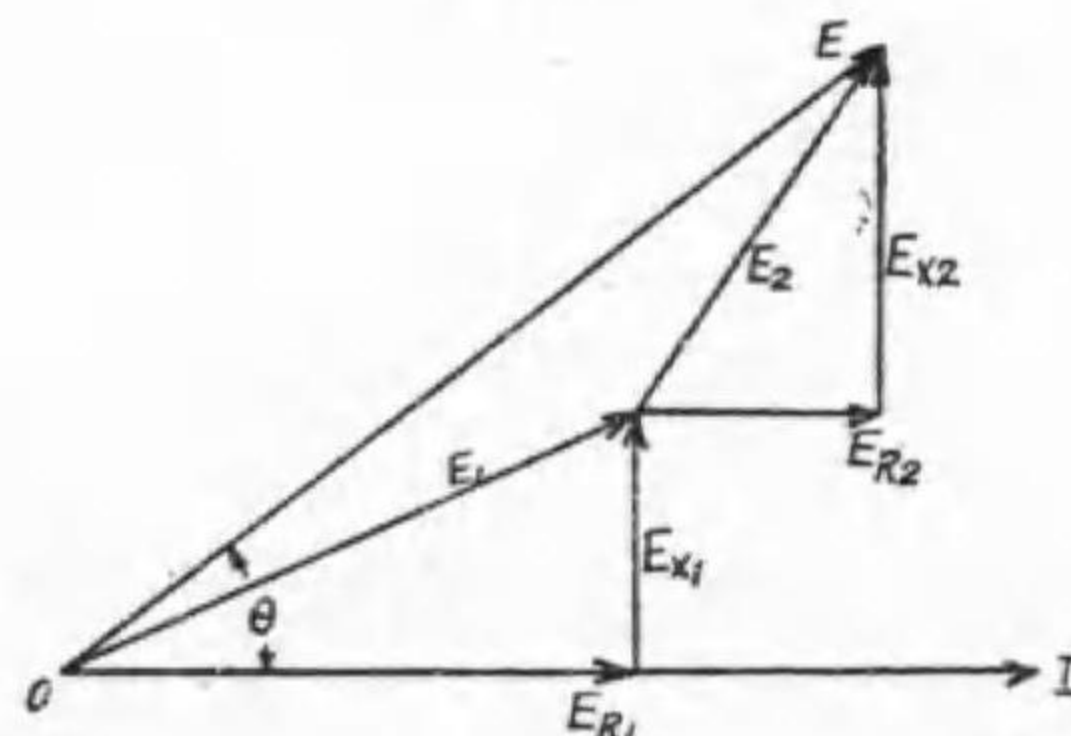
第23圖(甲)の様に

$$Z' = \sqrt{R_1^2 + X_1^2} = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1})^2}$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2} = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2})^2}$$



(甲)



(乙)

第 23 圖

なるインピーダンスを直列に接続して I アンペアなる電流を流すには、 R_1 及 R_2 の両端に夫々 E_{R1} 及 E_{R2} なる大きさで電流と同相なる電圧を要し、 X_2 及 X_1 の両端に夫々 E_{X1} 及 E_{X2} なる大きさで電流より位相が 90° 進んだ電圧を要す、之を電流を基準としてベクトル図を作れば第 23 圖 (乙) の如く E_{R1} と E_{X1} の合成電圧 E_1 を求め、次に E_1 の先端より E_{R2} と E_{X2} の合成電圧 E_2 を求め、最後に E_1 と E_2 の合成の電圧 E はこの

回路に I アンペアを流すに必要な供給電圧となる。

圖より E の大きさを求めて見る。

$$E = \sqrt{(E_{R1} + E_{R2})^2 + (E_{X1} + E_{X2})^2}$$

$$E_{R1} = IR_1, E_{R2} = IR_2, E_{X1} = IX_1, E_{X2} = IX_2$$

であるから、上式に之を代入すれば、

$$E = I \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2} \\ = I \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \left\{ \omega L_1 + \omega L_2 - \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \right) \right\}^2}$$

或は

$$I = \frac{E}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \left\{ \omega L_1 + \omega L_2 - \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \right) \right\}^2}} \\ Z = \frac{E}{I} = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \left\{ \omega L_1 + \omega L_2 - \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \right) \right\}^2}$$

位相差 θ は

$$\tan \theta = \frac{E_{X1} + E_{X2}}{E_{R1} + E_{R2}} = \frac{(\omega L_1 + \omega L_2) - \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \right)}{R_1 + R_2}$$

或は

$$\theta = \tan^{-1} \frac{(\omega L_1 + \omega L_2) - \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} \right)}{R_1 + R_2}$$

一般に多数のインピーダンスが直列にある場合の合成インピーダンス Z 、及位相差 θ は次の如くなる。

$$Z = \sqrt{(R_1 + R_2 + R_3 + \dots)^2 + \left\{ (\omega L_1 + \omega L_2 + \omega L_3 + \dots) - \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} + \frac{1}{\omega C_3} + \dots \right) \right\}^2} \quad (31)$$

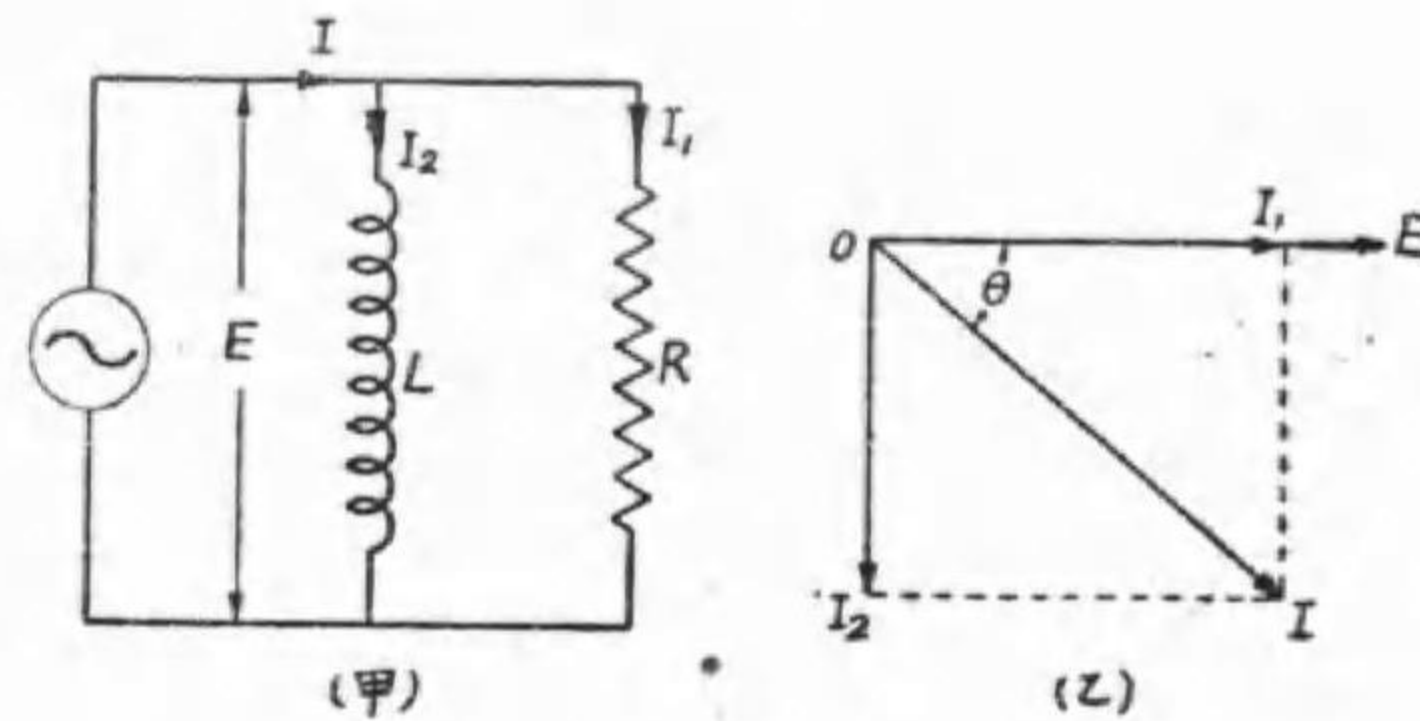
$$\theta = \tan^{-1} \frac{(\omega L_1 + \omega L_2 + \omega L_3 + \dots) - \left(\frac{1}{\omega C_1} + \frac{1}{\omega C_2} + \frac{1}{\omega C_3} + \dots \right)}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots} \quad (32)$$

問 題

抵抗2オーム、自己誘導係数0.1ヘンリーなる線輪と抵抗15オーム、自己誘導係数0.005ヘンリーなる線輪と静電容量65マイクロファラッドとを全部直列に接続して60サイクル、210ヴォルトの電圧を加へた時流る電流及び電流と供給電圧の相差を求めよ。

14. 抵抗と自己誘導係数とが並列にある回路

第24圖(甲)の様に、抵抗Rオーム、自己誘導係数Lヘンリーが並列にある回路にfサイクルEヴォルトの電圧を加ふれば、



第 2 4 圖

抵抗を流れる電流 I_1 は

$$I_1 = \frac{E}{R} \text{ アンペア}$$

I_1 と E とは同相となる。

次に L を流れる電流を I_2 とすれば

$$I_2 = \frac{E}{X_L} \text{ アンペア}$$

I_2 は E より 90° 位相が遅れる。

故に全電流 I は I_1 と I_2 とのベクトル和となる。第24圖(乙)は之の關係を示す。

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 + \left(\frac{E}{X_L}\right)^2}$$

$$I = E \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2} \dots\dots\dots(33)$$

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L}\right)^2}}$$

全電流 I と E との相差角を θ とすれば

$$\tan \theta = \frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{E}{X_L}}{\frac{E}{R}} = \frac{R}{X_L}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{R}{X_L} \dots\dots\dots(34)$$

となる。

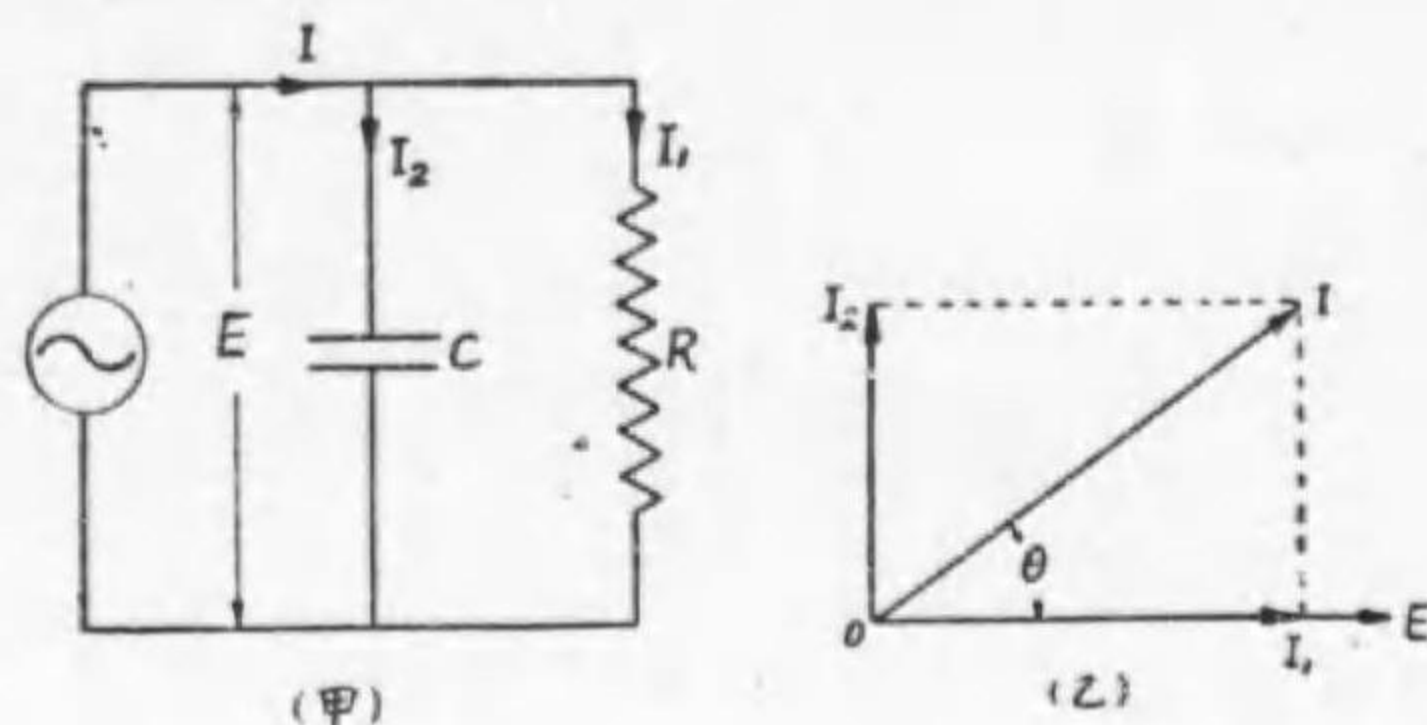
問 題

1. $R=25$ オーム、 $X_L=42$ オームを並列に接続して110ヴォルトの電圧を加へた時流る全電流及び電圧と電流の相差を求めよ。
2. 5オームの抵抗と3オームの誘導リアクタンスを直列にした場合と並列にした場合のインピーダンスを計算せよ。

15. 抵抗と静電容量を並列にしたる回路

第25圖(甲)の様に、Rオームの抵抗とCファラッドの静電容量と

が並列なる回路に f サイクル、 E ヴォルトの電圧を加ふれば、



第 25 圖

R を流れる電流 I_1 は

$$I_1 = \frac{E}{R} \text{ アンペア}$$

I_1 と E とは同相。

次に静電容量を流れる電流 I_2 は

$$I_2 = \frac{E}{X_C} \text{ アンペア}$$

I_2 は E より 90° 位相が進む。

全電流 I は I_1 と I_2 のベクトル和となる。之の関係を第25圖(乙)に示す。

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{I_1^2 + I_2^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{E}{R}\right)^2 + \left(\frac{E}{X_C}\right)^2} \\ I &= E \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2} \dots\dots\dots(35) \end{aligned}$$

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

全電流 I と E との相差角を θ とすれば

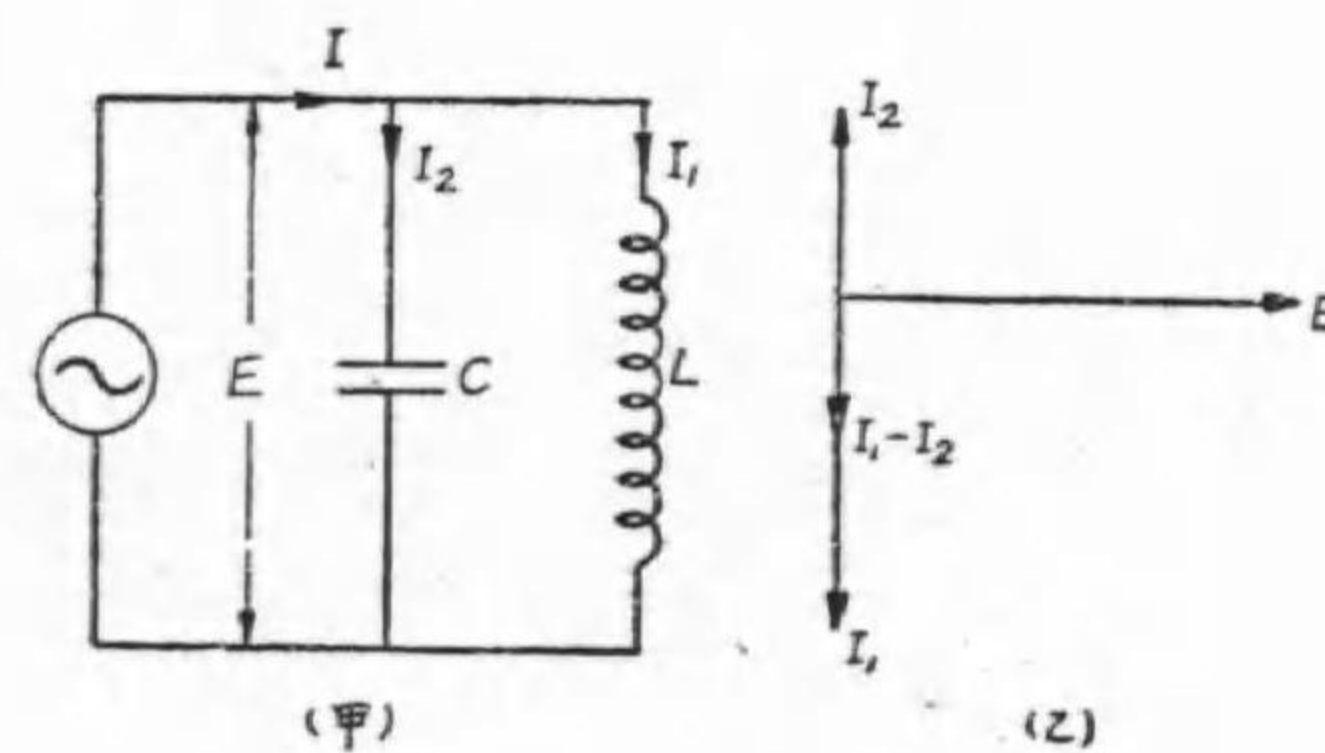
$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{E}{X_C}}{\frac{E}{R}} = \frac{R}{X_C} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{R}{X_C} \dots\dots\dots(36) \end{aligned}$$

となる。

問題

1. $R=35$ オーム, $X_C=20$ オームを並列に接続して100ヴォルトの電圧を加へた時、流るる全電流及び電圧と電流の相差を求む。

16. 電流共振



第 26 圖

第26圖(甲)の様に、 L ヘンリーの自己誘導係数と C ファラッドの静電容量とを並列に接続して E ヴォルトの

電圧を加ふれば、

L を流れる電流 I_1 は

$$I_1 = \frac{E}{X_L} \text{ アンペア}$$

I_1 は E より 90° 位相が遅れる。

次に C を流れる電流 I_2 は

$$I_2 = \frac{E}{X_C} \text{ アンペア}$$

I_2 は E より 90° 位相が進む。

第26圖 (乙) のベクトル圖で分る様に、 I_1 と I_2 とは位相が 180° 即ち一直線をなす。従て全電流 I は I_1 と I_2 のベクトル和で

$$I = I_1 - I_2 = E \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} \right)$$

となり、E と I との相差角は 90° となる。

若し $\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C} = 0$

$$X_L = X_C$$

$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots (37)$$

なる関係が成立すれば即ち、L、C の値を一定として供給電圧の周波数を變化して $\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ とした場合には誘導リアクタンスと容量リアクタンスの値が相等しくなり、

$$I_1 = I_2$$

$$I = 0$$

となる。かかる状態を回路が**電流共振**或は**並列共振**を起したと云ひ f_r を共振周波數と云ふ。

共振状態は上述の如く供給電圧の周波数を變化して起す以外に供

給電圧の周波數は一定として置いて、L 又は C の値を變化するか兩者を共に變化しても生ずるものである。

共振周波數は前述の電壓共振及電流共振とも同一の關係ある事に注意を要する。

問 題

1. C = 60 マイクロファラッドの静電容量に L ヘンリーの自己誘導係數を 60 サイクルの電源に並列に接続して共振を起さんとす。L を何ヘンリーとすべきか。

17. アドミッタンス、コンダクタンス、サッセプタンス

一般にインピーダンスの逆數を**アドミッタンス**

(Admittance)

と云つて、之

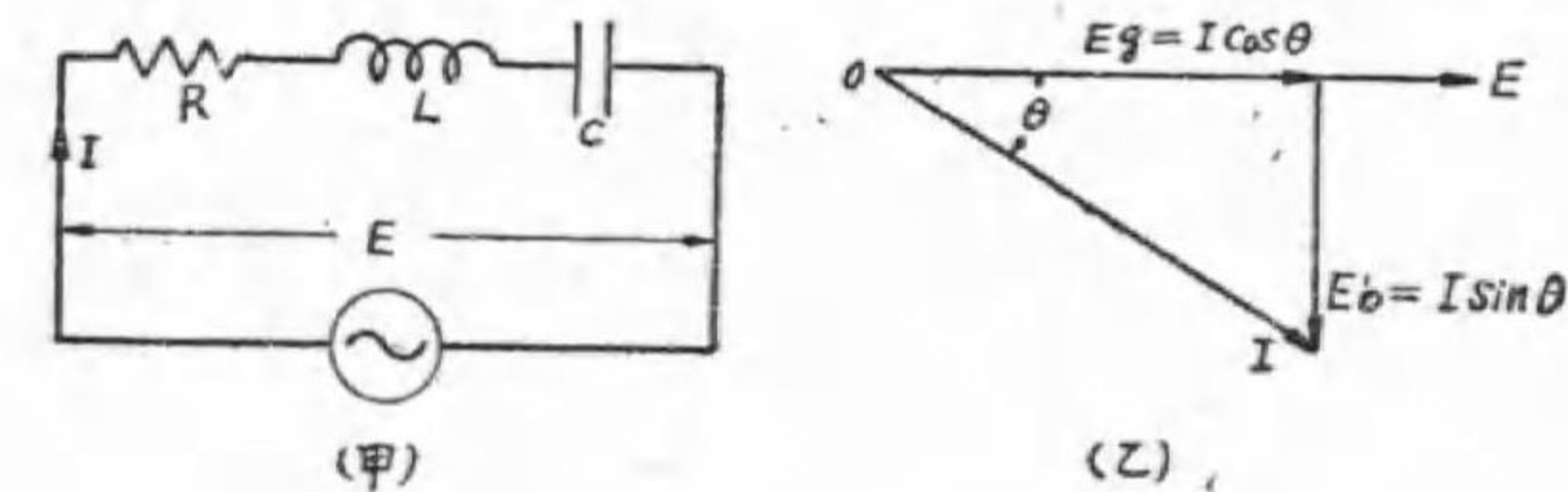
を Y なる記號で表はし、複雑なる並列回路の計算に用ふると便利である。

今 R、L、C なる一般的な直列回路を例にとつて考へて見るに、

$$\text{そのインピーダンス } Z \text{ は } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

便宜上 $X = X_L - X_C$

と置くと、



第 27 圖

$$Y = \frac{1}{Z} = \frac{1}{\sqrt{R^2 + X^2}} = \frac{\sqrt{R^2 + X^2}}{\sqrt{(R^2 + X^2)^2}}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{R}{R^2 + X^2}\right)^2 + \left(\frac{X}{R^2 + X^2}\right)^2}$$

此處で

$$\frac{R}{R^2 + X^2} = \frac{R}{Z^2} = g$$

$$\frac{X}{R^2 + X^2} = \frac{X}{Z^2} = b$$

と置き g を **コンダクタンス** (Conductance), b を **サッセプタンス** (Susceptance) と云つて Y, g, b の単位何れもモ- (Mho) とする
従て $Y = \sqrt{g^2 + b^2}$ (38)

即ちアドミッタンスの二乗とサッセプタンスの二乗の和の平方根である。

供給電圧を E , 電流を I とすれば,

$$I = \frac{E}{Z} = E \cdot Y = E \sqrt{g^2 + b^2} \dots\dots\dots(39)$$

即ち回路の電流は電圧にその回路のアドミッタンスを掛ける事に依つて求められる。

又第27圖(乙)の様に, 電流 I を電圧と同相なる部分即ち $I \cos \theta$ と電流と直角なる部分即ち $I \sin \theta$ とに分ちて考へれば

$$I \cos \theta = \frac{E}{Z} \cdot \frac{R}{Z} = E \cdot \frac{R}{Z^2} = E \cdot g$$

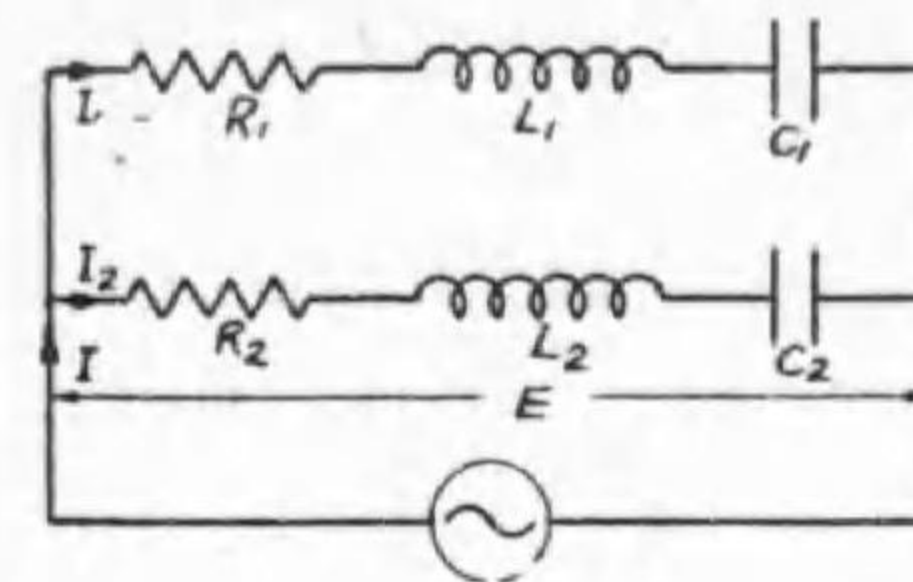
$$I \sin \theta = \frac{E}{Z} \cdot \frac{X}{Z} = E \cdot \frac{X}{Z^2} = E \cdot b.$$

故に $I = \sqrt{(I \cos \theta)^2 + (I \sin \theta)^2} = \sqrt{(E \cdot g)^2 + (E \cdot b)^2}$

$$= E \sqrt{g^2 + b^2} = E \cdot Y$$

なる関係がある。

18. 並列にあるインピーダンスの合成



第 28 圖

第28圖の様な並列回路について, 前節のアドミッタンスを用ひて解いて見る。

$$I_1 = E \cdot Y_1 = E \sqrt{g_1^2 + b_1^2}$$

$$I_2 = E Y_2 = E \sqrt{g_2^2 + b_2^2}$$

此處で

$$Y_1 = \frac{1}{Z_1}, \quad g_1 = \frac{R_1}{Z_1^2}, \quad b_1 = \frac{X_1}{Z_1^2}$$

$$Y_2 = \frac{1}{Z_2}, \quad g_2 = \frac{R_2}{Z_2^2}, \quad b_2 = \frac{X_2}{Z_2^2}$$

全電流 I は I_1 と I_2 のベクトル和であるから第27圖(乙)に依つて明なる様に

$$I = \sqrt{(E \cdot g_1 + E \cdot g_2)^2 + (E \cdot b_1 + E \cdot b_2)^2}$$

$$= E \sqrt{(g_1 + g_2)^2 + (b_1 + b_2)^2} = E Y \dots\dots\dots(40)$$

$$\tan \theta = \frac{E b_1 + E b_2}{E g_1 + E g_2} = \frac{b_1 + b_2}{g_1 + g_2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{b_1 + b_2}{g_1 + g_2} \dots\dots\dots(41)$$

即ち合成アドミッタンスは

$$Y = \sqrt{(g_1 + g_2)^2 + (b_1 + b_2)^2}$$

となる。

問 題

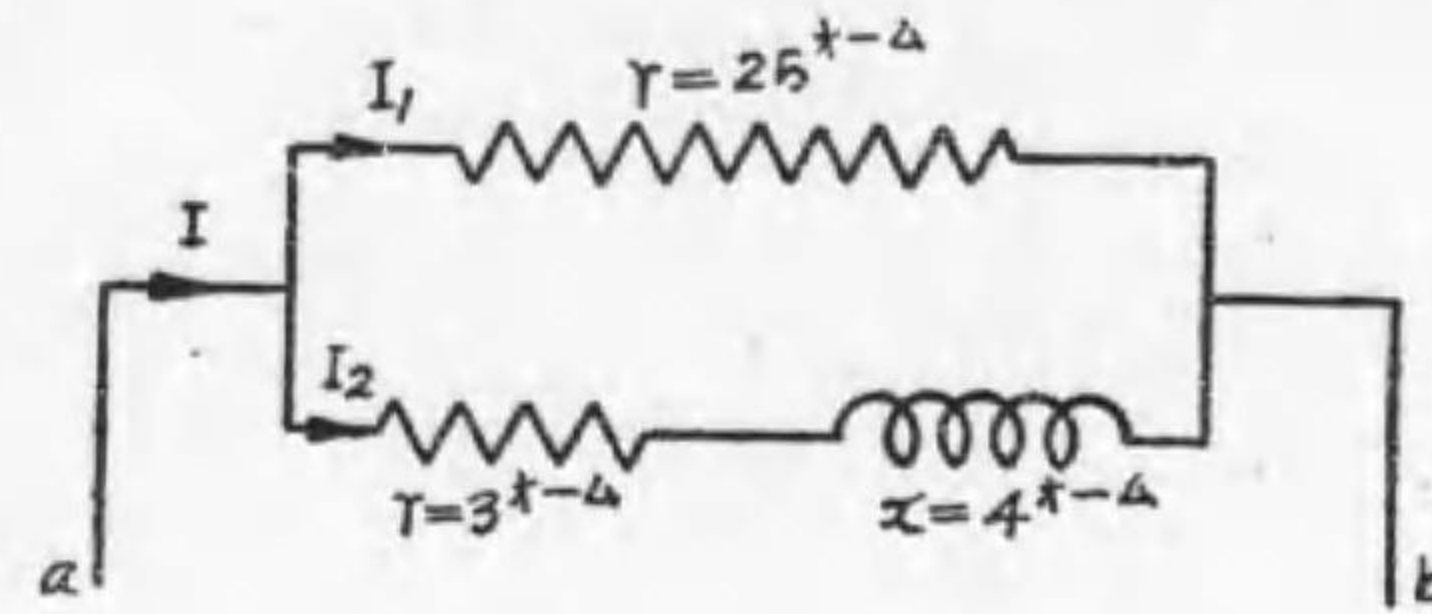
1. 本節に於ける全電流 I をインピーダンスを用ひて算出せよ。
2. $R_1 = 6$ オーム, $X_1 = 7$ オームなるインピーダンスと $R_2 = 5$ オーム, $X_2 = 3$ オームなるインピーダンスを並列にして 100 ヴオルトの電源に接続した時流れる電流 I_1 , I_2 及び全電流を求め、且全電流と電源電圧の位相差を求めよ。

19. 練習問題

- (1) 10 オームの抵抗の両端に 100 ヴオルトの交番電圧を加へた時流れる電流を求めよ。(答 10 アンペア)
- (2) 0.01 ヘンリーの自己誘導係数のみを有する回路の 60 サイクルに対するリアクタンスを計算せよ。(答 3.768 オーム)
- (3) 50 ミリヘンリーのインダクタンスのみを有する回路に 60 サイクル, 1000 ヴオルトの電圧を加へた時何アンペアの電流が流れるか。(答 約 53 アンペア)
- (4) 100 マイクロファラッドの静電容量を有する蓄電器の両端に 60 サイクル 100 ヴオルトの電圧を加へたる時、幾アンペアの充電電流が流れるか。(答 3.77 アンペア)
- (5) 15 オームの抵抗と 10 オームのリアクタンスとを直列に接続し、其の両端に 50 サイクル, 100 ヴオルトの電圧を加へた時流れる電流を計算せよ。且つ供給電圧と電流との相差角を求めよ。(答 5.5 アンペア $33^\circ 39'$)

- (6) 抵抗 50 オーム, 静電容量 120 マイクロファラッドを直列に有する回路に 50 サイクル, 100 ヴオルトの電圧を加へた時の電流及び電流と電圧の相差を求めよ。(答 1.77 アンペア 40°)
- (7) 100 オームの抵抗と 1 ヘンリーのインダクタンスと 3 マイクロファラッドの静電容量とが直列にある回路に 50 サイクル, 100 ヴオルトを供給した時の電流の値及び相差を求めよ。(答 0.133 アンペア $82^\circ 20'$)
- (8) 抵抗 2 オーム, インダクタンス 0.1 ヘンリーなる線輪と抵抗 20 オーム, インダクタンス 0.05 ヘンリーなる線輪とを直列に接続した時此の回路の 60 サイクルに対する合成インピーダンスを求めよ。尚回路の両端に 60 サイクル, 220 ヴオルトの電圧を加へた時各線輪の端子電圧を求めよ。
- (9) インダクタンス 1 ヘンリー, 静電容量 7.04 マイクロファラッド, 抵抗 1 オームを直列に接続したる回路に 100 ヴオルトの電圧を與へる時、最大電流を通ずる周波数並に最大電流を求めよ。(答 60 サイクル 100 アンペア)
- (10) 30 オームの抵抗と 40 オームのリアクタンスとを並列に接続して其の両端に 120 ヴオルトの電圧を加へた時の全電流及び電圧と電流との相差を求めよ。(答 5 アンペア 37°)
- (11) 抵抗 4 オームとリアクタンス 3 オームとあり、之を直列に接続する場合と並列に接続する場合とに於ける合成インピーダンスを算出せよ。(答 5.0 オーム 2.4 オーム)
- (12) 12 オームの無誘導抵抗と誘導線輪とあり、之を並列に接続して 60 サイクルの一定電圧を加ふれば各分岐路は夫々 18.5 アンペア及び 15 アンペアの電流が流れ、之を直列に接続して同一電圧を加ふれば、10.7 アンペアの電流が流れると云ふ。此の線輪の抵抗及びインダクタンスを求めよ。(答 6.39 ヘンリー 2.9 オーム)

(13) 圖の如く抵抗及びリアクタンスより成る回路の ab 間に實効値 100 ヴオルトの電圧を加ふる時、回路の各電流 I_1 , I_2 , 及び I の値如何。



(答 $I_1 = 4$ アンペア, $I_2 = 20$ アンペア $I = 22.6$ アンペア)

(14) 一線輪あり之れに 25 サイクル、100 ヴオルトの電圧を加ふる時は 25 アンペアの電流が流れ、50 サイクル 100 ヴオルトの電圧を加ふれば 20 アンペアの電流が流れると云ふ。此の線輪の抵抗及びインダクタンスを計算せよ。(答 3.8 オーム 0.011 ヘンリー)

(15) 抵抗 12 オーム、リアクタンス 16 オームを直列に接続し端子間に或る交番電圧を加ふれば、15 アンペアの電流を通ず。今此のリアクタンスに他のリアクタンスを並列に接続し、端子間に同一電圧を加へ全電流を 20 アンペアに増加せんとす。接続すべきリアクタンスの値を求む。(答 20.6 オーム)

第三章 交流の電力

20. 交流電力と力率

直流回路に消費する電力は供給電圧と電流との積にして次の式で表はさる。 $P = EI$ ワット

交流に於ては電圧も電流も常に變化するから一般には上式の値とならない。

交流回路にては各瞬時の電力は次の式で表はされる。

$$p = ei \dots\dots\dots(41)$$

茲に e 及び i は電圧及び電流の瞬時値なり、故に交流の電力は e 及び i の變化と共に増減するから 1 サイクル間の平均値をとつて表はす。

今或る回路に $e = E_m \sin \omega t$ なる正弦波交番電圧を加へて此の時に流れる電流を i とし此が電圧よりも θ だけ遅れてゐるものとすれば

$$i = I_m \sin(\omega t - \theta)$$

となる。従つて此の時の電力 p は

$$\begin{aligned} p &= e \cdot i = E_m I_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \theta) \\ &= \frac{E_m}{2} I_m \{ \cos \theta - \cos(2\omega t - \theta) \} \\ &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} \{ \cos \theta - \cos(2\omega t - \theta) \} \\ &= EI \cos \theta + \{ -EI \cos(2\omega t - \theta) \} \dots\dots\dots(42) \end{aligned}$$

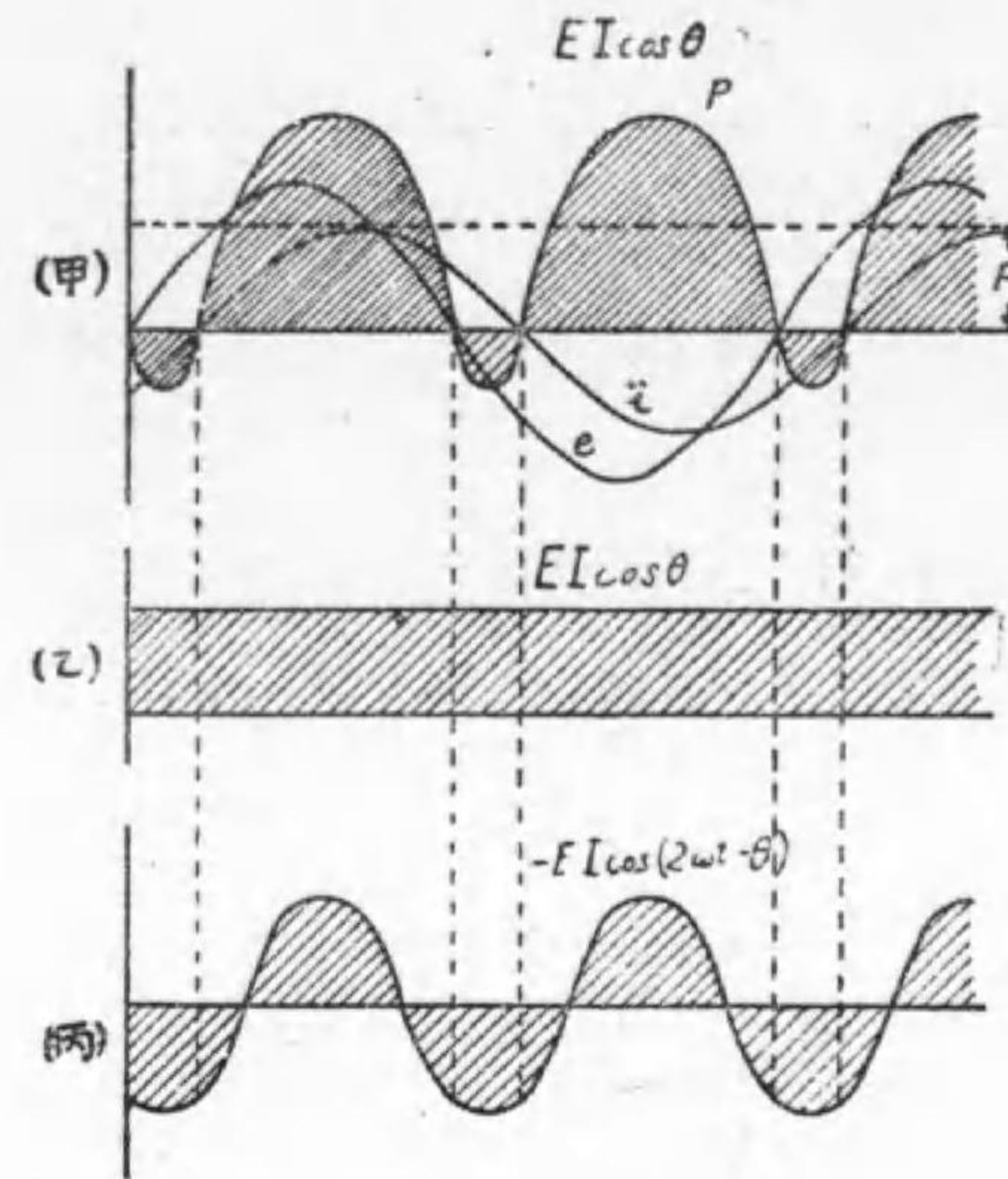
即ち各瞬時の電力は(29)圖(甲)に示す如くなり、此は式より明らかな様に $EI \cos \theta$ なる(乙)圖の如き一定量の電力と、丙圖に示す如き $-EI \cos(2\omega t - \theta)$ と云ふ二倍の周波数を有する正弦波部分との和である。

然るに(丙)の部分は平均すれば零となる。

故に交流電力は、

$$P = EI \cos \theta \dots\dots\dots(43)$$

に依つて表はされる、式中の $\cos \theta$ は電圧と電流の相差角の餘弦



第 29 圖

で此を力率 (Power factor) と言ふ。

即ち交流の電力は電圧と電流との各実効値の積に、更に力率を乗じたものとなる。

上式では電流が電圧よりも θ だけ遅れた場合について考へたが進んだ場合も同じ結果となる。

次に負荷が抵抗のみ

の時は e と i は同位相にある、従つて $\theta = 0$ となり、

$$P = EI \cos \theta - EI \cos (2\omega t - \theta)$$

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

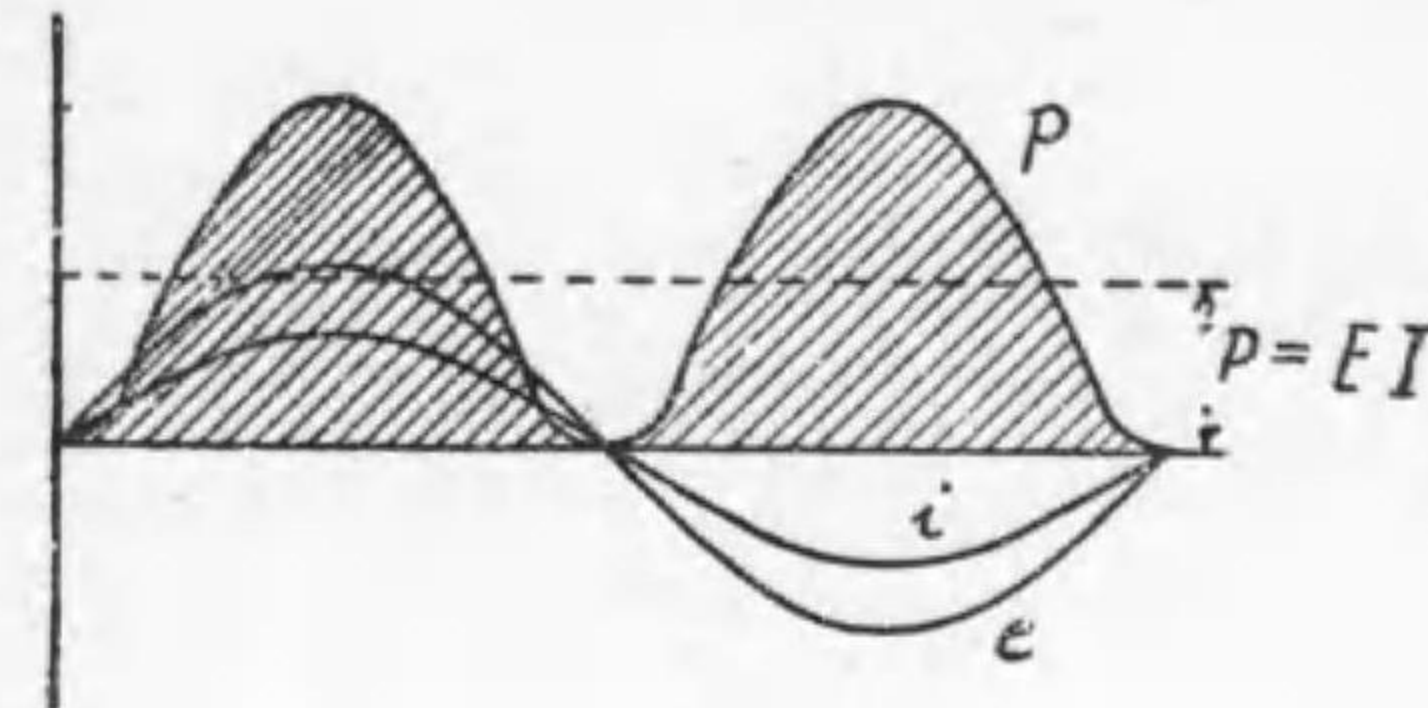
となり(30)圖に示す如く1サイクルの平均即ち交流の電力は EI となる。

又誘導負荷の時は e と i は 90° の位相差を有し-

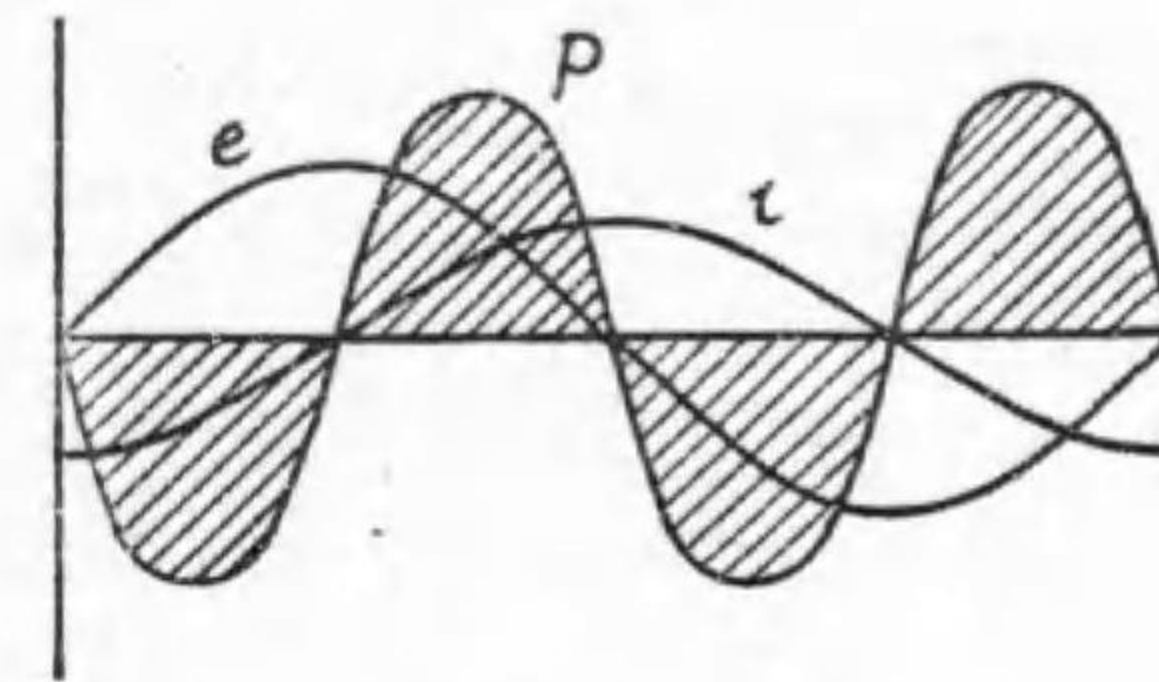
$$P = EI \cos \theta - EI \cos (2\omega t - \theta)$$

$$= 0 - EI \cos \left(2\omega t - \frac{\pi}{2} \right)$$

にて表はされ(31)圖に示す様に1サイクルの平均即ち交流電力は零となる。



第 30 圖



第 31 圖

以上の事柄より明らかな様に或る交流回路で消費される電力は抵抗に依つて消費される電力のみであつて、リアクタンスは何等電力消費に關係がないことを知る。

斯くの如く交流回路の電力は $EI \cos \theta$ で表されその單位は

ワット (Watt) 又はその1000倍である**キロワット (K. W.)** を用ふ。

之に對し電流及び電壓の実効値の積、 EI を**皮相電力 (Apparent power)** と稱して、眞の電力と區別し單位は **ヴォルト, アンペア (Volt ampere 略して V. A.)** 或ひは**キロヴォルト, アンペア (Kilo volt-ampere 略して K. V. A.)** で表はす。

又 $EI \sin \theta$ の事を**無効電力 (Wattless power)** と云ふ。

(例題) 或る回路に 100 ヴォルトの正弦波交流電壓を給與した時に流れた電流は 100 アンペアで、その相差角が 60° であつたと云ふ其の電力を求む。

(解) 電力 $P = EI \cos \theta$
 $= 100 \times 100 \times \cos 60 = 100 \times 100 \times \frac{1}{2}$

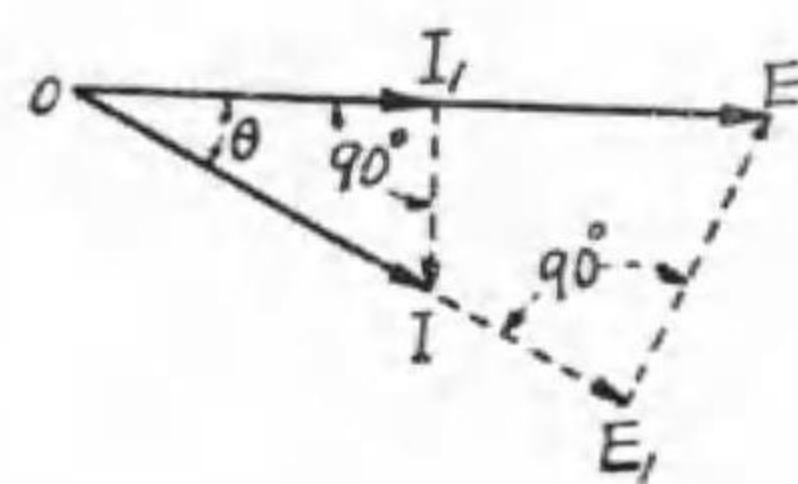
$$=5000 \text{ワット} = 5 \text{キロワット}$$

21. 電圧及び電流の有効分及び無効分

交流の電力 $P = EI \cos \theta$

$$= (E \cos \theta) I$$

と考へ電流と同一位相の電圧分力 $E \cos \theta$ を電圧の有効分 (Watt component) と稱し、電流に直角な分力 $E \sin \theta = E_1$ を電圧の無効分 (Wattless Component) と稱す。



第 3 2 圖

$$\text{又 } P = EI \cos \theta$$

$$= E(I \cos \theta)$$

と考へ電圧と同一位相の $I \cos \theta$ なる電流を電流の有効分 (Watt Component) と稱し、電圧に直角な $I \sin \theta$

$= I I_1$ を電流の無効分 (Wattless Component) と稱する。

即ち電流の有効分に電圧を掛けても、電圧の有効分に電流を掛けても電力が求められることを知る。

(例題) 抵抗 R オーム、自己誘導係数 L ヘンリー、静電容量 C ファラッドが直列にある場合 E ヴォルトの正弦波電圧を加へた時の電圧及び電流の有効分を求む。

$$\text{(解) 電流 } I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{E}{Z} \text{ アンペア}$$

電流と電圧の位相差 θ とすれば

$$\cos \theta = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\frac{E}{I}} = \frac{IR}{E}$$

従つて電流の有効分は $I \cos \theta = I \frac{IR}{E}$

$$\text{電圧の有効分は } E \cos \theta = E \frac{IR}{E} = IR$$

$$\text{故に電力は } P = E (I \cos \theta) = E \cdot I \frac{IR}{E} = I^2 R$$

$$\text{又 } P = I (E \cos \theta) = I (IR) = I^2 R$$

例題より明らかなる如く或る電路に消費される電力は抵抗に依つて消費される電力のみである。

(例題) 電圧 100 ヴォルト 電流 50 アンペア、力率 0.8 なる単相交流回路の電力は何キロワットか、又無効電力及皮相電力は何キロ、ヴォルト、アンペアなるか。

(解) 電力 P は

$$P = EI \cos \theta = 100 \times 50 \times 0.8 = 4000 \text{ワット} = 4 \text{キロワット}$$

$$\text{無効電力} = EI \sin \theta = EI \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$$

$$= 100 \times 50 \times \sqrt{1 - (0.8)^2} = 5000 \times 0.6 = 3000 \text{ ヴォルト,}$$

$$\text{アンペア} = 3 \text{ キロ, ヴォルト, アンペア}$$

$$\text{皮相電力} = EI = 100 \times 50 = 5000 \text{ ヴォルト, アンペア} = 5 \text{ キロ, ヴォルト, アンペア}$$

22. 練習問題

(1) 下記の回路に 100 ヴォルト 50 サイクルの交番電圧を加へた場合に流れる電流の有効分及び無効分を求む。

- 甲 抵抗 3.12 オーム
- 乙 自己誘導係数 0.064 ヘンリー
- 丙 静電容量 0.00032 ファラッド
- 丁 甲乙丙直列の時

	甲	乙	丙	丁
答 有効分	32	0	0	2.8
無効分	0	5	10	9

(2) 電圧 $e = E_m \cos \omega t$ と $i = I_m \sin \omega t$ との瞬時電力は電圧又は電流の周波数の二倍の周波数を有することを証明せよ。

(3) 抵抗とインダクタンスと直列にある負荷あり、抵抗は4オームにして、50サイクルに於ける力率0.8なりと云ふ。25サイクルに於ける力率を算出せよ。(遞試 大正七, 5級) (答 0.935)

(4) 力率80%なる50K.V.A.の単相誘導負荷あり、之れに並列に静電容量を接続して合成力率は100%となさんとす。所要静電容量は幾何なるか。但し電圧は1000ヴォルト、周波数は50サイクルとす。

(大正八, 4級) (答 95.7マイクロ, ファラッド)

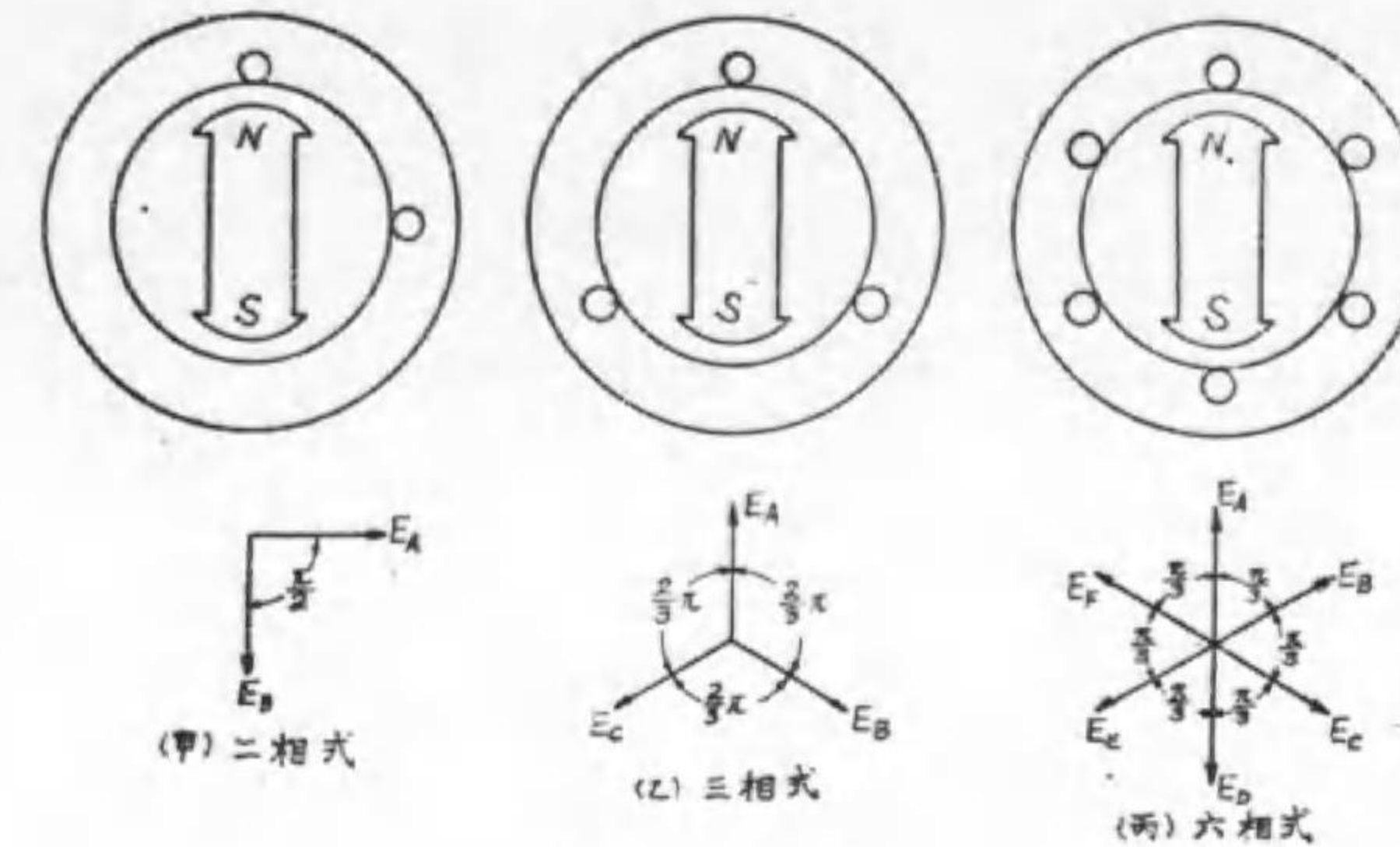
第四章 多相式交流

23. 多相式の種類

今迄述べた様に只一つの交番電圧を発生し、之れにより只一つの交流を発生させる場合を**単相式** (Single phase) と云ふ。

今、発電機に第33圖に示す様に二つ以上のコイルを或る電氣角度を隔て、捲けば位相の異つた二つ以上の交番電圧並に電流が得られ

る。之れを**多相交番電圧** (Poly phase alternating voltage) 並びに**多相交番電流** (Poly phase alternating current) と云ふ。

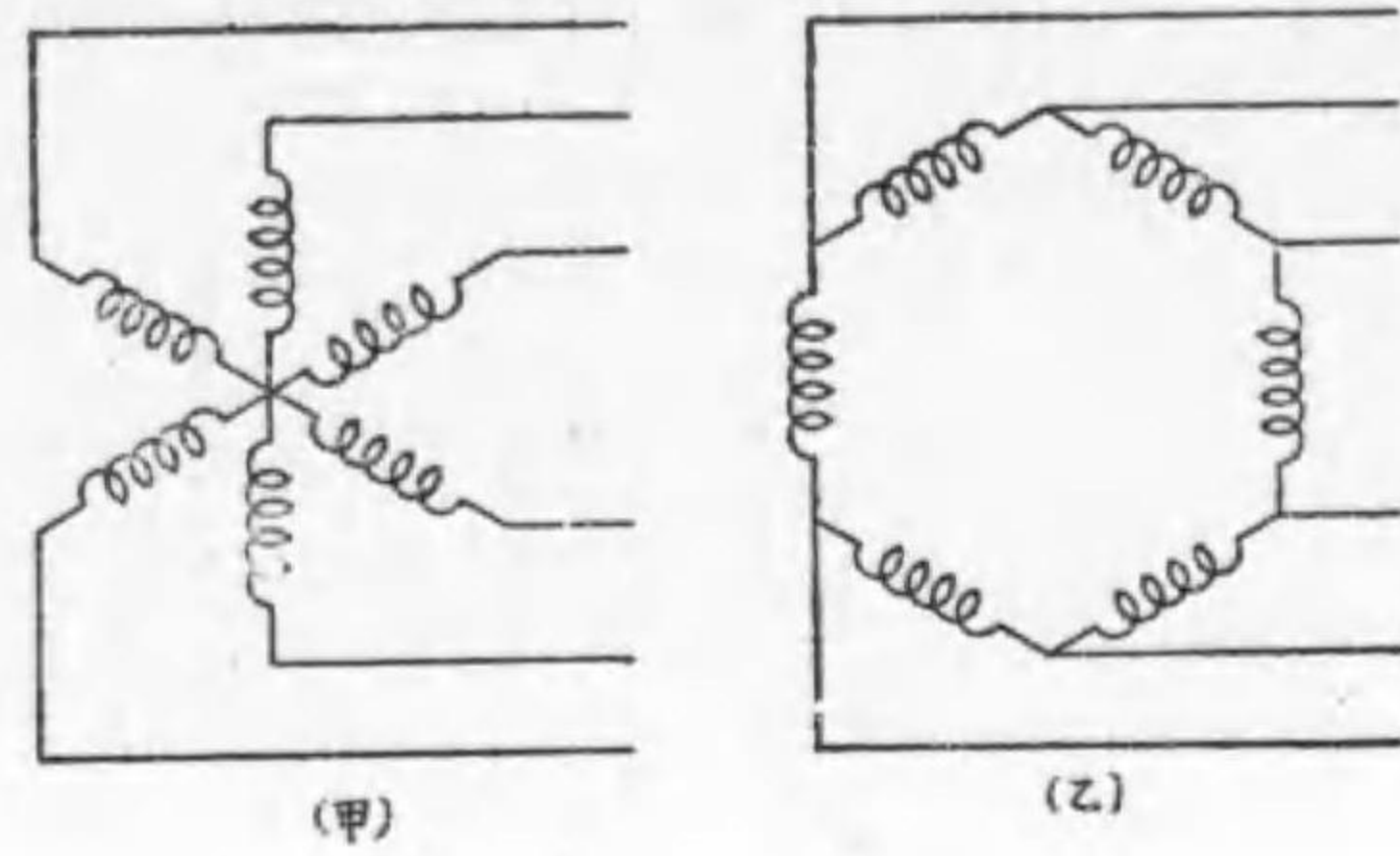


第 33 圖

茲に、 n 相の多相方式があつて、その起電力の大きき相等しく、相互の位相が順次 $\frac{2\pi}{n}$ 宛遅れてゐる時は、之れを**對稱多相式** (Symmetrical polyphase system) と云ひ、又若し n 個の電圧の中一つでも等しくないか、或は位相差が $\frac{2\pi}{n}$ に等しくない時には、之れを**非對稱多相式** (Unsymmetrical polyphase system) と稱する。

而して、非對稱多相式は二相式を除いては實際に用ひられないから、普通には多相式と云へば對稱多相式を意味する事と思つてよい。多相式で最もよく用ひられるのは三相式で現今實際用ひられて居る交流発電機や電動機の殆んど總てはこの三相式である。

多相起電力を獨立に使用して負荷電力を供給する時は之れを**獨立多相式**と云ひ、各相を適當に結合して使用する時は之れを**結合多相式**と云ふ。



第 34 圖

今結合多相式で各線輪の捲終りを第34圖(甲)の如く一箇所につないだものを**星形接續 (Star connection)**

と云ひ、又(乙)圖の如く一つの終りに他の線輪の捲初めを順次つないだ接續を**環形接續 (Ring connection)**と云ふ。

上述の星形接續の場合、其の共通點を**中性線 (Neutral point)**と云ひ、負荷を星形につないで其の中性點と星形接續の發電機の中性點とを結ぶ線を**中性線 (Neutral wire)**と稱する。

又、各捲線に發生する電壓を**相電壓 (Phase voltage)** 各捲線に流れる電流を**相電流 (Phase current)**と稱する。

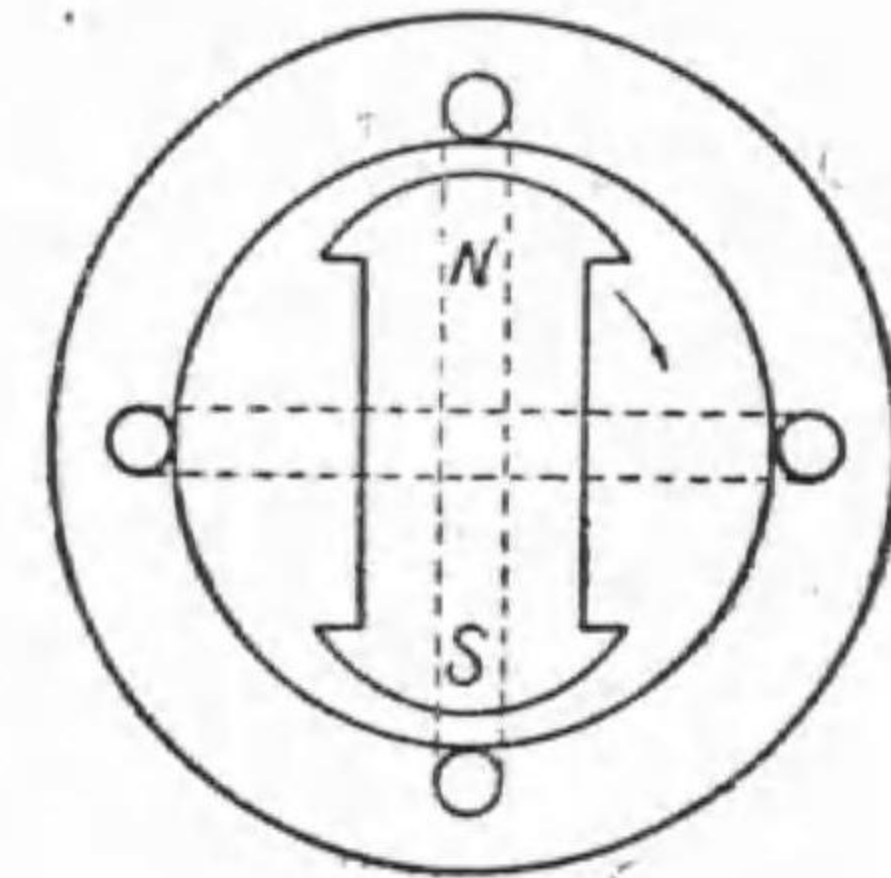
之れに對して線路間即ち發電機の端子間の電壓を**線間電壓 (Line voltage)**と云ひ、線路に流れる電流を**線路電流 (Line current)**と稱す。特に星形結線に於ては相電壓を**星形電壓 (Star voltage)**と稱することが屢々ある。

次に多相式機械に於ける各相の電流の實効値が相等しく相差角が又互に相等しい時は、之等の電流は**平衡 (balance)**して居ると稱する。同様に各相の電壓の實効値等しく相差角が互に相等しい時は之等の電壓は又平衡して居ると云ふ。又電流及電壓が共に平衡して居

る場合には、電力(入力又は出力)は各相互に相等しい筈である。斯る場合には此機械は**平衡負荷 (balanced load)**を負ふて居る、或は單に負荷が平衡して居るとも云ふ。而して斯の様な状態にある多相式を**平衡多相式 (balanced poly phase system)**と稱する。要するに對稱式と云ふのは發電機の構造によつて定まつてくるもので、平衡式と云ふのは對稱式に於て負荷が平衡してゐる場合に成り立つものである。

24. 二相式交流

第35圖に示す様に、發電子上に電氣角度で90°隔てゝ二組の相等しい捲線を配置し磁極を矢の方向に廻轉させると、A及B捲線には誘導起電力を發生し、其値は相等しく、A内の起電力はB内の起電力に對し90°進んで居る事は容易に了解し得られよう。

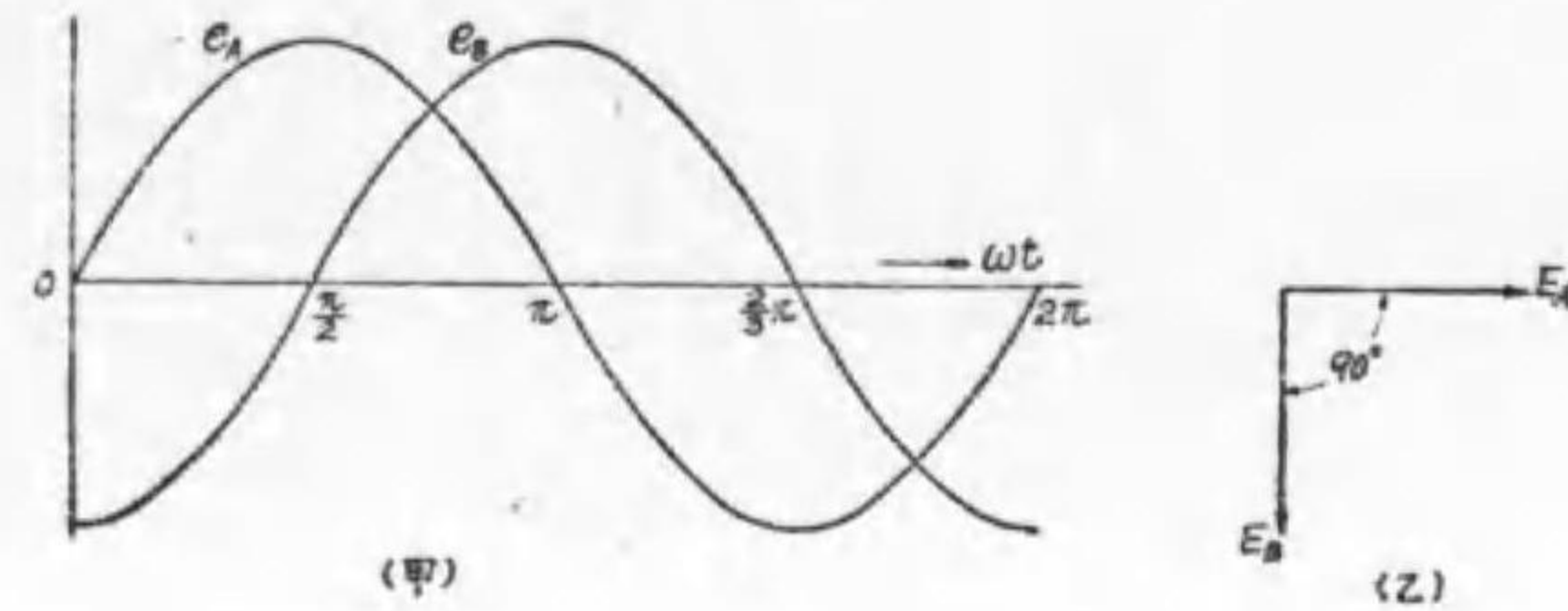


第 35 圖

之の關係をグラフ及びベクトル圖で表はせば第36圖の様になるこのA及B内の起電力を一括して之れを**二相式起電力 (two phase E. M. F)**と稱し、斯る起電力を發生する發電機を**二相式發電機**と稱する。この二相式起電力は

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(44)$$

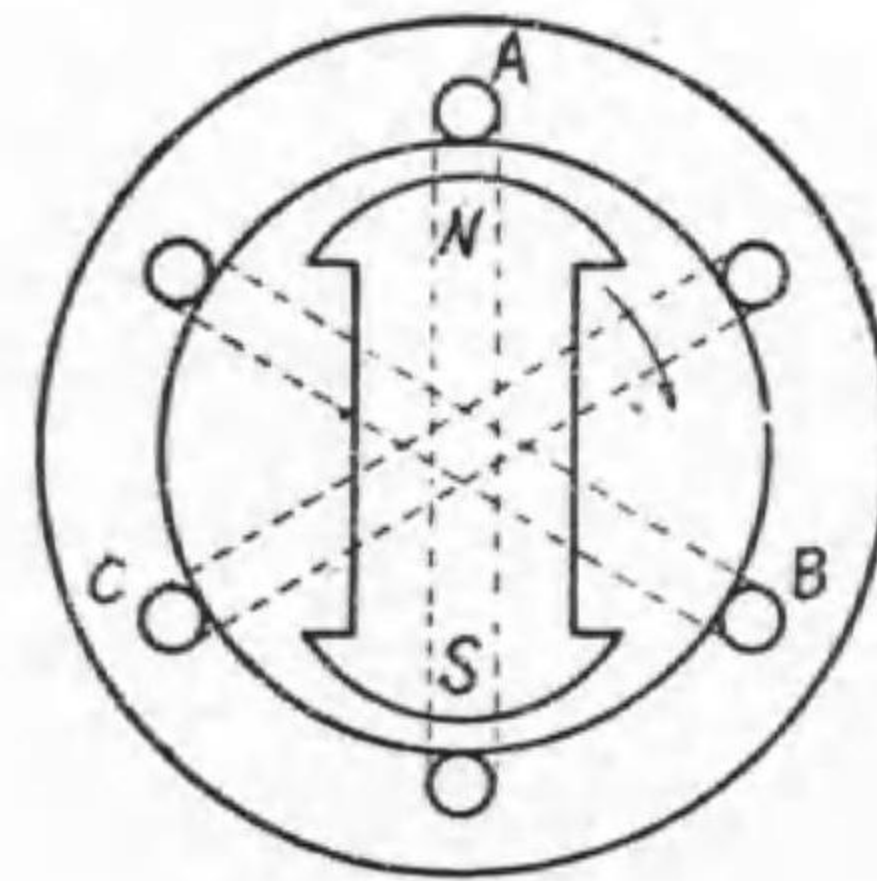
この二相式は現在殆んど用ひられて居ない。



第 36 圖

25. 三相式に於ける電壓、電流の關係

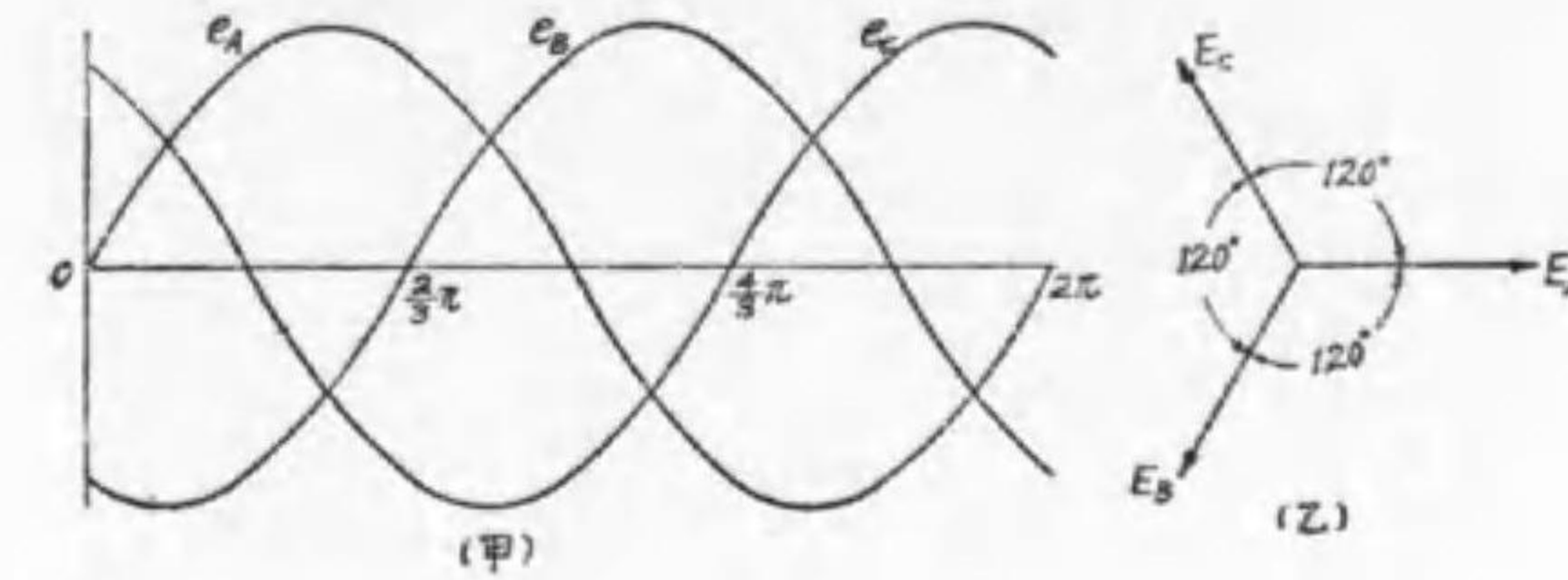
第37圖に示す様に、發電子上に電氣角度で 120° 即ち $\frac{2\pi}{3}$ 宛隔て、三組の相等しい捲線を配置し、界磁を矢の方向に廻轉させると、A, B, C 捲線内には第38圖(甲)に示す様に其値は互に相等しく、各々 120° の相差を保つてゐる三つの獨立した起電力 e_A, e_B, e_C が出来る。之をベクトル圖で表はせば、同圖(乙)の様になる。



第 37 圖

斯様に其値相等しく、互に 120° の相差を持つた三つの單相起電力を一括して**三相式起電力** (Three phase E. M. F.) と稱し、斯る起電力を發生する發電機を三相發電機と稱する。

以上の關係を式を以て示せば次の如くなる。

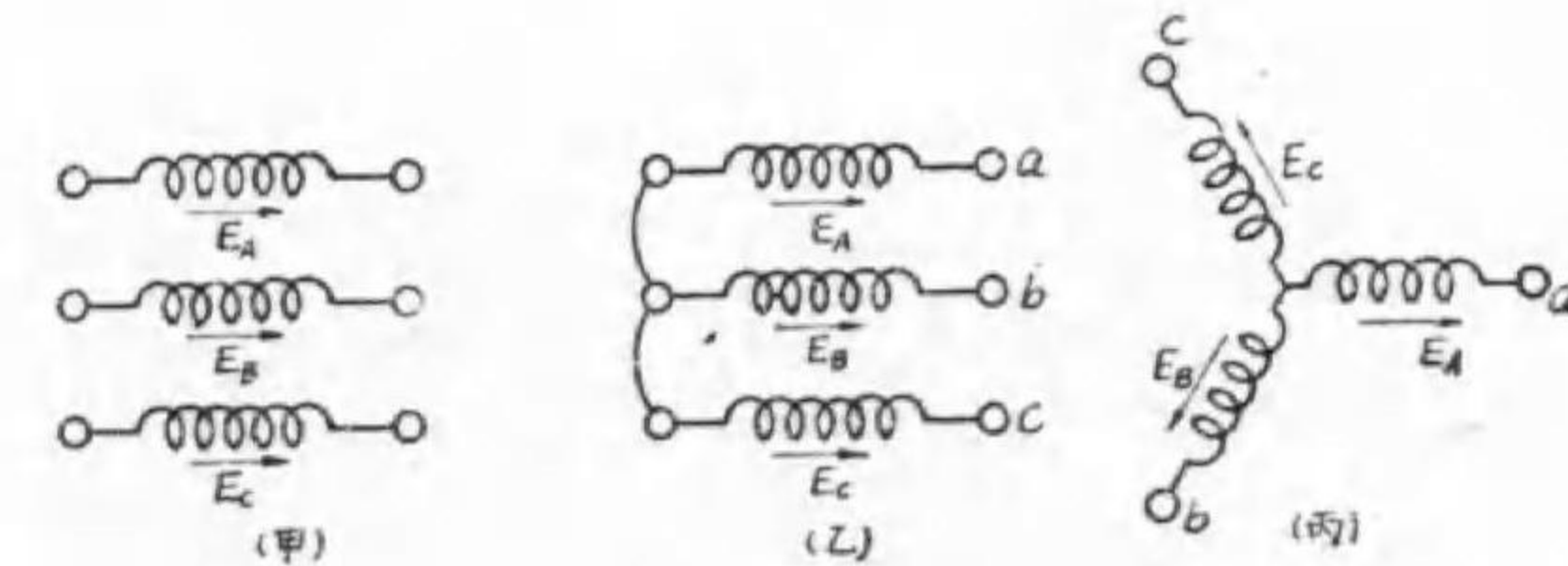


第 38 圖

$$\left. \begin{aligned} e_A &= E_m \sin \omega t \\ e_B &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3}\pi \right) \\ e_C &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3}\pi \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (45)$$

次に三相式の接續法としては、後述の星形接續と三角形接續の二つが最も普通に用ひられるが、特別な場合としてはV結線或はT結線法を用ひる事もある。

(a) 星形接續



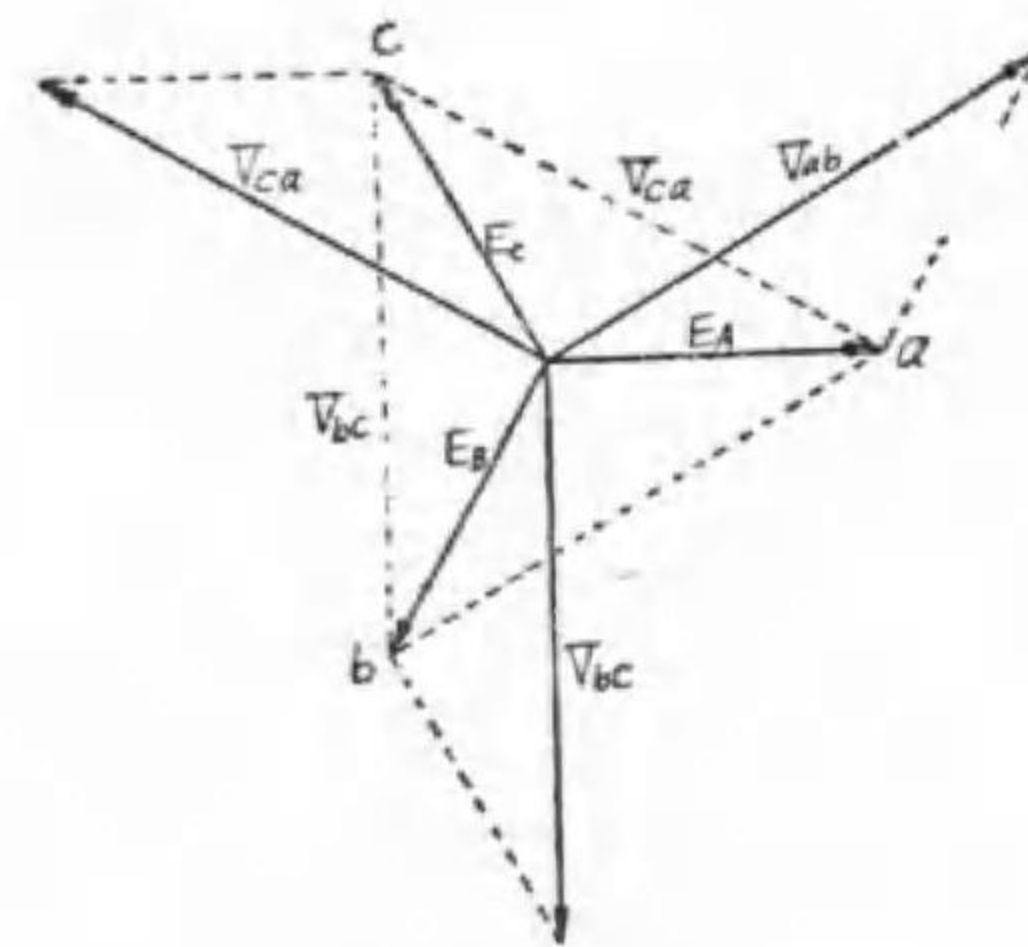
第 39 圖

第39圖(甲)に示す三組の捲線 A, B, C には各々 120° 宛の位相差を持つた相等しい大きさの正弦波起電力が發生して居るものとする。

之を星形に接ぐには同圖(乙)に示す様にすればよいのであるが、普通此等の間の位相關係がわかり易い様に同圖(丙)の如く表はす。従つて星形接續の事を其の形の上から特にY結線 (Y connection)とも云ふ。

此場合 ab, bc, ca 間の電壓、即ち線間電壓の實効値 V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} の値が如何になるかを考へて見る。

第39圖により明かな様に、ab間即 aob なる捲線内には互に方向異なる二つの實効値 E_A , E_B なる起電力が存在し、之れをab間に合成すれば兩起電力 E_A , E_B のベクトル差となる。



第 40 圖

即ち V_{ab} は E_A と E_B とのベクトル差である。同様に V_{bc} は相電壓 E_B と E_C とのベクトル差、又 V_{ca} は相電壓 E_C と E_A とのベクトル差で、此等の關係は第40圖の如くなる。

而して V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} 値は皆相等しく、且つ此等の電

壓は同圖から明かな様に互に 120° 宛の相差を有して居るから、線間電壓 V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} は平衡三相式電壓である。

即ち三相星形結線 (Y結線) には相電壓が平衡せる正弦波電壓なれば、此等の電壓の合成した所の線間電壓も亦平衡正弦波電壓である。

従つて相電壓 $E_A = E_B = E_C = E_P$ とすれば

$$V_{ab} = 2 E_A \cos 30^\circ = 2 E_A \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} E_A = \sqrt{3} E_P$$

同様に

$$V_{bc} = \sqrt{3} E_P, \quad V_{ca} = \sqrt{3} E_P$$

故に一般に星形結線に於ては

$$\text{線間電壓} = \sqrt{3} \times \text{相電壓 (或は星形電壓)} \dots\dots\dots (46)$$

而して線路電壓 V_{ab} , V_{bc} , V_{ca} は夫々各相の電壓 E_A , E_B , E_C より 30° 進んでゐる。

逆に實効値 V なる正弦波電壓が平衡せる Y 結線に給與せられた時は、各相に受ける電壓 E_P は

$$E_P = \frac{1}{\sqrt{3}} V$$

或は

$$\text{星形電壓} = \frac{\text{線間電壓}}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (47)$$

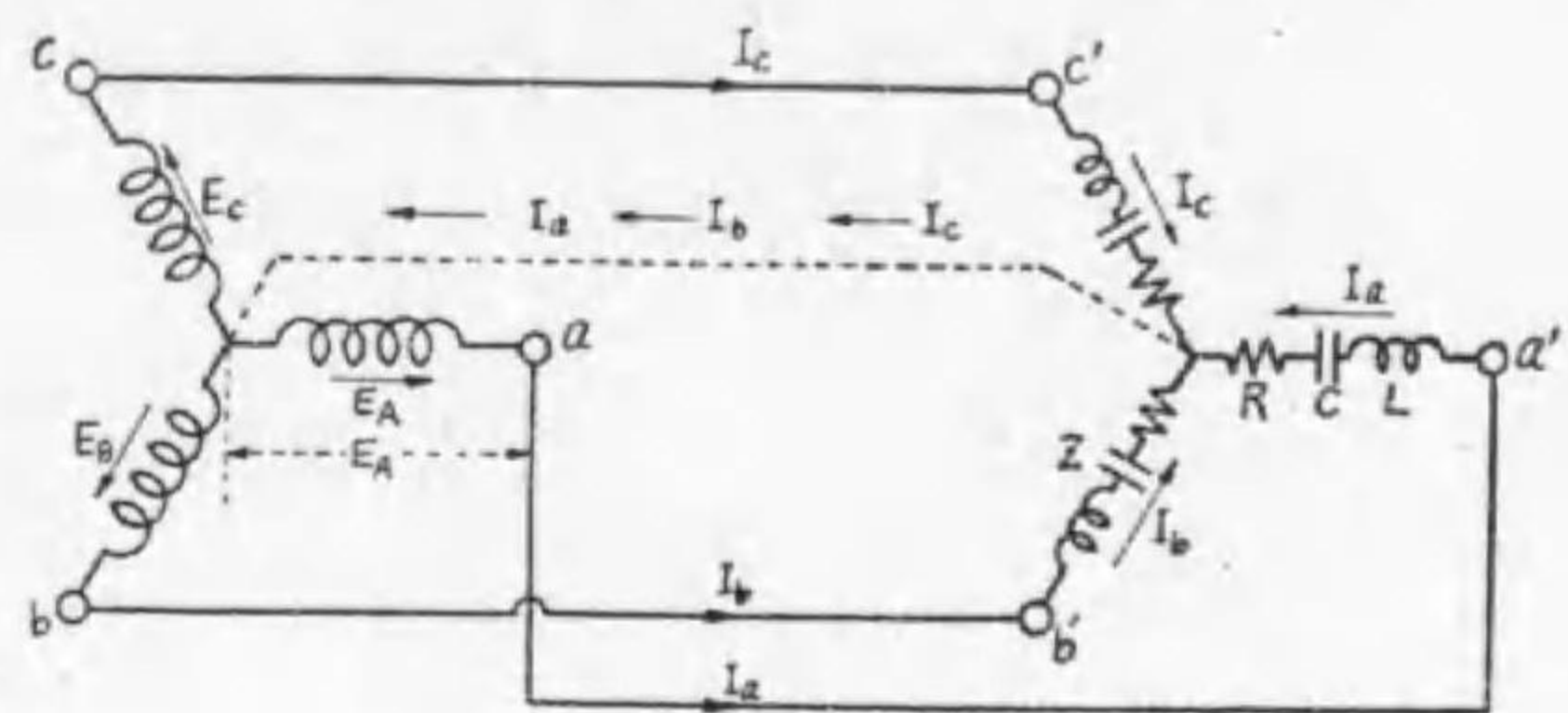
次に星形接續に於ては、第40圖より明かな様に線路電流は何れも相電流に等しい。即ち平衡してゐるから

$$\text{線路電流} \quad I_a = I_b = I_c = I$$

$$\text{相電流} \quad I_A = I_B = I_C = I_P \quad \text{とすれば}$$

$$I = I_P$$

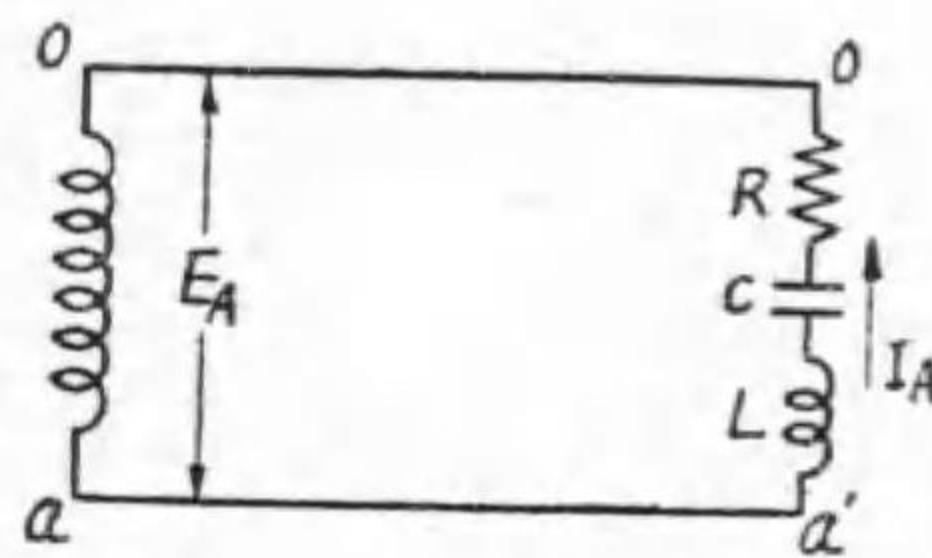
次に第41圖の様に三個の全く等しいインピーダンス Z を星形に接ぎ、その三個の端子 a' , b' , c' を交流發電機の三個の端子 a , b , c に接續し三相負荷をかけた場合を考へて見よう。



第 4 1 圖

今点線で示す様に両方の中性点 O O' を抵抗のない中性線で結んで見る。

而して今 O a a' O' O と云ふ回路を考へればそのインピーダンスは Z であつて、起電力従つて相電圧は EA となるから此回路の電流は



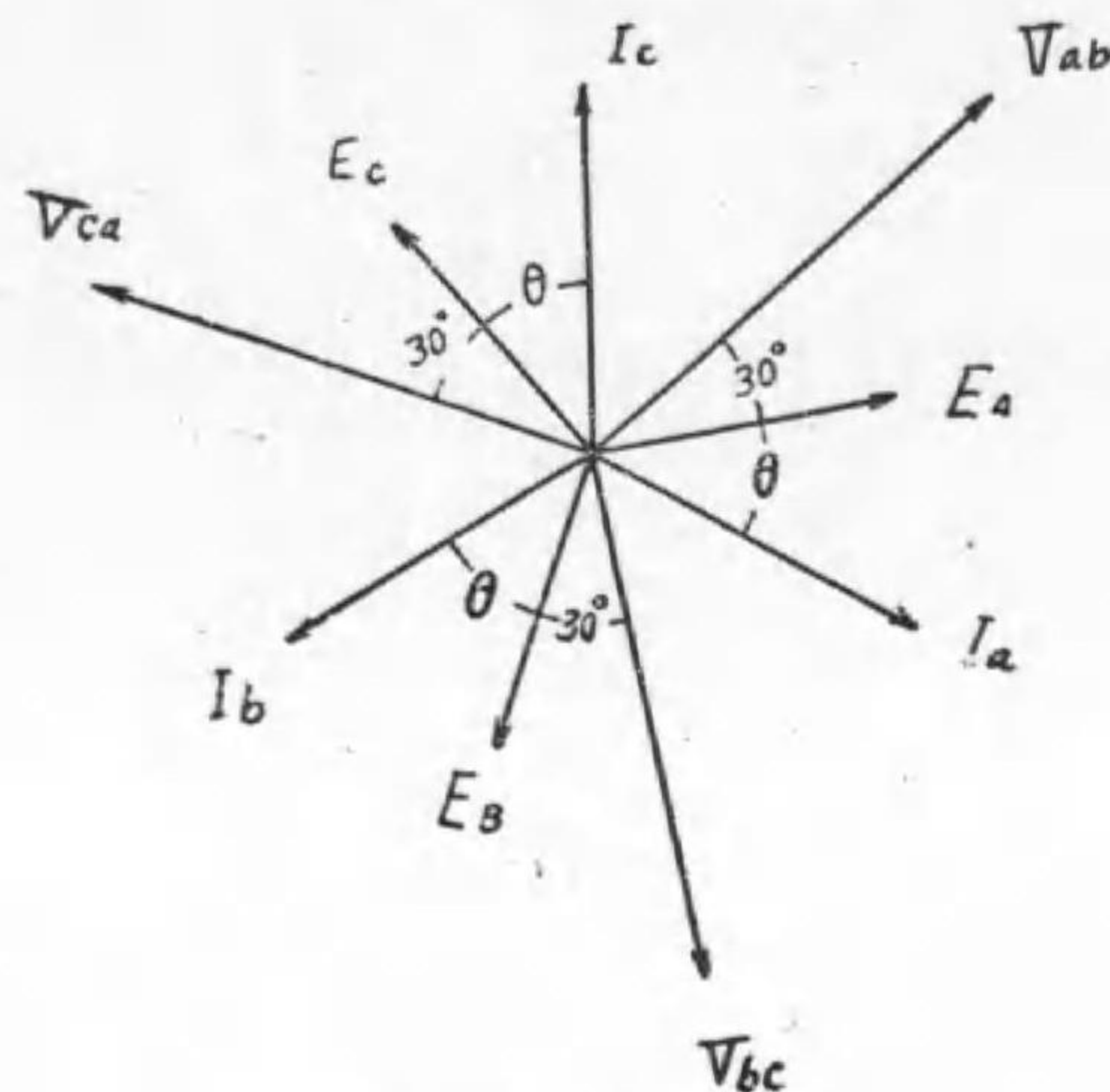
第 4 2 圖

$$I_a = \frac{E_A}{Z} = \frac{E_A}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$$

又、O b b' O' O 及 O c c' O' O の電路に就いても同様の関係がある。

故に電流 I_a, I_b, I_c , 相電圧 E_A, E_B, E_C 及び線間電圧 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} の關は第43圖の如くなる。

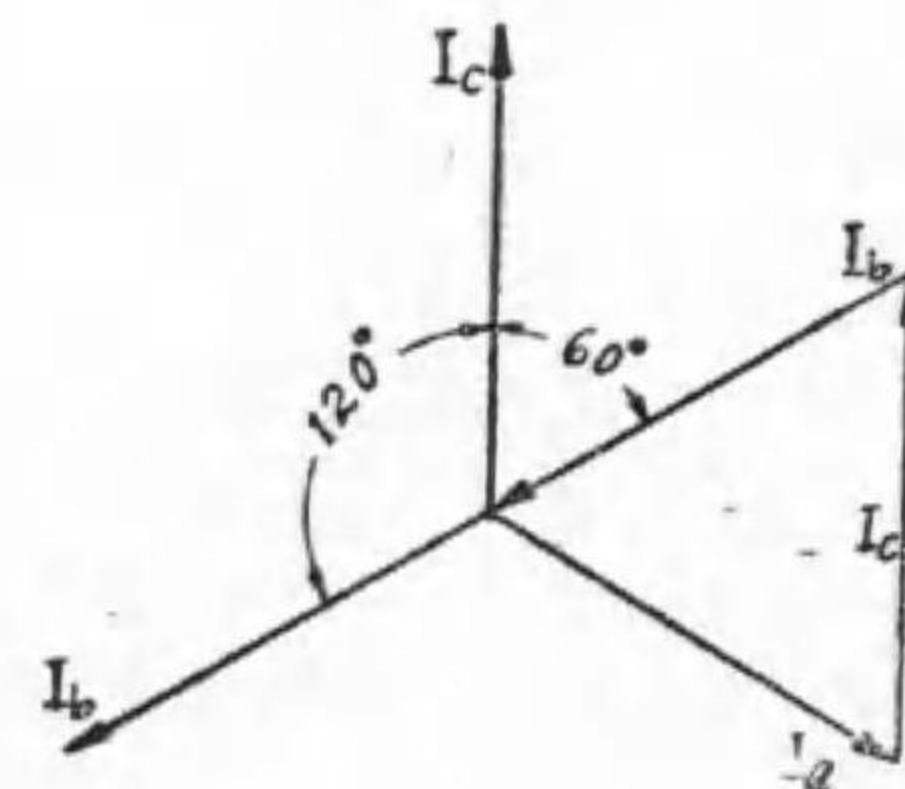


第 4 3 圖

を通ずる電流を考へて見よう。

此圖より明かな様に I_a, I_b, I_c は値が皆相等しく、互に 120° 宛の相差を保つて居るから矢張り一つの平衡三相式電流である。

次に中性線



第 4 4 圖

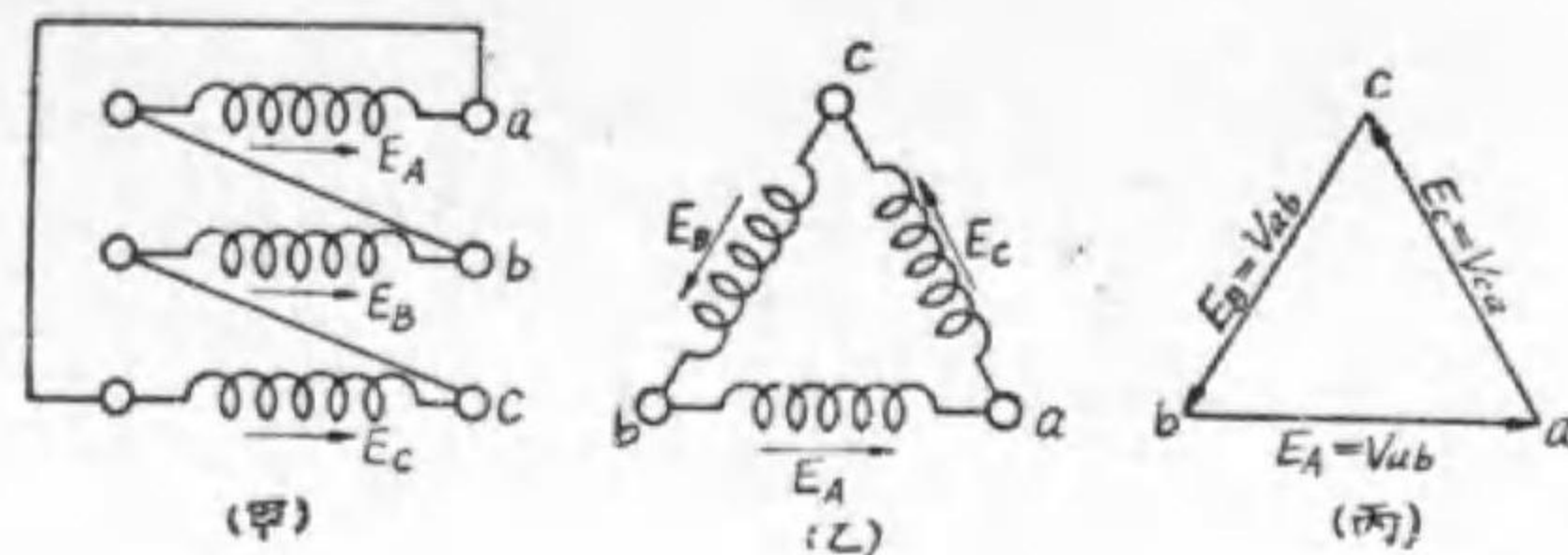
今上述の様に、Y 結線の各相の電流が平衡せる正弦波電流である時は、此等は第44圖に示す様に長さ等しく、且つ互に 120° の相差角をもつ三つのベクトルで表はす事が出来る。

今中性線に流れる電流を考へれば、之は上の三つのベクトルの和でなければならない。然るに第44圖の様に、この三つのベクトル和は零となる。即ち中性線に電流は流れない。故に三相式負荷が平衡して居て、電流が正弦波形のものであれば、中性線は有つても無くても何等その回路に影響を及

ぼす事はない。従つて**三相四線式** (three phase four wire system) を採用する場合以外は中性線を使用しない。

(b) 三角形接続

第45圖の如く三相巻線を環状につないだ場合を考えて見よう。三



第 4 5 圖

相式では、環状接続のことを**三角形結線** (delta connection) 或は單に△(デルタ)接続と稱するのが普通である。

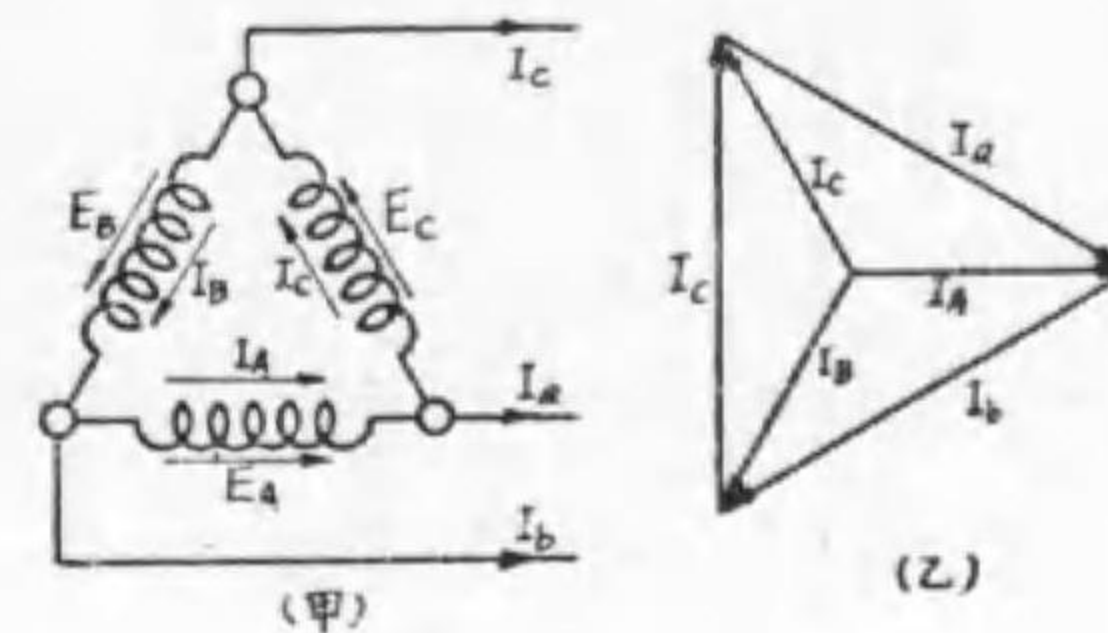
今 ab間の電圧 V_{ab} を考へれば之は起電力 E_A によるものであるから、 $V_{ab} = E_A$ である。同様に $V_{bc} = E_B$, $V_{ca} = E_C$ である。故にこの關係をベクトル圖にて示せば第45圖(丙)の様になる。

然るに $E_A = E_B = E_C$ であるから、 $V_{ab} = V_{bc} = V_{ca}$ で、且つ相互間の相差は 120° 宛である。即ち三角結線の場合も各相の起電力が平衡してゐる場合は各線間電圧は平衡三相式電圧である。そうして其の値は各相の起電力に等しい。

線間電圧=相電圧

此の場合△結線中に循環電流が通する様に思はれるが、△結線内に存在する平衡正弦波三相起電力全部を合成すれば、第45圖(丙)の如く零となるから此の巻線には循環電流が流れる様な事はない。

次に三角形結線に於ける電流の状態を考へて見る。



第 4 6 圖

第46圖に於て線路電流 I_a は I_A 及 I_c のベクトル差である。

今(乙)圖に於て

$$I_a = 2I_A \cos 30^\circ$$

$$= \sqrt{3} I_A$$

然るに $I_a = I_b = I_c$, $I_A = I_B = I_C$ である故に一般に△結線に於ては、

線路電流 = $\sqrt{3}$ × **相電流** (48)

又同圖より明かな様に線路電流 I_a, I_b, I_c は相電流 I_A, I_B, I_C より夫々 30° 遅れる。

逆に線路電流が平衡せる正弦波電流なれば、△結線の相電流は矢張り平衡三相電流であつて、その値は、

相電流 = $\frac{\text{線路電流}}{\sqrt{3}}$ (49)

(例) 三相星形接続の電源あり。線間電圧は100ヴォルトにして、線路電流は30アンペアで、負荷は三角接続とする。電源一相の電圧及び負荷一相の電流を求めよ。

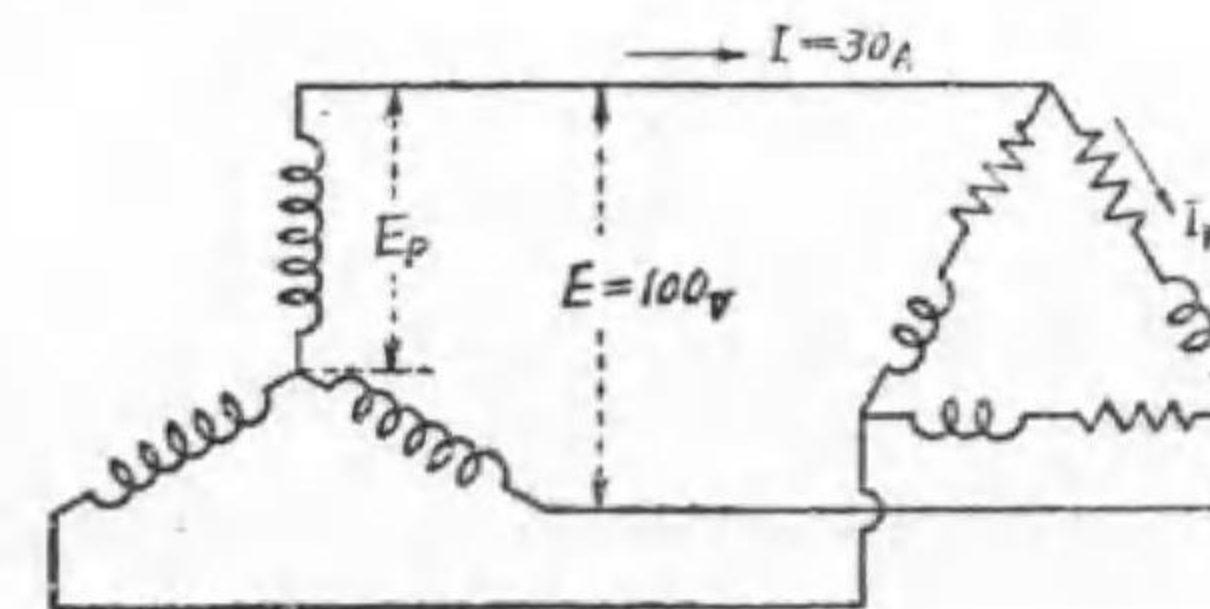
(解) 電源の相電

壓を E_P とすれば

$$E_P = \frac{E}{\sqrt{3}} = \frac{100}{\sqrt{3}}$$

$$= 57.7 \text{ ヴォルト}$$

負荷の相電流 I_r は



第 4 7 圖

$$I_T = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{30}{\sqrt{3}} = 17.3 \text{ アムペア}$$

26. 三相式の電力

三相機械の電力（出力又は入力）は結線が Y でも Δ でも又電流及電圧が平衡して居ると否とに拘らず、各相の電力の総和に等しい。

今 E_A, E_B, E_C を Y 又は Δ 結線の相電圧の実効値とし、 I_A, I_B, I_C を相電流の実効値、又 $\theta_A, \theta_B, \theta_C$ を夫々の相電流が夫等に相等する相電圧より遅れる角であるとすれば、総電力 P は

$$P = E_A I_A \cos \theta_A + E_B I_B \cos \theta_B + E_C I_C \cos \theta_C$$

である。

上記の三相機械の電流及び電圧が平衡して居る時は

$$E_A = E_B = E_C = E_P \dots\dots\dots \text{相電圧}$$

$$I_A = I_B = I_C = I_P \dots\dots\dots \text{相電流}$$

$$\theta_A = \theta_B = \theta_C = \theta \dots\dots\dots \text{各相の電圧と電流との位相差}$$

$$\therefore P = 3E_P I_P \cos \theta$$

然るに平衡負荷で電流及電圧が正弦波形なれば、Y 結線の相電圧は線間電圧 V の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ であり、又 Δ 結線の相電流 I_P は線路電流 I の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ である。次に Δ 結線に於ては、線間電圧と相電圧とは常に相等しく、又 Y 結線にあつては線路電流と相電流とは常に相等しい。

故に線間電圧を V、線路電流を I、相電圧と相電流との相角を θ とすれば、以上の事から Y 結線の場合の総電力 P_Y は

$$P_Y = 3 \times \frac{1}{\sqrt{3}} V \times I \cos \theta = \sqrt{3} V I \cos \theta$$

又、 Δ 結線に於ける総電力を P_Δ とすれば

$$P_\Delta = 3 \times V \times \frac{1}{\sqrt{3}} I \cos \theta = \sqrt{3} V I \cos \theta$$

従つて Y 及 Δ 何れの結線でも、平衡負荷の場合の電力（出力又は入力）は次の式で表はす事が出来る。

$$P = \sqrt{3} V I \cos \theta \dots\dots\dots (50)$$

茲に注意を要する事は、 θ は相電圧と相電流との相角で、線路電圧 V と線路電流 I との相角ではない事である。

一般に三相機械の電力と云ふのは、三つの相の総電力を意味するのである。従つて キロヴォルトアムペア出力又は入力と云へば、三つの相の総 キロヴォルトアムペアの事である。又電力 P (ワット) 電圧 V が與へられた時、平衡負荷に對する電流 I は

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} V \cos \theta} \dots\dots\dots (51)$$

但し $\cos \theta$ は力率である。又 キロヴォルトアムペア出力又は入力

$$KVA = \frac{\sqrt{3} V I}{1000} \dots\dots\dots (52)$$

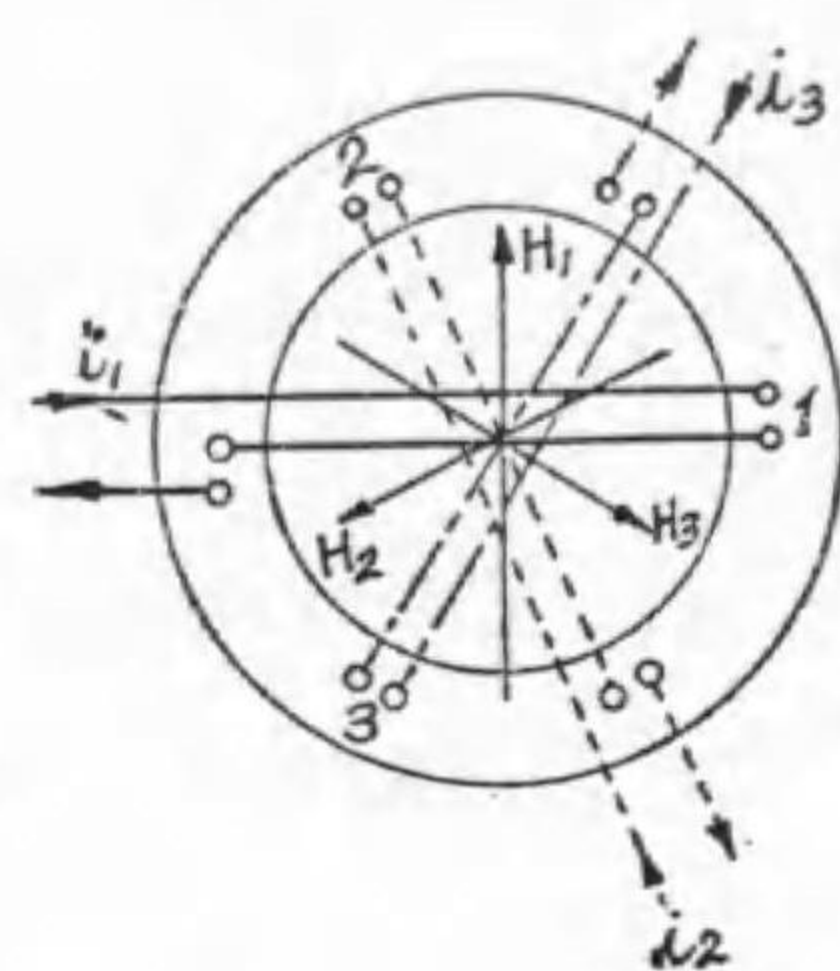
で表はさる。

(例) 三相配電線あり。各線間電圧は 200 ヴォルト、線路電流は 50 アムペアにして、力率は 80% とす。三相配電力は何キロワットか。

(解) $P = \sqrt{3} V I \cos \theta = \sqrt{3} \times 200 \times 50 \times 0.8$
 $= 13856 \text{ ワット} = 13.856 \text{ キロワット}$

27. 対稱三相式による廻轉磁界

三相回路に於ける廻轉磁界 (Revolving field) について説明せん



第 48 圖

(48) 圖を二極三相誘導電動機の固定子捲線を示したものとし, 1, 2, 3, の捲線は空間的に順次 120° 宛進み, 之に順次 120° 宛の位相差を有する三相交流を流したとする。今

$$i_1 = I_m \sin \omega t$$

$$i_2 = I_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right)$$

$$i_3 = I_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3} \pi \right)$$

なる電流が各線輪に流れる時は各線輪に依り生ずる磁界は夫々の電流の變化と共に強さが増減するも各々の磁界の合成について考へて見ると, 第49圖(甲)の $i_1 = I_m, i_2 = -\frac{1}{2} I_m, i_3 = -\frac{1}{2} I_m$ なる値を有する α の時刻に於ては同圖(乙) α に示す如き方向となる。次いで $\omega t = 60^\circ$ 即ち b なる瞬間にては

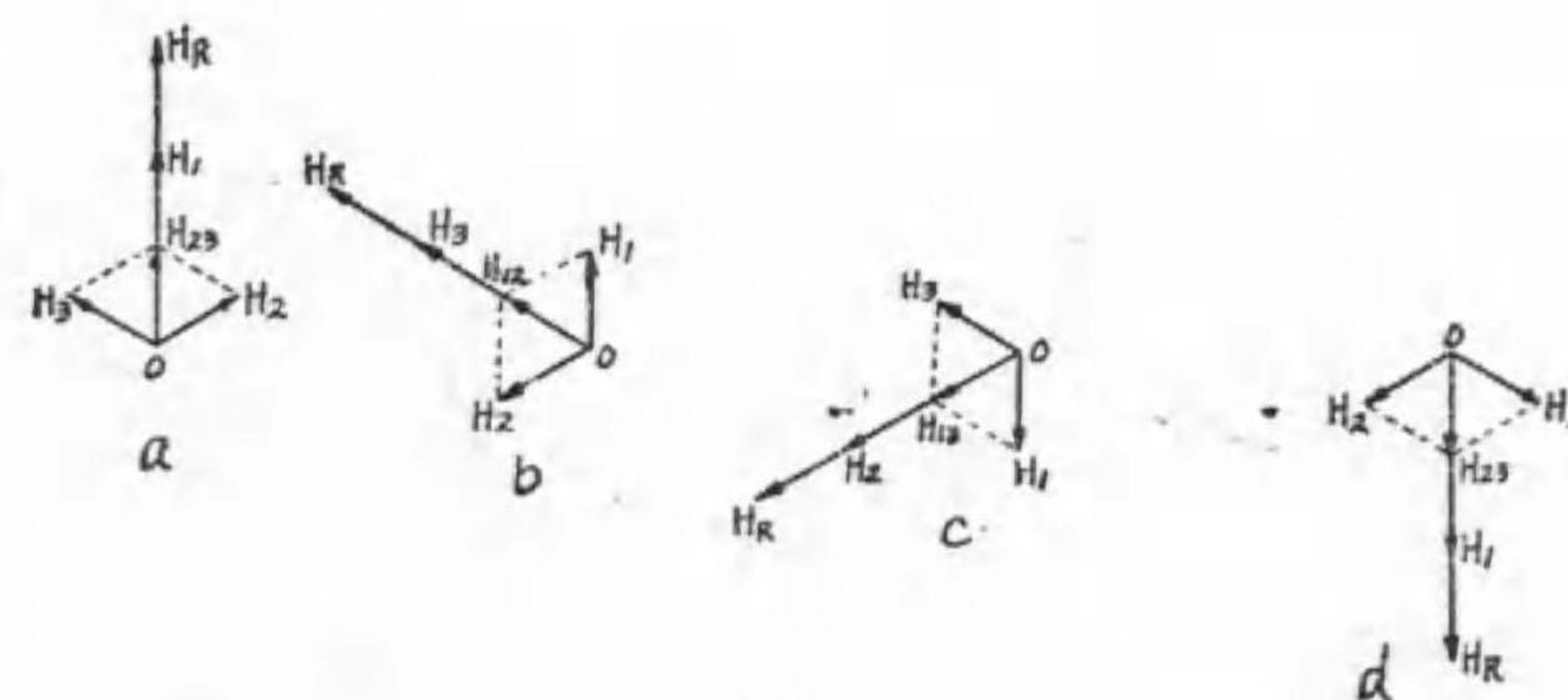
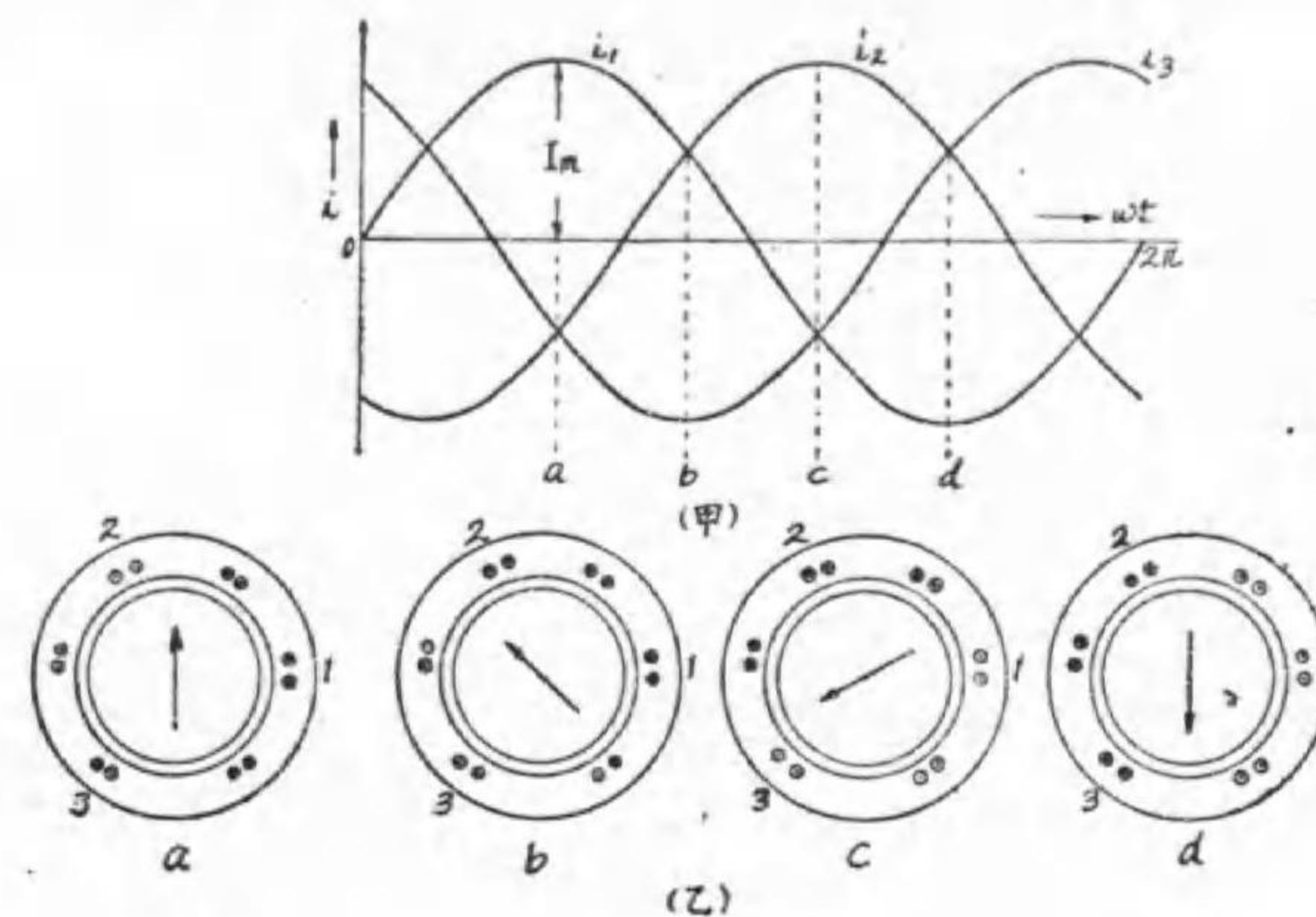
$$i_1 = \frac{1}{2} I_m \quad i_2 = \frac{1}{2} I_m \quad i_3 = -I_m \quad \text{となり合成磁界は第48}$$

圖(乙) b に示す如き方向となり α の瞬間より少しくずれた磁界とな

る, 同様にして(甲)圖の c, d の瞬間には(乙)圖の c, d の如き磁界となるを知る。

即ち捲線が固定してゐると(乙)圖 a, b, c, d に示した様に一定の強さで時間と共に廻轉する磁界を生ずる。

この磁界は電流の一周波の間に 1, 2, 3, の方向に一廻轉する。



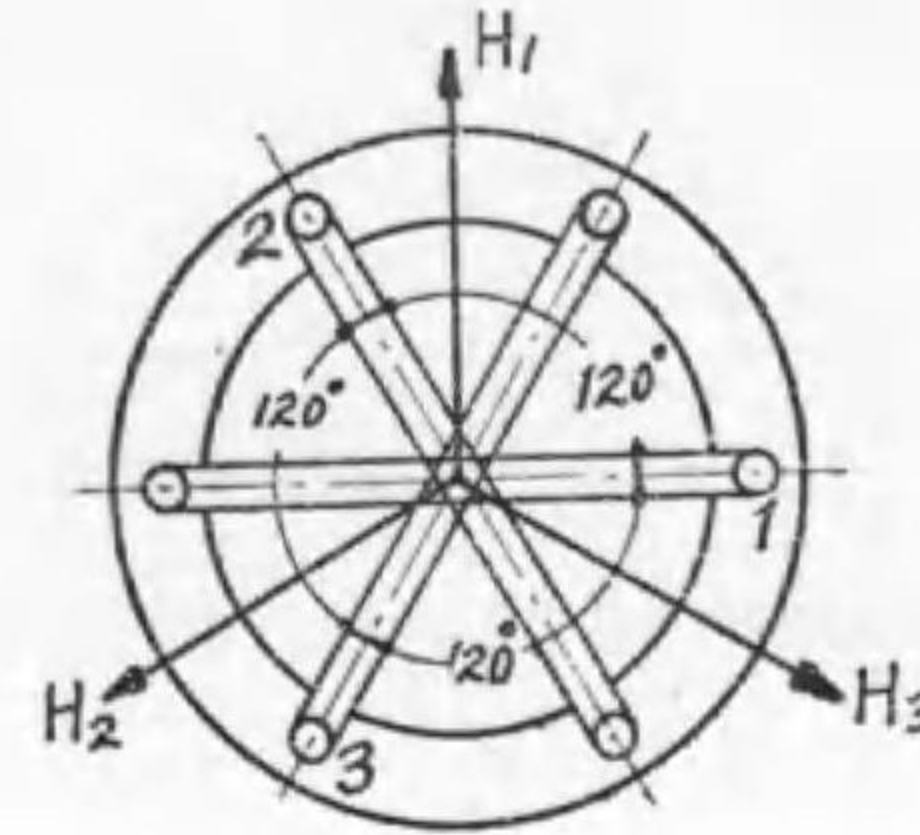
(丙) 第 49 圖

廻轉磁界をベクトル圖で考へてみると第49圖(丙)となる圖より

合成磁界 H_R は各線輪の磁界の強さの最大値の $\frac{3}{2}$ 倍の値を常に保ちながら 1 サイクルの間に一廻轉することを知る。

又數式的に考へて見やふ。

線輪に電流が通じた時に生ずる磁界は電流の變化に従ふ。



第 50 圖

故に 1, 2, 3, に三相の交流を通じたる時の各の磁界は

$$H_m \sin \omega t, H_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), H_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right)$$

にて示される, その方向は第50圖の OH_1, OH_2, OH_3 である, この磁界を縦横兩軸に分けて見る。

縦軸即ち OH_1 の方向の合成磁界は

$$\begin{aligned} & H_m \sin \omega t - H_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \cos \frac{\pi}{3} - H_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \\ & \times \cos \frac{\pi}{3} \\ & = H_m \left[\sin \omega t - \cos \frac{\pi}{3} \left\{ \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \right\} \right] \\ & = H_m \left[\sin \omega t - \cos \frac{\pi}{3} \times 2 \sin\left(\omega t - \pi\right) \cos \frac{\pi}{3} \right] \\ & = H_m \left[\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin \omega t \right] = \frac{3}{2} H_m \sin \omega t \end{aligned}$$

となり, 横軸即ち $O1$ の方向の磁界は

$$-H_m \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \cos \frac{\pi}{6} + H_m \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) \cos \frac{\pi}{6}$$

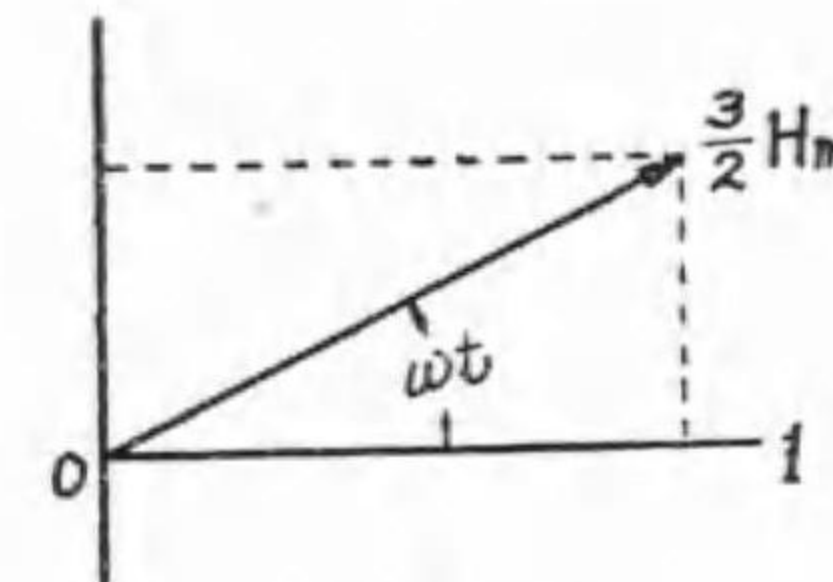
$$\begin{aligned} & = \frac{\sqrt{3}}{2} H_m \left\{ \sin\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right) - \sin\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right) \right\} \\ & = -\sqrt{3} H_m \cos\left(\omega t - \pi\right) \sin \frac{\pi}{3} \\ & = \frac{3}{2} H_m \cos \omega t \end{aligned}$$

故に 0 點に於ける合成磁界の強さは

$$\begin{aligned} & \sqrt{\left(\frac{3}{2} H_m \sin \omega t\right)^2 + \left(\frac{3}{2} H_m \cos \omega t\right)^2} \\ & = \frac{3}{2} H_m \end{aligned}$$

即ち合成磁界の強さは時間に關

係なく常に一定である。而して横軸となす角即ち第51圖に於いて合成磁界と $O1$ とのなす角 θ は



第 51 圖

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\frac{3}{2} H_m \sin \omega t}{\frac{3}{2} H_m \cos \omega t}$$

$$= \tan^{-1} \tan \omega t = \omega t$$

上式より明らかな如く合成磁界は電流と同じ周期で廻轉する。

28. 多相回路計算問題

- (1) 三相三角形接続の電源あり。線間電圧3300ヴォルト, 線路電流60アムペアにして, 負荷は星形接続である。電源の相電流及び負荷に加はる相電圧を求めよ。
- (2) 抵抗 R , 並に R_2 を夫々 Y 並に Δ に接続し之に同じ平衡三相電圧を加ふる

時電線に流るる電流 I_1 と I_2 とを相等しからしむるに要する R_1 と R_2 との比を求めよ。(昭5. 三種)

- (3) Δ 結線の三相発電機に抵抗 r オーム, リアクタンス x オームなる相等しき線輪を Y に結線して平衡に負荷した時の線電流何程なるか。但し発電機一相の抵抗 r_0 オーム, リアクタンス x_0 オーム, 起電力は E_0 ヴォルトとする。
- (4) 三相平衡負荷あり。電圧200ヴォルト, 力率0.8に於て10キロワットを消費すると云ふ。負荷電流を算出せよ。(大5. 五級)
- (5) 三相誘導電動機あり。端子電圧 200 ヴォルト, 電流50アムペア, 能率0.84, 力率0.86なり。該電動機の出力を馬力にて示せ。(大6. 五級)
- (6) 200ヴォルト, 5馬力三相誘導電動機あり。全負荷に於ける力率85%能率84%なりとせば, 全負荷に於ける電流は幾何なるか。(大10. 三種)
- (7) 定格電圧3300ヴォルト, 定格電流 100アムペアなる三相交流機あり。之に力率80%の全負荷を接続するとせば, 此発電機を運轉するに要する原動機の出力量幾馬力なりや。(大13. 三種)
- (8) 三相三線式交流配電線路あり。線條一本の抵抗 0.3オーム, リアクタンス0.25オームなりとす。受電端に無誘導性にして200ヴォルト, 5キロワットの三相負荷ある時, 饋電點の線間電圧を求む。(大12. 三種)

多相回路計算問題解答

- (1) 相電流 34.64アムペア, 相電圧1905.2ヴォルト
- (2) $R_1 : R_2 = 1 : 3$
- (3)
- $$\frac{\sqrt{3} E_0}{\sqrt{(r_0 + 3r)^2 + (x_0 + 3x)^2}}$$
- (4) 36アムペア

- (5) 16.8馬力
- (6) 15.1アムペア
- (7) 680馬力
- (8) 208V

第五章 歪 波 形

29. 歪 波 形

今迄に述べた交番起電力又は交流は之を誘導するに必要な磁界が正弦波をなして分布し, 之を切る導體が等速運動をなす場合に誘導される純正弦波の起電力又は電流である。

正弦波の場合は理論が簡単であり又研究し易い上に實際に取ふ點から甚だ都合がよいのである。

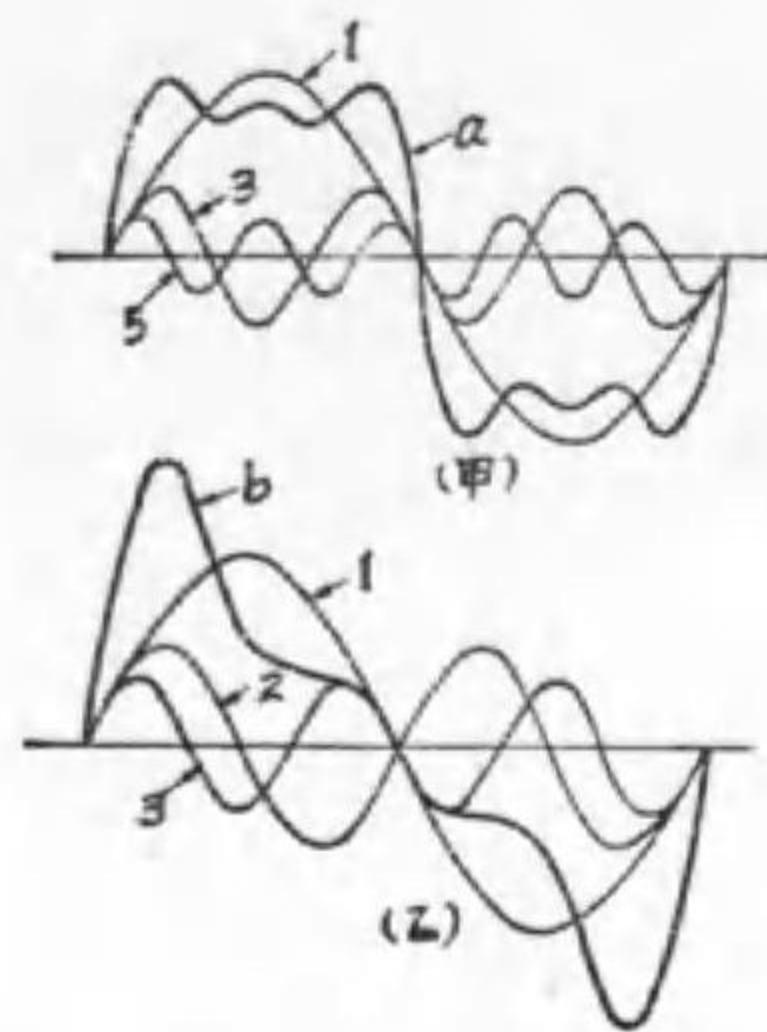
故に交流機械の製作も正弦波を得られる様に設計するが, 發電子の溝のために磁束分布が刻々變化し, 又發電子反作用のために磁束分布が變化し従つて空隙の磁束分布は完全な正弦波と云へず誘導起電力も歪んだ波形になる。

又起電力が正弦波であつても抵抗やリアクタンが變る場合には電流は歪んだ波形になる, 此の様な起電力, 又は電流の波形を歪形波 (Distorted wave form) と云ふ。

一つの歪波形は種々の周波數の正弦波に分けられる。

第52圖(甲)に於いて a なる歪波形は 1, 3, 5 の正弦波の合成である。又(乙)の b なる歪波形は 1, 2, 3 の正弦波の合成である。

歪波形と同一周波数を有する1を基本波 (Fundamental wave) と云ひ、基本波の二倍、三倍、五倍の周波数の 2, 3, 5 を夫々第二



第 5 2 圖

高調波 (Second harmonics), 第三高調波 (Third harmonics), 第五高調波 (Fifth harmonics) と云ふ。

30. 等價正弦波

種々なる歪波形を一つ一つに就いて研究する事は難しい。之を或る正弦波として取扱ふと便利である。

即ち歪波形の實効値 (其の波形の各瞬時値の自乗の平均の平方根) と同じ値の實効値を有する正弦波を考へ、之を歪波形の等價正弦波 (Equivalent sine curve) と云ふ。

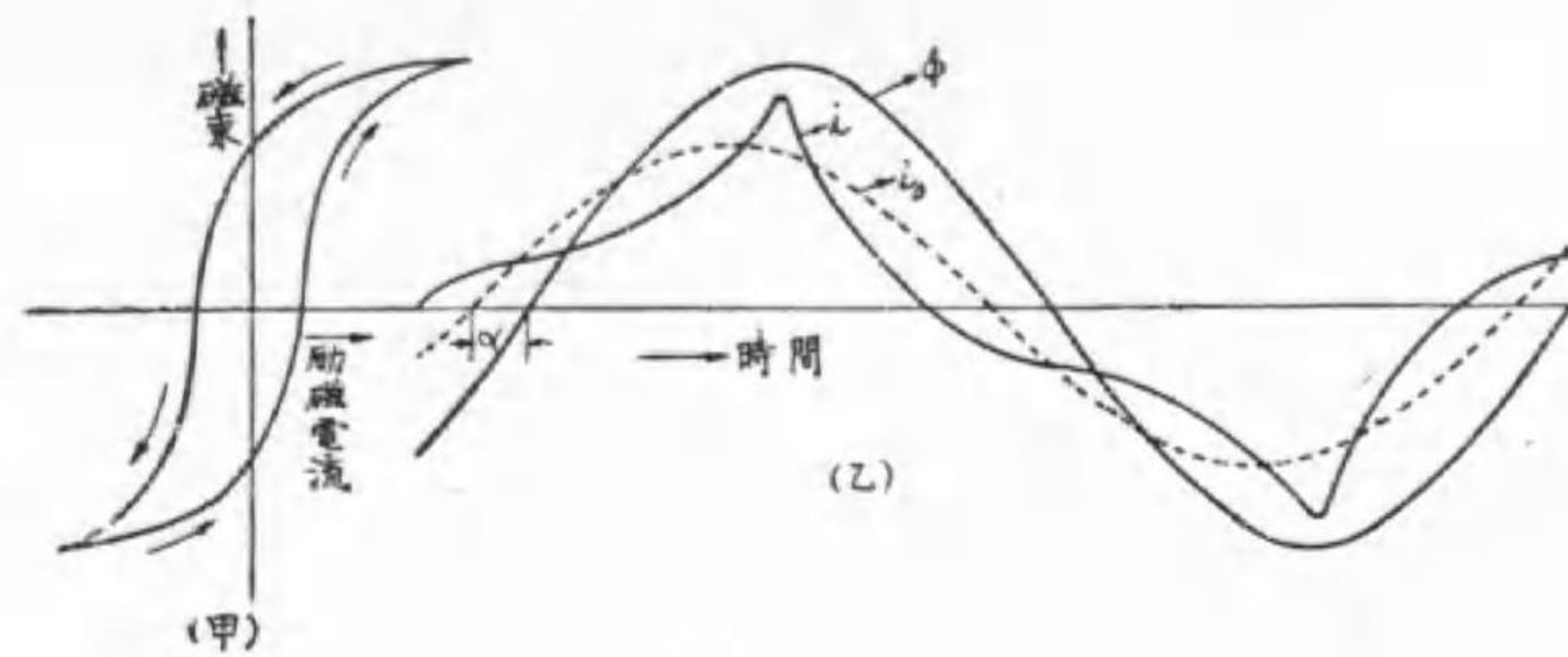
31. 變壓器の勵磁電流

歪波形の一例として變壓器の勵磁電流を擧げることが出来る。今變壓器の一次線輪に正弦波の電壓を供給すれば鐵心中には正弦波の磁束を生ずる、若し鐵の飽和状態及びヒステリシスの現象がないものとすれば勵磁電流も正弦波の變化をなす筈なり。

然し實際は所謂ヒステリシスのために勵磁電流は磁束の増減に應じ直線的に變化せず第53圖(甲)の如くヒステリシス環線を形成する如く變化す、従つてφが正弦波形に變化せる時の勵磁電流の變化は

第53圖(乙)の i 曲線に示す如くなる、この歪形波と同一の實効値を有する等價正弦波は i_0 の様になる。

i_0 は φ より α だけ位相が進んでゐる、この α 角をヒステリシス進角 (Angle of hysteresis advance) と云ふ。



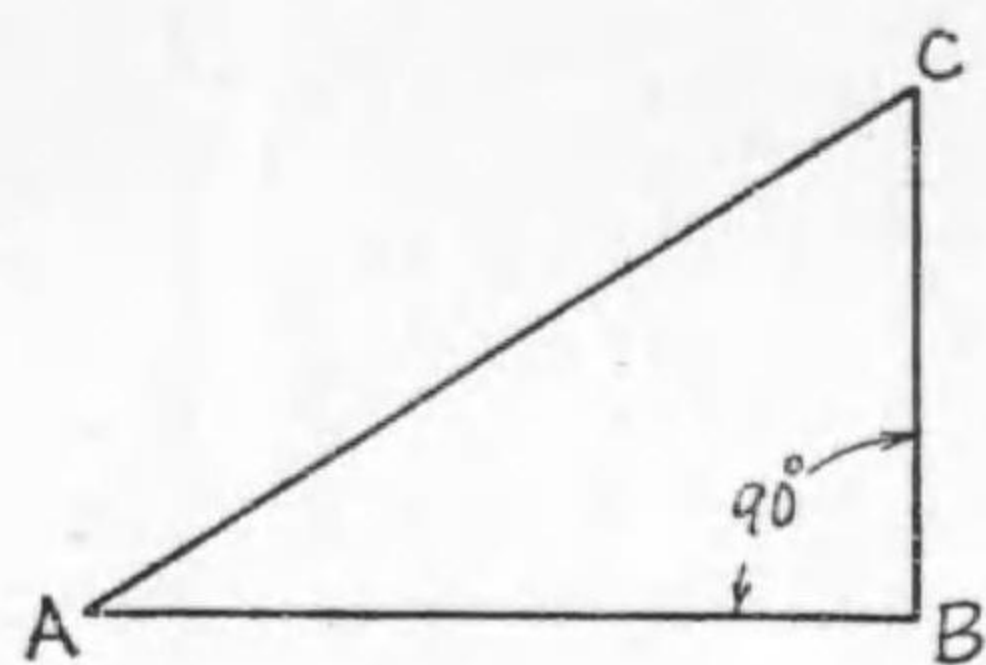
第 5 3 圖

i_0 の實効値を I_0 とし供給電壓を E_0 とすれば φ は E_0 より 90° 遅れてゐる故 E_0 と I_0 との位相差は $(90^\circ - \alpha)$ となる。従つて電流の有効分は $I_0 \cos(90^\circ - \alpha)$ 即ち $I_0 \sin \alpha$ であり無効分は $I_0 \cos \alpha$ である。

故に $E_0 I_0 \sin \alpha$ はヒステリシス損失で、 $I_0 \cos \alpha$ は磁化電流である

附 録

1. ピタゴラスの定理



第一圖

直角三角形の斜邊の上の正方形は他の二邊の正方形の和に等しい。

即ち第1圖の直角三角形ABCに於いて

$$\overline{AC}^2 = \overline{AB}^2 + \overline{BC}^2$$

なり。

2. 三角函数

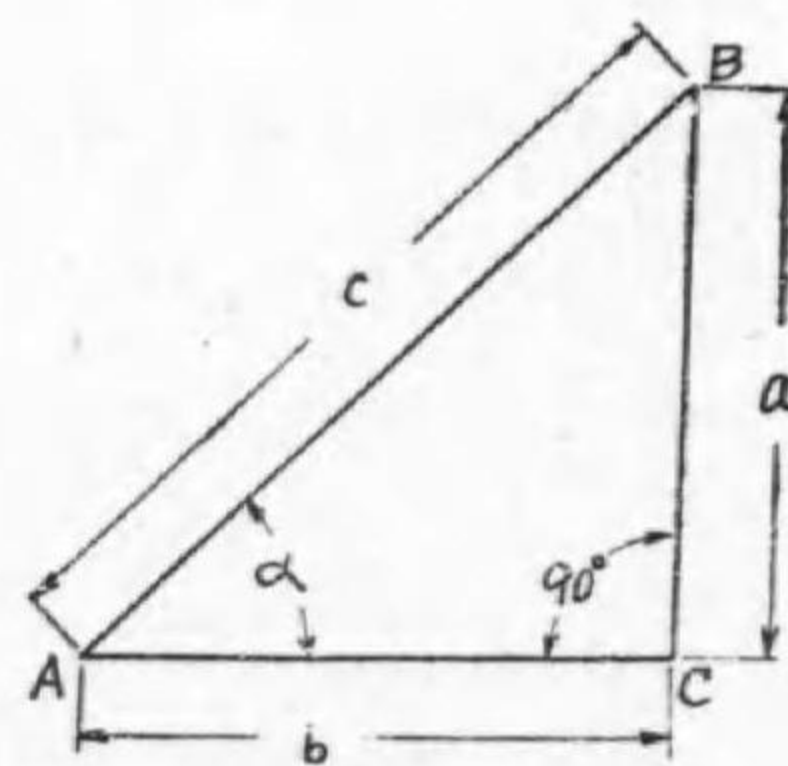
今第2圖に於いて、角A即ち α が一定なれば、この三角形の任意の二邊の比は一定である。この二邊の各比を次の如く表はす、但し c を斜邊、 a を垂線、 b を底邊の長さとする。

正弦 = $\frac{\text{垂線}}{\text{斜邊}}$ 餘弦 = $\frac{\text{底邊}}{\text{斜邊}}$

正切 = $\frac{\text{垂線}}{\text{底邊}}$ 餘切 = $\frac{\text{底邊}}{\text{垂線}}$

正割 = $\frac{\text{斜邊}}{\text{底邊}}$ 餘割 = $\frac{\text{斜邊}}{\text{垂線}}$

或ひは



第二圖

$$\sin \alpha = \frac{a}{c} \quad \cos \alpha = \frac{b}{c}$$

$$\tan \alpha = \frac{a}{b} \quad \cot \alpha = \frac{b}{a}$$

$$\sec \alpha = \frac{c}{b} \quad \csc \alpha = \frac{c}{a}$$

正弦、餘弦、正切、餘切、正割、餘割を總稱して、其の角の三角函数と云ふ。

種々の角についての三角函数の値は次の如し。

1. 三角函數ノ眞數表 (其一)

正 弦 (1)

	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0.0000	0029	0058	0087	0116	0145	0175	89
1	0.0175	0204	0233	0262	0291	0320	0349	88
2	0.0349	0378	0407	0436	0465	0494	0523	87
3	0.0523	0552	0581	0610	0640	0669	0698	86
4	0.0698	0727	0756	0785	0814	0843	0872	85
5	0.0872	0901	0929	0958	0987	1016	1045	84
6	0.1045	1074	1103	1132	1161	1190	1219	83
7	0.1219	1248	1276	1305	1334	1363	1392	82
8	0.1392	1421	1449	1478	1507	1526	1564	81
9	0.1564	1593	1622	1650	1679	1708	1736	80
10	0.1736	1765	1794	1822	1851	1880	1908	79
11	0.1908	1937	1965	1994	2022	2051	2079	78
12	0.2079	2108	2136	2164	2193	2221	2250	77
13	0.2250	2278	2306	2334	2363	2391	2419	76
14	0.2419	2447	2476	2504	2532	2560	2588	75
15	0.2588	2616	2644	2672	2700	2728	2756	74
16	0.2756	2784	2812	2840	2868	2896	2924	73
17	0.2924	2952	2979	3007	3035	3062	3090	72
18	0.3090	3118	3145	3173	3201	3228	3256	71
19	0.3256	3283	3311	3338	3365	3393	3420	70
20	0.3420	3448	3475	3502	3529	3557	3584	69
21	0.3584	3611	3638	3665	3692	3719	3746	68
22	0.3746	3773	3800	3827	3854	3881	3907	67
23	0.3907	3934	3961	3987	4014	4041	4067	66
24	0.4067	4094	4120	4147	4173	4200	4226	65
25	0.4226	4253	4279	4305	4331	4358	4384	64
26	0.4384	4410	4436	4462	4488	4514	4540	63
27	0.4540	4566	4592	4617	4643	4669	4695	62
28	0.4695	4720	4746	4772	4797	4823	4848	61
29	0.4848	4874	4899	4924	4950	4975	5000	60
30	0.5000	5025	5050	5075	5100	5125	5150	59
31	0.5150	5175	5200	5225	5250	5275	5299	58
32	0.5299	5324	5348	5373	5398	5422	5446	57
33	0.5446	5471	5495	5519	5544	5568	5592	56
34	0.5592	5616	5640	5664	5688	5712	5736	55
35	0.5736	5760	5783	5807	5831	5854	5878	54
36	0.5878	5901	5925	5948	5972	5995	6018	53
37	0.6018	6041	6065	6088	6111	6134	6157	52
38	0.6157	6180	6202	6225	6248	6271	6293	51
39	0.6293	6316	6338	6361	6383	6406	6428	50
40	0.6428	6450	6472	6494	6517	6539	6561	49
41	0.6561	6583	6604	6626	6648	6670	6691	48
42	0.6691	6713	6734	6756	6777	6799	6820	47
43	0.6820	6841	6862	6884	6905	6926	6947	46
44	0.6947	6967	6988	7009	7030	7050	7071	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

餘 弦 (2)

1. 三角函數ノ眞數表 (其二)

正 弦 (2)

	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
45	0.7071	7092	7112	7133	7153	7173	7193	44
46	0.7193	7214	7234	7254	7274	7294	7314	43
47	0.7314	7333	7353	7373	7392	7412	7431	42
48	0.7431	7451	7470	7490	7509	7528	7547	41
49	0.7547	7566	7585	7604	7623	7642	7660	40
50	0.7660	7679	7698	7716	7735	7753	7771	39
51	0.7771	7790	7808	7826	7844	7862	7880	38
52	0.7880	7898	7916	7934	7951	7969	7986	37
53	0.7986	8004	8021	8039	8056	8073	8090	36
54	0.8090	8107	8124	8141	8158	8175	8192	35
55	0.8192	8208	8225	8241	8258	8274	8290	34
56	0.8290	8307	8323	8339	8355	8371	8387	33
57	0.8387	8403	8418	8434	8450	8465	8480	32
58	0.8480	8496	8511	8526	8542	8557	8572	31
59	0.8572	8587	8601	8616	8631	8646	8660	30
60	0.8660	8675	8689	8704	8718	8732	8746	29
61	0.8746	8760	8774	8788	8802	8816	8829	28
62	0.8829	8843	8857	8870	8884	8897	8910	27
63	0.8910	8923	8936	8949	8962	8975	8988	26
64	0.8988	9001	9013	9026	9038	9051	9063	25
65	0.9063	9075	9088	9100	9112	9124	9135	24
66	0.9135	9147	9159	9171	9182	9194	9205	23
67	0.9205	9216	9228	9239	9250	9261	9272	22
68	0.9272	9283	9293	9304	9315	9325	9336	21
69	0.9336	9346	9356	9367	9377	9387	9397	20
70	0.9397	9407	9417	9426	9436	9446	9455	19
71	0.9455	9465	9474	9483	9492	9502	9511	18
72	0.9511	9520	9528	9537	9546	9555	9563	17
73	0.9563	9572	9580	9588	9596	9605	9613	16
74	0.9613	9621	9628	9636	9644	9652	9659	15
75	0.9659	9667	9674	9681	9689	9696	9703	14
76	0.9703	9710	9717	9724	9730	9737	9744	13
77	0.9744	9750	9757	9763	9769	9775	9781	12
78	0.9781	9787	9793	9799	9805	9811	9816	11
79	0.9816	9822	9827	9833	9838	9843	9848	10
80	0.9848	9853	9858	9863	9868	9872	9877	9
81	0.9877	9881	9886	9890	9894	9899	9903	8
82	0.9903	9907	9911	9914	9918	9922	9925	7
83	0.9925	9929	9932	9936	9939	9942	9945	6
84	0.9945	9948	9951	9954	9957	9959	9962	5
85	0.9962	9964	9967	9969	9971	9974	9976	4
86	0.9976	9978	9980	9981	9983	9985	9986	3
87	0.9986	9988	9989	9990	9992	9993	9994	2
88	0.9994	9995	9996	9997	9997	9998	9998	1
89	0.9998	9999	9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

餘 弦 (1)

1. 三角函數ノ眞數表 (其四)
正切 (2)

	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
45	1.000	1.006	1.012	1.018	1.024	1.030	1.036	44
46	1.036	1.042	1.048	1.054	1.060	1.066	1.072	43
47	1.072	1.079	1.085	1.091	1.098	1.104	1.111	42
48	1.111	1.117	1.124	1.130	1.137	1.144	1.150	41
49	1.150	1.157	1.164	1.171	1.178	1.185	1.192	40
50	1.193	1.199	1.206	1.213	1.220	1.228	1.235	39
51	1.235	1.242	1.250	1.257	1.265	1.272	1.280	38
52	1.280	1.288	1.295	1.303	1.311	1.319	1.327	37
53	1.327	1.335	1.343	1.351	1.360	1.368	1.376	36
54	1.376	1.385	1.393	1.402	1.411	1.419	1.428	35
55	1.428	1.437	1.446	1.455	1.464	1.473	1.483	34
56	1.483	1.492	1.501	1.511	1.520	1.530	1.540	33
57	1.540	1.550	1.560	1.570	1.580	1.590	1.600	32
58	1.600	1.611	1.621	1.632	1.643	1.653	1.664	31
59	1.664	1.675	1.686	1.698	1.709	1.720	1.732	30
60	1.732	1.744	1.756	1.767	1.780	1.792	1.804	29
61	1.804	1.816	1.829	1.842	1.855	1.868	1.881	28
62	1.881	1.894	1.907	1.921	1.935	1.949	1.963	27
63	1.963	1.977	1.991	2.006	2.020	2.035	2.050	26
64	2.050	2.066	2.081	2.097	2.112	2.128	2.145	25
65	2.145	2.161	2.177	2.194	2.211	2.229	2.246	24
66	2.246	2.264	2.282	2.300	2.318	2.337	2.356	23
67	2.356	2.375	2.394	2.414	2.434	2.455	2.475	22
68	2.475	2.496	2.517	2.539	2.560	2.583	2.605	21
69	2.605	2.628	2.651	2.675	2.699	2.723	2.747	20
70	2.747	2.773	2.798	2.824	2.850	2.877	2.904	19
71	2.904	2.932	2.960	2.989	3.018	3.047	3.078	18
72	3.078	3.108	3.140	3.172	3.204	3.237	3.271	17
73	3.271	3.305	3.340	3.376	3.412	3.450	3.487	16
74	3.487	3.526	3.566	3.606	3.647	3.689	3.732	15
75	3.732	3.776	3.821	3.867	3.914	3.962	4.011	14
76	4.011	4.061	4.113	4.165	4.219	4.275	4.331	13
77	4.331	4.390	4.449	4.511	4.574	4.638	4.705	12
78	4.705	4.773	4.843	4.915	4.989	5.066	5.145	11
79	5.145	5.226	5.309	5.396	5.485	5.576	5.671	10
80	5.671	5.769	5.871	5.976	6.084	6.197	6.314	9
81	6.314	6.435	6.561	6.691	6.827	6.968	7.115	8
82	7.115	7.269	7.429	7.596	7.770	7.953	8.144	7
83	8.144	8.345	8.556	8.777	9.010	9.255	9.514	6
84	9.514	9.788	10.08	10.39	10.71	11.06	11.43	5
85	11.43	11.83	12.25	12.71	13.20	13.73	14.30	4
86	14.30	14.92	15.60	16.25	17.17	18.07	19.08	3
87	19.08	20.21	21.47	22.90	24.54	26.43	28.64	2
88	28.64	31.24	34.37	38.19	42.96	49.10	57.29	1
89	57.29	68.75	85.94	114.6	171.9	343.8		0
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

餘切 (1)

1. 三角函數ノ眞數表 (其三)
正切 (1)

	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	
0	0.0000	0029	0058	0087	0116	0145	0175	89
1	0.0175	0204	0233	0262	0291	0320	0349	88
2	0.0349	0378	0407	0437	0465	0495	0524	87
3	0.0524	0553	0582	0612	0641	0670	0699	86
4	0.0699	0729	0758	0787	0819	0846	0875	85
5	0.0875	0904	0934	0963	0992	1022	1051	84
6	0.1051	1080	1110	1139	1169	1198	1228	83
7	0.1228	1257	1287	1317	1346	1376	1405	82
8	0.1405	1435	1465	1495	1524	1554	1584	81
9	0.1584	1614	1644	1673	1703	1733	1763	80
10	0.1763	1793	1823	1853	1883	1914	1944	79
11	0.1944	1974	2004	2035	2065	2095	2126	78
12	0.2126	2156	2186	2217	2247	2278	2309	77
13	0.2309	2339	2370	2401	2432	2462	2493	76
14	0.2493	2524	2555	2586	2617	2648	2679	75
15	0.2679	2711	2742	2773	2805	2836	2867	74
16	0.2867	2899	2931	2962	2994	3026	3057	73
17	0.3057	3089	3121	3153	3185	3217	3249	72
18	0.3249	3281	3314	3346	3378	3411	3443	71
19	0.3443	3476	3508	3541	3574	3607	3640	70
20	0.3640	3673	3706	3739	3772	3805	3839	69
21	0.3839	3872	3906	3939	3973	4006	4040	68
22	0.4040	4074	4108	4142	4176	4210	4245	67
23	0.4245	4279	4314	4348	4383	4417	4452	66
24	0.4452	4487	4522	4557	4592	4628	4663	65
25	0.4663	4699	4734	4770	4806	4841	4877	64
26	0.4877	4913	4950	4986	5022	5059	5095	63
27	0.5095	5132	5169	5206	5243	5280	5317	62
28	0.5317	5354	5392	5430	5467	5505	5543	61
29	0.5543	5581	5619	5658	5696	5735	5774	60
30	0.5774	5812	5851	5890	5930	5969	6009	59
31	0.6009	6048	6088	6128	6168	6208	6249	58
32	0.6249	6289	6330	6371	6412	6453	6494	57
33	0.6494	6536	6577	6619	6661	6703	6745	56
34	0.6745	6787	6830	6873	6916	6959	7002	55
35	0.7002	7046	7089	7133	7177	7221	7265	54
36	0.7265	7310	7355	7400	7445	7489	7536	53
37	0.7536	7581	7627	7673	7720	7766	7813	52
38	0.7813	7860	7907	7954	8002	8050	8098	51
39	0.8098	8146	8195	8243	8292	8342	8391	50
40	0.8391	8441	8491	8541	8591	8642	8693	49
41	0.8693	8744	8796	8847	8899	8952	9004	48
42	0.9004	9057	9110	9163	9217	9271	9325	47
43	0.9325	9380	9435	9490	9545	9601	9657	46
44	0.9657	9713	9770	9827	9884	9942	1.0000	45
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	

餘切 (2)

3. 三角法公式

$$\left. \begin{aligned} \sin(-\alpha) &= -\sin \alpha & \tan(-\alpha) &= -\tan \alpha \\ \cos(-\alpha) &= \cos \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin(180^\circ - \alpha) &= \sin \alpha, & \cos(180^\circ - \alpha) &= -\cos \alpha \\ \tan(180^\circ - \alpha) &= -\tan \alpha \\ \sin(180^\circ + \alpha) &= -\sin \alpha \\ \cos(180^\circ + \alpha) &= -\cos \alpha \\ \tan(180^\circ + \alpha) &= \tan \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin(90^\circ - \alpha) &= \cos \alpha & \cos(90^\circ - \alpha) &= \sin \alpha \\ \tan(90^\circ - \alpha) &= \cot \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha &= 1 & 1 + \tan^2 \alpha &= \sec^2 \alpha \\ 1 + \cot^2 \alpha &= \operatorname{cosec}^2 \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots(4)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin(\alpha \pm \beta) &= \sin \alpha \cos \beta \pm \cos \alpha \sin \beta \\ \cos(\alpha \pm \beta) &= \cos \alpha \cos \beta \mp \sin \alpha \sin \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots(5)$$

$$\left. \begin{aligned} \sin 2\alpha &= 2 \sin \alpha \cos \alpha \\ \cos 2\alpha &= \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2\sin^2 \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots(6)$$

電氣磁氣測定器及測定法

第一章 總 論

1. 單 位

電氣磁氣の單位としては、

- (a) 靜電單位
- (b) 電磁單位
- (c) 實用單位

の三つの系統がある。前二者は理論の研究上には甚だ便利であるが實用上には或るものは大き過ぎ、或るものは小さ過ぎて不便である。茲に於て電磁單位系を基礎として十進法により、單位の大きさを實用上便利な値に取つたものが、(c)の實用單位である。

電氣磁氣の主なる實用單位の名稱及之と他の單位系との關係を示せば、第一表の如くなる

第1表 電氣及磁氣の單位

量の種類	實用單位名	電磁單位 實用單位	靜電單位 實用單位
電氣量	クーロム (Coulomb)	10	$\frac{1}{3} \times 10^{-9}$
電流	アンペア (ampere)	10	$\frac{1}{3} \times 10^{-9}$
起電力	ヴォルト (Volt)	10^{-8}	300
抵抗	オーム (ohm)	10^{-9}	9×10^{11}
靜電容量	ファラッド (farad)	10^9	$\frac{1}{9} \times 10^{-11}$
誘導係數	ヘンリー (henry)	10^{-9}	9×10^{11}

第1表より、例へば1アンペアは0.1 C.G.S電磁單位或は、 3×10^9

C. G. S 靜電單位に相等し、1 ヴォルトは 10^8 C. G. S 電磁單位、或は $\frac{1}{300}$ C. G. S 靜電單位に相等することがわかる。

非常に大きな量を表はすには上記實用單位の千倍、百萬倍、又非常に小さな量を云ふときは千分の一、百萬分の一等を單位として用ふる方が便利である。是等には上記實用單位名の頭に次の文字をつけ加へて稱へる。

- キロ (Kilo)千倍
- メガ (Mega) 又はメグ (Meg)百萬倍
- ミリ (Milli)千分の一
- マイクロ (Micro).....百萬分の一

例へば 1000ワットを1キロワット、 10^6 オームを1メガオーム、 $\frac{1}{1000}$ ヘンリーを1ミリヘンリー、 10^{-6} ファラッドを1マイクロファラッドと呼ぶが如し。

2. 標準器

前節に述べた様に、實用單位は電磁單位からとつたものであるが、實際上には如何なる抵抗を1オームと云ふか又どれだけの電流を1アンペアと稱するかといふ事を具體的に示し得る装置が必要である。此の装置を標準器 (Standard)といふ。

標準器はすべての單位に就て何れにも備へておく必要はない、諸單位中任意の二つを定むれば、他の單位は相互の關係から自ら定められるものである。

現在我國では便宜上、抵抗と電流の標準器が定められ其標準器は

何れも逓信省に保管してある。

- a) 抵抗標準器.....長さ106.300cmの細長い硝子管に14.4521瓦の水銀を満してある抵抗管で、此の水銀柱の不變電流に對する抵抗が1オームである。此装置を水銀標準抵抗器といふ。
- b) 電流標準器.....硝酸銀の水溶液に電流を通じて電氣分解を行はしめる装置で、之により毎秒0.00111800瓦の銀を分離する電流の強さが1アンペアである。此の装置を銀分離器といふ。

水銀標準抵抗器は取扱に困難であるから、實用上では之と精密に比較した金屬線 (マンガン線、プラチナムシルバー線等) を以て作られた標準抵抗器を用ひる。

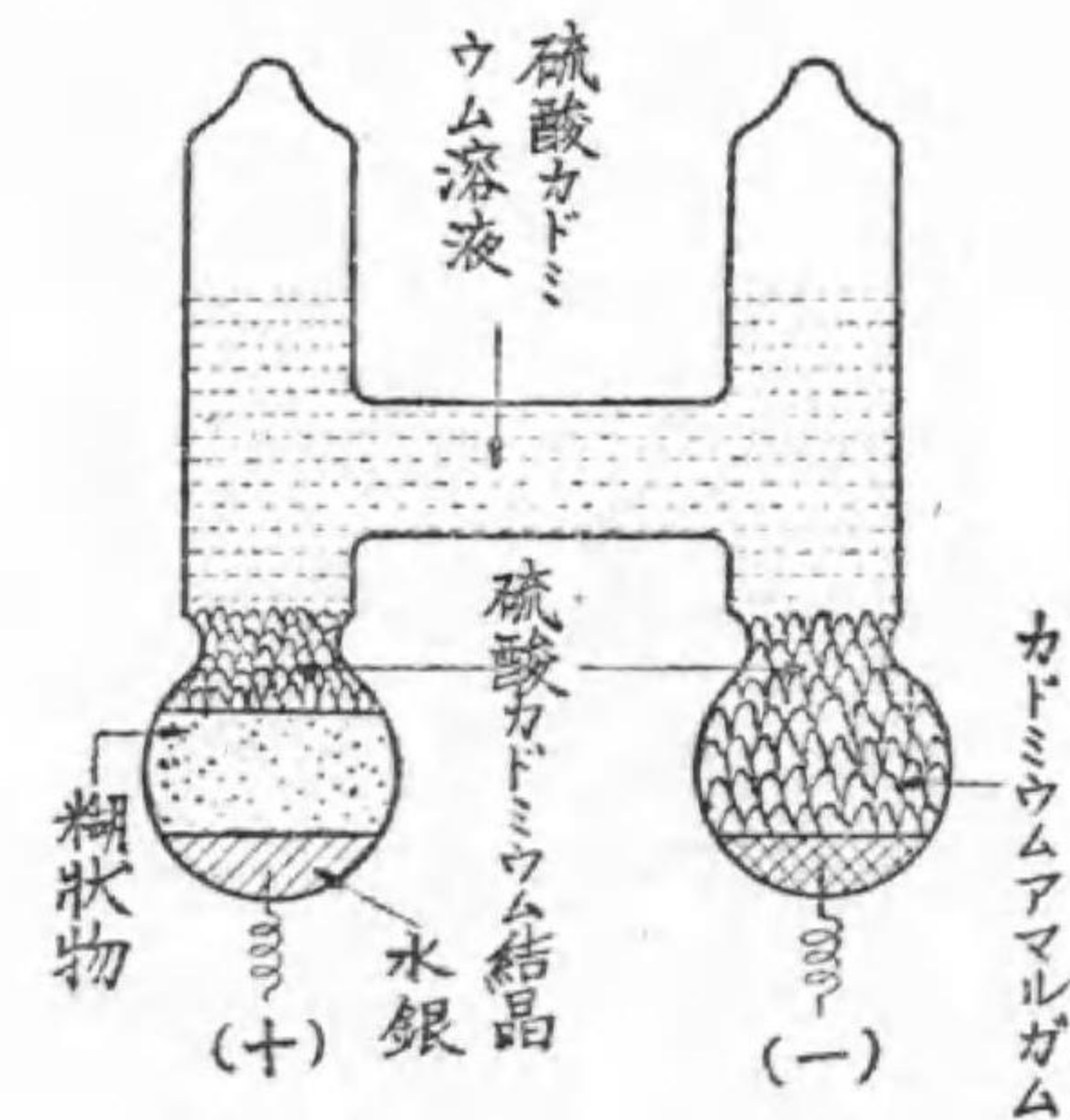
又電流は之を電壓と

抵抗で表はすことが出来るから ($I=E/R$) 電流標準器の代りに電壓の標準器を決めておいてもよいわけである。

第1圖は電壓標準器たるウエストン標準電池で其起電力は攝氏20°の時に1.0183ヴォルト

である。

水銀標準抵抗器、銀分離器を一次標準器といひ、其他の金屬線標



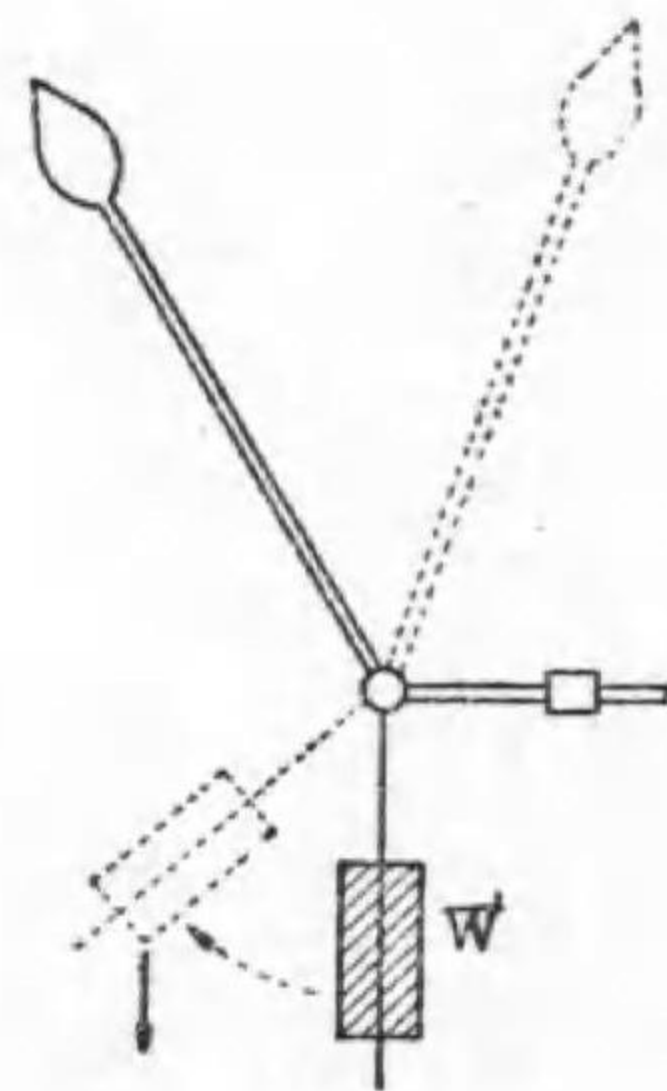
第1圖 ウエストン標準電池

準抵抗器やウェストン標準電池の如きを二次標準器といふ。

3. 計器の要素

(a) 動作装置 (Driving device) 一般に計器は可動部と固定部の二部分を備へ、兩者の間に起る力に依つて可動部が動かされる仕組になつて居る。此の可動部を動かす廻轉力を動作廻轉力 (Driving torque) 之を起す装置を動作装置といふ。此の動作廻轉力を發生する原理に依つて計器に色々な名稱が附されてゐる。

(b) 制御装置 (Controlling device) 然し動作装置だけでは計器にならない。若し動作装置だけであれば僅かの廻轉力でも指針は常に最極端に走り其測定せんとする量の大小を指示し得ないであらう。故に指針をして其測定せんとする量に應じた位置に止まらしむる爲には動作廻轉力に反抗すべき廻轉力を必要とする。此動作廻轉力に反対すべき廻轉力を制御廻轉力 (Controlling torque) 之を起す装置を制御装置といふ。第2圖及第3圖は之が一例を示したものである。



第2圖 重力制御装置

可動部分は常に動作廻轉力と制御廻轉力とが等しくなる位置まで動いて静止するのである。

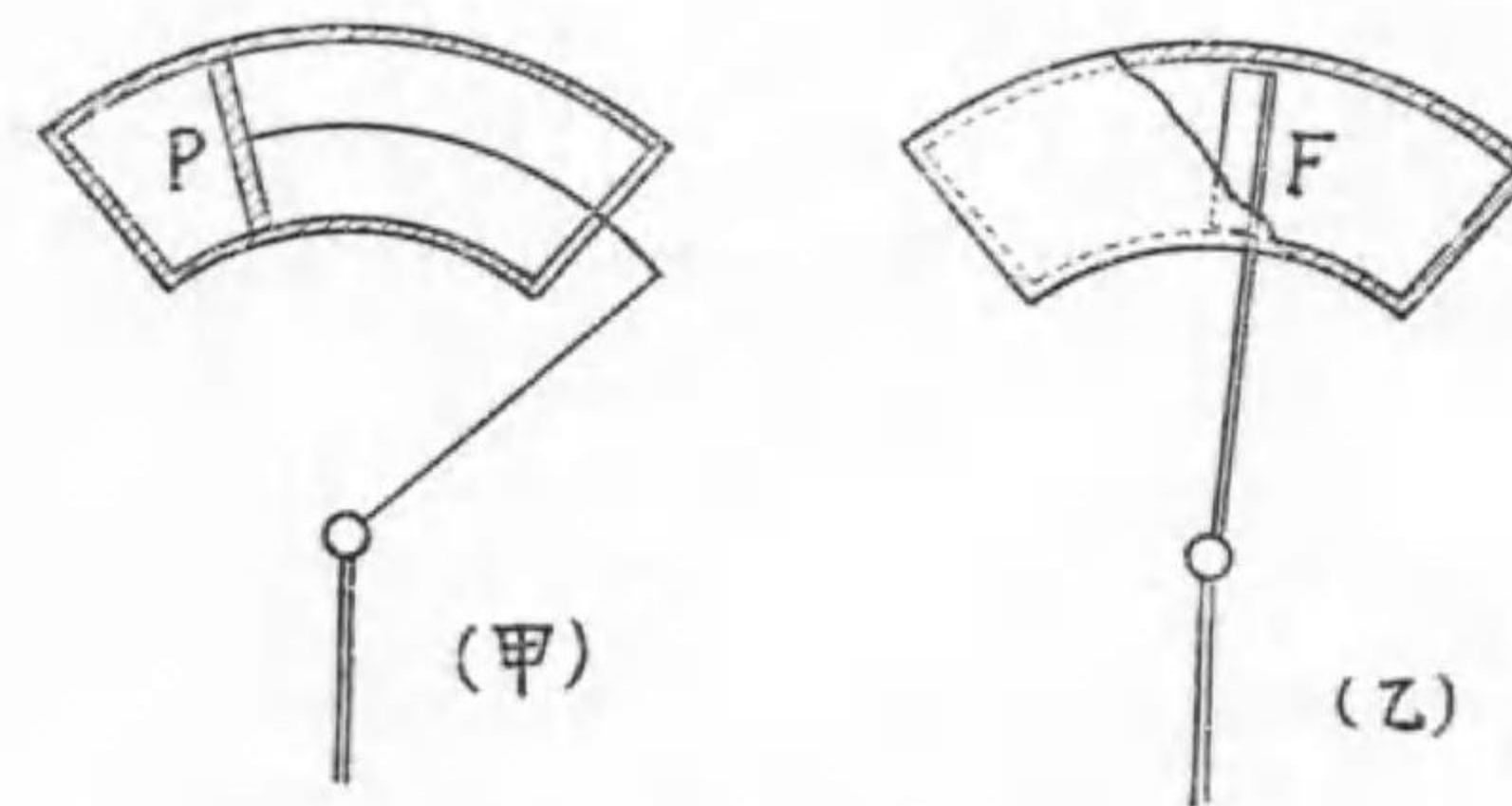
(c) 制動装置 (Damping device) 計器に電流が流れ指針が振れても、指針は其可動部分の慣性の爲に直ちに正常な位置に止り得ず。最初暫くは左右に振動して後次第に静止する。従つて振示の読み取りを早く正確に行ふ爲には指針を早く正常な位置に停止せしむる特別なる装置を必要とする。之



第3圖 螺旋彈條制御装置

を制動装置といふ。第4圖(甲)ピストン制動, (乙)は密閉制動を示したものであるが其の他渦流を應用せるもの等がある。

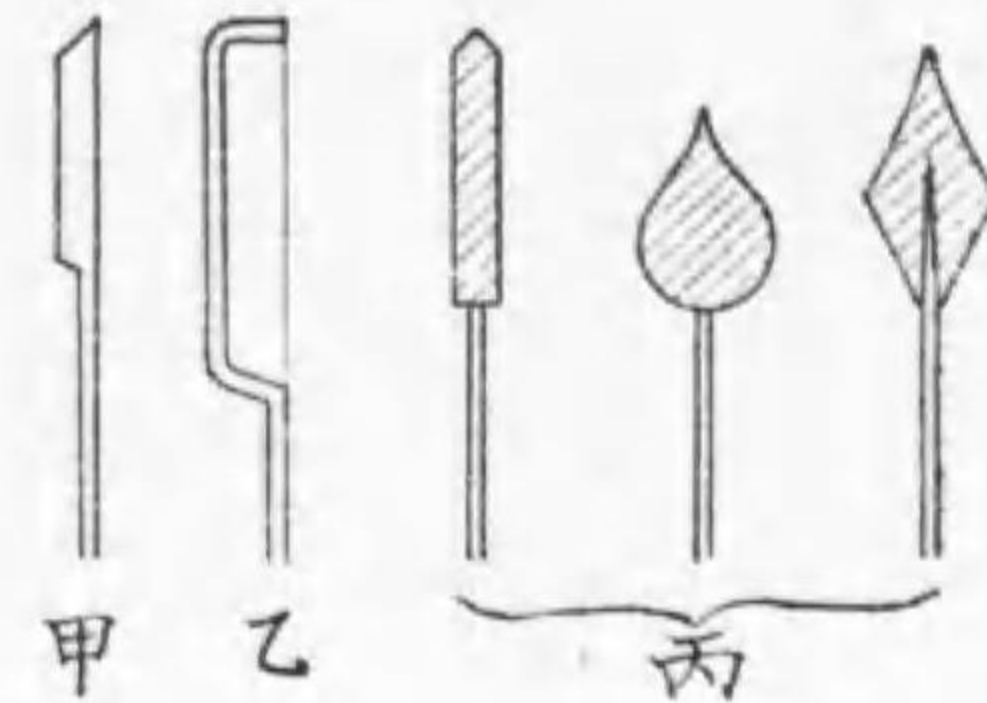
動作, 制御, 制動の三装置は計器構成上最も重要な部分で、之を計器の三要素といふ。



第4圖 空氣制動裝置

(d) 指針 (Pointer) 双形指針 (第5圖甲) はアルミニウム製で携帯用計器に用ひられ、織條指針 (同圖乙) は弓形の兩端に細い糸

を張つたもので精密計器に用ひらる。又槍形指針(同圖丙)は真鍮又はアルミニウム製で主に配電盤用に使はれる。



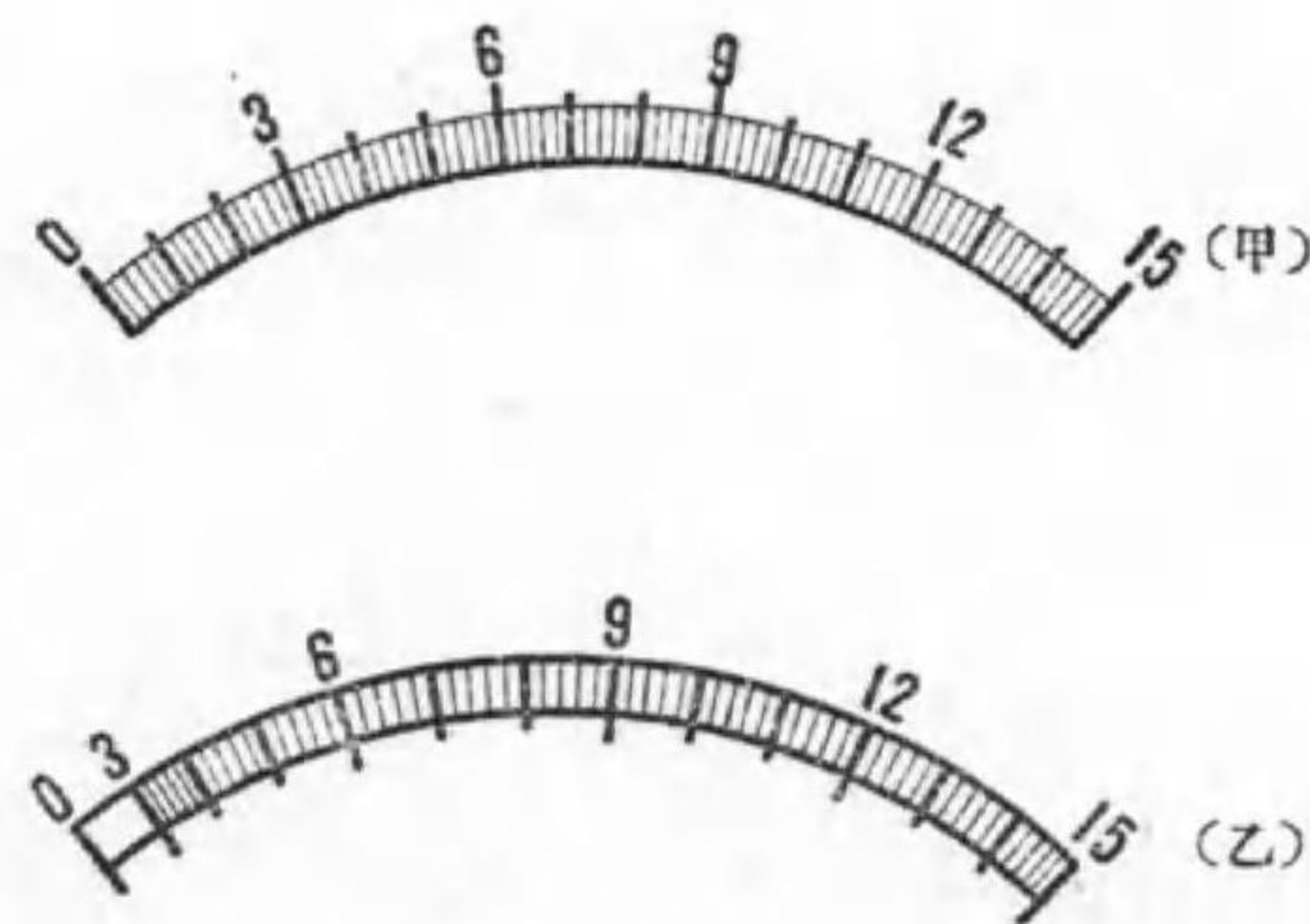
第5圖 指針の形

(e) 目盛 (Scale) 目盛は均一なのが望ましいが

(第6圖甲), 計器の動作原理に依つては均一には出来ないものがある(第6圖乙)。

尙精密級の計器では目盛のわきに鏡を附し, 指針の像を之に寫して指針と此像とが重なる様な位置に眼を持つて來た時に最も正確に目を読み得る様にしたものが多い。

(f) 軸承 (Bearing) 軸承は可動部分の軸の兩端を支へるところで, 皿状に作つた



第6圖 目盛

るで, 皿状に作つた寶石(青玉, 紅玉, 瑪瑙等)を用ひてある。寶石を用ふるのは, 軸承の磨滅摩擦を少くして計器に狂ひを生じない様にする爲である。

尙精密なものの中

には摩擦を防ぐ爲軸承をおかすに可動部分を絹糸又は石英糸で吊し

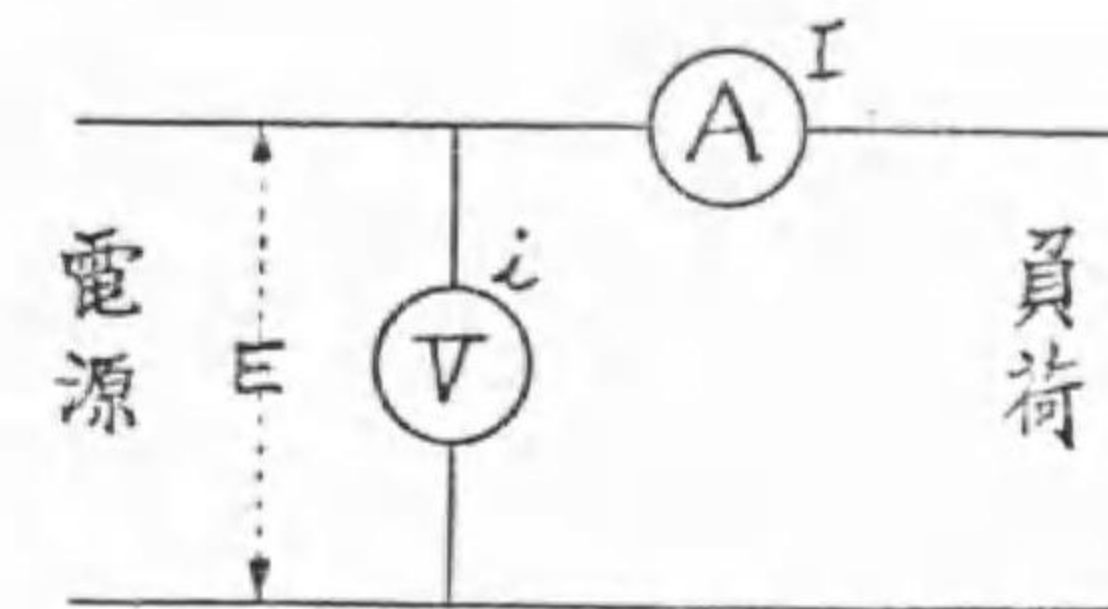
たものがある。

第二章 電流電壓の測定

4. 電流計と電壓計

電流計は電流を測定する計器で回路に直列に接続し, 電壓計は回路の二點間の電壓を測定する計器で線間に接続する。第7圖は電流計A及電壓計Vの接続圖である。

靜電型以外の電壓計はすべて其動作原理は電流計と全く同一である。



第7圖 電流計及電壓計の接続

即ち電壓計は大なる抵抗を有し, 微少電流

によつて動作する一種の電流計であつて, たゞ目盛板にヴォルトの目盛を目盛つてあるに過ぎない。

電流計は其抵抗を出来るだけ低くして之に依る電壓降下が少き様又電壓計は其抵抗を出来るだけ高くして之を流れる電流が少くてすむ様構造されてある。之は計器を回路に接続してもその回路の電流や電壓に能ふ限り影響なき様にし, 又電流や電壓を測定する爲に必要な電力損失をなるべく少くする爲である。

電流計電壓計等の電氣計器には構造又は使用方法に依りて, 第8

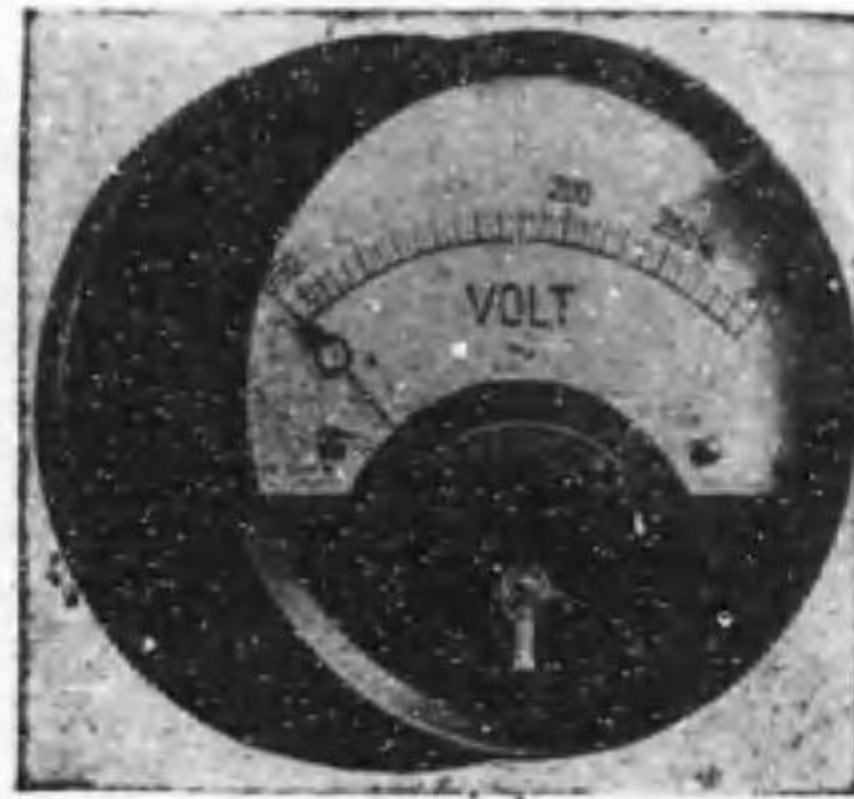
圖(甲)の如き携帯用計器 (Portable type) と(乙)又は(丙)の如き配電盤用計器 (Switchboard type) とがある。一般に配電盤用のもの



第8圖 (甲)携帯用計器



第8圖 (乙)配電盤用角型計器



第8圖 (丙)配電盤用丸型計器

は外部の電流、振動、塵埃等に対する豫防装置を附し遠方からも見得る様に目盛を太くしてある。一般に精密度は低い。

尙精確度より分類して特別精密級、精密級、普通級及普通級小型の四種類に分けて居る。

5. 可動線輪型電流計及電壓計

此型は直流回路にのみ用ひられ、ウエストーン型とも稱せらる。構造……良質の耐久磁石のNS兩極の間にKなる圓柱形の軟鐵心があつて、其上に線輪Cが跨つてゐる。

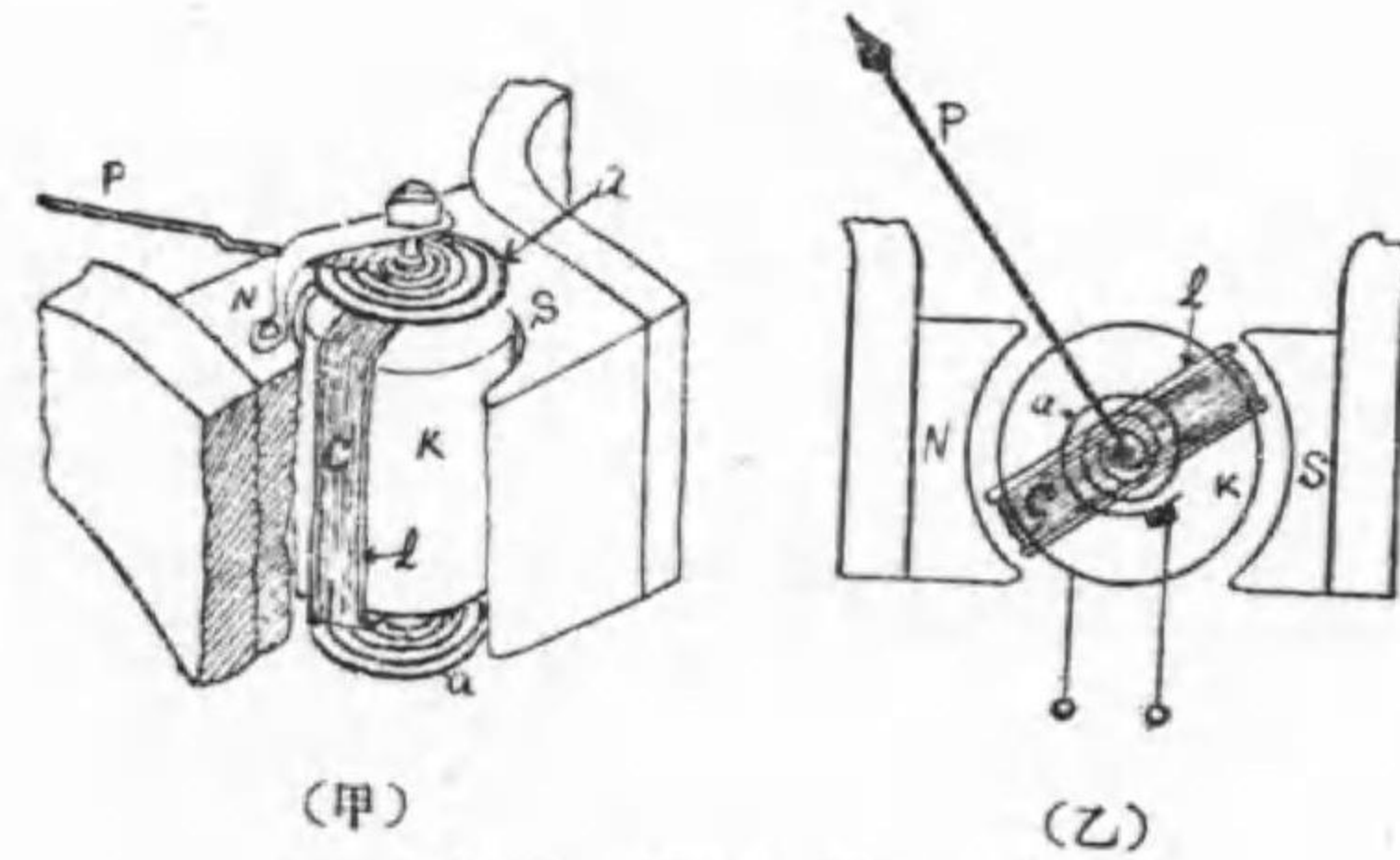
鐵心の上下に、制御用螺旋彈條 a がおかれ、一端は廻轉軸に取付けられ他端は固定されてゐる。電流は a を經て線輪に通する様になつて居る。

指針 P は線輪に略々直角に附してある。

原理……線輪 C に電流が流れると耐久磁石との作用で動作廻轉力を生ずる。今線輪の電流を I アンペアとすれば、此動作廻轉力 T は次式で示される。

$$T = K_1 I \quad K_1 \text{ は比例定數}$$

此廻轉力の爲に軸が廻ると、螺旋彈條 a によつて、もとにもどさ



第9圖 可動線輪型

れようとする所謂制御廻轉力が生ずる。廻轉した角を θ とすれば、此制御廻轉力 T_c は次式の如く θ に比例する。

$$T_c = K_2 \theta \quad K_2 \text{ は比例定數}$$

指針は兩廻轉力が平衡する位置に至つて止まるが故に、今 θ だけ

廻つて静止したとすれば、此際は次の関係が成立してゐなければならぬ。

$$T = T_0$$

$$\text{即ち } K_1 I = K_2 \theta$$

$$\text{故に } I = \frac{K_2}{K_1} \theta \quad \frac{K_2}{K_1} = K \text{ とすれば}$$

$$I = K \theta \quad K \text{ は比例定数}$$

即ち廻轉角は電流に比例する。従つて此計器は目盛が均一に出来るといふ長所がある。

可動線輪をアルミニウム棒に巻き、線輪が磁界内を動くとき此棒に誘導される渦流に依つて制動が行はれる。

特徴……構造が比較的簡單で、且目盛が均一に目盛られるから精密に讀む事が出来又非常に微弱な電流をも測定出来る。直流用としては最も廣く用ひられる計器である。

6. 可動鐵片型電流計及電壓計

可動鐵片型には線輪に電流が通すると其中又は附近にある鐵片が磁化せられて線輪内に吸引される事を應用した所謂**吸引型**又は**嚙子型**のものと次に述ぶる如き**反撥型**のものとの二通りがある。

反撥型の構造及原理……第10圖は反撥型の一例を示す。固定線輪C内にあるBは可動鐵片で廻轉軸に取付けられ、Aは固定鐵片で左右の廣さを異にしてある。

Sは螺旋彈條制御裝置、DEは空氣制動裝置で軸が左右に振動す

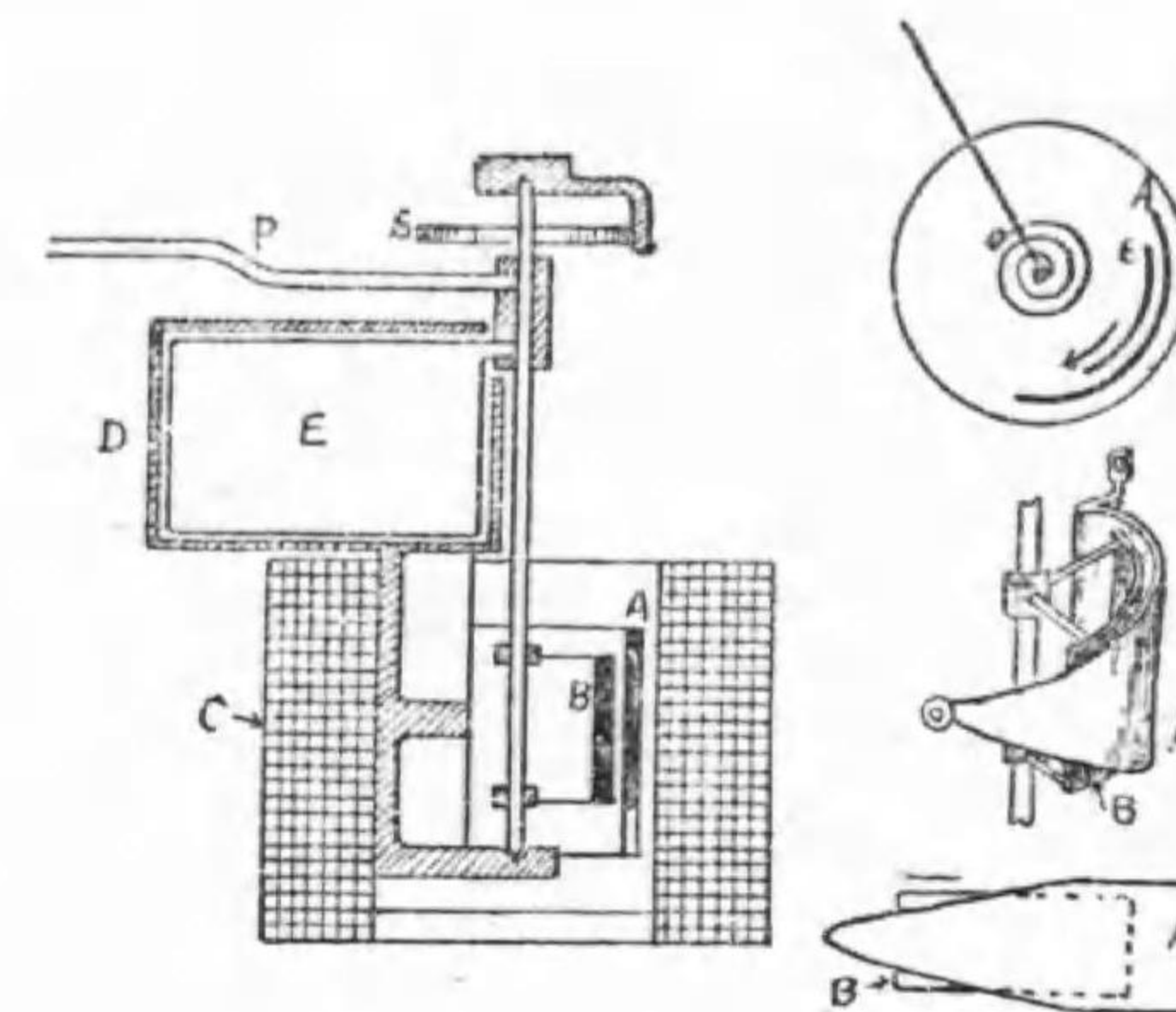
れば板Eが密閉空氣函D内を動き其際の空氣の抵抗で軸の振動が早く静止する。

今Cに電流が通するとA、Bは同方向に磁化せられ、爲に互に反撥して可動鐵片BはAの狭い方向に向つて動かされ指針が振れる。

吸引型に於ける鐵片に加はる吸引力又は反撥型に於ける鐵片相互間の反撥力は

線輪に通する電流Iの二乗に比例し、鐵片と線輪又は鐵片相互間の位置に關係する。

次に線輪Cに交流を通じたとせよ。



第10圖 可動鐵片型(反撥型)

- (1) 電流が反對方向になれば、鐵の磁化の方向も逆になるから可動部に加はる動作力の方向に變りはない。
- (2) 各瞬時に於ける動作力は交流の瞬時値の二乗に比例して刻々變化すべきも可動部は慣性を有するが故に其運動は瞬時的變化に伴ひ得ずしてその平均の力に依つて動かされる。

然るに交流の瞬時値の二乗の平均はその交流の實効値の二乗である。即ち可動部はその交流の實効値の二乗に比例して動かされ、從

つて交流の實効値を指示せしむることが出来る。

特徴……上述の如く可動鐵片型は直流にも交流にも用ひ得るが、鐵片の渦流、ヒステレシス、線輪の誘導係數等の影響の爲に、直流と交流とに同一目盛を使用することは出来ない。直流用は直流で試験し、交流用はその周波數の交流で試験した別の目盛を使用しなければならない。

又直流用も交流用も其の動作が電流の二乗に關係するから、其目盛は第6圖(乙)の如き不均一目盛となる缺點がある。直流用は鐵片のヒステレシスの爲に、交流用は周波數、波形等の影響を受けるが故に精密測定器としては不適當であるが、構造簡單にして價廉く、且直接大なる電流を線輪に通じ得る特徴があるから配電盤用としては適當してゐる。特に交流用は配電盤用のみならず其の構造に注意を拂へば相當精密なものが得られるから、實用的精密器として携帯用のものも相當多く使はれてゐる。

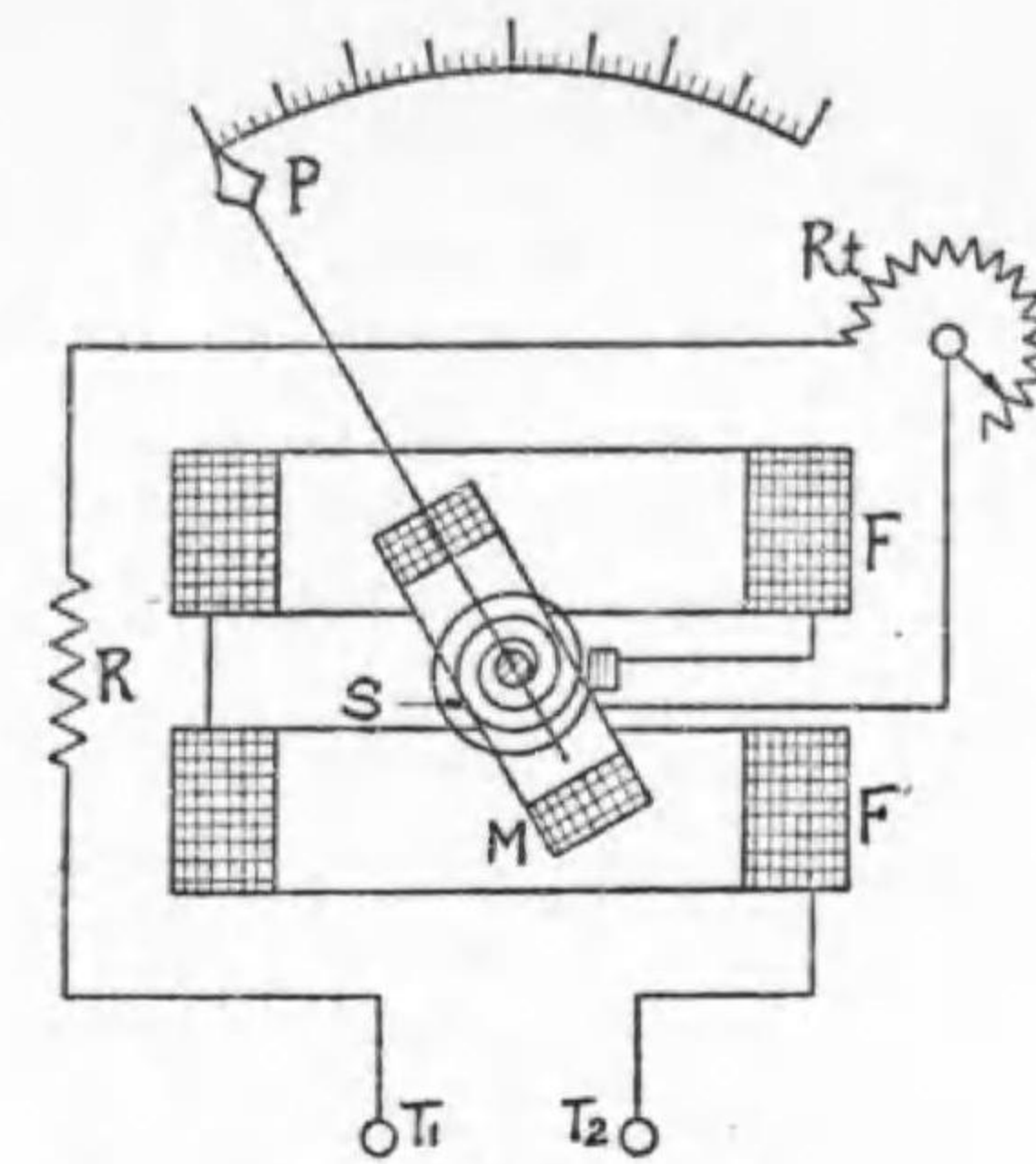
7. 其他の主なる電流計及電壓計

(a) 電流力計型 第11圖はウェストン電流力計型電壓計の構造を示すもので、Fは二個より成る固定線輪、Mは可動線輪、Rは測定範圍を變へる爲の直列抵抗、 R_t は溫度に依る線輪の抵抗變化を調節する爲の抵抗である。制御装置としては螺旋彈條S、制動装置としては主に空氣制動装置を用ひる。

固定、可動の兩線輪に電流を通すれば、電流相互間の作用により可動線輪が動かされる。此の動作廻轉力は略電流の二乗に比例する

故に、此動作廻轉力に對する螺旋彈條の制御装置をもつてすれば可動線輪の廻轉角は大約端子間を通る電流(從つて電壓)の二乗に比例する、從つて目盛は均一に出来ない。

電流の方向が逆になれば、二つの線輪の電流が同時に逆方向に流れるから動作廻轉力の方向には變りがない。從つて此型の計器も亦直流にも交流にも用ひられる。しかも此型の計器は鐵を含まず且線輪の誘導係數が少い許りでなく、直列抵抗も無誘導性にしてあるから



第11圖 電流力計型(電壓計)

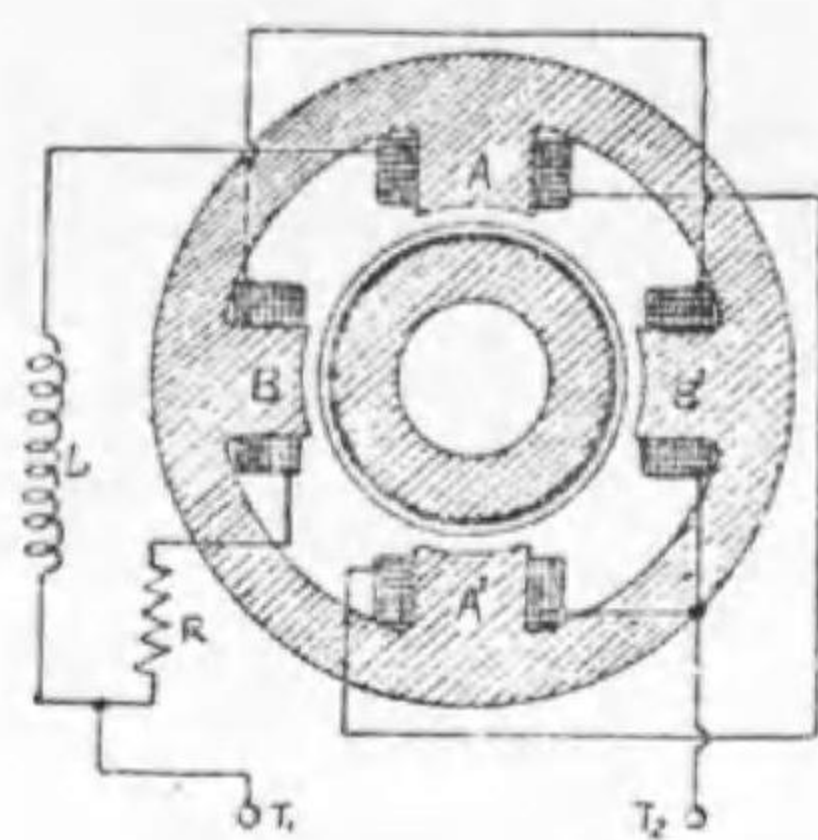
交流の周波數、波形等の影響が少ない。斯様に交流測定器としては最も優秀な性質を有するのみならず、直流と交流と同一目盛を使用し得るから交流と直流を比較する爲の媒介測定器として適當して居る。(第11節参照)

然し外部磁界の影響を受け易いから特別なる装置をしなければ配電盤用としては使用し得ない缺點がある。

(b) 誘導型……此型の計器は交流回路にのみ用ひられ、第12圖は此型の中の廻轉磁界型を示すものである。

鐵心A A', B B'上に固定線輪を捲き、A A'の線輪には誘導Lを、

BB'の線輪には抵抗Rを接続してある。依つてT₁T₂間に交流を通ずるとAA'線輪の電流とBB'線輪の電流とに位相の差が生じ廻轉磁界が出来る。然るときは可動部分のアルミニウム圓筒に渦流が起つて動作廻轉力が働く。制御装置としては螺旋彈條を用ひ、制動装置としては圓筒に耐久磁石を作用せしめる。



第12圖 誘導型の一例

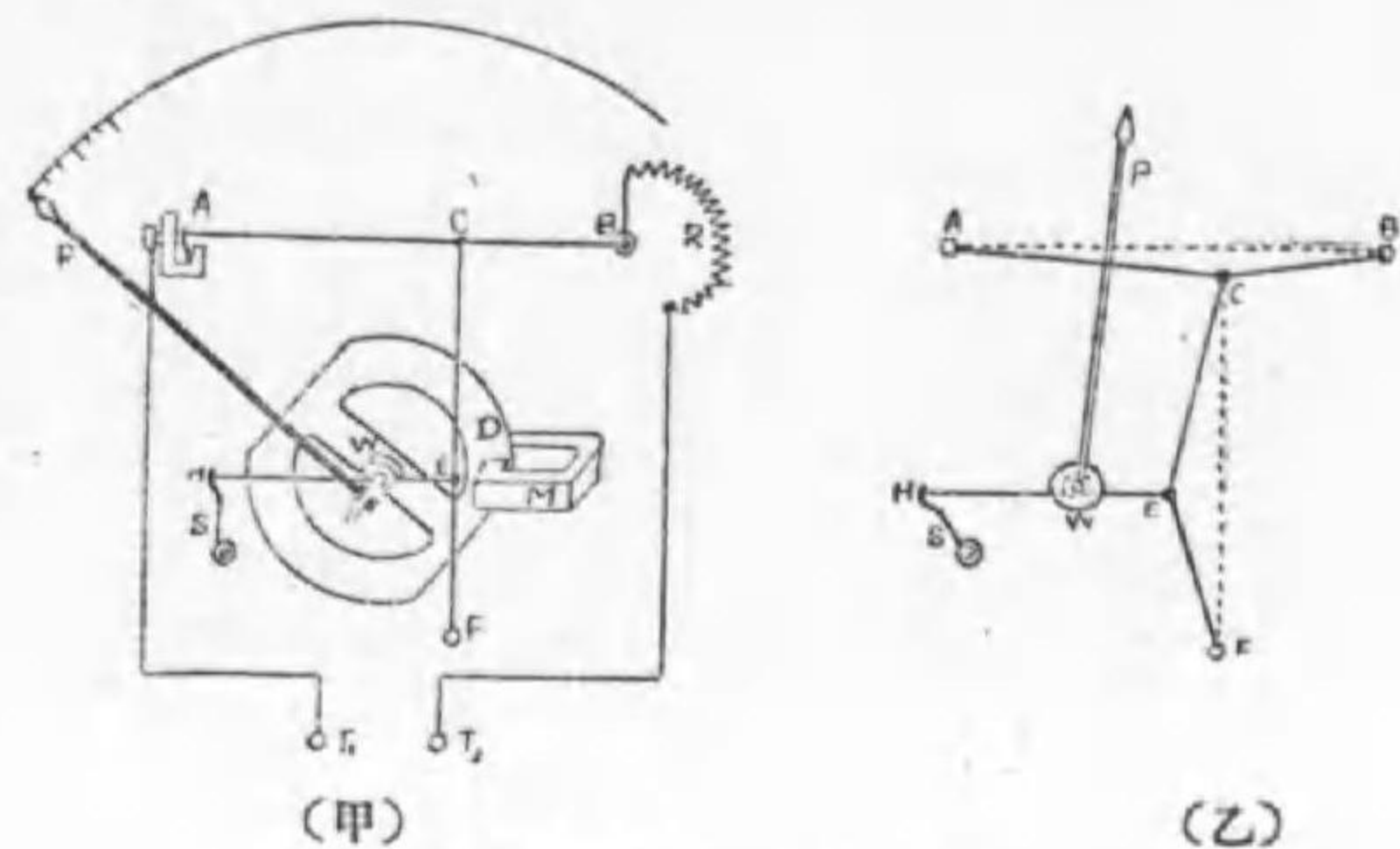
誘導型には上記の外移動磁界型といふのもある。一般に誘導型の計器は可動部分の構造が簡單で、且外部磁界の影響が少い

許りでなく、目盛の範圍が廣く出来る特徴がある。(300°に亘るものがある)然し周波數や波形の影響が大きいと云ふ缺點がある。

(c) 熱線型……第13圖に熱線型の一例を示す。ABは測定せんとする電流を通すべき熱線(プラチナムシルバーの抵抗線)でAB兩端が固定せらる。之に電流を流せば線が熱せられ、僅かながら伸長して弛む。然るときは磷銅線CF中のE點が彈條Sの爲に絹絲EHを伸介として左方に引張られ同乙圖の如くなる。絹絲は途中小滑車Wに一回捲いてあるから絹絲が左方に引張られると滑車が廻り指針が動かされる。

斯の如き装置に依れば、熱線の伸長は僅かでも之を著しく擴大して動作せしめ得る。

上圖のD(アルミニウム板)とM(耐久磁石)は渦流制動装置、Rは

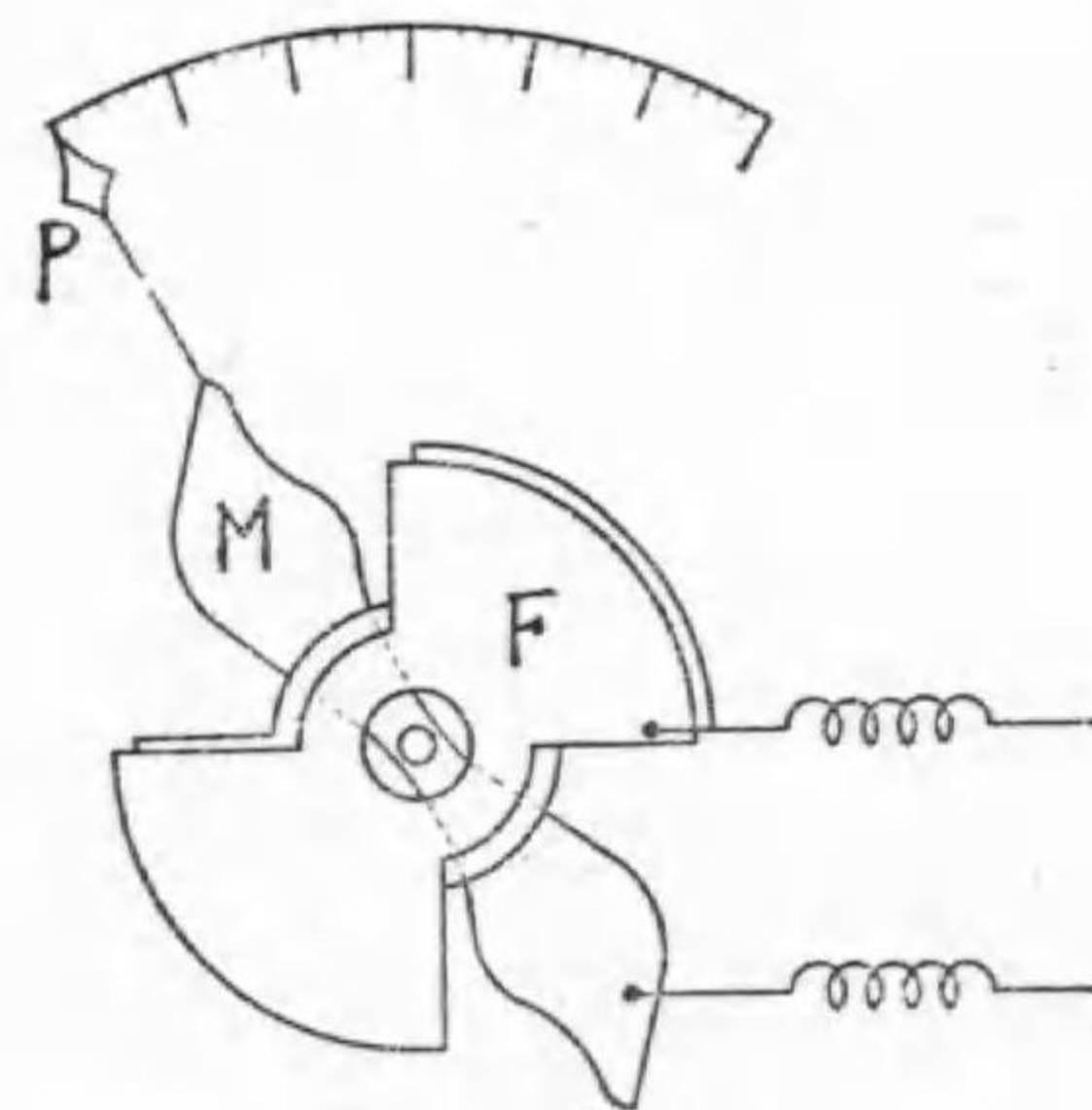


第13圖 熱線型

直列抵抗である。

此型の動作には電流の方向は無關係であるから直流にも交流にも用ひられ、しかも構造が全く無誘導性で交流の周波數、波形等の影響がない。従つて直流と交流に全く同一目盛を使用出来、特に高周波電壓、高周波電流の測定に最も適當してゐる。但し零點が狂ひ易く、且僅かの過負荷に對しても熱線が熔斷し易いから注意を要する。

(d) 靜電型……第14圖は靜電型電壓計の原理を示すもので、Fは二枚の固定金屬板、Mは可動金屬板で兩者は絶縁さ



第14圖 靜電型電壓計

れてある。FとMを電圧を測定せんとする二線に接続すれば、FとMは異種の電氣を以て充電せられ、爲にMはFの間に引込まれて、右廻りに動く。此引力は電圧の二乗に比例するから目盛は均一に出来ない。又引力は電圧の方向に無関係であるから直流にも交流にも用ひられる。

金屬板の代りに金屬圓筒を用ひ、全部の装置を油中に浸して高い電圧を測定し得る様にした型のものもある。

静電型電圧計は、略んど電流を流すことなくして電圧を測定し得る許りでなく、周波數、波形の影響もない。従つて直流にも交流にも同一目盛を使用し得る。主として高い電圧の測定に用ひらる。(二十五萬ヴォルトの高電圧を直接測定し得るものがある。)

但し静電型電圧計は一般に廻轉力小にして誤差起り易く携帯用のものを得難い缺點がある。

8. 檢流計及其種類

檢流計 (Galvanometer) といふのは、主に

- (1) 微少電流の有無
- (2) 極めて微弱なる電流の大小の比較

等を知る爲に用ふる測定器の總稱である。

従つて檢流計の指示は、アムペア、ヴォルト等の實用單位で示されず、目盛は只之を通る電流の大小の程度を示すに過ぎない。之が檢流計の他の電氣計器と異なる點である。

従つて檢流計を通る電流が幾アムペアか、又は之に加はつて居る

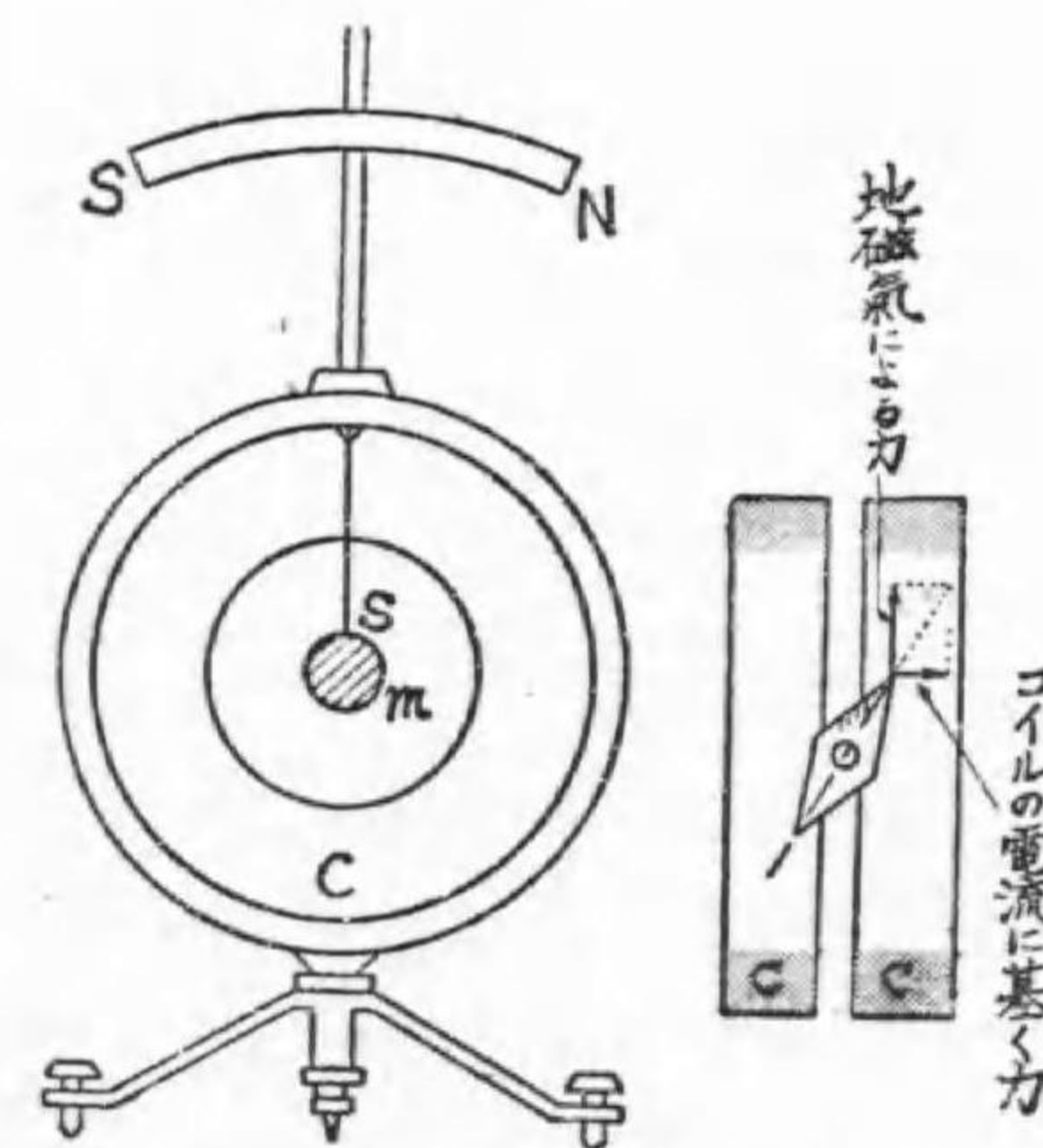
電圧が幾ヴォルトかは、其檢流計の指示に或係數(之を檢流計係數といふ)を乗じて初めてわかるのである。此係數は檢流計に依り異なることは勿論である。

檢流計には其動作原理より直流用として**可動磁針型** (Moving needle type), **可動線輪型** (Moving coil type), 交流用として**振動型** (Vibration type), **電熱型** (Electro-thermal type) 等があり、指示の讀取り方法より**指針型** (Pointer type), **反照型** (Mirror type) 等があるが、何れも電圧計電流計の如く可動部分と固定部分より成り制御力としては地磁氣又は可動部分を吊してゐる細い線の捻れ等を利用し、制動力としては空氣制動、渦流制動等が用ひられる。

(a) **可動磁針型**……圖はトムソン檢流計で、其可動部分は細い

絹絲又は石英纖維を以つて吊下げた小鏡の裏面に數本の磁針を並行に貼付けてある。

線輪Cの面を垂直に南北の方向におき電流を通すれば、其生ずる磁界の爲に磁針は廻轉力を受け同時に地磁氣の制御力を受けて、鏡は電流に相當する角だけ振れて止る。



第15圖 トムソン檢流計

圖のNSは其高さを加減し、磁針の附近に於ける地磁氣を弱めて

感度を大にする爲の磁石である。

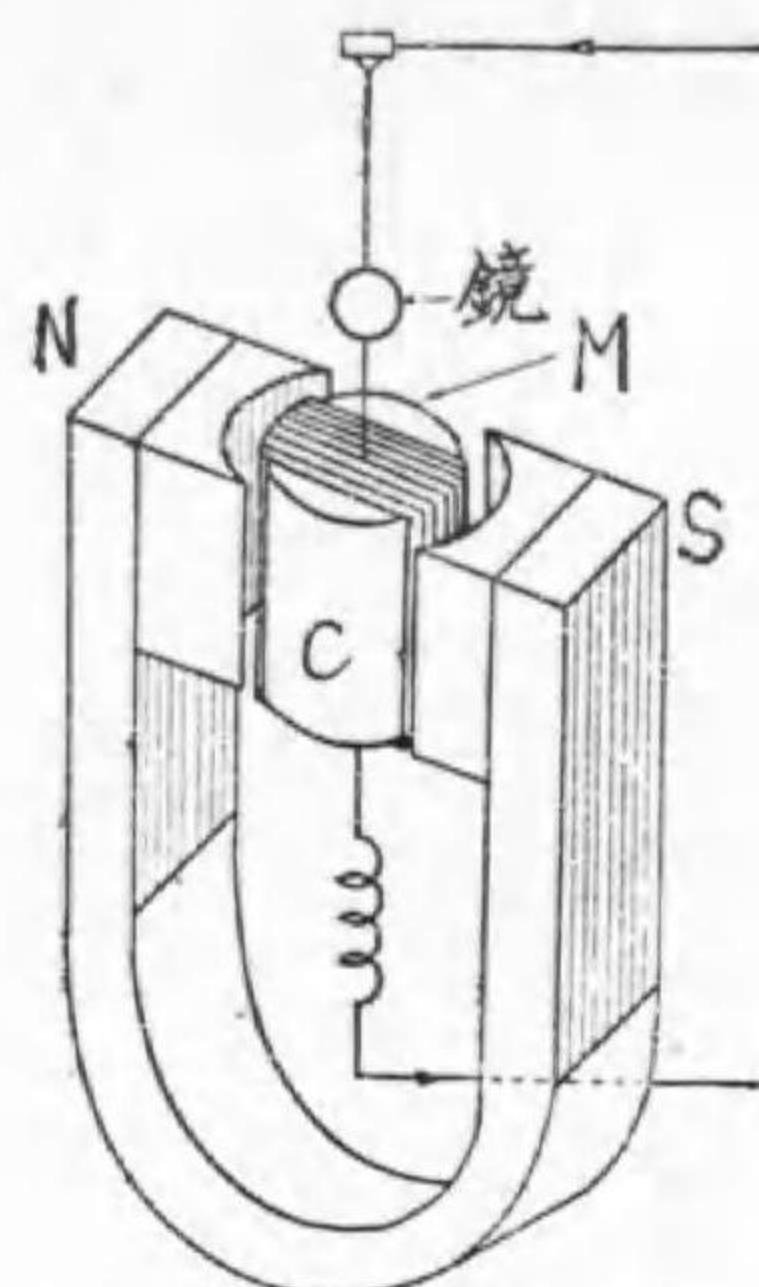
此檢流計は構造簡單なるも外部磁界の影響大なる缺點がある。

(b) 可動線輪型……軟鐵心C上に線輪Mを捲いて可動部分とし之を磷銅線で耐久磁石の極間に吊下げてある。

磷銅線の捻れをもつて制御力を生じ、線輪枠にアルミニウムを用ひて制御装置となす。

此型で、鏡を附せず指針型にしたものは携帯に便である。

可動線輪型は、耐久磁石の磁界が強いから外部磁界の影響少く、取扱ひに便なるを以つて廣く用ひらる。

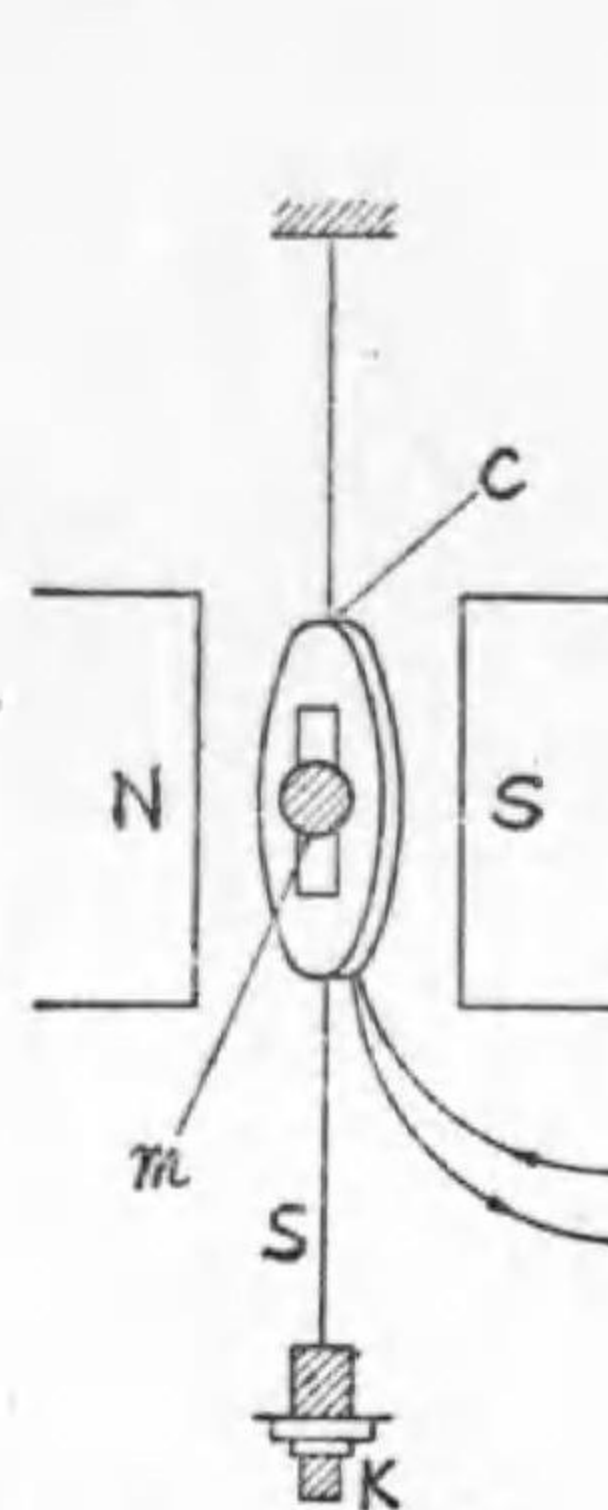


第16圖 可動線輪型檢流計

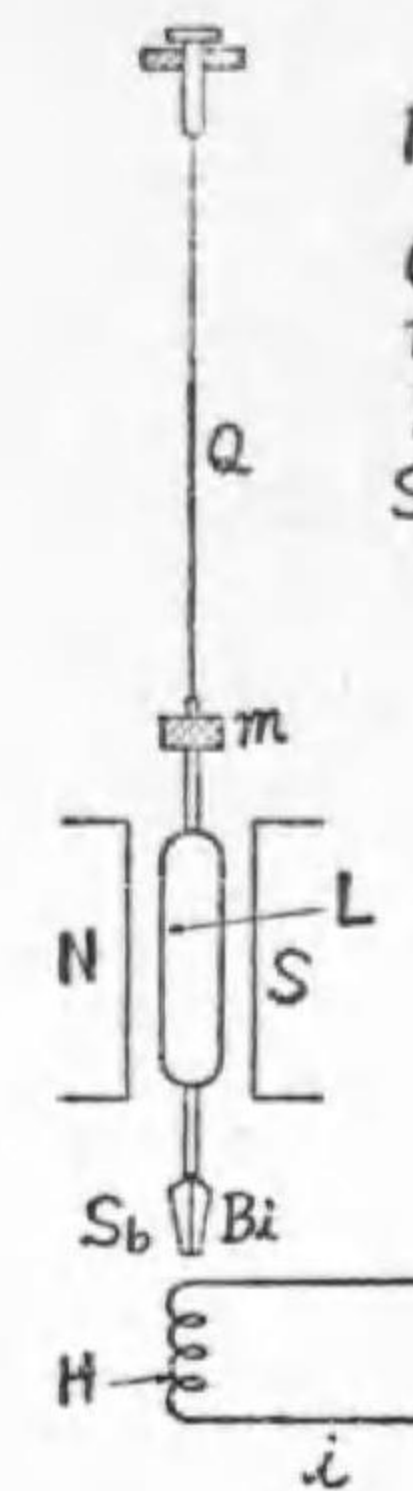
(c) 其他の檢流計

振動型……交流に用ひらる。可動線輪型の一つで第17圖は其原理を示す。強い磁界内に鏡mを附した線輪Cが細い絲で上下に強く引張られてある。ネジKに依り可動部分の張力を可減して、其固有振動數を、線輪に流す交流の周波數に一致せしむる時は、線輪が周波數に應じて左右に振動する。然るときは鏡からの反射光を受ける尺度上には廣い帶狀の影像を生ずる。

若し電流が零ならば尺度上の影像は細い線となつて現れるから、



第17圖 振動型檢流計



第18圖 ダンデル氏檢流計

H…加熱線(測定せんとする電流と流す)
Q…石英纖維
m…鏡
L…單接線輪
SbBi…熱電對

此型は電流(交流)の有無檢出に用ひて頗る便利である。

電熱型……異種の金屬二つを輪狀に二ヶ所で接續し、其二つの接合點に溫度差を與ふれば電流が生ずる。斯くの如くして電流を起す装置を熱電對(Thermo-couple)といふ。

二つの接合點の溫度差大なる程大なる熱電流が得られ、同一溫度差に對しては蒼鉛とアンチモニーを組合せたものが最も大きな熱電流が得られる。(第31節参照)

電熱型檢流計は此熱電對を應用したもので第18圖は其一例ダンデル氏檢流計の構造を示すものである。

Hに電流が流れると溫度が昇り熱電對の下部が熱せられて熱電流が生じ、之が線輪Lを流れて鏡が振れる。此型は主に交流に用ひられ特に高周波用に適する。

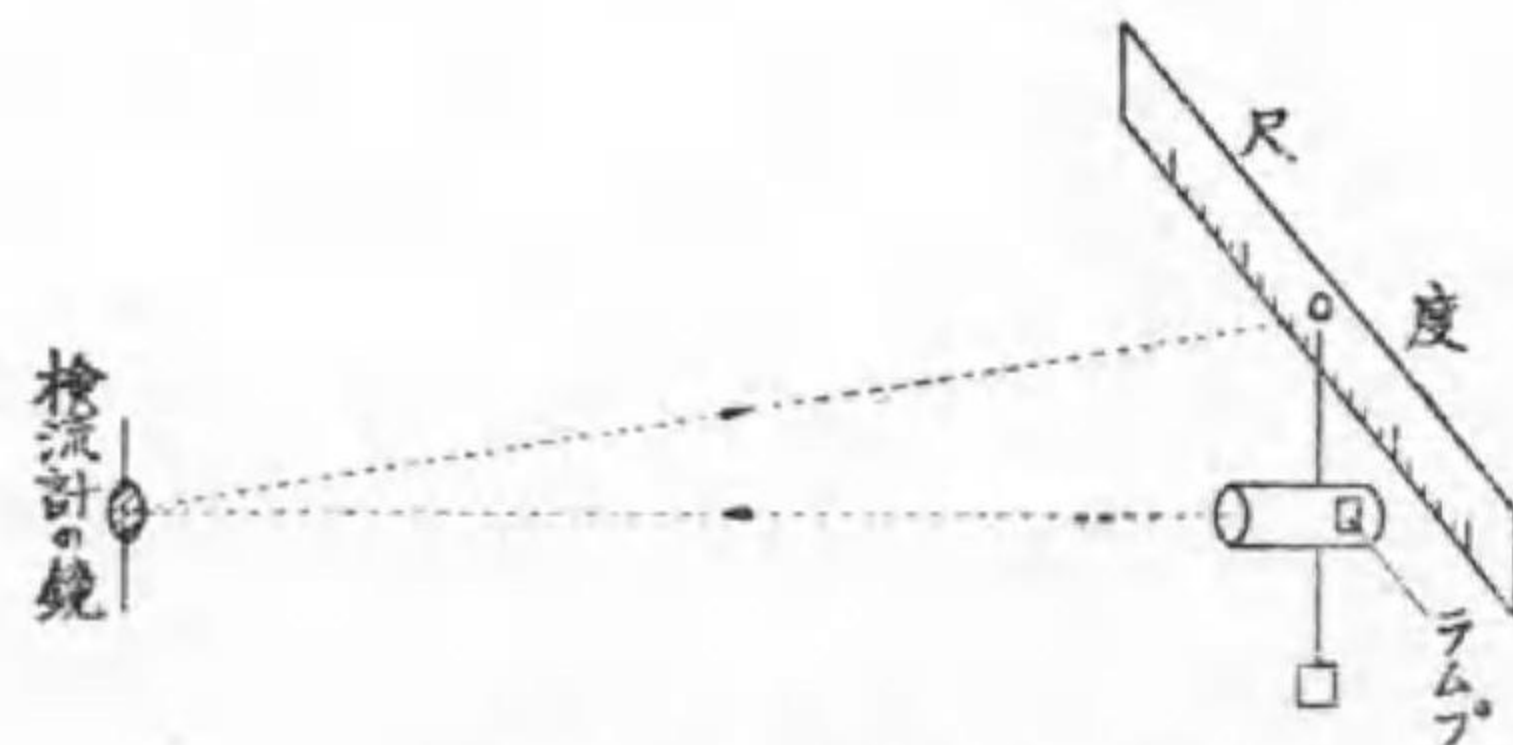
弾動檢流計 (Ballistic galvanometer) …… 之は蓄電器の放電や磁界變化の爲に生ずる誘導電流の如き一瞬間にして通過し終る電氣量の大小を測定する檢流計である。可動磁針型と、可動線輪型とあるが、何れも可動部の慣性が極めて大なる様構造せらる。爲に電氣量が瞬時的に通過し終つて後初めて靜かに動き出す。其最初の振れが通過した全電氣量に比例するものである。

9. 振れの讀取法

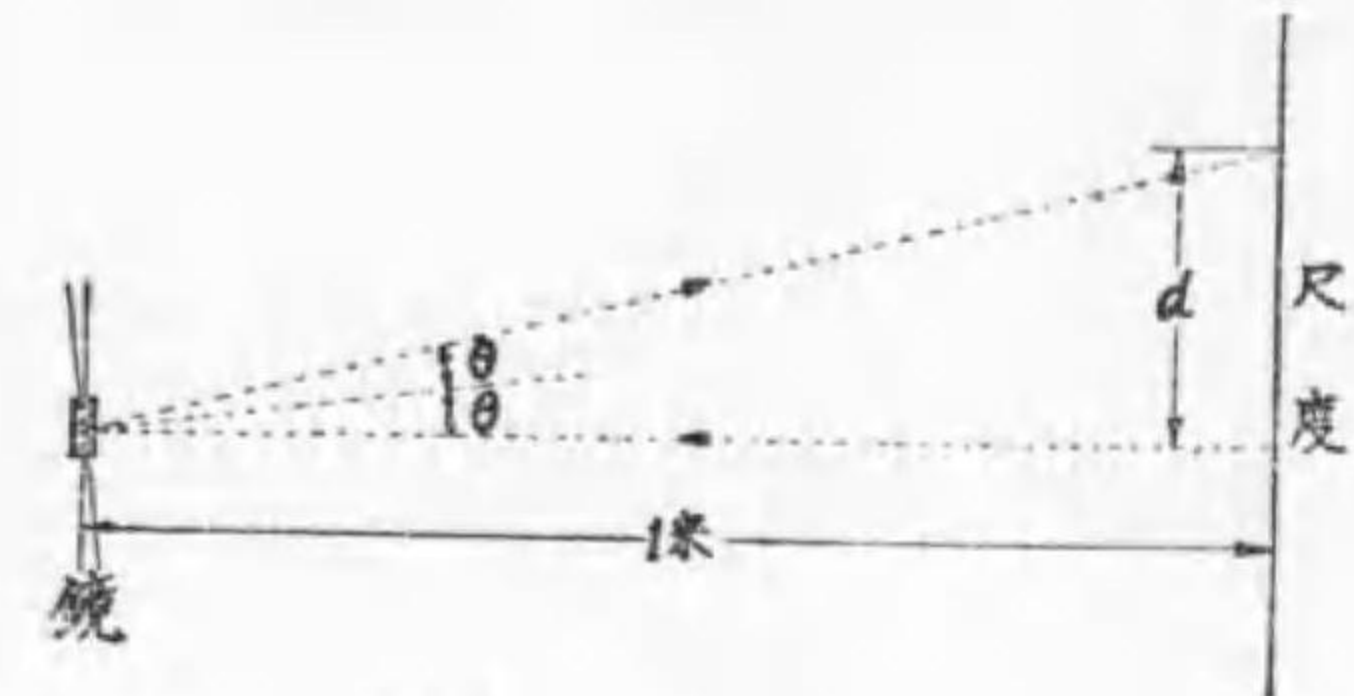
指針型檢流計は可動部分の軸に取付けた指針に依り目盛板上を指示せしめて電流の有無大小を知る様にしたもので携帯用に適する。

然し精密用のものは此方法では正確な結果を得難いから所謂反照型檢流計とする。之は可動部分に鏡を附し其反射光を利用して振れの度合を擴大して讀み得る様にしたもので、之に次の二通りがある

(a) 尺度とラムプを用ふる法(直接讀取法)……第19圖(甲), (乙)の如く檢流計の可動部分に附した小鏡から1米の所に尺度とラムプをおき、鏡からの反射光が尺度上に線状となつて現れる様にしてある。



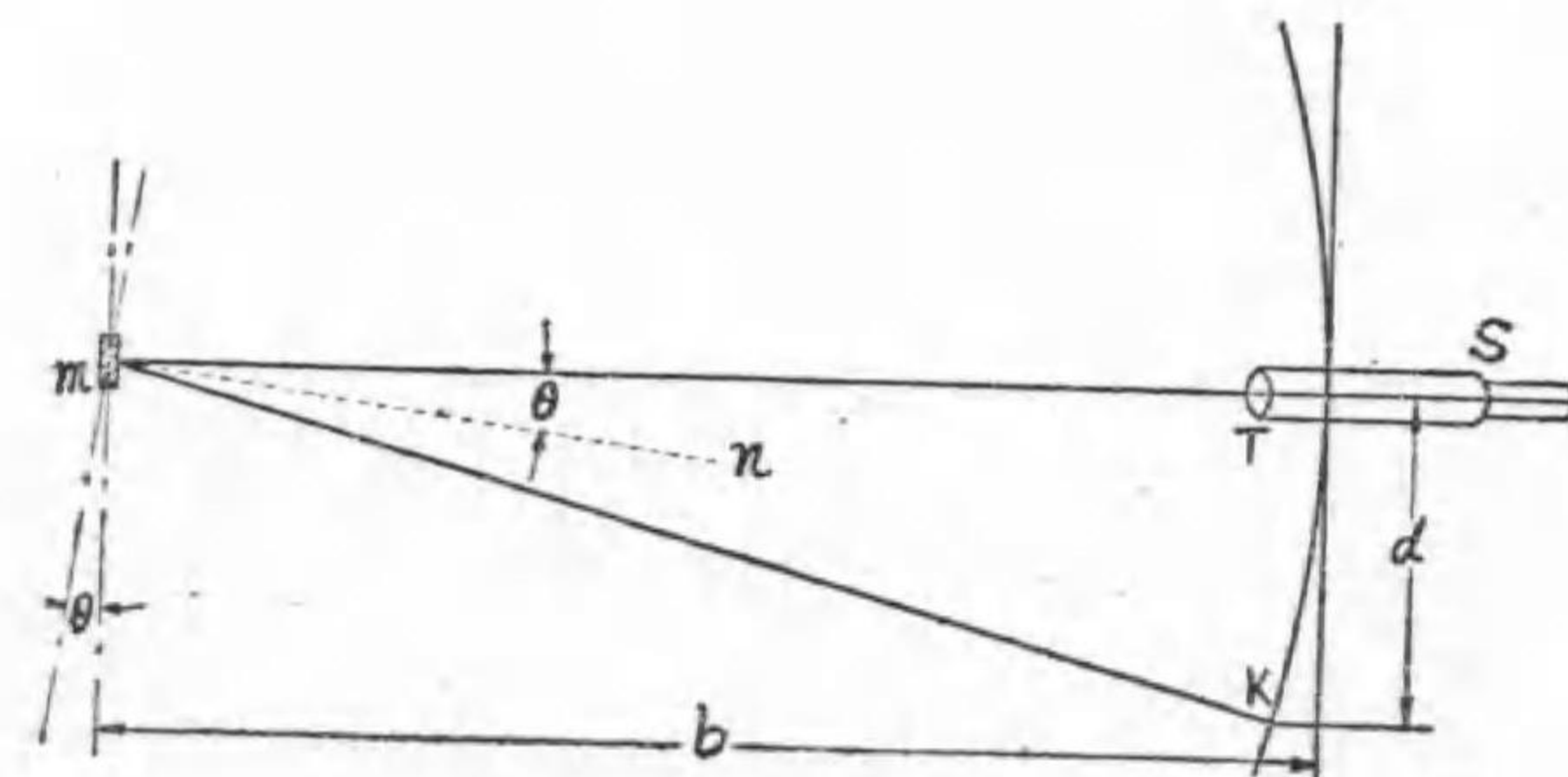
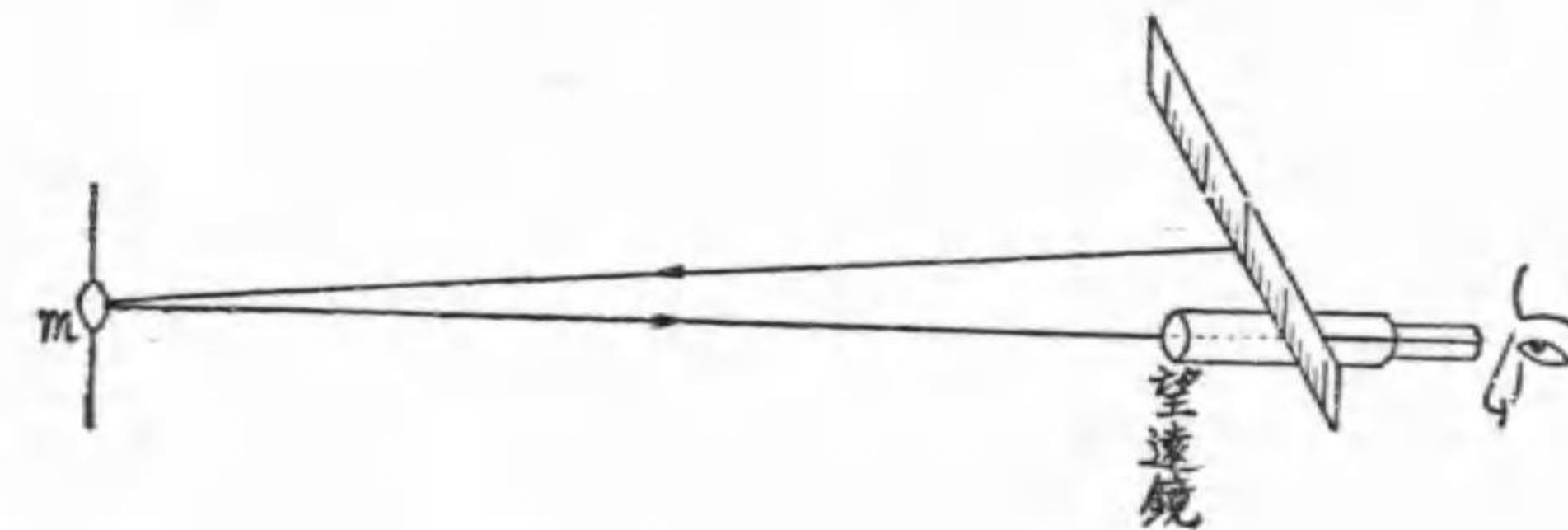
第19圖 直接讀取法(甲)



第19圖 直接讀取法(乙)

檢流計に電流が通じ鏡が角 θ だけ振れれば其反射光は尺度上を b だけ移動する。此 d を觀察することに依つて僅かの鏡の振れでも正確に認めることが出来る。

(b) 尺度と望遠鏡を用ふる法(望遠鏡讀取法)……(a)の方法では尺度上の像を明かに見得る爲には室を相當暗くする必要がある。



第20圖 望遠鏡讀取法

此不便を避ける爲第20圖の如く望遠鏡を用ひて讀む方法がある。

望遠鏡のレンズには十字に糸を張つて其中心を明示してある。電流零のときは尺度上の目盛の零點が望遠鏡の中心に入り來り、電流が通じて檢流計の鏡が角 θ だけ振れれば、尺度上のK點が望遠鏡の中心に見へるから之を讀み、正確に測定し得る。

尺度は影像を充分明瞭ならしむる爲、鏡を中心とした圓弧の形としたものが多い。

10. 測定範圍の擴張

一般に測定器は其原理構造等によつて、夫々流し得る電流又は電壓に自ら制限がある。次の第2表は各種測定器自身の測定範圍概數を示すものである。

第2表 各種測定器の測定範圍の表

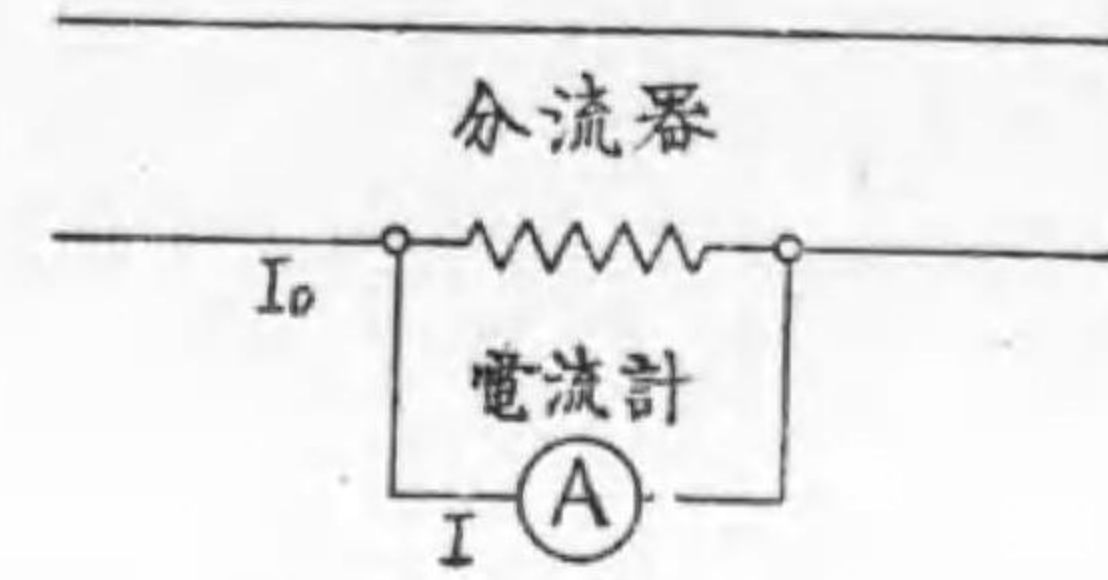
測定器の種類	測定器自身の測定範圍			
	電流計		電壓計	
	最小	最大	最小	最大
可動線輪型(直流用)	0.000025 <small>アンペア</small>	500 <small>アンペア</small>	0.001 <small>ヴォルト</small>	750 <small>ヴォルト</small>
電流計型(直流及交流用)	0.015	10	1.0	750
熱線型(同)	0.08	300	0.3	400
靜電型(同)	—	—	50	250000
可動鐵片型(交流用)	0.02	750	20	750
誘導型(同)	1.0	120	150	750

此測定範圍を變へて大なる量を測定するには特殊なる装置を必要とする。其主なるものは分流器、倍率器、變流器、變壓器等である

(a) 分流器(Shunt)……測定電流の範圍を擴張する爲に用ふる抵抗で、第21圖の如く電流計と並列に接続する。

今分流器の抵抗を R 、電流計の抵抗を r 全電流を I_0 、電流計を流れる電流を I とすれば

$$\frac{I_0}{I} = \frac{R+r}{R}$$



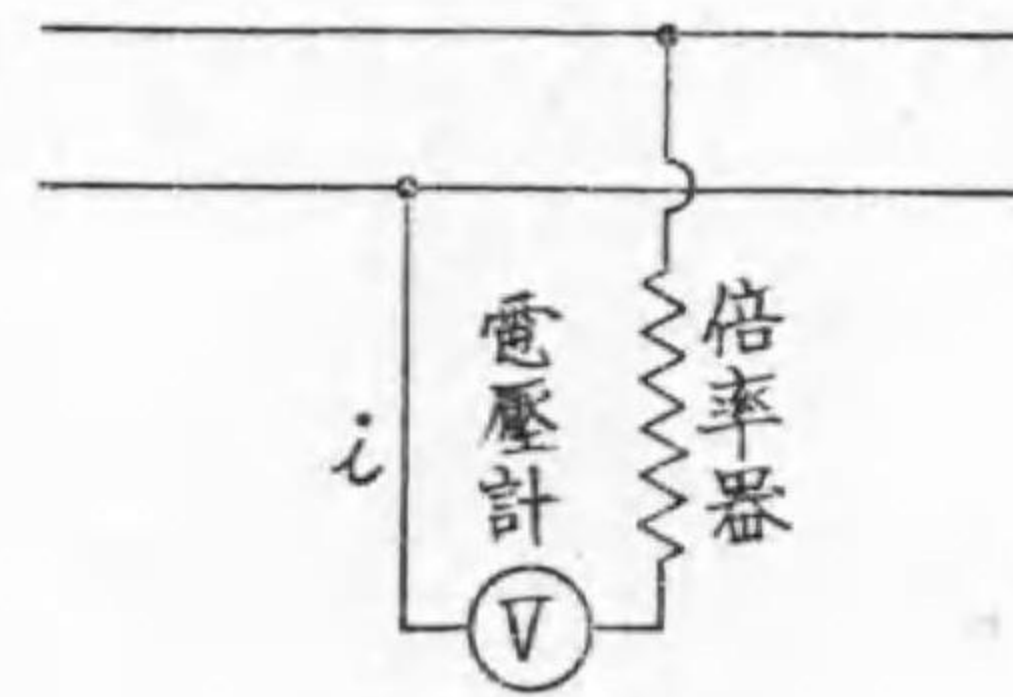
第21圖 分流器の接続

となる。此 $\frac{I_0}{I}$ の値を分

流器の倍率といひ、全電流は實際計器を通ずる電流の幾倍なるかを示す値である。上式より分流器抵抗を電流計抵抗の $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{99}$, ……等選べば倍率は10, 100, ……となり實際計器に流れる電流の10, 100, ……倍の電流を測定し得る。

(b) 倍率器 (Multiplier) ……測定電圧の範圍を擴張する爲に電壓計に直列に接続する抵抗器である。

今電壓計の抵抗を r 之に通じ得る最大の電流を i とすれば、倍率器



第22圖 倍率器の接続

なしで測定し得る最大電圧 $E = ir$ ヴォルトである之に抵抗 R の倍率器を接続すれば同一電流に對し測定し得る電圧 $E_0 = E + iR$ ヴォルトとなる。従つて

$$\frac{E_0}{E} = \frac{R+r}{r}$$

此 $\frac{E_0}{E}$ の値を倍率器の倍率といふ。Rがrの9,99……倍ならば、其倍率は10, 100……となり、計器のみで測定し得る電圧の10, 100……倍の電圧を測定し得る。

分流器も倍率器もマンガニンの如き温度により抵抗があまり變化しない金属を用ひ、且熱の放散が容易なる様又交流用では特に無誘導性なる様構造せらる。

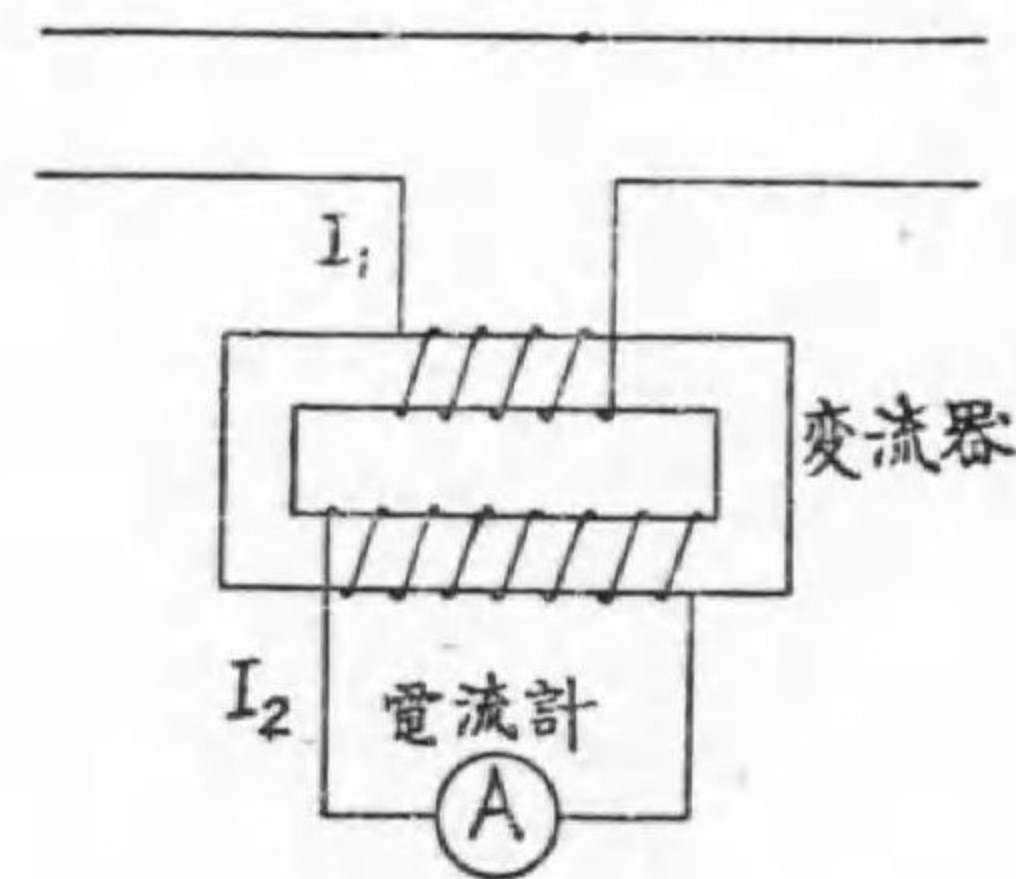
(c) 變流器 (Current transformer) …… 交流の大電流を測定する場合に用ひられる一種の昇壓變壓器である。一次捲線数は數捲以下で二次捲線数は之より遙かに多くしてある。従つて電流計には小なる二次電流 I_2 を通ずる事に依つて一次側の大なる線電流 I_1 を測定し得る。

$\frac{I_1}{I_2}$ の値を變流比といひ、

之が大なる變流器を用ふる程小容量の電流計で大電流を測定し得る。

變流器の構造は普通の昇壓變壓器と大差はないが、特に變流比が電流の大小に拘らず常に一定なる様工夫設計されてある。

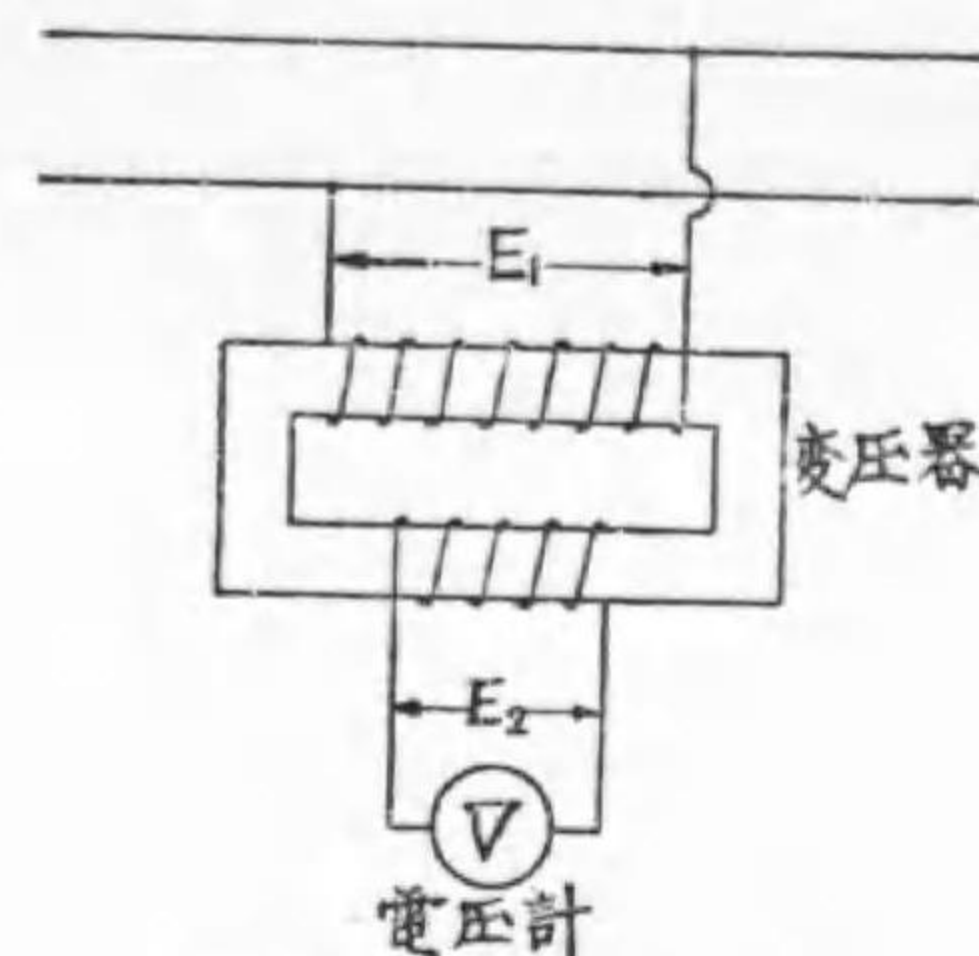
變流器は二次側を開いたまゝ一次側に電流を通じてはならない。鐵心が甚だしく熱せられるのみならず二次線輪端子間に高い電圧が



第23圖 變流器の接続

誘起せられて絶縁が破れて、焼損する憂があるからである。故に電流計を取外した場合等には必ず二次側を短絡して置く必要がある。

(d) 變壓器 (Potential transformer) …… 之は交流の高い電圧を測定する場合に用ふる降壓變壓器である。



第24圖 變壓器の接続

一次電圧を E_1 、二次電圧を E_2 とすれば $\frac{E_1}{E_2}$ を其變壓器の變壓比といふ。此變壓比を n とすれば、

$$E_1 = n E_2$$

従つて變壓比 n なる變壓器を用ふれば計器に加はる電圧の n 倍の電圧を測定することが出来る。

器を用ふれば計器に加はる電圧の n 倍の電圧を測定することが出来る。



(甲) 配電盤用變壓器



(乙) 配電盤用變壓器

第25圖

計器用變壓器の構造は普通の動力用變壓器と大差はないが、特に變壓比が常に一定に保たれる様設計されてある。

第25圖に計器用變流器及變壓器の一例を示す。

11. 電流計及電圧計の更正試験

電流計電圧計等は使用して居る間に、

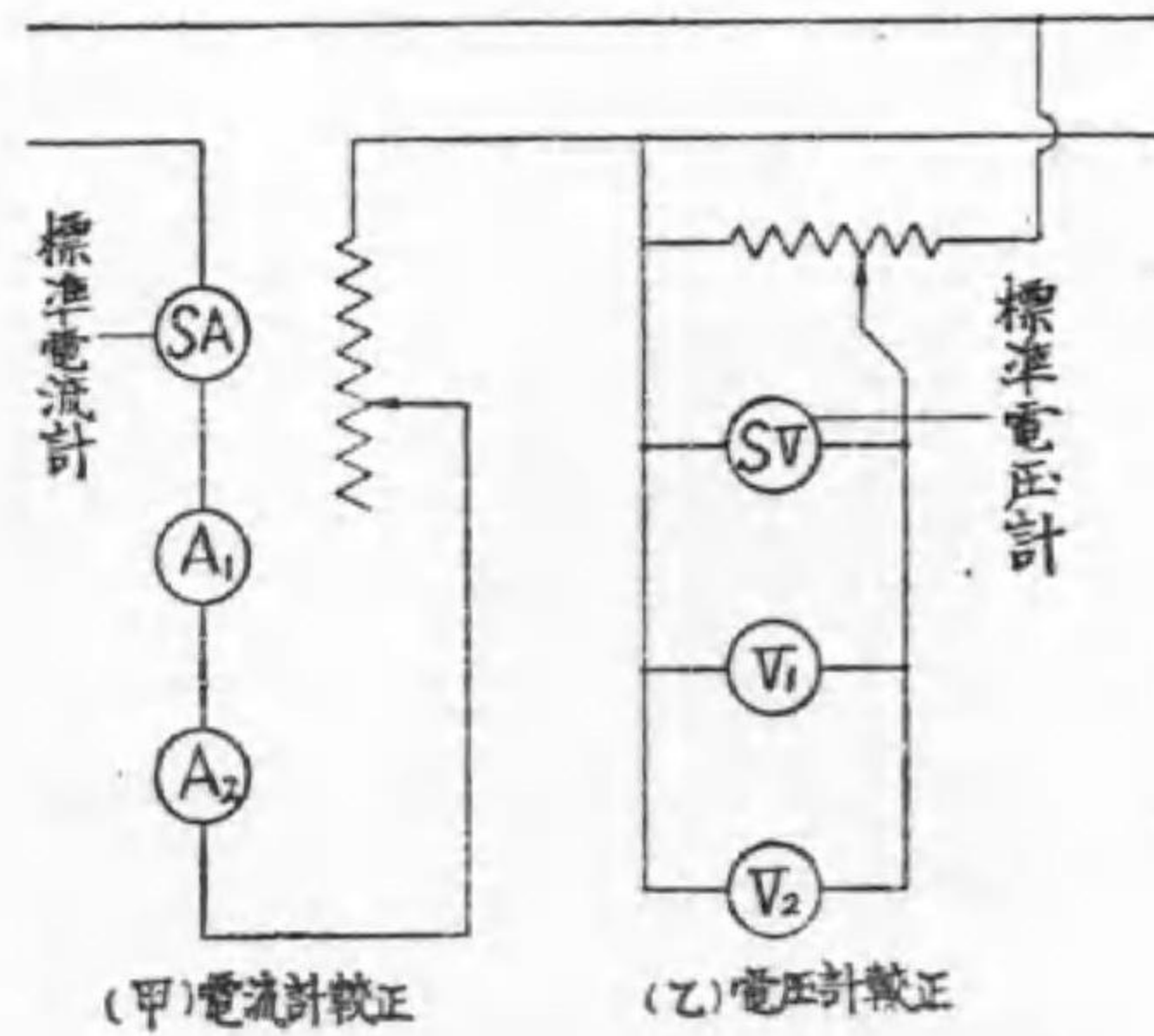
- (1) 軸承の磨滅に依る摩擦増加
- (2) 螺旋彈條の制御力減退
- (3) 耐久磁石の強さの變化

等に依り多少の狂ひが來る。故に時々試験して其誤差の程度を求めておく必要がある。此試験を**更正試験**(Calibration)といふ。

(a) **標準計器と比較する法**……此方法は第26圖の如く標準計器を用ひ、電流計ならば(甲)圖の如く、電圧計ならば(乙)圖の如く接

續し、電流又は電圧を加減して各計器の読みをとつて比較する方法である。

今標準計器の読みを a 、此ときの試験計器の読みを



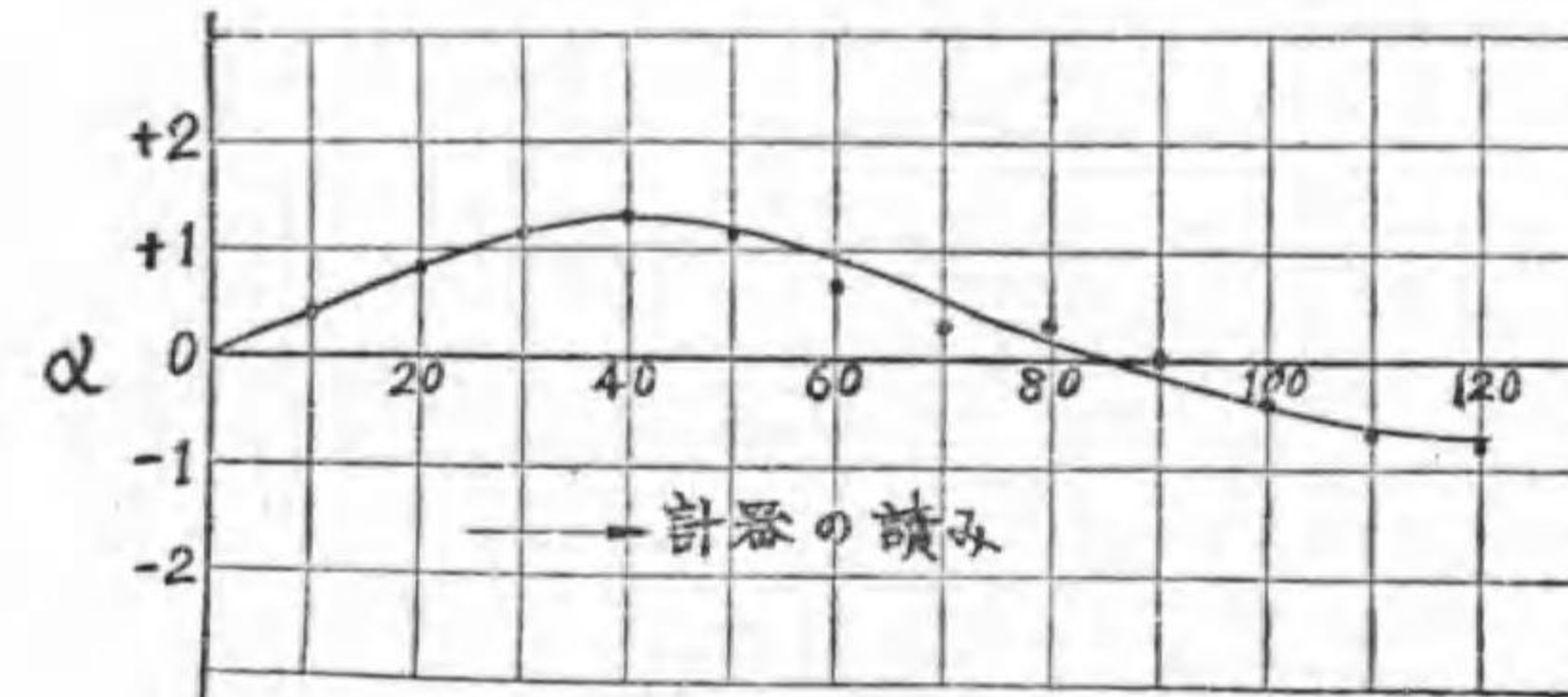
第26圖 標準器と比較する校正法接続

b とすれば

$$a = \frac{a-b}{b} \times 100$$

なる値を其計器の百分率更生値(Percentage correction)といふ。

目盛の種々の部分に就いて a を求め第27圖の如き更正曲線を描いておけば、其計器の指示より上式を用ひて其ときの正確な値を算出することが出来る。例へば第27圖を或電流計の更正曲線として此電



第27圖 百分率更正曲線

流計が40アムペアを示したとすれば

$$b = 40$$

$$a = 1.3$$

となるから前式より

$$1.3 = \frac{a-40}{40} \times 100 \quad \therefore a = 40.5$$

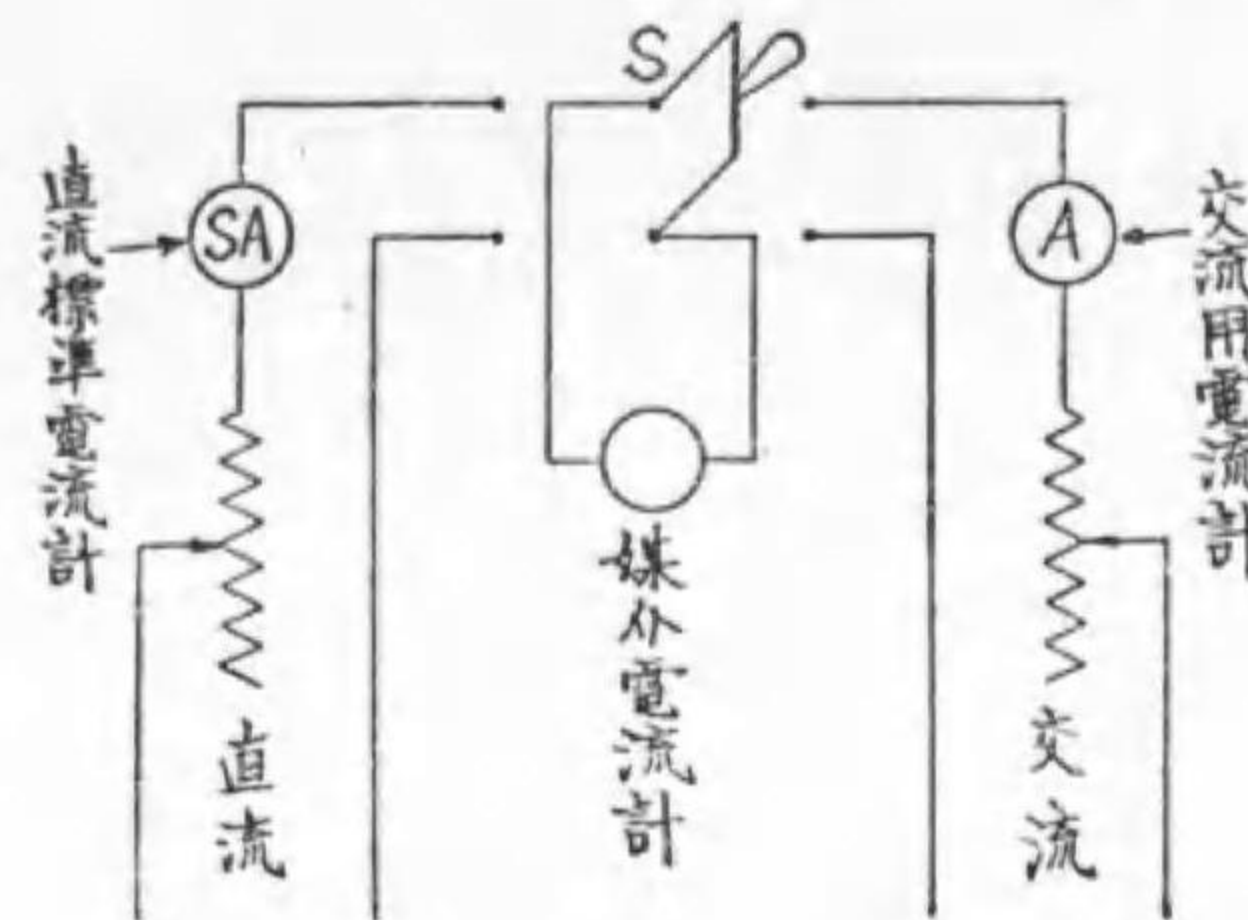
即ち眞の電流は40.5アムペアであることが分る。

(b) **交流計器の試験法**……交流計器の中、交流直流共に同じ目盛を用ひ得るものは上記の方法で試験が出来るが、交流と直流で目

盛を異にするもの、又は交流のみに使用し得る計器を試験するには電流力計型、熱線型等直流交流に同一の指示を與ふる計器を媒介計器とし間接に直流標準計器と比較して試験する。

即ち第27圖

の如く接続し
 切換開閉器で
 先づ直流標準
 計器と媒介計
 器と比較試験
 し、次に交流
 側に切換へて
 此媒介計器に



第28圖 交流計器の試験法

より交流計器を試験するのである。

問 題

- (1) 下記電流計を直流回路と交流回路に使用する場合は其指度に如何なる影響ありや、且其理由を説明せよ。

(イ) 可動線輪型	(ロ) 電流力計型	(ハ) 熱線型
(ニ) 可動鐵片型	(ホ) 誘導型	(ヘ) 靜電型
- (2) 各型の電流計につき近傍の鐵片又は耐久磁石の影響を受易きものと然らざるものとを區別せよ。
- (3) 電流力計型電流計にマンガニン無誘導直列抵抗を使用する理由三つを挙げよ。(大正十五年3種)
- (4) 下記の場合に使用するに如何なる計器を適當とするか。

- (イ) 10000Vの交番電圧を直接に測定する場合
- (ロ) 10000サイクルの交流を測定する場合
- (ハ) 配電盤に取付け、400Vの交番電圧を測定する場合
 (大正十一年3種)
- (5) 150V用直流電圧計あり、其抵抗18000オームなりといふ。此電圧計を直流600V用のものとなす爲には更に幾オームの倍率器抵抗を要するや。
 (大正四年5級)(54000オーム)
- (6) 50mVの測定範圍を有する直流ミリヴォルト計を以つて直流50A迄の電流を測定するには、幾オームの分流器を要するや。但し此計器の最大目盛に對する電流は10mAとす。(大正四年4級)(1/1000オーム)
- (7) 靜電々壓計に直列に蓄電器を接続すれば其測定範圍を擴大し得る理由を説明せよ。(昭和五年3種)

第三章 抵抗の測定

12. 抵抗の分類

抵抗には一般金屬導體の抵抗、種々の電解液(Electrolyte)の抵抗、種々の絶縁物の抵抗、又導體の接觸面による抵抗等があり、特に絶縁物の抵抗を絶縁抵抗(Insulation resistance)、接觸面による抵抗を接觸抵抗(Contact resistance)と稱す。

一般に抵抗を大きさにより次の如く分類して居る。

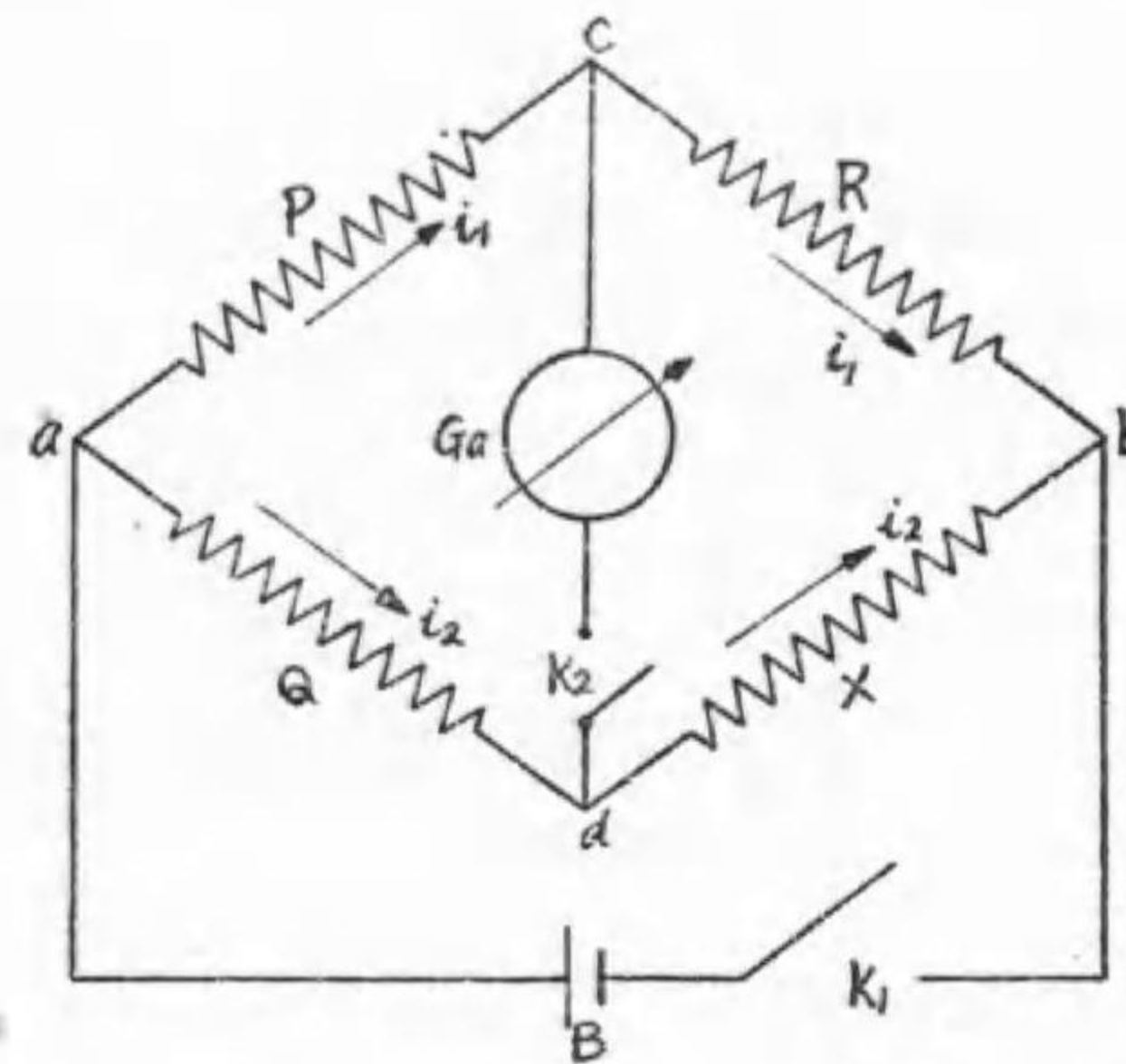
- 低抵抗(Low resistance)……0.1オーム以下のもの
 中抵抗(Medium resistance)……0.1オーム以上數千オーム位までのもの

高抵抗 (High resistance) ……数千オーム位より以上のもの
従つて其の性質上絶縁抵抗は概ね高抵抗に、接觸抵抗は低抵抗に
屬するものである。

13. 中抵抗の測定

(a) **ホイートストンブリッジ** (Wheatstone bridge) ……四つの

抵抗 P, Q, R, X. を
第29圖の如く接続
し a b 間に電池 B,
c d 間に検流器 Ga
を入れる。この P,
Q, R の三つの抵抗
を適當に調整する
と、電鍵 K₁ を閉
じた後 K₂ を閉じ
ても検流計に振れ
を生じない様にする
ことが出来る。



第29圖 ホイートストンブリッジ原理圖

此場合には検流計に電流が流れないのであるから P に流れる電流
は R にも流れ、同様に Q に流れる電流は X にも流れる。即ち c 点
と d 点との電位は相等しいことを意味する。

然る時は次の關係式を得ることが出来る。

$$\left. \begin{matrix} P i_1 = Q i_2 \\ R i_1 = X i_2 \end{matrix} \right\} \dots\dots \text{此式より } \frac{P}{R} = \frac{Q}{X} \therefore X = \frac{Q}{P} R$$

故に三つの抵抗が即知であれば、他の一つの抵抗を知ることが出来る。

此原理に従ひ P, Q, R. の三つの抵抗を装置し、之を調整して上記の
状態を得以て抵抗を測定する器具をホイートストンブリッジと云
ひ、その構造に依つて、**摺動線ブリッジ** (Slide wire bridge), **ピー
オーブリッジ** (P. O. bridge) 等と呼ばれてゐる。

第30圖(甲)はピーオーブリッジを示すもので同(乙)は其の接続を
示す。圖中 P 及 Q は各々 10 オーム, 100 オーム, 1000 オームの三つ
の線輪からなり、R は 1 オーム (又は 0.1 オーム) から 10000 オーム迄
1 オーム宛 (或は 0.1 オーム宛) 變へることが出来る様に組合せてあ
る。

ブリッジに記入してある數字は抵抗をオームで表はしたもので、
∞ なる字を記入してある所は抵抗線輪を接続してゐない處で、使用

の時は栓 (Plug) を入れて
回路を閉じる必要がある。

各線輪は普通二重絹捲線
を用ひ枠の上に同(丙)圖の
如く往復二線を二本列べて
所謂**無誘導捲き**として各線
輪の端は金屬片 b に接続し
てある。此金屬片は相對し
て圓錐形の穴に作り丁度之

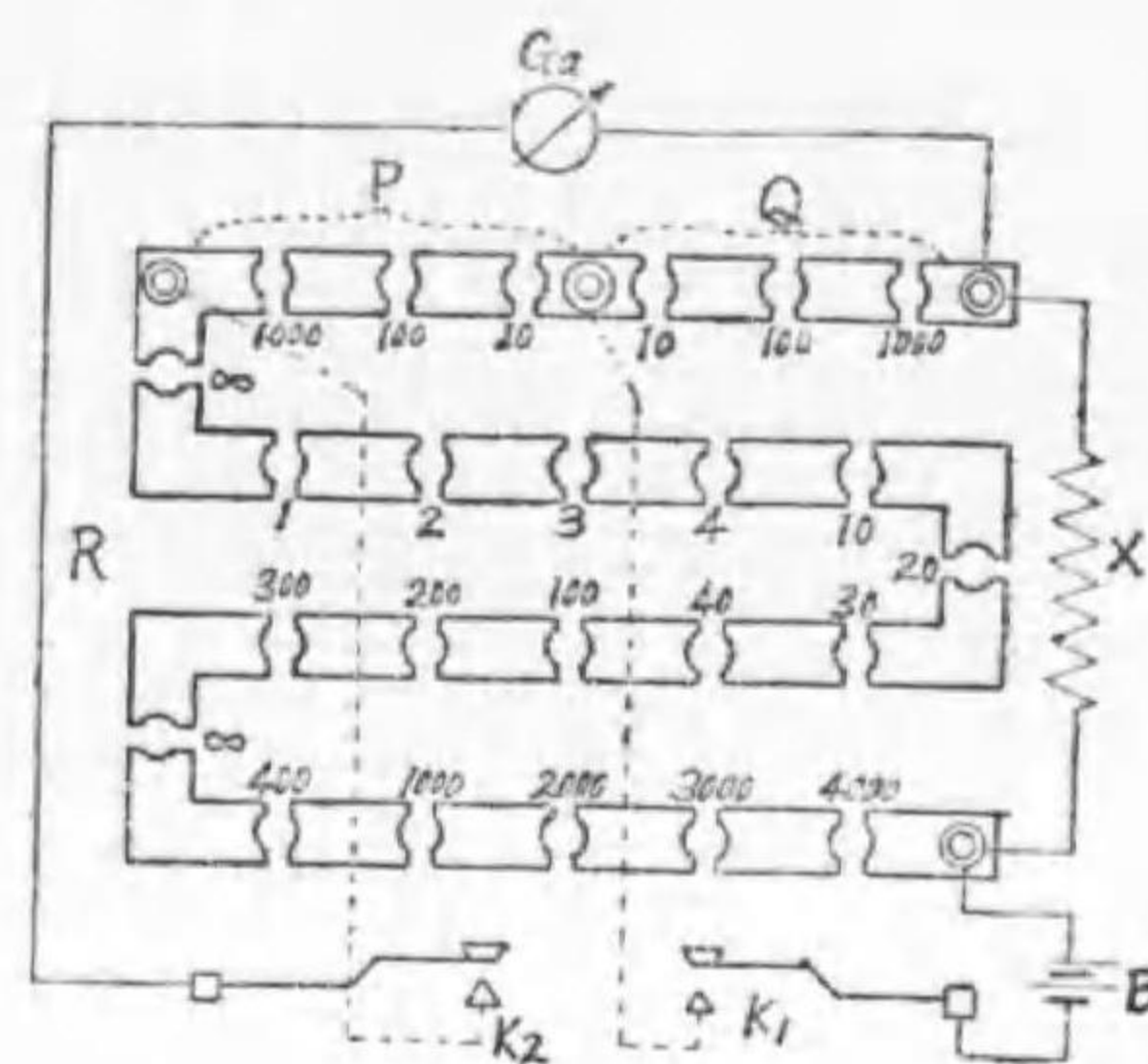


第30圖 (甲)

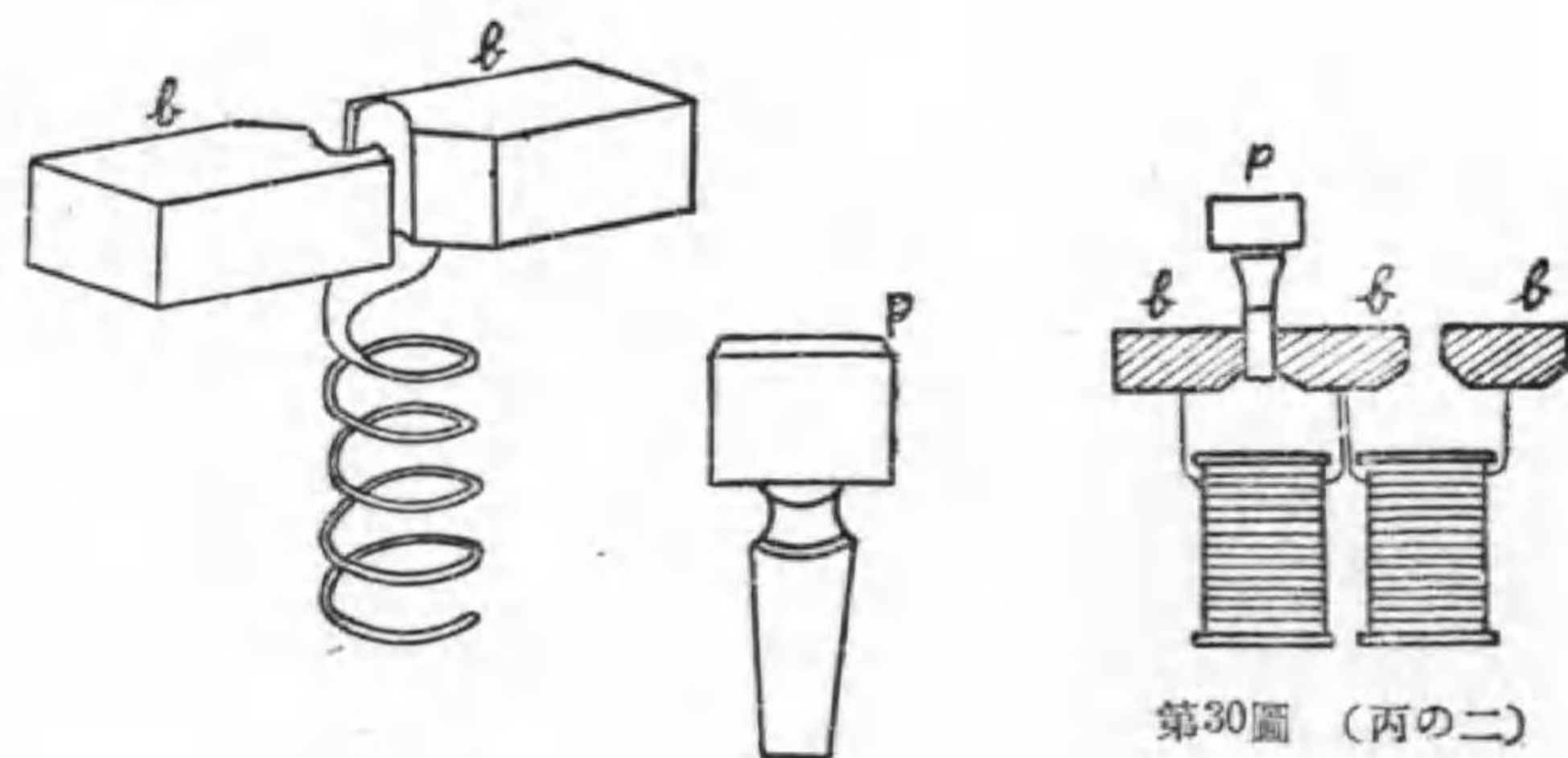
に適合する金屬製の栓 P を穴に挿し込めば線輪が短絡せられ、栓を

抜けば線輪の抵抗が回路に入ることになる。

今乙圖に示す様に未知抵抗 X, 検流計 Ga 及電池 B をブリッジに接続し P, Q, R の抵抗を適當に調整し, K₁ を閉じて後, K₂ を閉



第30圖 (乙)



第30圖 丙の一

第30圖 (丙之二)

じても検流計が振れない様な状態を求めれば,

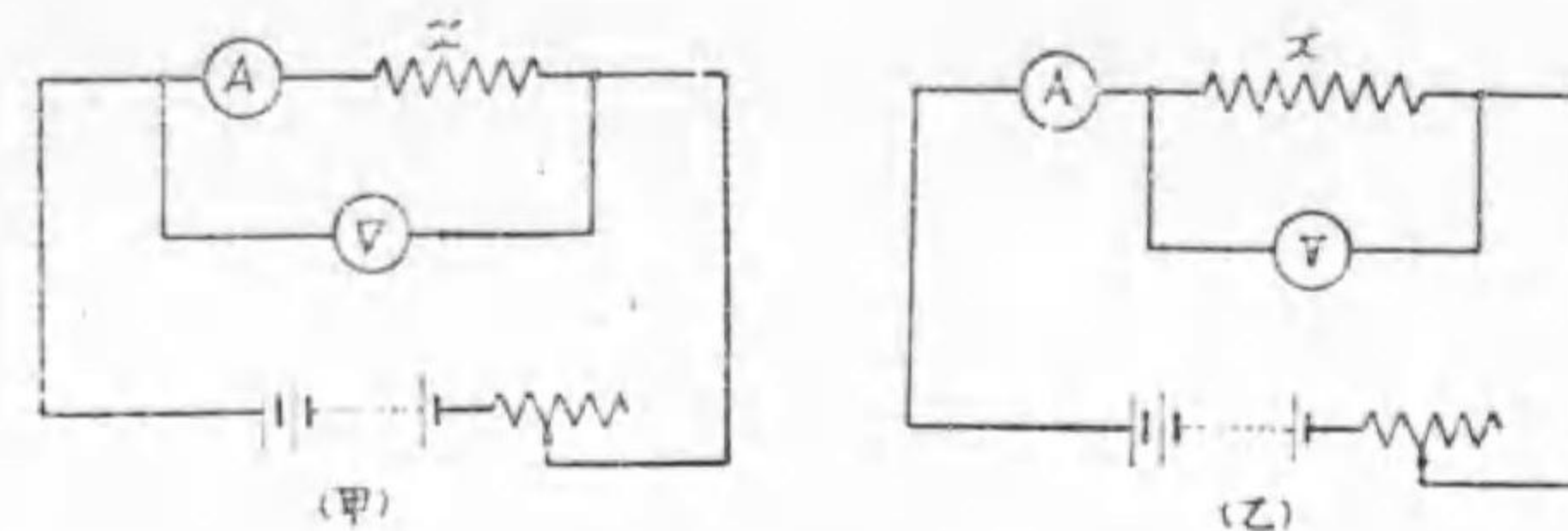
$$X = \frac{Q}{P} R$$

なる式により X を求め得る。

此ブリッジに於て P, Q をブリッジの比例邊 (Ratio arm) と稱す。

(b) 電壓計及電流計器 (Voltmeter and ammeter method) ……

之はオーム氏の法則に依り電壓と電流とを測定すれば抵抗を算出することが出来る理に基いたものである。



第31圖 電壓計及電流計法接続圖

而し此の方法はあまり正確を要しない主として工業的の場合であつて其の被測定物に對して電壓計及電流計の接続方法に圖示の如く (甲)(乙)二様ある。

- 今 E = 電壓計の指示電壓
- I = 電流計の指示電流
- R_v = 電壓計の抵抗
- R_A = 電流計の抵抗
- x = 未知抵抗

とすれば甲圖の場合では電流計の読みは x を通る電流であるが, 電壓計の読みは x の端子電壓と電流計内の電壓降下との和であるから

$$x = \frac{E - IR_A}{I}$$

上式に於て IR_A は電流計内の電壓降下で IR_A が E に比し非常に小さければ,

$$x = \frac{E}{I} \dots\dots\dots(甲)$$

又乙圖の場合では電圧計は x の両端の電圧を示すが、電流計の読みは x に流れる電流と電圧計に流れる電流との和であるから

$$x = \frac{E}{I - \frac{E}{R_v}}$$

$\frac{E}{R_v}$ は電圧計に流れる電流である。若し $\frac{E}{R_v}$ が I に比し非常に小さければ、

$$x = \frac{E}{I} \dots\dots\dots(乙)$$

即ち僅かの不正確を忍ぶならば(甲)(乙)二様の接続法に於ても(甲)(乙)兩式の如く電圧計の読みを電流計の読みで割れば x が求められるのである。

14. 低抵抗の測定

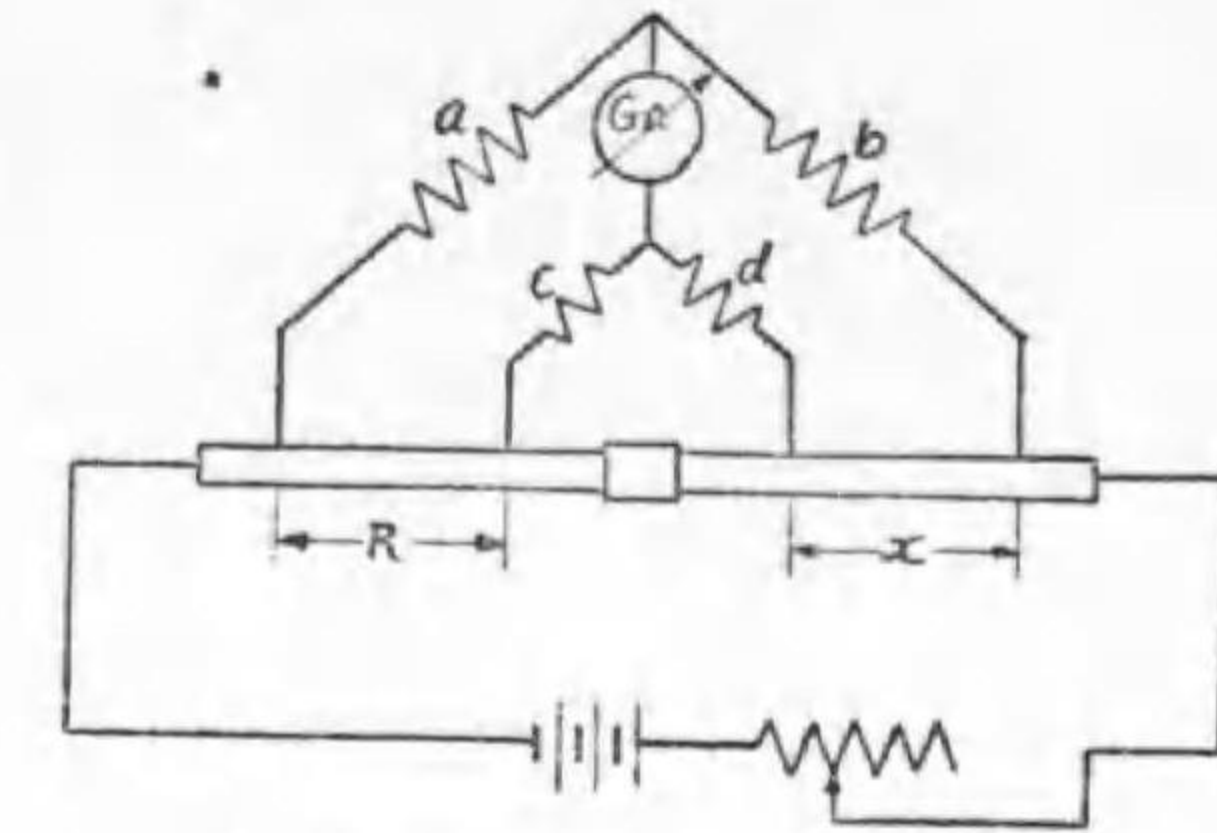
(a) **ケルビン・ダブル・ブリッジ** (Kelvin's double bridge) ホキートストンブリッジでは0.1オーム以下の抵抗を測るのには適しない。何んとなれば此場合、測定した値は未知抵抗 x の値のみならず未知抵抗をブリッジに接続する導線の抵抗及其回路の接触抵抗を含むからである。

故に未知抵抗が非常に小さい時には之等の抵抗の方が却つて大きくなる事があり、大なる誤差を生ずる。

ケルビン・ダブル・ブリッジは低抵抗測定に使用せらるゝ精密測定器であつて、第32圖は其原理を示すものである。

圖に於て a, b, c, d は二組の比例邊であつて之が爲めにダブルブリッジの名がある。

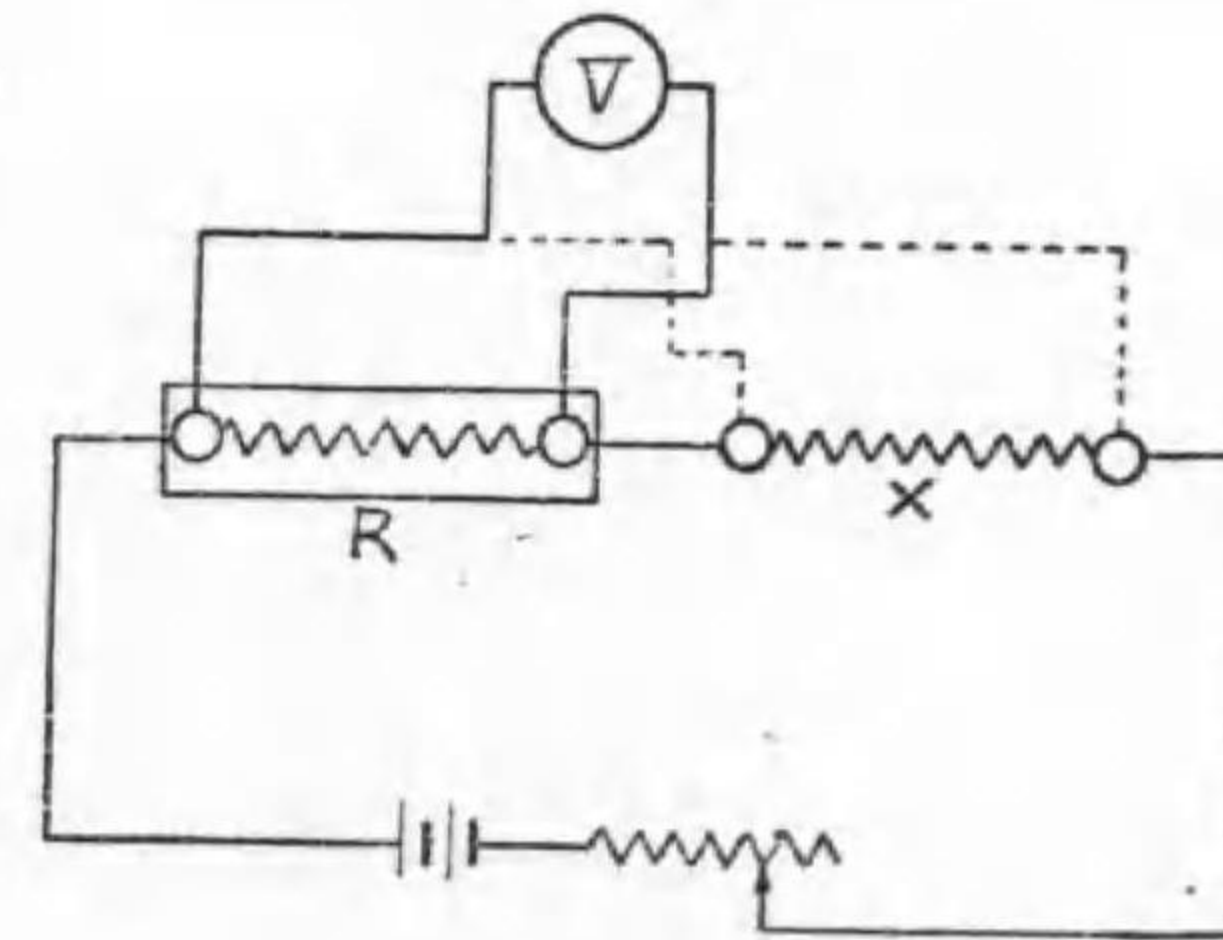
R は標準低抵抗, x は未知低抵抗である。 R と x を直列に接続し之に適當な電流を通じブリッジの二組の比例邊に於て $\frac{a}{b}$ の比を $\frac{c}{d}$



第32圖 ケルビンダブルブリッジ

の比に等しくし此値と R の値とを適當に調整して検流計 G_a の振れを零にするときは、検流計の兩端の電位は相等しい譯であるから各部の電流は a と b ; R と x , c と d に於て夫々相等しい。

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



第33圖 電壓降下法

即ち比例邊の比に標準抵抗の値を乗すればよい。

(a) **電壓降下法** (Fall of potential method) ……第33圖の様に標準低抵抗 R と未知抵抗 x を直列に接続し之に適當な

電流を流しミリヴォルト計 (ミリヴォルトで目盛せられたる電圧計) を以て R の両端及 x の両端の電圧 E_1, E_2 を順次測定する。若し電圧計の抵抗が R 及 x に比して甚だ大きく、ミリヴォルト計を R 及 x の両端に接続しても R 及 x に同一の電流が流るゝものと看做すことが出来れば、

$$x = \frac{E_2}{E_1} R$$

によつて未知抵抗の値を求むることが出来る。

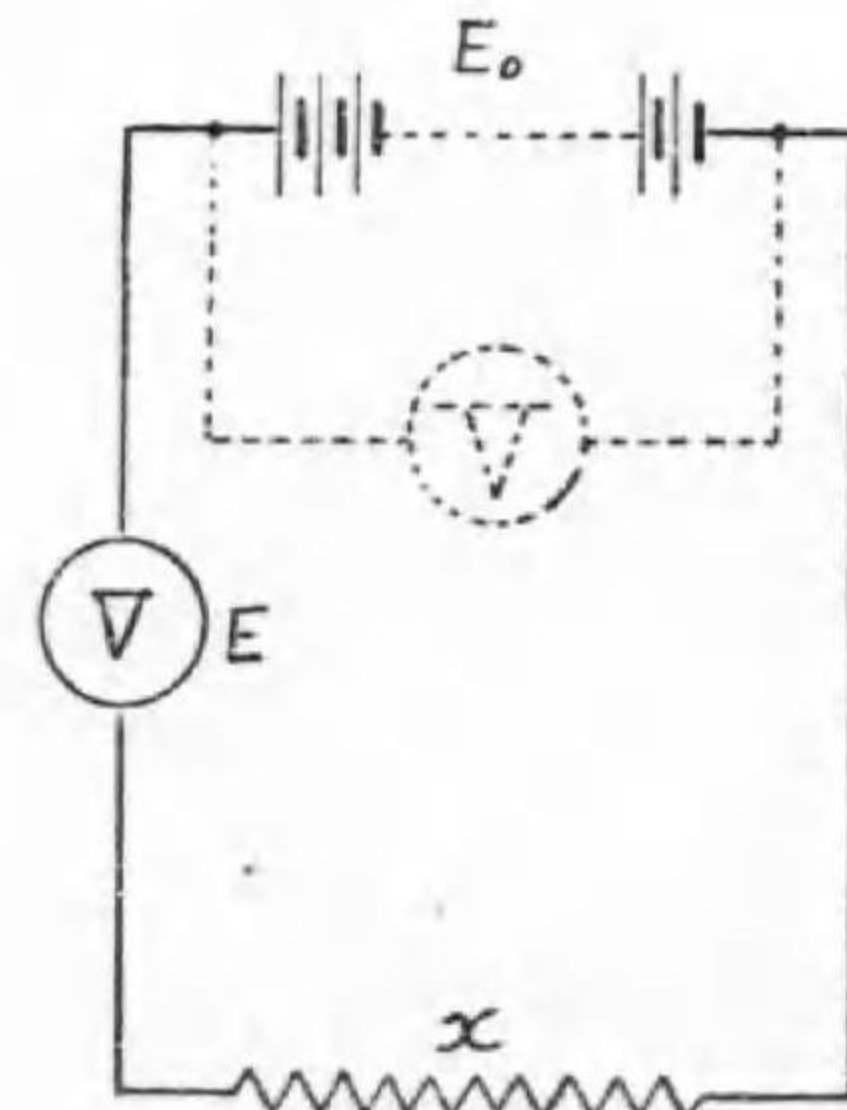
又ミリヴォルト計の代りに抵抗高く且つ振れが電流に比例するやうな検流計を用ひて R 及 x の両端の振れ d_1 及 d_2 を測定しても同一式にて求める事が出来る。

15. 高抵抗の測定

(a) 電圧計法 (Voltmeter method)……此方法は既知抵抗の電圧計を以て先づ試験電源の電圧 E_0 を測定し、次に圖の如く電圧計と被測定物 x とを直列に接続して E_0 なる電圧を加へた時の電圧計の讀 E を讀む。然る時は

$$x = \frac{E_0 - E}{E} R_v$$

但 R_v = 電圧計の抵抗
なる式で x を求める事が出

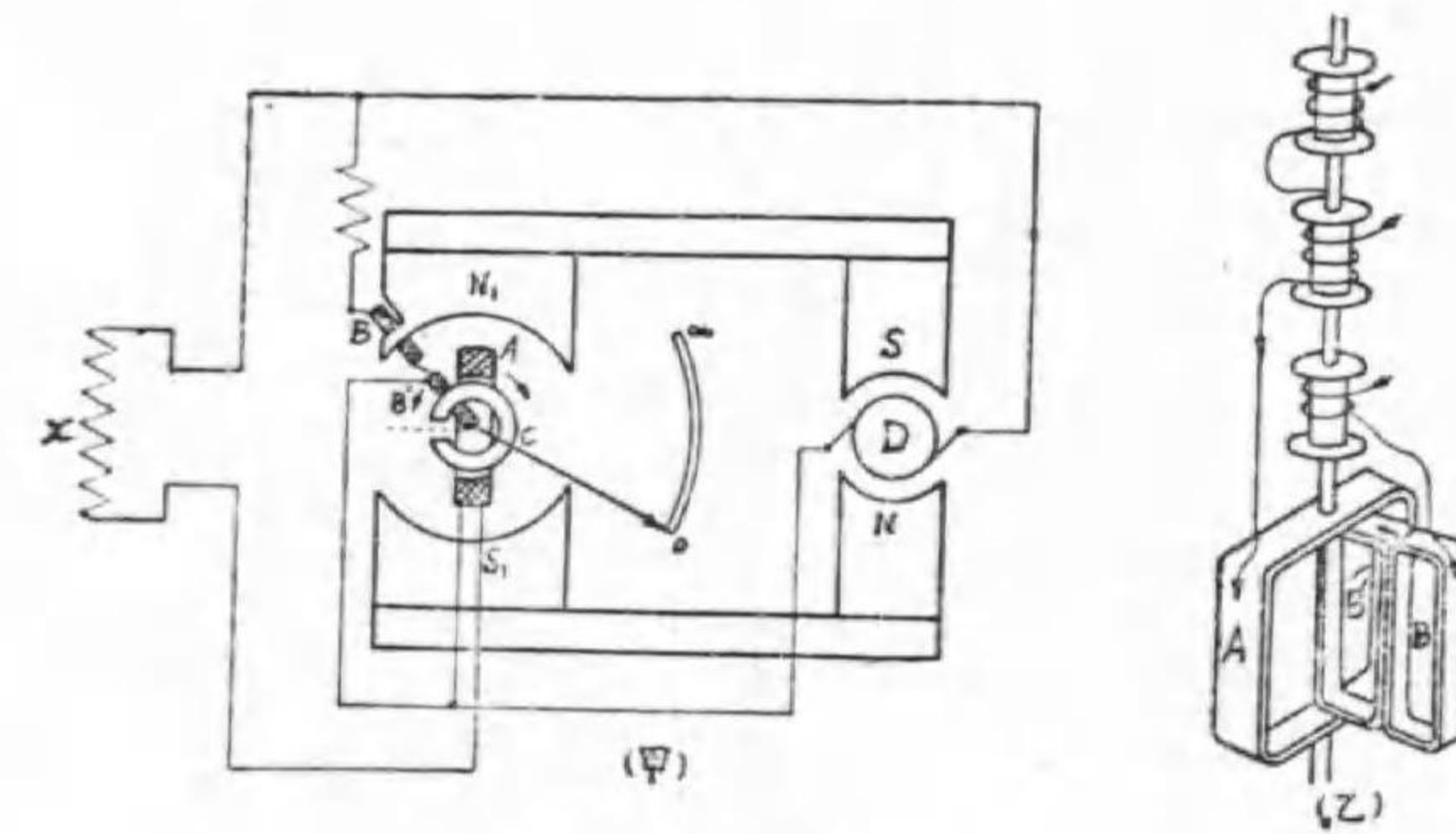


第34圖 電圧計法

来る。電氣機械の絶縁抵抗を測定する場合にも此方法を用ふる事が出来る。即ち一線は機械の導線に他の一線は鐵部に接続す。

(b) エヴァーシエツド メッガー (Evershed megger)……高抵抗殊に絶縁抵抗の値を直接に讀み取る事の出来るメッガーと稱する直讀抵抗測定器がある。

第35圖 (甲) は英國エヴァーシエツド會社のメッガーの原理を示すもので、A は未知抵抗 x と直列に接続せられる電流線輪、B 及 B' は電源に並列に接続せられる電圧線輪である。そして A 及 B B' は乙圖の如く適當な角度を以て軸に固定的に取付けられ、一組の可動線輪を形成し P なる指針が取付けられてゐる。



第35圖 メッガーの原理圖

N_1 及 S_1 の耐久磁石の磁極に此可動線輪の界磁を造る。A の内部に於て B を貫き C なる中空圓柱形軟鐵心がある。C は N_1 及 S_1 の磁界に直角な一部に空隙を有してゐる。そして N_1 は圖の様に切り込まれてそれで B を貫く様に成つており $N_1 S_1$ の他端 NS なる磁極間には發電子 D があつて之を手で廻轉して直流電壓を發生せしめる様

になつてゐる。

次にメッガーの動作を説明すると、BB'には電圧に比例する電流が流れて、圖の位置では之を反時計式に又Aに働く廻轉力の方向はBB'に働く廻轉力と反對の方向即ち時計式方向である。然るにBB'に働く磁界は鐵心Cの切れてゐる部分で最小で時計式に廻轉して行くと段々強くなる。又Aは其如く動く範圍内では磁界は一様であるからAに働く廻轉力はAに通る電流に比例する。故に $x = \infty$ の時にはAの電流は零であるからAに働く廻轉力は零である。従つてBB'に働く廻轉力に依つて反時計式に廻轉する。然る時はBB'に通る電流は一定であつても廻轉力は漸時減少し、BB'がN₁S₁の磁界に直角な位置即ち圖の點線の位置に來た時BB'に働く廻轉力が零となつて可動線輪は其の位置で止る。此時指針が示す位置に ∞ の目盛を置く。

又次に $x = 0$ の時はAとBB'とが電源に並列に接続せられるからAに働く廻轉力に依つて時計式に廻轉する。尤もBB'は之に對して反時計式の廻轉力に與ふるが、 $x = 0$ の場合にAに流れる電流は最大であるからAの廻轉力はBB'の廻轉力より大きく、Aは次第に時計式に廻轉しBB'は又之に伴つて時計式に廻つて行く。而して圖の様な位置で丁度AとBB'とに働く廻轉力が等しくなつて可動線輪はそこで止り此時指針の示す位置に0の目盛を置くのである。

此様にして0と ∞ とを決定すれば其の他の任意の抵抗の場合には其の抵抗に従つてAに電流が流れ、結局AとBB'との廻轉力が或

る點で等しくなる。其點が此の抵抗の値を示すものである。此事は發電子の電圧が多少變化しても電圧と電流の比に關係するのみであるから毫も影響はない。

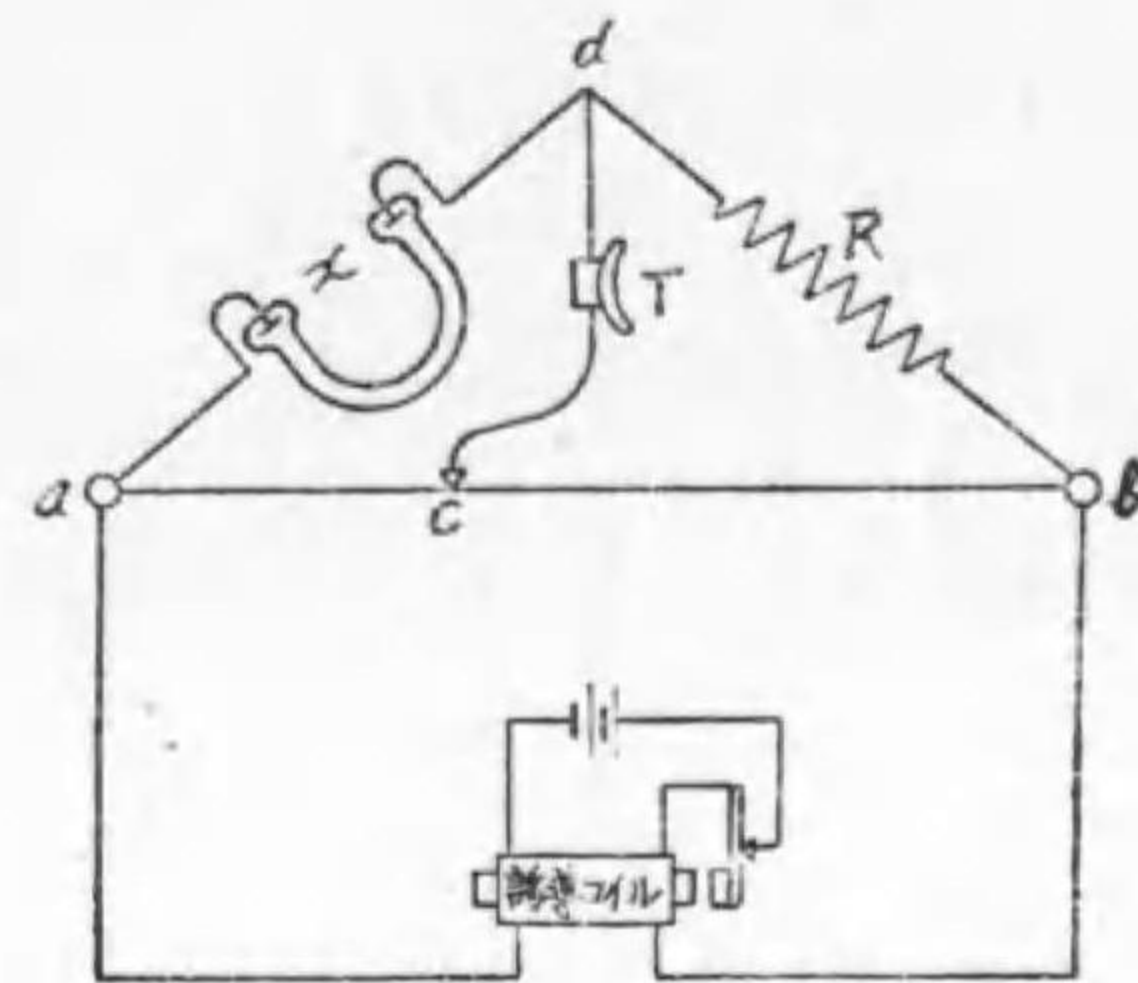
16. 特殊抵抗の測定

(a) 電解液の抵抗測定……電解液と云ふものは電氣の導體たる液體であつて直流が通ると電氣分解作用が伴ふものである。食鹽の水溶液、硝酸銀、硫酸銅等の水溶液は何れも電解液である。之等電解液の抵抗は一般に濃度により異り比重が大なる程抵抗は少くなる。又温度が増すと抵抗が減少する。即ち負(一)の温度係数を有するものである。

電解液に直流を通すと電氣分解作用に依つて極板の所に瓦斯を生じ、此の爲に電流の方向と反對の方向に逆起電力を生ずる。是即ち成極作用(Polarization)に依る逆起電力である。此の現象に依つて電解液の抵抗は普通のホキートストンブリッジによつて測る事は出来ない。即ち成極作用の起らない方法を用ふるか又は測定結果に於て成極作用の影響が除去せらるゝ方法によらねばならない。

此の電解液の抵抗測定に用ふるものにコールラウシュブリッジ(Kohlrausch Bridge)なるものがある。之はホキートストンブリッジの應用であつて第36圖は其の接続を示すもので、電源に交流を用ひ電解液に成極作用を生ぜしめない方法に依るのである。圖に於て交流電源としては可聴周波交流發生装置を用ふ。従つてホキートストンブリッジに於ける如く直流檢流計を用ふる事が出来ない。故に

c及dが同電位なる事を検する爲めに電話受話器Tを用ひるのである。今Rを適當の値に撰び摺動線ab上の接觸子を適當に動かし受話器Tに音の聞えない點（實際に於ては受話器に全く音が聞えない點を見出す事は難かしいので音が最小なる點を平衡點とするのである）を見出せば此場合には電解液の抵抗xは、



第36圖 コールラウシュブリツヂ

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

即ちac間の抵抗とbc間の抵抗の比にRの値を乗すればよい。又電解液の固有抵抗 (Specific resistance) を測定するには極板には白金を用ひた或る形の容器に既知固有抵抗 ρ_s の標準電解液を入れて抵抗 R_s を測り、次に未知抵抗の電解液を同じ容器に充した場合の抵抗 R_x を測定すれば其の電解液の固有抵抗 ρ_x は次式にて得らる

$$\rho_x = \rho_s \frac{R_x}{R_s}$$

標準電解液としては普通は食鹽(NaCl)の飽和溶液を用ふ。

(b) 接地抵抗の測定 (Ground resistance) ……電氣工業に於て保安上種々の目的に接地 (Earth) を行ふ。例へば避雷器、避雷針、架空地線、計器用變壓器の二次線、配電盤用變壓器の低壓側を接地

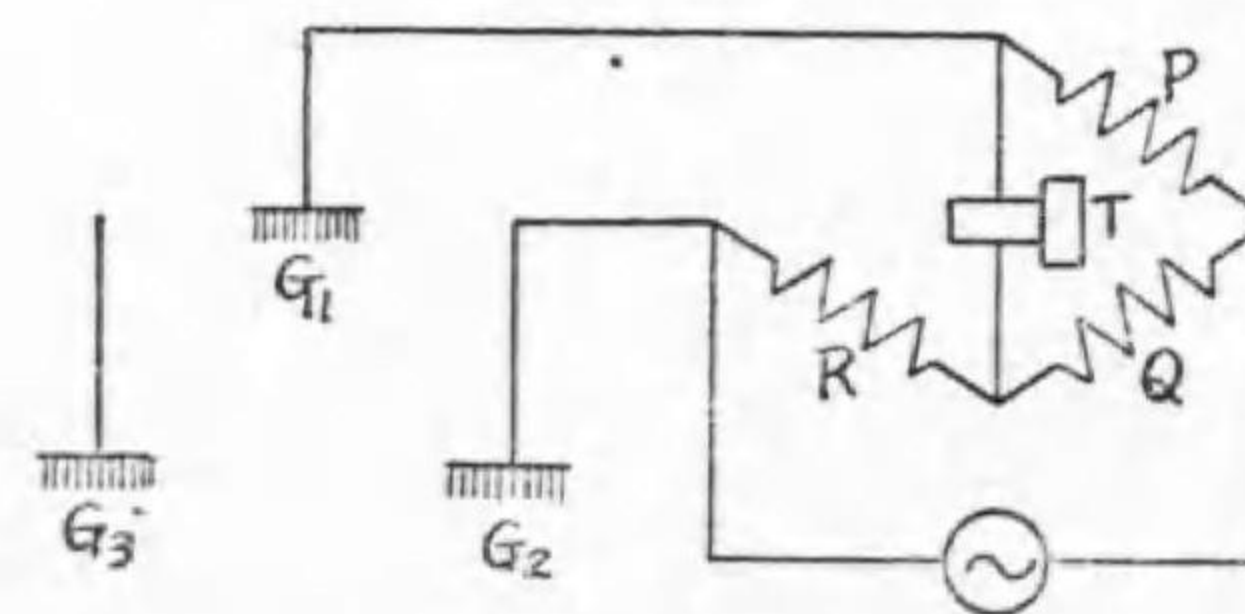
するが如き其の一例である。斯様な場合に完全なる接地を行はなければ保安の目的を達することが出来ない。完全なる接地とは接地抵抗が或る程度以下に小なることである。我國に於ては電氣工作物規定に於て接地に關する事項を定められてある。

然らば接地抵抗とは如何なるものであるかと云ふに通常此等の接地方法としては銅板、螺旋狀に卷いた銅紐或は瓦斯管等を地中に埋設し此等の金屬に相等の太さの地線 (Ground wire) を接續するのであるから此等埋設金屬體を通じ大地に電流を導くのに對する抵抗が接地抵抗或は地板 (Earth plate) の抵抗である。電流は地板より出で廣い大地に擴散するので、大體に於て接地抵抗は地板の附近の小なる範圍にあつて大地其のものゝ抵抗は殆んど之を閑却し得るのである。

此の接地抵抗を測定する方法としては最もよく採用されるのは補助地板を用ひ、コールラウシュブリツヂによつて測定する方法である。

接地抵抗を測定すべき地板の附近に二個の補助地板を假に設け、其内二個を第37圖の如くコールラウシュブリツヂの一邊に接續する

G_1, G_2, G_3 は試験すべき地板及二個の補助地板で三つが正三角形の頂點に當る如く配置するが最もよい。圖の接續では G_1



第37圖 接地抵抗測定接續圖

と G_2 との接地抵抗の和と接続導線の抵抗との和を測定することとなる。次に接続導線を順次接続し替へて $G_2 + G_3$, $G_3 + G_1$ を測定するとして接続導線の抵抗を控除したるものを次の値であるとする。

$$G_1 + G_2 = R_1$$

$$G_2 + G_3 = R_2$$

$$G_3 + G_1 = R_3$$

然るときは

$$\frac{1}{2}(R_1 + R_2 + R_3) = G_1 + G_2 + G_3$$

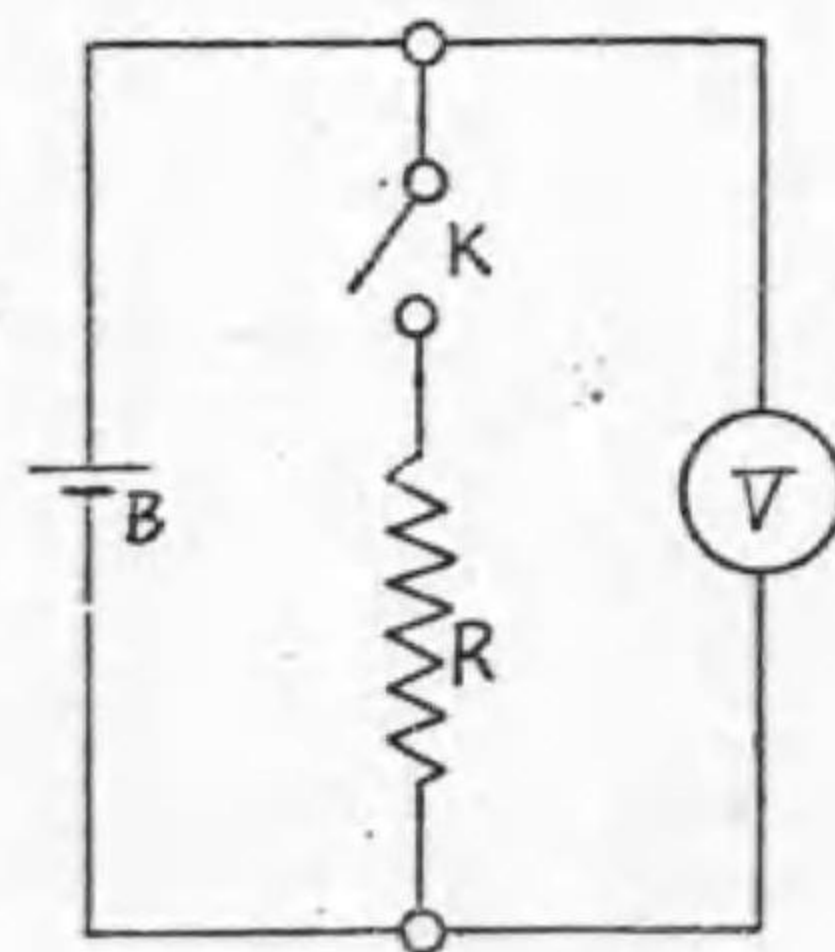
$$G_1 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2 + R_3) - R_2 = \frac{1}{2}(R_1 + R_3 - R_2)$$

$$G_2 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2 + R_3) - R_3 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2 - R_3)$$

$$G_3 = \frac{1}{2}(R_1 + R_2 + R_3) - R_1 = \frac{1}{2}(R_2 + R_3 - R_1)$$

なる式により地板の抵抗 G_1 を求める事が出来る。

コールラウシュブリッジ法を行ふ事の出来ない時は、普通電圧降下法を用ふ。即前述の R_1 , R_2 , R_3 の値を求めるのに交流の電圧計と電流計を以てし、電源には電力線に適當の變壓器を用ひその二次電



第38圖 電圧計法

圧を使用する。この外接地抵抗試験器と稱し迅速且つ便利に接地抵抗を測定し得る器具もある。

(c) 電池の内部抵抗の測定……電池の内部抵抗の測定には色々な方法があるが、普通に用ひられる方法

は第38圖の如く電圧計法であつて工業的近似法である。

即ち抵抗 R 、電圧計 V 及び電池 B を圖の如く接続し、先づ電鍵 K を開いた場合の開電路電圧 E_0 を測定し、次に K を閉ぢ電池を抵抗 R に接続した場合の電池の端子電圧 E を測定する。今電圧計の抵抗は電池の抵抗及 R に比して甚だ大きく、従つて電圧計電流を閉却する事が出来るとすれば、電池の内部抵抗 x は次式によつて求める事が出来る。

$$x = \frac{E_0 - E}{E} R$$

又半傾斜法と云つて第39圖の如く可動線輪型檢流計 G_a 、加減抵抗器 R 電池 B を直列に接続し、先づ加減抵抗器の値を R_1 にした時の檢流計の振れ d を取り、次に檢流計の振れを $\frac{d}{2}$ とする様 R_1 を R に

増加したとすれば、

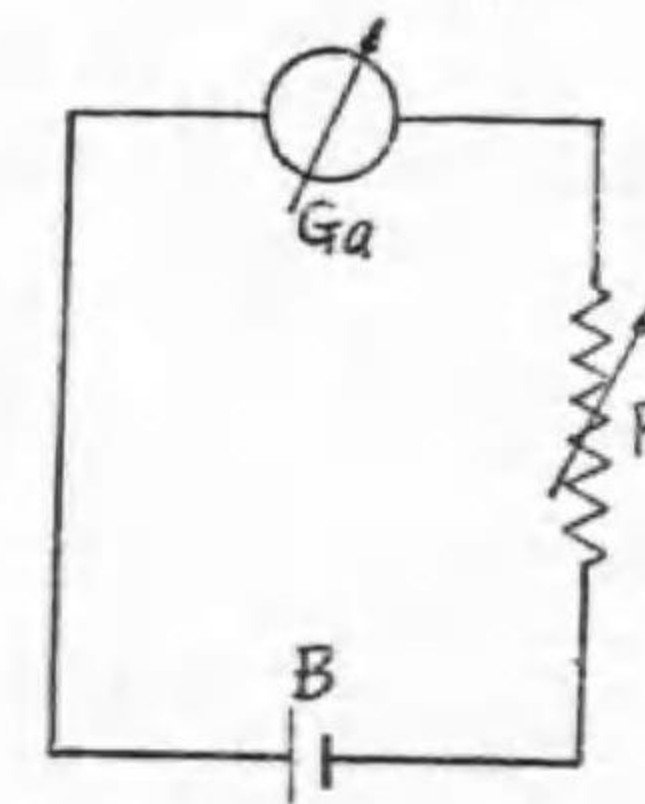
電池の内部抵抗は

$$x = R_2 - 2R_1 - G$$

但し G は檢流計の抵抗とす。

此方法は又檢流計の抵抗測定にも用ひ得る。

其他コールラウシュブリッジを用ふる方法マンス氏の方法等あり。



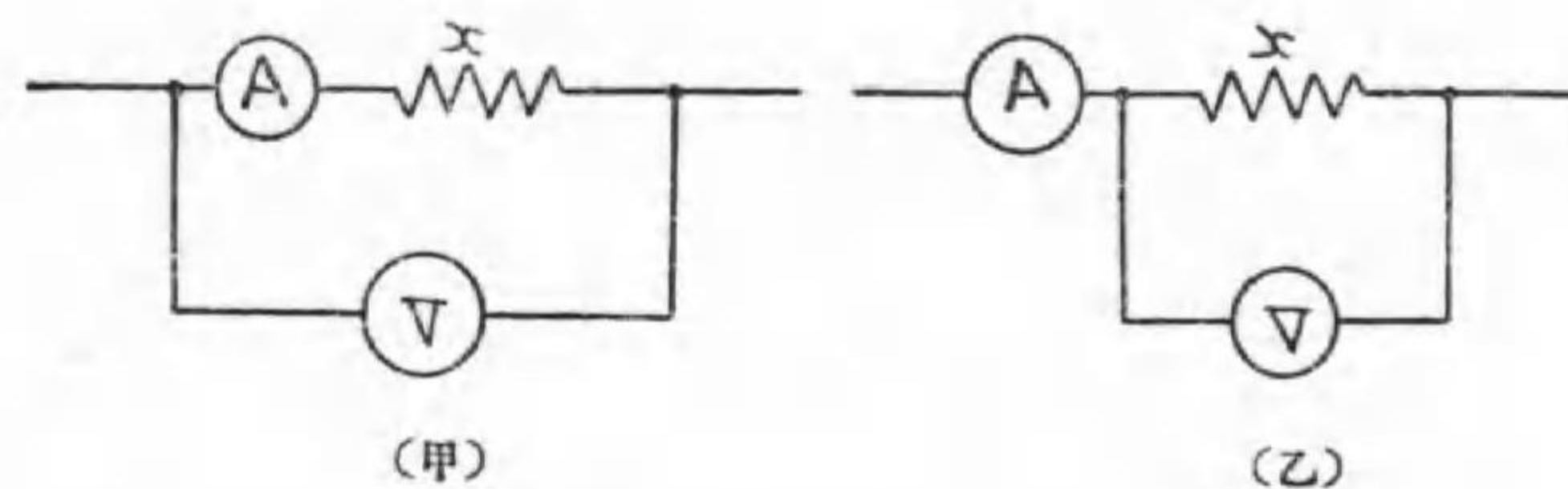
第39圖 半傾斜法

問題

(1) 下記物品の抵抗を測定するに最も適當なる方法を擧げて説明せよ。

- 長さ1米の太き裸銅線
- 電流計の抵抗
- 電圧計の抵抗
- 乾電池の内部抵抗
- 屋内電燈線の絶縁抵抗
- 硫酸銅溶液

- (2) (甲)圖の如く電圧計及電流計を接続し x の抵抗を測定せんとす。電流計の読み、0.5 A 電圧計の読み 2V なるとき x は幾オームか、但し電流計及電圧計は誤差なきものとし電流計の抵抗は 0.12 オームとす。(答 3.88 オーム)



- (3) (乙)圖の如き接続をもつて x なる抵抗を電流計と電圧計を用ひて測定せしに 15 A, 27 V を示せり、而して此電圧計の抵抗甚だ小にして僅かに 20 オームなりしと云ふ。 x は幾オームか。
- (4) 接地せる A, B, C 三個の地板あり、測定の結果 AB 間は 2 オーム B, C 間は 3.5 オーム, CA 間は 2.5 オームの抵抗ありしといふ。各地板の抵抗を求む。
- (5) メツガーはハンドルの廻轉速度が多少異つても其の指示異ならざる理由を説明せよ。

第四章 電力計及電力測定法

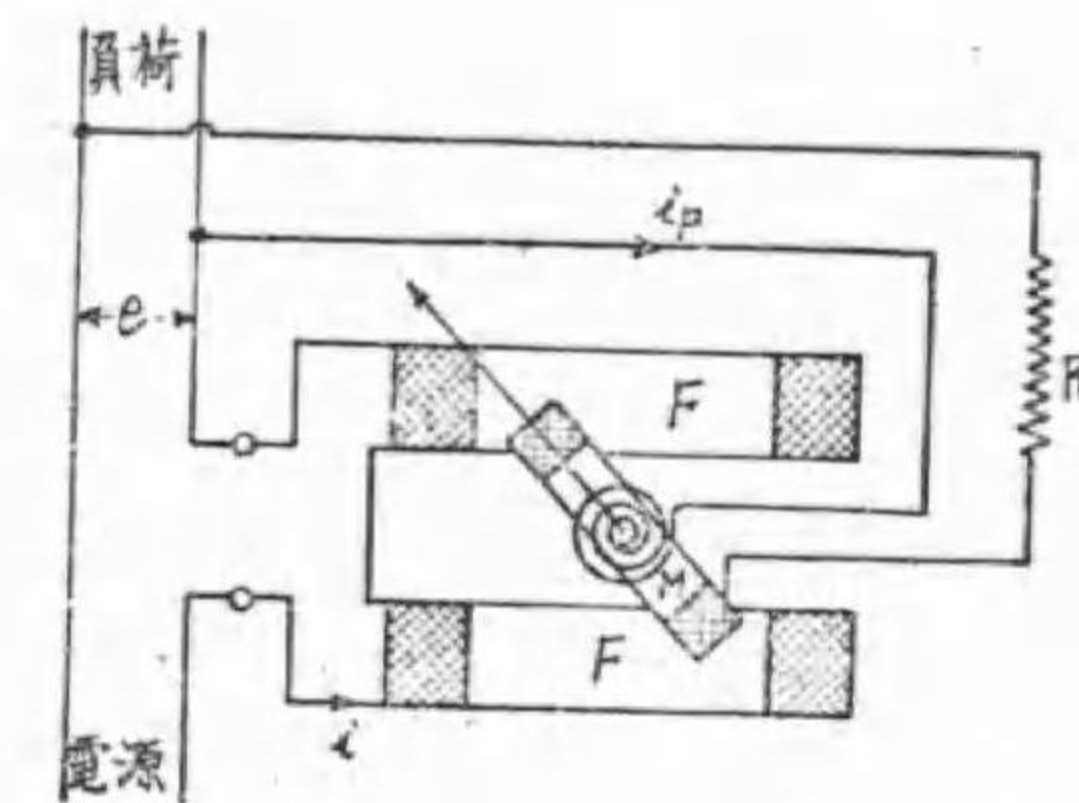
17. 電力計の原理及構造

電力計 (Watt meter) は電力を測定する計器である。電力計には交直兩用の電流力計型、靜電型、熱線型、交流専用の誘導型等種々あるが、茲には最も普通に用ひられる電流力計型について述べる。

第40圖は電流力計型電力計

力計の接続を示す。

即ち固定線輪 F は回路と直列に接続して負荷電流が通る様にし、可動線輪 M は直列高抵抗 R と共に回路に並列に接続して負荷の電圧が加はる様に



第40圖 電流力計型電力計

する。この固定線輪を電流線輪 (Current coil), 可動線輪を電壓線輪 (Pressure coil) といふ。

以上の様にすれば固定、可動兩線輪に流れる電流に依つて動作廻轉力を生ずるから指針が振れる筈である。

今固定線輪中を流れる電流即ち負荷電流が i アムペア、可動線輪中を流れる電流が i_p アムペアであるとするれば (交流の場合は瞬時値) 生ずる廻轉力 τ は兩線輪中の電流の積に比例するから、

$$\tau = K \cdot i_p \cdot i$$

$$\begin{aligned} \tau &= K_1 \frac{e}{R+r} i \\ &= K_2 e i \quad \left(\frac{K_1}{R+r} = K_2 \text{とする} \right) \end{aligned}$$

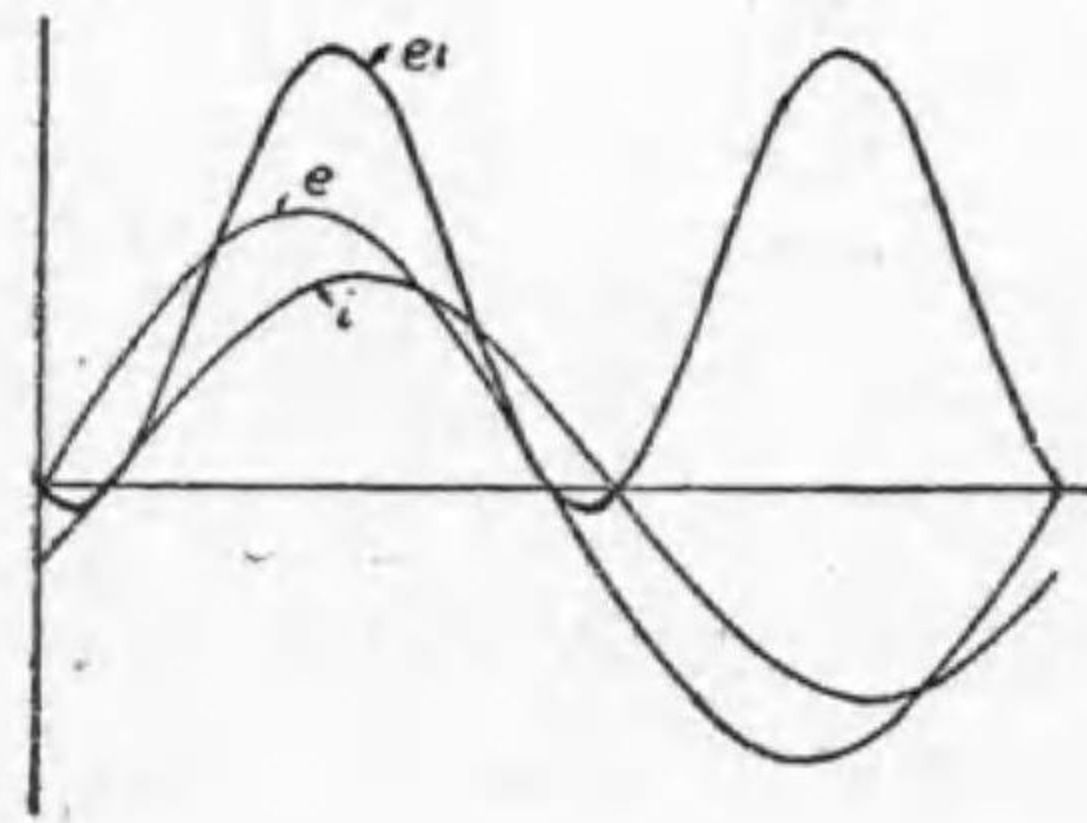
但し r は電圧線輪の抵抗で、従つて $r + R$ は電圧線輪回路の全抵抗を示す。又 e は負荷の電圧で交流なら其瞬時値である。上式から $e i$ 即ち電力に比例した廻轉力が発生することが分る。この廻轉力で電圧線輪が動かされる。

交流の場合には e も i も瞬時値で時と共に變化するから、其積 $e i$ は矢張時々刻々變化する。従つて τ も $e i$ の變化に伴つて變化してゐる値であるが可動部分は相當の慣性があつて、此の廻轉力の變化に伴つて振動する事は出来ない。

結局可動部分は此の瞬間廻轉力の平均の廻轉力を受けたと同様な運動をする。

即ち

$$\text{平均廻轉力 } \tau = K_2 \times (e i \text{ の平均値}) = K_2 \times \text{平均交流電力}$$



第41圖 電力の瞬時値

この廻轉力に依て指針が θ 偏れて静止したものとすれば、制御廻轉力 τ_c は螺旋を使用すれば θ に比例するから、

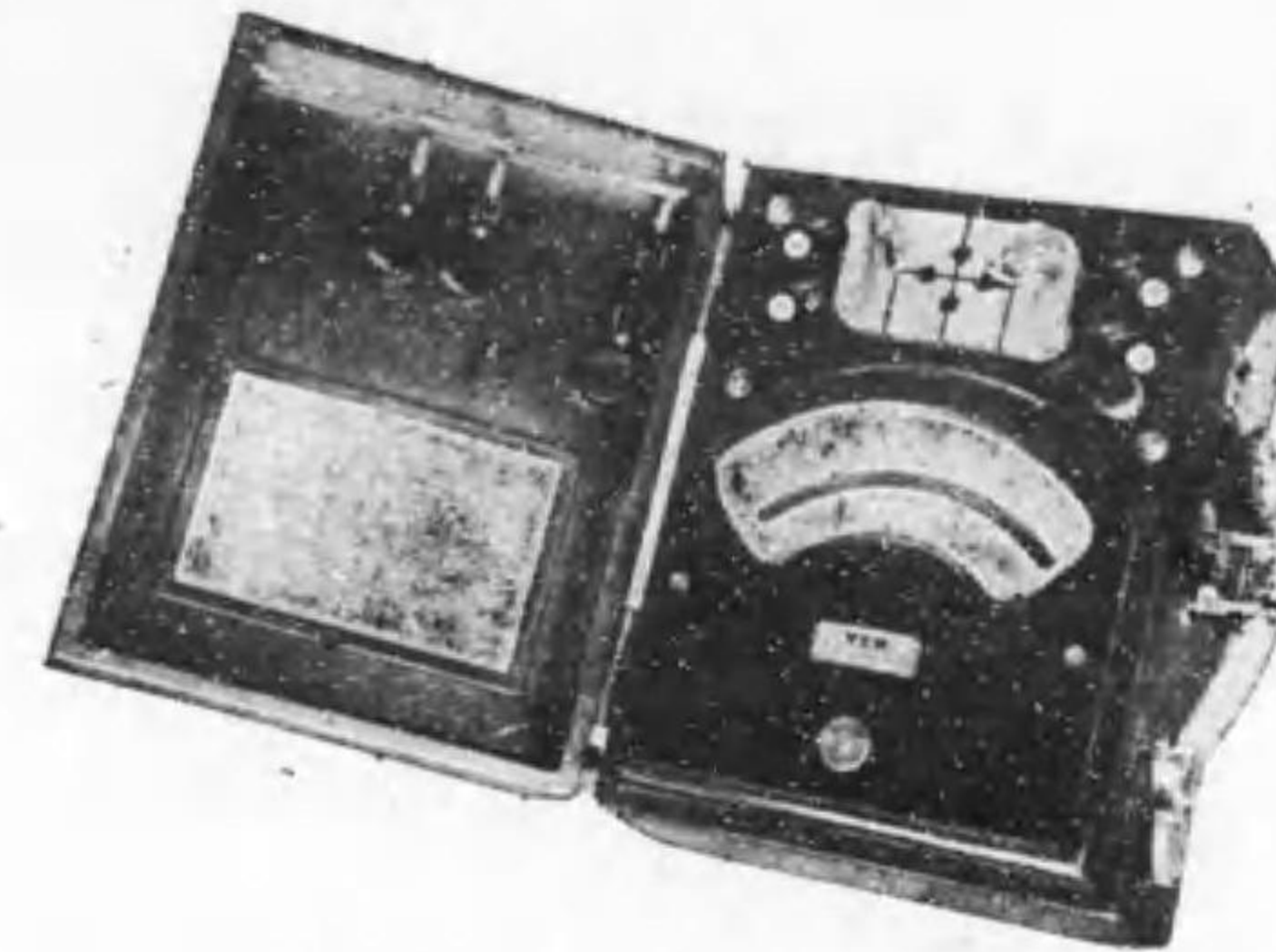
$$\tau_c = K_3 \theta$$

又 $\tau = \tau_c$ でなければならぬ故

$$K_2 \times \text{電力} = K_3 \theta$$

$$\theta = \frac{K_2}{K_3} \times \text{電力} = K \times \text{電力}$$

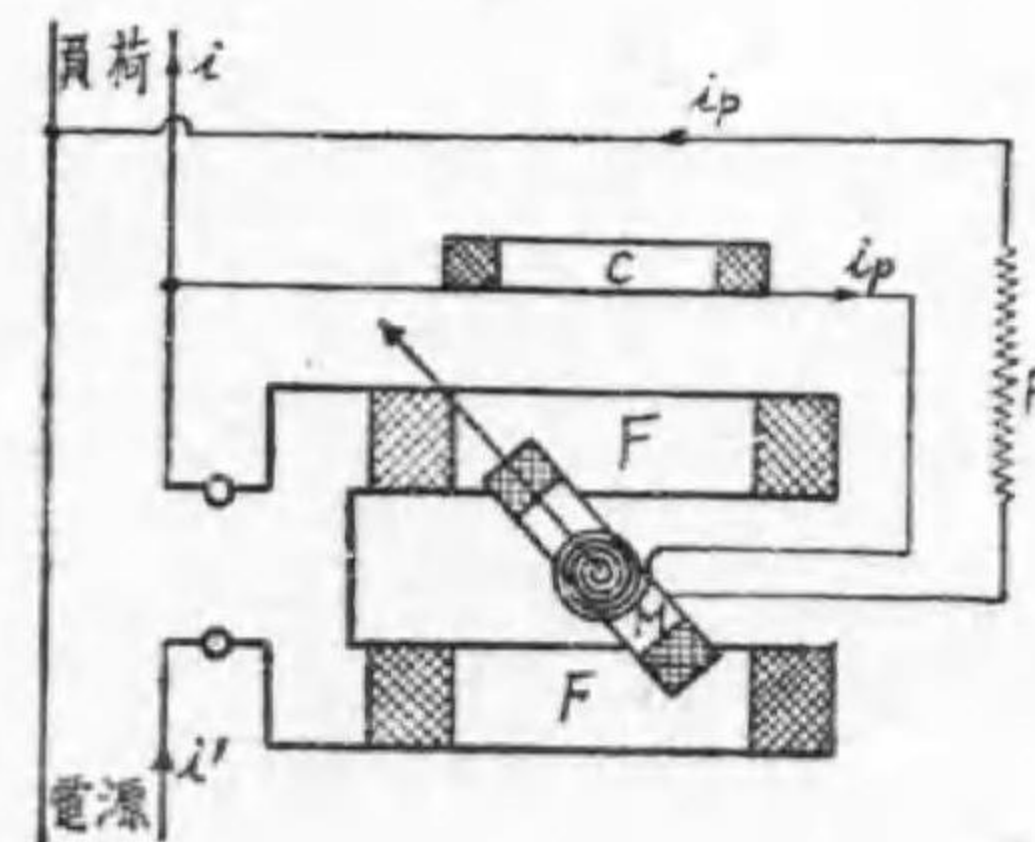
即ち電力の大小に應じて指針が振れるから電力を測定する事が出来る。



第42圖 電流計型電力計

第42圖は電流計型電力計の外見圖である。

今電力計により測定する時第40圖の様な接続では電流線輪を通る電流は、負荷電流の他に電圧線輪中の電流を含んでゐる故この儘では眞の電力と少し違つて来る。



第43圖

此影響をなくする爲に小電力測定用の電力計では補償線輪 (Compensating coil) を備へる。第43圖の C が補償線輪である。

C には i_p が流れるが此の電流の作る磁界は i' の作

る磁界と反対方向である爲、結局電流線輪の作る磁界は $i - i_p = i$ なる電流が作る磁界と同様になるのである。

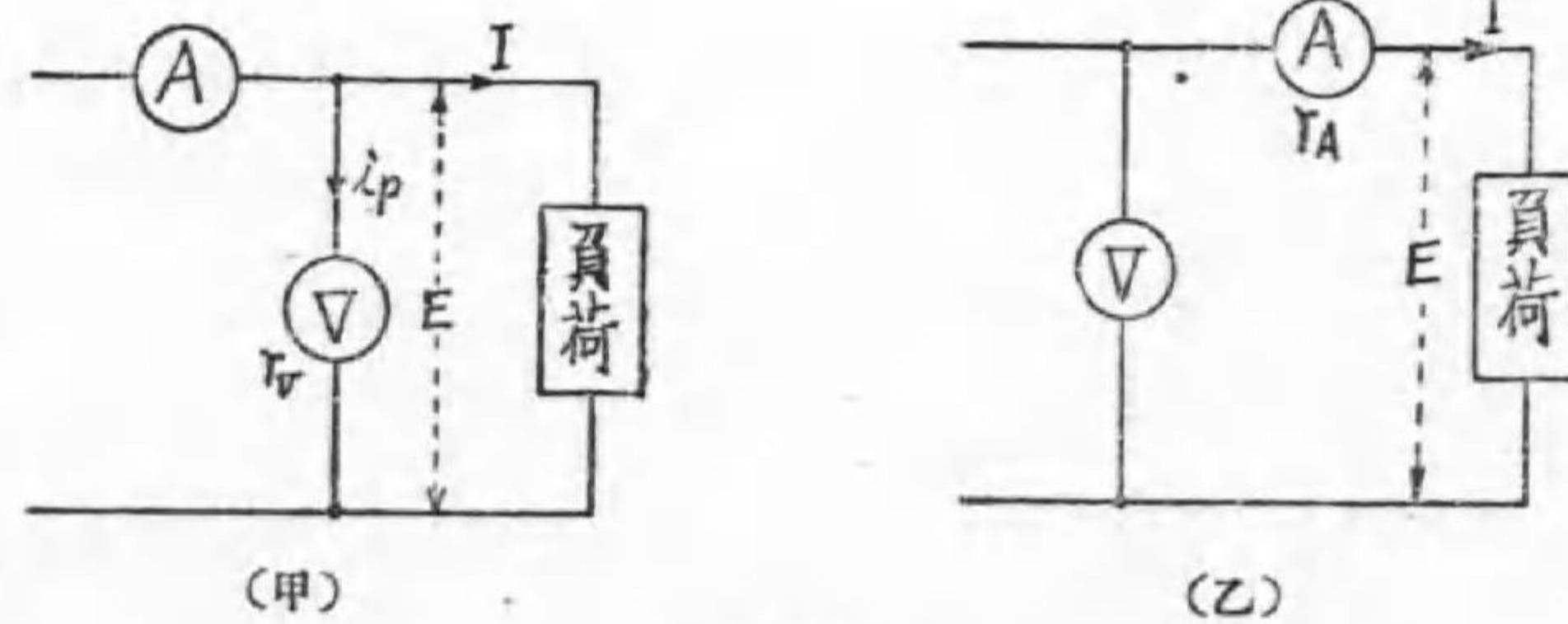
又電力計には測定範囲を擴張する爲に電流の大小に應じ電流線輪を直並列につなぎ變へたり、電壓の大小に應じ電壓回路の直列高抵抗から適當にタップを出してつなぎ變へたり等の方法を用ひる。尙高電壓、大電流の時は變壓器、變流器等と共に使用するのである。

18. 直流電力の測定法

直流電力の測定には前述の電流力計型電力計を用ふれば指針の偏れから直ちに電力を知り得るが一般には電壓計及び電流計を用ひてなす。今或る負荷に E ヴォルトの直流電壓を加へ、 I アムペアの電流が流れる時、直流電力 P ワットは

$$P = EI$$

で表はされる。故に直流電力を測定するには第44圖の如く電壓計 V



第44圖

電流計 A を接続して電壓電流を測定し其の積を求めればよい。

然し乍ら此方法はあまり正確とは云へないのである。何となれば VA の積は負荷の電力の外に甲圖の場合には電壓計に於ける電力損失を、乙圖の場合には電流計に於ける電力損失を含むからである。

即ち

$$\text{甲圖の場合 } VA = E \left(I + \frac{E}{r_v} \right) = EI + \frac{E^2}{r_v} = P + \frac{E^2}{r_v}$$

$$\text{乙圖の場合 } VA = I(E + I r_A) = EI + I^2 r_A = P + I^2 r_A$$

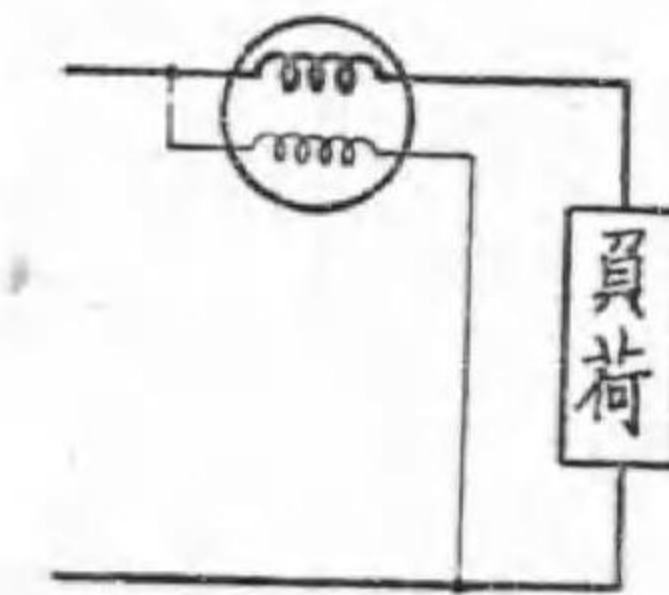
但し r_v, r_A は夫々電壓計、電流計の抵抗とする。

然し一般に r_v は極めて大で r_A は極めて小であるから普通この影響は大したものではない。

19. 交流電力の測定法

(a) 单相電力測定法……一般に電力計を用ひて測定するが、その接続法は第45圖に示す如く電流線輪は回路と直列に電壓線輪は並列にする。

此際指針が目盛のない方へ偏れる事があるが、其時は兩線輪の中何れか一方の接続を逆にすればよい。實際の計器に於ては電壓、電流兩線輪を共通に接続すべき端子に \pm といふ記號を附して分り易い様にしてある。

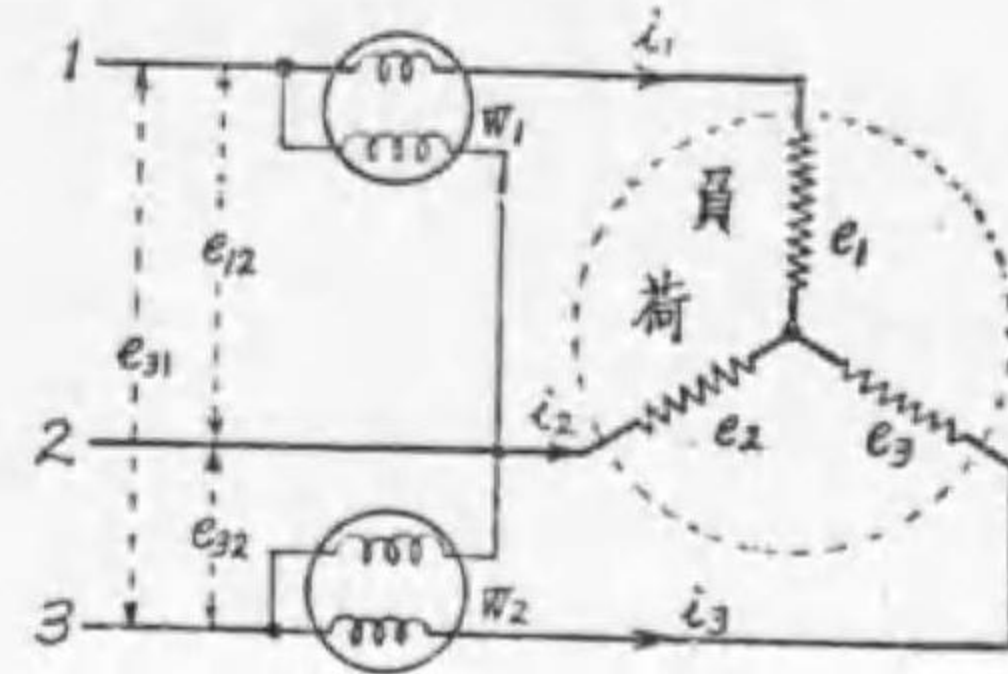


第45圖 单相電力測定法

(b) 三相電力測定法

(イ) 二電力計法

一般に三相電力の測定は単相電力計二個を用ひて測定する事が出来る。即ち第46圖の如く接続すれば兩計器の讀みの和が三相電力となる。



第46圖

この方法を二電力計法 (Two watt meter method) と云ひ、負荷が平衡せると不平衡であるとを問はず又

星形でも三角形でも差支へなく用ひ得られる。

今星形の場合に就てその理論を考へて見るに、各瞬時値を圖に記入した如くであるとすれば

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$\therefore i_2 = -(i_1 + i_3)$$

三相瞬時電力 p は

$$\begin{aligned} p &= e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3 \\ &= e_1 i_1 - e_2 (i_1 + i_3) + e_3 i_3 \\ &= (e_1 - e_2) i_1 + (e_3 - e_2) i_3 \\ &= e_{12} i_1 + e_{32} i_3 \end{aligned}$$

$e_{12} i_1$ は W_1 に加はる瞬時電力で $e_{32} i_3$ は W_2 に加はる瞬時電力である

$$\therefore p = p_1 + p_2$$

故に其平均値に就てもこの關係が成立する故に三相全電力 P は W_1 の讀み P_1 と W_2 の讀み P_2 との和となる。

$$P = P_1 + P_2$$

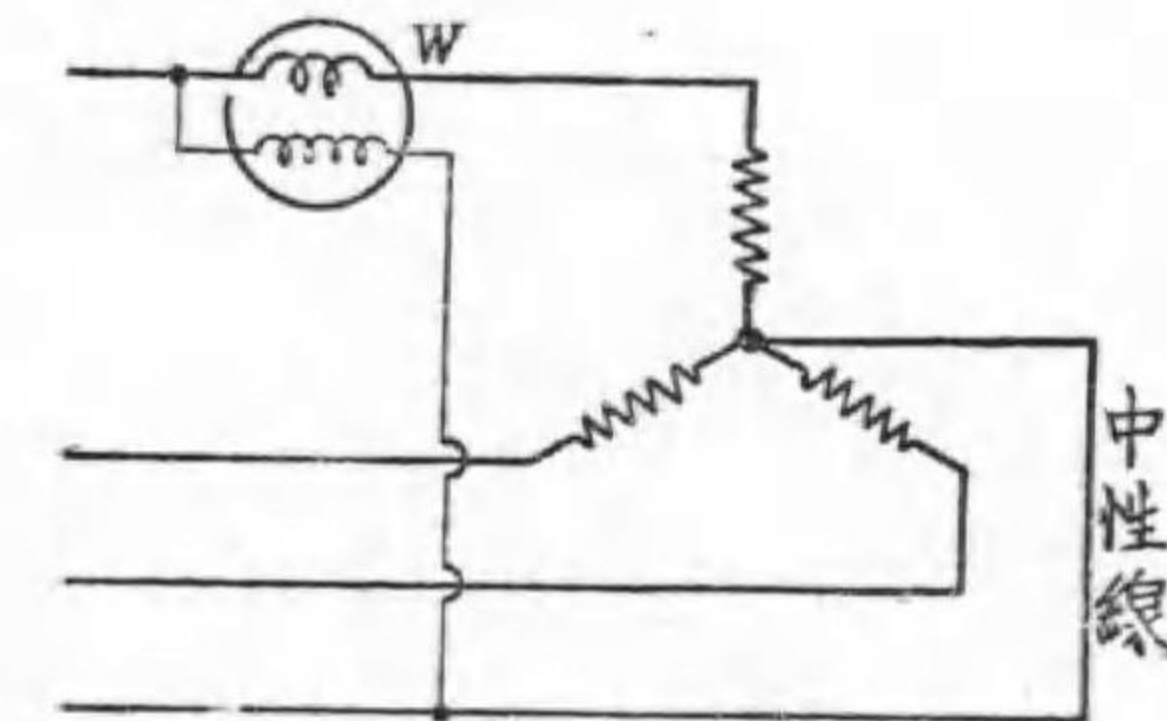
(ロ) 三相電力計法

三相電力計 (Three phase watt meter) を用ふれば指針の偏れから直ちに三相電力を求め得る。この三相電力計は前述の二電力計法を應用したもので、第46圖の接続に於ける二個の單相電力計の要素を同一函内に收め其の可動線輪を同一軸に取附け兩動作装置の廻轉力を同一軸に作用せしめる如き装置に作つた計器で、この場合計器軸の受ける廻轉力は三相電力に比例する事は明かである。

(ハ) 其他の方法

負荷が平衡して居る時は一個の單相電力計を用ひて簡単に三相電力を測定し得る。

(i) 平衡三相四線式の場合電力計を第47圖の如く接続すれば其指示 P_1 は一相の電力に相當する故に三相全電力 P は其の三倍である



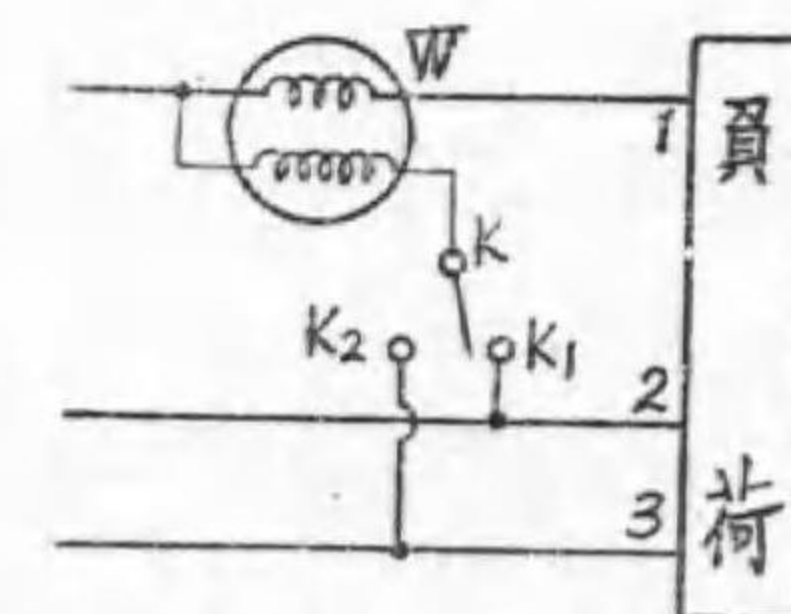
第47圖 平衡三相四線式

$$P = 3P_1$$

(ii) 平衡三相三線式の場合

種々の方法があるがこゝでは切換スイッチに依る方法を述べる。

今電力計 W を第48圖の如く接続し切換スイッチ K を K_1 に入れた時、又 K_2 に入れた時の電力計の指示を夫



第48圖 切換スイッチに依る法

々 P_1 及 P_2 とすれば、三相電力 P は

$$P = P_1 + P_2$$

次に之を證明して見よう。

今12, 23, 31間の各線間電圧 E_{12} , E_{23} , E_{31} のベクトルは第49圖の如く正三角形になる。此線間電圧に對して星形電圧を考へれば其のベクトルは正三角形の中心 O と角頂とを結ぶ E_{10} , E_{20} , E_{30} である。

又各線電流 I_1 , I_2 , I_3 は星形電圧より φ だけ位相が遅れてゐるものとする。今指示 P_1 は E_{12} と I_1 との間の電力である。

$$\begin{aligned} P_1 &= E_{12} I_1 \cos \angle E_{12} I_1 \\ &= E_{12} I_1 \cos (30^\circ - \varphi) \end{aligned}$$

但し $\angle E_{12} I_1$ はベクトル E_{12} とベクトル I_1 とのなす角を表はすものとしたのである。

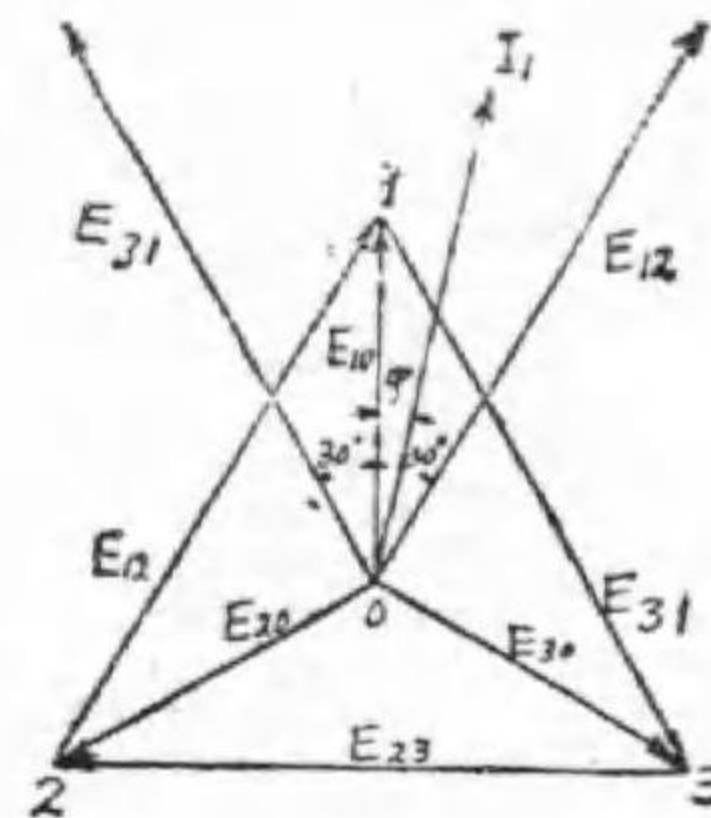
同様に P_2 は E_{13} と I_1 との間の電力である。

$$\begin{aligned} P_2 &= E_{13} I_1 \cos \angle E_{13} I_1 \\ &= E_{13} I_1 \cos (30^\circ + \varphi) \end{aligned}$$

平衡三相式であるから

$E_{12} = E_{23} = E_{31} = E$, $I_1 = I_2 = I_3 = I$ とすれば

$$\begin{aligned} P_1 &= E I \cos (30^\circ - \varphi) \\ &= E I (\cos 30^\circ \cos \varphi + \sin 30^\circ \sin \varphi) \\ P_2 &= E I \cos (30^\circ + \varphi) \end{aligned}$$



第 49 圖

$$= E I (\cos 30^\circ \cos \varphi - \sin 30^\circ \sin \varphi)$$

$$P_1 + P_2 = 2 E I \cos 30^\circ \cos \varphi$$

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

$$= P$$

φ が 60° 以上の場合即ち力率が 50% 以下なる時は P_2 は負となり、指針が目盛のない方へ振れる。此時は電圧線輪をつなぎかへて指示を正ならしめ、 $P = P_1 - P_2$ より求める。

20. 電力計の更正試験

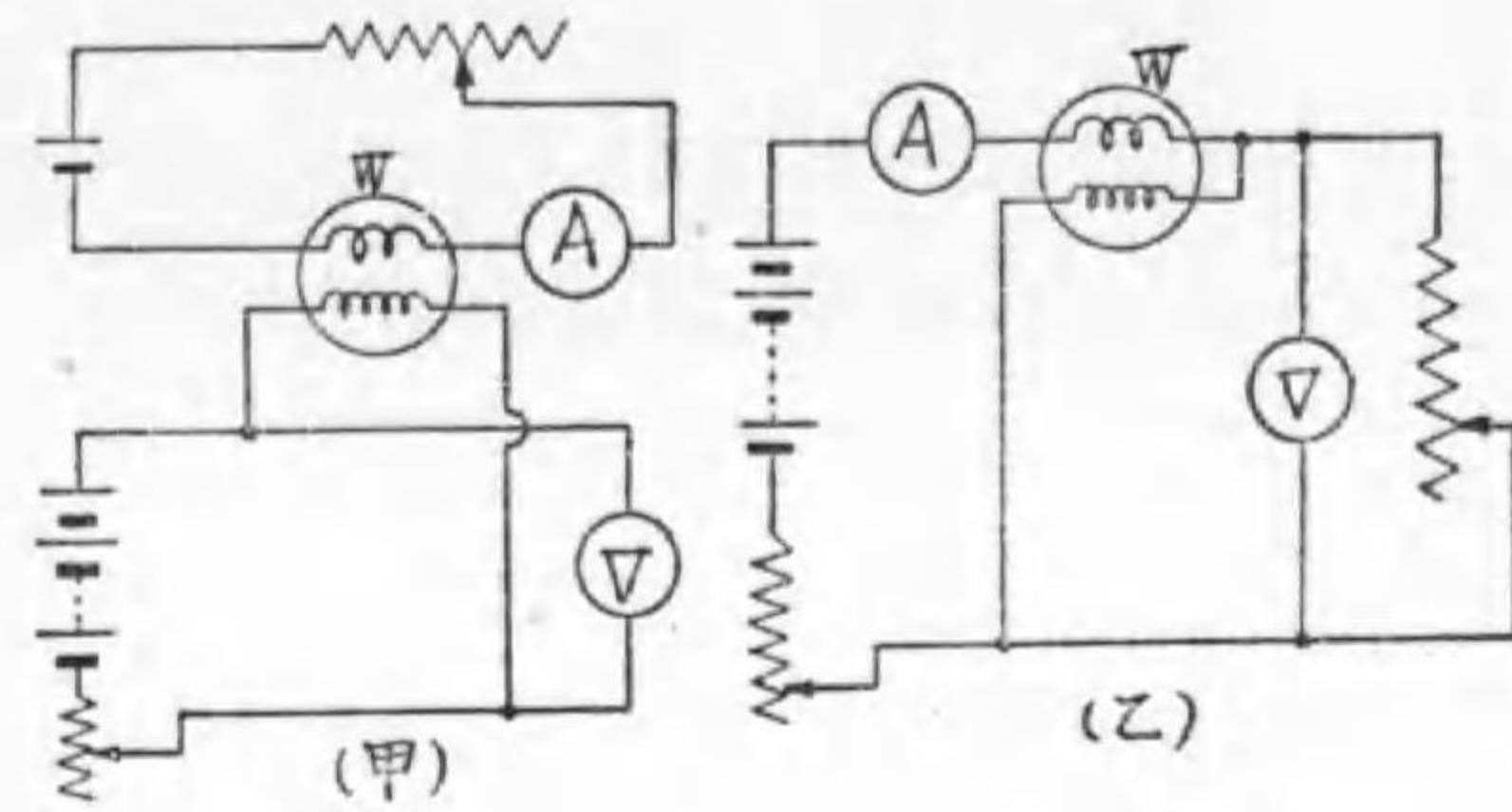
電力計を用ひて電力の精密な測定を行ふ際には、豫め計器の誤差に對する更正を求めて置かねばならぬ。

更正試験は通常虚負荷 (Imaginary load) を用ひて行ふ。虚負荷と云ふのは電流線輪と電圧線輪とを別個の電源から獨立に夫々電流電圧を供給する方法で、かうすれば電源の容量は各線輪内の電力損失を供給し得るだけの大きさがあればよく、然も電力計は其電壓、電流に相當する大電力が加はつたと同じ指示を表はす。但し交流で試験する際は力率の大小に依つて生ずる誤差を見るため電壓、電流間の位相を任意に調整する装置が必要である。このため移相發電機 (Phase shifting machine), 或は位相變成器 (Phase shifting transformer) を用ふ。設備の關係で虚負荷を用ひ得ぬ時は實負荷を使用するのは止むを得ない。

(a) 直流に依る試験……電流計型電力計は直流に對する指示と交流に對する指示とが殆んど變らぬから直流で精密に試験してお

いて、その結果を交流の場合に利用する。

虚負荷、実負荷を用いた場合の接続図を第50圖に示す。茲に使用するV, Aは夫々更正值の知れてゐる直流の電圧計, 電流計である。



虚負荷法 実負荷法
第50圖 直流に依る更正試験

今電力計の読みがPワット, 電圧計, 電流計の読みが夫々Eヴォルト, Iアンペアで其更正值が $a_v\%$, $a_A\%$ であるとすれば,

$$\text{眞の電圧} = E \left(1 + \frac{a_v}{100} \right)$$

$$\text{眞の電流} = I \left(1 + \frac{a_A}{100} \right)$$

であるから

$$\text{眞の電力} = EI \left(1 + \frac{a_v}{100} \right) \left(1 + \frac{a_A}{100} \right)$$

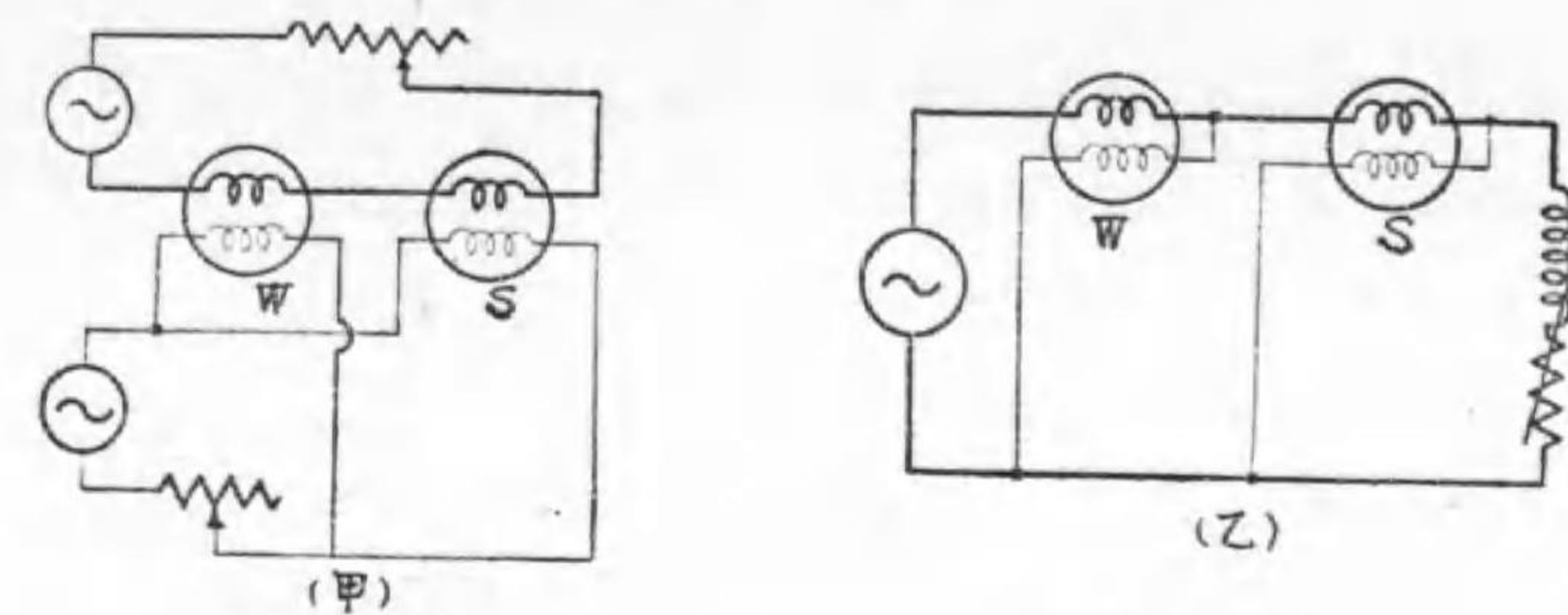
$$\text{電力計の更正值 } a_w = \frac{EI \left(1 + \frac{a_v}{100} \right) \left(1 + \frac{a_A}{100} \right) - P}{P} \times 100$$

$$= \frac{EI \left(1 + \frac{a_v}{100} + \frac{a_A}{100} \right) - P}{P} \times 100$$

(b) 交流に依る試験……誘導型電力計の如く直流で試験し得ぬ

計器は直流で既に試験済みの電流力計型電力計を標準として用ひ交流で試験する。

第51圖はこの場合の接続図を示す。Wは試験される電力計, Sは更正值の知れて居る標準電力計である。



虚負荷法 実負荷法
第51圖 交流に依る更正試験

今夫々の読みがP, P_s で P_s の更正值は $a_s\%$ であるとすれば, Wの更正值 a は

$$a = \frac{P_s \left(1 + \frac{a_s}{100} \right) - P}{P} \times 100\%$$

問題

- (1) 単相電力計あり。電流端子は5アンペア用と, 2.5アンペア用とあり電圧端子は30, 150, 300ヴォルト用とがある。目盛数は150であるとすれば任意の電流端子と電圧端子とを組合せて使用した時, 1目盛は夫々何ワットに相當するか。
- (2) 直流電圧計と直流電流計を第44圖甲の如くつなぎ直流電力を測定せんとし, 100ヴォルト, 0.1アンペアを得たり。電圧計内部抵抗を10000オ

ームとせば電力は幾ワットか。

- (3) 単相電力計に於て電圧線輪、若しくは電流線輪の何れか一方の接続を反対にすると指針が逆方向に偏れる。その理由を説明せよ。
- (4) 負荷が三角接続の時、電力計二つを用ひて三相電力の測定をなし得ることを説明せよ。
- (5) 第48圖の如き接続で三相電力を測定せるに、 W_1 は500ワット、 W_2 は指示が負となつたので、電圧線輪をつなぎかへた處100ワットを示した電力はいくらか。
- (6) 直流虚負荷を用ひて電力計の更正試験を行へり。電力計の指示1キロワットの點に於て電圧100ヴォルト、電流9.8アムペアを示し、電圧計の更正+1%、電流計の更正-2%なりと云ふ。電力計の更正値を求む。

第五章 積算電力計

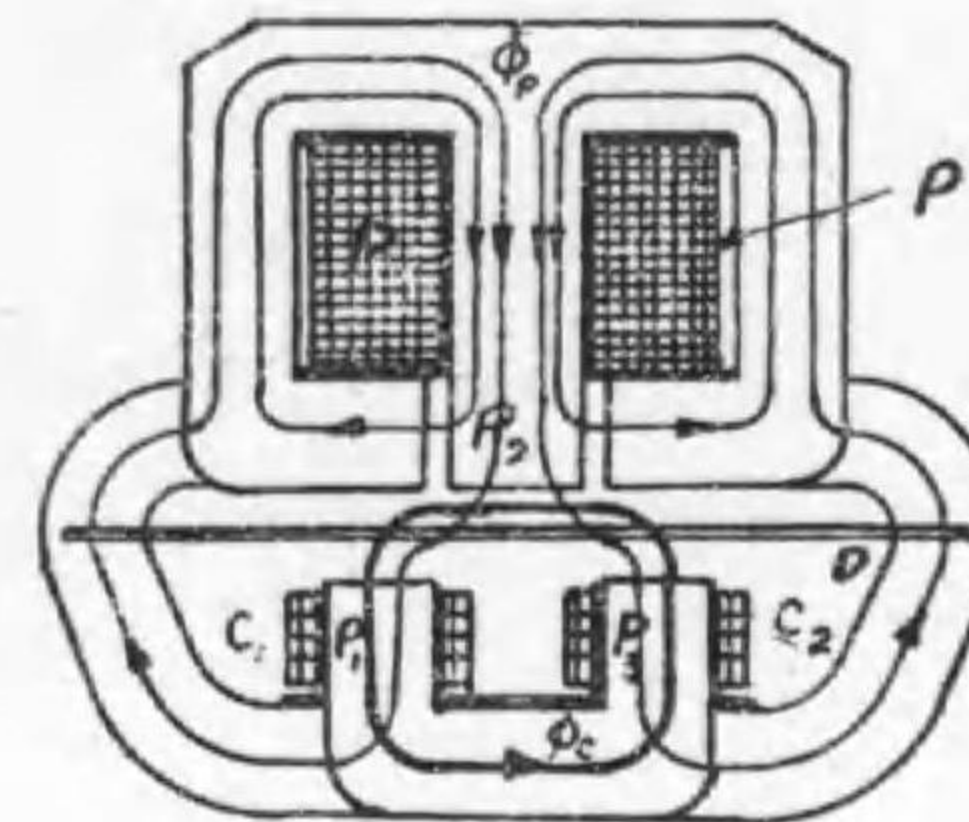
21. 誘導型単相積算電力計

積算電力計 (Watt hour meter 又は Integrating watt-meter) にば次の様な種類がある。

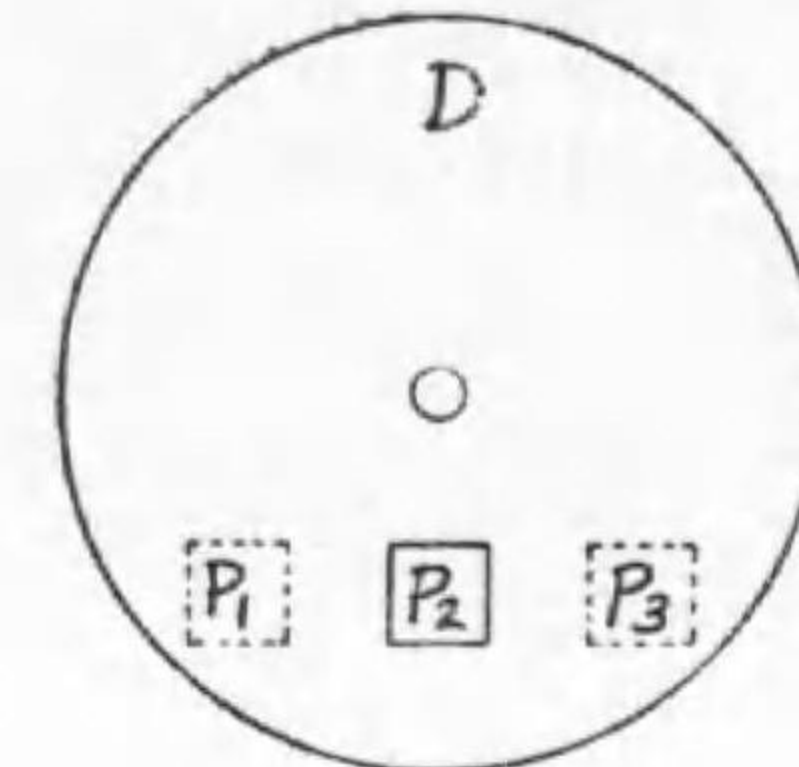
- (1) 整流子電動機型 (Commutator motor type)
- (2) 水銀電動機型 (Mercury motor type)
- (3) 時計型 (Clock type)
- (4) 振動型 (Oscillating type)
- (5) 誘導型 (Induction type)

(1)から(4)までは直流に用ひられ、交流には(5)が専ら用られる。

茲では(5)だけを説明することにした。



第52圖 単相積算電力計の動作装置



第53圖

第52圖は誘導型積算電力の動作装置を示す。

P_1, P_2, P_3 は磁極、 ϕ は電圧線輪、 C_1, C_2 は共に電流線輪で、 D はアルミニウム製の廻轉圓板である。

電圧線輪は測定すべき回路に並列に、電流線輪は直列に接続する。電圧線輪は非常に捲數多く、又其生ずる磁束も圓板を貫く有効磁束の外に鐵心を通るものが多くあつて非常に誘導性である爲勵磁電流の位相從つて磁束 ϕ_p の位相は電壓より 90° 近く遅れて居る。

今負荷回路の力率が1即ち電壓と電流が同相の場合には電流線輪の作る磁束 ϕ_c は電壓と同相になる。即ち P_1 から出る磁束が電壓と同相であるとすれば、 P_3 の磁束は P_1 とは反対方向であるから、 180° 位相が遅れてゐると考へられる。

故に力率1の場合には P_1, P_2, P_3 の磁束は順次に 90° 宛遅れてゐて恰も磁束が $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3$ と移つて行く様な趣きを呈する。即ち移動磁界が出来る。故に此磁界によつて圓板に生ずる渦流と磁界との作用に依り圓板に廻轉力が發生する。此廻轉力は勿論 ϕ_p, ϕ_c の大きさ

に比例するから結局電圧、電流に比例することになる。

次に力率零即ち電流と電圧の位相が 90° 異なる場合は P_2 の磁束は P_1 、 P_3 の何れかと同相になつて前の様に移動磁界を生じない。只交番磁界があるだけで従つて平均廻轉力は零になる。此の様に圓板に働く平均廻轉力 τ は回路の力率にも関係があつて、全體として電力 P に比例する。

$$\tau = K_1 P$$

此の廻轉力に依つて圓板は廻轉するが、圓板の他の部には制御用の耐久磁石が作用して制御廻轉力を生ずる。此制御廻轉力 τ_c は圓板の廻轉速度 N に比例する。

$$\tau_c = K_2 N$$

圓板の廻轉速度が一定になつた状態に於ては

$$\tau = \tau_c$$

$$\therefore K_1 P = K_2 N$$

$$N = \frac{K_1}{K_2} P = K P \quad \left(\text{但} \frac{K_1}{K_2} = K \text{とする} \right)$$

即ち圓板の廻轉速度 N は負荷回路の電力に比例する故に時間 t を乗すると、

$$Nt = K P t$$

Nt は t なる時間中に廻轉した圓板の總廻轉數、 Pt は其時間中の積算電力で、兩者は此様に比例する。

故に或る時間中の總廻轉數を知れば、其時間中の積算電力の値を求めることが出来る。實際の積算電力計では圓板の廻轉數を適當な齒車仕掛からなる處の計量装置で計量し指示させるのであるが、其

際總廻轉數の代りに其れに相當する KWH の値を示させる様にしてある。

位相調整装置……前述の如く ϕ_p は電圧より 90° 近く位相が遅れてゐるが此位相差を完全に 90° とする爲に、第54圖の様な**位相調整装置** (Phase adjustment) を設ける。

S は電圧磁極 P_2 に捲かれた小線輪で可變抵抗 r を接続する。

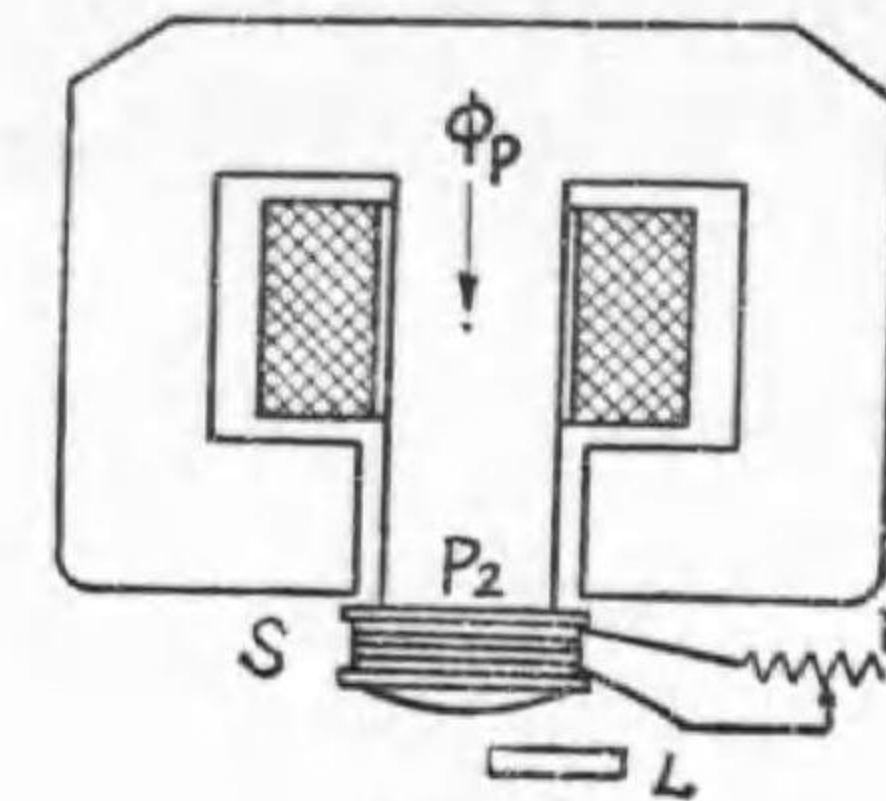
かうすると S に發生する電流の反作用で ϕ_p の位相が遅れその程度は r を増減し

て加減出来る。位相調整装置がないと誤差が大となる。

輕負荷調整装置……軸承其他の摩擦の爲に計器の指示は稍少くなる様な影響を受ける。此の影響は電流が少い時程大きく或る程度以下の電流では計器が働かなくなる。之を防ぐ爲に電圧線輪の下に銅片を置く。第54圖の L がそれで即ち L は ϕ_p を移動磁界とする様な働きをなし圓板に廻轉力を與へる。 L の位置を適當に調整すれば其の廻轉力が摩擦の影響を打消す。

之が**輕負荷調整装置** (Light load adjustment) でこの働きが過度になると無負荷でも圓板が廻轉して了ふ。之を**潜動** (Creeping) と云ふ。潜動は絶対に避けねばならない。

輕負荷調整と位相調整とを同一の装置で行ふ計器もある。



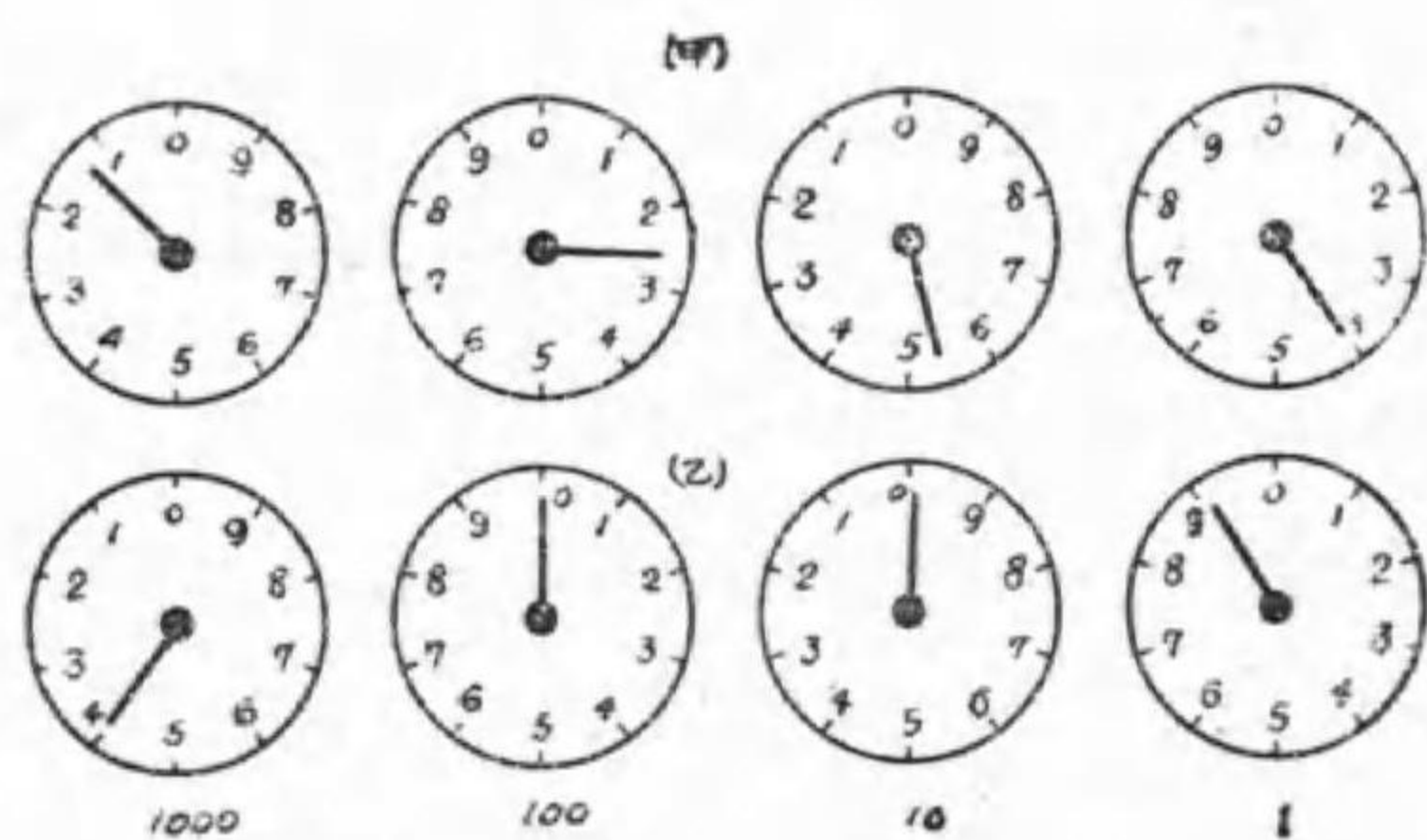
第54圖

位相及輕負荷調整裝置

重負荷調整装置……全負荷に於て計器の廻轉速度が適當な値になる様にすることを重負荷調整装置 (Full load adjustment) と云ふ。

之を行ふには制御用耐久磁石の位置を變へるか又は鐵片で磁氣分路 (Magnetic shunt) を作り其の磁氣の強さを加減する。かうすれば制御廻轉力の大きさが變るから圓板の廻轉數を適當な値に調整することが出来る。

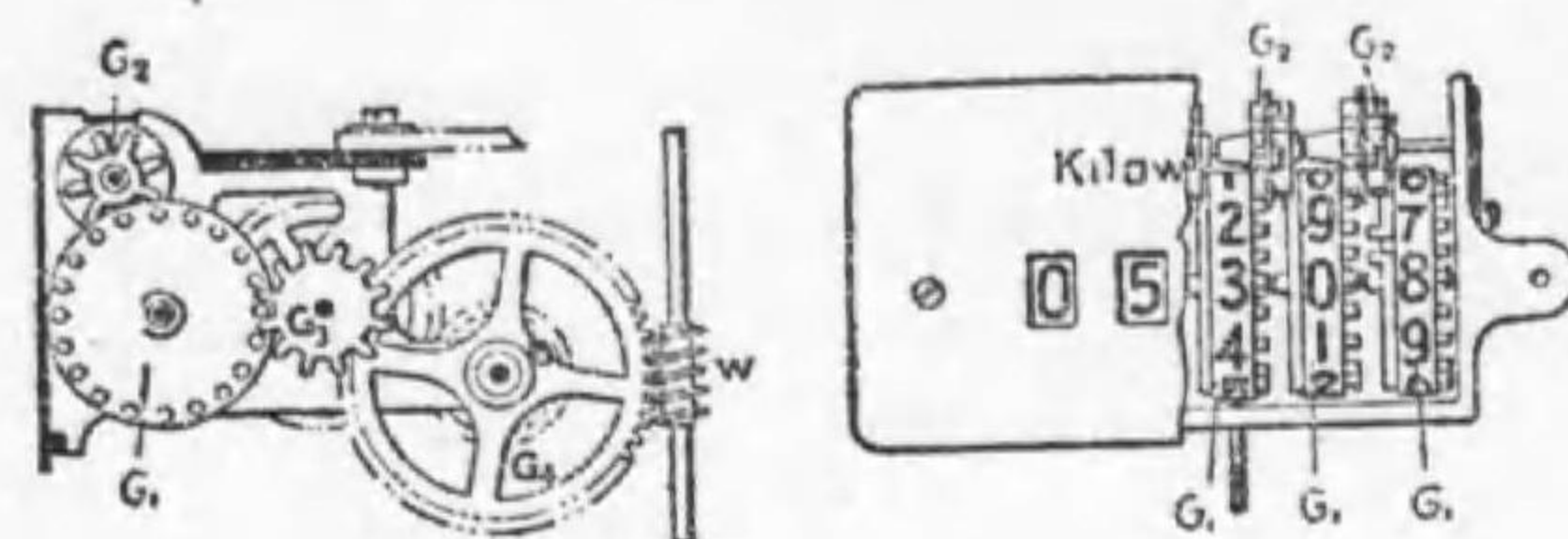
計量装置……之には指針型 (Pointer type). 現字型 (Cyclometer type) の二種類がある。



第55圖 指針型

指針型は第55圖の如くで最右の指針は最小桁例へば、0.1KWH或は1KWHを示し、左のものは順次に2桁目3桁目を示すのである。甲圖は1254KWHを示し乙圖は3999KWHを示してゐる。

現字型は第56圖に示す様に KWHの値が直接數字で計量盤に現れる。各數字は躍動式 (Jump type) になつて居て數字が半分隠れたり又は二つの數字が見るといふ様な事の無い様にしてある。

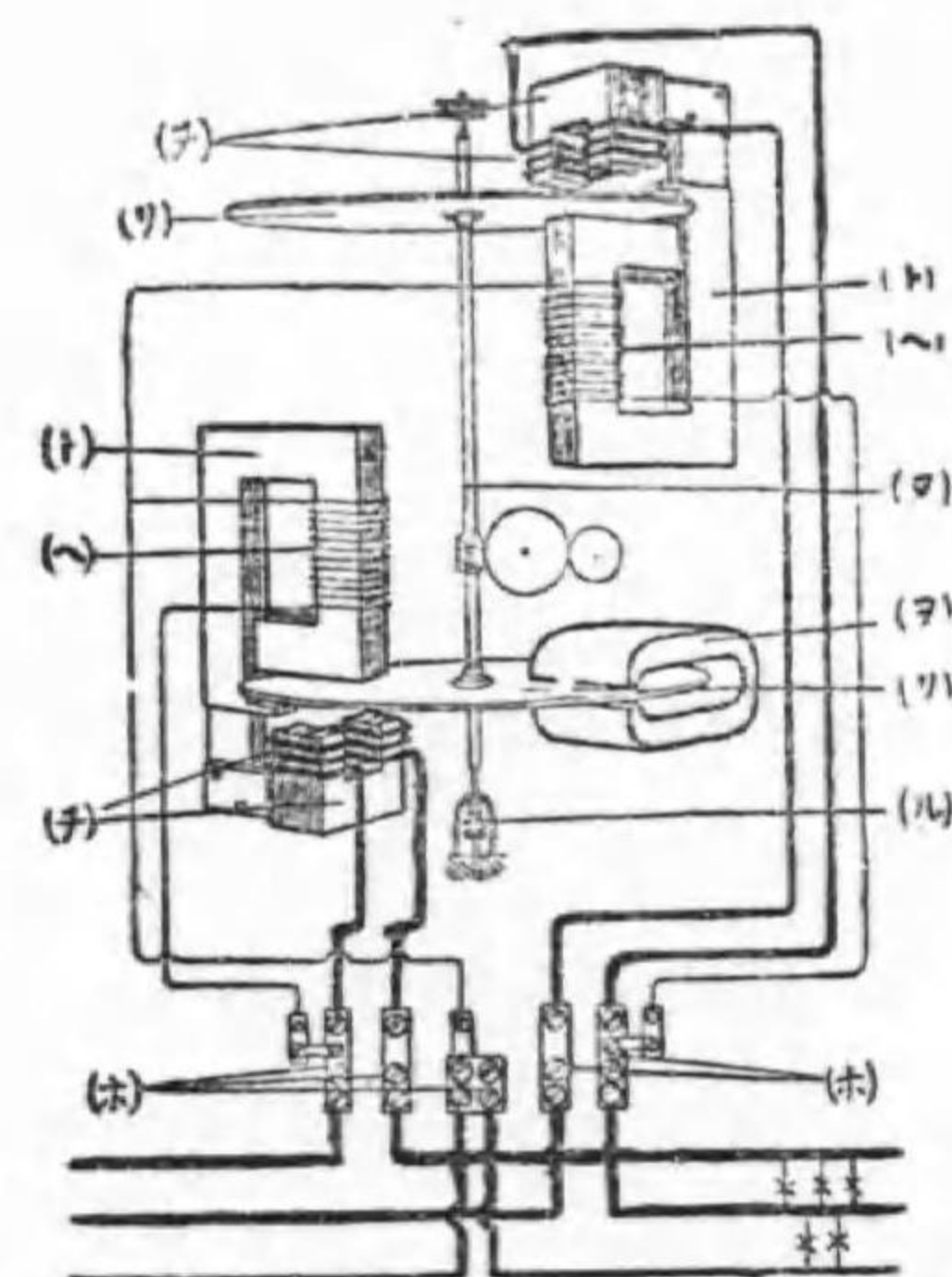


第56圖 現字型

22. 三相積算電力計

第67圖は三相積算電力計の構造及接続を示す。

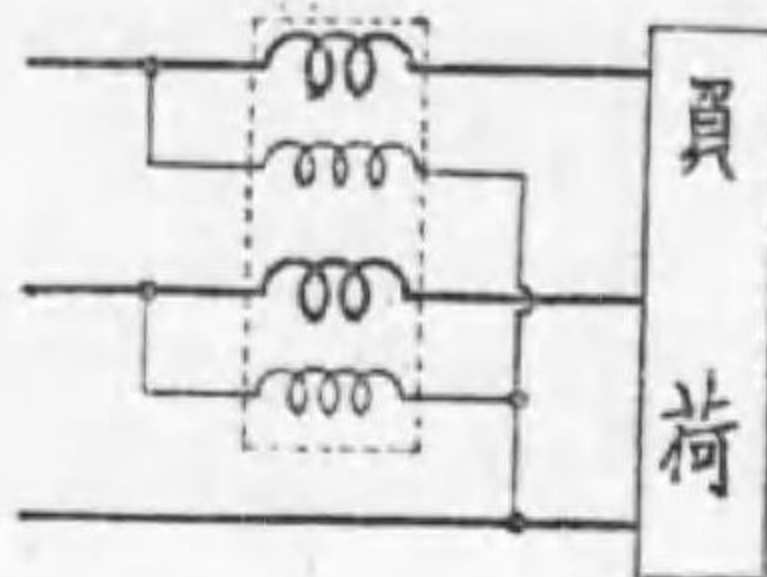
之は单相積算電力計と同様な働作装置が上下に二個あつて兩者の出す廻轉力は計器の同一軸に作用するから軸は兩者の合成に等しい廻轉力を受ける。接続法は第58圖に示す如くで二電力計法で三相電力を測定する時の電力計の接続と



- | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|
| 4 外 | 鏡 | リ | 回 | 轉 | 圓 | 板 |
| ロ | 支 | 持 | 又 | 圓 | 板 | 石 |
| ハ | 端 | 腕 | ル | 螺 | 旋 | 付 |
| ニ | 子 | 前 | ヲ | 制 | 動 | 磁 |
| ホ | 電 | 流 | ワ | 同 | 磁 | 石 |
| ヘ | 電 | 流 | 力 | 輕 | 負 | 荷 |
| ト | 電 | 流 | ヨ | 位 | 相 | 調 |
| チ | 電 | 流 | タ | 「 | キ | ロ |

第57圖 三相積算電力計

同じである。かくすれば三相電力計の場合と同様に軸働く合成廻轉力は三相電力に比例する。



第58圖 三相積算電力計の接續

23. 積算電力計の更正試験

積算電力計は電力の賣買に使用されるから其の誤差は一定の値以下でなければならぬ。我國では誤差の範圍は $\pm 3\%$ 以内に定められてゐて逓信省電氣試験所又は電氣協會で行ふ檢定に合格したものでなければ使用が出来ぬ。

積算電力計の誤差の大きさはいつも一定ではなく、電流、電壓、力率、周波数が規定の値より變化すると其れに應じて變化する。従つて其試験も之等が或程度變化して然も誤差が一定の限度を超へない事を確めねばならぬ。尙波形周圍溫度、計器の取付方、使用年月に依つても影響を受ける。

積算電力計の試験は勿論交流で行ひ、電力計の場合と同様に虚負荷を使用し、標準計器としては電力計又は標準積算電力計を使用する。

どの積算電力計にも試験定數 (Testing constant) が記載してある之はKWHで記された計器の目盛と圓板の廻轉數との間の關係を示す數である。

此關係は種々な表はし方があるが、其一つとして圓板の1回轉に相當するワット時の値を示したものがあつた。

今此様な試験定數が K_1 ワット時/回轉である計器に P ワットの電力をかけて N 廻轉させれば、計器の指示する全體の積算電力は $K_1 N$ ワット時 $=3600 K_1 N$ ワット秒である。

故に其電力をかけて居た時間、即ち N 廻轉するに要した時間 T は理論上

$$T = \frac{3600 K_1 N}{P} \text{秒}$$

である筈である。そこで實際に試験を行ひ N 廻轉するに要する時間をストップウォッチで測定する。其の際計器にかゝる電力が常に P ワットであるやうに標準電力計を見乍ら調整しておく。

實際に要した時間が t 秒であるとすれば、眞の積算電力は Pt ワット秒であるから、計器の百分率誤差 β は

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{3600 K_1 N - Pt}{Pt} \times 100\% \\ &= \frac{\frac{3600 K_1 N}{P} - t}{t} \times 100\% \\ &= \frac{T - t}{t} \times 100\% \end{aligned}$$

實際は標準計器にも誤差があるから、其更正值 $\alpha\%$ を考慮して

$$\beta = \frac{T - t}{t} \times 100 - \alpha$$

とせねばならぬ。

試験定數の他の一つの表はし方として、1KWHに對する廻轉數 K_2 が用ひられる事がある。此場合の T は

$$T = \frac{1000 \times 3600 N}{K_2 P}$$

試験定数のもう一つの表はし方は、全負荷に於ける1分間の廻轉數 K_3 を用ふ。此時には

$$T = \frac{N \times 60}{K_3}$$

誤差の計算式は初めの場合と全く同じである。

標準積算電力計を使用する方法は、試験計器が一定廻轉を行ふ間に標準計器が何廻轉を行ふかを調べて、之から誤差を求めるのである。この爲標準積算電力計には1廻轉以下の分數を精密に讀取り得る様になつてゐる。

問題

- (1) 積算電力計の電流線輪のつなぎ方を逆にしたら如何なる結果を來すか
- (2) 或る需要家に取付けられた積算電力計が9月末、10月末11月末に夫々9951KWH, 9987KWH, 22KWHを示した。この需要家が10月中、11月末中に消費した電力量は夫々いくらか。
- (3) 試験定數0.25ワット時/廻轉の積算電力計が500ワットの電力の許で50廻轉するに87%秒を要したと云ふ。誤差は何%か。
- (4) 100ヴォルト5アムペア用、試験定數0.25ワット時/廻轉の積算電力計あり。定格電壓、定格電流、力率50%の時25廻轉するに92秒を要せりと云ふ。誤差は何%か。
- (5) 試験定數4000廻轉1キロワット時の積算電力計あり。標準電力計の指示500ワットの時50廻轉するに89%秒を要せりと云ふ。誤差を求む。但し標準電力計の更正值は-1%とす。

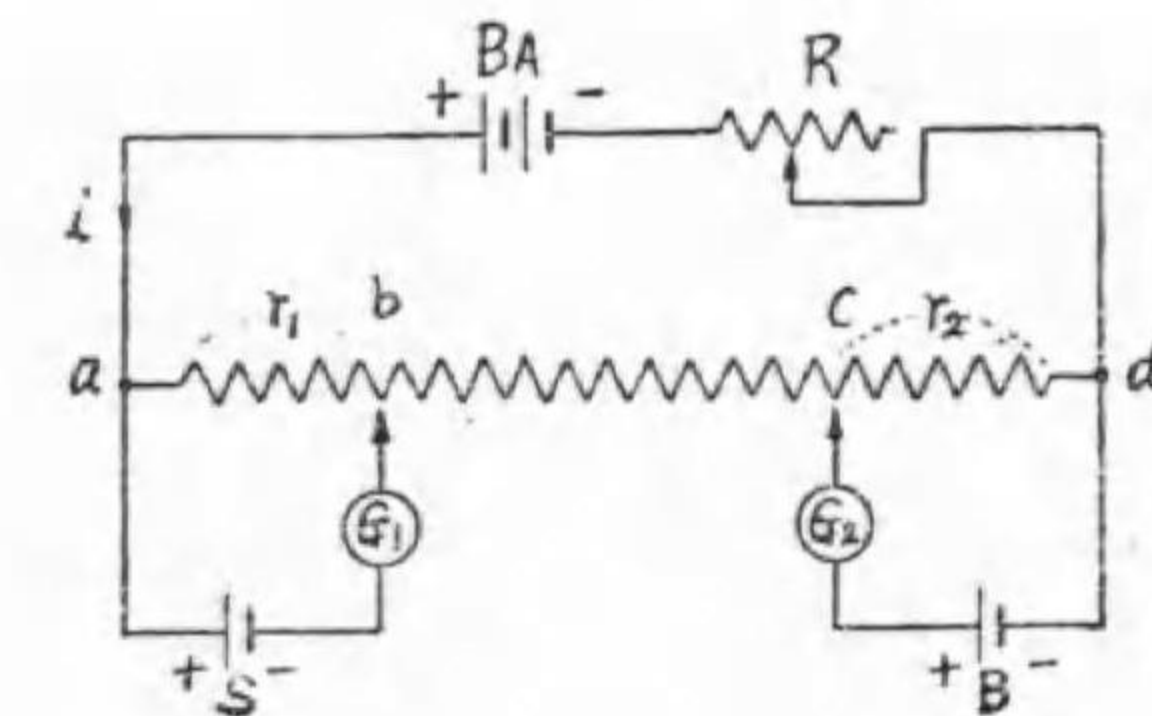
- (6) 100ヴォルト、6アムペア用積算電力計の試験定數が全負荷に於ける1分間の廻轉數 20 で表はされてゐる時之を他の表はし方に換算したらいくらになるか。

第六章 特殊計器

24. 直流電位差計

直流電壓を簡単に測定するには電壓計を用ふればよい。併し電壓計を接続すると僅かであるが電壓計にも電流が流れて、測定すべき回路の状態が變つて了ふから電壓を精密に測定する事が出来ない。直流電位差計は測定すべき回路より電流を取らずに、極めて精密に直流電壓を測定する場合に用ひられる。

第59圖は電位差計の原理を示す接続圖である。圖に於て B_A は測定用補助電源、 R は加減抵抗器、 G_1 、 G_2 は檢流計、 S は標準電池である。



第59圖 電位差計の原理圖

今 B なる電池の起動力を測定するものとする。 ad 間の抵抗は精密に抵抗値の知れて居る可變抵抗である。先づ c なる接點を離しておいて、 R を調整し G_1 が偏れなくなる様にしたものとする。此の場合には B_A からの電流 i は其儘 ad 間を流れ、 ab 間の電壓降下は標準

電池の電圧 E_a に等しい。a b 間の抵抗を r_1 オームすると

$$E_a = i r_1 \dots\dots\dots (1)$$

次に電流 i を不変に保つておいて、b の接点を離し c の接点を接触させ、 G_2 が偏れなくなる處まで、c 點を移動したものとす。cd 間の抵抗を r_2 オームとすると、此場合も B_A からの電流は i で其儘 ad を流れ、cd の電圧降下 $i r_2$ は測定すべき電池の電圧 E に等しい。

$$E = i r_2 \dots\dots\dots (2)$$

(1), (2) より

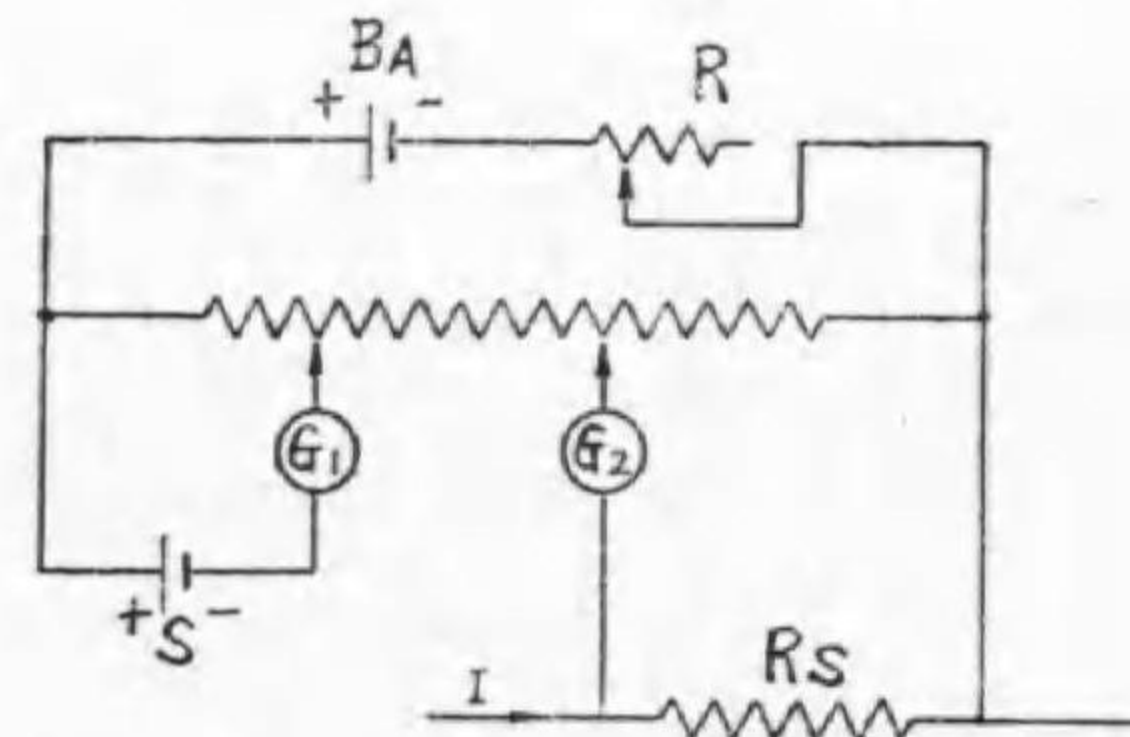
$$E = E_a \frac{r_2}{r_1}$$

此様に測定すべき回路から全く電流を取らずに標準電池の電圧と r_1, r_2 なる抵抗とで E の値を知る事が出来る。

電位差計と標準抵抗器を使用すれば電流の測定も出来る。第60圖の如く測るべき電流を標準抵抗器 R_s に通じ、 R_s の兩端の電圧を電位差計で測る。之が E ヲルトならば

$$E = I R_s$$

$$I = \frac{E}{R_s} \text{ アンペア}$$

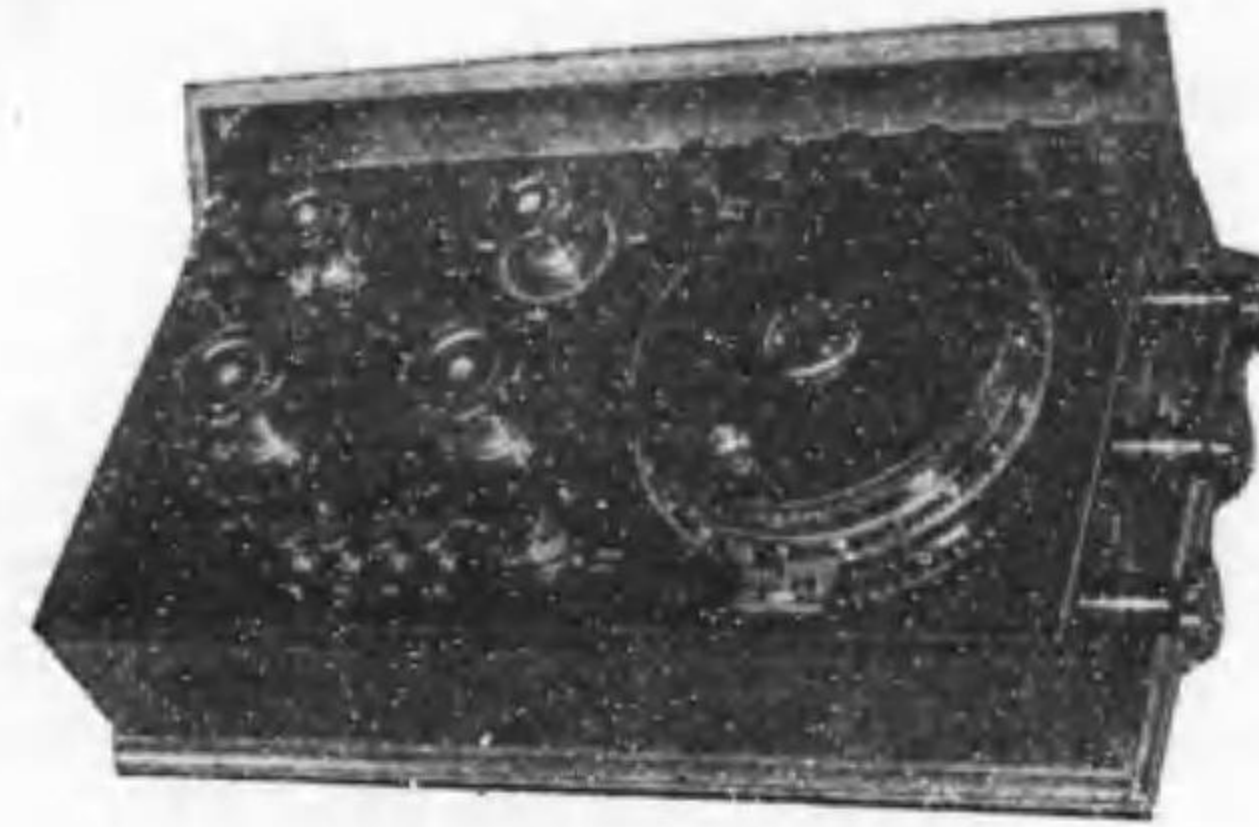


第60圖 電流の測定

電圧、電流の測定を組合せると電力の測定も出来る。更に標準抵抗と未知抵抗とを直列につなぎ之に電流を通じて夫々の兩端の電圧を電位差計にて測定すれば未知抵抗の値をも算出し得る。

此の様に電位差計は種々なる電氣的量を精密に測定出来るので、非常に應用の範圍廣く精密測定には缺くべからざるものである。

第二章11節及び第五章20節に述べた計器の更正試験の際にも標準計器として電位差計を用ふれば更に精密な結果を得る。



第61圖 電位差計

第61圖は精密な電

位差計で小數點以下數桁まで正確に測定し得るものである。

25. 直讀オーム計

本器は指針の振れより直接未知抵抗の値を読み取るもので數種あり、茲ではラヂオ受信器等に使用される高抵抗を測定する簡單なものについて述べる。

第62圖は接續圖の一例にして、

- MA……ミリアンメーターに抵抗の目盛を施せるもの。
- R_1, R_2, R_3 ……固定抵抗。
- R ……可變抵抗。

- B4.5ヴォルト乾電池。
- S₁, S₂.....測定範囲を變へるスイッチ。
- T₁, T₂未知抵抗接續端子。

より成る。其原理とする所は端子 T₁, T₂ に接續する未知抵抗 X に依り、ミリアンペアを流れる電流 i の變化を利用して X の値を知るものであつて、X と i との関係は、

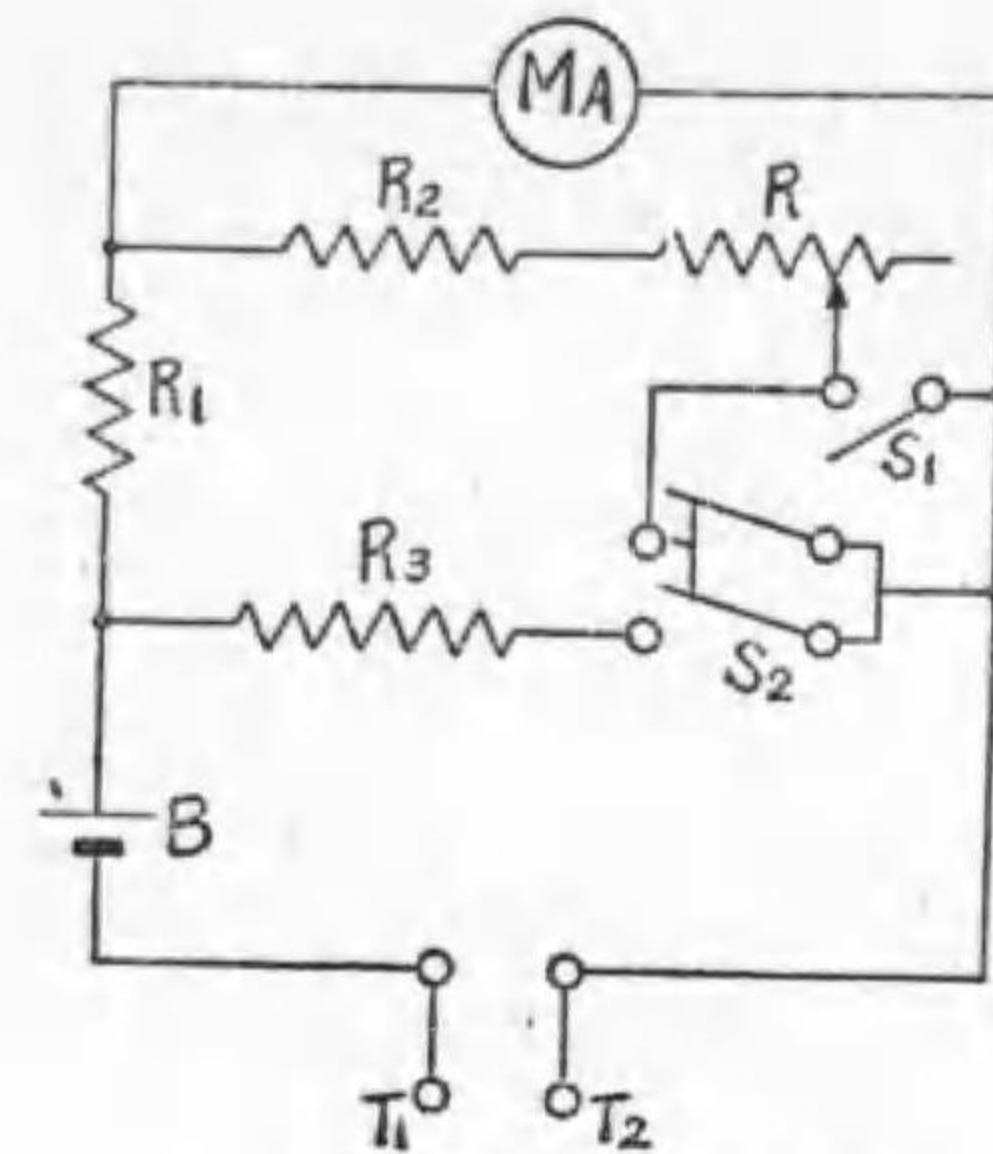
$$X = K \left(\frac{1}{i} \right) - A$$

K, A は常數

となる。従つて X が大なる程 i が小となり一目盛の幅は狭くなる。測定範囲は大約 0~100,000 オーム程度である。

本器に依つて抵抗を測定せんとするには先づ、スイッチ S₁ を入れ次に端子 T₁ 及び T₂ を短絡するとメーターの針が振れる。可變抵抗 R を調整して針が目盛の零點に来る様にする。次に T₁, T₂ の短絡を外し、未知抵抗 X を接續すれば、その時の指針の読みは X の値を表はす。

スイッチ S₁ を開き S₂ を閉ぢると測定範囲を目盛の十分の一にする事が出来る。



第62圖 直讀オーム計接續圖

26. 力率計

直接力率を測定する計器を力率計 (Power factor meter) と云ふ。併し力率を測定するには必ずしも力率計を必要としない。例へば電力計、電圧計、電流計を用ひて夫々電力 P, 電壓 E, 電流 I を測定すれば、

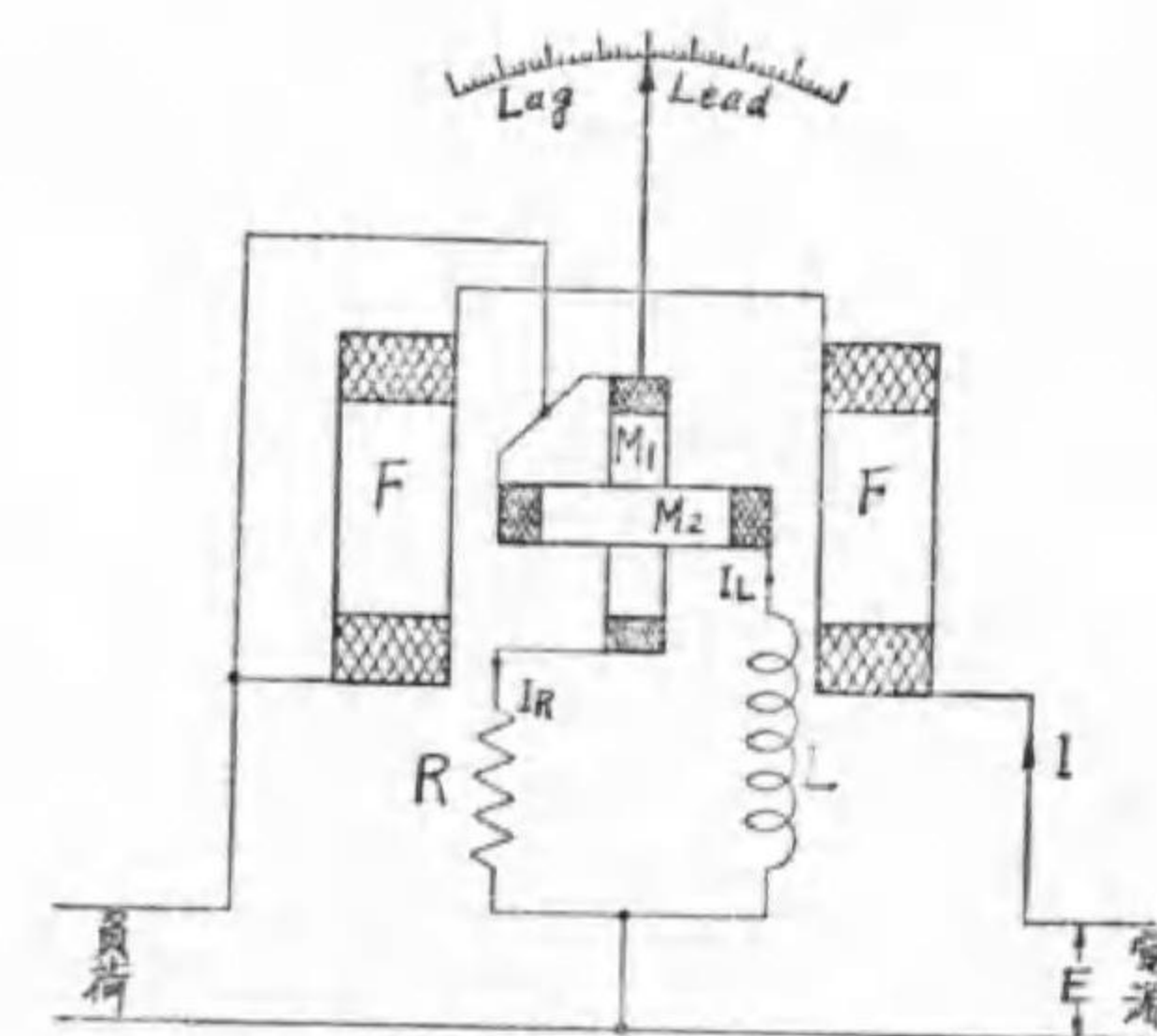
$$\cos \varphi = \frac{P}{EI} \dots\dots\dots \text{單相の場合}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} EI} \dots\dots\dots \text{平衡三相の場合}$$

の如く間接に力率を求めることが出来る。

單相力率計は第63

圖の如き構造を持つてゐる。圖の F は固定線輪で且つ之は電流線輪である。M₁, M₂ は互に直角をなす様に同一軸に固定された可動線輪で且つ之は共に電壓線輪である。M₁ には無



第63圖 力率計の構造

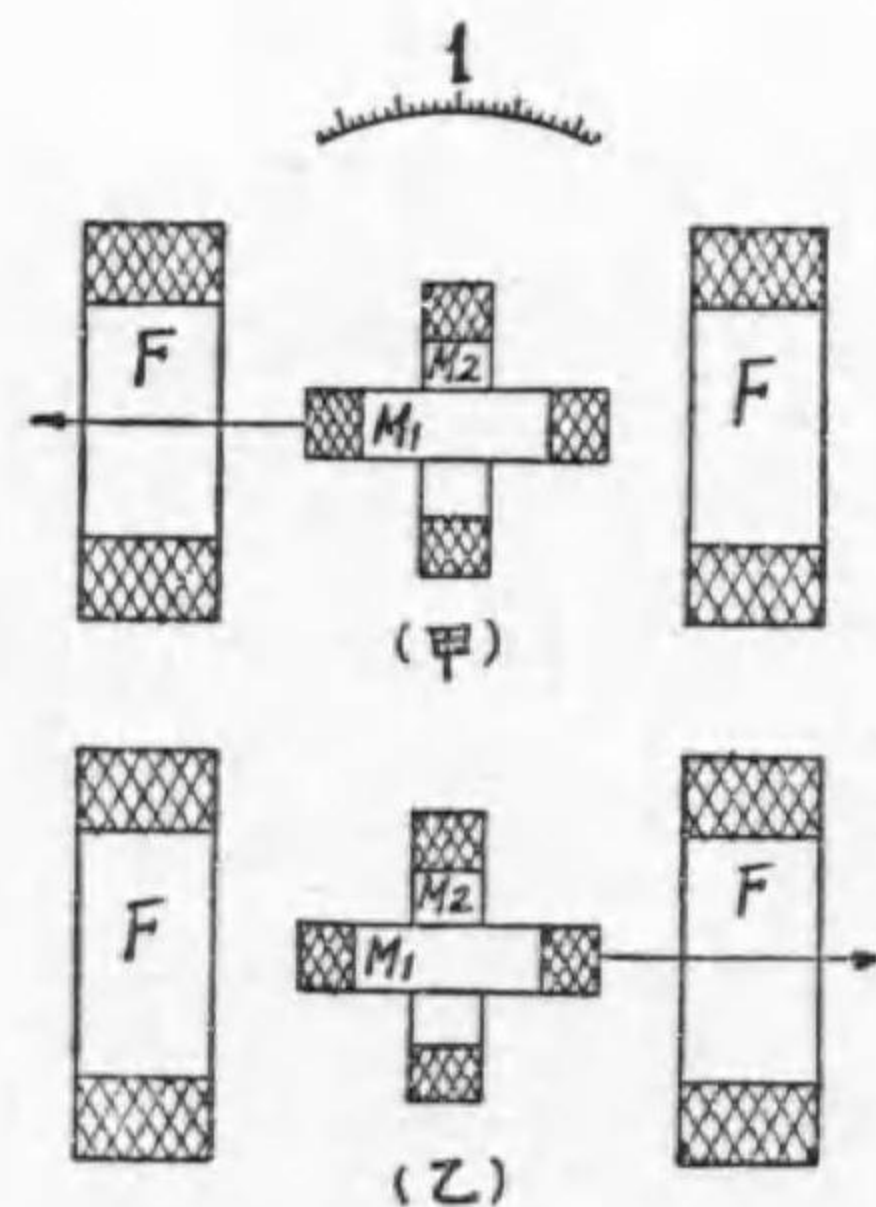
誘導抵抗 R が、M₂ には誘導 L が夫々直列に接續せらる。

力率計は普通の計器と異なり制御装置を持つて居らぬ。故に常には指針の位置は一定せぬが、測定すべき回路に接續すると其力率に

相當した位置に指針が来て力率を示す。此の理由を考えると、 M_1 を通る電流 I_R は電圧と同相で M_2 を通る電流 I_L は電圧より 90° 位相が遅れてゐる。今力率が1即ち100%の場合を考えると、負荷電流 I は電圧と同相であるから結局 I と I_R とは同相、 I_L は I より 90° 遅れる。Fと M_1 との間に働く廻轉力の關係は丁度電流計型電力計と同じことであるから、 M_1 に働く平均廻轉力 τ_1 は I と I_R との間の電力 ($I \cdot I_R R \cos \angle I \cdot I_R$) に比例するわけで、 I と I_R が同相であるから τ_1 は最大である。Fと M_2 との間の平均廻轉力 τ_2 は同様に I と I_L との間の電力 ($I \cdot I_L \omega L \cos \angle I \cdot I_L$) に比例するが I と I_L とは 90° の相差を有するから力率は零となる。従つて τ_2 は零となる。故に指針は第63圖に示す様に中央の位置に来る。

次に力率が零で I が E より 90° 遅れてゐる場合には I は I_L と同相

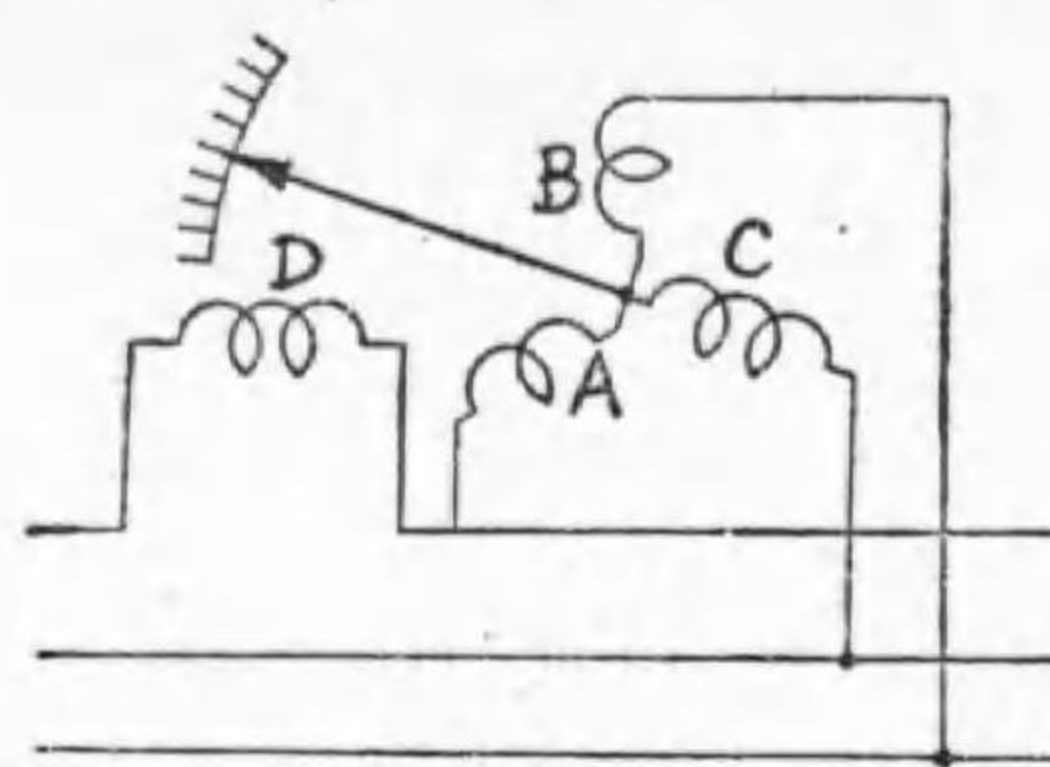
で、 I_R より 90° 遅れてゐるから前述の廻轉力の中で τ_2 が最大となり τ_1 は零となる故にこの時は第64圖(甲)に示す如き位置に指針が来る。又力率が零で I が E より 90° 進んでゐる時は、 I は I_L より 180° 進み、 I_R より 90° 進むから矢張り τ_1 は零で τ_2 は最大であるが前に比べて力の方向が反對で同圖(乙)



第64圖 力率零の場合

の位置に指針は静止する。

力率が1と零との間の時は I と I_R 、 I と I_L 間の位相角は何れも 90° でなくなるから τ_1 、 τ_2 共にある値を持つことになり、兩者の廻轉力が等しく方向が反對となる様な位置に指針は静止する。故に其位置に其力率の値を目盛しておけばよい。



第65圖 三相力率計



第66圖 配電盤用三相力率計

三相力率計は三相回路の力率を測定する爲の計器で、可動線輪は三個、同一軸に同じ角度を隔て、固定される。其接續圖は第65圖に示す。第66圖は横河製配電盤用三相力率計である。

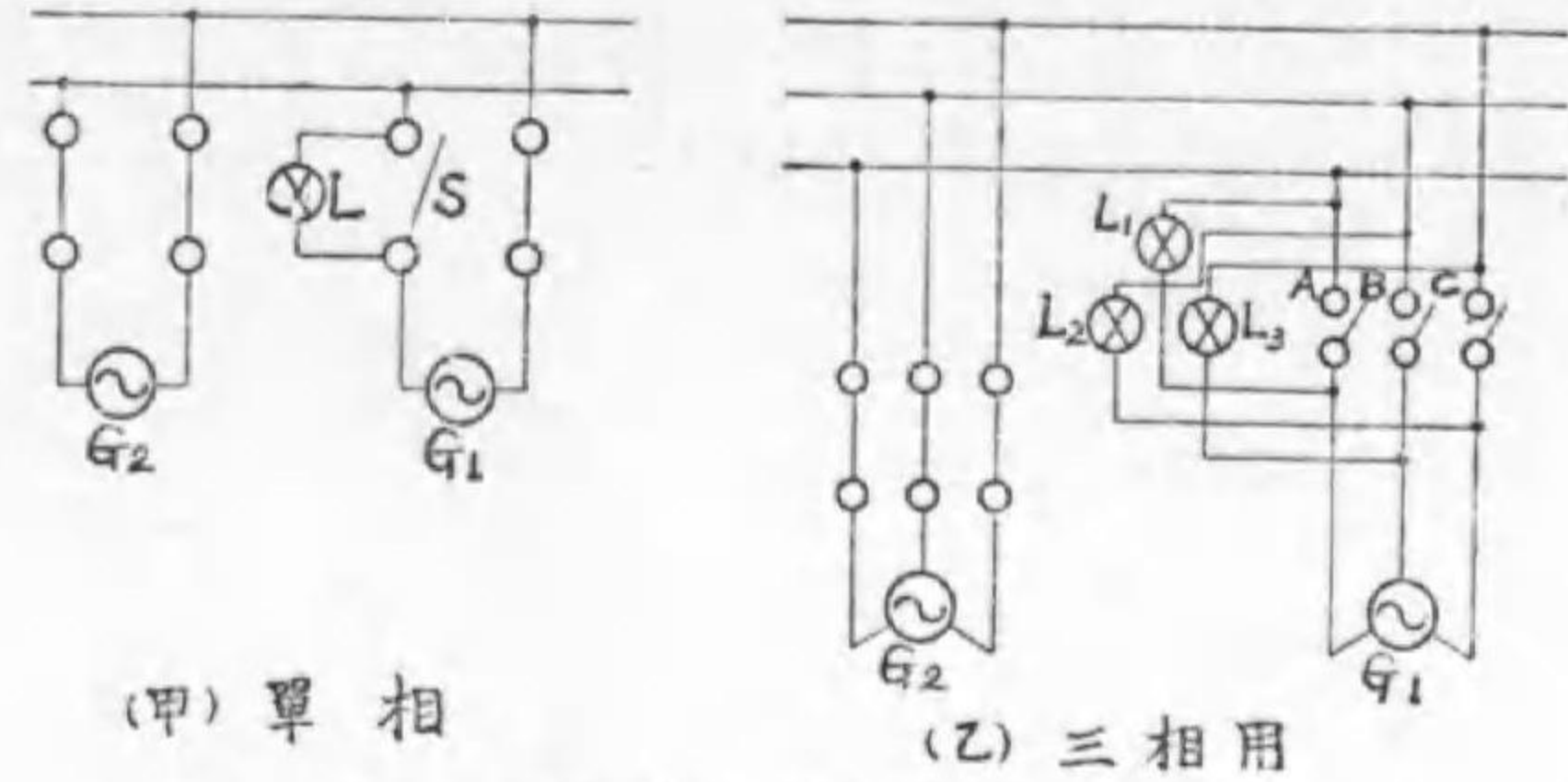
27. 同期檢定器

交流發電機の並行運轉をなす場合には兩發電機の電壓、周波數及び位相が相等しい所謂同期となすことが必要である。之の同期になつたか否かを見る爲に用ひられるものを同期檢定器と云ふ。

最も簡單なのは白熱電燈又はネオンランプを用ふるもので之を同期檢定燈 (Synchronizing lamp) と云ふ。

第67圖は夫々單相、三相の場合に於ける接續圖を示す。單相式の

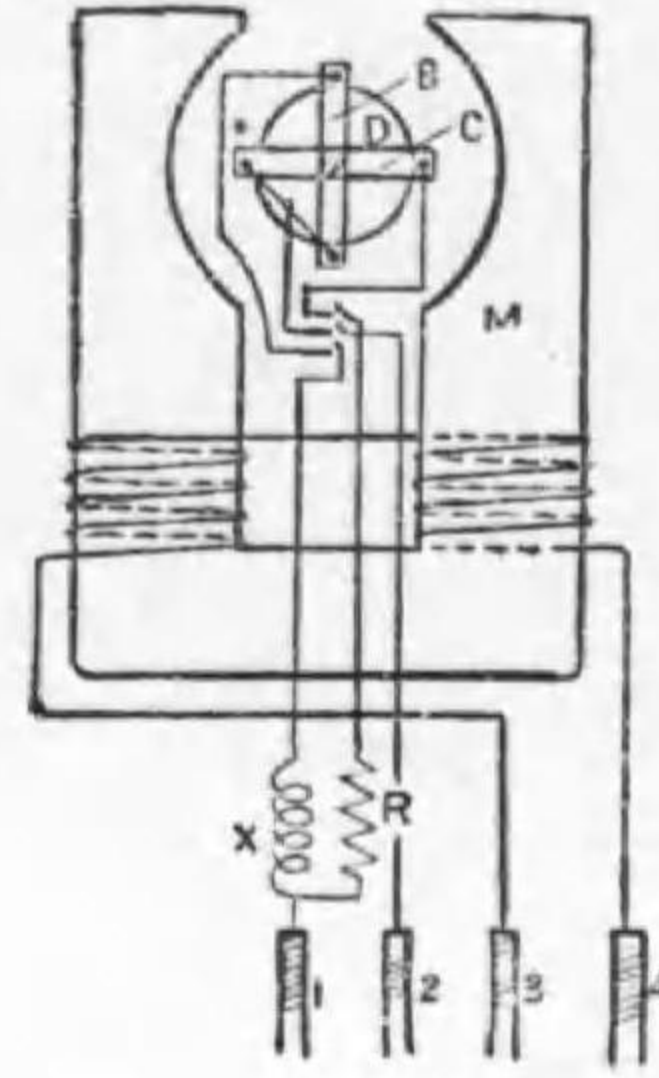
合には、兩機の周波数が異ふ時はランプは明滅し、1秒間の明滅の度数は兩機の周波数の差に等しい。兩機の周波数は等しく位相のみ違ふ時は一定の明るさを保ち。同期の時は全く消える。



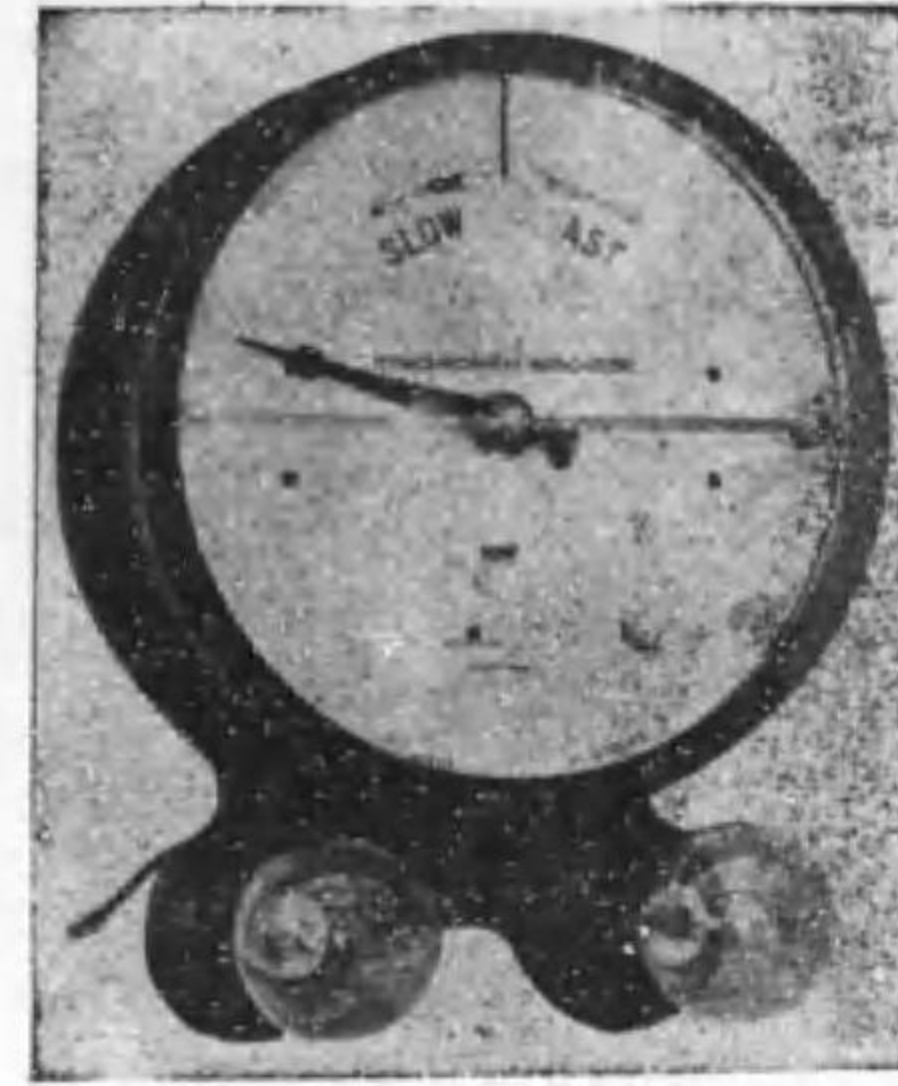
第67圖 同期檢定燈

三相式の場合は兩機の周波数が違ふ時は各ランプは順次遅れて明滅する爲め、丁度光が一定の方向に廻轉する如く見え、1秒間の光の廻轉数は兩機の周波数の差に等しい。光の廻轉方向は例へば G_1 の速度が速い時光が右に廻るものとすれば、 G_2 が速い時には光は反對に左廻となる。周波数が等しい時は各ランプの明るさは一定になつて光の廻轉は止み、特に同期の時は L_1 消え、 L_2 と L_3 は同じ明るさとなる。

計器としての同期檢定器 (Synchroscope) は種々なる構造のものがあるが、其一例を第68圖に其外觀を第69圖に示す。之は前節の力率計と同様の構造を有してゐるが、只固定線輪を他の發電機 (前項の G_2) 又は母線に接続し、可動線輪を並行運轉させるべき發電機 (前項の G_1) に接続する。可動線輪に電流を導くには滑動環 (Slip ring) を用ふ。



第68圖 同期檢定器の構造



第69圖 同期檢定器

此場合兩機の周波数が異なる時は兩電壓の相差は、時と共に絶えず變化するから可動線輪は一定の位置に静止する事が出来ず、絶えず一方に廻轉する。若し兩方の周波数が一致すれば可動線輪は力率1に相當する位置に静止し、可動線輪に附した指針は同期の記號を指す。故に發電機の速度を漸次變化して、指針が此の記號の位置で静止するのを待つて並行運轉させる。

尙何れの發電機の周波数が大なるかは、指針の廻轉方向で分り、その周波数の差は指針の廻轉する速さから分る。

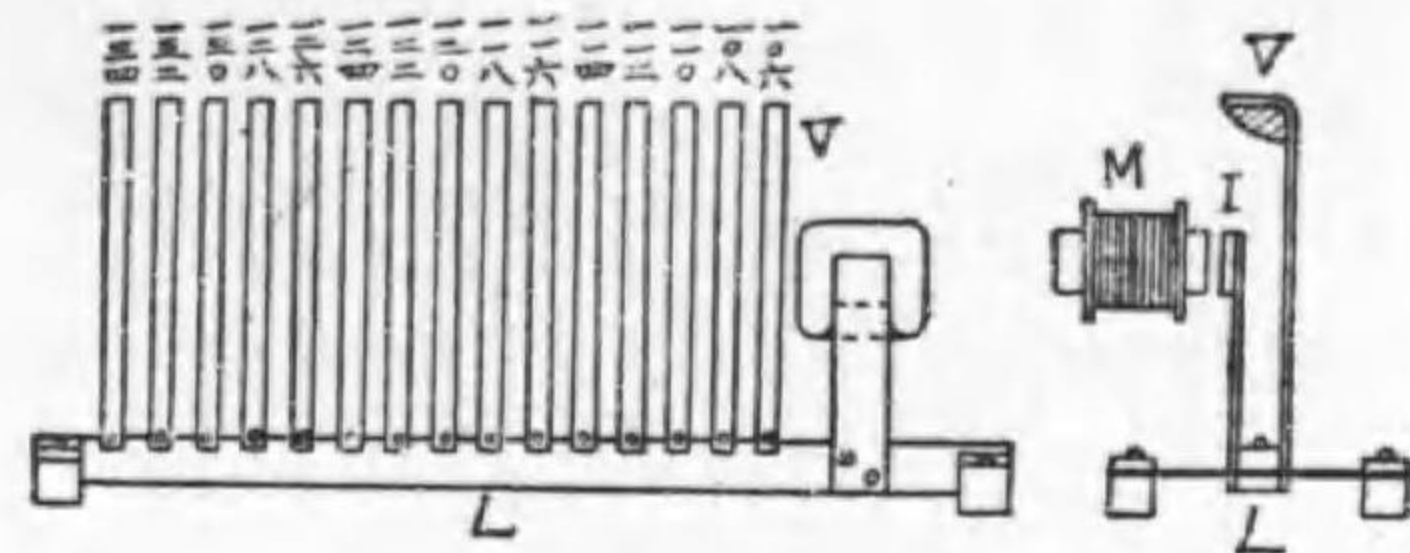
28. 周波計

(a) 振動型周波計……周波計 (Frequency meter) は交流の周波数を測定する計器である。

P極交流發電機が毎分 N 廻轉してゐる時發生する交流の周波数 f は

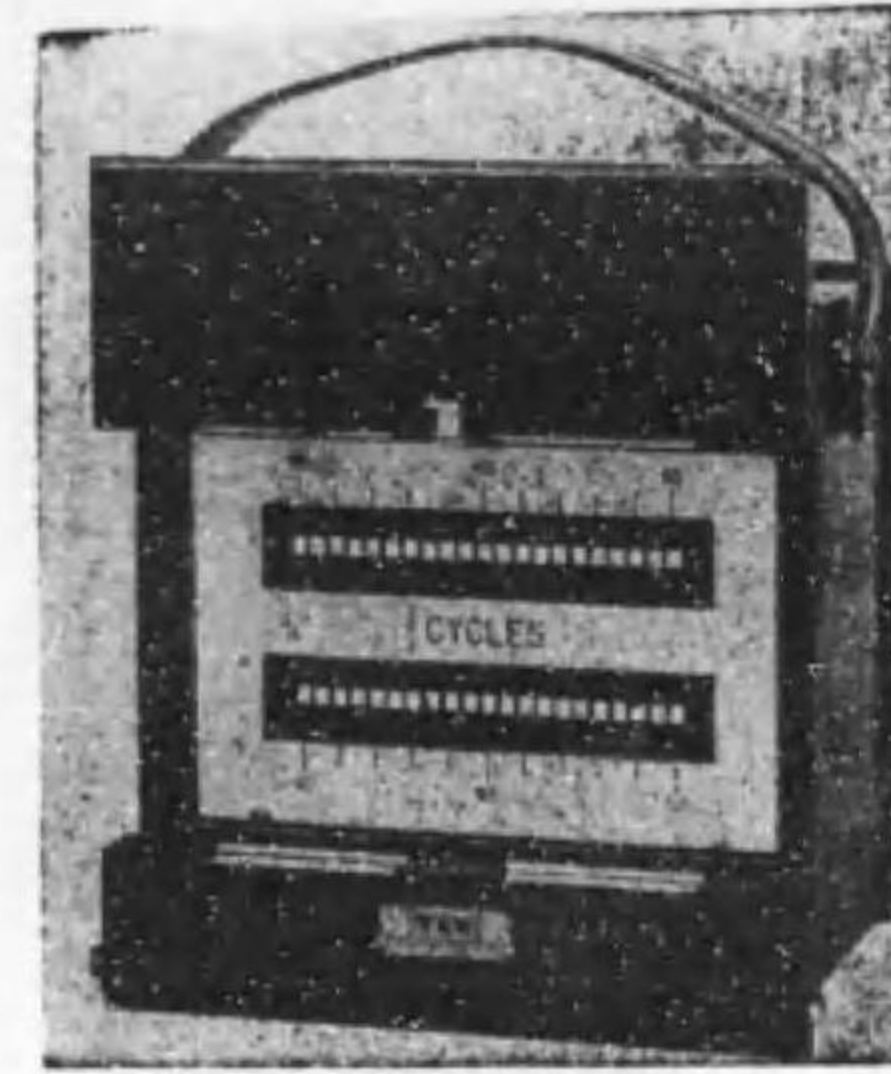
$$f = \frac{PN}{120}$$

であるから、廻轉計 (Tacho meter) を用ひて N を測定すれば、上式から f を求めることが出来る。併し發電機から遠く離れて回路の周波数を測定するには周波計が必要である。第70圖に示すものは振動型周波計である。



第70圖 振動型周波計

之は固有振動數 (Natural frequency) の少しづつ異なる數多くの舌狀振動片 V を振動數の順に一定に配列し、之を同一の横杆 L で支持する。L には尙一個の鐵片 I を附し、其前に近く電磁石 M を裝置し其線輪の兩端を測定すべき回路を接續する。各振動片の固有振動數が、例へば圖に記入された値を持つてゐるものとし、電磁石の線輪に 60 サイクルの交流を通じたものとすれば、電磁石 M は電流が正負の最大値を取る瞬間に吸引力最大となり I を引きつけ、電流零の瞬間に吸引力を失ひ、I は其彈力で戻される爲、1 秒間に 120 回振動する様な力を受ける。此力が L を通じて各振動片に傳はる故、之に等しい 120 サイクルの固有振動數を有する振動片は共振して振幅が大となるが、他のものはあまり振動しない。此關係から逆に交流の周波數を知る事が出来る。



第71圖 振動型周波計

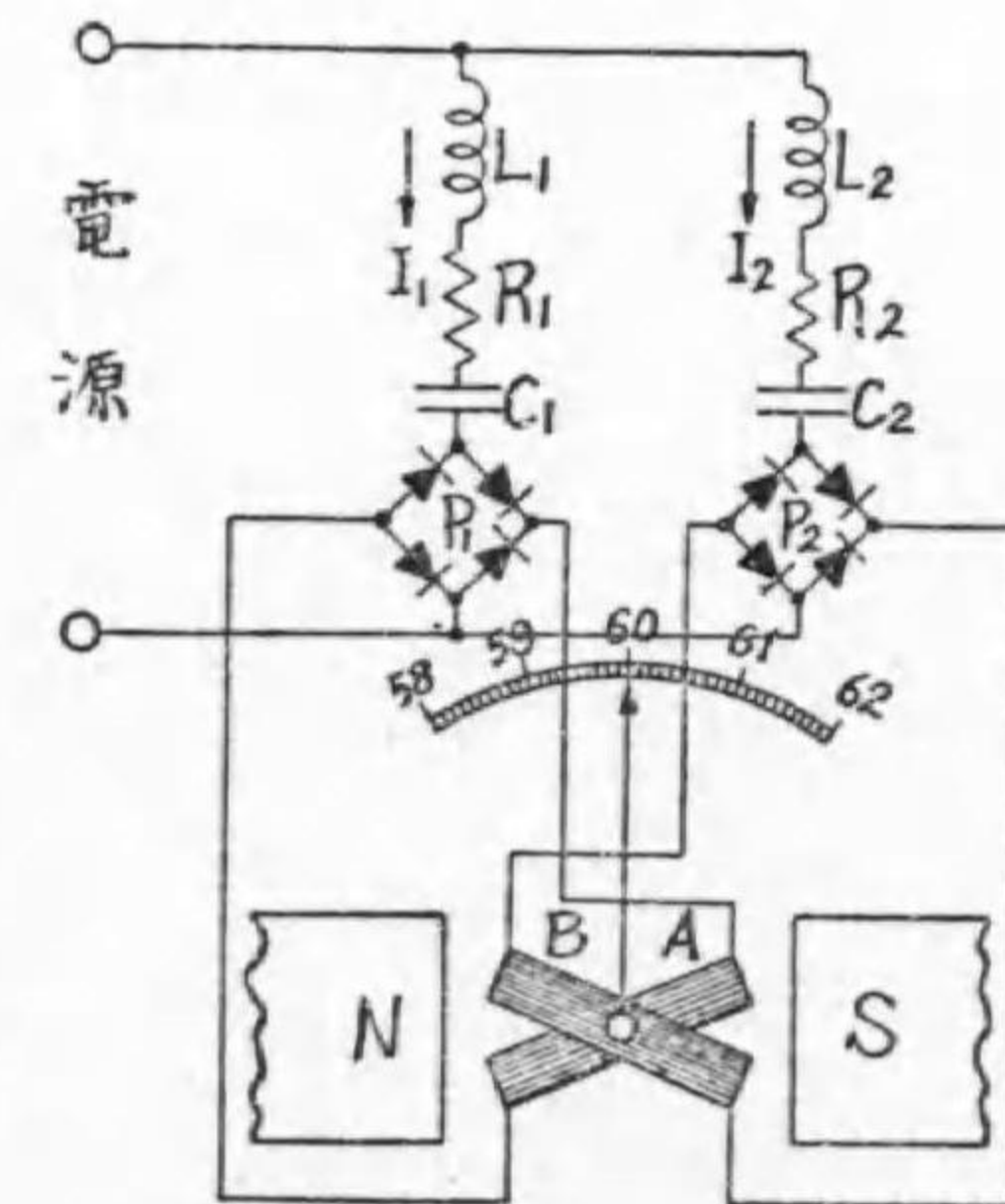
例へばある交流を通じて固有振動數 118 の振動片が激しく振動したものとすれば、其交流の周波數は 59 サイクルである。實際の計器の各振動片に對する目盛は第71圖に見られる如く、其れに相當する周波數の値が直接目盛つてある。

各振動片の固有振動數を調節

するには、上部に附した錫蠟の分量を加減すればよい。

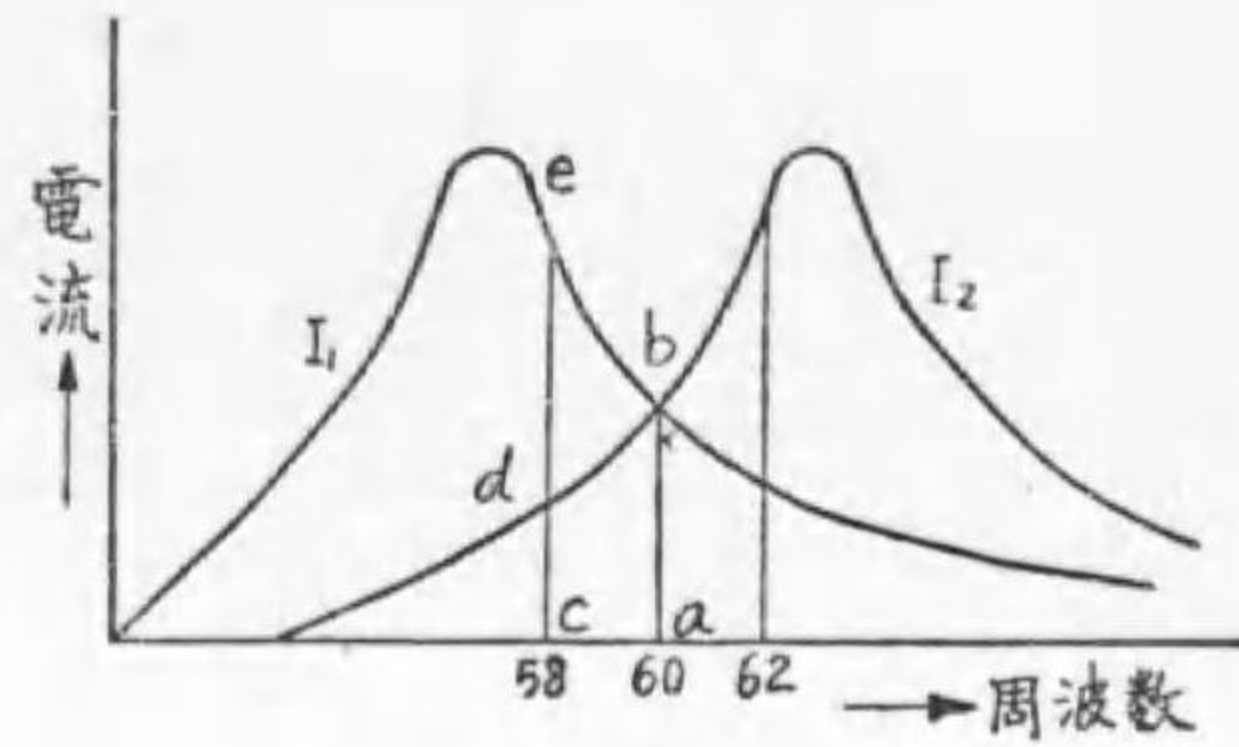
(b) 同調型周波計……近來電力系統の周波數は常に一定に保持調整する事が必要になつて來た。其爲前述の振動型では指示が粗大で周波數の僅かの變動を読み取る事が出来ない。之の缺點を補ふ計器として同調型周波計が用ひられるやうになつた。

第72圖は其接續圖の一例を示す。即ち一部は L_1, R_1, C_1 及び L_2, R_2, C_2 の二組の同調回路と之に直列なる亞酸化銅整流器群 P_1 及 P_2 より成り、他の一部は指示装置



第72圖 同調型周波計接續圖

にしてN, Sなる永久磁石の間にA及びBなる二つの線輪が或る角度をなして軸に固定されてゐる。



第73圖 同調曲線

L_1, R_1, C_1 及び L_2, R_2, C_2 回路の同調曲線は第73圖の如く、少しく喰違ひをなしてゐる。今端子 T_1, T_2 に60サイクルの電源を接続したとすれ

ば圖より分る様に

$$I_1 = I_2 = \overline{ab}$$

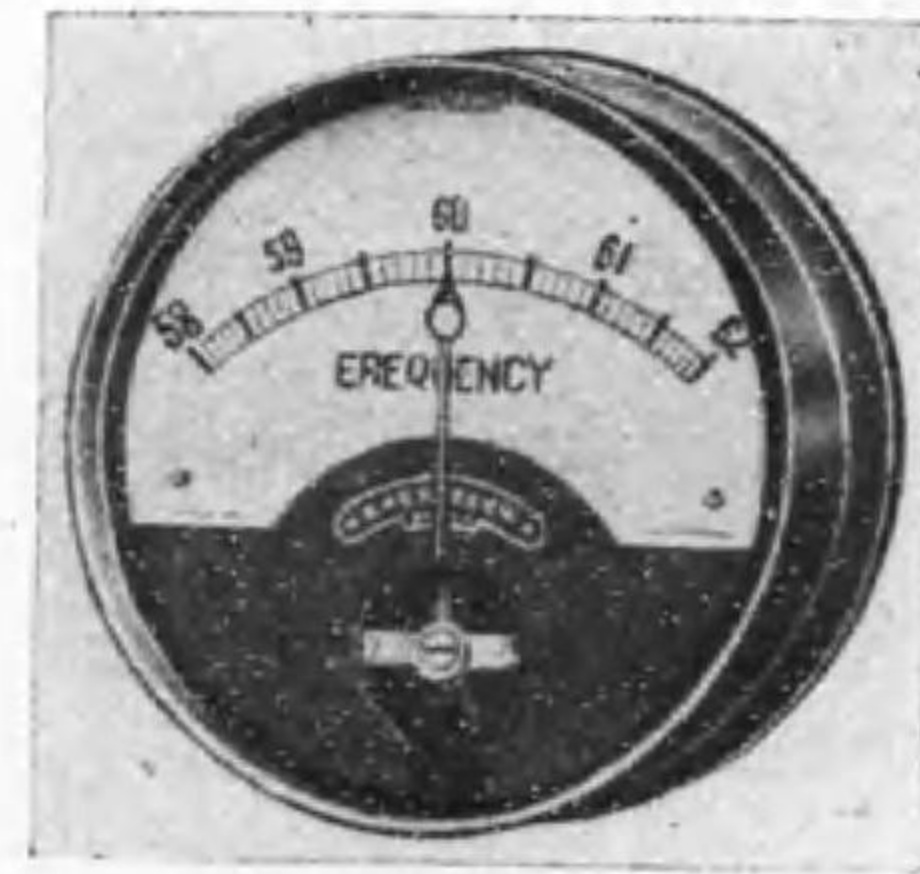
なる相等しい大きさの電流が P_1 及び P_2 に依つて整流され、線輪A及びBに流れる。然る時はA及びBは永久磁石の作る磁界に依り、同一なる強さで方向反對なる廻轉力を生ずるから指針は、中央即ち60サイクルの目盛の所で靜止する。

次に電源の周波数が58サイクルになれば、第73圖の曲線に於て

$$A \text{ 線輪には } I_1 = \overline{ce}$$

$$B \text{ 線輪には } I_2 = \overline{cd}$$

に相當する整流電流が流れる。従てA線輪の廻轉力は大きく、B線輪の廻轉力は



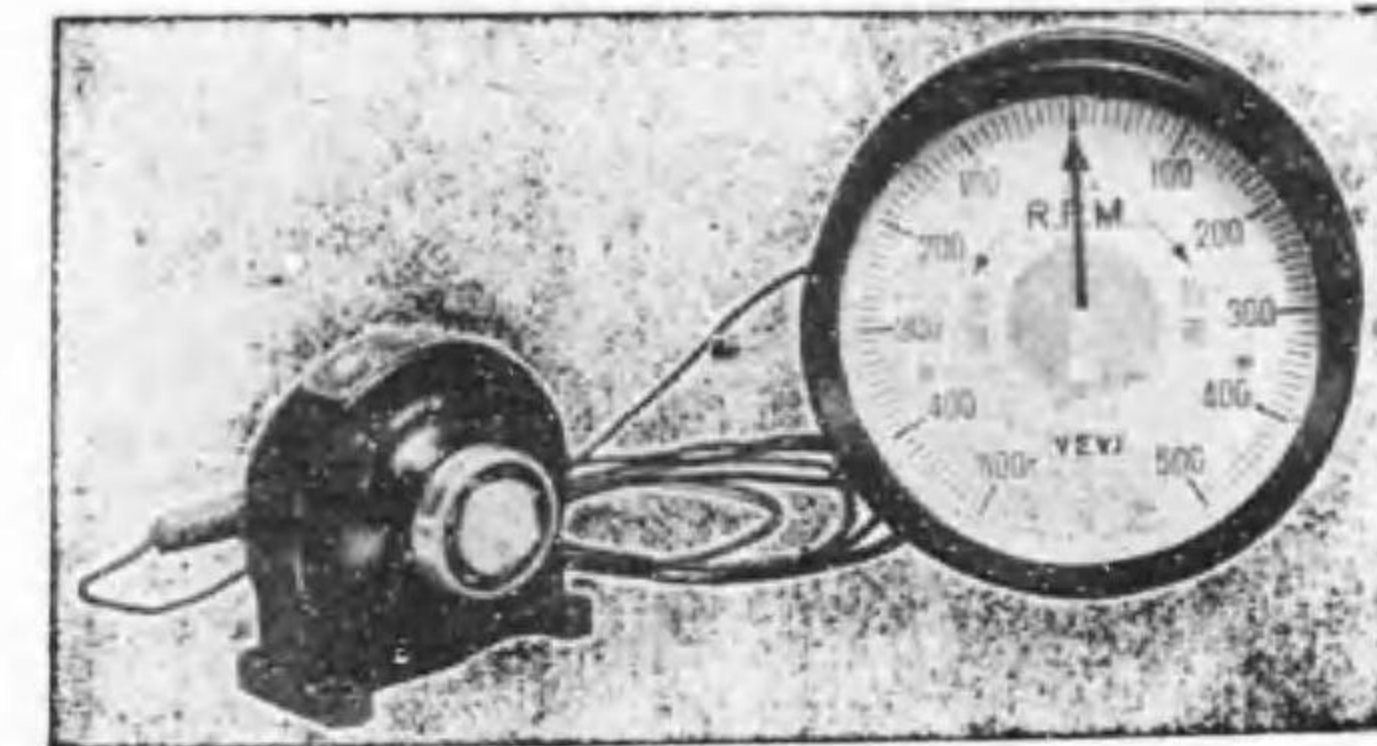
第74圖 同調型周波計

小さくなり、兩線輪の廻轉力は目盛が丁度68サイクルの所で平衡して靜止する。其他の周波數の場合も同様である。第74圖は本器の外形を示す。

39. 廻轉計及ストロボスコープ

(a) 廻轉計 原動機、發電機、電動機等の廻轉速度を測定するには機械的の廻轉計を用ふる外に電氣を應用したものがある。

第75圖は電壓計を應用した廻轉計である。之は廻轉軸の廻轉を利用して、圖の左側に見える直流磁石發電機を發電させ、其

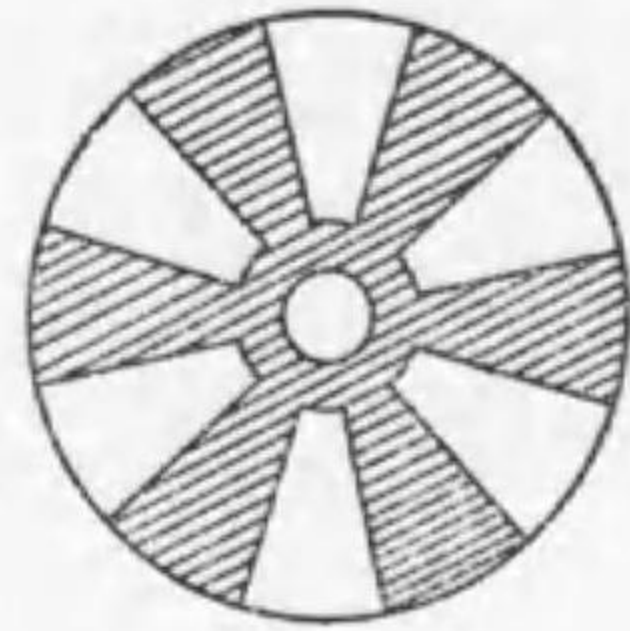


第75圖 廻轉計

發生電壓を電壓計で測定し、廻轉軸の廻轉數を知るのである。電壓計には直接廻轉數の値を目盛つておく。磁石發電機の發生電壓は、其廻轉數に比例するから目盛は一様になる。

(b) ストロボスコープ……之は主として定速度廻轉機の速度が規定値にあるか否かを試験する場合、或は定速度で廻轉又は運動してゐる物體を靜止像として觀察研究する場合等に使用せられる。又之を應用して誘導電動機の滑りを測定する滑計として用ひる事も出来る。

第76圖に示す如き白色圓盤にm個(圖は6個)の扇形を等角度を



第76圖

隔て、黑色に描いたものを廻轉機の軸に取付けて、之を毎秒 n 回點滅する光源、例へばネオンランプで照して觀察する。廻轉體を靜止像として見る時は光を直接その物體に投ずる。

若し $\frac{1}{n}$ 秒間に $\frac{2\pi}{m}$ の割合で廻轉して

ゐる時は眼の殘像作用に依り扇形又は廻轉體は全く靜止してゐる、如く見える。廻轉が之より速ければ扇形又は廻轉體は徐々に進み、逆に遅ければ反對方向に廻る様に見える。

完全に靜止して見える時は

$$\text{角速度} = \frac{2\pi n}{m}$$

$$\text{毎秒の廻轉數} = \frac{n}{m}$$

である。

滑りを測定するには、分圓數を電動機の極數（圖は6極）と同一になし、ネオンランプを電動機の電源で點火する。電動機が同期速度の時は分圓は靜止して見えるが、滑りがある時は分圓は電動機の廻轉方向とは反對方向に廻轉する如く見える。

今一分間に分圓が或る位置を後退する數を q 同期速度を N 、極數を P 、周波數を f とすれば、滑り S は

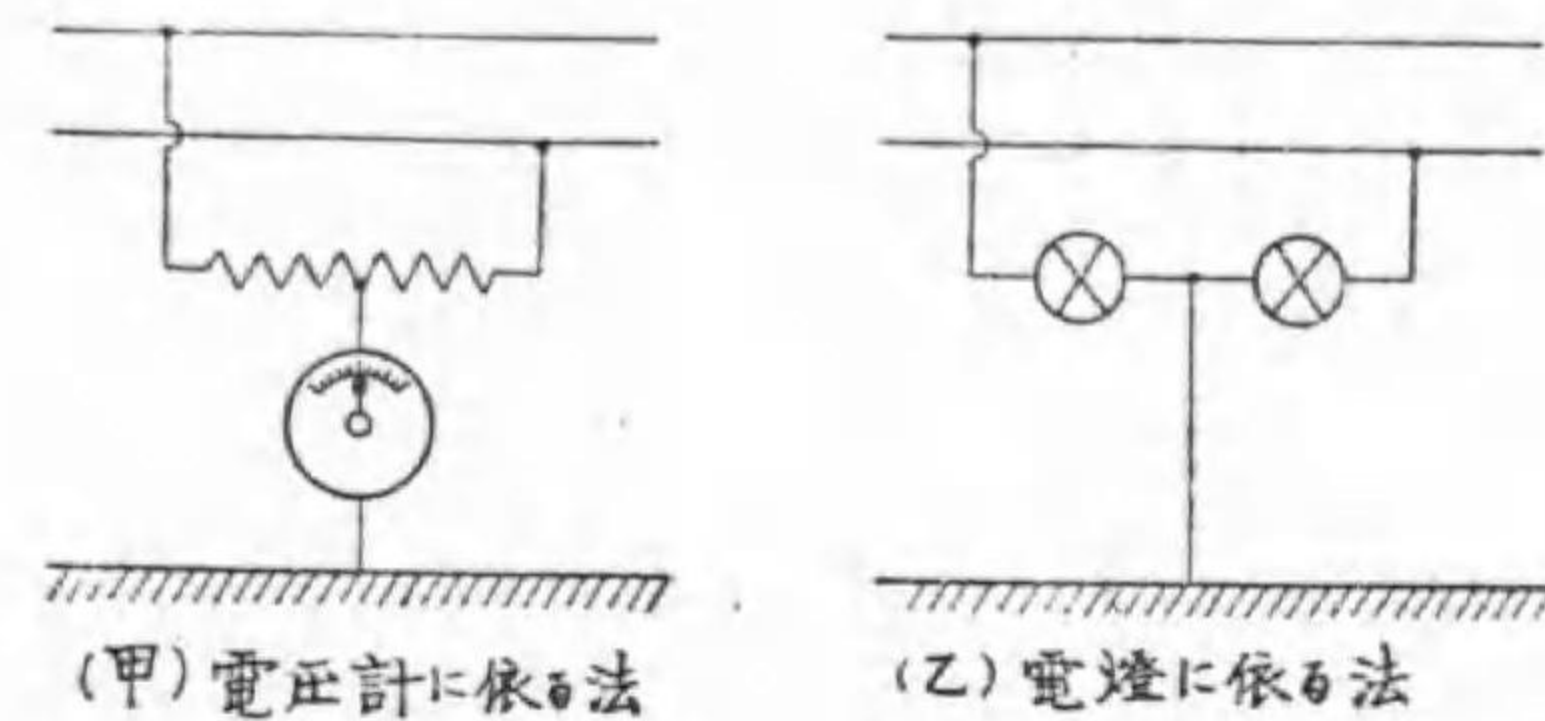
$$S = \frac{q}{PN} \times 100\% = \frac{q}{120f} \times 100\%$$

となる。故にストップウォッチで q を測定すれば上式より滑りを求

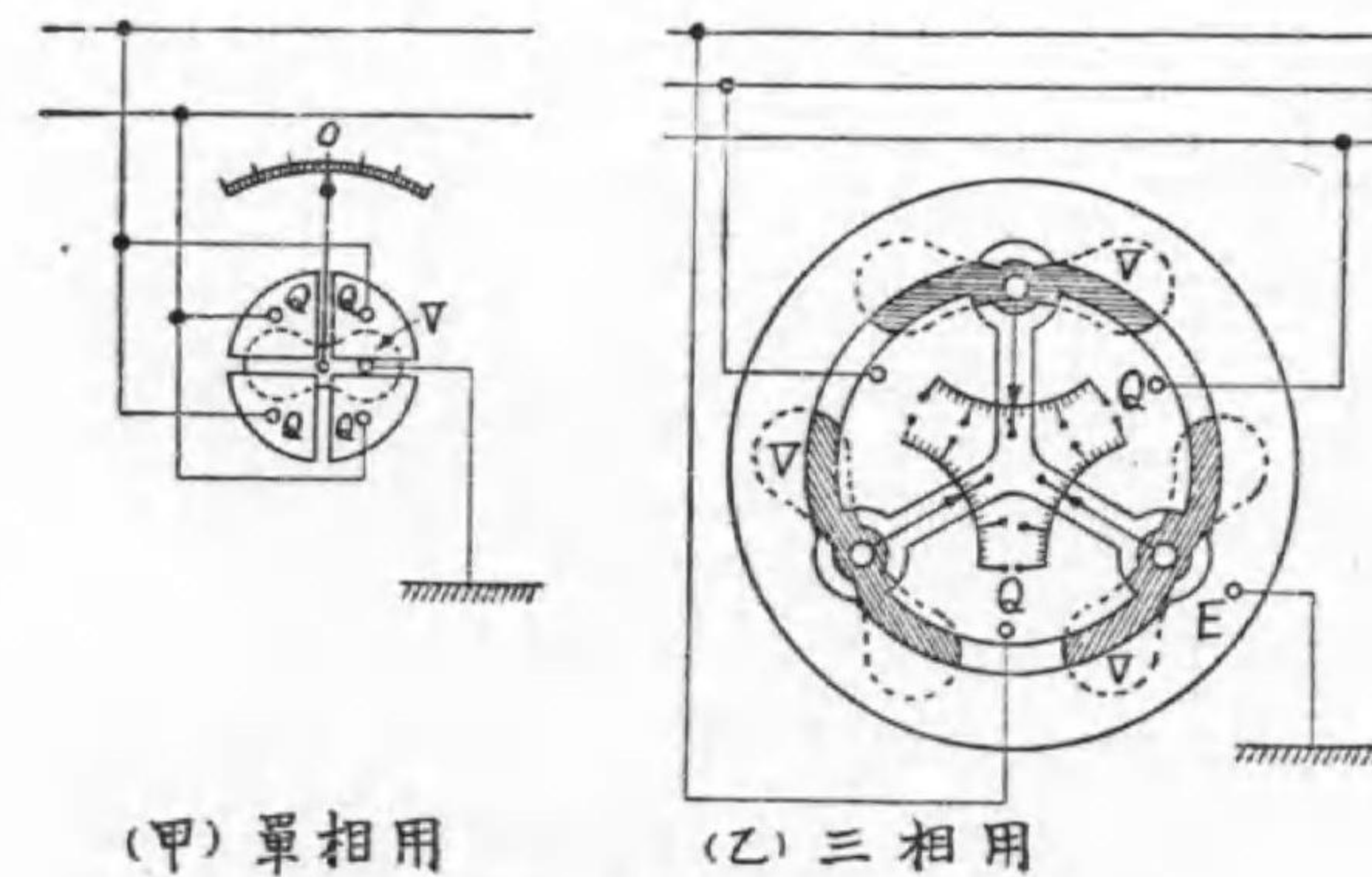
めることが出来る。

30. 檢漏器及檢壓器

(a) 檢漏器 (Ground detector) とは線路の地氣 (Ground) の有無を檢するものであつて、低壓回路用には電壓計又は白熱電燈を用ふ。



第77圖 低壓用檢漏器



第78圖 高壓用檢漏器

第77圖は其接續圖を示す。兩線共其絶縁が完全で地氣のない時は

電圧計は振れず中央に静止する。白熱電燈は兩側共薄明りを保つてゐるが、地氣が発生した場合には電圧計は振れ、白熱電燈は地氣を生じた側のものは消え、他の側のものは明るく輝く。

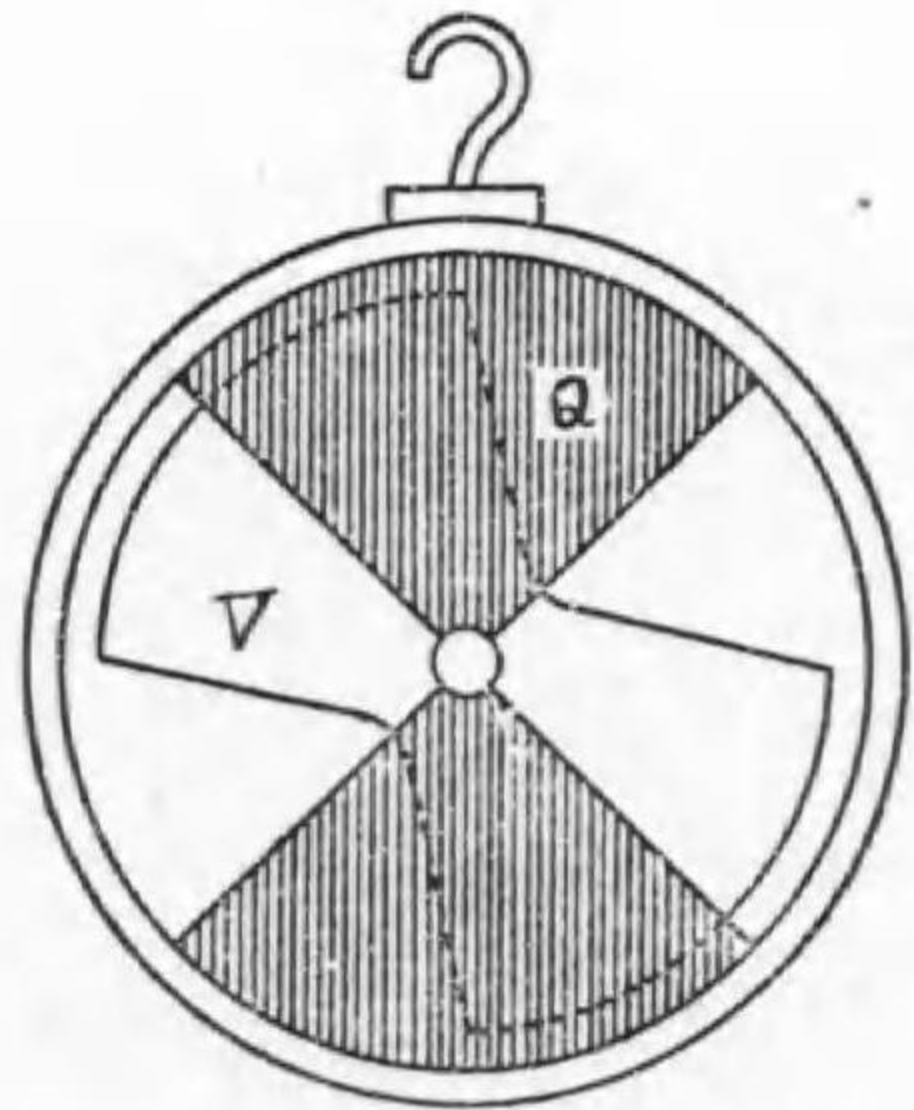
高壓線路には静電型檢漏器を使用する。第78圖はその接續法を示す。(甲)は單相用、(乙)は三相用で共に米國ゼネラルエレクトリック社の型である。

線路に地氣のない時は、可動片に作用する引力が平衡して指針は零を指し、地氣が発生すると平衡が破れて振れる。

(b) **檢壓器** (Voltage detector) とは回路の電圧の有無を表示する爲の計器で、特別高壓送配電回路には象限型が用ひられる。其構造は第79圖に示すやうに、金屬板で平たい圓形をつくり、其兩面に硝子を張つて、太鼓の様な函をつくる。この中にアルミニウム板の可動片を入れ、硝子の表面には四分圓に錫箔を張つたものである。之等は總て懸垂金物と

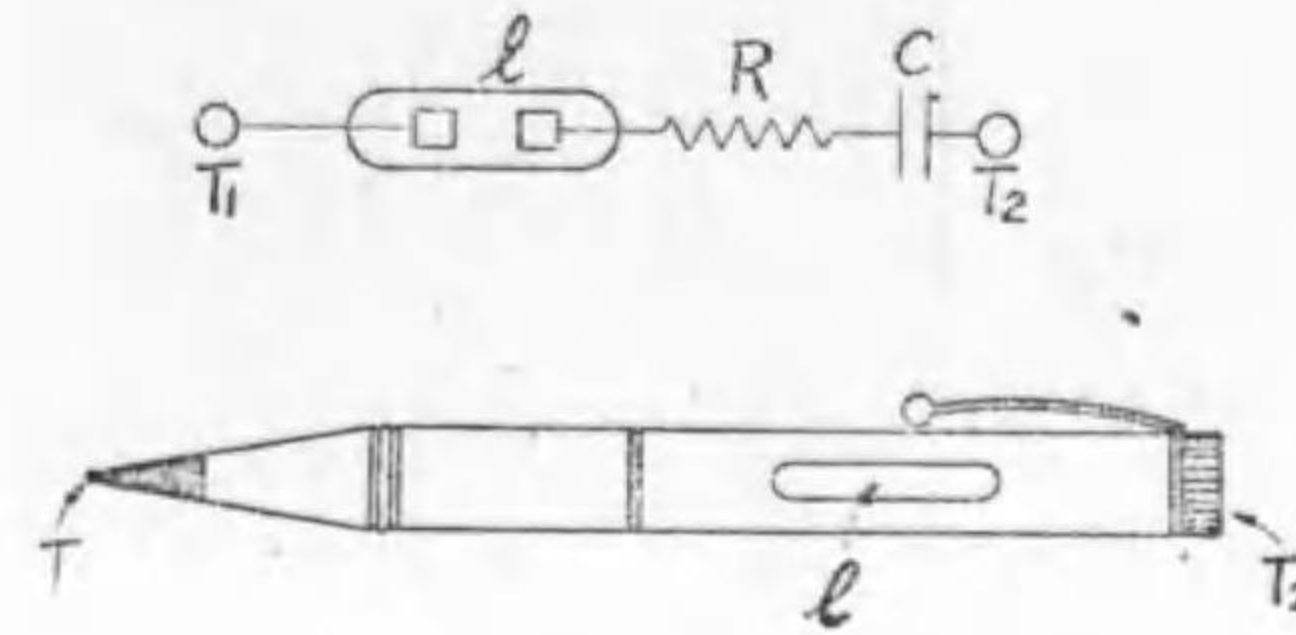
電氣的に連絡してゐる。此金物で母線的一端に懸ければ、電圧のない時は可動片は重力の作用に依り錫箔内に隠れるが、電圧がある時は反撥力を受けて錫箔のない部分に現はれる。

低壓回路の電圧の有無を檢するにはネオンランプ檢



第79圖 檢壓器

電器が便利である。第80圖は東京電氣製低壓用ネオンランプ檢電器の外見及び内部構造を示す。檢壓するには端子 T_2 を握り、端子 T_1 を



第80圖 ネオンランプ檢電器

回路に接觸する。

電圧があれば、高抵抗 R の爲人體を通る電流は少しも危険のない程度に小さいがネオンランプはその様な微

少電流でも點火する。

31. 抵抗温度計及び高温計

溫度を測定するには普通水銀寒暖計が使用される。併し機械の内部の溫度、密閉槽中の液體の溫度又は爐の様な著しい高溫度等を測定することは、水銀寒暖計では困難である。

抵抗温度計 (Electric resistance thermometer) 及び**高温計** (Pyrometer) は電氣的に溫度を測定するもので、かゝる場合の使用に適してゐる。

(a) **抵抗温度計**……之は金屬の電氣抵抗が溫度により變化すると云ふ事實を利用したもので、 -190°C から 600°C までの測定が出来る。本計器の主要部は溫度の目盛を有する直讀オーム計と白金線と電池で、白金線を測溫箇所に入ると其抵抗の變化により計器の指針は直ちに其部の溫度を指示する。第81圖は此計器の一例であ

る。

(b) 熱電對高温計……之は熱電對を利用したもので0°Cから1600°C迄の測定が出来る。熱電對の冷接合點の温度は一定に保つておいて、熱接合點の種々なる温度に對する熱起電力の値を測定しておけば逆に起電力の値から熱接合點の温度を知ることが出来る。

熱起電力の値を測るにはミリヴォルト計を使用するミリヴォルト計を用ふる時には、之に温度目盛を付けて高温計とする事が出来る

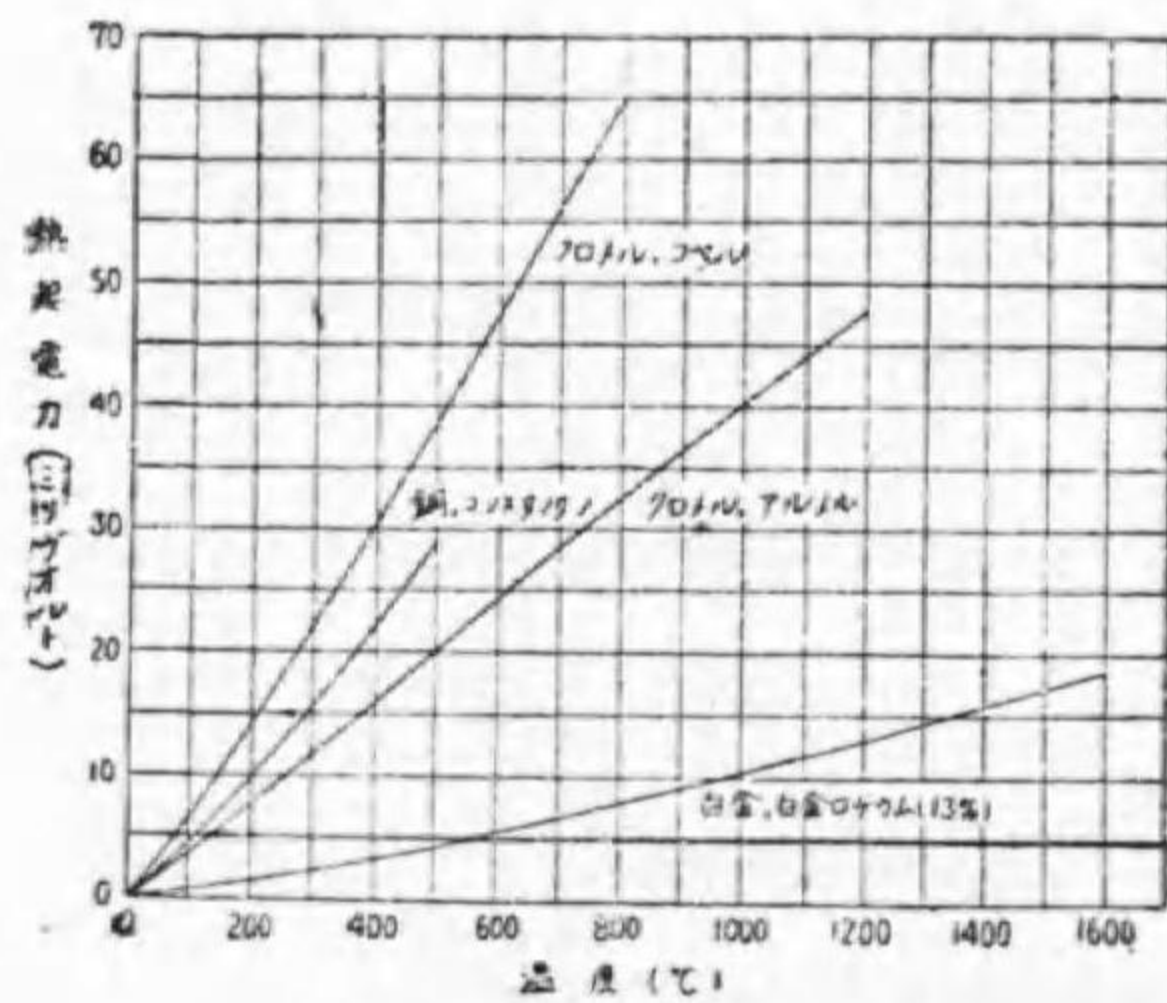
第83圖は熱電對高温計



圖第83圖 電熱對高温計



第81圖 壁掛用抵抗温度計



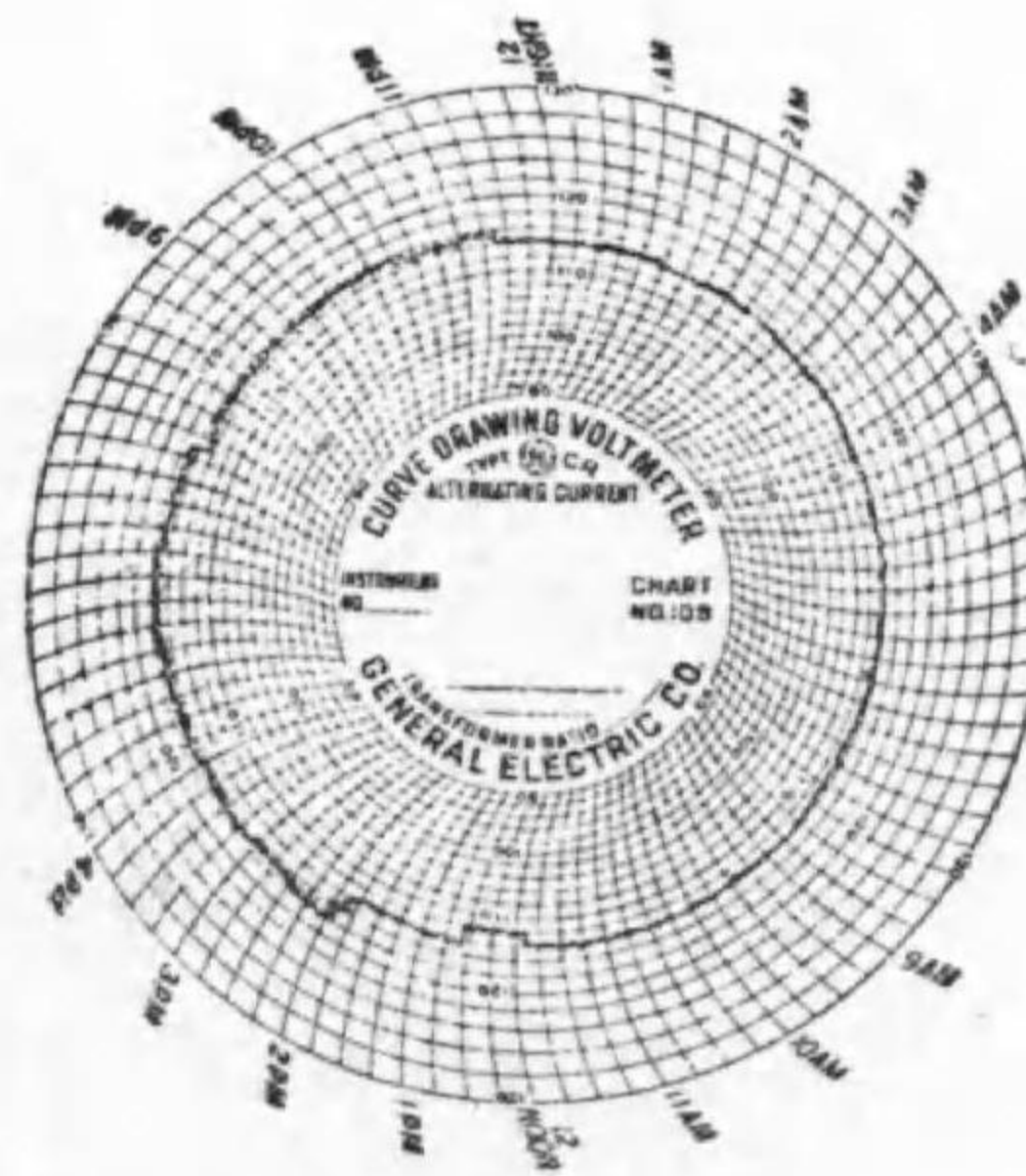
第82圖 各種熱電對起電力

計を示す。

52. 記録測定器

今迄述べた電壓、電流、電力、力率、周波計等は何れも所謂指示計器であつて、其等電氣的量が變動する時には、計器の指示は其各時刻に於ける電氣的量を示すだけであるが、茲に云ふ記録測定器 (Recording instrument) は普通の動作装置以外に特殊の記録装置を有してゐて、其等の變動の様を自動的に圖表の上に記録する計器である。

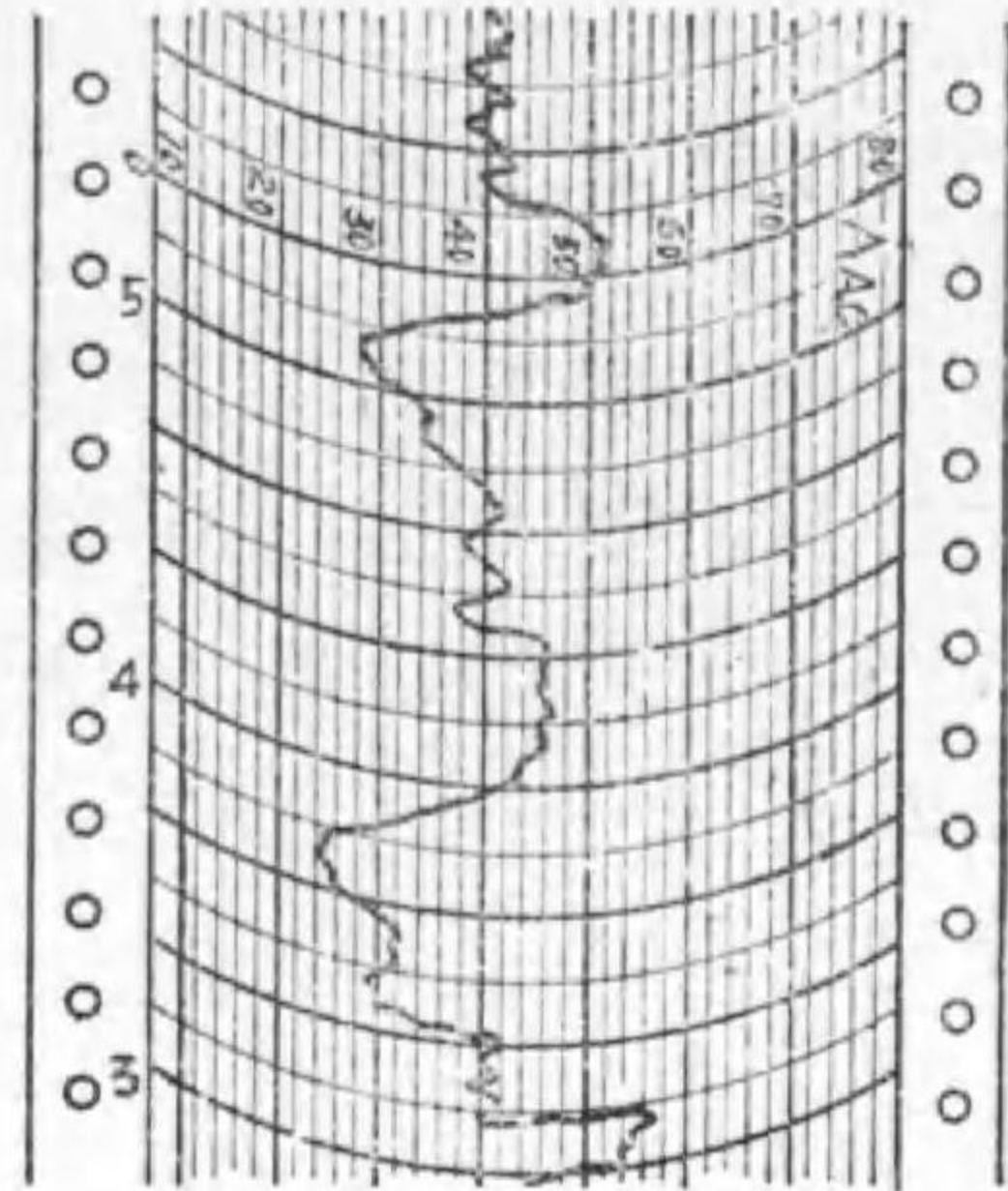
此記録装置は次の如き考へで行はれる。普通の指示計器の指針の先にペンを付け、之にインクを入れ、普通目盛の代りにそれと同じ目盛を有する圓形圖表を時計仕掛で一定の速さで廻轉させる。斯くすれば指針は電氣的量の變化を時間の経過につれて圓形圖表の上に記録して行くことになる。第84圖は此圖表を示す。併し斯様な圓形圖表よりも第85圖に示す様な短形圖表を用ひた方が種々なる點で便利である。



第84圖 記録計器用圓形圖紙

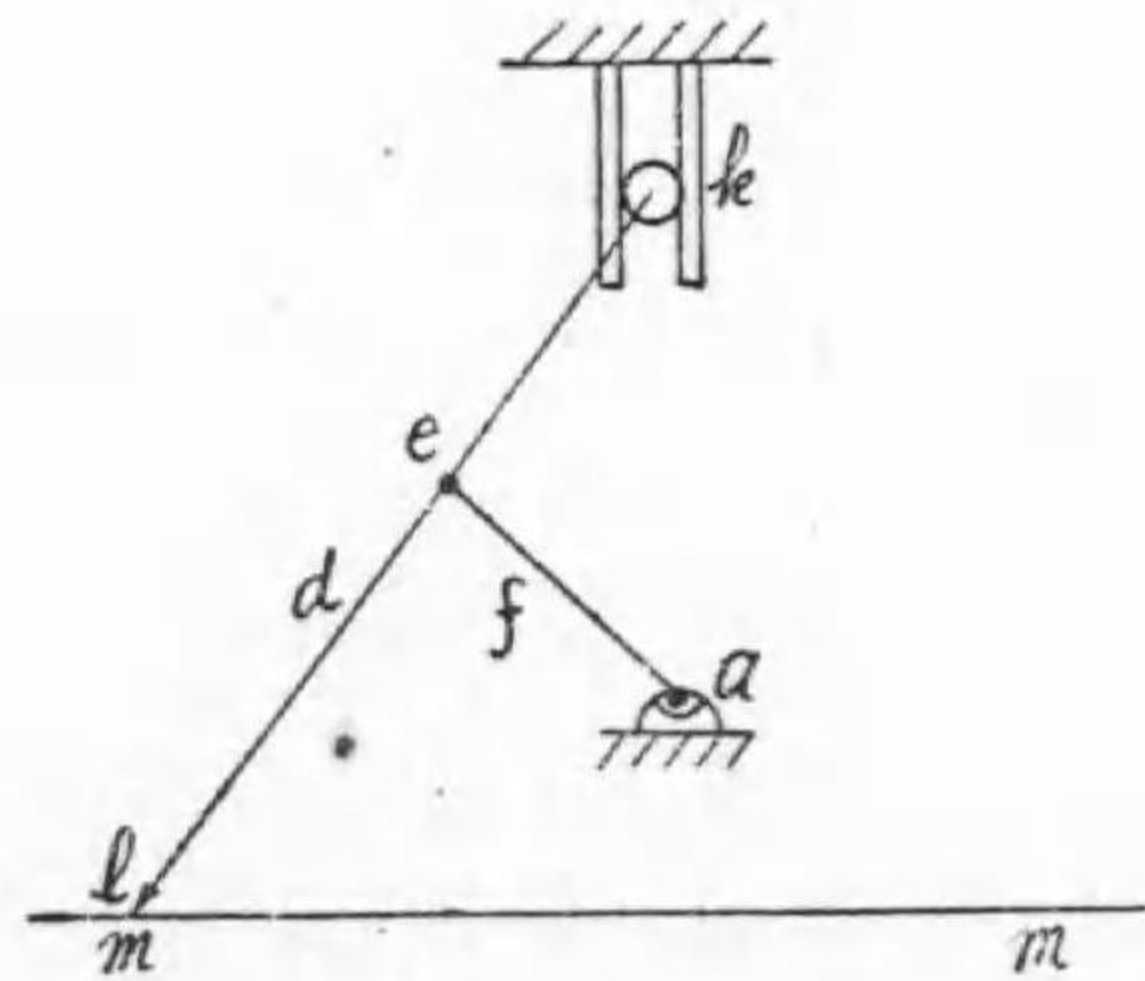
併し猶之では指針の運動は圓運動であるから、同一時刻を現はす線は圓弧狀に

なつて不便な事がある。そこで特殊な方法、例へば第86圖に示す様な方法でペンの運動を直線的にし、同一時刻を現はす線が圖表に直線で現はれる様にしたものがある。かうして得られた圖表は直角坐標で我々が普通取扱ふ處のグラフと同じものである。



第85圖 知形圖表

第86圖はaが計器軸よりの廻轉を受ける軸で従つてeは圓運動をする。dはeとピンで接続され、一端lにペンを附して紙面と接觸し、他端にはローラーがある。kは溝中を上下に動くことが出来る。記録測定器はペンが紙面に



第86圖 ペンの運動を直線的にする機構

に接觸しつゝ動くから、其摩擦の影響を避けるために大きな廻轉力を出し得る様に動作装置をつくり、又急激な變化に對してペンが躍動せぬやう強力な制動装置を備へねばならぬ。

第87圖は記録三相電力

計で左方に圖表を動かす爲の時計装置がある。

23. オツシログラフ

オツシログラフ (Oscillograph)

は交流の波形を見る場合の如き極めて短時間内の現象を調べる爲の装置である。



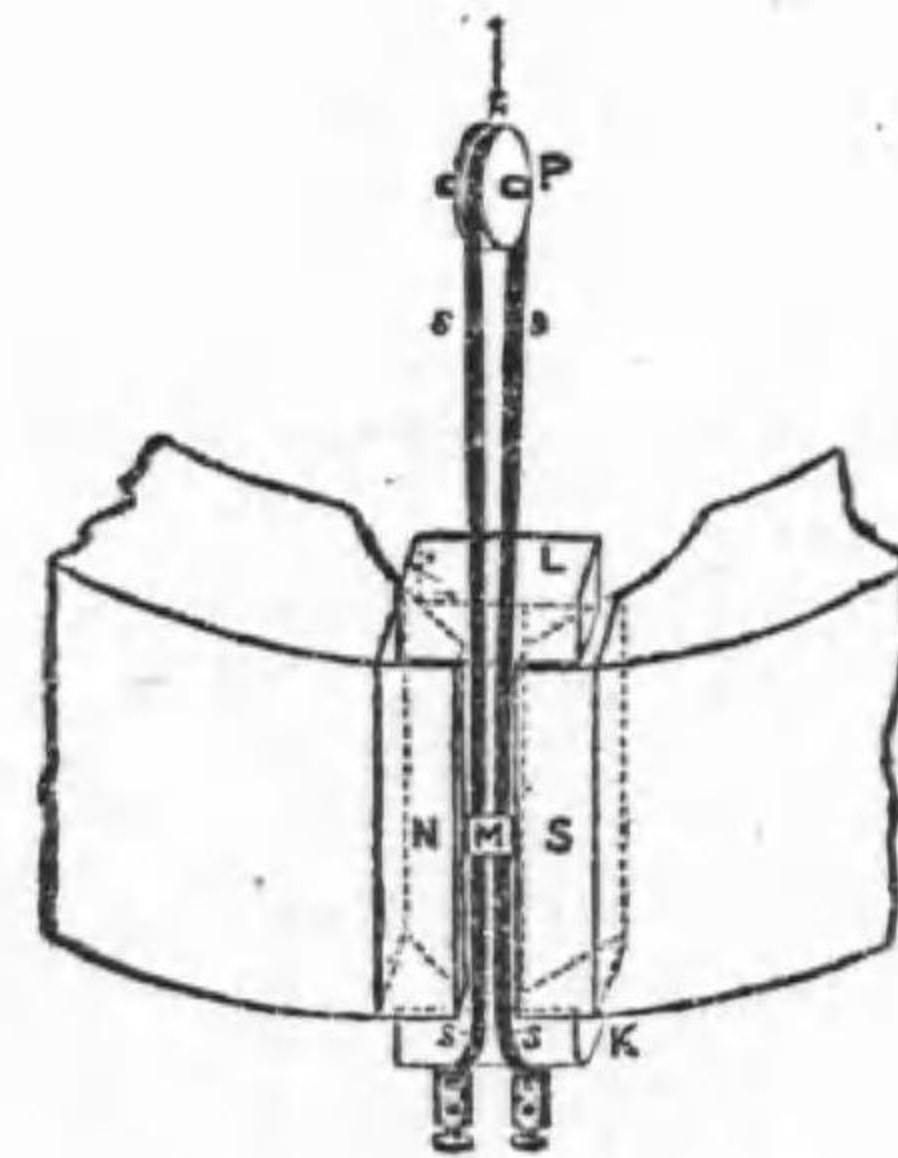
第87圖 記録三相電力計

(a) 電磁型オツシログラフ……

第88圖は其動作部分を示す。N, Sは永久磁石で、其狭い空隙中に燐銅製又は銀製の細帯 S, S を置く。S, S の両端は固定され、中央は象牙製の滑車 P に懸け、P は彈條で張られてゐる。L, K は細帯の運動を空隙中に制限するための支持物である。

S, S に電流を通すると電流に比例する廻轉力を生じ、之が細帯自身の弾力に依る制御廻轉力と釣合ふ様な角度まで偏れる。

電流が刻々變化する性質のものであれば、S, S の廻轉力も刻々變化し、細帯は振動する。細帯の慣性は極めて少ないし、又装置全體は普通油中に浸して

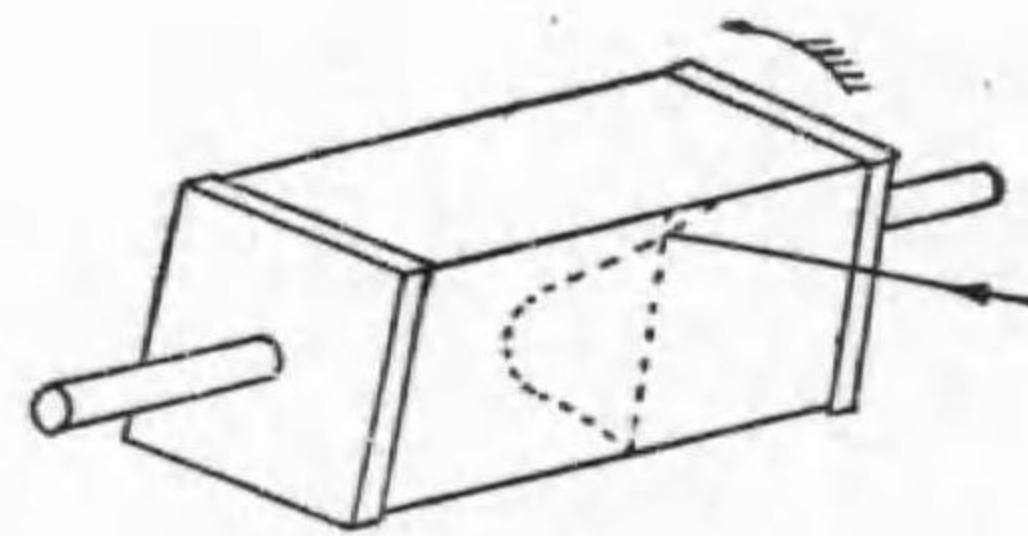


第88圖 電磁型オツシログラフ

適当な制動作用を與へてあるので、此細帯の振動は電流の變化に完全に比例する。故に此細帯の振動を見れば電流の變化の状態が分るのである。此細帯を振動子 (Vibrator) と云ふ。數個の波形を同時に見る爲には同一の空隙内に2乃至3個の振動子を置くか。又は必要な數だけの動作装置を別に備える。振動子の振動を擴大して見る爲めに檢流計の場合と同様振動子に小さい鏡を取付け、之に光を投射し、其反射光線を利用する。

此反射光線は偏れの大小に係らず同一線上を動くから、之を波形として觀測するには光線の運動と直角の方向に進行する反射鏡又はスクリーンが必要である。例へば第89圖に示す様な四面鏡を張つた廻轉鏡を置き

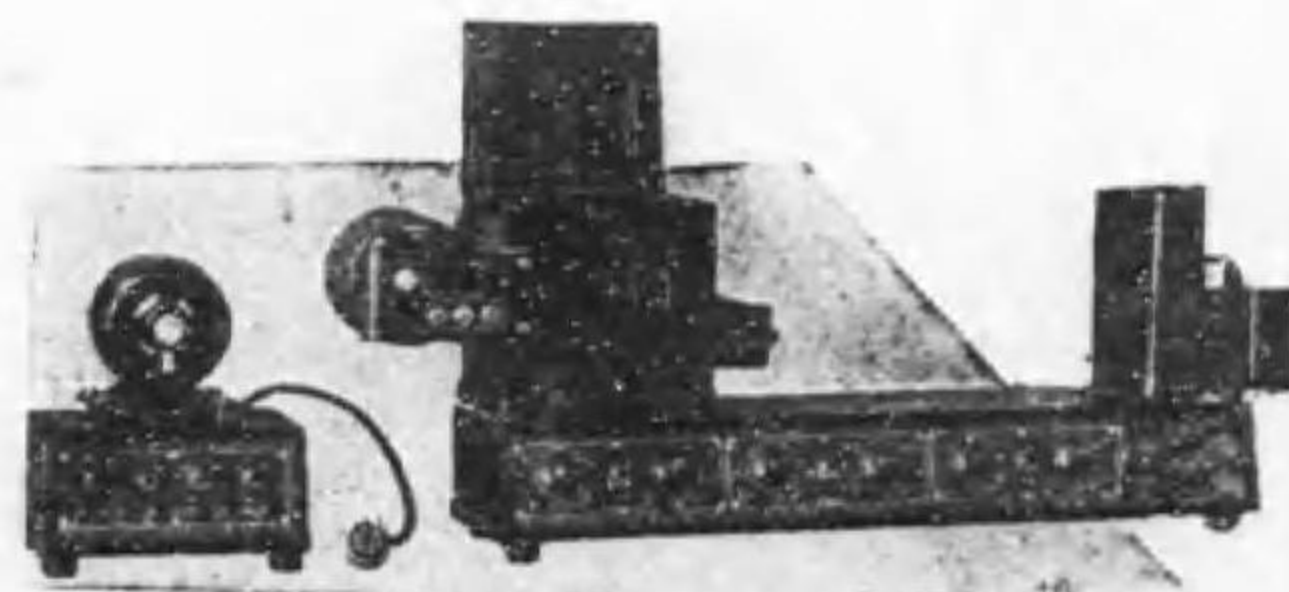
之に反射光線をあてれば光線は鏡面に波形を描き、眼の殘像作用に依つて其波形を見る事が出来る。



第89圖 波形觀測用廻轉鏡

波形の寫眞を撮影するには、振動子からの反射光線の通路にフィルムを捲き付けたドラムを一廻轉させる。

オツシログラフで撮影した寫眞をオツシロ



第90圖 可動線輪型3要素オツシログラフ

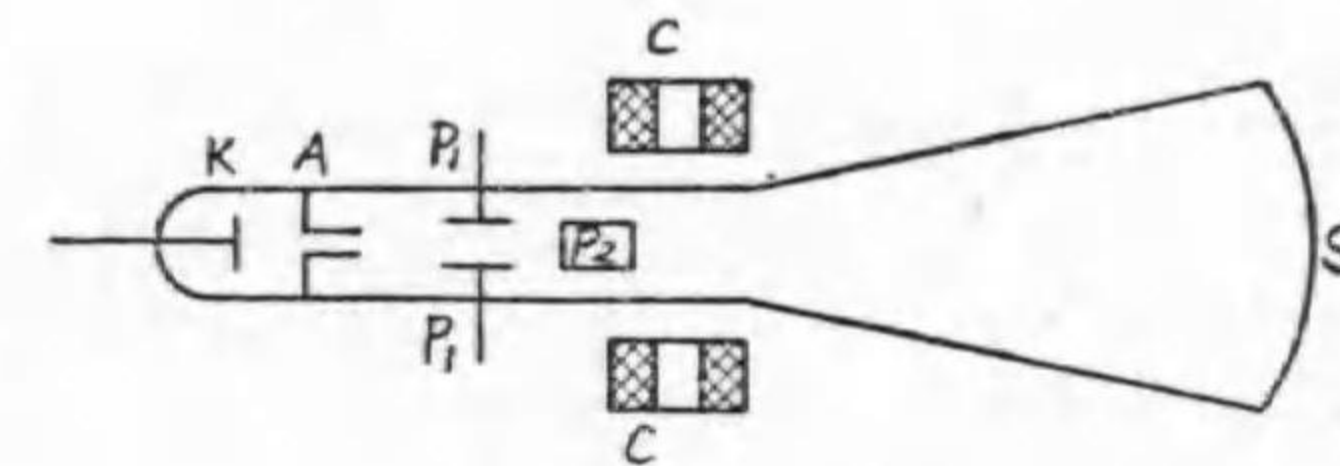


第91圖 オツシログラム (交流電發機の誘導起電力)

グラムと云ふ第91圖はオツシログラムの一例である。

(b) 陰極線オツシログラフ……第92圖の如く真空管内の陰極Kと陽極Aの間に直流電壓を加へるとKよりAに向ふ電子流を生じ、

一部はAに設けられた小孔を抜けて直進する。之を陰極線と云ひ、此管をブラウン管と云ふ。管の底部Sには螢光物質が塗布してあつて、陰極線が當つた個所は發光する。



第92圖 ブラウン管

陰極線の進路に直角に電界を加へれば、その強さに比例して進路が曲る。故に圖の如き極板 P₁, P₁間に被測交番電壓を加へれば、陰極線は上下に振動して螢光膜 S に直線を書く。陰極線及 P₁の兩者に直角な極板 P₂, P₂に時間と共に變化する電壓を加へれば、陰極線の通路は立體的に振動して S 上に波形を書く。

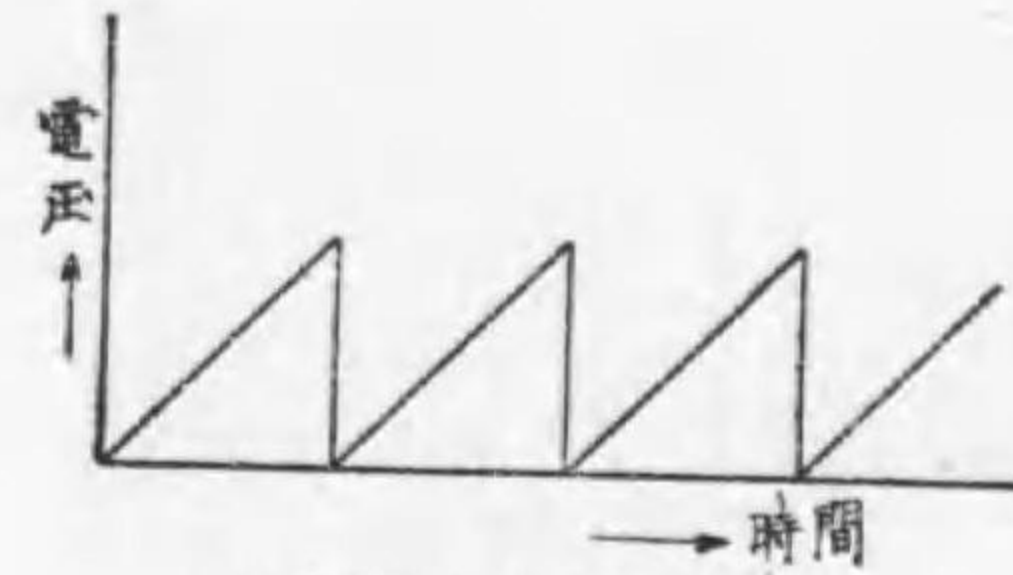
P₂に加へる電壓を第93圖 (甲) に示す如き鋸齒狀電壓にすれば、S 上の波形は被測電壓の波形を通常の直角座標で表はしたものとなる。同圖(乙)は簡單なる鋸齒電壓發生裝置の一例である。

螢光膜上の光像を撮影するか又は螢光膜の代りに寫眞の感光板を置けば波形の撮影が出来る。

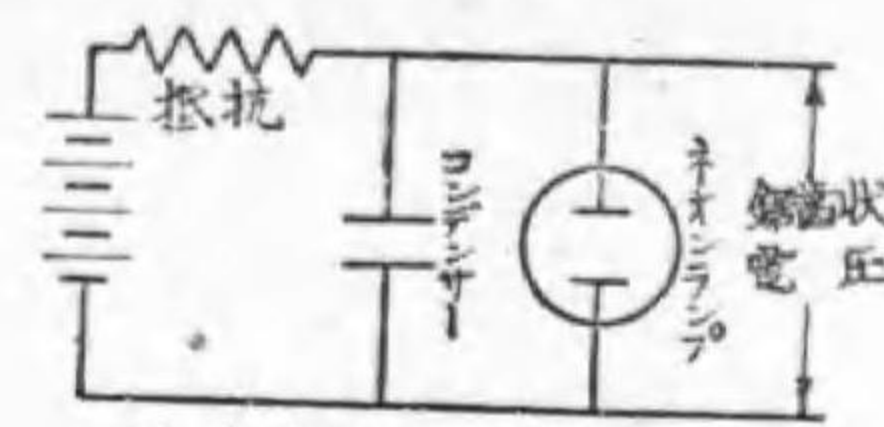
陰極線の進路は磁界を以て偏向することも出来る。第92圖のCと云ふコイルがそれで、之を電磁偏向と云ふ。之に對し前者を靜電偏向と云ふ陰極線は慣性がなく極めて速い變化にも追隨

して動き得る故、高周波の觀測も可能である。

實際のブラウン管ではKとAとの間に數個の特殊な形の電極を設け之に適當な電壓を加へ電子流を集束することが多い。之を電子レンズと云ふ。ブラウン管には熱陰極を用ふるものと冷陰極を用ふるものがある。熱陰極ブラウン管は低い陽極電壓で働らくから、装置及取扱ひが簡單で且つ偏向感度が良好であるため、携帯用又は可搬用オツシログラフとして多く利用され、又テレビジョン受像器としても使用される。冷陰極ブラウン管は極めて高い陽極電壓を必要とする爲め装置が大規模となるが、寫眞感光板に對する感光度が大で、一瞬にして終る過度現象を捕へ得るため、實驗室等に用ひられる。



(甲) 鋸齒状電圧波形



(乙) 鋸齒状電圧発生装置

第93圖

問題

- (1) 電池の起電力を比較する方法の一を説明せよ。(大正五年5級)
- (2) 1オームの標準抵抗と未知抵抗とを直列にし之に或る一定電流を通じておき、電位差計にて各抵抗の電壓降下を測定した所、夫々2ヴォルト2.5ヴォルトを得た電流及未知抵抗を求む。(答2アムペア 1.5オーム)
- (3) 單相力率計は回路へ如何に接続すればよいか。略圖で示せ。
- (4) 單相回路へ接続された電力計、電壓計、電流計、力率計が夫々0.8キロワット、100ヴォルト、10アムペア、0.81を示したと云ふ。電力計、電壓計、電流計は正しいものとして、力率計の誤差を計算せよ。(答+1.25%)
- (5) 振動型周波計の電磁石を別に直流で勵磁すると測定範囲が2倍になるこの理由を考へよ。
- (6) 或る誘導電動機の滑りを分圓形滑計で測定せるに分圓の後退數は144であつた。滑り何%か。但し周波數は60サイクルとする。(答2%)
- (7) 一線が接地した場合三相靜電型檢漏器の3個の指針は如何に偏れるか。
- (8) クロメルとコベルからなる熱電對の冷接合點が 0°C 熱接合點の溫度が 600°C ならば、兩點間の熱起電力はいくらか。(答48ミリヴォルト)
- (9) 白金、白金ロチウム熱電對の冷接合點を 0°C に保ち、熱接合點を爐中に挿入せる處、熱起電力15mVを發生せり。爐内の溫度はいくらか。
- (10) 或る記録計器の目盛紙の長さは3.28mで1時間に2cmづゝ動く。何日目毎に目盛紙を挿變へねばならぬか。
- (11) 電磁型オツシログラフでは一秒間1萬サイクル以上の現象を調べる事が出来ぬ。何故であるか。

(註 かいの場合には陰極線オツシログラフが用ひられる)

(12) 普通の交通計器は何故高周波測定に不適當か。

第七章 誘導係数及び静電容量測定

34. 誘導係数及び静電容量の種類と測定法

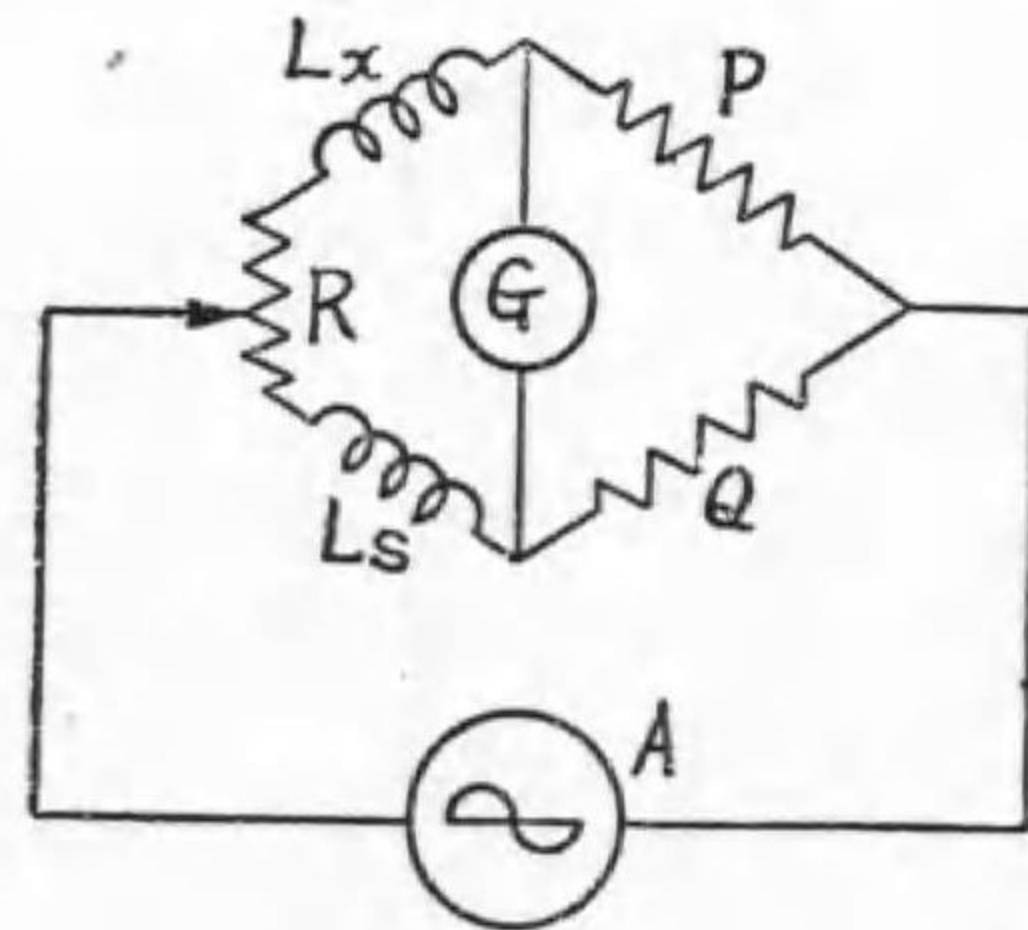
低周波用のものは値が大きく、高周波用のものは小さい。従つて構造が著しく異なる。又低周波では問題とならぬやうな僅かの分布容量や誘導が、高周波では大きな影響を與へる。故に誘導係数及静電容量は夫々使用周波數で測定を行はねばならぬ。本章に於ては低周波の測定法を述べる。

35. 自己誘導係数の測定

第94圖は交流ブリッチによる低周波自己誘導 (L_x) の測定法を示す。

P, Q, R は既知可變無誘導抵抗, L_s は標準自己誘導, A は可聴周波交流電源, G

は交流檢流計又は受話器である。P, Q, R を加減してブリッチが平衡した場合 (則ち檢流計が零を示すか、受話器が無音になる) には次式より L_x が求められる。特に L_s に可變自己誘導標準器を用ふれ



第94圖 交流ブリッチ

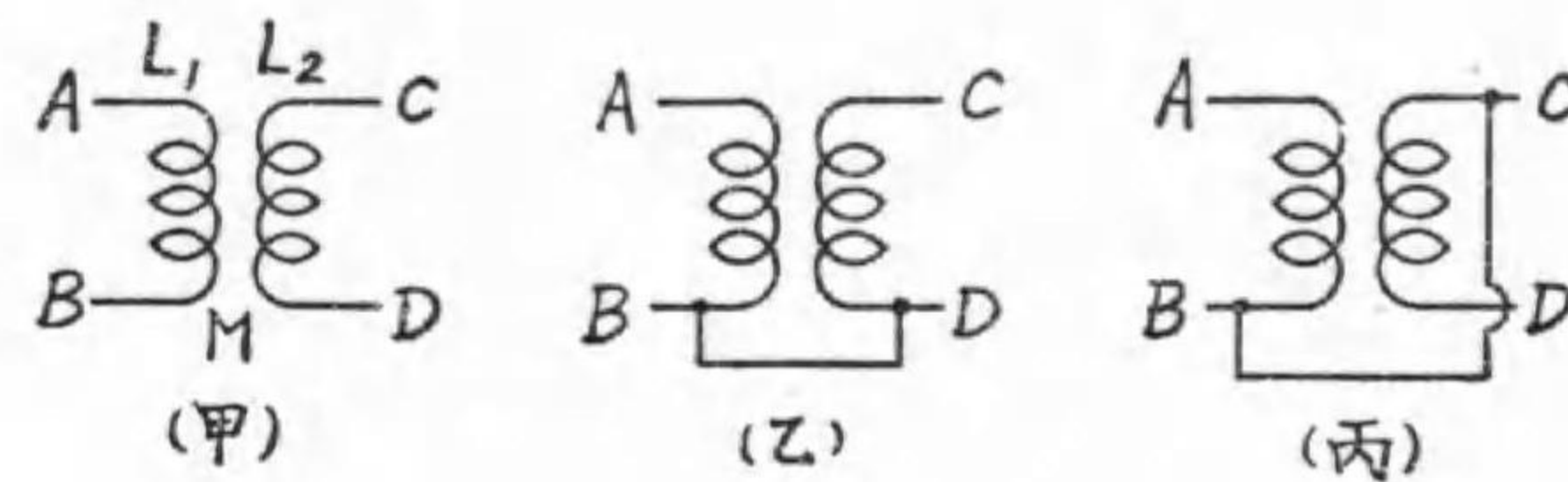
ば測定が容易である。

$$\frac{L_x}{L_s} = \frac{P}{Q}$$

36. 静電容量及び相互誘導係数の測定

第94圖の交流ブリッチに於て L_x の代りに未知容量 C_x , L_s の代りに標準容量 C_s を使用して平衡を取れば次式で C_x が求められる。

$$\frac{C_x}{C_s} = \frac{Q}{P}$$



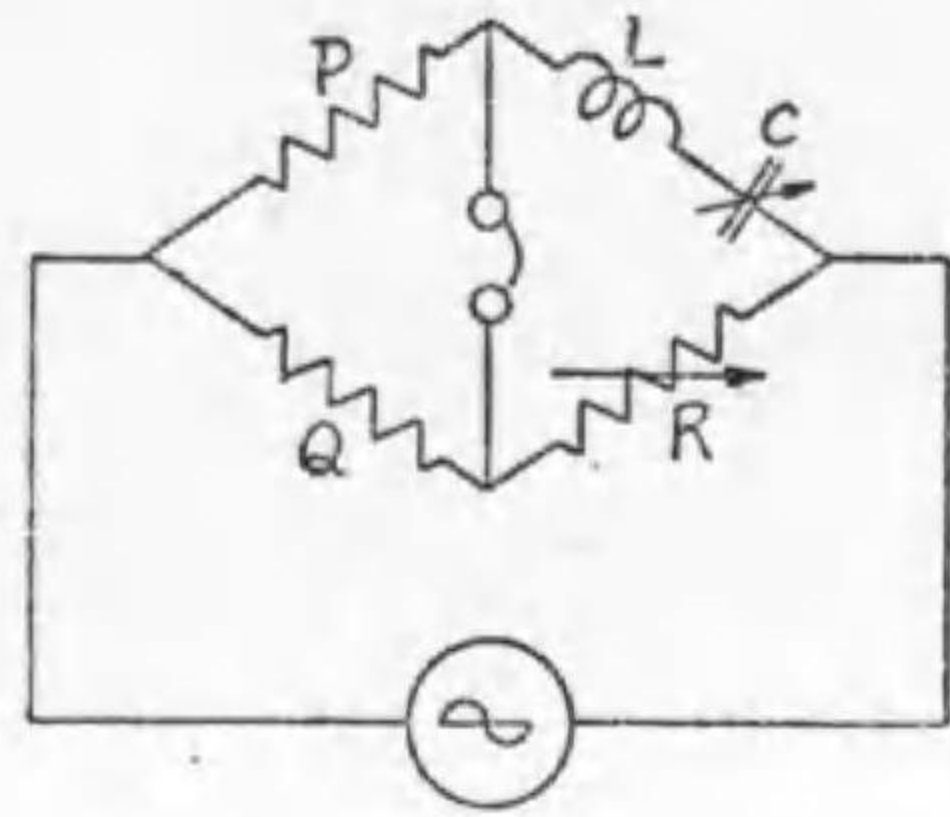
第95圖

第95圖(甲)の如き相互誘導は(乙)の如く接続して、端子 AC 間の合成自己誘導 $L' = L_1 + L_2 + 2M$ を交流ブリッチ法にて測定し、次に(丙)の如く接続して AD 間の合成自己誘導 $L'' = L_1 + L_2 - 2M$ を測定すれば

$$M = \frac{1}{4}(L' - L'')$$

37. 可聴周波電源の周波數の測定

交流ブリッチの一側に標準誘導 L と可變標準容量 C を入れ、C を加減して測定すべき電源周波數 f に同調させれば兩者の組合せは單なる抵抗と等價になる。故に無誘導抵抗 P, Q, R を調整すれば、ブ



第96圖 周波数ブリッジ

リッチは平衡する。この時

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

此の方法を周波数ブリッジ法と云ふ。

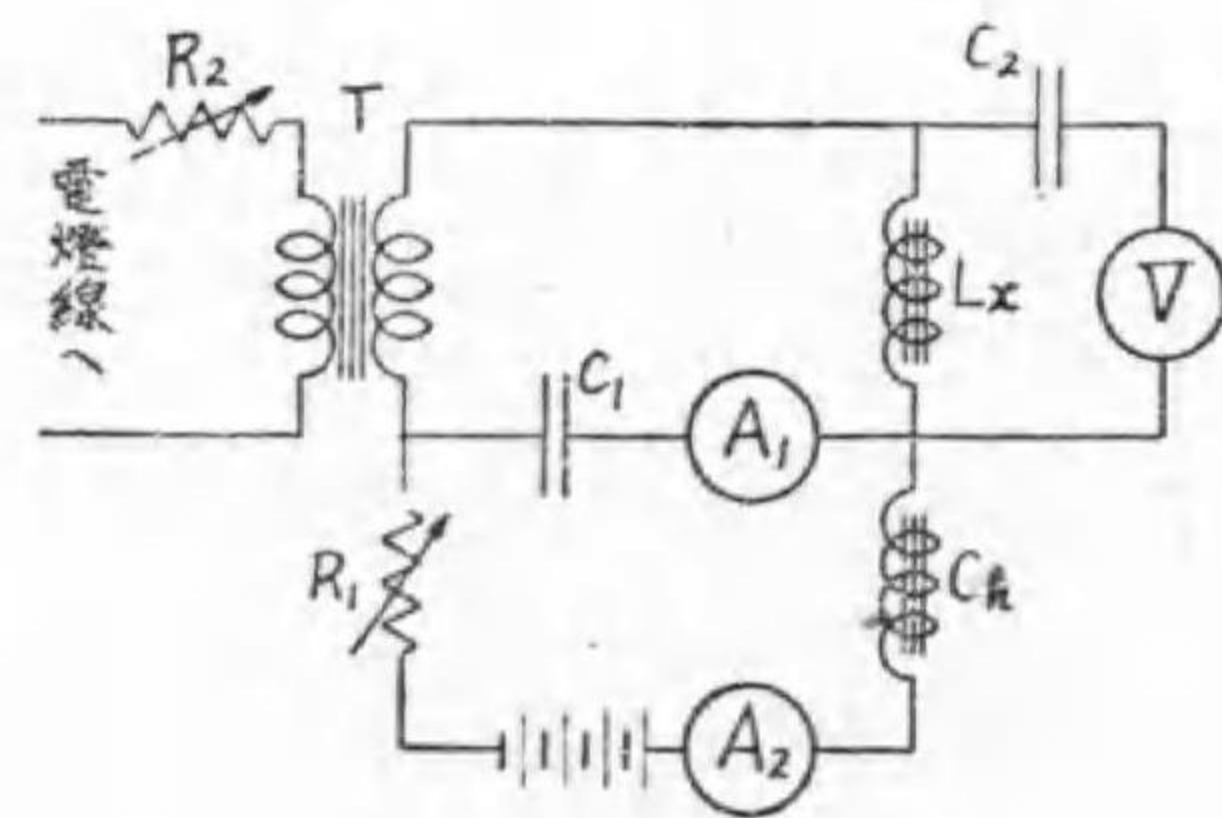
38. 鐵心入線輪の誘導係数の測定

低周波塞流線輪の如く鐵心入で直流を通じて使用するものは、使用時と同じ状態で測定せねばならぬ。之は直流が流れてゐる時のインダクタンスは鐵心の磁氣飽和のため、直流の流れて居らぬ場合より遙かに少ないからである。

第97圖に於てVの指示Eボルト、 A_1 の指示Iアンペア、電源周波数がfサイクル、 L_x の抵抗がRΩとすれば

$$L_x = \frac{\sqrt{\left(\frac{E}{I}\right)^2 - R^2}}{2\pi f}$$

- L_x ……未知誘導
- V ……真空管電圧計
- A_1 ……熱電對型交流電流計
- A_2 ……直流電流計
- R_1, R_2 ……加減抵抗器



第97圖

C_1, C_2 ……直流阻止用蓄電器

Ch ……塞流線輪

T ……遞降變壓器

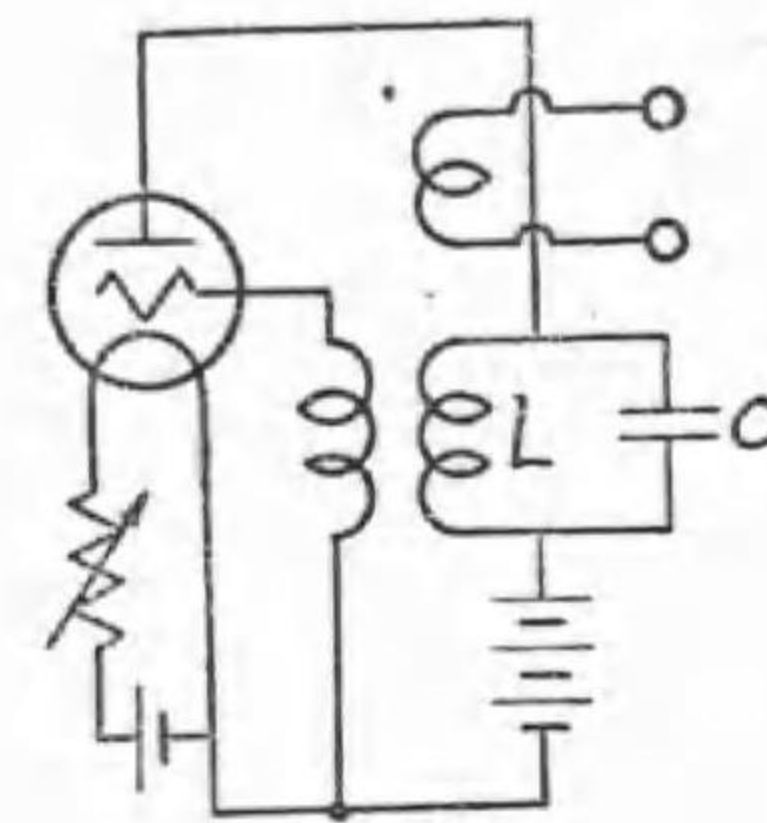
39. 可聽周波及高周波交流發生裝置

(a) 真空管發振器 ……直流電源と真空管で交流を發生することが出来る。第98圖は三極真空管を使用する場合の一例を示す。發生交流の周波数と同調回路の

C, Lとの間に大略下記の如き關係がある。

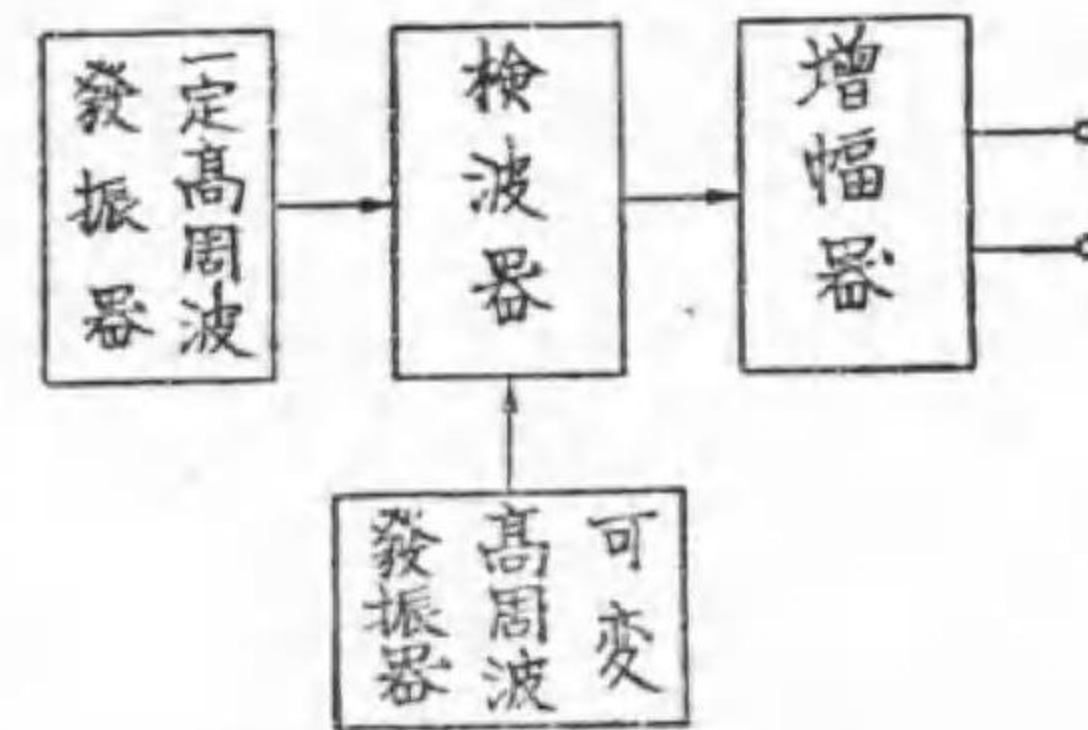
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

C, Lを適當に大とすれば可聽周波となり、C, Lを適當に小とすれば高周波となる。Cに可變容量蓄電器を使用すれば、可變周波数の發振器となる。



第98圖 真空管發振器

僅か周波数の異なる二つの高周波交流を合成すれば兩者の差に等しい周波数を持つ交流が現はれる作用を

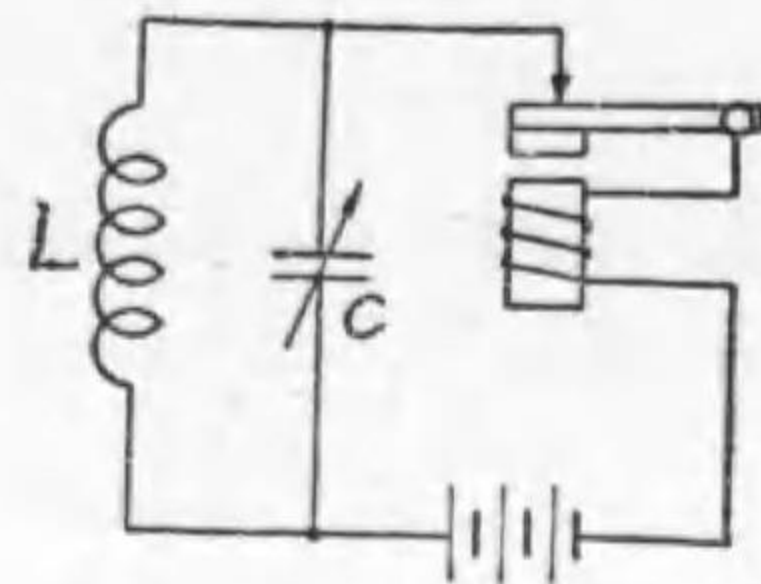


第99圖 唸周波数發振器

利用した可聽周波交流發生裝置を唸周波数發振器 (Beat frequency

oscillator) と云ふ。第99圖に於て可變高周波發振器の蓄電器を加減すれば、發生可聴周波數を數十サイクルから數千サイクルまで連続的に變へる事が出来る。

(b) **ブザー發振器**…… 第100圖の如く電磁石を利用した斷續装置で電池の回路を斷續すると、Lの自己誘導作用とCの充放電作用が相助け合つて、LC回路に高周波電流が發生する。發振周波數とLCとの關係は前項と同様である。之をブザー發振器と云ふ。



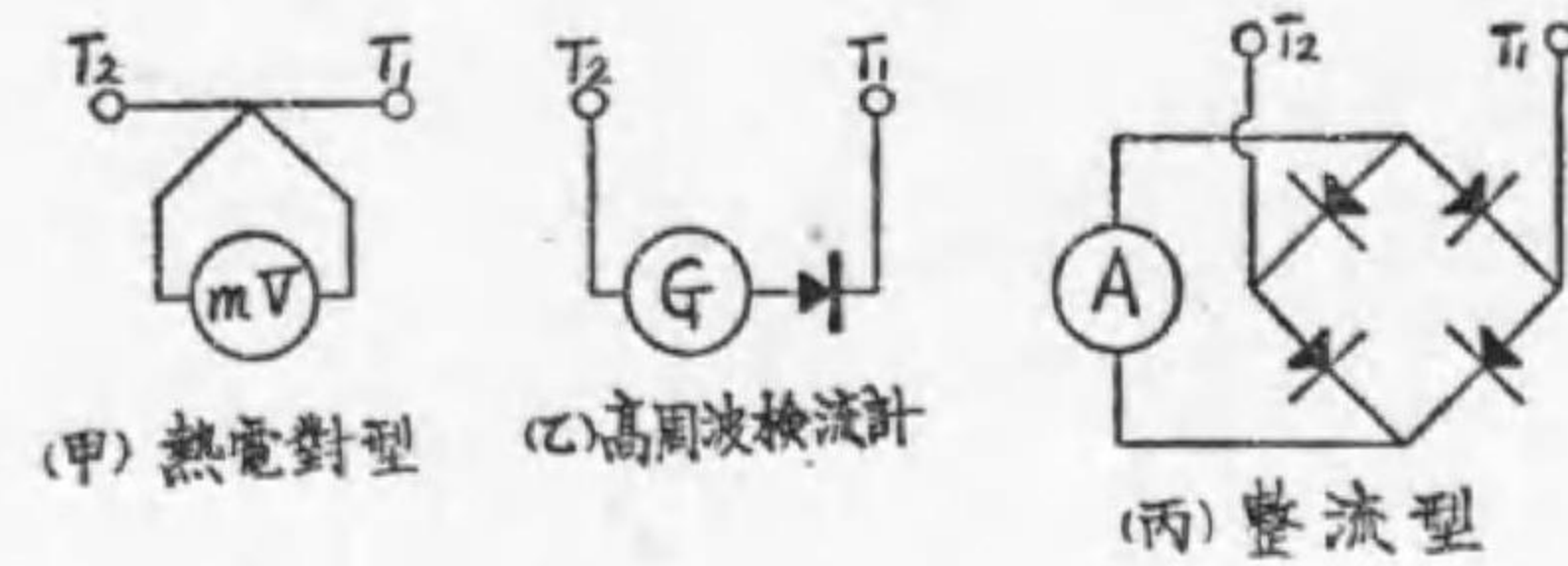
第100圖 ブザー發振器

第八章 高周波測定

40. 高周波電流計及電壓計

通常の交流計器を高周波に使用すれば、内部損失が激増し、且つ分布容量を通じて流れる電流が多くなり測定不可能である。

(a) **高周波電流計**…… 比較的大電流の場合は第7節に於て述べた熱線型を使用し、小電流の場合は熱電對型を用ふる。熱電對型は高周波電流によつて加熱される熱電對の起電力を、直流ミリヴォルト計又は直流檢流計にて檢する方法である。熱電對を真空管内に藏め、感度を高めたものを**真空熱電對型** (Vacuum junction type) と云ふ。熱電對型電流計は僅かの過電流でも熱線が熔斷するから使用上注意を要す(第101圖(甲))

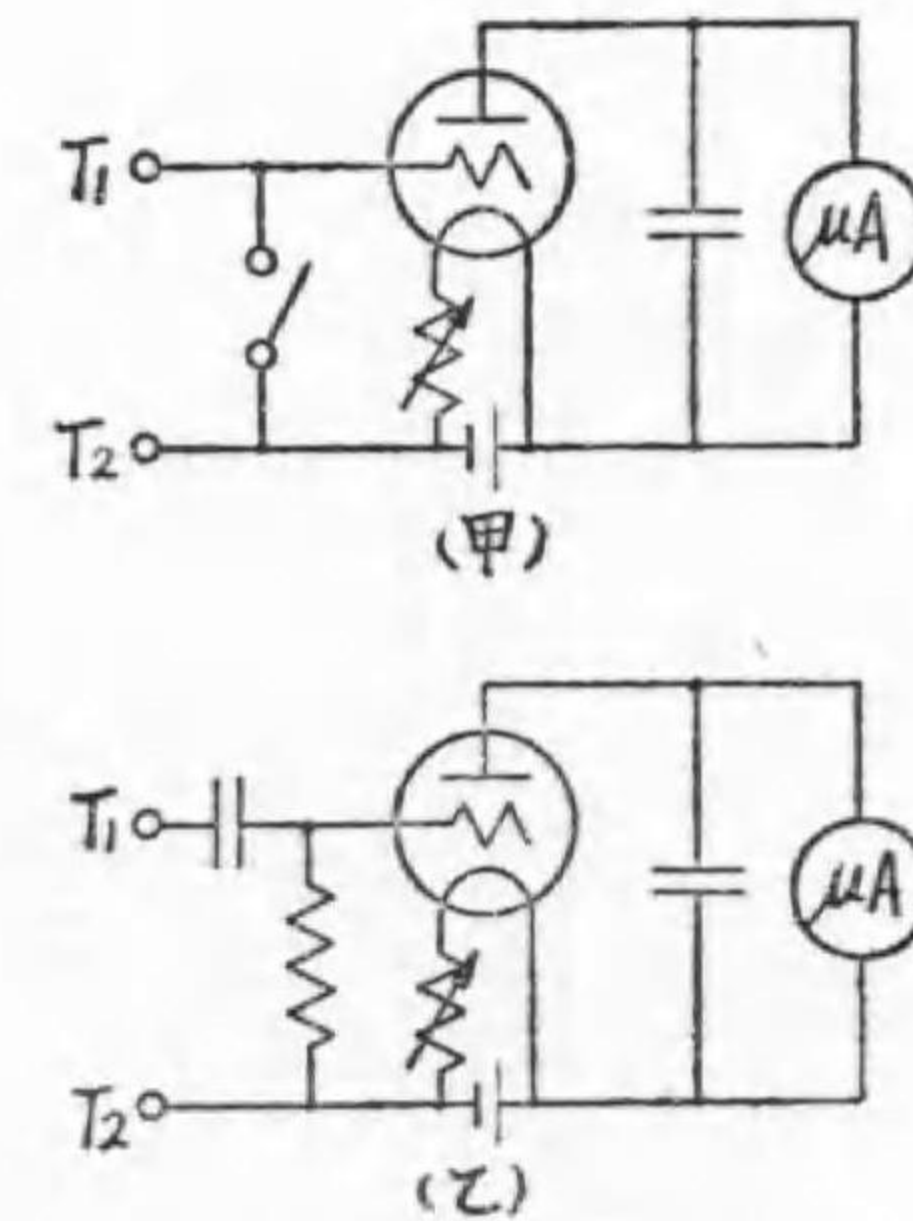


第101圖 高周波電流計

極めて微小なる高周波電流を検出する時は、第101圖(乙)の如く鑽石檢波器と直流檢流計とを組合せて、高周波檢流計となす事を得。特に減幅波又は變調波の時は、檢流計の代りに受話器を使用してもよい。

一萬サイクル以下用には、亞酸化銅整流器と直流ミリアンメーターとを組合せた整流型電流計がある。第101圖(丙)はその接續を示す。整流型は通常の交流計器では困難な小電流の測定が出来る長所があるが歪波形になると誤差が著しい。

(b) **高周波電壓計**…… 前項の高周波電流計に無誘導直列抵抗を附せば、高周波電壓計となるが、最近では真空管電壓計が多く用ひられる。之は真空管の整流作用を利用したもので、グリッドに被測交流電壓が加は



第102圖 真空管電壓計

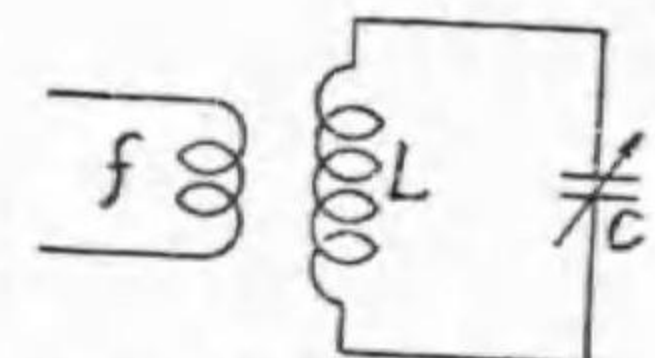
ると、プレート電流の直流分が變化する。その程度を直流電流計にて檢し、交流電壓の大きさを知る。第102圖はその接続の一例で、(乙)は直流電壓と重疊した交流電壓を測定することが出来るが、周波數により幾分の誤差がある。

真空管電壓計は測定の際計器の吸収する電力が極めて小さいから被測回路の状態を變化させぬ長所を持つ。

第33節に述べた陰極線オッシログラフも高周波電壓計として使用出来る。

41. 波 長 計

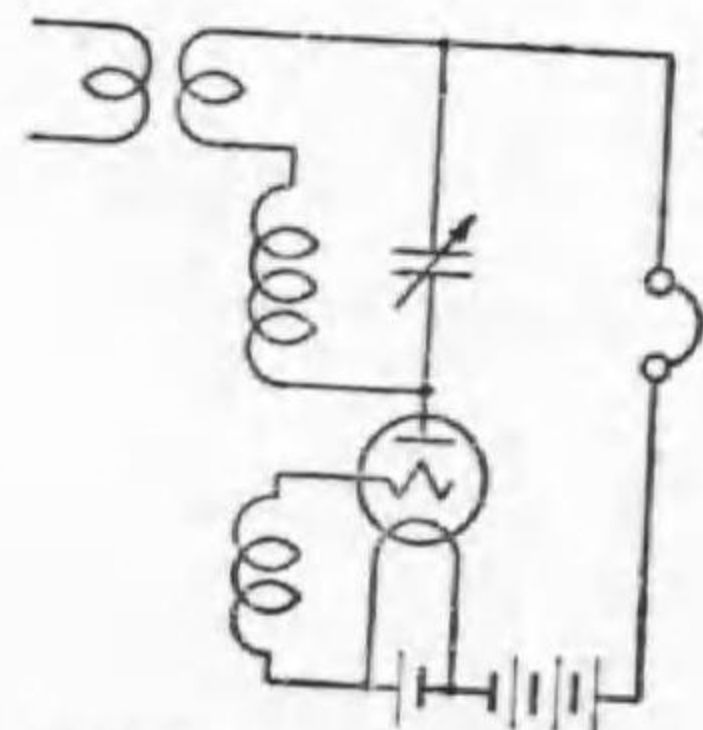
(a) 吸収型波長計……自己誘導と可變容量を組合せた同調回路が、被測周波數に同調した時には次のやうな關係がある。



(甲) 吸収型波長計

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$$

故に可變容量の目盛に、上の關係で定まる周波數を表はしたものを波長計 (Wave meter) と云ふ。同調を見るには、前節の高周波電流計又は真空管電壓計を使用する



(乙) ヘテロダイン波長計

第103圖 波長計

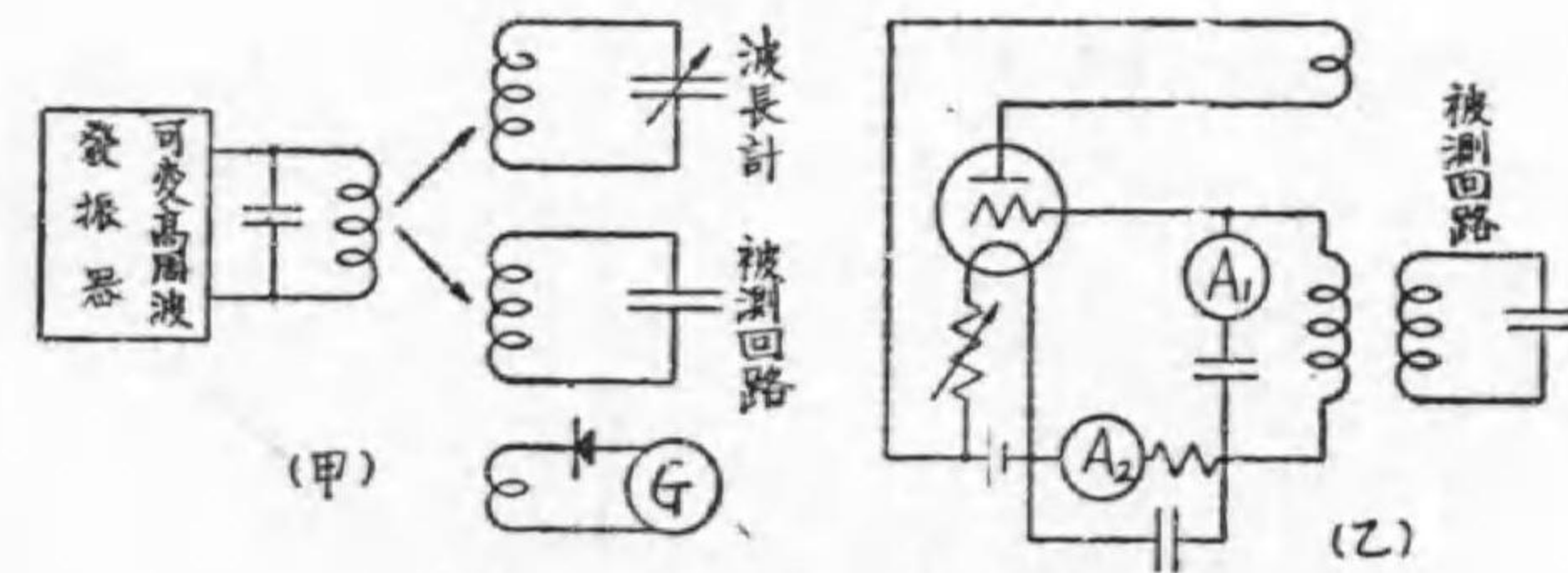
(b) ヘテロダイン波長計……第103圖(乙)の如く真空管高周波發振器で高周波振動を發生し、別に被測高周波を重疊すると唸り

を生じ、受話器に唸音が現はれる。發振周波數を變へて兩者の周波數を等しくすれば唸音は消える。故に發振周波數を知れば被測波の周波數がわかる。之をヘテロダイン波長計と云ふ。

42. 同調回路の共振周波數の測定

被測同調回路を高周波發振器と疎結合し、發振周波數を調節して被測回路を共振させ、その周波數を前節の波長計にて測定する。

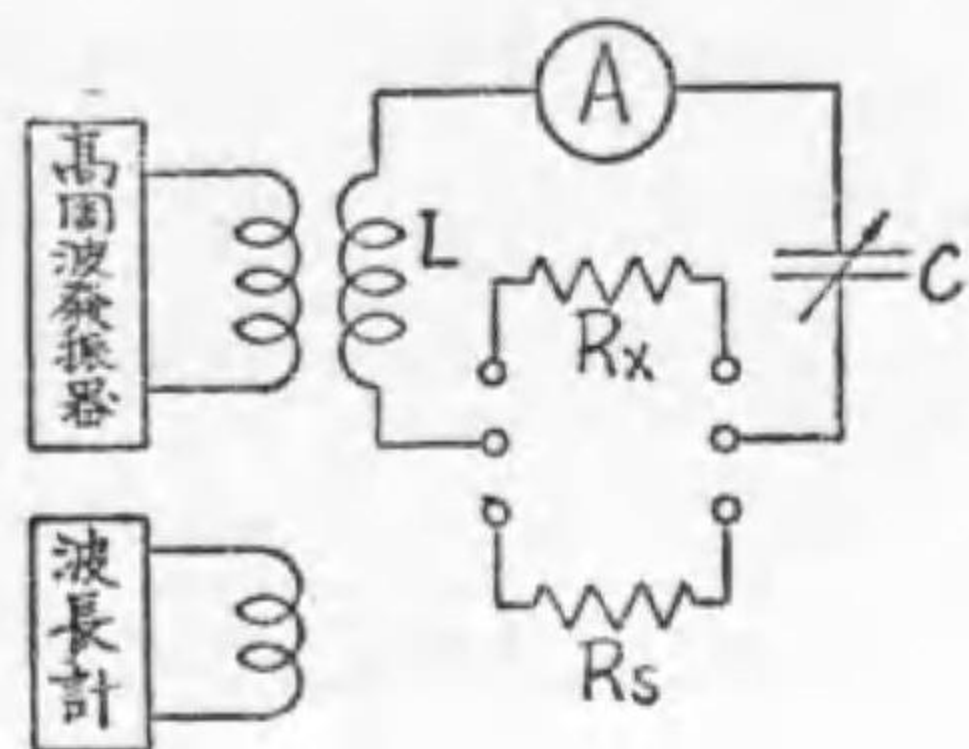
第104圖(甲)は被測回路の同調を見るために、波測回路側に高周波電流計A₁を挿入するか、又はグリッド回路に直流電流計A₂を挿入してもよい。被測回路が同調した場合には之に電力が吸収されるから此等の電流計の指示が激減する。A₂を用いた時はこの装置をグリッド・ディップ・メーター (Grid dip meter) と云ふ。



第104圖 同調回路の共振周波數の測定

43. 高周波實效抵抗の測定

導體に高周波電流を流した場合の電力損失は、同じ導體に同じ大きさの直流を流した場合より遙かに大きい。之は高周波では導體の



第105圖 高周波抵抗の測定

実効抵抗が増大することを示してゐる。此の高周波実効抵抗は周波数が増すに従ひ激増するものである。

第105圖は之の測定法を示す。圖中 A は高周波電流計、 R_x は未知抵抗、 R_s は標準無誘導抵抗である。LC

回路に R_x 、 R_s を夫々單獨に接続して、同調させた時の電流を I_x 、 I_s とする。又 LC 回路のみで同調した時の電流を I_0 とすれば

$$R_x = R_s \frac{I_s(I_0 - I_x)}{I_x(I_0 - I_s)}$$

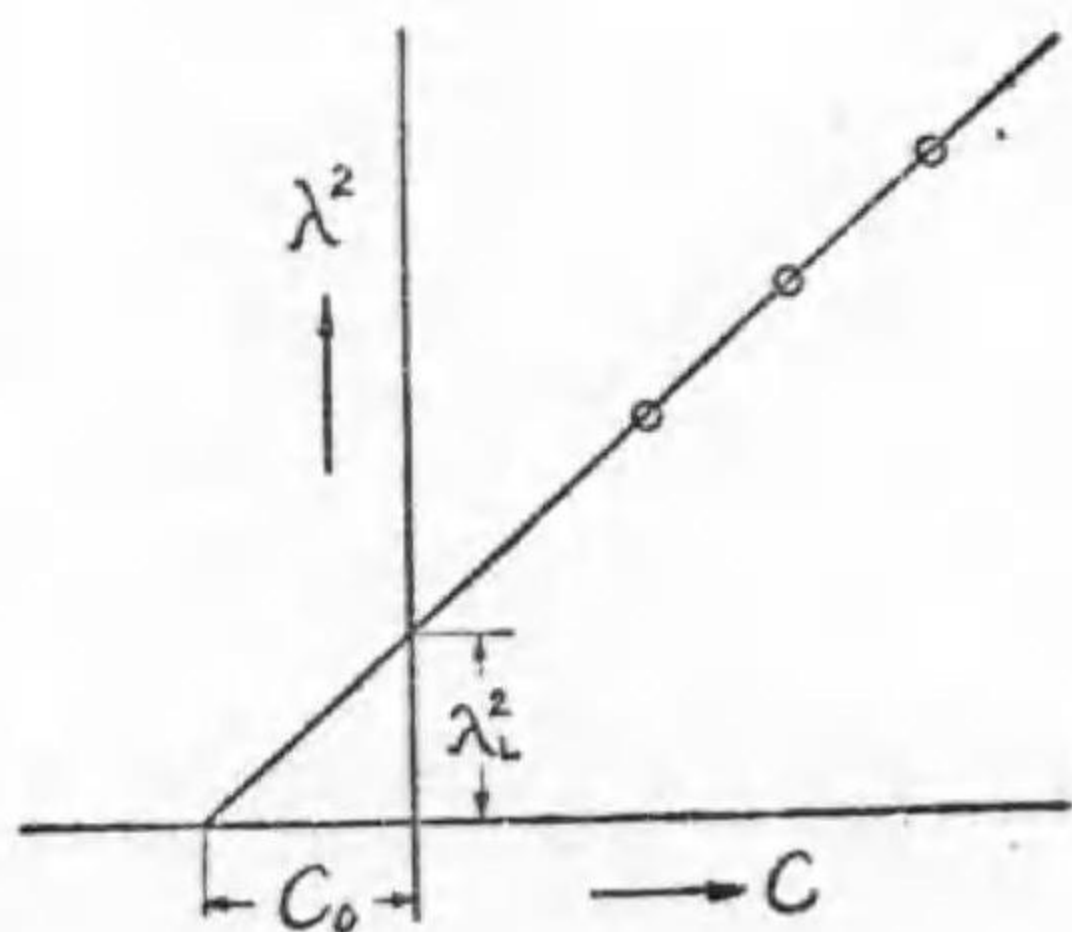
44. 自己誘導係数及静電容量の測定

(a) 共振波長の測定による法…… LC 回路の共振周波数 f (又は波長 λ) を第42節の方法で測定すれば

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{CL}}$$

$$4\pi^2 \lambda^2 = CL$$

なる故、C、L の中一方に標準器を用ふれば、他方を計算することが出来る。



第106圖

L が未知で、C が標準可變蓄電器である時、上式にて求めた L の値は、分容量 C_0 を含んだ実効誘導係数である。電源の波長を變へて測定を行ひ、 λ^2 と C の關係を圖示すれば第106圖の如き直線となる。このグラフから分布容量 C_0 及線輪の固有波長 λ_L が求められ、従つて純誘導係数は $(4\pi^2 \lambda_L^2) / C_0$ なる式により計算出来る。

(b) 標準器との比較法……可變標準容量が標準誘導 L_s と組合はされて同調した時の値を C_1 とし、未知誘導 L_x と組合はされて同調した時の値を C_2 とすれば電源周波数が一定であるから、

$$I_x = \frac{C_1}{C_2} L_s$$

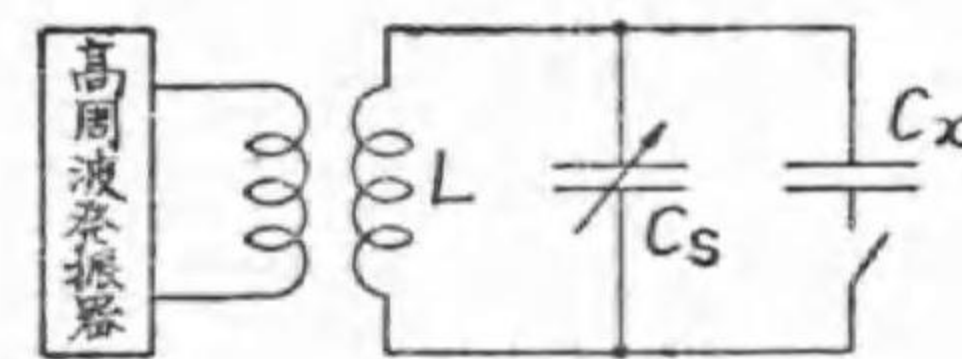
容量の測定は第107圖に示す(甲)圖に於て未知容量 C_x を接続せぬ時と、並列に接続した時に、夫々 C_s を加減して一定高周波電源に同調させる。各場合の C_s の値

を C_s' 、 C_s'' とすれば、

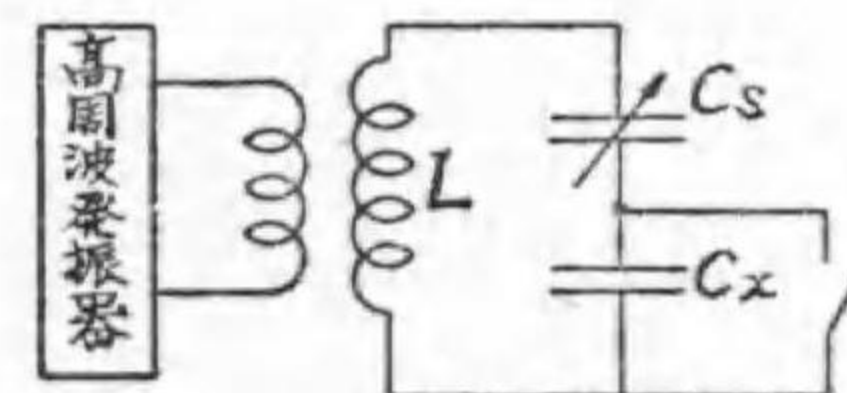
$$C_x = C_s' - C_s''$$

C_x の値が C_s に比較して相當大なる時は(乙)圖の如く、 C_x を C_s に直列に挿入した場合の値を C_s'' とし下式にて C_x を計算する。

$$C_x = \frac{C_s' - C_s''}{C_s' C_s''}$$



(甲)



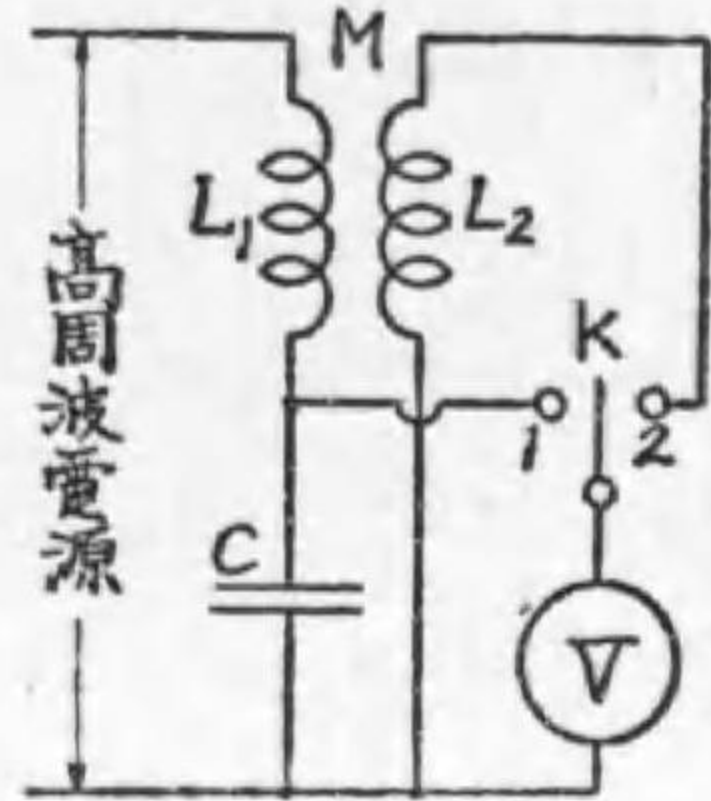
(乙)

第107圖 静電容量の測定

45. 相互誘導係数の測定

相互誘導係数を測定すべき二線輪を直列に接続して、その合成自

已誘導を前節の方法にて測定すれば、其等の値から第35節の場合に準じて相互誘導値を算出し得る。



第108圖 相互誘導の測定

第108圖は別の方法を示す。Mは測定すべき L_1 、 L_2 兩線輪間の相互誘導、Cは無損失蓄電器、Vは真空管電圧計である。Kを交互に1、2に接続してVの指示 V_1 、 V_2 を得れば、

$$M = \frac{V_2}{V_1} \frac{1}{(2\pi f)^2 C}$$

第九章 磁氣測定法

46. 磁界強度の測定

空間の磁界の強さ (Field intensity) を測定するには搜索線輪と弾動檢流計を用ふ。

搜索線輪 (Search coil) と云ふのは扁平な小線輪であつて、其の兩端を弾動檢流計に接続しておく。測定すべき磁界内に此の線輪を置き、初め其の面を磁界の方向と直角にしておいて、急に 180° 廻轉させれば、線輪中を通る磁束が變化するから、線輪内に起電力が発生し、檢流計に電流が流れる。此の電流計の最初の偏れの大きさを磁界の強さを知る事が出来る。

弾動檢流計は可動部分の慣性が極めて大きく作られてゐるので、電流が流れてから最初の偏れを生ずるまでに、十數秒乃至數十秒程

度の時間がかかる。搜索線輪に依つて生じた電流は一時的の電流であつて、其迄には零になつて了ふから檢流計の可動部分に與へられる力、従つて其の偏れ θ は全體の通過電流則ち全通過電氣量Qに比例する。則ち $Q = c\theta$ である。

搜索線輪の面を貫く磁束の数が ϕ 本で、之を t 秒間に 180° 廻轉したものとすれば、線輪中の磁束の變化は 2ϕ であるから、線輪の捲数を n とすると平均發生起電力は $\frac{2\phi}{t}$ である。檢流計の回路の抵抗を r とすれば流れる平均電流は

$$\begin{aligned} \frac{n}{r} \frac{2\phi}{t} &= i \\ 2\phi n &= rit \\ &= rQ \\ \therefore &= rc\theta \end{aligned}$$

今線輪の面積を $S \text{ cm}^2$ 磁界強度を H とすれば $\phi = SH$ であるから

$$2nSH = rc\theta$$

$$H = \frac{rc}{2nS} \theta$$

之の式に依つて檢流計の偏れ θ を測定すれば、磁界強度 H を決定することが出来、其結果は搜索線輪を動かす速さには無關係である。上式中Cは檢流計を1目盛偏らせるために必要な電氣量の値を示すもので之を**弾動常數** (Ballistic Constant) と云ふ。

此の値は個々の檢流計により異なつた値を持つてゐるから、別に實驗を行つて定める。

弾動檢流計の代りに第109圖の如き**磁束計** (Flux meter) を使用する

れば測定が簡単になる。

磁束計は一種の弾動檢流計であるが、(磁束×捲數)の値が目盛られてゐる故、搜索線輪の捲數から直に磁束の數が分る。



第109圖 磁束計

47. 磁束密度の測定

鐵の磁束密度(Flux density)も前節と類似の方法で測定する事が出来る。試験すべき試材で環狀磁路を作り之に磁化捲線を施し、切換開閉器を備えた直流電源で反轉勵磁する時生ずる鐵心中の磁束變化を、前節の搜索線輪の代りに鐵心に捲いた二次捲線と弾動檢流計で測定する。鐵心の斷面積を $S\text{cm}^2$ 、二次捲線數を n とすれば、前節の H を求める式と同じで磁束密度 B line/ cm^2 を計算することが出来る。

尙磁化捲線數を n 、磁化電流を i アンペア、試材の平均の長さを $l\text{cm}$ とすれば磁化磁界 H は

$$H = \frac{0.4\pi ni}{l} \text{ ガウス}$$

であるから之により $B-H$ 曲線も畫ける。

48. 鐵損失測定法

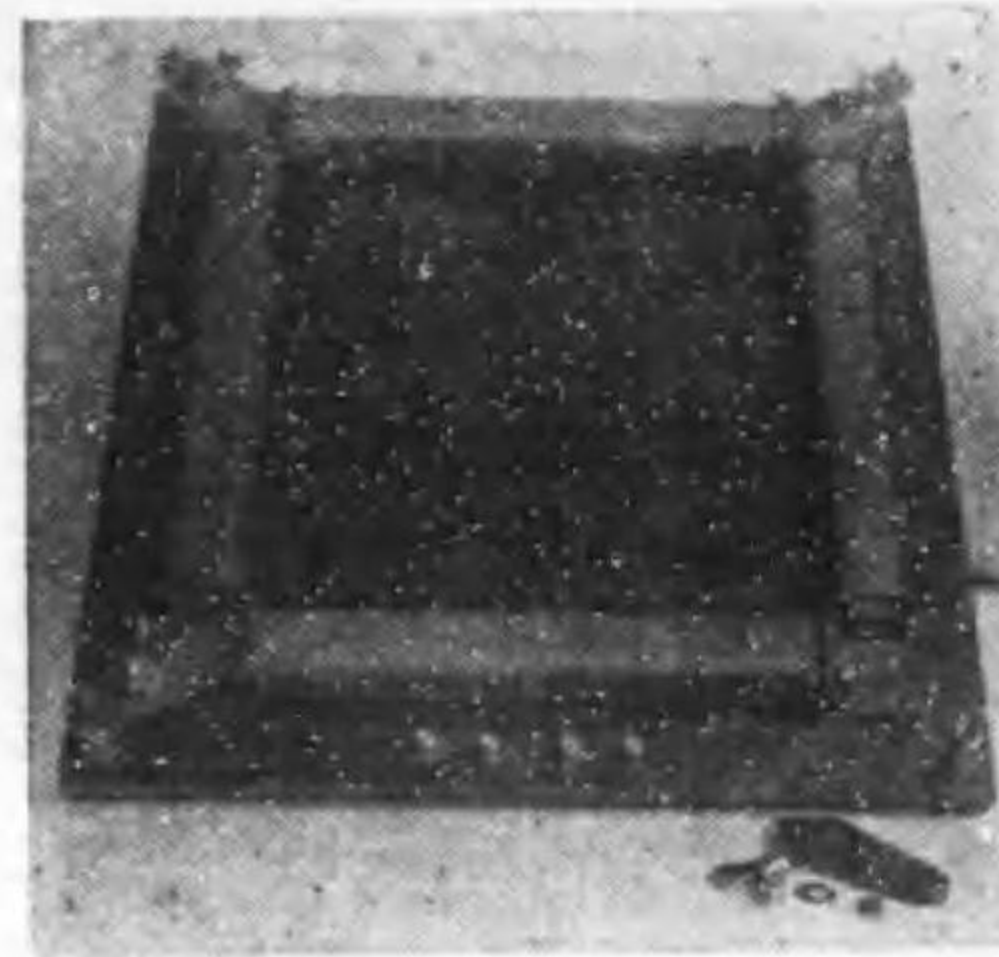
鐵を交番磁界内に置くとヒステリヒス及び鐵内部に發生する渦流のため、エネルギーの損失を來す。之を鐵損失と云ふ。鐵損失の値

は鐵の性質、容積、磁束密度、周波數により異なるものである。

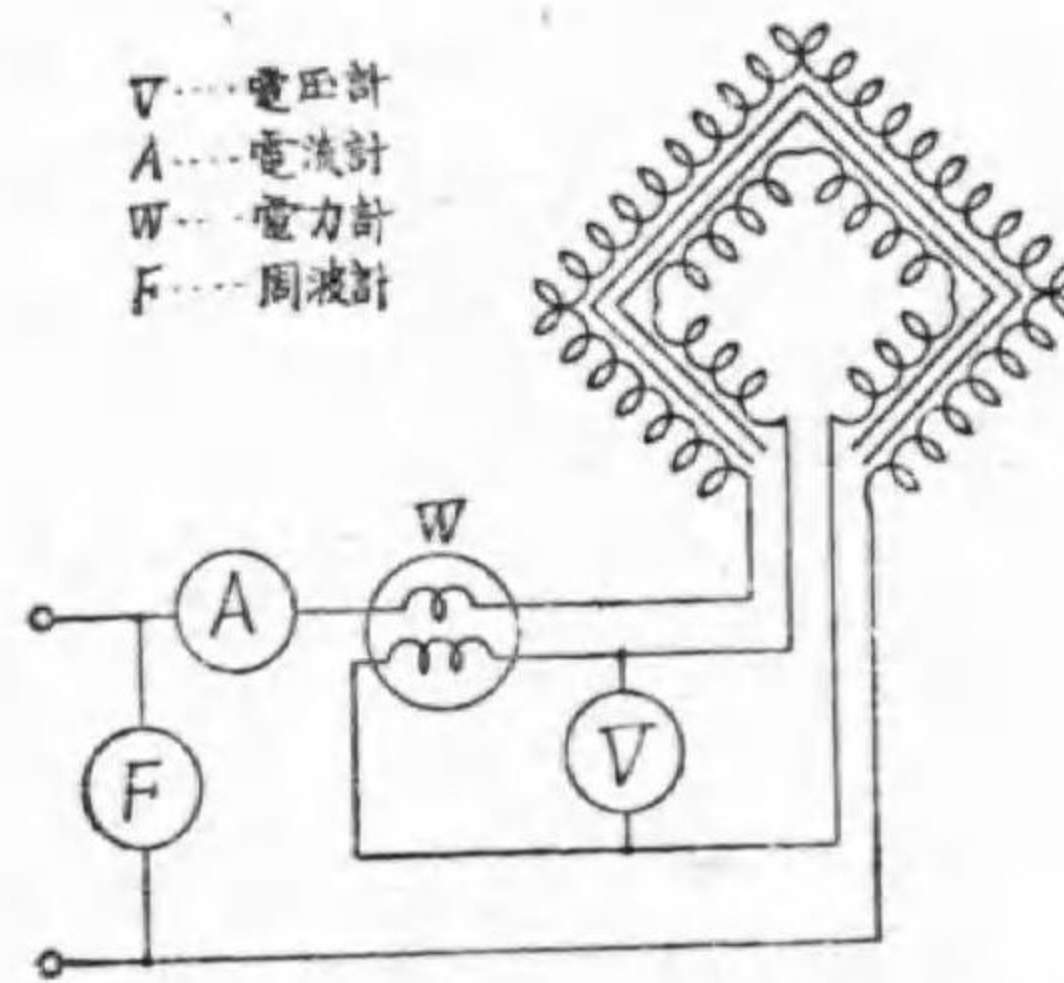
鐵損失を簡単に測定するにエプスタイン装置(Eps-tein apparatus)が最も適當である。

エプスタイン装置は第110圖の如く、一次線輪及二次線輪を有する4個のソレノイド(Solenoid)を方形に配置したもので各線輪の捲數は150回4個の一次線輪と4個の二次線輪は夫々直列に接続されてゐる。

此のソレノイド中に、短冊型に切つた試材用薄鐵板を積重ねて收め第111圖の如く接続して一次線輪に交番電壓を加へ、電力 P 、電



第111圖 エプスタイン装置



第108圖 エプスタイン装置結線

壓 E 、電流 I 、周波數 f を測定する。

鐵損失を P_0 とすれば

$$P_0 = P - \frac{E^2}{r_v} - \frac{E^2}{r_w}$$

但し r_v は電壓計の内部抵抗、 r_w は電力計の電壓線輪の抵抗である。此際鐵心中の磁束密度 B は、鐵心の斷面積を $S\text{cm}^2$ とすると二次

線輪の總捲数は600であるから

$$B = \frac{E}{4.44 \times 600 f s} \times 10^8 \text{ line/cm}^2$$

之により或る磁束密度に對する鐵損失を知る事が出来る。

尙此の際の鐵心1種毎の磁化アンペアターン (Magnetizing ampere turns per cm) at は鐵心の平均の長さが200cmであるので、

$$\begin{aligned} at &= \frac{600}{200} \sqrt{I^2 - \left(\frac{P_o}{E}\right)^2} \\ &= 3 \sqrt{I^2 - \left(\frac{P_o}{E}\right)^2} \end{aligned}$$

故に電壓を變へて測定を行へば、其の鐵板の磁化曲線 (B-H曲線) をも求める事が出来る。

問題

- (1) 0を中心として左右に 100×10^4 までの目盛のある磁束計を、捲數40回有効面積 25cm^2 の搜索線輪と共に使用したら何ガウス迄の磁界を測る事が出来るか。(答1000ガウス)
- (2) $3\text{cm} \times 50\text{cm}$ の薄鐵板を 2.22cm の高さに積重ねた試材4個(總計10kg)を用ひ、エプスタイン装置で試験し次の結果を得た。磁束密度、1kg當りの鐵損失、1cm毎のアンペアターンを計算し、鐵損曲線、磁化曲線を書け。

E	I	P_o	f	E	I	P_o	f
26V	0.26A	3.8W	60	102V	1.10A	34W	60
48	0.48	9.8	"	119	1.45	49	"
64	0.61	15.8	"	135	2.10	64	"
85	0.91	26.5	"				

演習問題

- (1) ウェストン型電壓計の誤差を生ずる原因如何。(大正3年5級)
- (2) シヤントを有する電流計を直流で檢定し之を交流に用ふるの可否。(大正3年4級)
- (3) 可動鐵片型電流計に於て電流を増加する場合と減少する場合とで同一の電流に對し指示を異にする理由を説明せよ。(大正8年4級)
- (4) 直流を以つて目盛したる熱線型電流計は之を其儘交流回路に使用し得る理由を説明せよ。(大正14年3種)
- (5) 電流力計型電壓計は一般に其目盛平等ならざるも同型電力計の場合に於ては其目盛略平等なるは如何なる理由に基くかを説明せよ。(昭和3年3種)
- (6) D.C 250Vの電壓を二個の150V用電壓計を直列に接続して測定するに當り二個の電壓計の抵抗は夫々15000オーム及10000オームならば各計器の指示如何。(大正5年5級) (答150V, 100V)
- (7) 10Aの最大目盛を有する二個の電流計を15Aを通ずる回路に並列に接続するときは各電流計の指示如何。但電流計の最大目盛に於ける端子間電壓降下は夫々75mV及50mVなりとす。(大正12年3種)(答6A, 9A)
- (8) 最大目盛150V抵抗18000オームの直流電壓計と最大目盛300V抵抗30000オームの直流電壓計とあり、若し之を直列に接続して使用せば測定し得べき最大電壓幾Vなりや。又此二つの電壓計を用ひ450Vの電壓を加へたるとき各電壓降下が最大目盛を指示する爲には如何なる方法を講ずべきや。(昭和4年3種) (答400V。150V電壓計に9000オームの抵抗を並に接続する。)
- (9) 抵抗450オームを有する檢流計に附屬する10倍50倍の二種の倍率を有

する分流器の抵抗を計算し且つ其の接続圖を示せ。(大正14年3種) (答 50オーム 9.184オーム)

(10) 他の検流計を用ひずして其検流計の抵抗を測定する方法の一を記せよ (大正7年5級)

(11) 電池の起電力を比較する方法。

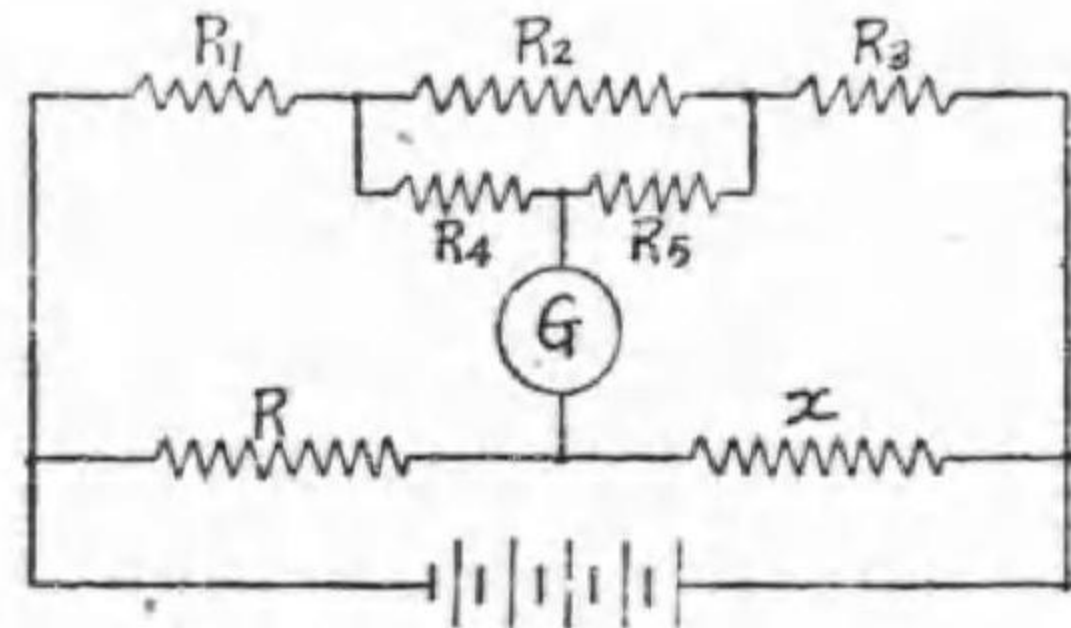
(12) 一定電圧の電源に、内部抵抗未知なる電圧計を直接接続したるに指示 V_1 ヲルトを得たり。次に既知抵抗 R オームを電圧計と直列となし、同一電源に接続したるに指示 V_2 ヲルトを得たりといふ。此の電圧計の内部抵抗幾何なりや。(昭和8年3種)

(13) 圖の如きブリツヂにより抵抗 x を測定する場合に各邊の抵抗が圖示の如くなりたる時検流計

の振れが零となりたるものとす。抵抗 x を求む。

(昭和5年3種)

(答 $x = \frac{2R_3 + R_4}{2R_1 \times R_4} \times R$)



(14) 護謨絶縁電線を購入す

るに當り其絶縁抵抗を精密に測定する方法を述べよ。(大正11年3種)

(15) コールラウシュブリツヂの原理及用途を示せ。(大正6年4級)

(16) 単相指示電力計の構造及原理を説明せよ。(昭4.3種)

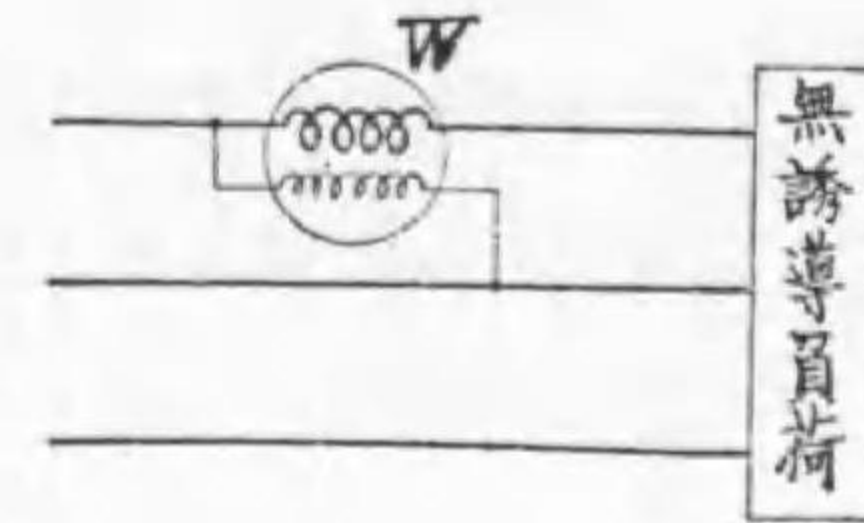
(17) 単相電力計を用ひて不平衡三相四線式回路の電力を測定せんとする場合の接続を圖示せよ。(昭6.3種)

(18) 二個の単相電力計を用ひて不平衡三相三線式回路の電力を測定する場合の電線接続圖を圖解せよ。(大11.3級)

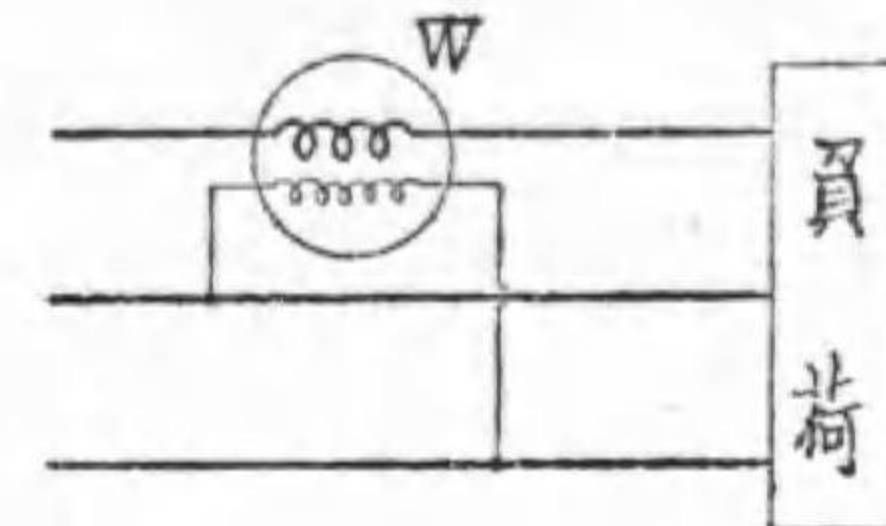
(19) 圖の如く三相回路に於て単相電力計を平衡無誘導負荷に接続せるに電

力計の指示 W ワットなりと云ふ。負荷の全電力如何。但し電壓及電流は純正弦波形と假定す。(大7.4級)

(20) 単相電力計を平衡三相回路に圖の如く接続し、その指示を $\sqrt{3}$ 倍すれば無効電力が得られることを説明せよ。



(21) 単相交流回路に於て電壓及電力計を接続して負荷の電力を測定する場合の接続を圖示し、電力計の讀みに施すべき更正值を算出せよ。但し電力計は補償装置を有せざるものとす。(大9.4級)



(22) 二電力計法に於て各電力計の讀みが $W_1 W_2$ ワットなる時此の三相回路の力率は

$$\cos \phi = \frac{1}{\sqrt{1+3\left(\frac{W_1-W_2}{W_1+W_2}\right)^2}}$$

で計算出來ると云ふ。何故か。

(23) 直流回路に於て圖の如き接続により負荷の電壓電流及消費電力を測定せんとす。此の場合電圧計の讀みは E ヲルト、電流計の讀みは I アンペア、電力計の讀みは P ワットとすれば、負荷の電壓、電流及消費電力を得るためには各計器の讀みに施すべき更正值を求む。

但し R_a = 電流計の抵抗

R_w = 電力計電流線輪の抵抗

$r_w =$ 電力計電圧線輪の

抵抗

$r_v =$ 電圧計の抵抗

(24) 積算電力計の滑動とは何か。(大15.3種)

(25) 誘導ワット時計に於て下

記の場合其の誤差は如何に変化するや。

(イ) 制動磁石の強さが減じたる場合。

(ロ) 軸承に於ける摩擦が増加したる場合。

(ハ) 電圧が定格電圧より増加したる場合。(昭和5.3種)

(26) 100ヴォルト, 5アムペア, 単相交流積算電力計を電圧100ヴォルト, 電流5アムペア, 力率0.5に於て試験し圓板一回轉20に對し6.2秒を要したりと云ふ。此の場合に於ける誤差幾%なるか。但し計器係数は圓板一回轉につき750ワット秒なりとす。(大15.3種)

(27) 100ヴォルト, 10アムペアの単相交流積算電力計を定格電圧, 電格電流及力率0.5にて試験したるに, 圓盤の廻轉數20に對して57秒を要したりと云ふ。此の場合に於ける誤差幾パーセントなりや。但し計器定数は1KWH2400廻轉なりとす。(昭和8.3種)

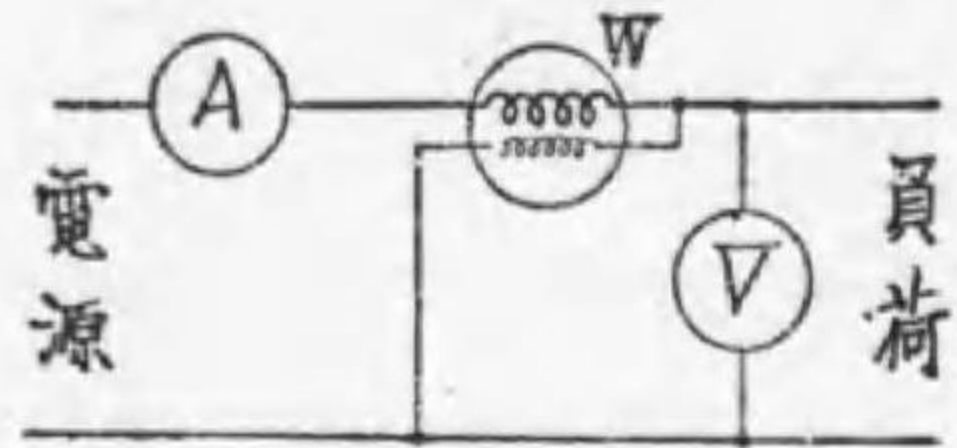
(28) 電位差計を用ひ電池の起電力を測定する方法を説明せよ。(昭4.3種)

(29) 電池の端子電圧を電位差計に依り測定せるに E_1 ヴォルトを示し, 電池の端子間に電圧計を接続せるに E_2 ヴォルトを示せり。 E_1 と E_2 の異なる理由及其の間の關係を示せ。(昭5.3種)

(30) 熱電對を用ひて溫度を測定する方法を述べよ。(大7.4級)

(31) 周波計は回路へ如何に接続すればよいか。

(32) 同期表示器の一種に就きて其の構造及原理を説明せよ。(大元・4級)



(33) 直流三線式電路に於て電球を各線と大地との間に順次に挿入せしに外線の一なる甲に於ては電燈の光輝最も大にして中間線乙に於ては其の光輝之に次ぎ他の外線丙に於ては光輝なし, 三線中何れの線に漏電最も多きや。(明44.5級)

(34) 下記の場合に使用するには如何なる形の計器を適當とするか。

(ロ) 100000サイクルの交流を測定する場合。

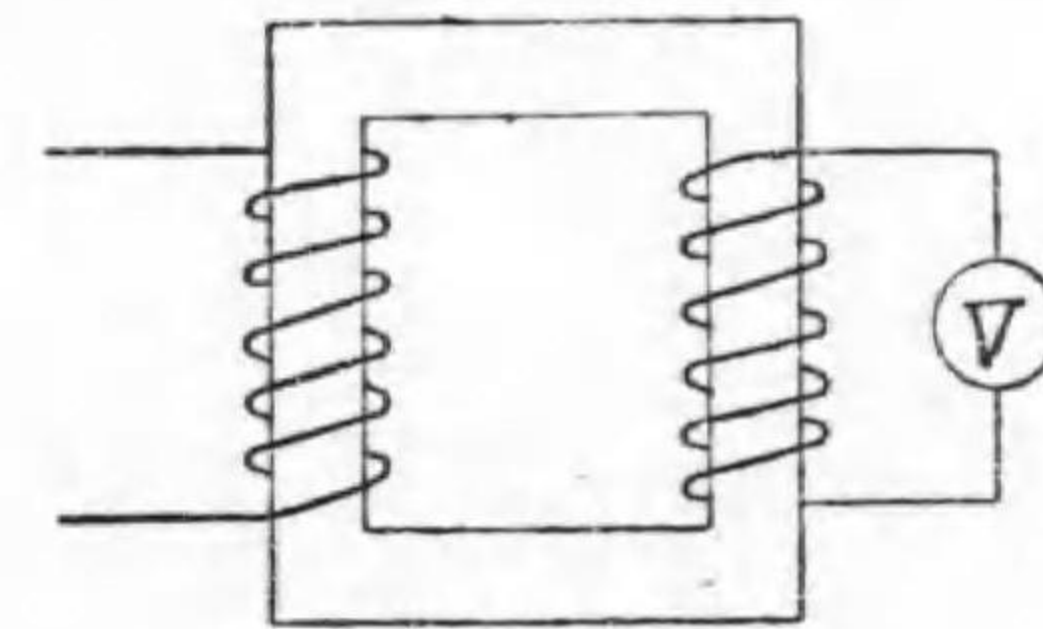
(イ) ハは略す。(大11.3種)

(35) 二個の蓄電器の容量を比較する方法の一つを記載せよ。(大元4級)

(36) 交流により變壓器用鐵板を試験するに普通用ひらる法を述べよ。

(大6.4級)

(37) 圖示のエプスタイン装置に於て一次線輪に f サイクルの交流を通じたる時二次線輪に接続されたる電圧計の讀みは V ヴォルトなりと云ふ。此の場合に於ける鐵心内の磁束密度の最大値を算出せよ。



但し鐵心の切斷面積は S 平方厘にして二次線輪の捲數は N なりとす。

(昭6.3種)

昭和十四年六月十五日 印刷
昭和十四年六月廿五日 發行

電氣理論並測定法
定價金貳圓



著者 電 教 社

發行者 中 西 儀 藏
大阪市大正區泉尾竹之町三丁目一三

印刷所 八 ッ 橋 印 刷 所
大阪市東區博勞町一丁目六五

發行所 大石堂出版部
大阪市大正區泉尾竹之町三丁目一三

大賣捌所 愛國出版社
大阪市南區二ツ井戸町一五
振替大阪九一四九〇番

株式會社 盛文館
大阪市西區北通貳丁目
振替大阪七四三番

終