

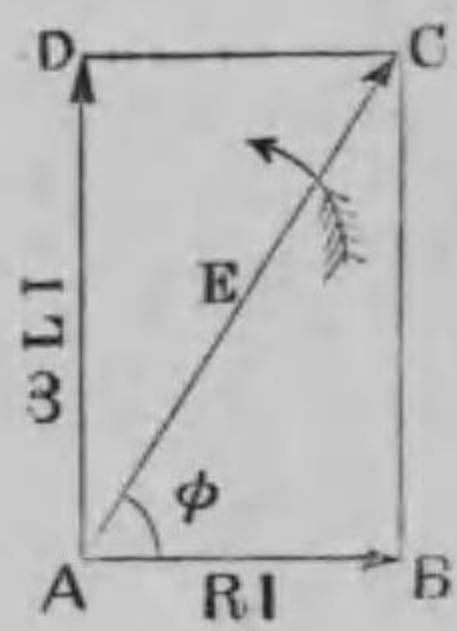
Lは回路に使用さるゝ電線の太さ電線間の距離及電線の導磁率に由て異り、イムピーダンスZは此等の外周波數に由て異る。イムピーダンスと抵抗との比  $\frac{R}{Z}$  をイムピーダンス係數(Impedance factor)と云ひ、 $\frac{R}{X}$  をリアクタンス係數(Reactance factor)と云ふ。

第49式を變形して

$$E^2 = (RI)^2 + (\omega LI)^2$$

此式の關係は直角三角形の三邊の關係を爲すこと第48圖に示す如し。圖に於てACはEを表はし、ABはRIを表はしBCは $\omega LI$ を表はす。從て角BACは角度 $\phi$

第四十八圖  
交番電壓の分解  
ベクトル圖



を表はす。然るにRIは抵抗に打勝つ電壓、 $\omega LI$ は自己誘導作用に打勝つ電壓なれば起電力Eは此等二電壓の合成にして回路に加はるべき起電力なれば之を加起電力 (Impressed Electromotive force) と云ふ。今BCの代りに同じ長さに之と並行にADを引けばABCDは並行四邊形と成り、ACは其對角線にして、ABとADとの合成なるべきことは代數學上須知の事なり。由てBCを以て $\omega LI$ を表はす代りにADを以

て表はすことを得。此圖よりRI,  $\omega LI$ , Eの相の關係を知ることを得べし即ち自己誘導作用に打勝つ電壓 $\omega LI$ は抵抗に打勝つ電壓RIより90度進み、從て之と同相に在る交流よりも90度進み、加起電力Eより $\pi - \phi$ 進む即ち交流は遅電流なり。 $\omega LI$ の相の關係は第48式を變形して知ることを得。即ち

$$e' = \omega LI_m \cos \omega t$$

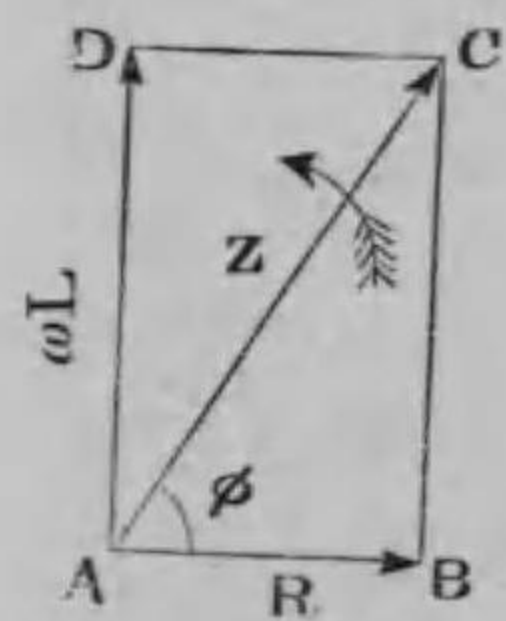
$$\cos \omega t = \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \text{なるに由り}$$

$$e' = \omega LI_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \dots \dots \dots (51)$$

之より自己誘導作用に打勝つ電壓 $e'$ は抵抗に打勝つ電壓RI(電流と同相に在る)より $\frac{\pi}{2}$ 即ち90度進めるを知る。

次に $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$ を變じ $Z^2 = R^2 + X^2$ と爲せば此式の關係も直角三角形の三邊の關係を爲すこと第49圖に示すが如し。圖に於て

第四十九圖  
イムピーダンス  
の分解  
ベクトル圖



ABはRを表はしACはZを表はしADは $\omega L$ を表はす。

ベクトル圖—第48圖に於てAB, AC, ADはRI, E,  $\omega LI$ の三電壓の値及相互の位置の關係を表はし第49圖に於

ては AB, AC, AD は R, Z,  $\omega L$  の値及相互の位置の關係を表はすものなるが此くの如く直線にて交流回路に於ける電流電壓抵抗等の關係を表はす線圖を**ベクトル圖**(Vector Diagram) と稱し各直線を**ベクトル**(Vector) と云ふ。此ベクトルダイアグラムは交流の研究を爲すに甚だ便利なるものなり交流回路に於ける電壓又は電流は相差ある爲め算術的に之が加減を行ふことも能はず此場合には値と位置とを有するベクトルにて表はしベクトル的に加算又は減算を行ひ其和又は差を求むるなり例へば第48圖に於て RI なる電壓と  $\omega LI$  なる電壓との和を求めんとすれば此等のベクトルを二邊とする並行四邊形 ABCD を畫き其對角線 AE が求むる電壓 E なり減算を行ふ場合には之を逆に行ひ二邊の内一邊と對角線とより他の一邊を得るなり。此くの如き方法をベクトル加法又はベクトル減法と云ふ。ベクトル圖に於て相の關係を知るにはベクトルは時計指針廻轉の方向と反對の方向に廻轉するものとして考ふるものとす即ち第48圖及第49圖に於て矢線にて示す如し。第48圖に於ては加起電力 E は RI より角度  $\phi$  進み第49圖に於て Z は R より角度  $\phi$  進む。

交流の容量作用—回路中に電氣容量存在するときは容量を有する部分の兩端に於ける電壓は回路の電壓に加はり回路に於ける交流は其影響を受く。今電氣容量 C を有する交流回路に於て  $t$  なる時刻に於ける加起電力を  $e$  とし之に通ずる電流を  $i$  とし電氣容量の兩端に於ける電壓を  $e'$  とし之が爲めに電氣容量ある部分に加へられたる電量を  $q$  とすれば

$$q = Ce'$$

$e'$  は  $E'_m \sin \omega t$  にて表はさるゝものとすれば上式は次の如く變ず

$$q = Ce' = CE'_m \sin \omega t$$

然るに  $e'$  が  $t'$  なる時刻に至りて  $e'_a$  に増し之が爲め  $q$  は  $q_a$  に増したりとすれば

$$q_a = Ce'_a = CE'_m \sin \omega t'$$

故に  $t$  なる時刻より  $t'$  なる時刻に至る時間に流れたる電流  $i$  は次の式にて示さる。

$$i = \frac{q_a - q}{t' - t} = CE'_m \frac{\sin \omega t' - \sin \omega t}{t' - t}$$

數學上の變化を與ふれば次の結果を得べし。

$$i = \omega CE'_m \cos \omega t \dots\dots\dots(52)$$

回路の抵抗を R とすれば

$$e = Ri + e' = Ri + E'_m \sin \omega t$$

第52式の  $i$  の値を上式の  $i$  に代置すれば

$$e = E_m' \sin \omega t + \omega C R E_m' \cos \omega t$$

数学上の變化を與ふれば次の結果を得べし

$$e = E_m' \sqrt{1 + (\omega C R)^2} \sin(\omega t + \phi) \dots\dots\dots (53)$$

但し  $\phi$  の値は  $\tan \phi = \omega C R$  の關係を有するものなり。此式より回路に加はる起電力は回路中の容量の兩端に於ける電壓より進み其相差角度は  $\phi$  にして交流の周波數回路の容量及抵抗に由て異なる。  $e$  の實効値を  $E$  とし  $i$  の實効値を  $I$  とすれば

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} E_m' \sqrt{1 + (\omega C R)^2}, I = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega C E_m'$$

此等の式の轉換より次の式を得べし。

$$I = \frac{1}{\sqrt{2}} \omega C E_m' = \frac{\omega C E}{\sqrt{1 + (\omega C R)^2}}$$

即ち 
$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}} \dots\dots\dots (54)$$

$\omega = 2\pi f$  なるに由り

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2}}$$

是等の式は容量の在る交流回路に於ける電流と電壓との關係を示すものなり。第54式の分母は此場

合に於けるイムピーダンスにして  $\frac{1}{2\pi f C}$  をキャパシタンス (Capacitance) と稱す。即ち容量の在る交流回路に於ては通常の抵抗の外にキャパシタンスなる容量抵抗ありて  $R$  と合成してイムピーダンスと成る。即ち此場合には

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{2\pi f C}\right)^2} \dots (55)$$

容量  $C$  の値は回路に於ける電線の大きさ及形狀、中間媒介物の誘電率、回路に於ける二線間の距離等に由て異なり、容量を含めるイムピーダンスは周波數に反比例す。

第54式を變形するとき

$$E^2 = I^2 \left\{ R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2 \right\} = (R I)^2 + \left(\frac{I}{\omega C}\right)^2$$

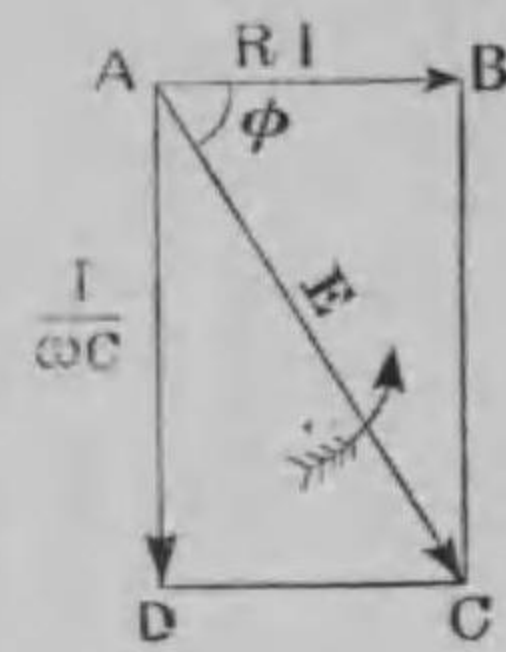
此式より  $E, R I, \frac{I}{\omega C}$  の關係は自己誘導作用在る場合に於けると同様に直角三角形の三邊の關係を爲すこと明かなり。又第52式を變形すれば次の式を得べし。

$$i = \omega C E_m' \cos \omega t = \omega C E_m' \sin \left( \omega t + \frac{\pi}{2} \right) \dots (56)$$

此式より回路に流るゝ交流は容量の兩端に於ける電壓より相に於て  $\frac{\pi}{2}$  即ち90度進めることを知る。此等の關係をベクトル圖にて示すときは第50圖に

示す如し。即ち AC にて E を表はせば AB は RI を表はし AD は  $\frac{1}{\omega C}$  を表はす。此關係より式にて示さ

第五十圖  
交番電壓の分解  
ベクトル圖



る如く容量の兩端に於ける電壓は抵抗に打勝つ電壓及之と同相に在る交流より相に於て90度遅れ加起電力より  $\pi - \phi$  丈遅れ加起電力は交流より  $\phi$  丈遅れることを知る。即ち容量ある回路に於ける交流は進電流と成る。

次に若し一回路中に自己誘導作用と容量と同時に存在するときは、自己誘導による電壓は電流より90度進み容量に由る電壓は電流より90度遅れるに由り其兩電壓の相差角度は180度となりて交流に對して全く相反せる作用を爲す。是を式に表せば次の如し

$$e = I_m \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \sin(\omega t + \phi) \dots \dots (57)$$

R.  $\omega L$  及  $\frac{1}{\omega C}$  の關係は  $\tan \phi = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}$  にて示さる

此式の實効値を求むるときは次の如く成る。

$$E = I \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

即ち 
$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \dots \dots \dots (58)$$

斯くの如く自己誘導及容量の存在する回路に於ては交流は其リアクタンスとキャパシタンスとの大小如何に由て回路に加はる電壓より進んで進電流と成るか電壓より遅れて遅電流と成るかが定まるなり。若し此  $\omega L$  と  $\frac{1}{\omega C}$  とが相等しきときは、インピーダンスは單に R なる抵抗のみと成り、交流は電壓と同相に成り直流回路に於けると同様に成るべし。此場合に抵抗少きときは回路は共振(Resonance)の状態に在りと稱せらる。共振の状態に在る回路に於ては加へらるゝ電壓は低くとも、自己誘導ある部分又は容量の兩端に於ける電壓は甚だ高き場合あり。例へば抵抗2「オーム」自己誘導係數0.2「ヘンリー」容量50「マイクロファラッド」を有する回路に50サイクルの交流を送り10「アムペア」ならしむる回路の加起電力並に自己誘導及容量に由る電壓を求むるときは

$f=50, R=2, L=0.2, C=\frac{50}{1,000,000}, I=10$  なるに由り抵抗に打勝つ電壓は

$$RI = 10 \times 2 = 20 \text{ ヴォルト}$$

自己誘導に勝つ電壓は

$$\omega LI = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.2 \times 10 = 628 \text{「ヴォルト」}$$

容量に要する電圧は

$$\frac{I}{\omega C} = \frac{1,000,000 \times 10}{2 \times 3.14 \times 50 \times 50} = 638 \text{「ヴォルト」}$$

由て加起電力は

$$E = \sqrt{(RI)^2 + \left(\omega LI - \frac{I}{\omega C}\right)^2} = \sqrt{20^2 + 10^2} \\ = 22.36 \text{「ヴォルト」}$$

斯くの如く回路へ僅かに 22.36「ヴォルト」を加へるのみにて自己誘導及容量作用の爲めに自己誘導ある部分及容量の兩端に 628 及 638「ヴォルト」の電圧を要し稍共振の状態と成るを知る。是れ此等の電圧の相の異なる爲めにして直流回路の場合と甚しく異なるなり。従て交流回路に於てはオーム法則を應用すること能はず只或る時刻に於ける瞬間値のみを考ふればオーム法則に従て電流及電圧等の値を計算することを得るのみ。

**合成イムピーダンス**—イムピーダンスを有する二回路の合成イムピーダンスは次の如く算出することを得るなり。

(一) A 及 B の二回路が並列に接続せられたる場合。

回路 A に於て抵抗を  $R_1$ 、自己誘導係数を  $L_1$  にて表はし

回路 B に於て抵抗を  $R_2$ 、自己誘導係数を  $L_2$  にて表はす。

直流回路に於て並列に接続せられたる回路のコンダクタンスは各回路のコンダクタンスの和に等しきは交流回路に於ても亦同様なり尤も此場合にはイムピーダンスの反數を**アドミッタンス** (Admittance) と稱し  $Y$  にて表はす。

$$\text{即ち } Y = \frac{I}{Z}$$

回路 A に於けるアドミッタンスを  $Y_1$ 、イムピーダンスを  $Z_1$  にて表はし回路 B に於けるアドミッタンスを  $Y_2$ 、イムピーダンスを  $Z_2$  にて表はせば

$$Y_1 = \frac{I}{Z_1}, \quad Y_2 = \frac{I}{Z_2}$$

二回路の合成アドミッタンスを  $Y_0$ 、合成イムピーダンスを  $Z_0$  にて表はせば

$$Z_0 = \frac{I}{Y_0}$$

然るに  $Y_0 = Y_1 + Y_2 = \frac{I}{Z_1} + \frac{I}{Z_2}$

由て 
$$Z_0 = \frac{i}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2}} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2}, \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}$$

由て 
$$Z_0 = \frac{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2} \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}}{\sqrt{R_1^2 + (\omega L_1)^2} + \sqrt{R_2^2 + (\omega L_2)^2}}$$
  

$$= \sqrt{\frac{\{R_1^2 + (\omega L_1)^2\} \{R_2^2 + (\omega L_2)^2\}}{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2}} \dots \dots (59)$$

是れ合成イムピーダンスを示す式なり。  
 此場合に兩回路に容量存在するときは之を回路 A に於て  $C_1$ , 回路 B に於て  $C_2$  にて表はせば

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right)^2}, \quad Z_2 = \sqrt{R_2^2 + \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right)^2}$$

なるに由り

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\left\{R_1^2 + \left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}\right)^2\right\} \left\{R_2^2 + \left(\omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}\right)^2\right\}}{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2 + \frac{1}{\omega^2} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}\right)^2}} \dots \dots (59)_a$$

以上(59),(59)<sub>a</sub>の二式は並列接続の二回路の合成イムピーダンスを示す式なり。

(二) A 及 B の二回路が直列に接続せられたる場合。

回路 A の兩端に於ける電壓を  $e_1$  にて表はし回路 B の兩端に於ける電壓を  $e_2$  にて表はし回路に通ずる交流の時刻  $t$  に於ける値を  $i$  にて表はせば

$$e_1 = iR_1 + \omega L_1 I_m \cos \omega t$$

$$e_2 = iR_2 + \omega L_2 I_m \cos \omega t$$

由て回路 A 及 B の兩端に於ける電壓は

$$e = i(R_1 + R_2) + \omega I_m (L_1 + L_2) \cos \omega t$$

$$= (R_1 + R_2) I_m \sin \omega t + \omega (L_1 + L_2) I_m \cos \omega t$$

$\cos \omega t = \sin(\omega t + \phi)$  なるに由り

$$e = (R_1 + R_2) I_m \sin \omega t + \omega (L_1 + L_2) I_m \sin(\omega t + \phi)$$

$$= I_m \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2} \sin(\omega t + \phi)$$

$e$  の實効値を  $E$  とすれば

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2}$$

$I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m$  なるに由り

$$E = I \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2}}$$

此式の分母が合成イムピーダンスを示す式なり。

第一の場合の如く回路 A に容量  $C_1$  回路 B に容量  $C_2$  存在するときは合成イムピーダンスは次の如く成る。

$$Z_0 = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \omega^2 (L_1 + L_2)^2 + \frac{1}{\omega^2} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)^2} \dots\dots (60)_a$$

交流回路に於ける電力—一般に交流回路に於ては自己誘導作用あるが爲に電流は常に電壓より遅る。

此遅れる角度を  $\phi$  とし時刻  $t$  に於ける電流を  $i$  とし加起電力を  $e$  とし次の如き値を有するものとす。

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

$$i = I_m \sin(\omega t - \phi)$$

此時刻に於ける電流の働きを  $w$  にて示せば

$$\begin{aligned} w &= ei = E_m I_m \sin \omega t \sin(\omega t - \phi) \\ &= E_m I_m (\sin^2 \omega t \cos \phi - \sin \omega t \cos \omega t \sin \phi) \end{aligned}$$

交流の一周期間に於ける此働きの平均値を取り之を  $W$  とすれば。

$$W = \frac{1}{2} E_m I_m \cos \phi$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} E_m, I = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \text{ なるに由り}$$

$$W = EI \cos \phi \dots\dots\dots (61)$$

是れ交流の電力を示す式なり。直流回路にては  $W = EI$  にして之に電流の遅れたる角度の  $\cos$  を乗じたる

ものが交流の場合の電力となるなり。此  $\cos \phi$  を力率 (Power-factor) と稱し  $\beta$  にて示す。EI は眞の電力を表はすものに非れば之を皮相電力 (Apparent Watt) と云ひ、**ヴォルトアムペア** (Voltampere) 又は**キロヴォルトアムペア** (Kilo-Voltampere) なる單位にて表はす之より區別して  $W$  を眞電力 (Real Watt) と稱し「ワット」又は「キロワット」なる單位にて表はす。

$$\text{然るに } \tan \phi = \frac{\omega L}{R} \text{ なるに由り } \cos \phi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}$$

$$\text{由て } \beta = \cos \phi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}} = \frac{R}{Z}$$

即ち力率はインピーダンス係数の反數なり。

$$\text{由て } W = EI \frac{R}{\sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}}$$

$$\text{然るに } E = I \sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}$$

$$\text{由て } W = I^2 R \dots\dots\dots (62)$$

直流の場合に於ける第26式に同じ。

此くの如く交流は加起電力より相に於て遅るゝを以て交流をベクトルの分ち加起電力と同相なる部分即ち  $I \cos \phi$  が實際の仕事を爲し残りの  $I \sqrt{1 - \cos^2 \theta} = I \sin \phi$  は電力上全く無効のものと見做すことを得べし。電壓と同相に在る交流を有効電流 (Energy Cur-

rent)と云ひ無効なる電流を無効電流(Wattless Current)

第五十一圖 交流の分解  
ベクトル圖

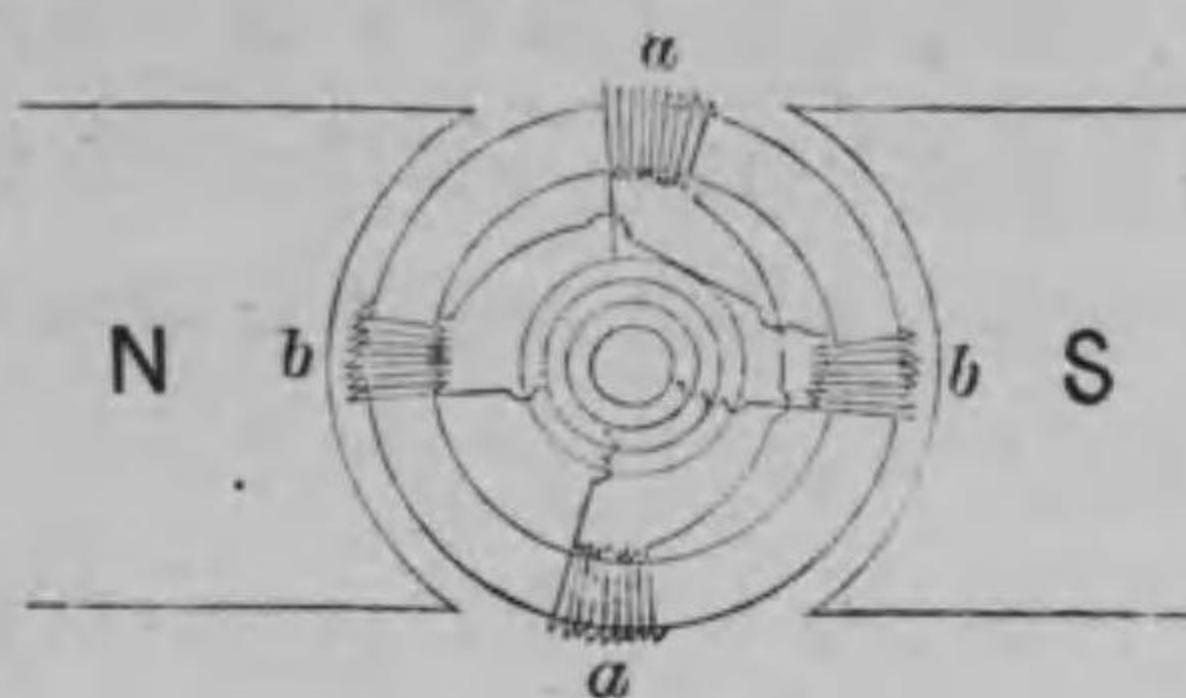
と云ふ。交流電力は有効電流の  $I \cos \phi$  と電圧との相乗積にして  $EI \cos \phi$  なること第61式に示す如し。第51圖に於て AB は RI を表はし AC は E を表はし AD は  $\omega LI$  を表はすものとし、RI と同相に在る交流は AM にて表はさるゝものとするときは、M より

AC に垂直線を引けば AN は  $AM \cos \phi$  にして電圧 E と同相に在る有効電流を表はし MN は  $AM \sin \phi$  にして電圧より 90 度遅るゝ無効電流を表はすなり。

多相交流—第二章に於て記載せる如く發電子に於て一種の線輪より發生する交流は只一種なれば是を單相交流(Single phase Current)と云ふ。是に反して發電子に數組の線輪を捲き相の異なる數種の交流を發生せしめ是等を同時に用ふることを得此種の交流を多相交流(Polyphase Current)と云ふ。第52圖に於て發電子線輪は互に直角を爲す二組の線輪より成る者とし其各端に貳組の聚電子を附し發電子を廻轉するときは線輪中に交番起電力發生すべく圖に示す位置に於ては線輪 b に陽極の最大起電力發

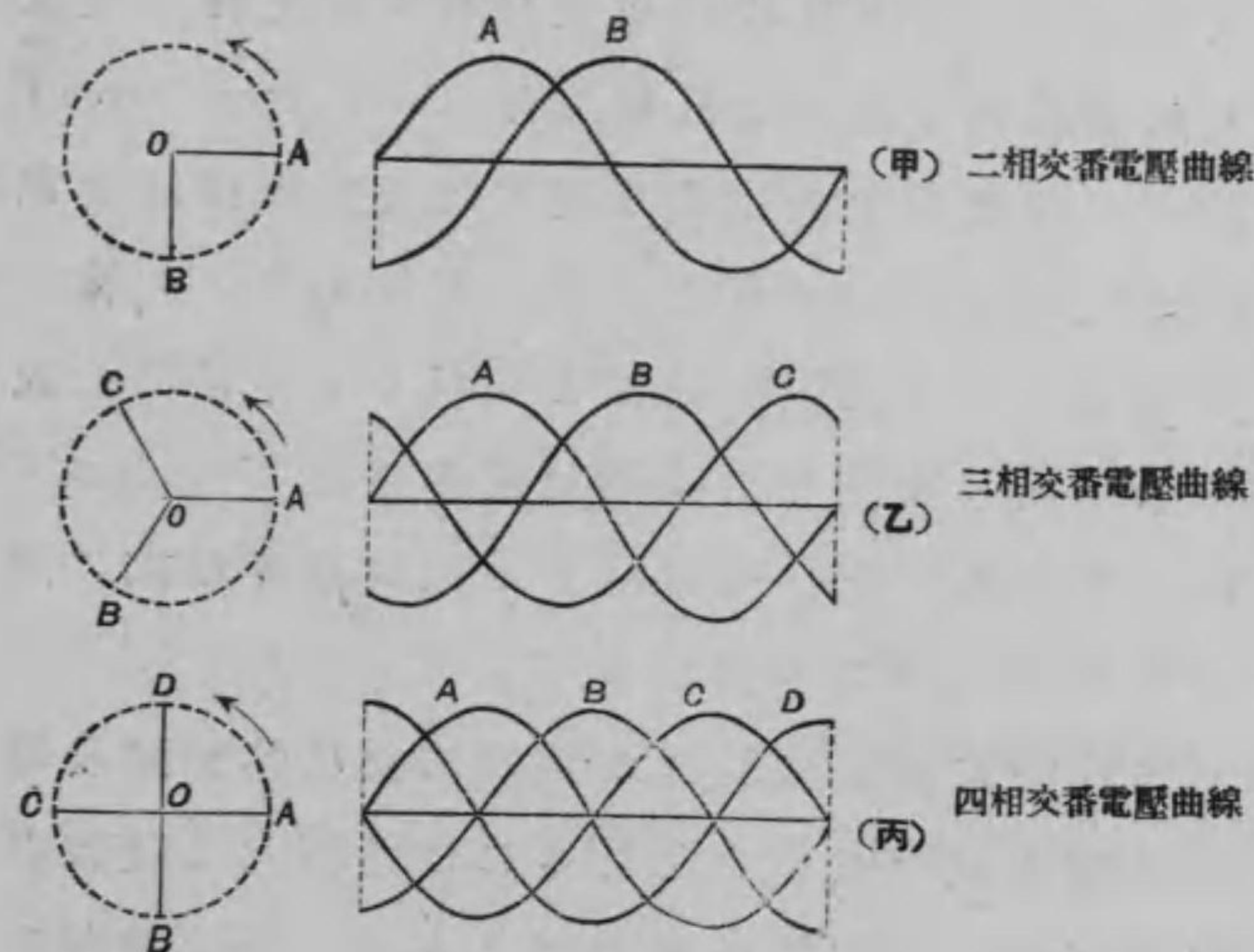
生し線輪 a に電壓の發生なく發電子の廻轉進みて 90 度を過ぐれば線輪 a に陽極の最大起電力發生し線輪 b に電壓の發生なく。180 度を過ぐれば b

第五十二圖  
二相交流發電子



に陰極の最大起電力發生し a に電壓の發生なし。即ち兩線輪に發生する起電力の波狀曲線は第53圖甲

第五十三圖





に示すが如く常に互に90度の相差あり是が爲に發生する二種の交流にも亦同様に常に90度の相差あり。此くの如く相差を有する二種の交流の組合せを二相交流(Two phase Current)と云ひ二相交流を發生する發電機を二相交流發電機(Two phase Alternator)と云ふ。

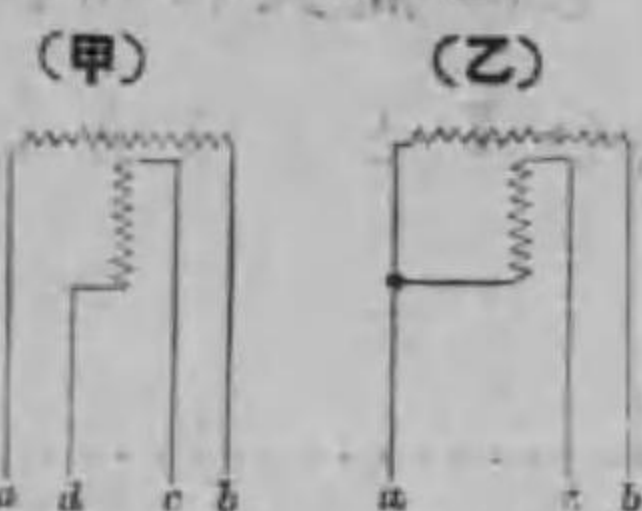
次に發電子の線輪が互に120度宛の角度を爲す三組の線輪より成る時は發電子の廻轉に由て各線輪に發生する交番起電力は其相差120度にして其波狀曲線は第53圖乙に示すが如し是が爲に發生する交流も亦互に120度の相差を有する三種の交流より成る此種の交流を三相交流(Three phase Current)と云ひ三相交流を發生する發電機を三相交流發電機(Three phase Alternator)と云ふ。又發電子の線輪が90度の相差ある四組の線輪より成るときは第53圖丙に示す如き交流を生ず是を四相交流(Fourphase Current)と云ふ。第53圖の左方の線圖は各相式に於ける電壓のベクトル圖なり。

多相交流回路に於ける結線法並に其電壓及電流—多相交流を發生せしむるには電源たる發電機又は變壓器に數組の線輪を用ふる故に是等線輪を適

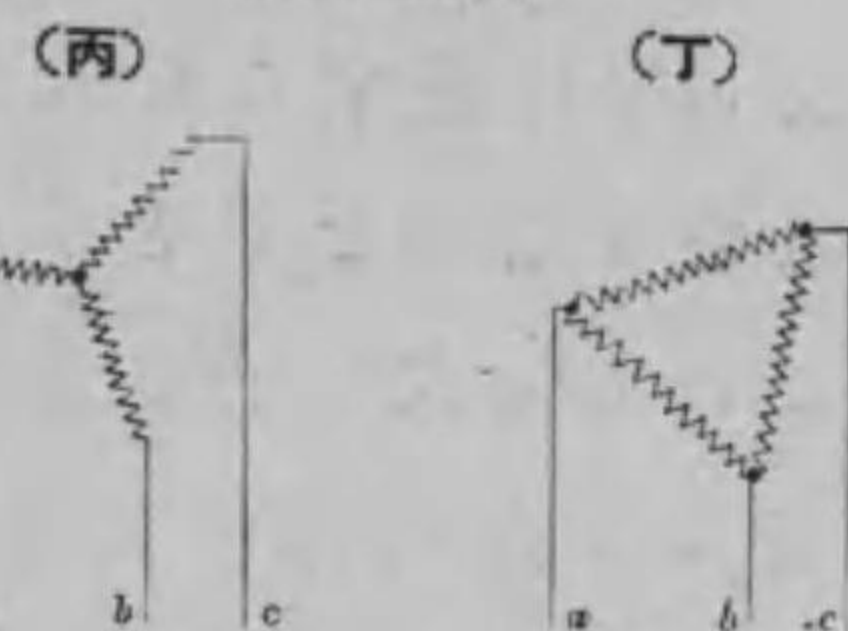
當に連結せざるべからず其連結方法に種々あり是を結線法と云ふ。二相式三相式及四相式の各結線

第五十四圖

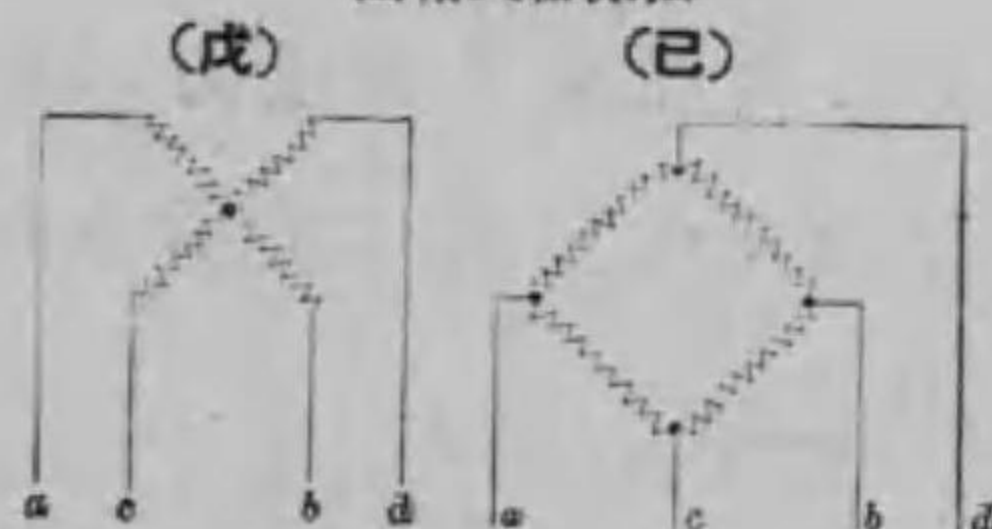
二相式結線法



三相式結線法



四相式結線法



法は第54圖に示すが如く各二種あり甲を二相四線式結線法(Twophase fourwire Connection)と云ひ乙を二相三線式結線法(Twophase threewire Connection)と云ふ乙の方法に於ては一線は兩相の共同線となり兩相の電流是に通ず此共同線を共同歸線(Common Return Wire)と稱す。丙を三相式星形結線法(Threephase Star Connection)と云ひ丁を三相式三角形結線法(Three-phase Delta Connection)と云ふ戊を四相式星形結線法(Fourphase Star Connection)と云ひ己を四相式網形結線法(Fourphase Mesh Connection)と云ふ。三相式星形結線法はY形結線法とも稱せらる。

以上各種結線法に於ける電壓及電流の關係は次に示す如し。

二相四線式に於ては各相線輪に發生する起電力を  $E_a$  とし是に通ずる電流を  $I_a$  とし  $ab$  間又は  $cd$  間の電壓を  $E$  とし各線に通ずる電流を  $I$  とするときは電壓及電流に左の關係あり。

$$E=E_a \quad I=I_a \dots\dots\dots(63)$$

二相三線式に於ては  $ab$  間又は  $ac$  間の電壓を  $E$  とし  $bc$  間の電壓を  $E'$  とし  $b$  線及  $c$  線に通ずる電流を  $I$  とし  $a$  線即ち共同歸線に通ずる電流を  $I'$  とするときは  $E=E_a \quad I=I_a$  なること第63式に於けると同様なれども  $E'$  は二線輪に發する起電力のベクトルの和なり。今線輪  $b$  に發生する起電力の瞬間値を  $e_{ab}=E_{am} \sin \omega t$  とすれば線輪  $c$  に發生する起電力の瞬間値は之より  $90$  度遅れるを以て次の式にて示さる。

$$e_{ac}=E_{am} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -E_{am} \cos \omega t$$

此時刻に於ける  $bc$  間の電壓を  $e'$  とすれば其値は以上二起電力の差なれば次の關係あり。

$$e' = e_{ab} - e_{ac} = E_{am}(\sin \omega t + \cos \omega t)$$

數學上の變化を與へ次の式を得

$$e' = \sqrt{2} E_{am} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{4}\right)$$

$e'$  の最大値を  $E'_m$  實効値を  $E'$  とすれば  $E'_m = \sqrt{2} E_{am}$

$E' = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2} E_{am} = E_{am}$  なり然るに  $e_{ab}, e_{ac}$  の實効値  $E_a$  は

$E_a = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{am}$  なるに由り

$$E' = \sqrt{2} E_a \dots\dots\dots(64)$$

又  $b$  線に通ずる電流を  $i_{ab} = I_{am} \sin \omega t$  とすれば  $c$  線に通ずる電流は之より  $90$  度遅れるを以て

$$i_{ac} = I_{am} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = -I_{am} \cos \omega t$$

此時刻に於て  $a$  線に通ずる電流を  $i'$  とすれば

$$\begin{aligned} i' &= -(i_{ab} + i_{ac}) = -I_{am}(\sin \omega t - \cos \omega t) \\ &= -\sqrt{2} I_{am} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{4}\right) \end{aligned}$$

$i'$  の最大値を  $I'_m$  實効値を  $I'$  とすれば  $I'_m = \sqrt{2} I_{am}$

$I' = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{2} I_{am} = I_{am}$  なり然るに  $i_{ab}, i_{ac}$  の實効値  $I_a$  は

$I_a = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{am}$  なるに由り  $I' = \sqrt{2} I_a \dots\dots\dots(65)$

三相式に於ては各相線輪に發生する起電力を  $E_a$  とし  $ab$  間  $bc$  間及  $ac$  間の電壓を  $E$  とし各相線輪に通ずる電流を  $I_a$  とし  $a, b, c$  各線に通ずる電流を  $I$  とすれば星形結線法に於ては

$$I=I_a \dots\dots\dots(66)$$

今線輪  $a$  に発生する起電力の瞬間値を  $e_{aa}=E_{am} \sin \omega t$  とすれば線輪  $b$  に発生する起電力の瞬間値は之より相に於て120度遅るゝを以て次の式にて示さる。

$$e_{ab}=E_{am} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

此時刻に於ける  $ab$  間の電圧の瞬間値を  $e$  とすれば其値は以上二起電力の差なれば次の式にて示さる。

$$e=e_{aa}-e_{ab}=E_{am}\left\{\sin \omega t - \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\right\}$$

$$e=\sqrt{3} E_{am} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

然るに  $e$  の最大値は  $\sqrt{3} E_{am}$  實効値は  $E$ ,  $e_{aa}$ ,  $e_{ab}$  の實効値は  $E_a$  にして  $E_a = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{am}$  なるに由り

$$E=\sqrt{3} E_a \dots\dots\dots(67)$$

次に三角形結線法に於ては

$$E=E_a \dots\dots\dots(68)$$

今線輪  $a$  に通ずる電流の瞬間値を  $i_{aa}=I_{am} \sin \omega t$  とすれば其時刻に於て線輪  $b$  に通ずる電流は起電力に於けると等しく之より120度遅れるを以て次の式にて示さる

$$i_{ab}=I_{am} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

此時刻に於て  $a$  線に通ずる電流を  $i$  とすれば

$$i=-(i_{aa}-i_{ab})=-I_{am}\left\{\sin \omega t - \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\right\}$$

$$=-\sqrt{3} I_{am} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right)$$

然るに  $i$  の最大値は  $\sqrt{3} I_{am}$  實効値は  $I$ ,  $i_{aa}$ ,  $i_{ab}$  の實効値は  $I_a$  にして  $I_a = \frac{1}{\sqrt{2}} I_{am}$  なるに由り

$$I=\sqrt{3} I_a \dots\dots\dots(69)$$

四相式星形結線法に於ては線輪  $a$  に発生する起電力の瞬間値は

$$e_{aa}=E_{am} \sin \omega t$$

其時刻に於て線輪  $c$  に発生する起電力は之より90度遅れることを以て次の式にて示さる。

$$e_{ac}=E_{am} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

同じ時刻に線輪  $b$  に発生する起電力は次の式にて示さる

$$e_{ab}=E_{am} \sin(\omega t - \pi)$$

$ab$  間の電圧を  $e$  とし  $ac$  間の電圧を  $e'$  とすれば

$$e'=e_{aa}-e_{ac}=E_{am}\left\{\sin \omega t - \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)\right\}$$

$$e=e_{aa}-e_{ab}=E_{am}\left\{\sin \omega t - \sin(\omega t - \pi)\right\}$$

由て 
$$e' = \sqrt{2} E_{am} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$e = 2E_{am} \sin \omega t$$

然るに  $e_{ab}, e_{bc}, e_{ca}$  の實効値は  $E_a$ ,  $e$  の實効値は  $E, e'$  の實

効値は  $E'$  にして  $E_a = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{am}$  なるに由り

$$\left. \begin{aligned} E' &= \sqrt{2} E_a \\ E &= 2 E_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(70)$$

電流の關係は三相式に於けると同様にして次の如し。

$$I = I_a \dots\dots\dots(71)$$

但し  $I$  は各線に通ずる電流,  $I_a$  は各線輪に通ずる電流なり。

四相式網形結線法に於ては

$$E = E_a \dots\dots\dots(72)$$

$$I = \sqrt{2} I_a \dots\dots\dots(73)$$

多相交流回路に於ける電力—多相交流回路に於ける電力は其結線法に由て異なる。電源たる發電機又は變壓器の各相線輪に發生する起電力を  $E_a$  同線輪に通ずる電流を  $I_a$  各線輪間電壓を  $E$  各相線に通ずる電流を  $I$ , 各線輪に發生する電力を  $w$ . 總線輪に

發生する電力を  $W$  電流  $I_a$  と起電力  $E_a$  との相差角度を  $\phi$  とすれば二相四線式結線法に於ては

$$w = E_a I_a \cos \phi$$

$$E_a = E \quad I_a = I$$

$$W = 2w$$

即ち  $W = 2EI \cos \phi \dots\dots\dots(74)$

二相三線式結線法に於ても右と同様に

$$W = 2EI \cos \phi$$

又は第64式及65式に由り  $W = 2E'I' \cos \phi$

三相式星形結線法に於ては

$$w = E_a I_a \cos \phi$$

然るに  $E_a = \frac{E}{\sqrt{3}} \quad I_a = I$

$$W = 3w$$

$$W = \sqrt{3} EI \cos \phi \dots\dots\dots(75)$$

三相式三角形結線法に於ては

$$w = E_a I_a \cos \phi$$

然るに  $E_a = E \quad I_a = \frac{I}{\sqrt{3}}$

$$W = 3w$$

$$W = \frac{3EI}{\sqrt{3}} \cos \phi = \sqrt{3} EI \cos \phi \dots\dots\dots(76)$$

四相式星形結線法に於ては

$$\begin{aligned} \tau\omega &= E_a I_a \cos \phi \\ E_a &= \frac{E}{2} \quad I_a = I \\ W &= 4\tau\omega \\ W &= 4 \frac{EI}{2} \cos \phi = 2EI \cos \phi \dots\dots\dots (77) \end{aligned}$$

四相式網形結線法に於ては

$$\begin{aligned} \tau\omega &= E_a I_a \cos \phi \\ E_a &= \frac{E}{\sqrt{2}}, \quad I_a = \frac{I}{\sqrt{2}} \\ W &= 4\tau\omega \\ W &= 4 \frac{E}{\sqrt{2}} \frac{I}{\sqrt{2}} \cos \phi = 2EI \cos \phi \dots\dots\dots (78) \end{aligned}$$

cos φは何れの式に於ても其回路の力率を示すなり。

### 第二項 交流發電機の性狀

交流發電機—交流發電機(略して交流機と云ふ)の直流發電機と異なるは發電子に發生する交流を其儘外部回路に送るにあれば發電子には整流子の設備なく交流を外部回路に導く爲め聚電子を備ふるのみ。其界磁を勵磁するには直流發電機に於ける如

く自己の發電子より直流を送ると能はざれば別に直流發電機を使用し是より界磁に直流を供給す。即ち他勵磁型發電機なり。此勵磁に使用する直流發電機を勵磁機(Exciter)と云ふ。勵磁機は通常複捲式にして其電壓は110「ヴォルト」乃至125「ヴォルト」を標準とす。交流發電機に於ては整流子なきを以て刷子に於ける電火發生の憂なし従て高電壓を發生する交流發電機を安全に製作するを得るなり。實際に製作使用せられ居るものの最大電壓は12,000「ヴォルト」なり。交流發電機より發生する交流の周波數は發電機の廻轉及界磁の極數に由つて定まる。即ち交流機より發生する交流の周期は其交流機の發電子中の一線輪が或る磁極の下より同じ名の磁極の下に來る迄の時間なれば磁極の對數をpとすれば周期は一廻轉の $\frac{1}{p}$ なり。發電子の一秒間の廻轉數をnとすれば一周期Tは

$$T = \frac{1}{pn} \text{ 秒}$$

交流の周波數をfとすれば

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{\frac{1}{pn}} = pn \dots\dots\dots (79)$$

交流發電機の磁極数は通常六個なれども、蒸汽タービンにて運轉さるゝ場合には廻轉數多き爲め極數を二個とし、發電子の圓周速度を過大ならしめざる爲に特別の構造と爲す。

交流發電機の種類—第三章第一項の終りに記載したる如く發電機に於ては發電子と磁力線との關係運動同一なるときは發電子が廻轉するも磁力線を發する界磁の廻轉するも、或は又他の方法に由て磁力線の數を増減するも發電作用同一なり。此兩者の關係運動の異なる方法に従て次に示す如く交流機に三種類あり。

(一) 廻轉發電子型交流發電機

(Revolving-armature type Alternator)

(二) 廻轉界磁型交流發電機

(Revolving-field type Alternator)

(三) 誘導型交流發電機 (Inductor type Alternator)

第一種の交流機に於ては界磁は靜止し發電子廻轉す。由て發電子より外部回路へ電流を導く爲め聚電子の設備あり。第二種の交流機に於ては界磁は廻轉し發電子靜止す。由て界磁へ電流を導く爲め聚電子の設備あれども、第一種交流機に於ける聚電子は發

電子と同様の絶縁を要するも、第二種交流機に於ける聚電子は界磁と同様の絶縁を施すにて足り且つ之に通ずる電流も發電子の電流に比し甚だ少きを以て、其大き甚しく減す。此理に由て出力大なるもの又は電壓高き交流機は概ね第二種即ち廻轉界磁型に製作せらる。第三種の交流機に於ては界磁及發電子共に靜止し、其中間に誘導子 (Inductor) と稱する平板狀の鐵體を廻轉せしめ、發電子に通ずる磁力線の増減を爲さしむるなり。此の交流機に於ては聚電子を要せず、單に端子盤を備へ界磁及發電子と外部回路との接續を爲さしむ。

多相式交流發電機の外観は單相式交流發電機と大差なく、只聚電環の數異なるのみ、即ち其數は二相式及四相式に於て四個、三相式に於ては三個なり。尤も第二種及第三種に屬する交流機に於ては聚電環は界磁回路に屬するものなれば凡て貳個なり。外部回路に發電子の電流を導く導線の數は單相式に於ては二本、二相式及四相式に於ては四本、三相式に於ては三本の差異あるのみ。

交流發電機の起電力—交流發電機の理論は高等數學に依るに非ざれば解すること能はざれば本書

に於ては其大綱に就て記載するのみ。  
 今一捲きの線輪が或る磁界内に廻轉するものとし、  
 其線輪の長さを  $l$  幅を  $b$  とし、磁界の強さ即ち磁束  
 密度を  $B$  とす。  $t$  なる時刻に於て線輪の面が磁力  
 線に對し  $\theta$  の角度を爲し、少し時を経て  $t'$  なる時刻  
 に於て  $\theta'$  の角度を爲したりとすれば、

時刻  $t$  に於て線輪に通ずる磁力線数は  $Bbl \sin \theta$

時刻  $t'$  に於て線輪に通ずる磁力線数は  $Bbl \sin \theta'$

由て線輪は其位置が  $\theta$  より  $\theta'$  に移る間に磁力線

$$Bbl(\sin \theta' - \sin \theta)$$

を切りたるなり、之が爲めに次式に示す如き起電力  
 を線輪中に誘發すべし。

$$e_0 = Bbl \frac{\sin \theta' - \sin \theta}{t' - t}$$

磁束を  $\Phi$  とすれば  $\Phi = Bbl$  ならば上式は

$$e_0 = \Phi \frac{\sin \theta' - \sin \theta}{t' - t}$$

線輪の廻轉數を一秒間に  $n$  回、其角速度を  $\omega$  とすれ  
 ば  $\omega = 2\pi n$  にして  $\theta = 2\pi nt$ ,  $\theta' = 2\pi nt'$  ならば、 $\theta' - \theta = 2\pi n(t' - t)$   
 なり、由て上式は次の如く變ず。

$$e_0 = 2\pi n \Phi \frac{\sin \theta' - \sin \theta}{\theta' - \theta}$$

是に數學上の變化を與ふれば次の式を得べし。

$$e_0 = 2\pi n \Phi \cos \theta$$

實際の發電子線輪は一捲きならず、其直列に接續せ  
 られたる電線の捲數を  $N_a$  とするとき、前式の  $e_0$  は  
 線輪を爲す二本の電線にて發生する起電力なるが  
 故、 $N_a$  本の電線より成る線輪に發生する起電力  $e_a$  は  
 次の式にて表はさる。

$$e_a = 2\pi n \Phi \frac{N_a}{2} \cos \theta = \pi n \Phi N_a \cos \theta$$

上式にて示さるゝ起電力は正弦曲線にて表はさる  
 ゝものなり、其實効値を  $E_a$  とすれば

$$E_a = \frac{\pi}{\sqrt{2}} n \Phi N_a$$

此式にて示さるゝ起電力は磁極二個にして磁力線  
 が正弦曲線的に變化するものとして算出したるも  
 のなれども、實際は然らず、發電子の構造に由て交流  
 起電力の波形に差異を生ず。一汎に次の式にて表  
 はさる。

$$E_a = K \cdot \Phi \cdot n \cdot N_a \cdot p \times 10^{-8} \text{「ヴォルト」} \dots \dots \dots (80)$$

式中  $p$  は磁極の對數、 $N_a$  は直列に接續せられたる發  
 電子線輪の電線の捲數、 $K$  は定數にて起電力の波形  
 に由て定まるものにして、波形が正弦曲線を爲す場

合には  $\frac{\pi}{\sqrt{2}}$  即ち 2.22 にして波形率なり。起電力の波形は發電子線輪の電線の捲き方線輪の幅と磁極片の幅との關係及磁極片の形狀等に由て異なる。ギスベルト・カッフ氏 (Gisbert Kapp) の計算に據れば K の値は次に示す如し。

磁極片の幅	發電子線輪の幅	Kの値
極間隔に等しきとき.....	同 前	1.16
同 上.....	極間隔の二分一に等しきとき	1.635
極間隔の二分一に等しきとき	極間隔に等しきとき	1.645
同 上.....	極間隔の二分一に等しきとき	2.3
極間隔の三分一に等しきとき	同 前	2.83

K を「カッフ」の係數と稱す。

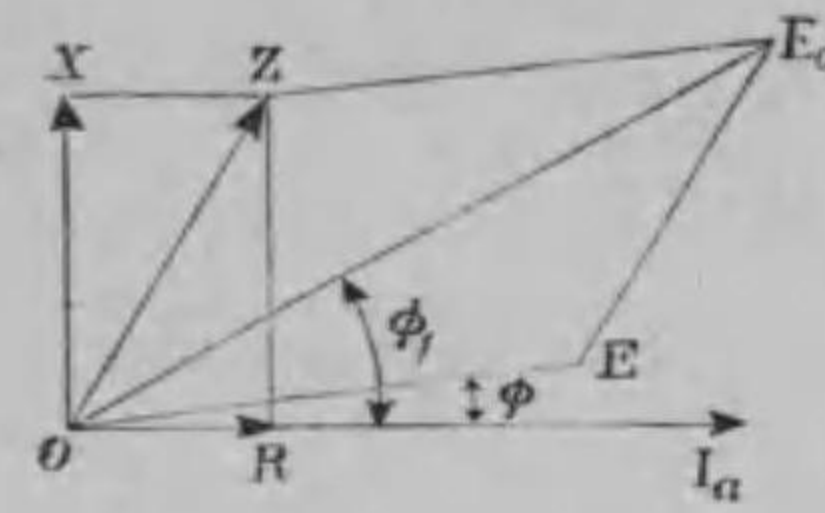
多相交流發電機に於ては發電子の各相線輪に第 80 式にて示さるゝ起電力發生するなり。其場合には  $N_a$  は各相毎の直列電線數を示し、 $p$  は各相毎の磁極の對數を示す。

交流發電機の端子電壓—交流發電機の端子電壓は直流發電機に於ける如く發電子に發生したる起電力より發電子線輪中に消費する電壓を算術的に減じたるものに非ず。交流發電子線輪に於ては之に通ずる交流の變化するに由て磁力線も亦増減する

爲めに線輪中に自己誘導作用を生じて起電力誘發せらる。此起電力と發電子線輪の抵抗に由て消費せらるゝ電壓とを發電子に發生したる起電力よりベクトルの的に減じたるものが端子電壓と成るなり。

第 55 圖に於て  $OI_a$  を以て電流  $I_a$  を示せば發電子線

第 五 十 五 圖  
交流發電機の端子電壓  
ベクトル圖



輪の抵抗に由て消費せらるゝ電壓  $I_a R_a$  は之と同相に在るを以て OR なるベクトルにて示し發電子線輪の自己誘導に由て消費する電壓は電流より相に於て 90 度進む

を以て OX なるベクトルにて示すことを得然るときは OR と OX とのベクトルの和なる OZ は發電子線輪に於て消費せらるゝ全電壓を示す。次に電流  $OI_a$  より相に於て角度  $\phi_1$  進みたる  $OE_a$  なるベクトルにて發電子線輪に發生する起電力を示すときは之より全消費電壓 OZ をベクトルの的に減じたる OE なるベクトルは發電子より外部に送らるゝ電壓即ち端子電壓を表はすなり。  $OE_a$  は OE 及 OZ を二邊とする長方形の對角線にして OE は電流より相に於て角度  $\phi$  進めり。此  $\phi$  は外部回路の性質に由て定ま



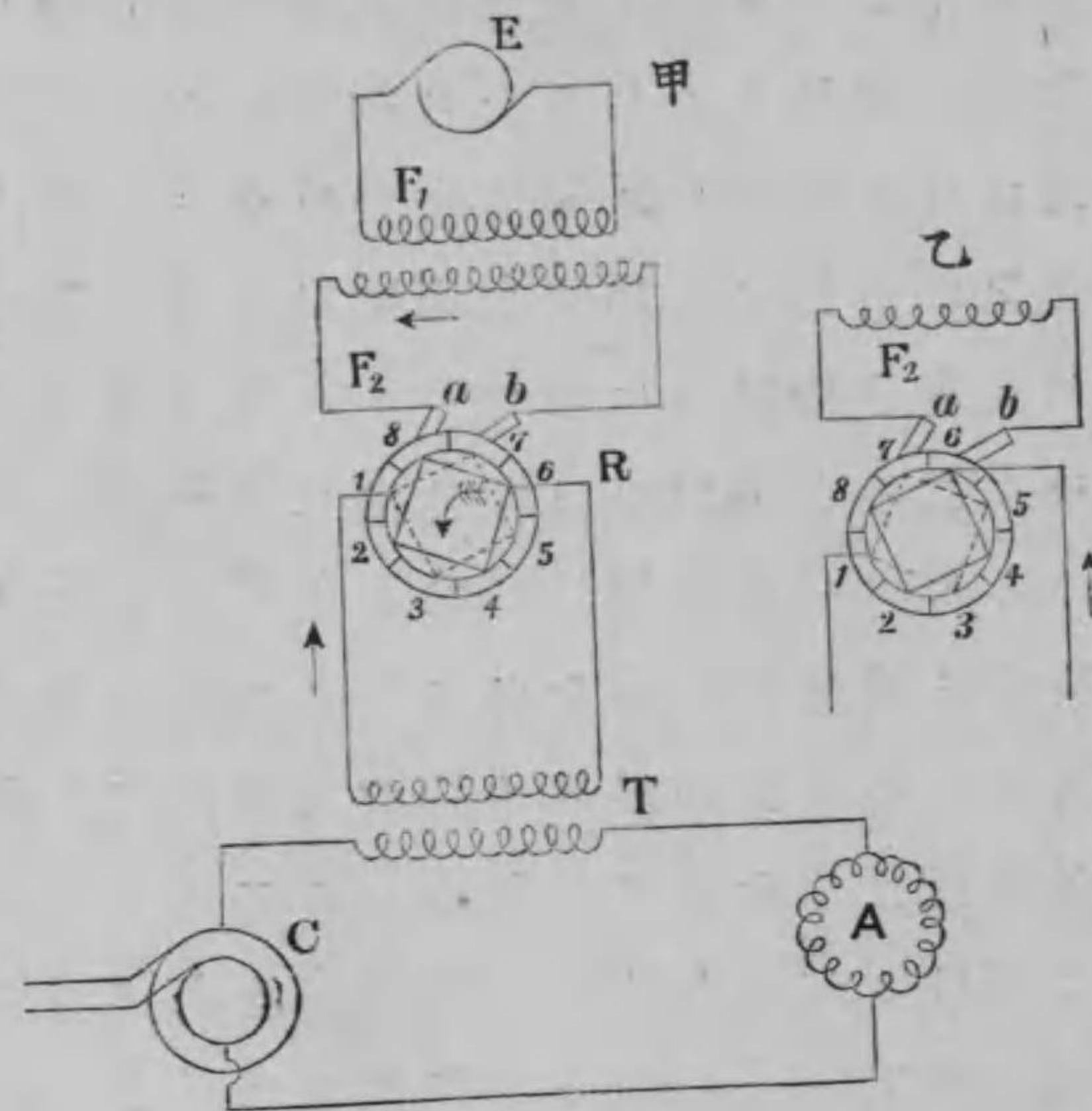
るものにして  $\cos \phi$  は即ち回路の力率なり。OR、OX は電流に比例して増減するものなれば、OZ も亦之と同じ割合に電流に比例して増減する故に電流増すときは OZ は増し起電力  $OE_n$  の変化なき上は端子電圧 OE は反て減すべし之に由て電流増すとも即ち回路に於ける負荷増加するも端子電圧に變化なからしめんには、 $OE_n$  を適當に増さざるべからず。然るに  $OE_n$  なる起電力は第 80 式に示す如く發電子の廻轉數及界磁の強さに正比例すれども廻轉數は他の源因より限りありて増すことを得ざれば端子電圧を不變に保持するには界磁の強さを増して起電力を増すに在り而して界磁の強さを増すには勵磁機より界磁線輪に送る電流を増して其勵磁力を増さしむるに在り。

**交流發電機の電壓調整法**—交流發電機の端子電圧は直流發電機に於けると同様に其回路に接続せられたる負荷の増減に従て變化するものなれば之に伴つて起電力を調整するには直流發電機に於けると同様に其界磁線輪に通ずる電流を加減して磁界の強さを加減するに在り。其方法は交流機の界磁回路及勵磁機の界磁回路に加減抵抗器を直列に

接続し先づ勵磁機界磁回路に接続する抵抗器の抵抗を加減して勵磁機の起電力を増減せしめ其結果として交流機の界磁に通ずる電流を増減せしむ且つ又交流機の界磁回路に接続する抵抗器の抵抗を加減して界磁に通ずる電流を増減せしむ其結果として界磁の強さを變じ發生する起電力を適當に調整するを得るなり即ち交流機及勵磁機の兩界磁に於て二重に調整するにあれば調整の範圍大なり。此方法は普通に行はるゝ方法なれども負荷の如何なる變化に對しても嚴密に電圧を一様に保持するには其調整を自動的に行はざるべからず。自動調整方法に二種あり其一は交流機に於て通常の界磁線輪の外に尙一種の界磁線輪を備へ之に發電子より發生する交流の一部を特種の装置にて直流に變じて通せしめ通常の界磁線輪の勵磁作用と伴つて自動的勵磁作用を爲さしむるなり恰も複捲直流發電機に於けるが如し此種の交流機を**合成捲交流發電機** (Composite-wound Alternator) と云ふ。其二は特種の自動調整器を用ひ負荷の多少に従ひ交流機の界磁に通ずる電流を自動的に増減せしめ其電圧を調整するなり。

合成捲交流機に於て發電子より發生する交流の一部を直流に變ずる装置は整流器 (Rectifier) と稱し之を發電子線輪及聚電子間に於て發電子軸に設備す

第 五 十 六 圖  
米國ウエスチングハウス會社製  
單 相 交 流 發 電 機  
界 磁 合 成 捲



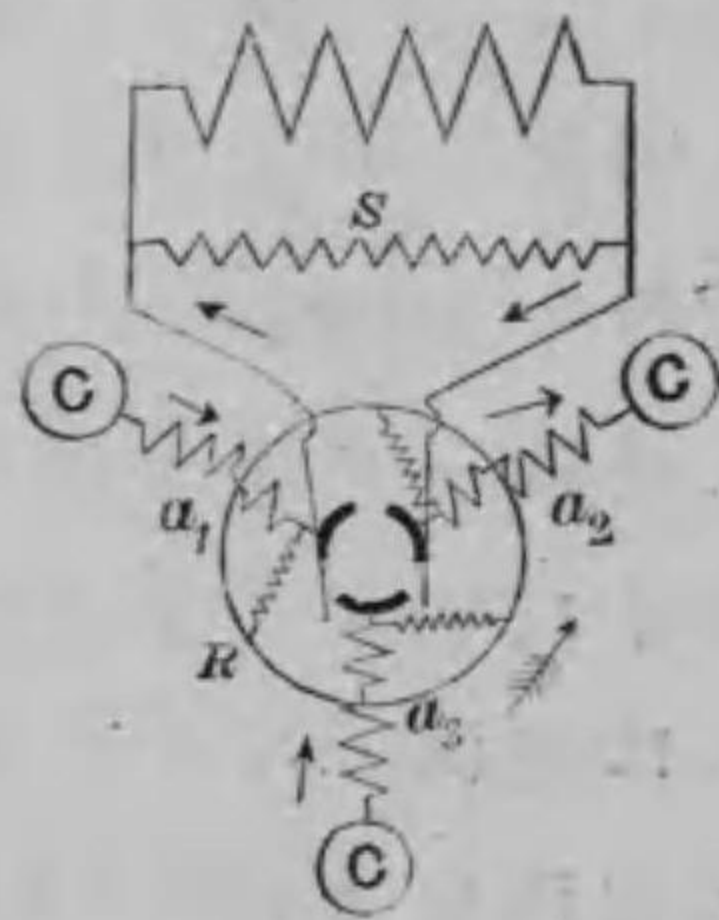
其構造は整流子と同様なれども整流子片の數は界磁極の數と等しくして一片置に互に連結せらる。其發電子線輪及界磁線輪との電線接続法は第56圖に

示す如し圖に於て A は交流機の發電子 C は聚電子 T は直列變壓器(其働作の理及構造は後章に記載す) R は整流器 E は勵磁機 F<sub>1</sub> は通常の界磁線輪 F<sub>2</sub> は交流の直流に變じて通ずる合成捲線輪なり。整流器には二組の刷子備へられ相隣れる整流子片に接觸し界磁線輪たる F<sub>2</sub> に接続せらる。且つ此装置は發電子と聚電子との間に直列變壓器に於て接続せられ發電子より發生する交流は變壓器に於て界磁の勵磁に適當なる電壓に變壓されて整流子に通ずるなり。今圖に示したる整流器の位置に於て交流が直列變壓器より矢の方向に通ずるとせば整流子片より整流器に入り、點線にて示す電線を経て 7 に出で刷子 b を經て界磁線輪 F<sub>2</sub> に通じて刷子 a に戻り、實線にて示す電線を経て整流子片 6 に出で直列變壓器に戻る。然るに發電子が廻轉すると共に整流器も廻轉し刷子の整流器に接する位置も變ずべし。其廻轉が  $\frac{1 \text{ 廻轉}}{2 \text{ 磁極數}}$  即ち此場合には四分一廻轉なるときに交流一周波を進み、八分一廻轉なるときに其方向全く反對す。是に由て八分一廻轉するときは刷子 a は整流子片 7 に接し b は 6 に接するに至り、同時に電流の方向は相反し第 56 圖乙に示すが如く、整流

子片  $r$  より入り刷子  $b$  を経て界磁線輪  $F_2$  に矢の方向に通じ刷子  $a$  に戻り點線を経て  $i$  に出で直列變壓器に戻る。即ち界磁線輪に通ずる電流は常に同方向にして直流に變ずるなり。然れども眞の直流に非ず只方向一定するのみにて其値は常に變化し所謂脈流たるを免かれず。恰も二個の整流子片を有する普通整流子にて交流を直流に變ずるものと同様なり。整流器に用ふる刷子は直流發電機に於けるが如く負荷の多少に應じ其位置を變ずる必要あれば其刷子保持器に移動器を取付け是に由て刷子を動かすものとす。

三相交流發電機の合成捲の接続は第57圖に示す如く發電子線輪の結線法が星形なる場合にのみ用ひらる。此場合には整流器の整流子片の數は磁極の對數の三倍にして是を三個毎に星形に連結せられたる  $R$  なる抵抗にて接続す。即ち整流子片は三組にして  $a_1 a_2 a_3$  なる發電子線輪に接続し二組の刷子に依て界磁線輪に

第五十七圖  
米國シーイー電氣會社製  
三相交流發電機界磁合成捲  
接続圖



接続せらる。是に分流抵抗  $S$  は並列に接続せられ界磁線輪に通ずる電流を適度ならしむ。  $C$  は聚電子の滑動環にして  $a_1 a_2 a_3$  に接続せらる。圖に示す位置に於ては  $a_3$  に電流の發生なく  $a_1$  に發生する電流は界磁線輪に矢の方向に流る。今發電子が矢の方向に廻轉するときは刷子は  $a_3 a_2$  に接觸するに至り、  $a_1$  の電流發生止み  $a_3$  に發生する電流が界磁線輪に矢の方向に通ずるに至る。猶發電子が廻轉を續け刷子が  $a_2 a_1$  に接觸するに至るや  $a_2$  に發生する電流が前と同じ方向にて界磁線輪に通すべし。即ち界磁捲線に通ずる電流は常に同じ方向に在るなり。然れども單相交流發電機の整流器に於ける如く脈流なるを免かれざるなり。

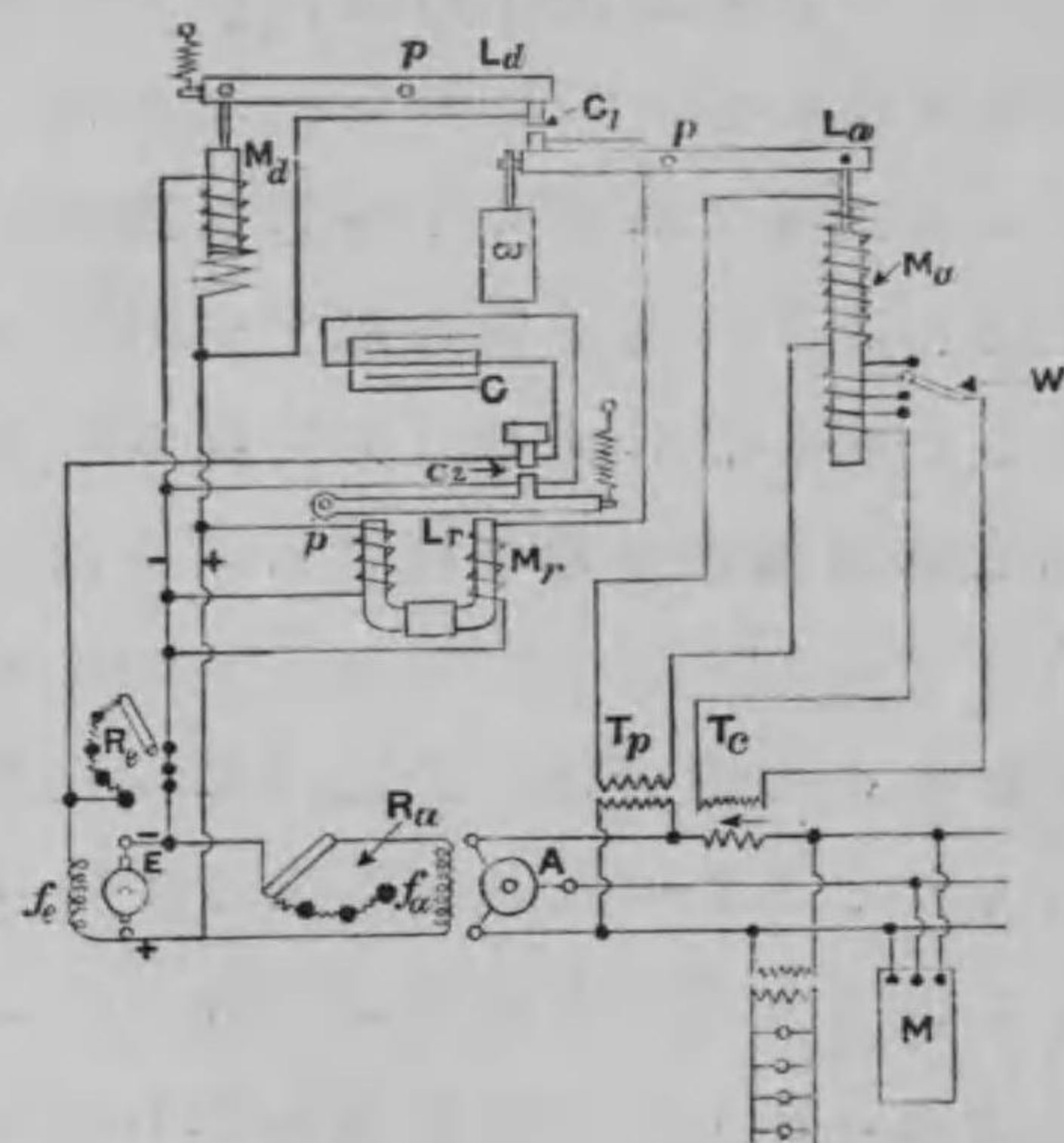
界磁の合成捲は廻轉發電子型交流機にのみ用ひられ且つ出力大なるもの及び電壓高きものには應用困難なるに由り、合成捲交流機は出力小なる廻轉發電子型交流機に限られ、其他の交流機には後に記載する電壓自動調整器を使用するを可とす。

合成捲を有せざる交流機の電壓變動率は交流機の回路の力率 1.00 のとき五パーセント乃至七パーセントにて、力率低きに從ひ電流増加する爲め發電子反

作用増して端子電圧低下し變動率は15パーセント乃至22パーセントに増す。一般に交流機の耐量大なるに従ひ變動率少し。

**チリル自働電圧調整器**—交流機に於て勵磁機の界磁加減抵抗器に分路を設け之に依て抵抗を或は

第 五 十 八 圖  
チリル自働電圧調整器



短路し或は短路を断ち勵磁機の起電力を増減するときは交流機の端子電圧を適宜に調整することを得べし。**チリル自働電圧調整器** (Tirill Potential Regulator) は此方法を自働的に行ふ装置の一種にして其

大略は第58圖に示す如し。圖に於てAは交流機の發電子、 $f_a$ は其界磁線輪、 $R_a$ は其加減抵抗器、Eは勵磁機、 $f_e$ は其界磁線輪、 $R_e$ は其加減抵抗器なり。 $M_0$ 及 $M_f$ は電磁石にして鐵心は線輪に密着せずして内部に於て動くことを得る構造なり然し $M_0$ に於ては上方に引上げられ $M_f$ に於ては下方に引下げらるるなり。此二個の電磁石は装置の主要部を爲し共に制御磁石 (Control Magnet) と稱せらる。 $M_0$ には尙別にWなる線輪捲かれ開閉器に依て其働作捲線の數を増減することを得るなり。 $M_f$ は交流機の回路に於て發電子に近く接続したる變壓器 $T_p$ の低壓側に接続せられ $M_0$ は勵磁機回路に其發電子に近く接続せらる線輪Wは $M_0$ と同様に交流機の回路に變流器 $T_c$ (後章に記載す)に依て接続せらる。 $M_f$ も電磁石にして二種の線輪反對に捲かれ其一は $M_0$ と並列に勵磁機回路に接続せられ他の一は接觸點 $C_1$ を経て勵磁機回路に接続せらる此電磁石は二線輪の相反せる起磁力の合成に由て働作するものなれば繼電磁石 (Relay magnet) と稱せらる。

$L_p$ 、 $L_s$ は槓杆にして支點 $p$ に於て支へられ $L_s$ の一端は電磁石 $M_0$ の鐵心に連結し他端には錘 $w$ 垂下し鐵

心と殆んど平衡す。 $L_a$ の一端は電磁石 $M_a$ の鐵心に連結し其上方には發條ありて鐵心を引上ぐ其他端には接觸子ありて槓杆 $L_b$ と接觸點 $C_1$ に於て接觸することを得るなり。 $L_r$ も槓杆にして其一端に於て支點 $P$ にて支へられ他端に於て發條にて上方に引かる之にも接觸子ありて接觸點 $C_2$ に於て接觸を爲すを得るなり。接觸點 $C_2$ は加減抵抗器を短絡するものにして其開くとき火花の發生を防ぐ爲めに蓄電器 $C$ を之に並列に接続す。此等調整装置は働作上より交流部及直流部の二部より成るものと考ふることを得べし。即ち交流部は交流を受けて働作する $M_a$ より成り直流部は直流を受けて働作する $M_a$ 及 $M_r$ より成る。今直流交流共に發生なき場合即ち交流機及勵磁機共に運轉せざる場合には接觸點 $C_1$ 及 $C_2$ は相接觸すれども若し勵磁機のみ運轉せられ直流發生するときは $M_a$ に電流通じ $L_a$ の左端は下方に引かれ右端の接觸子は上方に動く然れども $L_a$ の左端も鐵心の重量の爲め之に伴ひ上方に動き接觸點は開くことなし。従て $M_r$ の二線輪に電流通じ起磁力發生すれども反對に捲かるゝ爲め相殺して磁氣作用を起さず従て $L_r$ は吸引せられず接觸點 $C_2$ は開く

ことなく加減抵抗器を短絡し勵磁機の起電力を大ならしむ。次に交流機を運轉し適當の電壓を發生せしむるときは $M_a$ に交流通じ $L_a$ の右端は上方に引かれ左端の接觸子は下方に動き接觸點 $C_1$ は開き $M_r$ の右方線輪への電流の流通止まり左方線輪の磁氣作用にて $L_r$ は下方に引かれ接觸點 $C_2$ は開くべし。爰に於て加減抵抗器は短絡より離れ界磁線輪に接続せられ界輪に通ずる電流は之が爲めに減じ勵磁機の起電力は減するに至る。其結果として $M_a$ に通ずる電流減する故 $L_a$ の左端は發條の力の爲め少しく上方に動き接觸點 $C_1$ は再び閉ぢ $M_r$ の右方線輪に電流再び通すべし爰に於て $M_r$ の磁氣作用止み $L_r$ は發條の力の爲め上方に動き接觸點 $C_2$ は閉ぢ加減抵抗器を短絡し界磁に通ずる電流を増さしむべし。従て勵磁機の起電力は増し $M_a$ に通ずる電力増して $L_a$ は下方に引かれ接觸點 $C_1$ は開き従て $C_2$ は開き加減抵抗器は界磁線輪に直列に接続せられ勵磁機の起電力は再び降下すべし。斯の如くして勵磁機の起電力は極めて速に變化すれども交流機の界磁線輪に通ずる電流は線輪の自己誘導多き爲め其變化を受けず殆んど一樣なり。而して交流回路に

於ける負荷が急に増加し電壓低下するときは、 $M_1$ に通ずる電流減する爲め其吸引力減じ鐵心は下り接觸點  $C_1$  は閉づべし然るときは前記の順序に従て勵磁機の起電力増し従て交流機の界磁に通ずる電流も増して其起電力復舊すべし。若し又負荷が減じ電壓上昇するときは前と反對の作用起り起電力復舊すべし斯くの如くして勵磁機の電壓は負荷の如何に關せず常に一定に保持せらるゝなり。若し負荷の増加に従ひ電壓をして上昇せしめんとするときは  $W$  なる線輪を用ふ此線輪は  $M_1$  に反對に捲かれ交流機の電流に正比例する電流が之に通ずる故負荷が増加するときは鐵心の上方に引かるゝ程度は線輪  $W$  なき場合よりも大なるに由り交流機の起電力は一層大ならざるべからず従て勵磁機の調整作用に由り交流機の起電力は増大せらる其範圍は開閉器に由て線輪  $W$  の働作捲線を増減して定むることを得るなり。此調整器は交流部を取去り接觸點  $C_1$  を固定せしむれば直流發電機の電壓調整器として使用することを得るなり。

勵磁機—交流機の勵磁機として使用する直流發電機は複捲式なるを通常とし時として補極付のも

の使用せらる何れも各交流機に直結せらるゝか或は是より調帯にて運轉せらるゝものなれども數臺の交流機を一ヶ所に設備する場合には全交流機を勵磁するに足る出力を有する勵磁機一臺を備へ單獨の原動機にて運轉せしむる方法あり此場合には概ね同じ出力の勵磁機を尙一臺備へて豫備と爲す。勵磁機の出力は交流機の出力に従て異れども其割合は大略交流機出力の一パーセント乃至三パーセントにして回路の力率 0.8 のとき全負荷に對し充分なる勵磁電流を供給するものたること必要なり。勵磁機と交流機との關係の詳細に就ては發電所の章に於て記載す。

發電子の反作用—交流發電機に於ても直流發電機に於けると同様に發電子に通ずる電流は磁界に影響を及ぼし反作用を爲す。然れども發電子に通ずる電流が其起電力と同相に在るときは其反作用は直流發電機に於ける反作用と同様に只磁力線の分布を變ずるのみなれども電流が起電力より相に於て遅れるときは發電子線輪が磁極の下に來り起電力零なる場合にも線輪中に電流通じ之に由て生ずる磁力線は磁極より發する磁力線と反對の方向

に在れば其結果として磁界の強さ減少すべし。之に反し電流が起電力より相に於て進むときは發電子線輪が磁極の下に來り起電力零なる場合に電流は已に方向を變じ之に由て生ずる磁力線は界磁極より發する磁力線と同じ方向に在れば其結果として磁界の強さ増加すべし。斯くの如く交流發電機に於ける發電子作用は直流發電機に於ける場合と異り界磁より發する磁力線の分布を變ずるのみならず其數を増減せしむ其影響の多少は電流の強さ發電子線輪の磁極に對する位置及電流と起電力との相差の多少に關係す。發電子線輪の磁極に對する位置異なるに從て反作用の程度が多少異なる結果として磁力線の常に動搖するを免かれず從て發電子より發生する起電力の波形は變化し磁界の強さの變化は起電力の變化を起さしむるに至る。此磁界の變化を起さしむる原因即ち起電力と電流との相の關係は交流機の回路に於ける負荷の種類に由て定まるものなれば從て起電力の變化も負荷の種類に從て異なる。即ち前記の如く電流が起電力より遅れるときは磁界の強さは減ずる故負荷が増すと共に起電力は減少す之に反し電流が起電力より進むと

きは磁界の強さは増す故に負荷が増すと共に起電力は却て増加す此増減の程度は負荷の性質即ち回路の力率の多少に由て異なる。

交流發電機の出力量及耐量—第55圖に於て  $OE_1$  なる發電子にて發生する起電力を  $E_0$  にて表はし  $OE_2$  なる端子電壓を  $E$  にて表はせば發電子に於て發生せらるゝ電力は  $I_0 E_0 \cos \phi_1$  にて表はされ外部に送らるゝ電力は  $I_0 E \cos \phi$  にて表はさる。但し  $E$  及  $E_1$  は皆實効値なり。  $I_0 E \cos \phi$  は發電子の端子に於て利用することを得る電力なれば交流發電機の出力量を表はすなり。外部回路に通ずる電流を  $I$  にて表はせば  $I=I_0$  なるに由り出力  $W$  は次の如く示さる。

$$W=EI \cos \phi \dots\dots\dots(81)$$

$\cos \phi$  は回路の力率なること已に記載せり。此式は單相交流機の出力量を表はすものなるが多相交流機の出力量を表はす式は「多相交流回路に於ける電力」の節に於て記載せると同様に於て次の式にて表はさる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{二相交流機(四線式の場合)} W=2EI \cos \phi \\ \text{三相交流機} \dots\dots\dots W=\sqrt{3}EI \cos \phi \\ \text{四相交流機} \dots\dots\dots W=2EI \cos \phi \end{array} \right\} \dots(82)$$

此等の式に於て認むる如く交流機の出力量は直流機

に於けると異り、回路の負荷の種類に由て異なる力率の如何に由て定まるものなれども、力率は交流機には全く関係なきものなる故に、交流機の出力を表すには誘導作用なき回路即ち力率1の回路に於て発生することを得る出力を以て「キロワット」の代りに「キロヴォルトアムペア」(Kilovolt-ampere)なる單位にて示す。従て交流機の格定耐量も同様「キロヴォルトアムペア」にて示す。例へば電圧3,300「ヴォルト」電流87.5「アムペア」の三相交流機の格定耐量は $3,300 \times 87.5 \times 1.73 = 500$ 「キロヴォルトアムペア」にして回路の力率0.8なるときは交流機の實際の出力は

$$500 \times 0.8 = 400 \text{「キロワット」}$$

となり力率0.9なるときは

$$500 \times 0.9 = 450 \text{「キロワット」}$$

となり力率の如何に由て交流機の實際の出力定まるなり。

交流発電機の端子電圧及周波數—交流発電機の端子電圧は送電する距離に應じ適當に選定するものなれども、其構造上より最高11,000「ヴォルト」を限度とす。之より高き送電電圧を要する場合には變壓器を用ひ端子電圧を送電電圧に變壓するなり。周波

數は電燈には歐洲大陸及英國に於ては40サイクル又は50サイクル米國に於ては60サイクルを用ひ我邦に於ては50サイクル又は60サイクルを用ふれども近來概ね50サイクルを採用するに至れり。尤も電氣鐵道又は特種の場合に於ては25を採用す。廻轉數は周波數及磁極數より定まる。次の表は各種周波數に對する磁極數及廻轉數(一分間)を示す。

第 三 十 八 表  
交流機廻轉數表

磁極數	周 波 數		
	25	50	60
2	1500	3,000	3,600
4	750	1,500	1,800
6	500	1,000	1,200
8	375	750	900
10	300	600	720
12	250	500	600
14	214	428	514
16	188	375	450
18	167	333	400
20	150	300	360
22	136	273	327
24	125	250	300
26	115	231	280
28	107	214	257
30	100	200	240
32	94	188	225
36	83	166	200
44	79	136	164
48	63	125	150
54	56	111	133
60	50	100	120
68	44	88	106
72	42	83	100
96	31	64	75
100	30	60	72

大正三年四月逓信省に於ける周波數及電壓調査委員會に於て周波數及電壓に關し本邦に於て採用すべき標準を審議せしが大略次の通り決議せられたり。

- (1) 本邦に於ける電氣工作物の標準周波數を50サイクルと定め相當理由ある場合の外此標準に據ること。
- (2) 本邦に於ける電氣



工作物の標準電壓を本表(第39表)の如く定め已むを得ざる理由ある場合の外此標準に據る事。

第 三 十 九 表

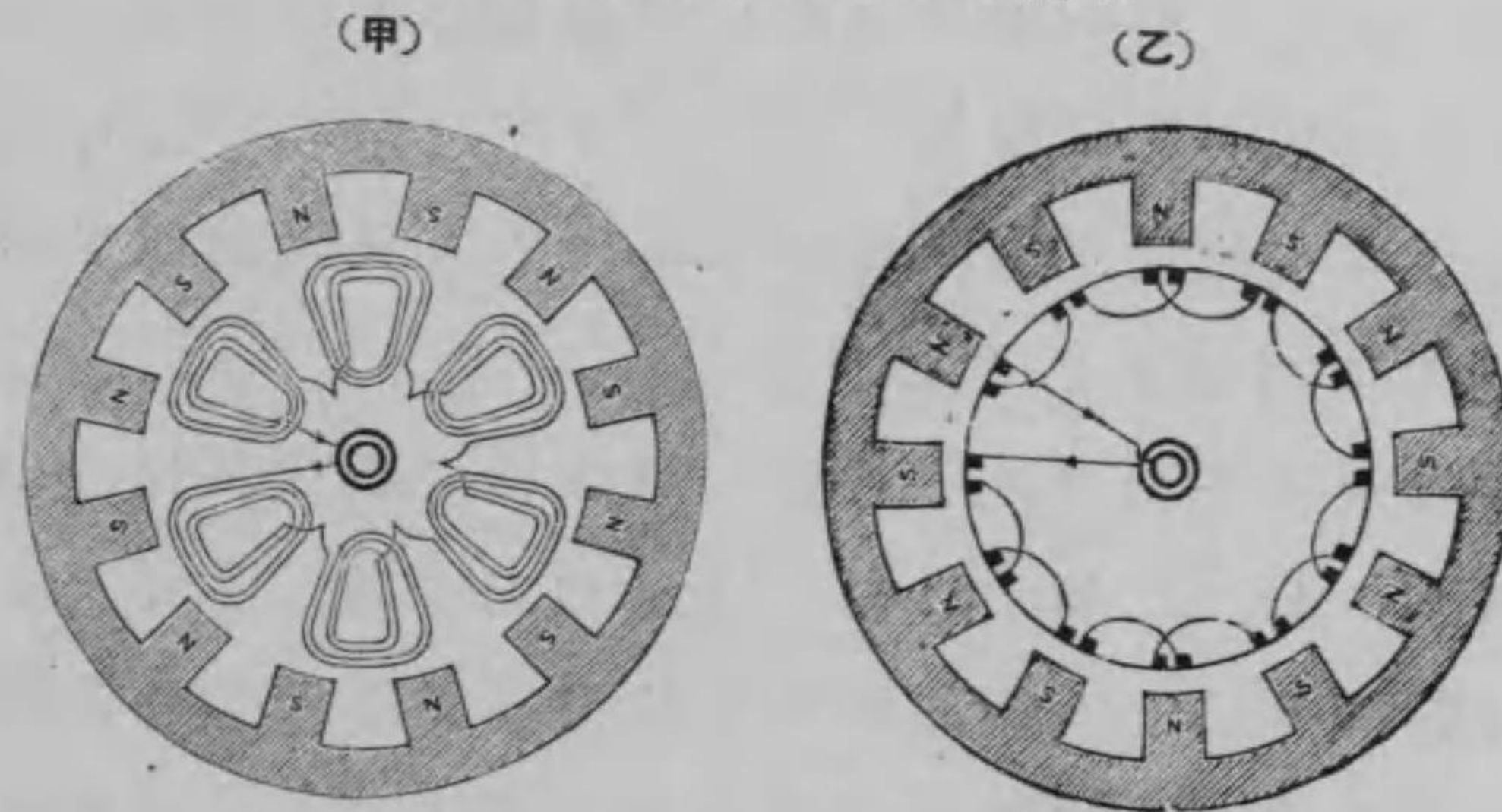
		電 壓 (ヴォルト)				備 考		
電 端 子 電 燈 壓	直 流 及 交 流	50	100	—	—	電氣鐵道用直 流發電機及直 流電動機を除 く		
		100	200	400	500			
電 動 機 電 端 子 電 壓	直 流 及 交 流	2,000	3,000	6,000	10,000			
	交 流	2,000	3,000	6,000	10,000			
發 電 機 電 端 子 電 壓	直 流 及 交 流	110	220	440	550			
	交 流	2,200	3,300	6,600	11,000			
變 壓 器 一 次 及 二 次 端 子 電 壓 (無負荷)	發 電 所 用 變 壓 器	一 次 電 壓	2,200	3,300	6,600		11,000	變壓器にタ ップを附する 場合には其變 壓比を一割以 内に限り變更 することを認 む
		二 次 電 壓	11,000	22,000	33,000		44,000	
	變 電 所 用 變 壓 器	一 次 電 壓	6,000	10,000	20,000		30,000	
		二 次 電 壓	40,000	50,000	60,000		70,000	
變 電 用 變 壓 器	一 次 電 壓	2,100	3,150	6,300	—			
	二 次 電 壓	52.5	105	210	—			

第三項 交流發電機の構造

交流發電機の發電子線輪の捲法—交流機の發電子は直流の夫に比し耐量の割合に大なる故に概ね環狀有溝型にして鐵心の周圍に溝を作り之に豫め適當の形狀に作りたる型捲線輪を筈入す。尤も獨逸の製造工場に於ては手捲型に依るなれば溝を半開溝と爲すか又は有孔型に爲す。有溝型に於ては溝

の爲めに磁力線の變動起り界磁極に渦流を生せしむるを免かれざるなり。線輪の捲法は概ね鼓形捲法に依り重捲又は波捲に捲くものとす。線輪の數は單相交流機に於ては磁極數に同じくす。即ち每極一線輪式なり。時として每極に二線輪以上と爲すことあれども起電力の發生の劣るを免かれざれば概ね前式に依る。各線輪を接続するには界磁の南極に面する線輪に發生する起電力は界磁の北極に面する線輪に發生する起電力と相反し互に180度の相差を有する故に反對に順次に接続し兩端を發電子軸に取付たる聚電環に導き之に接続す。第59圖に單

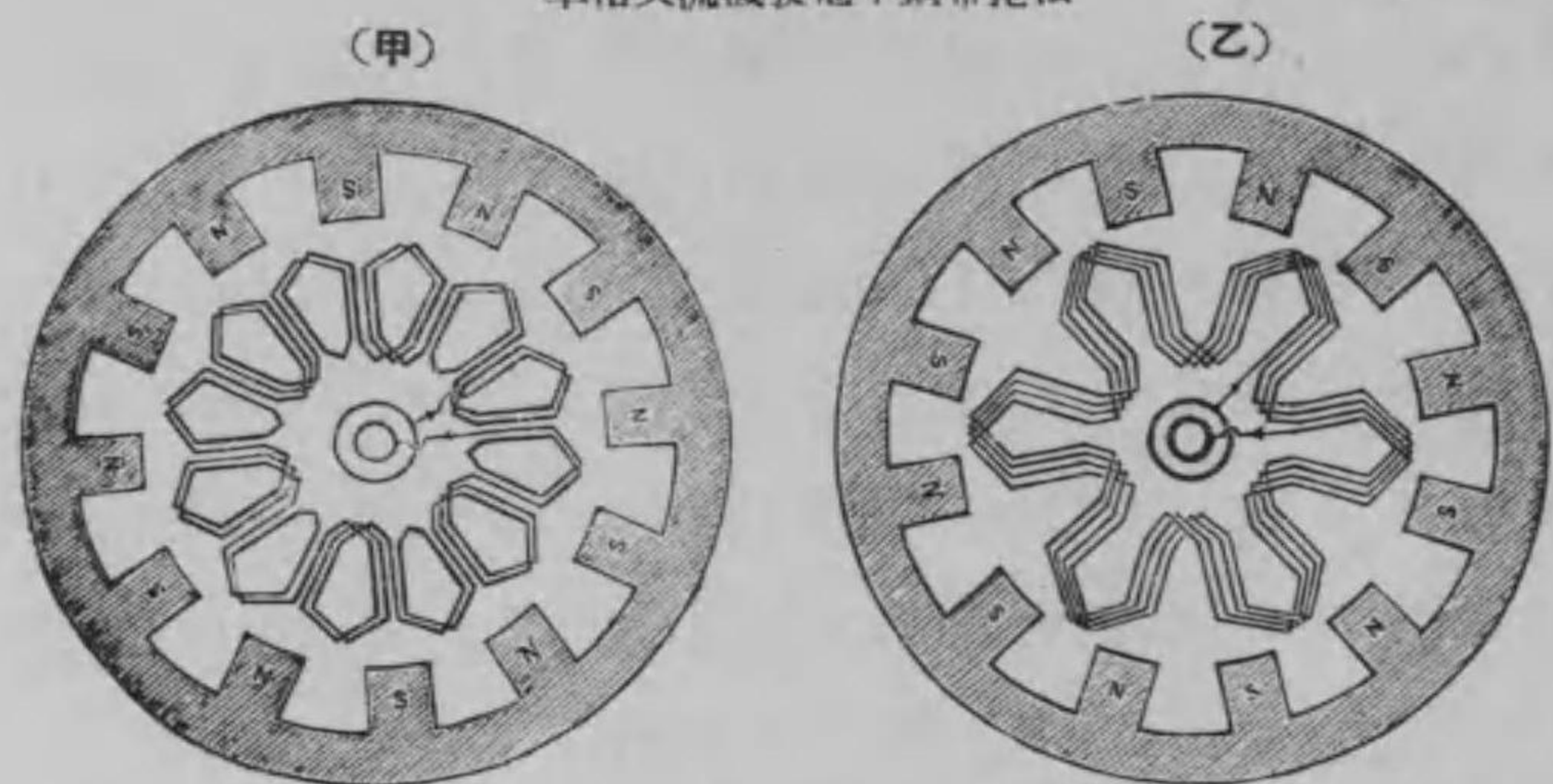
第 五 十 九 圖  
單 相 交 流 機 發 電 子 の 捲 法



相 交 流 機 發 電 子 の 捲 き 方 を 示 す 磁 極 數 12 個 發 電 子

の線輪數亦12個即ち每極一線輪式にして溝の數は每極に二個なり。線輪に通ずる電流大なるときは線輪の代りに銅帶輪を用ふることあり。所謂銅帶捲線(Bar-winding)を用ふるときは或は之を重捲とし或

第 六 十 圖  
單相交流機發電子銅帶捲法

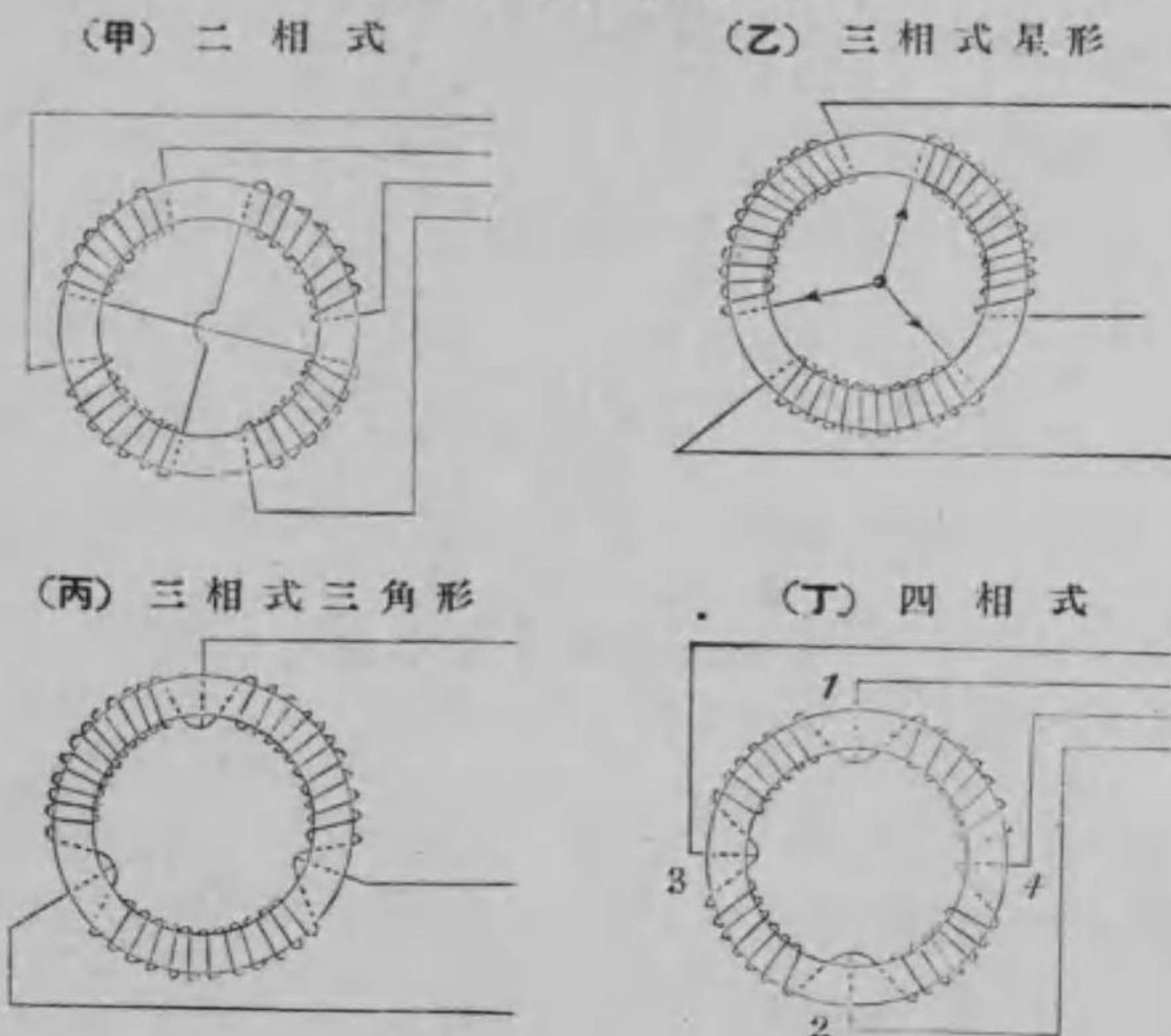


は波捲とす。第60圖甲は單相交流機發電子銅帶捲線の重捲を示し、同圖乙は同じく波捲を示す。此等の捲法は交流機が廻轉發電子型なるも又は廻轉界磁型なるも異なることなし。

多相交流機の發電子に於ては線輪の數は每極一個以上にして、二相式に於ては單相式に於て必要なる線輪の外に之と極間隔の $\frac{1}{2}$ 位置の異なる即ち相差角90度を有する交番起電力を發生する第二の線輪一組を要し、三相式に於ては之と極間隔の $\frac{1}{3}$ 及 $\frac{2}{3}$ 位置

の異なる第二及第三の二組の線輪を要し、四相式に於ては互に極間隔の $\frac{1}{4}$ 宛位置の異なる四組の線輪を要す。是等の線輪は皆全く同じきものにして只位置の異なるのみ之に發生する起電力の波形曲線をして成るべく正弦曲線ならしめんが爲め、發電子の周圍に分布して捲くを可とす。第61圖は磁極數二個な

第 六 十 一 圖  
多相交流發電子線輪結線法

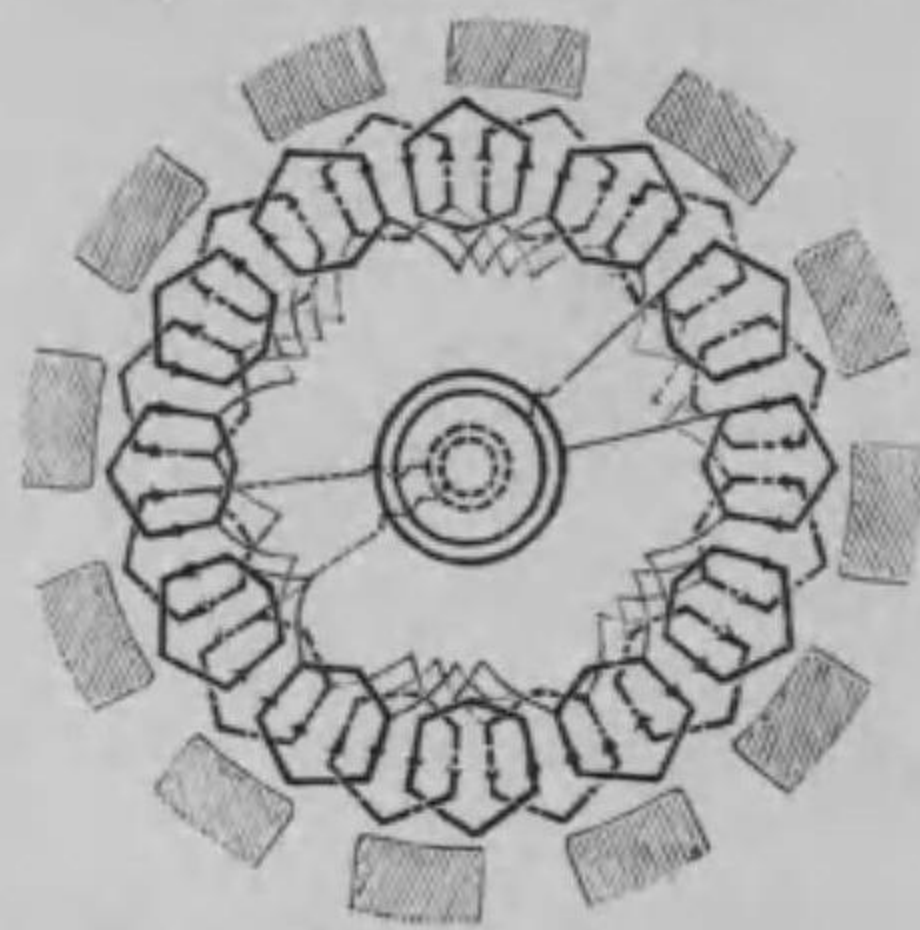


る多相交流機發電子に於ける線輪の相互の關係及其接續を示す概念を與へ、第62圖に二相交流機發電子の捲き方を示す。線輪の數は各相共に磁極數に同

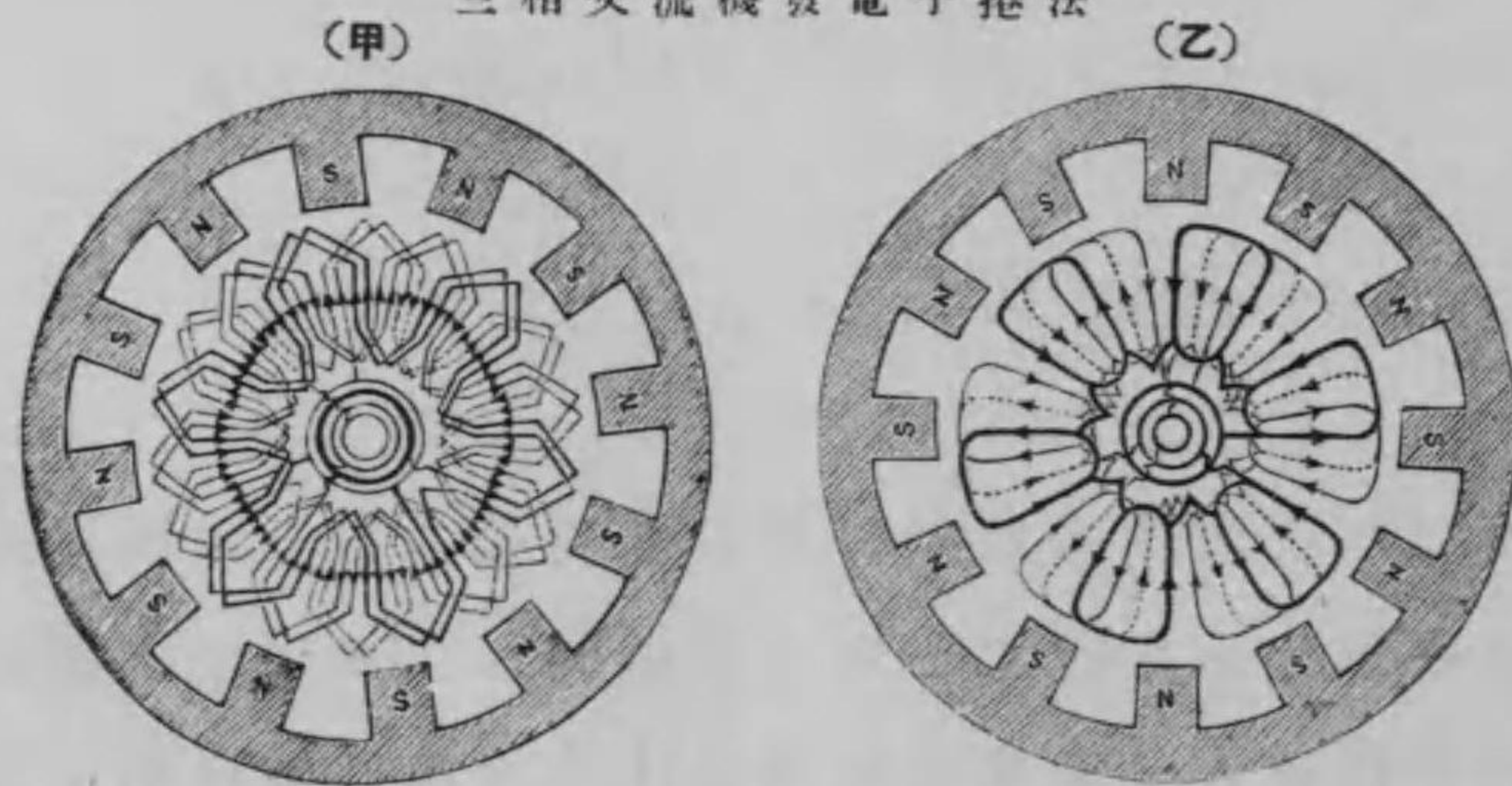
じ。第63圖甲に三相交流機發電子の星形に連結せる波捲捲法を示し同圖乙に三角形に連結せる重捲捲法を示す。

三相式發電子線輪を正當に接続する爲めには次の様に考ふべし。

第 六 十 二 圖  
二相交流發電機發電子捲法



第 六 十 三 圖  
三相交流機發電子捲法



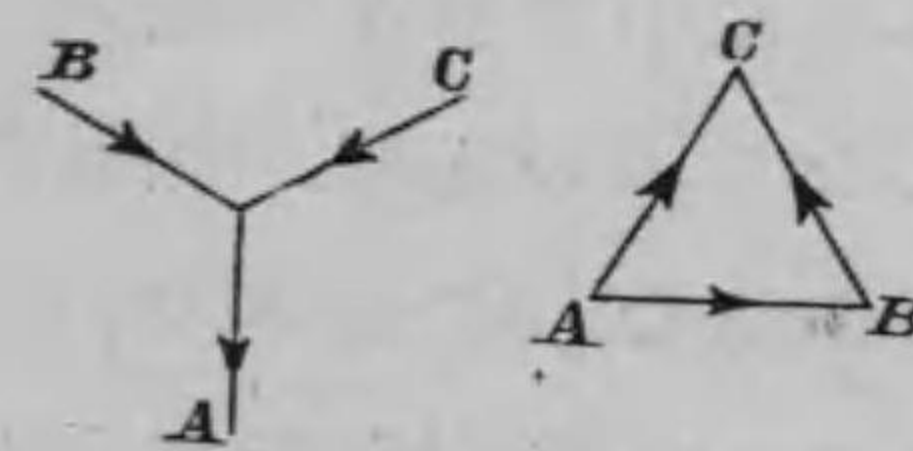
(一) 星形結線の場合

總て磁極の中央に在る捲線には最大電流通するものと假定し其線輪の一端は中性點に接続せられ電流は中性點より流れ來るものと假定するときは他の二つの相の捲線に於ける電流の方向は同じ名の磁極の下に在つて互に相同じきも第一の相の捲線に於ける夫とは反對なり即ち電流は中性點に向て流るべし。夫れ故此二つの相の捲線の各端は此電流の方向と一致する起電力を起す様に中性點に接続せざるべからず。第64圖甲は各相線に於ける電流の方向を示す。

(二) 三角形結線の場合

磁極の下に在る第一相の線輪の兩端が第64圖乙に

第 六 十 四 圖  
(甲) (乙)



示す如くA,Bの聚電環に接続せられ電流はAよりBに向つて流るゝものとすれば他の二相の線輪に通ずる電流の方向はAより

Cを経てBに向ふべし。此くの如き電流の方向を

得る様第二相の兩端を聚電環 A 及 C に接続線第三相の線輪の兩端を聚電環 C 及 B に接続せざるべからず。

四相式捲法は廻轉變流機(後章に記載す)に於て用ひらるゝのみなれば爰には省略す。

**交流發電機の構造—廻轉發電子型 (Revolving Armature type)** 交流發電機の構造は多極直流發電機と同様に界磁は鑄鐵製の圓形の鐵心内に數對の磁極が内側に向て取付けられたるものより成る。發電子より發生する磁力線の變化するに由り渦流の磁極片に生ずるを防ぐ爲め磁極は軟鐵板を成層したるものにて作り之に手捲界磁極框を嵌入す。發電子は環狀有溝型にして鐵心は軟鐵板を成層したるものより成る其周圍に軸と平行に且つ之れと直角に數多の溝を作り聚電子の廻轉に伴ひ外部の空氣をして溝より其内部に入り聚電子線輪及界磁線輪に觸れしめて是を冷却せしむるものとす。線輪の捲線には被覆銅線又は被覆銅板を用ひ豫め型捲と爲し鐵心の溝に挿入しフアイバーの楔にて締付け絶縁を良好ならしむ。

各線輪は已に記載したる捲法に従ひて接続し其端

を聚電環に接続す聚電環は眞鍮又は砲金より成る環にして相互間は充分に絶縁せられ絶縁物より成る環を隔てゝ發電子の軸に固く取付らる。是に接続すべき發電子線輪の端子導線は發電子の軸に縦に穿ちたる溝に通じて聚電環に至るなり。刷子は銅板を數枚重ねたるものにして交流を聚めるのみなれば其位置を變ずる必要なき故に便宜取扱ひ易き位置に刷子保持器を固定し之にて刷子を聚電環上に壓下し置くなり。

此種の交流機の原動機と直結するものゝ大體の構造は調帯にて運轉せらるゝものと異なることなきも其廻轉速度は原動機と同一にして後者に比し甚だしく少ければ其磁極數は是に比し多く從て其大きさも増大し發電子は鑄鐵より成る車輪狀を爲し其周圍に鐵心を楔止となし是に型捲線輪を嵌入したるものなり。

第40表に米國ウエスチングハウス電機製造會社製の廻轉發電子型單相交流機の出力廻轉數等を示す。此種の交流機の界磁は合成捲勵磁法に依る端子電壓は1,150〔ヴォルト〕若くは2,300〔ヴォルト〕を標準と爲す。發電子定置し界磁の廻轉する廻轉界磁型 (Revolving

Field type) 交流機の構造は廻轉發電子型と異り、發電子は外周にありて界磁は其内側に於て廻轉す。

發電子は環狀有溝型にして實體は圓形の大なる鑄鐵の枠より成り、其内側に成層軟鐵板より成る鐵心を楔止めしたるものなり。鐵心に型捲線輪を嵌入し適當に接続する方法は廻轉發電子型に於けると同じ。界磁は發電子の内側にありて繼鐵は軸に取付けたる重き鑄鐵の車輪體より成り、其外周に發電子に向て成層軟鐵板より成る磁極の數個をボルトにて締付け、是に手捲界磁線輪を嵌入したるものなり。各線輪は適當の方法にて連結し、其兩端は軸に取付けたる二個の鐵製の聚電環に接続せられ、刷子に依て勵磁機に連結せらる。界磁は廻轉の際恰も扇風機の如く空氣を流起し、空氣は是に對する發電子鐵心の各溝に入り、鐵心に發する熱を冷却せしむ。發電子線輪の兩端は直に發電子實體の鑄鐵

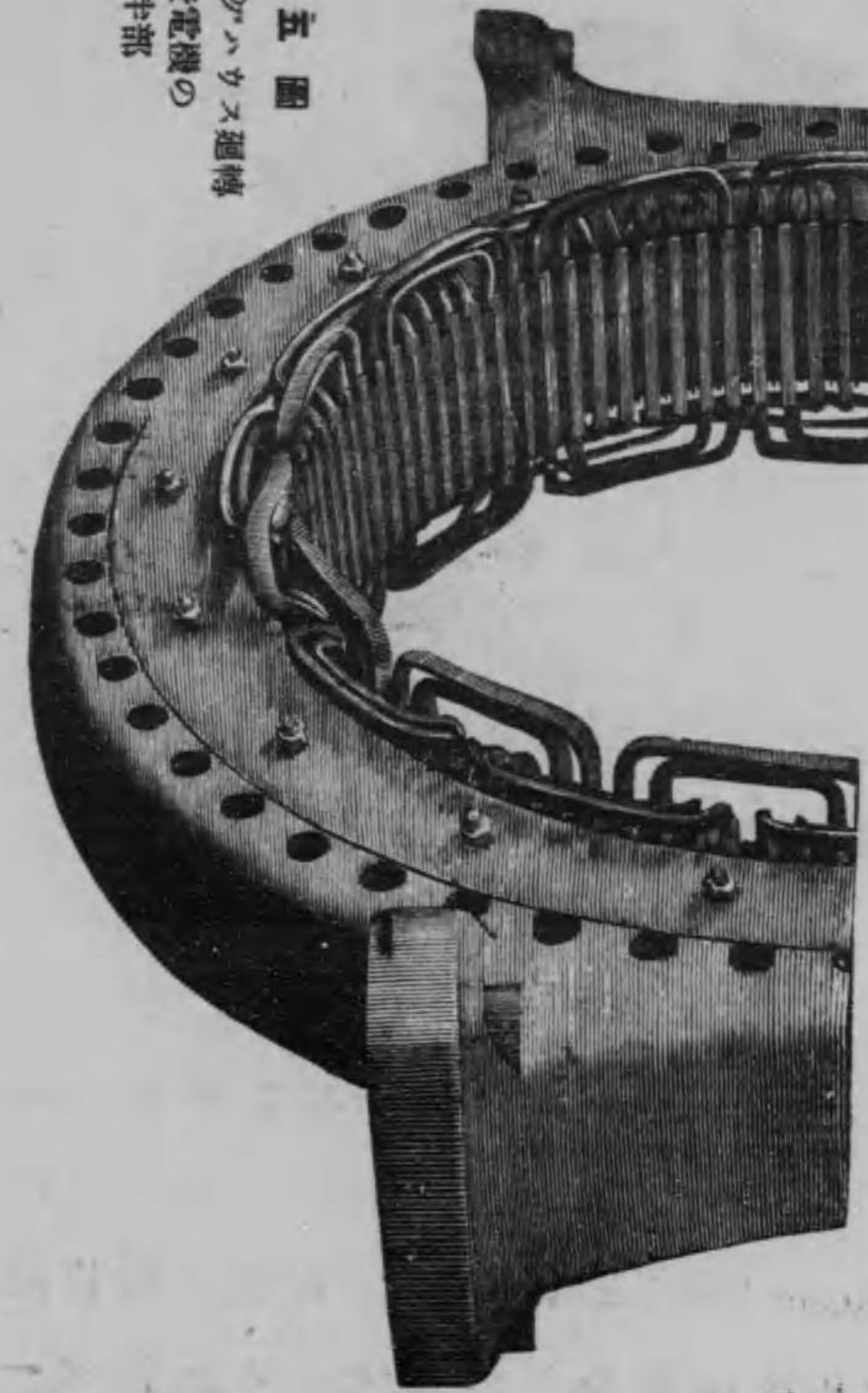
第 四 十 表  
ウエスチングハウス廻轉發電子型  
六十サイクル單相交流發電機表  
(調 帶 運 轉)

出力 キロワット	磁 極 數	一廻 分轉 間數 の	勵 磁		車 輪	
			電 壓 ヴォル ト	電 流 アムペ ア	直 徑 吋	幅 吋
45	8	900	125	8	20	9
60	8	900	//	//	20	11
75	10	720	//	//	25	15
90	10	720	//	10	25	15
150	12	600	//	22	33	26

と同じ。界磁は發電子の内側にありて繼鐵は軸に取付けたる重き鑄鐵の車輪體より成り、其外周に發電子に向て成層軟鐵板より成る磁極の數個をボルトにて締付け、是に手捲界磁線輪を嵌入したるものなり。各線輪は適當の方法にて連結し、其兩端は軸に取付けたる二個の鐵製の聚電環に接続せられ、刷子に依て勵磁機に連結せらる。界磁は廻轉の際恰も扇風機の如く空氣を流起し、空氣は是に對する發電子鐵心の各溝に入り、鐵心に發する熱を冷却せしむ。發電子線輪の兩端は直に發電子實體の鑄鐵

に絶緣板を隔て、取付たる端子盤に接続せられ、是に由て外部回路に接続せらる。第65圖甲は廻轉界磁型交流機の發電子下半部の一列を示し、同圖乙に其界磁の一例を示す。此種の發電機にも原動機に調帯にて連結するものと之に直結するものとあり。第41表にウエスチングハウス電機製造會社の廻轉界磁型多相交流機の出力電壓及廻轉數等を示す。ウエスチングハウス會社製廻轉界磁型交流機の界磁勵磁法は出力300

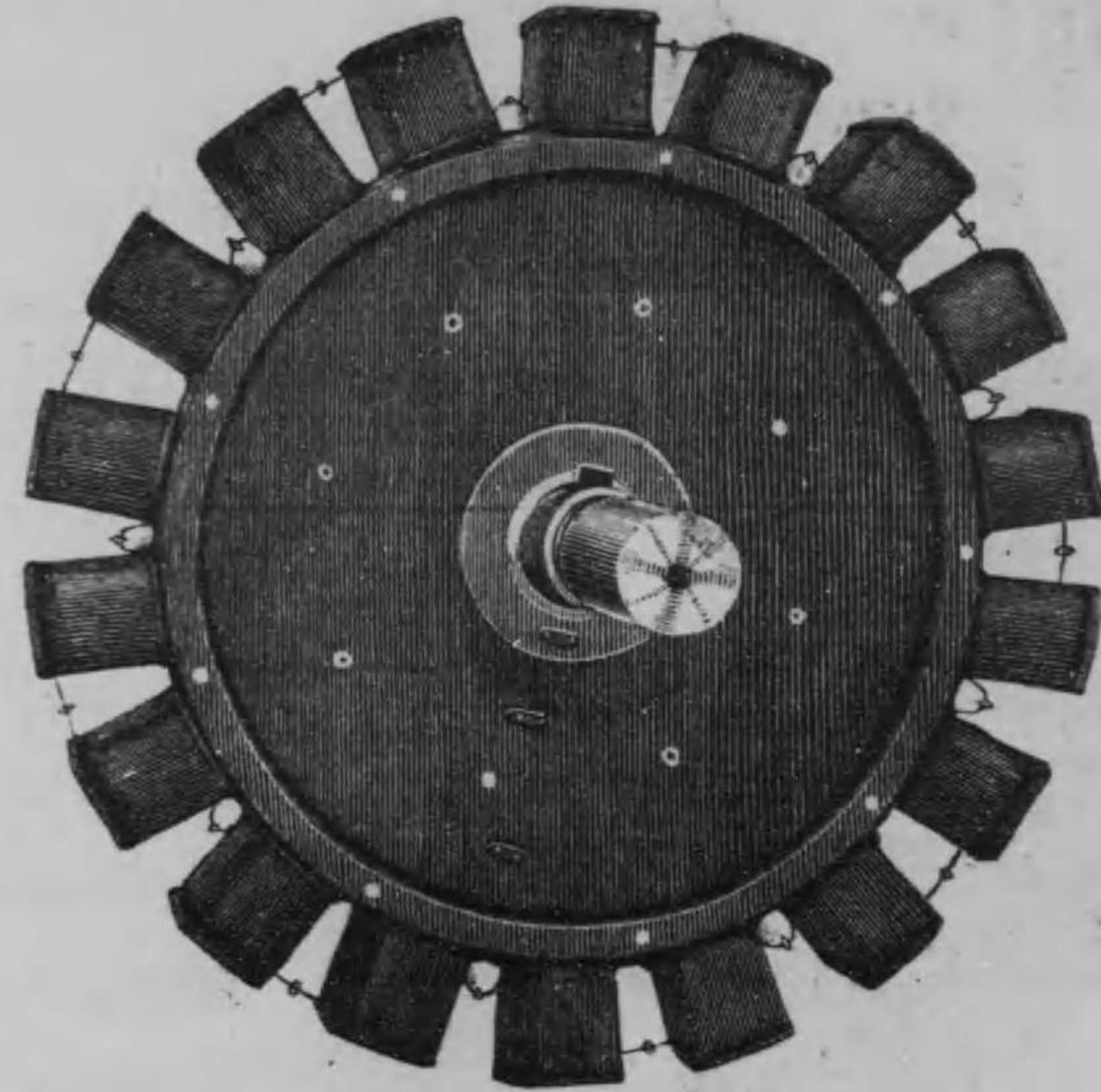
第 六 十 五 圖  
(甲) ウエスチングハウス廻轉  
界磁型交流發電機の  
發電子下半部



ウエスチングハウス會社製廻轉界磁型交流機の界磁勵磁法は出力300

「キロワット」以下のものに於ては合成捲に依ることあり其電線接續法は第66圖に示す如し。整流器の構

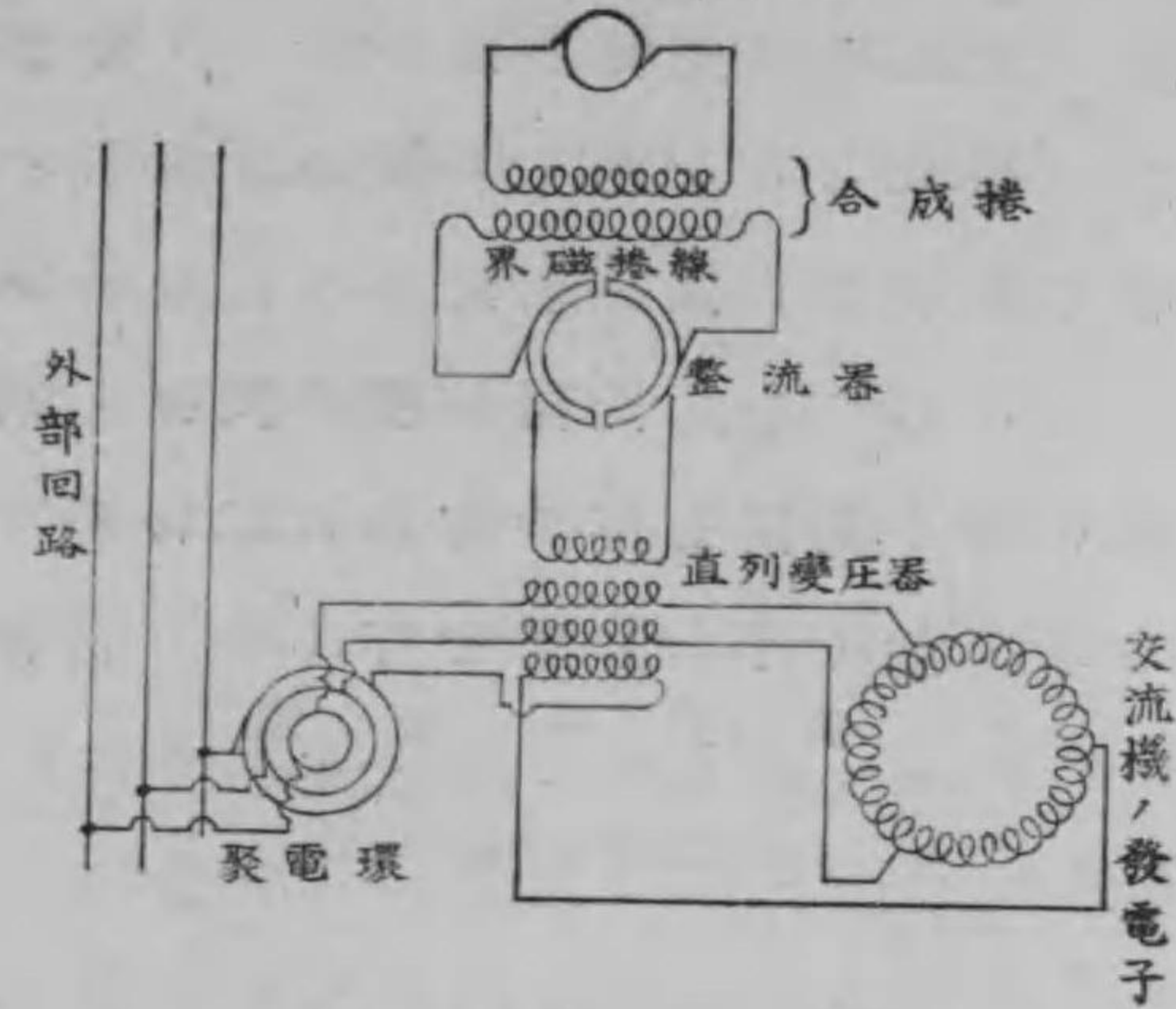
第 六 十 五 圖  
(乙) ウェスチングハウス廻轉界磁型交流發電機の界磁の一例



造及交流を脈流に變ずるの理は第57圖に示したるものと同じ。

蒸汽タービン (Steam Turbine) に直結する交流機は廻轉速度大なる爲め磁極數少し出力大なる蒸汽タービンにても一分間 3,600 廻轉のものあれば若し之に

第 六 十 六 圖  
ウェスチングハウス三相交流發電機  
界磁合成捲電線接續圖



第 四 十 一 表  
ウェスチングハウス會社製  
(60 サイクル)

廻轉界磁型調帶運轉  
多相交流發電機表

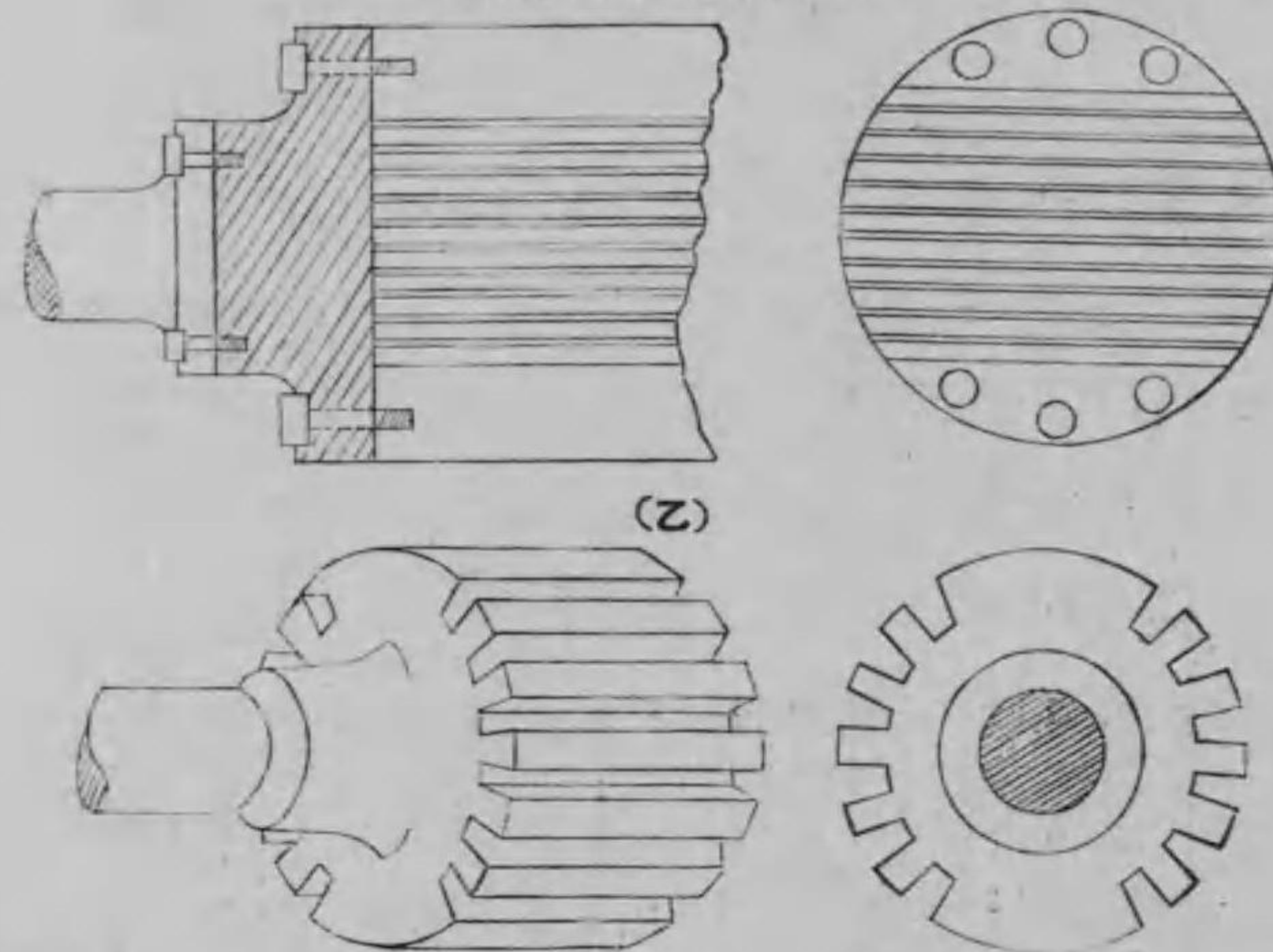
出力 キロワツ	磁極 數	一分間 の數	勵磁		車輪	
			電壓 ヴォルト	電流 アムペア	直徑 吋	幅 吋
50	8	900	125	6	18	11
60	8	900	"	7	20	12
75	10	720	"	10	25	15
120	10	720	"	10	25	17
180	14	515	"	15	35	25
250	16	450	"	20	40	38
375	18	400	"	18	45	50

廻轉界磁型直結  
多相交流發電機表

出力 キロワツ	一分間 の數
100	257
120	240
150	120
175	200
250	200
300	150
350	300
400	150
500	150
"	100
750	90
"	200
900	90
1500	116

て運轉する交流機にて60「サイクル」の交流を發生するものとせば磁極數は二個にて可なり。斯くの如き高速度の交流機は廻轉界磁型にして廻轉界磁の圓周速度の過大なるを避くる爲め其直徑を小にし長さを増し軟鋼製の圓柱狀鐵心を用ひ全部の構造を特に堅固ならしむ。此圓柱體の周圍に溝を穿ち之に線輪を捲く其溝を穿つ方法に二種あり。一は第67圖甲に示す如く平行に溝を穿ち一は同圖乙に示

第 六 十 七 圖  
(甲) 蒸汽タービン直結交流  
發電機廻轉子鐵心の圖



す如く軸の中心に對し輻射狀に溝を穿つ甲の型を平行溝型 (Parallel-slot type) と云ひ乙の型を輻射溝型

(Radial-slot type) と云ふ。甲の型に於ては各線輪を堅固に捲くことを得且つ鐵心の兩端にも溝在れば線輪全部を溝中に納めることを得て外物よりの損傷及捲線の移動等を絶対に防ぐを得るなり。之に反し乙の型に於ては磁氣的には材料の節約を認むれども線輪を捲くこと困難にして且つ其兩端は鐵心外に出づる故遠心力の爲め其形狀の崩れんとするを防ぐには外部より鋼鐵環を以て保持せしむる如き相當の設備を爲さざるべからず。何れの型に於ても出力の割合に直徑小なる爲に機械を貫く軸を用ふる餘地なき爲め甲の型に於ては鐵心の各端に青銅製の終端板を「ボルト」にて取付け之に更に機械の軸を「ボルト」にて取付く乙の型に於ては機械の軸を直接鐵心の兩端に鍛接せしむるなり。青銅の如き無磁氣體を用ふる理由は界磁より出づる磁力線の磁氣的短絡を防ぐに在り青銅は高價なる故小なる界磁に於ては其全價比較的増す故に出力6,000「キロヴォルトアムペア」以下の交流機に於ては界磁は乙型にて作り夫れ以上は甲型に依る。出力10,000「キロヴォルトアムペア」以上の交流機に於ては甲型の終端板と軸を鍛鍊して一體と爲し終端板間の圓柱狀

鐵體は鐵板にて作り全體を「ボルト」にて堅固に締付け其周圍に輻射溝を穿ちたるものを用ふ。發電子の捲法は通常の回轉界磁型交流機の發電子と大差なく、只其直徑小にして長きのみ。此種の發電機の大きさは耐量の割合に小なる爲め發電機中に失はるゝ電力比較的多く熱し易し之を冷却せしむる爲め廻轉子の兩端に扇風装置を設け發電子及界磁の鐵心の溝に多くの空氣の通路を作り外部より冷やかる空氣を鐵心に導き其熱を運び去らしむる装な置を爲すを通常の方法とす。鐵心に作る空氣の通路は空氣をして充分各鐵板に觸れしむる爲め鐵板に直角に作るものとす。斯くの如く空氣を發電機内に送り込むときは恰も扇風機の如く騒音を發する故に機械全部を鐵製の外被にて被包し上部に孔を設け發電機の下方より冷き空氣を吸入せしめ上部の孔より熱したる空氣を排出する様製作せらる。此外被ある爲に發電機運轉の際發する騒音も外部に傳はらずして發電子を冷却する目的をも充分に遂行することを得るなり。外部より吸込む空氣には濕氣塵埃等含まれ發電子内に入りて害を與ふることあるに由り木綿又は麻布にて作りたる空氣濾

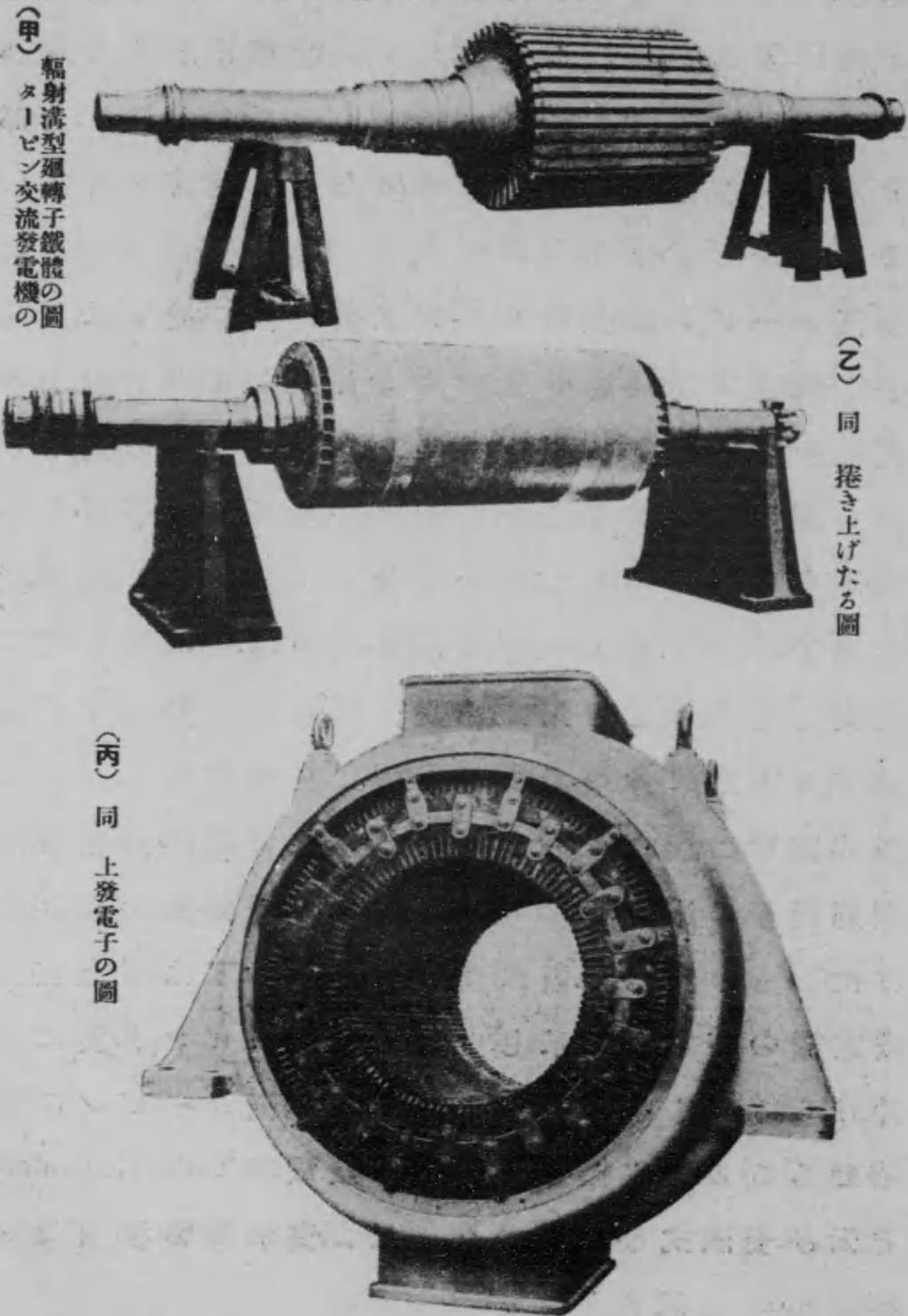
過器(Airfilter)を用ひ空氣をして之に通じたる後發電子内に吸込ましむるものとす。近來製作せらるゝ交流機には蒸汽「タービン」に直結せざるものも全部を鐵製の外被にて被包し運轉上起る騒音を外部に傳はらざらしむるものあり。

蒸汽タービンに直結する直流發電機に於ては發電子と同様に圓周速度を少からしむる爲め整流子の直徑を少くし其長さを増すも尙廻轉速度の大なる爲め刷子の振動するを免かれず従て整流子面との接觸良好ならずして火花の發する虞あるに由り炭素刷子は之に適せず通常は眞鍮の細き網より成る撓曲し易き刷子を用ふ此刷子は假令へ整流子が振動するも之に伴つて動き接觸を良好ならしむ。

第68圖甲は蒸汽タービン直結交流發電機の輻射溝型廻轉子の鐵體を示し乙は之に界磁線輪を捲き上げたるものを示し丙は發電子を示し丁は同上交流發電機の切斷面を示し戊は蒸汽「タービン」と共に据付けらるるものを示す。一般に蒸汽タービンに直結せらるる發電機をタービン發電機(Turbo Generator)と云ひ交流式なるものタービン交流發電機(Turbo Alternator)と云ふ。

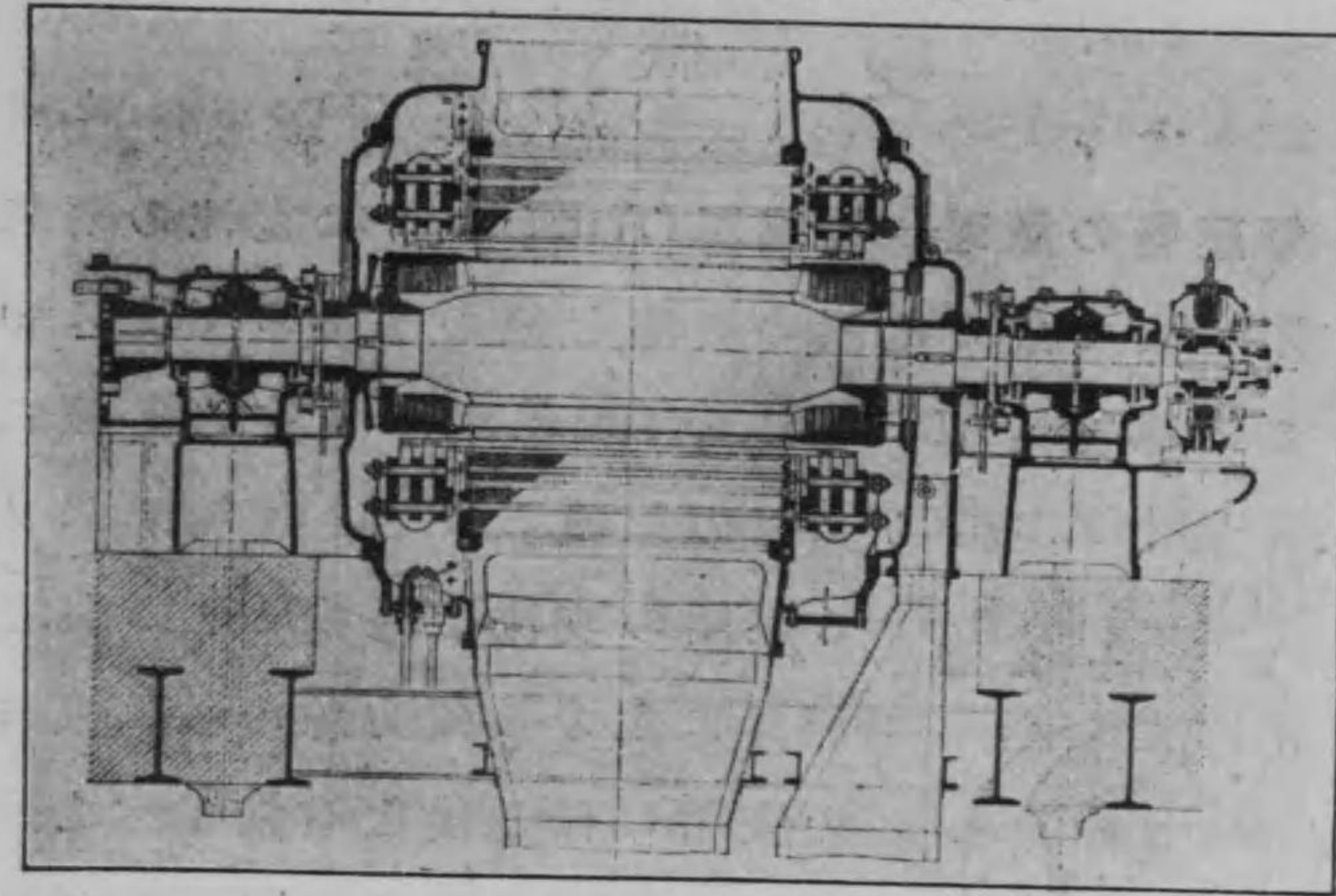


第 六 十 八 圖

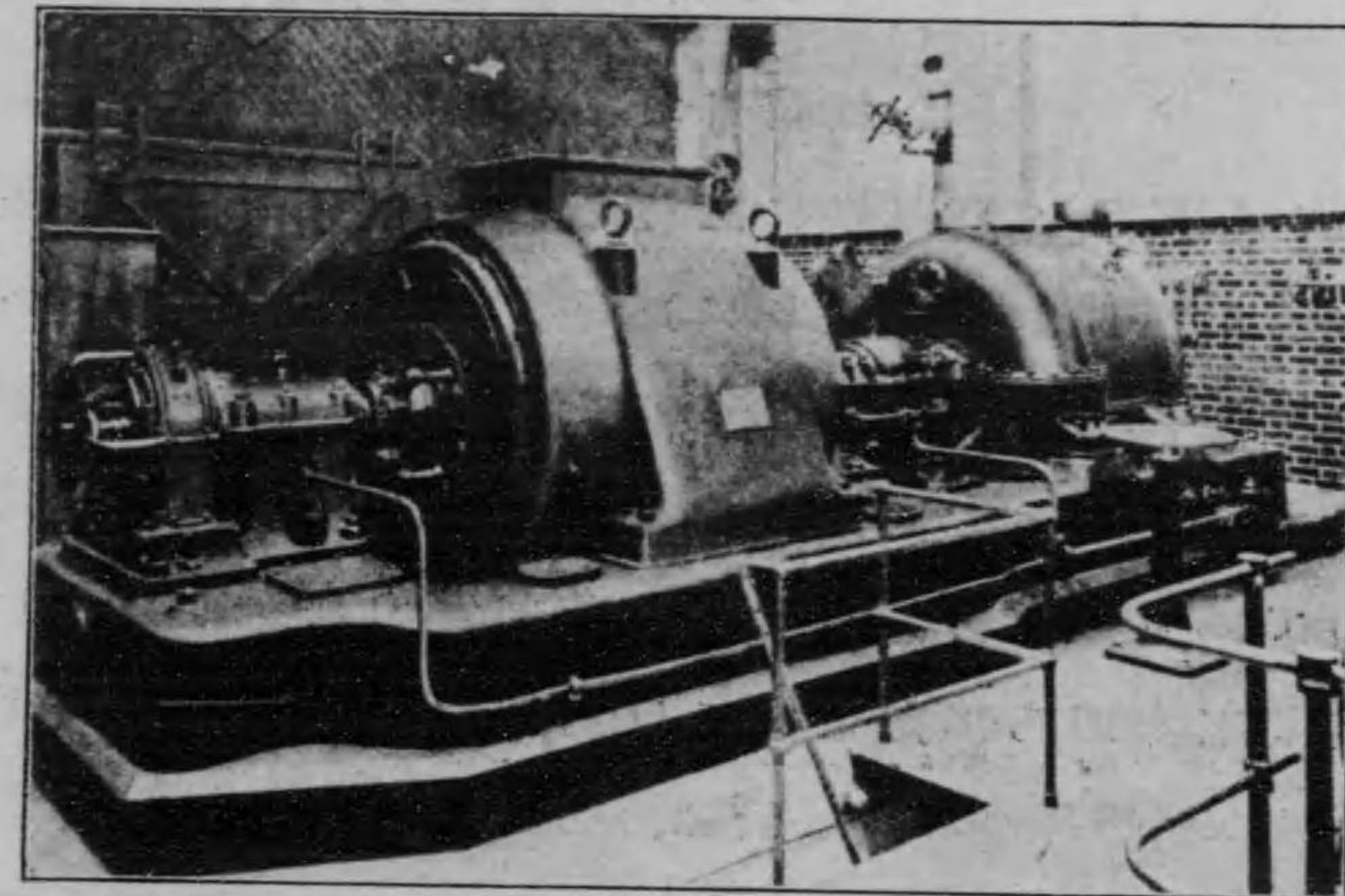


第 六 十 八 圖

(丁) タービン交流發電機の切斷面の圖

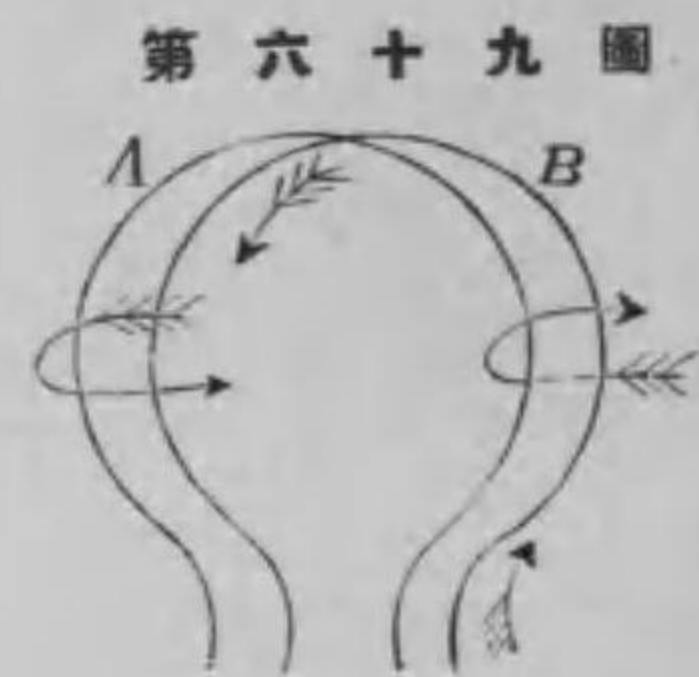


(戊) 同 上 据 付 の 圖



## 第五章 變壓器

變壓器の原理—變壓器 (Transformer) は交流の誘導作用に由て或る電壓の交流を他の電壓の交流に変ずる誘導器具 (Induction apparatus) なり。今第69圖に示す如く A, B なる二個の線輪ありとし線輪 A に或



る電壓の交流を通ずるときは之が爲に生ずる磁力線の数は交流の交番に伴ひ變化増減すべし。然るに此磁力線は線輪 B を通過する故に其變化増減するに當り線輪 B の各捲線を切るべし其結果として已に第四章に記載したる通り交流の相互誘導作用に由り線輪 B に起電力誘發せらる。此起電力は交流の交番に伴ふものなれば亦一種の交番起電力なり。之と同時に線輪 A にも自己誘導作用に由て或る起電力誘發せらる。此起電力は送り込まれる起電力即ち加起電力に反對す之を逆起電力 (Counter Electro-motive-force) と云ふ。

此等兩線輪の間に或は兩線輪を重ね其内に鐵を置

くときは磁力線は之に吸收せられて集まり誘導作用増大すべし。且つ兩線輪に發生する起電力は其捲數に比例する故に捲數を適當に定むれば或る電壓の交流を他の任意の電壓の交流に変ずることを得るなり。此電壓の關係については後に記載すべし。變壓器は以上の原理に基き製作せらるるものにして共同の成層したる鐵心に二種の線輪を捲きたるものなり。線輪の内電源に接続せられ電壓の加へらるる線輪を一次線輪 (Primary Coil) と云ひ其回路を一次回路 (Primary Circuit) と云ふ。起電力の誘發せられ之に由て電流を他の回路に供給する線輪を二次線輪 (Secondary Coil) と云ひ其回路を二次回路 (Secondary Circuit) と云ふ。

變壓器の一次線輪に加はる起電力は一次電壓 (Primary Voltage) と稱せられ二次線輪に誘發する起電力中線輪の端子間に於ける電壓を二次電壓 (Secondary voltage) と稱す。此兩電壓の比は前記の如く任意に定むることを得れども一般には一次線輪に高き交番電壓を加へ二次線輪に是より低き交番電壓を誘發せしむ。然れども是と反對に低き電壓を高き電壓に変せしむるに使用することあり此場合には是を

**昇壓器**(Step-up Transformer)と云ひ、前の場合には**降壓器**(Step-down Transformer)と云ふ。一汎に二次電壓と一次電壓との比を**變壓比**(Transformation Ratio)と云ふ。

一次線輪に供給する電壓は不變ならしむるを通常とすれば、二次線輪に誘發する電壓も亦殆んど一定す。是に由て變壓器は白熱電燈を點するが如き不變電壓回路に並列に接續使用するを通常の方法とす。

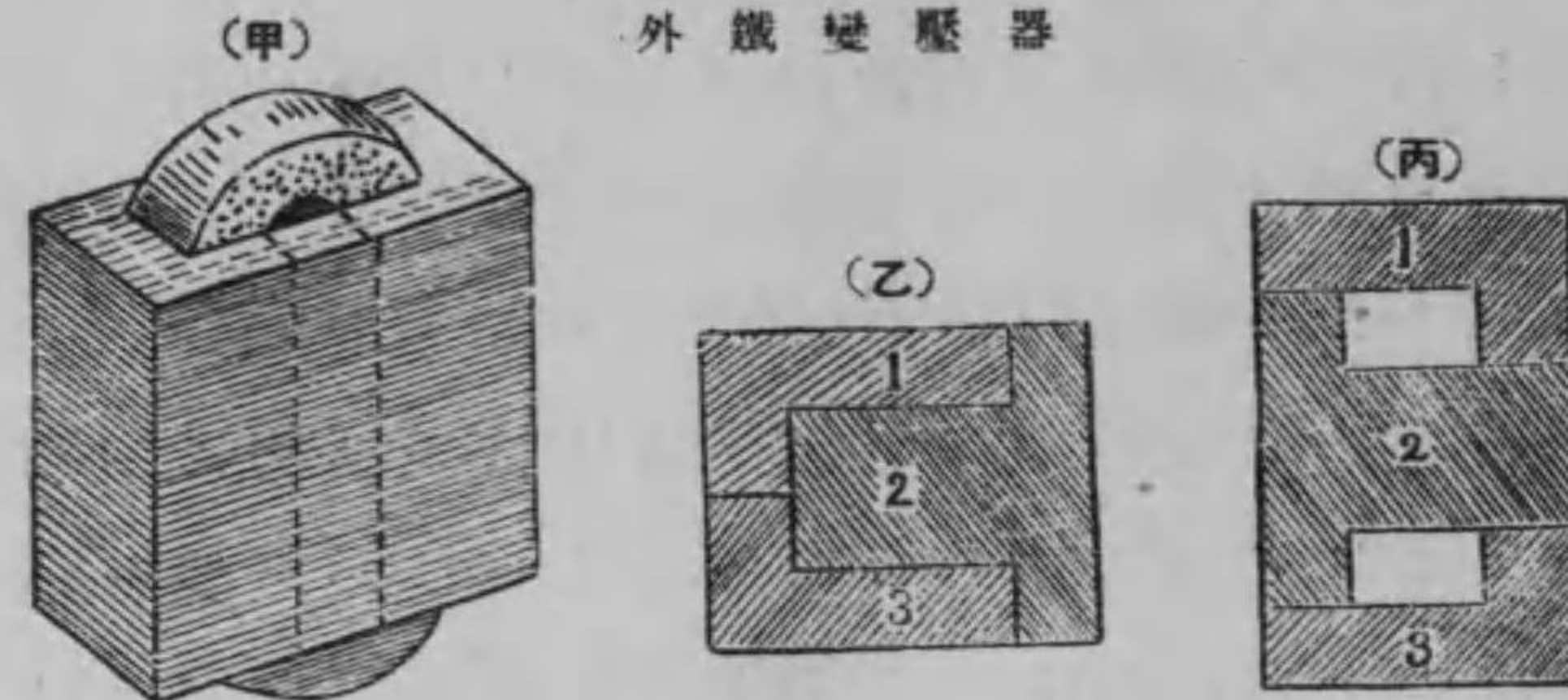
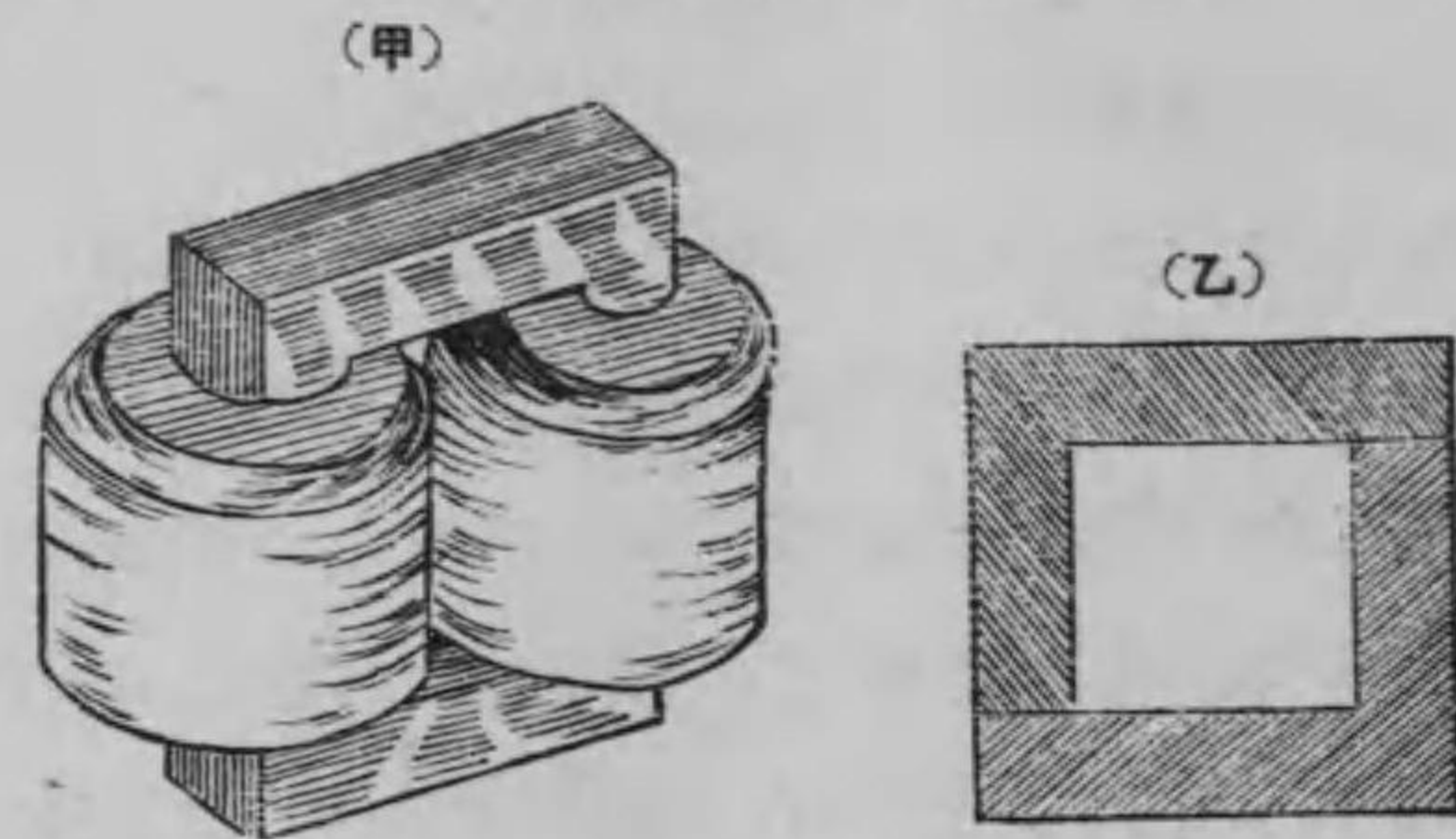
### 第一項 變壓器の構造

**變壓器の線輪**—變壓器に於ける線輪の配置は低壓線輪を鐵心に近く高壓線輪を中間に排列するものとし、兩線輪間並に鐵心及線輪間にはファイバー油紙、プレスパン、マイカナイト紙類の絶縁物を填充して絶縁を良好ならしむ。各線輪共に數層に區分し、一層に於ける捲數を少くして各隣層間の電壓の差を少からしめ、電壓の爲に起る電撃の發生なからしむ。線輪に用ふる電線には瓦斯糸二重卷被覆銅線を使用すれども、耐量大なる變壓器に於ては二次線輪に多大の電流通ずる故に銅線の代りに厚さ一樣なる扁平の銅板或は角形銅線を用ふることあり。此等の線輪は型捲になし表面を油布にて捲き真空

槽に入れ、熱を加へて線輪中の水分及槽中の蒸汽を排除し、代つて絶縁混合液を注入せしむれば、此液は線輪の被覆物中に滲透し絶縁を良好ならしむ。斯くして成りたる線輪を鐵心に嵌入するなり。

兩線輪の線端を外部に引出す方法は變壓器の種類に由て異れども大別して二種とす。一は變壓器を納むる函の上方に穿ちたる孔より線端を引出し、一は函の側方に孔を穿ち是れより線端を引出すなり。第一の方法に於ては戶外に變壓器を設くる場合には穴より雨水の浸入する恐れあれども、第二の方法に於ては此恐れなくして安全なりとす。

**變壓器の鐵心**—變壓器の鐵心は薄き鐵板の數十枚を成層し各板間を各自の錆又は紙にて絶縁したるものより成る。其形狀に種類多く是に依て變壓器を二種に大別す。一は第70圖甲に示すが如く鐵心の内側に線輪を捲きたるもの是を**外鐵變壓器**(Shell-type Transformer)と云ひ、一は第71圖甲に示すが如く鐵心の外側に線輪を捲きたるもの是を**内鐵變壓器**(Core-type transformer)と云ふ。外鐵變壓器に於ては豫め線輪を型に入れて作り置き、其周圍に第70圖乙に示すが如く一枚の鐵板を1, 2, 3の三片に切りたる

第 七 十 圖  
外 鐵 變 壓 器第 七 十 一 圖  
内 鐵 變 壓 器

者を同圖丙に示すが如き形狀に合せて積み重ね鐵心と爲しボルトにて堅く締付く。内鐵變壓器に於ては第71圖乙に示すが如く角形に切りたる鐵板を二枚宛合せて積み重ね鐵心と爲し強く是を締めて之に線輪を捲く。何れの場合にも鐵板を重ねる場合に其接合線を重ねしめざる様交互に配置するも

のとす。此二種の型を比較するに内鐵變壓器に於ては線輪が外部に現はれ外氣に露出するを以て點檢に便利にして電流の爲に熱するも熱の發散良好なり線輪の燒損することあるも是を修理又は取換へること容易にして鐵心を成す鐵板を取外すの要なし然れども製造の際鐵心の外側に線輪を嵌入すること容易ならず。外鐵變壓器に於ては線輪は鐵心中に在る爲に電流に由る發熱多く線輪を取換へる場合には鐵板を悉く取外さざるべからず然れども製造の際は線輪を作り置きして單に其周圍に鐵板を積むのみなれば製造甚だ容易なり。何れの型に於ても成層鐵板にて鐵心を作るは發電子鐵心と同じく其内部に渦流の發生を防ぎ是に由て起る鐵損及び是が爲に生ずる發熱を少からしむるに在り。斯くの如く二種の變壓器に各優劣ありて何れが優れるものとも斷定するを得ず如何なる電壓如何なる耐量のものも何れの型にも製作することを得るなり。然れども通常耐量小なるものは内鐵型に爲し耐量大なるか又は特に電壓高きものは外鐵型に製作すれども電壓高くして内鐵型に作れるものあり。何れの型に於ても鐵心の間に空溝を作り其間

に空氣又は油を流通せしめ發熱を少からしむ。變壓器は總て是を鐵函に納め濕氣塵埃等の觸れるを防ぐ。第72圖は其鐵函に納れたるものを示す。鐵

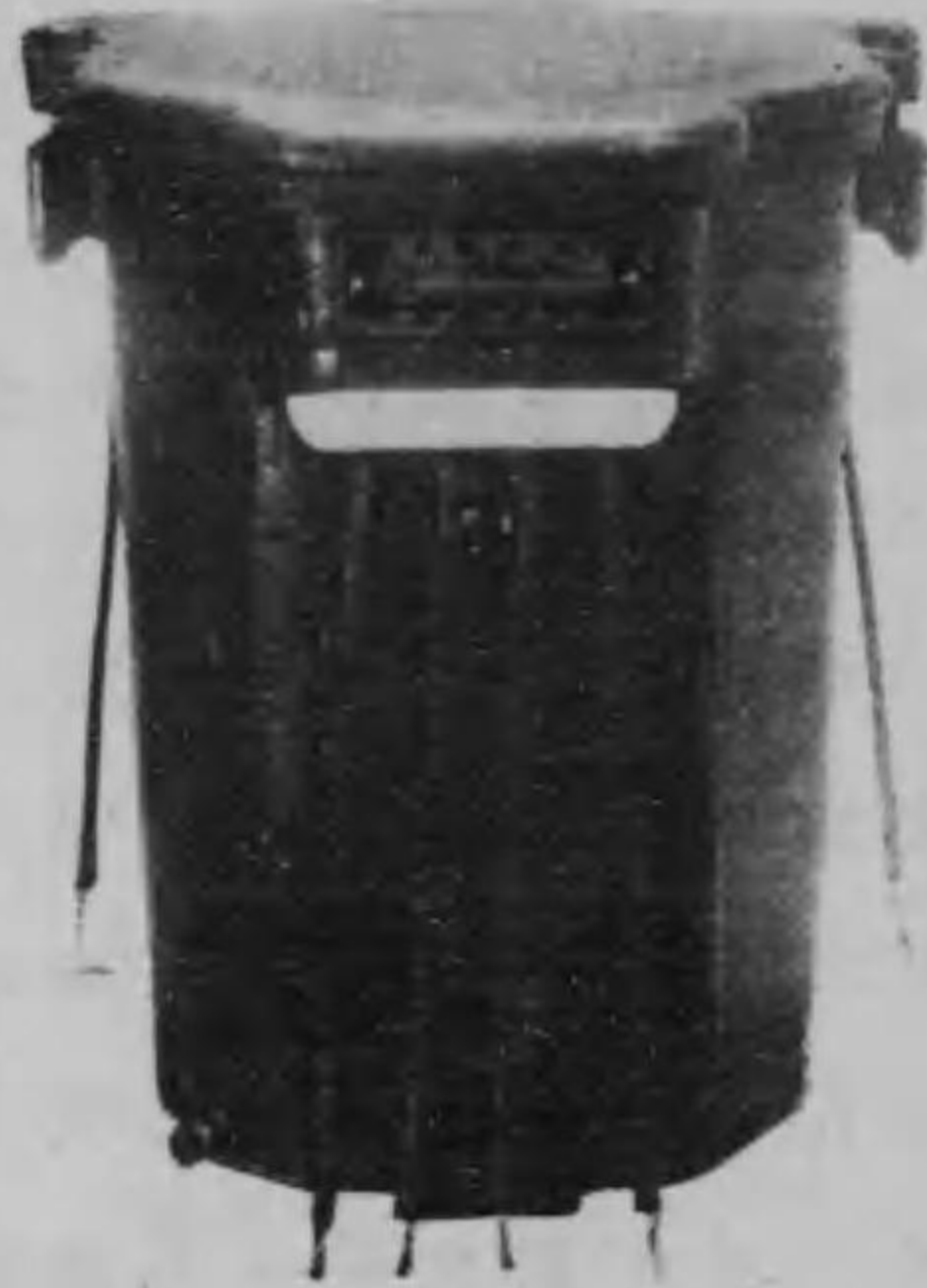
函は小なるものは鑄鐵にて製すれども大なるものは鋼鐵板にて製し鑄鐵の臺板を附し之に車輪を取付け移動するに便ならしむ。

絶縁—變壓器は如何なる天候に於ても大氣に曝露されて能く是に堪へ兩線輪及鐵心は絶縁良好にして漏電なく之を納むる

鐵函は水密ならざる可からず且つ瞬間二倍の負荷を受くるも破損又は甚しき發熱なきものなるを要す。絶縁の爲に使用する材料は各製造所に由て異れども通常使用するものは次の數種なり。

油布、油絹、雲母、マイカナイト、ファイバー、尙變壓器の絶縁を良好ならしめ發熱を少からしむるが爲に種々の方法あり後に之を記載す。

第七十二圖  
變壓器



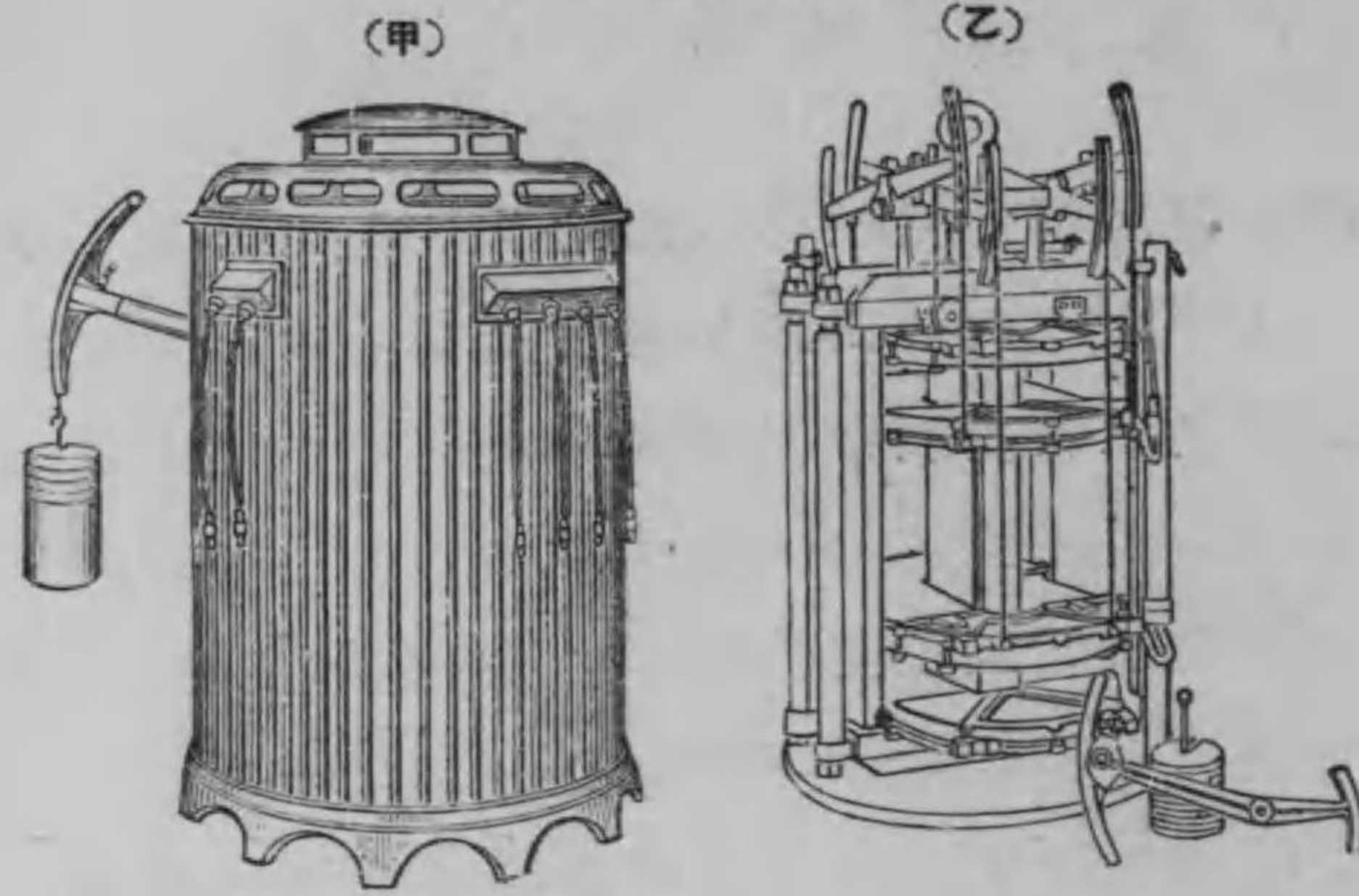
## 第二項 特種の變壓器

特種の變壓器—變壓器の用途及び構造に由て特種なるものあり次の四種を其重なるものとす。

- (一) 不變電流變壓器 (Constant-current transformer).
- (二) 單捲變壓器 (Auto-transformer).
- (三) 饋電線電壓調整器 (Feeder Potential-regulator)
- (四) 變流器 (Current-transformer).

不變電流變壓器—通常の變壓器は不變電壓の供給を受けて二次線輪に不變電壓を誘發するものなれば直列に連結する弧光燈を點火する如き特別の場合には適せざるなり。此くの如き場合に負荷の如何に拘はらず不變の電流を發生する様製作せられたる變壓器を不變電流變壓器と云ふ。一次線輪に不變電壓を加へて二次線輪に發生する電流を不變にするには誘發せらるゝ電壓を負荷に應じて變せざるべからず従て其構造も通常の變壓器と異なる。其外觀は第73圖甲に示す如く構造の概略は同圖乙に示す如く鐵心の周圍に可動の一個若くは二個の二次線輪と鐵心の下部に固定の一次線輪有りて二

第 七 十 三 圖  
不 變 電 流 變 壓 器



次線輪は鐵心の上部に取付たる槓杆の一端に釣り下られ鐵心を中心として上下に動くことを得。然るに一次電流と二次電流とは後に記載する如く殆んど180度異なる相を有する故常に反對の方向に流れ従て一次線輪と二次線輪とは常に相反撥す其反撥力は電流の自乗に正比例す。此反撥力と平衡し兩線輪の距離を電流に對し適當ならしむる爲めに槓杆の他の端に錘を釣り下ぐ。今二次回路に弧光燈を接続し之を點燈し居る場合に弧光燈を一個以上回路より除くときは電壓は一時降下し電流は増すが爲に兩線輪間の反撥力増加し二次線輪は上方に

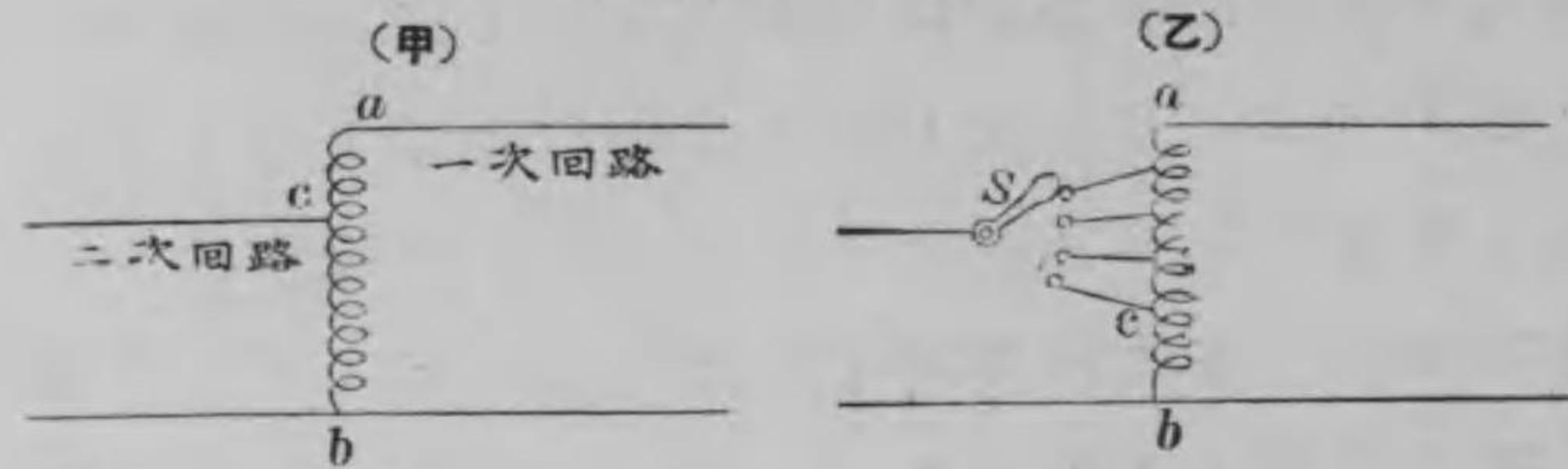
動き相互の間隔増して一次線輪より發する磁力線の一部分は二次線輪に通せざることとなり従て二次線輪に誘發せらるゝ起電力は磁力線減少の割合に比例して減す従て亦電流は元の如く減すると同時に兩線輪間の反撥力は減じ兩作用相俟て錘との平均力にて二次線輪は電流に應じて適當の位置に一定すべし。之に反し弧光燈の接続數を増すときは一時電壓は増すも直ちに電流減じ兩線輪間の反撥力減じて相近付き従て電流も元の値に復し兩線輪間の間隔も復舊すべし。斯くの如くして兩線輪の間隔は自働的に調整せられ電流は常に一定不變なるを得るなり。負荷全く無く電流通せざるときは二次線輪は自個の重量にて降り一次線輪に接觸す。電流の強さは錘を加減して適宜に調整することをも得るなり。

不變電流變壓器は錘及槓杆を除く外是を圓筒狀の鐵函に納め絶縁及冷却を良好ならしむるが爲に良質の礦油を是に注入す。其耐量は弧光燈の燈數にて定め六燈用より百燈用迄とし電壓は一次回路に於て1,000「ヴォルト」乃至3,000「ヴォルト」二次回路に於ては弧光燈の燈數に由て定まり電流は通常6.6「アムペ

ア)なり其十分一以上の變化なき様鍾の位置を動か  
し調整することを得。

單捲變壓器—單捲變壓器は鐵心に單に一個の線  
輪を捲きたるものにして第74圖甲に示す如く其兩

第 七 十 四 圖  
單捲變壓器電線圖

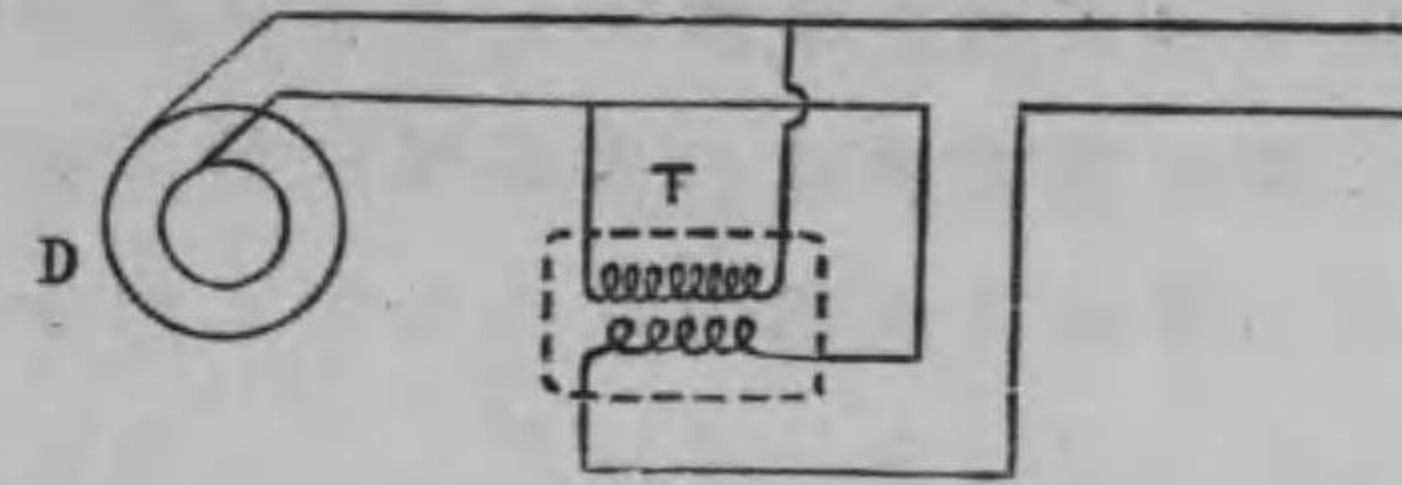


端は一次回路に接続せられ其一端と線輪の中間よ  
り出づる一線とは二次回路に接続せらる。一次回  
路に或る電壓の交流を通ずる時は其一部が二次回  
路に加はり其値は接続する一部線輪の捲數と全捲  
數との比に比例す。圖に於て  $a b$  間の捲數を  $N_1$ 、 $b c$   
間の捲數を  $N_2$  とし一次回路の電壓を  $E_1$ 、二次回路の  
電壓を  $E_2$  とすれば、

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \therefore E_2 = E_1 \frac{N_2}{N_1}$$

斯くして通常の變壓器と同様に簡単に變壓するこ  
とを得れども一次回路は二次回路に連結せらるゝ  
爲め  $b c$  間の捲線は兩回路に共用せられ一次電流及

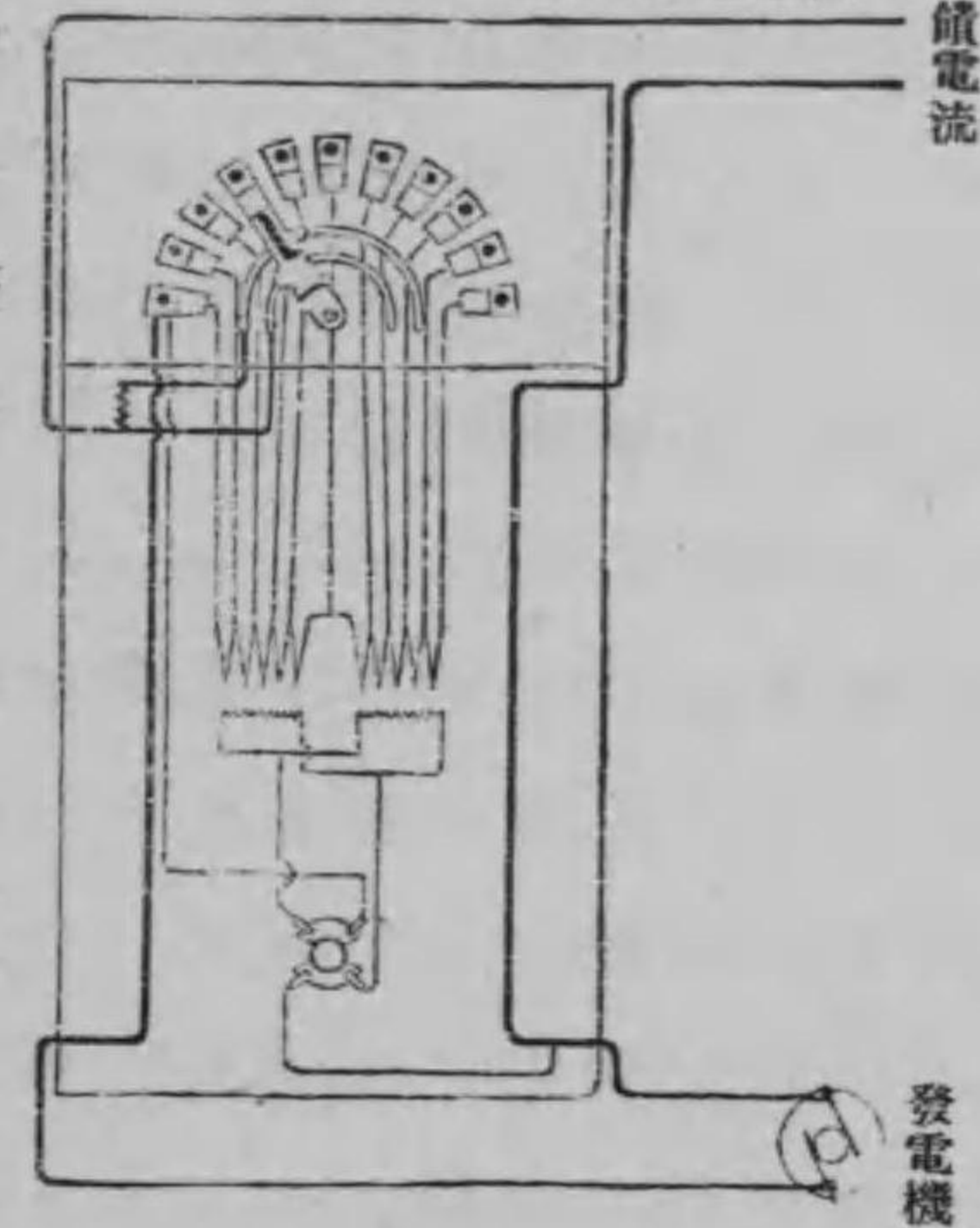
第 七 十 五 圖  
饋電線電壓調整器



二次電流同時に通ずるに由り一次電壓及二次電壓  
の差大なるときは危險の虞ありて通常の變壓器の  
代りに使用することを

第 七 十 六 圖  
スチルウェル調整器内部接続圖

得ず僅かに一次回路の  
電壓を少しく變壓する  
場合の如く  $E_1$  及  $E_2$  の差  
少きときにのみ使用せ  
らる。同圖乙に於ける  
開閉器  $S$  は二次回路に  
於ける電壓を變更する  
必要ある場合に  $b c$  間  
の捲線を増減する爲め  
に用ひらるるなり。



饋電線電壓調整器—饋電線電壓調整器は變壓器  
の一種にして交流回路に於ける電壓の降下を補ふ  
爲に使用せらる第75圖に示す如く其一次線輪を交

流饋電線に並列に接続し(饋電線に就ては後章に説明す).二次線輪を直列に接続するときは、饋電線より一次線輪に加はる電圧は二次線輪に於て適當に變壓せられ其一部或は全部の電圧は饋電線の電圧に加はり饋電線の電圧を上昇せしむ.是に由て二次線輪を數部に區分し饋電線に加ふべき電圧を加減し得る様設備するときは、饋電線の電圧を適當に調整するを得るなり。**スチルウエル調整器**(Stillwell Feeder regulator)は此理を應用したるものにして、第76圖に示す如く其二次線輪は數分せられ二次電圧の全部若くは一部を任意に饋電線に加へることを得る様接觸手及接觸板設けられ各板は二次線輪の區分線に接続せらる。

**變流器**—電壓高き交流を測定する場合に其回路に直接に電流の測定器を接続し使用することは取扱者に危険なるを以て、一種の變壓器を使用し其一次線輪を測定する回路に直列に接続し其二次回路に測定器を接続して其流るゝ電流を測り間接に一次回路に流るゝ電流を測定するものとす。此種の變壓器は通常の變壓器と異ならざれども、鐵心は通常環狀を爲し一次線輪は其中央を貫く一本線なる

か若くは僅かに數回鐵心に捲かれ、二次線輪は環狀發電子に於ける捲線の如く鐵心に捲かる。今測定すべき回路に流るゝ電流即ち變壓器の一次線輪に通ずる電流を  $I_1$  とし其捲數を  $N_1$  とし、二次線輪に通ずる電流を  $I_2$  とし其捲數を  $N_2$  とすれば

$$I_1 N_1 = I_2 N_2 \quad \therefore I_2 = I_1 \frac{N_1}{N_2}$$

斯くの如く二次電流は一次電流に正比例するを以て電流の測定器には二次電流に應じ適當に一次電流の目盛を爲し置くときは直ちに一次電流を知ることがを得。斯くの如く此種の變壓器は主として電流を變成せしむるものなるに由り**變流器** (Current Transformer)と稱せられ又は回路に直列に接続せらるゝに由り**直列變壓器** (Series Transformer)とも稱せらる。一次線輪の端子電圧は回路に直列に接続せられ其捲數少き爲め極めて低く、二次線輪に發生する電圧は勿論一次電圧より高きも通常10「ヴォルト」を超へざる様捲數を定むるものとす。變流器は概ね50「ワット」の耐量に製作せられ、二次電流は全負荷に於て5「アムペア」ならしむる故之に接続せらるゝ電流測定器も全負荷に於て5「アムペア」にて働かし、一次回路に於ける全負荷電流を示す様目盛せらるゝなり。



### 第三項 變壓器の性狀

完全なる變壓器の性狀—完全なる變壓器の性狀は次の如くなるを要す。

- (一) 指定電壓及周波數の電力の供給を受け是を任意に定めたる電壓に同一周波數にして電力の損失なく變壓すること。
- (二) 一次線輪二次線輪及鐵心が相互完全に絶縁せらるべきこと。
- (三) 如何なる負荷を受くるも供給電壓及誘發電壓の比が同一なるべきこと。

實際に於ては變壓器は全く電力の損失なく變壓を爲すものに非ず各線輪には抵抗ありリアクタンスあり鐵心にはヒステリシス作用及渦流の發生ありて之が爲に多少の電力の損失を免かれざれども猶勢力變成器中稍完全なるものと見做すを得るなり。

變壓器の電壓及電流の關係—變壓器の兩線輪に通ずる磁力線は正弦曲線を以て表はすことを得る交流の爲めに生じたるものとするときは次の式にて表はすことを得べし。

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t$$

但し $\Phi$ は時刻 $t$ に於ける磁力線の總數 $\Phi_m$ は最大磁力線數即ち交流が最大となりし時に生じたる磁力線の總數なり。此磁力線の外に一次線輪のみに通ずる磁力線及二次線輪のみに通ずる磁力線生ず此等は發電子線輪に於けると同様に自己誘導作用として誘導電壓を生せしむ此磁力線を漏洩磁束(Leakage flux)と云ふ。今上式の $\Phi$ が時刻 $t'$ に至りて $\Phi'$ に變じたりとすれば $\Phi' = \Phi_m \sin \omega t'$ となり此變化の爲に兩線輪の一捲に誘發されたる起電力を $e$ とするときは其値は次の式にて示さる。

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

此式は第48式の場合と同様にて次の如く變ず。

$$e = -\Phi_m \omega \cos \omega t$$

$$\text{或は } e = \Phi_m \omega \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

今一次線輪の捲數を $N_1$

磁力線の變化に由り一次線輪に發生する起電力を $e_1$

二次線輪の捲數を $N_2$

磁力線の變化に由り二次線輪に發生する起電力を $e_2$

とすれば

$$e_1 = \Phi_m N_1 \omega \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$e_2 = \Phi_m N_2 \omega \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

$e_1$  の実効値を  $E_{a1}$ ,  $e_2$  の実効値を  $E_{a2}$  とすれば

$$E_{a1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Phi_m \omega N_1 = 4.44 \Phi_m f N_1 \times 10^{-8} \text{「ヴォルト」} \quad \dots (83)$$

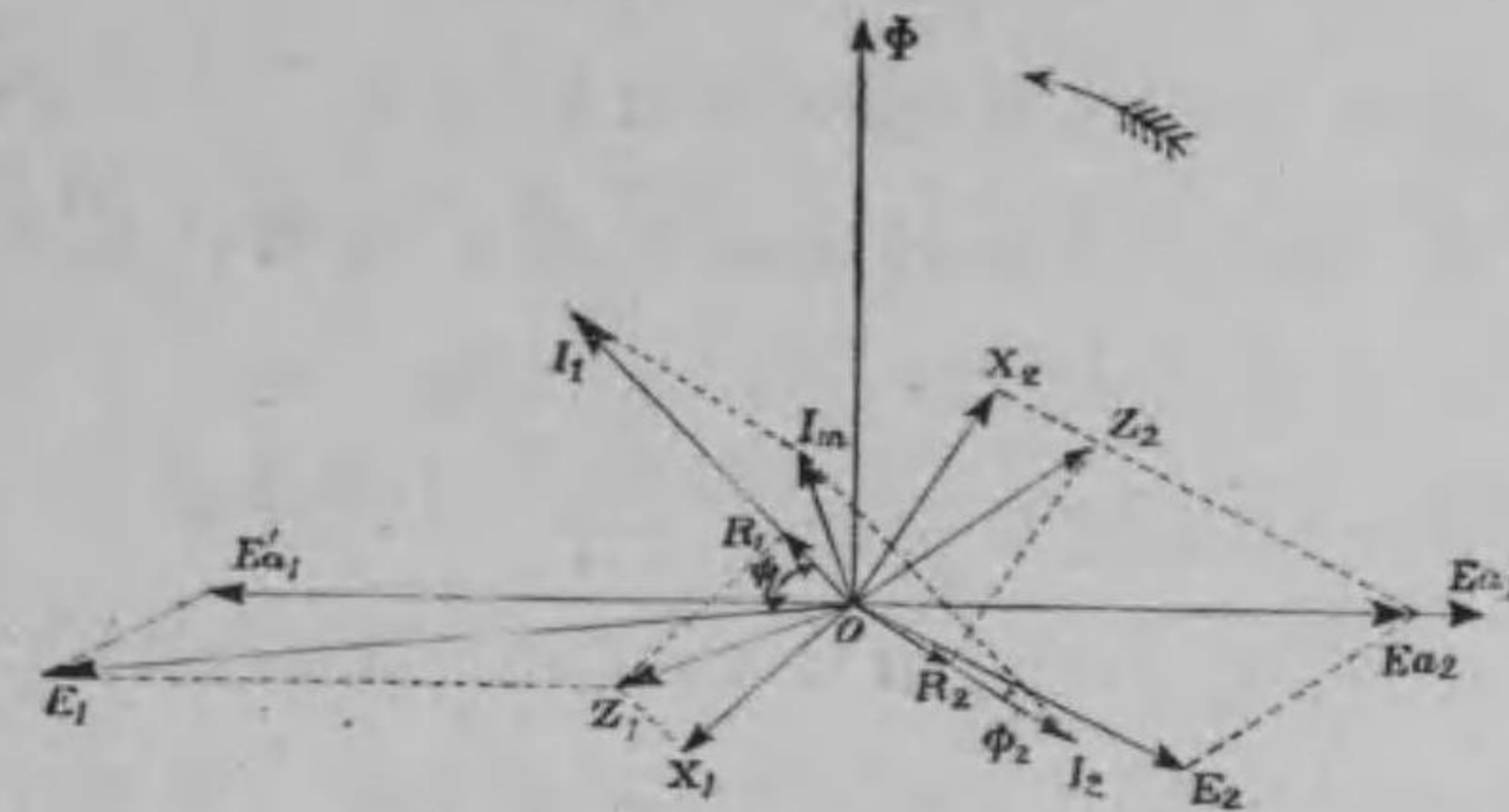
$$E_{a2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Phi_m \omega N_2 = 4.44 \Phi_m f N_2 \times 10^{-8} \text{「ヴォルト」}$$

$$\therefore \frac{E_{a1}}{E_{a2}} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots (84)$$

但し  $f$  は交流の周波数にして  $\omega = 2\pi f$  なり。

以上の式より磁力線の變化に由て各線輪に於て誘發せらるゝ起電力は磁力線よりも相に於て  $\frac{\pi}{2}$  即ち 90 度遅るゝことを知る。而して各線輪に流るゝ電流は無論自己誘導ある爲めに其線輪に於ける電圧より相に於て遅る。此磁束及電流と起電力との關係をベクトル圖にて示せば第 77 圖に示す如し。圖に於て  $O\phi$  を磁力線  $\phi$  を示すベクトルとすれば二次線輪に發生する起電力  $E_{a2}$  は磁力線より相に於て 90 度遅る故  $OE_{a2}$  なるベクトルにて示し二次電流は尙之より相に於て遅るゝ故に  $OL_2$  なるベクトルに示す。然るときは二次線輪中抵抗に由て失はるゝ電圧は

第 七 十 七 圖  
變 壓 器 ベ ク ト ル 圖



電流と同相に在るを以て  $OR_2$  にて示しリアクタンスに由て失はるる電圧は電流より 90 度進むを以て  $OX_2$  にて示す。 $OR_2$  と  $OX_2$  とのベクトルの和なる  $OZ_2$  は二次線輪のイムピーダンスに由て失はるゝ電圧を示す。之を誘發されたる起電力  $OE_{a2}$  よりベクトルの減じたる  $OE_2$  なる「ベクトル」は二次線輪の端子電圧を示すなり。磁力線  $O\phi$  は一次線輪及二次線輪に通ずる交流に因る起磁力に由て生じたるものなるが鐵のヒステリシス作用の爲め其變化は起磁力の變化に伴はずして常に相に於て遅るべし。之に由て上圖に於て  $O\phi$  より進みたる  $OL_m$  なるベクトルにて總起磁力を示せば二次電流に由て生じたる起磁力は其電流と同じ方向に在る故に  $OL_2$  にて示すこ

とを得従て一次電流に由て生じたる起磁力は總起磁力  $OI_m$  と  $OI_2$  とのベクトルの差なる  $OI_1$  に示さる。此  $OI_1$  は同時に一次電流の方向を示す。一次線輪中抵抗に由て失はるゝ電圧は電流と同相に在るを以て  $OR_1$  にて示し、リアクタンスに由て失はるゝ電圧は電流より90度進むを以て  $OX_1$  にて示せば、 $OR_1$  と  $OX_1$  とのベクトルの和なる  $OZ_1$  は一次線輪中に失はるゝ全電圧を示す。然るに一次線輪に發生したる起電力  $E_{e1}$  は磁力線より相に於て90度遅るゝを以て  $OE_{e1}$  にて示せば之に打勝つべき電圧と線輪中に失はるゝ電圧とのベクトルの和が一次線輪に加へらるべき加起電力なり。即ち圖に於て  $OE_{e1}$  と反對の相に在る  $OE'_{e1}$  と  $OZ_1$  とのベクトルの和なる  $OE_1$  は加起電力を示す。即ち通常に變壓器の一次電圧と稱するは  $OE_1$  にして二次電圧と稱するは  $OE_2$  を謂ふなり。實際の場合には  $OZ_1$  及  $OZ_2$  は  $E_{e1}$  及  $E_{e2}$  に比して非常に小なるものなれば、 $OE_1$  は殆んど  $OE_{e1}$  に等しく、 $OE_2$  は殆んど  $OE_{e2}$  に等し、故に  $OE_1$  なる一次電圧の實効値を  $E_1$  にて表はし、 $OE_2$  なる二次電圧の實効値を  $E_2$  にて表はせば

第84式  $\frac{E_{e1}}{E_{e2}} = \frac{N_1}{N_2}$

より  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$

なるを知る。即ち一次電圧と二次電圧との比は凡そ其捲數の比に等し。今一次電流の實効値を  $I_1$  にて表はし、二次電流の實効値を  $I_2$  にて表はせば、 $I_1$  にて生じたる起磁力は  $\frac{4\pi}{10} I_1 N_1$  にして  $I_2$  にて生じたる起磁力は  $\frac{4\pi}{10} I_2 N_2$  なり。此兩値は殆んど相等し、即ち

$$\frac{4\pi}{10} I_1 N_1 = \frac{4\pi}{10} I_2 N_2$$

即ち  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots \dots \dots (86)$

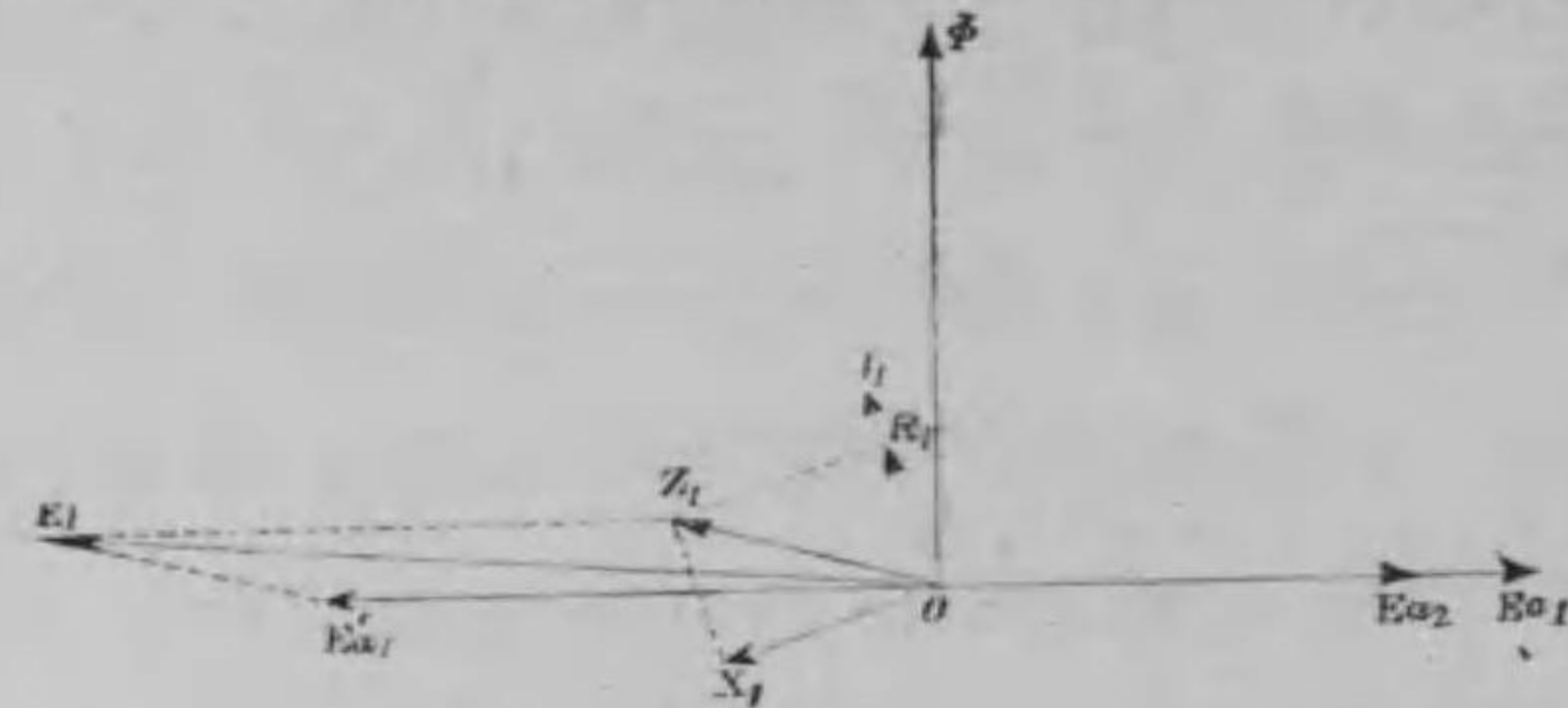
或は  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{E_2}{E_1} \dots \dots \dots (87)$

即ち一次電流及二次電流は凡そ線輪の捲數及び電圧に逆比例す。例へば一次電圧3,000「ヴォルト」二次電圧100「ヴォルト」の變壓器に於ける一次電流は二次電流の凡そ  $\frac{100}{3,000} = \frac{1}{30}$  なり。

今變壓器の二次回路が開かれ負荷なき場合には  $OI_2$ 、 $OZ_2$  は零となり、 $OE_2$  は  $OE_{e2}$  に合し、 $OI_1$  は  $I_m$  に合してベクトル圖は第78圖に示す如くなるべし。此場合に一次電流は單に電線を熱し鐵を磁化するのみ之を勵磁電流(Exciting Current)と稱す。之は一次電圧より

遅るゝ故に之を一次電圧と同相に在る部分と之に90度の相差角を有するものとに分け前者を鐵損電流(Core-loss Current)と云ひ後者を磁化電流(Magnetizing Current)と云ふ。磁化電流は鐵を磁化するに止まれ

第七十八圖  
無負荷に於ける變壓器のベクトル圖



ば極めて少く  $OE_1$  とは相に於て殆んど90度の差あれば是に由て消費せらるゝ電力極めて少く従て變壓器を熱すること甚だ少し。勵磁電流の最大値は次の式にて示さる。

$$I_0 = \frac{l E_m}{8\pi^2 f A N_1^2 \mu} \dots\dots\dots (88)$$

式中  $l$  は變壓器の磁路の平均長さ  $E_m$  は一次電圧の最大値  $f$  は交流の周波數  $A$  は磁路鐵心の切斷面積  $N_1$  は一次線輪の捲數  $\mu$  は鐵心の透磁率なり。

變壓器の出力耐量及力率—第77圖に於て認むる如く  $OI_1$  と  $OE_1$  との角度を  $\phi_1$  とし  $OI_2$  と  $OE_2$  との角

度を  $\phi_2$  とすれば一次電流は一次電圧より相に於て角度  $\phi_1$  遅れ二次電流は二次電圧より相に於て角度  $\phi_2$  遅る。従て變壓器の一次線輪に供給せらるゝ電力即ち入力は  $E_1 I_1 \cos \phi_1$  にて示され二次線輪より外部回路に供給する電力即ち出力は  $E_2 I_2 \cos \phi_2$  にて示さる。入力と出力との差  $E_1 I_1 \cos \phi_1 - E_2 I_2 \cos \phi_2$  は變壓器内にて失はるゝ電力なり出力を  $W$  にて示せば

$$W = E_2 I_2 \cos \phi_2 \dots\dots\dots (89)$$

$\cos \phi_2$  は變壓器の一次線輪及之に接続する二次回路の力率なり。今二次線輪の抵抗を  $R_2$  リアクタンスを  $X_2$  接続する回路の抵抗を  $R$  リアクタンスを  $X$  とするとき二次線輪に通ずる電流の瞬間値は次の式にて示さるべし。

$$i_2 = \frac{\Phi_m \omega N_2}{\sqrt{(R+R_2)^2 + (X+X_2)^2}} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2} - \phi_2\right)$$

實効値は  $\omega = 2\pi f$  なるに由り

$$I_2 = \frac{\sqrt{2} \pi \Phi_m f N_2}{\sqrt{(R+R_2)^2 + (X+X_2)^2}} \dots\dots\dots (90)$$

$$\tan \phi_2 = \frac{X+X_2}{R+R_2}$$

従て  $\cos \phi_2$  は回路の抵抗及リアクタンスに由て異り。負荷が電燈の如き誘導作用なきものゝみなれば殆

んど0.95以上なれども、電動機のみなるときは0.8乃至0.85なり。

又 $\cos \phi_1$ は一次線輪及之に接続する回路と二次線輪及之に接続する回路との全體の力率にして、二次回路に於ける負荷の性質及多少に由て異なる。即ち負荷全く無きときは第78圖に於て認むる如く $\phi_1$ は直角に近づき力率は0に近くなり、負荷の増すに従ひ力率は増す、其程度は $\cos \phi_2$ が1に近き程大なり。

變壓器内に失はるゝ電力は線輪及鐵心を熱し其温度を上昇せしむ、此上昇温度が變壓器の全負荷に於て六時間以上使用後攝氏50°以上に昇らざる變壓器の出力を其格定耐量と稱す。耐量は交流發電機に於けると同様に「キロヴォルトアンペア」(Kilovolt Ampere) K. V. A. にて表はし、其實際の出力量「キロワット」は耐量に其接続回路の力率を乗じたるものに等し。

**變壓器に於ける損失**—變壓器は一次線輪に送り入れられたる電力を二次線輪に傳へ之を外部に送り出すものなれども、前節に記載せる如く其電力中の一部分は變壓器を熱して損失となるを免かれず、此損失電力は入力と出力との差にして二種より成り一は線輪即ち銅線を熱し一は鐵心を熱す。銅線

を熱する損失電力は所謂銅損にして電流の自乗に正比例す、今一次線輪に通ずる交流を $I_1$ 「アンペア」其抵抗を $R_1$ 「オーム」とし二次線輪に通ずる交流を $I_2$ 「アンペア」其抵抗を $R_2$ 「オーム」とし、銅損となる電力を $W_c$ 「ワット」とすれば

$$W_c = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 \text{ 「ワット」 } \dots \dots \dots (91)$$

斯くの如く銅損は電流の増加即ち負荷の増加に伴ひ著しく増す。鐵心を熱する損失電力は勵磁電流に因る所謂鐵損にして第一章に記載する如く鐵心に發生するヒステリシス作用及渦流の爲に鐵心が熱せらるゝ損失電力なり。ヒステリシス作用に因る損失電力の値は第15式に示す如く負荷の多少に關係なく、交流の周波數並に磁束密度の1.6乗に正比例し鐵の品質に由て異なる。鐵心のヒステリシス損を $W_h$ にて示せば、

$$W_h = v f \gamma B_m^{1.6} \times 10^{-7} \text{ 「ワット」 } \dots \dots \dots (92)$$

式中 $v$ は立方「センチメートル」にて表はしたる鐵の容積、 $f$ は交流の周波數、 $\gamma$ はヒステリシス係數にして第六表に示す如く鐵の品質に由て異なる、 $B_m$ は每平方「センチメートル」の磁力線密度の最大値なり。是に由て周波數少なきときは損失少きも、二次線輪に

電壓を誘發する作用亦少きを以て同じ誘發電壓に對しては鐵の容積を増大すべき必要ある不利あり。且つ實際に於て電燈には通常50サイクルの周波數を最少とし是より少きときは弧光燈の點燈不具合なる不便あり。

渦流に因る損失電力の値は第16式に示す如く交流の周波數磁束密度及鐵板の厚さに由て異なる。渦流損を $W_e$ にて示せば

$$W_e = \pi K f^2 B_m^2 \times 10^{-7} \text{「ワット」} \dots\dots\dots (93)$$

式中 $\pi$ は立方「センチメートル」にて示す鐵の容積 $K$ は係數にして鐵の特有抵抗に由て異なり通常の場合には $1.6 \times 10^{-4}$ として差支なし。 $f$ は「センチメートル」にて表はしたる鐵板の厚さ。 $B_m$ は92式に於けると同じ。鐵損は以上二種のヒステリシス損及渦流損より成るものにして之を $W_i$ にて示せば

$$W_i = W_h + W_e \dots\dots\dots (94)$$

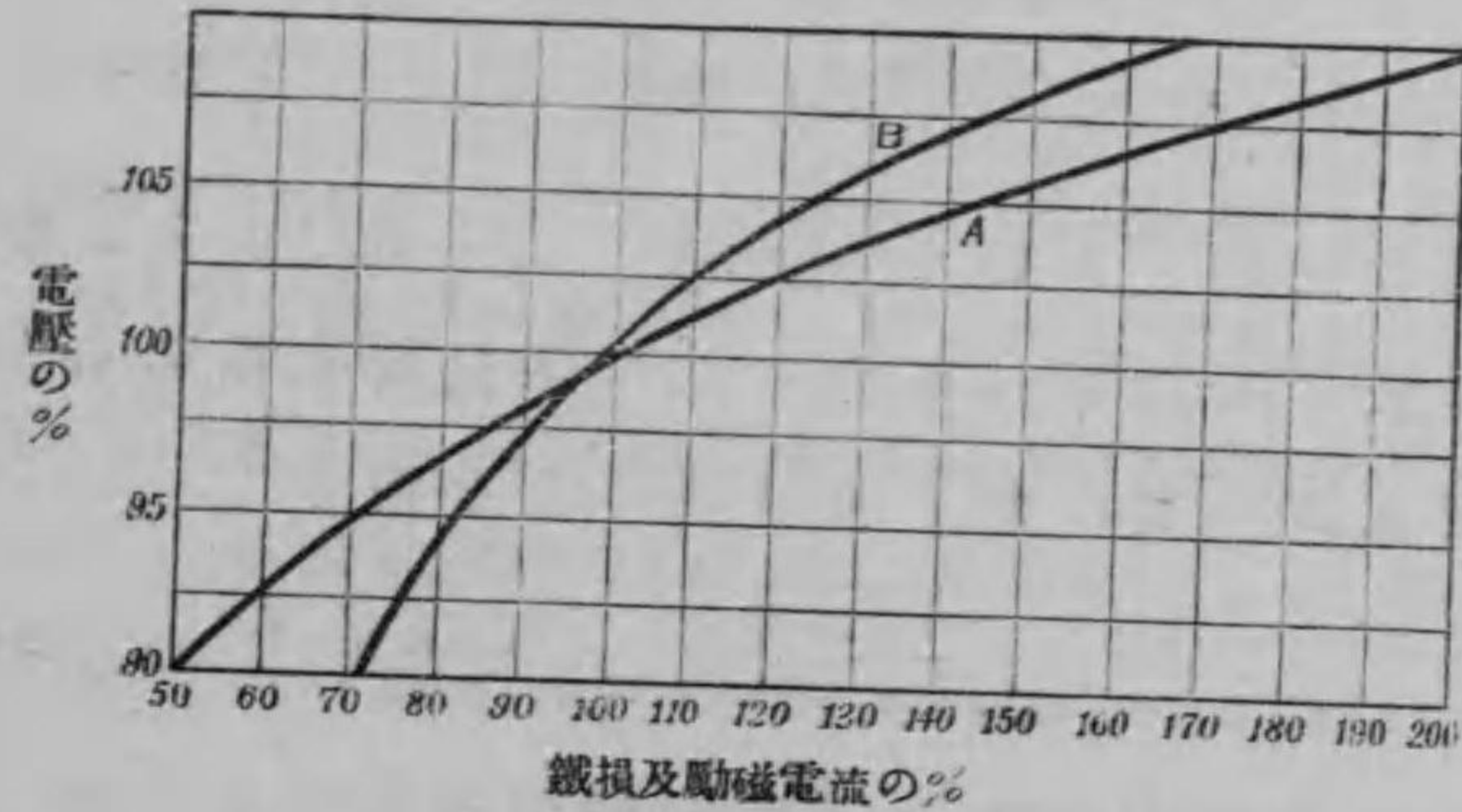
第93式にて認むる如く變壓器鐵心の鐵板も渦流損を減する爲に薄きものを可とす。鐵損の最小なるべき鐵板の厚さは0.010吋乃至0.015吋にして最も普通に用ひらるゝものを0.014吋とす。

變壓器を其規定の周波數より少き周波數の交流回

路に使用するときはその電壓を規定以下に減せざる限りは第83式に於て認むる如く磁束増すべし。従て $B$ は増し鐵損は増加すべし。且つ第88式に於て認むる如く勵磁電流増加し相總合して變壓器の損失増し格定耐量減少すべし。例へば60サイクルに設計されたる變壓器を50サイクルに使用するときには鐵損は約12%-14%増加し勵磁電流は鐵の飽和程度に由り異り約30%-80%増加す。此場合に電壓を周波數の減少と同じ割合に減ずるときは勵磁電流に變化なく鐵損は少しく減少し(第92式及第93式参照)格

第 七 十 九 圖

電壓の増減に對する變壓器の勵磁電流及鐵損の増減を示す曲線圖



A 勵磁電流曲線  
B 鐵損曲線

定出力は周波数減少と同じ割合に減少す。若し又周波数を變更することなく電圧を増すときは鐵損及勵磁電流共に増加す其割合は電圧の増加10%に對し鐵損の増加は60%勵磁電流の増加は100%なり。勵磁電流は大變壓器に於ては全負荷電流の4%-5%小變壓器に於ては15%-20%なれば電圧10%の増加は周波数減少と同様に著しく勵磁電流を増し全體の發熱温度を上昇せしめ回路の力率を降下せしむべし。第79圖に電圧の増減に對する鐵損及勵磁電流の増減を曲線にて示す。

變壓器の能率—變壓器の出力と入力との比を其能率とす之を%にて示したるものを $\eta$ にて表はせば

$$\eta = \frac{E_2 I_2 \cos \phi_2}{E_1 I_1 \cos \phi_1} \times 100\%$$

前節に記載する如く  $E_1 I_1 \cos \phi_1$  と  $E_2 I_2 \cos \phi_2$  との差が變壓器に於て失はるゝ電力にして鐵損及銅損の合計なれば上式は次の如く表はすことを得べし。

$$\eta = \frac{E_2 I_2 \cos \phi_2}{E_2 I_2 \cos \phi_2 + W_c + W_i} \times 100\% \dots\dots (95)$$

之れ變壓器の能率を示す一般の式なり。

$W_c$  は負荷に關係なきも  $W_i$  は負荷の増減に伴ひ電流

の自乗に正比例するなれば能率も亦負荷の増すに従ひ變化すれども  $W_c$  の増加は出力の増加に比して極て少ければ能率は負荷の増すに従ひ一況に増加す。負荷全く無きときは損失は勵磁電流に歸因する鐵損のみとなる。鐵損と銅損と相等しき場合に全損失最少にして能率最も大なり。由て全負荷の場合に鐵損及銅損相等しきときは全負荷能率最大なり。又能率は力率一なるとき最も高く力率少きに従ひ低し。

實際の場合に於て變壓器の負荷は一日を通じ常に變化し或る場合には負荷全く無くして單に鐵心を磁化する電流のみ通じ無益に電力を消費することを免かれざれば一日を通じての能率を知らざるべからず。即ち一日間に變壓器に送り入れられたる電力の總量(キロワット時)にて同じ一日間に送り出されたる電力の總量を除すべし其商が變壓器の一日を通じての能率にして是を全日能率 (Allday Efficiency) と云ふ。全日能率は變壓器に固有のものに非ずして其使用の状態に由て異なる。今全日中  $m$  時間全負荷に使用したりとするきは一日間に供給したる電力時は  $mW$  なり但し  $W$  は變壓器の全出力とす。損

失電力中銅損の電力時は  $mW_c$  にして鐵損は負荷の有無に拘はらず消失するものなれば其電力時は  $24W_i$  なり。由て全日能率は

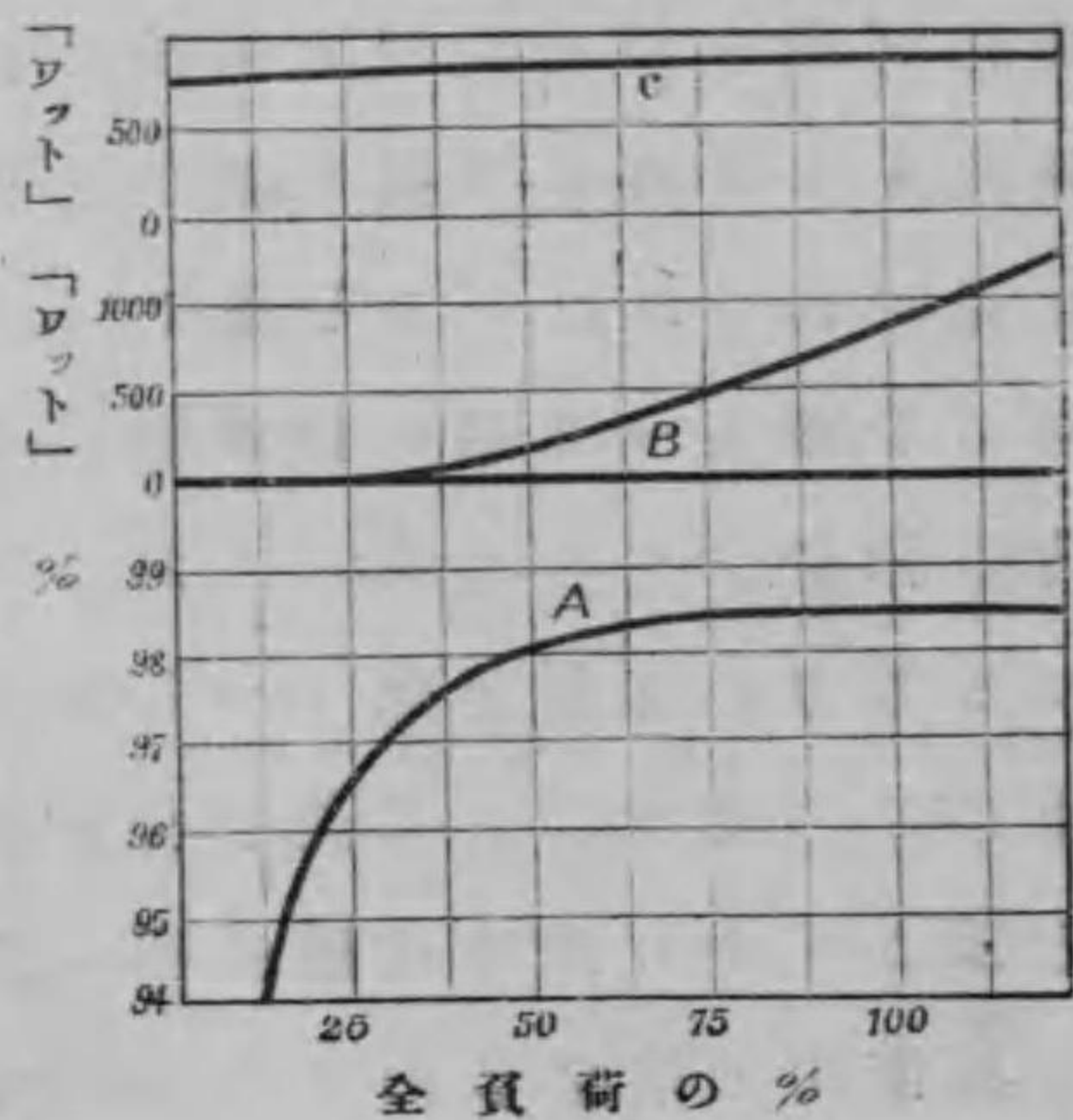
$$\eta_a = \frac{mW}{m(W+W_c)+24W_i} \times 100\% \dots\dots (96)$$

即ち使用さるゝ電力時の多きの従ひ  $\eta_a$  は多く即ち全日能率高く鐵損の多き程全日能率低し。  $m$  が 24 に等しき場合即ち全日全負荷に使用せらるゝ場合に於て全日能率最も高し。

一況に變壓器の能率は耐量大なるものに於ては 96 パーセント乃至 99 パーセントにして耐量小なるものに於ては 85 パーセント乃至 95 パーセントなれども終始一定せず。使用後漸次鐵心に於ける損失電力

第 八 十 圖

100 K.V.A. 變壓器の特性曲線圖



- Aは 能率曲線
- Bは 銅損曲線
- Cは 鐵損曲線

増加し能率低下す。之れ鐵心の長時間熱せらるゝ爲め其性質に變化を生じたるに由る。斯くの如き變壓器に於ける現象を枯れ(Ageing)と云ふ。軟鋼板は軟鐵板より枯れ少し。第 80 圖に全負荷に於ける銅損及鐵損共に 800「ワット」なる耐量 100「キロボルトアンペア」の變壓器の銅損鐵損及能率と負荷の變化との關係を曲線にて示す。

變壓器の冷却法—總て機械は全負荷の下に完全に働作すべきは勿論にして少許の過負荷を受くるも甚しく發熱するとなきを要す。變壓器に於ても亦同様ならざる可らず然れども常に鐵損及銅損の電力の爲に發熱するを免かれず。且つ變壓器の耐量は使用材料の容積に正比例し容積は寸法の立方に正比例し熱を發散する表面積は寸法の平方に正比例するを以て變壓器の耐量の増加に伴ふ熱の發散面積増加の割合は容積増加割合に比し小なり。是に因て耐量大なる變壓器に於て全負荷を受くるも低温度に之を保有せんには是を冷却せしむる特別の裝置を爲さざる可からず其冷却方法に種々あり大別して次の五種とす。

(一) 自然に冷却せしむる法



- (二) 油を變壓器に注入し是に由て冷却せしむる法
- (三) 第二法に於ける油を水にて冷却し發熱を少からしむる法
- (四) 油を變壓器内に循環せしめて冷却せしむる法
- (五) 強壓通風にて冷却せしむる法

第一法は變壓器を自然に冷却せしむるに在りて特別の設備を爲さず、函内に於て熱せられたる空氣は變壓器を納むる函の上部に在る孔より外部に出で外部の冷空氣は函の下部に在る孔より進入し新陳交代して變壓器を冷却するにあれども冷空氣に混じて濕氣が進入する故に變壓器の絶縁を不良ならしむる不利益あり。従て近來此方法は特別の變壓器の外用ひられず。第二法に於ては變壓器函を密閉して其内部に絶縁性の礦油を注入するにあり。油は變壓器の線輪及鐵心に滲透し其熱を奪ひ軽くなりて上部に昇り函に放熱して冷却し、函は外部に向て放熱す。斯くして油は自然に循環を爲す。油を使用するに由り得る利益は大略次の如し。

(一) 油は變壓器の鐵心及線輪に浸潤し、電流の爲

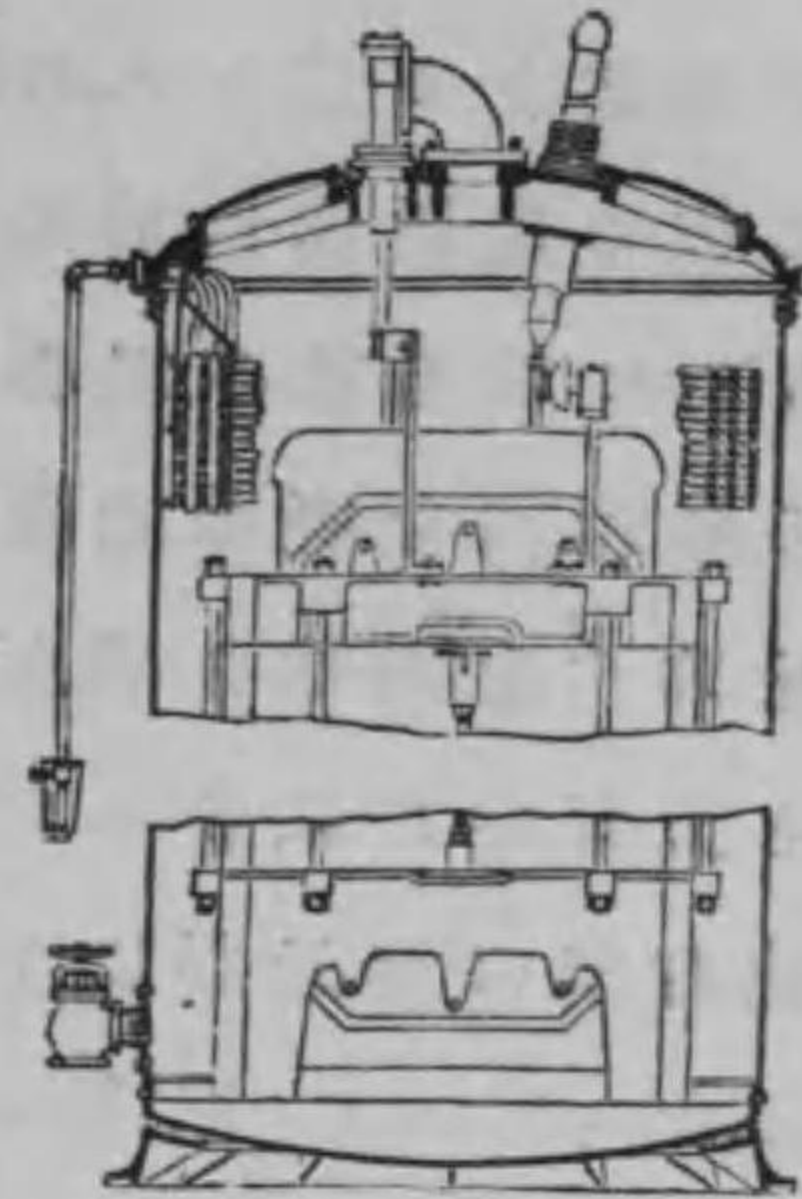
に發生する熱を函の外部に傳へて是を發散せしむること空氣に比し早きを以て油を使用せざる變壓器に比し同一負荷に對し其溫度常に低し、即ち同一溫度を與ふべき負荷及變壓器の保存期限は油を使用するに於て甚しく増加するなり。

- (二) 高壓電氣の放電は油中に於ては空中に於けるよりも五倍の距離を要するを以て、落雷の爲めに害を受けること少し。
- (三) 油は鐵心及線輪に浸潤して其内部に在る空氣を排除し線輪の絶縁物の酸化を防ぎ絶縁を變せざらしむ。是に反し油を使用せざるときは變壓器内の空氣は電氣流通の爲に生ずる發熱に因て膨脹して大氣中の濕氣に觸れ是を吸収し、電流流通止むに及んで冷却收縮し空中の濕氣を變壓器内に導き、其絶縁を不良ならしむるの不利あり。
- (四) 油入變壓器は密閉し置くをを以て塵埃が内部に散入する虞れなく外部の濕氣を吸収することなし。然れども油の品質不良なるときは其循環悪しくなりて甚しく熱を帯びて反

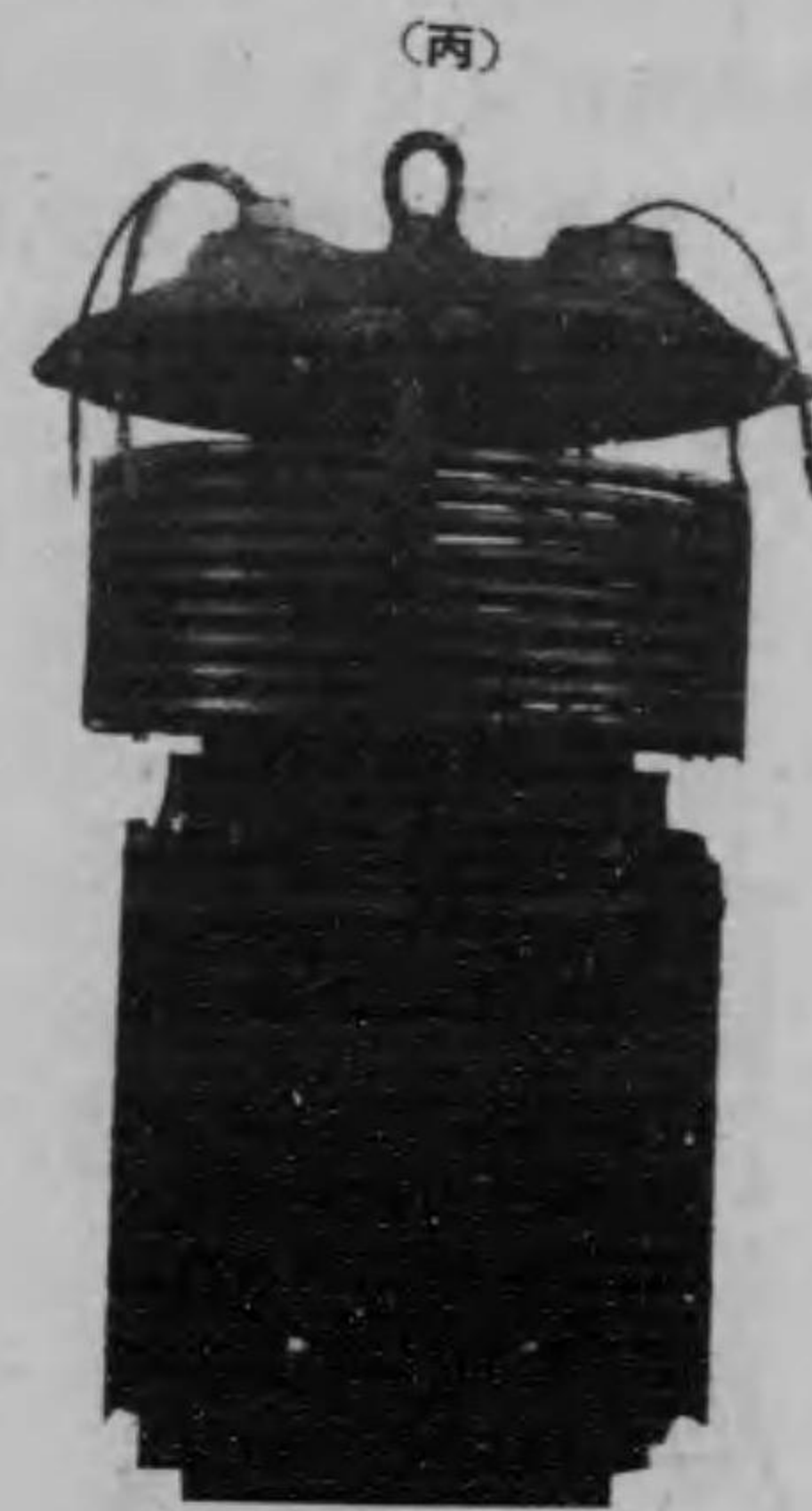
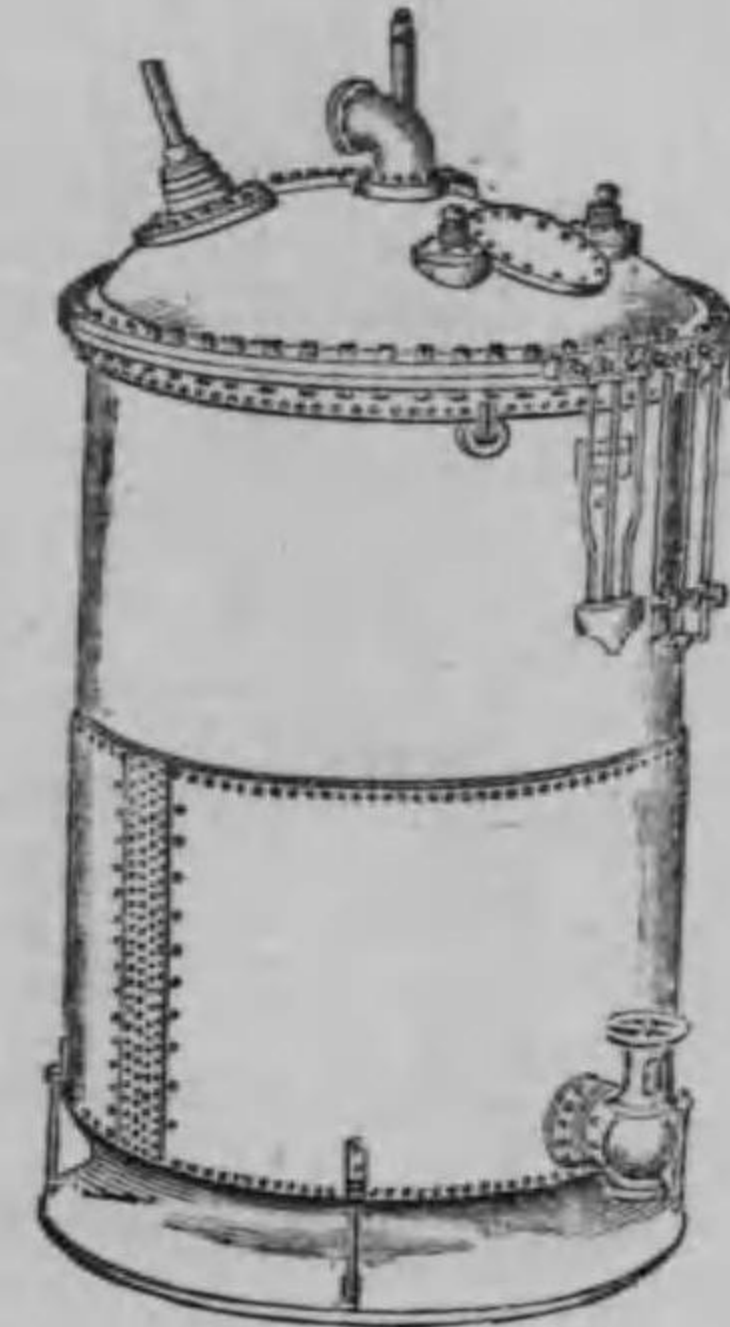
て變壓器の絶縁物を變質せしむることあり。此方法に依れる變壓器を**油入變壓器**(Oil-insulated Transformer)と云ふ。近來製作せらるゝ變壓器は耐量如何に小なるも凡て油入となせり。油入變壓器の鐵函は小なるものは鑄鐵にて製するも大なるものは鋼鐵板にて製し波形に曲げ其空氣に觸れる表面を多くし熱の放散面積を増大ならしめたるものあり。耐量1,000[キロヴォルトアンペア]位迄は此型にて差支なし。第三法は耐量大にして第二法に依りては充分冷却し能はざるか若くは構造上不經濟なる場合に用ひらるゝ方法にして變壓器の線輪及鐵心の上に線輪狀に巻ける銅管又は鐵管を全部が油中に浸さるゝ様に裝置し是に外部より適當の方法にて冷水を循環せしめて變壓器内に入れられたる油を冷却せしむるなり。是に由て熱せられたる油は上方に昇りて冷水管に觸れて冷却して下方に降り再び變壓器を冷却し順次循環して水に向て熱を放散するなり。水を循環せしむるには別に唧筒を用ふるか或は高所より水を導きて自然の落下力に由て管内に通せしむ。此種の變壓器を**水冷油入變壓器**(Watercooled Transformer)と云ふ。

第四法に於ては循環唧筒に依りて油を變壓器内に循環せしめ水槽内に於て冷却せしむ。此方法は多額の設備費を要するに由り、餘り使用せられず。此種の變壓器を**送油式變壓器**(Oil-cool-

第 八 十 一 圖  
水 冷 油 入 變 壓 器  
(甲)



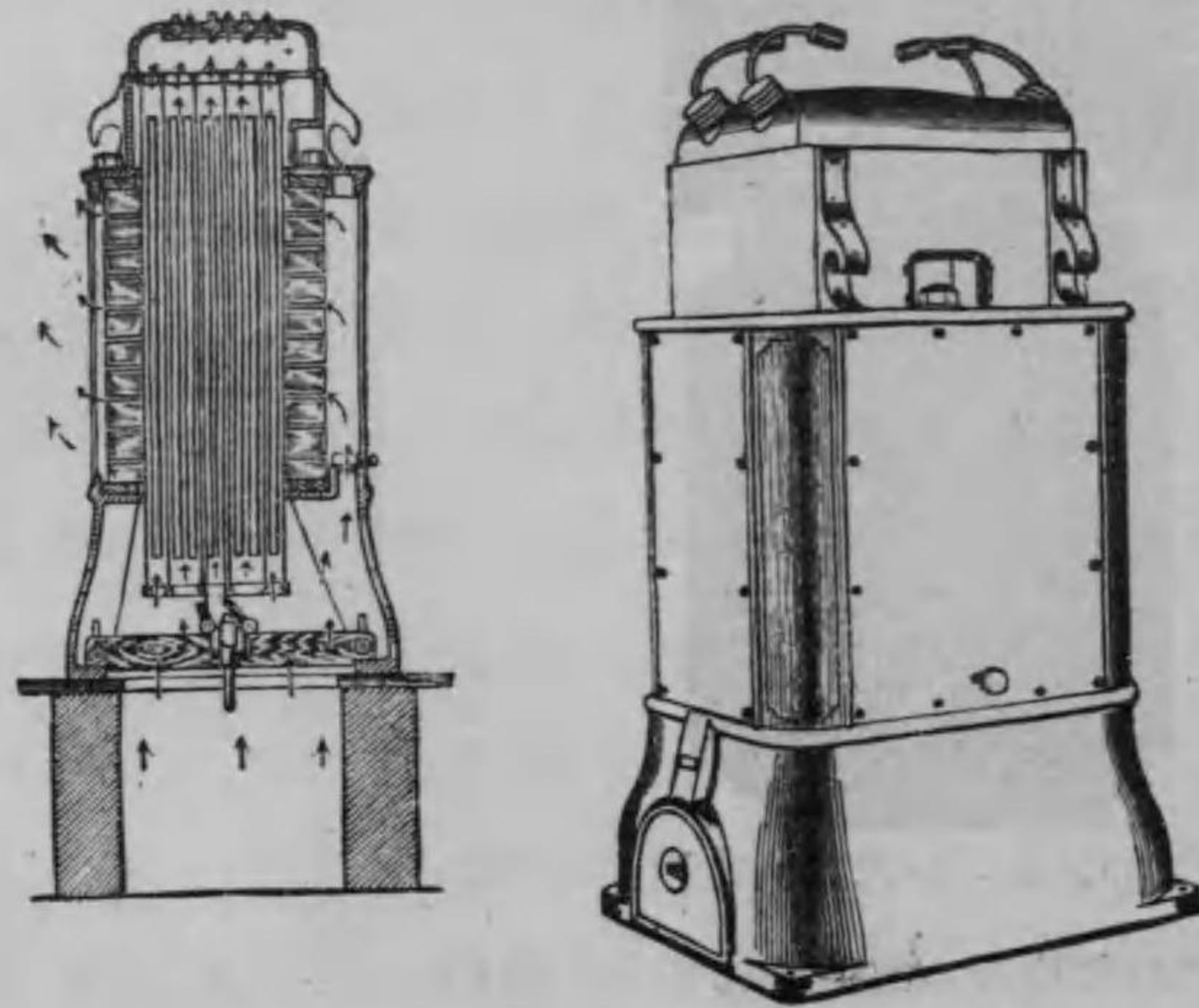
(乙)



500[キロヴォルトアンペア]  
3,300[ヴォルト]  
水 冷 油 入 變 壓 器  
(芝浦製作所製)

ed Transformer) と云ふ。第五法に於ては油及水を用ひずして送風機にて壓力を加へたる空氣を變壓器の底部より送り入れ内部の熱を冷却せしむ此方法に依る變壓器に於ては空氣の流通を良好ならしむる爲に線輪及び鐵心に間隙を作るを通常とす此種の變壓器を送風式變壓器 (Airblast Transformer) と云ふ。冷却水を得難き場所に於ては送風式最も適すれども大氣中には多くの塵埃及濕氣含まるゝ故之を木綿布製の濾過器にて濾過して變壓器に送るを可と

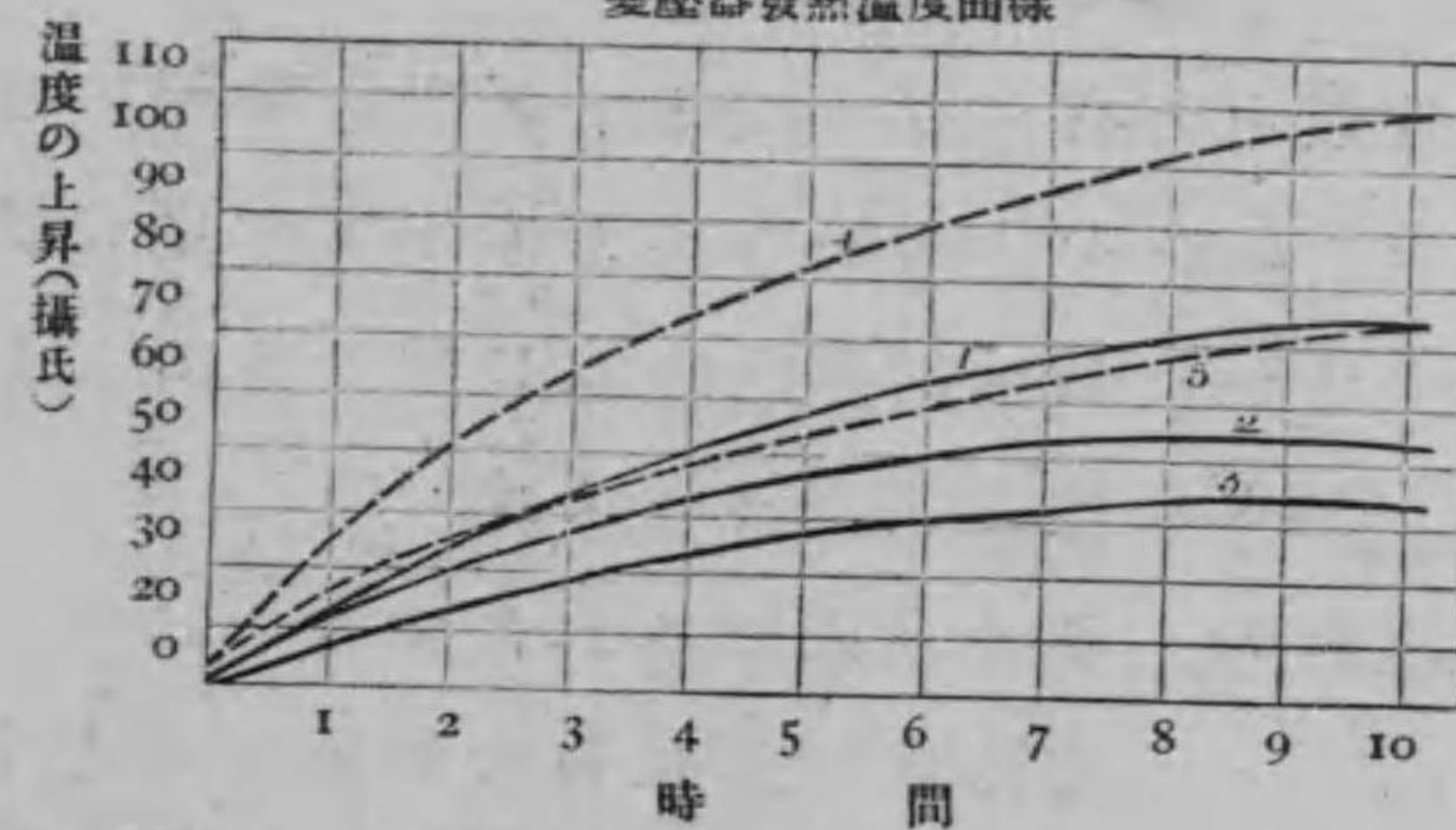
第 八 十 二 圖  
送風式變壓器



す。第81圖は水冷油入變壓器第82圖は送風式變壓器を示す第83圖は變壓器に油を注入すると注入せざるとに於ける發熱溫度の比較を示す。圖中曲線1は油を使用せざる場合に於て變壓器の溫度の上昇と時間との割合を示し曲線2は同變壓器に油を使用せる場合に於ける溫度の上昇を示し曲線3は油の溫度の上昇を示し曲線4は油を使用せざる他の變壓器に於ける溫度の上昇を示す。

變壓器に於ける溫度上昇の許すべき限度は其全負荷に於て六時間以上使用の後周圍空氣の溫度との差攝氏50度とす此上昇を來たすべき電流の密度は凡そ次の如し

第 八 十 三 圖  
變壓器發熱溫度曲線



小變壓器 使用捲線の切斷面積一平方吋に付き  
500乃至1,100「アムペア」

大變壓器 同上 500乃至900「アムペア」

送風式變壓器 同上 800乃至1,500「アムペア」

變壓器に使用する絶縁油は石腦油を蒸溜し得たる純粹の礦油にして其色は淡黄色を帯び其品質及物理的化學的並に電氣的性質は次の如くなるを要す。

- (一) 品質 脂肪の痕跡を含有せず又濃き油アルカリ類硫黄の化合物をも含有すべからず且つ空氣中に於て華氏100度に熱せらるゝとき酸化する如き物質をも含有すべからず。
- (二) 乾燥 完全に乾燥したるものたるべし濕潤なる空氣中に於て濕氣を吸収する性質のものなるべからず。
- (三) 酸類を含有せざること。絶対に酸類の痕跡をも含有すべからず又空中に於て長時間華氏100度に熱せらるゝも酸性を呈すべからず。
- (四) 夾雜物 良く濾過せられたるものにして少許の塵芥又は他の雜物を含有すべからず。
- (五) 引火點 重礦油の引火點を測定するに使用

せらるゝ密閉したる試験器にて試験したる場合に引火點は華氏340度(攝氏171度)以上たるべし。

- (六) 蒸發量 長さ3吋幅3吋の容器に深さ2吋に油を入れ華氏210度の一様の温度にて8時間熱したるとき蒸發して消失する油の量が重量上0.5%を超ゆるべからず。
- (七) 比重 華氏70度に於て大略0.8-0.9たるべし。
- (八) 絶縁耐力 油の表面下一吋の箇所に針端電極を置き之に周波數50「サイクル」の交番電壓を加へたるとき油の壊裂する電壓は其厚さ0.1吋に付き15,000「ヴォルト」以下なるべからず。此際温度は華氏500度に保持するものとす。
- (九) 粘度 油の粘度はボグーントン・レッドウッド粘度計(Boverton Redwood Viscosity Meter)にて測り華氏70度に於て20以上同じく40度に於て75以下たるべし。

油の温度を檢視する爲め寒暖計を油の量を檢視する爲め油量計(Oil Gauge)を變壓器外函の外側適當の

位置に取付け小管にて内部の油を之に導くものとす。尙警鈴装置 (Alarm Bell) を用ひ油の温度が規定温度より昇りたる時は自動的に警鈴が鳴動し取扱者に注意を與ふる設備を爲すことあり。

油の温度は捲線の温度よりも平均攝氏10度低き故捲線の温度上昇を攝氏50度以下に保持するには油の温度を40度以下に保持せざるべからず。「キロワット」の電力は油の11米「ガロン」(一米「ガロン」は日本の約二升到に當る)の温度を一分間に攝氏一度上昇せしむ又同じ「キロワット」の電力は水の3.8米「ガロン」の温度を一分間に攝氏一度上昇せしむるなれば冷却管に循環せしむる水量を毎分0.25米「ガロン」とすれば、流入する水と流出する水との温度の差は  $\frac{3.8}{0.25} = 15$  度にして是丈の温度を水が油より奪ふなり故に油の温度が  $40 - 15 = 25$  度より昇らざるときは捲線の温度上昇は常に50度以下に在るものと見做すことを得べし。尤も水量を毎分0.25米「ガロン」以上に増すときは油の温度を下降するも是が爲に降下する捲線の温度の降下程度は水の温度降下程度の二分の一にして其効果少し。此理に由て通常上記の割合に水の循環量を定む。例へば1,000「キロワット」の變

壓器に於て能率を98%とすれば其損失電力即ち變壓器を發熱せしむる電力は  $1,000 \times \frac{100-98}{100} = 20$  「キロワット」なれば冷却水の量は一時間に  $20 \times 0.25 \times 60 = 300$  米「ガロン」にて可なり。

冷却水を通すべき水管には通常織目なき若くは良く鍛接したる鐵管を用ふるなれども水の品質悪しく鐵を腐蝕せしむる虞ある箇所には銅管を用ふ何れの管に於ても冷却水の壓力に耐へる爲め少くとも毎平方吋25「ポンド」の壓力試験を行ひたるものを用ふべきものとす。

送風式變壓器に於て冷却用空氣の送量は變壓器の損失電力「キロワット」に付き一分間150立方呎を通常とし其壓力は約毎平方吋に1/2「オンス」乃至1「オンス」とす。此型の變壓器は熱し易き故に全負荷に於て約二時間にて温度上昇一定すべし之に反し水冷油入變壓器は温度一定する迄に六時間乃至十時間を要す。送風式變壓器の最高電壓は絶縁困難の爲め35,000「ヴォルト」を限度とし之以上は製造不可能なりとせり。

變壓器の乾燥法—變壓器は製造の際其線輪及絶縁物より充分に水氣を除去するも是を使用する場

合には使用前に其運搬途中に於て免かれ難き吸収せる水分を除去せざる可らず。即ち充分之を乾燥して水分を除き絶縁を良好ならしむること必要なり。油入變壓器に於て若し線輪に濕氣を含みたるまゝ是に注油するときは濕氣は容易に去らずして油中に混入し甚しく變壓器の絶縁を害し遂に之を燒損するに至るべし。變壓器を乾燥する方法に次の二種あり。

一. 外部より熱を加へて乾燥する方法

二. 内部に熱を加へて乾燥する方法

第一法に於ては變壓器の線輪及鐵心を荷造りの儘とし函の頭部及底部に孔を穿ち底部に高き抵抗を有する導體例へば鐵線より成る線輪を置き是に適當の電流を通じて熱を生せしめ此熱を函内に導き變壓器の線輪を乾燥せしむるなり。大なる變壓器に於ては此熱風を電氣空氣唧筒にて變壓器内に送りて乾燥するを良法とす。若し電流を得ること能はざる場合には炭火を用ひて乾燥するなれども是を成るべく變壓器より遠ざけ其發する熱氣のみを鐵管に依て導くべきものとす。變壓器乾燥中は時々其温度を測るべし。是には寒暖計を用ひ線輪中に

挿入し攝氏80度に達せしめたる後は常に此温度を保持する様加へる熱を加減し兩線輪間及鐵心間の絶縁抵抗が100「メガオーム」以上を保持する迄加熱すべし。

第二法に於ては變壓器の油を抜取り低壓二次線輪を短絡し其高壓一次線輪に相當交番電壓を加へ之に電流を通せしむ。然るときは短絡せる低壓線輪にも亦其變壓比に相當する電流發生し兩線輪共に發熱すべし。爰に於て電流を加減して其温度を攝氏80度に達せしめ引續き是を保持すべし。是に要する電流は凡そ一次線輪に於て全負荷電流の十分の六にて足り電壓は變壓器の指定電壓の一パーセント乃至五パーセントにて足る。例へば25,000「ヴォルト」300「キロワット」變壓器に於ては電壓250「ヴォルト」乃至500「ヴォルト」電流7.2「アムペア」にて可なり。

以上の方法にて充分に乾燥するに要する時間は一定ならざるも通常の場合に於ては少くとも凡そ一週間を要すべし。乾燥中は一定時間毎に線輪の絶縁抵抗を測るべし。絶縁抵抗は乾燥を始むるや線輪中に含有せられたる濕氣の蒸發する爲め一旦直ちに降下し温度80度に近付くや濕氣は漸次除去せら

れ絶縁抵抗増して一定するに至るべし。斯くして一次線輪と二次線輪及鐵心との絶縁抵抗が其規定電壓100「ヴォルト」に付き一「メガオーム」以上に達するや乾燥を止めて直ちに豫め乾燥したる油を注入すべし。決して注油せずして變壓器を放置すべからず。線輪の温度を測るには寒暖計を用ひずして時々其抵抗を測り第五項に記載する如く其増減より銅線の抵抗温度率に依て温度を算出するを最も可とす。若し此場合に直流を線輪に通じて乾燥するとき、線輪中に失はるゝ電壓を測り是より直ちにオーム法則に據り温度を算出するを得れども、交流に依るときは一時其流通を止め別に直流を通じて特に抵抗を測らざるべからざる不便あり。

電壓甚だ高き變壓器を完全に乾燥せんとするには、變壓器の函を密閉して真空唧筒にて其内部を真空になし上記方法を行ふにあり。真空に於ては水の沸騰點は著しく低下し真空28時に於ては凡そ攝氏40度なれば此の温度より高く熱することなくして、線輪より蒸發する水蒸氣を速かに外部に除去するを得ること容易なり。此の方法に於て乾燥を終り電流を止めたる後も數時間引續き真空に保ちて冷

却せしめ然る後内部を清掃し再び真空になし注油を行ふものとす。

**電壓變動率**—變壓器の二次線より電力の供給を受くる白熱電燈は其電壓の變化少きに從ひ光力の變化少く燈球の壽命も長きを以て、二次電壓は點燈數即ち負荷の如何に關せず成べく均一なるを要すれども、二次線輪及其接續回路の抵抗及リアクタンスの爲に電壓の幾部分の失はるゝを免かれず即ち負荷の増すに從ひ又力率の低きに從ひ損失電壓増すべし。今無負荷に於ける二次電壓を $E_0$ として全負荷に於ける同電壓を $E_2$ とすれば、兩電壓の差は $E_0 - E_2$ にして其 $E_2$ に對する比を百分率にて表はせるものを變壓器の**電壓變動率**と云ふ。之を $y$ にて示せば

$$y = \frac{E_0 - E_2}{E_2} \times 100\%$$

變動率の最大限度は二次回路の力率が一のときに於て3%とし之より大なるものを使用せざるを可とす。

變壓器のリアクタンスを減少し漏洩磁束を少からしむるには一次線輪と二次線輪とを交互に捲くにあり、此方法に由てリアクタンスを減じ從て電壓變

動率を少からしむるを得るなり。

第42表にゼネラル電気會社製の小變壓器の鐵損電

力電壓變動率及

能率を示す。電

壓變動率は能率

と同様に變壓器

の耐量大なるに

従ひ良好なるこ

と表に於て認む

るが如し。

變壓器性狀の

標準—ジャックソ

ン氏は變壓器性狀の標準を次の如く制定せり。

第四十三表  
變壓器の鐵損及電流表

容量 [ワット]	鐵損 [ワット]	勵磁電流 [7Aベア]
1,000	30	0.55
1,500	40	
2,000	50	.080
2,500	60	
4,000	80	
6,500	100	.150
17,500	150	.200

(一) 一次電壓 1,000[ヴォルト]周波

數100以上の變壓器に於け

る鐵損は多くとも第43表

の如くなるべきこと。

周波數100以下なれば此表

より一割大にて差支なし。

(二) 變壓器の電壓變動率は如

何なる場合に於ても三パ

第四十二表

耐量 「ヴォルトベア」	鐵損 「ワット」		電壓變動率 「ヴォルト」		全負荷率 %	
	周波數		周波數		周波數	
	60	125	60	125	60	125
600	23	18	2.8	2.9	93.6	94.1
1,000	30	23	2.59	2.7	94.6	95.2
1,500	35	27	2.45	2.62	95.3	95.9
2,000	45	34	2.3	2.5	95.7	96.2
2,500	48	37	2.1	2.45	96.1	96.6
3,000	60	46	2.1	2.45	96.3	96.6
4,000	68	52	2.	2.35	96.5	96.8
5,000	76	58	2.	2.14	96.5	96.9
6,000	93	71	1.8	2.	96.6	96.9
7,500	116	88	1.7	1.9	96.7	97.1
10,000	155	117	1.44	1.61	97.1	97.5
20,000	254	192	1.32	1.35	97.6	97.9
30,000	360	272	1.3	1.3	97.8	98.1

ーセントを超ゆるべからず。

(三) 全負荷にて十時間使用後の温度上昇は周圍空氣の温度より高きこと攝氏40度を超ゆるべからず。

注意 此温度は寒暖計に由て測定するものにして電線の抵抗より打算するものなれば50度迄許すものとす。

(四) 全負荷に於て線輪及鐵心間の絶縁を破るべき電壓は少くとも一次電壓の十倍たるべく絶縁抵抗は十「メガオーム」以上たるべし。

(五) 一次電壓 1,000[ヴォルト]變壓器の勵磁電流は周波數100以上の場合には第43表に示す値を超ゆるべからず。一況に磁化電流は周波數の減するに従ひて増し電壓に逆比例して増減す。

第四十四表  
變壓器の性狀表(平均)

耐量 キロ ワット	鐵損 ワット	銅損 ワット	磁化電流 パーセント	電壓變動率 パーセント
1	35	30	9.0	2.8
2	45	50	7.0	2.5
3	55	70	3.0	2.3
5	70	105	2.5	2.2
7.5	100	150	2.3	2.2
10	120	180	2.3	1.0
15	155	275	2.2	1.8
20	185	300	1.5	1.7
30	235	475	1.2	1.5
50	335	675	1.0	1.3

變壓器の性狀一況は第44表に示す如し但し周波數六十のものなり。最近日本電氣工藝委員會に於て制定せられたる變壓器の温度上昇及



絶縁耐力の制限は次に示す如し。

(1) 温度上昇

1. 許し得べき温度上昇(攝氏)を左の如くす。

變 壓 器	絶 縁 物	測 定 器 の 種 類	温 度 (攝 氏)
油入變壓器	木綿・紙	{ 寒暖計と電氣抵抗測定と何れ か高き方を探る	50°
送風式變壓器	木綿・紙		電氣抵抗測定

2. 室内温度を攝氏25度とし、25度以上の時は其一度毎に上昇温度一度を減す。

(2) 絶縁試験 絶縁耐力試験を次表の如く定む。

一次線輪と二次線輪間及一次線輪と鐵心間並に二次線輪と大地間に加ふべき試験電壓

使用電壓	試 験 電 壓	備 考
40「ヴォルト」以下	200「ヴォルト」	但し一次電壓500「ヴォルト」以上二次電壓300「ヴォルト」以下の變壓器に於て其二次回路が直接需用家に接続するものありては使用電壓の三倍とし最小試験電壓を5,000「ヴォルト」とす。 試験時間は規定負荷にて一定温度に達したる後一分試験は凡て交流を以てし電壓を徐々に加ふるものとす。交流波形は正弦波を標準とし特に規定せられたる場合の外波形の最大の狂は10%以内とす。
40 — 400「ヴォルト」	1,000「ヴォルト」	
400 — 5,000 „	2½×使用電壓	
5,000 — 7,500 „	使用電壓+7,500	
7,500「ヴォルト」以上	2×使用電壓	

以上の試験電壓を加ふるも異状なく耐へ得べきこと。

(3) 過負荷試験。

變壓器は40%の過負荷にて規定の温度上昇

以下の温度に於て三分間繼續すべきものたるべし。

第四項 變壓器の接續法

一汎に交流式の直流式に優るは變壓器の種々の接續方法に由て回路の電壓電流及相を適當に變ずることを得るに在り、又多相式交流回路に於ては變壓器數個を適當に接續して其二次回路に三相交流を得る便利あり。此等の變壓器の接續方法は次に逐次記載す。

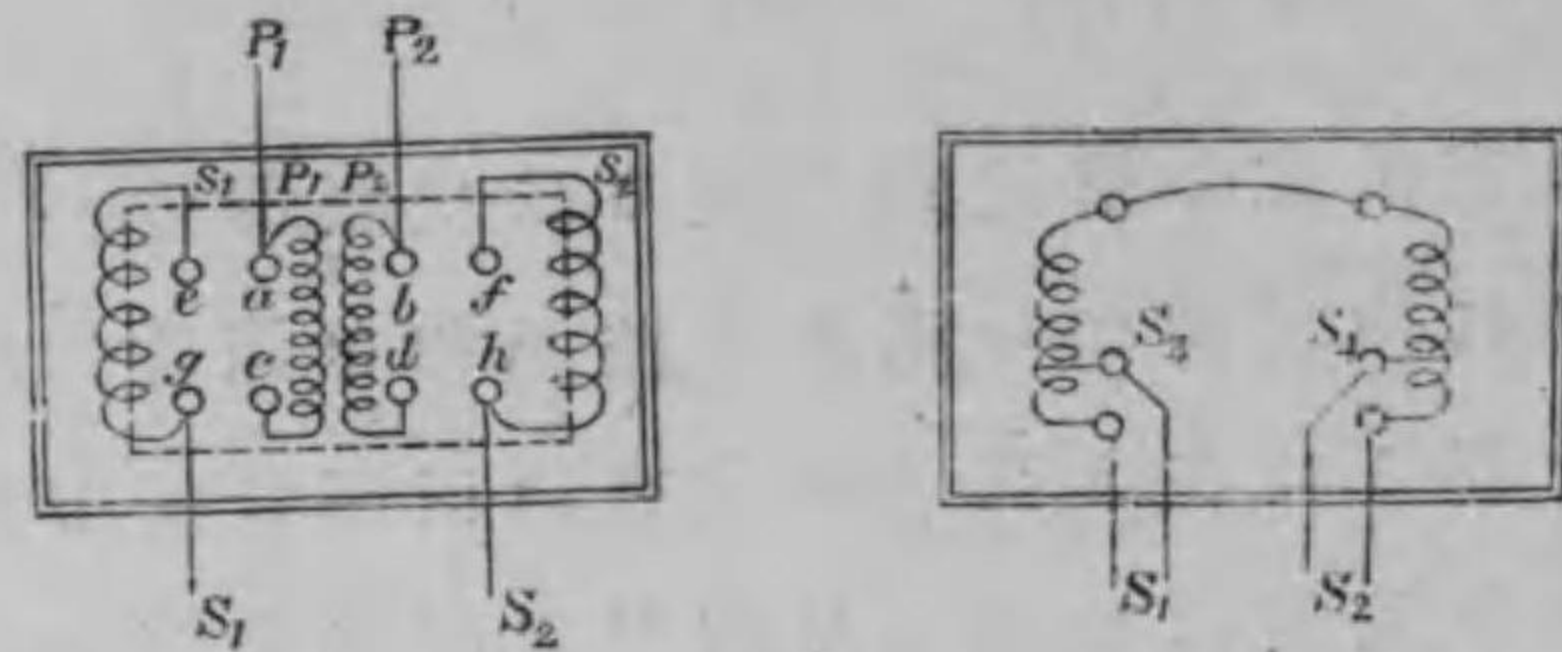
單相式接續法—單相式交流回路に於ける變壓器接續法は極めて簡單にして本回路に其一次線輪を並列に接續するのみなれども、一次線輪及二次線輪は通常二組に分たれ、各組の端子を變壓器内に設けたる端子盤に出し、此處にて一次二次共各二組を直列に或は並列に接續して二種の異なる電壓をも受け又は二種の電壓を發生せしむるを得る様に設備す。

例へば第84圖甲に於て P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> を二組の一次線輪とし a, b, c, d を其端子とし、S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> を二組の二次線輪とし e, f, g, h を其端子とす、又 a, b を一次回路に接續すべき端

子,  $g, h$  を二次回路に接続すべき端子とす。

第 八 十 四 圖  
単相變壓器端子盤接続圖

(甲) (乙)



今若し  $c$  と  $d$  とを結び  $e$  と  $f$  とを結びて  $P_1, P_2, S_1, S_2$  共直列に接続したる場合に此變壓器が 3,000「ヴォルト」の電圧を受けて 100「ヴォルト」の二次電圧を發生するものとせば兩線輪の他の接続に於ては電圧は次の如くなるべし。

$a$  と  $d$  とを結び  $b$  と  $c$  とを結び  $P_1, P_2$  を並列に接続するときは一次電圧 1,500「ヴォルト」

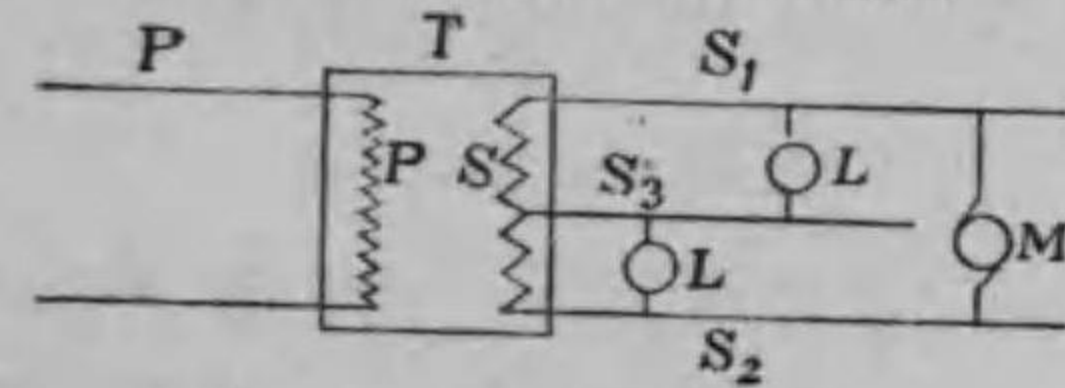
$g$  と  $f$  とを結び  $e$  と  $h$  とを結び  $S_1, S_2$  を並列に接続するときは二次電圧 50「ヴォルト」

此等の接続の変更は變壓器内の端子盤に於て容易に行ふことを得る様設備せらる。

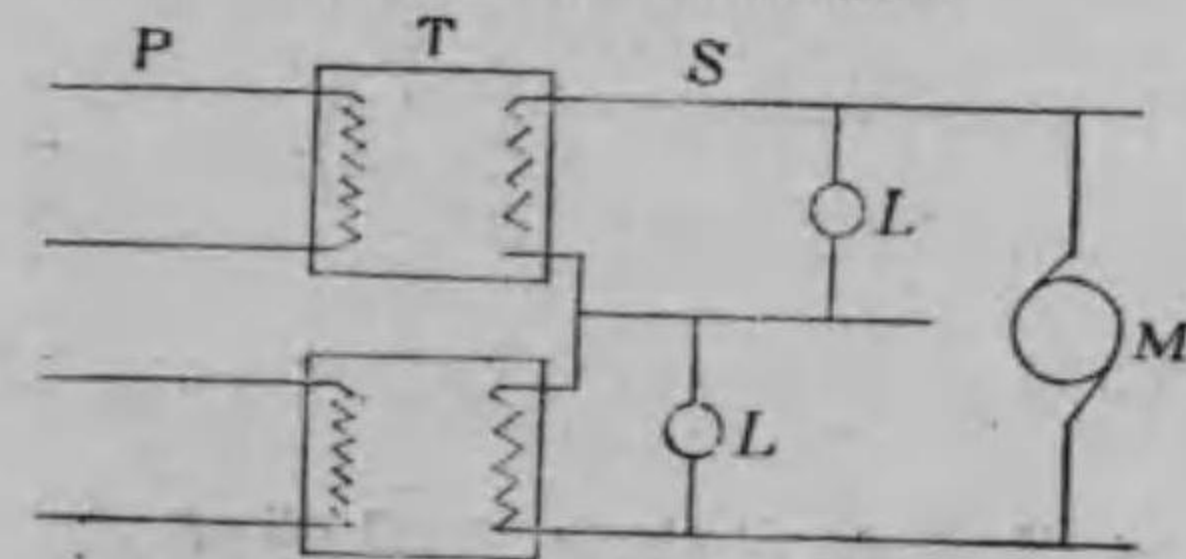
電圧の僅かの加減を爲さんとするには一次線輪又は二次線輪の一部より枝線を出し恰も單捲變壓器

に於ける如く枝線端子と本端子との間に適當の電圧を受け又は發生せしむることを得べし。例へば第 84 圖乙に於て  $S_1, S_2$  を二次線輪の端子とし  $S_3, S_4$  を其一部より出したる端子とすれば  $S_1, S_3$  間及  $S_2, S_4$  間の各電圧は  $S_1, S_2$  間の電圧より若干「パーセント」少し。仍て此接続方法に由て一定の一次電圧を受け  $S_1, S_2$  間  $S_1, S_4$  間及  $S_2, S_3$  間の三種の電圧を二次端子間に發生せしむることを得。此枝線を **タップ**(Tap)と云ひ、タップと本端子間の電圧を **タップ電圧**(Tap Voltage)と云ふ。今若し變壓器の二次線輪の中央よりタップを出せばタップ電圧は端子電圧の二分一と成るべし。例へば第 85 圖甲に於て T を變壓器とし、P を一次線輪 S を二

第 八 十 五 圖  
(甲) 單相變壓器三線式接続圖



(乙) 單相三線式接続圖

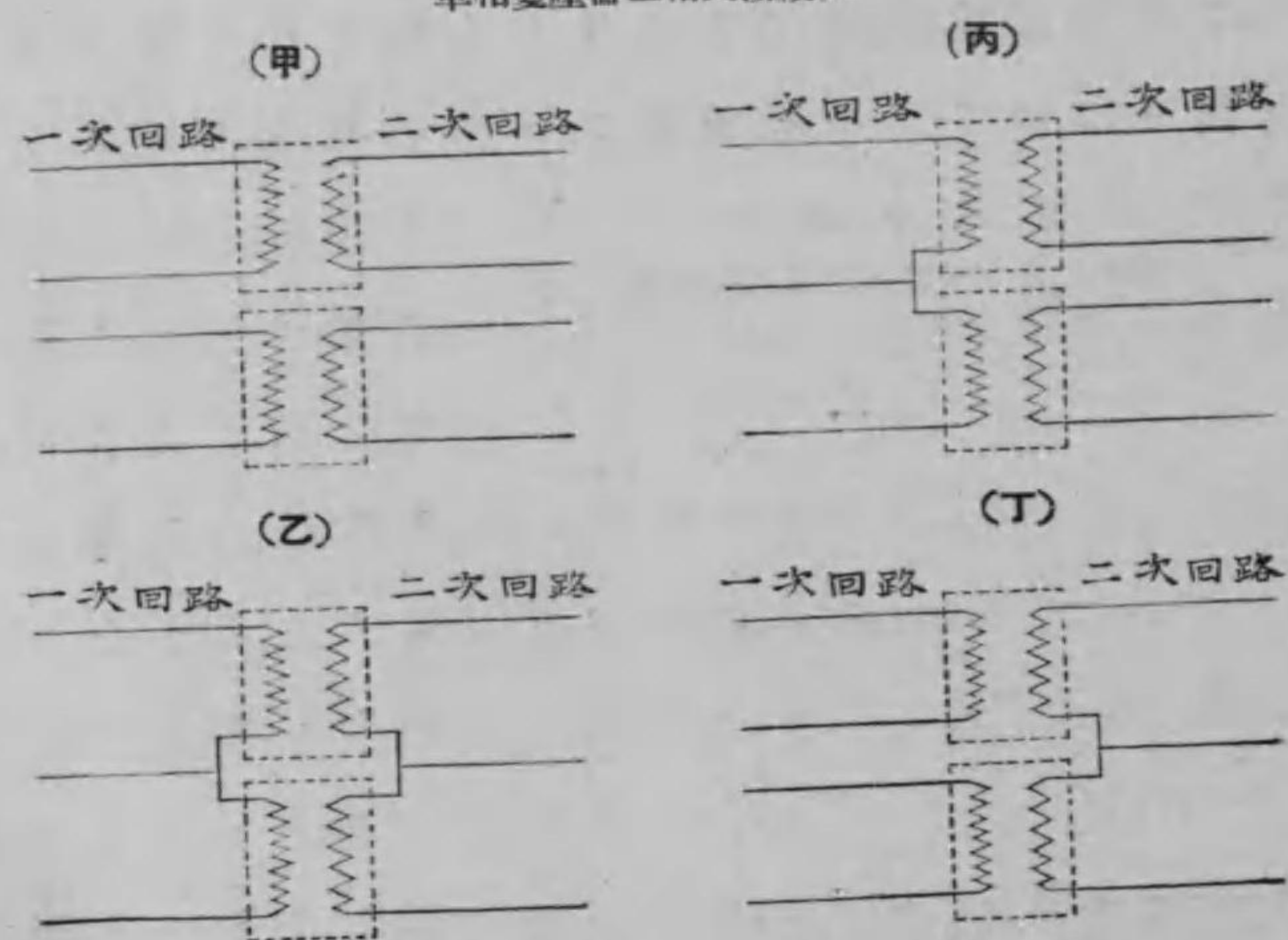


次線輪と爲し、二次線輪の中央よりタップを出し二次回路を  $S_1, S_2, S_3$  の三線より成るものとし、 $S_1, S_2$  間の電圧を 200「ヴォルト」とするときは、 $S_1, S_3$  間及  $S_2, S_3$  間の電圧は 100「ヴォルト」と

なり、 $S_1 S_2$ 間に200「ヴォルト」電動機を接続し、 $S_1 S_3$ 間及 $S_2 S_3$ 間に100「ヴォルト」電燈を點火することを得べし。或は又變壓器の電壓又は耐量の都合に依り變壓器二個を用ひ同圖乙に示す如く接続するも同様の結果を得べし。斯くの如く電線三條を用ひ單相式二回路を成さしむる接続方法を單相三線式(Single-phase three-wire system)と云ふ。

二相式接続法—二相式交流回路に於ける變壓器接続方法は變壓器二個を用ひ第86圖に示す如く行

第 八 十 六 圖  
單相變壓器二相式接続法



ふ。此場合に電線四條使用する方法を二相四線式

(Two-phase four-wire system)と云ひ、電線三條使用する方法を二相三線式(Two-phase three-wire system)と云ふ。例へば第86圖甲に於ては一次線輪及二次線輪共に四線式に接続せられ、乙に於ては一次線輪及二次線輪共に三線式に接続せられ、丙に於ては一次線輪は三線式に、二次線輪は四線式に接続せられ、丁に於ては一次線輪は四線式に、二次線輪は三線式に接続せらる。是等の各接続法に於て各相に於ける負荷は出來得る限り均一なるを要す。若し然らざるときは各相に於ける電壓に差異を生ずることあればなり。

三相式接続法—三相式交流回路に於ける變壓器接続方法は變壓器三個を用ひ第87圖に示す如く數種あり、即ち圖中

甲に於ては 一次線輪及二次線輪共に三角形に接続せらる。

乙に於ては 一次線輪及二次線輪共に星形に接続せらる。

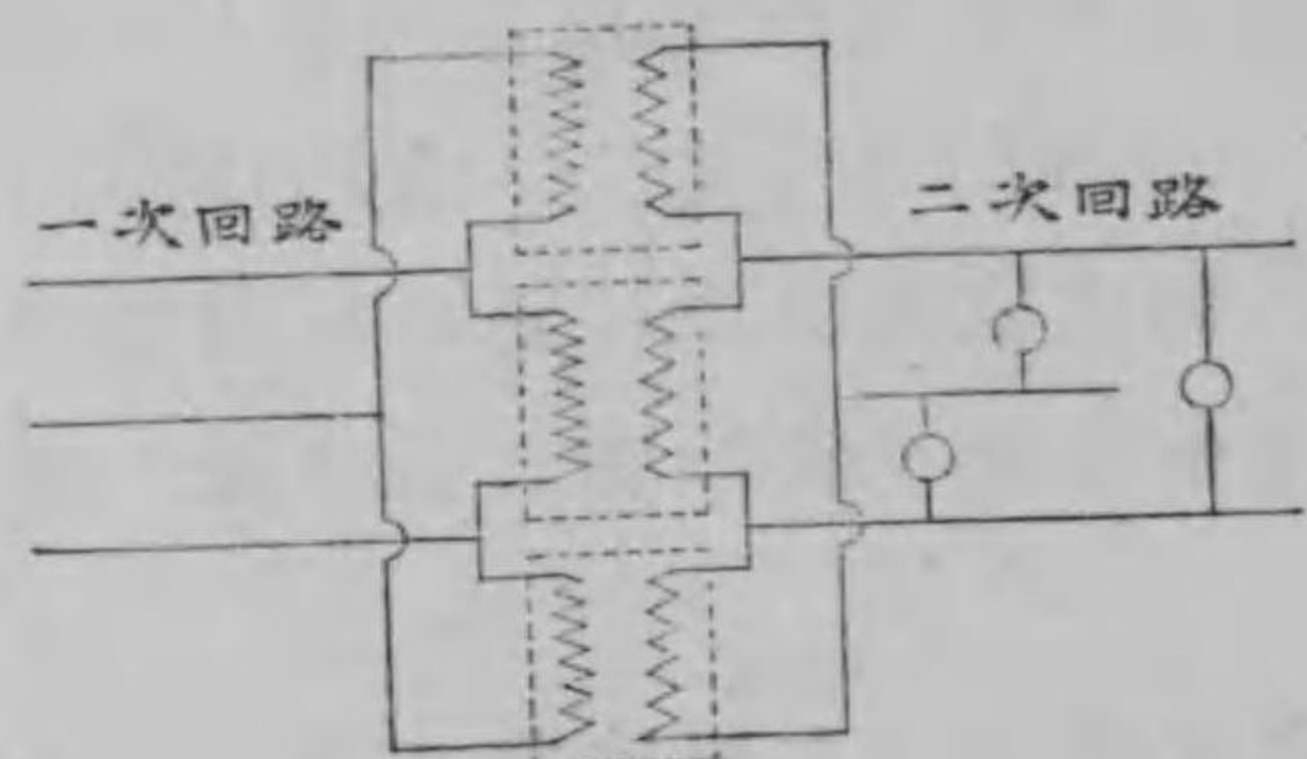
丙に於ては 一次線輪は三角形に二次線輪は星形に接続せらる。

丁に於ては 一次線輪は星形に二次線輪は三角形に接続せらる。

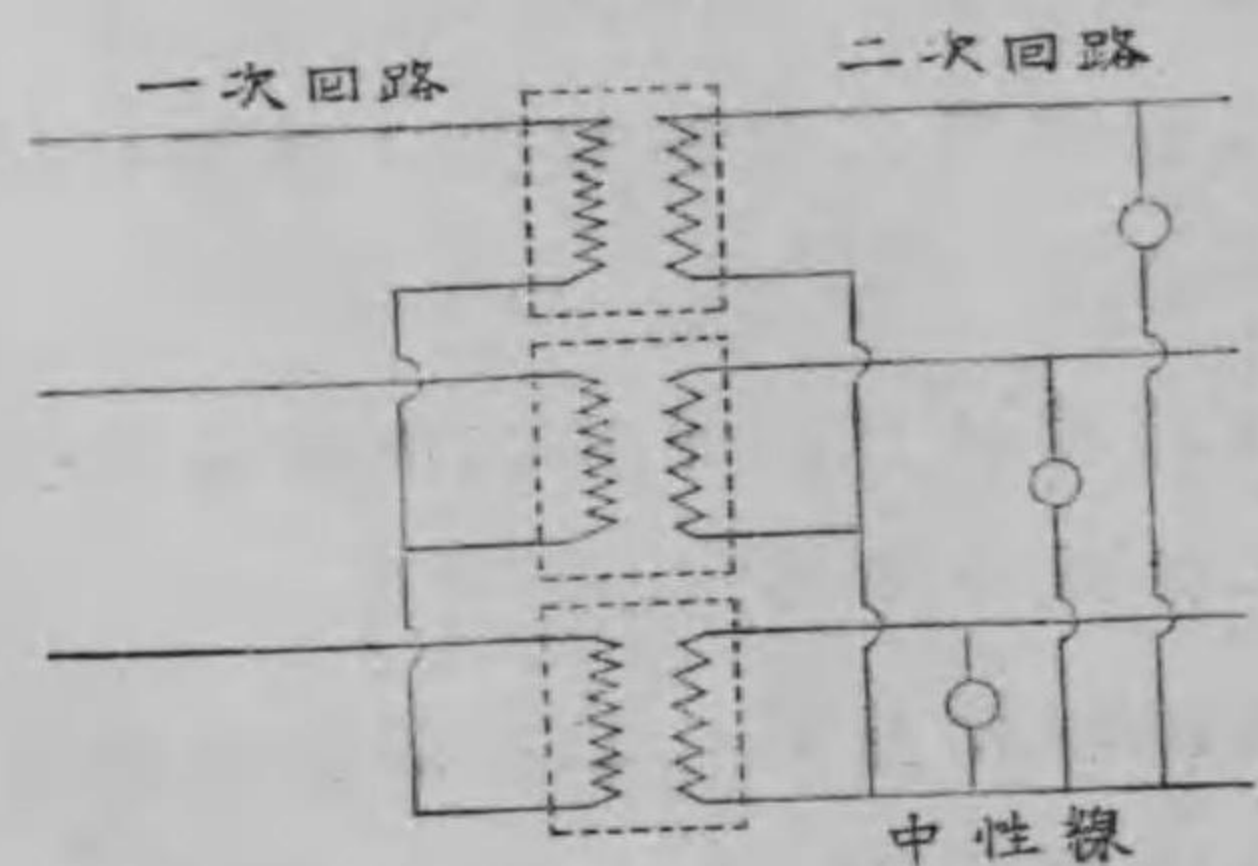
戊に於ては 變壓器二個を用ひ一次線輪及二次線輪共に三線式に接続し三角形接続法と同様の作用を爲さしむ。

是等接続法に於て負荷が電燈の如く各相に分配さるゝ場合には各相に於ける負荷が相等しき様分配せざるべからず然るに星形に接続されたる場合には

第八十七圖  
單相變壓器三相式接続法  
(甲)

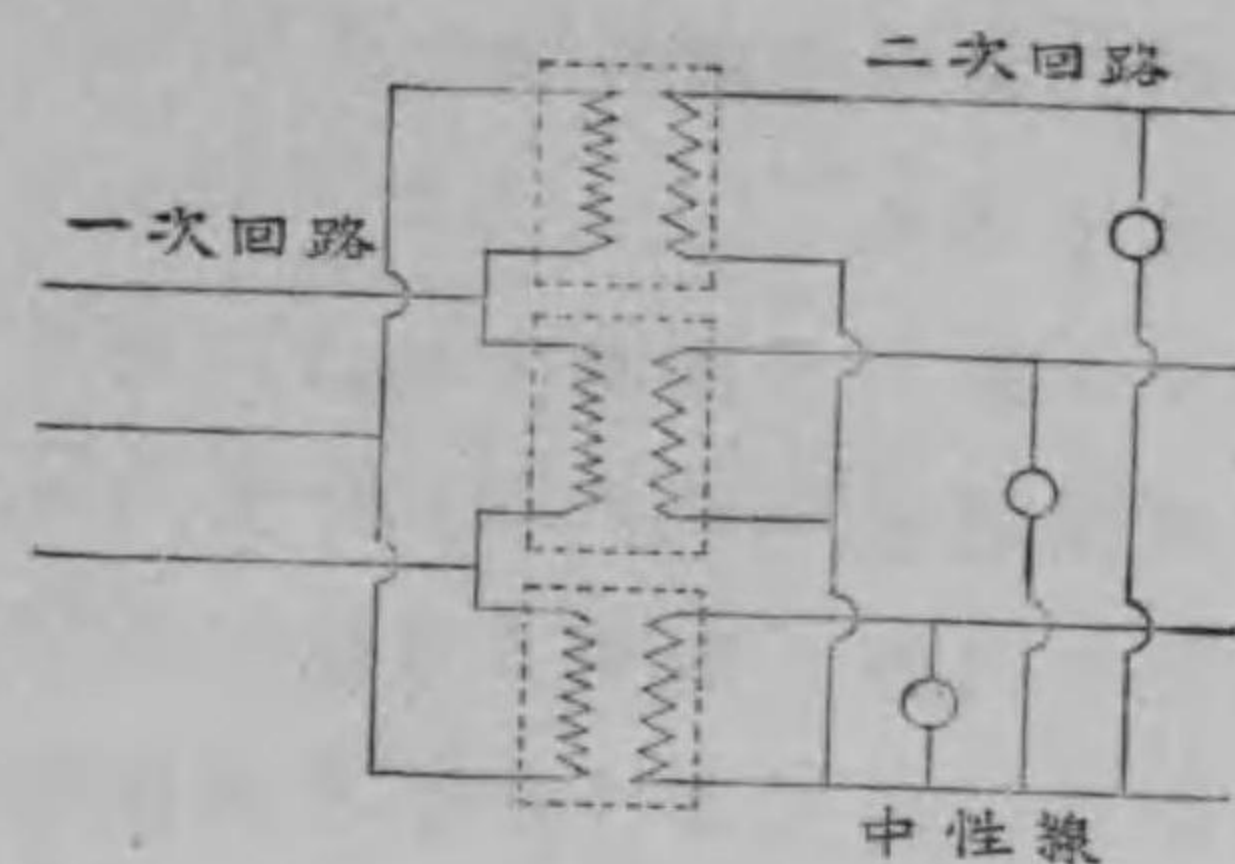


(乙)

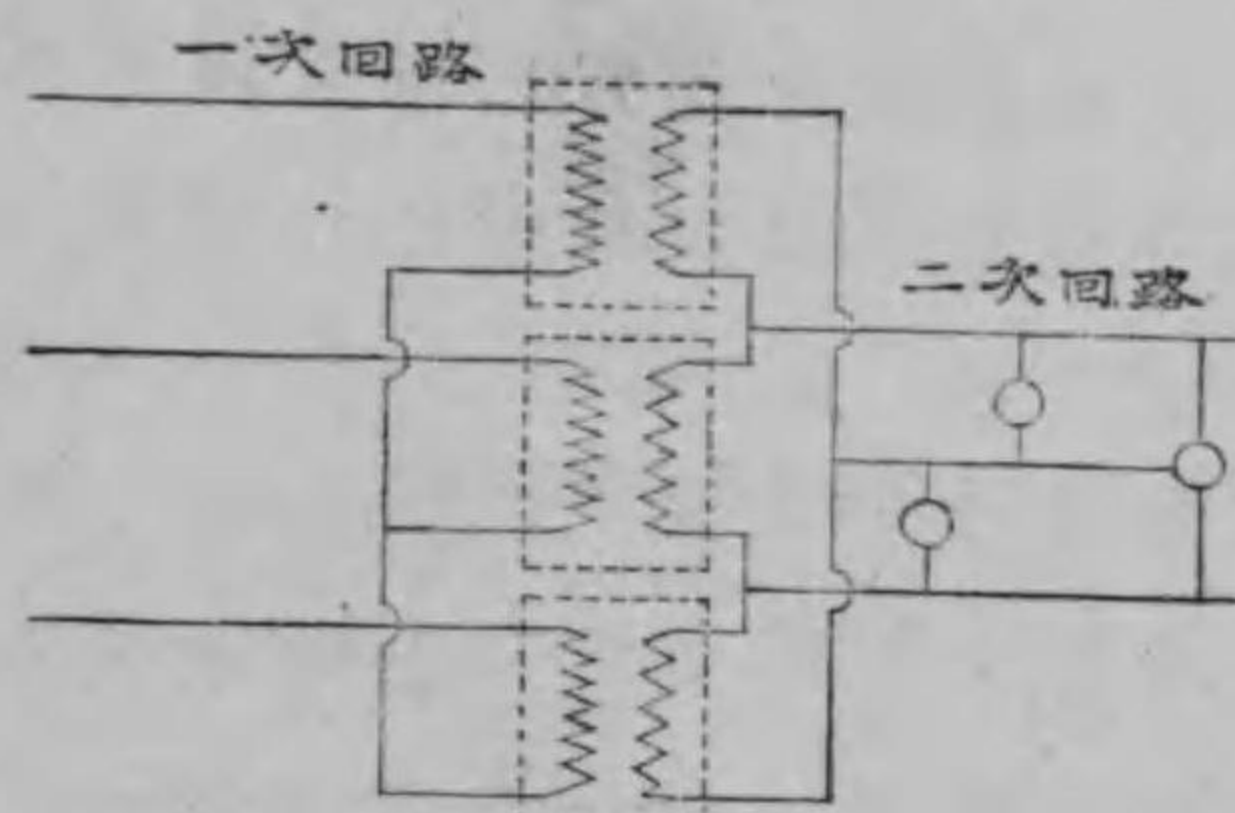


は一相に於ける負荷の變化は他の相の電壓に大なる變化を與ふる故に星形接続法に於ては星形の中性點より別に一線を出し圖に示す如く是と各相線との間に負荷を接続するを通常の方法とす。即ち其線は各相線の共同線となる。

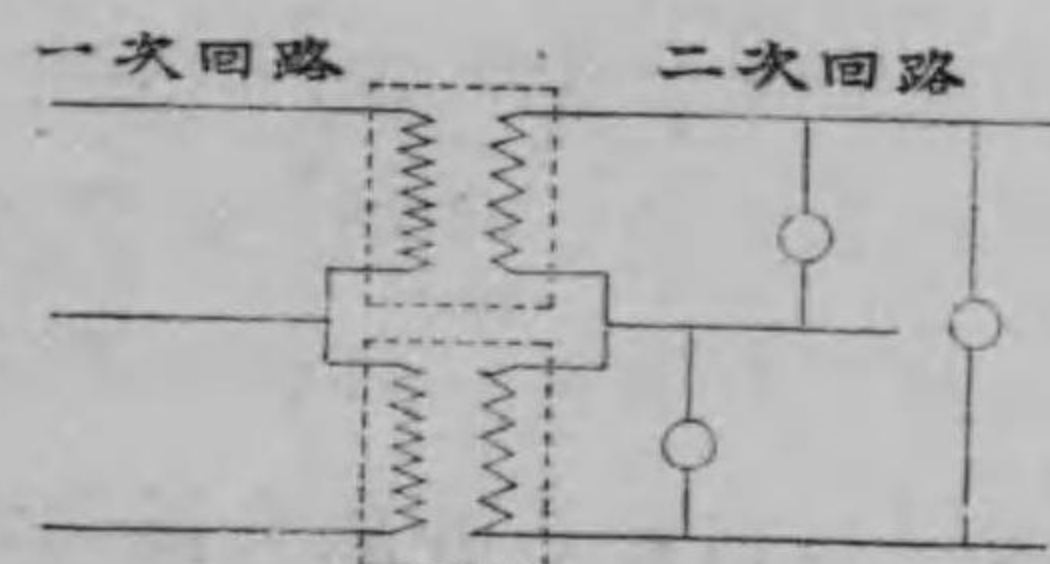
第八十七圖  
(丙)



(丁)



(戊)

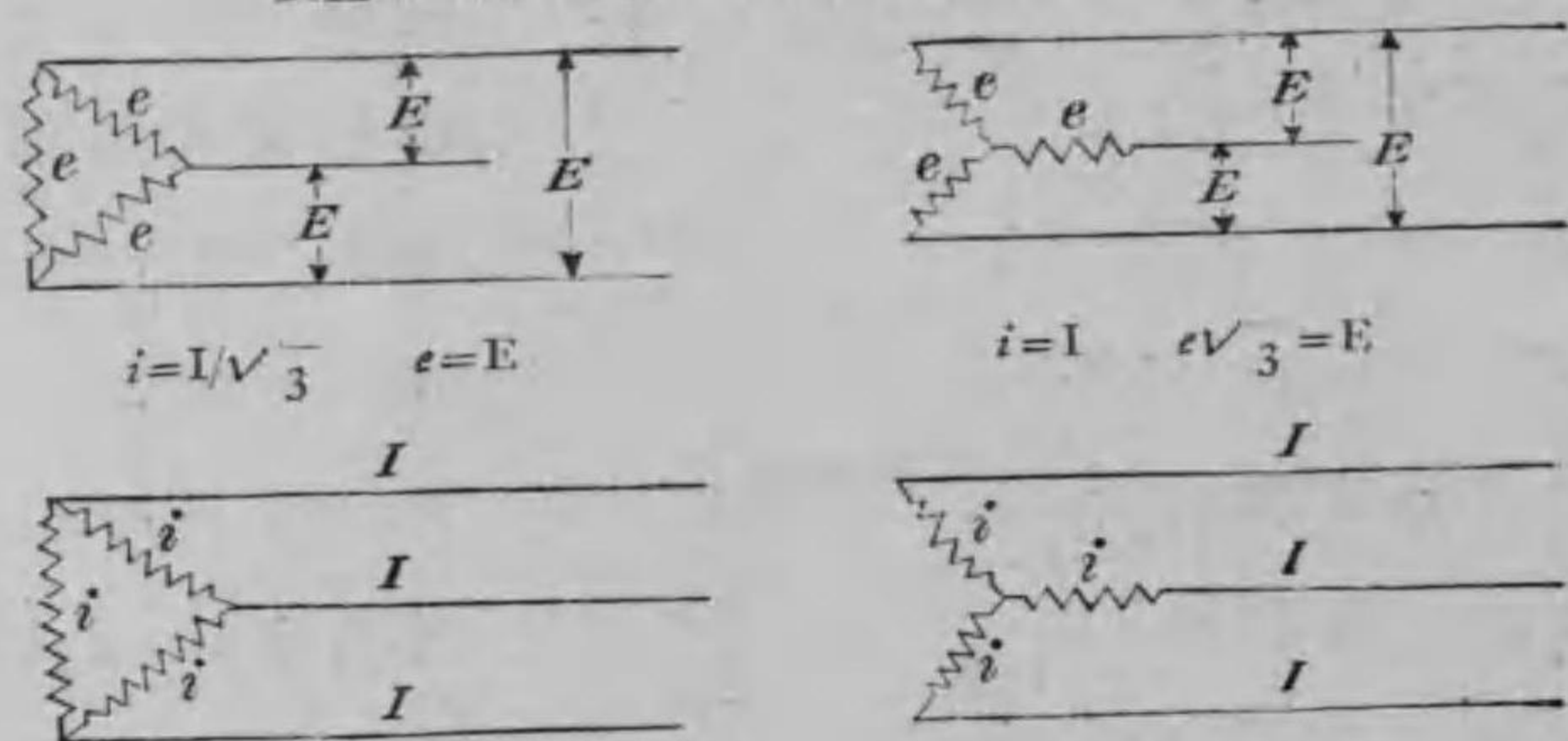


星形接続法に於て各相に於ける負荷均衡せる場合には中性線に電流通せざるなり。此接続方法を**三相四線式星形接続法**(Three-phase four-wire Star Connection)と云ひ。電線三條なる場合には(多く電動機接続の際)之を**三相三線式星形接続法**(Three-phase three-wire Star Connection)と云ふ。三角形接続法を**三相三線式三角形接続法**(Three-phase three-wire

Delta Connection) と云ひ第87圖戊に示す接続方法を  
**三相三線式V形接続法**(Threephase threewire V Connection) 又は**三相三線式開三角形接続法**(Threephase threewire Open-delta Connection) と云ふ。

第四章第一項に記載せる如く三角形接続法に於ては各變壓器は回路の線間電壓(Line Voltage)を受くるも各線輪に通ずる電流は回路に通ずる電流の $1/\sqrt{3}$ なり之に反し星形接続法に於ては各變壓器は線間電壓の $1/\sqrt{3}$ を受け之に通ずる電流は回路に通ずる電流に等し第88圖は此關係を簡單に示す。圖中  $e$  は變壓器各線輪の端子電壓、 $E$  は線間電壓にして  $i$

第 八 十 八 圖  
 變壓器三角形結線に於ける電壓及電流の關係圖



は各線輪に通ずる電流、 $I$  は回路の各線に通ずる電流なり。此理に基き變壓器三個を用ひ電壓を遞昇

して送電する場合に其電壓が甚だ高きときは昇壓器の二次線輪即ち此場合に於ける高壓線輪は星形に接続するを可とす。然るときは若し線間電壓50,000「ヴォルト」なりとすれば變壓器各個の線輪の電壓は $\frac{50,000}{\sqrt{3}} = 32,000$ 「ヴォルト」にして其絶縁抵抗も夫に應じたるものにて可なり。然れども變壓器三個の内其一個を破損するときは是に接続する電線には電流通せずして残る二條の電線に單相交流通することとなり其電壓は常時に於けるよりも増加して變壓器各個の電壓の二倍となる。是に反し三角形に接続するときは一個の變壓器に故障を生ずるも残り二個の變壓器にて第87圖戊に示す如くV形接続となり完全に三相交流を送ることを得べし。尙星形接続法に於ては變壓器中一個に故障を生じ大地に接したる場合には他の變壓器と大地との間の電壓は線間電壓に等しく成る故其絶縁の破らるゝ虞れあり。之に由て線間電壓高き場合に充分の安全を計るには其中性點を接地するを可とす。斯くするときは如何なる場合に於ても大地及各變壓器間の電壓は線間電壓の $1/\sqrt{3}$  即ち各變壓器の規定電壓を超過せざるを以て變壓器の絶縁の破らるゝこ

となし。此理に基き數萬「ヴァルト」に遞昇し送電する場合には變壓器の二次線輪即ち此場合に於ては高壓線輪を星形に接続し其中性點を完全に大地に接続して絶縁を完全ならしむるを通常の方法とす。三相式接続法に於て各變壓器の耐量と全負荷との關係は三角形接続法及星形接続法に於ては第75式及第76式に示す如く共に

$$W=3w=\sqrt{3}EI\cos\phi, \quad w=\frac{EI\cos\phi}{\sqrt{3}}$$

なること明かなり。然るにV形結線法に於ては

$$E_n=E \quad I_n=I$$

にして各個の耐量  $w'$  は  $w'=EI\cos\phi$ .

にして  $W=2w'=2EI\cos\phi$

即ち二個の變壓器にて耐量は  $2EI\cos\phi$  なるも出力は他の接続法に於けると同じく  $\sqrt{3}EI\cos\phi$  なり。故に變壓器をV形に接続して使用する場合には其耐量は三角形又は星形に接続する場合と異り次の式に示す如く

$$\frac{w'}{w}=\frac{EI\cos\phi}{\frac{EI\cos\phi}{\sqrt{3}}}=1.73$$

之に1.73倍せるものを使用せざる可からず。之を云ひ換へれば變壓器の發生出力は  $\frac{\sqrt{3}EI\cos\phi}{2EI\cos\phi}=0.866$  倍に減す。

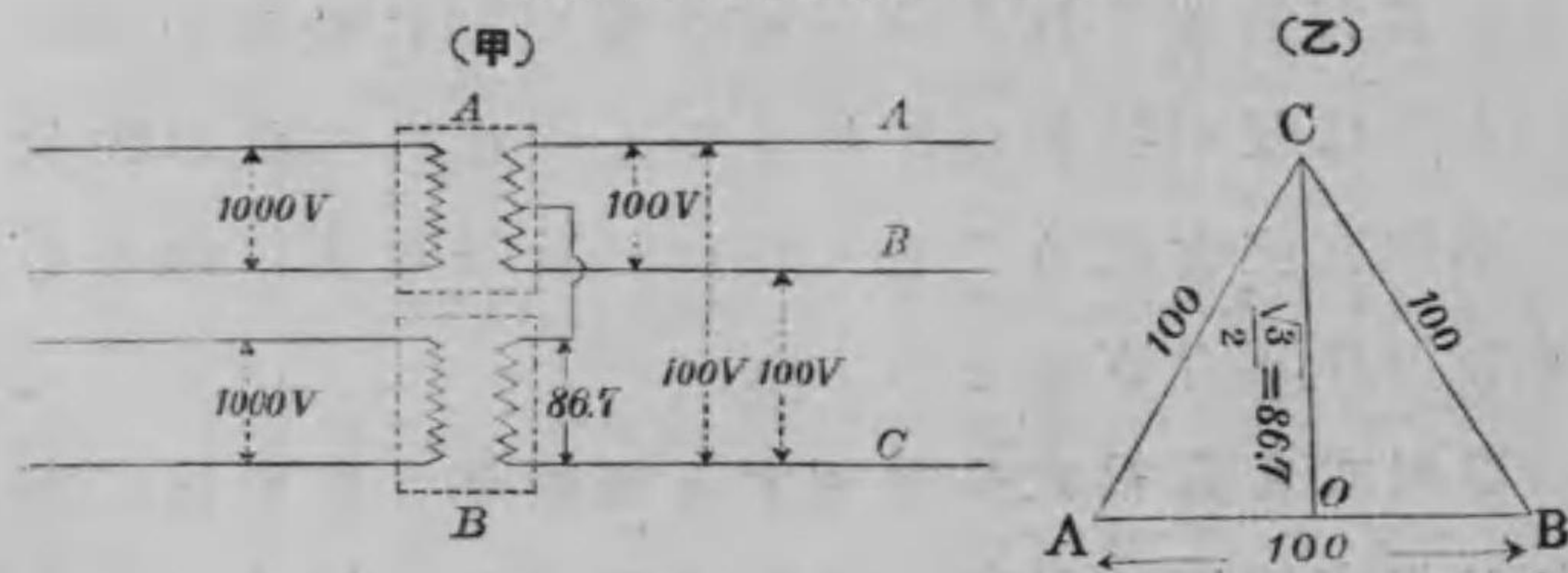
例へば100「キロワット」變壓器(力率  $\cos\phi=1$  と假定す)三個を三角形又は星形に接続するときは300「キロワット」の電力を供給することを得れども若し二個の變器壓を用ひV形に接続して同量の電力を供給するには各變壓器の耐量は  $\frac{300}{3} \times 1.73=173$ 「キロワット」なるを要す。又同じ變壓器が三角形に接続されたる場合に一個の變壓器を回路より切り残る二個の變壓器にてV形接続に爲すときは其供給し得る電力は  $100 \times 2 \times 0.866=173$ 「キロワット」に過ぎざるなり。

尙變壓器のV形接続法に依る時は變壓器の費用を省き甚だ簡單なれども一個の變壓器に故障を生ずるときは星形接続法に於けると同様に二條の電線に單相交流を送ることゝなれば此接続法は特別の場合の外用ひざるを可とす。

二相式を三相式に變相する接続法—變壓器二個を二相式回路に接続し電壓を變すると同時に二相交流を三相交流に變ずることを得る方法あり。スコット氏の創意に成る其接続法に於ては耐量相等し

き二個の變壓器を用ふ、其變壓比はA變壓器に於ては1,000と100、B變壓器に於ては1,000と86.7にして、其接続法は第89圖甲に示す如く兩變壓器の一次線輪を共に相當電壓の二相式回路に並列に接続し、B變壓器の二次線輪の一端をA變壓器の二次線輪の中央に接続す。爰にAB間及BC間に共に一次線の電壓の十分一を得、ABC三線にて三相三線式を構成すべし。何となれば第89圖乙に於てABをA、B間の電壓100「ヴォルト」とすれば、是れと相の差90度なる第二相の電壓OC 86.7「ヴォルト」を其中央點に加ふれば、AC間及BC間の電壓は幾何學上BAに等しく100「ヴォルト」なること明かなり。即ちA、B、C三線にて三相式回

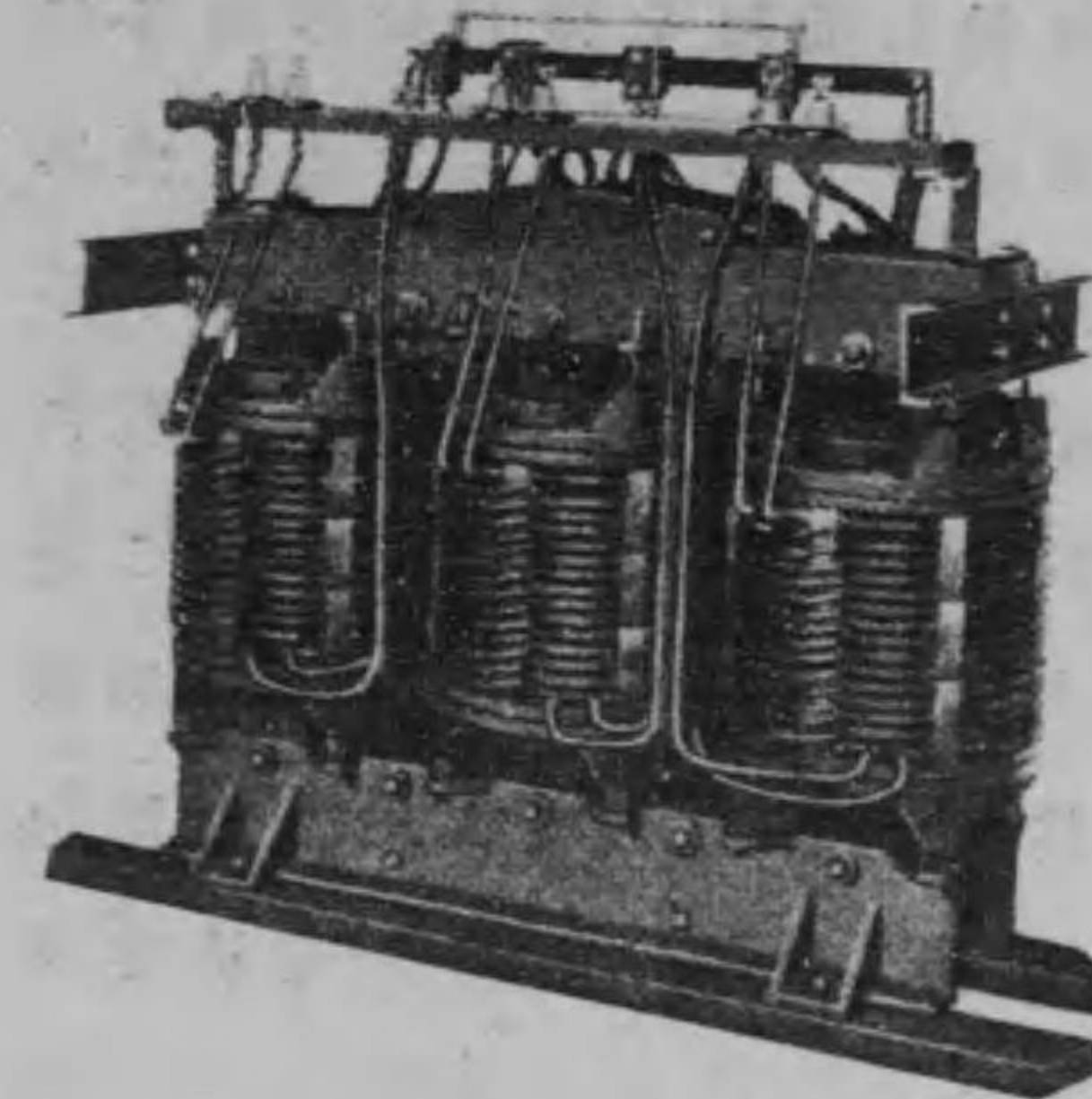
第 八 十 九 圖  
二相式を三相式に變ずる接続法



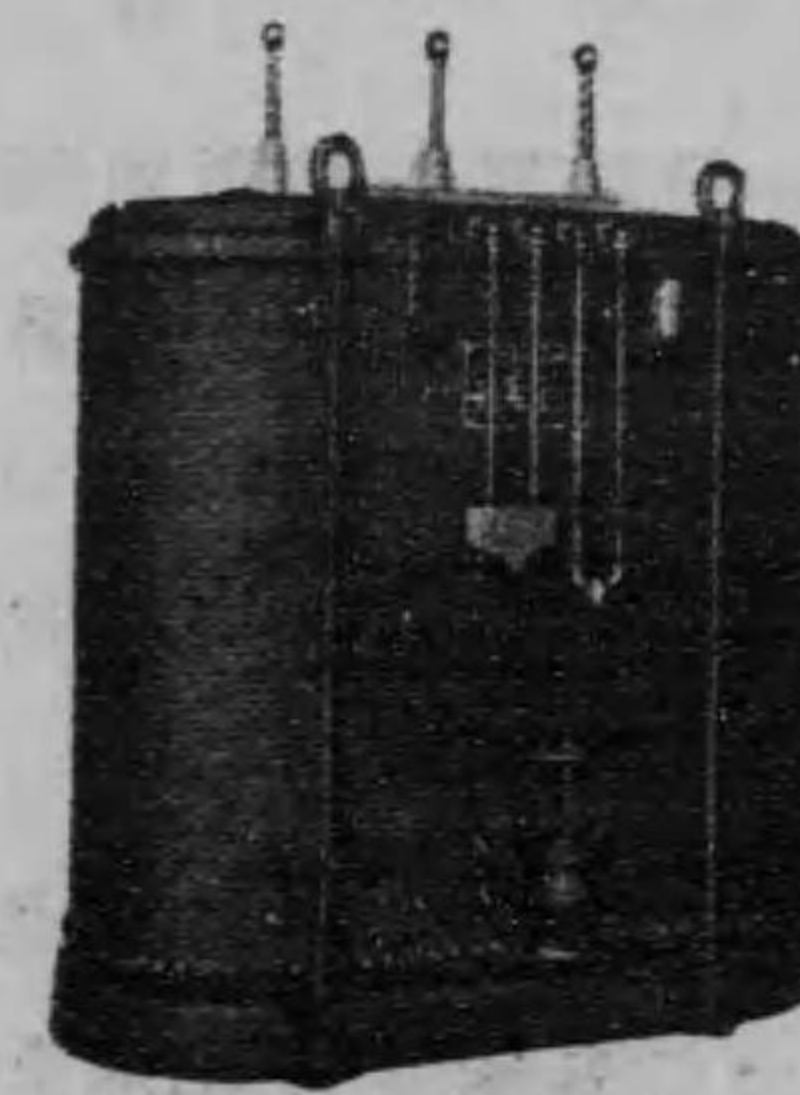
路を作成するなり。此變相の理を應用し二相式發電機を用ひ二相交流を發生せしめ變壓器に由て是

を三相式に變じて遠距離に送電し電力供給地に於

第 九 十 圖  
(甲)



(乙)



て逆に之を二相式に變じ任意に配電するを得るなり。

三相變壓器—已記の如く三個の變壓器を三相交流回路に適當に接続するときは三相交流を變壓することを

得れども三相交流を變壓する爲めに製作せられたる三相變壓器あり。其型式には單相變壓器と同じく内鐵型及外鐵型ありて其内鐵型のものは第90圖に示す如く三個の線輪が三脚を爲す共同鐵心に捲かれ星形に接続せらる。此變壓器を使用するときは單相變壓器三個を

用ふるに比し鐵の重量少く従て鐵損少く其設置に要する場所の面積も少く従て諸經費少額なる利益あり然れども一組の線輪に故障を生じたる場合には他の線輪の使用をも中止せざる可らざる不便あり。之に反し單相變壓器三個を三角形に接續するときはたとへ一個燒損するも残り二個の變壓器にて依然全電力の 57.7% の三相交流を供給することを得る便利あり。各式共利害相伴へば實際の場合には價格送電の状態其他を調査して單相變壓器を用ふべきか又は三相變壓器を用ふべきかを決定すべきものとす。

### 第五項 特別高壓變壓器端子の絶縁

特別高壓變壓器端子の絶縁—變壓器の電壓如何に高くも其變壓の原理に於て變ることなきも其構造は電壓の高きに従ひ異る殊に線輪の端子導線の變壓器外函を貫きて出づる部分の絶縁に就いては最も深き周到の設計を要するなり。電壓 70,000「ヴォルト」以下の變壓器の端子の絶縁には磁器製碍管を用ひ之に導線を挿入して碍管にて外函との絶縁を保持せしむれども夫れ以上の電壓に於ては蓄電器

型口管(Condenser-type Bushing)と稱するものを用ひ其内部に導線を入れ外函との絶縁を完全に保持せしむ。磁器製碍管の絶縁耐力は其厚さ、形狀及其品質に由て異る厚さに對する絶縁耐力は其品質に従て異れども實驗の結果厚さ「センチメートル」に付き平均 11,000「ヴォルト」なりとす。形狀に就ては表面漏電(Surface Leakage)及表面放電(Surface Discharge)なる二現象を考へ定むべきものとす。表面漏電とは電壓高き交流が碍管の表面を傳はりて附近の導體に漏洩する性質にして電壓の高きに従ひ其作用大なり。此作用を防止する爲めに碍管の表面に數多の凹凸を作り漏電する通路の長さを増さしむ去れども凹凸余り多きときは絶縁耐力は反て減することあれば適當に設計すべきものとす。漏電の通路即ち凹凸に沿ひ測りたる碍管の兩電極間の長さを漏電距離(Laekage Distance)と云ふ。表面放電とは電壓高き交流が碍管の表面より附近の導體へ放電する作用にして碍管の長さを増し導線端と變壓器外函との距離を増せば之を減することを得れども餘り長き碍管の製作は困難なり是亦適當に設計すべきものとす。放電の通路即ち兩電極間直接の距離を放電距離



(Striking Distance) と云ふ。碍管の漏電距離及放電距離の最小限度は米國ロツク碍子會社 (Locke Insulator Co.) に於て測定し發表したるものに依れば次に示す如し。

第 四 十 五 表

電 壓 (キロヴォルト)	20	40	60	80	100
放電距離.....	2½"	5"	9½"	14"	17"
漏電距離.....	8½"	16"	25"	33"	41"

碍管中へ線輪より出づる導線を納むるには之を含ま布 (Impregnated Cloth) にて巻きマイカナイト管に入れて碍管内を貫通せしむるを通常の方法とす。

蓄電器型口管—變壓器の導線より發する靜電的力線數を單位長さに付き F なりとすれば其中心より r なる距離に於ける力線密度は  $\frac{F}{2\pi r}$  なり。由て其電界の強さを  $H_e$  にて示せば

$$H_e = \frac{F}{2\pi r}$$

r なる距離にある場所と導線との電位差を V とし、r<sub>1</sub> なる距離にある場所と導線との電位差を V<sub>1</sub> とすれば

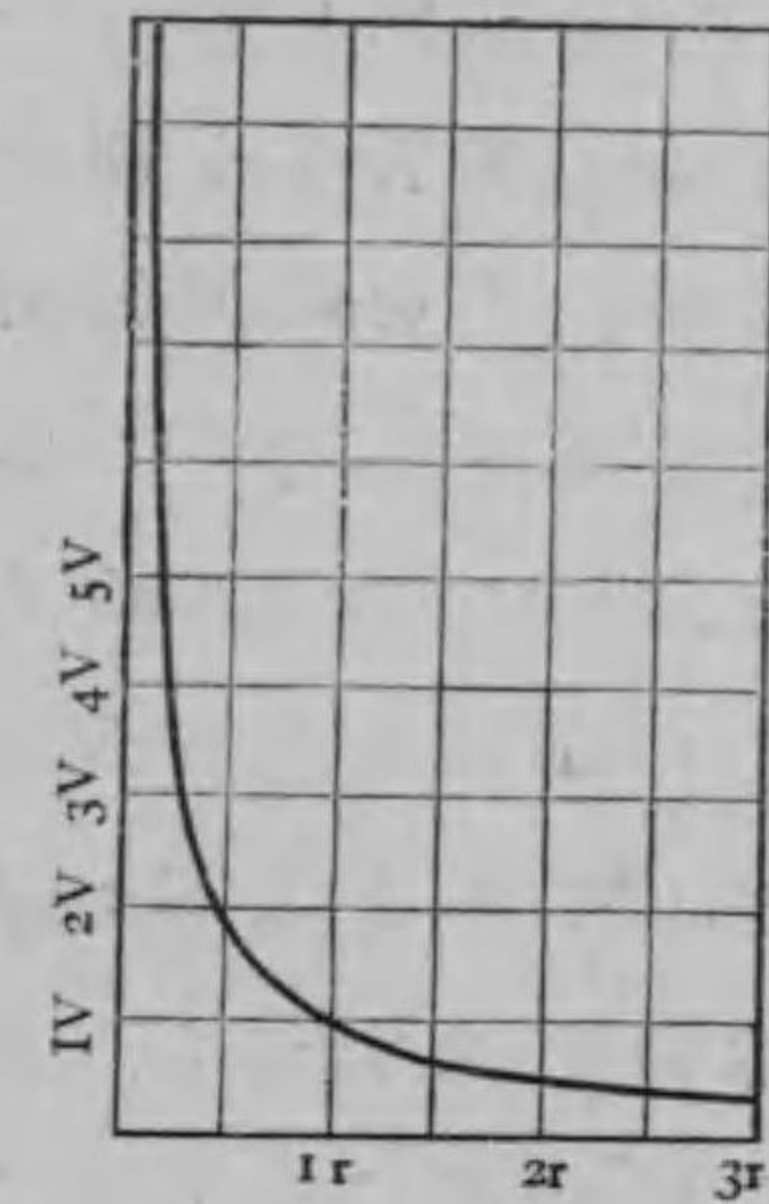
$$H_e = -\frac{V_1 - V}{r_1 - r}$$

之を電位傾度 (Potential Gradient) と云ふ之を G<sub>p</sub> にて表はせば

$$G_p = \frac{F}{2\pi r} \propto \frac{1}{r} \dots\dots\dots (97)$$

即ち導線と變壓器外函間との絶縁物に於て其内部の薄層に加はる電圧は導線よりの距離に逆比例す。故に導線の附近に於ては絶縁物に加はる電圧大にして中心を距るに従ひ小なり。今此距離と電圧との關係を曲線に表はせば第91圖に示す如くなるべし。圖中 r は中心よりの距離を示し V は電圧を示す。

第 九 十 一 圖  
變壓器端子導線の電位傾度圖



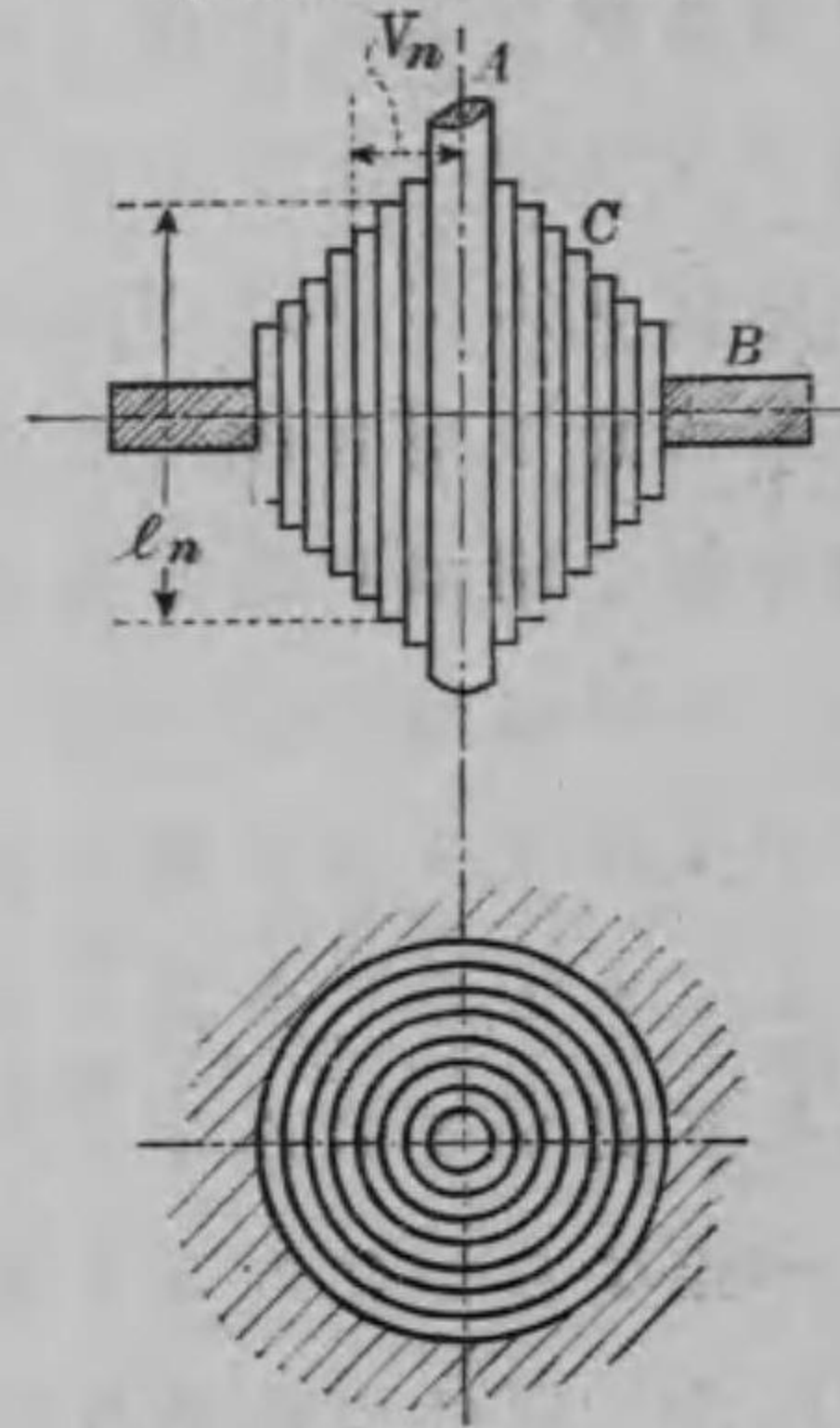
斯くの如く絶縁物の受くる電圧は導線を距るに従ひ減じ其程度は導線に於ける電圧大なるに従ひ大なり。此理に由て電圧甚だ高き變壓器に於ては導線の端子絶縁に磁器製碍管の如き絶縁耐力全部一様なるものを使用するは全體の容積膨大となり徒らに多量の絶縁材料を空費するのみならず品質を一様ならしむること製作上困難なり。之に由て是に代り何れの部分も等しき電圧を受け絶縁材料

を經濟的に使用する碍管として創造せられたるものを蓄電器型碍管と爲す。通常電壓 70,000「ヴォルト」以上に使用するものとす。

蓄電器型碍管は小銅管の周りに數多の絶縁紙を壓力を加へて堅く數層に捲き、各層間に錫箔或は銅箔を入れ、其長さを一層毎に漸々短く爲し、筈狀の同心紙製金屬入圓筒となしたるものなり。即ち直列に接続せられたる數個の蓄電器を形成す。之を變壓器外函の蓋を貫きて装置し、中心の銅管を導線となし線輪に接続せしむるなり。

第92圖に於てAを中心の銅管、cを同心紙製圓筒、Bを變壓器外函の蓋とす。今Aに電壓を加へるときは、AとBとの間に電位差Vを生じ、Cの各蓄電器にも電位差を生ずべし。此各金屬板間に生じたる電位差を $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ とし、全電位差即ちAB間の

第九十二圖  
蓄電器型碍管の原理圖



電位差をVとし、各蓄電器の電氣容量を $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ とし、各蓄電器に蓄電せらるゝ電量をQとするときは

$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2 = C_3 V_3 = \dots = C_n V_n = CV$$

由て  $V_1 = \frac{C}{C_1} V, V_2 = \frac{C}{C_2} V, V_3 = \frac{C}{C_3} V, \dots, V_n = \frac{C}{C_n} V$

蓄電器に於ける絶縁紙に何れも相等しき電氣的歪を受けしむるには、其電位差が等しからざるべからず。即ち上式に於て $V_1, V_2, V_3, \dots, V_n$ を相等しからしむるには $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ が等しからざるべからず。然るに各絶縁紙は同じ厚さに巻くものなれば、此場合に其電氣容量を等しからしむるには、各層に於ける面積を等しくすれば可なり。即ちAに最も近き絶縁紙圓筒の長さを $l$ とし、其半径を $r$ とし、其他の圓筒各層の長さを $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ とし、其半径を $r_1, r_2, r_3, \dots, r_n$ とすれば、其關係を $rl = r_1 l_1 = r_2 l_2 = r_3 l_3 = \dots = r_n l_n$ となせば、各層に受くる電壓相等しく成るべし。

之より  $l_1 = \frac{rl}{r_1}, l_2 = \frac{rl}{r_2}, l_3 = \frac{rl}{r_3}$

今假りに $r=1, l=50$ とすれば、 $l_1, l_2, l_3$ の値は $r_1, r_2, r_3$ の各値に對し、次表に示す如くなるべし。

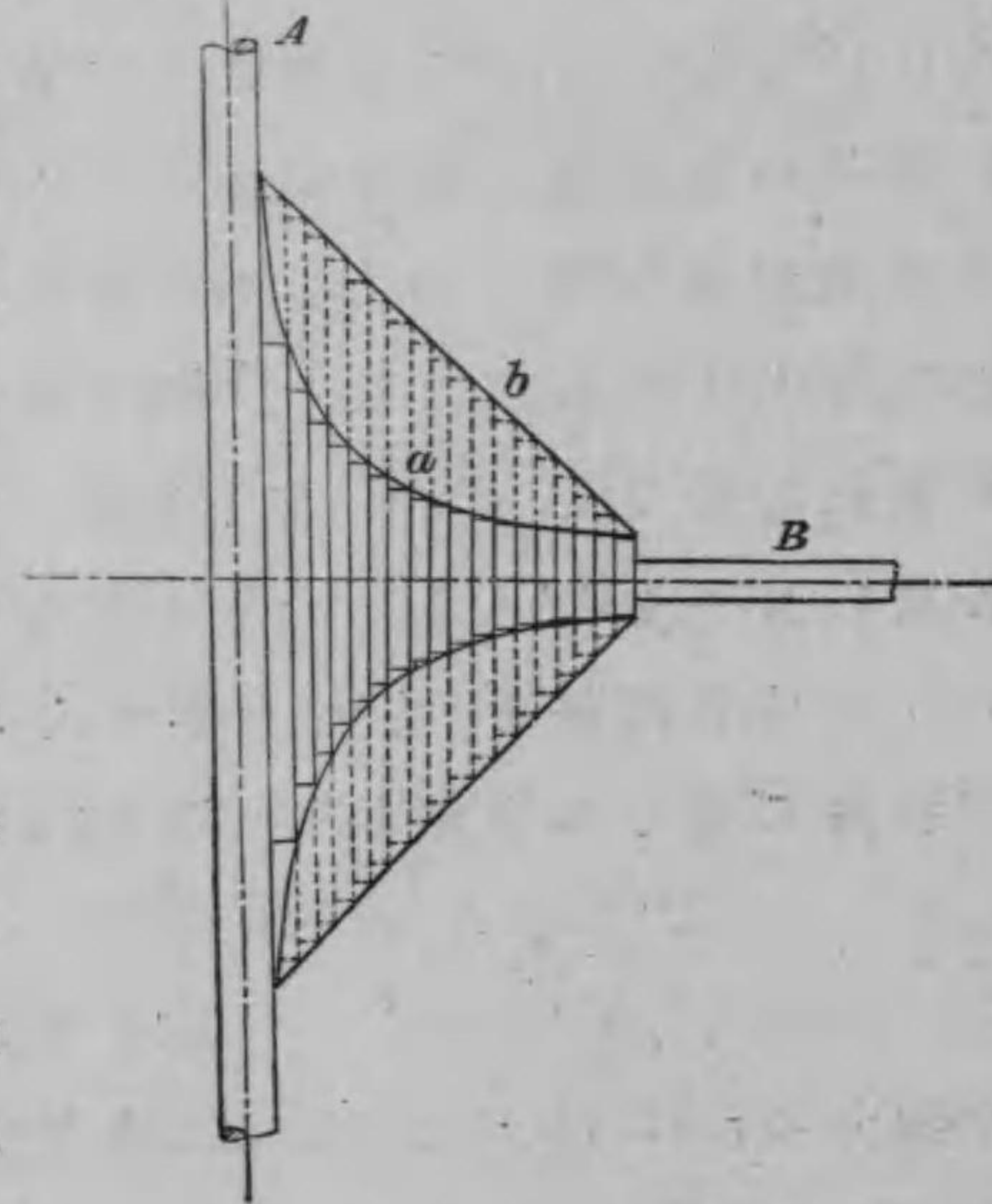
$r$	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3	4	6	8	10
$l$	50	44.7	35.7	31.25	27.8	25	22.7	20.8	19.2	17.9	16.6	12.5	8.35	7.5	5

上記の  $r/l$  の値にて曲線を書けば第93圖甲に示す  $a$  線の如くなるべし。即ち絶縁紙圓筒管を  $a$  線に示す形状に爲せば各層共一様の電圧を受け絶縁上差支なく絶縁材料も經濟的に使用せらるゝなり。然れども實際に於て

斯くの如き形状に作ること困難なるのみならず、外周に至るに従ひ層と層との長さの差少き爲め表面漏電の起る虞あり。此等の理由に基き絶縁材料の増加あるも、 $b$  線に示す如き形状に製作す。斯くするとき

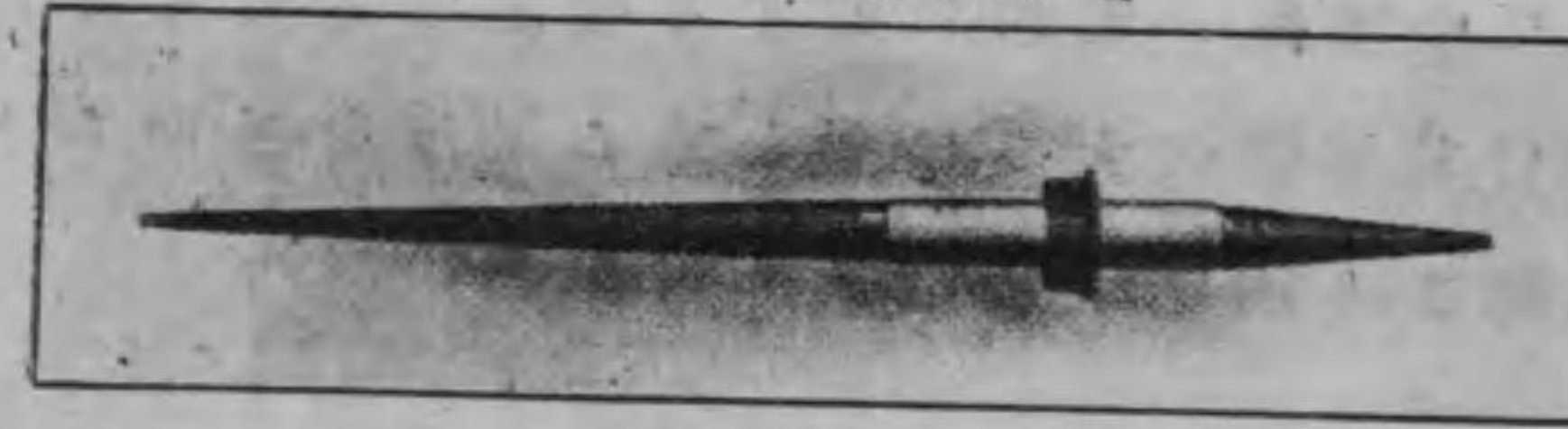
第 九 十 三 圖

(甲) 蓄電器型口管の原理圖



第 九 十 三 圖

(乙) 蓄電器型口管

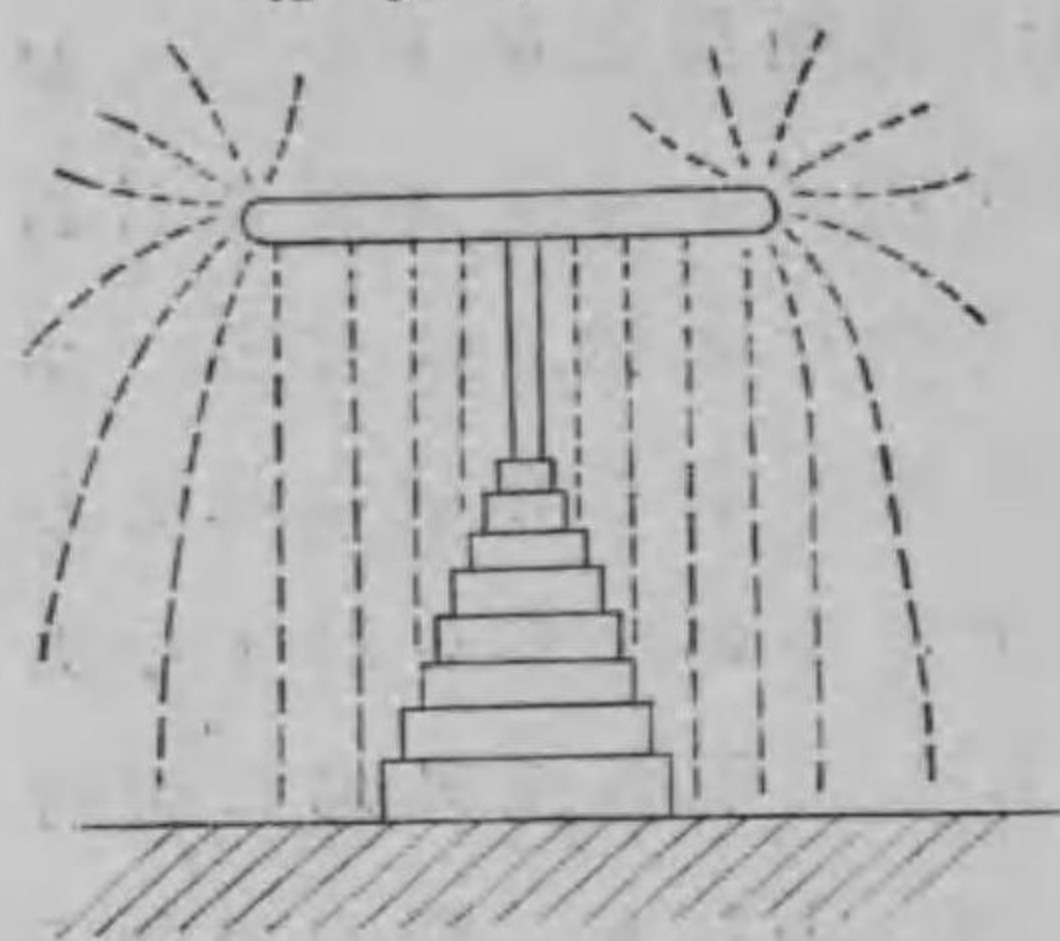


各層間の長の差一様になり表面漏電を少からしむることを得れども、 $ab$  兩線間に用ひらるゝ絶縁材料は不必要なるが之れ製作上止むを得ざるなり。又  $b$  線に示す形状に於ては各層の蓄電容量は相等しからず其割合は各層の  $r \times l$  に比例するを以て中央に於ける層に於て最も大にして導線及外周に近づくに従ひ減ず其比は凡そ 1.8:1.0 なり。斯くの如く蓄電容量相等しからざる爲め、電位傾度も等しからずして蓄電容量多き中央に於ける層に於て少く導線の附近及外周に於て大なり其比は凡そ 0.6:1.0 なり。此不平均を避け  $a$  線形状に於ける如く各層共一様な電圧傾度を得せしめんには中央に於ける層の厚さを増して蓄電容量を減じて電位差を増大せしむれば導線及外周に於ける電位差は増し電位傾度は一様なるに至るべし。斯くの如き原理に基き製作せらるゝウェスチングハウス電機會社製蓄電

器型口管は第93圖乙に示す如し。

**コロナ現象**—導體に通ずる交流の電壓非常に高くして其導體の大きさに對し或る限度を越ゆるときは導體より刷毛形放電起り青白色の光りと一種の

第九十四圖



音響とを發するに至べし此現象を**コロナ現象** (Corona Phenomena) と稱す。コロナの發生は後章に詳記する如く電壓電線の大きさ電線間の距離電線と近接せる物體との距離大氣の氣壓

大氣の溫度等に関係す。變壓器に於て電壓非常に高きときは口管に於てコロナ現象の發生することあり之を防止するには第94圖に示す如く口管の上に圓板を備ふるものとす斯くするときは圓板と大地との間に點線にて示す如き電氣力線配布せられ口管表面に電氣力線の密集することなく従てコロナ現象は起らざるなり。300,000「ヴォルト」以上の試験用變壓器は斯くの如き構造に爲すを通常とす。此圓板裝置を爲すときは口管の形狀は筍狀に爲さず

とも差支なき故通常の圓筒狀に爲したるものあり。

## 第六項 變壓器の取扱法及試験

**變壓器の取扱法**—變壓器を製造工場より購入者へ運搬するに當り其小なるものは油を充たしたる儘搬送することを得れども通常は變壓器は油と別々に荷造りせられ大耐量のもの外函線輪鐵心夫々又別々に荷造りせらるゝものなれば運搬途中に於て線輪及油共に濕氣を吸收すること免かれ難し。たとへ葉鐵板にて内面を覆へる木函内に變壓器を納め鹽化カルシウムを容れ濕氣を吸收せしむる設備を爲すとも完全に濕氣を避けること能はず油に於ても亦同様なり。去れば變壓器購入者は之を受取りたる節は必ず各部分の損傷なきや否やの検査を行ひたる後次の検査を行ふべきものとす。

- (一) 線輪 已に記載したる方法にて乾燥す。
- (二) 油 後項に記載する方法に由て絶縁耐力を試験し濕氣ありと認めたる時は之を乾燥すべし。
- (三) 冷却管 毎平方吋 100「ポンド」の壓力にて水を

管中に充たし一時間繼續して水壓計指針の壓力の降下を示さざるや否やを注視して漏水の有無を檢查すべし。

斯く檢查を行ひ線輪及油共完全に乾燥したるものを外函に納め變壓器に組立て其蓋を密閉し冷却管の「ゲルグ」寒暖計及油量計等を夫々其位置に取付け後に記載する試験を行ひ使用に供するなり。外函の蓋は特に堅く締付け置くこと最も必要なり然らざるときは塵埃及濕氣が外部より函内に入り油の絶縁を害し變壓器の壽命を短縮せしむる虞あり。之に由て函の蓋より外部に出づる口管の周りには堅く詰物を爲し蓋及之に作られたるハンドホルムの下面にはガスケットを置いて締付け密閉すべきものとす。又水冷變壓器に於ては水に化學的作用を爲す夾雜物の混入せざる様送風式に於ては空氣に濕氣及塵埃の混入せざる様相當の設備(濾過器の如き)を爲すを要す。是等の理由によつて變壓器は戶外用として特に設計せられたるものの外決して空中に曝露し又は濕氣多き場所に格納すべからずたとへ戶外用變壓器なりとも電流を通過せしむるこ

となく長日月空中に曝露せざるを可とす。

變壓器使用中は發電機の如く運轉する機械に非れば常に看守する取扱者を要せざれども時々點檢して故障の有無を調査する必要あり殊に水冷油入變壓器に於ては水の出入の溫度及油の溫度を一定時毎に測り其發生電力と對照記録すべきものとす。變壓器の使用狀態良好なりとも少くとも六ヶ月に一回定期檢查を行ふべきものとす。其方法は(一)函の底部より少量の油を抜取り其絶縁耐力を測り濕氣の有無を檢查す。(二)變壓器内を精密に檢查し若し油中に沈澱物が滯留せるを發見したるときは其全量を取り出し新しき乾燥せる油と取換へるべし。(三)冷却管の外周に附着せる油中の汚泥物を除去し管内に粘泥の附着せるや否やを檢查す。(四)各線輪口管其他の接續に就き損傷の有無を檢查す。塵埃又は粘泥の存在する油は篩布の二三枚を一回濾過せしむれば容易に清潔に爲すことを得れども含有せらるゝ水分を除去するには後節に記載する方法に據るものとす。冷却管内に粘泥の附着するときは冷却水の流通を遲鈍ならしむると共に粘泥の熱に對する不導性な

る爲め一層變壓器の發熱を増さしむる故之を除去せざるべからず其方法は稀鹽酸(鹽酸50%)を水に混じ管内に通せしむれば粘泥は概ね之に溶解し流出すべし。然らざれば毎平方吋約50「ポンド」の壓力ある蒸汽を吹き込ましむれば粘泥は流出除去すべし。

變壓器の試験法—變壓器は其使用に供するに先立ち次の項目に従ひ試験及測定せらるべきものとす。

- (1) 絶縁耐力
- (2) 負荷試験及發熱試験
- (3) 電壓變動率の測定
- (4) 鐵損及勵磁電流の測定
- (5) 銅損測定
- (6) 能率測定
- (7) 檢性の試験

油に就ては其絶縁耐力を測定し濕氣を帯びたるものは乾燥法を行ふものとす。

絶縁耐力の試験—變壓器の絶縁耐力を試験するには交流電壓を(一)一次線輪及二次線輪間(二)一次線輪及鐵心間(三)二次線輪及鐵心間に加へ絶縁に異常生ぜざるや否やを檢定するに在り。其試験電壓と

電壓を加へる時間とは變壓器の電壓に従て異る。餘り長く電壓を加ふるときは絶縁物は過熱する爲め、實用上差支なきものも焦損することあるべし。之に由て我邦現行逓信省電氣工事規程に於て次の如く定めらる。

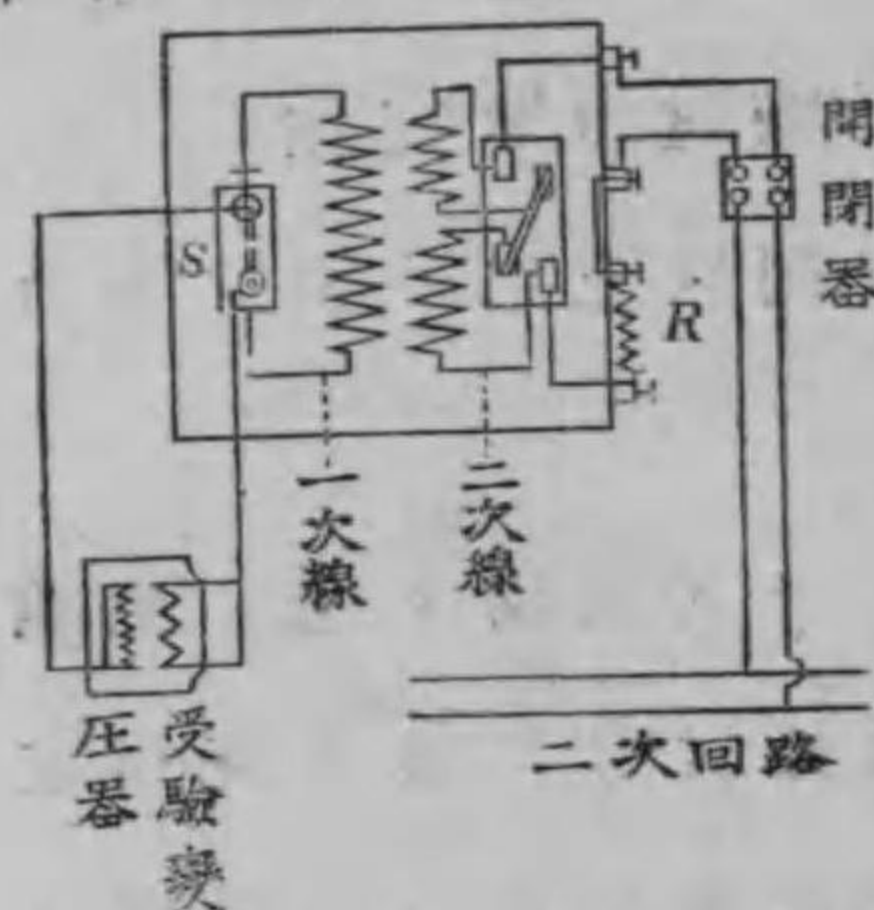
電氣工事規程第五條 變壓器ノ線輪ハ其最大使用電壓ニ從ヒ左ノ區別ニ依ル絶縁耐力試験ニ適合スルモノナルコトヲ要ス。

- 一、 低壓ノモノニ在リテハ其線輪ト他ノ線輪鐵心及外函トノ間ノ絶縁耐力を交流600「ヴォルト」ニテ試験シ三十分間以上之ニ耐フルコト
- 二、 高壓ノモノニ在リテハ其線輪ト他ノ線輪鐵心及外函トノ間ノ絶縁耐力ヲ最大使用電壓ノ二倍ノ電壓ヲ以テ試験シ三十分間以上之ニ耐フルコト。
- 三、 特別高壓ノモノニ在リテハ左ノ區別ニ依ル試験電壓ヲ以テ其線輪ト他ノ線輪鐵心及外函トノ間ノ絶縁耐力ヲ試験シ十分間以上之ニ耐フルコト。

最大使用電壓	試験電壓
(イ) 5,000「ヴォルト」未満	最大使用電壓ノ二倍
(ロ) 5,000「ヴォルト」以上 10,000「ヴォルト」未満	最大使用電壓 = 5,000「ヴォルト」ヲ 加ヘタルモノ
(ハ) 10,000「ヴォルト」以上 50,000「ヴォルト」未満	最大使用電壓ノ一倍半
(ニ) 50,000「ヴォルト」以上	最大使用電壓 = 25,000「ヴォルト」ヲ 加ヘタルモノ

變壓器に電壓を加へる方法は第95圖に示す如く試験用變壓器 (Testing Transformer) を用ひ其二次線即ち

第九十五圖  
變壓器の絶縁耐力試験  
試験用變壓器



低壓線を電源たる他の低壓回路に接続し一次線即ち高壓線の一線を受験變壓器の一次線の兩端に接続し他線を受験變壓器の二次線の兩端鐵心及外函に接続し供給回路よりの電流にて試験變壓器の一次線に所要の電壓

を發生せしめて受験變壓器に加へるに在り。圖中 R は抵抗にして最初は其全部を回路に接続して割合に低き電壓を變壓器に加へ漸次之を減じて電壓を高め所要「ヴォルト」に至らしめ規定の時間保持せしむ。斯くして變壓器の絶縁に不完全なる箇所あるときは此弱所を通じて漏電し火花飛び過大の電流

通すべし此際電壓は一時昇るも10%以上に達するときは受験變壓器と並列に接続されたるSなる火花間隙 (Sparkgap) に於て自働的に放電し過大の電壓をして受験變壓器に加はることなからしむ。此試験に於て變壓器の絶縁より漏洩して流るゝ電流を測らんとするには試験用變壓器の一次回路に電流計を接続すべし若し變壓器の絶縁不良なるときは電流計の指針は動きて漏洩電流の流るゝを示し絶縁甚だ不良にして試験電壓の加はるるに由て損傷するに至るときは電流計の指針は急に電流の激増を示すべし。

二次線輪と鐵心及外函間との絶縁抵抗を測る方法も上記の方法と同様にして試験變壓器の一次線の一線を受験變壓器の二次線輪の兩端に接続し他線を鐵心及外函に接続して行ふなり。

一次線輪の絶縁耐力を測る場合には二次線輪は鐵心と共に大地に接続し置くべきものとす然らざるときは一次線輪に加はる電壓は二次線輪及鐵心間に電壓を誘發し之が爲に試験電壓より高き電壓發生して絶縁を損傷せしむる虞あり。一般に試験の際は一次線輪及二次線輪共に其各端子を相互に區

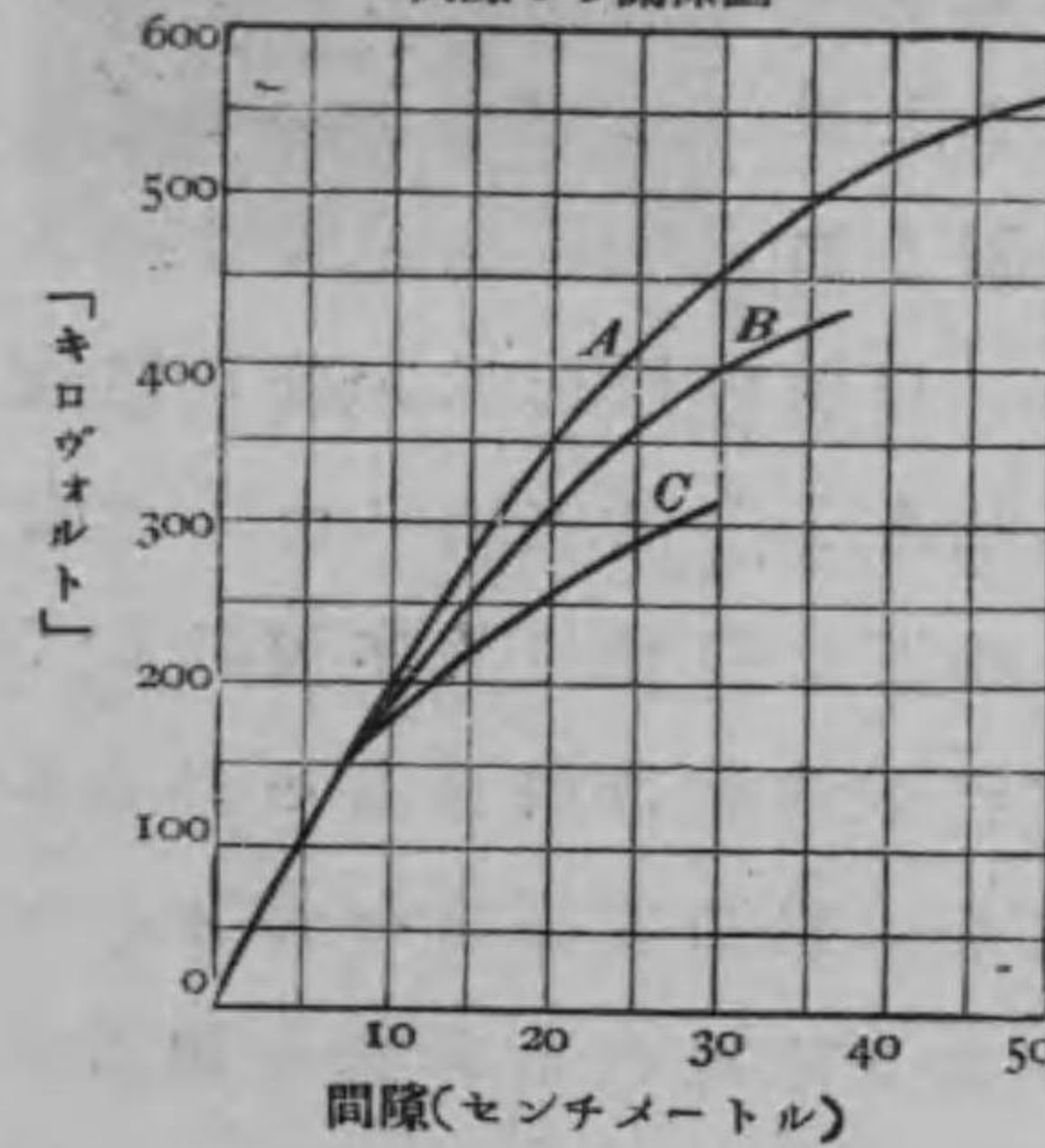
別し結束し置き各端子に付き試験電圧を加へ各個の絶縁耐力を測るべきものとす。

試験電圧は通常高き故に之を測るに電圧計を用ひずして試験用變壓器の變壓比より打算して適當に試験電圧を得る様供給回路の電圧を定むるにあれども火花間隙器を用ひて試験電圧の如何を知ることを得るなり。即ち或る形狀の金屬體二個を相距て對せしめ或る電圧を兩金屬體に加へ其距離を加減して其間隙に放電を起さしめ加電圧を變更して其間隙の長さとなす電圧を兩金屬體に加へ其間隙を加減して放電せしむるときは其時の間隙の長さより電圧を知ることを得るなり。此金屬體には針狀金屬體用ひられしも電圧甚だ高きときは信頼すべき結果を得られざるに由り近來は球狀の眞鍮を用ふることとなれり。此火花間隙器に於ては間隙が球體の直徑より短きときは放電はコロナ現象なくして起る之れ球狀火花間隙器の優秀なる所以なり。従て大なる球體を用ひ放電電圧に従て次の三種類あり。

電 壓	球體の直徑
50,000—275,000「ヴォルト」	25「センチメートル」
275,000—412,500「ヴォルト」	30「センチメートル」
472,500—550,000「ヴォルト」	50「センチメートル」

此電圧は實効値にして球體の一端が接地されたる場合なり。50,000「ヴォルト」以下にては間隙餘り小にして球體の表面に些少の塵埃が附着するも放電の

第九十六圖 球狀火花間隙器に於ける電壓と間隙との關係圖



- A 直徑50センチメートル球
- B 直徑37.5センチメートル球
- C 直徑25センチメートル球

原因と成るを以て25「センチメートル」を最小間隙とし50,000「ヴォルト」以下の電圧には餘り有効ならず。此間隙器に於ける各種球體に就ての放電電圧と間隙との關係は第96圖曲線に示す如し。此曲線にて認むる如く直徑小なる球は大なる球に比し

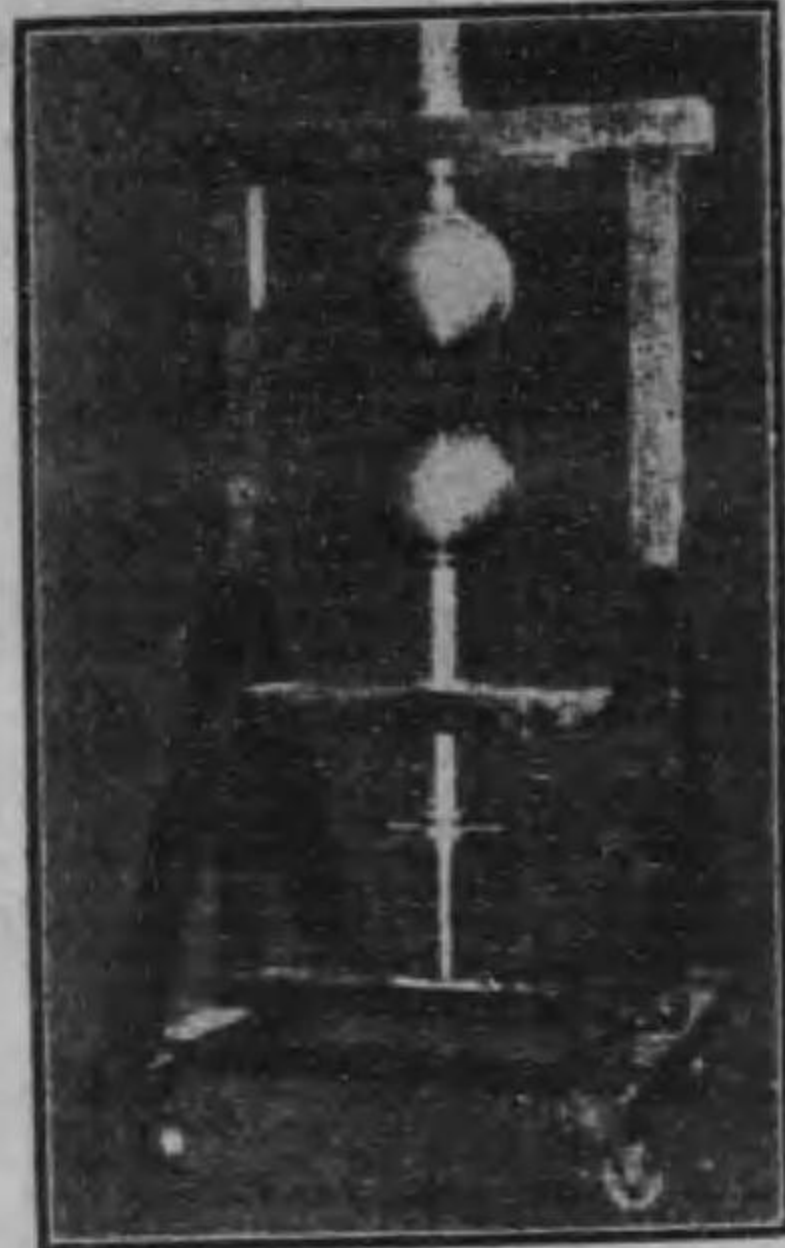
同じ間隙に於て低電壓にて放電を爲さしむる故成るべく大なる球を用ふべきものとす。

第97圖は球狀火花間隙器の構造を示す。上方の球



體は定置のものにして下方の球體に接觸する迄の少許の加減を爲すことを得る様設備せらる。下方の球體は螺旋の設けられたる口輪を下端に有する管上に取付けられ口輪は直立せる螺旋杆に働作する様取付けらるゝ故此杆を動かせば下方の球體は上方に動き上球との間隙を螺旋に由て細く加

第九十七圖  
球狀火花間隙器の構造



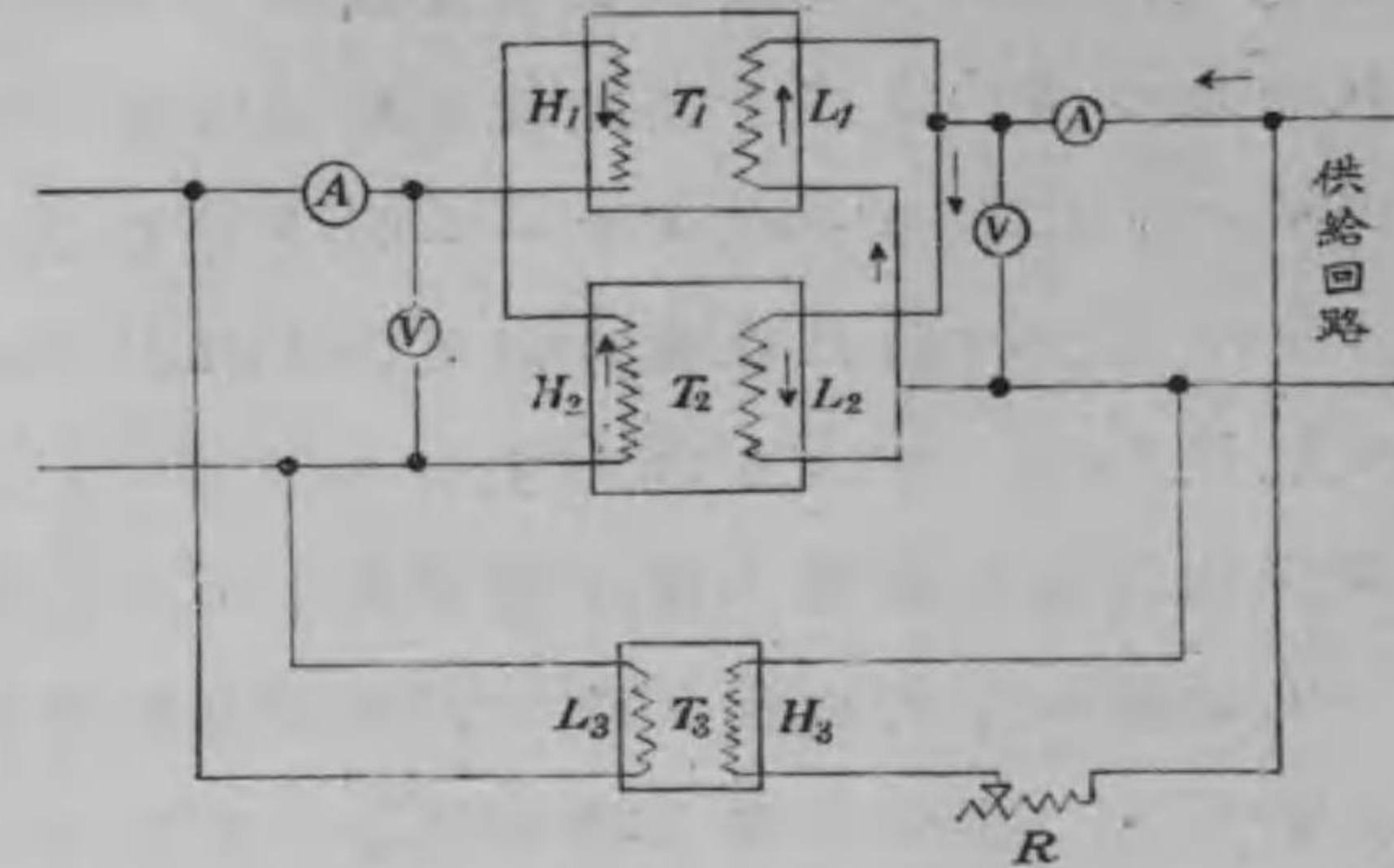
減することを得るなり。口輪の周圍は50分に目盛せらるゝを以て間隙は殆んど $\frac{1}{100}$ 「センチメートル」迄直接に測ることを得。此器具の枠は皆木製にして充分乾燥せしめ「リンシード」油を含浸せしめたるものなり従て濕氣を受けず球體間の絶縁を充分に保持す。間隙に放電起りたる際流れる電流を制限するには電壓「ヴォルト」に付き「オーム」の割合にて抵抗を間隙に直列に接続するを可とす。

變壓器の絶縁抵抗を測るには **メッガー** (Megger) と稱する抵抗測定器(後章に記載す)を用ふるが變壓器の發熱したる場合の絶縁抵抗は冷へたる場合の夫よ

り小なり之に由て通常の方法として變壓器に電流を通じ攝氏75度乃至85度迄温度を上昇しめ置き絶縁抵抗を測るものとす。其結果變壓器の規定電壓の100「ヴォルト」に付き「メガオーム」以上ならざるべからず若し以下なれば線輪に濕氣含まれたるものとし其乾燥を行ふべきものとす。

**負荷試験及發熱試験**—變壓器が規定の全負荷に使用せられ得るや否や及其時の温度上昇は幾何なりやを試験するものとす。變壓器小なる場合には電燈又は適當なる抵抗を二次回路に接続し全負荷試験を行ふことを得此場合には全負荷電流を通じ始めてより八時間にして温度上昇最大に達し概ね一定す従て試験容易なり。變壓器の耐量大にして全負荷に相當する抵抗を得難きか又は全負荷を加へること容易ならざる場合には同様の變壓器三個を用ひ返還負荷法>Loading back Method)なる方法にて試験を行ふ此方法に據るときは多量の電力を消費せずして規定の全負荷を變壓器に與ふことを得るなり。第98圖は其接続法を示す。T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>は試験に供せらるゝ二個の變壓器にして其低壓線輪L<sub>1</sub>及L<sub>2</sub>は並列に接続せられ高壓線輪H<sub>1</sub>及H<sub>2</sub>は直列に接続せ

第 九 十 八 圖  
變壓器の返還負荷法試験の電線接続圖



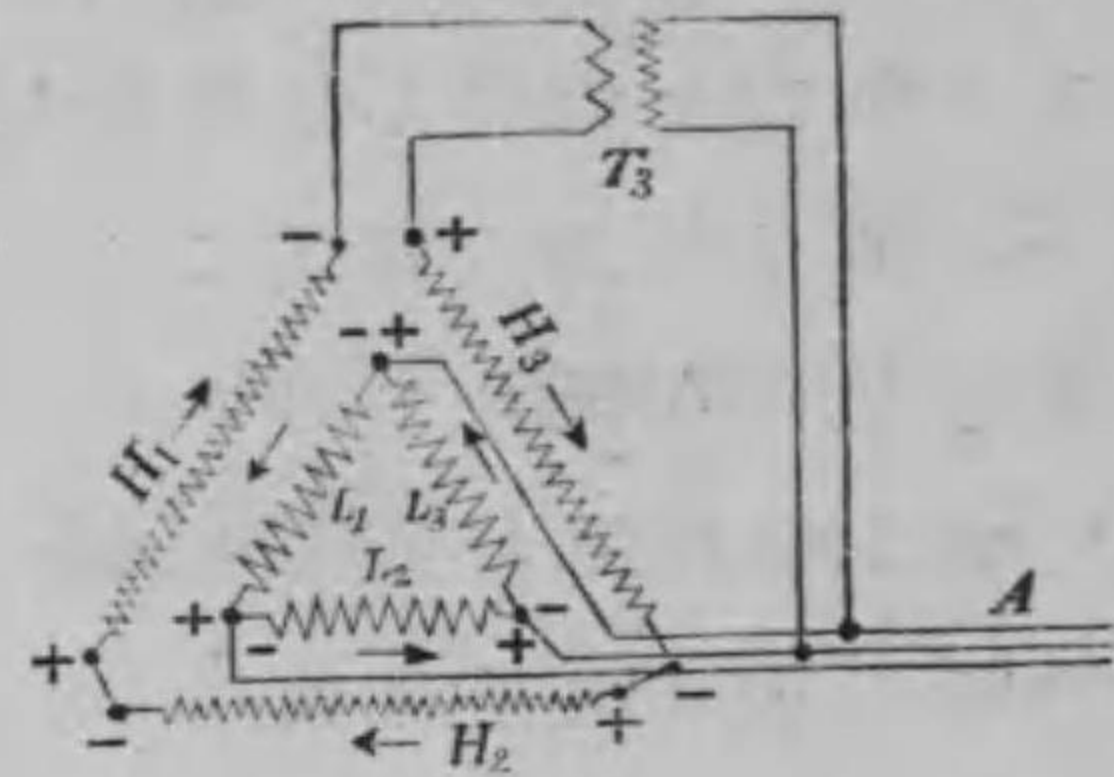
らる。今低壓線輪を相當なる規定電壓及周波數の回路に接続するときは高壓線輪  $H_1$  に誘發する電壓は  $H_2$  に誘發する電壓と等しくして相反對なるを以て高壓線輪に電流の流通するをなく從て兩變壓器は回路より電力の供給を受くるも無負荷に於けると同様にして單に鐵損に相當する電力供給せらるゝのみ。今別に補助變壓器  $T_3$  を用ひ其低壓線輪  $L_3$  を  $T_1$  及  $T_2$  の高壓回路に接続し高壓線輪  $H_3$  を加減抵抗器  $R$  と共に供給回路に接続し之より電流を通ずるときは其低壓線輪に誘發する電壓は  $T_1$  及  $T_2$  の高壓回路に加はり電流を通せしむべし。此電流に由て其低壓線輪  $L_1$  及  $L_2$  に電壓誘發し電流通するも其

方向亦相反するを以て兩線輪にのみ流れ供給回路に及ぼすことなし此作用は高壓回路に通ずる電流の多少に關せざる故に抵抗  $R$  を適當に加減し  $T_3$  の低壓線輪に誘發する電壓を變更するときは  $T_1$  及  $T_2$  の全負荷銅損に相當する電流を其高壓回路に通せしむるを得べし。即ち電源の供給回路よりは僅少の鐵損に相當する電力を供給し一方に於て補助變壓器を経て銅損に相當する電力を供給して變壓器を全負荷に於て働作すると同じ状態に爲すことを得るなり斯くして全負荷に於ける發熱を爲さしむることを得べし。此くの如く變壓器が負荷せられ居るにも拘はらず供給回路よりは鐵損及銅損のみの供給にて足る理由は次の如く理解するを得べし。即ち變壓器  $T_1$  の低壓線輪に供給せられたる電力は其高壓線輪に出で(無論其鐵損及銅損の電力丈減じ)補助變壓器より兩變壓器の銅損に相當する電力の補給を受けて變壓器  $T_2$  の高壓線輪に入り更に其低壓線輪に由て供給回路に返却せらる從て供給回路よりは直接には單に鐵損の電力のみを送り間接には補助變壓器に依て銅損の電力を受くるのみにて變壓器は全負荷せらるゝなり是に由て此方法を返

還負荷法と稱するなり。全負荷電流を受験變壓器の高壓回路に通せしむるに要する補助變壓器の低壓線輪の電壓は、受験變壓器の高壓線輪の電壓の約4%—6%にて可なり。

三相變壓器又は單相變壓器三個の負荷試験を同時

第九十九圖  
三相變壓器又は變壓器三個の返還負荷法  
試験の電線接続圖



に行ふには第99圖に示す如く其高壓線輪を直列に接続し低壓線輪を三角形に接続し供給回路より適當電壓にて其低壓線輪に三相交流を供給するときは低壓線輪間

に於て電壓は相殺して零となり、單に鐵損に要する電力のみ供給せられ同時に補助變壓器T<sub>3</sub>より適當電壓にて高壓線輪へ單相交流を送るときは銅損に要する電力のみ供給せらるゝこと前記の方法と同理なり。此方法に由て全負荷試験を行ふことを得るなり。

變壓器の負荷試験を行ひ其温度上昇を測るには、  
(一)寒暖計を以て行ふ方法 (二)捲線の抵抗の發熱の

爲めに増加するを利用し捲線の抵抗を負荷試験の前後に於て測り之より上昇温度を算出する方法とあり。寒暖計を線輪の表面に接觸せしめて測定する場合にはアルコール寒暖計を用ひアルコール存在する球部を熱の輻射を防ぐ爲めに直徑約1 $\frac{1}{2}$ 吋の圓形の木綿にて被ひ線輪に接觸せしむるを可とす。然れども線輪の眞の温度上昇を知るには捲線の抵抗増加を測定する第二法に據るべきものとす。其算出法は次の如し。

- R<sub>1</sub> を負荷前に於ける線輪の抵抗
  - R<sub>2</sub> を負荷後に於て上昇温度一定したる時の線輪の抵抗
  - t<sub>1</sub> を負荷前に於ける室内の温度又は線輪の温度
  - t<sub>2</sub> を負荷後に於て上昇温度一定したる時の線輪の温度
  - R<sub>0</sub> を攝氏零度に於ける線輪の抵抗
  - a を銅線の温度係數(攝氏寒暖計に於て)
- とすときは

$$R_1 = R_0(1 + at_1) \quad R_2 = R_0(1 + at_2)$$

是より 
$$t_2 = \frac{R_2(1 + at_1) - R_1}{aR_1} \dots\dots\dots(98)$$

$\alpha$  は線輪に用ふる如き軟銅線に於ては 0.00428 なれども攝氏 20 度以上に於てば 0.00394 に減じ 25 度以上に於ては尙 0.00386 に減ず。由て其上昇温度に従て適當の  $\alpha$  の値を用ひ  $R_1$  及  $R_2$  は抵抗測定器(後章に記載す)にて測り室内の温度は寒暖計にて測り第 98 式よりなる最後の線輪の温度を算出すれば  $t_1 - t_2$  は求むる處の線輪の上昇温度なり。變壓器の温度上昇の一定するは其耐量と型式に由て異なれども概ね全負荷と爲し八時間にて一定す。温度上昇を測るには通常一次線輪に就てのみ行ひて可なり其最大限度は已に記載する如く室内温度を攝氏 25 度と假定して攝氏 50 度とし室内温度が之より高きときは其差一度につき上昇温度一度を減するものとす。例へば室内温度 30 度なるときは上昇温度の最大限度は 45 度と爲すなり。

**電壓變動率の測定**—耐量小なる變壓器の電壓變動率を測るには其耐量に相當する負荷を實際に用ひ無負荷に於ける二次電壓と全負荷に於ける二次電壓とを電壓計にて測り電壓變動率を算出することを得れども耐量大なる場合には全負荷を加へることは頗る不經濟にして且つ尠からざる困難ある

のみならず其結果も正確とは云ひ難し。反て計算に由て之を求むること便利にして且つ比較的正確なり。計算に由て電壓變動率を見出す方法にも種々あれども次に記載する方法は理論上正確とは云ひ難きも實用上の範圍に於て稍々正確なるものと見做すことを得。

今變壓器の無負荷に於ける二次電壓を  $E_2$  とし之が全負荷に於て  $E_2$  に降下したりとすれば  $E_2 - E_2'$  は全負荷電流の爲めに變壓器の一次線輪及二次線輪中に於て失はれたる電壓なり。此中には線輪の抵抗に因るものとリアクタンスに因るものとありてリアクタンスに因る電壓は抵抗に因るものより相に於て 90 度進めり。兩線輪に於て失はるゝ電壓を表はすには二次線輪の抵抗及リアクタンスを變壓比によつて一次測に換算し一次測の夫等と合計するを便利とす。即ち變壓比  $\frac{N_2}{N_1} = d$  とし一次線輪の抵抗を  $R_1$ 、リアクタンスを  $X_1$ 、二次線輪の抵抗を  $R_2$ 、リアクタンスを  $X_2$  とすれば

二次線輪の抵抗の一次測に換算したるものは  $\frac{R_2}{d^2}$   
 同じくリアクタンスの一次測に換算したるものは  $\frac{X_2}{d^2}$

全線輪の抵抗をR、リアクタンスをXとするときは

$$R=R_1+\frac{R_2}{\delta^2}, \quad X=X_1+\frac{X_2}{\delta^2}$$

而して全線輪に於て失はるゝ電圧を $E_n$ とすれば次の式にて表はさる

$$E_n=\sqrt{(I_1R)^2+(I_1X)^2}$$

但し $I_1$ は全負荷に於て一次線輪に通ずる電流なり。全負荷に於ける二次電圧 $E_2$ を一次側に換算したるものを $E$ とし、一次電圧を $E_1$ とするときは、負荷が無誘導なる場合には $I_1$ は $E$ と同相にして

$$E_1=\sqrt{(E+I_1R)^2+(I_1X)^2}$$

但し  $E=\frac{E_2}{\delta}$  或は  $E_2=\delta E$

無負荷に於ける二次電圧 $E_{20}$ を一次側に換算すれば

$$E_{20}=\delta E_{10}$$

但し $E_{10}$ は無負荷に於ける一次電圧なるが、通常此電圧は不変に保持せらるゝ故 $E_{20}=\delta E_1$ と爲すことを得即ち

$$E_{20}=\delta E_1=\delta\sqrt{(E+I_1R)^2+(I_1X)^2}$$

$I_1R$ 及 $I_1X$ は通常 $E$ の百分比にて表はすを便利とすれば其百分比を

$$\frac{I_1R}{E}100=r, \quad \frac{I_1X}{E}100=x \text{ とすれば,}$$

$E_1$ の式は次の如くなる

$$E_1=\sqrt{\left(E+\frac{Er}{100}\right)^2+\left(\frac{Ex}{100}\right)^2}=E\sqrt{\frac{(100+r)^2+x^2}{100}}$$

而して電圧變動率 $y$ は

$$y=\frac{E_{20}-E_2}{E_2}=\frac{\delta E_1-\delta E}{\delta E}=\frac{E_1-E}{E}$$

$$=\frac{E\left(\sqrt{\frac{(100+r)^2+x^2}{100}}-1\right)}{E}$$

之を%に示せば  $y=\sqrt{(100+r)^2+x^2}-100$

$r$ 及 $x$ は100に比し非常に小なる數なる故に

$\sqrt{(100+r)^2+x^2}$ は $100+r+\frac{x^2}{2(100+r)}$ と爲すも大差なし

何となれば

$$\left\{100+r+\frac{x}{2(100+r)}\right\}^2=(100+r)^2+\frac{2(100+r)x^2}{2(100+r)}$$

$$+\frac{x^4}{4(100+r)^2}$$

にして右側の第三項は第一項及第二項に比し小なれば省略して差支なし

由て 
$$\left\{100+r+\frac{x^2}{2(100+r)}\right\}^2=(100+r)^2+x^2$$

之を上式中に代置すれば

$$y=r+\frac{x^2}{2(100+r)}\dots\dots\dots(99)$$

是れ電壓變動率を%にて表はせる算式にして兩線輪に於ける抵抗及リアクタンスに因る電壓を測定して算出することを得べし。次に負荷が誘導抵抗を有するものなるときは電流は電壓と相を異にすべし其相差角度を $\phi$ とし其時の全線輪の抵抗に由て失はるゝ電壓のEに對する百分比を $r_1$ としリアクタンスに由て失はるゝ電壓の夫を $x_1$ とすれば電流が電壓より遅るゝ場合即ち遅電流なるときは

$$r_1=r \cos \phi+x \sin \phi$$

$$x_1=x \cos \phi-r \sin \phi$$

電流が電壓より進む場合即ち進電流なるときは

$$r_1=r \cos \phi-x \sin \phi$$

$$x_1=x \cos \phi+r \sin \phi$$

第99式に於て $r, x$ の代りに $r_1, x_1$ を用ふれば此等の場合に於ける電壓變動率の算式を得べし。

$$y=r_1+\frac{x_1^2}{2(100+r_1)}\dots\dots\dots(100)$$

但し電流が電壓より遅るゝ場合には

$$r_1=r \cos \phi+x \sin \phi$$

$$x_1=x \cos \phi-r \sin \phi$$

電流が電壓より進む場合には

$$r_1=r \cos \phi-x \sin \phi$$

$$x_1=x \cos \phi+r \sin \phi$$

例. 或る變壓器の電壓落下の百分比を $r=2.5, x=1.6$ とするとときは無誘導負荷に於ける電壓變動率幾何なりや又力率 $\cos \phi=0.95$ なる誘導負荷に於ける電壓變動率幾何なりや。

解 第99式

$$y=r+\frac{x^2}{2(100+r)}$$

に於て $r=2.5, x=1.6$ を適用すれば

$$\text{無誘導負荷に於て } y=2.5+\frac{1.6^2}{2(100+2.5)}=2.512\%$$

$$\text{第100式 } y=r_1+\frac{x_1^2}{2(100+r_1)}$$

$$\text{に於て } r_1=r \cos \phi+x \sin \phi=2.5 \times 0.95+1.6 \times 0.31=2.871$$

$$x_1=x \cos \phi-r \sin \phi=1.6 \times 0.95-2.5 \times 0.31=0.745$$

力率0.95なる誘導負荷に於て

$$y = 2.871 + \frac{0.745^2}{2(100 + 2.871)} = 2.873\%$$

即ち負荷が誘導的のものなれば電圧變動率は増加するものと知るべし。之に由て電圧變動率を表はすには常に力率何程に於て若干パーセントと稱へざるべからず。

次に勵磁電流は變壓器に電流の通する間は負荷の有無に拘はらず通する故に之を前式に算入せざるべからず然れども勵磁電流中鐵損電流は一次電流に比し極めて少なれば之を略するも差支なく磁化電流のみ算入するときば

$$E_1 = \sqrt{(E + I_1 R + I_{0m} X)^2 + (I_1 X - I_{0m} R)^2}$$

但し  $I_{0m}$  は磁化電流なり。即ち此場合に一次電壓  $E$  と同相にある落下電壓は  $I_1 R + I_{0m} X$ 。之と 90 度の相差ある落下電壓は  $I_1 X - I_{0m} R$  なり。此等電壓の  $E$  に對する百分比を夫々  $r_m, x_m$  とすれば

$$r_m = 100 \frac{I_1 R + I_{0m} X}{E}, x_m = 100 \frac{I_1 X - I_{0m} R}{E}$$

然るに  $r = 100 \frac{I_1 R}{E}, x = 100 \frac{I_1 X}{E}$

此  $R, X$  の値を上式に代置するときば

$$r_m = r + \frac{I_{0m}}{I_1} x, x_m = x - \frac{I_{0m}}{I_1} r$$

となる。  $\frac{I_{0m}}{I_1} = p$  とすれば

$$r_m = r + px, x_m = x - pr.$$

此  $r_m, x_m$  を第 100 式の  $r_1, x_1$  に代置するときば、

$$y = r + px + \frac{(x - pr)^2}{2(100 + r + px)} \dots\dots\dots (101)$$

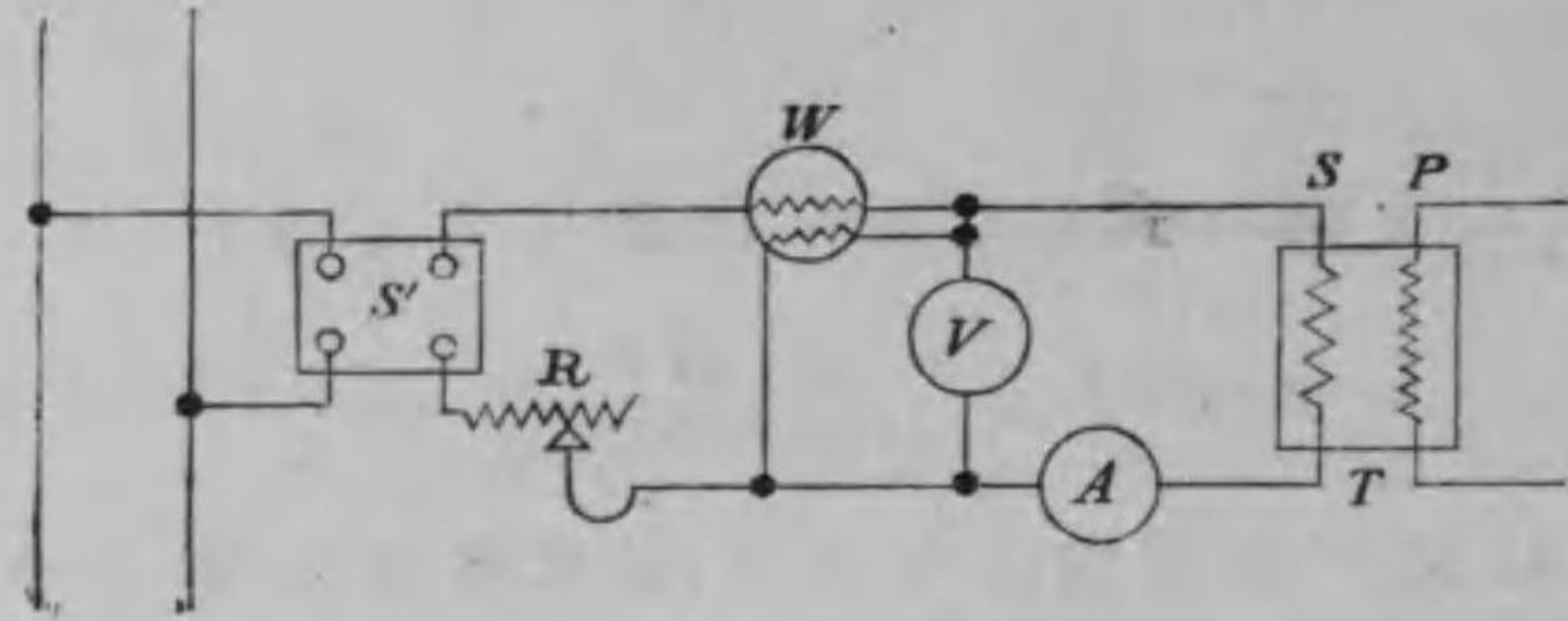
之れ負荷が無誘導なるとき磁化電流を算入せる電圧變動率の算式なり。負荷が誘導抵抗を有するときば

$$r_1 = r \cos \phi + x \sin \phi, x_1 = x \cos \phi - r \sin \phi$$

を第 101 式の  $r$  と  $x$  とに夫々用ふれば其場合の電圧變動率を算出することを得べし。

**鐵損及勵磁電流の測定**—變壓器の鐵損電力を測るには電壓計・小電流計及表示電力計を用ひ第 97 圖に示すが如く是等を受験變壓器  $T$  の低壓線輪に直列に試験用變壓器の低壓回路に接続し、 $T$  の高壓線輪は開放し置く。圖中  $S'$  は開閉器、 $A$  は電流計、 $W$  は電力計、 $V$  は電壓計、 $S$  は受験變壓器の低壓線輪、 $P$  は其高壓線輪、 $R$  は無誘導抵抗にして加減し得べきものなり。測定の順序は先づ開閉器  $S'$  を閉ち試験用變壓器の低壓回路より相當電壓にて電流を變壓器

第 九 十 七 圖  
變壓器の鐵損測定電線接續圖



に通せしめ電圧計Vに現はるゝ電圧が變壓器Tの規定無負荷電圧を示すに至る迄抵抗Rを加減すべし。此時電流計Aに示さる「アムペア」は變壓器の勵磁電流を示し電力計Wに示さる「ワット」は鐵心を磁化するに要せらるる勵磁電力即ち鐵損電力を示す。尤も此「ワット」中には電圧計電流計及電力計に於て消費せらるゝ電力をも含めども是れは豫め測り置き差引すれば真正の鐵損電力を知ることを得べし。今電圧計の示す電圧をEとし電圧計の線輪の抵抗を $R_v$ 電流計の夫を $R_a$ 電力計の電圧線輪の抵抗を $R_p$ 其電流線輪の抵抗を $R_c$ とすれば此等線輪中に消費せらるゝ電力は夫々 $\frac{R_v^2}{E}$ ,  $I^2 R_a$ ,  $\frac{R_p^2}{E}$ ,  $I^2 R_c$ なる故是等を測定に由て得たる電力計に示さる電力より減じたるものが眞の鐵損電力を示す。此鐵損電力と

電圧とより鐵損電流及磁化電流を次の如く算出することを得。鐵損電力を $W_i$ 鐵損電流を $I_{oc}$ とすれば

$$I_{oc} = \frac{W_i}{E}$$

然るに勵磁電流  $I_0^2 = I_{oc}^2 + I_{0m}^2$

由て

$$I_{0m} = \sqrt{I_0^2 - I_{oc}^2} = \sqrt{I_0^2 - \left(\frac{W_i}{E}\right)^2}$$

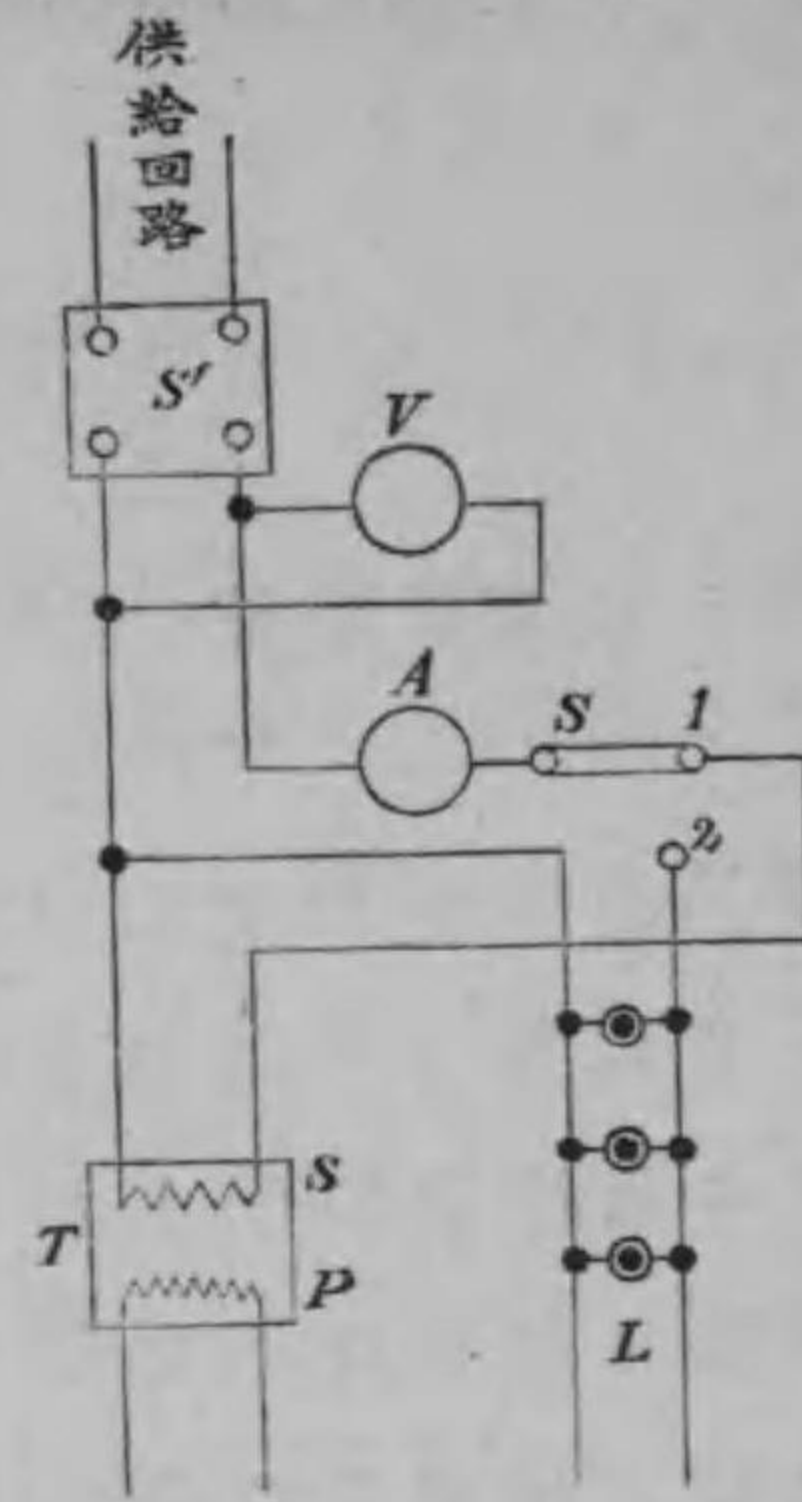
$I_0$ は電流計の示したる電流なれば上式に由て磁化電流を知ることを得べし。變壓器の鐵板には通常多量の硅素を含有する所謂硅素鋼を使用するなるが此硅素鋼は他の鋼に比し鐵損を生せしむること少きも導磁率低き爲め磁化電流を大ならしむ然れども鐵損の減少は導磁率の低下を償ふて餘りあれば普通に硅素鋼を用ふるなり。

電力計の代りに電流計を用ひて鐵損電力を測る方法あり其接續方法は第98圖に示すが如し圖中Tは受驗變壓器にして其高壓線輪Pを開放し低壓線輪Sを試験用變壓器の低壓回路に接續すVは電圧計Aは電流計S及S'は開閉器Lは白熱燈なり。測定



の順序はSを接觸點Iに接觸せしめSを閉ずれば供給回路より受驗變壓器Tに電流通すべし此場合に電壓計の示す電壓がTの規定無負荷電壓を示す様供給回路の電壓を調整すべし此時に電流計が示す電流を $I_0$ 「アムペア」とす。次にSを1より離し2に接觸せしむれば電流は變壓器に通せずして白熱燈に通すべし此時に電流計

第九十八圖 變壓器鐵損測定電線接續圖の二



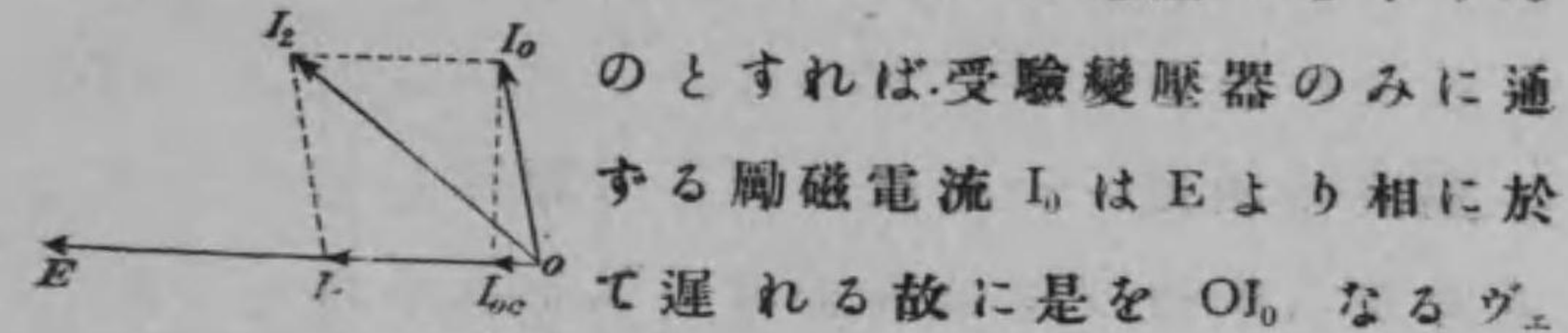
が示す電流を $I_1$ 「アムペア」とす。次に白熱燈の數を變ずることなくSを1,2に同時に接觸せしめ其時に電流計が示す電流を $I_2$ 「アムペア」とすれば變壓器Tの鐵損電力 $W_i$ は次の式に由て算出するを得るなり。

$$W_i = \frac{E}{I_1} (I_2^2 - I_0^2 - I_1^2) \dots\dots\dots (102)$$

Eは電壓計Vの示す電壓にして測定中不變なるを要す。

第102式をベクトル圖にて證明せんに第99圖に於て

第九十九圖 ベクトル OE を電壓 E を示すものとすれば受驗變壓器のみに通ずる勵磁電流  $I_0$  は E より相に於て遅れる故に是を  $OI_0$  なるベクトルにて示せば其中有効電流は OE と同相に在る  $OI_{0c}$  なるベクトルにて示さる。白熱燈のみに通ずる電流  $I_1$  は白熱燈の無誘導なる爲に電壓と同相に在りて  $OI_1$  なるベクトルにて示さる。受驗變壓器及燈球に同時に通ずる  $I_2$  は  $I_0$  及  $I_1$  のベクトル的和なれば  $OI_0$  及  $OI_1$  より成る平行四邊形の對角線なる  $OI_2$  なるベクトルにて示さる。



然るときは

$$I_0^2 - I_{0c}^2 = I_2^2 - (I_{0c} + I_1)^2$$

即ち 
$$I_{0c} = \frac{I_2^2 - I_0^2 - I_1^2}{2I_1}$$

然るに 
$$W_i = EI_{0c}$$

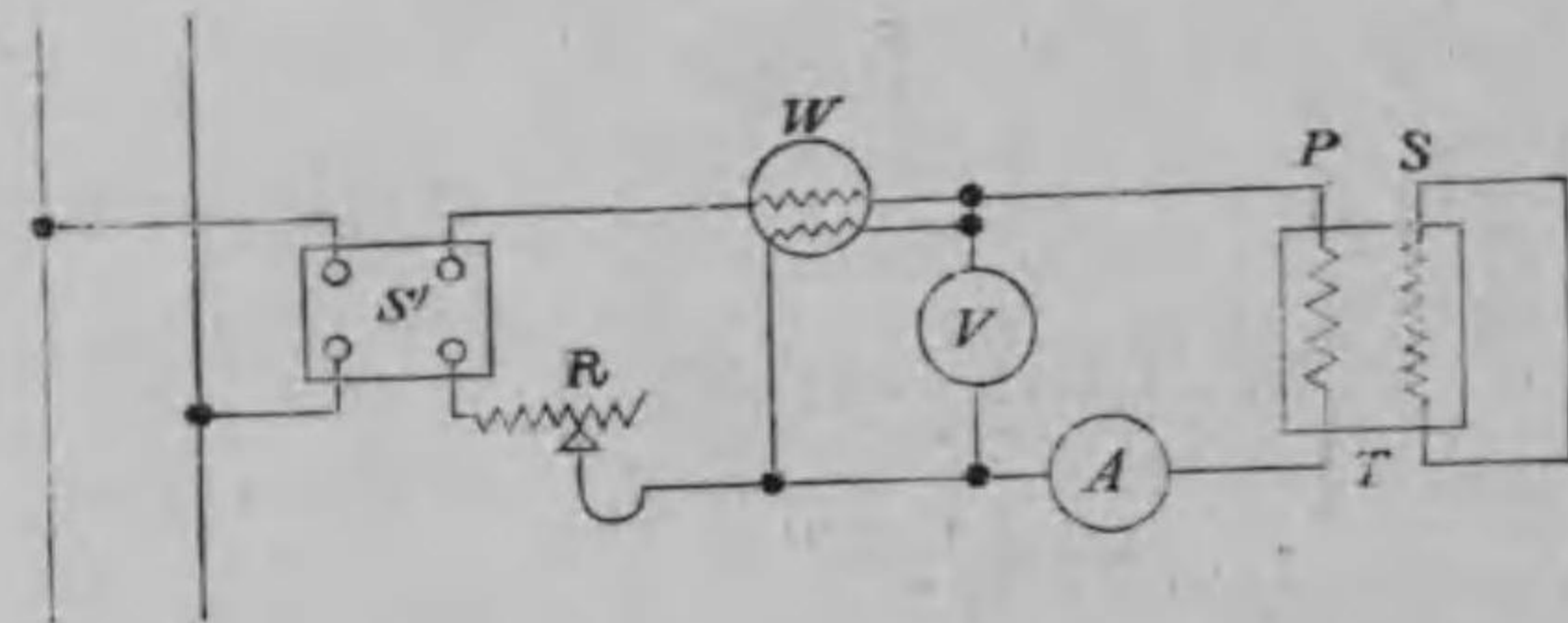
$$\therefore W_i = \frac{E}{2I_1} (I_2^2 - I_0^2 - I_1^2)$$

鐵損電力の内容は周波數60の變壓器に於ては通常温度に於てヒステシス損失70%、渦流損失30%なり。此兩損失は鐵心の温度が甚だしく上昇するに従ひ

減ず例へば通常温度より攝氏40度に昇るときは5%乃至10%の減少あり。

**銅損の測定**—一次線輪及二次線輪に於ける損失電力即ち銅損  $I^2R$  は各線輪の抵抗全負荷の際變壓器に通ずる一次電流及二次電流を測定して容易に算出することを得れとも直接に是を測定することを得る方法あり其接続法は第100圖に示すが如く受驗變壓器の一次線輪に電圧計V、電流計A、電力計W

第 百 圖  
變壓器の銅損測定電線接続圖



及加減し得る無誘導抵抗 R を接続し開閉器に由て試験用變壓器の一次回路に接続し二次線輪を短絡し置く。測定の順序は先づ開閉器 S' を閉ぢて電流を變壓器に通せしめ漸次抵抗を加減して電流計の指針が全負荷に相當する電流に至りたる時電力計にて電力を測るべし。此場合に二次線輪は短絡せ

られ居れば線輪中に誘發せらるゝ起電力少し即ち鐵心に通ずる磁力線少きを以て鐵損は極めて少く電力計に表はるゝ電力は一次及二次の兩線輪にて消費せらるゝ銅損のみを示すなり。

此場合にも電圧計電流計及電力計の線輪に消費せらるゝ電力を電力計に現はれたる電力より差引きたるものが眞の銅損電力を示すなり。此試験に用ふる交流の周波數は變壓器に於ける設計周波數と異なるも差支なし。

**能率の測定**—變壓器の能率は第95式に示す如く  $\frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失電力}}$  なれば損失電力を上文記載の方法にて測定するときは容易に是を算出するを得べし例へば五「キロワット」變壓器に於て交流の周波數60、一次電壓2,000「ヴォルト」二次電壓200「ヴォルト」なりとすれば力率1.00の場合には

全負荷電流は 一次線に於て ..... 2.5「アムペア」  
二次線に於て ..... 25「アムペア」  
抵抗は 一次線輪(攝氏20度の時) 10.1「オーム」  
二次線輪(攝氏20度の時) 0.067「オーム」  
全負荷に於ける損失電力

一次線輪に於て  $I^2R = 2.5^2 \times 10.1 = 63$  } 63「ワット」  
 二次線輪に於て  $I^2R = 25^2 \times 0.067 = 42$  } 42「ワット」  
 鐵心に於て ..... 鐵損70「ワット」  
 合 計 ..... 175「ワット」

なる結果を測定に由て得たりとすれば

全負荷發生電力 = 5,000「ワット」

全負荷供給電力 = 5,000 + 175 = 5,175「ワット」

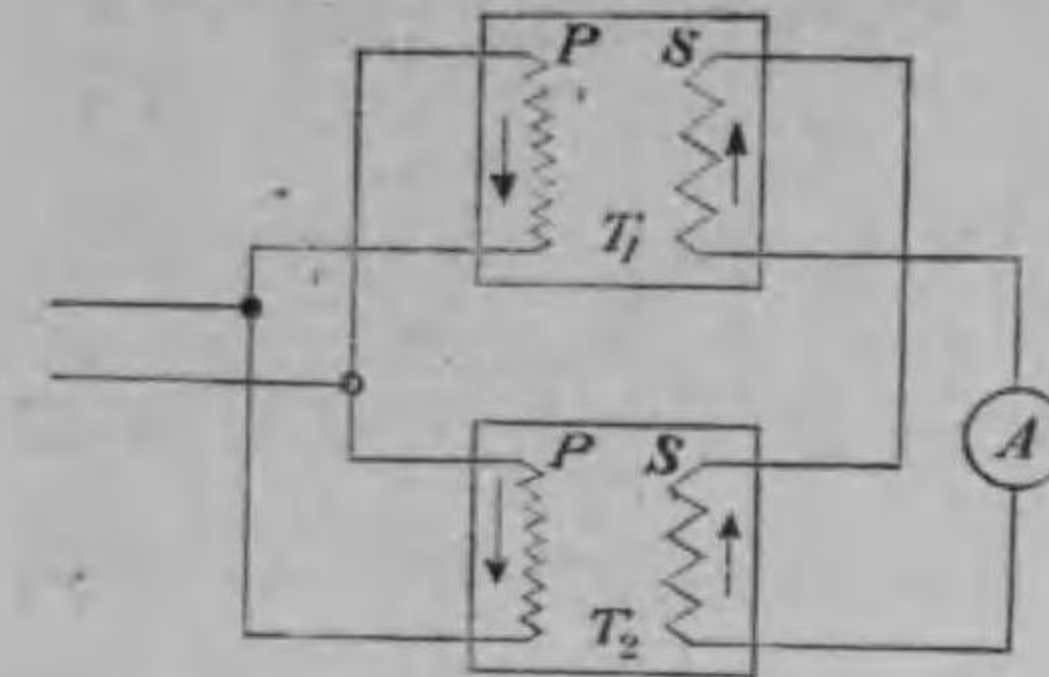
となり力率 1.00 に於ける全負荷能率

$$= \frac{5,000}{5,175} = 96.6\%$$

なり。

極性の試験—二個以上の變壓器を直列又は並列に接続せんとする場合又は一個の變壓器に於て線輪の數組に分れ居るとき之を並列又は直列に接続する場合に瞬間に於ける電流の方向を知らざるときは其接続を誤り線輪を短絡せしむる虞れあり。瞬間に於ける電流の方向とは變壓器の極性(Polarity)と稱するものなり。即ち變壓器を接続する場合には必ず極性を調査せざるべからず。今耐量電壓共に相等しき二個の變壓器を接続せんとする場合に其極性を檢するには第101圖に示す如く其一次線輪及

第 百 一 圖  
變壓器の極性試験電線接続圖の一

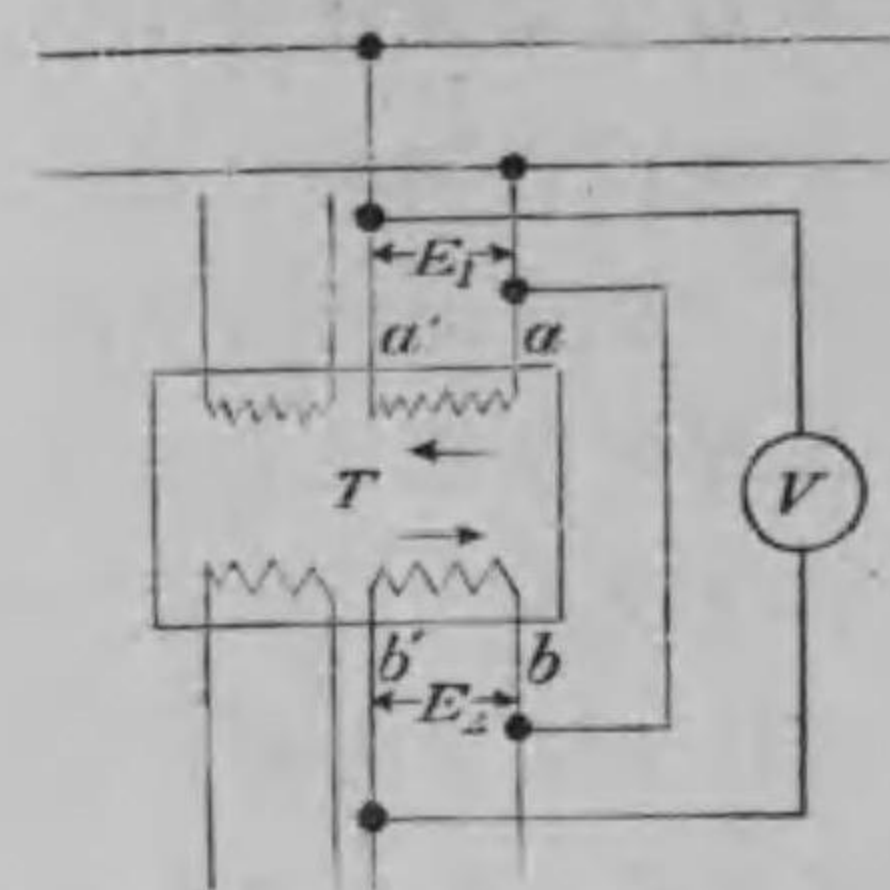


二次線輪を夫々各並列に接続し電源より一次線輪に電流を通ずるときは二次線輪に電流通ずべし。此場合に一次線輪の極性正しきときは電流は矢にて示す方

向に流れ二次線輪に於ては矢にて示す方向に電壓發生するも兩變壓器に於て相反するを以て二次回路に電流の流通なし従て電流計Aは零を示すべし。若し之に反し二次線輪を反對に接続するときは兩線輪の電壓相加はり電流計Aは合計電壓に相當する電流の二倍を示すべし。此方法に由て極性を知ることを得るなり。

次に變壓器内各線輪の極性を試験する簡單なる方法は第102圖に示す如く一次線輪の一端子 a を二次線輪の一端子 b に接続し電源より一次線輪に交流を通じ電壓計にて a a' 間及 b b' 間の電壓を測るべし之を夫々 E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> とす次に a' b' 間の電壓を測り之が約 E<sub>1</sub> + E<sub>2</sub> に等しきときは電流の方向が矢にて示す如く流れたるものにして a と b', a' と b とが極性を

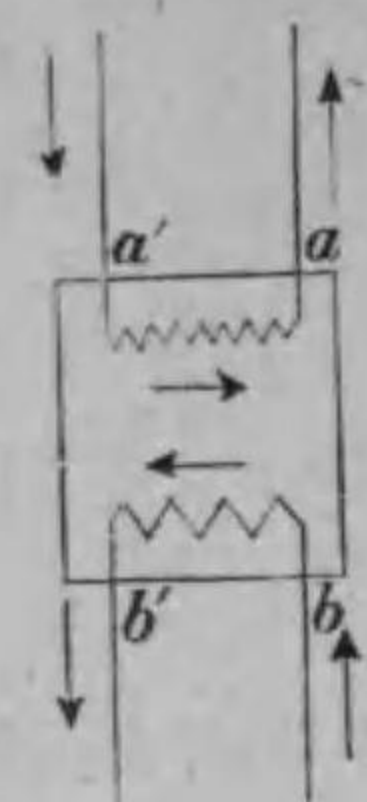
第 百 二 圖  
變壓器極性試驗電線接續圖の二



同じくす之れ變壓器に於ける通常極性なり。之と反對に  $a'b'$  間の電圧が  $E_1-E_2$  なるときは通常の極性と異り  $a$  と  $b$ ,  $a'$  と  $b'$  とが極性を同じくす。此方法に由て各線輪の極性を驗知することを得るなり。爰に記せる通常の極性とは電流の方向が第103圖に示す如く電流は恰も二次回路より一次回路に向て變壓器を超て進む如き方向を有するを謂ふ。此場合に於て  $a$  と  $b'$ ,  $a'$  と  $b$  とが同じ極性を有するなり。

變壓器油の絶縁耐力試験—變壓器に使用する油の絶縁耐力の良否は變壓器又は油入開閉器の絶縁を左右するものなれば其使用前に於て豫め絶縁耐

第 百 三 圖  
變壓器の電流方向圖



力を試験すること必要なり。

油中に僅少の水分含有せらるゝも是が爲に其絶縁耐力は甚だしく減す。スキナー氏の實驗に依れば油中に含まるゝ水量が僅かに全量の 0.05% なるとき、絶縁耐力は水分なきときの  $2/5$  過ぎずと云ふ。是に由て油の絶縁耐力を測定し併せて水分を含有するや否やを試験すること必要なり。其方法は第104圖に示す如く容積200立方「センチメートル」を有する内徑  $1\frac{3}{8}$  吋の硝子筒を木臺に載せ之に油を盛り、其中に一定の長さを有する(通常 0.15 吋)火花間隙を作り、是に電流を通じ漸次電圧を増して幾何「ヴォルト」に於て間隙より火花の發するやを測定するに在り。火花間隙は直徑  $\frac{1}{16}$  吋の眞鍮杆の先端に直徑  $\frac{1}{8}$  吋の眞鍮球を附したるもの二個にて作り、上部杆はマイクロミーター螺旋にて支持せられ、之に由て下部杆との間隙を加減することを得るなり。マイクロミーター螺旋を支持する枠は上部端子に接續せられ、下部杆は筒の底部を経て電線にて端子螺旋に連結せらる。此試験に於て注意すべきことは(1)火花間隙の端子球は何れの油を試験するにも同じ形状のものを用ひ、常に良く是を清掃し磨かざるべからず。(2)

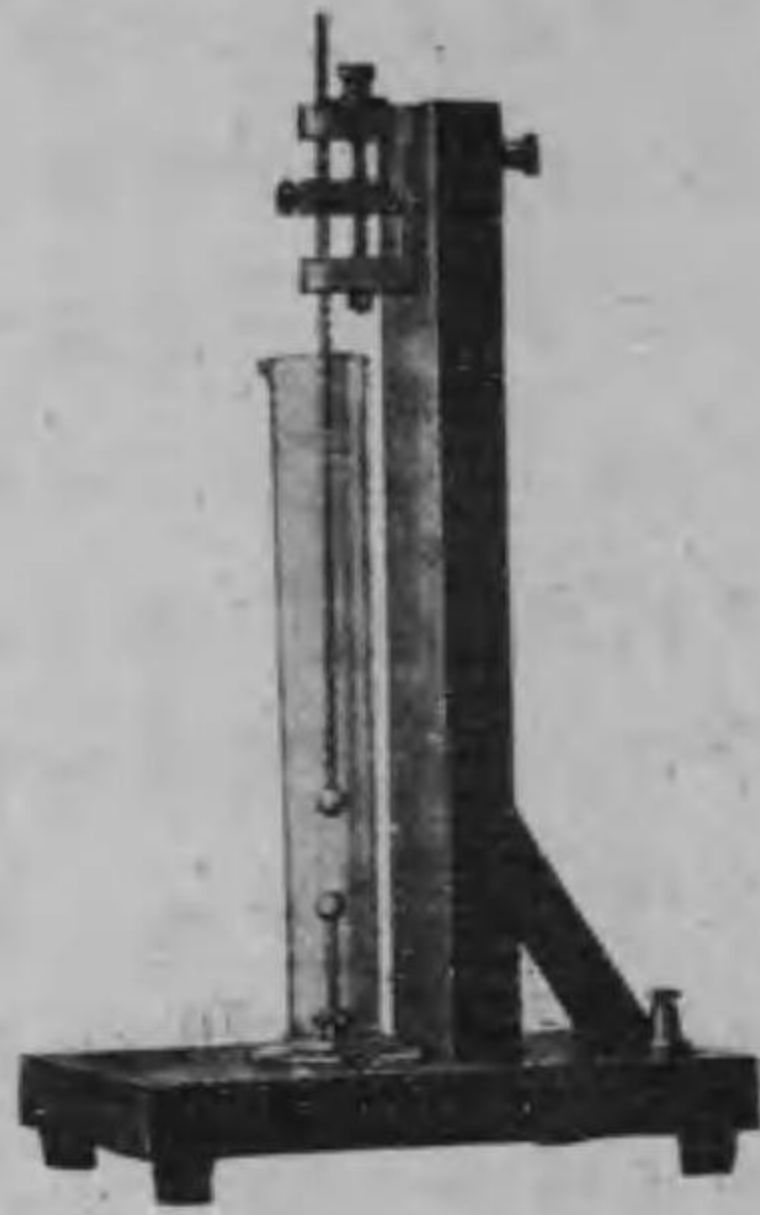
火花間隙の兩端子の油中に於ける位置は何れの試験に於ても同一ならざるべからず。若し汚物が球に附着するか又は球の位置異るときは、油の間隙に及ぼす壓力異りて放電の状態亦

變ずるに至る。(3)試験に供する油は新鮮のものならざるべからず。(4)油を硝子筒に盛りたるときは、暫時油中に含有する氣泡上部に發散するを待ちて試験を行ふべし。試験の準備終了せば直ちに端子間に電壓を加へ油の絶縁が破ぶれる迄迅速に電壓を増すべし。電壓を加

へ始めてより絶縁が破ぶれる迄の時間は5秒を超ゆべからず。之より長きときは電壓の降下することあり。良質の絶縁油は間隙0.15吋の眞鍮球を油の表面より八吋下に置きたるとき、其破壊電壓は30,000「ヴォルト」以上なるべきなり。之を絶縁油の絶縁耐力の標準と爲す。

油の絶縁耐力を試験するに當り電壓を加ふるに試験用變壓器を用ふれば最も可なれども、其設備なき

第 百 四 圖



ときは通常の変壓器を適當に接続して所要の電壓を發生せしむるも差支なし。前者の場合には火花間隙の回路に鋭敏に働作する回路自動遮斷器を接続し、間隙が破ぶるゝや直ちに回路の開きて間隙の端子の燒損せざる様設備すべし。後者の場合には過大の電流通過を防ぐ爲め端子に直列に高抵抗を接続するを可とす。之には直徑1吋の硝子管に蒸溜水を容れたるもの最も適當にして其製作も容易なり。

油中に水が含有せらるゝや否やを大略に檢知する方法は水量多きときは水は油より重き爲めに油より分離し容器の底部に沈むも、其量少きときは水を吸収し易くして油の品質を變せざるもの即ち石灰を用ひ、之を試験すべき油に混じ瀘過するときは水分は石灰に吸収せられ純粹の油のみ瀘過せらるべし。此石灰より化學的方法にて其吸収したる水量を檢知することを得るなり。尙別の方法としては硫酸銅の粉末を熱して白色と爲し、之を試験管内にて試験すべき油と混すべし。若し油中に水分含有せらるゝときは硫酸銅は之を吸収して元の如く綠色に變すべし。之に由て水分の有無を判知することを得。

以上の方法に由て油中の水分を検し絶縁耐力を測定し其結果として水分全く含有せられず絶縁耐力も指定以上なるときは直ちに使用することを得るなり。

絶縁油の乾燥法—絶縁油中に水分の含有せられ絶縁耐力低下せるを検知したるときは之を乾燥せざる可からず其方法に次に記載する如く三種あり。

(一) 薬品を使用する方法

水分検知の方法に於けると同様に石灰の小塊を袋に入れるか又は多数の小孔を穿ちたる金屬筒内に入れ油中に投入し静かに振盪して放置するときは、150-160時間にして水分は全く石灰中に吸収せらるべし。石灰の量は重量にて油の約 $\frac{1}{100}$ にて可なり。此方法に於て油の容器を熱し油の温度を攝氏70-80度に保持するときは乾燥早く行はるべし。

(二) 熱を加へて乾燥する方法

油を容器に入れたる儘或は他の適當なる容器に入れ之に熱を加へて乾燥することを得べし。通常は油の容器を外部より炭火にて熱するか、内部に於て蒸汽管を入れ又は電氣熱に由て熱

するなり。此方法に由り油の温度を攝氏100度乃至120度に保持するときは、二三日間にて充分乾燥するに至るべし。此乾燥方法に於て最も注意を要するは油を過熱せざるに在り若し誤て油を過熱するときは其成分は變化して沈澱物を生ぜしむることあれば乾燥中は寒暖計を注視して温度が120度より昇らざる様熱の加減を爲すこと必要なり。一層安全に油中より速かに水分を除去せんとするには密閉したる容器に油を入れ真空唧筒にて容器内を真空となし外部より熱を加ふるときは真空中に於ける水の蒸發温度は低きを以て油に與へる温度は攝氏70度乃至80度にて水分を充分に除去することを得べし。水の真空中に於ける蒸發温度は真空27吋の際攝氏46度にして真空高きに從て減少す。此真空乾燥方法に依るときは比較的短時間にて完全に乾燥することを得れども、其費用は多額なるを免かれず。

(三) 油乾燥器を用ひて乾燥する方法

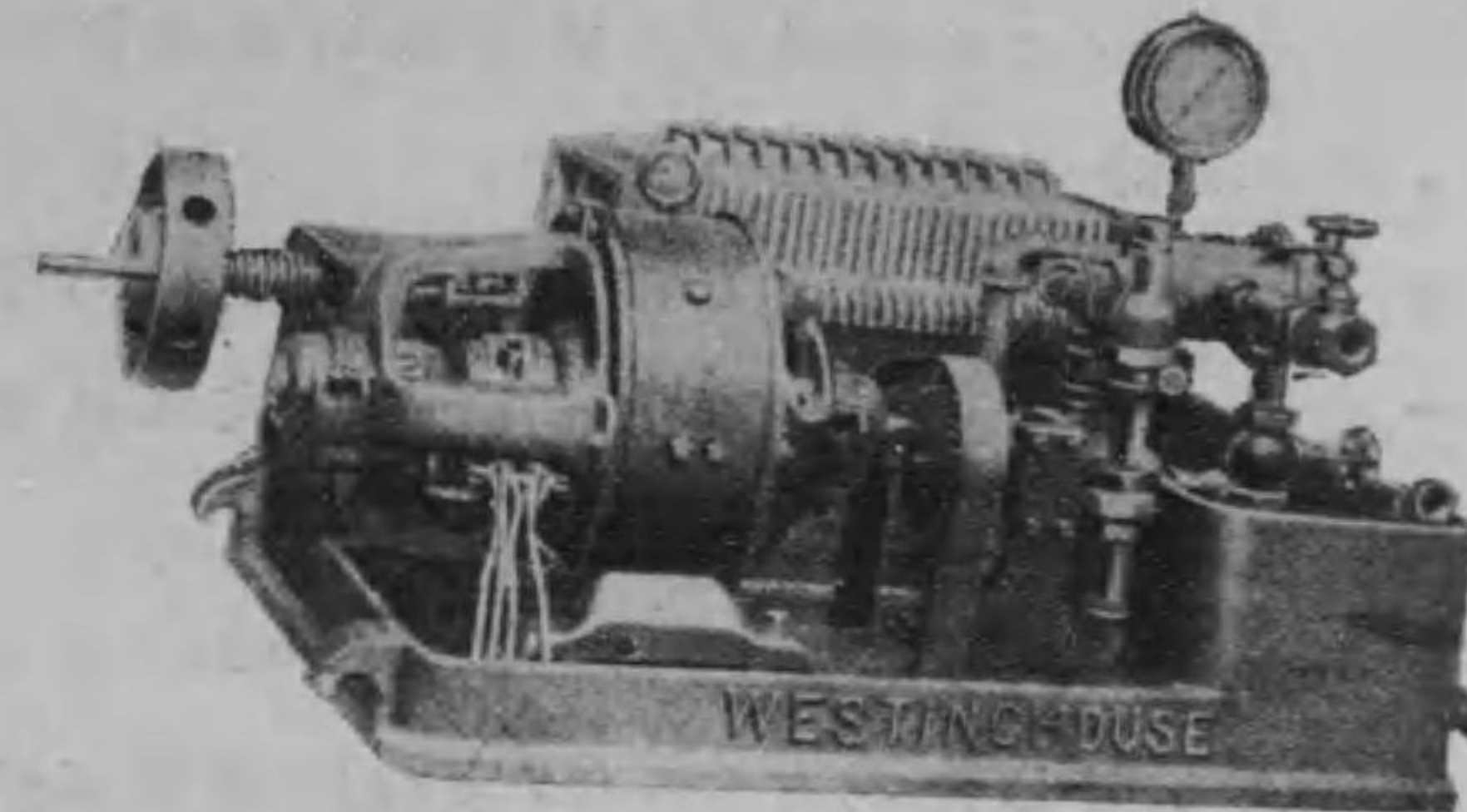
吸取紙にて水分及夾雜物を含める油を濾過するときは油は濾過するも水分及夾雜物は吸取

紙に吸収せらるべし。此理を應用し特に製せられたる吸取紙の數層を金屬枠間に裝置したる濾過器を作り之に油を唧筒にて送り込むときは油中の水分及夾雜物は吸取紙に吸収せられて純粹の油のみ濾過せられて受油器に入る。斯くして完全に油を乾燥し清淨に爲すことを得べし。此裝置を油乾淨器 (Oil-drying and Filtering Out-fit) と云ふ。

油乾淨器は濾過裝置、送油唧筒、其電動機及油ストレーナー並に附屬品として壓力計等より成り鑄鐵製の臺板上に設置せらる。第105圖はウェスチングハウス電機會社製乾淨器の外観を示す。此器に於ける濾過裝置は鑄鐵板と鑄鐵の枠を交互に重ね、其間に吸取紙を挟み、兩端に鑄鐵板を置き螺旋にて堅く締付けたるものなり。鑄鐵板の表裏兩面には數十の三角稜の突起を作り、鑄鐵板と鑄鐵枠との兩隅に小孔を穿ち濾過されたる油の通路と爲す。送油唧筒にて送られたる油は、此孔より第一層の吸取紙に通じ濾過され三角稜間の道を傳はり隅の孔より第二層に入り、第二層の吸取紙に通じ濾過され又三角稜間の道を傳はり第三層に入る。斯くして最後の層に

て濾過されて全く清淨無水のものとなり受油器に入るなり。此三角稜は油に對して道を作ると同時

第 百 五 圖



に吸取紙を送油壓力に對して保持せしむる役目を爲す。此器の大きさ及濾過せらるゝ油の容量は製作者に由て異なる。次にウェスチングハウス會社製のものを其一例として次に記載す。

型 式	鑄鐵板及 枠の大き 吋	濾過紙の 寸 法 吋	濾過層の 數	濾過紙の 數	濾過面積 平方呎	濾過容量 毎分 ガロン
A	12 $\frac{1}{2}$ × 12 $\frac{1}{2}$	12 $\frac{1}{2}$ × 12 $\frac{1}{2}$	14	28	23	10-12
B	7 $\frac{1}{2}$ × 7 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$ × 7 $\frac{1}{2}$	9	18	5.4	2-3

濾過容量は油の壓力と濃度並に含まるゝ夾雜物の多少とに由て異なる。上記の容量は夾雜物少く可なり清淨なる油を毎平方吋15-35「ポンド」の壓力にて送る

ときに濾過せらるゝ容量なり。油の粘度は温度に由て異なるものなれば油の温度が攝氏25-75度の範囲内に在るとき濾過するときは好結果を得べし。

油ストレーナーは電線網より成り油の濾過器に送らるゝ前に油中の夾雑物の大なるものを取除く役目を爲す。唧筒を運轉する電動機の大さはA型に於て二馬力B型に於て半馬力とし、直流式又は交流式何れにても差支なし。

濾過に用ふる吸取紙は白色にして厚さ0.025吋なり。木材原料より製したるものにして油の品質を害する如き成分を有すべからず。之を使用するに先立ち必ず乾燥して水分を除去するを可とす。此乾燥の爲めに特に製せられたる電氣爐あり、之を用ふれば最も可なり、之に要する電力は僅かに400-600 Wattにして、一組の濾過紙を24時間にて完全に乾燥することを得。乾燥したる紙は空中に曝露せず直ちに濾過装置に納むべし、然らざれば純粹無水の油中に浸し置くべし。

濾過されたる油は其都度絶縁耐力を測り、規定絶縁耐力を有するに至る迄濾過を反復行ふべし。何回の濾過に由て油は完全に無水清浄となるやは、其含

まるゝ水分と夾雑物との分量に關して一定せず、又濾過紙の水分に飽和する程度も同様なり。通常の方法としては凡そ30分間濾過を續けたる後、濾過紙の各組中一枚を新らしきものと取替へ、次の30分の後残りの一枚を新らしきものと取替へ、順次之を行へば常に濾過紙をして水に飽和せしめずして好結果を得べし。

此方法は最も完全なる乾燥方法なるのみならず、變壓器使用中に其油を乾燥することを得るなり、其方法は變壓器の底部にあるコックに依て接續管を用ひ乾浄器に接續し、變壓器内の油を之に送り濾過したる後唧筒にて變壓器の上部に送りて函内に復歸せしむるなり。



## 第六章 變流機及整流機

變流機の分類—或る種類の電流を機械的及電氣的動作に由り他の種類の電流に變ずる電氣機械を一般に變流機(Converter)と稱す。其構造に由て次の四種に區分す。

- (一) 電動發電機(Motor-Generator)
- (二) 發電動機(Dynamotor)
- (三) 廻轉變流機(Rotary-Converter)
- (四) 縱續變流機(Motor-Converter)

電動發電機とは或る電動機の軸を或る發電機の軸に適當の方法にて直結したるものにして、或る種類の電流にて電動機を運轉するときは、發電機は廻轉して他の種類の電流を發生するなり。例へば電動機が直流式にして發電機が交流なれば、直流を交流に變ずる装置と成り、電動機が交流式にして發電機が直流式なれば、交流を直流に變ずる装置と成る。其構造は通常の發電機と電動機とを連結したるものに過ぎず。

發電動機とは或る發電機の發電子線輪と或る電動

機の電動子線輪とが共同の鐵心に捲かれ、全く別々の回路を爲して共同の磁界内に於て廻轉を爲す。即ち電動發電機を合し發電子鐵心と界磁とを共同に爲したるものにして、變流作用は電動發電機に於けると同じく、其構造も鐵心及界磁を共同に爲すことのみ異り、其他に於て甚しき差違あるなし。之に由て以上二種類の變流機の構造及性質に就ては省略し爰に記載せず。

廻轉變流機とは發電動機の發電子及電動子の回路が共同なるもの。即ち二種類の電流が同一線輪に通じ、或る種類の電流が入りて他の種類の電流となりて他の回路に出づるものなり。従て其構造及性質共に上記二種類の變流機と異なる。

縱續變流機とは誘導電動機(Induction-motor)と廻轉變流機とが機械的に連結せられ、電動機の廻轉子線輪と變流機の發電子線輪とが電氣的に接続せらるゝものなり。適當の交流を電動機に送り之を運轉するときは、變流機も運轉すると共に電動機の廻轉子線輪に發生したる交流は變流機の發電子線輪に入り、直流に變じて外部回路に出づるなり。

以上何れの種類も直流を交流に變じ又は交流を直

流に變するものなれば其界磁に通せしむる直流は直流側より導く故に交流機械なれども特に勵磁機を用ふる必要なし。

**整流機の種類**—整流機とは交流の方向を一定に爲し直流又は脈流に變する機械又は装置にして之に二種あり。

- (一) 整流器を廻轉せしめ之に交流を通じて直流又は脈流に變せしむる機械。
- (二) 或る物體が電流の方向に由り其性質を異にする作用を利用し交流を直流に變せしむる装置。

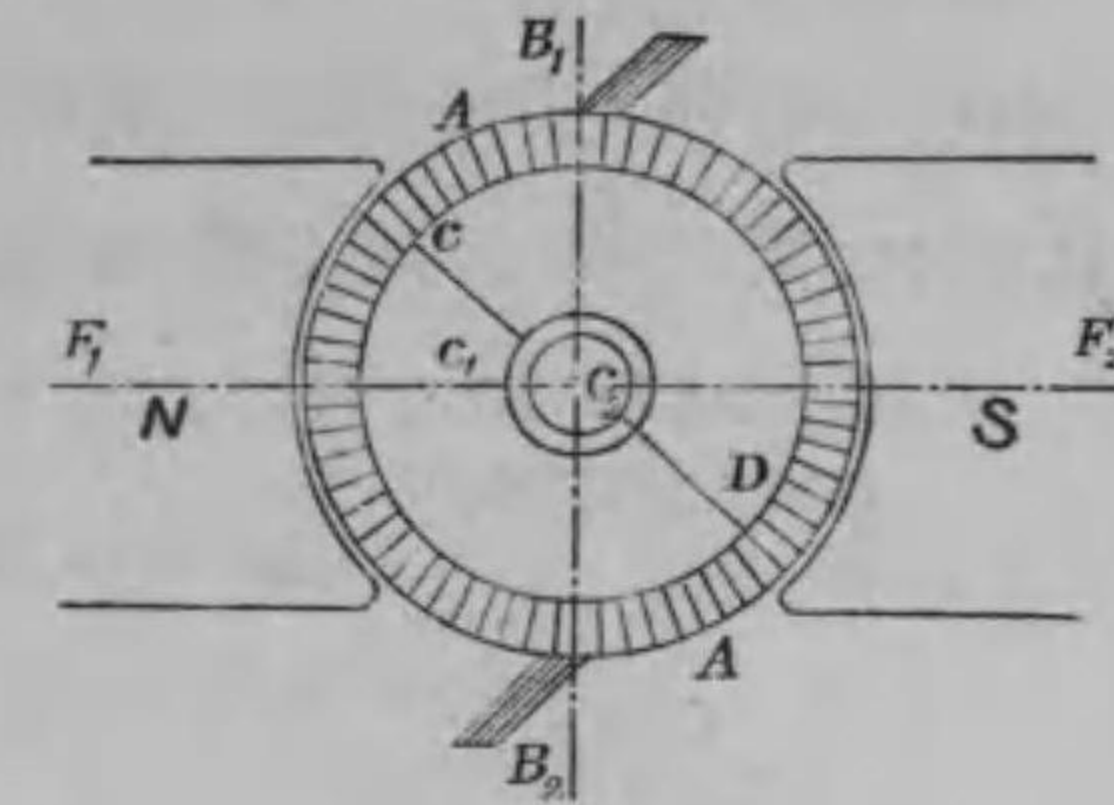
本章に於ては専ら第二の装置に屬する水銀蒸氣整流器(Mercury Vapour Rectifier)に就き記載す。

### 第一項 廻轉變流機

**廻轉變流機の原理及分類**—廻轉變流機の外観は直流發電機と大差なく之に聚電子を添置したるのみ。聚電環の數は交流の相數に由て異り。單相式に於ては二個。二相式又は四相式に於ては四個。三相式にては三個なり。

第106圖に於てNSを直流發電機の兩界磁極。AAを

整流子 $B_1B_2$ を刷子とし別に二個の聚電環 $C_1C_2$ を發電子に添置し是を整流子極間隔の二分一宛距りたる整流子片C.Dに接續すること圖に示す如く

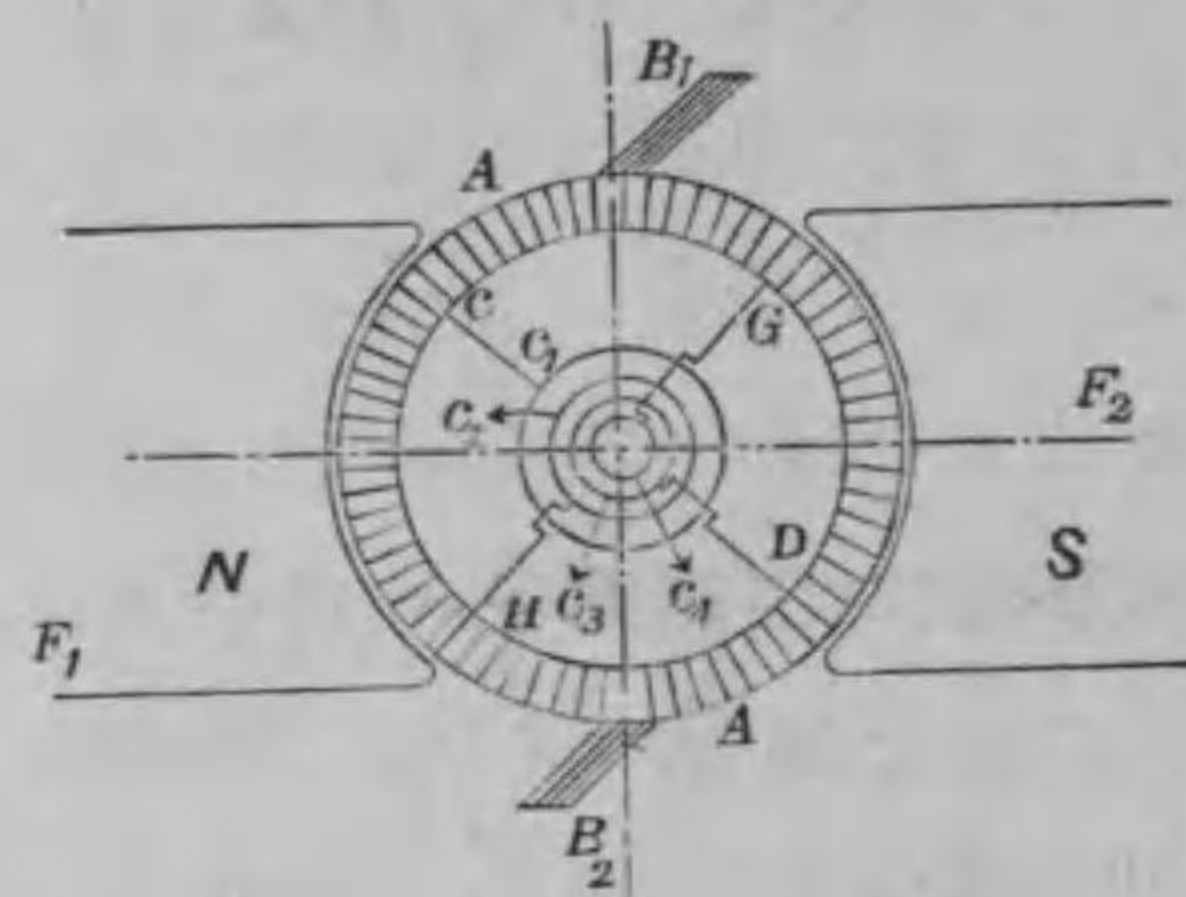


爲し或る原動機にて發電子を廻轉するときは整流子片C.D間に交番起電力發生し整流子の刷子 $B_1B_2$ 間に直流起電力の發生するを認むべし。C.D間の交番起電力は發電子の廻轉中CD線が $B_1B_2$ 線に一致したる時刷子 $B_1B_2$ 間の直流起電力に等しく其値最大にして $F_1F_2$ 線に一致したる時其値零なり。發電子が更に廻轉を進めるときはCD間の交番電圧は其方向を變じCD線が $B_2B_1$ 線に一致したる時其値再び最大となれども其方向反對なり。即ち此交番起電力は發電子の一回轉毎に完全周期を爲し其周波數は各廻轉毎に界磁の極數の半に等し。今此發電機を原動機にて運轉せずして聚電環に由て相當交流回路に接續し交流を供給するときは發電機

は同期電動機と同様に廻轉し整流子の刷子間に直流起電力発生すべし是れ單相式廻轉變流機 (Single-phase Rotary Converter) の原理なり。

次に第107圖に示す如く聚電環  $C_1 C_2 C_3 C_4$  を整流子中

第 百 七 圖  
四相廻轉變流機の原理



極間隔の四分一宛  
距りたる點 C D G  
H に接続し發電子  
を廻轉するときは、  
C, D 間に交番起電  
力発生すると同時  
に G, H 間にも亦之  
と相差角180度ある

交番起電力発生し、C D 線が  $B_1 B_2$  線に一致し C D 間の交番起電力最大なる時に、G H 線は  $F_1 F_2$  線に一致し其起電力は零なれば G H 間の交番起電力亦零なり。

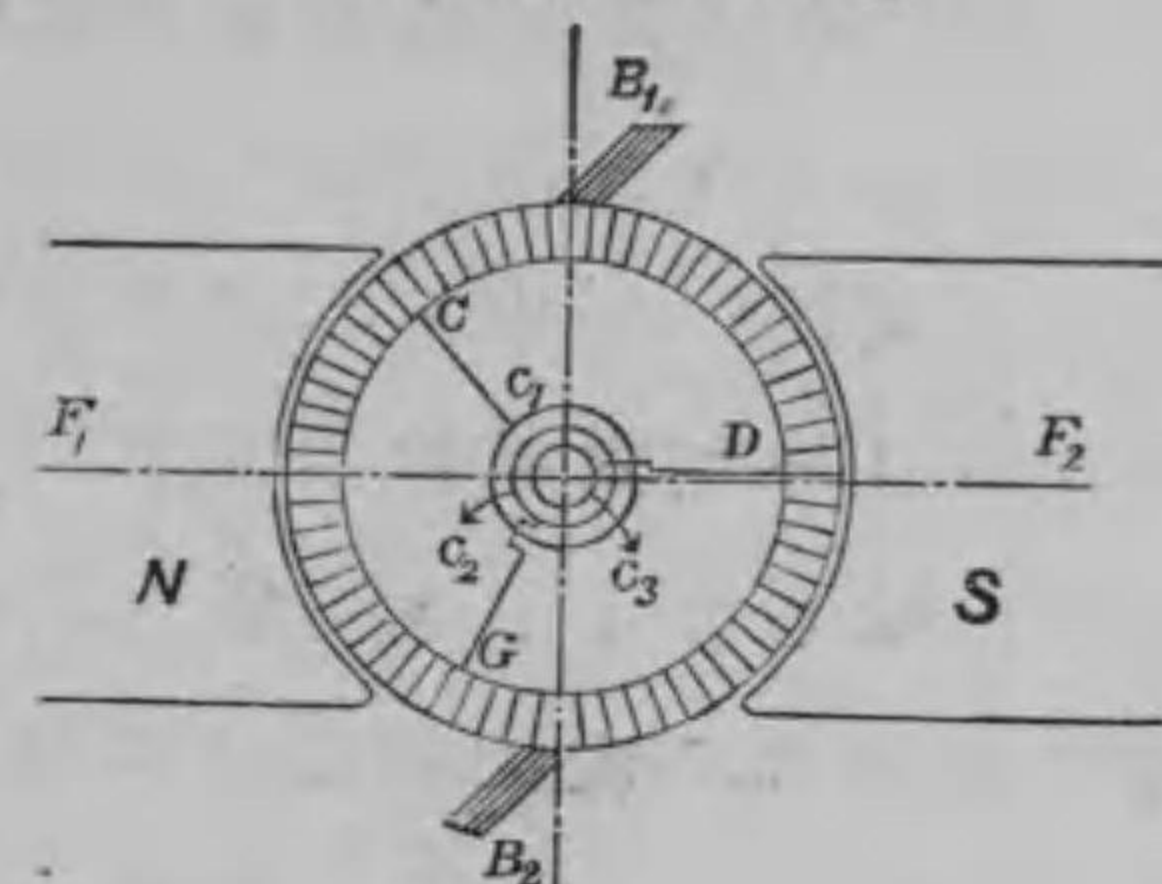
次に發電子が廻轉を續け C D が  $F_1 F_2$  に一致し C D 間の交番起電力零なる時に於ては、G H が  $B_1 B_2$  に一致し G H 間の交番起電力最大なり。即ち G H 間の交番起電力は C D 間の交番起電力に對し常に180度の相差を有し組合ひて四相交番起電力を組成するな

り。是に由て若し四相交流回路より四相交流を  $C_1 C_2 C_3 C_4$  の聚電環に依て發電子に通ずるときは發電機は四相交流同期電動機と成りて廻轉し其整流子の刷子間に於て直流起電力発生すべし。是れ四相式廻轉變流機 (Four-phase Rotary Converter) の原理なり。

次に第108圖に示す如く聚電環  $C_1 C_2 C_3$  を整流子中

第 百 八 圖  
三相廻轉變流機の原理

極間隔三分の一宛  
距りたる點 C D G  
に接続し發電子を  
廻轉するときは、C  
D G 間に交番起電  
力発生し C D 間、D  
G 間、C G 間の各電  
壓は互に120度の相



差を有し組合ひて三相交流を組成す。今若し三相交流回路より三相交流を C D G の三聚電環に依て發電子に通ずるときは發電機は三相交流同期電動機となりて廻轉し同時に整流子の刷子間に直流起電力を発生すること四相廻轉變流機に於けると同原理なり。是れ三相式廻轉變流機 (Three-phase Rotary Converter) の原理なり。何れの廻轉變流機も同期電

動機として廻轉するものなれば其廻轉速度は同期速度なるを要す。従て廻轉變流機を同期變流機 (Synchronous Converter) とも云ふ。同期速度は第79式に依り

$$n = 60 \frac{f}{p}$$

式中  $n$  は一分間の廻轉數、 $p$  は界磁の磁極の對數、 $f$  は送り入れらるゝ交流の周波數なり。

廻轉變流機の電壓及電流の關係—廻轉變流機に送り入れらるゝ交流が全く正弦曲線に従ふものと定め、聚電環間に發生する交番起電力を  $c$  とすれば、其最大値は單相式廻轉變流機に於ては  $C D$  線が  $B_1 B_2$  線に一致したるときに發生し、其値は直流刷子  $B_1 B_2$  間に發生する直流起電力に等しきに由り、此直流起電力を  $E_d$  とし、 $C D$  が  $F_1 F_2$  線と爲す角度を  $\phi$  とすれば

$$c = E_d \sin \phi$$

此  $c$  の實効値を  $E$  とすれば  $E = \frac{1}{\sqrt{2}} E_d \dots\dots (99)$

廻轉變流機中に電力の損失全く無くして送り込まれる電力は全部送り出さるゝものとし、又交流と其電壓との相差なきものとするれば、供給交流電力は發生直流電力に等しき理なり。今送り出さるゝ直流

を  $I_d$  とし、交流の實効値を  $I$  とすれば

$$E_d I_d = EI$$

此  $E$  に(99)式の値を代置すれば

$$I = \sqrt{2} I_d \dots\dots (100)$$

四相式廻轉變流機に於ては聚電環  $C D$  間及  $G H$  間の起電力は單相式に於けると同様にして  $E = \frac{1}{\sqrt{2}} E_d$  なれども、各聚電環間の起電力即ち  $CG, GD, DH$  及  $HC$  間の起電力は皆相等しく之を  $E_p$  とすれば

$$E_p = \frac{1}{\sqrt{2}} E = \frac{1}{2} E_d \dots\dots (101)$$

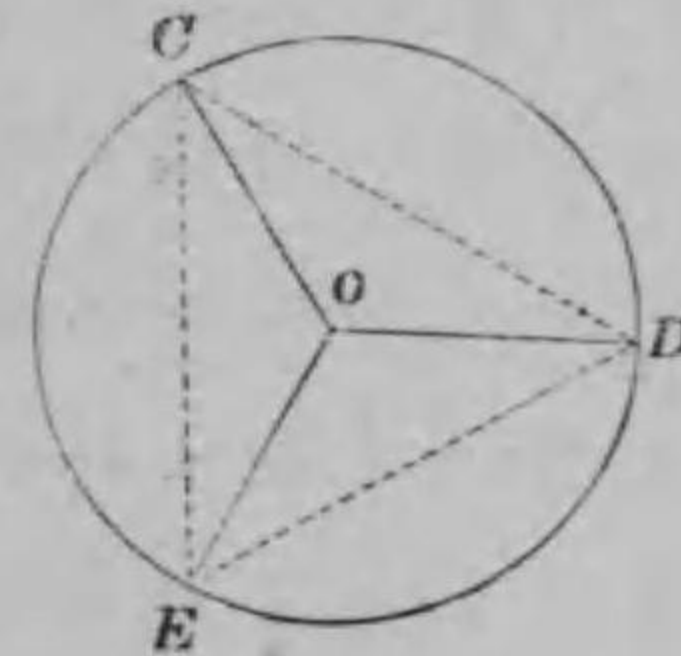
電流の關係は

$$E_d I_d = 2EI \text{ なるに由り}$$

$$I = \frac{E_d I_d}{2} = \frac{F_d I_d}{2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} E_d} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_d \dots\dots (102)$$

三相式廻轉變流機に於て各聚電環と中性點との間の起電力を想像す。此起電力は實際に測ることを得ざれども、第109圖に於て  $O$  を中性點とし、 $OC, OD, OE$  を各聚電環と中性點との間の起電力(即ち星形結線法に於ける電壓に同じ)を示すものとし。

第百九圖



CD, DE, EC を相隣れる聚電環間の起電力(即ち三角形結線法に於ける電圧と同じ)を示すものとするれば OC, OD, OE は C, D, E が B<sub>1</sub> 又は B<sub>2</sub> に一致したるとき最大にして直流起電力の二分一に等し故に其實効値を E<sub>n</sub> とすれば

$$E_n = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{E_d}{2} = \frac{1}{2\sqrt{2}} E_d \dots\dots\dots (103)$$

然るに  $E_p = \sqrt{3} \cdot E_n$

由て  $E_p = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} E_d \dots\dots\dots (104)$

電流の関係は

$$\begin{aligned} E_d I_d &= 3 E_n I \\ &= \frac{3}{2\sqrt{2}} E_d I \\ I &= \frac{2\sqrt{2}}{3} I_d \dots\dots\dots (105) \end{aligned}$$

以上の計算は(一)機械の中で失はるゝ電力なく(二)交流が電圧と同相に在るものとし(三)交流の起電力の波形が正弦曲線に従ふものと假定したるものなれども實際に於ては多少之と異なる。

以上の結果を總括すれば第46表に示す如し。

第 四 十 六 表

	直 流 發 電 機	單 相 式 變 流 機	三 相 式 變 流 機	四 相 式 變 流 機	六 相 式 變 流 機
聚電環間の交番起電力(實効値).....	1	$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$	$\frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} = 0.612$	$\frac{1}{2} = 0.5$	$\frac{1}{2\sqrt{2}} = 0.354$
各線に通ずる交流(實効値)...	1	$\sqrt{2} = 1.414$	$\frac{2\sqrt{2}}{3} = 0.943$	$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$	$\frac{\sqrt{2}}{3} = 0.472$

廻轉變流機發電子の反作用—廻轉變流機發電子に於ては直流が磁界に及ぼす反作用と交流の夫れとは全く相反し交流を直流に變ずる場合即ち交流は電動機として作用し直流は發電機として作用するときは直流の反作用は磁力線の中性線を機械の廻轉の方向に進めんとし交流の反作用は之と反對に廻轉の方向と反對に進めんとす。此兩作用は交流が其電圧と同相に在るときは殆んど相等しきを以て相殺して磁力線の位置に變動を與へず。然れども單相交流の場合には其磁力線に及ぼす反作用が交流の變化と共に時々刻々變ずるを以て直流の反作用と相殺さるゝことなく反て斯くの如き變動の爲めに磁力線の變化烈しく其結果として整流子片と刷子間に火花を發生せしむる虞れあり。多相式變流機に於ては交流と電圧とが同相に在る場合

には斯の如く發電子反作用なき爲め、負荷が變化するも刷子の位置を變ずる必要なし。然れども交流が電壓と異相に在るときは、交流の作用と直流の反作用とは相等しからず、其差は磁界に働く。即ち交流が電壓より進むときは反作用は磁界を弱くし、電壓より遅るゝときは之を強くす。之に由て若し勵磁電流を減ずるときは交流は電壓より遅れ、其反作用は磁界を強くし、勵磁電流を増すときは交流は電壓より進み、其反作用は磁界を弱くせしむるものなれば、界磁の磁力は其電流に關せず、自然に調整せられ、直流電壓と交流電壓との比は殆んど一定すべし。此反作用に由り整流子面に生じ易き火花の發生を防ぐ爲めに、直流發電機に於ける如く、界磁に補極を添置す。此方法に由て磁界を強くなすと同時に交流を電壓より進ましむることを得、即ち交流回路の力率を増進せしむることを得るなり。

廻轉變流機の電壓調整—廻轉變流機に於ては供給する交流の電壓と發生する直流の電壓との比は已記の如く一定する故に、界磁電流を變更するも極めて僅かの範圍内に直流電壓の調整を爲し得るのみなれば、負荷の變化に伴ひ直流電壓を調整するに

は交流の電壓を加減せざるべからず、其方法に次の如き數種あり。

(一) 誘導抵抗を交流回路と變流機との間に接続し、變流機の勵磁電流を加減して交流の電壓を制御せしむ。

(二) 或る種の調整装置を交流回路に接続す。此調整装置は誘導型の調整器又はタップを有する變壓器にして、タップを接觸板に導き、接觸板に於てタップの加減を爲し得るものなり。

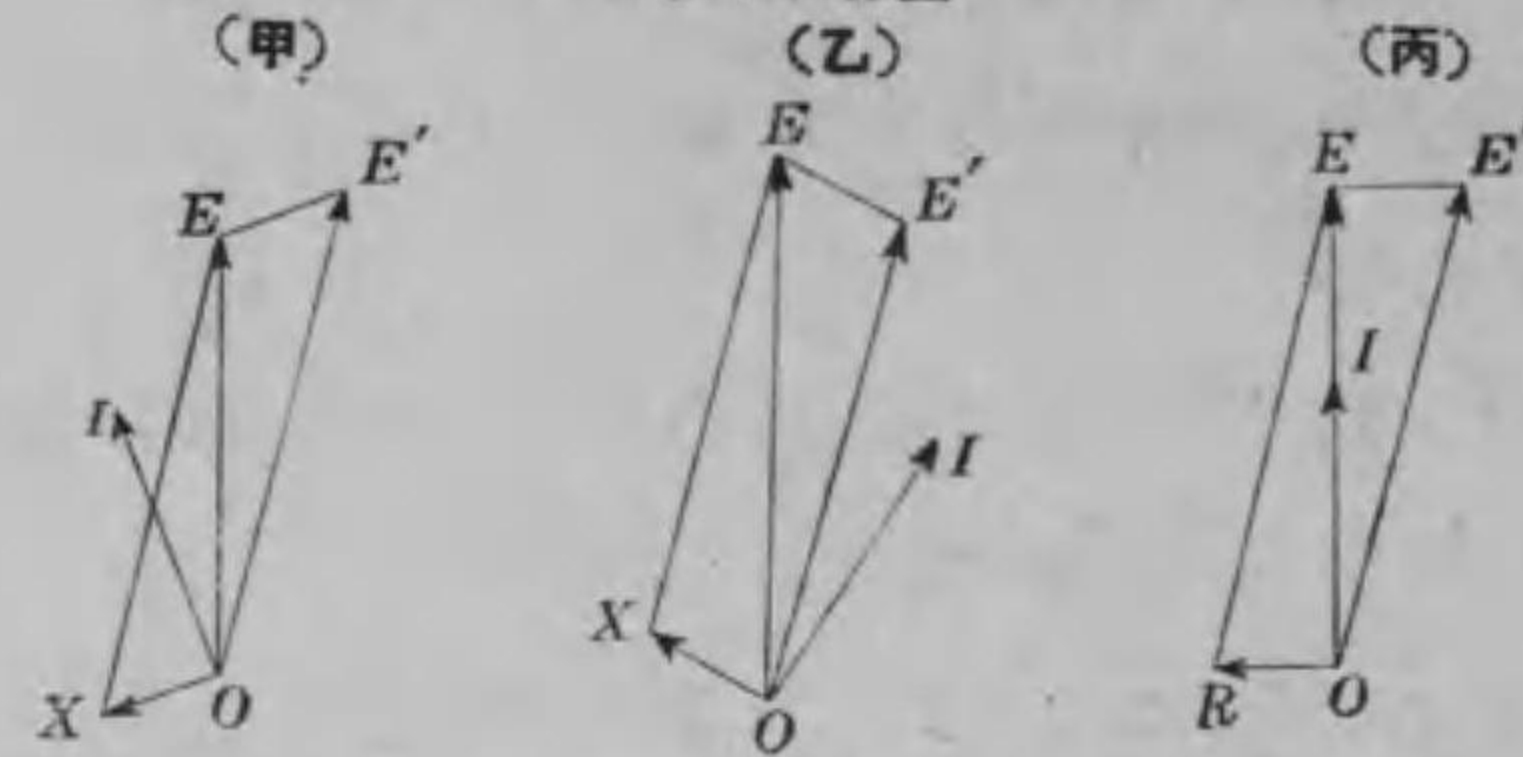
(三) 同期加減壓機 (Synchronous Booster) を使用す。

(四) 變流機の磁極を分割磁極 (Split Pole) と爲す。

第一の方法は交流の相が變流機の勵磁電流の増減に由て變じ、勵磁電流増すときは進電流となり、勵磁電流減ずるときは遅電流となる自動作用を利用する爲め、誘導抵抗を供給交流回路と變流機との間に直列に接続するに在り。此接続に於て勵磁電流を規定以下に減ずるときは交流は其電壓より相に於て遅るゝを以て、誘導抵抗中に失はるゝ電壓は供給電壓を減少す。之に反し、勵磁電流を規定以上に増すときは交流の相は電壓の相より進みて、誘導抵抗中に失はるゝ電壓は供給電壓に加はる。此關係をヴェ

クトルに示せば第110圖に示す如し。

第 百 十 圖  
誘導抵抗を用ひ電壓を制御する  
ベクトル線圖



圖に於てOIなるベクトルにて交流の方向を示し、OEなるベクトルにて誘導抵抗前の交流の電圧を示せば、誘導抵抗に由て失はるゝ電圧はOIより90度進めるOXなるベクトルにて示され、之とOEとのベクトル的差なるOE'は變流機への加電圧を示す。甲圖は交流が變流機に加電圧より進める場合を示し、OE'は誘導抵抗の爲めにOEより大となり、乙圖は交流が加電圧より遅るゝ場合を示し、OE'は誘導抵抗の爲めにOEより小となる。丙圖は交流が加電圧と同相に在る場合を示し、OE'は誘導抵抗に由てOEより大なるべし。此方法に由て勵磁電流を増して、交流を進電流となし變流機への加電圧を増すことを得べく、從て直流電圧を増し力率を増進せしむることを

得べし。此くの如き目的に用ふる誘導抵抗は單捲變壓器の如く鐵心に一個の線輪を捲きたるものにして、之を塞流線輪(Choking Coil又はKicking Coil)或はリアクティブ線輪(Reactive Coil)と稱す。特に塞流線輪を用ひずして、變流機に交流を供給する變壓器にリアクタンスの高きものを用ふれば塞流線輪を用ひたると同じ調整作用を爲さしむるを得、之が爲めに變壓器の價格の増加は極めて僅少にして、其能率の減少なき故に近來は大概ね此方法に據り、塞流線輪を用ふること少し。勵磁電流の加減を自動的に爲さしむるには變流機の界磁を複捲式と爲し、直列線輪を捲くときは、負荷の増加に従ひ界磁の磁力は増し、上記の理に由て交流の相は進み、其電圧は高まり、從て直流電圧も増加すべし。恰も複捲直流發電機の如き作用を爲し、負荷の増加に伴ふ直流回路の電壓降下を補ひ、電圧の變動率を少からしむるを得るなり。

誘導抵抗を用ふる方法に依る電壓調整の範圍は大概ね規定電壓の10%-15%なり。

第二の方法は誘導型調整器(Induction-type Regulator)又はタップを有する調整變壓器(Regulating Transformer)を

用ふるにあり。誘導型調整器とは誘導抵抗より成る調整器にして之を交流回路と變流機との間に直列に接続し誘導抵抗を加減して交流の電壓を調整するにあれば調整の範圍は可なり大なれども其價高きのみならず變流機の能率を降下せしむ。タップを有する調整變壓器とは其二次線輪よりタップを出し接觸装置に之を接続し恰も加減抵抗器に於ける如く接觸把手を動かして變壓器の二次線輪の電壓を加減して變流機に加はる交流電壓を調整するにあれば接觸片と接觸把手との接觸面に於て火花の發生するを免かれず従て此方法は實際に用ひられざるなり。

第三の方法に於ける同期加減壓機とは一の交流發電機にして其廻轉發電子は變流機の發電子と同一の軸に裝置せられ又電氣的に直列に接続せられ其界磁は變流機の直流回路より勵磁せらる。此裝置に於て勵磁電流を増減するときは加減壓機に發生する交番電壓増減し其變化は之と直列に接続せらるゝ變流機の交番加電壓に加はり之を増減せしむ。従て直流電壓も亦變化すべし斯くして變流機の接続する交流回路の電壓を變化せしめずして直流電

壓の調整を行ふことを得るのみならず加減壓機に發生する交番電壓を適宜に定むるに由て可なり廣き範圍に調整するを得ること容易なり。第一の方法に於ては電壓を高むれば交流は進電流となりて變流機の力率増し之に反すれば力率減じ電壓と力率とは互に關係あれども第三の方法に於ては交流回路の電壓に全く關係なく調整するを得るを以て任意の電壓及負荷に於ても交流をして進電流たらしめ力率を1以上に爲すことを得るなり。然れども加減壓機なる獨立の機械を要し従て全體の能率を低下せしめ設備費用を多大ならしむる不利益あり。

第四の方法に於ては電壓の波形を變更して直流の電壓を調整するに在り變流機に於て發生する直流電壓は發電子線輪が切る磁力線の總數に由て定まれども交番電壓の實効値は波形に關係するを以て磁力線の分布の状態を變更して電壓波形を變じ直流電壓に變化なくして交番電壓の實効値を變更せしむることを得べし或は逆に交番電壓の實効値を變更することなく直流電壓を變ずることを得べし。此理を應用して變流機の磁極に副ひ別に小磁極を

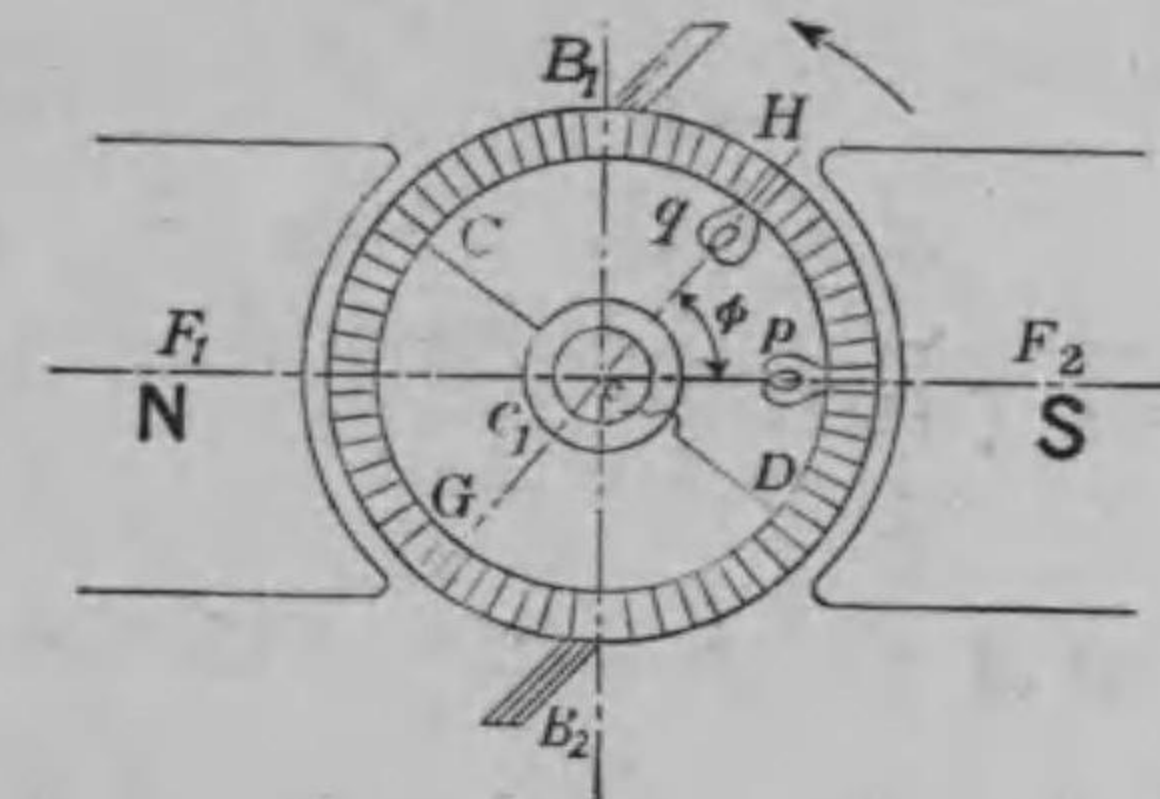


装置し其線輪に抵抗を直列に持続し本磁極に並列に接続したものを分割磁極と稱す。此装置に於て抵抗を加減し小磁極より發する磁力線を増減して本磁極より發する磁力線の分布の状態を變じ供給交流の電壓を一定に保持して直流電壓を調整することを得るなり。此方法は交流の周波數25サイクルの場合には適すれども電流の整流作用良好ならず且つ機械的製作困難なる爲め25サイクル以上の周波數を有する交流回路に用ふる變流機には適せざる方法なり。此方法に依て行ひ得る直流電壓の調整範圍は規定電壓の25%にして如何なる負荷及電壓に於ても力率を一ならしむるを得るなり。

廻轉變流機發電子に通ずる電流及發熱—廻轉變流機の發電子線輪に於ける損失電力及之が爲めに生ずる發熱は其通ずる電流の自乗に正比例すること明かにして此電流は發電子に供給せらるゝ交流と發電子より發生する直流との合成なり。今二極單相廻轉變流機に就き此關係を考ふるに發電子の各線輪に通ずる直流は $\frac{1}{2}I_a$ にして線輪が刷子の下を通過する毎に其方向を變ず又之に通ずる交流の最大値は已に記載したる如く $I_a$ に等し。然るに此電

流中直流は發電機として作用し交流は電動機として作用する故に直流は發電子線輪に誘發せらるゝ起電力(發電子が廻轉するに由り界磁より發生する磁力線を切り之が爲めに發電子線輪に起電力發生す)と同じ方向なれども交流は之と異り誘發起電力と反對の方向に流る。之に由て直流と交流とは線輪中に於て反對の方向に流れ直流の最大なる時刻に於ては交流は反

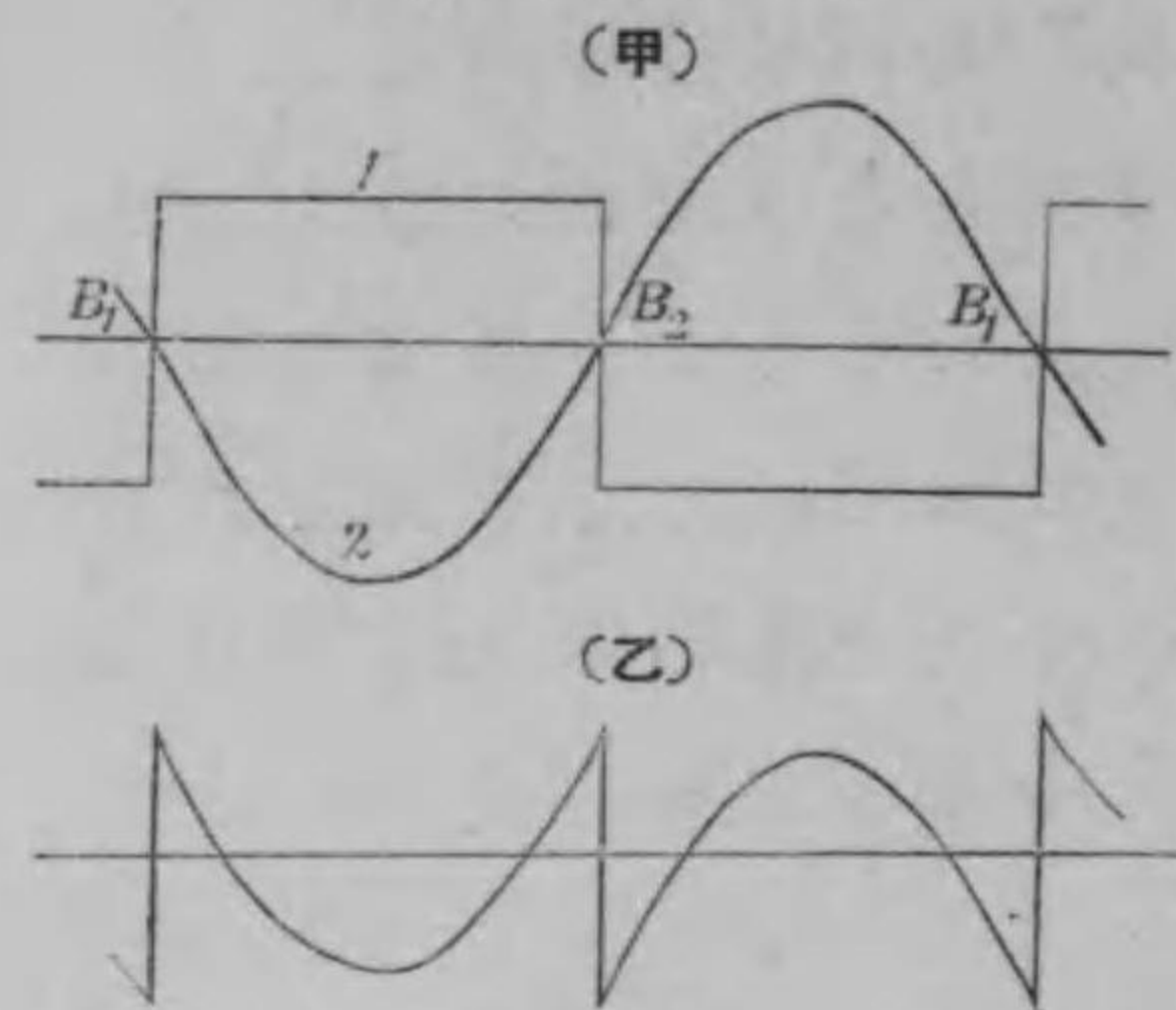
第 百 十 一 圖



對の方向に於て最大なり。例へば第111圖に示す二極廻轉變流機に於てC D線と直角を爲すGH線中に在る線

輪qに流るゝ兩電流を曲線に示すときは第112圖甲に示す如く曲線1は直流曲線2は交流曲線にして其合成は同圖乙に示す如き曲線と成るべし。線輪qに流るゝ電流は線輪が刷子の下を通過するとき直流交流共に其方向を變ず即ち常に同じ時刻に方向を變ずるなれども他の線輪に於ては然らず。例へば線輪pに於ては交流は直流が方向を變じた

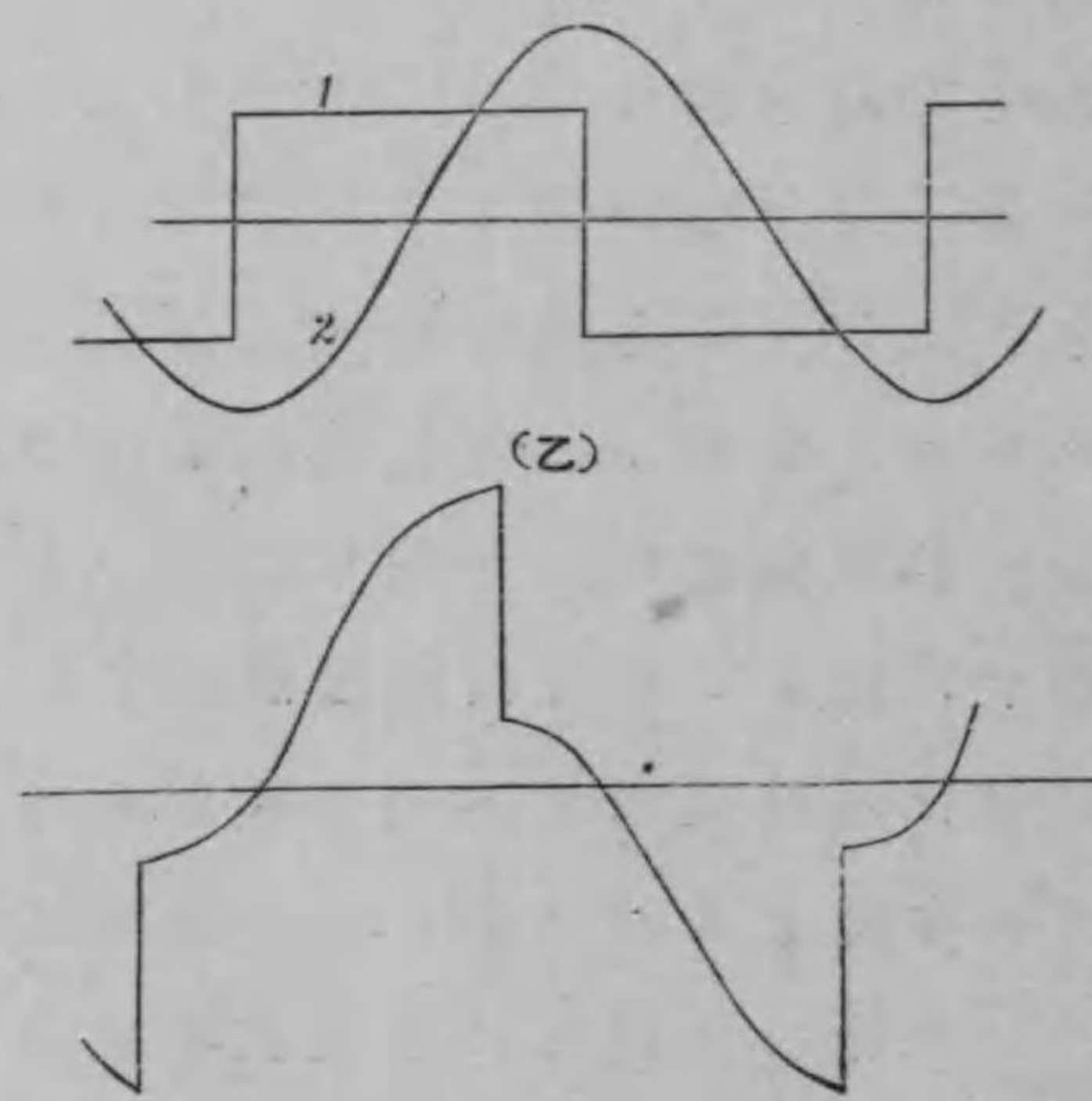
第 百 十 二 圖  
廻轉變流機發電子線輪に流る、  
電流曲線圖(φ=0°)



る時刻より遅れて  
方向を變するなり。  
其時刻の差異は線  
輪の位置に由て異  
る。従て電流の變化  
を表はす曲線も亦  
異なる。今線輪の位  
置を GH 線に關し  
て表はし線輪 ρ が

之と爲す角度  
を φ とすれば。  
φ=90° なる位  
置に在る線輪  
に於ける電流  
曲線は第113圖  
甲に示す如く。  
曲線 1 は直流  
の曲線を示し  
曲線 2 は交流  
の曲線を示し  
其合成曲線は

第 百 十 三 圖  
廻轉變流機發電子線輪に流る、電流曲線圖  
φ=90°



同圖乙に示す如き曲線と成るべし。其他の位置に  
在る線輪に於ける電流曲線は夫々異なる形狀を爲す。  
従て各線輪に於て此合成電流の爲に發熱し損失と  
なる電力異なるべし。今此等の線輪に通する交流の  
算式を求めんに其最大値を  $I_{mc}$  とすれば線輪 ρ に流  
るゝ交流は時刻 t に於ては

$$i = I_{mc} \sin \omega t$$

にて示さるゝ故に一汎に線輪 ρ に於ては

$$i' = I_{mc} \sin(\omega t + \phi)$$

なる式にて示さる。

而して直流は  $\frac{1}{2}I_d$  にして  $I_{mc} = I_d$  なる故に線輪に通す  
る直流及交流の合成電流  $i_p$  は次の式にて示さる。

$$\begin{aligned} i_p &= \frac{I_d}{2} - I_d \sin(\omega t + \phi) \\ &= \frac{I_d}{2} \{1 - 2 \sin(\omega t + \phi)\} \dots \dots \dots (106) \end{aligned}$$

其れ單相式廻轉變流機の發電子線輪に通する合成  
電流の一汎の算式なり。

多相式廻轉變流機に於ては各聚電環間に於て發電  
子線輪に流るゝ交流の實効値を  $I_c$  とし其最大値を  
 $I_{mc}$  とすれば四相式に於ては

$$E_d I_d = 4 E_p I_c$$

$$E_p = \frac{1}{2} E_d \quad I_c = \frac{I_{mc}}{\sqrt{2}}$$

なるに由り

$$E_d I_d = \frac{4}{2} E_d \cdot \frac{I_{mc}}{\sqrt{2}} = \frac{2}{\sqrt{2}} E_d I_{mc}$$

由て  $I_{mc} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_d$

此  $I_{mc}$  を  $i'$  の式の  $I_{mc}$  に代置すれば四相式に於ける發電子線輪に通ずる合成電流の一汎の算式を得べし。

即ち 
$$i_p = I_d \left\{ \frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2}} \sin(\omega t + \phi) \right\}$$

$$= \frac{I_d}{2} \{ 1 - \sqrt{2} \sin(\omega t + \phi) \} \dots \dots \dots (107)$$

三相式に於ては

$$E_d I_d = 3 E_p I_c$$

$$E_p = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} E_d \quad I_c = \frac{I_{mc}}{\sqrt{2}}$$

なるに由り

$$E_d I_d = 3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} E_d \cdot \frac{I_{mc}}{\sqrt{2}}$$

$$I_{mc} = \frac{4}{3\sqrt{3}} I_d$$

由て 
$$i_p = I_d \left\{ \frac{1}{2} - \frac{4}{3\sqrt{3}} \sin(\omega t + \phi) \right\}$$

$$= \frac{I_d}{2} \left\{ 1 - \frac{8}{3\sqrt{3}} \sin(\omega t + \phi) \right\} \dots \dots (108)$$

斯くの如く廻轉變流機の發電子に於ては線輪に通ずる交流は其位置に由て異り、従て其爲めに起る發熱も亦異なる。この發熱の程度は  $i_p$  の自乗に正例す。即ち或る線輪は甚しく熱せられ他の線輪は少しく熱せらるゝ状態に在るなり。以上の式より實際の發熱程度の算式を得るには、 $\omega t$  の 0 より  $\pi$  に至る間の  $i_p$  の平均値を算出し次に其値に對し  $\phi$  の  $-\frac{\pi}{\text{相數}}$  より  $+\frac{\pi}{\text{相數}}$  に至るの平均値を算出すれば各線輪に流るゝ電流の自乗の總平均  $I_p^2$  を示す次の式を得べし。

(此算法は高等數學に屬するを以て省略す)

單相式に於ては  $I_p^2 = \frac{I_d^2}{4} \left( 3 - \frac{16}{\pi^2} \right) = \frac{I_d^2}{4} \times 1.38$

四相式に於ては  $I_p^2 = \frac{I_d^2}{4} \left( 2 - \frac{16}{\pi^2} \right) = \frac{I_d^2}{4} \times 0.38$

三相式に於ては  $I_p^2 = \frac{I_d^2}{4} \left( 2.18 - \frac{16}{\pi^2} \right) = \frac{I_d^2}{4} \times 0.56$

若し此廻轉變流機を直流發電機として使用するとき、發電子線輪の發熱は  $\frac{I_d^2}{2}$  の自乗即ち  $\frac{I_d^2}{4}$  に比例すべし。之に由て廻轉變流機として使用する場合を之に比較するに其發熱程度は次に示す如く異なる。

直流發電機.....	1
單相式廻轉變流機.....	1.38
四相式廻轉變流機.....	0.38

三相式廻轉變流機 ..... 0.56

六相式廻轉變流機 ..... 0.26

又之より推して直流發電機の耐量を 1 とするとき  
は廻轉變流機として使用するときの耐量は次の示  
す如くなるべし。

單相式廻轉變流機  $\frac{1}{\sqrt{1.38}} = 0.85$

四相式廻轉變流機  $\frac{1}{\sqrt{0.38}} = 1.64$

三相式廻轉變流機  $\frac{1}{\sqrt{0.56}} = 1.34$

六相式廻轉變流機  $\frac{1}{\sqrt{0.26}} = 1.96$

即ち相數多きに従ひ發熱少くして耐量を増すこと  
を得るなり。以上の諸式より各聚電環間に於て發  
電子線輪に流るゝ交流の實効値は次の如くなるこ  
とを知る。

單相式廻轉變流機に於ては  $I_c = \frac{1}{\sqrt{2}} I_d$

四相式廻轉變流機に於ては  $I_c = \frac{1}{2} I_d$

三相式廻轉變流機に於ては  $I_c = \frac{2\sqrt{2}}{3\sqrt{3}} I_d$

六相式廻轉變流機に於ては  $I_c = \frac{\sqrt{2}}{3} I_d$

之を直流に比較すれば次表に示す如し。

第 四 十 七 表

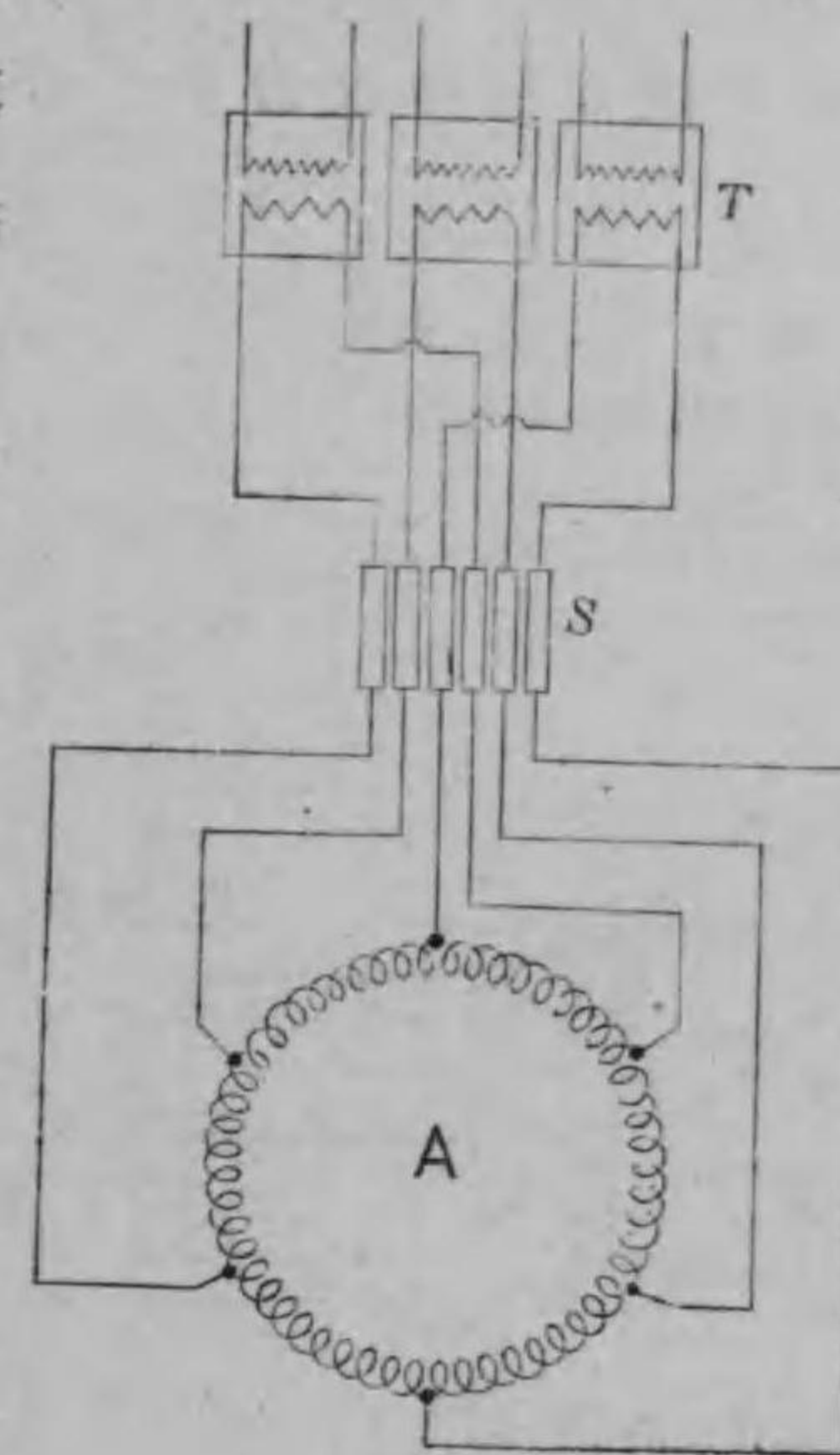
	直 流 發 電 機	單 相 式 廻 轉 變 流 機	四 相 式 廻 轉 變 流 機	三 相 式 廻 轉 變 流 機	六 相 式 廻 轉 變 流 機
各聚電環間に於 て發電子線輪 に通ずる電流	1	$\frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$	$\frac{1}{2} = 0.5$	$\frac{2\sqrt{2}}{3\sqrt{3}} = 0.545$	$\frac{\sqrt{2}}{3} = 0.473$

廻轉變流機の供給交流回路への接続—廻轉變流  
機に於て交番電壓と直流電壓との比は一定するを  
以て或る交流回路

第 百 十 四 圖

六相式變流機及變壓器の電線接続圖

より一定の直流電  
壓を發生する廻轉  
變流機へ交流を供  
給するには、回路の  
電壓を變流機の加  
交番電壓に相應す  
る様降壓する變壓  
器を用ひざるべか  
らず。三相式交流  
回路に用ふる場合  
には相の多きに従  
ひ發熱少くして耐  
量比較的増すの理



T S A  
單 聚 發  
相 電 電  
變 環 子  
壓 器