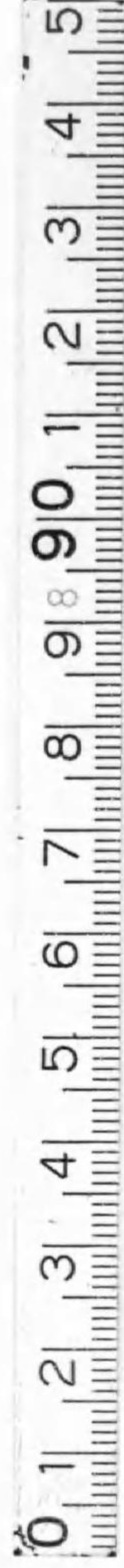


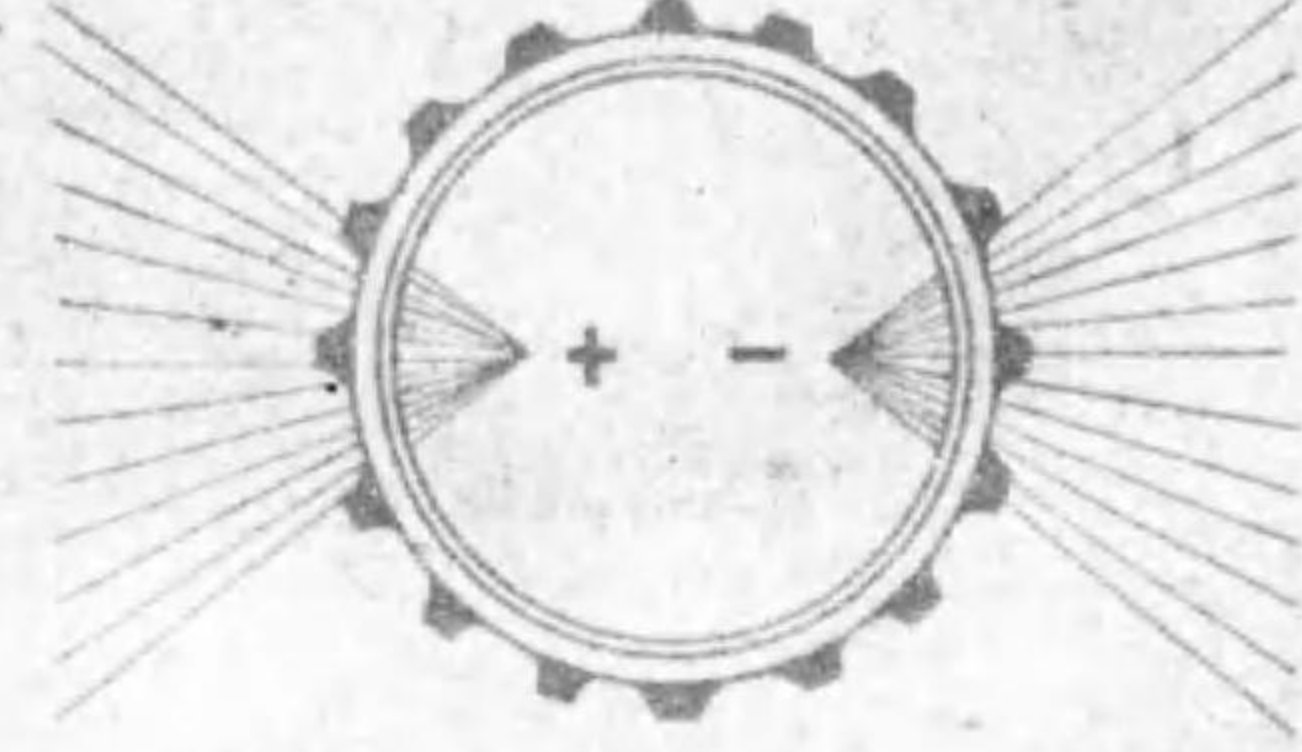
始



電氣機械

2

同期機・整流器



實業教育振興中央會

443
195

第219
199

電 氣 機 械



同期機·整流器

實業教育振興中央會



目次

第1章	同期機	1
第2章	原理と構造	5
第1節	同期発電機の発電原理	5
第2節	同期電動機の回轉原理	15
第3節	構成要素	20
第3章	電機子巻線法	40
第1節	交流巻線法の意義と特長	40
第2節	巻線法の種類と説明	41
第4章	理論と特性	52
第1節	電機子の同期交流抵抗	53
第2節	負荷せる同期機の電壓と電流	62
第3節	同期発電機の特性	67
第4節	同期電動機の特性と應用	81
第5章	運轉	94
第1節	同期電動機の起動法	94
第2節	同期発電機の單獨運轉	97
第3節	同期発電機の並行運轉	101
第4節	同期周波數變換機	115
第6章	定格と試験	117

第1節	定 格	117
第2節	試 験	123
第7章	回轉變流機	125
第8章	原理と構造	127
第1節	原 理	127
第2節	構成要素	129
第9章	理論と特性	135
第1節	電圧比と電流比	135
第2節	電機子電流の波形と銅損	143
第3節	電機子反作用	148
第4節	勵磁度變化の影響	150
第5節	電圧調整法	151
第6節	亂調と閃絡	157
第10章	運轉と試験	163
第1節	起動法	163
第2節	並行運轉	169
第3節	注文仕様書と試験	170
第11章	整 流 器	173
第12章	水銀整流器	175
第1節	原理と構造	175
第2節	理論と特性	183

第3節	運 轉	199
第4節	回轉變流機との比較	200
第13章	熱電子整流器と堰層整流器	201
第1節	熱電子整流器	201
第2節	堰層整流器	207

第1章 同期機

1. 意義

交流発生 の原理により、 P 極の回轉機が1回轉に生ずる交流の周波數は $\frac{P}{2}$ である。毎分の回轉數を N とすれば、1秒間の周波數 f は $\frac{P}{2} \times \frac{N}{60}$ となるから、

$$N = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots (1 \cdot 1)$$

となる。これを同期速度といふ。回轉子が同期速度で回轉するときだけ働ける回轉機を同期機といひ、さうでないものを非同期機といふ。

種々の交流回轉機を同期機及び非同期機に分類すれば、次のとおりである。

- | | |
|------|--|
| 同期機 | { 同期發電機・同期電動機・同期調相機・
同期周波數變換機・同期回轉變流機 |
| 非同期機 | { 誘導電動機・誘導發電機・整流子電
動機 |

ここでは同期機について説明することとして、非同期機は變壓器と共に次編に述べる。

同期発電機は機械エネルギーを交流電気エネルギーに変へるもの、同期電動機は交流電気エネルギーを機械エネルギーに変へるもので、両者は可逆性を有する。

同期調相機は送配電線の力率改善や電圧調整をさせるもので、同期電動機の特性を巧に應用したものである。

同期周波数変換機は、周波数のちがふ電力系統を連絡して電力の融通をするために用ひるもので、同期機2臺を直結したものである。

同期機のうち、以上のものはほぼ同一の構造を有するが、特に発電機と電動機とは可逆機械であるから、両者の理論や特性は並行的に説明してゆく。

同期回轉變流機は、交流電気エネルギーを直流電気エネルギーに直したり、この反対に直流を交流に直すもので、同期機には屬するが構造や特性に特殊の點があるから、一般同期機と離して説明する。

2. 沿革と使命

紀元 2491 年、電磁誘導作用が発見され、回轉発電機が発明されたが、當時は直流による電気の研究が盛であつたため、整流子を工夫して附加した直流発電機や電動機が主として使はれた。その後電磁誘導作用が一層深く研究され、交流の研究も盛になり交流発電機や電動機を発明し、需要の方面に於ても變壓器や誘導電動機が発明されて、交流の使用がおこらうとしたが、交流に附隨する周波数がまちまちであつたため、その發展を阻害するかに見えた。しかるに機械器具の大きさを決定する上から、またその特性をよくする上から、50 サイクルまたは 60 サイクルを適當とし、周波数が統制されただけでなく變壓器を用ひて、所要電壓を自由に昇降させる利點があるため、交流の應用が發展して來た。

一方、原動機の經濟的速度も確定されて、周波数・回轉數及び発電機磁極數の三者の間に一貫した「同期」の觀念が確立した。かうして、發電も送配電も殆どすべてが交流方式となり、且同期発電機は優れた點が多いため、交流発電機を代

表することとなり、その容量も次第に大きくなつて、紀元2600年には1臺で100,000 kVAの世界記録のものがわが國で製作せられるに至つた。

同期電動機は起動特性の劣つてゐるため、あまり使用されなかつたが、近時起動特性は大いに改善されたので、その運轉特性の優秀なことは電力系統の増大と相まつて、従來の誘導電動機の領域を侵しつつある。また高壓長距離の送電線の發達に伴ひ、調相機や周波數變換機として独自の使命をもつやうになつた。

同期機は以上の理由のほか、直流機とちがひ整流作用に煩はされぬことを長所として發達したもので、亂調、同期のはづれ等を引きやすい缺點があるが、これも設計の改良によつて十分防ぎ得るまでに發達してゐる。磁極の極性を作るためには、勵磁機として直流發電機を要するから、直流を離れて成立することはできない。

實に機械は他の機械と連繫をもつて、連關的

に發達するものであることを同期機に於ても認めることができる。

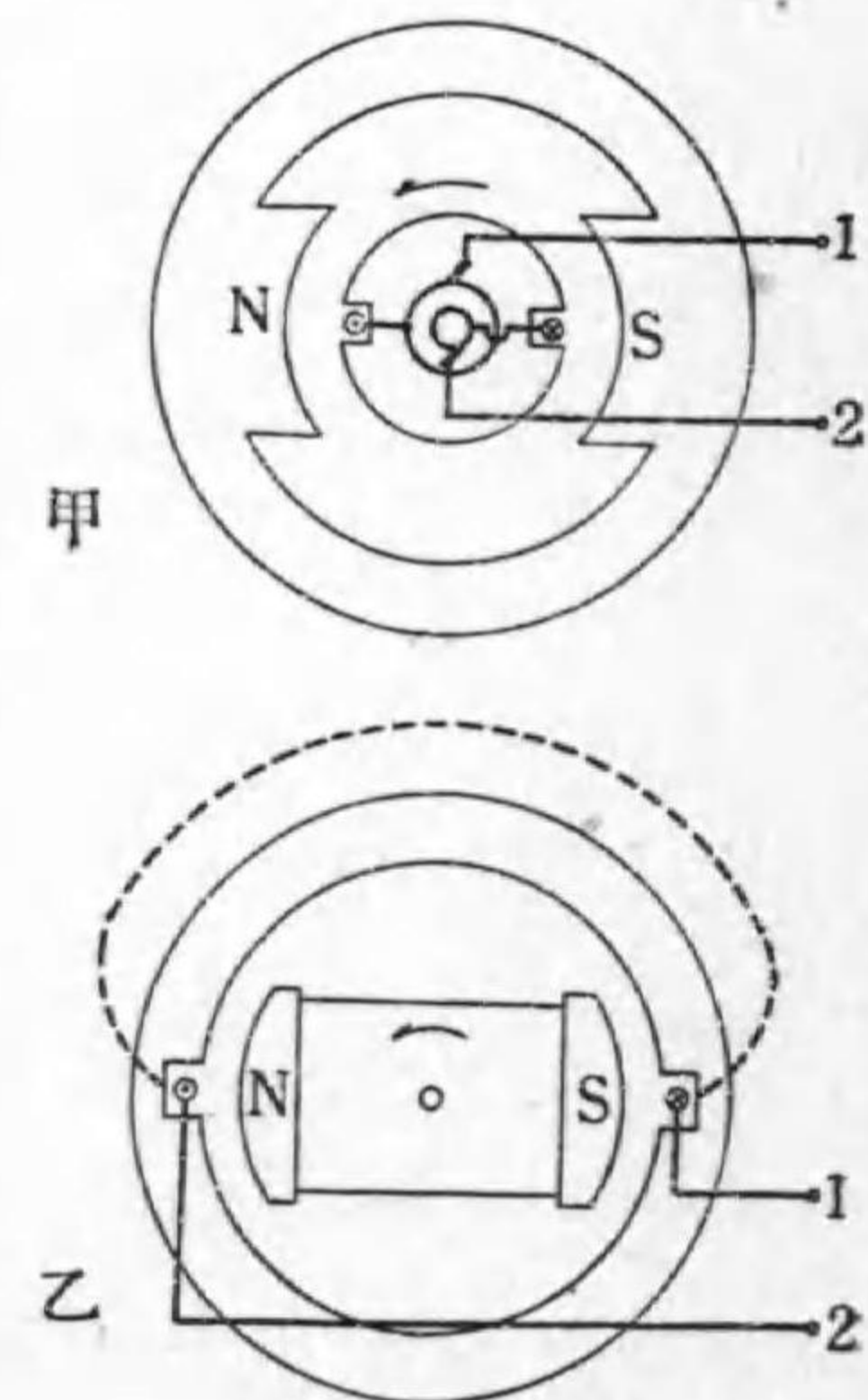
第2章 原理と構造

第1節 同期發電機の發電原理

1. 回轉電機子型と回轉界磁型

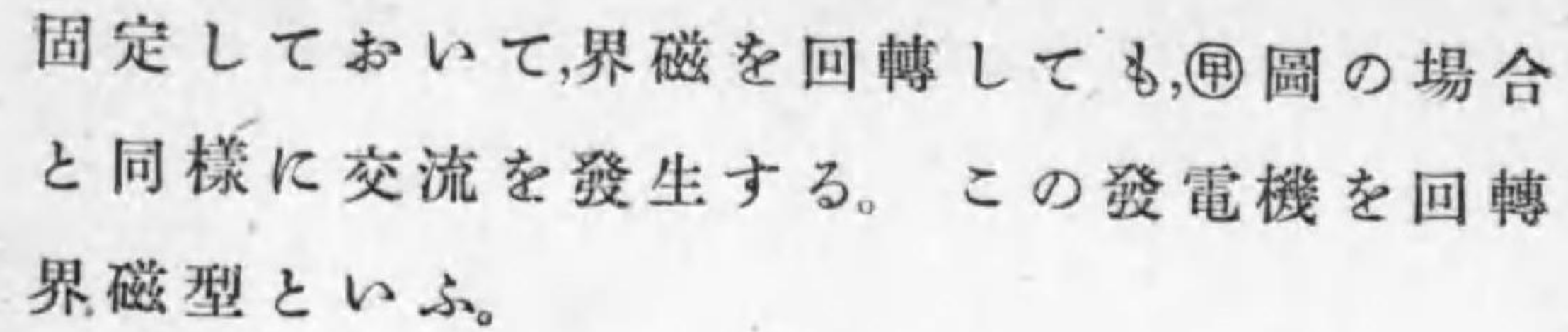
直流發電機の電機子が回轉すれば、電機子線輪内には交番起電力を誘導する。故に整流子を除去して、その代りに集電環を設けると刷子から交流を得る。即ち交流發電機となるが、この發電機は電機子が回轉するものであるから、回轉電機子型といふ。

電機子に起電力を誘導するには、電機子線輪が磁束を切れればよいので、そのためには第2・1圖



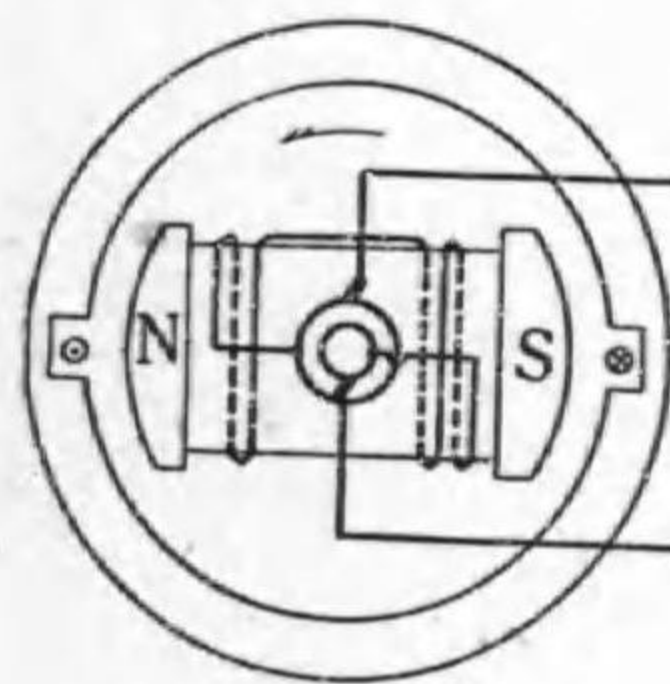
第2・1圖

- Ⓐ 回轉電機子型
- Ⓑ 回轉界磁型

固定しておいて、界磁を回轉しても、の場合と同様に交流を發生する。この發電機を回轉界磁型といふ。

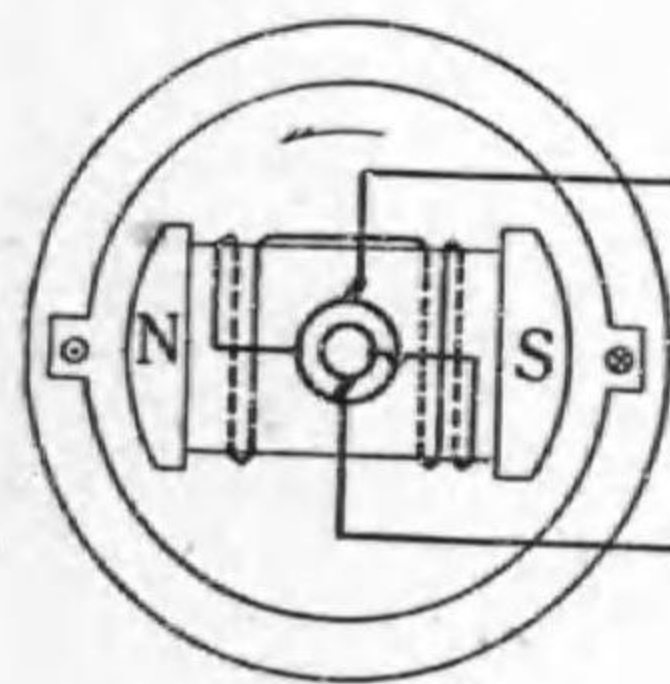
交流發電機は高電壓・大電流を發生する場合が多いから、電機子を回轉體とすれば、絶縁するにも電流を導き出すにも、構造上不利益である。したがって一般には回轉界磁型を用ひる。

いづれの型にでも、界磁を勵磁するには直流を必要とするから、交流發電機には直流發電機



第 2・2 圖

が附屬する。これを勵磁機といひ、分巻または複巻發電機を用ひる。

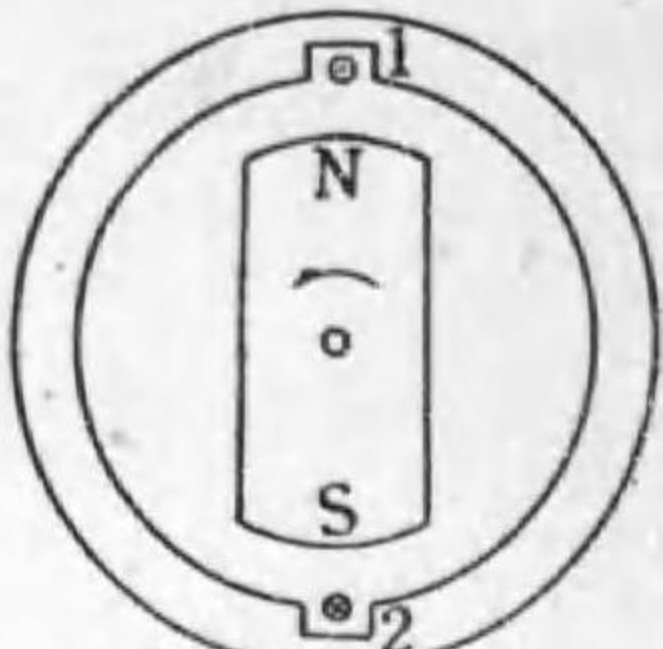
回轉界磁型では、第 2・2 圖に示すやうに勵磁電

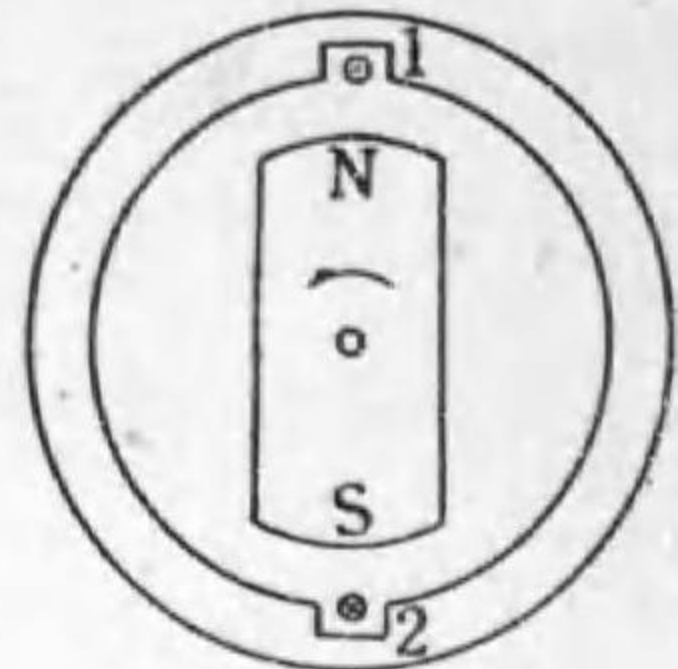
流を、刷子及び集電環を経て供給する。

2. 回轉數・極數・周波數の關係

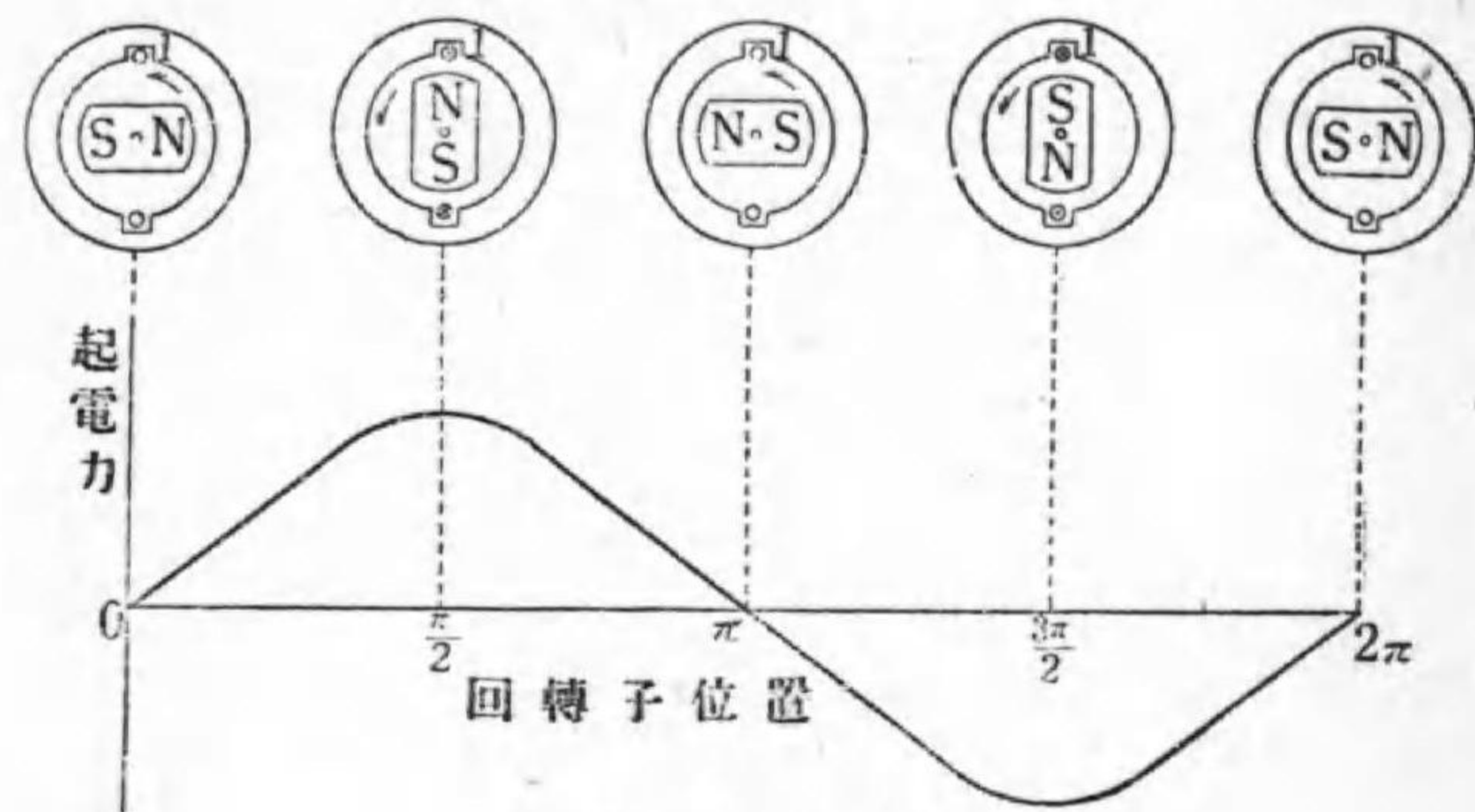
第 2・3 圖のやうな二極發電機で、線輪邊①に誘導する起電力の方向を考へる。N極が①の前を通過し終り、次にS極が廻つて來ると起電力の方向が反轉し、再びN極が廻つて來ると起

電力は再び反轉して最初と同方向になる。

界磁が 1 回轉する間に起電力が變化する状態は、第 2・4 圖に示すとほりである。これで見ると、線輪邊に誘導する起電力は、線輪邊の前を N, S



第 2・3 圖

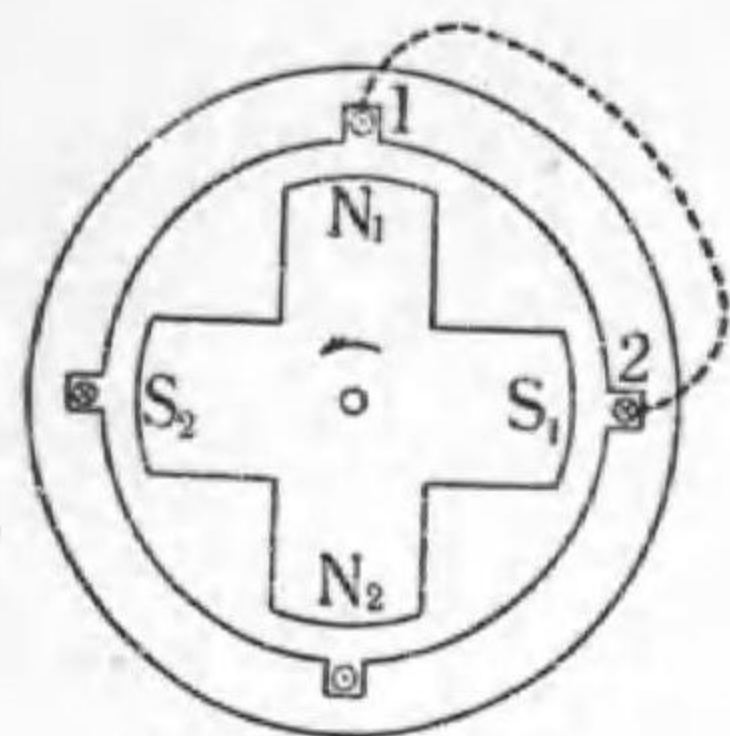


第 2・4 圖

一對の極が通過する間に 1 サイクルの變化をするから、二極發電機の發生起電力は、回轉子の 1 回轉毎に 1 サイクルの變化を生ずる。

第 2・5 圖のやうな四極發電機の線輪邊①に誘導する起電力は、 N_1, S_1 の一對の極がその前を通過する間に 1 サイクルの變化を生じ、 N_2, S_2 の

一対が通過する間に、また1サイクルの変化を生ずるから、発生起電力は回轉子の1回轉毎に



第2.5圖

2サイクルの変化をすることになる。この考を進めると、一般にP極の交流發電機の発生起電力は、回轉子の1回轉毎に $\frac{P}{2}$ サイクルの変化をすることがわかる。

故にP極の發電機が1秒間にn回轉すれば、電壓の周波数fは、

$$f = \frac{P}{2} \cdot n \dots\dots\dots(2.1)$$

これから次の結果を得る。

$$f = \frac{PN}{120} \dots\dots\dots(2.2)$$

或は $N = \frac{120f}{P} \dots\dots\dots(2.3)$

P: 極 數

N: 毎分回轉數

f: 周波數(サイクル/sec)

この関係のあることが、同期機としての特長

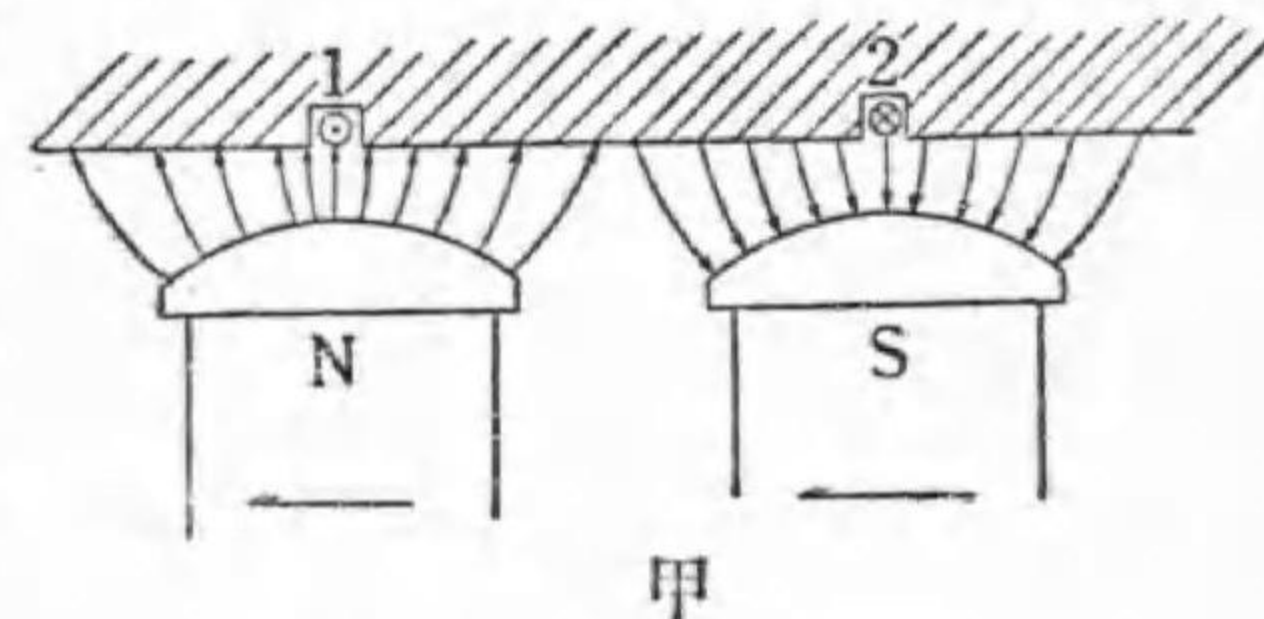
であつて、この發電機を同期發電機といふ。ここに、Nは発生電壓の周波数fに對する同期速度で、交流を使用するとき周波数を一定に保たなければならないから、發電所では同期發電機の回轉數を一定に保つやうにする。

なほ非同期交流發電機もあるが、これを用ひることは稀で、交流發電機といへば通常は同期發電機をいふ。

3. 發電原理

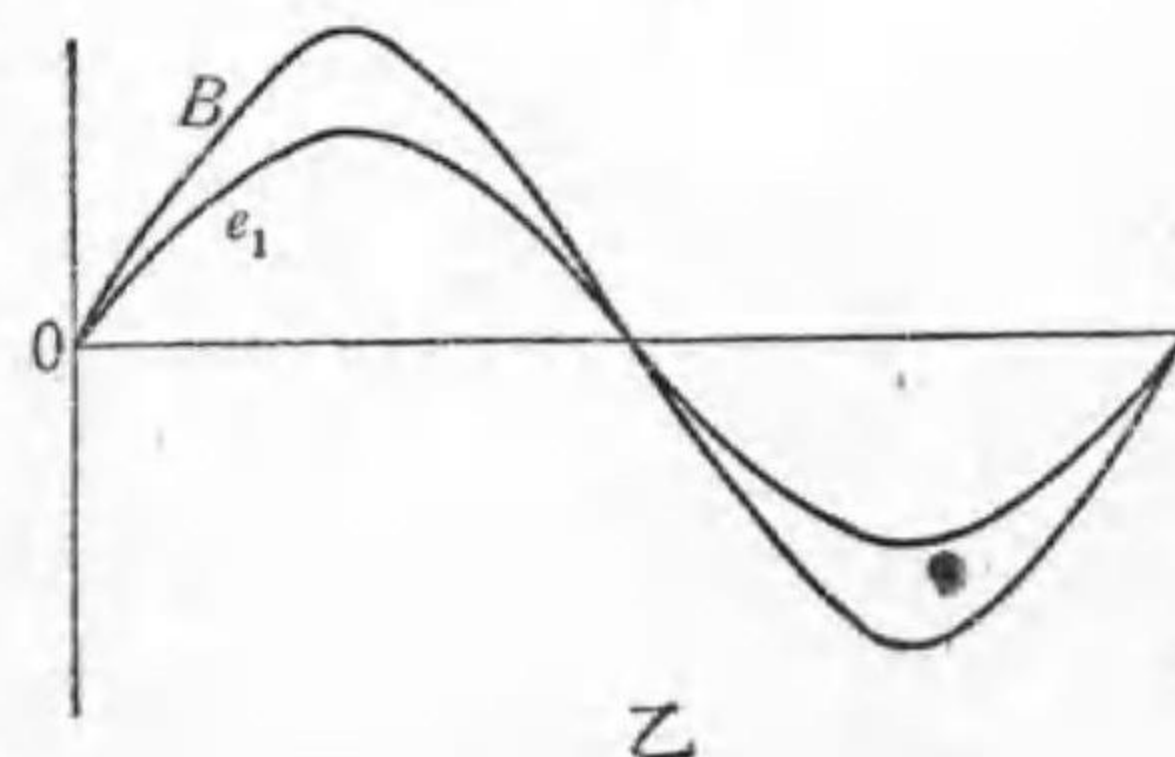
直流發電機の整流子を除き、電機子線輪に誘導する起電力を

交番起電力のまま取出すものが交流發電機であるから、その發電作用は直流機と同様であるが、交流機としての



甲

觀點から、次の諸



乙

點に特長がある。

第2.6圖

(1)誘導起電力の式 第2・6圖④のやうに二つの導體①②が1線輪を形成してゐるとき、導體①の誘導起電力 e_1 は、

$$e_1 = Blv \times 10^{-8} \text{ ボルト} \dots\dots\dots(2.4)$$

B : 空隙の磁束密度の瞬時値(ガウス)

l : 導體の有効長(cm)

v : 導體が磁束を切る速度(cm/sec)

この式で、 l, v は一定で e_1 は B に比例するから、 e_1 の波形は B の分布曲線と相似で④圖のやうになる。 B 曲線は直流機では梯形波であるが、交流機ではなるべく正弦波形とするから、

$$B = B_m \sin \omega t$$

B_m : 最大値

ω : 角速度

となる。

故に(2.4)式で示した誘導起電力 e_1 は瞬時値となる。次にこの平均値を求める。それには (Blv) の平均値を求めればよいが、 (Blv) は導體が1秒間に磁束を何本切るかといふ割合であつて、この平均値は次のやうに計算される。

P : 極 數

Φ : 一極當磁束數

n : 毎秒回轉數

とすれば、回轉子が1回轉する間に導體①は $P\Phi$ 本の磁束を切るから、1秒間に切る磁束數は、

$$P\Phi \times n$$

よつて電壓 e の平均値 E_{av} は、

$$E_{av} = P\Phi n \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

これに(2.1)式の関係を入れると、

$$\begin{aligned} E_{av} &= P\Phi \times \frac{2f}{P} \times 10^{-8} \\ &= 2\Phi f \times 10^{-8} \text{ ボルト} \dots\dots\dots(2.5) \end{aligned}$$

次に

$$\text{最大値 } E_m = \frac{\pi}{2} E_{av} = \pi\Phi f \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

$$\begin{aligned} \text{實効値 } E_1 &= \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \Phi f \times 10^{-8} \\ &= 2.22 \Phi f \times 10^{-8} \text{ ボルト} \dots\dots\dots(2.6) \end{aligned}$$

導體②にも①と同様な起電力を生じ、①②が一極間隔だけ離れてゐるときは、兩起電力は 180° の位相差を有するから、線輪にはこの起電

力が加つて2倍の起電力となる。故にi線輪の起電力は(2.6)式を用ひて、

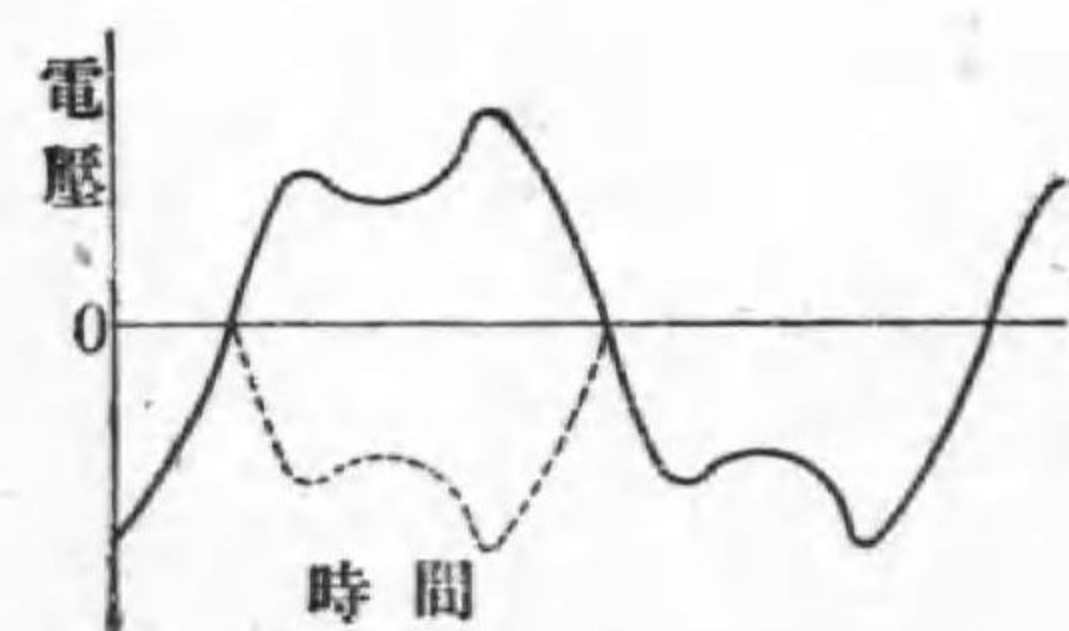
$$2E_1 = 4.44 \phi f \times 10^{-8} \text{ ボルト}$$

もし線輪がT回の巻数を有するならば、

$$E = 4.44 f T \phi \times 10^{-8} \text{ ボルト} \dots\dots (2.7)$$

(2)起電力の波形 交流発電機が発生する起電力は、できるだけ正弦波形が望ましい。正弦波でない波形を歪波といひ、これは(2.2)式で定まる周波数fの倍数の周波数を有する正弦波電圧を含むからである。周波数がfなる電圧を基本波、fの倍数の周波数の電圧を高調波といふ。

交流発電機の構造は對稱的であるから、電圧波形が歪んでも、正の半波と負の半波とは對稱的である。第2.7圖はその例である。このや



第2.7圖

うな對稱波は基本波の奇数倍の周波数を有する高調波だけを含んであるものである。

交流発電機の発生電圧が歪波であつて高調波を含むと次のやうな害がある。

(ア)損失を増加する

(イ)電動機・變壓器等に唸りを生ずる。

(ウ)附近の電話線に誘導障害を與へる。

(エ)計器類の指示に誤差ができる。

(オ)長距離送電線その他に對し、共鳴しやすい。

(カ)高調波を含むことが多ければ、計算や理論的取扱が複雑になる。

故に発生電圧をできるだけ正弦波に近くしなければならぬ。電圧波形が歪む最大の原因は、空隙の磁束密度分布曲線が歪波となるためであるから、界磁の形狀を適當にして磁束分布を正弦波に近くさせる。しかし下記の原因も加つて、この方法だけでは不十分である。

(ア)電機子に溝があること

(イ)磁極の飽和

(ウ)負荷すれば電機子反作用を生ずる

これらのため、空隙の磁束分布が歪を受ける。それ故、巻線法に特別の方法をとつて、端子電圧

に高調波が現れないやうにする。

練習問題

- (1) 単相交流発電機がある。
 一極當の磁束數…… 5×10^6
 磁極數………16
 毎分回轉數………375
 直列導體數………384
 波 形………正弦波

この発電機の實効電壓を求めよ。

(答 集中巻 2,130V)

- (2) 交流機の同期速度とは何をいふか
 (3) 極數六極,周波數50の交流発電機がある。これに極數八極の交流発電機を並列に運轉させるには,何程の回轉數で回轉させるべきか。

(答 750/min)

- (4) 定格電流 I アンペア, 定格電壓 V ボルトの三相交流発電機に力率 $\cos\theta$ の負荷を接續するとすれば, この発電機の供給し得る出力は何キロワットであるか。

(答 $\frac{\sqrt{3}}{1000} EI \cos\theta$)

- (5) 定格電壓 3,300 V, 定格電流 100 A の三相交流発電機がある。これに力率 80% の全負荷を接續するとすれば, この発電機を運轉するに要する原動機

の出力は何馬力であるか。但しこの発電機の能率は 90% とする。 (答 680 HP)

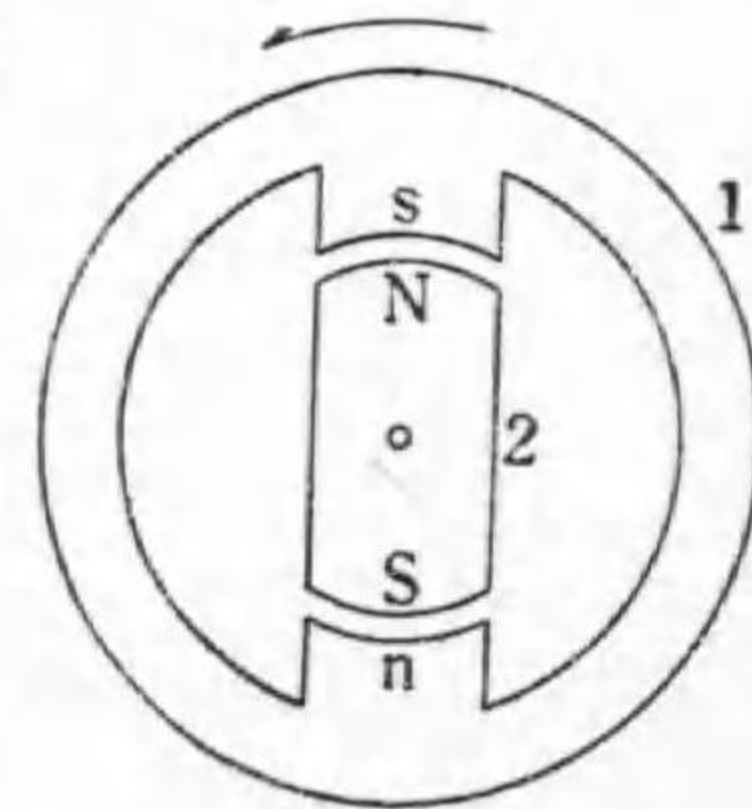
第 2 節 同期電動機の回轉原理

1. 回轉原理

同期発電機の界磁を直流で勵磁したまま, 電機子に別の交流電源から交流を供給すると, 電動機として回轉させ得るが, 他の電動機とちがひ, 次に述べるやうに交流電源の周波數 f に對する同期速度で回轉する。故にこれを同期電動機といふ。同期電動機と同期発電機とは前にも述べたとほり可逆的である。

(1) 同期速度で回轉する理由 第 2・8 圖のやうな二つの磁石 ns, NS を, 同一中心軸の周りに回轉し得るやうにしておき,

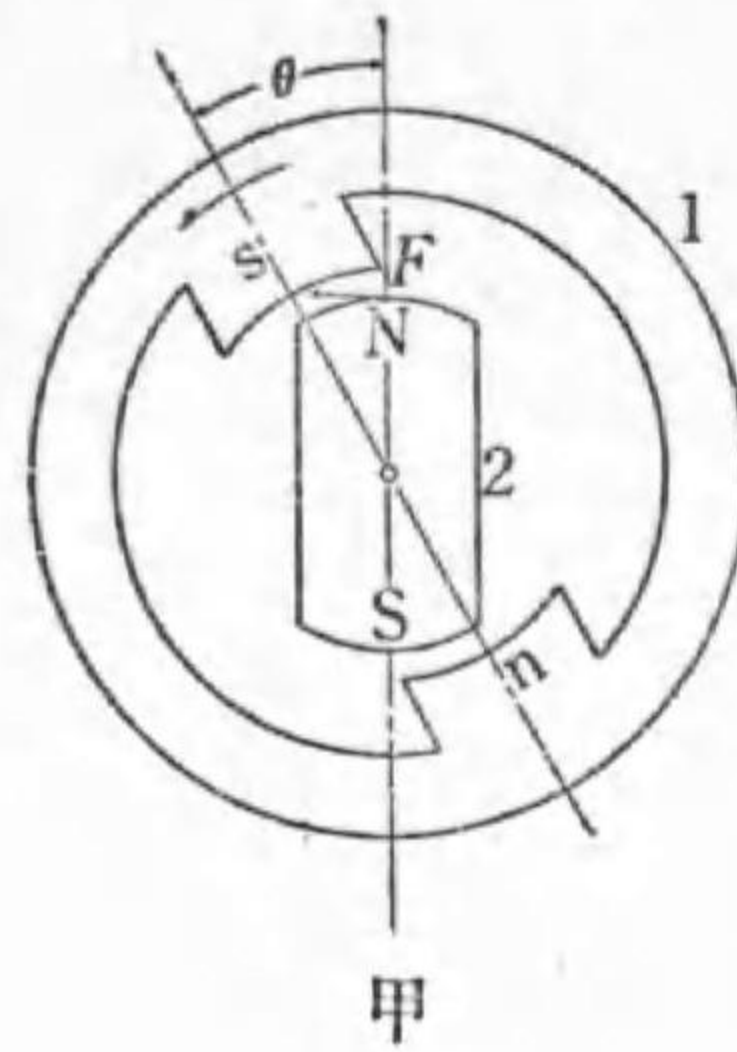
①を矢の方向へ機械的に靜かに廻し始めると N 極は s 極に牽引され, S 極は n 極に牽引されるから, ②は①と共に回轉してゆく。



第 2・8 圖

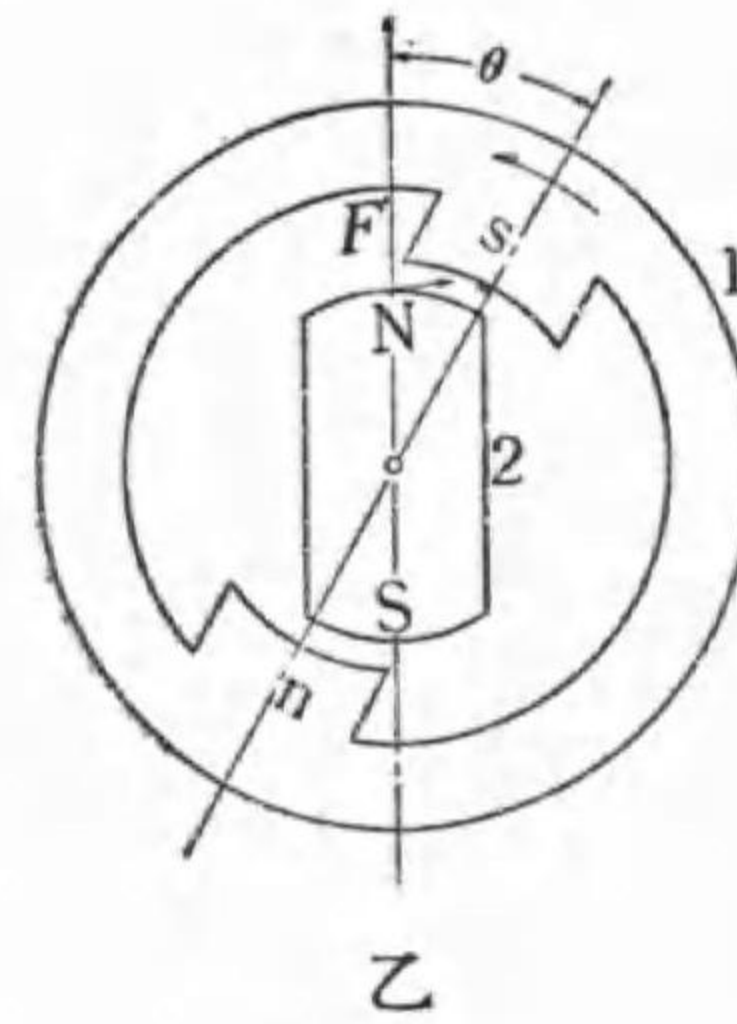
②の回轉軸に摩擦や機械負荷による制動力

が加るときは、第2・9圖甲のやうにNはsより



θ の角だけ遅れて牽引力 F を生じ、これによつて②は制動力に打勝つて回轉する。

このとき②が①と同じ速度で回轉してゐれば、Nとsとの相對的位置は、回轉に關せず一定であつて、常に F の力が働いてゐるから、②は回轉を繼續することができ。しかし②と①との回轉速度がちがつてゐれば、②と①との相對的位置は次第に變じてゐるから、第2・9圖甲の位置に對して同圖乙の位置が



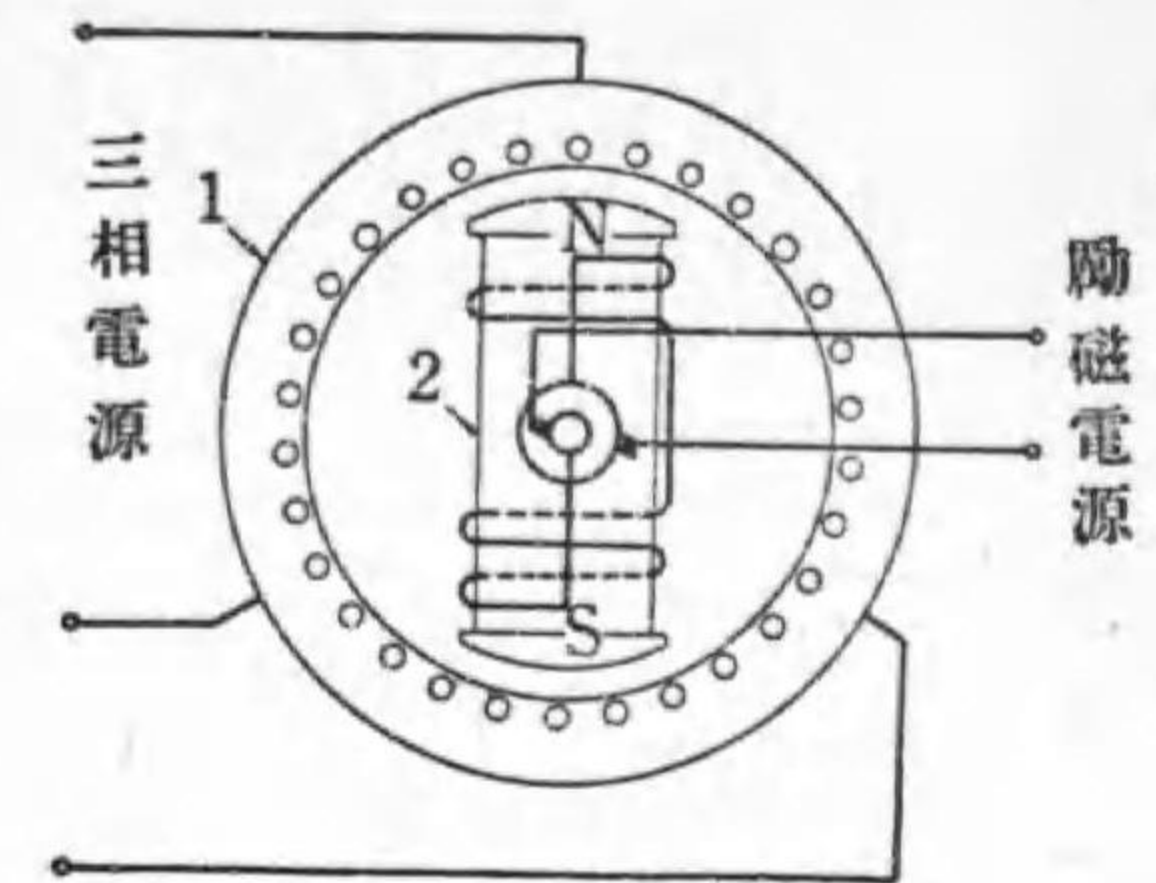
第2・9圖

できて、そのときNに働く牽引力 F' は F と反對になり、①を逆に回轉させようとする。

このやうにして、①と②との回轉速度がちがふときは、トルクは脈動して互に打消し合つてしまふから、②は回轉を繼續しない。

以上述べたやうに磁石①を機械的に回轉する代りに、第2・10圖に示すやうに、三相線輪を施した電機子①に三相

交流を供給すれば、電磁的に回轉磁界を生ずるから、回轉子②は前と同じやうに回轉する。これが同期電動機であつて、この場



第2・10圖

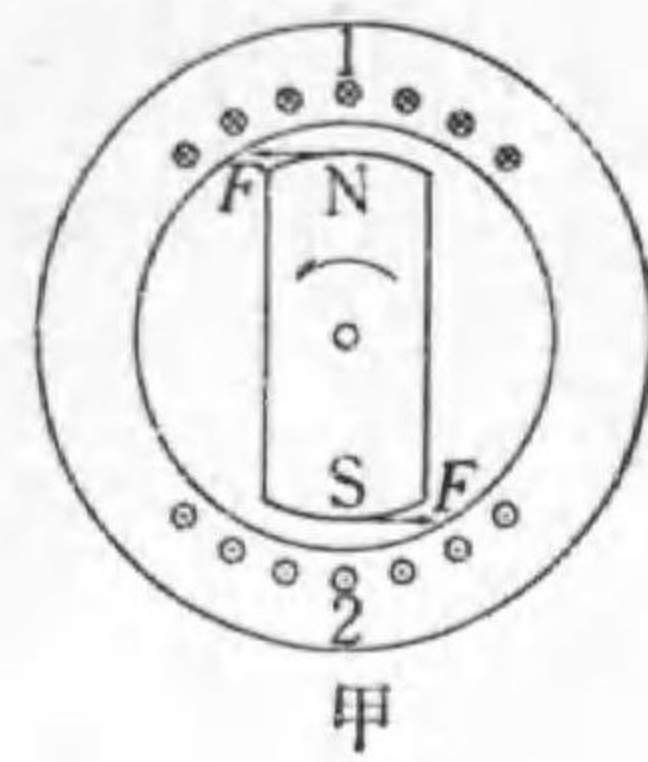
合には固定子①に電氣エネルギーを供給し、これが機械エネルギーに變つて回轉子から出る。

電機子がつくる回轉磁界は、電源周波數に對する同期速度で回轉するから、回轉子もその同期速度に於てのみ回轉する。

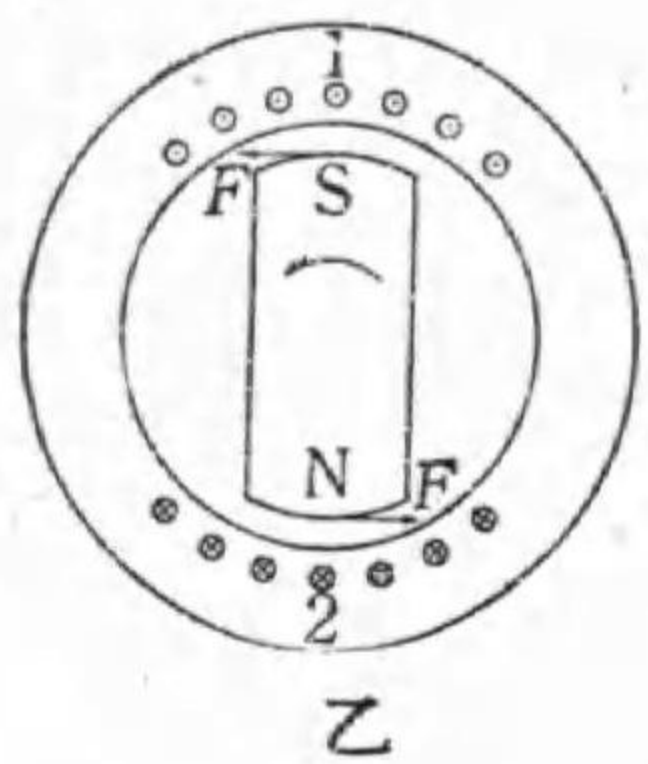
同期電動機を起動する際には、界磁と電機子の回轉磁界の間に、吸引力や反撥力が交互に起つて起動はできないから、前以てなんらかの方法によつて起動し、回轉子を同期速度に達するまで回轉する必要がある。

(2)單相同期電動機 of 回轉原理 第2・11圖の

やうに単相線輪を施した電機子内に回轉子 NS が設けてある。



甲



乙

第2・11圖

の間に磁極は半回轉してゐるから、甲圖のときと同方向の左廻りトルクを受ける。

このやうに回轉子が同期速度で回轉してゐれば、常に一定方向のトルクが働くから、機械負荷をかけて運轉される。

回轉子が同期速度でない速度で回轉してゐると、回轉子に働くトルクは左向・右向と交互に方向を變じ、回轉することができない。

NS が設けてある。

磁極が同期速度で左廻りに回轉してゐるとして、甲圖のやうな位置に来るときは、N極は①の部分の電流から電磁力を受け、S極は②の電流から電磁力を受けるので、左廻りのトルクが働く。これから半サイクル後には電機子電流の方向は乙圖のやうに反對となるが、その間に磁極は半回轉してゐる

單相同期電動機は三相同期電動機にくらべて特性が著しく劣り、動力用としては殆ど用ひられない。ただ、ごく小型のものが小器具類の運轉に應用される程度である。

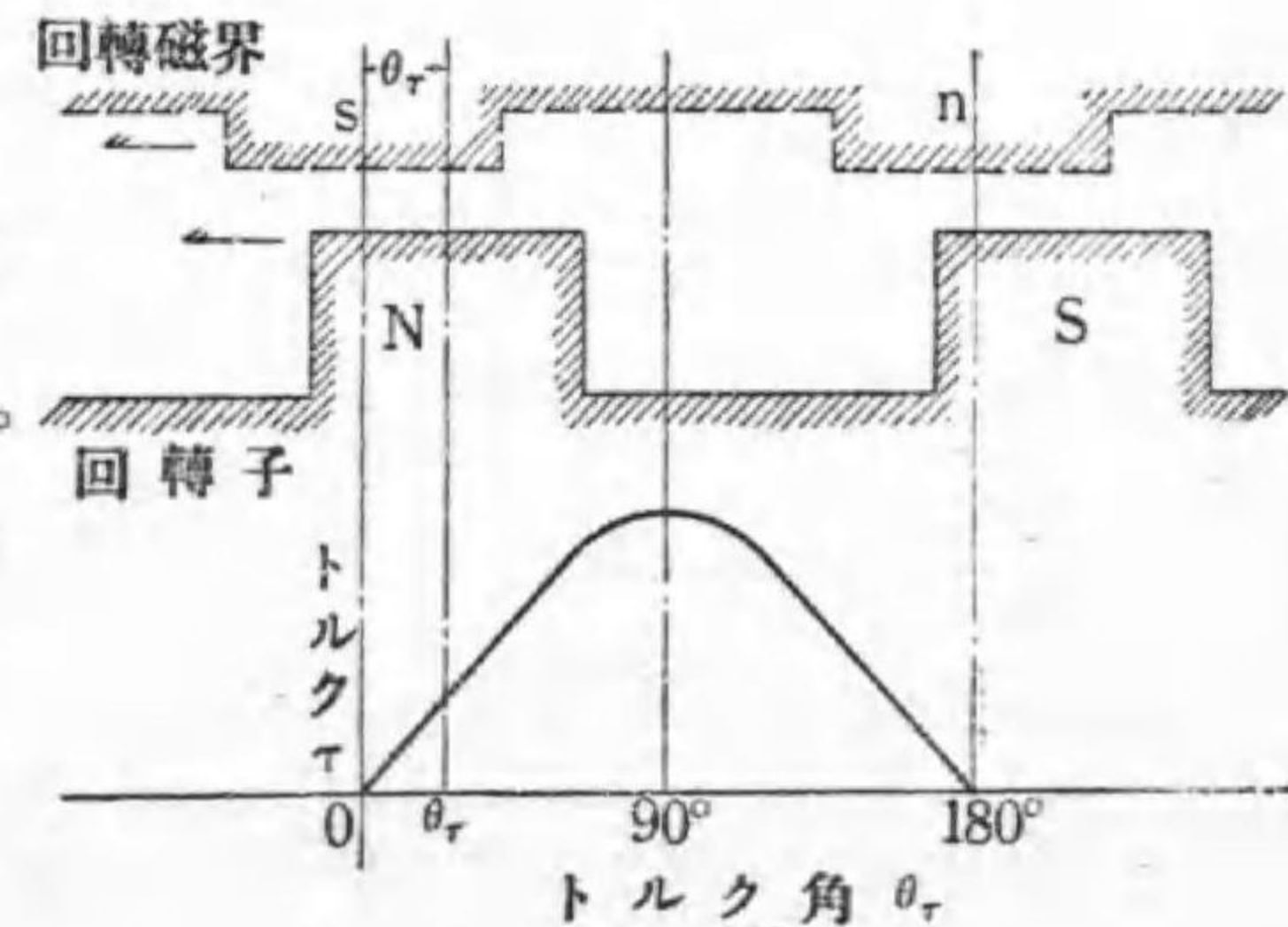
2. トルク

同期電動機の回轉磁界を假想の磁極で代表させて、運轉中の状態を第2・12圖に示す。

回轉子にかかる機械負荷が0ならば、s Nの軸は一致し、力は半徑方向に起り、トルクは0であるが、機械負荷がかかれば、Nはsより θ_r だけ遅れて回轉する。

Nが θ_r の遅れを生ずると、力に接線方向の分力を生じ、sは

Nを牽引して回轉子にトルク τ を生ずる。この θ_r をトルク角といふ。磁極の強さが一定である場

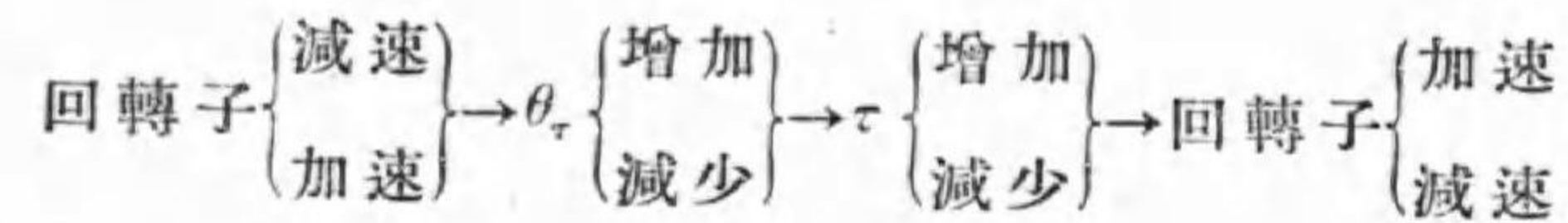


第2・12圖

合、 θ_r と τ との関係は圖の曲線の示すとおりである。

したがって回轉子にかかる機械負荷が大となれば、それに應じたトルクに達するまで θ_r は大となる。

同期電動機が $\theta_r < 90^\circ$ の範圍で運轉してゐれば、次の順序に示す理由により、安定な運轉ができる。



かうして回轉子は同期速度を取戻す。

$\theta_r > 90^\circ$ では、 θ_r が増しても τ が減ずるから、回轉子は同期速度から脱出して止つてしまふ。

第3節 構成要素

1. 直流機との差異

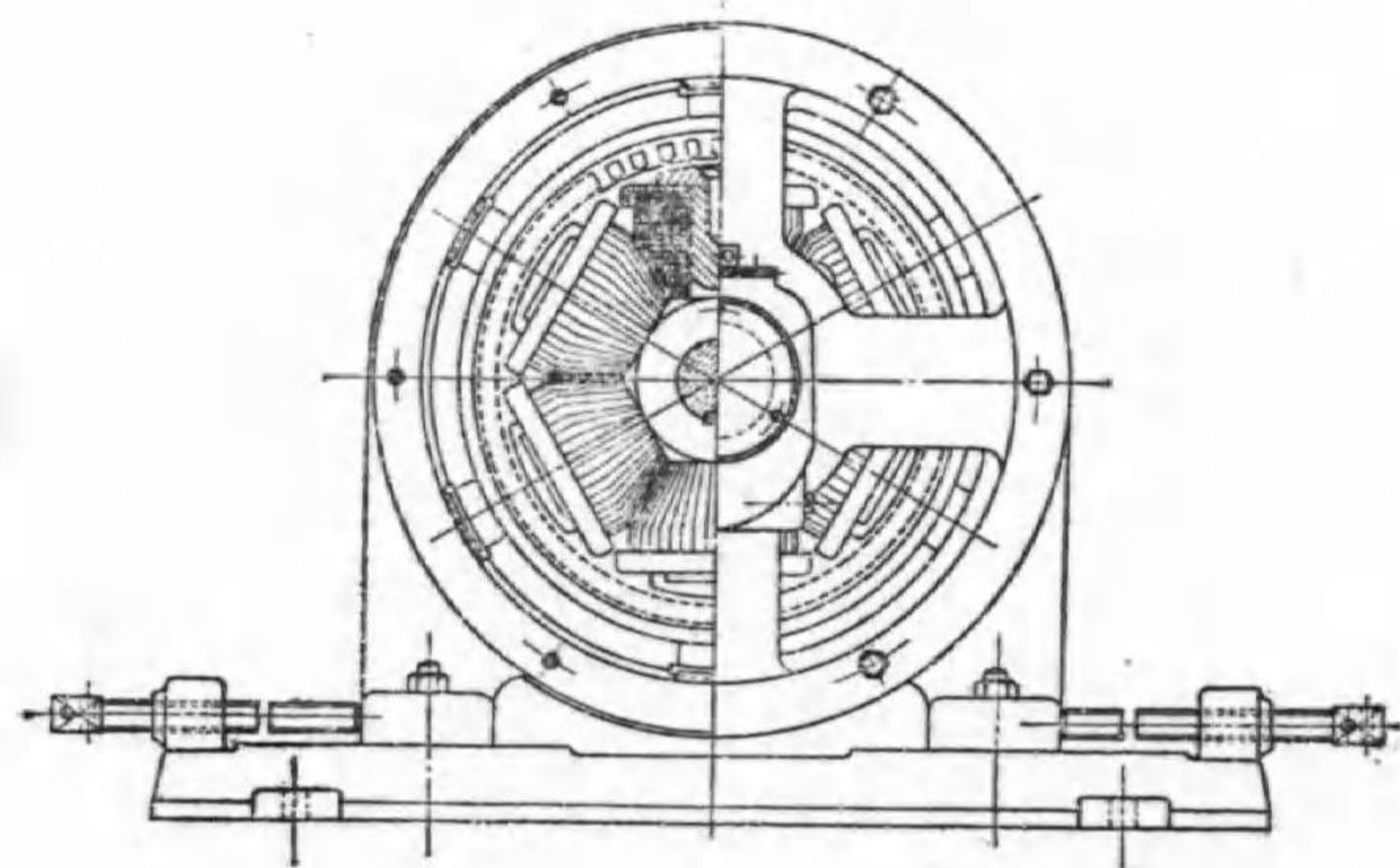
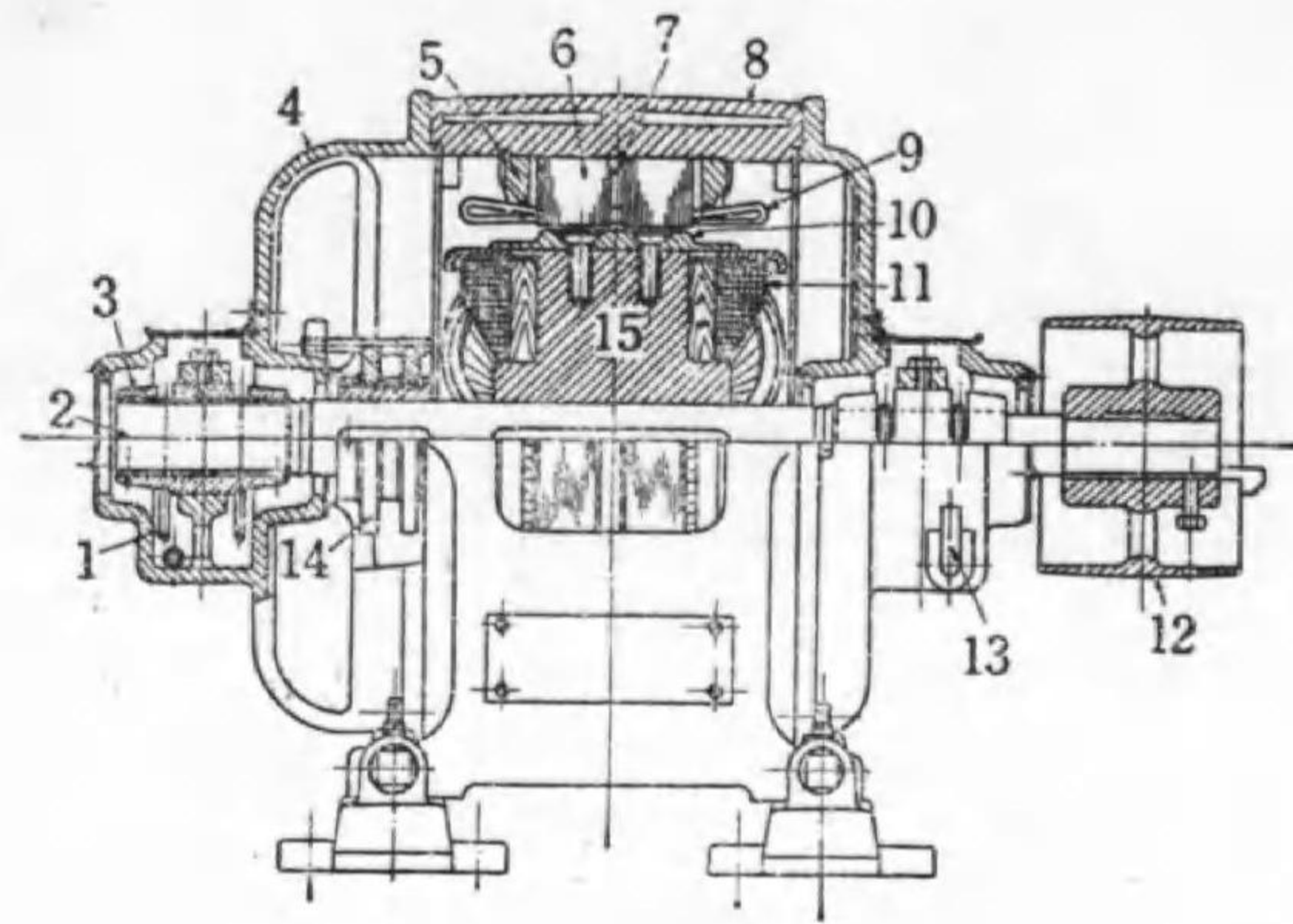
直流機の整流子の代りに集電環を用ひ、電機子線輪の接續を少しく變へれば、原理上同期機となし得るが、同期機としての性能を十分發揮させるためには構造も改良しなければならない。次に直流機との構造上の差異を列挙する。

(ア) 整流子が要らない したがって同期機には整流といふ面倒な問題は起らぬから、高速度・大容量・高電壓のものを製作し得る。

(イ) 回轉界磁型が多い 同期機は容量大きく、電壓も高いことを要するから、回轉電機子型とすれば絶縁が困難となり、集電環の製作もむづかしくなる。しかし、界磁に要する電圧は低く電流も小さくて、絶縁や集電環の製作は比較的容易となるから、同期機は殆ど回轉界磁型とするが、磁極を直流機のやうに凸極型にすれば、風損が幾分大となることは免れない。また高速度同期機では、遠心力に耐へるため磁極を圓筒型にする。

回轉界磁型では電機子線輪の絶縁は容易であるから、直流機に比較して高電壓のものを製作し得る。現在では、電壓22,000 Vの電機子を製作することは、さほど困難ではない。

(ウ) 勵磁機を要する 同期機では直流機のやうに自己勵磁を行ふことができないから、勵磁用として別に直流發電機を必要とする。



第 2・13 圖

- ①給油環 ②軸 ③軸受合金 ④肘軸受
- ⑤端板 ⑥電機子 ⑦通風渠 ⑧固定子枠
- ⑨電機子線輪 ⑩磁極片 ⑪界磁線輪 ⑫
- ベルト車 ⑬油面計 ⑭集電環 ⑮界磁鐵心

(エ) 堅型のものが多い 直流機は一般に横型であるが、最近の同期発電機の中には堅型のものがある。

2. 構成要素

同期機は一般に回轉界磁型であるから、その構造は回轉界磁型について述べる。

その主要部は回轉子と固定子とから成る。回轉子は磁極・回轉子輻鐵・軸から成り、また固定子は電機子鐵心・電機子線輪・固定子枠から成る。

なほ、このほかに勵磁機・軸受・通風装置・通油装置等が附屬する。

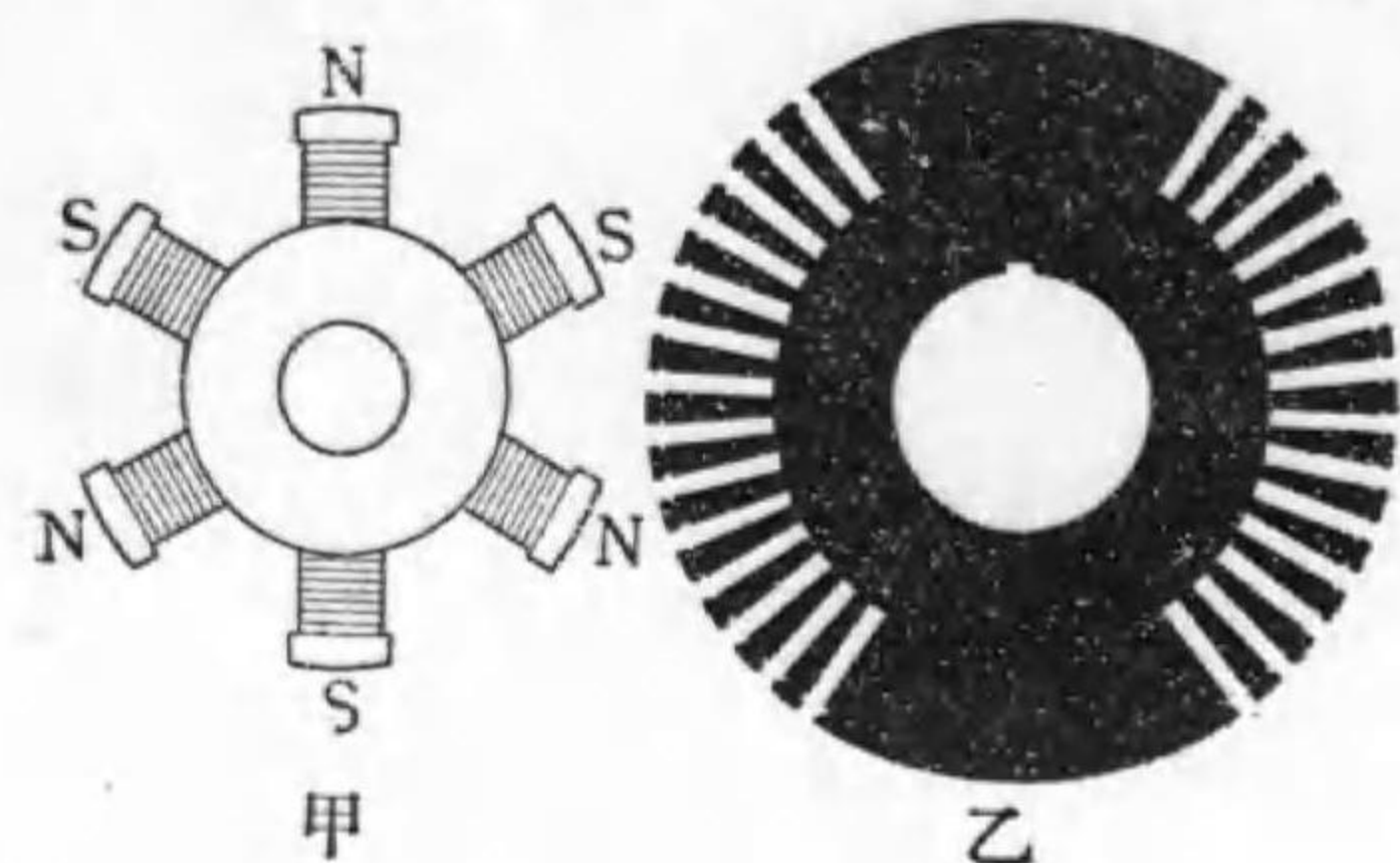


第2・14圖 同期發電機

と第2・14圖とは同期發電機の主要部で、次にこれらの構造の大要を述べる。

(1) 回轉子 磁極は凸極型(第2・15圖㊸)と圓筒型(㊹圖)との2種がある。前者はごく一般的の

もので、中及び低速度のものに用ひられ、後者は



第 2・15 圖

蒸氣タービン
發電機のやう
な高速度のも
のに専用せら
れる。

一般に發電

機の回轉數は、原動機の種類によつて決定する。

それは原動機には經濟速度があるからである。

第 2・1 表は原動機の種類と回轉數を示す。

(ア) 凸極型

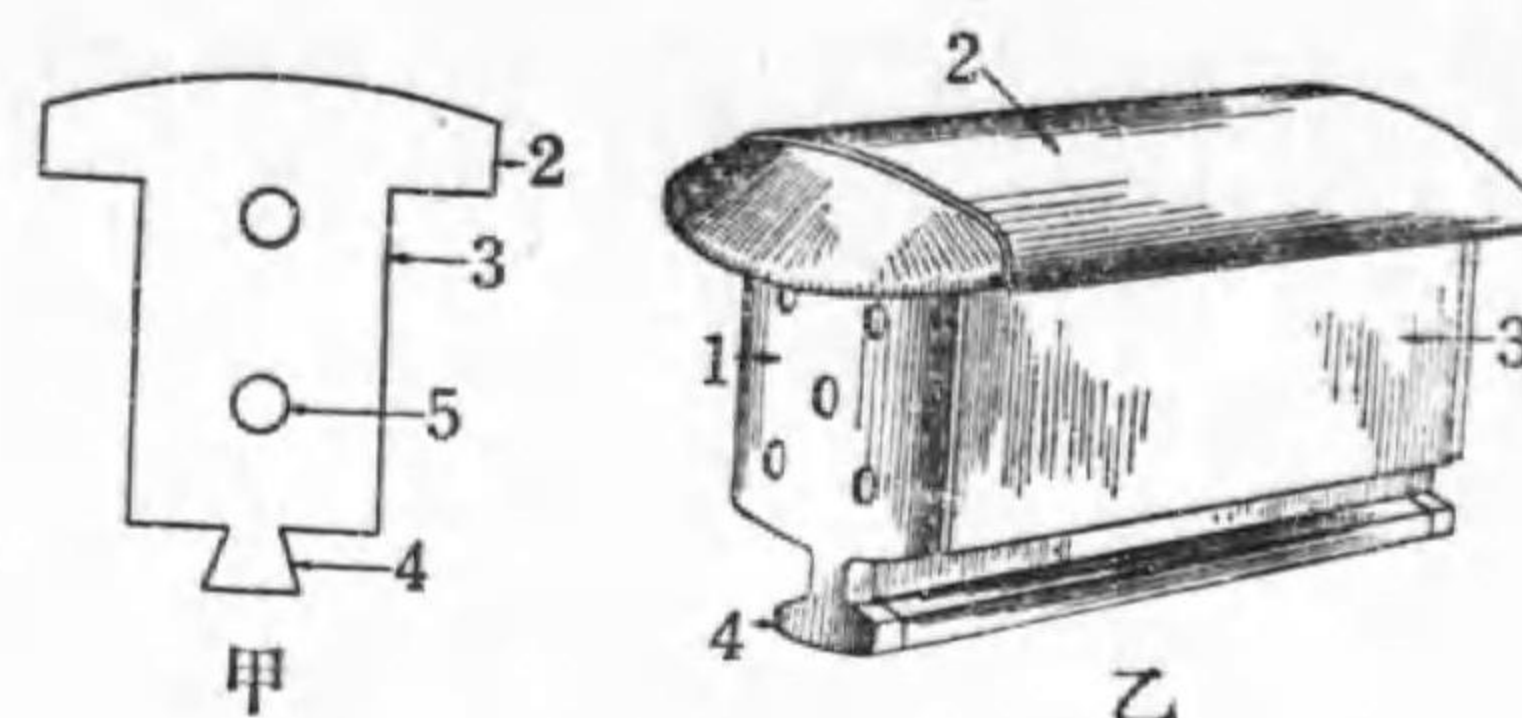
第 2・1 表

磁極は界磁鐵
心・磁極片・界磁
線輪から成る。
界磁鐵心と磁
極片とは鑄鋼
または鍛鋼を

種 類	軸 型	回轉數(毎分)
内 燃 機 關	横 型	100~300
蒸 氣 機 關	横 型	100~300
水 車	豎 型	100~720
水 車	横 型	150~1200
蒸氣タービン	横 型	1,500~3,600

用ひることもあるが、普通厚さ 1.6~3.2mm の薄
鋼板を第 2・16 圖 甲のやうな形に打抜き、これを
乙圖のやうに積重ね、その兩端に鑄鋼または鍛

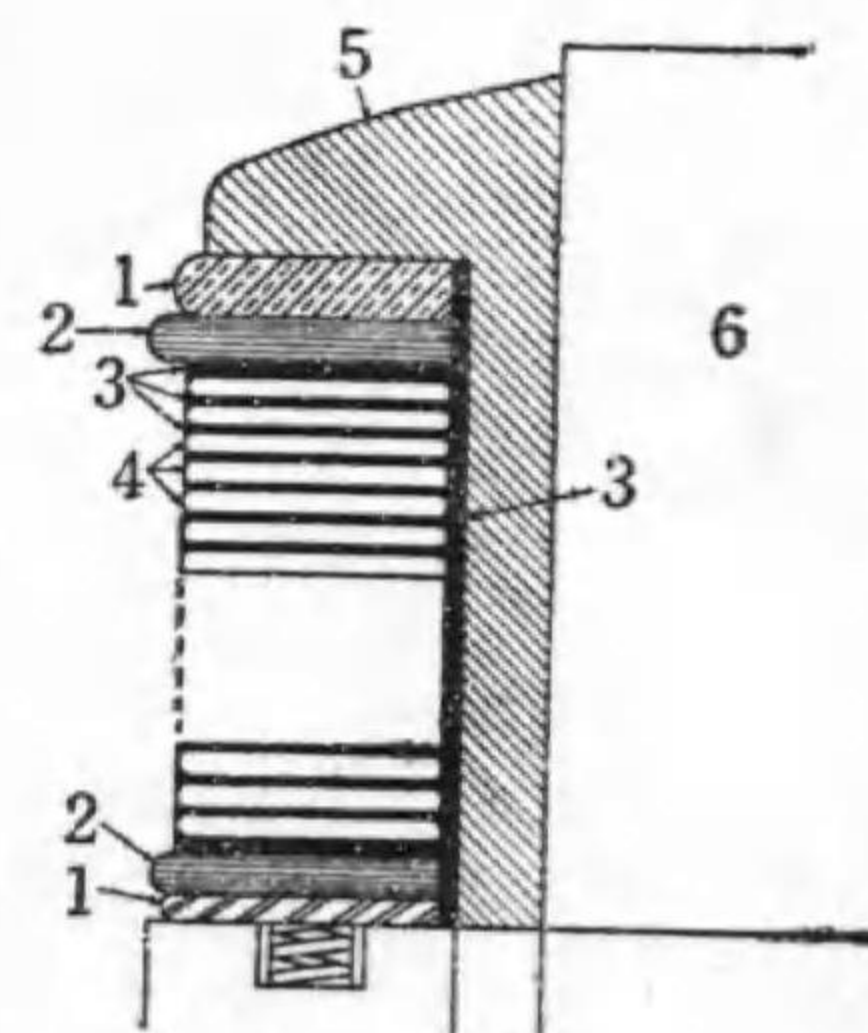
鋼製の端板を當て、固く銑締する。磁極片の極
弧は、磁極片と電機子鐵心との間の空隙の磁束
分布が正弦波となるやうな形狀に設計する。



第 2・16 圖

- ①端板 ②磁極片 ③界磁鐵心
- ④鳩尾端部 ⑤銑孔

界磁鐵心の上に界磁線輪
を設ける。界磁線輪は小型
機では二重綿巻線・石棉被覆
線などを使用するが、大型機
では裸銅帶を平打卷にし、1
卷毎にファイバまたは石棉
紙を挿んで絶縁し、銅帶の外
側面は直接外氣に觸れさせ
て冷却を有効にする。

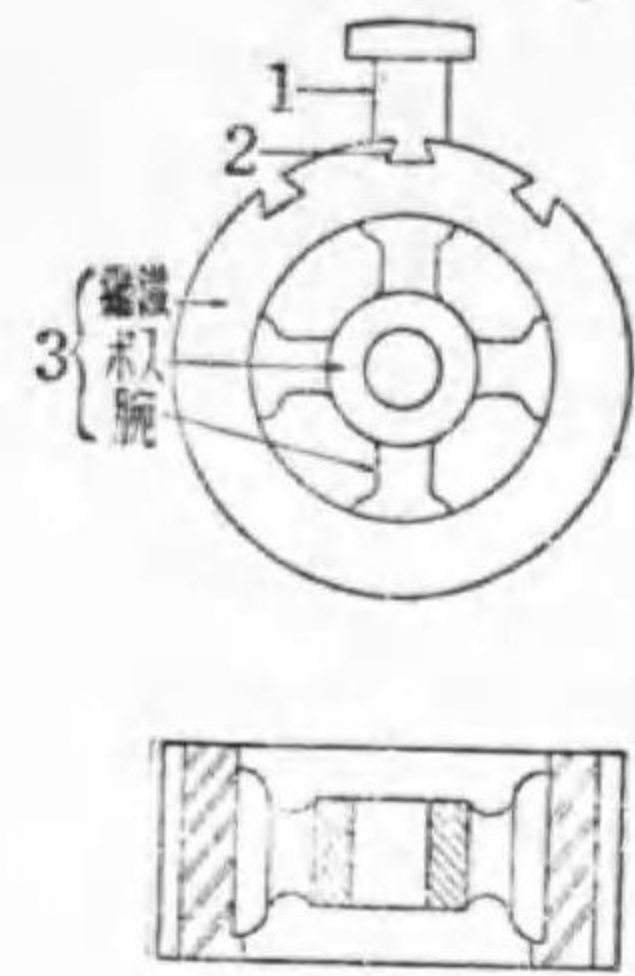


第 2・17 圖

- ①金屬板 ②絶縁板
- ③絶縁 ④銅帶 ⑤端
板 ⑥界磁鐵心

第 2・17 圖はその界磁線輪

の断面である。



第 2・18 圖

- ① 磁極
- ② 楔
- ③ 輻鐵

磁極は第2・18圖のやうに輻鐵に鳩尾楔によつて楔止にする。同圖の輻鐵は鑄鐵或は鑄鋼製の腕に鍛鋼または鑄鋼製の繼鐵を燒嵌するのであるが、大型機では輸送の関係上鋼板の組立式とする。

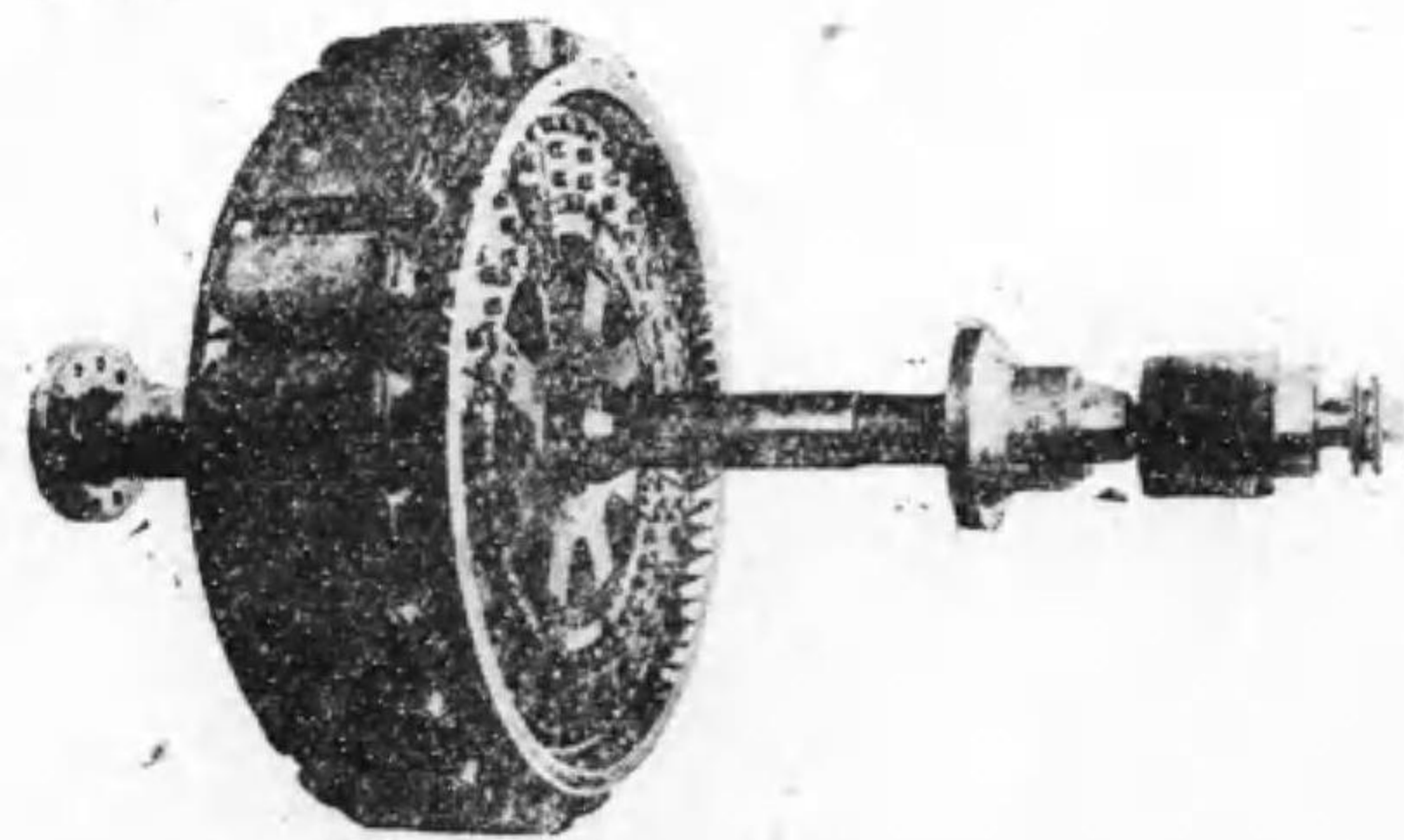
軸は鍛鋼で作る。

凸極型の同期發電機には

横型と豎型とあるが、回轉子そのものの構造には變りはない。

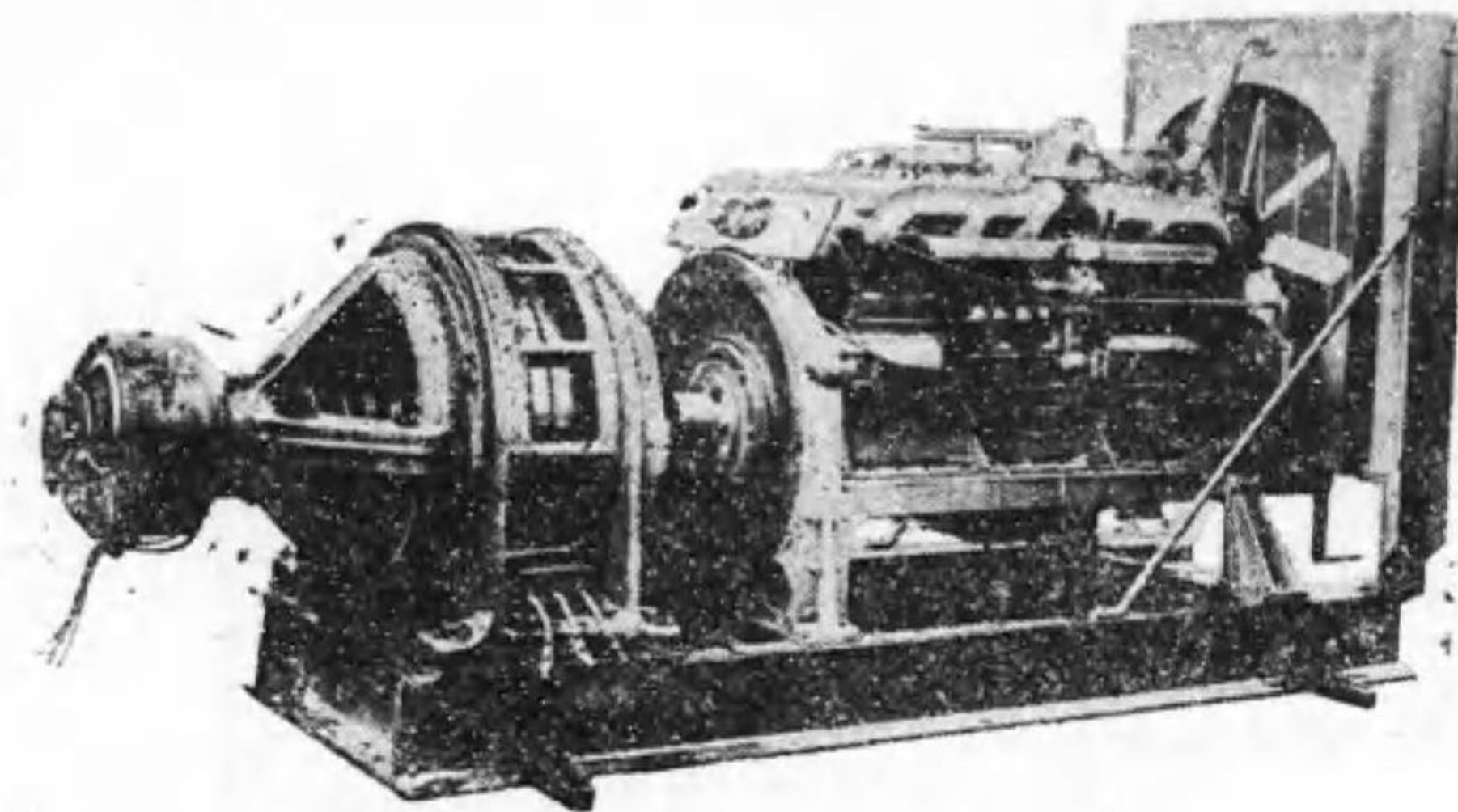
第2・19圖は完成した豎型の回轉子である。

内燃機關または



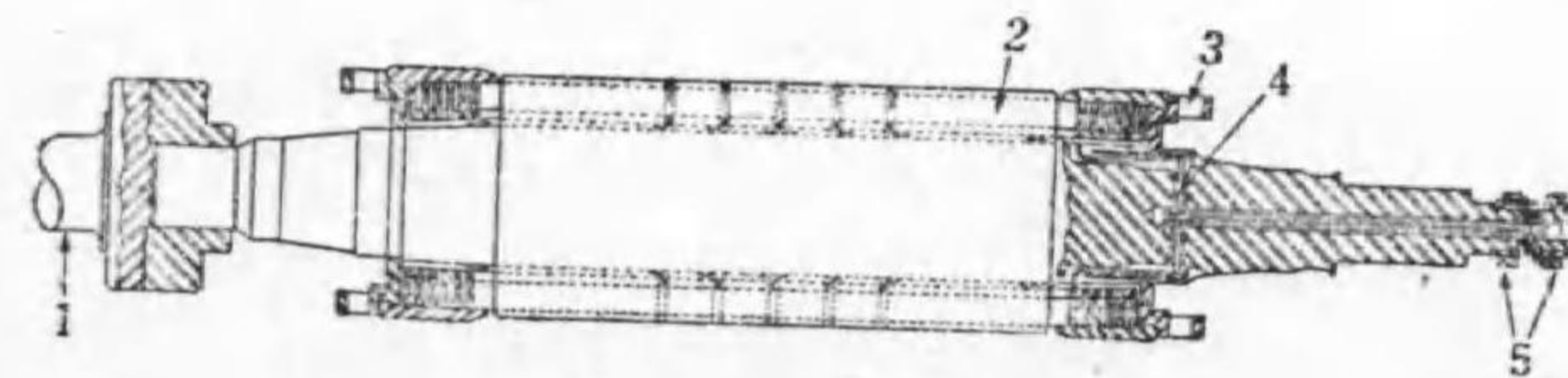
第2・19圖 凸極型豎型回轉子

蒸氣機關で運轉するいはゆる機關發電機では、機關の性質上回轉速度が一様でないから、これに直結する發電機にははずみ車をつける。第2・20圖はその一例である。



第2・20圖 はずみ車付機關發電機

(イ)圓筒型 磁極と軸とは一體の鍛鋼または特殊鋼で第2・21圖のやうに作る。大型のもの



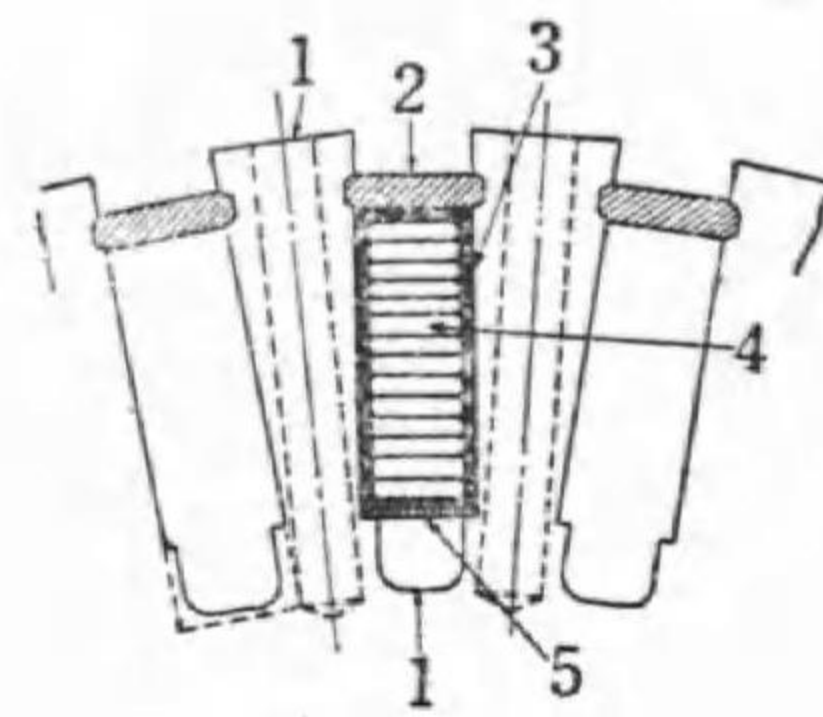
第 2・21 圖

- ① タービン軸
- ② 界磁線輪
- ③ 羽根車
- ④ 界磁引出口
- ⑤ 集電環

で一體とすることが困難の場合には、適宜に分
割して組立式とすることも有る。

これに溝を第2・22圖のやうに切出して、界磁
線輪を挿入する。

界磁線輪は銅帯を手巻し、層間の絶縁には石
綿・マイカナイト等の耐熱性絶縁物を用ひる。



第 2・22 圖

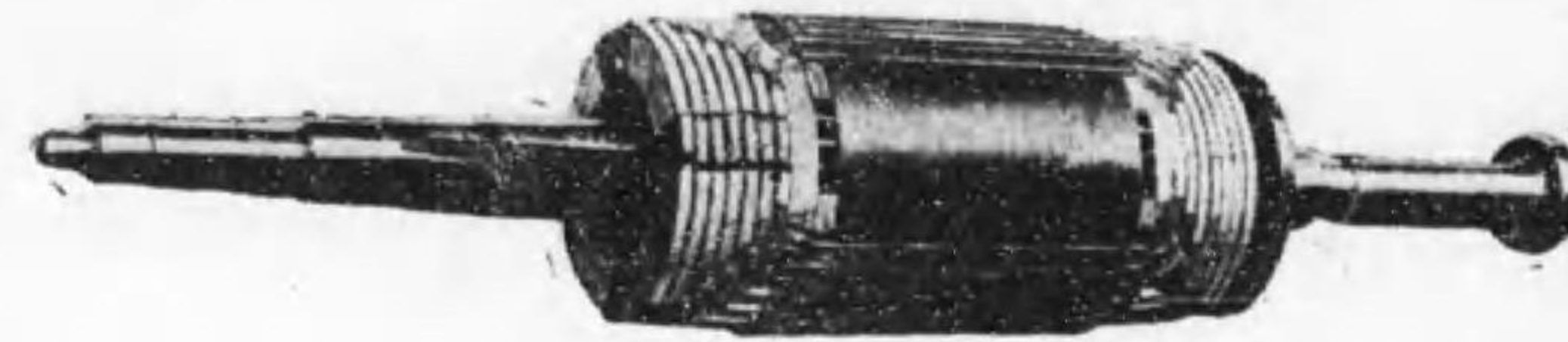
- ①通風孔 ②楔 ③絶縁
- ④界磁線輪 ⑤下敷板

線輪端は遠心力
で飛出さぬやう鋼鐵環を燒嵌する。この鋼鐵
環を回轉子保持環といひ、ニッケルクロム鋼を
用ひる。

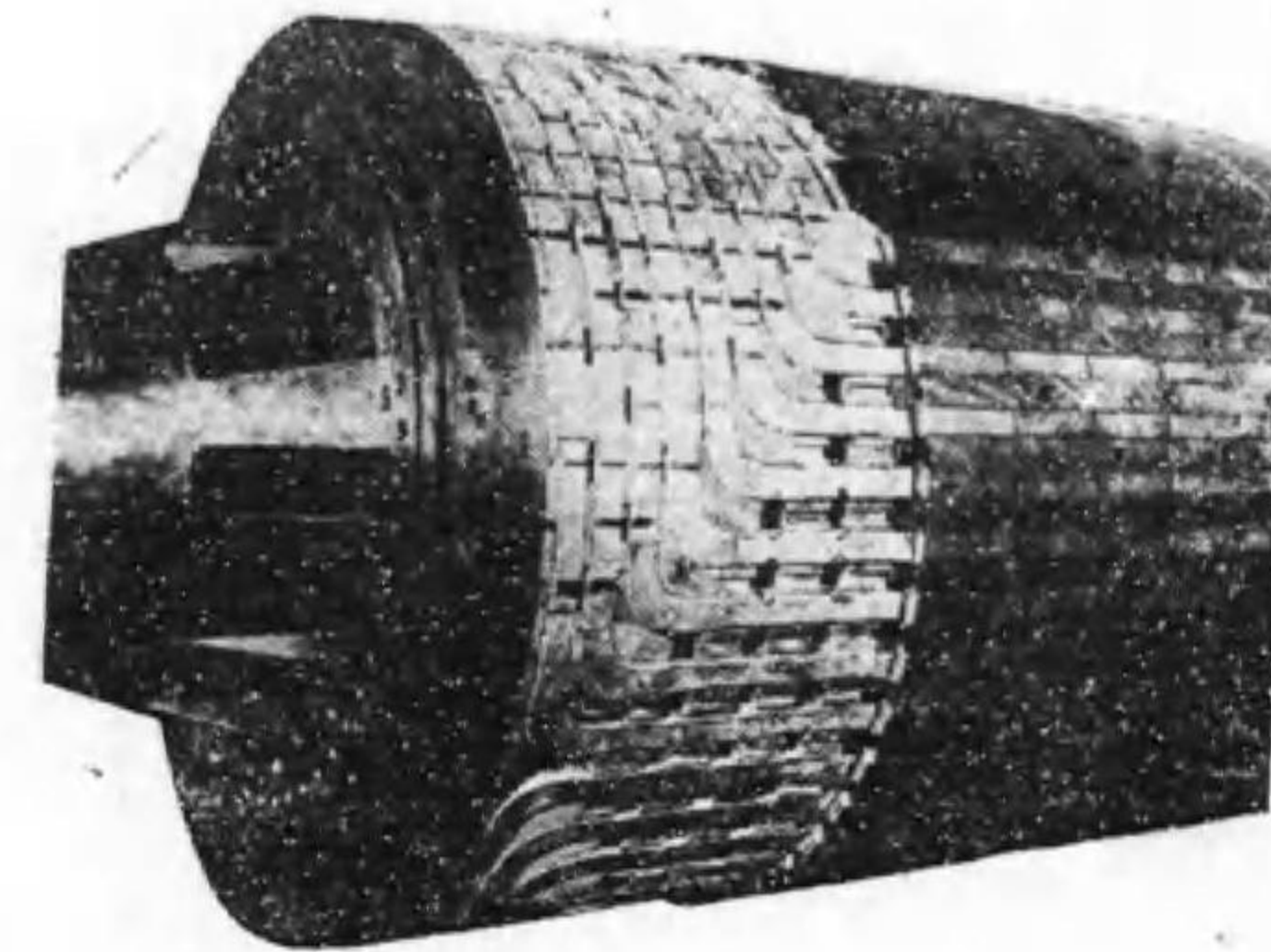
第2・23圖は回轉子保持環を取りはづした線
輪端の状態である。

圓筒型では空隙は一様であるから、線輪の分

回轉子の直徑を大
にし出力を増すた
めにアルミニウム
を代用することも
有る。第2・22圖は
界磁線輪の断面で
ある。



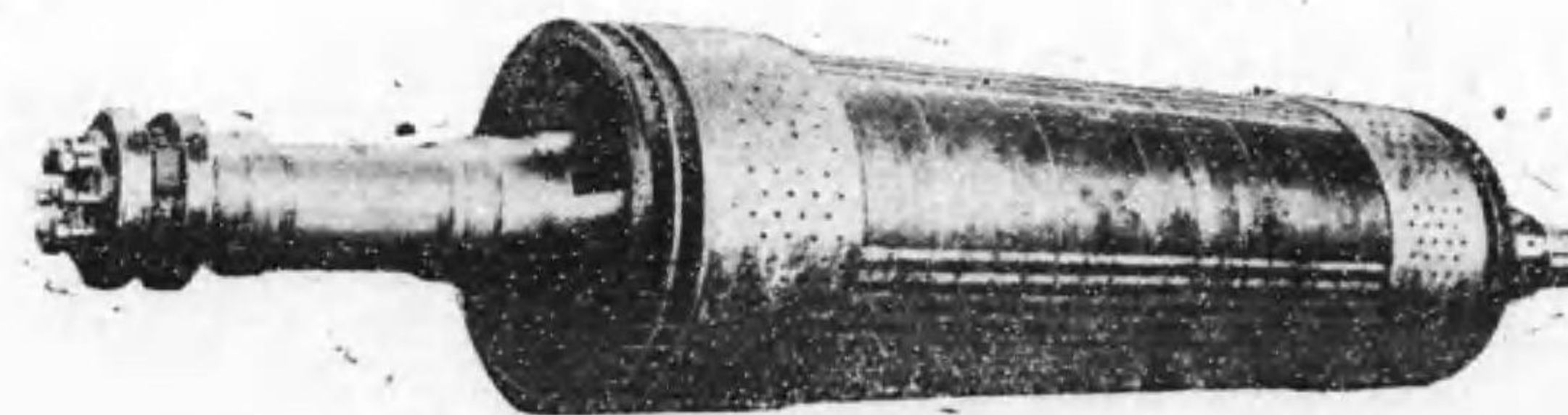
甲



乙

第 2・23 圖
①回轉子保持環
を取りはづし
た圓筒型回轉
子(小型)
②同 (大型)

布を適當にして、空隙の磁束分布を正弦波に近
くする。第2・24圖は完成した圓筒型の回轉子
である。



第 2・24 圖 圓筒型回轉子

蒸気タービン発電機は高速度であるから遠心力に耐へるやうに回轉子の直徑を小さくする。その結果出力を増すには軸方向への長さを大にして、界磁束數並びに電機子線輪の長さを増さなければならない。したがつてタービン発電機は軸方向に長い横型のものとなる。そのため回轉子の振動が大となるから、回轉子の釣合には特に注意する。また冷却面積も小となるので通風にも注意を要する。

(2) 固定子

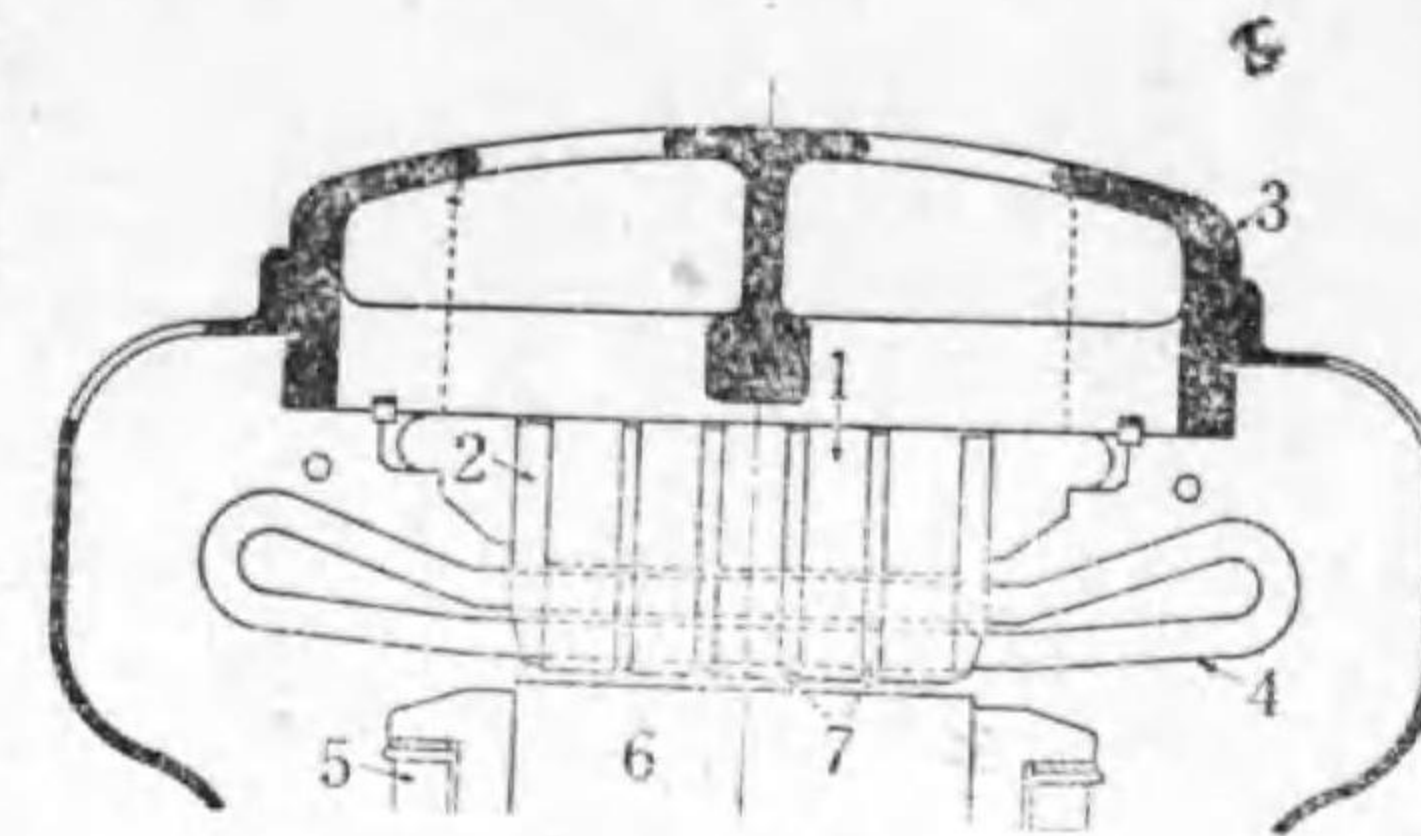
(ア) 凸極型の固定子 電機子鐵心は第2・25圖のやうに扇形に打抜いた厚さ 0.35~0.5mm の珪素薄鋼板を多數積重ねて作る。市販の寸法は



第 2・25 圖

1m x 2m であるから機械の大きさに應じて無駄のないやうに型取する。固定子鐵心の外徑が 1m 以内の場合は圓取ができるが、多くの場合扇形取にしてこれを組合はせる。第2・25圖

はこれを示す。焼鈍をしたのち絶緣ワニスを兩面もしくは片面に焼付けるか、または前以て絶緣紙を片面



第 2・26 圖

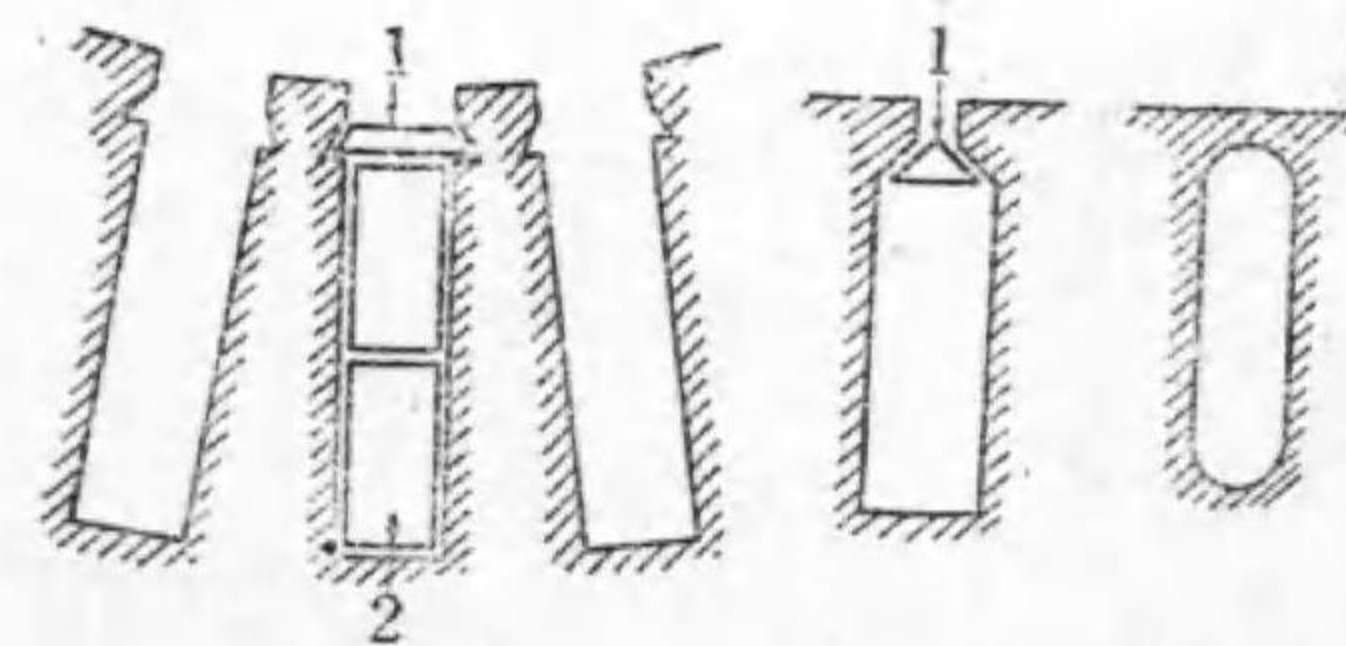
に貼付けた鋼板を用ひる。この場合、積の厚さ 5~7cm 毎に、高さ 1.0~1.3

- ① 電機子鐵心
- ② 端板
- ③ 固定子枠
- ④ 電機子線輪
- ⑤ 界磁線輪
- ⑥ 磁極
- ⑦ 通風渠

cm の間隔片を插入して第2・

26圖のやうな通風渠を設ける。鐵心は鳩尾孔によつて外枠に取付ける。

電機子鐵心の溝は、第2・27圖のやうに開溝・半

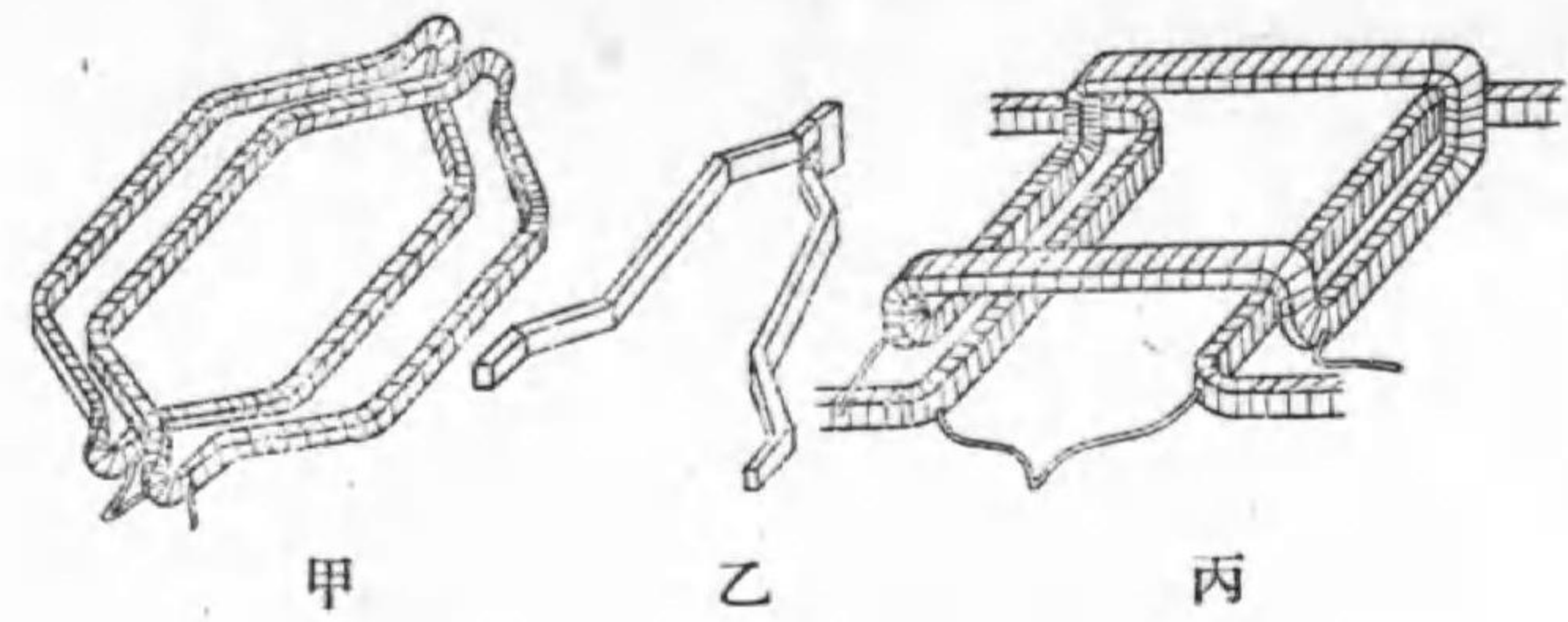


第 2・27 圖

- ① 楔
- ② 電機子線輪

閉溝・閉溝の3種があるが絶緣が容易であることと、型卷線輪を採用できることのため開溝とする場合が多い。

電機子の線輪には第2・28圖に示す3種がある。①②圖は二層巻に、③圖は單層巻に用ひられる。巻線法の詳細は次章に述べる



第 2・28 圖

(1)圓筒型の固定子 凸極型のものと同構造は大體同様であるが、タービン発電機は磁極数が少い結果、鐵心は第2・29圖のやうに半径方向の厚さが大となる。



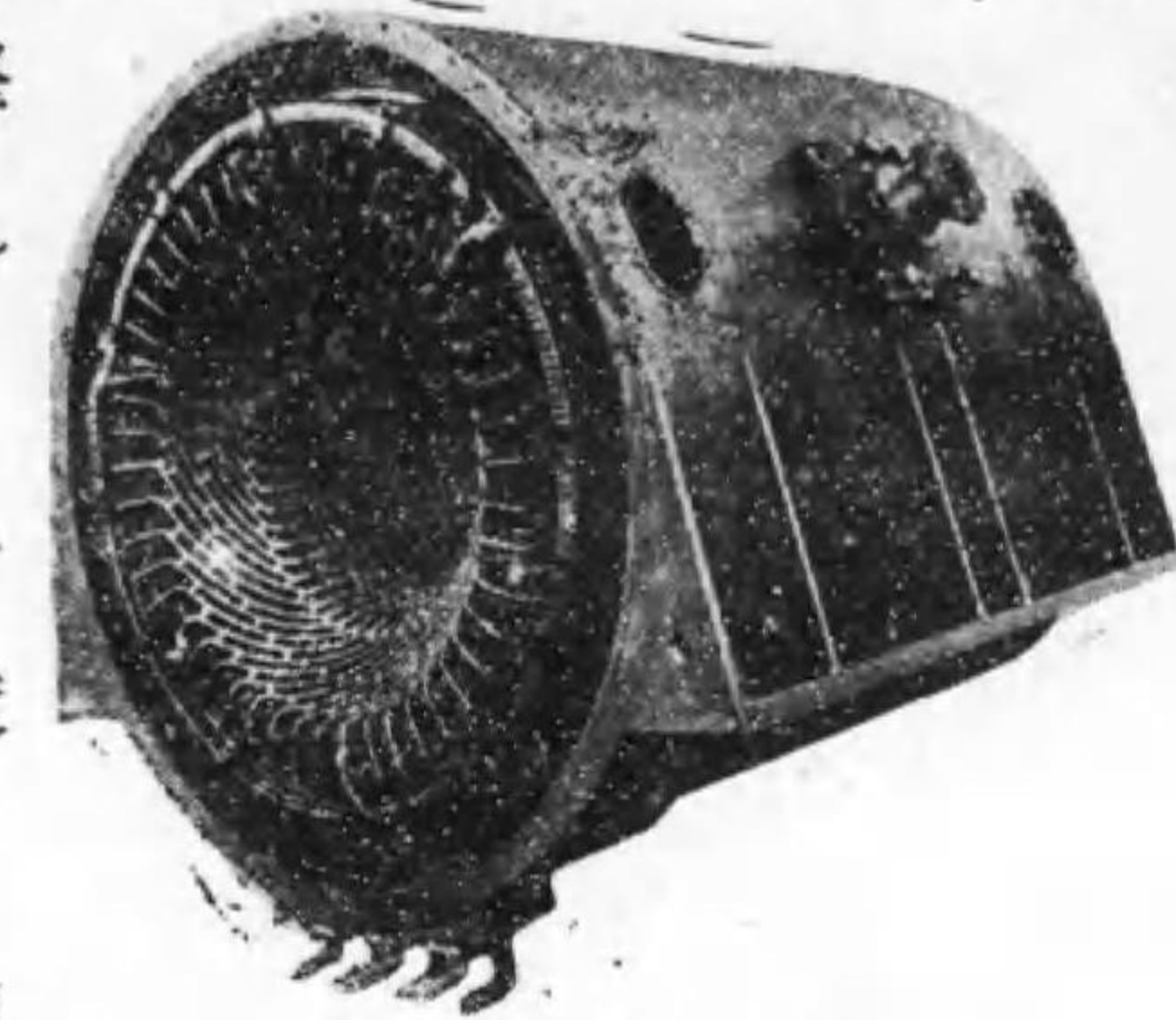
第 2・29 圖

なほ軸方向の長さも長くなるので、通風には特別に考慮を要する。

また線輪は巻幅が廣くなり、したがって端部接續線が

長くなるから短絡を生じた場合、大なる電磁力が作用して形をゆがめるおそれがある。故に、この部分は十分堅固に支持しなければならない。

第2・30圖はタービン発電機の固定子である。



第 2・30 圖

(3)軸受 横型同期機の軸受は直流タービン発電機の固定子機と大體同じであるが、大型となるから給油並びに冷却方法に相當の工夫を要する。

豎型発電機では、勵磁機が軸の最上部にあつてその下に推力軸受を置き、発電機回轉子及び水車羽根車の全重量並びに水壓をこれで支へる。しかしこれだけでは、軸は左右にふれるから別に案内軸受を設ける。

推力軸受としては、

(ア)キングスベリー式

(イ)ばね式

の2種が広く用ひられる。

(ア)キングスベリー式 これは第2・31圖のと
ほり,上部回轉板①を軸に取付け,下部固定板②



甲



乙

第2・31圖

は數箇の扇形に分割して各の中心を尖軸③で支へる。

①が靜止してゐるときは,②は①へ密着して水平になつてゐるが,①が矢の方向へ回轉すると,①と

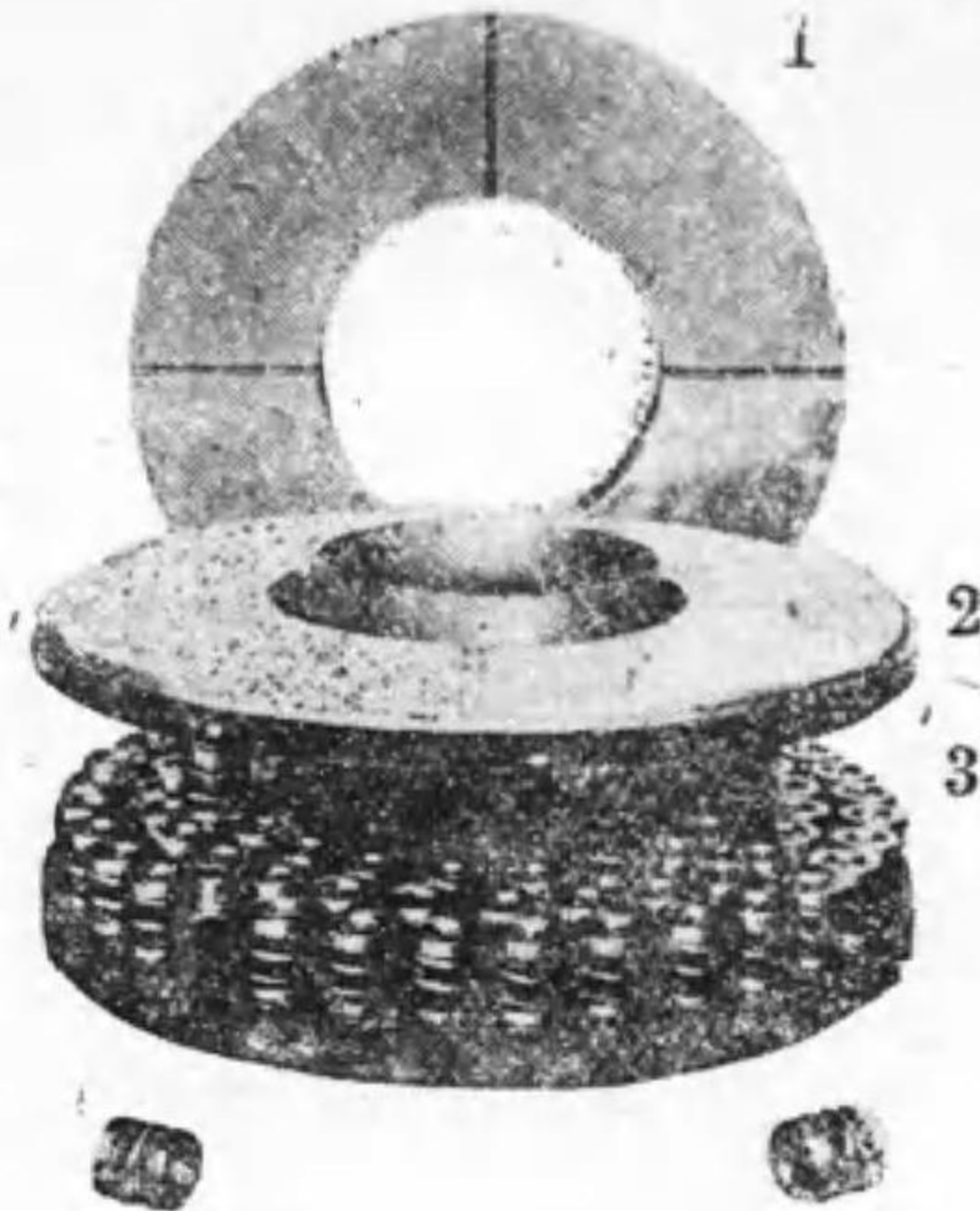
②との接觸面

に附着した油が兩板の間に浸入し,その油壓のために②は傾斜するから,油は益々兩板間に浸入して給油を圓滑にする。

(イ)ばね式 これは第2・32圖のやうに,上部回轉板①はキングスベリー式と同様であるが,下

部固定板②も1枚の圓板をなし,半徑方向に數條の溝を切開いて撓屈性を増したもので,これをばね③で支へる。上

下兩板間に油が自動的に浸入して給油されるが,接觸面の壓力が局部的に變化するやうな場合には,固定板のその部分とばねとがこれに應じて變形し,壓力の平衡をはかり給油の圓滑を期するのを特長とする。



第2・32圖
ばね式

兩軸受とも油槽に浸し,油は油槽中に設けた水冷管によつて冷却する。

(4)通風 電氣機械は,一般に溫度上昇によつてその出力が制限されるから,通風をよくすれば出力を増加することができる。

同期機では主として電機子線輪・電機子鐵心・界磁線輪中に發生する熱が溫度を上昇させる原因となるから,これらの部分を十分冷却する

やうに通風を行はなければならない。

回轉界磁型の凸極のものでは、磁極自身が送風扇となり、これによつて吹出された風が固定子鐵心の通風渠を通つて冷却するから、單に磁極兩側の軸上に羽根車を裝置して、電機子を冷却するやうにしたものが多い。しかし磁極數の少いものは回轉數が大で、したがつて鐵心が軸方向に長くなり、その中央部の通風が困難となるから、中央部に通風することもある。

タービン發電機のやうに圓筒型のものも、この羽根車を裝置することもあるが、大容量機では、小羽根車のほかに別に送風機を設けたもの、全然羽根車なしで外部送風機だけで通風を行ふものもある。かうすれば、冷却風量を負荷によつて加減できる。

なほ通風路の様子によつて固定子枠の構造もちがつてくるが、一般には次の3種に分類される。

(1)開放型 固定子・回轉子とも外氣に露出し、室内の空氣を直接回轉子に吸込んで、これを固

定子枠からその室内に放出させるものである。構造が簡單で室内空氣の清淨な場合には適するが、室内溫度を上昇させ、且非樂音を發するなどの缺點がある。

(2)半閉型 開放型とほぼ同様の構造であるが、 400mm^2 以内の面積の細孔を有する金網その他の適當な有孔蓋で開孔を閉ぢ、異物の侵入を防ぐ構造のものである。

(3)閉鎖通風型 これには次の3種がある。

(ア)半閉鎖通風型 固定子枠及び回轉子の兩側の大半を覆ひ、室内の冷風を左右兩側から吸込んで固定子鐵心に吹出し、固定子枠から風胴を通して屋外に放出するもの

(イ)閉鎖通風型 機械を完全に閉鎖して、吸込も排出も共に風胴を用ひて排氣を屋外に放出するやうにしたもの

(ウ)空氣循環式閉鎖通風型 吸込風胴と排出風胴とを連結して同じ空氣を循環させ、その途中に水冷式空氣冷却器を置くもの

以上のうち(ア)は $5,000\text{kW}$ 以内の中容量、(イ)(ウ)

はそれ以上の大容量の水車発電機・調相機・周波数変換機などに広く用ひられる。蒸気タービン発電機は殆ど空気循環式の通風方式を採用してゐるが、水車発電機にもこの方式を採用したものが多し。

近來冷媒として空氣の代りに、熱傳導率良好で風損の少い水素ガスが試用されてゐる。

3. 勵磁機

同期機を勵磁する直流發電機を勵磁機といふ。一般に分巻或は複巻發電機が使用され、その電壓は 100~125 V または 200~250 V が普通である。

勵磁機の容量は、一般に主機容量の 5% 以下である。主機の容量及び速度の大なるものほどこの百分率は小さい。第 2・2 表はこの關係を示す。

勵磁方式には單獨式と總括式とがあり、運轉方法としては、

- (ア) 主機に直結する法
- (イ) 主機軸からベルト運轉する法

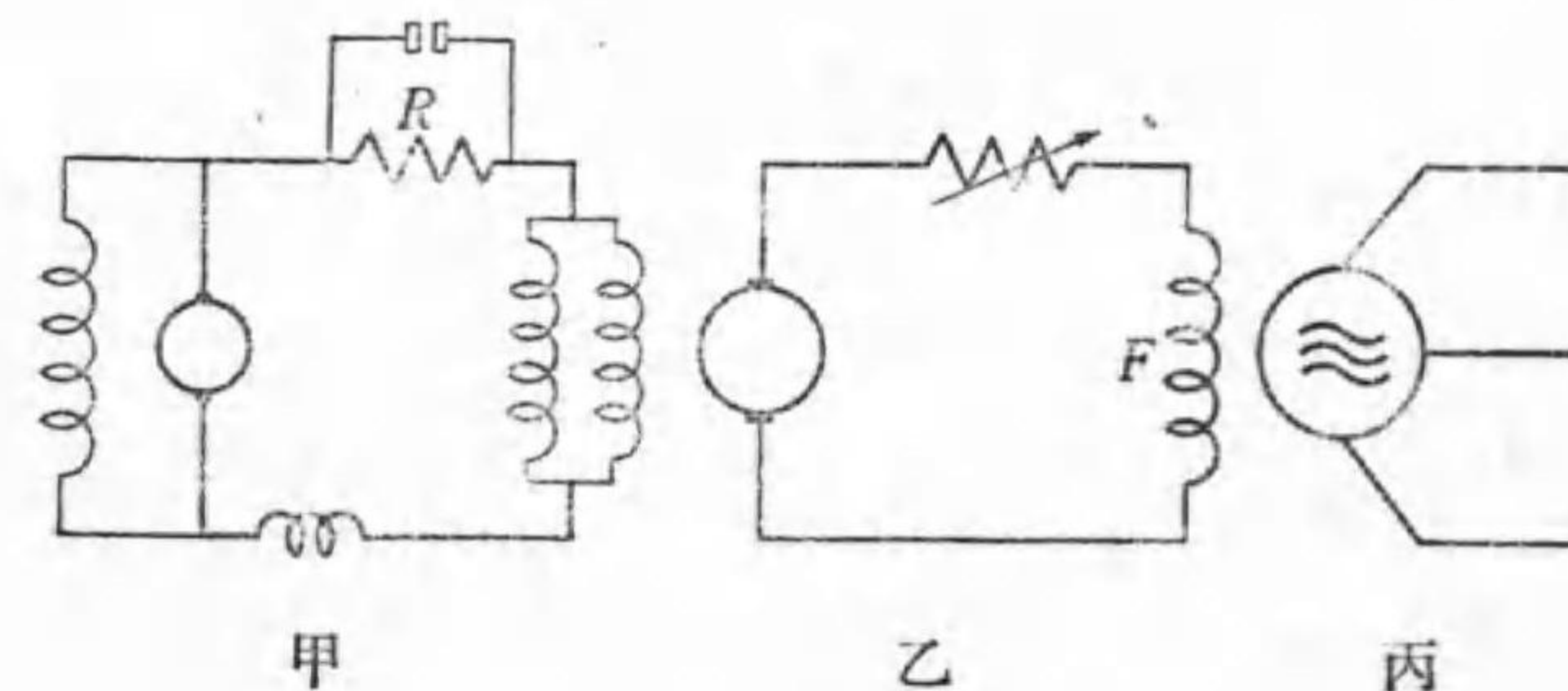
第 2・2 表

主機容量 (kVA)	勵磁機、容量 (%)				
	水車發電機			タービン發電機	
	四極	八極	十四極	二極	四極
100	1.8	2.2	2.9	3.0	4.0
1,000	0.82	1.1	1.35	1.25	1.6
10,000	0.37	0.5	0.6	0.50	0.65
50,000	0.22	0.3	0.35	0.27	0.30

(ウ) 電動發電機とする法

(エ) 勵磁機専用の原動機を置く法

等であるが、(ア)の方法が最も多く採用されてゐる。



第 2・33 圖

㊶副勵磁機 ㊷主勵磁機 ㊸主機

同期機の電壓を安定に保つために、第 2・33 圖

のやうな勵磁方式を用ひることがある。即ち主機を勵磁する主勵磁機を更に勵磁するため、副勵磁機を設け、例へば主機電壓の急降下に對して R を速に短絡し、勵磁電流が應變し得るやうに設計したものである。このやうな勵磁方式を速應勵磁方式といふ。

練習問題

大なる交流發電機に於て、開溝電機子と半閉溝電機子との得失を比較せよ。

第3章 電機子巻線法

第1節 交流巻線法の意義と特長

これは各線輪邊の誘導起電力を打消さないやうに、且導體を善用するやうに線輪邊を接續する方法である。そして交流巻線には直流巻線のやうに鼓狀巻を用ひる。重巻も波巻もあるが、これには次のやうな特長がある。

- (1) 電機子内の電路數は、各相につき1箇のときも、2箇以上が並列になることもある。
- (2) 溝數は次式のとほりに定まる。

$$Z = mPq \dots\dots\dots (3 \cdot 1)$$

Z : 溝の總數

m : 相數

P : 磁極數

q : 每相每極の溝數

- (3) 誘導起電力を良好にし導體材料節約のために短節巻を用ひる。
- (4) 主として二層巻を用ひ、單層巻は殆ど用ひない。

第2節 巻線法の種類と説明

巻線を分類すれば次のとほりである。

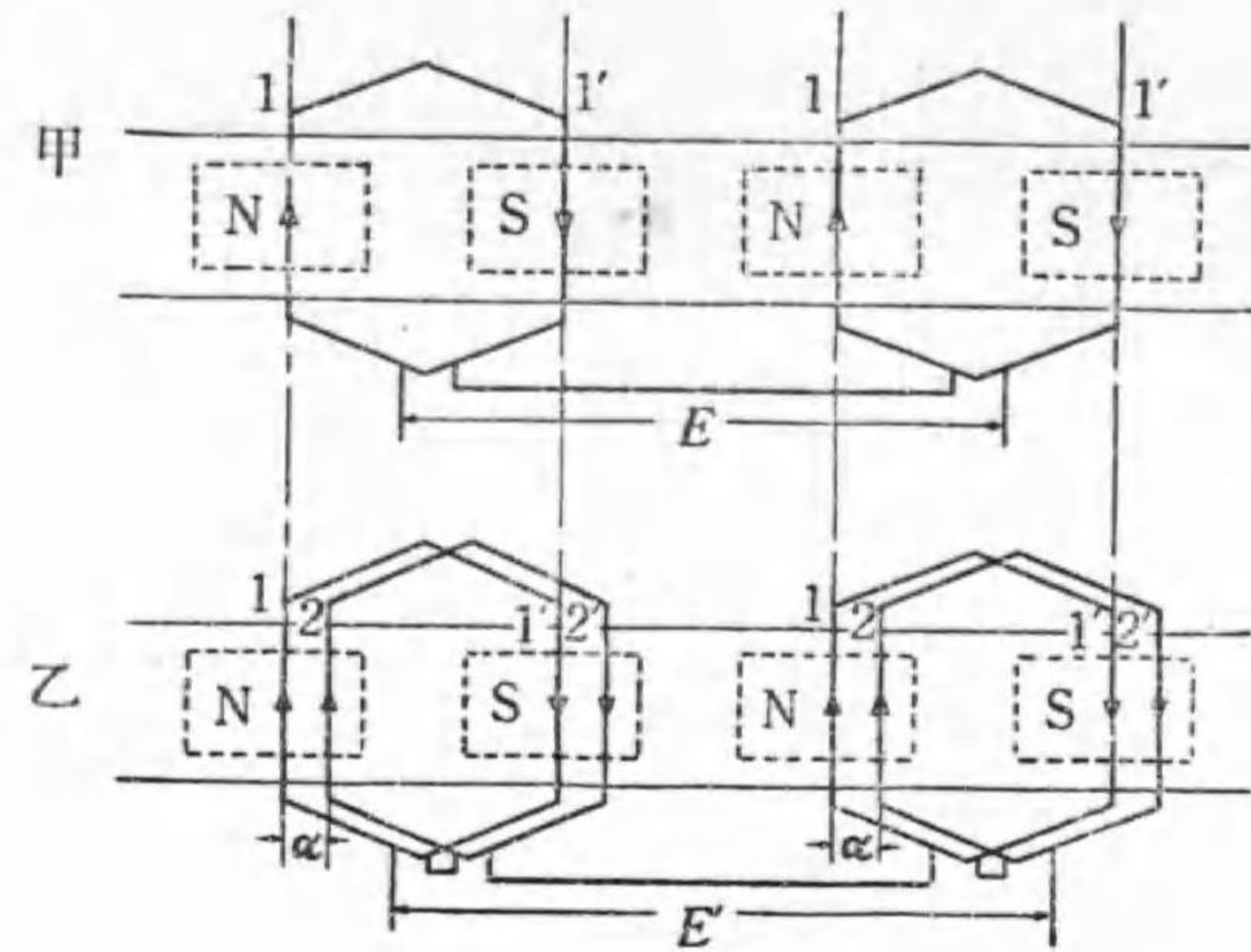
鼓狀巻	[集中巻]	[單層巻(鎖巻)]	[單相巻]	[全節巻]
		[分布巻]	[二層巻(龜甲巻)]	[多相巻]

回轉電機子型では、集電環に巻線の端部を結線する點が回轉界磁型とちがふだけで、巻線法自身には變りはない。

巻線圖には放射圖と展開圖とがある。

- (1) 集中巻と分布巻と分布係數 每相每極の溝數 q が1なのを集中巻、2以上なのを分布巻といふ。

第3・1圖①は四極単相集中巻である。各線輪の巻数を n 、1巻の誘導起電力を e 、全巻線の



第3・1圖

端子間の電圧を E とすれば、

$$E = 2ne \dots\dots\dots(3.2)$$

となる。電機子鐵心面の利用や線輪内の熱の放散をよくするため、各線輪を $\frac{n}{2}$ 巻ずつに2分すれば②圖のやうになる。これは $q=2$ の分布巻である。この全巻線の端子間の電圧は E' となり、

$$E' = \frac{n}{2} e \cos \frac{\alpha}{2} \times 4 = 2ne \cos \frac{\alpha}{2} \dots\dots(3.3)$$

となる。これは、2分した各線輪が α だけずれ

るために、各起電力に α の位相差を生じるからである。

α の値は次式により電氣角度で求められる。

$$\alpha = \frac{180^\circ}{mq} \dots\dots\dots(3.4)$$

m : 相 數

q : 每相每極の溝數

mq : 一極間隔内にある溝數

この α は溝間隔で、多相式では全溝を等間隔とするが、單相式では q の少いときは等間隔とするに及ばない

分布係數

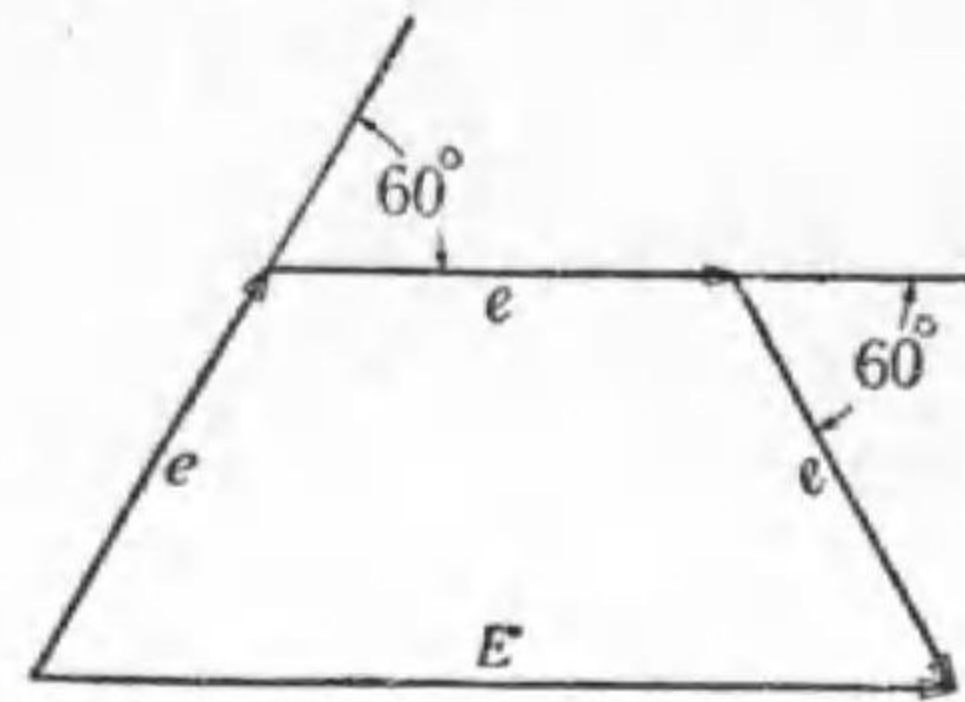
(3.2)と(3.3)式とをくらべてわかるやうに、分布巻の端子電圧は集中巻のものより小さくなるから、これを等しくするには巻数を増さなければならぬ

$$W_a = \frac{\text{分布巻とした端子電圧}}{\text{集中巻とした端子電圧}} = \frac{E'}{E} = \cos \frac{\alpha}{2} \dots\dots\dots(3.5)$$

この W_a を分布係數といふ。

例題(1) 四極單相巻で每極の溝數3のときの分布

係数を求める。(第3・2圖参照)



第3・2圖

$$\alpha = \frac{180^\circ}{1 \times 3} = 60^\circ$$

$$W_a = \frac{E'}{E} = \frac{e + 2e \cos 60^\circ}{3e}$$

$$= \frac{2e}{3e} = 0.666$$

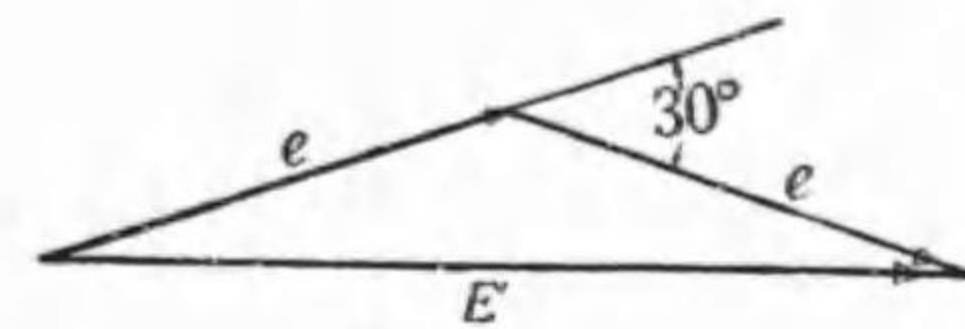
例題(2) 四極三相巻で

全溝數24のときの分布係数を求める。

$$q = \frac{24}{3 \times 4} = 2$$

$$\alpha = 180^\circ \div (3 \times 2) = 30^\circ$$

$$W_a = \frac{E'}{E} = \cos 15^\circ = 0.966$$



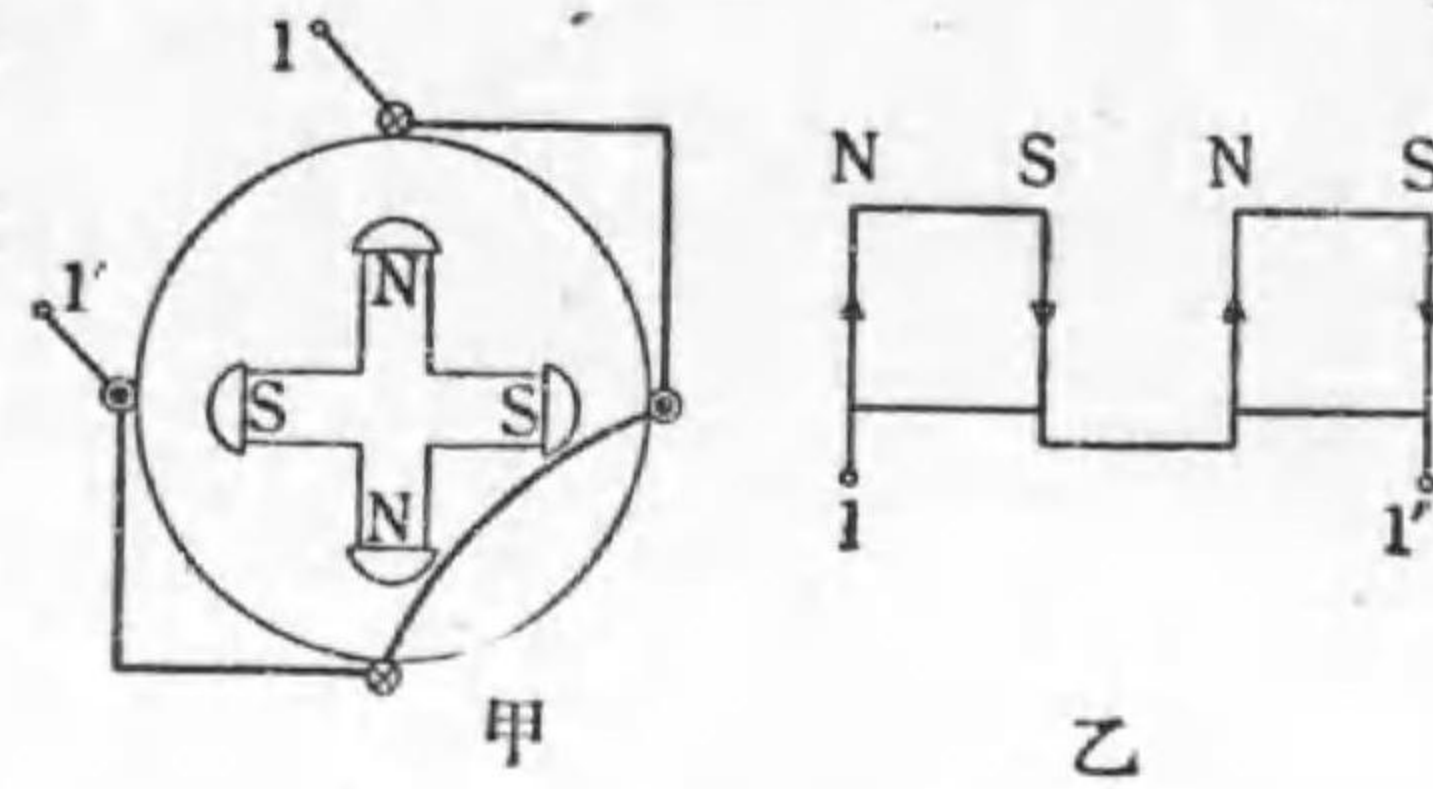
第3・3圖

種々の m 及び q に對する分布係数を表示すれば、次のとおりである。

q	W_a		
	$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$
1	1.000	1.000	1.000
2	0.705	0.924	0.966
3	0.666	0.911	0.960
4	0.653	0.906	0.958
6	0.637	0.903	0.956

第3・4圖(甲)(乙)は四極單相集中巻($q = 1$)で、す

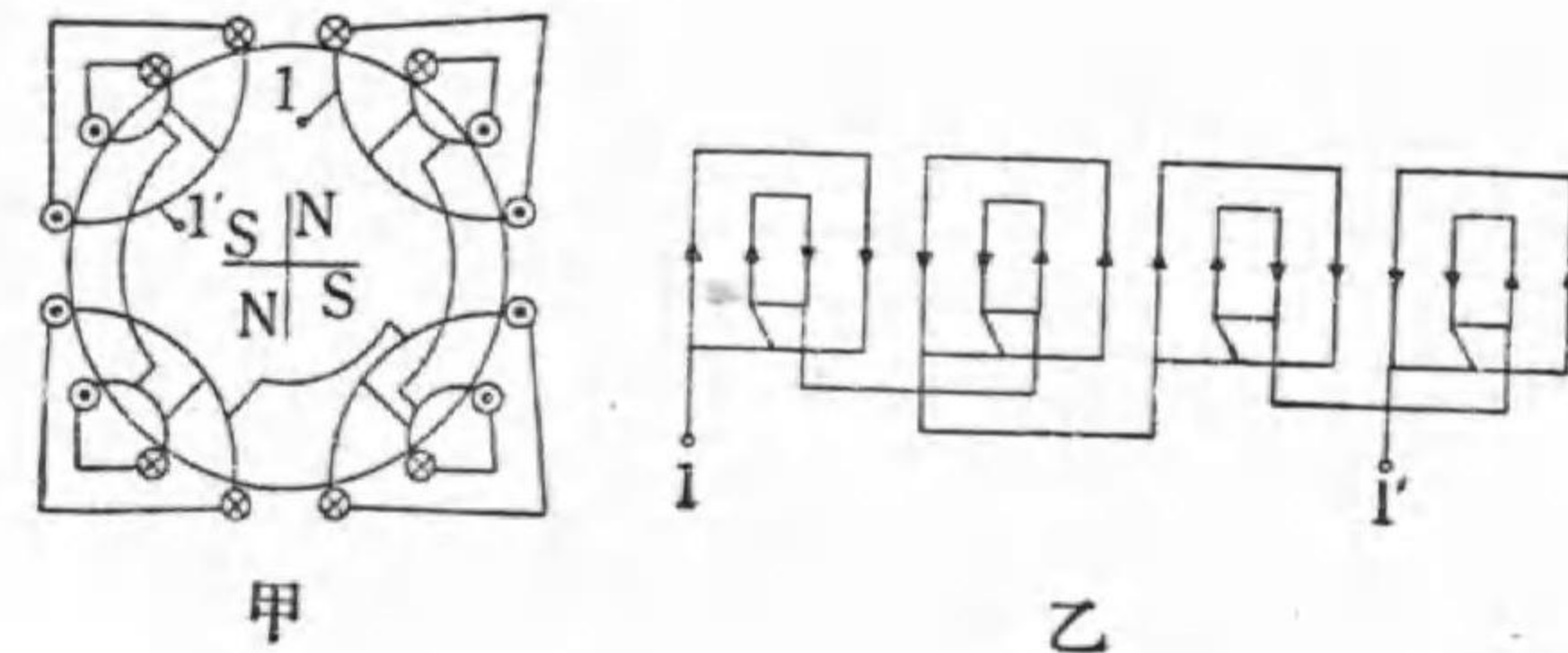
べての線輪邊は4箇の極性をつくりつつ直列に接続される。



第3・4圖

第3・5圖(甲)

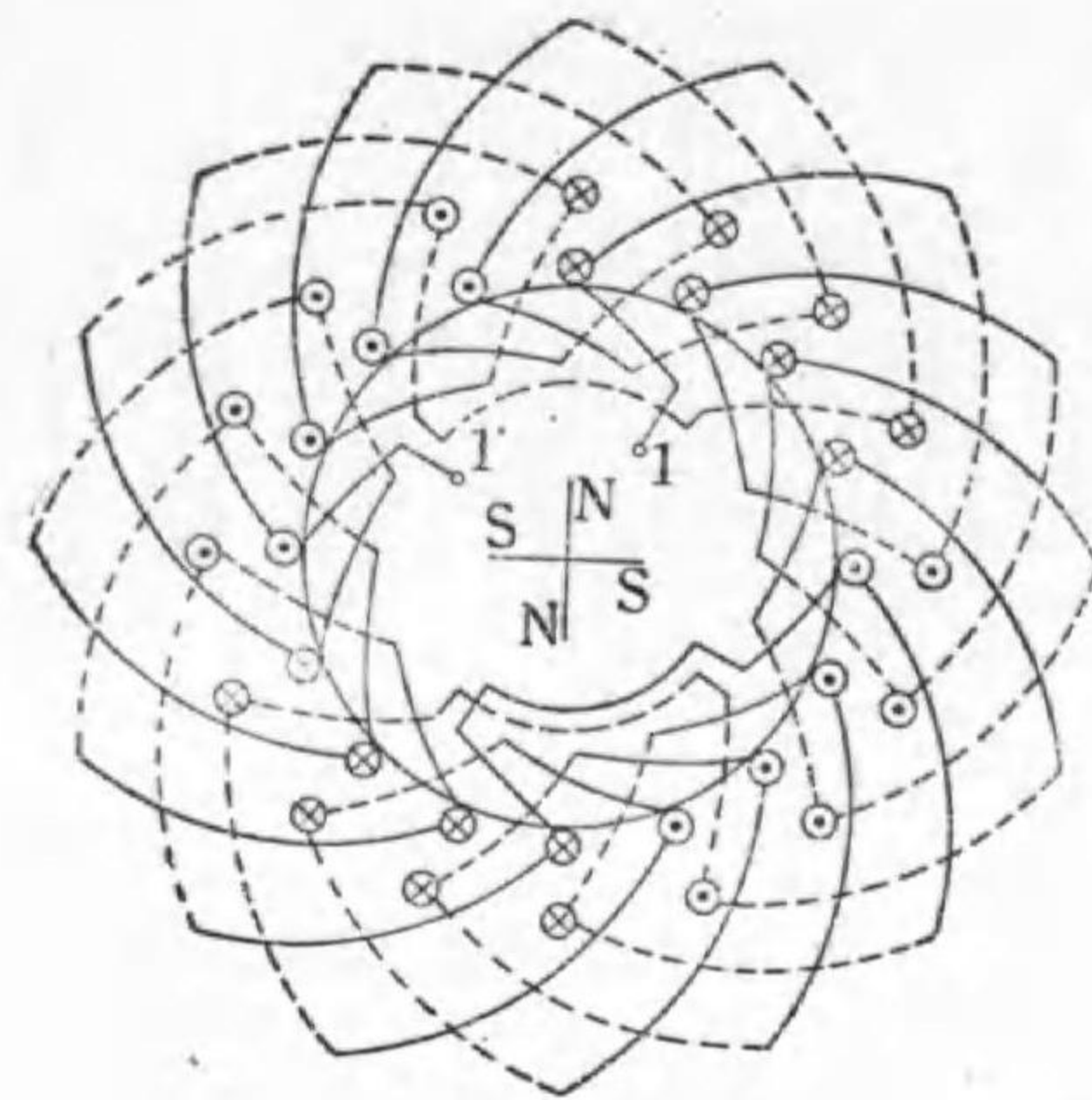
(乙)は四極單相分布巻($q = 4$)である。



第3・5圖

(2)單層巻と二層巻 每溝の線輪邊1箇なのを單層巻(鎖巻)、二箇なのを二層巻(龜甲巻)といふ。單層巻では巻型は q 箇共ちがふこともあるし、同一のこともあるが、二層巻では同一である。

第3・5圖(甲)(乙)は四極單相分布單層巻であつて、第3・6圖(甲)(乙)は四極單相分布($q = 4$)の二層

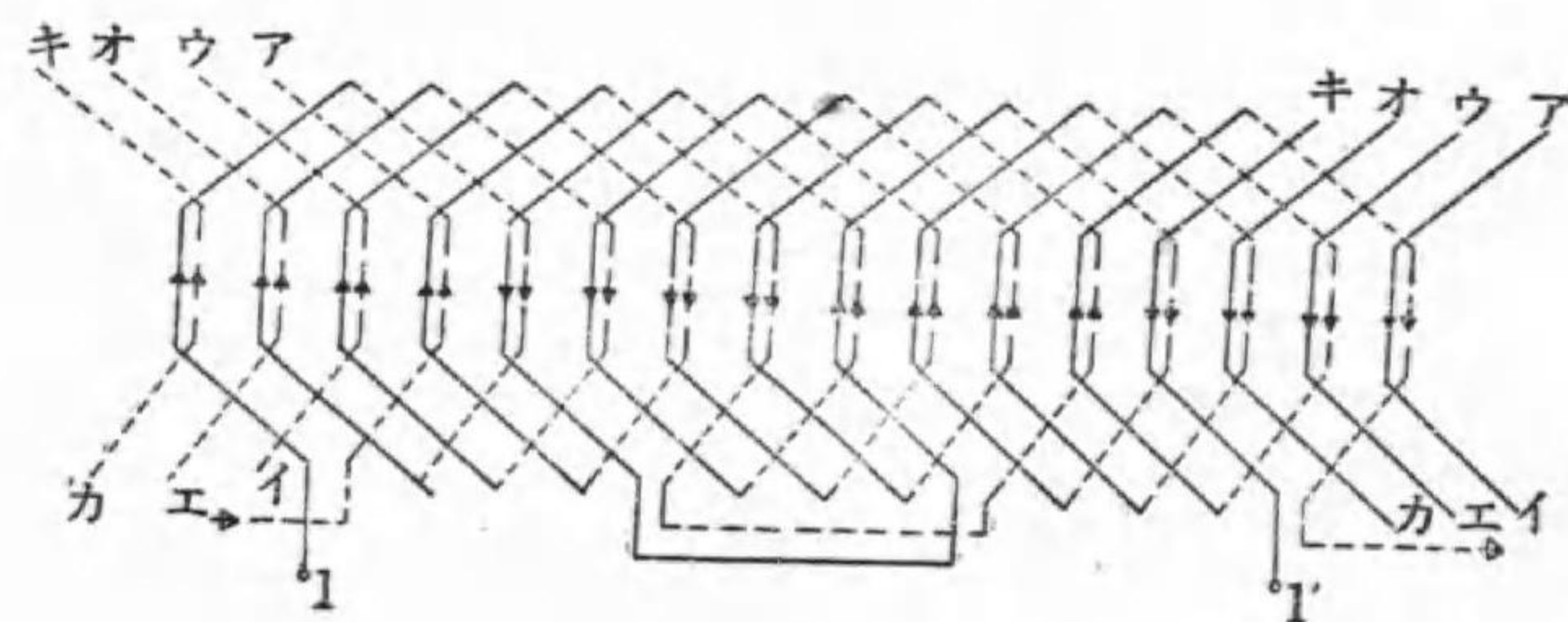


甲

卷で、實線部分は溝内の上口で點線部分は下口に當る。

Ⓐは放射圖でⒷはその展開圖である。

(3) 單相卷と多相卷 單相卷ではすべての線輪邊は極



乙

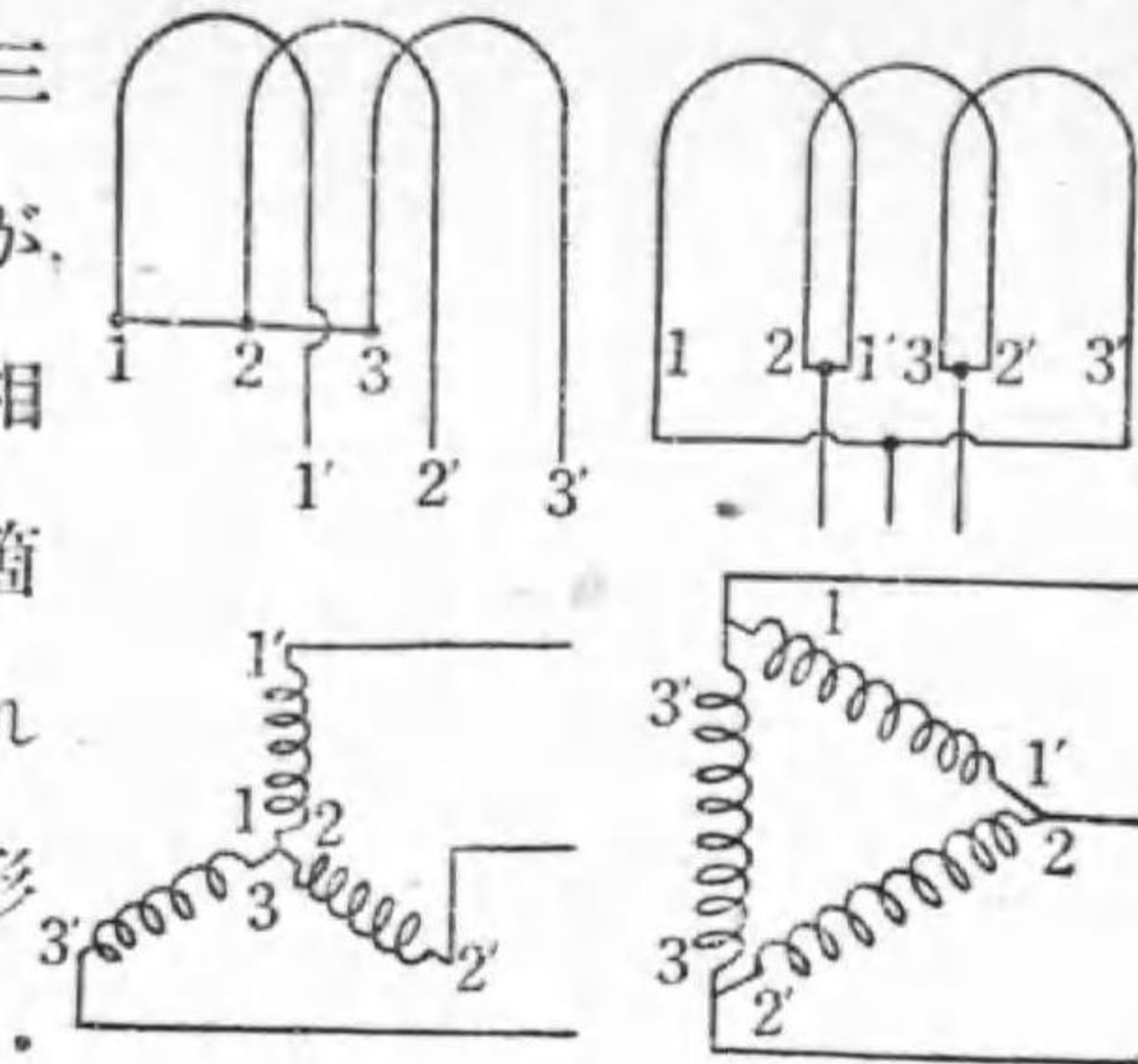
第 3・6 圖

數だけの極性をつくりつつ直列に接続される。

二相卷ではすべての線輪邊は同位點(入口と入口、出口と出口とはそれぞれ互に同位點である)が、互に電氣角 90° づつちがふ二つの相に分れ、

各相の邊はそれぞれ P 極數の極性をつくりつつ、直列に接続される。

三相卷では、すべての邊の同位點が互に電氣角 120° づつちがふ三つの相に分れる點が、二相と異なる。各相の線輪は出入口 2 箇づつを有する。これらを星形或は三角形の結線とする。第 3・7 圖Ⓐは前者を示し、



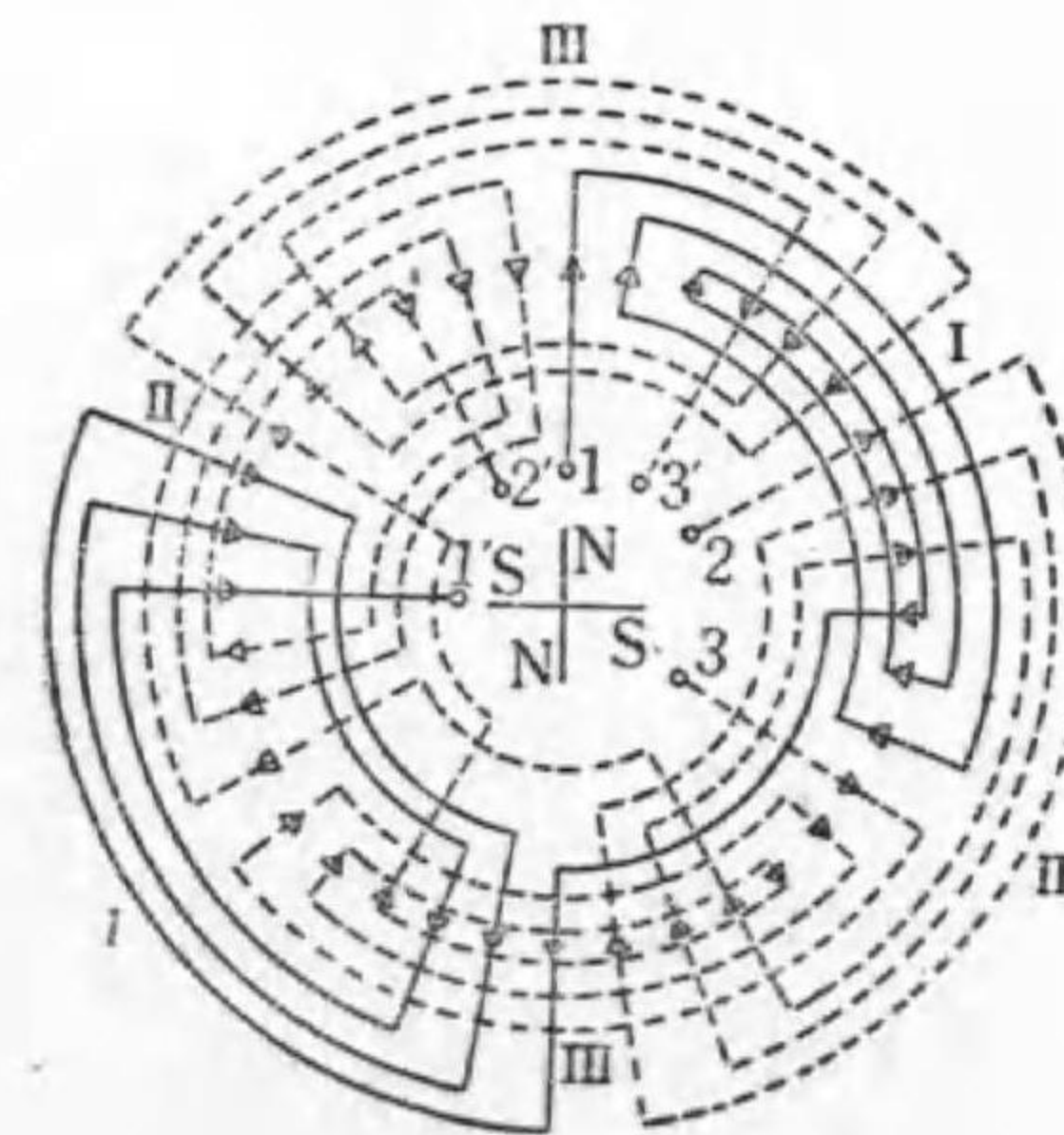
甲

乙

第 3・7 圖

Ⓑは後者を示す。

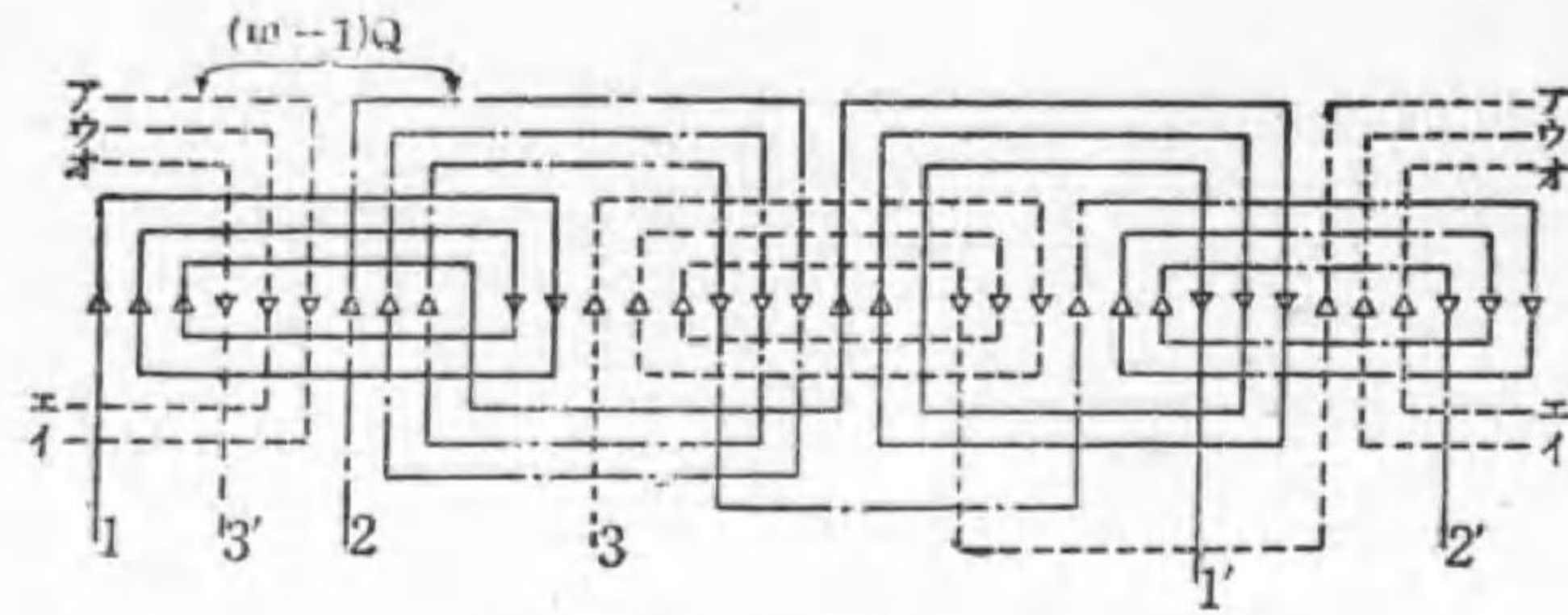
Ⓑは後者を示す。



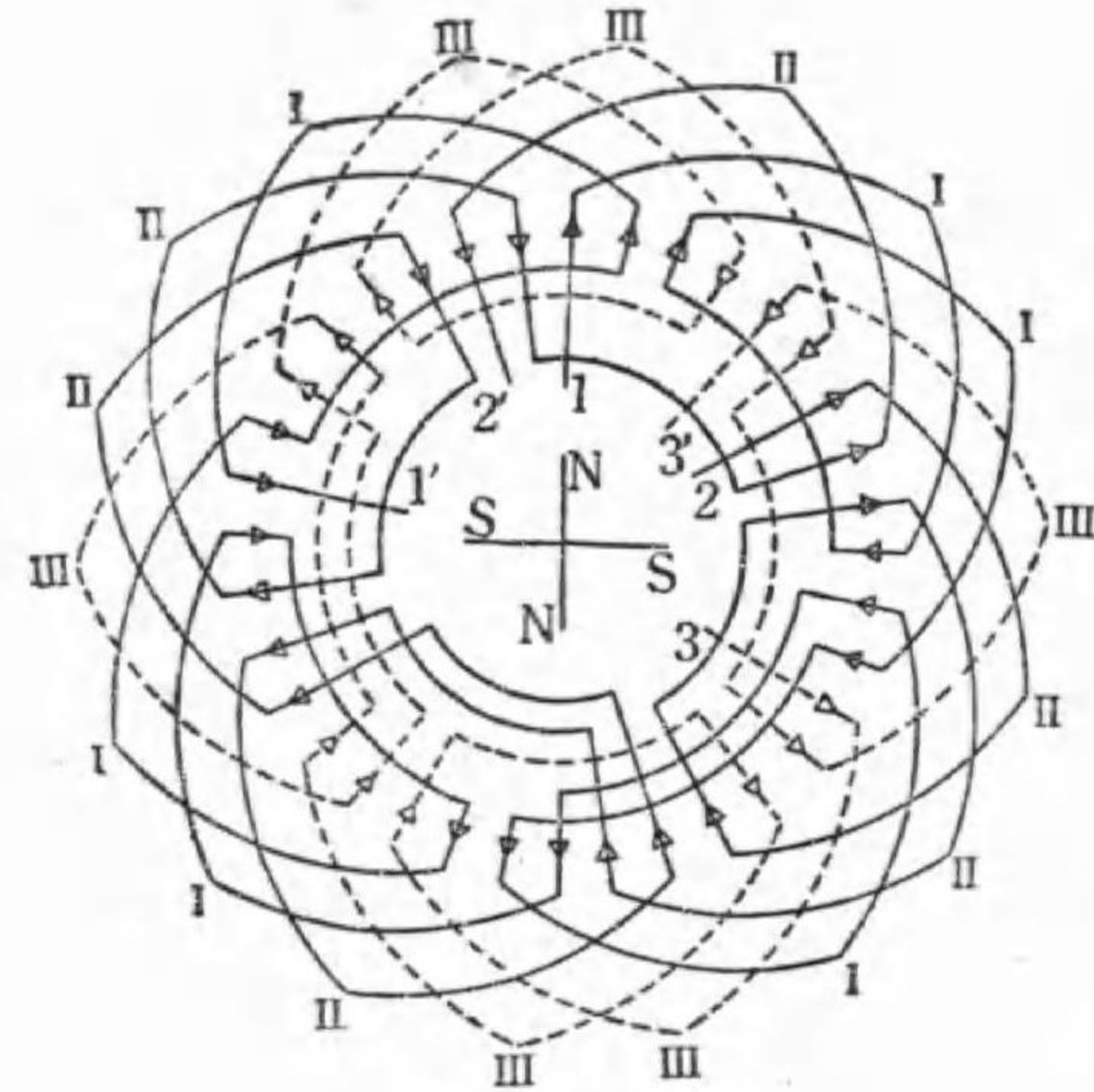
第 3・8 圖 甲

三相の同期發電機では一般に星形結線とする。その理由は、線輪各相に第三高調波が現れても線間では打消されるためである。

第 3・8 圖ⒶⒷ及び第 3・9 圖は四極三相



第 3・8 圖 乙



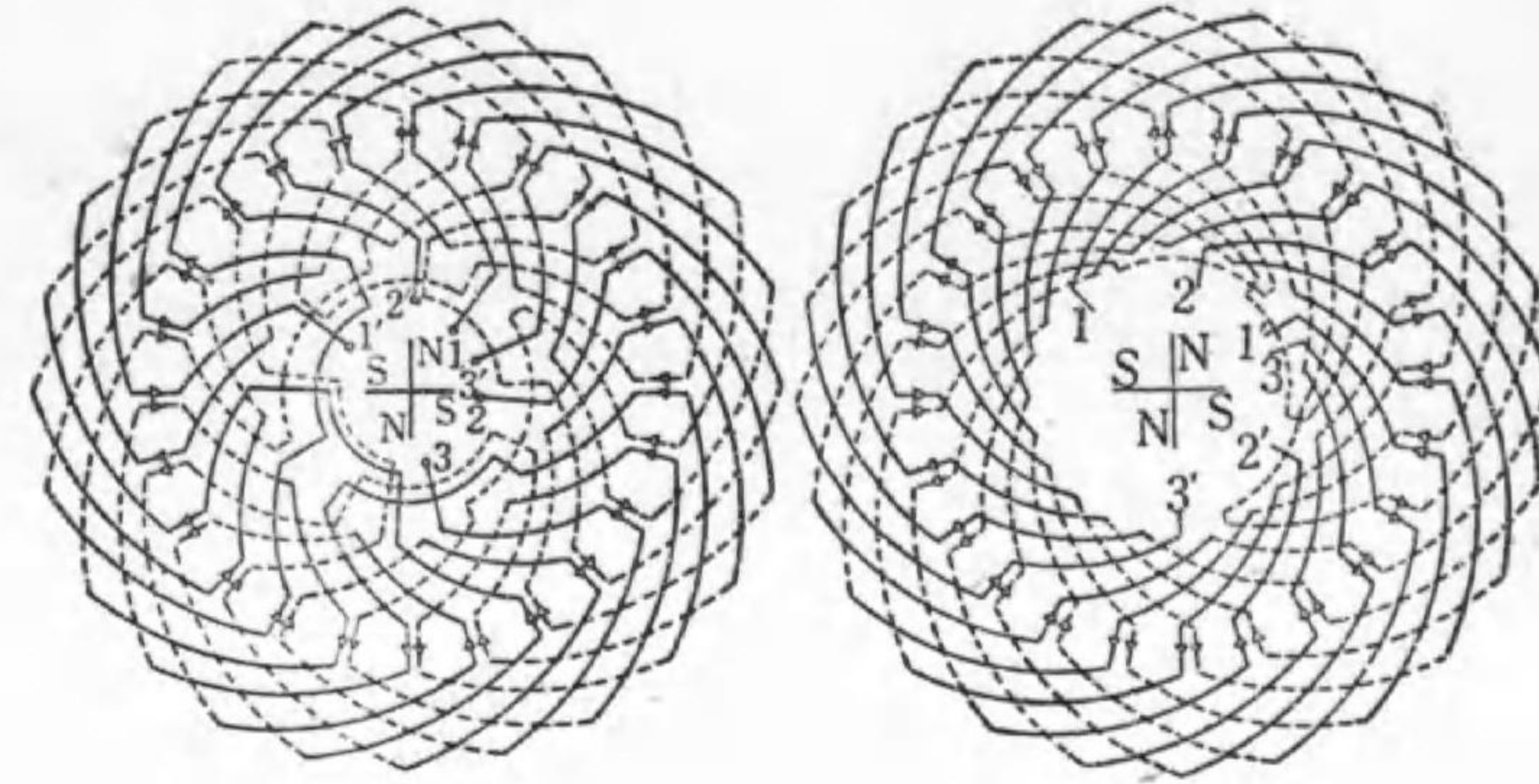
第 3・9 圖

分布($q=3$)單層卷で、線輪の入口と出口をそれぞれ一括して直流を通すとすれば、一相につき4箇の極性、全部で12箇の極性の

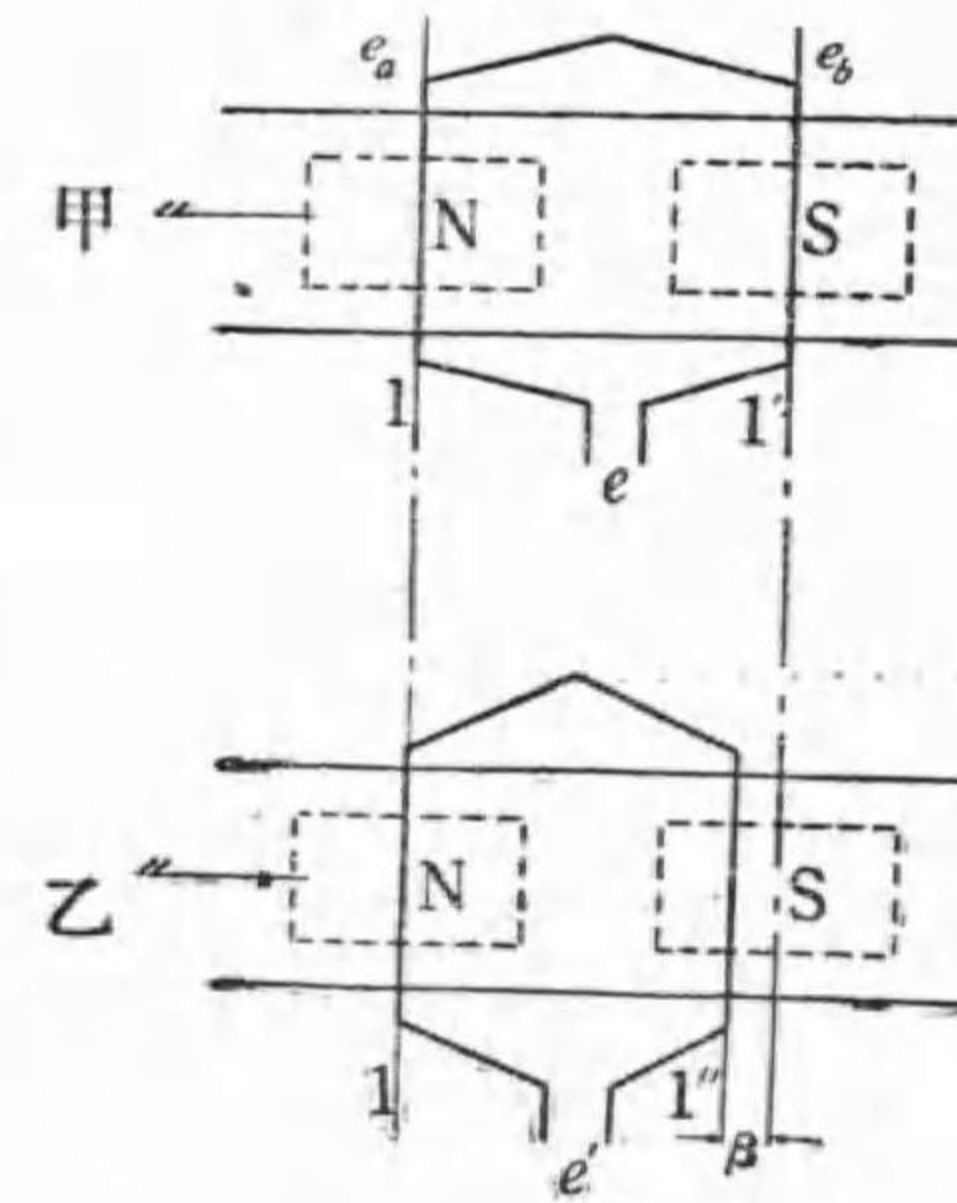
できることがわかる。

第3・10圖①②は四極三相分布($q=2$)の二層巻で①圖は重巻、②圖は波巻を示す。

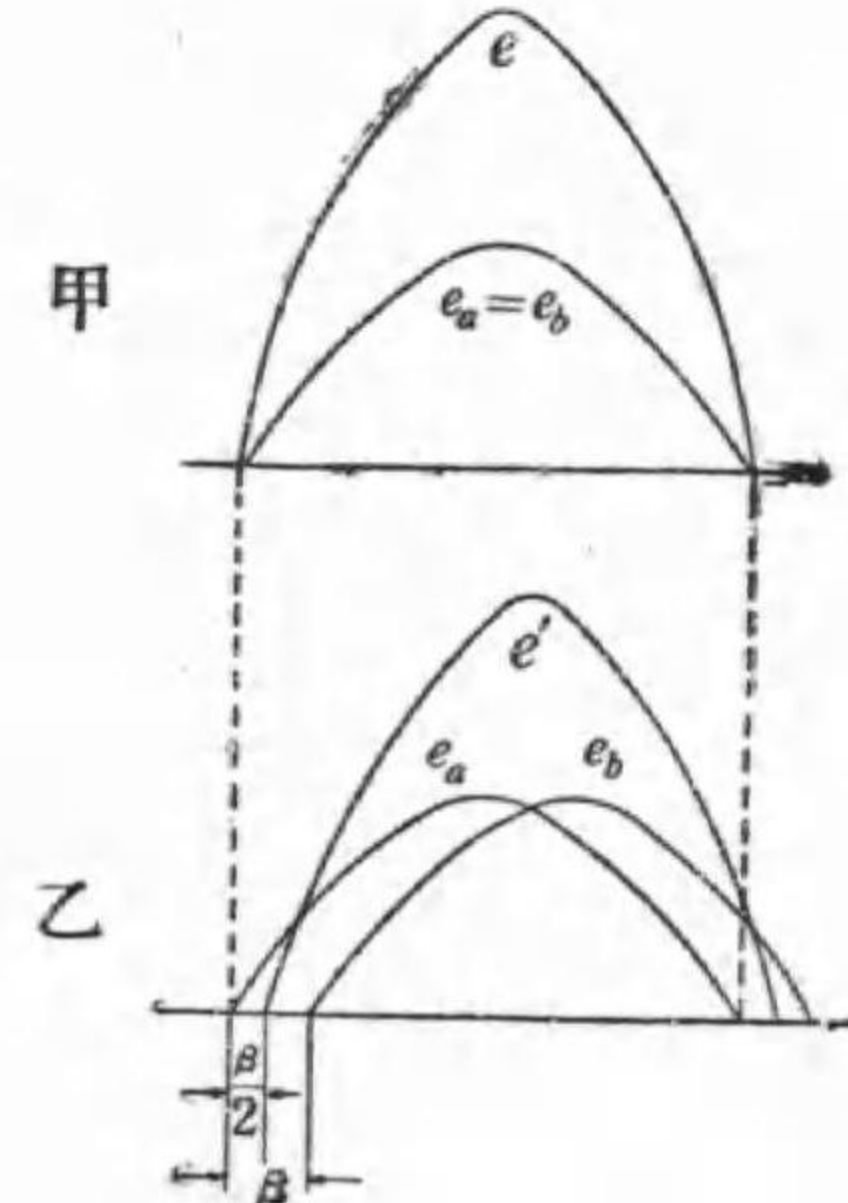
(4)短節巻と短節係數 線輪の前後各邊の起電力を e_a, e_b とすれば、第3・11圖①の全節巻のと



甲 乙
第 3・10 圖 ①重巻 ②波巻



第 3・11 圖



第 3・12 圖

きの線輪の端子電圧とは、

$$e = e_a + e_b$$

$$\therefore e = 2e_a \dots\dots\dots(3.6)$$

②圖のやうに β だけ短節にすれば端子電圧 e' は、

$$\begin{aligned} e' &= e_a + e_b \\ \therefore e' &= e_a \cos \frac{\beta}{2} + e_b \cos \frac{\beta}{2} \\ &= 2e_a \cos \frac{\beta}{2} \dots\dots\dots(3.7) \end{aligned}$$

となり、且 e より $\frac{\beta}{2}$ だけ遅れる。

第3.12圖①②は、全節巻及び短節巻の各場合の起電力の波形である。

短節巻起電力と全節巻起電力との比を短節係数といひ、 W_p で表はす。

$$W_p = \frac{e'}{e} = \cos \frac{\beta}{2} \dots\dots\dots(3.8)$$

$e' < e$ となるから、線輪の巻数を増して補はなければならない。

起電力が歪波磁界のために歪形するとき、ある適當の短節巻にすれば、特定の高調波起電力を打消して正弦波起電力に近づけることができる。短節巻の主要な目的はここにある。

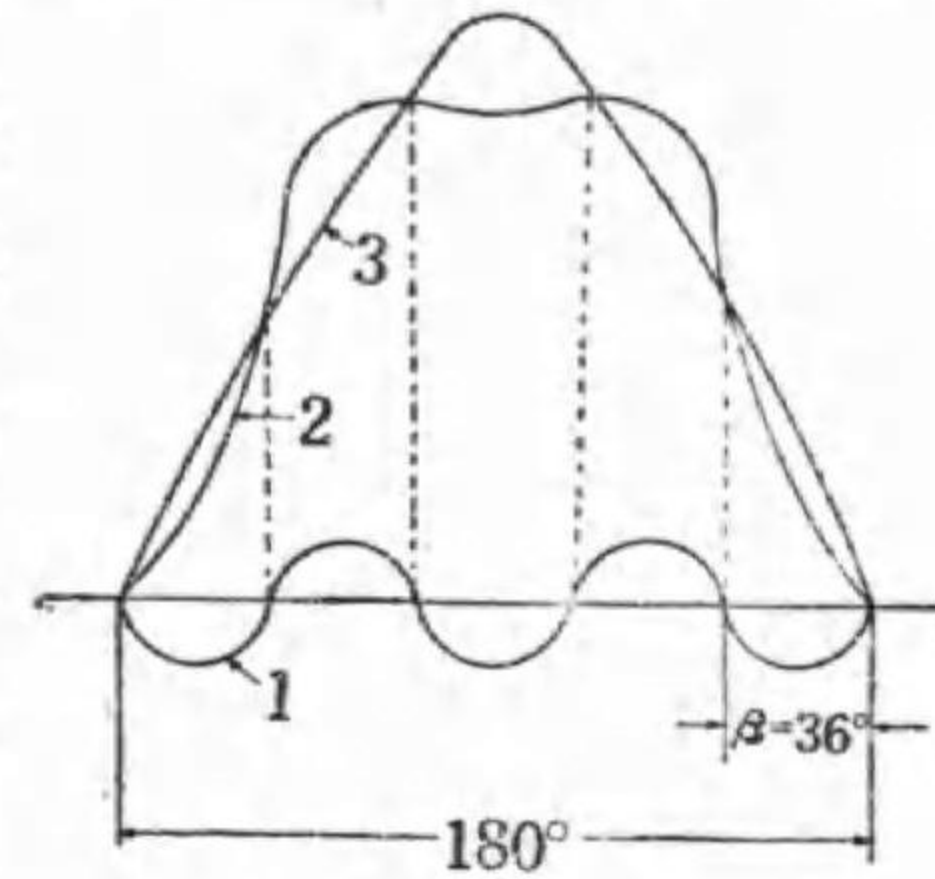
n 次の高調波を消すためには、

$$\beta = \frac{180^\circ}{n} \dots\dots\dots(3.9)$$

とすればよい。しかし短節係数は次のとおりになる。

$$W_p = \cos \frac{\beta}{2} = \cos \frac{180^\circ}{2n} \dots\dots\dots(3.10)$$

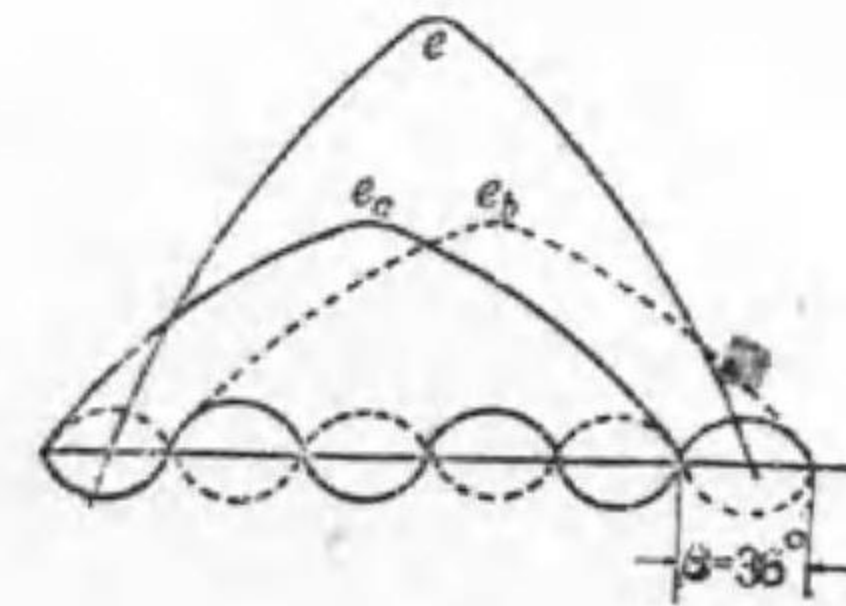
例を舉げて説明すると、第3.13圖のやうに正弦波に第五次高調波を含んで歪形となるとき、 β を $\frac{180^\circ}{5}$ 即ち 36° の短節巻とすれば、線輪の前後各邊の起電力は第3.14圖のやうになり、各の五次高調波は反對になつて打消され二



第3.13圖
①五次高調波 ②歪波 ③基本波

つの基本波が残り、その合成が端子電圧 e の波形となるが、これは正弦波である。

(5) 分布短節巻の起電力分布係数 W_a と節係数 W_p とを合成したものを



第3.14圖

巻線係数といひ、これを W_r とすれば、

$$W_f = W_a \times W_p = \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \dots\dots(3.11)$$

となる。よつて分布短節巻の起電力の實効値 E_0 は、

$$E_0 = 4.44 W_f \Phi T f 10^{-8} \text{ ボルト } \dots\dots(3.12)$$

となる。

練習問題

- (1) 交流三相式発電機は通例星形に接続せられる。その主な理由を記せ。
- (2) 分布巻の端子電圧は集中巻のそれよりも小さくなる理由を述べよ。
- (3) 四極三相每相每極の溝数を3とする二層重巻及び波巻の線輪図を作れ。

第4章 理論と特性

同期機は、一定の同期速度のもとに於て特性を論じなければならないが、同期をはづれやすい性質がある。発電機に於ては一定の端子電圧や負荷電流に對しても、同期交流抵抗(同期インピーダンス)及び電流の位相關係力率によつて、界磁電流を變へなければならない。また電

動機に於ては、一定の供給電圧や負荷に對しても、勵磁度によつて電機子電流の値だけでなく位相が變るもので、他に例のない現象である。これらの理論を説明して特性を明かにしよう。

第1節 電機子の同期交流抵抗

同期機の電機子電流による起磁力は、電機子回路に漏洩リアクタンスや反作用リアクタンスを生じさせ、同期交流抵抗降下を來し同期機の特性に影響を及す。

1. 電機子起磁力

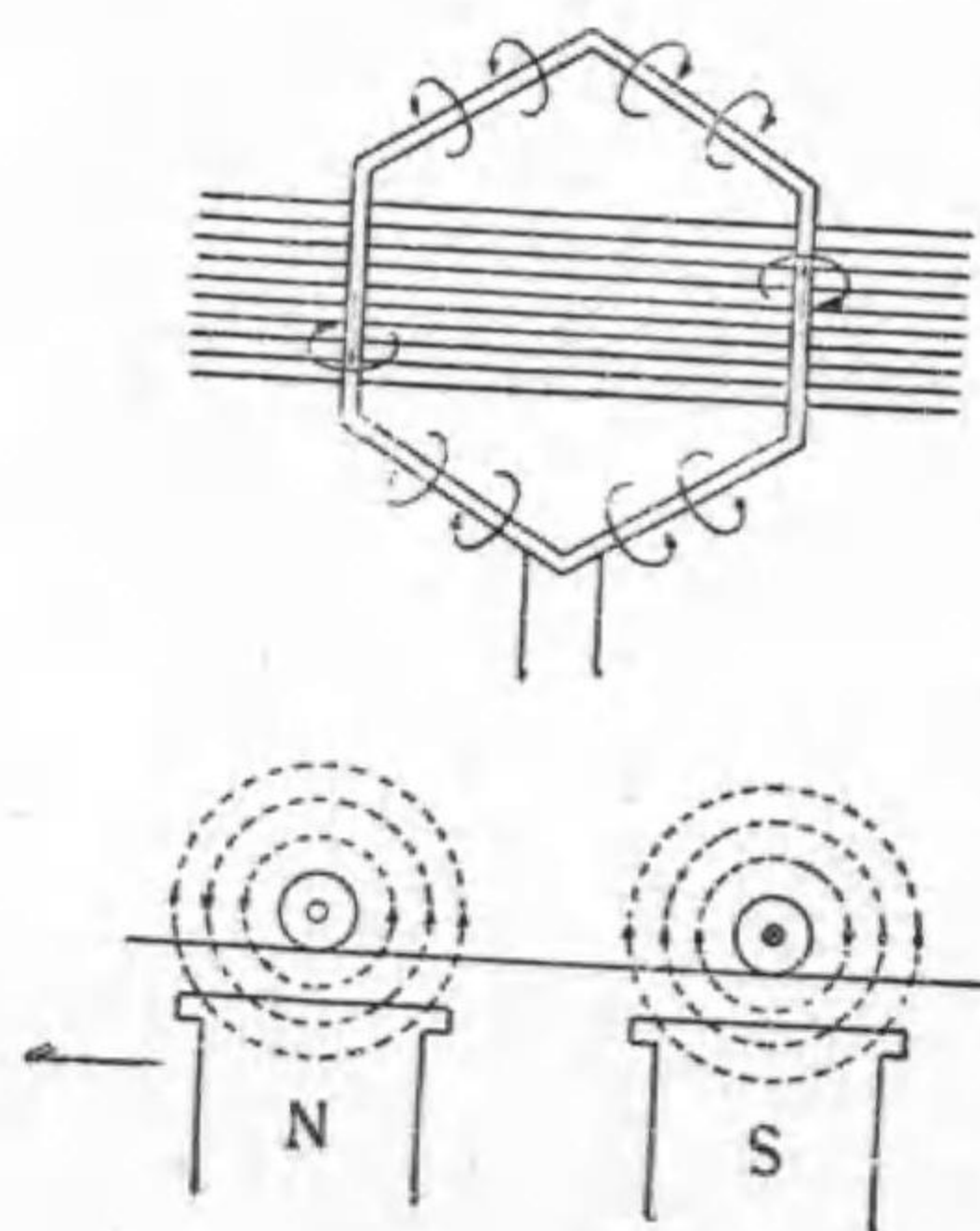
同期機に負荷すれば、電機子電流が流れ電機子起磁力を生ずるが、單相及び三相の場合によつてその趣を異にする。

(1) 三相の場合 発電機でも電動機でも電機子起磁力は各相のものの合成となり、 $\frac{3}{2} I_m N$ の一定値を有し、同期速度で界磁と同方向に回轉するから、界磁と電機子起磁力との相對關係は靜止的である。

(2) 單相の場合 單相電機子起磁力は、 $N I_m \sin \omega t$ の瞬時値で電流と共に變る交番起磁力である。

交番起磁力は、互に反対方向に回轉する二つの起磁力に分けて考へられる。それで界磁と同方向に回轉するものは、三相のときと同様に界磁に對して靜止的であるが、界磁と反対方向のものは界磁に2倍の周波數の交番起磁力となつて影響する。主磁束中の2倍の周波數の磁束變化は、電機子に第三高調波の電壓を誘導する。この點が三相の場合ちがふ。この第三高調波の誘導を防ぐには、磁極の表面に制動線輪を施す。

(3)漏洩磁束と反作用磁束 以上のやうに單



第 4・1 圖

相の逆回轉の起磁力の影響を打消せば、單相・三相のどの場合でも電機子起磁力と界磁の起磁力との相對關係は靜止的となる。

電機子線輪の周圍にできる電機子磁束には、第 4・1 圖に示すやうに

- (ア)線輪にだけ鎖交するもの
 - (イ)直接界磁に影響を及すもの
- の二つがある。

前者を電機子漏洩磁束といひ、後者を電機子反作用磁束といふ。

2. 電機子漏洩リアクタンス

漏洩磁束のために電機子に漏洩誘導係數(漏洩インダクタンス) L_a 即ち漏洩リアクタンス x_a を生ずる。 x_a は $2\pi fL_a$ である。

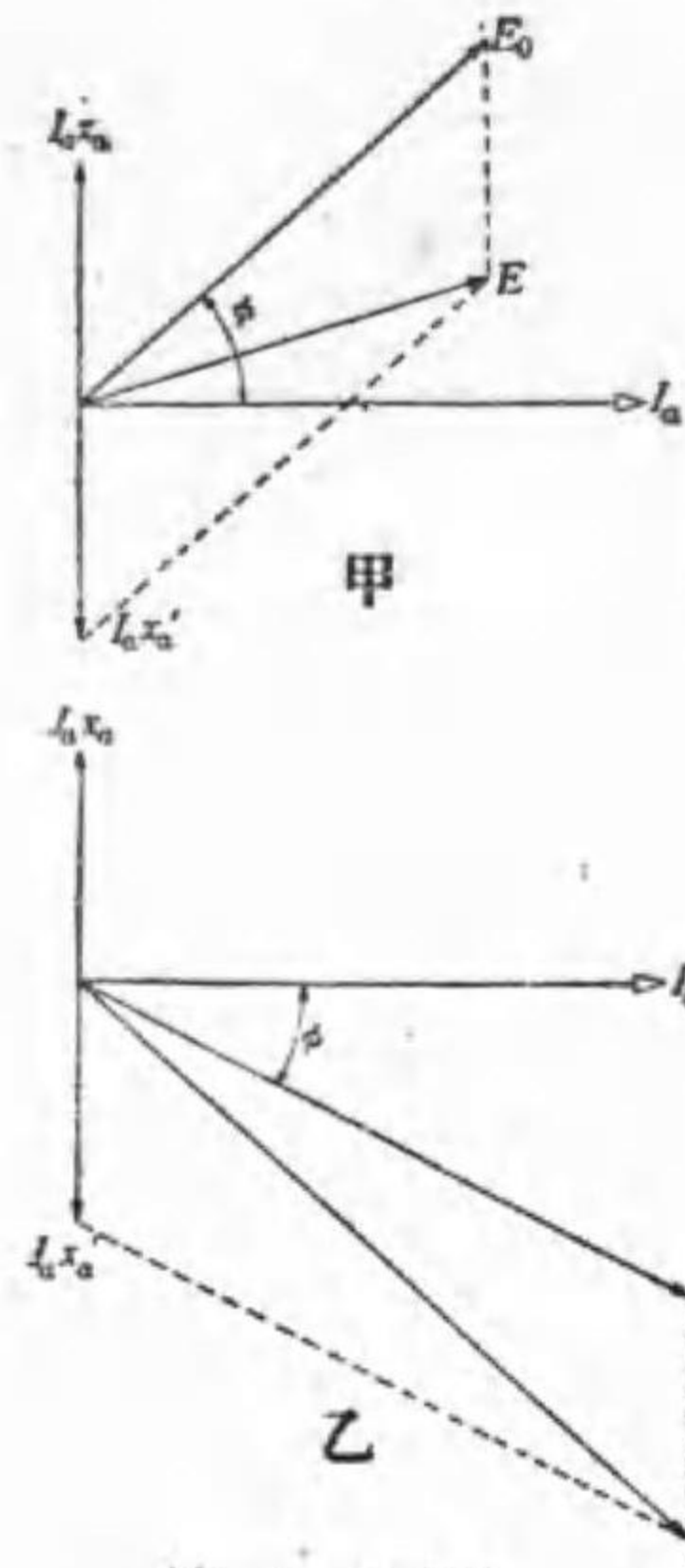
この x_a が、電流の位相關係により同期機の電壓に及す影響を考へてみると、次のやうになる。

(1)發電機の場合

- I_a : 電機子電流
- E_0 : 無負荷誘導起電力
- $-I_a x'_a$: リアクタンスによつて生ずる逆起電力
- $I_a x_a$: 上記に打勝つべきリアクタンス電壓
- E : 端子電壓
- ϕ : E_0 と I_a との位相角

とすれば

$$E = E_0 - I_a x_a = E_0 + I_a x'_a \dots \dots (4.1)$$



第 4.2 圖

第 4.2 圖(甲)の遅電流の場合では $E < E_0$ となり、同図(乙)の進電流の場合では $E > E_0$ となる。

(2) 電動機の場合

E_0 : 逆起電力に打勝つべき電圧

$I_a x_a$: リアクタンス電圧

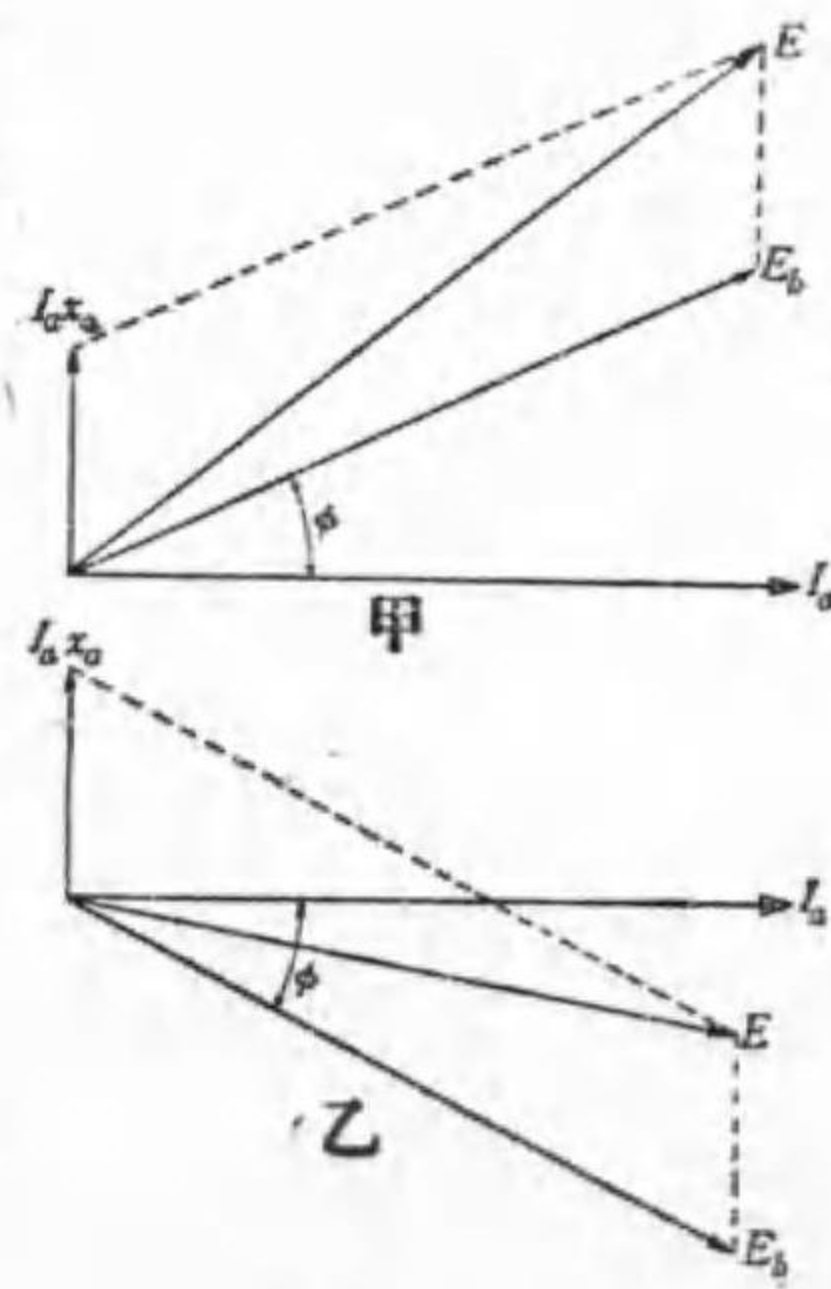
E : 供給電圧

とすれば

$$\dot{E} = \dot{E}_0 + \dot{I}_a x_a \quad (4.2)$$

第 4.3 圖(甲)の遅電流の場合では $E > E_0$ となり、(乙)圖の進電流の場合では $E < E_0$ となる。

故に電流位相のさまざまな場合の同期機のリアクタンス x_a が電圧に及ぼす影響を表示すれば、次のとおりになる。



第 4.3 圖

第 4.1 表

	遅電流	進電流
發電機	$E < E_0$	$E > E_0$
電動機	$E > E_0$	$E < E_0$

3. 電機子反作用

これは電機子電流による起磁力が界磁磁束を擾亂す作用をいふ。直流機とちがつて電機子電流の位相関係が影響するから、偏磁作用や減磁作用のほかに磁化作用もする。

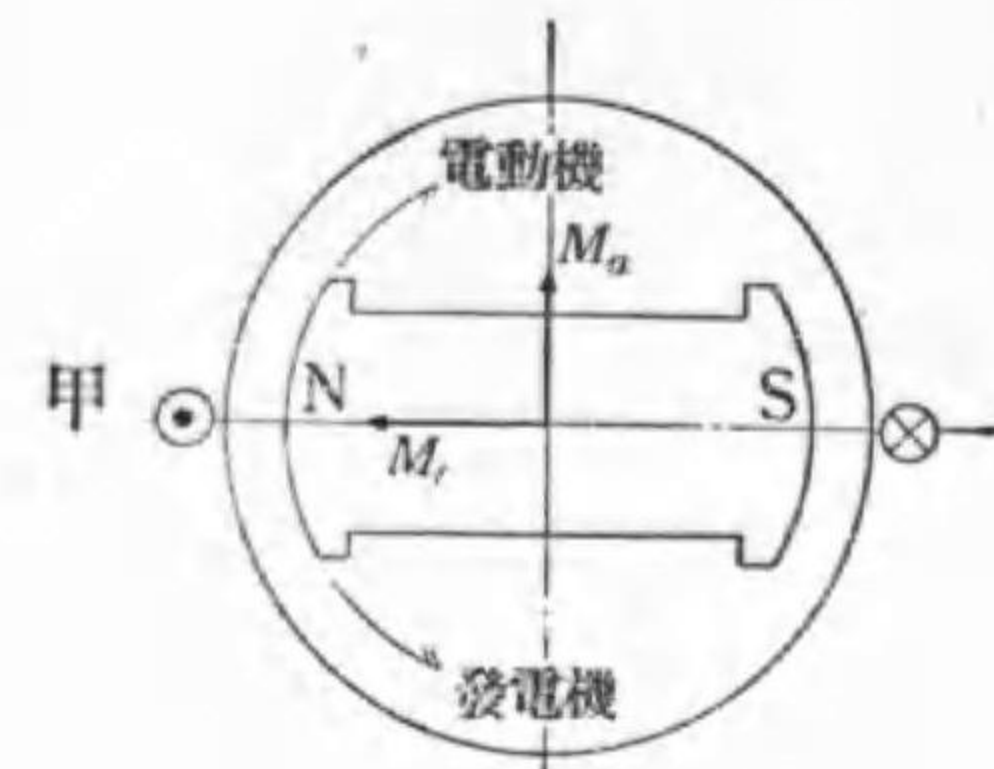
(1) 単相の場合 前述のやうに、単相の場合には電機子起磁力は複雑に影響をするが、その概略は次のとおりである。

機械を二極回轉界磁集中巻とすれば、線輪邊が磁極の中心に来るとき、誘導起電力は最大となる。そして電機子電流が同相ならば共に最大となり、 ϕ の遅電流ならば磁極が電氣角 ϕ を通り過ぎたとき最大となり、 ϕ の進電流ならば磁極が ϕ だけ手前にあるとき最大となる。

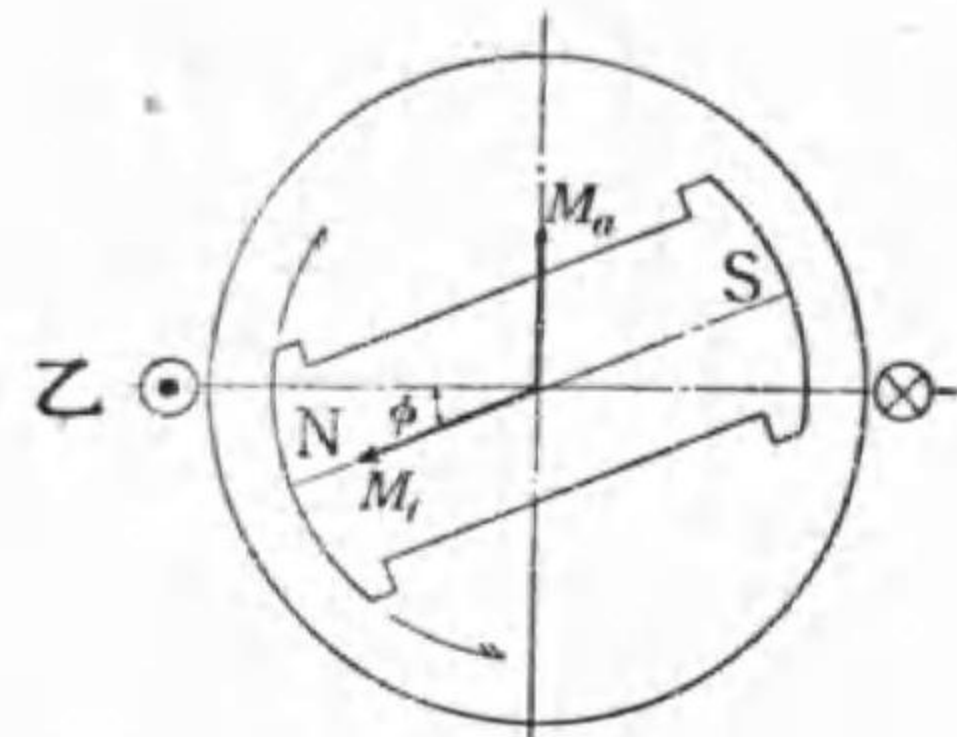
第 4.4 圖で $\odot \otimes$ を電機子電流の向とし、發電機の回轉を左廻りとすれば、電動機では右廻り

と考へればよい。電動機では電流の向と反對

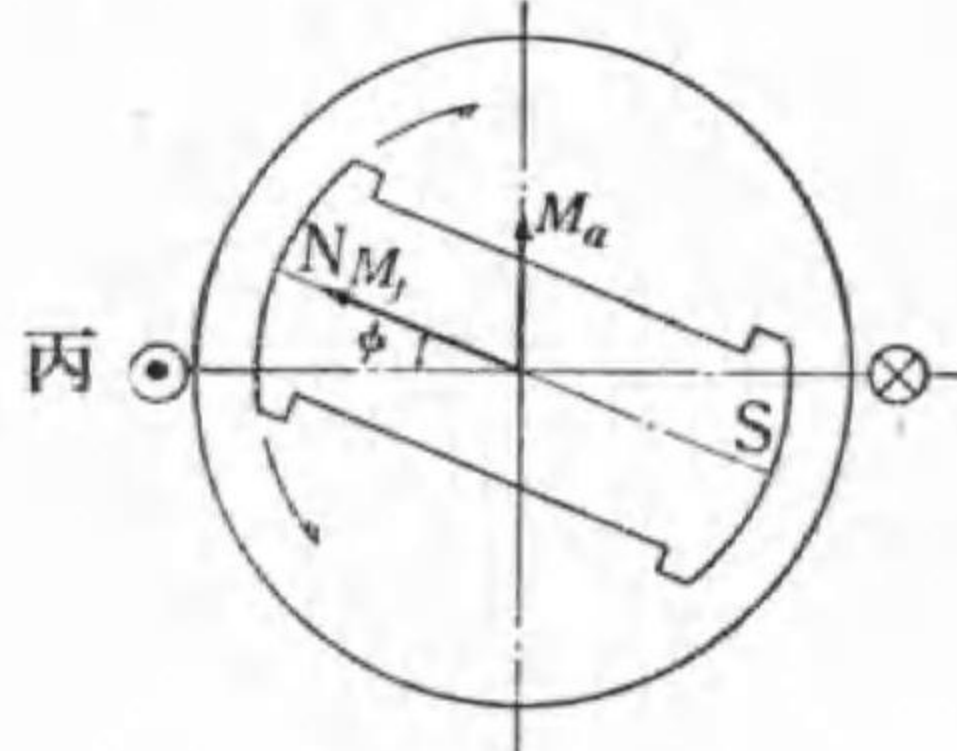
に逆起電力が生じ,電流の遅れ・進みが発電機と反對になる。



M_r : 界磁起磁力
 M_a : 電機子の反作用起磁力



とする。
 M_a を M_r に直角な分力と平行な分力とに分ける。直角分力は偏磁作用をし,平行分力は②圖



では減磁作用をし,③圖では磁化作用をすることがわかる。

第4・4圖

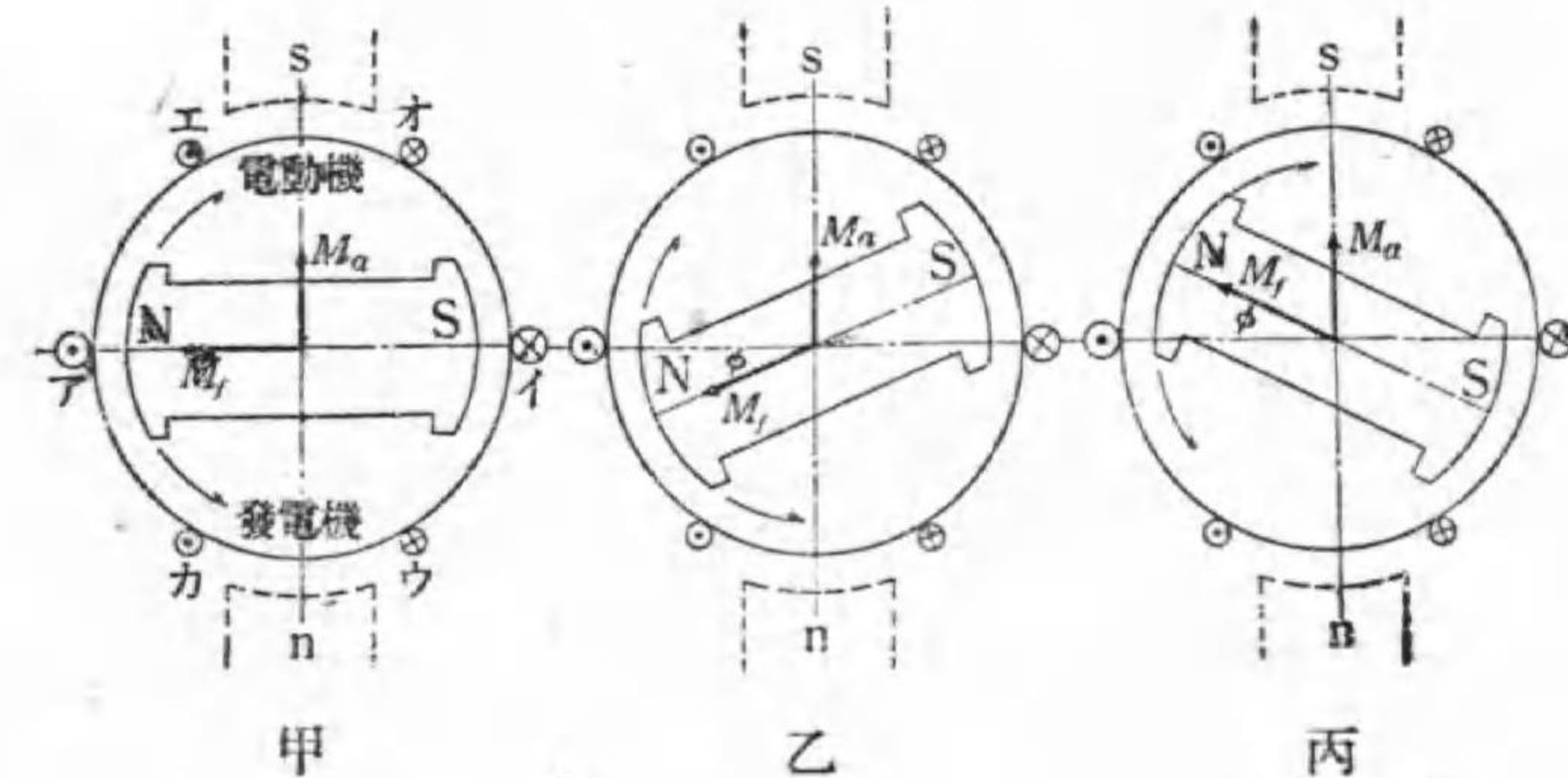
①圖によれば,発電機でも電動機でも同相のときは偏磁作用をし,幾分起電力を減ずる。

②圖によれば,発電機では ϕ 遅れるとき,電動機では ϕ 進みするとき,偏磁作用のほかに減磁作

用をし,起電力を減ずる。

③圖によれば,発電機では ϕ 進みするとき,電動機では ϕ 遅れるとき偏磁作用のほかに磁化作用をし,起電力を増す。

(2)三相の場合 反作用起磁力の値は,単相の場合とちがひ三相の合成起磁力ならば常に一定であるから,磁極に及す反作用の程度も一定である。



第4・5圖

第4・5圖で①②③④⑤⑥を三相集中巻線輪とする この三相電機子起磁力の合成が回轉磁界をつくる。

ある瞬時の回轉磁界を點線磁極nsで示し,そ

のときの三相線輪邊の電流方向を \odot \otimes で示す。

M_f : 界磁起磁力

M_a : 反作用をする電機子起磁力の合成

とする。

① 圖によれば、発電機でも電動機でも同相のときは、偏磁作用をし、幾分起電力を減ずる。

② 圖によれば、発電機では ϕ 遅れるとき、電動機では ϕ 進むときには偏磁作用のほかに減磁作用をし、起電力を減ずる。

③ 圖によれば、発電機では ϕ 進むとき、電動機では ϕ 遅れるときには偏磁作用のほかに磁化作用をし、起電力を増す。

このやうに反作用の有様は単相の場合とまったく同様である。

以上により単相・三相・電流位相のさまざまな場合の反作用が同期機の電圧に及ぶ影響を示せば、第42表のとほりとなる。

4. 同期交流抵抗

電機子のリアクタンスと反作用とを比較するに、リアクタンスは直接に端子電圧を増減し、

第42表

	同相電流	ϕ の遅電流	ϕ の進電流
發電機 単相・三相共	偏磁作用 やや起電力を 減ずる	減磁作用及び 偏磁作用 E_a を 減ずるから E は小となる	磁化作用及び 偏磁作用 E_a を増すから E は大となる
電動機 単相・三相共	偏磁作用 やや起電力を 減ずる	磁化作用及び 偏磁作用 E_a を増すから E は大となる	減磁作用及び 偏磁作用 E_a を減ずるか ら E は小とな る

反作用は界磁磁束を増減して、間接に端子電圧を増減する。即ち、前者は直接的であり後者は間接的であるが、同様の結果を現すから、反作用をも一種のリアクタンスと假想する。

x_a : 漏洩リアクタンス

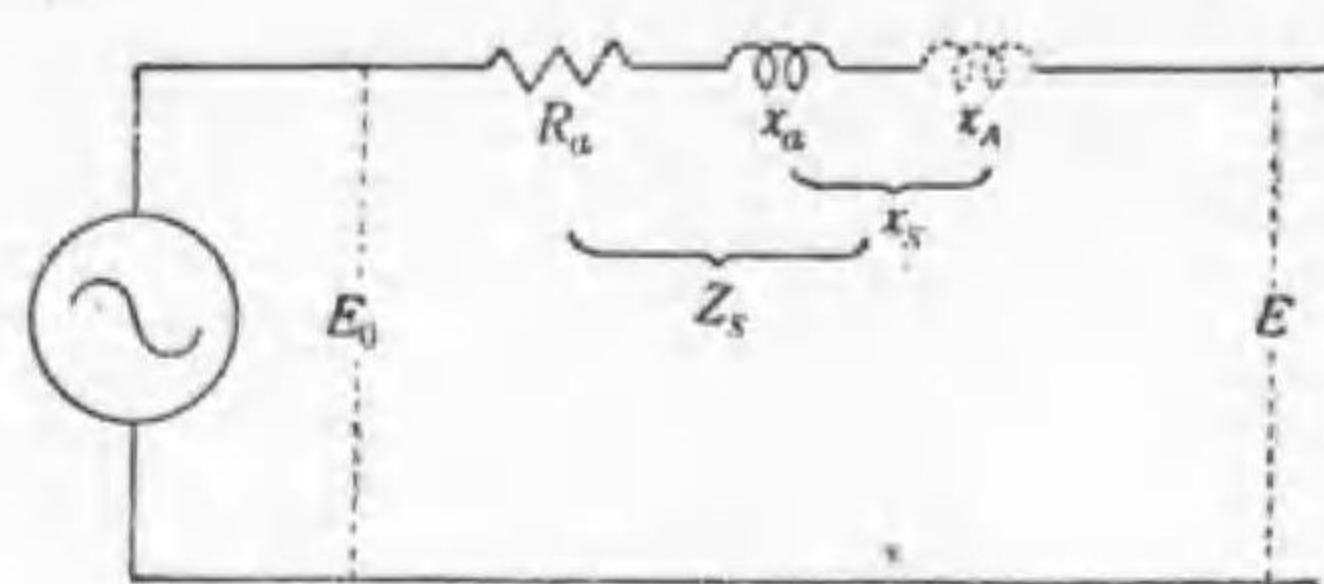
x_d : 反作用リアクタンス

とすれば、 $x_a + x_d$ を同期リアクタンスといひ x_s で表はす。この同期リアクタンスに、電機子抵抗 R_a を合成したものを同期交流抵抗といひ Z_s で表はす。 Z_s の値は、

$$Z_s = \sqrt{R_a^2 + x_s^2} = \sqrt{R_a^2 + (x_a + x_d)^2} \cdots \cdots (4.3)$$

となる。

この Z_s を考へると、同期機は第46圖のやう



第 4・6 圖

な等価回路と考へられ、誘導起電力と端子電圧との關係等を検討する

ために便利である。

練習問題

單相同期發電機と多相同期發電機との電機子反作用のちがふ點について述べよ。

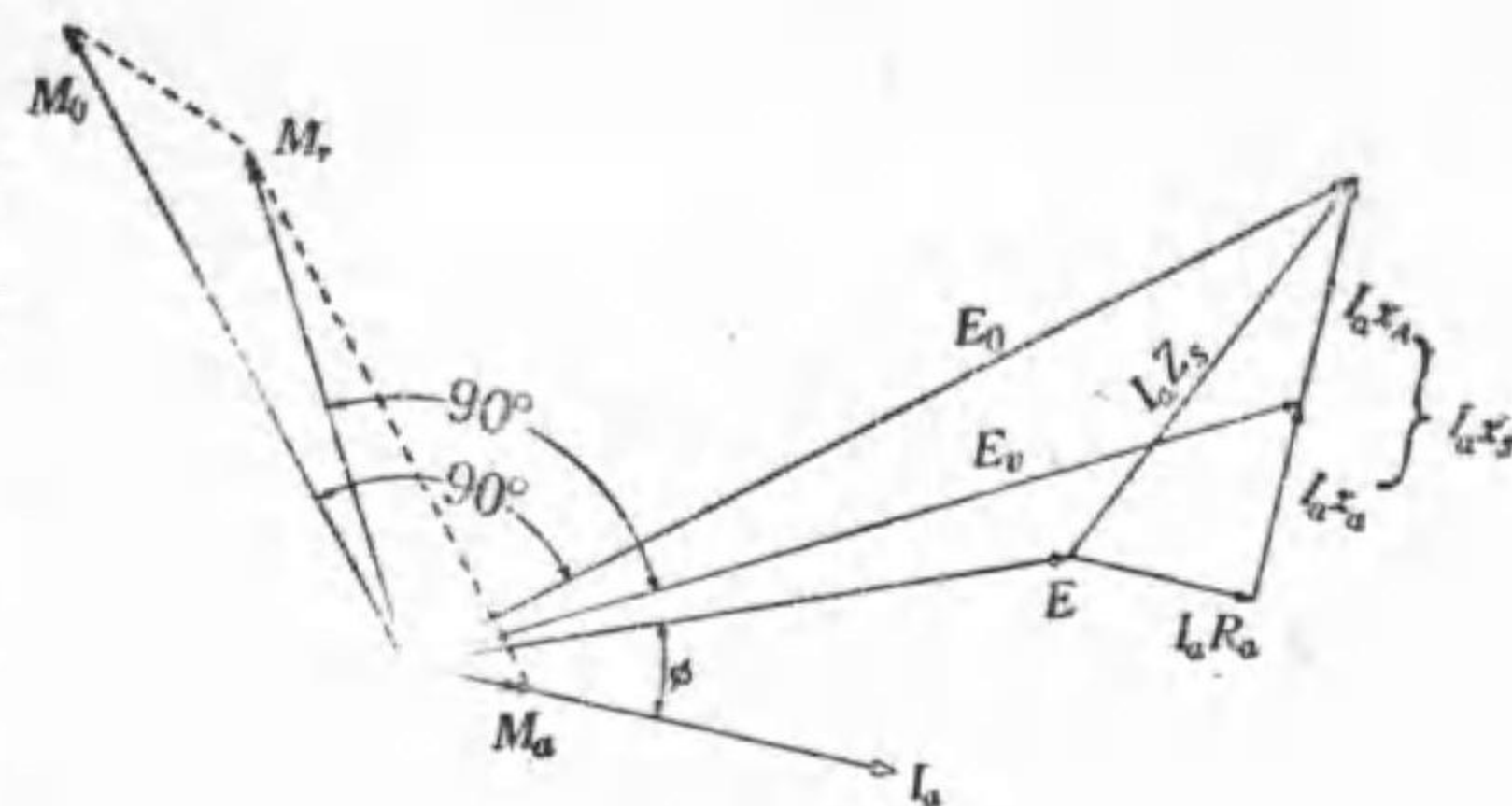
第 2 節 負荷せる同期機の電壓と電流

同期機では、電壓及び電流の關係が複雑であるからベクトルで説明する。但しベクトルは一相の値を示すものとする。このベクトル圖では同期交流抵抗に打勝つて、電機子電流を通すべき電壓を同期交流抵抗電壓といひ IZ で表はし、 IZ と釣合ふものを一種の逆起電力によつて降下を生ずるものとみなし、 IZ' で表はす。電機子抵抗やリアクタンスについても同様とする。

1. 發電機の場合

(1) 誘導起電力と端子電壓 第 4・7 圖は電機

子電流が端子電壓より ϕ だけ遅れた一般の場合のベクトル圖で、端子電壓から誘導起電力を



第 4・7 圖

求めるものとし、作圖の順序によつて説明する。

- E : 端子電壓(水平基線上にとる)
- I_a : 電機子電流または負荷電流
- ϕ : I_a が端子電壓より遅れる位相差角
- $I_a R_a$: 電機子の抵抗電壓で I_a に平行
- $I_a x_s$: 電機子のリアクタンス電壓で I_a に直角にして上向
- $I_a x_A$: 電機子の反作用電壓
- $I_a Z_s$: 同期交流抵抗電壓
- $$\dot{I}_a Z_s = \dot{I}_a R_a + \dot{I}_a x_s + \dot{I}_a x_A \dots \dots \dots (4.4)$$
- E_0 : 無負荷誘導起電力で、その値は一相につき
- $$E_0 = 4.44 W_f T \phi f 10^{-8} \text{ ボルト}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_0 &= \dot{E} + \dot{I}_a R_a + \dot{I}_a x_a + \dot{I}_a x_A \\ &= \dot{E} + \dot{I}_a Z_s \dots \dots \dots (4.5) \end{aligned}$$

E_0 : 負荷誘導起電力で、電圧計に表はし得ない
 假想のものであつて、その値は、

$$\dot{E}_0 = \dot{E} + \dot{I}_a R_a + \dot{I}_a x_a \dots \dots \dots (4.6)$$

$$\dot{E}_0 = E_0 - \dot{I}_a x_A \dots \dots \dots (4.7)$$

即ち、無負荷誘導起電力より反作用による
 電圧降下を引いたものである。

M_0 : E_0 を誘導する界磁起磁力で E より 90° 進む

M_a : 反作用起磁力で I_a と同相である

M_r : M_0 と M_a との合成起磁力で、 E_0 を誘導し、こ
 れから 90° 進む

以上のベクトル圖からわかるやうに、 I_a のた
 めに同期交流抵抗降下を生ずるが、この同期交
 流抵抗電圧を端子電圧に加へれば無負荷誘導
 起電力を得るし、逆に無負荷誘導起電力より引
 けば端子電圧を得る。

(2) 電流位相と勵磁度 第 4.8 圖Ⓐは誘導性
 負荷ベクトル圖、Ⓑは容量性負荷ベクトル圖で、
 いづれも端子電圧 E の値や I_a の値を同一とし
 て作つたものである。 I_a の値が同一なために

同期交流抵抗降下は同一であるが、誘導性負荷

のとき即ち遅れ力
 率のときは、大なる

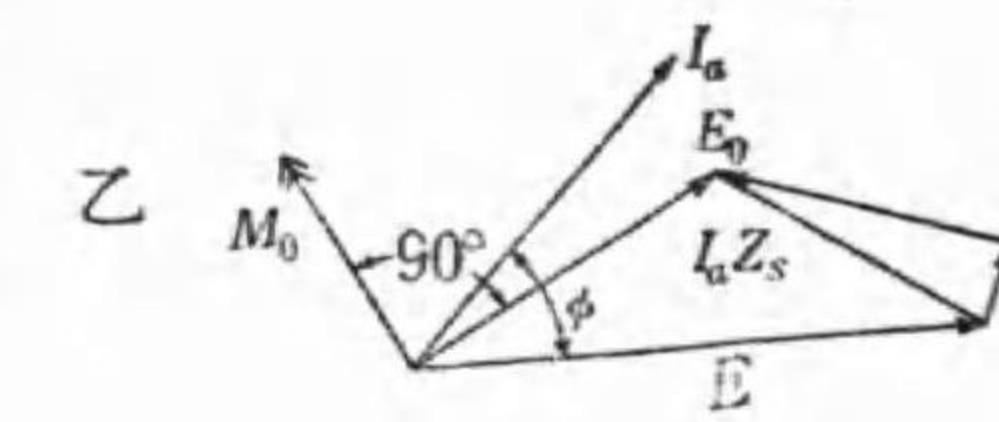
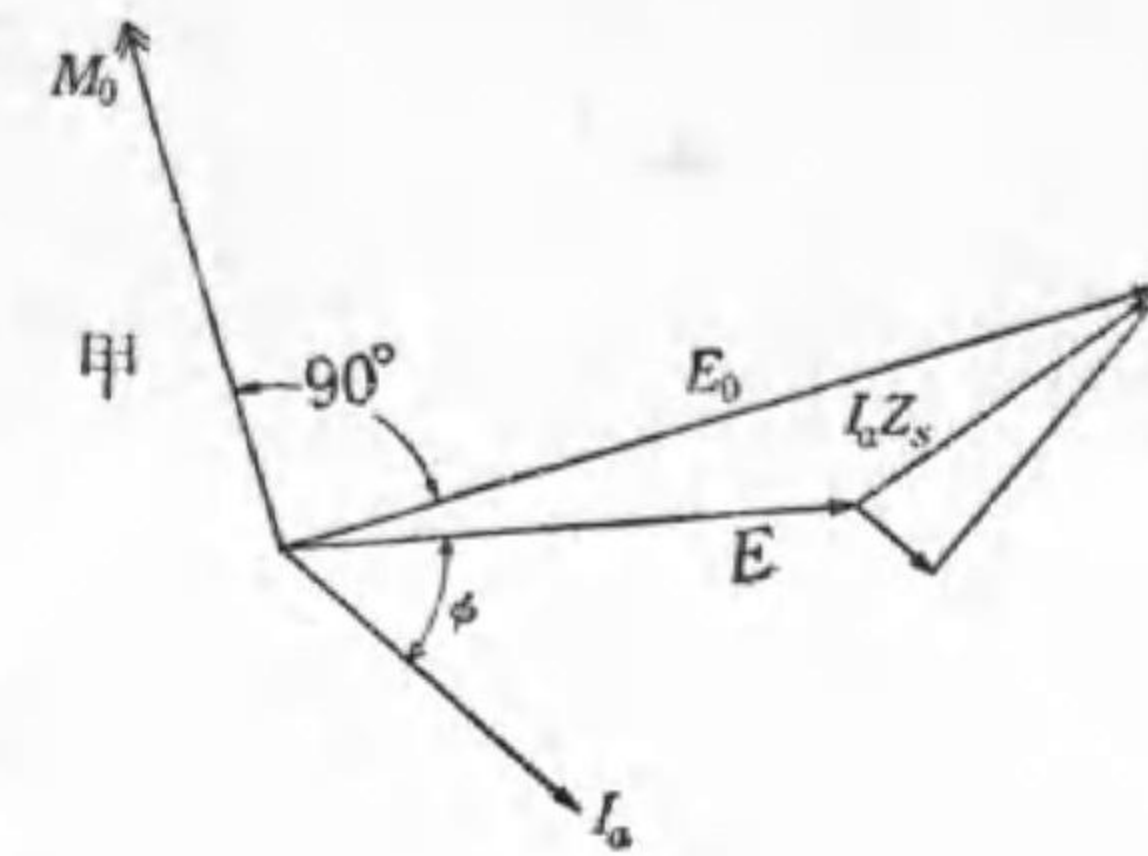
無負荷誘導起電力
 を要するから、大なる

界磁起磁力、した
 がつて大なる勵磁

電流を要するが、容
 量性負荷のとき即

ち進み力率のとき
 は、小なる無負荷誘

導起電力で足りるから、小なる界磁起磁力した
 がつて小なる勵磁電流で足りる。



第 4 8 圖

2. 電動機の場合

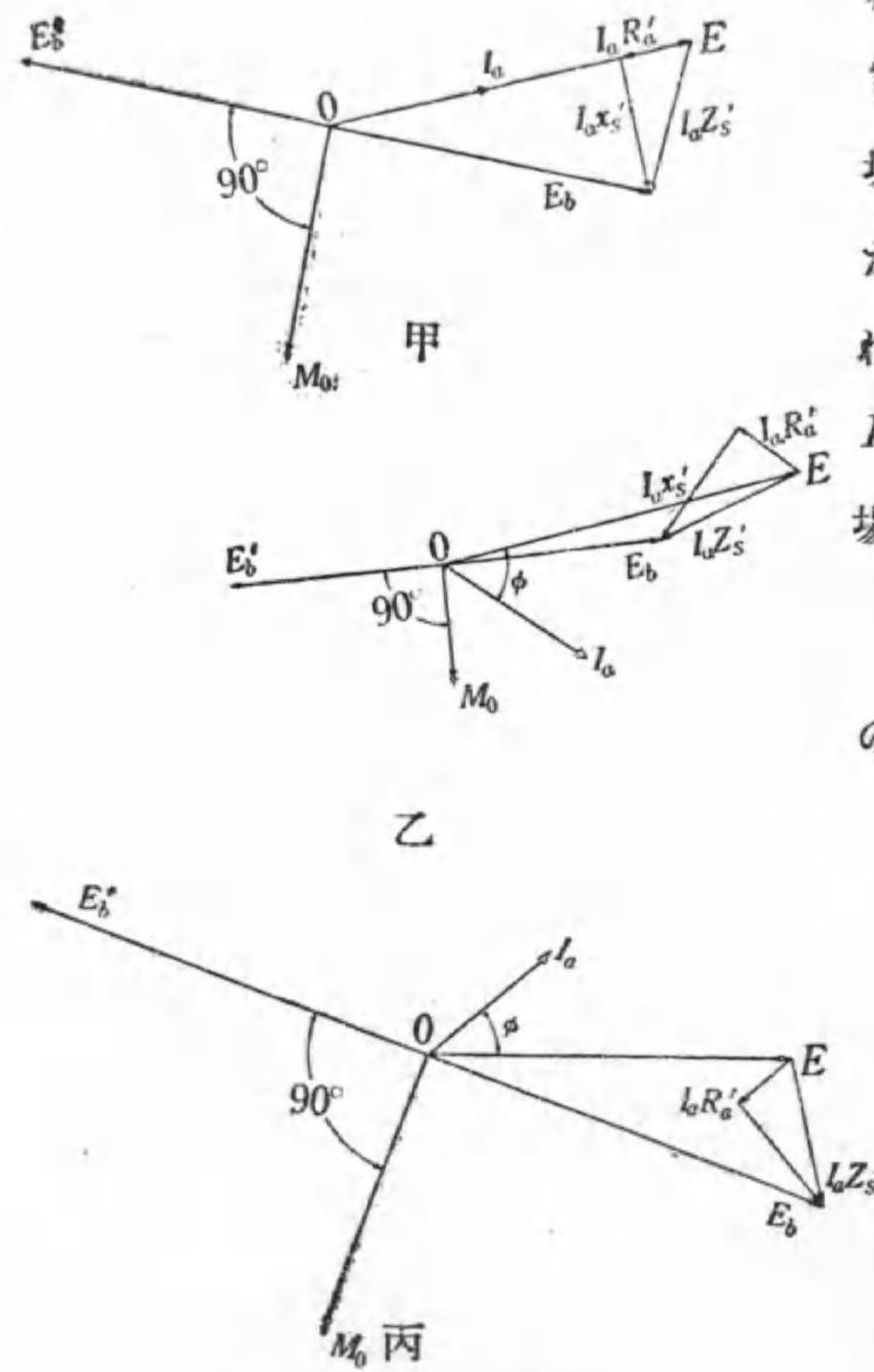
(1) 逆起電力と供給電圧 電動機の供給電圧
 は、

(ア) 逆起電力 E_0 に打勝つべき要素

(イ) 同期交流抵抗に打勝つて電機子電流を通
 すべき要素

の 2 要素から成る。

次に供給電圧及び電機子電流の値を一定とし、遅れ力率や進み力率の場合に於て、電圧の関係をベクトルで求めてみる。



第 4・9 圖

磁起磁力 M_0 は小さくてよいが、進み力率では大

第 4・9 圖甲は電機子電流 I_a が供給電圧 E と同位相の場合、乙は I_a の位相が E より ϕ だけ遅れる場合、丙は I_a が E より ϕ だけ進む場合である。

I_a の値が一定のため同期交流抵抗降下の値は変わらないが、逆起電力 E_b に打勝つべき要素 E_b の値は、遅れ力率では小となるから、界

となるから、 M_0 も大としなければならない。

(2) 勵磁度と電流位相 電動機では實際上供給電圧は一定であるから、第 4・9 圖甲乙丙により逆に考へれば、電機子電流は勵磁電流を小にすれば遅電流となり、大にすれば進電流になることがわかる。

かやうに電動機の負荷は機械負荷であるが、勵磁電流を加減して電機子電流を供給電圧より進めたり遅らしたりすることができる。これは同期電動機の特長である。

練習問題

交流發電機の回轉數と、勵磁電流一定の場合に負荷電流が進電流であると遅電流であるにより、その端子電圧が増減する理由を説明せよ。

第 3 節 同期發電機の特長

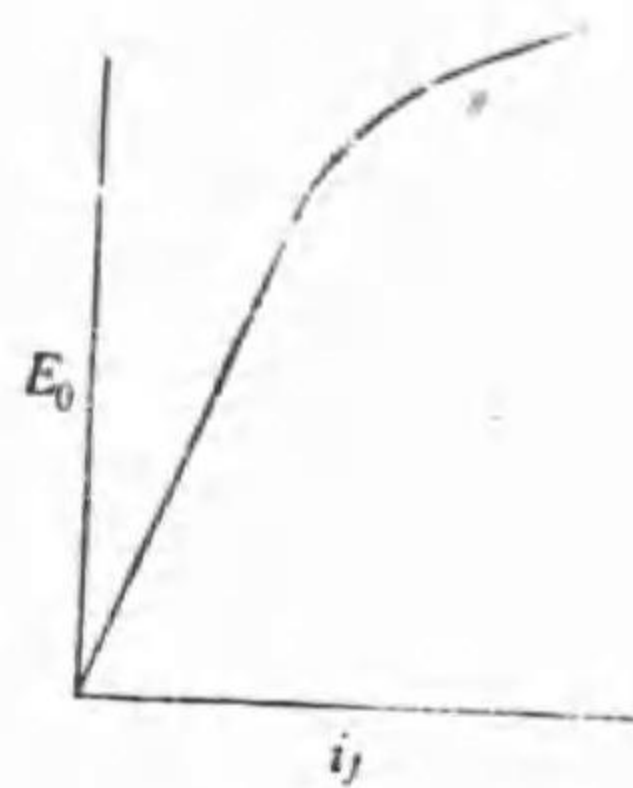
同期發電機は、發電機自身の同期交流抵抗及び負荷の力率が特性の上に影響を及ぼすこと、負荷の變動にかかはらず同期速度で運轉しなければならぬこと、また同期からはづれて安定な運轉を阻害するおそれがあること等につき注

意を要する。

以下同期発電機の特性について述べる。

1. 無負荷特性

発電機を無負荷にすれば、その端子電圧は即ち無負荷誘導起電力 E_0 である。



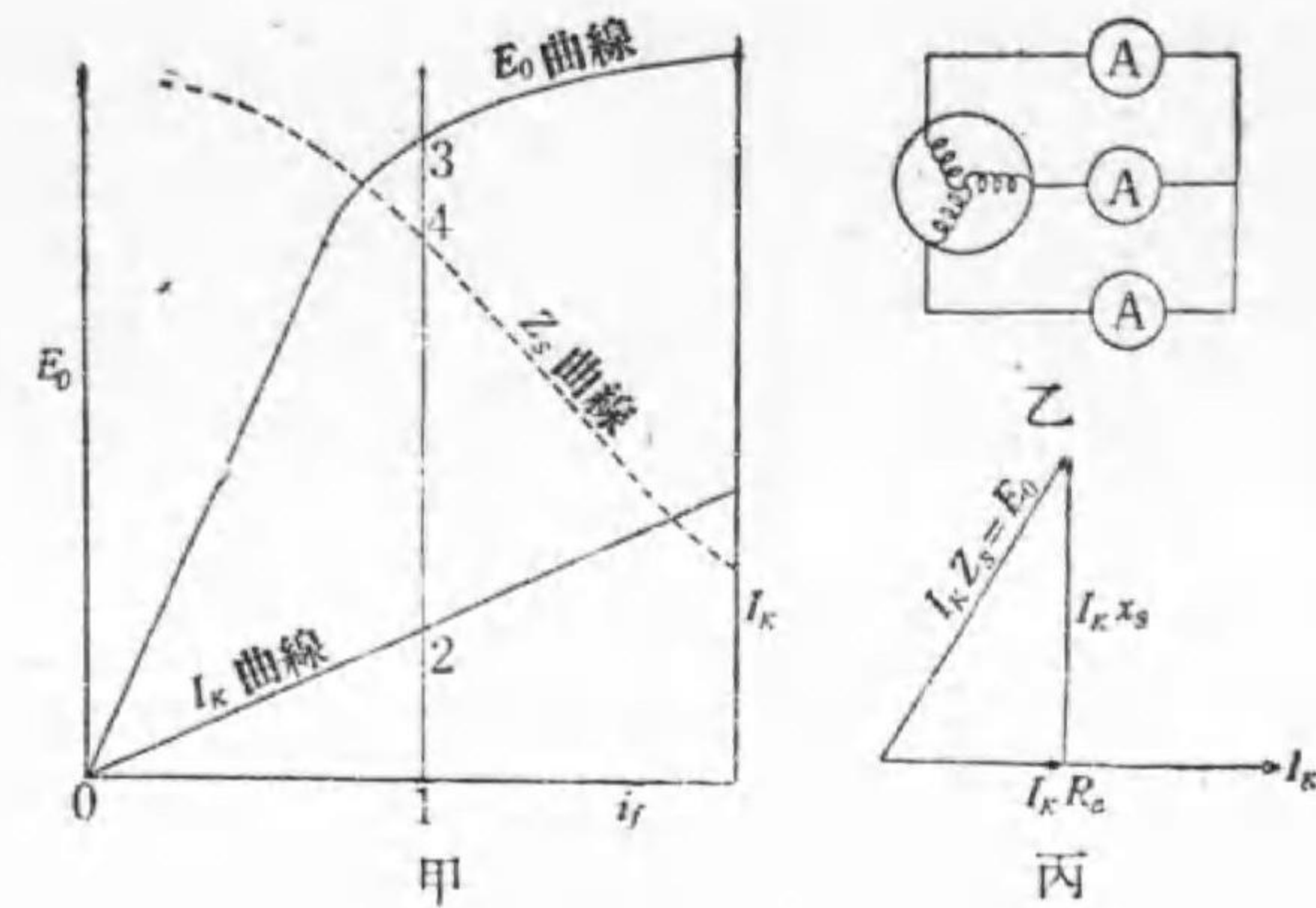
第4・10圖

そして励磁電流 i_f を變へれば界磁起磁力が變り、 E_0 も變る。 i_f と E_0 との関係は第4・10圖のやうになる。この曲線を無負荷特性曲線または無負荷飽和曲線といふ。

2. 短絡特性と Z_s, x_s の求め方

(1) 短絡特性曲線 発電機の電機子線輪端子を短絡して回轉し、漸次励磁電流 i_f を増して短絡電流 I_K が全負荷電流の約 1.5 倍に達するまで行ひ、 i_f と I_K との関係を求めて曲線で表はす。これを短絡特性曲線といふ。

これは第4・11圖㊸の I_K 曲線のやうに直線となる。同圖㊹㊺は短絡接續圖及び短絡ベクトル圖である。



第 4・11 圖

(2) Z_s, x_s の求め方 これを求めておくことは、種々の負荷電流に對する同期交流抵抗電壓の三角形を作るに必要なことで、この三角形は同期交流抵抗法と稱して、各種の特性曲線を圖法から作るために、しばしば應用される。次に Z_s 及び x_s の求め方を述べる。

短絡すれば誘導起電力 E_0 は、全部同期交流抵抗 Z_s のために費される。その関係は第4・11圖㊸のとほりである。

しかし、短絡時の誘導起電力を直接に測ることはできないから、前記の飽和曲線を第4・11圖㊸に移して E_0 曲線を作る。

さうすればある短絡電流①②に対する誘導起電力は①③となるから、次のやうにして Z_s を求められる。

$$Z_s = \frac{E_0}{I_k} = \frac{\textcircled{1}\textcircled{3}}{\textcircled{1}\textcircled{2}} = \textcircled{1}\textcircled{4} \dots \dots \dots (4.8)$$

短絡電流と Z_s との関係は、第4.11圖Ⓐ Z_s 曲線のやうになり Z_s は一定とならない。これは短絡時の飽和度がちがふためである。

次に直流法により R_a を求めれば、 x_s は次式から求められる。

$$x_s = \sqrt{Z_s^2 - R_a^2}$$

實際上 R_a はごく小で、 x_s にくらべ無視できるから、

$$x_s \doteq Z_s \doteq \textcircled{1}\textcircled{4} \dots \dots \dots (4.9)$$

と考へて差支へはない。

一般に同期リアクタンスの表はし方は、定格電流 I_a を流したときに生ずる $I_a x_s$ 降下と定格端子電圧 E との百分比で表はし、これを百分率リアクタンスといひ次の式で表はす。

$$x_s = \frac{I_a x_s}{E} \times 100 \% \dots \dots \dots (4.10)$$

3. 電圧變動率とその求め方

同期発電機の負荷端子電圧 E と、無負荷誘導起電力 E_0 との関係は、直流発電機と異なり負荷の力率によつてちがふから、力率100%及び80%の二つの場合に分けて求めるのが普通である。

(1)電圧變動率 定格端子電圧 E のもとで、指定力率の全負荷電流を通じておき、勵磁電流をそのままとして負荷を除き無負荷誘導起電力 E_0 を測れば、電圧變動率 g は次の式で求められる。

$$g = \frac{E_0 - E}{E} 100 \% \dots \dots \dots (4.11)$$

この値は遅れ力率では正となり、進み力率では負となる。

普通の発電機で、力率100%では15%内外、80%力率では35%内外である。

(2)求め方 實際に全負荷をかけずに、無負荷特性試験や短絡特性試験から得た數値を用ひ、第4.12圖のやうな圖法によつて算定する方法

を、順序にしたがつて述べる。

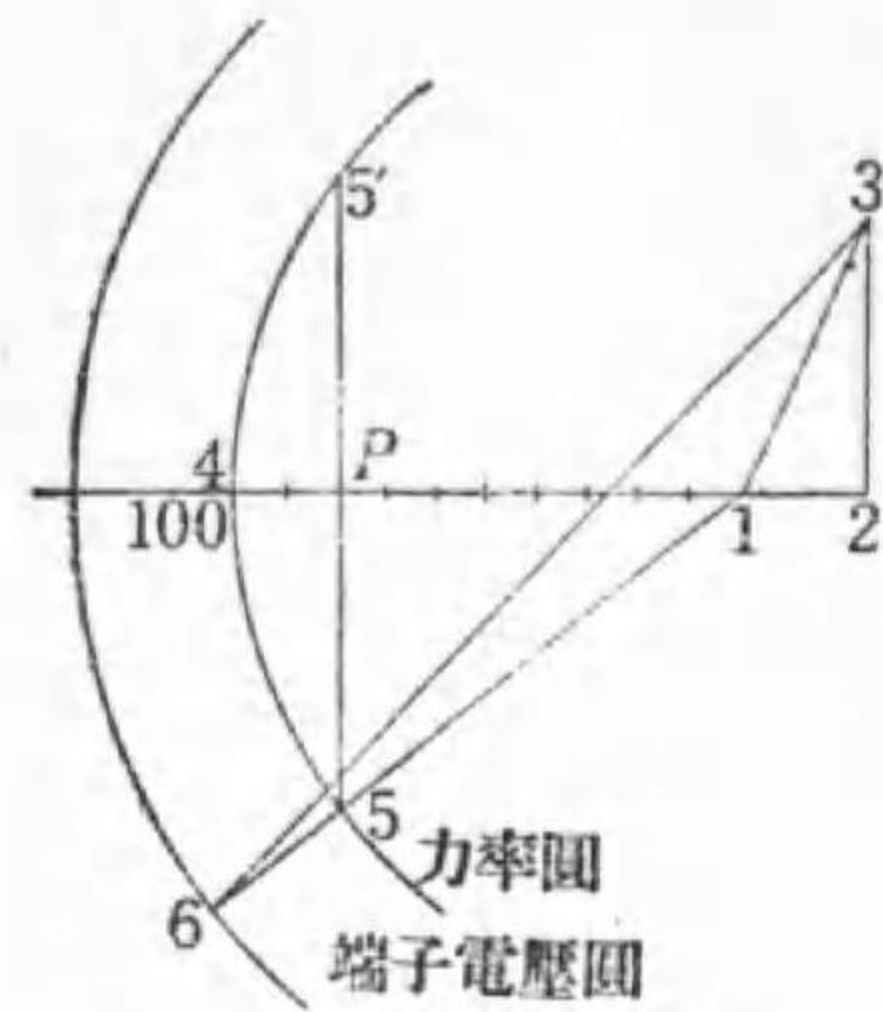
(ア) 全負荷電流 I_a に対する同期交流抵抗電圧

の三角形を作る。即ち

$$\textcircled{1}\textcircled{2} = I_a R_a$$

$$\textcircled{2}\textcircled{3} = I_a x_s$$

$$\textcircled{1}\textcircled{3} = I_a Z_s$$



第 4-12 圖

(イ) 底邊を左に延長し、任意の長さ $\textcircled{1}\textcircled{4}$ を 100 等分して目盛り、 $\textcircled{4}$ を 100%

の點とする。これが力率の目盛りである。

$\textcircled{1}$ を中心とし $\textcircled{1}\textcircled{4}$ を半径として圓を作る。これを力率圓といふ。

(ウ) $\textcircled{1}$ を中心とし定格端子電壓に等しい半径で圓を作る。これを端子電壓圓といふ。

(エ) 指定力率 $P\%$ に対する電壓變動率を求めてみる。

力率 $P\%$ を目盛上にとつて P 點とし、上下に垂線を作り、力率圓の支點を $\textcircled{5}$ 及び $\textcircled{6}$ とすれば、 $\textcircled{5}$ は遅れ力率に、 $\textcircled{6}$ は進み力率に用ひられる。

$\textcircled{1}\textcircled{5}\textcircled{6}$ の長さは端子電壓 E

$\textcircled{3}\textcircled{6}$ の長さは無負荷誘導起電力 E_0

故に

$$g = \frac{E_0 - E}{E} 100\% \dots \text{遅れ力率のとき}$$

また $\textcircled{5}$ を用ひれば、同様にして進み力率 $P\%$ の g が求められる。

圖法の證明

同期交流抵抗電壓の三角形 $\textcircled{1}\textcircled{2}\textcircled{3}$ の底邊は、 $I_a R_a$ 電壓であるから負荷電流 I_a と同相である。よつて、 I_a の代りにこの底邊の左延長線を位相の基準線にとつても差支へはない。 $\textcircled{1}\textcircled{5}\textcircled{6}$ は E であるから次式のとほり證明される。

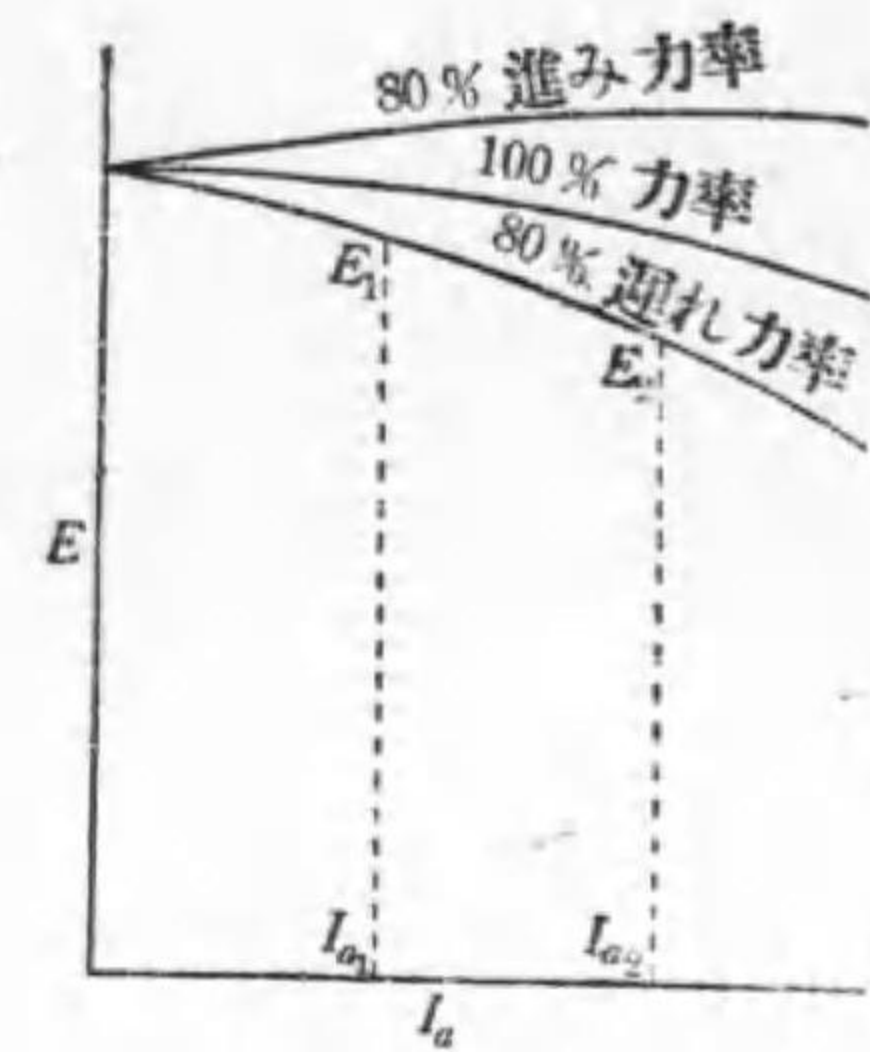
$\angle \textcircled{5}\textcircled{1}\textcircled{6}$: E と I_a との位相差角 ϕ

$$P\% = \frac{\textcircled{1}P}{\textcircled{1}\textcircled{4}} = \frac{\textcircled{1}P}{\textcircled{1}\textcircled{5}} = \cos \phi \dots \dots \dots (\text{證 } 1)$$

次に $\textcircled{3}\textcircled{6} = \dot{E} + I_a Z_s = \dot{E}_0 \dots \dots \dots (\text{證 } 2)$

4. 負荷特性

指定力率に於て、勵磁電流を不變とし、負荷電流 I_a と端子電壓 E との關係を負荷特性または外部特性といひ、この關係を表はす曲線を電壓



第 4・13 圖

變動曲線といひ第 4 13 圖のやうになる。

電壓變動曲線を作るには、實際負荷をかけずに第 4・14 圖のやうに圖法によつて行ふ次の方法がある。

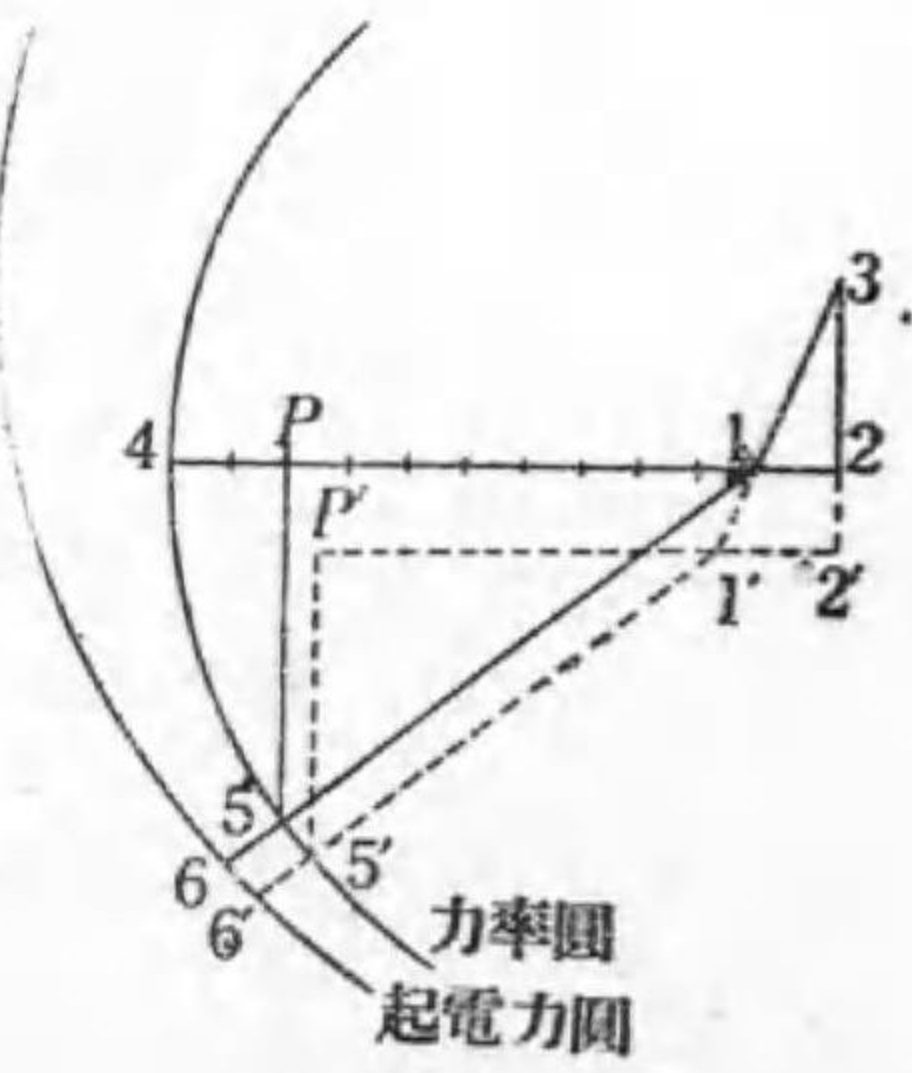
(ア)ある負荷電流 I_{a1} に對する同期交流抵抗電

壓の三角形 ① ② ③ を作る。

- (イ)力率の目盛及び力率圓を作る。
- (ウ)③を中心とし、定勵磁によつて生ずる無負荷誘導起電力 E_0 を半徑として起電力圓を作る。
- (エ)指定力率 $P\%$ に於て、負荷電流 I_{a1} に對する端子電壓 E_1 は、① ⑤ ⑥ の長さで表はされる。

$$\textcircled{3} \textcircled{6} = E_0$$

$$\textcircled{1} \textcircled{5} \textcircled{6} = E_0 - I_{a1} Z_s = E_1$$



第 4・14 圖

(オ)同一力率に於て、他の負荷電流 I_{a2} に對する同期交流抵抗三角形 ① ② ③ を作る。

(カ)① を過ぎ ① ⑤ ⑥ に平行な線と起電力圓との交點を ⑥ とする。その長さ ① ⑤ ⑥ は E_2 である。

二つの直角三角形 ① ④ ⑤ と、① ④ ⑥ とは相似形であるから

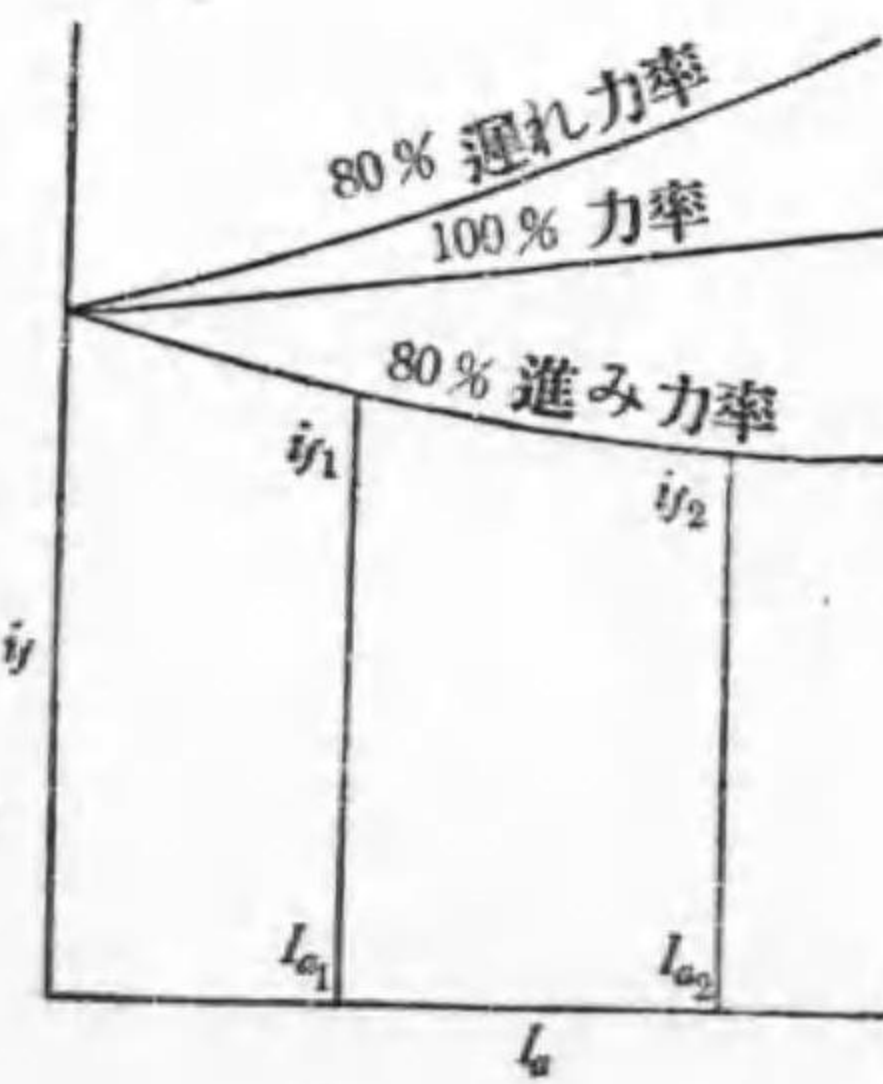
$$\frac{\textcircled{1} \textcircled{4}}{\textcircled{1} \textcircled{5}} = \frac{\textcircled{1} \textcircled{4}}{\textcircled{1} \textcircled{6}} = \frac{\textcircled{1} \textcircled{4}}{\textcircled{1} \textcircled{4}} = P \%$$

となり、同一力率を用ひたことになる。

(キ)かうして指定力率における電壓變動曲線が作られる。

5. 界磁調整曲線

同期發電機では、一定力率に於て勵磁電流 i_f を加減すれば、負荷電流 I_a を變へても端子電壓 E を一定に保つことができる。この I_a と i_f との關係を表はすものを



第 4・15 圖

界磁調整曲線といひ、第4・15圖のやうになる。

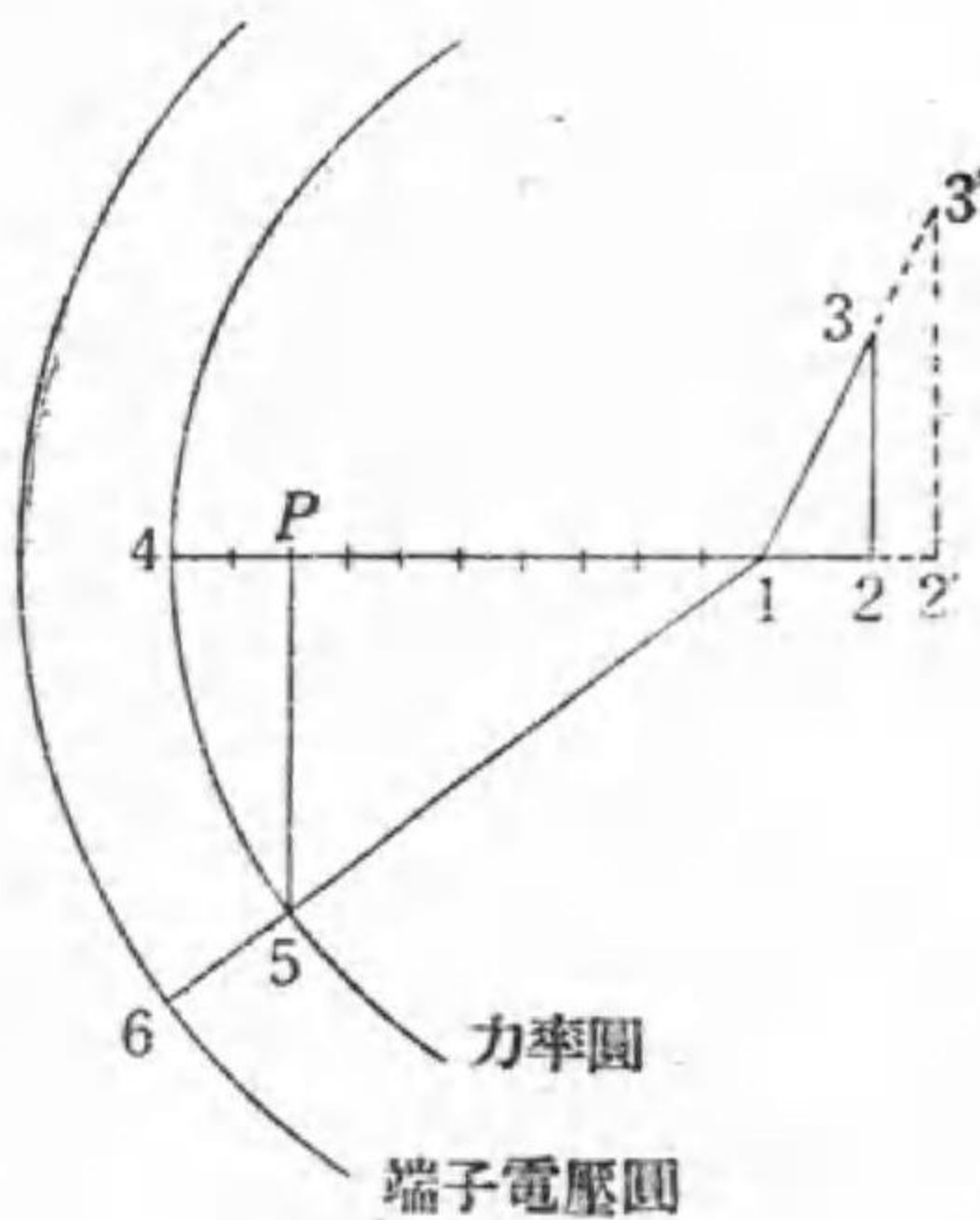
界磁調整曲線を作るには、實際に負荷をかけずに、第4・16圖のやうな圖法によつて行ふ次の方法がある。

(ア)ある負荷電流 I_{a1} に対する同期交流抵抗電圧の三角形①②③を作る。

(イ)力率圓及び端子電壓圓を作る。

(ウ)指定力率 $P\%$ におけるある負荷電流 I_{a1} に対する無負荷誘導起電力 E_{01} は③⑥の長さで表はされるので、飽和曲線からその勵磁電流 i_{f1} を求められる。

(エ)同一力率における他の I_{a2} に対する同期交流抵抗電圧の三角形①②③を作る。この I_{a2} に対する E_{02} は③⑥の長さで表はされるから i_{f2} を求められる。



第4・16圖

(オ)このやうにして、一定力率における界磁調整曲線が作られる。

6. 同期発電機の突發短絡

同期発電機の電機子線輪端子を短絡のまま回轉し、漸次勵磁を増して定格勵磁にするときは短絡電流 I_K は、定格負荷電流の1.5~2.0倍となり次の式で表はされる。

$$I_K = \frac{E_0}{Z_s} \doteq \frac{E_0}{x_s} \dots\dots\dots(4 \cdot 12)$$

しかし発電機に、定格電壓を誘起させておいて急に短絡すると、瞬時には突發短絡電流 I_K が生じ、これは定格電流の數倍の大きさに達し次の式で表はされる。

$$I'_K \doteq \frac{E_0}{x_a} \dots\dots\dots(4 \cdot 13)$$

即ち、 E_0 に抗するものは x_s でなくて x_a である。その理由は、突發短絡の始めには電機子反作用が界磁に作用し得ず、したがつて x_A が0で x_a と極小の R_a とだけしかないからである。

この突發短絡電流は瞬時現象で、やがて x_A が

現れると(4.12)式に示す値の I_k に復する。この瞬時的な大電流のため、線輪間には電流の二乗に比例する電磁力が生じて、電機子線輪の端部を破壊するおそれがあるから、構造を強固にするだけでなく、突発短絡電流の値を制限するために漏洩リアクタンス x_a を相當に大きく設計すべきであるが、タービン発電機のやうに困難な場合には限流リアクトルを直列に挿入する。

7. 同期発電機の亂調

同期発電機の回轉子は、負荷が變化すると同期速度を中心として、遅れたり進んだり遅速を繰返す性質がある。これを自由振動といひ、その振動の周波数を固有周波数といふ。

F : 固有周波数(毎分)

N : 同期回轉數(毎分)

f : 同期機の周波數(毎秒)

$K_g M^2$: はずみ車效果(kg/m²)

P_0 : 同期をはづれるときの電力の變化割合(kW/ラジアン)

とすれば F は次式のとほりとなる。

$$F = \frac{14,400}{N} \sqrt{\frac{P_0 f}{K_g M^2}} \dots \dots \dots (4.14)$$

次に発電機の原動機が往復機關であれば、發生するトルクの變動のため1回轉中にも速度の變化($\omega_1 - \omega_2$)がある。角速度の變化と平均角速度 ω との比を回轉不整率 δ といひその値は、

$$\delta = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\omega} \dots \dots \dots (4.15)$$

$$\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \dots \dots \dots (4.16)$$

となる。蒸氣タービンでは δ は0である。この外力の不整のために回轉子に生ずる振動を強制振動といふ。

自由振動の周期と強制振動の周期とが一致すれば共鳴を起し、速度の不整は一層ひどくなる。これを亂調といひ運轉不能に陥る。

亂調を防ぐには次の方法がある。

(ア)回轉體の重量や直徑を大きくして、はずみ車效果を大きくする。

(イ)磁極面に制動線輪を施す。これは極片に數箇の溝を作つて太い銅棒を挿入し、兩端

を銅片で短絡したものである。かうすると、回轉子が同期速度ならば制動線輪は回轉磁界を切らないが、加速や減速をして同期をはづれるときには、切るために制動線輪には誘導電流を生じ、この電流が逆トルクを生じて同期速度を保たせる。

(ウ) 原動機の世界變動率が良過ぎないこと。僅に速度が變つても電力の變動が大きくなる。調速機が鋭敏過ぎないこと。僅に負荷が變つても動作して亂調を起す。こんなときには制動壺をつけて飛球の運動を鈍らせる。殊に往復機關を用ひるときには、強制振動と自由振動とが共鳴しないやうにする。

發電機の亂調は並列運轉の際に惹起しやすい。これについては後に述べる。

練習問題

- (1) 交流發電機の短絡試験に於て勵磁電流を一定に保持し、回轉數を變更すれば電機子電流にどんな影響があるかを述べ、その理由を説明せよ。

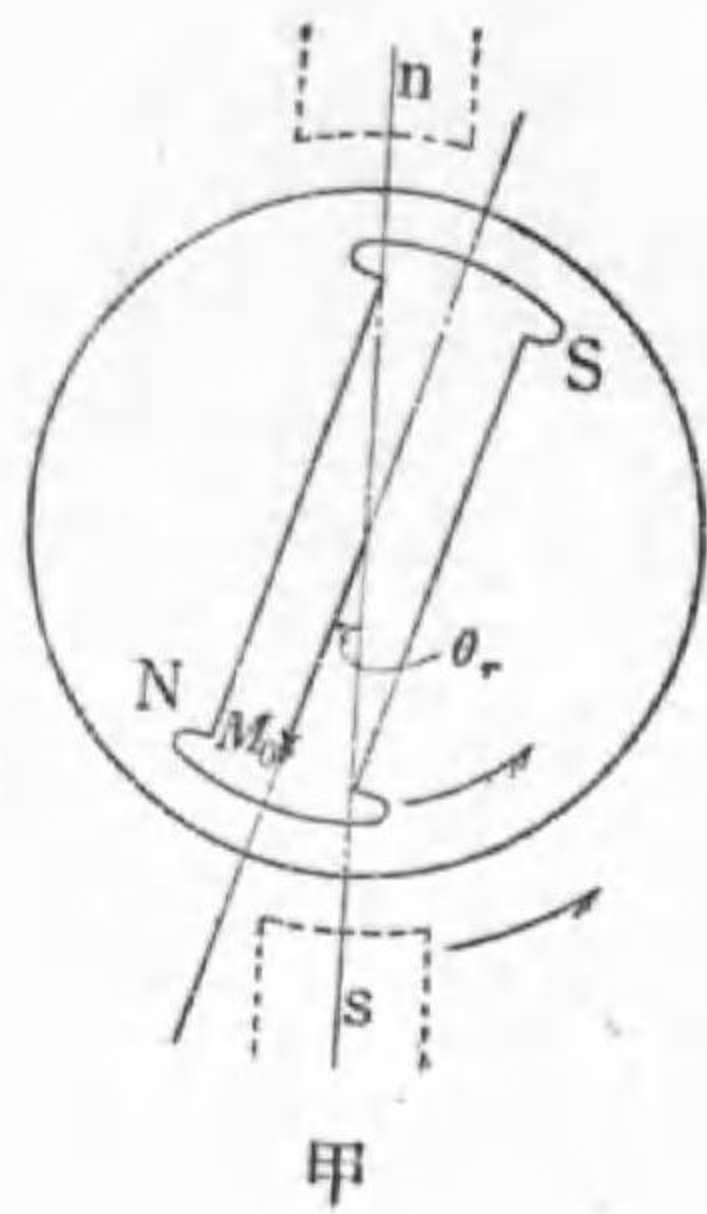
- (2) 交流發電機の電壓變動率の定義と、發電機設計に於て通常とすべき電壓變動率の値を述べよ。また力率の變化によりこの値の變化する理由を説明せよ。
- (3) 大なる交流發電機を運轉中に短絡したらどんな障害を生ずるか。その障害を防止するにどんな方法があるか。なほこの場合の電機子反作用及び電機子リアクタンスの作用を述べよ。
- (4) 交流發電機の亂調とは何か。またその防止法を説明せよ。

第4節 同期電動機の特性と應用

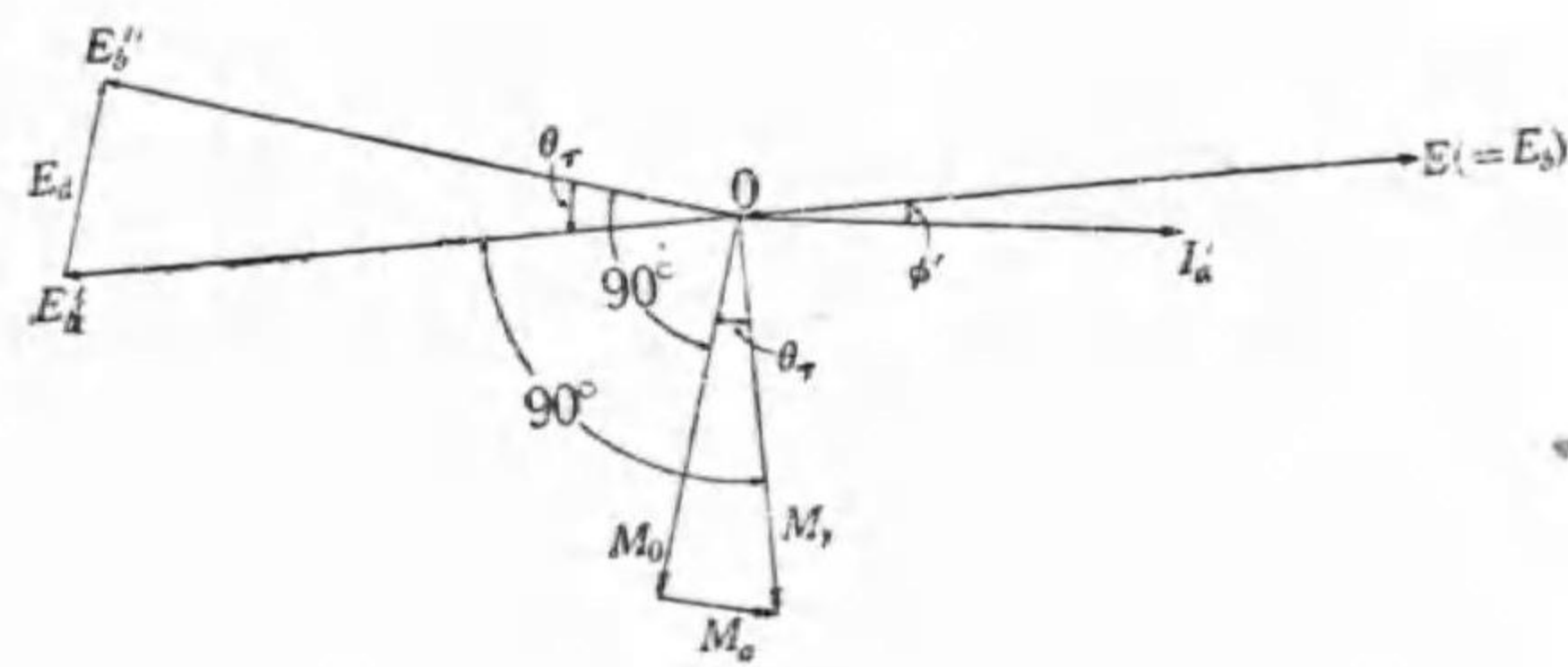
同期電動機の電機子電流は、負荷が一定でも界磁を強めれば進電流となり、弱めれば遅電流となること、回轉子の速度は負荷の變動にかかはらず一定の同期速度であること、この同期からはづれて安定な運轉を阻害するおそれあること等の特性がある。これらの諸特性を検討し、その應用について述べる。

1. 負荷に對する入力自己調節

これは電動機の負荷が變化したとき、入力を自動的に調節して負荷に應じ得るものである。



これを電動機の負荷ベクトル図によつて説明する。説明をわかりやすくするために、電動機内には損失がないものと假定し、ベクトル作圖の順序によつて述べる(第4・17圖甲乙)。



第4・17圖

E : 供給電圧で一定の値である。
 E_b : 逆起電力で無負荷のときは E と位相が 180° ちがふ。 E_b の値は勵磁電流によつて變る。 E_b が E と等しければ、 E と釣合ひ電流は流れないが、等しくないときは兩者の差により電流が生ずる。しかしこの電流

は E に對して 90° 進むか遅れるかする無効電流であるから、入力とはならない

E'_b : 負荷すれば、回轉子はトルク角 θ だけ回轉磁界より遅れて回轉するから、逆起電力も θ だけ位相が遅れ E_b から E'_b に移る。そして供給電壓と逆起電力とは、位相關係で釣合が破れる。

E_a : 上述の2電壓の不釣合差である。即ち

$$\left. \begin{aligned} E_a &= E'_b - E_b \\ \text{または } E_a &= E'_b - (-E_b) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4 \cdot 17)$$

これが電機子線輪に加る。

I_a : 負荷電流で E_a を同期リアクタンスで除した値で、 E_b より 90° 遅れるが E とは僅か ϕ だけの差である。

M_0 : E'_b を生ずる起磁力で 90° 進む。

M_a : I_a によつて生ずる電機子起磁力で I_a と同相である。

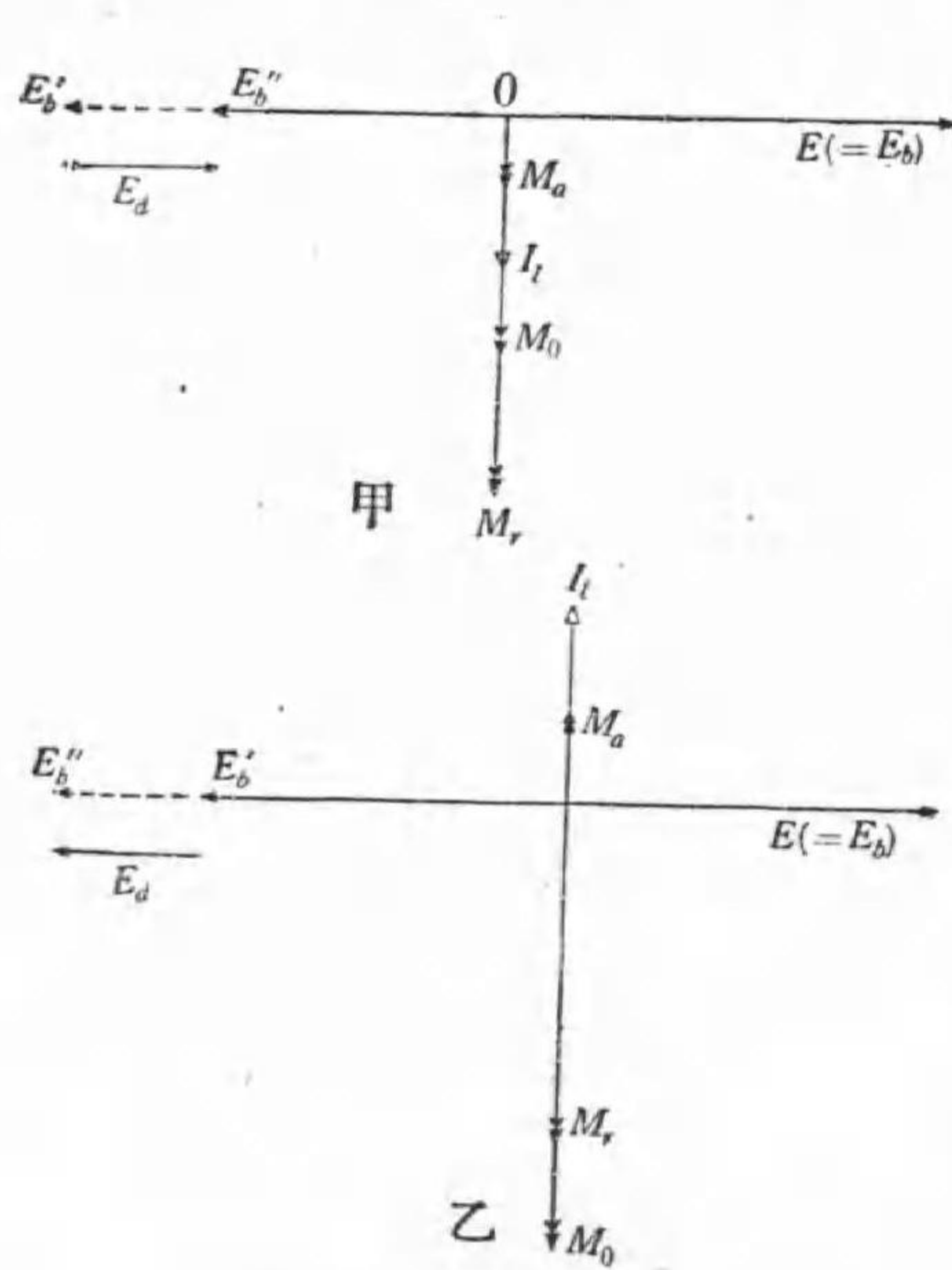
M_x : M_0 と M_a との合成起磁力で E_b 即ち $(-E)$ をつくるもので 90° 進む。この M_x のために、もとの逆起電力 E_b をつくり、 E との釣合が保たれるのである。

第4・17圖乙のベクトル圖からわかるやうに

$$\text{入力} = EI_a \cos \phi \dots\dots\dots(4.18)$$

負荷が増せばトルク角 θ は大となるから E_a も大となり、したがって I_a も大となる。しかし ϕ' も幾分大となる。そしてこの力率の減り方よりも I_a の増し方が大きいから、入力が増すことになる。負荷が減ればこの反対となり、入力が減ずることとなる。

かうして同期電動機は、負荷の變化に對して



第 4.18 圖

入力の自己調節を行ひ得る。

2. 位相特性

第4.17圖②では、勵磁電流を變化させないで考へたが、もし勵磁電流を變へるとすれば E_a の大きさばかりでな

くその位相も變るから、電機子電流の値だけでなくその位相をも變へる。これは同期電動機の重要な特性であるから、次にこの理由を説明する。

(1) 無負荷の場合 無負荷とし、勵磁電流によつて $E'_b = E$ とすれば電流は生じないが、第4.18圖ⓐのやうに界磁起磁力を M_0 に減じて $E''_b < E'_b$ とすれば、

$$\dot{E}''_b - \dot{E}'_b = \overrightarrow{E_a} \dots\dots\dots(4.19)$$

$$\text{または } \dot{E}''_b - (-\dot{E}) = \overrightarrow{E_a}$$

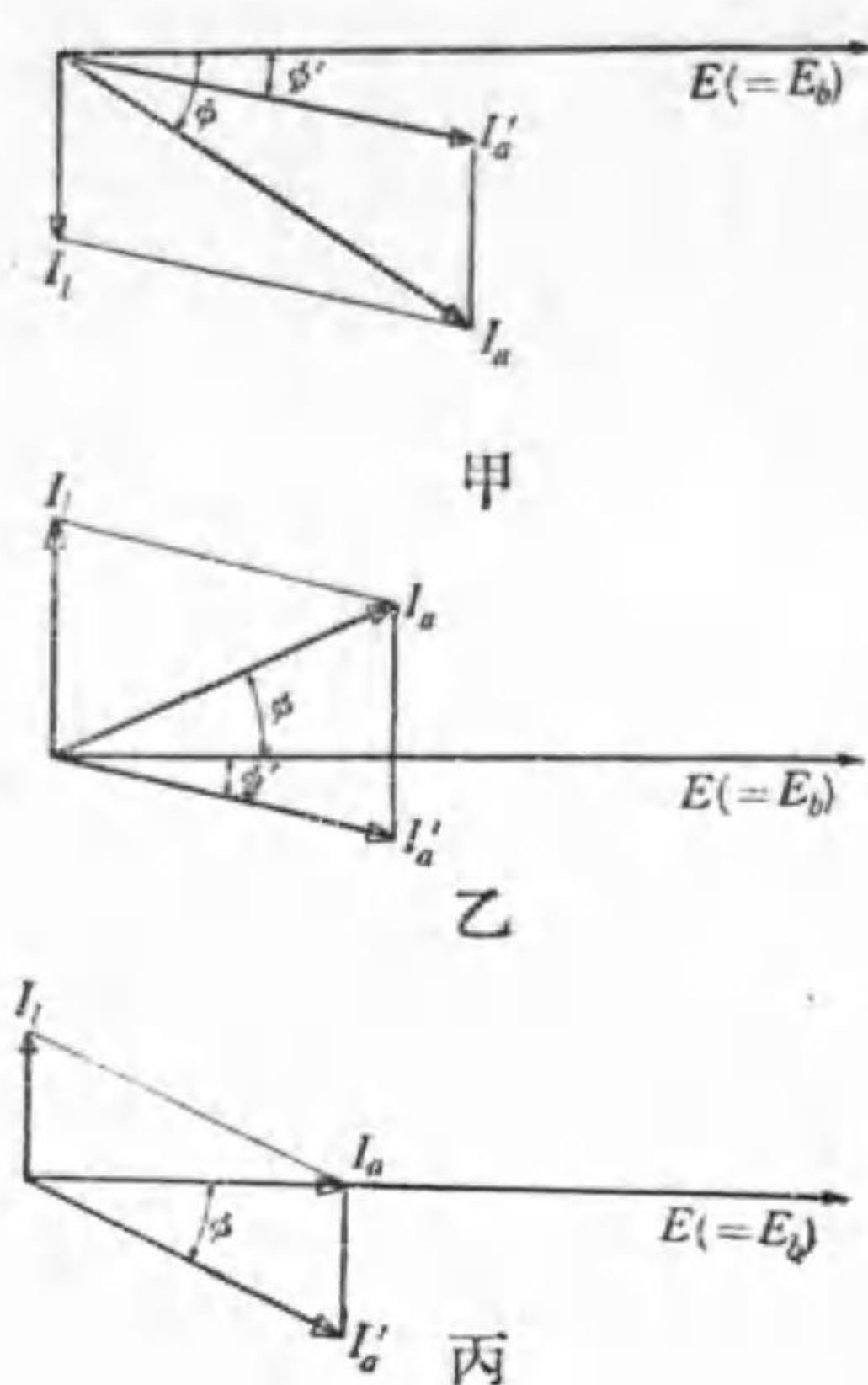
この $\overrightarrow{E_a}$ のために供給電壓 E より 90° 遅れた無効電流 I_l を生ずる。 I_l と同相に電機子起磁力 M_a を生じ、 M_a と M_0 との合成 M_r がもとの逆起電力 E'_b をつくり、 E との釣合を保たせる。

第4.18圖②は、勵磁電流を増して $E''_b > E'_b$ としたもので、

$$\dot{E}''_b - \dot{E}'_b = \overrightarrow{E_a} \dots\dots\dots(4.20)$$

$$\text{または } \dot{E}''_b - (-\dot{E}) = \overrightarrow{E_a}$$

この $\overrightarrow{E_a}$ のために、供給電壓より 90° 進んだ無効電流を生ずる。

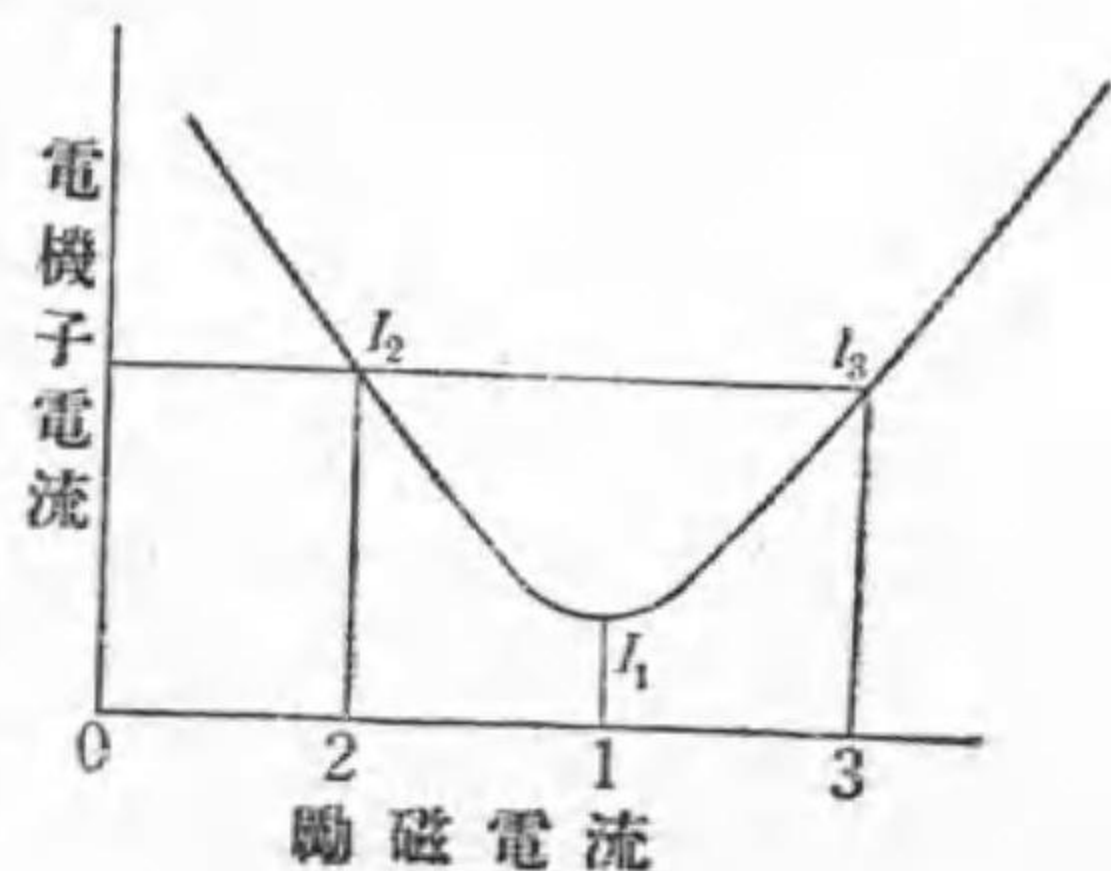


第 4.19 圖

(2) 負荷の場合 第 4.19 圖に於てⒶは勵磁電流を減じたために I_a が E より遅れ,Ⓑは勵磁電流を増したために I_a が E より進み,Ⓒは勵磁電流を適度にしたために I_a は E と同相となり,且このときの I_a の値は最小であることを示す。

3. 位相特性曲線

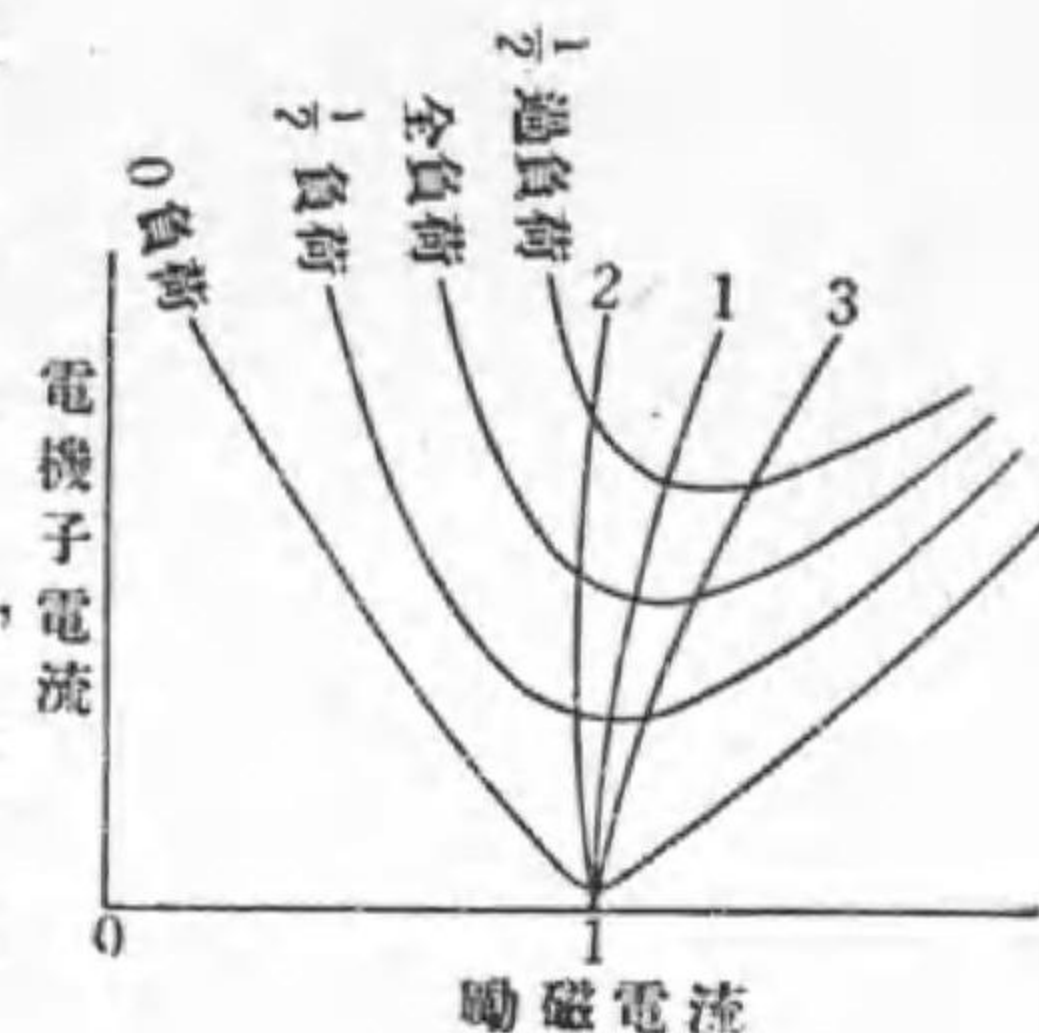
一定の供給電圧のもとで,負荷を一定に保ちつつ勵磁電流と電機子電流との関係を表はす曲線を位相特性曲線といひ,第 4.20 圖に示す。この曲線は V 字形であるから V 曲線ともいふ。



第 4.20 圖

この曲線から次のことがわかる。

(ア)一定の負荷に對し,勵磁電流を特定の値 0 ① とするとき,電機子電流は I_1 となり,これは供給電圧と同相であり,且最小の値であつてただ一つある。



第 4.21 圖

(イ)一定の負荷に對して電機子電流には等しい二つの値, I_2 及び I_3 がある。 I_2 は勵磁電流 0 ② によつて得られる遅電流で, I_3 は 0 ③ によつて得られる進電流である。

次に負荷の値を 0 負荷, 1/2 負荷, 全負荷, 1/2 過負荷等に區別して,それぞれの曲線を求めれば第 4.21 圖のやうになる。この圖で①—①線は各曲線中の力率 100% の點を結んだもの,①—②線は遅れ力率 80% の線,①—③線は進み力率 80% の線である。

4. 界磁調整曲線

一定の供給電圧のもとで、負荷を變へながら一定の力率を保つやうな勵磁電流と、電機子電流との關係を示す曲線を界磁調整曲線といひ、第4・21圖①—①、①—②、①—③の各曲線がこれで、三とほりの力率のもとに求めたものとなる。

5. 同期電動機の亂調

電動機の運轉中回轉子の回轉が周期的に振動し、これが激しくなることがある。これは亂調といひ、ひどくなると同期状態をはづれて停止する。

亂調の原因には二つあり、一つは電動機の負荷の變動により、他は發電機の亂調による。

(1)負荷の變動によるもの 回轉子がある負荷を負ひ、トルク角 θ_r だけ遅れて同期状態で運轉してゐるとき、負荷が急に減じたとすれば、入力は一時的に過剰となるから加速し、 θ_r より小なる θ_r' に移つて落着き、入力も減じて所要の値に落着くならば、新負荷のもとでも同期状態が保たれて問題が起らない。

しかし回轉子の惰力のために、 θ_r' より小なる θ_r'' に達し入力不足となるため減速し、惰力のために θ_r' を超えて θ_r''' に達し、入力に過剰を來して再び加速する。かうして新負荷の θ_r' を中心として前後に往復を繰返す。即ち、周期的の振動を生ずる。もし、このとき負荷も周期的に増減する性質ありとして、回轉子が加速するときには減荷となり、減速するときには増荷となるやうな場合には、回轉子の振動は一層激しくなり亂調となる。

亂調を防ぐには、回轉子の直徑や目方を大きくして、はずみ車効果を大にすることと、磁極面に制動線輪を施すこととである。

(2)發電機の亂調によるもの 發電機が亂調すれば、その周波数には周期的に狂ひが生ずるため、電動機もこれに呼應して亂調となるから、發電機の亂調を防がなければならない。殊に、發電機の大きさが電動機にくらべて大差ないときには、互に亂調の原因となり合ふから注意を要する。

6. 同期電動機の用途

以上述べた特性から、同期電動機の得失を摘記すれば次のとおりである。

- (ア) 負荷が變動しても、回轉子は一定の同期速度で回轉する。これが著しい特長である。もちろん機械が耐へ得る最大負荷の範囲内でのことであつて、この程度を超過すれば、同期を脱して停止する。停止すれば、固定子と回轉子との間に吸引・反撥を交互に繰返して再起はできない。
- (イ) 負荷の變動に応じて入力を自己調節する。
- (ウ) 機内の損失が少く、したがつて高能率である。
- (エ) 力率をよくすることができる。
- (オ) 界磁を作るために勵磁機を必要とするから、設備費はかさむ。
- (カ) 起動トルクが小さいために、後の運轉法で述べるやうに手數がかかる。
- (キ) 速度調整をすることができない。
- (ク) 亂調を起すおそれがある。

かやうな得失があるから、小容量の電動機には適しない。壓縮機・船舶推進機・碎木機・碎礦機、或は製鐵の壓延機など低速大容量の電動機に用ひられる。

しかし負荷の有無にかかはらず、その勵磁電流を加減すれば、電機子電流として進電流や遅電流を自由にとり得ることは、誘導電動機にない特長で、これを利用して調相機とする。また、特長を利用して同期速度を保ち運轉するから、周波數變換機として用ひる。これらのものは後に述べることとする。

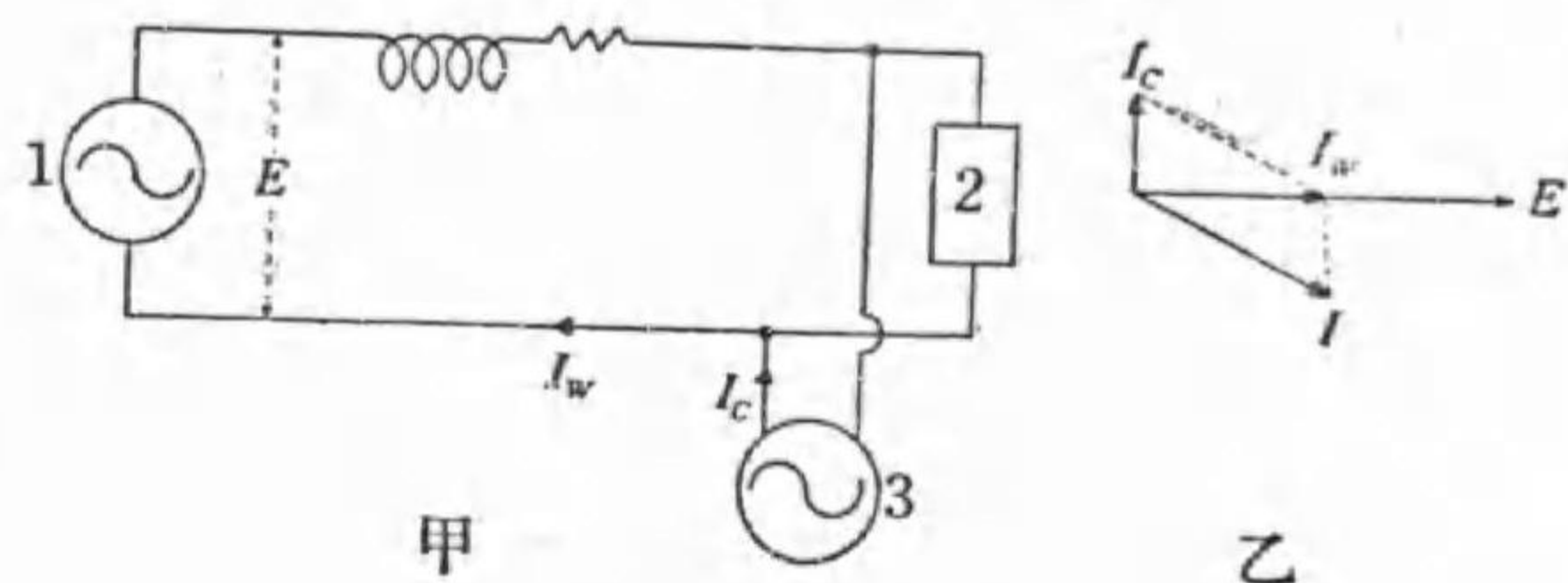
6. 同期調相機

電路に無効進電流や、無効遅電流を出させるために運轉する無負荷同期機のこと、電路の力率改善や電壓調整を目的とする。

(1) 力率の改善 普通の電燈・電力用の電路では周波數も50～60サイクル内外であり、電壓もそれほど高くはないから、電路は自己誘導性に富み電流は遅れ勝である。特に負荷に誘導電動機の多いときには、ひどくなり電路の力率を

低下する。

負荷に近いところに調相機を接続して、無効進電流を出させて電路の無効遅電流を相殺すれば、調相機と電源との間の線電流を電圧と同相にすることができる。第4・22圖(甲)(乙)はこの関係を示す。



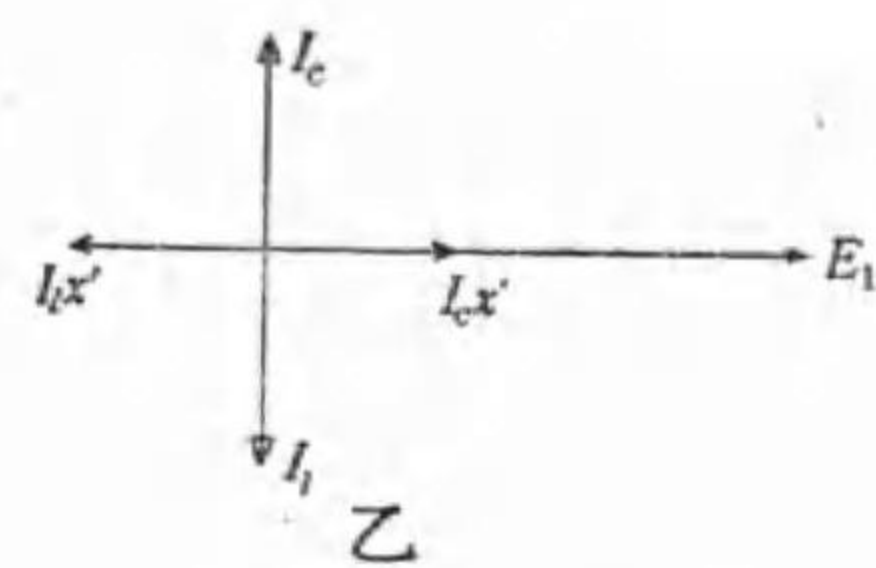
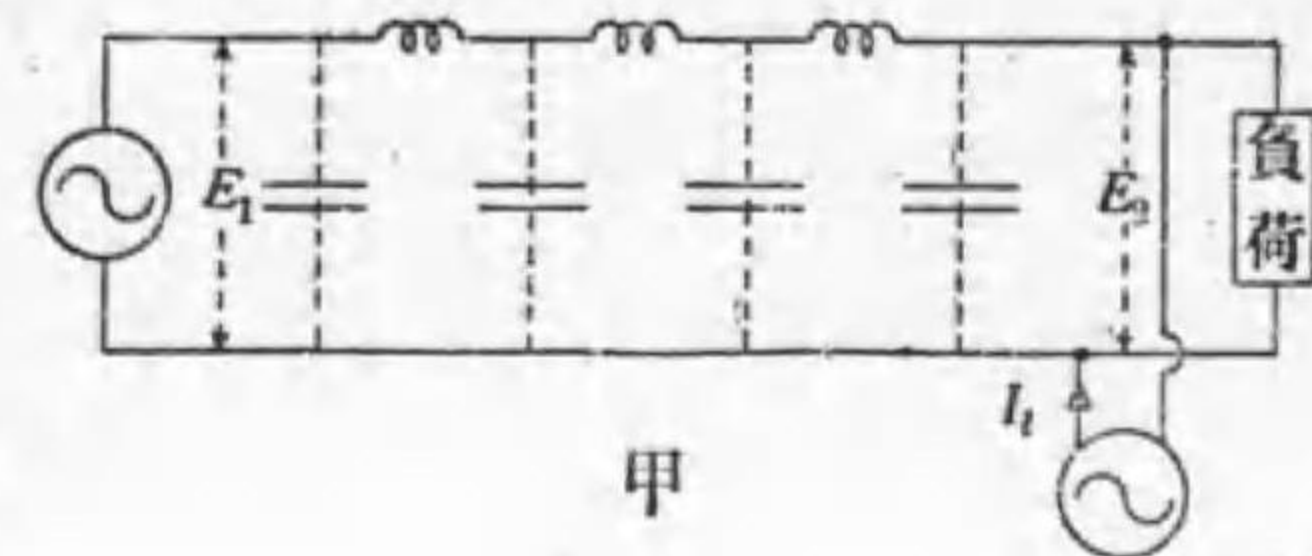
第 4・22 圖

①發電機 ②負荷 ③調相機

(2)線路電壓の調整 高電壓の長距離送電線では、自己誘導のほかに静電容量が分布するから、充電電流を流して線電流を進ませる。殊に、負荷が誘導性で軽負荷のときは進電流が甚だしくなり、受電點の電壓 E_2 を供給電壓 E_1 よりも上昇させ、反対に重負荷のときは E_2 を低下させる。

故に第4・23圖(甲)のやうに受電點に調相機を

接続し、軽負荷のときは低勵磁に無効遅電流 I_l を出させ、重負荷のときは過勵磁に無効進電流を出させるやうにすれば、負荷の變動にかかはらず受電點電壓 E_2 を一定し得る。



第 4・23 圖

一般に自己誘導係數に 90° の進電流を通せば供給電壓 E_1 と同位相の電壓降下を生じ、 90° の遅電流を通せば E_1 と反対位相の電壓降下を生ずる。第4・23圖(乙)はこの関係を示すものである。送電線では自己誘導係數は負荷に直列であり、分布静電容量は負荷に並列であるから、進電流や遅電流が自己誘導係數を通ることになり、これが供給電壓に作用する結果、受電壓 E_2 を變へる。

練習問題

- (1) 運轉中の同期電動機がある。その回路には單に電流計だけ挿入した場合に、一定負荷に對し力率を 100% にすべき勵磁電流を知らうとするとき、とるべき方法を述べよ。
- (2) 同期電動機の供給電壓及び負荷一定の場合に勵磁電流を變化すれば、供給電流はどう變化するかを圖によつて説明せよ。
- (3) 同期電動機の磁極面に沿つて設ける制動線輪の效用を述べよ。
- (4) 2,500 kVA, 力率 60% の負荷あり、力率を 80% とするに要する調相機の容量を求めよ。また 80% 力率に於ても負荷を 2,500 kVA にする場合の調相機の容量を求めよ。(答 875 kVA, 500 kVA)

第 5 章 運 轉

第 1 節 同期電動機の起動法

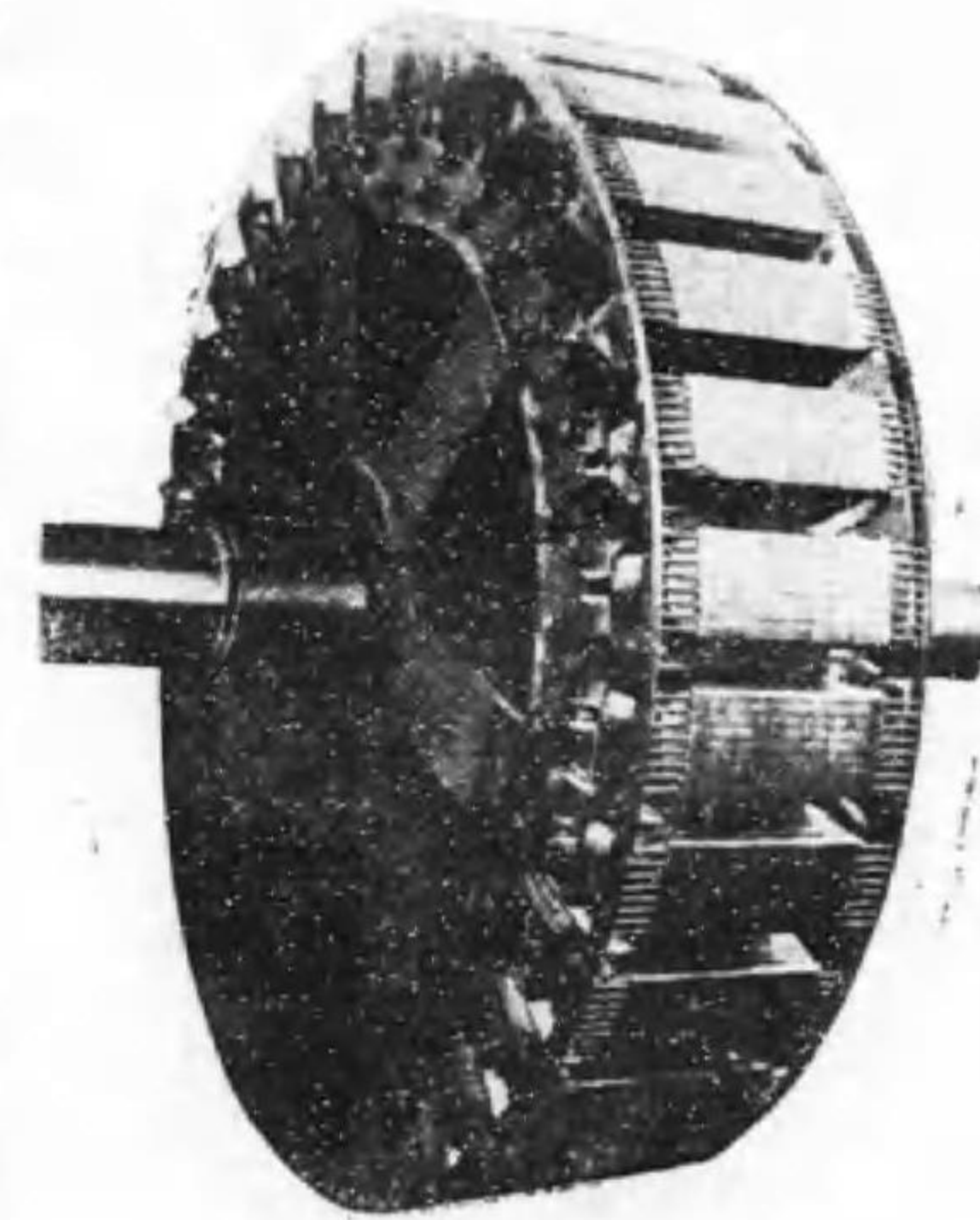
同期電動機は、本來は自起動不可能であるから、起動には特別の工夫を要する。三相式についてその方法の主要なものは次の三つである。

(ア) 自起動法 同期電動機自體に工作をして、自起動を可能とするもの

(イ) 起動電動機法 別箇の電動機によりて起動するもの

(ウ) 誘導同期電動機法 線輪型誘導電動機として起動するもの

(1) 自起動法 界磁極の表面に第 5・1 圖のやうな籠形線輪を施し、誘導電動機として起動する。回轉子が同期速度以下であると、線輪の導體が電機子磁束を切つて誘導電流を生じ、これと電機子磁束との間の電磁力が起動トルクとなる。また回轉子が同期速度になると、この線輪は亂調を防止する働きをする。



第 5・1 圖

起動時には勵磁電流を送らずに、界磁線輪を抵抗器で短絡する。これは回轉磁界のため高電壓を誘起して絶縁を破壊するからである。

回轉數が高くなり同期速度に近くなつたとき勵磁し、磁氣引力により同期にひき入れる。小容量のものでは、起動の際に界磁線輪は開いておくこともある。

起動時に定格電壓を電機子に加へると、大なる起動電流が通るから、これを防ぐ必要があれば起動補償器により定格の $1/2 \sim 1/3$ くらいの低電壓を加へて起動し、後に定格値とする。起動補償器は単巻變壓器である。

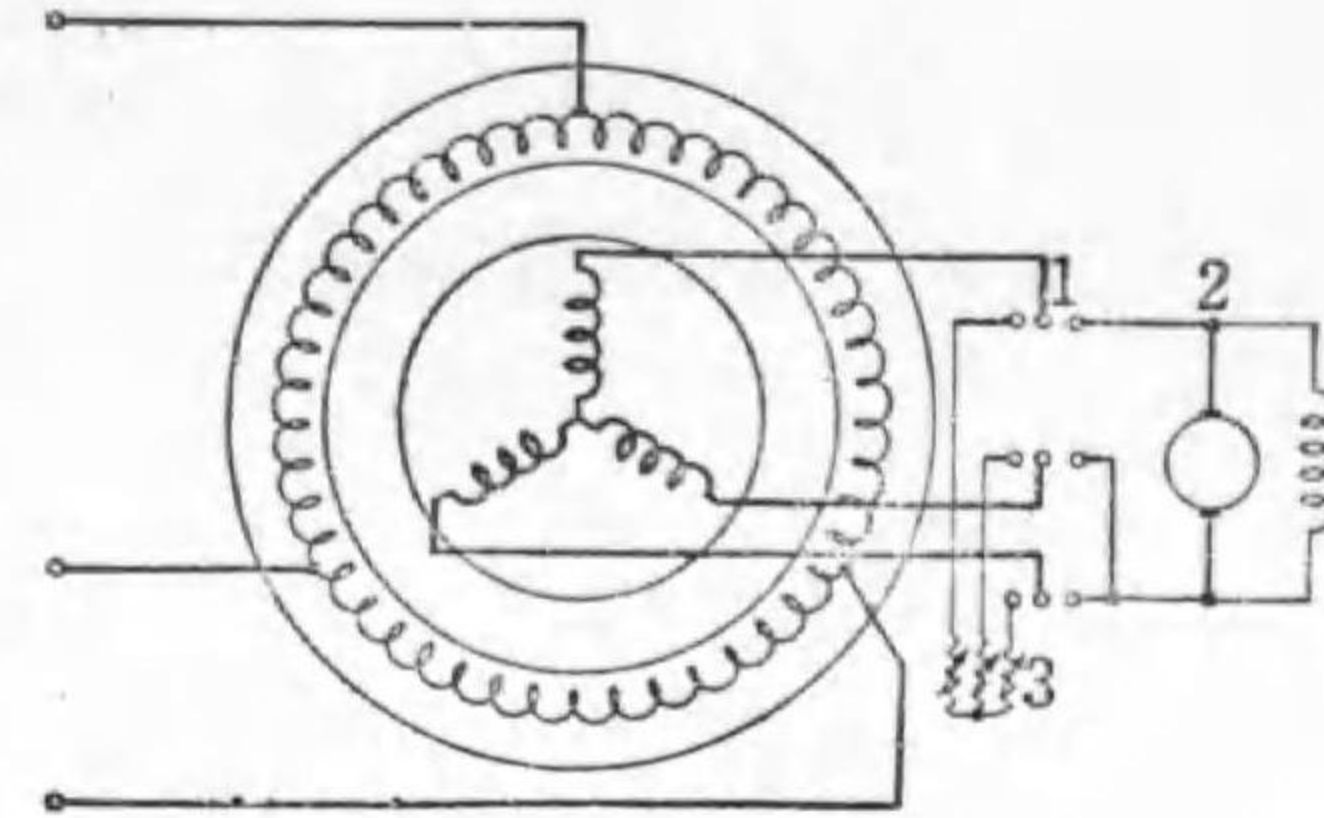
この制動線輪による起動トルクは小であるから、輕負荷で行はなければならない。これを大とするため、制動線輪を二重籠形としたものもある。

(2) 起動電動機法 起動電動機により同期速度まで加速し、界磁を勵磁し、位相を合はせてから電機子に交流電壓を加へる方法である。

起動用電動機としては、同期電動機より極數が一對少い誘導電動機を用ひるか、または直結した直流電動機を用ひることもある。

(3) 誘導同期電動機 これは線輪型三相誘導

電動機であつて、起動の際には回轉子に起動抵抗器を挿入し、全速度になれば抵抗器の代りに勵磁機と切換へ同期にひき入れる。



第5・2圖

- ① 切換開閉器 ② 勵磁機
③ 起動抵抗器

線輪型誘導電動機の良い起動特性と、同期電

動機の良い運轉特性を利用したものである。

練習問題

三相同期電動機の起動法の各種につき述べよ。

第2節 同期發電機の單獨運轉

1. 發電機速度の調整

同期發電機の周波數及び電壓は常に一定に保たなければならないから、回轉數を一定にする必要がある。電壓の調整は別に勵磁を加減してもできるが、殊に周波數は回轉速度によつて調節するほかはない。

故に原動機には適當な調速機を附し、負荷の

變動に応じて入力を加減し、速度を一定に保つやうにする。

蒸氣機關・内燃機關のやうな往復機關に對しては、1回轉内の速度の變化をも一樣にすべき工夫をしなければならない。

2. 發電機端子電壓の調整

同期發電機の一相の誘導起電力は(2.2)及び(3.12)式により、

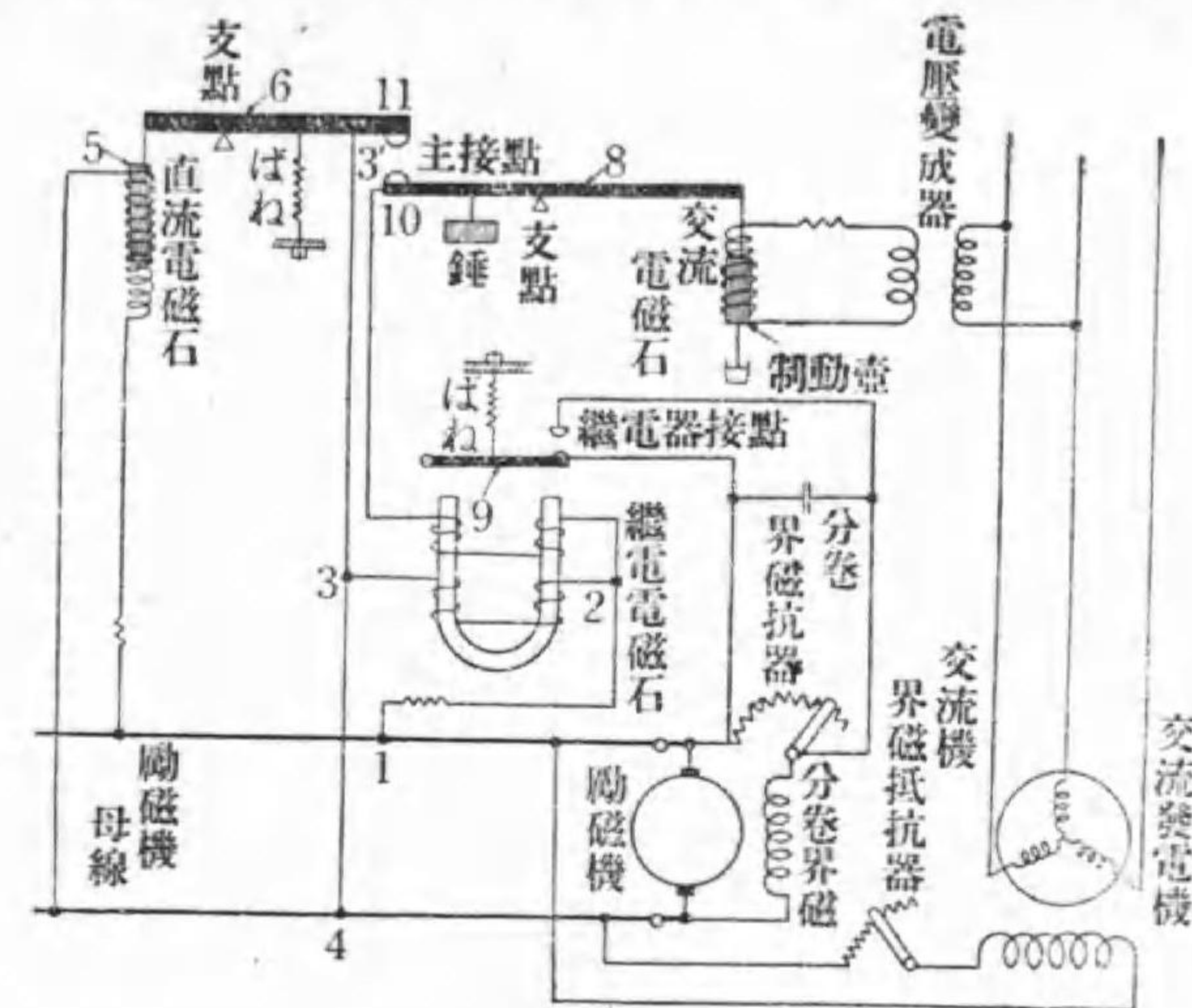
$$E = 4.44 W_r \cdot \frac{PN}{120} \cdot T\phi \times 10^{-8} \text{ ボルト} \dots (5.1)$$

であつて、出來上つた發電機で調節可能なのは回轉數 N と每極の磁束 ϕ だけである。

しかし、周波數を一定に保つため N は變化できないから、端子電壓の調節は ϕ を變化して行ふ。即ち勵磁電流を變化する。

發電機の負荷が變動しても端子電壓を一定値に保持しなければならない。變動が長時間をおいて起る場合は、手動で界磁抵抗器を加減すればよいが、激しい變動に對しては自動電壓調整器を用ひる。これは力率と無關係に端子

電壓が變りさへすれば働く。次に最も廣く使用されてゐる振動型自動電壓調整器について説明する。第5.3圖はその主要部で、勵磁機に分巻界磁抵抗器は、繼電器接點の開閉に應じて

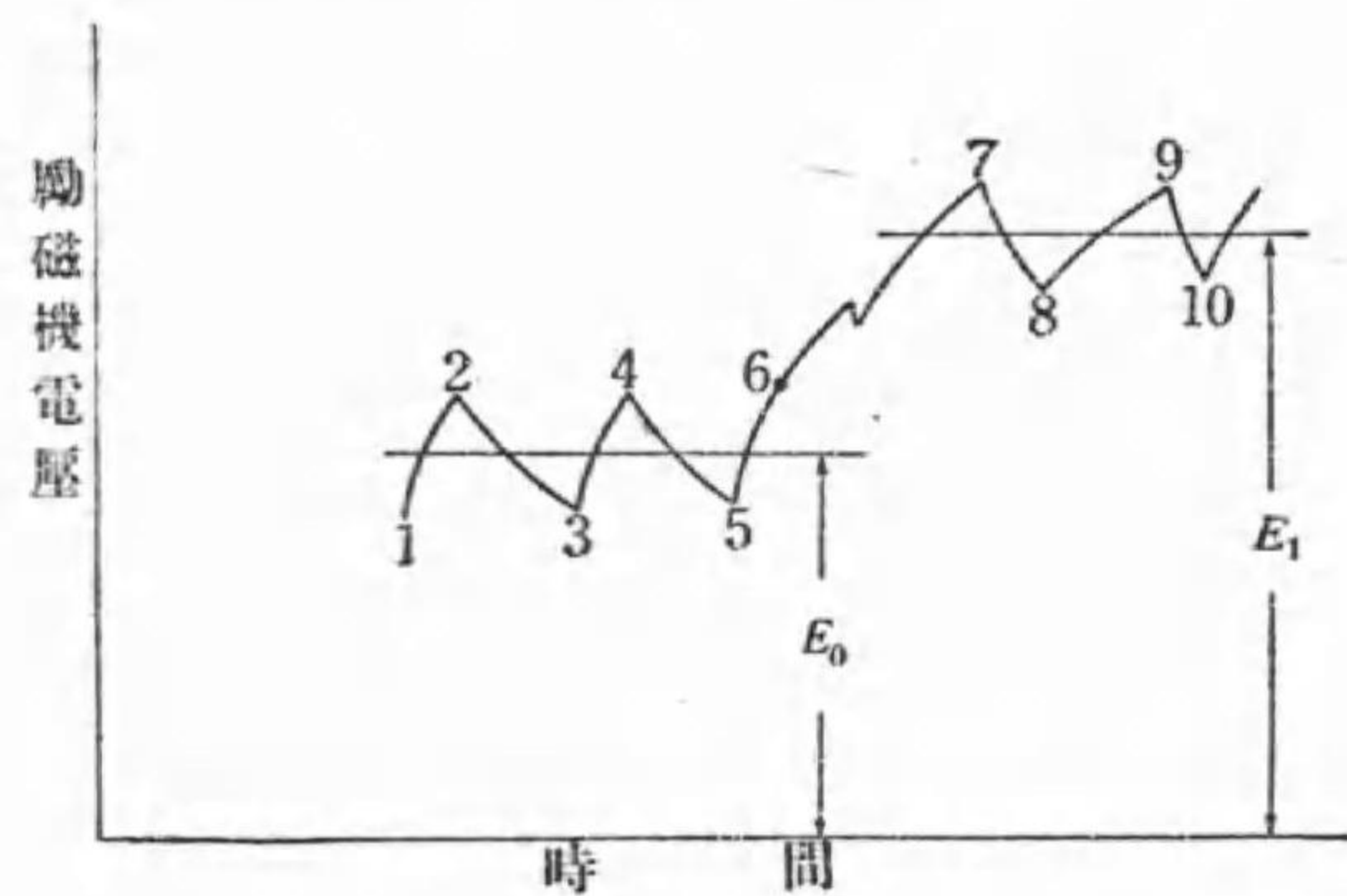


第 5.3 圖

分巻界磁回路に直列に入つたり、短絡されたりするから、勵磁機電壓はそれにつれて下降または上昇する。

交流發電機端子電壓が規定値の場合には、棒⑧は交流電磁石の吸上力により釣合を保つて水平位置に止る。勵磁機電壓が下ると棒⑥が

右下りとなつて主接点が閉ぢ、繼電電磁石の上部線輪に電流が通じて下部線輪の磁氣を打消すから、繼電器接点が閉ぢ、分巻界磁抵抗器を短絡する。したがつて勵磁機電圧が昇つて直流電磁石は主接点を開き、繼電電磁石に磁氣を生じて繼電器接点を開き、分巻界磁抵抗器が直列に入つて勵磁機電圧が下る。この動作を繰返すから、勵磁機電圧は第5・4圖①～⑤のやうに



第5・4圖

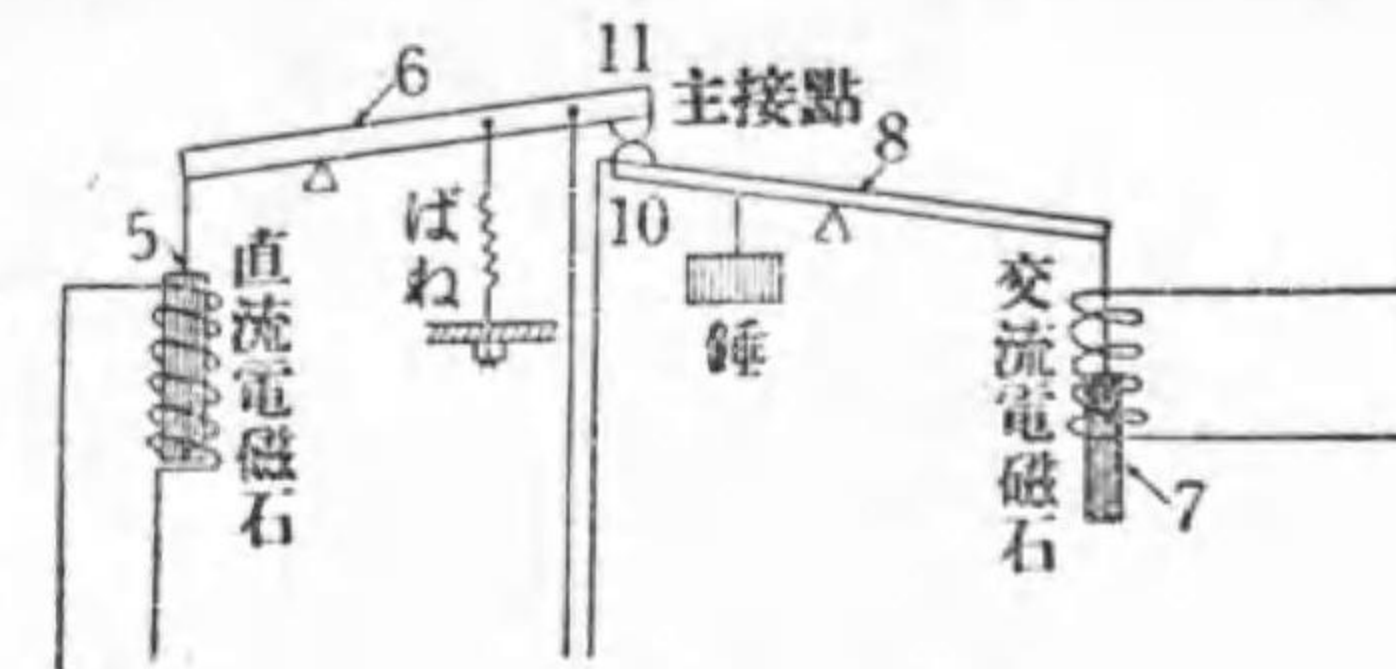
變化し、交流發電機を平均電圧 E_0 で勵磁して規定電壓を發生してゐる。

勵磁機電圧が脈動しても、交流發電機の電圧が脈動しないのは、交流機勵磁線輪の誘導係數

のため電流が平滑となるからである。

交流發電機の端子電圧が下つた場合には、交流電磁石の勵磁が弱まり、その鐵心⑦が下降し、棒⑧は第5・5圖のやうに右下りの位置をとる。

振動部は振動を繼續するが、主接點の上側接觸子⑩は前よりも高く傾



第5・5圖

いた位置で振動し、勵磁機電圧は第5・4圖⑤～⑩のやうに上昇して、平均電圧 E_1 で交流發電機を勵磁するから、端子電圧の降下が恢復する。

交流發電機の端子電圧が上昇した場合は、これと反對の働きにより、端子電圧を規定値にする。

第3節 同期發電機の並行運轉

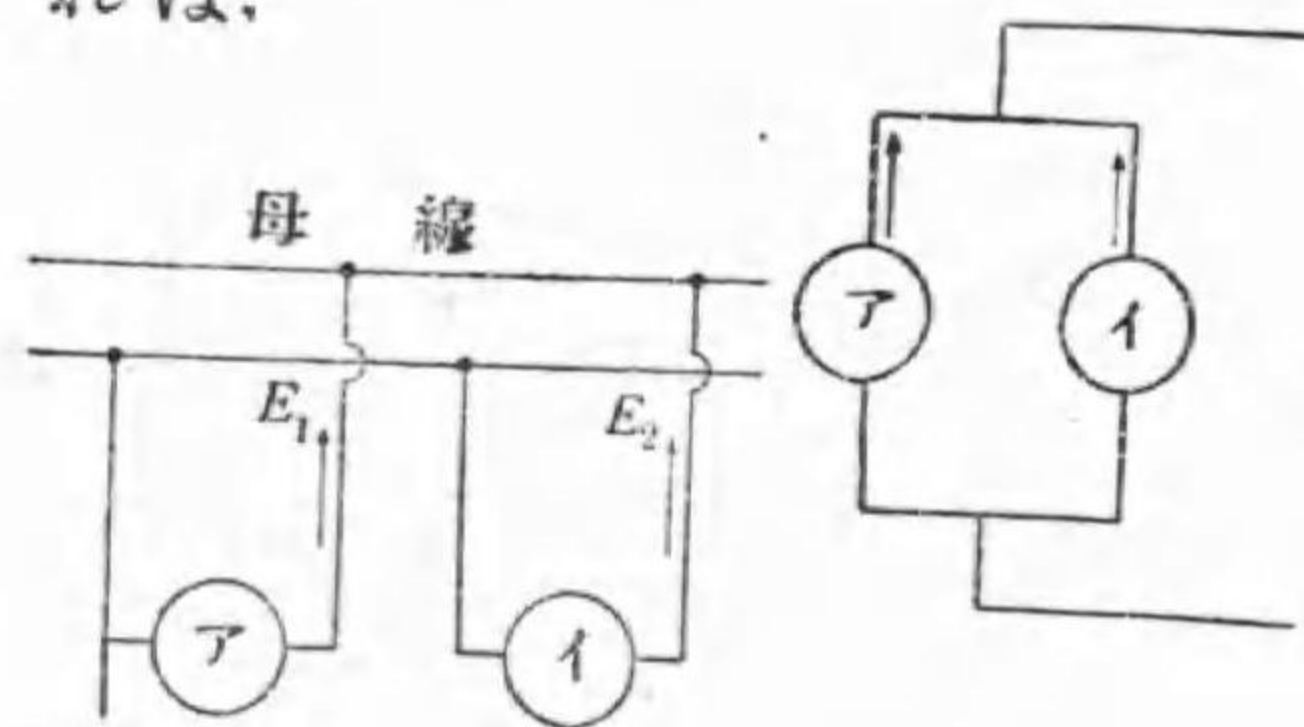
數臺の發電機を設備し、負荷の變動に應じて運轉臺數を變へ、運轉中の發電機を常に全負荷状態にすると經濟的である。發電機の並行運轉の目的はここにある。

1. 同期発電機並行運転の要件

直流発電機では、単に起電力を同じにすればよかつたが、同期発電機では

- (ア) 起電力を同じにすること
- (イ) 位相を同じにすること
- (ウ) 周波数を同じにすること
- (エ) 波形を同じにすること

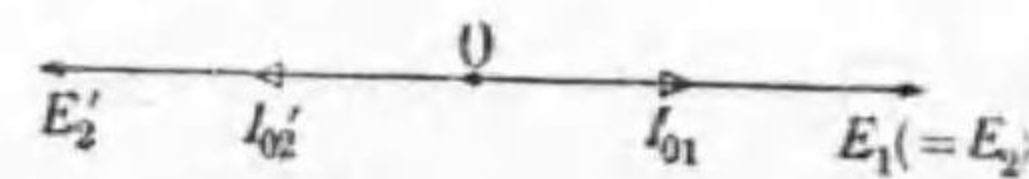
の四つを必要条件とする。その理由を説明すれば、



第5.6圖

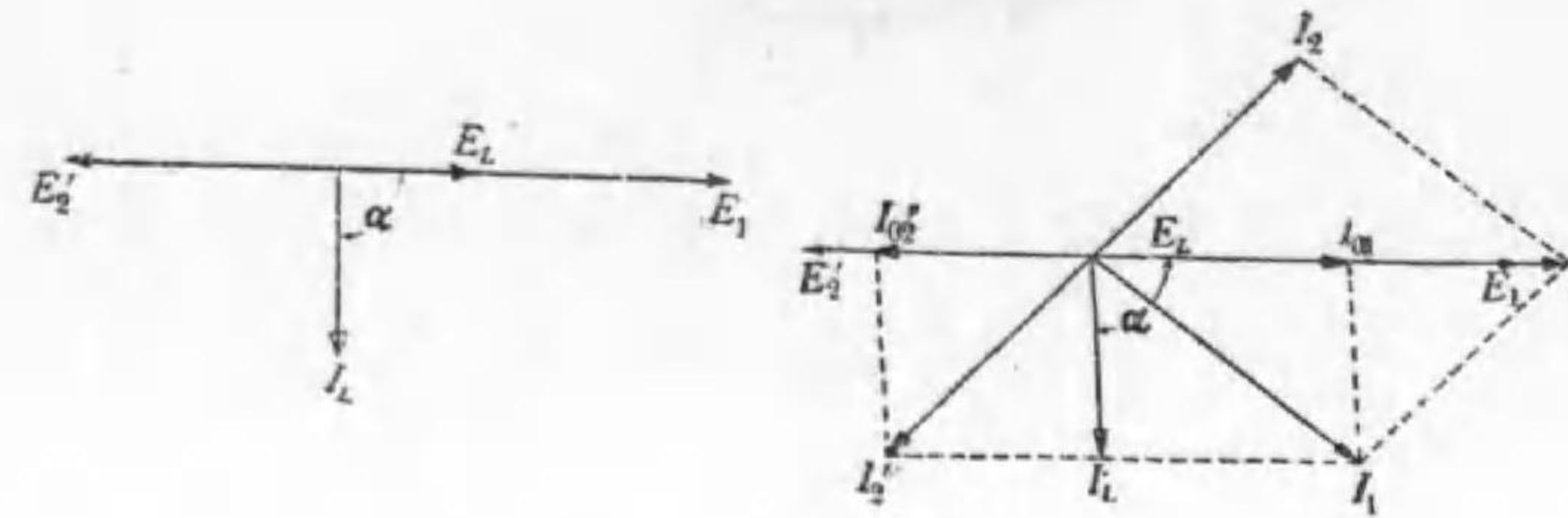
第5.7圖

の母線に対する位相は、第5.6圖のやうに同一であるが、発電機回路を考へれば第5.7圖のやうに反対位相となるから、第5.8圖のやうに⑦①兩機の起電力 E_1 と $E_2(E_2')$ とは釣合つてゐる。



第5.8圖

(1) 起電力(實効値)について ⑦①兩機が並行運転するとき兩機



第5.9圖

第5.10圖

もし⑦機の勵磁電流を増して第5.9圖のやうに $E_1 > E_2$ とすれば、起電力の釣合は破れて

$$E_1 + E_2' = E_L \dots\dots\dots(5.2)$$

なる合成電壓 E_L が発電機回路に現れる。この回路では⑦①兩機の電機子抵抗 R_{a1}, R_{a2} 及び同期リアクタンス x_{a1}, x_{a2} が直列になつてゐるから、この E_L を受けて、

$$I_L = \frac{E_L}{\sqrt{(R_{a1} + R_{a2})^2 + (x_{a1} + x_{a2})^2}} \dots\dots(5.3)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{x_{a1} + x_{a2}}{R_{a1} + R_{a2}} \dots\dots\dots(5.4)$$

となる。(5.3)式で示す電流 I_L が E_1 より α 遅れて流れるが、同期リアクタンスは抵抗にくらべて極めて大なるため α は 90° に近い。この I_L を

無効横流といふ。

無効横流の作用は次のとおりである。

(ア) E_1 にも E'_2 にも 90° くらい位の位相差であるから、㊶㊵兩機間の電力授受には無関係である。

(イ) 発電機回路を循環し、抵抗のために發熱させる。

(ウ) 第5・10圖のやうに㊶㊵兩機の各負荷電流 I_{01}, I'_{02} に加るから、各電機子電流は $I_1, I_2(I'_2)$ となつて位相が變り、 I が母線電流となる。

(エ) ㊶機には無効遅電流として流れ E_1 を減じ、
㊵機には無効進電流として流れ E_2 を増す。
かくて兩機の起電力を等しくして釣合を恢復する。

このやうに同期發電機では、勵磁度を變へても無効電流が生ずるだけで、兩機の負荷の分擔には無関係である。

(2) 位相について 並行運轉中の㊵機がやや減速すれば、㊵機の起電力 E_2 の位相は㊶機の E_1 より β だけ遅れて釣合が破れるから、第5・11圖

のやうに發電機回路には、

$$\dot{E}_1 - \dot{E}_2 = \dot{E}_1 + \dot{E}'_2 = E_L \dots \dots \dots (5 \cdot 5)$$

$$E_L = 2 E_1 \cos \frac{\beta}{2} \dots \dots \dots (5 \cdot 6)$$

なる合成電壓 E_L が現れる。

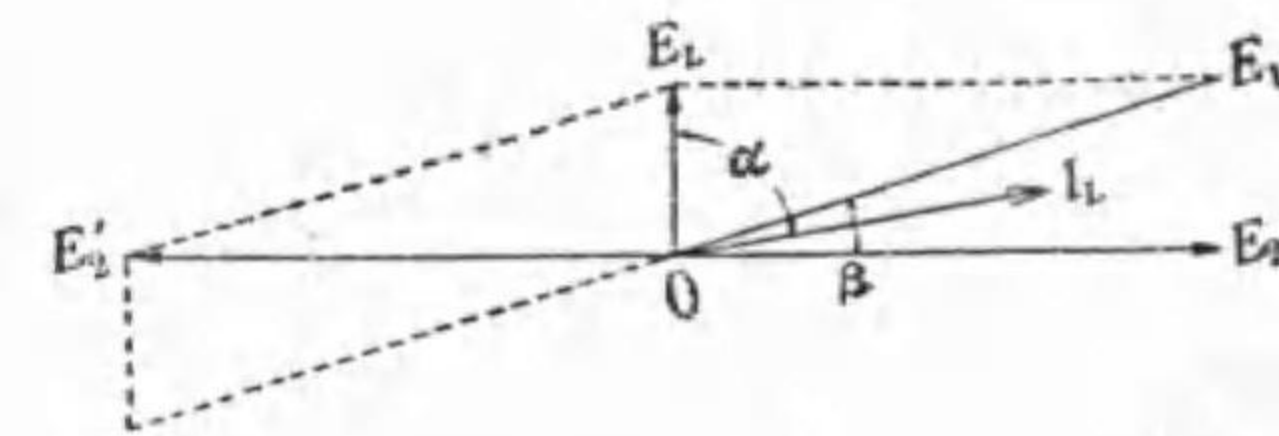
故に

$$I_L = \frac{E_L}{\sqrt{(R_{a1} + R_{a2})^2 + (x_{s1} + x_{s2})^2}} \dots \dots \dots (5 \cdot 7)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{x_{s1} + x_{s2}}{R_{a1} + R_{a2}} \dots \dots \dots (5 \cdot 8)$$

なる横流 I_L が流れるが、第5・11圖からわかるやうに I_L は E_1 とほ

ぼ同相であり、 E'_2 とは反對位相となるから電力を生ずる。この I_L



第5・11圖

を有効横流といひ、有効横流によつて生ずる電力を同期化力といふ。

同期化力は㊶機に對しては出力の増加分となり、㊵機に對しては入力となつて電動機作用を與へる。そのわけは I_L と E'_2 との関係はベク

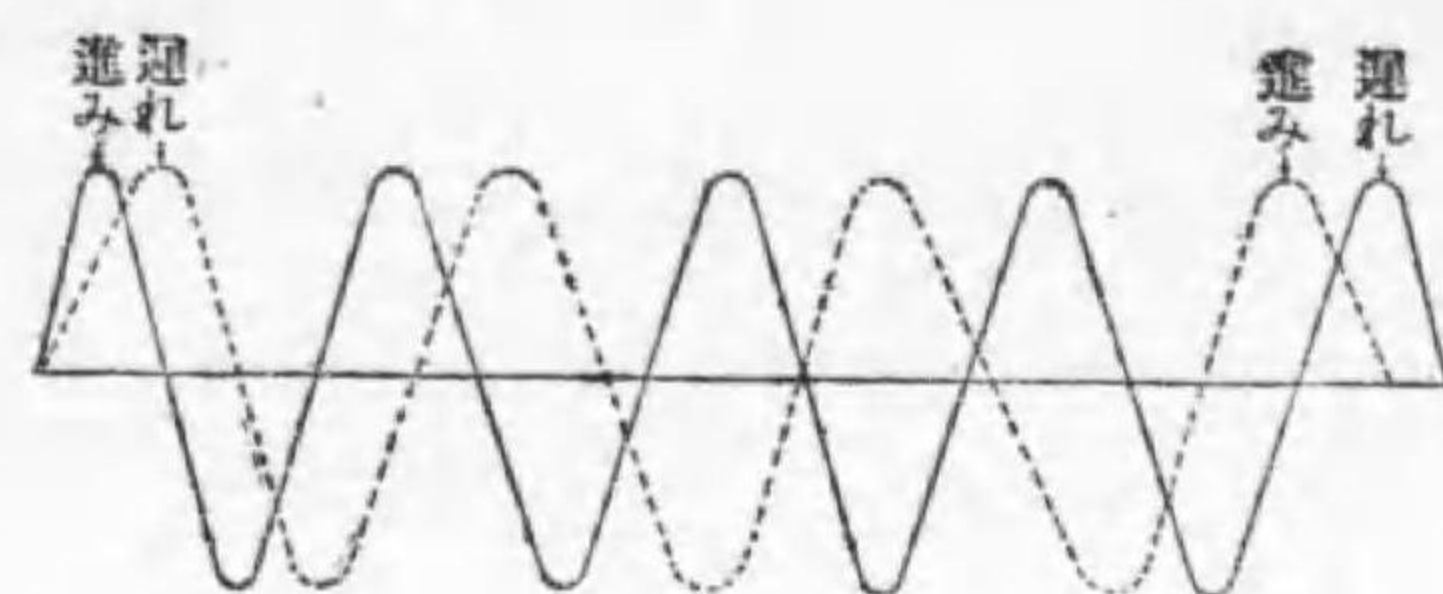
トル圖からわかるやうに、發電機回路では電動機電流と逆起電力との關係となるからである。即ち、同期化力に相當する負荷が①機より②機に移ることになる。それ故②機は負荷が増して減速し、①機は負荷が減じて加速して遅れを取戻し、兩機の起電力 E_1, E_2 は同位相となつて釣合を恢復し、兩機の負荷の分擔をもとに復する。

電機子リアクタンスが大きいほど α が一層 90° に近づき、 I_L が E'_2 と 180° に近くなり電動機作用を増して同期に引戻す作用を大にする。電壓變動率の上からいふとよくないが、並行運轉をさせる機械では大きくしてある。

以上のやうに並行運轉中の機械に遅速を生ずると、同期化力を生じ自動的に同期状態を恢復する。

(3) 周波數について ⑦①兩機の回轉數が變るときは、周波數が變り、第5・12圖に示すやうに起電力は位相が變るばかりでなく、交互に遅れたり進んだりするから、同期化力が交互に移動して並行運轉はできない。故に50サイクルと

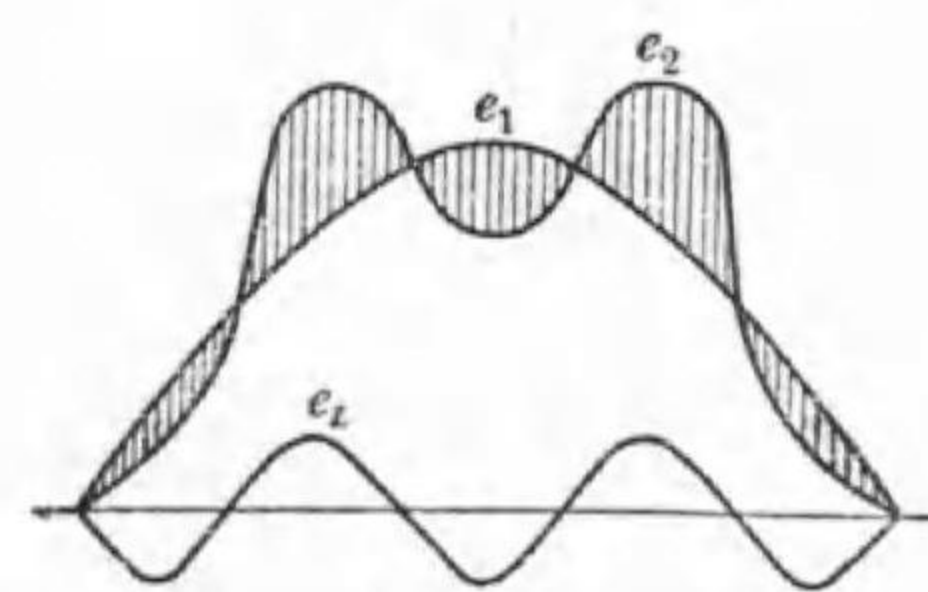
60サイクルとの並行運轉は普通の方法ではできないから、



第5・12圖

周波數變換機を以てする。

(4) 波形について 起電力の波形がちがふときは、第5・13圖の細線部分で示すやうに、瞬時的に起電力の値が異なり、發電機回路には e_L なる



第5・13圖

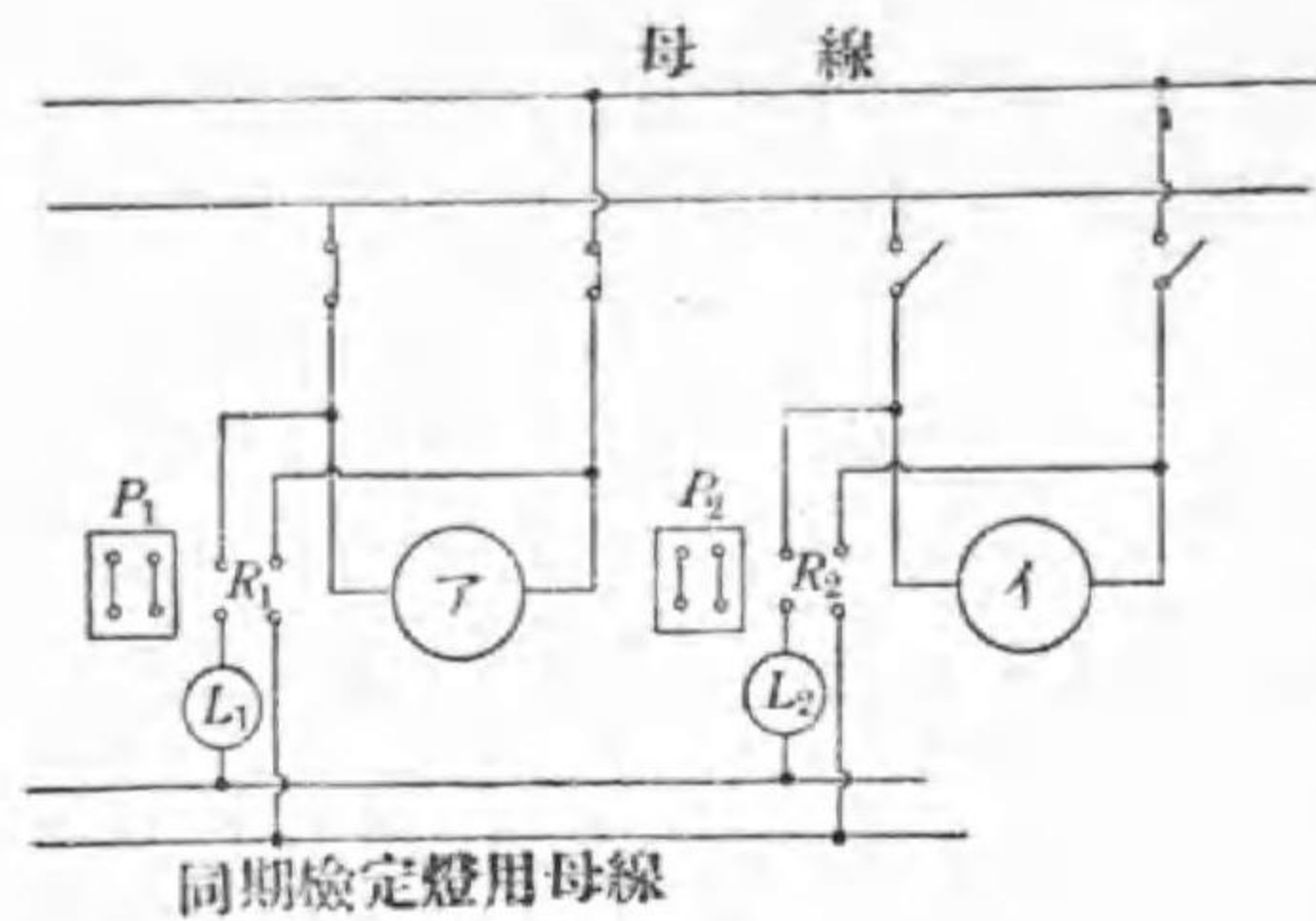
高調波起電力が現れて無効横流が生じ機械を發熱するが、並行運轉の直接の破壊とはならない。しかし前述したと

ほり、起電力の實効値は同じにする。

以上のやうに發電機の起電力位相及び周波數を一致させることを同期化するといふ。即ち、並行運轉をするには發電機を同期化することが必要である。

2. 同期檢定器

発電機の並行運転に際し、同期化の条件を検定する器具を同期検定器といひ、その簡単なものは白熱電燈を應用した同期



第5・14圖

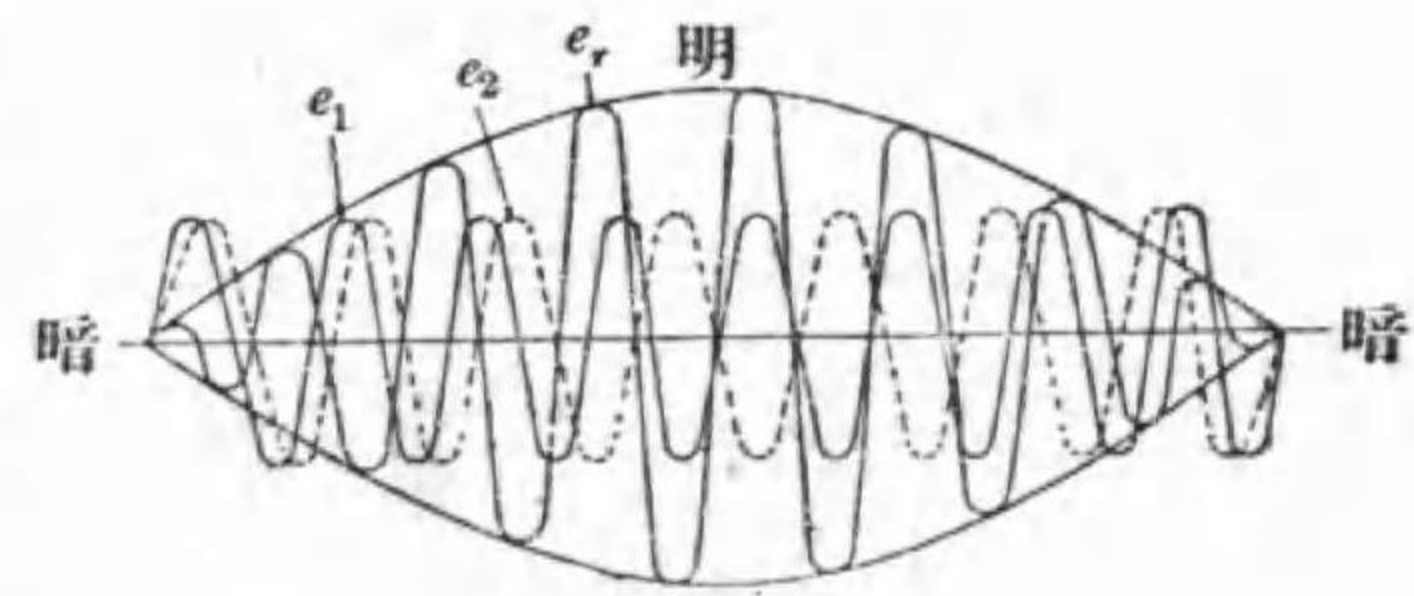
検定燈には發電機回路の電壓

$$E_1 + E_2 = E_L$$

が加るから

(ア)位相のちがふ場合は明るく點じてゐるが、一致すれば消える。

(イ)周波数のちがふ場合は第5・15圖 e_1 で示すやうな緩慢な周



第5・15圖

期を以て點滅するが、一致すれば消える。

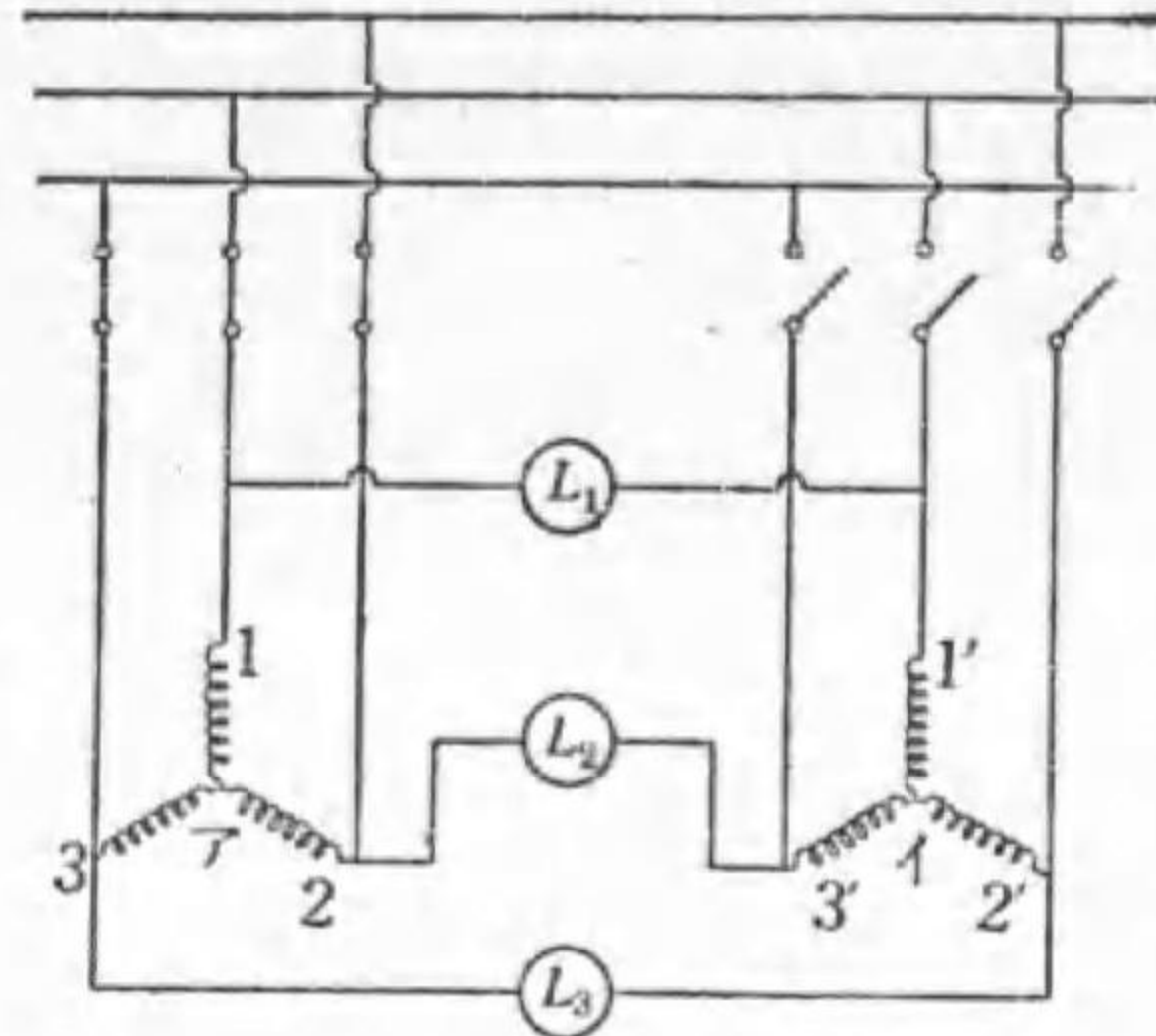
かやうに同期化すれば消えるが、電球の纖維の燒斷に注意しなければならない。また約2倍の電壓に耐

を應用した同期検定燈である。

第5・14圖は單相式における同期検定燈の接続であつて、これによればプラグを栓受に挿入すれ

へる電球が必要である。

第5・16圖は三相式における検定器の接続で3箇の電球 L_1, L_2, L_3 を發電機⑦④兩機の端子間①①, ②③, ③②に挿入するから、



第5・16圖

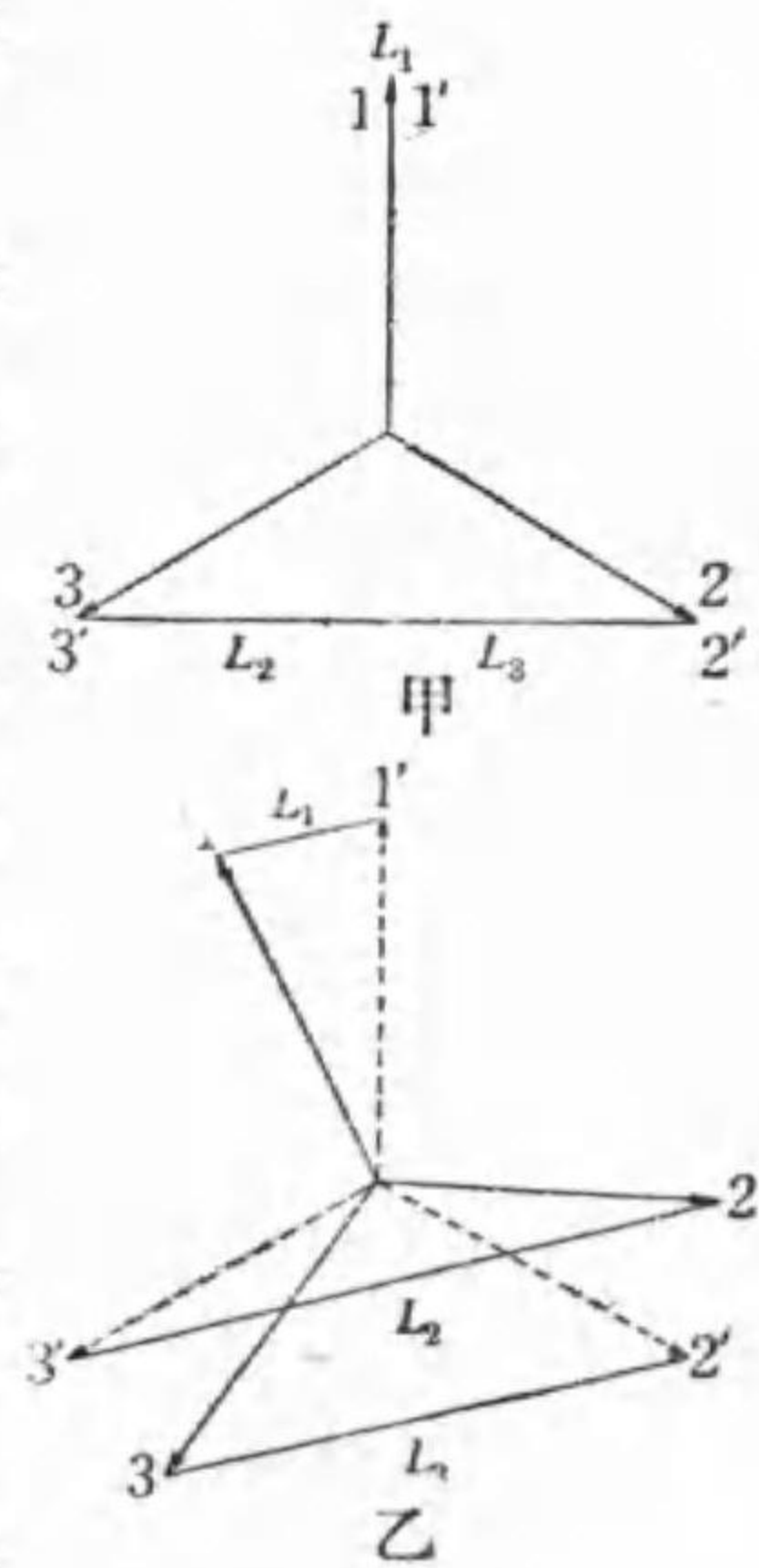
(ア)位相が一致すると

きは第5・17圖甲の

やうに L_1 は消え、 L_2, L_3 は同程度に明るい。

⑦機の位相が進むときは第5・17圖乙のやうに、 L_1, L_2, L_3 の順に明るい。

(イ)⑦機の回転数が④機より速いときは、第5・17圖乙の①②③のベクトルが①②③に對し速度の差に相當する速度で回轉することになるから、最大光が L_2, L_1, L_3 と順に廻るが、反對に⑦機が遅ければ L_3, L_1, L_2 と逆の順に廻るから⑦④兩機のいづれが速いか遅いかがわかる。



第5・17圖

3. 原動機の具備すべき要件

並行運轉用の原動機は、次の条件を具備しなければならない。

- (ア) 1 回轉中の角速度が變らないこと
- (イ) 速度の變化が鋭敏過ぎないこと
- (ウ) 速度垂下性を有し、速度特性が似てゐること

(1) 角速度について ㉞㉟兩機の回轉數が同一でも、1 回轉中の角速度が變るときは、瞬時的に起電力の値及び位相に差を生じ、横流が交互に流れて亂調の原因となる。

タービンではこのおそれはないが、蒸氣機關や内燃機關のやうな往復機關ではこの點不利である。

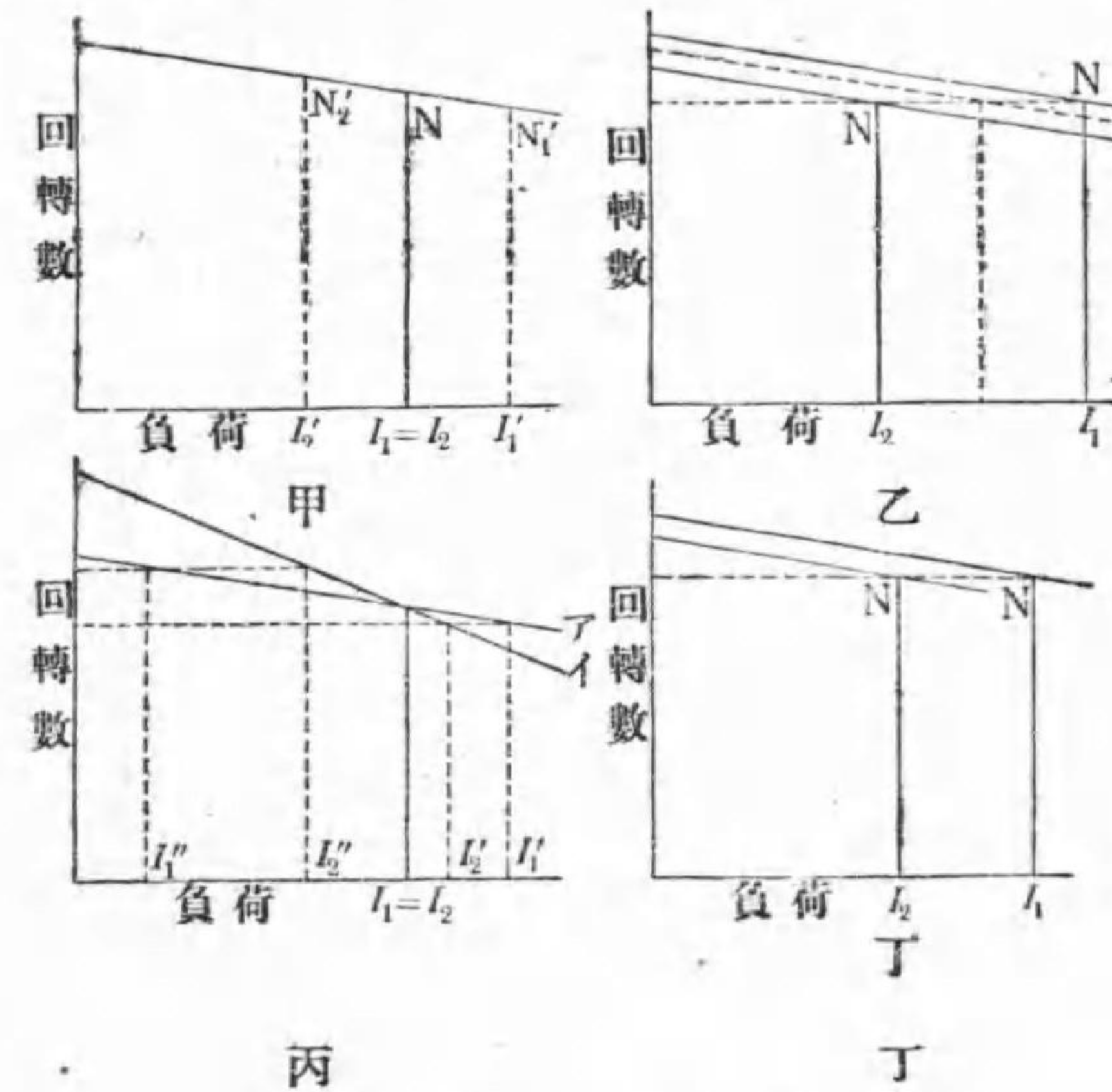
(2) 速度の變化について 僅に負荷が變つても、即應して速度が變ると、横流が交互に流れて亂調の原因となる。故に負荷が少し變つたくらゐでは、原動機の入力が増減しないやうに制動壺を設けて飛球の作用を鈍くする。

速度變動率が良過ぎると、僅に速度が變つて

も電力の變動が甚だしくなり、亂調の原因となる。

(3) 速度特性について 並行運轉中の發電機の負荷分擔比を任意に變へるためには、原動機の速度の垂下特性が同様でなければならない。

同耐量の㉞㉟の原動機が同様の速度特性を有する場合には、第5・18圖㉞のやうに入力を同



第 5・18 圖

じくすれば、㉞㉟の發電機は負荷を折半して並行運轉を行ふ。もしある原因で㉞機の負荷が

I_1 に増せば㉑機は I_2 に減じ、㉑機の速度は N_1 に減じ㉑機は N_2 に増して同期をはづれようとするが、同期化力を生じて㉑㉑兩機とも同期速度に復し、負荷の分擔比ももとの復する。次に㉑㉑兩機の入力を増減すれば、第5・18圖㉑のやうに㉑機の負荷は I_1 に増し、㉑機は I_2 に減じ負荷の分擔比が變つたまま並行運轉を續ける。このやうに負荷の分擔比が定まつたならば、母線の負荷が變つても分擔比は變らない。

しかるに速度特性がちがふ場合には、第5・18圖㉑のやうに㉑㉑兩機の入力を變へなければ、負荷を折半して分擔することはできない。また母線の負荷が増すときは㉑機の分擔は増すが、減るときは反對に㉑機の分擔が減る。

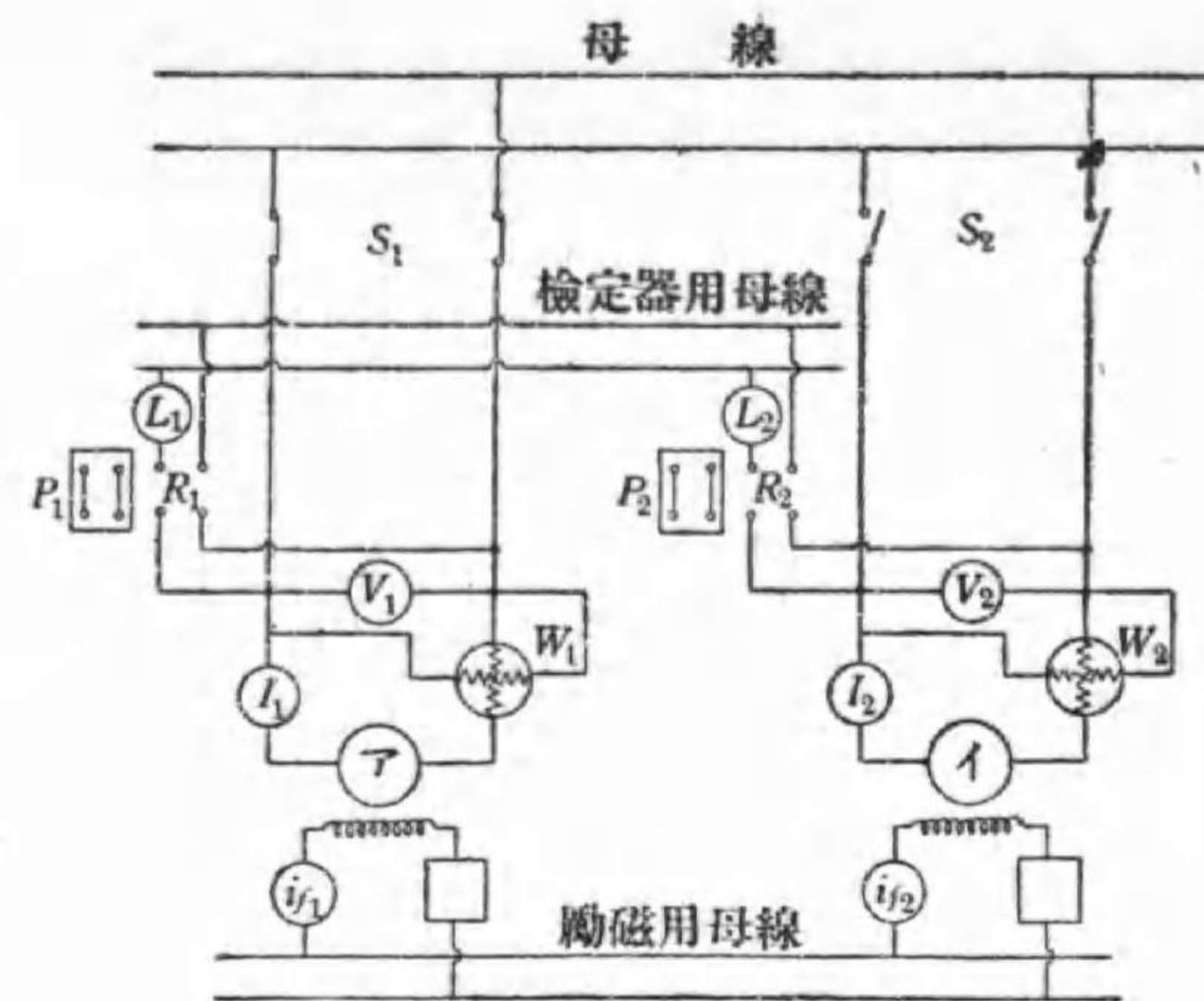
次に㉑㉑兩機の負荷容量がちがつても、速度特性が同様であれば、第5・18圖㉑のやうに容量に比例する負荷分擔比で運轉する。

4. 並行運轉法

運轉中の㉑發電機に、負荷が増したために、㉑發電機を並行運轉させる方法を順序にしたが

つて述べる。

第5・19圖は㉑㉑兩機の並行運轉の接續圖である。



第5・19圖

- (ア) ㉑發電機を原動機によつて定格速度とし、勵磁機によつて電壓計 V_2 の指示を㉑の V_1 よりやや高目とする。
- (イ) 同期検定器用プラグ P_1, P_2 を、それぞれの栓受 R_1, R_2 に挿入する。
- (ウ) ㉑の原動機の調速機用制御電動機により㉑の入力を加減し、速度を調整する。
- (エ) 同期検定器 L_1, L_2 が同期状態を示すとき㉑

の開閉器 S_2 を閉ぢるが、このときはまだ①機には負荷がかかつてゐない。

- (b) ①の入力を増すと共に勵磁を増して起電力を高め、反對に②の入力を減ずると共に勵磁を低めれば負荷は②から①に移る。このときの負荷の分擔は、各電力計 W_1, W_2 が示す。

負荷が減じたため①を除くには、いま述べた手續を逆に行つて負荷を①から②に移し、 W_2 の指示が 0 となつたとき①の開閉器 S_2 を開く。

練習問題

- (1) 2 臺の同期發電機を並行運轉とする。
下記の場合に開閉器を投入すれば、どんな結果になるか。
- (a) 兩發電機の誘起電壓が異なる場合
(i) 兩發電機の電壓位相が異なる場合
(ii) 兩發電機の周波数が少しく異なる場合
(b) 兩發電機の誘起電壓の波形が異なる場合
- (2) 交流發電機の同期化力とはどんなことか。
(3) 並行運轉をなしつつある交流發電機に横流を生ずる二つの主要な原因を挙げよ。

- (4) 交流發電機の並行運轉に於て、發電機内にリアクタンスの存在を必要とする理由を説明せよ。
(5) 同期機の同期リアクタンスの大小は、その動作性能にどんな関係があるか。
(6) 2 箇の交流發電機はこれを並列に接續して安定に運轉できるが、直列に接續して安定に運轉できない理由を説明せよ。
但し發電機は機械的に連結せられないものとする。
(7) いま、2 臺の交流發電機が並行運轉をなしつつある。この 1 機の勵磁電流を増加したとすれば、その結果はどうか。またこの兩機の負荷異なる場合はどうすれば同一になるか。
(8) 並行運轉をなす 2 臺の三相交流發電機がある。各機の負荷 W キロワット、母線電壓 E ボルト、1 機の線電流 I_1 アンペア、他機の線電流 I_2 アンペアであるとする。各機の力率を計算し、この力率を等しくするには、どうすればよいか。

第 4 節 同期周波數變換機

周波數 f_1 の電力系統と、 f_2 の電力系統とは直接に接續して電力の授受をすることはできない。このために用ひる連絡装置を周波數變換

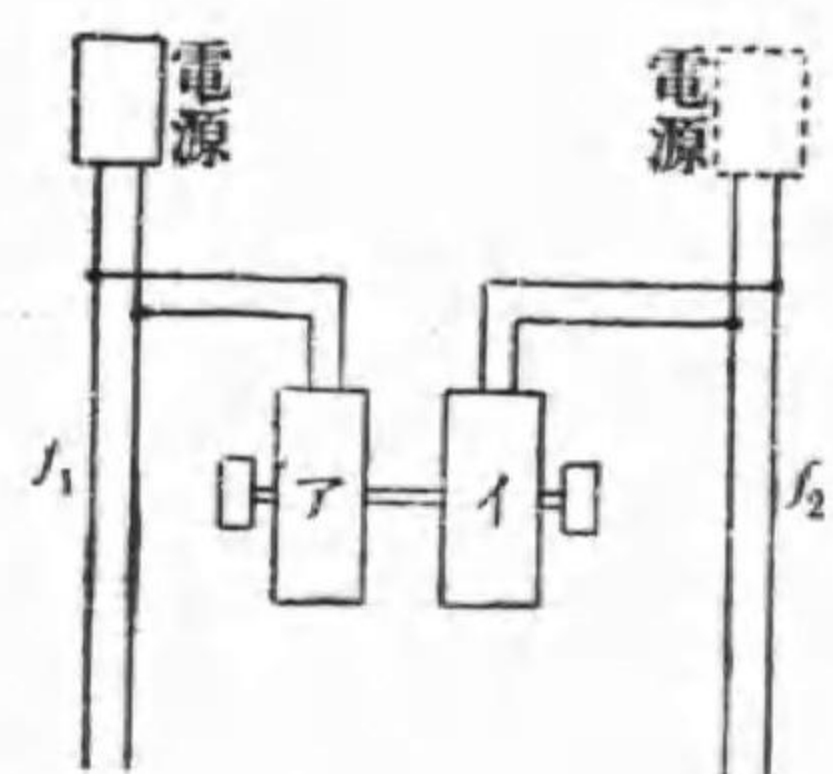
機といひ、直結された同期の電動発電機である。

この電動機と発電機との磁極數及び周波數の間には次式のやうな關係がなければならぬ。

$$\frac{f_1}{P_1} = \frac{f_2}{P_2} \dots\dots\dots(5.9)$$

P_1, P_2 : 電動機と発電機の極數

f_1, f_2 : それぞれの周波數



第5.20圖

第5.20圖の f_1 系統から f_2 系統へ送電するとき、もし f_2 系統に電源がなければ、單に㉗を電動機とし㉘を發電機として運轉すればよいが、 f_2 系統にも電源

のあるときには、兩系統より同期を要求されるから、兩系統に周波數の小變化が起らうとしたとき、それを制御せられるだけの電力交換ができる大きさをもつてゐなければならない。

周波數變換機を用ひる場合は、並行運轉をしなければならぬ。そのときは並列運轉や負

荷の配分を適當に調節するために、電機子全體を摺動させる装置をする。

第6章 定格と試験

第1節 定 格

1. 定 格

電氣機器の定格とは、ある規程に適合するものであつて、機器に表示された使用限度をいふ。これは出力・電壓・電流・速度・周波數・力率等を含み、銘板に記載せられるべきものとする。これらをそれぞれ定格出力・定格電壓・定格電流・定格速度・定格周波數・定格力率等といふ。

交流發電機の定格出力とは、定格周波數・定格電壓及び定格力率に於て、發電機端子に發生する皮相電流をいひ、キロボルト・アンペア(kVA)で表はす。定格力率が指定されない場合には、これを遅れ力率0.8とみなす。

また同期電動機の定格出力とは、定格周波數・定格電壓及び定格力率に於て、電動機軸に發生する機械的有效出力をいひ、キロワット(kW)で

表はす。定格力率の指定せられない場合は、これを1.0とみなす。

2. 温度上昇と能率

機械内の諸損失は熱となつて機械の温度を上昇する。即ち発生熱量が放散熱量に等しくなるまで上昇するのである。

この温度上昇がある限度以上に達すれば、絶縁物その他を變質・焼損し、その能力を失はせるから、使用絶縁物の種類により最高温度上昇を規程してゐることは、すでに直流機の編で述べたとほりである。

かくして發揮し得る最大出力を、定格出力または負荷耐量といふ。しかし絶縁物の變質は最高温度によるから、ある周圍温度に於て定格されたある出力の機械を、これより高い周圍温度で運轉する場合には、その出力を減らさねばならない。周圍温度は普通 40°C を基準とする。

次に同期機の損失を分類する。

(1)銅損 電機子線輪の抵抗のために生ずる損失で、この抵抗は 75°C に換算した値をとる。

(2)鐵損 鐵心内の履歴現象損及び渦流損である。負荷の如何にかかはらず一定とみなして差支へない。

これを決定するには、機械を他の電動機により定格速度に運轉し、この電動機の出力を供試機が無勵磁のとき及び他勵磁で端子に定格電圧を發生させたときについて測定し、その差を以て鐵損とする。この損失中には、無負荷定格端子電圧における鐵損のほか、導體中の渦流損及び誘電體損をも含む。これを負荷時における鐵損とみなす。

(3)摩擦損 軸受摩擦損・刷子摩擦損及び全風損である。同期機では速度は一定であるから、摩擦損も一定である。

これは機械を無勵磁にて他の電動機により定格速度で運轉し、その電動機の出力を測定して決定す。

(4)界磁回路の損失 界磁線輪の抵抗損、界磁抵抗器損、勵磁機の損失及び刷子電氣損である。界磁線輪の抵抗損は、電流と 75°C に換算した

抵抗とにより計算する。勵磁機の損失とは、主機に直結せられ、且これに専屬する勵磁機の損失である。刷子の電氣損は電流と刷子電壓降下との積で表はす。

(5) 漂遊負荷損　これは負荷の増加によつて増加するが、正確な算定並びに測定の困難な損失である。

これを決定するには、機械の全端子(中性點を除く)を短絡し、これを他の電動機により定格速度に於て運轉し、他勵磁により電機子に指定電流を通じた場合に、この電動機の出力を測定し、これより全機械的損失及びその測定溫度に相當する電機子抵抗損を減じたものを漂遊負荷損とみなす

以上により機械の全損失が決定すれば、これより規約能率を算定することができる。能率にはこのほか、入力と出力とを實測して決定する實測能率もあるが、特に指定しない場合は規約能率である。即ち次式のとほりである。

$$\text{實測能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100 \% \dots\dots\dots(6 \cdot 1)$$

$$\text{規約能率} = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100 \% \dots\dots\dots(\text{發電機}) \dots\dots(6 \cdot 2)$$

$$= \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100 \% \dots\dots\dots(\text{電動機}) \dots\dots(6 \cdot 3)$$

3. 仕様書

同期機の照會或は注文をなすに當つては、その仕様書に次の事項を記載すべきである。

(1) 一般事項

- (ア) 機械の名稱 (イ) 所要臺數 (ウ) 型式 (エ) 冷却方式 (オ) 使用の種類 (カ) 定格の種類 (キ) 特殊使用状態(構造に影響すべき使用状態の場合はその詳細) (ク) 据付場所と輸送條件(最大許容寸法及び重量をも記載すること)
- (ケ) 定格事項(出力・電壓・相數・周波數・回轉數・力率・電流) (コ) 勵磁機(勵磁法(分巻・複巻・他勵の別等)、電壓・原動機の種類その他必要な事項) (カ) 回轉方向 (シ) 附屬品 (ス) 豫備品 (セ) 納期

(2) 各機械に對する事項

- (ア) 同期發電機

- i. 原動機の種類及びこれとの連結方法
- ii. 線路充電に關し考慮を要するものはその所要事項
- iii. 並行運轉に關し特に注意すべき事項
- iv. 自動電壓調整器を附す場合はその種類

(イ) 同期電動機

- i. 用途(負荷の種類)
- ii. 起動方法
- iii. 起動條件(自起動の場合),許し得べき起動(kVA)・起動トルク及びその他の條件

(ウ) 同期調相機

- i. 起動方法,許し得べき起動(kVA)
- ii. 線路充電に關し考慮を要するものはその所要事項
- iii. 遅れ力率に使用せられるものは遅れの最大所要(kVA)

(3) その他必要な事項

練習問題

- (1) 大容量の交流機の損失は,これを實際に負荷せずに測定するものと實際に負荷して生ずるもの

との異なる點を挙げ,これを説明せよ。

- (2) 交流發電機の購入に當り,仕様書に記入すべき主な事項を列挙せよ

第2節 試験

同期機の性能を根本的に研究する目的で行ふ試験は多くあるが,すでに製作者に於て十分考究してでき上つた機械に對しては,使用者側としては,單に据付後の故障の有無及び使用上の特性の良否を確める程度の試験だけで十分である。また使用者側として當然行ふべき試験でも,製作者が行ふ工場試験に立會ふだけで済ませる場合もある。

次に使用者として行ふべき試験について略述する。

1. 發電機

同期發電機は,まづ豫備試験として斷線の有無及び絶縁抵抗を試験した後,次の試験を逐次行ふ。

- (1) 過速度耐力試験 これは速度上昇に對する耐力を試験することである。

(2)無負荷特性試験 發電機を定格速度・無負荷で運轉し、勵磁電流と誘起電壓との關係を求めめる。

(3)短絡特性試験 端子を短絡し、定格速度で運轉する場合の勵磁電流と短絡電流との關係を求めめる。

(4)熱試験 實負荷法等により全負荷・定格速度に於て連續運轉を行ひ、各部の最高溫度を測定する。大容量のものでは、据付後に行ふことができるが、工場ではできないことが多い。その場合は定格電壓の鐵損熱試験と、定格電流の短絡電流熱試験とを行つて推定する。

(5)絶縁耐力試験 日本電氣工藝委員會同期機標準規程に示された試験電壓を以て、電機子線輪と大地間の絶縁耐力を試験する。

(6)能率試験 損失を決定して規約能率を求めめる。

(7)電壓變動率試験 實負荷法または同期交流抵抗法により電壓變動率を求めめる。

2. 電動機

同期電動機は、發電機と同様な試験を行ふほかに起動試験を行ひ、起動電壓に對する起動電流及び起動時間の關係を求めめる。

第7章 回轉變流機

1. 意義

交流を直流に、または直流を交流に變成する同期機で、兩者に共通な閉路線輪・整流子・集電環を有する電氣機械を回轉變流機或は同期變流機といふ。

かやうに回轉變流機は、1箇の機械で電氣エネルギーを直接電氣エネルギーに變換するから、電動發電機に比較して能率が高く、機械の體積も小さくなる。

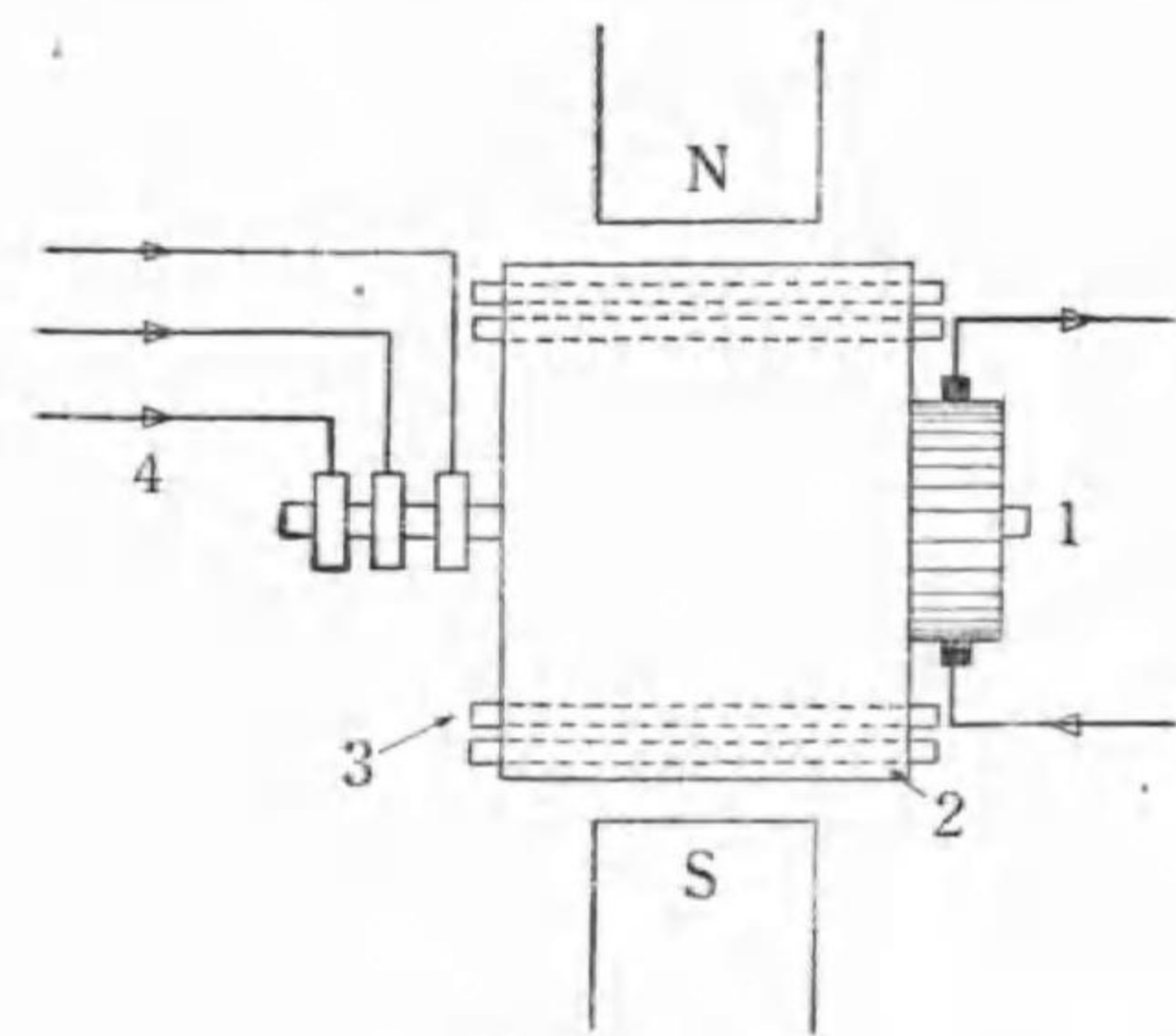
2. 沿革と使命

交流を直流に變換する装置には種々あるが、そのうち回轉機によるものに電動發電機・發電機・回轉變流機等がある。

(1)電動發電機 電動發電機は、電動機として主に同期電動機を用ひ、發電機として直流分巻

または複巻発電機を直結したものである。これは50サイクルまたは60サイクルの普通周波数の交流で、安定運転ができたので古くから用いられてきた。しかし設備費が高く、据付床面積も大きく、全體の能率が悪いなどの缺點がある。

(2)發電動機 發電動機は發電機側の磁極並びに電機子鐵心を第7・1圖のやうに共通にし、



第7・1圖

- ①直流 ②直流電機子線輪
- ③交流電機子線輪 ④交流

電機子線輪を交流電機子と直流電機子に共用し、交流電機子側に集電環を附し、直流電機子側には整流子を附したものである。回轉變流機は、發電動機より

同じ溝に交直2組の電機子線輪を納めたもので、電動發電機より材料を節約することができた。

(3)回轉變流機

回轉變流機は電機子線輪を交

もなほ材料が節約されるので、今日では主としてこれが用ひられてゐる。

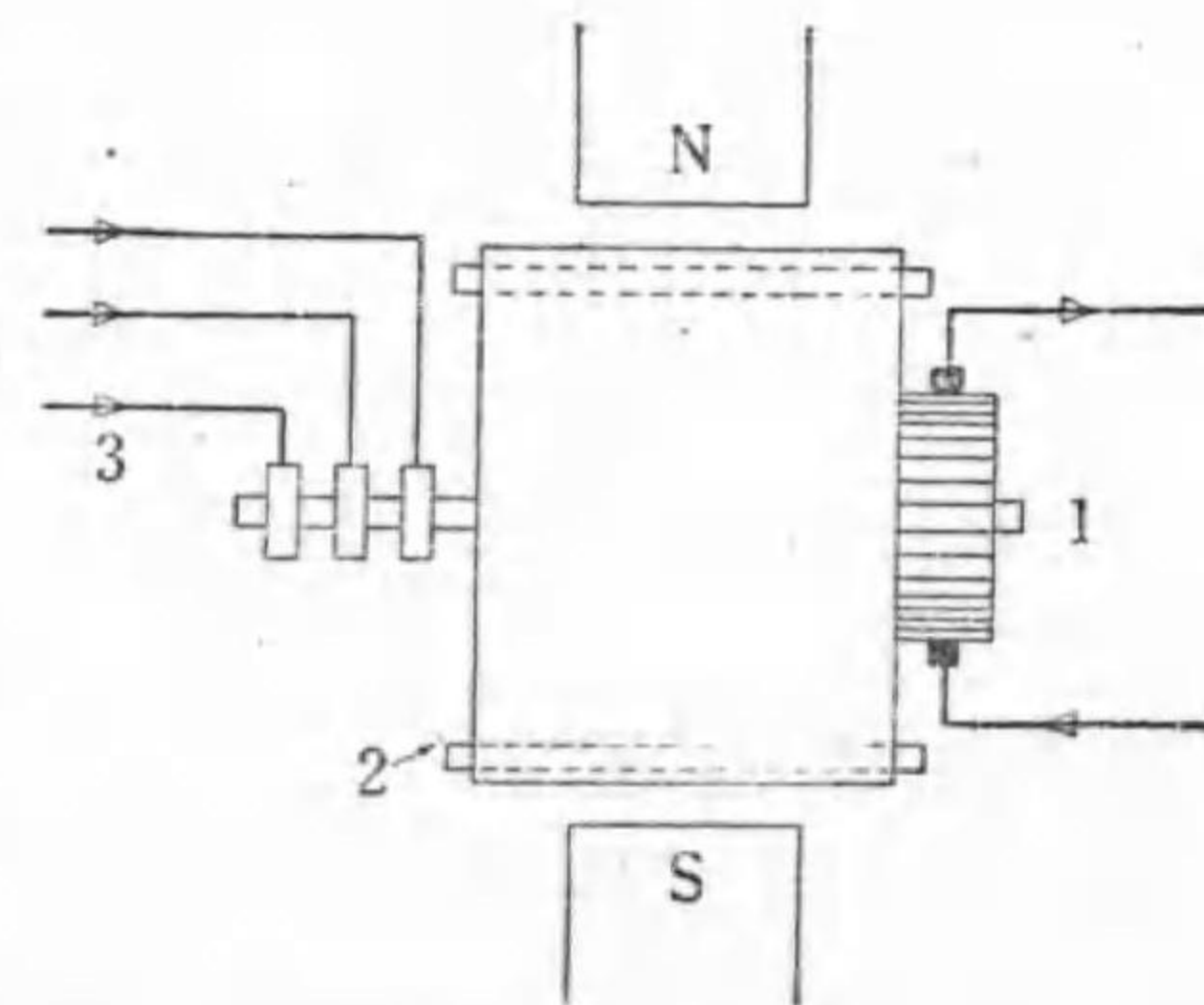
しかし、25サイクル等の低周波の使用に限られた時代には、前述の電動發電機も用ひられてゐたが、近來は改良されて、普通の配電用周波数の回轉變流機ができたので、殆どこれが専用されるやうになつた。

第8章 原理、構造

第1節 原理

第7・1圖のやうな發電動機の交流電機子線輪と直流電機子線輪とを第8・1圖のやうに共

通にし、その一方の側は同期電機子として集電環に、他方の側は直流電機子として整流子に接続し、同一導體に交流と直流とを同時



第8・1圖

- ①直流 ②電機子線輪 ③交流

に流れるやうにすれば、發電機よりも更に經濟的となる。

回轉變流機は、交流側から見れば同期電動機であり、直流側から見れば直流發電機である。

いま、交流側の集電環を通じて電機子線輪に交流を供給すれば電機子は同期速度 N_0 で回轉し、直流刷子間に直流電壓を發生する。しかし、電機子が同期速度をはづれて回轉速度 N_a となつたときには、主磁束と電機子合成磁束との靜止關係が破れて、兩者の合成磁束が $N_0 - N_a$ の速度で回轉するから、直流刷子の極性の $\oplus \ominus$ は毎秒 $\frac{N_0 - N_a}{N_0} f$ の回數で $\oplus \ominus$ を交番する。即ち、同期速度と電機子回轉速度との差に比例する周波數の交流電壓が發生し、變流機としての機能を失ふことになる。故に直流刷子間に直流電壓を發生させるためには、電機子を同期速度で回轉しなければならない。この理により回轉變流機のことを同期變流機ともいふ。

回轉變流機は電動發電機にくらべて、運轉の安定度は多少劣るが、設備費が廉く据付床面積

も小で、能率も良好であるから、電氣鐵道・電氣化學工業方面に盛に使用されてゐる。最近水銀整流器の發達と共に漸次その應用範圍を侵蝕

されつつあ

るが、なほ多

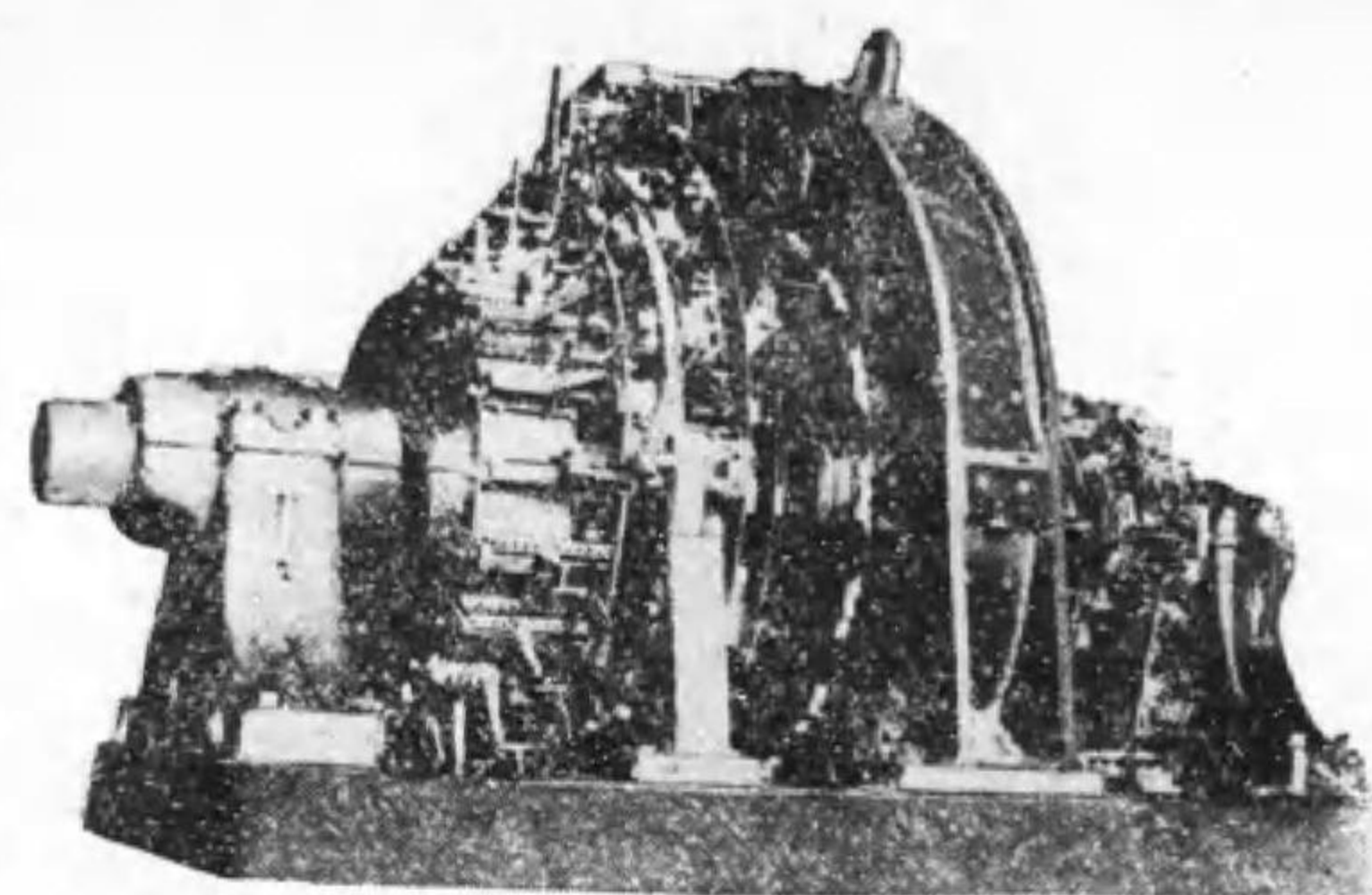
くの特長を

有するため

大容量のも

のが續々作

られてゐる。



第8・2圖 回轉變流機

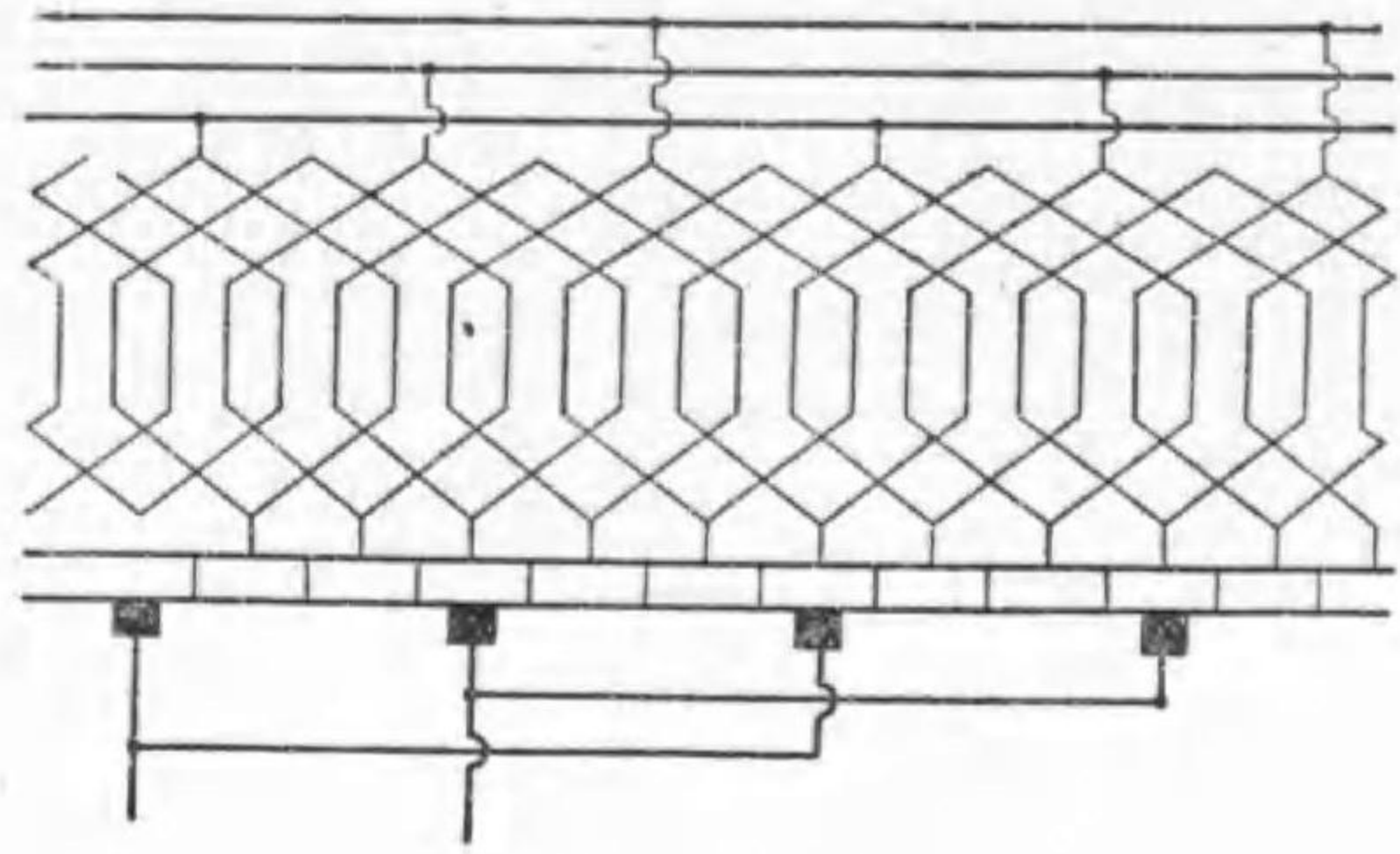
第2節 構成要素

1. 構成要素

回轉變流機は、すでに述べたとほり直流發電機の電機子に、整流子と反對側に集電環を取付けたものであるから、直流機に非常によく似てゐる。したがつてここには直流機とちがふ點だけを述べる。

(1) 電機子

(2) 電機子線輪 線輪の概要は、第8・3圖のやうにすべて閉路卷である。



第 8・3 圖

(1) 鐵心 電機子線輪には直流と交流との差が流れるから、その電流密度を大きくすることができ、したがって鐵心は短くなる。

(2) 整流子 直流機に比較して回轉數・電流が共に大であるから、整流子が長く整流子片が深い。

(3) 直流刷子 起動の際、離揚する必要があるから刷子支持方法がちがひ、刷子離揚装置を要する。

(4) 集電環 電流が大きいから、抵抗の小さい材料例へば銅及び亞鉛の合金に熱處理を加へたものや青銅の鑄物等を使用し、電機子線輪と

の接續にも注意を要する。

(5) 交流刷子 接觸抵抗の最も小さい金屬黒鉛刷子を用ひる。

(6) 軸・軸受 自身の重量が小となるから、それだけ軸は細く、したがって軸受も小さい。

(2) 磁 極

(7) 主磁極 起動の際、界磁線輪に高電壓を誘導するから、その絶縁をよくしなければならぬ。磁極片には第9・15圖のやうな制動線輪を設ける。これは銅の丸棒または角棒を磁極片の溝に通し、兩側は帶銅板に鐵付したものである。

(8) 補極 補極の心にはその磁氣抵抗を大にするため、鐵の代りに黄銅の鑄物または板を入れることが多い。これを繼鐵に取付けるには黄銅のボルトを使用し、その強さは短絡等の場合に生ずる機械力に十分耐へるものでなければならぬ。

(9) 閃火隔壁 閃絡の被害を軽減するため、刷子保持器の周圍に隔壁を設ける。また整流子と電機子との間にも設けることがある。これ

は石綿を主要原料とした合成樹脂で、適当な處理を加へた絶縁耐力の強いものを用ひる。

第8・4圖は以上の構成要素を組立てた有様である。

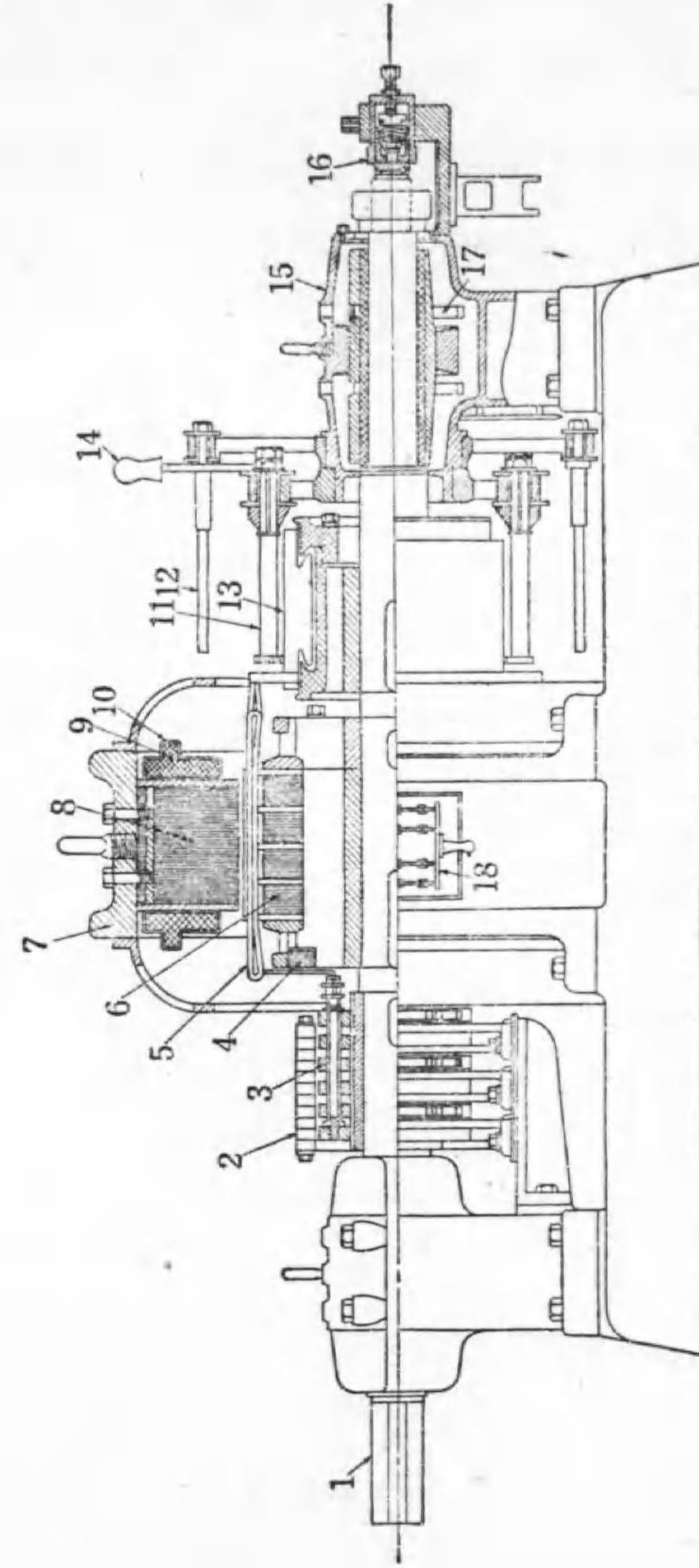
2. 附屬装置

(1) 限速装置 回轉變流機の並行運轉中、交流側に短絡を生ずれば直流側から電力が逆流して、逆用回轉變流機となることがある。しかも、交流側は短絡されてゐるから、單獨運轉と同様である。しかし逆用回轉變流機の單獨運轉では、第9章で述べる理由により、速度が上昇するおそれがあるから、限速装置を設けなければならない。

限速装置としては、同節で述べる直結勵磁機のほかに遠心調速機・逆流繼電器等を用ひる。

遠心調速機は、回轉變流機が一定速度以上に達すれば、遠心力によつて直流及び交流側の開閉器を開くやうにしたものである。

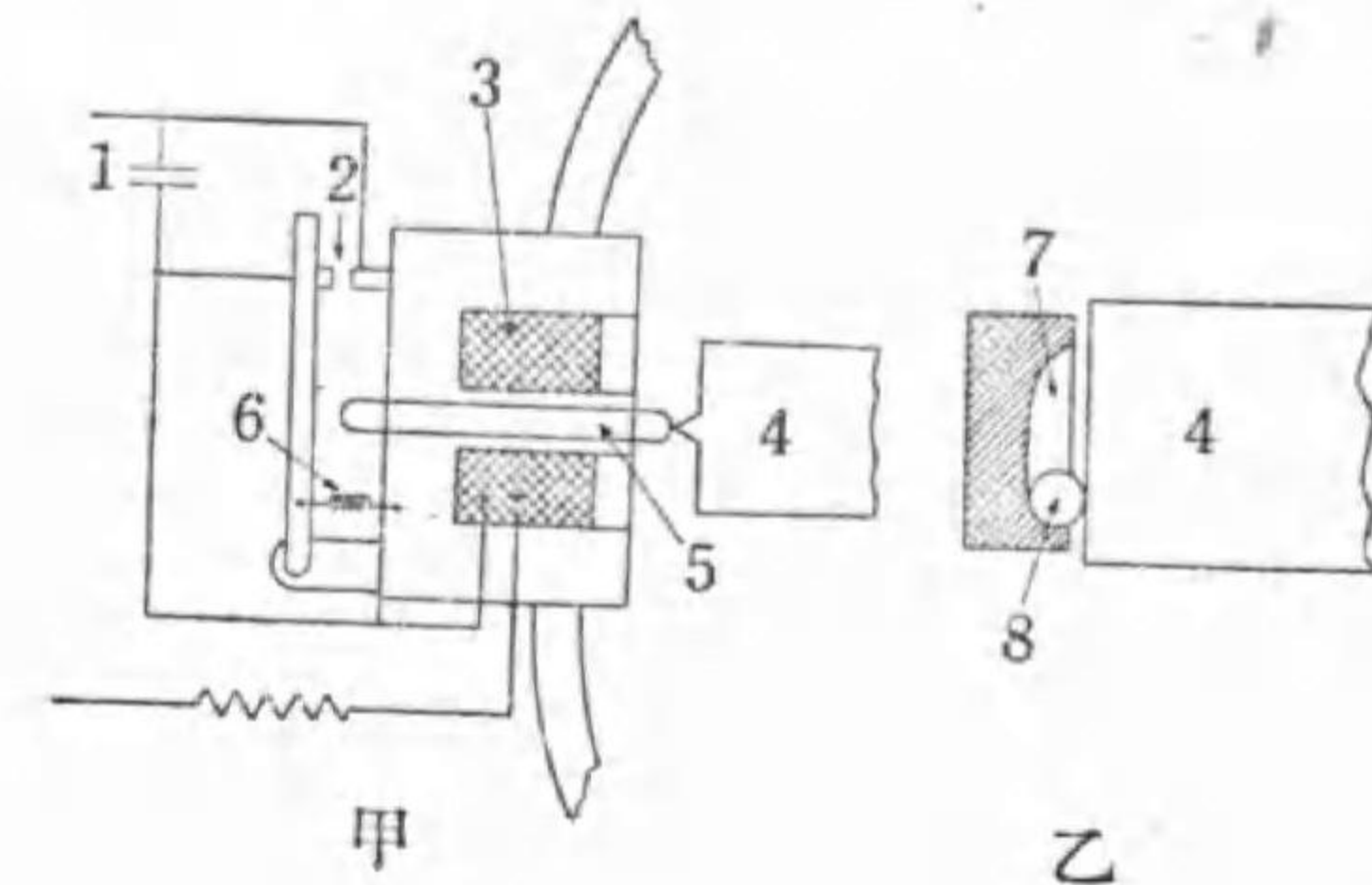
また逆流繼電器は、電流の逆流により繼電器を動作させて開閉器を開くものである。



第8・4圖

- ① 軸
- ② 交流機鐵心
- ③ 集電環
- ④ 電機子均壓線輪
- ⑤ 電機子線輪
- ⑥ 電機子保持器
- ⑦ 繼鐵
- ⑧ 界磁鐵心
- ⑨ 分卷磁線輪
- ⑩ 直流機鐵心
- ⑪ 直流機子保持器
- ⑫ 界磁鐵片
- ⑬ 整流子
- ⑭ 刷子
- ⑮ 軸受
- ⑯ 搖軸裝置
- ⑰ 給油環
- ⑱ 磁區分閉器
- ⑳ 離揚裝置
- ㉑ ハンド
- ㉒ ドル

(2) 搖軸装置 普通の發電機及び電動機は、原動機またはベルト等の機械動力のため、多少軸方向に動搖するが、回轉變流機は單に交流を直流に變換するだけで、機械動力が作用しないから電機子は殆ど動搖しない。したがって整流子面及び集電環に刷子のため溝を生ずるおそれがあるから、これを防ぐ目的で搖軸装置を設ける。



第 8・5 圖

- ① 蓄電器 ② 接點 ③ 電磁線輪
- ④ 軸 ⑤ 棒 ⑥ ばね ⑦ 球受
- ⑧ 金屬球

ら、これを防ぐ目的で搖軸装置を設ける。

搖軸装置には電磁的のものと機械的のものとの2種がある。

第 8・5 圖 甲 は前者である。ばねにより接點 ② を閉ぢると電磁線輪 ③ に電流が流れ、軸 ④ を吸引する。この際、棒 ⑤ は軸に押されて接點を開き、電磁石は作用を失ふから、軸は主磁極のためもとに戻され、ばねにより

ら電機子は殆ど動搖しない。したがって整流子面及び集電環に刷子のため溝を生ずるおそれがあるから、これを防ぐ目的で搖軸装置を設ける。

接點は再び閉ぢて前の動作を繰返し、軸を動搖する。

第 8・5 圖 乙 は後者である。軸と球受 ⑦ との間に金屬球 ⑧ を挿入したもので軸の回轉につれて金屬球が上方に昇ると、球受の間隙は上方が狭くしてあるから、軸を押して金屬球は下に落ちる。この動作を繰返して軸を動搖させる。

一般に後者を使用する。

練習問題

搖軸装置について説明せよ。

第 9 章 理論と特性

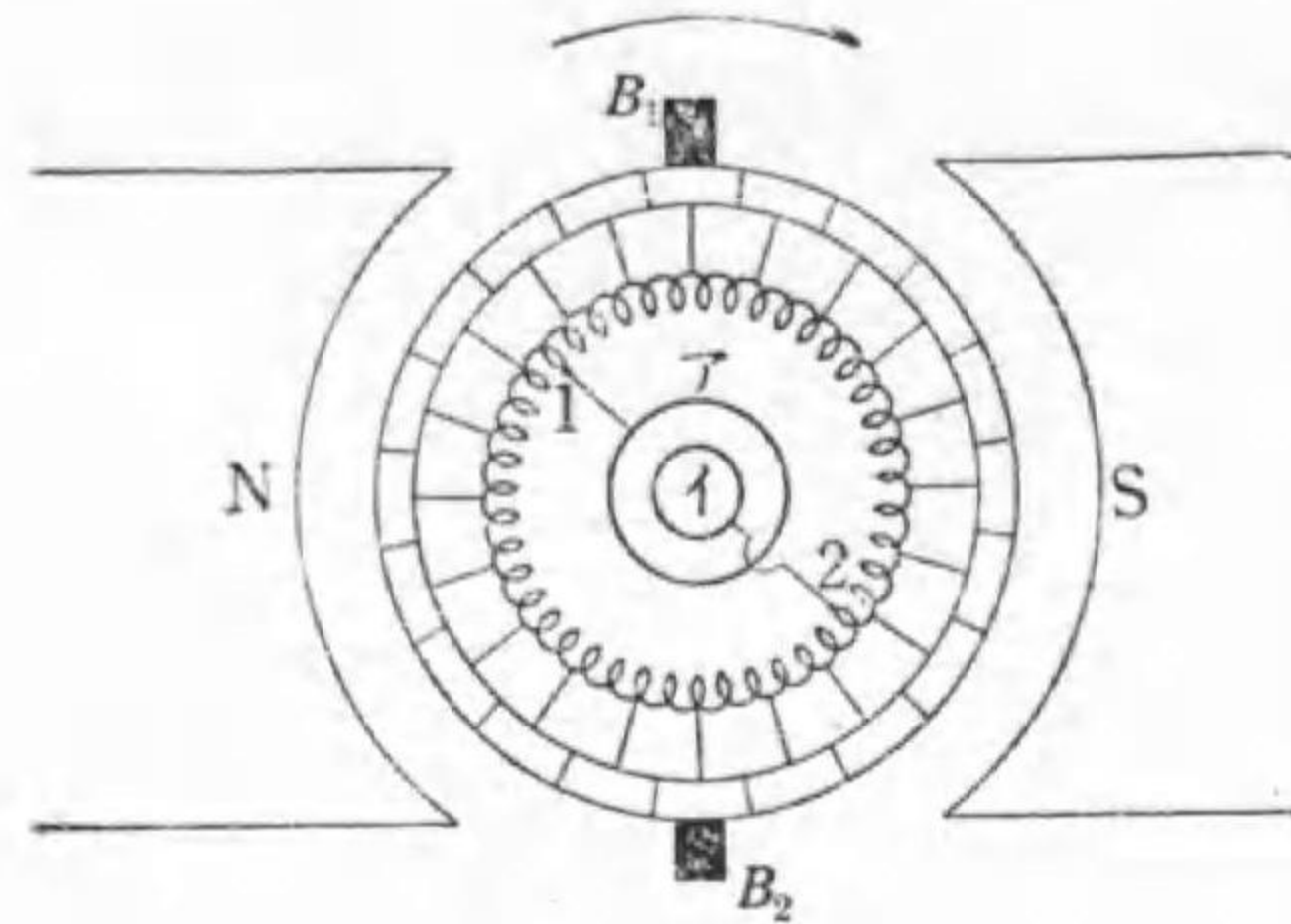
第 1 節 電壓比と電流比

回轉變流機では、その相數に應じて、交流側と直流側との電壓及び電流の間には一定の関係がある。次にこの関係を求める。但し簡単にするため交流側の電壓は正弦波をなし、且力率及び能率は 100% と假定する。回轉變流機ではこの假定は事實に近い。

1. 單相の場合

第 9・1 圖は二極の單相回轉變流機で、電機子線輪上で電氣角 180° の位相を異にする 2 點 ①

②を集電環⑦①に接続してある。



第9・1圖

$$e = \sqrt{2} E \sin \omega t$$

の瞬時値の正弦波電圧を誘導して、供給電圧と釣合ふ。但し線輪内の電圧降下は無視するものとする。そして e は、①②が N, S の軸上に一致する位置では、各①②を界とする上下の線輪内の起電力は打消すから 0 となるが、刷子 B_1, B_2 の位置に一致したときは、打消し合ふことがないから最大となる。しかし①②が B_1, B_2 の位置に一致したときの $e = \sqrt{2} E$ は B_1, B_2 間の直流電圧 E_a に等しいから次式のとほりとなる。

$$\sqrt{2} E = E_a$$

⑦—①間に実効値 E の正弦波電圧を供給して同期速度で回転してあるものとするれば、電機子線輪内には、

$$\therefore \frac{E}{E_a} = \frac{1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(9 \cdot 1)$$

$$\therefore E = 0.707 E_a \dots\dots\dots(9 \cdot 2)$$

次に集電環に流入する交流の実効値を I とし、刷子から流出する直流を I_a とすれば、假定により力率及び能率はいづれも 100% であるから、次式が成立する。

$$EI = E_a I_a$$

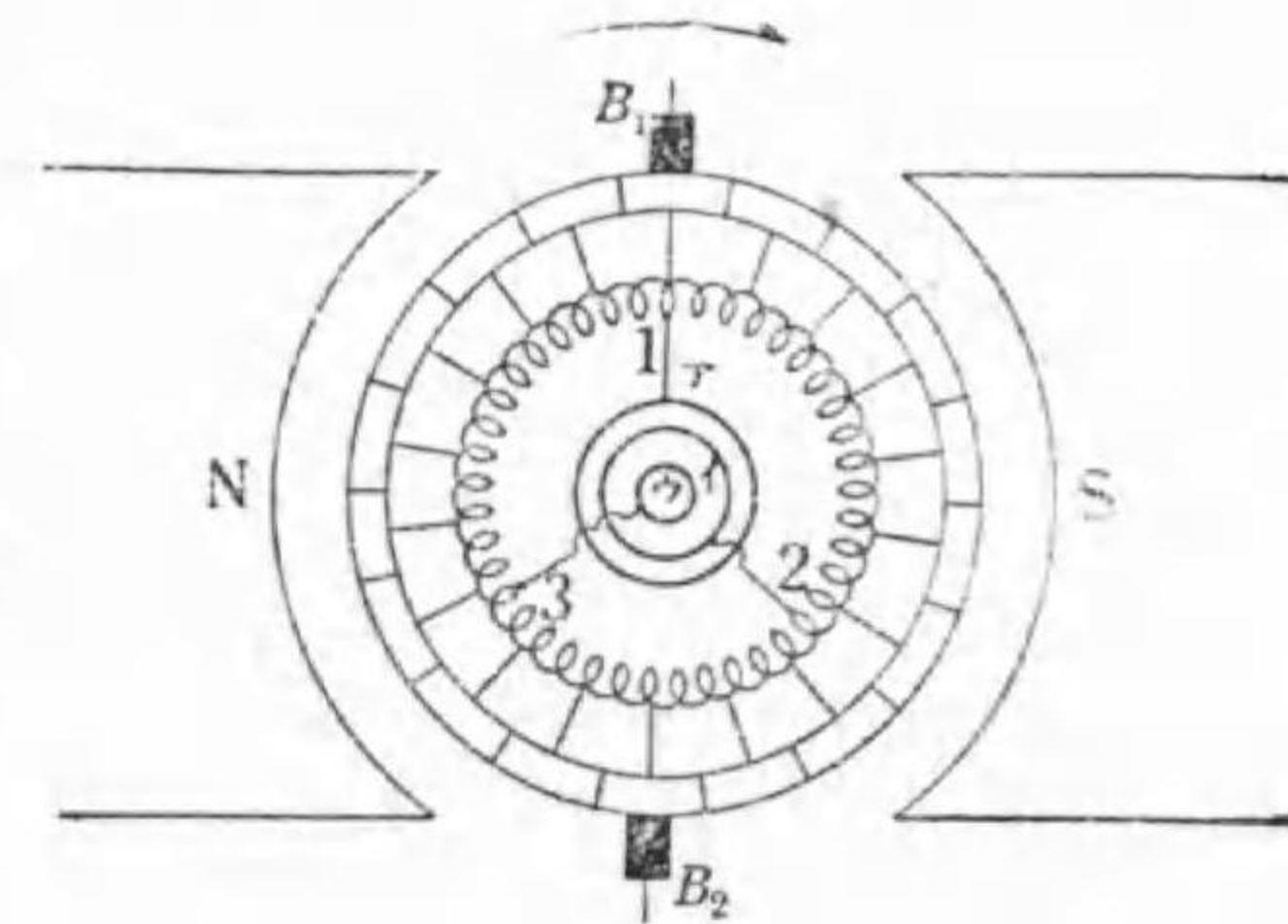
$$\therefore \frac{I}{I_a} = \frac{E_a}{E} = \sqrt{2}$$

$$\therefore I = 1.414 I_a \dots\dots\dots(9 \cdot 3)$$

2. 三相の場合

第9・2圖は二極三相回轉變流機で、電氣角 120° づつ位相の

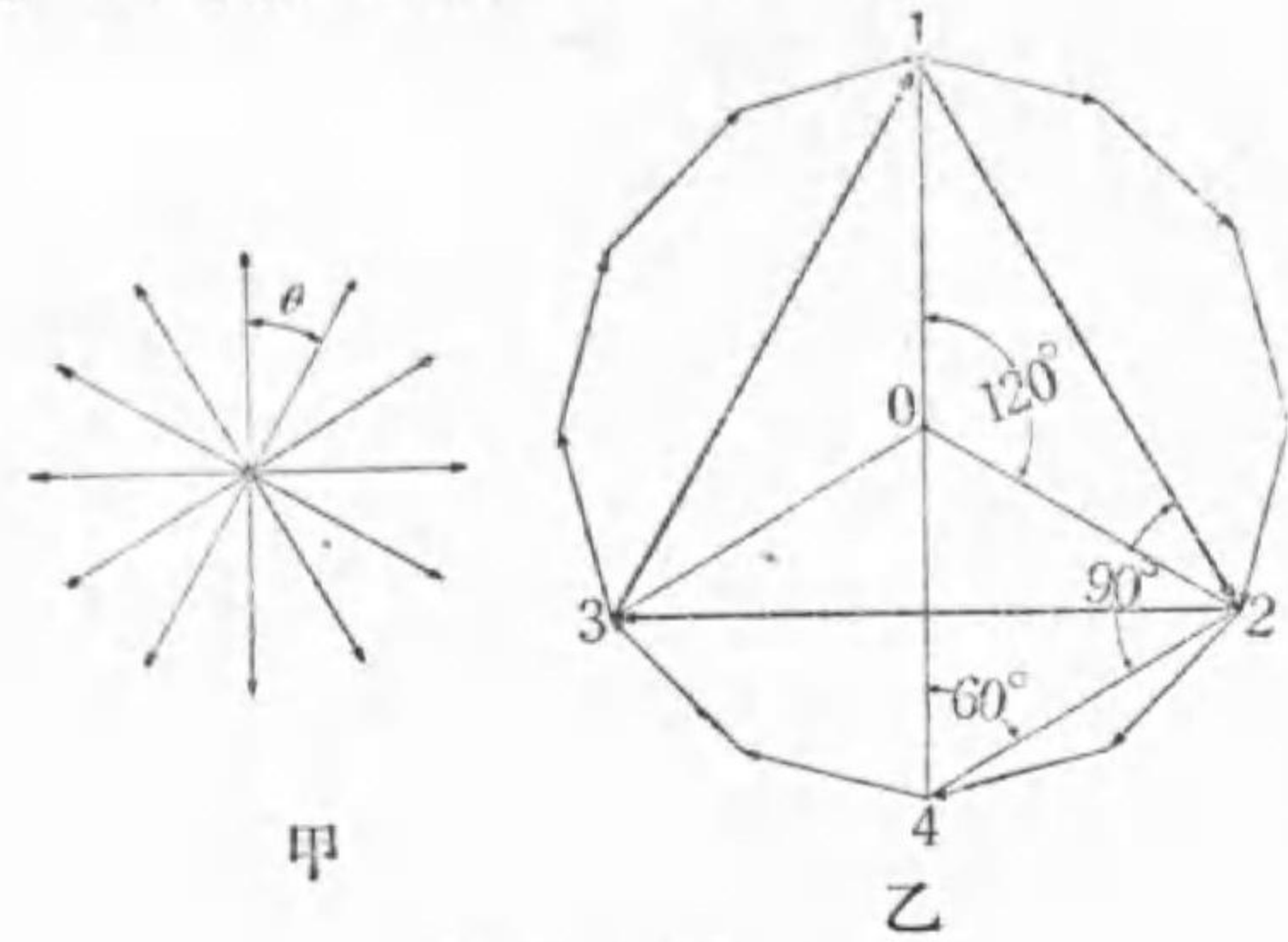
ちがふ電機子線輪上の3點①②③を集電環⑦①⑦にそれぞれ接続してある。



第9・2圖

この集電環の間に釣合三相電圧を供給して同期速度に回転

させたとするば、線輪内に三相の逆起電力を生じて供給電圧と釣合ふ。



第9.3圖

この場合、各導體に誘起する起電力は第9.3圖(甲)に見るとほり、大きさが等しく

且互に、

$$b = \frac{180^\circ}{3 \times (\text{每極每相の溝數})}$$

だけ位相を異にする。しかし各導體は全部直列に接続して閉電路をなすから、起電力のベクトルは(乙)圖のやうに正多角形を形成することになる。集電環内に生ずる起電力の最大値は三角形①②③の各邊で表はされ、1.4はすでに述べたとほり、單相回轉變流機としての交流電圧の最大値 $\sqrt{2} E$ を表はす。よつて集電環間の三相電圧の實効値を E_3 とすれば、

$$\frac{\sqrt{2} E_3}{\sqrt{2} E} = \frac{1.2}{1.4} = \sin \frac{\pi}{3}$$

$$\therefore \frac{E_3}{E} = \sin \frac{\pi}{3} = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

しかるに(9.1)式より

$$\frac{E}{E_d} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\therefore \frac{E_3}{E_d} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{3}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.612 \dots \dots (9.4)$$

となり、交流側の線電流の實効値を I_3 とすれば、

$$\sqrt{3} E_3 I_3 = E_d I_d$$

$$\therefore \frac{I_3}{I_d} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{E_d}{E_3}$$

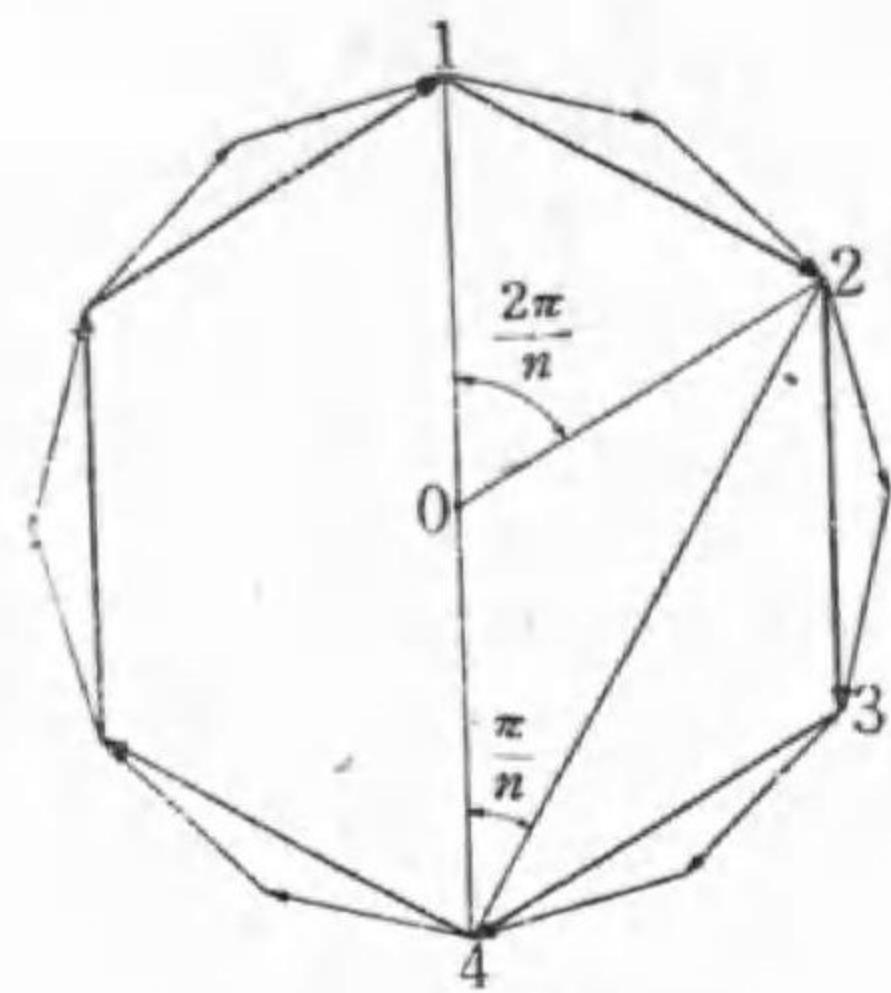
$$= \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 0.943 \dots \dots (9.5)$$

となる。しかし電機子線輪は、交流側から見れば三角結線であるから、電機子線輪の電流を I'_3 とすれば次式が成立する。

$$I_3 = \frac{I'_3}{\sqrt{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times \frac{2\sqrt{2}}{3} I_d = 0.545 I_d \dots (9.6)$$

3 一般の場合

電氣角 $\frac{2\pi}{n}$ を距てた電機子線輪上の n 箇の



第 9.4 圖

點を、同數の集電環に結べば、 n 相回轉變流機が得られる。

集電環間に供給した交流電壓の實効値を E_n とすれば、第 9.4 圖に於て圓 O に内接する正 n 角形の一邊 $\overline{1.2}$ は集電

環間の電壓の最大値 $\sqrt{2} E_n$ を表はす。よつて三相の場合と同様にして、

$$\frac{\sqrt{2} E_n}{\sqrt{2} E} = \frac{1.2}{1.4} = \sin \frac{\pi}{n}$$

$$\therefore \frac{E_n}{E} = \sin \frac{\pi}{n}$$

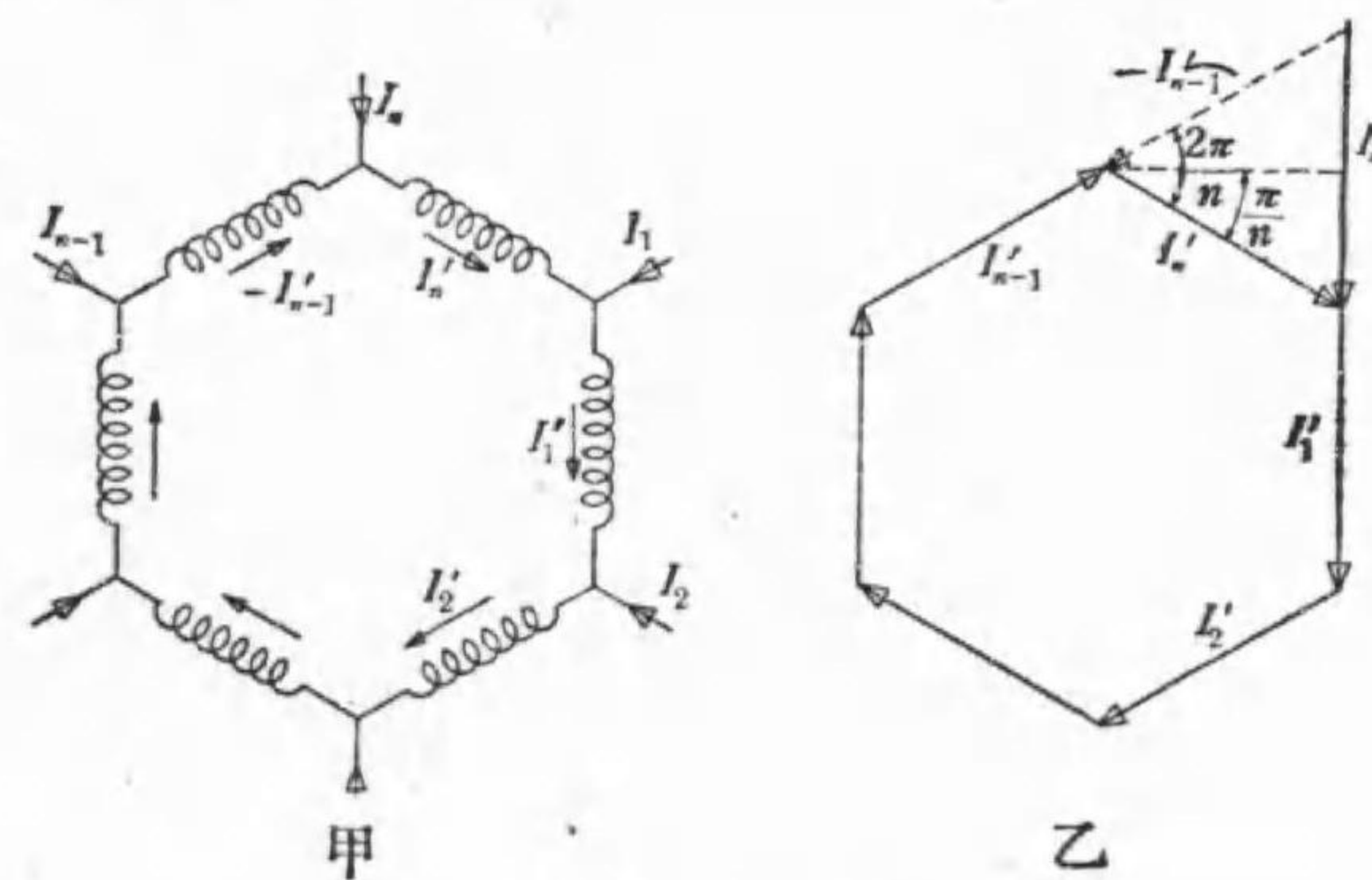
$$\therefore \frac{E_n}{E_d} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{n} \dots \dots \dots (9.7)$$

となり、次に相電流即ち電機子線輪の電流を I_n とすれば、

$$nE_n I_n = E_d I_d$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{I_n}{I_d} &= \frac{E_d}{nE_n} \\ &= \frac{\sqrt{2}}{n \sin \frac{\pi}{n}} \dots \dots \dots (9.8) \end{aligned}$$

となる。また交流側の線電流を I_n とすれば、これは一つの集電環を界として隣接する 2 箇の線輪に流れる電流のベクトル差である。即ち第 9.5 圖甲に於て $\dot{I}_n = \dot{I}'_n - \dot{I}'_{n-1}$ となる。しかし \dot{I}'_n と \dot{I}'_{n-1} とは大きさが等しく、且 $\frac{2\pi}{n}$ だけの相差があるから乙圖のベクトル圖から I_n は、



第 9.5 圖

$$I_n = 2 I'_n \sin \frac{\pi}{n}$$

これを (9.8) 式に代入して次式を得る。

$$\frac{I_n}{I_d} = \frac{2\sqrt{2}}{n} \dots\dots\dots(9\cdot9)$$

以上求めた(9・7), (9・8), (9・9)式から,任意の相数の回轉變流機における交流側と直流側との電圧比及び電流比を算出すれば,第9・1表の通りとなる。

第9・1表

相数 電圧比 と電流比	単相 n=2	三相 n=3	四相 n=4	六相 n=6	十二相 n=12	n相
$\frac{E_n}{E_d}$	0.707	0.612	0.500	0.354	0.183	$\frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\sqrt{2}}$
$\frac{I_n}{I_d}$	1.414	0.943	0.707	0.472	0.236	$\frac{2\sqrt{2}}{n}$
$\frac{I_n'}{I_d}$	0.707	0.545	0.500	0.472	0.455	$\frac{\sqrt{2}}{n \sin \frac{\pi}{n}}$

練習問題

- (1) 三相式回轉變流機の直流側の電圧 E_d ボルト, 電流 I_d アンペアであるときの, 交流側の線間電圧及び外線に流れる電流の概数を算出せよ。但し交流側の力率は1.0とする。(答 $0.612 E_d, 0.943 I_d$)
- (2) 六相回轉變流機がある。その直流電圧は600Vである。交流側の星形電圧及び環状電圧を算出

せよ。

(答 212 V)

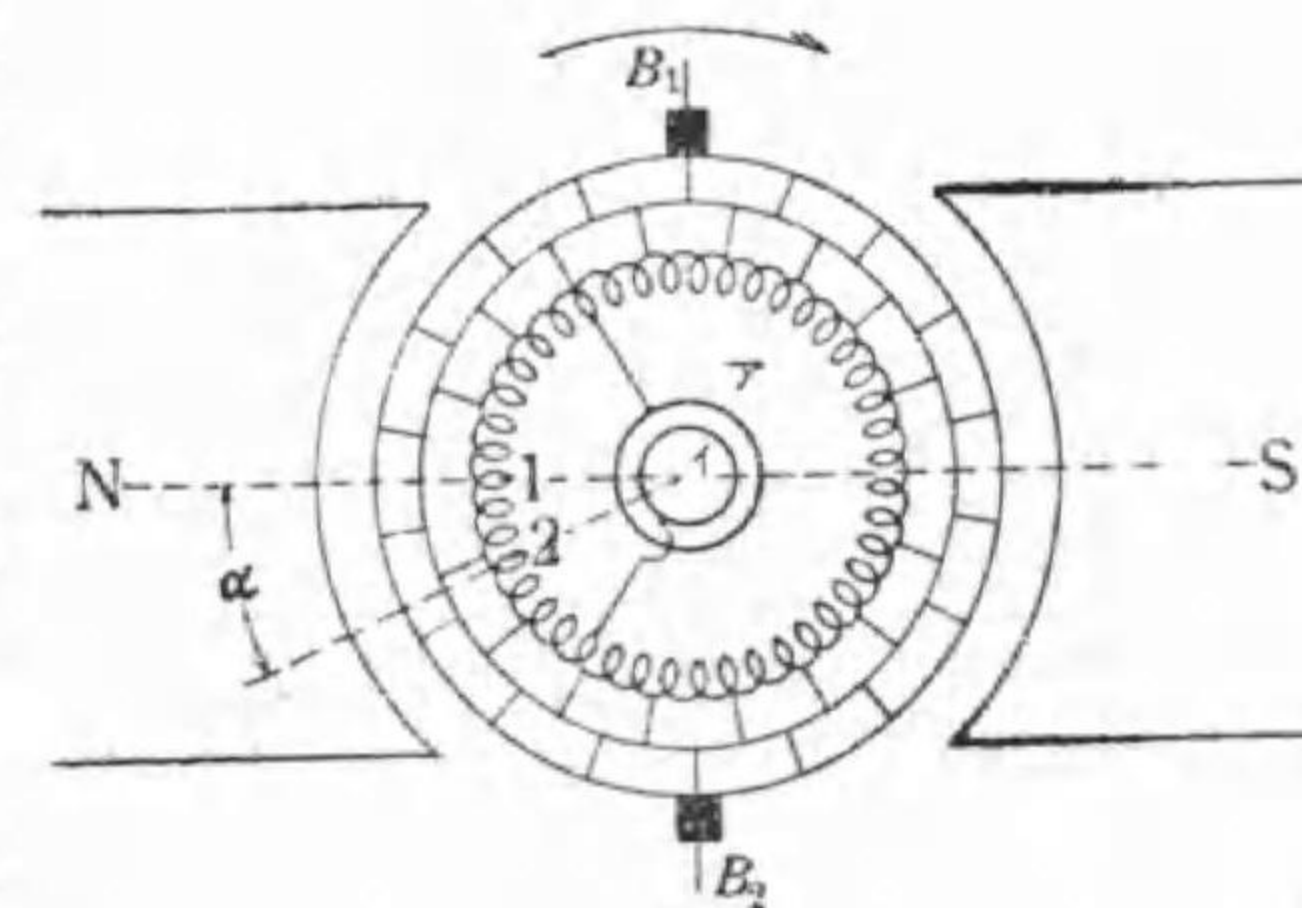
- (3) n相回轉變流機の交流側と直流側との電圧の比如何

第2節 電機子電流の波形と銅損

1. 波形

回轉變流機の電機子線輪には, 交流と直流とが同時に流れ, 且交流は電動機電流であり, 直流は発電機電流であるから, その方向は互に反対となり, 合成電流は同容量の直流発電機に比較して非常に小さい。また線輪の位置及び力率によつて合成電流の波形は非常に相違する。

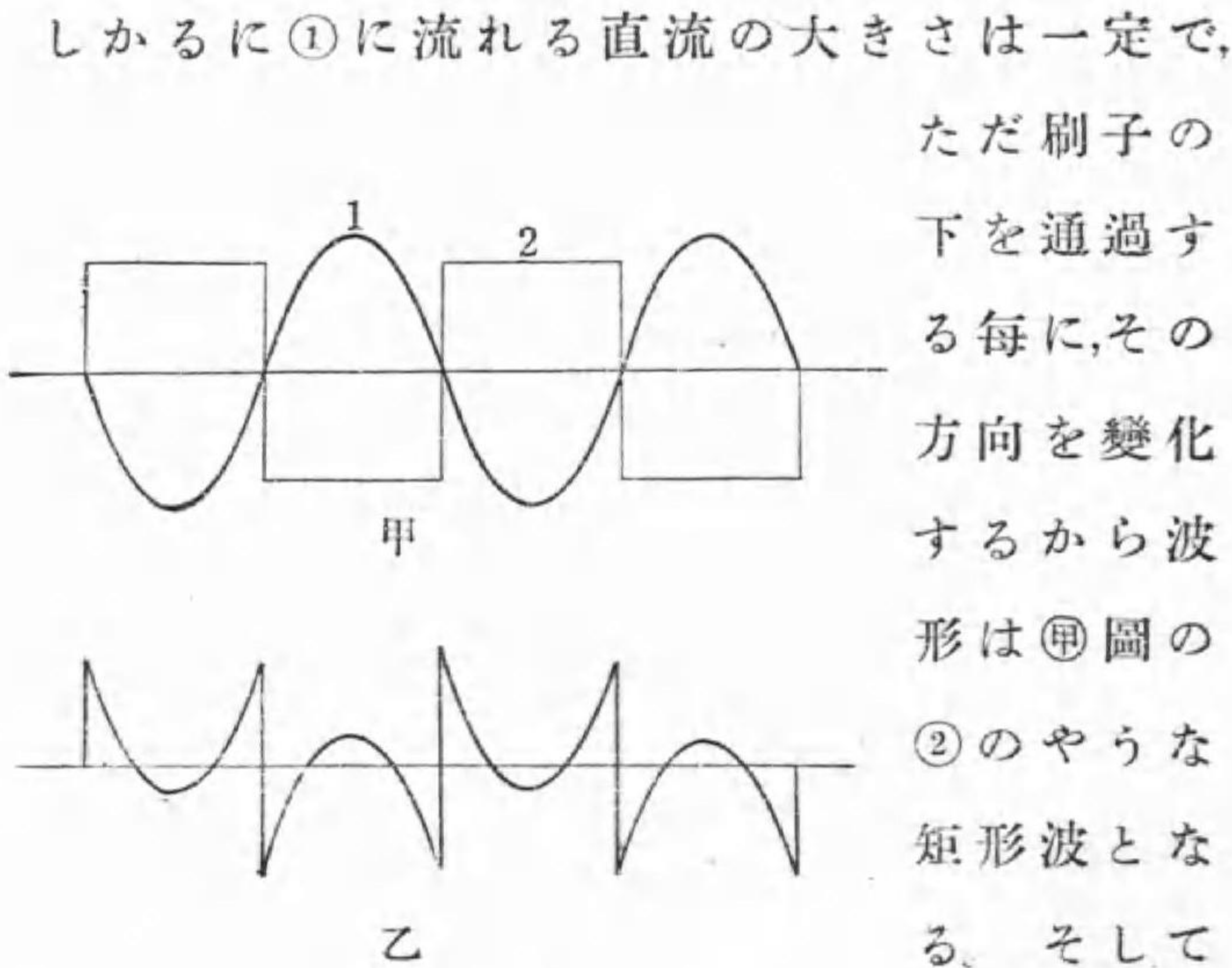
第9・6圖で, 互に隣接する2箇の集電環を⑦①としてこの一相の中央に位する線輪①に流れる電流の波形を考へてみよう



第9・6圖

この場合⑦①に屬する一相中の各線輪を流

れる交流は同一相内の電流であるから、すべて等しいが時間的には正弦變化をする。いま、力率を 100% とすれば①が磁極の中心に来たとき①の交流即ち相電流は最大となり、刷子の直下では 0 となる。その中間の位置では正弦變化をするから、①に流れる交流の波形は第 9・7 圖の①のやうな正弦波となる。



第 9・7 圖

しかるに①に流れる直流の大きさは一定で、ただ刷子の下を通過する毎に、その方向を變化するから波形はⓐ圖の②のやうな矩形波となる。そしてこの場合には①が刷子の直下に来たとき、交流は 0 となり、直流は方向反對となるから、線輪①の合成電流

の波形はⓑ圖のやうになる。

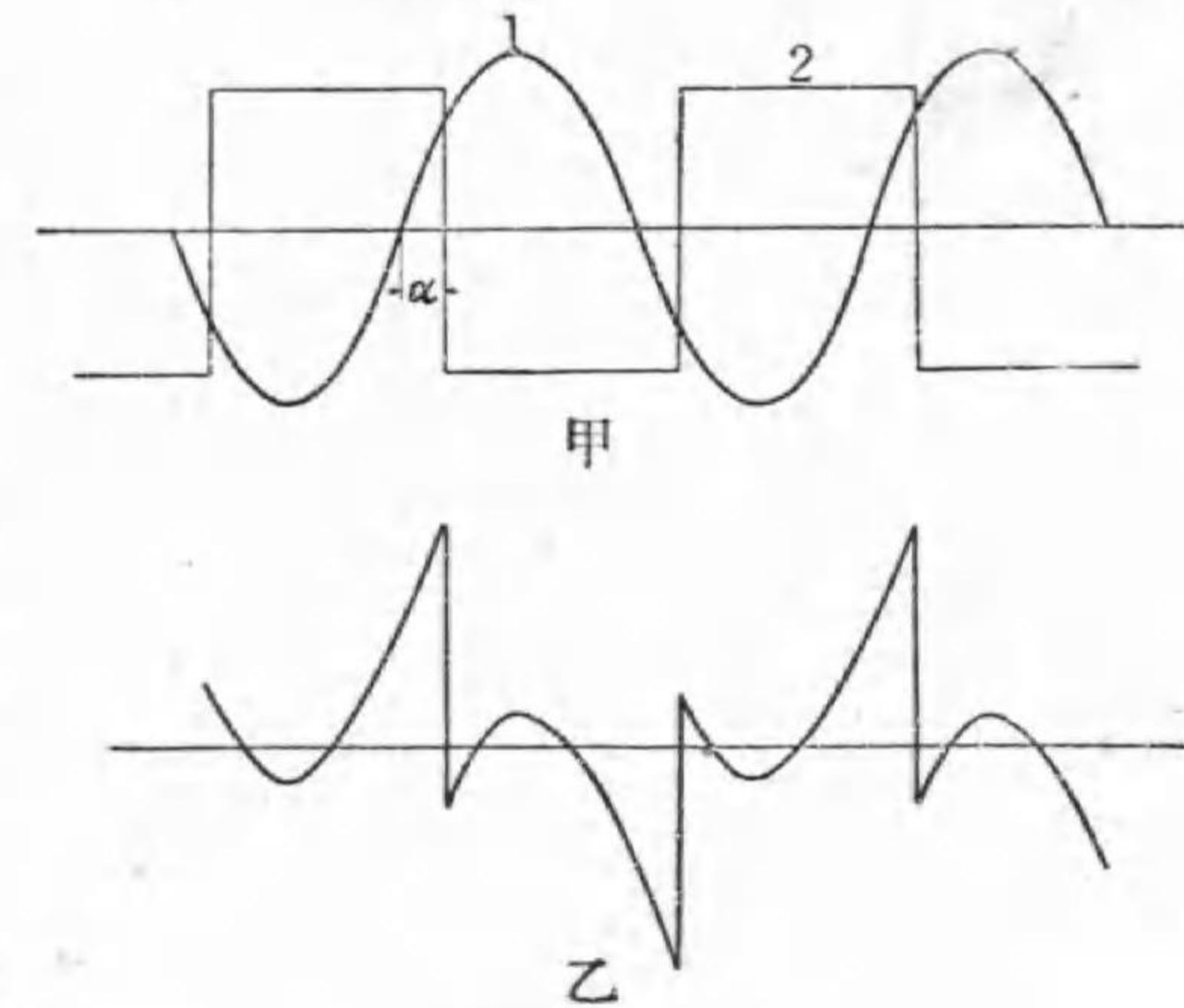
次に線輪①から回轉方向に α だけ遅れた線輪②の電流を考へてみよう。

線輪①が刷子の直下に来たとき①及び②線輪の交流は 0 となるが、②はまだ刷子の下には來ないから直流の方向は變らない。それから α だけ回轉したとき方向が變るから、②の直流波は交流波より第 9・8 圖ⓐのやうに α だけ位相が遅れ、したがつて合成電流の波形はⓑ圖のやうになる。

以上二つの場合を比較するに、②線輪は①線

輪よりも直流・交流の打消し合ふ度合が小さいから②の電流の實効値は①よりも大きい。

一般に力率 100% のときは一相の線輪の中央

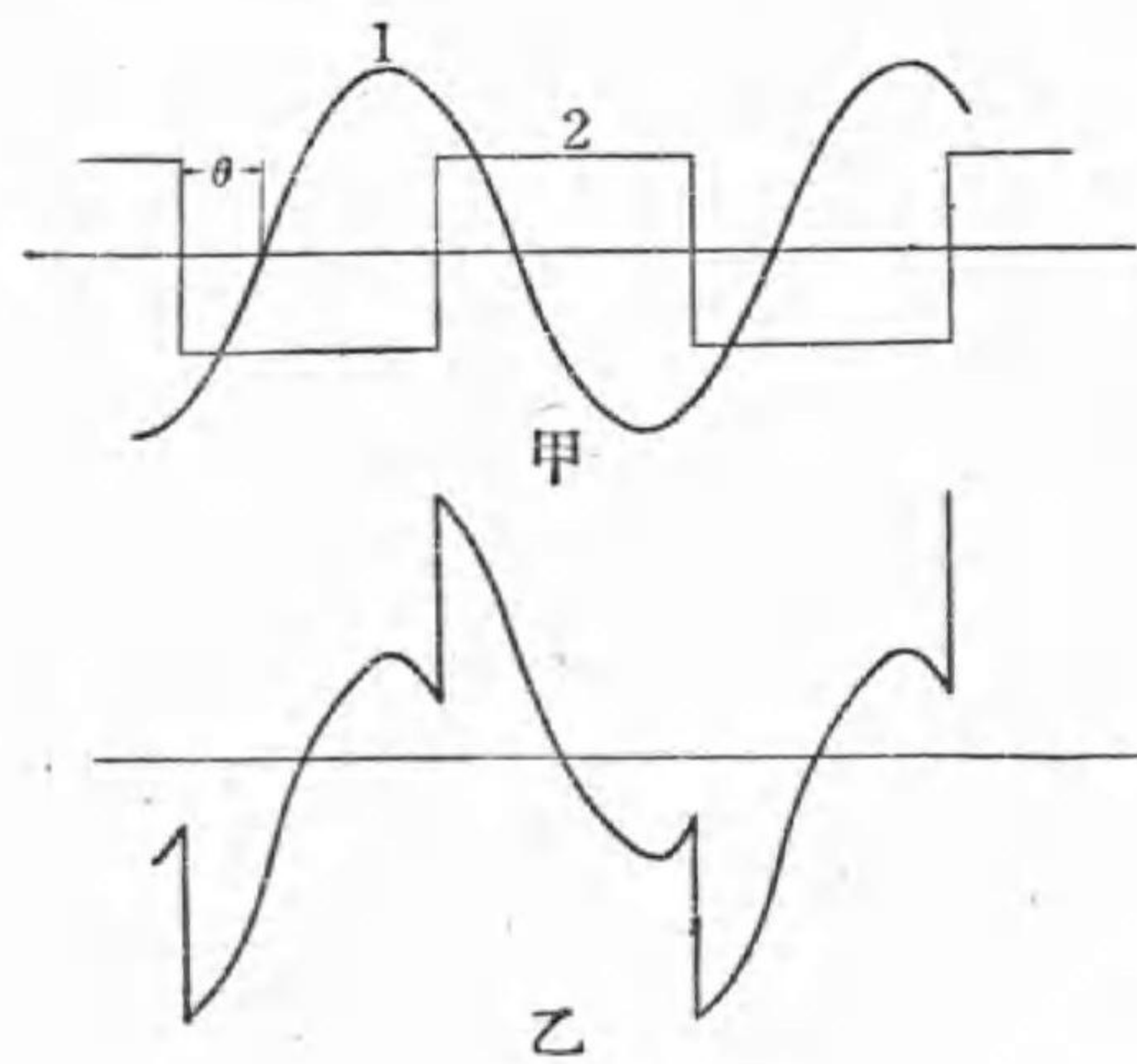


第 9・8 圖

線輪の電流が最小で、これより α が増して相線輪の両端に近づくとつれ電流は大となるから、回轉變流機の相数を増せば、一相の中央線輪と両端線輪との角度が小さくなり、各線輪の電流は均一に近づき、その合成実効電流は小となる。

以上は力率100%の場合であるが、もし100%以下となれば、電流の波形も非常に相違する。

電流が電圧より θ だけ遅れたとすれば、交直両側の電流比は第9.1表の値の $\frac{1}{\cos\theta}$ 倍になる。



第9.9圖

よつて第9.9圖甲のやうに交流波は直流波より θ だけ遅れ、その合成波は乙圖のやうになり、

そのわけは入力と出力とを等しいと假定したからである。且、線輪①の交流は刷子の直下では0とならず、時間的にこれより θ 遅れて0となる。

第9.7圖乙と比較して合成電流は著しく大となる。この度合は力率が小なるほど甚だしく、したがつて線輪全體の實効電流も増大する。

2. 電機子線輪の銅損

以上述べたとほり回轉變流機の電機子電流は、同容量の直流發電機に比較してごく小さく銅損も遙に少い。交流側の相数を増すほど平均電流を減じ、銅損も減少するから有利であるが、集電環の装置も複雑して工作に困難を伴なふ割に銅損は減少しないから、多くは六相式を用ひ、ごく大容量のものに稀に十二相式を採用する。

第9.2表は回轉變流機の相数と銅損との關係である。但し回轉變流機を同一出力の直流發電機として運轉した場合の銅損を1.0とし、他の損失を問題にせず、且力率を100%として求めた値である。

第9.2表

相數	單相	三相	四相	六相	十二相	∞ 相
銅損	1.57	0.55	0.37	0.268	0.208	0.188

もし力率が 100% 以下となれば、電機子電流、したがって銅損が増すこととなり、機械の温度上昇を一定に保つには出力を減少しなければならない。よつて回轉變流機は力率を 100% として運轉することが最も有利である。

練習問題

- (1) 回轉變流機の電機子線輪内の電流は、線輪の位置並びに時間によりどう變化するか。これを圖示して説明せよ。
- (2) 大容量の回轉變流機は三相式よりも六相式がよいが、その理由を 2 點挙げよ。
- (3) 多相回轉變流機を原動機で回轉し單に直流發電機として使用する場合と、これを回轉變動機として使用する場合とどんなちがひがあるか。

第 3 節 電機子反作用

回轉變流機の電機子線輪には、同期電動機電流と直流發電機電流とが同時に流れるから、その電機子反作用も、同期電動機としての反作用と直流發電機としての反作用を合成したものとなる。

回轉變流機では直流刷子は常に無負荷中性線上におかれるから、直流による反作用は偏磁作用だけで減磁作用は生じない。また交流による反作用も多相式で、力率が 100% のときは偏磁作用だけである。そして直流による反作用は主磁界より回轉方向に 90° 進み、交流による反作用は 90° 遅れるから、これらは殆ど打消し合ひ、その結果、反作用は機内の損失を供給する有効電流によるごく僅の偏磁作用だけである。

次に力率が 100% でなく無効電流が流れるときには、これによる反作用を相殺すべき直流の反作用は存在しないから、進み無効電流は減磁作用をなし、遅れ無効電流は磁化作用をする。

かうして回轉變流機の電機子反作用は、

(ア) 損失電流による僅の偏磁作用

(イ) 進み無効電流による減磁作用

(ウ) 遅れ無効電流による磁化作用

の三つから成り、進み電流のときは(ア)と(イ)を同時に生じ、遅れ電流のときは(ア)と(ウ)を同時に生ずる。

このやうに回轉變流機では偏磁作用がごく小さく、したがつて中性線が殆ど移動しないから、直流刷子を常に中性線上におくことができる。また力率を 100% に保てば銅損も少く、反作用も殆ど生じないから、回轉變流機はなるべく力率 100% で運轉することが望ましい。

第 4 節 勵磁度變化の影響

回轉變流機は同期電動機と直流發電機との合體であるから、交流側の勵磁電流に対する特性は同期電動機と同様である。即ち供給電壓と負荷が一定のとき、力率を 100% とすべき勵磁電流よりこれを大にすれば電機子電流は進み、小にすれば遅れる。なほ同期電動機の反作用は、進み電流の場合はその無効分が減磁作用をなし、遅れ電流の場合にはその無効分は磁化作用をする。したがつて勵磁電流を増せば主磁束も増すが、同時に進み無効電流の反作用のため減磁し、また勵磁電流を減少すれば主磁束も減少し、同時に遅れ無効電流の反作用により磁化する。かうして合成磁束は一定に保持さ

れるから、これによる誘導起電力も一定となり供給電壓と釣合ふ。

かやうに回轉變流機では勵磁度を變化しても、交流側供給電流の位相を變へるだけで誘導起電力は一定であるから、直流電壓を變化させることはできない。これは普通の直流發電機と大いにちがふ點である。

第 5 節 電壓調整法

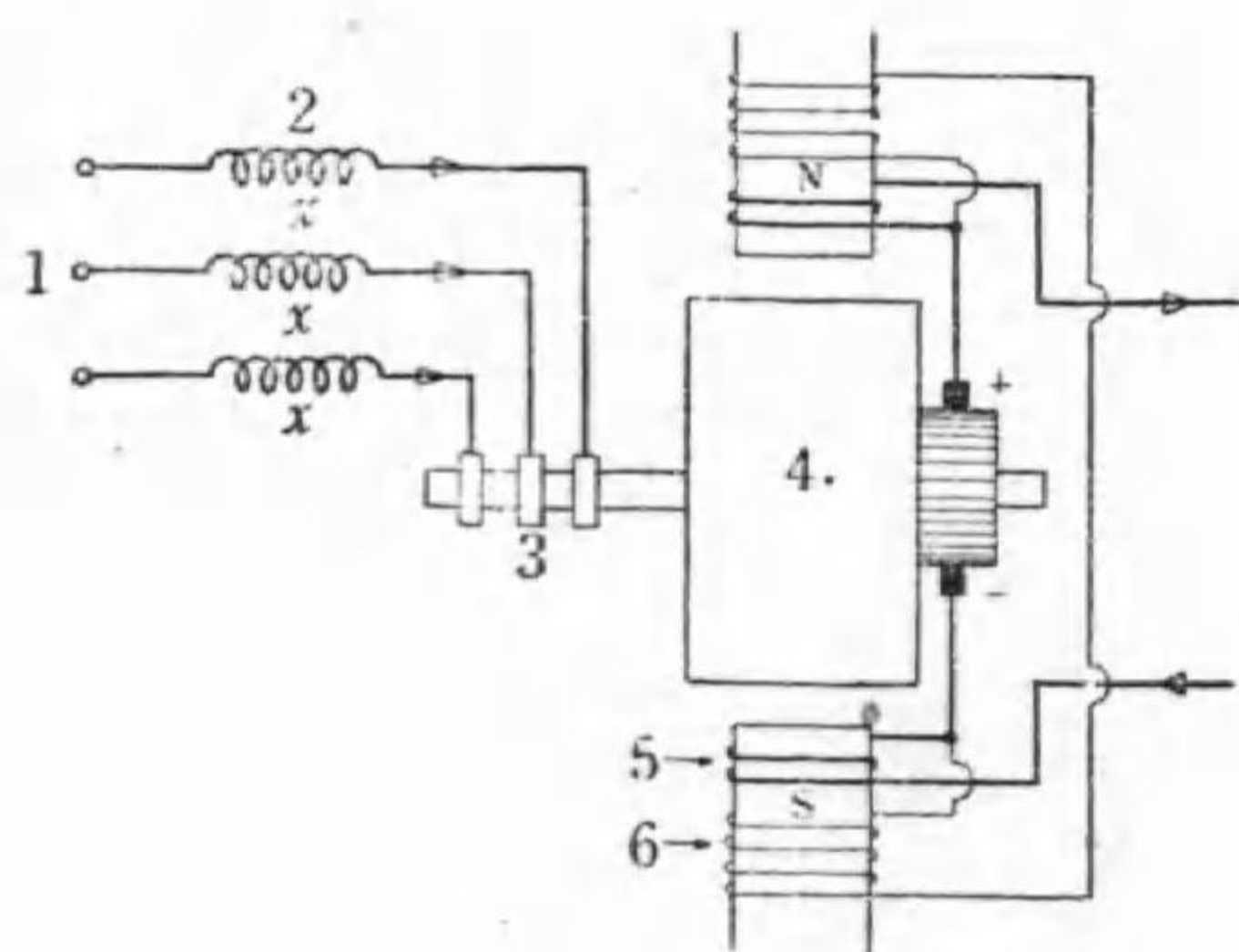
回轉變流機も普通の直流發電機と同様に、負荷の變化に応じて電壓を調整しなければならない。但し回轉變流機では前に述べたとほり直流側の電壓と、交流側の電壓との間には一定の関係があるから、交流電壓が定めれば直流電壓もそれによつて決定し、普通の直流發電機のやうに勵磁電流を變化させても電壓を加減することはできない。

回轉變流機の電壓調整法として一般に用ひる方法は、交流側電壓變化法・直流側電壓變化法・主磁束分布變化法の 3 方法である。

1. 交流側電壓變化法

これは交流側の供給電圧を変化する法で、更に次の3方法に分れる。

(1)誘導電圧調整器を用ひる法 電源と集電環との間に、回轉變流機と同じ相数の誘導電圧調整器を設けて、電源の電圧に誘導電圧調整器の発生する電圧を加減することにより、集電環間の供給電圧を変化する方法である。しかしこれは急速に電圧を変化することができないから、電燈配電用としては適するが、負荷が急激に変化する電氣鐵道等にはあまり用ひない。



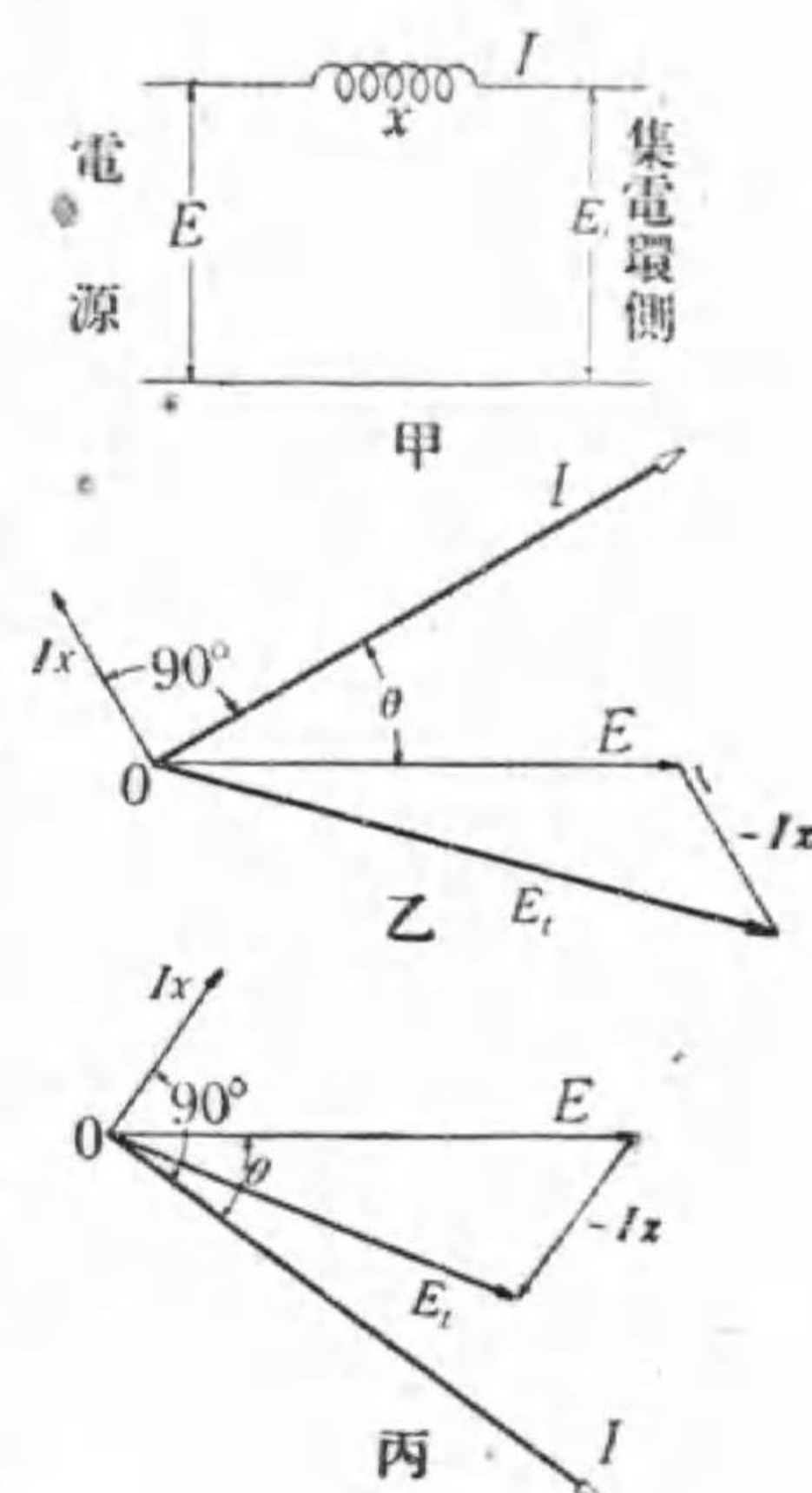
第9・10圖

- ①交流電源
- ②リアクタンス線輪
- ③集電環
- ④電機子
- ⑤直巻界磁線輪
- ⑥分巻界磁線輪

(2)リアクタンス線輪を用ひる法 第9・10圖のやうに電源と集電環との間にリアクタンス線輪 x を挿入し、これに流れる電流の位相を調

整すれば、集電環に加る電圧を加減することができる。

第9・11圖でリアクタンス x に電源側電圧 E から θ だけ進んだ電流 I を通じたとすれば、 x による電圧降下 Ix は I より 90° 進むから、 E より Ix をベクトル的に差引いた集電環側の電圧 E_c は E より大となる。②圖はこの関係を示す。 I が遅れ電流の場合には③圖のとほり E_c は E より小となる。



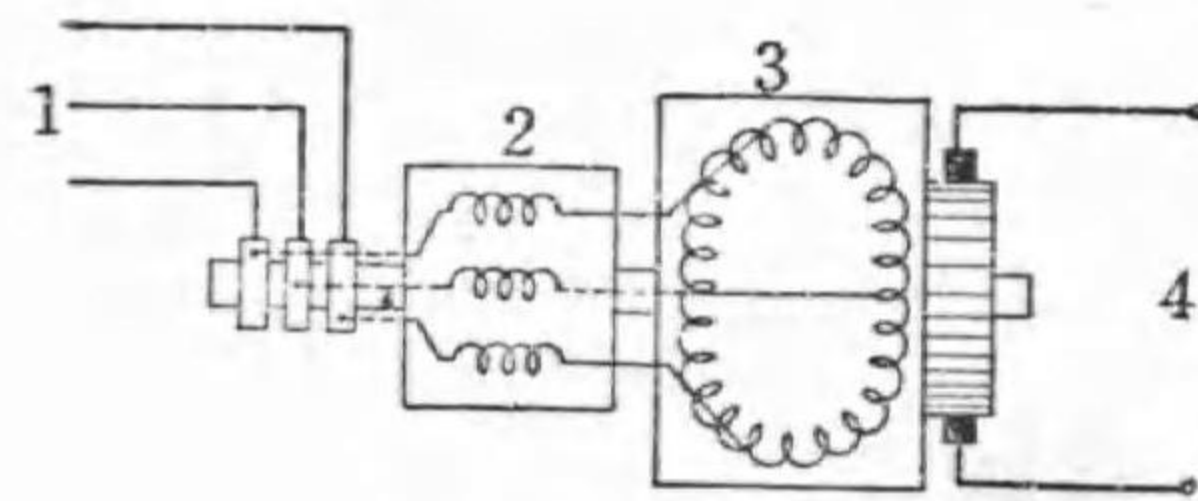
第9・11圖

この原理によつて、集電環に加る電圧を加減するのであるが、電圧の位相を調整するには回轉變流機の勵磁度を變化すればよい。これは直巻界磁線輪によつて自動的に行はれる。このやうにこの回轉變流機は直巻界磁線輪を有するから、これを複巻變流機といふ。

これに用ひるリアクタンス線輪は、鐵心のあ
るものを別に備へることもあるが、電源用變壓
器のリアクタンスを特に大きくしてリアクタ
ンス線輪の働きを兼ねさせることもある。

この方法は自動的に急速な調整を要する電
氣鐵道用として適するが、調整範圍が狭く、亂調
も生じやすく、また力率を變化するなどの缺點
がある。

(3)同期昇壓機を用ひる法 同期昇壓機とい
ふのは回轉電機子型の交流發電機で、これを第
9・12圖のやうに回轉變流機と集電環との間で
回轉變流機に直結する。その極數と相數は變



第9・12圖

- ① 交流電源
- ② 昇壓機
- ③ 回轉變流機
- ④ 直流母線

續する。

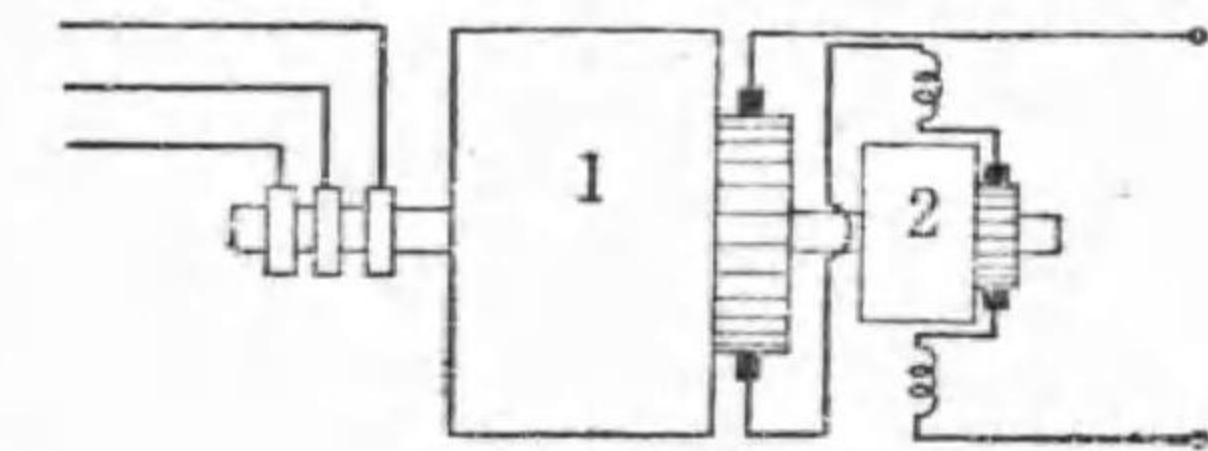
かうして昇壓機の勵磁電流を加減すれば、そ

流機と同一でなけ
ればならない。昇
壓機の電機子線輪
の一端は集電環に、
他端は回轉變流機
の電機子線輪に接

の誘導起電力が加減されるから、回轉變流機の
供給電壓したがつて直流電壓を調整すること
ができる。昇壓機の勵磁電流の方向は反對に
することもできるから、この方法は調整範圍が
廣く、負荷が急激に變化する場合にも適するが、
設備費が高い缺點がある。したがつて大規模
のものに廣く用ひられる。

2. 直流側電壓變化法

これは第9・13圖のやうに直流昇壓機を回轉
變流機に直結し、その誘導起電力を回轉變流機
の直流電壓に加減して電壓調整を行ふ法で、調
整範圍は相當に廣



第9・13圖

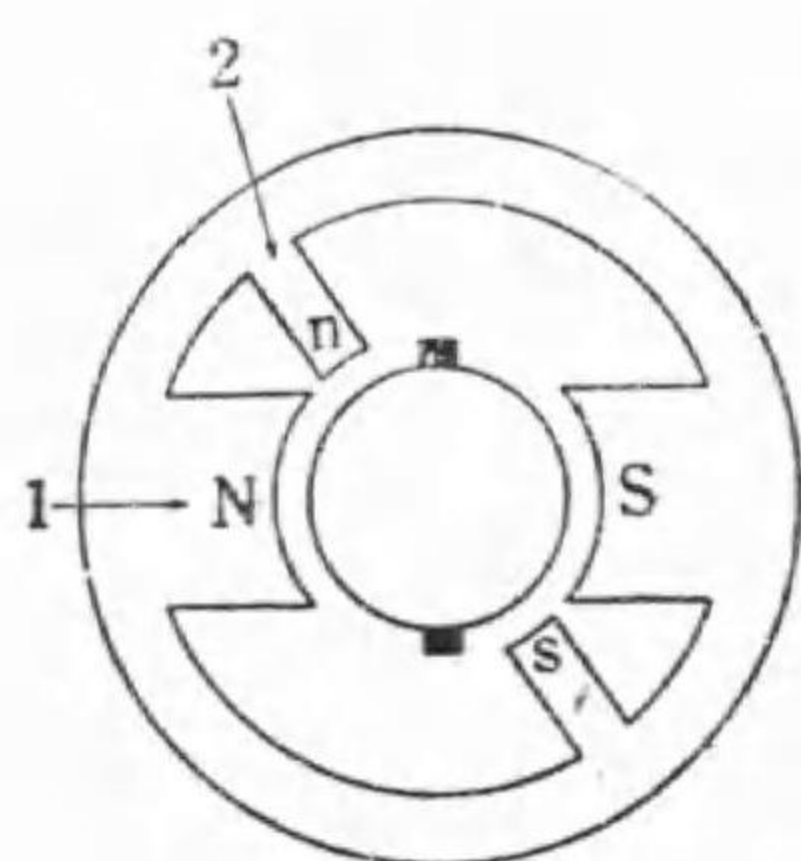
いが、設備費が高い
のと昇壓機が低電
壓大電流のもの
なり、整流の困難を
伴なふから現在殆ど用ひない。

3. 主磁束分布變化法

直流發電機に於て刷子を中性線から移動す
れば、電機子線輪中の誘導起電力の一部は相殺

されて、刷子間の電圧は減少する。回轉變流機の直流側は分巻発電機であるから、刷子を移動することにより、直流電圧を加減することができる。しかも集電環間の電圧は刷子の移動には無関係であるから、一定の供給交流電圧で直流電圧の加減が行はれる。

しかし刷子を直接移動することは、機械装置を要する上に、刷子と整流子との間に火花を生



第9・14圖

①主磁極

②調整磁極

ずるから、刷子は一定位置に固定しておいて磁界の方を電氣的に移動させるのである。第9・14圖はこれを示すもので、磁極は主磁極と調整磁極とに分割されてあるから調整磁極の勵磁電流を加減し、或はその方向を變へれば中性線を種々の位置に移動させることができる。第9・14圖は調整磁極が n 極になつた場合である。この變流機を分割極變流機といひ、原理上の興味はあるが殆ど用ひられてゐない。

練習問題

- (1) 普通の回轉變流機の交流電圧を不變に保つときは、勵磁電流を増減しても直流電圧を多く變ずることができない。その理由を説明せよ。
- (2) 回轉變流機に直列にリアクタ・スを使用して、直流電圧を自動的に加減できる理由を述べよ。
- (3) 回轉變流機の複巻線輪の效用と、その作用の原理を問ふ。

第6節 亂調と閃絡

1. 亂調

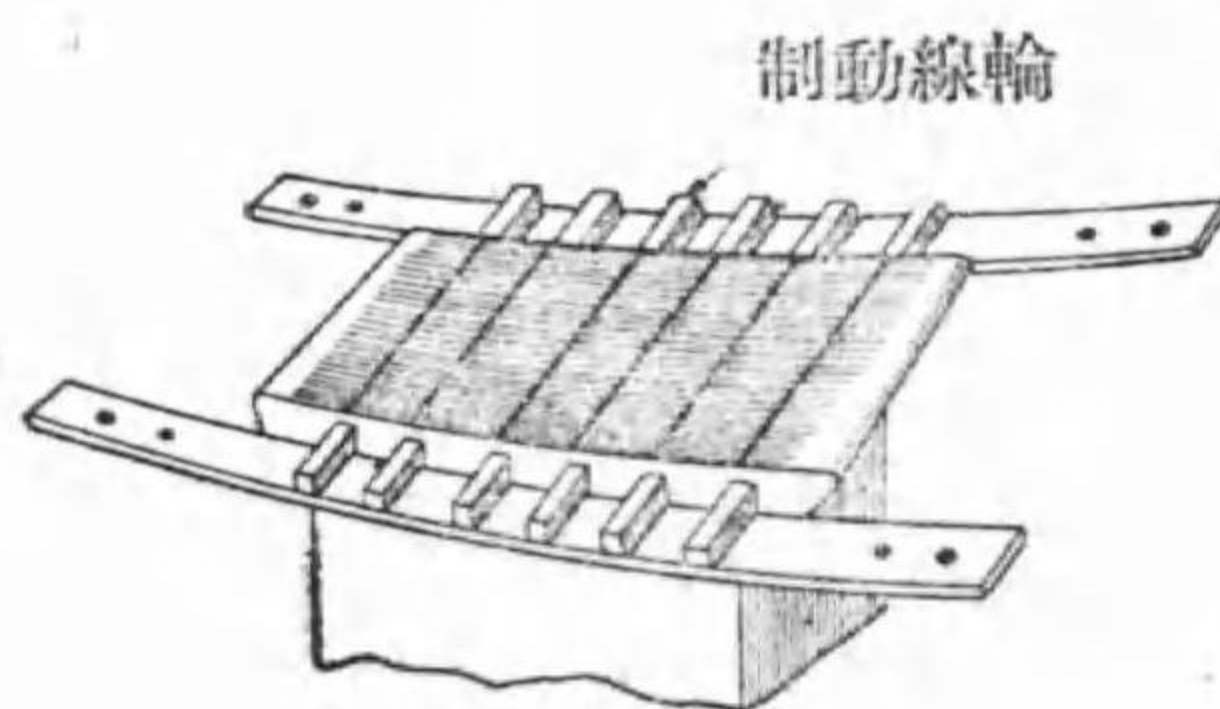
回轉變流機は交流側から見れば同期電動機であるから、負荷及び供給電圧の激變等により亂調を生ずるおそれがある。特に回轉變流機は電機子反作用が小さく、したがつて同期化力も小さいから、普通の同期電動機よりも亂調を生じやすい傾向がある。また複巻變流機は並行運轉中、負荷電流の變化に對して、直巻線輪の磁束の變化が各機一様でないため、直流側誘導電圧に不同を生じ、負荷の不均一を惹起して亂調を生ずるおそれが一層甚だしい。

かうして一度亂調を生ずれば、回轉速度の激

變と磁界の攪亂とにより直流電壓は激變し、且整流子には猛烈な火花を發生して、つひに運轉は不可能となる。

次に亂調の防止法としては、

- (㉑) 制動線輪を磁極片に設けること
- (㉒) 回轉子の慣性を大にすること
- (㉓) 周波數と極數を小にすること
- (㉔) なるべく複巻法を避けること
- (㉕) 交流電源と集電環との間にリアクタンスを挿入すること
- (㉖) 同一電路中の負荷の激變を避けること



第9・15圖

等である。第9・15圖は制動線輪である。

2. 閃絡とその防止法

交流機が運轉中、直流側に短絡を生ずるか、または交流側に亂調を生ずれば整流は極度に困難となり、整流子と刷子間に火花を生じ、つひに正・負刷子間を電氣

弧光で閃絡し機械を燒損することがある。特に變流機では次に述べる理由により普通の直流發電機よりも閃絡を生じやすい。

前に述べたとほり平常の運轉状態では直流と交流との兩偏磁作用は、互に相殺して合成偏磁作用はごく小さいが、短絡時にはこの釣合が破れて偏磁作用は非常に大となる。その結果、磁束の分布を亂して整流子片間に異狀電壓を發生する。特に刷子附近の片間電壓は上昇して火花を生ずることになる。補極付の回轉變流機では交叉磁界に對する磁氣抵抗が低いから、一層火花を生じやすい。

また亂調が起ると磁束の分布を亂し、回轉速度は激變するから整流が困難となり閃絡を招來する。

一般に周波數の高い變流機は次に述べる理由により整流が困難となり、亂調を起し閃絡を生じやすい。

同期電動機では周波數 f 、極數 P 、回轉數 N との間には、

$$f = \frac{PN}{120}$$

の一定の関係があるから、周波数を高くするには極数または回転数を増さなければならない。しかし極数または回転数を大にすれば、極間隔が狭くなるから刷子の調整が困難となり、且整流子片の数が減少するから片間電圧が高くなる。また整流子の周速度が大きくなれば整流時間が短くなるので、どちらにしても整流は困難となる。なほ空間角と電気角との差が大となり、また極間隔が狭くなる結果、制動線輪の効果も少くなるから乱調の危険も多い。

次に閃絡防止法としては、

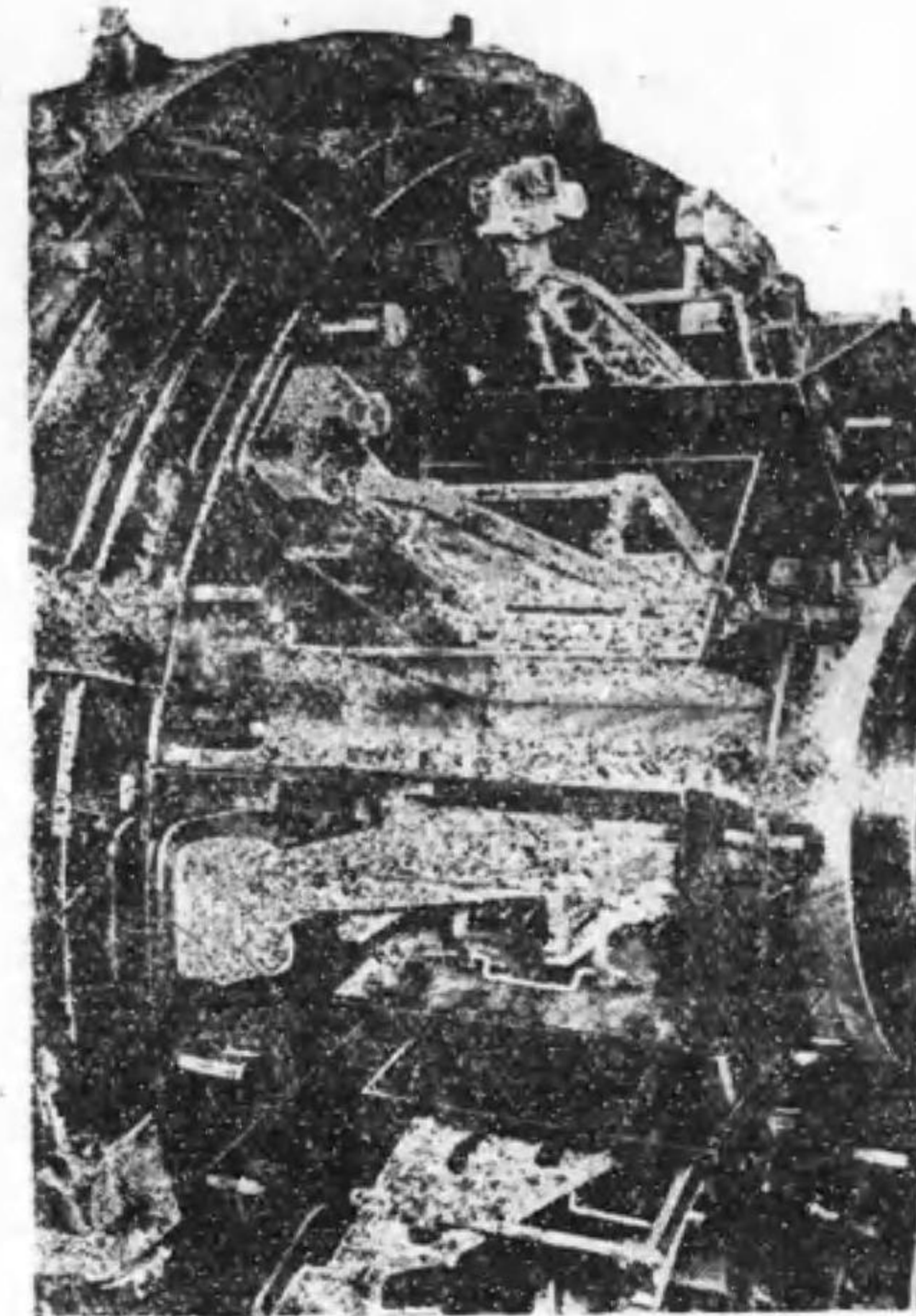
- (ア) 閃火隔壁
- (イ) 高速度遮断器
- (ウ) 制動線輪
- (エ) 高磁気抵抗補極

等を一般に使用する。

閃火隔壁は第9・16圖のやうに耐火質の絶縁物で刷子を囲み、電気弧光の進路を遮断して閃

絡を防止するものである。なほ整流子と電機子との間にもこの隔壁を設けて電機子線輪を保護する。

高速度遮断器は短絡等による過大電流を急速に遮断する自動遮断器で、直流側に設ける。これにより火花を生ずる原因を速に



第9・16圖

除けば閃絡も未然に防がれる。

制動線輪は乱調を防止するものであるが、間接に閃絡も防止される。

高磁気抵抗補極は、補極回路の磁気抵抗を大にして交叉磁束の通過を妨げ火花の発生を防止する。

逆用回轉變流機 回轉變流機は交流電力を供給

して直流電力を発生させるものであるが、逆に直流電力を供給すれば交流電力を発生させることができる。これを逆用回轉變流機といふ。この場合直流側は分巻または複巻電動機として回轉し、交流側は同期發電機として働く。しかし交流側が單獨運轉か、並行運轉かによつてその運轉法は非常に相違する。

單獨運轉の場合には變流機の速度、したがつて交流側の周波数は勵磁電流の調整によつて任意に變化させることができる。しかしこの場合誘導電動機その他遅れ力率の負荷をかければ、電機子反作用により減磁されてその回轉數、したがつて周波数は増加する。周波數が増加すればリアクタンスも増加するから、電流は益、遅れ、更に減磁して愈、速度は上昇し、つひに界磁抵抗だけでは調整不可能となる。これを防ぐには獨立した勵磁機を變流機の主軸に直結する。かうして變流機の速度が上昇すれば勵磁機の電壓も上昇して勵磁電流が増加するので、速度の異常上昇は防がれる。

並行運轉の場合には、勵磁電流を變化しても變流機の速度を變へることはできない。勵磁電流を變化すれば無効横流を生ずるだけであることは、普通の交流發電機の並行運轉の場合と全く同様である。この場合、變流機に負荷するには直流電壓を増加すればよい。かうすれば變流機の入力が増加するから、出力

も増加する。

練習問題

- (1) 回轉變流機の亂調の原因・結果及び防止法を説明せよ。
- (2) 回轉變流機の閃絡について述べ、その防止法を説明せよ。
- (3) 同期交流發電機と電動機及び回轉變流機の制動線輪の作用の原理を述べよ。

第10章 運轉と試験

第1節 起動法

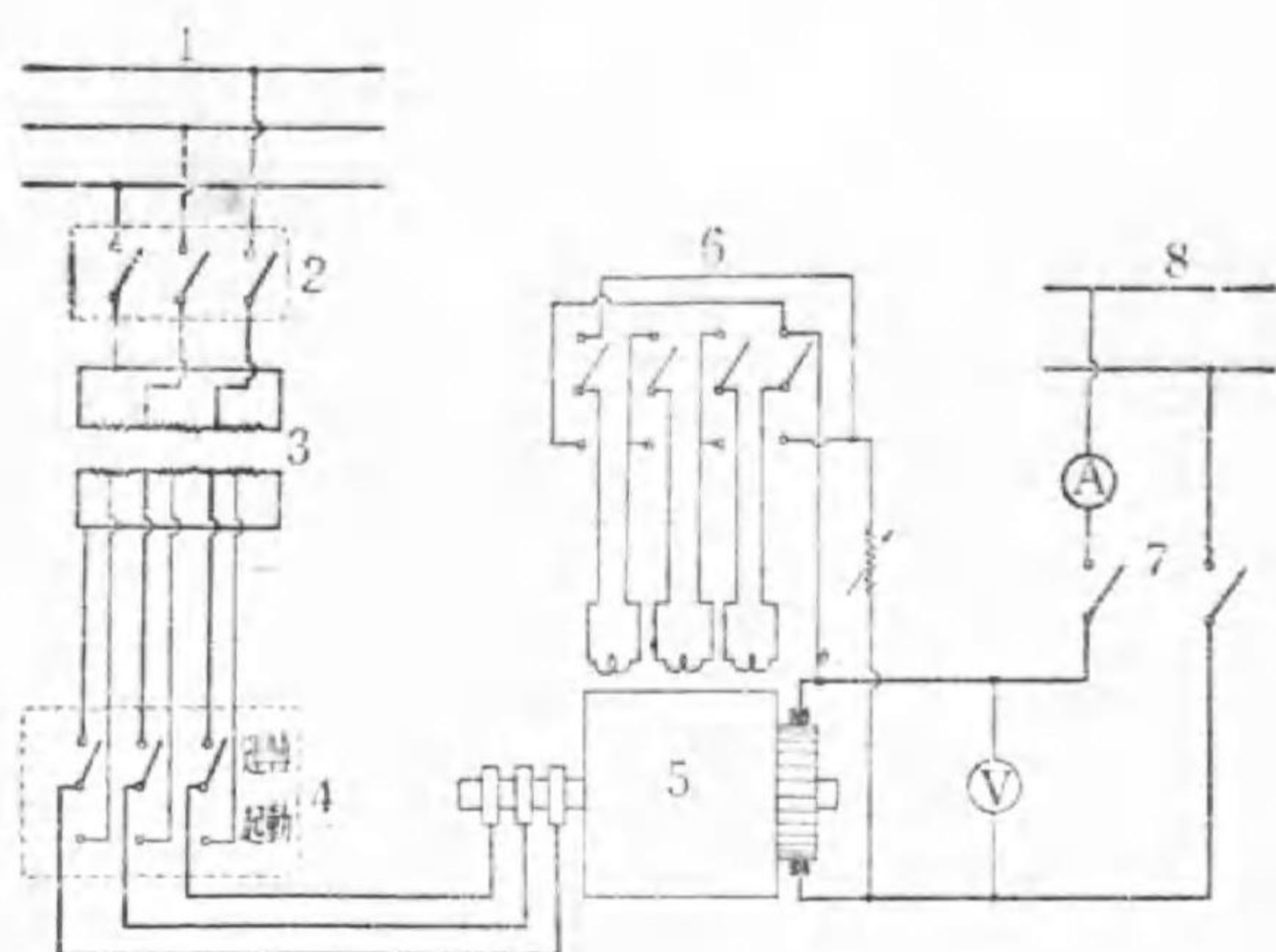
回轉變流機は交流側を同期電動機として起動するか、または直流側を直流電動機として起動する。

結局、回轉變流機の起動法には交流側起動法・直流側起動法・起動電動機法の三つがある。

1. 交流側起動法

これは制動線輪を有する回轉變流機を交流側から自起動する方法である。第10・1圖はこの場合の接續圖で、次の順序によつて行ふ。

(1) 表示刷子以外の直流刷子を全部引上げる。



第 10・1 圖

① 交流母線 ② 交流主開閉器 ③ 變壓器
④ 起動開閉器 ⑤ 回轉變流機 ⑥ 界磁開閉器
⑦ 直流主開閉器 ⑧ 直流母線

- (イ) 交流側主開閉器を閉じる。
 (ロ) 起動開閉器を起動側に閉じ、全電圧の約半分くらいの電圧を加へて起動し、これを同期速度近くに達しさせる。
 (エ) 直流側の電圧計が正方向を指示すれば、界磁開閉器を上方(これを正方向とする)に閉じる。もし電圧計の指示が反対ならば界磁開閉器を下方に閉じ、電圧計の指示が 0

點を通過して正方向にならうとするとき、手早く上方に切換へる。

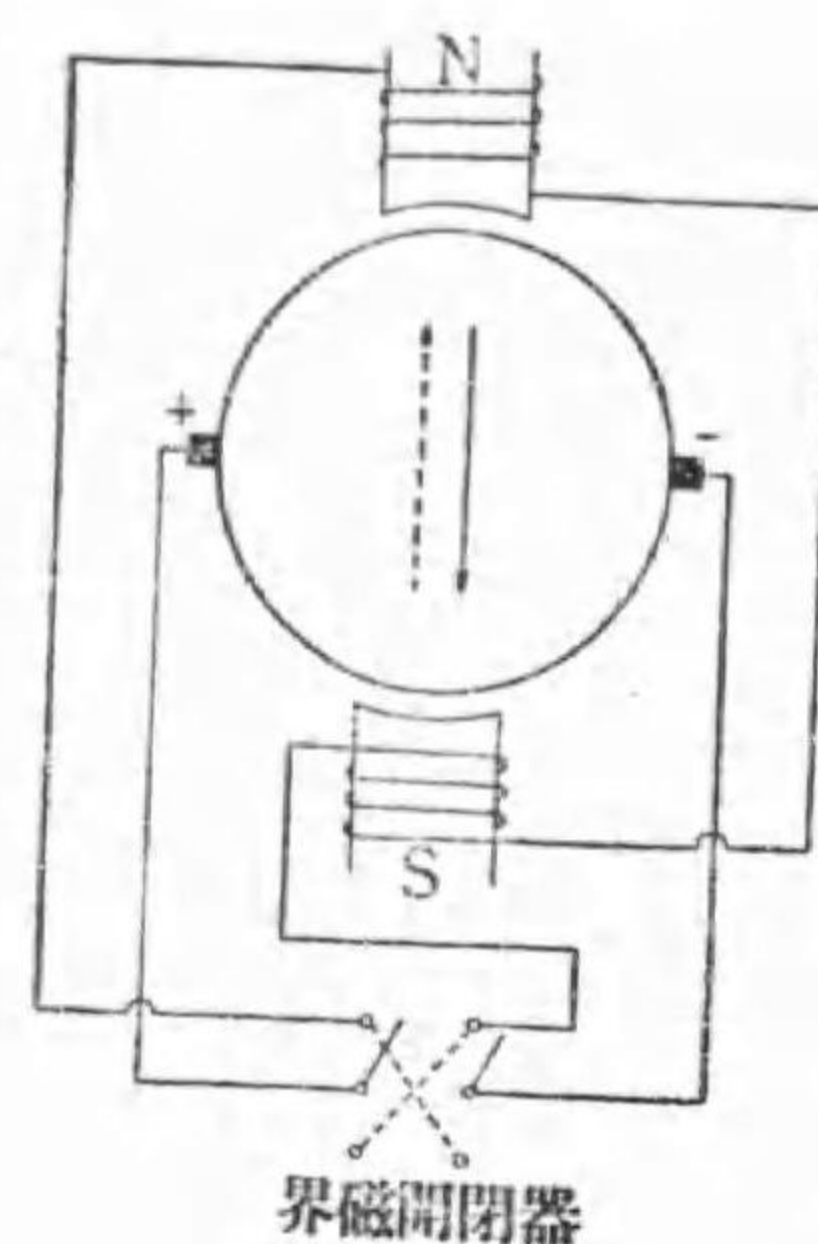
- (オ) 直流電圧計が定格電圧の約半分を指示し、且そのふれが安定すれば起動開閉器を速に運転側に閉じ全電圧を供給する。
 (カ) 直流刷子を整流子面上に下す。
 (キ) 界磁抵抗を加減して交流側の電流を最小とする。
 (ク) 直流主開閉器を閉じる。

以上の起動操作中、(エ)で界磁開閉器を切換へるのは次の理由による。

電機子交流の生ずる回轉磁界は電機子速度が同期速度に達しないときは主磁極に對して兩速度の差で回轉するが、電機子が同期速度に達すれば回轉磁界は主磁極に對しては靜止する。この場合主磁極は勵磁してゐないから、回轉磁界は磁氣抵抗の最も小さい主磁極の軸上に一致するが、その方向は電機子が同期速度に達したときの回轉磁界の方向によつて決定する。

第10・2圖にて實線の矢で示すとほり下向に靜止したとすれば、これは主磁極の正規の極性に一致し、したがつて刷子の極性も正規となるから、界磁開閉器を上

方に閉ぢれば、少しも支障を生じない。しかし反對に點線の矢で示す方向に回轉磁界が靜止したとすれば、これによつて生ずる起電力の方向も反對となり、したがつて刷子の極性も逆になるから、このとき界磁開閉器を上方に閉ぢれば、主磁極の極性も反對となつて回轉磁界の方向に一致し、刷子の極性は逆になつたまま正規電壓に達しようとする。このとき、界磁開閉器を下方に閉ぢれば主磁極は正規の極性となり、回轉磁界はこれに反撥されてその方向を反轉しようとするから、刷子が正規の極性に變らうとするとき、即ち直流電壓計の指示が0點を通過して正方向に移らうとするとき、ただちに界磁開閉器を上方に切換へれば、刷子は正規の極性を維持する。



第10・2圖

また起動の際、直流側刷子を引上げるのは、同期速度と電機子速度との差で回轉する回轉磁界が、直流刷子によつて短絡される電機子線輪を切つて短絡電流を生ずるが、特に補極付變流機ではこの回轉磁界に對する磁氣抵抗が小さいので、大きい短絡電流が流れて火花を生ずるからである。

なほ、この回轉磁界が界磁線輪を切つてこれに高電壓を誘導し、その絶縁をおびやかすからこれを防止するため、第10・1圖のやうに開閉器によつて數箇に分割して開路しておくか、または抵抗を通じて閉路する。

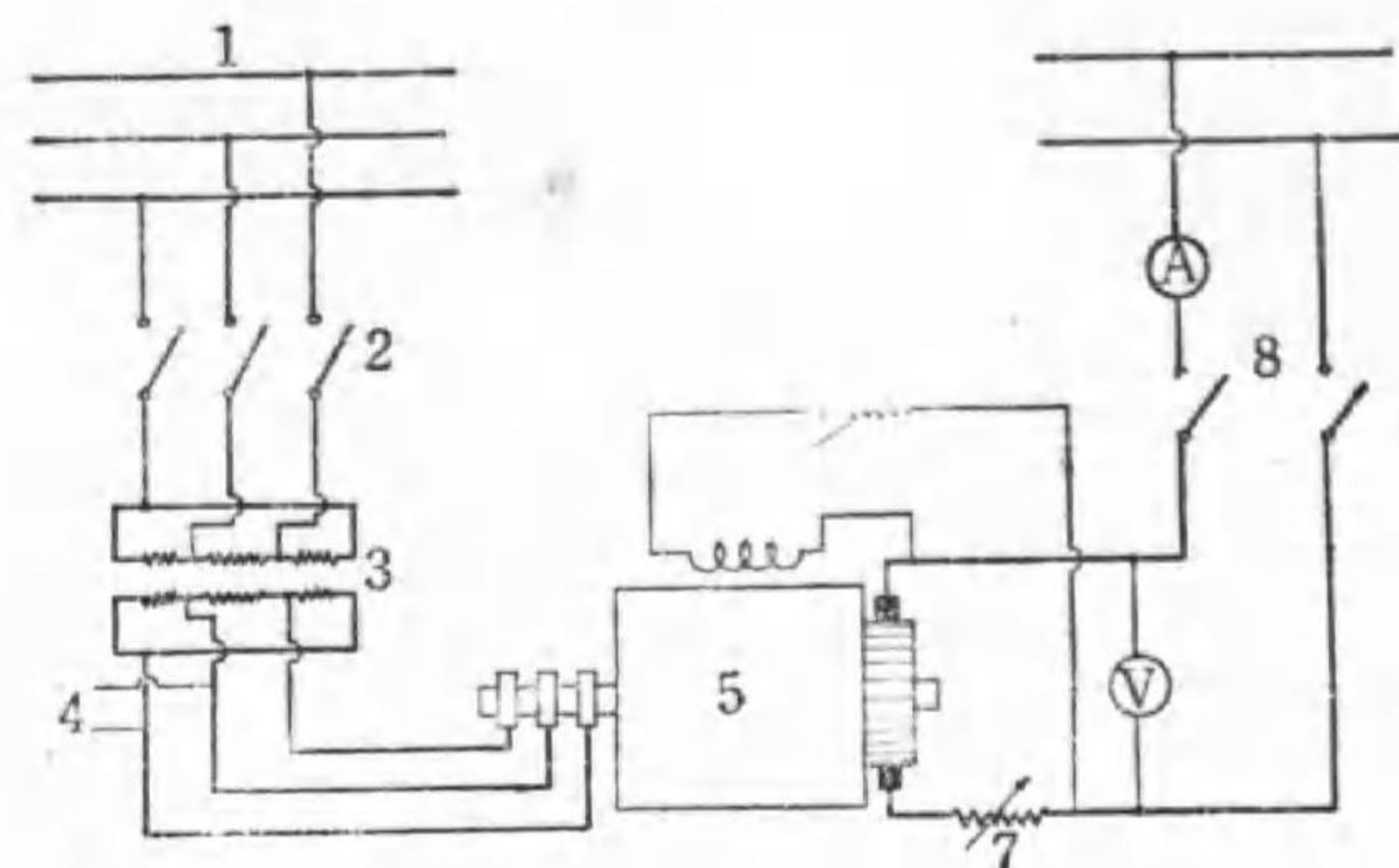
2. 直流側起動法

これは直流電源のある場合、即ちすでに運轉中の變流機と並行運轉する場合、または蓄電池のある場合等に行はれる。

この起動法は要するに變流機の直流側を分巻電動機として起動し、交流側を同期發電機として交流電源と同期檢定の後、これに接續する方法である。

第10・3圖はこの場合の接續圖で、次の順序によつて起動を行ふ。

- (ア) 界磁抵抗を短絡する。
- (イ) 直流主開閉器を閉ぢ、起動抵抗を徐々に減ずる。
- (ウ) 界磁抵抗を加減して定格速度にする。
- (エ) 同期昇壓機または誘導電壓調整器により交流側の電壓を、電源の電壓に等しくする。



第 10・3 圖

- ①交流母線 ②交流開閉器 ③變壓器
④同期檢定器 ⑤回轉變流機 ⑥界磁
抵抗 ⑦起動抵抗 ⑧直流主開閉器

- (a) 交流側電壓を一定に保持しつつ界磁抵抗を加減し、電源を同期檢定して手早く交流主開閉器を閉じる。
- (b) 界磁抵抗を加減して交流側の電流を最小に保ちつつ、昇壓機または誘導電壓調整器によつて交流側電壓を増加して、直流側の負荷電流を増す。

3. 起動電動機法

これは起動電動機を使用して同期電動機とまったく同様に起動する方法である。

起動電動機としては籠形誘導電動機を用ひる。交流側起動法が発達した今日では、この方法はあまり行はれない。

練習問題

- (1) 回轉變流機の起動法を述べよ。
- (2) 回轉變流機の界磁線輪を數部に區分し得るやうに接續した理由を問ふ。

第 2 節 並行運轉

2 臺以上の回轉變流機を使用する場合には、直流側及び交流側共に並列に接續して並行運轉するのが普通である。

その方法は、まづ變流機を起動して交流側を並列にし、その後直流側を普通の直流發電機の並行運轉と同様の操作で並列にすればよい。したがつて複巻變流機の場合は均壓線を要することは直流複巻發電機の場合と同様である。なほ回轉變流機の並行運轉では以上のほかに次の注意を要する。

- (a) 變壓器は各變流機毎に單獨のものを必要とする。これは變壓器の二次側に 2 臺以

上の變流機を並列に接続すると、各機の起電力不同のために横流を生ずるからである。

- (イ) 1機の界磁抵抗の調整だけによつて全體の力率を調整してはいけない。
- (ロ) 複巻變流機は亂調を生じやすいから特に注意を要する。
- (ハ) 交流側が短絡または遮斷を生じた場合には變流機は直流電動機となるから、界磁抵抗器の位置により、または複巻變流機では差動複巻電動機となつて急轉を起す。これを防ぐため限速装置を必要とする。

第3節 注文仕様書と試験

1. 仕様書

回轉變流機の照會または注文をするに當つては、その仕様書に次の事項を記載する。

- (ア) 機械の名稱
- (イ) 所要臺數
- (ロ) 型式
- (ハ) 定格事項(直流定格出力・直流定格電壓・交流

電壓・相數・周波數・回轉數)

- (ホ) 定格の種類
- (ヘ) 負荷の種類
- (ニ) 勵磁法(分巻・複巻・他勵直結勵磁機の別、他勵磁の場合には勵磁電壓を指定すること)
- (ホ) 起動法及び起動條件(交流側起動法・直流側起動法・起動電動機法の別、起動最大電流を指定すること)
- (ヘ) 運轉法(單獨運轉・並行運轉の別、既設回轉變流機・同期電動機の有無、制動線輪・補極等の指定)
- (コ) 電壓調整法及び調整範圍
- (カ) 力率調整範圍
- (ク) 冷却方式
- (ケ) 機械的構造と軸受の型式
- (コ) 附屬器具(變壓器・限速裝置・搖軸裝置・閃火隔壁・電壓調整用リアクトル等)
- (ク) 据付場所及び運送條件(最大許容寸法と重量を記載する)
- (ケ) 試験の場所及び細目(溫度上昇・能率・絶緣耐

力・起動電流・電圧變動率・整流状態等)

(f) 豫備品

(g) 納期

2. 試験

回轉變流機は同期電動機と直流發電機との結合であるから、その試験も大體兩者を組合せたものとなり、一般に次のやうな試験をする。

(1) 豫備試験 各部の機械的點檢をして、線輪の絶縁抵抗等をしらべる。

(2) 磁極極性試験 主磁極と補極の極性を試験する。

(3) 起動試験 起動電圧に對する起動電流及び起動時間の關係を求める。

(4) 電壓比及び電流比試験 定格周波數・定格電壓で運轉し、負荷の如何にかかはらず、交流側の力率が常に 100% になるやうに勵磁電流を調整した場合の交・直兩側の電壓比と電流比を求める。

(5) 電壓變動率試験 交流側定格周波數・直流側定格電壓及び定格電流の端子電壓と、これを

無負荷にした場合の端子電壓から電壓變動率を求める。

(6) 負荷試験及び熱試験 實負荷法または返還負荷法により負荷特性及び各部の溫度上昇を求める。

(7) 位相特性試験 直流側負荷を一定とし、交流側の位相特性を求める。

(8) 急激短絡試験 直流側を急激に短絡し、ただちにこれを遮斷する場合、整流子から出る火花の状態を試験する。

(9) 整流試験 直流刷子下の電壓降下を測定して整流状態の良否を判定する。

第11章 整流器

1. 意義

現今の電力發生及び送配電は殆ど交流であるが、ぜひとも直流を必要とする場合には、供給を受けた交流を直流に變へる装置が必要である。これに回轉變流機及び各種の整流器があるが、前者は交流電力を電動發電機作用により

直流電力に變へるもので、整流器は瓣作用により交流を直流に變へるものである。

2. 沿革と使命

回轉變流機より少し遅れて紀元 2564 年水銀整流器が發明されたが、これは従來の電氣機械とはちがつた原理にもとづくものであつたので發達が遅れた。電子工學の進歩は水銀整流器の發達を促したが、なほ改善の餘地がある。

回轉變流機と水銀整流器とは各、特長を有し、それぞれの適性用途がある。

水銀整流器と同じ頃二極真空管が發明されたが、これは別の途をたどつて發達した。二極真空管は電流容量が比較的小さいから、弱電流方面の技術と結びついて發達し、今日の熱電子管整流器類を現出させた。

これらの整流器は一面では水銀整流器のやうに電氣鐵道及び電氣化學工業用電源として大電力を供給し、また熱電子管整流器のやうに通信網の原動力となるなど、各方面に重要な使命を果してゐる。

3. 分類

整流器には多種あるが、主なものをつて分類する。切換開閉器の作用をする整流器は機械的整流器と呼び、種々のものがあるが、特殊な場合にだけ用ひるから除外した。次表は瓣作用を利用した整流器ばかりである。

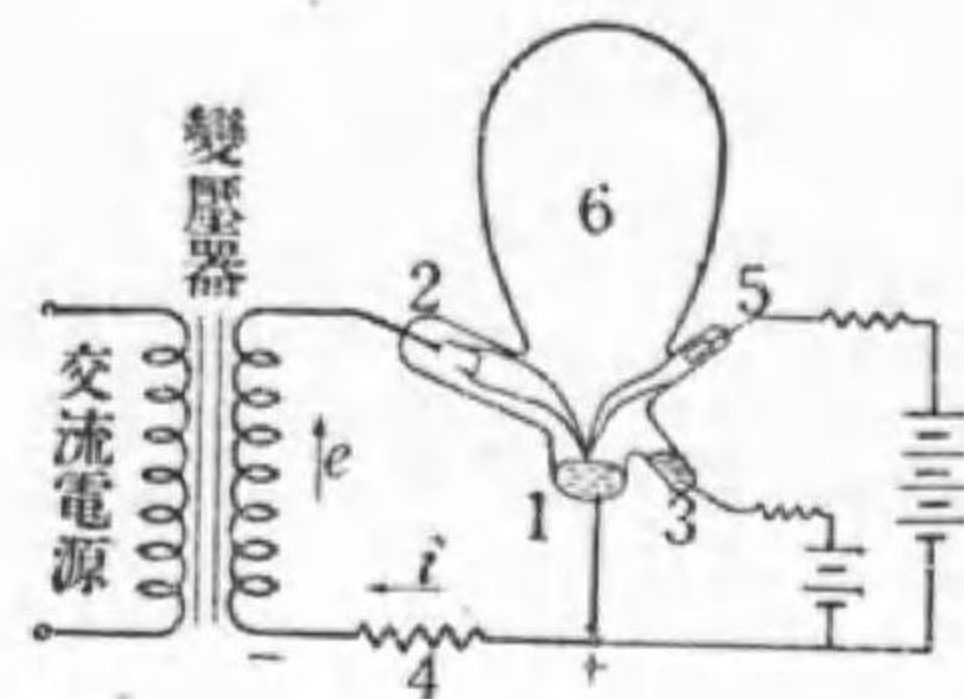


第 12 章 水銀整流器

第 1 節 原理と構造

1. 原理

第 12・1 圖のやうに真空ガラス器内に水銀電極①③及び鐵または黒鉛電極②を封入して負荷④を結び、交流電壓 e を加へる。容器を傾けて①③兩水銀を連絡して、器をもとに戻すと水銀が切れるときに火花が飛んで水銀蒸氣を生



第12・1圖

じ、②が正電位にある間、①②の間に電気弧光ができる。

このとき水銀面には高温度の輝點を生じ、これから多数の電子を放

出する。これを陰極輝點といふ。陰極輝點から出る電子は正電位の極②に引かれ、①—②—④—①の回路を環流して、電流 i が通る。

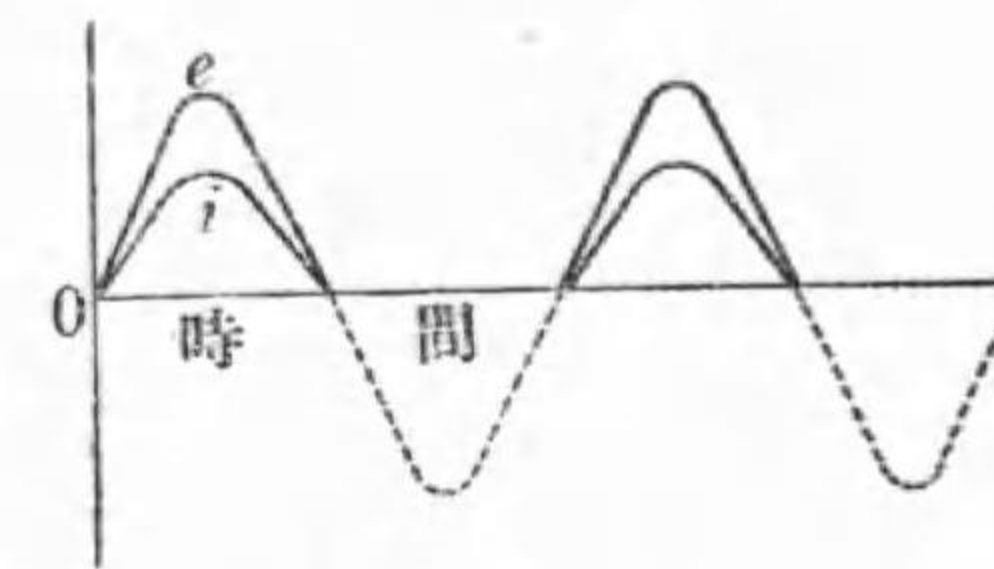
電極②が負電位となれば、②には陰極輝點を生じ得ぬから、電気弧光が消滅して電流がやむ。

別に鐵または黒鉛電極⑤を設けて常にこれを正電位に保つと、⑤と①との間に電気弧光が持続し、したがつて①の陰極輝點を持続するから、電極①②間には交流電圧 e が②を正電位とする半サイクルの間だけ電気弧光を生じ、他の半サイクルは電気弧光が消滅する現象を繰返すことができる。即ち負荷には矢の方向へばかり電流が通り、整流作用をする。

ここに①②③⑤をそれぞれ陰極・陽極・點弧極・

勵弧極といふ。⑥は陰極から蒸發した水銀を冷却凝結してもとに還す室である。水銀蒸氣壓が高くなると陽極が負電位の際にも弧光を生ずることがある。これを逆弧といふ。眞空度は水銀柱 $1/10,000$ mm 程度で、運轉中の水銀蒸氣壓力は $1/100$ mm くらゐである。

これは単相半波水銀整流器であつて、整流波形は第12・2圖のとほりである。實際には単相半波水銀整流器は用ひず、単相全波または多相(半波)水銀整流器を用ひる。



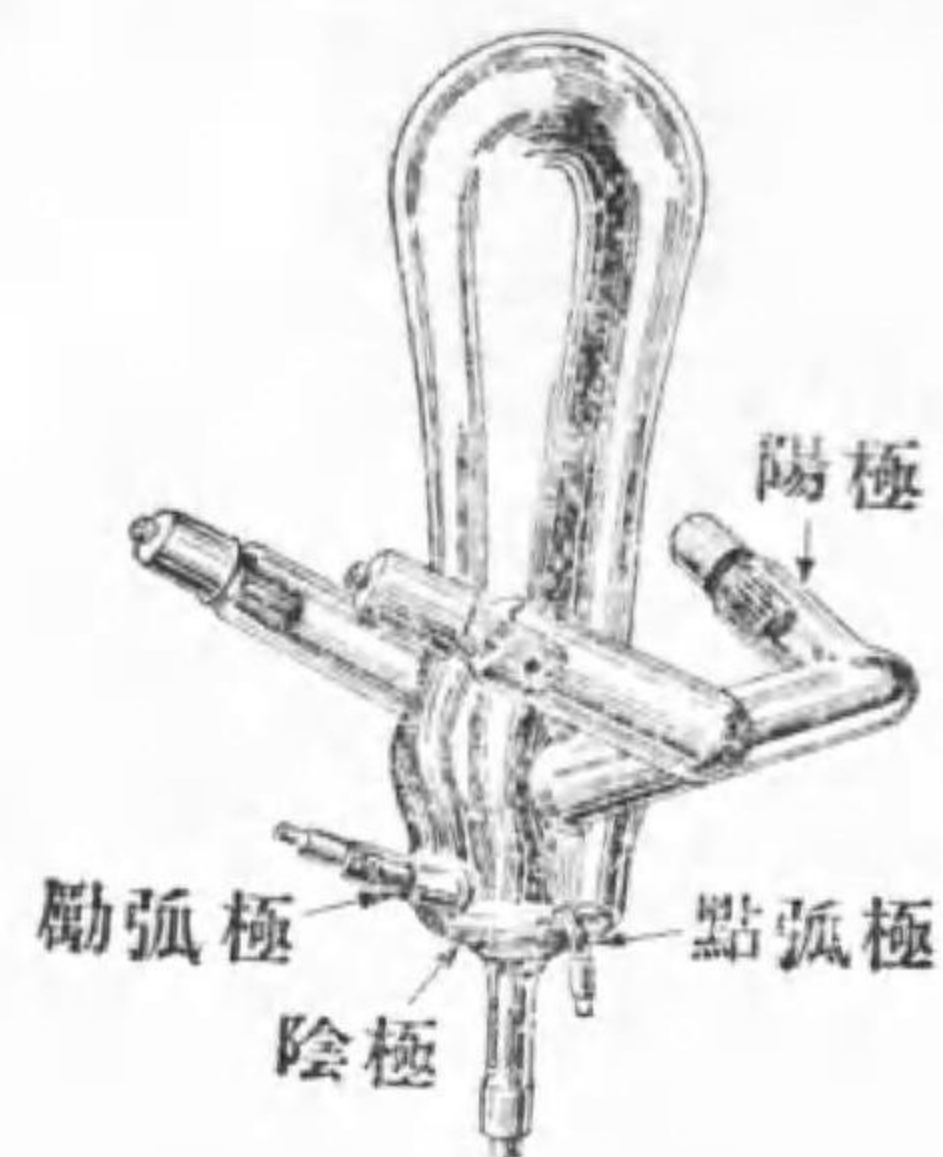
第12・2圖

2. 構成要素

水銀整流器の容器はガラス製のものと鐵製のものとがある。ガラス製水銀整流器は製作のとき排氣後密封する。取扱簡易で、多く蓄電池充電用・弧光燈用・無線通信用等の小容量のものであるが、中には電気鐵道用の大容量のものもある。

鐵製水銀整流器は附屬の眞空ポンプで排氣

しつつ使用する。必要に応じて蓋を開いて内部の点検または修理ができる。電気鉄道用・電気化学工業用等一般に大容量のものが多い。

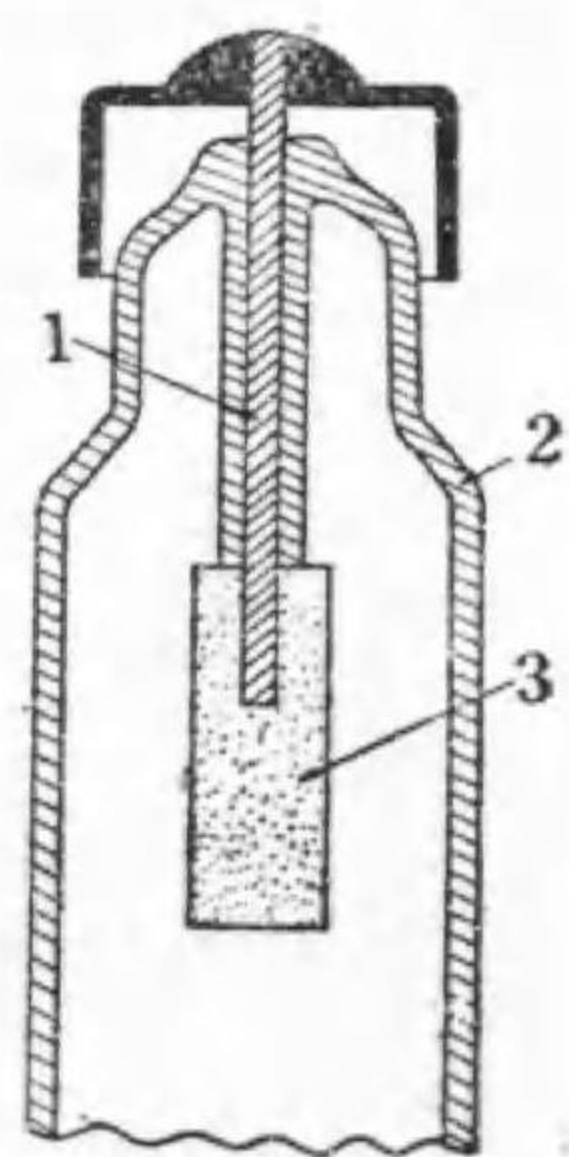


第12・3圖

(1)ガラス製水銀整流器 第12・3圖はこの外觀である。
(ア)陽極は黒鉛、圓筒形で第12・4圖に陽極導入部の構造を示す。①はニッケル銅に銅めつきを施したものの。電流容量の大きな場合は①をモリブデンとし、壁②はこれと膨脹係数の等しいガラスとする。③は陽極である。

(イ)水銀は陰極、導入部は陽極と同様とし、水銀中に浸漬する部分には鐵を用ひる。

(ウ)勵弧極は陽極と同様であるが小形である。



第12・4圖

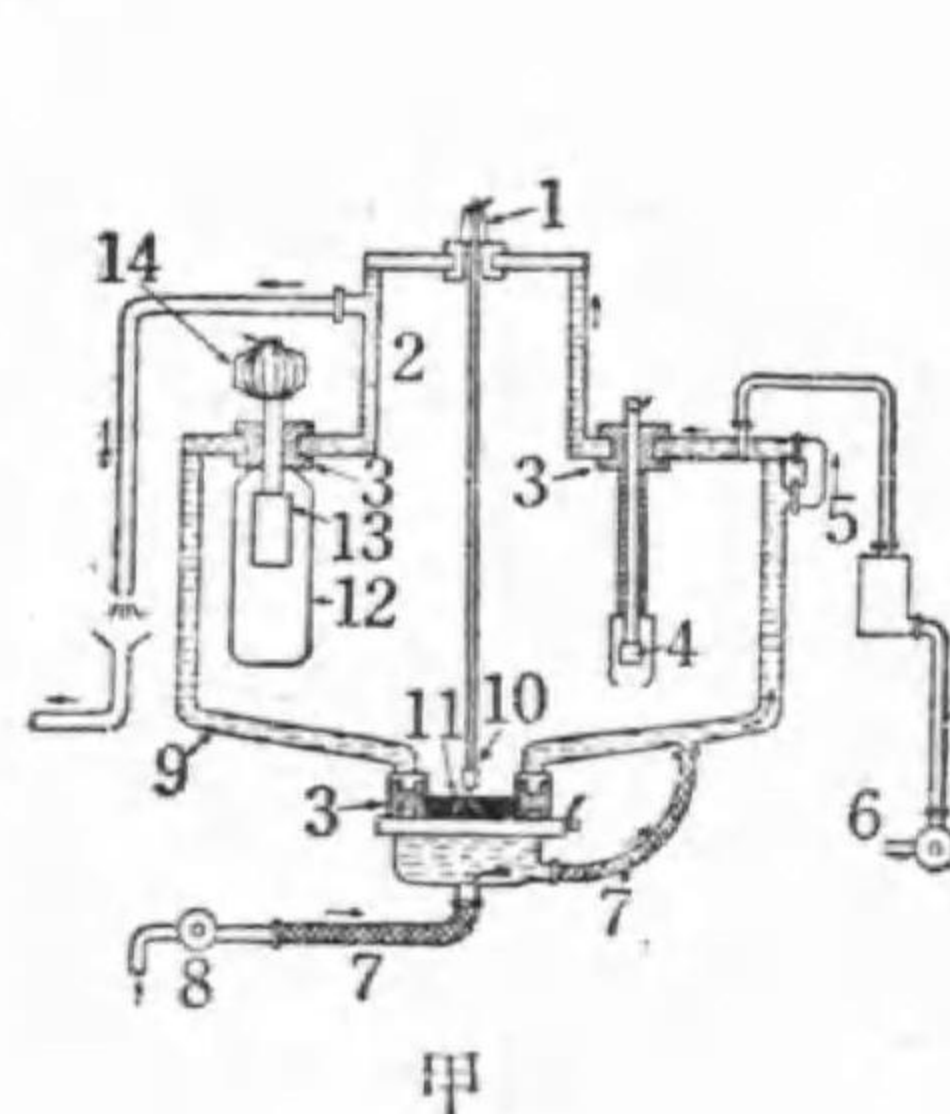
(1)ガラス製水銀整流器 第12・3圖はこの外觀である。

(ア)陽極は黒鉛、圓筒形で第12・4圖に陽極導入部の構造を示す。

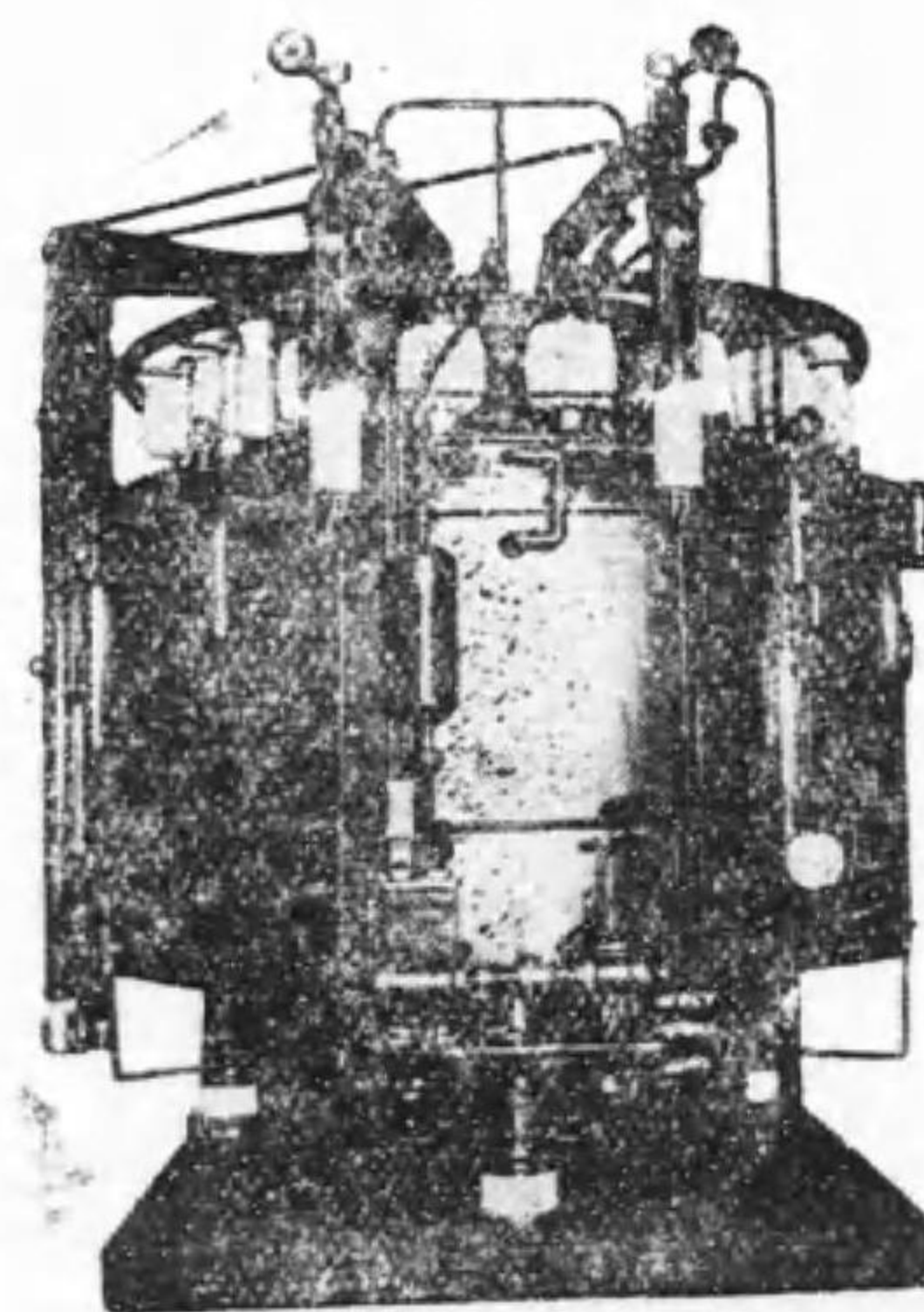
(エ)點弧極は、第12・3圖では水銀の斷續により電路を開閉して點弧する方式である。導入部は陰極と同様である。

冷却法は自然通風または扇風機による。

(2)鐵製水銀整流器 この鐵槽は可鍛軟鋼を熔接して作る。二重壁として冷却水を通ずる。分離可能部分は特に氣密にしなければならない。



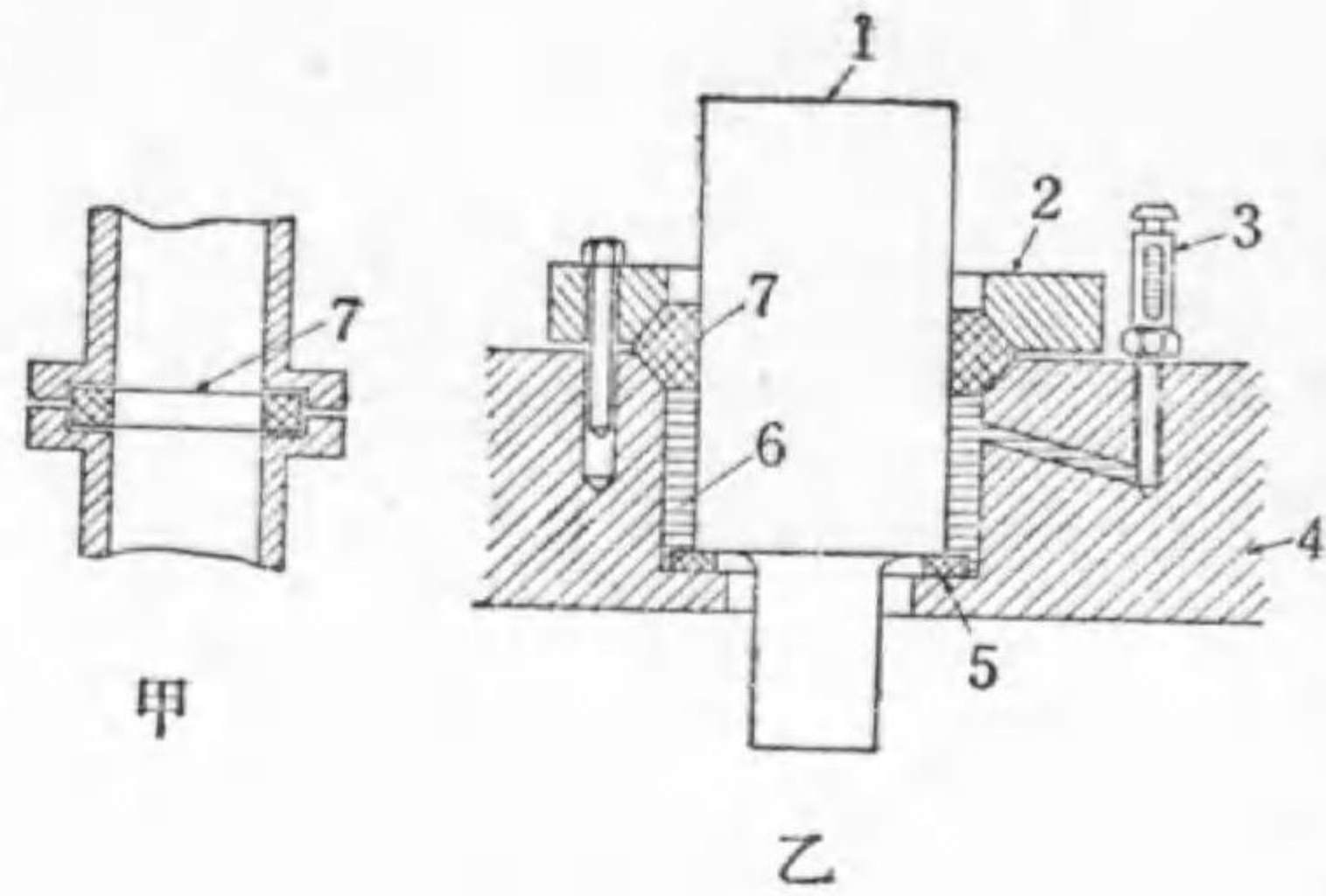
甲



乙

第12・5圖

- ①點弧裝置 ②水銀凝結室 ③絶縁物
- ④勵弧極 ⑤水銀蒸氣ポンプ ⑥回轉真空ポンプ ⑦ゴム管
- ⑧冷却水ポンプ ⑨鐵槽 ⑩點弧極 ⑪陰極
- ⑫電氣弧光筒 ⑬陽極 ⑭冷却器



第 12・6 圖

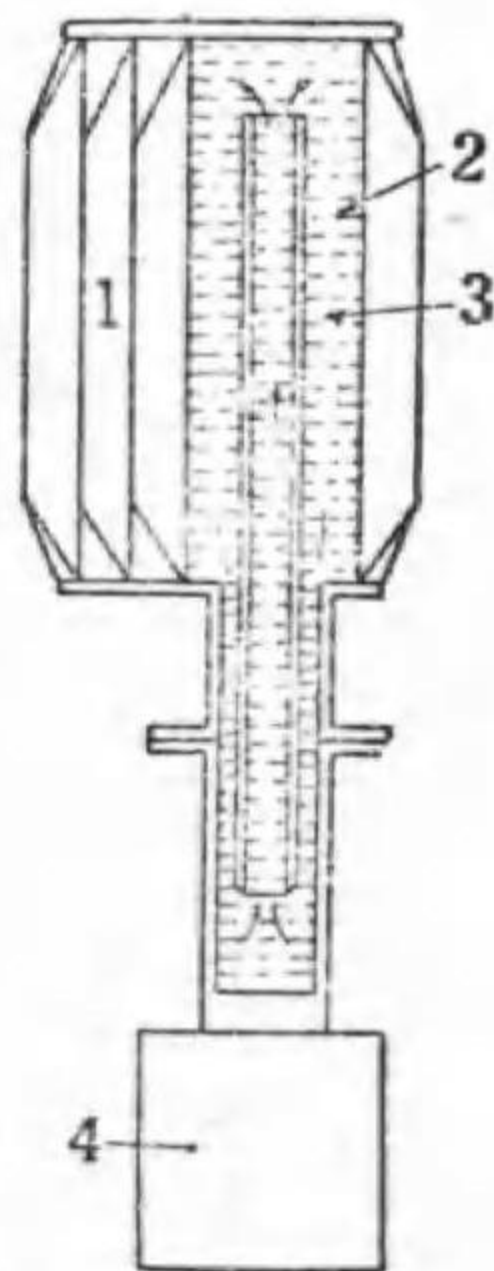
- ①磁器套管 ②フランヂ
- ③水銀ゲージ ④鐵槽 ⑤石綿環
- ⑥水銀 ⑦ゴム環

氣密法は水銀整流器の生命である。例を示すと、第12・6圖甲はゴム氣密、乙は電極導入部に施した水銀氣密である。

陽極は黒鉛或は鐵製で、冷却器をつける。第12・5圖甲は氣冷式であるが、第12・7圖のやうに内部に水を循環させて冷却する方法もある。

第12・5圖甲に示した電氣弧光筒は弧光と水銀蒸氣とを分離す

また陽極・勵弧極・點弧極・陰極等と鐵槽との氣密部は、磁器等によつて絶縁しなければならない。



第 12・7 圖

- ①冷却器
- ②冷却水
- ③管 ④陽極

るために設け、陽極絶縁套管に固定する。

陰極は、水銀で鐵槽と絶縁し且水冷する。

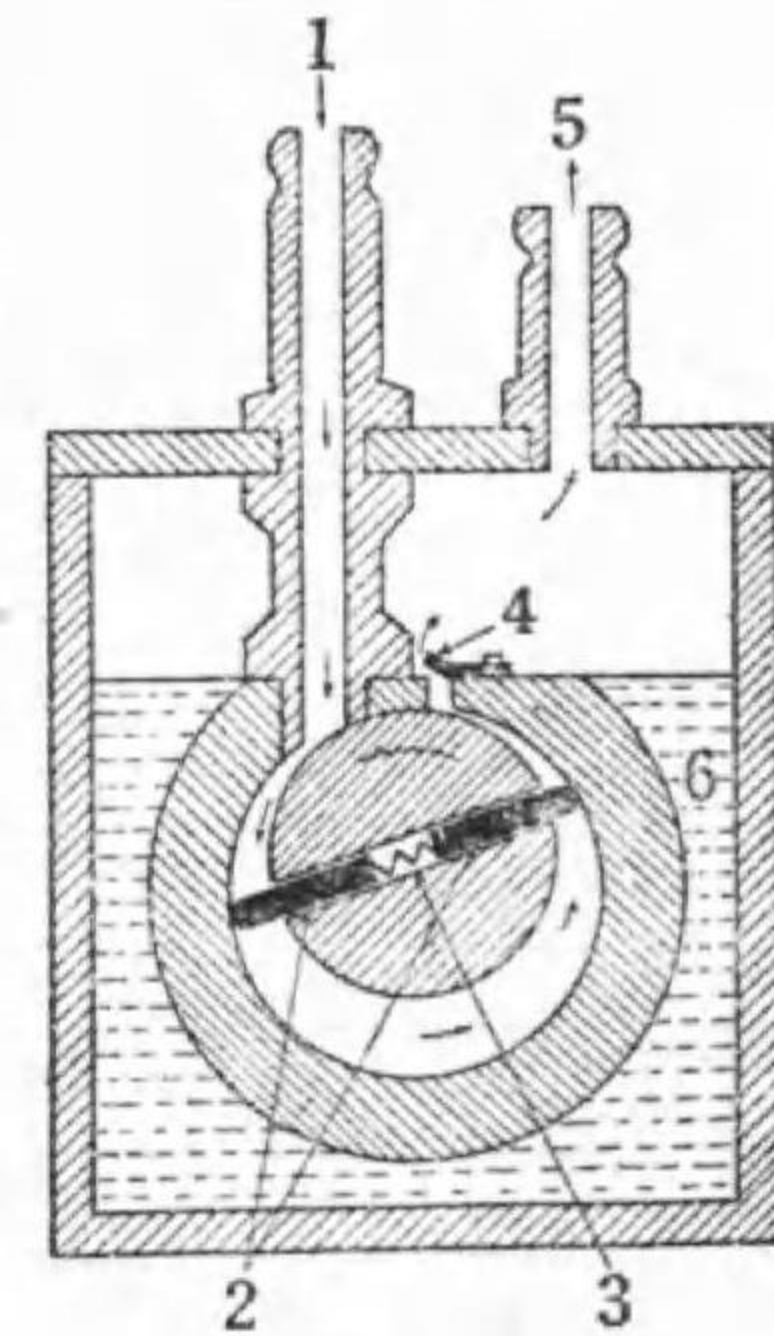
勵弧極は陽極と同様であるが、小形で陰極に接近しておく。

點弧極は高温に耐へるため、タングステンまたはモリブデンの極片をつける。

(ア)真空装置 鐵槽は、約水銀柱 1/10,000 mm 程度の真空を維持しなければならないから、回轉真空ポンプと水銀蒸氣ポンプとが附屬品として必要である。

回轉真空ポンプは第12・8圖のやうなもので、荒引きを目的とし電動機で運轉する。

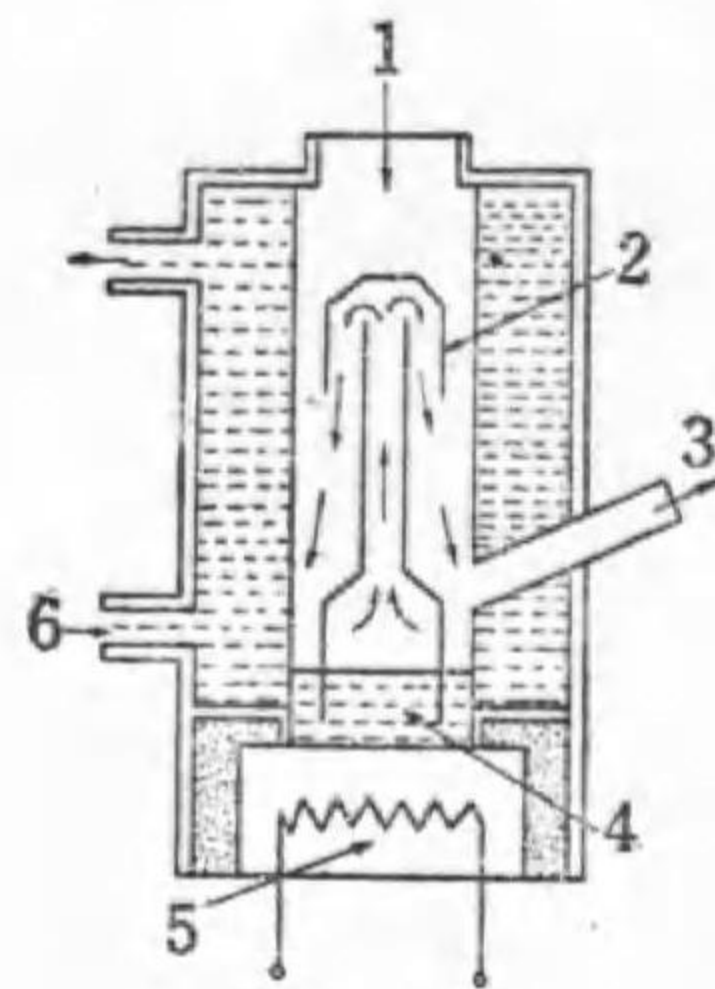
水銀蒸氣ポンプは第12・9圖のやうなもので、真空を高度にするために用ひる。電熱線で加熱した水銀が蒸氣となつて上昇し、噴出口から外圍に出る。上部入口から擴散して來た氣體は水銀蒸氣と共に下降して排氣口に出るが、水銀は水冷壁で凝結して下部水銀溜に還る。このポンプ上部の入口は水銀整流器



第 12・8 圖

- ①吸氣口 ②瓣
- ③ばね ④逆流防止瓣
- ⑤排氣口 ⑥油

鐵槽に、排氣口は回轉真空ポンプに接続する。槽内の



第12・9圖

- ①氣體入口
- ②水銀蒸氣噴出口
- ③排氣口
- ④水銀溜
- ⑤水銀加熱用電熱線
- ⑥冷却水

真空度を見るためには真空計をつける。

(イ)冷却装置 水銀整流器内の損失電力は、熱となつて温度上昇を來すから、水銀の凝結のためと水銀蒸氣壓力の過度の上昇を防ぐために、鐵槽電極等を冷却するを要する。それには電動機運轉のポンプによつて通水を行ふ。電氣鐵道用の如く、水銀整流器の變壓器中性點を接地すると、陰極だけでなく鐵槽及び真空裝置

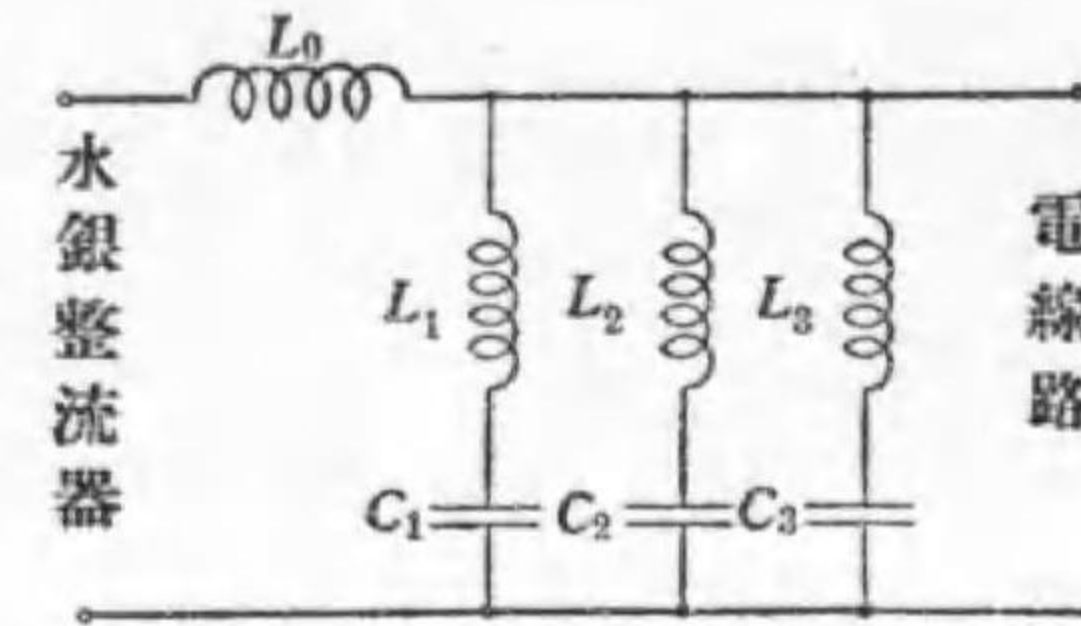
冷却装置のこれに接続した部分も高電位となるから、大地と絶縁しなければならない。

(ウ)濾波装置 水銀整流器の電壓・電流は脈動してゐるから、そのまま用ひると使用目的に副はないことがある。また送配電線に脈流が通ると、これに並行に架設してある附近の通信線に障礙を與へる。

この脈動の害を除去するには濾波器を用ひる。濾波器はリアクタンス線輪 L 及び蓄電器 C を組合はせた第12・10圖のやうなもので、整流器から出す電壓及び電流の高調波を除去して線路に送り出す働きをする。

そのわけは L_0 の誘導係數は高調波に對して大きいリアクタンスとなつてこ

れを阻止し、 L_1, C_1 等の同調回路は高調波に共鳴してその高調波を短絡し、電線路に出さないことになる。

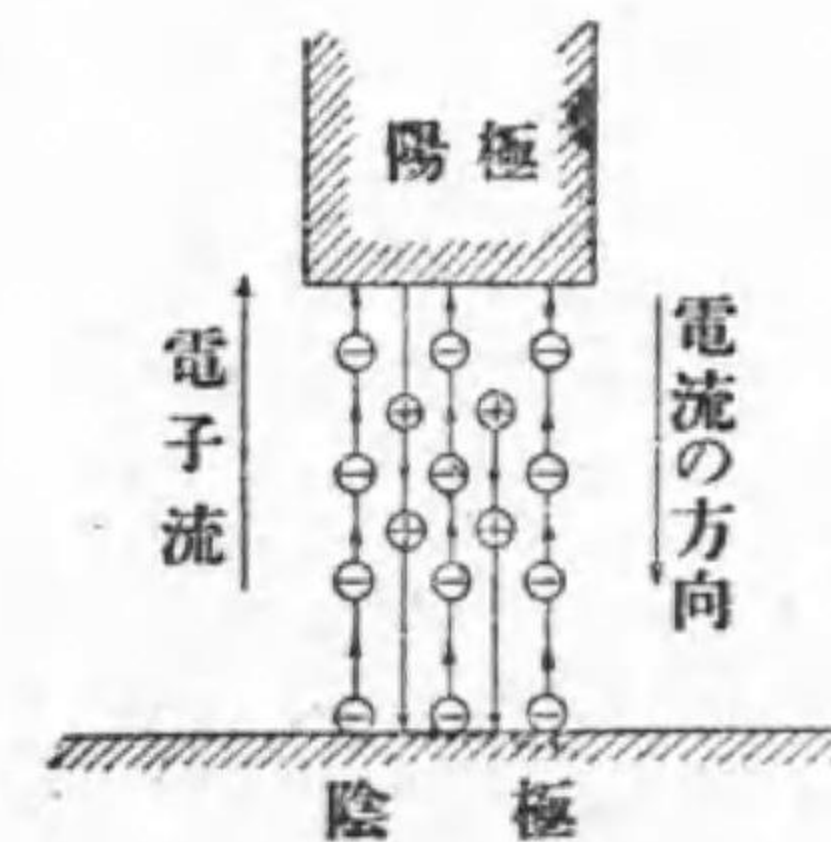


第12・10圖

第2節 理論と特性

1. 水銀電氣弧光と陰極輝點

(1)水銀電氣弧光の電流 水銀電氣弧光に於ては、陰極輝點から放出された電子が電界により加速されて陽極に走行する。この高速度電子は走行中、水銀蒸氣の分子に衝突してこれを電離し、電子及び陽イオンを生ずる。この新生の電子は陽極に向かひ、陽イオンは陰極に向かつて運動する。



第12・11圖

陽極に達した電子は、電極中に吸収されて外部の電線中へ流れてゆき、陰極に達した陽イオンは電子を得て水銀分子に還る。

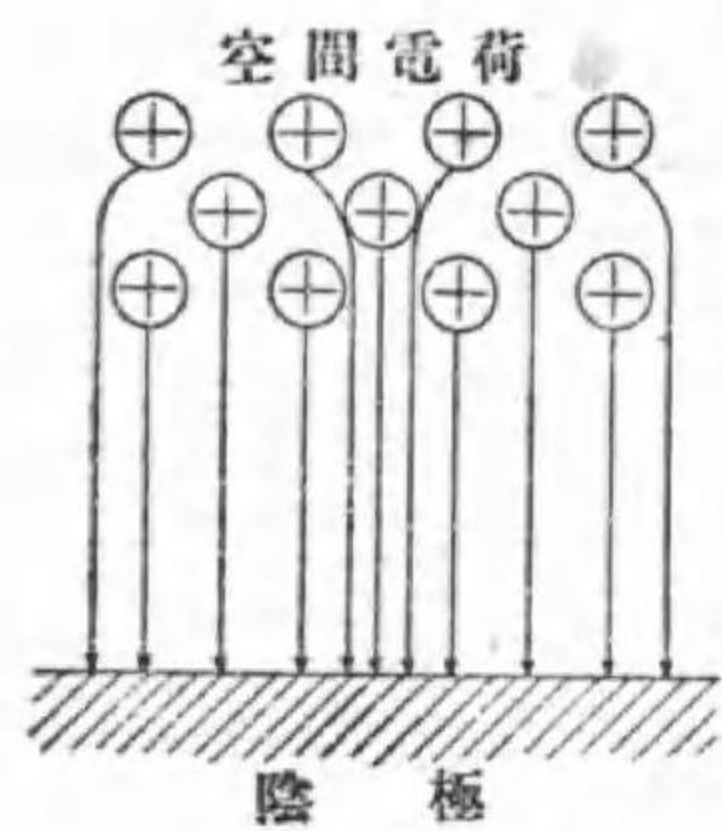
これが絶えず行はれるから、器中でいへば陽極から陰極へ向かつて電流が通ずるこ

とになる(第12-11圖)。

水銀陽イオンの質量は電子の約 370,000 倍であつて、その移動速度は電子に比して非常に小さいから、水銀電氣弧光の電流は電子流によるものと考えてよい。

陽イオンは電流の強さに直接関係がないが、間接に重要な働きをなしてゐる。即ち陰陽兩極間の電子は、陰極から出て来る電子を反撥し電子流を減じようとするが、兩極間の陽イオンは陰極から電子を誘引するから、兩極間の電圧が低くても大なる電子流が流れる。

(2)陰極輝點の電子放射 陽イオンは陰極附近に集合するが、陰極輝點附近にはその高温により氣化



第12-12圖

電子放射である。

また陽イオンは、陰極の水銀面に衝突して水銀にエネルギーを與へてこれを加熱する。この熱により陰極輝點が高温度を保持する。陰極輝點の電流密度は約 4,000 A/cm² である。

した密度の高い水銀蒸氣が存在し、これに電子が衝突して生じた多數の陽イオンが密集して、正の空間電荷を形成してゐる(第12-12圖)。

この空間電荷により、10⁵ V/cm 程度の強電界を生ずるから、陰極輝點から電子を引出す。この作用が電

陽極が負の極性となるとき、陽極物質は蒸發し難いから上述の作用が起らない。故に電氣弧光放電を持続すべき電子放射を行はず、陽極が負の間は電流が通じない。

以上述べた電子と陽イオンの作用を次に要約する。

電子の作用 { 陽極へ流れて電流の主體をなす
衝突により水銀分子を電離 { 電子
陽イオン

陽イオンの作用 { 陰極輝點から電子を引出す
衝突して陰極輝點を維持する
電子の空間電荷作用を中和して電流を大とする

2. 電氣弧光の電壓

水銀整流器の電氣弧光を維持するのに要する電壓は、次の3部分から成る。

(1)陰極降下 陰極直前の電壓下で、陰極の電子放射、水銀の加熱蒸發・電離等のために生ずる。8 V 内外。

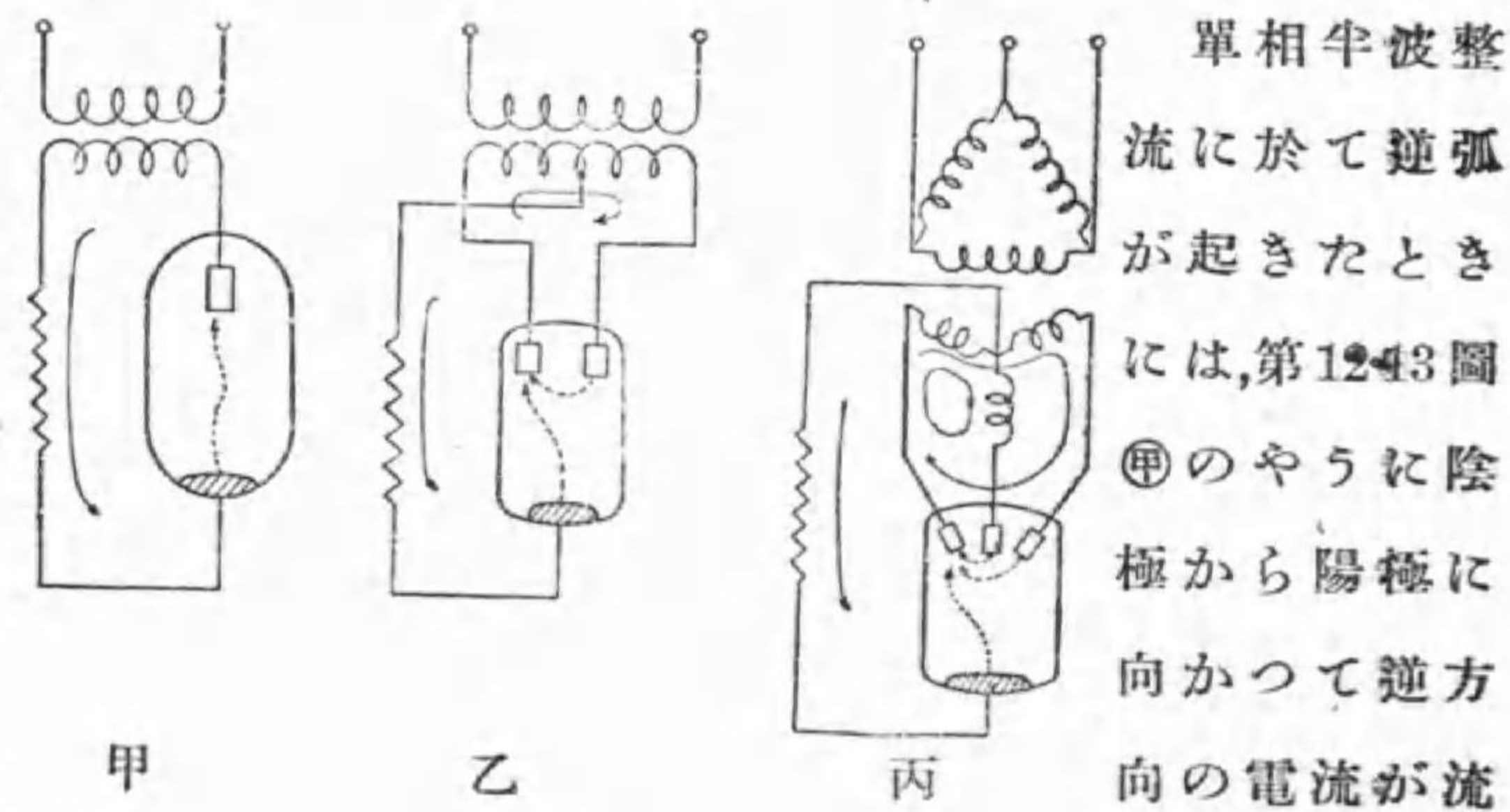
(2)電氣弧光降下 電氣弧光中での電離作用に費される。電氣弧光の長さ 1 cm 當 0.06 V 内外。

(3)陽極降下 陽極直前の電壓降下で、陽極周圍に集合した電子の空間電荷を電子流が通過するために費される。4 V 内外。

3. 逆弧

(1) 逆弧とその害 水銀整流器は陽極が負電位、陰極が正電位となつてゐるとき、即ち逆電圧が加つてゐるときには電氣弧光を生じないから、整流作用をなすのである。

しかし逆電圧が加つてゐるとき、陽極上に陰極輝點が生じて逆方向の電氣弧光放電が起り、整流作用を失ふことがある。即ち逆弧である。逆弧を生ずることなく整流作用のできる逆電圧の限度を耐逆電圧といふ。



第 12・13 圖

單相半波整流に於て逆弧が起きたときは、第 12・13 圖 甲のやうに陰極から陽極に向かつて逆方向の電流が流れるだけであるが、單相全波または多相整流の場合には、乙、丙に示すやうに逆弧を生じた陽極よりも高電位にある他の陽極との間にも電流が流れ、變壓器の二次線輪が短絡されて、整流器自體だけでなく變壓器をも破損する。

(2) 逆弧の原因 主な原因は次のとおりである。

(ア) 耐逆電圧以上の逆電圧が加つたとき

(イ) 真空度の低下 過負荷による温度上昇、電極器壁からの吸藏氣體の排出、鐵槽の氣密不完全等による。耐逆電圧の低下を來す。

(ウ) 陽極の局部的加熱 熱電子放射を起す。

(エ) 陽極上の水銀または不純物 陰極輝點を生じやすい。

(3) 逆弧の防止法 主な方法は次のとおりである。

(ア) 過負荷を避ける。

(イ) 真空度を低下させない。

(ウ) 冷却をよくして、温度を上昇させない。

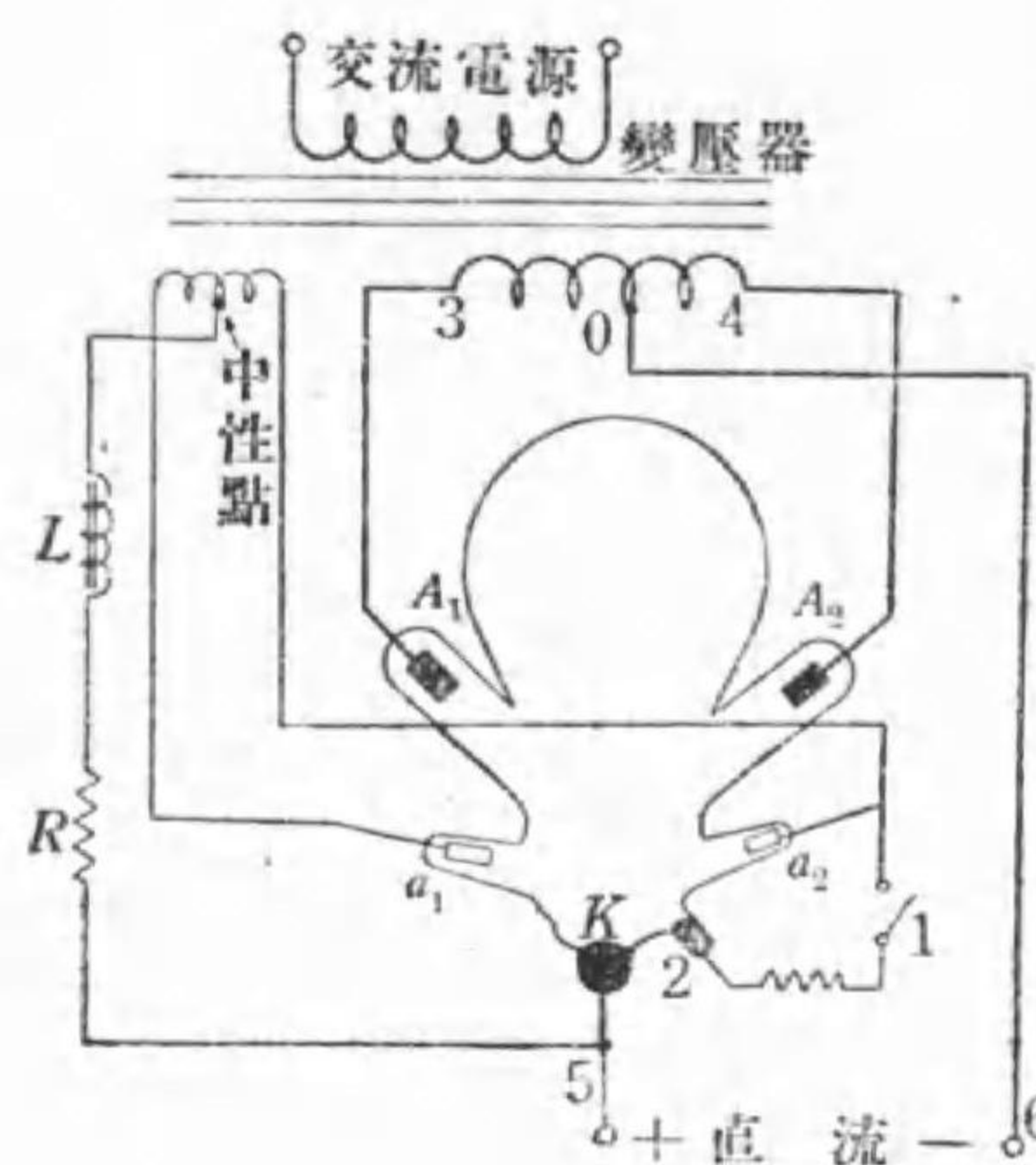
(エ) 陽極周圍に電氣弧光筒を設け、水銀蒸氣が陽極上に凝結することを防ぐ。

(オ) 高速度遮斷器を用ひて、逆弧が発生すればただちに器外の負荷電流を遮斷する。

4. 單相全波水銀整流器

實際に使用する水銀整流器のうちで、簡単なものは單相全波整流方式である。

點弧用の開閉器①を閉ぢて、點弧極②によつて起動すると、勵弧極 a_1, a_2 に電氣弧光を生ずる。



第 12・14 圖

直流出力端子に負荷を接続すれば、陽極 A_1, A_2 と陰極 K との間に電気弧光を生じて全波整流をなす。

A_1 が正電位にある半サイクルは 0 ③間の電圧により ⑥—0—③ A_1 — K

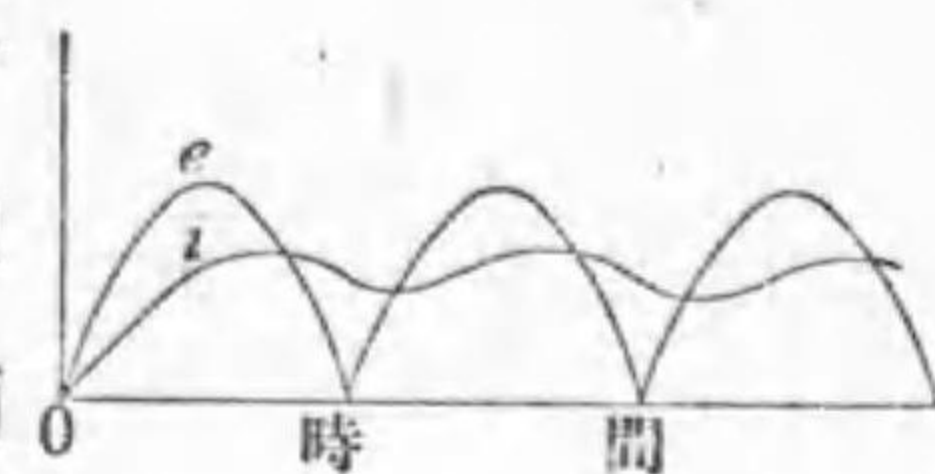
—⑤を通じて電流が流れ、 A_2 が正電位にある半サイクルは 0 ④間の電圧により ⑥—0—④ A_2 — K ⑤を通じて電流が流れる。

二つの整流器要素(A_1, K)と(A_2, K)を一つの容器に入れ、陰極を共通にしたのである。

励弧極の回路は主回路とまったく同じで、塞流線輪 L , 抵抗 R を負荷として永久的に接続してある。 L, R により電気弧光を安定に保持する。

第 12・15 圖は整流波形で、 e は電圧、 i は負荷回路に誘導係数のある場合の電流である。

単相全波整流はガラス製小容量のものに用ひ、蓄電池の充電など簡易な場合に適する。



第 12・15 圖

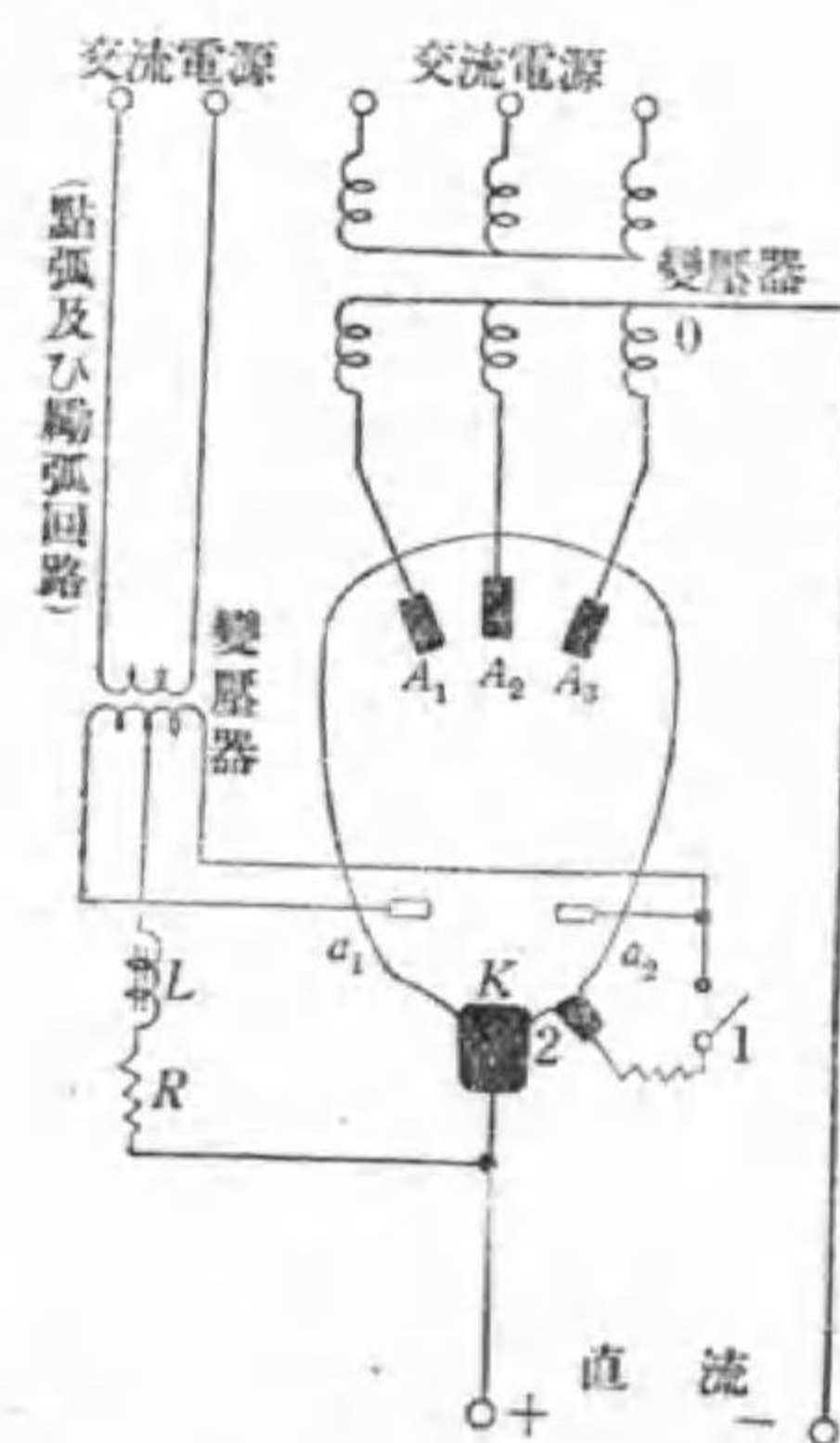
5. 多相水銀整流器

(1) 水銀整流器と相數 整流器の相數を多くするほど整流電圧及び電流波の脈動が少くて平流に近くなる。しかし相數が多いほど構造配線が複雑となる。

容量の小さいものはガラス製を用ひるが、容量の大きいものは一般に鐵製で、六相式が最も多く、十二相式・二十四相式もある。

相數が六相以上であつても、電源は三相交流であつて、これを變壓器により必要な相數とする。

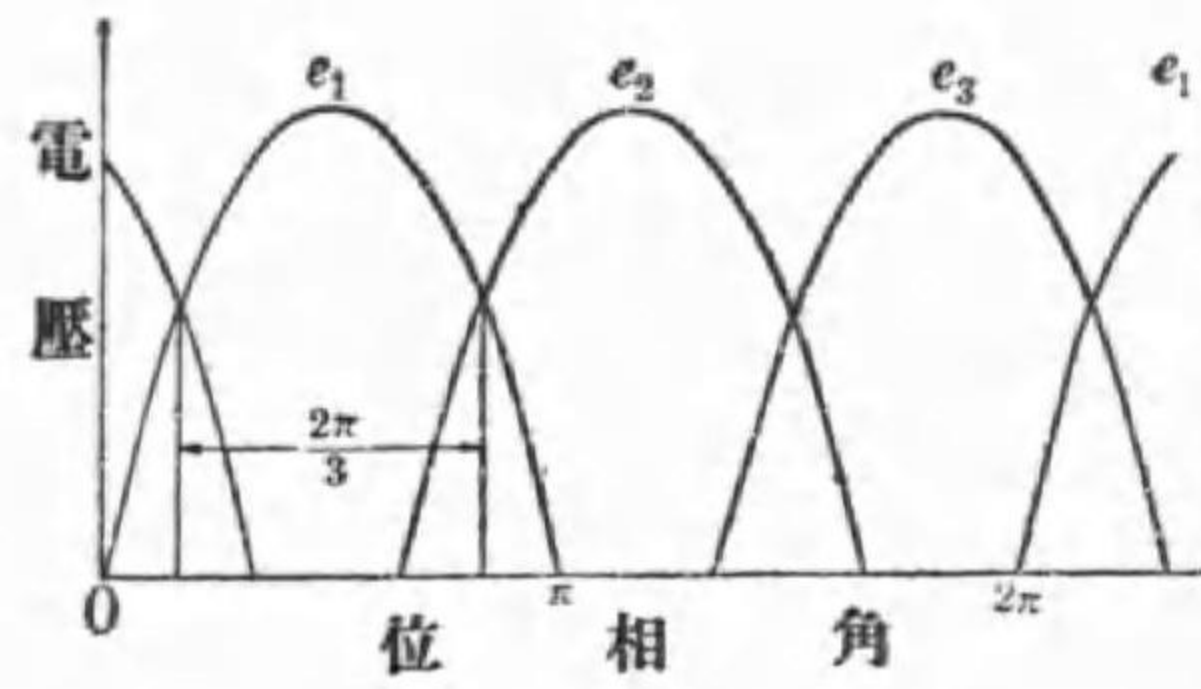
(2) 三相水銀整流器 これは第 12・16 圖のやうに三つの整流要素(A_1, K), (A_2, K), (A_3, K)を共通の容器に入れたものである。



第 12・16 圖

水銀電気弧光は三つの陽極 A_1, A_2, A_3 のうち電位の高いものを選んで、位相の進んである極から遅れてある極へ順次移つてゆく。即ち各陽極の相回轉の方向に移動する。

故に直流電圧は第12・17圖のやうな波形となり、各陽極には交流の1周期中で $1/3$ の時間だけ電流が通る。



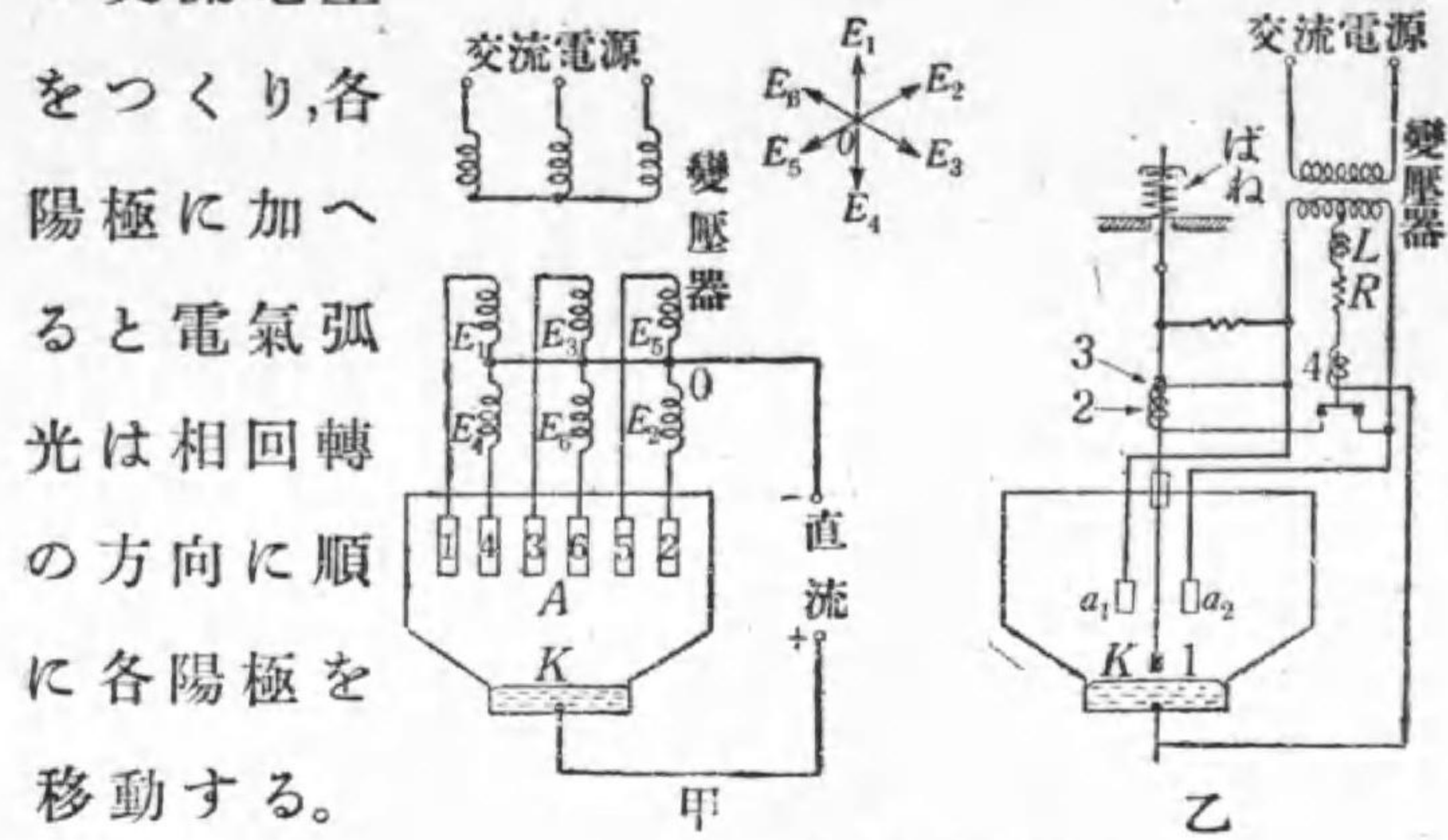
第12・17圖

第12・17圖の電壓波形は變壓器のリアクタンスを無視して考へたものである。實際の波形はこれと少しちがふ。リアクタンスを含む負荷であると、電流波形は一層ちがつたものとなる。

三相水銀整流器は單相全波整流のものよりも直流の脈動が少く、多少容量の大きい場合に用ひ、蓄電池充電用等とする。

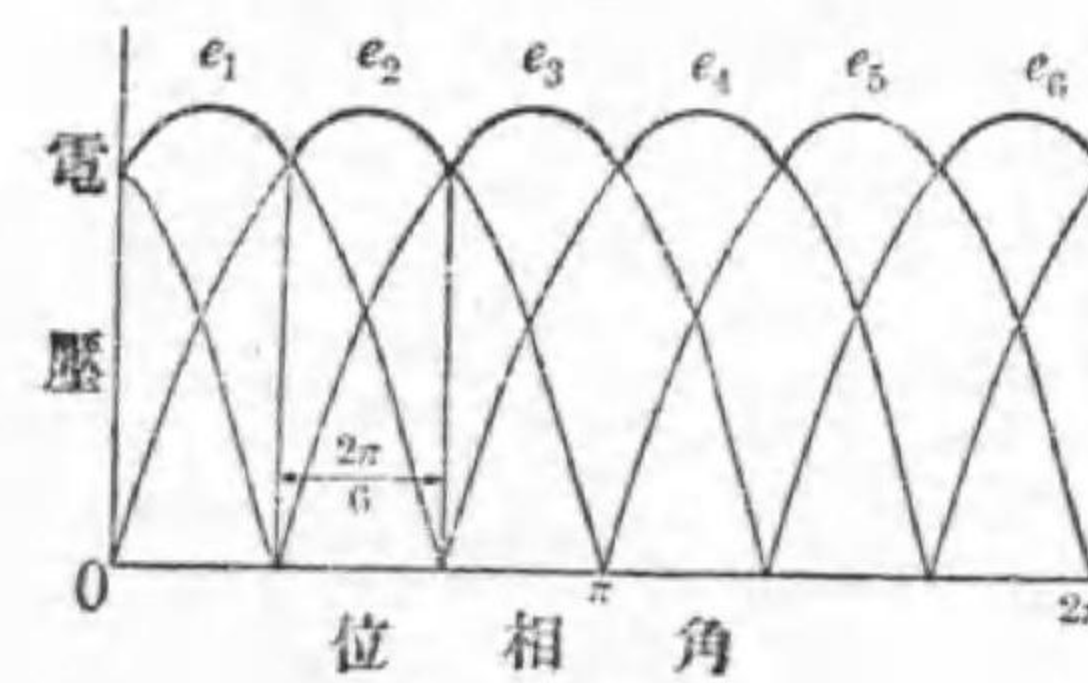
(3)六相水銀整流器 第12・18圖甲のやうに六つの整流要素から成る。

變壓器二次線輪を圖のやうに接続して六相の交流電壓をつくり、各陽極に加へると電気弧光は相回轉の方向に順に各陽極を移動する。



第12・18圖

變壓器のリアクタンスを無視すれば、直流電圧は第12・19圖のやうな波形となり、各陽極には交流の1周



第12・19圖

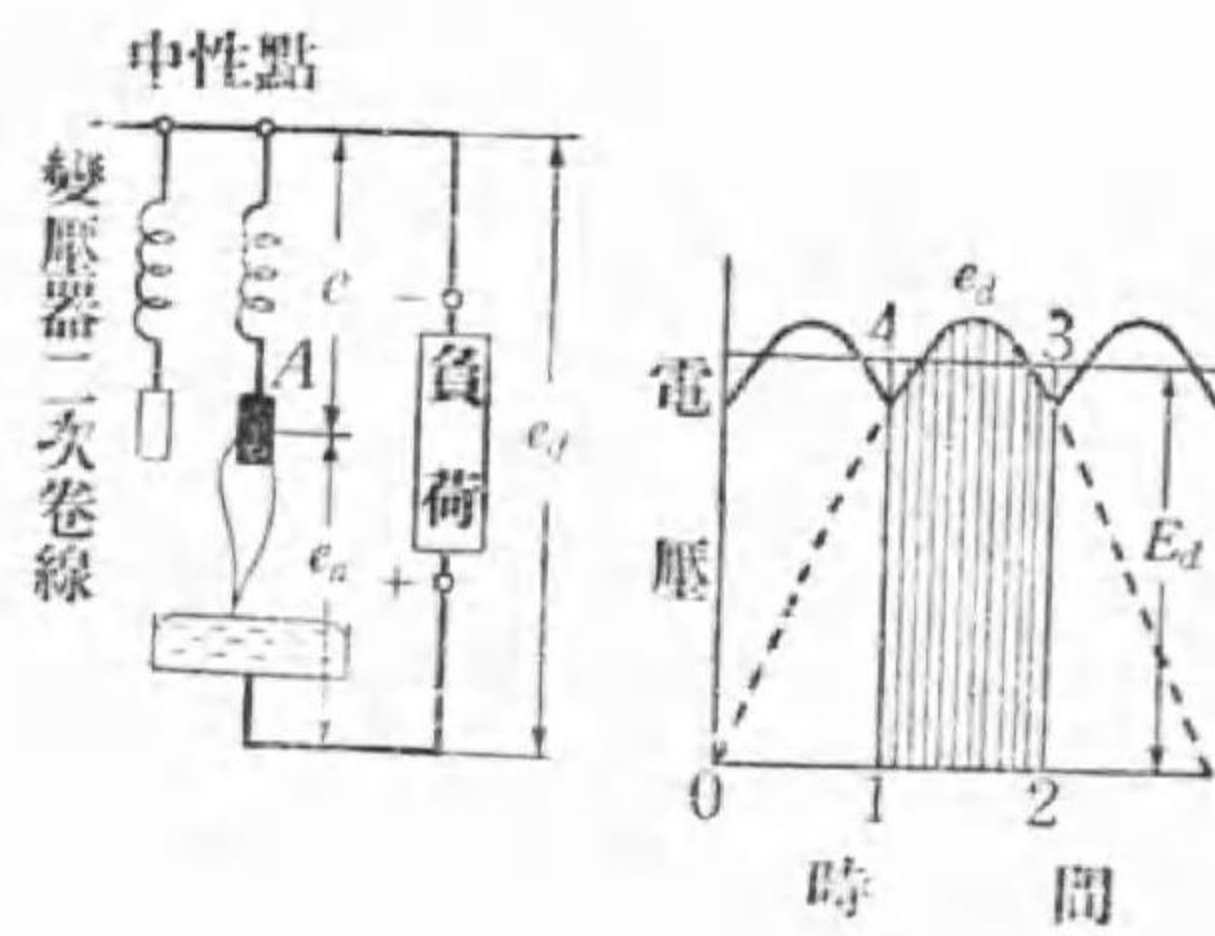
期中 $1/6$ の時間だけ電流が通る。負荷がリアクタンスを含むと、電流波形は一層ちがつてくる。

起動の場合には、第12・18圖乙に於てまづ點弧線輪②に電流が流れ、鐵片③をばねの力に抗して引下げるから、點弧

極①が水銀に接してここに電流が流れる。したがって継電器④が②の回路を開くから、①は水銀から離れて電氣弧光を生じ、勵弧極 a_1, a_2 が起動する。

六相水銀整流器は直流の脈動少く、電氣鐵道用・電氣化學工業用等の大容量のものに広く用ひる。

(4)電壓比 水銀整流器の直流電壓と、變壓器二次線輪の交流電壓との間には一定の関係がある。この點では回轉變流機と同様である。



第 12・20 圖

となり、ここに電氣弧光電壓 e_n は、變壓器二次線輪の電壓 e に比してごく小さいから、

$$e_d = e$$

とする。

第 12・20 圖のやうに水銀整流器の電氣弧光を生じてゐる相をとると、負荷に加る端子電壓は、變壓器二次線輪のリアクタンスを無視すれば、

$$e_d = e - e_n$$

交流電壓は正弦波であるから、 e_d の波形は第 12・20 圖のやうになる。この e_d の平均値を水銀整流器の直流電壓といひ、同圖に於て、

矩形①②③④の面積=陰影を施した部分の面積としたときの矩形の高さである。これを E_d で表はし、變壓器二次側の交流電壓の實効値を E 、陽極數を P とすれば次の關係を得る。

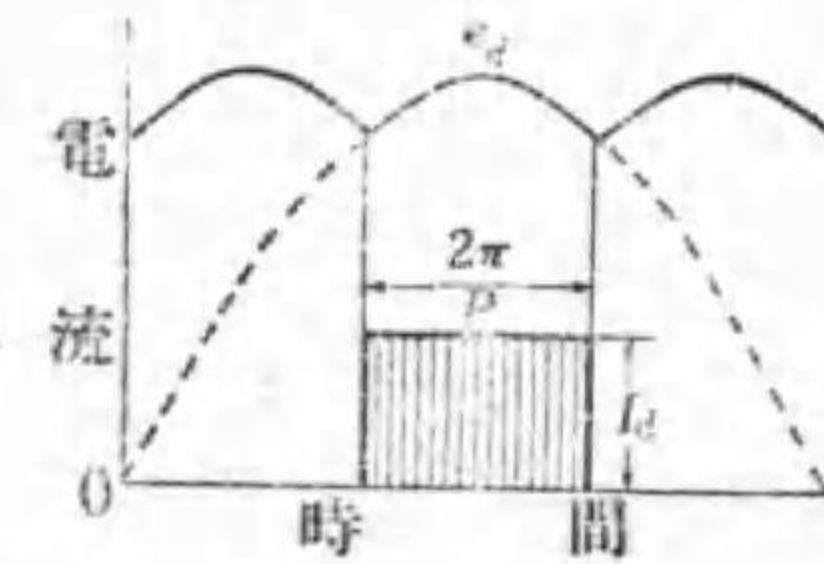
$$\frac{E_d}{E} = \frac{\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{P}}{\frac{\pi}{P}} \dots \dots \dots (12 \cdot 1)$$

上式は、變壓器のリアクタンス及び電氣弧光の電壓降下を省略して成立するから、近似値を與へる式である。

(5)電流比 電壓比が定まれば、當然電流比も定まつたものとなる。

負荷には相當の誘導係數があつて、直流側の電流は平流とみなして差支へないものとする。

第 12・21 圖のやうに、電氣弧光を生じてゐる相では、交流の 1 周期中 $2\pi/P$ の間だけ電流が通る。故に變壓器の一相の線輪に流れる電流の實効値は、



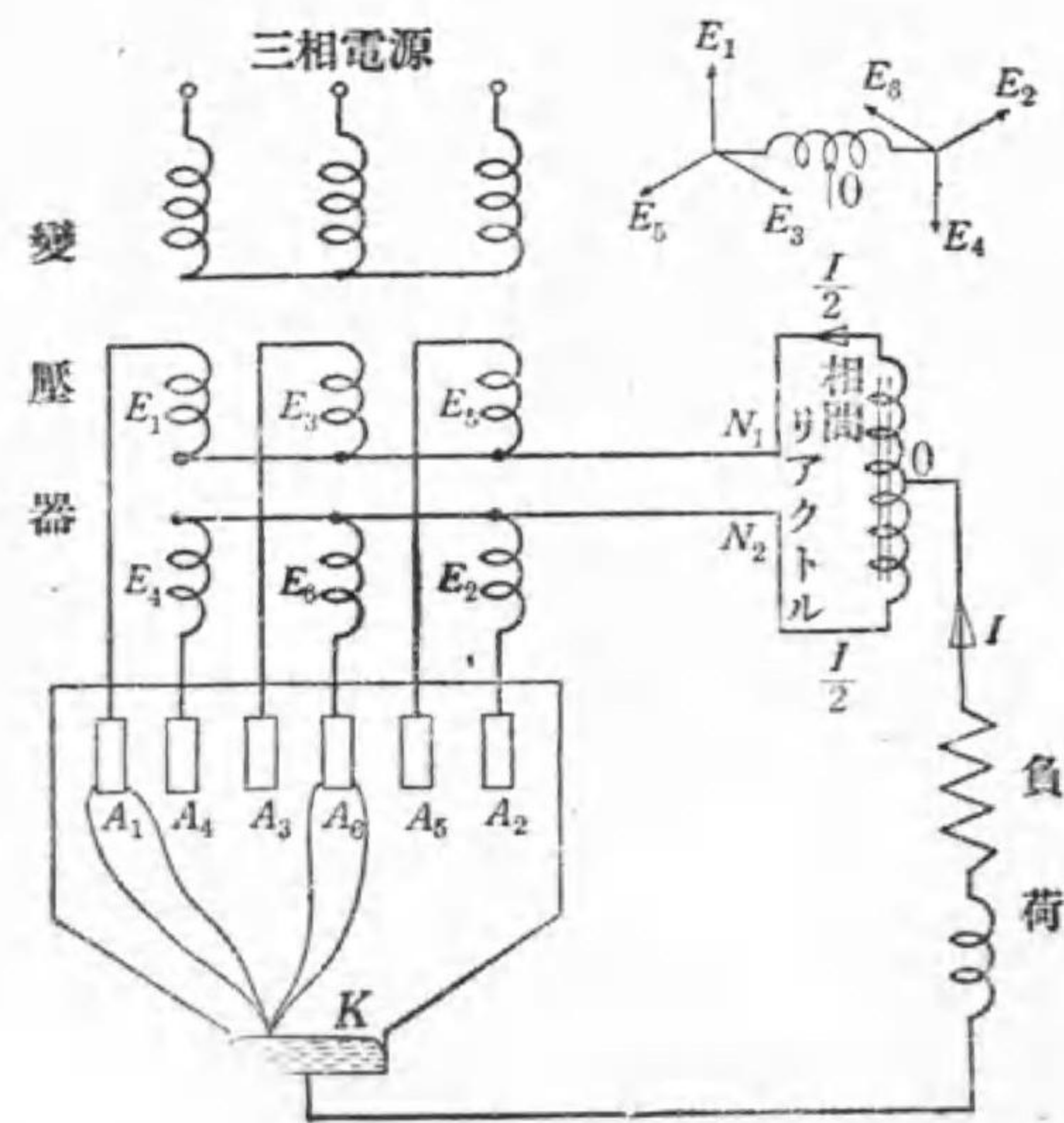
第 12・21 圖

$$I = \left(\frac{I_a^2 \times \frac{2\pi}{P}}{2\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = \frac{I_a}{\sqrt{P}}$$

故に $\frac{I_a}{I} = \sqrt{P} \dots\dots\dots(12\cdot2)$

となる。この式もまた変圧器のリアクタンスを無視した場合のものである。

(ア)相間リアクトル 六相水銀整流器の変圧器の二次側を第1222圖のやうに2組のY接続とし、各の中性点 N_1, N_2 をリアクタンス線輪に結ぶ。この線輪は相間リアクトルといひ、中性点 0 は直流出力の負端子となる。

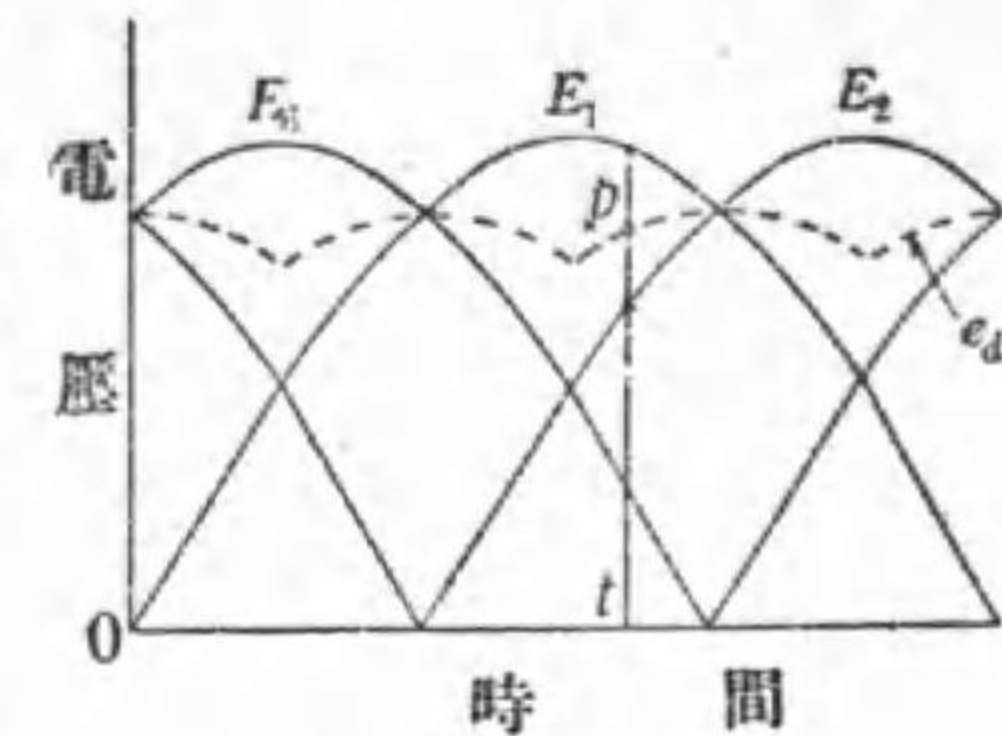


第 12・22 圖

この結線法では、負荷電流 I は二分して N_1 と N_2 に流れ、 $(E_1, E_3, E_4), (E_2, E_4, E_6)$ は各々三相整流器として動作する。電氣弧光はこの2組の各々に生じて、ちやうど三相整流器

を並列にしたと同様になる。しかも整流電圧は六相の場合と同様に脈動が少い。

第1222圖で (E_1, E_3, E_4) と (E_2, E_4, E_6) の2組が並列に働くわけは、例へば第1223圖 t の時刻には E_1 が E_2 より大であるが、相間リアクトルの自己誘導作用により A_1 の電位は P 点まで低下し、 A_2 の電位は同じく P 点まで上昇して、この兩陽極電位が等しくなり、兩陽極とも



第 12・23 圖

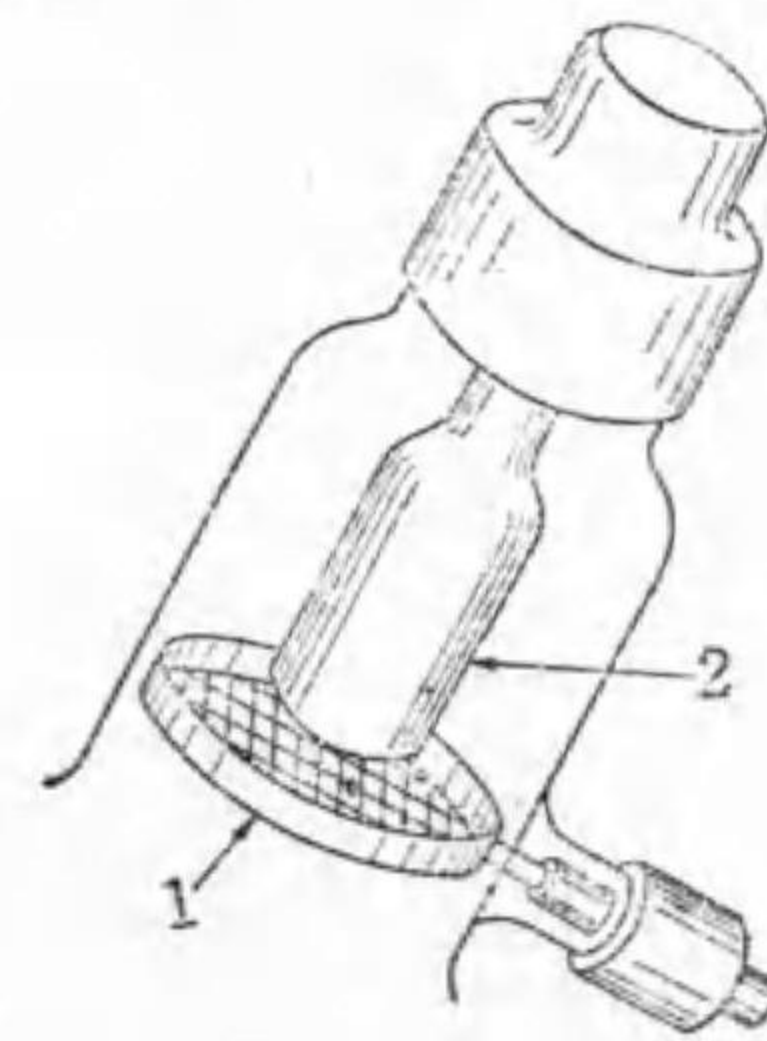
電氣弧光を生ずるからである。このやうな作用が常にあるから、整流電圧は第1223圖 e_a の波形となる。

この結線法は單なる六相結線に比して次のやうな特長があるから、最も多く用ひられる。

(ア)各陽極には交流の1周期中の $1/3$ づつ電流が流れるから、變壓器の利用率がよくなり、變壓器の容量が小となる。

(イ)電壓降下が小となり、能率が高くなる。

(2)格子制御水銀整流器 水銀整流器の陽極前部の電氣弧



第 12・24 圖

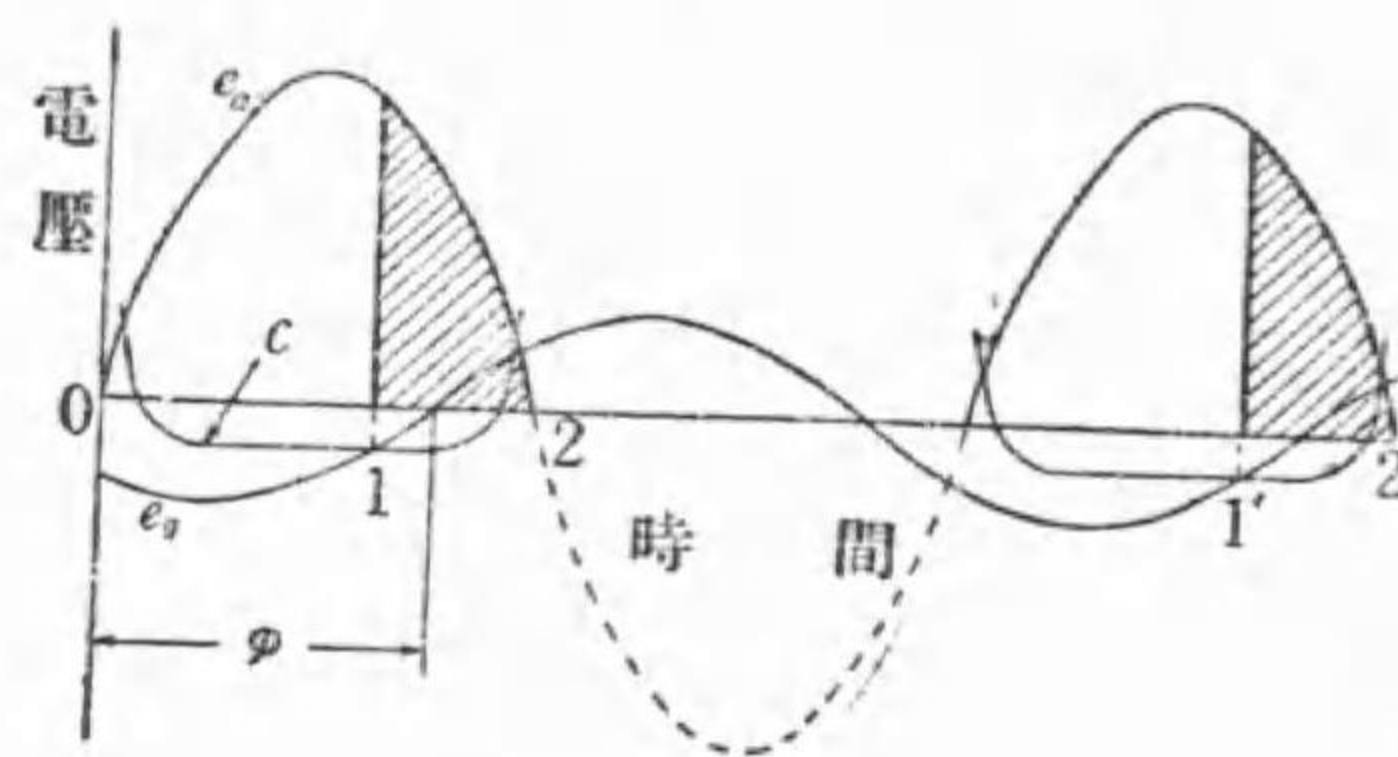
①制御格子 ②陽極

光通路中に鐵或は黒鉛製格子電極を封入したものである。この格子電極に外部から電圧を加へて、陰・陽兩極間の電氣弧光を制御するので制御格子といふ。

格子電位を變化すると陽極起動電壓が變る。これを應用して直流電壓の調整等をする。

次に電壓調整の一例を示す。

制御格子を陰極に對して負電位とするときは、電子を反撥するから、陽極の電位を前よりも高くしないと電氣弧光が起動しない。

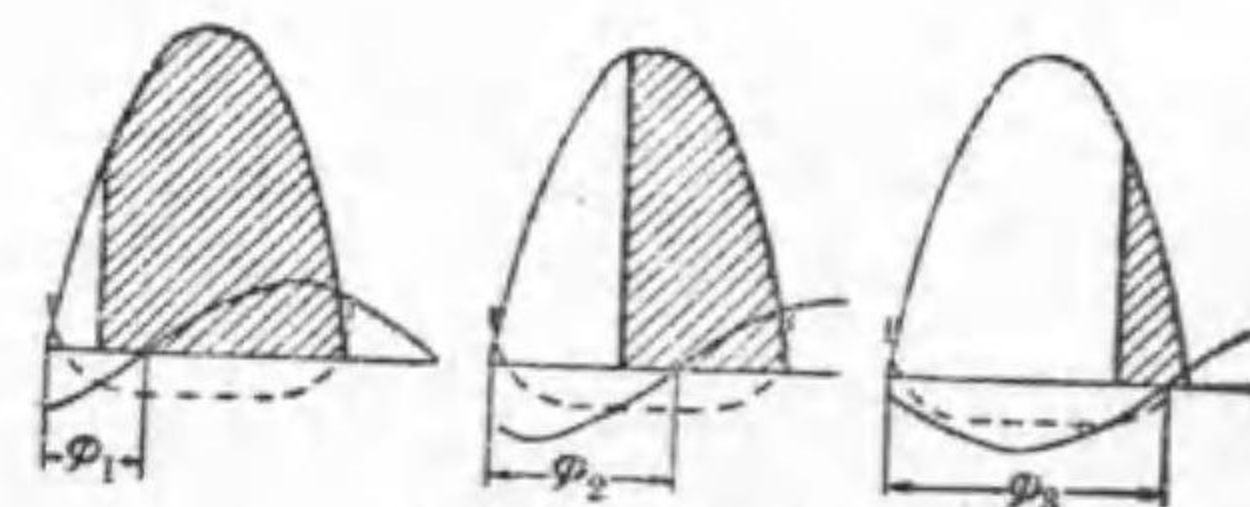


第12-25圖で、 e_a を一つの陽極の電位とし、これに對して電氣弧光が起動できる格子電壓を e 曲線とする。格子に

交流電壓 e_g を加へると、電氣弧光は①①のやうな點で

起動し、②②のやうな點で消滅する。したがつて整流波形は斜線の部分の如くなる。

この e_g の位相 ϕ を變化すると、整流波形



第12-26圖

は第12-26圖のやうに變るから、その平均値である直流電壓が變化するのである。

多相式でも、上に述べたやうな原理により各陽極の電氣弧光起動時期を變化して、直流電壓を調整することができる。

6. 損失と能率

(1) 水銀整流器自體の損失と能率 一つの水銀整流器に於て、

E_d : 直流端子電壓

E_a : 弧光電壓降下

I_d : 直流負荷

とすれば、

$$(\text{入力}) = (E_d + E_a) I_d$$

$$(\text{出力}) = E_d I_d$$

$$\text{故に } (\text{損失}) = E_a I_d$$

即ち、損失は主として次のやうに電氣弧光だけに生ずるものである。

(ア) 陰極輝點維持の電力損

(イ) 水銀蒸發の電力損

(ウ) 水銀蒸氣電離の電力損

(エ) 電子流を陽極に到達させるための電力損

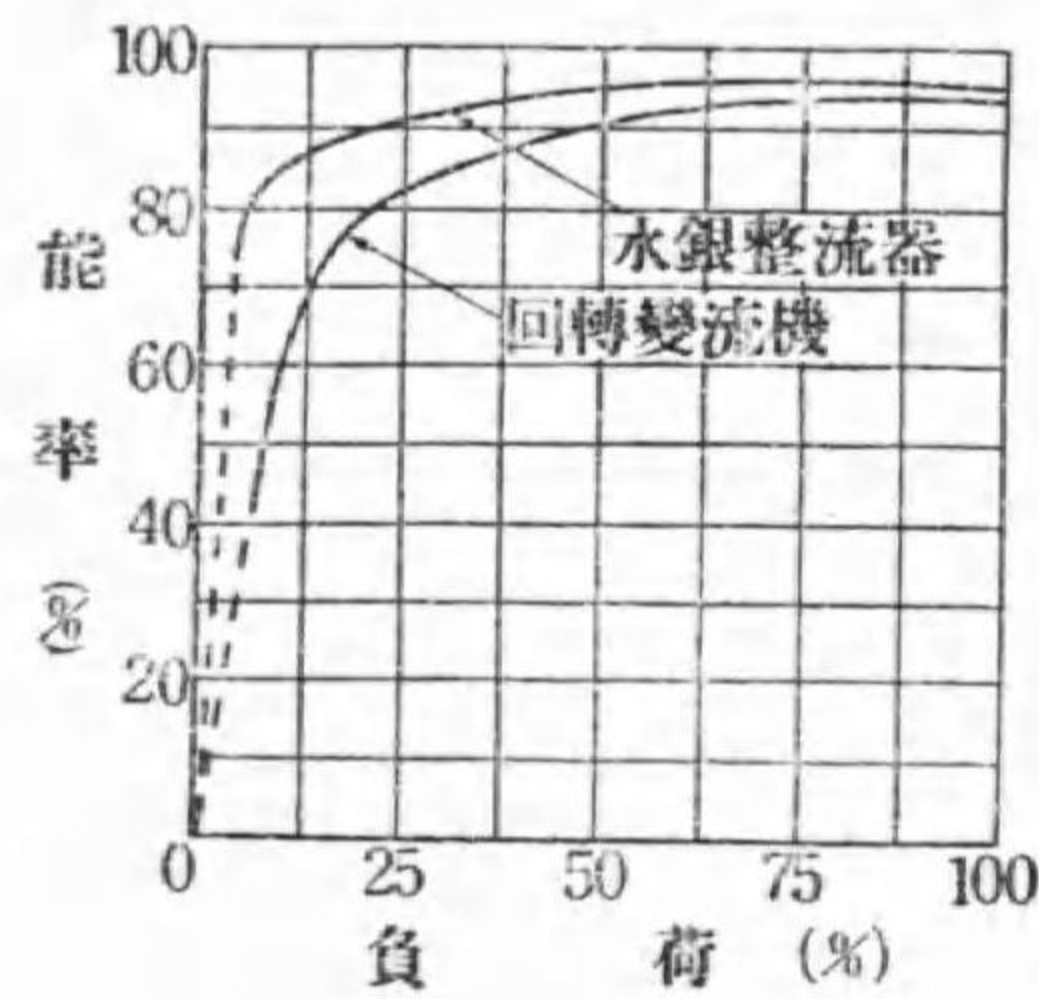
そしてこれは、他の電氣機械と同様に熱となつて器體の溫度を上昇する。次に能率は上の式から、

$$\eta = \frac{E_a}{E_s + E_a}$$

となる。ここに重要なことは、 E_a の値は負荷 I_a が變化しても殆ど一定であること、また E_s の大小に關せず殆ど一定である點である。したがつて水銀整流器は次の特長を有する。

(ア)負荷の變動に對して能率の變動少く、輕負荷時にも能率がよい。

(イ)直流電壓を高くすれば能率が高い。

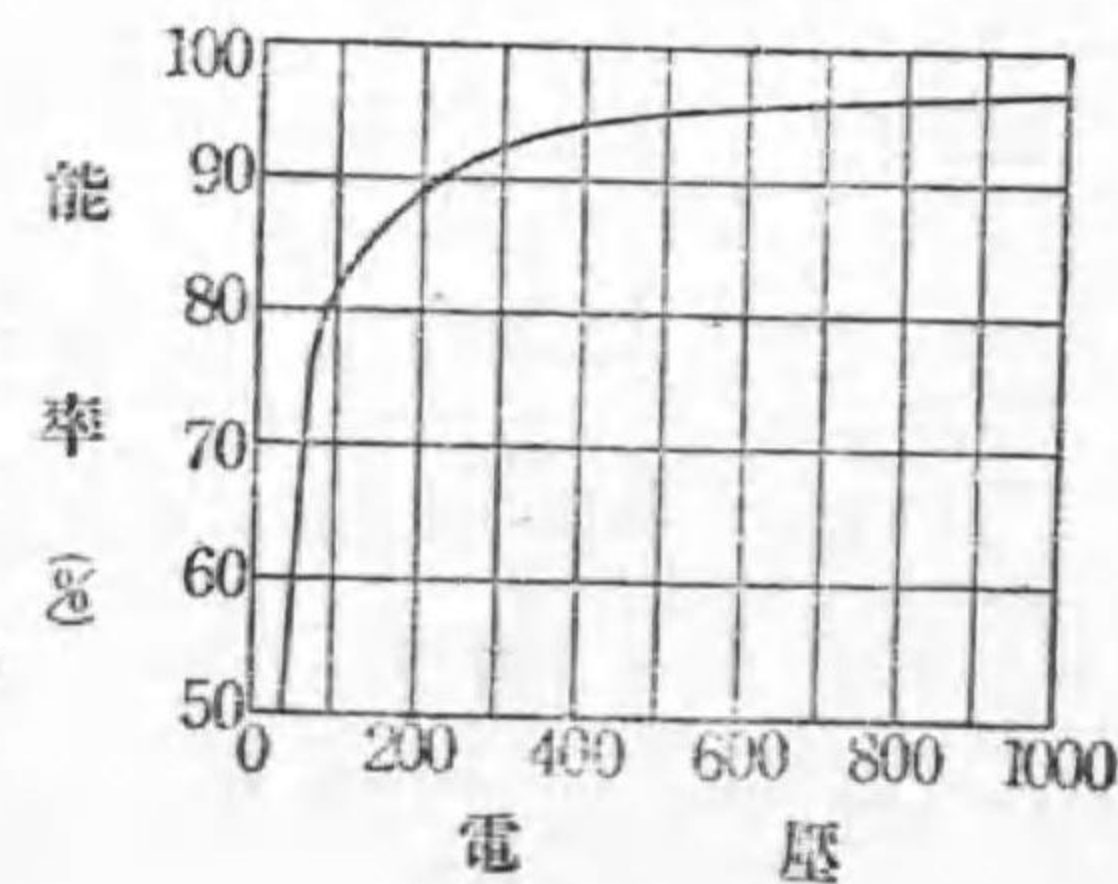


第12-27圖

少低下する。

第12-27圖は水銀整流器の能率曲線で、比較のため回轉變流機の曲線をも示す。

第12-28圖は直流端子



第12-28圖

(2)綜合能率 水銀整流器を使用するには、必ず變壓器を用ひ、殊に鐵製のものでは冷却装置及び真空ポンプ等の附屬装置があるから、これらに生ずる損失を含めた綜合能率は多

電壓と能率との關係である。

練習問題

- (1) 水銀整流器の構造及び理論を説明せよ。
- (2) 水銀整流器の逆弧について述べよ。
- (3) 單相全波水銀整流器の簡易な接續圖をゑがき、その動作原理を説明せよ。
- (4) 三相水銀整流器の原理を述べ、構造を略述せよ。
- (5) 水銀整流器の直流側電壓に脈動を生ずるわけを説明し、その防止法について知るところを記せ。
- (6) 水銀整流器の直流電壓を格子によつて制御する方法を述べよ。

第3節 運轉

1. 化成

器内における電極器壁等の真空に曝される部分に吸着されてゐる氣體油等の不純物を放出させて、良好な真空を得ることを化成といふ。

ガラス製のは再化成に困難であるが、鐵製のは次のやうにして運轉前に化成を行ふ。

化成を行ふには、真空ポンプで水銀柱 1/10,000 mm 程度まで前以て排氣した後、陰陽兩極に電壓を加へ電氣弧光を發生させ、内部の溫度が實際運轉の場合以上となるやうにし、吸着物質を十分放出させて排氣する。

化成が不完全であると、使用中に真空度が低下して逆弧等の故障の原因となる。

2. 運 轉

ガラス製のものでは規定外の過負荷に注意すればよいが、鐵製のものでは次の諸點に留意する。

- (ア) 真空度の維持
- (イ) 冷却水の調節
- (ウ) 器内の絶縁物の汚損
- (エ) 冷却水による腐蝕

なほ、鐵槽全體が高電位にあつて危険であるから取扱に注意する。

水銀整流器も、回轉變流機と同様に直流側と交流側との電圧には一定比があるから、直流電圧を調整するには特別の方法をとらねばならない。

次に二つの例を挙げる。

變壓器の一次線輪にタップをつけ、これを切換へて二次電圧を變化すれば直流電圧を調整できる。誘導電圧調整器で一次電圧を變化してもよい。

格子制御水銀整流器を用ひれば、制御格子に加へる電圧の位相を變化して直流電圧を調整し得る。

第 4 節 回轉變流機との比較

次表のやうな特長があるから、一般的に水銀整流器

は負荷變動が大で、高電圧を要する直流負荷、例へば電氣鐵道用等に適當である。回轉變流機は負荷變動が少く、比較的低電圧の直流負荷、例へば電解用等に適當である

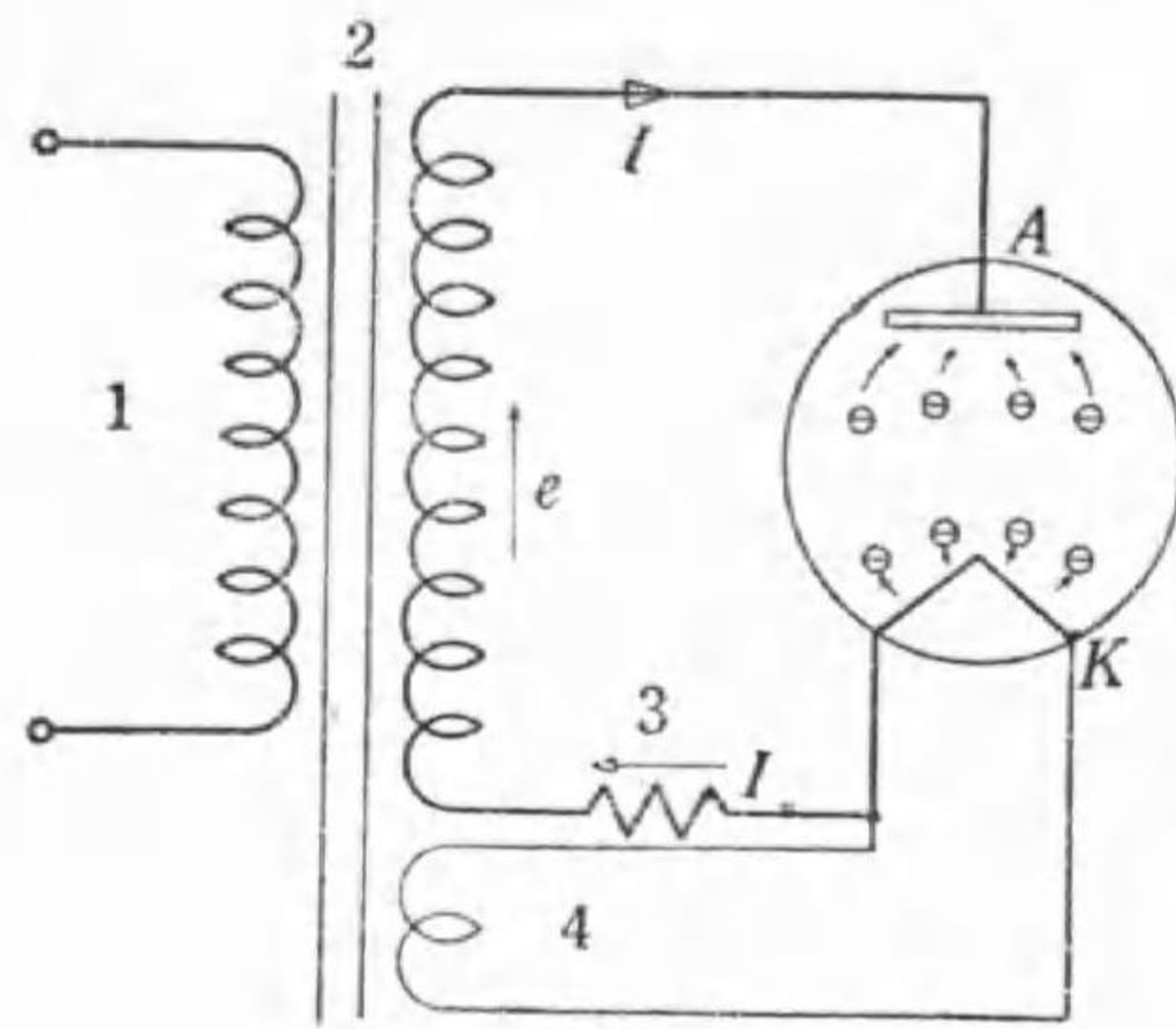
事 項	機 器	水 銀 整 流 器	回 轉 變 流 機
電 壓		數萬ボルトのものも製造される	整流子の煩があるから 1,500V を限度とする
能 率		高い、殊に高電圧のものは高い 負荷の變動に對して能率の變化少く、輕負荷でも能率が高い	比較的低い 負荷の變動に對して能率の變化が著しい 輕負荷では能率が低い
力 率		比較的悪い	良 好
負 荷 耐 量		比較的小	比較的大
振 動・騒 音		補助機以外にはない	比較的大
通 信 線 に 對 す る 誘 導 妨 害		比較的大	比較的小

第 13 章 熱電子整流器と 堰層整流器

第 1 節 熱電子整流器

1. 原 理

第13・1圖のやうに真空または低壓ガスを封入したガラス容器中に陽極Aと陰極Kを設ける。このKは加熱織條である。



第13・1圖

- ①交流電源 ②變壓器
- ③負荷 ④加熱電源

加熱織條である。

高温にあるKからは熱電子を放出するから、AK間に交番電圧eを加へると、Aが正の間はKからAに向かふ電子流を生じ、Aが負の間は電子はAに反撥されて電子流がやむ。

故に負荷にはIに

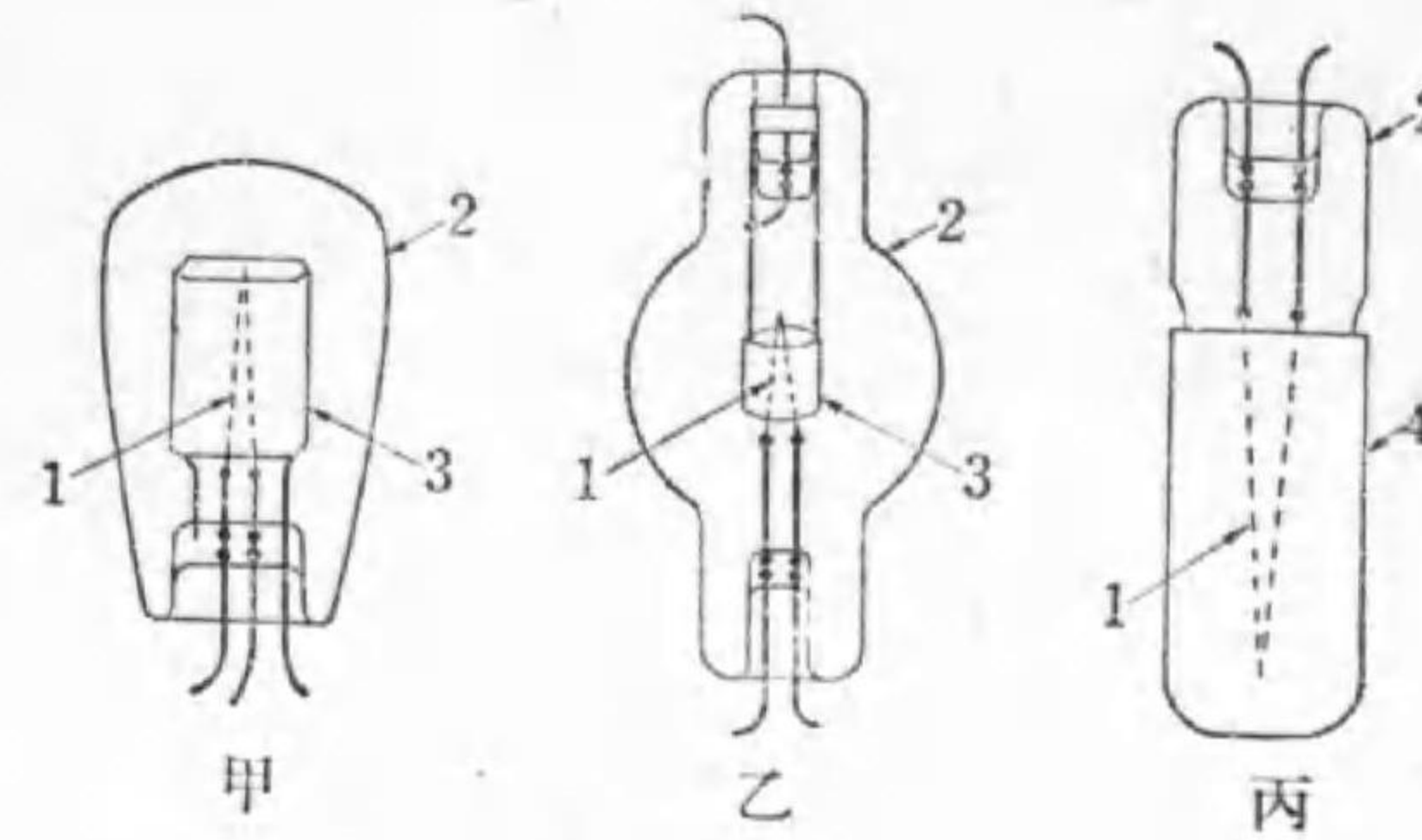
示す方向の直流が通ることになる。

このやうに熱電子を利用した整流器を熱電子整流器といふ。

器内が真空の整流管を熱陰極真空整流管、低壓ガス封入のものを熱陰極ガス入整流管といふ。これらは構造簡單であるが電流容量が小さい。

2. 熱陰極真空整流器

無線通信その他に使用するが、電力の大小によつて第13・2圖のやうに形がちがふ。



第13・2圖

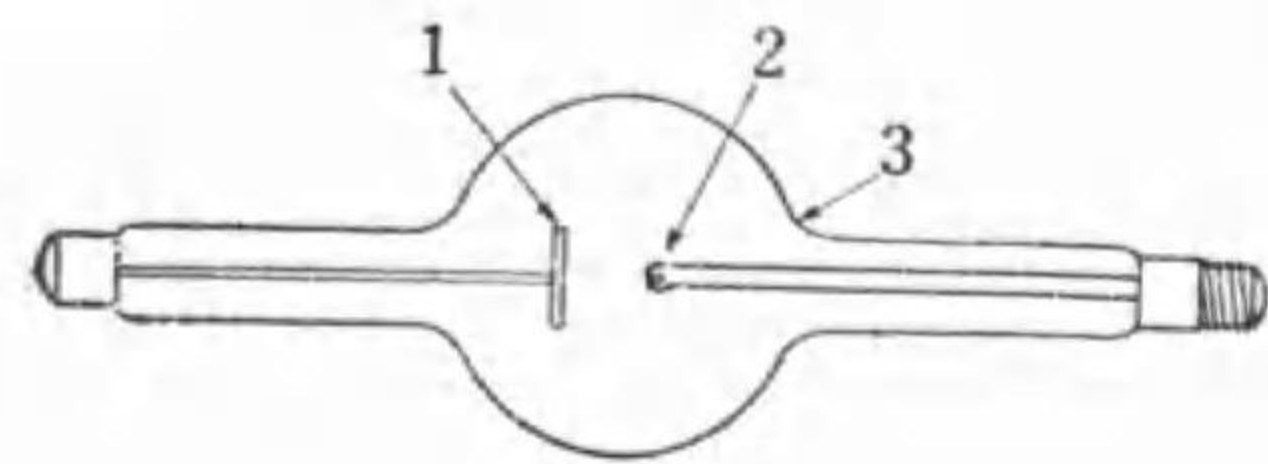
- ①陰極 ②ガラス ③陽極 ④銅陽極
- Ⓐ小型 無線受信用等 電圧・電流共に小
- Ⓑ中型 無線送信用
- Ⓒ大型 無線送信用 電圧・電流共に大 陽極は外部から水冷する

(1)構造 電極の構造は次表のとほりである。

型	小	中	大
陰極	トリウム入タン グステン或は酸 化物被覆陰極	トリウム入タン グステンまたは 純タングステン	純タングステン
陽極	ニッケル	モリブデン	銅(水冷式)

トリウム入タングステンはタングステんに酸化トリウムを含ませて作り、酸化物被覆陰極はニッケル等

の心線上にアルカリ土金属の酸化物を被覆したもので、この二つは低温度で熱電子をよく放出するが、弱く且不安定であるから、大型のものには用ひない。

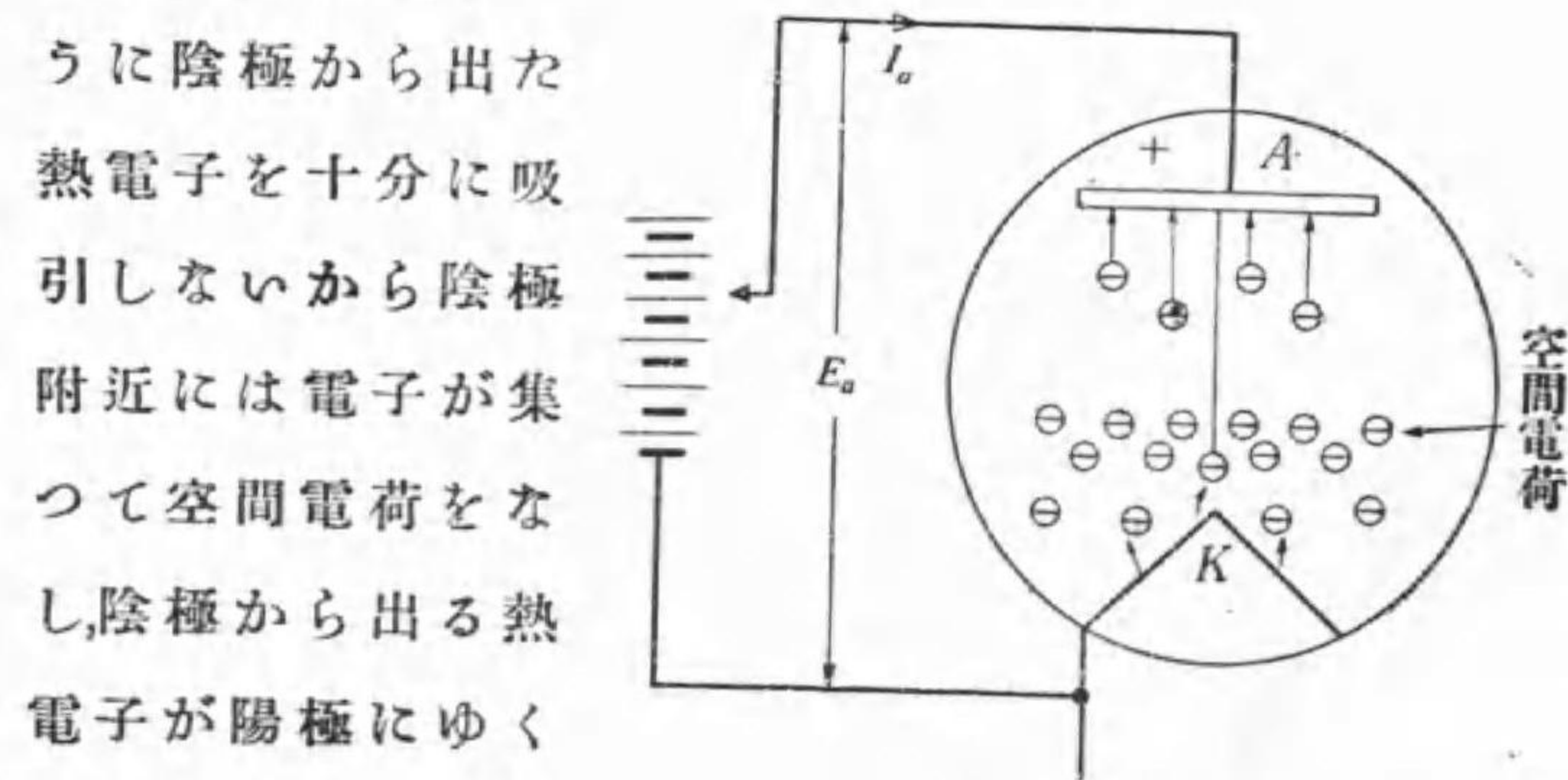


第 13・3 圖

①陽極 ②陰極 ③ガラス

真空度は小型のものは水銀柱 1/100,000 mm 程度で、電圧の高い大型のものになるにしたがひ高真空とする。

(2)特性 熱陰極真空整流管の陽極電圧 E_a が低いと、第 13・4 圖に示すやうに陰極から出た熱電子を十分に吸引しないから陰極附近には電子が集つて空間電荷をなし、陰極から出る熱電子が陽極にゆくことを妨げる。したがつて電流 I_a は小さい。



第 13・4 圖

E_a が高くなるにつれて空間電荷は減少して、電流 I_a

特に高電圧用のものは第 13・3 圖のやうな形で二極真空管といひ、エックス線装置の整流用等に使用する。

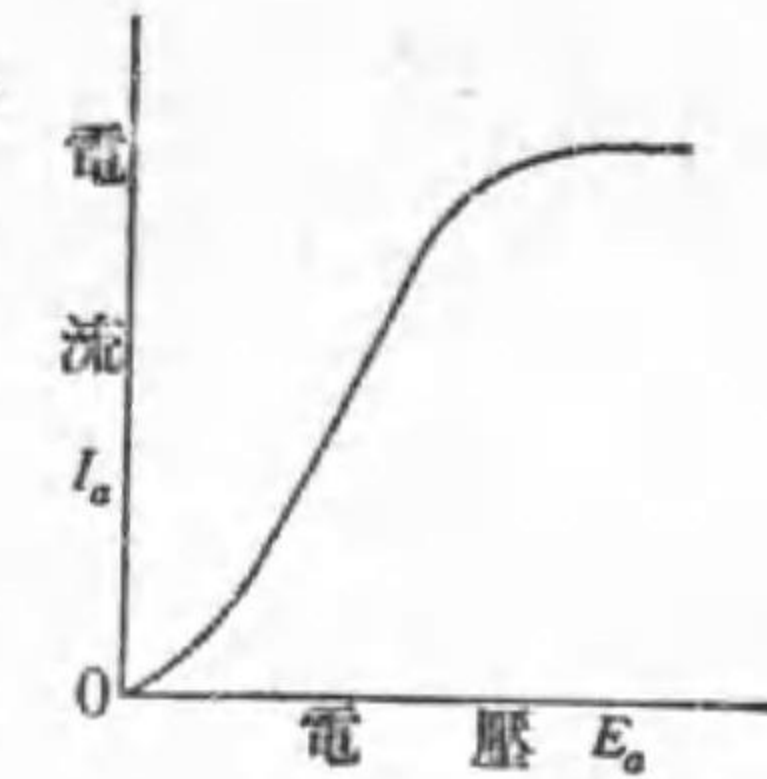
は増加してゆく。

この E_a と I_a との関係は第 13・5 圖のやうになる。式で示せば次のとおりである。

$$I_a = GE_a^{\frac{3}{2}} \dots \dots (13 \cdot 1)$$

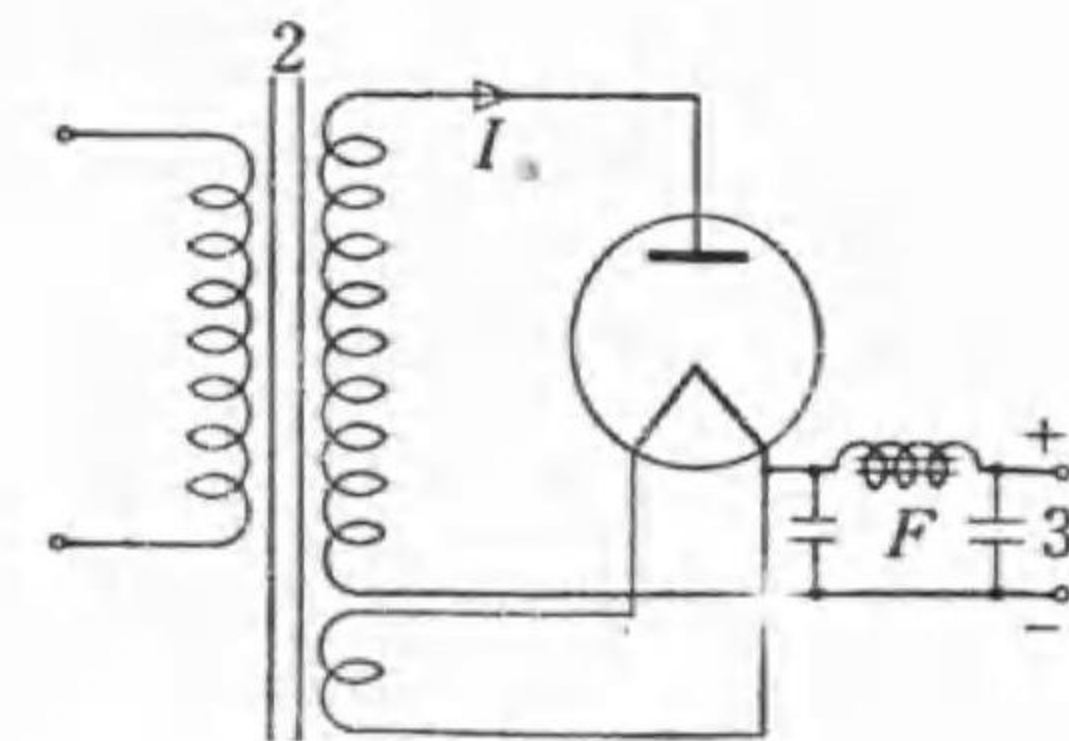
ここに G は真空管の構造による定数で、パービアンズといひ、この法則を空間電荷の法則或は 3/2 乗法則といふ。

E_a が十分に高くなると、空間電荷作用がなくなつて、それ以上 E_a を高くしても I_a は増加しなくなる。即ち飽和する。飽和すれば 3/2 乗法則は成立しない。



第 13・5 圖

(3)整流回路 第 13・6 圖は、熱陰極真空整流管を用ひた半波整流回路である。



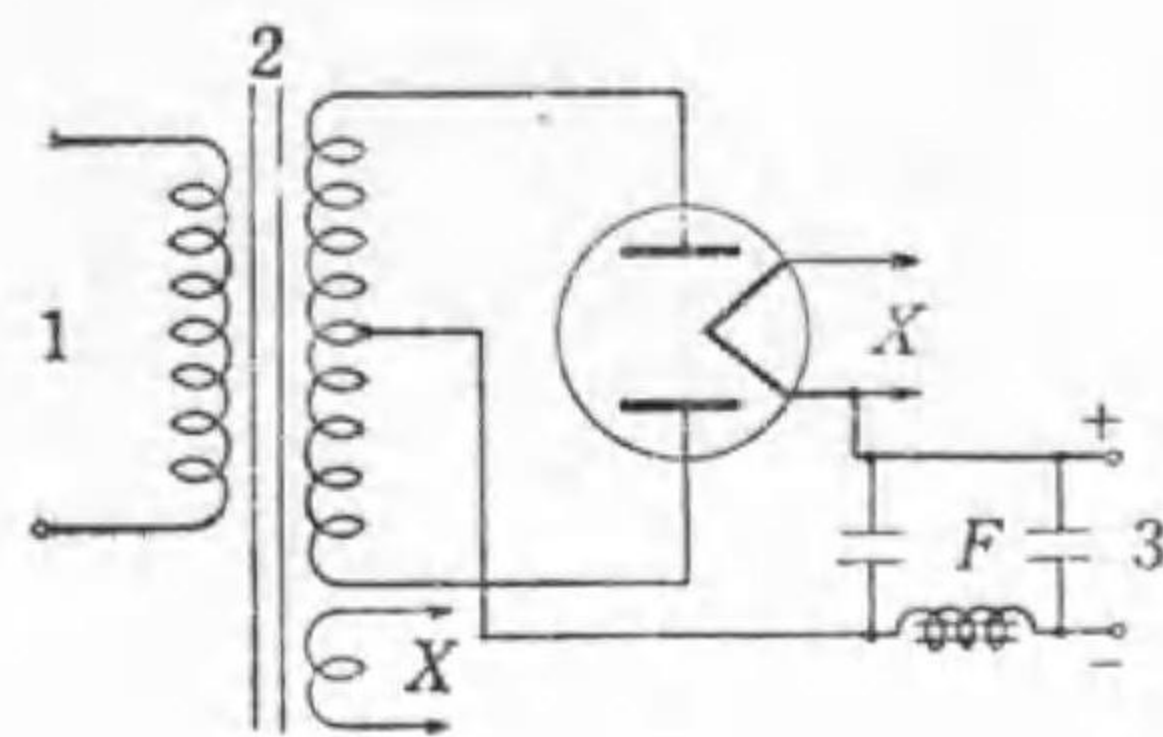
第 13・6 圖

①交流電源 ②變壓器 ③直流出力

用ひた半波整流回路である。直流の脈動を小さくするために濾波器 F を入れて用ひることが多い。

単相全波整流を行ふには 2 箇の真空管を用ひてもよいが、全波整流管といつて 2

組の整流要素を 1 箇のガラス管球に収めたものもある。第 13・7 圖はこれを用ひた整流回路である。



第13・7圖

- ①交流電源 ②變壓器
③直流出力

なほ熱陰極真空整流管により、多相整流回路をつくり得られることは他の整流器と同様である。

(4)熱陰極真空整流管の特長 熱陰極真空整流管では空間電荷の作用があるから、電流を通ずるために高い電圧を要し、管内電圧降下が大きい。また電流は、熱陰極からの電子放射により制限されるから比較的小であるが、耐逆電圧が高いから、特に高電圧の整流に適する。

3. 熱陰極ガス入整流管

熱陰極真空整流管は、空間電荷のため管内電圧降下が大であるが、少量の氣體を封入すると弧光放電を起し、電離して発生した陽イオンが空間電荷を中和するから、管内電圧降下が小で、且電流容量の大きい熱陰極ガス入整流管ができる。

封入氣體はネオン・アルゴン・水銀蒸氣等で、陰極は酸化物被覆またはトリウム入タンゲステンを用ひる。逆弧を生じやすいことが缺點である。

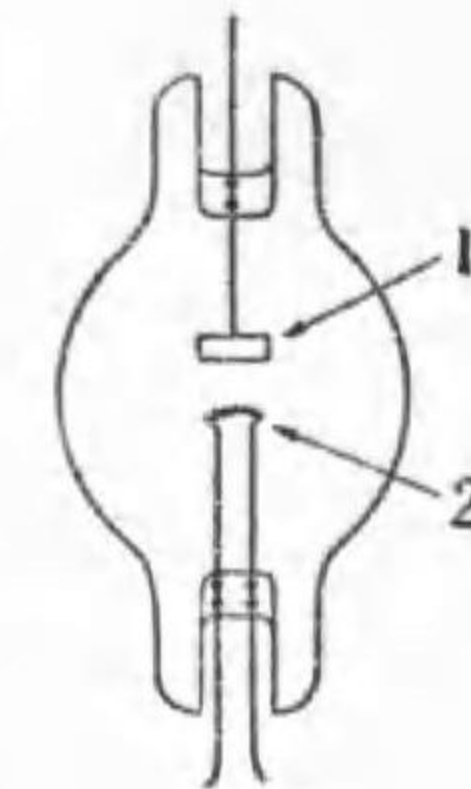
次に二つの例について説明する。

(1)熱陰極水銀整流管 リボン状または傍熱型酸化物被覆陰極で、管球内に水銀粒を封入する。ガス壓力は水銀柱 1/100 mm 程度である。水銀整流器の陰極輝點の代りに熱陰極を用ひたものと考えればよい。

無線通信用等に多く使用する。

(2)タンガー整流管 トリウム入タンゲステン織條の熱陰極、黒鉛の陽極を有し、アルゴンを封入してある(第13・8圖)。

特に低電圧用の整流管であつて、蓄電池の充電等に用ひる。



第13・8圖

- ①陽極
②陰極

第2節 堰層整流器

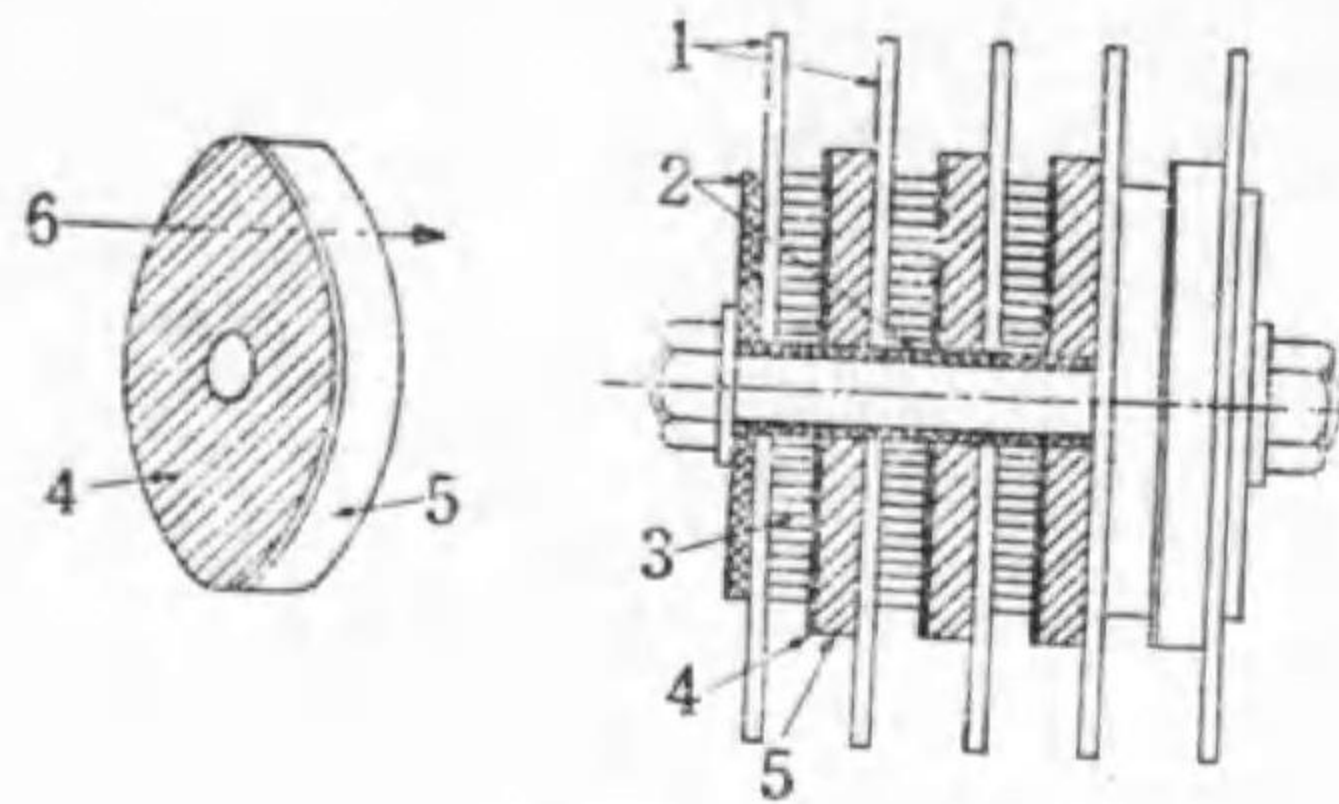
1. 原理

銅と酸化第一銅のやうな半導體との接觸面には、一方方向電導性があるから整流作用を行ふことができる。しかしこの性質は真空整流管のやうに完全ではなく、逆方向にも少しの電流が通る。

この1組の接觸面では耐逆電圧は10V内外であるから、高い電圧を整流するには、多數を直列にしなければならない。

2. 酸化銅整流器

銅板を加熱酸化して表面に酸化第一銅の薄膜をつ



第 13・9 圖

- ① 冷却板 ② 絶縁物
- ③ 鉛板 ④ 第一酸化銅膜
- ⑤ 銅板 ⑥ 電流

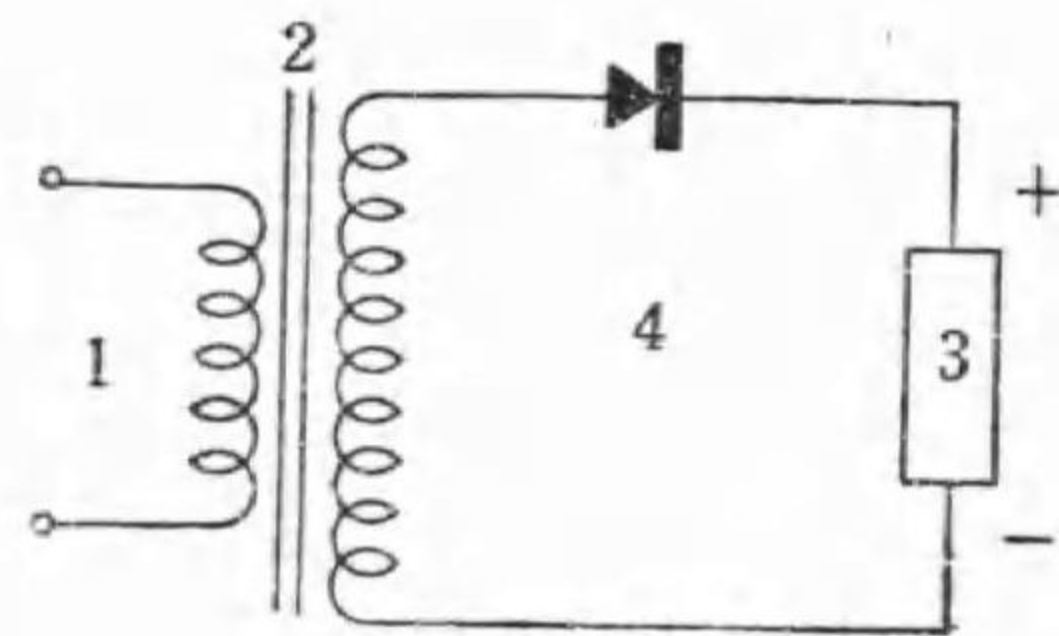
くつたものは、酸化第一銅膜から銅板の方向へは電流を通しやすいが、逆の方向へは通し難い。

1枚の酸化第一銅板の耐逆電圧は6V程度であるから、適當の數だけ直列とする。第13・9圖はこれである。鉛板は酸化第一銅膜面に附した電極である。

温度上昇により整流作用が劣化すると、逆方向の電流が増すから、冷却板を用ひて放熱する。

第13・10圖は单相半波整流器の一例である。

蓄電池の充電、整流型電気計器等に使用する。



第 13・10 圖

- ① 交流電線 ② 變壓器
- ③ 負荷 ④ 酸化第一銅整流體



昭和18年10月20日印刷
昭和18年10月25日發行

電氣機械

2

同期機・整流器

(定價95錢)

不許複製

著作権者 財団法人 實業教育振興中央會

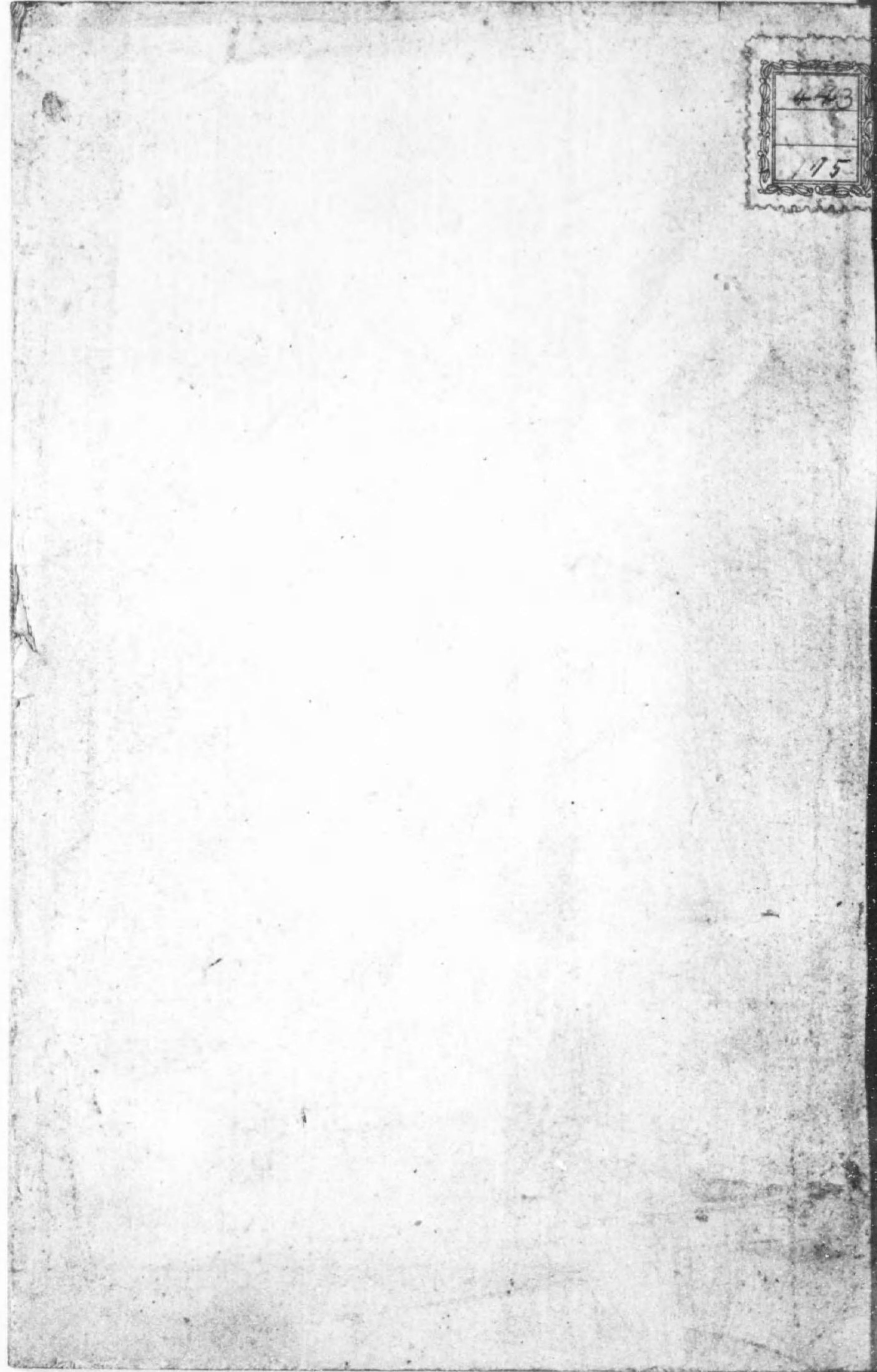
發行者 代表者 取締役社長 倉橋藤治郎
東京都麹町區五番町五番地

印刷者 大日本印刷株式會社(東東一)
代表者 青木 弘
東京都牛込區市谷加賀町一丁目十二番地

發行所 實業教科書株式會社
東京都麹町區五番町五番地
電話九段(33) 0374・2277番
3581・4413番

(出版會會員番號112572)

配給元 東京都神田區 日本出版配給株式會社
淡路町二丁目九番地



終