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

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

此定數 L はその線輪の形，捲數，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數で（線輪の捲數の自乘には比例する），之をその線輪の**自己誘導係數**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 の單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，每秒 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樣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數を有する線輪がある。之に 1 秒に付き 20 アムペア宛の電流增加がある場合，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。

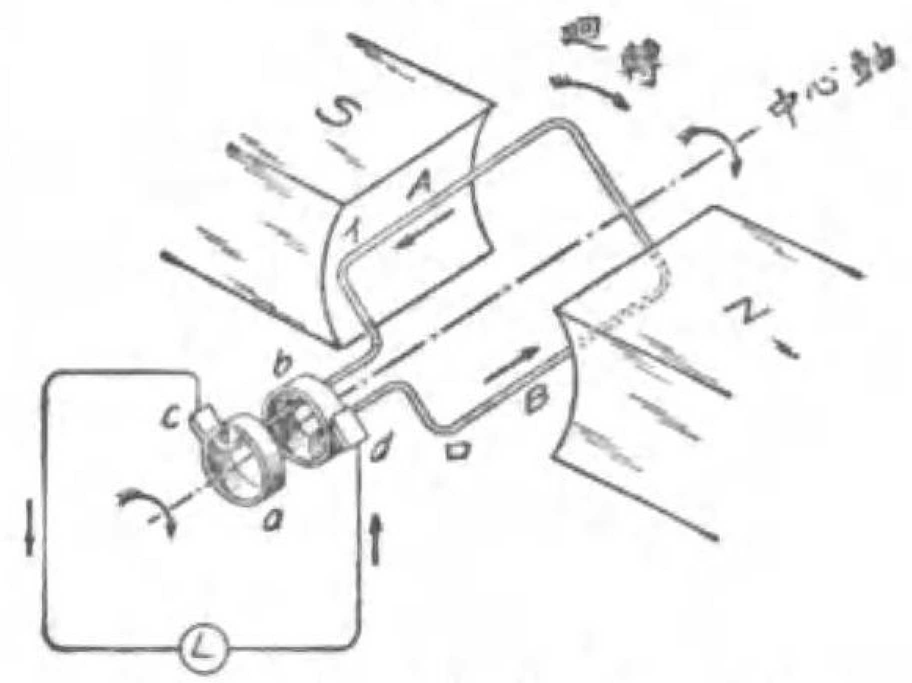
解 自己誘導起電力の大さは

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

又其方向は，電流が增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。

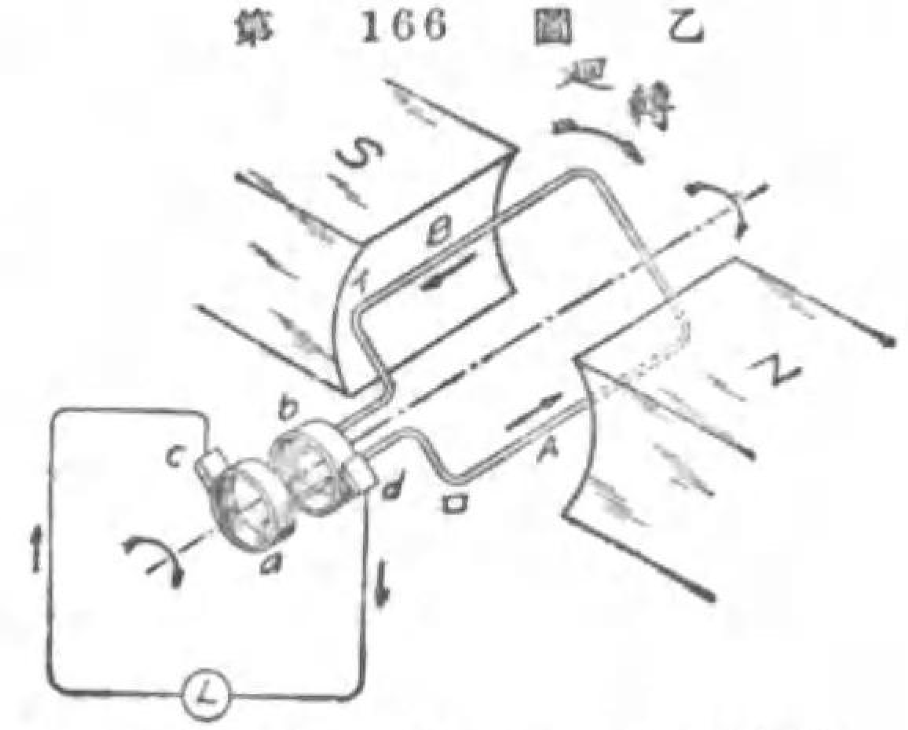
109. 交番起電力及び交流 第 166 圖甲に示す樣に，磁極 N, S の中間に線輪を置き，此線輪を中心軸の圍りに時計式に廻轉すると，線輪に誘導する起動力は半回轉每に線輪に對して逆に向ふ方向に生ずる譯である。即ち圖の位置に來た瞬間には線輪の A 部と B 部とに矢の方向の起電力が誘導され（此の方向は右手三指の規則で分かる）A 部の端の環狀導體 a（之を**聚電環**と云ふ）と，B 部の端の環狀導體 b との間に各**刷子** c, d を經て接續された電燈には矢の方向に誘導電流が通ずる。次に之から半回轉して，A 部がロの位置に B 部がイの位置に來た瞬間卽ち第 166 圖乙の位置の場合には起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。

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。

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。

此樣に誘導起電力は半回轉每に線輪に對して逆に向ひ，從つて又電流も半回轉毎に線輪に對して逆の方向

に生ずる。此様な起電力を**交番起電力**と云ひ，又電流を**交番電流**又は簡單に**交流**と稱する。さうして交番起電力を生ずる裝置を**交流發電機**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數をその交流の**周波數**と稱する。吾々が普通使つて居る交流の周波數は 50 サイクルのものと 60 サイクルのものである。

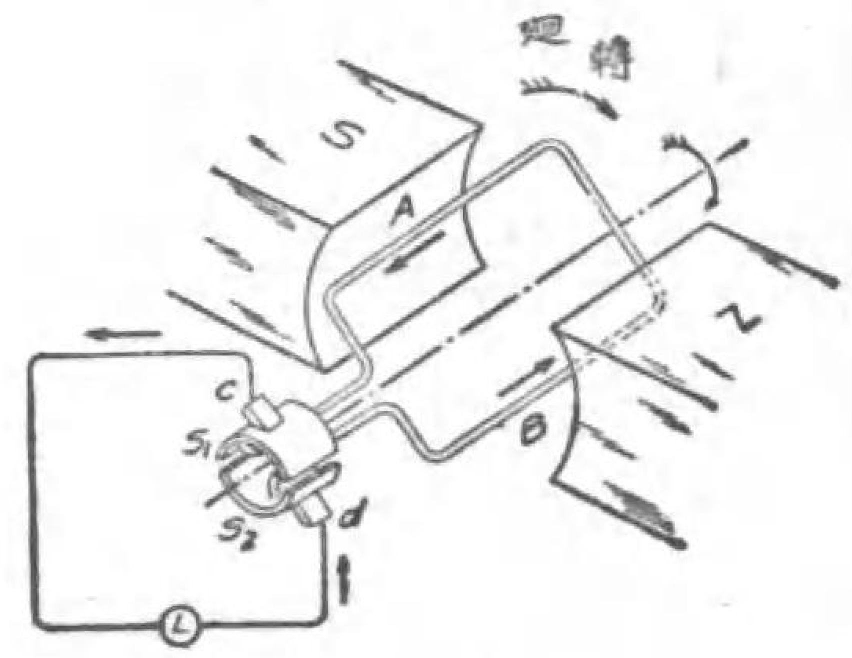
電池に依つて生ずる起電力や電流の樣に電線に對して方向の一定して居るものを，夫々**直流起電力**，**直流**と名付ける。

電流によつて色々の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。尚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**整流子**と云ふものを使ふと外部に直流が得られる。第 167 圖に示す樣に，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 部に接續して置く。c,d は刷子である。今線輪が時計式に廻轉すると，前節に述べた樣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 から電燈を經て 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 を經て刷子 c に，又之から電燈 L を經て刷子 d に向ふ電流が通ずる。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。即ち線輪が廻はると，線輪內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 を經て刷子 d に向ふ一定方向の電流が通ずる譯である。此第 167 圖の樣な裝置卽ち整流子を使つて外部に直流を生ずる發電機を**直流發電機**と云ふ。

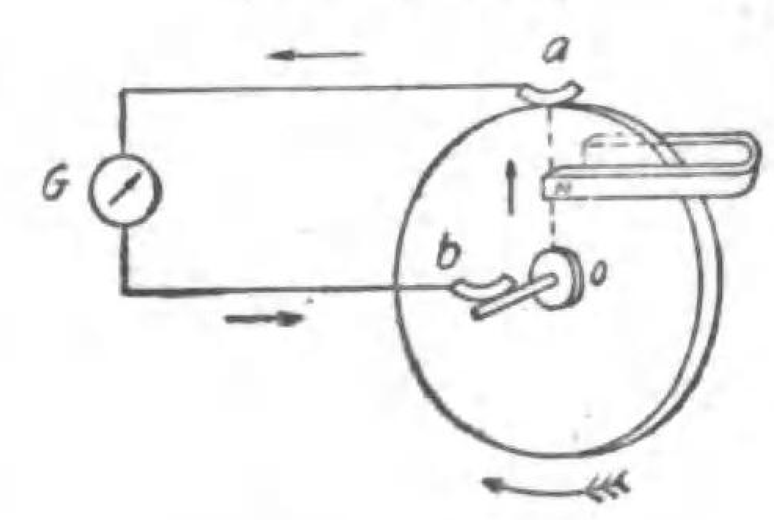
第 167 圖



直流發電機の原理

例題 50. 第 168 圖に示す樣に，圓形銅板を蹄形磁石の N, S 兩極間で廻はし，圖に示す樣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 に接續して置く。圓板を圖に示す樣に時計式方向に廻はすと，$oaGbo$ の方向に直流が通ずる。此裝置を

第 168 圖



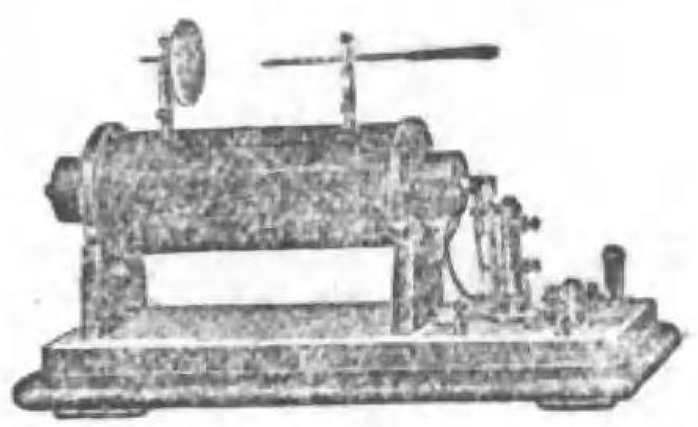
ファラデー圓板

フア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ーミングの右手三指の規則で說明せよ。

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，フレー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，圓板を圖の方向に絕えず廻はして居る間は絕えず電流が $oaGbo$ の方向に通ずる，即ち直流を得る譯である。

111. 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壓を斷續的に與へて，二次線輪に高い瞬間的の電壓を誘導する裝置を**誘導線輪**(いうだうせんりん)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。軟鐵心の上に太い絕緣電線 P を捲き之を一次線輪とし，電鈴と同樣な仕掛けで電池に接續されて居る。一次線輪 P の上をエボナイト管で絕緣して，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 に接續されて居る。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

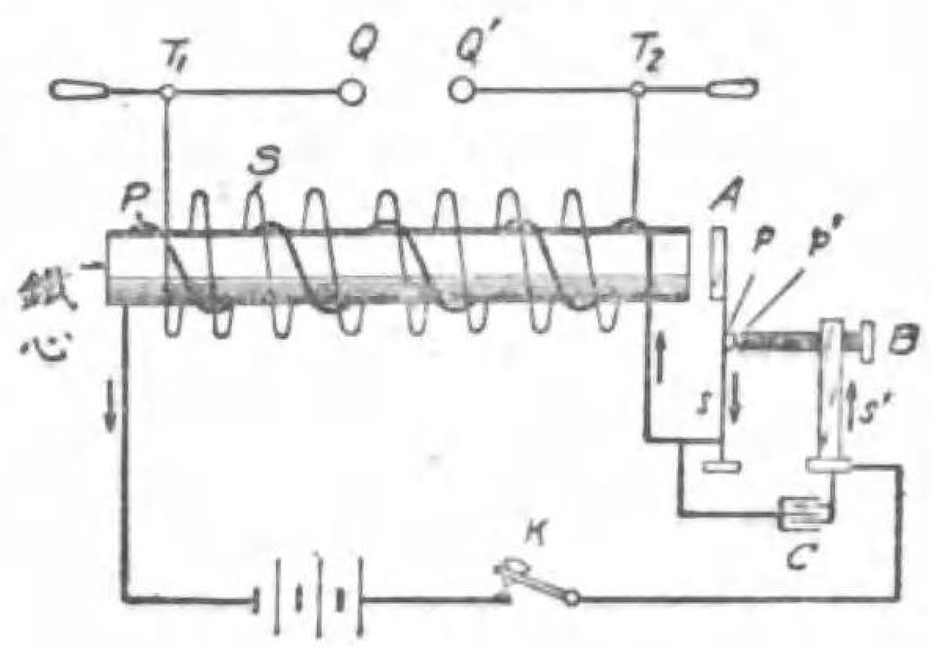
第 169 圖 甲



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斷たれ，磁線も消えるから，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。從つて開閉器 K を閉ぢて居る間は，A は電鈴の場合と同樣に絕えず左右に振動し，p, p' の接觸が斷續される〔此の $A\ p\ p'$ の裝置を**斷續器**(だんぞくき)と稱する〕。斯樣に P の電流が斷續される每に S に高い起電力が誘導される。尙ほ實際には斷續器の p,p' に並列に紙蓄電器 C〔第 40 節の第 59 圖の紙蓄電器〕が接續されてあるので，p,p' が離れる時其間に生ずべき火花が消え，又 P の電流が斷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壓が S に誘導されるものである。故に T_1, T_2 に接續された放電球 Q, Q' の距離を近くして置けば空氣の絕緣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，

第 169 圖 乙



誘導線輪の略圖

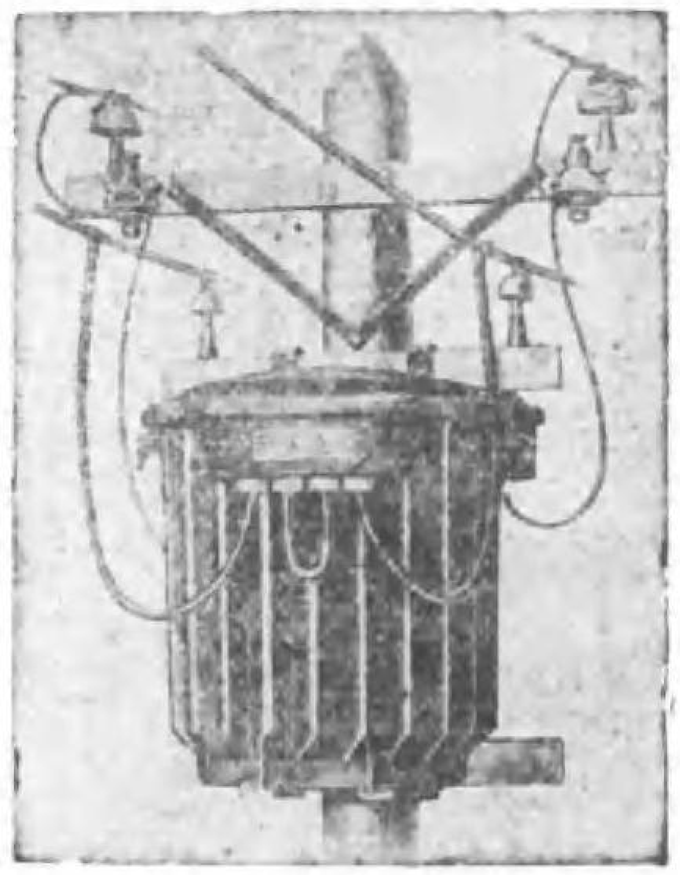
火花は電流を斷つ瞬間のみ飛んで方向が一定するのである。

誘導線輪は後章に述べる X 線を發生せしめる時の電源としたり，其他色々の實驗等に使用される。

112. 變壓器

諸君は散歩の時第 170 圖に示す樣な形をした黑い鐵の箱が電柱に取付けられて居るのを見たゞらう。之は變壓器(へんあつき)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。交流では此樣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來る。第 170 圖は高い電壓を低い電壓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。

第 170 圖

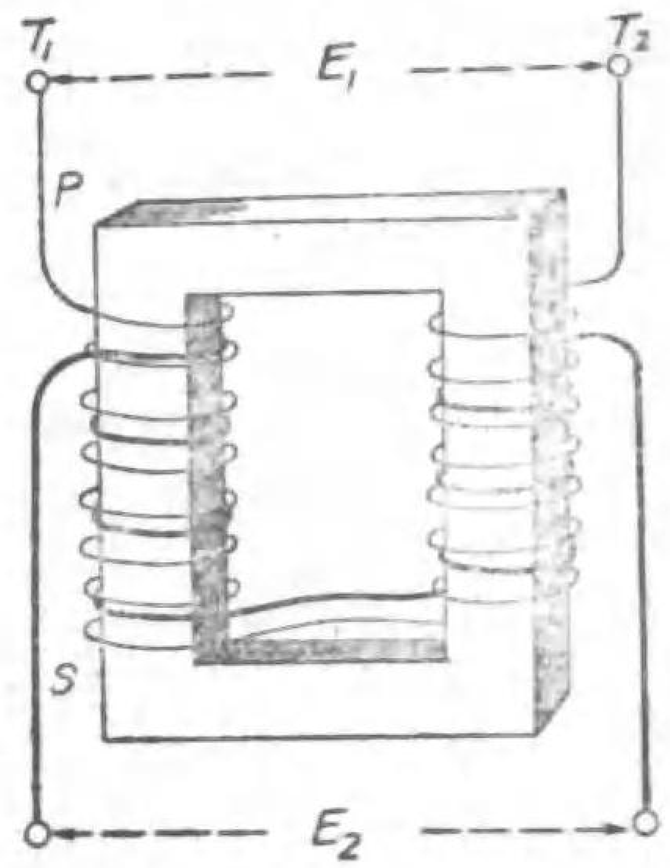


變壓器

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

圖の樣に枠を作つて之を心とし，その上に絕緣電線を捲いて一次線輪 P とし，更にその上に他の絕緣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，鐵心に磁線が出來る。一次線輪には交番電流が通ずるから，磁線もその數が絕えず變化し又方向も絕えず變はるから其都度(つど)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。

第 171 圖



變壓器

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

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續すると，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**

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。

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

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。此樣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。

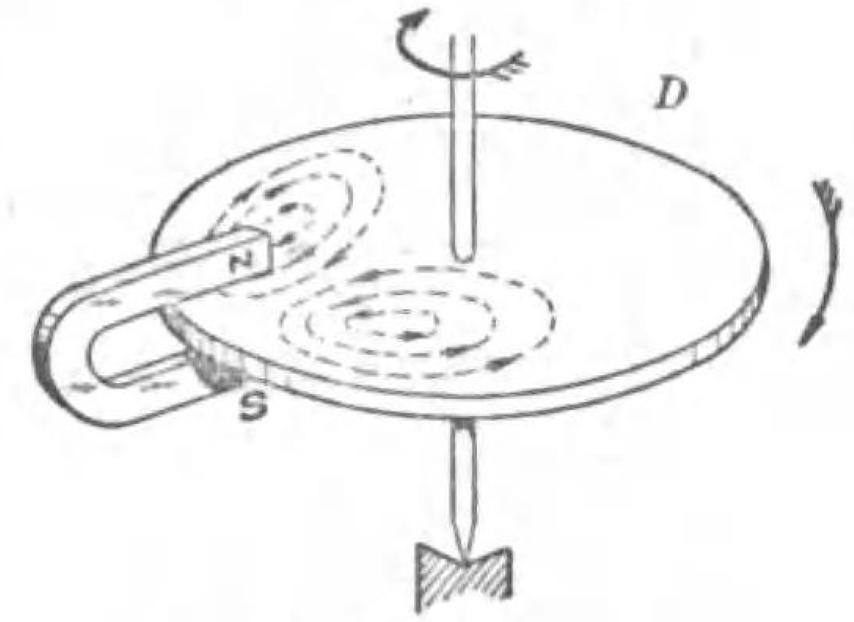
交流電壓を變へる變壓器や交流を變へる變流器を一般に**變成器**と總稱する。尙ほ後章測定で述べる交流測定器用の變壓器や變流器を夫々**計器用變壓器**，**計器用變流器**と稱し，之等を引つくるめて一般に**計器用變成器**と稱する。

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 のフアラデー圓板の樣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 圖甲に示す樣に，金屬圓板 D を磁極 NS の作る磁界內で廻轉すると，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，廣い圓板內に點線で示す樣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

第 172 圖 甲



金屬板に生ずる渦流を示す。

られる。即ち誘導電流は板の運動を妨げる樣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は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の爲に n 極となる樣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 s 極となる樣に電流は時計式方向に通ずるのである。

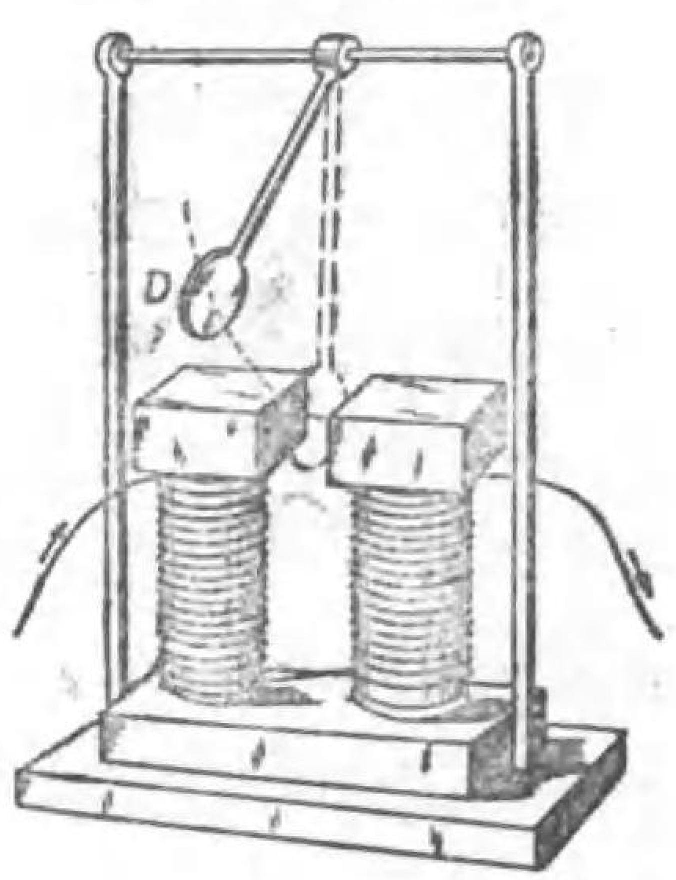
此樣に磁界內で大きな塊の導體又は廣い導體が磁線と切り合ふと渦流が誘導され，此電流によつて導體が熱せられる譯である。殊に渦流の通路の斷面が廣いと渦流通路の抵抗が小さいため大きな渦流が通じその導體を非常に熱する事になる。故に電氣機械に用ふる鐵心は一塊の鐵にしないで，凡て薄い鐵板の面に絶緣物を塗つて之等の板を板面が磁線に平行する樣に多數重ねて層を成した鐵心〔之を**成層鐵心**と稱する〕を用ゐるのである。さうすると各板毎に別々に小なる渦流しか出來ないから渦流のための熱エネルギー〔之を**渦流損**と稱する〕が少くて鐵心が過熱されないのである。

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。從つて前圖の圓板 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さ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。卽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**(くわりうせいどう)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**(てうせい)するに此渦流制動を利用する。

例題 51. 第 172 圖乙に示す樣に，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。

第 172 圖 乙



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

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

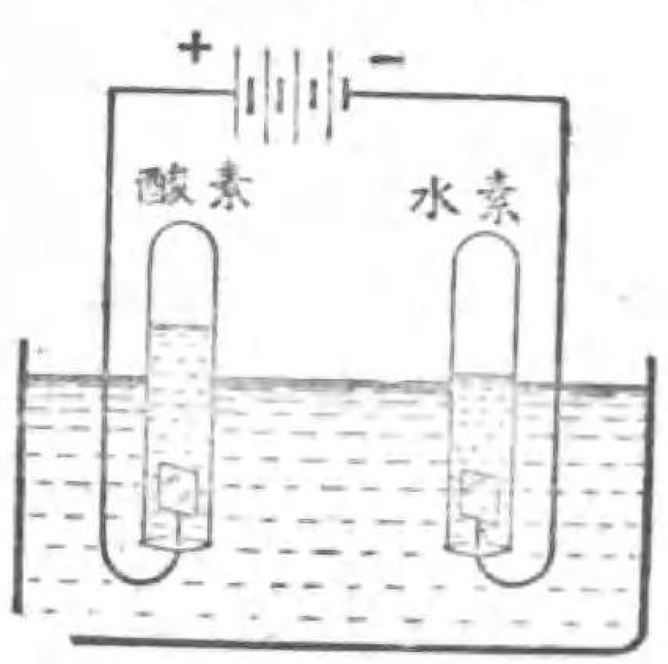
1. 磁線を電線で切ると如何なる作用が起こるか。
2. 電磁誘導作用に於て誘導起電力の方向を知る方法二つを述べよ。
3. 二線輪間の相互誘導作用を述べよ。
4. 一線輪の自己誘導作用を述べよ。
5. 交番起電力はどんなにして起すか。
6. 誘導線輪は何作用を應用したものか。
7. 變壓器は何作用を應用したものか。
8. 渦流とはどんな場合に生ずるものか。

第十一章 電流の化學作用

114. 電氣分解

第 173 圖の樣に，小量の稀硫酸を混ぜた水中に二つの小さな白金板を浸し，二個の試驗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續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。此樣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。

第 173 圖



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，鹽酸等の樣な**酸類**の溶液や硫酸銅，硝酸銀等の樣な**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。尚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單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るゝ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來る。何故なれば，

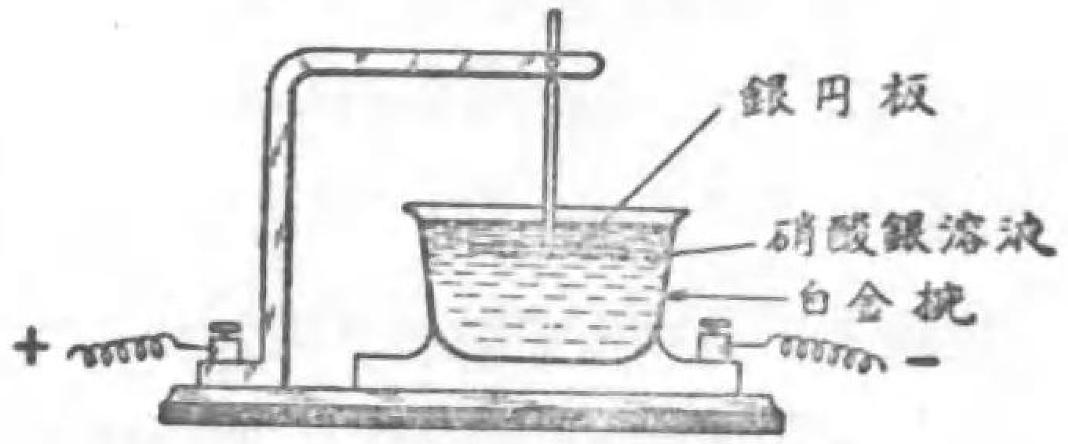
$$M=ZIt \qquad \text{グラム}$$

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

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，陰極に集まる金屬の量 M を測れば，その電氣化學當量 Z が知れて居れば上式から電流 I は計算出來る譯けである。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。玆に分離器の一例として，電流の精密試驗に用ゐられる**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，陰極として白金椀を使用する。今或る一定電流 I を t 秒間通じ，白金椀に沈澱した銀の量を測り之を M グラムとすると，此時の電流の强さ I は次式で計算される。

第 17. 圖



銀 分 離 器

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

今日電流の强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，銅等の金屬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屬で鍍金する事が出來る譯である。此樣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眞鍮の樣なものを陰極とし，陽極には鍍金の金屬卽ち金，銀，銅等を用ひて，溶液內には之等の物質を補ふ樣にする。例へば眞鍮に金鍍金をしようとする場合には，金を陽極とし，眞鍮〔之は豫めきれいに磨いてその表面をベンヂ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來る。之を**電氣鑄鍍**又は**電氣型像術**と稱する。電氣鑄鍍を行ふには原型（彫刻物）の上に蠟又は石膏を押し當てゝ原型と反對の型（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流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來る。書物の挿繪等は大抵此方法

で出來た版で印刷する。

次に電氣分解を利用して銅板上に色々の書畫の彫刻を施す事が出來る。之を**電氣蝕刻**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ゐて硫酸銅熔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熔けないから書畫が突起して現はれる。之を印刷に用ゐる。

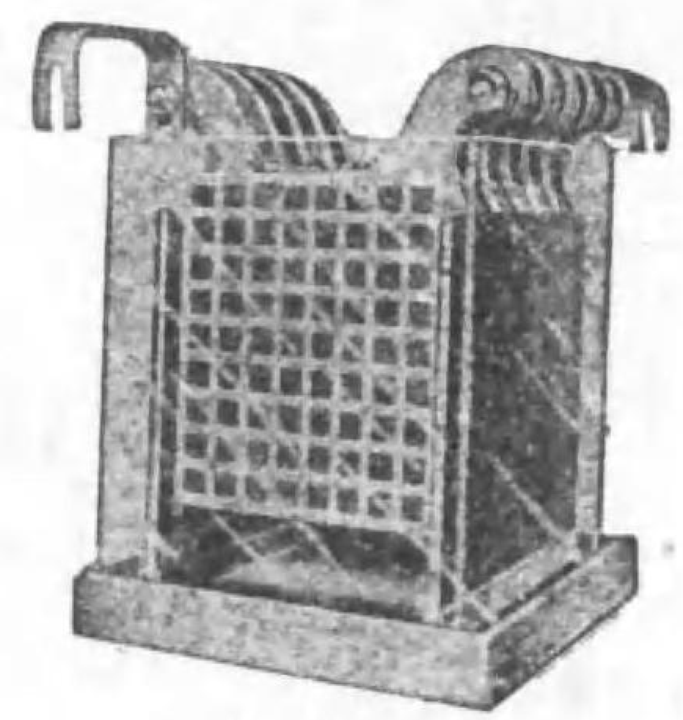
又電氣分解を應用して，金屬を其の原礦から析出することが出來る。之を**電氣冶金**と稱する。銅，アルミニウム等の純粹のものは此方法で多量に製出される。例へば，不純の銅を陽極とし，陰極には純銅の薄板を用ひ，硫酸銅の溶液を電解液として電流を通ずると，不純物を含んだ陽極からは銅が溶液中に溶け，陰極には純粹の銅が附着する。不純物は下に沈澱する。此樣にして純銅が得られる。

118. 蓄電池 硫酸の電氣分解の場合に，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，電線中に前と反對方向の電流が通ずるものである。之は電氣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，電池の起電力と反對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來た電池を**蓄電池**と稱する。茲に普通用ひられる鉛蓄電池を說明しよう。

鉛蓄電池は第 175 圖甲乙に示す樣に，硝子器内に稀硫酸を入

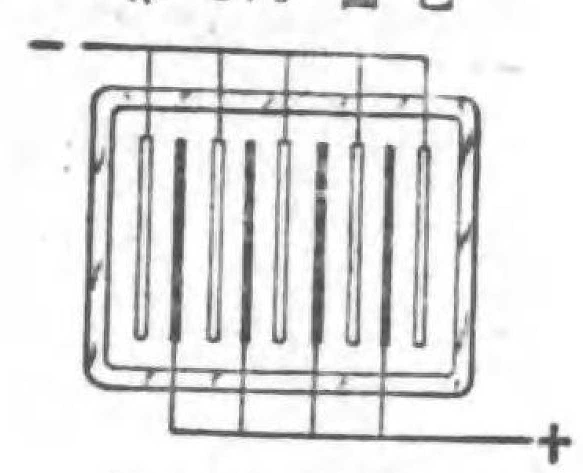
れ，その中に鉛板を交互に立て一つ置きにつないで，其一方を陽極，他方を陰極としたものである。極板は丙圖に示す樣に，格子狀をなして多數の小孔を有し，豫め一酸化鉛を稀硫酸で煉つたものを小孔に詰めてある。先づ鉛板を兩極として之に電流を通じて充電すると，硫酸の分解によつて陽極の一酸化鉛は二酸化鉛となり，陰極の一酸化鉛は鉛となる。そこで電流を斷つと，一對の鉛板間に起電力を生じ，二酸化鉛の附着した鉛板が陽極となり，他の鉛板が陰極となる。之が蓄電池である。若し電線で蓄電池の兩極に負荷を接續すると，電流は陽極から負荷を經て陰極に向つて通ずる。電流の通ずるに從つて陰陽兩極は次第に硫酸鉛に變じ，その起電力も減ずる。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樣になる。

第 175 圖甲



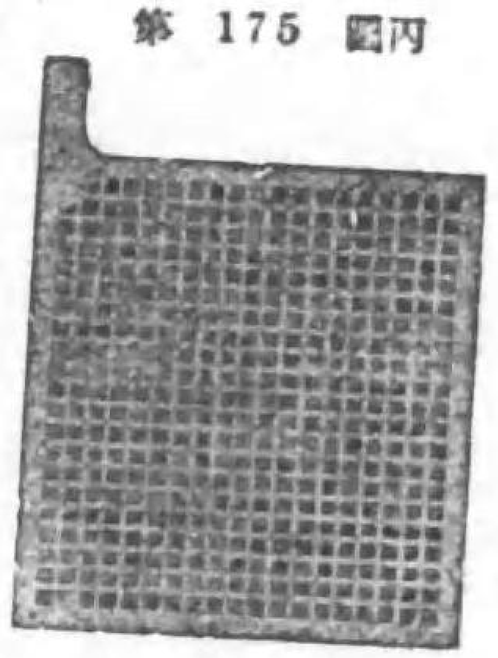
鉛蓄電池

第 175 圖乙



蓄電池の略圖

第 175 圖丙



極板

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裝置である。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。

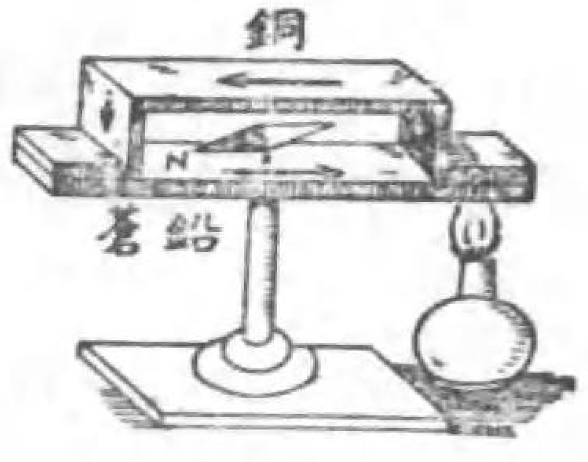
練習問題 XI.

1. 電氣分解に關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擧せよ。
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（そうえん）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，電流は蒼鉛から高溫度の接合點を經て銅の方に向つて流れる事が分かる。此電流は高溫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。

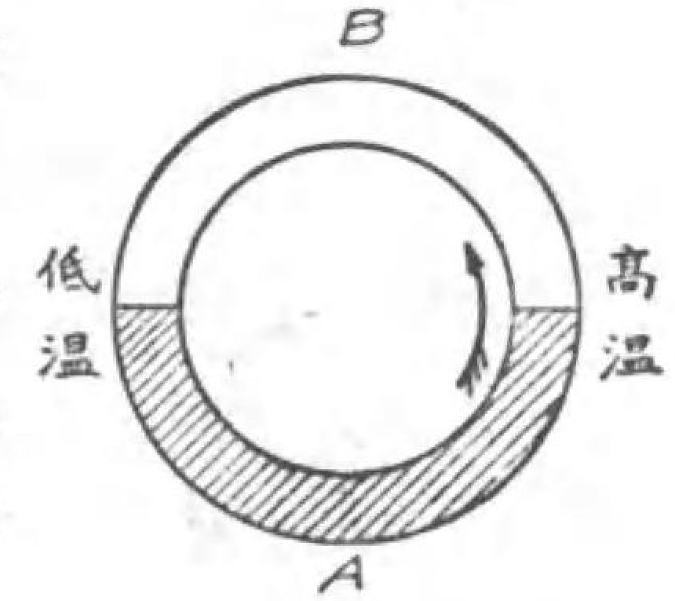
第 176 圖



熱電流の實驗

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）兩方の接合點の溫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**（ねつでんつゐ）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**（ねつでんれつじょ）と名付ける。次は熱電列序の一例である。

第 177 圖



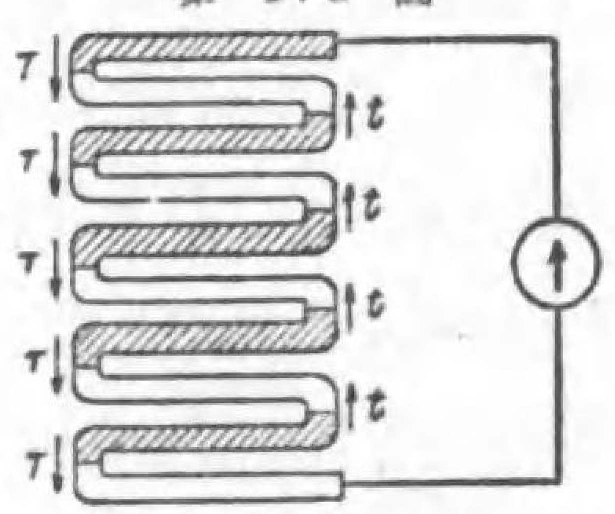
熱電對

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，熱起電力は高溫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，上位の蒼鉛から高溫度の接合點を經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溫度の接合點を經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溫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，その兩接合點の溫度差が攝氏の 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 圖に示す樣に交互に數多く卽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 (太陽から來る熱の樣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，兩方の接合點に溫度の差が生じ，回路に電流

第 178 圖

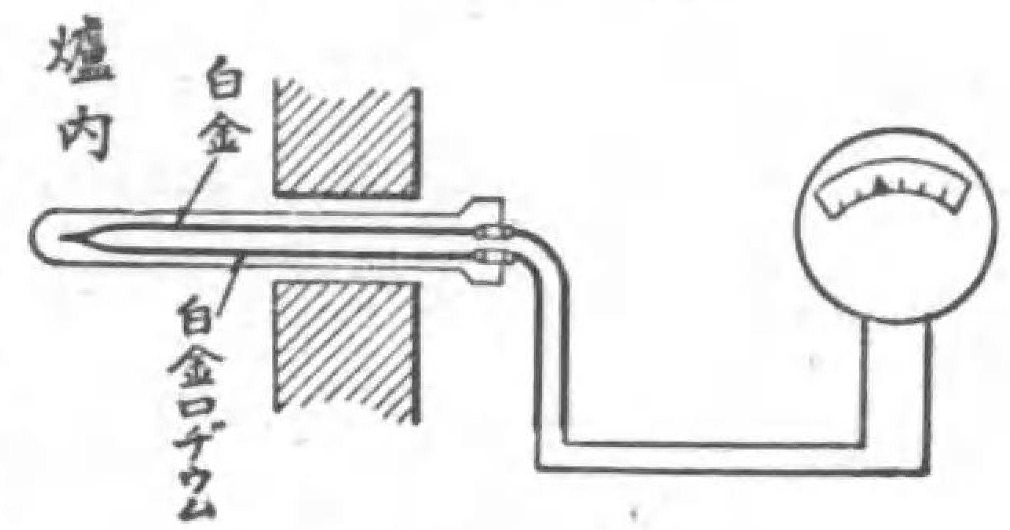


熱電堆の原理

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溫度を記入しておいて，指針で溫度を讀むのである。

121. 熱電高溫計　普通の溫度を測るには水銀寒暖計を用ひるが，非常に高い溫度，殊に鋼の燒入れとか合金の製造とか云ふ樣な爐内の高溫度を測るには水銀は氣體になるから用ひられない。此樣な高溫度を測るには熱電流を利用して測る。此溫度計を熱電高溫計と稱する。其構造は第 179 圖に示す樣に，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溫度を指針で直接讀む測定器につないである。爐内の溫度を測るには，保護管の先端を爐内に入れて，熱電對の接合點に高溫度を與へ，之によつて電流を生ずるから，測定器の指針が振れて溫度を讀むのである。

第 179 圖



熱電高溫計

此熱電高溫計は熱電對の適當の組合せに依つて，最低溫度攝氏の 200° から最高溫度 1600° 位迄次の四通りの熱電對で測る事が出來る樣になつて居る。

（イ） 白金と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。

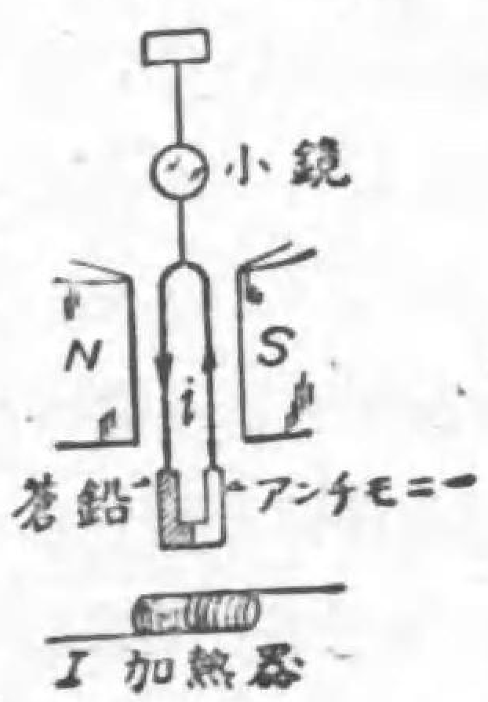
（ハ） 銀とコンスタンタンでは 650°C 迄の溫度測定に適する。

（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 圖に示す樣に，蒼鉛とアンチモニーの熱電對を細い銀線の環に接續し，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乘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 の自乘に比例する。故に測らうとする電流 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。

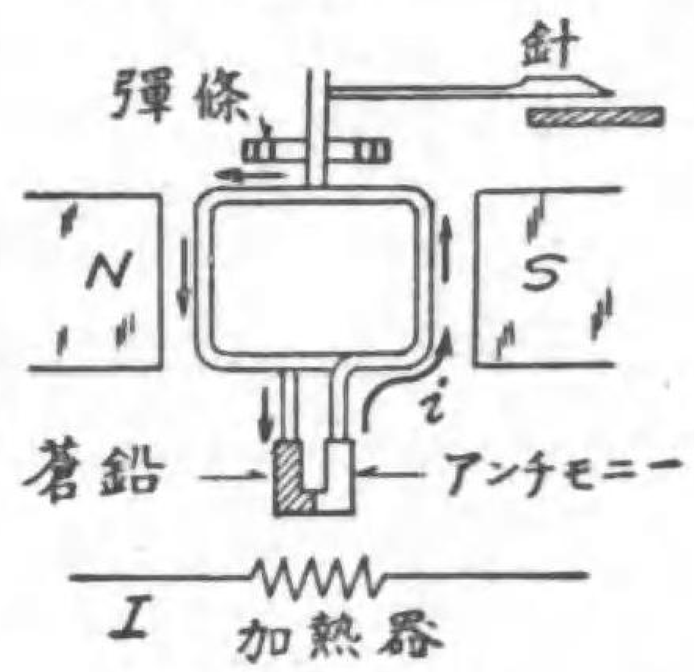
第 180 圖



熱檢流計

上の檢流計と全く同じ原理で熱電流計が出來る。第 181 圖に示す樣に，蒼鉛とアンチモニーとの熱電對に線輪が接續され，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。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數が卽ち此時の電流 I の値である。

第 181 圖



熱電流計

練 習 問 題 XII.

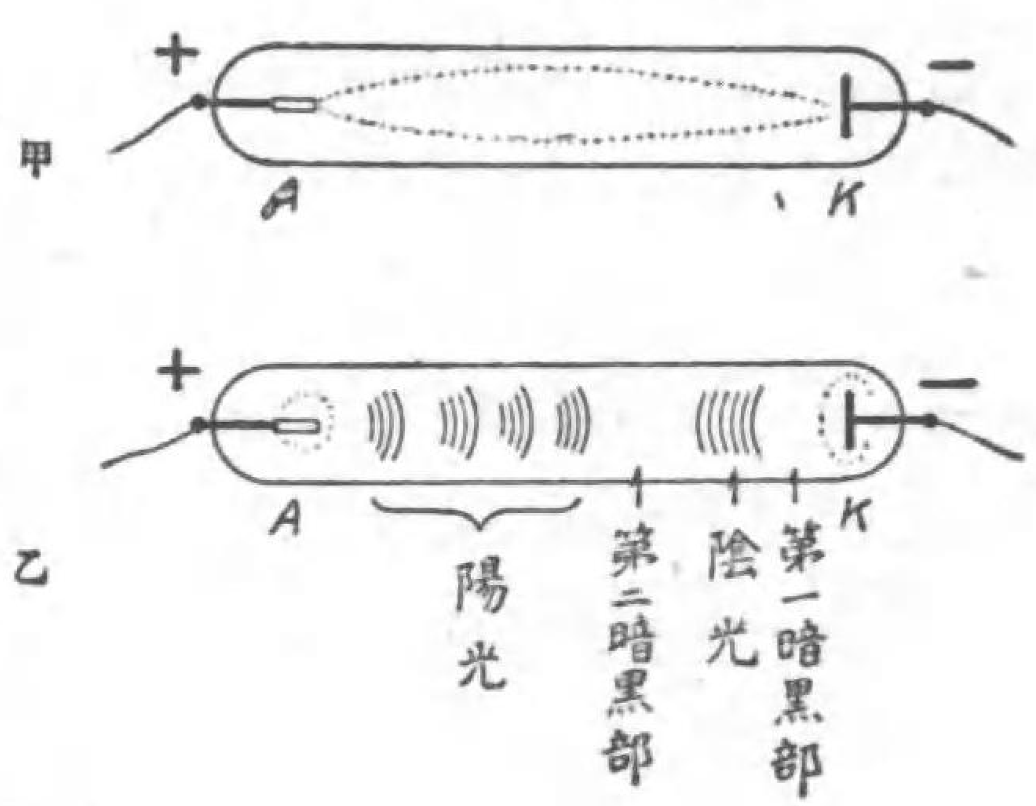
1. 熱起電力とは何か。
2. 熱電對とは何か。
3. 熱電堆は何の目的に使はれるか。
4. 熱電高溫計は攝氏の何度位迄測れるか。
5. 熱檢流計や熱電流計は何を應用したものか。

第十三章　眞空放電及び電子

123. 眞空放電　空氣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を附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8cm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。

第 182 圖



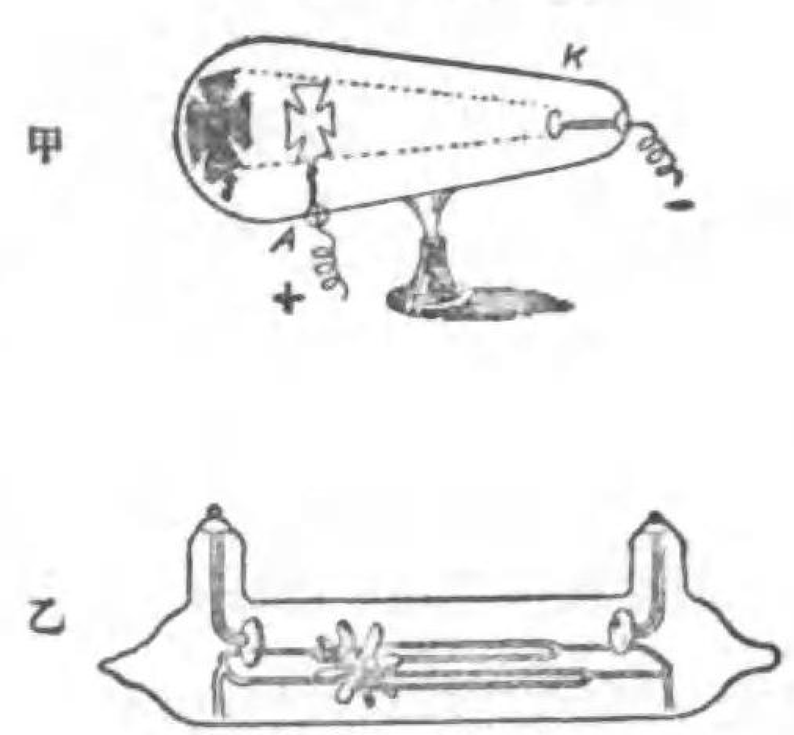
内部の氣壓が更に低くなつて0.1mm位になると乙圖に示す様に，陰極の圍りが青色の光に包まれ，其次に薄暗い部分があり，其隣りに光があり之を陰光と稱する。次に又暗黒部があつて，此部分と陽極との間には光が鱗狀に分裂して居る。之を陽光と稱する。管内の氣體の壓力が此程度のものを一般

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。氣壓が此程度の眞空管を**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綠になる。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帶びた微粒子の非常に速い運動である事を發見した。此陰電氣を帶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，管壁にその影が出來て，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。又雲母で出來た翼を有する輕い車の軸を乙圖に示す様に，硝子製のレー

第 183 圖



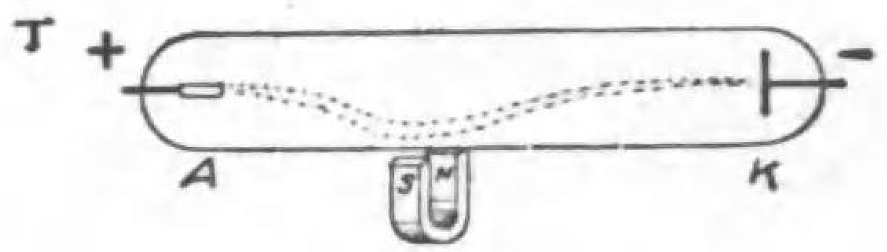
陰極線の直進及び機械作用を示す

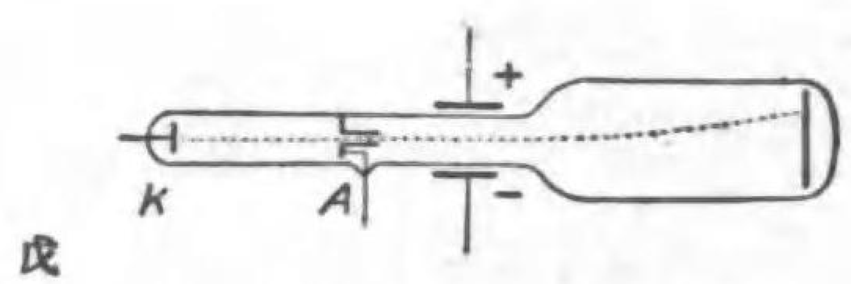
第 183 圖 丙

陰極線の熱作用

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。卽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，丙圖の樣に陰極を半球面狀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，丁圖に示す樣に，蹄形磁石 NS を陰極線の通路に近づけると，陰極線は圖に示す樣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，戊圖に示す樣に，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內部に置かれた螢光板（之は硝子に硫化亞鉛の樣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枚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，陰極線は圖に示す樣に曲げられて螢光板上の上方に螢光點を生

第 183 圖





陰極線は磁界及び電壓によつて作用される

ずる。

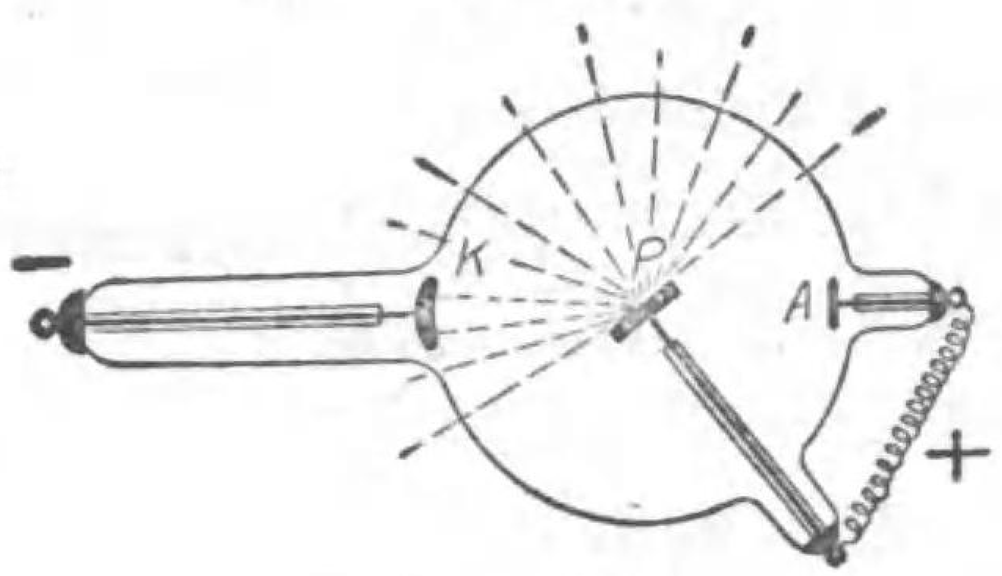
此樣に陰極線は色々の性質がある。殊に其螢光作用，磁界の影響，電氣の影響を利用すると，電流や電壓の變化する有樣を研究するに必要な**ブラウン管**（又は**陰極線オッシログラフ**）と稱する測定器が作られるのである。

125.　電子　前節に述べた陰極線をつくる陰電氣を帶びた微粒子卽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，眞空中で金屬線を强く熱すると之からも電子が放射される。或は又眞空中に置かれた金屬の表面を**紫外線**（しがいせん）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 $\frac{8.995}{10^{28}}$ 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 **X 線**（エツキスせん）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。對陰極から放射される X 線は空氣中に出て，空氣を電導性に變へる。又此 X 線はその周圍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。從つて X 線で照らして寫眞を撮ると，人體の骨骼，內臟の有様，其外人體內に留つた彈丸，金屬片等を知る事が出來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 184 圖



X 線管

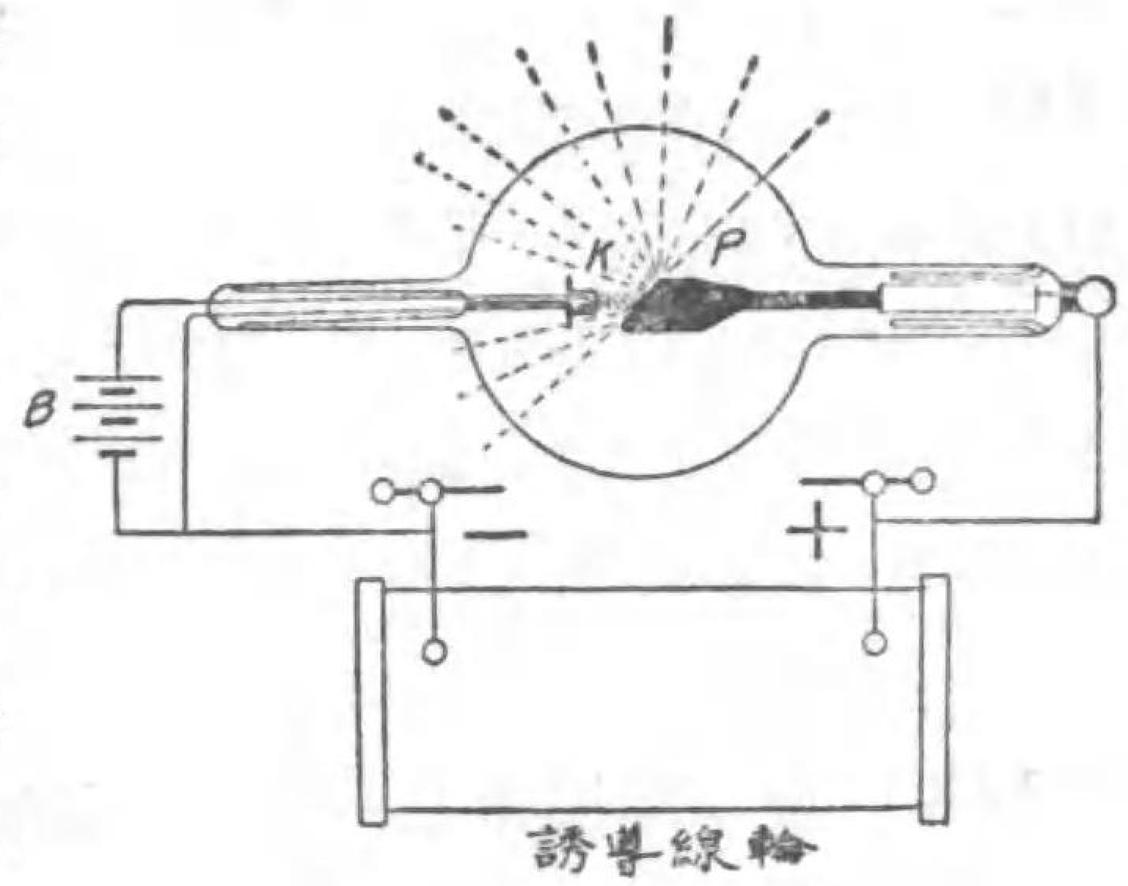
第 185 圖

X 線で照らして撮つた手の寫眞

第186圖は最近作られた**クーリッヂ管**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續される)。

第 186 圖



クーリッヂ管に依る X 線

127. 原子說及電子說 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來る。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來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。之を原子說と稱する。

然るに今日の學者の說によると，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樣に）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，核の帶べる陽電氣の量と電子の帶べる陰電氣の總量と相等しいのである。此樣に電氣的中和の狀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。斯樣に今日では凡て物質は電氣的に考へられて居る。之を**電子說**と稱する。

128. 電子說による一，二電氣現象の說明

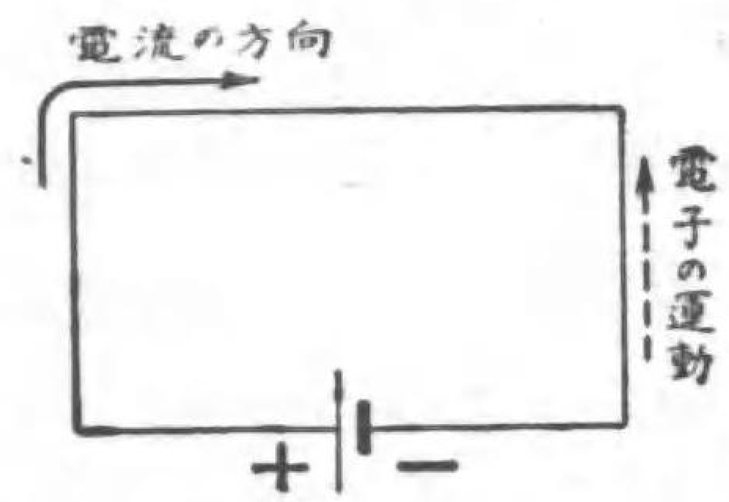
前節に述べた樣に，物質の原子はその核の有する陽電氣の量とその圍りを週廻する電子の陰電氣の總量とが等しいから，其作用が中和の狀態にあつて，外部に何等の電氣現象を表はさないのである。

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**（いうりでんし）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內には逃げた丈けの遊離電子の帶びた陰電氣の總量だけ不足して居るから，それ丈けの量の陽電氣が其物質に在る譯で，從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增した事になるから，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，遊離電子卽ち陰電氣が陰極から電線を經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。卽ち吾々の今まで電流と云つて居た現象は，**實は電子（卽ち陰電氣）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。

第 187 圖



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。從つて之等のゴム等は電池につないでも電子の流動が出來ないのである。卽ち金屬類の樣に遊離電子を有するものが導體で，反對に遊離電子を有たない物質が不導體（又は絕緣體）である。

練　習　問　題　XIII

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

7. X 線は誰れが發見したか。
8. X 線の性質を列擧せよ。
9. クーリッヂ管とはどんな物か。
10. 原子說を述べよ。
11. 電子說を述べよ。
12. 遊離電子とは如何なるものか。
13. 電流現象を電子で說明せよ。
14. 導體と不導體との區別を電子で說明せよ。

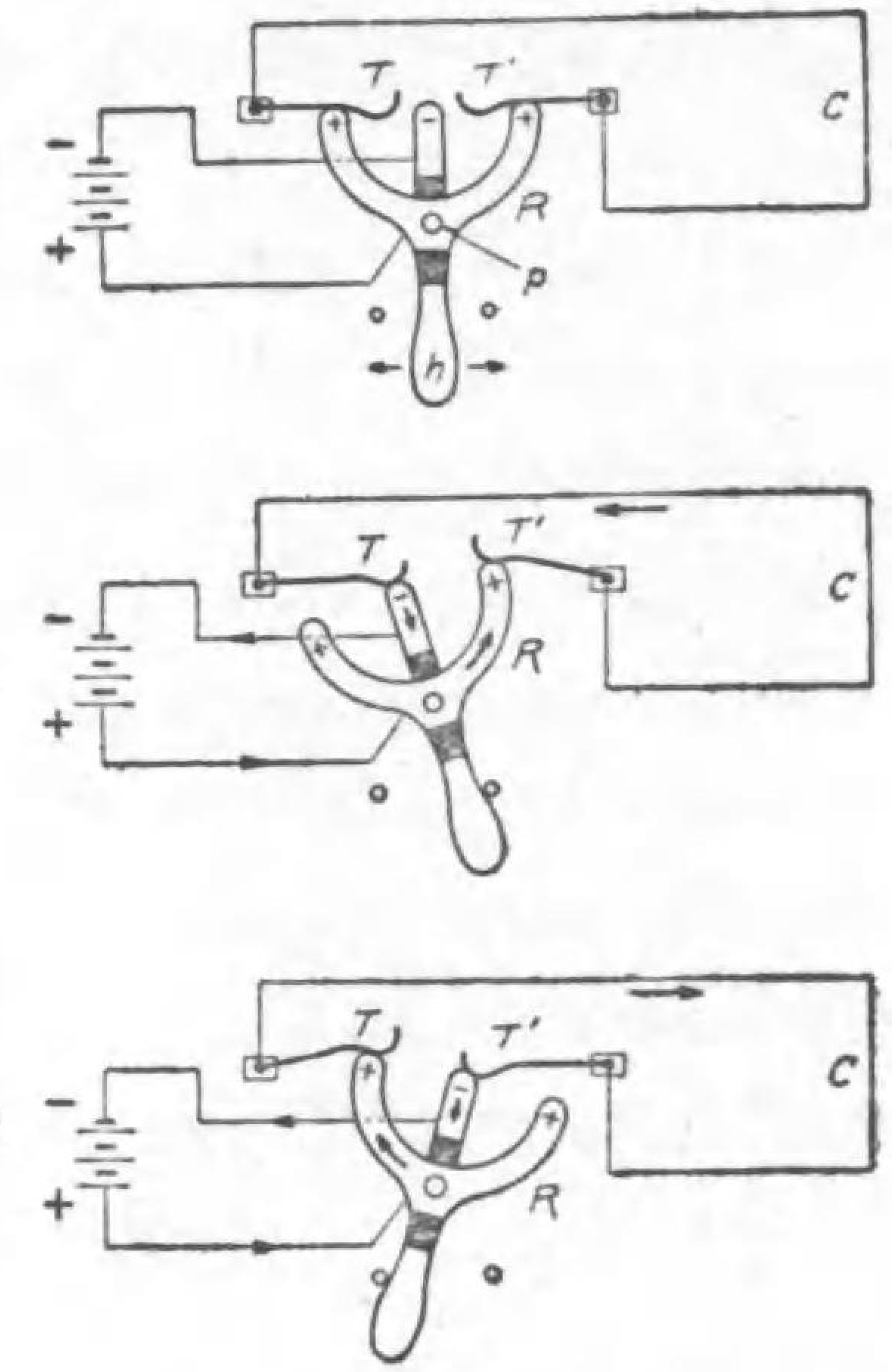
第十四章　交流の概要

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，**直流**と**交流**とになる。直流に就いては已に充分述べてあるから，次は交流に就いて說明する事にしよう。

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**交流は其方向が周期的に變化する電流であつて，其大さも一般に周期的に變化するものである。**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，電流は起電力に從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**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，次に交流發生裝置の最も簡單なるものを示さう。

第 188 圖甲乙丙は其裝置の原理を示すものである。圖中 R は**轉極器**と云ふもので之れを圖に示せる樣に電池又は直流發電機の陰陽兩極に夫々接續し，之れを又 p 點にて支持し，h なる把手

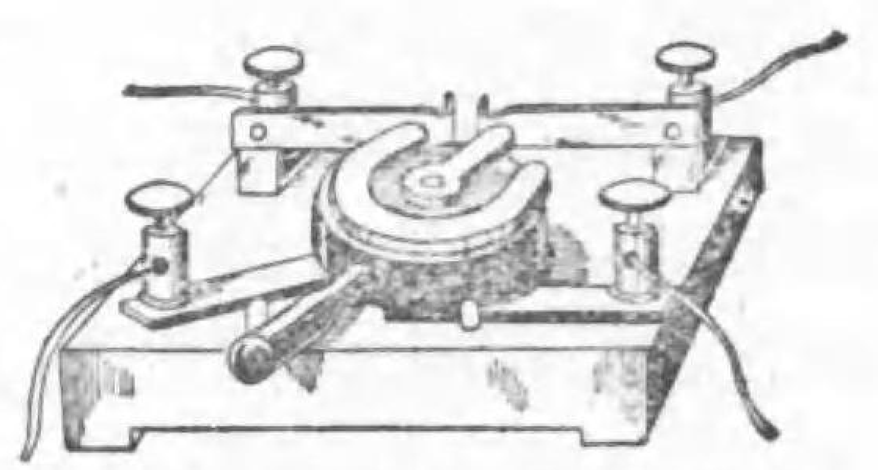
第 188 圖



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 圖乙の樣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。從つて c 回路には反時計式，即ち矢の方向に電流が通ずる。

第 189 圖



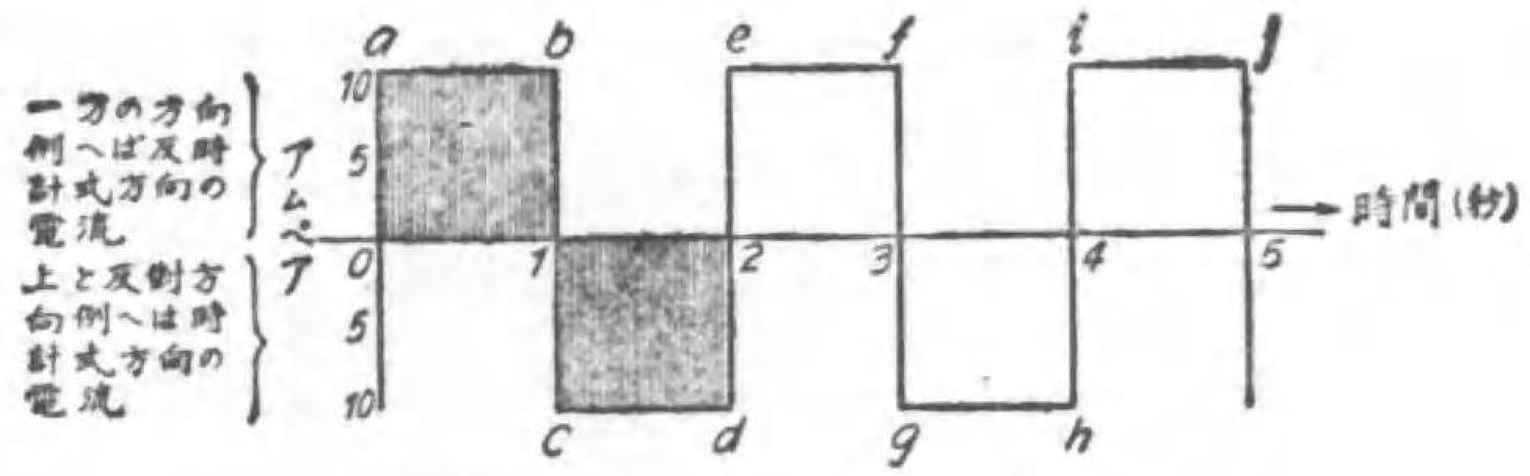
轉極器

次に把手を左に動かす時は同圖丙の樣に，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，卽ち矢の方向に電流が通ずる。此樣に把手を或る一定

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，從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 圖の樣なグラフにて示す事が出來る。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縱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。

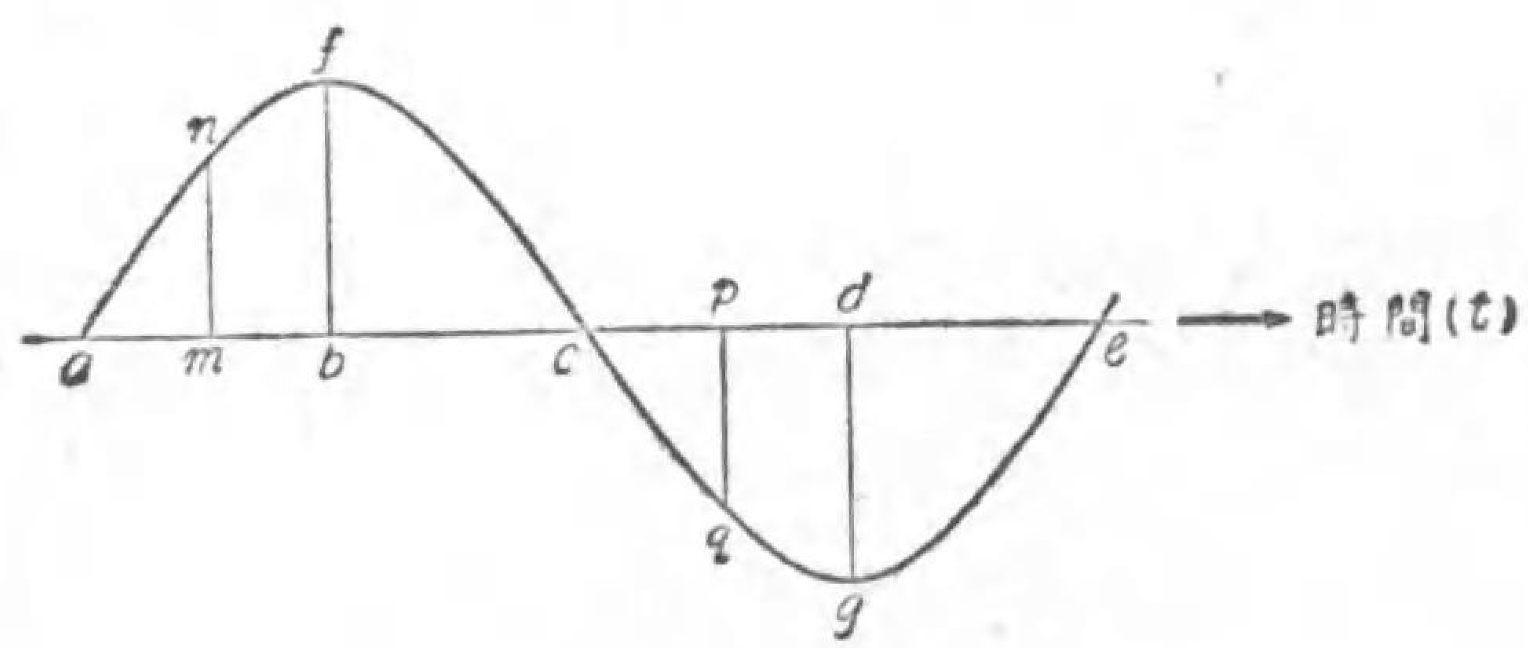
第 190 圖に就き詳しく説明すれば次の通りである。横軸，即ち基線に沿ふて，時間を取り（例へば一秒置きに），左より右に時刻の經過を示すものとする。然る時は此裝置の構造から明かな樣に，一秒時の間は同一値の電流が通ずるから，基線上に於て，同圖に示す樣に，其電流の値を表はす同一長さの直線を縱軸に平行に引きて，各瞬時の電流の値を示し，此上端を順次結ぶ時は，ab の樣な水平線が得られる。之れが，即ち 1 秒時の間の電流の値

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對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樣，縱軸に平行に引かねばならぬ。而して其下端を cd の樣に，連結すると，反對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對になる電流，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對となり，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對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，上記の樣に規則正しく方向が交互に反對となる外に，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 圖の樣な曲線にて表はされる。已に說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，交番起電力の大さ及び方向の變化も同圖の樣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，前同樣基線 ace 上に時間を目盛し，縱軸の方向に電流又は起電力の大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，前に述べた樣に反對方向の電流，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。

從つて，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けの電流が甲から乙の方へ通じて居る事を示す。此電流の大さは其れから b 點に相當する時刻までは漸次增して電流の大さは 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けの大さの電

流が乙から甲の方向，即ち前とは反對の方向に電流の通ずることを示すのである。此反對方向の電流も d に相當する時刻までは增すが，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，從つて**交番電壓**に於ても，時間に就いての大さの變化は前同樣，一つの**波狀曲線**で示される事が分かるであらう。

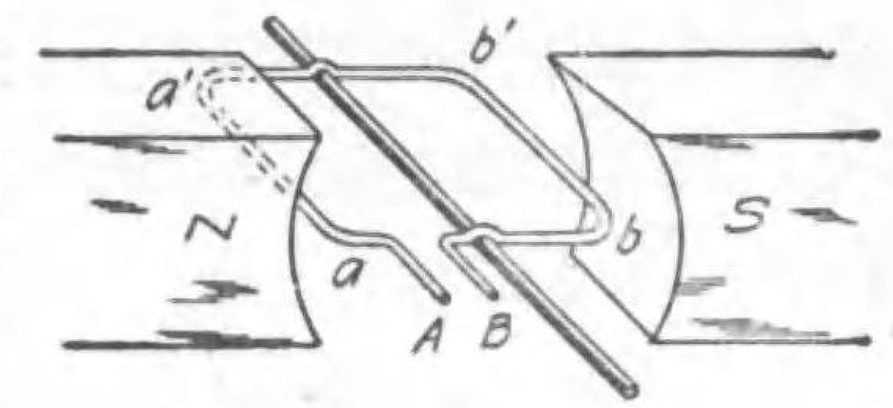
交流なる言葉は本來，規則正しく方向の變化する電流の意味であるが，吾々は直流の場合と同樣に起電力及電流を含みたる總稱的の名稱として，例へば交流電壓（交番電壓の意味），交流電路等の言葉を普通使用して居る。

130. 交番起電力の發生

前節で述べた交流發生裝置は單に交流の觀念を與へるために述べたもので，同裝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，講義の順序として玆に附加へる事にしよう。今第 192 圖の樣に磁石の 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

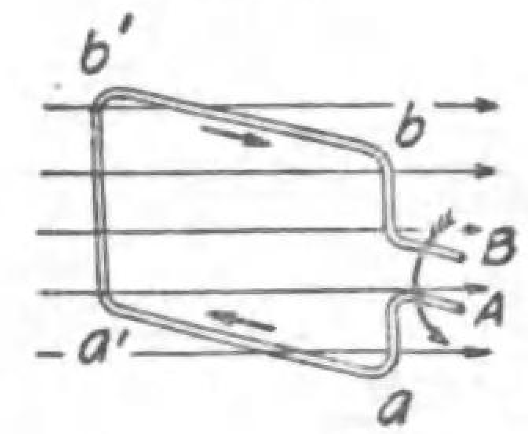
第 192 圖



NS 兩磁極の中間に於て線輪を廻轉させる裝置略圖

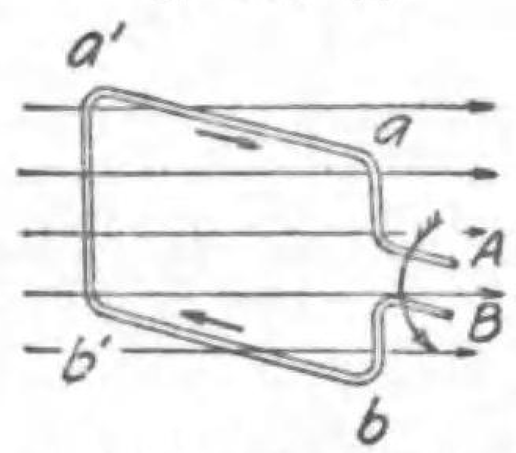
樣な軸を付けて，線輪を時計の針と反對方向に，且つ一定速度で廻轉させる。すると此線輪の導體は N 極と S 極間にある磁線を切るから，此導體内に起電力が生ずる。今此線輪の廻轉の際に起る起電力の方向を調べて見るに，線輪面 $aa'b'b$ が磁線に直角なる點から出發したとする。すると第 193 圖に示してある樣に，aa' の部分は下から上に向つて磁線を切り，bb' の部分では上から下に向つて磁線を切るから，右手三指の規則で明な樣に，起電力は矢の方向となり，A から B に向ふ。即ち此場合 B は A より高電位にある。然し半廻轉して第 194 圖の樣になると，今度は今迄と反對に aa' は上から下に 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 $(+)(-)$ の位置は前とは反對となる。此樣に半廻轉毎に規則正しく起電力の方向，從つて高電位の位置も反對となる。即ち斯くすると交番起電力從つて交番電壓が得られる譯である。而

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）

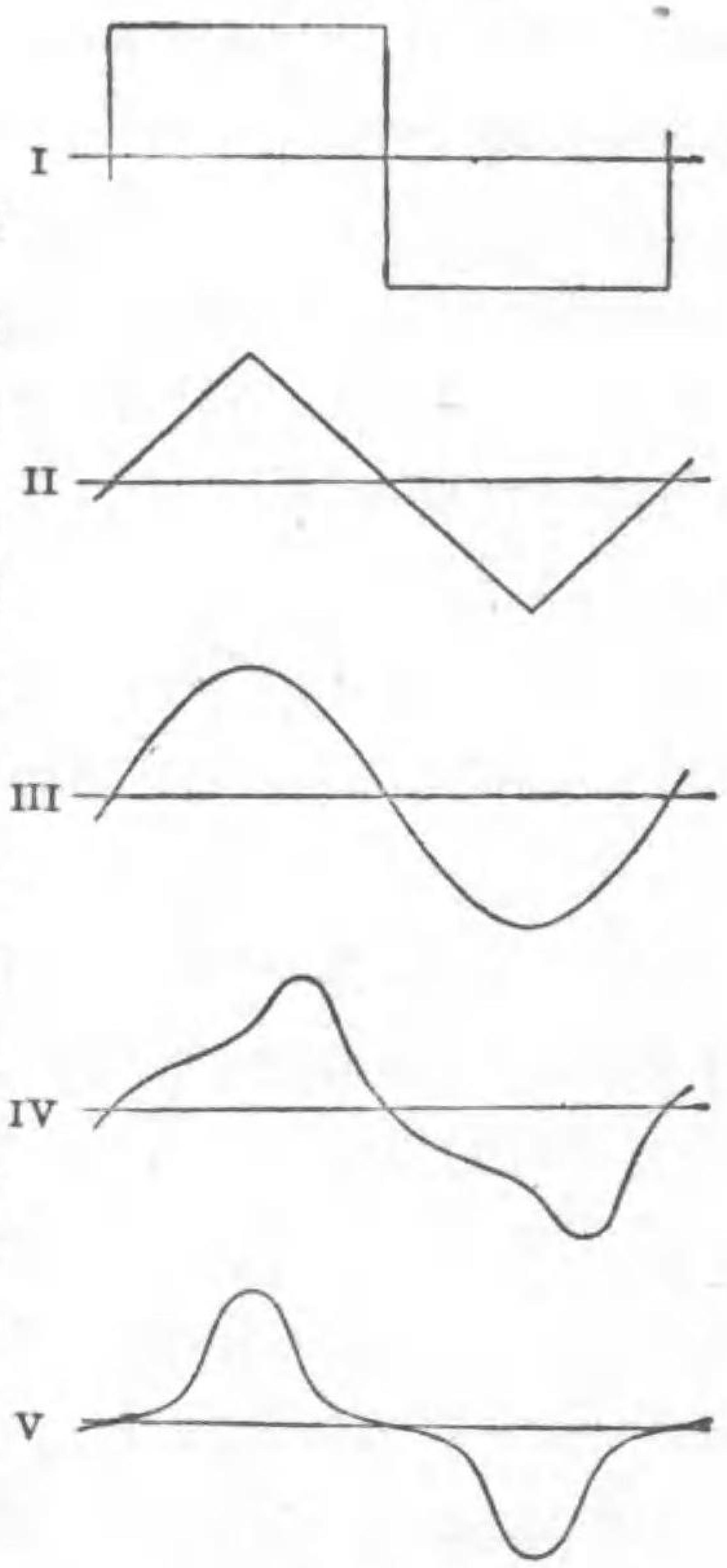
第 194 圖



第 192 圖の線輪が廻轉する時生ずる起電力の方向（其の二）

して此場合の起電力の時間に就いての大さの變化は第 191 圖の様な波狀曲線で表はされるのである。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。

第 195 圖



交流の各種波形

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來る。**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**

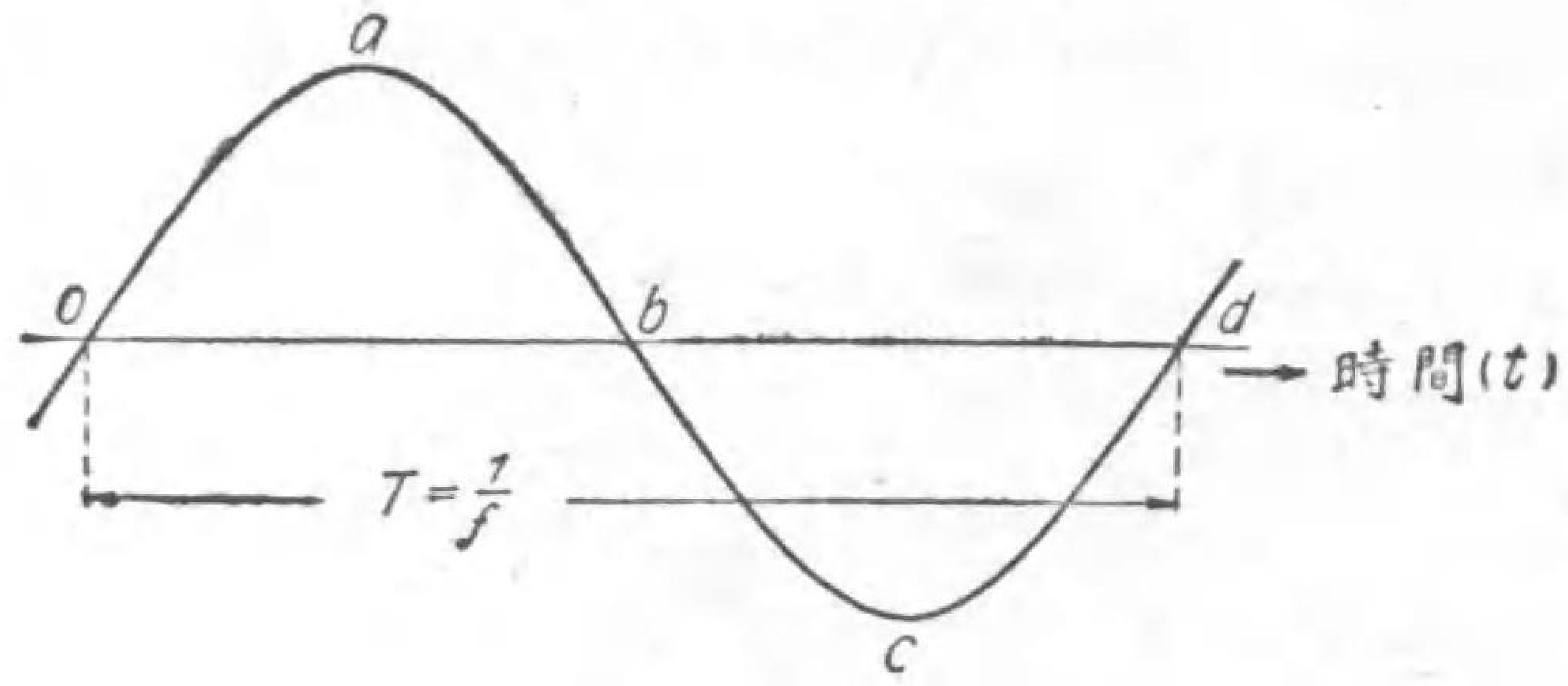
正弦波交流と稱する。

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，兩方向の內何れの方向のものでも，其大さの變化を正波として表はすことが出來るが，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。從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說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，初の狀態になる迄を 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 ～ なる記號を屢々用ひる。普通 50

第 196 圖

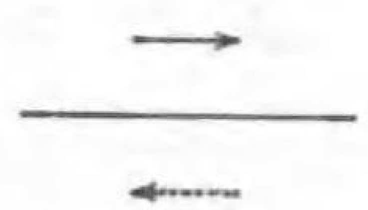


T=周期　f=周波數

サイクル又は 60 サイクルの交流と稱して居るのは，交流の周波數が 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說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增加し，最大の値に達し其れより又漸次減少して再び零となり，次に反對方向(點線の矢の方向)に電流が增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，上の樣な事を 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。

第 197 圖



以上述べた周波數及周期の定義は交番起電力，從つて交番電壓

に就いても同一である事申迄もない。

次に周期と周波數との關係は次の通りになる。今周期を T, 周波數を f にて表はせば

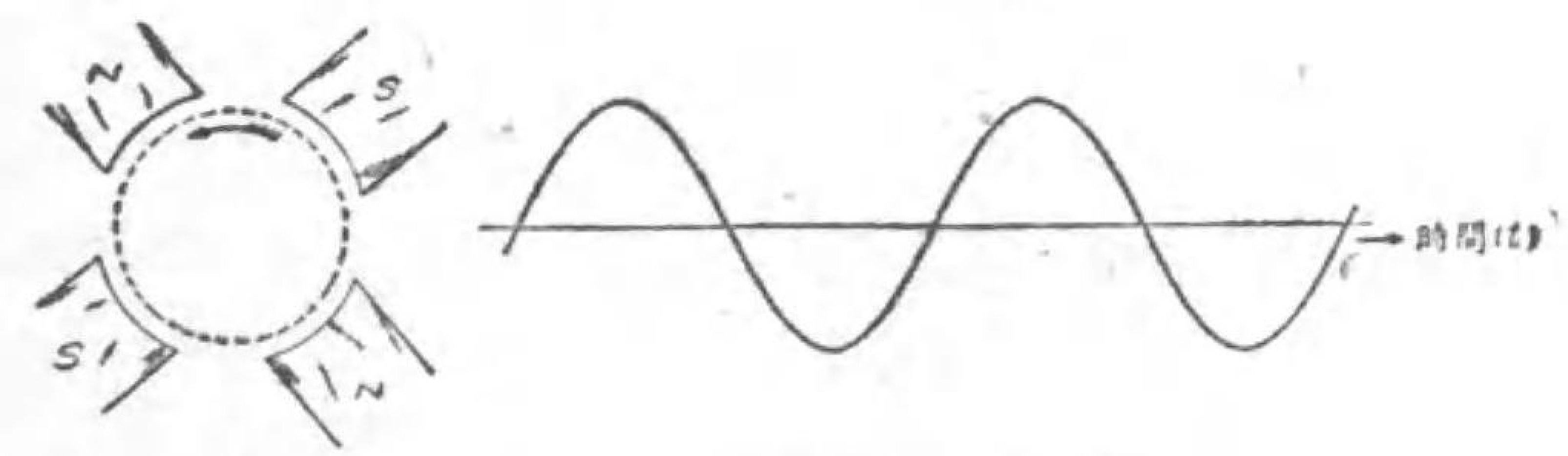
$$T=\frac{1}{f} \quad \text{或は} \quad f=\frac{1}{T}$$

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**交番數**と云へば周波數の 2 倍である。

注意　第 192 圖の樣な構造の發電機，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 圖の樣な四極交流發電機では 1 廻轉の

第 198 圖

甲　　乙



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，同圖乙の樣に起電力の 2 サイクルを完成するものである。此樣に同じ 1 廻轉でも極數によつて發生する起電力のサイクル數は異なるもので，毎秒のサイクル數，即ち周波數を f サイクル，極數を p, 及毎分の廻轉數を N とすれば，之れ等の間には

次の關係がある。

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

例題 53.　10 極交流發電機が每分 600 廻轉する時は，此場合發生する起電力の周波數は每秒幾サイクルなるか。

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

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

例題 54.　周波數 50 サイクル（50～）の交流がある。其周期及 1 秒間の交番數を求む。

解　$$\text{周期}=\frac{1}{50}=0.02\ \text{秒}$$

$$1\ \text{秒時の交番數}=50\times2=100$$

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。又其大さも時々刻々變化するものであるから，其大さを云ひ表はすに何を標準としてよいか判斷が付かぬ。そこで交流では其大さを簡單に云ひ表はす事の出來る樣に，**實効値**（じつかうち）と云ふものが用ひられる。

交流の實效値と云ふものは，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效値は 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。**

上に述べた定義に從つて，交流の實效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**自乘の平均の平方根**が實效値に相當することになるのである。此說明は電機學校標準叢書新編電氣通論第二編に讓る事とし，玆では省略する。

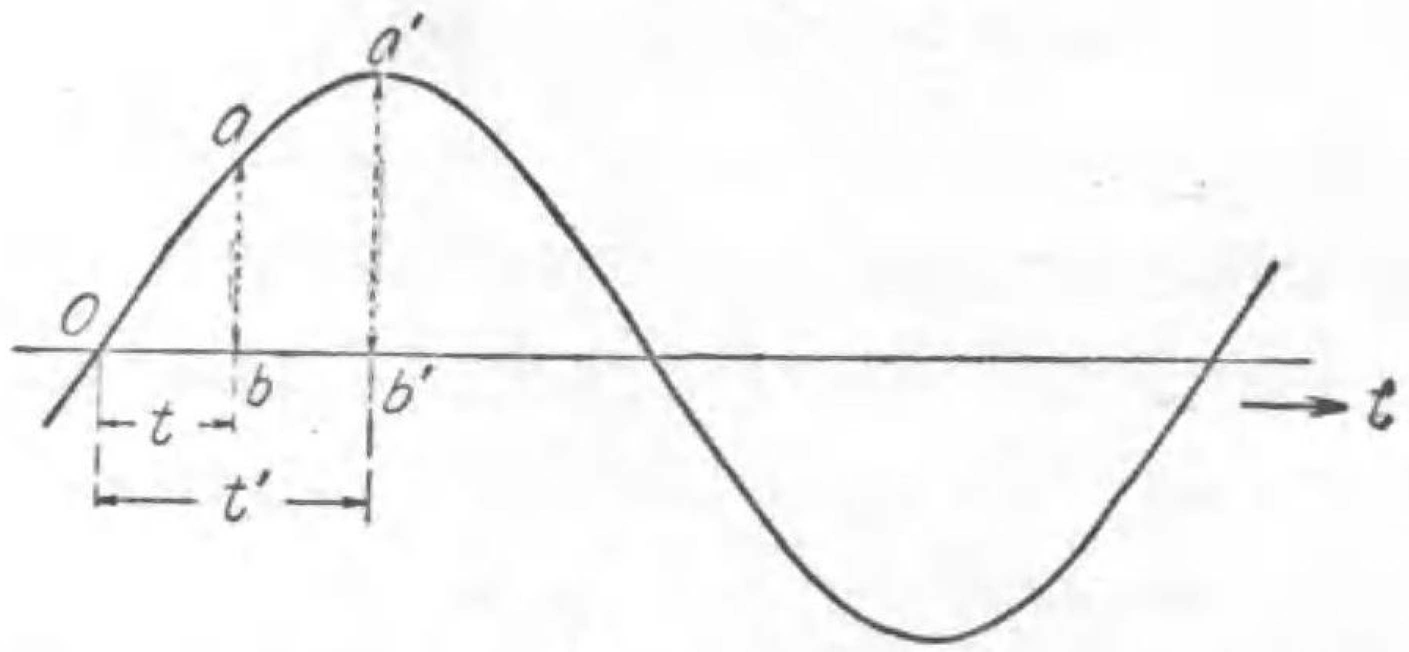
電流は起電力に從つて通ずるものであるから，交流の大さを上の如く定めると交番起電力，從つて交番電壓も自然同樣にして定められる。即ち交番起電力又は交番電壓の實效値は交流と同樣に，各の 1 サイクル間の時々刻々の大さの自乘の平均の平方根で表はされる。以上は單に交流の實效値の定義及其求め方を示したもので，正弦波交流の場合の實效値の數値に就きては改めて說明する。

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壓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，凡て其構造が實效値を指示する樣に出來て居るのである。而して實效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　交流又は交番電壓は其大さを表はすに專ら實效値が用ひられる。然し交流の値は時々刻々變化するものであるから，必要に應じ實效値の外に**最大値**（さいだいち），**瞬時値**（しゆんじち），

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の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，電流の實效値は 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. 交流では何故に實效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。

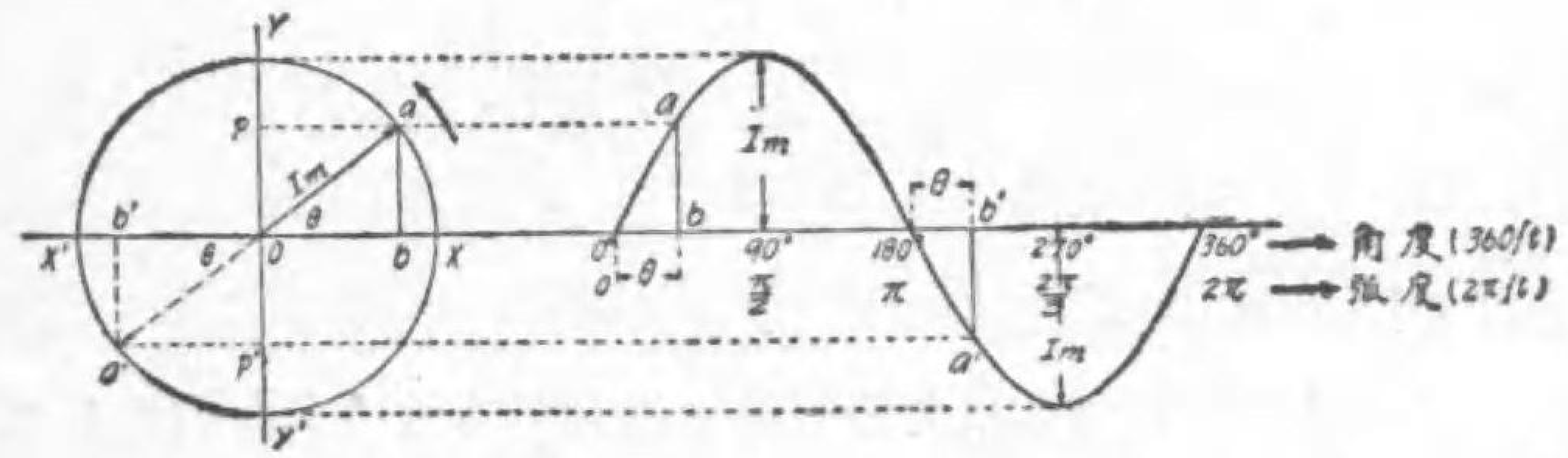
第十五章　正弦波交流

135. 正弦波　前章で述べた樣に，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。故に交流發電機製造者は皆完全な正弦波のものを得る樣に勉めて居る。從つて現今出來る交流發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斷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樣に，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，從つて正弦函數と同一理論にて數學的に處理する事が出來るのである。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 圖の樣に最大値 I_m を廻轉半徑（**廻轉ヴェクトル**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。此事は次の樣に考へてもよい。

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樣に，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，$\theta=360f\times t$ 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(とうえい) po（附記參照）は θ の値，即ち $360ft$ の値に從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 ft 度)又は弧度(即ち $2\pi ft$ レーディアン)を基線上に取り，廻轉半徑の縱軸 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 ft 度)又は弧度(即ち $2\pi ft$ レーディアン)を目盛し，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來るのである。**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，從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橫軸 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，從つて基線上の 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 $\theta=90°$ 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，$\theta=180°$ 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橫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橫軸 XX' 軸と直角に交はる縱軸 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。

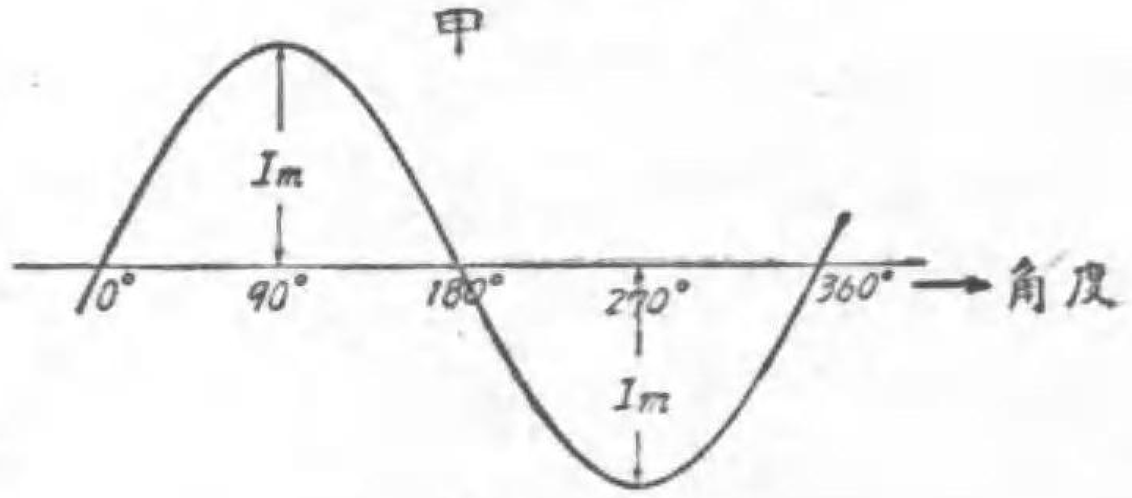
136. 正弦波交流

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，周波數 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 $\frac{1}{f}$ 秒に相當して居る理である。** 同様に 180° が半サイクルに要する時間に相當して居る。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 $\frac{1}{f}$ 秒に相當して居る。

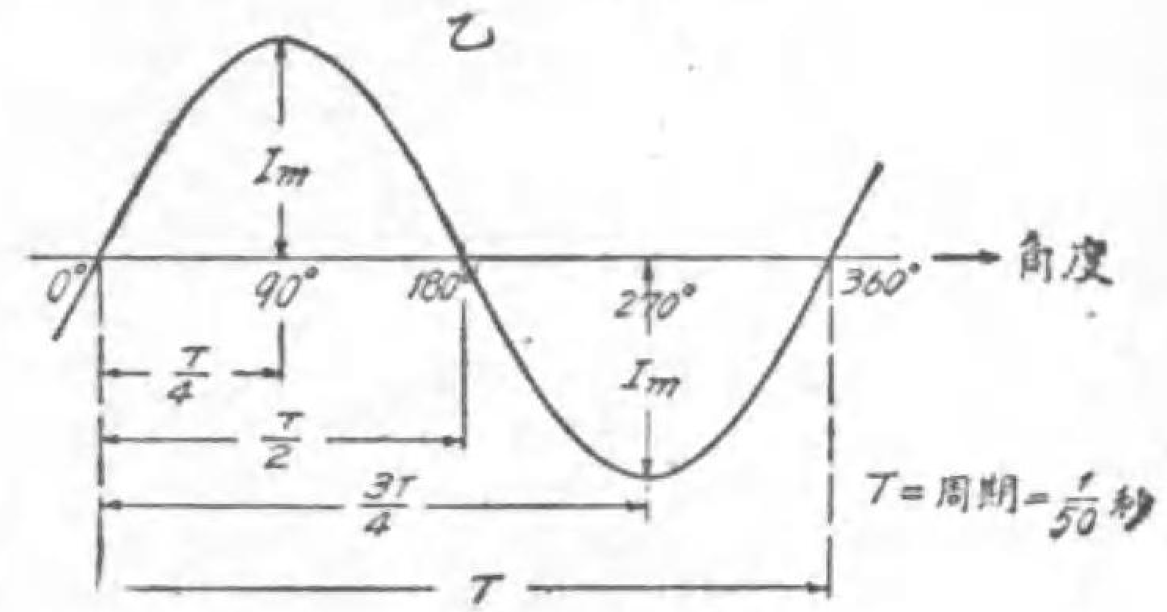
第 201 圖



360° は $\frac{1}{f}$ 秒に相當する。

此圖から明かな様に，正弦波電流，從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，廻轉ヴェクトルを 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。

第 201 圖



360° は $\frac{1}{50}$ 秒に相當して居る。

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° の時とは反對方向の最大値 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

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

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

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

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，其定義に從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。

依つて電流の實效値を 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 $$I_m=\sqrt{2}\ I=1.414\ I$$

同様に電壓の場合は

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

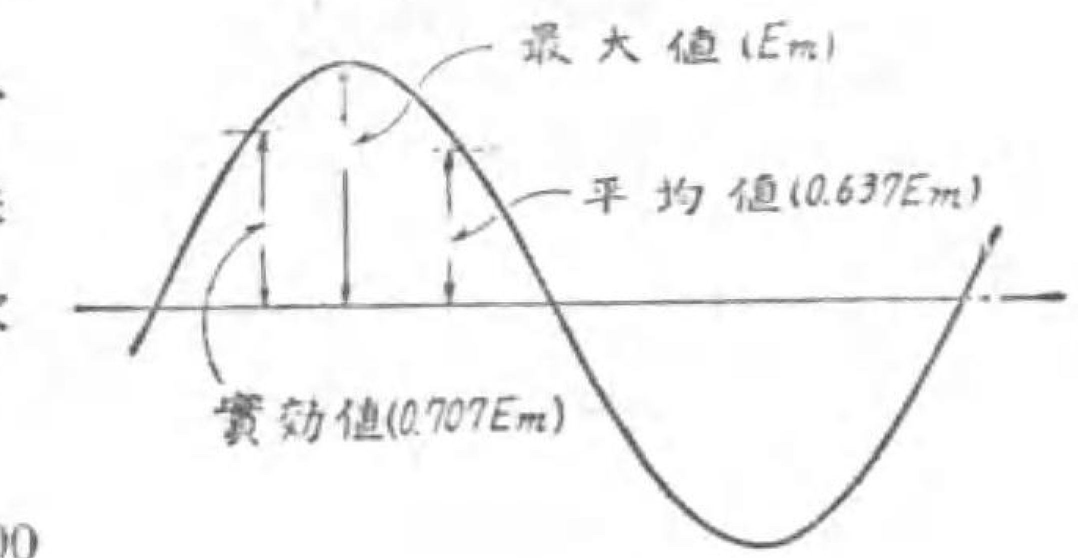
或は $$E_m=\sqrt{2}\ E=1.414\ E$$

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

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

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。之れらの大さの割合を圖示すると，第 202 圖の樣になる。又正弦波交流に於ても何アムペア，何ヴォルトと云へば，凡て實效値を意味して居る事前章で述べたと同一である。

第 202 圖



例題 56. 最大値 100 ヴォルトなる正弦波起電力あり，其實效値は何ヴォルトなるか。

解
$$E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=\frac{100}{\sqrt{2}}$$
$$=\frac{\sqrt{2}\times100}{2}=\frac{1.414\times100}{2}$$
$$=70.7\ \text{ヴォルト}$$

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
$$I_m=\sqrt{2}\,I$$
$$=1.414\times100=141\ \text{アムペア}$$

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 　平均値$=0.637\ I_m$

$=0.637\times\sqrt{2}I$

之れに問題の値を代入して

平均値$=0.637\times1.414\times100$

$=90$ アムペア

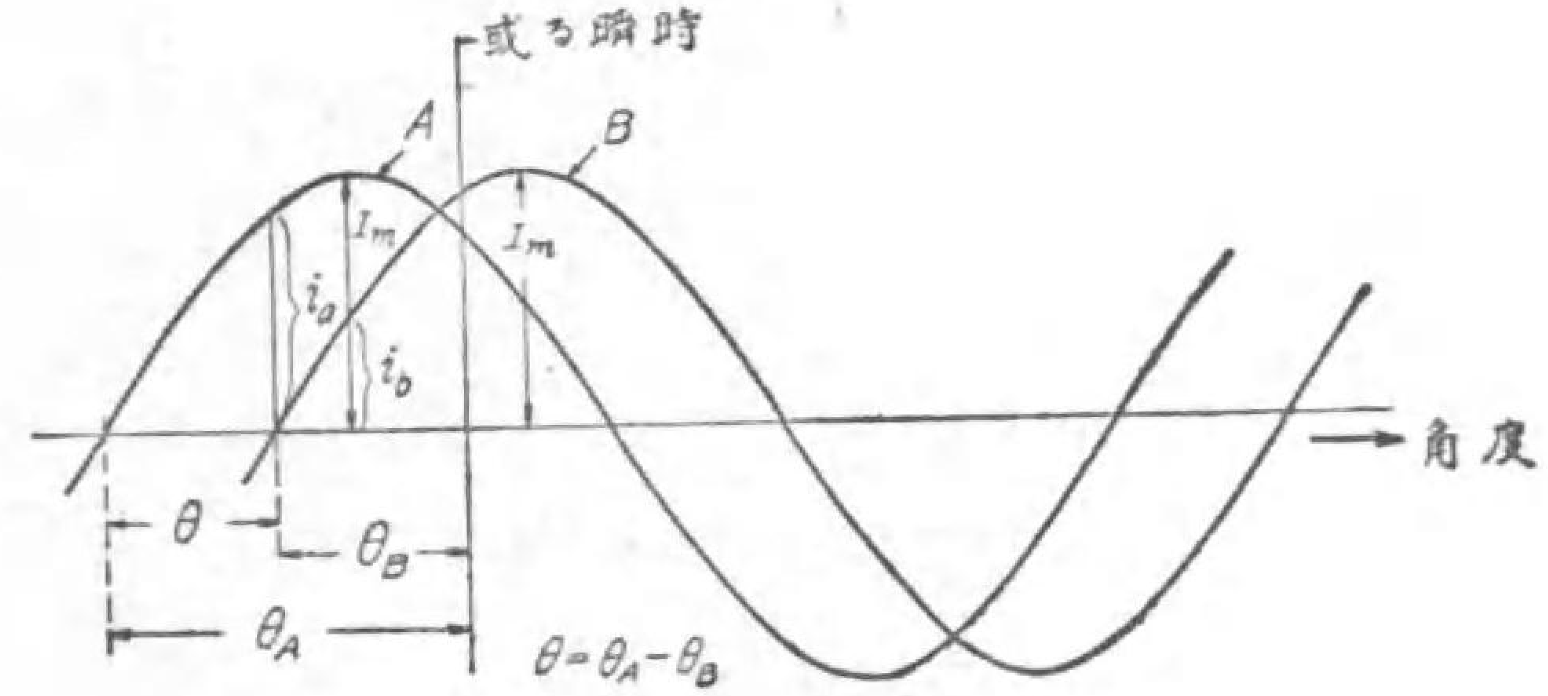
練 習 問 題 XV.

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. 正弦波交流の實效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 交流のヴェクトル表現法

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 より一歩先んじて，或値に達し其れから或時間遅れて B が A の先きに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經過，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) だけ遲れて居ると云ふ。

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 i_a 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。

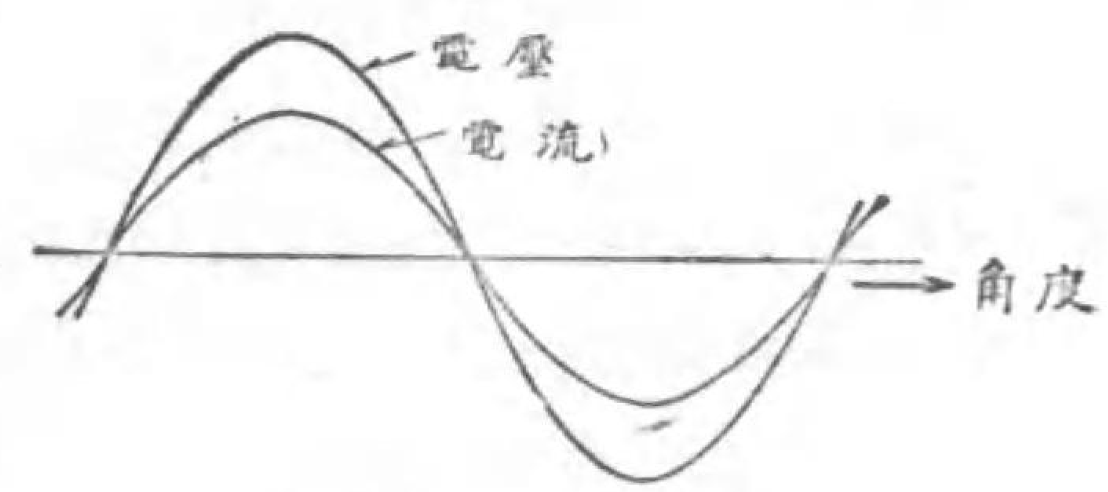
上に述べた事を約言すると，**交流 A と交流 B との間には角 θ だけ相差があつて，A は B より角 θ だけ位相が進んで居り，B は A より角 θ だけ位相が遲れて居るものである。**

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，上に述べた樣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數が 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 より遲れて居る譯である。

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，又は二つ以上の電壓間，或は電壓と電流との間の場合でも差支へなく成立するもので其場合も前同樣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

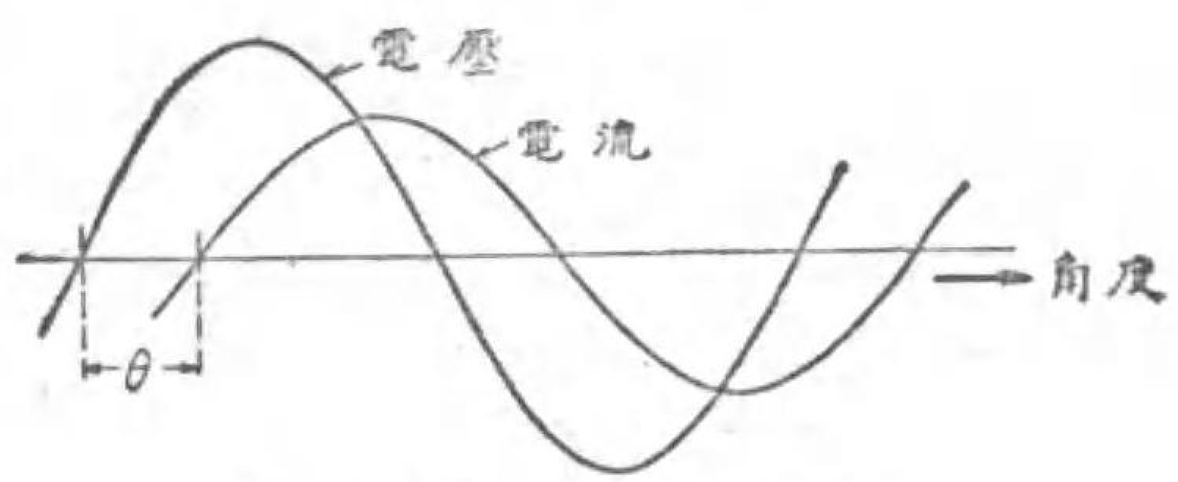
甲



電壓と電流と同位相

第 204 圖

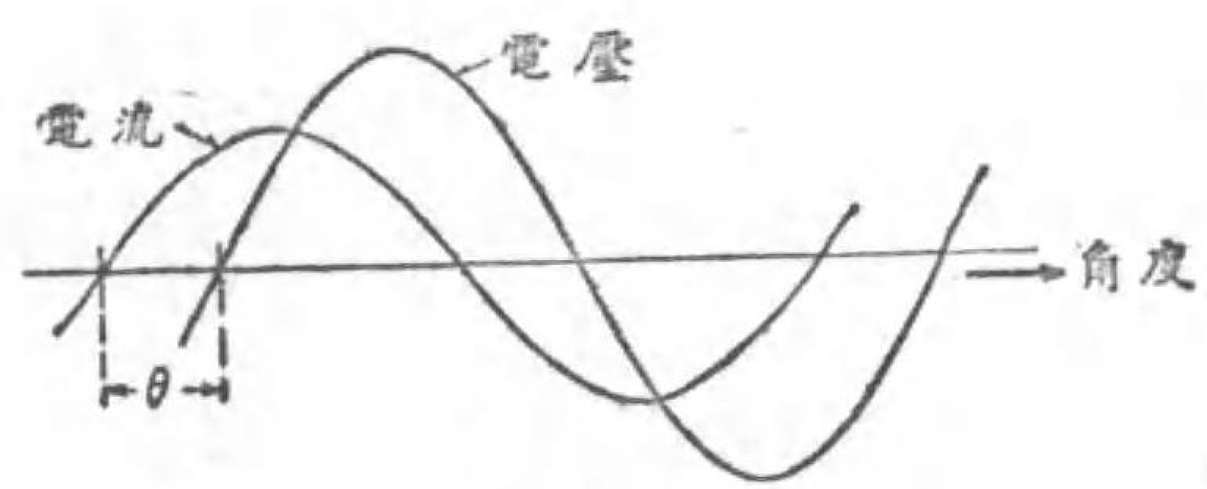
乙



電流が電壓より遲れて居る事 θ

第 204 圖

丙



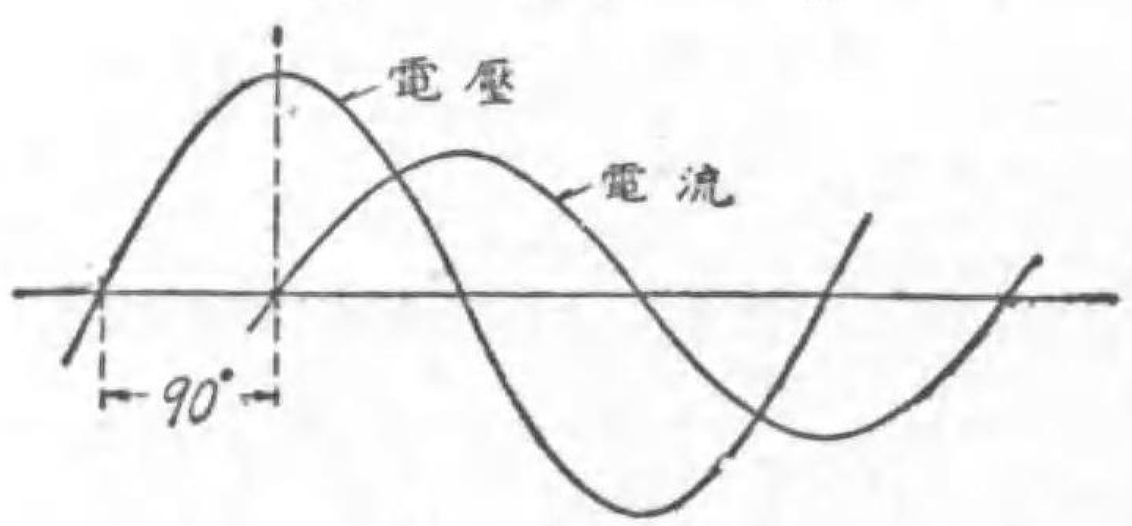
電流が電壓より進んで居る事 θ

すべきものが同一周波數のものでなければならぬ。即ち周波數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遲れと云ふ樣なことが，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說明しよう。

第 204 圖甲の場合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 だけ位相が遲れて居るが，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**遲角**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樣に，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。

第　205　圖

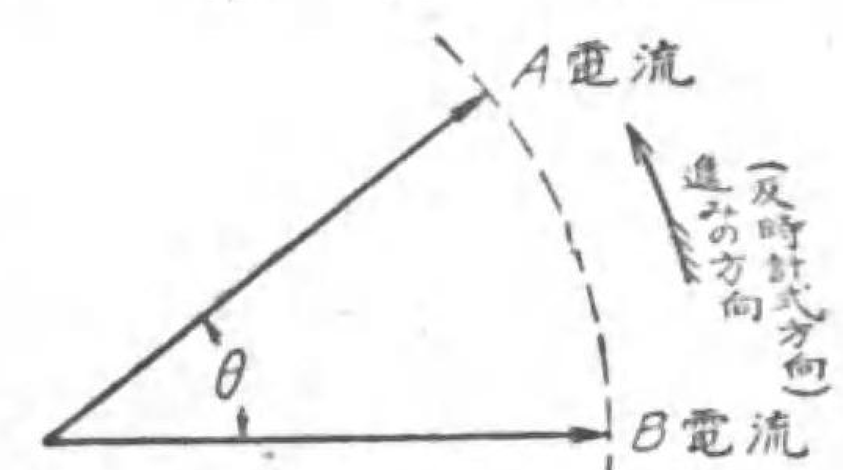


電流は電壓より遲れて居る事 90°

139. 交流のヴェクトル表現法

正弦波交流は前節で述べた樣に，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來るが，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，**專らヴェクトルで之れを代表させる事にして居る**（附記參照）。玆で云ふヴェ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**固定ヴェクトル**と稱する事もある。單にヴェクトルと云へば此固定ヴェクトルを意味するものである。而して又ヴェ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（最大值又は實效值）及交流相互間の相差角も圖示する事が出來て，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從つて第 206 圖の樣に，各をヴェ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**交流のヴェクトル圖**と稱する。此ヴェクトル圖を描くのに次の規約が定められて居る。

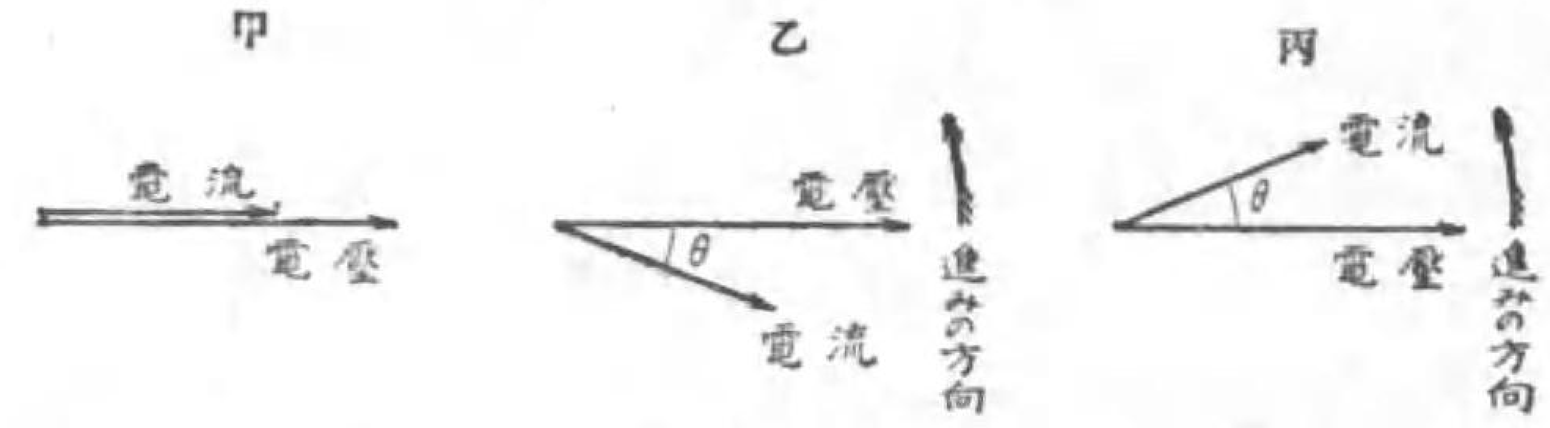
第　206　圖



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

正弦波交流又は交番電壓の實效值をヴェ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遲角を表はす。第 206 圖も此規約に基いて描いたヴェクトル圖である。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ヴェクトルにて代表させて，描きたるヴェクト

第 207 圖



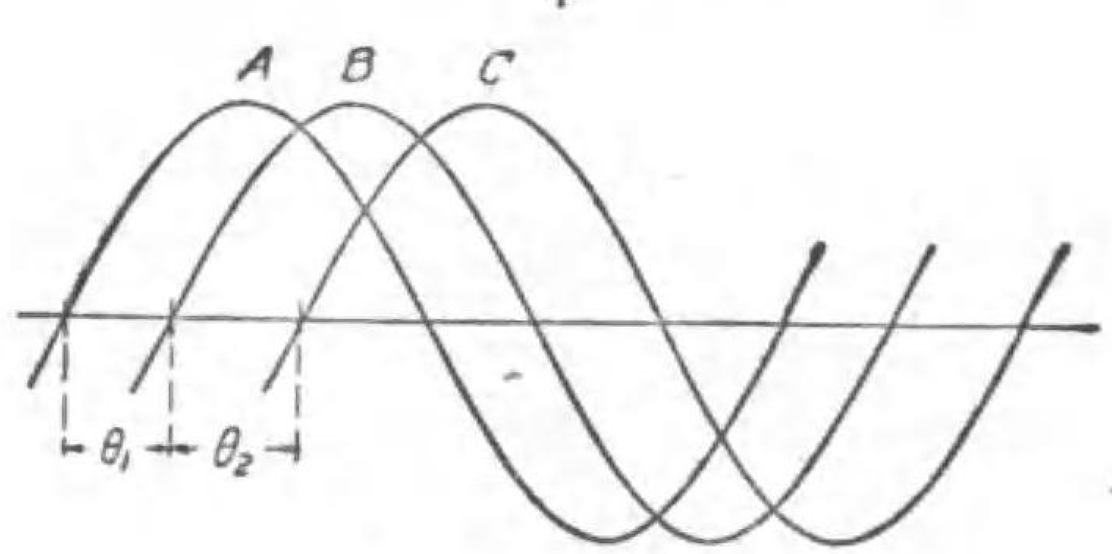
電流と電壓と同位相なる關係を示すヴェクトル圖

電流が電壓よりθだけ遲れて居る事を示すヴェクトル圖

電流が電壓よりθだけ進んで居る事を示すヴェクトル圖

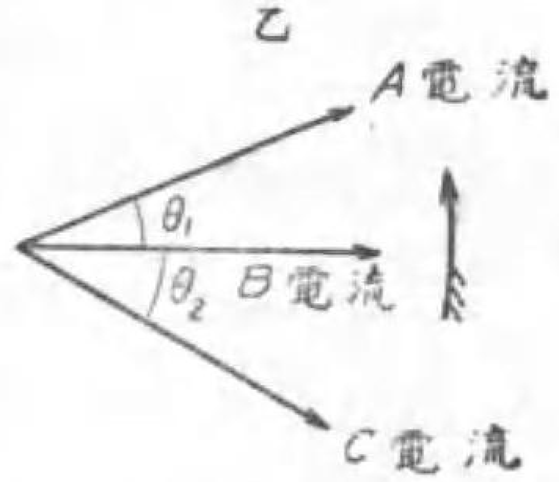
ル圖である。

第 208 圖



次に第208圖甲の様に，三つの正弦波電流ある場合のヴェクトル圖は同圖乙の様になる。此ヴェクトル圖に於て電流 B を表はすヴェ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 電流を代表させるヴェクトルを **標準ヴェクトル** 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，遲れて居るかを示す樣にする。 已に述べた樣に，ヴェクトル圖は電壓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

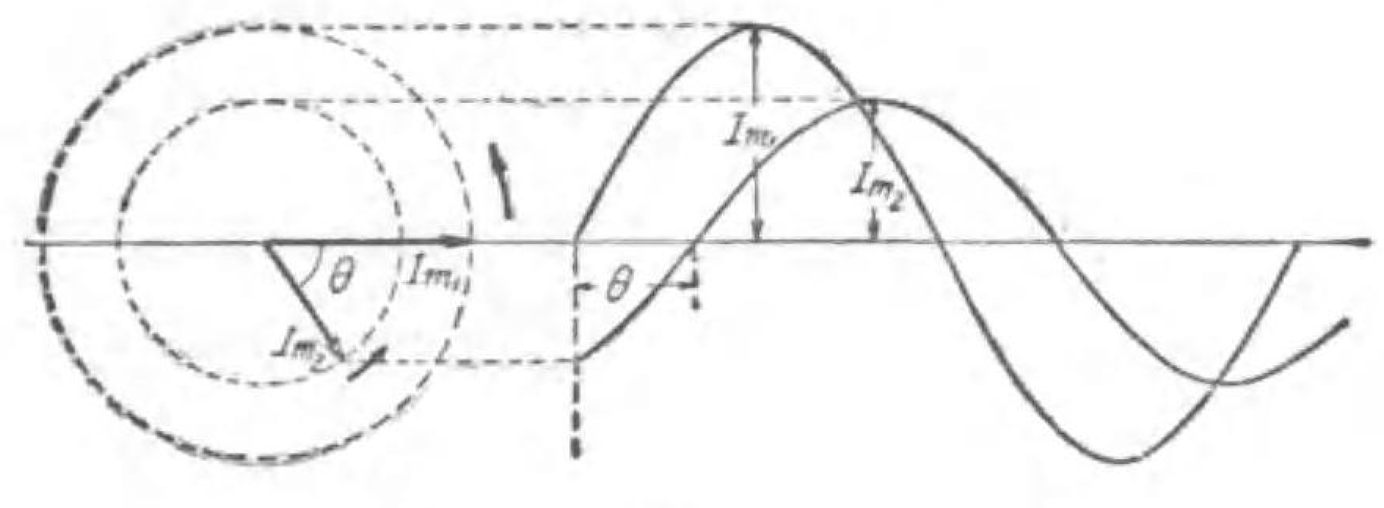


A, B, C 電流相互間の關係を示すヴェクトル圖

分かればよいものであるから，何れを標準ヴェ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樣に標準ヴェクトルを選べばよい。

附記 次に何故に正弦波はヴェ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，其最大値を廻轉ヴェ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



正弦波と廻轉ヴェクトルとの關係

つ二つ或は二つ以上の正弦波の場合にも，前同樣にして描く事が出來る。例へば，最大值 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 圖に示す樣に 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 だけ廻轉方向に遲らせ，斯くして出來たる兩廻轉ヴェ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，前章で述べたと同樣に第 209 圖右側の樣な二つの正弦波が得られる。此正弦波を見るに，始め廻轉ヴェクト

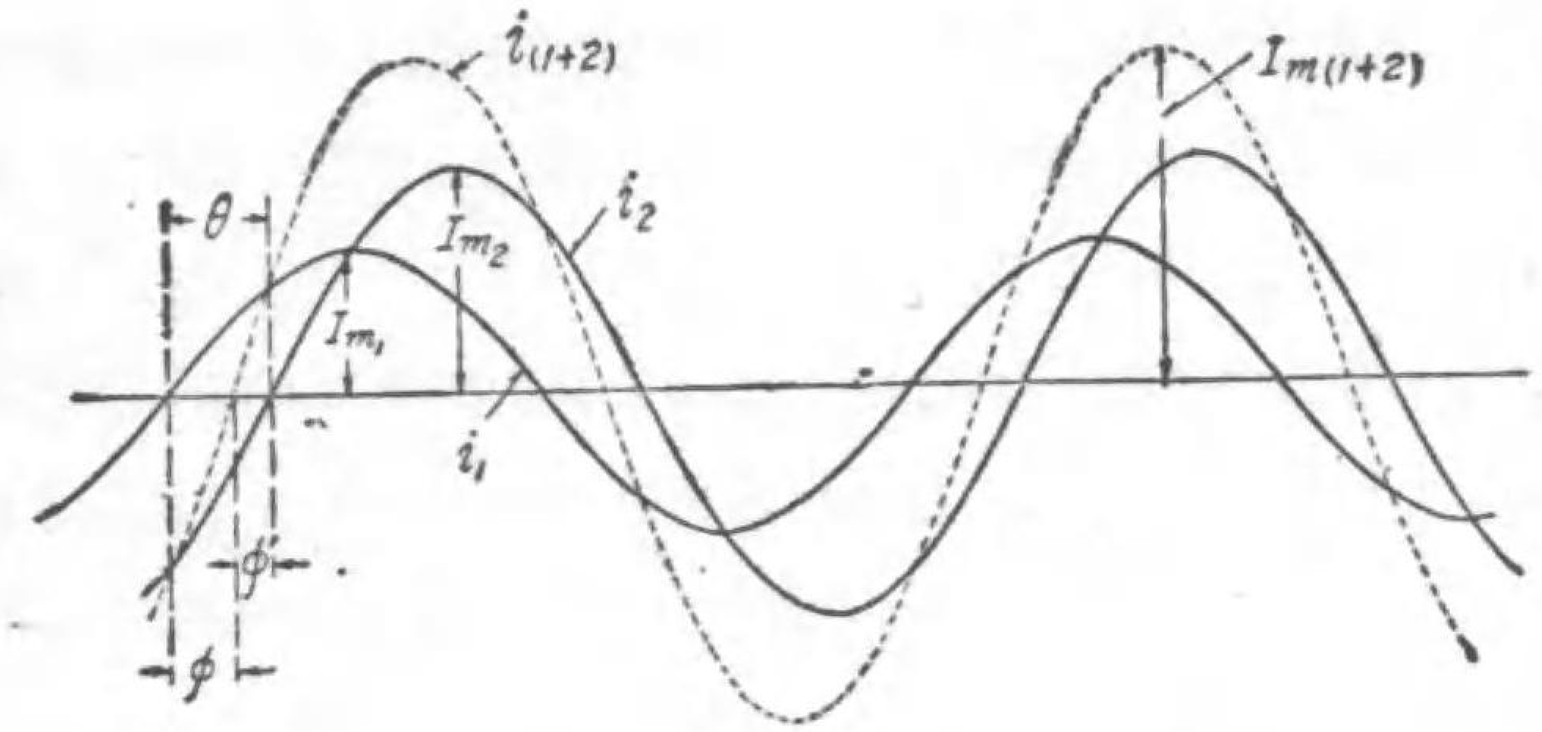
ルで與へたと同様，位相の差は θ となり，I_{m2} なる最大値を持つ交流の方が I_{m1} の方より θ だけ遅れて居る事は直に分かるであらう。即ち與へられたる相差を持つ正弦波が，上記の様な二つの廻轉ヴェクトルによりて描かれる。依つて之れを逆に考へて**廻轉ヴェクトルによりて各正弦波，從つて交流の最大値も位相關係も完全に表はす事が出來る譯である。**

然るに廻轉ヴェ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ヴェクトルの關係位置，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，且つ最大値と實效値との間は $\sqrt{2}$ 倍だけの關係であるから，前に述べた規約の様に，**正弦波交流の大さ（實效値）と互の位相關係がヴェクトル及其關係位置によりて完全に表現する事が出來る理である。**

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效値が得られる。**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樣に各瞬時の差（代數差）を求めて，曲線を描けば差の正弦波が得られる。

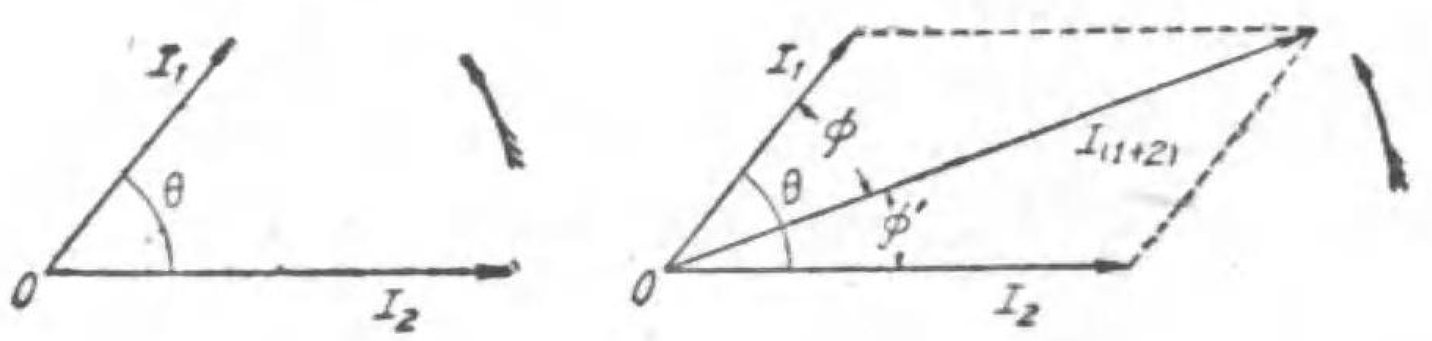
以上の様な方法によりて和又は差の正弦波を作り，其最大値の $\frac{1}{\sqrt{2}}$ を求むれば，實效値で結果が得られ且つ圖上より他の交流との相差も知る事が出來るものであるが，此方法は以上述べた様に甚だ手數を要するもので，交流理論に於ては前節で述べたと同樣，

正弦波の代りに各交流をヴェクトルにて表はしたるヴェクトル圖を描き，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樣にするのである。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 の實效値を I_1，I_2 とし，之れをヴェ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圖甲に示す樣なヴェクトル圖を描く。此場合の標準ヴェクトルには i_2 の方を取る事にし

第 211 圖

甲　　乙



た。而して I_1 及 I_2 **なるヴェクトルのヴェクトル和を求むれば，兩交流の和を表はすヴェクトルが得られるのである**(附記參照)。

此の二つのヴェクトル和を求むるには，力學の場合と同樣に，ヴェクトル I_1 と I_2 とによりて同圖乙の如き平行四邊形を作り，原點 O より對角線を引けば其れが求むるヴェクトル和である。然るに之れが上に述べた樣に，兩交流の和を表はすヴェクトルであるから，**其長さは兩交流の和の實效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**(附記參照)。依つて圖の上に尺度(ものさし)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

て出て來るから，直に二つの交流の和の實效値が得られる。例へば一方の交流の値（實效値）が 10 アムペアならば 10 cm，他が 20 アムペアならば 20cm の長さで夫々ヴェクトル圖を描く樣にすれば，對角線の cm の數が直に電流のアムペア數（實效値）とする事が出來る便利がある。今若し對角線の長さが 30cm ならば兩交流の和の實效値は 30 アムペアである。

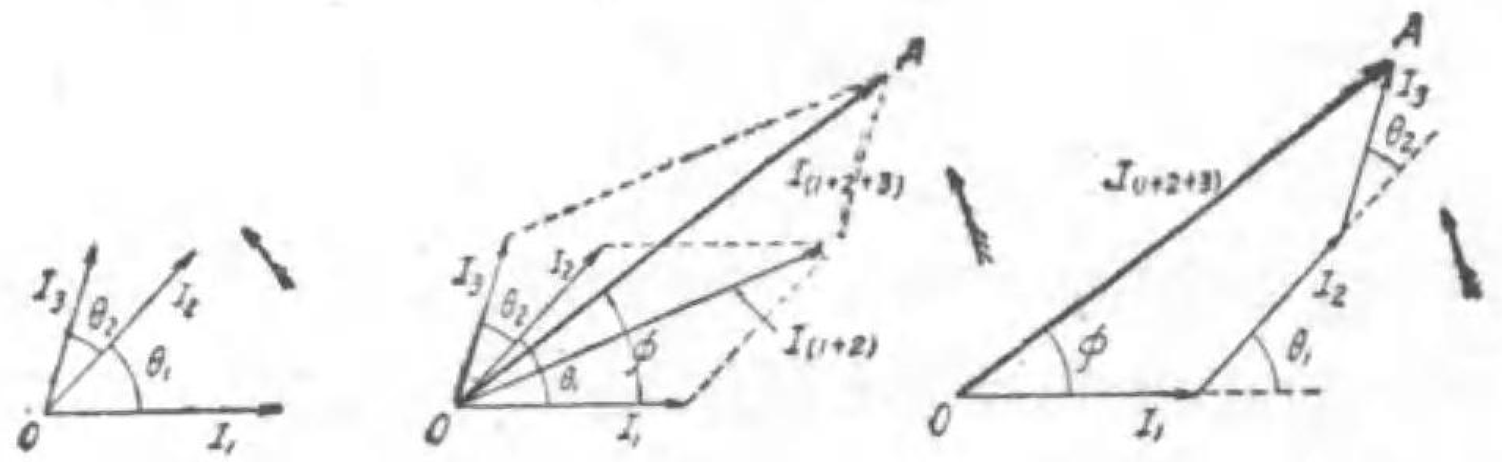
次に兩交流の和なる交流と他の二つの交流との相差は矢張りヴェクトル圖の上に分度器を當てると知る事が出來る。何となれば，**ヴェクトル圖上の角の値は其れに相當した各交流間の相差角を示すからである**（附記參照）。ヴェクトル圖乙から分かる樣に，i_2 と $i_{(1+2)}$ なる和の交流とに於ては $i_{(1+2)}$ は i_2 より位相が ϕ' だけ進んで居り，i_1 より ϕ だけ遅れて居る。而して寸法を正確に取ると，正弦波で和を求めた場合と完全に一致する事勿論である。

實際は三角法から對角線の長さ，即ち交流の和の實效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，其實效値を I_1，I_2，I_3 とし，而して其ヴェクトル圖は第212圖甲の樣なものとする。然る時は先づ I_1 と I_2 とにより同圖乙の樣に其二つのヴェクトル和 $I_{(1+2)}$ を求め，次に $I_{(1+2)}$ と I_3 とによりて前同樣平行四邊形を作り，其對角線，即ち三つのヴェクトル和の長さ OA を尺度で計れば，求むる三つの正弦波交流の和の實效

第　212　圖

甲　　　乙　　　丙



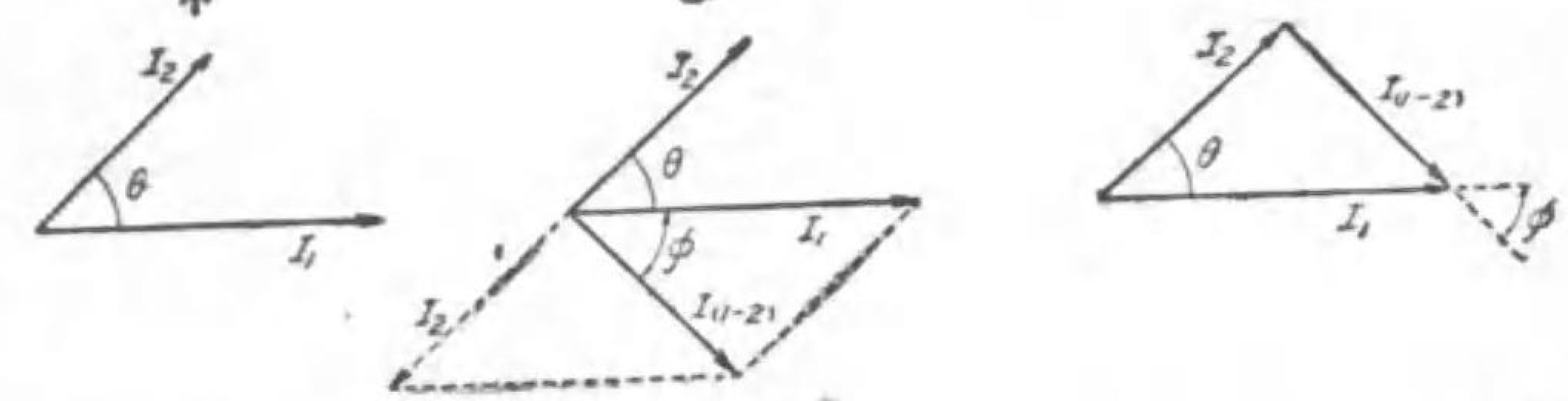
値 $I_{(1+2+3)}$ が前同樣に求むる事が出來る。又和なる交流と他との相差もヴェクトル圖の上から計り得る事前と變りはない。

上で説明した樣に一々平行四邊形を描きて全體のヴェクトル和を求める事が出來るが，次の樣にすれば尙一層簡單に結果を見出す事が出來る。即ち丙圖の樣に，先づ甲圖の I_1 に平行に I_1 なるヴェクトルを描き，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 のヴェクトルを描き，然る後原點 O と I_3 の端 A とを結べば乙圖と同樣に，而も簡單に三つの交流の和の實效値及和なる交流と他の交流との間の相差角が得られる。

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ヴェクトルを反對にして，被減交流を表はすヴェクトルとのヴェクトル和を求むればよい。例へば第 213 圖甲の如きヴェクトル圖に於て，I_1 より I_2 をヴェ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圖乙の樣に I_2 のヴェクトルの方向を逆にして，其二つのヴェクトル和

第　213　圖

甲　　　乙　　　丙



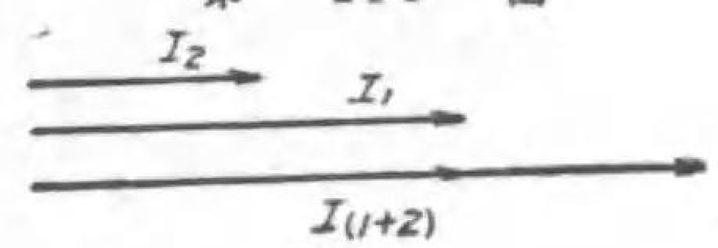
を求め，其長さを圖上より前同樣に求むれば $I_{(1-2)}$ なる兩交流の差の實效値が得られる。而して其交流と他との相差も圖上より求め得る事和の場合と同一である。

此場合も和の時と同樣に一々平行四邊形を描かずとも，ヴェクトル I_1 の端と I_2 とを丙圖の樣に結んで，被減ヴェ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，同一大さの交流の差を表はすヴェクトルが得られる。

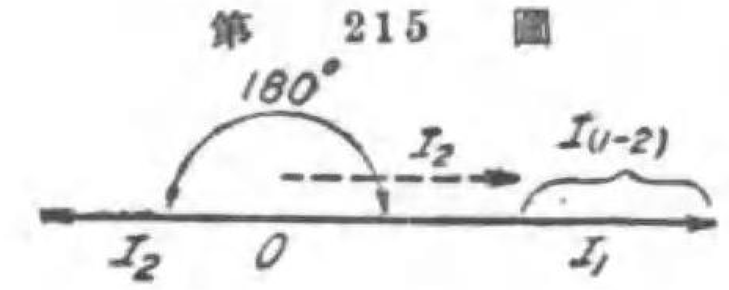
以上述べた事より分かる樣に，**交流の和或は差の實效値を求むるには，直流の場合と違つて，各交流の實效値を算術的に加へたり，或は減じたりするのみでは駄目である。此れ等をヴェクトルに表はし，之れをヴェクトル的に加へたり，減じたりせねばならぬ。**

然し第214圖のヴェクトル圖の樣に，二つの交流が同相，即ち交

第　214　圖



第　215　圖



流を表はすヴェクトル I_1 及 I_2 の方向が同一である時は單に算術

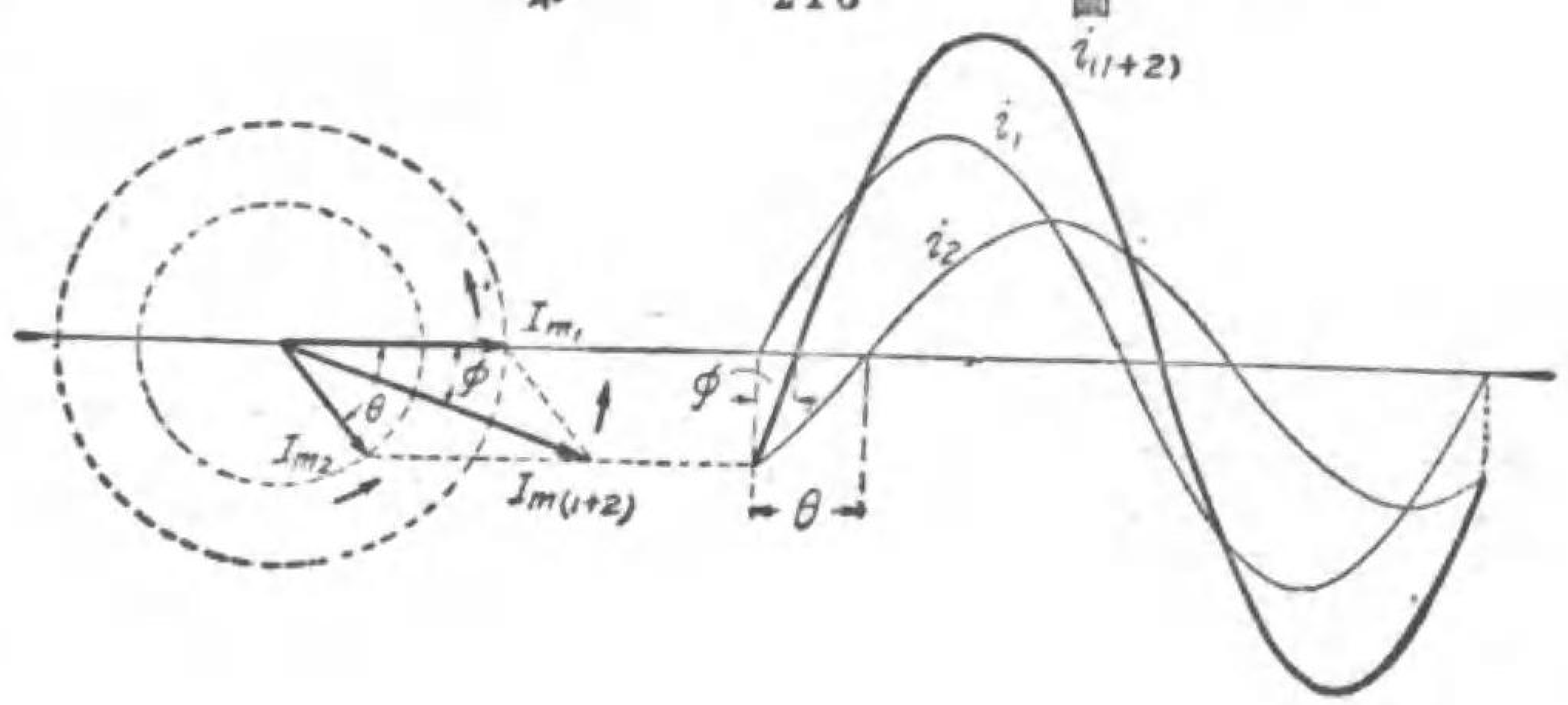
的に加へ合せて兩交流の和の實效値 $I_{(1+2)}$ を求むる事が出來る。又第 215 圖のヴェクトル圖の樣に 180° の相差ある二つの交流を加へ合はすには，I_2 を點線で示す樣に逆にして，其算術差を取れば求むる交流の差の實效値 $I_{(1-2)}$ が得られる。

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。之れ等の關係はヴェ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效値が，何故に各交流をヴェクトルにて表はし，其ヴェクトル和を求める事によりて得られるかを述べよう。玆に最大値 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} を廻轉ヴェクトルとし

第　216　圖



て，第 216 圖の樣な i_1 及 i_2 なる正弦波を描く事が出來る。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} のヴェクトル和，即ち對角線を廻轉ヴェクトルとして描きたる正弦波と全く一致する。即ちヴェクトル和 $I_{m(1+2)}$ 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來るのである。要するに交流の和の最大値は上の樣にヴェクトル的に簡單に求める事が出來る譯である。其位相關係も廻轉ヴェクトルのヴェ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。但し廻轉ヴェクトル 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} の代りに交流の實效値を以て普通のヴェクトル圖を描けば，其ヴェクトル和が交流の和の實效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，差の場合にも同樣に説明する事が出來る。

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. 交流のヴェクトル圖とはどんなものか。

7. ヴェクトル圖を描くにはどんな規約があるか。

8. 標準ヴェ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效値を求めるには如何にすれば最も便利であるか。

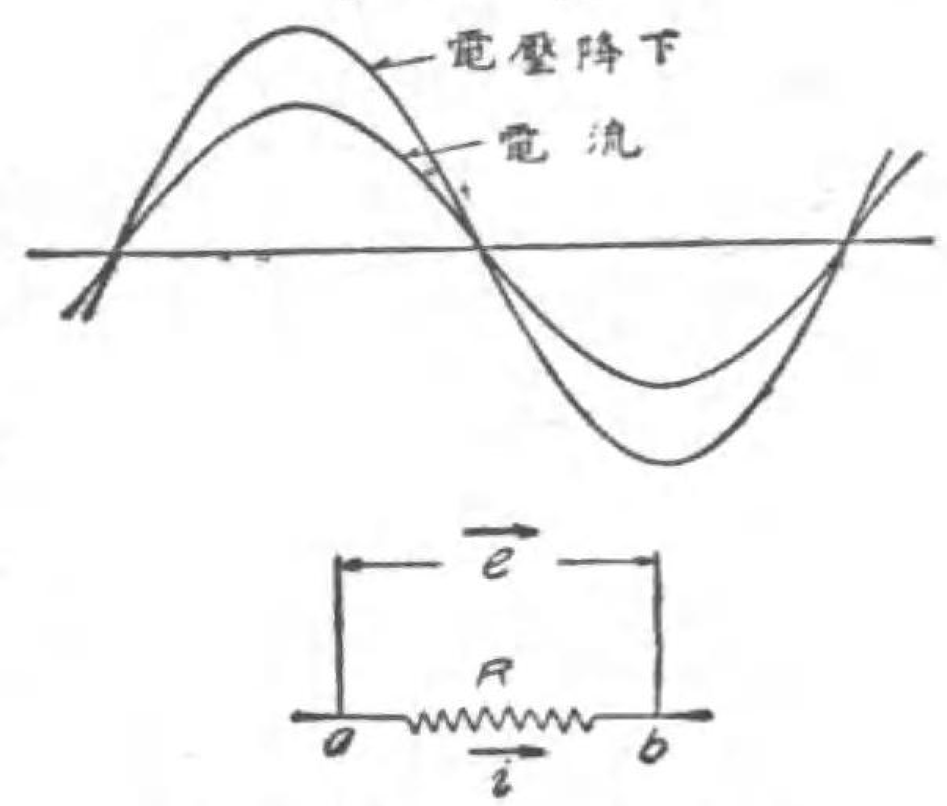
10. 交流の和或は差，即ち交流の和或は差の實效値を求めるには何故，一般に各交流の實效値を算術的に加減しては無意味であるか。

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。

第 217 圖

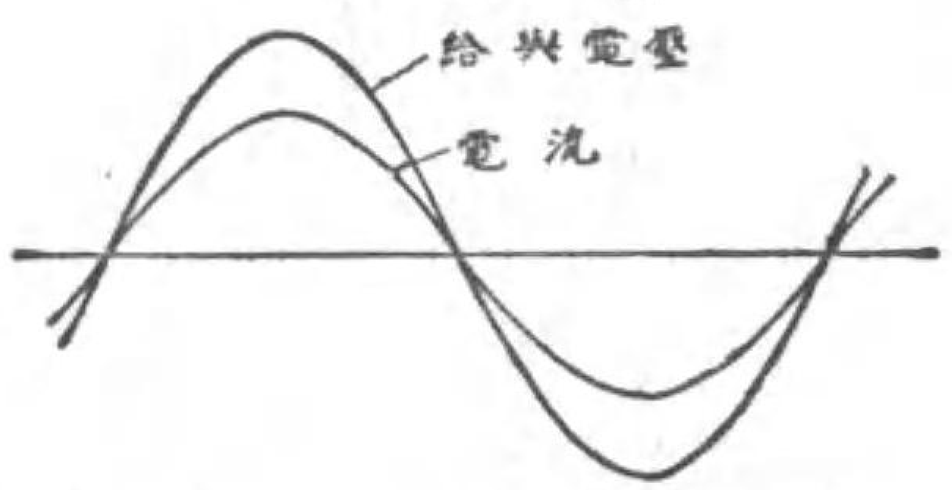


i は電流の瞬時値，e は電壓降下（或は給與電壓）の瞬時値

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來る（第218圖)。

第 218 圖



第217圖及第218圖を見れば分かる樣に，**抵抗を持つ電路の一部に或周波數の電流が通ずると，電流と同位相で同一周波數の電壓降下が生じ，又同電路に電壓を給與せば電壓と同位相で同一周波數の電流が通ずる。**而して電壓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圖の樣な電路の一部 ab の抵抗を R オーム，通じて居る電流を I アムペア（實效値）とすれば，此場合の電壓降下の實效値 E（ヴォルト）は直流の場合と同樣に，オームの法則に從ふもので，其値は

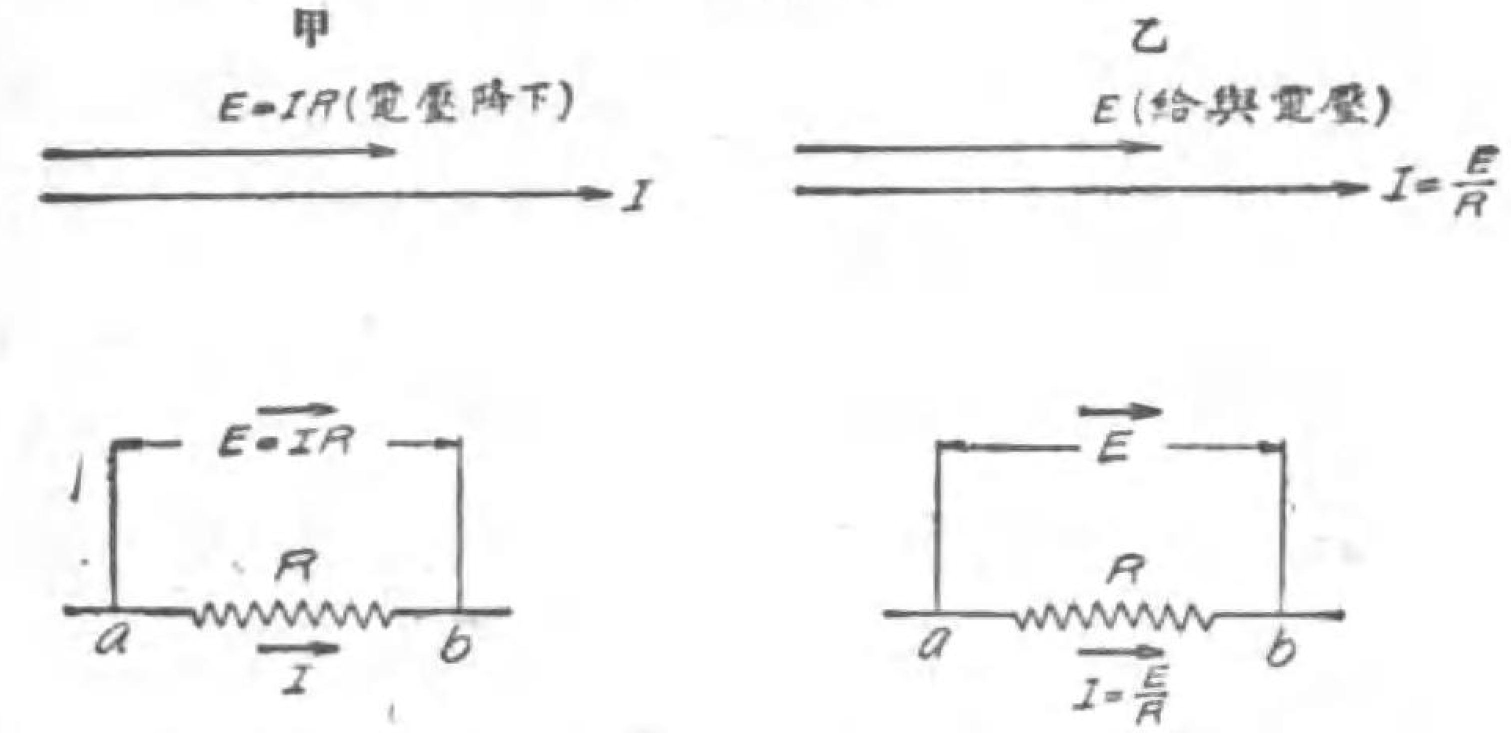
$$E=IR$$

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

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

以上の關係をヴェクトル圖に示せば第219圖甲乙の樣になる。此のヴェ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壓の最大値が電流の最大値より大に描いてあるから，ヴェクトルも其れに從つて描く必要ある樣に見える。然し電壓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



電流と電壓降下と同位相なる事を示すヴェクトル圖。E，I は何れも實效値

給與電壓と電流と同位相なる事を示すヴェクトル圖。E，I は何れも實效値

よりて正弦波又はヴェ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ヴェクトル圖上から尺度及分度器で和又は差を求めるには，ヴェ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，式の內に正確な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圖に於て電流と電壓降下とに同一方向の矢印を附したのは，已に述べた樣に，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，電流及電壓降下が何れも同一方向に向つ

て居る時の位相關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 ヴォルトの交番電壓を加ふる時は幾アムペアの電流通ずるか。

解 $I=\frac{E}{R}$

$=\frac{100}{20}=5$ アムペア

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壓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壓を給與すべきか。

解 $E=IR$

なる關係式より，求むる電壓降下は

$E=10\times10=100$ ヴォルト

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

$E=10\times10=100$ ヴォルト

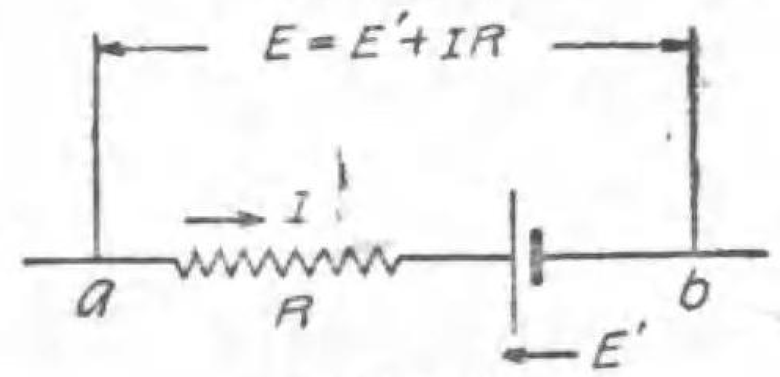
142. 自己インダクタンスのみを有する電路

直流に於ては電流を妨げ電壓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樣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。

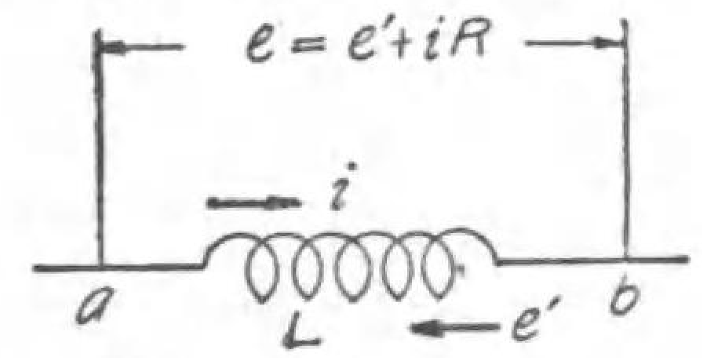
已に學ばれた通り導體に電流が通ずると，此導體を圍んで磁線が出來る。而して此電流が增減するときは磁線も之れに伴つて增減し，此際此增減する磁線は其電流の通つて居る導體を切つて其導體內に起電力が誘導される。交流では絕えず電流の値が變化し，從つて絕えず磁線が導體を切つて導體內に起電力が誘導されるから，電路に通ずる電流の大さは此起電力の影響を受ける譯である。此起電力が電流の變化を妨げる役目をなす所謂逆起電力であつて，此の現象を直流の場合と比較すると次の樣になる。例へば R オームの抵抗を有する第 220 圖の如き直流電路の一部 a か

第 220 圖



E' は逆起電力

第 221 圖



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，抵抗による電壓降下の IR に相當する電壓の外に逆起電力に對抗する電壓を其部分に給與せねばならぬから，此場合に ab 間に給與すべき電壓は $E=E'+IR$ なることを要する。此の關係

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。

此所では說明を省略するが，第 221 圖の樣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 に實效値 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效値を E（ヴォルト）とすれば

$$E=2\pi fLI$$

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（オメガ）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 $E=2\pi fLI$ 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

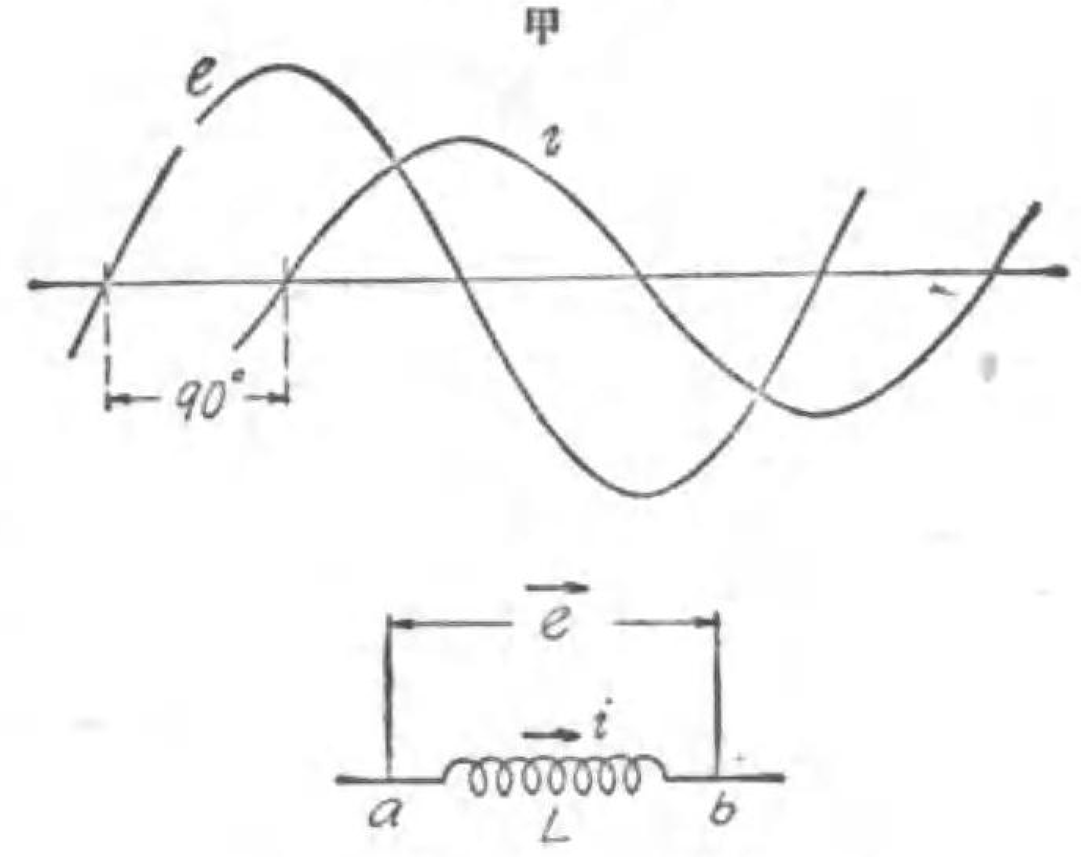
式は又抵抗の所で述べた樣に，電流と電壓降下との關係と見ることが出來る。即ち **L ヘンリーなる自己インダクタンスを持つ電路の一部 ab に I アムペアなる電流を通ずると，其部分に電流より 90° 位相の進んだ $E=2\pi fLI$ ヴォルトの電壓降下が生ずる。**上式から又

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

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）**

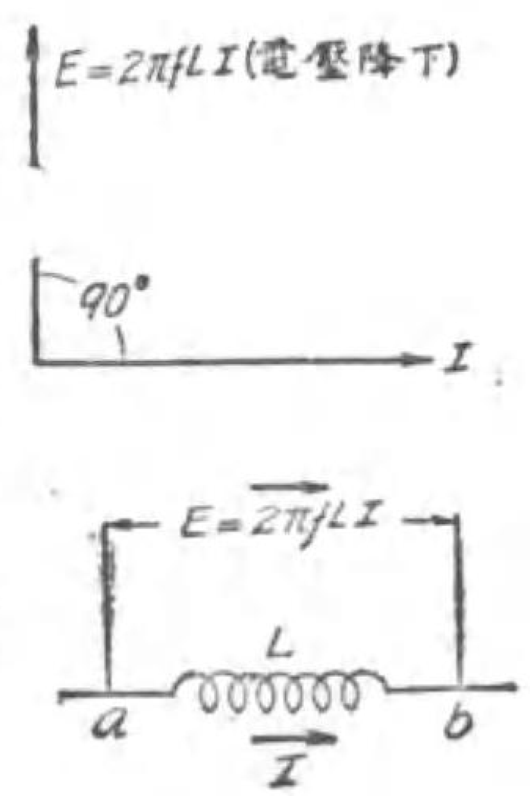
第 222 圖

甲



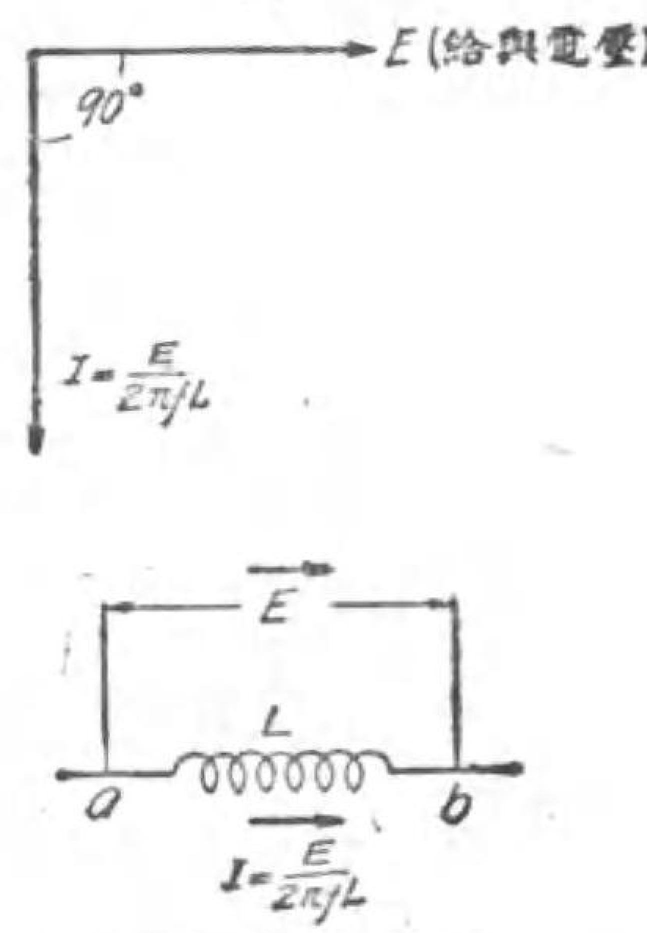
e は ab 間の電壓降下或は給與電壓，i は電流，何れも瞬時値

乙



電流と電壓降下との關係を示すヴェクトル圖。E, I は何れも實效値。

丙



給與電壓と電流との關係を示すヴェクトル圖。E, I は何れも實效値。

を給與した時，過ずる電流（周波數は勿論 f サイクル）の値 I（アムペア）を計算する事が出來る。而して此の電流は給與電壓より 90° 遲れることも，以上の理由から直に知る事が出來るであらう。以上の關係を正弦波及ヴェクトル圖で示せば第 222 圖甲乙丙の樣になる。

以上の事から分かる樣に，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 $\dfrac{E}{2\pi fL}$ 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 $2\pi f$ を乘じたものを其電路の，周波數 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樣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。

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

故にリアクタンス　$X=2\pi fL$

であるから

$$X=2\times3.14\times50\times0.03=9.42\ \text{オーム}$$

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

輪に 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。

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

故に電流の値を I とすれば

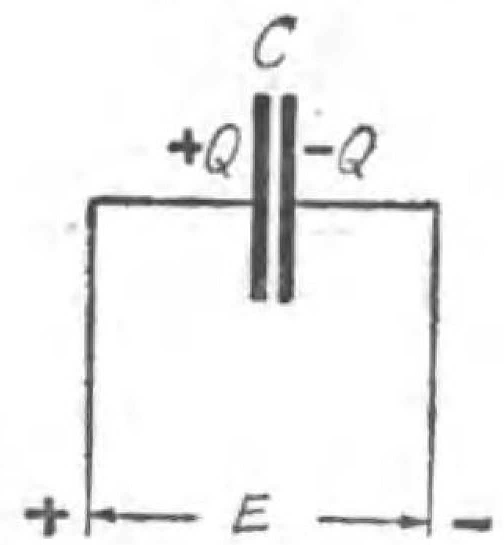
$$I=\frac{E}{2\pi fL}$$

$$=\frac{1000}{2\times3.14\times50\times0.3}=10.6\ \text{アムペア}$$

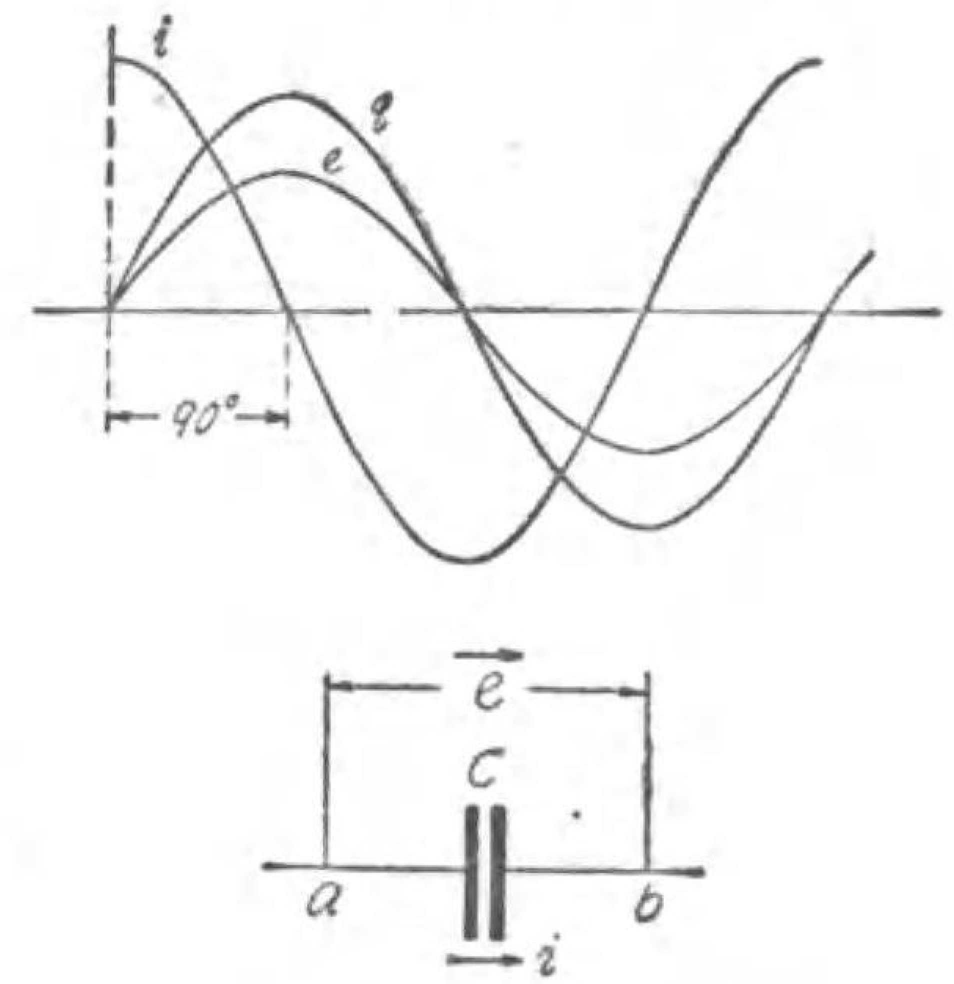
143. 容量のみを有する電路

第 223 圖の如き C ファラッドの靜電容量を有する蓄電器に直流電壓を給與すると，同圖の樣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

第 223 圖



第 224 圖



e は給與電壓，q は充電々荷
i は充電電流。何れも瞬時値。

の各瞬時の强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で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 i 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樣に，電流と電壓降下の其れと見る事が出來る。即ち**充電々流が通じて居る時には，此電流より 90° 遲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てある。**

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さは給與電壓の大さが一定でも，容量及周波數の大さによりて異なるもので，例へば第 225 圖の樣な C ファ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（實效値）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（實效値）とすれば

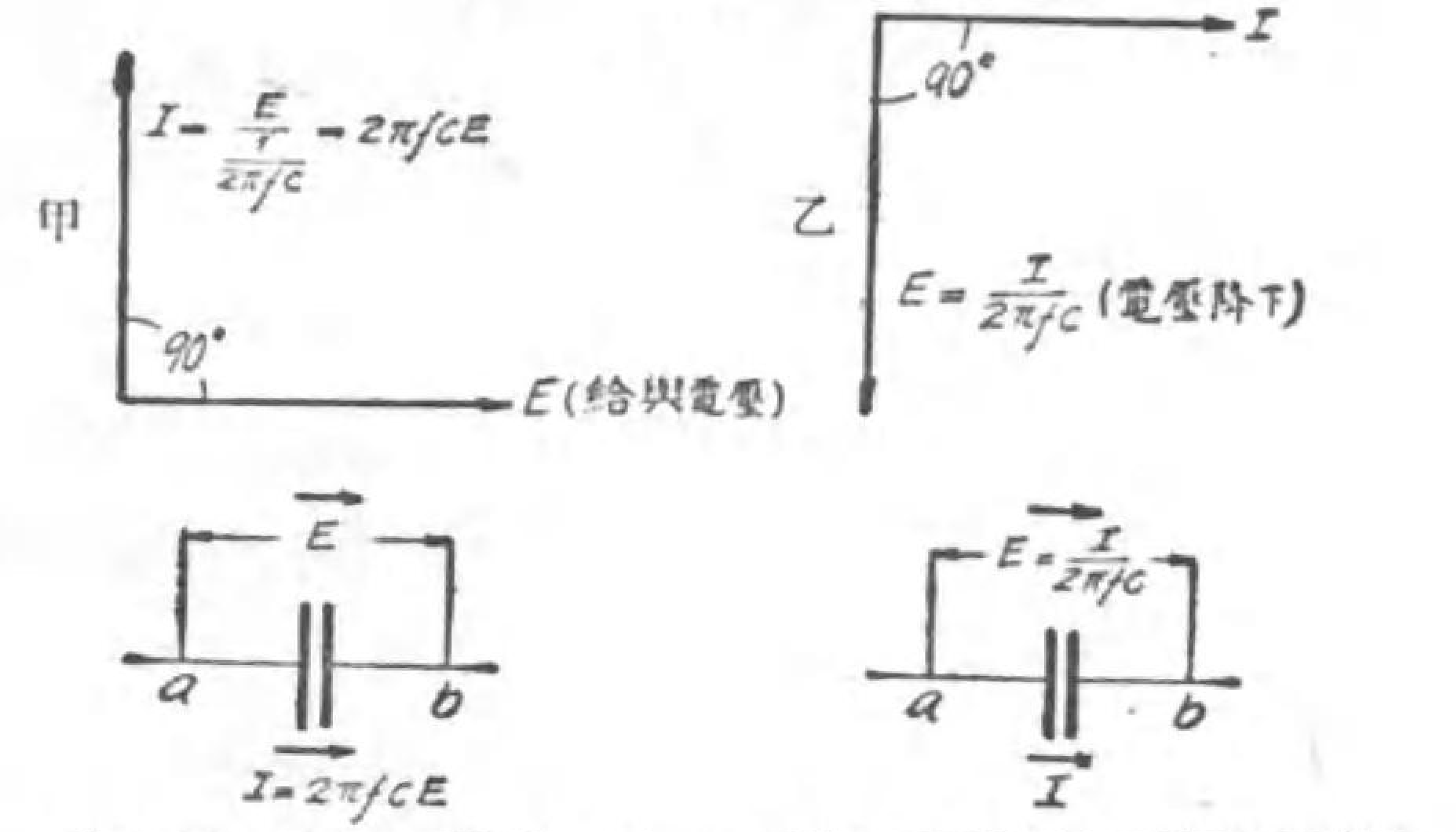
$$I=\frac{E}{\dfrac{1}{2\pi fC}}$$

或は

$$I=2\pi fCE$$

で，已に述べた樣に此充電々流は給與電壓より 90° 進む。

第 225 圖



給與電壓と電流との關係を示すヴェクトル圖。E, I は何れも實效値　電流と電壓降下との關係を示すヴェクトル圖。E, I は何れも實效値

此場合電流を妨げるものは $\dfrac{1}{2\pi fC}$ 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 $2\pi fL$ 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來る。即ち

$$E=\frac{I}{2\pi fC}$$

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）を計算する事が出來る。以上の關係をヴェクトル圖に示せば第 225 圖甲，乙の樣になる。

例題 63. 0.01 マイクロ・ファラッドの蓄電器の 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・ファラッド$=\dfrac{0.01}{10^6}$ ファラッド

故に此蓄電器の 50 サイクルに於ける容量リアクタンス

$$\frac{1}{2\pi fC}=\frac{1}{2\times3.14\times50\times\dfrac{0.01}{10^6}}=\frac{10^6}{2\times3.14\times50\times0.01}$$

$$=318\,000\ \text{オーム}$$

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 ヴォルトの交番電壓を給與した時の充電々流は何程なるか。

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

故に此電路の 100 000 サイクルに對する容量リアクタンスは

$$\frac{1}{2\pi fC}=\frac{1}{2\times3.14\times100\,000\times\dfrac{0.3}{10^6}}$$

$$=\frac{10^6}{2\times3.14\times100\,000\times0.3}=5.3\ \text{オーム}$$

依つて求むる充電々流は

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

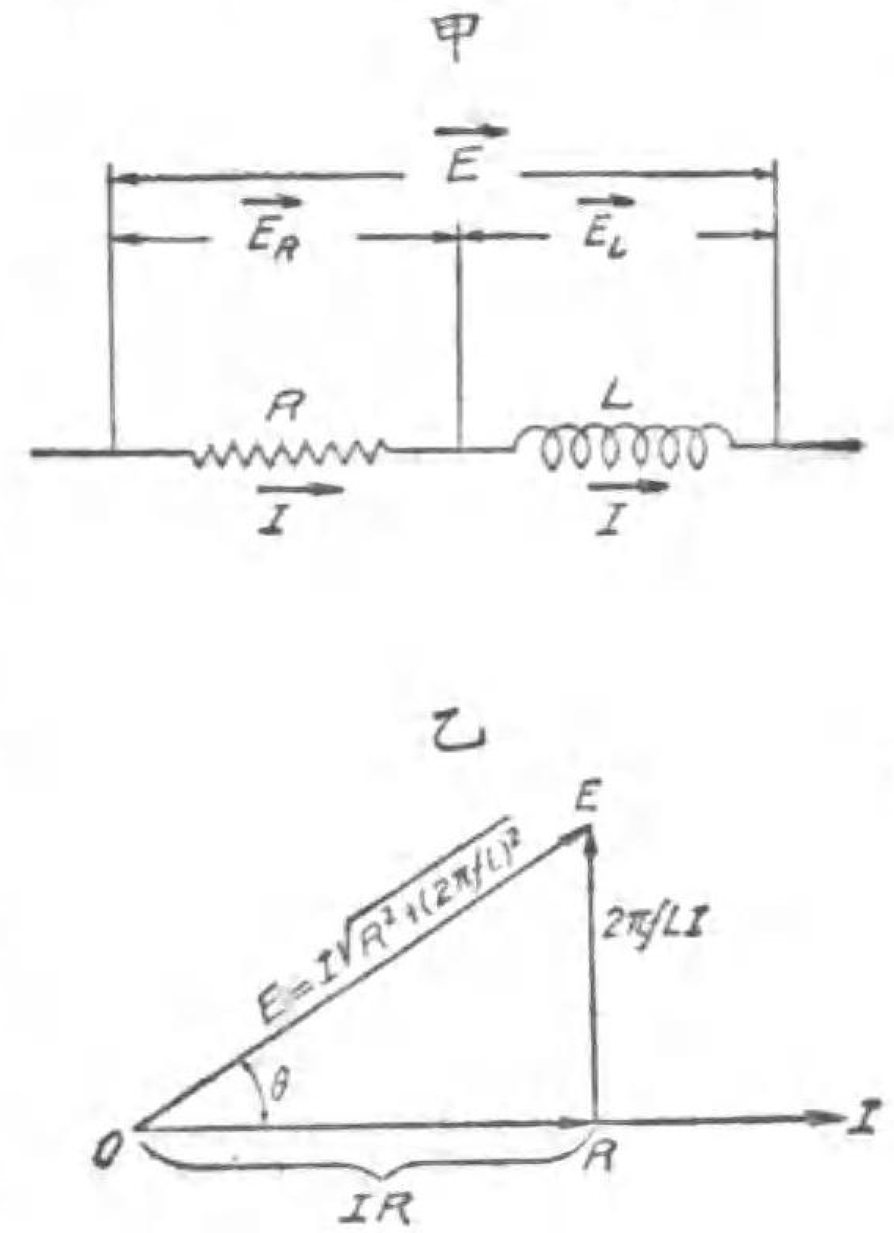
$$=188\ \text{アムペア}$$

注意 誘導リアクタンスは $2\pi fL$ なる故，周波數に比例して增減するが，之れと反對に容量リアクタンスは $\dfrac{1}{2\pi fC}$ であるから，周波數に逆比例し，從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增加する。

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 圖甲の樣に 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 サイクル實效値 E ヴォルトの正弦波電壓を給與したとする。而して此時通ずる此電路の電流の實效値を I アムペアと假定しよう。すると，斯る直列電路の場合は，**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（實效値）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（實效値）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。從つて此電路に 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 圖乙のヴェクトル圖に於て OI を以て電流 I を代表させれば，抵抗による

第 226 圖



電壓降下は 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 なる長さのヴェクトル OR を以て代表させる事が出來又自己インダクタンスによる電壓降下は $2\pi fLI$ 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 なるヴェクトルを以て代表させる事が出來る。此 OR と RE とのヴェクトル和 OE は此電路の全電壓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壓を代表する。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

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

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

故に電流の値 I（アムペア）は上式より

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

之れが此電路に E ヴォルト（周波數 f サイクル）なる電壓を給與した時に通ずる電流の値である。而してヴェクトル圖から直に分かる様に**此電流は給與電壓**（或は電壓降下）**から θ だけ遲れる。**此 θ なる相差角は

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

から計算することも出來るが，分度器によりても直に計ることが出來る。

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壓を給與した場合に通ずる電流の値及電流と電壓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

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

故に電流の實效値を I とすれば

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

$$=11 \text{ アムペア}$$

電流の給與電壓より遲れる角を θ とすれば，已に述べた様にヴェクトル圖を描き，其圖上にて相差角 θ を分度器で計ることが出來る。或は

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

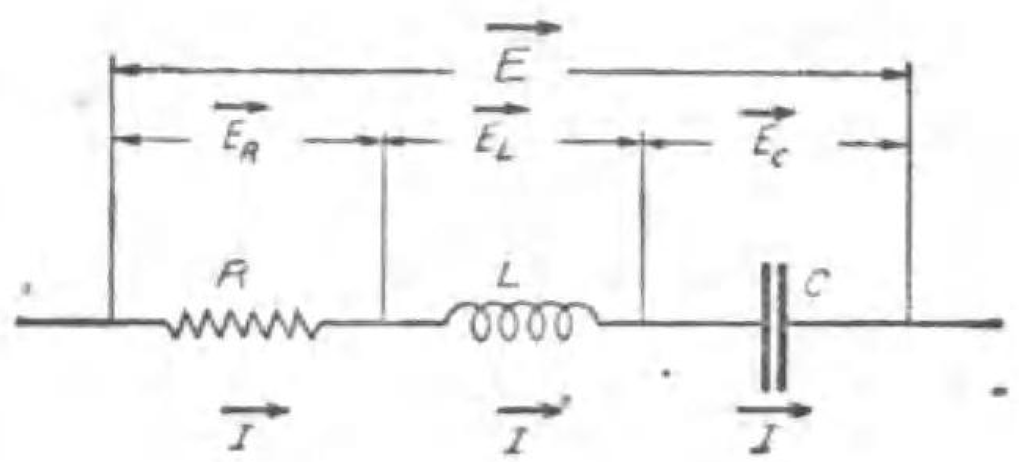
となるから，三角函數表で $\tan\theta=1$ となる様な θ の値を求むればよい。何れの方法によるも $\theta=45°$ である。即ち電流は電壓より $45°$ 遲れる。

145. 抵抗と自己インダクタンス及容量が直列にある電路

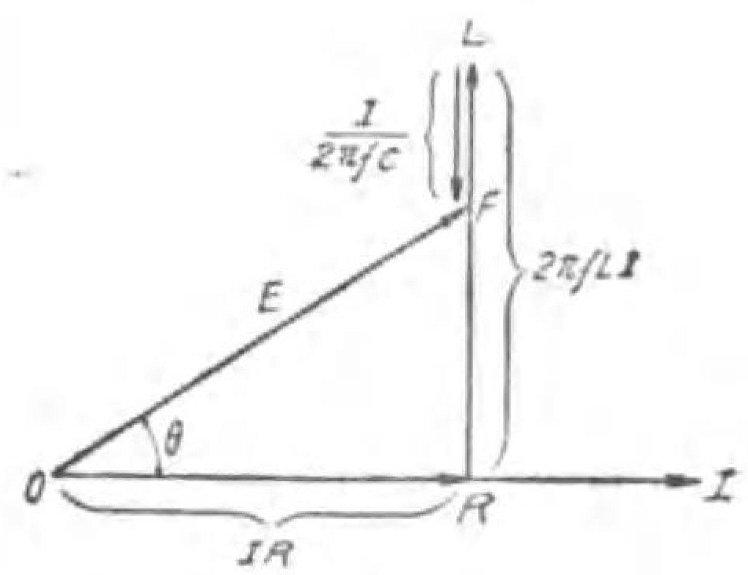
第 227 圖甲の様に，抵抗と自己インダクタンス並に容量とが直列になつて居る電路に周波數 f サイクルなる正弦波電壓 E を給與したとし，此時電路に通ずる電流を I としよう。すると前述の様に，此電路に I なる電流通じた爲めに，抵抗

第 227 圖

甲



乙



による電壓降下は $E_R=IR$ 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壓降下は $E_L=2\pi fLI$ で電流より 90° 進み，更に容量のための電壓降下は $E_C=\dfrac{I}{2\pi fC}$ で電流より 90° 遅れる。故に電流と此れ等の電壓降下とを表はすヴェクトル圖は，第 227 圖乙の樣になる。即ち OI を以て電流 I を代表せしむれば，抵抗 R による電壓降下は 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 のための電壓降下は $2\pi fLI$ 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 による電壓降下は其長さ $\dfrac{I}{2\pi fC}$ 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來る。故に此 OR, RL 及 LF のヴェクトル和 OF が全電壓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樣に

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

故に

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

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

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

而してヴェクトル圖から分かる樣に，此電流は給與電壓或は全電壓降下より 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來るが，又三角法を用ひて

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

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 $\dfrac{I}{2\pi fC}>2\pi fLI$ 或は兩邊を I にて除し $\dfrac{1}{2\pi fC}>2\pi fL$ 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 $\sqrt{R^2+\left(2\pi fL-\dfrac{1}{2\pi fC}\right)^2}$ 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，リアクタンス同樣オームを使用**

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

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

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對しては特に 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，從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

$$\frac{1}{2\pi fC}-2\pi fL=\frac{1}{2\times3.14\times50\times\frac{3}{10^6}}-2\times3.14\times50\times1$$

$$=\frac{10^6}{2\times3.14\times50\times3}-2\times3.14\times50\times1$$

$$=1060-314=746 \text{ オーム}$$

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 はヴェ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 (實效値) を給與したとしよう。すると，E は兩分路に對して共通であるから，抵抗電路に通ずる電流の値 (實效値) 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 (實效値) は

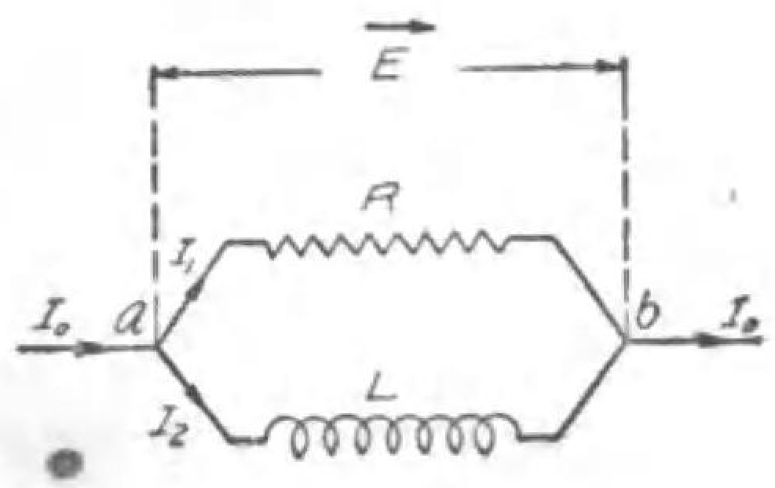
$$I_2=\frac{E}{2\pi fL}$$

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

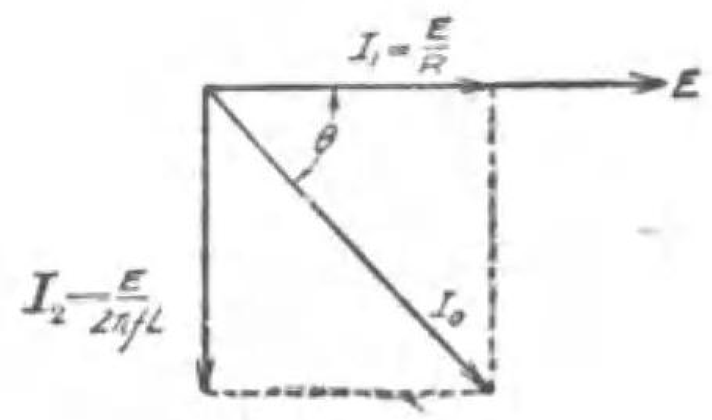
夫々ヴェクトルに表はしたるもの丶ヴェクトル和で表はされるから，此關係をヴェクトル圖に示せば第 228 圖乙の様になる。故に全電流の値（實效値）はピタゴラスの定理により

第 228 圖

甲



乙



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

$$=E\sqrt{\frac{1}{R^2}+\frac{1}{(2\pi fL)^2}}\quad\cdots\cdot(\mathrm{A})$$

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

$$\tan\theta=\frac{I_2}{I_1}=\frac{E}{2\pi fL}\div\frac{E}{R}=\frac{R}{2\pi fL}\quad\cdots\cdots\cdot(\mathrm{B})$$

より見出すことが出來る。

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 は何アムペアなるか。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

$$I_1=\frac{120}{30}=4 \text{ アムペア}$$

で給與電壓と同位相にある。

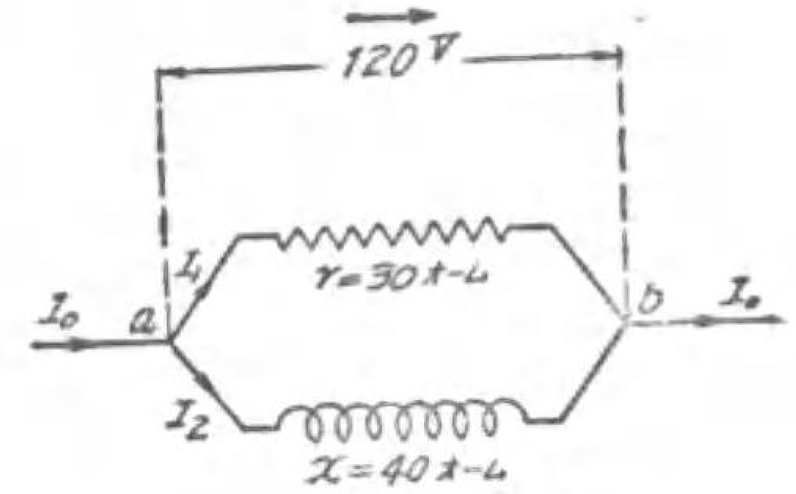
リアクタンス電路を通ずる電流を I_2 とすれば

$$I_2=\frac{120}{40}=3 \text{ アムペア}$$

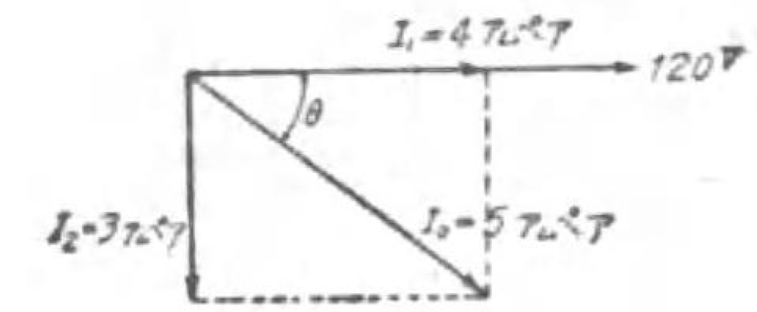
で給與電壓より 90° 遅れる。依つて此關係をヴェクトル圖にて示せば同圖乙の如くなる。而して全電流を I_0 とすれば

第 229 圖

甲



乙



$$I_0=\sqrt{I_1^2+I_2^2}=\sqrt{4^2+3^2}$$

$$=5 \text{ アムペア}$$

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。

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

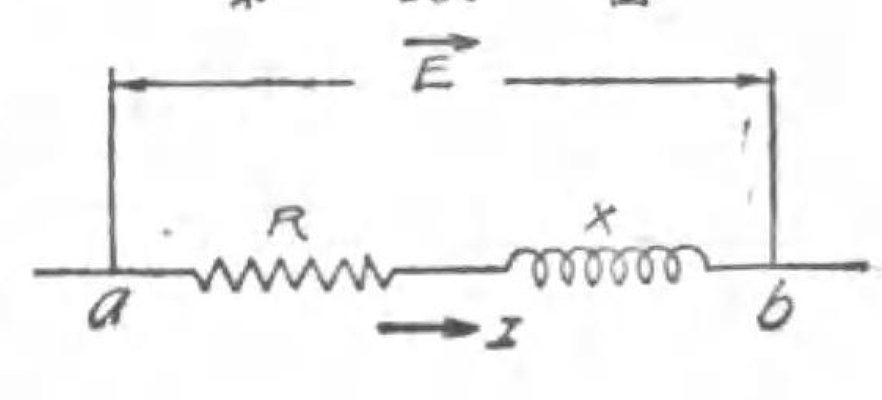
$$=0.75$$

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。

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（實效値）を給與して I アムペア（實效値）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讓る）。

$$P=EI\cos\theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(A)}$$

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乘ず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) 式の樣に $\cos\theta$ を乘ずる必要がある。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・アムペア或はこれを 1000 で割りたるキロヴォルト・アムペアなる單位を用ひる。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來るから，**負荷 ab の力率とも稱する**。依つて之れを式にて示すと

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

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

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

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 ab 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，從つて電力（入力）P（ワット）は

$$P=EI \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(D)}$$

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 圖の樣な電路の一部 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

$$p=ei \text{ ワット}$$

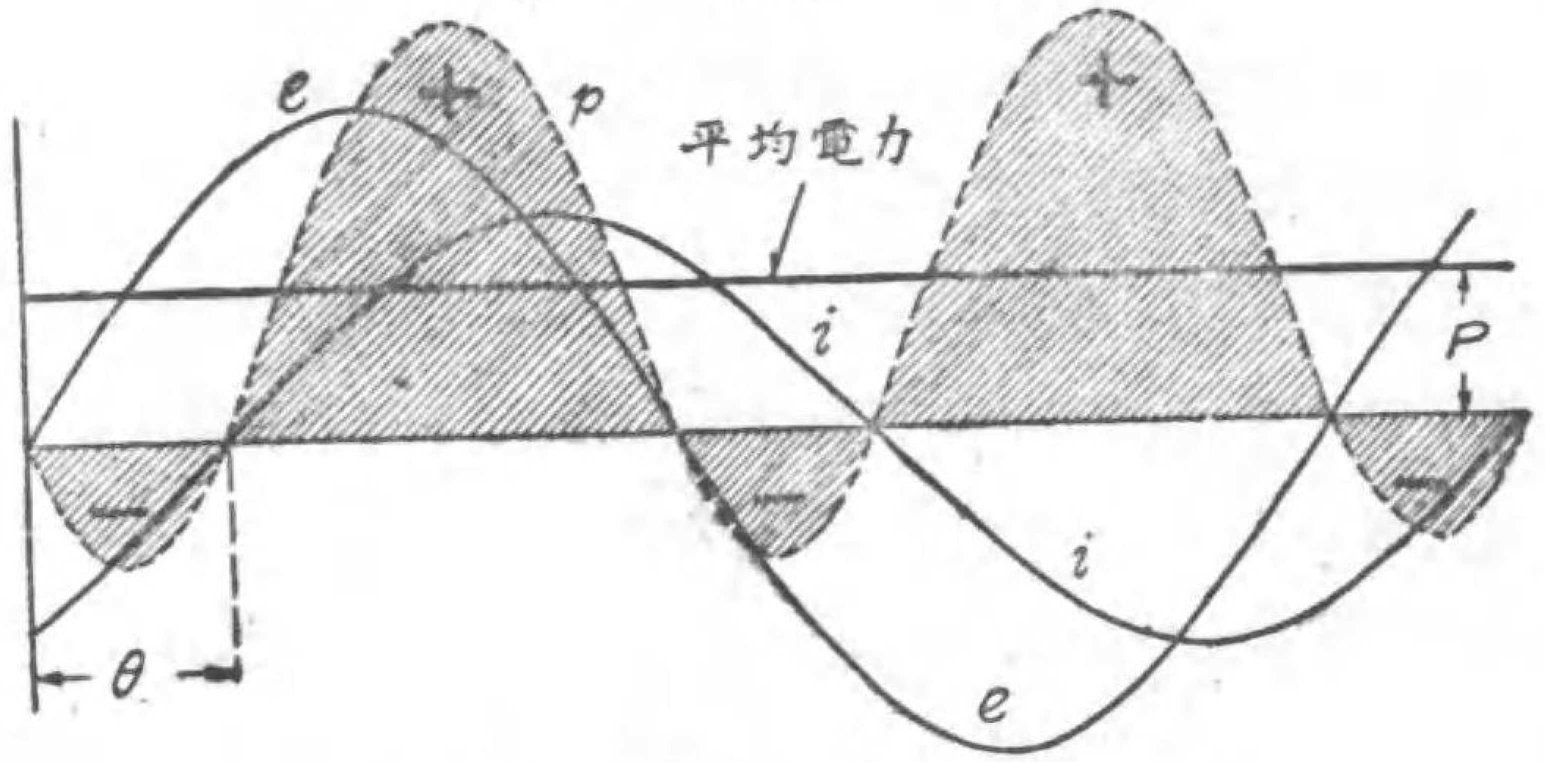
にて示される。

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（附記參照）。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遲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 $-\theta$ 遲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 だけ遲れて居ても，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。

第 231 圖

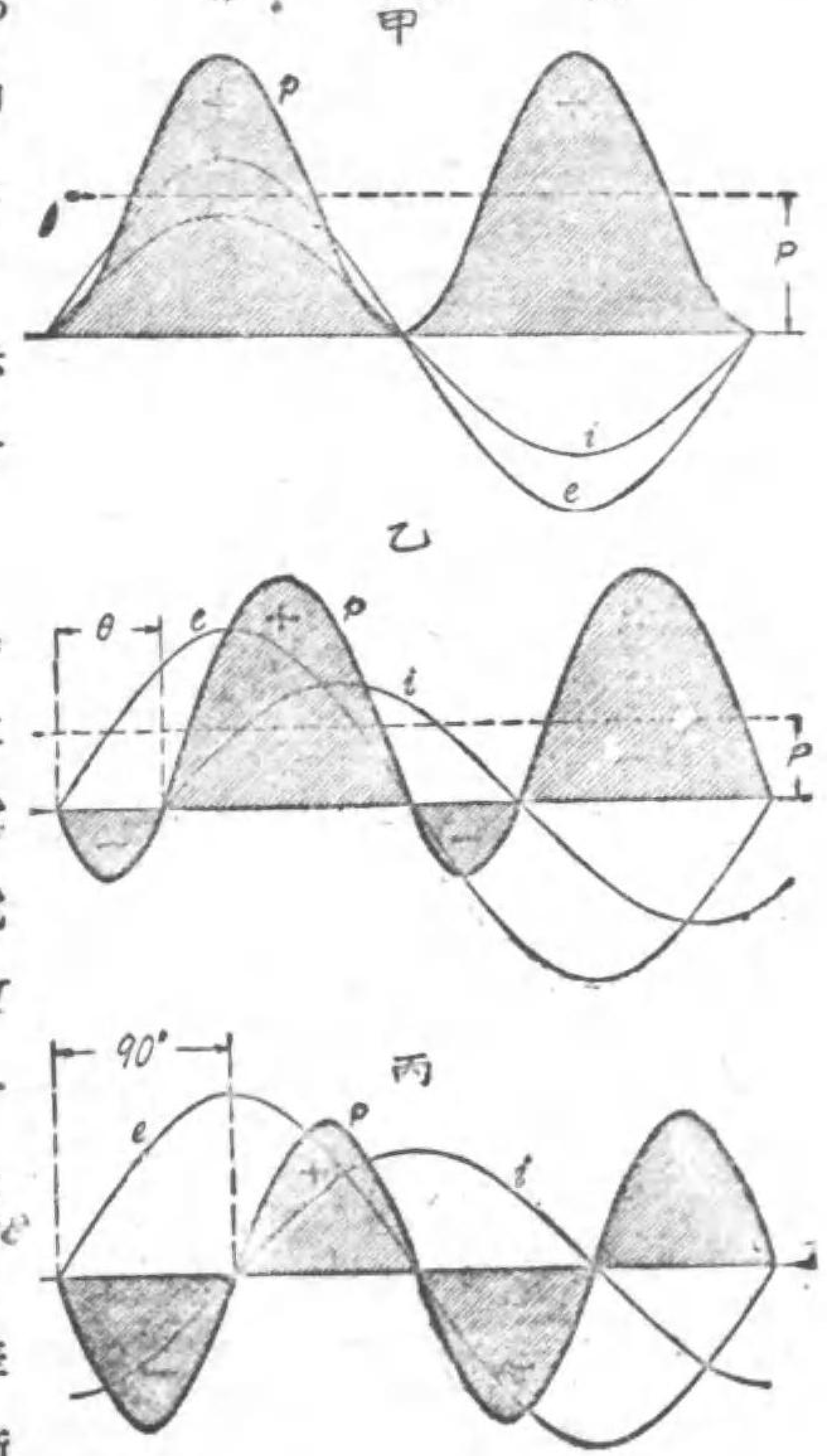


瞬時電力の値の平均が高さ P となる。即ち平均電力は P なる高さで示す事が出來る。

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 に遲れる事 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乘じ，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（電路內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 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。

第 232 圖



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增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

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

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

$$=I^2R$$

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。猶ほ詳しく說明すれば, 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。換言せばヴェ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, 叉電流と直角の方向（90° の相差ある事）の電壓降下は電力を消費しない。此事柄は已に說明した樣に電流と 90° の相差を有する電壓降下を持つ部分の力率は $\cos 90°=0$ 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 $\cos 60°$ である。故に電力 P は

$$P=1000\times50\times\cos 60°=1000\times50\times\frac{1}{2}$$

$$=25000 \text{ ワット}$$

$$=25000\times\frac{1}{1000}\text{ キロワット}=25 \text{ キロワット}$$

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（周波數 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

波數 f サイクル）を通ずる時の電壓降下の値何程か。

4. R オームの抵抗を持つ電路に E ヴォルトの電壓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（周波數 f サイクル）の電壓を給與した時に通ずる電流の値何程か。

6. C ファラッドの容量のみを持つ電路に E ヴォルト（周波數 f サイクル）の電壓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壓と電流との相差夫々何程か。

8. 抵抗 R オームと容量 C ファラッドとを直列に持つ電路の，周波數 f サイクルに對するイムピーダンスの式はどうなるか。

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

9. 抵抗 R オーム，容量 C ファラッドとが並列にある電路に E ヴォルト（周波數 f サイクル）を給與した時通ずる全電流の値何程か。　答　$I_0=E\sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2+(2\pi fC)^2}$　アムペア

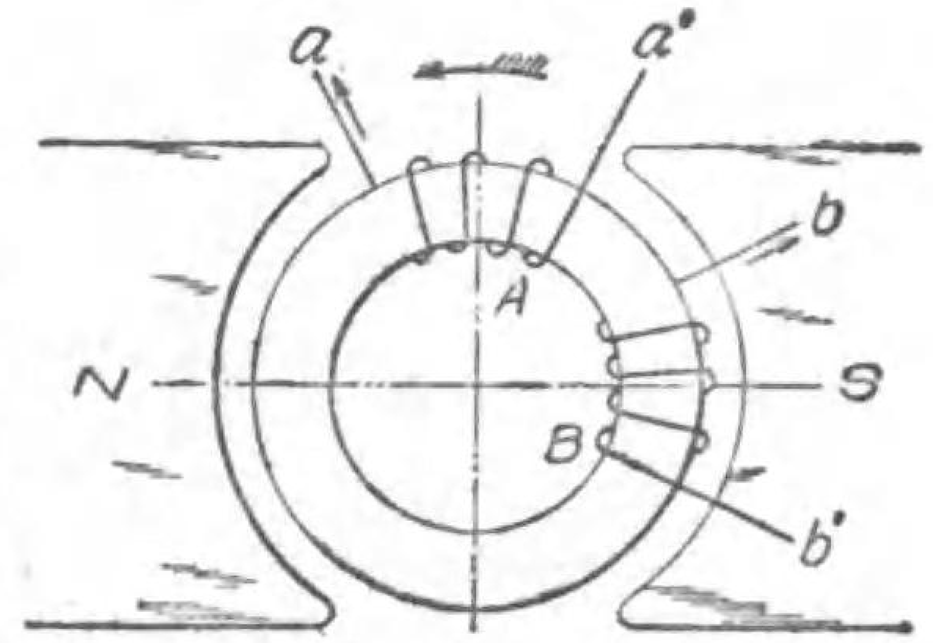
10. 或る負荷に E ヴォルトの電壓を給與し，此電壓より θ だけ遅れたる I アムペアの電流通ずる時は，此負荷に供給して居る電力何程なるか。

第十八章　三相式電路

148. 三相起電力の發生　同一周波數で，位相を異にせる二個或は二個以上の交番起電力（從つて電壓）發生して居り，之れによりて**同一周波數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**專ら**共れに就き說明するのであるが，順序として多相式の內最も簡單なる**二相式起電力**の發生を簡單に述べよう。

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° 距てゝ捲き，之れを一つの平等磁界內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內に，誘導される起電力，即ち A 及 B 內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。

第 233 圖



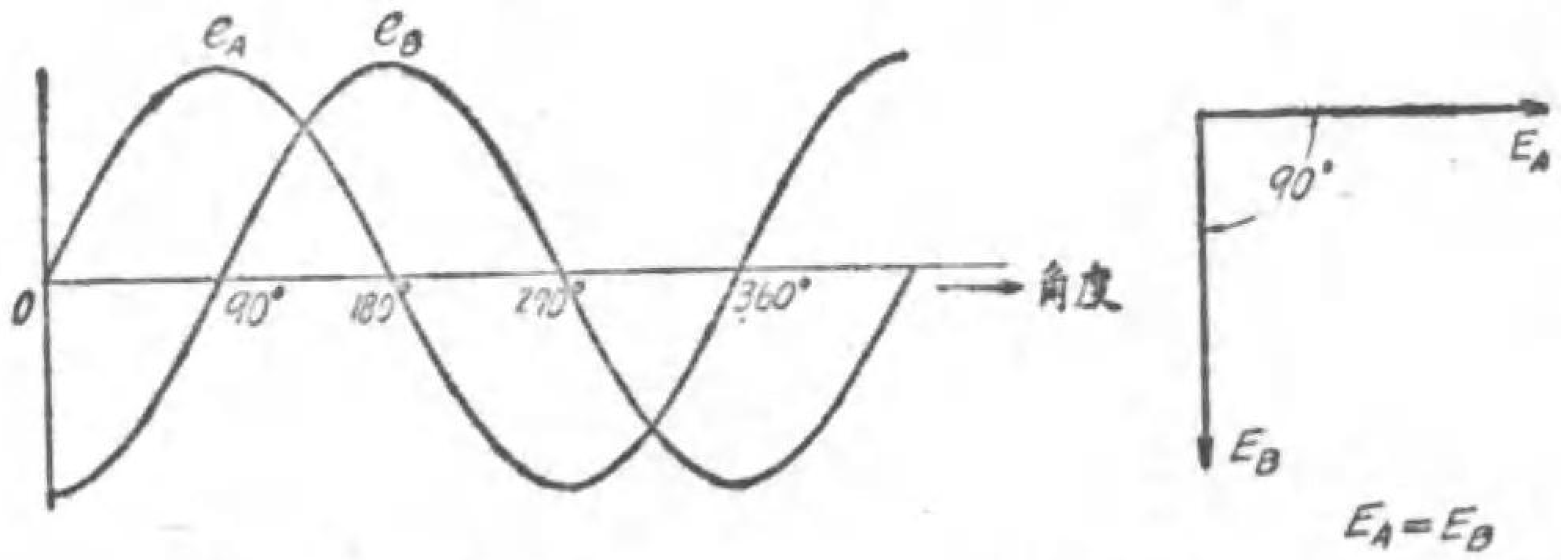
二極型，二相交流發電機

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樣に同方向に定めて考へる時は，A 內の起電力は B 內の起電力より 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，從つて 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 捲線內の起電力が前に取つた値と同樣，零となる。即ち B 捲線內の起電力の位相は A 捲線內の起電力より 90° 遲れる事が分かる。依つて A 及 B 內の起電力の値の變化は第 234

第 234 圖

甲 乙



二相式起電力の正弦波　　二相式起電力のヴェクトル圖

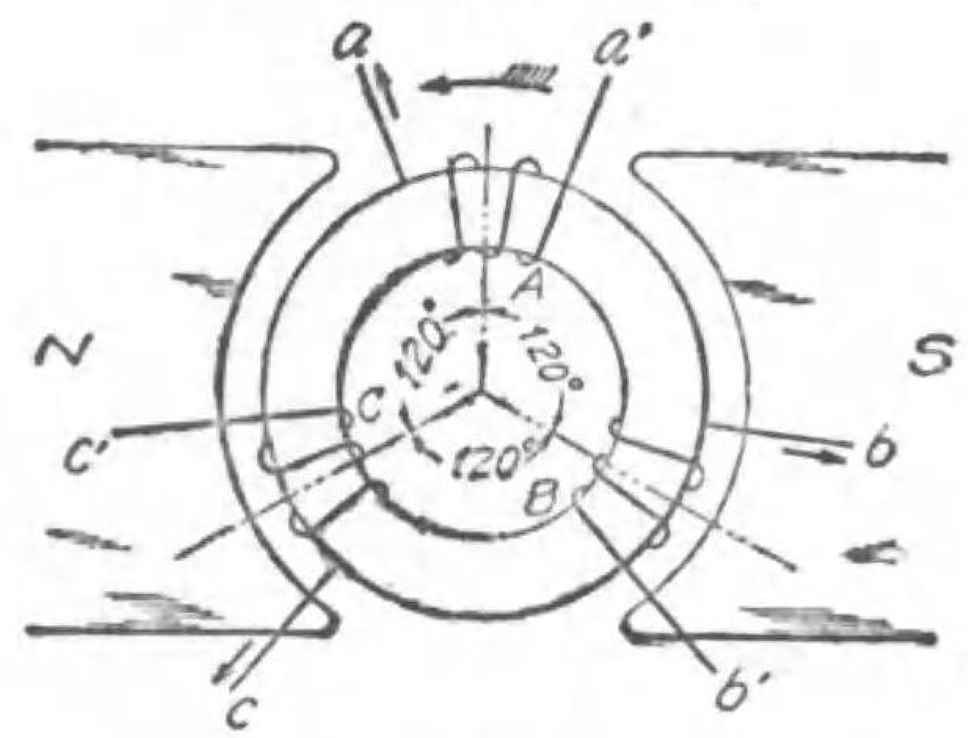
圖甲の樣な正弦波で表はされる。又此 關係をヴェクトル圖で示せば同圖乙の樣になる。而して此乙圖はヴェクトル圖であるから，兩起電力を表はすヴェクトルの長さは實效値に等しく取りたる事，規約で定めた通りである。

以上の說明から分かる樣に，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° を距てゝ捲線を施せば，90° の相差ある起電力が發生する。同樣に中心角に於て 120° 宛距てゝ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 內の起電力を一括**（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**今迄の樣に，A 又は B 內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效値が等しく，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 參照）。

偖て本論三相式に立歸つて，第 235 圖の樣に發電子上に，中心角に於て 120° 宛距てゝ，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 捲線內には第 236 圖甲乙に示す樣に，其値は互に相等しく，各々の間の相差が 120° 宛で

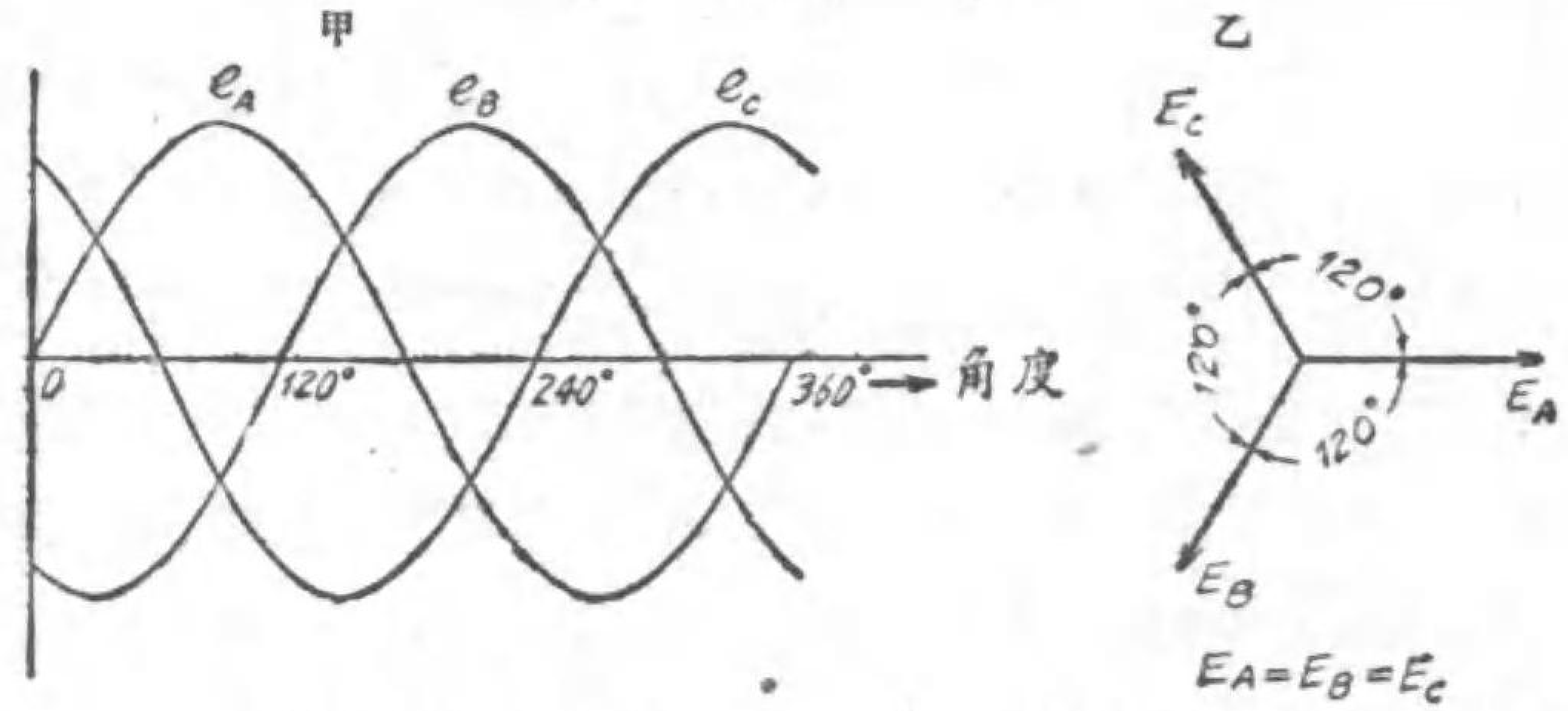
第 235 圖



二極型，三相交流發電機

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

第　236　圖



三相式起電力の正弦波　　三相式起電力のヴェクトル圖

に出來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（矢印て示したる一定向を正方向として）て相從ふ三つの單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來るもので，斯る電流を一括して**三相式電流**と稱する事，起電力の場合と同樣である（附記 II 參照）。

附記 I　以上の説明から分かる樣に，二相式又は三相式（一般

に多相式）と稱しても，單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單相式と同一に取扱ふ事が出來る。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ヴェクトル圖を見れば分かる樣に，其れ等は凡て個々の單相式のヴェ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，**多相式は單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てある事も單相式の場合と同一てある。**

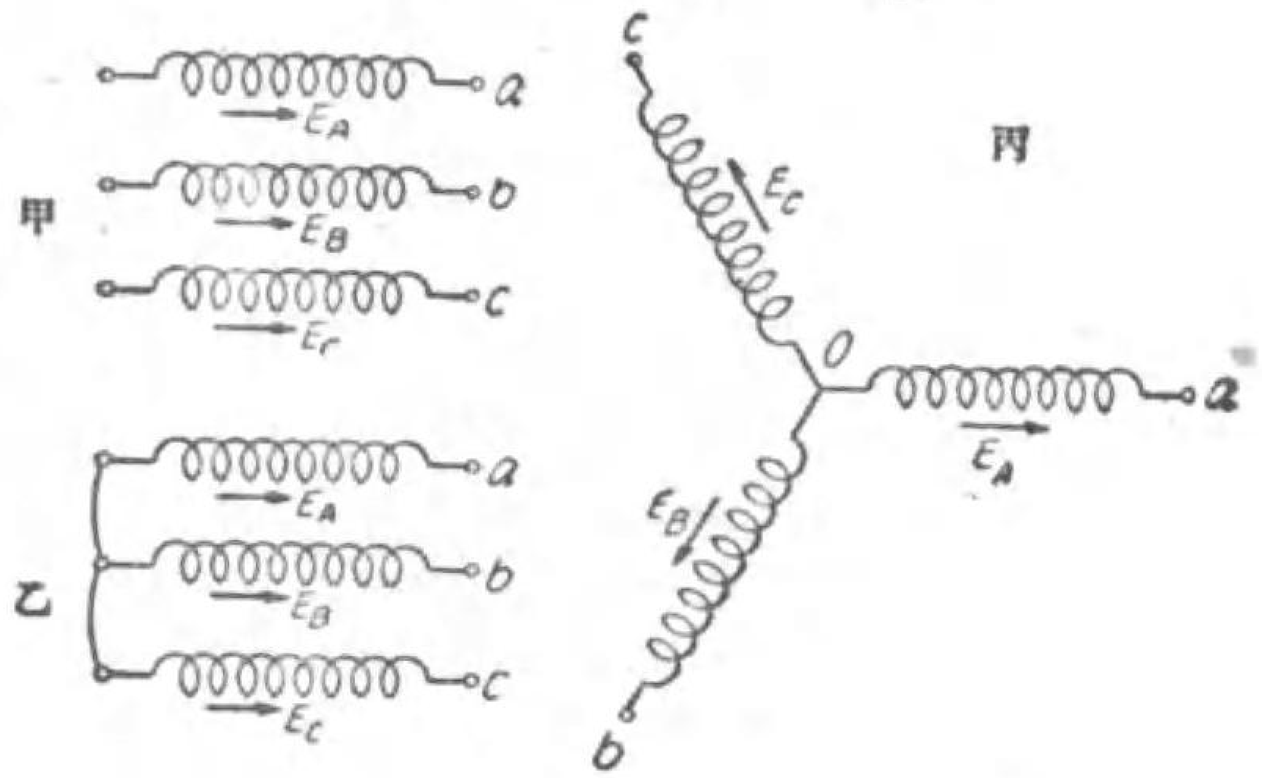
附記 II.　三相式及其れ以上の多相式に於て起電力（電壓及電流でも同樣）の値（實效値）が相等しく且つ，同一の相差で從ふものを特に**平衡多相式**（三相式の場合は**平衡三相式**）と稱し，其値及相差に不同のあるもの（之れを不平衡多相式と云ふ）と區別して居るのである。然し初等電氣工學に於ては不平衡多相式の事は論ずる必要がないから，單に三相式と云へば定義にある通り其値も，相差も相等しき場合の名稱と考へて貰ひたい。又二相式に於ては其値等しく，相差が 90° のものを特に**平衡二相式**と稱して居る。依つて上と同一の理由で，單に二相式と云へば定義にある通り平衡二相式の意味に解して貰ひたい。

149.　三相式の接續法

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樣だとしよう。此三相式起電力によりて，三相式電流を通ぜしめ

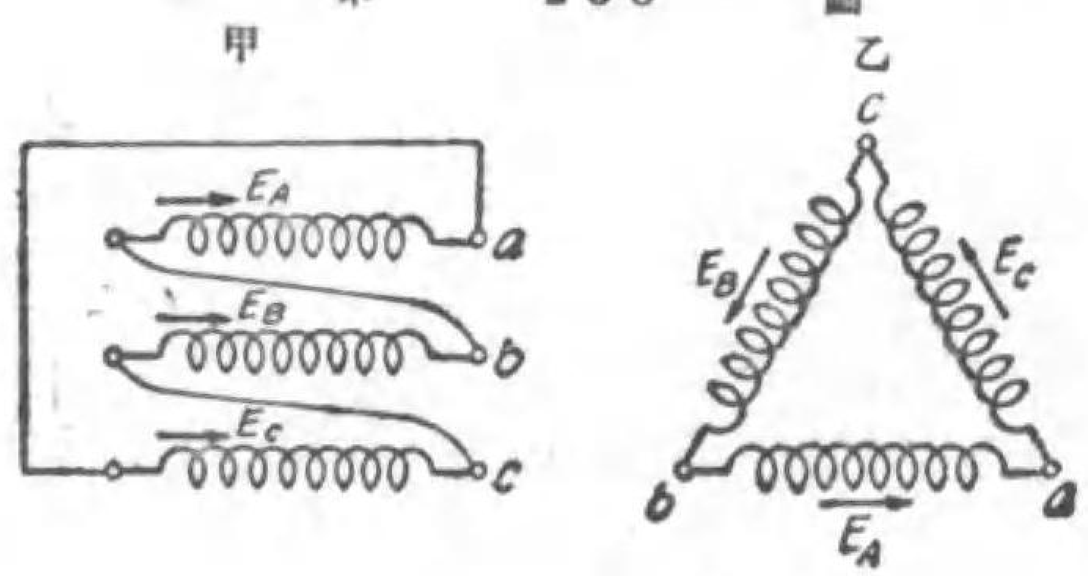
る事の出來る，最も都合よき三相式回路を作るに二つの方式がある。其一つは同圖乙に示す接續法である。之れを便宜上同圖丙の如く描くものにして，**星形結線**又は **Y 結線**と稱し，共通點 O を**中性點**と稱する。Y 結線と云ふ理由は此結線圖が Y なる文字に似て居るからである。

第 237 圖



他の一つは三つの捲線を第 238 圖甲に示す樣に，接續したものである。之れも亦便宜上同圖乙の樣に描くものであつて，**網狀結線**或は**三角結線**（Δ 結線とも云ふ）と稱する。而して星形或は網狀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。

第 238 圖



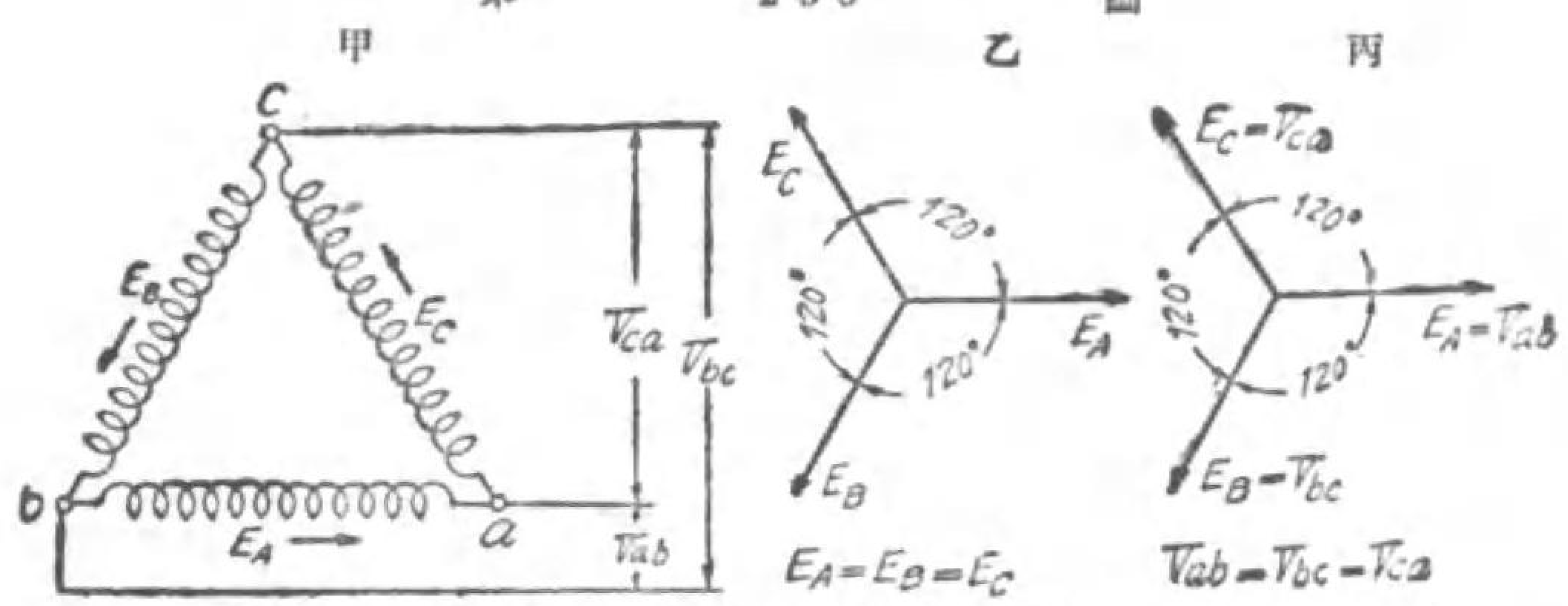
三相發電機の三つの捲線は，凡て發電機內部で上に述べた二つの結線法の何れかにより接續せられ，

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 圖甲の樣な三相三角結線（或は Δ 結線）の三つの**相**（卽ち三つの捲線の意）（附記參照）の內に發生して居る起電力（其實效値が夫々 E_A, E_B, E_C）が三相起電力であるならば已に述べた樣に，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ヴェクトルで表はす事が出來る（第 239 圖乙）。但し其の位相關係は實效値 E_A, E_B, E_C を持つ起電力の順に 120° 宛遲れて居るとする。以下斷りない時は常に此順序，卽ち A, B, C の順に從ふものと考へて貰ひたい。

第 239 圖



線間電壓＝相電壓

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 間の電壓の實效値 V_{ab} は起電力 E_A によるものであるから，$V_{ab}=E_A$ である。同樣に $V_{bc}=E_B$ 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，線間電壓の値 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} も總て相等しく，各線間電壓相互間の相差は，120° である。從つて**線間電壓も亦三相式電壓である。**依つて此關係をヴェクトル圖にて示せば丙圖の樣になる。

以上の說明から分かる樣に，Δ 結線の場合は線間電壓と一捲線內の起電力，從つて一捲線端子間の電壓（之れは一相の電壓であるから**相電壓**（さうでんあつ）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，次の樣になる。

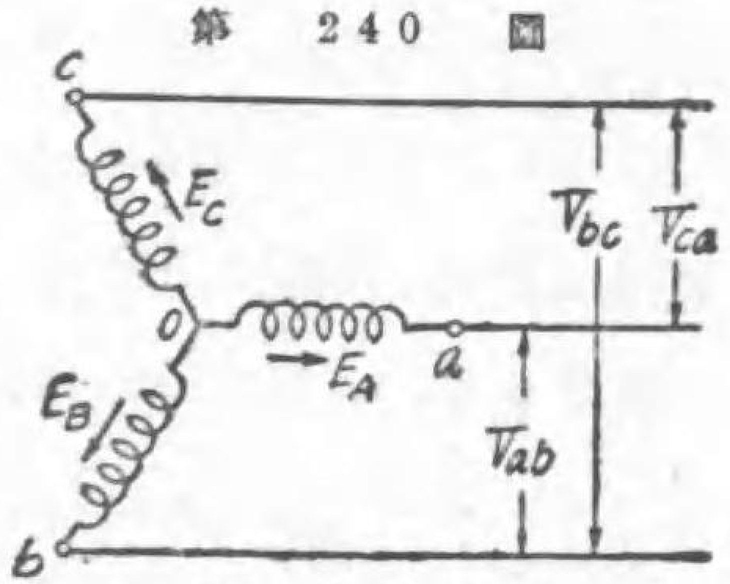
線間電壓＝相電壓

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. 三相星形結線の電壓

今第 240 圖の樣な三相星形結線（或は Y 結線）の各捲線，即ち各相に發生して居る起電力（其實效值が夫々 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效值 E_A, E_B, E_C を持つ起電力の順に 120° 宛遲れて居るとする。

第 240 圖



$E_A=E_B=E_C\ (=E)$
$V_{ab}=V_{bc}=V_{ca}\ (=V)$
$V=\sqrt{3}\,E$
（線間電壓＝$\sqrt{3}$×相電壓）

此場合，同圖の各線間，即ち ab, bc, ca 間の電壓，即ち線間

電壓の實效值を V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} とすれば，說明は此所では省略するが，**之れ等の線間電壓の值は總て相等しく，其值は各相の起電力，從つて各相電壓の $\sqrt{3}$ 倍である**（附記參照）。而して各の位相關係は互に 120° 宛であるから，此場合の**線間電壓も亦三相式電壓である。**但し位相關係は實效值 V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} を持つ電壓の順に 120° 宛遲れて居る。

上で述べた線間電壓は又**線路電壓**或は時に **Δ**（デルタ）**電壓**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壓は勿論相電壓であるが，之れを**星形電壓**と稱する事もある。以上述べた線間電壓と相電壓との大さの關係を式で示すと

線間電壓＝$\sqrt{3}$×相電壓 或は $\sqrt{3}$×星形電壓

或は又起電力，從つて相電壓の值は $E_A=E_B=E_C$ であるから，之れを E にて表はし，又線間電壓の值は $V_{ab}=V_{bc}=V_{ca}$ 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來る。又前節の Δ 結線に於ては，線間電壓と相電壓との大さの間の關係は次の樣に纏めて書く事が出來る。

線間電壓（或は線路電壓又は Δ 電壓）＝相電壓

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壓と相電壓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 圖を見れば分かる樣に，線間電壓は起電力 E を持つ二つの捲線の端子間に於ける電壓であるから其値は $V=2E$ となる樣に見えるが，各起電力の間には位相の差があるから，上に述べた樣に $V=\sqrt{3}E$ 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。若し端子電壓が 3300 ヴォルトならば，一相の電壓（或は星形電壓）は何ヴォルトなるか。

解 端子電壓は線間電壓に相當するものであるから，一相の電壓は

$$3300\div\sqrt{3}=3300\div1.73=1900 \text{ ヴォルト}$$

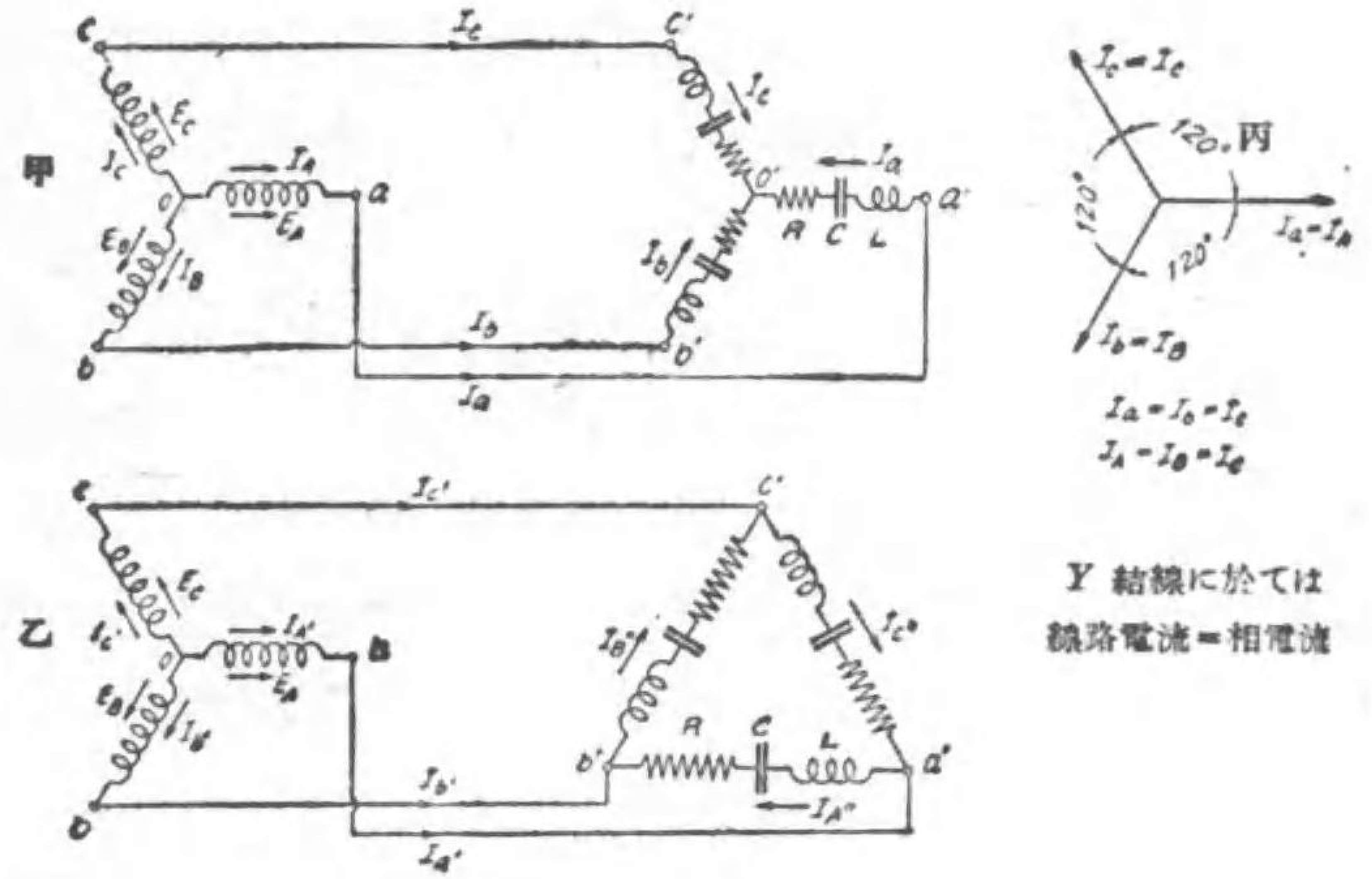
例題 70. 前問に於て，結線がΔであるならば，一相の電壓は何ヴォルトなるか。

解 此場合は相電壓と線間電壓とは等しいから，一相の電壓も亦 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，即ち負荷を接續する場合にも，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狀態にある時，例へば第 241 圖甲乙の樣に，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



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，捲線內に發生して居る起電力（其實效値夫々 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（其實效値夫々 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，卽ち**三相式電流**である事は直に想像する事が出來るであらう。而して之れ等の電流の正方向を起電力と同樣矢印の樣に定むれば，丙圖の樣なヴェクトル圖にて示す事が出來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

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

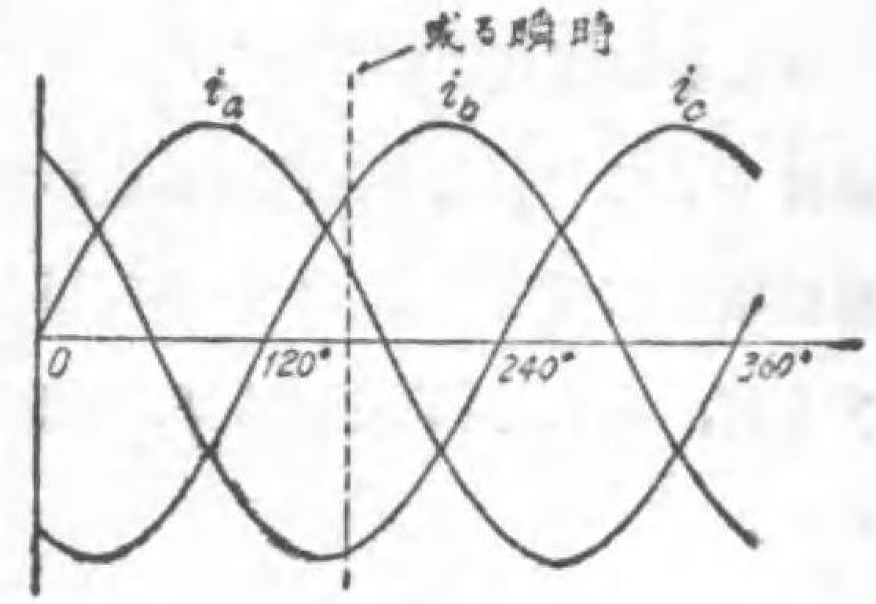
線路電流＝相電流

なる關係がある。

又乙圖の樣に Y 結線の發電機に，相等しきイムピーダンスを 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。又此場合のヴェ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，循環せぬ樣に見ゆるのである。然し交流回路に於ける矢印は，已に述べた樣に電流の方向でなく，正の方向を示して居るものである。從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，外方に向ふ電流と內方に向ふものとがあつて，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來るであらう。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樣に，必ず正方向，即ち外方に向

第 242 圖

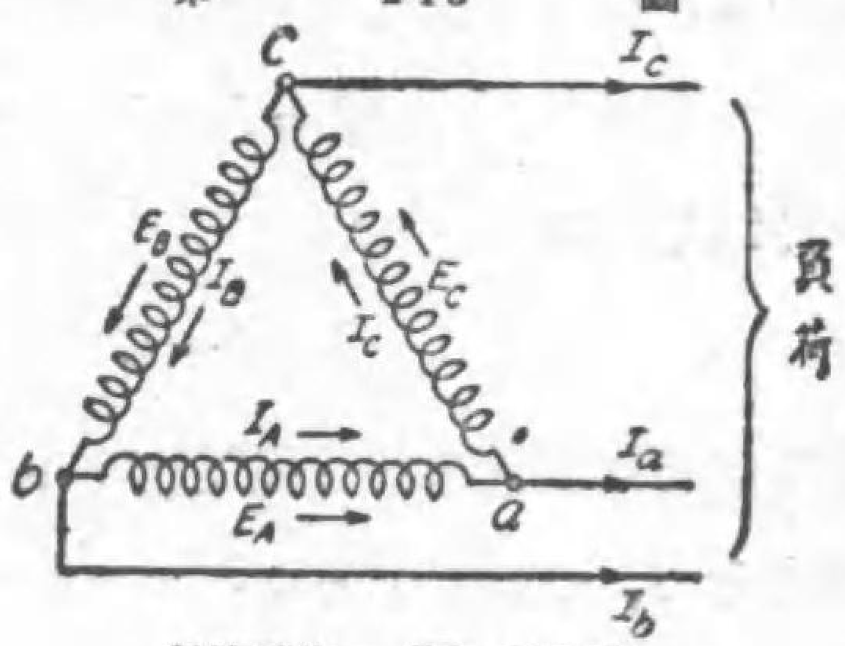


ふ電流（其大さの變化は正波にて表はす）と內方に向ふ電流（其變化は負波にて表はす）とがあつて，其瞬時外方に向ふ I_a, I_b の瞬時値 i_a, i_b の和と，內方に向ふ I_c の瞬時値 i_c とが互に相等しいのである。此事は尺度(ものさし)をあてれば直に知る事が出來る。同樣の關係が如何なる瞬時にも成立つのである。換言すれば**三つの瞬時の電流は，其相互間に於て必ず循環するものである。**即ち三本の電線の內一本は必ず歸線(きせん)となる譯である。

153. 三角結線の電流

第 243 圖の樣に 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來る。又兩三相式電流の位相關係は A, B, C の順に 120° 宛遲れる事も，

第 243 圖



線路電流＝$\sqrt{3}$×相電流

電壓の場合と同一である。

次に線路電流と相電流との大さの關係であるが，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。**此說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，即ち發電機に就いて述べたが，此關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，即ち三つのイムピーダンスの意味）には何れも三相式電流が通ずる事勿論にして，線路電流は前同樣，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關係を式で示すと

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

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_p で表はすと

$$I=\sqrt{3}\,I_p$$

なる關係式が生ずる

次に參考のため，Y 結線及 Δ 結線の場合の電壓並に電流の大さの關係を列記すると次の通りである。但し以下の關係は電源側でも負荷側でも同一である。

電壓

Y 結線　線間電壓（或は線路電壓）$=\sqrt{3}\times$相電壓

或は

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

Δ 結線　線間電壓（或は線路電壓）＝相電壓

尙ほ電源の三つの捲線に，三相發電機の樣に，三相起電力が發生して居る時は，相電壓も線間電壓も三相式電壓である。

電流

Y 結線　線路電流＝相電流

Δ 結線　線路電流 $=\sqrt{3}\times$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，三相起電力が發生して居り，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　三相交流發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=三相電路の線間電壓の實効値（ヴォルト）

I=　,,　線路電流の實効値（アムペア）

$\cos\theta$=三相交流發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壓と相電流との相差角を表はす。

單相式電路の電力は第 247 節で述べた樣に，$EI\cos\theta$（但し E は單相式回路の線間電壓の實効値）なる式で表はされるから，三相電力は $3VI\cos\theta$ である樣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點である。**即ち平衡負荷が掛かつて居る時は三相交流發電機の結線が Y でも，Δ でも其出力は線間電壓，即ち端子電壓と線路電流と，各相に於ける力率の積の $\sqrt{3}$ 倍で表はされる。**

以上は發電機，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 **は線間電壓と線路電流との相差でなく，相電壓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樣に，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發電機，即ち電源に於ける力率も變つて來るものである。故に同一線間電壓で，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。

參考のために直流，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	$EI\times$(力率)
三相交流	$\sqrt{3}\,VI\times$(力率)

上式の單相及三相式の場合の E 及 V は何れも線間電壓の實効値（ヴォルト）で，I は線路電流の實効値（アムペア）である。而して三相式では相電壓を表はすに E なる文字を用ひたから，線間電壓に 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 ヴォルトの三相電壓を給與して，線路に 50 アム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，$I=50$ アムペア，$\cos\theta=0.8$ 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%，卽ち電燈の樣な無誘導負荷を各相平衡させて，Δ に接續し，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ムペアなるか。

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。從つて此場合の電力 $P=\sqrt{3}\,VI$ 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

$$I=\frac{3000}{\sqrt{3}\times 100}=17.3 \text{ アムペア}$$

練 習 問 題 XVIII

1. 三相發電機はどんな起電力を發生するか。

2. 三相電路とはどんな回路であるか。

3. 三相發電機には幾つの接續法があるか。

4. Y 結線發電機の端子電壓（線間電壓に相當する）は一相の電壓の何倍なるか。

5. Δ 結線發電機の端子電壓（線間電壓に相當する）は一相の

電壓の何倍なるか。

6. Y 結線發電機の一相の電流は線路電流の何倍なるか。

7. Δ 結線發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，重さを測るに秤がいる樣に，量を測るには器具がいる。此樣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單に測れる。次に複雜した量は之を直接に測る事が出來なくても，その量に關係した理論を應用して測る事が出來る。例へば三角形の面積を測るには，その底邊と高さとを尺度で測つて置いて，その相乘積を 2 で割れば面積が求められる。此樣に直接測定器ででも宜し又は測定器と必要な計算とで以て或量の大さを求める事を一般に**測定**と稱する。

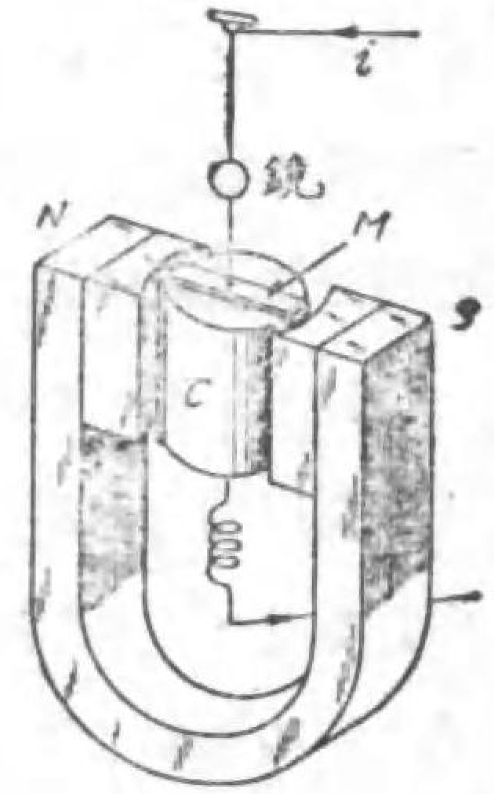
以下，章を追つて電氣の色々の量即ち抵抗，電流，電壓，電力，電力量等を測定する方法と之等に必要な電氣測定器とに就いて說明しよう。

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，構造も色々あるが玆に其一つを說明しよう。第 12 章で述べた熱檢流計（口繪參照されたし）は交流用檢流計である。

第 224 圖は**可動線輪型檢流計**と稱するものゝ內部構造の略圖

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。線輪の內部には軟鐵心 C が備へられてあつて，線輪は此軟鐵心 C と NS 兩極間の空隙內で廻はり得る樣になつて居る。

第 244 圖



可動線輪型檢流計

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，フレーミングの左手三指の法則に從つて線輪は電磁力のために廻轉する。此廻轉力は電流の强さに比例する。〔此樣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〕。然るに線輪が廻はると，燐銅線が捻ぢられるために線輪を元の位置に戾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。〔此樣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〕。從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）は電流の强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。

$$i=k\times\theta$$

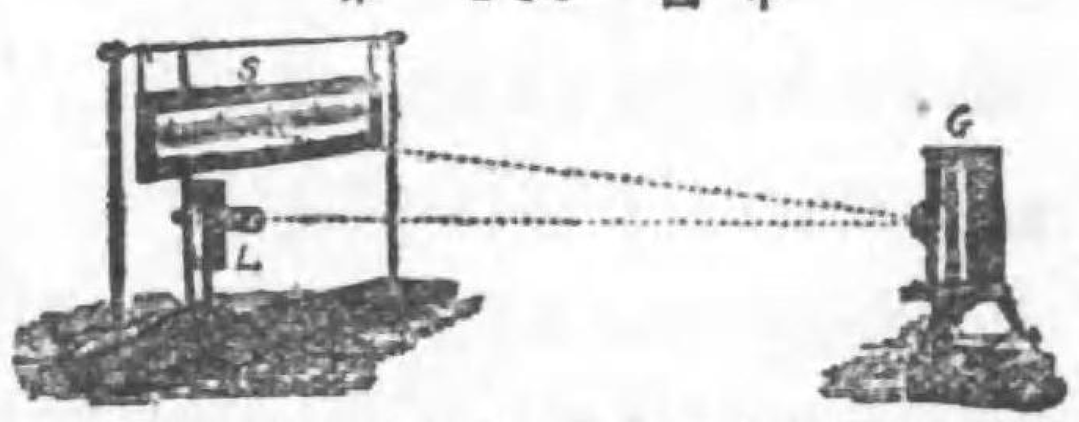
此式の比例定數 k は檢流計の構造によつて定まつた値を有するもので，之を檢流計定數（けんりうけいていすう）と稱する。即ち此式から分る樣に，檢流計に通る電流が大きい程その振れは大である。例へば振れが二倍の時は檢流計に通る電流は二倍である。

尙ほ上に述べた丈けでは檢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裝置を制動裝置と云ふ。制動裝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。即ち此可動線輪型檢流計では渦流制動を用ひて居るのである。

157. 檢流計の振れを觀る法

普通測定では，第245圖甲に示す樣に，ランプと尺度とを使つて檢流計の振れを觀る（み）のである。先づ檢流計 G から 1m 離れた所に尺度 S とランプ L とを持つて來て，ランプから發する光を檢流計の鏡面に當て，その反射光が尺度上の中央に光點として

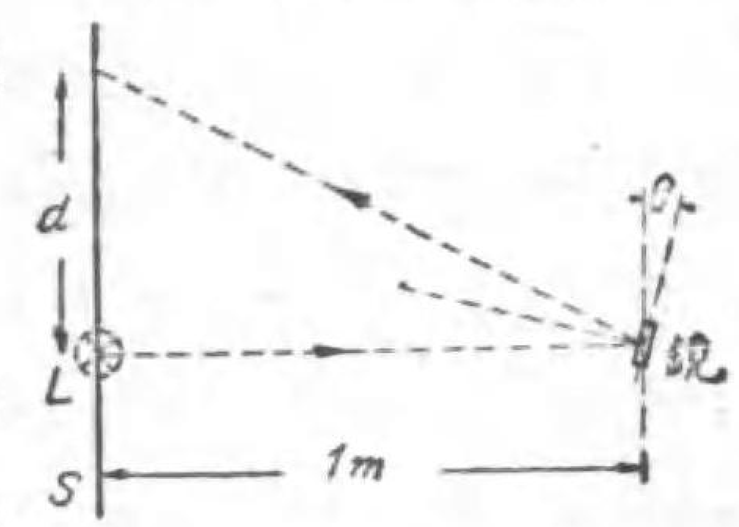
第 245 圖 甲



檢流計の振れを觀る方法

現はれる樣に尺度を置く。次に電流を檢流計に通ずると，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圖乙參照)。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。依つて今比例定數を K とせば電流は次式で表はされる。

第 245 圖 乙



$$i=Kd$$

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。又此式の定數 K を普通檢流計定數と稱する。但し此場合檢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來る。第246圖は

第 246 圖


携帶用檢流計

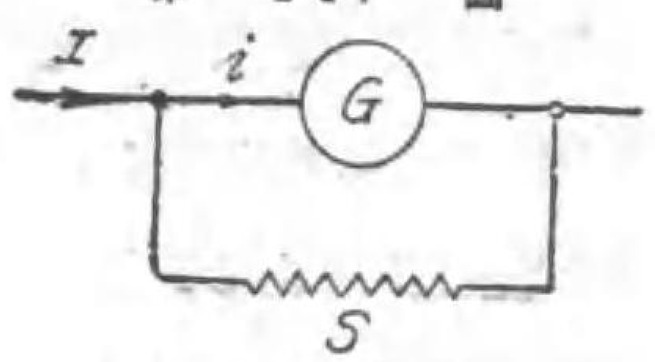
携帶用檢流計を示すものである。

159. 檢流計分流器

檢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。此樣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。此檢流計に並列に使用される分路を**檢流計分流器**と稱する。

第 247 圖は檢流計 G に分流器 S を使用した略圖である。今檢流計の抵抗を 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，檢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 節參照）から，次の關係がある。

第 247 圖



檢流計分流器

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

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

即ち測定する電流 I は檢流計に通ずる電流 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，

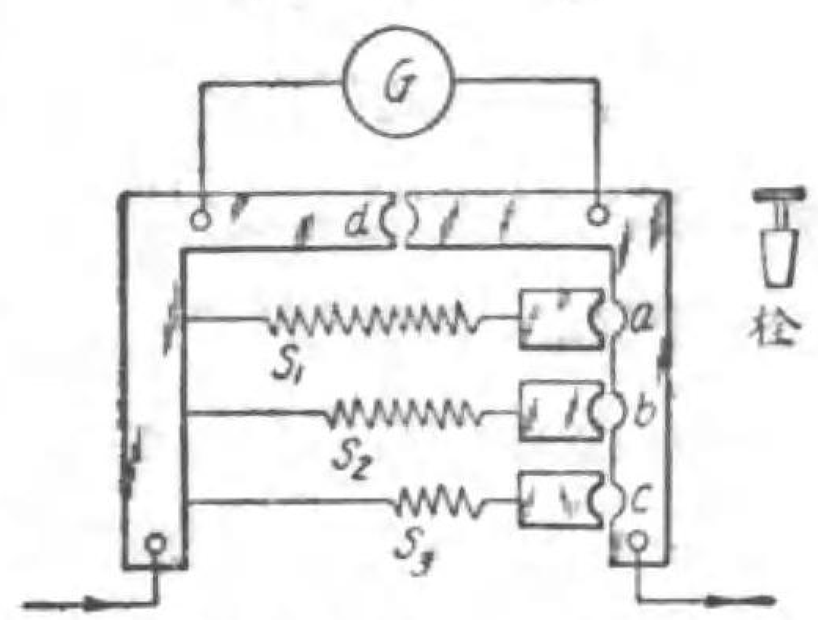
$$m=\frac{G+S}{S}\ から,$$

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

即ち檢流計の抵抗 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 オームの檢流計に使用した倍率 10 なる分流器の抵抗は，$S=\frac{G}{m-1}=\frac{1000}{10-1}=\frac{1000}{9}\fallingdotseq 111.1$ 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 の三種に變へ得る樣に出來て居る。

第 248 圖



三種の倍率を得る檢流計分流器

即ち $S_1=\frac{G}{9}$ オーム，$S_2=\frac{G}{99}$ オーム，$S_3=\frac{G}{999}$ 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 が檢流計に分路になり，檢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，檢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，檢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

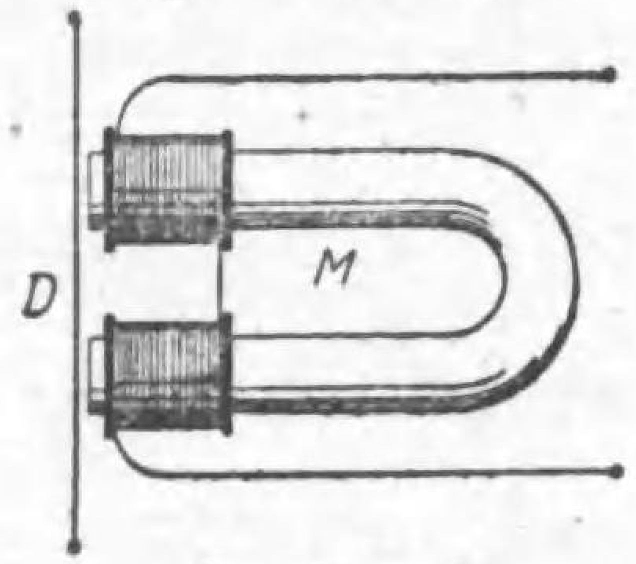
挿しかへると檢流計は短絡されて檢流計には電流が通らない。)

160. 交流用檢流計及び電話受話器

上に述べた檢流計では，耐久磁石を用ひてあるから，線輪に通ずべき電流の方向を變へると，線輪は反對方向に傾く。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。從つて上に述べた檢流計では交流を測定することは出來ない。然るに第12章で述べた熱檢流計では加熱器に測定しようとする交流を通ずると，その電流の自乘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乘に比例するものであるから，熱檢流計は交流測定用の檢流計である（口繪を參照されたし)。

交流用の檢流計としては熱檢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**と稱する。卽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 圖の略圖に示す樣に，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

第 249 圖



受話器

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**又は**ダイヤフラム**と稱する〕。從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 1 00 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單なものは何か。

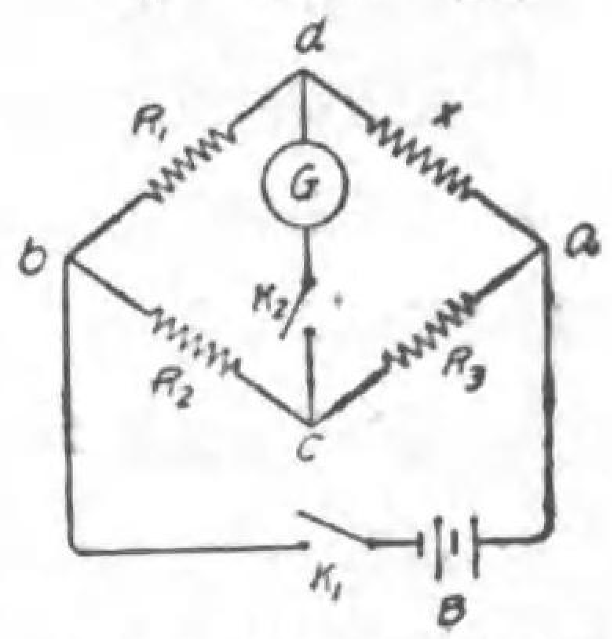
第二十章　抵抗の測定

161. ホヰートストーン・ブリッヂ法

數オーム乃至數萬オーム程度の抵抗を測定するには，第七章78節に述べたホヰートストーン・ブリッヂ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 節を復習されたし），直に未知抵抗の測定法を述べよう。

第250圖に示す樣に，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續し，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，若し檢流計 G に電流が通じなかつた場合卽ち檢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，相對した抵抗の相乘積は相等しい關係がある。（第 78 節に倣つて，キルヒホッフの法則を使用して此關係を證明して見給へ）。卽ち此場合には次の關係がある。

第 250 圖



ホヰートストーン・ブリッヂ

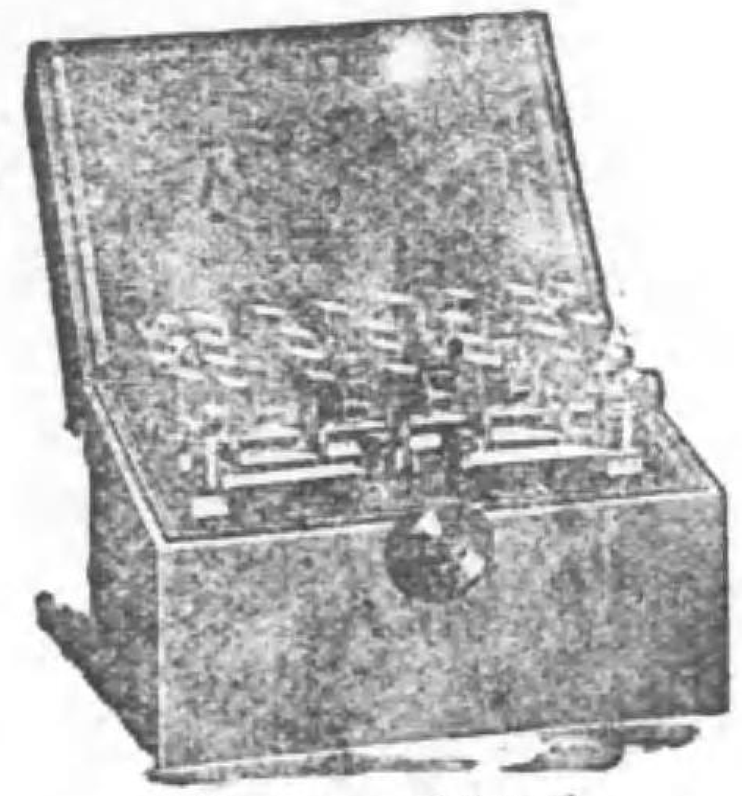
$$R_2X = R_1\,R_3$$

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

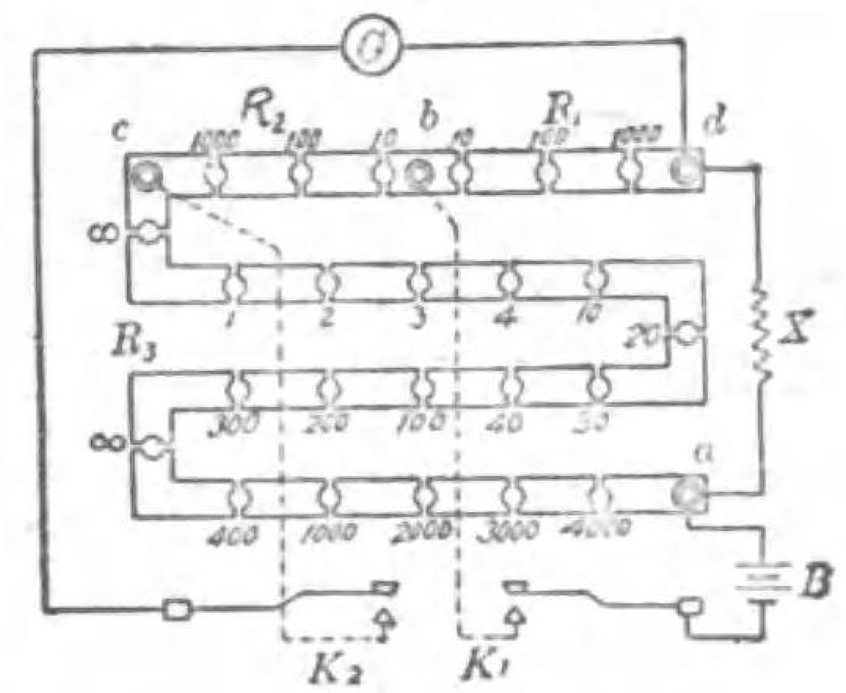
卽ち未知抵抗Xは此場合のR_1, R_2, R_3の値で上式から計算出來る。

ホヰートストーン・ブリッヂ法を直に行ふ事の出來るものにピー・オー・ブリッヂと摺動線（しようどうせん）ブリッヂと云ふのがある。第251圖甲，乙はピー・オー・ブリッヂで，乙圖は其接續圖である。圖に於て，

第 251 圖甲


ピー・オー・ブリッヂ

第 251 圖乙



ピー・オー・ブリッヂの接續

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來る。之等の抵抗は 79 節に述べた栓型抵抗器と同じく，栓を拔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續されて居ないから，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, 檢流計 G を圖の樣に接續して，R_1, R_2, R_3 を加減して，K_1, K_2 を閉ぢても檢流計が振れない時は，次式で未知抵抗を計算すればよい。

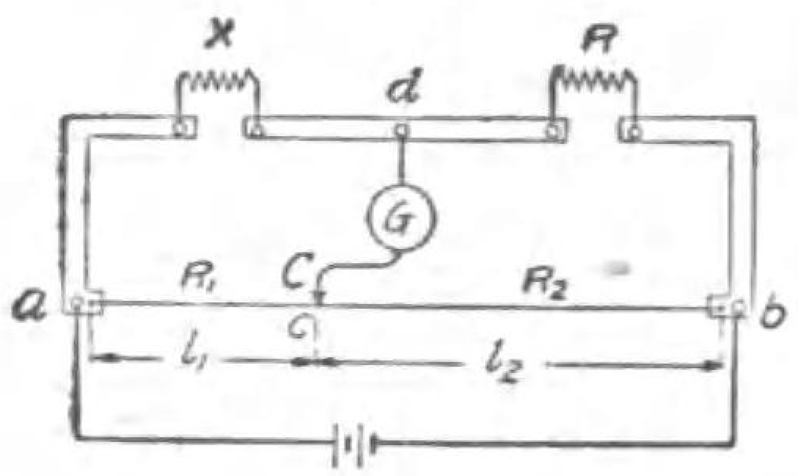
$$X = \frac{R_1}{R_2}\,R_3$$

何故なれば，第251圖を見れば之は第250圖と全く同じ接續であるからである。例へば，第251圖の接續圖に於て，R_1 から 100 の栓を拔き，R_2 から 10 の栓を拔き，R_3 から 100 と 30 と 4 の三個の栓を拔いた場合に，電鍵 K_1K_2 を閉ぢても檢流計に振れを生じなかつたとすれば，未知抵抗 X は，

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

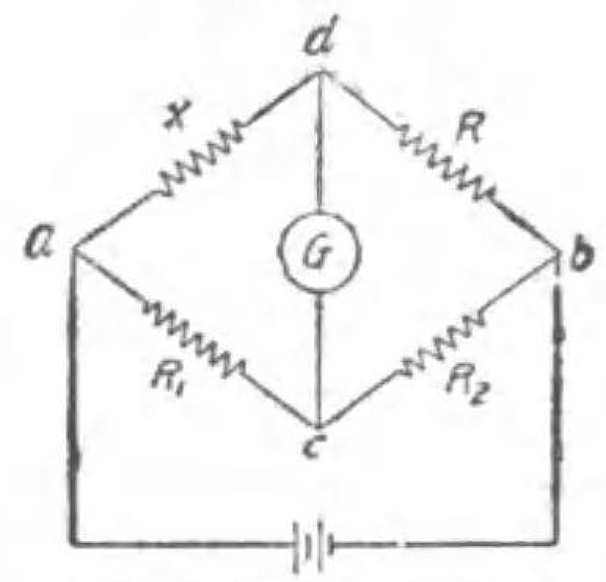
である。

第252圖甲



摺動線ブリッヂ

第252圖乙



甲圖を分り易く畫いた圖

摺動線ブリッヂは第252圖甲に示す樣に，**摺動線**と稱する太さ一樣な眞直ぐな抵抗線 ab から出來て居り，此摺動線の上で接觸子 C を滑らす事が出來る樣になつて居る。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，檢流計 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圖甲を分かり易く畫くと乙圖の樣

になつてホキートストーン・ブリッヂ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，抵抗は長さに比例する。從つて $\frac{R_1}{R_2}=\frac{(ac\text{ の長さ})}{(bc\text{ の長さ})}=\frac{l_1}{l_2}$ である。故に未知抵抗 X は次式で計算される。

$$X=\frac{l_1}{l_2}R \text{ オーム}$$

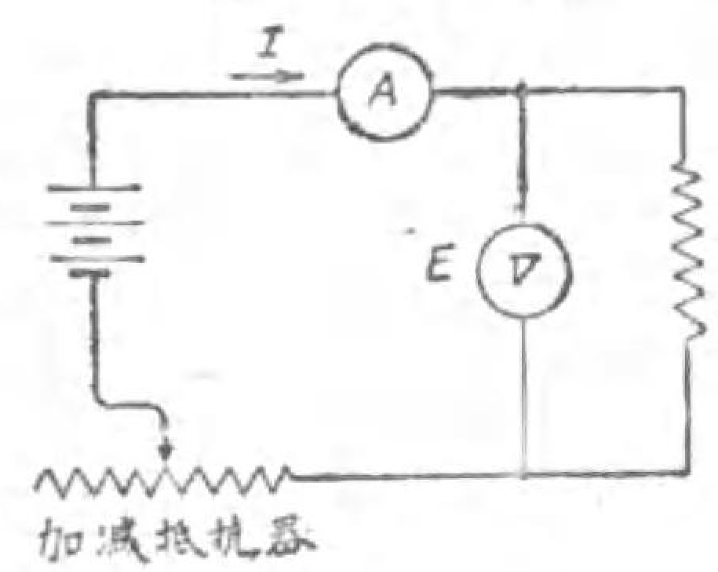
例へば，第252圖に於て，標準抵抗 $R=1$ オームのものを用ひて，接觸子 C を動かして，之が c 點に來て $\frac{l_1}{l_2}=\frac{2}{5}$ の場合檢流計に振れを生じなかつたとすれば，未知抵抗 X の値は次の通りである。

$$X=\frac{l_1}{l_2}R=\frac{2}{5}\times1=0.4 \text{ オーム}$$

162. 電壓降下法

前節に述べたホキートストーン・ブリッヂ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壓計と電流計とを用ひて未知抵抗を測る事が出來る。之はオームの法則を應用したもので**電壓降下法**と名付ける。第253圖は電壓降下法を示すもので，未知抵抗 X を直流電源に接續し，之に電壓を與へて電流を通じ，電流計 A で電

第253圖



電壓降下法

流を讀み之を I アムペアとし，又電壓計 V で電壓降下を讀み之を 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。

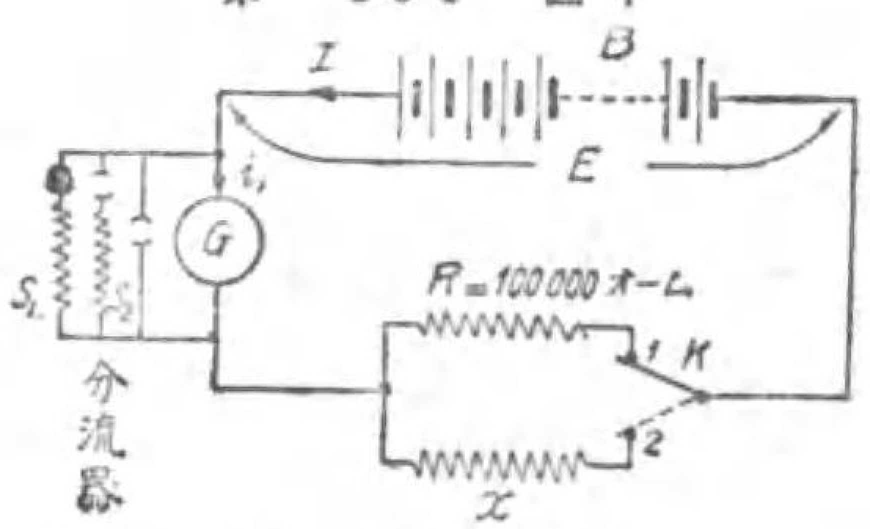
$$X=\frac{E}{I}\text{ オーム}$$

163. 絶縁抵抗の測定

抵抗の値が1メグオーム（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**（又は直偏法）と稱する方法がある。絶縁抵抗の樣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（卽ち 0.1 メグオーム）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 が檢流計 G と直列に出來る樣に開閉器 K を置き，又 100 ヴォルト乃至 200 ヴォルトの直流電源 B を接續して置く。又檢流計 G には分流器を並列に接續する。先づ開閉器 K を實線で示す樣に1の位置に入れて R を回路に接續し，檢流計の振れを讀み之を 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 を點線で示す樣に2の位置に入れて x

第 254 圖甲



高抵抗の測定法

を回路に接續し檢流計の振れを讀み之を d_2 とする。此時の分流器の抵抗を S_2 としその倍率を $m_2\left(=\frac{G+S_2}{S_2}\right)$ とせば，未知抵抗 x は次式で計算される。

$$x=\frac{m_1 d_1}{m_2 d_2}R=100000\,\frac{m_1 d_1}{m_2 d_2}\text{ オーム}=0.1\times\frac{m_1 d_1}{m_2 d_2}\text{ メグオーム}$$

此理由は次の通りである。今檢流計定數を K とする。初め R を回路に入れた場合の檢流計電流を i_1 とせば，

$$i_1=Kd_1=I\times\frac{S_1}{G+S_1}=\frac{E}{R+\frac{GS_1}{G+S_1}}\times\frac{S_1}{G+S_1}$$

$$=\frac{E}{\frac{G+S_1}{S_1}R+G}=\frac{E}{m_1R+G}\qquad（イ）$$

次に x を回路に入れた場合の電流を i_2 とせば，上と同樣にして，

$$i_2=Kd_2=\frac{E}{m_2x+G}\qquad（ロ）$$

（イ）式を（ロ）式で割つて，

$$\frac{d_1}{d_2}=\frac{m_2x+G}{m_1R+G}$$

此式から x を見出せば，

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

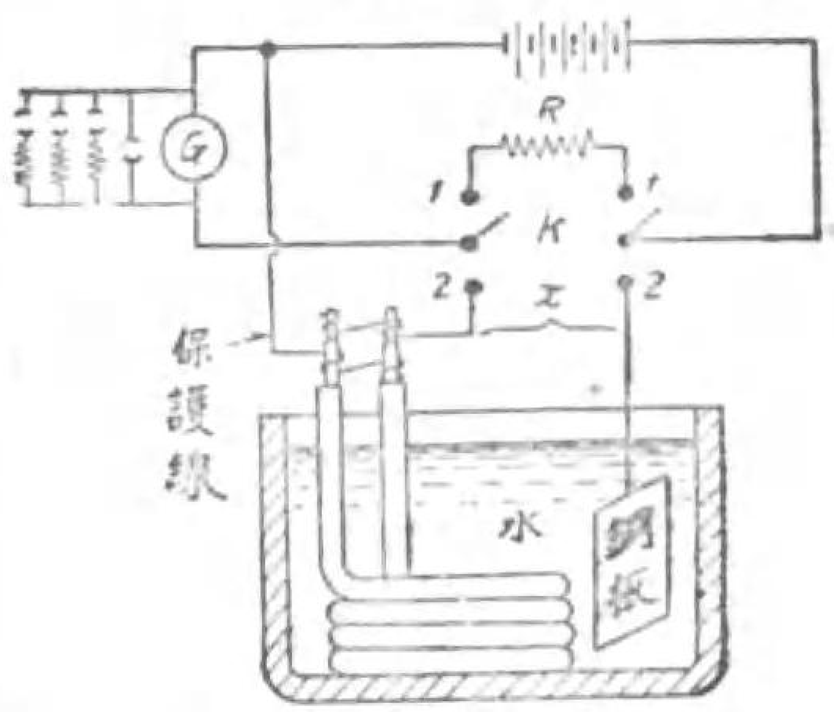
然るに普通檢流計の抵抗 G は測定すべき抵抗に比べて小さいか

ら G を無視することが出來る。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，上の原理を用ゐて測定する。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，電線の兩端を水面上に出し置き，外の被覆(ひふく)をはぎ，絶縁物を出して絶縁物一，二寸を殘して置く。心線は電源の陰極側に，又陽極側は銅板に接續さるゝ樣に開閉器 K を備へて置く。K を1に閉ぢて檢流計の振れ d_1 と分流器の倍率 m_1 を讀み取り次に K を2に閉ぢて絶縁抵抗 x を回路内に入れて檢流計の振れ d_2 と若しその時分流器を使つたらその倍率 m_2 とを讀み取り（普通は此場合は分流器は使はずに濟む卽ち $m_2=1$ が普通である）前に述べた式で x を計算する。尙ほ此場合には K を2に閉ぢて心線と外被間に電壓を與へると，絶縁物を通して漏洩する電流の外に絶縁抵抗に無關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檢流計に通ぜしめない爲めに圖に示す樣に絶縁物の表面に二三回銅線を捲き付けその他端を檢流計と電源の陰極間に接續するのである。此線を保護線(ほごせん)と稱する。

第 254 圖乙

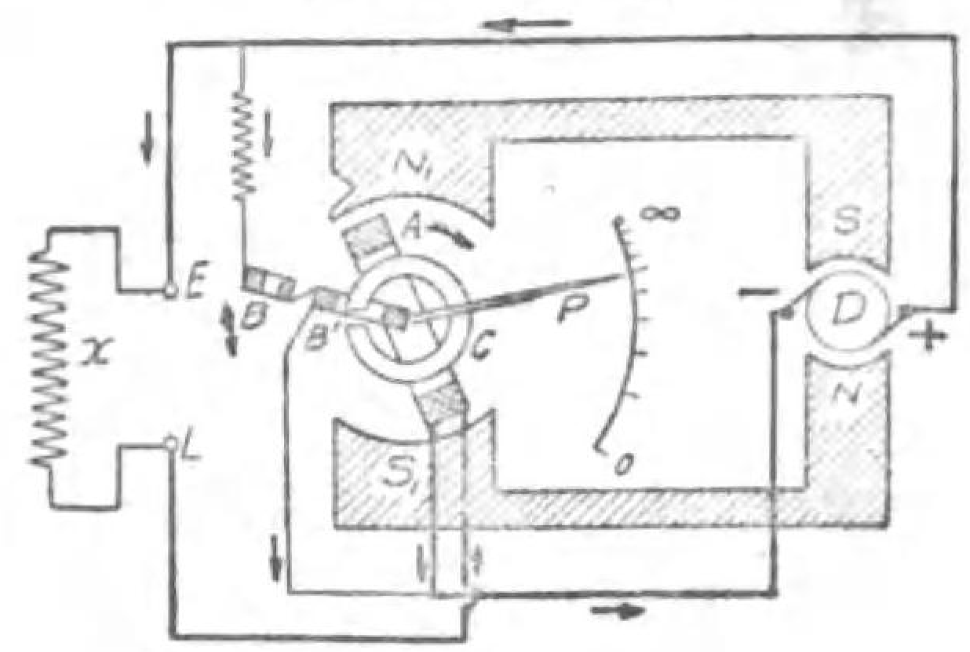


絶縁抵抗の測定法

164. メッガー

絶縁抵抗の値を直接に讀み取る事の出來る**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續される線輪で（之を**電流線輪**と稱する），BB' は電源に並列に接續されて電壓を受けるから之を**電壓線輪**と名付ける。（圖では，各線輪は斷面圖を示す）。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，之は電壓線輪 B' を貫いて居る。測らうとする未知絶縁抵抗 x を E, L の兩端子に接續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讀むのである。

第 255 圖



メッガー

メッガーの働作を說明しよう。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樣に作られて居る。若し兩端子 E, L を開いた儘にして抵抗を接(つな)がないで置くと，電流線輪 A には電流通じないが，電壓線輪 B 及 B' には電壓に比例する電

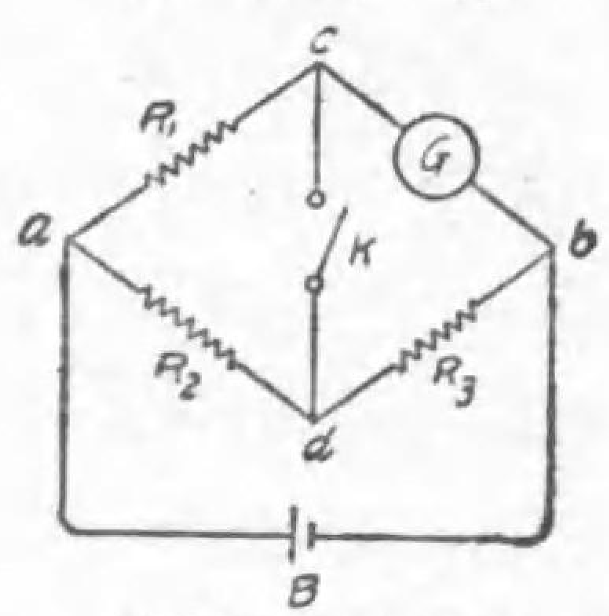
流が通ずるから電壓線輪は反時計式に廻はり，磁界の最も弱い位置卽ち鐵心 C の切れ目の處で靜止して，指針 P は無限大∞の目盛を指す。又若し E と L とを短路して置くと，電流線輪 A に最大の電流が通じ線輪は時計式に廻はり指針は零を指す。若し圖の様に E, L 間に或る抵抗 x を接げば，各線輪に電流通じ，電壓線輪の反時計式方向の廻轉力と電流線輪の時計式方向の廻轉力と釣合つた位置に線輪は靜止して，指針 P はその時の x の抵抗の値を目盛上に示す譯である。メッガーの様に直に抵抗の値を讀み得る様な測定器を一般に**直讀抵抗測定器**と稱する。

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　ホヰートストーン・ブリッヂの原理を應用して，檢流計の抵抗を他の檢流計を使用しないで測定する**ケルヴィン氏の方法**を述べよう。第 256 圖はケルヴィン氏法の接續を示すものである。抵抗を測定しようとする檢流計 G をホヰートストーン・ブリッヂの一邊に接續し，a, b 間に電池を接續し，他の檢流計を接續すべき位置卽ち c, d 間には電鍵 K を備へて置く。一般には K を開いた場合と閉ぢた場合とは檢流計の振れは違

第 256 圖



檢流計の抵抗測定法

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 を閉ぢた場合と開いた場合の檢流計の振れは等しくして變はらない場合がある。此場合には K を閉ぢ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 を閉ぢた時でも cKd には電流が通じない事が分る。從つて此場合にホヰートストーン・ブリッヂの原理により，ブリッヂの相對する邊の抵抗の相乘積は相等しい。卽ち檢流計の抵抗を G とせば，

$$G R_2 = R_1 R_3$$

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

此式から檢流計の抵抗を計算する事が出來る。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 を閉ぢ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。

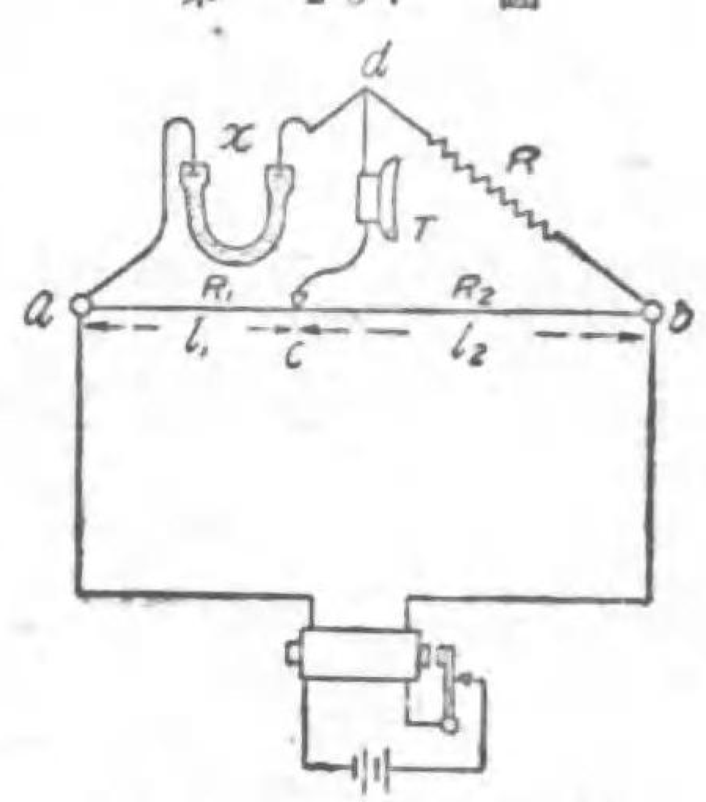
$$G=\frac{R_1}{R_2}R_3=\frac{100}{10}\times 60=600 \quad \text{オーム}$$

（ロ） 電解液の抵抗測定法　電解液に一定方向の電流卽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**と稱する（第三章 43 節を參考せよ）。故に電解液の抵抗はホヰートストーン・ブリッヂによつては測定出來ない。何故なればホヰートストーン・ブリッヂの一邊の未知抵抗として電解液を接續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・ブリッヂ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**コールラウシュ・ブリッヂ**と稱するものを用ひる。之はホキートストーン・ブリッヂに似て居るが，只試驗用の電源としては，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，從つて又交流の有無を檢する檢電器として普通の檢流計の代りに電話受話器を用ひる。第257圖はコールラウシュ・ブリッヂを示すもので，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 間に接續してある。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樣に c とすれば，ホキートストーン・ブリッヂの原理と全く同樣に未知抵抗は次式で計算される。

第 257 圖



コールラウシュ・ブリッヂに依る電解液の抵抗測定法

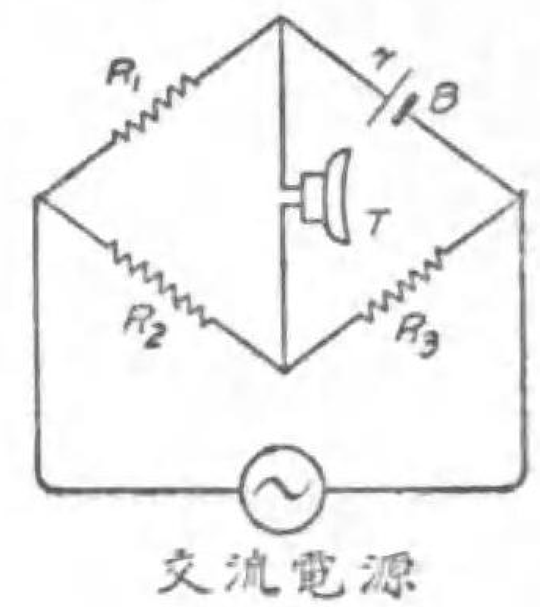
$$X=\frac{R_1}{R_2}R=\frac{l_1}{l_2}R \text{ オーム}$$

此方法では電源に交流を使用するから，電流の方向が絕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) 電池の內部抵抗の測定　コールラウシュ・ブリッヂを應用

して電池の內部抵抗を測定する事が出來る。第258圖に示す樣に，誘導線輪の交流電源を使用し（圖中 $\sim$ は交流電源の一般略記號である）ブリッヂの一邊に內部抵抗 r を測定しようとする電池 B を接續し，R_1 R_2 R_3 の抵抗を適當に加減して受話器に音が聞こえない時は，電池の內部抵抗 r は次式で計算される。

第 258 圖



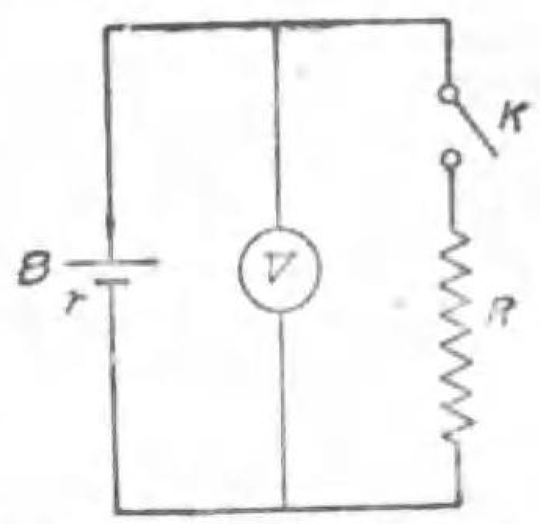
コールラウシュ・ブリッヂに依る電池の內部抵抗の測定法

$$r=\frac{R_1}{R_2}R_3 \text{ オーム}$$

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作し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內部抵抗を測定するには電壓計と既知抵抗とを使用して測定する事が出來る。第259圖は此方法を示すものである。B は內部抵抗を測定しようとする電池，V は電壓計で，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壓卽ち起電力を電壓計で讀み之を E_0 とする。次に K を閉ぢて抵抗 R に電流を通じた場合の端子電壓卽ち此時の電壓計の讀みを取り之を E_1 とすれば，此時回路に通ずる電流 $I=\frac{E_0}{R+r}$ であるから，

第 259 圖



電壓計と抵抗とを利用して電池の內部抵抗を測る法

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

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

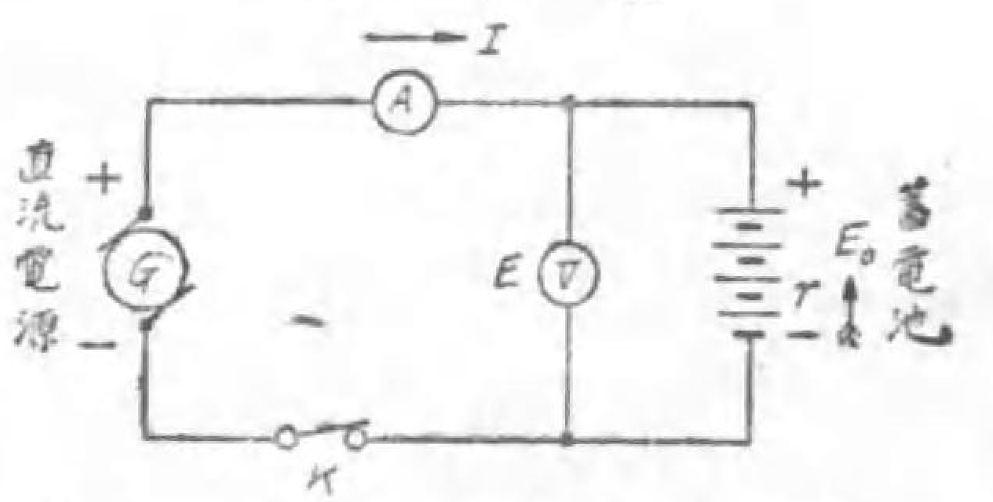
此式の分母を拂つて，電池の內部抵抗 r を求むれば次式の通りになる。

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

（二）蓄電池の內部抵抗の測定　蓄電池の充電及び放電の場合の內部抵抗 r を測定するには電壓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 圖に示す樣に，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 で讀み取り，又此時の蓄電池の兩端子間の電壓を電壓計 V で讀み之を E とする。次に開閉器 K を開いて蓄電池の開路電壓卽ち起電力を電壓計で讀み之を E_0 とする。然らば，K を閉ぢて居た時は，蓄電池及電壓計の回路にキルヒホッフ法則を應用すれば，蓄電池の內部抵抗を r とせば，

第 260 圖



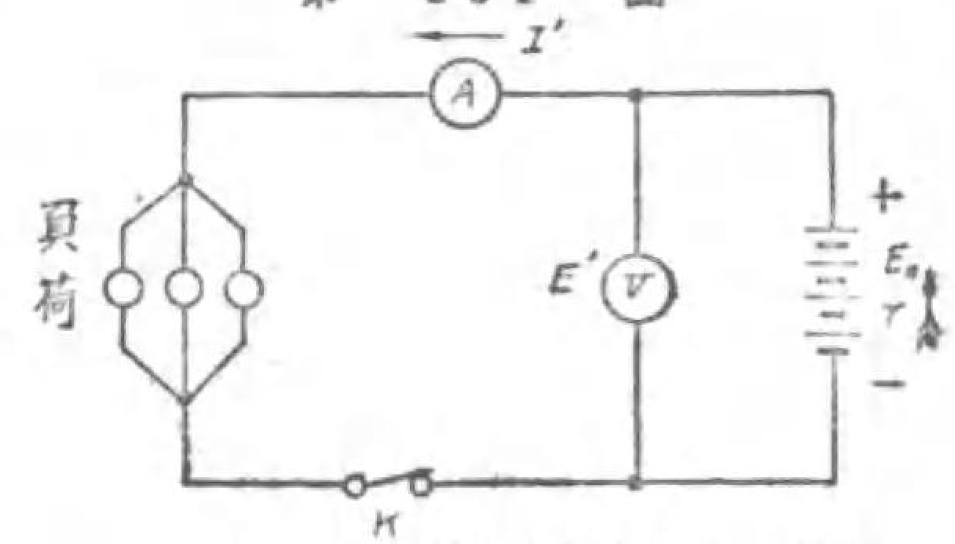
蓄電池の內部抵抗測定法（充電の場合）

$$Ir = E - E_0$$

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

又放電の場合は　第 261 圖に示す樣に，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 で讀み，又此時の蓄電池の兩端子間の電壓を電壓計 V で讀み之を E' とする。次に開閉器 K を開いて蓄電池の起電力 E_0 を電壓計で讀む。

第 261 圖



蓄電池の內部抵抗測定法（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。

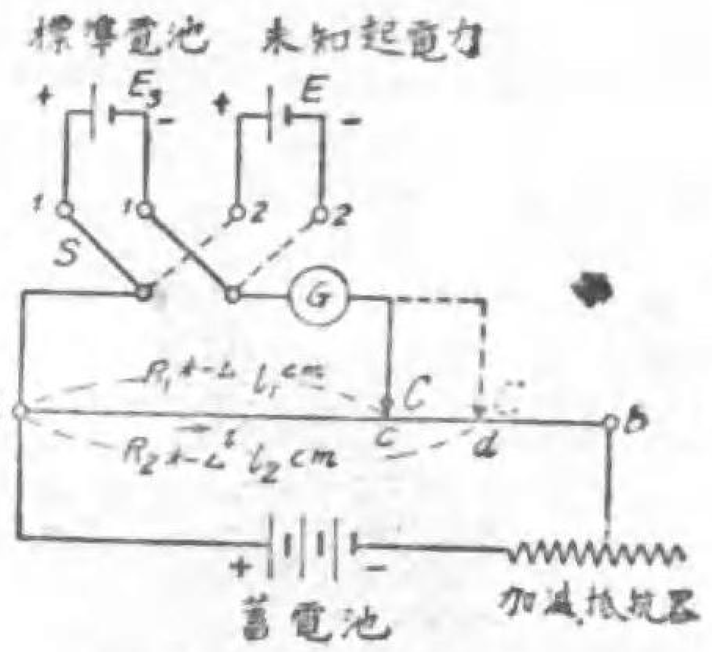
4. メッガーは何に用ひるものか。

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　電壓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) の位置に閉ぢて標準電池 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。

第 262 圖



電位差計の原理

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。($acGE_sa$ 回路にキルヒホッフ第二法則を應用しても分かる)

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

次に，切替開閉器 S を (2) の位置に閉ぢて（點線で示す樣に），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 $adGEa$ 回路にキルヒホッフ第二法則を應用して分かる）即ち，

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

(ロ)式を(イ)式で邊々割れば

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

$$\therefore \quad E = E_s \times \frac{R_2}{R_1} \cdots\cdots\cdots\cdots(ハ)$$

即ち上式で，未知起電力 E は計算出來る。而してウエ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(ハ)は次の樣になる。

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

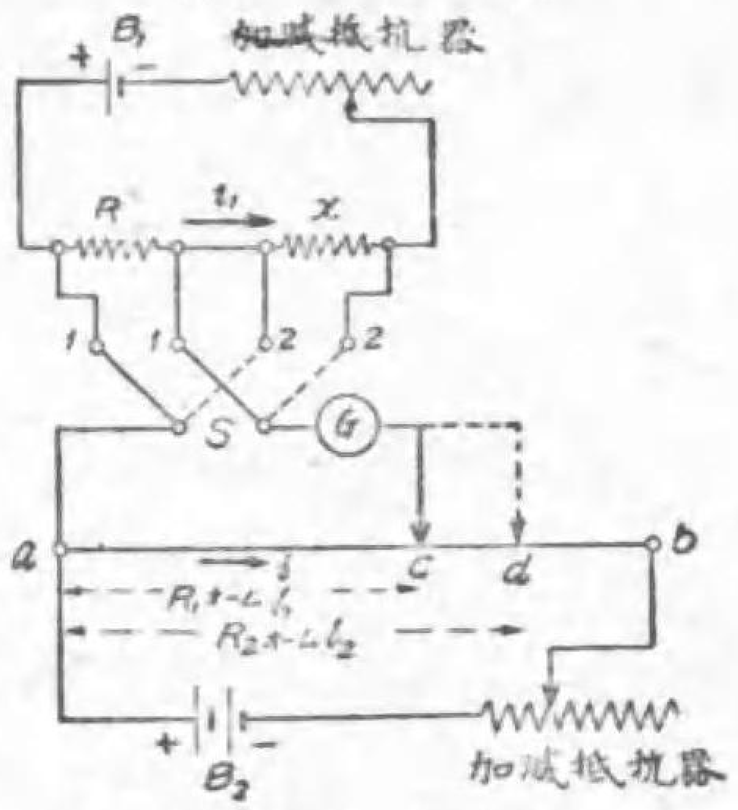
以上が電位差計の原理である。蓄電池に直列に接續された加減抵抗器は抵抗線に適當な一定電流 i を通ずる爲めに備へたものである。尙ほ實際の電位差計では，接觸子の位置から直ちに未知起電力が讀み得る樣に出來て居る。

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壓，電流等を測ることが出來る。玆に其方法を述べよう。

(イ) 低抵抗の測定　第 263 圖は未知低抵抗 x を測定する接續である。旣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 から適當な電流 i_1 を通じ置く。先づ開閉器 S を (1) の位置に閉ぢ檢流計 G の振れない時の接觸子の位置を c とすれば，R の電壓降下は ac の電壓降下と等しい。次に開閉器 S を(2)の位置に閉ぢて又檢流計の振れない時の接觸子の位置を d とすれば，x の電壓降下は ad の電壓降下に等しい。故に次の關係がある。

第 263 圖



電位差計を應用して低抵抗を測る法

$$\frac{i_1 x}{i_1 R}=\frac{i\times R_2}{i\times R_1}=\frac{il_2}{il_1}\qquad \therefore\ \frac{x}{R}=\frac{l_2}{l_1}$$

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

で未知抵抗 x の値が計算される。

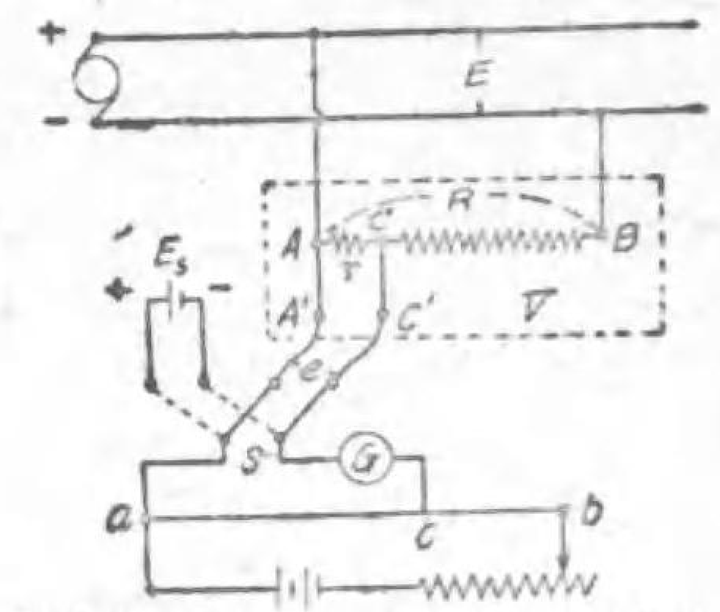
（ロ） **直流電壓の測定**　約 2 ヴォルト以下の電池の起電力の様な低い電位差を測るには前節に述べた通りであるが，高い電壓を測るには**ヴォルト函**（又は分壓器とも名付ける）なるものを使用して電位差計で測定することが出來る。第 264 圖は直流電壓 E を測定する接續を示すものである。V は分壓器で，一組の高い抵抗 (R) を有する線輪 AB より成り，之に $\frac{R}{10}$ 又は $\frac{R}{100}$ 等の様な口出線 AA', CC' がある。AB は E が 150 ヴォルト位では約 10,000 オームの抵抗で作られて居る。

先づ電位差計で $A'C'$ 間の電壓を測り之を 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，

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

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

第 264 圖



電位差計に依り直流電壓を測る方法

此式で未知電壓 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壓が $e=1.053$ ヴォルトであつたとすると，未知電壓 E は，

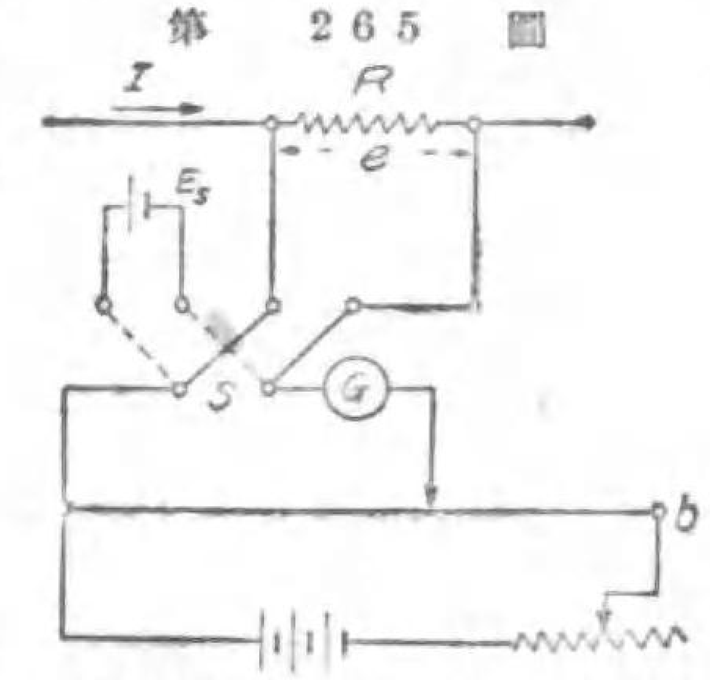
$$E=1.053\times\frac{10000}{100}=105.3 \quad \text{ヴォルト}$$

（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 の兩端の電壓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來る。第265 圖は直流電流の測定の接續圖である。電位差計に依つて R の兩端の電壓を測り之を e とすると，

$$e=IR$$

$$I=\frac{e}{R} \quad \text{ヴォルト}$$

第 265 圖



電位差計に依り直流電流を測る法

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，

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

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

以上に述べた電位差計によつて電壓，電流を測定するのは精密を要する場合であつて，日常の電氣工業上では，電壓，電流は次章に述べる電壓計，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. 大なる直流電壓を電位差計を用ひて測るには外に何が必要か。又其時の接續圖を畫いて見よ。

3. 直流電流を電位差計を用ひて測るには外に何が必要か。又其時の接續圖を畫いて見よ。

第二十二章 電壓計及電流計

168. 電壓計と電流計とは構造は違ふが働作原理は同一である 電壓のヴォルト數は電壓計で，又電流のアムペア數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，以下に電壓計及電流計の構造及び働作の原理を說明しよう。

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，電壓計はそれの受けた電壓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。卽ち**電壓計，電流計は何れもそれに通ずる電流によつて働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續するから電流計を接續しなかつた場合よりも其電流計の有する抵抗丈け增し，其電路の狀態が變はる事になる卽ち電流計を接續した爲めに其電流計の電壓降下がある。從つて之を出來る丈け少くする爲めに**電流計の抵抗は出來る丈け低いものでなければならぬ。**又電壓計は 99 圖及 100 圖に示す通り，電壓を測らうとする電路の部分に並列に接續するから電壓計の內部にも電壓計の受けた電壓に比例する電流が通ずる。卽ち電壓計を接續しなかつた場合と電路の狀態が變はる事になる。電壓計を接續しても電路の狀態を

變へない樣にする爲めには出來る丈け電壓計に通ずる電流を少くすべきである。從つて**電壓計の有する抵抗は出來る丈け高いものでなければならぬ**。此樣に電壓計と電流計とは構造は違ふが働作原理は同一である。

169. 電壓計及電流計の分類 一般に直接實用單位で以て電氣の色々の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內でも，指針を有して居て其指針で測定しようとする量を指し示す計器を**指示電氣計器**と稱する。電壓計や電流計は指示電氣計器に屬するものである。

電壓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（之には電流計は無く電壓計丈けある）。

(6) **誘導型計器** .... 電磁誘導作用を利用したもの。

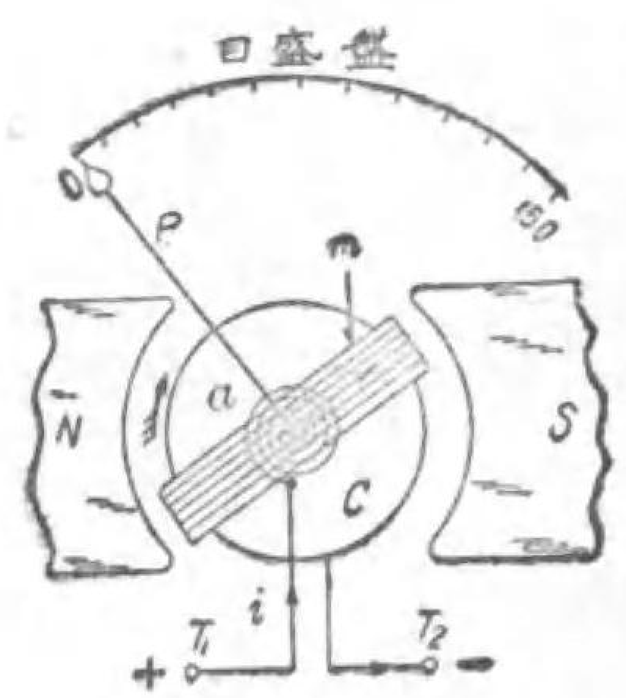
以上六種の中で (1) は直流回路に丈けしか使用出來ない，(2) から (5) までのものは直流及交流回路の何れにも用ふる事が出來る。(6) は交流回路のみに使用されるものである。玆では之等の中の可動線輪型計器と電流力計型計器とに就いて說明しよう。尙ほ第 12 章で說明した熱電流計は上の (4) に屬する一種類である。

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來て居る。第 266 圖甲，乙は可動線輪

第 266 圖 甲

可動線輪型電流計の內部構造

第 266 圖 乙

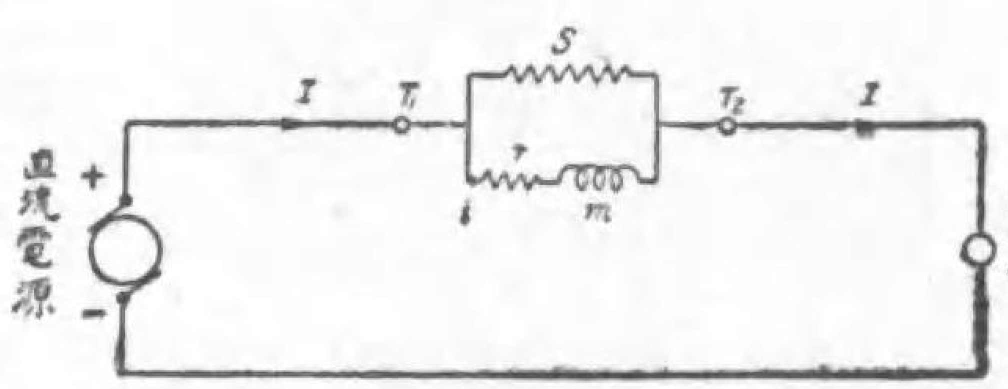


可動線輪型計器の略圖

型計器の主要部を示すものである。耐久磁石の二極 NS の作る磁界內に圓筒狀軟鐵心 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 を上下に裝置してある。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 端子を接續して圖に示す樣に線輪に電流を通ずると左手三指の規則に從つて線輪 m は電磁力を受けて矢の方向に廻轉する。卽ち電流に比例する加動廻轉力を生ずる。然るに線輪が廻はると彈條 a の爲めに反對方向に戻さうとする廻轉力卽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。從つて指針 P は目盛盤上に記されたアムペア數又はヴオルト數を指すのである。尙ほ此計器の制動裝置としては檢流計と同樣に線輪をアルミニウム枠に捲いてある。卽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輕く出來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來ない。依つて**電流計**の場合には之に適當の並列抵抗卽ち**分流器**が接續されて居る。尙ほ溫度の影響を少くするために可動線輪 m にもマンガニン抵抗 r が直

第 267 圖

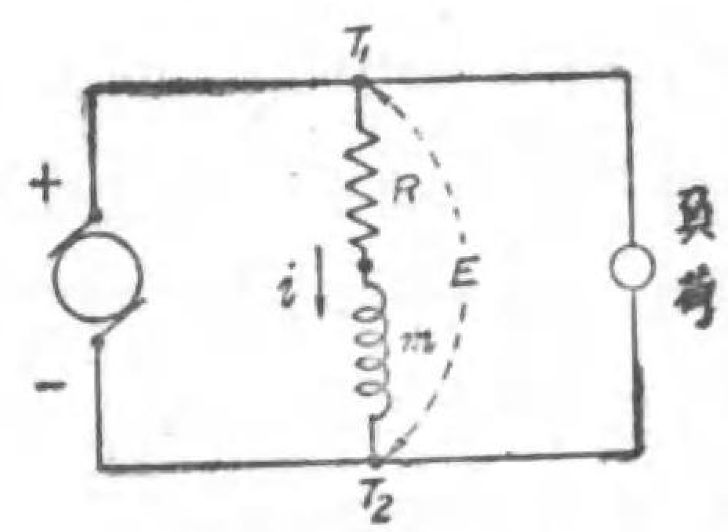


可動線輪型電流計の接續を示す。

列に接續されてある。第 267 圖は可動線輪型電流計の接續圖を示す略圖で m は可動線輪，S はマンガニン製の分流器である。電流 I を測定しようとする電路に圖に示す樣に電流計の端子 T_1, T_2 を接續すると，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**は前に述べた樣に可動線輪に通ずべき電流は出來る丈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續されてある。此可動線輪に直列に接續された抵抗を電壓計の**倍率器**と稱する。第 268 圖は可動線輪型電壓計の接續を示す略圖である。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オルト數を示す。目盛盤上には E なる電壓の値が示されるのである。

第 268 圖



可動線輪型電壓計の接續を示す。

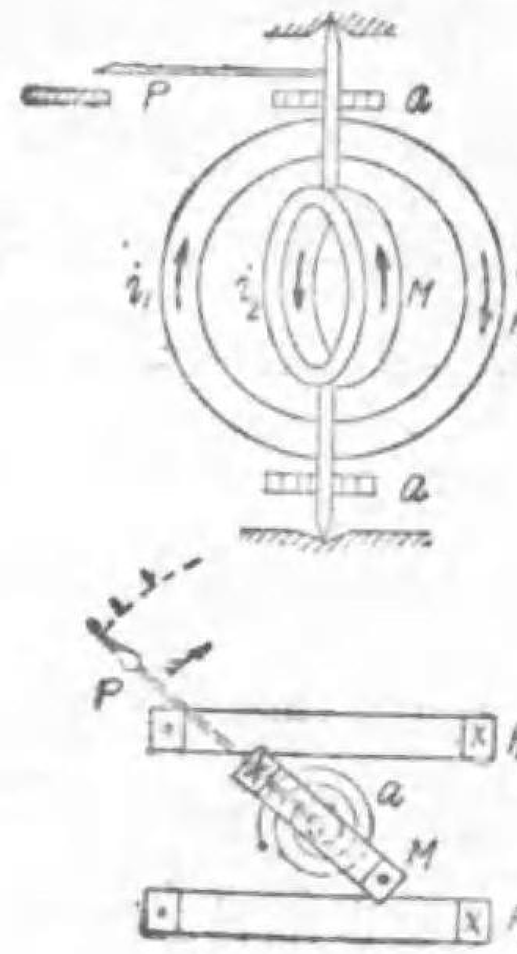
電流計の分流器や電壓計の倍率器はマンガニン抵抗で出來て居る。

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。卽ち固定された線輪と動く事の出來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乘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。甲は横から見た斷面圖で，乙は上から見た斷面圖である。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 の相乘積に比例する電流力作用の爲めに時計式方向に廻はる。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。從つて可動線輪の軸に取付けられた指針は目盛盤上にヴオルト數又はアムペア數を示す譯である。

第 269 圖

甲 乙

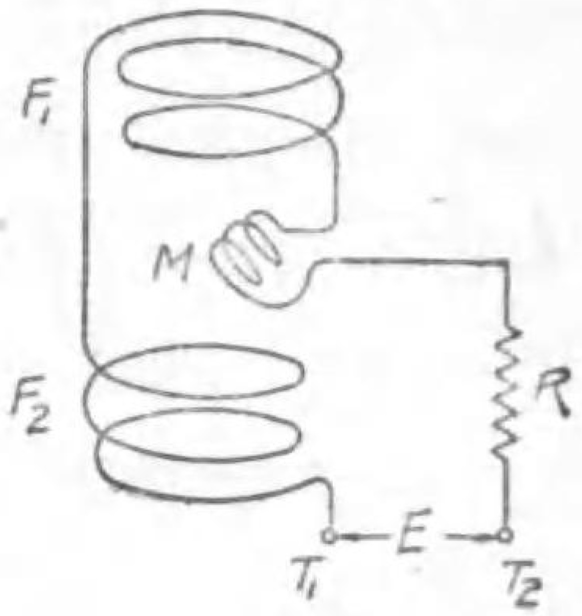


電流力計型計器

尙ほ實際に於ては**電壓計**の場合は，第270圖に示す樣に，固定線輪 F_1, F_2 と可動線輪 M とは直列に接續され尙ほ之に倍率器 R が直列に接續されて居る。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續すると，固定線輪及可動線輪には同一の値の小電流が通じ，從つて其電流

の自乘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オルト數は E の値である。

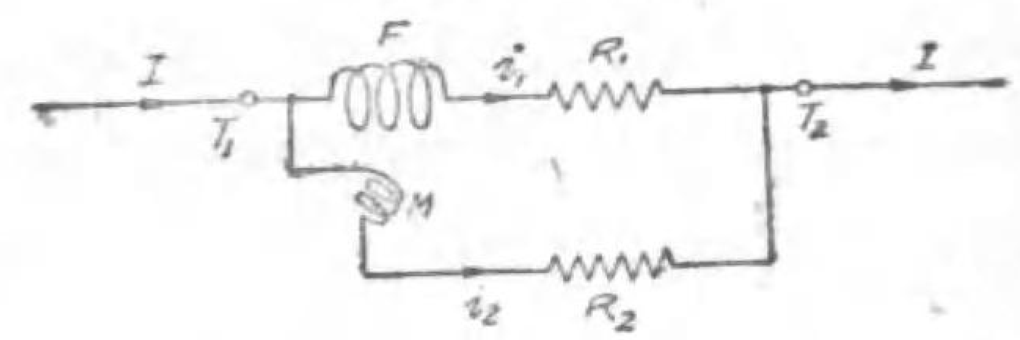
第 2 7 0 圖



電流力計型電壓計の內部接續

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來ないから，第271圖の樣に可動線輪 M と固定線輪 F とを並列に接續する。尙ほ各線輪には別々にマンガニン直列抵抗 R_1, R_2 が接續されて居る。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續すると，固定線輪に i_1，可動線輪に i_2 なる電流が分流し，從つて可動線輪は i_1, i_2 の相乘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 の自乘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。

第 2 7 1 圖



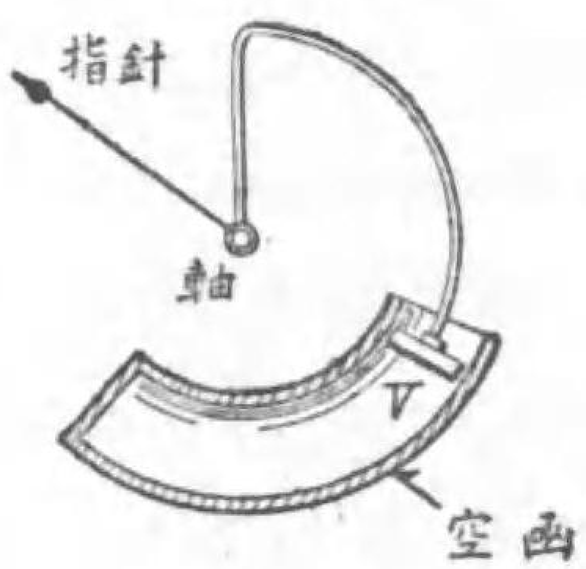
電流力計型電流計の內部接續。

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

交流に用ひ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オルト數は凡て實效値である。

電流力計型計器の制動裝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裝置としては第 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



空氣制動裝置

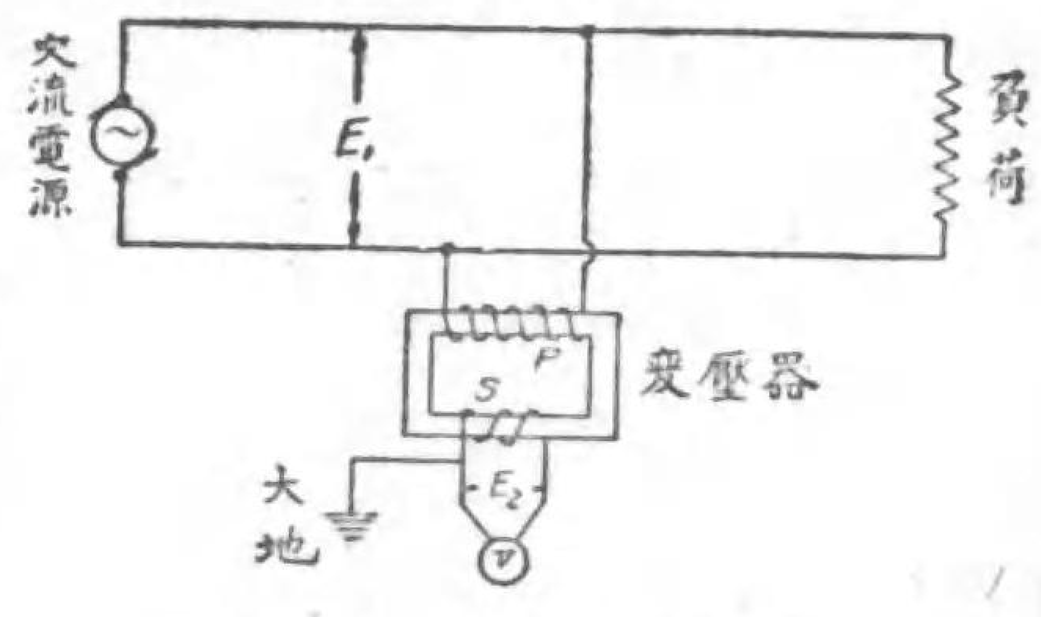
172. 高電壓の交流回路用計器は變成器と共に用ひる

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來る。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續を示すものである。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 2 7 3 圖

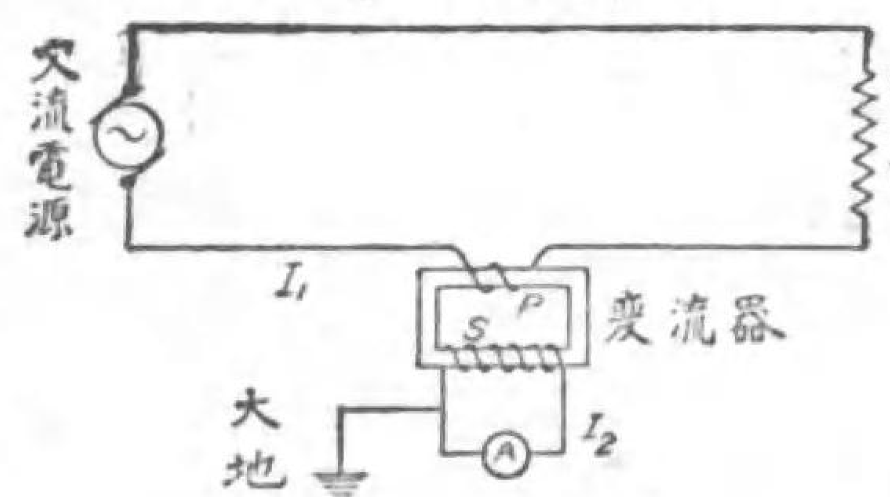


高電壓用電壓計の接續を示す。

普通變壓器は二次電壓が最大 100 ヴオルト位になる様に設計されてある。さうして之に接續された電壓計 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續を示すものである。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。さうして之に接續された電流計 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。

第 2 7 4 圖



高電壓用電流計の接續を示す

上の様に高電壓の電路に於て變成器を使用する場合には取扱者に危險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續圖を畫いて見よ。
2. 負荷の電流を電流計で測る場合の接續圖を畫いて見よ。
3. 電壓計と電流計とは働作原理が同一である事を說明せよ。
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來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。又其接續圖を畫いて見よ。
7. 高電壓の交流回路用電流計附屬器は何か。又其接續圖を畫いて見よ。

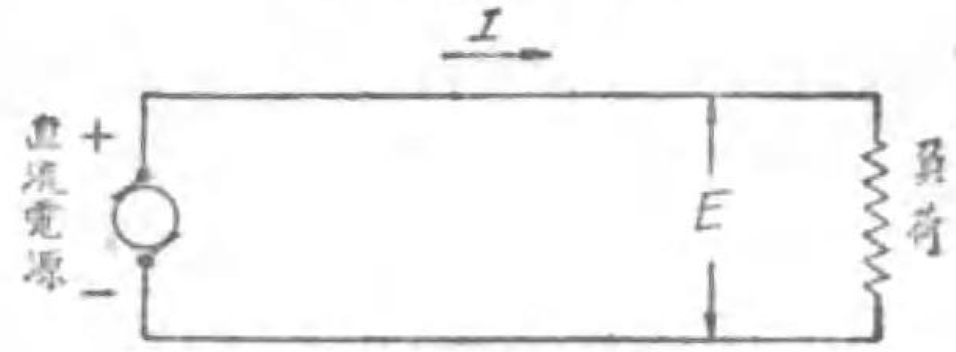
第二十三章 電力の測定

173. 直流電力は電壓計と電流計とを用ひて測る事も出來る。 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，

$$P=EI \quad \text{ワット}$$

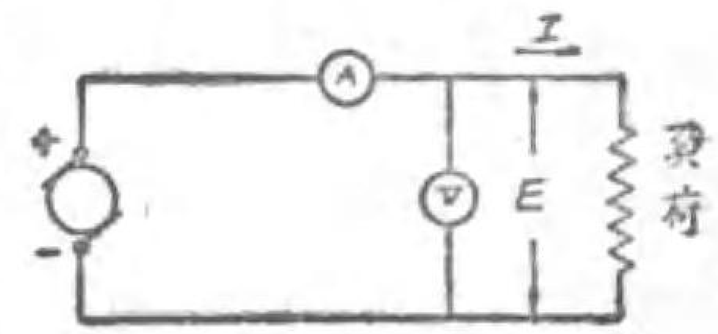
である。故に電壓 E を讀むべき電壓計と電流 I を讀むべき電流計とを接續して，兩計器の讀みの相乘積を取れば之が求むる負荷の電力 P である。即ち第275圖乙の様に電壓計 V 及電流計 A を接續して，各の讀みの相乘積を取ればよい。又は丙圖の様に電壓計及電流計を接續して，各の讀みの相乘積を取つてもよい。

第 275 圖甲

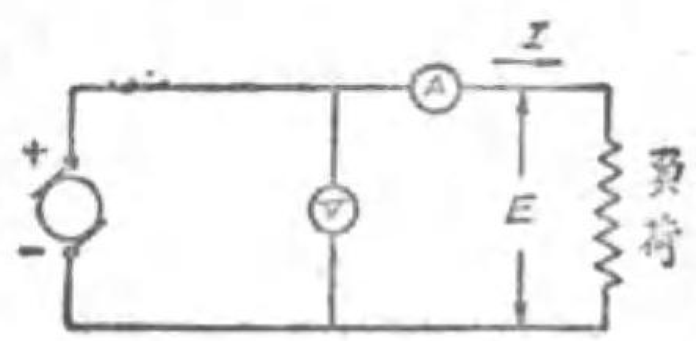


直流電力 $P=EI$ ワット

第 275 圖乙



第 275 圖丙



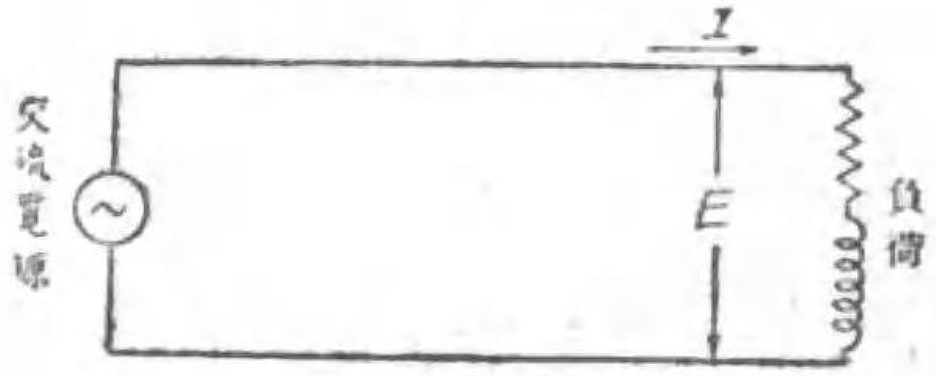
電壓計及電流計による直流電力の測定

尤も嚴密に考へると第275圖乙，丙の接續で負荷電力を上の様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は電壓計の讀みは負荷電壓 E である

が，電流計の讀みは負荷電流 I と電壓計に通ずる小電流との和であるから，兩計器の讀みの相乘積は負荷電力 P よりは少し大になる。又丙圖の接續では，電流計の讀みは負荷電流 I であるが，電壓計の讀みは負荷電壓 E と電流計の電壓降下との和であるから，兩計器の讀みの相乘積は負荷電力 P よりは少し大になる譯である。然し電壓計に通ずる電流は小で又電流計の電壓降下は小になる樣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讀みの相乘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壓計と電流計と丈けを使つて上の樣にしては測られない。何故なれば，第 276 圖に示す樣な交流回路があつて負荷の電壓（實効値）が E ヴォルト，負荷電流（實効値）が I アムペアである場合は負荷の電力 P は，

第　276　圖



交流電力 $P=EI\times$(力率)

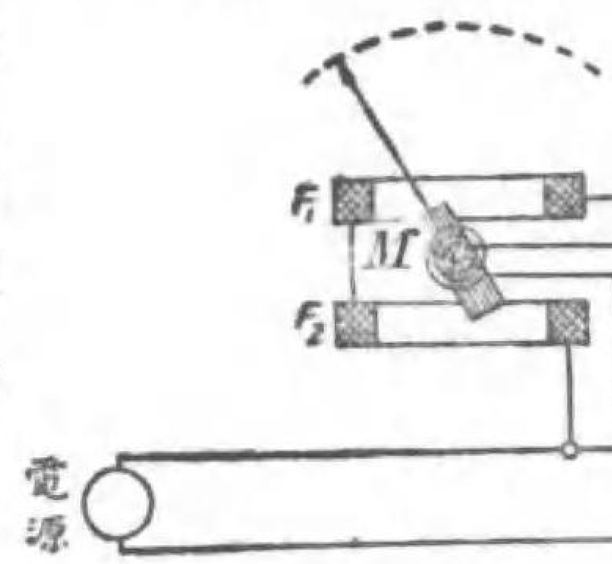
$$P=EI\times(\text{負荷の力率})\ \text{ワット}$$

であるから，E, I は夫々交流電壓計，交流電流計で直に測れるが，力率が不明であるから，電壓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（でんりよくけい）で測定する。又以下特に斷はらなくても交流の場合の電壓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

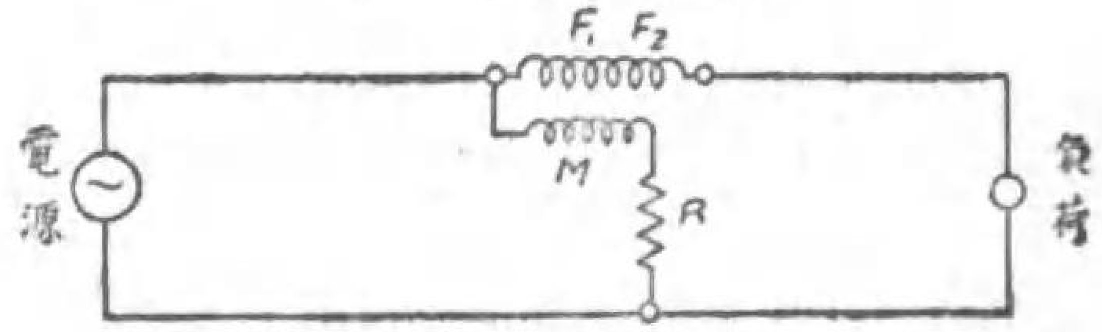
普通使用される電力計は電流力作用を利用した電流力計型電力計である。之は前に述べた電流力計型計器と同樣な構造で，即ち固定線輪と可動線輪とを有し，可動線輪には制御用彈條を備へて居る事は電壓計電流計と同樣で只其接續が違ふばかりである。其接續は第 277 圖甲の樣になつて居る。固定線輪 F_1, F_2 は負荷に直列に接續されて之には負荷電流 I が通じ，可動線輪 M には直列抵抗 R が接續されて，負荷電壓を受ける樣に接續されて居る。從つて可動線輪には電壓 E に比例する電流が通じ，其電流と固定線輪に通ずる負荷電流との相乘積に比例する電流力により可動線輪は加動廻轉力を生ずる。從つて加動廻轉力は負荷電力に比例する。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數が目盛されてある。故に此電力計によつて直に指針の指示するワット數が讀み得る。之が指示電力計の原理である。甲圖を簡單に畫くと乙圖の樣になる。固定線輪 F_1 F_2 は負荷に

第　277　圖甲



電流力計型電力計

第　277　圖乙

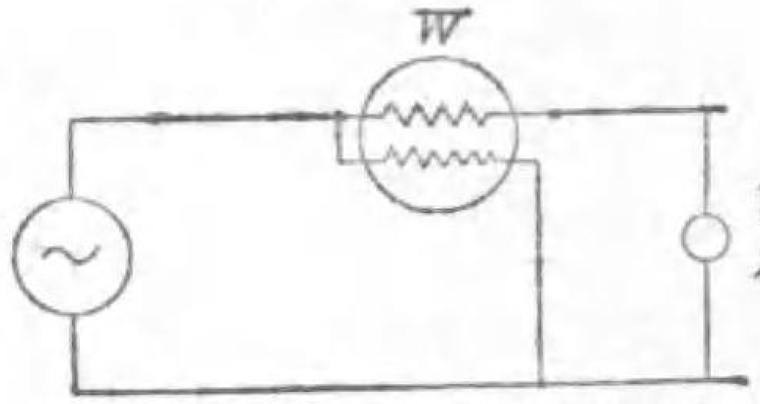


直列に接續されて負荷電流が通ずるから之を**電流線輪**（又は**直列線輪**）と稱し，可動線輪 M は負荷に並列に接續されて負荷電壓を受けるものであるから之を**電壓線輪**（又は**分流線輪**）と稱する。

175. 單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，單相交流電力を，前節に述べた電流力計型電力計を以て直接ワットで讀む事が出來る。即ち電力計を第 278 圖に示す様に接續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。

第 278 圖



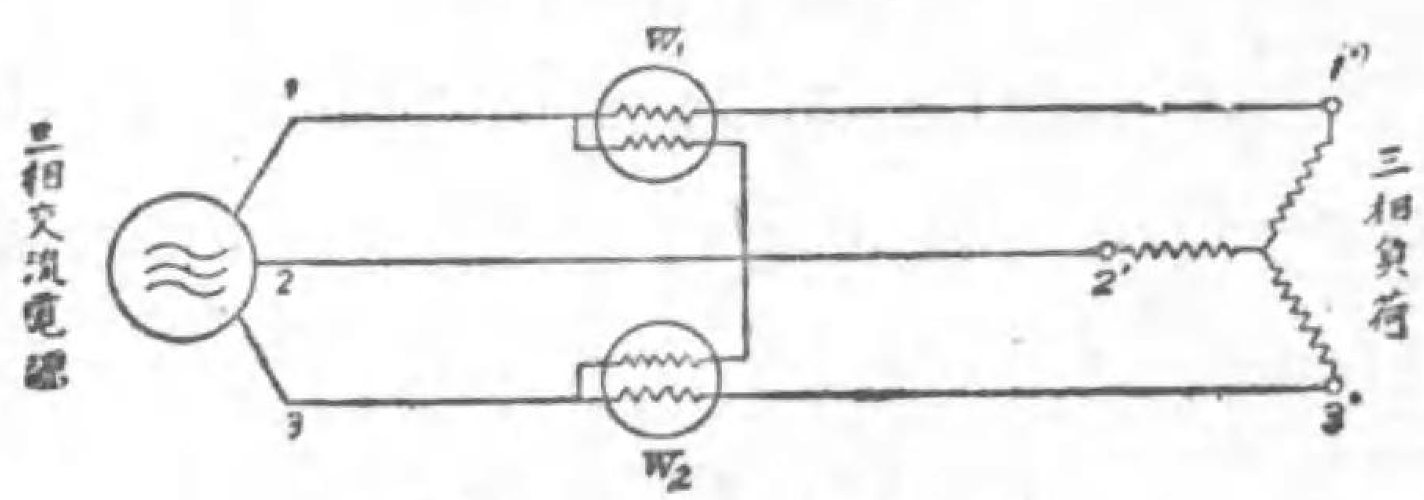
電力計によつて單相交流電力を測定する時の接續圖

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續を示すもので，W_1, W_2 は二個

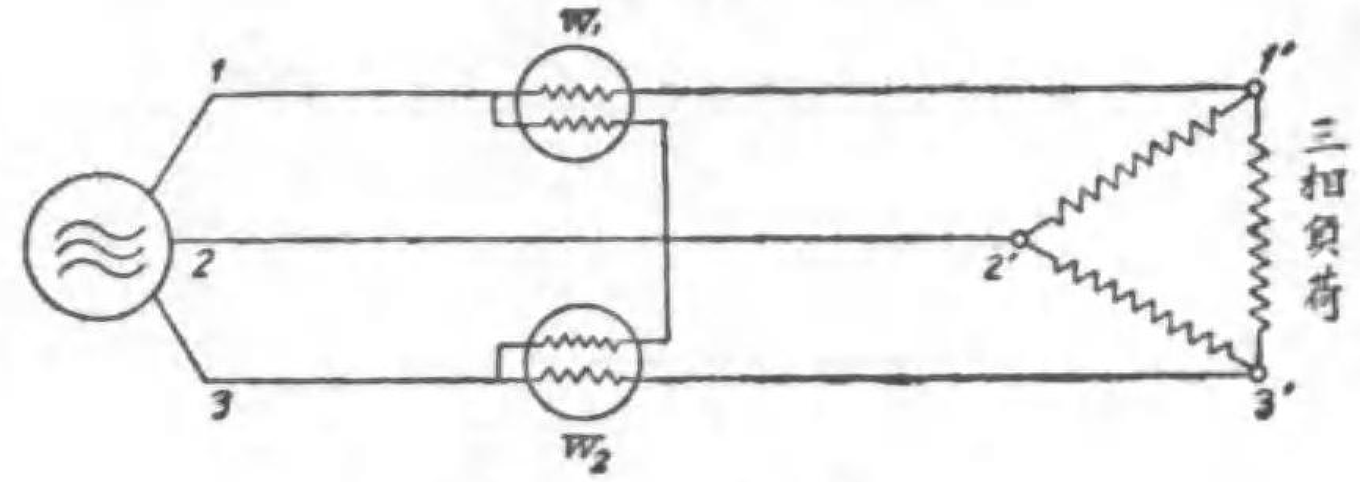
第 279 圖甲



三相交流電力の測定法（二電力計法）

の電力計である。W_1 の電流線輪を 1 線に直列に接續し，その電壓線輪を 1 線と 2 線の間に接續し，又 W_2 の電流線輪を 3 線に直列に接續し，その電壓線輪を 3 線と 2 線との間に接續する。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

第 279 圖乙



二電力計法

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續は同樣にして，（乙圖參照）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法であるが，その理窟の說明は省略する。

177. 力率の測定法

單相交流回路及平衡三相回路の力率を測定する方法を說明しよう。

（イ） 單相交流回路の力率の測定法　單相交流回路の負荷の電壓を 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

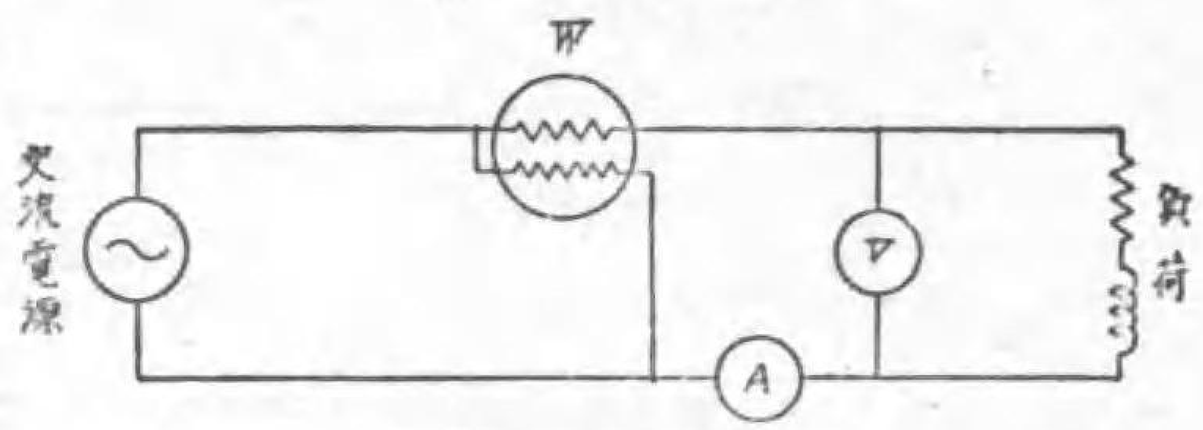
$$P=EI\times(\text{力率})\quad \text{ワット}$$

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，電壓 E を測る電壓計 V，電流 I を測る電流計 A を第 280 圖の樣に接續して，各計器の讀みを夫々 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が出來る。例へば，圖の接續で，電力計 W の讀みが 400 ワット，電壓計 V の讀みが 100 ヴォルト，電流計 A の讀みが 5 アムペアであるとすると，此負荷の力率は，

第 280 圖



單相負荷の力率の測定法

$$(\text{力率})=\frac{P}{EI}=\frac{400}{100\times5}=0.8=80\ \text{パーセント}$$

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壓が 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，

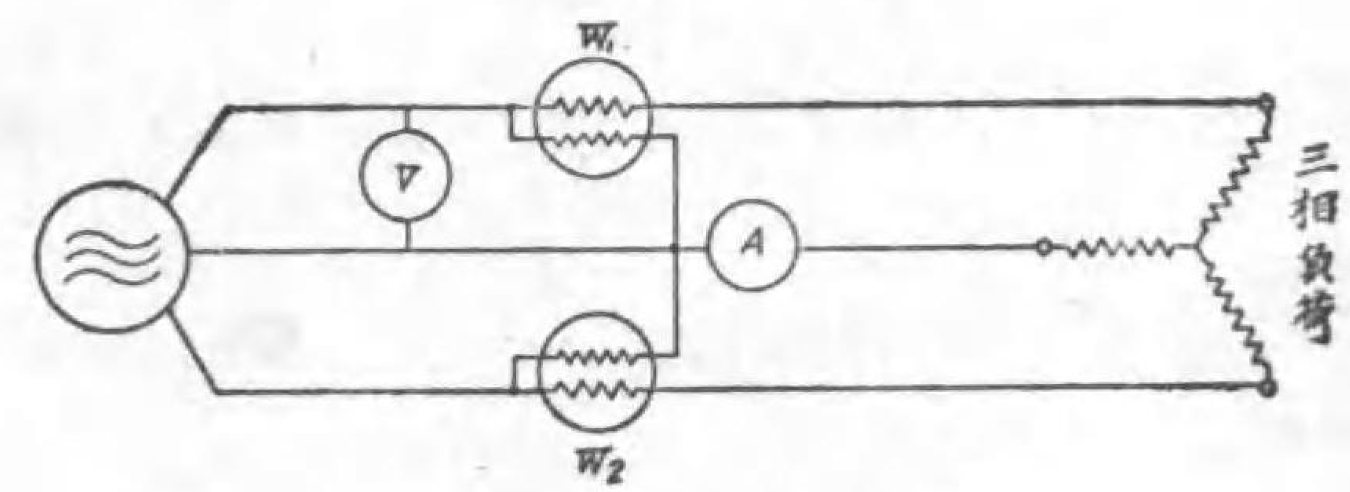
$$P=\sqrt{3}\,EI\times(\text{力率})\qquad \text{ワット}$$

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。

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

故に，第 281 圖に示す樣に三相電力 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）又線間電壓を測る電壓計 V，線路電流を測る電流計 A を接續して，各計器の讀みを取り，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來る。例へば，圖の接續で，W_1 の讀みが 500 ワット，W_2 の讀みが 250 ワット，V の讀みが 100 ヴォルト，A の讀みが 5 アムペアであつたならば，力率は，

$$(\text{力率})=\frac{P}{\sqrt{3}\,EI}=\frac{(500+250)}{\sqrt{3}\times100\times5}=\frac{750}{\sqrt{3}\times500}$$

$$=\frac{3}{\sqrt{3}\times2}$$

$$=\frac{\sqrt{3}}{2}=0.866$$

$$=86.6\ \text{パーセント}$$

である。

練習問題　XXIII

1. 電壓計と電流計とを用ひて直流電力を測る場合の接續圖を畫いて見よ。

2. 電力計を用ひて直流電力を測る場合の接續圖を畫いて見よ。

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故，電力量は次の樣に表はされる。

$$W=P\times t$$

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讀みと使用した時間とから計算出來る譯である。然し電力 P が一定でない場合には此樣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，

$$W=P_1t_1+P_2t_2+P_3t_3+P_4t_4+P_5t_5$$

である。

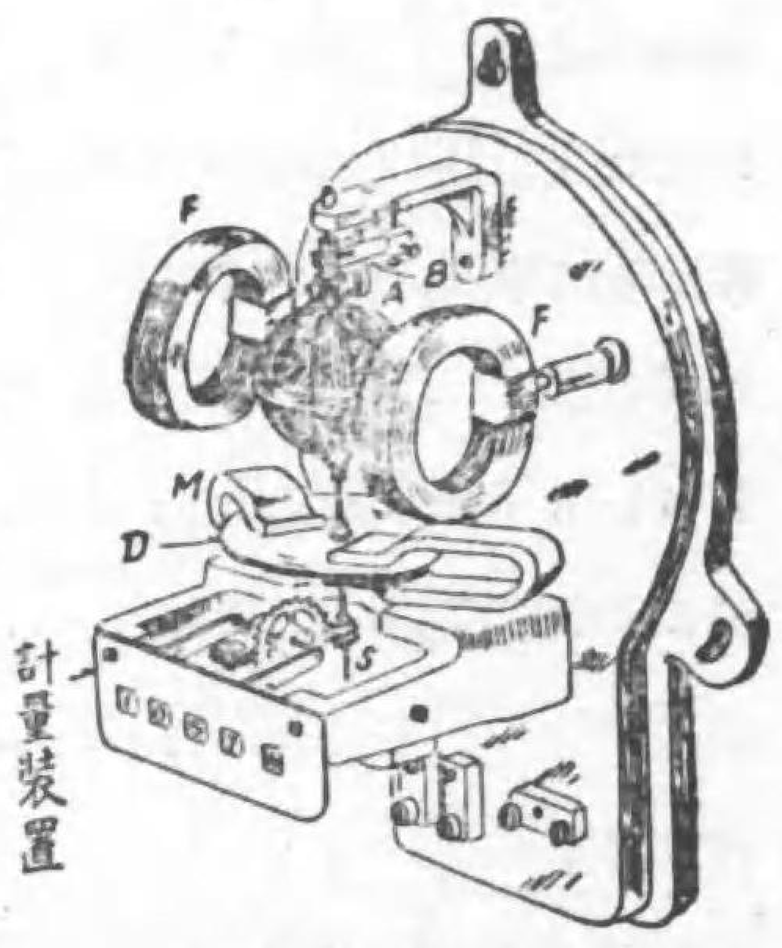
此樣な一般の電力量を測るには積算電力計を用ひる。積算電力計は一名「**ワット時**(じ)」**計**(けい)とも名付ける。さうして此積算電力計で讀む電力量の單位は既に述べた通り**キロワット時**である。

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來る樣になつて居る。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裝置とキロワット時數を示す時計仕掛（之を計量裝置と名付ける）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專用の積算電力計とを說明しよう。

（イ） **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圖は其略接續を示すものである。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。從つて軸 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 が廻はると耐久磁石 M の作る磁線を切るから圓板 D に渦流を

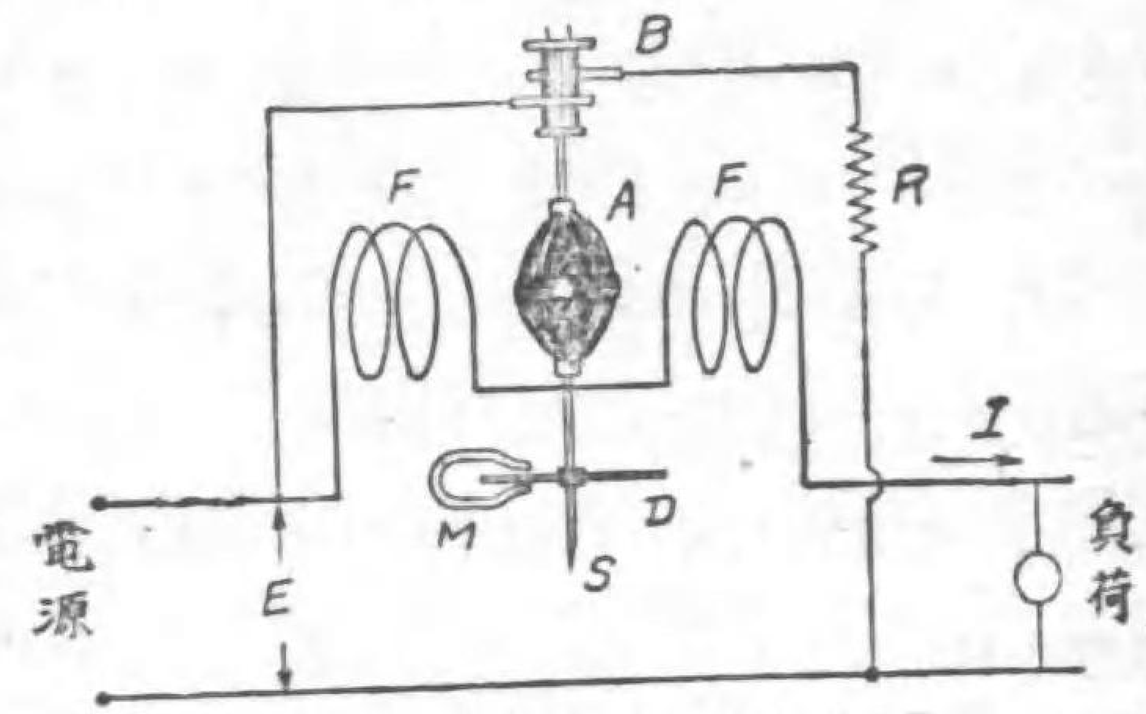
第 282 圖



電動機型積算電力計

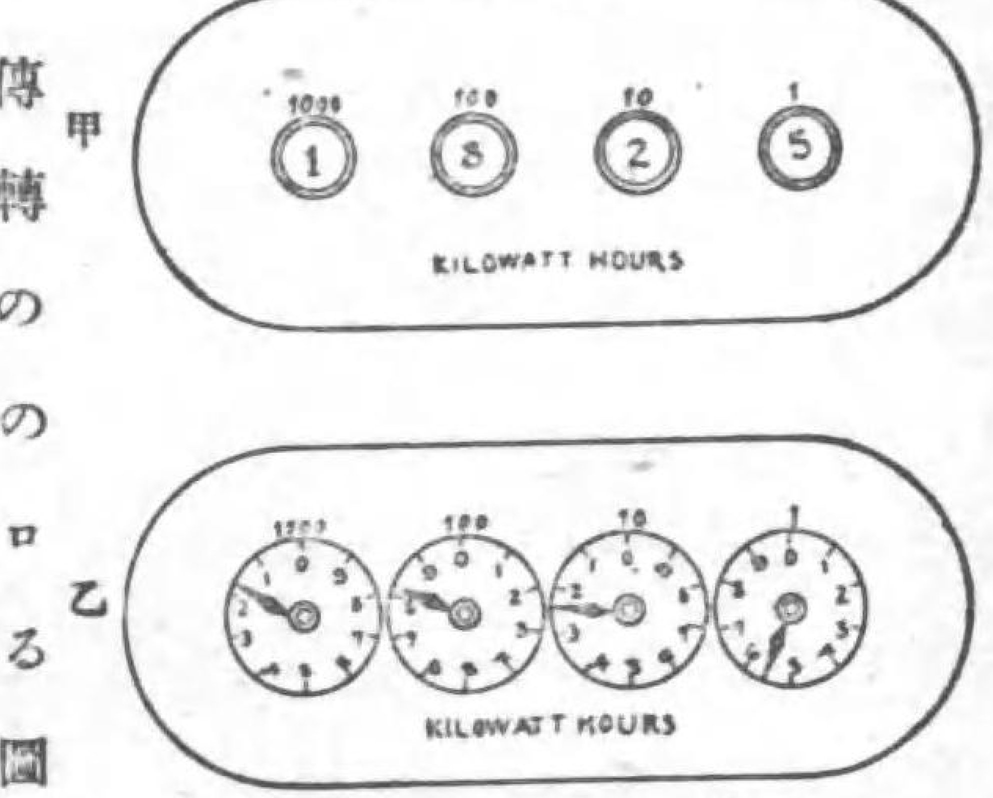
生じ，渦流制動のために軸の廻轉速度が調整され，圓板の廻轉速度は電力に比例するのである。（此磁石 M を制動磁石と稱する）。軸に取付けられた特殊の齒車裝置によつて軸の廻轉が計量裝置に傳へられる。從つて軸の廻轉數は電力量に比例するものである。計量裝置には軸の廻轉數を示さずに直にキロワット時で電力量が讀める樣になつて居る。第284圖は計量裝置を示すもので，

第 283 圖



電動機型積算電力計の接續略圖

第 284 圖



計量裝置｛甲 は 現字型 乙 は 指針型

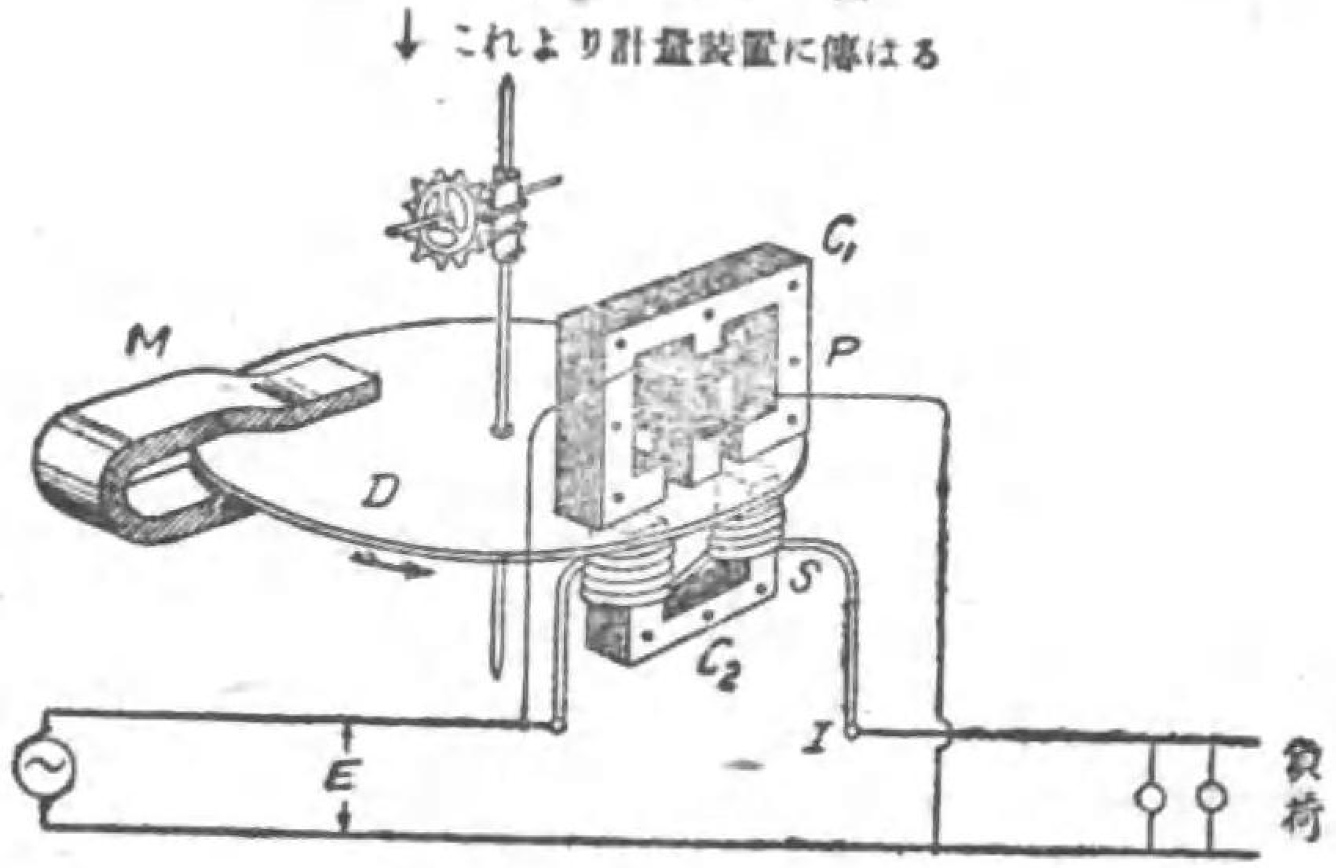
甲は其表面の孔に數字が現はれるもので之を**現字型計量裝置**と名付ける。又計量裝置に乙圖に示す樣なものもある。之は指針が數字を指示するもので之を**指針型計量裝置**と名付ける。

積算電力計の計量の讀み方を說明しよう。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

らの讀みになつて居るので，之が今月の消費電力量ではない。若し前月末の讀みが 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來る。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廣く使用されて居る。此誘導型積算電力計は交流によつて金屬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玆には其構造の大略を說明しよう。

第 285 圖



誘導型積算電力計

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續されて電壓 E が與へられる電壓線輪である。S は成層鐵心 C_2 に捲かれた捲數の少い線輪で回路に直列に接續されて負荷電流 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 がはいる樣になつて居る。M は制動磁石である。圓板の軸には齒車によつて計量裝置に連絡がある。電壓線輪 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 は廻はる。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玆には省略する）。然るに圓板が廻はると制動磁石 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はる事になり，圓板の廻轉數は電力量に比例する。從つて計量裝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書いて見よ。

2. 誘導型積算電力計の構造の略圖を書いて見よ。

3. 積算電力計の計量裝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

今まで說明しなかつた測定器で，諸君が發電所見學の時によく見受ける樣な測定器を少しく玆に說明しよう。

180. 周波計

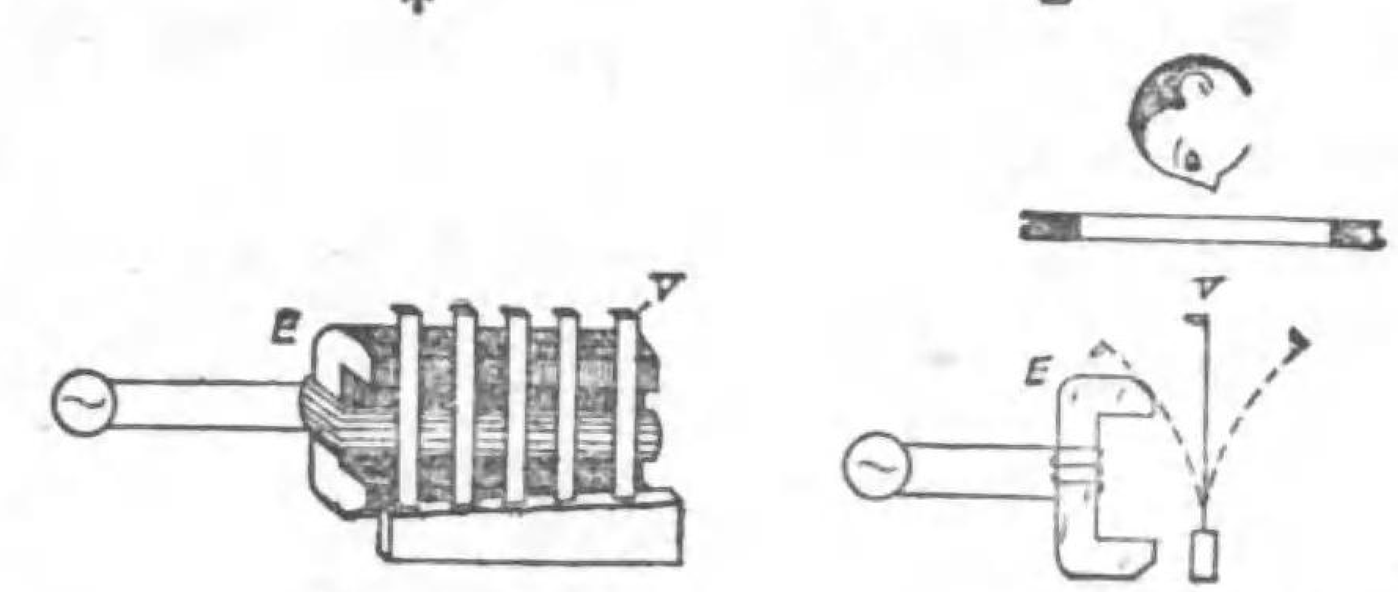
交流回路の周波數を直接にサイクル數で讀み取る測定器を周波計と稱する。周波計にも色々あるが玆に共振型周波計を說明しよう。

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。玆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每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。此樣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と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

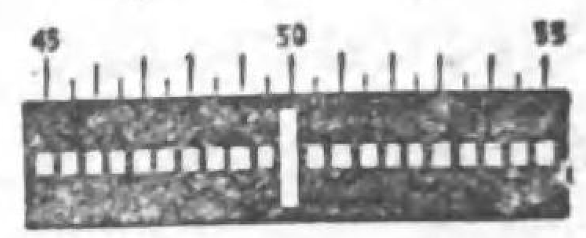
甲　乙



周波計　周波計の原理

今周波數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每に，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數の一サイクルに付き二回振動する樣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）。故に交流の周波數を目盛盤から直にサイクル數で讀み取る事が出來る。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。計器の內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帶に見えるのである。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

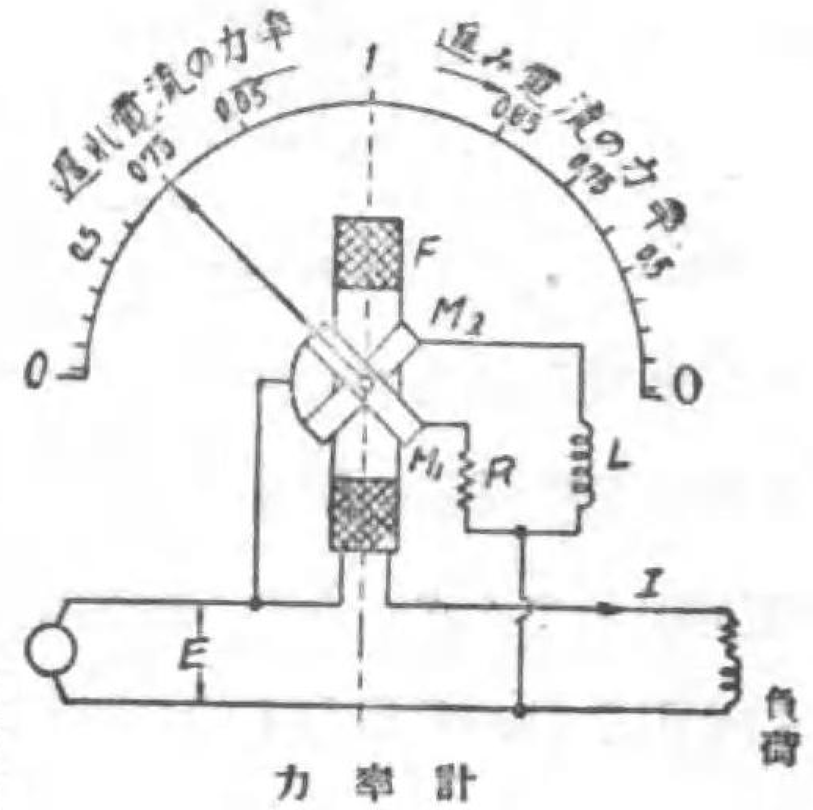


周波計の目盛盤
（50 サイクルの振動片が振動して居る圖）

181. 力率計

交流回路の力率を直接讀み得る測定器を**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。M_1, M_2 は可動線輪で互に直角に同一軸に取付けられ，M_1には抵抗 R を接續し，M_2 にはインダクタンス線輪 L が接續され共に負荷の電壓 E を受けて居る。故に M_1の電流は電壓 E と同相であるが，M_2 の電流は E から90度遲れる。今電壓 E と電流 I とが同相の場合即ち力率 1 の場合を考へると，F の電流に依る磁線が最大の時，M_1 の電流による磁線が最大で M_2 の電流による磁線が零であるから可動線輪は M_1 の磁線と F の磁線とが一致する樣な位置即ち M_1 と F と平行する，從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 が電壓 E よりも 90 度遲れて居る樣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，M_1 の磁線は零で M_2 の磁線が最大であるから，可動線輪は M_2 の面が F の面と平行となる位置を取り，指針は遲れ電流の力率 0 を指示す。若し反對に電流 I が電

第 288 圖



力率計

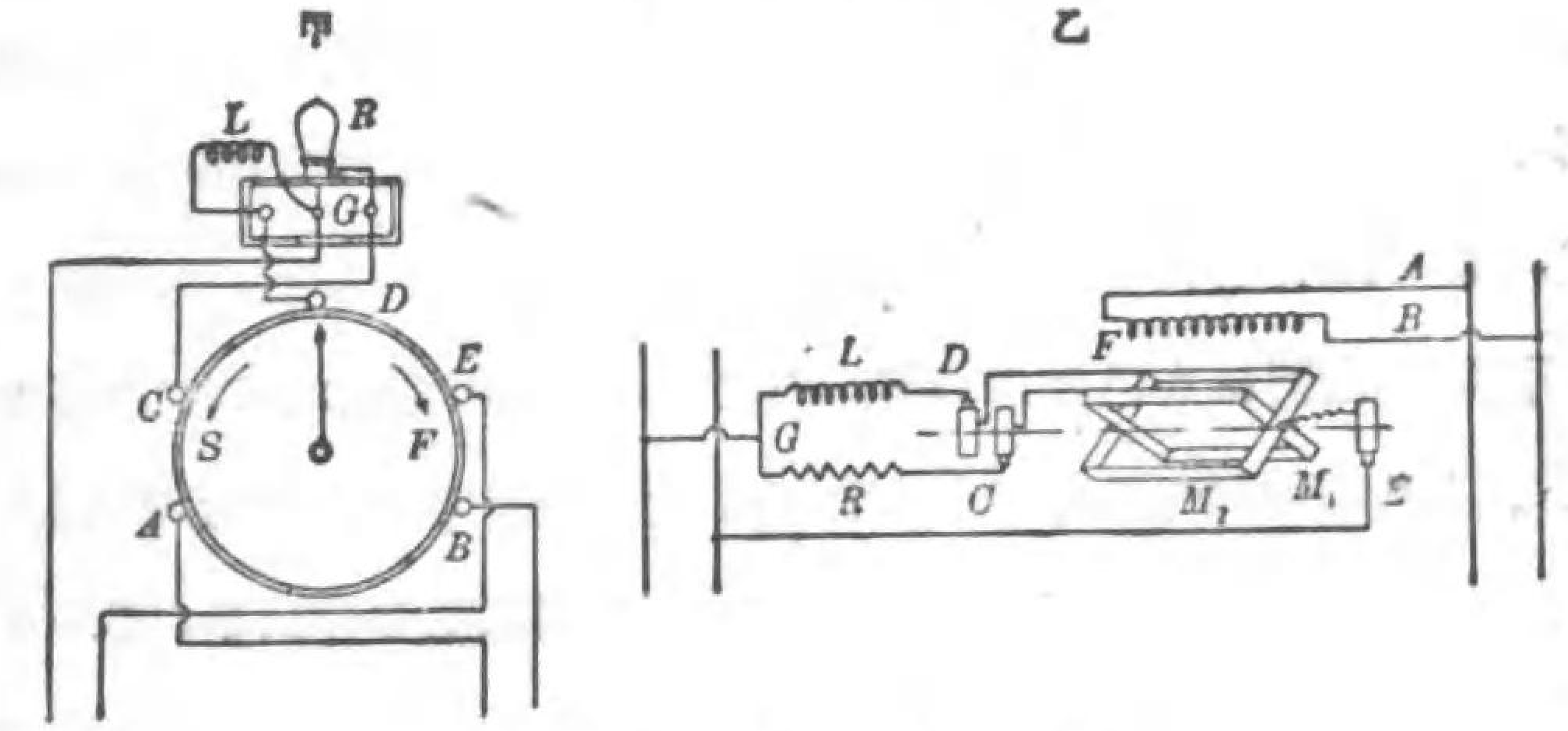
壓より 90 度進んで居ると前と丁度反對であるから指針は反對の方の力率 0 を示すのである。若し電流 I が電壓 E より θ 丈け遲れて居るとすると指針はその θ 角丈け直立の位置から傾くものである。その位置の目盛盤上から，直に力率を讀み取る事が出來る。

182. 同期檢定器

二つの交流發電機の並行運轉をなすに當つてその二つの發電機の電壓が相等しくして周波數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。二つの電壓の周波數位相が夫々一致した場合を同期(どうき)と稱する。此同期をしらべる測定器を**同期檢定器**と稱する。

第289圖甲乙は指針型同期檢定器を示すもので，乙圖は其內部接續圖を示すものである。之は前の力率計と同樣な原理で作られて居る。

第 289 圖



指針型同期檢定器及び其の接續圖

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。M_1, M_2 は可動線輪で互に直角に同一軸に取付けられ，M_1 には抵抗 R, 又 M_2 にはインダクタンス線輪 L が接續され，共に並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 に示す樣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來る。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樣な原理であるから，若し二つの發電機の周波數が等しいならば可動線輪は兩發電機の電壓の位相に從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數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樣に作られてある。若し指針が時計式に廻はる場合は第二發電機が早いし，若し指針が反時計式に廻はる場合は第二發電機が遲い事を意味する。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並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玆では說明を省略する。又交流發電機の並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

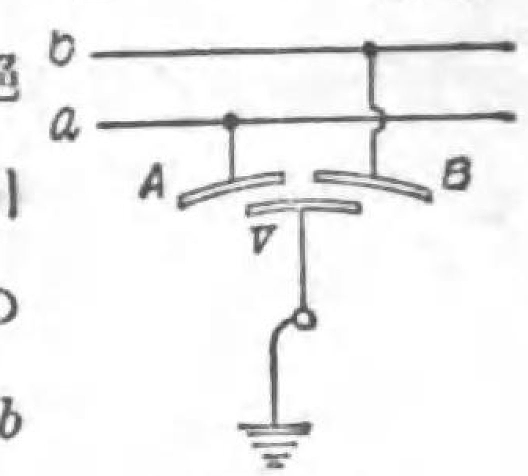
電線路の絕緣が惡くなつた場合は漏電のために送電する譯に行かないから此漏電を早くしらべる測定器が

必要である。此漏電をしらべる測定器を檢漏器（けんろうき）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說明しよう。第290圖甲，乙は二線式用檢漏器を示すもので，乙圖は其接續圖である。A, B は二枚の固定したアルミニウム片で各線路に接續されて居る。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 各線の絕緣が完全だと 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 線の絕緣が惡い場合は a と大地間の電壓が小で b と大地間の電壓が大であるから AV 間の吸

第 290 圖甲

二線式用檢漏器

第 290 圖乙

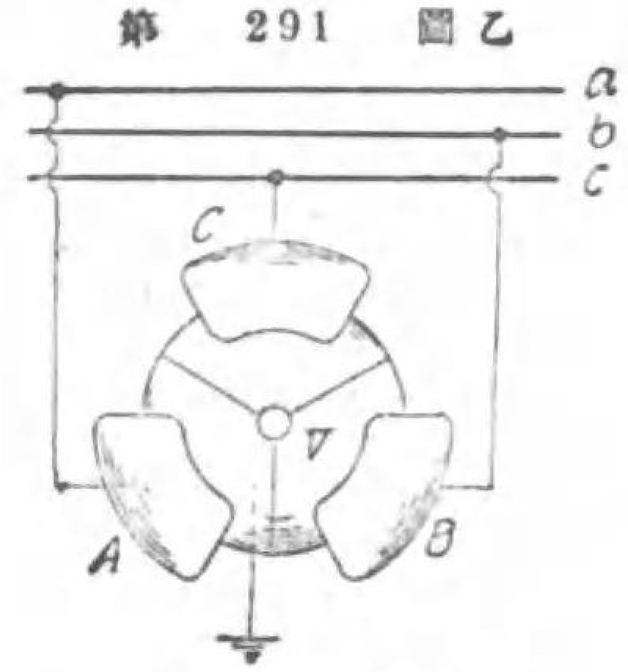


檢漏器の接續

第 291 圖甲

三相用檢漏器

第 291 圖乙



三相用檢漏器接續圖

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 線の絕緣が惡い場合は指針は 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 三線とも絕緣が完全の場合は 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 線の絕緣が惡い場合には，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。

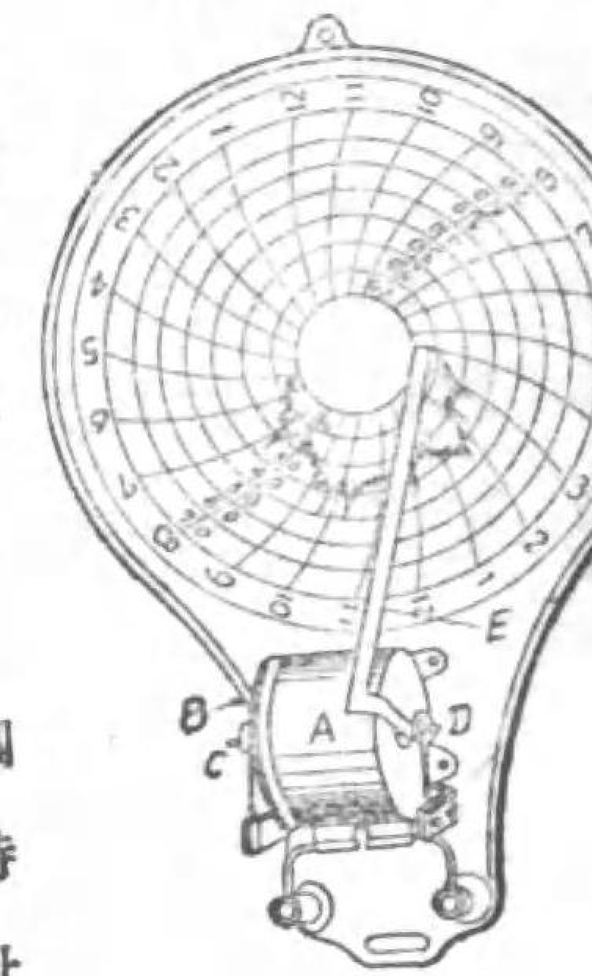
184. 自記計器

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）に記錄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錄せしめ樣と云ふ考へである。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。玆では自記計器の一例として自記電流計の構造の大略を說明しよう。

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，此軸は其兩端で叉形彈條支持物（はがただんでうしぢぶつ） 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錄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時間每に軸の周りを一周する樣になつて居り，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 の畫くべき圓弧である。此樣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はるから，此圖紙上に電流が時間と共に變化する有樣をグラフで記錄する譯である。

第 292 圖



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樣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錄された時々刻々の電壓，電流，電力等の變化の有樣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. 交流回路の周波數を直接サイクルで讀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，又其接續圖を畫け。

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)—

出文協承認
ア 360423

昭和四年十月二十日第一版發行
昭和十八年一月十日第十版發行
發行部數 2000部

初等工學一卷
正價金參圓
送料 內地二十五錢 外地三十五錢

編輯兼發行者　電機學校
代表者　服部碩彥
印刷者　風間成款
印刷所　成款舍　東京市神田區小川町二ノ十二
發行所　財團法人電機學校
東京市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　東京市神田區淡路町二ノ九

終