

$$E' = M \frac{I}{t} = 0.12 \times \frac{10}{0.02} = 60 \text{ ヴォルト}$$

又其方向は、一次線輪の電流が減じつゝある場合であるから、一次線輪の電流と同方向である。

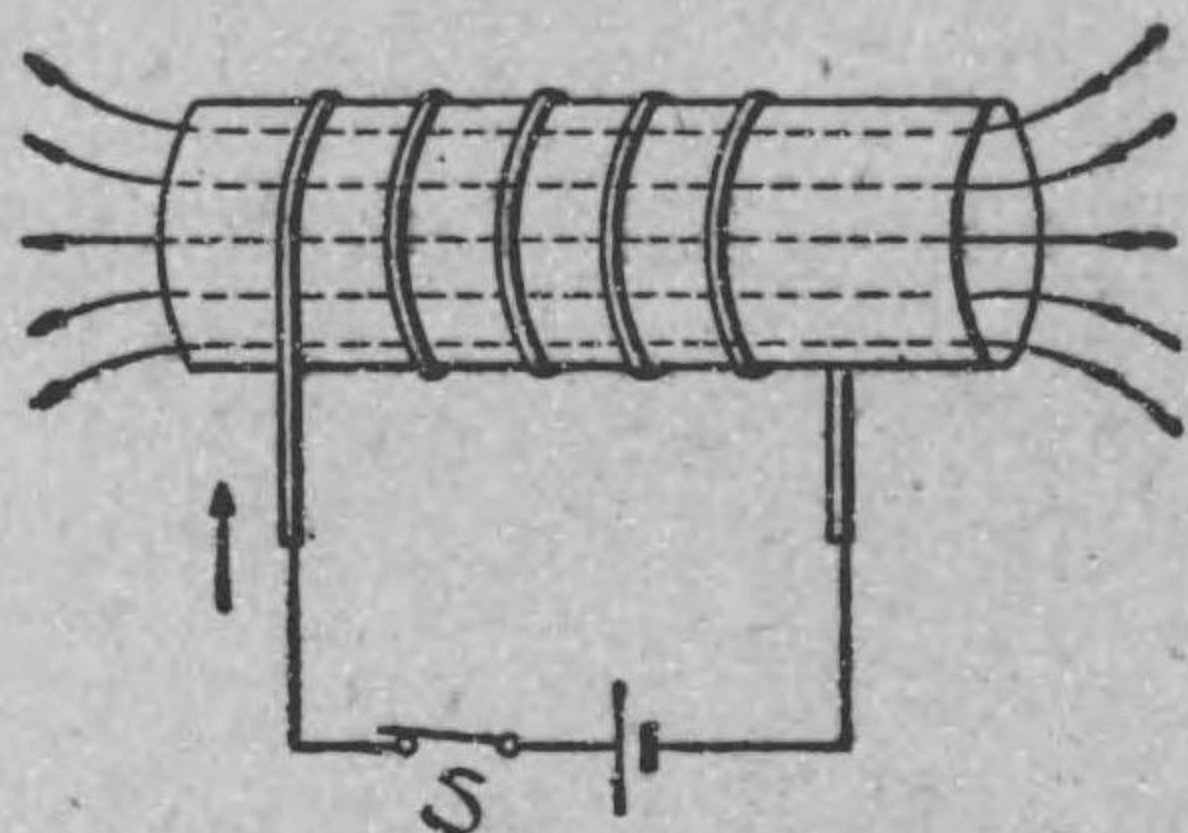
108. 自己誘導

第 165 圖甲に示す様に、一箇の線輪

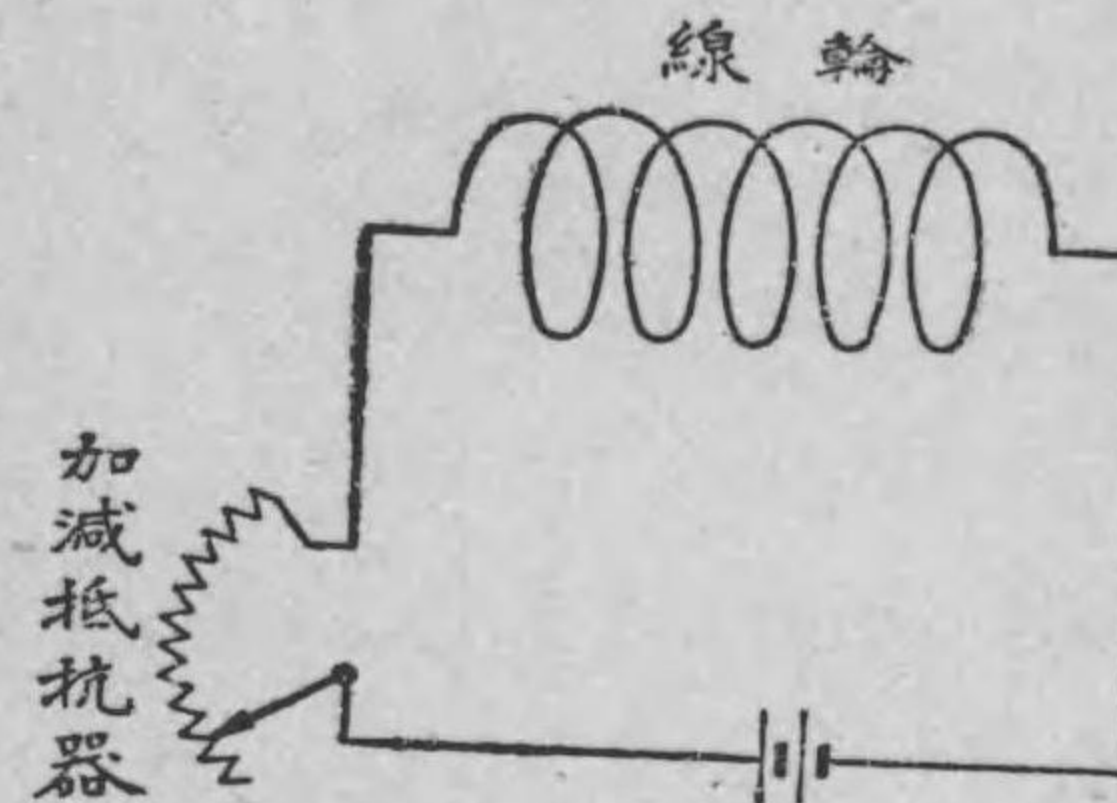
があつて、之に電流を通じたり、断つたりする瞬間を考へて見よう。線輪に電流が通じて居ない時は線輪内部には勿論磁線は無いが、電流が通じて居る時は線輪内部には磁線が出来て居る。従つて、今開

閉器 S を閉じた瞬間には、外部から線輪を切つて線輪内部に磁線が出来ると考へる事が出来る。故に此瞬間には磁線とその線輪とが切り合ふから、レンツの法則により、その磁線を妨げようとして（その磁線と反方向の磁線を生じようとし）、その爲めには線輪電流と反方向の電流従つて起電力がその線輪自身内に誘導される譯である。又線輪に電流通じて居たのを開閉器 S を急に開いた瞬間には、線輪内部に在つた磁線が線輪を切つて外に逃げて無くなると考へる事が出来る。故に此瞬間には磁線とその線輪とが又切り合ふから、レンツの法則により、無くならうとする磁線を

第 165 圖
甲



第 165 圖
乙



無くさせまいとして（その磁線と同方向の磁線を生じようとし）、その爲めにはその線輪の電流と同方向の電流従つて起電力がその線輪自身内に誘導される譯である。此様に線輪に電流を通ずる瞬間及び電流を断つ瞬間には、磁線と線輪とが切り合ひ、電磁誘導作用によつてその線輪自身内に起電力が誘導される。此現象を自己誘導作用と稱する。

自己誘導作用は電流を断續する瞬間のみでなく、第 165 圖乙に示す様に、加減抵抗器の抵抗を増したり減じたりして、線輪に通ずる電流を減じたり増したりする場合にも起る。何故なれば電流を増減する度毎に磁線が増減し、線輪と切り合ふから電磁誘導作用を生すべきである。

さうして此場合にも自己誘導の起電力の方向はレンツの法則に従つて、電流變化を妨げようとする方向に生ずる。即ち電流が増しつゝある間はその電流と反方向に、又電流が減じつゝある間はその電流と同方向に起電力がその線輪自身内に誘導される譯である。

自己誘導によつて生ずる起電力の大きさは、その線輪の毎秒の電流變化の割合に比例するものである。故に今 t 秒間に I アムペア宛の電流變化の割合があるとすれば、線輪の自己誘導の起電力

の大きさ E は $\frac{I}{t}$ に比例する。従つて比例定数を L とすれば自己誘導の起電力の大きさは次式で表はされる。

$$E = L \times \frac{I}{t} \quad \text{ヴォルト}$$

此定数 L はその線輪の形、捲数、其他線輪内部に置かれた磁性體の有無等によつて定まる定数で（線輪の捲数の自乗には比例する）、之をその線輪の自己誘導係数じこいうどうけいすう又は自己インダクタンスと名付ける。此自己インダクタンス L の単位もヘンリーで表はす。1ヘンリーの自己インダクタンスとは、毎秒1アムペアの割合で變化する電流に依つてその線輪自身に1ヴォルトの起電力を誘導する様な線輪の自己インダクタンスである。

自己インダクタンスや前節の相互インダクタンスを有する線輪等は無線電信電話等にも廣く用ゐられる。此事に就いては音響學及電話の講義で述べられる。

例題 49. 0.5ヘンリーの自己誘導係数を有する線輪がある。之に1秒に付き20アムペア宛の電流増加がある場合、その線輪に誘導される起電力は何ヴォルトか又その方向はどうか。

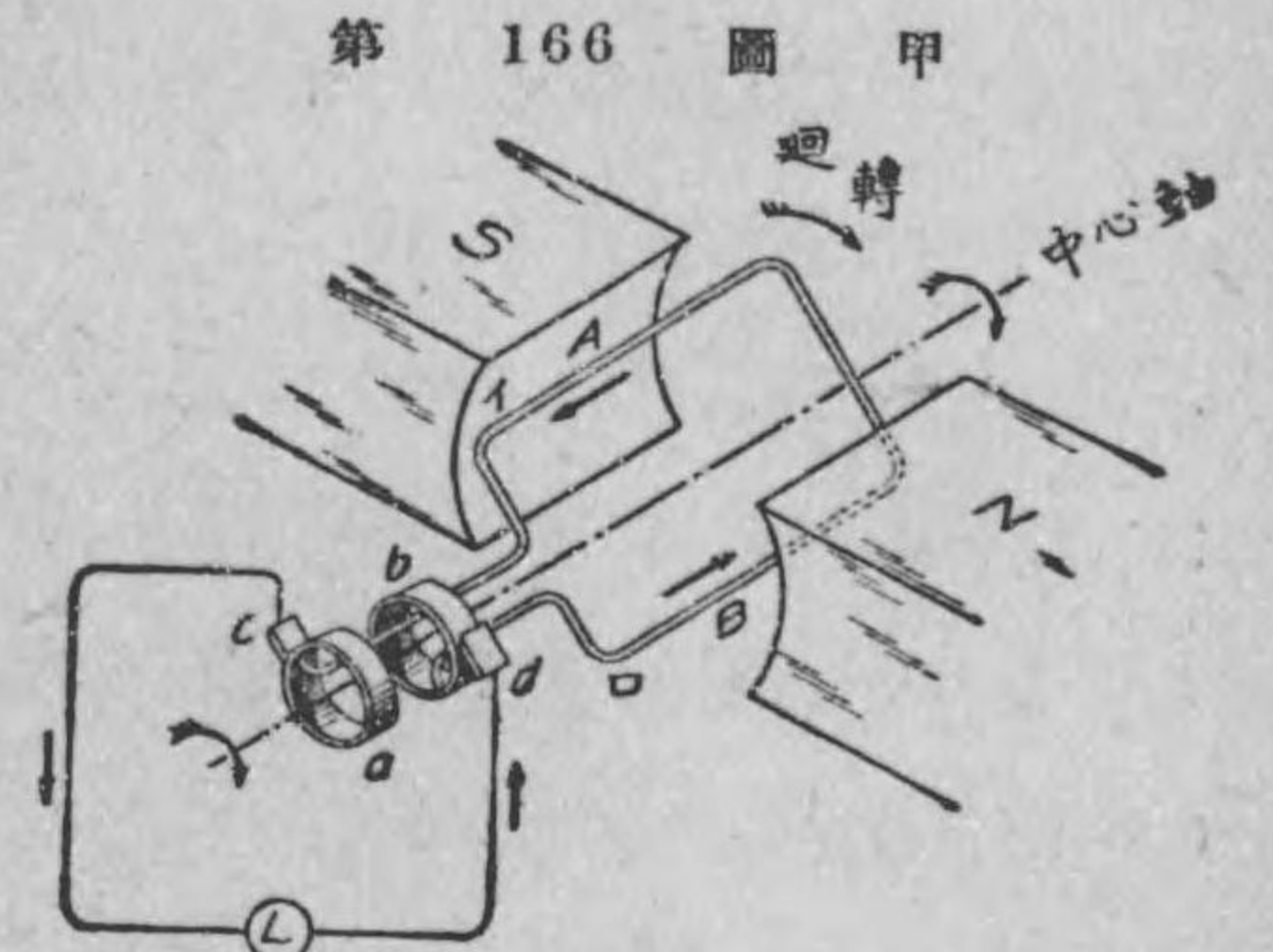
解 自己誘導起電力の大きさは

$$E = L \times \frac{I}{t} = 0.5 \times \frac{20}{1} = 10 \quad \text{ヴォルト,}$$

又其方向は、電流が増しつゝある場合であるから、線輪電流の方向と反對方向である。

109. 交番起電力及び交流 第166圖甲に示す様

に、磁極 N, S の中間に線輪を置き、此線輪を中心軸の圍りに時計式に廻轉すると、線輪に誘導する起動力は半回轉毎に線輪に對して逆に向ふ方向に生ずる譯である。即ち圖の位置に來た瞬間には線輪の A 部と B

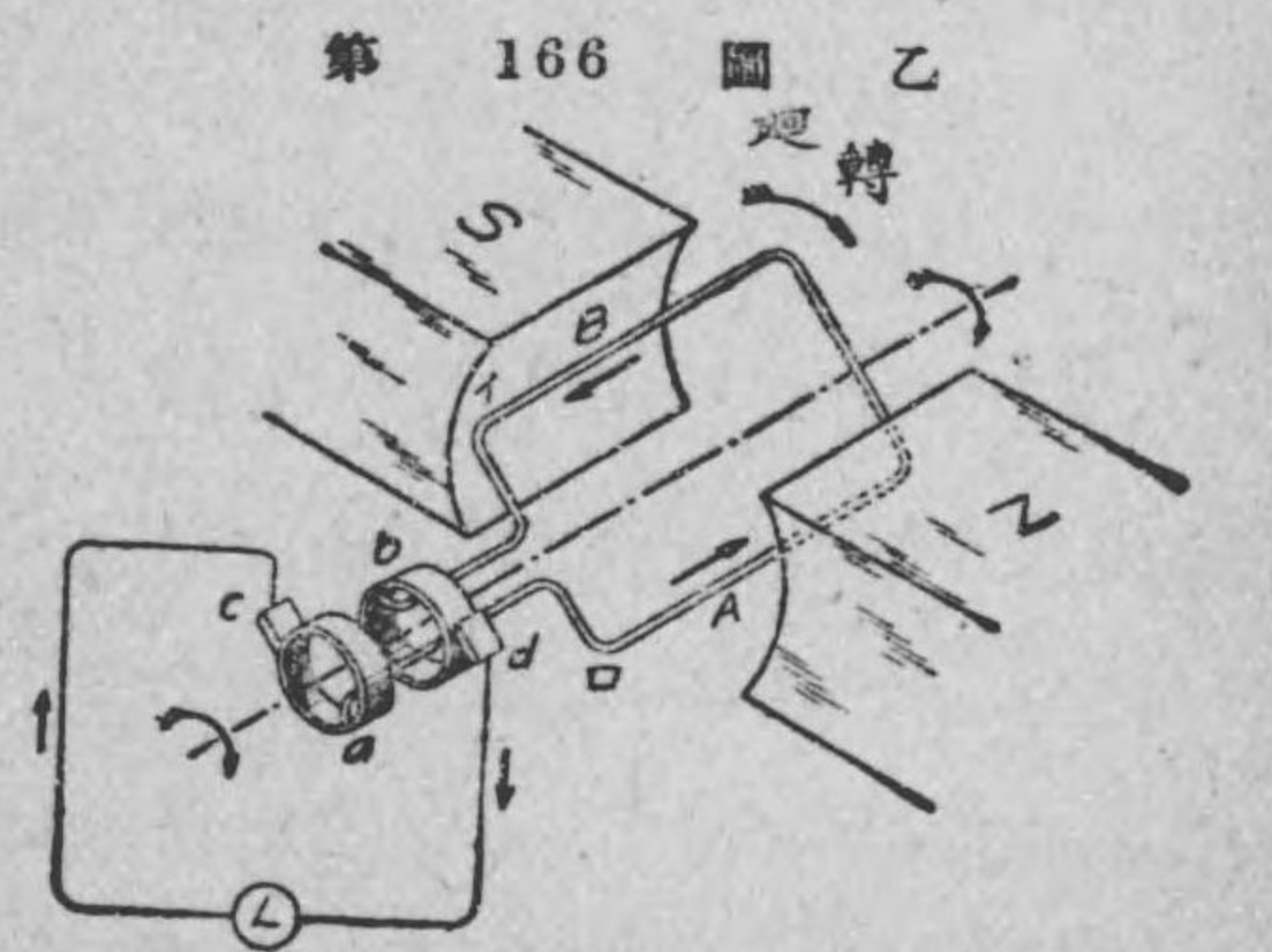


第 166 圖 甲
A がイの位置に來た瞬時には電燈 L には左から右へ向ふ電流通ずる。

部とに矢の方向の起電力が誘導され（此の方向は右手三指の規則で分かる） A 部の端の環狀導體 a （之を聚電環しゅうでんくわんと云ふ）と、 B 部の端の環狀導體 b との間に各刷子 c, d を經て接續された電燈には矢の方向に誘導電流が通ずる。次に之から半回轉して、 A 部が ρ の位置に B 部が ι の位置に來た瞬間即ち第166圖乙の位置の場合には起電力が圖に示す

方向に生ずるから、刷子 d から電燈を經て c 刷子に向ふ電流が通ずる。

此様に誘導起電力は半回轉毎に線輪に對して逆に向ひ、従つて又電流も半回轉毎に線輪に對して逆の方向



第 166 圖 乙
B がイの位置に來た瞬時には電燈 L には右から左へ向ふ電流通ずる。

に生ずる。此様な起電力を^{かうはんきでんりよく}交番起電力と云ひ、又電流を^{かうはんでんりよく}交番電流又は簡単に^{かうりゆう}交流と稱する。さうして交番起電力を生ずる装置を^{かうりゆうはつでんき}交流発電機と名付ける。線輪が一回轉すると起電力の方向が逆になる之を一周波又は1サイクルと稱する。さうして交番起電力又は交流の毎秒に付いての周波の回数をその交流の^{しゅうはすう}周波数と稱する。吾々が普通使つて居る交流の周波数は50サイクルのものと60サイクルのものである。

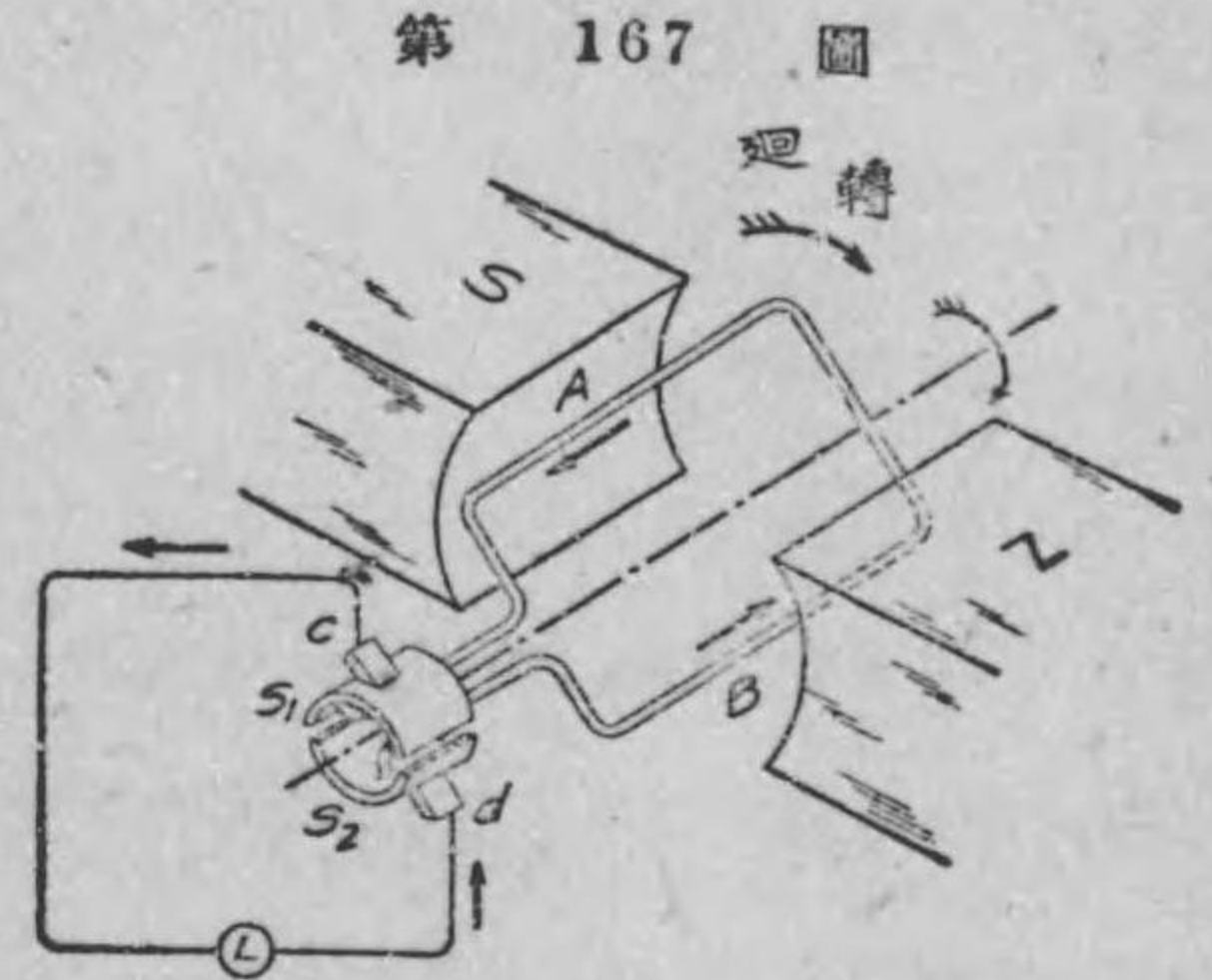
電池に依つて生ずる起電力や電流の様に電線に對して方向の一定して居るものを、夫々^{ちよくりゆうはつでんりよく}直流起電力、直流と名付ける。

電流によつて色々な仕事をさせる場合に、その目的によつて直流又は交流が用ひられる。後に述べる電氣分解では直流を要する。吾々の日常に必要な熱、光、動力等には直流又は交流何れでもよいが普通交流が多く用ひられる。尙ほ交流に就いての詳しい事は後章に述べる。

110. 直流發電機の原理

前節の交番起電力を生ずる發電機に於て聚電環の代りに^{せいりゆうし}整流子と云ふものを使ふと外部に直流が得られる。第167圖に示す様に、一個の聚電環を等分に斷ち割つて、其間を絶縁した一組を整流子と稱する。又 S_1, S_2 を整流子片と稱する。 S_1 を線輪のA部に、 S_2 をB部に接続して置く。 c, d は刷子である。今線輪が時計式に廻轉すると、前節に述べた様に線輪内には交番起電力が誘導される。然し刷子 c, d 間

に接がれた電燈 L には常に刷子 c から電燈を経て d に向ふ一定方向の電流が通ずる。何故なれば、圖の位置では A から S_1 を経て刷子 c に、又之から電燈 L を経て刷子 d に向ふ電流が通ずる。

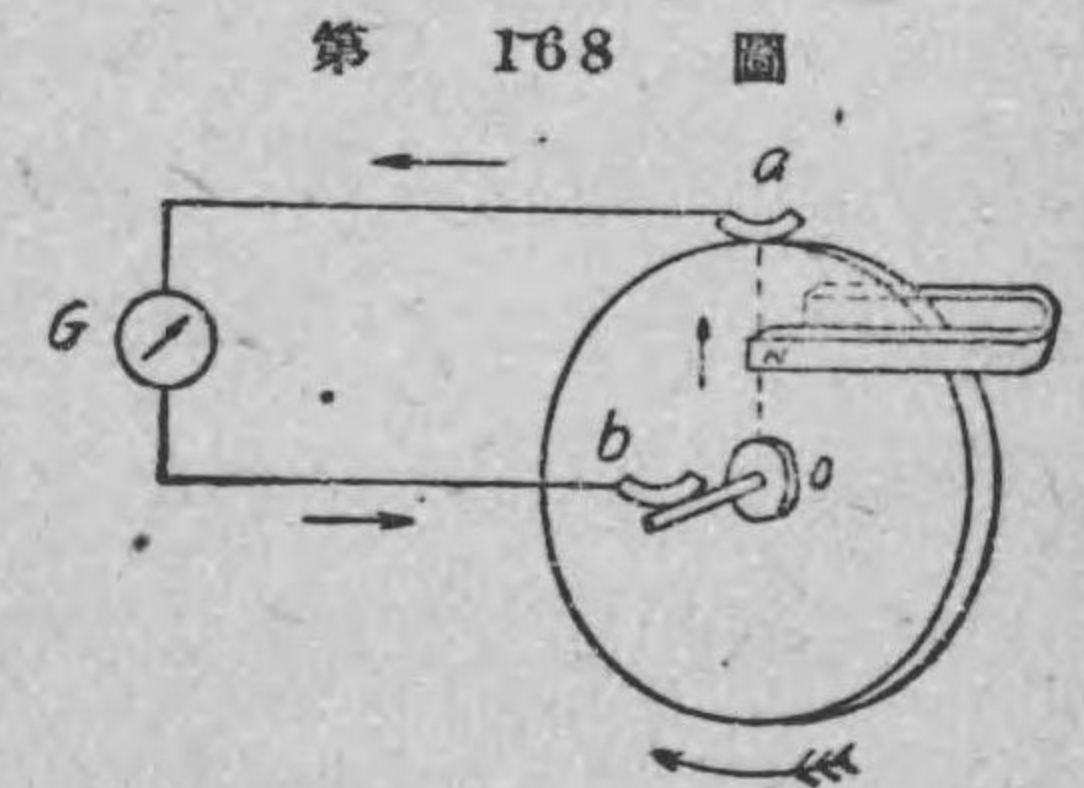


第 167 圖 直流發電機の原理

線輪が之から半回轉した位置

に來ると、 S_2 が c に接し、 S_1 が d に接するからその場合でも外部の電燈には cLd の順に電流が通ずる。即ち線輪が廻ると、線輪内では線輪に對して交番起電力が生ずるが整流子のために、外部の電燈では常に刷子 c から電燈 L を経て刷子 d に向ふ一定方向の電流が通ずる譯である。此第 167 圖の様な装置即ち整流子を使つて外部に直流を生ずる發電機を^{ちよくりゆうはつでんき}直流發電機と云ふ。

例題 50: 第 168 圖に示す様に、圓形銅板を蹄形磁石の N, S 兩極間で廻はし、圖に示す様に銅板の縁と中心軸とに夫々 a, b の金屬彈條を接觸せしめ、その兩端を檢流計 G に接続して置く。圓板を圖に示す様に時計式方向に廻はすと、 $oaGbo$ の方向に直流が通ずる。此装置を



第 168 圖 ファラデー圓板

ファラデーの圓板と稱し、世に現はれた最初の直流發電機と云へる。此場合の電流の方向をフレミングの右手三指の規則で説明せよ。

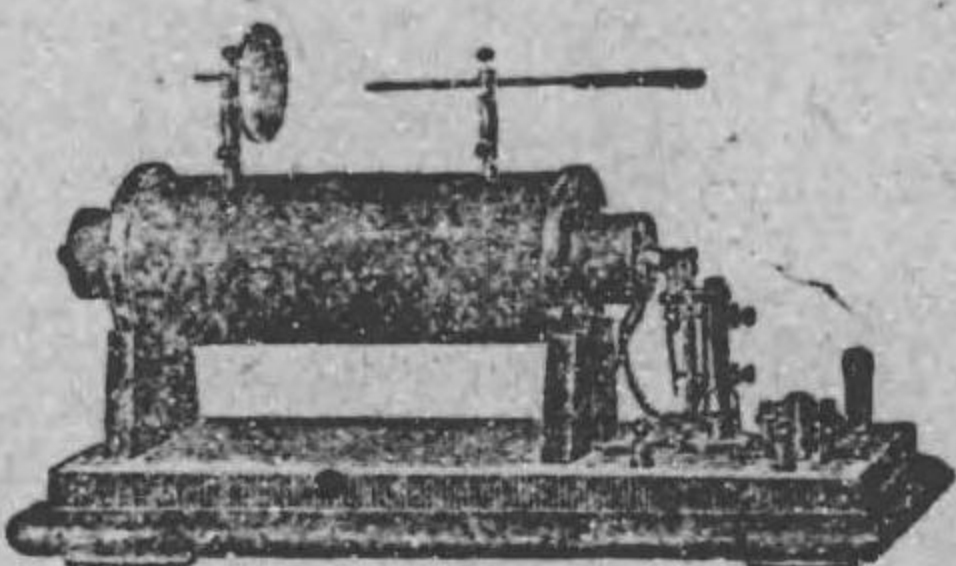
解 銅板を時計式方向に廻はすと、點線で示す oa なる銅板の半徑部分は左から右へ動いて N から S へ向ふ磁線を切るから、フレミングの右手三指の規則により、導體 oa には o から a に向ふ起電力を誘導するから、 $oaGbo$ の方向に誘導電流を生じ、圓板を圖の方向に絶えず廻はして居る間は絶えず電流が $oaGbo$ の方向に通ずる、即ち直流を得る譯である。

III. 誘導線輪 二つの線輪の相互誘導作用を利用し

て、一次線輪に低い直流電圧を断續的に與へて、二次線輪に高い瞬間的の電圧を誘導する装置を誘導線輪いんどうせんりんと稱する。第 169 圖甲、乙は誘導線輪を示すもので、乙は其構造を示す略圖である。軟鐵心の上に太い絶縁

電線 P を巻き之を一次線輪とし、電鈴と同様な仕掛けで電池に接続されて居る。一次線輪 P の上をエボナイト管で絶縁して、其上に捲數の非常に多い細い二次線輪 S が捲かれてあり、その兩端は端子 T_1, T_2 に接続されて居る。今開閉器 K を押して、螺子 B によつて白金接觸子 p', p を接觸せしめると、 P に電流通

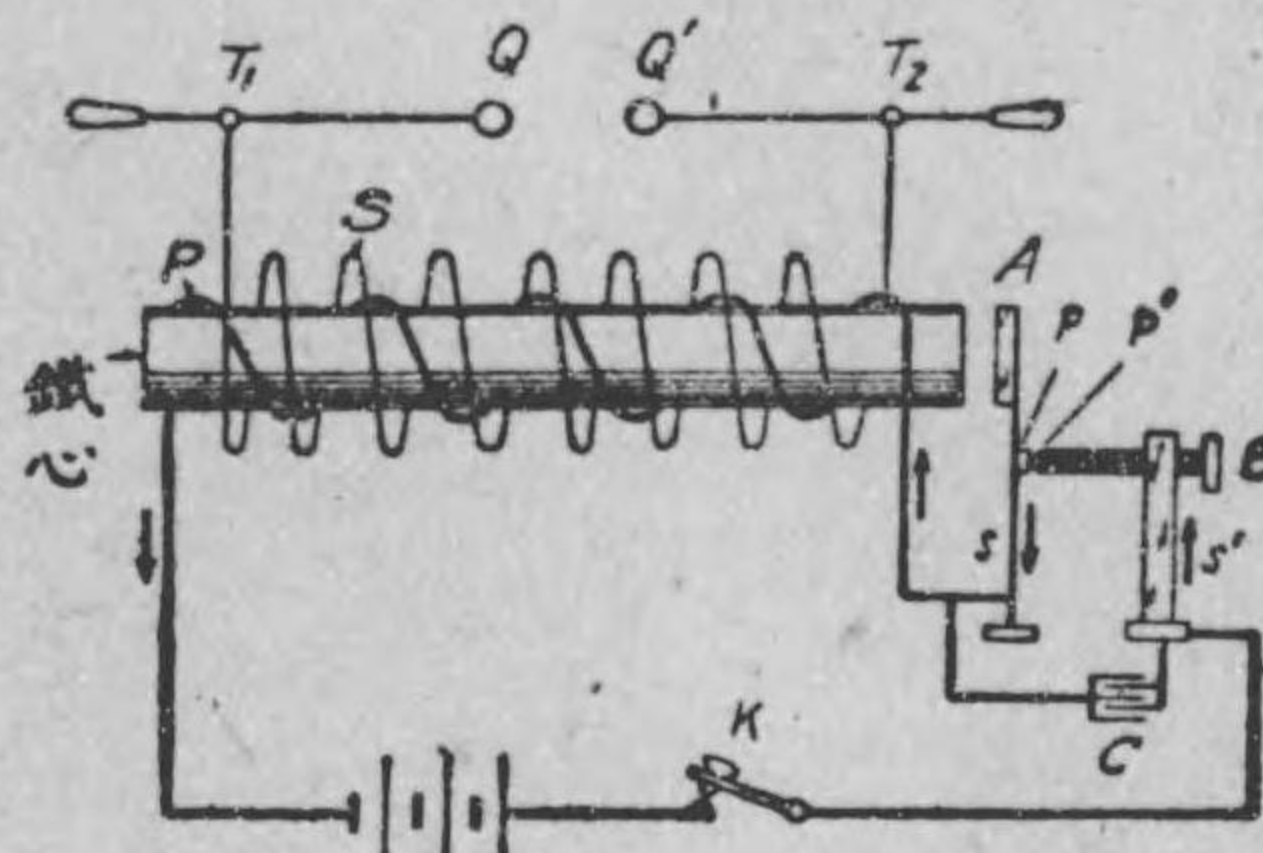
第 169 圖 甲



誘導線輪

じ、之によつて磁線を生じ相互誘導により S に高い起電力を誘導する（その方向は P の電流と反方向である）。然るに P に電流通ずると、軟鐵片 A が鐵心に吸引され、 p, p' の接觸が離れて電流が断たれ、磁

第 169 圖 乙



誘導線輪の略圖

線も消えるから、相互誘導により S には高い起電力が誘導される（その方向は P の電流と同方向である）。そして p, p' が離れると電流が P に通じないため鐵心は磁氣を失ひ軟鐵片 A を引く力なく、 A はバネ s のために元の位置に戻り、又 p, p' が接觸する。従つて開閉器 K を閉ちて居る間は、 A は電鈴の場合と同様に絶えず左右に振動し、 p, p' の接觸が断續される〔此の $A p p'$ の装置を断續器だんぞくきと稱する〕。斯様に P の電流が断續される毎に S に高い起電力が誘導される。尚ほ實際には断續器の p, p' に並列に紙蓄電器 C 〔第 40 節の第 59 圖の紙蓄電器〕が接続されてあるので、 p, p' が離れる時其間に生ずべき火花が消え、又 P の電流が断たれる瞬間に於ては、 P に電流が通ずる瞬間よりも高い電圧が S に誘導されるものである。故に T_1, T_2 に接続された放電球 Q, Q' の距離を近くして置けば空氣の絶縁を破つて其間に火花は交互の方向に飛ぶが、 Q, Q' の距離を大にして置くと、

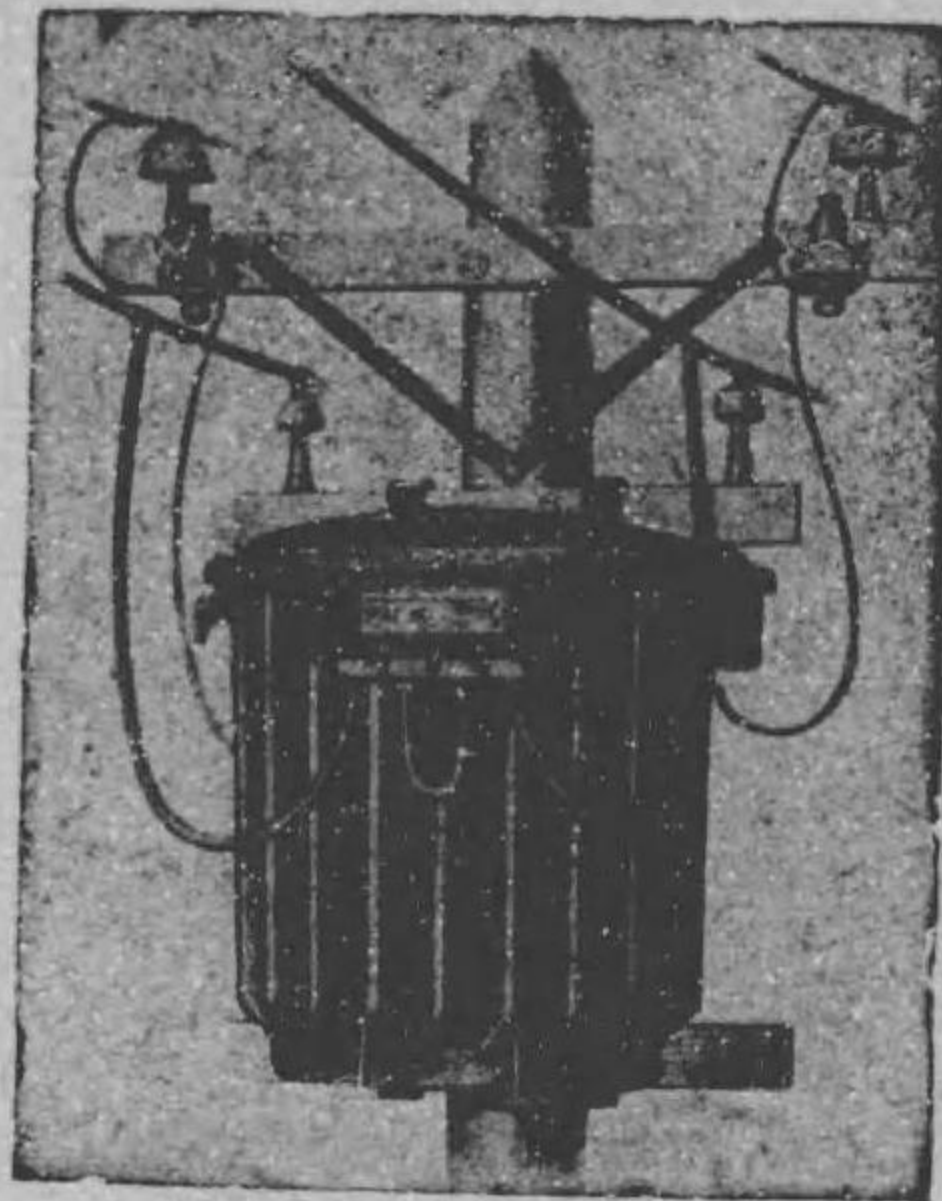
火花は電流を断つ瞬間のみ飛んで方向が一定するのである。

誘導線輪は後章に述べる X 線を発生せしめる時の電源としたり、其他色々の実験等に使用される。

112. 變壓器

諸君は散歩の時第 170 圖に示す様な形を

した黒い鐵の箱が電柱に取付けられて居るのを見たらう。之は變壓器と云ふもので交流の電壓を變へるものである。例へば、1000 ヴォルトの電壓を 100 ヴォルトの電壓に下げたり、又は 100 ヴォルトの電壓を 10000 ヴォルトの電壓に上げたりするに變壓器を用ゐる。交流では此様に變壓器を使つて電壓を高くしたり、低くしたりする事が出来る。第 170 圖は高い電壓を低い電壓



變 壓 器

に變へる柱上變壓器である。直流では電壓を變へる事は實用上ではなかなか容易の業でない。然るに交流には、變壓器と云ふ便利のものがあるから、今日では、交流が多く使用され、直流は特別の場合にしか用ゐられないのである。

變壓器の構造は色々あるが、その根本の原理は皆同一で、鐵心を有する一次二次兩線輪の相互誘導作用を利用したものである。第 171 圖はその原理を示す略圖である。鐵の薄板を積み重ねて

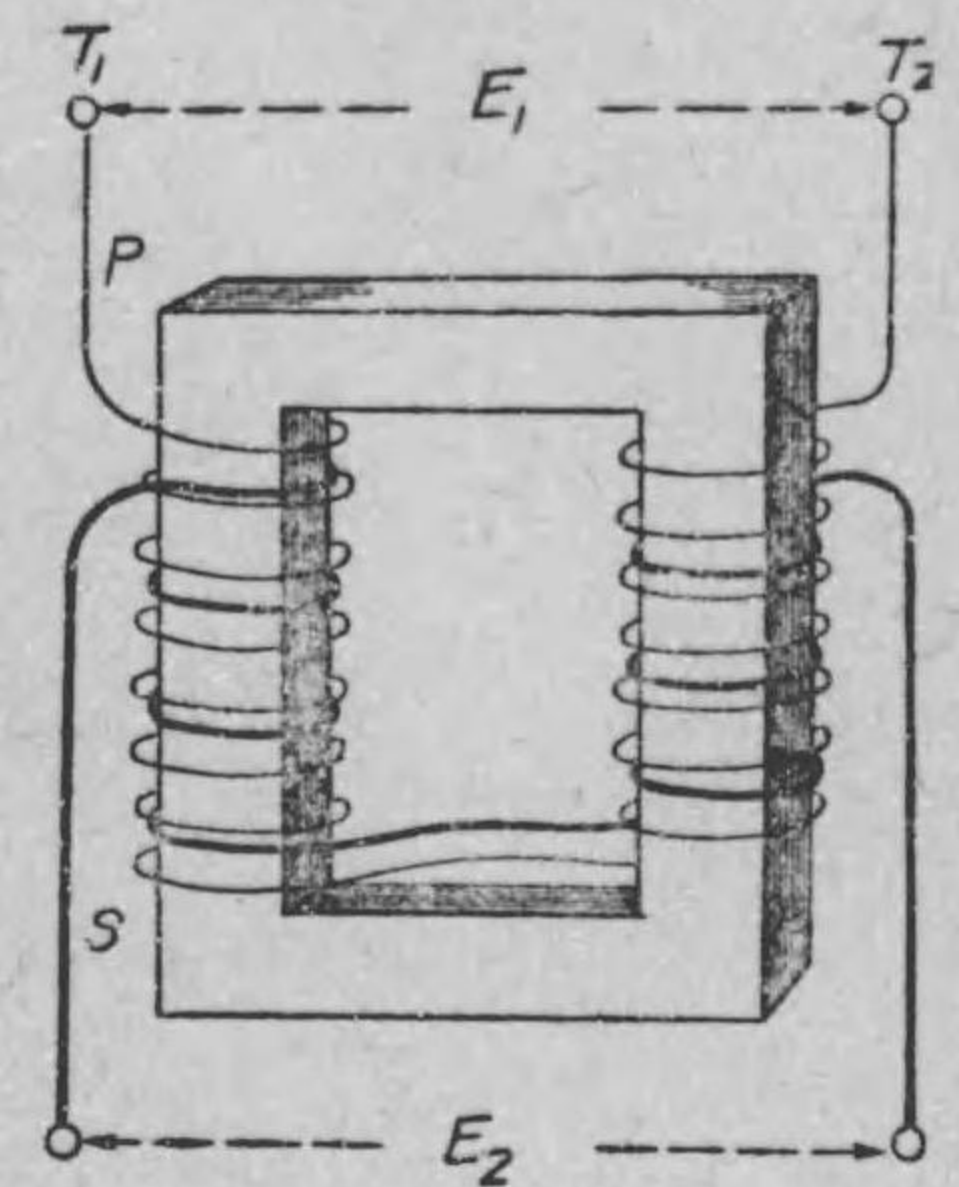
圖の様に枠を作つて之を心とし、その上に絶縁電線を捲いて一次線輪 P とし、更にその上に他の絶縁電線を捲いて之を二次線輪 S としたものである。一次線輪の端子 T_1 , T_2 間に交番電壓を與へると之に交流が通じ、鐵心に磁線が出来る。一次線輪には交番電流が通ずるから、磁線もその数が絶えず變化し又方向も絶えず變はるから其都度之が二次線輪と切り合ひ二次線輪に交番起電力が誘導される譯である。さうして一次線輪に與へられた電壓と二次線輪に誘導される電壓とは各の線輪の捲數に比例するものである。即ち一次線輪の捲數を n_1 、二次線輪の捲數を n_2 とし、又一次線輪に與へた電壓を E_1 、二次線輪に誘導される電壓を E_2 とすると次の關係がある。

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1}, \quad \therefore E_2 = E_1 \times \frac{n_2}{n_1}.$$

故に、高い電壓を低くしようとする場合は、 n_2 が n_1 より小なる變壓器を使用し、又反對に低い電壓を高くする場合は n_2 が n_1 より大なる變壓器を使用すればよろしい。

次に、二次線輪に電燈や電熱器のような負荷を接続すると、負荷に交流が通ずる。さうして一次線輪に通ずる電流と負荷の電流

第 171 圖



變 壓 器

従つて二次線輪に通ずる電流とは、一次二次兩線輪の捲數に反比例するものである。即ち一次線輪の電流を I_1 とし、二次線輪の電流を I_2 とすれば次の關係がある。

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad \therefore I_2 = I_1 \times \frac{n_1}{n_2}$$

故に、大なる電流 I_1 を小なる電流 I_2 に變へたい場合には、 n_1 を n_2 より小にすればよいのである。此様に特に交流を變へる目的に使用する變壓器を變流器と稱する。

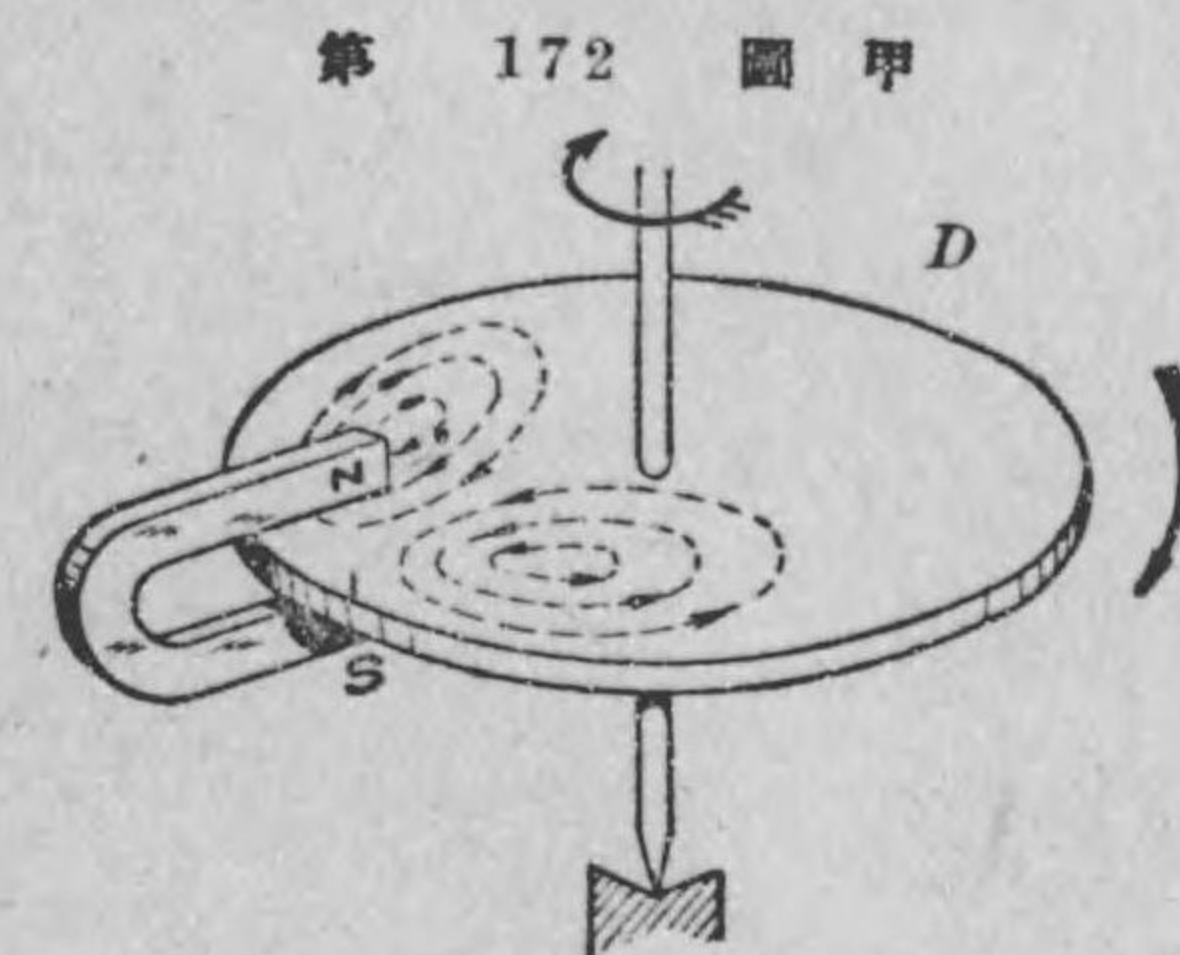
交流電壓を變へる變壓器や交流を變へる變流器を一般に變成器と總稱する。尙ほ後章測定で述べる交流測定器用の變壓器や變流器を夫々計器用變壓器、計器用變流器と稱し、之等を引つくるめて一般に計器用變成器と稱する。

113. 金屬板が磁線と切り合ふと金屬板に渦流が生ずる

今迄述べた誘導電流は主に導體が細い線の場合であつたが、例題 50 のファラデー圓板の様な廣い板狀の導體とか又は大きな塊の導體等が磁線と切り合ふ場合でも勿論電磁誘導作用によつて之等の導體に誘導電流が生ずる。

第 172 圖甲に示す様に、金屬圓板 D を磁極 NS の作る磁界内で廻轉すると、圓板には磁極間に在る部分に起電力が誘導され、その結果、廣い圓板内に點線で示す様な渦卷の誘導電流が生ずる。之を渦流と稱する。その電流の方向は矢張りレンツの法則から知

られる。即ち誘導電流は板の運動を妨げる様な方向に生ずるもので、極に近づかうとする部分と極を遠ざからうとする部分とは電流の廻る方向が互に反對になる。即ち圖の場合では、 N 極に近づかうとする部分は反作用として反撥



金屬板に生ずる渦流を示す。

の爲に n 極となる様に電流は反時計式方向に通ずる。又 N 極を遠ざからうとする部分は反作用として N 極に吸引のために、極となる様に電流は時計式方向に通ずるのである。

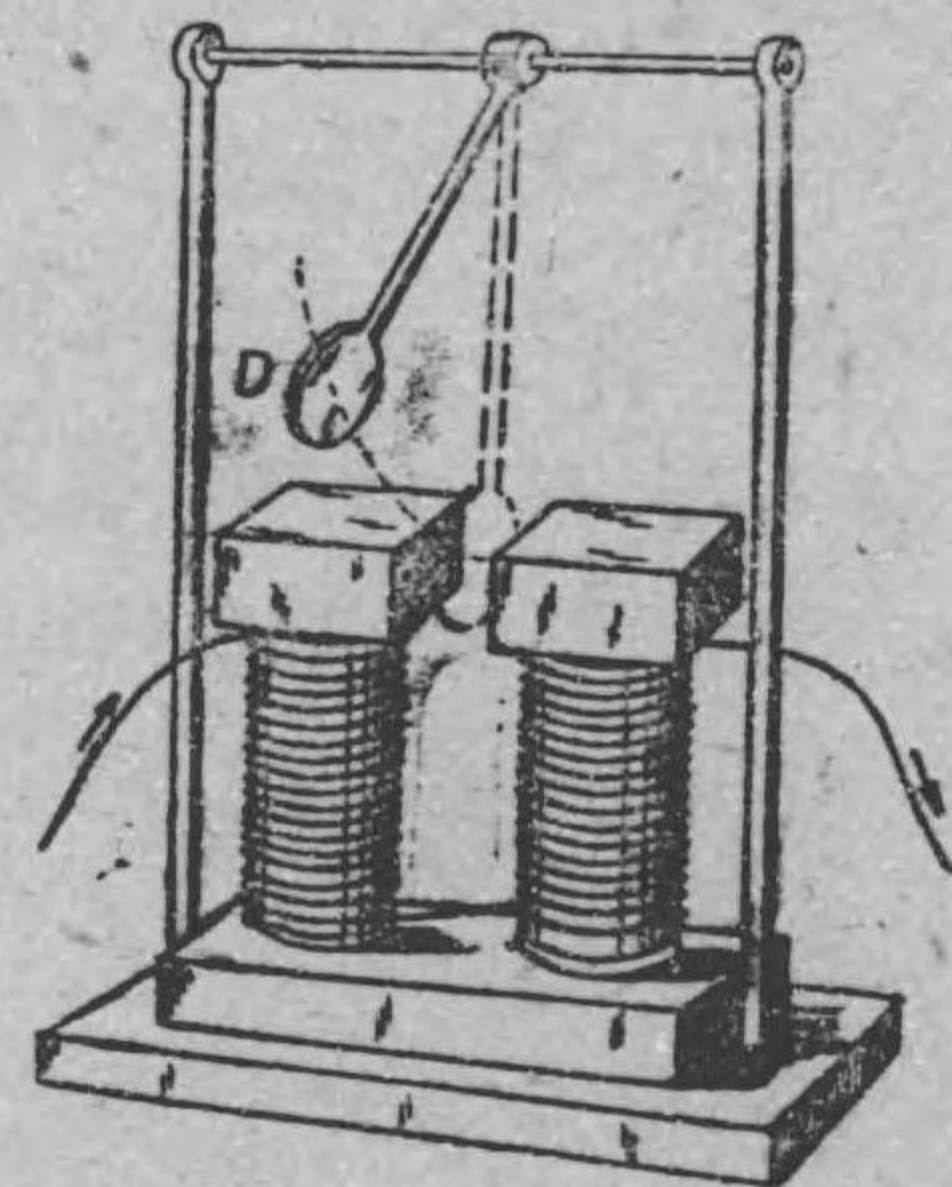
此様に磁界内で大きな塊の導體又は廣い導體が磁線と切り合ふと渦流が誘導され、此電流によつて導體が熱せられる譯である。殊に渦流の通路の断面が廣いと渦流通路の抵抗が小さいため大きな渦流が通じその導體を非常に熱する事になる。故に電氣機械に用ふる鐵心は一塊の鐵にしないで、凡て薄い鐵板の面に絶縁物を塗つて之等の板を板面が磁線に平行する様に多數重ねて層を成した鐵心〔之を成層鐵心と稱する〕を用ゐるのである。さうすると各板毎に別々に小なる渦流しか出來ないから渦流のための熱エネルギー〔之を渦流損と稱する〕が少くて鐵心が過熱されないのである。

渦流によつて塊狀導體が熱せられるその熱エネルギーの源は何

か。之は磁線を切る爲めに此導體に外部から與へた機械的エネルギーの幾分かが此熱エネルギーに變形したに過ぎないのである。従つて前圖の圓板 D を手で廻はして見ると、 NS が無い場合よりも、 NS の作る磁界内で廻はした場合が餘計に力をこめて廻はしないと前と同じ速さにはならないのを實驗するであらう。即ち此圓板の渦流は廻轉板の廻轉に反抗する廻轉力を生ずるものである。此原理を應用して、廻轉體の廻轉の速さを加減したり又は止めたりするに此渦流を利用する。之を渦流制動と稱する。例へば、測定器の振動部分の振動を止めたり、又は廻轉部分の速さを調整するに此渦流制動を利用する。

例題 51. 第 172 圖乙に示す様に、垂直面内で振動し得るアルミニウム圓板 D の振子を作り、之を電磁石の兩極の空隙内を前後に振動せしめる。電磁石の線輪に電流を通じない時は圓板は空隙内を通つて振動するが、若し線輪に電流を通じて電磁石を勵磁すると圓板は點線で示した位置に止まる。その理由を述べよ。

解 線輪に電流通じない時は磁界を生じて居ないから圓板は振動するが、線輪に電流通じ居る時は、空隙は磁界で磁線が生じ居る故、之



第 172 圖 乙

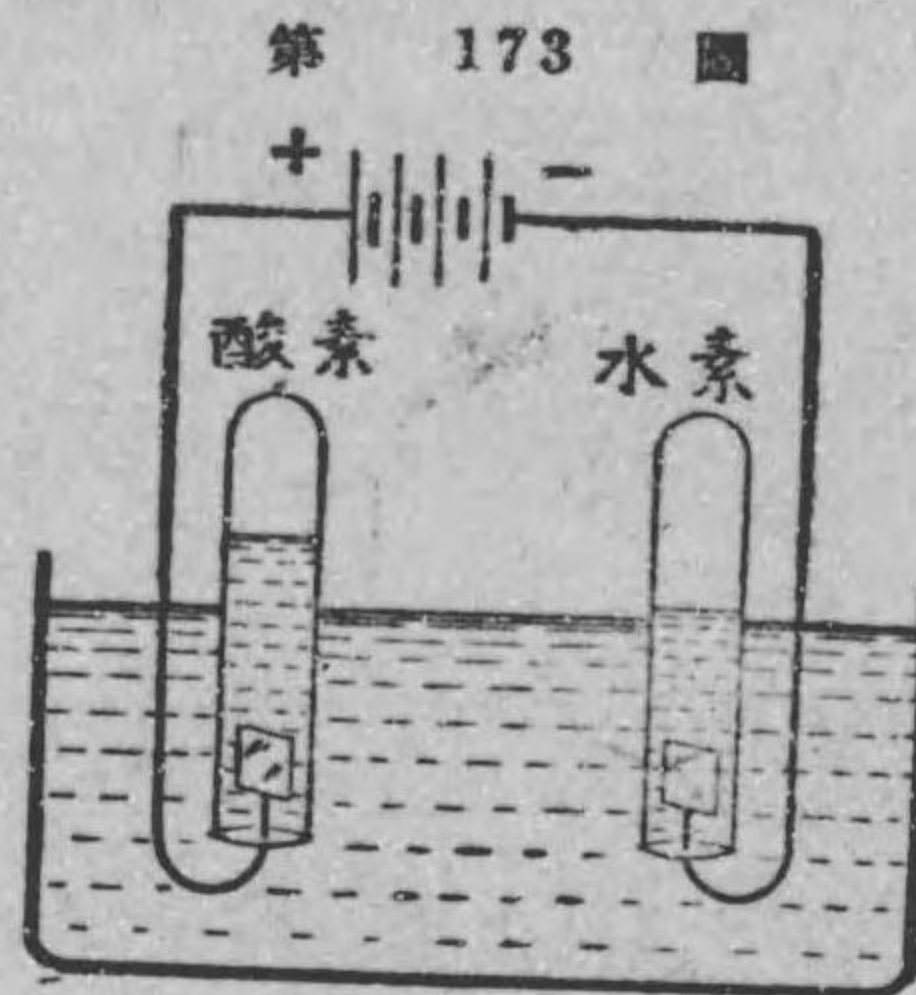
を圓板が切る爲め圓板に渦流を生じ、渦流制動の爲めに圓板は振動を止められる譯である。

練習問題 X

1. 磁線を電線で切ると如何なる作用が起こるか。
2. 電磁誘導作用に於て誘導起電力の方向を知る方法二つを述べよ。
3. 二線輪間の相互誘導作用を述べよ。
4. 一線輪の自己誘導作用を述べよ。
5. 交番起電力はどんなにして起すか。
6. 誘導線輪は何作用を應用したものか。
7. 變壓器は何作用を應用したものか。
8. 渦流とはどんな場合に生ずるものか。

第十一章 電流の化學作用

114. 電氣分解 第 173 圖の様に、少量の稀硫酸を混ぜた水中に二つの小さな白金板を浸し、二個の試験管に水を一杯充たしたものを倒さまに各白金板を覆ふて立て、白金板を電池の兩極に接続して直流を通ずると、水は分解されて、陽極に酸素、陰極に水素が集まる。此様に電流によつて溶液が化學分解を起す事を電氣分解と稱する。



水の電氣分解

さうして電流によつて分解される液を電解液又は電解物と名付ける。硫酸、硝酸、鹽酸等の様な酸類の溶液や硫酸銅、硝酸銀等の様な鹽類の溶液は皆之に直流が通ずると電氣分解を起すもので即ち電解液である。(水銀は電流を通ずる導體ではあるが電氣分解は起さない。又油類は電流も通じない絶縁物である。)

一般に電解液に一定方向の電流を通ずると金屬(又は水素)は常に陰極に集まり、之に對して非金屬は陽極に集まるものである。尙ほ電流の化學作用に就いての詳しい説明は化學の講義に述べられてある。

115. 電氣分解に就いてのファラデーの法則

ファラデーの研究の結果電氣分解に就いての法則が得られた。ファラデーの法則を簡単に云へば次の通りである。

電解液に I アムペアの一定電流を t 秒間通ずると、電氣分解によつて析出される物質の質量 M は電氣量 It に比例し、次式で表はされる。即ち、

$$M = Z \times It \quad \text{グラム}$$

但し比例定數 Z は電解液から析出される物質固有の定數で、之は 1 アムペアの一定電流が 1 秒間通じた時析出されるその物質のグラム數で、之をその物質の電氣化學當量と稱する。

例へば、硝酸銀の溶液に 1 秒間 1 アムペアの直流を通ずると、陰極には 0.00111800 グラムの銀を析出する。即ち銀の電氣化學當量は $Z = 0.00111800$ である。依て此硝酸銀溶液に t 秒間 I アムペアの一定電流を通じた場合には、陰極に集まる銀の量 M は、

$$M = 0.00111800 \times It \quad \text{グラム}$$

である。

例題 52. 硫酸銅溶液に t 秒間 I アムペアの一定電流を通じた場合には、陰極に集まる銅の量は何グラムか。但し銅の電氣化學當量は $Z = 0.0003294$ とする。

解
$$M = 0.0003294 It \quad \text{グラム}$$

116. ヴォルタメーター 電氣分解に就いてのファラ

デーの法則を應用すると、直流を測定する器具が出来る。何故なれば、

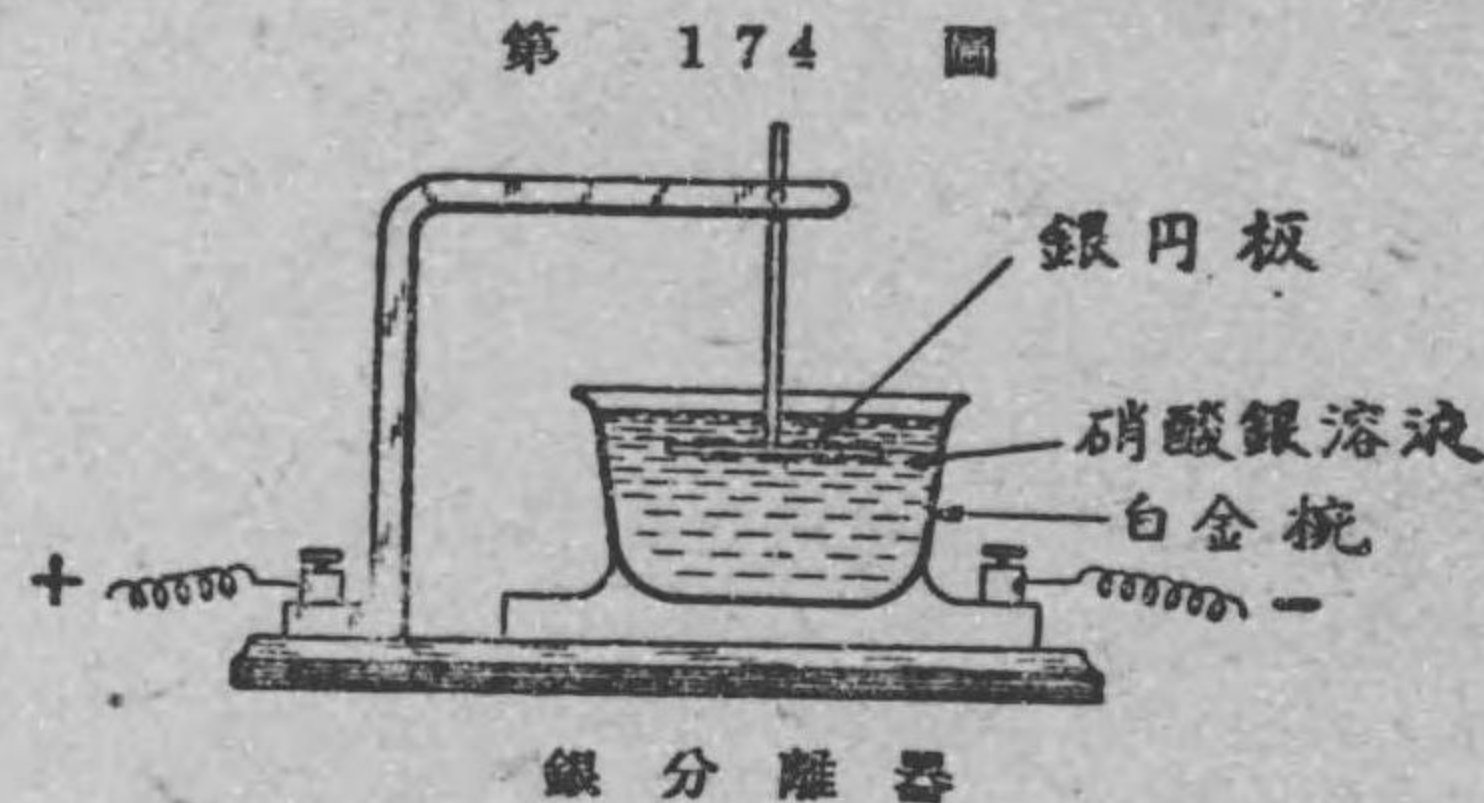
$$M = ZIt \quad \text{グラム}$$

$$\therefore I = \frac{M}{Zt} \quad \text{アムペア}$$

即ち一定の電解液に、測らうとする一定の電流を t 秒間通じ、陰極に集まる金属の量 M を測れば、その電気化学當量 Z が知れて居れば上式から電流 I は計算出来る譯けである。此原理を應用した電流の測定器をヴォルタメーター又は分離器と稱する。茲に分離器の一例として、電流の精密試験に用ゐられる銀分離器の大體の説明をしよう。

第 174 圖は銀分離器を示すもので、電解液として硝酸銀溶液を使用し、又陽極に銀圓板、陰極として白金碗を使用する。今或る一定電流 I を t 秒間通じ、白金碗に沈澱した銀の量を測り之を M グラムとすると、此時の電流の強さ I は次式で計算される。

$$I = \frac{M}{0.00111800 t} \quad \text{アムペア}$$



今日電流の強さの單位として用ゐられるアムペアは此銀分離器で1秒に付き 0.00111800 グラムの銀を分離する一定電流の事である。銀分離器は電流の原器で遞信省に保管されてある。

117. 電氣分解の應用 鹽化金、硝酸銀、硫酸銅等の溶液を電氣分解すると夫々金、銀、銅等の金属が分解されて陰極に集まるから陰極導體の表面は之等の金属で鍍金する事が出来る譯である。此様な方法で鍍金するのを電氣鍍金と云ふ。さうして此場合には鍍金さるべき真鍮の様なものを陰極とし、陽極には鍍金の金属即ち金、銀、銅等を用ひて、溶液内には之等の物質を補ふ様にする。例へば真鍮に金鍍金をしようとする場合には、金を陽極とし、真鍮〔之は豫めきれいに磨いてその表面をペンチン等でよく洗つて更に苛性加里の溶液で洗ひ、尙ほ酸に浸して更に清水で洗つて清潔にする〕を陰極とし、鹽化金とシアン化加里の溶液を電解液として用ゐるのである。

電氣分解を利用して木版又は彫刻等の模型を作る事が出来る。之を電氣鑄造又は電氣型鑿術と稱する。電氣鑄造を行ふには原型(彫刻物)の上に蠟又は石膏を押し當て、原型と反對の型(雌型)を作り、之に石墨を塗つて電氣導體とし、之を陰極に、又銅板を陽極として硫酸銅の溶液中に入れて電流を通ずる。すると銅が分解して陰極の表面に附着する。之を取出して蠟又は石膏をはぐと原型と全く同一の銅の模型が出来る。書物の挿繪等は此方法

で出来た版で印刷する。

次に電気分解を利用して銅板上に色々の書畫の彫刻^{ほとこ}を施す事が出来る。之を電気蝕刻^{でんきしよくこく}と稱する。即ち、銅板上にワニスで書畫をかいて之を陽極とし、陰極には同じ太さの銅板を用ひて硫酸銅溶液中に浸して電流を通ずる。すると陽極銅板のワニスの部分が溶けないから書畫が突起して現はれる。之を印刷に用ゐる。

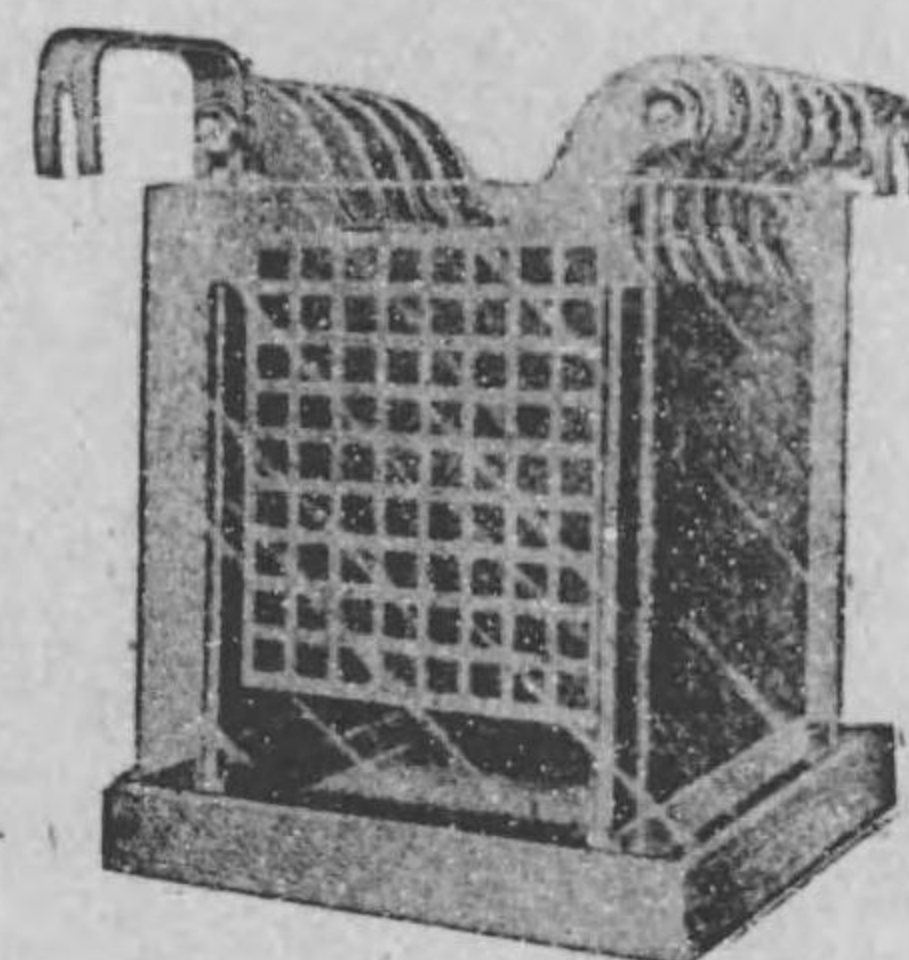
又電気分解を應用して、金屬を其の原礦から析出することが出来る。之を電気冶金^{でんきやきん}と稱する。銅、アルミニウム等の純粹のものは此方法で多量に製出される。例へば、不純の銅を陽極とし、陰極には純銅の薄板を用ひ、硫酸銅の溶液を電解液として電流を通ずると、不純物を含んだ陽極からは銅が溶液中に溶け、陰極には純粹の銅が附着する。不純物は下に沈澱する。此様にして純銅が得られる。

118. 蓄電池 硫酸の電気分解の場合に、電解器に電池をつないで電流を通じた後に、電池を除いて電解器の兩極を電線で連結すると、電線中に前と反対方向の電流が通ずるものである。之は電気分解によつて生じた水素及び酸素瓦斯が兩極に附着して、電池の起電力と反対方向の起電力を生じた爲めである。此起電力を利用して出来た電池を蓄電池^{ちくでんち}と稱する。茲に普通用ひられる鉛蓄電池を説明しよう。

鉛蓄電池は第 175 圖甲乙に示す様に、硝子器内に稀硫酸を入

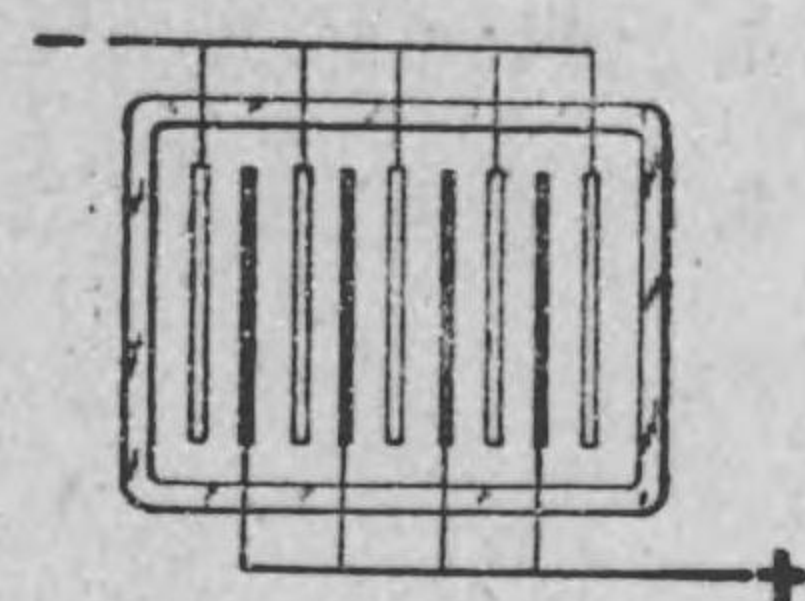
れ、その中に鉛板を交互に立て一つ置きにつないで、其一方を陽極、他方を陰極としたものである。極板は丙圖に示す様に、格子状をなして多數の小孔を有し、豫め一酸化鉛を稀硫酸で煉つたものを小孔に詰めてある。先づ鉛板を兩極として之に電流を通じて充電すると、硫酸の分解によつて陽極の一酸化鉛は二酸化鉛となり、陰極の一酸化鉛は鉛となる。そこで電流を断つと、一對の鉛板間に起電力を生じ、二酸化鉛の附着した鉛板が陽極となり、他の鉛板が陰極となる。之が蓄電池である。若し電線で蓄電池の兩極に負荷を接続すると、電流は陽極から負荷を経て陰極に向つて通ずる。電流の通ずるに従つて陰陽兩極は次第に硫酸鉛に變じ、その起電力も減ずる。之を蓄電池の放電と稱する。一度放電した蓄電池に再び外部から電流を送つて充電すれば、陽極には二酸化鉛を生じ、陰極に鉛を生じて起電力を有する様になる。

第 175 圖 甲



鉛蓄電池

第 175 圖 乙



蓄電池の略圖

第 175 圖 丙



鉛板

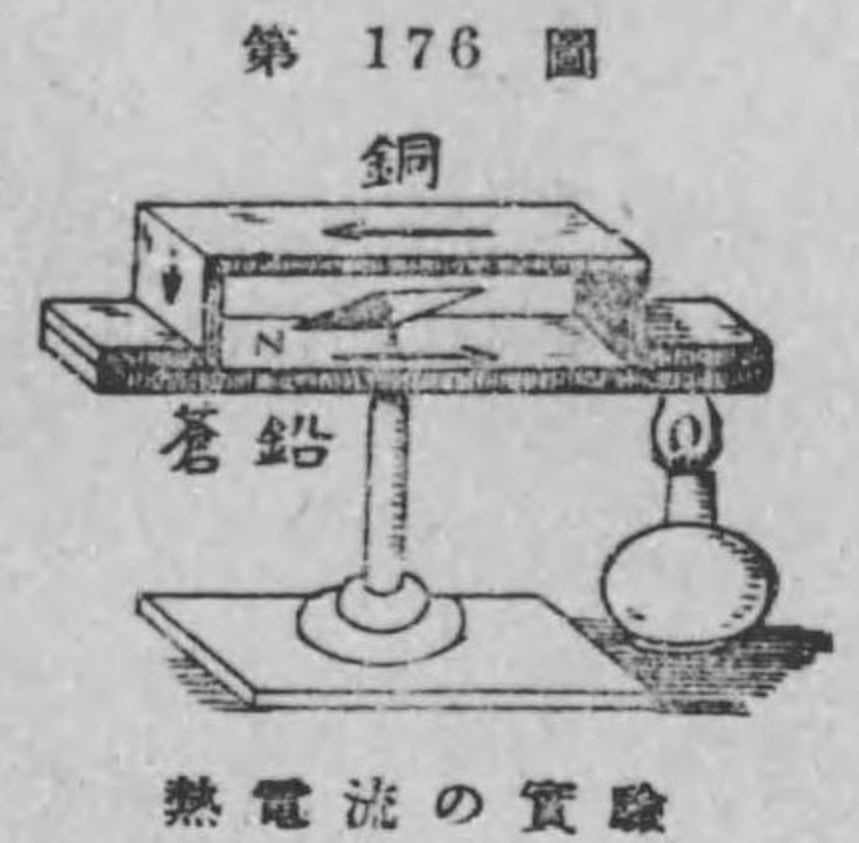
此様に蓄電池は電流のエネルギーを化學的エネルギーとして貯へ、更に之を電流のエネルギーとして外部の負荷に送る装置である。蓄電池は潜水艦、電氣自動車、列車點燈等其他その用途もなかなか廣い。

練 習 問 題 XI.

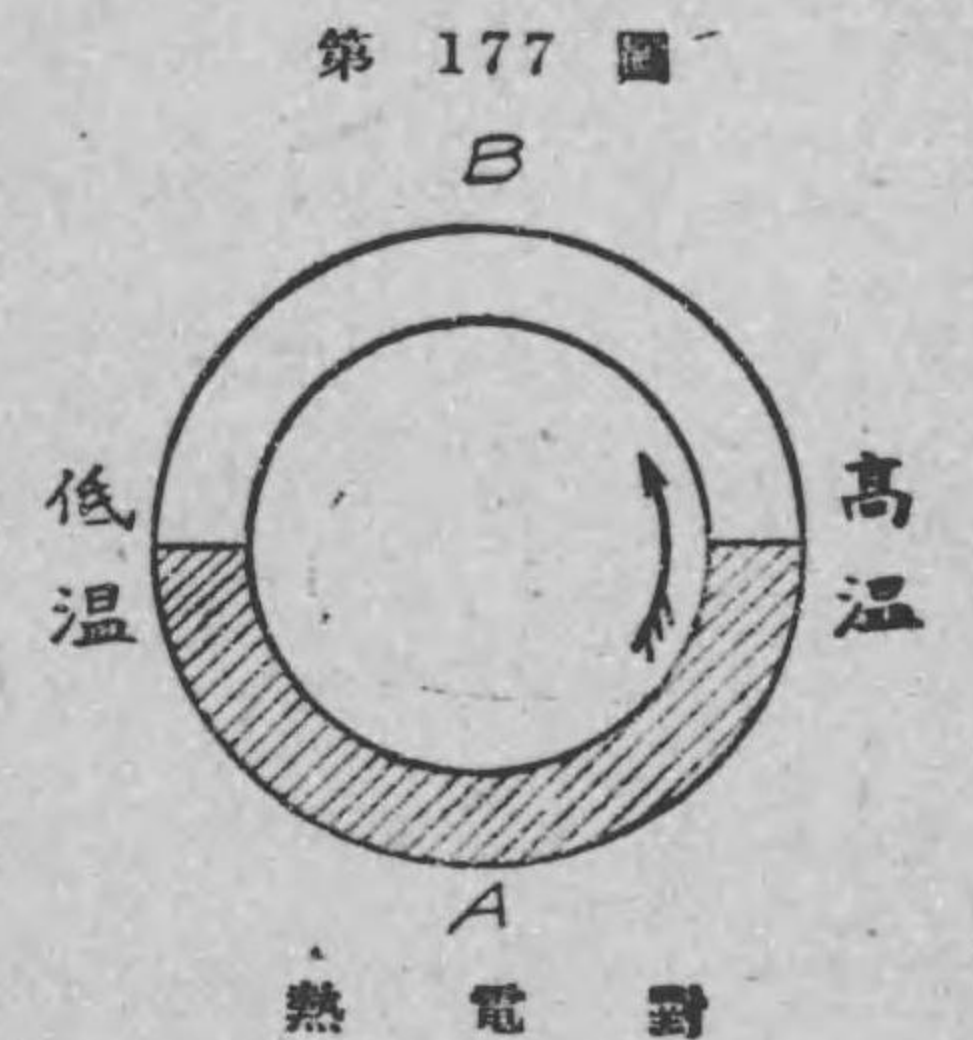
1. 電氣分解に関するファラデーの法則を述べよ。
2. ヴォルタメーターとは何に用ひるものか。
3. 電流の原器を説明せよ。
4. 電氣分解の應用を列挙せよ。
5. 蓄電池とはどんなものか、又之は蓄電器とはどう違つて居るか。

第十二章 熱 電 氣

119. 熱電流 第 176 圖に示す様に、銅板と蒼鉛板とを接合して、其の接ぎ目の一方を熱すると、中央の磁針は振れて、蒼鉛と銅とで作られたる環狀回路に電流が通じ居る事が實驗される。此磁針の振れた事から右螺子の規則により考へると、電流は蒼鉛から高温度の接合點を経て銅の方に向つて流れる事が分かる。此電流は高温度の接合點に於ける熱エネルギーが電流のエネルギーに變形したものである。



一般に上述の様に二種の異つた金屬 A と B とを接合し、環狀回路を作り (第 177 圖) 其一方の接合點を熱し (又は反對に冷やして) 兩方の接合點の温度差を生ぜしめると、此回路内には起電力が生じて電流が通ずる。此起電力を熱起電力、その電流を熱電流と稱し、又此様な一對の裝置を熱電對と稱する。ジーベックと云ふ人は色々の金屬に就いて熱電對を作り、實驗の結果を表にして示した、之を熱電列序と名付ける。次は熱電列序の一例である。

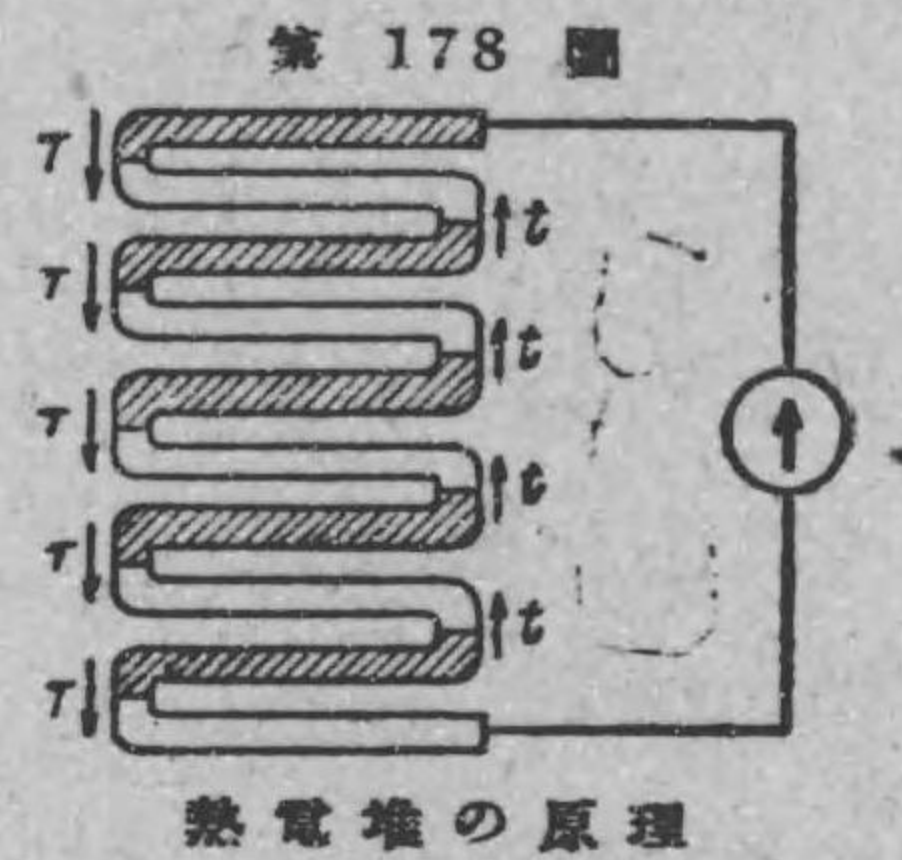


1. 蒼鉛, 2. 白金, 3. 銅, 4. 鉛, 5. 錫, 6. 金, 7. 銀,
8. 亞鉛, 9. 鐵, 10. アンチモニー

此熱電列序に於て、任意二つの金屬を以て熱電對を作ると、熱起電力は高温度の接合點を通じて、上位のものから下位のものに向つて生ずる。さうして二つの金屬が列序中で離れて居る程起電力も大である。例へば、蒼鉛と銅との熱電對では、上位の蒼鉛から高温度の接合點を経て下位の銅に向ふ方向に熱起電力が生じ、蒼鉛とアンチモニーとの熱電對では蒼鉛から高温度の接合點を経てアンチモニーに向ふ熱起電力が生ずる。さうして前者の熱電對よりも後者の熱電對が同一の温度差に對して熱起電力が大である。

120. 熱電堆

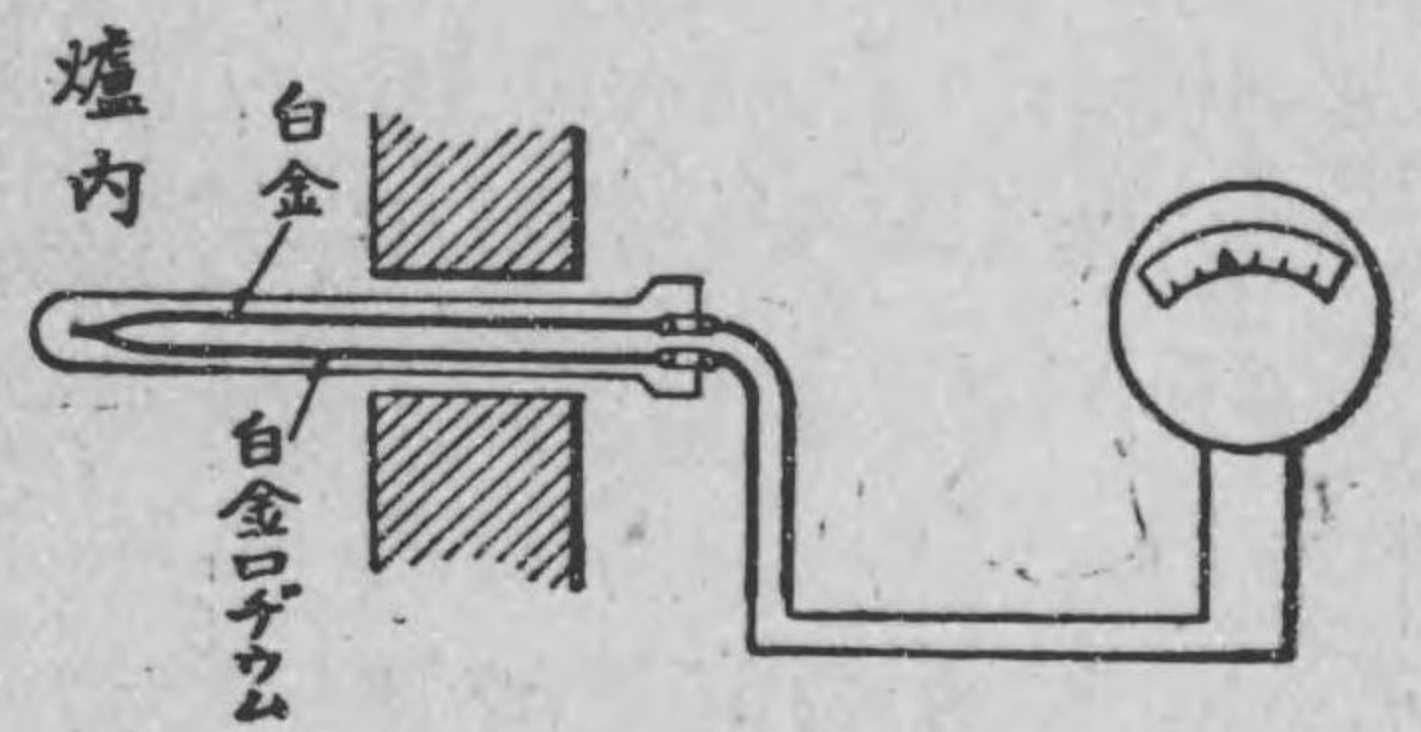
蒼鉛とアンチモニーとの熱電對でも、その兩接合點の温度差が攝氏の 100 度でも 0.008 ヴォルトの熱起電力しか生じない。然るに此蒼鉛とアンチモニーとを第 178 圖に示す様に交互に數多く即ち數十對の熱電對を一組としたもの（之を熱電堆と稱する）を作り、その一方の T 側を輻射熱（太陽から來る熱の様な中間の物質を傳はらずに來る熱を輻射熱と名付ける）の來る方向に向けると、T 側が熱せられて、兩方の接合點に温度の差が生じ、回路に電流



が流れ、電流計の指針は振れる。此振れの大小は輻射熱の大小に應ずるから、豫め電流計の目盛に温度を記入しておいて、指針で温度を読むのである。

121. 熱電高温計

普通の温度を測るには水銀寒暖計を用ひるが、非常に高い温度、殊に鋼の燒入れとか合金の製造とか云ふ様な爐内の高温度を測るには水銀は氣體になるから用ひられない。此様な高温度を



測るには熱電流を利用して測る。此温度計を熱電高温計と稱する。其構造は第 179 圖に示す様に、白金と白金ロヂウム（白金と白金ロヂウムの合金）とで熱電對を作り、之

を陶器製の保護管に收めたもので、熱電對の兩端は之を温度を指針で直接讀む測定器につないである。爐内の温度を測るには、保護管の先端を爐内に入れて、熱電對の接合點に高温度を與へ、之によつて電流を生ずるから、測定器の指針が振れて温度を読むのである。

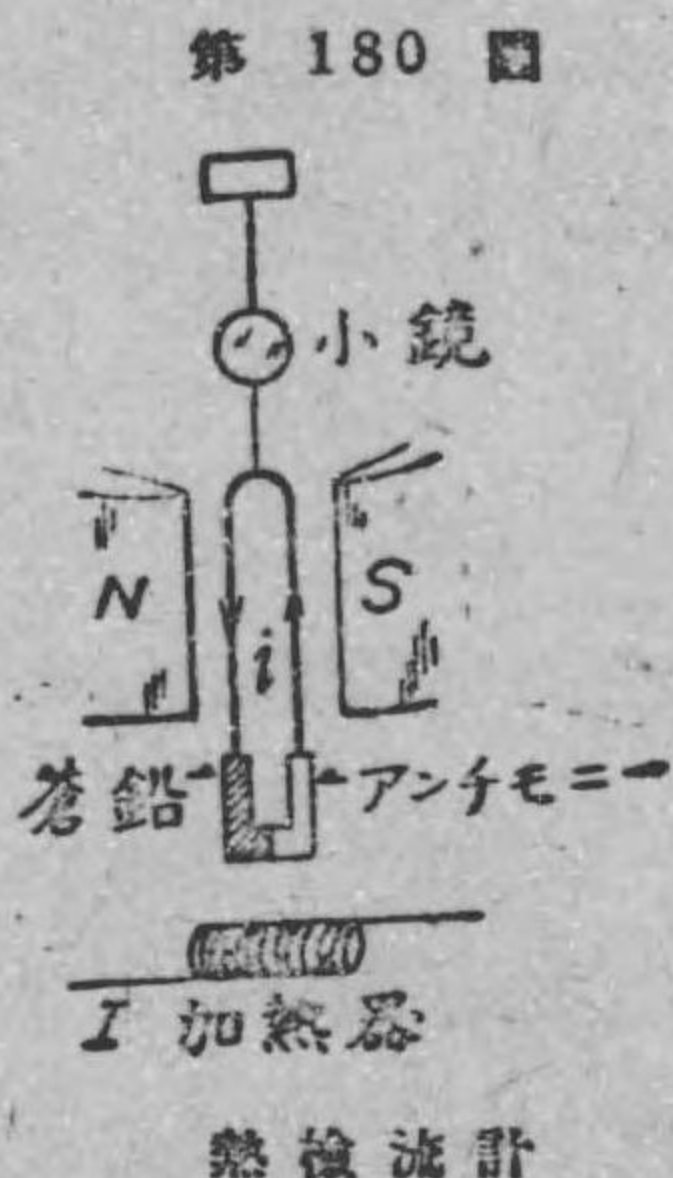
此熱電高温計は熱電對の適當の組合せに依つて、最低温度攝氏の 200° から最高温度 1600° 位迄次の四通りの熱電對で測る事が出来る様になつて居る。

- (イ) 白金と白金ロヂウム白金ロヂウムの熱電對では 1600°C 迄溫度測定に適する。
- (ロ) 白金と白金イリヂウム白金イリヂウムでは 1400°C 迄溫度測定に適する。
- (ハ) 銀とコンスタンタンでは 650°C 迄の溫度測定に適する。
- (ニ) 銅とコンスタンタンでは -190°C から 500°C 迄の溫度測定に適する。

122. 熱檢流計及熱電流計

熱電對を利用して檢流計及電流計が作られる。

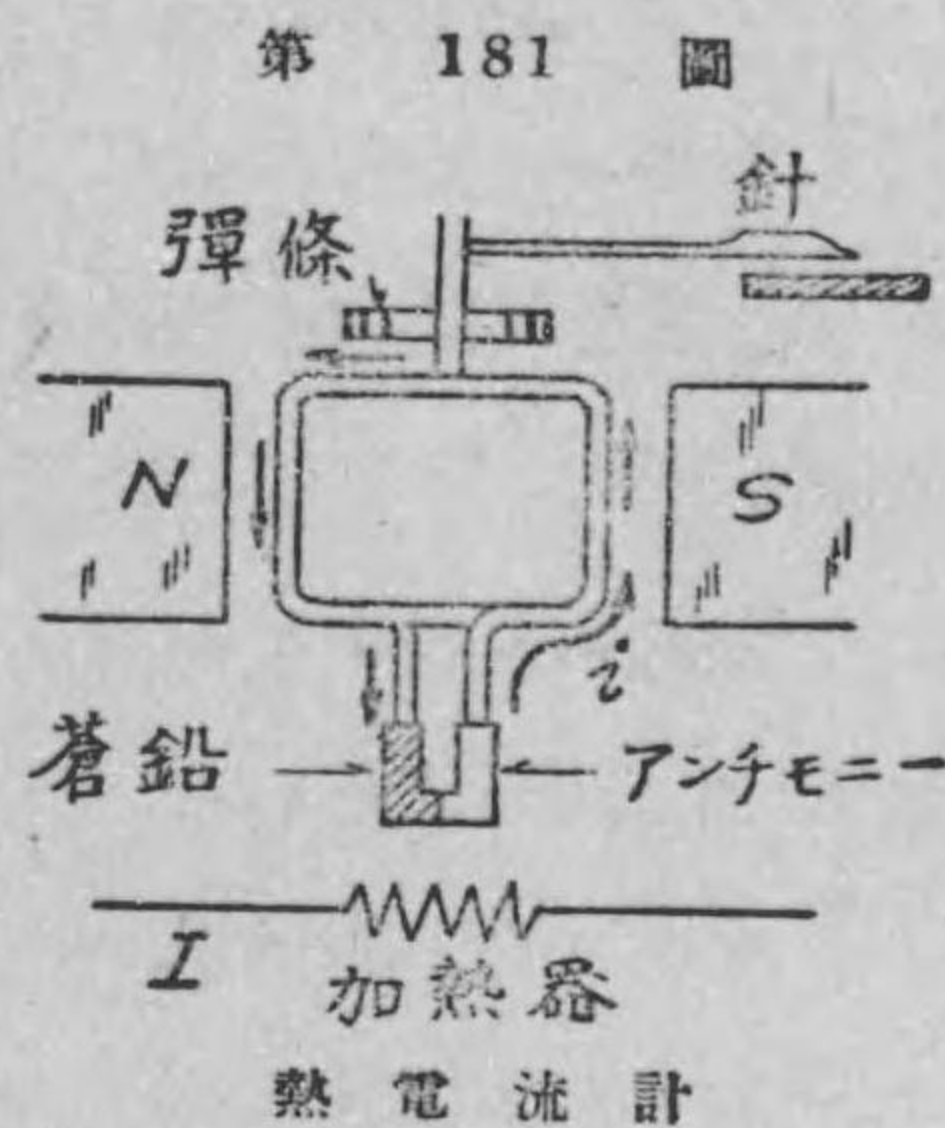
第 180 圖に示す様に、蒼鉛とアンチモニーの熱電對を細い銀線の環に接続し、之を石英線で吊し、石英線には小さな鏡が付いて居る。銀線は N, S の磁極の作る磁界内に在る。熱電對の接合點に相對して抵抗加熱器が備へられてある。今測らうとする電流 I を抵抗加熱器に通ずると、ジュールの法則により此電流の自乗に比例する熱を生ずるから、此熱によつて熱電對の接合點が熱せられ、熱起電力を生じ蒼鉛アンチモニー銀線に熱電流 i が生ずる。(故に i は I^2 に比例する)。此熱電流 i と N, S の作る磁線とが電磁作用によつて銀線が動き(その方向は左手三指の規則で分る)鏡が振れる。此鏡の振れた角度は熱電流 i に比例するから、加熱器の電流 I の自乗に比例する。故に測らうとす



第 180 圖

熱檢流計

る電流 I が大ならば鏡の振れも大で、又鏡の振れが小さい場合は電流 I は小さい事が分かる。之が熱檢流計である。上の檢流計と全く同じ原理で熱電流計が出来る。第 181 圖に示す様に、蒼鉛とアンチモニーとの熱電對に線輪が接続され、線輪は磁極 NS の作る磁界で支へられ、その廻轉軸には彈條が取付けられ又指針が取付けられて居る。今測らうとする電流 I を抵抗加熱器に通ずると、電流による熱で之に對する熱電對の接合點が熱せられて線輪に熱電流を生ずる。



第 181 圖

故に磁線と此電流との作用で線輪は動くが丁度その力が彈條の反抗する力と釣合つた處で止まる。目盛盤上には加熱器に通る電流の値が目盛りされてあるから、指針の止つた位置のアムペア数が即ち此時の電流 I の値である。

練 習 問 題 XII.

1. 熱起電力とは何か。
2. 熱電對とは何か。
3. 熱電堆は何の目的に使はれるか。
4. 熱電高溫計は攝氏の何度位迄測れるか。
5. 熱檢流計や熱電流計は何を應用したものか。

第十三章 真空放電及び電子

123. 真空放電

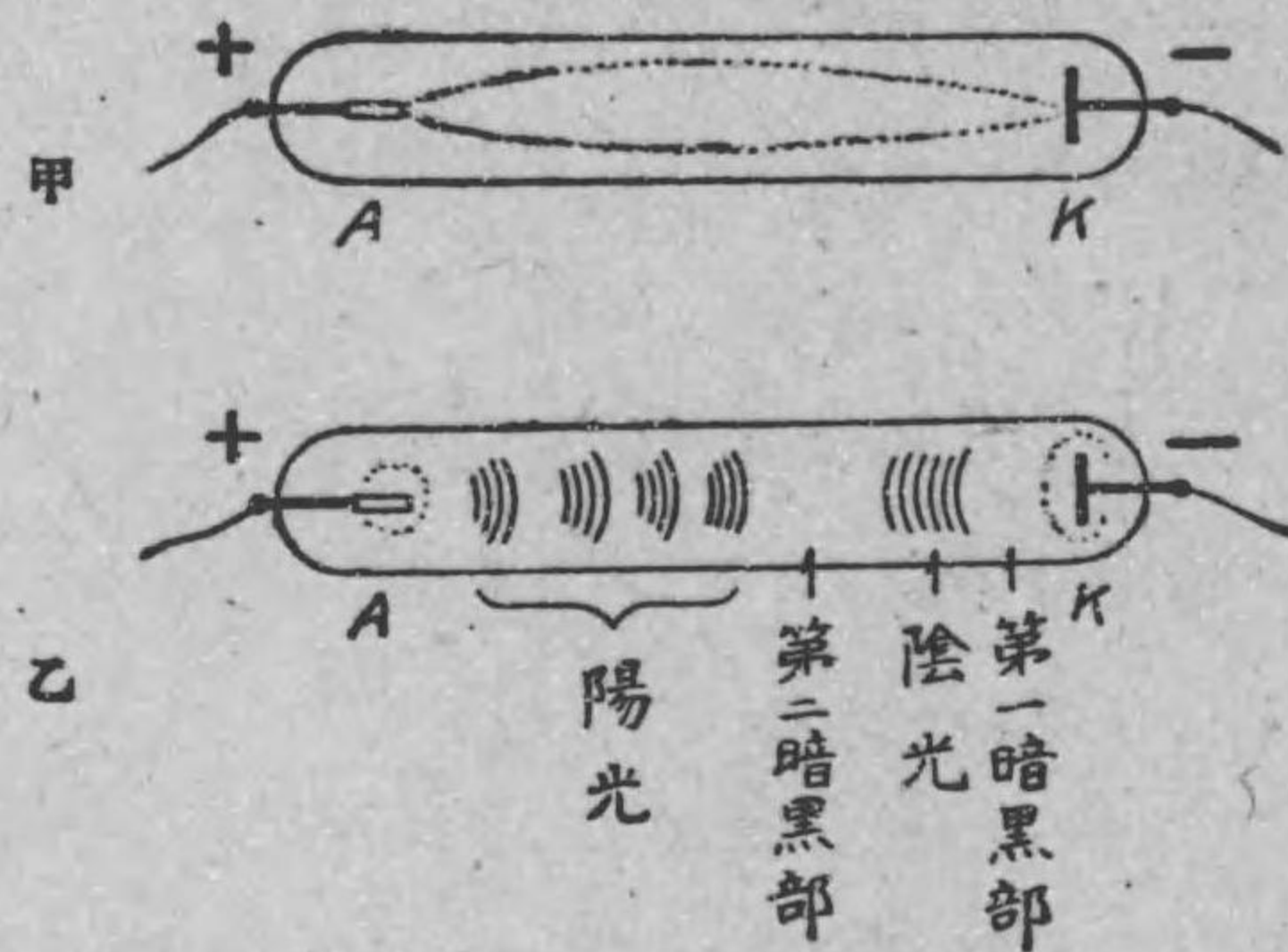
空气中で火花放電の起る場合は導體間の電位差が非常に大きくして近距離でないとい火花は生じない。然し稀薄な氣體の中では導體が可成り離れて居ても容易に放電が起る。

今第 182 圖に示す様に、閉ぢた硝子管の兩端に白金線をとかし込んで、其先にそれぞれ

アルミニウム線 A 及アルミニウム板 K をつけて誘導線輪の二次線輪の陽極及陰極に接いで見る。硝子管内の空氣が稀薄で壓力が 8 cm 位であると甲圖の様に放電し、管に沿うてひ

ろがる光が現はれる。内部の氣壓が更に低くなつて 0.1 mm 位になると乙圖に示す様に、陰極の圍りが青色の光に包まれ、其次に薄暗い部分があり、其隣りに光があり之を陰光と稱する。次に又暗黒部があつて、此部分と陽極との間には光が鱗狀に分裂して居る。之を陽光と稱する。管内の氣體の壓力が此程度のものを一般

第 182 圖



にガイスレル管と稱して居る。ガイスレル管内の光の色は管内の氣體の性質によつてそれぞれ特有の色を現はすのである。

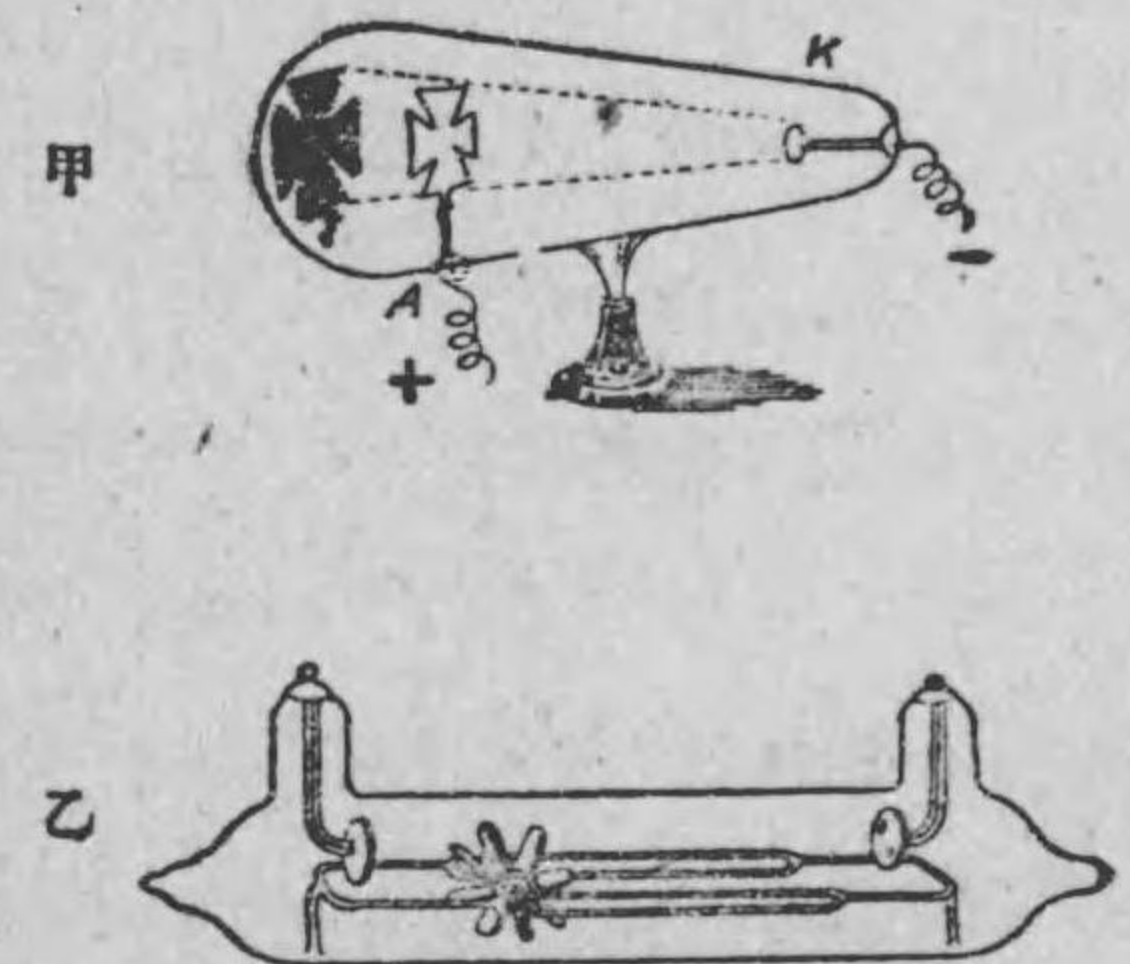
124. 陰極線

硝子管内の氣壓が前節で述べたガイスレル管よりも更に低くなつて、凡そ 0.01 乃至 0.001 mm に達すると、氣體の光は消えて暗黒となり、陰極に相對する管壁が僅かに螢光を放つ丈けになるのである。氣壓が此程度の真空管をクルックス管と稱する。螢光の色は硝子管の性質によつて違ふもので、若し鉛硝子を用ひてあると青で、若し曹達硝子を用ひてあると緑になる。此螢光は陰極から放射される一種の線によるので、此線を陰極線と名付ける。クルックスと云ふ人は此陰極線は陰電氣を帯びた微粒子の非常に速い運動である事を發見した。此陰電氣を帯びた微粒子を後の人が電子と名付けた。

陰極線は前に述べた様に螢光作用を有する外に色々の性質がある。

第 183 圖甲に示す様に豫め管内に陰極線の進行する途中に薄い雲母板を置くと、管壁にその影が出来て、壁には螢光は生じない。此事からも陰極線は直進することが分かる。又雲母で出来た翼を有する軽い車の軸を乙圖に示す様に、硝子製のレー

第 183 圖



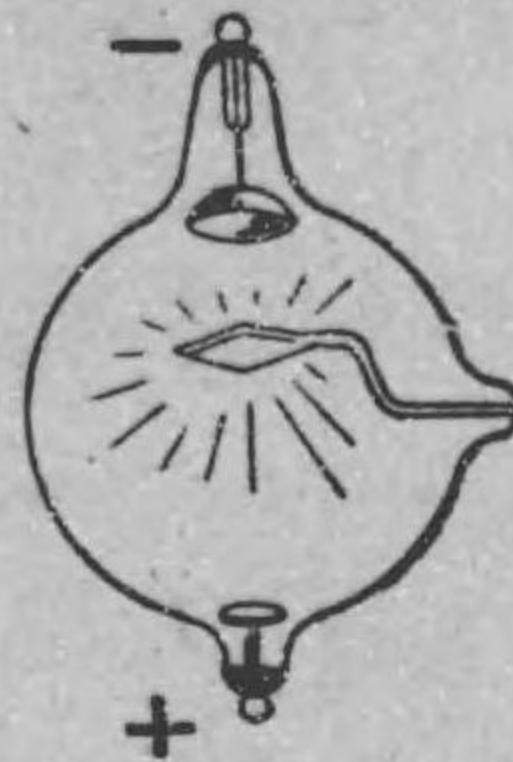
陰極線の直進及び機械作用を示す

ルの上に置き、陰極線を當てると、車は陰極から陽極の方に移動する。即ち機械的仕事をする。又陰極線は熱作用を生ずるものである。例へば、丙圖の様に陰極を半球面状のアルミニウム板で作り、その球の中心に白金板を置くと、放電の時に白金板が白熱されるのである。陰極線は又磁界の作用

を受ける。例へば、丁圖に示す様に、蹄形磁石 NS を陰極線の通路に近づけると、陰極線は圖に示す様に磁界の影響を受けて曲げられる。又陰極線は電氣の影響を受けて曲げられる。例へば、戊圖に示す様に、陰極 K から陽極 A に放射さ

れる陰極線の一部は、 A の中央に設けた小孔を通つて右方に直進して管壁の内部に置かれた螢光板（之は硝子に硫化亜鉛の様な螢光物質を塗つたものである）の中心に突き當つて螢光を發する。今此陰極線の通路の途中に二板の導體板を平行に置き上下の各板に夫々陽及び陰の電氣を與へて平行板間に電壓を生ぜしめると、陰極線は圖に示す様に曲げられて螢光板上の上方に螢光點を生

第 183 圖 丙



陰極線の熱作用

第 183 圖



戊

陰極線は磁界及び電壓によつて作用される

ずる。

此様に陰極線は色々の性質がある。殊に其螢光作用、磁界の影響、電氣の影響を利用すると、電流や電壓の變化する有様を研究するに必要なブラウン管（又は陰極線オッシログラフ）と稱する測定器が作られるのである。

125. 電子

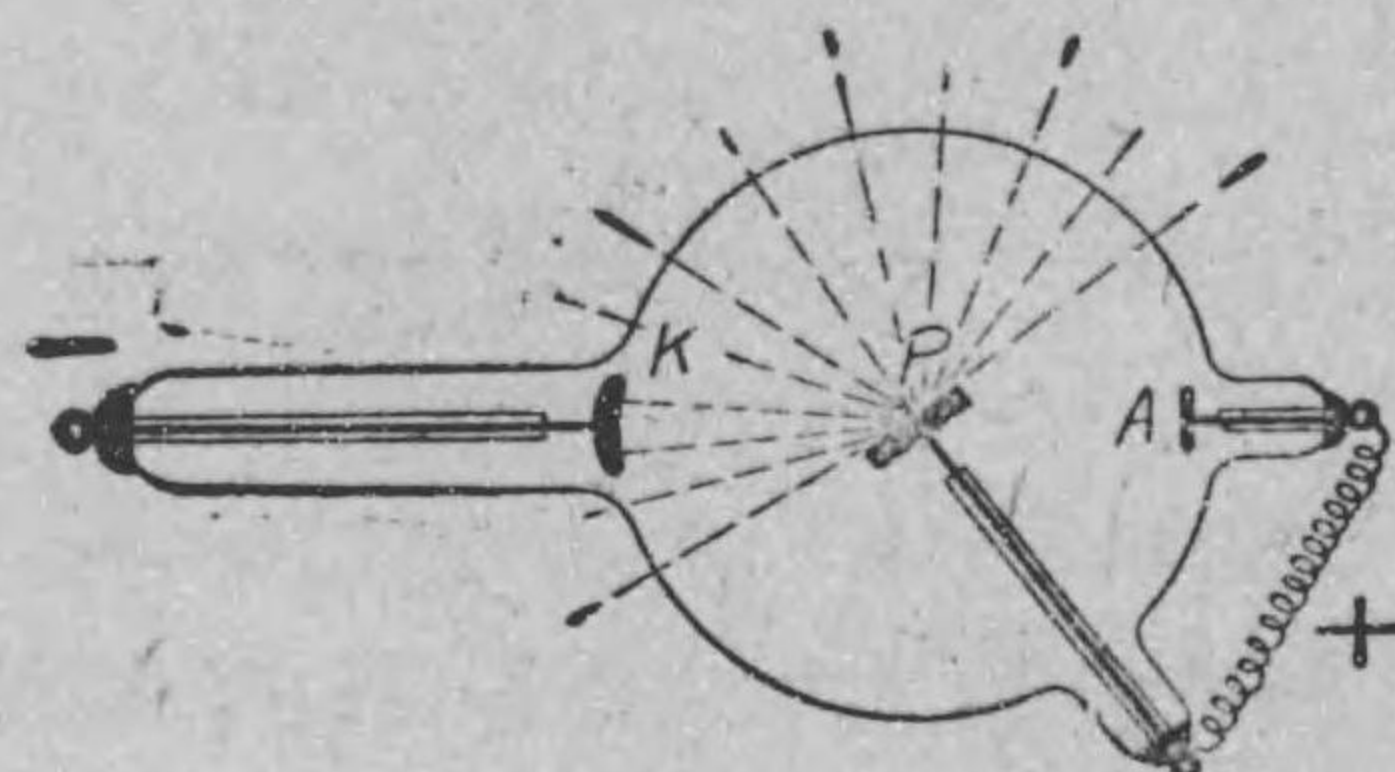
前節に述べた陰極線をつくる陰電氣を帯びた微粒子即ち電子はクルックス管の陰極の金屬から放射されるものであるが、陰極の金屬がどんな物質であつても、陰極線は常に一定の電子から成るものである。電子は陰極線となつて放射される外に、真空中で金屬線を強く熱すると之からも電子が放射される。或は又真空中に置かれた金屬の表面を紫外線しげいせんと稱する化學作用の著しい光で照した場合にもその表面から電子が放射されるものである。電子一個の大きさ及びその有する陰電氣の量は非常に小さく、その直徑は約 $\frac{3.8}{10^{13}}$ cm, 又その電氣量は $\frac{1.59}{10^{19}}$ クーロムで、之が自然界に於ける最小の電氣量である。又其質量は $\frac{8.995}{10^{23}}$ グラムで、水素原子の約千八百分の一に等しいものである。

126. X 線

西曆 1895 年獨逸のレントゲンと云ふ人は、陰極線の研究中、陰極線の衝突する金屬から陰極線とも違つたエックスせん X 線と稱する一種の放射線を發し之が管壁を通して管外に達する事を發見した。此放射線をレントゲン線とも稱する。

第 184 圖は X 線を得るための X 線管である。陰極 K は凹形
のアルミニウム板で、

之に對立した處に陰極
線の衝突するタングス
テン板 P がある。之
を對陰極と稱する。對
陰極 P は陽極 A と連
結される。對陰極から



第 184 圖

X 線 管

放射される X 線は空気中に出て、空気を電導性に變へる。又此
X 線はその周囲の磁界や電氣によつて曲げられる事がなく、又普
通の光線を透さない紙、木、皮、肉等を

透す性質がある。従つて X 線で照らし
て寫眞を撮ると、人體の骨格、内臓の有
様、其外人體内に留つた彈丸、金屬片等
を知る事が出来るから醫術上盛に使用さ
れるのである。第 185 圖は X 線で照ら
して撮つた手の寫眞である。其外 X 線
は結晶體の構造を研究する場合に用ゐら
れる。

第 185 圖

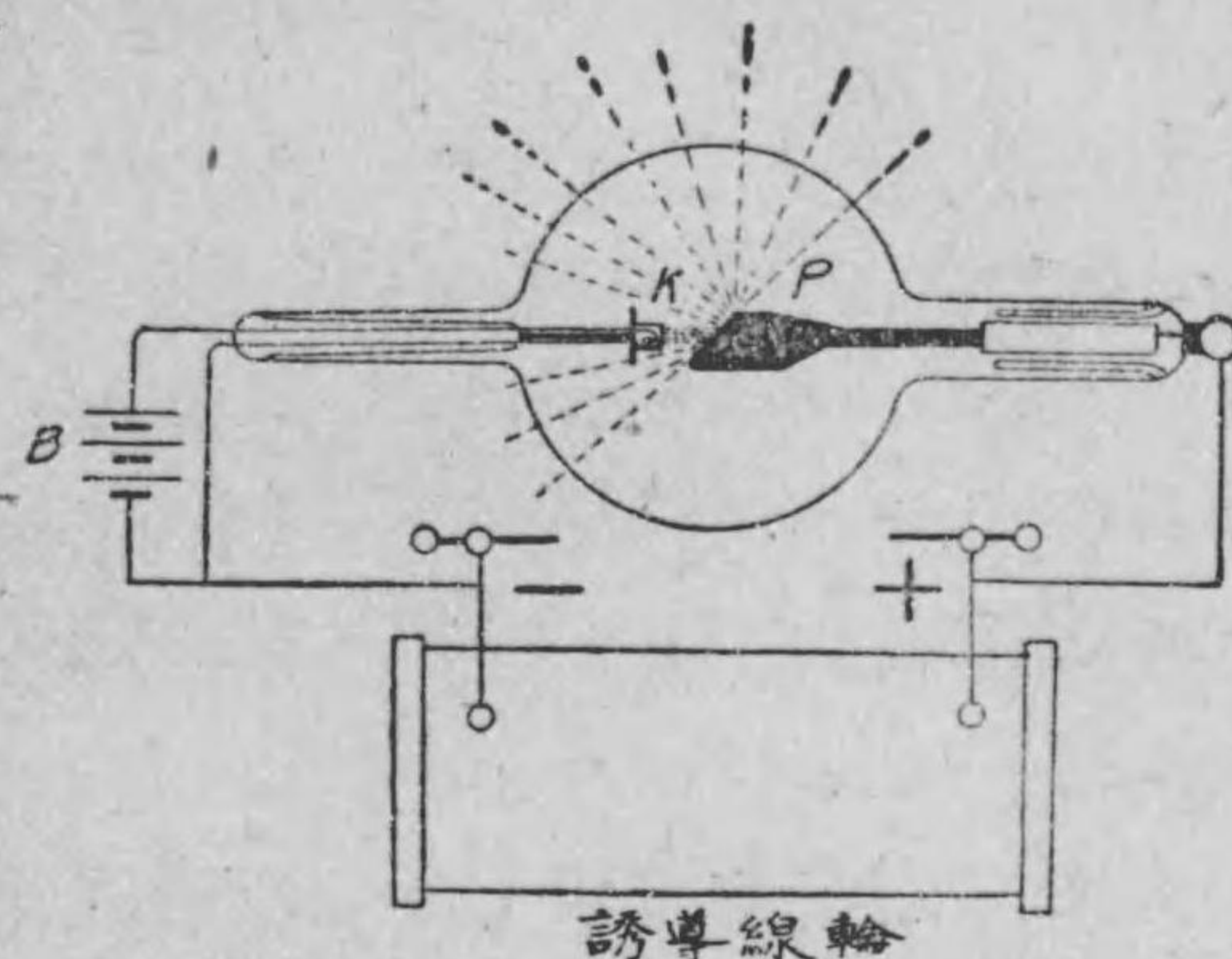


X 線で照らして撮
つた手の寫眞

第 186 圖は最近作られたクーリツチ管
と稱する X 線管で、陰極 K はタングステン線を螺旋狀に卷い
たものを用ひ、之に電池 B から 4 アムペア位の電流を通じて熱

し電子を放射せし
め、此の電子が對陰
極 P に衝突して X
線を發する。(P と
K とには數萬ヴォル
トの電壓を與へるた
めに夫々誘導線輪の
二次線輪の陽及び陰
の兩極に接続され
る)。

第 186 圖



誘導線輪

クーリツチ管に依る X 線

127. 原子説及電子説

物質を細分したものを分子

と稱することは既に第一章でも述べたが、此分子も化學的方法で分
解すると更に小さい原子と稱するものに分割出来る。例へば、水
を分解すると酸素と水素とに分かれる。此様に原子とは化學的方
法でそれ以上分割する事の出来ない小さなものである。さうして
原子の種類は元素の種類だけあつて、各原子は夫々一定の形、質
量を有して居る。同一原子の一個又は數個結合して元素の分子が
出來て居り、又異種の原子が結合して化合物(例へば水の様なも
の)の分子が出來て居るのである。之を原子説と稱する。

然るに今日の學者の説によると、原子なるものは、陽電氣を帶
びた核を中心として其圍りを若干の電子が週廻して(丁度、太陽

の圍を地球とか色々の遊星が週廻して居る様に) 成れる一團であると考へられて居る。さうして原子の種類は陽核の構造と週廻する電子の數とによつて定まるものである。普通の物質の原子では、核の帯べる陽電氣の量と電子の帯べる陰電氣の總量と相等しいのである。此様に電氣的中和の状態に在る原子が集まつて分子が作られ、分子が集まつて物質が作られて居る。斯様に今日では凡て物質は電氣的に考へられて居る。之を電子説と稱する。

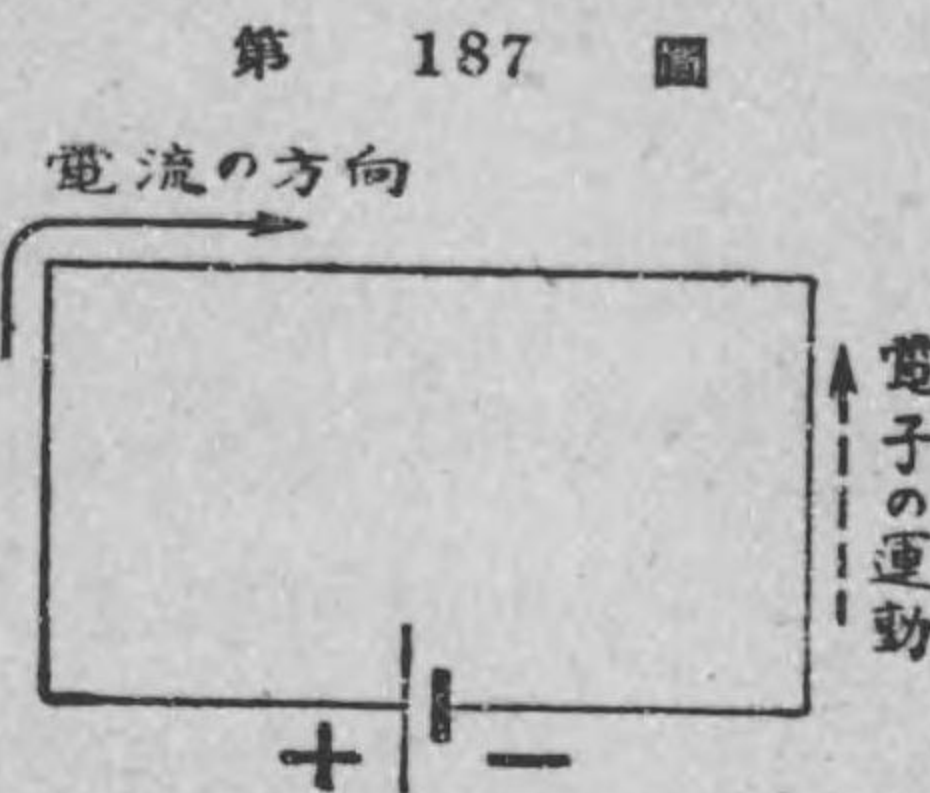
128. 電子説による一、二電氣現象の説明

前節に述べた様に、物質の原子はその核の有する陽電氣の量とその圍りを週廻する電子の陰電氣の總量とが等しいから、其作用が中和の状態にあつて、外部に何等の電氣現象を表はさないのである。

然るに、金屬の原子には比較的容易に原子から離れ得る電子があつて、之を遊離電子いりてんしと稱して居る。此遊離電子は電氣力を受けると、其物質の分子間を自由に運動し、時には物質外にも飛び出すものである。さうして此場合その物質内には逃げた丈の遊離電子の帯びた陰電氣の總量だけ不足して居るから、それ丈の量の陽電氣が其物質に在る譯で、従つて此物質は陽電荷を有すると云ふ事になる。又反對に或物質に遊離電子が外から來たとすると、その物は陰電氣の量が増した事になるから、之は陰電荷を有すると云ふ事になる。

金屬は多數の遊離電子を有するから、金屬線で電池の兩極を接

ぐと、遊離電子即ち陰電氣が陰極から電線を経て陽極に向つて運動する。之が電流現象である。電流の方向は今まで陽電氣の運動の方向と約束して置いたから、電流の方向は電子の運動の方向と反對である。即ち吾々の今まで電流と云つて居た現象は、實は電子(即ち陰電氣)が低電位の處から高電位の處に向つて運動する現象に過ぎないのである。



金屬類に反して、ゴムとか硫黃等はその原子から電子が遊離し得る事が困難で遊離電子が殆どない。従つて之等のゴム等は電池につないでも電子の流動が出来ないのである。即ち金屬類の様に遊離電子を有するものが導體で、反對に遊離電子を有さない物質が不導體(又は絶縁體)である。

練習問題 XIII

1. ガイレル管とはどんな物か。
2. 陰極線は何から出来て居るか。
3. 陰極線の性質を列挙せよ。
4. ブラウン管とは何の原理を利用して作つたものか、又それは何の研究に用ひられるか。
5. 電子を發生させる方法を知つて居る丈挙げよ。
6. 電子一個の有する陰電氣の量は何クーロムか。

7. X 線は誰れが発見したか。
8. X 線の性質を列挙せよ。
9. クーリッジ管とはどんな物か。
10. 原子説を述べよ。
11. 電子説を述べよ。
12. 遊離電子とは如何なるものか。
13. 電流現象を電子で説明せよ。
14. 導體と不導體との區別を電子で説明せよ。

第十四章 交流の概要

129. 交流 電氣工學で取扱つて居る電流の種類を大別すると、^{ちよくう}直流と^{かうりう}交流とになる。直流に就いては已に充分述べてあるから、次は^{かうりう}交流に就いて説明する事にしよう。

交流でも直流でも電氣の流と云ふ現象である事には、何の變りもないが、直流は其流れる方向及大きさが一定であつて、電池又は直流發電機から得られる種類の電流である。之に反し交流は其方向が^{しうきてき}周期的に変化する電流であつて、其大きさも一般に周期的に変化するものである。詳しく云へば、電流の方向が或る一定の時間を置いて規則正しく反對となり、同時に其大きさも一般に、其一定時間の間に規則正しく、時々刻々變化するものである。さて交流は如何にして發生させるかと云ふに、電流は起電力に従つて通ずるものであるから、交流を得るには一定の時間を置いて規則正しく交互に方向の反對になる、即ち周期的に方向の變化する起電力を與へねばならぬ。斯る起電力を^{かうはん}交番起電力と稱する。此交番起電力を發生させる方法は後に述べるが、次に交流發生装置の最も簡單なるものを示さう。

第 188 圖甲乙丙は其装置の原理を示すものである。圖中 R は^{てんきよくき}轉極器と云ふもので之れを圖に示せる様に電池又は直流發電機の陰陽兩極に夫々接続し、之れを又 p 點にて支持し、h なる把手

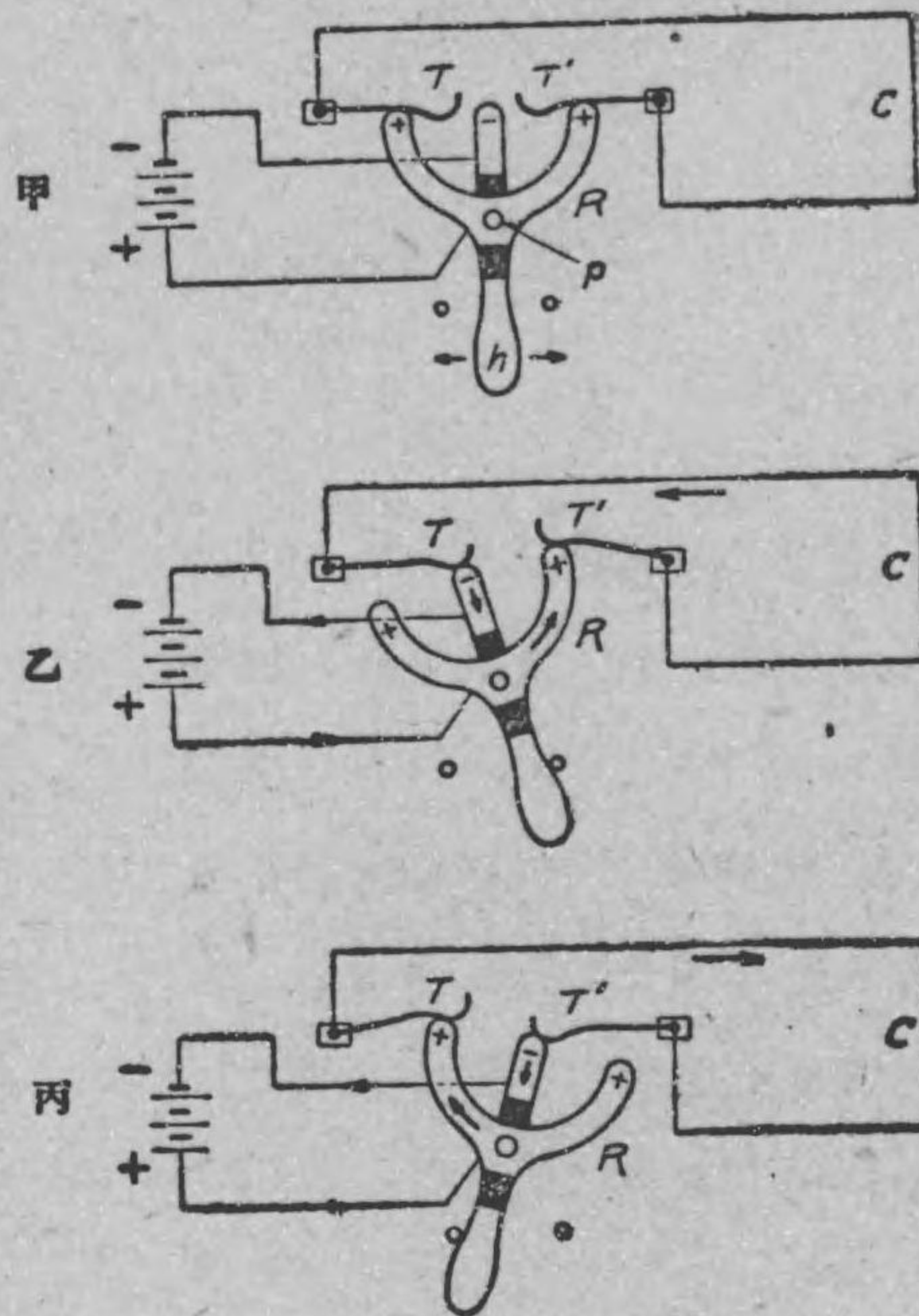
を左右に動かしてcなる外部回路に交流を通ぜさせるものである。但し轉極器の黒色部は絶縁物である。第189圖は此轉極器を示すものである。

今把手を右に動かす時は、第188圖乙の様に轉極器の上部中央にある陰極の脚はTなる金物に接し、左側の陽極の脚はTと離れる。然るに右側の陽極脚はT'なる金物に其まゝ接觸して居る。

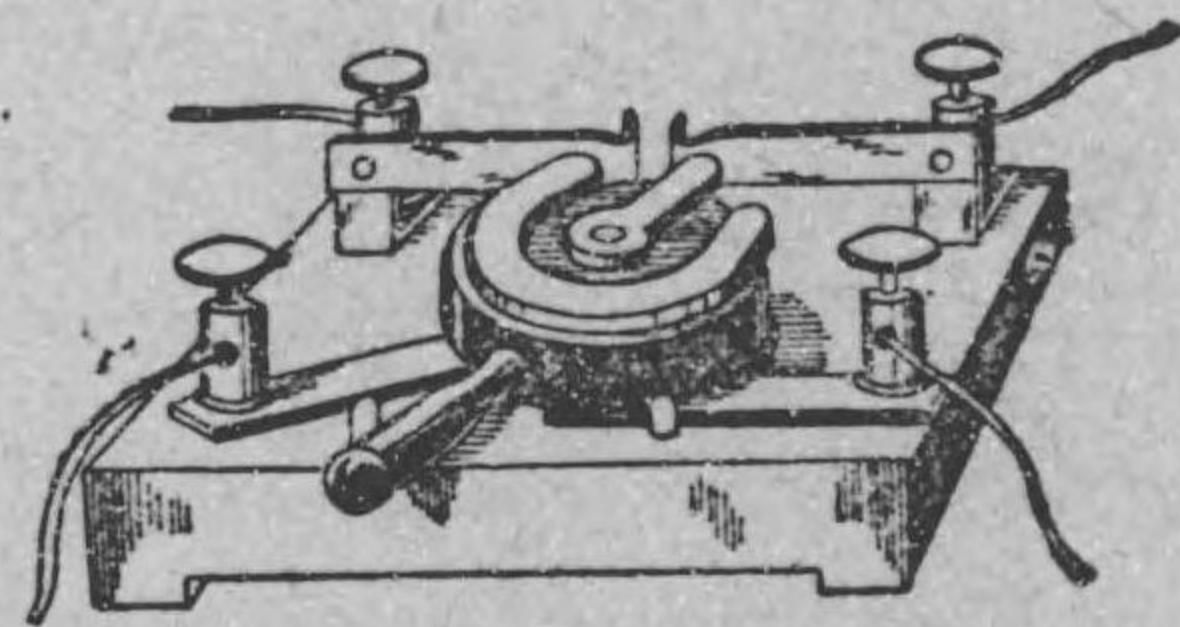
従つてc回路には反時計式、即ち矢の方向に電流が通ずる。

次に把手を左に動かす時は同圖丙の様に、陰極の脚はT'に接し、右陽極の脚はTと離れ、左陽極の脚はTに接觸して居るから、c回路には時計式、即ち矢の方向に電流が通ずる。此様に把手を或る一定

第 188 圖



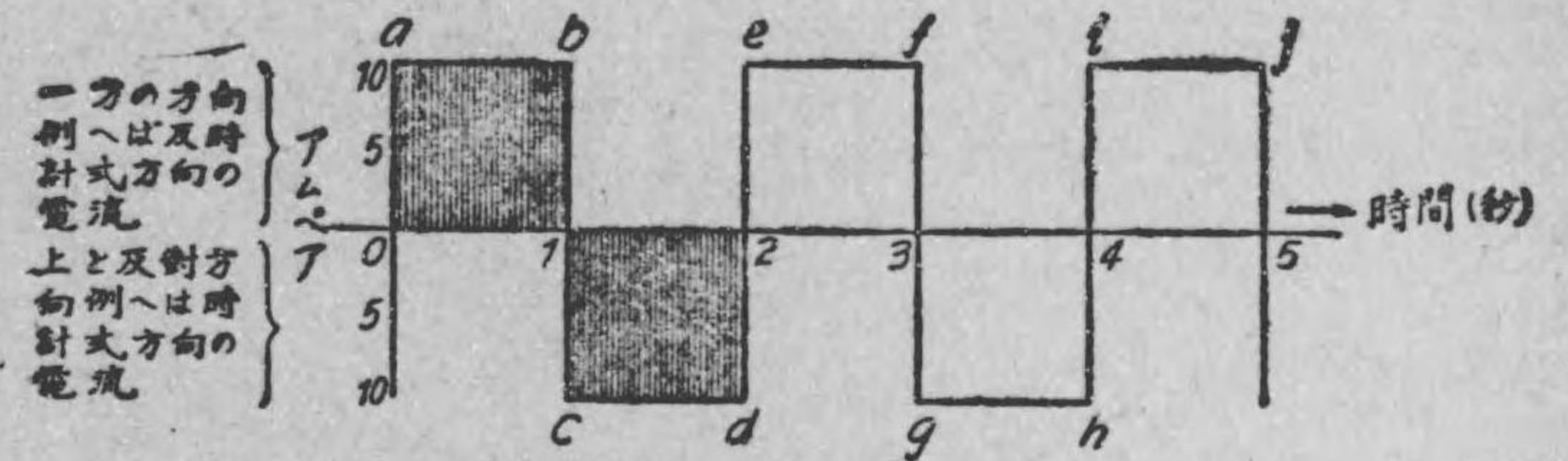
第 189 圖



轉 極 器

時間を置いて左右に動かす事によりて、外部回路cに對しては交番起電力を與へたと同一結果となり、従つて或る一定時間を置いて方向が交互に反對になる電流、即ち交流が通ずるのである。今若し一秒置きに把手を左右に動かし、c回路に10アムペア通ずるものとすれば、此場合の交流の値の時間に就いての變化は第190圖の様なグラフにて示す事が出来る。同圖は水平線を横軸、即ち基線として其上に時間を取り、横軸と直角に交はる縦軸の方向に電流の値(アムペア)を取りて出來たものである。

第 190 圖



第188圖の裝置によりて生じたる交流のグラフ。
即交流の値の時間に就いての變化を圖示せるもの。

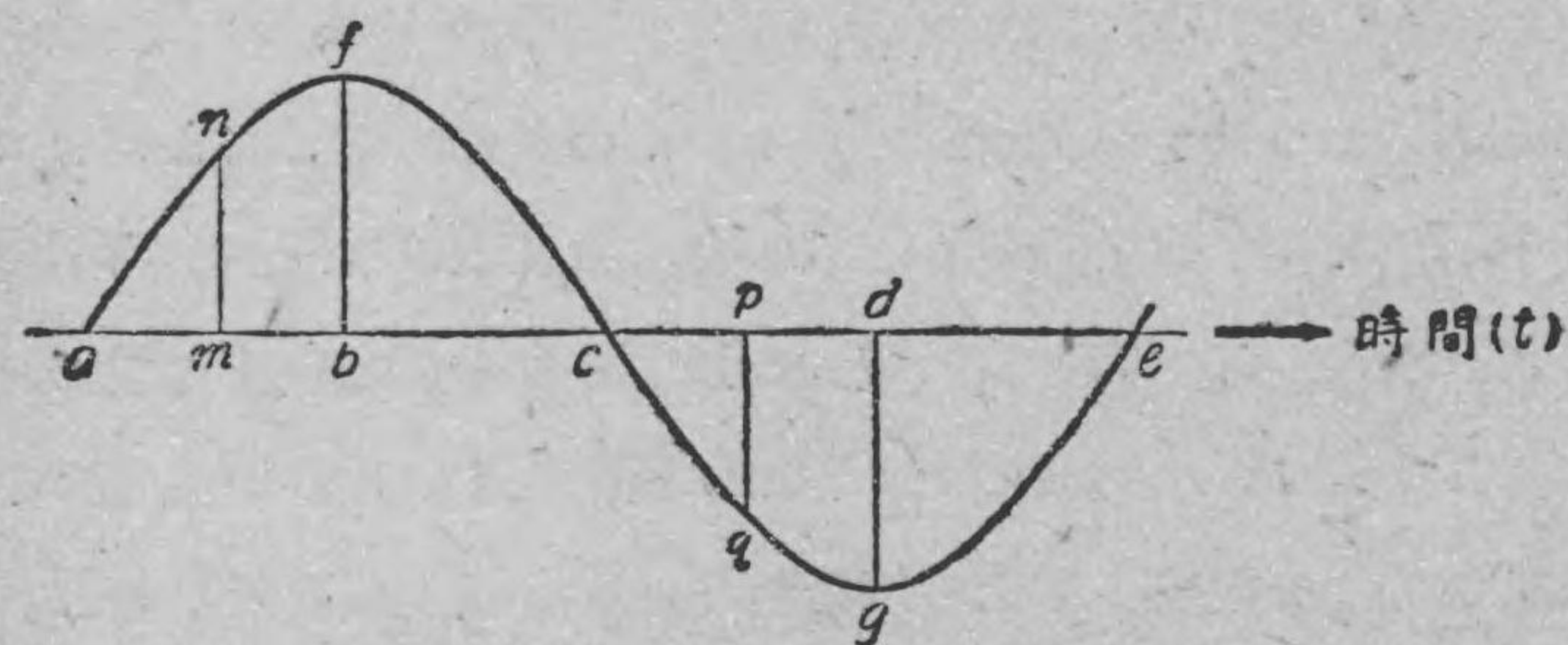
第190圖に就き詳しく説明すれば次の通りである。横軸、即ち基線に沿ふて、時間を取り(例へば一秒置きに)、左より右に時刻の経過を示すものとする。然る時は此裝置の構造から明かな様に、一秒時の間は同一値の電流が通ずるから、基線上に於て、同圖に示す様に、其電流の値を表はす同一長さの直線を縦軸に平行に引きて、各瞬時の電流の値を示し、此上端を順次結ぶ時は、abの様な水平線が得られる。之れが、即ち1秒時の間の電流の値

を示す軌跡となる。今之れを、假りに反時計式方向の電流の値を示すものとすれば、他の方向、即ち時計式方向の電流は方向反対にして同一値のものであるから、之れを表はすには基線より下の方へ同一長さの線を前同様、縦軸に平行に引かねばならぬ。而して其下端を cd の様に、連結すると、反対方向の電流の値を示す軌跡が生ずる譯である。以下同一の事を繰返すのである。

依つて第 190 圖は電流の値が一定、即ち 10 アムペアで、唯だ其方向が一秒毎に反対になる電流、即ち交流の變化を圖示するものである。更に詳しく云へば、 a 點から b 點までの 1 秒間は同一方向に 10 アムペア宛の電流通じ、 b 點に相當する瞬時に急に電流の方向反対となり、其方向に 10 アムペア宛 1 秒間通じ又急に電流の方向が反対となる事を示して居る。

以下順次説明するが、交流發電機から發生する交番起電力は普通、上記の様に規則正しく方向が交互に反対となる外に、直流の

第 191 圖



t とは時間 (time の略字), 單位は秒

場合と異なり起電力の値も時々刻々變化するものであるから、其れによつて通ずる交流の時間に就いての變化もグラフにて示すと第 191 圖の様な曲線にて表はされる。已に説明した通り交流は交番起電力によりて通ずるものであるから、交番起電力の大きさ及び方向の變化も同圖の様な曲線で表はされる事が分かるであらう。

此曲線に於ても、前同様基線 ace 上に時間を目盛り、縦軸の方向に電流又は起電力の大きさを取りて出來たものである。而して電流又は起電力が一方の方向、例へば甲から乙に向ふ時の瞬時の大きさが基線より上の nm , fb で表はされるとすれば、前に述べた様に反対方向の電流、即ち乙より甲に向ふ時のものは基線より下の pq , dg 等にて表はさねばならぬ。

従つて、今第 191 圖が交流の變化を示すものとすれば、 a なる點が示す或る瞬時には曲線の高さは零であるから、其瞬時には電流が通じて居らぬ事を示すのである。其瞬時から am で示された時間の後には曲線の高さは nm で、其の瞬時には nm の長さで表はされた丈の電流が甲から乙の方へ通じて居る事を示す。此電流の大きさは其れから b 點に相當する時刻までは漸次増して電流の大きさは fb なる最大の値に達し、夫れから後は漸次減少して c に相當する時刻になると再び電流は零となる。夫れから後は曲線の高さは pq の如く基線 ace の下に來るから、 p なる點に相當する時刻には pq なる長さで表はされる丈の大きさの電

流が乙から甲の方向、即ち前とは反対の方向に電流の通ずることを示すのである。此反対方向の電流も d に相當する時刻までは増すが、其れから後は漸次減少して e なる點が示す時刻になると、再び電線の中には電流がなくなる。 e から先きは又 anf 等と同一の變化を繰返すばかりである。以上は主として電流に就いて述べたが、交番起電力、従つて交番電壓に於ても、時間に就いての大きさの變化は前同様、一つの波狀曲線で示される事が分かるであらう。

交流なる言葉は本來、規則正しく方向の變化する電流の意味であるが、吾々は直流の場合と同様に起電力及電流を含みたる總稱的名稱として、例へば交流電壓（交番電壓の意味）、交流電路等の言葉を普通使用して居る。

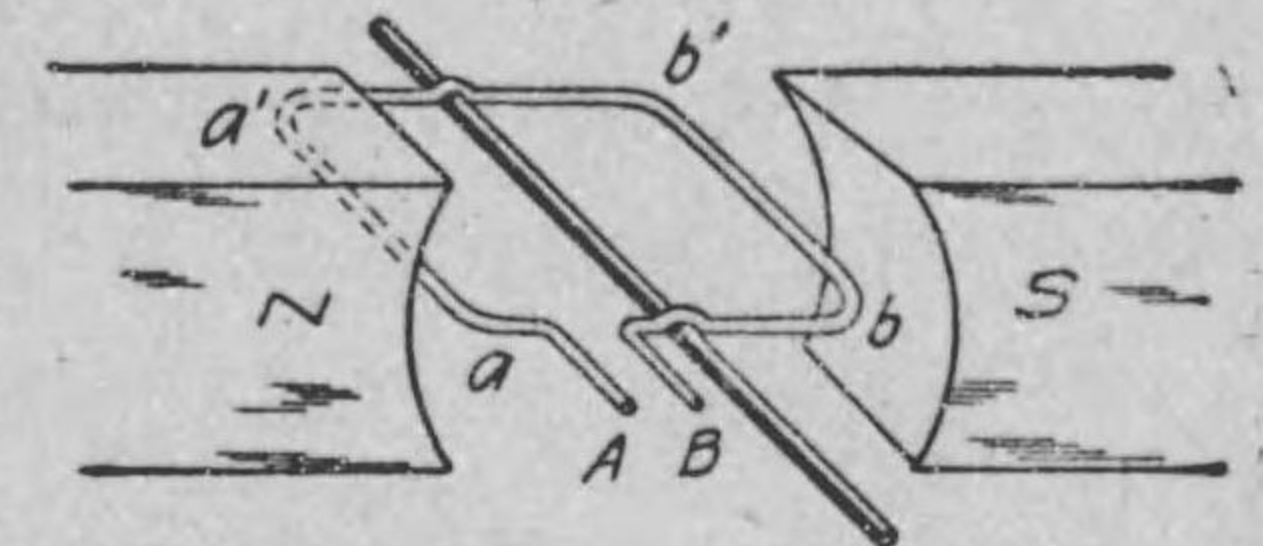
130. 交番起電力の發生

前節で述べた交流發生装置は單に交流の觀念を與へるために述べたもので、同装置に於ても外部回路に對しては交番起電力を加へたと同一の結果を與へるが、電源其れ自身は矢張り直流起電力である。實際の交流電源としては、電源其れ自身が交番起電力を發生する交流發電機が使用せられる。

交流發電機の原理は已に學ばれたが、講義の順序として茲に附加へる事にしよう。今第 192 圖の様に磁石の N 極と S 極とが向ひ合つて居る平等磁界内で、一個の線輪を置いて其線輪に圖の

様な軸を付けて、線輪を時計の針と反対方向に、且つ一定速度で廻轉させる。すると此線輪の導體は N 極と S 極間にある磁線を切るから、此導體内に起電力が生ずる。今

第 192 圖

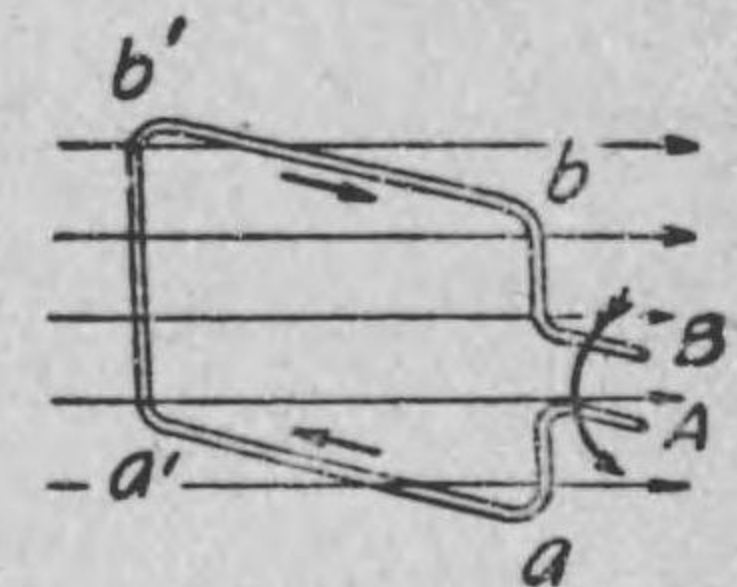


NS 兩磁極の中間に於て線輪を廻轉させる装置略圖

此線輪の廻轉の際に起る起電力の方向を調べて見るに、線輪面 $aa'b'b$ が磁線に直角なる點から出發したとする。すると第 193 圖

に示してある様に、 aa' の部分は下から上に向つて磁線を切り、 bb' の部分では上から下に向つて磁線を切るから、右手三指の規則で明な様に、起電力は矢の方向となり、 A から B に向ふ。即ち此場合 B は A より高電位にある。然し半廻轉して第 194 圖

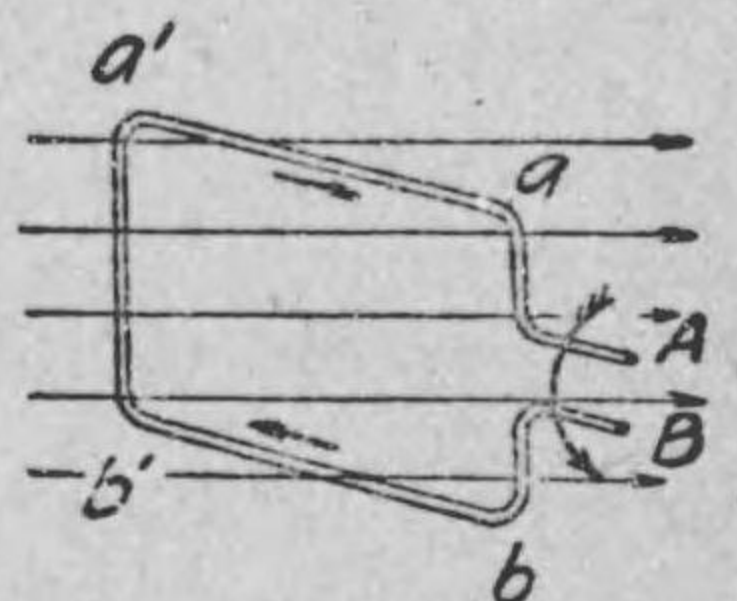
第 193 圖



第 192 圖の線輪が廻轉する時生ずる起電力の方向 (其の一)

の様になると、今度は今迄と反対に aa' は上から下に bb' は下から上へ向つて切るから、起電力の方向は B から A になる。即ち A は B より高電位となりて端子電壓の (+)(-) の位置は前とは反対となる。

第 194 圖



第 192 圖の線輪が廻轉する時生ずる起電力の方向 (其の二)

此様に半廻轉毎に規則正しく起電力の方向、従つて高電位の位置も反対となる。即ち斯くすると交番起電力従つて交番電壓が得られる譯である。而

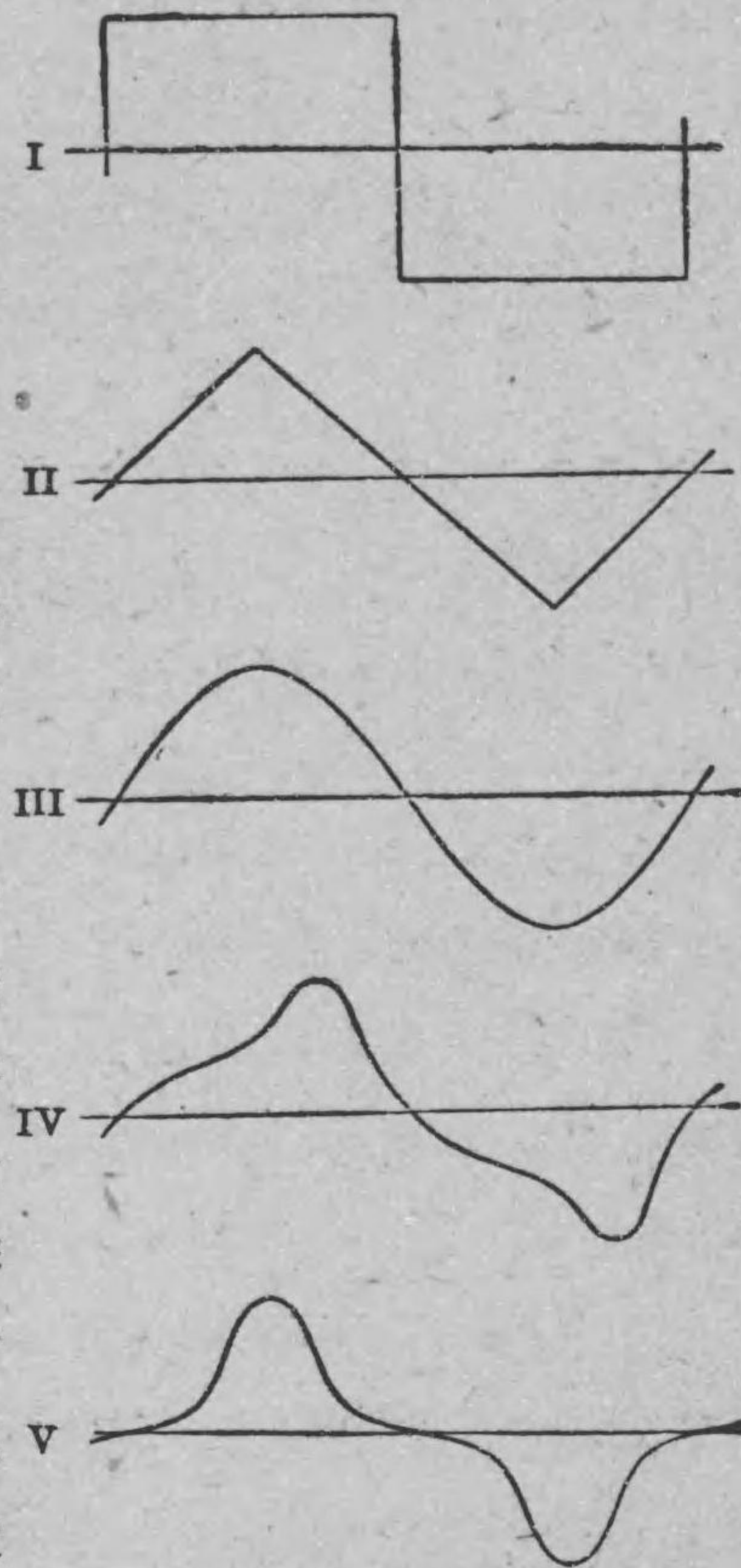
して此場合の起電力の時間に就いての大きさの變化は第 191 圖の様な波狀曲線ではされるのである。此證明は電機學校標準叢書第六卷新編電氣通論第二編にある。

131. 交流波 前節

で述べた様に、一つの波狀曲線で交流の値の時間に就いての變化が完全に表はす事が出来る。此様な波狀曲線を交流波と云ふのである。此交流波の形、即ち波狀曲線の形を交流の波形と稱する。而して此波形には第 195 圖に示す様に、色々のものがあるが、吾々日常取扱つて居る交流は大體に於て同圖 III の様な波形を持つもので、波の形はすでに三角法で學ばれた正弦曲線であるから之れを特に正弦波と呼んで居る。此様な波形を

持つ交流、即ち其値が時間に就いて正弦曲線狀に變化する交流を

第 195 圖



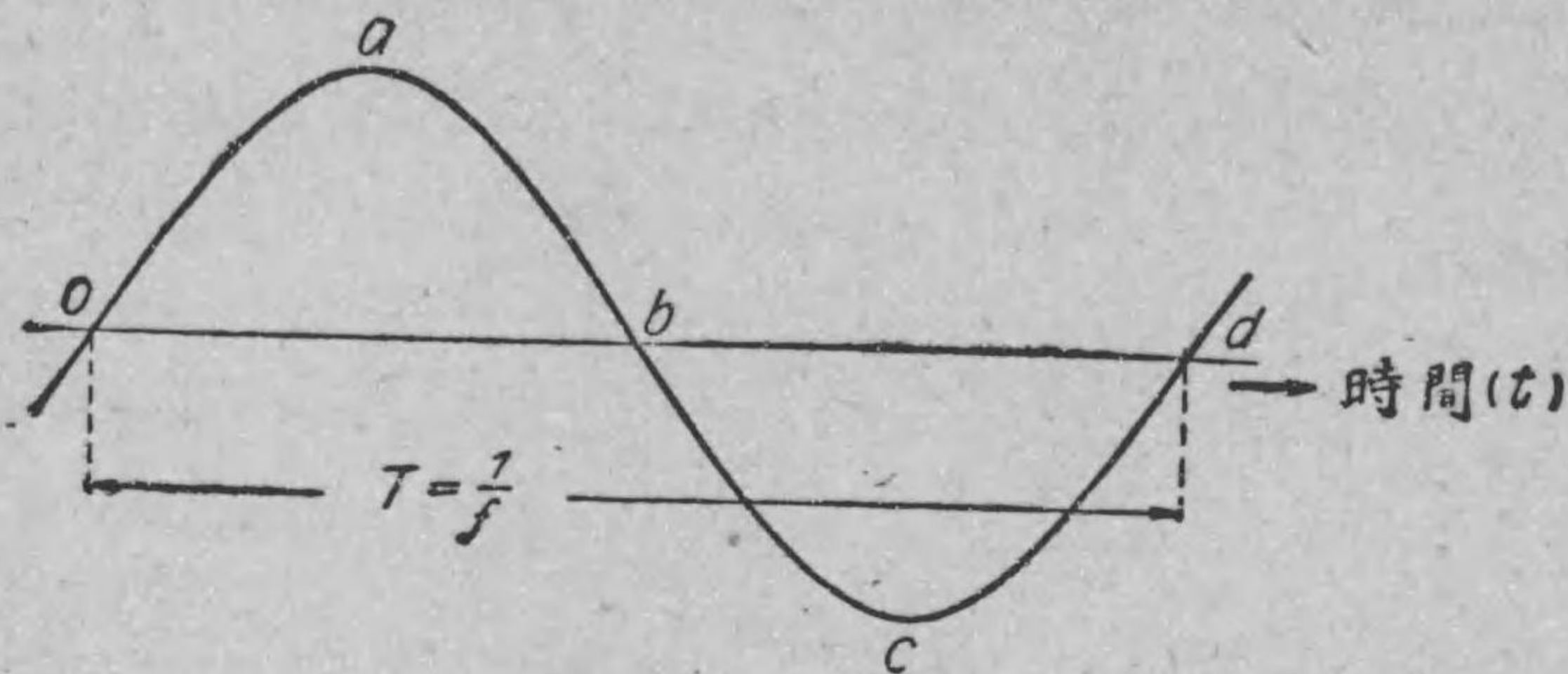
交流の各種波形

正弦波交流と稱する。

交流波に於て基線より上の方にある部分を正波、下の方のものを負波と稱する。普通の交流發電機の構造に於ては、此正波と負波とは同一の形をなして居るものである。又交流に於ては起電力又は電流の方向が、交互に反對になるから、兩方向の内何れの方のものでも、其大きさの變化を正波として表はすことが出来るが、一度何れかの方向のものを正波にて表はしたる上は、其れに相當する起電力又は電流の方向を正の方向と定むるのである。従つて若し電流が其れと反對方向に通じて居る時は負の方向の電流となる理であるから、其變化は負波にて表はさねばならぬ。交流では直流と異なり方向が交互に反對となるものであるから、上の如く一定の方向を定めて論ずる必要が生じて來るのである。

132. 周波數 上述の如く交流の變化は完全に交流波を以て表はすことを得るから、其れによりて以下の事柄を説明するが便利である。

第 196 圖の如き交流波に於て其波形が完全に一變化して、初の状態になる迄を 1 サイクルと稱するので、例へば o から出發して a を過ぎ b, c を通り d に至る迄を云ふのである。又此 1 サイクルに要する時間を周期、1 秒間のサイクル數を周波數と稱し、前者は T 、後者は f なる文字で表はすが普通である。交流では此サイクルを表はすに \sim なる記號を屢々用ひる。普通 50



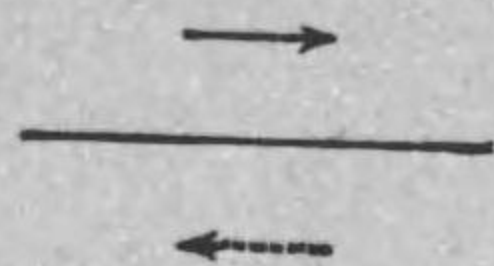
T=周期 f=周波数

サイクル又は 60 サイクルの交流と稱して居るのは、交流の周波数が 50 サイクル又は 60 サイクルであると云ふ意味である。

以上述べたる所を尙ほ一層具體的に説明して見ると次の通りである。第 197 圖の如き交流回路の一部に就て考へるに、今電流が零なる瞬時を考へ、其れより實線の矢の方向に電流が通じ始め漸次増加し、最大の値に達し其れより又漸次減少して再び零となり、次に反対方向(點線の矢の方向)に電流が増加して其方向の最大値に達し、又減少して三度零、即ち先きに考へた瞬時と同一方向、同一電流の値、即ち零となる迄が 1 サイクルである。之れに要する時間が上に述べた周期、即ち 1 周期である。依つて 50 サイクルの交流と云へば、上の様な事を 1 秒間に 50 回、換言すると 1 秒間に電流が 50 回往復する譯である。

以上述べた周波数及周期の定義は交番起電力、従つて交番電壓

第 197 圖



に就いても同一である事申迄もない。

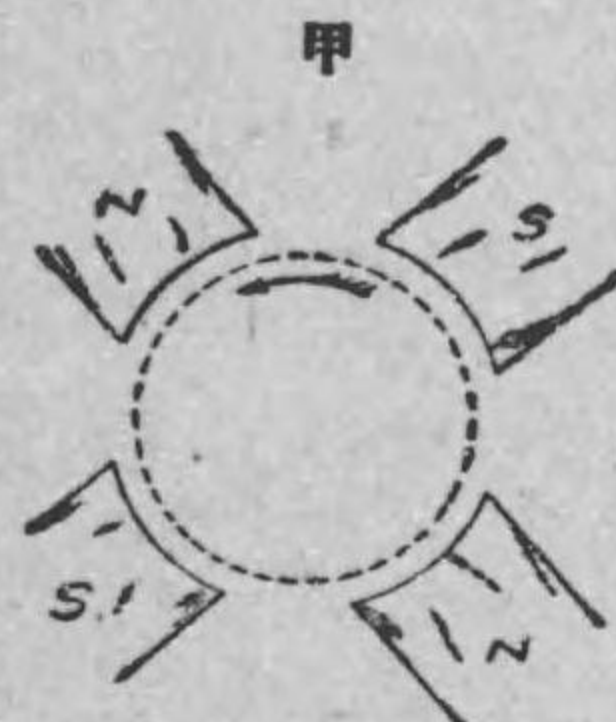
次に周期と周波数との関係は次の通りになる。今周期を T 、周波数を f にて表はせば

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{或は} \quad f = \frac{1}{T}$$

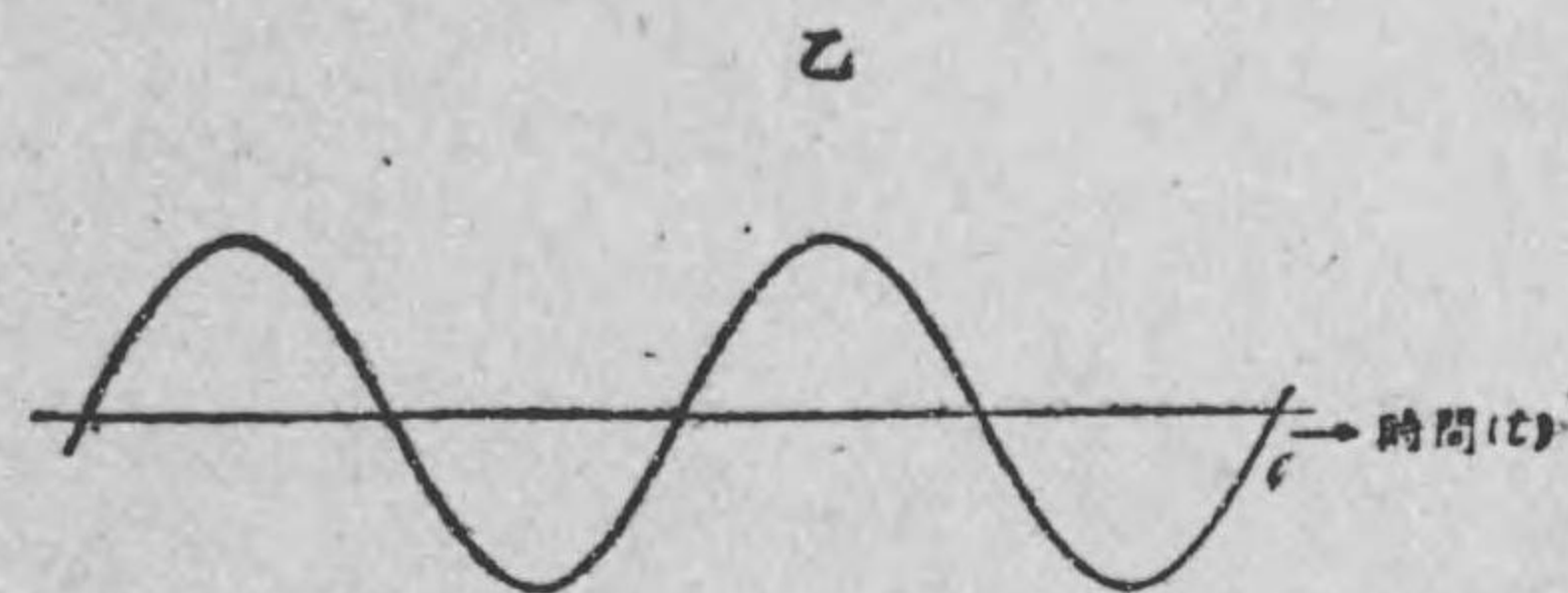
又 1 サイクルの半分、即ち第 196 圖に於て o から出發して a を通り b に至る迄を 1 交番と云ふ。其れ故 1 秒間の交番数と云へば周波数の 2 倍である。

注意 第 192 圖の様な構造の發電機、即ち二極交流發電機では、廻轉子の 1 廻轉の間に、交番起電力の 1 サイクルを完成する事明かであるが、第 198 圖の様な四極交流發電機では 1 廻轉の

第 198 圖



4 極交流發電機



4 極交流發電機に於ては廻轉子の一廻轉の間に交番起電力の 2 サイクルを生ずる。

間に、同圖乙の様に起電力の 2 サイクルを完成するものである。此様に同じ 1 廻轉でも極数によつて發生する起電力のサイクル数は異なるもので、毎秒のサイクル数、即ち周波数を f サイクル、極数を p 、及毎分の廻轉数を N とすれば、之れ等の間には

次の関係がある。

$$f = \frac{N}{60} \times \frac{p}{2}$$

例題 53. 10 極交流発電機が毎分 600 廻轉する時は、此場合發生する起電力の周波数は毎秒幾サイクルなるか。

解 $f = \frac{N}{60} \times \frac{p}{2}$ なる公式より

$$\text{周波数} = \frac{600}{60} \times \frac{10}{2} = 50 \text{ サイクル/秒 (或は } 50 \sim \text{/秒)}$$

例題 54. 周波数 50 サイクル (50 \sim) の交流がある。其周期及 1 秒間の交番数を求む。

解 周期 = $\frac{1}{50} = 0.02$ 秒

$$1 \text{ 秒時の交番数} = 50 \times 2 = 100$$

133. 實効値 第 131 節で述べた様に、交流には種々の波形のものがある。又其大きさも時々刻々變化するものであるから、其大きさを云ひ表はすに何を標準としてよいか判断が付かぬ。そこで交流では其大きさを簡単に云ひ表はす事の出来る様に、**實効値**と云ふものが用ひられる。

交流の實効値と云ふものは、或る交流が或る抵抗を通つた時、其同じ抵抗に 1 アムペアの直流が通つた時と同じ熱量が發生すれば其實効値は 1 アムペアと云ひ、5 アムペアの直流と同じで

あれば、5 アムペアと云ふのである。要するに熱量、即ち熱エネルギーの上から實効値の定義を下すのである。

上に述べた定義に従つて、交流の實効値を數學的に求めると、交流の 1 サイクルの時々刻々の値の自乗の平均の平方根が實効値に相當することになるのである。此説明は電機學校標準叢書新編電氣通論第二編に譲る事とし、茲では省略する。

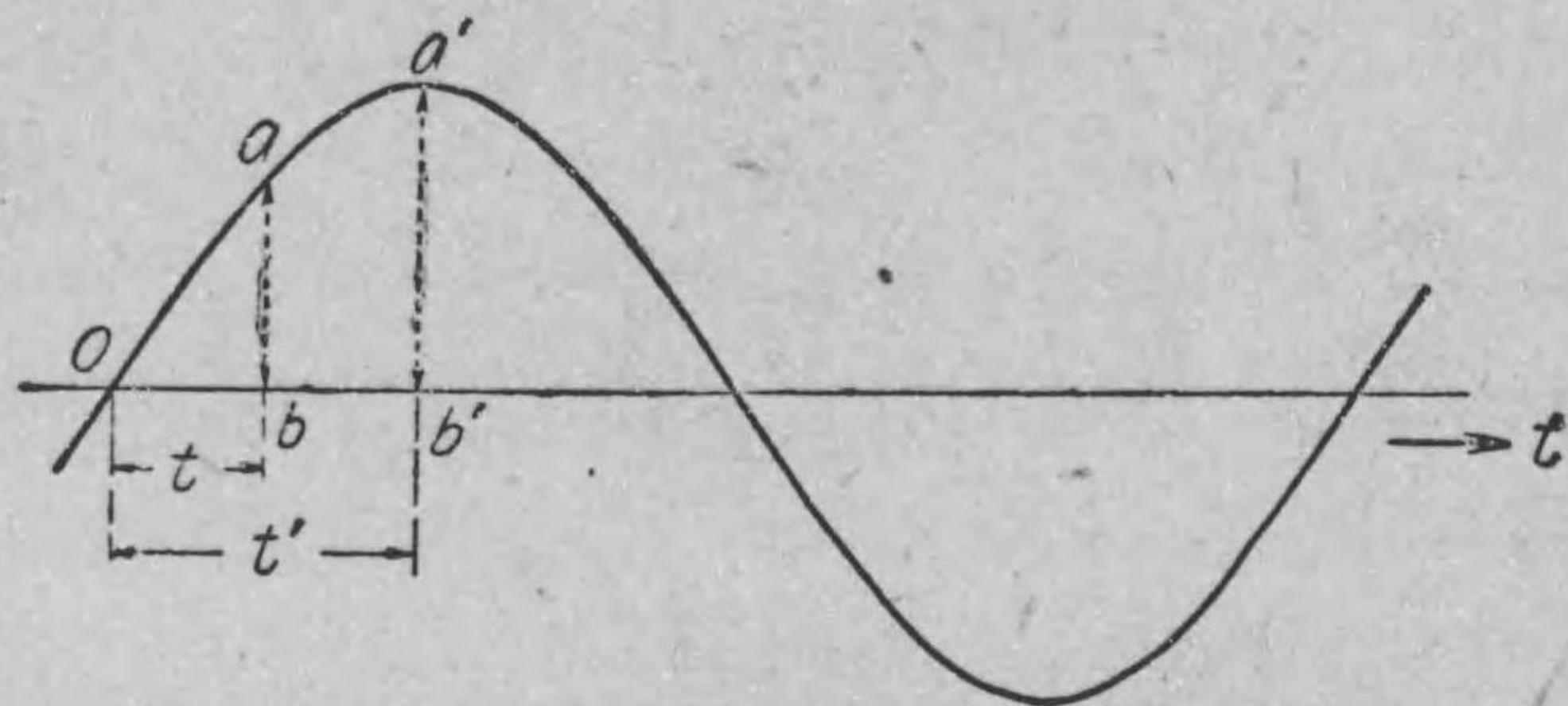
電流は起電力に従つて通ずるものであるから、交流の大きさを上の如く定めると交番起電力、従つて交番電圧も自然同様にして定められる。即ち交番起電力又は交番電圧の實効値は交流と同様に、各の 1 サイクル間の時々刻々の大きさの自乗の平均の平方根で表はされる。以上は單に交流の實効値の定義及其求め方を示したもので、正弦波交流の場合の實効値の數値に就きては改めて説明する。

普通吾々が何アムペアの交流又は何ヴォルトの交番起電力又は交番電圧と云ふのは皆此實効値を指して居るのである。而して交流に使用する電流計及電壓計は、波形の如何に拘らず、凡て其構造が實効値を指示する様に出来て居るのである。而して實効値の定義は波形に拘らず成立つものである事を忘れてはならぬ。

134. 交流の平均値 交流又は交番電圧は其大きさを表はすに専ら實効値が用ひられる。然し交流の値は時々刻々變化するものであるから、必要に應じ實効値の外に**最大値**、**瞬時値**、

平均値と云ふ様なものが用ひられる。已に述べた様に最大値と云ふのは交流の最も大なる値、即ち第 199 圖の波で云へば $a'b'$ の

第 199 圖



様な値を指し、瞬時値とは或る瞬時の値、例へば同圖に於て時間 t の時（時間 t の瞬時とは交流波の正波とならんとする零點、即ち 0 より起算して t 秒間後の意味である。）の瞬時値とは ab を指し、 t' の時の瞬時値と云へば $a'b'$ を指す。此圖の場合に於ては瞬時値 $a'b'$ が最大値に偶々一致した譯である。

次に交流の平均値の事であるが、其一周波間の平均値は正波及負波は一般に同形なる故零である。依つて交流の平均値としては零點から始まつた半周波間（正波又は負波）の各瞬時値の平均を取るのである。

上で述べた様に、交流では必要に應じ色々な名稱の値を用ひるが、之れ等を表はすに普通次の様な文字を用ひる。今電流で例を示すと、電流の實効値は I 、最大値は I_m 、瞬時値は i にて表はして居る。又電壓の場合も同様に E 、 E_m 及 e なる文字を用ひる。

練習問題 XIV

1. 交流と直流とは何によりて區別するか。
2. 交流は規則正しく方向が反對となるのであるが、之れを如何に區別して曲線で表はすか。
3. 交流波とは如何なるものを云ふか。
4. 正弦波交流とは如何なる種類の交流であるか。
5. 交流の 1 サイクルとは如何なる事を云ふか。
6. 交流の周期及周波數とは如何なる事を云ふか。
7. 周期と周波數との間に如何なる關係があるか式にて示せ。
8. 交流の交番數とは如何なる事を云ふか。
9. 交流では何故に實効値を用ひるか又之れを如何にして定めるか。
10. 交流の平均値は如何にして定めるか。

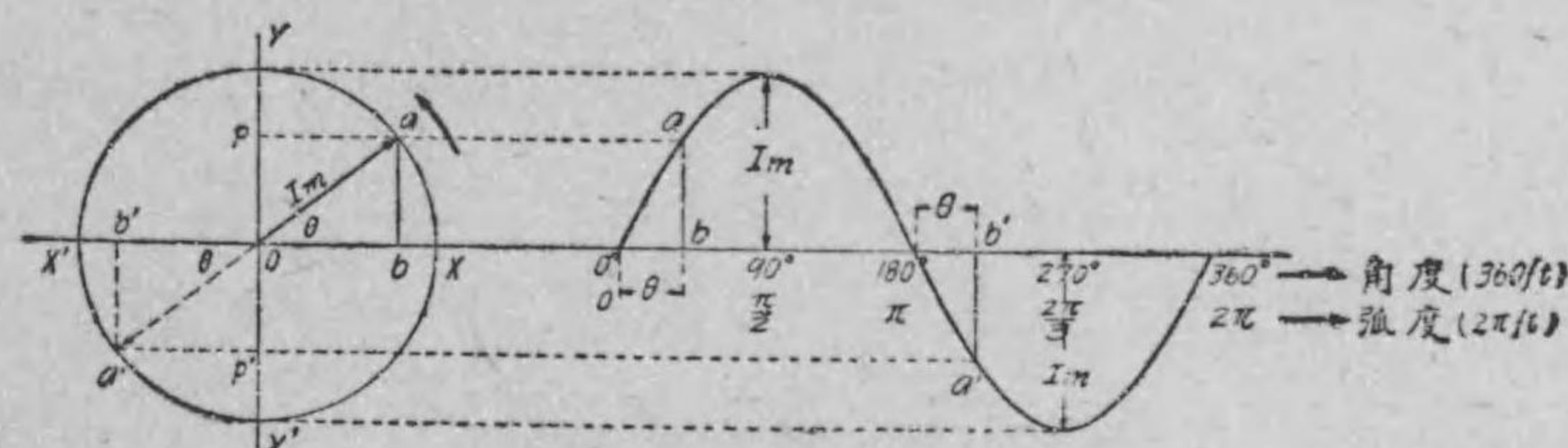
第十五章 正弦波交流

135. 正弦波 前章で述べた様に、交流には色々の波形のものがあるが、理論研究をなす上から見ても、交流機器に及ぼす影響から見ても、正弦波交流が最も優れて居るのである。故に交流発電機製造者は皆完全な正弦波のものを得る様に勉めて居る。従つて現今出来る交流発電機の波形は極めて正弦波に近いものである。故に吾々の交流の研究も此正弦波交流に就いて行へば足る譯であるから以下別に断りない時には交流と云へば、常に**正弦波のものと思つて貰ひたい。**

さて本論に立歸つて、正弦波交流の値の時間に就ての變化を示す正弦波の波形は已に述べた様に、正弦曲線である。依つて正弦曲線が持つ種々の性質は正弦波交流も持つ事になるから、正弦波交流は正弦曲線、従つて正弦函数と同一理論にて數學的に處理する事が出来るのである。此點が正弦波交流の理論研究の上に於て最も都合のよい事である。次に交流理論の基礎ともなるべき正弦波の描き方を示さう（次に述べる方法も亦正弦曲線描き方の一つの應用である）。

茲に周波數 f サイクルで最大値 I_m なる正弦波電流ありとする。今此正弦波を描くには、第 200 圖の様に最大値 I_m を廻轉半徑（廻轉ベクトルとも云ふ）となし、之れを其交流の周波數毎秒 f

第 200 圖



廻轉にて、且つ一定速度で O を中心として反時計式に廻轉させる。此事は次の様に考へてもよい。

廻轉半徑が一廻轉する間に中心に於ての角は 2π レーディアン又は 360° 廻轉する。然るに廻轉半徑は上に述べた様に、毎秒 f 廻轉するから、中心に於ての角は毎秒 $2\pi f$ レーディアン又は $360 \times f$ 度廻轉する。即ち廻轉半徑の角速度は $360f$ 度(或は $2\pi f$ レーディアン)となる譯である。依つて上の事は廻轉半徑を $360f$ 度なる一定の角速度で反時計式に廻轉せらると云ふ事と同一である。

今廻轉半徑が OX より出發して角 θ だけ進むに t 秒間を要したとすると、 $\theta = 360ft$ 度である。即ち此 θ なる角は時間と共に變化する事が分かる。又廻轉半徑の先端の水平軸 XX' 上の高さ ab 或は廻轉半徑の YY' 軸上の投影 po (附記参照)は θ の値、即ち $360ft$ の値に従つて時々刻々と變化する。換言すると、廻轉半徑が OX から出發して時間と共に其位置が變化するから、 θ の値も變り、之れにつれて投影 po の値も時々刻々變る譯である。

依つて時間と共に變化する角度(即ち 360 度)又は弧度(即ち 2π レーディアン)を基線上に取り、廻轉半徑の縦軸 YY' 軸上の投影を YY' 軸と平行の方向に取りて、グラフを作ると、第 200 圖右側の様な正弦曲線を波形とする正弦波が得られる。上に述べた YY' 軸上の投影は此場合の電流の瞬時値を表はすものにして、其投影の變化は廻轉半徑の一廻轉、即ち 360° 又は 2π レーディアンにて完了して、右側の正弦波の 1 サイクルを完成し、其後は同一變化を繰返すものである。依て同圖右側の基線上にも角度(即ち 360 度)又は弧度(即ち 2π レーディアン)を目盛り、 0° より 360° (或は 0 より 2π レーディアン)にて正弦波の 1 サイクル、即ち正弦波交流の 1 サイクルを完成させる様にするのである。斯くすれば正弦波交流の變化、即ち正弦波の時間に就いての變化が、角度に就いての變化にて示す事が出来るのである。元來交流波は交流の値の時間に就いての變化を示すものであるから、正弦波の場合にも基線上の目盛りには時間即ち t を取るべきものであるが、上に述べた通り正弦波交流を正弦曲線、従つて正弦函數と同一理論で取扱ひ得る様に、便宜上、上に述べた様な角度(或は弧度)を使用するものである。尙ほ此角度に就いては次節にも説明してある。

以上の説明で分かる様に、正弦波交流の變化は廻轉半徑の投影の變化を考へるも又正弦波を想像するもよいのである。

次に正弦波の描き方を今少しく詳しく説明しよう。第 200 圖

に於て廻轉半徑が横軸 OX と一致した點より出發するとすれば、其瞬時は廻轉半徑の投影は零で、従つて基線上の 0° に於て正弦波の高さも零である。其れより θ だけ廻轉すれば投影 po (po は ab と等しい)となるから、正弦波の高さも θ の點に於て ab である。尙ほ其れより廻轉して $\theta=90^\circ$ の時には投影と I_m とは一致して右側の正弦波に於ても最大値 I_m となる。更に其れより進むと廻轉半徑の投影は減少し、 $\theta=180^\circ$ で零となる。即ち 0° より 180° までの間の投影の變化をグラフに作ると、正弦波の正波を生ずるものである。次に尙ほ進む時は投影は横軸の下に來たりて正弦波の負波を生ずる事圖に示す通りである。

附記 第 200 圖に於て廻轉半徑の先端より横軸 XX' 軸と直角に交はる縦軸 YY' 軸上に引きたる垂線の足を p とすれば廻轉半徑の高さ ab は po に等しい。此 po を廻轉半徑の YY' 軸上の投影(或は正射影)と稱するのである。

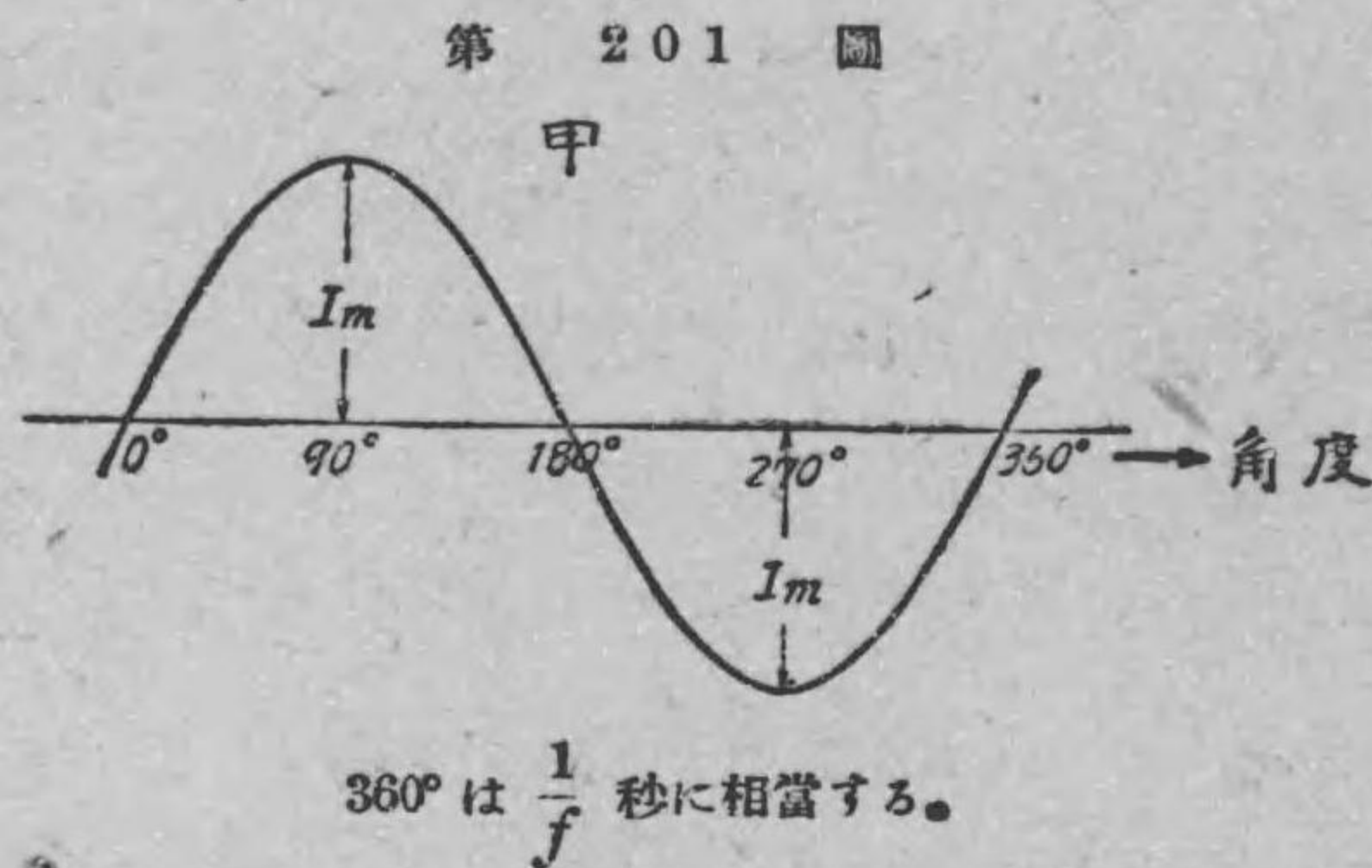
136. 正弦波交流 前節で述べた様に、交流の値は時間に就いて變化するのであるから、基線上には時間を目盛りすべきであるが、正弦波交流の研究では便宜上、時間の代りに角度を使用して居る。此角度の代りに弧度を使用してもよい事は上に述べた通りで、且つ普通は弧度を用ゐるのであるが、理解を容易にするため本書では總て角度を取る事にした。

又前節で述べた様に、正弦波の 1 サイクルは 360° で完成する

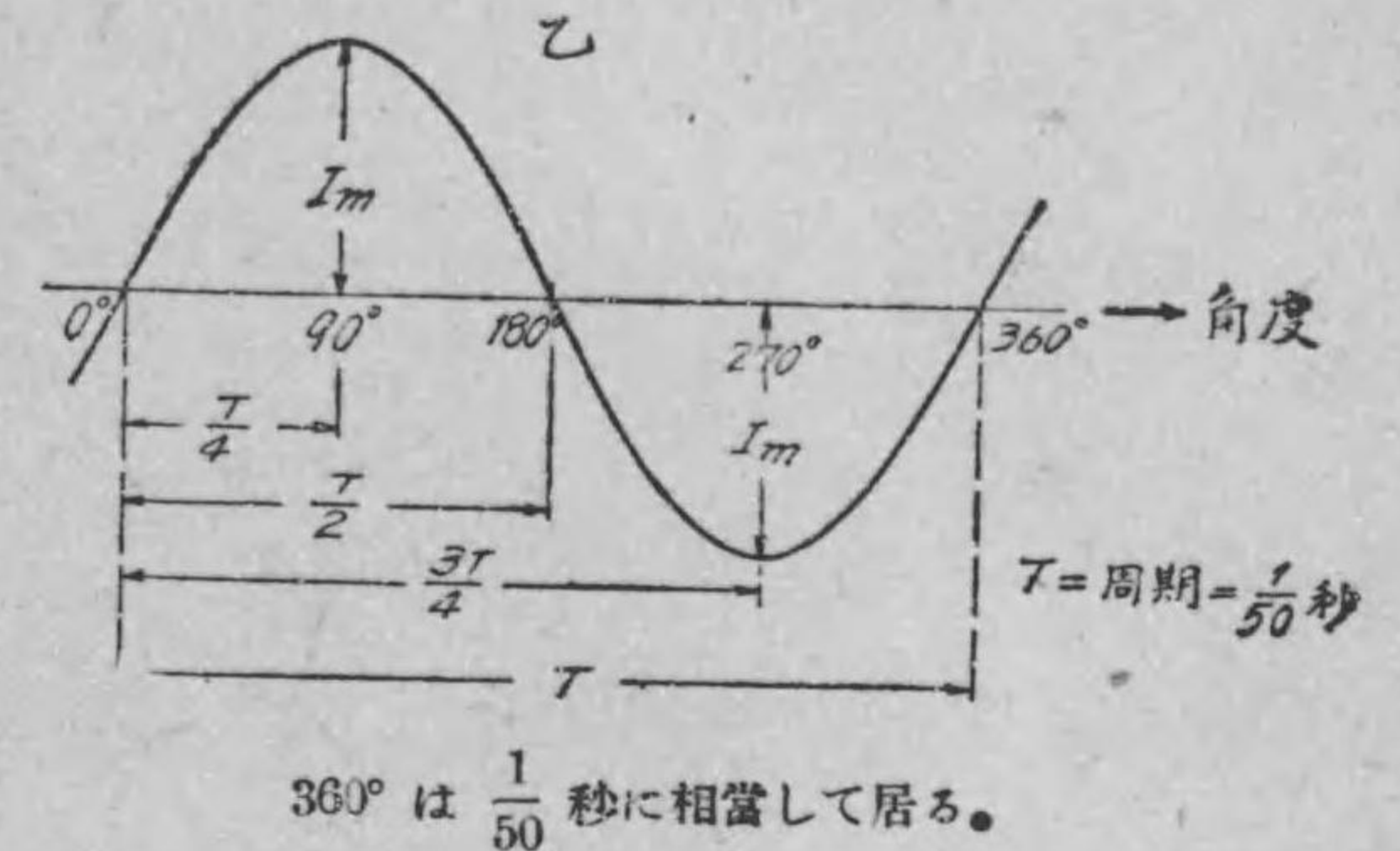
ものである。然るに若し茲に、周波数 f サイクルの交流ありとすれば、1 サイクルに要する時間、即ち一周期は $\frac{1}{f}$ 秒であるから、結局 360° が $\frac{1}{f}$ 秒に相当して居る理である。同様に 180° が半サイクルに要する時間に相当して居る。依つて今正弦波電流の零の値から起算して、此値の角度に就いての變化をグラフにて示して見ると、第 200 圖右側と同じく第 201 圖甲の様になる。而して基線上の 360° は $\frac{1}{f}$ 秒に相当して居る。

此圖から明かな様に、正弦波電流、従つて正弦波の正波にならんとする零なる瞬時を起算點に取ると、其れから増加して 90°

の瞬時は最大の値即ち最大値となる。此正弦波の零の瞬時を起算點に取る事は第 200 圖に於て、廻轉ベクトルを OX から出發させる事、即ち其瞬時を起算點に取る事である。其れから後は交流の値は漸次減少して 180° の時に再び零となり、其後は前とは方向反對となりて、其方向に増加して 270° で其方向の最大値 I_m となるが、又其後は減少して 360° で零となる。其後は同一の事を繰返すのみである。



次に交流の瞬時値とは已に定義を與へた通りであるが、或瞬時の値である。例へば、交流の零、即ち正弦波の零より起算し



て 90° に於ける瞬時値は第 201 圖甲の場合の様に I_m である。又 270° の時の瞬時値は 90° の時とは反対方向の最大値 I_m である。今之れを時間で云ふと、50 サイクルの交流では、上の 90° の瞬時とは正弦波の零より起算して、其れに相當する時間を t とすれば

$$t = \frac{1}{50} \times \frac{90}{360} = \frac{1}{200} \text{ 秒 (或は } t = \frac{T}{4} \text{)} \quad \text{但し } T = \text{周期}$$

上の $t = \frac{T}{4}$ となるのは、 $\frac{1}{50}$ 秒は此交流の一周期 T にして、 $\frac{90}{360} = \frac{1}{4}$ なるからである。同様に 270° の瞬時とは

$$t = \frac{1}{50} \times \frac{270}{360} = \frac{1}{67} \text{ 秒 (或は } t = \frac{3T}{4} \text{)}$$

のことである。依つて此場合の角度と周期、即ち時間との關係を圖に示すと第 201 圖乙の様になる。

例 55. 60 サイクルの正弦波電流あり、或零の瞬時から起算し

て 180° は何秒後であるか、又其瞬時の電流の値は何程なるか。

解 180° に相當する時間を t とすれば

$$t = \frac{1}{60} \times \frac{180}{360} = \frac{1}{120} \text{ 秒}$$

即ち $\frac{1}{120}$ 秒後であつて、其時の値は零である。何となれば、 180° の時の値が零なる事、正弦波から明かである。

前二節では主として電流に就いて述べたが、起電力、從つて電壓の場合でも同一である事申迄もない。

137. 正弦波交流の實効値及平均値 交流の實効値に就いては已に定義を與へたが、正弦波交流の實効値も同一定義による事勿論であつて、其定義に従つて其數値を計算すると、交流の實効値は其最大値の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍である。

依つて電流の實効値を I 、其最大値を I_m で表はすと、次の如き關係がある。

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m$$

或は $I_m = \sqrt{2} I = 1.414 I$

同様に電壓の場合に

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 0.707 E_m$$

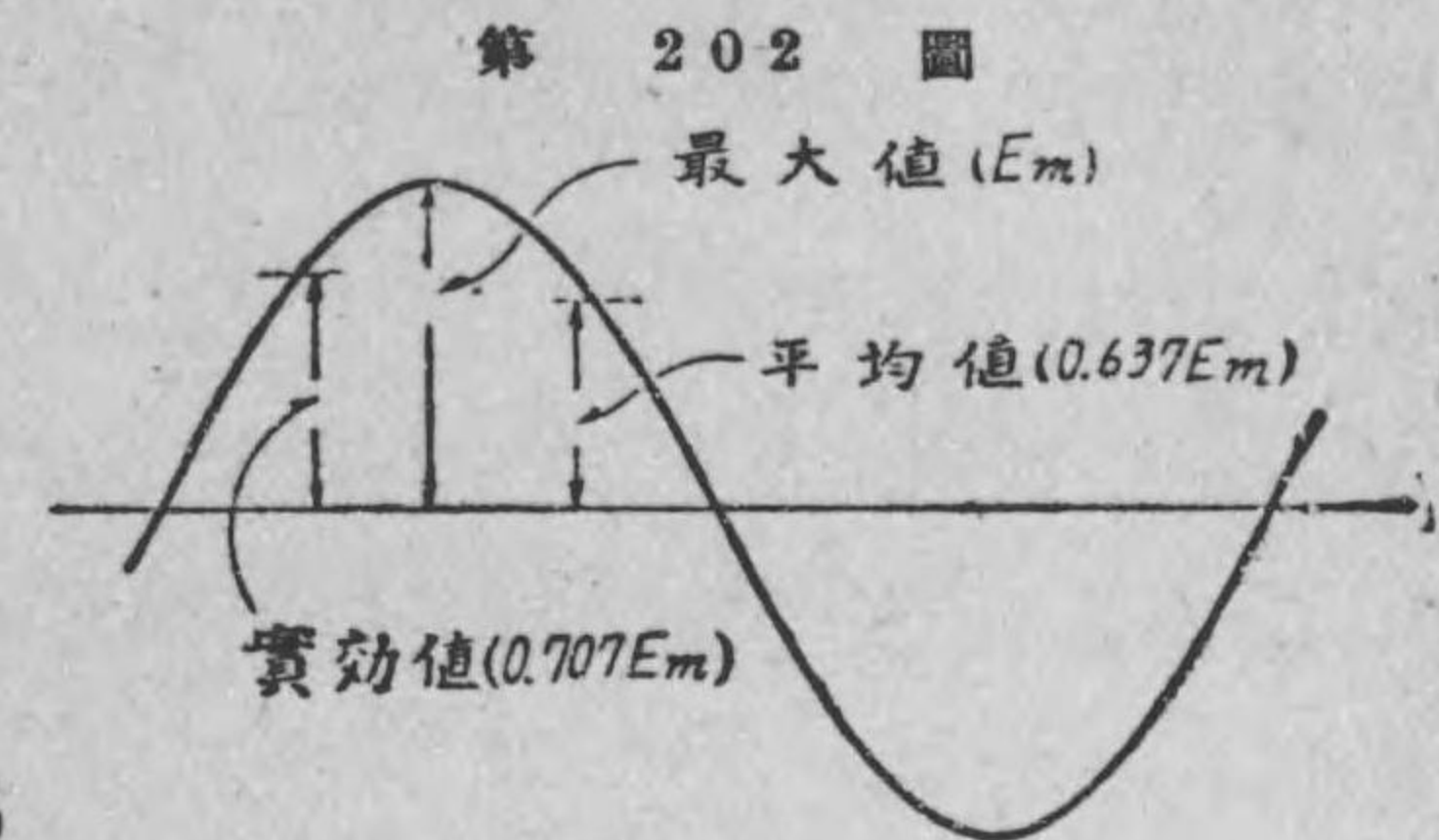
或は $E_m = \sqrt{2} E = 1.414 E$

次に正弦波交流の平均値の定義も已に述べたと同一にして、其値は

$$\text{平均値} = \frac{2E_m}{\pi} = 0.637 E_m \quad \text{但し } \pi = 3.1416$$

以上の關係は正弦波交流のものに限つて成立するものである。これらの大さの割合を圖示すると、第202圖の様になる。又正弦波交流に於ても何アムペ

ア、何ヴォルトと云へば、凡て實効値を意味して居る事前章で述べたと同一である。



例題 56. 最大値 100

ヴォルトなる正弦波起電力あり、其實効値は何ヴォルトなるか。

解
$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{100}{\sqrt{2}}$$

$$= \frac{\sqrt{2} \times 100}{2} = \frac{1.414 \times 100}{2}$$

$$= 70.7 \text{ ヴォルト}$$

例題 57. 正弦波電流の値 100 アムペアならば、其最大値何アムペアなるか。

解
$$I_m = \sqrt{2} I$$

$$= 1.414 \times 100 = 141 \text{ アムペア}$$

例題 58. 100 アムペアの正弦波電流の平均値は何程なるか。

解 平均值 $= 0.637 I_m$
 $= 0.637 \times \sqrt{2} I$

之れに問題の値を代入して

平均值 $= 0.637 \times 1.414 \times 100$
 $= 90 \text{ アムペア}$

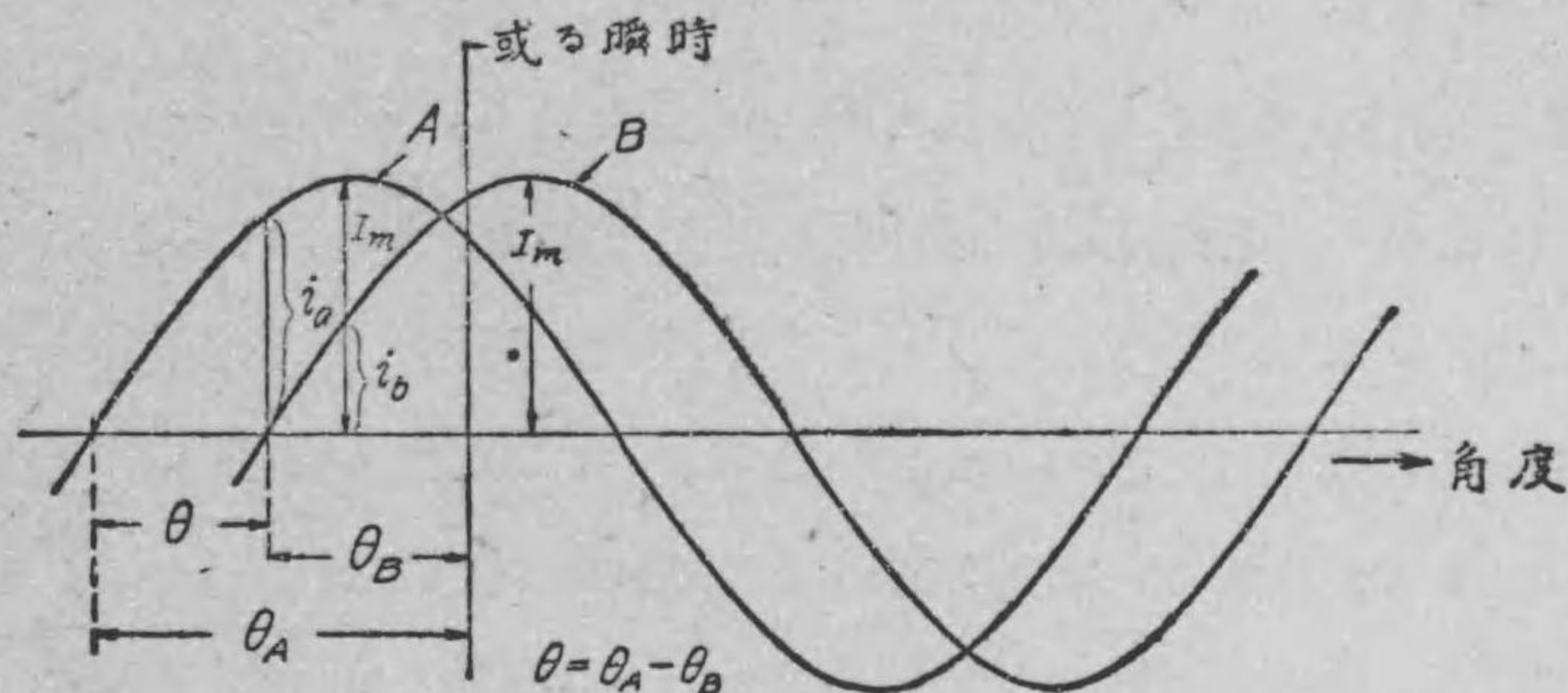
練習問題 XV.

1. 正弦波交流の正弦波は如何にして描かれるか。
2. 正弦波交流の 1 周期は角度で云ふと何度に相當するか。
3. 正弦波交流で角度を時間或は周期にて表すには如何せばよいか。
4. 正弦波交流の實効値は其最大値の何倍なるか。
5. 正弦波交流の平均値は其最大値の何倍なるか。

第十六章 交流のベクトル表現法

138. 位 相 茲に第 203 圖に示す如き同一最大値を持つ A, B 二つの正弦波交流ありとする。此兩交流を比較するに或瞬時 B が零なる値の時、 A は已に i_a なる値に達して居る事が知られる。又 A が最大値 I_m の瞬時には、 B は i_b の値で未だ

第 203 圖



位相と相差との關係

最大値 I_m に達しない。斯くの如く電流 A は常に B より一步先んじて、或値に達し其れから或時間遅れて B が A の先きを取つた値になることが知られる。換言すれば A の變化は B の變化より或時間だけ進んで居る譯である。

然るに交流に於ては時の経過、即ち基線上に時間を取る代りに便宜上角度を取る事にして居るのであるから、此場合も A は B より角 θ (度)だけ進んで居ると稱する。或は逆に B は A より

角 θ (度) だけ遅れて居ると云ふ。

然るに正弦波に於ては、其零より計りたる角度を其點に於ける正弦波の値の位相と稱する。例へば第 203 圖に於て交流 A のなる値の位相 (或は位相角とも稱する) は角 θ であると云ふ。依つて同圖に於て A 交流と B 交流とは同じ瞬時の値に對して角 θ なる位相の差がある譯である。何となれば A, B 交流の或瞬時の値の位相は、 A 交流では θ_A で、 B 交流では θ_B 、故に其位相の差は $\theta_A - \theta_B = \theta$ であるからである。斯る場合に兩交流の間には角 θ だけ位相の差 (略して普通相差と云ふ) があると云ふ。而して此角 θ を位相の差の角 (或は略して相差角) と云つて居る。

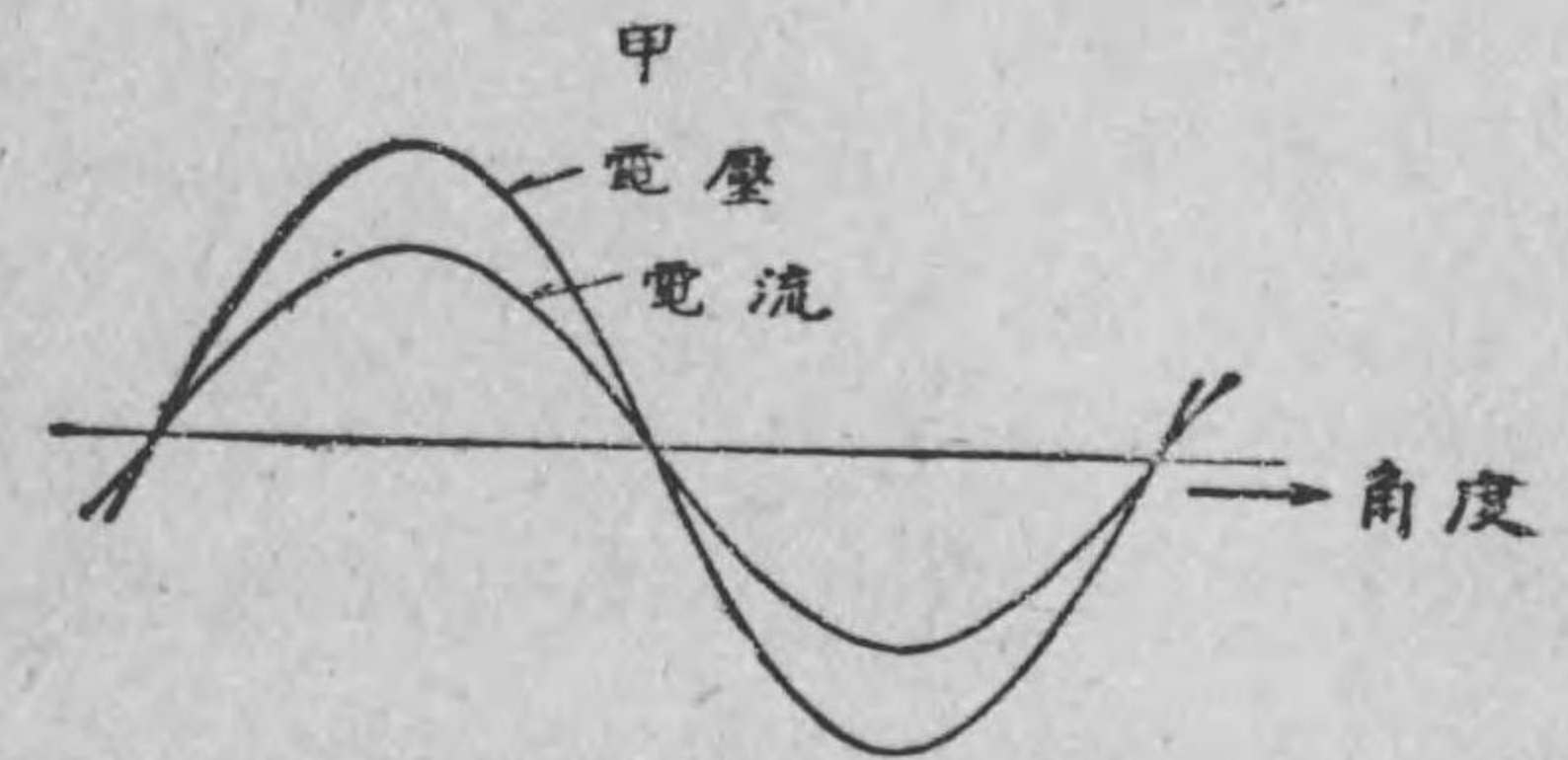
上に述べた事を約言すると、交流 A と交流 B との間には角 θ だけ相差があつて、 A は B より角 θ だけ位相が進んで居り、 B は A より角 θ だけ位相が遅れて居るものである。

交流の研究に於ては一般に二つ又は二つ以上の電流、電壓並に其相互間の位相關係を論ずるものであるから、主として用ひられるものは位相でなくて、位相の差、即ち相差である。而して此相差も本來は時間で計るべきものであるが、上に述べた様に便宜上總て角を用ひるのである。然らば相差 θ は何程の時間に相當するかと云ふに、今此二つの交流の周波数が f サイクルとする。すると 1 サイクルには $T = \frac{1}{f}$ 秒を要し、又 360° が $\frac{1}{f}$ 秒に相當するのであるから、角 θ を時間で云ふと、 $\frac{1}{f} \times \frac{\theta}{360}$ 秒 (或は T

$\times \frac{\theta}{360}$ 秒) だけ A が B より進み居り、 B は其時間だけ A より、遅れて居る譯である。

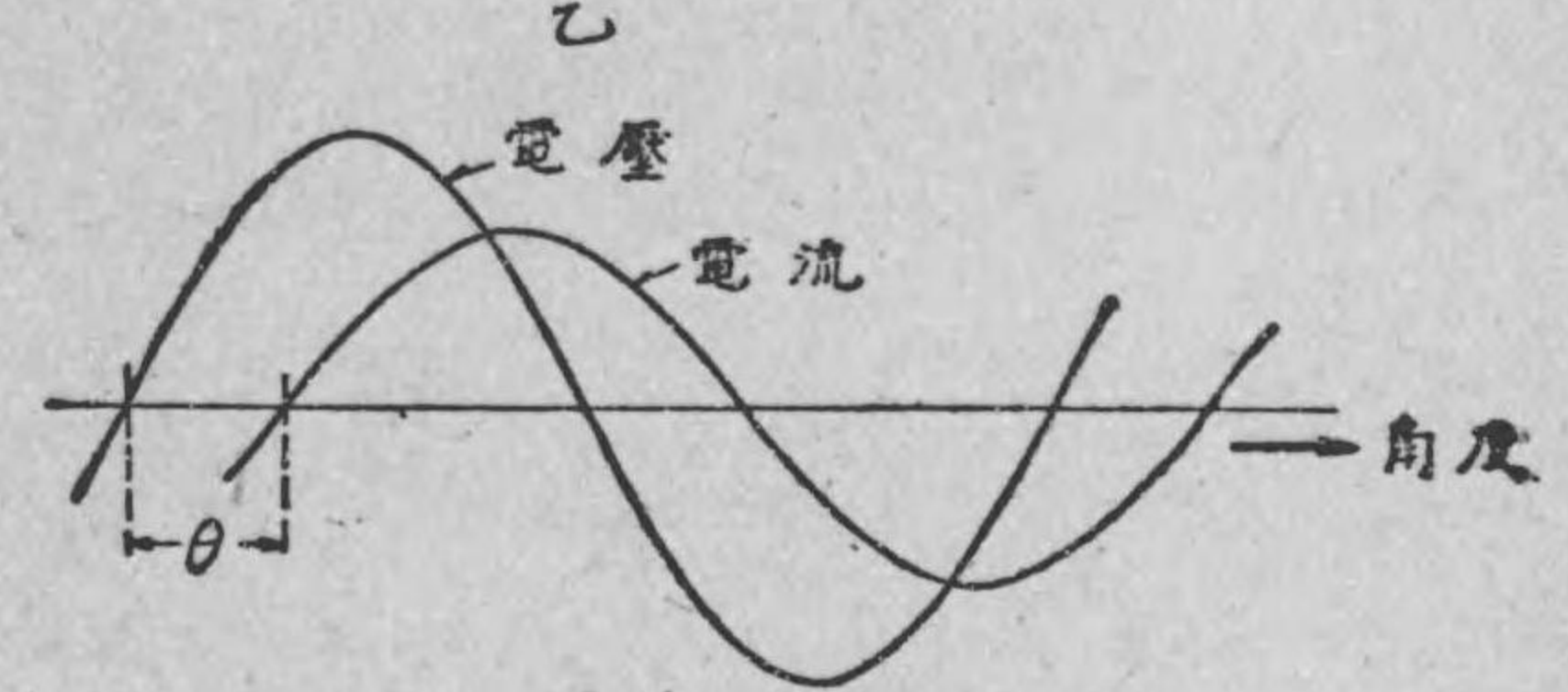
以上は位相の差を考へるのに、同一最大値を持つ交流に就いて比較したが、之れは勿論同一最大値を持たなくとも、又は二つ以上の電圧間、或は電圧と電流との間の場合でも差支へなく成立するので其場合も前同様各の零又は最大値になる瞬時の前後に就いて比較すればよい。唯だ注意すべき事は、比較

第 204 圖

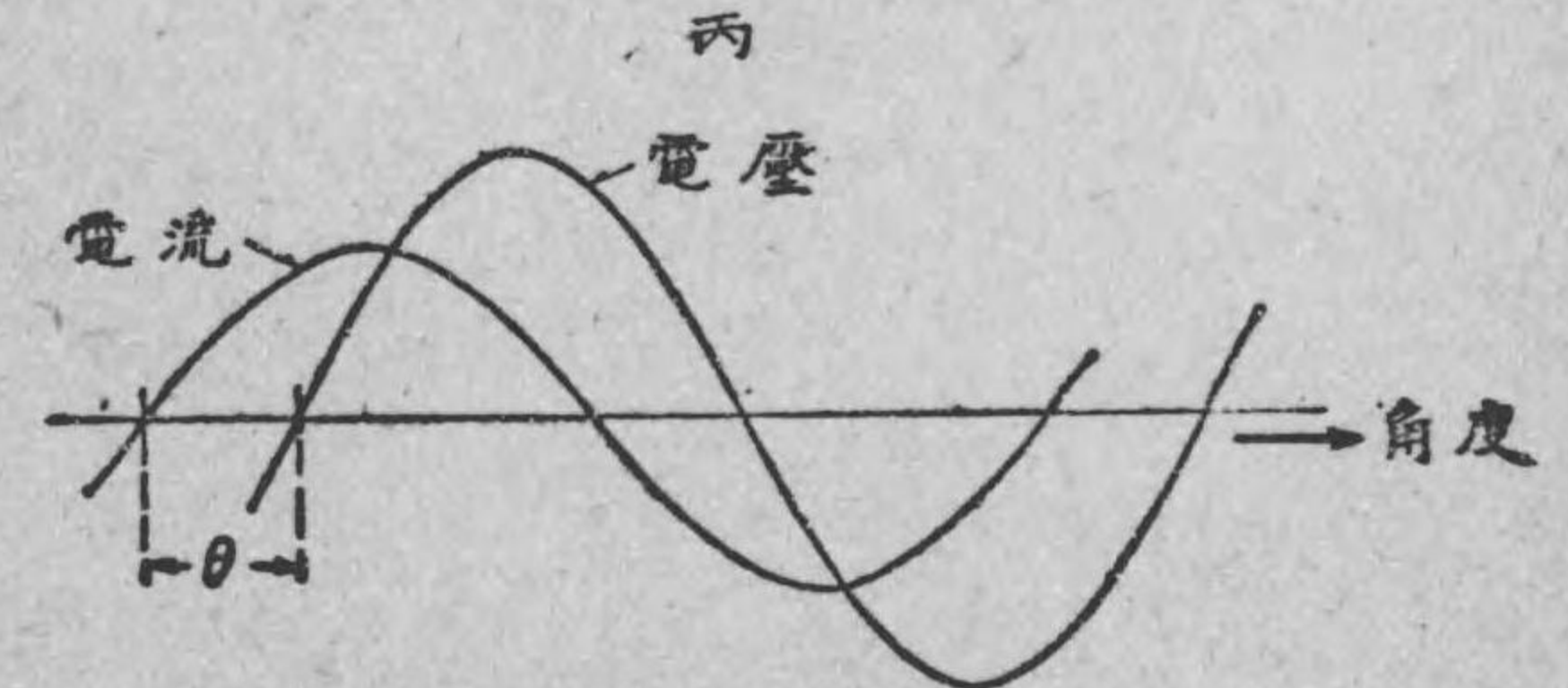


電圧と電流と同位相

第 204 圖

電流が電圧より遅れて居る事 θ

第 204 圖

電流が電圧より進んで居る事 θ

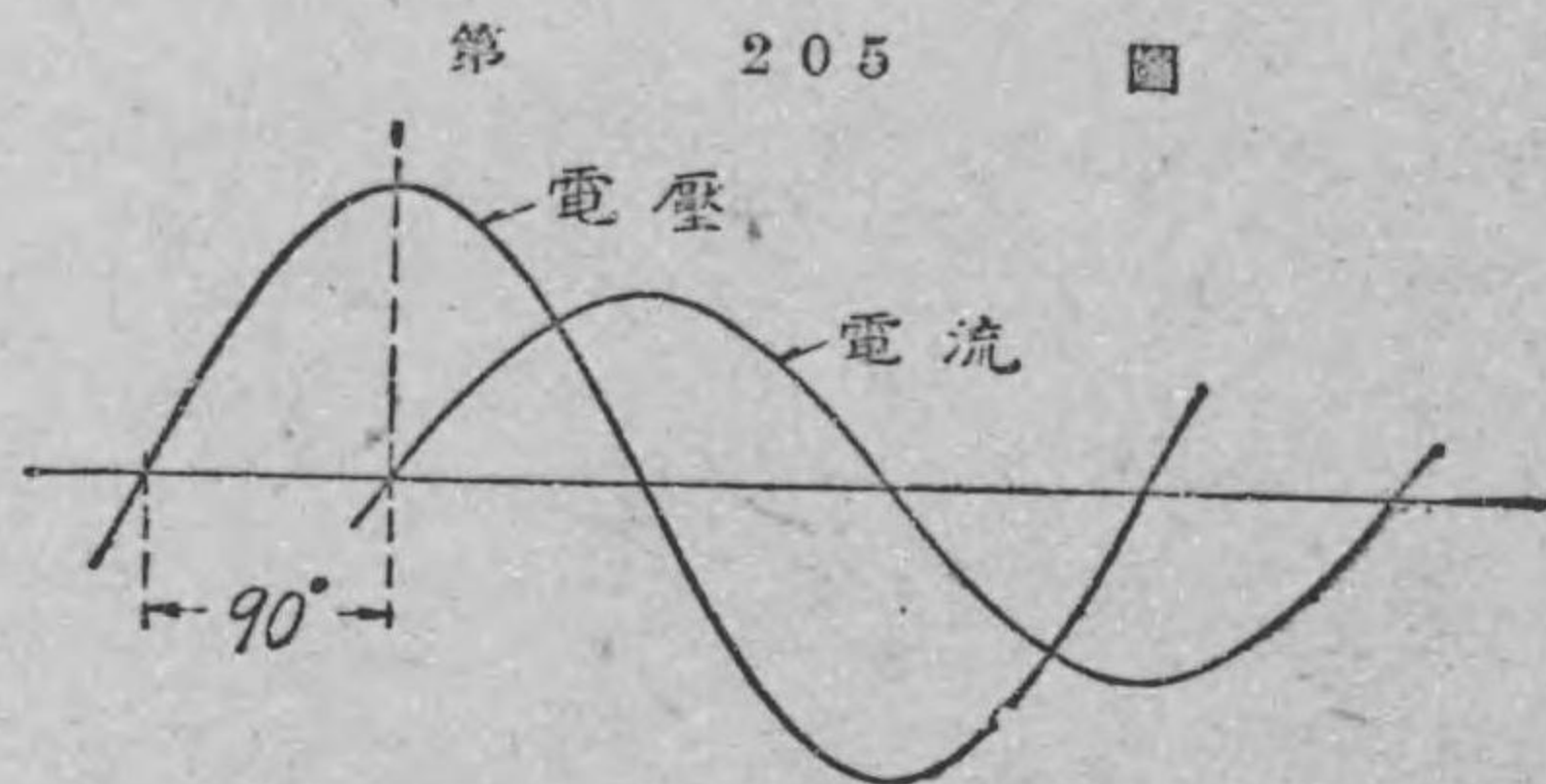
すべきものが同一周波数のものでなければならぬ。即ち周波数の異なつたものゝ間に對し、相差、即ち一方の位相が他よりも進み又は遅れと云ふ様なことが、意味のないのは想像するに難くない。今少しく例に就いて説明しよう。

第 204 圖甲の場合には電壓と電流との間に位相の差がない、即ち θ が零である。斯る場合は電壓と電流とは同位相にあると云ふ。乙圖に於ては電流は電壓より θ だけ位相が遅れて居るが、丙の場合では電流は電壓より位相が θ だけ進んで居るのである。即ち乙圖では θ は電流の遅角となるが、丙圖にありては θ は電流の進角となる譯である。

今又第 205 圖の如きは、電壓は電流より丁度 90° 進んで居る場合である。斯

く 90° の相差のある場合は同圖より明かな様に、電壓が最大値の時は電流は常に零である。又電

流が最大値の時は電壓は常に零になると云ふ關係がある。



電流は電壓より遅れて居る事 90°

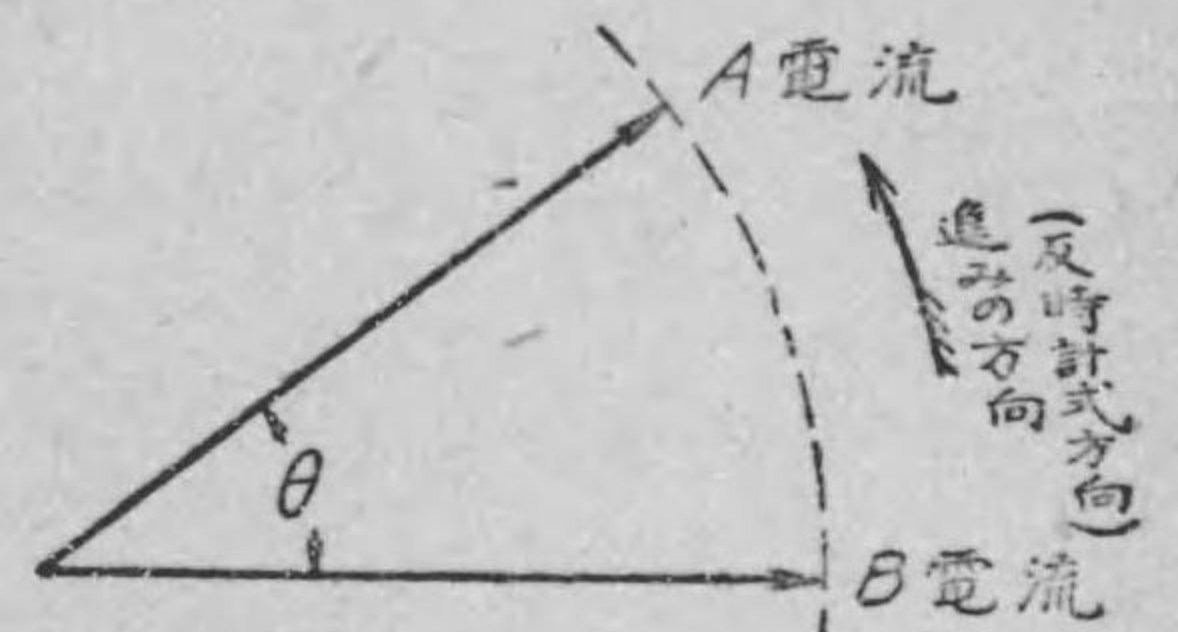
139. 交流のベクトル表現法 正弦波交流は前節で述べた様に、正弦波によりて各電流又は各電壓間の大さの割

合並に之れ等相互間の位相關係を圖示することが出来るが、一々正弦波を描く事は非常に繁雜であるから、交流理論では正弦波の代りに、専らベクトルで之れを代表させる事にして居る(附記参照)。茲で云ふベクトルは廻轉するものでなく、固定したものであるから、特に固定ベクトルと稱する事もある。單にベクトルと云へば此固定ベクトルを意味するものである。而して又ベクトルとは大さと同時に方向を持つものであるから、其れによりて交流の大さ(最大値又は實効値)及交流相互間の相差角も圖示する事が出来て、非常に便利である。例へば第 203 圖の如き交流の場合には下に

述べる規約に従つて第 206 圖の様に、各をベクトルで表はして各の大さ及位相關係を示すのである。斯く表はしたるものを交流のベクトル圖と稱する。此ベクトル圖を描くのに次の規約が定められて居る。

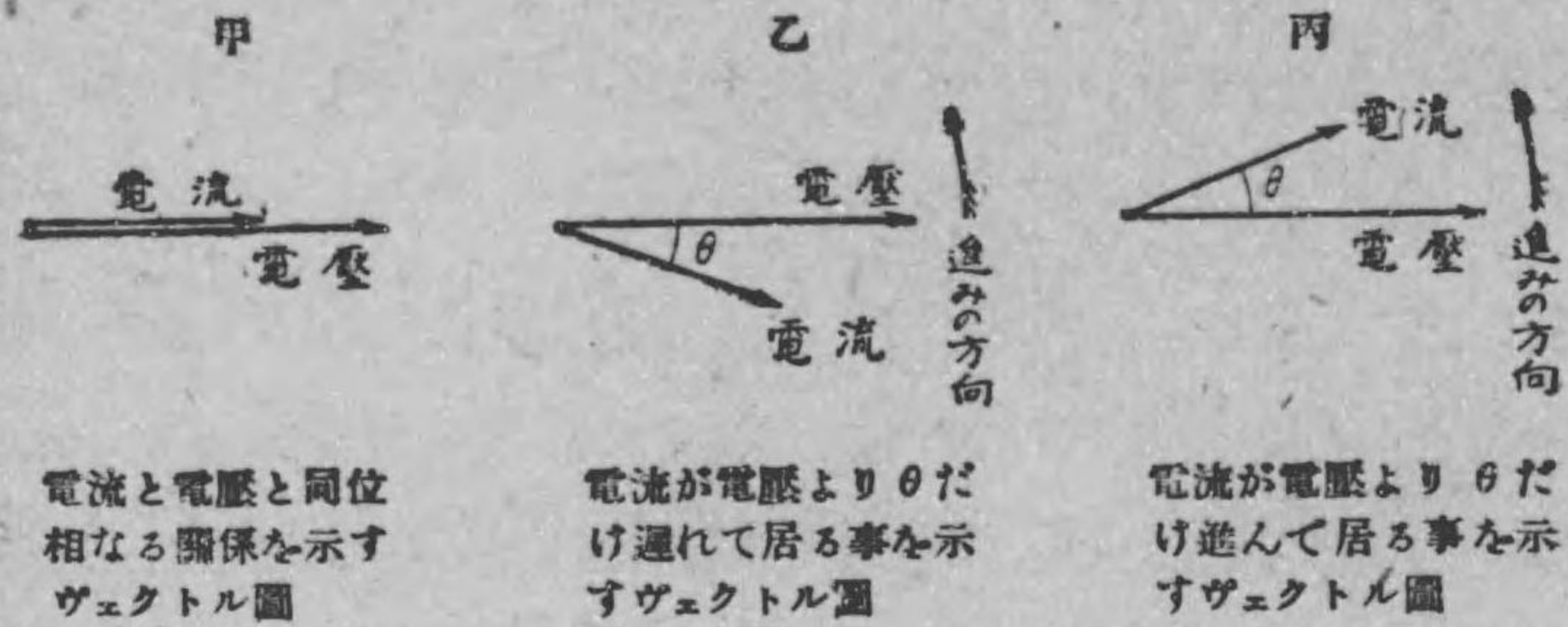
正弦波交流又は交番電壓の實効値をベクトルの長さに取り、相差として反時計式に計つた角で進角を表はし、時計式に計つた角で遅角を表はす。第 206 圖も此規約に基づいて描いたベクトル圖である。又第 207 圖甲乙丙は前節第 204 圖甲乙丙なる正弦波電壓及電流を夫々ベクトルにて代表させて、描きたるベクト

第 206 圖



A 電流及 B 電流とあるは夫々 A 及 B 電流を表はすベクトルにして、A 電流は B 電流より θ だけ進んで居る。

第 207 圖

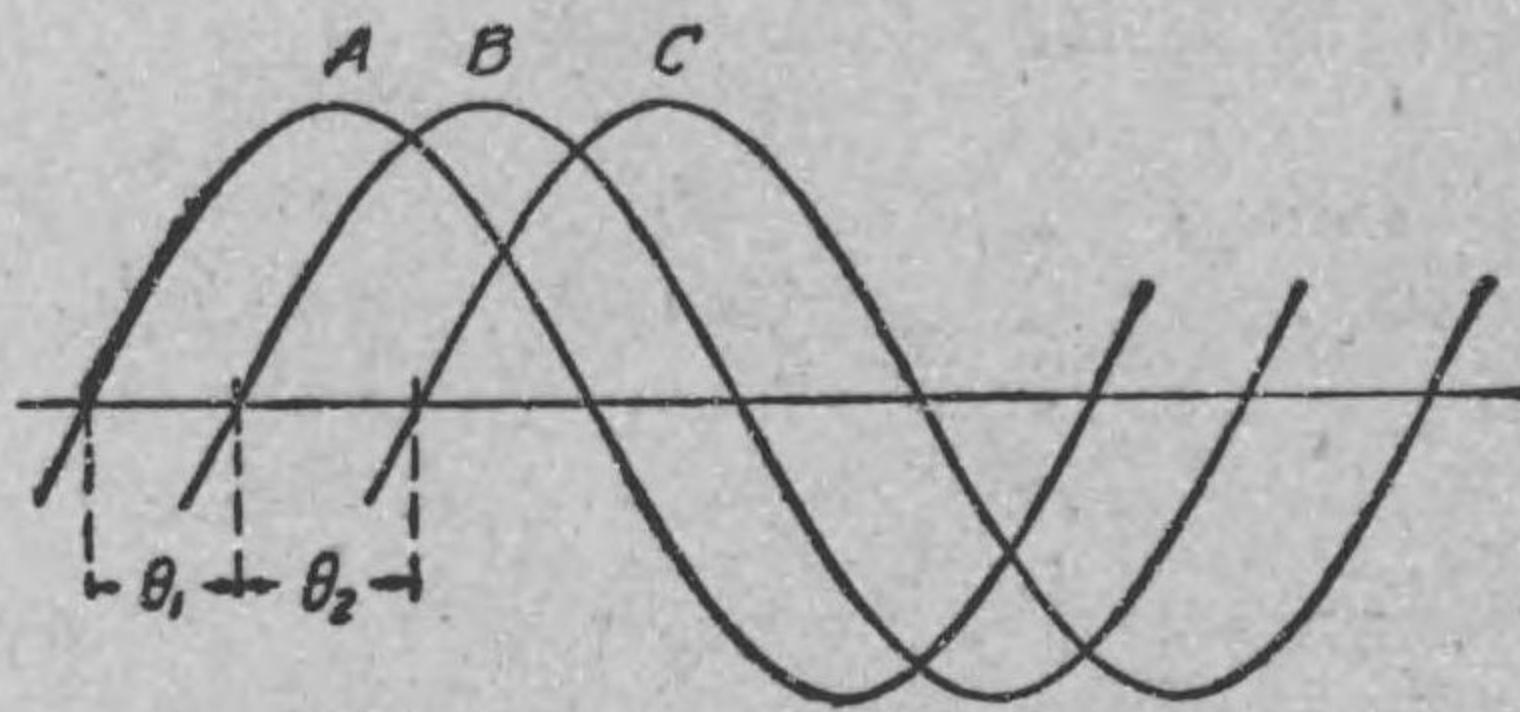


ル圖である。

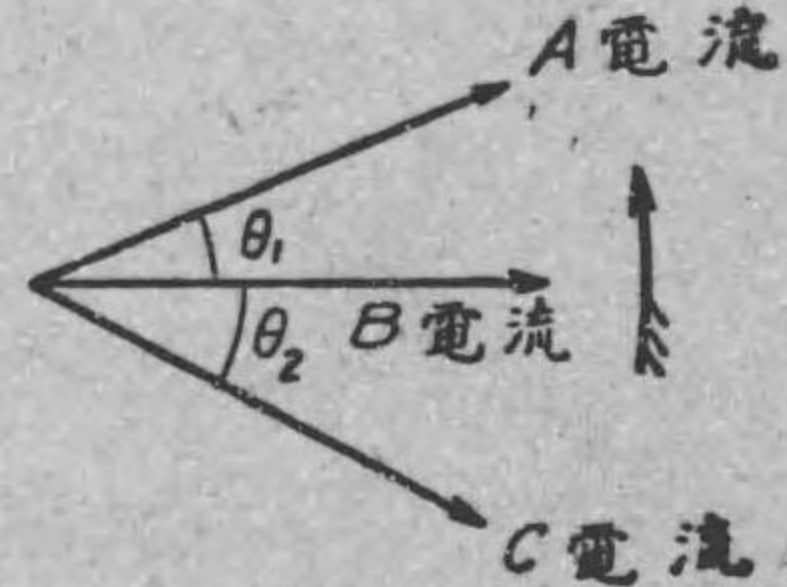
次に第 208 圖甲の様に、三つの正弦波電流ある場合のベクトル圖は同圖乙の様になる。此ベクトル

圖に於て電流 B を表はすベクトルを左より右に向つて水平に取つた。斯くの如く左より右に水平に引いた B 電流を代表させるベクトルを標準ベクトルと稱する。之を標準として他が之れより位相が進んで居るか、遅れて居るかを示す様にする。已に述べた様に、ベクトル圖は電圧又は電流間の大さの割合と之れ等相互間の位相關係が

第 208 圖 甲



第 208 圖 乙

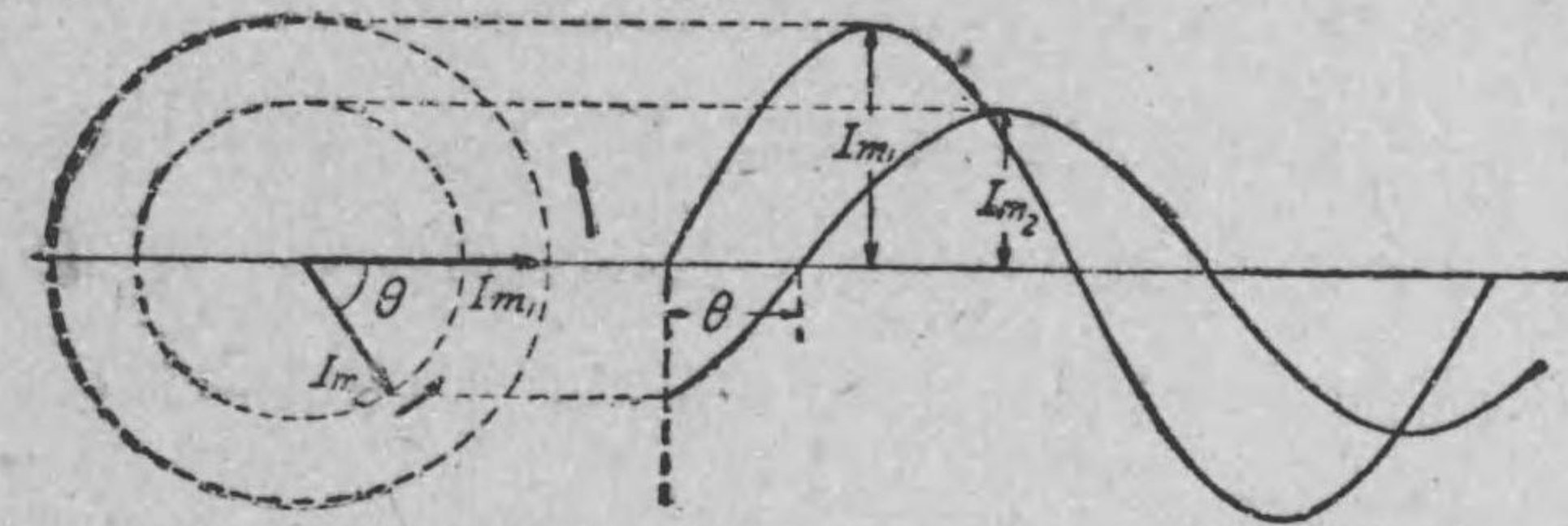


A, B, C 電流相互間の關係を示すベクトル圖

分かればよいものであるから、何れを標準ベクトルに取るも自由である。依つて取扱ふのに最も便利である様に標準ベクトルを選べばよい。

附記 次に何故に正弦波はベクトルによりて表現し得るかを説明しよう。第 135 節に於て正弦波は、其最大値を廻轉ベクトルとし之れを周波數と同一廻轉數で、反時計式に一定速度で廻轉させる事によりて描かれる事は已に述べた。此事柄は相差 θ を持

第 209 圖



正弦波と廻轉ベクトルとの關係

つ二つ或は二つ以上の正弦波の場合にも、前同様にして描く事が出来る。例へば、最大値 I_{m1} I_{m2} を持つ二つの交流ありとし、前者は後者より θ だけ進んで居るとする。此場合は第 209 圖に示す様に I_{m1} を水平軸に一致させ、 I_{m2} を I_{m1} より角 θ だけ時計式に移動、即ち θ だけ廻轉方向に遅らせ、斯くして出来たる兩廻轉ベクトルを周波數に等しき廻轉數で且つ一定速度を以て反時計式に廻轉させると、前章で述べたと同様に第 209 圖右側の様な二つの正弦波が得られる。此正弦波を見るに、始め廻轉ベクト

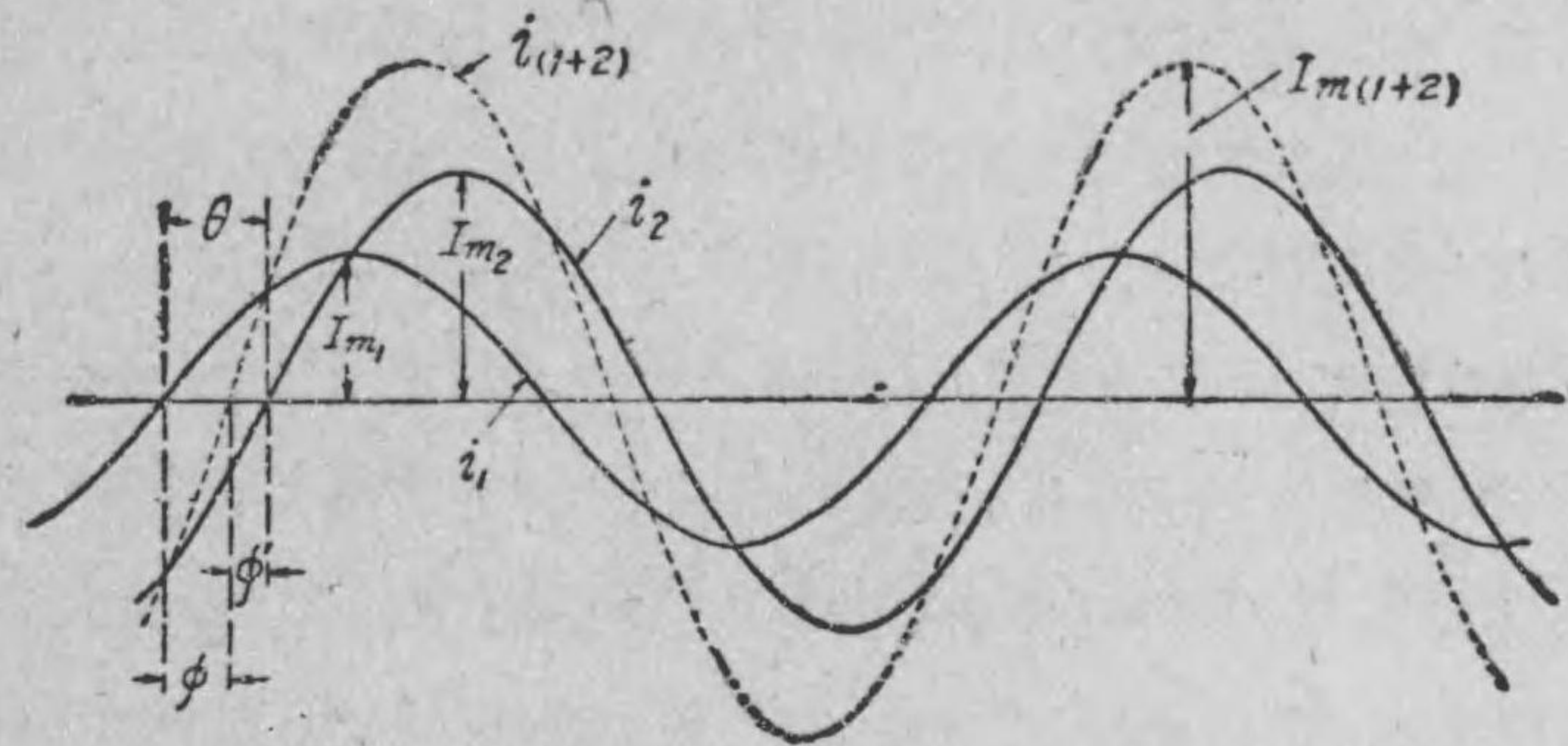
ルで與へたと同様、位相の差は θ となり、 I_{m2} なる最大値を持つ交流の方が I_{m1} の方より θ だけ遅れて居る事は直に分かるであらう。即ち與へられたる相差を持つ正弦波が、上記の様な二つの廻轉ベクトルによりて描かれる。依つて之れを逆に考へて廻轉ベクトルによりて各正弦波、従つて交流の最大値も位相関係も完全に表はす事が出来る譯である。

然るに廻轉ベクトルは周波數と同一廻轉數で廻轉して居るのであるから、如何なる瞬時でも廻轉ベクトルの關係位置、即ち相差角に變化はないから、最大値と位相關係に對しては廻轉させる必要なく、且つ最大値と實効値との間は $\sqrt{2}$ 倍だけの關係であるから、前に述べた規約の様に、正弦波交流の大きさ(實効値)と互の位相關係がベクトル及其關係位置によりて完全に表現する事が出来る理である。

140. 交流の和及差の求め方 正弦波交流の和又は

差を求むるには、夫々の正弦波を描いて各瞬時の高さの和及差を求め、其れを其各瞬時の高さとする事によりて正弦波を作ればよい。例へば第 210 圖の如き i_1 及 i_2 なる正弦波交流ありて、 i_1 は i_2 より θ だけ位相が進み居るとする。此場合の和を求むるには、上に述べた様に各瞬時の和を求め其れを各瞬時の高さとして、點線で示した様な正弦波を描けば、求むる兩交流の和の正弦波 $i_{(1+2)}$ が得られる。此場合注意すべき事は二つの交流の或る瞬時の値が

第 210 圖



二つの正弦波電流の和の求め方

基線の上下にある時は、上のものと下のものとは電流の方向が反對であるから、和と云つても代數和、即ち大なるものより小なる方を差引きて、其瞬時の、和なる交流の大きさ、即ち正弦波の高さとせねばならぬ。斯くして得られたる和も圖に示すが様に、周波數の同一なる正弦波で其最大値 $I_{m(1+2)}$ の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 倍を取れば、二つの交流の和の實効値が得られる。而して $i_{(1+2)}$ と i_1 又は i_2 との相差、例へば i_1 とは ϕ 、も自然圖上に表はれて來るのである。

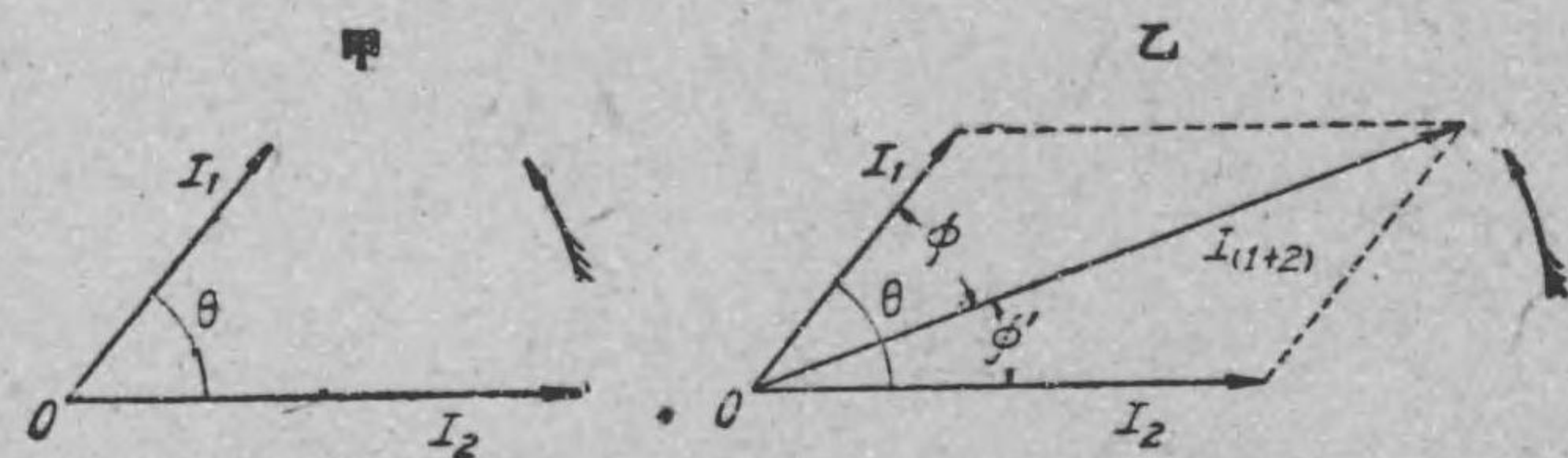
兩交流の差の場合も同様に各瞬時の差(代數差)を求めて、曲線を描けば差の正弦波が得られる。

以上の様な方法によりて和又は差の正弦波を作り、其最大値の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ を求むれば、實効値で結果が得られ且つ圖上より他の交流との相差も知る事が出来るものであるが、此方法は以上述べた様に甚だ手数を要するもので、交流理論に於ては前節で述べたと同様、

正弦波の代りに各交流をベクトルにて表はしたるベクトル図を描き、其圖の上から正弦波交流の和或は差の値（即ち和或は差の實効値）及其の交流の位相關係を求むる様にするのである。以下其方法に就き述べよう。

二つの交流の和を求むる方法 第 210 圖の例を取りて、今交流 i_1, i_2 の實効値を I_1, I_2 とし、之れをベクトルの長さに取り、 i_1 と i_2 との相差即ち相差角を附して第 211 圖甲に示す様なベクトル圖を描く。此場合の標準ベクトルには i_2 の方を取る事にし

第 211 圖



た。而して I_1 及 I_2 なるベクトルのベクトル和を求むれば、兩交流の和を表はすベクトルが得られるのである（附記参照）。

此の二つのベクトル和を求むるには、力學の場合と同様に、ベクトル I_1 と I_2 とによりて同圖乙の如き平行四邊形を作り、原点 O より對角線を引けば其れが求むるベクトル和である。然るに之れが上に述べた様に、兩交流の和を表はすベクトルであるから、其長さは兩交流の和の實効値を示すものにして、且つ兩交流との相差も同時に示されるものである（附記参照）。依つて圖の上に尺度をあて對角線の長さを計れば、 I_1 及 I_2 の寸法の割合に

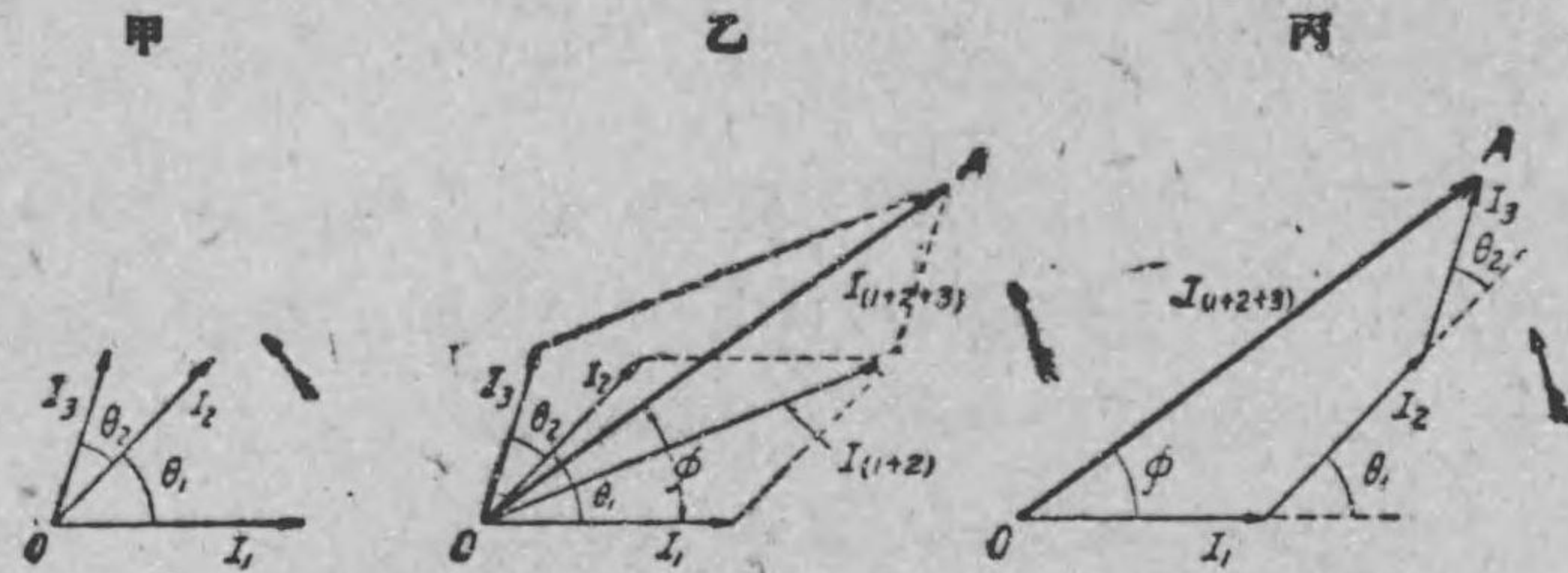
て出て来るから、直に二つの交流の和の實効値が得られる。例へば一方の交流の値（實効値）が 10 アムペアならば 10 cm、他が 20 アムペアならば 20 cm の長さで夫々ベクトル圖を描く様にすれば、對角線の cm の數が直に電流のアムペア數（實効値）とする事が出来る便利がある。今若し對角線の長さが 30 cm ならば兩交流の和の實効値は 30 アムペアである。

次に兩交流の和なる交流と他の二つの交流との相差は矢張りベクトル圖の上に分度器を當てると知る事が出来る。何となれば、ベクトル圖上の角の値は其れに相當した各交流間の相差角を示すからである（附記参照）。ベクトル圖乙から分かる様に、 i_2 と $i_{(1+2)}$ なる和の交流とに於ては $i_{(1+2)}$ は i_2 より位相が ϕ' だけ進んで居り、 i_1 より ϕ だけ遅れて居る。而して寸法を正確に取ると、正弦波で和を求めた場合と完全に一致する事勿論である。

實際は三角法から對角線の長さ、即ち交流の和の實効値及其交流と他との相差を計算するのであるが程度が稍高すぎるから、之れは省く事にした。

三つ以上の交流の和を求むる方法 今三つの交流 i_1, i_2, i_3 ありて、其實効値を I_1, I_2, I_3 とし、而して其ベクトル圖は第 212 圖甲の様なものとする。然る時は先づ I_1 と I_2 とにより同圖乙の様に其二つのベクトル和 $I_{(1+2)}$ を求め、次に $I_{(1+2)}$ と I_3 とによりて前同様平行四邊形を作り、其對角線、即ち三つのベクトル和の長さ OA を尺度で計れば、求むる三つの正弦波交流の和の實効

第 212 圖

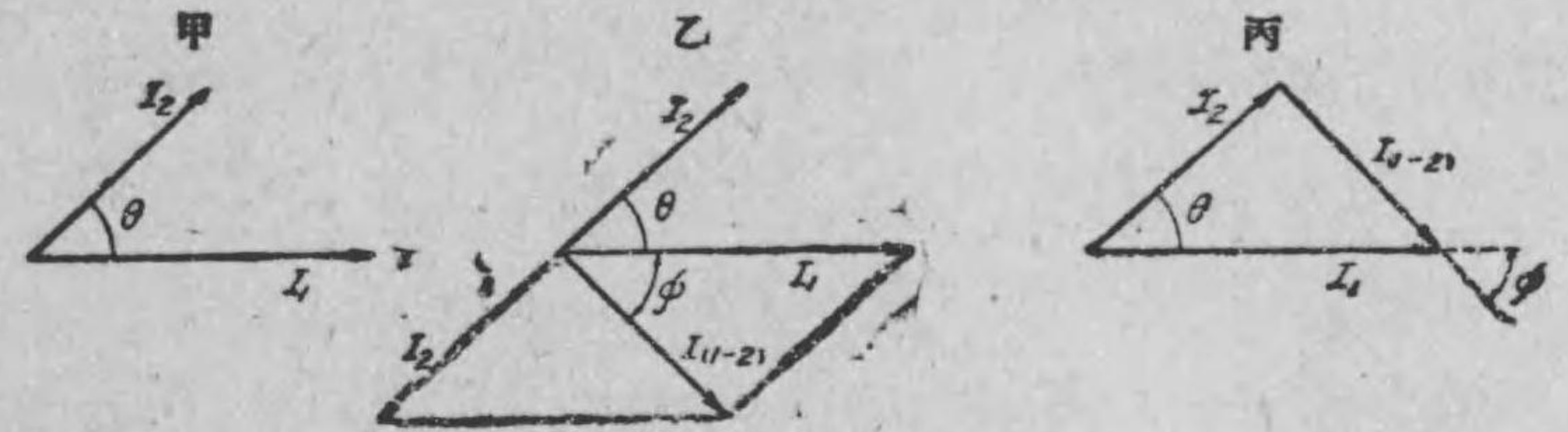


値 $I_{(1+2+3)}$ が前同様に求むる事が出来る。又和なる交流と他との相違もベクトル圖の上から計り得る事前と變りはない。

上で説明した様に一々平行四邊形を描きて全體のベクトル和を求むる事が出来るが、次の様にすれば尙一層簡単に結果を見出す事が出来る。即ち丙圖の様に、先づ甲圖の I_1 に平行に I_1 なるベクトルを描き、其端より I_2 の長さで且つ甲の I_2 に平行なる I_2 を引き、更に其端より甲の I_3 に平行で同一長さを持つ I_3 のベクトルを描き、然る後原點 O と I_3 の端 A とを結べば乙圖と同様に、而も簡単に三つの交流の和の實効値及和なる交流と他の交流との間の相違角が得られる。

交流の差を求むる方法 差とは和の反對であるから、減ずる方の交流を表はすベクトルを反對にして、被減交流を表はすベクトルとのベクトル和を求むればよい。例へば第 213 圖甲の如きベクトル圖に於て、 I_1 より I_2 をベクトル的に減ぜんとする場合(即ち i_1 の交流より i_2 の交流を減ずる場合)には先づ第 213 圖乙の様に I_2 のベクトルの方向を逆にして、其二つのベクトル和

第 213 圖

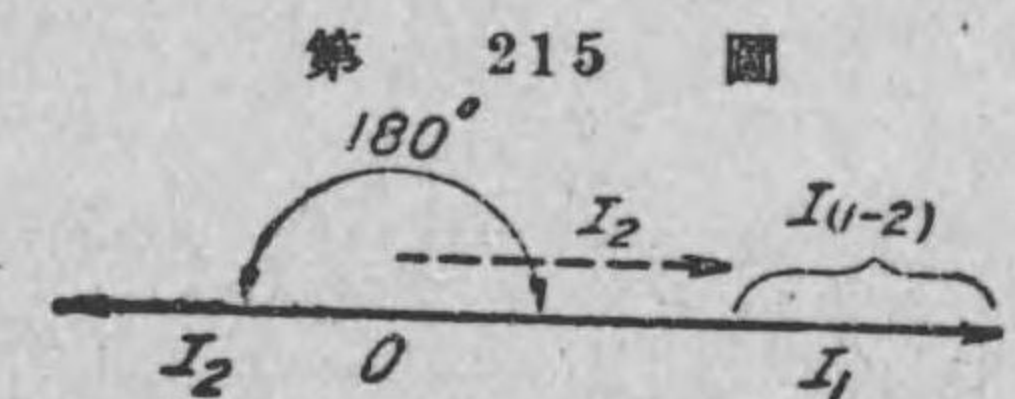
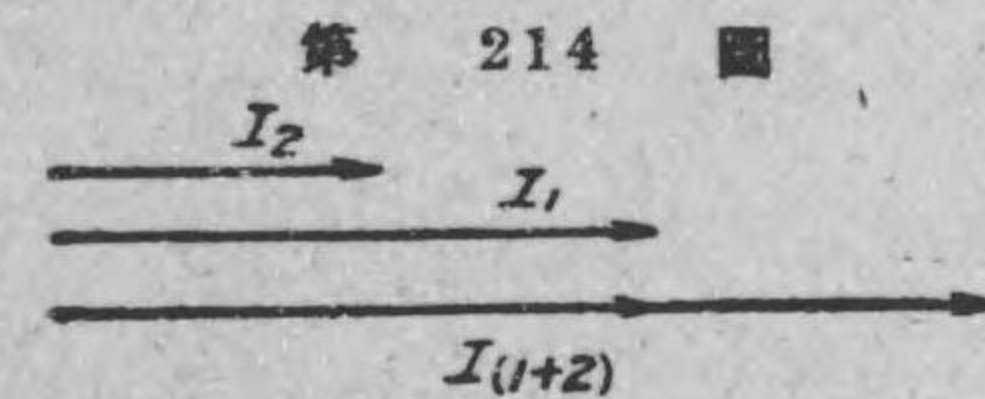


を求め、其長さを圖上より前同様に求むれば $I_{(1-2)}$ なる兩交流の差の實効値が得られる。而して其交流と他との相違も圖上より求め得る事同の場合と同一である。

此場合も和の時と同様に一々平行四邊形を描かずとも、ベクトル I_1 の端と I_2 とを丙圖の様に結んで、被減ベクトルの方に向つて矢印を附して置けば乙圖の場合と同一方向、同一大きさの交流の差を表はすベクトルが得られる。

以上述べた事より分かる様に、交流の和或は差の實効値を求むるには、直流の場合と違つて、各交流の實効値を算術的に加へたり、或は減じたりするのみでは駄目である。此れ等をベクトルに表はし、之れをベクトル的に加へたり、減じたりせねばならぬ。

然し第 214 圖のベクトル圖の様に、二つの交流が同相、即ち交



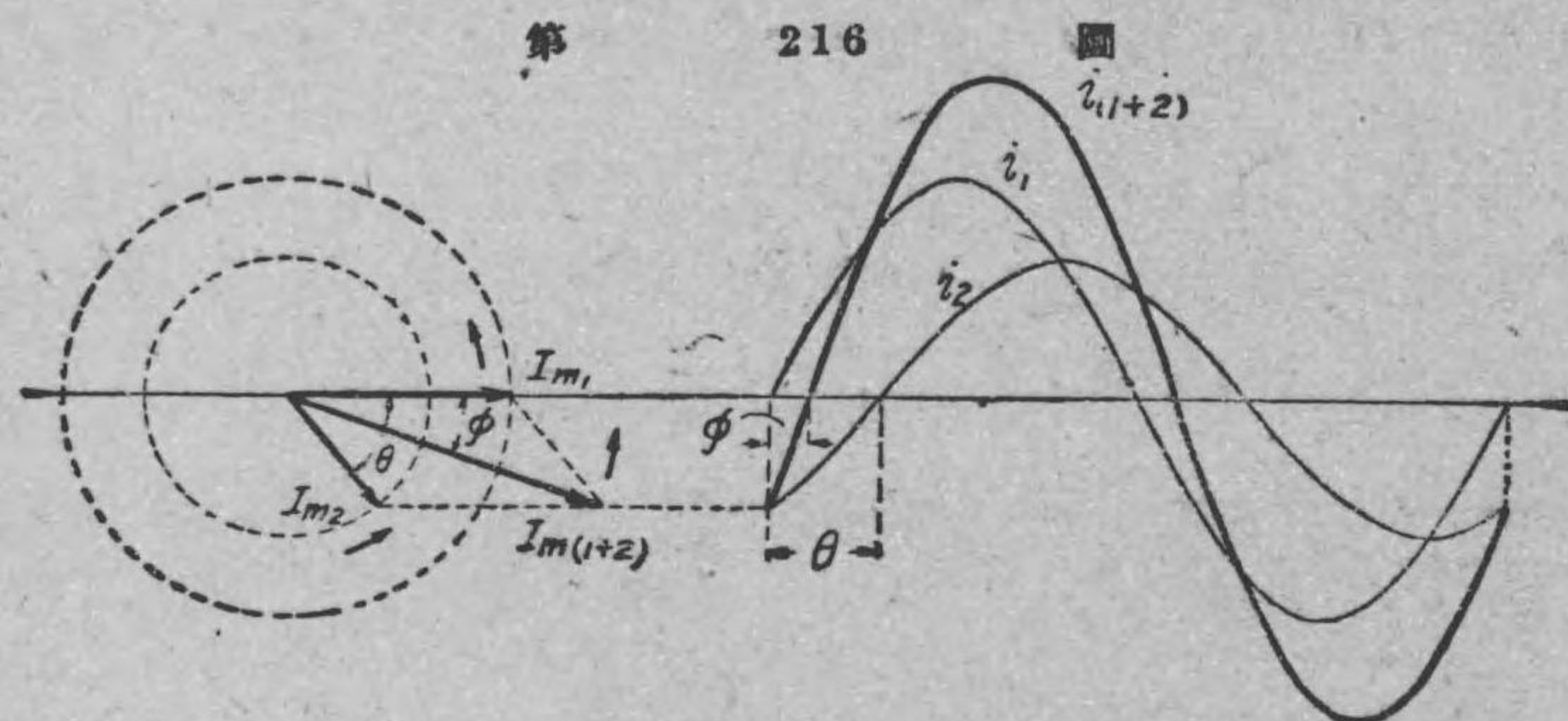
流を表はすベクトル I_1 及 I_2 の方向が同一である時は單に算術

的に加へ合せて兩交流の和の實効値 $I_{(1+2)}$ を求むる事が出来る。又第 215 圖のベクトル圖の様に 180° の相差ある二つの交流を加へ合はすには、 I_2 を點線で示す様に逆にして、其算術差を取れば求むる交流の差の實効値 $I_{(1-2)}$ が得られる。

交流では一般に相差があるから、直流の時と異なり、電流の和は各より必ず大となるとは限らず、相差の値によりて却つて小となる事もある。又差の場合も被減交流より却つて大となる事もある。之れ等の關係はベクトル圖を描けば直に知られるであらう。

以上は總て電流に就て述べたが、起電力又は電壓に就いても同一である事申迄もない。

附記 二つ或は二つ以上の交流の和の實効値が、何故に各交流をベクトルにて表はし、其ベクトル和を求むる事によりて得られるかを述べよう。茲に最大値 I_{m1} , I_{m2} を持つ正弦波交流あるとし、前者は後者より位相が θ だけ進んで居るとする。然る時は第 135 節で述べたと同一の方法で、 I_{m1} , I_{m2} を廻轉ベクトルとし



て、第 216 圖の様な i_1 及 i_2 なる正弦波を描く事が出来る。同圖に於て $i_{(1+2)}$ は i_1 及 i_2 の和の正弦波にして、之れは I_{m1} 及 I_{m2} のベクトル和、即ち對角線を廻轉ベクトルとして描きたる正弦波と全く一致する。即ちベクトル和 $I_{m(1+2)}$ と $i_{(1+2)}$ の最大値とは相等しい。此事は尺度を以つて計つても直に知る事が出来るのである。要するに交流の和の最大値は上の様にベクトルの的に簡単に求める事が出来る譯である。其位相關係も廻轉ベクトルのベクトル圖の上に於て示される事上圖を見れば分るであらう。但し廻轉ベクトル I_{m1} , I_{m2} 及 $I_{m(1+2)}$ は凡て同一の一定速度で廻轉させる事は勿論である。

以上は交流の和の最大値が求められたのであるが、 I_{m1} 及 I_{m2} の代りに交流の實効値を以て普通のベクトル圖を描けば、其ベクトル和が交流の和の實効値を表はす事となり、同時に各交流の位相關係も示される事第 139 節附記で述べたと同一である。以上は和に就いて述べたが、差の場合にも同様に説明する事が出来る。

練習問題 XVI

1. 交流で位相とはどんな事か。
2. 交流で相差は普通何で計るか。
3. 甲の交流が乙の交流より位相が進んで居るとは、どんな事を意味するか。
4. 二つの交流が同位相にあるとは、どんな事か。

5. 90° の相差ある二つの交流はどんな正弦波で表はされるか。
6. 交流のベクトル圖とはどんなものか。
7. ベクトル圖を描くにはどんな規約があるか。
8. 標準ベクトルとはどんなものか。
9. 交流の和或は差、即ち交流の和或は差の實効値を求めるには如何にすれば最も便利であるか。
10. 交流の和或は差、即ち交流の和或は差の實効値を求めるには何故、一般に各交流の實効値を算術的に加減しては無意味であるか。

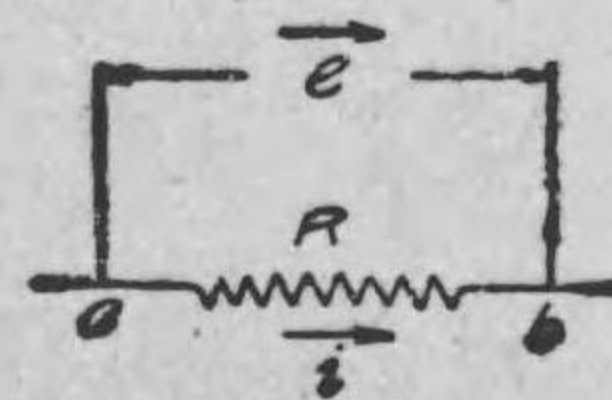
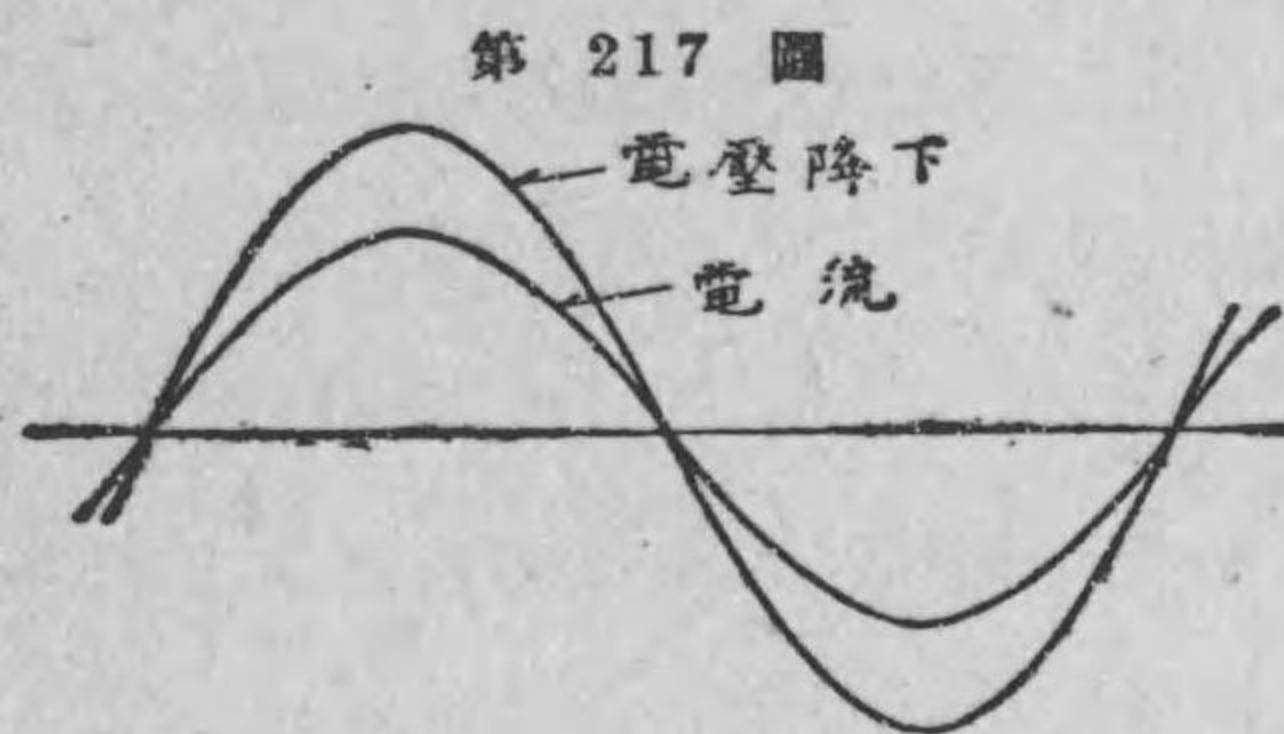
但し (1) より (10) までは、凡て正弦波交流なる事申迄もない。

第十七章 交流電路

141. 抵抗電路

抵抗を持つ電路に電流を通ずると、其抵抗を持つ部分に於て、電壓降下、即ち電位の降下を生ずる事は已に直流の所で述べた。交流にありても、電流は電氣の流と云ふ事に變りはないのであるから、電流の各瞬時の大きさに比例し且つ電流と同一方向の電壓降下が生ずる事は明かである。

例へば第 217 圖の様な交流電路の一部 ab (其部分の抵抗を R とする) に a から b に向つて電流通じて居る時には、電流と同一方向の電位の降下即ち同一方向の電壓降下 e を生じ、又電流が

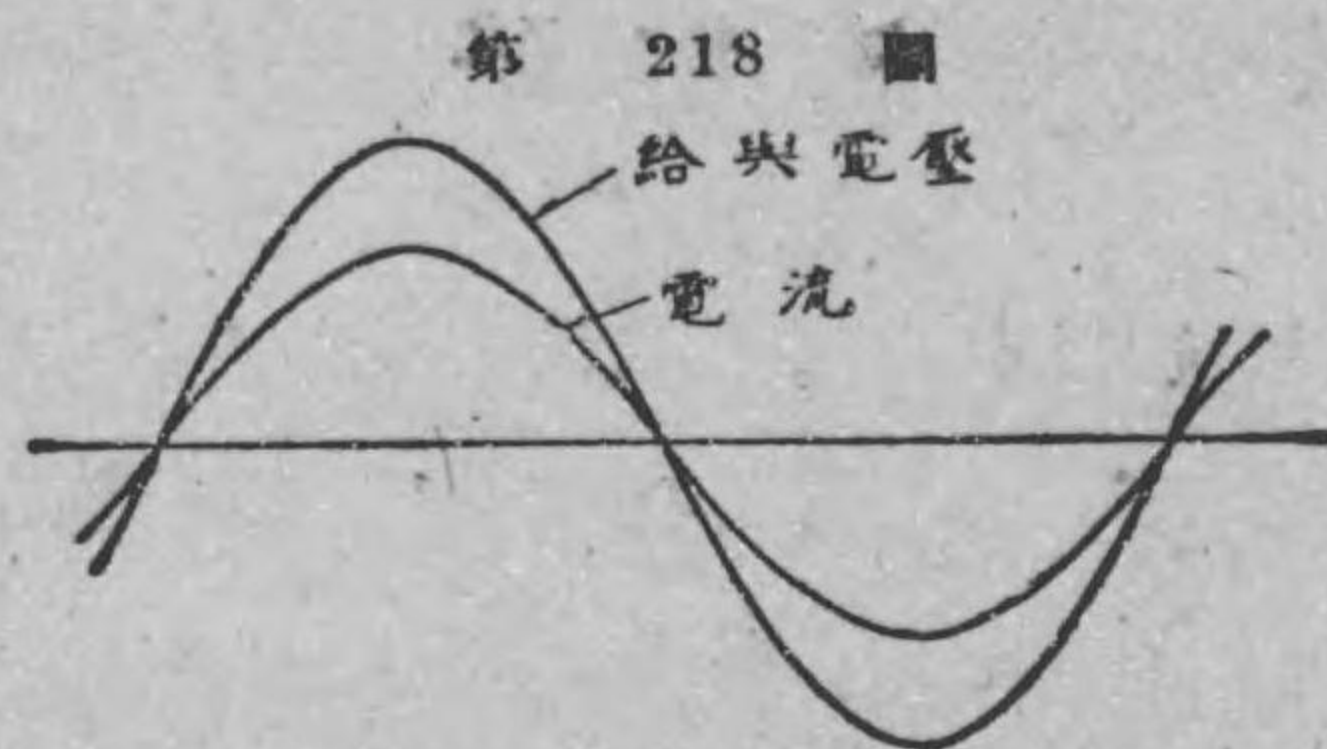


i は電流の瞬時値、 e は電壓降下 (或は給與電壓) の瞬時値

反對になりて b から a に通ずる時には、電壓降下の方向も b から a に向ふ様になる事は分かるであらう。依つて此關係を正弦波で示すと同圖上部の様になる。

電路の或部分に電壓を給與すると、電流による其部分の電壓降下が總ての瞬時に於て、丁度給與電壓と等しくなる様な電流が通ずるものである。此事は直流の場合でも交流の場合でも少しも變

りはない。依つて第 217 圖上部の正弦波は給與電壓と電流との關係と見る事が出来る (第 218 圖)。



第 217 圖及第 218 圖を見れば分かる様に、抵抗を持つ電路の一部に或周波数の電流が通ずると、電流と同位相で同一周波数の電圧降下が生じ、又同電路に電壓を給與せば電圧と同位相で同一周波数の電流が通ずる。而して電圧降下の大さは電流の大さに比例するものであるから、今若し第 217 圖の様な電路の一部 ab の抵抗を R オーム、通じて居る電流を I アンペア (實効値) とすれば、此場合の電圧降下の實効値 E (ヴォルト) は直流の場合と同様に、オームの法則に従ふもので、其値は

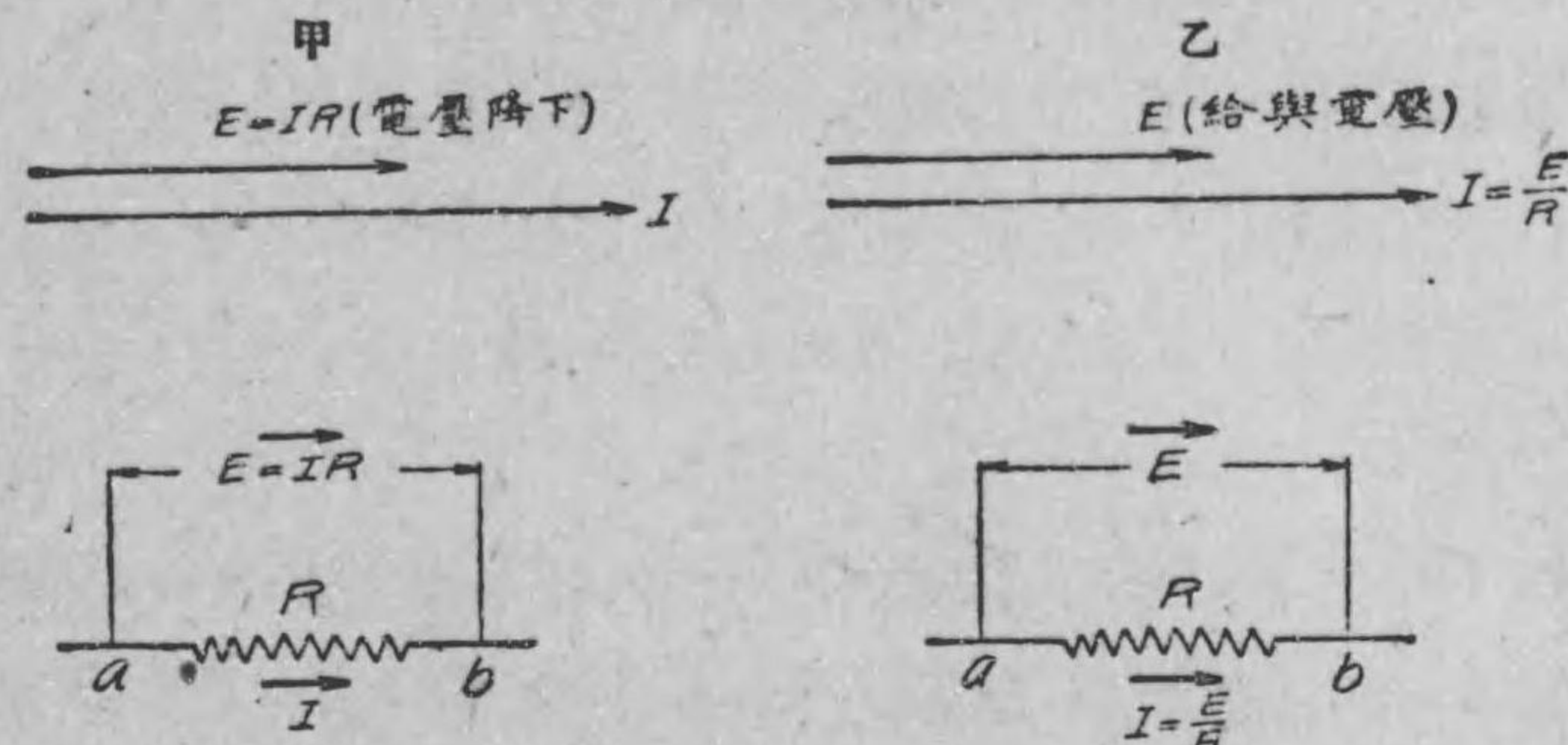
$$E = IR$$

又上式から電圧 E ヴォルトを同電路に給與した場合の電流 I (アンペア) を求むれば

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

以上の關係をベクトル圖に示せば第 219 圖 甲乙の様になる。此のベクトル圖に就いて注意すべきは、第 217, 218 圖の正弦波を見ると電圧の最大値が電流の最大値より大に描いてあるから、ベクトルも其れに従つて描く必要ある様に見える。然し電圧と電流とは單位が異なるものであるから、電流と電壓とでは其數値に

第 219 圖



電流と電圧降下と同位相なる事を示すベクトル圖。E, I は何れも實効値

給與電壓と電流と同位相なる事を示すベクトル圖。E, I は何れも實効値

よりて正弦波又はベクトルの大さの割合を定める必要なく、如何なる割合に描くもよい。其事柄は第 217 圖から第 219 圖の甲乙までを對照すると直に分かるであらう。

次に電流と電流、或は電壓と電壓との場合にベクトル圖上から尺度及分度器で和又は差を求めるには、ベクトルの長さの割合及相差角は正確に取る必要ある事勿論であるが、式の上から計算する時には必ずしも其必要がない。何となれば、式の内に入らざる數値を代入して計算するからである (後節に之れを示した例がある)。

第 217 及 219 圖に於て電流と電圧降下とに同一方向の矢印を附したのは、已に述べた様に、其方向を正方向 (其方向のものゝ變化を表はすに正波を以てする) と定めたのである。斯く同一方向に正方向を取りたるは、電流及電圧降下が何れも同一方向に向つ

て居る時の位相関係を考へればよいと云ふ利益があるからである。本節以下の矢印も同一意味と考へて貰ひたい。茲で注意すべき事は、直流の場合の矢印は起電力又は電流の實際向つて居る方向を示すもので、交流の場合の正方向を示す矢印とは趣を異にして居る。

例題 59. 20 オームの抵抗を持つ電路に 100 ヴォルトの交番電圧を加ふる時は幾アムペアの電流通ずるか。

$$\begin{aligned} \text{解 } I &= \frac{E}{R} \\ &= \frac{100}{20} = 5 \text{ アムペア} \end{aligned}$$

例題 60. 10 オームの抵抗を有する電路に 10 アムペアの電流を通ずると幾ヴォルトの電圧降下を生ずるか又同電路に其電流を通ずるために何ヴォルトの交番電圧を給與すべきか。

$$\begin{aligned} \text{解 } E &= IR \\ \text{なる関係式より、求むる電圧降下は} \\ E &= 10 \times 10 = 100 \text{ ヴォルト} \end{aligned}$$

又同電路に 10 アムペアを通ずるに要する給與電圧は、10 アムペアが通じた時の電圧降下と等しいから

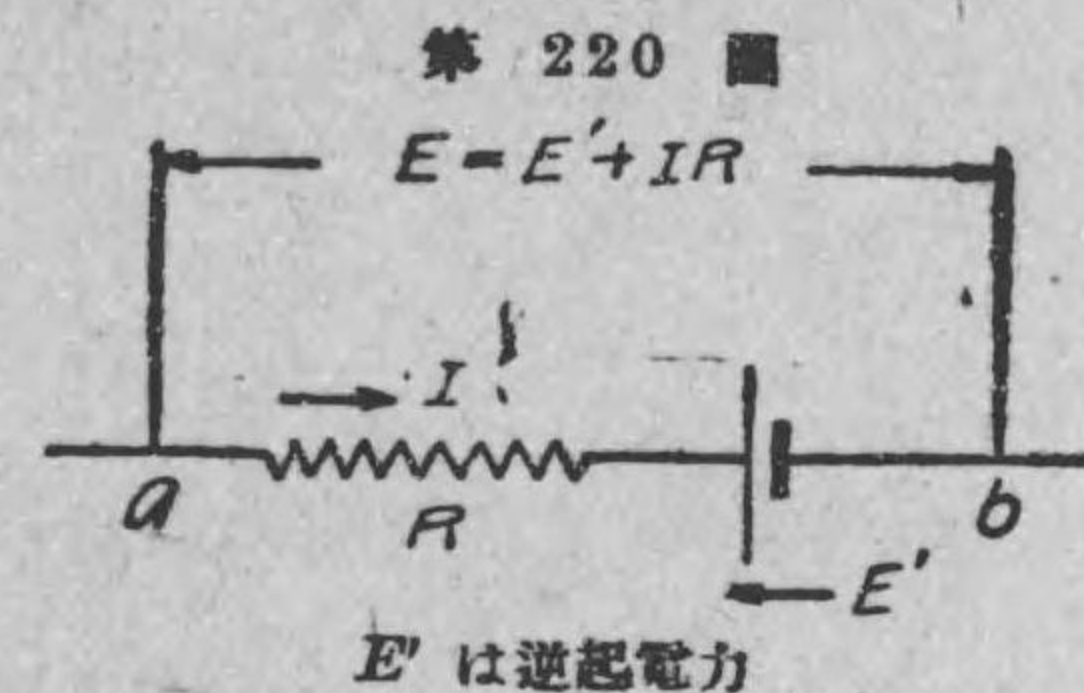
$$E = 10 \times 10 = 100 \text{ ヴォルト.}$$

142. 自己インダクタンスのみを有する電路

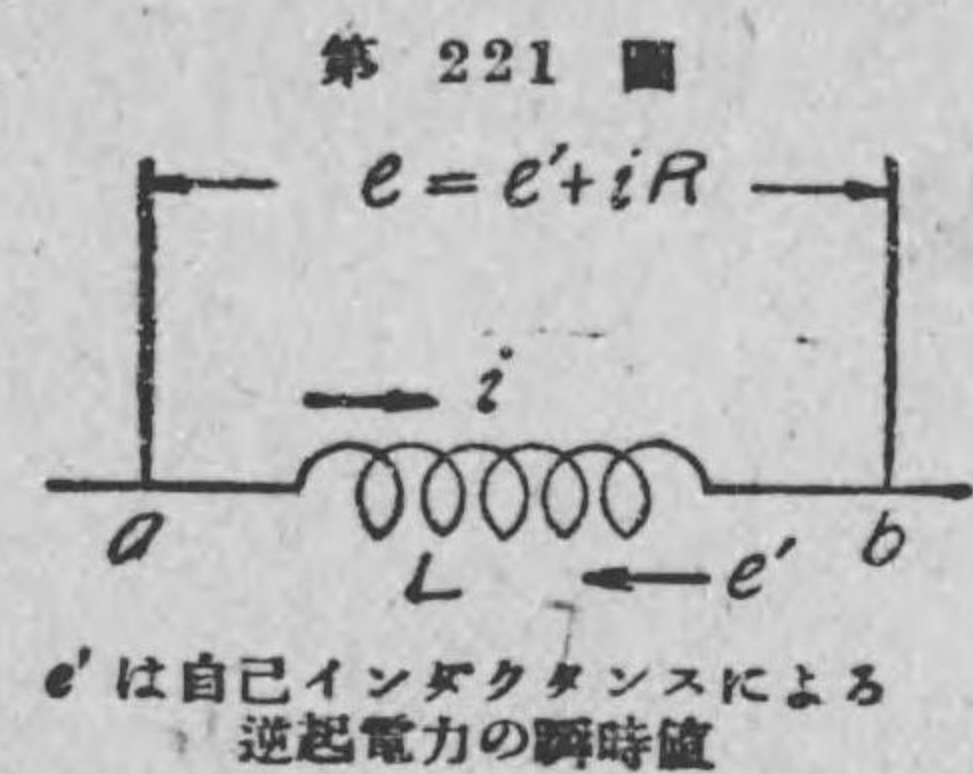
直流に於ては電流を妨げ電圧降下を生ずるものは一般に抵抗の

みであるが、交流にありては抵抗の外にリアクタンスと稱するものがあつて抵抗と同様に電流の通過を妨げる役目をする。以下之れに就いて述べよう。

已に學ばれた通り導體に電流が通ずると、此導體を圍んで磁線が出来る。而して此電流が増減するときは磁線も之れに伴つて増減し、此際此増減する磁線は其電流の通つて居る導體を切つて其導體内に起電力が誘導される。交流では絶えず電流の値が變化し、従つて絶えず磁線が導體を切つて導體内に起電力が誘導されるから、電路に通ずる電流の大きさは此起電力の影響を受ける譯である。此起電力が電流の變化を妨げる役目をなす所謂逆起電力であつて、此の現象を直流の場合と比較すると次の様になる。例へば R オームの抵抗を有する第 220 圖の如き直流電路の一部 a か



E' は逆起電力



e' は自己インダクタンスによる逆起電力の瞬時値

ら b の方向に I アムペアの電流を通ぜんとするとき、若し其部分に E' なる逆起電力即ち b から a に向ふ起電力が存在するときには、抵抗による電圧降下の IR に相當する電圧の外に逆起電力に對抗する電圧を其部分に給與せねばならぬから、此場合に ab 間に給與すべき電圧は $E = E' + IR$ なることを要する。此の関係

は交流の場合にも總ての瞬時に於て成立つものであるから、 L ヘンリーの自己インダクタンスを有する第221圖の如き電路に或る瞬時 i なる電流を a から b に通ずるために要する ab 間の給與電壓 (i なる大きさの電流が通じて居る瞬時の給與電壓) は

$$e = e' + iR$$

若し ab 間の抵抗 R が零、即ち L ヘンリーなる自己誘導のみを持つ電路の場合は

$$e = e'$$

即ち總ての瞬時逆起電力に對抗するだけの電壓を給與すればよいことが分かる。

此所では説明を省略するが、第221圖の様な自己インダクタンス L ヘンリーのみを持つ電路の一部 ab に實効値 I アムペアなる電流を通じた時の其部分の逆起電力の實効値を E (ヴォルト) とすれば

$$E = 2\pi f LI$$

で其位相は電流より 90° 進むのである。上式中 f は交流の周波數、 π = 圓周率 = 3.1416 である。而して $2\pi f$ の代りに ω なる文字を用ひ、 $E = \omega LI$ で表はしてもよい。

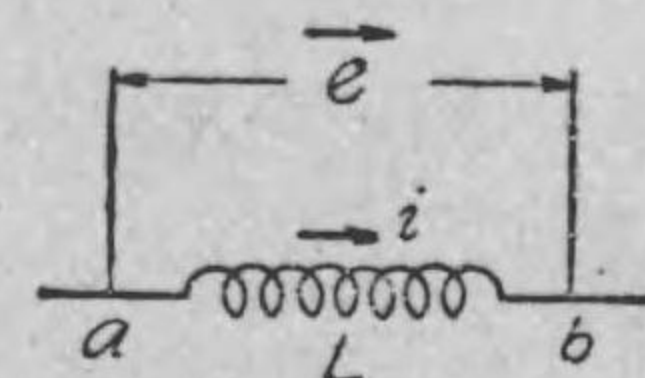
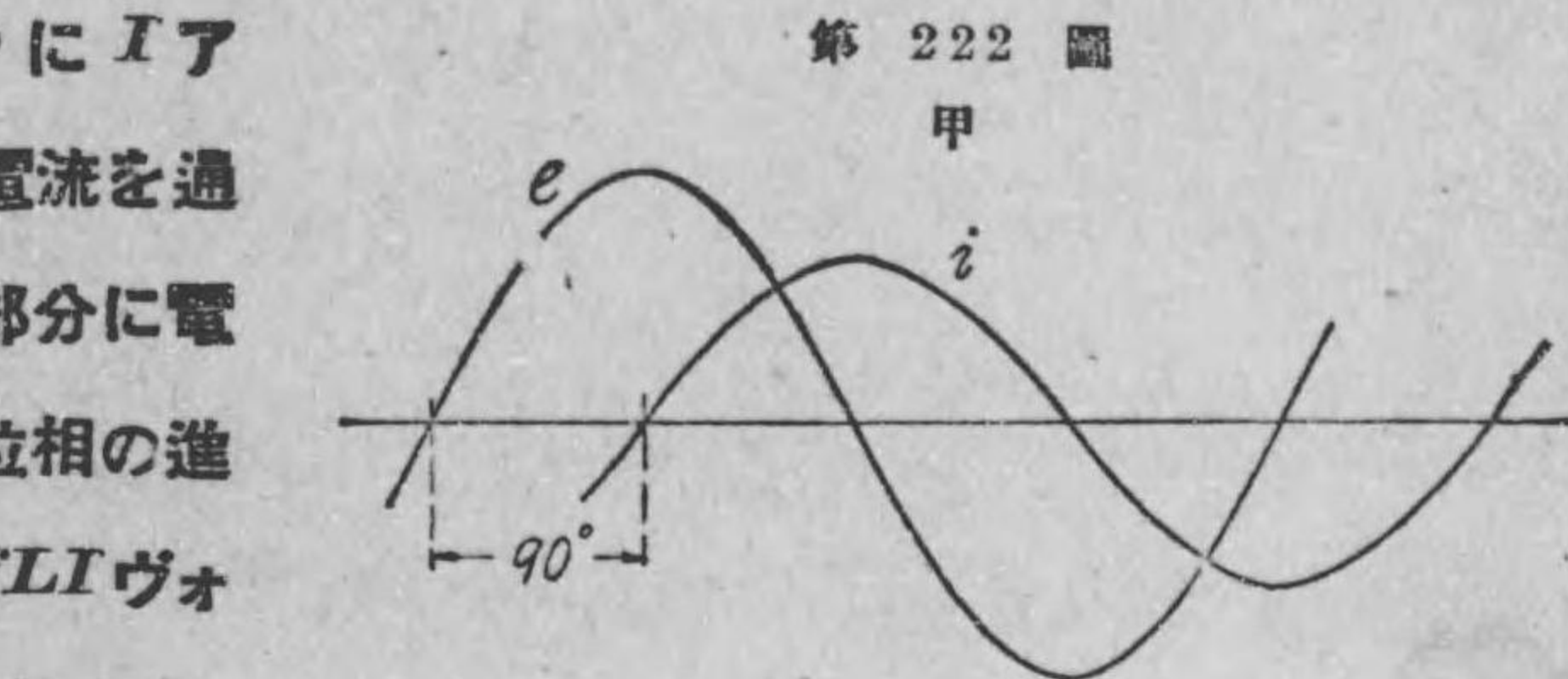
以上の理由に依つて、 L ヘンリーの自己インダクタンスのみを有する電路の一部 ab に I アムペアなる電流を通ずるためには、電流と同一周波數で電流より 90° 位相の進んだ $E = 2\pi f LI$ ヴォルトなる電壓を其部分に給與すればよいことが分かる。而して此

式は又抵抗の所で述べた様に、電流と電壓降下との關係と見ることが出来る。即ち L ヘンリーなる自己インダクタンスを持つ電路の一部 ab に I アムペアなる電流を通ずると、其部分に電流より 90° 位相の進んだ $E = 2\pi f LI$ ヴォルトの電壓降下が生ずる。上式から又

$$I = \frac{E}{2\pi f L}$$

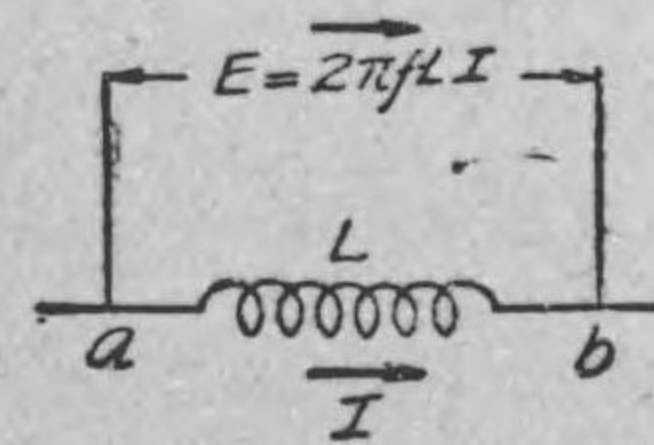
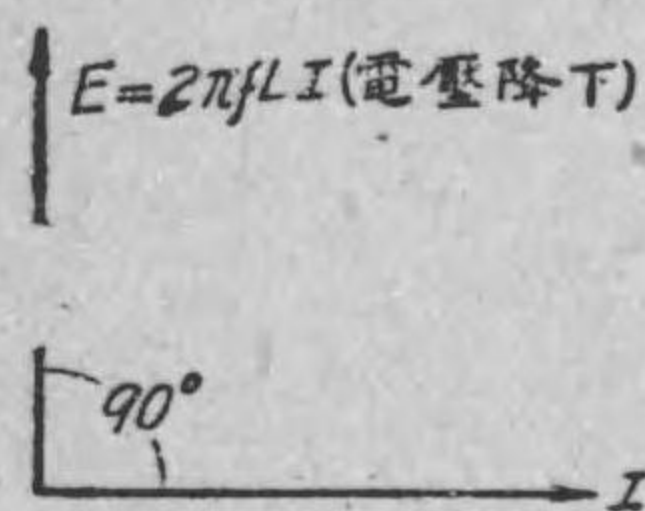
なる關係が生ずるか

ら、此式より自己インダクタンス L ヘンリーを持つ電路の一部 ab に周波數 f サイクルなる電壓 E (ヴォルト)



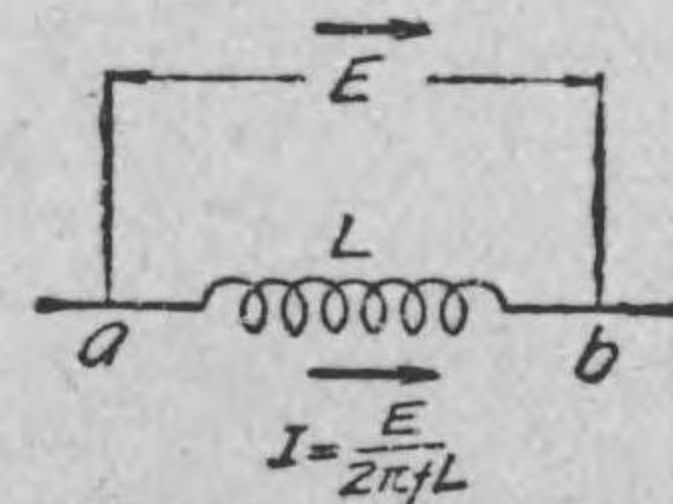
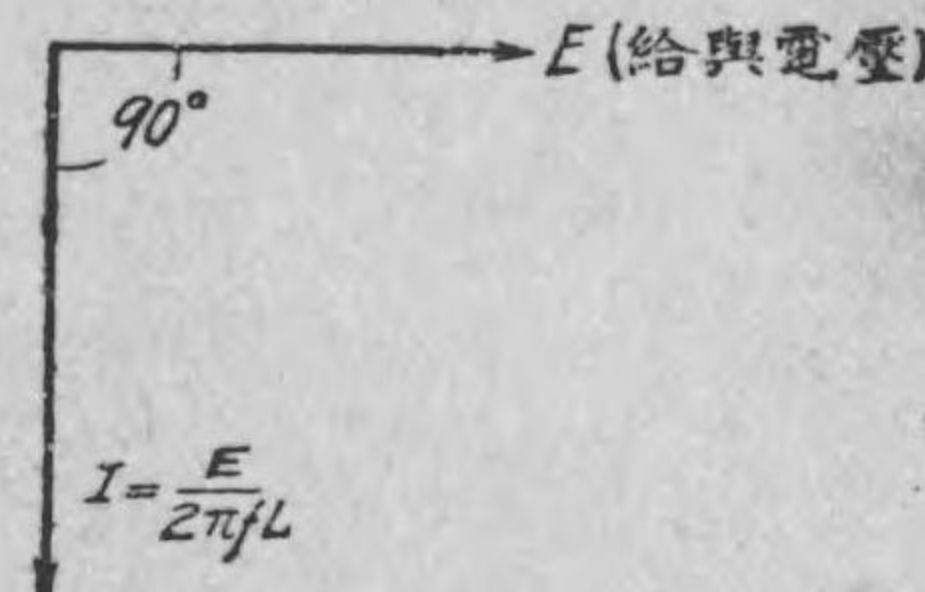
e は ab 間の電壓降下或は給與電壓、 i は電流、何れも瞬時値

乙



電流と電壓降下との關係を示すベクトル圖。 E 、 I は何れも實効値。

丙



給與電壓と電流との關係を示すベクトル圖。 E 、 I は何れも實効値。

を給與した時、通ずる電流（周波数は勿論 f サイクル）の値 I （アムペア）を計算する事が出来る。而して此の電流は給與電壓より 90° 遅れることも、以上の理由から直に知る事が出来るであらう。以上の関係を正弦波及ベクトル圖で示せば第 222 圖 甲乙丙の様になる。

以上の事から分かる様に、交流電路に於ては、電流の値を制限し電壓降下を決定するものは抵抗ばかりでなく、若し電路に自己インダクタンスが存在するときには、假令抵抗が少しもなくとも、電流は $\frac{E}{2\pi fL}$ となり電壓降下は $2\pi fLI$ となる。換言せば、交流電路の電流及電壓降下は $2\pi fL$ なる値によつても決定されるのである。此 $2\pi fL$ 、即ちヘンリーで表はした電路の自己インダクタンスに $2\pi f$ を乗じたものを其電路の、周波数 f に對するリアクタンスと稱し、 X を其記號とし、其單位としては抵抗同様オームなる名稱を用ゐる。

例題 61. 或る電路の自己インダクタンスが 30 ミリヘンリーならば 50 サイクルに對する此電路のリアクタンスは何オームであるか。

$$\text{解 } 30 \text{ ミリヘンリー} = \frac{30}{1000} \text{ヘンリー} = 0.03 \text{ヘンリー}$$

$$\text{故にリアクタンス } X = 2\pi fL$$

であるから

$$X = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.03 = 9.42 \text{ オーム}$$

例題 62. 300 ミリヘンリーの自己インダクタンスを有する線

路に 50 サイクル、1000 ヴォルトの電壓を給與した時の電流の値は何アムペアなるか。

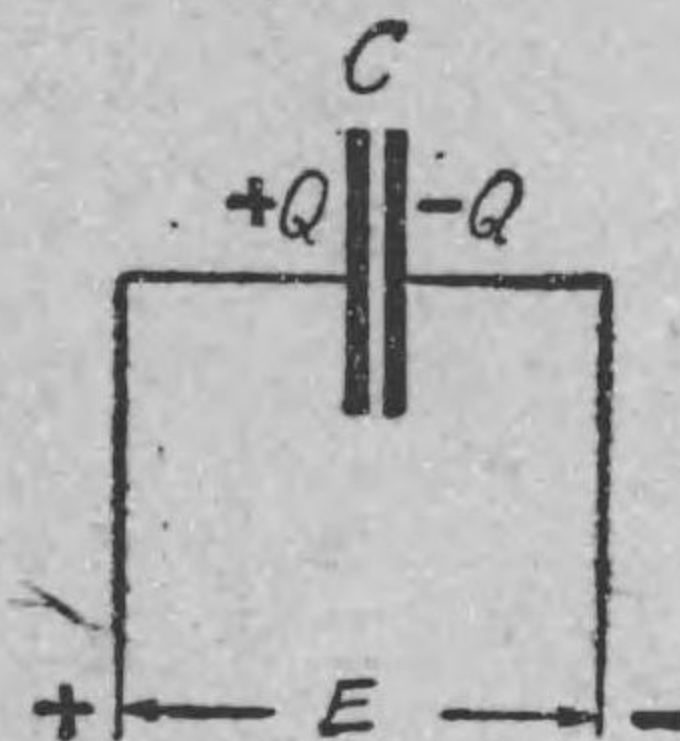
$$\text{解 } 300 \text{ ミリヘンリー} = \frac{300}{1000} \text{ヘンリー} = 0.3 \text{ヘンリー}$$

故に電流の値を I とすれば

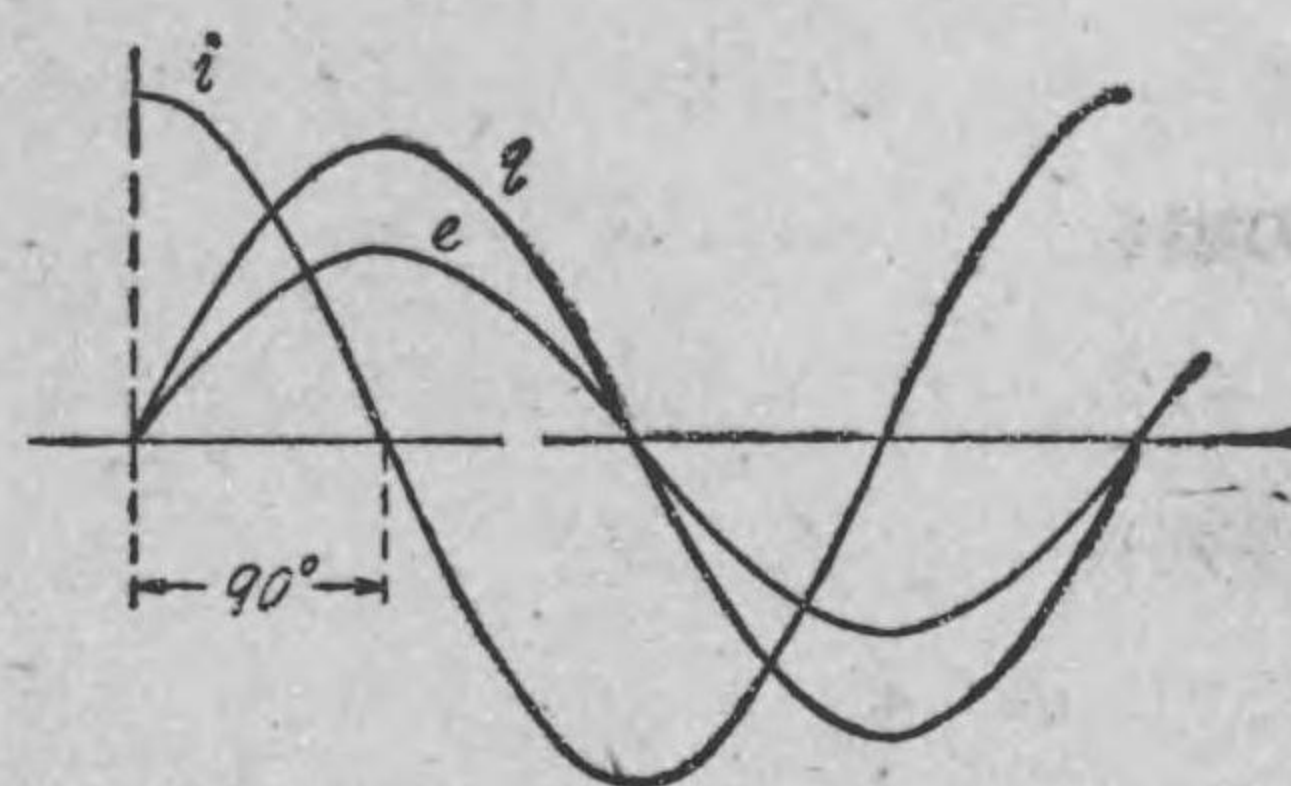
$$I = \frac{E}{2\pi fL} \\ = \frac{1000}{2 \times 3.14 \times 50 \times 0.3} = 10.6 \text{ アムペア}$$

143. 容量のみを有する電路 第 223 圖の如き C フ

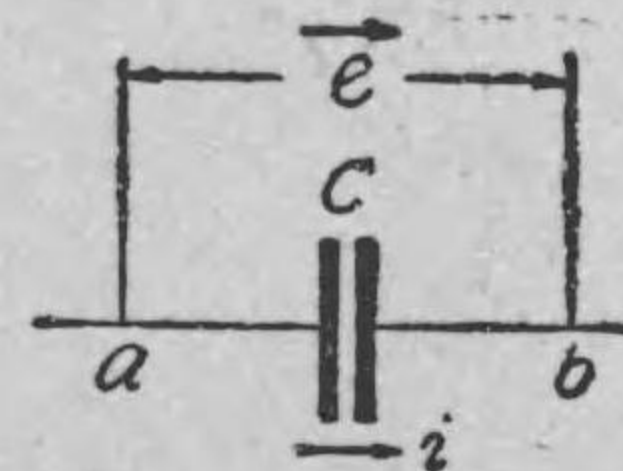
第 223 圖



第 224 圖



コイルの静電容量を有する蓄電器に直流電壓を給與すると、同圖の様に蓄電器が充電される事は已に直流の場合に學ばれた。今給與せ



e は給與電壓、 q は充電々荷
 i は充電電流。何れも瞬時値。

られたる電壓が交番電壓であれば蓄電器の充電々荷も電壓の變化に比例して第 224 圖の如く變化する事は明かである。然るに電流

の各瞬時の強さは各瞬時の電荷の時間に就いての變化の割合、即ち各瞬時に於ける電荷の變化率に等しきものである。而して第 224 圖に於て充電々荷の變化率の最大なるは電荷の零の瞬時に變化率の最小なるは充電々荷の最大の時であるから、此場合の電流の變化は第 224 圖の如くなる事が知られる。此電流を特に充電々流と稱する。同圖より明かな如く、此充電々流は給與電壓より 90° 進む事が分かるであらう。

此關係は又抵抗或は自己インダクタンスを持つ電路の場合と同様に、電流と電壓降下の其れと見る事が出来る。即ち充電々流が通じて居る時には、此電流より 90° 遅れた電壓降下が生ずる理である。而して此場合の位相關係は自己インダクタンスのみの電路の場合と丁度正反對である。

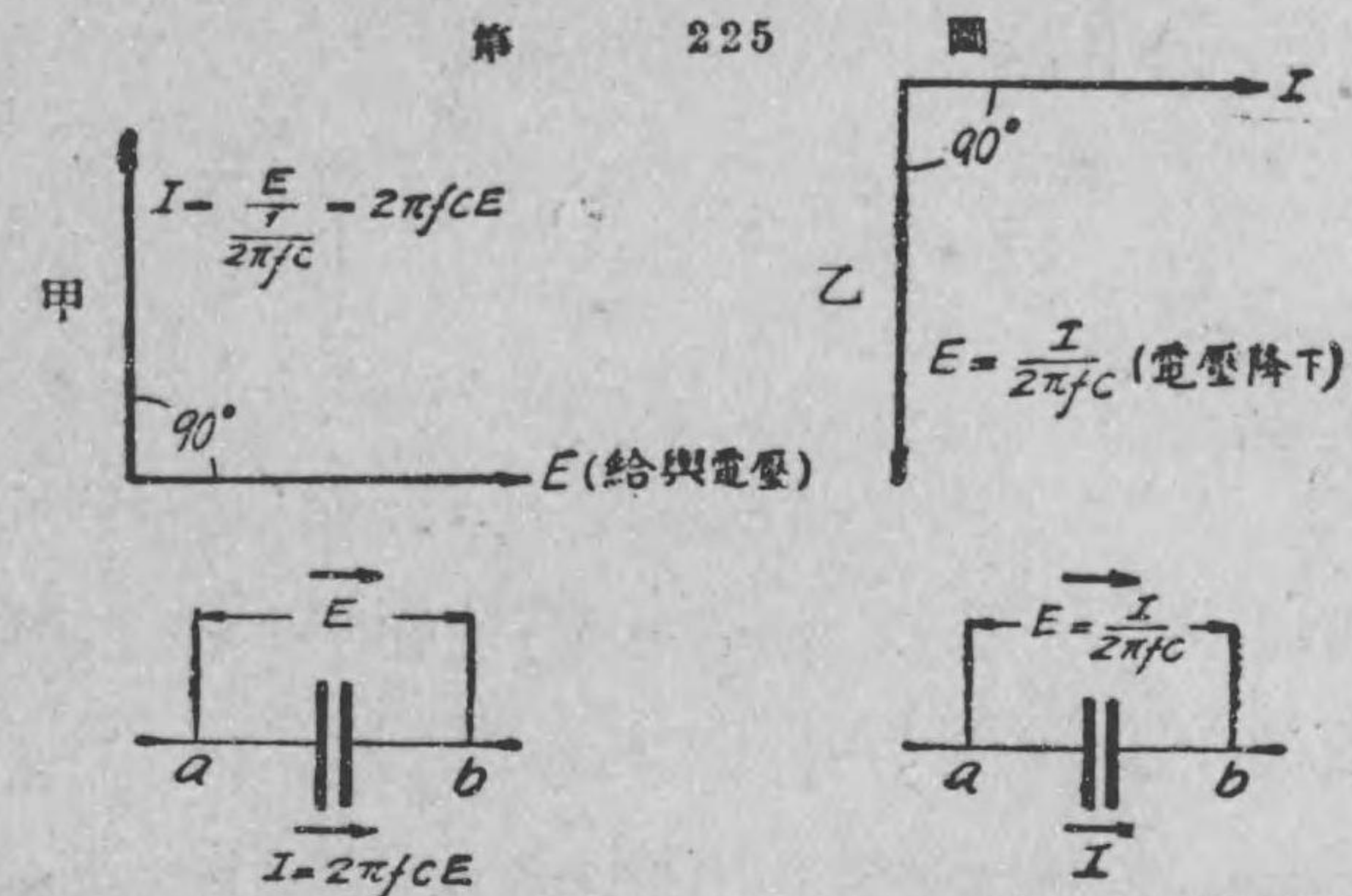
容量を持つ電路に交番電壓を給與した時通ずる電流の大きさは給與電壓の大きさが一定でも、容量及周波數の大きさによりて異なるもので、例へば第 225 圖の様な C フラッドの容量を持つ蓄電器の兩端に周波數 f サイクルなる交番電壓 E ヴォルト (實効値) を給與する時、此電路に通ずる電流 (同一周波數) を I アムペア (實効値) とすれば

$$I = \frac{E}{\frac{1}{2\pi f C}}$$

或は

$$I = 2\pi f C E$$

で、已に述べた様に此充電々流は給與電壓より 90° 進む。



給與電壓と電流との關係を示すベクトル圖。E, I は何れも實効値
電流と電壓降下との關係を示すベクトル圖。E, I は何れも實効値

此場合電流を妨げるものは $\frac{1}{2\pi f C}$ で、之れを容量リアクタンスと云ひ、自己インダクタンスによるリアクタンス $2\pi f L$ を誘導リアクタンスと稱する。而して、單位としては何れもオームを用ゐる。

次に上式の關係は又次の如く書く事が出来る。即ち

$$E = \frac{I}{2\pi f C}$$

此式を用ゐる事によりて、此電路に I アムペアの電流通じた時の電壓降下 E (ヴォルト) を計算する事が出来る。以上の關係をベクトル圖に示せば第 225 圖甲、乙の様になる。

例題 63. 0.01 マイクロ・フラッドの蓄電器の 50 サイクルに對する容量リアクタンスは何オームか。

解 0.01 マイクロ・フラッド = $\frac{0.01}{10^6}$ フラッド

故に此蓄電器の 50 サイクルに於ける容量リアクタンス

$$\frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times \frac{0.01}{10^6}} = \frac{10^6}{2 \times 3.14 \times 50 \times 0.01}$$

$$= 318\,000 \text{ オーム}$$

例題 64. 0.3 マイクロ・ファラッドの容量を持つ蓄電器に、100 000 サイクル、1 000 ヴォルトの交番電圧を給與した時の充電々流は何程なるか。

解 $0.3 \text{ マイクロ・ファラッド} = \frac{0.3}{10^6} \text{ ファラッド}$

故に此電路の 100 000 サイクルに対する容量リアクタンスは

$$\frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 100\,000 \times \frac{0.3}{10^6}}$$

$$= \frac{10^6}{2 \times 3.14 \times 100\,000 \times 0.3} = 5.3 \text{ オーム}$$

依つて求むる充電々流は

$$I = \frac{E}{\frac{1}{2\pi fC}} = \frac{1\,000}{5.3}$$

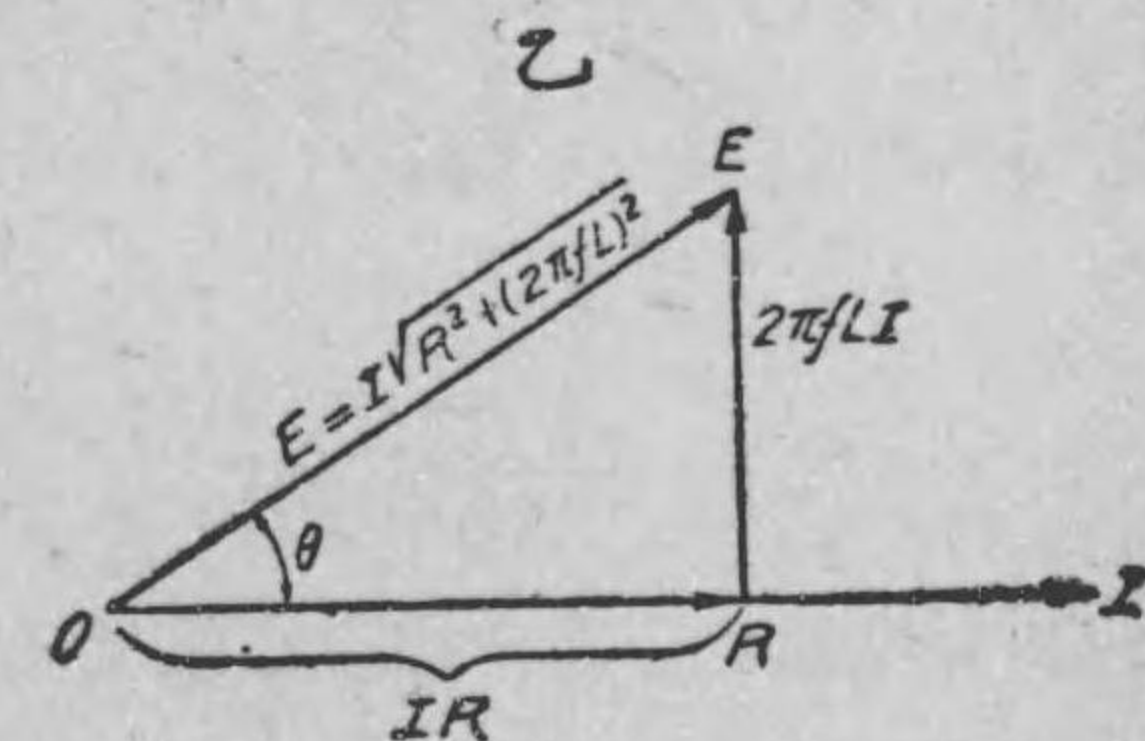
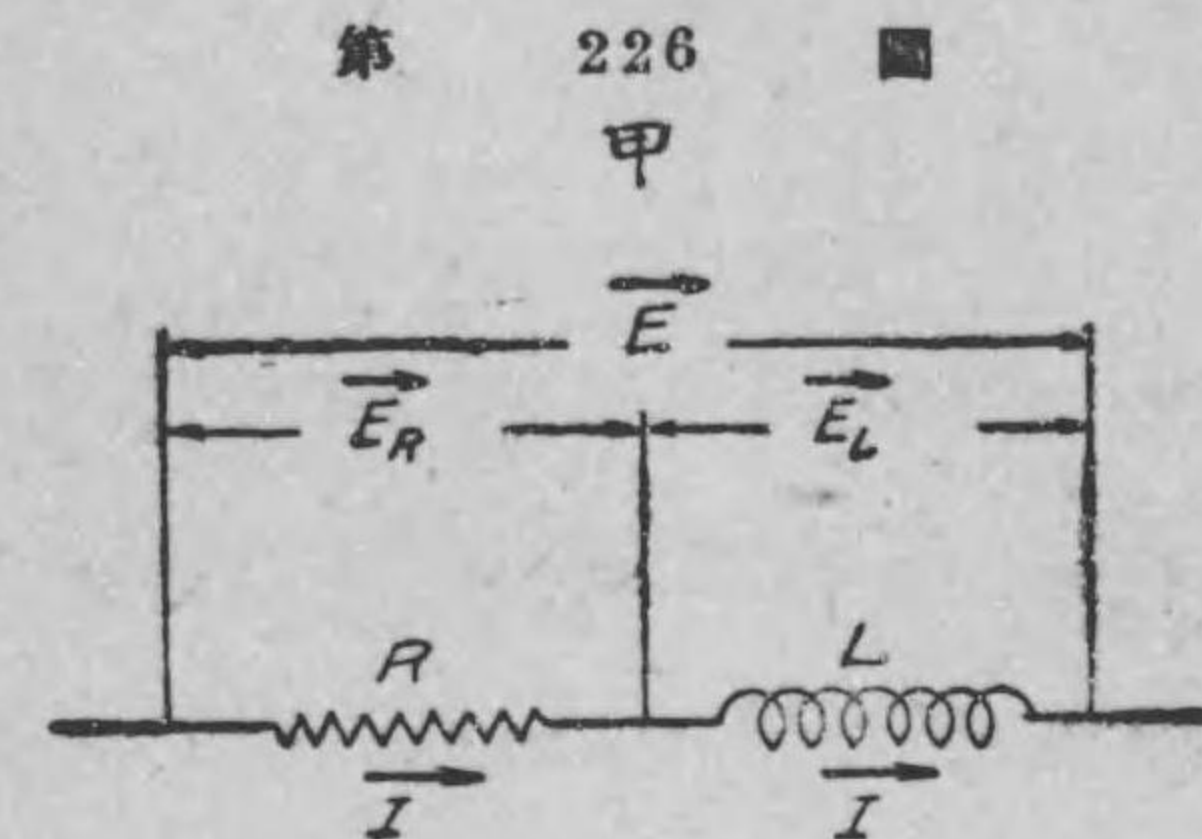
$$= 188 \text{ アムペア}$$

注意 誘導リアクタンスは $2\pi fL$ なる故、周波數に比例して増減するが、之れと反對に容量リアクタンスは $\frac{1}{2\pi fC}$ であるから、周波數に逆比例し、従つて周波數が大となると其値は減少し、逆に周波數が小になると其値は増加する。

144. 抵抗と自己インダクタンスとが直列にある電路

今第 226 圖甲の様に R オームの抵抗と L ヘンリー

の自己インダクタンスとが直列になつて居る電路に周波數 f サイクル實効値 E ヴォルトの正弦波電圧を給與したとする。而して此時通ずる此電路の電流の實効値を I アムペアと假定しよう。すると、斯る直列電路の場合、電流 I は其電路を通じて單一にして共通であるから、 R オームの抵抗による電壓降下は $E_R = RI$ ヴォルト (實効値) で電流と同



位相にあり、又 L なる自己インダクタンスに依る電壓降下は、 $E_L = 2\pi fLI$ ヴォルト (實効値) にして電流より 90° 進む。然るに此電路に於て電壓降下を生ずるものは抵抗と自己インダクタンスばかりであるから、全電壓降下は此兩者による電壓降下の和である。従つて此電路に I アムペアなる電流を通ずるには、其れだけの電壓を給與する必要がある譯である。故に第 226 圖乙のベクトル圖に於て OI を以て電流 I を代表させれば、抵抗による

電圧降下は IR にして電流と同位相にあるが故に、電流と同方向にして IR なる長さのベクトル OR を以て代表させる事が出来又自己インダクタンスによる電圧降下は $2\pi fLI$ にして電流より 90° 進んだものであるから、 $2\pi fLI$ なる長さの RE なるベクトルを以て代表させる事が出来る。此 OR と RE とのベクトル和 OE は此回路の全電圧降下を代表するものにして、已に述べた様に同時に給與電圧を代表する。然るに同圖に於て OER は直角三角形であるから、ピタゴラスの定理により

$$OE = \sqrt{OR^2 + ER^2}$$

$$\therefore E = \sqrt{(IR)^2 + (2\pi fLI)^2} = I\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}$$

故に電流の値 I (アムペア) は上式より

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}}$$

これが此回路に E ヴォルト (周波数 f サイクル) なる電圧を給與した時に通ずる電流の値である。而してベクトル圖から直に分かる様に此電流は給與電圧 (或は電圧降下) から θ だけ遅れる。此 θ なる相角は

$$\tan \theta = \frac{ER}{OR} = \frac{2\pi fLI}{IR} = \frac{2\pi fL}{R}$$

から計算することも出来るが、分度器によりても直に計ることが出来る。

例題 65. 抵抗 6.3 オーム自己インダクタンス 20 ミリヘンリーの電路に 50 サイクル、100 ヴォルトの正弦波交番電圧を給與し

た場合に通ずる電流の値及電流と電圧との間の相差を見出せ。

解 20 ミリヘンリーの 50 サイクルに對しての誘導リアクタンスは

$$2\pi fL = 2 \times 3.14 \times 50 \times \frac{20}{1000} = 6.3 \text{ オーム}$$

故に電流の實効値を I とすれば

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL)^2}} = \frac{100}{\sqrt{(6.3)^2 + (6.3)^2}} = \frac{100}{\sqrt{2 \times 6.3}} = 11 \text{ アムペア}$$

電流の給與電圧より遅れる角を θ とすれば、已に述べた様にベクトル圖を描き、其圖上にて相角 θ を分度器で計ることが出来る。或は

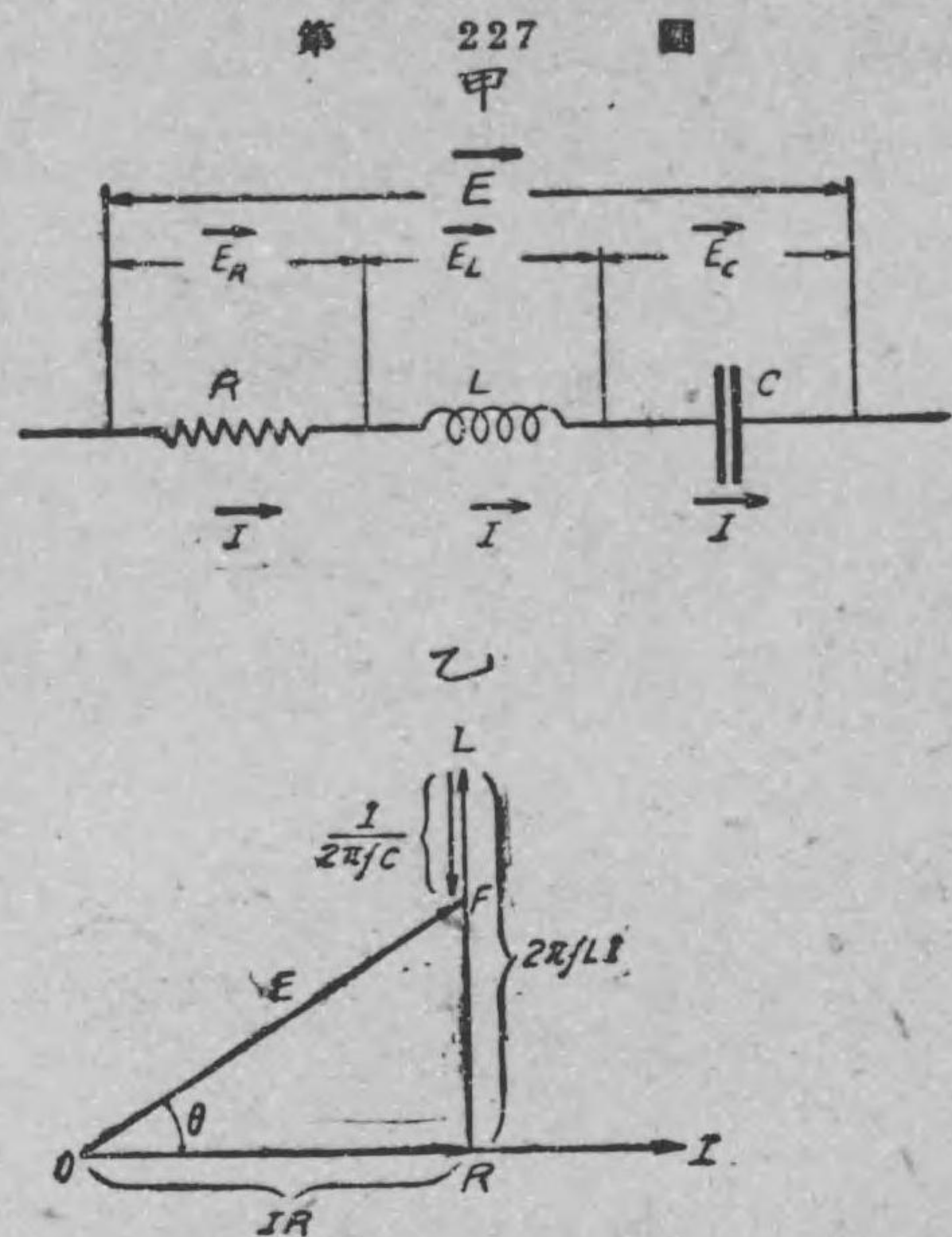
$$\tan \theta = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{6.3}{6.3} = 1$$

となるから、三角函數表で $\tan \theta = 1$ となる様な θ の値を求めればよい。何れの方法によるも $\theta = 45^\circ$ である。即ち電流は電圧より 45° 遅れる。

145. 抵抗と自己インダクタンス及容量が直列にある電路

第 227 圖甲の様に、抵抗と自己インダクタンス並に容量とが直列になつて居る電路に周波数 f サイクルなる正弦波電圧 E を給與したとし、此時電路に通ずる電流を I としよう。すると前述の様に、此電路に I なる電流通じた爲めに、抵抗

による電圧降下は E_R
 $=IR$ にして電流と同
 位相にあり、又自己イ
 ンダクタンスに依る電
 圧降下は $E_L=2\pi fLI$
 で電流より 90° 進み、更
 に容量のための電圧降
 下は $E_C=\frac{I}{2\pi fC}$ で電
 流より 90° 遅れる。故
 に電流と此れ等の電圧
 降下とを表はすヴェク
 トル圖は、第 227 圖



乙の様になる。即ち OI を以て電流 I を代表せしむれば、抵抗
 R による電圧降下は OI と同方向にして IR なる長さのヴェク
 トル OR を以て、自己インダクタンス L のための電圧降下は
 $2\pi fLI$ の長さで、 OI より 90° 進んで居る RL なるヴェク
 トルにて、又容量 C による電圧降下は其長さ $\frac{I}{2\pi fC}$ で OI よ
 り 90° 遅れたる LF ヴェクトルを以て夫々代表させる事が出来る。
 故に此 OR, RL 及 LF のヴェクトル和 OF が全電圧降下を表は
 すものにして、同時に給與電壓 E を表はすものである。然るに
 同圖から明かな様に

$$OF = \sqrt{(OR)^2 + (FR)^2} = \sqrt{(OR)^2 + (LR - LF)^2}$$

故に

$$E = \sqrt{(IR)^2 + \left(2\pi fLI - \frac{I}{2\pi fC}\right)^2}$$

$$= I \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$$

$$\therefore I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}} \dots\dots(A)$$

而してヴェクトル圖から分かる様に、此電流は給與電壓或は全
 電圧降下より θ だけ遅れて居る。此角は前述の通り分度器にて簡
 單に計ることが出来るが、又三角法を用ひて

$$\tan \theta = \frac{2\pi fLI - \frac{I}{2\pi fC}}{RI} = \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R} \dots\dots(B)$$

より計算するもよい。

一般に電流は給與電壓より遅れるが、反對に電流の方が進む場
 合もある。例へば此ヴェクトル圖に於て $\frac{I}{2\pi fC} > 2\pi fLI$ 或は兩
 邊を I にて除し $\frac{1}{2\pi fC} > 2\pi fL$ なる場合は電流の方が却つて
 給與電壓より進む譯である。

(A) 式に於て其分母の $\sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}$ は直流の場合の
 抵抗に相當するもので、之れを**イムピーダンス**と稱する。此式が
 其れの最も一般的の形である。而して之れを表はすに Z なる文
 字を用ひ、又單位としては抵抗、リアクタンス同様オームを使用

する。又リアクタンスの一般式は $(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})$ で、普通 X なる文字で表はす。故に一般に次の如き関係式が生ずる。

$$\text{イムピーダンス} = \sqrt{(\text{抵抗})^2 + (\text{リアクタンス})^2}$$

或は $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$

故に $I = \frac{E}{Z}$

注意 $2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}$ なるリアクタンスの一般式を X で表はすが普通なれども、容量リアクタンスなき場合、即ち誘導リアクタンスのみの場合も X なる文字で表はすこと已に述べた通りである。然し容量リアクタンスに対しては特に X_c なる記號を使用する事がある。

例題 66. 3 マイクロ・ファラッドの容量と 1 ヘンリーの自己インダクタンスと 100 オームの抵抗とが直列になつて居る電路に 50 サイクル、1000 ヴォルトの正弦波電壓を給與した時の電流の値及其位相關係は如何になるか。

解 此問題で注意すべき事は容量リアクタンスが誘導リアクタンスより大で、従つて電壓より電流の進むことである。依つて前者より後者を引き

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi fC} - 2\pi fL &= \frac{1}{2 \times 3.14 \times 50 \times \frac{3}{10^6}} - 2 \times 3.14 \times 50 \times 1 \\ &= \frac{10^6}{2 \times 3.14 \times 50 \times 3} - 2 \times 3.14 \times 50 \times 1 \end{aligned}$$

$$= 1060 - 314 = 746 \text{ オーム}$$

依つて $\text{イムピーダンス} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi fC} - 2\pi fL\right)^2}$
 $= \sqrt{100^2 + 746^2} = 755 \text{ オーム}$

故に $\text{電流} = \frac{E}{Z} = \frac{1000}{755} = 1.32 \text{ アムペア}$

電流の給與電壓より進む角 θ はベクトル圖を描き分度器で計ることにより 82.5° なることが分る。又

$$\tan \theta = \frac{\frac{1}{2\pi fC} - 2\pi fL}{R} = \frac{746}{100} = 7.46$$

であるから、相差角 θ の値は三角函數表からも 82.5° なる事が直に知られる。

146. 自己インダクタンスと抵抗とが並列にある電路

第 228 圖甲の如き電路に周波數 f サイクルなる正弦波電壓 E (實効値) を給與したとしよう。すると、 E は兩分路に対して共通であるから、抵抗電路に通ずる電流の値 (實効値) は

$$I_1 = \frac{E}{R}$$

にして給與電壓と同位相にある。又 L を有する電路に通ずる電流の値 (實効値) は

$$I_2 = \frac{E}{2\pi fL}$$

にして電壓より 90° 遅れる。而して全電流 I_0 は兩電流 I_1 及 I_2 を

夫々ベクトルに表はしたるものベクトル和で表はされるから、此關係をベクトル圖に示せば第 228 圖乙の様になる。故に全電流の値（實効値）はピタゴラスの定理により

$$I_0 = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{\frac{E^2}{R^2} + \frac{E^2}{(2\pi fL)^2}}$$

$$= E \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{(2\pi fL)^2}} \dots (A)$$

にして給與電壓 E （或は ab 間の電壓降下）より θ だけ遅れる。此角も前同様分度器又は

$$\tan \theta = \frac{I_2}{I_1} = \frac{E}{2\pi fL} \div \frac{E}{R} = \frac{R}{2\pi fL} \dots (B)$$

より見出すことが出来る。

例題 67. 第 229 圖の如き並列電路の ab 兩端に 120 ヴォルトの交番電壓を給與する時、全電流 I_0 は何アンペアなるか。又 I_0 は給與電壓より何程遅れるか。

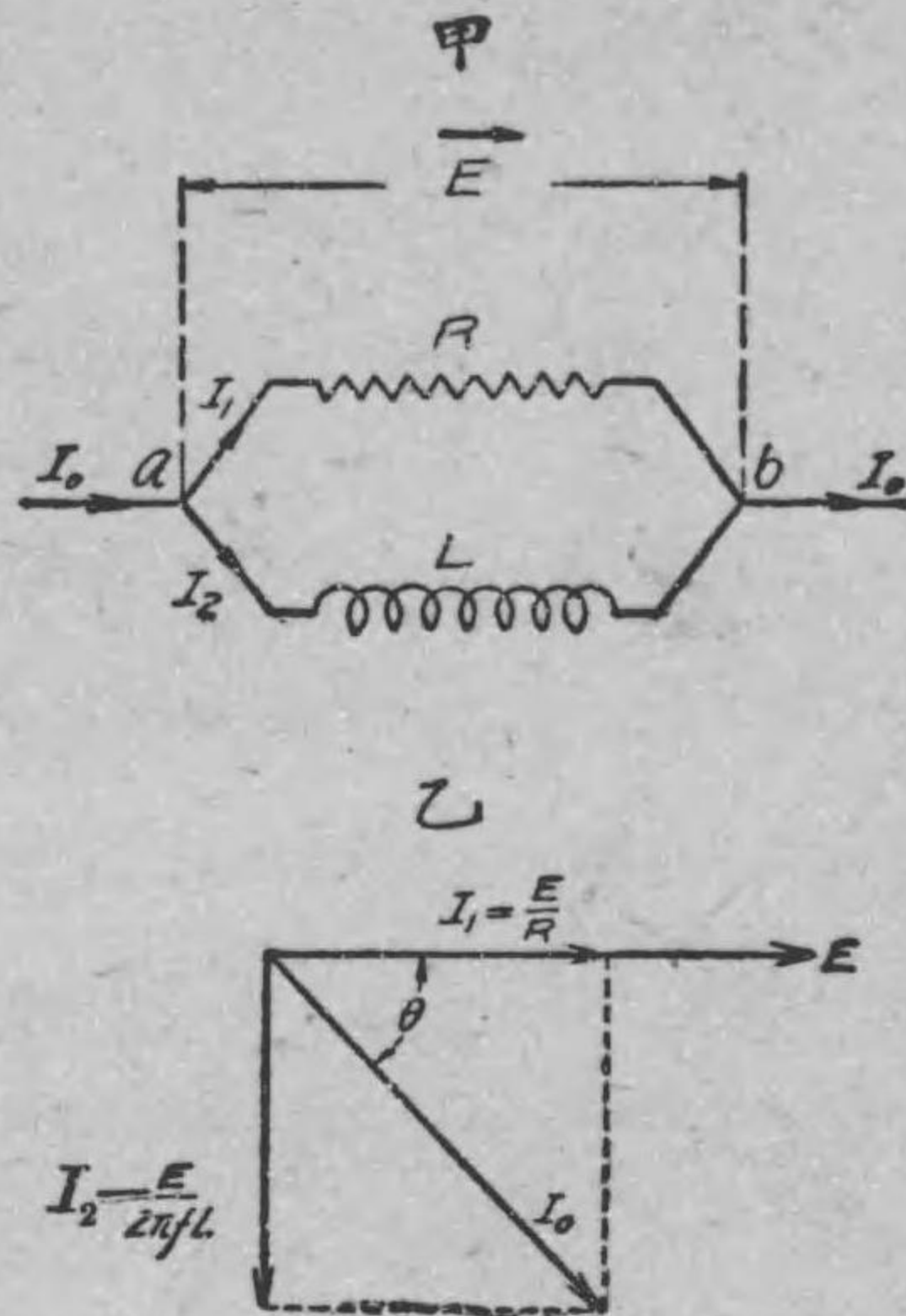
解 抵抗電路を通ずる電流を I_1 とすれば

$$I_1 = \frac{120}{30} = 4 \text{ アンペア}$$

で給與電壓と同位相にある。

リアクタンス電路を通ずる電流を I_2 とすれば

第 228 圖



$$I_2 = \frac{120}{40} = 3 \text{ アンペア}$$

で給與電壓より 90° 遅れる。依つて此關係をベクトル圖にて示せば同圖乙の如くなる。而して全電流を I_0 とすれば

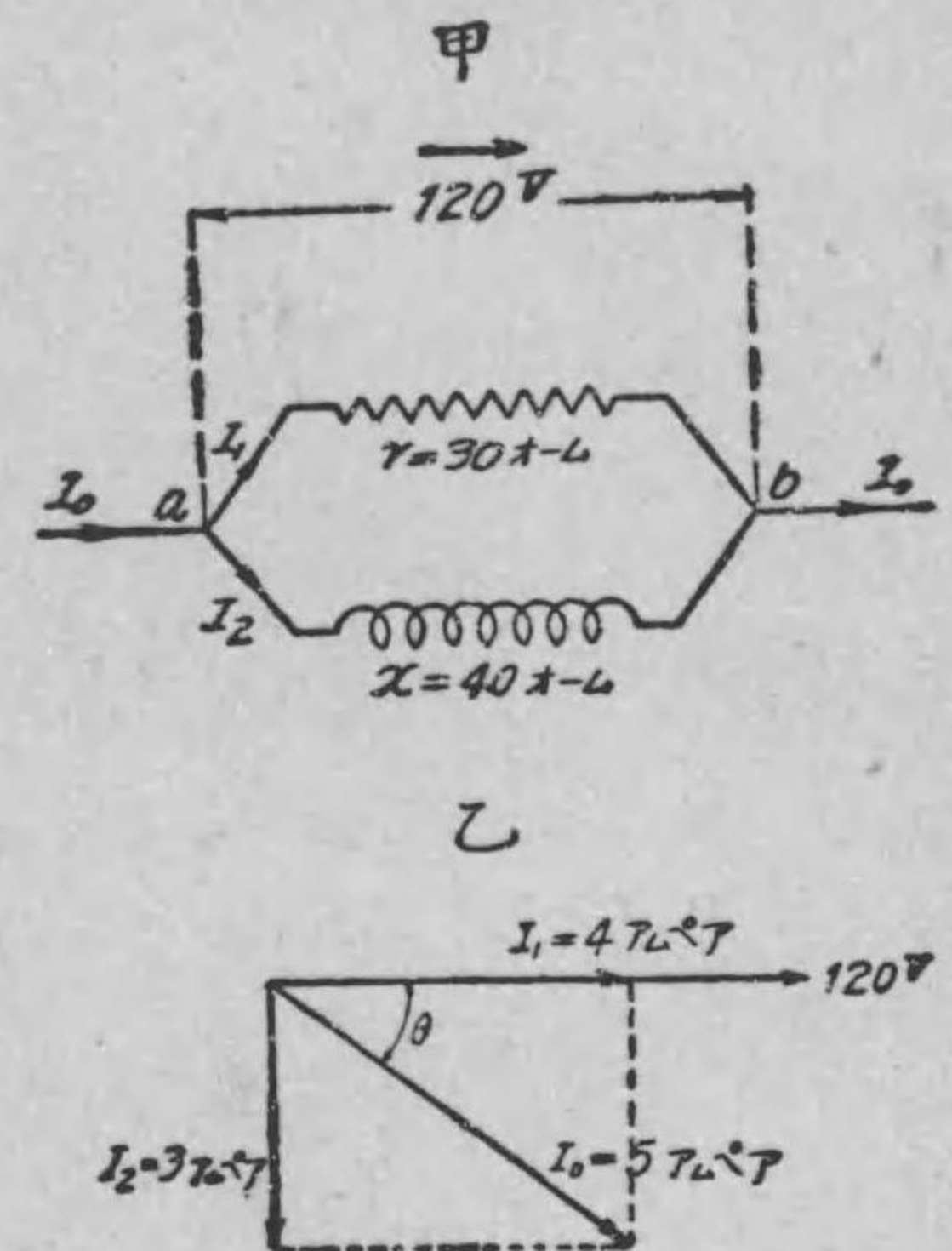
$$I_0 = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ アンペア}$$

此電流が給與電壓より遅れる角 θ は分度器によるも、又次の式からも直に求められる。

$$\tan \theta = \frac{I_2}{I_1} = \frac{3}{4} = 0.75$$

何れの方法によるも θ の値は約 37° である。即ち電壓と全電流との相差は 37° にして、此電流が電壓より其れだけ遅れる。

第 229 圖

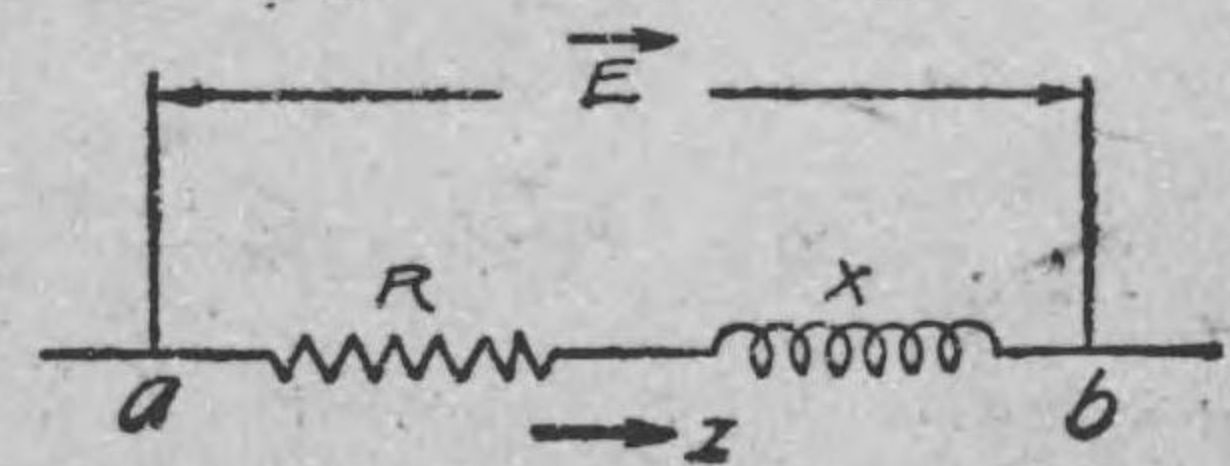


147. 交流の電力

第 230 圖の様な電路の一部 ab を

考へ、其部分に正弦波電壓 E ヴォルト（實効値）を給與して I アンペア（實効値）の正弦波電流が通じて居る時、此電路

第 230 圖



ab に入り來たる電力 (入力), 或は此電路内にて費される電力 P (ワット) は次の式にて示される (説明は標準叢書第六卷に譲る)。

$$P = EI \cos \theta \dots\dots\dots (A)$$

但し θ = 電壓と電流との相差

此電力は電源側から考へると, 出力となる事は直に分かるであらう。

直流電力ならば, 唯だ電壓と電流とを乗すればよいのであるが交流では一般に電壓と電流との間に相差があるから, (A) 式の様
に $\cos \theta$ を乗する必要がある。上式の電壓と電流との積 EI を皮相電力と稱して眞の電力 P と區別し, 其大さを表はすにヴォルト・アムペア 或は之れを 1000 で割りたる キロヴォルト・アムペアなる単位を用ひる。而して眞の電力 P と皮相電力との比を其電路の一部 ab 部分の力率と稱する。或は又第 230 圖の如き電路の一部 ab は負荷と考へる事が出来るから, 負荷 ab の力率とも稱する。依つて之れを式にて示すと

$$\text{力率} = \frac{P}{EI} \dots\dots\dots (B)$$

然るに電壓も電流も正弦波のものならば, 上に述べた様に電力 $P = EI \cos \theta$ であるから, 此場合の力率は

$$\text{力率} = \frac{P}{EI} = \frac{EI \cos \theta}{EI} = \cos \theta \dots\dots\dots (C)$$

即ち此の場合, 電路の力率は電壓と電流との相差角の餘弦で表はされる。然るに $\cos \theta$ は 1 或は其れより小であるから普通, 力

率は 100 倍して百分率 (%) で表はす。而して若し電路の一部 a b 間の電壓と電流とが同位相にある時は $\theta = 0$ であるから, $\cos \theta = 1$, 即ち其部分の力率は 1 (詳しく云へば電路 ab 部分の力率 1) となり, 従つて電力 (入力) P (ワット) は

$$P = EI \dots\dots\dots (D)$$

となる。即ち丁度直流の場合と同一となる。此場合の電路 ab 部分は自己インダクタンスなく抵抗のみより成立つものにして, 今此部分を負荷と考へれば此負荷の力率は 1 となる譯である。斯る負荷を無誘導負荷と云ふ。之れに反し自己インダクタンスを持つ負荷を誘導負荷と稱する。

以下交流電力の意味に就き少しく述べよう。今第 230 圖の様な電路の一部 ab を考へ, 其部分に通じて居る正弦波電流の或る瞬時の値が i アムペアで, 其部分の電壓降下 (或は其部分への給與電壓と考へてもよい) の其瞬時の値が e ヴォルトなる時は, 其瞬時其部分 ab へ入り來たる電力, 即ち入力の瞬時の値は

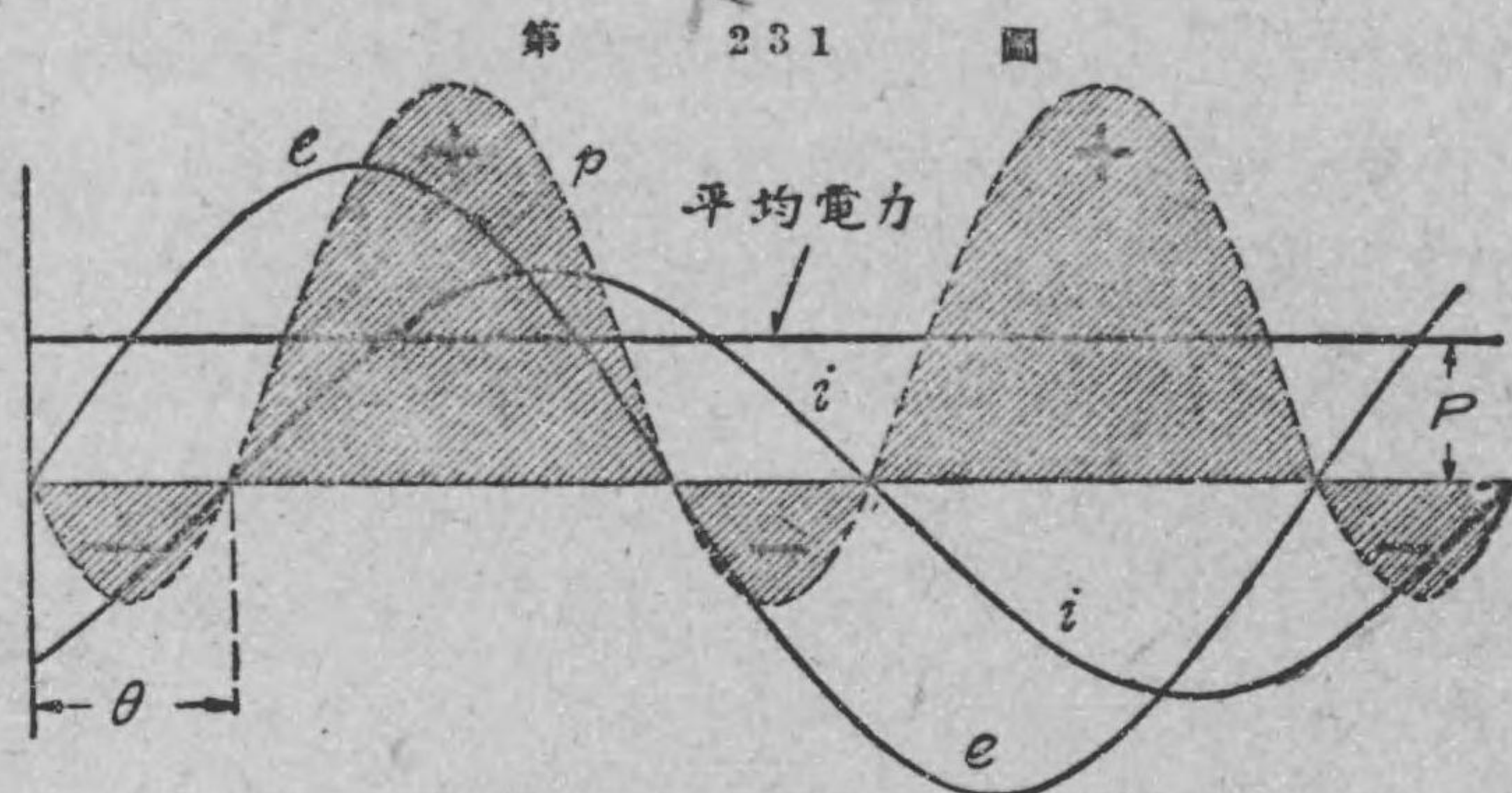
$$p = ei \text{ ワット}$$

にて示される。

若し電路に通ずる電流が直流である場合には電壓も電流も時間につれて變化しないから, p の値も時間につれて變化しない。然し交流に於ては電壓も電流も時々刻々變化するものであるから p も時々刻々變化する。依つて交流の電力としては, 此時々刻々違ふ電力の 1 サイクルの平均を取るのである (附記参照)。即ち

交流に於て單に電力と云ふのは平均電力の事であつて (A) 及 (D) 式の電力 P は勿論平均電力を示すものである。(A) 式に於て θ は一般に電流が電壓より遅れる角であるけれども、若し電流が反對に進んで居る場合は $-\theta$ 遅れて居る事であるから $\cos \theta$ は $\cos(-\theta)$ となる。然れども、 $\cos(-\theta) = \cos \theta$ であるから、交流の平均電力は電流が電壓より θ だけ遅れて居ても、 θ だけ進んで居ても同一である。

附記 1. 以下、平均電力の意味を正弦波を用ひて説明しよう。



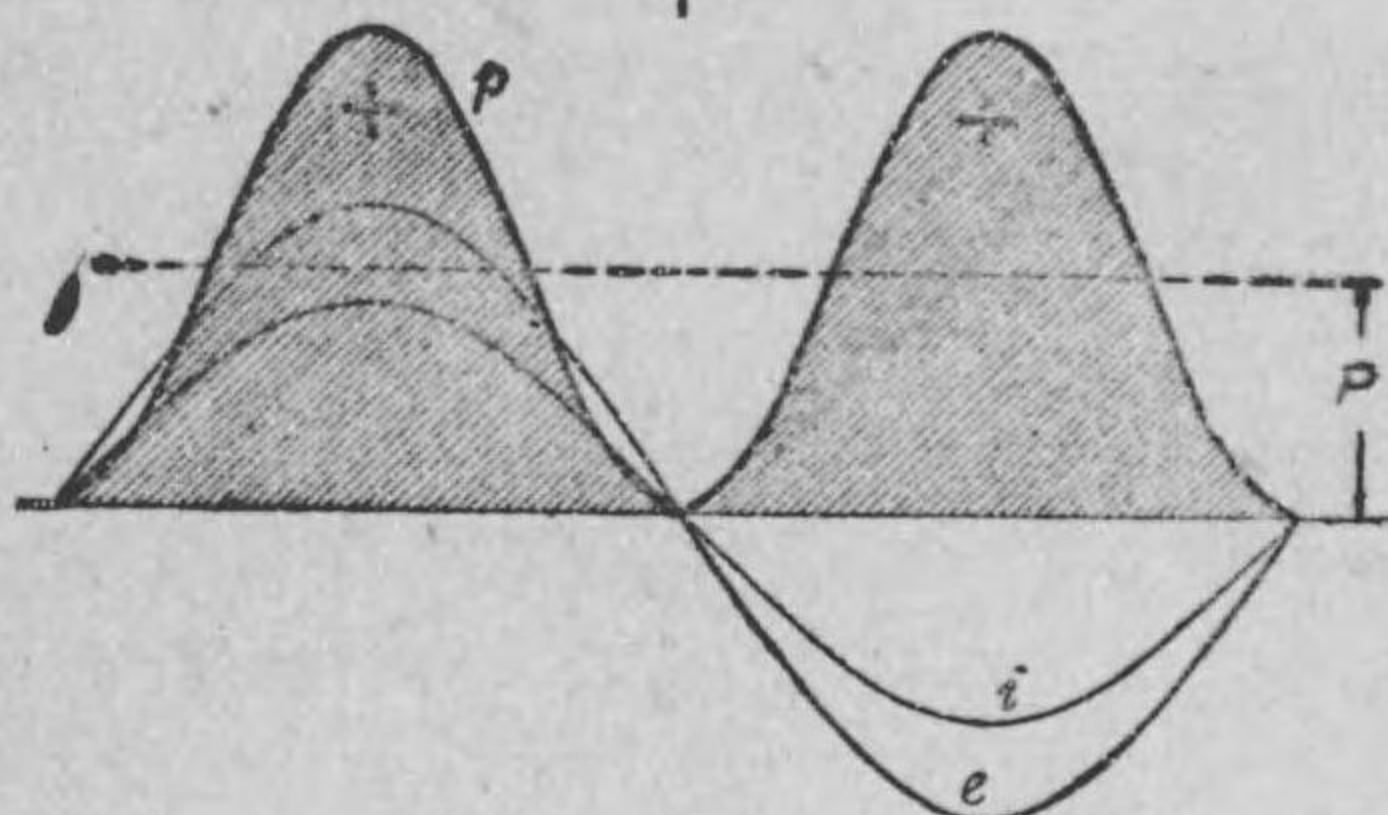
瞬時電力の値の平均が高さ P となる。即ち平均電力は P なる高さで示す事が出来る。

第 231 圖に於て、 i は第 230 圖の電路に通ずる電流の正弦波、 e は ab 間の電壓降下 (或は此部分の給與電壓) の正弦波にして、 i が e に遅れる事 θ なりとする。而して基線上の各點に於て i と e との各瞬時の値を相乗じ、之れを夫々其點に於ける高さとして曲線を描く時は p の様な正弦波が得られる。此正弦波に於て基線の上方にある各部分は電流と電壓降下と同方向、即ち電路への

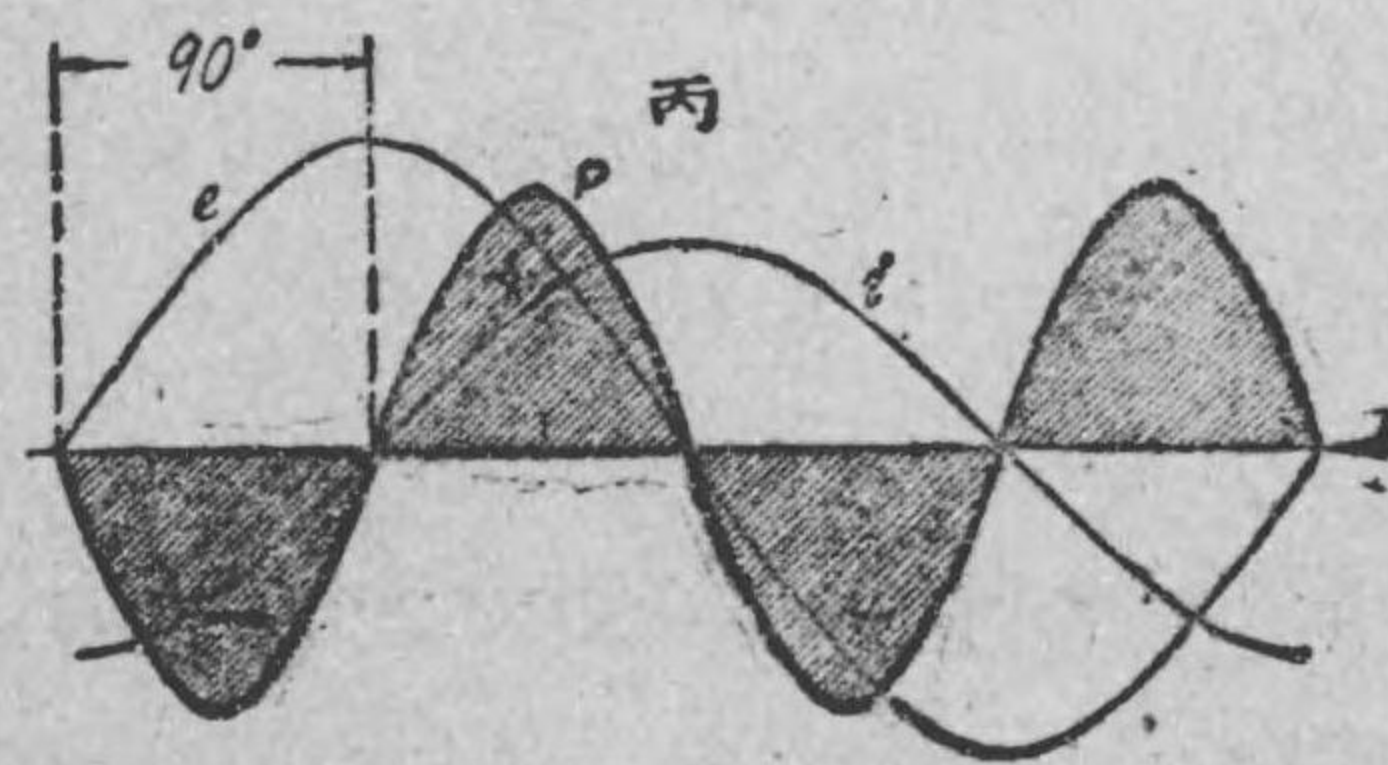
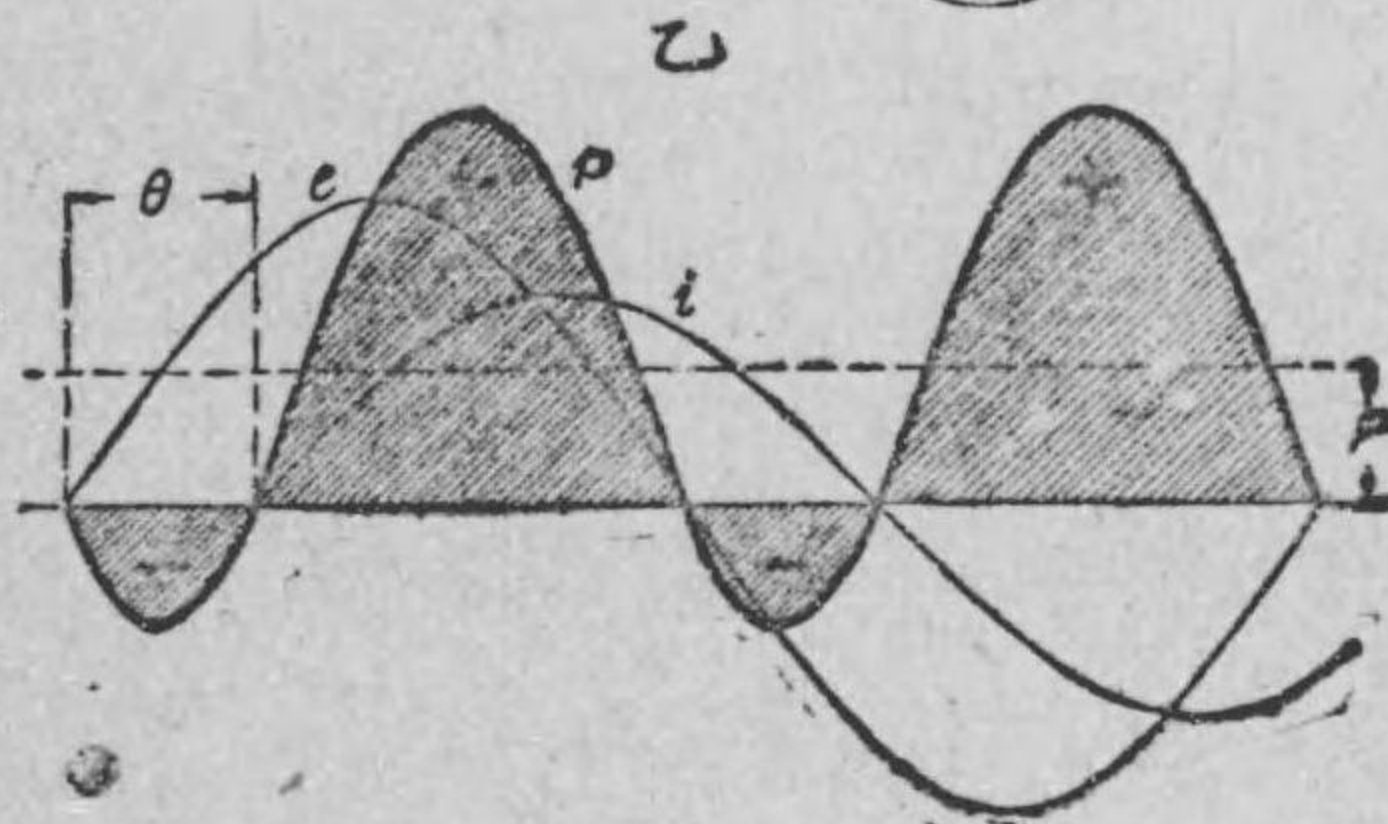
入力 (電路内にて消費せられる電力) の各瞬時の値を示すものにして、今之れを (+) 電力の部分とする。又基線より下の各部分は電流と電壓降下と反對方向、即ち電路の出力 (電路より電力を供給して居る事を意味する) の各瞬時の値にして、上の (+) に對して之れを (-) 部分とする。此陰影を附したる正の面積から負の面積を差引きて電力 p

第 232 圖 甲

の 1 サイクル間の平均の高さを求むれば P となり、之れが平均入力、即ち交流の平均電力を示す (A) 式の P と一致するのである。



更に進んで (A) 式 $P = EI \cos \theta$ に就き考へるに若し $\theta = 0$ 、即ち電流と電壓と同位相にある時は電力は最大にして $P = EI$ となり直流の場合と同一の式にて表はされることは已に述べた。其れより電流と電壓との間の相差が増すにつれて電力は漸



次減少し相差が 90° となれば電力は零となる。此事柄を圖にて示せば第 232 圖甲乙丙の如く順次電力が小となる事が分かる。

附記 2. 次に交流電力が如何なる部分に消費されるかを示さう。今抵抗 R , 自己インダクタンス L 及容量 C が直列になつて居る電路に正弦波電壓 E ヴォルトを給與したとする。すると、此電路の電流は前述の通り

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

電壓と電流との相差角を θ とすれば

$$\tan \theta = \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R}$$

である。故に

$$\cos \theta = \frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \theta}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}$$

故に此電路への電力 (入力) を P (ワット) とすれば

$$P = EI \cos \theta = I \sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2} \\ \times I \times \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}}$$

$$= I^2 R$$

即ち此電力はジュール法則により熱となりて現はれる事が分かるであらう。猶ほ詳しく説明すれば、或電路に於て失はるゝ電力は

抵抗によつて失はるゝのみで、リアクタンスは何等の電力を消費しない。換言せばベクトルに表はして電流と同方向、即ち同位相の電壓降下は電力を消費し、又電流と直角の方向 (90° の相差ある事) の電壓降下は電力を消費しない。此事柄は已に説明した様に電流と 90° の相差を有する電壓降下を持つ部分の力率は $\cos 90^\circ = 0$ であるから、電力を消費しない事は明かである。

例題 68. 或る電路に 1000 ヴォルトの正弦波電壓を給與した時に 50 アムペアの電流が通じ、其相差が 60° であると云ふ。此電路への電力を求む。

解 電流と電壓との間の相差が 60° であるから、此電路の力率は $\cos 60^\circ$ である。故に電力 P は

$$P = 1000 \times 50 \times \cos 60^\circ = 1000 \times 50 \times \frac{1}{2} \\ = 25000 \text{ ワット} \\ = 25000 \times \frac{1}{1000} \text{ キロワット} = 25 \text{ キロワット}$$

練習問題 XVII

1. R オームの抵抗を持つ電路に I アムペアの電流を通ずる時の電壓降下の値何程か。
2. 自己インダクタンス L ヘンリーのみの電路に I アムペアの電流 (周波数 f サイクル) を通ずる時の電壓降下の値何程か。
3. 容量 C ファラッドのみを持つ電路に I アムペアの電流 (周

波数 f サイクル) を通ずる時の電圧降下の値何程か。

4. R オームの抵抗を持つ電路に E ヴォルトの電圧を給與した時通ずる電流の値何程か。

5. L ヘンリーの自己インダクタンスのみを持つ電路に E ヴォルト (周波数 f サイクル) の電圧を給與した時に通ずる電流の値何程か。

6. C フラッドの容量のみを持つ電路に E ヴォルト (周波数 f サイクル) の電圧を給與した時に通ずる電流の値何程か。

7. 問題 (1) より (6) までの場合に於て電圧と電流との相差夫々何程か。

8. 抵抗 R オームと容量 C フラッドとを直列に持つ電路の、周波数 f サイクルに対するインピーダンスの式はどうなるか。

$$\text{答 } Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2} \text{ オーム}$$

9. 抵抗 R オーム、容量 C フラッドとが並列にある電路に E ヴォルト (周波数 f サイクル) を給與した時通ずる全電流の値何程か。

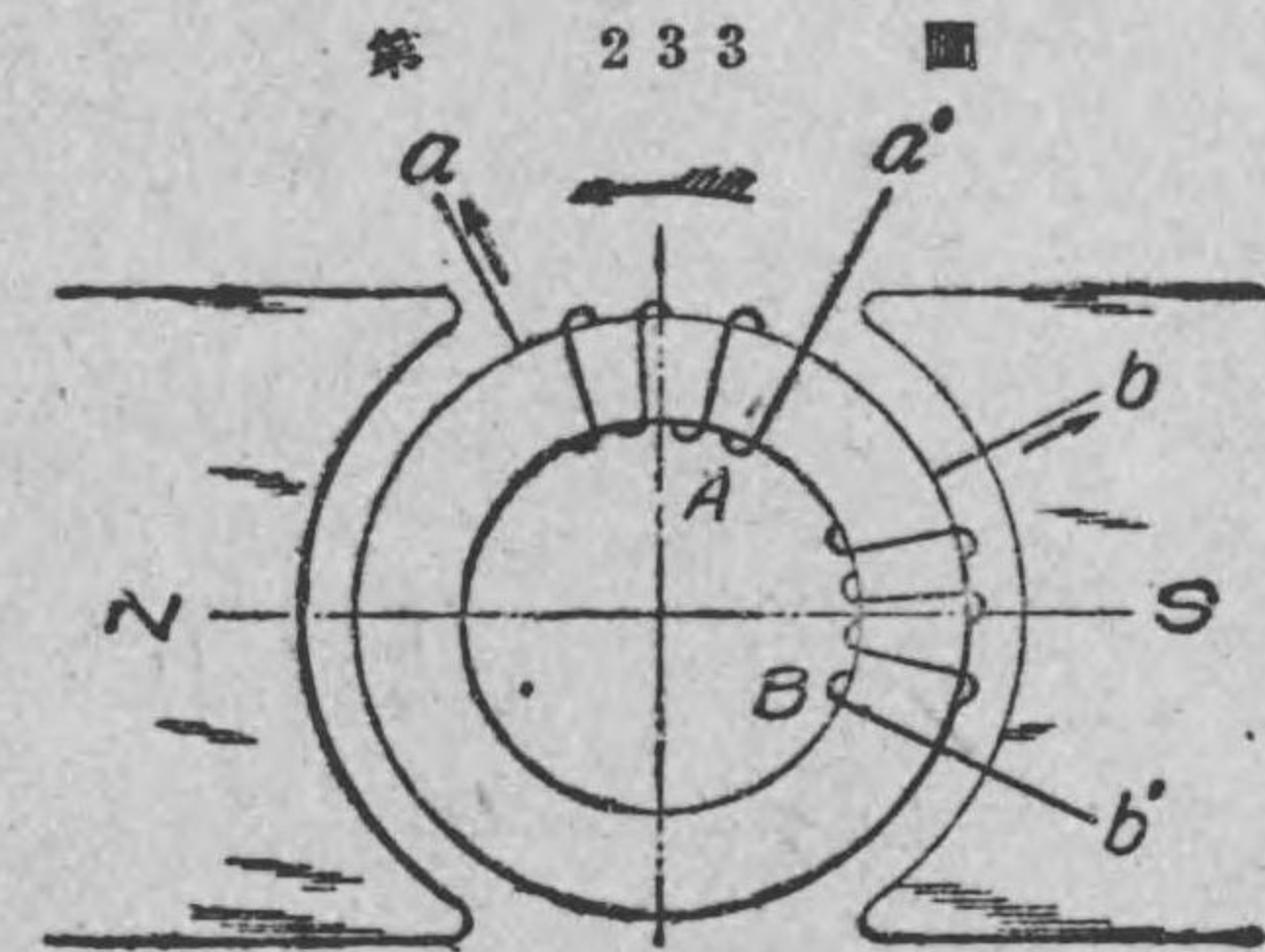
$$\text{答 } I_0 = E \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (2\pi f C)^2} \text{ アムペア}$$

10. 或る負荷に E ヴォルトの電圧を給與し、此電圧より θ だけ遅れたる I アムペアの電流通ずる時は、此負荷に供給して居る電力何程なるか。

第十八章 三相式電路

148. 三相起電力の發生 同一周波数で、位相を異にせる二個或は二個以上の交番起電力 (従つて電圧) 發生して居り、之れによりて同一周波数で位相を異にせる數個の交流を通ずる様な回路の方式を多相式電路と稱する。多相式電路の中には種々のものがあるが、最も多く使用せられるのは三相式であるから専ら其れに就き説明するのであるが、順序として多相式の内最も簡單なる二相式起電力の發生を簡単に述べよう。

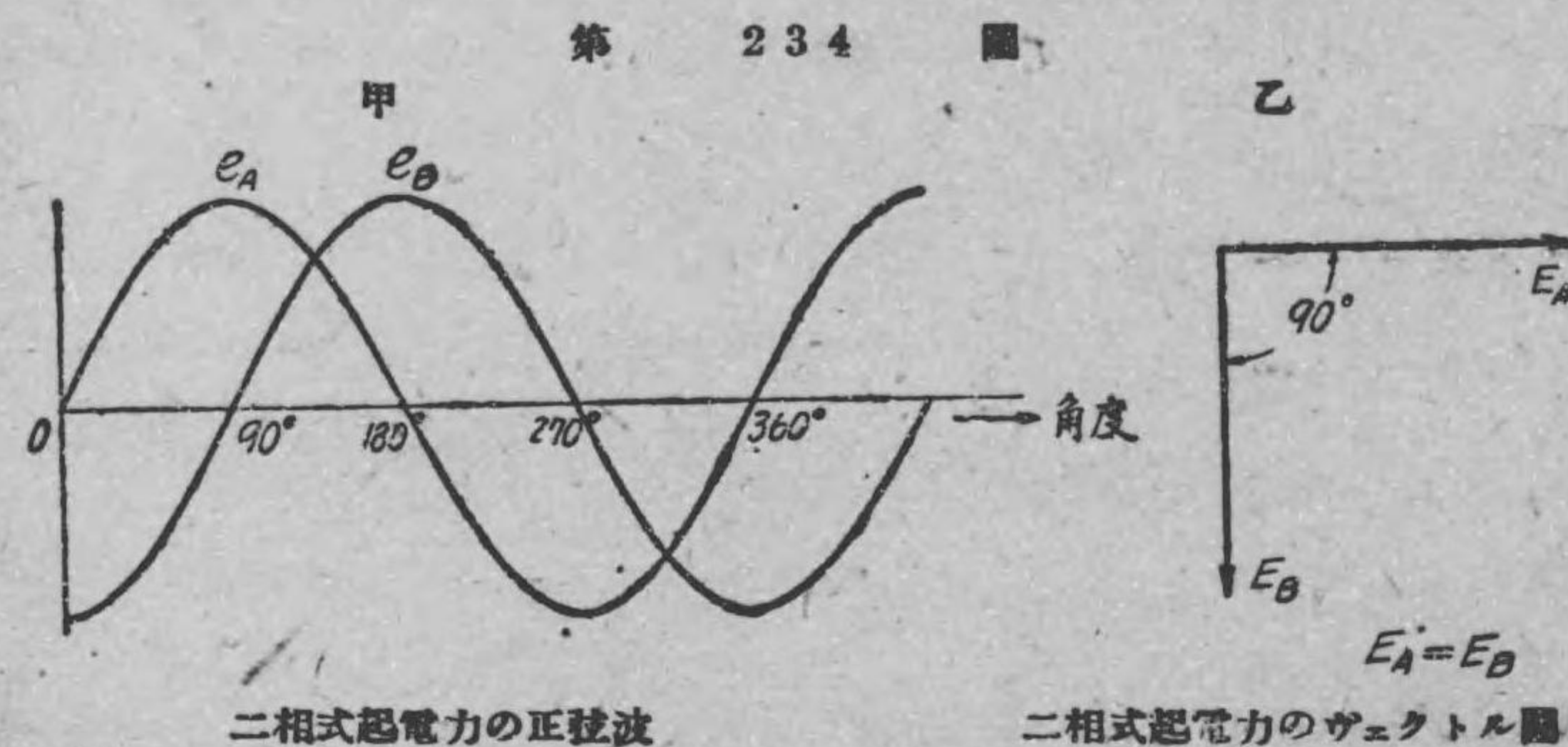
第 233 圖に示す様に、發電子の上に相等しき二つの捲線 aa' と bb' とを中心角に於て 90° 距て、捲き、之れを一つの平等磁界内で矢の方向に一定速度で廻轉させる。すると此れ等兩捲線内に、誘導される起電力、即ち A 及 B 内の起電力は其値相等しい事は明かであるが、兩起電力の位相に就いて考へる時は次の様になる。



二極型、二相交流發電機

交流に於ては、已に述べた様に、其方向が交互に反對となるから、何れかの方向を正方向 (即ち正弦波で云へば正波で表はす方

向)と定めて位相關係を論じなければならぬ。依つて此の場合も兩起電力の正方向を矢で示す様に同方向に定めて考へる時は、A内の起電力はB内の起電力より90°進んで居る理である。何となればA捲線が或る瞬時、圖の如き位置にある時は、A捲線の運動の方向が磁線と平行であるから、磁線を切る事なく、従つてA捲線に生ずる起電力は零である。然るにB捲線は、丁度此瞬時、磁線と直角に運動して居るから、同一時間に最も多く磁線を切る事になり、即ち其瞬時の起電力は最大で、其れから90°廻轉した後始めて、A捲線内の起電力が前に取つた値と同様、零となる。即ちB捲線内の起電力の位相はA捲線内の起電力より90°遅れる事が分かる。依つてA及B内の起電力の値の變化は第234

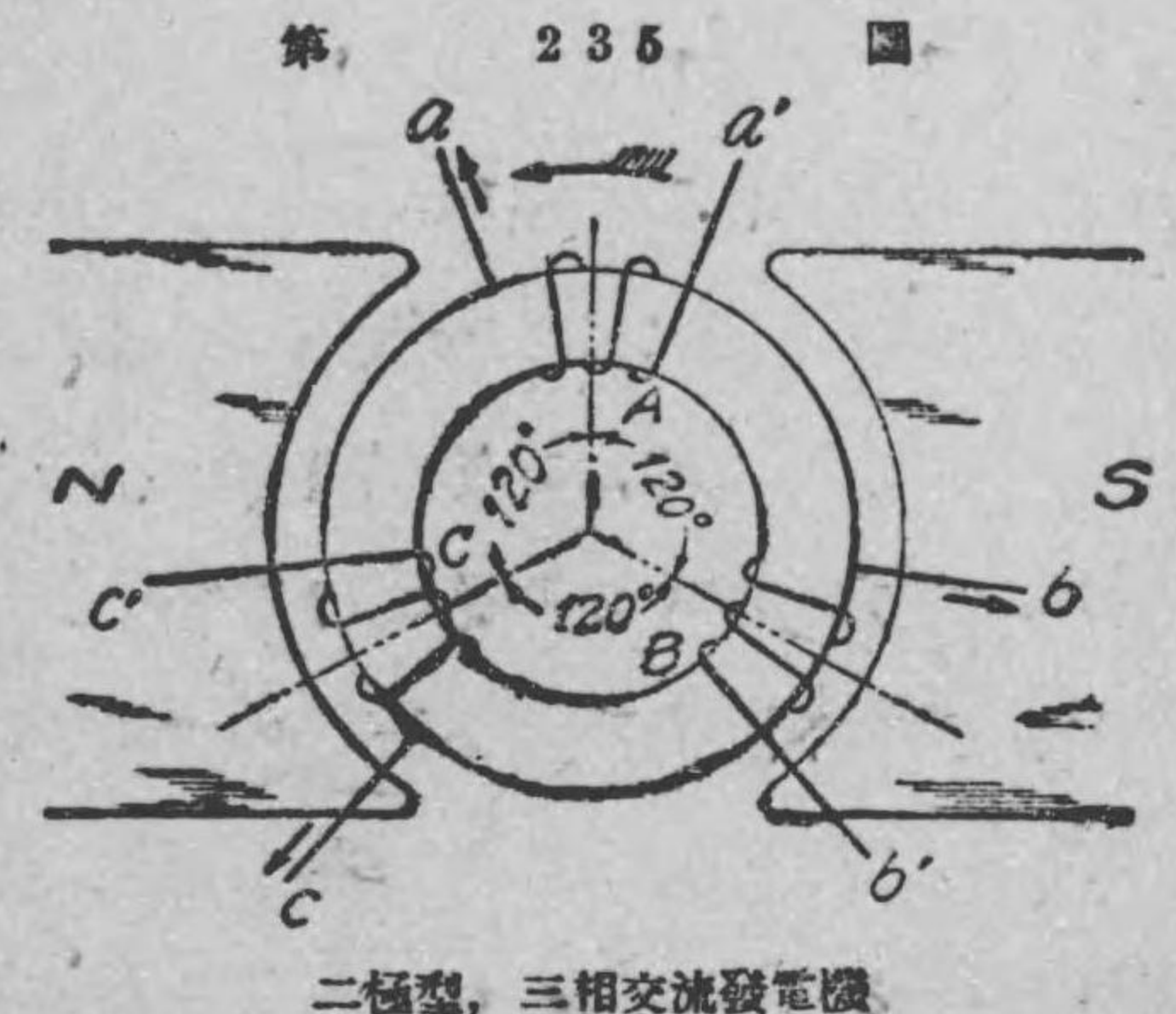


圖甲の様な正弦波で表はされる。又此關係をベクトル圖で示せば同圖乙の様になる。而して此乙圖はベクトル圖であるから、兩起電力を表はすベクトルの長さは實効値に等しく取りたる事、規約で定めた通りである。

以上の説明から分かる様に、二極交流發電機であると、發電子の1廻轉に對し起電力の1サイクルを完成するから、發電機の中心角に於て90°を距て、捲線を施せば、90°の相差ある起電力が発生する。同様に中心角に於て120°宛距て、三組の捲線を置けば120°宛の相差ある起電力を生ずる事が分かるであらう。

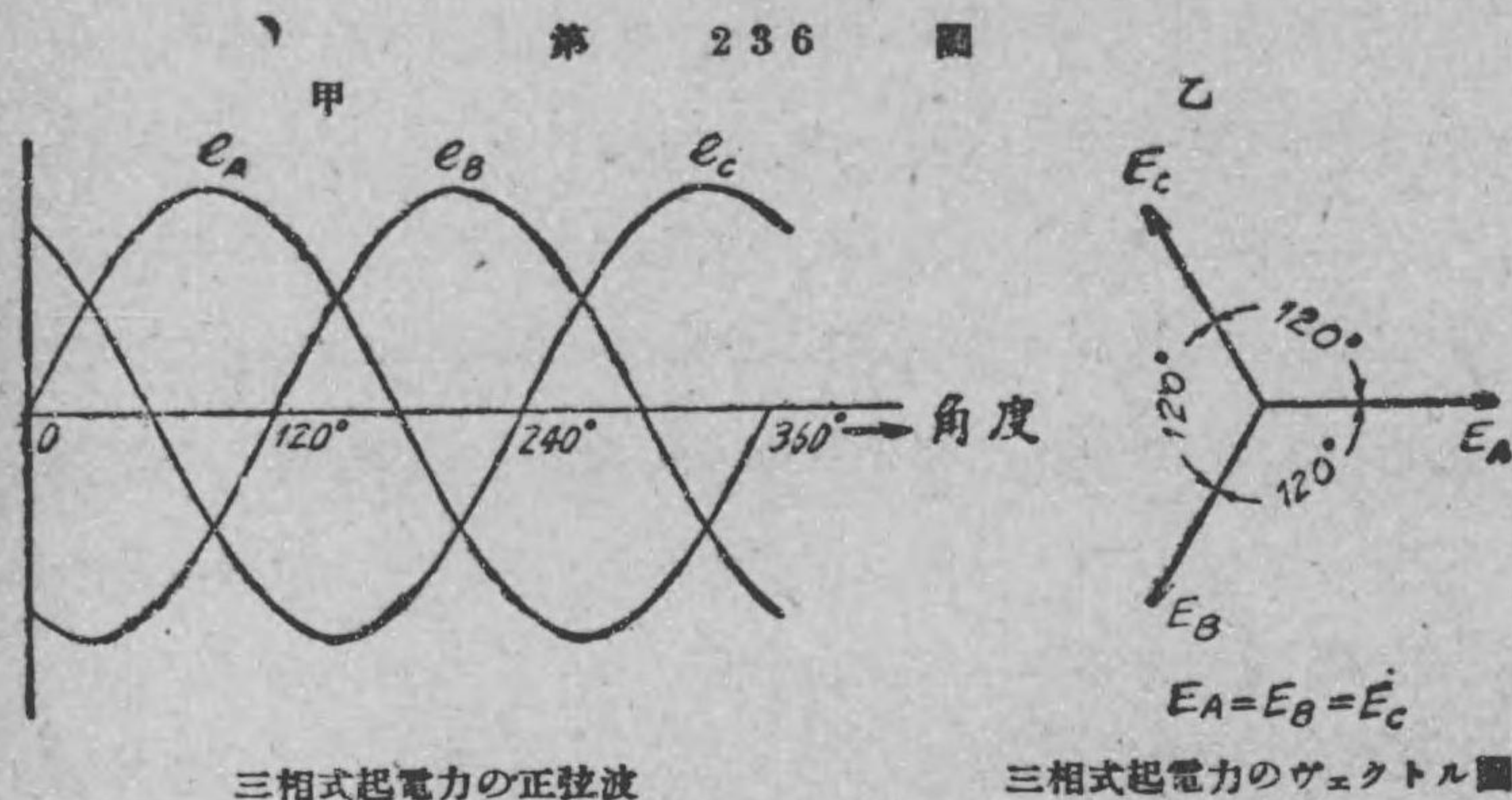
上に述べたA及B内の起電力を一括(ひとまとめ)して、之れを二相式起電力と稱し、斯る起電力を發生する發電機を二相發電機と稱する。而して今迄の様に、A又はB内の起電力を單獨に考へたものを單相式起電力と稱する。故に單獨なる捲線一組を有する發電機は單相發電機である。要するに二相式起電力と云ふのは其實効値が等しく、90°の相差(矢印で示したる一定向を正方向として)のある二つの單相式起電力を一括して考へた時の名稱である(附記I参照)。

偕て本論三相式に立歸つて、第235圖の様に發電子上に、中心角に於て120°宛距て、三組の相等しき捲線を配置し、一定速度を以て矢の方向に廻轉させると、A、B、C捲線内には第236圖甲乙



に示す様に、其値は互に相等しく、各々の間の相差が120°宛で

ある三つの起電力が生ずる事は以上述べた通りである（正の方向を矢の様に同方向に取りたる場合なること勿論である）。此三組



三相式起電力の正弦波

三相式起電力のベクトル圖

に出来る起電力を一括して考へ、之れを**三相式起電力**と云ひ、斯る起電力を發生する發電機を**三相發電機**と稱する。要するに**三相式起電力**とは、其實効値が相等しく、互に 120° 宛の相差（矢印で示したる一定向を正方向として）で相従ふ三つの单相式起電力を一括して考へた時の名稱である。上記の如き三相起電力ある時は各捲線の端子間には實効値相等しく、 120° 宛の相差ある電壓を生ずる事申迄もなく、之等電壓を一括して**三相式電壓**と稱する。又斯る起電力を有する回路には後節で述べるが、實効値は相等しく、 120° 宛の相差を有する三つの電流を通ぜさせる事が出来るもので、斯る電流を一括して**三相式電流**と稱する事、起電力の場合と同様である（附記 II 参照）。

附記 I 以上の説明から分かる様に、二相式又は三相式（一般

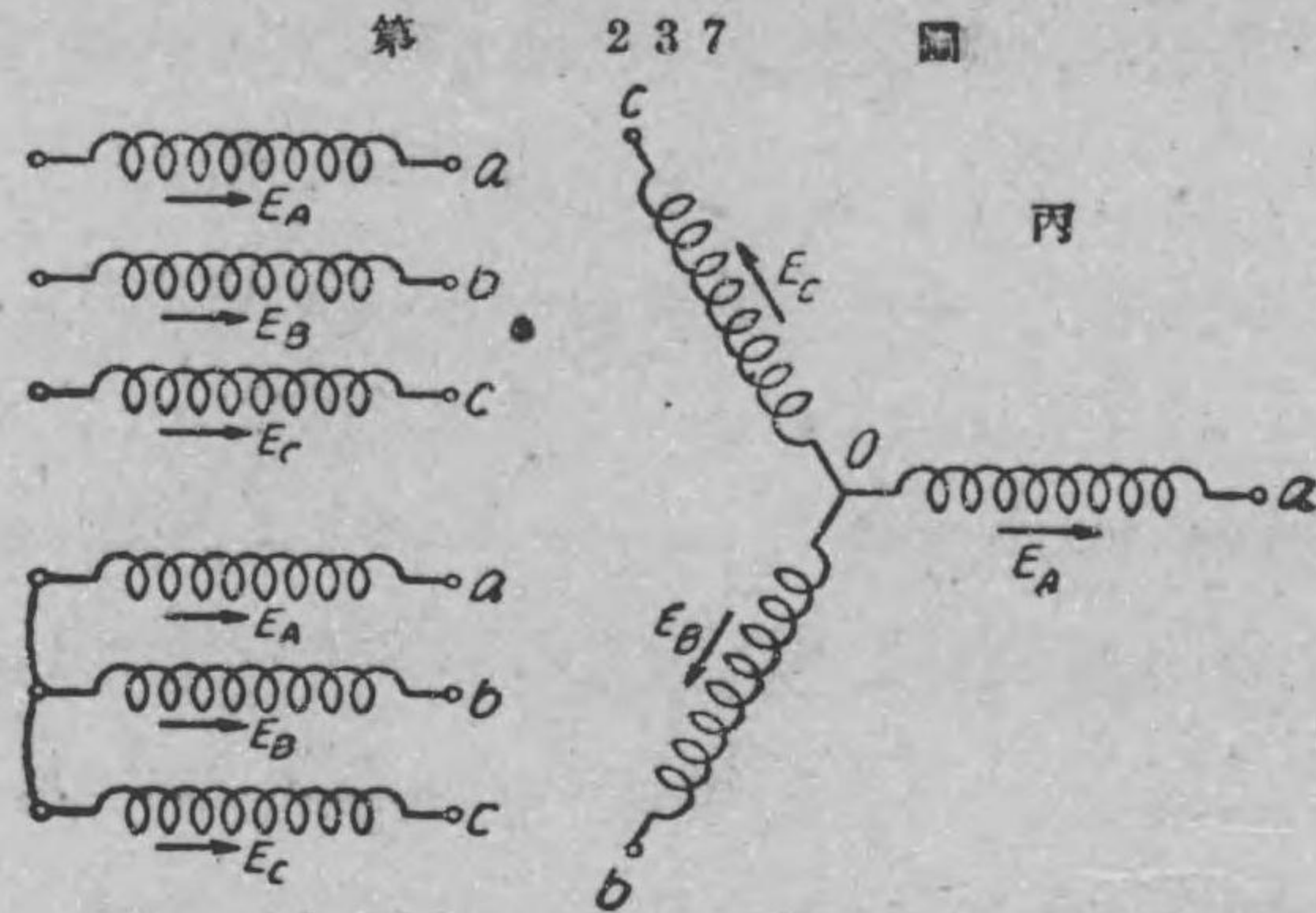
に多相式）と稱しても、单相式の集合したものと考へられるのであるから、其個々に就いては第十四章から第十七章までの間で述べた单相式と同一に取扱ふ事が出来る。斯くして得たる個々の結果を組合せて多相式の解法とすればよいのである。例へば本章の二相又は三相式のベクトル圖を見れば分かる様に、其れ等は凡て個々の单相式のベクトルに相互の位相關係を與へて描かれたものである。故に結局、**多相式は单相式の應用に過ぎないのである**。又本章に於て取扱ふ起電力、電壓及電流は凡て正弦波のものである事も单相式の場合と同一である。

附記 II. 三相式及其れ以上の多相式に於て起電力（電壓及電流でも同様）の値（實効値）が相等しく且つ、同一の相差で従ふものを特に**平衡多相式**（三相式の場合は**平衡三相式**）と稱し、其値及相差に不同のあるもの（之れを**不平衡多相式**と云ふ）と區別して居るのである。然し初等電氣工學に於ては不平衡多相式の事は論ずる必要がないから、單に三相式と云へば定義にある通り其値も、相差も相等しき場合の名稱と考へて貰ひたい。又二相式に於ては其値等しく、相差が 90° のものを特に**平衡二相式**と稱して居る。依つて上と同一の理由で、單に二相式と云へば定義にある通り平衡二相式の意味に解して貰ひたい。

149. 三相式の接続法 第 237 圖甲に示す三組の捲線 A, B, C に三相式起電力が誘導され、其正方向を矢にて示す様だとしよう。此三相式起電力によりて、三相式電流を通ぜしめ

る事の出来る、最も都合よき三相式回路を作るに二つの方式がある。其一つは

同圖乙に示す
接続法であ
る。之を便
宜上同圖丙の
如く描くもの
にして、星形
結線又は Y



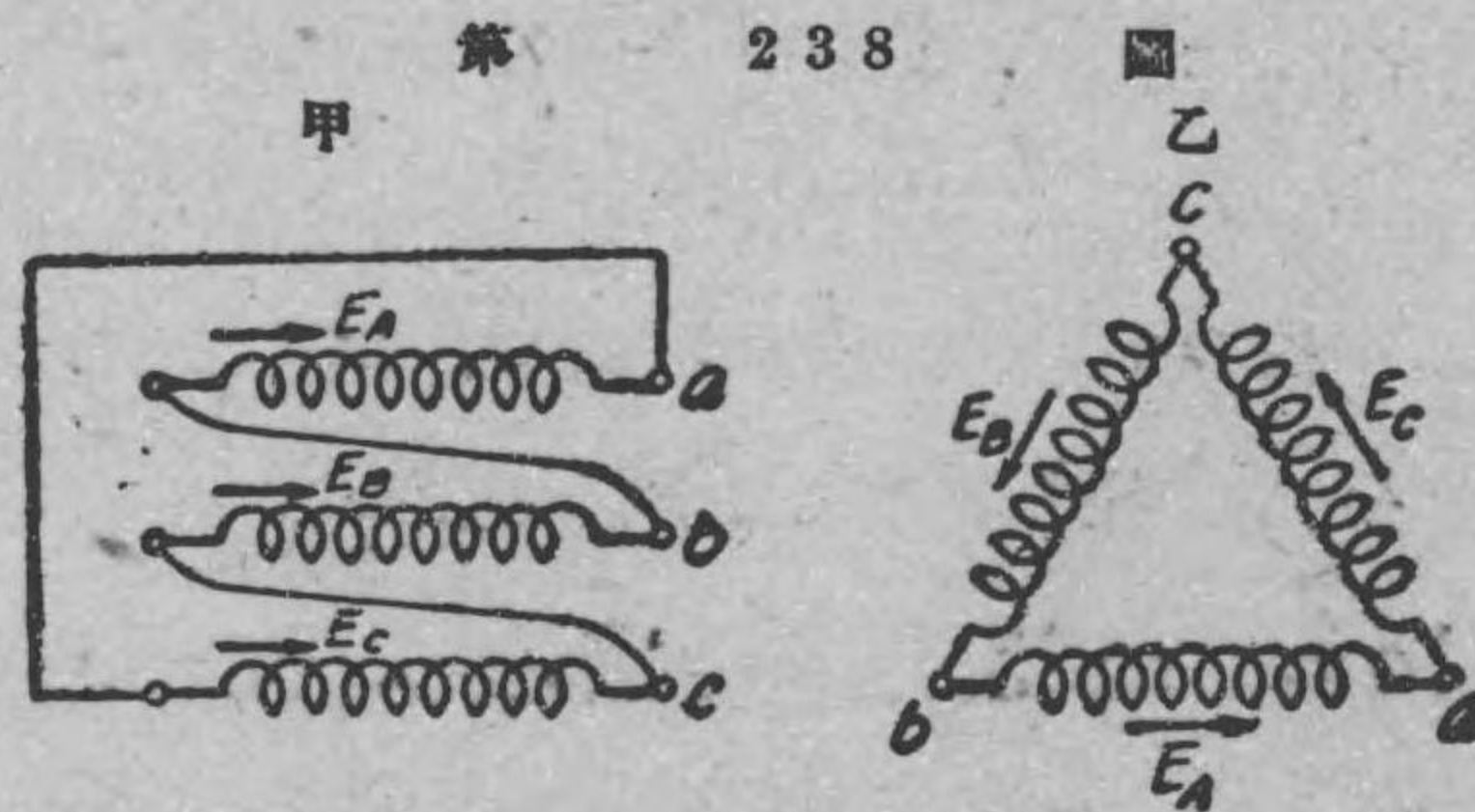
結線と稱し、共通點Oを中性點と稱する。Y結線と云ふ理由は此結線圖がYなる文字に似て居るからである。

他の一つは三つの捲線を第238圖甲に示す様に、接続したものである。之れも亦便宜上同圖乙の様に描くものであつて、網状結線或は三角結線(Δ結線とも云ふ)と稱する。而して星形或は網状結線なる名稱は三相式及其れ以上一般多相式に使用するものな

れども、Y結線又は三角結線なる名稱は三相式に限られたものである。

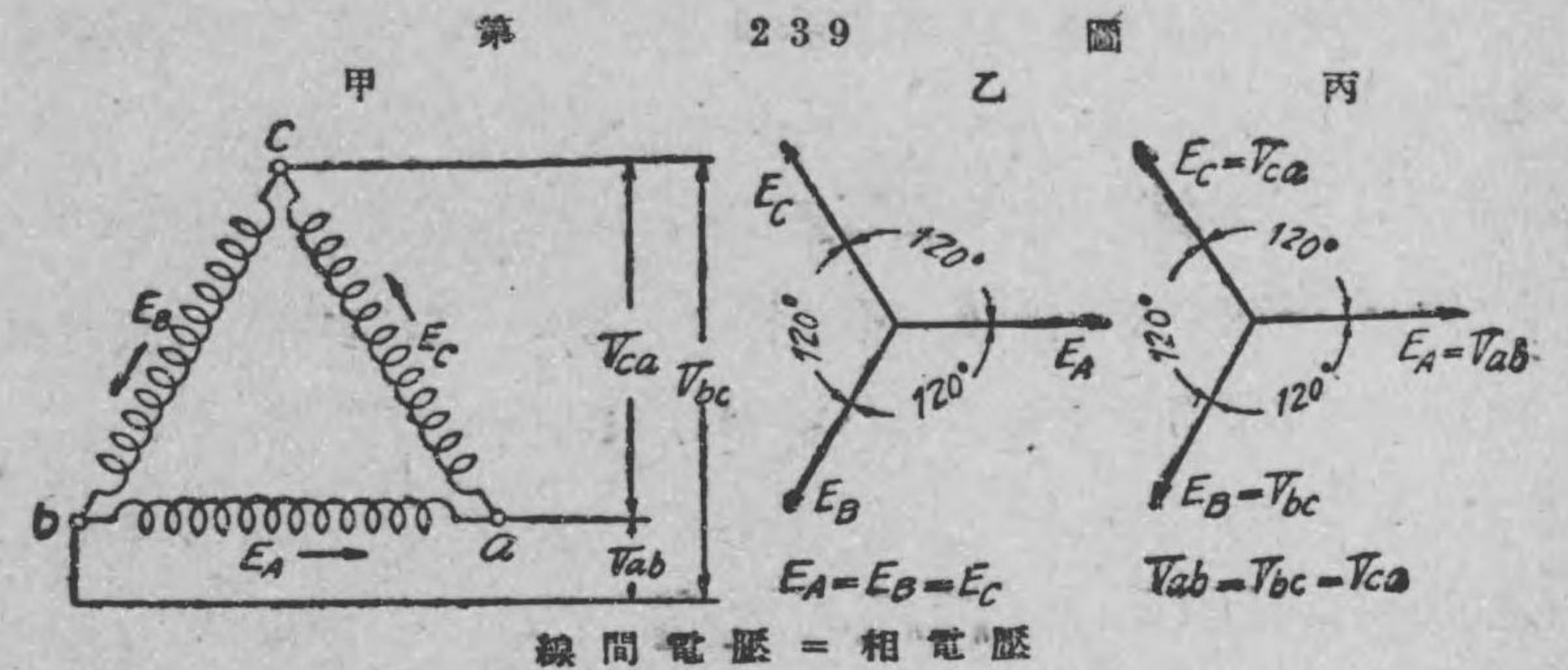
三相發電機の三つの捲線は、凡て發電

機内部で上に述べた二つの結線法の何れかにより接続せられ、



第237圖丙及第238圖乙のa, b, cに口出線(リード)を附し、其口出線のみが發電機の外部に出て居るのである。

150. 三相三角結線の電壓 第239圖甲の様な三相三角結線(或はΔ結線)の三つの相(即ち三つの捲線の意)(附記参照)の内に發生して居る起電力(其實効値が夫々EA, EB, EC)が三相起電力であるならば已に述べた様に、之等の起電力は長さ



等しく、互に120°宛の角をなした三つのベクトルで表はす事が出来る(第239圖乙)。但し其の位相關係は實効値EA, EB, ECを持つ起電力の順に120°宛遅れて居るとする。以下斷りない時は常に此順序、即ちA, B, Cの順に従ふものと考へて貰ひたい。

次に線と線との間の電壓(之れを線間電壓と稱する)に就き考へるに、ab間の電壓の實効値Vabは起電力EAによるものであるから、Vab=EAである。同様にVbc=EBである。然るに此三

相起電力の値 E_A, E_B, E_C は 總て相等しく、即ち $E_A = E_B = E_C$ で、且つ各起電力は互に 120° 宛の相差を持つから、線間電圧の値 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} も 總て相等しく、各線間電圧相互間の相差は、 120° である。従つて線間電圧も亦三相式電圧である。依つて此關係をベクトル圖にて示せば丙圖の様になる。

以上の説明から分かる様に、 Δ 結線の場合は線間電圧と一捲線内の起電力、従つて一捲線端子間の電圧（これは一相の電圧であるから相電壓と稱する）とは其値が相等しい。依つて此關係を式で表はすと、次の様になる。

線間電圧 = 相電圧

附記 多相式發電機或は電動機の各捲線、又は多相式の負荷を構成する各部分を普通相と稱されて居る。

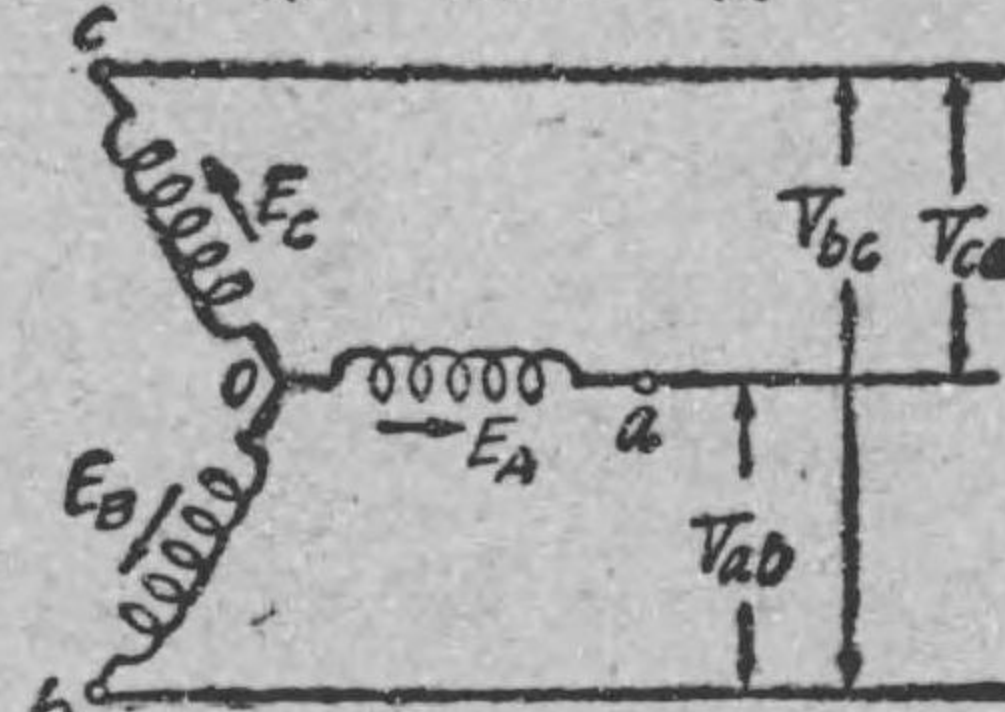
151. 三相星形結線の電圧

星形結線（或は Y 結線）の各捲線、即ち各相に發生して居る起電力（其實効値が夫々 E_A, E_B, E_C ）が三相式起電力であるとしよう。但し其位相關係は實効値 E_A, E_B, E_C を持つ起電力の順に 120° 宛遅れて居るとする。

此場合、同圖の各線間、即ち ab, bc, ca 間の電圧、即ち線間

今第 240 圖の様な三相

第 240 圖



$$\begin{aligned} E_A &= E_B = E_C (= E) \\ V_{ab} &= V_{bc} = V_{ca} (= V) \\ V &= \sqrt{3} E \\ (\text{線間電圧} &= \sqrt{3} \times \text{相電圧}) \end{aligned}$$

電圧の實効値を V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} とすれば、説明は此所では省略するが、之れ等の線間電圧の値は總て相等しく、其値は各相の起電力、従つて各相電圧の $\sqrt{3}$ 倍である（附記参照）。而して各の位相關係は互に 120° 宛であるから、此場合の線間電圧も亦三相式電圧である。但し位相關係は實効値 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} を持つ電圧の順に 120° 宛遅れて居る。

上で述べた線間電圧は又線路電圧或は時に Δ 電圧と稱する事もある。又 E_A, E_B, E_C なる起電力によりて星形結線の各相、即ち同圖の ao, bo, co の兩端、即ち中性點と他端との間に生じたる電圧は勿論相電圧であるが、之れを星形電圧と稱する事もある。以上述べた線間電圧と相電圧との大さの關係を式で示すと

線間電圧 = $\sqrt{3} \times$ 相電圧 或は $\sqrt{3} \times$ 星形電圧

或は又起電力、従つて相電圧の値は $E_A = E_B = E_C$ であるから、之れを E にて表はし、又線間電圧の値は $V_{ab} = V_{bc} = V_{ca}$ であるから、之れを V で表はすと、上の關係は

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

なる式にて示す事が出来る。又前節の Δ 結線に於ては、線間電圧と相電圧との大さの間の關係は次の様に纏めて書く事が出来る。

線間電圧（或は線路電圧又は Δ 電圧） = 相電圧

本節及前節に於ては主として電源側に就いて述べたけれども、負荷側に於ても線間電圧と相電圧との關係は同一である事は直に分かるであらう。

附記 第 240 圖を見れば分かる様に、線間電圧は起電力 E を持つ二つの捲線の端子間に於ける電圧であるから其値は $V=2E$ となる様に見えるが、各起電力の間には位相の差があるから、上に述べた様に $V=\sqrt{3}E$ となるのである。

例題 69. 星形に結線せられたる三相交流發電機がある。若し端子電圧が 3300 ヴォルトならば、一相の電圧 (或は星形電圧) は何ヴォルトなるか。

解 端子電圧は線間電圧に相當するものであるから、一相の電圧は

$$3300 \div \sqrt{3} = 3300 \div 1.73 = 1900 \text{ ヴォルト}$$

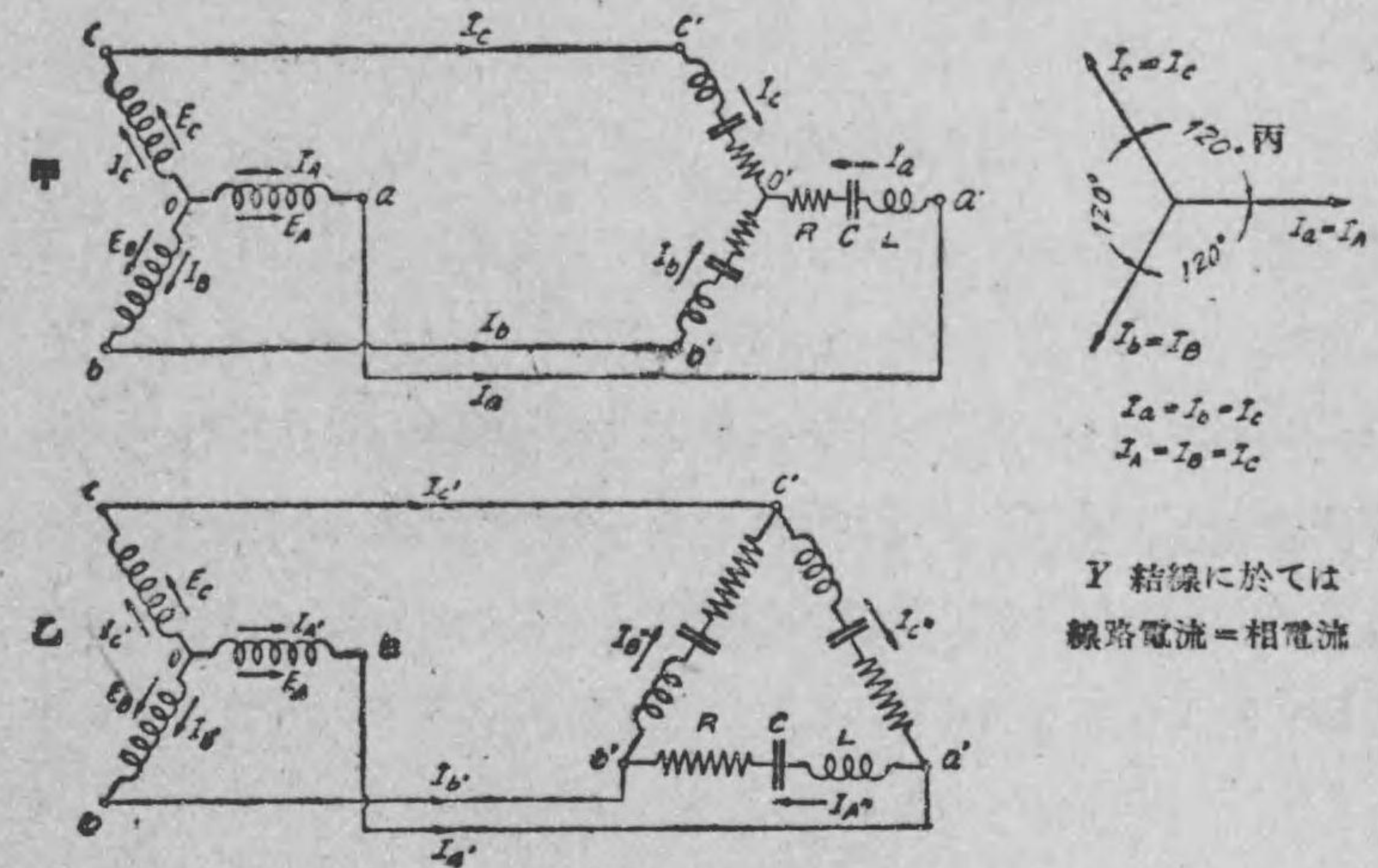
例題 70. 前問に於て、結線が Δ であるならば、一相の電圧は何ヴォルトなるか。

解 此場合は相電圧と線間電圧とは等しいから、一相の電圧も亦 3300 ヴォルトである。

152. 三相星形結線の電流

三相式電路に受電物、即ち負荷を接続する場合にも、三相發電機の捲線と同じく、星形結線 (Y 結線) と三角結線 (Δ 結線) との二通りがある。而して負荷の各相が總て同一状態にある時、例へば第 241 圖甲乙の様に、相等しきインピーダンスを Y 又は Δ に結線して負荷としたる時、發電機は平衡に負荷されて居る或は發電機に平衡負荷が掛つて居ると稱する。

第 241 圖



Y 結線に於ては
線路電流 = 相電流

今甲圖の如き Y 結線の三相發電機に平衡負荷が掛つて居る場合に就いて考へるに、捲線内に發生して居る起電力 (其實効値夫々 E_A, E_B, E_C) は三相起電力であるから、其れによりて線路に通ずる電流 (其實効値夫々 I_A, I_B, I_C) は其値總て相等しく、各 120° 宛の相差を有する、即ち三相式電流である事は直に想像する事が出来るであらう。而して之れ等の電流の正方向を起電力と同様矢印の様に定むれば、丙圖の様なベクトル圖にて示す事が出来るのは三相式起電力の場合と同一である。此 I_A, I_B, I_C は線路を通ずる電流であるから、特に線路電流と稱する。又發電機 (負荷でも同一であるが) の各相を通ずる電流 (其實効値は夫々 I_A, I_B, I_C) を相電流と云ふ。然るに、Y 結線では各相と線路とは夫々直列に

接続せられて居るから、 $I_A = I_a$, $I_B = I_b$, $I_C = I_c$ となる。即ち此場合には

線路電流 = 相電流

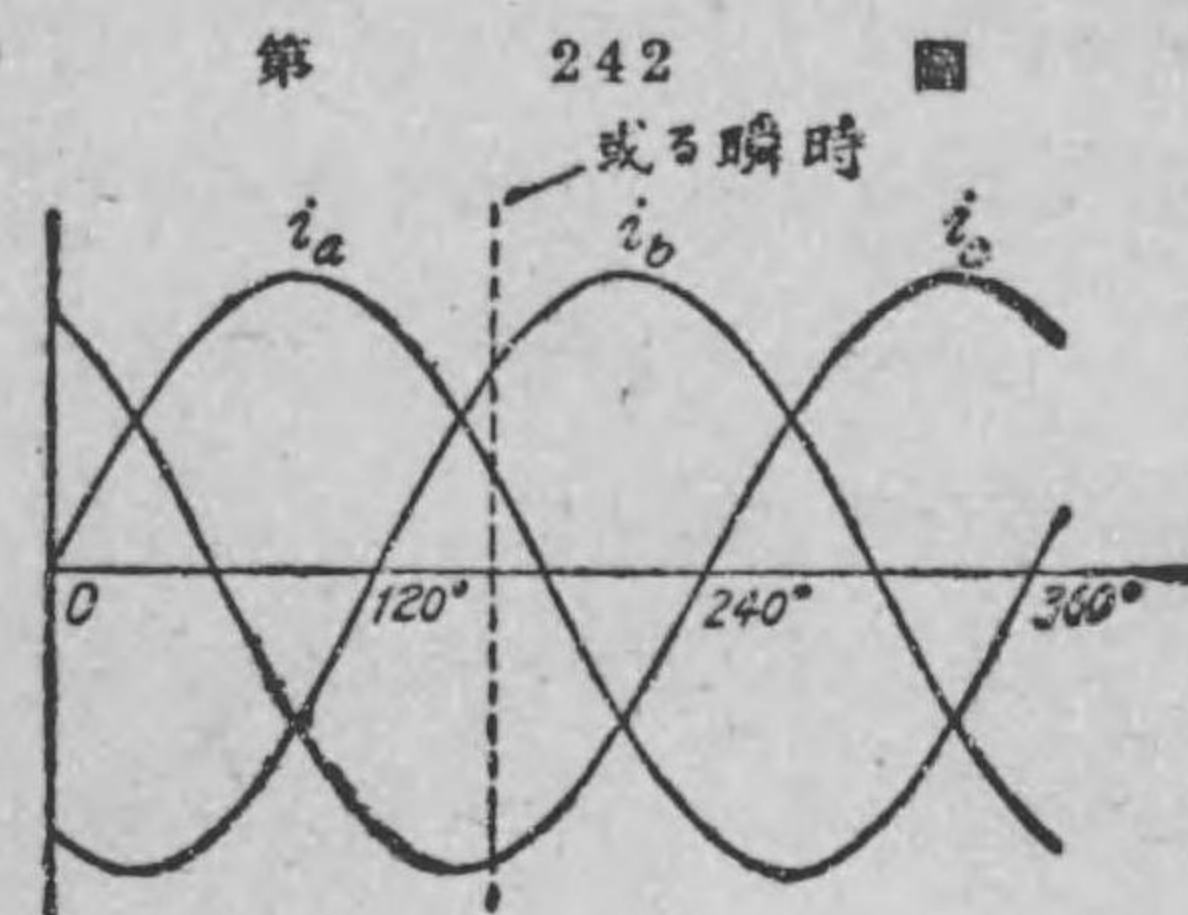
なる関係がある。

又乙圖の様に Y 結線の發電機に、相等しきインピーダンスを Δ に結線して負荷したる場合も、發電機の相電流は線路電流に等しく且つ三相式電流なることは直に分かるであらう。即ち $I'_A = I'_a$, $I'_B = I'_b$, $I'_C = I'_c$ である。又此場合のベクトル圖も丙圖を用ひればよいものにして、唯だ A, B, C 及 a, b, c の右肩に (') を附する違があるだけである。

附記 三相交流回路に於て、よく疑問の生ずる事であるが、第 241 圖甲乙の矢印を見る時は I_a, I_b, I_c 等の凡ての電流が外方に向つて通ずるのみで、循環せぬ様に見えるのである。然し交流回路に於ける矢印は、已に述べた様に電流の方向でなく、正の方向を示して居るものである。従つて或瞬時には矢の方向、即ち正の方向に電流通じて居ても、他の瞬時には反對に通ずるものである。依つて或瞬時三つの電流に就いて考へると、互に 120° 宛の相差があるから、外方に向ふ電流と内方に向ふもののがあつて、同方向に二つの電流あれば其和と他の方向の一つとは其大さ互に相等しいのである。此事は三相電流の正弦波を見れば直に理解出来るであらう。例へば、第 242 圖に於て或瞬時、即ち點線にて示す瞬時の電流の大さを見れば明かな様に、必ず正方向、即ち外方に向

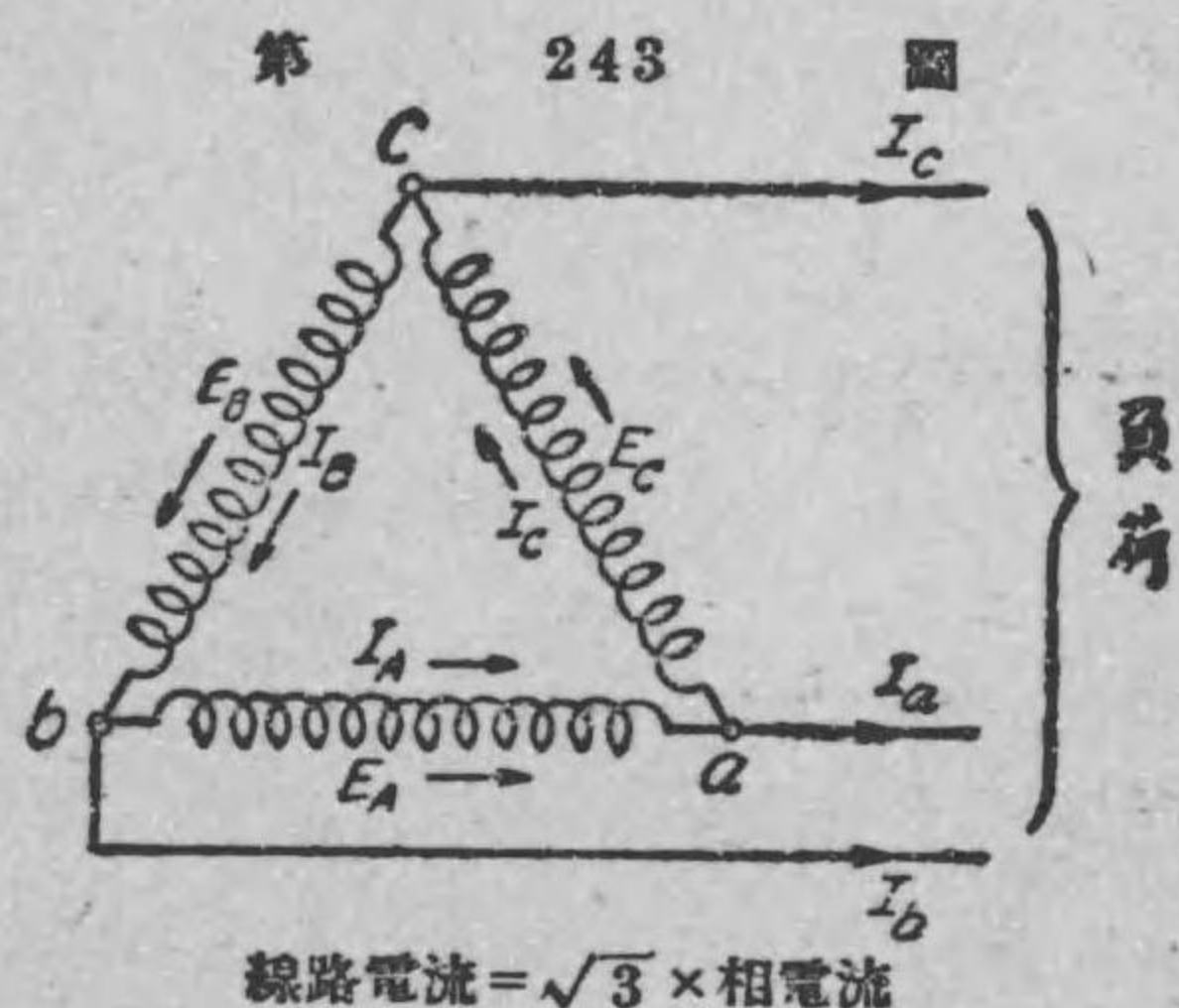
ふ電流（其大さの變化は正弦波にて表はす）と内方に向ふ電流（其變化は負波にて表はす）とがあつて、其瞬時外方に向ふ I_a, I_b の瞬時値 i_a, i_b の和と、内方に向ふ I_c の瞬時値 i_c とが互に相等しいので

ある。此事は尺度をあてれば直に知る事が出来る。同様の関係が如何なる瞬時にも成立つのである。換言すれば三つの瞬時の電流は、其相互間に於て必ず循環するものである。即ち三本の電線の内一本は必ず歸線きせんとなる譯である。



153. 三角結線の電流

第 243 圖の様に Δ に結線せられたる三相發電機に平衡負荷（負荷は Y にても Δ に結線せられてもよい）が掛りたる場合、各線路には實効値 I_a, I_b, I_c なる三相式電流（線路電流）が通じ、同時に發電機の各相にも實効値 I_A, I_B, I_C なる三相式電流（相電流）が通ずる事は直に想像出来る。又兩三相式電流の位相關係は A, B, C の順に 120° 宛遅れる事も、



$$\text{線路電流} = \sqrt{3} \times \text{相電流}$$

電圧の場合と同一である。

次に線路電流と相電流との大きさの関係であるが、各線路には相隣接する二つの相の電流の合成が通ずるものにして、之れがため線路電流は相電流の $\sqrt{3}$ 倍の値となる。此説明は此所では省略するが、之れ等相電流の間には相差があるから、斯くなるものである。

以上は電源側、即ち発電機に就いて述べたが、此関係は負荷側に就ても同一であつて、例へば第 241 圖乙の様に、平衡負荷が Δ に結線せられたる場合にも、各線路及各相（此の場合は三つの負荷、即ち三つのインピーダンスの意味）には何れも三相式電流が通ずる事勿論にして、線路電流は前同様、相電流（此場合は負荷を通ずる電流）の $\sqrt{3}$ 倍の値を持つて居るものである。 Δ 結線の場合の兩電流の値の関係を式で示すと

$$\text{線路電流} = \sqrt{3} \times \text{相電流}$$

上に述べた様に、線路電流及相電流は何れも、三相式電流であるから、夫々の値は相等しく、即ち相電流は

$$I_A = I_B = I_C$$

又線路電流は

$$I_a = I_b = I_c$$

然るに線路電流の値は相電流の $\sqrt{3}$ 倍であるから、前者を I 、後者を I_1 で表はすと

$$I = \sqrt{3} I_1$$

なる関係式が生ずる。

次に参考のため、 Y 結線及 Δ 結線の場合の電圧並に電流の大きさの関係を列記すると次の通りである。但し以下の関係は電源側でも負荷側でも同一である。

電 圧

$$Y \text{ 結線 } \quad \text{線間電圧 (或は線路電圧)} = \sqrt{3} \times \text{相電圧}$$

或は

$$\text{相電圧} = \frac{\text{線間電圧}}{\sqrt{3}}$$

$$\Delta \text{ 結線 } \quad \text{線間電圧 (或は線路電圧)} = \text{相電圧}$$

尙ほ電源の三つの捲線に、三相発電機の様、三相起電力が発生して居る時は、相電圧も線間電圧も三相式電圧である。

電 流

$$Y \text{ 結線 } \quad \text{線路電流} = \text{相電流}$$

$$\Delta \text{ 結線 } \quad \text{線路電流} = \sqrt{3} \times \text{相電流}$$

或は

$$\text{相電流} = \frac{\text{線路電流}}{\sqrt{3}}$$

又電源の三つの捲線に、三相起電力が発生して居り、且つ負荷が平衡して居る時は、相電流も線路電流も三相式電流である。

154. 三相電力 三相交流発電機が外部に出す電力、即ち出力は結線が Y でも Δ にても三つの相の出す電力の和に等

しい。此三つの相の電力の和を三相電力と稱するのである。今平衡負荷が掛かつて居る時の三相電力（出力）の値を P (ワット) とすれば

$$P = \sqrt{3} VI \cos \theta$$

なる式で表はされる。但し

V = 三相電路の線間電圧の実効値 (ヴォルト)

I = ,, 線路電流の実効値 (アンペア)

$\cos \theta$ = 三相交流発電機の任意の相に於ける力率 (平衡負荷なる故各相同一)。即ち此 θ は任意の一相の相電圧と相電流との相差角を表はす。

単相式電路の電力は第 247 節で述べた様に、 $EI \cos \theta$ (但し E は単相式回路の線間電圧の実効値) なる式で表はされるから、三相電力は $3VI \cos \theta$ である様に思はれるであらうが、此 3 倍の代りに $\sqrt{3}$ 倍となる事が三相電力に就き注意すべき点である。即ち平衡負荷が掛かつて居る時は三相交流発電機の結線が Y でも、 Δ でも其出力は線間電圧、即ち端子電圧と線路電流と、各相に於ける力率の積の $\sqrt{3}$ 倍で表はされる。

以上は発電機、即ち電源側に就いて述べたけれども、平衡三相負荷への電力、即ち入力の場合にも上式にて表はし得る事勿論である。而して又負荷の結線が Y でも Δ でも差支へない。茲で特に注意すべきは電源でも、負荷でも $\cos \theta$ の θ は線間電圧と線路電流との相差でなく、相電圧と其相を通ずる電流との相差角であ

ると云ふ事柄である。

第 247 節交流電力の所で述べたと同様に、負荷の性質、即ち誘導負荷か又は抵抗のみよりなる無誘導負荷なるかによりて力率が定まるもので、其れから引いて三相交流発電機、即ち電源に於ける力率も變つて來るものである。故に同一線間電圧で、同一電流でも負荷の性質によりて三相電力（出力又は入力）が變る事は上式から明かである。

参考のために直流、單相式及三相式交流の電力 (ワット) の公式を列記すると次の通りである。

直流	EI
單相交流	$EI \times (\text{力率})$
三相交流	$\sqrt{3} VI \times (\text{力率})$

上式の單相及三相式の場合の E 及 V は何れも線間電圧の実効値 (ヴォルト) で、 I は線路電流の実効値 (アンペア) である。而して三相式では相電圧を表はすに E なる文字を用ひたから、線間電圧に V なる文字を使用して區別を明かにした。

例題 71. 力率 80% の三相負荷あり、之れに 200 ヴォルトの三相電圧を給與して、線路に 50 アンペアの電流通じ居る時は此負荷に供給して居る電力は何程なるか。但し負荷は平衡せるものとする。

解 三相電力の式は $P = \sqrt{3} VI \cos \theta$ であるから、此式に $V = 200$ ヴォルト、 $I = 50$ アンペア、 $\cos \theta = 0.8$ なる値を代入して

$$P = \sqrt{3} \times 200 \times 50 \times 0.8 = 13800 \text{ ワット}$$

$$= 13.8 \text{ キロワット}$$

例題 72. 100 ヴォルトの三相電路あり、之れに力率 100%、即ち電燈の様な無誘導負荷を各相平衡させて、 Δ に接続し、之れに供給して居る電力 3 キロワットならば、線路に通ずる電流は何アンペアなるか。

解 負荷の力率 100% であるから、三相電力 $\sqrt{3} VI \cos \theta$ に於いて $\cos \theta = 1$ である。従つて此場合の電力 $P = \sqrt{3} VI$ となる。又本式中 $P = 3 \times 1000$ ワット、 $V = 100$ ヴォルトであるから、此値を代入して

$$3 \times 1000 = \sqrt{3} \times 100 \times I$$

故に求むる線路電流

$$I = \frac{3000}{\sqrt{3} \times 100} = 17.3 \text{ アンペア}$$

練 習 問 題 XVIII

1. 三相発電機はどんな起電力を発生するか。
2. 三相電路とはどんな回路であるか。
3. 三相発電機には幾つの接続法があるか。
4. Y 結線発電機の端子電圧（線間電圧に相當する）は一相の電圧の何倍なるか。
5. Δ 結線発電機の端子電圧（線間電圧に相當する）は一相の

電圧の何倍なるか。

6. Y 結線発電機の一相の電流は線路電流の何倍なるか。
7. Δ 結線発電機の一相に通ずる電流は線路電流の何倍なるか。
8. 三相電力の式を示せ。

第十九章 檢流計

155. 電氣測定及び測定器 長さを測るに尺度を用ひ、重さを測るに秤が在る様に、量を測るには器具が在る。此様に量を測るに用ひる器具類を一般に測定器と稱する。長さとか重さとかは直接に測定器で簡単に測れる。次に複雑した量は之を直接に測る事が出来なくても、その量に關係した理論を應用して測る事が出来る。例へば三角形の面積を測るには、その底邊と高さを尺度で測つて置いて、その相乗積を2で割れば面積が求められる。此様に直接測定器でも宜し又は測定器と必要な計算とで以て或量の大きさを求める事を一般に測定と稱する。

以下、章を追つて電氣の色々な量即ち抵抗、電流、電壓、電力、電力量等を測定する方法と之等に必要な電氣測定器とに就いて説明しよう。

156. 檢流計 小さな電流をしらべる測定器を一般に檢流計と稱する。檢流計は磁線と電流との間に働く電磁力を利用して作られたもので、構造も色々あるが茲に其一つを説明しよう。第12章で述べた熱檢流計（口繪参照されたし）は交流用檢流計である。

第224圖は可動線輪型檢流計と稱するものゝ内部構造の略圖

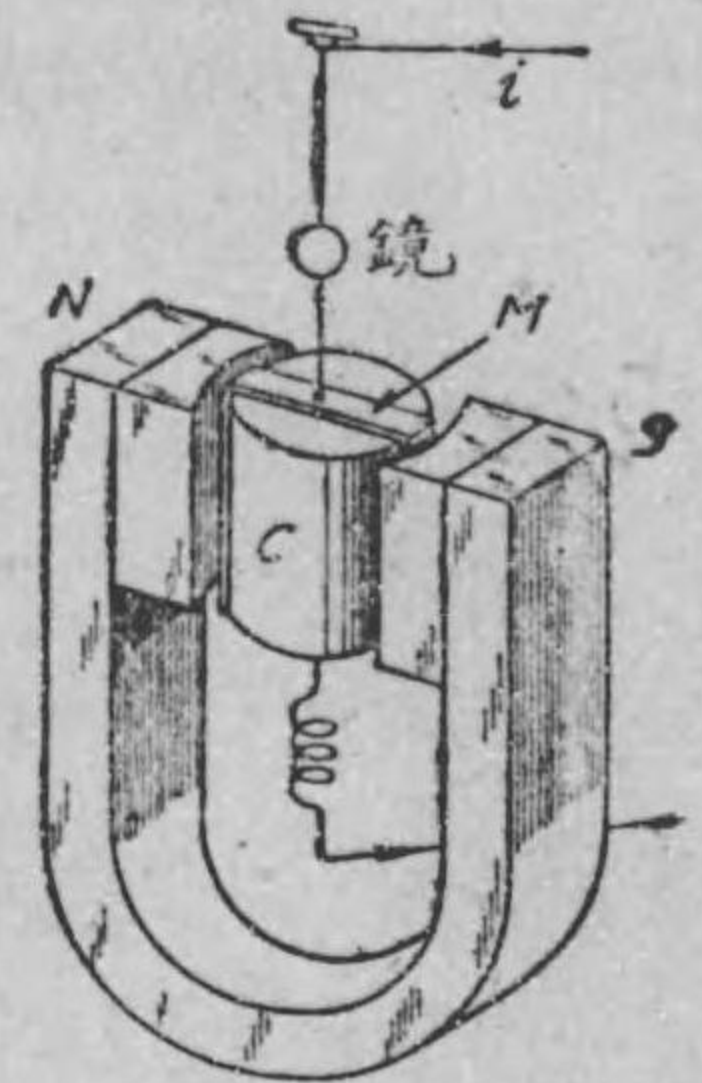
である。蹄形磁石 NS の兩磁極間に線輪 M が燐銅線で吊るされてある。燐銅線は測らうとする電流を線輪 M に導くものである。又燐銅線には小さな鏡が取付けられてある。線輪の内部には軟鐵心 C が備へられてあつて、線輪は此軟鐵心 C と NS 兩極間の空隙内で廻り得る様になつて居る。

今線輪に電流を通ずると、 N, S の作る磁線と線輪に通る電流とが作用して、フレ-

ミングの左手三指の法則に従つて線輪は電磁力のために廻轉する。此廻轉力は電流の強さに比例する。〔此様に電流のために生ずる廻轉力を一般に傾斜廻轉力又は加動廻轉力と稱する〕。然るに線輪が廻ると、燐銅線が捻ぢられるために線輪を元の位置に戻さうとする反對の廻轉力が生ずる。此廻轉力は燐銅線が捻ぢられる程大である。〔此様な燐銅線の反抗する廻轉力を一般に制御廻轉力と稱する〕。従つて線輪はその加動廻轉力と制御廻轉力との二つの廻轉力が丁度釣合つた位置で止まる事になる。依つて鏡も元の位置から或角度だけ傾く。さうして此鏡の傾いた丈の角度（之を檢流計の振れと稱する）は電流の強さに比例する事になる。即ち線輪に通る電流を i とし、檢流計の振れの角を θ とすれば、次の關係がある。

$$i = k \times \theta$$

第 244 圖



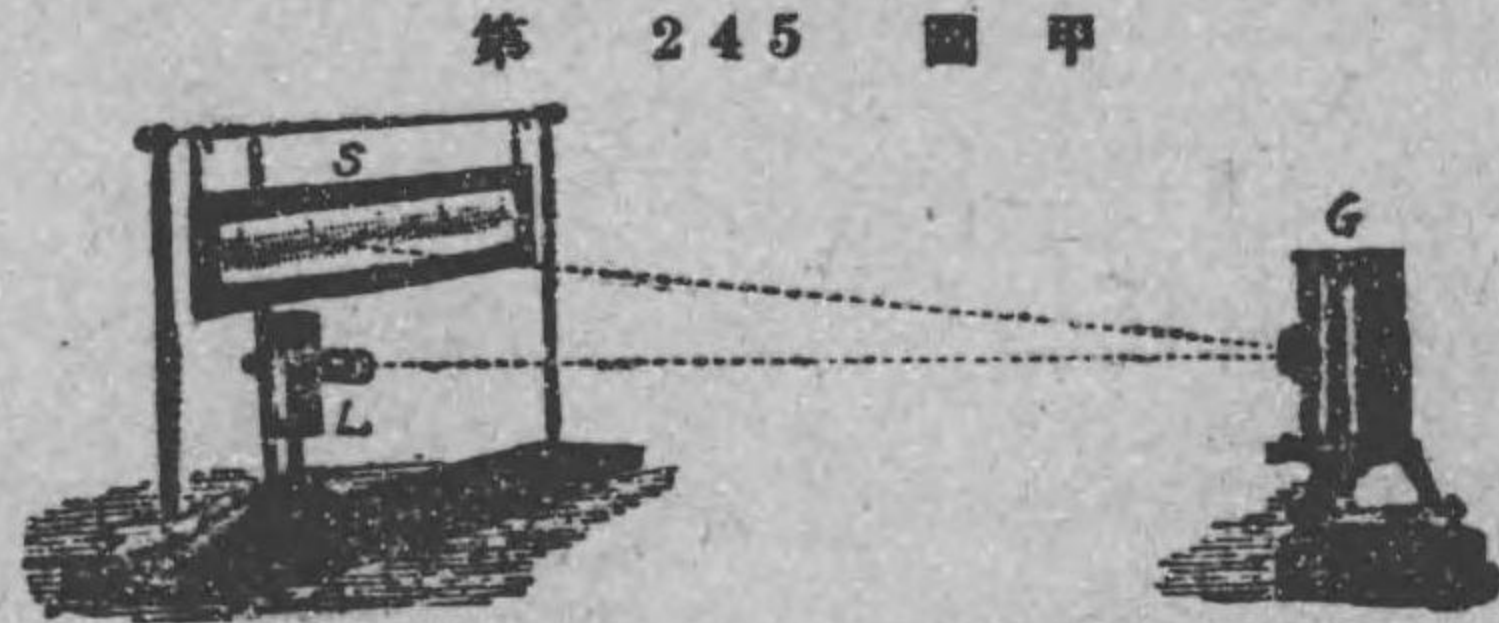
可動線輪型檢流計

此式の比例定数 k は検流計の構造によつて定まつた値を有するもので、之をけんりゅうけいじょうさう検流計定数と稱する。即ち此式から分る様に、検流計に通る電流が大きい程その振れは大である。例へば振れが二倍の時は検流計に通る電流は二倍である。

尙ほ上に述べた丈けでは検流計に電流が通じて直に加動廻轉力と制御廻轉力とが釣合つた位置に線輪は止まらずに暫くの間はその止まるべき 正當の位置の左右に線輪は振動をするのであるから、その振動を早く止める必要がある。此線輪の振動を早く止める装置を制動装置と云ふ。制動装置としては線輪をアルミニウム製の枠に捲いてある。即ち線輪が振動するとアルミニウム枠が磁線を切るから枠に渦流を生じ、その爲めに線輪は左右に永く振動せずに早く正當な位置に止まるのである。即ち此可動線輪型検流計では渦流制動を用ひて居るのである。

157. 検流計の振れを観る法 普通測定では、第 245

圖甲に示す様に、ラムプと尺度とを使つて検流計の振れを観るのである。先づ検流計 G から 1m 離

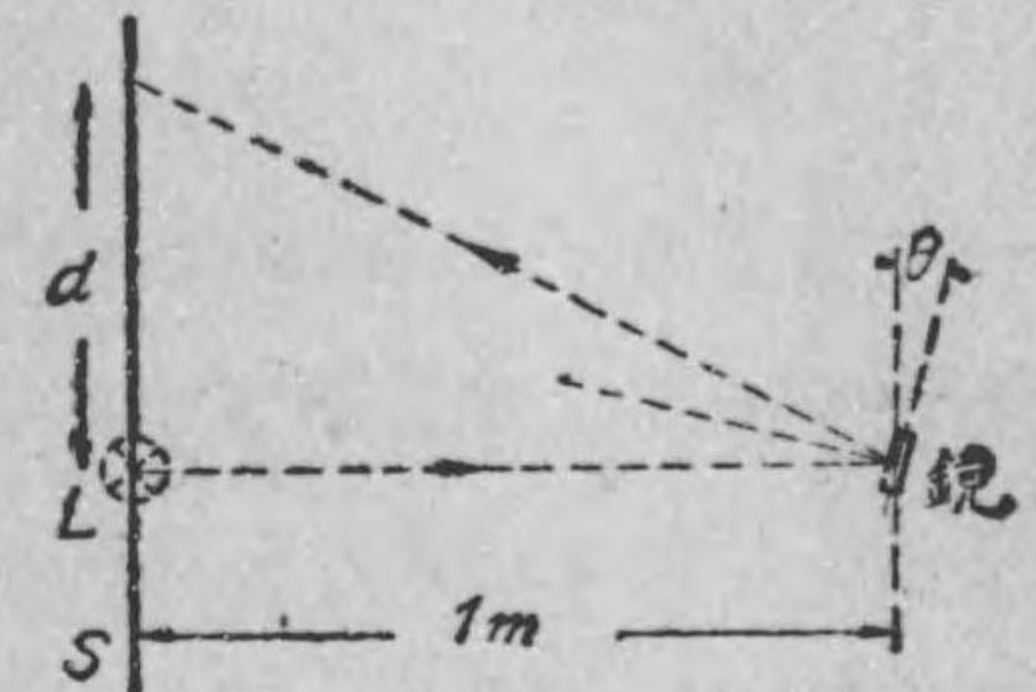


第 245 圖 甲 検流計の振れを観る方法

れた所に尺度 S とラムプ L とを持つて来て、ラムプから發する光を検流計の鏡面に當て、その反射光が尺度上の中央に光點として

現はれる様に尺度を置く。次に電流を検流計に通ずると、鏡が振れるから、尺度上の光點は中央から或距離 d 丈け離れた點に來る。(第 245 圖乙参照)。此距離 d は振れの角 θ に大體比例する。故に電流 i は d に比例する。依つ

第 245 圖 乙



て今比例定数を K とせば電流は次式で表はされる。

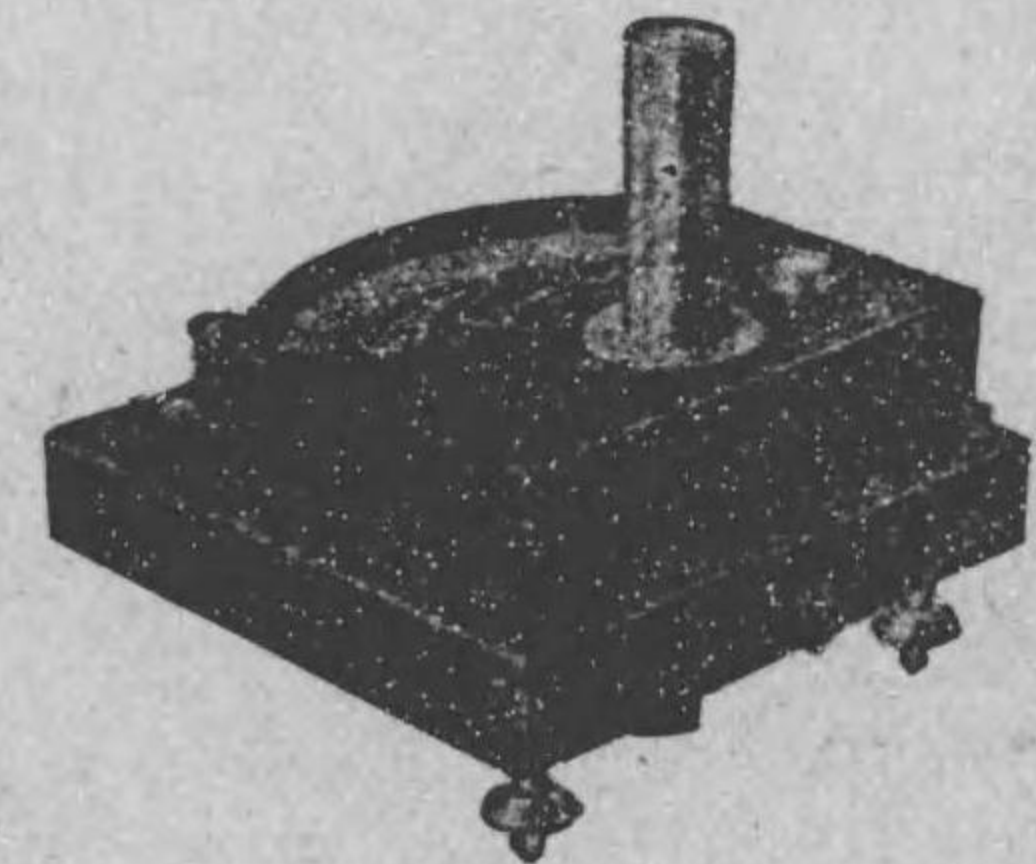
$$i = Kd$$

普通此尺度上に於ける光點の振れた距離 d を振れと稱し、之が大なる程電流は大である。又此式の定数 K を普通検流計定数と稱する。但し此場合検流計と尺度との距離は常に 1m にして置くのである。

158. 携帶用檢流計 上に述べた檢流計の外に便利に

出來た携帶用檢流計がある。之は前に述べた普通の檢流計と原理は同一であるが只鏡の代りに指針が取り付けられ、その指針に對して目盛盤が備へられてあつて、電流が線輪に通ずると指針が振れて目盛盤上に振れの角を直に示すから、その角の大小で電流の大小を直に知る事が出来る。第 246 圖は

第 246 圖



携帶用檢流計

携帯用検流計を示すものである。

159. 検流計分流器 検流計の振れで電流を比較する場合に、若し測らうとする電流が餘り大だと振れが大き過ぎて困まる。此様な場合には分路の原理を應用し振れを適當にするのである。此検流計に並列に使用される分路を**検流計分流器**と稱する。

第 247 圖は検流計 G に分流器 S を使用した略圖である。今検流計の抵抗を G オーム、分流器の抵抗を S オームとし、測定しようとする電流を I アムペア、検流計に通ずる電流を i アムペアとすれば、分路の原理 (第 64 節参照) から、次の関係がある。

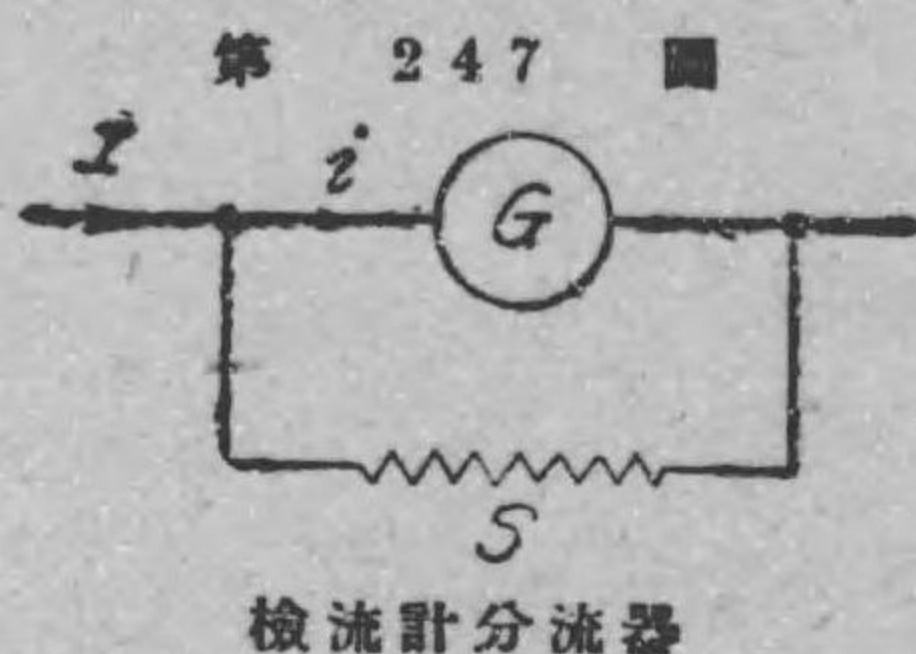
$$i = \frac{S}{G+S} I$$

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

即ち測定する電流 I は検流計に通ずる電流 i の $\frac{G+S}{S}$ 倍である。

此 $\frac{G+S}{S}$ を**分流器の倍率**と稱する。今此倍率を m で表はすと、

$$m = \frac{G+S}{S} \text{ から、}$$



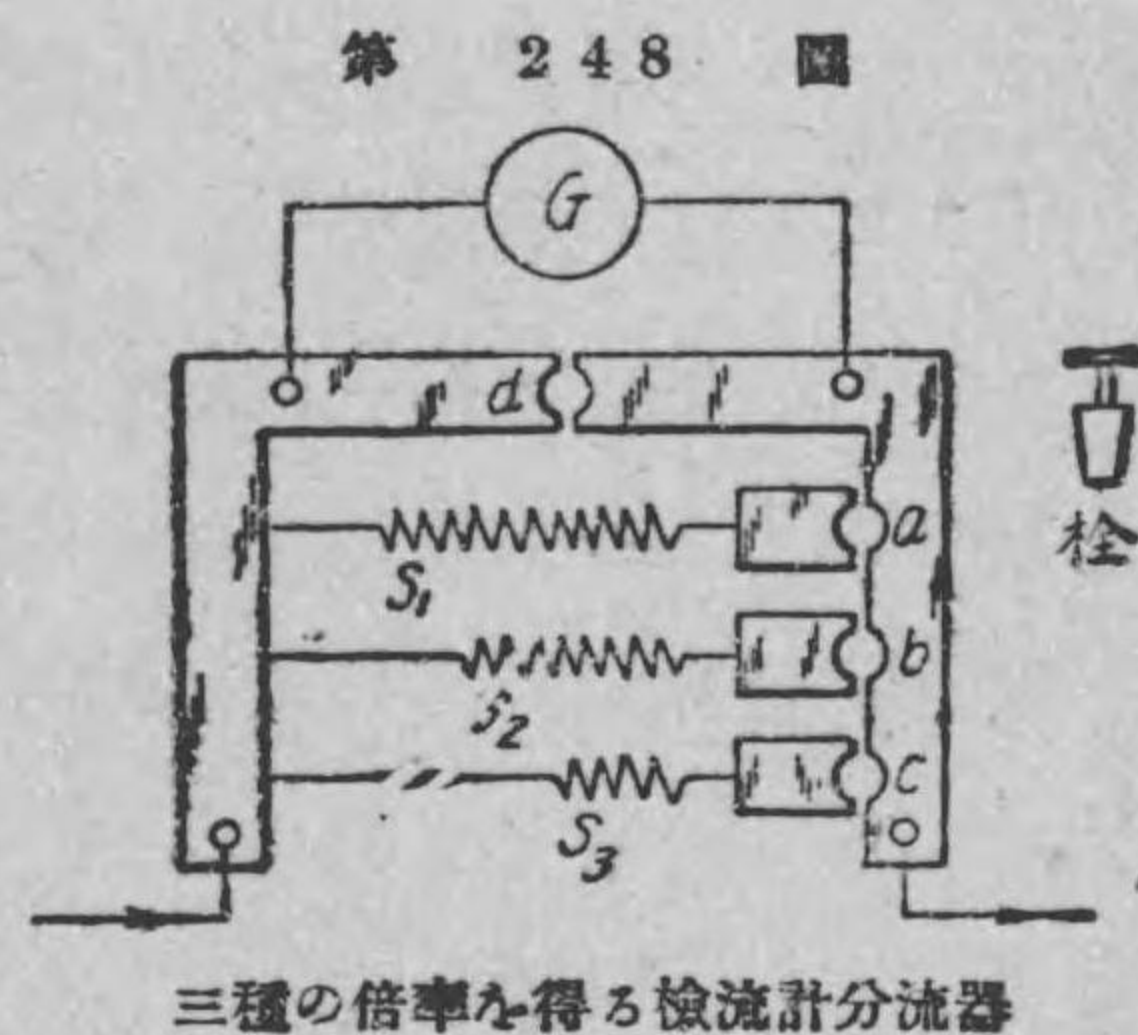
$$S = \frac{G}{m-1}$$

即ち検流計の抵抗 G と分流器の倍率 m とからその分流器の抵抗 S が上の式で計算される。例へば、抵抗 1000 オームの検流計に使用した倍率 10 なる分流器の抵抗は、 $S = \frac{G}{m-1} = \frac{1000}{10-1} = \frac{1000}{9} \approx 111.1$ オームである。

第 248 圖は倍率が夫々 10 倍、100 倍、1000 倍 なる分流器を示すもので、倍率が 10、100 及び 1000 の三種に變へ得る様に出て居る。

$$\text{即ち } S_1 = \frac{G}{9} \text{ オーム, } S_2 = \frac{G}{99} \text{ オーム, } S_3 = \frac{G}{999} \text{ オーム に作}$$

られて居る。 a, b, c, d は栓を挿入すべき孔である。栓を a に挿すと S_1 が検流計に分路になり、検流計には測定電流の $\frac{1}{10}$ の電流が通ずる。又若し栓を b に挿し變へると S_2 が分路になり、検流計には測定電流の $\frac{1}{100}$ の電流が通ずる。又若し栓を c に挿し變へると S_3 が分路になり、検流計電流は測定電流の $\frac{1}{1000}$ になるのである。(若し栓を d に



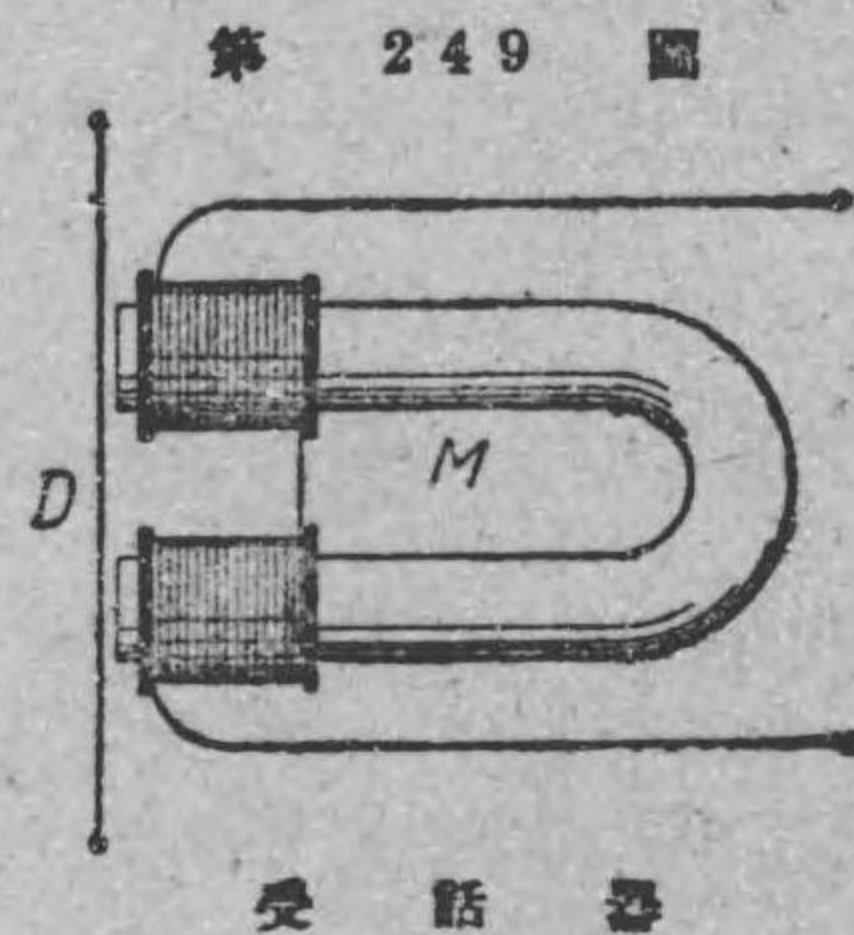
挿しかへると検流計は短絡されて検流計には電流が通らない。)

160. 交流用検流計及び電話受話器

上に述べた検流計では、耐久磁石を用ひてあるから、線輪に通すべき電流の方向を變へると、線輪は反対方向に傾く。仍つて之に交流を通ずると、線輪は振動するのみで一定の振れを生じないのである。従つて上に述べた検流計では交流を測定することは出来ない。然るに第12章で述べた熱検流計では加熱器に測定しようとする交流を通ずると、その電流の自乗に比例する熱電力の爲めに熱電對接觸面が熱せられて熱起電力を生じ熱電流が銀線に通じて鏡が振れる。その振れは測定電流の自乗に比例するものであるから、熱検流計は交流測定用の検流計である（口輪を参照されたい）。

交流用の検流計としては熱検流計の外にもまだあるが、交流が通じて居るか通じて居らないかをしらべるに電話受話器が用ひられる。一般に電流の有無をしらべるに用ゐるものを檢電器けんでんきと稱する。即ち電話受話器は交流の檢電器として便利のものである。電

話受話器は第 249 圖の略圖に示す様に、電磁石 M と之に相對して周圍が固定された薄鐵板 D とから成るものである。電磁石の線輪に若し直流を通じたら D は M に吸引され、電流を斷つと D は元の位置に戻る。然るに



若し線輪に交流又は斷續電流を通ずると鐵板 D は線輪の電流變化に應じて振動する。〔此鐵板 D を振動板しんどうばん又はダイヤフラムと稱する〕。従つて此場合は振動板の振動が周圍の空氣に傳つて音を生ずるのである。此原理を應用して、電路中の一部分に交流が通じて居るか否かをしらべるにはその部分に受話器を接續して置けば、音が聞こえればその部分に交流が通じて居るし、若し音が聞こえなければ其部分に交流が通じて居ない事が分かる譯である。

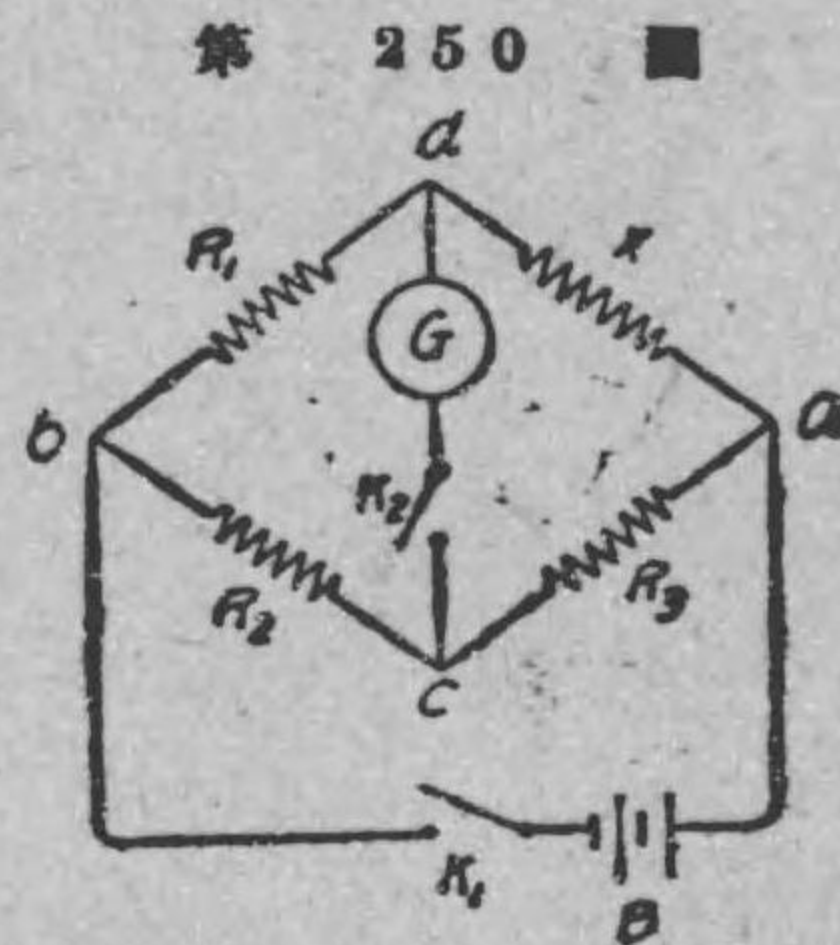
練 習 問 題 XIX

1. 檢流計は何の目的のために用ひるものか。
2. 檢流計の振れを觀るにはどう云ふ風にするか。
3. 持ち運びに便利で又その振れが直に讀める檢流計の名稱は何んと云ふか。
4. 檢流計分流器はどんな場合に用ひるか。
5. 抵抗 1000 オームの檢流計用の 20 倍の倍率を有する分流器の抵抗は何オームか。 答約 52.6 オーム
6. 交流回路用の檢電器として簡単なものは何か。

第二十章 抵抗の測定

161. ホキートストーンブリッジ法 数オーム乃至数万オーム程度の抵抗を測定するには、第七章 78 節に述べたホキートストーンブリッジの原理に依るのである。茲には其原理を述べずに（原理は 78 節を復習されたい）、直に未知抵抗の測定法を述べよう。

第 250 圖に示す様に、測定しようとする未知抵抗 X と加減抵抗 R_1, R_2, R_3 との四つの抵抗を接続し、電鍵 K_1 を閉ぢ、次に電鍵 K_2 を閉ぢて、 R_1, R_2, R_3 の抵抗を加減して見て、若し検流計 G に電流が通じなかつた場合即ち検流計に振れを生じなかつた場合には、四つの抵抗 R_1, R_2, R_3, X の内、相対した抵抗の相乗積は



第 250 圖

ホキートストーンブリッジ

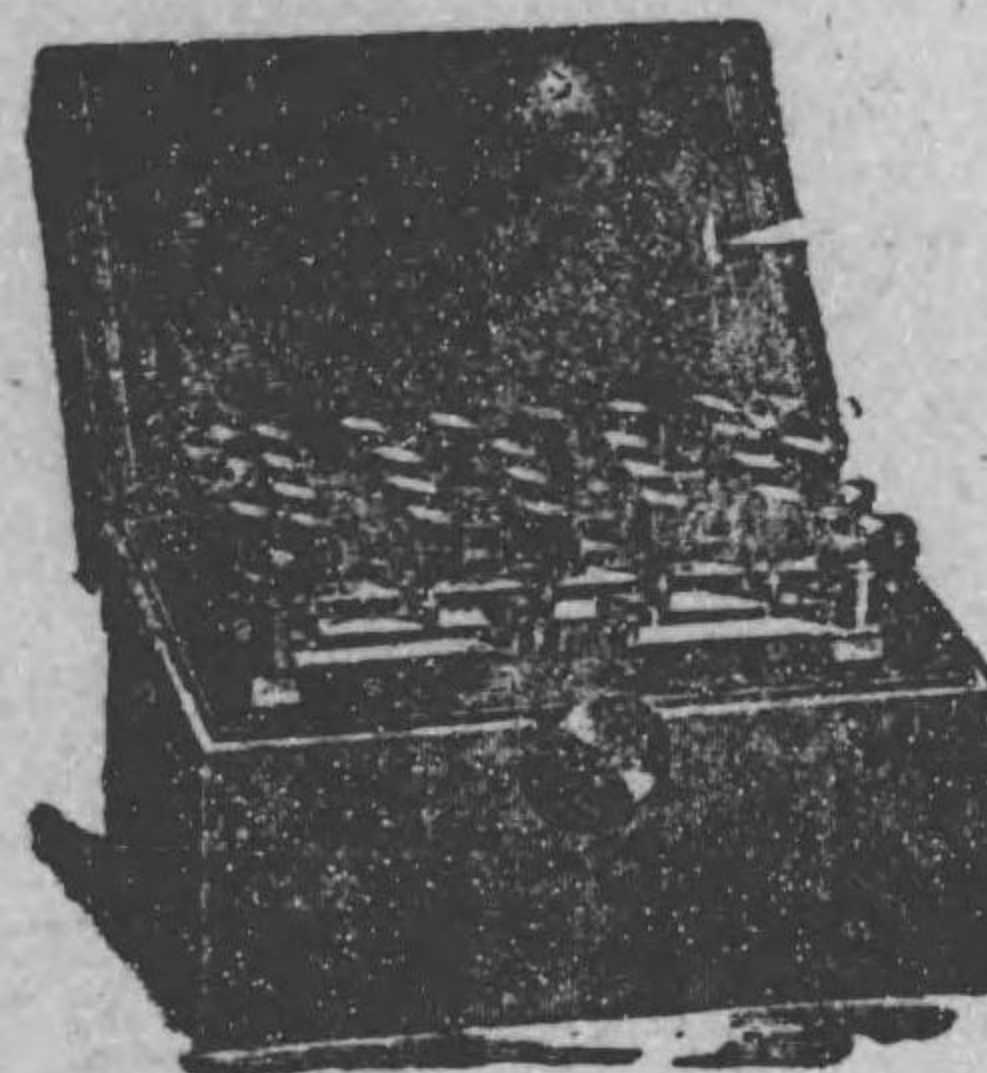
相等しい関係がある。（第 78 節に倣つて、キルヒホッフの法則を使用して此関係を證明して見給へ）。即ち此場合には次の関係がある。

$$R_2 X = R_1 R_3$$
$$\therefore X = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

即ち未知抵抗 X は此場合の R_1, R_2, R_3 の値で上式から計算出来る。

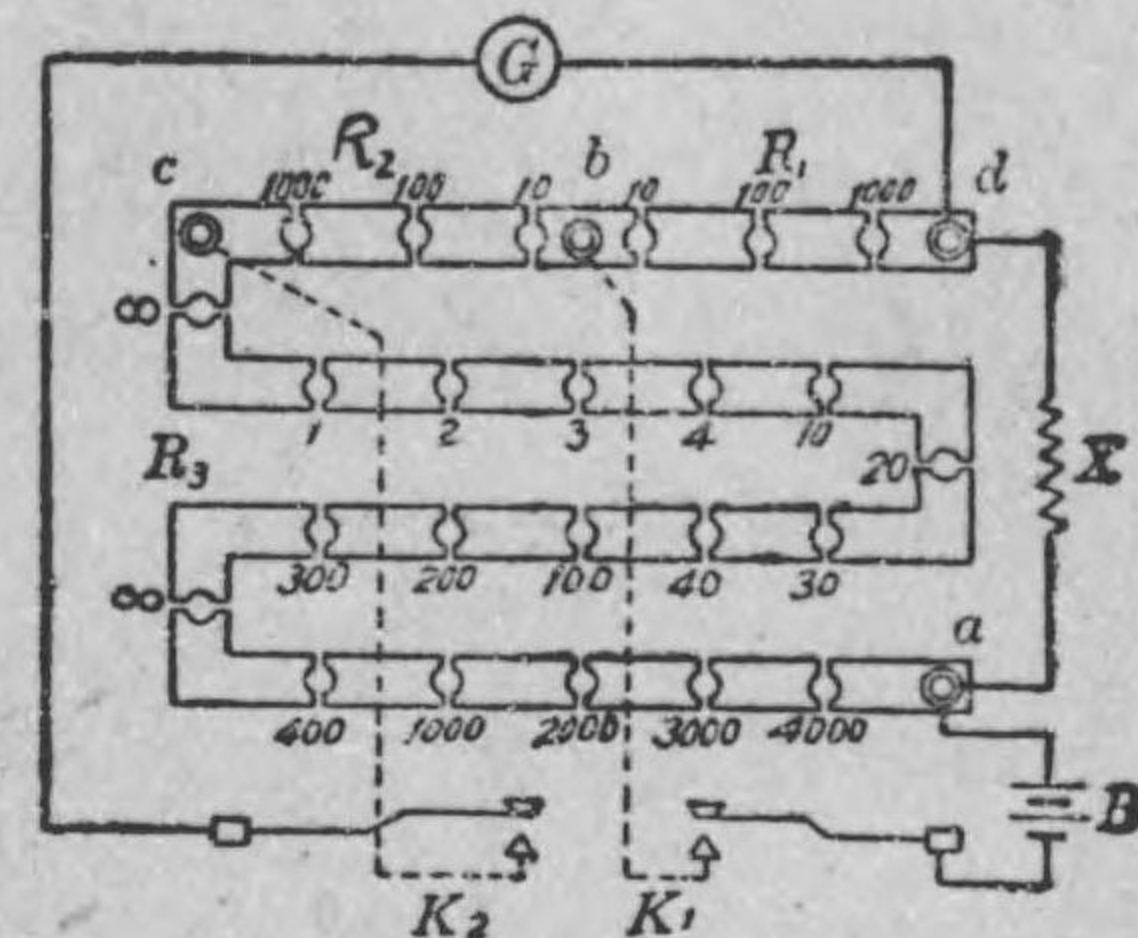
ホキートストーンブリッジ法を直に行ふ事の出来るものにビ
ー・オー・ブリッジと摺動線ブリッジと云ふのがある。第 251 圖甲、
乙はビー・オー・ブリッジで、乙圖は其接続圖である。圖に於て、

第 251 圖甲



ビー・オー・ブリッジ

第 251 圖乙



ビー・オー・ブリッジの接続

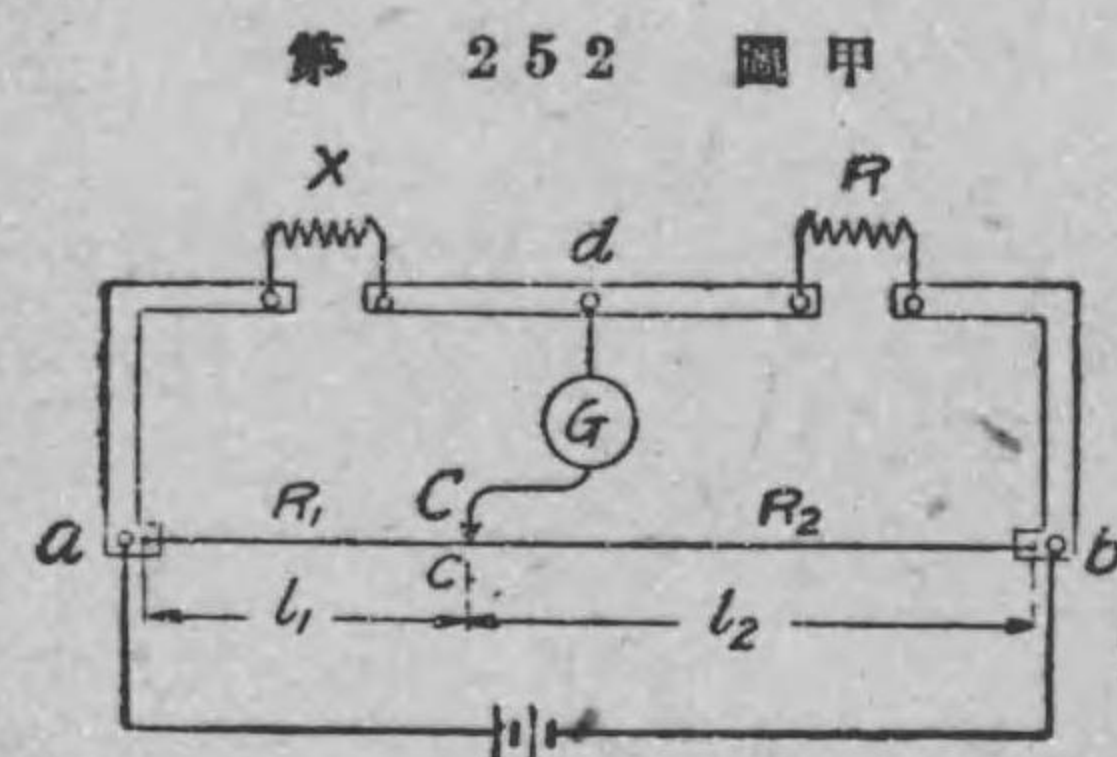
R_1, R_2 は各 10 オーム、100 オーム、1000 オームの三つの抵抗線輪から成り、 R_3 は 1 オームから 11110 オームまでは如何なる値でも 1 オーム宛變へる事が出来る。之等の抵抗は 79 節に述べた栓型抵抗器と同じく、栓を抜き挿しして抵抗の値を加減するのである。又 ∞ なる字を記した處は抵抗線輪が接続されて居ないから、使用の時は其處の孔には必ず栓を挿して置かなければならない。未知抵抗 X 、電池 B 、検流計 G を圖の様に接続して、 R_1, R_2, R_3 を加減して、 K_1, K_2 を閉ぢても検流計が振れない時は、次式で未知抵抗を計算すればよい。

$$X = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

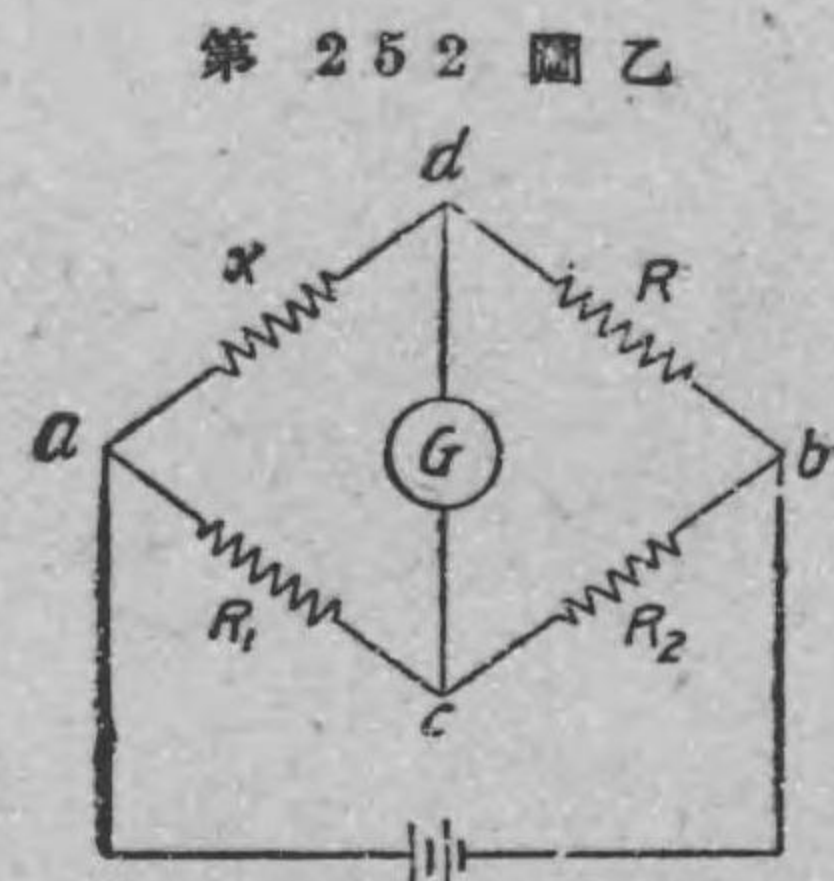
何故なれば、第 251 圖を見れば之は第 250 圖と全く同じ接続であるからである。例へば、第 251 圖の接続圖に於て、 R_1 から 100 の栓を抜き、 R_2 から 10 の栓を抜き、 R_3 から 100 と 30 と 4 の三個の栓を抜いた場合に、電鍵 $K_1 K_2$ を閉ぢても検流計に振れを生じなかつたとすれば、未知抵抗 X は、

$$X = \frac{R_1}{R_2} R_3 = \frac{100}{10} \times (100 + 30 + 4) = 1340 \text{ オーム}$$

である。



摺動線ブリッジ



甲圖を分り易く畫いた圖

摺動線ブリッジは第 252 圖甲に示す様に、摺動線と稱する太さ一様な真直ぐな抵抗線 ab から出来て居り、此摺動線の上で接觸子 C を滑らす事が出来る様になつて居る。 R は標準既知抵抗で、 X は未知抵抗である。接觸子 C を動かして、検流計 G に振れを生じなかつた場合に、 ac の抵抗を R_1 、 cb の抵抗を R_2 とすれば、未知抵抗 X は次式で計算される。

$$X = \frac{R_1}{R_2} R \text{ オーム}$$

何故なれば此場合には、第 252 圖甲を分り易く畫くと乙圖の様

になつてホキートストーンブリッジになつて居るからである。然るに摺動線は太さが一樣であるから、抵抗は長さ按比例する。従つて $\frac{R_1}{R_2} = \frac{(ac \text{ の長さ})}{(bc \text{ の長さ})} = \frac{l_1}{l_2}$ である。故に未知抵抗 X は次式で計算される。

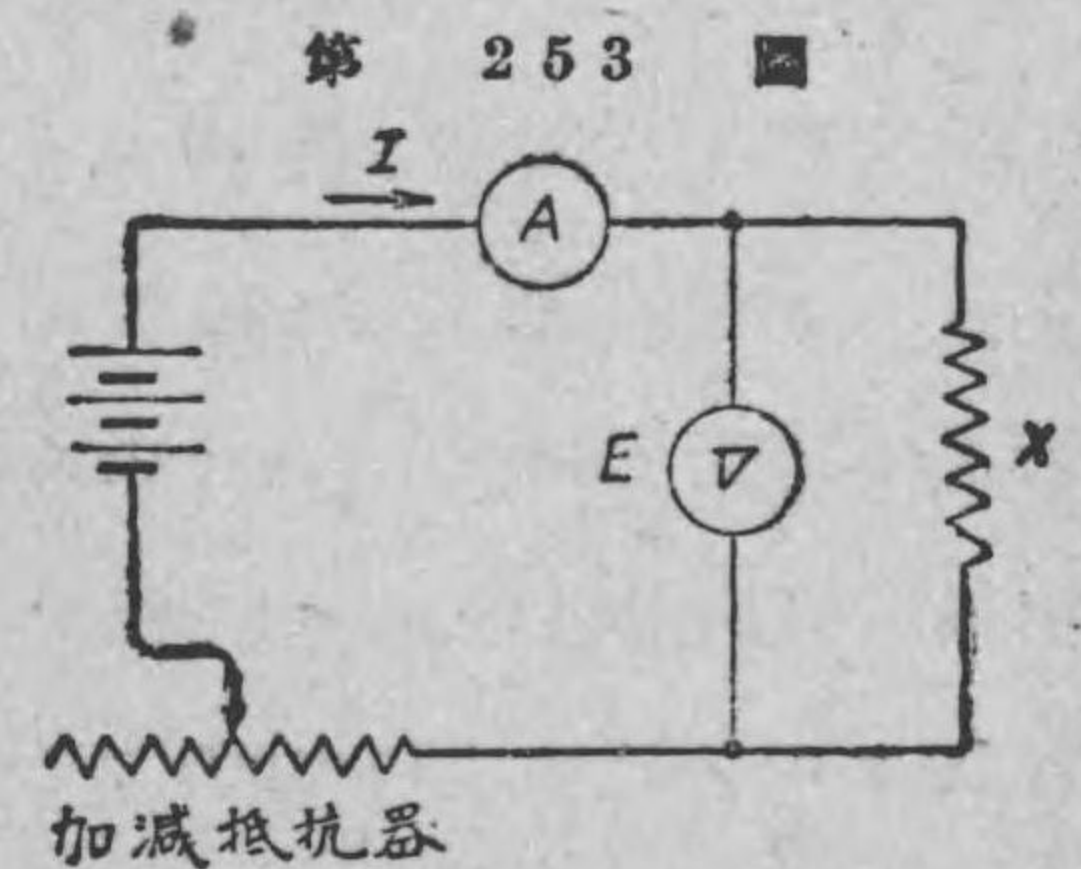
$$X = \frac{l_1}{l_2} R \text{ オーム}$$

例へば、第 252 圖に於て、標準抵抗 $R=1$ オームのものを用ひて、接觸子 C を動かして、之が c 點に来て $\frac{l_1}{l_2} = \frac{2}{5}$ の場合検流計に振れを生じなかつたとすれば、未知抵抗 X の値は次の通りである。

$$X = \frac{l_1}{l_2} R = \frac{2}{5} \times 1 = 0.4 \text{ オーム}$$

162. 電圧降下法

前節に述べたホキートストーンブリッジ法は正確な方法であるが、普通精密を要しない場合には電圧計と電流計とを用ひて未知抵抗を測る事が出来る。之はオームの法則を應用したもので電圧降下法と名付ける。第 253 圖は電圧降下法を示すもので、未知抵抗 X を直流電源に接続し、之に電圧を與へて電流を通じ、電流計 A で電



電 壓 降 下 法

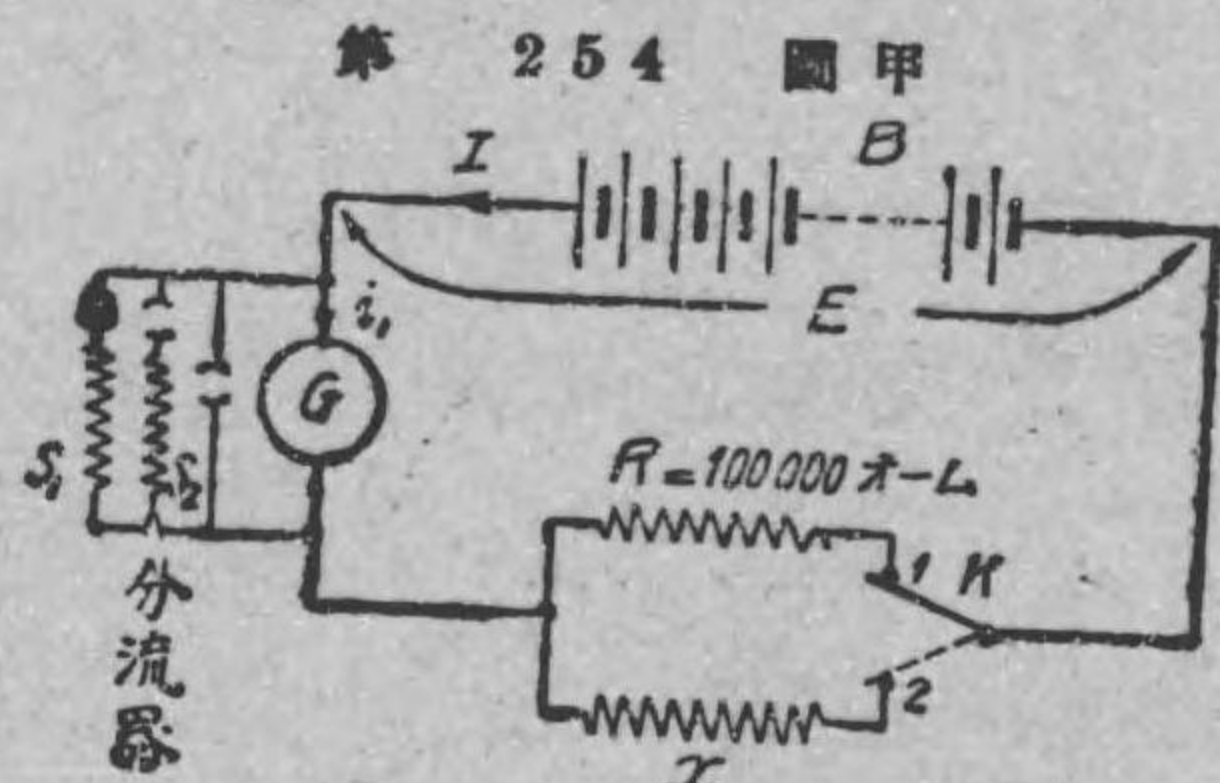
流を読み之を I アムペアとし、又電圧計 V で電圧降下を読み之を E ヴォルトとすれば、未知抵抗 X はオームの法則から次式で計算される。

$$X = \frac{E}{I} \text{ オーム}$$

163. 絶縁抵抗の測定

抵抗の値が1メガオーム(百萬オーム)以上の高い抵抗を測定する方法に直接傾斜法(又は直備法)と稱する方法がある。絶縁抵抗の様な高抵抗を測るに應用されるものである。

第254圖甲は直接傾斜法の原理を示す圖である。 R は100 000オーム(即ち0.1メガオーム)の高い抵抗である。 x は測らうとする未知高抵抗である。 R 又は x が検流計 G と直列に出来る様に開閉器 K を置き、又100



第 254 圖 甲
高抵抗の測定法

ヴォルト乃至200ヴォルトの直流電源 B を接続して置く。又検流計 G には分流器を並列に接続する。先づ開閉器 K を實線で示す様に1の位置に入れて R を回路に接続し、検流計の振れを読み之を d_1 とす。此時使用した分流器を S_1 とし、その倍率を $m_1 = \frac{G+S_1}{S_1}$ とする。次に K を點線で示す様に2の位置に入れて x

を回路に接続し検流計の振れを読み之を d_2 とする。此時の分流器の抵抗を S_2 としその倍率を $m_2 (= \frac{G+S_2}{S_2})$ とせば、未知抵抗 x は次式で計算される。

$$x = \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} R = 100000 \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} \text{ オーム} = 0.1 \times \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} \text{ メガオーム}$$

此理由は次の通りである。今検流計定数を K とする。初め R を回路に入れた場合の検流計電流を i_1 とせば、

$$\begin{aligned} i_1 &= K d_1 = I \times \frac{S_1}{G+S_1} = \frac{E}{R + \frac{GS_1}{G+S_1}} \times \frac{S_1}{G+S_1} \\ &= \frac{E}{\frac{G+S_1}{S_1} R + G} = \frac{E}{m_1 R + G} \end{aligned} \quad (1)$$

次に x を回路に入れた場合の電流を i_2 とせば、上と同様にして、

$$i_2 = K d_2 = \frac{E}{m_2 x + G} \quad (2)$$

(1) 式を (2) 式で割つて、

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

此式から x を見出せば、

$$x = \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} \left(R + \frac{G}{m_1} \right) - \frac{G}{m_2}$$

然るに普通検流計の抵抗 G は測定すべき抵抗に比べて小さいか

ら G を無視することが出来る。故に x は次の様になる。

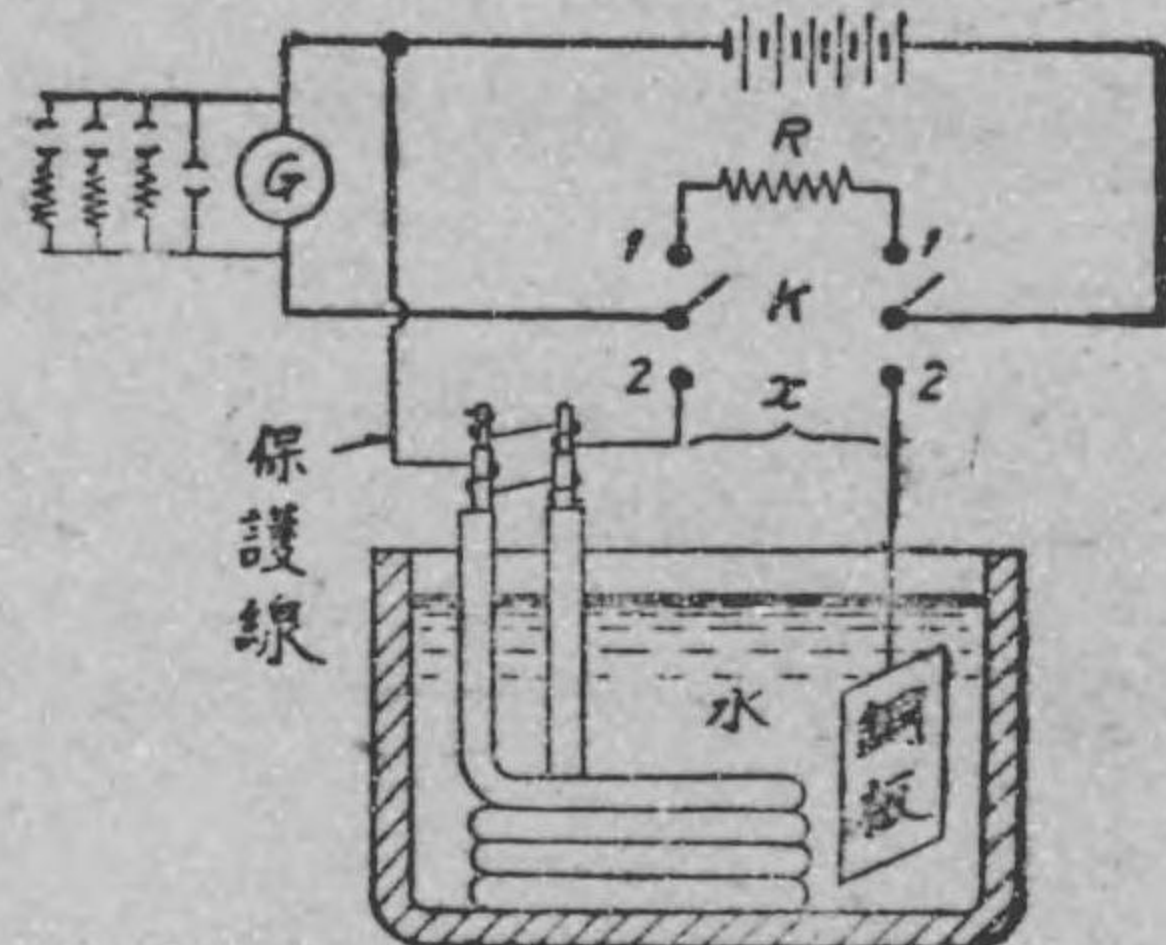
$$x = \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} R = \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} \times 100\,000 \text{ オーム} = 0.1 \times \frac{m_1 d_1}{m_2 d_2} \text{ メグオーム}$$

絶縁電線の絶縁抵抗を測定するには、上の原理を用いて測定する。第 254 圖乙は絶縁電線の絶縁抵抗の測定の装置である。電線を水槽中に浸し、電線の両端を水面上に出し置き、外の被覆をはぎ、絶縁物を出して絶縁物一、

二寸を残して置く。心線は電源の陰極側に、又陽極側は銅板に接続する様に開閉器 K を備へて置く。 K を 1 に閉じて検流計の振れ d_1 と分流器の倍率 m_1 を読み取り次に K を 2 に閉じて絶縁抵抗 x を同

路内に入れて検流計の振れ d_2 と若しその時分流器を使つたらその倍率 m_2 とを読み取り（普通は此場合は分流器は使はずに済む即ち $m_2=1$ が普通である）前に述べた式で x を計算する。尚ほ此場合には K を 2 に閉じて心線と外被間に電圧を與へると、絶縁物を通して漏洩する電流の外に絶縁抵抗に無関係の絶縁物の表面に沿うて流れる電流が通ずる事があるからその電流を検流計に通ぜしめない爲めに圖に示す様に絶縁物の表面に二三回銅線を巻き付けその他端を検流計と電源の陰極間に接続するのである。此線を保護線と稱する。

第 254 圖乙



絶縁抵抗の測定法

164. メッガー 絶縁抵抗の値を直接に読み取る事の出

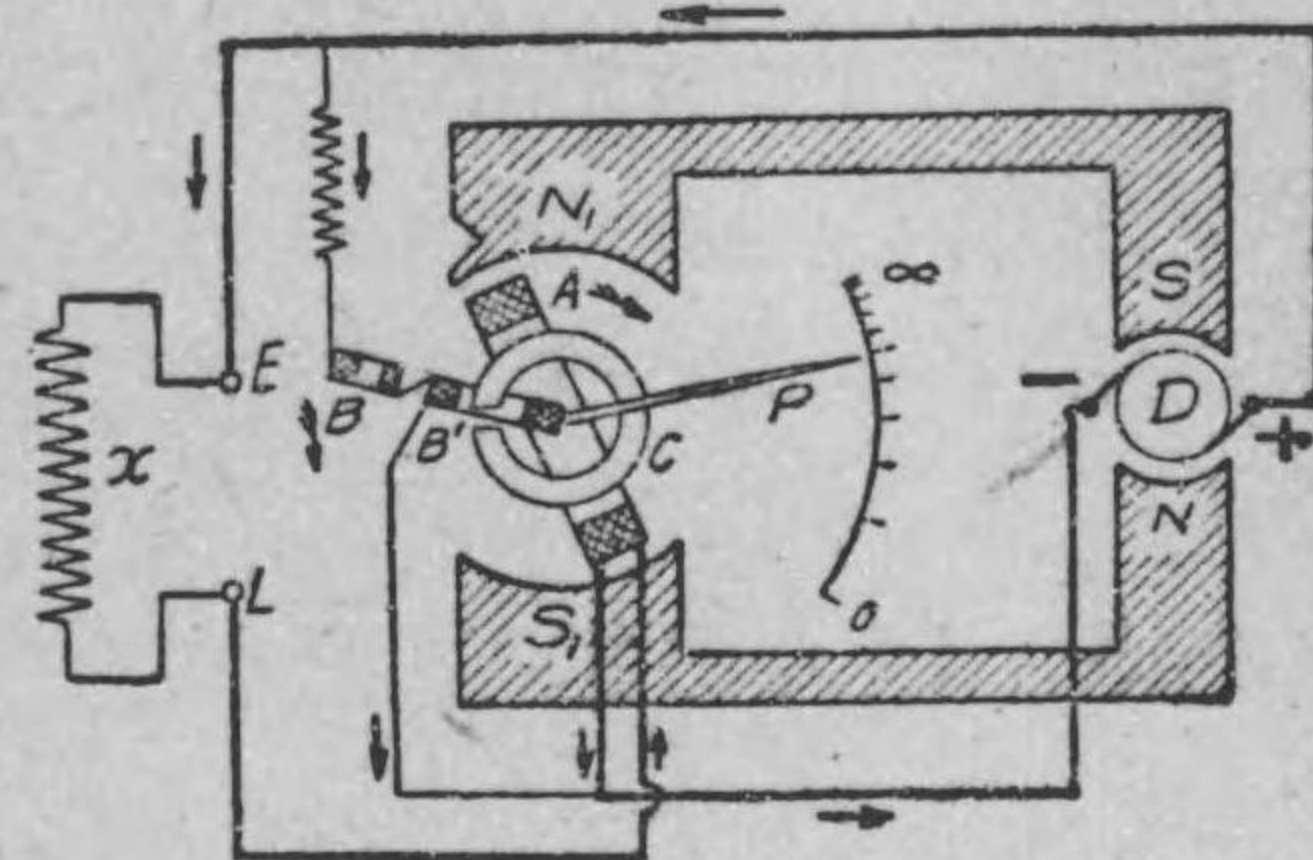
来るメッガーと稱する測定器がある。第 255 圖はメッガーの構造を示す略圖である。耐久磁石の一方の NS 間に手で廻はして發電する手働發電機 D があり、他の N_1S_1 間には線輪 A と BB' とがある。 A は測らうとする未知抵抗と直列に接

続される線輪で（之を電流線輪と稱する）、 BB' は電源に並列に接続されて電圧を受けるから之を電圧線輪と名付ける。（圖では、各線輪は断面圖を示す）。

此 A と B 及 B' とは約 60 度の角をなして軸に取付けられ、軸には指針 P が取付けられて居る。又 A の内部には切れ目のある軟鐵心 C があつて、之は電圧線輪 B' を貫いて居る。測らうとする未知絶縁抵抗 x を E, L の兩端子に接続して發電機を手で廻はして、指針 P が指す目盛盤上の抵抗の値を読むのである。

メッガーの動作を説明しよう。各線輪は之に電流が通ずると互に反對の方向に廻はらうとする様に作られて居る。若し兩端子 E, L を開いた儘にして抵抗を接がないで置くと、電流線輪 A には電流通じないが、電圧線輪 B 及 B' には電圧に比例する電

第 255 圖

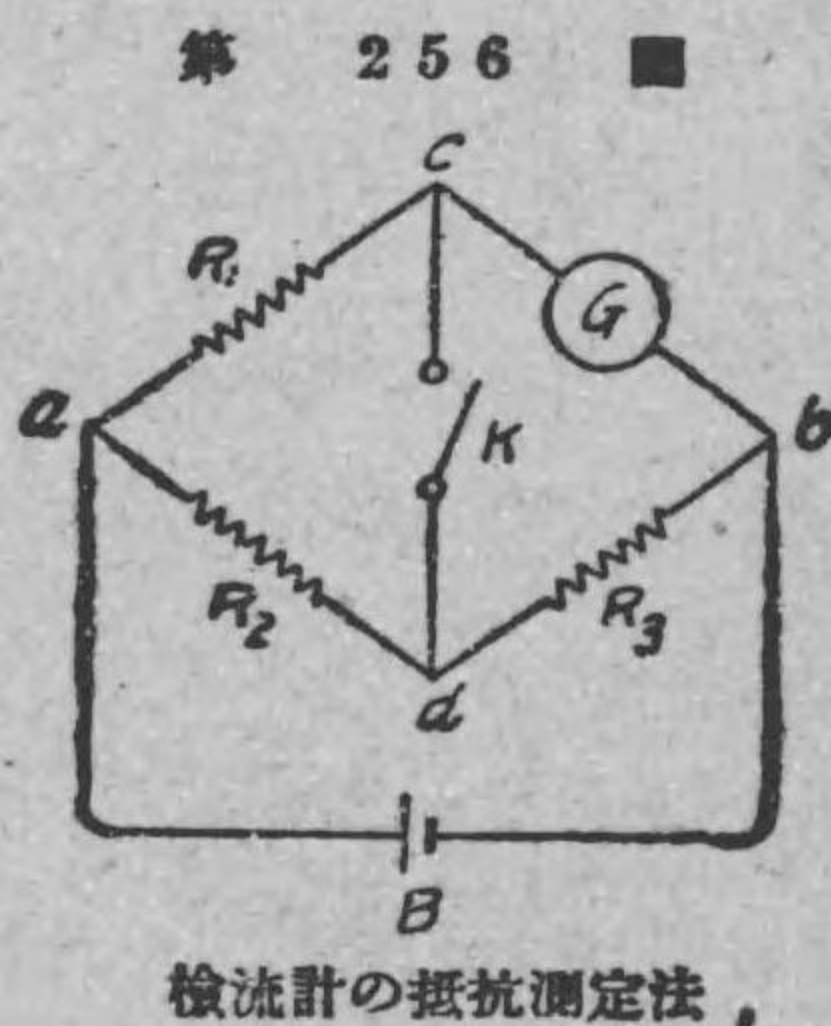


メッガー

流が通ずるから電圧線輪は反時計式に廻り、磁界の最も弱い位置即ち鐵心 C の切れ目の處で靜止して、指針 P は無限大 ∞ の目盛を指す。又若し E と L とを短路して置くと、電流線輪 A に最大の電流が通じ線輪は時計式に廻り指針は零を指す。若し圖の様に E, L 間に或る抵抗 x を接げば、各線輪に電流通じ、電圧線輪の反時計式方向の廻轉力と電流線輪の時計式方向の廻轉力と釣合つた位置に線輪は靜止して、指針 P はその時の x の抵抗の値を目盛上に示す譯である。メッガーの様に直に抵抗の値を読み得る様な測定器を一般に直讀抵抗測定器ちよくどくていかうそくていきと稱する。

165. 種々の抵抗の測定 本節では種々の抵抗の測定法を示さう。

(イ) 檢流計の抵抗測定法 ホキートストーン・ブリッジの原理を應用して、檢流計の抵抗を他の檢流計を使用しないで測定するケルヴィンケルヴィン氏の方法を述べよう。第 256 圖はケルヴィン氏法の接続を示すものである。抵抗を測定しようとする檢流計 G をホキートストーン・ブリッジの一邊に接続し、 a, b 間に電池を接続し、他の檢流計を接続すべき位置即ち c, d 間には電鍵 K を備へて置く。一般には K を開いた場合と閉じた場合とは檢流計の振れは違



ふ。然るに若し R_1, R_2, R_3 の抵抗の値を適當に加減すると、 K を閉じた場合と開いた場合の檢流計の振れは等しくして變へらない場合がある。此場合には K を閉じた時も開いた時も檢流計に通ずる電流は一定であるから、 K を閉じた時でも cKd には電流が通じない事が分る。従つて此場合にホキートストーン・ブリッジの原理により、ブリッジの相對する邊の抵抗の相乗積は相等しい。即ち檢流計の抵抗を G とせば、

$$G R_2 = R_1 R_3$$

$$\therefore G = \frac{R_1}{R_2} R_3 \text{ オーム}$$

此式から檢流計の抵抗を計算する事が出来る。例へば第 256 圖に於いて、 $R_1=100$ オーム、 $R_2=10$ オーム、 $R_3=60$ オームの場合に K を閉じた時も開いた時も檢流計の振れは等しく 6 cm であつたとしたら、檢流計の抵抗は次の通りになる。

$$G = \frac{R_1}{R_2} R_3 = \frac{100}{10} \times 60 = 600 \text{ オーム}$$

(ロ) 電解液の抵抗測定法 電解液に一定方向の電流即ち直流を通ずると電氣分解作用生じ、極に瓦斯を發生し、その爲めに電流の方向と反對方向の起電力を生ずるものである。此逆方向の起電力を成極作用の逆起電力ギャクきでんりよくと稱する(第三章 43 節を參考せよ)。故に電解液の抵抗はホキートストーン・ブリッジによつては測定出来ない。何故なればホキートストーン・ブリッジの一邊の未知抵抗として電解液を接続すると直流電源を使用して居るために、電解

液に生ずる逆起電力もあるから、丁度二種の起電力を有する回路となり、ホキートストーン・ブリッジにはならないからである。

電解液の抵抗測定法として普通 コールラッシュ・ブリッジと稱するものを用ひる。之はホキートストーン・ブリッジに似て居るが、只試験用の電源としては、電解液の成極作用を生ぜしめない爲めに交流電源を使用し、従つて又交流の有無を検する検電器として普通の検流計の代りに電話受話器を用ひる。第 257 圖はコールラッシュ・ブリッジを示すもので、交流電

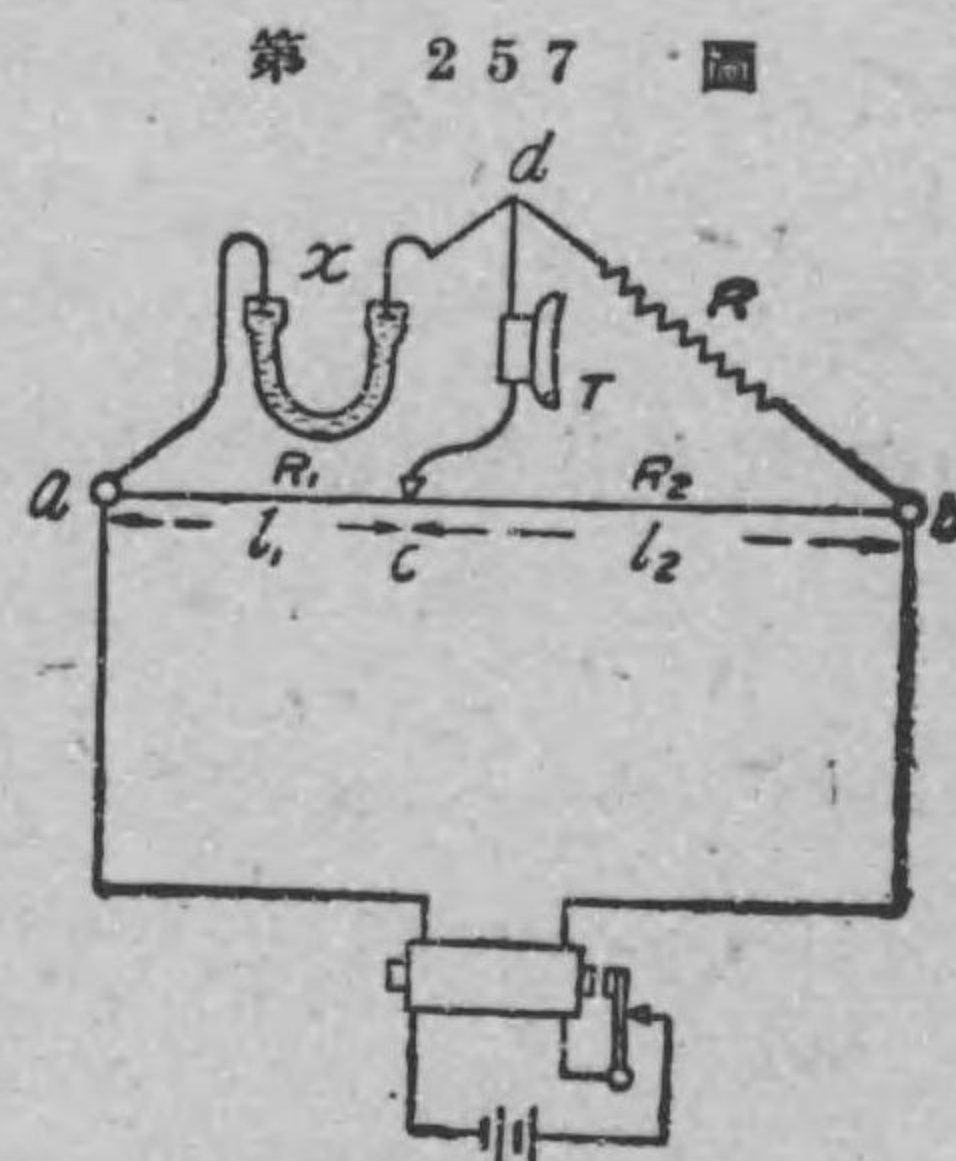
源としては小さな誘導線輪を用ひる。ab は摺動線で、R は抵抗の値が知れた抵抗、T は受話器で、x が抵抗を測らうとする電解液で、之は容器に入れて其白金板の兩極を ad 間に接続してある。今摺動線の接觸子の位置を適當に動かし、受話器 T を耳に當てゝ音が聞こえなくなつた

時の接觸子の位置を圖に示す様に c とすれば、ホキートストーン・ブリッジの原理と全く同様に未知抵抗は次式で計算される。

$$X = \frac{R_1}{R_2} R = \frac{l_1}{l_2} R \text{ オーム}$$

此方法では電源に交流を使用するから、電流の方向が絶えず變はり電解液の成極作用の逆起電力も相殺される譯である。

(ハ) 電池の内部抵抗の測定 コールラッシュ・ブリッジを應用



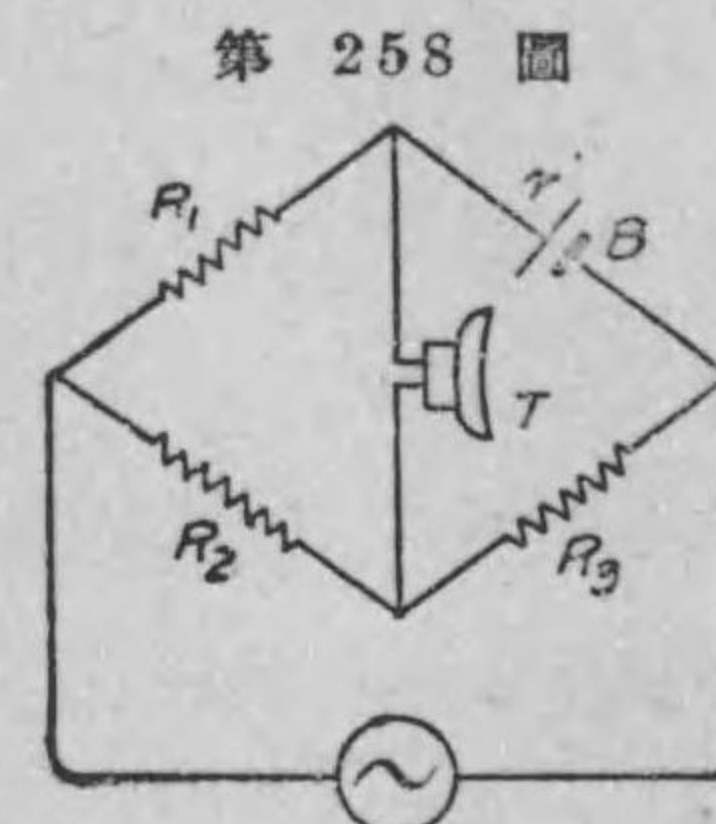
第 257 圖
コールラッシュ・ブリッジに依る電解液の抵抗測定法

して電池の内部抵抗を測定する事が出来る。第 258 圖に示す様に、誘導線輪の交流電源を使用し（圖中⊙は交流電源の一般略記號である）ブリッジの一邊に内部抵抗 r を測定しようとする電池 B を接続し、R₁ R₂ R₃ の抵抗を適當に加減して受話器に音が聞こえない時は、電池の内部抵抗 r は次式で計算される。

$$r = \frac{R_1}{R_2} R_3 \text{ オーム}$$

此方法では、受話器 T には電池による直流も通ずるが、受話器は直流によつて働かないから此直流は考へなくても差支ない。

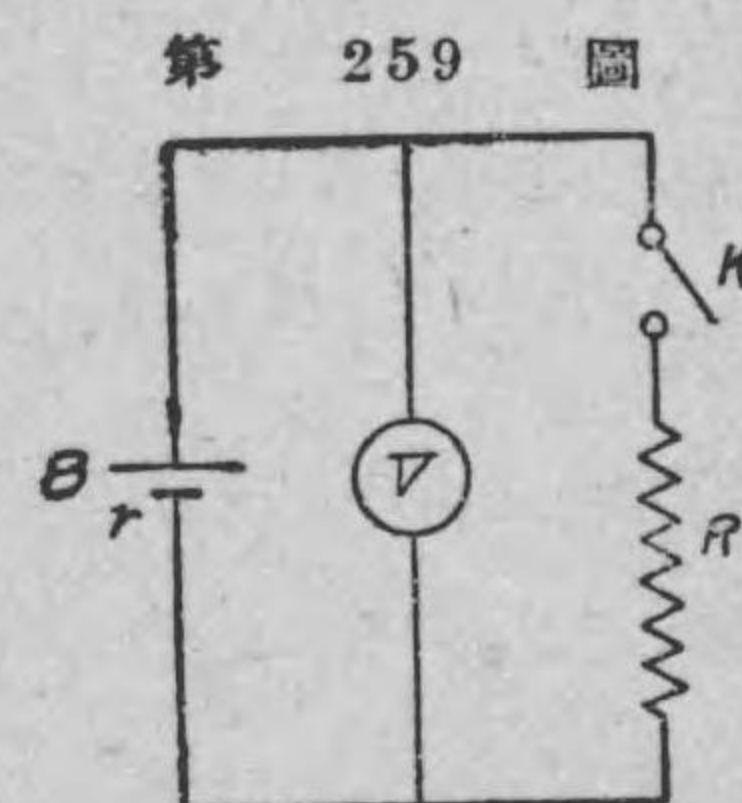
精密を要しない場合工業的に電池の内部抵抗を測定するには電圧計と既知抵抗とを使用して測定する事が出来る。第 259 圖は此方法を示すものである。B は内部抵抗を測定しようとする電池、V は電圧計で、R は既知抵抗、K は開閉器である。先づ K を開いて置いて電池の開路電圧即ち起電力を電圧計で読み之を E₀ とする。次に K を閉ちて抵抗 R に電流を通じた場合の端子電圧即ち此時の電圧計の読みを取り之を E₁ とすれば、此時回路に通ずる電流 I = E₀ / (R + r) であるから、



第 258 圖

交流電源

コールラッシュ・ブリッジに依る電池の内部抵抗の測定法



第 259 圖

電圧計と抵抗とを利用して電池の内部抵抗を測る法

$$E_t = E_0 - Ir = E_0 - \frac{E_0}{R+r} r$$

$$\therefore E_t = E_0 \frac{R}{R+r}$$

此式の分母を拂つて、電池の内部抵抗 r を求むれば次式の通りになる。

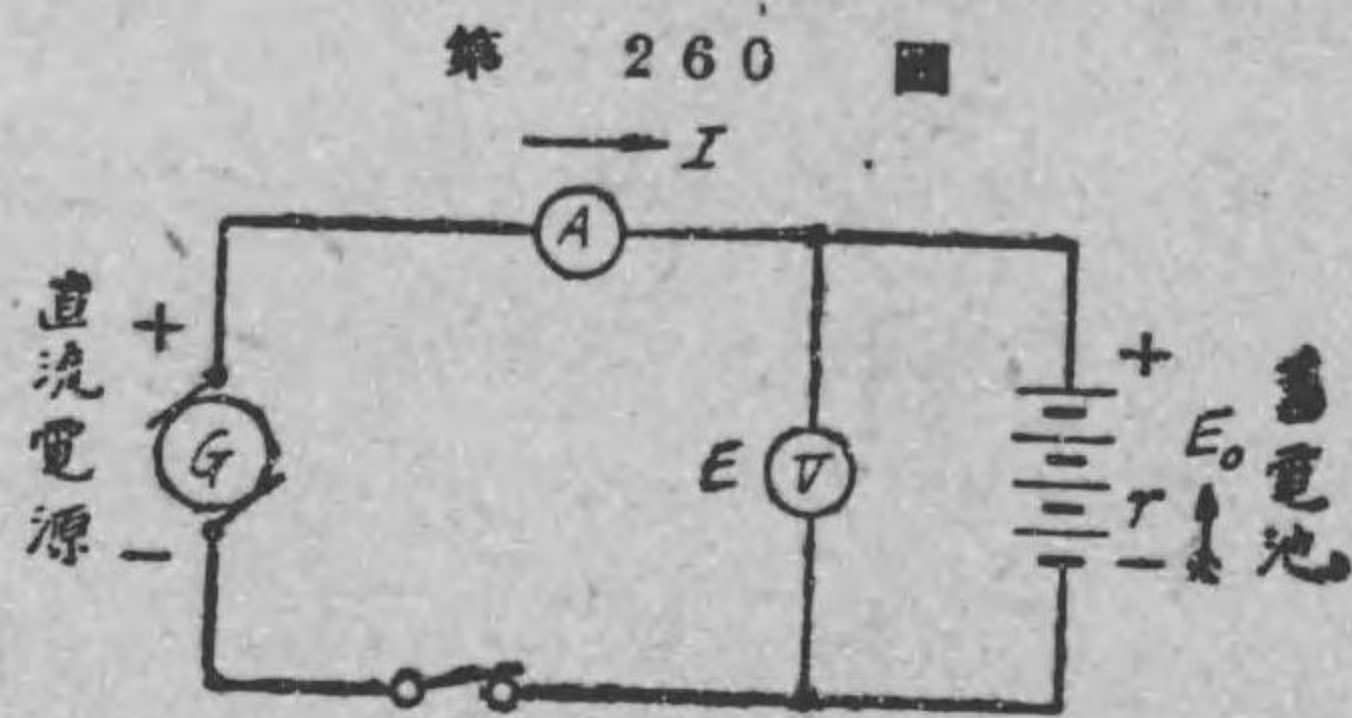
$$r = \frac{E_0 - E_t}{E_t} R \text{ オーム}$$

(二) 蓄電池の内部抵抗の測定 蓄電池の充電及び放電の場合の内部抵抗 r を測定するには電圧計及び電流計を用ひると便利である。

充電の場合は先づ第 260 圖に示す様に、蓄電池に電線から充電電流 I が流れるから之を、

電流計 A で読み取り、

又此時の蓄電池の兩端子間の電圧を電圧計 V で読み之を E とする。次に開閉器 K を開いて蓄



第 260 圖 蓄電池の内部抵抗測定法 (充電の場合)

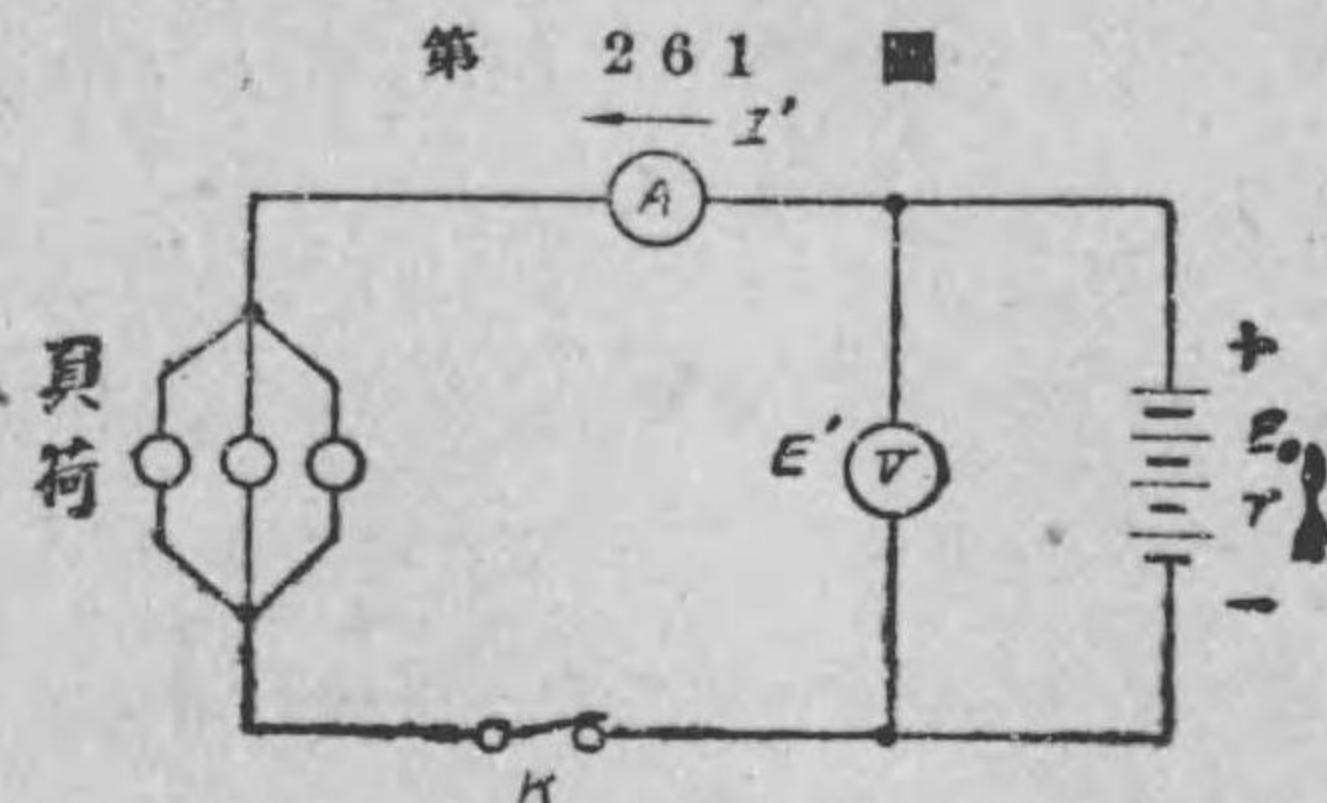
電池の開路電圧即ち起電力を電圧計で読み之を E_0 とする。然らば、 K を閉じて居た時は、蓄電池及電圧計の回路にキルヒホッフ法則を應用すれば、蓄電池の内部抵抗を r とせば、

$$Ir = E - E_0$$

$$\therefore r = \frac{E - E_0}{I} \text{ オーム}$$

又放電の場合は、第 261 圖に示す様に、蓄電池から負荷に放電電流 I' が流れるから、

之を電流計 A で読み、又此時の蓄電池の兩端子間の電圧を電圧計 V で読み之を E' とする。次に開閉器 K を開いて蓄電池の起電力 E_0 を電圧計で讀む。



第 261 圖 蓄電池の内部抵抗測定法 (放電の場合)

然らば、

$$E' = E_0 - I'r$$

$$\therefore r = \frac{E_0 - E'}{I'} \text{ オーム}$$

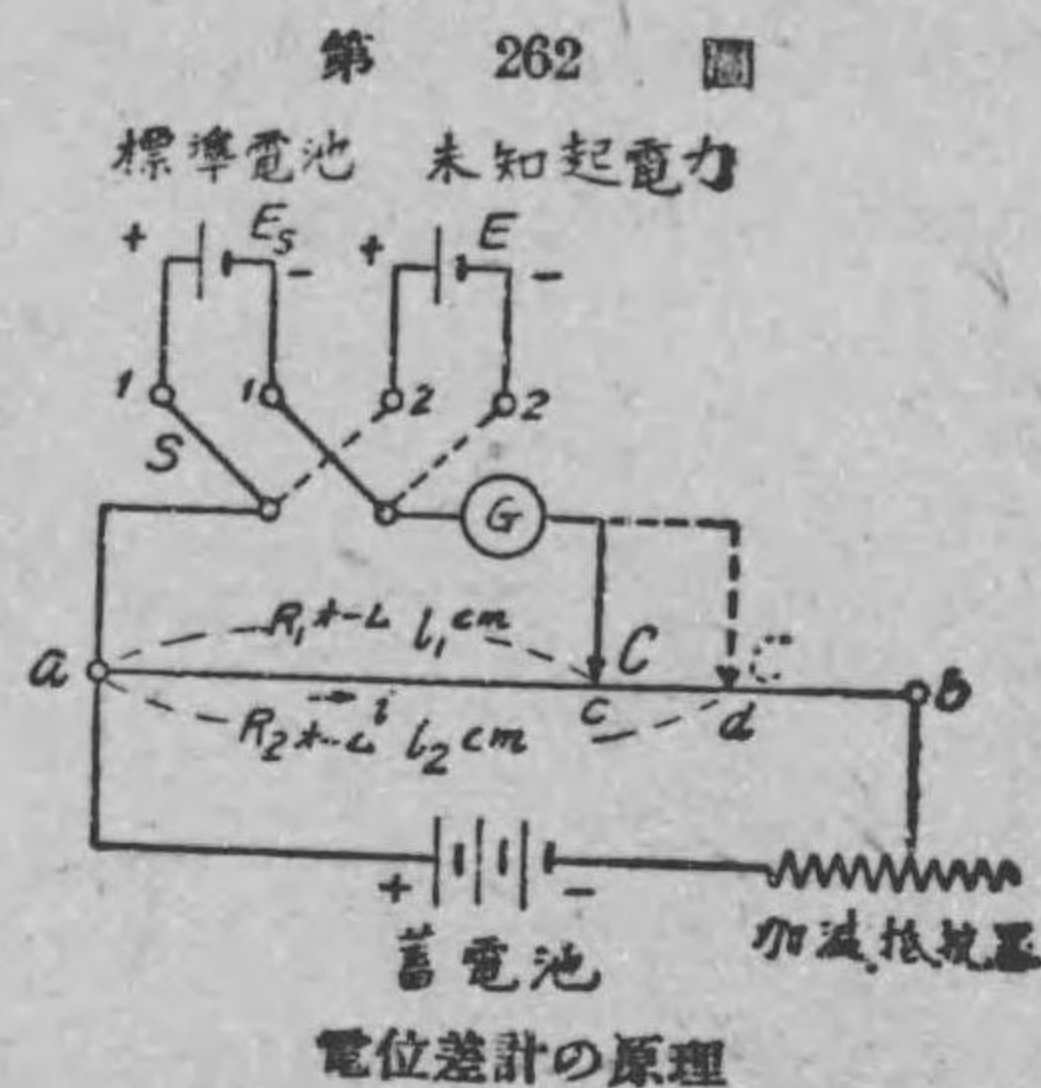
練習問題 XX

1. 數オームから數萬オームまでの抵抗を測定するに用ふる方法の名を述べよ。又其接續圖を畫いて見よ。
2. 第 252 圖に於て、摺動線 ab の長さが 50 cm にして、 $R=1$ オーム、 ac の長さ $l_1=30$ cm の場合に、檢流計 G に振れを生じなかつたと云ふ。然らば X は何オームか。答 1.5 オーム
3. 電壓降下法とはどんな方法か。
4. メッガーは何に用ひるものか。
5. 電解液の抵抗を測るに用ふる方法の名を述べよ。又其接續圖を畫いて見よ。

第二十一章 電位差計

166. 電位差計の原理

電圧降下の理を應用して、電池の起電力を測定するに最も良い測定器がある。之を電位差計と稱する。第 262 圖は電位差計の原理を示す圖である。ab は太さ一様の摺動線で、之に蓄電池から適當な電流 i を通じて置く。先づ、切替開閉器 S を (1) の位置に閉じて標準電池 E_s と檢流計 G とを直列にし、摺動線上の接觸子 C を滑らして檢流計に振れを生じない場合の接觸子 C の位置を c とす。此時は標準電池の起電力 E_s と摺動線の ac 間の電壓降下と等しい譯である。($acGE_s a$ 回路にキルヒホッフ第二法則を應用しても分かる)



$$\therefore iR_1 = E_s \quad (\text{但し } R_1 \text{ は } ac \text{ の抵抗の値)} \dots (1)$$

次に、切替開閉器 S を (2) の位置に閉じて (點線で示す様に)、起電力を測らうとする電池 E を回路内に入れて、接觸子 C を滑らして檢流計の振れない處を見出す。此時の接觸子 C の位置を d とする。此場合には E なる起電力は摺動線の ad 間の電壓降下に等しい譯である。(之も $adGE a$ 回路にキルヒホッフ第二法

則を應用して分かる) 即ち、

$$iR_2 = E \quad (\text{但し } R_2 \text{ は } ad \text{ の抵抗の値)} \dots (2)$$

(2)式を(1)式で邊々割れば

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

$$\therefore E = E_s \times \frac{R_2}{R_1} \dots (3)$$

即ち上式で、未知起電力 E は計算出来る。而してウェストン標準電池を用ひると攝氏 20 度の場合には $E_s = 1.0183$ ヴォルトである。又摺動線 ab は太さ一様なものであるから、 R_2 と R_1 との比はその長さ ad と ac との比に等しいのであるから、上式(3)は次の様になる。

$$E = 1.0183 \times \frac{\text{長さ } ad}{\text{長さ } ac} = 1.0183 \times \frac{l_2}{l_1} \text{ ヴォルト}$$

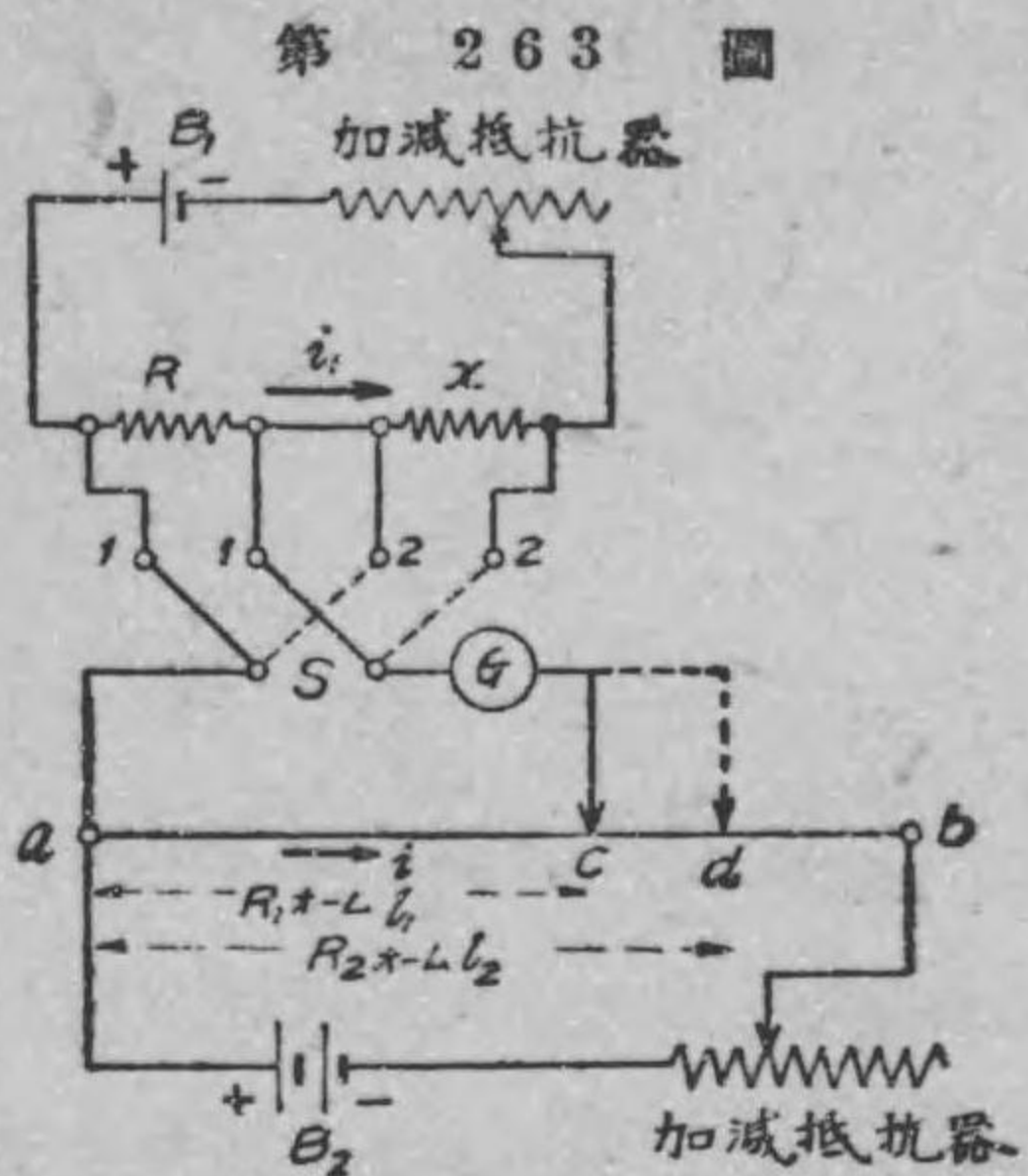
以上が電位差計の原理である。蓄電池に直列に接続された加減抵抗器は抵抗線に適當な一定電流 i を通ずる爲めに備へたものである。尙ほ實際の電位差計では、接觸子の位置から直ちに未知起電力が読み得る様に出来て居る。

167. 電位差計の應用

前節に述べた電位差計は電池の起電力を測るに最もよい方法であるが、之を利用して低い抵抗や電圧、電流等を測ることが出来る。茲に其方法を述べよう。

(1) 低抵抗の測定 第 263 圖は未知低抵抗 x を測定する接続である。既に抵抗の値の分かつて居る標準低抵抗 R と未知

抵抗 x とを直列にし、之に直流電源 B_1 から適当な電流 i_1 を通じ置く。先づ開閉器 S を (1) の位置に閉ぢ検流計 G の振れない時の接觸子の位置を c とすれば、 R の電圧降下は ac の電圧降下と等しい。次に開閉器 S を (2) の位置に閉ぢて又検流計の振れない時の接觸子の位置を d とすれば、 x の電圧降下は ad の電圧降下に等しい。故に次の関係がある。



電位差計を應用して低抵抗を測る法

$$\frac{i_1 x}{i_1 R} = \frac{i \times R_2}{i \times R_1} = \frac{i l_2}{i l_1} \quad \therefore \frac{x}{R} = \frac{l_2}{l_1}$$

$$\therefore x = \frac{l_2}{l_1} R \text{ オーム}$$

で未知抵抗 x の値が計算される。

(ロ) 直流電圧の測定 約 2 ヴォルト以下の電池の起電力の様な低い電位差を測るには前節に述べた通りであるが、高い電圧を測るには**ヴォルト函** (又は**分壓器**とも名付ける) なるものを使用して電位差計で測定することが出来る。第 264 圖は直流電圧 E を測定する接続を示すものである。 V は分壓器で、一組の高い抵抗 (R) を有する線輪 AB より成り、之に $\frac{R}{10}$ 又は $\frac{R}{100}$ 等の様な口出線 AA', CC' がある。 AB は E が 150 ヴォルト位では約 10,000 オームの抵抗で作られて居る。

先づ電位差計で $A'C'$ 間の電圧を測り之を e とすれば、 E と e との比は抵抗 R と r との比であるから、

$$\frac{E}{e} = \frac{R}{r}$$

$$\therefore E = e \frac{R}{r} \text{ ヴォルト}$$

此式で未知電圧 E は計算される。

例へば、分壓器の抵抗 $R=10000$ オームで、 AC の抵抗 $r=100$ オームで、電位差計で讀んだ電圧が $e=1.053$ ヴォルトであつたとすると、未知電圧 E は、

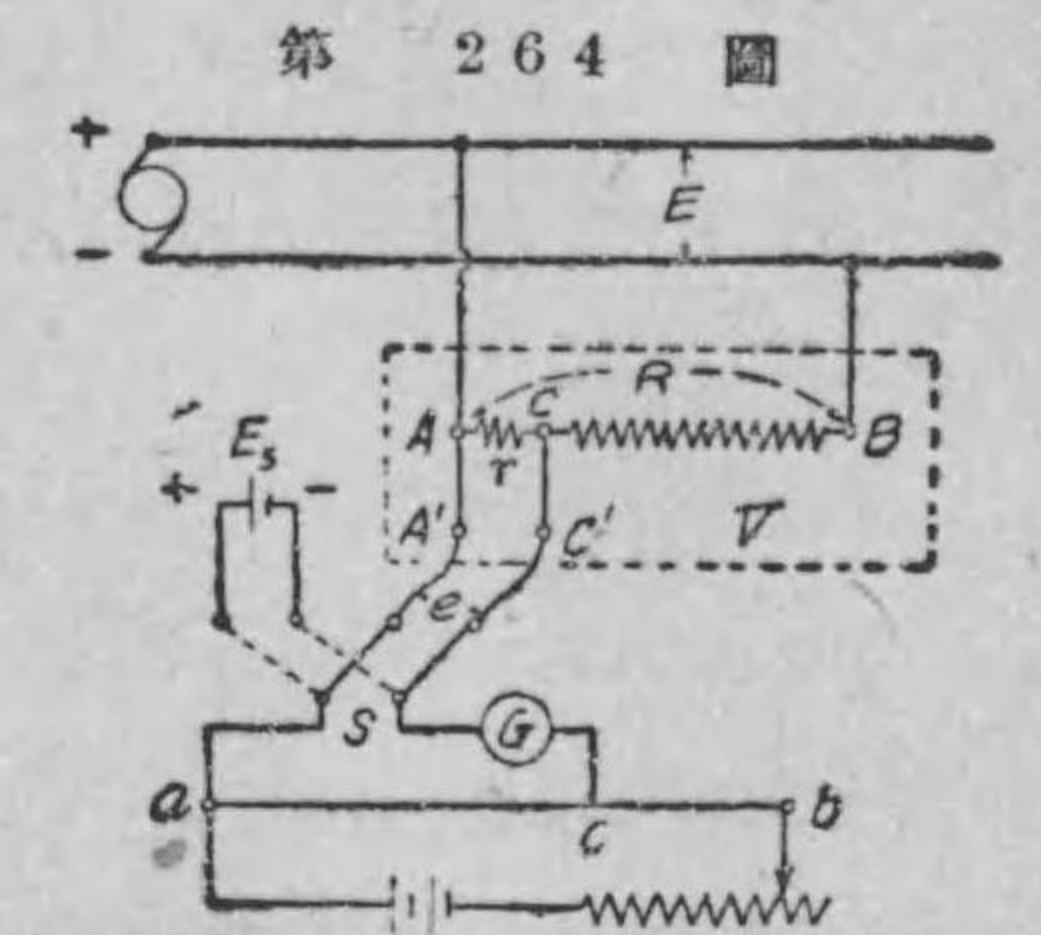
$$E = 1.053 \times \frac{10000}{100} = 105.3 \text{ ヴォルト}$$

(ハ) 直流電流の測定 測定しようとする未知電流 I を標準低抵抗 R に通じ置き、その R の兩端の電圧を電位差計で測つて、オームの法則で電流を計算することが出来る。第 265 圖は直流電流の測定の接続圖である。電位差計に依つて R の兩端の電圧を測り之を e とすると、

$$e = IR$$

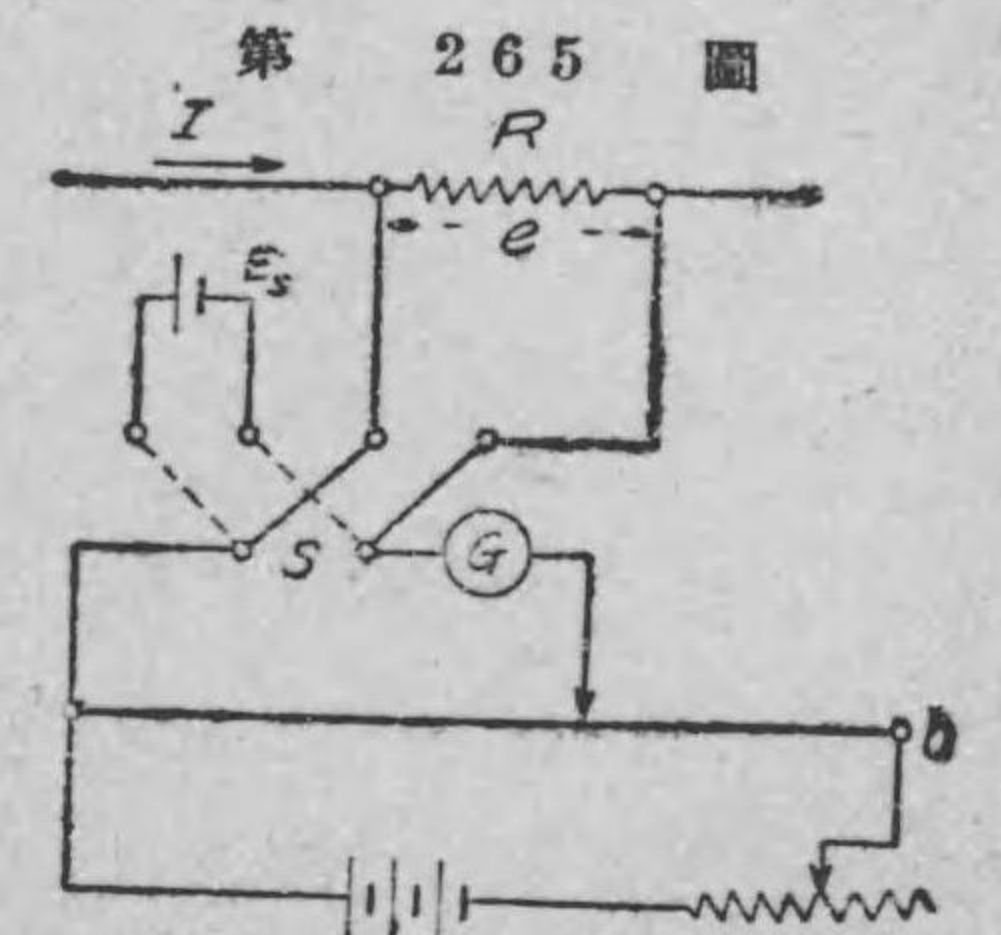
$$I = \frac{e}{R} \text{ ヴォルト}$$

此場合に使用する標準抵抗 R を**電位差計分流器**と稱する。例へば、



電位差計に依り直流電圧を測る方法

第 265 圖は直流電流の測定の接続圖である。電位差計に依つて R の兩端の電圧を測り之を e とすると、



電位差計に依り直流電流の測定法

分流器の抵抗 $R=0.01$ オームで、電位差計で測つた電圧が $e=0.75$ ヴォルトであつたとすると、未知電流 I は、

$$I = \frac{0.75}{0.01} = 75 \text{ アムペア}$$

以上に述べた電位差計によつて電圧、電流を測定するのは精密を要する場合であつて、日常の電気工業上では、電圧、電流は次章に述べる電圧計、電流計で直接測定するのである。

練習問題 XXI

1. 電位差計の原理を述べよ。
2. 大なる直流電圧を電位差計を用ひて測るには外に何か必要か。又其時の接続圖を畫いて見よ。
3. 直流電流を電位差計を用ひて測るには外に何か必要か。又其時の接続圖を畫いて見よ。

第二十二章 電圧計及電流計

168. 電圧計と電流計とは構造は違ふが動作原理は同一である 電圧のヴォルト数は電圧計で、又電流のアムペア数は電流計で測る事は既に第70節で述べた通りである。其使用法も既に述べた通りであるから、以下に電圧計及電流計の構造及び動作の原理を説明しよう。

電流計は之に通ずる電流に依つて指針を傾斜せしめる加動廻轉力を生ずるもので、電圧計は其の受けた電圧に比例する電流が之に通じ此電流に依つて指針を傾斜せしめる加動廻轉力を生ずるものである。即ち電圧計、電流計は何れもそれに通ずる電流によつて動作する事は同一である。然るに電流計は70節の第97圖及100圖に示す通り、電流を測らうとする電路に直列に接続するから電流計を接続しなかつた場合よりも其電流計の有する抵抗丈け増し、其電路の状態が變はる事になる即ち電流計を接続した爲めに其電流計の電壓降下がある。従つて之を出来る丈け少くする爲めに電流計の抵抗は出来る丈け低いものでなければならぬ。又電圧計は99圖及100圖に示す通り、電圧を測らうとする電路の部分に並列に接続するから電圧計の内部にも電圧計の受けた電圧に比例する電流が通ずる。即ち電圧計を接続しなかつた場合と電路の状態が變はる事になる。電圧計を接続しても電路の状態を

變へない様にする爲めには出来るだけ電圧計に通ずる電流を少くすべきである。従つて電圧計の有する抵抗は出来るだけ高いものでなければならぬ。此様に電圧計と電流計とは構造は違ふが働作原理は同一である。

169. 電圧計及電流計の分類

一般に直接實用單位で以て電氣の色々な量を表はし得る測定器を電氣計器と總稱する。さうして電氣計器の内でも、指針を有して居て其指針で測定しようとする量を指示する計器を指示電氣計器と稱する。電圧計や電流計は指示電氣計器に屬するものである。

電圧計及び電流計をその加動廻轉力を生ぜしめる働作原理によつて分類すると大體次の通りである。

- (1) 可動線輪型計器 …… 耐久磁石の作る磁界と線輪に通ずる電流との電磁作用を利用して加動廻轉力を生ずるもの。
- (2) 電流力計型計器 …… 電流と電流との間の電流力作用を利用して加動廻轉力を生ずるもの。
- (3) 可動鐵片型計器 …… 電流の軟鐵片を磁化する電磁石の作用を利用して加動廻轉力を生ずるもの。
- (4) 電熱型計器 …… 電流の熱作用を利用したもの。
- (5) 靜電型計器 …… 二つの充電體間の引力を利用したもの。

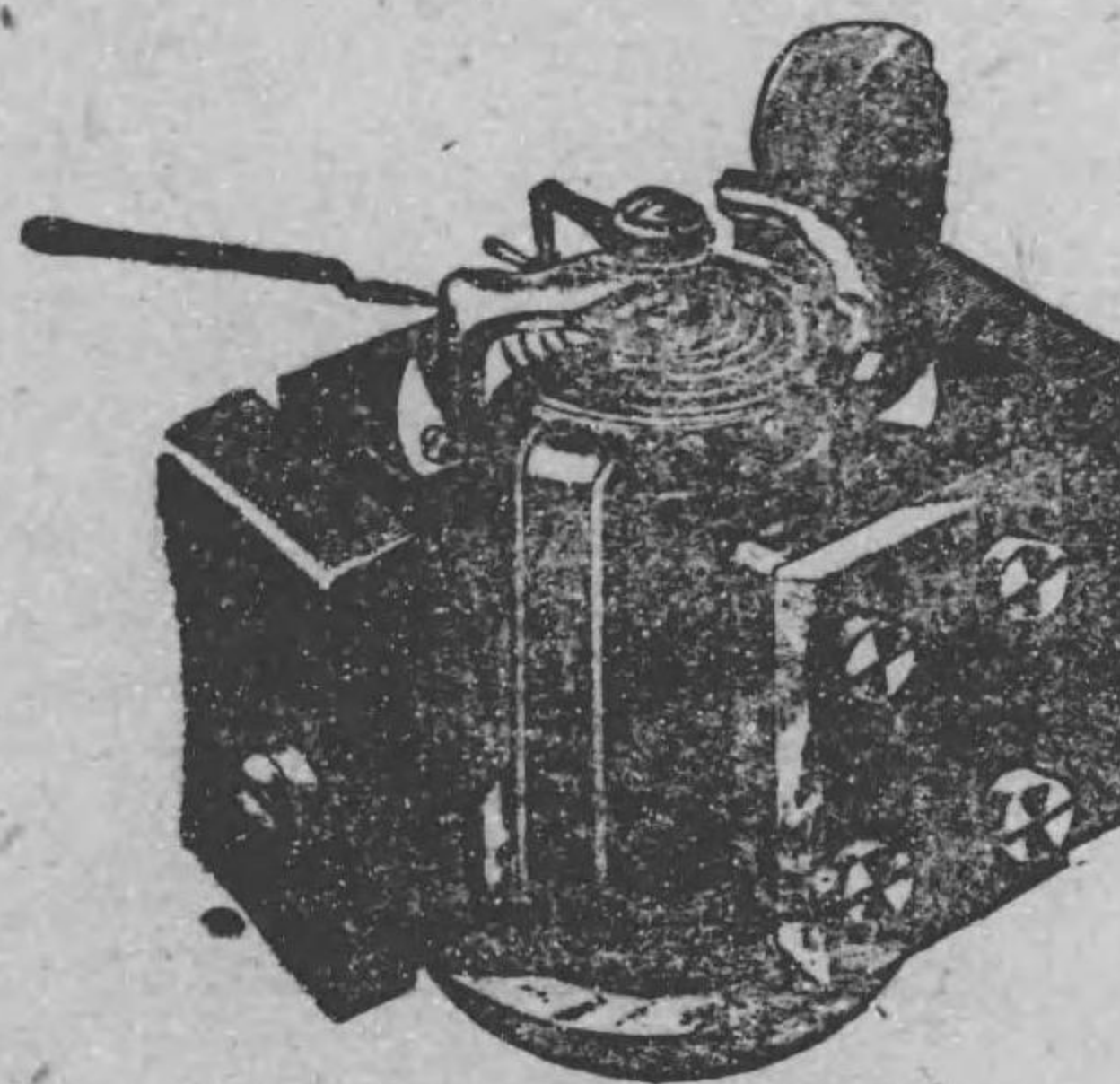
の(之には電流計は無く電圧計丈がある)。

(6) 誘導型計器 …… 電磁誘導作用を利用したもの。

以上六種の中で (1) は直流回路にだけしか使用出来ない、(2) から (5) までのものは直流及交流回路の何れにも用ふる事が出来る。(6) は交流回路のみに使用されるものである。茲では之等の中の可動線輪型計器と電流力計型計器とに就いて説明しよう。尙ほ第 12 章で説明した熱電流計は上の (4) に屬する一種類である。

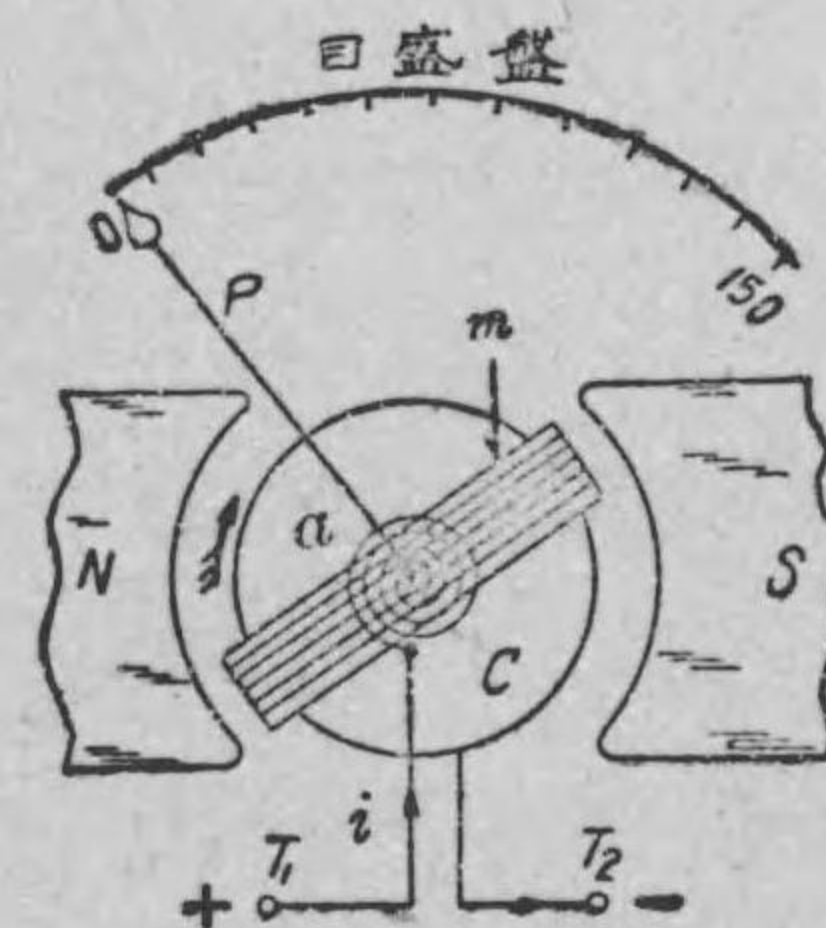
170. 可動線輪型計器 可動線輪型計器は可動線輪型檢流計と同一の原理で出来て居る。第 266 圖甲、乙は可動線輪

第 266 圖 甲



可動線輪型電流計の内部構造

第 266 圖 乙

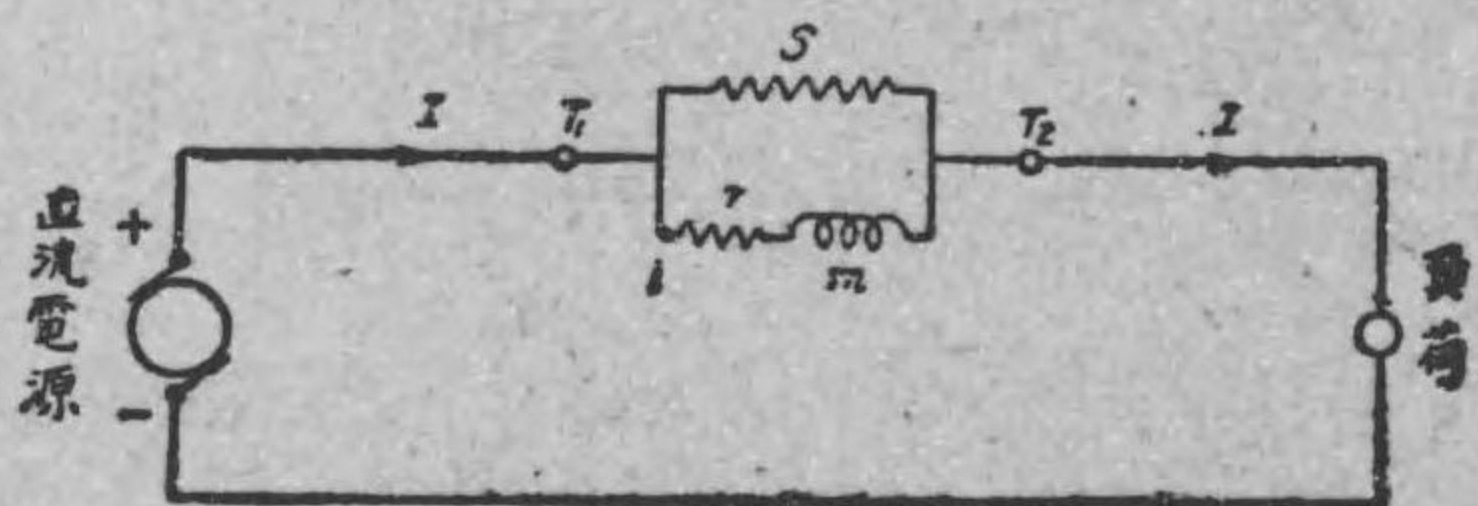


可動線輪型計器の略圖

型計器の主要部を示すものである。耐久磁石の二極 NS の作る磁界内に圓筒狀軟鐵心 C が備へられ、其空隙に線輪 m が其上下で支へられ、線輪の軸には指針が取付けられ、螺旋彈條 a を上下に装置してある。此彈條は電流を線輪に導く用もなすのである。今直流電源の陽極に T_1 端子を又陰極に T_2 端子を接続して圖に示す様に線輪に電流を通ずると左手三指の規則に従つて線輪 m は電磁力を受けて矢の方向に廻轉する。即ち電流に比例する加動廻轉力を生ずる。然るに線輪が廻ると彈條 a の爲めに反對方向にほど戻さうとする廻轉力即ち制御廻轉力を生じ、之が丁度加動廻轉力と釣合つた位置に線輪は止まる。従つて指針 P は目盛盤上に記されたアムペア數又はヴォルト數を指すのである。尙ほ此計器の制動装置としては檢流計と同様に線輪をアルミニウム枠に捲いてある。即ち渦流制動を用ひてある。

以上が可動線輪型計器の原理である。實際に於ては、可動線輪は細い針金を使つて軽く出来て居る上に可動線輪に電流を導くべき彈條には大きな電流を通ずる事が出来ない。依つて電流計の場合には之に適當の並列

抵抗即ち分流器が接続されて居る。尙ほ温度の影響を少くするために可動線輪 m にもマンガニ抵抗 r が直



第 267 圖
可動線輪型電流計の接続を示す。

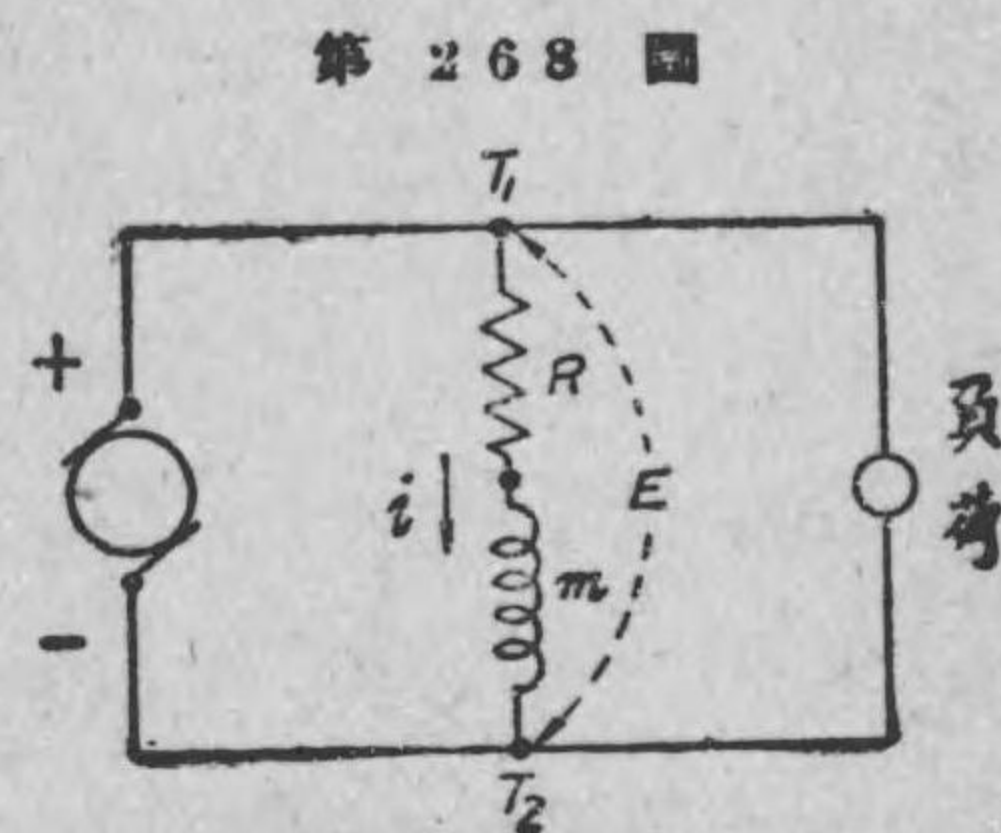
列に接続されてある。第 267 圖は可動線輪型電流計の接続圖を示す略圖で m は可動線輪、 S はマンガニ製の分流器である。電流 I を測定しようとする電路に圖に示す様に電流計の端子 T_1 、 T_2 を接続すると、可動線輪には i なる電流が通じ、之によつて前に述べた通り可動線輪 m に取付けられた指針が目盛盤上にアムペア數を示す。目盛盤上には I なる電流の値が目盛されるのである。

又電壓計は前に述べた様に可動線輪に通すべき電流は出来るだけ小なる爲めには電壓計全部の抵抗を高抵抗にすべきであるから、その爲めに可動線輪に直列に適當な抵抗が接続されてある。此可動線輪に直列に接続された抵抗を電壓計の倍率器はいりつきと稱する。

第 268 圖は可動線輪型電壓計の接続を示す略圖である。圖に於て m が可動線輪、 R は倍率器で

T_1 、 T_2 が電壓計の兩端子で、之を電壓 E を測らうとする二點に結ぶと、 R 及 m に電流 i が通じ之によつて前に述べた通り可動線輪に取付けられた指針が目盛盤上にヴォルト數を示す。目盛盤上には E なる電壓の値が示されるのである。

電流計の分流器や電壓計の倍率器はマンガニ抵抗で出来て居る。

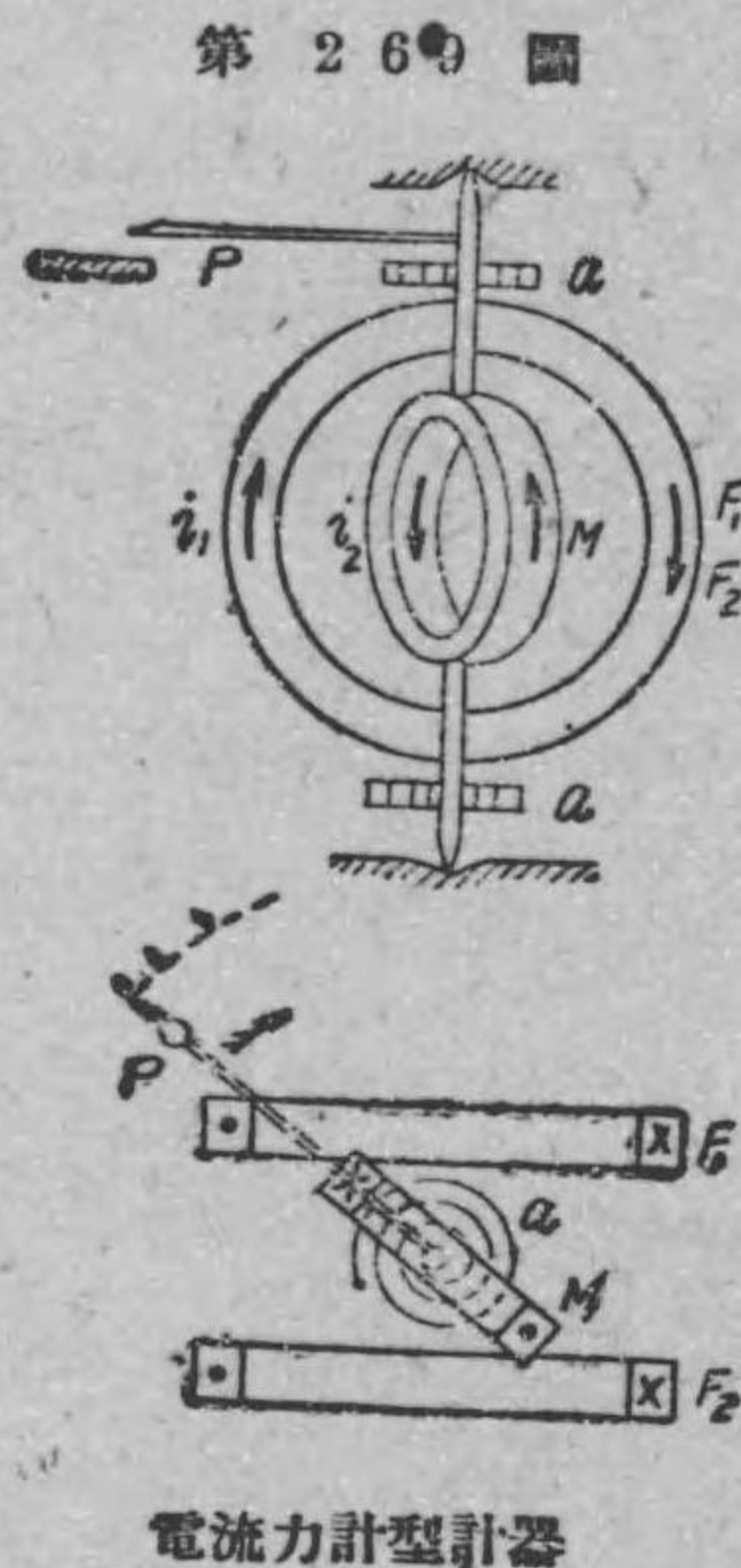


第 268 圖
可動線輪型電壓計の接続を示す。

171. 電流力計型計器

電流力計型計器は電流と電流との間の電流力作用を利用したものである。即ち固定された線輪と動く事の出来る線輪とに電流が通ずる場合、電流の方向同じ部分は吸引し反方向の部分が反撥するから、可動線輪が電流の相乗積に比例する電流力の爲めに加動廻轉力を生ずるのである。第269圖は電流力計型計器の働作原理を示すものである。圖に於て F_1, F_2 は固定された線輪、 M は可動線輪、 a は制御用螺旋彈條、 P は指針である。甲は横から見た断面

圖で、乙は上から見た断面圖である。今各線輪に圖に示す方向に電流が通ずると、可動線輪は i_1, i_2 の相乗積に比例する電流力作用の爲めに時計式方向に廻る。此加動廻轉力と彈條 a の制御廻轉力とが釣合つた位置に M は止まる。従つて可動線輪の軸に取付けられた指針は目盛盤上にヴォルト數又はアムペア數を示す譯である。



電流力計型計器

尙ほ實際に於ては電壓計の場合は、第270圖に示す様に、固定線輪 F_1, F_2 と可動線輪 M とは直列に接続され尙ほ之に倍率器 R が直列に接続されて居る。 T_1, T_2 は此電壓計の兩端子で、電壓 E を測らうとする回路に接続すると、固定線輪及可動線輪には同一の値の小電流が通じ、従つて其電流

の自乗に比例する加動廻轉力を生ずる。目盛盤上の指針の指示するヴォルト數は E の値である。

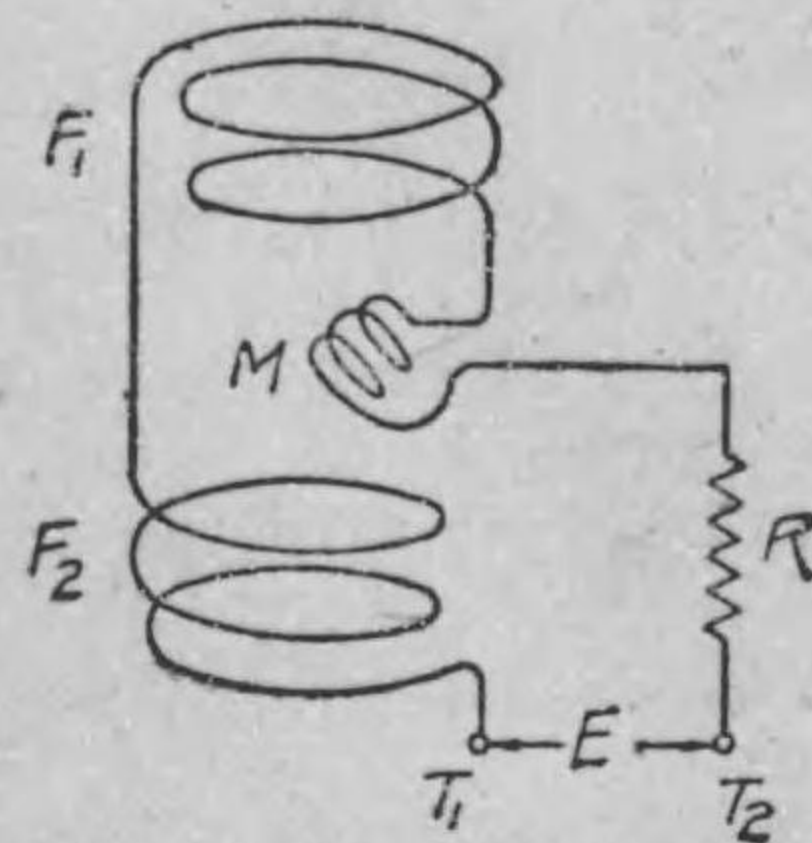
又電流計の場合は、可動線輪に電流を導くべき螺旋彈條には大なる電流を通ずる事が出来ないから、第271圖の様可動線輪 M と固定線輪 F とを並列に接続する。尙ほ各線輪には別

々にマンガニン直列抵抗 R_1, R_2 が接続されて居る。 T_1, T_2 は此電流計の兩端子で、之を電流 I を測定しよ

うとする回路に直列に接続すると、固定線輪に i_1 、可動線輪に i_2 なる電流が分流し、従つて可動線輪は i_1, i_2 の相乗積に比例する加動廻轉力を生ずる。 i_1, i_2 は I に比例するから、加動廻轉力は I の自乗に比例する譯である。目盛盤上の指針の指示するアムペア數は I の値である。

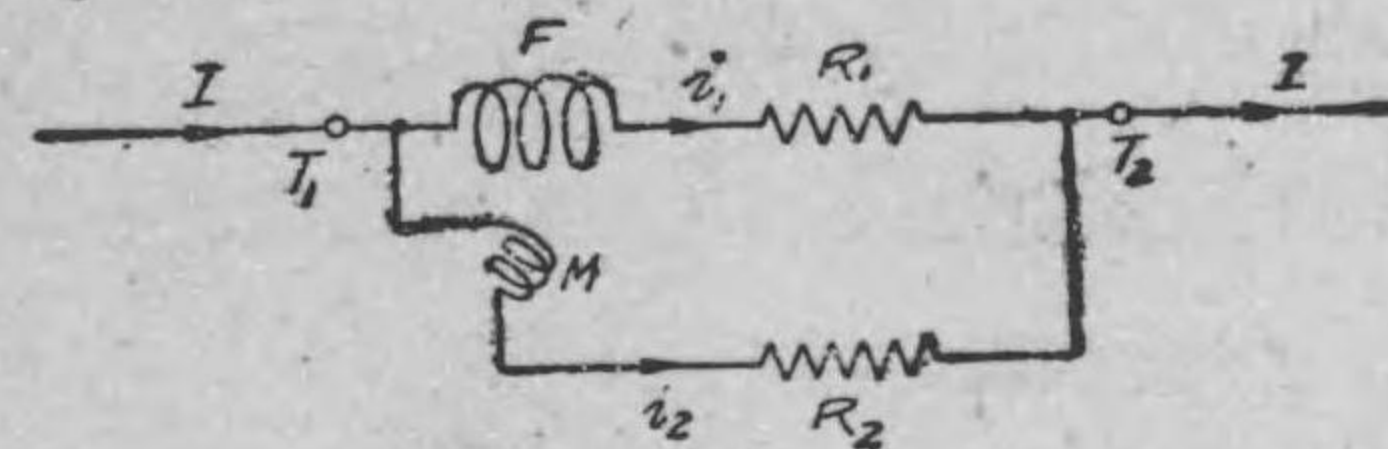
電流力計型計器は直流は勿論交流回路にも用ひられる。何故なれば計器の兩端子に前と反對方向の電流又は電壓を與へても固定線輪及可動線輪には同時に前と反對方向の電流通ずるから、可動線輪に作用する加動廻轉力は前と同方向になるからである。尙ほ

第 270 圖



電流力計型電壓計の内部接続

第 271 圖



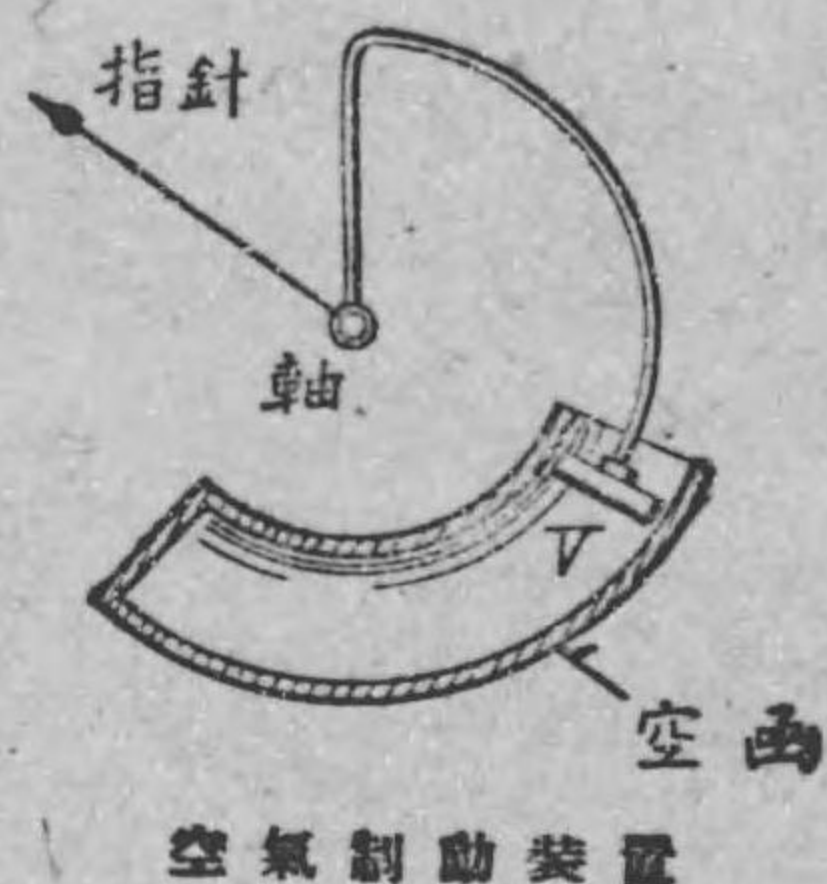
電流力計型電流計の内部接続。

交流に用いた場合の電流計の指示するアムペア數電壓計の指示するヴォルト數は凡て實效値である。

電流計型計器の制動装置としては可動線輪を金屬枠に捲く方法は用ひられない。何故なれば、若し之を用ひると交流に依つて常に金屬枠内に渦流が誘導されるから

である。故に可動線輪の振動を早く止める制動装置としては第 272 圖に示す様に可動部分にアルミニウムの翼 V を取付け、之が空函内で動くとき空氣の抵抗の爲めに早く振動が止るのである。此様に空氣の抵抗を利用して制動する事を空氣制動と稱する。

第 272 圖



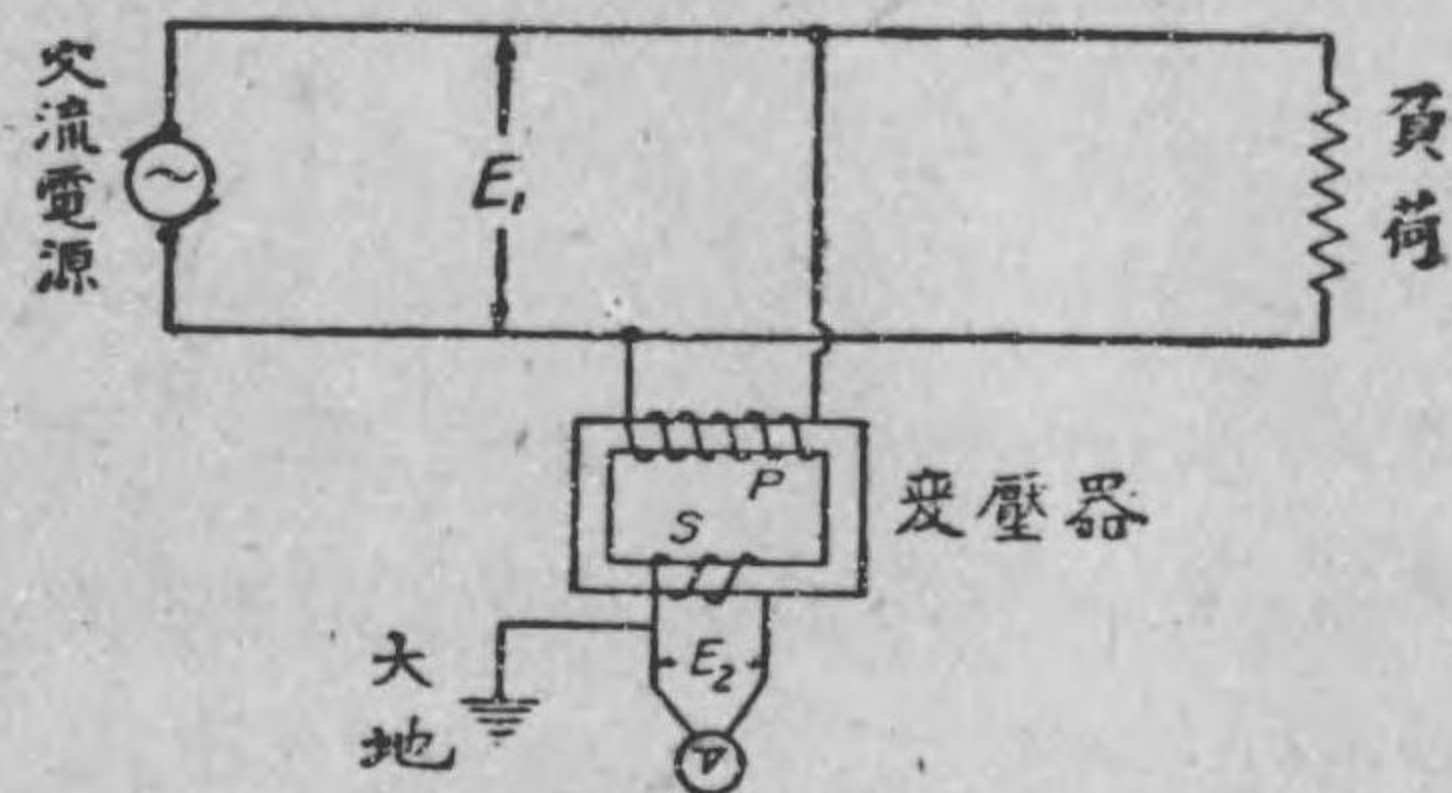
172. 高電壓の交流回路用計器は變成器と共に用ひる

電壓計には適當な倍率器を用ひ、又電流計には適當な分流器を用ひて高い電壓や大なる電流を測る事が出来る。然し高い電壓の交流回路に用ひる計器では電壓が非常に高いと計器の絶縁を破つて危険である。それで高電壓の交流回路の電壓や電流を測るには變成器を用ひる。之を計器用變成器と稱する。さうして電壓計には變壓器を又電流計には變流器と云ふものを用ひる。變流器と云ふのは變壓器と同一の原理で作られた變成器で、只構造が少し違つたものである。之等變壓器及變流器に就いての詳し

い説明は別冊の電氣機械變壓器の方に述べてある。

第 273 圖は高電壓の交流回路の電壓 E_1 を測定する場合の電壓計と變壓器との接続を示すものである。變壓器の一次線輪 P の受けた電壓 E_1 と二次線輪 S の電壓 E_2 とは P の捲數と S の捲數との比になるのである。

第 273 圖

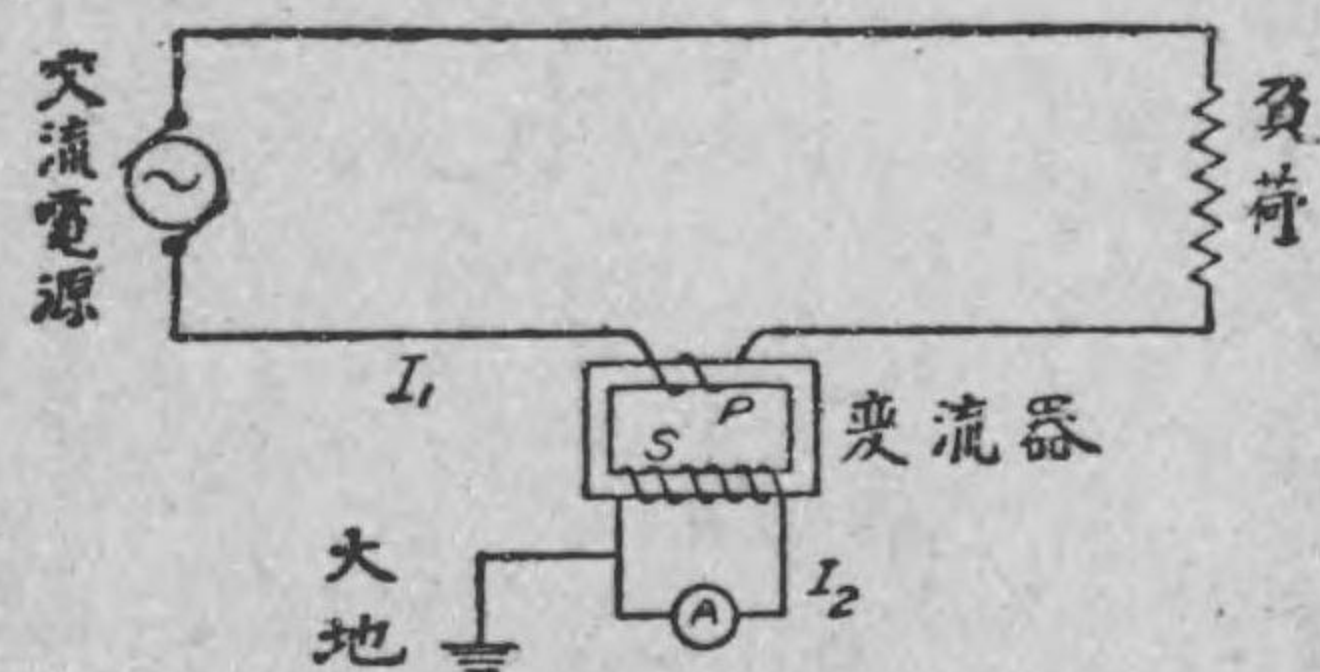


高電壓用電壓計の接続を示す。

普通變壓器は二次電壓が最大 100 ヴォルト位になる様に設計されてある。さうして之に接続された電壓計 V の目盛は直に測定電壓 E_1 が讀める様に目盛りされてある。

第 274 圖は交流 I_1 を測定する場合の電流計と變流器との接続を示すものである。變流器の一次線輪 P に通ずる電流 I_1 と二次線輪 S に通ずる電流 I_2 とは P 、 S の捲數に逆比例するものである。變流器は二次

第 274 圖



高電壓用電流計の接続を示す

電流が最大 5 アムペア位になる様に設計されてある。さうして之に接続された電流計 A の目盛は測定電流 I_1 が直に讀める様に目盛りされてある。

上の様に高電圧の電路に於て變成器を使用する場合には取扱者に危険の虞がない様に變成器の二次線輪側の一方を大地と連絡するのである。此事を二次側を接地すると稱する。

練 習 問 題 XXII

1. 負荷の電壓を電壓計で測る場合の接続圖を畫いて見よ。
2. 負荷の電流を電流計で測る場合の接続圖を畫いて見よ。
3. 電壓計と電流計とは働作原理が同一である事を説明せよ。
4. 直流用電壓計及電流計の構造の大略を述べよ。
5. 直流にも交流にも使用出来る電壓計の構造の大略を述べよ。
6. 高電壓の交流回路用電壓計附屬器は何か。又其接続圖を畫いて見よ。
7. 高電壓の交流回路用電流計附屬器は何か。又其接続圖を畫いて見よ。

第二十三章 電力の測定

173. 直流電力は電壓計と電流計とを用ひて測る事も出来る。第 275 圖甲に示す直流電路に於て、負荷に與へられた電壓が E ヴォルトで、負荷電流が I アムペアの場合には、負荷に費やされる

電力 P は、

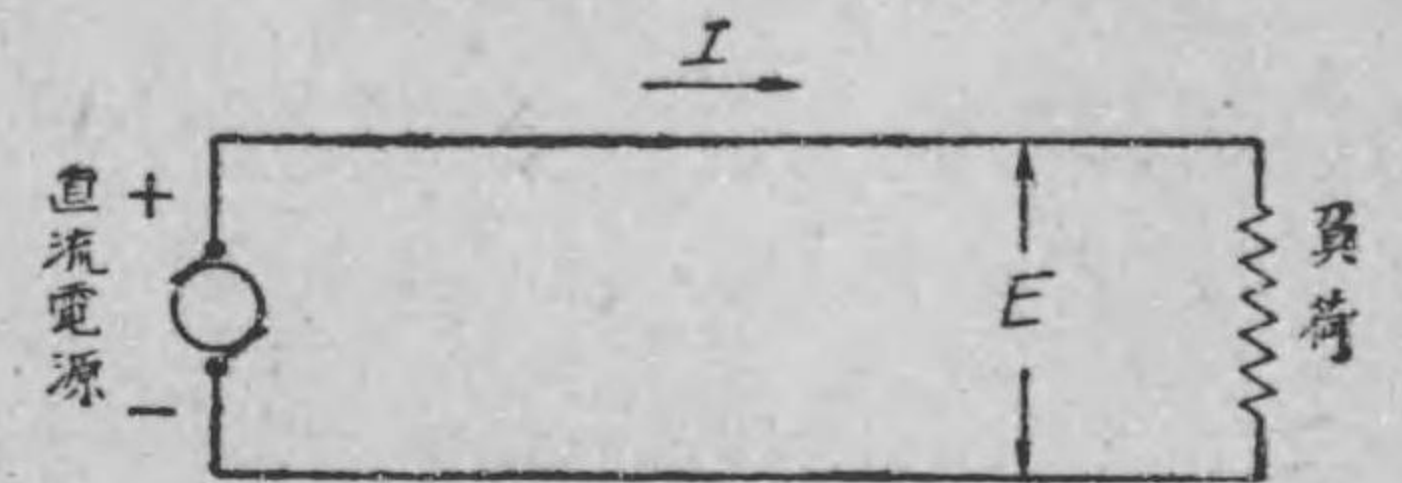
$$P = EI \text{ ワット}$$

である。故に電壓 E を讀むべき電壓計と電流 I

を讀むべき電流計とを接続して、兩計器の讀みの相乗積を取れば之が求むる負荷の電力 P である。即ち第 275 圖乙の様に電壓計 V 及電流計 A を接続して、各の讀みの相乗積を取ればよい。又は丙圖の様に電壓計及電流計を接続して、各の讀みの相乗積を取つてもよい。

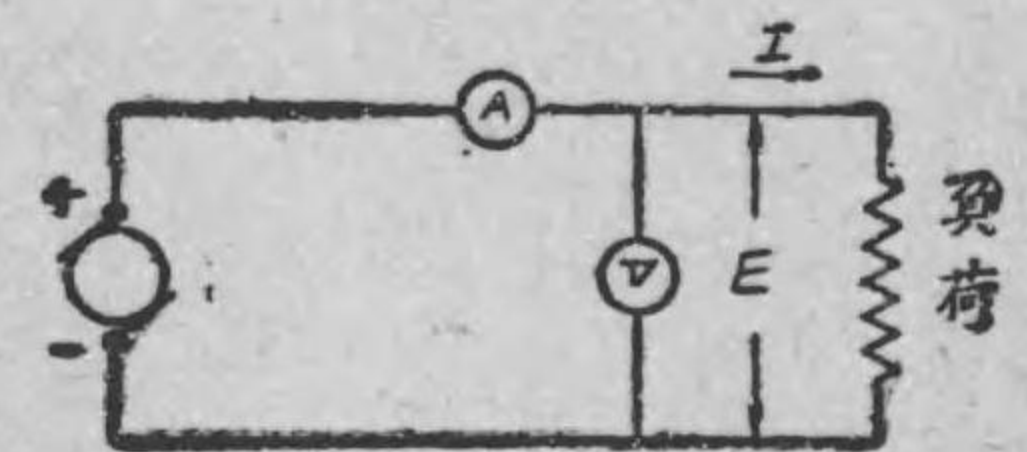
尤も嚴密に考へると第 275 圖乙、丙の接続で負荷電力を上のようにして計算した値は少し違ふのである。何故なれば乙圖の場合には電壓計の讀みは負荷電壓 E である

第 275 圖 甲

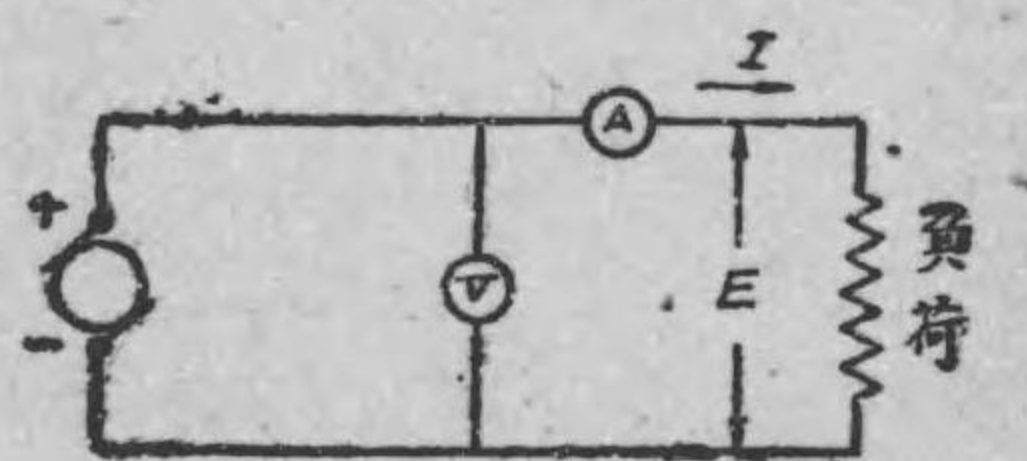


直流電力 $P = EI$ ワット

第 275 圖 乙



第 275 圖 丙

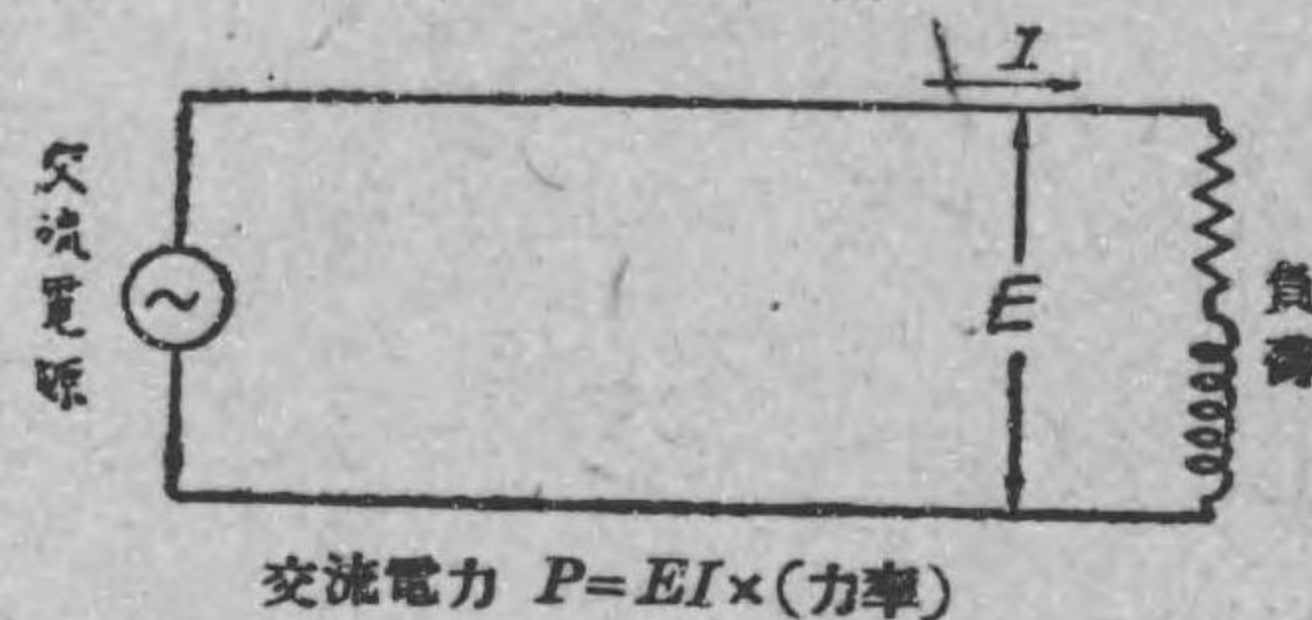


電壓計及電流計による直流電力の測定

が、電流計の読みは負荷電流 I と電圧計に通ずる小電流との和であるから、兩計器の読みの相乗積は負荷電力 P よりは少し大になる。又丙圖の接続では、電流計の読みは負荷電流 I であるが、電圧計の読みは負荷電圧 E と電流計の電圧降下との和であるから、兩計器の読みの相乗積は負荷電力 P よりは少し大になる譯である。然し電圧計に通ずる電流は小で又電流計の電圧降下は小になる様に作られて居るから、精密を要しない場合には、乙、丙何れの場合でも兩計器の読みの相乗積で以て負荷電力としても差支へない。

交流回路の電力は電圧計と電流計と丈けを使つて上の様にしては測られない。何故なれば、

第 276 圖に示す様な交流回路があつて負荷の電圧(實効値)が E ヴォルト、負荷電流(實効値)が I ア



第 276 圖 交流電力 $P=EI \times (\text{力率})$

ムペアである場合は負荷の電力 P は、

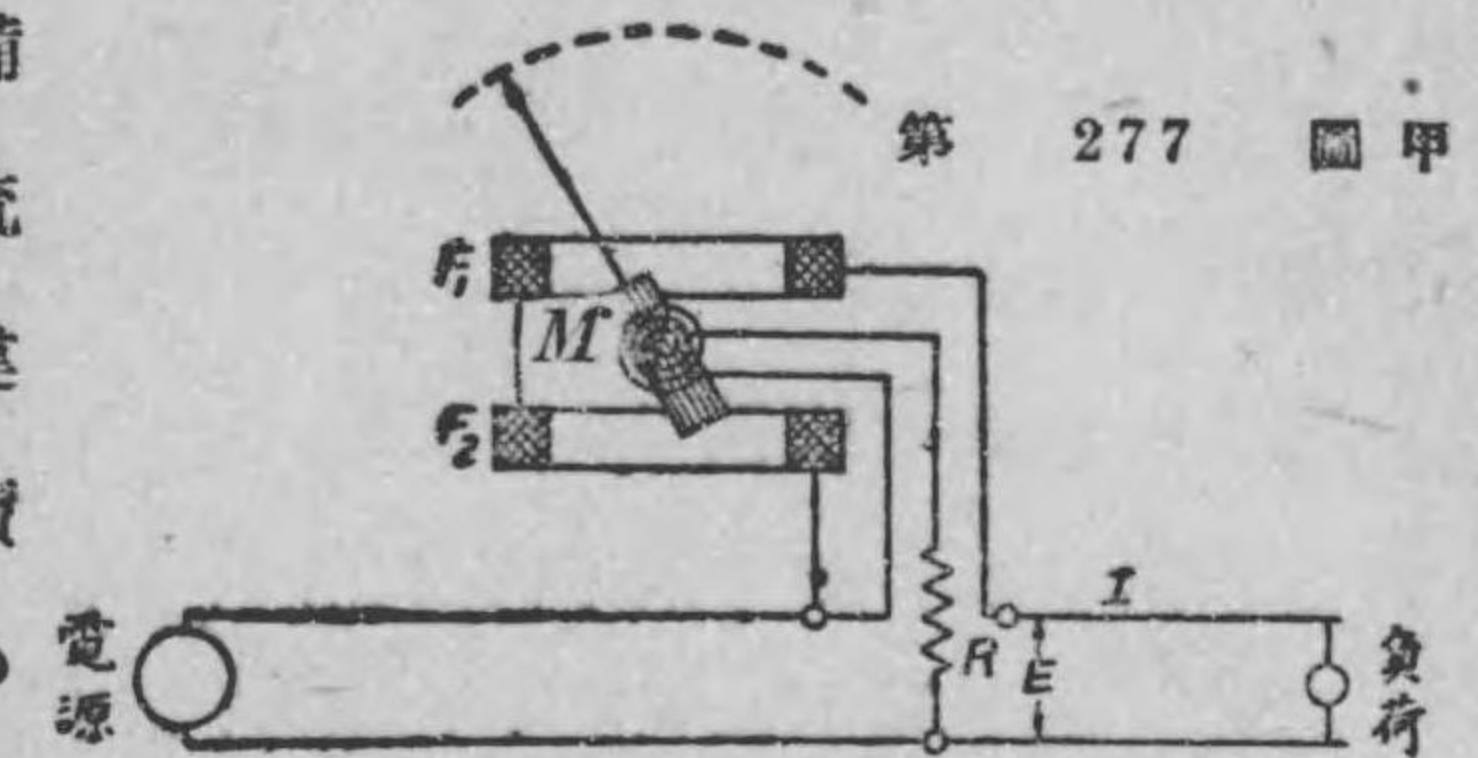
$$P=EI \times (\text{負荷の力率}) \text{ワット}$$

であるから、 E, I は夫々交流電圧計、交流電流計で直に測れるが、力率が不明であるから、電圧計と電流計と丈けでは交流電力 P は測れないのである。普通、直流、交流の如何に拘らず電力は電力計で測定する。又以下特に断はらなくても交流の場合の電圧電流の値は凡て實効値で表はしたものである。

174. 指示電力計 普通使用される電力計は電流力作用を利用した電流力計型電力計である。

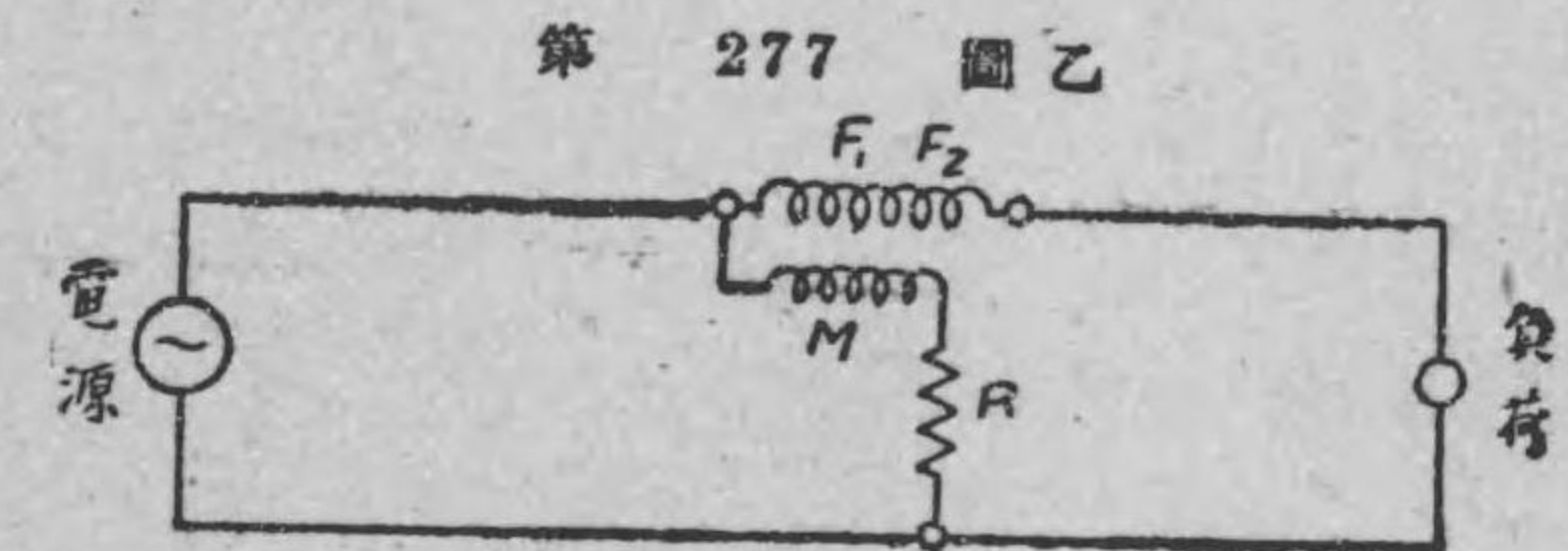
之は前に述べた電流力計型計器と同様な構造で、即ち固定線輪と可動線輪とを有し、可動線輪には制御用弾條を備へて居る事は電圧計電流計と同様で只其接続が違ふばかりである。其接続

は第 277 圖甲の様になつて居る。固定線輪 F_1, F_2 は負荷に直列に接続されて之には負荷電流 I が通じ、可動線輪 M には直列抵抗 R が接続されて、負荷電圧を受ける様に接続されて居る。従つて可動線輪には電圧 E に比例する電流が通じ、其電流と固定線輪に通ずる負荷電流との相乗積に比例する電流力により可動線輪は加動廻轉力を生ずる。従つて加動廻轉力は負荷電力に比例する。此電力に比例する廻轉力のために指針が動く。目盛盤には電力のワット数が目盛されてある。故に此電力計によつて直に指針の指示するワット数が読み得る。之が指示電力計の原理である。甲圖を簡



電流力計型電力計

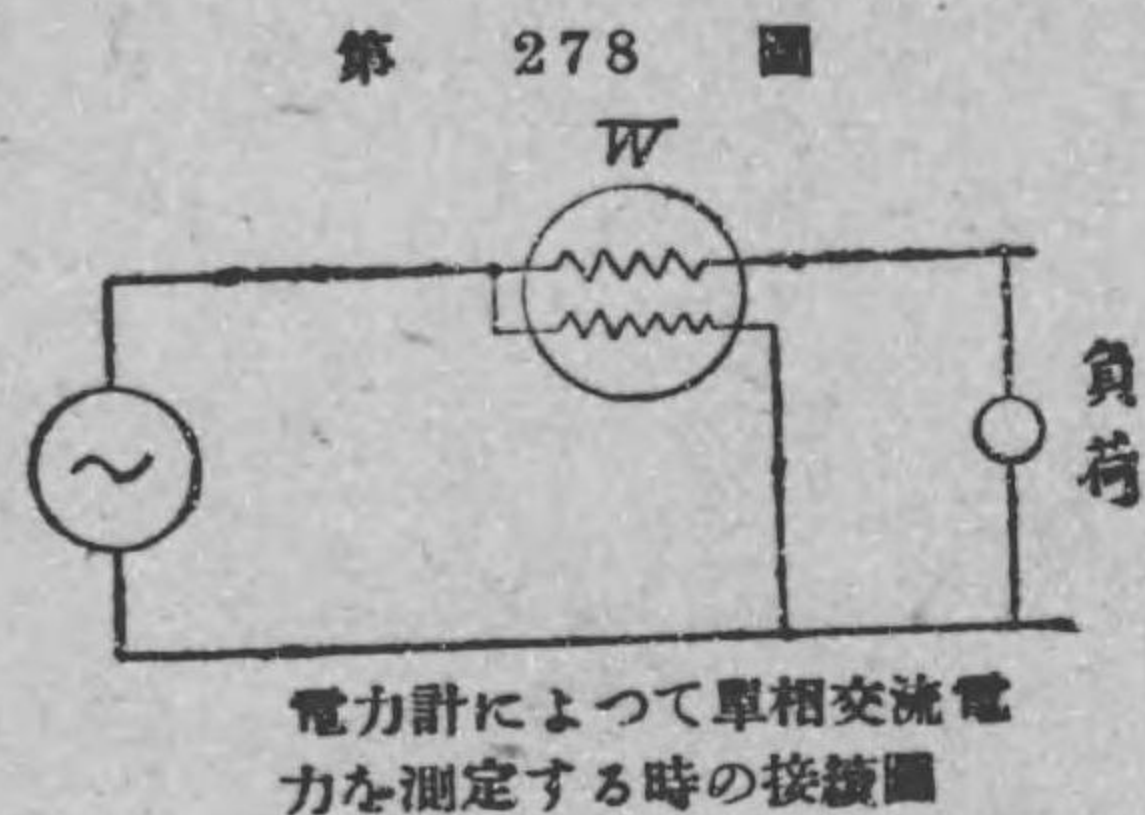
単に畫くと乙圖の様になる。固定線輪 F_1, F_2 は負荷に



第 277 圖乙

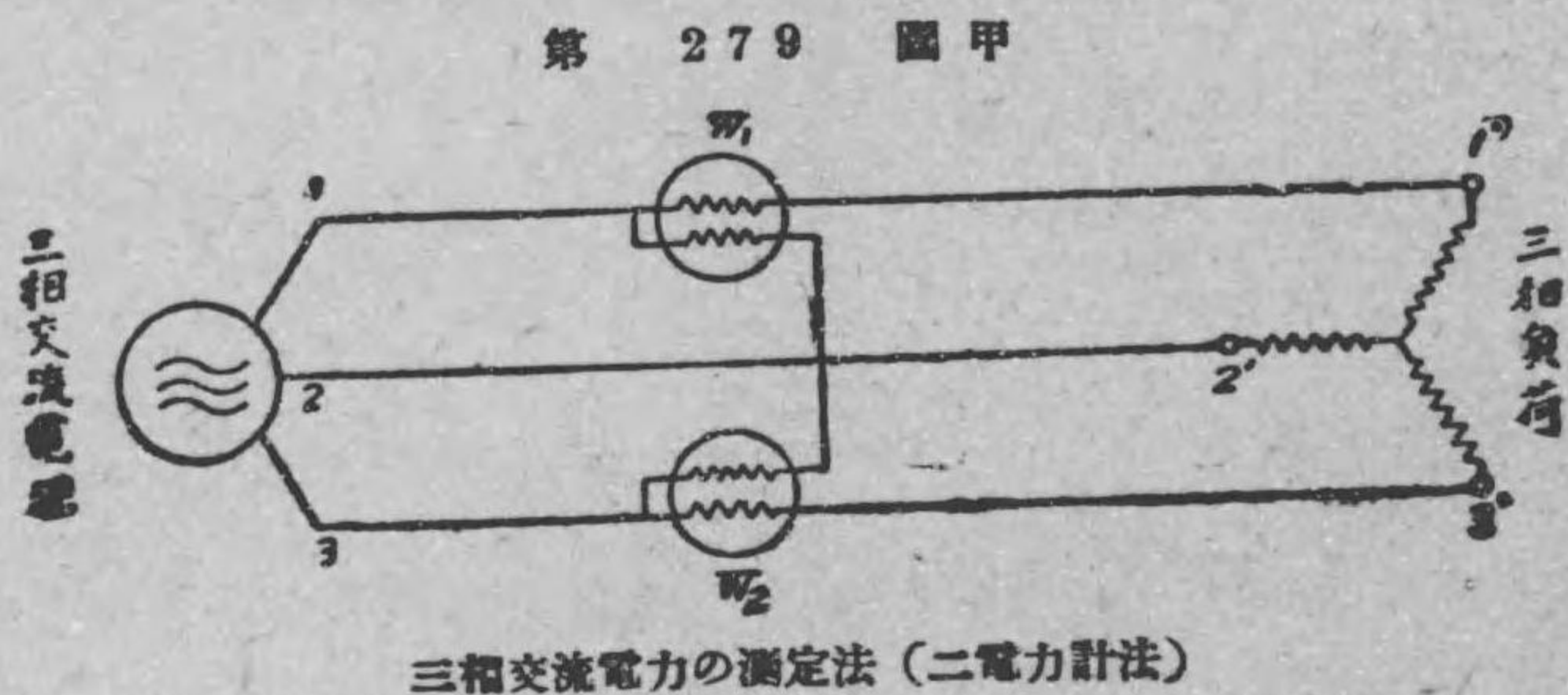
直列に接続されて負荷電流が通ずるから之を電流線輪（又は直列線輪）と稱し、可動線輪 M は負荷に並列に接続されて負荷電圧を受けるものであるから之を電圧線輪（又は分流線輪）と稱する。

175. 単相交流電力の測定法 電流力作用を利用した計器は直流にも交流にも使用されるものであるから、単相交流電力を、前節に述べた電流力計型電力計を以て直接ワットで読む事が出来る。即ち電力計を第278 圖に示す様に接続して指針の指示するワット數を讀めばよい。 W は電力計の略記號である。

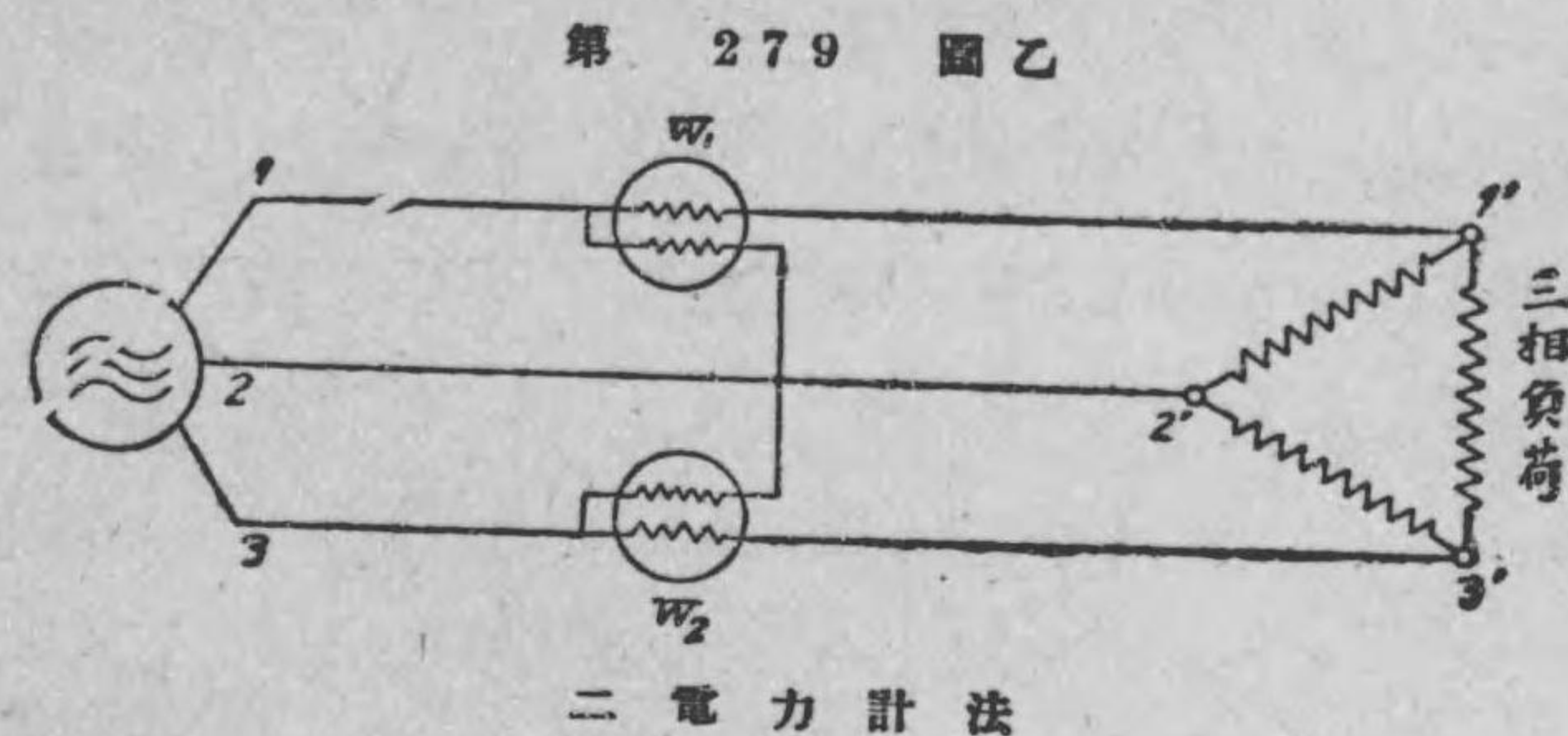


176. 三相交流電力の測定法 三相交流電力を測るには普通二個の電力計を使用する二電力計法と云ふ方法が用ひられる。

第 279 圖甲は二電力計法の接続を示すもので、 W_1, W_2 は二個



の電力計である。 W_1 の電流線輪を 1 線に直列に接続し、その電圧線輪を 1 線と 2 線の間接続し、又 W_2 の電流線輪を 3 線に直列に接続し、その電圧線輪を 3 線と 2 線との間に接続する。さうして W_1, W_2 の各の電力計の讀みの和を取れば之が三相負荷の電力である。此圖では三相負荷が星形結線になつて居る場合



を示したが、三相負荷が三角結線の場合でも二個の電力計の接続は同様にして、(乙圖参照) 各計器の讀の和を取ればよろしい。以上は三相電力測定の方法であるが、その理窟の説明は省略する。

177. 力率の測定法 単相交流回路及平衡三相回路の力率を測定する方法を説明しよう。

(イ) 単相交流回路の力率の測定法 単相交流回路の負荷の電圧を E ヴォルト、負荷電流を I アムペアとすれば、負荷の電力 P は

$$P = EI \times (\text{力率}) \quad \text{ワット}$$

であるから、此式から力率を求めると次の通りになる。

$$(\text{力率}) = \frac{P}{EI}$$

故に、電力 P を測る電力計 W 、電圧 E を測る電圧計 V 、電流 I を測る電流計 A を第 280 圖の様に接続して、各計器の読みを夫々 P ワット、 E ヴォルト、 I アムペアとせば、負荷の力率は上の式で計算する事

出来る。例へ

ば、圖の接続で、電力計 W の読みが 400 ワット、電圧計 V の読みが 100 ヴォルト、電流計 A の読みが 5 アムペアであるとする

と、此負荷の力率は、

$$(\text{力率}) = \frac{P}{EI} = \frac{400}{100 \times 5} = 0.8 = 80 \text{ パーセント}$$

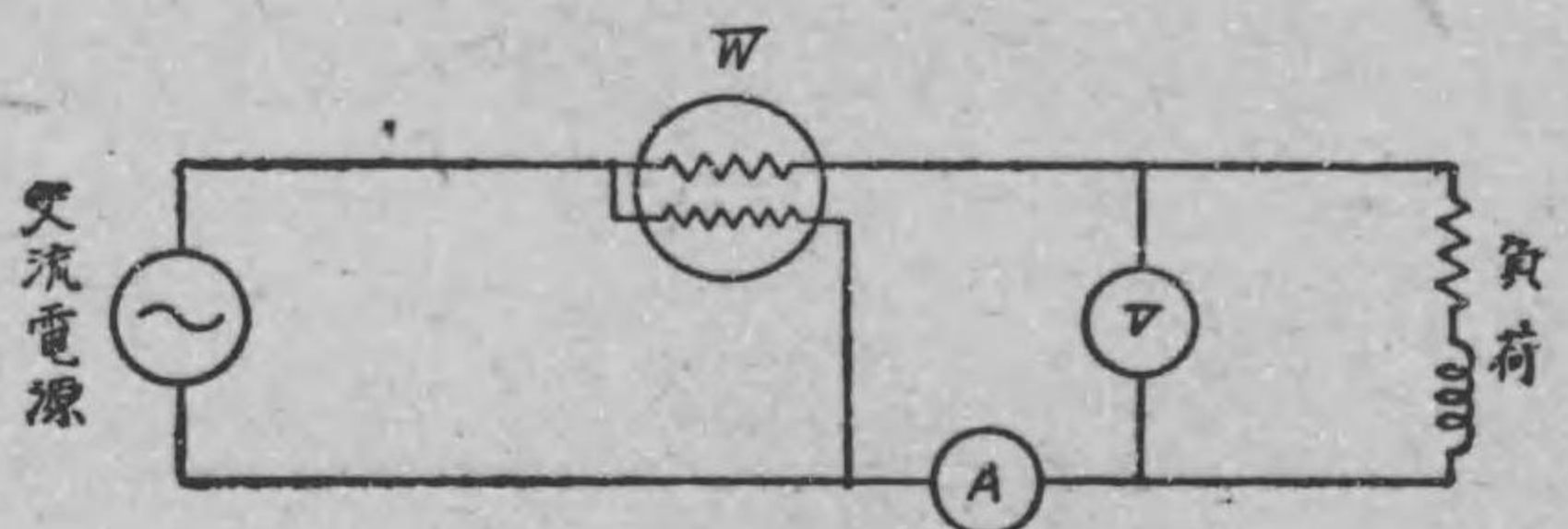
である。

(ロ) 平衡三相回路の力率の測定法 平衡三相回路に於て線間電圧が E ヴォルト、線路電流が I アムペアなる場合負荷の三相電力 P は、

$$P = \sqrt{3} EI \times (\text{力率}) \quad \text{ワット}$$

で表はされる。故に此式を書きかへると、負荷の力率は次の通りである。

第 280 圖

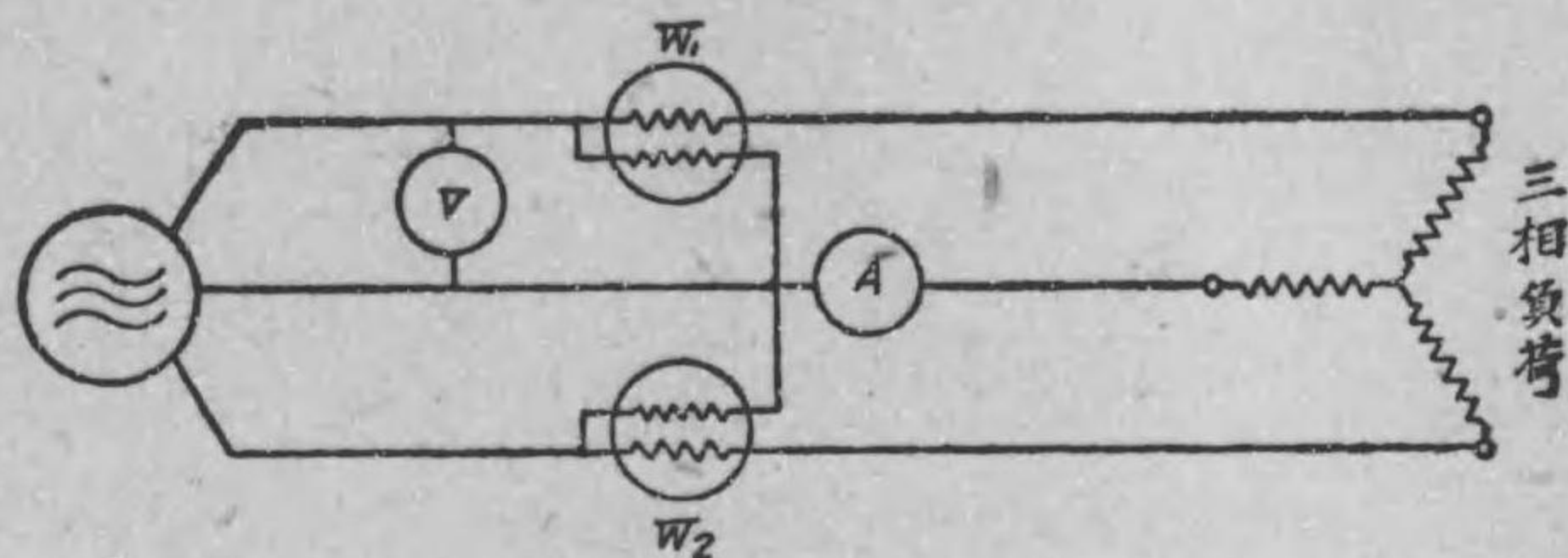


単相負荷の力率の測定法

$$(\text{力率}) = \frac{P}{\sqrt{3} EI}$$

故に、第 281 圖に示す様に三相電力 P を測るに二個の電力計 W_1 、

第 281 圖



三相負荷の力率測定法

W_2 を使用し、(即ち二電力計法を應用し) 又線間電圧を測る電圧計 V 、線路電流を測る電流計 A を接続して、各計器の読みを取り、上式に代入して計算すれば此三相負荷の力率を測る事が出来る。例へば、圖の接続で、 W_1 の読みが 500 ワット、 W_2 の読みが 250 ワット、 V の読みが 100 ヴォルト、 A の読みが 5 アムペアであつたならば、力率は、

$$\begin{aligned} (\text{力率}) &= \frac{P}{\sqrt{3} EI} = \frac{(500 + 250)}{\sqrt{3} \times 100 \times 5} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 500} \\ &= \frac{3}{\sqrt{3} \times 2} \\ &= \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866 \\ &= 86.6 \text{ パーセント} \end{aligned}$$

である。

練 習 問 題 XXIII

1. 電圧計と電流計とを用ひて直流電力を測る場合の接続圖を畫いて見よ。
2. 電力計を用ひて直流電力を測る場合の接続圖を畫いて見よ。
3. 三相交流電力の測定法を述べよ。
4. 平衡三相回路の力率を測る方法を述べよ。

第二十四章 電力量の測定

178. 電力量の測定 電氣エネルギー即ち電力量を測るに積算電力計を用ひる事は既に第 86 節に述べた通りである。電力量 W と電力 P と時間 t との間には第 88 節に述べた通りの關係があるから、電力量は次の様に表はされる。

$$W = P \times t$$

故に電力が之を使用して居る間一定である場合には、その時間の間消費した電力量は、電力を測る電力計の読みと使用した時間とから計算出来る譯である。然し電力 P が一定でない場合には此様にしては電力量は測れない。例へば、使用した總時間 t 中、 t_1 時間は電力 P_1 、 t_2 時間は電力 P_2 、 t_3 時間は電力 P_3 、 t_4 時間は電力 P_4 、 t_5 時間は電力 P_5 を使用したとすれば、 $t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$ 時間の間の電力量 W は、

$$W = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5$$

である。

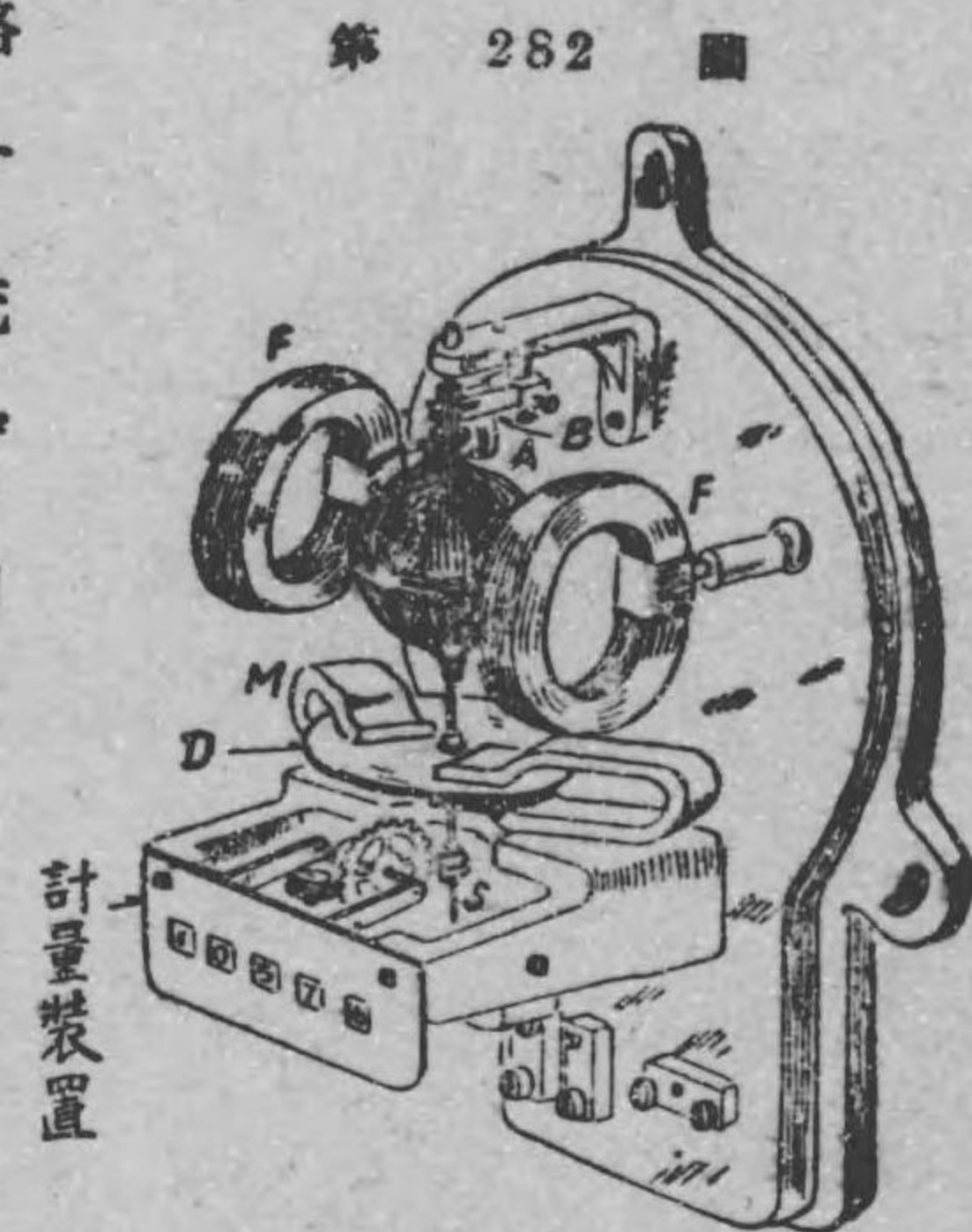
此様な一般の電力量を測るには積算電力計を用ひる。積算電力計は一名「ワット時」計とも名付ける。さうして此積算電力計で讀む電力量の單位は既に述べた通りキロワット時である。

179. 積算電力計 積算電力計は指示電力計を改造し

て加動廻轉力によつて可動部分が廻轉し、時計仕掛けで直に電力量を讀む事が出来る様になつて居る。即ち積算電力計の主要部分は加動廻轉力を生ずる部分と廻轉速度を調整する制動装置とキロワット時數を示す時計仕掛（之を計量装置と名付ける）との三部分から成る。次に電流力作用を利用した直流回路に用ひる積算電力計と電磁誘導作用を利用した交流回路専用の積算電力計とを説明しよう。

(1) 電動機型積算電力計 第 282 圖は電流力作用を利用し

た電動機型積算電力計の構造の略圖で、第 283 圖は其略接続を示すものである。F は固定された電流線輪で之には負荷電流 I が通ずる。A は F 線輪の中間で垂直軸に取付けられた線輪で上の整流子及刷子 B 及び抵抗 R を經て負荷の電壓 E を受けて居る。即ち A は電壓線輪で F が電流線輪である。A には電壓 E に比例する電流

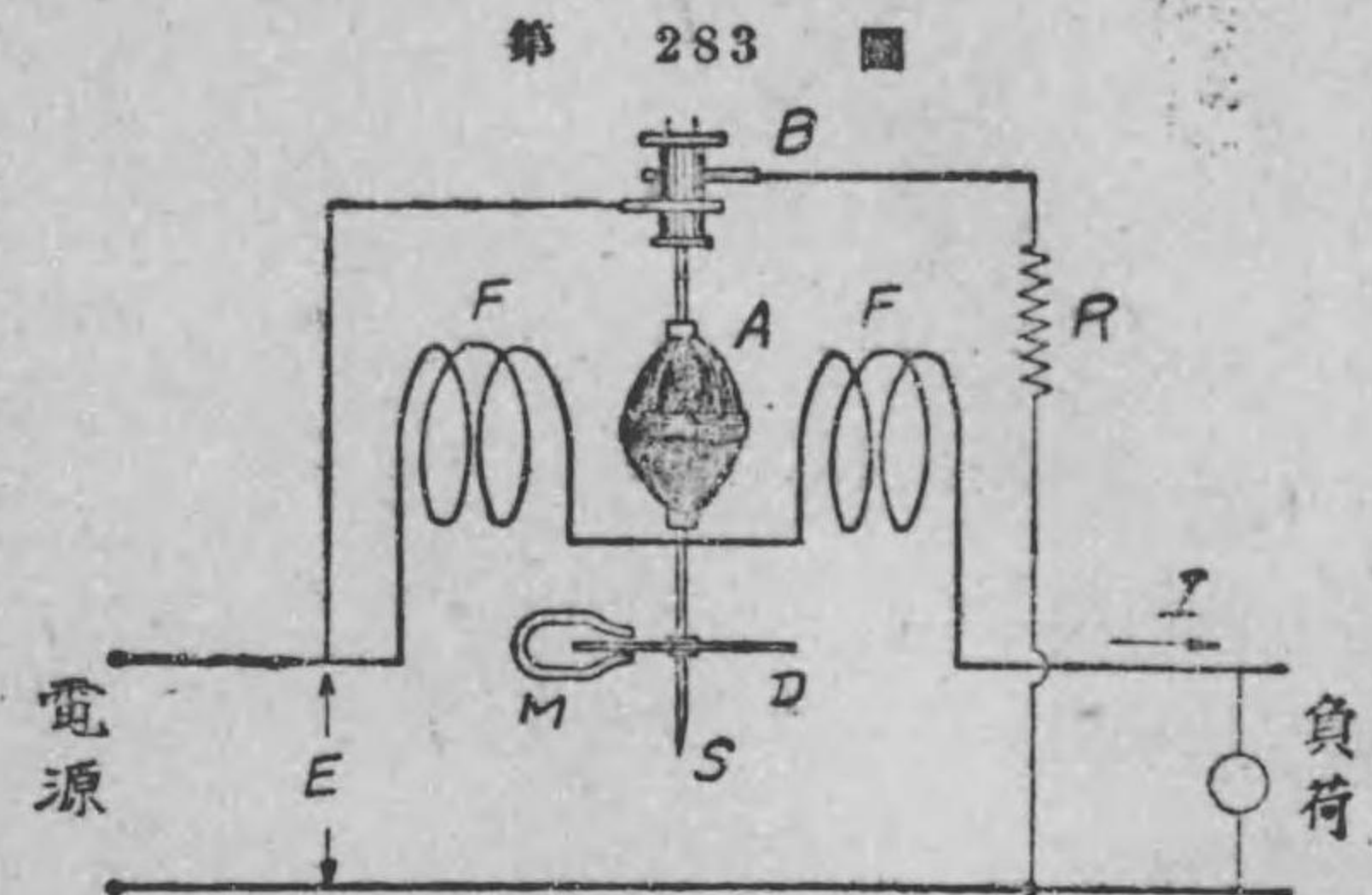


電動機型積算電力計

が流れるから、之と F に通ずる電流 I との電流力作用によつて A には電力に比例する加動廻轉力生じ廻轉する。従つて軸 S が廻轉する。然るに軸に取り付けられたアルミニウム圓板 D が廻ると耐久磁石 M の作る磁線を切るから圓板 D に渦流を

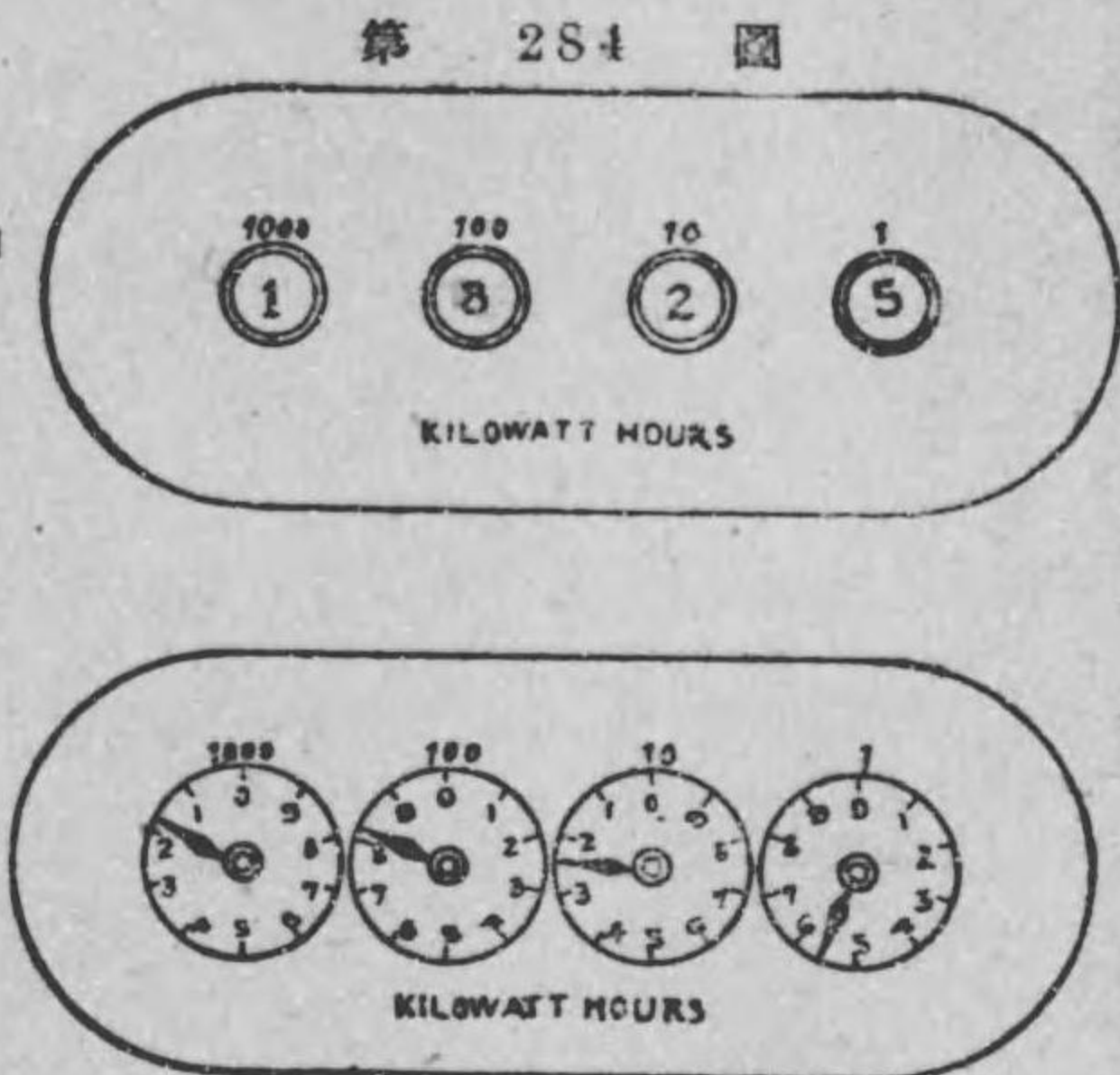
第 282 圖

生じ、渦流制動のために軸の廻轉速度が調整され、圓板の廻轉速度は電力に比例するのである。(此磁石 M を制動磁石と稱する)。軸に取付けら



電動機型積算電力計の接続略圖

れた特殊の齒車装置によつて軸の廻轉が計量装置に傳へられる。従つて軸の廻轉數は電力量に比例するものである。計量装置には軸の廻轉數を示さずに直にキロワット時で電力量が讀める様になつて居る。第 284 圖



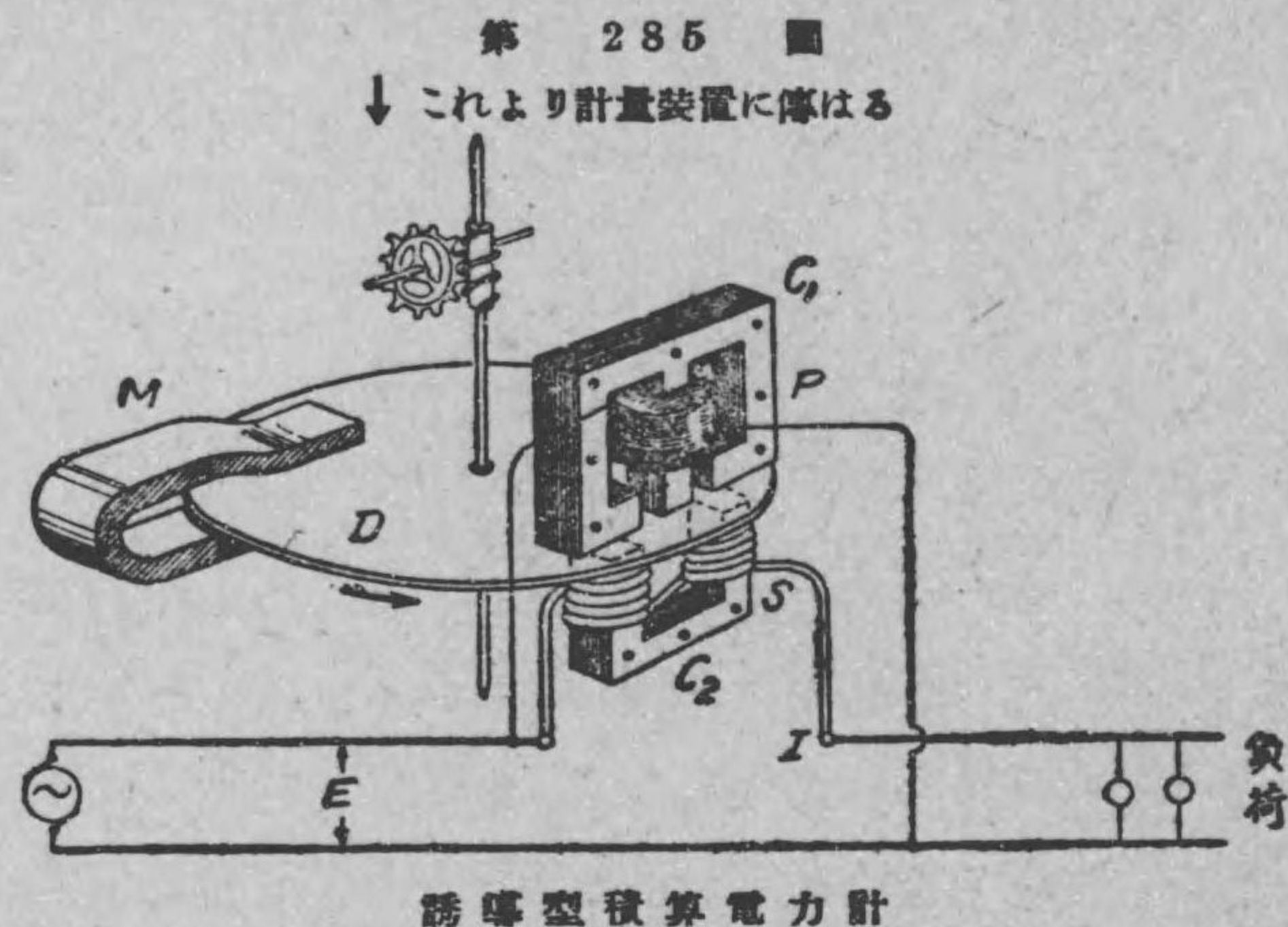
計量装置 { 甲は現字型
乙は指針型

は計量装置を示すもので、甲は其表面の孔に數字が現はれるもので之を現字型計量装置と名付ける。又計量装置に乙圖に示す様なものもある。之は指針が數字を指示すもので之を指針型計量装置と名付ける。

積算電力計の計量の讀み方を説明しよう。第 284 圖のキロワット時は 1825 キロワット時であるが、之は此計器を取付けた始めか

らの読みになつて居るので、之が今月の消費電力量ではない。若し前月末の読みが1805 キロワット時であつたとすると、今月分の使用電力量は、 $1825 - 1805 = 20$ キロワット時である。

(ロ) 誘導型積算電力計 前に述べた電動機型積算電力計は電流力作用を利用したものであるから直流回路は勿論、交流回路にも使用出来る。然し現在交流用の積算電力計としては誘導型積算電力計が広く使用されて居る。此誘導型積算電力計は交流によつて金属板に誘導される渦流を利用したもので、其理論はむづかしいから省く事として茲には其構造の大略を説明しよう。



第285圖は誘導型積算電力計の構造の略圖である。Pは成層鐵心 C_1 に捲かれた捲數の多い線輪で回路に並列に接続されて電圧 E が與へられる電圧線輪である。Sは成層鐵心 C_2 に捲かれた捲數の少ない線輪で回路に直列に接続されて負荷電流 I が通ずる電流

線輪である。 C_1, C_2 の鐵心の空隙の間にアルミニウム圓板 D がはいる様になつて居る。 M は制動磁石である。圓板の軸には齒車によつて計量装置に連絡がある。電圧線輪 P 及び電流線輪 S によつて交番的に磁線が生じて圓板に渦流が生じ圓板 D は廻る。その加動廻轉力は電力に比例するものである。(その理窟は難解であるから茲には省略する)。然るに圓板が廻ると制動磁石 M の作る磁線を切るから圓板に生ずる渦流によつて圓板の速度が調節されて、圓板は電力に比例する速度で廻る事になり、圓板の廻轉數は電力量に比例する。従つて計量装置から直にキロワット時數が讀まれる。

練習問題 XXIV

1. 電動機型積算電力計の構造の略圖を畫いて見よ。
2. 誘導型積算電力計の構造の略圖を畫いて見よ。
3. 積算電力計の計量装置から其月の使用キロワット時數を知る方法を述べよ。

第二十五章 種々の測定器

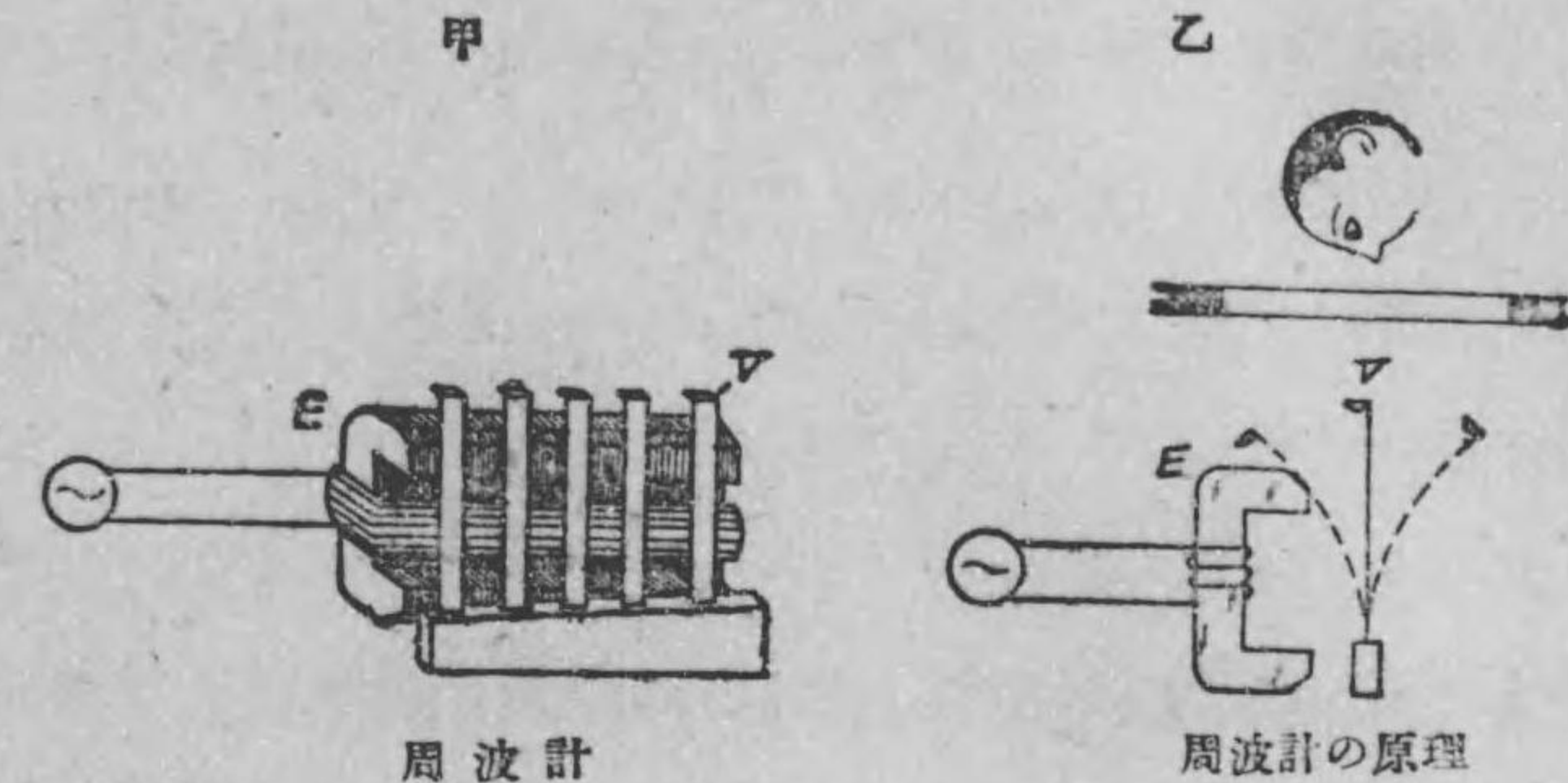
今まで説明しなかつた測定器で、諸君が発電所見學の時によく見受ける様な測定器を少しく茲に説明しよう。

180. 周波計 交流回路の周波数を直接にサイクル数で読み取る測定器を周波計と稱する。周波計にも色々あるが茲に共振型周波計を説明しよう。

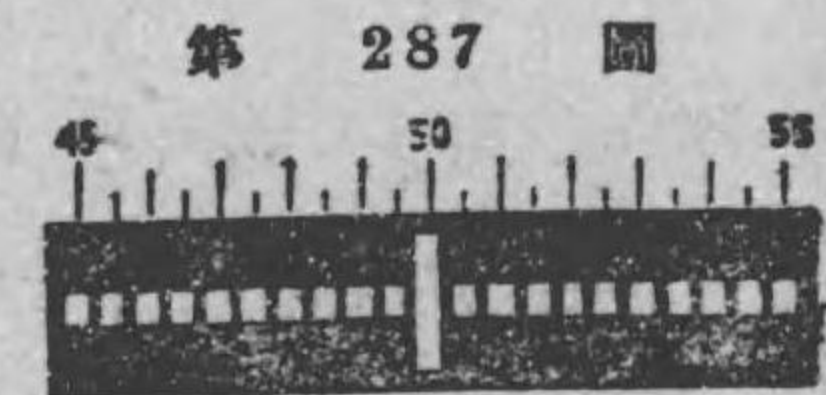
諸君が友達と話し合つたりして居る場合、相手の話が自分の思つて居る事と全く同じで同感だとか共鳴したとか云つて愉快な事が折々あるだらう。それと似た事が自然現象にも澤山の例がある。茲に述べる共振型周波計もその一例である。今振動體に或一定時間毎に外力を與へて見ると、其外力を與へる周期によつてその振動體が盛に振動するものである。而して振動體には其長さ及び重さに應じてそれぞれそのもの固有の振動の周期がある。此様に振動體がそのもの固有の振動周期と一致した周期で外力を與へられた場合に盛に振動する事を共振と稱する。共振型周波計は此原理を應用したものである。

第 286 圖甲は共振型周波計の略圖である。V は一端で固定された鋼の振動片で、各振動片は其長さと重さを色々變へて澤山排列したものである。之に對して電磁石 E が備へられてある。

第 286 圖



今周波数を測定すべき交流電壓を此線輪に與へると交流の爲めに電磁石は交番的に磁線を生じ鐵片 V を周期的に吸引する。即ち交流の一サイクル毎に、振動片 V は交流の最大の値の時に最も強く引かれ、其零なる時には引かれずに次に電流反對の方向に最大の時に又引かれる。故に澤山ある振動片の中で交流の周波数の一サイクルに付き二回振動する様な固有振動周期を有する鐵片が共振して盛に振動する事になる(乙圖參照)。故に交流の周波数を目盛盤から直にサイクル数で読み取る事が出来る。第 287 圖は 50 サイクルの交流を測つて居る時の目盛盤を示すものである。計器の内部は暗くて各鐵片の頭は白色ペンキを塗つてあるから、振動した鐵片の頭は長い白帯に見えるのである。第 287 圖は第 286 圖乙を蓋の孔を通して上部から見た圖である。

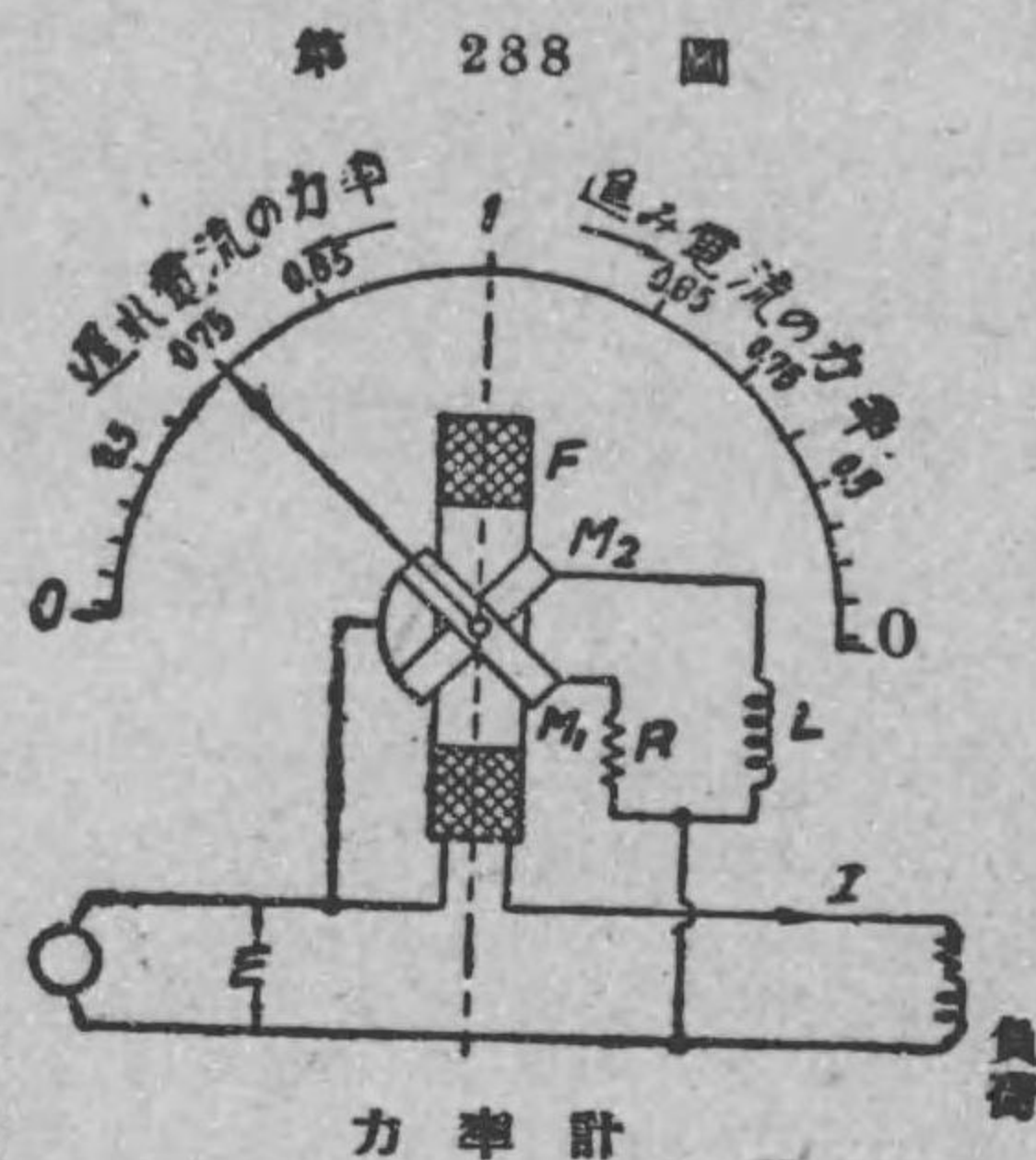


第 287 圖
周波計の目盛盤
(50 サイクルの振動片)
が振動して居る圖

181. 力率計

交流回路の力率を直接読み得る測定器を力率計と名付ける。力率計にも色々あるが電流力作用を利用した力率計に就いて大體の構造を説明しよう。第 288 圖は力率計の略

圖である。F は固定された線輪で之には負荷電流 I が通ずる。M₁, M₂ は可動線輪で互に直角に同一軸に取付けられ、M₁ には抵抗 R を接続し、M₂ にはインダクタンス線輪 L が接続され共に負荷の電圧 E を受けて居る。故に M₁ の電流は電圧 E と同相である



が、M₂ の電流は E から 90 度遅れる。今電圧 E と電流 I とが同相の場合即ち力率 1 の場合を考えると、F の電流に依る磁線が最大の時、M₁ の電流による磁線が最大で M₂ の電流による磁線が零であるから可動線輪は M₁ の磁線と F の磁線とが一致する様な位置即ち M₁ と F と平行する、従つて指針は直立の位置 1 を示す之が即ち力率 1 の場合である。若し電流 I が電圧 E よりも 90 度遅れて居る様な場合即ち力率が零の場合を考へて見ると、F の磁線が最大の時、M₁ の磁線は零で M₂ の磁線が最大であるから、可動線輪は M₂ の面が F の面と平行となる位置を取り、指針は遅れ電流の力率 0 を指示す。若し反対に電流 I が電

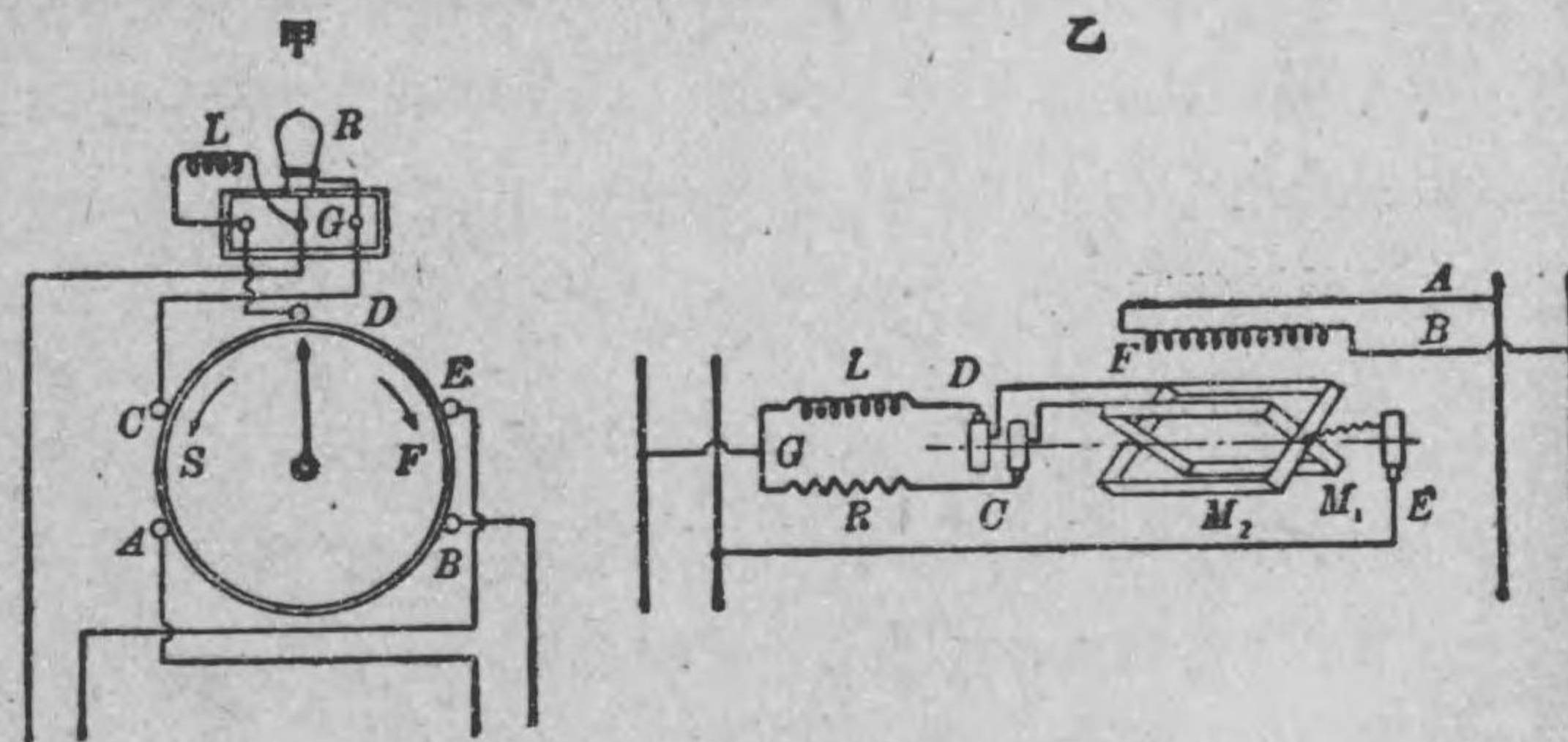
壓より 90 度進んで居ると前と丁度反対であるから指針は反対の方の力率 0 を示すのである。若し電流 I が電圧 E より θ だけ遅れて居るとすると指針はその θ 角だけ直立の位置から傾くものである。その位置の目盛盤上から、直に力率を読み取る事が出来る。

182. 同期検定器

二つの交流発電機の並行運轉をなすに當つてその二つの発電機の電圧が相等しくして周波数が一致し又位相が一致して居るかをしらべる必要がある。二つの電圧の周波數位相が夫々一致した場合を同期と稱する。此同期をしらべる測定器を同期検定器と稱する。

第 289 圖甲乙は指針型同期検定器を示すもので、乙圖は其内部

第 289 圖



指針型同期検定器及び其の接続圖

接続圖を示すものである。之は前の力率計と同様な原理で作られて居る。

Fは固定線輪で、之は既に運轉して居る第一發電機の電壓が與へられて居る。M₁、M₂は可動線輪で互に直角に同一軸に取付けられ、M₁には抵抗R、又M₂にはインダクタンス線輪Lが接続され、共に竝行運轉を行はうとする他の第二發電機の電壓が與へられる。可動線輪に電流を導くには乙圖のC、D、Eに示す様に滑動環及刷子を用ひてあるから軸の周りに廻轉する事が出来る。可動線輪の軸には指針が取付けられて居る（乙圖には示してないが甲圖に示した）。此檢定器は前の力率計と同様な原理であるから、若し二つの發電機の周波数が等しいならば可動線輪は兩發電機の電壓の位相に従つて或一定の位置に止まるべきである。此檢定器では兩發電機の周波数が一致し且つ位相が一致して居る場合（即ち同期の場合）は指針が直立の位置を取つて靜止する様に作られてある。若し指針が時計式に廻る場合は第二發電機が早いし、若し指針が反時計式に廻る場合は第二發電機が遅い事を意味する。故に指針を見て居てそれが直立になつて止まつた時が同期であるから竝行運轉を始めればよろしい。

同期檢定器にも色々あつて、上に述べたのは其の一例にすぎない。それ等の詳しい事は茲では説明を省略する。又交流發電機の竝行運轉の事に就いては標準叢書の電氣機械篇を參照されたい。

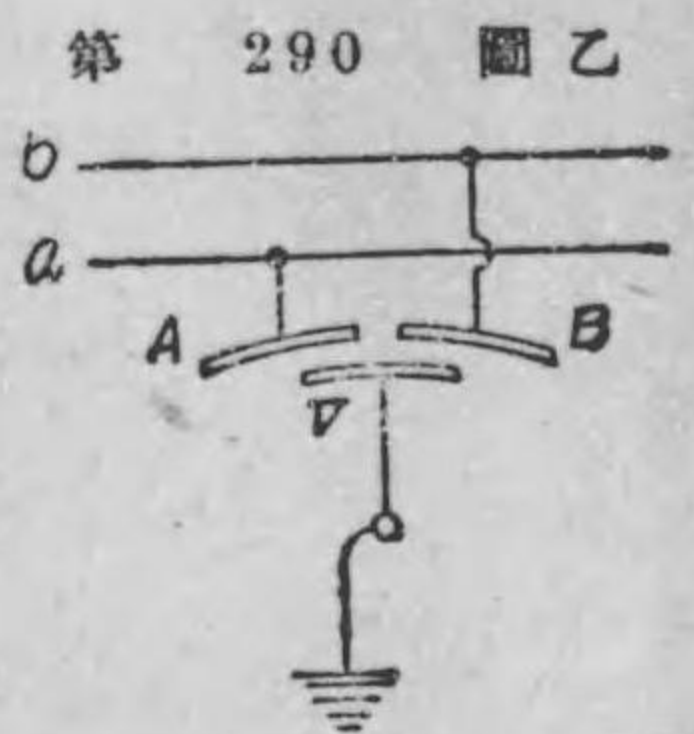
183. 檢漏器 電線路の絶縁が悪くなつた場合は漏電のために送電する譯に行かないから此漏電を早くしらべる測定器が

必要である。此漏電をしらべる測定器を檢漏器と稱する。檢漏器にも色々あるが靜電誘導を應用した靜電檢漏器を説明しよう。第290圖甲、乙は二線式用檢漏器を示すもので、乙圖は其接続圖である。A、Bは二枚の固定したアルミニウム片で各線路に接続されて居る。A、Bに對してVなる可動アルミニウム片を裝置し、之を接地する。a、b各線の絶縁が完全だとVはA及Bから同一の吸引力を受けて指針は中央にあるが、若しa線の絶縁が悪い場合はaと大地間の電圧が小でbと大地間の電圧が大であるからAV間の吸



第 290 圖 甲

二線式用檢漏器



第 290 圖 乙

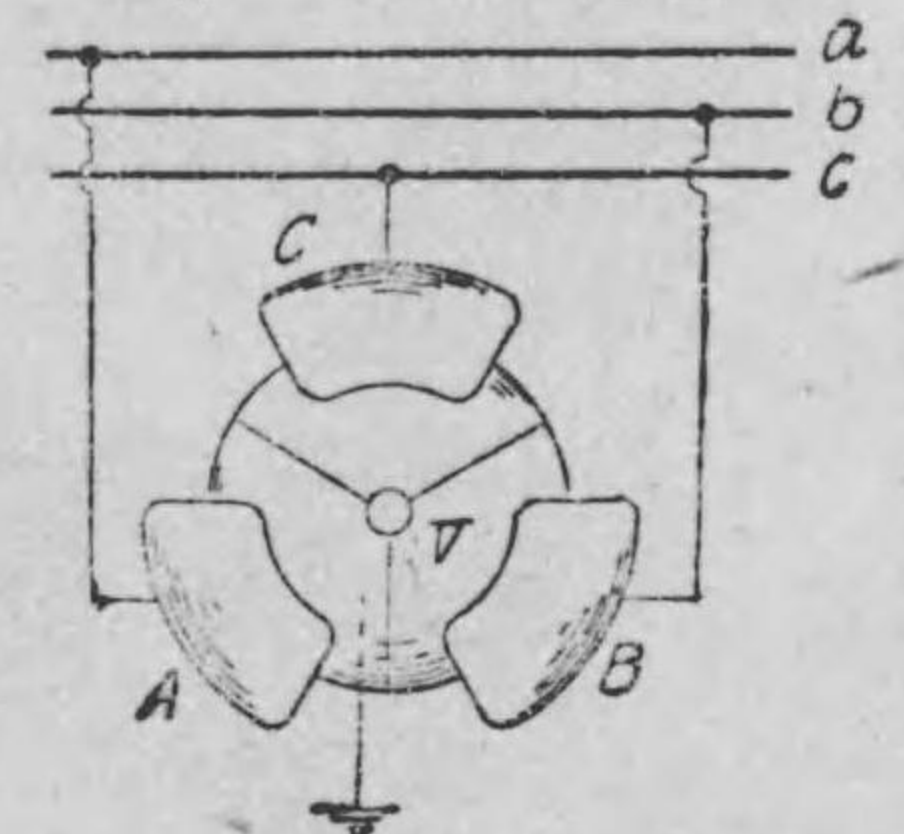
檢漏器の接続

第 291 圖 甲



三相用檢漏器

第 291 圖 乙



三相用檢漏器接続圖

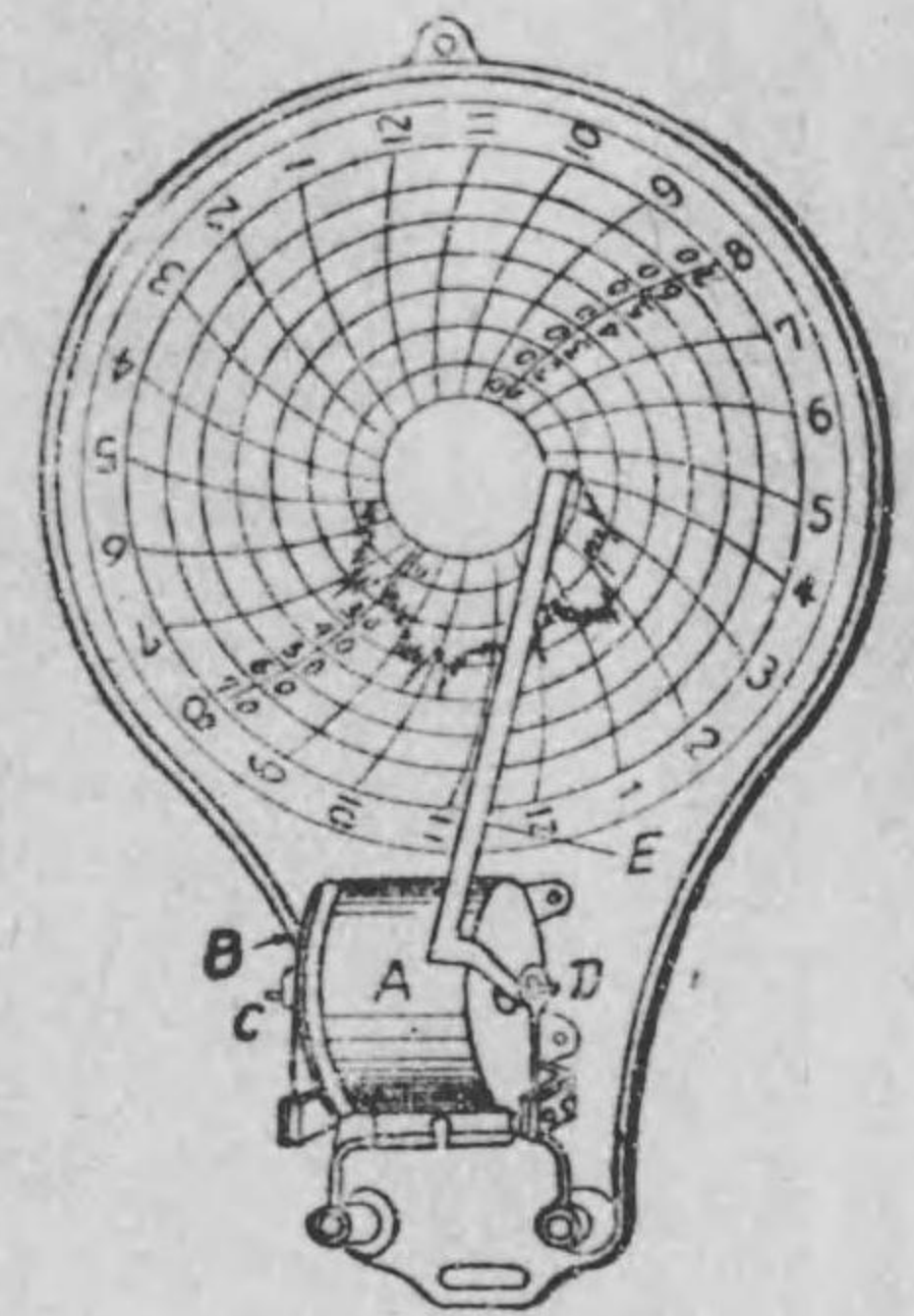
引力は小で、BV間の吸引力が大であるから指針はBの方に傾くのである。反對に若しb線の絶縁が悪い場合は指針はAの方に

傾く譯である。第 291 圖甲、乙は三相用檢漏器の一例で、乙圖は其接續圖である。A, B, C 三個の固定金屬片が三相式各線に接續され、之に對する半球形の可動金屬片 V が接地されて居る。可動片 V はどの方向にも動き得るものであるから、例へば a, b, c 三線とも絶縁が完全の場合は V に對する A, B, C の吸引力は等しいから V は中央に在るが、若し a 線の絶縁が悪い場合には、AV 間の吸引力が小で BV 間 CV 間の吸引力が大であるから V は B と C とに引かれて中央から傾く。若し b 線に漏電のある時は V は B の反對側に傾き、c 線に漏電がある場合は V は C の反對側に傾く譯である。

184. 自記計器 電壓、電流、電力、周波數、力率等が一日中にどんなに變化するかを時計仕掛によつて動く紙（之を圖紙と稱する）に記録する測定器を自記計器じきけいきと稱する。之等自記計器は今まで述べた電壓計や電流計、電力計の指針にペンを取付け別に時計仕掛で動いて居る圖紙に記録せしめ様と云ふ考へである。ペンと紙との間の摩擦があるから今まで述べた計器よりは加動廻轉力が大なるものでなければならぬ。茲では自記計器の一例として自記電流計の構造の大略を説明しよう。

第 292 圖は最も古くから用ひられて居るブリストル自記電流計を示すものである。A は固定線輪で、之に測定すべき電流を通ずる。B は圓形軟鐵片で A 線輪の中心を通過する軸 CD に付け

られ、此軸は其兩端で双形彈條支持物 C 及 D に支持されて居る。C 及 D は下端で固定されて居る。D には指針 E が取付けられて之に記録用ペンが附けられてある。線輪 A に電流が通ずると鐵片 B が吸引され、從つて C, D は制御力を生じ A の電流の値に應じて指針を傾斜せしめる。圓形圖紙は時計仕掛に依つて 24 時間毎に軸の周りを一周する様になつて居り、圖紙には時間と電流の目盛線が施されて居る。電流目盛線は同心圓をなして居るが、時間の目盛線は指針 E の畫くべき四弧である。此様にして指針の傾斜が時々刻々變はりつゝある間に紙面は時計式方向に一定速度で廻るから、此圖紙上に電流が時間と共に變化する有様をグラフで記録する譯である。



自記電流計

上に述べたのは自記計器の一例であるが、諸君が發電所見學に行つた時、色々の自記計器を見るであらう。それ等の圖紙も上に述べた様な圓形圖紙のものよりは長い圖紙のものが多い。之等の自記計器で記録された時々刻々の電壓、電流、電力等の變化の有様を調べて負荷の變化を明かにし、發電所の運轉を經濟的にやつて行くのである。

練 習 問 題 XXV

1. 交流回路の周波数を直接サイクルで読む測定器を何んと云ふか、又共振型周波計の原理を述べよ。
2. 計算によらずに、交流回路の力率を直接測定する測定器の名を述べ、又其接続圖を畫け。
3. 同期檢定器は何の目的のために用ひるものか。
4. 檢漏器は何の目的のために用ひるものか。
5. 自記計器とはどんなものか。

—(電 氣 磁 氣 及 測 定 終)—

昭和四年十月二十日 第一版發行
 昭和十九年六月一日 第十一版發行
 出版會承認イ1402
 發行部數 2,500部



初等電氣工學 第一卷
 正價 金 參 圓
 特別行爲稅相當額六錢
 賣 價 金 參 圓 六 錢
 送料 内地 三十四錢
 外地 四十四錢

編輯兼發行 財團法人 電 機 學 校
 代表者 服 部 碩 彦
 印刷者 風 間 成 欵
 印刷所 成 欵 舍
 東京都神田區小川町二ノ十二

發行所 財團法人 電 機 學 校
 東京都神田區錦町二丁目二番地
 電話神田(25) 1121—1123番
 振替口座東京 13184番
 文協會員番號 219013

配 給 元
 日本出版配給株式會社 東京都神田區淡路町二ノ九

449
72

終