

$$\text{共處で } a_1 = \frac{S_1 r_2}{r_2^2 + S_1^2 X_1^2} \quad a_2 = \frac{-S_1^2 X}{r_2^2 + S_1^2 X_1^2}$$

但し、 $S_1$  は滑りを表はす。又

$$b = a_1 + g_0 \quad b_2 = a_2 + b_0 \quad b = \sqrt{b_1^2 + b_2^2}$$

$$C_1 = 1 + Rb_1 + x b_2 \quad C_2 = Rb_2 - x b_1 \quad C = \sqrt{C_1^2 + C_2^2}$$

上記より

$$e = E/\sqrt{3}C \quad T = e^2 a_1 \quad I' = eb \quad P = T(1 - S_1) \quad P_0 = e^2(C_1 b_1 + C_2 b_2)$$

従つて電動機の特性は

$$\text{能率 } \eta = \frac{P - F_0}{P_0} \quad \text{力率 } P.f = \frac{P_0}{E_0 I'}$$

$$\text{回轉數} = \text{同期速度} \times (1 - S_1) \quad \text{R.P.M}$$

$$\text{出力 } \text{kW} = \frac{(P - F_0)}{1000} \quad \text{回轉力 } T = \frac{\text{kW} \times 973}{\text{R.P.M}} \quad (\text{駐米})$$

$$\text{起動回轉力 } T_s = \frac{21.12 T}{\text{同期速度 (R.P.M)}}$$

と計算せられる。以上初學者は強ひて理解するには當らない。

### (B) 特性一般

誘導電動機運轉上の諸特性は以上の各項に述べたが、茲で更に其等を取りまとめて一層に智識を明確として置く必要がある。

#### (イ) 起動回轉力の大きさ

① 一次固定子の捲線數と供給電壓を一定とすれば二次回轉子の捲線數の自乗に比例する。

② 一次と二次の捲線數の比を一定とすれば、一次供給電壓の自乗に比例する

③ 最大回轉力で起動するには、回轉子に抵抗を入れ、二次全抵抗を靜止の際の二次リアクタンス値に等しくする。

#### (ロ) 起動電流と其の力率

① 起動電流は略一次固定子への供給電壓に比例する。

② 起動電流は全負荷電流の約 2~5 倍に達し、二次抵抗は靜止二次リアクタンスに比して小さいから起動時の力率は低い。

③ 起動時、回轉子に抵抗を入れると起動電流が制限され、その力率もよくなる。

#### (ハ) 回轉子二次抵抗の影響

① 滑りは二次抵抗に比例するから、二次抵抗を調整すれば速度の制御が行へる。

② 但し、二次抵抗を大とすれば速度が降下し電動機としての能率が低下する

#### (ニ) 一次供給電壓が低下したとき (但し周波數一定)

① 回轉力が電壓の自乗に比例して減少する。故に負荷の所要回轉力が一定な

る滑りが大となり速度を降下する。従つて負荷電流が増加する。

(起動回轉力も低下し、起動電流は大となる)

(ホ) 一次周波數の低下したとき (但し電壓一定)

① 同期速度は周波數に比例して減じ、速度は低下する。滑りも大きくなり速度は一層降下する。

② 供給電壓が一定であれば、周波數に反比例して磁束が増すので鐵損と勵磁電流が大となる。

③ 前項の原因に依り溫度上昇を大とし、能率を低下させる。

〔註〕 周波數の低下に應じ供給電壓をあげてやると一定負荷に對し負荷電流を減じ前と同様の出力が得られる。然し供給電壓は絶縁の点もあり無闇に上げられない。

### (81) 三相誘導電動機の起動法

誘導電動機を靜止の状態より起動する場合を考へるに、回轉子に誘導せられる電壓  $SE_2$  は  $S=1$  に於て最大であるから、之れに依る回轉子電流も大きく、従つて一次流入電流も甚だ大とならざるを得ない。従つて相當容量の誘導電動機を起動すれば、此の大なる起動電流に依つて電源回路の配線並機器を過熱し、然も電源並線路に大なる電壓降下を生ずるので此の回路に結ばれる他の負荷に迷惑を及ぼす。又電動機自身も斯様に大なる電流を一次二次に流すことは好しいことではない。従つて、起動に際しては何等かの方法に依つて起動電流を適當な値に制限すると共に、能ふれば起動回轉力を大ならしめたいのである。其の方法は籠型と捲線型とでは相違する。

#### (A) 籠型の場合

籠型回轉子は二次抵抗  $r_2$  が小さいので、線路の全電壓を加へて起動すると起動電流は全負荷電流の 3.5~7 倍にも達し、力率も悪いので線路の電壓降下を激増させる。又  $r_2$  が小さいのであるから、起動回轉力が弱い。然し、極く小容量 (7.5 馬力又は 5 馬力以下) のものなら大なる影響を他に與へないから、直接全電壓を與へて起動をする事が出来る。然し容量が之れ以上となれば Y- $\Delta$  切換方法 (7.5 馬力以上 20 馬力位に採用) 及起動補償器法 (20 馬力以上に採用) が最も一般的に用ひられてゐる。

#### (イ) 起動補償器 (starting compensator)

之れは一種の單捲變壓器であつて、數箇の低電壓のタップを有し、順次に高い電壓のタップに移して起動を進める。タップの切換はハンドルで外部から行へるやうにされて居る。速度が全速度に近くなつた時に、ハンドルを運轉の位置に移すと、單捲變壓器は除外せられて、全電壓が加はり起動が完了する。普通此の起動補償器には安全裝置として無電壓解放器 (No voltage release) と無負荷解放器 (over load release) が附されてゐる。前者は供給電壓が著しく降下したり、

或は停電の場合に電磁線輪がハンドルを保持する力を失ひ、ハンドルを起動の位置に戻らせ、不用意に全電圧で起動をするやうなことをないやうにして居る。後者は過負荷の際に電磁線輪が鐵心を引き上げ、無電壓解放器の回路を開いてハンドルを起動の位置に復歸させる安全装置である。

(ロ) Y-Δ 切換開閉器 (Y-Δ change over switch)

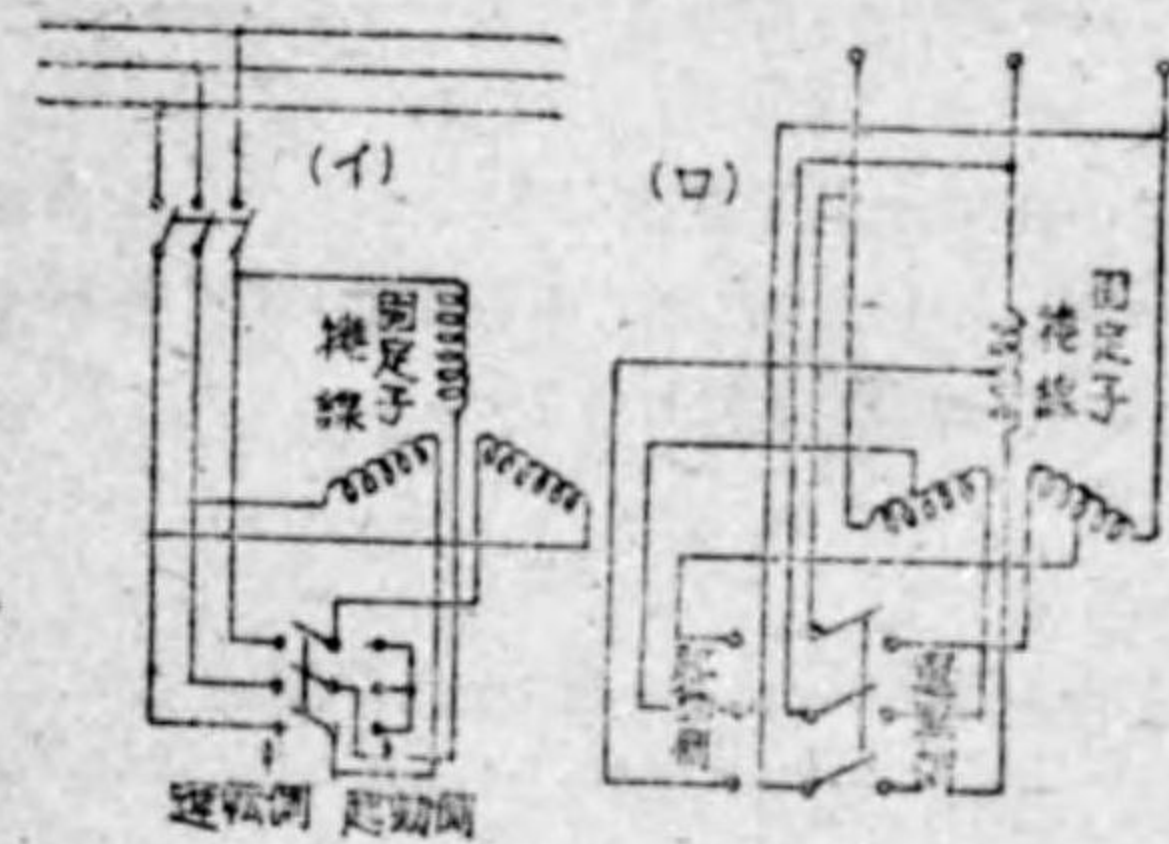


Fig 179

本方法は固定子捲線を起動の際は星形結線とし、運轉の際は三角形結線とするものである。

即ち星形結線として起動すれば、一相當りの電圧は、57.7% (1/√3) となり起動電流を小さくすることが出来る。Fig 179 の (イ) は之れを示すもので、速度が上昇すれば双投三極開閉器を運轉側に切り換へて三角形結線と爲し、全電圧が捲線に加へ

られることになる。普通此の切換用開閉器は絶縁油を満した鑄鐵製の函中に納められ、油中で開閉するやうになつてゐる。之れにも低電壓及過負荷繼電器を附したものがあつた。

同圖 (ロ) に示したものは起動時には邊延三角形接續 (extended delta connection) (第十一章、單捲變壓器の項を参照) として後普通の三角形結合に切り換へる方式であつて、他の方式よりも起動電流を小とし、起動回轉力を大ならしめると稱せられて居る。

以上の外に原始的ではあるが、幹線と誘導電動機間に抵抗を入れる方式もあるが廣く用ひられない。上述は總て供給電圧を低下する方法であつたから、起動電流が制限されると同時に起動回轉力も減少する。然し之れは籠型として止むを得ない處であつて、起動電流を小とし、然も起動回轉力を大とするには回轉子の構造を後述の如くに特殊なものとしなければならない。

(B) 捲線型の場合

捲線型にあつては二次回轉子は一次固定子と同一相數に捲かれて居るから、之れを滑動環を通じて引出し、抵抗を挿入すれば既に説明したやうに、回轉力曲線の比例推移に依り起動電流を小とし、起動回轉力を大ならしめることが出来る。其の要領は既に Fig 171 に示した。圖は金屬製起動抵抗器であつて、抵抗線としては一般に鑄鐵製グリッドを使用し、各相共に數箇の中間口出線を出し、之れを大理石板上の端子に接續する。圖の位置では抵抗が最大であつて、起動の進行と共にハンドルを時計式方向に回轉して行き、起動が終れば滑動環の處で短絡せられる (運轉後の刷子磨損を除く爲に刷子を引き揚げて置くものもある)

電動機の容量が大となると、直接抵抗器上にハンドルを置いたものは危険であるから、電車用に似た圓筒型、制御器を使用し、附屬金屬抵抗器よりの口出線を制御器の固定接觸子に接續し、制御器の把手を動かして抵抗を加減するものもある。尙電動機の回轉方向を左右何れにも起動し得るやうに可逆制御器を具備したものも使用されて居る (一次固定子に結ばれるリード線の任意の二つを結びかへると回轉方向は反對) となる。

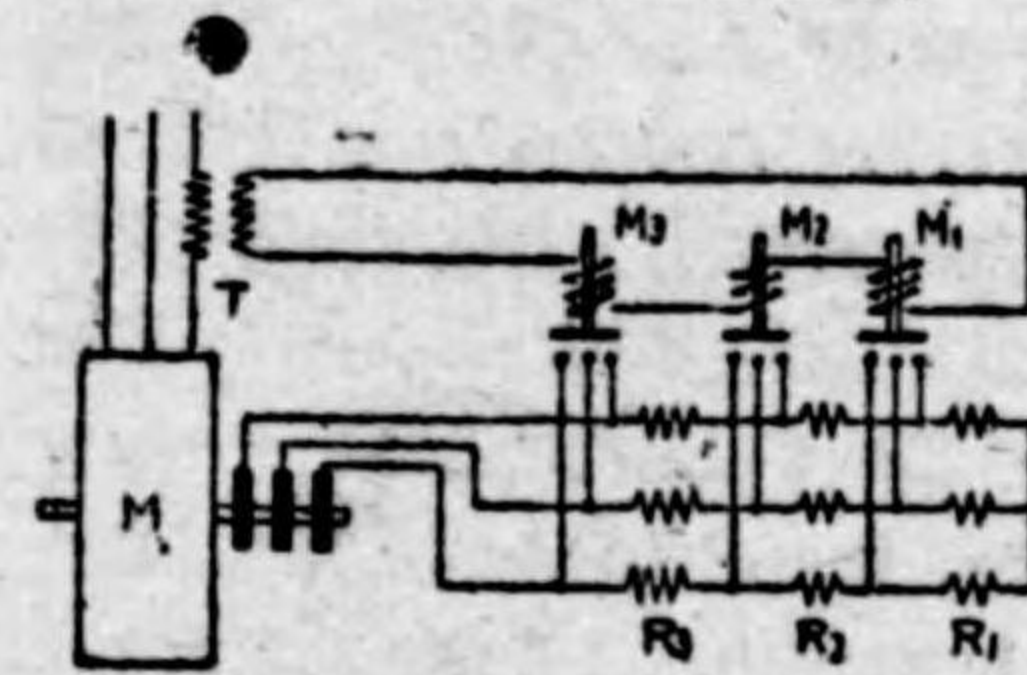


Fig 180

Fig 180 は上記の抵抗の加減を繼電器で行ふものを示したのであつて、供給回路の電流が減少して行くにつれて M1 M2 M3 の順に鐵心の保持力を失ひ、R1 R2 R3 が順次に短絡されて行くものである。

尙、金屬抵抗の代りに液体抵抗を用ひたものがある。これは鹽曹達の水溶液中に三本の電極を入れ、之れを二次回轉子の各相に接續

し、電極間の距離を變へたり電極全体を上下して抵抗を調整する。此の液体抵抗器は起動抵抗器としてよりも後述する速度調整用の抵抗器として用ひられることが多い。

上記の起動補償器又は各種の起動抵抗器は何れも短時間の起動用として製作されたものであるから、之れを長時間に亘つて使用することは絶対に避けねばならない。

(註) ゲルゲス (Gorges) 法として回轉子に捲線數の少い二組の線輪を備へ、起動時には兩者を並列として電流を制限し、運轉後は速心力開閉器 (速度が高くなると速心力が大となる此の力を利用し、一定速度以上……規定速度の 70~80% 以上……で自動的に働くやうにした開閉器) で是等の線輪を全部短絡し、二次電圧が全線輪に加つて回轉力を大ならしめるやうにしたものもある。

(82) 三相誘導電動機 の速度調整法

誘導電動機 の速度は既に説明したやうに (90) 式を参照

$$N = N_s (1 - S) = \frac{120 f}{P} (1 - S)$$

となる。従つて其の速度を調整しやうとすれば、同期速度 (Ns) を加減するか滑り (S) を調整するより外に方法がない。

此の兩種に屬する主なるものを一括表示すると次の如くなる。

- (I) Ns を變化
  - (1) 一次周波數 f を變化する
    - (イ) 交流發電機 の回轉數を調整する
    - (ロ) 電源 と電動機間に周波數變換機を挿入する
  - (2) 極數 P を變化する (捲線を切換へて行ふ)
  - (3) f と P を同時に變化する (縱接結合法)

(II) S を變化 { (1) 捲線型二次に抵抗を挿入する  
(2) 捲線型二次回路に逆起電力を與ふる(整流子電動機を挿入する)

上記よりも明かなやうに (I) の (3) 及 (II) の方法は籠型回轉子のものには用ひられない。又 (I) の (1) (2) は餘り便利な方法でないから速度の制御を希望する負荷には籠型は不得策である。次に上記の各項に就て説明しやう。

(A) 供給電壓の周波数を變化せしむる方法

普通の送配電線から受電する場合は周波数が一定であるから電動機への周波数を調整しやうとすれば、別に周波数變換機を設備しなければならない。最近、紡績工場に於て、誘導型周波數變換機に依つて周波数を調整して紡績用誘導電動機速度調整を行つて居る處がある。本方法を應用して最も妙味のあるのは、船舶の電氣推進の場合である。斯様な場合、推進機を動かす電動機には蒸氣タービン又はディーゼル機關で運轉せられて居る發電機から電力が供給されて居る。従つて電動機が唯一の負荷であるから其の周波数を如何に變化しても他から苦情を受ける心配はない。然し此の周波数の變化にも自ら制限がある。何となれば蒸氣タービンの能率は速度が規定値から減少すると急減するから、餘り低周波數を發生させることは出来ない。然し發電機と電動機が多數にある場合には、夫々の經濟的速度と極數を變へて置き、適宜に組合せを作れば比較的經濟的に廣範圍の速度調整が可能である。

〔註〕 起動の場合は最も理想的で發電機を充分に勵磁して置いて之れを電動機に結び、原動機を起動して發電機より電力を供給させると電動機は最初から全負荷回轉力で起動する。

(B) 極數を變へる方法

極數を變へる爲には固定子捲線を數種の極數に捲くか、或は特殊な接續法に依つて接續を變更し、速度の調整を行ふ。捲線型のものに本方法を適用するには同

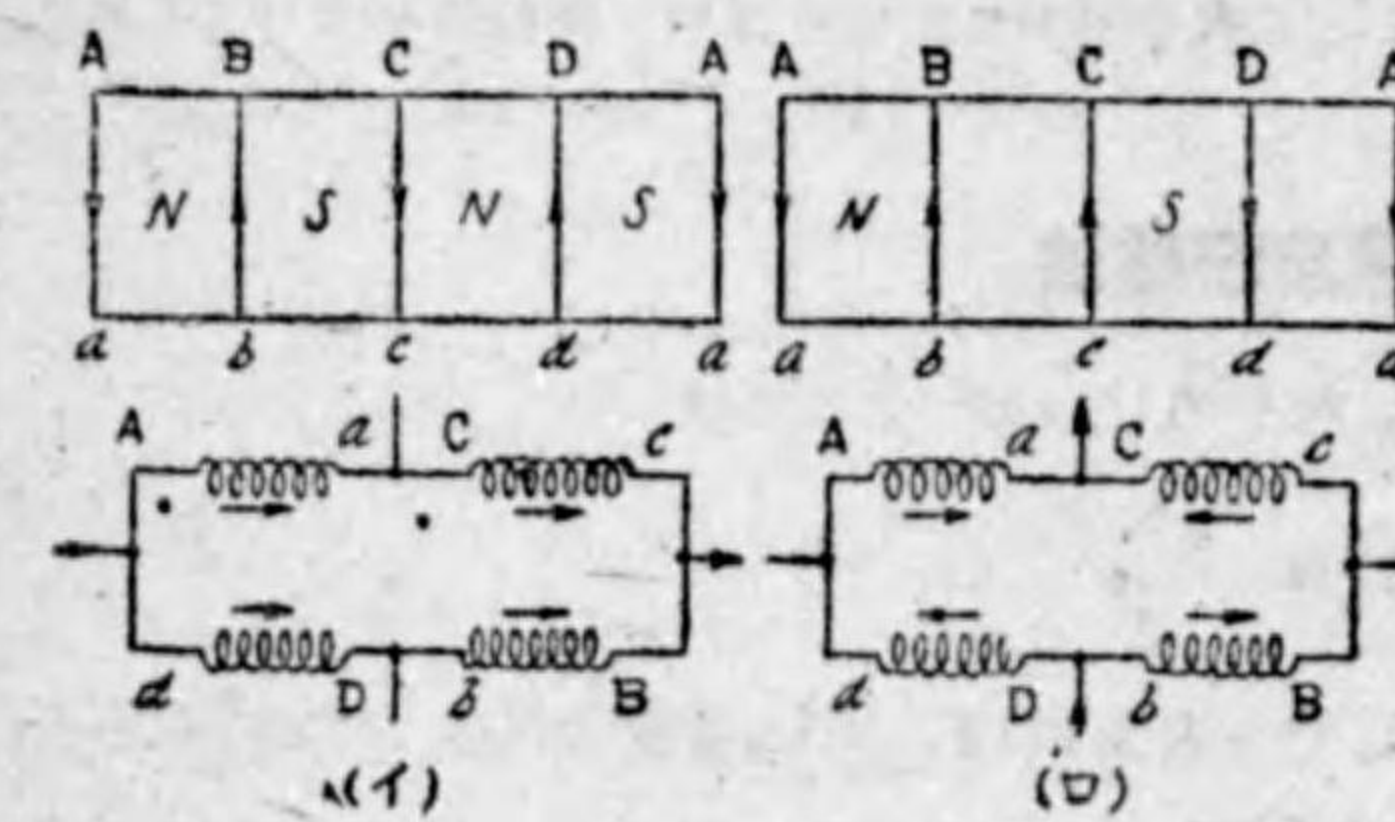


Fig 181

時に回轉子の極數も變化しなければならぬので甚だ複雑となる。従つて本方法は一般に籠型回轉子の場合に採用して居る。次に其の簡単な一例を、Fig 181 に圖示した。即ち (イ) に於ては圖の如くに、4 極を生ずるが (ロ) の如くにすれば 2 極となる。但し斯様な接續に於ては、接續變更の前後に於て電壓が同一であるから捲線數を變じないやうにする。其の要領は下圖で示した。

(C) 縱續結合法 (Concatenation)

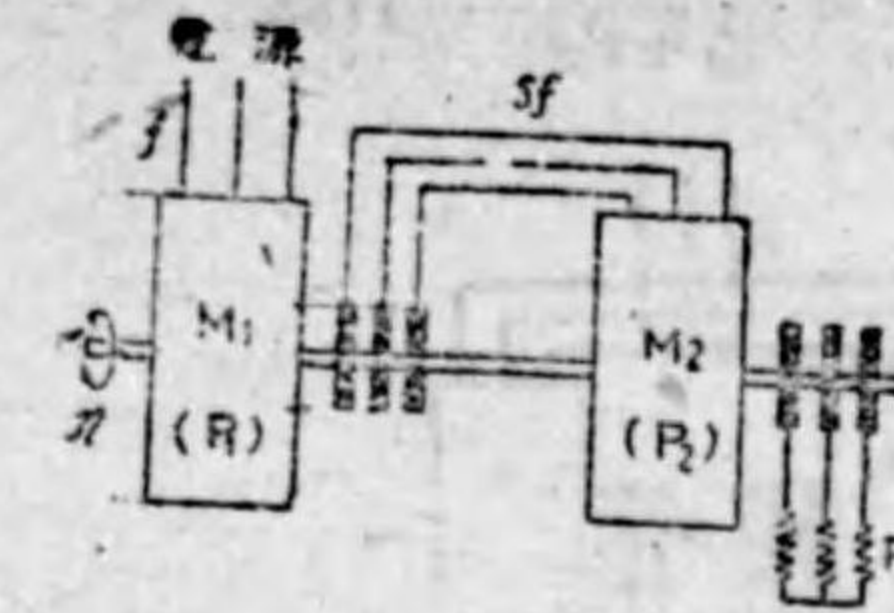


Fig 182

Fig 182 の如くに、多相誘導電動機  $M_1$  及  $M_2$  の回轉子を直結し  $M_1$  の固定子を電源に接續し、其回轉子捲線を滑動環を経て  $M_2$  の固定子に接續する。斯様に兩電動機を電氣的、機械的に連結すると二つの電動機はあたかも一個の電動機のやうに起動し、兩機の極數の和に相當する同期速度を有する電動機として回轉する。之れを縱續結合法と稱するのである。

今  $M_1$  の極數を  $P_1$ 、 $M_2$  の極數を  $P_2$ 、電源の周波數を  $f$  とすると、 $M_1$  は  $f$  と  $P_1$  より定められる同期速度より滑り  $S$  だけ遅れて回轉する。之れを  $n$  とすれば  $M_1$  の回轉子に誘導せらるゝ電壓の周波數  $f'$  は

$$f' = Sf = \frac{n_1 - n}{n_1} f = \left(1 - \frac{n}{n_1}\right) f$$

但し、 $n_1$  は  $M_1$  の同期速度で  $n_1 = \frac{120f}{P_1}$

$$\therefore f' = \left(1 - \frac{P_1 n}{120f}\right) f = f - \frac{P_1 n}{120} \dots\dots\dots (イ)$$

又  $M_2$  の回轉子誘導電壓の周波數を  $f''$  とすれば

$$f'' = S' f' = \left(\frac{n_2 - n}{n_2}\right) f' = \left(1 - \frac{n}{n_2}\right) f'$$

但し  $n_2$  は  $M_2$  の同期速度で  $n_2 = \frac{120f'}{P_2}$

併而、同期速度では  $f'' = 0$  とならねばならないから

$$f'' = \left(1 - \frac{n}{n_2}\right) f' = 0 \quad \therefore n = n_2$$

即ち  $M_2$  の同期速度  $n_2$  は回轉子の速度  $n$  なるを要するから

$$n_2 = \frac{120f'}{P_2} = n \quad f' = \frac{P_2 n}{120} \dots\dots\dots (ロ)$$

(イ) (ロ) を相等しいと置くと  $\frac{P_2 n}{120} = f - \frac{P_1 n}{120}$

$$\therefore n = \frac{120f}{P_1 + P_2} \dots\dots\dots (112)$$

即ち上述した如くに合成同期速度は二機の極數の和に相當し、斯様な一個の電動機として取扱つてよい。尙  $M_2$  の回轉子に抵抗を挿入して之れを調整すれば任意の滑りで運轉することが出来る。

尙 Fig 183 に示したやうに (イ)  $M_2$  の接續を逆にして其の回轉子側を  $M_1$  の回轉子に結ぶ二次側縱續法、(ロ)  $M_1$ 、 $M_2$  の一次側並二次側を夫々並列に結ぶ並列縱續法がある。合成同期速度は

(イ) に於て  $n = \frac{120f}{P_1 - P_2}$  (ロ) に於て  $n = \frac{2 \times 120f}{P_1 + P_2} \dots (113)$

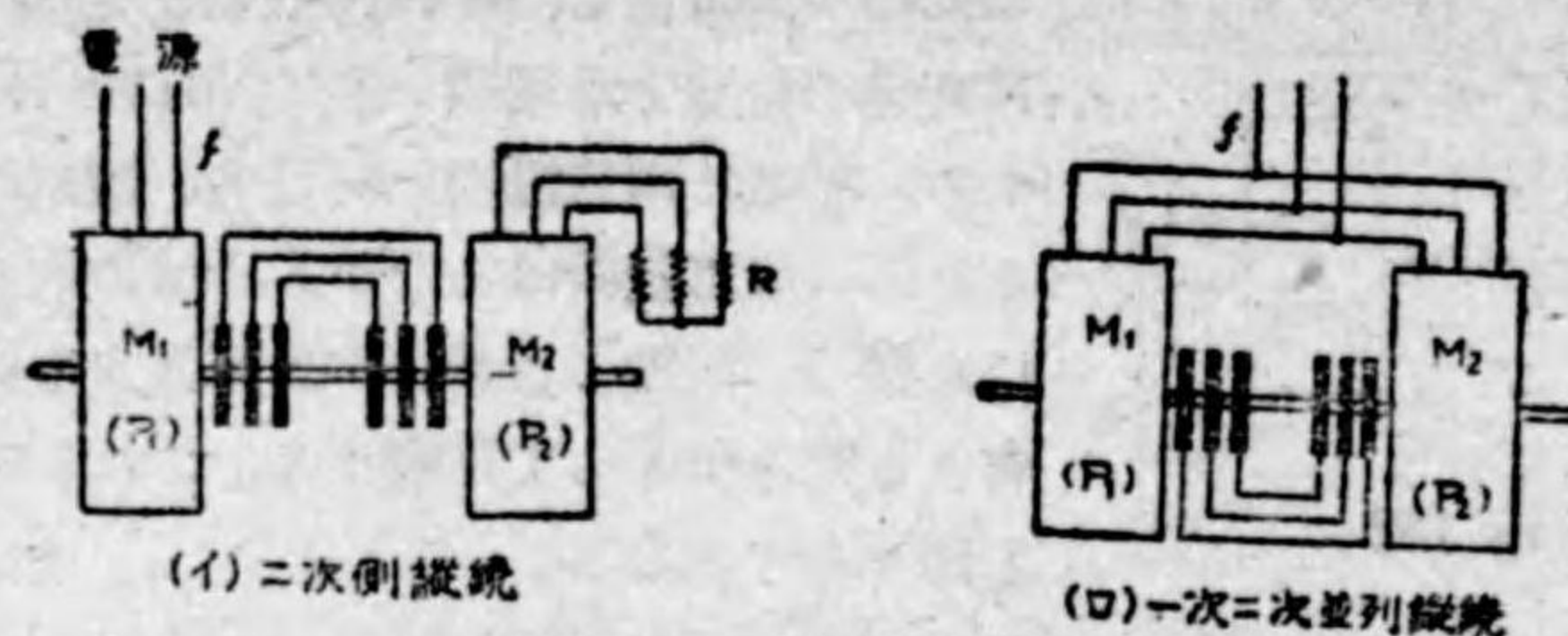


Fig 183

但し、(ロ) の場合に於て  $M_1$  と  $M_2$  の回轉界磁の方向は同一とし、回轉子の相回轉は互に逆とする。此の場合は負荷の如何に依らず回轉数が一定である。

〔註〕 (113) 式を證明して置く。

(イ) に於て  $M_1$  の回轉子の周波数は先に説明した直列機法と同様で

$$f' = f - \frac{P_1 n}{120} \dots (イ)$$

となる。併而  $M_2$  の回轉子に此の周波数が加へられるのであるが  $M_2$  の回轉子は軸の回轉数を  $n$  とすれば既に

$f_n = \frac{P_2 n}{120}$  なる周波数に相當した回轉数で回轉して居るからその固定子に對する周波数は

$$f'' = f_n + f' = \frac{P_2 n}{120} + f'$$

之れが  $M_2$  の固定子に誘導せらるゝ電壓の周波数となる譯で、同期速度では  $f'' = 0$  と考へてよいから

$$f'' = \frac{P_2 n}{120} + f' = 0 \quad f' = -\frac{P_2 n}{120} \dots (ロ)$$

(イ) (ロ) を相等しいと置くと

$$\frac{P_2 n}{120} = \frac{P_1 n}{120} - f \quad \therefore n = \frac{120f}{P_1 - P_2}$$

(ロ) に於て一次側の相回轉が反對であると、両者は並列に出来ないやうであるが、何れか一方の滑りが負となれば二次相回轉は反對となるので両者は同一相回轉となり、並列とすることが出来る。軸の回轉数を  $n$  とすれば

$$n = \frac{120f}{P_1} (1 - S_1) = \frac{120f}{P_2} (1 + S_2) \quad S_2 \text{ を負値とする} \quad \frac{1 - S_1}{P_1} = \frac{1 + S_2}{P_2}$$

又二次側の周波数の等しきことより

$$|S_1 f| = |S_2 f| \quad |S_1| = |S_2| \quad \text{之れを前式に代入して}$$

$$P_2 - P_2 S_1 = P_1 + P_1 S_2 \quad S_1 (P_1 + P_2) = P_2 - P_1 \quad S_1 = \frac{P_2 - P_1}{P_1 + P_2}$$

$$n = \frac{120f}{P_1} \left( 1 - \frac{P_2 - P_1}{P_1 + P_2} \right) = \frac{2 \times 120f}{P_1 + P_2} = \frac{120f}{\frac{P_1 + P_2}{2}}$$

即ち此の接続では電動機は二つの磁極数の平均を同期速度とする同期電動機となる。

尙 (ロ) の場合には回轉磁界の回轉方向と相回轉方向の取り方に依つて次の如き種々の場合を生ずる。

回轉磁界の方向	回轉子相回轉の方向	可 否	同 期 速 度
同	同	$P_1 = P_2$ のみ可	二個が同時に運轉して居るに過ぎない
同	反對	可	兩機磁極数の和の平均を磁極とする同期電動機となる
反對	同	可	兩機磁極数の差の平均を磁極とする同期電動機となる
反對	反對	否	静止の時のみ成立

(D) 回轉子に抵抗を挿入する方法

捲線型回轉子の二次側に抵抗を挿入すれば回轉数が變化する事は既に説明した其の理由は次の如くにも考へることが出来る。即ち所要回轉力を一定とすれば、界磁束は一定と考へてよいから、回轉子電流も一定なるを要し、抵抗に依つて増加する電壓を回轉子が誘導する必要がある。夫れが爲には滑りを大とし、回轉数が低下しなければならない。斯くして速度が變化するのであるが、銅損を増大して能率を低下するので特別の場合にしか用ひられない。丁度直流電動機の電動子に抵抗を挿入して速度を調整するのに一致する。本方法は一般に電氣鐵道、壓延機、起重機等に用ひられ、構造は起動抵抗器と同様な金屬抵抗器のものもあるが特に長時間使用に耐へるやうに設計されて居る。尙大容量のものになると液体抵抗器を用ひ、滑調整器に依つて負荷に應じて自動的に抵抗を調整して居る。例へば製鐵所、製鋼所等で使用する 壓延機 (Rolling mill) 用の電動機には此の裝置を附したものが多し。

又分捲直流電動機の電動子回路に抵抗を入れて速度を調整すると、僅かな負荷回轉力の變化に對しても速度が著しく變化する缺點があつた。之れと同様なことが此の場合にも云へるのであつて、斯く負荷に依つて速度が著しく變化するのは面白くない。之れが對策として考へられて居るのは抵抗として溫度係数が負であるものを用ふるか、或は二次回路に靜電容量を挿入する。前者の抵抗としては炭素棒のやうなパイロ電氣導体 (Pyro-electric conductor) が適當である。斯様な抵抗を用ふると、負荷が増加して電流が増すと抵抗の溫度が上昇し、抵抗の値が減少する。さすれば同一回轉数で回轉力を増加し得て殆んど負荷に拘らず定速度とすることが出来る。然し斯様な抵抗体の製作が困難なことに、抵抗を接続する端子が甚だ難しくなることが缺點である。

次に二次側に靜電容量を入れた場合には、回轉数の低下と共に誘導、靜電兩リ

アタンスが打ち消し合つて作用しない。此の原理を利用すれば相當に廣い範圍に定速度が得られる。然し、必要な靜電容量が相當に大きいので、經濟的でないが、靜電容量の應用は各方面に普及され廉價となりつゝあるから、今後此の方法が實用化される時代が來やう。

(E) 二次回路に逆起電力を挿入する方法

前方法に於ける二次抵抗の電壓降下に相當する逆起電力を別の機械に依つて供給し、此の逆起電力に相當する滑り即ち回轉數に於て電動機を運轉さす。斯くて速度を廣い範圍に調整するのであつて、逆起電力を供給する機械としては整流子電動機を主に用ふるが、時として同期發電機、回轉變流機の類を採用することがある。

本項は誘導電動機の力率改善と關聯して後章に於て説明しやう。

(F) 其他の方法

先に二台の電動機を縦續接続として運轉し、異つた速度を得たが、此の方法では二個の電動機を直結する必要があつた。之れを一台の電動機に異る極數の二組の捲線を施し、是等捲線の縦續に依つて行つたものがハント(Hunt)の自己縦續電動機である。

或は又、固定子も軸承で支へ、之れを回轉子と同方向又は反對方向に回轉して電動機を兩者の和、或は差としたものがある。其の方法は第一の電動機の回轉子の内側に第二の電動機の一次捲線を設け、其の内部に第二電動機の回轉子があるやうな構造とせられて居る。

(83) 三相誘導電動機の試験

誘導電動機の諸特性は既に説明した如くに圓線圖を以て表はせば一目瞭然である。従つて其の試験も圓線圖を描くデータののみを知ればよい。夫れには既に説明したやうに

- ① 一次固定子の供給定格電壓を知る。
- ② 無負荷入力及無負荷電流を知る。

之れは電動機を無負荷運轉し、其の流入電流を電流計で、入力を電力計に依り測定工學に述べた方法で測定すればよい。

- ③ 短絡試験に於ける入力及電流を知る。
- ④ 一次抵抗を測定する。

次に③以下に就て其の測定方法を説明しやう。短絡試験とは變壓器の二次側を短絡した場合に相當し、回轉子を拘束して靜止させ、一次に電壓を加へて此の際の入力及流入電流を測定する。此の際、實際の供給電壓を加へると莫大な短絡電流が流れ、電動機を燒損するから極めて低い電壓を一次固定子に加へ入力と電流を讀み、供給電壓を漸次に高めて全負荷電流の二倍位迄讀む。斯くて得られた結

果を電壓を横軸としてぐらふに画くと直線となる。併而此の直線を延長して定格電壓に於ける入力及電流を知つて圓線圖を画く。

尙④の測定より一次全銅損(三相)を求めるに、端子間の測定抵抗をR、全負荷電流をIとすれば下記の如くなる。

$$\text{全負荷一次全銅損 } P_c = \frac{3}{2} I^2 R \dots\dots\dots (114)$$

(註) 例へば星形接続では(但しrは一相の抵抗、iは相電流)

$$P_c = 3 i^2 r = 3 I^2 \frac{R}{2} = \frac{3}{2} I^2 R \quad i = I \quad r = \frac{R}{2}$$

三角形接続では  $P_c = 3 i^2 r = 3 \left( \frac{I}{\sqrt{3}} \right)^2 \times \frac{3}{2} R = \frac{3}{2} I^2 R$

何れでも同一の結果となる。

(84) 三相誘導電動機の据付と運轉

誘導電動機も回轉機であるから据付等は直流機、同期機の場合と同様で再述の要はないと考へるが、次に吾々が最も普通に取扱ふ中、小容量機に對し据付並運轉上注意すべき点を述べる。大容量機に對しては種々の附屬装置があるから、此の精神と本書で與へた十分な智識で臨期適切な處置を講ずればよい。

据付は往々輕視され易いこであるが、其の良否は運轉成績に壽命に與ふる影響が大きいから慎重であつて欲しい。

第一に据付場所の撰定であるが、なるべく風通しのよい乾燥した處を撰び、過熱と絶緣低下を避ける。

据付方法として、固定作業の場合には基礎をコンクリート或は煉瓦で作り、更に木台を取付けて之れに電動機を設置する。但し50馬力以上のものには木台を使用してはならない。50馬力以下でも木台は省いてもよい。要は水平に然も動搖のないやうに確實に据付けるにある。又電動機は摺動台(スライド・ベースと云ふ)の溝の最前端に据付け、使用と共にベルトが伸びて來れば電動機を後退出來るやうにして置く。

尙電氣的注意としては、据付前に結線圖を作製し、電線接続、特にリード線の接続は震動に依つて弛緩し、發熱の原因とならないやう、又回轉方向と相回轉を誤らないやうに注意する。尙保安接地を取ることを忘れてはならない。

此の据付が終れば試運轉を行ふのであるが、開閉器を入れる前に今一應、結線圖を参照しながら接続を吟味し、之れをすつかり腹に入れて置く。尙、配線、電動機の絶緣抵抗をメガで測定し、電壓が不平衡なく來て居るかを電壓計で各線間に就て調べねばならない。斯くて異状がなければ、電動機を無負荷として開閉器を閉ち空轉させて暫く様子を見て、次に作業機を運轉して負荷をかけるのである。

次に日常運轉の場合であるが、起動法は既に説明したから茲では運轉上の注意事項を列挙する。

① 運轉への給油は電動機の回轉に對する生命であるから、常に注意されたい給油は過少であつても、過多であつてもいけない。隔日或は三日に一度はオイルゲージを調べて適當に補給し、此の際、オイルリングが油を汲みあげて居るかどうかに注意する。尙軸承油としてはなるべく良質のものを使用しなければならない。

② 運轉中は電動機への流入電流を電流計に依つて注視し、規定電流を超過して焼損或は壽命の短縮することを豫防する。大体規定電流の 80 %位で使用するものが最も經濟的である。電動機自身の溫度にも注意を拂つて過熱を避ける。

③ 電流計としては、起動電流を考へ規定電流の 3 倍位の目盛のものを使用し可熔片は規定電流或は夫れに極く近い容量のものを用ひ、決して過大な可熔片を装置してはならない。

④ 高電電動機で油入開閉器を用ひるものは、時々油澆し或は取換へを行ひ接觸子面は極く細目のペーパーで磨く。

⑤ 運轉中、煙を出したり、或は唸り出したりするのは一線の斷線か内部故障か、又は軸承の過熱であるが、軸承の過熱でない限り速かに開閉器を開いて停止する。

〔註〕 軸承が著しく過熱したものを急に止めると軸と軸承が焼きつき修理が困難になるから、此の場合は無負荷として軸承に石鹼水等を注ぎながら溫度が或る程度低下してから靜かに止める。

### (85) 三相誘導電動機の手入、故障、修理

故障が生じたからとて急に手入をするやうでは親切心が足りない。故障がなくとも毎月一回位の掃除と三月に 1 回位の分解掃除を行つてやる。斯くすれば壽命も長く能率よく運轉することが出来る。次に分解掃除の手順を示す。

① 先づ調車（ブリー）を外す。即ち軸に調車を締付けて居る楔の押へ捻子を弛めて楔を抜き取り、各部一様に軸と平行に徐々に引き抜く。金槌で無闇に叩くとこちらせて抜けなくなつたり調車を割つたりする。

② カバー（或はブラケットとも云ふ）を外す。カバーを固定子に取付けて居るボルトをスパナで弛めて取り去る。此の際、メタル内にある油は豫じめ抜いて置く。又餘り大きなスパナで弛めるとボルトの頭が丸くなつて締付けが悪くなるからよく適合したスパナを使用して作業する。

③ 回轉子を抜き出す。此の際回轉子と固定子を衝突させて損傷を來さない様に注意する。

斯くて分解せられたら次の順序で掃除手入をする。

④ 固定子、回轉子、捲線間に溜つて居る塵埃を電氣ブローアかコンプレツサー或は是等がなければ手フイゴとか自轉車の空氣ポンプに依つて吹き散らす。捲線のなるべく奥迄綺麗にしなければならないから、強力な電氣ブローアが最もよい。捲線間のゴミを揚子等でほじくると捲線の被覆を傷めるからいけない。又揮發油や石油で洗ふと捲線の表面に塗つてある塗料が溶け、絶縁耐力が低下するから行つてはならぬ。

⑤ カバーや軸承は揮發油とか石油で洗つて、布で完全に拭き取る。

これで分解掃除が終つたから、次は組立である。其の順序は

① 回轉子の向きを誤らないやうに、固定子と衝突しないやうにして回轉子を挿入する。

② 固定子兩側のカバーは何れが何れか見分けが難しいから誤らないやうに、取外の時に印をつけて置く。（誤るとボルトの穴がうまく合はない。）又カバーを回轉子に入れるときオイルリングにつかへて入らないからオイルリングを一先づベアリングの上に引きあげて置く。カバーの締付は一箇所だけを強くせず各部一様に締めつけて行く。そうしないとこちれて他のものが完全に締付けられない。左様な場合とか固定子とカバーの接觸面にもものが挟つて居ると回轉子が固くて廻り難くなる。

③ 回轉子軸を廻しながら軸承メタルの油壺に注油する。勿論オイルリングは忘れず定位位置に戻して置く。

④ 調車は軸に塗油して嵌め込む。

⑤ 外線との接続には相回轉を誤らないやうに、又作業機への注油、ベルトの伸びの手直しをして、前述した試運轉を行ひ、特にオイルリングが充分に油を汲みあげるかに注意する。

次に故障と修理であるが、故障は實に千差万別で、メーカーに頼まねばならないやうな故障も生じやう。此處では専門家に頼まなくともよい程度の故障と修理を重点として述べる。

故障を分つて電氣的のものと機械的のものとする。

電氣的の故障； 夫れには

① 電動機全体が過熱されたとき、多くは過負荷に依るのであるから電流計の讀みを調べ、負荷を減ずる。減じ得ない時は大きな電動機と取替へるより仕方がない。

② 起動の時に起動器が過熱したり、起動器の最後のノツチを入れた時に大きな電流が流れフューズが熔断されることがある。此の場合は起動器の容量が小さいか、接続の誤りか、絶縁抵抗の低下等が考へられる。

③ 尙、唸つたり煙を出したりする原因及手當は既に述べた。

④ 水澆し、或は潮澆となつたものは清水で洗ひ、特別の乾燥室に入れて氣長

に乾燥し、絶縁抵抗が温度に拘らずに略々一定値（低圧 0.2 メグ、高圧 1 メグ以上）になつてから使用する。

機械的の故障； 之れには

① 軸承の過熱（70°C 以上は過熱と見てよい）で最も起り易い。其の原因は据付の不良、調帯の張り過ぎ、油循環状態の不良、軸承の摩滅等であつて、夫々適當に手直しをしたり軸承を取り換へる。

② 震動を生ずるのは、回轉子の不平衡、調帯の張力の過大、軸の曲りカバー締付けボルトの弛緩等が原因することが多い。

③ 固定子と回轉子の空隙が不揃ひであると、回轉力にむらを生じて唸つたり甚しいと両者が接觸して火花を生じたりする。これは軸承の磨滅、カバー取付の不良等に起因する。従つて組立後、或は時々ツクネスゲージで空隙が一様であるかどうかを調べる。

### (85) 三相誘導電動機の仕様書

誘導電動機の仕様書に記載すべき事項は次の通りである。

使用場所及使用目的を前記する。

(一) 型及個數 籠型、捲線型、開放型、閉鎖型の別

(二) 定格 電圧（200V 又は 3000V 尙 60 $\infty$  の時は 220、3150 及 3300V もあり）周波數（50 又は 60 $\infty$ ）相數、極數、連続或は短時間運轉に於ける軸の定格出力（kW）

(三) 特性 定格電壓、定格周波數及電動機温度 75°C（定格出力）に於ける滑り、全負荷能率、全負荷力率、無負荷電流、最大起動電流、起動回轉力

注意事項 (イ) 定格電壓が上下 5% の差異あるも運轉上支障のない事 (ロ) 無負荷電流は各相電流の平均値を以て之を定むる。但し各相電流の差は其の平均値より上下 5% を超過するを得ない。

(四) 特性試験 特性はハイランド圓線圖に依り算定するもの

(五) 温度試験 (イ) 負荷方法 連続定格運轉にて一定の温度上昇に達せしむ。但し試験時間を短縮せんとする時は定格負荷の 125% を超過せざる程度に之を行ふものとする。

(ロ) 測定 一定温度上昇に達したる際寒暖計に依り測定したる温度と其の時の周圍温度との差を以て温度上昇とす。尙温度を上昇するには負荷返還法を採用することを得

(ハ) 周圍温度 周圍温度は試験すべき電動機より一米乃至二米距りたる点にて測定し若し試験中該温度に異動ある場合は定時間毎に測定し、同試験時間最後の四分の一の間に於ける温度の平均を以て周圍温度とする。

(ニ) 温度上昇 攝氏 45 度以下とす。但し周圍温度が 40°C 以上の時は温度上昇の更正を爲さざるものとする。

(六) 瞬間最大出力電動機 若し必要があれば定格出力の 150~250% を限定とする。

(七) 絶縁抵抗試験 固定子線輪は成るべく直流 500V を以て之を測定し次記の値以上なるを要す。

低壓電動機 1「メグオーム」以上 高壓電動機 3「メグオーム」以上

(八) 耐壓試験 温度試験終了後直に正弦波形の定格周波數を有する電壓を以て之を行ひ、次記の値に合格するを要す。

(イ) 固定子線輪と鐵心及大地間（固定子線輪に接觸する起動器も之れに準ず）定格電壓の 2 倍に 1000V を加へたるもの 1 分間

(ロ) 捲線型回轉子と鐵心及大地間（回轉子線輪に接觸する起動器も之れに準ず）最大誘起電壓の 2 倍に 1000V を加へたるもの 1 分間

(九) 起動器 出力 7.5 馬力以上の電動機（但し全電壓起動の如き特殊のものを除く）には起動器を附するものとする。

起動器には適當なる方法に依り其の動作方向及電動機との接續方法を明記し、附屬保護方式等を記する。

(十) 調車 電動機には特殊の用途を除く外調車を附する（回轉數及寸法指定）

(十一) 摺動台及摺動軌條 電動機には特殊の用途を除く外基礎ボルト及摺動台もしくは摺動軌條を附するものとする。

(十二) 引出線 特に指定する場合は外は調車側より見て電動機の左側に引出すものとする。

但し、低壓 75 馬力以上及高壓電動機の場合は此の限りにあらず。

(十三) 銘板 電動機及起動器には下記事項を記入したる銘板を附するものとする。

第一項 電動機銘板 (イ) 特殊記號（電氣協會の仕様制限年度を示す）(ロ) 製造者名 (ハ) 製造番號 (ニ) 機械名稱 (ホ) 周波數 (ヘ) 相數 (ト) 出力（馬力を主とし kW を附記する kW 數は三相の數字を以て表示する）(チ) 端子電壓 (リ) 電流 (ヌ) 回轉速度（定格出力時の R.P.M）(ル) 滑動環間の最大電壓 (ヲ) 附屬起動器製造番號

第二項 起動器銘板 (イ) 製造者名 (ロ) 製造番號 (ハ) 器具の名稱 (ニ) 出力（電動機の馬力を記入）(ホ) 抵抗（抵抗起動器の場合は抵抗をオームにて表し、又起動電流をアムペアにて附記する）

(十四) 圖面其の他 供給者は据付に必要な圖面を提出し、電動機の正味重量を附記すべし。

(十五) 附屬品及豫備品 軸承メタル刷子全開溝型固定子に於ては線輪の豫備を記入する事あり其の他被保護方式冷却方式を附記する事あり。

(十六) 納期及納入場所

(註) 茲に書いた通り書かれればならぬ事はない。上記のやうに書けば仕様書の化け物だとも誦言されやう。要は負荷の種類、特性、据付場所及用途、電壓の状況に應じて強調すべき点を書き、他の特性、温度試験、耐壓試験等は J.E.C-37 或は J.E.C-65（日本標準規格）に依ると附記するのが一般である。従つて ① ② ③ の一部 ⑨ ⑩ ⑪ ⑬ ⑭ ⑯ の項目を

指示すれば充分である。

(87) 特殊籠型誘導電動機

籠型誘導電動機は捲線型に比して構造が簡単で、取扱ひに便であるが、回轉子の抵抗が小さいので起動の際の電流が大きく、然も回轉力が小さい。従つて相當の容量になれば起動装置を用ひて起動電流を制限して居る。即ち線路から直接に起動することが出来ない。斯様な起動装置は使用目的に依つては甚だ不便を伴ふ例へば船舶等の電氣推進の場合がそうである。其處で起動電流を制限し起動回轉力を増大する爲に籠型回轉子の導体抵抗を高抵抗としたものが現はれた。之れを高抵抗型と云ひ、抵抗の高い導体が回轉子の出来るだけ表面に配置されて居る。併而、斯様な高抵抗型とすると起動特性がよく、初めから線路の全電壓で起動される……之れをラインスタート (line start) と云ふ……然し、運轉時にあつては屢々説明をしたやうに、回轉子銅損が大きく能率を低下し、然も速度變動率を大とする。其處で起動特性もよく、運轉特性も良好なやうにと發明せられたのが二重籠型電動機 (double squirrel-cage rotor induction motor) である。其の構造は、Fig 184 に示すやうに、回轉子を構成する鐵心は深淺二つの溝を有し、夫々 A, B なる二つの導体を使用せられて居る。此の外周の方に入れられた導体 A は抵抗の高いインダクタンスの低いもので、内側の溝の導体 B は抵抗の低い普通の籠型回轉子のものと同様にせられて居る。今起動の際を考へると、二次に誘導せられる電壓は大きいから高抵抗の A 導体にも



相當大きい電流が流れ、大なる起動回轉力を生ずる。然も此の時の回轉数は未だ小さいので回轉子誘導電壓の周波数は殆んど供給電壓の周波數に等しく、B 導体のリアクタンス (2πfL) は大きいので、餘り電流が流れない。即ち起動回轉力は主として高抵抗の A 導体で作られ、之れで起動が遂行される次に速度が次第に上昇して行くと、誘導電壓の大き及周波數は漸次に低下するから A 導体の電流は甚だ小さくなり、B 導体はリアクタンスが減るので電流が多く流れるやうになり、此の低抵抗の二次回路に依つて回轉力を生じ運轉を繼續する。即ち斯様な構造とすると、Fig 185 で示したやうに、高抵抗型電動機の回轉力曲線 A と、高リアクタンス型電動機の回轉力曲線 B を合成した回轉力曲線 T を有する電動機となる。但し圖では T の途中で凹所を生じたが斯様な回轉力曲線は負荷の種類に依つては避けねばならないので設計に留意し、或は三重籠型として、回轉力曲線を平滑なものとし

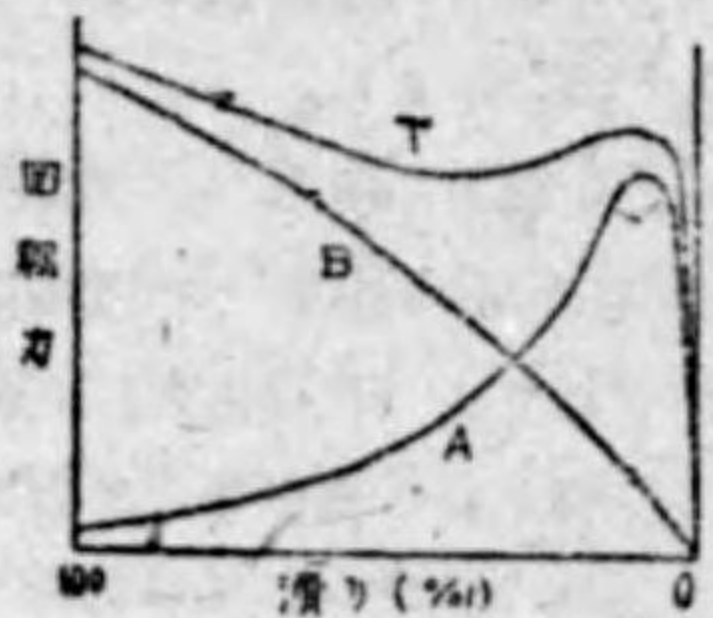


Fig 185

て居る。

尙深淺二つの溝を一つの溝とした深溝型 (deep slot) がある。斯くすれば構造は容易となるが、特性は高抵抗型と二重籠型の中間に位することとならう。

(88) 誘導制動機 (Induction Brake) と誘導發電機 (Induction Generator)

(A) 誘導制動機

アラゴの圓板で磁石を急に反對方向に回轉すれば、圓板には反對方向の回轉力を生じ、急に停止しやうとする。之れは圓板に生ずる起電力の方向が逆になる爲であつて、基礎學(下) Fig 41 に就て諸氏が右手の法則に依つて考へられるなら明瞭に自得して載けやう。

又回轉体に物を壓して之れを停止すれば物体は熱せられる。例へば回轉して居る獨樂を手で壓して止めると手は熱せられる。と云ふことは回轉体の有するエネルギーが熱となつて消費せられ、斯くてエネルギーを失つた回轉体は急激に停止せられるのである。

以上二つの考へ方を以てすれば、回轉を續けて居る誘導電動機の固定子の任意の二つのリード線を結び變へ、回轉磁界の方向を逆とすれば電動機は急に停止せられ、回轉体の有して居るエネルギーは回轉子内の銅損となつて消費せらるゝことが容易に想像せられやう。即ち回轉子の回轉方向が回轉磁界の方向と逆になるから回轉子が回轉磁界に依つて切られる關係速度は(同期速度+回轉子速度)となり、之れに誘導せらる電壓の周波數は一次周波數よりも大となる。

$$\text{滑り } S = \frac{N_s - (-N)}{N_s} = \frac{N_s + N}{N_s} = 1 + \frac{N}{N_s} \dots\dots\dots (115)$$

$$f_2 = S f = f \left( 1 + \frac{N}{N_s} \right) \dots\dots\dots (116)$$

二次誘導電壓は靜止の時を E<sub>2</sub> とすれば N 回轉に於ては

$$E_2' = S E_2 = E_2 \times \frac{N_s + N}{N_s} \quad S > 1 \dots\dots\dots (117)$$

斯様に二次回路の關係は全く誘導電動機の場合と同様で、單に滑り S が 1 より大きな値となつて居ると云ふに過ぎないから、此の S の値を以てすれば誘導電動機の場合に求めた諸式は直ちに此の場合にも適用される。

併而、此の場合二次回路に消費されねばならない電力は、一次よりの電氣的入力と回轉体の有する機械的勢力の和となるから二次回路に充分な値の抵抗を挿入しないと、回轉子捲線を燒損するやうな事になる。

此の誘導制動機は主として捲揚機のやうなものに誘導電動機を使用して居るとき、急に之れを停止しやうとする際、機械的制動と共に誘導電動機の一次端子の二つを逆に結び換へ、同時に二次抵抗の量を増す。斯くすると誘導電動機は殆んど滑り S に近い回轉數 (逆方向に同期速度に近い回轉數) で回轉して居ることに



なるから誘導制動機として働き直ちに静止状態となる。

(B) 誘導発電機 (Induction Generator)

直流分捲電動機を外部より回轉せしめて次第に其の速度を上昇すれば、今迄、加電壓 > 逆起電力 の関係で流入して居つた電流が、加電壓 < 逆起電力 となつて電流が流出し、發電機となる。あらゆる点で直流分捲電動機に類似する誘導電動機は此の發電機となることも同様であつて、誘導電動機を同期速度以上で運轉すれば滑り S は負の値となり、電壓、電流の方向は反對となつて發電機となる。誘導電動機の處で求めた諸式に於て滑り S を負とするなら發電機の場合の式となり、上記が明かに理解せられる。此處では今少しく具体的な説明をして置かう

誘導電動機を同期速度とすると、回轉力は全く零となり、損失がないものとするれば入力も零となる。更らに外部から之れを回轉させて同期速度以上とすると、回轉子は回轉磁界よりも速いのであるから、回轉子導体が磁束に切られる方向は電動機の場合と反對となる。従つて右手の法則から考へても明かなやうに、回轉子誘導電壓の方向は反對となり之れに依つて流れる電流も亦前と反對方向である

此の場合のベクトル關係を示すと、Fig 186 の如くなり、電動機の場合の回轉子誘導電壓及電流を  $e_2, i_2$  とすれば、同期速度以上となれば  $e_2', i_2'$  の如くに前と反對方向となる。従つて  $i_2'$  に應ずる一次電流  $i_1$  も圖の位置となり、一次側電流は  $i_1$  と勵磁電流  $I_0$  のベクトル和  $I_1$  となる。(此の場合鐵損は外より供給されず自身が供給する) 此の  $I_1$  は一次側の逆起電力  $e_1$  との間に電力を形成するから、明かに之れに相當する電力が外部に供給されて居ることが解る。又圖の  $E_1$  は一次側の端子電壓であつて、發電機としての供給電流  $I_1$  は之より  $\theta$  だけ進んだ位

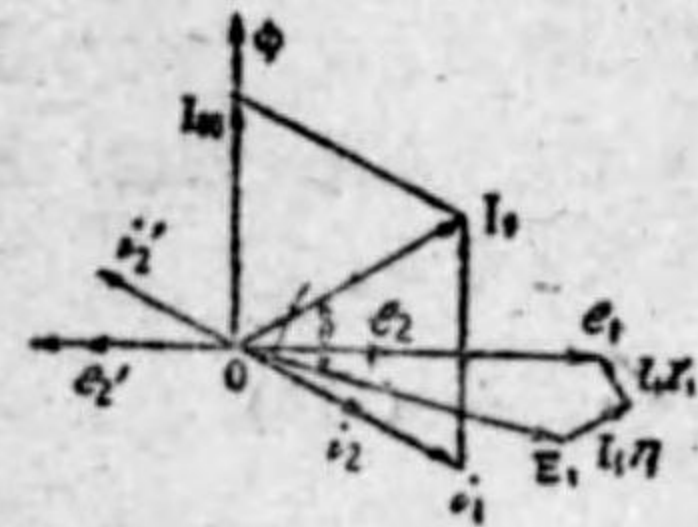


Fig 186

相にある。此の  $\theta$  は負荷に依つて定るのでなく、誘導發電機自身の性質に依る。

誘導電動機の處でも述べたやうに、回轉子が如何なる速度に於ても回轉子誘導電壓並電流の周波数は固定子一次に對しては供給周波數に等しい。誘導發電機に於ても同様であるから一つの周波數に對して一定の速度を持つ必要がない。之れと並列に結れて居る同期發電機の周波數に一致し、回轉速度には何の關係もない併而、同期發電機では磁極を直流に依つて勵磁し、之れを他の原動機に依つて回轉して發電子導体に起電力を生ぜしめた。一方誘導發電機では回轉磁界を作る勵磁電流は之れと並列にある他の同期發電機より供給せられる。従つて單獨には發電し得ない。此の回轉磁界を導体が切つて回轉子に電壓を發生するが、之れは短絡せられて居るので變壓器として其の發生電力を一次側に傳へ、勵磁電流を供給して居る一次幹線に電力を送る。此の關係は既に先のベクトル圖で示した通りである。

今、同期交流發電機 S.G と誘導發電機 I.G を並列として負荷電流 I を供給して居るとき、IG の電流を  $I_{IG}$  とし、 $E_1$  より  $\theta$  角進むとすれば、SG より供給される電流  $I_{SG}$  は

$$I_{IG} + I_{SG} = I \quad \therefore I_{SG} = I - I_{IG}$$

で負荷電流が  $E_1$  より  $\phi$  角遅れるとすると Fig 187 のベクトル I の位置に來る。圖よりも明かに  $I_{SG} = i_1 + i_0$  で SG は負荷電流及 IG の無効電流を供給しなければならない。故に若し此の回路に SG の代りに、 $I_{SG}$  を消化するやうな靜電蓄電器を設置すれば、SG は不用となるが、然し此の場合でも SG を用ひなければ安定な運轉が繼續出來ない。

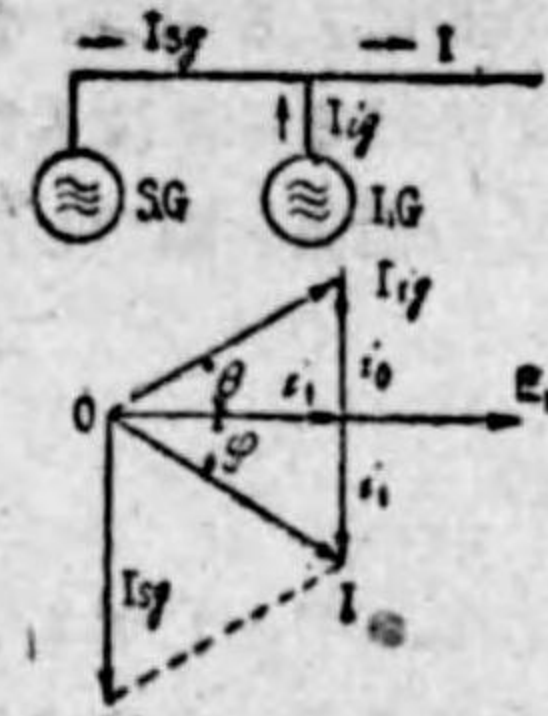


Fig 187

又圖に於て負荷電流が更に増加するなら、SG からは上記の無効電流の他に、(負荷の有効電流 - 誘導發電機の有効電流) を供給しなければならない。

斯様に誘導發電機は必ず之れと並列にある同期發電機から勵磁電流を受けねばならない。此の電流は IG としては進電流であるが、SG としては遅電流である従つて上記のベクトルで説明したやうに SG は之れと負荷電流の無効分を送らねばならないから、其の力率は悪化され kVA 出力が大となる。之れが誘導發電機の缺點であるが、一方、速度の如何に拘らず周波數の一定なこと、乱調の心配のないこと、短絡した場合には勵磁が殆んど零となり出力が急に零となる、即ち大きな短絡電流は流し得ないので、其の運轉は極めて呑氣で、構造も簡單である

我が國に於て此の發電機が主として用ひられるのは、山間の割合に小容量の自動發電所の發電機としてであつて、單に主發電所の回路と結んで置けば勵磁機も不要であり、同期化をする必要もない。即ち水車の出力が大なら發電機となり小であれば誘導電動機となるに過ぎない。但し輕負荷では非常に加速される。又、我が國では採用されてゐないが、電氣鐵道に誘導電動機を用ふると、平常は電動機として働き、坂を下る場合には發電機となつて電車線に電力を返すことが出来る(直流回生式よりも制御が容易である) 伊太利或はアメリカの一部に於て採用

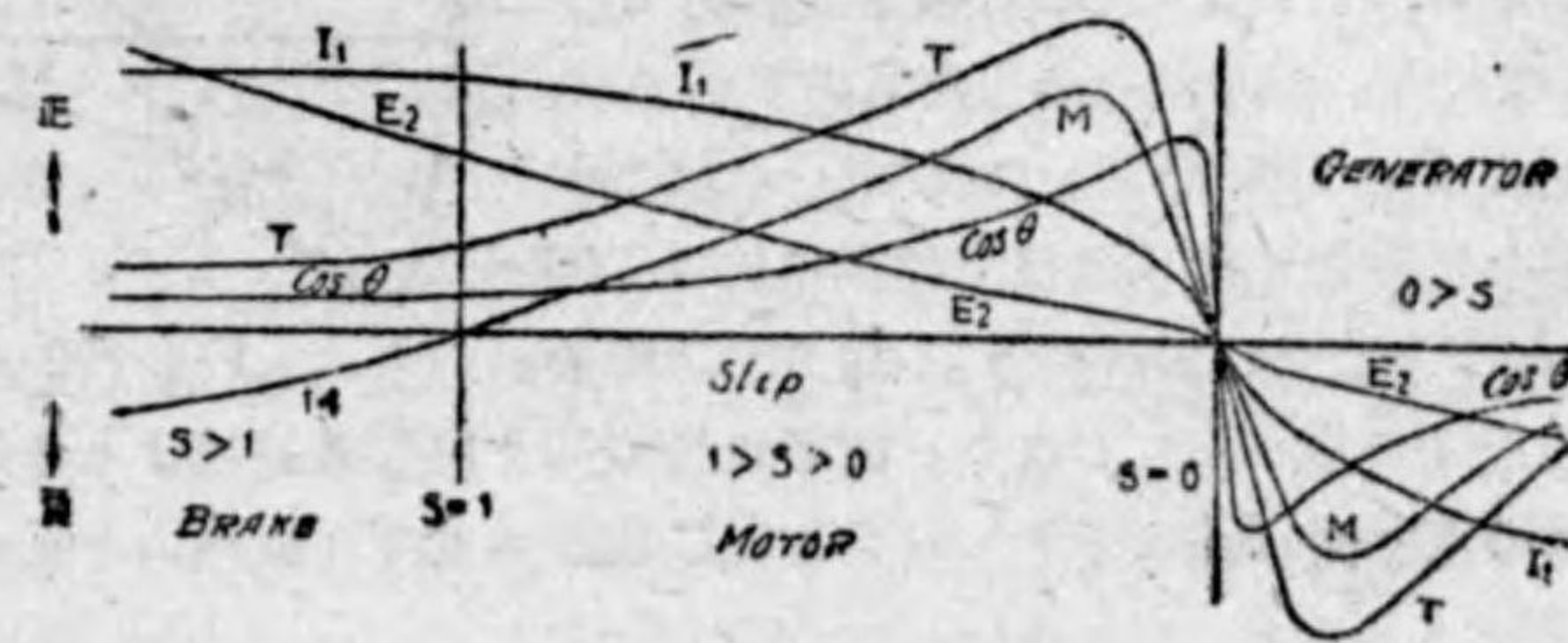


Fig 188

されて居る。但し此の場合は電車線の力率悪化、電動機の發熱の關係上容量を大として設計しなければならない。

Fig 188 は誘導電動機の滑りが 1 より大なる場合 1 と 0 の間にある場合、負値の場合に亘り、即ち誘導制動機、電動機、發電機の各場合に於ける一次流入電流  $I_1$ 、二次誘導電壓  $E_2$ 、回轉力  $T$ 、力率  $\cos\theta$ 、機械的出力  $M$  の關係を圖示したものである。

(89) 單相誘導電動機 (Single phase induction motor)

運轉せられて居る三相誘導電動機の一線の本を切り離して單相としても、矢張り運轉を繼續する。但し、多少唸音を發し能率や力率は低下する。之れに依つて見ると單相誘導電動機は自ら起動することは出来ないが、豫じめ或る方法で之れを起動してやるなら運轉を繼續することが解る。此の原理を説明するのに回轉磁界説と交叉磁界説がある。次に簡単に是等を説明しやう。

(A) 回轉磁界説

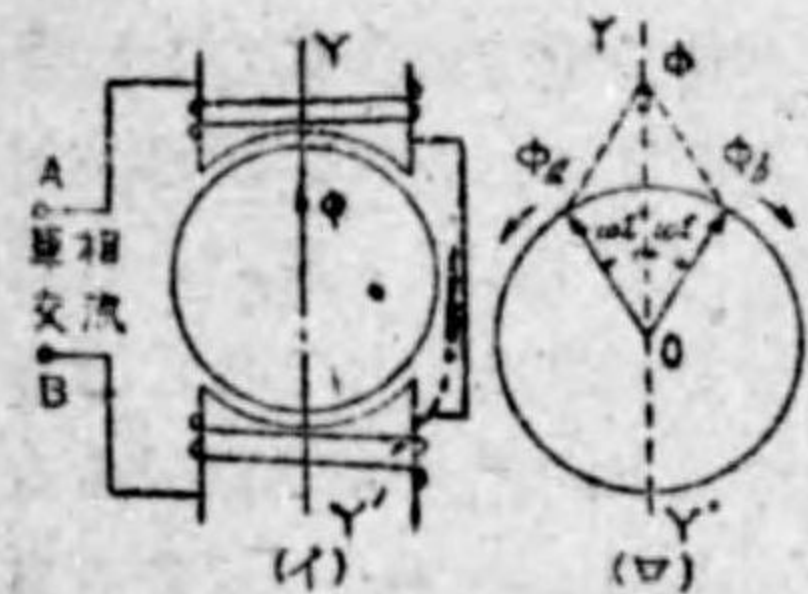


Fig 189

Fig 189 (イ) の如く、界磁束が單相の場合には磁界は磁極軸上  $YY'$  上に振動する交番磁界に過ぎない併而斯様な交番磁界は互に反對の方向に回轉する等速度の二つの回轉磁界  $\phi_a$  及  $\phi_b$  を以て置き換へることが出来る。此の二つの回轉磁界は何れも回轉子に回轉力を生ぜしめるのであつて、回轉子が靜止して居る時は  $\phi_a$  及  $\phi_b$  に依る回轉力の方向は反對であるから起動し得ない。

次に回轉子を  $\phi_a$  の方向に回轉してやると、回轉子の速度即ち滑りに對して  $\phi_a$  に依つて生ずる回轉力  $T_1$  は三相誘導電動機の場合と同様に、Fig 190 の  $T_1$  曲線で示される。圖は

$S=1$  靜止の場合を中央として、回轉子が  $\phi_a$  の方向に回轉したとき(右側)  $\phi_b$  の方向に回轉したとき(左側)の兩場合に就て、 $\phi_a$  に依る回轉力  $T_1$ 、 $\phi_b$  に依る回轉力  $T_2$  の變化を示したものである。此の關係は先の Fig 188 で示した  $S>1$   $1>S>0$  に於ける、即ち誘導制動機及誘導電動機に於ける回轉力  $T$  の變化より直ちに画けやう。従つて回轉子に生ずる回轉力は  $(T_1 - T_2)$  となり、圖の点線の如くなる。圖よりも明かなやうに、單相誘導電動機は回轉子を何れの方法に起動させても回轉力を生ずることが解る。

(B) 交叉磁界説

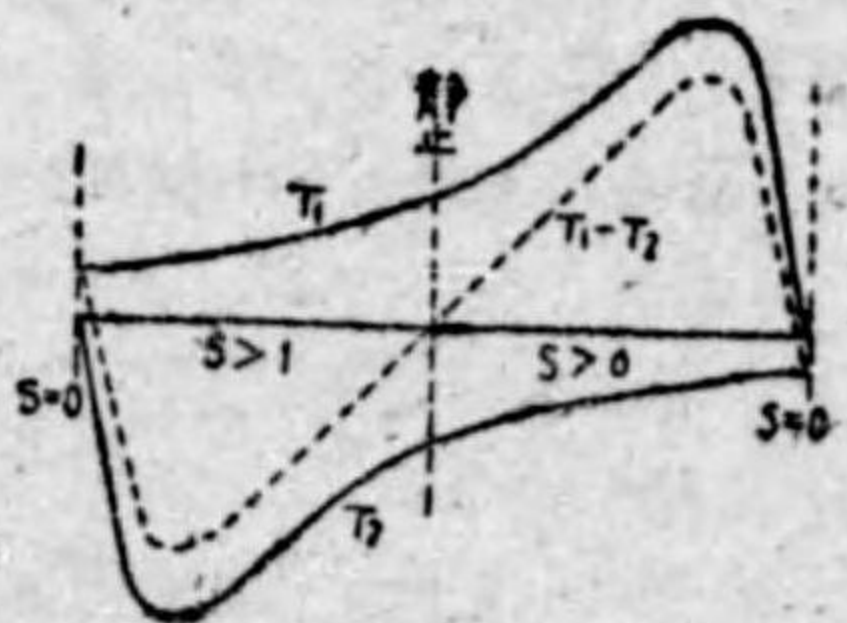


Fig 190

前と同様に二極の單相誘導電動機を考へ、磁極に單相交流を供給すると、例の交番磁界が生ずる。此の交番磁界に依つて回轉子に誘導電壓を生ずるが、其の狀況は Fig 191 (イ) に

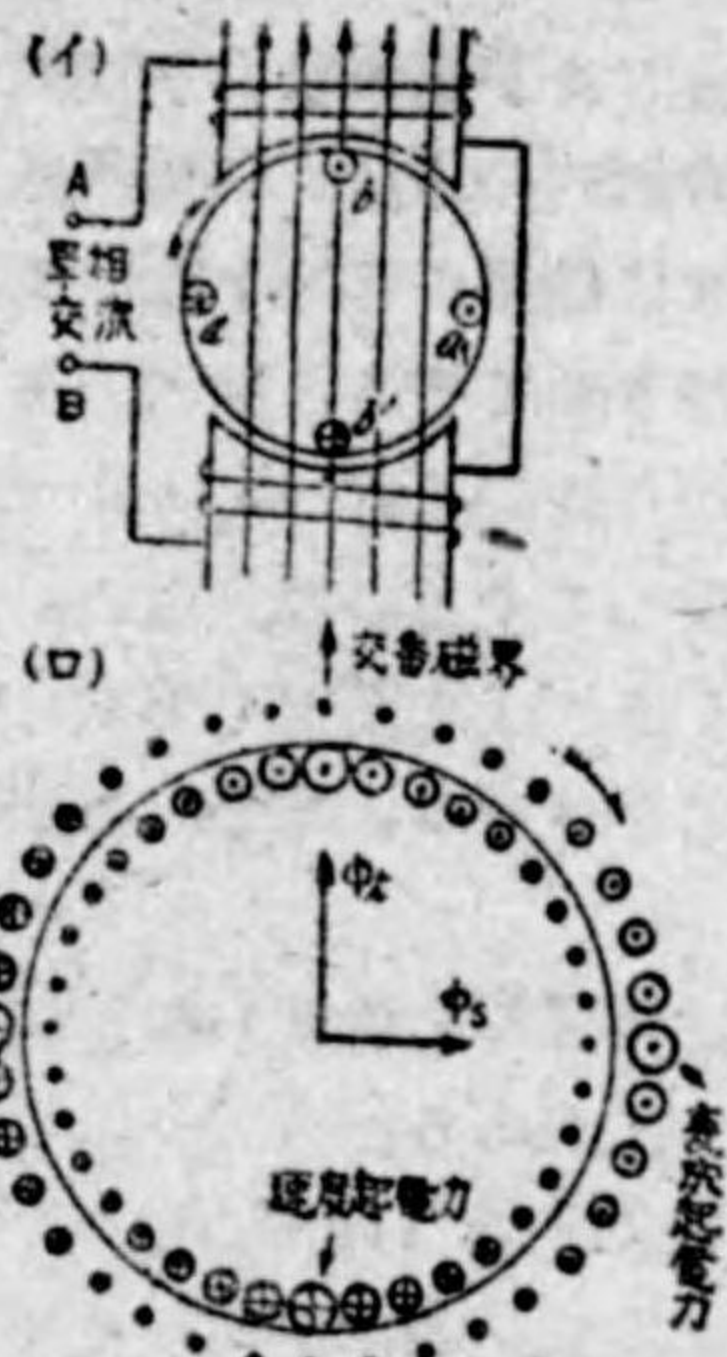


Fig 191

示す如く  $aa'$  の部分で最大で、 $bb'$  の部分では零である (基礎學 下) レンツの法則を想起せよ) 併而此の誘導電壓の位相は交番磁界より  $90^\circ$  遅れた位相にあつて、變壓器の二次線と同様にして電壓が誘導されたのだから變成起電力 (transformer e.m.f) と稱する。次に回轉子を矢の方向に回轉したとすれば、回轉子導体は交番磁界を切つて起電力を生ずる之れを速度起電力 (speed e.m.f) と云ふ。之れは交番磁界が最大の時に最大となるから磁界と同一位相にある即ち回轉子内には二様の起電力を生ずるのであつて、其等の起電力の分布の有様を示すと (ロ) 圖の如くなる。但し圖は交番磁界が矢の方向に増加しつゝある場合で、外側の小圓が變成起電力、内側の小圓が速度起電力、尙圓の大小を以て起電力の

大小を示し、其の分布を明かとした。

速度起電力に依つて流れた回轉子電流の作る磁界は水平方向  $aa'$  だから主磁界に直角である。此の磁界を仮に速度磁界と稱して置こう。次に是等の間の位相關係をベクトルに画くと、Fig 192 の如くなる。先にも云つたやうに速度起電力  $E_s$  は交番磁界  $\phi_a$  と同一位相であつて、回轉子の抵抗を無視するなら之れに依つて回轉子に流れる電流  $I_s$  は  $E_s$  より  $90^\circ$  遅れる。此の  $I_s$  と同相に速度磁界  $\phi_s$  を生じ、 $\phi_a$  に依つて回轉子には自己誘導起電力  $E_{sL}$  を生じ、 $E_s = E_{sL}$  と平衡する。即ち速度磁界  $\phi_s$  は交番磁界よりも位相が  $90^\circ$  遅れ、然も、 $\phi_a$  と  $\phi_s$  は其の生ずる位置が、先の (ロ) 圖よりも明かなやうに、空間的に  $90^\circ$  だけ相違する。其處で  $90^\circ$  の間隔に配置された二

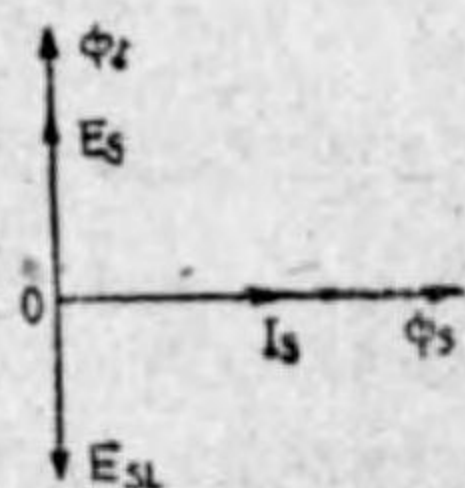


Fig 192

組の線輪に二相交流を送つた場合と同様に、 $\phi_a$  と  $\phi_s$  に依つて回轉磁界を生じ、此の兩者がある限り、即ち電動機が回轉して居る以上回轉子には回轉力を生じ、回轉が維持される。但し  $\phi_a = \phi_s$  の時は圓形回轉磁界となるが兩者の値が相違すると橢圓回轉磁界となる。

即ち回轉子が靜止して居るときは交番磁界のみで回轉力を生じないが、回轉子を或方向に回轉してやると速度磁界を生じて橢圓形回轉磁界を作り回轉力を起して加速する。加速するに従つて速度磁界が増加して橢圓形を圓に近づけ、回轉力

を大として同期速度の附近で負荷と平衡して運転する。

(C) 起動法

単相誘導電動機は上述したやうに其の儘では起動することが出来ない。従つて何等かの起動装置を要する。其の方法を大別すると、機械的方法、回轉磁界をつくる方法、整流子電動機とする方法の三つになる。次に簡単に是等を説明する

(イ) 機械的方法 単相誘導電動機は初め少し回轉させてやると回轉力を生じ、速度を上昇し、其の結果更に回轉力を増大して自から速度上昇 (Speed up) をするので、同期電動機のように同期速度の近く迄起動してやる必要がない。従つて小容量の電動機なら手で廻してやる。容量が大きくなれば起動用の補助電動機を用ひるとか、回轉主軸があれば之れから調帯で加速をさせる。然し本方法は實用上不便であるから殆んど用ひられない。

(ロ) 回轉磁界をつくる方法 本方法は起動時だけ回轉磁界を生ぜしめ、運転時には除去する方法で、其の主なるものとして次の三方法がある。

① 隅取線輪 (Shading coil) を用ふる方法 之れは第二巻 114 P Fig 28 で説明した如く主磁極の一方を割つて、之れに短絡せられた太い導体を捲いたもので、此の線輪は固定子線輪に依つて勵磁せられる。斯様にすると既に上記でも説明した如くに、主線輪に依つて発生した磁束の内此の部分を通るものは他の部分に比し其の増減が遅らされる。夫れは主磁束に依つて短絡線輪内に生ずる電流即ち夫れに依つて生ずる磁束が主磁束と反對方向に働く爲である。従つて磁極面で磁界が移動するのと同様になつて回轉力を生ずる。此の起動回轉力は比較的微弱なものであるから、扇風機のやうな小型電動機にしか用ひられない。又起動後に此の隅取線輪を取り去ることが出来ないから、運転中にも電流を通じて損失を生ずる。

② 分相起動法 (Split-phase starting) 此の方法は主捲線の他に幾つかの補助捲線を有し、是等の捲線を固定子に位相差を持って捲き、インピーダンスを適當に直列或は並列として、丁度多相捲線に位相差を持った電流を流して回轉磁界を作るのと同様にして起動する。例へば、Fig 193 の如くに、固定子線輪を主線輪

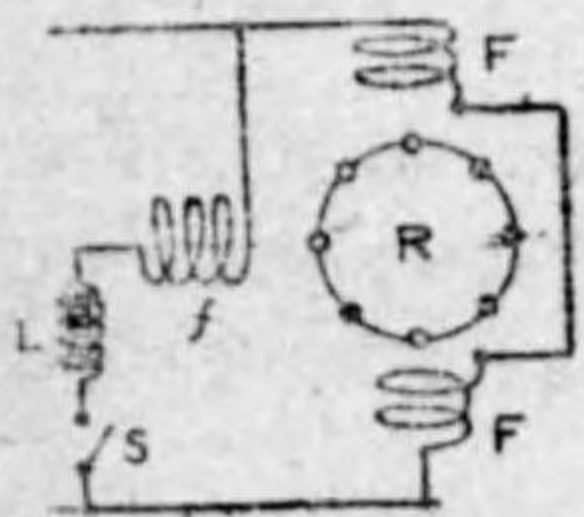


Fig 193

(F) と補助線輪 (f) に分ち、兩者の空間的に直角に配置し、F は直接回路に接続するが、f は鐵心を有するインダクタンス線輪 L を經て開閉器 S を以て F と並列にする。起動の時には S を入れると F と f に流れる電流は空間的にも時間的にも 90° 近くの位相差があるので二相誘導電動機として回轉磁界を作り起動回轉力を生ずる。起動後は遠心力開閉器 (軸に取付けられ軸の速度が或る値に達すると其の遠心力で働く) に依つて補助線輪の回路を開路して、主線輪のみで運転する。

1 馬力以下のものでは F と f は銅線の太さを違へて定數を變へ、特に L を附さない。

③ モノサイクリック法 (monocyclic device) 機械の外で単相から相當の位相差を有する電壓を作り、二相又は三相に捲かれた電動機に加へる。其の一例は Fig 194 に示す如くに固定子を三相捲線とし、其の中の二相に抵抗 R 及リアクタンス L を並列として單相電源に接続して起動するのである。

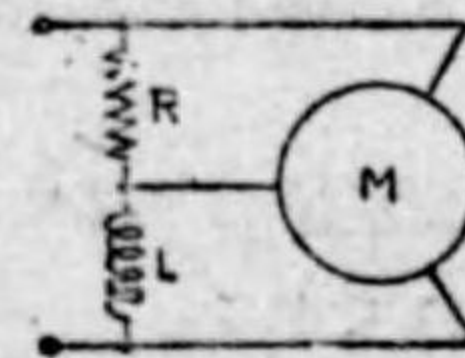


Fig 194

(ハ) 整流子電動機として起動する方法 分捲又は直捲整流子電動機或は反撥電動機として起動するのである例へば回轉子に整流子を設け、其刷子を短絡し、磁極の中心線より少し移動させて置くと、反撥電動機として起動し滑り 10~15% に於て遠心力開閉器が働いて整流子片を全部短絡して籠型回轉子とする。本方法は起動回轉力が大きいが整流子と之れに必要な回轉子捲線を餘計に要し、刷子に於ける火花の問題も伴ふので、大きな起動回轉力を要する場合の外は使用されない。(後章交流整流子電動機を参照されよ)

第六章 水銀弧光整流器

(90) 構造一般

Fig 195 に大電力用鐵槽水銀整流器の全景を示した。形は異なるが其の原理は第

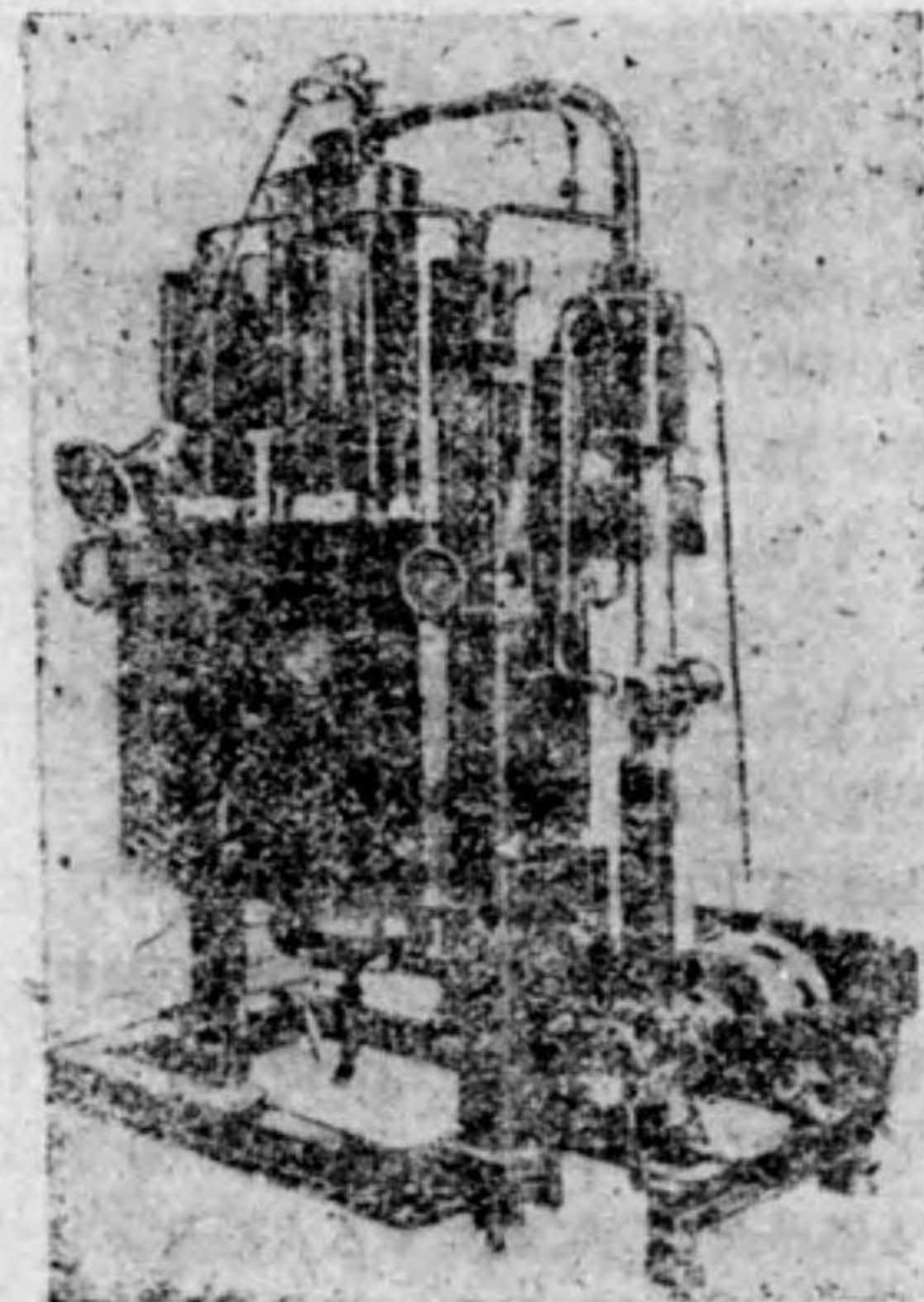


Fig 195

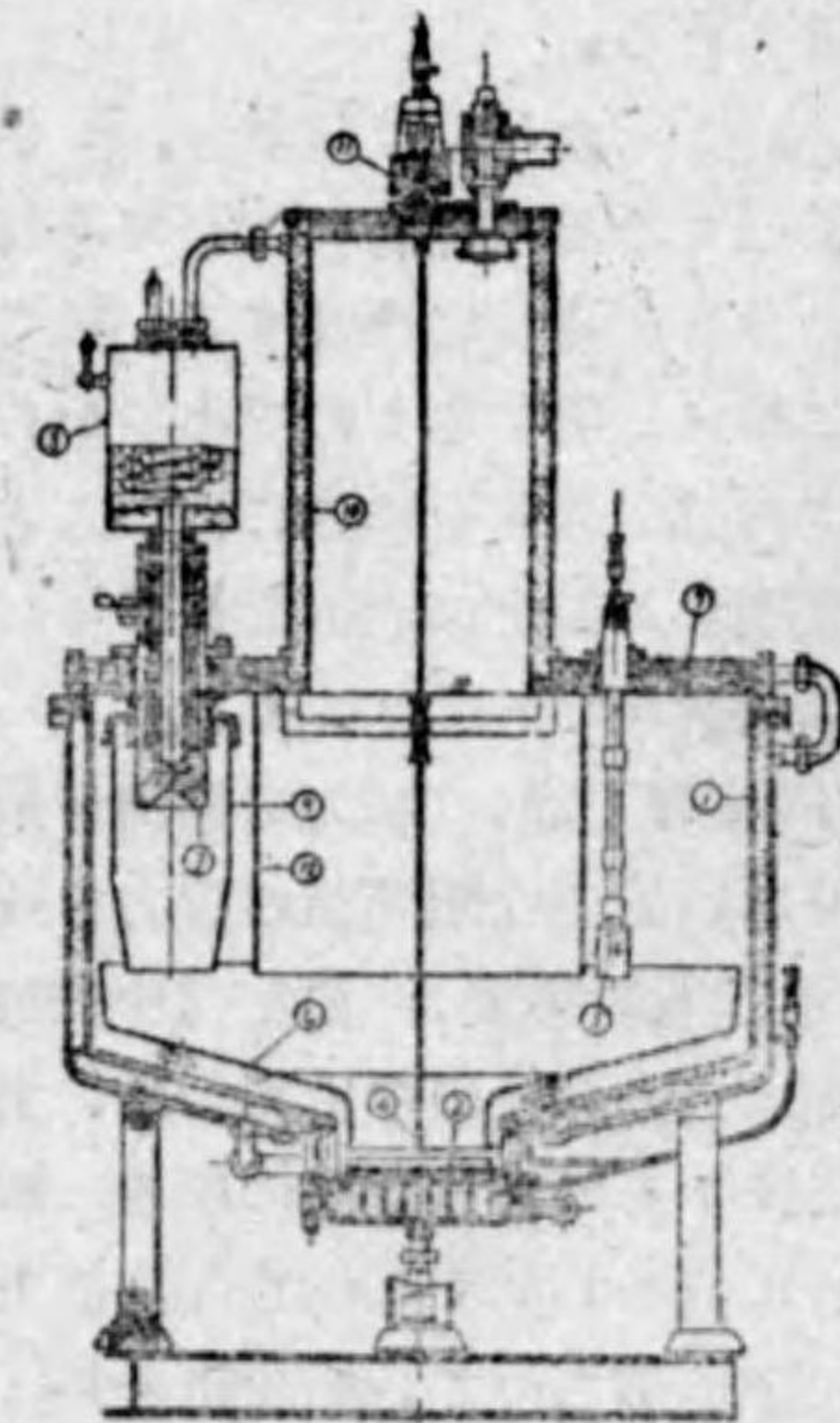


Fig 196

一章(4)の(C)に於て説明したのと全く同様で、水銀蒸気の辨作用を應用して交流を直流に變成するものである。

〔註〕約 600V-500A 以上になると硝子製のものは強度、冷却、壽命の点が不都合で鐵槽とする。

更に Fig 196 は其の解剖圖であつて、本器の主要部は ① の真空槽、⑦ の陽極板、之れに取付けられた ⑧ なる陽極 ⑩ なる冷却筒 ② なる陰極水銀及水銀受けから構成される。

各陽極は陽極板に絶縁せられて取付けられ、陰極水銀受けも真空槽の下部に絶縁物に依つて絶縁せられて取付けられ、適量の水銀が湛へられてゐる。

真空槽の中央には 1 個の点弧極 ④ 又、陽極板には勵弧極 ⑤ がある。

次に以上の各項を Pick up して説明する。

① 真空槽、高真空に於ても空氣の漏入なく高温に耐へ、水銀とアマルガムを作らず、又瓦斯を吸藏せず、機械的に堅固なものであるを要する。普通銅板を銲接して作られる。且つ槽壁を二重として、此の間に冷却水を循環さすのである。

② 陰極、陰極白熱点を生じ非常に高温となるから、冷却水を適当な方法に依り循環せしめ過熱のないやうにする。

④ 点弧極、上部にある点弧電磁線輪 ⑩ に依つて陰極水銀中に浸され、これが引き上げられて起動する。

⑤ 勵弧極、勵弧用單相絶縁變壓器の兩方の端子に接続し、中性点を陰極に結んで居り、絶えず 5~8A の電流を通し、負荷の如何に拘らず弧光の切れないやうにせられる。

③ 陽極、之れには放熱器 ⑥ が取付けられる。此の中には良質の絶縁油が入れてあつて冷却水蛇管に依つて冷却され油の對流作用に依つて陽極に發生する熱を奪ひ之れを適当に冷却する。弧光電壓降下は陽極と陰極との間の弧光の通路の長さに略々比例するものであるから、之れが少い程、整流器の能率が良くなる。従つて内部の真空を適當に保つことは勿論、弧光の通路を適當にすると共に餘分の水銀蒸気が弧光の通路を妨げないやうにする。此の目的で陽極弧光筒 ⑨ 及水銀蒸氣隔壁 ⑭ が用ひられる。

⑨ 陽極弧光筒、弧光の通路を形成すると共に、之れに設けてある小通路に依つて此の附近の水銀蒸氣の壓力を減じ、逆弧をせぬやうにする。

⑭ 水銀蒸氣隔壁、真空槽中央部、陰極の直上にあるから陰極から蒸發した水銀蒸氣は大部分此の中に導かれ、上部にある冷却筒 ⑩ に入つて筒壁で凝結し、

⑥ に滴下して再び陰極に戻る。斯様に整流作用に不必要の餘分の水銀蒸氣を弧光通路に行かす全部冷却筒に上昇せしむることが出来る。陽極板 ⑦ には冷却水の通路があつて、冷却筒と共に大なる過負荷の時に蒸發する水銀蒸氣を凝結するやうにしてゐる。

尙運轉上槽内を高度の真空に保持しなければならないから、之れに對して真空ポンプが用ひられる。一般に整流器体に取り付けられた水銀蒸氣ポンプと、整流器共通床板に取り付けられた回轉真空ポンプ及之を運轉する誘導電動機から成つて居る此の水銀蒸氣ポンプと回轉真空ポンプは直列にして使用せられるのであつて、水銀蒸氣ポンプは真空度の高い時に能率よく働き、真空度の低い時は働きが悪くなるので回轉真空ポンプが此の補助として使用される。

本器は其の構造上、器壁は常に弧光に接觸するので、器体及真空ポンプも大地から絶縁されて居る。

### (91) 原理一観

原理は既に説明したのであるが、今一應簡単に述べて置く。水銀を陰極として真空中で電弧を作ると、水銀面上に青白い光を放つ部分を生じ、之れが活潑に動く。之れを陰極点 (Cathode Spot) と云ふ。此の陰極点より電子を放射し、且水銀を蒸發させる。此の電子は電界の方向に従つて陽極の方へ高速度で動き、此の電子が相當の速度に達すると中性の水銀原子に衝突して之れを電離させる。(技術基礎學(下)参照) 斯くて新に生じた電子は元のものと共に陽極に向ひ、陽イオンは陰極へと引かれる。

〔註〕大部分の陽イオンは電子一個を失つた水銀原子であるから、電荷は電子と等しく、質量は電子の 37 万倍もあるから速度が低く、全電流の 90% は電子に依つて運ばれる。

陽イオンが陰極に衝突する速度は 200 米/秒もの高速度であつて、此の衝突に依つて陽イオンの運動エネルギーが熱となつて陰極の一点を熱する。然も陽イオンは陰極よりの電子に衝突せられて常に針路を變ずるから、陰極点は時々刻々と其の位置を變へるのである。

要するに水銀を陰極とする水銀弧光を持続するには放電々流自身が陰極点を作つて、電子と水銀蒸氣を供給せねばならないから、電流が瞬間的にでも絶えると陰極点は消滅し、従つて再び陰極点を作つてやらないと電弧は消滅する。

〔註〕水銀蒸氣中の電壓降下 之れを分つと次の三つになる。陰極に於ける電壓降下、其の値は 7~8V であつて、陰極表面に近い空間で極く薄い部分(約  $5 \times 10^{-6}$  程)に生じ、之れを陰極電壓降下と云ふ。次に電弧内の電壓降下は大約、長さ 1 程に就き 0.05V と云ふ僅少なものである。最後に陽極に近い部分の電壓降下は其の値が陽極材料に依つて異り鐵の場合で 6.3V、グラフアイトで 4.8V<sup>2</sup>である。以上の電壓降下の和は約全負荷で 20~23V 位となる。此の電壓降下は無負荷でも 18V 位で、之れは電離作用が充分でないのと電位分布が適當とならない爲に割合と大きいのである。電流が甚だ大きくなると水銀蒸氣は殆んど電離し盡すので之れ以上には電子の速度が大となるを要し、電壓降下を増加する。又器壁の温度が 80°C 位で電壓降下は最小となる。之れは水銀原子の熱に依る運動の速度が過少の場合には電子と衝突する機會が少く、過大の時は電子が充分な速度に達しない中に原子と衝突する爲何れも衝突電着を起し難いからである。同様の事が水銀蒸氣の壓力に就ても云へるので

あつて、水銀柱の  $10^{-3}$  耗に於て電圧降下は最小となる。

又陰極点の温度は  $2000^{\circ}\text{C}$  位、陽極の温度は約  $700^{\circ}\text{C}$  である。

次に整流作用に就て説明しやう。

水銀整流器で整流作用が持続的に行はれる爲には陰極から電子が豊富に放射せられ、水銀蒸氣を十分に供給して電弧中で電離作用が活潑に行はれねばならず、又陽極は電子を放出してはならない。

水銀表面に始めて陰極点を作ることゝ点弧と云ひ、前項で説明した点弧極に依つて行ふのである。即ち点弧極が引上げられて水銀面を離れる時の火花に依つて陰極点が作られる。此の時、既に主陽極に電圧が加へられてゐて負荷に電流を通するやうに用意せられてゐると直に整流作用が始められる。然し負荷電流が一定限度以下に減すると電弧が消えるから、負荷にかゝらず陰極点を維持するため最低限度として必要な電流を通する陽極を備へて居る。これが補助陽極であつた。陽極が電子を放射しない爲には、其の温度をなるべく低く保たねばならない。若し局部的にでも過熱されると、之れから熱電子を放出して逆電圧となつたときに電流を通する虞がある。水銀整流器では陽極の電位が陰極の電位より電圧降下だけ高い時にのみ電流が流れるのであつて、其の状態を Fig 197 で示した。

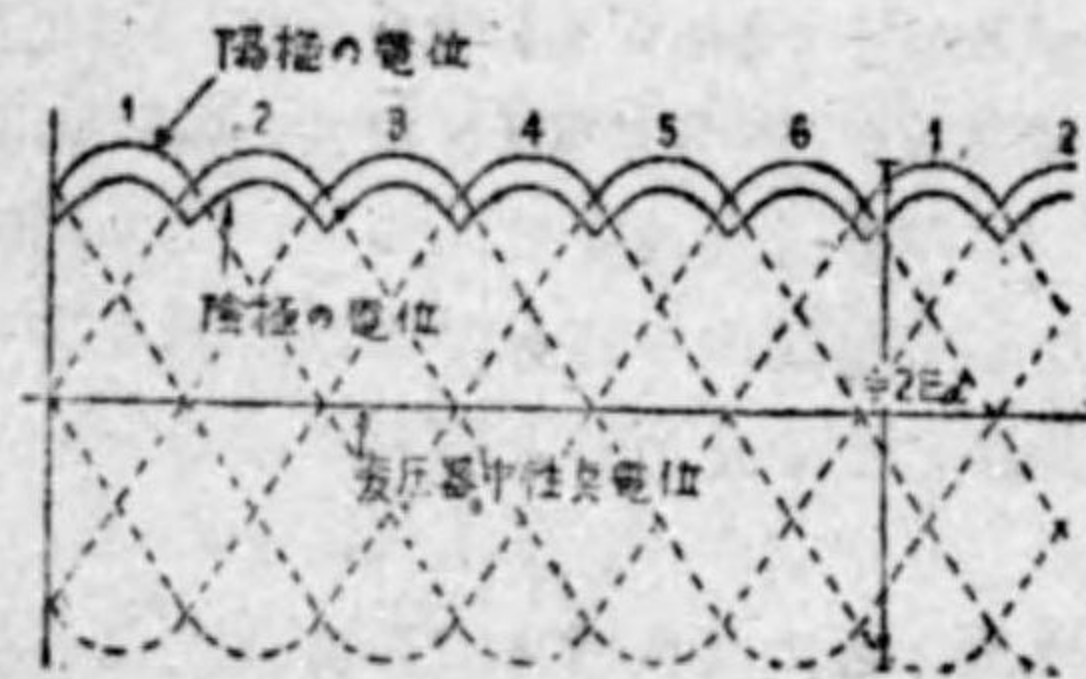


Fig 197

圖は六相水銀整流器であつて、1個の陰極と6個の陽極から成る。今整流器に電圧を供給する變壓器二次側の中性点の電位を零として、各陽極の電位が圖の1から6の如くに變化する時、陰極の電位は各陽極の電位より弧光内の電圧降下を減じた圖の實線の如くに變化する。即ち、一つの陽極から陰極に電流の流れて居る間は他の陽極の電位は陰極の電位より低いので、之等から陰極へは電流が流れない。従つて弧光は一つの陽極から次の陽極へと順次に移つて行く。整流器内では陰極の上に陽極が圓周状に配置されるので、水銀弧光は陰極を足とし、陽極を頭とし、此の頭が速い速度で一つの陽極から次の陽極へと圓周上を回轉運動する。此の回轉運動が整流作用であつて、直流機の整流子の回轉するのと思ひ合せることが出来る。

但、Fig 197 に於て、陽極1が放電して居るとき、陽極4の電位は負の最大となるから、之れと陰極との間には約整流電壓の2倍の逆電圧が働く。故に整流器の動作が完全である爲には此の逆電圧に對して十分に耐へねばならない。

(92) 整流器用變壓器と相間リアクトル

上述の如くに水銀整流器によつて整流せられた直流は一種の脈動電流であつて

Fig 197 に依つても明かなくに脈動の程度は相數の多い程少く、平滑な直流が得られる。従つて此の見地から云ふと相數の多い方がよいが、一方各陽極の最大電流は同一の直流に對して相數の多い程増加するので、之に交流電力を供給する變壓器が大きくなるので相數の少ない方が有利である。此の二つの見地から整流器の相數が決定せられるのであつて、六相又は十二相とせられて居る。之れよりも相數を多くすると接続が複雑となつて得る處が少い。

併而、受電の交流配線は三相であるから、斯様な多相を得るには整流器附屬の變壓器を要し、之れを回轉變流器の邊で送るやうに多相結線としなければならない。又、整流器の直流電壓と交流電壓の間には次項に示すやうに一定の關係があるから、所要の直流電壓値を得るには交流側の電壓の値を適當に測定しなければならない。従つて整流器には附屬變壓器を必要とする。即ち變壓器は相數の増加に依る脈動の低減、適當なる電壓の供給なる二大役目をするので、此の外に交流側電流の波形を多相接線に依つて正しくし、力率を改善し、尙適當な電圧降下を生じて整流器の運轉状態を圓滑とする。

變壓器と整流器との接続の一例を圖示すれば、Fig 198 の如くであつて、圖の變壓器は一次星形、二次二重星形となつて居る

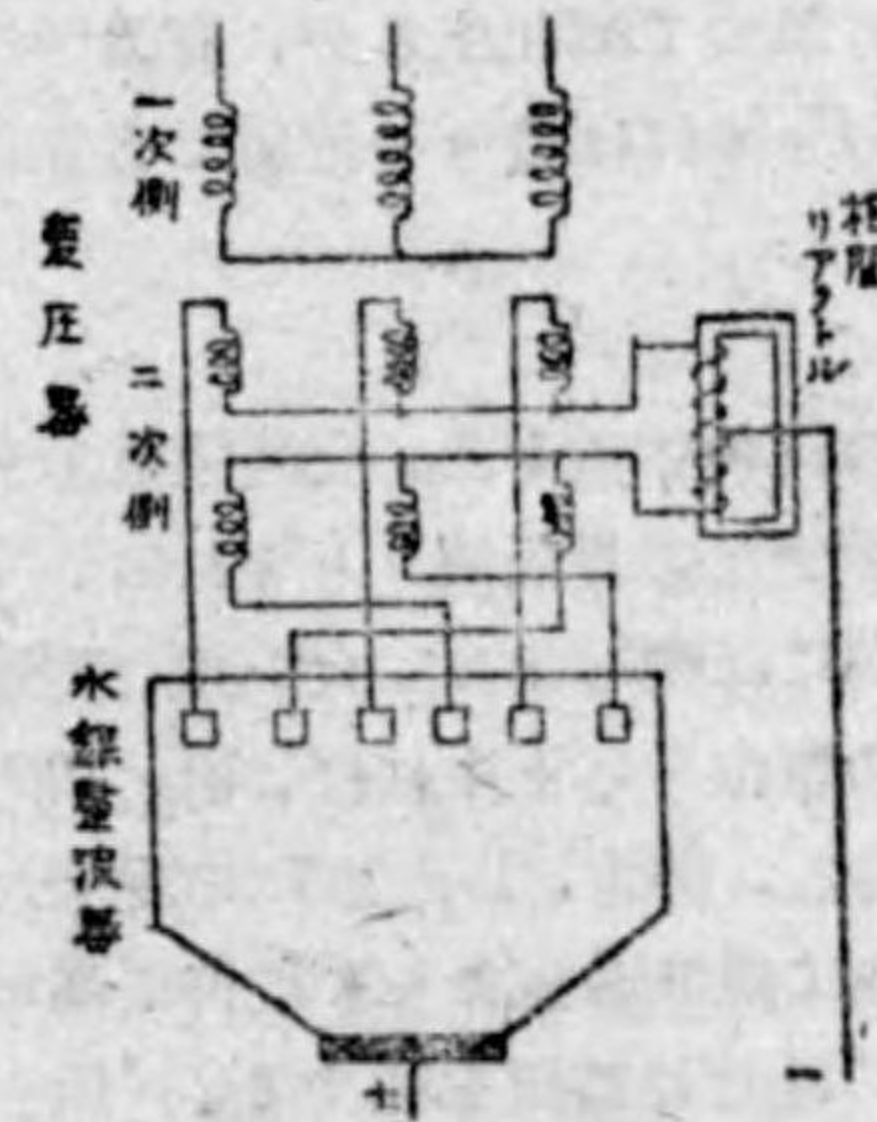


Fig 198

即ち二次側の各端子に整流器の陽極を接続し、二次側中性点を引き出して之れを直流側の(-)とする。此の二次側二組の中性点を一種の塞流線輪で連絡し、其の中心より直流の(-)線を引出してゐる。此の線輪を入れると  $180^{\circ}$  の相差を有する二台の三相整流器を並列に使用したのと同様の結果となり、使用しない場合よりも電圧變動率は小となり力率は良好で、然も變壓器容量は少くてよい。又インダクタンスの働きで整流電流の波頭が低くめられ、脈動状態が平滑となる。之れを陰極塞流線輪或は吸収線輪、又は相間リアクトル、相間變壓器とも稱する。

水銀整流器の整流電流の波形其の他の特性は交流側の相數とか波形によつて著しく影響せらるゝのであつて、特に變壓器の二次側接続が本器の特性に重大な關係がある。今一般に採用せられる各種の接続方法を示すと次の如くである。

- 星形—星形 三角形—星形 星形—二重星形 三角形—二重星形 星形—對角星形
- 三角形—對角星形 星形—又狀 三角形—又狀 三角形—二重又狀 星形—四重千鳥
- 三角形—四重千鳥型

〔註〕 整流器用變壓器は普通の變壓器と異つて極めて特殊な使用状態にあるから、設計上次の点に注意を要する。

- ① 逆弧短絡（後述する）の際に各部に作用する機械力を最小とする様に捲線の配列に工夫する。
- ② 電線の断面積を例へば正方形に近い太いものとして其の變形を防止する。
- ③ 二次線輪は其の儘引出してハンダ接續の箇所をなくする。
- ④ 線輪を支持するクランプ及支持ボルトには強大なものを用ふる。
- ⑤ 線輪端付にヘリカル・スプリングを用ひ、支持部の受ける衝撃を緩和すると同時に絶縁物の収縮に依る支持物の間隙を豫防する。
- ⑥ 線輪引出線と套管内導線との間に可撓線を用ひ、内部の振動が套管内導線に及ぼす様にする。
- ⑦ 線輪スペーサーの数を多くして捲線間に加はる力を均一ならしむる様にする。
- ⑧ 異常電壓上昇に対しても充分な絶縁力を有せしめ、二次線輪の耐壓試験、層間絶縁試験は普通の變壓器に比して高く取る。

(93) 電壓、電流、電力の關係

整流器の電壓、電流の波形は甚だ複雑であつて、其等の關係を理論上嚴密に定めることは困難である。其處で實用的便法として次の假定に従つて概略の状態を知る。

- (1) 直流側の電流波形は負荷及變壓器の結線法に依つて變化するが、直流側に大きなインダクタンスが直列に接續されるものとすれば略々一定値である。
- (2) 電源及變壓器のインピーダンスを無視する。
- (3) 整流器内の電壓降下を無視する。

此の假定の元に、相数を P, 直流側電壓を  $E_d$  及直流側電流を  $I_d$ , 交流側電壓を

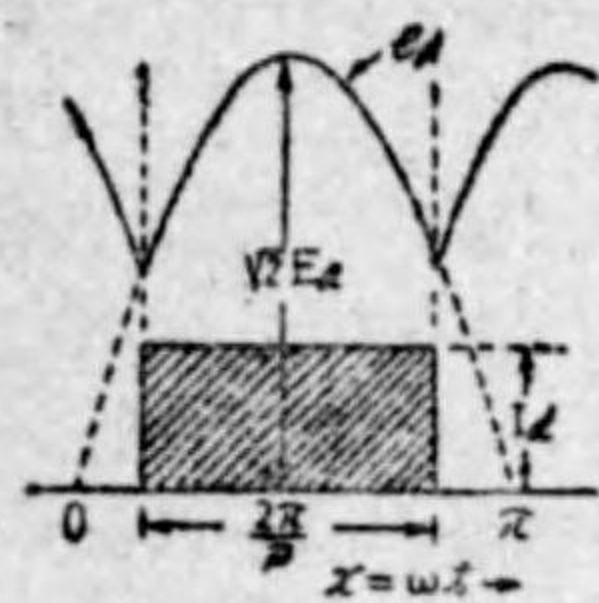


Fig 199

$E_a$  (變壓器二次側各相電壓の實効値) とすれば、假定 (2) に依つて直流側には變壓器の二次一相の電壓が加へられ、中性点の電位を零とすれば、Fig 199 の  $e_a$  の如き電壓を得る。併而、Fig 197 で説明した如くに、一つの陽極は他の陽極よりも電位の高い時、即ち圖の  $2\pi/P$  の間だけ電流を通ずる。例へば三相式では  $360/3=120^\circ$  の間だけ電流を通ずる。圖を書いて考へて見られよ。従つて假定 (1) に依つて陽極の電流は圖の斜線を施したやうな波形で流れる。即ち、一つの陽極では 1「サイクル」 $2\pi$  間に之れだけの電流が流れるのだから

$$\text{其の平均値 } I_{\text{mean}} = \frac{I_a \times 2\pi/P}{2\pi} = \frac{I_a}{P}$$

$$\text{其の實効値 } I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{2\pi/P I_a^2}{2\pi}} = \frac{I_a}{\sqrt{P}} \dots (118)$$

即ち同一の直流に対して陽極の電流は相数の平方根に比例したものとなる。

直流電壓は圖の鋸齒狀の電壓の平均値であつて

$$E_d = \frac{1}{2\pi/P} \int_{-\pi/P}^{+\pi/P} \sqrt{2} E_a \cos x dx = \frac{\sqrt{2} E_a \sin \pi/P}{\pi/P} \dots (119)$$

次に電力は、直流側に於て

$$P_d = E_d I_d = E_a I_a \frac{\sqrt{2} \sin \pi/P}{\pi/P} = E_a I_{\text{eff}} \frac{\sqrt{2} P \sin \pi/P}{\pi} \dots (120)$$

變壓器の二次捲線の全皮相電力は

$$P_a = P E_a I_{\text{eff}} = \left[ \frac{\pi}{\sqrt{2} P \sin \pi/P} \right] P_d \dots (121)$$

次に總數に應じて直流電壓と變壓器二次各相電壓の比 ( $E_d/E_a$ ) を示す。

相数 P	2	3	6	12	$\infty$
電壓比 $\frac{E_d}{E_a}$	0.9	1.17	1.35	1.40	1.41

以上は變壓器の二次側に就て求めたのであつて、一次側は變壓器の接續法に依つて異り、夫々に就て其の都度求めねばならない。此處では省略するが、要するに各二次電流波の集合として求めるのである。

(94) 電壓特性と調整法

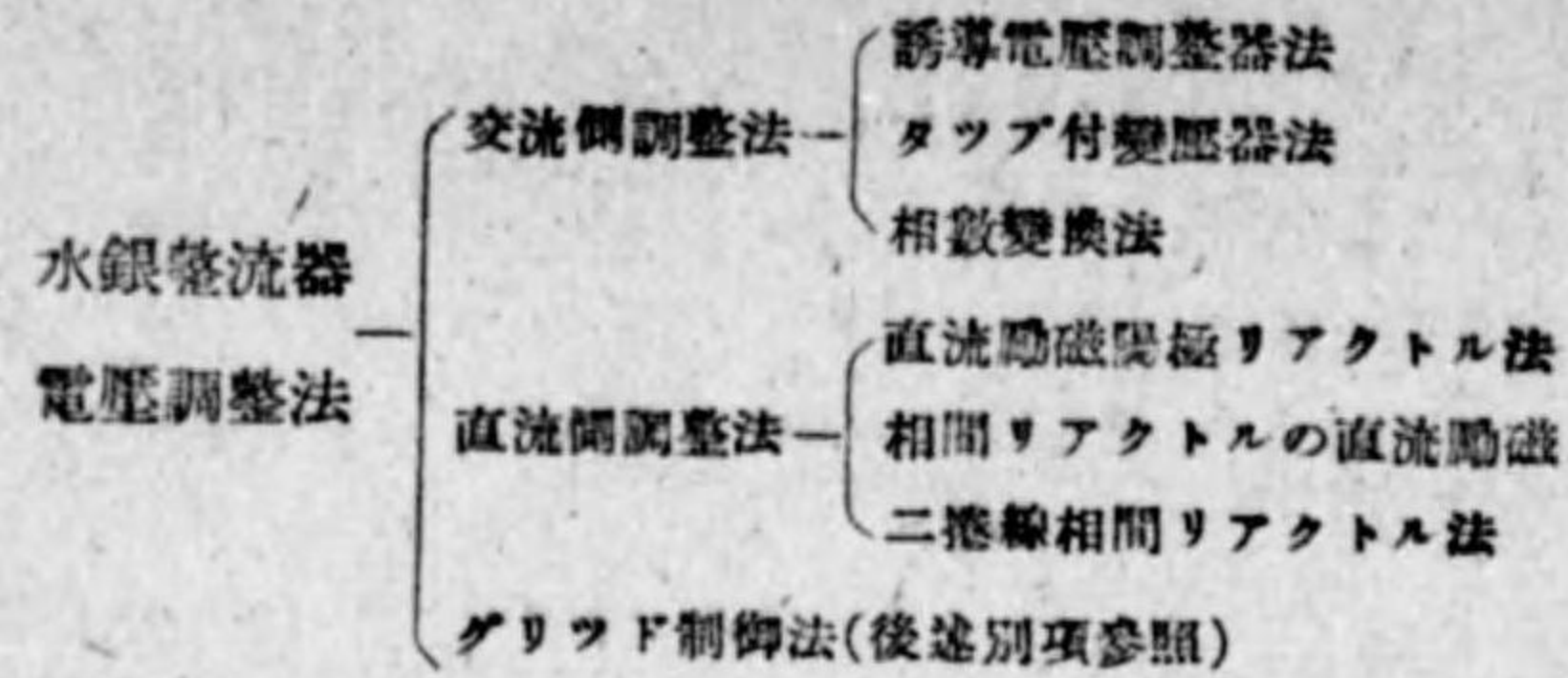
一般に水銀整流器の直流側電壓は負荷の増加と共に多少低下する分捲特性を有して居つて、全負荷の電壓降下は約 8% 程度である (變壓器二次側では 3% 程度)

整流器に於ける電壓降下は之れを二分して考へることが出来る。即ち弧光内の電壓降下と附屬變壓器其の他の抵抗に依る電壓降下である。前者は負荷に拘らず大体一定であるが、後者は電流の大きさ即ち負荷の大小に比例する。然しながら、變壓器に相間リアクトルを設置すると、無負荷に近い輕負荷では急激な電壓降下 (約 15%) を生ずるが、夫れ以上の負荷に対して殆んど定電壓となり、全負荷でも 5% 以下の電壓降下となる。

〔註〕 前述の如く無負荷では電壓が著しく高くなる (約 18%) 従つて、電鉄等で停車場の電燈等を此の電源から取つて居ると電球の壽命を著しく短縮する。之れを防止する爲に無負荷とせぬやうにするとか (負荷電流が或る値以下となれば繼電器が働いて別の抵抗負荷を接續する) 特殊の保護裝置を附加し、或は相間リアクトルの構造を特に考慮する。

前項で求めたやうに整流器の直流側電壓と交流側電壓の間には一定の關係があるから、直流側電壓を調整するには交流側の電壓を調整してもよい。之れは丁度次章の回轉變流機の場合と同様である。尙、第三電極格子を設けて調整する方法 (グリッド制御法) に就ては後で項を改めて説明する。

各種の電壓調整法を一括して示すと下表の如くである。



各方法の得失は回轉變流機の場合と同様であるから、此處では簡単に説明する。誘導電圧調整器を變壓器二次側と整流器陽極の間に挿入すれば、電圧調整は平滑に行ひ得るが、調整電圧の位相の變化することゝ設備費の高くなるのが缺點である。

タップ付變壓器には附屬變壓器に多くの口出線を出す方法と別に調整用變壓器を用ふる方法があるが、何れにしても多くの口出線を設けるのであるから構造が複雑となり、切替への爲に特に大きな制御器を必要とする。勿論是等のタップの切替は負荷中に行へる所謂負荷時タップ切替變壓器であるが、特殊のもの(Step induction regulator)を用ふるもの(第十一章参照)以外は調整が階段的となり現在では廣く一般化されてゐないので高價と信頼度の低下は免れない。相數變換法とは變壓器二次側の相數を變へるのであつて、例へば三相と六相、六相と十二相の變更、或は三相二組として中間リアクトルを入れて並列とするのと普通の六相式の切替へ等がある。勿論二様にしか電圧が調整されないから、リアクタンスを併用する。

直流側から行ふ方法としては上表の他に昇壓機を附加する等の方法もある。

扱、陽極リアクトル法とは、環狀鐵心の上にリアクタンス線輪を捲き之れを變壓器の二次側と陽極間に入れる(六相なら同一相のリアクタンス線輪は同時に電流が流れないから同一鐵心に捲いてもよい)併而、各鐵心には直流勵磁捲線を備へて其の電流を加減してリアクタンス線輪のリアクタンス値を變化する。斯くすると陽極電流の重なり合ふ程度が變化して電圧降下が變り、直流電圧を調整し得る。此の直流勵磁電流を自動的に調整する自動電圧調整法も行はれる。

第二の方法は相間リアクトルの鐵心上に勵磁捲線を設け之れを整流器の直流端子に接続し、加減抵抗器を直列に挿入して鐵心の飽和度を加減する。此の勵磁捲線の電流を増加すれば直流電圧は上昇し、反對に勵磁電流を減少すれば直流電圧は降下する。但し此の方法は相間リアクトルの作用を低下させるから力率は低く且能率も悪くなる。

第三の方法は相間リアクトルに二次捲線を附加し、之れに可變インピーダンス或は蓄電器等を接続する。斯くして3の倍數の周波數の電流を通り易くすれば主捲線の同じ周波數の電流の磁化作用を減殺して電圧曲線を變化して電圧調整を行

ひ得る。

(95) 能率と力率

水銀整流器内の損失は電弧の部分に生ずる。併而、電弧に於ける電圧降下は屢々述べたやうに、負荷に拘らず一定であつて、其の値は小容量器で 15~20V, 大容量器で 20~25V である。今之れを  $e_0$  で表はし、直流側電圧及電流を  $E_d$  及  $I_d$  で表はすと

$$\begin{aligned} \text{整流器自身の能率 } \eta &= \frac{E_d I_d}{E_d I_d + e_0 I_d} = k \frac{E_{d0}}{E_{d0} + e_0} \\ &= k \frac{1}{1 + e_0/E_{d0}} \dots\dots\dots (122) \end{aligned}$$

但し、 $E_{d0}$  は直流側の無負荷の電圧、 $k$  は常數で  $k$  の値は

$$600 \text{ V で } k=0.96\sim 0.97 \quad 1500 \text{ V で } k=0.98\sim 0.984$$

従つて整流器自身の能率は負荷に無關係であつて、 $e_0/E_{d0}$  の小なる程、即ち電圧  $E_{d0}$  の大きい程高くなる。従つて低電圧用のものは  $e_0$  を小とすれば、相當に能率を向上し得る。

然し實際の運轉状態を考へると、附屬變壓器やリアクタンス線輪に於ける損失尙勵弧裝置真空ポンプ、冷却水裝置等があるから是等の諸裝置に要する電力も直流電力に對して損失として取扱はねばならないので、整流裝置全体としての能率即ち合成能率を求めねばほんとうでない。今(122)式の  $e_0 I_d$  以外の上記諸損失並所要電力の和を  $W_a$  とせば

$$\text{整流器の合成能率} = \frac{E_d I_d}{E_d I_d + e_0 I_d + W_a} \dots\dots\dots (123)$$

之れを回轉變流機と比較すると、電圧の低いとき(大約 300V 以下)では回轉變流機の有利な場合が多く、輕負荷での能率は斷然、整流器が優れてゐる。従つて輕負荷運轉の時間が長い。例へば電鐵用等にあつては、整流器の方が全日能率がよい。又短時間の過負荷耐量は變流機では整流作用で制限されて小さいが、整流器は大きく電鐵のやうに短時間過負荷が交互にかゝるやうな場合には整流器を有利とする。

〔註〕① 30分以上の過負荷に對しても整流器では電圧を低めて應じ得る。變流機は溫度上昇から容量が制限される。

② 整流器としては一個で大容量のものを作るよりも 500kW~1000kW のものを數個並列に使用し、各器の構造と材料を適當に選定して電弧電壓降下を小とし、据付場所を節約する方がよいと云ふ人もある。

次に力率であるが、整流器のみに就て考へると殆んど力率は1であるが、整流裝置全体として見ると相當に低下する。然し他の機械に比すれば良好である。

尤も力率の定義も整流器では電流波形が歪むので普通の正弦波交流の場合と多

少の相異を生ずる。今電圧の實効値を  $E$ 、電流の實効値を  $I$ 、電流基本波の實効値を  $I_1$ 、 $E$  と  $I_1$  の相差角を  $\phi_1$  とすれば、平均電力は、異なる周波数間の電圧と電流の間の電力が平均して零となるので

$$P = E I_1 \cos \phi_1 \quad \cos \phi_1 = \frac{P}{E I_1} = \frac{I_1}{I} \cos \phi_1 \dots \dots (124)$$

此の  $\cos \phi_1$  を相差率 (displacement factor)  $I_1/I$  を歪形率 (distorsion factor) と云ふ。

(96) 附 属 諸 機 器

(A) 真 空 ポンプ (Vacuum Pump)

種々の原理構造のものがあるが、水銀整流器用として廣く用ひられて居る二種を説明する。



Fig 200

**回轉ポンプ** 油真空ポンプ (Oil vacuum pump) と云ふ。Fig 200 は回轉ポンプの一例に就き其の主要部を示したもので、最上圖が夫れである。これは、ゲーデ (Gaede) の回轉滑瓣ポンプと云はれるもので、鋼製ポンプ室内に偏心軸を有する鋼製の弁子があつて、其弁子には圖示の如く内側の撥條に依つて常に氣筒壁に壓着して居る回轉瓣が取付けられてゐる。此の弁子の周囲には鑛油が充填されて居つて、小型の直結電動機で回轉せられる。従つて圖の (1) より (5) で示した如くに、1 回轉毎に 1 回宛吸氣口より吸入した瓦斯を壓縮して排氣口より出す。是等全体は油の中に浸つて居つて油は潤滑、冷却、漏洩防止の作用をする。但し油の温度が上昇すると粘度が減少して是等の作用を十分に行ひ得ないから冷却水で冷す。此の油に水分を吸収して居ると運轉中水蒸氣を放出して真空が上らないから排氣口及吸氣口には自動蒸を設けてポンプが停止したとき、外部からの油及空氣の逆流を防ぐ。

此の回轉ポンプは磨耗及漏洩があり、油の蒸氣壓の爲に高度の真空が得られない (水銀柱で  $10^{-3}$  耗の程度) 従つて更に高度の真空を得るには次に述べる水銀蒸氣ポンプを使用する。

**水銀蒸氣ポンプ** (Mercury Vapour Pump) Fig 201 は其の一例であつて、矢張りゲーデの考案したものをラングミュア (Langmuir) が改良したものである。即ち電熱器で加熱せられる水銀蒸氣罐より蒸發した水銀は、上方の環狀噴射口より噴出する。此の際、吸氣口より空氣を吸引して、之れを伴ひ壓力の低い排

氣口に導く。此の排氣口は前述の回轉ポンプの吸氣口に接続されて居る。此のポンプの周壁は二重となり、其間に冷却水を循環して常に上部の方を冷却して居るから、噴射口より噴出した水銀蒸氣が器内の空氣を伴つて降下する際、冷却されて凝縮し、再び元の液体水銀となつて罐底に戻る。

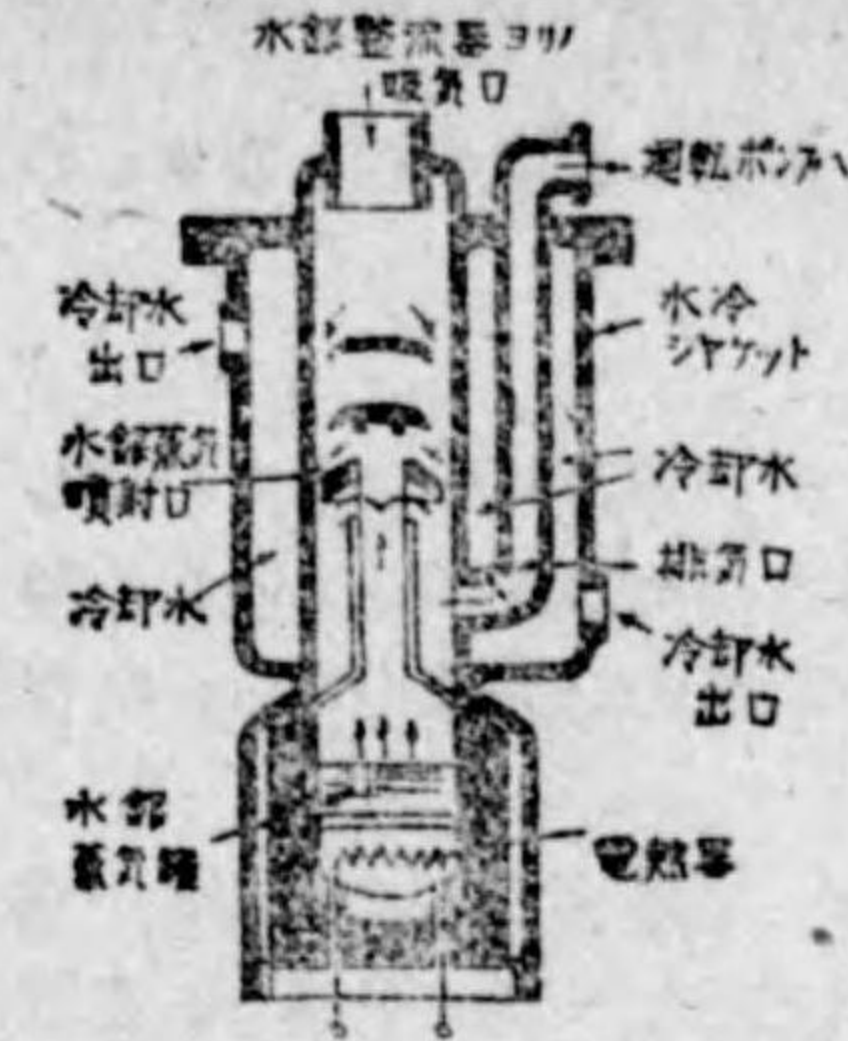


Fig 201

元來、回轉ポンプは常壓に於ても排氣をするが水銀蒸氣ポンプは排氣口の氣壓が數耗となつてゐないと働きを生じない。従つて單獨運轉を行ひ得ないので上記した如くに回轉ポンプと直列に使用する。即ち整流器内の瓦斯は水銀ポンプの吸氣口より排氣口に、更に回轉ポンプの吸氣口より其の排氣口に導かれ外部に排出せられる。斯くて整流器内の真空度を水銀柱の數千分の一耗~數万分の 1 耗に保つ。運轉前に斯様な高真空となつて居つても運轉を開始すると整流器の器壁、陽極等に含まれて居る空氣其の他の氣体が放出され、或は其の他の原因で真空度が低下する。従つて運轉中も常に真空度を調べて之れが或る値以下に低下すれば真空ポンプを運轉して排氣を行ふ必要がある。故に此處に真空度を測定する真空計を必要とする。

(B) 真 空 計 (Manometer)

**抵抗型真空計** (Resistance manometer) 一定電流を通する裸電線の温度は周圍の氣体の壓力に關係し、壓力が低下すれば温度は上昇する。従つて抵抗を増加する。故に、測らんとする真空内に抵抗線を置き、之れが抵抗の變化を測定すれば真空度が解る。今其の一例を圖示すれば、Fig 202 の如くで (甲) は接続を (乙) は (甲) を簡單に表はしたものである。圖に於て A 及 C は一定抵抗、B 及 D は整流器本体と連る真空管である此の四つの抵抗をブリツチ接続として直流電壓  $E$  及ミリヴォルト計  $V$  (真空指示計) を結ぶ。整流器の真空度が變化すれば B 及 D の抵抗が異り、ミリヴォルト計の指示より真空度が解る。

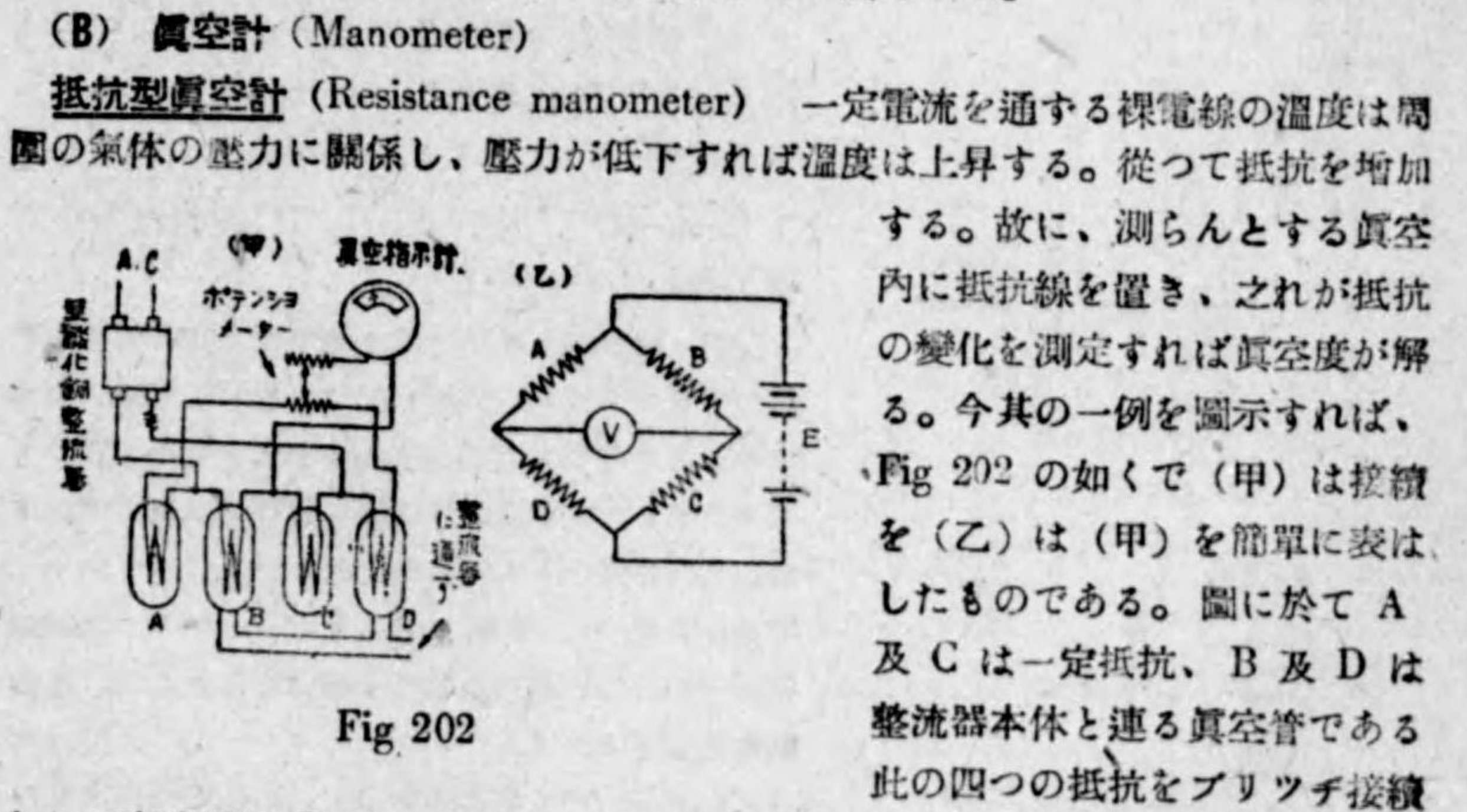


Fig 202

**マクレオド真空計** (McLeod monometer) (マクラウドと讀むのが正しい) 之れはボイルの法則を應用したものであつて、今氣壓  $P$  なる真空の一定容積  $V$  を取つて水銀に依り硝子管内に壓縮して、其の容積が  $v'$  壓力が  $p'$  となつた



とすると、ボイルの法則（技術用基礎學参照）より  $PV = p'v'$   $P = \frac{P'v'}{V}$  茲に  $p'$  は水銀柱の高さに依つて読み、 $P$  を算出する。

指示は相當に正確で廣い範圍に眞空を測り得るが、測定の都度手数を要するので、抵抗眞空計の補助として用ひられる。

(C) 冷却装置

既に述べた如くに鐵槽型水銀整流器は鐵槽、電極、其の他の部分を水で冷却して居る。其の冷却方法は種々あるが、之れを大別すれば直接冷却法と間接冷却法となり、間接冷却法には間接水冷、自然通風、強制通風の三方法がある。其等の要領を圖示すると、Fig 203 の如くなる。

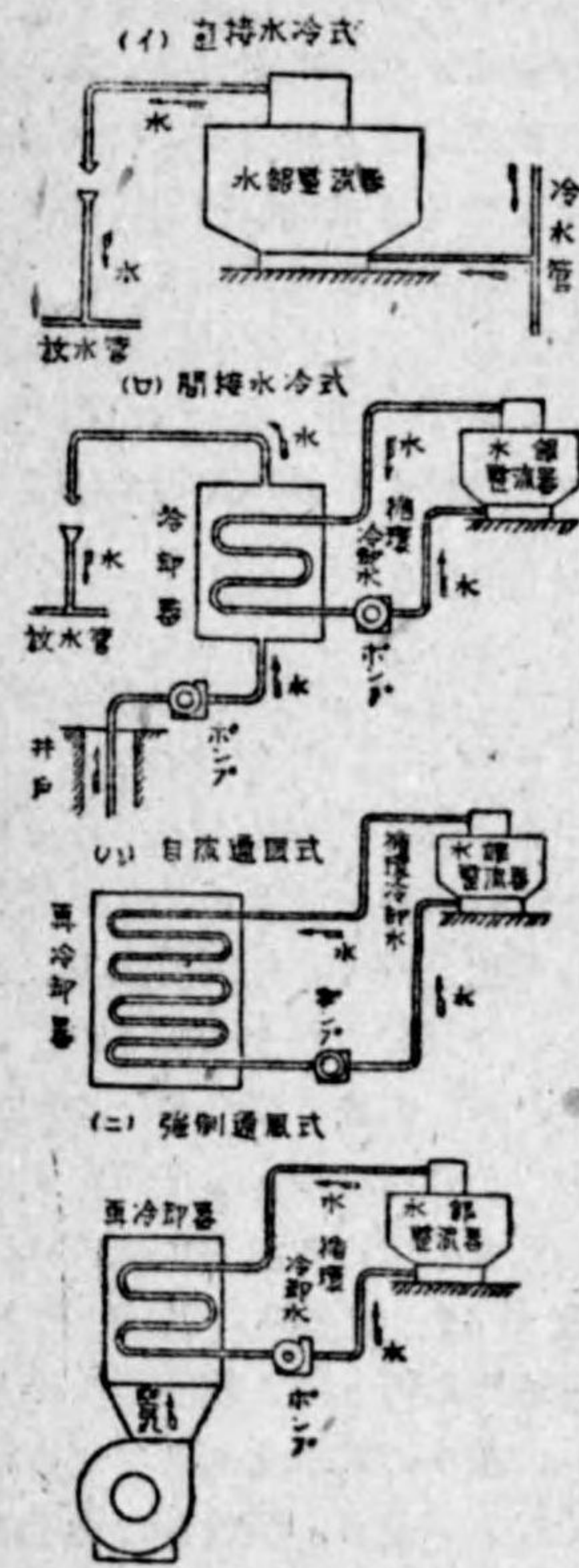


Fig 203

一般に比抵抗（1立方糎の抵抗）2000Ω 以上のものを用ひ、之れ以下の水を使用する場合には此の水で直接に冷却せず、純良な水を循環させて不純な水で循環冷却水を冷却させ、或は蒸氣で冷却したりする。此の見地より上記の各種の冷却法がある譯である。

其の何れにせよ、水冷式である事には相違なく、今整流器内に流るゝ電流を  $I$ 、弧光電壓降下を  $e_0$  とすれば、發生する熱量は

$$H = 0.24 e_0 I \text{ カロリー/秒} \dots (125)$$

之れを冷却する冷却水の入口の溫度を  $t_1$ 、出口の溫度を  $t_2$ 、毎秒の冷却水量を  $Q$  とすれば

$$H = Q (t_2 - t_1) \text{ より}$$

$$Q = \frac{H}{t_2 - t_1} \dots (126)$$

として所要の冷却水量が求められる。此の冷却水に就て特に留意しなければならないことは整流器々壁に對する電解腐蝕と水垢の問題である。従つて冷却水としては純良な電氣抵抗の高いものが望しい。

〔註〕電鐵用水銀整流器は地下埋設物に對する電蝕を防止する爲に、負極を接地するから器壁を冷却する水は之に對して漏洩回路を作る。従つて器壁を (+) 極として電流が常に流れ器壁を次第に電蝕する。之れを防止する爲に高抵抗の純良な水を用ひ、冷却水管路中で、相當の長さをゴム管のやうな絶縁性のものとし、且亞鉛板等を適當な位置に置いて器壁の身代りとする。

又、冷却水中に鹽類等を含むと器壁の外面及管内面に沈積して水垢を作り、管の有効斷面積を減すと同時に冷却作用を阻害し、器壁に錆を生ずる。

**直接冷却法** 上述の如くに本方法は純良な冷水が豊富に得られる場合に採用されるもので、簡單で能率もよい。ポンプ或は貯水槽より冷却水を直接整流器に送つて之れを冷却し、冷却後は排水管に導いて放水する。或は再び貯水槽に送つて再冷却して使用する。

**間接冷却法** Fig 203 の (ロ) (ハ) (=) のやうな方法があり、(ハ) (=) の再冷却器は冷却表面の大きい蒸氣暖房のやうな多數の鐵製筒を立てたもので之れを自然冷却或は冷却風に依つて冷却する。此の再冷却器は相當に場所を取るから床面積の乏しい處では (ロ) の如くに容積の小さい冷却器を使用し、之れに水を通じて冷却する。但し此の方法では久しく使用して居ると水中に鐵分其の他の不純物が蓄積するから、適當に取替へ補給をする必要がある。尙冷却水に少量のグリセリンを混入して使用し、或は不純物除去の目的で電氣透折法を用ふこともある。

整流器を餘り冷却し過ぎることは好しくない（器内の水銀蒸氣壓が低くなり過ぎ、電壓降下を増し、弧光を不安定とする）冷却水の溫度は 20°C 以下が適當とされて居る。冷却水通路に自動的に濃度を調整する装置を設け、冷却水の溫度が一定限度以下になると強制通風用の扇風機の開閉器を開くものもある。

(D) 濾波装置

既に説明した如くに水銀整流器の發生する電壓は脈動直流であつて之れは一定値の直流電壓と高調波の合成であると考えられる。此の高調波に依り之れに近接する回路に電磁及靜電誘導電壓を生ぜしめる。近接回路が通信線であると此の誘導電壓に依る電流は通話電流と重つて通信障害を來す。電氣鐵道の電力回路は通信線と平行することが多く障害の程度が甚しく特に電話線に與ふる被害が大きい又電鐵用整流器等にあつては 1000 V 以下であるから靜電誘導は殆んど問題でなく、電磁誘導障害のみを考ふればよい。之れを軽減する方法として、通信線側では摺架（適當區間毎に兩線を交互にふり變へて架線する）を行つたりすればよく費用も安く簡單であるが、我が國では通信線は固有で既設の場合が多く、後より設置する水銀整流器側で此の脈動電流を除去する装置をしなければならない場合が多い。

〔註〕① 電話線の摺架を完全に行つても兩線の大地に對する漏洩抵抗が異ると大地への電流の差が電話器に流れて障害を起す。

② 回轉變流機の直流電壓も多少の脈動はあるが、通信線に與ふる障害は微弱である。整流器と變流機を相當長い饋電線で並列とすると、此の部分に流れる高調波雷電流に依つて著しい誘導障害を生ずることがある。

③ 水銀整流器に於て、特に短絡或は電流遮斷の如く電流が急激な變化をする時には通信線に著しく高い誘導電壓を生じ、通信線並それに接觸される器具の絶縁を破壊することがあり、人命にかゝることを生ずる。尙無負荷でも相當の誘導電壓を生ずることがあるが、

之れは饋電線と大地との間の静電容量に通ずる高調波電流に依るのであつて、充電電流は周波数に比例し、誘導電圧は周波数と充電電流の積に比例するから、結局誘導電圧は周波数の自乗に比例する。

整流器側から云ふと誘導障害を防止するには直流電圧の脈動分を減少すればよく、例へば前述した相間リアクトルも之れに對して効能がある。其の他にも種々の方法があるが、茲では其の代表的のものとして濾波装置を説明する。之れにも

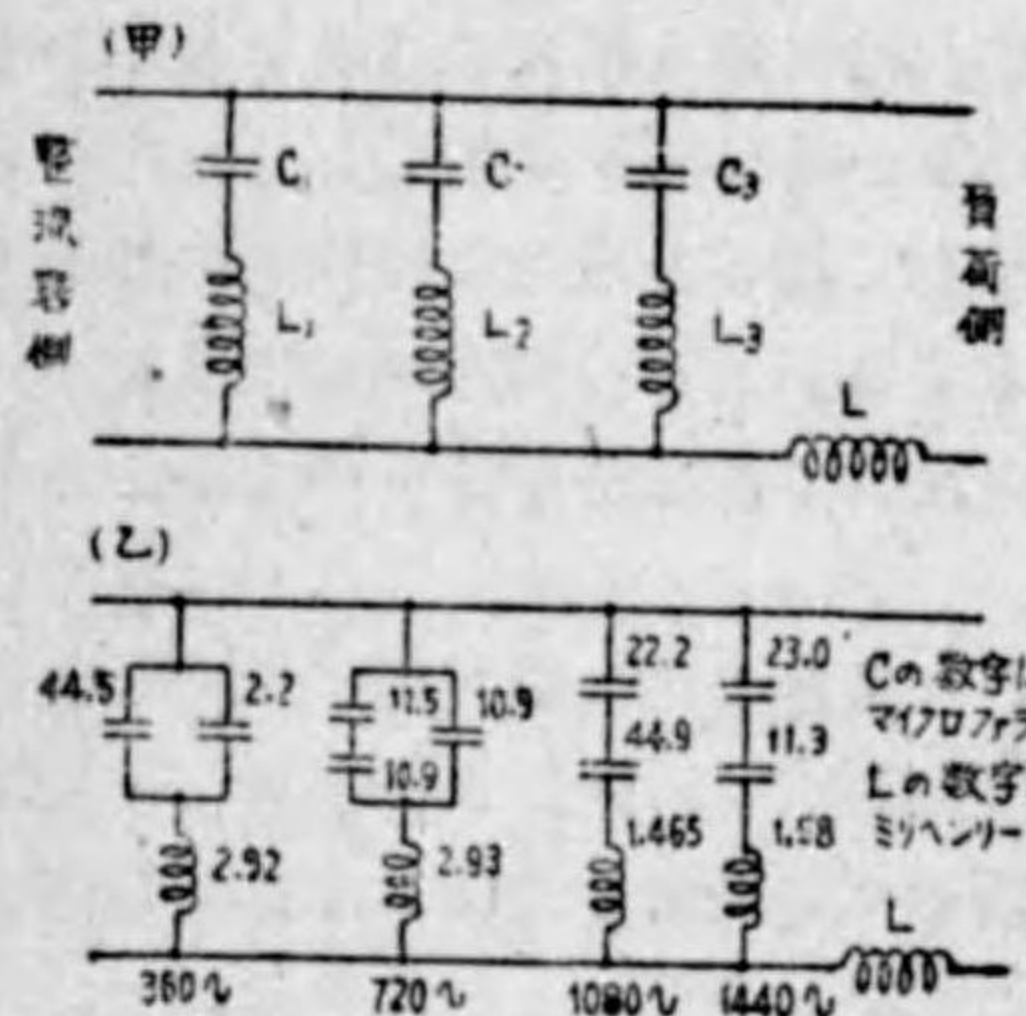


Fig 204

種々の考案があるが、我が國で最も廣く用ひられて居る直列インダクタンスと並列共鳴回路から成るものを示すと、Fig 204 の如くである。即ち(甲)の如くに接続すると、高調波分はLに通じ難く負荷側に流出するものは少い。併而一方  $L_1 C_1, L_2 C_2, L_3 C_3$  を夫々の周波数に對し  $\omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1} = 0$  となるやうにすれば、夫々の周波数に對するインピーダンスが零となつて、是等は夫々で短絡されて負荷側に出ない。脈動分に含まれる高調波は供給交流が  $50\omega$  の場合は  $300\omega$

及其の整数倍のものが現はれ、 $60\omega$  の場合は  $360\omega$  及其の整数倍のものが現はれる。同圖(乙)は供給交流  $60\omega$  の場合の濾波装置設計の一例である。

尙一步を進めて脈動分を零とする方法として三捲線を有する補償變壓器を用ふる考案もある。

〔註〕次に参考として濾波装置を用ひて脈動電圧を低下した一例を下表に示す。表中①は濾波装置のないもの、②は同装置を有するものである。

	純直流 (%)	脈動電圧 (%)				
		300 $\omega$	600 $\omega$	900 $\omega$	1200 $\omega$	1500 $\omega$
無負荷電圧	100	5.7	1.4	0.62	0.36	0.22
① 負荷電圧	100	8.6	2.1	0.9	0.91	0.63
② 負荷電圧	100	5.5	0.35	0.54	0.18	0.14

(97) 据付並運轉

(A) 据付

水銀整流器は回轉變流機等に比して重量も軽く、震動を生ずる回轉部分もない

から特別の基礎工事は不要であつて、所要床面積も少い。従つて据付工事も極めて簡単である。殊に真空装置を本体に取付けたものでは輸送に簡単であり、据付に際しても厄介な真空パイプの接続工事を要しないので、現場では單に電氣的接続と冷却水管の接続を行へばよく、著しく簡便となる。

一般に小容量の變電所では總ての設備を同一水平面上に置くが、大容量の處では整流器を二階に置くことが多い。

併而、電機用にあつては負極を接地するが、斯くすると器壁が大地に對して電位を持つに至るので、危險防止の爲に周圍に金網を設けることもあるが、夫れよりも据付床面積を絶縁する方がよい。斯くすれば何れの側からでも心配なく整流器に近づき得るし、マクレオド真空計の把手等も絶縁する必要がなくなる。Fig

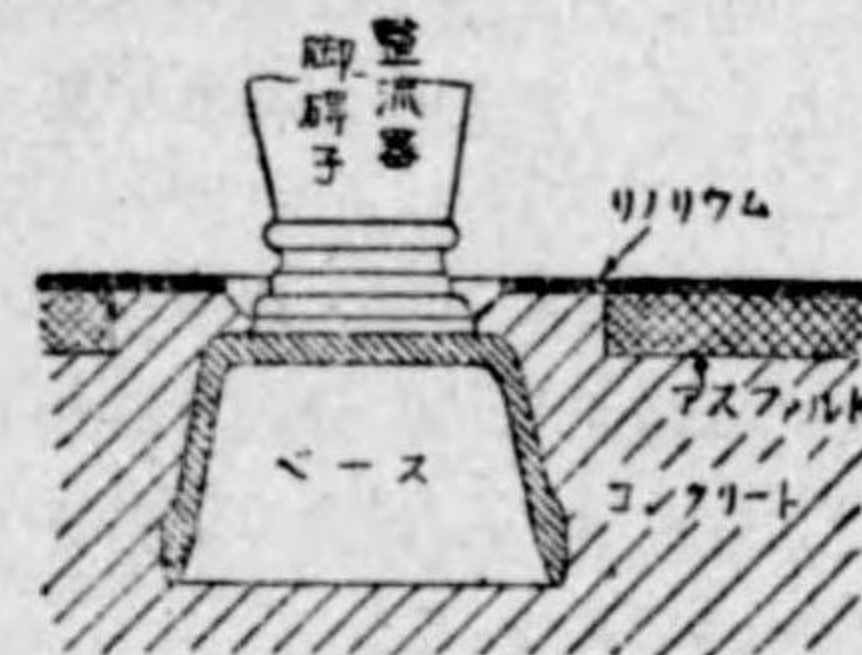


Fig 205

205 は 1500 V 級以下に對する床絶縁の一例を示したもので、整流器の周圍コンクリート基礎の上に約 2 米巾に厚さ 30 耗のアスファルトを敷き其の上を厚さ 6 耗位のリノリウムの層で蔽ふ。尙整流器は接地物例へば建物、鐵構等より少くとも 1.5 米以上を離すやうに留意されねばならない。

(B) 化成 (formation)

水銀整流器は運轉中真空度を高く保たねばならない。極言すれば真空が整流器の生命だと云へる。従つて製作組立を終つて運轉を開始せんとする場合、又は既に使用中の整流器を内部点檢の爲に開けて再び使用する場合、或は永く休止中の整流器を再び使用する場合には豫じめ器内の空氣或は器壁、陽極等に吸藏せられて居る空氣其他の瓦斯を追出さねばならない。併而器内の空氣や瓦斯は真空ポンプで直ちに排除し得るが、吸藏瓦斯は常溫では放出し難いから器内の溫度を使用状態以上に高めて真空ポンプで引出す。此の操作を化成と云ふのであつて、此の處理を行はないうで使用すると後述する逆弧等の故障が頻發して到底満足に使用し得ない。

先づ化成の方法として一般に用ひられるものに就き説明する。

① 温水化成 讀んで字の如く、整流器を湯で温めながら排氣する方法で冷却水を循環する管を利用して行ふ。即ち冷却水管に 70°C 位の温水を供給循環させ一方真空ポンプで排氣を行ひ、真空度が高まり 1 時間以上引續いて真空度が 1 ミクロン以下になる迄待つ。之れが完了すれば次の單極化成に移る。

② 單極化成 之れは陽極又は点弧極の一極又は二極宛に電弧を發生させて其の發熱作用で化成を行ふ方法である。電弧電流を交流側より供給する場合と直流側より供給する場合がある(直流で行ふ時を直流化成と云ふ)何れに依るにせよ電流は 10 A 以下で行ひ、真空度が 10 ミクロンになれば電流を切つて氣壓の回

復を待ち、2 ミクロン以下になれば再び電流を通じて化成する。斯様な操作をくり返して行ひ、真空度が常に2 ミクロン以下となれば其の極の化成は終り次の極に移る斯くして全極の化成がすめば次の低壓化成に移る。

⑤ 低壓化成 之れは整流器を運轉状態として低い電壓を供給して整流器全体を同時に化成する方法である。即ち附屬變壓器の低壓化成用端子に各陽極を結び冷却水を通じて普通の方法で点弧し、勵弧極及各陽極に弧光を發生させる。弧光電流は初めは定格電流の 10~20 % を流すやうにして真空度がよくなると共に漸次に電流を増加して全負荷に相當する電流を流して真空度が1 時間以上引き續いて1 ミクロン以下になる迄續行する。但し此の場合、真空度が 10 ミクロン以上になるとか、冷却水が 50°C 以上になれば電流を絶つて真空度の回復を待ち、真空度が1 ミクロン以上になれば再び作業をつづける。斯くて、適當な過負荷電流 (125~200%) で真空度が 0.5 ミクロン以上に増さないやうになれば化成が終つたのである (電壓が低いから抵抗負荷をかける)

⑥ 高壓化成 之れは全く使用状態として化成を行ふのであつて、低壓化成後一時間以内に行ふべきで、電流は最初定格電流の 20 % 位とし 30 分間位運轉して漸次に電流を増して全負荷として2 時間位運轉し、更に過負荷電流で運轉する斯くて真空度が1 ミクロン以上となれば化成が終つたのである。

以上は化成の代表的順序を示したのであるが、整流器の構造、排氣装置に依つて異り、メーカーの推薦する方法に依るのが安全である。併而、製作工場で組立後、初めて化成を行ふ場合には先づ整流器の氣密試験を行つて上記の順序で化成する。現場据付後、或は内部点檢後の化成は大體低壓化成だけでよく、次に某社が推薦する化成方法の順序を運轉休止時間と真空度に應じて表示する。

第十表 化成方法

真空度	一 月		一週間		十時間		半時間	
	以 上	未 滿	以 上	未 滿	以 上	未 滿	以 上	未 滿
10,000. ミクロン以上	温水化成 單極化成 低壓化成 高壓化成	—	單極化成 低壓化成 高壓化成	—	單極化成 低壓化成 高壓化成	—	—	—
10,000 ミクロン以下	單極化成 低壓化成 高壓化成	—	單極化成 低壓化成 高壓化成	—	單極化成 低壓化成 高壓化成	—	—	排 氣
100 ミクロン以下	低壓化成 高壓化成	—	低壓化成	—	—	排 氣	排 氣	排 氣
20 ミクロン以下	低壓化成 高壓化成	—	—	排 氣	排 氣	排 氣	排 氣	排 氣

次に某變電所に於て行つた整流器内部点檢の爲の露出時間と之れが所要化成時

間を参考迄に示す。

第十一表 化成所要時間の一例

露出時間	化 成 所 要 時 間 (時)				備 考
	温水化成	單極化成	低壓化成	全時間	
—	—	26	9	35	最初据付
12	65	22	8.5	65.5	開 放
30	39	—	55	94	ク
55	62.5	34	36	132.5	ク
126	45.5	89	23	157.5	ク

(註) 次に化成に際し心得べき諸点を記する。

① 化成中によく起ること。最初電流が變動したり或は弧光が消え再点弧には高い電壓を要することがある。又急に真空度が低下することがあるが之れは蒸氣及吸藏瓦斯を發生する爲で餘り低下すれば電流を絶つ。是等は化成が進めばなくなる。或は交流化成の時に働かない陽極を生じ、直流電壓が低下し電壓が變動することもある。

② 特にグラフアイト陽極の場合には過電流を大きく 200—300 % を行ふ。

(C) 運轉方法

如何なる機械でも運轉保守に万善を期しないと故障は頻發し、其の壽命は著しく短縮せられる。殊に水銀整流器の故障は、其の大半が運轉保守の不適切にあると云はれて居る。

整流器の運轉に際しては、勵弧装置、真空ポンプ及冷却水装置の操作が關聯して居つて、單に電壓を加ふればよいと云ふのでないから注意を要する。此の操作方式を分類すると手動式、半自動式、全自動式となる。

手動式の場合には特に附屬装置の運轉順序を誤らないやうに、メーカーの指定通りに行ふ。半自動式は真空ポンプ装置の起動と水銀整流器本体の起動とを關聯させて自動的に行はすもので、主回路の開閉器を入ると接觸器及繼電器に依つて補助回路の開閉を順序正しく自動的に行つて完全な運轉状態に入る。全自動式には定時開閉器に依つて一定時間が來ると自動的に主開閉器を投入し、之れと關聯して補助装置の運轉其他の全操作を行つて運轉状態に入り、更に一定時間が來ると自動的に此の運轉を停止する方法と、直流側の負荷が多くなつて饋電線の電壓が或る値以下に降下した時自動的に主開閉器を働かせて全装置を運轉状態とし輕負荷となれば自動的に停止する方法がある。或は定時開閉器の代りに親變電所よりの遠方操作に依るものもある。何れにせよ自動式の場合には運轉中の事故に對する保護装置も全部自動的に完備されて居る。

尙運轉に當つて特に注意すべきは

① 真空度、常に能ふ限り高真空に保つ。

② 冷却水、其の水量並温度を適當に保持し、特に冬期早朝の起動に於ては温度に注意する。又負荷除去と同時に冷却水を断たないこと。

③ 保護装置、常に保護装置の点検、調整を行ひ、一器の故障が他に累を及ぼさないやうに心懸ける。

#### (D) 平行運轉

水銀整流器も亦直流機や回轉變流機の場合と同様に、整流器同志の或は整流器と蓄電池、直流機、回轉變流機と並行運轉を行ふ必要が生ずる。並行運轉に處する注意は其等に於て述べたのと同様であつて、一般に直流電源の並行運轉に於ては各々の分擔する負荷電力は其電壓變動率に反比例する。

回轉變流機の處で言及するやうに、並行運轉を行ふには分擔特性の方が都合が宜しい。然るに整流器では夫れ自身の電壓降下は殆んど一定であるから複擔特性の如くになり、並行運轉に適當でないが、變壓器をも合し、變壓器のリアクタンスを大きくし、或は陽極リアクトルを挿入すると分擔特性となり、並行運轉が容易となる。整流器同志の並行運轉の場合に二台以上の整流器に對し變壓器が一台の時は變壓器を共通として整流器だけの並行運轉を行ふ。但し此の場合、整流器の容量が異ると、變壓器を別にしないと負荷の分配が困難となる。

回轉變流機との並行運轉の場合には變流機の電壓變動率は比較的少く、4%の程度であるから、之れと並列にする整流器は特に變動率を少なくするか、或は相手方の變流機の交流側に適當なインピーダンスを接続して電壓變動率を一致させる必要がある。但し後者の場合は變流機を遅れ力率で使用する。

〔註〕 但し斯くしても負荷が必ず適當に分配されるとは限らない。何となれば、若し變壓器の一次電壓が規定値より上昇すると、整流器の直流側電壓は夫れに比例して上昇するが、回轉變流機では力率を1にして置くと減磁作用を生じ直流側電壓は一次電壓に比例して増加しないから整流器の方に多くの負荷がかかる。之れに反して一次電壓が降下すれば變流機は増磁作用を生じて變流機に多くの負荷がかかる。

尙負荷の分配に當つて、變流機の能率は輕負荷で著しく低下するから、之れを成るべく一定全負荷で使用し、負荷に拘らず大体能率一定の整流器に變動負荷を取るのが得策である。之れが爲には變流機の電壓變動率は大きい事が望しい。

#### (98) 故障と處置

水銀整流器の故障として一般に起るものは

- ① 高電壓發生によるもの
- ② 逆弧によるもの
- ③ 眞空ポンプの故障、眞空パツキングの不良及劣化によるもの。
- ④ 繼電器及回路の不良によるもの。
- ⑤ 冷却水装置の不良によるもの。

等であつて、以下夫々に就て故障の原因と對策を述べることにする。

#### (A) 異狀高電壓の發生と對策

整流器の使用時、或はその油入遮斷器の投入或は開放時に、陽極（陽極）又は陰極と鐵槽間に火花を生ずる事がある。之れを異狀電壓現象と云ふ。併而陽極と鐵槽間に起るものが最も災害が大きく、其の他のものは微弱であつて問題とするに當らない。其の發生原因として考へられることは陽極弧光が何かの原因に依つて急變し、此の電流の變化が主として變壓器線輪のインダクタンスに依つて異常高電壓を誘起する。又は陽極弧光を含む回路の振動に依つて生ずる。

此の現象は普通整流器の温度が低く眞空度の高い時、即ち變電所では早朝の使用開始時、夜間輕負荷で冷却水が過量にあり、弧光が不安定或は消滅したときに上記の理由で生ずる。之れに對して變壓器及陽極を保護するには、陽極端或は變壓器二次線輪と大地間に陽極數と同數の避雷器を挿入すればよい。

〔註〕 最も多く閃絡を生ずる箇所は上述の如く主陽極冷却器と、コンデンシング鐵槽との間の支持棒子取付ボルト間であつて、其間の棒子を破壊することが多い。従つて特に此の間の棒子には良質のものを用ふる。避雷器としては多隙型よりも溝型（オートゲアルプ型）等が適當である。

#### (B) 逆弧の發生と對策

回轉變流機に於て閃絡現象があるやうに、整流器には此の逆弧現象がある。今日、大容量の水銀整流器が出現して來たのは、此の逆弧防止に或る程度の成功を納めたに依る。換言すれば、整流器の發達史は即ち逆弧征服の歴史であるとも云へる。

扱、水銀整流器が正規運轉を行つて居る時、多量に電子を放出するのは水銀陰極のみで他の陽極は電子を出すことが出來ない。従つて電流は陰極に向ふ一方のみを通じ整流せられるのである。然るに今、後述するやうな原因で此の陽極の方に一箇所でも陰極と同様な高熱点を生じ、多量の電子を放出するやうになると陽極には逆電壓が加はる時間があるから、此の時電子は他の電位の高い陽極又は

陰極に驀進して電流を通ずる。此の陽極間の弧光電壓降は數十ヴォルトの程度に過ぎないから、變壓器に直接短絡と同様な多大の短絡電流を通ずる。又他の電源と直流側で並列して居るときは陰極より逆弧を起した陽極へと電流が逆流し、是等が重つて莫大な電流となり變壓器、整流器を損傷する。其の有様を Fig 206 で示した。

此の逆弧の成因、即ち陽極の電子放出の原因には種々の説がある。茲には其の主なるものを列挙するに止める

- ① 眞空度。眞空度の低いこと（急激なる低下）
- ② 棒子及びパツキング類。棒子又は弧光ガイド等

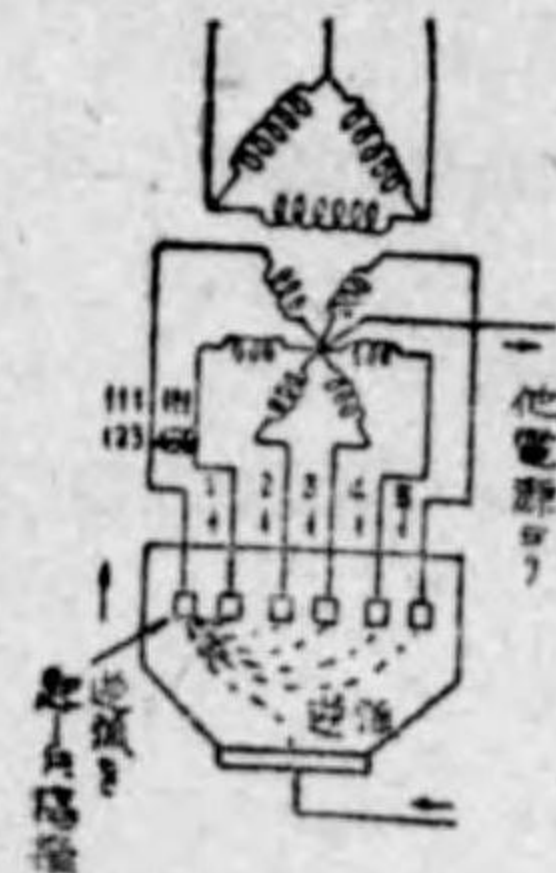


Fig 206

の破損絶縁物或はパツキングの不良、又は破損（真空低下の原因となる）或は銲接の不良、槽の腐蝕

- ② 水銀蒸気圧力。陽極筒内の水銀蒸気圧力が高くなつて、暈光放電 $\times$ 流が大となること。水銀蒸気の陽極面への流入
- ③ 水銀滴。陽極面に水銀滴が附着して、陰極点を作り易くすること。水銀滴の陽極面上に落下すること。
- ④ 冷却室。整流器の温度が或る程度以上に上昇すること、或は陽極を陰極の直上に置くこと。陰極より蒸発した水銀の浮游凝結
- ⑤ 陽極。陽極物質の飛散乃至壞散、陽極表面上の不純物或は汚点（これが爲め電子の放出が容易となる。酸化物特にアルカリ土金属があると此の傾向が著しい）前回の弧逆に依る陽極表面の凹凸（一度逆弧を起した陽極は殊に表面が粗悪となる）連続過負荷に依る陽極の過熱
- ⑥ 残留瓦斯。陽極、槽壁、パツキング及び不純水銀中の空気及吸蔵瓦斯の發生、弧光通路又は陰極中に於て弧光の熱に依り是等から吸蔵瓦斯を發生する。（化成の不充分）

以上の他、其の理論は未だ鮮明でないが、暈光放電に依るものが大きい。之れに就て次の如くに云はれて居る。

- ① 非持続放電に依る逆電流
- ② 兩極間電位差に基く持続暈光放電に依る逆電流
- ③ 陽極電圧が急激な上昇に依り陽極の不動作時中の暈光放電が遂に弧光放電となること。
- ④ 陽極筒内の水銀蒸気圧力が高くなつて、暈光放電 $\times$ 流が大となること。

以上の如くに逆弧の原因が略々明かにされたので、夫々と対策が講ぜられて居る逆弧を制限すれば運轉を良好とし、定格容量を増加し得る。今之れを構造上と運轉上に分つて記すると

#### 構造上の対策

- ① 陽極を陰極の直上に置かず、陰極より蒸発した水銀の浮游凝結する室を別に作る。
- ② 陽極を別々に圍ひ、陽極間の放電を防ぐ。一方水銀蒸気の陽極面への流入を防ぐ。
- ③ 陰極と器壁とを絶縁する（以上 Fig 196 構造圖参照）
- ④ 格子電極を採用する（詳しくは後述するが、陽極前面に第三極を置く。之れに電位を與ふるものが多い）

#### 運轉上の対策

- ① 整流器内部を清潔に保持し、真空を十分に高くする。
- ② 整流器体の温度を或る程度以上に温めないやうに適當な冷却を行ふ。

- ③ 交流側に過負荷繼電器と適當な遮断容量を有する油入遮断器を用ひ、逆弧時には交流側よりの電力供給を絶つ。又直流側にも高速度遮断器を設けて逆弧時に外部よりの逆流を速かに切る。（次章の高速度遮断器を参照）

實際運轉に當つて此の逆弧が生じたかどうかを判定することは甚だ困難であつて、整流器を解体して内部点検を行つた上で始めて確かめられるのである。一般に逆弧を發生した整流器は運轉状態が異つて來る。例へば運轉中よく勵弧電流が減少し、或は自然と勵弧が消滅する。又真空度が低下して真空ポンプを運轉しても回復しないやうになる。二台の整流器を並行運轉して居る場合、逆弧を生じたものは段々と負荷を負はなくなる。斯様な整流器を開放すると、陽極、陰極冷却筒に樹枝狀の模様逆弧の痕跡があつて逆弧したことが解る。故に之れを適當な研磨材料で取り除く（小孔を生じたときは旋盤仕上げをする）尙、陽極、内部器壁を長く大氣中に曝露すると表面が酸化して化成が困難になるから能ふ限り早く組立てる。尙整流器内部には油類は絶対に禁物であるから取付に當つては注意する。

#### (C) 其の他の故障と対策

以上の他に、前掲した如くに種々の故障がある。何度も云つたやうに整流器の生命は真空であるから、特に真空系統に注意しなければならない。従つて真空槽を貫いて居る多數の穴のパツキングを常に監視する。

〔註〕 良好なパツキングとしての條件は氣密なこと、瓦斯の發生のないこと、耐熱性、耐久性に富み、構造取扱いが簡單で保守に便なることが望しい。一般に用ひられてゐるパツキングには水銀パツキング、ゴムパツキング、マイカレツクス・パツキング、プレスリングパツキング等がある。

特にゴムパツキングは氣中で劣化し、温度が高いので次第に變質して裂目を生ずるやうなことがあるから注意を要する。

又、回轉真空ポンプ中に水銀が導入されて、動作を悪くするやうなこともある。冷却水は特に純良な、上水道のやうなものを使用しなければならないことは既に述べた通りであつて、特に鐵槽を腐蝕させないことを要する。これが爲に前述した如く亞鉛板を身代りとしたものもあるが根本的には冷却水の純良なることが望しい。

#### (99) 格子電極付水銀整流器

##### (A) 第三極格子の理論

Fig 207 の如く水銀弧光内に陽極 A、陰極 K の他に第三極 G を設け、三極真空管の如くにして、G に負電位を與へると、此の電位が相當の値であれば、陰極 K より放出せられる電子は之れに追ひ戻されるので K A 間には電流が流れない。（甲圖参照）次に此の G の電位を高くすると（例へば、前に  $-10V$  なら  $-2V$  と云ふやうにする）K よりの電子で威勢のよいものは G を通り抜けて A

に行く。其の途中の G A 間で中性分子を電離する。此の電離に依つて生じた陽

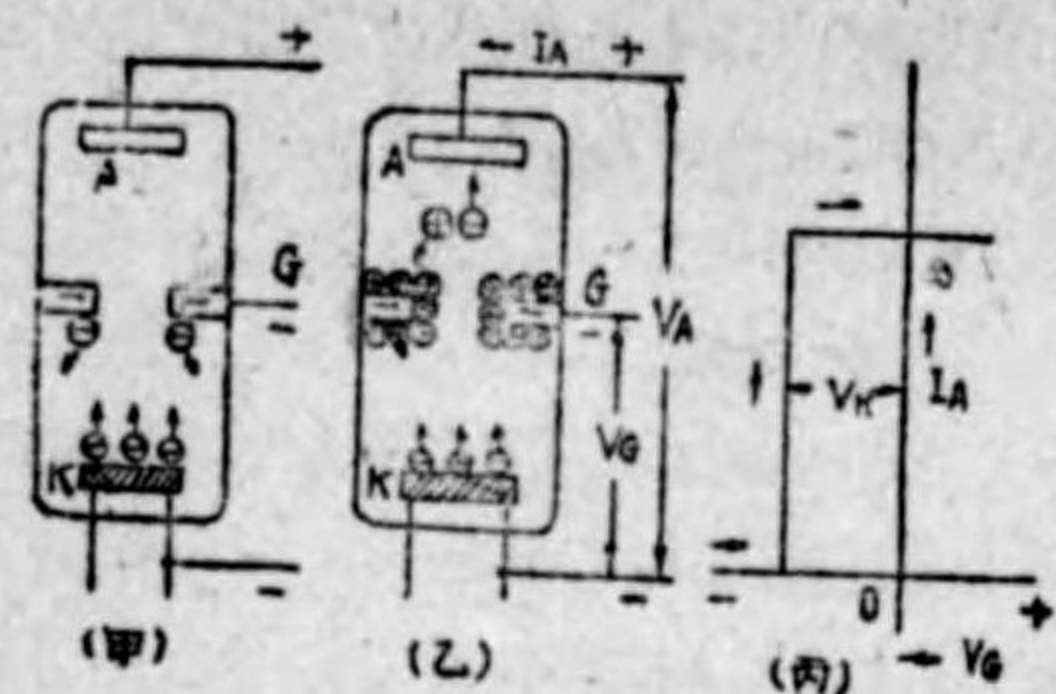


Fig 207

イオンは G を包み、其の負電位を打ち消す(乙圖参照)其の結果、K よりの電子は全く自由に G の隙間を通り抜けて A に行き、K G 間でも電離が起る。斯くすると器内の電圧降下は 10~20V となり負荷抵抗に制限される大きな電流が流れる。斯様になると最早、格子 G に如何なる負電位を加へても放電を止める

ことが出来ない。何となれば、此の時には既に器内には正負兩電荷が略々同数にあるので、格子に負電位を加へても其附近の電子を追ひのけ其の代りに陽イオンで包まれるので、負電位極としての作用を外に表さない。唯、陽イオンは格子で中和せられるので後から後からと陽イオンが来て格子に中和され、格子には夫れに相當する電流が流れるだけである。従つて格子が再び電流阻止作用を営むには AK 間の電流が消滅して、器内のイオン及電子が消滅しなければならない。これには  $10^{-4} \sim 10^{-5}$  秒を要する(イオンは器壁に行つて再結合をする)

以上に於て、第三極 G に加へる電圧  $V_G$  と AK 間に流れる電流  $I_A$  の関係を  $V_G$  を横軸に  $I_A$  を縦軸に取つて表はすと(丙)の如くなる。此處で  $I_A$  を阻止し得る限度である  $V_G$  の値  $V_K$  を開放電圧と稱する。此の  $V_K$  の値は AK 間の電圧  $V_A$  に依つて相違し、 $V_A$  の大きい程  $V_K$  も大でなければならぬ。

(B) 直流電壓の制御

上述の如くに電流を阻止する開放電圧  $V_K$  の値は、 $V_A$  の値に依つて相違するのであつて、其の関係は Fig 208 (甲) に示す通りである。即ち各  $V_A$  の値に對して  $V_G$  の値を圖の  $V_K$  が示す曲線よりも下方(陰影の部分)に取ると如何なる  $V_A$  に對しても電流を阻止し得る。従つて  $V_A$  が(乙)圖の如くに正弦波形的の變化をする交流電壓であつても  $V_A$  の値に應じ(甲)圖より  $V_K$  を求め(圖の点線)此の点線の如くに  $V_G$  を變化すれば弧光電流は全面的に阻止せられる。或は又  $V_G$  を  $V_K$  より少しすれたものとして與へると弧光は部分的に阻止せられる。今 Fig 209 (甲) 圖の如くに G に與ふる電圧  $V_G$  を位相調整器  $P_h S$  に依つて  $V_A$  より少し遅れた位相とすれば(乙)圖よりも明かに弧光は  $V_A=0$  より  $V_G=V_K$  になる迄阻止せられる。従つて負荷に流れる電流は  $I_A$  の如くなる。更に  $V_G$  を  $V_A$  より遅らせる( $\alpha$  を大とする)と流れる  $I_A$  の部分は狭められる。これは放電が  $\mu$  だけ遅れ

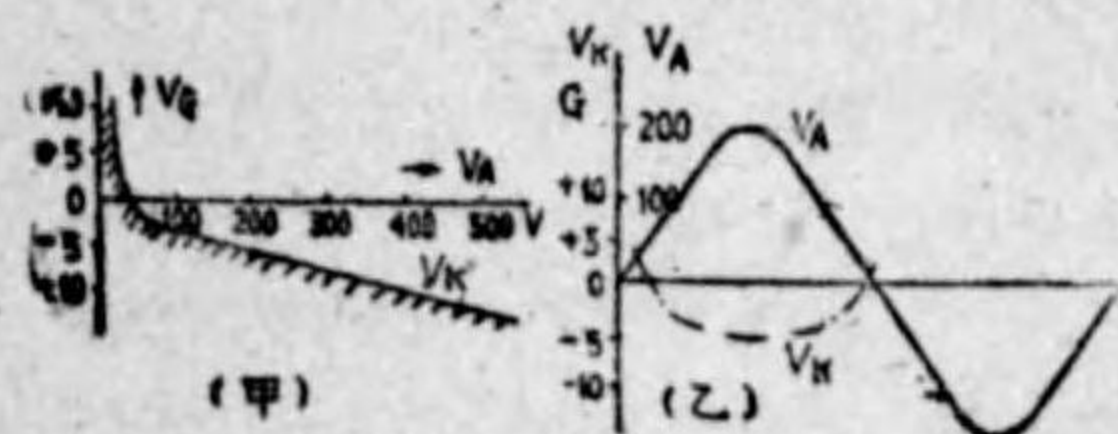


Fig 208

ても  $V_A$  の値に應じ(甲)圖より  $V_K$  を求め(圖の点線)此の点線の如くに  $V_G$  を變化すれば弧光電流は全面的に阻止せられる。或は又  $V_G$  を  $V_K$  より少しすれたものとして與へると弧光は部分的に阻止せられる。今 Fig 209 (甲) 圖の如くに G に與ふる電圧  $V_G$  を位相調整器  $P_h S$  に依つて  $V_A$  より少し遅れた位相とすれば(乙)圖よりも明かに弧光は  $V_A=0$  より  $V_G=V_K$  になる迄阻止せられる。従つて負荷に流れる電流は  $I_A$  の如くなる。更に  $V_G$  を  $V_A$  より遅らせる( $\alpha$  を大とする)と流れる  $I_A$  の部分は狭められる。これは放電が  $\mu$  だけ遅れ

ると同様である。然るに直流電圧は  $I_A R$  で  $I_A$  に比例するから、其の平均電圧は  $V_G$  の大き及位相の取り方に依つて任意に制御されるのである。以上は単相の場合であつたが、多相の場合も同様であつて(丙)圖は六相の場合を示して居る。即ち格子のない場合には直流電圧は各波の尖頭部分のみを連る脈動電圧となるが、格子に電圧を加へると、放電電圧は  $\mu$  だけ遅れて、直流電圧は鋸波形となり  $\mu$  の設定で自由に直流電圧が制御せられる。

併而、阻止時間中格子は單に充電電流を通ずるのみであつて、放電中でも之れと直列に抵抗を入れて電流が制限されるので、僅小な電力(大容量整流器でも 10kW の程度)で電圧制御を行ひ得る。然し前

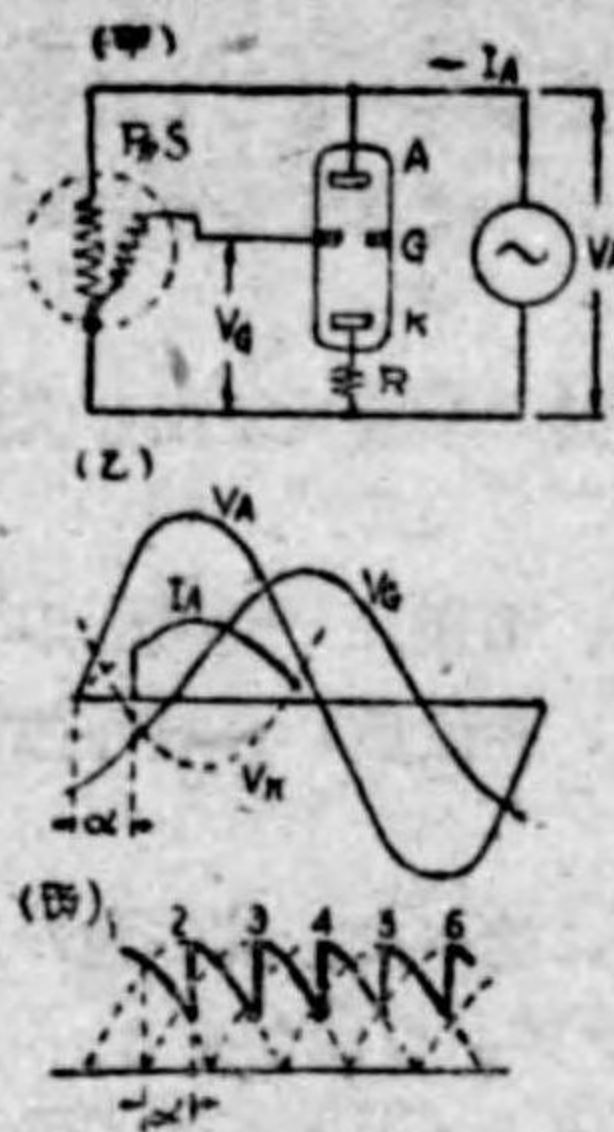


Fig 209

圖よりも明かなやうに、電圧を低くする程波形が歪み、力率を低下し、通信線に與ふる誘導障害が大きくなる。

(C) 短絡及逆弧の防止

格子電極に依り短絡或は逆弧の災害を防止する方法には種々の考案がある。今其の一例を示すと、各陽極の前面に格子電極を置き、一方交流側或は直流側の過電流或は逆流にて働く繼電器を設け、此の繼電器が働けば格子に負電位を與へ、現に電流を通じて居る陽極の放電が止れば直ちに整流器は弧光を消滅する。

(D) 其の他の應用

尙格子電極には直流高壓回路の開閉器として、又は周波數、相數の變換に、或は逆整流器として幾多の興味ある應用があるが、此處では省略する。

(100) 仕様書に就て

水銀整流器の仕様書も形式的には今迄に述べて來た諸機械のものと大差はないが他の機器の如くに明確なる目安が得られない。例へば容量の如きも、實用上支障を來す逆弧を生じない程度と云ふのであるから、明確な試験方法もなく漠然として來る。

従つて茲では仕様書の作製に當つて特別に注意しなければならない諸点に就てのみ記する。

① 容量 現在製作し得る技術の程度は 10,000 A 以上に 15,000 V 以上に達して居るが、電鐵用としては 1500V~600 V に對し 2000 kW (過負荷 50% 2 時間 100% 1 分間) 位が最も信頼し得る。

附屬變壓器も整流器各個に對し別々に備ふる方がよい。

② 電壓變動率 餘り小さくすると變壓器に流れる短絡電流が大きくなるから

6%前後が適当であらう。

⑥ 能率 整流器自身の能率と装置全体としての合成能率のあることは既に述べた通りで、之等を指定するに當つても測定時の状態、例へば温度等を明記しないと無意義になる。

⑦ 並行運轉 既設のものと並行運轉を行ふ場合には其の相數及位相を既設のものと一致せしめ、尙次の事柄をメーカーに申送る。

既設水銀整流器の定格(直流電壓、直流電流、陽極數、相數) 變壓器の定格(一次電壓、二次電壓、一次容量、二次容量、結線接続、周波數) 合成外部特性曲線(變壓器のタップ及一次側の加電壓を明記する)

⑧ 整流器用變壓器 特に設計上留意を要する点は前に述べた。其の他の点では化成用タップを指示する。即ち6相40~60Vのタップをつけさせる。勿論多數の整流器を有する大變電所では別に化成用變壓器を置くこともある。電壓は6相で36—40—44—48/72—90—88—96V、電流は整流器の容量から定める。

尙變壓器に直流側短絡、絶縁不良、層間短絡の起つた時に警報を發する装置、例へばブツホルツの保護装置等を附する。

其の他、短絡電流試験等も適當に指定する。

### (101) 設計上の諸問題

整流器自身に對する設計上の考慮と附屬装置の研究に万善を期さねばならない其等に就ては上記の各項で夫々述べたが、次に整流器本体設計上の諸注意をまとめて記する。

- ① 陰極より發散する多量の水銀蒸氣を適宜に處理して、内部水銀壓力を適當に保つ。特に冷却面積、形狀を研究する。
- ② 陽極の材料及構造を如何にすれば逆弧を輕減し得るか。
- ③ 陽極及陰極に發生する熱の放散を如何にするか。
- ④ 高度の真空を保つ爲めのパツキング等の研究
- ⑤ 弧光電壓降下の低下、弧光通路の撰定等
- ⑥ 冷却水通路を適當にして冷却効果を高め、尙防電蝕防錆等を考へる。
- ⑦ 異狀高壓電壓に對して安全なるやうに考へる。
- ⑧ 点弧及勵弧を確實とする。
- ⑨ 運搬据付を容易とし、機械的に堅牢とする。
- ⑩ 構造を簡單とし組立分解に容易とする。

尙種々の問題があるが、事餘は讀卷に譲ることとして最後に同様な目的に使用せられる水銀整流器と回轉變流機の得失を簡單に比較して置く。

### (102) 水銀整流器と回轉變流機の比較

#### (A) 水銀整流器の特長

① 全負荷から輕負荷迄、能率が殆んど一定であつて、負荷率の低い電車負荷等に對しては全日能率がよい。(直流約500V以上では本器の方が能率がよい)

② 回轉部分がないから音響を發しない。従つて市内にも建設し得る。但し真空ポンプ、再冷却器が多少の騒音を發する。

③ 重量が輕いから基礎工事及据付が簡單で所要床面積も少い。

④ 起動其の他の取扱が簡單である。

#### (B) 回轉變流機の特長

① 水銀整流器では小容量のものでも真空ポンプ其他の附屬品が必要であるが本機では不必要である。

② 直流側の電壓約300V以下では本機の方が能率がよい。

③ 水銀整流器の力率は95%位であるが、變流機では100%とし得る。

④ 水銀整流器では電力の返還が出來ないが、回轉變流機では之れが可能である。

⑤ 電壓變動率がよい。

⑥ 過負荷耐量が大きい。

## 第七章 回轉變流機

### (103) 電動發電機と回轉變流機

今日は送配電に於て交流萬能の時代であり、交流電力を使用するのが經濟的である。然し負荷の種類に依つては直流を必要とする場合がある。例へば電車等の如くに速度の變化の大なるを要する所では、他の如何なる電動機よりも直流直捲電動機が勝つて居るから直流電力が望しい。又電氣化學用(電鉄、電氣分解、蓄電池等)としては是非直流を必要とする。従つて交流で送電せられた場合、交流を直流に變成する装置を必要とする。此の目的に用ふる靜止器として最近の發達になる水銀整流器に就ては既に述べた。

回轉機で交流を直流に變成するものとしては、電動發電機(motor generator)と回轉變流機(rotary converter)がある。

電動發電機は交流電動機と直流發電機とを直結したものであつて、交流電動機としては同期電動機又は誘導電動機の何れを使用しても差支えない。100kW以下のものにあつては取扱ひの簡便な誘導電動機が使用されるが、夫れ以上の容量のものになれば速度が一定で電路の力率を調整し得る利益があるので同期電動機が採用される。

一般的に云へば交流側の電壓が變動しても直流側の電壓を一定に保ちたい場合或は直流側の電壓を廣い範圍に自由に調整したいやうな場合には電動發電機を適當とする。尙電動發電機の特長としては電動機として誘導電動機を使用したとす

れば起動が簡単で運轉が安定である。然し小容量の回轉變流機は起動が困難で運轉が小同期電動機と同様に不安定であり、負荷の變動の甚しい處には用ひ難い。

〔註〕 同期電動機或は回轉變流機に依つて交流回路の力率を調整するに、前者に依ると其の定格容量の 70%位の無効電力を出し、同時に 70%位の有効電力を直流とし得るが、後者では力率が 1 より遠ざかると損失が著しく増加する。例へば力率 0.9 になると、損失は約 30%に増加し、容量は 70%に制限される。

次に回轉變流機の特長は、同一容量の電動發電機よりも能率がよい。夫れは後述するやうに界磁が共通で一個であるから界磁損失が少く、單に一個の發電子を有するに過ぎないのであるから、鐵損も少い。又發電子電流は交流と直流との合成であつて、大抵の時間中は反對方向である。従つて銅損は二つの發電子があるより遙に少いことになる。但し直流側電壓を調整する爲に特別の補助設備をすれば、全能率には大差がなくなる。尙回轉變流機は輕量で占有場所が少く價格も低廉である（補助装置がなければ電動發電機の 50~75%程度である）

#### (104) 回轉變流機の原理と構造

回轉變流機の原理は既に第一章(4)の B 項で説明した通り、直流發電機の發電子捲線内では交流が誘導されてゐるのであつて、之れが整流子に依つて直流電壓とされる。従つて今整流子と反對側で捲線の適當な位置より滑動環に導くと交流が得られる。即ち之れを一方から見ると直流發電機であり他方より見ると交流發電機である。此の交流發電機は同期電動機となるから、滑動環より逆に交流電力を供給すれば同期電動機として運轉し得る。之れに依つて本機が回轉せられるなら、整流子側より直流を得ることが出来る。即ち交流を直流に變成し得られた譯である。

従つて其の構造は直流機と全く同様であつて、一方に交流の相數に應じた滑動環を有し、夫々電機子捲線の適當な個所に接続されて居ると云ふに過ぎない。

上述のやうに此の滑動環から電機子捲線に多相交流を送つてやると、普通の回轉電動子型同期電動機と同様に誘導電動機として起動し、漸次に速度が上昇すれば自己勵磁に依つて整流子側の刷子間に電壓を生じ、其の速度が同期速度に達すると刷子間の電壓は直流となる。

若し此の機械の速度が同期速度でない場合には整流子側刷子間の電壓は、其の機械の同期速度と、其瞬間の速度の差に比例した周波數を有する交流電壓となるから、同期速度以外では一種の周波數變換機となるに過ぎない。再言するに、回轉變流機は同期速度に於てのみ交流を直流に變成するので、之れを同期變流機と云ふこともある。

次に構造の一般を簡単に申上げることとする。

(イ) 電機子 直流機の電機子と同様に、薄鋼板を積み重ねたもので、鐵損を

少くする爲に焼鈍し絶緣ワックスを塗り回轉子枠の上に組立て楔又はボルトで固く締付けられ、適當な間隔を置いて通風用空隙即ち通風渠を設けて居る。鐵心は一般に扇形に切られ外周に近く溝がある。此の溝内に適當な絶緣を施して電機子線輪を納め、堅木又はファイバー製の楔で止め、バインド線にて鐵心上より固く締付けてある。線輪の一端は整流子側に他端は滑動環に適當に接続せられ、滑動環側には均壓線を設け、磁氣回路の不平均を補償し、電機子捲線中の電流の不平均を打ち消して之れが刷子に流れるのを防ぎ、整流を良好としてゐる。斯くすれば整流子面の局部的過熱に依る損耗が防止される。

滑動環は一般に砲金或は之れに類似の合金鑄物より出來て居り、主軸に楔止めにした鑄鋼製の胴にマイカで絶緣して焼ばめて居る。刷子としては炭素刷子も用ひられるが、電流密度の大きい金屬刷子も屢々使用せられる。

整流子片は硬引純銅であつて、片間絶緣として一般にマイカを用ふる。交流側より自己起動をする際には、整流子面上に火花が発生するので、正負二個の案内刷子 (Pilot brush) を残して他は全部整流子面より離す必要があるから、之れに應ずる刷子揚下装置がある。之れには手動式のものや小型電動機で操作せられる自動式のものがある。

(ロ) 界磁極 直流機の界磁鐵心と異り、全部成層薄鋼板であつて、之れをボルトで繼鐵に固く取付ける。界磁線輪は最初から完全に絶緣して捲框の上に捲き、之れを鐵心に嵌入して居る。此の磁極面には一般に充分な大きさを有する平鋼又は銅棒を嵌入して制動捲線とする。之れは運轉中、回路の電壓或は負荷に急激な變動が生じたときの乱調又は閃絡現象を防止し、交流側より起動するときは二次回路の一部として働く（誘導電動機の籠型回轉子に相當する）故に起動電流に對して接続部が熔解しないやうに注意を要する。

尙繼鐵は鑄鐵又は鑄鋼で造られ、1000 kW 以上の大容量のものになると、点檢修理と運搬の便を計る爲に、上下二部分に分割出来るやうになつてゐる。

其の他の附屬装置、搖軸装置、限速装置、閃絡防止装置に就ては後述しやう。

#### (105) 電壓比及電流比

上述の如くに回轉變流機は交流側も直流側も界磁極並電機子が共通で、同期速度で回轉し、機内損失の他は全部交流電力が直流電力となるのであるから、交流の電壓及電流の關係は相數に依つて一定の値となることが容易に想像される。但し電機子捲線内の電流は直流と交流が互に打ち消されるので同容量の直流發電機と比較すれば甚だ小さい。此の一定關係にある交流側と直流側の電壓及電流比を簡単に求める爲に交流側電壓を正弦波とし、力率は 100%と考へ、變流機自身の損失を閉却して能率は 100%と假定する。

〔註〕 通常電機子捲線は分布捲であるから誘起電壓は正弦波に近く又力率も勵磁電流の調



整に依つて100%とする事が出来、能率も95~97%であるから上記の假定に依る誤差は殆んど無視して支障ない。

(イ) 単相式の場合

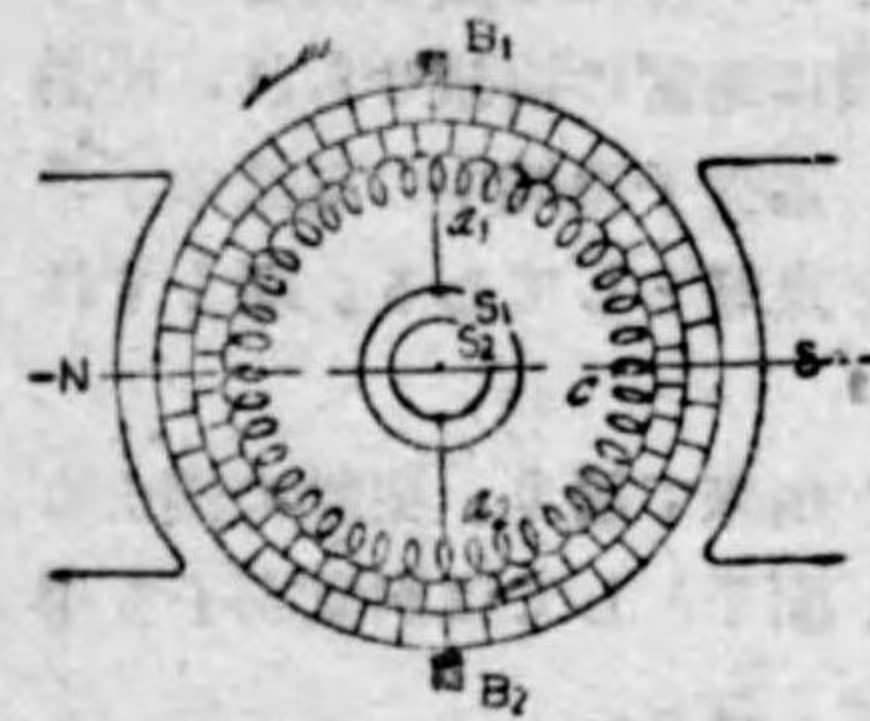


Fig 210

Fig 210 の如く分布捲きの電機子の捲線を二分して、其分岐点  $a_1, a_2$  を夫々滑動環  $S_1, S_2$  に接続して  $B_1, B_2$  間に直流電圧  $E_d$  を加へ直流電動機として回轉する。今  $a_1 a_2$  の方向が圖の位置にあるとき交流電壓は最大であり、 $90^\circ$  回轉して磁極の中心線と一致した瞬間では零となり、更に  $90^\circ$  回轉して、 $a_1$  が  $B_2, a_2$  が  $B_1$  の位置に来ると前と反対方向に最大となり、次で  $90^\circ$  回轉して零となり、更に  $90^\circ$  回轉して元の値となる、斯く回轉して交流電壓の1サイクルが完成される。此の間直流電壓は  $E_d$  で一定であり、圖の位置即ち、交流電壓が最大値  $E_m$  となる時、直流電壓  $E_d$  と等しい。

故に  $E_d = E_m$   $E_d = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$   $E_d = \frac{E_a}{\sqrt{2}}$   $E_a = \frac{E_d}{\sqrt{2}}$  但し  $E_a =$  交流の實効値

茲に機内の損失を無視すれば、交流側の入力と直流側の出力は相等しいから  $E_a I_a \cos \phi = E_d I_d$

但し  $I_a =$  交流側電流の實効値  $I_d =$  直流側電流の實効値  $\cos \phi =$  力率

$\cos \phi = 1$  とすれば  $E_a I_a = E_d I_d = I_a \frac{E_a}{E_d} = \sqrt{2} I_a$

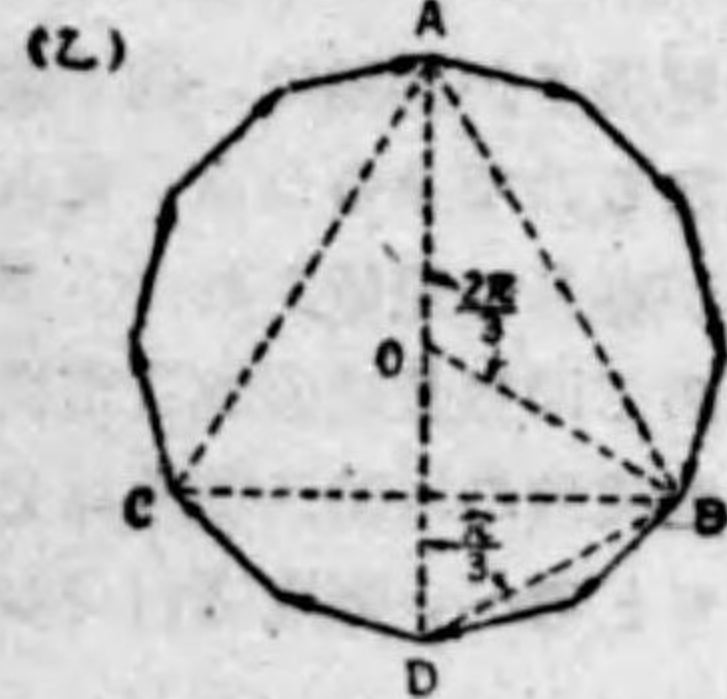


Fig 211

(ロ) 三相式の場合

次に Fig 211 (甲) の如くに電機子捲線を  $a_1 a_2 a_3$  にて三分して ( $120^\circ$  宛を隔てる) 之れを滑動環  $a_1 a_2 a_3$  に接続したとすれば、仮に全捲線が12個の線輪より成るものとすれば  $a_1 a_2 a_3$  間には (乙) 圖の点線  $ABC$  の如き最大電壓が誘導される。之れは明かに三相交流電壓であり、直流電壓は  $AD$  に相當する。故に

$E_m = (\overline{AB}) = (\overline{AD}) \sin \frac{\pi}{3} = E_d \sin 60^\circ$   
 $= \frac{\sqrt{3}}{2} E_d$   $E_a = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} E_d = 0.612 E_d$

$\angle AOB = \frac{2\pi}{3}$  であり  $\angle ADB$  なる圓周角に對する中心角であるから  $2\angle ADB = \angle AOB$  となる

[註]  $a_1 a_2$  間の最大電壓は其の中間の線輪が磁極の中心と一致する位置で生じ、其の値は  $\overline{AB}$  に相當しやう。

又、中性点  $O$  と滑動環間の電壓  $E_a' = \frac{E_d}{2} + \sqrt{2} = \frac{E_a}{2\sqrt{2}}$

交流、直流の電力を相等しいと置くと

線電流  $3E_a' I_a = E_d I_d$   $I_a = \frac{E_d}{3E_a'} I_d = \frac{2\sqrt{2}}{3} I_d = 0.943 I_d$

相電流  $3E_a I_a' = E_d I_d$   $I_a' = \frac{E_d}{3E_a} I_d = \frac{2\sqrt{2}}{3\sqrt{3}} I_d = \frac{I_d}{\sqrt{3}}$

即ち三相電力  $3E_a I_a' = \sqrt{3} E_a I_a$  となる。

(ハ) n 相式の場合

電機子捲線を  $n$  等分して (即ち  $2\pi/n$  を隔てる)  $n$  個の滑動環に接続すれば

$n$  相の回轉變流機となる。今 Fig 212 に於て  $B_1, B_2$  間に供給される直流電壓を  $E_d$  とすれば、之れは  $\overline{AD}$  に相當する。又誘導される交流電壓の最大値は  $\overline{AB}$  に相當し、 $\angle AOB = \frac{2\pi}{n}$  で之れは圓周角  $\angle ADB$  の中心角になるから  $\angle ADB = \frac{\angle AOB}{2} = \frac{\pi}{n}$

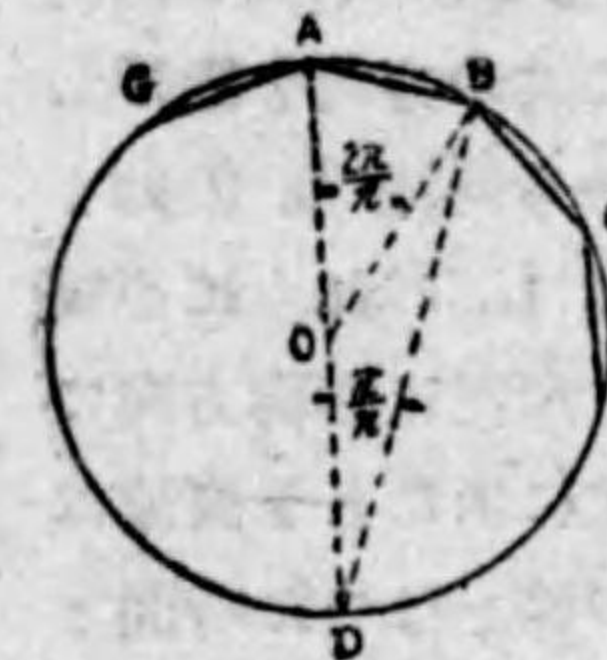


Fig 212

$\overline{AB} = \overline{AD} \sin \frac{\pi}{n}$   $E_m = E_d \sin \frac{\pi}{n}$

$E_a = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{E_d}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{n}$  ..... (127)

又中性点と滑動環間の電壓  $E_a'$  は

$E_a' = \frac{E_d}{2} + \sqrt{2} = \frac{E_d}{2\sqrt{2}}$  ..... (128)

従つて、交流側の電力と直流側の電力を相等しいと置くと

線電流  $n E_a' I_a = E_d I_d$   $I_a = \frac{E_d}{n E_a'} I_d = \frac{2\sqrt{2}}{n} I_d$  ..... (129)

相電流  $n E_a I_a' = E_d I_d$   $I_a' = \frac{E_d}{n E_a} I_d = \frac{\sqrt{2}}{n \sin \pi/n} I_d$  (130)

上記は直流電壓を加へて交流電壓を求める場合として電壓電流の關係を定めたが、此の逆であつても何等變りはない。

[註] ① 力率が100%でなく  $\cos \phi$  の場合には、其の有効分が直流と相應する爲に、上記の値を取る。即ち電機子内の有効分電流  $I_a'$  とすれば直流  $I_d$  との間には(130)式にて示された關係がある。従つて各相電流の有効分は  $I_a'' = I_a' \tan \psi$  となり各相の全電流は  $I_A = \sqrt{I_a'^2 + I_a''^2}$  となる。

② 實際は直流側の電壓が上式の値よりも小さくなる。其の理由は捲線内の抵抗及インダクタンスに依る電壓降下と波形が正弦波でないことに起因する。

(106) 電機子捲線内の電流と銅損

回轉變流機の電機子捲線内には何度も云つたやうに交流と直流の合成が流れ、

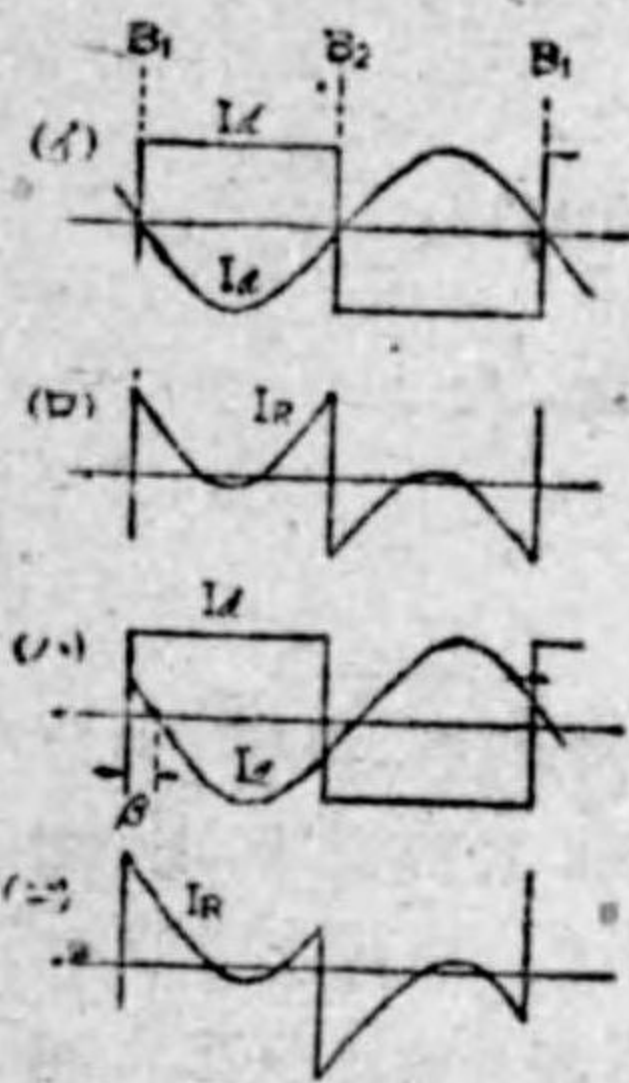


Fig 213

然も交流は電動機電流としてであり直流は発電機電流としてであるから、其の方向が反対である。従つて合成電流は兩者の差となり、其の大きさは線輪の位置、力率に依つて異なる。今 Fig 210 及 Fig 211 の交流一相内の電流を取つて考へると同一相であるから總て同じ値を有し、只時間的に變化するだけである。圖に於て一相 a1 a2 間の中央の線輪 C 内の交流を考へる、力率を 1 とすれば C 線輪が磁極の中心に來た時に最大となり、磁極間の中央にある刷子の處に來た時に零となる。従つて其の電流波形は Fig 213 (イ) の Ia の如くなる。次に C 線輪内の直流は線輪が刷子の下を通る毎に其の方向を變換し、其の他の位置では常に一定値であるから同圖 Ia の如くなる。故に C 線輪内の合成電流は Ir の如くに不規則な形となる。次に C 線輪より、β 角だけ回轉方向に

進んだ位置にある線輪内の電流を考へると此の線輪が刷子の元に來たとき直流は零となつて其の方向を變換するが、交流は C 線輪内の交流が零となつた時間と同一時間に零となるので、直線よりも、β 角だけ遅れて零となる。其の状況は (ハ) 圖に示す如く、圖では Ia が直流、Ia が交流で Ia は Ia が零となつてから β 角回轉して零となる。従つて其の合成電流は (=) 圖の Ir のやうになる。圖よりも明かなやうに Ir は (ロ) よりも (=) に於て大である。即ち力率 1 の場合には各相に於て其の相の中央にある合成電流が最小であつて、兩端に行く程大となり、滑動環に結れる處で最大である。従つて相數が多い程、合成電流は少い。又力率が 1 でない場合には合成電流の最小は中央の線輪に起らず、其の位置から電流の遅れ又は進んだ角だけ隔つた所の線輪に起り、線輪内の合成電流は著しく大となる。

電機子捲線内の電流が上述の如くに交流側の相數、力率及線輪の位置に依つて異なるから、之れに依つて生ずる銅損も各線輪一様でない。故に電機子の温度上昇は各相の中央附近で最低で滑動環の附近で最高となる。従つて相數を多くする程温度上昇が平等化される。之れが中容量以上に六相の用ひられる理由である。然しながら、合成電流は交直兩電流の差となるのであるから、之れを同一容量の電動機、又は発電機の場合と比較すれば銅損は遙かに小さくなる筈である。事實、種々の力率に於ける直流機と變流機の銅損の比を計算すると第十二表の如くなる。

第十二表

力率%	直流 發電機	回 轉 變 流 機					
		單 相	三 相	四 相	六 相	十二相	∞相
100	1	1.37	0.555	0.372	0.26	0.2	0.187
98	1	1.395	0.669	0.415	0.3	0.235	0.225
95	1	1.595	0.695	0.485	0.36	0.295	0.28
90	1	1.845	0.837	0.61	0.475	0.437	0.383

上表より、相數の大となる程、銅損の減少すること、力率が低下すれば著しく銅損の増加することを知られやう。

(107) 電機子反作用

回轉變流機の電機子反作用は合成電流に就て考へず、交流と直流に就て別々に考へて其の合成を取ると容易に理解せられる。

直流側刷子を中性線に置くと直流發電機としての發電子反作用磁界は主磁界に對てし90°進んだ交叉磁界となる。然るに同期電動機としての反作用磁界は既に同期電動機の處で説明したやうに主磁界よりも90°遅れた交叉磁界となる。従つて兩反作用磁界は方向が反対となり打ち消し合ふ。今能率及力率を100%とすると、全く反作用は打ち消し合つてなくなる。然し實際は損失に相當する交流に依る反作用交叉磁界が残るが、其の量は極めて小さい。力率が1より低下すると夫れに相應する進み或は遅れの無効電流に依る増磁及減磁反作用を生じ、磁界の分布を變更して整流を困難とする。即ち交流の無効分電流に相當する直流反作用がない

【註】 回轉變流機を用ひ直流より交流を得るとき、之れを逆用變流機 (Inverted Rotary Converter) と云ふが、此の場合、交流側回路のインダクタンスが大きいと電流が電壓よりも遅れて發電子反作用に減磁作用を伴ふから、界磁束を減じて直流電動機としての速度を高める。其の結果交流側の周波數を大とし、リアクタンス分を増大して電流は電壓よりも更に遅れて減磁作用が大となり、速度を高め周波數を大とし、斯く原因と結果が重つて逆用變流機を著しく昂進せしめる。逆用變流機に限らず回轉變流機としても他の直流電源と並列運轉中に交流側で短絡を生ずると短絡電流は著しく電壓より遅れるので此の現象があり整流電壓の周波數が大となつて閃絡現象も起す。之れに對する限速裝置に就ては後述する。之れと反對に直流側が短絡すれば直流側には非常に大きい短絡電流が流れるが、交流側には相當に大きいリアクタンスがあるので全負荷電流の2倍乃至3倍程度電流が流れるに過ぎない。従つて變流機は入力よりも出力が大きいのので回轉速度が遅くなり、磁極に對して電機子の相對的位置がずれ、直流は交流の有効分に比して大きな過渡値を持つので整流作用が困難となり、時として閃絡現象を生ずる。

一般に磁極間に補極を設けて、整流作用を良好としてゐる。

閃絡現象とは整流子上の刷下の下で生ずる激しい火花が、整流子の回轉の爲弧光となつて擴り、整流子上の空氣を導電性のガス体と爲し、正負兩刷子間を弧光で連絡する現象で、整流子片又は刷子保持器を溶かすに至る事すらある。

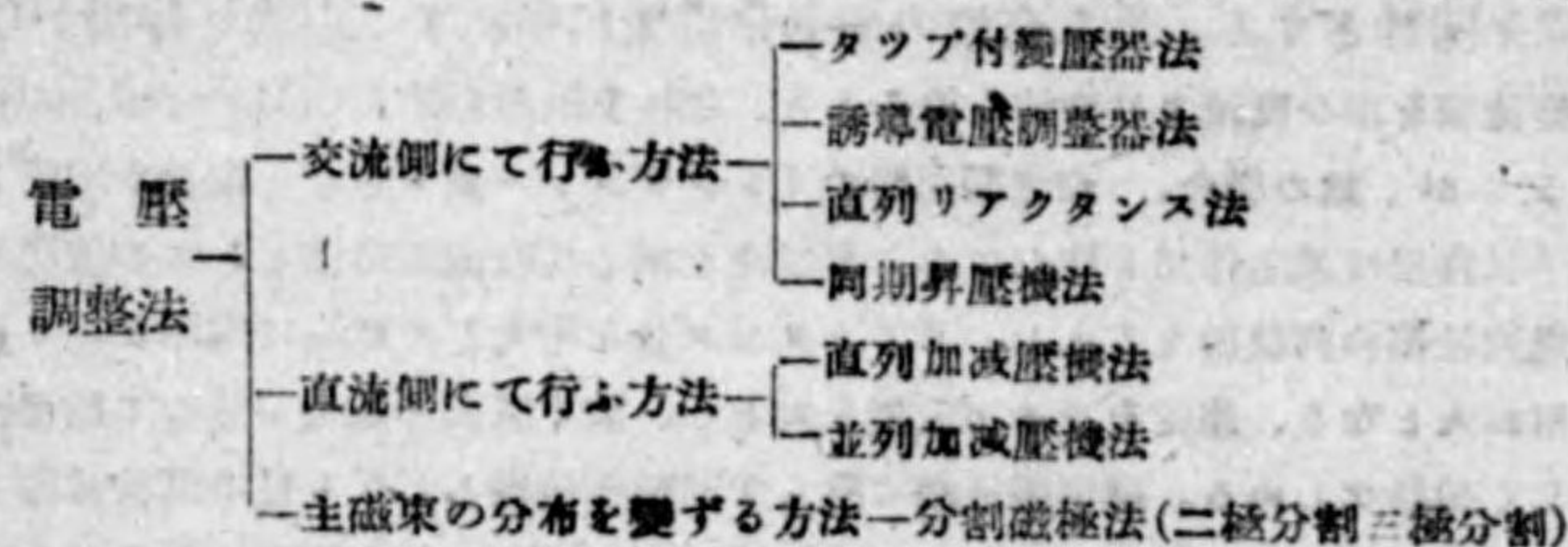
單相變流機では此の間の事情が餘程相違して來る。即ち直流の反作用は負荷が一定なら一定値であるが、交流の反作用は時々刻々と脈動するので、反作用磁界も残り、整流を悪化する。普通、主磁極面に制動捲線を設けて此の反作用を抑制して居る。

(108) 各種電壓調整法

直流發電機の電壓を界磁束の調整に依つて加減することは既に諸氏が御熟知の事柄である。處が回轉變流機では前述した如く、相數に應じて交流側電壓と直流側電壓の比が一定であるから、交流供給電壓が一定である限り界磁束を調整しても直流側電壓には影響がなく、唯、交流の位相を遅らせるか進めるかと云ふに過ぎない。

〔註〕尤も仔細に觀察すれば、界磁を強めて交流の相を進めると同期電動機としての逆起電力(誘導起電力)を増す。従つて直流側の電壓も多少増加する傾向はあるが、其の程度は知れたものである。

然るに電機子内には抵抗及リアクタンスに依る電壓降下があるので、負荷が増加すると直流側の端子電壓は降下する。變流機だけの電壓變動率は3%位、變壓器も考へに入れると約6%となる。一方電氣鐵道に直流電壓を供給する場合等には負荷に拘らず端子電壓が一定であるか、或は負荷の増加と共に端子電壓の増加することが望しいので、何等かの方法に依つて直流側の端子電壓を調整する必要がある。其の方法として一般に用ひられるものを分類すると下記の如くである。



次に是等の方法を説明しやう。

(1) タップ付變壓器法 回轉變流機には專屬の變壓器を使用するから、其の一方の側に多くの口出線(tap)を設けて、其の接続を變更して滑動環間に加へる交流電壓を變化するのである。然し此の方法では電壓の變化が階段的となり、タップの間隔を小さくすれば配線が繁雜となるので、實際上廣く採用されてゐない但しタップを高壓側に設けると絶縁は困難となるが電流が少く切換開閉器を損耗せず、相數の多い場合でも接続が簡單となる。

(2) 誘導電壓調整器法 本方法は切換開閉器の困難を避け、電壓調整を圓滑とする爲に採用されるのであつて、變壓器の一次側に接続しても、二次側に接続しても同様であるが、調整器としては3500V以下が安全であるから、一般に二次側に接続する。従つて、相數が多くなると接続が復雜となる。本器は自動的に働かし得る利点もあるが、能率が低下し、負荷の變動に對し急速に應じ得ないし、又單相の場合以外は電壓値の變化と共に位相も異つて來るから力率に影響を及ぼす。但し二重誘導電壓調整器(電壓變化の半徑が180°異なる二つを組み合せて二次側電壓の位相を常に一定位置としたもの)を用ふれば此の点は免れ得る。

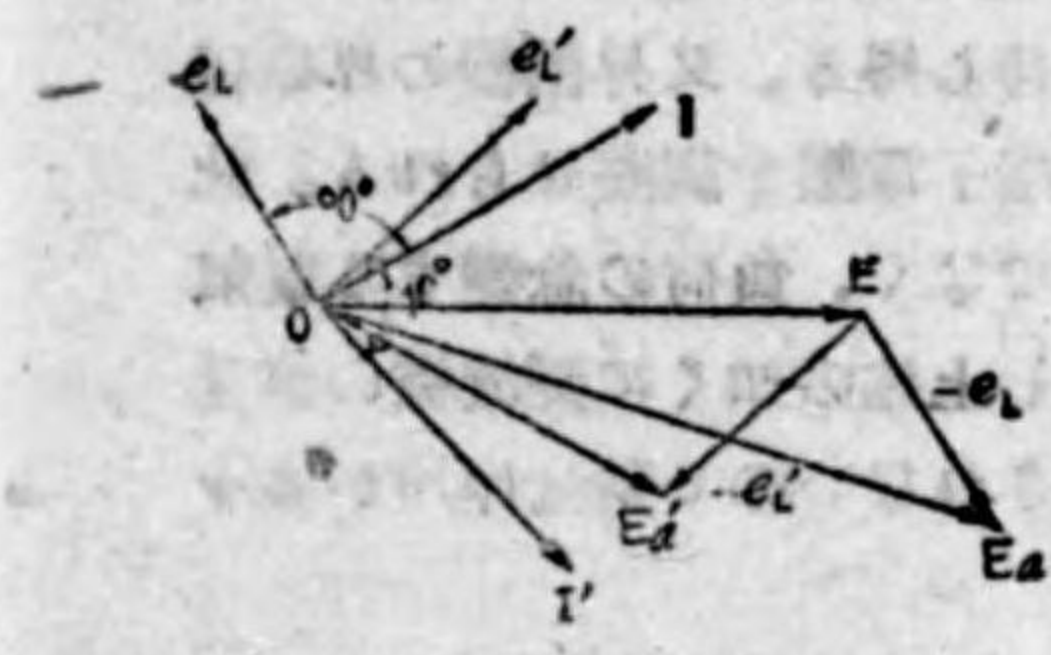


Fig 214

(8) 直列リアクタンス法 此の方法は變壓器と滑動環間の各線に直列リアクタンスを挿入するのであつて、斯くして勵磁電流を加減すると相當に廣い範圍に電壓が調整せられる。其の理由は、Fig 214 よりも明かなやうに、Eを變壓器の二次側電壓とし、變流機の界磁を強めてIのやうな進電流を流したとすると、直列リアクタンスに於ける電壓降下はIよりも90°進んだeLの位相に來る。従つて此の場合滑動環間の電壓はEよりeLなる電壓降下をベクトル的に引いた  $E_a = E - e_L = E + (-e_L)$  となり、供給電壓よりも高くなる。之れに反して界磁を弱めると電流はI'の如くにEより遅れ直列リアクタンスに於ける電壓降下はeL'となり、滑動環間に加へられる電壓  $E_a' = E - e_{L'} = E + (-e_{L'})$  でEよりも低くなる。斯様にして滑動環に加へる電壓が調整せられるなら、直流側電壓も加減せられる。之れを自動的に行ふには變流機を複捲變流機(直流發電機として複捲とする、即ち界磁を直流負荷電流に依つても勵磁する)として、直流負荷に應じて界磁束を増減すればよい然し變流機の直捲界磁捲線を餘り多くすると並行運轉を困難とする。一般に特別にリアクタンスを用ひず、専用變壓器の固有リアクタンスを大きく設計して之れを代用して居る。尙此の方法は前の方法と同様に電壓の位相即ち力率を相違させるので出力を減少させる缺點があり、定格電壓の10~15%位の調整をするやうにリアクタンスの値を定めるのが最も經濟的であると云はれて居る。故に平複捲發電機のやうに負荷に拘らず端子電壓を一定に保つのに使用される。

本方法は設備が簡單で費用も低額であるが、最近では分捲變流機が多く用ひられるので追々と用ひられなくなつて居る。

〔註〕複捲變流機は並列運轉が困難である。何となれば直捲線輪の磁束變化が電流の變化より遅れる度合は機械に依つて異なるので端子電壓の變化も機械に依つて異り直流側で乱調を生ずる。

(4) 同期昇壓機(Synchronous Booster) 變流機と同一軸に小なる交流發電

機を設け、相数並極数を同一とし、一般に回轉變電子型とする。

此の昇壓発電機を變流機の滑動環と電機子捲線の間接続する。同一軸で同一極数であるから、此の發電機と變流機は常に同期の状態にあり、昇壓機に分捲界磁は自由に調整することも出来るし、勵磁の方向も逆とすることが可能であるから、分捲界磁を勵磁して昇壓機の電壓を供給電壓と同一方向とすれば直流側の電壓は上昇し、昇壓機を逆に勵磁すれば降下する。同一方向となる時は回轉變變流機に依つて回轉せられて發電機となるのである。従つて回轉變變流機の容量には多少の餘裕を要する。又反對方向となる時は同期電動機となつて回轉變變流機を回轉する。何れにせよ昇壓機の損失に相當するだけ多くの電力を要することになるが變流機と組合せての総合能率は約 95 %位である。電壓調整範囲は昇壓機發生電壓の 2 倍に相當し、餘程精密に端子電壓を一定に保持し得る。又昇壓機の間極線輪を變流機の直流回路と直列にして置くと自動的に端子電壓が調整せられる。此の方法は後述する分割磁極型のやうに作用が不的確でなく、負荷の急變する電氣鐵道等にも使用され、力率に影響を及ぼさない。然し上述の如くに變流機の容量の大なることを要し、交直兩反作用が理想的に相殺されないので整流作用が多少困難となる。

〔註〕 昇壓機が發電機となる時は交流側の電流が大なるを要し、電動機となる時は直流側の電流が大きい。

(5) 直列加減壓機 (Series Booster) 法 本方法は變流機の直流側と直流母線間に直捲界磁を有する加減壓機 (直流直捲發電機) を挿入したものであつて、其の誘起電壓を加減して直流側の母線電壓を調整する昇壓機は變流機に直結することもあるが、構造が面倒であり、運轉中電壓の影響を受けるので、一般に他の電動機で運轉せられる。變流機が無負荷の時は勵磁電流が流れないから、母線電壓は變流機の電壓に等しい。負荷がかかると昇壓機に電壓を發生するから、直流母線電壓は變流機電壓と昇壓機電壓との合成電壓となり電壓降下を補償する。尙昇壓機の間極を分捲とすると負荷と無關係に母線電壓が變へられるから複捲とすることが有利な場合もある。此の方法は力率に關係なく、比較的廣い範圍に直流電壓が調整され、然も之れを急速に行ひ得る特長があるが、一方昇壓機に損失を生ずるので能率を低下し、整流作用も悪化し、昇壓機の整流子が非常に大きくなるので高價となつて實用的でない。

(6) 並列加減壓機法 之れは前方法と共に變流機のみでなく一般に直流回路の電壓を調整するのに用ひられるものであつて、變流機と並列に加減壓機と蓄電池を直列としたものを接続する。斯くすると負荷が軽いときは加減壓機の電壓は變流機の電壓に加つて蓄電池を充電し、負荷が重くなれば逆に蓄電池電壓に加つて蓄電池を放電させ、變流機の負荷電流を減じて其の電壓を上昇さす。

(③④は第十一章加減壓機の項参照)

(7) 主磁束の分布を變ずる方法 直流發電機に於て刷子を移動して端子電壓の値を調整し得ることは既に御理解のことと思ふ。其處で主磁極の他に分割磁極を用ひて其の勵磁を加減し、電氣的に合成磁界の方向を變へて電壓調整を爲さうとするのが二極分割磁極法であり、或は分割磁極に依つて磁束分布の波形、従つて交流電壓の波形を變へ、電壓比を變更して直流電壓を變化せしむるものが三極分割法だとも云へる。即ち變流機の電壓比は交流電壓の最大値に依つて定るものであるから交流電壓の實効値が等しくとも其波形が變化すれば最大値が異なるから直流電壓は變化する。要するに電壓比を變化する方法である。

今 Fig 215 の如くに界磁極を三等分して兩端の磁極 P<sub>1</sub> P<sub>2</sub> は其の線輪を直列

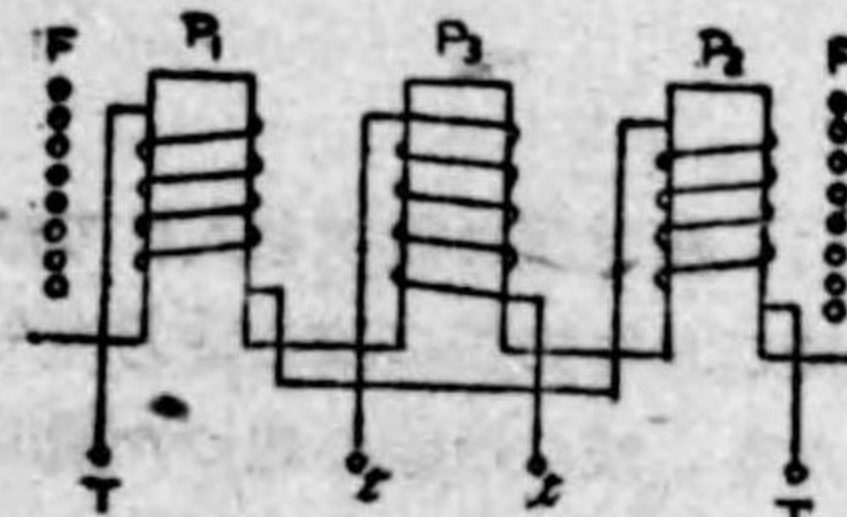


Fig 215

に接続して同じ様に勵磁し、中央の磁極は種々の強さに勵磁し得るやうにして置き、尙三つの分割せられた極に共通の一つの主界磁捲線 F を施す。此の P<sub>3</sub> 磁極の強さを加減することに依つて全体としての磁束分布を變化せしめ、従つて電機子線輪中の誘起電壓の波形が變化せられる。今主界磁捲線を勵磁して生ずる磁束分布の波形が Fig 216 の (イ) の

如き正弦波を爲すものと仮定する。次に調整用の界磁 P<sub>1</sub> 及 P<sub>3</sub> を F と同方向に、又 P<sub>2</sub> を反對方向に勵磁すれば (ロ) 圖の如くに主磁束に第三高調波磁束が加はる。今主磁束に依る誘起電壓を E<sub>1</sub>、第三高調波磁束に依る誘起電壓を E<sub>3</sub> とせば、

直流電壓は全磁束に比例し  $E_a = E_1 \pm E_3$  となる  
交流合成電壓は

$$E_a = \sqrt{\left(\frac{E_1}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{E_3}{\sqrt{2}}\right)^2} = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{E_3}{E_1}\right)^2}$$

今直流電壓を變化する爲に 30 % の第三高調波磁束を加へたとせば、直流電壓は全磁束の量に比例し 30 % の電壓上昇をする。これに對して交流電壓は下記の如く 4 % の増加しかしない。

$$E_a = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + 0.3^2} = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \times 1.04$$

上記の逆とすれば (ハ) 圖の如き状態となる。

本方法は巧妙なものであるが、第三高調波を利用するのであるから、三相回轉變流機に對しては變壓器の二次側を三角形に接続し、六相回轉變流機に對しては二重三角形接続として變壓器一次に高電壓が誘起されるのを防止し、尙變壓器の絶縁方法にも注意を要する。

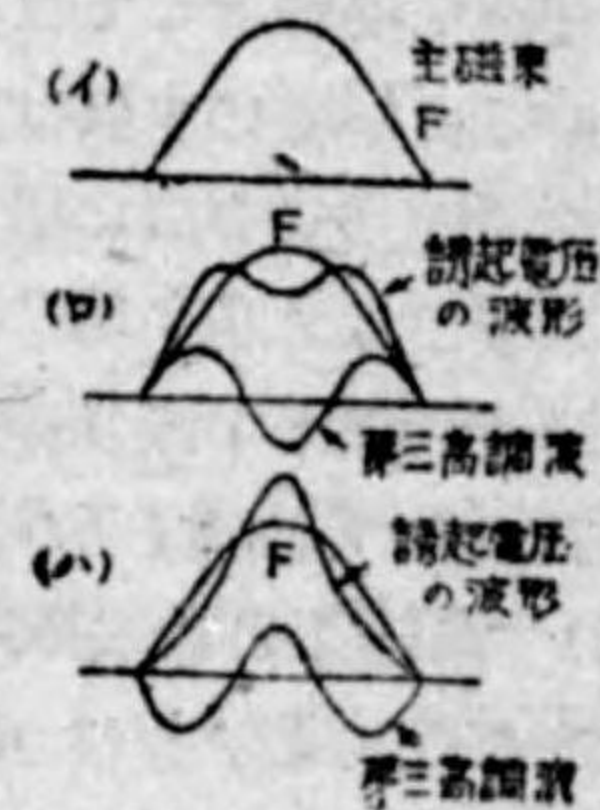


Fig 216

二極分割法とは前述した如くに界磁極を主極と副極の二つに分割したもので、副極は調整用磁極として常に其の勵磁度を調整する。刷子は二つを一つの磁極と考へ、其の中性点に定置してある。今副極の勵磁を主極よりも弱めると磁束分布は此の部分で疎となり、結局磁束の中心が主極の方に移動したこととなり、強めると此の逆となる。従つて刷子を移動したのと同じとなり、直流電圧が低下する。此の方法に依れば電壓は下げる一方では上げることは出来ない。又整流作用が悪化されるので常に磁界の移動を回轉方向と反對として整流作用を助けるやうにしなければならない。此の方法は電燈電力のやうに一定負荷のものに適し、電壓調整範圍は 20 % 前後であるが、廣く實用となる方法ではない。

(109) 附屬諸裝置

(A) 閃絡防止隔壁

先に述べた短絡等に依る閃絡現象を防止する爲に、饋電線に抵抗を入れて短絡電流の減少を計ることもあるが、斯くすると平常時に於て抵抗に依る電力損失を生ずるので整流子面に適當な閃絡防止隔壁を用ひたり、或は短絡の起つた瞬間に直流回路を高速度に遮斷する高速度遮斷器等が採用せられる。或は又設計上に於て制動捲線を適當にして閃絡防止を兼ねしめたり整流極の磁氣抵抗を高く取つたりする。

閃絡防止隔壁としては不燃性絶縁物で製作した隔壁を整流子面上の正負刷子間に設ける。斯様にすれば刷子下で生じた火花に依つて導電性瓦斯を生じても隔壁に沿つて適當な方向に導き去られるから閃絡の被害が軽減される。特に閃絡の甚だしい時には火花の爲に電機子捲線の絶縁を焼く様な場合も生ずるので、一般に大型の變流機としては整流子と電機子間にも此の隔壁を設けて居る。但し通風作用を阻害して整流子電機子の温度上昇を大ならしめる缺點がある。

(B) 高速度自動遮斷器

此の高速度遮斷器は回轉變流機の直流側のみならず、水銀整流機の直流側或は普通の直流機にも使用され、整流子面上の閃絡或は整流機の逆弧を防止するやう電流の異常上昇を高速度に遮斷する。普通短絡が起つてから此の遮斷器が働き始めて電流の増加を阻止する迄の時間は  $\frac{1}{1000}$  秒以下にして遮斷完了迄に  $\frac{1}{1000}$  秒から  $\frac{1}{1000}$  秒位で殆んど瞬間的に働くと云つてよい。

〔註〕 直流回路の短絡は時間と共に電流が増加するので急速に遮斷する程悪影響が少い。

各社に依つて種々の型があるが、其の一例を示すと Fig 217 (上圖) の如くである。即ち圖の pq を回路に結ぶと常時電流は p より消弧線輪を経て主接觸子に通じ、保持電磁石の一部を通つて q に出る。尙此の部分にはインダクタンスの大きな誘導分路がある。負荷が漸次に増加するやうな場合には兩回路に流れる電流は殆んど平等に分流して何の作用も起さない。然るに短絡等で pq 間の電

流が急激に増加するとインダクタンスの部分には殆んど電流が流れないで (インダクタンスは變化する電流に對して其の通過を妨げる) 一方保持電磁石の一部を通る電流は甚だ大きな値となつて保持電磁石を減磁する。従つて此の接觸子を保持する事が出来ず、主接觸子は動作スプリングの作用で接觸を外す。此の際接觸子間に生ずる弧光を吹き消す爲に、負荷電流を通ずる線輪が作る磁束を利用する之れが圖に示された吹消線輪である。又遮斷器で回路を切らずに遮斷器が開放せられると負荷制限抵抗を回路に挿入する。斯様にすると回路を全然遮斷することなく電流を安全値に制限する事が出来る。此處に注意を要するのは此の遮斷器を普通の開閉器に代用することの出来ないことである。夫れは高速度遮斷を行ふ爲に補助接觸子を用ひず弧光は主接觸子間で直接切られる。大電流の場合に於ては

消弧磁場が充分強いので接觸子は焼損されないが、普通の過電流の程度では消弧作用が充分でなく接觸子を焼損する憂がある。従つて普通負荷乃至過負荷遮斷としては普通速度の氣中遮斷器を用ひ、短絡電流遮斷には本器に依るやうに併用するのが安全である。Fig 217 (左圖) (イ) (ロ) (ハ) は此の遮斷器が投入せられる順序を示した。(イ) は閉合電磁石、保持電磁石が附勢せられず接觸子開路の状態である。(ロ) に於て閉合電磁石及保持電磁石線輪に電流が通じ浮動桿が時計式方向に回轉し、閉合スプリングを緊張して居る。斯く浮動桿が前に出ると機械的連絡で閉合電磁石線輪の回路を切り、動作桿が上り (附勢されると吸ひ込れる) 閉合スプリングの作用で浮動桿は元の位置に歸り主接觸子を閉する。斯様に接觸を閉するには閉合、保持兩電磁石への直流電流を制御すれば良いのである。

(C) 限速裝置

先にも述べたやうに、並行運轉中の回轉變流機の直流側に短絡を生ずると、變流機の様子は著しく上昇して危険を伴ふ。之れに對して遠心力を應用した安全裝置を設け直流回路を自動的に開く限速開閉器が用ひられる。之れは主軸端にあつて軸と共に回轉する偏心錘をつけ、之れに對して、開閉器を軸承台に靜止して取付けられる。回轉子の速度が定格速度の 115 % 位になると偏心

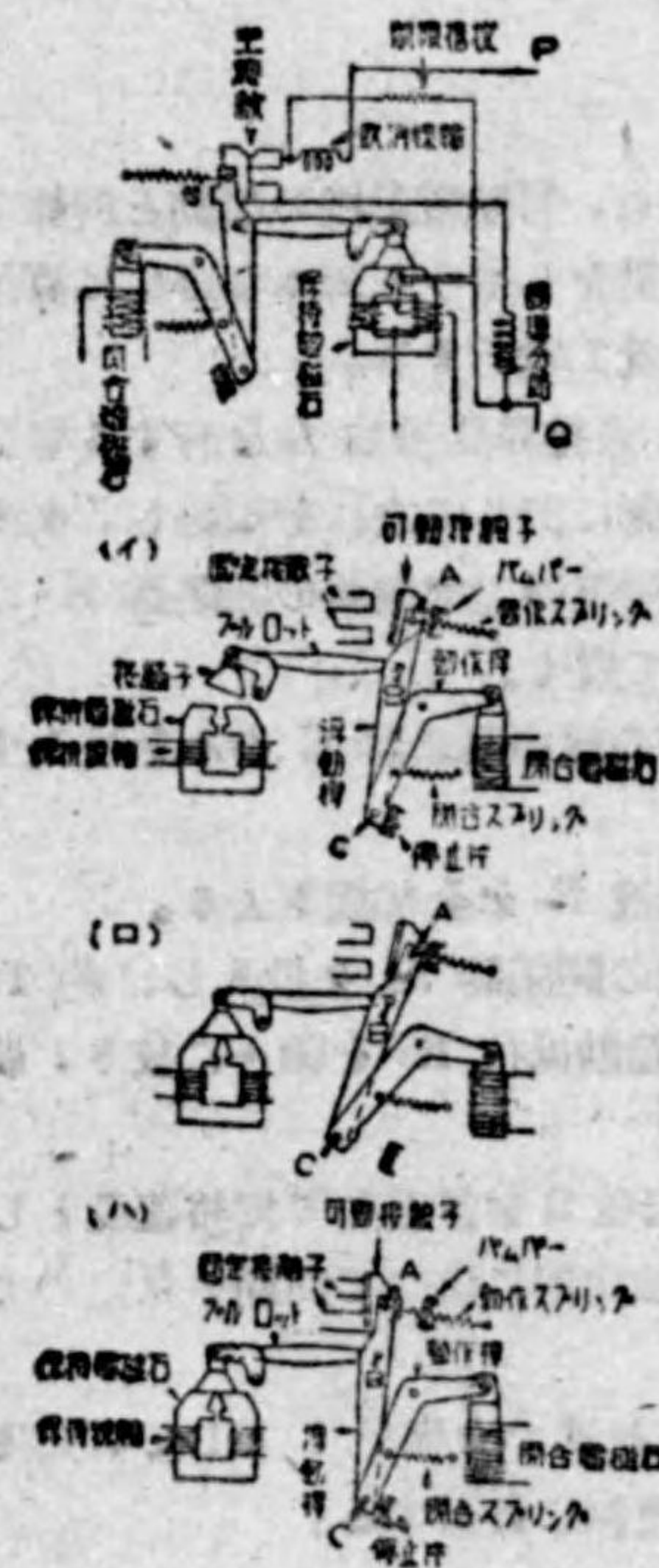


Fig 217

これは主軸端にあつて軸と共に回轉する偏心錘をつけ、之れに對して、開閉器を軸承台に靜止して取付けられる。回轉子の速度が定格速度の 115 % 位になると偏心

輕の遠心力に依つて先きの開閉器が働き直流側回路を遮断する。

#### (D) 搖軸裝置

回轉變流機は何等機械力を傳達し或はされるものでないから調帯、齒車、原動機に依る軸方向の横振れがなく、回轉軸の位置は常に一定である。従つて刷子が整流子及滑動環の一個所にのみ接して回轉するので、其の摩擦を均一とするやうに刷子の取付配置を考慮するだけでなく、大型のものには主軸の方向に電機子全体を絶えず横振れさせる装置を附する。之れが搖軸裝置であつて、電磁的に働かせるものと機械的に働かせるものがあるが、構造の簡単なことより後者が多く使用される。即ち軸端に之れと不平均な間隙を爲す金具を取付け其の間に球を入れるのであつて、回轉に依つて球の位置が變更され、爲に軸が前後に横振れする。

#### (110) 運轉法

##### (A) 起動方法

回轉變流機の交流側は全く同期電動機であるから、同期電動機の起動と同様の手法で起動される。又直流電源があつて之より起動をしようとする場合には直流電動機の起動方法を準用すればよい。次に夫等に就て説明する。

① 直流側より起動する場合 (Fig 218 参照) 直接界磁線輪  $f_s$  を有する場合には、 $S$  を左側に倒して之れを短絡し、交流側は滑動環と變壓器二次側間の開閉器  $K$  のみを下に入れて置く。

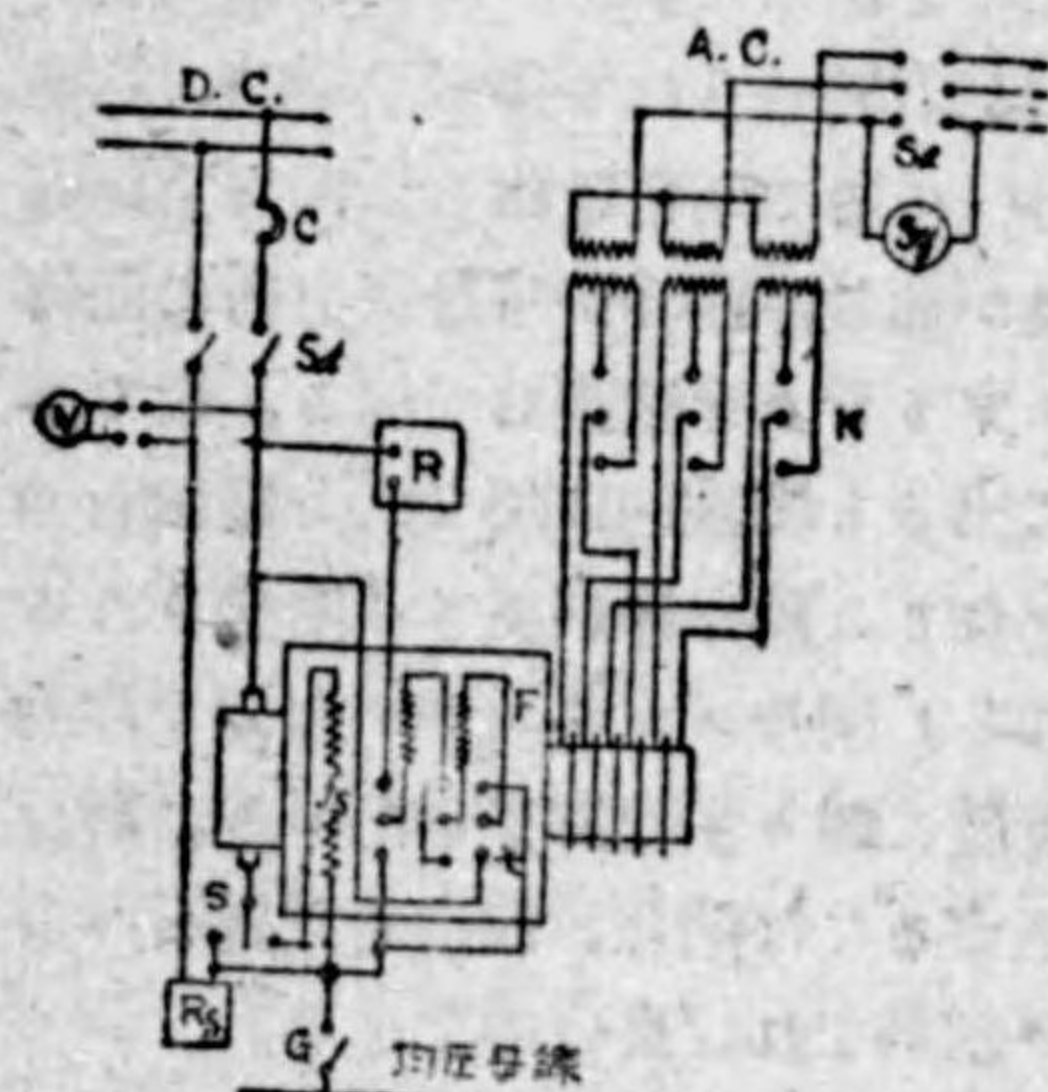


Fig 218

側電壓を昇壓器又は誘導電壓調整器で加減して直流側に負荷する。

又機械の運轉を止めるには、交流側電壓を加減して負荷を減少させ、直流側の  $C$  を開き交流側電壓を最低として  $S_a$  を開く。

直流側から起動するのは方法としては簡単でよいが、電氣鐵道等では負荷の變動が甚しく母線電壓が常に變化するので交流側で同期とすることが困難である。

〔註〕 假令同期となつても交流側の電壓に差があると  $S_a$  を入れた時大きな電流が流入し

(i) 直流側の氣中遮断器  $C$  のみを投入する。

(ii) 界磁抵抗  $R$  を全部抜き去る。

(iii) 直流側の開閉器  $S_a$  を投入し、約 1 分間位の間に起動抵抗  $R_s$  を徐々に抜き、最後に短絡する。

(iv) 界磁抵抗  $R$  を調整して定格速度とし交流側の同期檢定器に依つて同期を見定めて  $S_a$  を入れる。

(v) 界磁抵抗器で力率を 1 とし、交流

て  $S_a$  が開いたり交流側に擾乱 (Surge) を與へるから、同期速度より少し速く廻して直流側の  $S_a$  及  $S_b$  を開いて交流側の  $S_a$  を入れると自ら同期の状態となるから  $S_b$  を入れて負荷する。此の方法は殊に簡便である。

② 交流側より起動する場合 最も一般的に行はれるのは自己起動法であつて之れは電機子捲線を一次とし、界磁極の制動捲線を二次とする誘導電動機として起動するのである。

先の Fig 218 に於て直流側電壓計  $V$  のみを接続して他の開閉器は全部開く。

〔註〕 界磁線輪は捲数が多いから起動時に變壓器の二次捲線と同様に働き極めて高い電壓を誘起して絶縁を破る。故に界磁捲線は數個に區分して解放して置くのが安全である。

(i) 直流側の刷子は刷子揚下裝置に依つて火花を起す心配のない小パイロット刷子二個のみを残して他は全部整流子面より引揚げる。

〔註〕 同期速度に達する迄の起動時に於ては電機子の作る回轉磁界を電機子線輪が切る。之れは丁度直流發電機の刷子を運轉中回轉するのと同様で刷子を通じて短絡電流を流し火花を生ずる。刷子は主磁極の中間にあるから回轉磁界が此の處に來たとき補極がなければ磁氣抵抗が高く火花も少いが、之れに反し補極があると火花が多い。故に補極を有する變流器では起動中必ず刷子を引揚げて置く。

(ii) 交流側の開閉器  $S_a$  を投入する。

(iii) 起動開閉器  $K$  を上側に投入して、定格電壓の 50 % 以下を加へて誘導電動機として起動せしめ、加速されて同期速度に近づく。

(iv) 同期速度に近くなるとパイロット刷子に接続された電壓計  $V$  の指針の振れが緩かになるから、界磁開閉器  $S_b$  を投入すれば同期回轉力が働いて同期化する。次に  $V$  が定格電壓の約 50 % となれば交流側の起動開閉器  $K$  を急速に下側に切換へる。

〔註〕 ① 最初  $V$  (中心零目盛) の指示が正しい方向なら極性は正しいのであるから  $S_b$  を上側に投入する。若し電壓計が反対方向に振れるやうなら  $S_b$  を下側に投入して、 $V$  が零となり更に正方向に來た時、急速に  $S_b$  を上側に切換へると正しい極性が得られる。他の機械が負荷運轉して居る時は此の機械が同期速度になる前に均壓母線の開閉器  $G$  を投入すると最初から正しい極性が得られる。

極性が反轉する理由は變流器が同期とならない内は直流刷子間には回轉磁界と回轉速度の差に比例した周波数の交流電壓を誘導するので勵磁回路を閉じた瞬間に勵磁電流の方向が決定される。即ち此のとき刷子の正負が決定されるのであるが、刷子の極性は常に一定に保つ必要があるから上記の如くに反対であれば之れを正すのである。

②  $K$  を上側より下側に切換へるとき大きな電流が流入するから油入遮断器  $S_a$  が働く場合がある、此の時は  $R$  の抵抗を減じて過勵磁して切換へる。

(v) 直流側の刷子を整流子面に下し、並行運轉の時は  $G$  を投入する。

(vi) 直流側電壓が定格電壓となり、交流側電壓が最小となるやうに界磁抵抗を加減する。

(vii) 直流側の開閉器  $C$  及  $S_a$  を續いて投入する。又並列運轉の場合には適

當な負荷を取るやうに界磁抵抗器を調整する。

運轉を停止するには並列運轉を行つて居る時は界磁抵抗を調整して逆流しない程度に迄負荷を減じ、直流側の遮断器 C 及開閉器 S<sub>a</sub> 及 G を順次に開き、次で交流側開閉器 S<sub>b</sub> を開く。次に直流側電圧計 V の指示が零となつてから S<sub>b</sub> を開き、交流側の K を開放して直流側の刷子を引揚げる。

〔註〕 以上の起動を手動で行ふ代りに、自動操作として居るものもある。最近の電鐵用變電所では、600~750 V の變流機を二台直連接續とし、1200~1500 V として使用し、容量も 1000~2000 kW のものが多い。此の種の變電所では起動配電盤の三極開閉器を自動側に投じて起動用引鉤開閉器を引きさへすれば起動するやうになつて居る。其の運轉順序の一例を示すと下記の如くである。

(i) 變壓器の起動端子の接觸器が閉ぢられ變流機は起動電壓を受け誘導電動機として起動し夫れと同時に勵磁用の電動發電機が運轉を始める。

(ii) 變流機が加速されて同期速度の近くに達すると、他勵式界磁接觸器が閉ぢて變流機の界磁極を勵磁する。

(iii) 極性が正しく、同期速度に達すれば界磁接觸器が働いて自動式となる。

(iv) 運轉用接觸器が働いた變流機に全電壓を加へ、勵磁用電動機の運轉を停止する。

(v) 刷子揚下装置が働いて刷子を整流子面に下す。

(vi) 直流側主接觸器が閉ぢて負荷制限抵抗器を通じて母線に接續され、順次に其の抵抗が除かれ直接母線に結れるやうになる。

(vii) 饋電線に分擔すべき負荷電流を送る。

以上で起動が終るのであつて、之れに要する時間は 1 分か 2 分である。

最後に起動用電動機を用ひて交流側から起動する方法を説明する。起動用電動機としては一般に變流機容量の 10~15 % の容量を有する捲線回轉子型誘導電動機或は同期誘導電動機を用ふる。誘導電動機を用ひる場合には極数を變流機の極数より 1 對だけ少いものとする。變流機を一旦、同期速度よりも高い速度として電力の供給を断ち、其の速度が低下して丁度同期速度を通過するとき交流側の開閉器を入れて同期化する。同期誘導電動機を使用する場合には、其の極数を變流機と等しくし、同期速度の約 95 % となつたときに直流勵磁を與へて同期電動機として變流機を同期化する。此の方法は起動電流が少く電源容量の小さい場合に適當だが経費が高むので今日では採用されない。

### (B) 並列運轉法

電氣鐵道等に於て一日中で負荷の大きいのは朝夕のラッシュアワーであつて、他は一般に輕負荷である。其處で變流機の運轉台数を適宜に加減して能率のよい運轉を行ふ必要がある。變流機の並列運轉は直流發電機の場合と大同小異であつて、複捲變流機よりも分捲變流機の方が並列運轉が容易であるから、最近の電氣鐵道用としては分捲型を多く採用する。並列に入れるとき並列より停止する場合の運轉方法は上述の處々で述べたから再述しないが、並列運轉に於て、特に心得

べき二三の点を述べる。

並列運轉も容量並特性が全く同様なものであれば極めて容易であるが、負特性が異なるか或は直捲線輪の抵抗が容量に逆比例しない時には變壓器と變流機間にリアクタンス線輪或は抵抗を直列に挿入して、丁度逆比例するやうにして負荷の分配を適當とする。

〔註〕 要するに容量に比例した負荷を取る爲には負荷特性曲線が全般的に一致しなければならない。之れが爲には

① 無負荷で同一力率となるやうに界磁電流を調整したとき、各變流機の端子電壓が一致するやうに變壓器の二次電壓を定める。

② 直捲界磁線輪のアムペアターンと電機子のアムペアターンの比を同一とするやうに直列線輪附屬の分流抵抗を調整する。

③ 直捲界磁線輪の抵抗と兩母線に至る電線抵抗の和が各變流機の容量に逆比例すること

④ 負荷の變化する範圍内では直列リアクタンスに依る電壓降下が相等しいこと。

又、一組の變壓器を使用して交直兩側で並列とすることは好しくない。何となれば交流側及直流側回路の抵抗を全く相等しくすることは刷子の接觸抵抗の變化等があつて困難であるから、若し不同を生ずると變流機直流側の正負刷子間を流れる電流に相違を生じ、一方の刷子を過熱し、整流を害して閃絡を誘發する虞がある。制動捲線は並列運轉を容易とするものであつて、其の他極數、周波數の大小、變流機間のリアクタンスの大小に依つて並列運轉の難易が相違する。

### (11) 故障と保護裝置

回轉變流機の故障として最も普通に起るものは

① 整流不良 ② 制動捲線の斷線 ③ 滑動環の不良

であつて、整流不良は直流機の場合と同様な原因の他に交流側電壓の波形の歪み不平衡、周波數の變動等に依つて起される。制動捲線が斷線すると起動が困難となり、乱調を起し閃絡を伴ふ。滑動環の不良は刷子材質の不良、彈條壓力の不適當等であつて、一般に金屬黑鉛刷子を用ひるから抵抗が少く壓力の不同に依る電流の不同も甚しい。

次に保護裝置としては次の各項に對して裝置されて居る。

① 交流側電壓降下 運轉中に交流側の電壓が低下すれば直流電壓も夫れに應じて低下して負荷を取り得ず、甚しい時は直流側で逆流するから直流側に逆流繼電器を設けて逆流すれば運轉を中止する。

② 單相、逆相起動 交流側の一線が斷線したり相回轉の方向が逆の場合に働く逆相繼電器を交流側に設けて、一時起動を中止する。

③ 溫度上昇 過負荷に依つて線輪が過熱せられるやうな場合には、過負荷繼電器或は熱繼電器が働いて運轉を中止する。

④ 短絡、此の場合に對して高速度遮断器（直流側）が働いて回路を開く。

⑤ 界磁の故障 運轉中界磁電流の減少、或は界磁回路の切斷に際しては界磁電流に依つて勵磁されてゐる界磁繼電器が働いて、直流側を遮斷して無負荷運轉として停止さす。

⑥ 電機子捲線の接地 接地保護繼電器を機体と接地板間に挿入して、接地を生じた場合には運轉を停止する。

⑦ 負荷制限抵抗の溫度上昇 直流負荷が一定値以上になれば過負荷繼電器が働いて、負荷と直列に負荷制限抵抗器を挿入して負荷を制限する。此の抵抗器が過負荷で過熱したときは熱繼電器が働いて運轉を停止する。

⑧ 軸承の過熱 軸承熱繼電器が働いて運轉を停止する。

⑨ 過速度 前述した限速装置に依つて保護する。

(112) 補極と周波數

1912年頃迄は回轉變流機は殆んどが 25 サイクルであつて、夫れ以上のものは製作困難とされた。何となれば周波數が増すと極數か速度を増加しなければならぬが斯くすると整流が困難となり、運轉が不安定となる。即ち回轉數が増すと一個の整流子片が刷子と接觸して居る時間即ち整流時間が短くなるので、短時間に電流の方向が反對とならねばならないので、火花を生ずる。又極數が多いと僅かの回轉子のすれも大きな電氣角度となるので乱調が甚しい。之れに對して次の如き對策が講ぜられた。

- (i) 電機子の溝を淺くして自己誘導を小さくする。
- (ii) 磁極端を成層して磁極面の發熱を防止する。
- (iii) 補極を用ふる。

其の結果 50 サイクルのものも 60 サイクルのものも容易に製作せられるやうになつた。此の内最も顯著な功績を示したものが補極であつて、之れは電機子線輪が刷子で短絡せられる際、之れに適當な界磁束を與へ電壓を誘導して整流を助ける。

従つて補極を用ひた變流機では短時間なら定格容量の 3 倍位の過負荷が出来る

(113) 三相一六相變成法

前述したやうに回轉變流機は相數が多い程銅損が少く、容量を増加し得、一般に六相が用ひられる。然るに變流機に給電せられる電源は發電、送電に便利な三相であるから、變壓器に依つて三相を六相に變成しなければならない。其の接続方法の一通りを述べる。

(i) 二重三角形接続 (Double delta connection) Fig 219 の如くに三相變壓器群の二次側を二部分に分つて、各相の半分宛を組合せて二つの三角形接続を作り六相を得る。

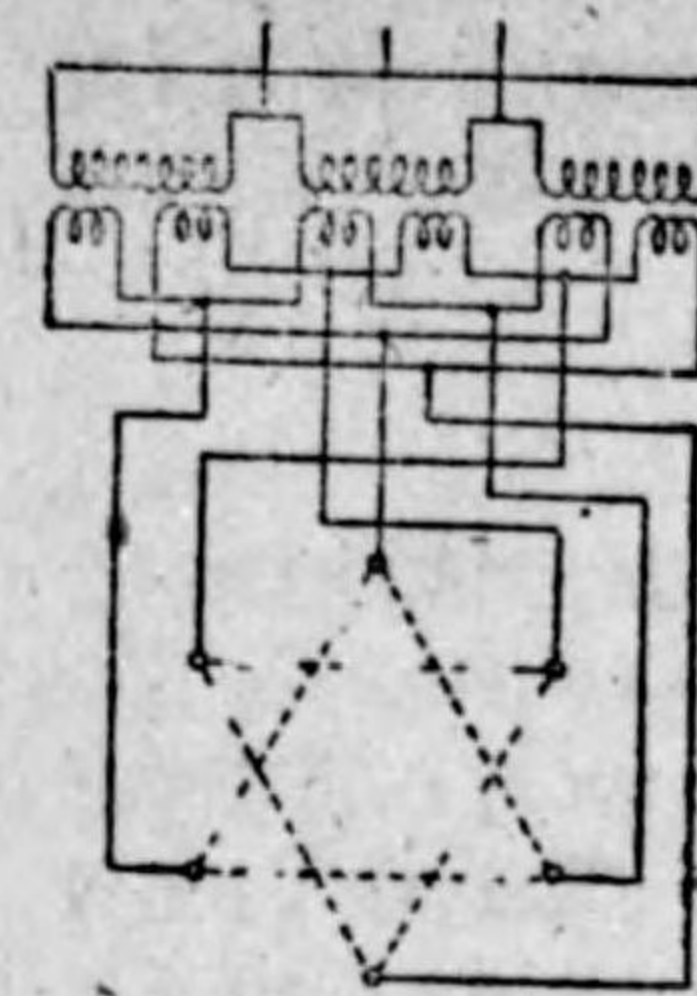


Fig 219

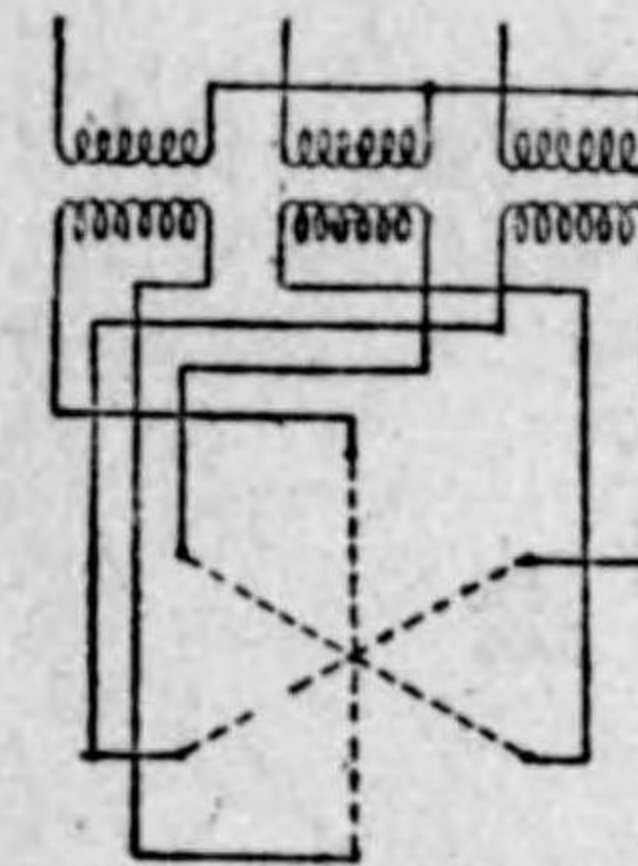


Fig 220

普通回轉變流機には此の方法と次の二重星形接続が用ひられ、後者の方が接続が簡單であり、其の他の点でも優れて居るので廣く採用される。

(ii) 對角星形結線 (Diametrical connection)

これは二次側各相を其の儘 Fig 220 の如くに六相の相對する二端子に接続したものである。此の接続で二次側の各相の中性点を別々に接続すると二重星形結線となる。

尚以上の他に環狀接続、叉狀接続等があり、十二相に變成する方法としては千鳥型接続、叉狀接続、Y-Δ 並列接続等があるが、變流機には殆んど用ひられないから此處では説明を省略する。

(114) 特殊變流機一般

(A) 三線式變流機

直流側で三線式配電を行ふ場合に用ふる方式であつて、變壓器を星形接続として其の中性線を直流側の中性線とする。直流側に於て負荷の不均衡を生ずると變壓器の二次線輪に直流が流れて鐵心を磁氣飽和するので非常に大なる勵磁電流が流れるやうになる。従つて之れを打ち消す爲に變壓器の二次側を千鳥型接続とする。

〔註〕 此の千鳥型接続は他の場合にも屢々用ひられるから説明をして置く。其の方法は Fig 221 の如くであつて、二次側線輪を二分 (或は適當分) して各異つた相を結び、其の合成電壓が点線 A, B, C のやうな三相とする。上記の場合で斯様にすると各相で直流分が打ち消し合ふ。例へば a と a' に流れる直流は反對方向で其の起磁力は相殺せられる。

(B) 縱續變流機

之れは三相誘導電動機と十二相式回轉變流機を組合せたものである。即ち捲線型誘導電動機 of 回轉子を變流機 of 交流側に結び、兩方の回轉子を共通の軸上に取付けたものである。誘導電動機 of 回轉子の一方には三つの滑動環があつて起動器に結ばれ、他端は十二相に分れて變流機 of 電機子に接続される。

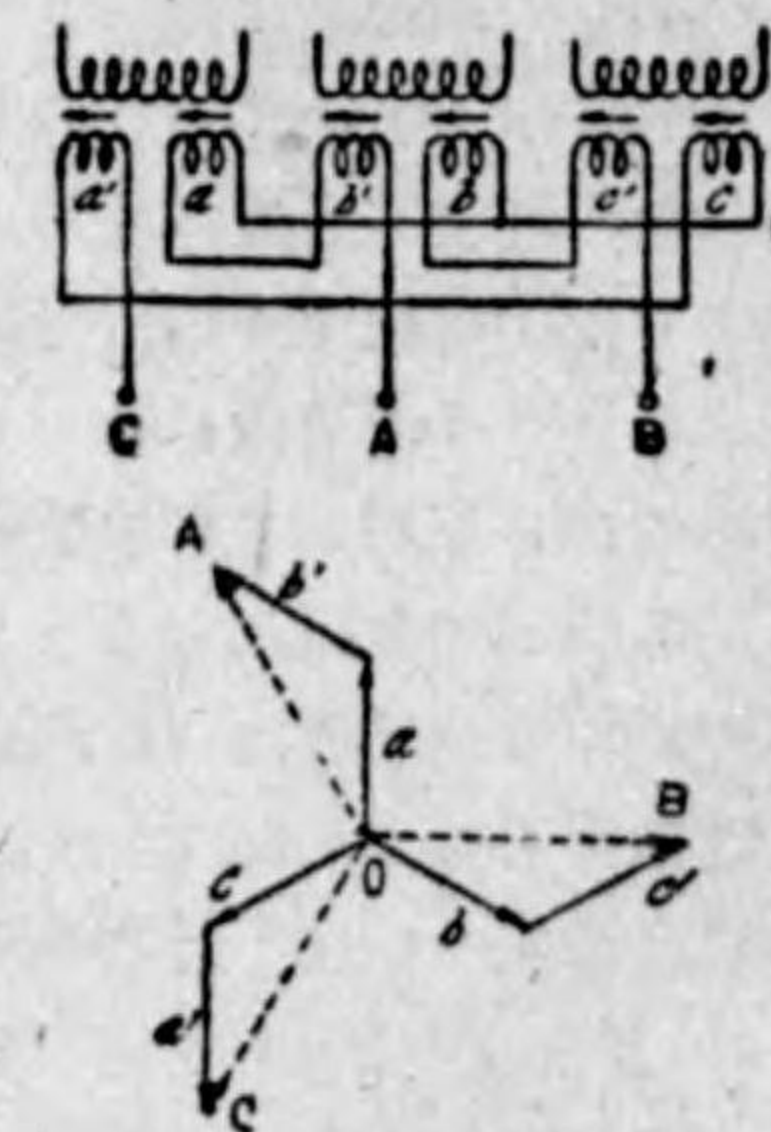


Fig 221



今、高圧交流を誘導電動機の滑動環間に加ふると、回轉子が廻り出す。然し此の際の滑りを  $S$  とすれば、 $f$  を供給電壓の周波数として變流機には  $Sf$  なる周波数の交流電壓が加へられる。今、誘導電動機も變流機も同一極数であるとすれば、両者は同一軸上にあるから

$$\frac{120}{P} Sf = \frac{120f}{P} (1-S) \quad S = \frac{1}{2}$$

即ち 50% の滑りの時に於てのみ誘導電動機二次電流の周波数と同期回轉数が一致する。即ち變流機入力は誘導電動機より電氣力及機械力半々に供給せられる。此の變流機の特長は變流機への周波数及電壓が低く設計が容易であり、附屬變壓器を要しない。又起動が容易でリアクタンスが大きくなるから電壓調整用の直列リアクタンスを要しない。然し一方電機子反作用があり、銅損も大きく 60 サイクルの變流機が容易に製作せらるゝ今日では採用の機会が少い。

### (C) トランスバーター (Transverter)

1 万 V 級の特別高圧の直流を發生させる装置であつて、變壓器と變流機を組合せたものである。即ち高壓器で高壓に變成せられた交流を静止した整流子上に導き、一方此の整流子上を回轉する刷子から直流を得るのであつて、變壓器の数が多し程、整流子上から脈動の少い直流が得られる。

## 第八章 周波数變換機

### (115) 周波数變換機の性能と分類

周波数の異つた系統間の電力融通を計るのが此の周波数變換機であつて、丁度回轉数の異なる二軸を中間齒車で連結して、何れか一軸の動力が停止しても他軸に依つて従前通りの回轉数で動かされるのと同様である。例へば關東の 50 サイクルの系統と關西の 60 サイクルの系統を 50 サイクルから 60 サイクルに或は其の逆に周波数を變換する變換機で連絡して置くと何れかの側で電力が不足したとき、他方より此の周波数變換機を通じて融通して貰ふことが出来る。元より斯様なことをするよりも周波数を統一した方が能率よく然も信頼度高く電力が融通されるのであるが、全系統の周波数を統一すると云ふことは莫大な改修費を要するのであるから早急に實現せらるべき事柄でない。

我が國に於ける周波数は大體關東の 50 サイクル、關西の 60 サイクルとに大別され、電鐵用として一部 25 サイクルを用ひて居る處もある。従つて是等の系統を相互に連絡するには、是非共周波数變換機を要する。周波数變換機の最も簡單なものは、例へば 50 サイクルの電動機で 60 サイクルの發電機を回轉するやうなもので、是等の内でも一方向のみしか電力の融通の出来ないものと、任意の方向に電力を融通し得る可逆周波数變換機とがある。

尙周波数を常に一定比に保つ定比周波数變換機と、周波数を互に一定に保つこ

との出来ない系統間の連絡に用ひられる可變比周波数變換機の二種類に分つことも出来る。

以下二三のものに就て簡単に説明する。

### (116) 同期、同期型周波数變換機 (Fig 14 参照)

これは同期電動機と同期發電機を連絡したもので、現在最も廣く用ひられて居る。今一方の周波数を  $f_1$ 、極数を  $P_1$ 、他方の周波数を  $f_2$ 、極数を  $P_2$  とすれば、一般に直結とせられるから両者の同期回轉数の等しきことより

$$n = \frac{f_1}{P_1} = \frac{f_2}{P_2} \dots\dots\dots (115)$$

仮に  $f_1=50$ ,  $f_2=60$ ,  $P_1=10$  とすれば

$$P_2 = P_1 \times \frac{f_2}{f_1} = 10 \times \frac{60}{50} = 12 \quad \text{と決定する。}$$

勵磁機は共通軸の一端に兩者共用のもの 1 個を設けるが、特に發電機側の負荷變動が甚しく、電動機と別個に發電機の勵磁電流を調整したいやうなとき、或は自動電壓調整器を使用する時は各機に 1 個づつ別に勵磁機を設けることがある。

尙本周波数變換機は可逆式に用ひられることが多いから、電動機側にも發電機側にも制動捲線を設けて置く。

此の變換機が廣く用ひられる理由は設計が容易で操作に便であり、能率もよく價格の安い爲であつて、尙勵磁の調整に依つて兩系統の力率を改善し得る。然し負荷或は周波数の變動に對して同期外れとなる傾向が大きいから、變動の餘り甚だしい系統には適しない。

尙附言して置き度いことは、兩系統の容量に依つて變換機の最小容量に制限のあることである。即ち此の變換機では周波数の變換比が一定であるから、若し一方の送電系統の周波数が變化した時、變換機の容量が系統の容量に比して相當大であれば、變換機自身の同期化力で容量の小さい方の系統の周波数を制御して大きい系統に追従することが出来るが、容量が小さいと同期外れとなり、運轉が出来なくなる。従つて變換機の容量としては少く共小さい方の系統容量の 1 割乃至 2 割以上が望しい。従つて兩電力系統の容量比が相當に相違する場合に好都合である。

〔註〕 起動は同期電動機の場合と同様に誘導電動機として直接電源より起動するか、或は大型のものは起動用電動機で起動する。同期電動機の場合と同様だから再述しない。

尙定比周波数變換機には同期電動機と誘導電動機を縱續とした同期非同期縱續周波数變換機がある。其の一例を非同期並相機の項 Fig 239 で説明する。此の接續で I と G の固定子側を並列として一側とし、I の二次を他側とした一次並列接續も又同様に周波数を變換する。

### (117) 同期、同期型周波数變換機の並列運轉

兩電力系統間に於て融通すべき電力が大きく、之れが相當に變動する場合には變換機は一台とせず、適當台數に分つて融通電力の多少に應じ、運轉台數を加減することが經濟的にも信頼度の上からも望しい。

然るに周波數變換機の並列運轉は普通の交流發電機の場合と相違する。何となれば是等の發電機では原動機の調速機を適宜に調整して負荷の分配を任意にし得たが、周波數變換機では電動機と發電機が直結固定され、然も電源は同一であるから各電動機への周波數が任意に調整されないと發電機側の位相を調整して負荷の分擔を變へる譯に行かない。此の周波數を調整することは出来る相談でないから何等か發電機側の位相を變へる裝置が望しい。

其の移相裝置として固定子を軸の圍りに回轉せしめるやうにした固定子移動裝置を用ふる。此の固定子移動裝置には手働操作のものと電動機操作のものがあつて、變換機の容量が大きくなり、從つて移動重量が大となれば後者を採用する。

今無負荷運轉の兩機を並列とするには、新に並列にせんとする機を起動して、發電機側の同期状態を検する。若し反對極性であれば、勵磁の方向を變換し、残りの位相差は固定子移動裝置を操作して合せ並列に入れる。但し電動機操作の場合は界磁轉換よりも移動裝置で一極をすらす方が早い。

次に既に負荷運轉を行つて居るものに並列とする場合であるが、前と同様に行つてよい。但し位相を適當に調整して置かないと並列に入れた機が急激に負荷を取り危険である。勿論並列後の負荷の分配は移動裝置で行ひ、並列から停止するときも、之れを調整して負荷を他に移してから開閉器を開く。

(118) 整流子周波數變換機 (Commutator Frequency Changer)

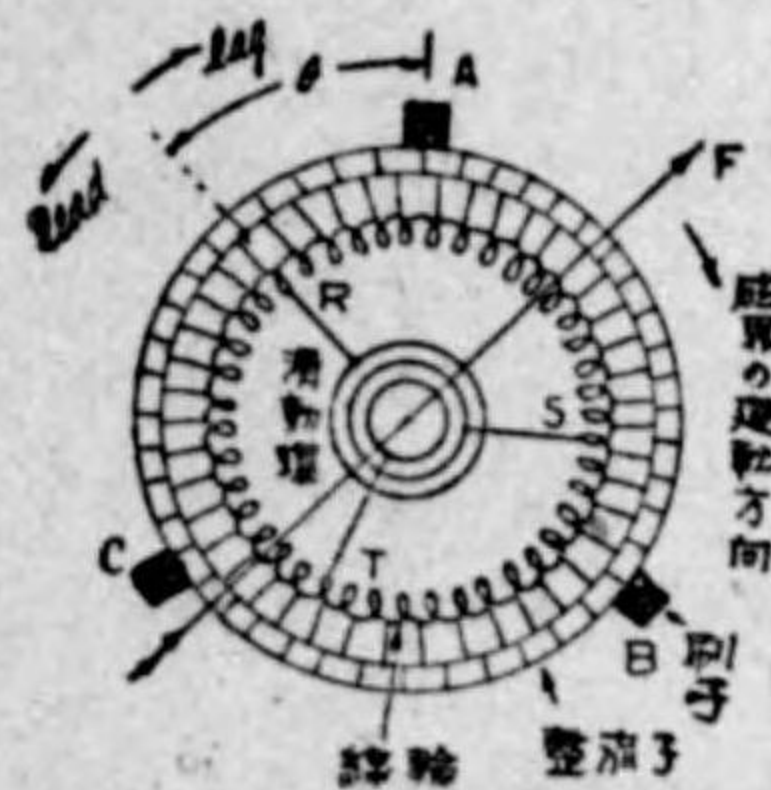


Fig 222

今三相回轉變換機に於て、整流子上の刷子を Fig 222 の A, B, C の如く 120° 宛隔てて置き、凸極も存在しない場合を考へて見やう。但し回轉子の外周に磁氣通路として鐵心環を設け固定子とする。

此の電機子を靜止して滑動環 R, S, T に周波數  $f_1$  なる三相交流を供給したとすると、電機子線輪は、120° 宛の位相に配置され、之れに 120° の位相差のある交流が加へられるのであるから、明かに回轉磁界 F を生ずる。此の電機子が P 極に捲かれてあるとすれば

$$\text{回轉磁界 F の同期速度 } N_s = \frac{120 f_1}{P}$$

となる。之れが時計式方向であるとする。

此の場合、電機子捲線は回轉磁界に切られて三相交流電壓を誘導する。之れが供給電壓と平衡してゐる。電機子内の電壓降下を無視するなら、供給電壓と誘導

電壓は値相等しく反對方向である。從つて整流子面上には回轉磁界と同一速度の誘導電壓分布を生ずるので、刷子 A, B, C 間には三相交流電壓が誘導せられ、其の電壓値並周波數は滑動環に加へた供給交流電壓と相等しい。

次に其の位相に就て考へて見るに、例へば RS 相に於て此の相の電壓が最大となるのは回轉磁界 F が RS と直角の位置に來た時である。從つて R, S に對する刷子 A, B が RS と同一線上にあれば、RS 間の電壓が最大な瞬間には A, B 間の電壓も最大で、換言すれば滑動環側と整流子側の電壓が同相にある。

然るに圖では整流子側の刷子が  $\theta$  だけ回轉方向にずれてゐるから、RS 相の電壓が最大となり、角  $\theta$  に相當する時間だけ遅れて A, B 間の電壓は最大となる。即ち整流子側の電壓は滑動環間の電壓より、 $\theta$  角遅れてゐる。

之れと反對に整流子上の刷子を回轉と反對方向に移動すると、其の電壓を供給電壓より進めることが出来る。

以上、要するに、電機子を靜止した状態では整流子の刷子を移動することに依り移相機 (Phase Shifter) として働くことが解る。

次に電機子を回轉して見やう。先づ回轉磁界と同方向に  $N_R$  なる速度で回轉さすと、電機子捲線が作つてゐる回轉磁界が電機子自身に對する速度には變りなく  $N_s$  である。然し既に電機子自身が、 $N_R$  の速度で回轉してゐるのであるから周圍の靜止してゐるものに對する速度は  $(N_s + N_R)$  となる。

〔註〕 靜止した汽車の中で吾々が前方に  $N_s$  の速度で走つて居るとき、外側のプラットホームに對する速度は  $N_s$  である。然るに汽車が前方に  $N_R$  の速度で走り出したら、列車内に前方に走つて居る吾々は靜止したプラットホームに對し  $(N_s + N_R)$  の速度で前進して居ることになる。

刷子は靜止してゐるのであるから、整流子上の刷子に對する速度は  $N_R$  であるが、整流子上の電壓分布は整流子に對して前述の理由から  $(N_s + N_R)$  となる。從つて刷子間に現はれる電壓の周波數  $f_2$  は

$$f_2 = \frac{P(N_s + N_R)}{120} = \frac{P N_s}{120} + \frac{P N_R}{120} = f_1 + \frac{P N_R}{120} \dots (116)$$

となる。又電機子を回轉磁界と逆方向に回轉さすと、整流子上の電壓分布が刷子に對する速度は  $(N_s - N_R)$  となり、從つて刷子間に現はれる電壓の周波數は

$$f_2 = \frac{P(N_s - N_R)}{120} = f_1 - \frac{P N_R}{120} \dots (117)$$

となる。此の式で  $N_s = N_R$  とすれば  $f_2 = 0$  即ち整流子の刷子間には直流が現はれるのである。

〔註〕 回轉變換機の起動時に於て、同期になる迄の間、整流子上の刷子間には低い周波數の交流電壓が現はれたのは全く此の理に依る。

又電機子の回轉速度  $N_R$  を  $N_s$  より大きくすると、 $f_2$  は負、即ち相回轉の方向が反對となる。

斯様に整流子上の刷子間に現はれる電圧の周波数は電機子の回轉數に依つて異つて來るが、電壓値は滑動環への供給電壓が一定なら一定値を取る。此の場合に於ても刷子を移動すれば電壓の位相が異つて來ること前と變りはない。

即ち、Fig 222 の如き構造で電機子を回轉すれば、滑動環と整流子上の刷子間に於て任意の周波數が得られ、周波數變換機として働く。

其の接続圖を示せば、Fig 223 の如くであつて、接続の要点は整流子周波數變換機を常に整流子上の電壓周波數に相當する速度で回轉するにある。

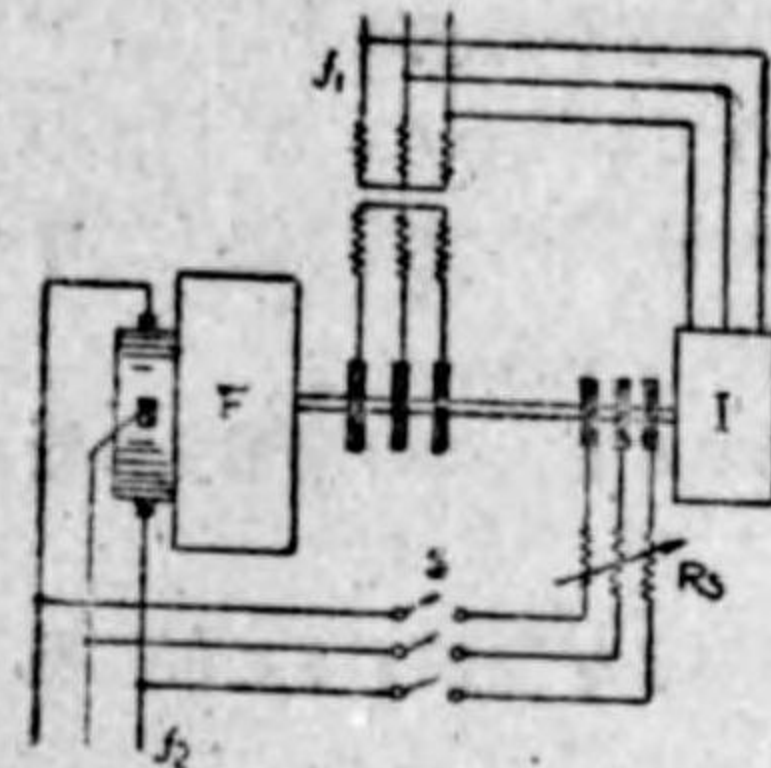


Fig 223

夫れは圖の二重勵磁誘導電動機 I に依つて目的が達成せられてゐる。其の極數は兩者を直結とすれば必ず F の極數 P と相等しきを要す

(註) f2 に相當する F の回轉數 NR は (116) 式より

$$N_R = \frac{120}{P} (f_2 - f_1)$$

又 I に於て一次 f1, 二次 f2 に対する速度は

$$f_2 = S f_1 = \frac{N_s + N_R}{N_s} f_1 = f_1 + \frac{P n}{120}$$

$$n = \frac{120}{P} (f_2 - f_1)$$

但し I の回轉子と固定子磁束は同一方向に回轉する。故に n = NR I は F を f2 に相當する速度で回轉する。Rs は起動抵抗で I を Rs で起動し、適當な速度 (f2 に相當する) に於て S を入れる。

此の型の變換機は大型のものが作れないので、系統の連絡用には用ひられないが、整流子電動機の勵磁機として採用せられる。

次に Fig 222 に於て今度は整流子上の刷子 A, B, C に一定電壓の三相交流電壓を加へて見やう。此の場合電機子が靜止して居れば前と全く同様に、整流子上に加へられた電壓と等しい大き及同一周波數の三相電壓が滑動環より得られる。然し電機子が回轉を始めると先きの場合とやゝ趣を異にする。今整流子上の刷子に加へられた電壓の周波數を f1 とすれば、之れに依つて生ずる回轉磁界の回轉數は  $N_s = 120 f_1 / P$  で之れを時計式方向とする。次に電機子を回轉磁界と同一方向、即ち時計式方向に NR なる速度で回轉さすとすれば、磁界の空間に対する速度はどうなるか、此の場合整流子が同方向に回轉してゐるのであるから捲線に加へられる周波數は兩者の速度差 (Ns - NR) に比例する周波數となり、滑動環に現はれる周波數 f2 は

$$f_2 = \frac{P (N_s - N_R)}{120} = f_1 - \frac{P N_R}{120} \dots\dots\dots(118)$$

となる。従つて滑動環には供給周波數よりも低い周波數が得られる。併而、斯く電機子が回轉すると磁界の周圍の空間に対する速度は、電機子が既に NR で回轉

し、磁界は電機子に対して (Ns - NR) で回轉してゐるのであるから、

$$\text{磁界の空間に対する速度 } N_R + (N_s - N_R) = N_s$$

従つて磁界は空間に対して電機子の回轉數に關係なく供給電壓の周波數に依つて定まる同期速度で回轉する。

(註) 汽車が Ns の速度で動きブラツトホームも同方向に NR の速度で動くものとすれば汽車のブラツトホームに対する速度は兩速度の差 (Ns - NR) となる。

次に此の場合、電機子に流入する電流及其の力率に就て一考して見やう。

電機子が靜止して居るとき、之れに流入する電流は殆んど勵磁電流のみで、電壓より約 90° 遅れ、此の電流が回轉磁界を生じ、其の誘導する逆起電力と供給電壓が平衡して居る。然るに電機子を回轉さすと、前述の如く回轉磁束の捲線に対する周波數は (Ns - NR) に相當するものに減るので、逆起電力は周波數に比例して減する。

(註) 導体に誘導せらるゝ電壓は電流變化の割合、即ち周波數に比例する。従つて f=0 である直流では誘導電壓がない。

其の結果、之れに流入する電流は大となり、力率もよくなる。仮に、NR = Ns となると、磁束は捲線を切らないから電機子は全く無誘導となり、流入電流は單に抵抗で制限せらるゝ。即ち此の場合の力率は 100% で流入電流は最大である。次に電機子の速度は NR を回轉子の速度以上とすると、電機子捲線が磁束を切る向きが反對となり、逆起電力従つて供給電壓も 180° 位相を異にして、電流は電壓よりも 90° 進んで來る。即ち進み力率となる。

$$\text{今 滑り } S = \frac{N_s - N_R}{N_s} \text{ とし}$$

電機子の靜止して居る時のリアクタンスを x, 又抵抗を r, 整流子上の刷子に加へる電壓を E とすると、誘導電動機の場合と同様に

$$\text{流入電流 } I = \frac{E}{\sqrt{r^2 + S^2 x^2}} \quad \text{其の力率 } \cos \theta = \frac{r}{\sqrt{r^2 + S^2 x^2}} \dots\dots(119)$$

として求められる。NR を變化して S を種々なる値とした時之れに対する電流 I 及力率 cosθ の値を圖示すれば、Fig 224

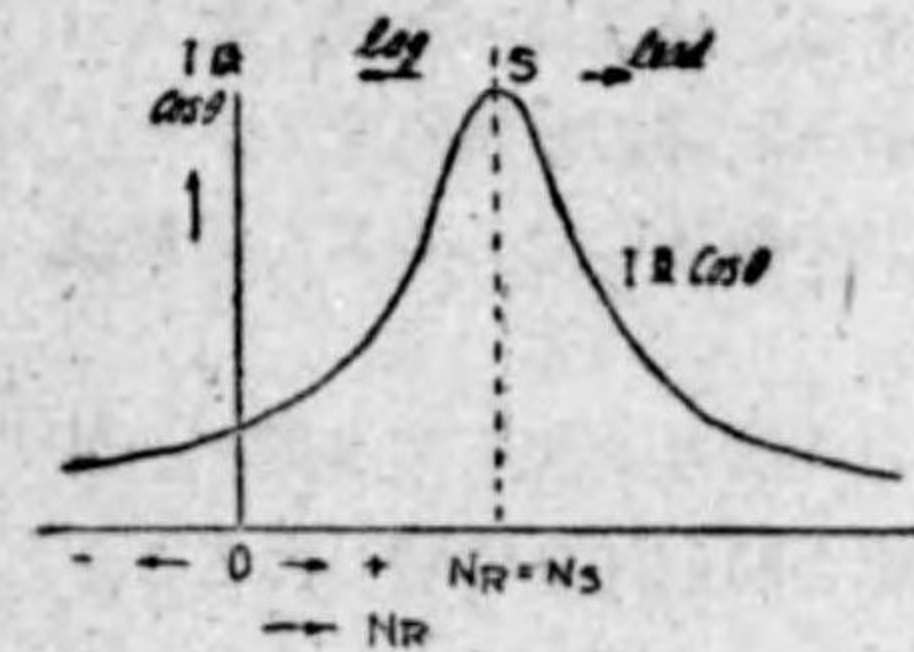


Fig 224

も cosθ も低下する。

の如くなる。上式に於て E, r, x は一定であるから I と cosθ は同様に變化し兩者の縮尺を別々に定めると同一の曲線で表はすことが出来る。即ち、NR を次第に増すと、I も cosθ も大となり NR = Ns で最大、NR を之より大とすると今度は進み力率となり、I も cosθ も漸次に小となる。NR を - 即ち Ns と反對方向とすると誘導作用が大となり、I

斯様に整流子上に交流電圧を加へ、滑動環より取り出しても周波数は電機子の回轉數に應じて自由に變換せられるが、上述のやうに回轉速度に依つて電流が著しく變化するので周波數變換機として實際に使用されない。即ち、Fig 222 で示すやうな周波數變換機は實際上一方向にのみ限られる。

但し後のやうな使用方法是電機子の回轉速度に依つて力率が調整せらるゝので進相機或は誘導電動機の二次勵磁機等として利用されて居るし、次章に述べる多相整流子電動機にも其の性質が活用されてゐる。

### (119) 同期誘導型周波數變換機

本方式は同期機と誘導機とを直結したもので、Krainer 式縱續周波數變換機、整流子縱續周波數變換機等があり、其の内にも種々な方式がある。次に後者の一例を Fig 225 に圖示して其の概要を説明して置く。圖の交流勵磁機は前述した整流子周波數變換機の別名である。

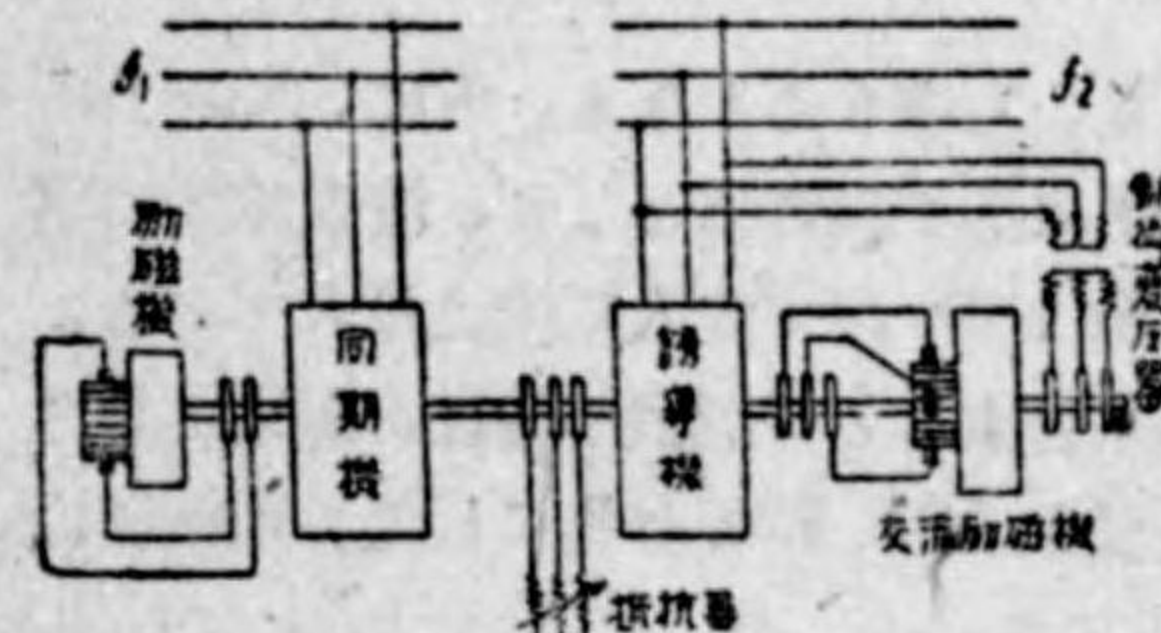


Fig 225

今誘導機の極數を  $P_1$ 、交流勵磁機の極數を  $P$ 、共通軸の回轉數を毎秒  $n$  とすれば

誘導機の二次周波數

$$f' = f_1 \left(1 - \frac{N}{N_s}\right) = f_1 - n P_1$$

交流勵磁機の整流子側周波數

$$f'' = f_2 - n P_0 \quad (117) \text{ 式参照}$$

當然  $f' = f''$  なるを要するから  $P_1 = P_0$  とする。即ち誘導機と交流勵磁機を同一極數として置く。斯くすれば共通軸の回轉數に拘らず交流勵磁機で誘導機の二次側を勵磁し得る。勿論  $n$  は同期機の極數と  $f_1$  より定められる。斯様な状態で、 $f_1$  側より  $f_2$  側に電力を送るには同期機は同期電動機となり誘導機の出力を交流勵磁機の電壓（即ち制御變壓器で加減する）で調整する。誘導機の回轉子に入れた抵抗器は自動滑り調整器と云はれ、變換される負荷及回轉力を制限する。

此の周波數變換機は、大容量の系統間に於ける電力の融通に適し、負荷の變動の甚しい場合にも用ひられる。

一般に同期、誘導型に屬する周波數變換機は系統の周波數、負荷又は電壓の變動に際しても脱調しない。又變換される電力の大きさ並方向を任意に變へ得ること及び最小容量に制限のないことが特長であるが、多數の補助機を要し、費用が大となり、操作に不便であつて、能率も低く、場所も廣く要するので我が國では餘り用ひられてゐない。

## 第九章 交流整流子電動機

### (120) 分類

今迄に述べた交流機は直流機と異つて、回轉子に電流を導くのに滑動環を用ひた。此の滑動環の代りに整流子を用ひると自由に速度を調整し得る交流電動機が得られ、電動機作用のみでなく、交流勵磁機としての發電作用或は前章で述べた如く周波數の變換作用等を行ひ得る。

今此の交流整流子電動機を各種の観点から分類して見ると次の如くなる。

相數に依つて ① 单相整流子電動機 ② 多相整流子電動機（一般に三相）  
勵磁特性に依つて ① 直捲電動機（反捲電動機） ② 分捲電動機 ③ 複捲電動機  
直捲特性に屬する反捲電動機は普通の直捲電動機に於て電動子電流が線路より供給されるのに対し、誘導作用に依つて線路より供給されるものである。

单相整流子電動機は主に電鐵用として發達して來たので、直捲特性を有する直捲電動機が實用化され、分捲或は複捲は用ひられてゐない。

多相整流子電動機として反捲電動機は實用とならず、今日では直捲と分捲のみが採用されてゐる。又一般に单相は小容量機に限り他は三相が廣く使用されてゐる。

尙他の分類方法として、回轉子に電力が供給される経路に依つて、電線路より直接回轉子に供給される直接饋電型、誘導作用で回轉子に供給される間接饋電型一部は電線路より直接、他は補償捲線から誘導作用で回轉子に供給される二重饋電型に分つこともあり、勵磁を行ふ側に依つて、固定子勵磁型、回轉子勵磁型、固定子、回轉子分配勵磁型に分類することもある。

### (121) 单相直捲電動機 (Single-phase series motor)

交流電動機として最も廣く用ひられてゐる誘導電動機は既に述べたやうに負荷に拘らず殆んど一定である。然るに負荷に依つては速度を廣い範圍に調整し、然も簡単に能率よく之れを行はねばならないことがある。例へば電車用電動機では起動の際の回轉力が大きく、速度も種々調整されねばならない。誘導電動機で之れを行ひ得ないこともないが、第十一章で述べるやうに、高價な附屬装置を要し、能率も甚しく低下する。单相誘導電動機に至つては起動回轉力すらない

然るに直流直捲電動機は起動回轉力も大きく、電車用電動機等としては極めて好都合の性質を有して居る。之れが現今、電氣鐵道が直流方式とされ直流直捲電動機を用ふる理由である。然し、長距離の電氣鐵道となると經濟的な電力の輸送と云ふことが問題となる。併而、發電にも電力の輸送にも交流が適當であるから、長距離電氣鐵道に對しては電車用電動機として交流電動機で直流直捲電動機のやうな直捲特性を有するものが望ましい。此の目的に考案せられたのが单相交流

直捲電動機であつて、其の原理は直流直捲電動機と全く同様だと云つてよい。



Fig 226

今、Fig 226 の如き直流直捲電動機に単相交流を供給したとする。然る時は主極の磁束と電動子電流とは半周波毎に等しく方向を變へるから常に一定方向の回轉力を生じて運轉することが出来る（何となれば、左手三指の法則で、中指と食指との方向を同時に反對方向とすれば運動方向を示す拇指は依然として同一の方向にある）。

然し磁束が常に變化するので磁路に渦流及ヒステリシス損失を起し、磁路の全部を良質の薄鋼板で作る必要がある。尙此の外に

- ① 整流子に生ずる火花が甚しくなること。
- ② 電動子の發熱が大きいこと。
- ③ 起動回轉力が小さいこと。
- ④ 力率が極めて低いこと（特に起動の時に甚しい）

以上の如き困難があり、設計上に是等の点を次の如くに考慮して居る。

刷子は、二個以上の整流子片にまたがつて居るから、直流機の場合と同様に、(Fig 26 参照) 之れに接続せられる電動子線輪を短絡してある。然るに此の短絡せられた線輪は交番する界磁束に對して、丁度變壓器の二次の如くなるから、之れに大きな短絡電流を流し、整流作用を悪化させるだけでなく發熱を大きくする。故に整流作用を良好とするには一個の電動子線輪に誘導せらるゝ起電力を出来るだけ小さくすべきで、之れが爲には

- (i) 電動子線輪 1 個の捲数を少く、例へば 1 個 1 捲きにする。
- (ii) 1 個の線輪を通る磁束を減ずる。即ち磁極数を多くして磁路の分岐を増す。例へば直流直捲電動機で 4 極のものなら 6 極とする。
- (iii) 整流子片の数を増す。
- (iv) 磁束密度を小とする。

斯様に整流作用と發熱を少くする爲に、電動子線数の捲数と界磁束を減ずれば勢ひ同一回轉力を出すには電動子電流を大としなければならない。其の結果電動子にあつては其の直徑と整流子の長さが増す。磁束密度が小なら界磁捲線數も少くてよく、従つて捲線の占める容積も小となるので、直流直捲機に比して磁極は大きな斷面積を有するが長さは短小なものとなる。

電動子の電流が大きくなる結果、電動子反作用磁界も強くなるので整流作用を良好とする爲に磁極面に補償捲線 (Compensating winding) を施すこと直流機の場合と同様にして、之れを電動子、界磁と直列にして電源に結び、電動子の作る反作用磁界を打ち消す。斯様に發電子の作る磁束と補償捲線の作る磁束が打ち消し合ふ時は磁束線數を減ずる結果、リアクタンス分が少くなり、電動機の力率が著しく向上せられる。尙力率を向上する爲には磁極の斷面を大とし、空隙を小

さくし、界磁捲線を小として界磁捲線のインダクタンスを減少せしめる。

〔註〕 補償捲線のない時の力率を約 40 % とすれば、之れを採用すると 90 % にもなる。

此の補償捲線を上記の如く電動子及界磁と直列としたものを補償直捲電動機と云ひ、補償捲線を短絡して電動子捲線と直列變成器を構成するものを誘導補償直捲電動機と稱する。或は又、二次勵磁誘導補償直捲電動機と稱して、補償捲線と界磁捲線を直列にして短絡したもの等實に多種多様なものがある。

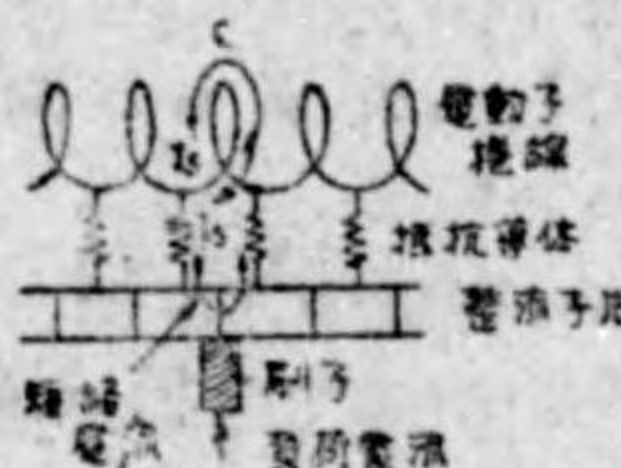


Fig 227

尙刷子で短絡せらるゝ線輪に流れる短絡電流を制限する爲に、Fig 227 に示すやうに各電動子線輪と整流子片間を抵抗導線で結ぶ。斯くすれば、例へば刷子で短絡せらるゝ電動子線輪 C には二個の抵抗導線が入り、短絡電流  $I_s$  は制限せられる。尤も負荷電流に依つて此の部分に新なる損失を生ずるが、適當に抵抗の値を定むれば却つて全体としての銅損

は減少せられ、電動機の發熱作用も低下する。勿論、整流作用はよくなる。普通 25 サイクル以下のものには此の抵抗導線を用ひないが、夫れ以上の周波數のものには採用せられて居るやうである。

(122) 反捲電動機 (Repulsion motor)

前項の直捲電動機に於て回轉子の刷子を短絡し、界磁のみを交流電源に結んだものが此の反捲電動機である。此の電動機が回轉を始める原理を示したのが Fig 228 であつて、以下本圖に就て説明しやう。

今刷子を (甲) 圖の如く整流子片上の主磁界 F と同軸 YY' 上に置いたとする。主磁界は YY' 軸上に交番するから先きに單相誘導電動機の Fig 191 で示したやうに、回轉子導体に誘導される起電力は X'X で最大である (圖では回轉子各位置に於ける導体の起電力の大きさを圓の大きで示した) 併而、刷子で短絡せられて居るから、之れに依る短絡電流が圖の矢尻のある内側の矢のやうに流れる。此の電流と界磁束の作る回轉力の方向を左手三指の法則で求めて見ると、X'Y 間の導体の回轉力は時計式方向、XY 間の導体は反時計式方向、X'Y' 間の導体では反時計式方向、XY' 間の導体では時計式方向となり、圖の矢尻のない外側の矢のやうに打ち消し合ふので回轉子は回轉しない。

次に此の短絡刷子を XX' (即ち主磁束 F と直角の



Fig 228

位置)に移して見る。此の場合は(乙)圖に示す如く X'Y と XY 及 Y'X' と Y'X の各起電力が打ち消し合つて(圓内の矢尻のある矢) 刷子間従つて回轉子導体には電流が流れない。即ち(甲)でも(乙)でも回轉子は回轉を起さぬ。

次に(丙)圖の如くに刷子を YY' 軸より時計式方向に  $\theta$  だけ移して見る(刷子の位置は AB) 今考察の便宜上、YY' 軸より反時計式方向に  $\theta$  なる CD 線を引く。此の場合導体に流るゝ電流は矢尻のある内側の矢で示す如くに、BCA 及 BDA と向ひ、刷子 A より B にと流れて居る。其處で BC と AD 間の導体に依る回轉力は(甲)圖の場合と同様に打ち消し合ふが、CA 及 DB 間の導体に依る回轉力は時計式方向に相加はり合ふ。

〔註〕 左手三指の法則を適用すれば明かである。即ち CA 間の導体の電流は  $\oplus$  であつて磁束は上を向くから運動方向を示す指は左より右に向く。DB 間の電流は  $\ominus$  で磁束は上に向くので運動方向は左より右となる。

即ち圖の如くに刷子を移動すると回轉子は時計式方向に回轉する。若し刷子を之れと反對に例へば CD の如くに移動すれば回轉方向は逆になる。即ち反撥電動機では主磁極に對し刷子を移す方向を變へると回轉方向が變つて来る。

此の電動機は起動の際には二次を短絡した變壓器と同様であるから、大きな電流を通じ大なる起動回轉力を生ずる。回轉し始めると、先きの單相誘導電動機の處で説明したやうに、回轉子導体が主磁束を切つて速度起電力を生じ、回轉子内に生じて居る先きの變成起電力との合成に依つて電流が流れる。

〔註〕 反撥電動機には整流子上に固定、可動の二組の刷子を設け相對する固定、可動の兩刷子を交互に然も別個に短絡したデリーの反撥電動機(斯くすると固定子捲線の一部は界磁捲線として、一部は補償捲線として働く)或は二組の刷子を直角に配置し、固定子と同軸のものは短絡し、之れと直角のものは固定子捲線と直列に接続した補償反撥電動機等がある。詳細は高級技術講座に譲る。

(123) 多相直捲整流子電動機

(Polyphase series commutator motor)

本機は誘導電動機に於て回轉子を引き出しその代りに直流機の電機子を入れ、整流子上に適當に刷子を配置して、固定子と電機子を直列に結んだものと思へばよろしい。

即ち三相の場合を示すと、Fig 229 の如くであつて、固定子三相捲線を S、回轉子捲線を R とし、a, b, c は回轉子の整流子上に置かれた刷子であつて  $120^\circ$  宛の相差角を有する。尤も圖の回轉子は簡單とする爲め二極の場合を示して居る(極數が大となれば電氣角

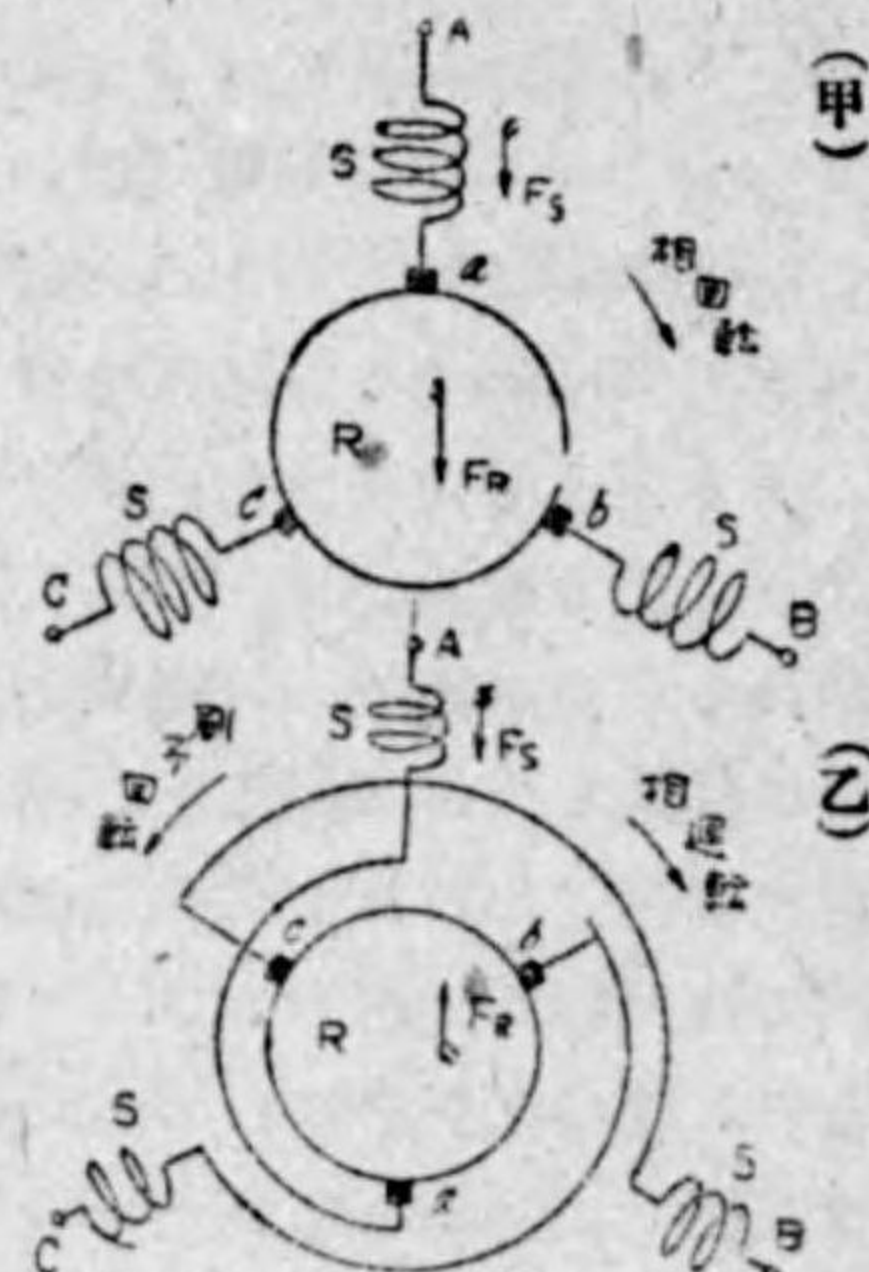


Fig 229

度で  $120^\circ$  であるから刷子の組數は多くなる。又回轉子の作る磁界  $F_R$  も一つでない然し原理は全く同一である) 此の S と a, b, c は圖では直接に結んだが多くは變壓器を通じて直列とせられる。斯様な電動機は直流直捲電動機と同様な特性を有するに至るのである。

扱、此の電動機に回轉力を生ずる原理を考へて見やう。

今、(甲)圖に於て刷子の位置がそれに対する固定子捲線 S の中心線と一致するやうに置き、三相交流電壓を A, B, C に加へる。其處で固定子捲線に依つて供給周波數  $f$  とその極數 P に依つて  $N_s = 120f/P$  回轉する回轉磁界  $F_s$  を生じ、回轉子も同極數とすれば同一速度の回轉磁界  $F_R$  を生ずる。併而  $F_R$  の S に対する速度は整流子周波數變換機處で述べたやうに、假令、回轉子が回轉し出しても  $N_s$  に相當する速度である。併而、(甲)の位置では  $F_s$  と  $F_R$  が同一位相にあり、同一方向に回轉して居るので、機械内には最大の磁束を生じ、逆起電力は大きく、流入する電流は全負荷電流の 1 割か 2 割で回轉力を生じない。

(刷子の此の位置を假に零位点と稱して置く)

〔註〕 電流が小さいだけでなく、此の位置では Fig 230 (甲) に示す如く回轉力を生じ得ない。これは次の説明にも利用するから茲で述べて置く。即ち、 $F_s$  と  $F_R$  が如何なる時でも空間的に同相であると云ふことは(甲)圖に示す如く線輪 C の電流は右側で  $\oplus$  左側で  $\ominus$  となるを要する。常に此の關係にあるから左手三指の法則より線輪の受くる回轉力は外方に向ひ、線輪を引き伸ばそうとはするが、回轉力は與へない。又  $F_R$  を  $F_s$  に對して反對とすれば、線輪に働く力は内方に向ひ、此の場合も線輪を壓縮し



Fig 230

やうとはするが回轉力を生じない。

然るに、 $F_R$  を常に  $F_s$  と空間的に直角となるやうにすると、線輪の電流と  $F_s$  は常に(乙)圖のやうな關係にあり、左手三指の法則から考へても明かなやうに圖の關係では線輪が時計式方向に回轉せられる。

扱、Fig 229 に歸つて、今刷子を(乙)圖の如く、相回轉方向に  $180^\circ$  移動すれば、前と全く反對位置を取り、兩磁束  $F_s$  と  $F_R$  は打ち消し合ひ、大なる電流が流入するが、回轉力を生じない(刷子の此の位置を短絡点と稱して置く)

〔註〕 兩磁束が完全に打ち消し合はない時でも回轉力を生じない。これは前註で、 $F_s$  と  $F_R$  が反對の場合として既に説明した通りである。

最後に刷子を零位点と短絡点の中間に置いて見る。例へば今刷子を  $\beta$  角だけ相回轉と反對方向に移動したとすると、 $F_s$  と  $F_R$  の空間的位相は Fig 231 の如くに  $\beta$  なる相差を有し、合成回轉磁界は  $F_R$  と  $F_s$  のベクトル和  $F$  となる。扱此の位置では回轉子線輪の作る磁束  $F_R$  と合成磁界  $F$  とは  $\mu$  なる相差を爲す。此の  $F_R$  を  $F$  に對して同相なる分力  $F_{R'}$  と直角なる分力  $F_{R''}$  に分解すれば、



Fig 231

前述〔註〕の Fig 230 (甲) (乙) で既に説明して置いたやうに、 $F_R'$  は回轉力を生じないが、 $F_R''$  は回轉力を生ずるに至る、併而 (乙) よりも明かに此の  $F$  と  $F_R''$  の位置では回轉子は時計式方向即ち回轉磁界と同方向に回轉せられる、併而生ずる回轉力の大きさは  $F$  と  $F_R''$  の積に比例する。今  $F_R = F_s$  とすれば  $\alpha = \beta/2$  となり

$$\begin{aligned} \text{回轉力 } \tau &= F F_R'' = 2F_R \cos \frac{\beta}{2} \times F_R \sin \frac{\beta}{2} \\ &= 2F_R^2 \sin \frac{\beta}{2} \cos \frac{\beta}{2} \dots (120) \end{aligned}$$

従つて  $F_R = F_s$  であれば回轉力  $\tau$  は  $\beta/2 = 45^\circ$   $\beta = 90^\circ$  で最大となる。實際の機械では  $F_R$  と  $F_s$  の比が 1 でなく大抵  $\beta = 135^\circ \sim 150^\circ$  で回轉力が最大となつて居る。

刷子を之れ以上に移動すると回轉力は急減し  $\beta = 180^\circ$  で零となる。又刷子を相回轉方向と反對とすれば Fig 231 及 Fig 230 の (乙) より明かに回轉方向が反對となるが、力率其の他が甚だ悪くなるので、回轉方向の變換は固定子捲線の二つを結び變へ、相回轉方向を反對として行つてゐる。

次に電壓、電流、磁束のベクトル關係圖を書いて見やう。此の際、注意されねばならないのは、ベクトル圖の相差角は時間的關係に統一して画くから、空間的位相差は時間的相差角に直して圖上に表はされたいことである。Fig 232 に示すベクトルは固定子への流入電流を基準とし、捲線のインピーダンスを無視して居る。即ち回轉磁界  $F$  より  $90^\circ$  遅れた電壓が固定子及回轉子に誘導せられる。然るに回轉子は空間的に  $\beta$  だけ進んで居るから、二極とすれば時間的にも回轉子の誘導電壓  $E_{R0}$  は固定子の誘導電壓  $E_s$  よりも  $\beta$  だけ進む。又回轉磁界  $F$  は固定子の磁界即ち之れに流れる電流よりも  $\theta$  角遅れて来る。

従つて回轉子が靜止して居る時は、機械内に固定子の誘導電壓  $E_s$  と回轉子の誘導電壓  $E_{R0}$  のベクトル和  $E_{SR0}$  が存在する。従つて供給電壓としては  $E_{SR0}$  と反對方向の電壓  $E_0$  を加へねばならない。次に回轉子が回轉を始めると、回轉子の起電力  $E_R$  は回轉磁界の速度と回轉子の速度の差に比例するから、回轉子速度が大とな

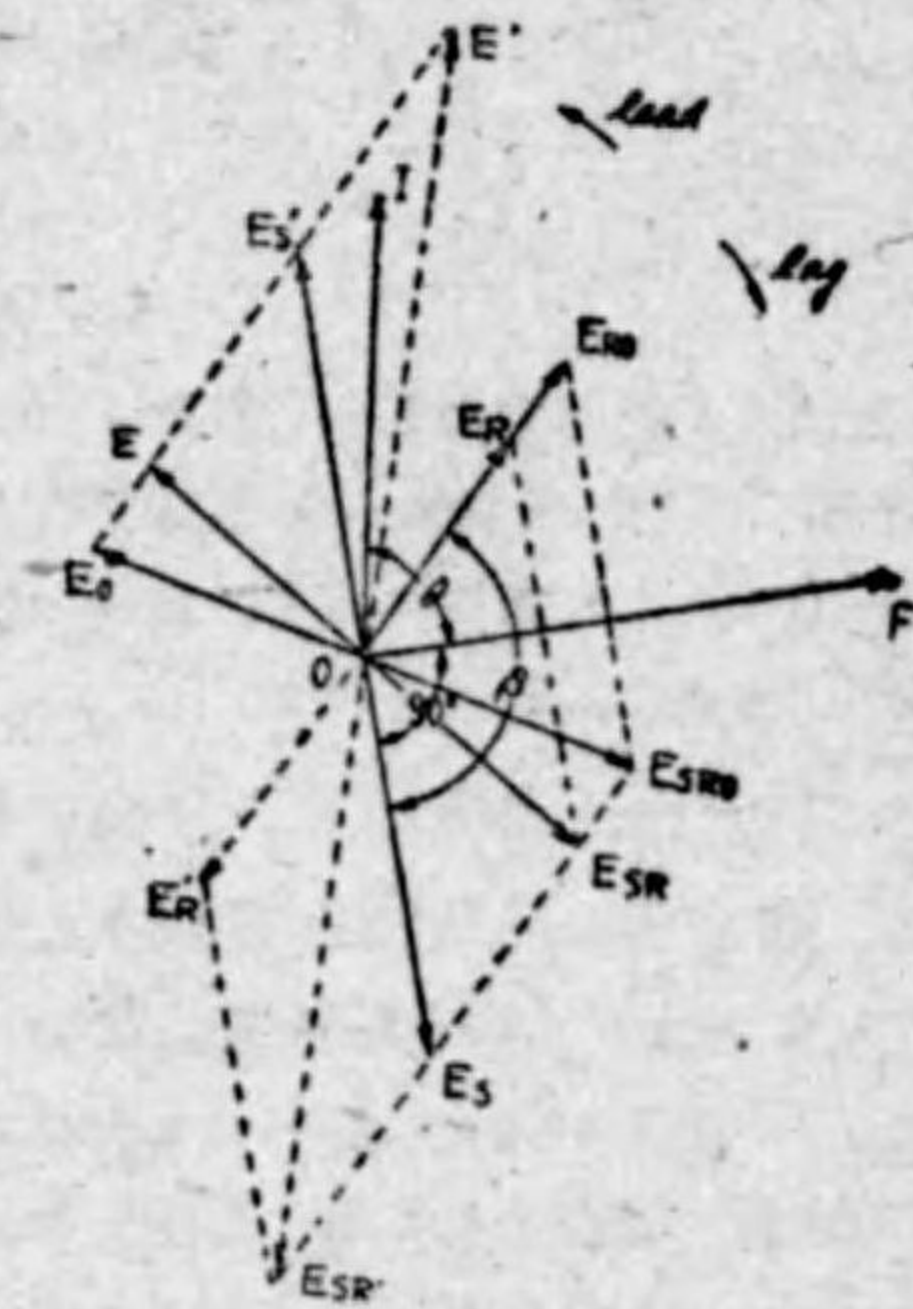


Fig 232

る程  $E_{R0}$  の線上で 0 点の方に縮小する。従つて機械の合成起電力  $E_{SR}$  は、 $E_{SR0}$   $E_s$  線上を  $E_s$  の方向に向つて移動し、同期速度となると  $E_R = 0$   $E_{SR} = E_s$  となり、供給電壓は  $E_s$  と反對な  $E_s'$  となる。従つて供給電壓  $E$  は速度の上昇と共に  $E_0$   $E_s'$  線上を  $E_s'$  の方向に向つて移動する。更に回轉子が同期速度以上となると  $E_R$  の方向は  $E_R'$  の如くなり、供給電壓は  $E'$  で示す如くなる。

上記のベクトルよりも明かなやうに、本電動機では低速では力率が悪いが、同期速度に近づくと極めて高力率となり同期速度以上となると力率は進みとなる上記のベクトルは要するに機械への電流  $I$  を一定に保持するものとして夫れに應ずる回轉子速度と供給電壓の關係を考へたのであつた。勿論  $I$  が一定なら  $F_s$   $F_R$  も一定であり、刷子を定位置に置くらば回轉力は一定である。換言すると上記のベクトルは回轉力を一定とした時の速度と供給電壓の關係を示すものである

然し實際には電動機には不變電壓を加へる事が多いのであつて、今回轉子が同期速度で電流の元に一定の回轉力を出して回轉して居つたとする。此の時、負荷が減じたとすると入力に餘分が生じ、回轉子が加速され同期速度以上となつて回轉子に  $E_R'$  なる電壓が誘導され、全逆起電力を増大するので ( $E_{SR}' > E_s$ ) 流入電流が減じ回轉力を小ならしめて或る  $E_R'$  の値即ち回轉數で平衡を保つ。又は負荷が大となつたとすると上記と反對に速度が降下し  $E_R$  なる電壓を生じ、逆起電力を小とし、( $\beta$  が大きいから  $E_{SR} < E_s$ ) 電流を増大して回轉力を増す。(但し以上は同期速度の前後に就て述べた) 之れは丁度直流直捲電動機と同様の性質である。

〔註〕 此の電動機では急に無負荷となると速度が著しく上昇して、所謂逸走 (Run away) の現象を生ずる。其の理由は無負荷となると流入電流を減じ磁束が減少する。従つて一定供給電壓と平衡する爲めには速度が上昇して  $E_R'$  を大とし  $E_{SR}'$  が大とならざるを得ない。

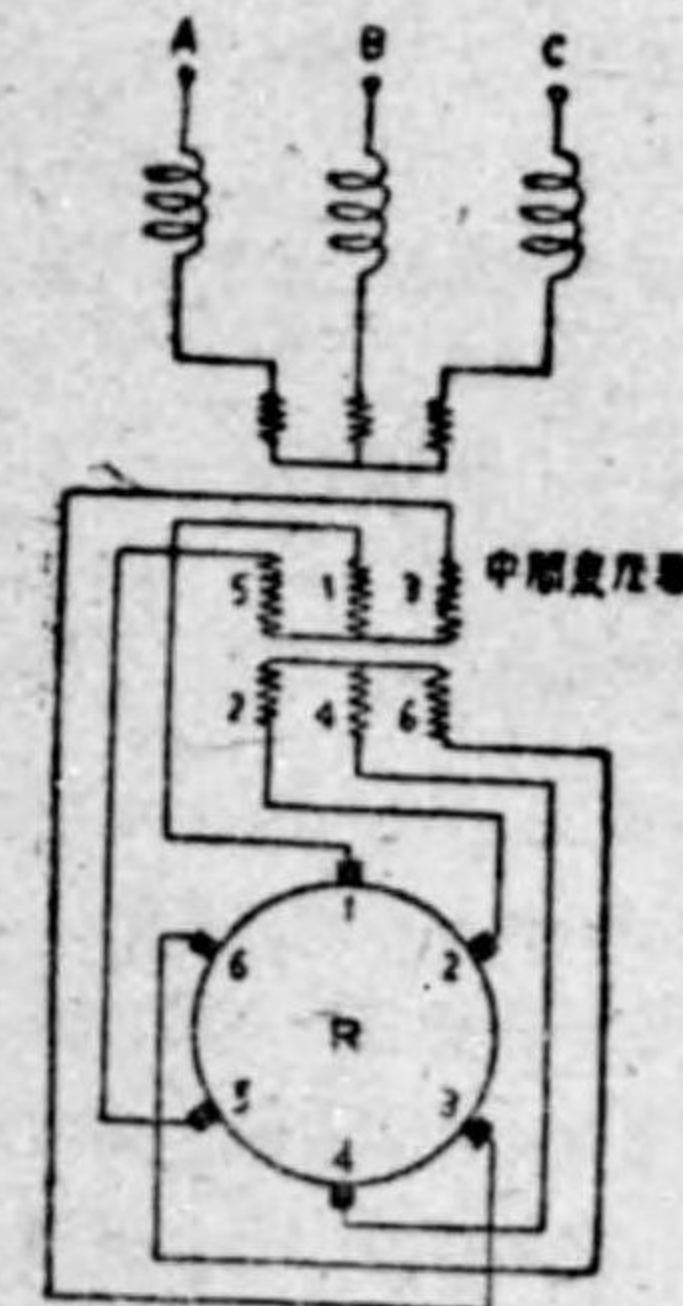


Fig 233

次は中間變壓器の作用を概略説明する。中間變壓器とは先きに言及したやうに、固定子捲線  $S$  と回轉子  $R$  とを直接に結ばず Fig 233 で示すやうに變壓器を以て連結する。此の變壓器を云ふ既に述べたやうに、本電動機は同期速度の近くで運轉する程都合がよいのであつて、此の運轉状態では回轉子の起電力は極めて小さい。従つて斯様な變壓器を置くとしても容量は極めて小さく、普通電動機容量の  $1/2 \sim 1/3$  とせられる。従つて其の價格も低廉であり、機械頭部或は台の下に簡単に設置されるから、別に荷厄介とする程のものでない。其の効能であるが、元來此の種の電動機では既

に单相整流子電動機の處で述べたやうに、整流作用を良好にすることが先決問題であつて、其の方法として整流子に與へる電壓を低くすることが緊要である。中間變壓器の二次側電壓を低くめると此の目的が達せられる。又前圖に示したやうに變壓器の二次側の接続を適當とすれば、相數を増加し得る。其の結果、1個の刷子を通る電流が減少するので整流作用がよくなる。

尙以上の外に中間變壓器に依つて運轉を安定とすると云ふ大切な働きがある。

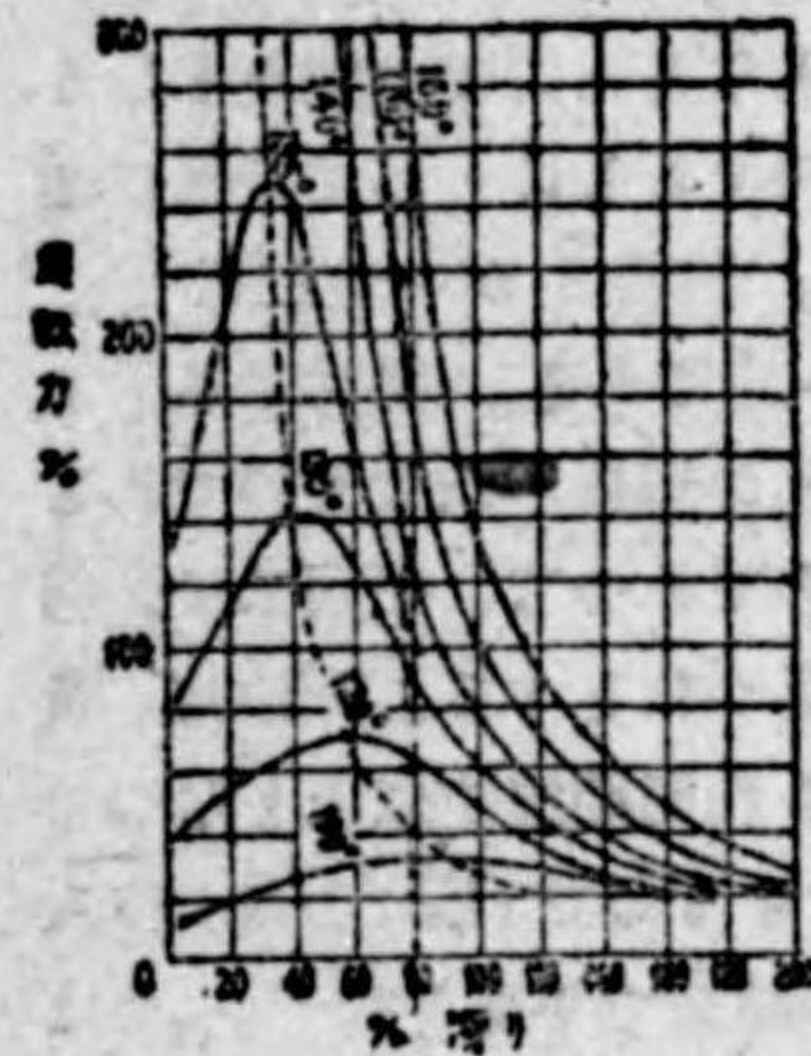


Fig 234

元來、此の電動機の間轉力曲線は、Fig 234 で示すやうに、大体最大間轉力が同期速度の 40~80% の處で生ずるから、之れ以下の速度で運轉して居ると負荷が増して、所要間轉力が大となると速度が低下し、發生間轉力が減少して愈々速度が低下し、遂に停止する。即ち低速度では安定運轉を行ひ得ない然るに中間變壓器の鐵心の磁束密度を大として之れを飽和させて置くと、速度間轉力特性曲線が緩和せられ、輕負荷で速度の躍昇することが少くなり、重負荷で速度の急激なる降下を止め、一方に於て逸走の危険を防止し、運轉の安定度が増加せられる。之れは丁度直流直捲電動機に分捲線輪を附加して複捲

特性を得たのと似て居る。

〔註〕 以上、中間變壓器の磁氣飽和に依る影響は Fig 232 のベクトルに就て考ふれば明瞭である。例へば輕負荷で流入電流  $I$  が減じ  $E_s$  が小となつても、變壓器の飽和に依り其の割合に  $E_r$  が減じないから速度は餘り上昇しない。

即ち本電動機では刷子を適當に移動して起動すると、Fig 234 よりも明かなやうに、大きな間轉力で起動もされるし、速度の調整も容易であり、能率もよい。大体速度調整の實用範圍は 50~130% である。

〔註〕 既に前述で盡したが、讀者は此處でもう一度、刷子を移動して間轉力、速度の調整せらるゝ理由を Fig 231 及 Fig 232 のベクトルに就て考察して見られよ。

此の電動機の間轉力曲線は相當にきつい傾斜を有してゐるし、整流子を有するから餘り變動の甚しい負荷には適切でない。一定の所要間轉力の元に徐々に速度の變化を來すやうなポンプ用、送風機用、印刷機用、或は紡績機用等に適してゐる。

(124) 多相分捲整流子電動機 (Polyphase shunt commutator motor)

前項、直捲型のものに反して、刷子を或る位置に定置すると、負荷の増減に依る速度の變動が極めて少い。所謂分捲特性を有するものである。本電動機に屬するものには種々なる型があるが、大体直流分捲電動機から出發したものと、多相誘導電動機に整流子を設けたと考へられるものに大別されるやうである。尙速度

調整方法には刷子の移動に依るもの他に、回轉子への供給電壓を加減變壓器或は誘導電動機で調整するものもある。然し一般に前者が用ひられて居る。

是等の總ての型を説明することは限られた紙數では到底行ひ得ないから、其の代表的一例として、廣く用ひられてゐる シュラーゲ (Schrage) 型電動機に就て大要を説明する。

先きに述べた整流子型周波數變換機に於て (Fig 222 参照) 供給電壓値が高い場合には、滑動環を有する捲線と整流子を有する捲線を全然獨立のものとする。斯くしても其の作用に變りはないことは明かである。

扱此の二捲線周波數變換機と同様な構造を有して居るのがシュラーゲの電動機であつて、Fig 235 に示す如く、P は一次線輪であつて滑動環を経て三相電源に接続せられる。此の P と同一の溝内に整流子を有する捲線 C を設ける。尙 S 捲線は固定子に設けられ、各相は各々獨立に C 捲線の整流子上に配置せられた刷子に圖の如く接続せられて居る。此の各相刷子間の間隔を刷子移動装置で加減して速度を調整する。

今一次線輪 P に電源より三相電壓を加へると回轉子内に回轉磁界を生ずる。

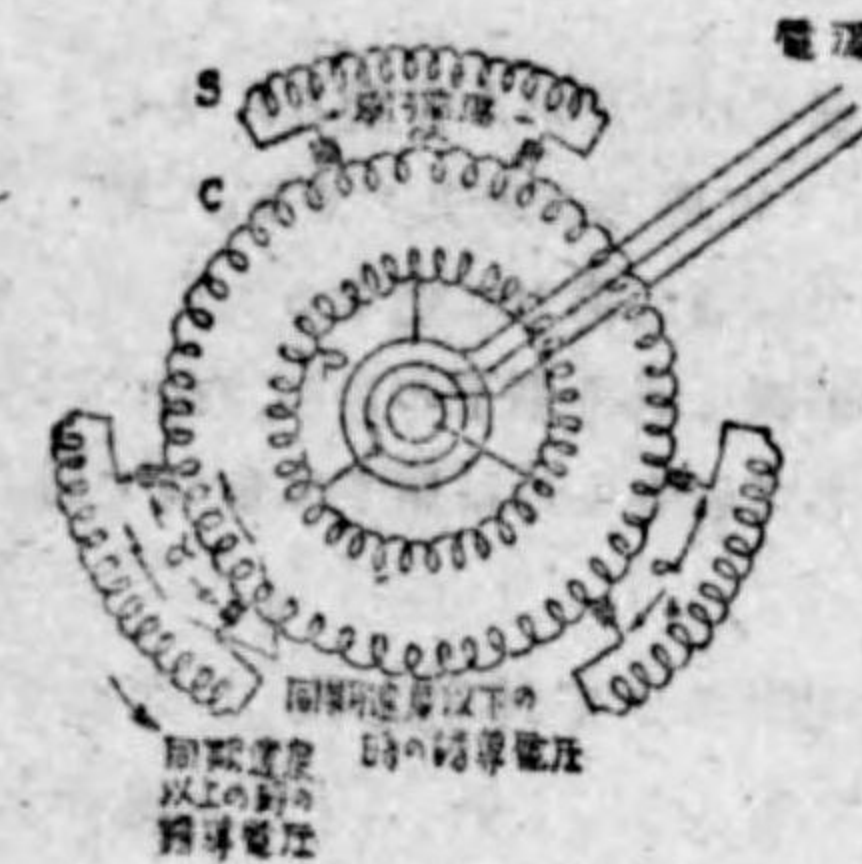


Fig 235

其の間轉速度は供給周波數  $f$  と捲線の極數 P に依つて定まり  $N_s = 120/f/P$  なる値である。然も整流子型周波數變換機の最初に述べたやうに回轉子の速度の如何に拘らず回轉磁界の P 捲線に對する速度は  $N_s$  である。今刷子間隔  $\alpha = 0$  とすると、三相誘導電動機で固定子と回轉子をふり變へて使用したのと同様で、誘導電動機として回轉する。即ち今、回轉子の相回轉方向を時計式方向とすると、回轉子は固定子捲線の反力を受けて反時計式方向に回轉する。斯くて全負荷で數%の滑りを

以て運轉し、回轉磁界は固定子に對して滑りに相當する周波數で時計式方向に回轉し、固定子捲線には之れに比例した周波數及起電力を生じて電流を流すこと誘導電動機の場合と全く同様である。併而此の場合、回轉子は回轉磁界と反對方向に回轉してゐるのであるから既に整流子周波數變換機の處で述べたやうに、捲線

C の誘導電壓が整流子上の刷子に與へる周波數は滑りに比例し、電壓の値は一次供給電壓に比例する。即ち固定子捲線に誘導せらるゝ電壓と C 捲線の誘導電壓は刷子上では同一であるから兩者を結ぶことが出来る。故に今刷子の短絡を離して整流子上で或る刷子間隔  $\alpha$  を爲すやうに配置すると、固定子捲線 S の誘導電壓に回轉子捲線 C の誘導電壓が加はる。併而捲線 C より捲線 S に加はる電壓は刷子間隔  $\alpha$  に比例し、其の方向は回轉子の速度が同期速度以下であると



打ち消し合ひ、同期速度以上であると相加はる。

〔註〕 何となれば回轉磁界が C 捲線を切る速度は回轉子の回轉に關係なく  $N_s$  で其の方向は時計式方向である。又固定子捲線を切る速度は  $(N_s - N_R)$  で  $N_s > N_R$  であれば時計式方向となり、兩誘導電壓は刷子に對して同一方向で回路を廻つて考へると打ち消し合ふ。之れが  $N_s < N_R$  即ち同期速度以上に回轉子を回轉すると回轉磁界が C を切る方向並速度には變りがないが、固定子捲線は前と反對方向即ち反時計式方向に切られるので、誘導電壓の方向は前の反對となり、兩起電力は回路に加はり合ふ。

今同期速度以下で回轉してゐる時、刷子間隔  $\alpha$  を擴げると、固定子捲線に働く電壓は打ち消し合つて漸次小となり、其の結果二次電流 (S の電流) を減じ、回轉力が減少して回轉子の速度が降下する。速度が降下すると二次に對する磁界の相對速度が増加するので二次電流を増し、回轉力を大として適當なる速度で動合ひを保つ。斯くて刷子の移動に依つて速度が調整せられる。此の刷子間隔  $\alpha$  を一定に保つと、固定子即ち二次捲線に與へられる電壓が一定であるから、負荷が變化しても速度の變動は 10% 以下の僅小さに保ち得る。

次に刷子を反對に移動して、食ひ違つて整流子上に或る間隔を保つやうにすると、兩起電力の方向が反對であるから上記で説明したやうに回轉子は同期速度以上で回轉をせねばならないやうになる。

〔註〕 云ふ迄もあるまいが、兩起電力が反對方向 (兩刷子の位置がふり變る) となると相加はりあつて、二次 S の電流を大とし、回轉子を加速して同期速度以上とする。斯くすると S の起電力の方向は反對となり兩起電力は差となつて所要回轉力に應ずる適當な電流を通じ、速度の増加が止む。斯様に此の電動機では誘導電動機と異り刷子の移動方法に依つては同期速度以上ともすることが出来る。事實、實用とされて居るものは刷子に依つて同期速度の 50% 前後の調整が行ひ得る。

上記では兩刷子の中心線と S 捲線の中心線を一致させて移動した。従つて C と S の起電力は同相に相加はり或は相減じたのであるが、今、刷子間隔を其の儘として全刷子を何れかの方向に整流子上を移動させる。今回轉方向に  $\beta$  だけ移動したとすると、刷子間に現はれる C 捲線の誘導電壓は、S 捲線の誘導電壓と同相にある分力は、前述の如く速度の上昇或は降下の働きを爲し、二次電壓よりも  $90^\circ$  進んだ分力は二次回路に静電容量を入れたのと同様に働き、其の力率を向上するから従つて P 側の力率もよくなり力率の改善が行はれる。實用上、適當な負荷に於て力率を 100% に近くして居る。

即ち本電動機は刷子間の開きを加減して速度の調整を行ひ、刷子全体を移動して力率の改善を計ることが出来る。然も速度の調整には抵抗器或は其の他の附屬装置を用ひないから能率がよく、然も圓滑に制御される。

又、刷子を一定位置に置くと負荷の變動に依る速度の變化が少い分捲特性を有するので廣く採用せられて居る。

## 第十章 同期非同期進相機

### (125) 送電系統に於ける力率低下と其の對策

送電系統に於ける力率低下の主なる原因は、力率の低い機器を使用する爲であつて、例へば誘導電動機、變壓器、誘導型電氣爐或は單相電動機の使用等であつて、何れも重負荷の力率も悪いが、輕負荷に於て一層甚しい。

斯様に送電系統の力率が低下すれば、同一有効 kW 電力を送るのに發電機、並送配電系統の諸設備は其の kVA 容量を大としなければならなくなり、價格は kVA 容量に比例するので投下資本が大となる。然も料金収入は普通 kW 出力に比例するのであるから、電力會社としては支出のみが増加し、延いては經營が困難となる。尙力率が低下すると、一定の負荷の變動に對して發電機、送配電線の電壓が著しく變化する。殊に同期發電機では力率が低下して遅れ電流が大となると發電子反作用が界磁束を弱め端子電壓を著しく降下させる。斯様な電壓變動は運轉に好しくないことは申す迄もあるまい。

従つて電力事業者として送配電系統の力率を向上させざると云ふことは極めて重要な問題で、之れが對策として考へられる方法を列挙すれば

- ① 高力率電動機を使用する。
- ② 靜電蓄電器を用ひ線路に進相電流を流させる。
- ③ 同期進相機或は非同期進相機を設置する。

以上の外に力率の低い電力は料金を高くする。即ち力率を含んだ料金制とするこゝも側面的ではあるが、系統の力率改善に資する處がある。何となれば、斯様な料金制とすれば需要家も力率のよい電動機 (例へば誘導同期電動機、同期電動機交流整流子電動機) なり高力率の電氣爐 (抵抗電氣爐の如き) をなるべく使用するに至る。之れを要するに力率改善は需要者側で行ふか、電力供給者側で行ふかに大別される。上記の①②は之れである。②は靜電容量を電動機と並列に使用する。尤も最近では供給者側でも②の方法を用ひ、配電線の末端に或は變電所に靜電蓄電器を設置して力率の改善と同時に電壓調整を行つて居る處がある。

供給者側として送電線並發電所の力率を大規模に改善せんとするのが③の方法であつて、本章では之れに就て述べる。

〔註〕 如何なる力率改善方法を採用すべきかは次の諸項を考へて定める。

- ① 進相機の設置に要する費用に對する金利、償却等
- ② 進相機の運轉費 (電力損失も含む) 維持費
- ③ 進相機に依り節約せられる電力費と電壓調整の效果

以上の方法に依つて力率を改善し得たとすると、其の利点は既に言及したように發電機並送電線の容量に餘裕を生じ、負荷電力を増加し得、電壓變動率を小として定電壓輸送が可能となり、線路の電力損失を小とする。換言すると進相機を設

置して建設すると、小容量の発電機でよく、送配電系統の設備費を減少する。尙発電機並変圧器には電圧変動率の大きい即ちリアクタンスの大きな短絡電流の小さい安価なものを採用し得る。

之れで力率を改善する利点が解つたから、以下此の使命を遂行する同期進相機と非同期進相機の大要を説明することとする。

(126) 同期進相機 (Synchronous Condenser) の原理と構造

同期進相機は同期電動機と全く同様であつて、同期電動機の電動子反作用の性質を巧みに利用したものである。即ち同期電動機では同期発電機の場合と反対に電動子に流れる電流が端子電圧よりも遅れると、電動子電流に依る磁束は界磁束と同方向となり、勵磁作用を助け、進電流の場合は逆に勵磁作用を弱める。之れは既に説明したから再述しないが、諸氏はもう一度、同期発電機の電動子反作用の説明を復習されたい。

従つて今、運轉中の同期電動機の界磁電流(勿論直流である)を零とすると、電動子捲線には電圧より約90°遅れた大きな電流が流入し、此の遅電流のなす勵磁作用で界磁束を作り回轉を繼續する。次に界磁電流を通じ其の値を次第に増加して行くと電動子への加電圧が一定なら界磁束は一定でなければならないから、(機内のインピーダンス降下を無視する)界磁束が直流で追々作られる程電動子電流の作る界磁束は減じてよいこととなり、電動子電流は次第に減少する。界磁電流を増大して一定電圧に對する全界磁束を界磁捲線から供給するとすれば、電動子電流は何等勵磁作用を行ふ必要がないから其の電流は最小となる。此の限度を越して更に界磁電流を増し、界磁束を増加させると、今度は一定電圧に對し磁束が餘分となるから電動子には進み電流が流れて界磁束の一部を打ち消すやうになる。

即ち電動子に加へられる加電圧が一定値なら之れと釣合ふ機内の逆起電力も一定なるを要し、従つて勵磁電流に應じて電動子電流の値並位相は上述の如くに變化をしなければならなくなる。

今、Fig 236 に於て無勵磁で  $OG_1$  なる遅電流が電動子に流入するものとする、此の  $OG_1$  を端子加電圧  $E_t$  に對し無効分  $OQ_1$ 、有効分  $OP$  に分つと、 $OQ_1$  は  $E_t$  を生ずるに必要な界磁束を作るものであり、 $OP$  は此の電動機を規定速度で回轉するのに必要な有効電力を形成するものである。電動機が無負

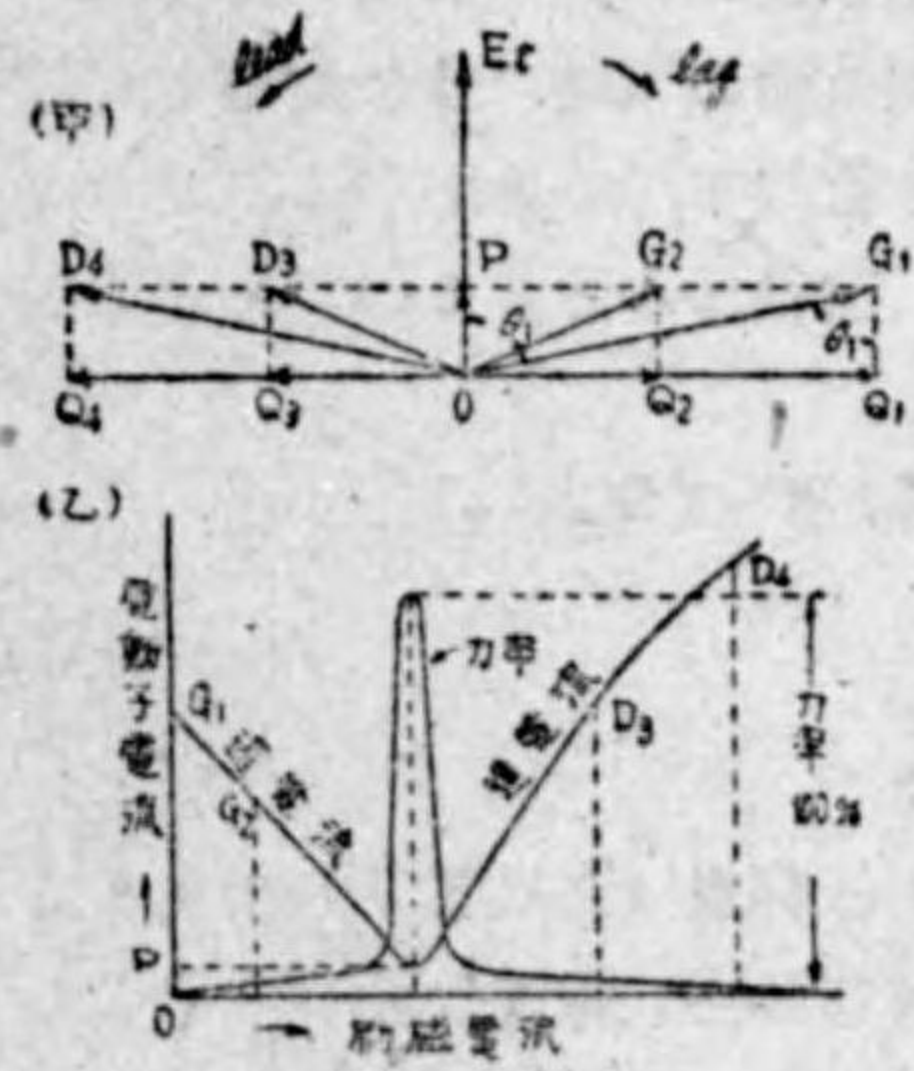


Fig. 236

荷運轉をするものとするれば  $OP$  は  $OQ_1$  に比して甚だ小さいから、此の場合の力率は  $\cos\theta_1 = OP/OQ_1$  は零、即ち  $OG_1$  は約  $E_t$  より  $90^\circ$  遅れると考へてよい。次に界磁電流を増加して行くと上述の如くに界磁束を作る  $OQ_1$  は  $OQ_2$  の如くに次第に減少し、従つて電動子への全流入電流も  $OG_2$  の如くに減少し、力率も次第に大となる。但し  $OP$  は速度及加電圧が一定であるから一定値を有する。

斯くして界磁束を全部界磁捲線より供給するに至ると、電動子電流は最小  $OP$  となり、勿論  $E_t$  と  $OP$  は同相であるから力率は 1 である。更に此の限界を越へて勵磁電流を流すと電動子流入電流の無効分は上述のやうに一定の逆起電力に對して餘分な界磁束を打ち消す進電流  $OQ_3$  の如くなり、電動子流入電流も、 $OD_3$  のやうにならう。斯くして勵磁電流を次第に増すと遂には流入電流  $OD_4$  が  $E_t$  より殆んど  $90^\circ$  進んだものとなる。

前にも云つたやうに、斯様に同期電動機では其の勵磁電流を調整することに依つて電動子への流入電流の大きさ及力率を隨意に調整し得るのであつて、Fig 236 の(乙)圖では此の關係を曲線で表はした(横軸勵磁電流、縦軸電動子電流及其の力率)圖よりも明かに電動子電流を示す曲線は V 字型をなすので之れを一般に同期電動機の V 曲線と云つて居る。又力率を示す曲線は力率 1 の前後で急激に低下して居る。

(註) ① V 曲線の上部、即ち勵磁電流を更に増加して電動子電流の軌跡を進めると V の上部兩端を連結するやうな一つのループ曲線となる。但し斯様な極限を求めやうとすれば特殊の實驗方法を用ひねばならない。

② 上記の V 曲線及力率曲線を同期進相機の位相特性曲線と云ひ、一定加電壓の下に進相機を規定速度で運轉して其の勵磁電流の變化に應ずる電動子電流の變化を曲線に表はしたものが V 曲線となり、力率の變化を表はしたものが力率曲線であつて V 曲線を求めて置くと進相機としての進相及遅相容量並に任意の容量に應ずる勵磁電流の大きさが解る。尙無負荷飽和曲線と短絡特性曲線より V 曲線を圖上で求める事も出来る。

上述の如くに同期電動機を線路と並列に入れて過勵磁をすれば線路に進電流を流して力率を改善し、不足勵磁であると遅電流を流してリアクターとして働く。同期電動機に機械的負荷をかけず此目的で線路に結んだものが同期進相機である。

斯くて之れが線路に供給する進相電流(換言すれば、之れが吸收する線路の遅電流)に依つて送電線の電壓調整及力率の改善が計られる。又長距離送電線が無負荷で充電すると発電機は其の充電電流で自己勵磁を起し、發生電壓が異狀上昇する。此の場合受電端に設置された進相機を不足勵磁すれば遅電流を供給して充電電流を打ち消し、異狀電壓上昇を防止することが出来る。従つて進相機は進相容量も大切なら遅相容量も大切である。

(註) 進相容量とは、進相機の電壓と進相機が供給し得る進電流の積、遅相容量とは電壓と進相機が供給し得る遅電流の積である。

上記からも明かなやうに、同期進相機は同期電動機の特長なる應用に過ぎない

から其の構造も之れと同様であつて、特に再述する必要はないので、茲では特異な点のみを述べる。即ち進相機として使用する場合には、通例機械的の負荷をかけたのであるから、電動機の場合に比して軸の大きさは小さくてよい。又速度に制限はないので、経済的設計とする爲に高速度 (600~1000 R.P.M) とせられることが多い。又制動捲線は必ず必要であつて、特に有効に乱調を防止するやうに設計されねばならない。尙容量が相當に大きいものには起動時に回転子を浮揚させて起動を容易とする爲に油壓ポンプを設置したり、或は機内に火災を生じたとき、直ちに之を消火するやうに線輪の外周端に消火栓を設けたりして居る。

次に勵磁方式であるが、進相機の主目的が受電端に於て、負荷の變動に應じて適當な進相電流を供給し送電線の電圧を一定に保つにあるのだから、自由に界磁電流を調整し得る装置としなければならない。一般には同期發電機の處で述べた自動電壓調整器に依ることが多い。此の勵磁機は進相機と直結し、容量が大きくなれば主勵磁機の外に之を勵磁する補助勵磁機と二段に備へることもある。此の方式は所謂速應勵磁方式に屬するもので、既に同期發電機の處で説明された。

尙、同期進相機では軸が外部に出ないから、之れに水素冷却方式が容易に適用される。即ち進相機を氣密に作った耐爆發性筒内に密封して、筒の内部に水素を充満させ、軸の一端に取付けられた送風機で水素循環させ、温められた水素は筒の兩端に設けられた水管式表面冷却器で冷却される。但しスリツプリングのみは別に區切つた一房に入れられ、刷子の調整、点檢に便して居る。

斯く水素冷却とし、防風雨型として屋外に設備すれば建物の費用が節約せられ尙風損の低下 (空氣の場合の 1 割以下) 熱の放散の良好 (傳導、對流共によい) 従つて同一容量のものでも水素冷却とする 25%~40% と出力を増加する。又、機械捲線間に起るコロナを防止して、壽命を長くし、騒音を低下する等の特長がある。但し kVA 當りの價格は多少増加するが適當に設計すれば結局は經濟的となる。

水素冷却のもので注意しなければならないことは、爆發の危險性であつて、空氣の分量が多くなると爆發の虞があるから、筒内の水素の壓力を大氣壓よりも大きくして空氣の混入を防ぎ、尙水素の分量が 98 % 以下に減少した場合には警報ベルの鳴るやうにして置く。

(127) 同期進相機の所要容量の計算

之れには基準となる二つの場合がある。即ち負荷の有効電力 (kW) が一定の場合、及び負荷の皮相電力 (kVA) が一定の場合である。夫々の場合に應ずる、要容量は、Fig 237 の (甲) 及 (乙) のベクトルから容易に求められる。

(甲) kW 一定;  $\overline{OW} = kW$  が一定の場合であつて、力率を  $\cos\theta_1$  より  $\cos\theta_2$  に改善するに要する進相機の容量は

$$C = PQ = \overline{OW} (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = kW (\tan\theta_1 - \tan\theta_2) \dots\dots\dots (121)$$

斯様な進相機を設置したことに依る kVA 容量の減少は

$$\overline{OP} - \overline{OQ} = kW (\sec\theta_1 - \sec\theta_2) \dots\dots\dots (122)$$

(乙) kVA 容量一定; 斯くするにはベクトル (乙) よりも明かに、前と同一力率  $\cos\theta_1$  の負荷を  $PP'$  だけ増加する。

増加し得る有効電力

$$\overline{PH} = \overline{W_2W_1} = kVA (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \dots\dots\dots (123)$$

増加し得る無効電力

$$\overline{P'H} = \overline{PH} \tan\theta_1 = kVA (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \tan\theta_1 \dots\dots\dots (124)$$

増加し得る kVA 電力 (力率は  $\cos\theta_1$  なり)

$$= \overline{P'H} \sec\theta_1 = kVA (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \sec\theta_1 \dots\dots\dots (125)$$

以上に應ずる進相機の所要容量 C は明かに  $P'Q$  に相應して

$$C = \overline{P'Q} = \overline{P'H} + \overline{P'Q} = kVA (\sin\theta_1 - \sin\theta_2) + kVA (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \tan\theta_1 = kVA \{ (\sin\theta_1 - \sin\theta_2) + (\cos\theta_2 - \cos\theta_1) \tan\theta_1 \} \dots\dots\dots (126)$$

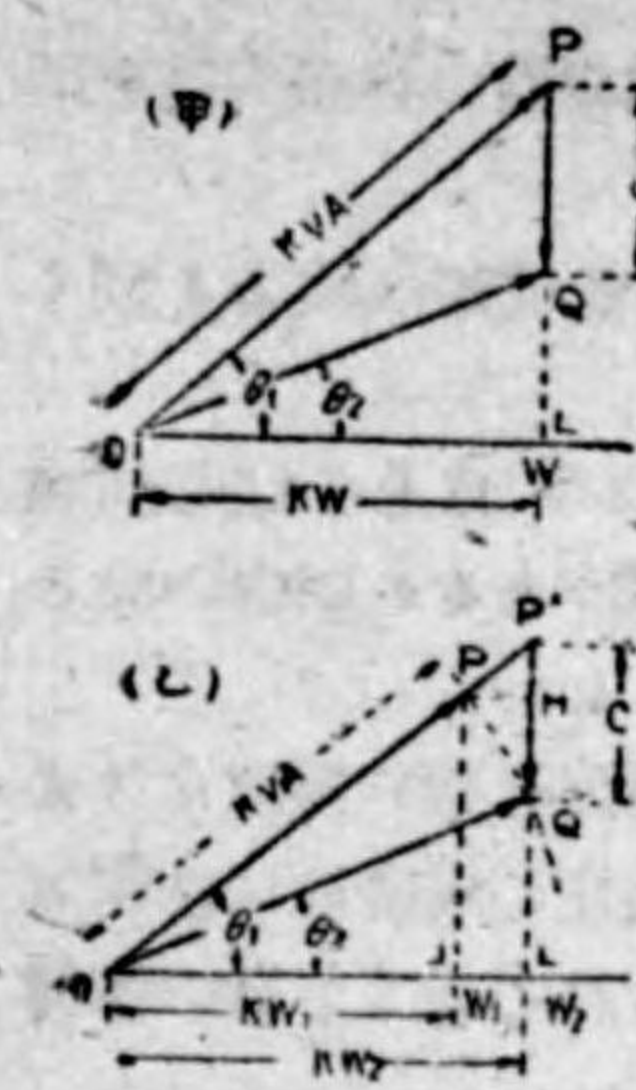


Fig 237

以上の實例其の他詳細は「高級電氣工學計算の基礎」P 74 以下及選試受験「テキスト」第二種用計算篇 P 50 以下に就て研究せられたい。

(128) 同期進相機の運轉法

同期進相機は即ち同期電動機であるから、其の運轉方法も同期電動機の場合と同様である。例へば起動法に於ても、制動捲線を利用して誘導電動機として起動する自己起動法と起動用電動機に依る起動法があつて、電動機の場合と同様である。従つて進相機の場合に於て特に注意しなければならない点のみを述べることにする。自己起動法は進相機の起動容量が送電系統の容量に比して餘り大でない場合に採用せられる。併而一般に起動容量は進相機定格電流の 30 % か 40 % であるから大抵の場合は自己起動法に依つても系統に悪影響は與へない。然も起動操作が簡單で、場所も取らず、設備費も安い。又大容量のものになると起動容量を少くする爲に構造の處で述べたやうに油壓軸承浮揚方式を採用する。之れは起動の始めに其の軸と軸承面との間に高壓油を押込んで回転子の重量を油壓で浮揚させてから起動開閉器を投するのであつて、斯くすれば起動時の摩擦抵抗を減じ起動電壓を少くし得て起動容量を軽減する。自己起動法に於ける運轉操作順序を示すと次の如くである。

- ① 軸承浮揚油壓ポンプを運轉する誘導電動機を起動する。
- ② 油壓が一定値となり、軸承の全面に油膜が擴がれば起動開閉器を投入し、

起動補償器(變壓器に依り全電壓の 30~50% の電壓を進相機に加へるもの)に依り進相機は誘導電動機として起動する。

- 進相機が加速して同期速度の 90 % 以上に達した時進相機の界磁回路を閉じて同期速度に引き入れる。
- 界磁電流が大抵一定となれば運轉開閉器を入れて起動補償器の回路を開く斯くして進相機は全電壓を受けて運轉状態に入る。

〔注〕 同期電動機の自己起動の場合と同様に界磁回路の電壓が 250 V 以上のときは界磁捲線数も多く、起動時に高い電壓が誘導せられ、捲線の絶縁を破る虞があるから抵抗で之れを短絡して置く。

次に起動用電動機に依る方法は、起動電流が大きく起動電流を特に制限する必要のある場合に採用せられ、起動用電動機としては手動式操作の場合には誘導電動機、自動式の場合には誘導同期電動機が主として採用せられてゐる。其の運轉順序は下記の如くである。

- ① 前と同様に油壓ポンプを起動して、油壓を軸承の全面に行き互らせる。
- ② 起動用電動機の回轉子に起動抵抗を入れ、電動機の起動用開閉器を投入し起動電流を制限しながら速度を上昇させる。

(誘導同期電動機の場合には同期速度の近くになつた時、起動抵抗を開いて勵磁を與へ同期電動機とする)

- ③ 誘導電動機の場合には回轉子を一時同期速度以上とし(誘導電動機の極数は進相機より一對少い)電動機を切り離して、速度を降下させ同期速度を通過するときに進相機を電源と同期に入れる。勿論此の場合勵磁を先に與へて置く。

誘導同期電動機では同期速度に達したなら進相機を勵磁し、先きと同様に同期檢定器に依つて電源と同期にして運轉開閉器を入れる。

〔注〕 進相機の自動操作 之れには全自動式と一部を手動操作とする半自動式がある。全自動式は受電端の電壓變動に依り自動的に進相機を起動又は停止し、電壓調整の必要な間だけ自動的に運轉するものである。我が國では半自動式が用ひられて居る。此の操作の要素を分つと、自動的に起動操作を行ふもの、負荷の調整を自動的に行ふもの、起動、運轉、停止操作に於ける故障を保護するものとなる。

自動起動操作は先きに述べた運轉順序を繼電器の働きで自動的に行ふのであるが、同期に引入れる即ち界磁に電流を送る時機を見出すのが其の眼目であつて、之れには遠心力開閉器を設け、豫定速度に達すれば働くもの、起動電流の減少を利用するもの、勵磁機の誘導電壓を利用するもの等がある。

自動負荷調整装置としては自動電壓調整器を用ふるものと自動力率調整器を用ふるものがある。

尚自動保護操作としては起動時間の長びくとき、受電電壓の不平衡及低丁の時、運轉中系統に短絡を生じた時、機械内部の故障(過熱、絶縁破壊)軸承の過熱、勵磁回路の故障等に

對して夫々繼電器を設けて適當に保護させる。

### (129) 同期進相機の仕様書

同じ同期進相機でも其の設置される系統の状態、使用目的等に依つて夫々具備すべき條件が異なるから、一律の仕様書で示すことは出来ない。之れは進相機に限つたことでなく、總ての機器の仕様書に適合することである。即ち吾々として成るべく簡單で廉價な能率のよい信頼度の高い機器を購入すればよいのであつて、之れが爲には餘りに事細いことを列挙してメーカーを縛るより、重要な点のみを押さへて細部はメーカーの自由手腕に委ねる方が利口である。其の重要な点であるが、總ての点でよい、即ち能率もよく、電壓變動率も小、絶縁耐力も大と云ふやうにあまりに嚴格なことを云ふと高價となり、機械が繊細となつて信頼度の点で劣ることがあるかも知れない。故に重要な点の中でも特に使用目的と使用場所に應じて最重要の点のみを嚴格に指定するがよい。此處等が實際エンヂニヤとしての手腕を見せる處である。

次に仕様書に記載せらるゝ一通りの様式を示し、後は諸氏の自由裁量に委す。

- ① 容量及型式 進相容量、遅相容量の兩者を指定する。
  - ② 極數、回轉數、電壓、周波數、溫度上昇、勵磁機電壓
  - ③ 起動方式 油壓ポンプの採否、起動法(起動用電動機の種類)起動電壓、起動 kVA、起動時間
  - ④ 界磁電流の調整法(自動電壓調整器、自動力率調整)
  - ⑤ 勵磁方式 副勵磁機及速應勵磁の採否(電壓上昇率等の指定)
  - ⑥ 冷却方式(方式並冷却風量等)
  - ⑦ 最小損失の保證(測定法を指定)及短絡比等
  - ⑧ 軸承の數、滑油法、油冷却法
  - ⑨ 豫備品及附屬品の種類並個數
  - ⑩ 荷造容積、荷造重量の制限
  - ⑪ 立會試験の條項
  - ⑫ 納期及受渡場所の指示
  - ⑬ 支拂方法
- 尙保護方式、見積書の提出期日、其の他購入手續に關する事項、納期遅延補償金等、上記で型式としては開放型と密閉型があり、1000 kVA 以下は前者であるが、騒音を益ふもの又は大容量のものは後者に依る。溫度上昇は寒暖計測定で 50°C、埋入寒暖計で 60°C、抵抗法で 80°C 位と指定する。尙 2000kVA 以上には油壓ポンプを用ひた方が利益である。

### (130) 非同期進相機 (Asynchronous Condenser) の原理と構成

前述の同期進相機にあつては回轉子は回轉磁界と同期速度で回轉したが、非同期進相機では回轉子速度は同期速度でない。故に非同期と云はれるのである。本機は誘導電動機の二次側より電壓を加へ一次固定子側に流入する電流を進相電流とするものである。

誘導電動機の處で述べたやうに、回轉子が如何なる速度、即ち如何なる滑りで回轉して居つても之れに誘導せらる電流に依る回轉磁界は固定子に對しては其の回轉磁界と同期的に回轉して居る。即ち今、回轉子の滑りを  $S$ 、其の周波數を  $f_n$ 、固定子電流の周波數を  $f_1$  とせば

$$f_2 = S f_1 = \left( \frac{n_s - n}{n_s} \right) f_1 = \left( 1 - \frac{n}{n_s} \right) f_1 = f_1 - \frac{n}{f_1 P} f_1 = f_1 - P n$$

であつて、此の  $f_2$  は、 $n$  回轉しつゝある回轉子對する回轉子電流の周波數であつて、靜止して居る固定子對する周波數は此の  $f_1$  に回轉子速度に相應する周波數  $Pn$  を加へた

$$f_2 + Pn = f_1 - Pn + Pn = f_1$$

であつて、上述の如くに固定子と同一の周波數である。従つて、誘導電動機の二次側から周波數  $f_2$  の交流電壓を加へてやると、之れに依つて二次側から勵磁をすることが出来る。さすれば固定子への一定加電壓に對して之れと釣合ふ逆起電力は一定即ち回轉界磁束は一定値なるを要するから、二次側から加へて呉れた界磁束だけ一次側は減じてよい、即ち固定子への一次電流は減じてよいことになる。斯くて二次側より加へる電壓を次第に増加して益々二次より多くの回轉界磁束を與へてやると一次側流入電流は次第に減じ、遂には二次側より全部供給するに至る。

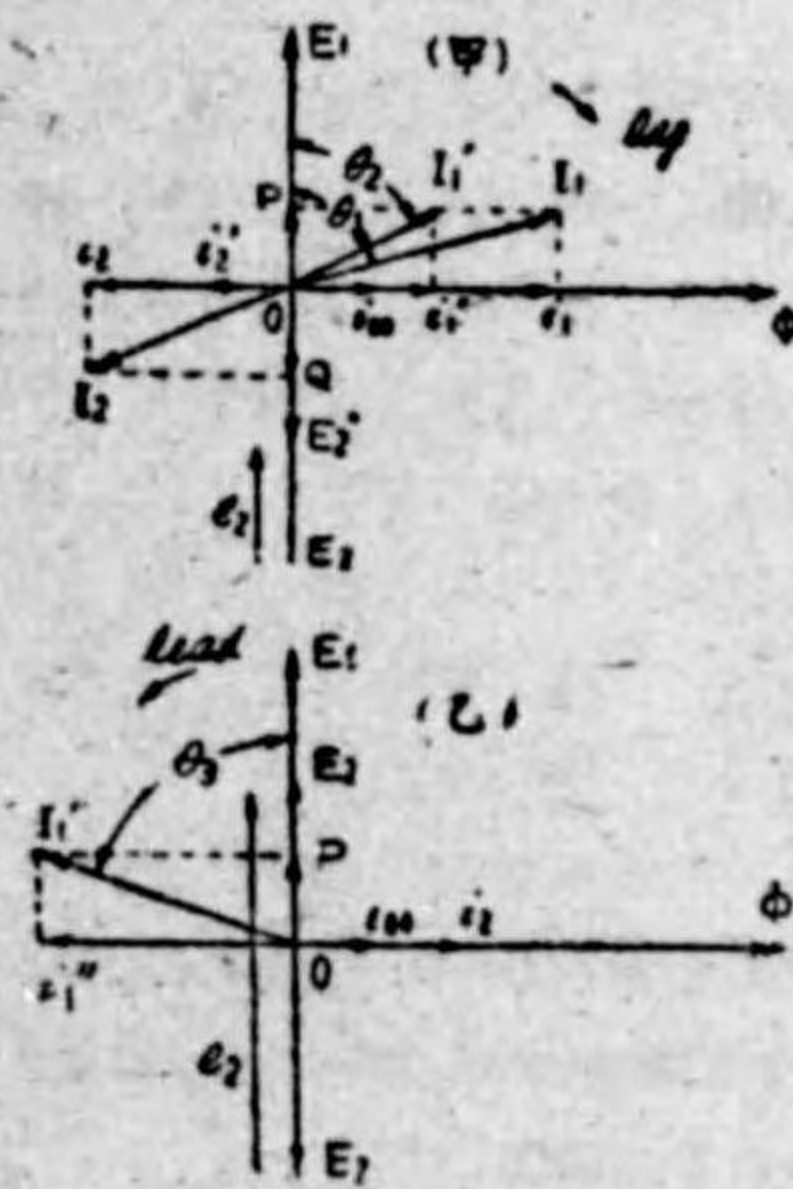


Fig 238

此の間の状況を Fig 238 のベクトル圖で考察して見やう。今回轉界磁束を  $\phi$  とし、之れに依る二次電壓を  $E_2$ 、一次供給電壓を  $E_1$  とすれば（機内のインピーダンスは無視する） $E_2$  に依つて二次回路に流れる電流は  $I_2$  である。之れを  $E_2$  と同相の  $OQ$  と  $90^\circ$  の相差ある  $i_2$  に分解すると  $(E_2 \times OQ)$  は此の電動機を回轉するに要する機械力に相當する。扱之れに對しては一次側に流入する電流は  $OQ$  を打ち消す  $OP$  と  $i_2$  を打ち消し、尙  $\phi$  と略同相の勵磁電流  $i_{00}$  を含む  $i_1$  とのベクトル和  $I_1$  となり電壓  $E_1$  より  $\theta_1$  だけ遅れて居る。此の状態では、一次に  $I_1$  が流入して  $OP$  と  $OQ$ 、 $i_2$  と  $i_1$  の一部が打ち消し合つて  $i_{00}$  のみが残る、供給電壓  $E_1$  と平衡する電壓を生じて居る。然るに外部から周波數  $f_2$  の電壓  $e_2$  を  $E_2$  と反對方向に加へると二次電壓は  $E_2'$  となり、誘導電動機の機械力を一定とすると、 $OQ$  は其の儘で  $i_2$  のみが  $i_2'$  のやうに減少する。従つて之れに對應する一次電流は  $i_1'$  となり全一次流入電流は  $I_1'$  となつて  $I_1$  よりも小で、電壓よりの遅れの角も  $\theta_2$  となり力率がよくなる。更に  $e_2$  の値を大として（乙）圖の如くにすれば二次電壓は反對方向で、之れに依る二次電流の無効分も  $i_2''$  の如くなり、従つて之れを打ち消す一次電流は  $E_1$  よりも進み、夫れより勵磁電流  $i_{00}$  を引いても尙  $i_1''$  の如くに  $E_1$  より進め得る。従つて此の場合の一次全流入電流は  $I_1''$  の如くなり進み電流である。斯くて固定子一次側に流れる電流は進電流となつて系統に進電流を流し其の力率を改善することが出来る。

扱上記のベクトルと同期進相機の場合のベクトル Fig 236 を比較して見ると、

全く同様であることが解る。従つて  $V$  曲線も力率曲線も同期進相機の場合と同様になるから重ねて説明しない。

之れに依つて見れば同期進相機と云ふも非同期進相機と云ふも根本原理は全く同一で、唯同期の方は同期速度であるから回轉界磁の勵磁は直流であるが、非同期は非同期速度であるから交流で勵磁する所が違つて居るのみである。然し之れとて一般に滑りが  $0.1 \sim 0.3\%$  の附近で運轉するから一次周波數  $f_1$  が 50 サイクルなら二次周波數  $f_2$  は  $0.05 \sim 0.15$  サイクルで殆んど直流と見てよいから兩者の原理は全く同一だと理論的にも實際的にも云へる。

但し、其の他の性能は相違して來る。例へば、同期進相機では勵磁電流を餘りに小とすると、遅れ電流に依る増磁作用はあるが、僅かの機械力の變動でも同期から脱出するので、餘り大きな遅相電流は取れない。即ち遅相容量に制限があるが非同期進相機では二次よりの勵磁電流  $i_2$  は回轉力に無關係であるから、 $e_2$  を  $E_2$  と同方向とすれば幾らでも  $i_2$  を安全に増し得るので遅相容量は大きい。

(131) 非同期進相機の二つの型

同じ非同期にも非同期速度で一定速度のもの、非同期速度で然も可變速度のものがある。非同期進相機にも此の二つの型がある。併而其の組合せは誘導電動機の二次側に常に  $f_2$  に相當する周波數を供給し得ると云ふことが要点であつて種々なる種類があるが、茲では其の代表的のものに就て大要を説明する。

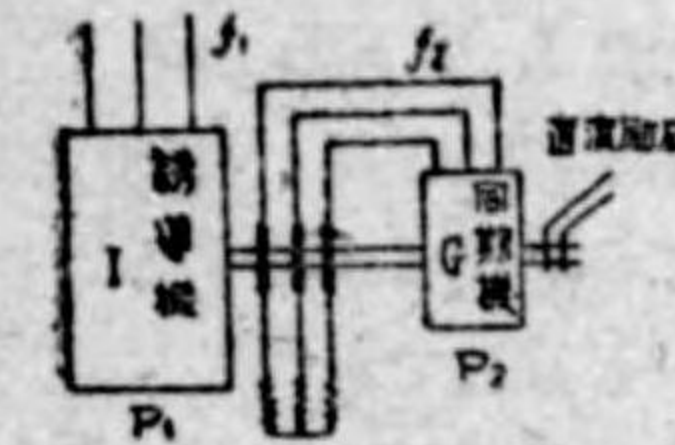


Fig 239

定速度非同期進相機は進相機として用ひられず、周波數變換機として實用されて居るから、此處に述べることは必ずしも當を得てゐないが説明の順序として記す。其の構成は Fig 239 の如くに誘導電動機 I と回轉界磁型同期發電機 G を直結して、誘導機の滑動環と同期機の固定子を接続する。今 I の極數を  $P_1$ 、周波數を  $f_1$ 、G の極數を  $P_2$ 、周波數を  $f_2$ 、回轉子の速度を  $n$  とすれば I の同期速度  $N_s = 120 f_1 / P_1$  で、又 I の回轉子が回轉磁界と同方向に回轉し  $n < N_s$  とすれば

$$f_2 = S f_1 = \left( \frac{N_s - n}{N_s} \right) f_1 = f_1 - \frac{P_1 n}{120} \quad \text{又 G の周波數 } f_2' = \frac{P_2 n}{120}$$

$$\text{然るに必然的に } f_2 = f_2' \quad \therefore n = \frac{120 f_1}{P_1 + P_2} \dots\dots\dots (127)$$

即ち此の一定速度  $n$  で回轉するから、G の直流勵磁を増して I の二次に加へる電壓を加減すると I の一次電流は進相ともなる。

元來、同期進相機の取扱ひ難い点は一定速度と云ふことにあつた。然るに此の非同期進相機は一定速度で然も組合せが複雑となるのだから進相機として用ひられざる道理はない。

但し、G の端子より  $f_2$  の周波数が得られ

$$f_2 = \frac{P_2 n}{120} = f_1 \times \frac{P_2}{P_1 + P_2} \quad \frac{f_2}{f_1} = \frac{P_2}{P_1 + P_2} \dots\dots\dots (128)$$

として周波数変換機となる。

次に可変速度非同期進相機であるが、非同期進相機と云へば此のものであると心得てよい。假其の組合せは誘導電動機が如何なる回轉數で回轉して居つても、其の二次周波數  $f_2 = S f_1$  に等しい周波數を有する二次電壓を自動的に供給するにある。其の最も簡単な一例は既に示した Fig 225 の同期、誘導型周波數變換機同期機を取り除いたやうな構成である。

其處で説明したやうに誘導機と交流勵磁機の極數を等しくする ( $P_1 = P_2$ ) とすれば如何なる回轉數に於ても交流勵磁機の整流子側の發生電壓の周波數は誘導電動機の回轉子周波數に等しく、之より二次勵磁の目的が達せられる。

併而、制御變壓器を調整して整流子側従つて誘導電動機の二次側に流す勵磁電流を加減し、誘導電動機を進相機として使用することが出来る。尙整流子上の刷子の位置を移動させると二次に加へる勵磁電壓の位相が異り、誘導電動機の二次發生電壓と同相のものは上記の如くに勵磁作用をなし、之れと  $90^\circ$  の相違のあるものは機械力を加減して速度の調整作用を行ふ。

然し誘導電動機の容量が大きくなると、二次電流の値が相當大きくなり、上記の整流子周波數變換機 (交流勵磁機) のみでは二次勵磁電流を送ることが困難となり、其の間に増幅機のようなものを挿入しなければならない。其の代表的一例を圖示したのが、Fig 240 であつて、進相機となる誘導電動機 I、交流勵磁機 X 整流子發電機 G を直結し、是等と電壓調整用變壓器 T、加減抵抗器 R、起動用抵抗器  $R_s$  を圖の如くに接続する。此の場合 G が上述した増幅機に相當することとなり其の構造及原理は多相整流子電動機と同様であるから重ねて説明しない

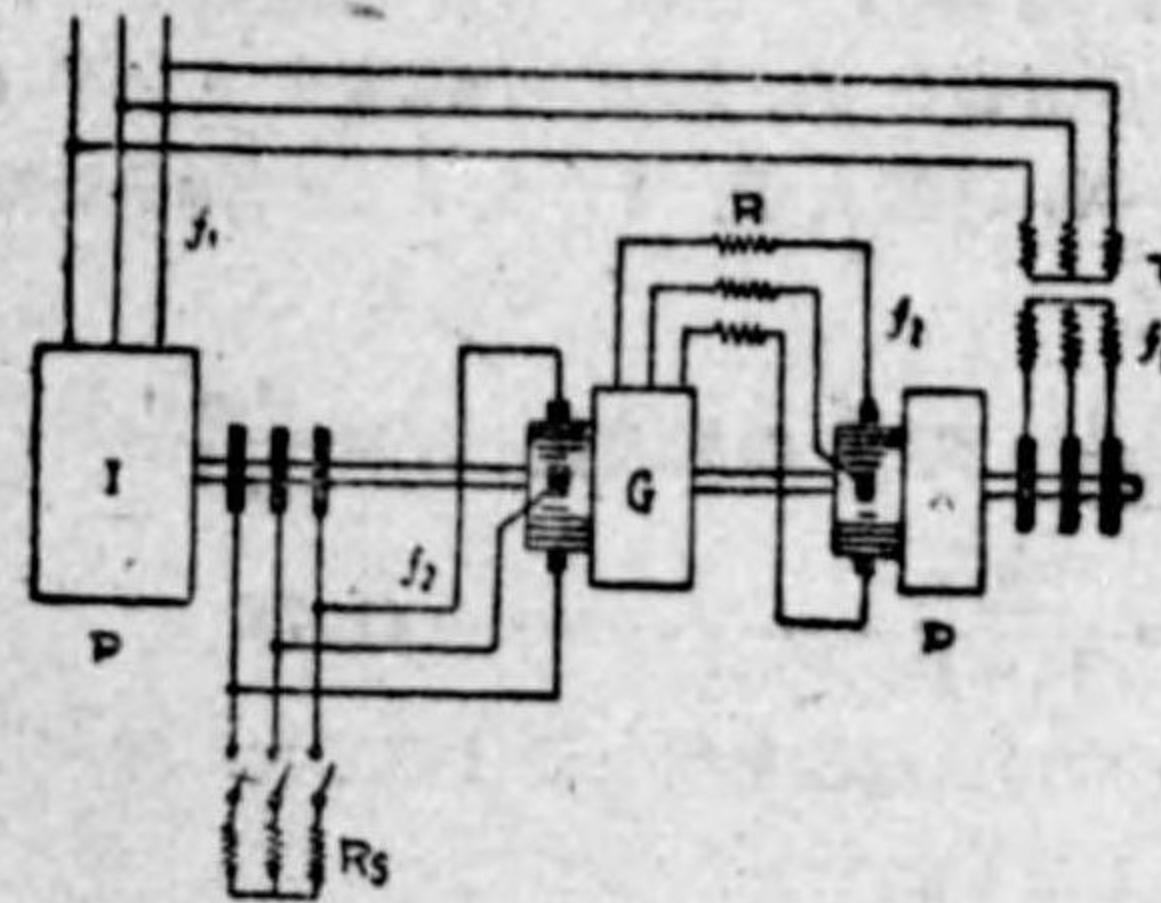


Fig 240

此の構成で機械を運轉すれば、I と X が同一極數である限り、I の二次側の周波數と X の整流子側の周波數は如何なる回轉數に於ても相等しい。又 G の整流子側の周波數も其の極數に拘らず之れと等しく、G の整流子側より I の二次回路を勵磁することが出来る。即ち G の極數は構造上、適當なる數値に設定せられ、X の發生した周波數並位相と一致し擴大された電流を I の二次に供給する。従つて X の容量は G の勵磁電流のみを發生すればよいから、小型

のものとなる。I の二次側に加へる二次勵磁を調整するには R の値又は T の端子を加減する。即ち R を減少するか、T を高い電壓のタップとすれば X の電流を増し、I の二次電流が増加して進相電流を増す。T 又は R の接続を變へて G の勵磁電流の方向を逆とすると、G の發生電壓の位相も  $180^\circ$  の相違を生じ、I の二次回路に流れる電流は遅相電流となる。

(132) 非同期進相機の運轉法

運轉中に於ける進相電流の調整其の他に就ては既に前述したから、此處では簡単に起動方法に就て述べる。

非同期進相機を起動するには、回轉子二次に起動抵抗を挿入して普通の誘導電動機として起動するのが最も簡單である。此の際、餘りに大きな起動電流を取ることが好しくないから、起動用補償器で供給電壓を低下して起動する。供給電壓を m 分の 1 とすると、電流は約 m 分の 1 となるから、所要無効電力は  $m^2$  分の 1 とならう。

〔註〕 本機にあつては二次勵磁電流をなるべく小さくして整流を容易とする爲に二次回路の捲回数大きく設計して居る。従つて一次に規定電壓を加へると二次誘起電力が大きく、絶縁に脅威を與へるから此の点より云つても起動時の一次供給電壓は低下してやらねばならない。二次捲回数の大きいことを利用して、起動の際には電源電壓を二次回轉子に供給し、一次捲線に起動抵抗を挿入して起動するものもある。此の場合には起動用補償器を必要としない。

進相機の容量が大となり、二次勵磁電流を小とする爲に、二次捲回数を著しく大としたものでは、起動補償器のみでは充分に二次發生電壓を減少し得ない。此の場合には別に起動用小型電動機を採用することがある。

(133) 同期進相機と非同期進相機の比較

兩進相機は前述した如くに原理は全く同様であるが、唯二点に於て根本的に相違する。即ち二次勵磁電流が一方は直流であるのに他方は交流であり、一方が定速度であるのに一方は不定速度である。

交流で勵磁をすれば、其の有効分は回轉力に關係し、無効分は勵磁作用に關係するので兩者を全く別々に取扱ふことが出来る。従つて如何なる勵磁状態即ち進相遅相の程度に於ても回轉力を任意に調節し得る。

然るに直流勵磁では電流は一つのものであるから、之れが勵磁作用を行ひ、同時に回轉力を構成するのであるから、直流勵磁の少い即ち遅相状態では發生回轉力が弱く、頗る不安定である。然も一方は任意の回轉數に於て回轉力を發生し得るが、一方は同期速度に於てのみ回轉力を生ずるのである。

以上に依つて、兩進相機の性質には種々と相違点を生ずる。之れを次表に一括して表示して置こう。

比較項目		同 期 進 相 機	非 同 期 進 相 機
進相進相容量		進相電流量が小 (逆二次勵磁を行ひ得ない) 進相容量は進相容量の50~60% に制限される	進相容量が進相容量より大 (逆二次勵磁が行へる)
構 造		回轉子の構造が簡單で堅固 二次勵磁は直流發電機だけで簡 單である	回轉子は多相捲線で餘り堅固で ない 二次勵磁には交流勵磁機の類を 要し複雑である
運 轉	起 動	自己起動回轉力が小、起動に時 間を要し電流が大きい 起動容量は定格容量の25~30%	自己起動回轉力が大、起動電流 小さく容易に短時間に行へる 起動容量は定格容量15~20%
	運 轉	同期速度でのみ運轉、脱調の虞 あり、但し運轉操作は簡單  起動並運轉の安定を計る爲に 8 極或は 10 極とし低速度に作ら れる	任意の回轉數で運轉される、脱 調の虞はない、但し運轉操作 は複雑  起動並運轉が安定であるから二 極或は四極とし高速度に作られ る
其 の 他		短絡電流は定格電流の10~15倍 相當時間繼續する  損失が少い  価格は多少安い	短絡電流は定格電流の 6~8 倍 直ちに消滅する  損失が大きい(附屬機の損失累 加及空隙の小さいことに依る通 風状態の不良)  多少高價(附屬機と通風状態の 不良の爲型が大きくなる)

### 第十一章 特殊機器

本章で取り扱ふ特殊機器とは、極めて特殊な用途を有する機器であつて、其等を一々詳述することは到底紙數の許す處でなく、又差し當つて其の必要もないから、以下概念的説明に止め、後巻に於て講義の進行上必要なれば其の都度説明を加へる。

#### (134) 特殊直流機

##### (A) 單極發電機

一般の直流發電機は N, S と異極が交互に配置せられた中を回轉するので、發電機線輪に誘導せらるゝ電壓は交流であり、之れを直流に變成する爲に整流子が必要とした。然るに本發電機は磁界の方向が同一方向で、此の中を一定方向に導

体が回轉するので導体に誘導せらるゝ電壓は直流であり、之れを刷子に依つて其の儘外部に取り出して直流として使用し得る。即ち面倒な整流子のないことが特長であるが、構造上高い電壓が得られないので殆んど實用とされてゐない。

##### (B) 三線式發電機

直流三線式配電を行ひ得るやうに發電機内より中性点を適當に引出したもので其の特長とする處は中性線兩側の負荷に不平衡を生じても發生電壓が兩側の電壓を均一とする働きをなすにある。

尤も發電機からは二線を引き出し、此の線間に二台の分捲直流機或は複捲直流機を直結して直列に結び、兩機の結合点から中性線を引出したのものもある。併而各機の分捲界磁を夫々反對側で勵磁する。此の装置を均壓機と云ひ、兩側の負荷が平衡して居る時は二極共に電動機として回轉するが、何れかの側が過負荷すると其の側は發電機となり、他側は電動機となつて之れを回轉するので、負荷の不平衡に依る兩側電壓の不平衡が緩和せられる。

##### (C) 定電壓(定電流)發電機(銻接用發電機)

其の代表的のものがローゼンベルヒ發電機(Rosenberg's dynamo)であつて、之れは可變速度に於て定電壓なり定電流が得られるものである。例へば本機を電車の車軸に依つて運轉し列車電燈等を点するに、電車の速度に拘らず定電壓を發生して電燈に明暗を與へない。其の原理は發電機反作用を巧みに利用したものであつて、Fig 241 の如き構造である。圖は定電流銻接用のものを示す。構造上特異な点は圖に示す如く

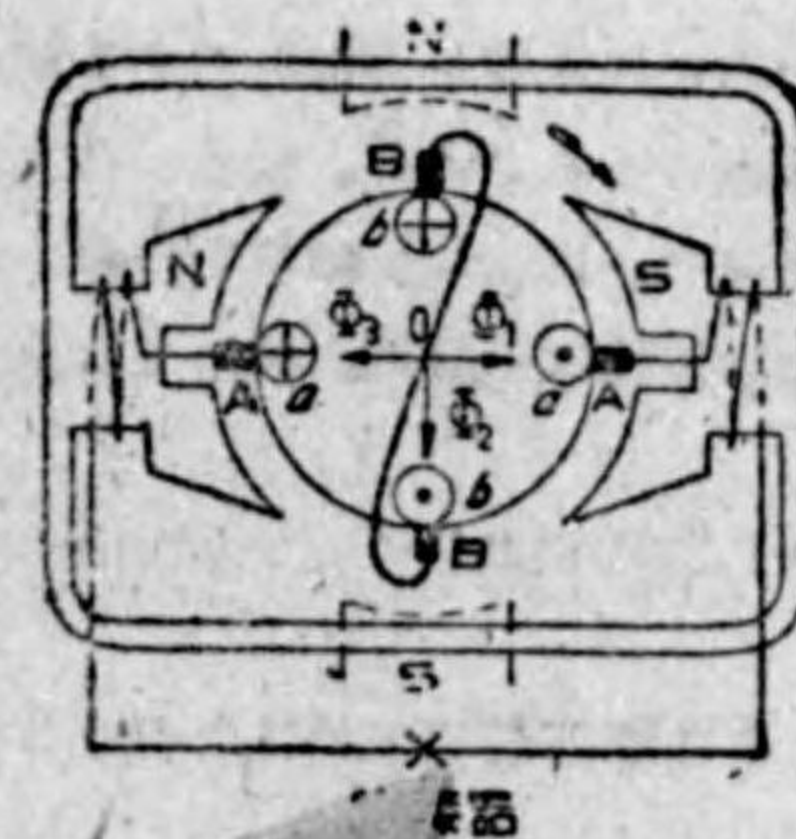


Fig 241

① 刷子を AA 及 BB と二組設置し、普通の發電機の刷子に相當する BB は之を短絡して、磁極の中心にある AA 刷子を以て界磁捲線並に負荷に電流を送る。

② 磁極片は特に廣く作られ、其の中央部の刷子 AA を設くる處は凹みがつけられて居る。

③ 磁極の頸部及繼鐵の部分は特に細く工作せらるる。

次に其の原理を説明しやう。

今發電子を矢の如く時計式に廻轉すれば、

導体には仮に代表的の aa 導体に就て示した如き方向の起電力が、磁極 NS の残留磁氣  $\phi$  (又負荷電流が流るれば、之れが界磁線輪に流れて生ずる磁束) に依つて生ずる(フレミング右手の法則) 併而、BB 刷子が短絡せらるゝ故、此の起電力に依つて刷子 BB を通じて流るゝ短絡電流は起電力と同一の方向(左 a 導体 ⊕ 右 a 導体 ⊙) にあり、此の電流に起因する磁界は普通發電機の反作用磁

比較項目	同期進相機	非同期進相機
進相遅相容量	遅相電流容量が小 (逆二次勵磁を行ひ得ない) 遅相容量は進相容量の50~60% に制限される	遅相容量が進相容量より大 (逆二次勵磁が行へる)
構造	回轉子の構造が簡單で堅固 二次勵磁は直流發電機だけで簡單である	回轉子は多相捲線で餘り堅固でない 二次勵磁には交流勵磁機の類を要し複雑である
運轉	<p>起 動</p> <p>運 轉</p> <p>轉</p>	<p>起 動</p> <p>運 轉</p> <p>轉</p>
其 他	<p>短絡電流は定格電流の10~15倍 相當時間繼續する</p> <p>損失が少い</p> <p>価格は多少安い</p>	<p>短絡電流は定格電流の6~8倍 直ちに消滅する</p> <p>損失が大い(附屬機の損失累加及空疎の小さいことに依る通風状態の不良)</p> <p>多少高價(附屬機と通風状態の不良の爲型が大きくなる)</p>

### 第十一章 特殊機器

本章で取り扱ふ特殊機器とは、極めて特殊な用途を有する機器であつて、其等を一々詳述することは到底紙數の許す處でなく、又差し當つて其の必要もないから、以下概念的説明に止め、後巻に於て講義の進行上必要なれば其の都度説明を加へる。

#### (134) 特殊直流機

##### (A) 單極發電機

一般の直流發電機は N, S と異極が交互に配置せられた中を回轉するので、發電機線輪に誘導せらるゝ電壓は交流であり、之れを直流に變成する爲に整流子を必要とした。然るに本發電機は磁界の方向が同一方向で、此の中を一定方向に導

体が回轉するので導体に誘導せらるゝ電壓は直流であり、之れを刷子に依つて其の儘外部に取り出して直流として使用し得る。即ち面倒な整流子のないことが特長であるが、構造上高い電壓が得られないので殆んど實用とされてゐない。

##### (B) 三線式發電機

直流三線式配電を行ひ得るやうに發電機内より中性点を適當に引出したもので其の特長とする處は中性線兩側の負荷に不平衡を生じても發生電壓が兩側の電壓を均一とする働きをなすにある。

尤も發電機からは二線を引き出し、此の線間に二台の分捲直流機或は複捲直流機を直結して直列に結び、兩機の結合点から中性線を引出したのものもある。併而各機の分捲界磁を夫々反對側で勵磁する。此の装置を均壓機と云ひ、兩側の負荷が平衡して居る時は二極共に電動機として回轉するが、何れかの側が過負荷すると其の側は發電機となり、他側は電動機となつて之れを回轉するので、負荷の不平衡に依る兩側電壓の不平衡が緩和せられる。

##### (C) 定電壓(定電流)發電機(銻接用發電機)

其の代表的のものがローゼンベルヒ發電機 (Rosenberg's dynamo) であつて、之れは可變速度に於て定電壓なり定電流が得られるものである。例へば本機を電車の車軸に依つて運轉し列車電燈等を点するに、電車の速度に拘らず定電壓を發生して電燈に明暗を與へない。其の原理は發電機反作用を巧みに利用したものであつて、Fig 241 の如き構造である。圖は定電流銻接用のものを示す。構造上特異な点は圖に示す如く

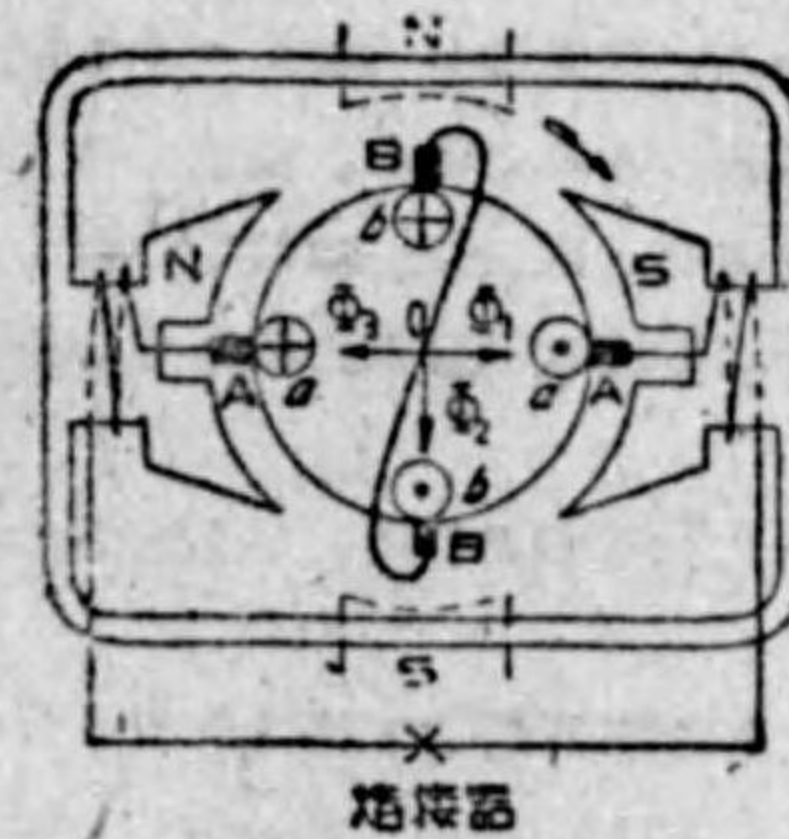


Fig 241

① 刷子を AA 及 BB と二組設置し、普通の發電機の刷子に相當する BB は之を短絡して、磁極の中心にある AA 刷子を以て界磁捲線並に負荷に電流を送る。

② 磁極片は特に廣く作られ、其の中央部の刷子 AA を設くる處は凹みがつけられて居る。

③ 磁極の頸部及繼鐵の部分は特に細く工作せらるる。

次に其の原理を説明しやう。

今發電子を矢の如く時計式に迴轉すれば、導体には假に代表的の aa 導体に就て示した如き方向の起電力が、磁極 NS の残留磁氣  $\phi$  (又負荷電流が流るれば、之れが界磁線輪に流れて生ずる磁束) に依つて生ずる (フレミング右手の法則) 併而、BB 刷子が短絡せらるゝ故、此の起電力に依つて刷子 BB を通じて流るゝ短絡電流は起電力と同一の方向 (左 a 導体 ⊕ 右 a 導体 ⊙) にあり、此の電流に起因する磁界は普通發電機の反作用磁



界と同様に  $\phi_2$  の ( $\phi_1$  より  $90^\circ$  lead した) 方向にある。此の  $\phi_2$  は仮にもう一組の磁極が点線で示した如く上下にあるのと同様にて、之れを切つて生ずる發電子導体の起電力の方向は、仮に代表的の bb 導体に就てフレミングの法則より求むると、上の b 導体は  $\oplus$ 、下の b 導体は  $\ominus$  であり、此の起電力に依つて、AA 刷子より外部に負荷電流並に界磁電流を供給するのである (此の際、實在の磁極 NS 及刷子 BB はなきものと考ふる) 併而外部負荷電流の方向は bb 導体の起電力と同一方向にあり、之れに依つて生ずる反作用磁界は此の場合主磁界に相當する  $\phi_2$  より  $90^\circ$  lead した  $\phi_3$  である。此の  $\phi_3$  は眞の主磁界  $\phi_1$  と  $180^\circ$  の相差、即ち之れを打ち消す方向にあり、之れが本發電機の重要な特性である

茲に主磁極回路は細く、飽和し易く、 $\phi_2$  及  $\phi_3$  は極片が大きく作られ、不飽和の状態にあるので變動する負荷電流に於て  $\phi_1$  には著しい變動がなく、 $\phi_2$  が變動する。又 BB 間の電圧は  $\phi_1 - \phi_2$  に比例するから負荷電流が大 ( $\phi_3$  が大) となる程其の値は小さく ( $\phi_2$  も小) で負荷への供給電圧 AA 刷子間の電圧も降下する又外部で短絡しても  $\phi_1 - \phi_2 = 0$  となれば電圧が零となるから  $\phi_2 = \phi_1$  に相當する以上の短絡電流を流し得ない。發電子速度が増加しても同様である。

主磁極の凹みは、刷子 AA が主磁界に依り起電力を生じて居る捲線を短絡する故、極片の中心を切り取つて、刷子部分の磁束密度を減じ整流作用を容易ならしめて居るのである。

之を要するにローゼンベルト直捲發電機は、普通の發電機に於ては抑制すべき發電子反作用を擴大し利用して、負荷電流の増加に應じて電圧が降下する如くされたものである。

〔註〕 直流電弧銲接用の電源としては、銲接作業者が一人で發電機一台を専用する單式機と一組の電動發電機から數人の作業者が同時に引用する複式のものがある。後者には誘導電動機に (連続定格三相開放型、100 馬力以下は全電壓起動籠型、以上は捲線型を一般に用ふる) 直結された直流自動平捲 (並流補極附) を用ひ、銲接電流は調整抵抗器にて調整せらる。主として大容量のものに適當とする。

前者の單式機は普通 10 kW 以下で上記のローゼンベルト發電機の他に、他勵磁差働複捲發電機及第三刷子式發電機がある。

銲接用電源として必要な事は、電流の増加と共に電圧の下る事所謂垂下特性を有し、短絡電流が制限せられ、点火が容易で弧光が安定し、能率高く、電力が經濟、整流作用が完全に構造堅牢、取扱平易と感を云へば限りがないが、先づは前二者が主要な件であらう。

尙 NS を別個に勵磁すれば、回轉數の變動に拘らず大体一定の電圧が AA 刷子間に得られる。其の理由は上記の説明より推察せられるから御一考に委することとする。

(D) 加減壓機 (Booster)

之れは回路の負荷状態に應じて回路電圧を調整する直流發電機であつて、Fig

242 は其の二種を示す。(甲)は直列加減壓機であつて、線路と並列に接続せられ

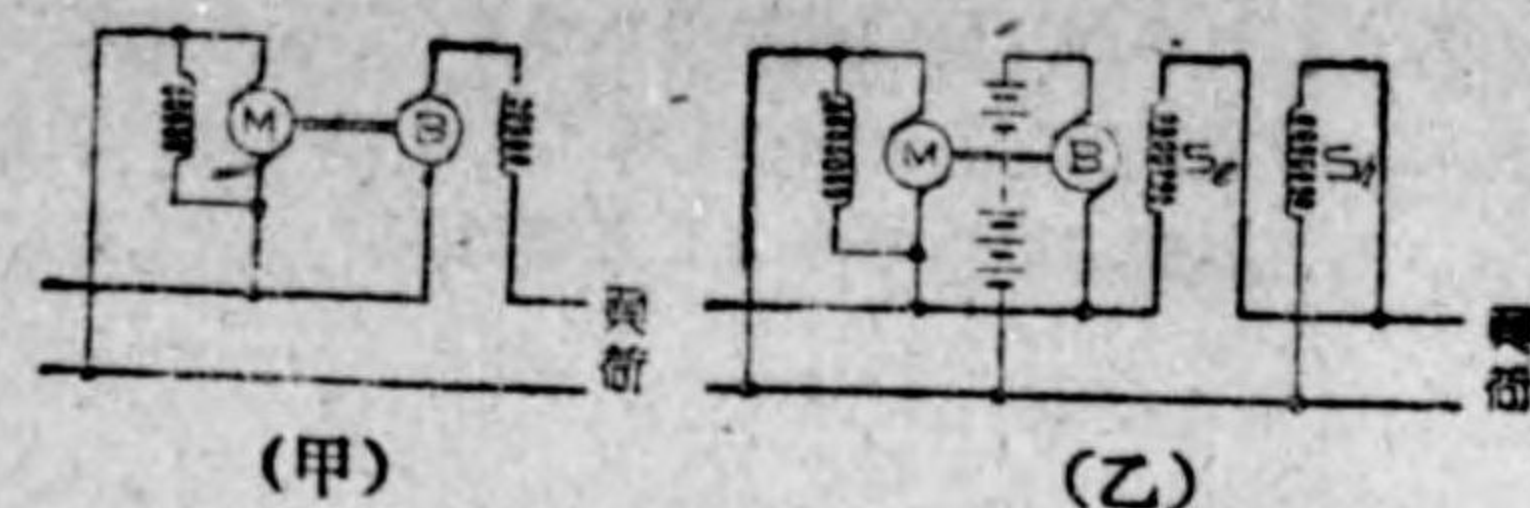


Fig 242

る電動機 M に依り運轉せられる直捲發電機 B がある (其の電圧は低いが電流は線路電流に相當する) 無負荷では M に依つて運轉せらるゝだけで電圧を發

生しない。負荷電流が流れると直捲界磁を勵磁して電圧を發生し、其の値は負荷に比例するので、負荷電流に依る線路電壓降下を補償して負荷の端子電圧が一定に保持される。本機を電氣鐵道の負極饋電線に装置した時、特に負極昇壓機と稱する。

(乙)は複捲加減壓機であつて、B の直捲界磁  $S_0$  と分捲界磁  $S_h$  は反對に磁束を作る。負荷が増加すると  $S_0$  が大となり、B の發生電圧は蓄電池電壓と加つて電池を放電し、負荷が平均負荷以下となると  $S_h$  が大となつての B 發生電圧は線路電圧に加はり蓄電池を充電する。本機は又可逆差働加減壓機とも云はれる

(乙)に於て  $S_0$  のない、即ち分捲界磁のみを有するものを並列加減壓機と稱し、線路電圧の上下で蓄電池を充放電し、電源の負荷を軽くして線路電圧を調整する。

(135) 特殊同期機

(A) 高周波發電機

無線用として使用する交流の如く高い周波數を要するものを發生するには磁極數か回轉數を多くしなければならない。普通の交流發電機で之れを行はんとすれば構造が困難となる。従つて特殊の構造のものとしたのが此の高周波發電機である。



Fig 243

其の一例としてアレキサンダーソン (Alexanderson) 型の發電機を圖示すれば、Fig 243 の如くである。即ち固定子に界磁捲線及發電子線輪を施し、發電子線輪間に周邊の一定間隔毎に溝 (非磁性体) を設けた誘導子を回轉せしめる。斯くすると發電子線輪に通る磁力線は誘導子の齒が來た時と溝が來た時で相違し、高周波の交流が誘導せられる。

(B) 反動電動機

小出力の電動機で同期速度を必要とする負荷を運轉するのに用ひられるもので例へばオツシログラフの鏡を回轉する誘導機の滑計用、水車發電機の自動同期化装置用等に採用される。

其の原理は同期進相機の處で述べたやうに、突出磁極型の同期電動機は磁極の直流勵磁を止めても同期的に回轉した。夫れは流入する遅相電流に依つて磁極が勵磁される爲であつた。此の状態としたのが反動電動機であつて、磁極は突出でなくてはならない。圓筒型磁極では磁氣抵抗が各方向に一樣であるから遅相電流に依つて明瞭な磁極が生じない。本電動機は單相であつて單相同期電動機と云はれることもある。

(136) 特殊變壓器

(A) 單捲變壓器 (Auto transformer)

一般の變壓器は一次線輪と二次線輪が別々にあるが、次れを一個の線輪として共用しても、一次と二次の電壓比を夫々の捲線數比とすることが出来る。斯様に

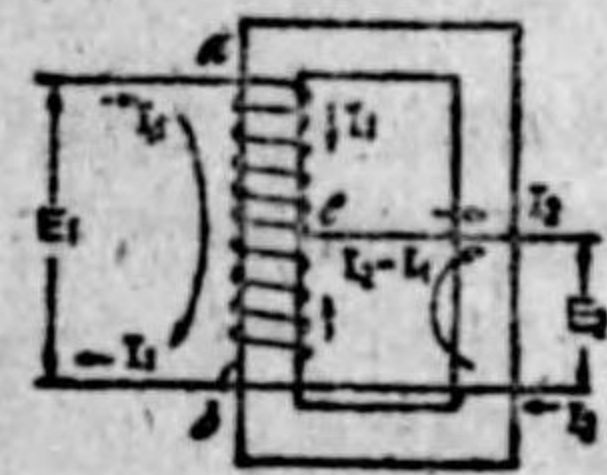


Fig 244

したものが單捲變壓器であつて、Fig 244 に其の原理を示す。即ち a b 捲線内の一點 c よりリードを出して ab 間を一次、bc 間を二次として居る。ab 間の捲線數を  $N_1$ , bc 間の捲線數を  $N_2$ , 一次の電流を  $I_1$ , 二次の電流を  $I_2$  とすれば ac 間には  $I_1$  が流れ bc 間には  $(I_2 - I_1)$  が流れる。併而其等の間には

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\text{ab 間捲線數}}{\text{bc 間捲線數}} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots (129)$$

又 ac 間アムペアターン = bc 間アムペアターンより

$$I_1(N_1 - N_2) = (I_2 - I_1)N_2 \text{ より } I_1N_1 = I_2N_2 \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \dots\dots (130)$$

即ち一般の變壓器の場合と同様の關係にある。

併而、之れを普通の變壓器とすると、所要電線量(銅量)は 1 アムペアに S 平方耗の太さを要し、一捲きの長さを  $l$  とすれば

$$\text{普通變壓器の全銅量} = S I_1 N_1 + S I_2 N_2 = 2 I_1 N_1 = 2 I_2 N_2$$

但し  $I_1 N_1 = I_2 N_2$  の關係を用ひてある。

之れを單捲變壓器とすると、所要銅量は

$$\begin{aligned} \text{單捲變壓器の全銅量} &= S I_1 (N_1 - N_2) + S (I_2 - I_1) N_2 \\ &= 2 I_1 (N_1 - N_2) = 2 N_2 (I_2 - I_1) \end{aligned}$$

但し  $I_1 N_1 = I_2 N_2$  の關係を用ひた。

此の  $N_1$  は  $E_1$  に、 $N_2$  は  $E_2$  に比例するから

$$\text{普通變壓器の全銅量 } W_T = 2 E_1 I_1 \text{ 又は } 2 E_2 I_2$$

$$\text{單捲變壓器の全銅量 } W_A = 2 I_1 (E_1 - E_2) \text{ 又は } 2 E_2 (I_2 - I_1)$$

併而、普通變壓器の容量を  $E_1 I_1$  或は  $E_2 I_2$  で表はしたから當然

$$\text{單捲變壓器の容量は } I_1 (E_1 - E_2) \text{ 又は } E_2 (I_2 - I_1) \dots\dots (131)$$

となる。上記は容量は所要銅量に相當するものと云ふ考へから來て居るのであ

つて、之れは其の他の機器にも通用する思想である。扱、兩場合の銅量を比較すると

$$\frac{W_A}{W_T} = \frac{2 I_1 (E_1 - E_2)}{2 E_1 I_1} = \left(1 - \frac{E_2}{E_1}\right) = \left(1 - \frac{N_2}{N_1}\right) \dots\dots (132)$$

となり  $\frac{E_2}{E_1}$  又は  $\frac{N_2}{N_1}$  が 1 に近い程、單捲變壓器は電線量が節約され、従つて所要鐵心量も減少し、有利であることが解る。

電壓比が 1 より遠ざかると不經濟であるだけでなく、單捲變壓器では一次と二次の絶縁區分が出来ないから、低壓回路に高電壓が漏れる處があり、危険である尤も低壓側の一端子を接地すれば此の点は緩和せられる。

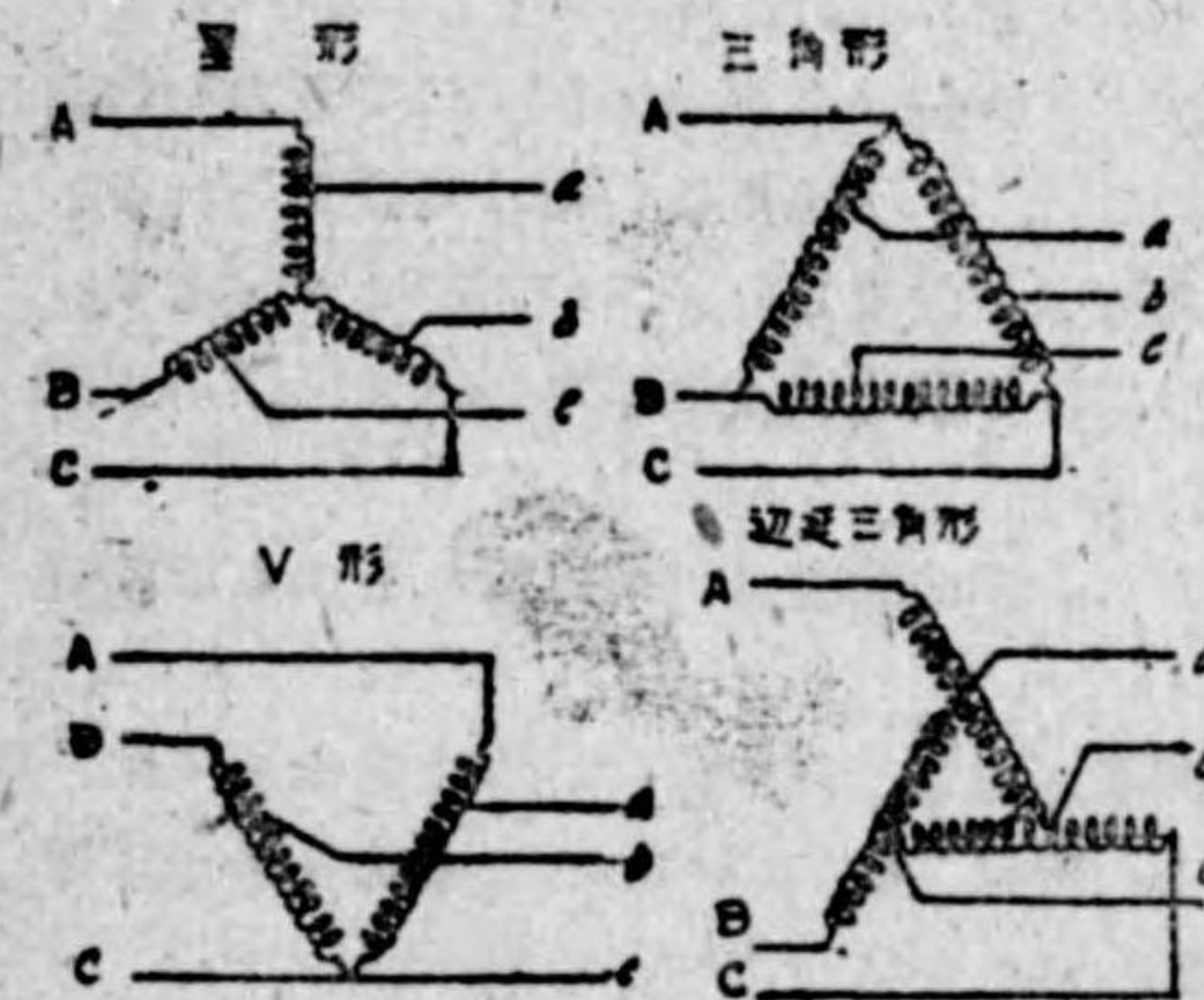


Fig 245

此の單捲變壓器を三相回路に接続するには、Fig 245 の如く星形、V 形、三角形と種々あるが、普通は邊延三角形接続とせられる。又應用方面は廣く、起動補償器としても用ひられて來た。要するに一次と二次との電壓比が餘り遠くない處に用ひて有利である。又交流單相三線式配電では單捲變壓器の中央点から中性線を出して、負荷の不均衡に依る各側電壓の不均衡を緩和することがある此の場合特に平衡線輪 (balancing

coil) と云ふ。

(B) 定電流變壓器

街路照明用の弧光燈等にあつては一本の配線にてすませる様に其等を直列に点燈することがある。斯様な場合には点燈個數の如何に拘らず、回路に流れる電流を一定に保持してやる必要がある。此の目的に使用されるのが定電流變壓器(不變電流變壓器)であつて其の原理は、Fig 246 の如くである。此の變壓器では内部インピーダンスを負荷のインピーダンスに比して甚だ大きく取つて居る此の一次を定電壓電源に、二次に負荷を接続する。二次線輪は可動的に作られ、重錘 W と釣合つて無負荷の時は一次に二次が接して居る。今二次に負荷電流が流れると一次電流と二次電流は平行で方向が反對であるから、二線輪間に反撥力が働いて二次線輪は押し上げられる。斯くなると漏洩磁力線(一次或は二次のみと交る磁力線、

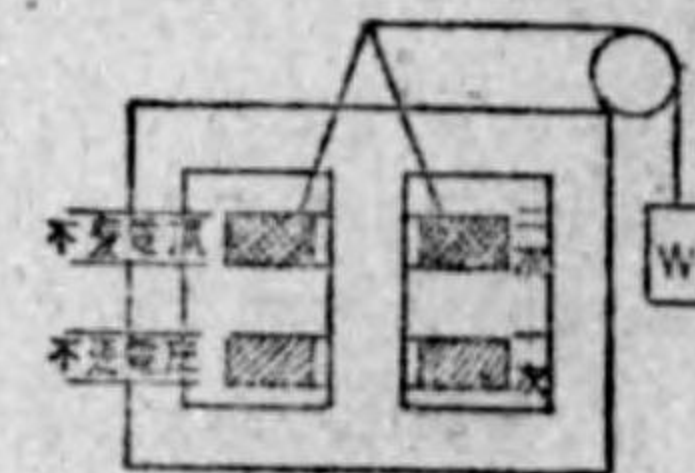


Fig 246

兩者を連絡しないもの)を増し、二次の誘起電圧が減少して二次電流を制限し、二次線輪は一定の位置にある。此の状態回路の直列弧光燈数を増すとインピーダンスは大となり電流は減じ、兩線輪間の反撥力が減少して二次線輪は下り、二次誘導電圧を増し二次電流を増加して前の一定値に保つ。直列弧光燈数の減じた時も同様にして電流を前の値に保つやうに働くのである。

(C) 三捲線變壓器

變壓器に一次二次捲線の外に三次捲線 (tertiary winding) を設けて、之に外部負荷を接続しても支障なく負荷せらるゝ事が経験せられた。普通三次捲線は二次負荷とは全く其の性質の異つた負荷が接続せられる。或は又電力を相互に交換する三つの系統を相結合する等にも用ひらる。應用の例を挙げると

- ① 一次捲線より受電し、二次捲線及三次捲線より異なる電圧にて電力を供給する。例へば進相機等を三次捲線に接続し二次捲線は負荷に接続せられる。
- ② 異なる二つの電圧にて、二つの捲線より受電し、一つの捲線より送電する。例へば第一次及第三次捲線を電圧の異なる發電機或は送電系統に結び、二次捲線より更に送電する。
- ③ 二つの送電系統間の電力を融通する。此の場合は三次捲線を有する單捲變壓器を兩系統間に挿入する。

以上の各場合に就て、各々考究すべき問題がある。例へば ② の場合に於ては二つの一次間の負荷電流及短絡電流の分布、或は二次回路の短絡せる場合の變壓器の實効イムピーダンスの値又は變動率は如何になるか等である。

次に其等の問題に対する解決の基礎となる三捲線變壓器の特性を説明しやう。

Fig 247 は三捲線變壓器の一相を示す單線圖である。同圖 (イ) の如く三捲線 A, B, C は共通磁束  $\phi$  を以て磁氣的に相互に鎖交してゐる。

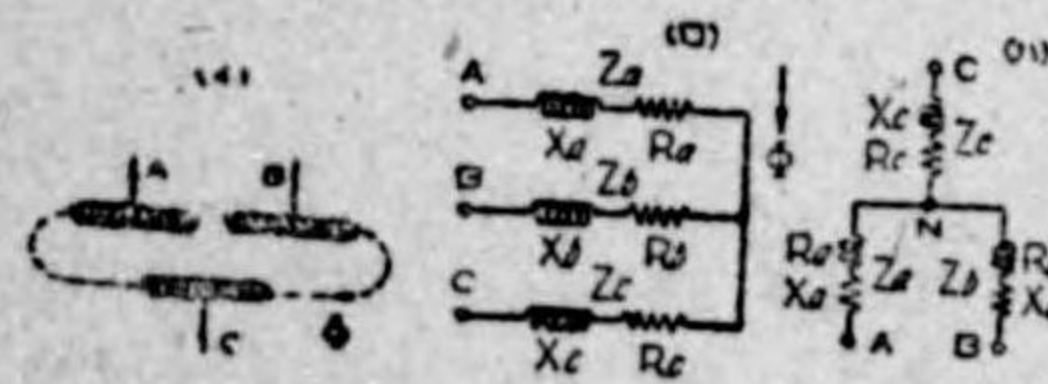


Fig 247

従つて之を (ロ) の如くに電氣的鎖交回路に代置する事が出来る。更に之を一次と二次に區別すると (ハ) の如くなる。是等の圖は飽く迄一相を代表するもので單に外形のみを見て三相回路と連断してはならない。但し實際、A, B, C は負荷電流のイムピーダンス降下に依り僅かの相變移があるが、之を同一位相と見て殆ど差支へなき程度である。次に各捲線のイムピーダンスを求めて見る。扱、勵磁電流を無視する時は各捲線のイムピーダンスは前圖の (ハ) に示した如く、恰も星形接続をした三個のイムピーダンスの如くである。

是等の値を求むるには二捲線、例へば AB 間に於て短絡試験を行ひ  $Z_a + Z_b = Z_{ab}$  を得、次に BC 間にて  $Z_b + Z_c = Z_{bc}$ 、CA 間にて  $Z_c + Z_a = Z_{ca}$  を得る 即ち

$$Z_a + Z_b = Z_{ab} \quad Z_b + Z_c = Z_{bc} \quad Z_c + Z_a = Z_{ca}$$

以上の三式より各イムピーダンス  $Z_a, Z_b, Z_c$  を求むれば

$$Z_a = \frac{Z_{ab} + Z_{ca} - Z_{bc}}{2} \quad Z_b = \frac{Z_{bc} + Z_{ab} - Z_{ca}}{2} \quad Z_c = \frac{Z_{ca} + Z_{bc} - Z_{ab}}{2} \quad \dots\dots\dots (133)$$

又  $Z_a = R_a + jX_a$   $Z_{ab} = R_{ab} + jX_{ab}$  とせば短絡試験に於て容易に  $R_{ab}$  及  $X_{ab}$  は求められるから

$$R_a = \frac{R_{ab} + R_{ca} - R_{bc}}{2} \quad X_a = \frac{X_{ab} + X_{ca} - X_{bc}}{2} \quad \dots\dots\dots (134)$$

以下同様にして  $R_b, X_b, R_c, X_c$  を求め得る。斯くの如く三捲線變壓器に於ては、一次と二次及三次のイムピーダンスを分け得る。之は三捲線變壓器の特長であつて、二捲線變壓器に於ては全リアクタンスを一次と二次に分つ事は不可能であつて、且つ其の必要も無い。何故なれば二捲線變壓器の普通の動作特性は其の全イムピーダンスに關係するが、一次と二次間の分配には無關係なる爲である。然るに三捲線變壓器に於ては上記の如く容易に之を分割し得た。且つ之より負荷の分配、短絡電流、變動率等の重要な種々の計算を行ひ得る。前記短絡試験に於て例へば AB 間の  $R_{ab}, X_{ab}$  等を求むる方法は、短絡試験の際の電力計の読みを其の電流の自乗にて除すると  $R_{ab}$  を得、電流にて電圧を除して  $Z_{ab}$  を得、従つて  $X_{ab}$  は  $X_{ab} = \sqrt{Z_{ab}^2 - R_{ab}^2}$  となる。故に  $R_a, R_b, R_c$  の値は凡て實効抵抗にて各捲線を單獨に測定したる値と同一である。又  $X_a, X_b$  等は A 捲線及 B 捲線の各漏洩リアクタンスなりと考へ得る。

(D) 負荷比變壓器

普通の變壓器ではタップを切換へて電壓調整をするには一時負荷を切らねばならない。此の變壓器は負荷をかけたままタップが切り換へられるもので、種々の考案がある。例へば高抵抗移動刷子で二箇のタップ間を短絡して刷子を移動するもの、或は變壓器の一次を二回路並列とし、一方を切換への爲に開いた時は他方の捲線に一時的に負荷し、次で他方のタップを切り換へる等であるが、此處には

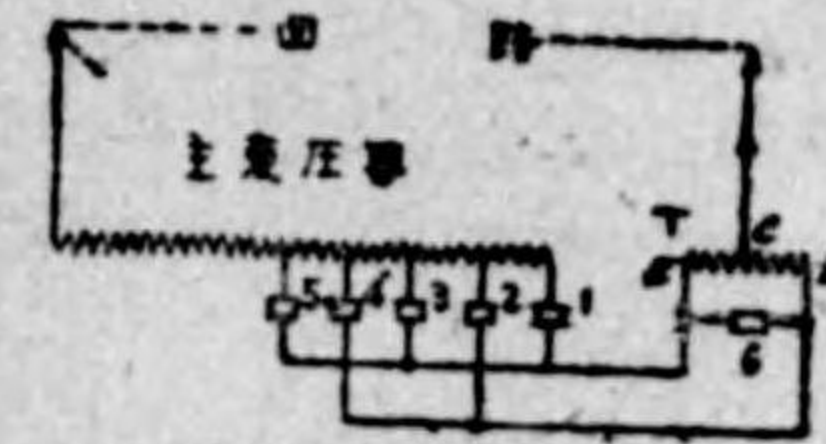


Fig 248

大電力用に支障なく用ひられる一例を示す。

Fig 248 は其の接続圖で、1, 2...5 は主變壓器の各タップに結ばれた開閉器、T は單捲變壓器、C は其の midpoint、6 は開閉器である。今 1 のタップで運轉してゐるとすれば 1 と 6 が閉ぢられ、他は開いてゐる。1 より電流は a→c 及 b→c と分流するから互に其の磁力線を打ち消し合ひ、リアクタンスは殆んどない。次に、2 のタップに切り換へるには 6 を閉じて 2 を入れ、1 を開いて 6 を閉ぢればよい。6 を開いて 2 を

大電力用に支障なく用ひられる一例を示す。 Fig 248 は其の接続圖で、1, 2...5 は主變壓器の各タップに結ばれた開閉器、T は單捲變壓器、C は其の midpoint、6 は開閉器である。今 1 のタップで運轉してゐるとすれば 1 と 6 が閉ぢられ、他は開いてゐる。1 より電流は a→c 及 b→c と分流するから互に其の磁力線を打ち消し合ひ、リアクタンスは殆んどない。次に、2 のタップに切り換へるには 6 を閉じて 2 を入れ、1 を開いて 6 を閉ぢればよい。6 を開いて 2 を

入れた状態では 1, 2 間の電圧は単捲變壓器で短絡せらるゝが、ac 間と bc 間の磁力線は打ち消し合はなくなるのでリアクタンスが大きく、短絡電流は制限され一方短時間であるから實用上支障はない。此の接続で各端子間に小さな誘導電壓調整器を入れると一層理想的で、タップ間の電圧が圓滑に調整され、電圧の階段的變化を生じない。

〔註〕 此の目的に使用せらるゝ電壓調整器を Step induction regulator と稱する。

#### (E) リアクトル、接地變壓器、消弧變壓器等

リアクトルは鐵心或はコンクリート又は空心に導線を捲きリアクタンスの値を大きくしたもので、之を線路に直列に入れて置くとき常時の電力損失はなく、短絡等の場合に電流を適當に制限する。線路の地氣を検出する場合等、保安の目的で三相送配電線の中性点を接地する場合に接地用として用ひられるのが接地變壓器である。消弧變壓器又は消弧リアクトルは線路の接地電流を消去するに用ふる詳細は第五卷を参照されたい。

### (137) 特殊誘導機

#### (A) 誘導電動機の進相諸装置

屢々述べたやうに、誘導電動機は電圧より約  $90^\circ$  遅れた勵磁電流を電源より取り、且つ一次、二次間に空隙があるので其の値も大きく、従つて力率が不良である。殊に輕負荷又は低速度機に於て甚だしい。之れが改善策としては既に説明した如く、運轉時は同期電動機となる同期誘導電動機とするか、二次側より勵磁するのである。同じ二次側より勵磁するにも電動機自身に此の装置を含めた補償誘導電動機と、別個に二次勵磁装置を有するものに分れる。前者は次項で説明することとして、以下後者の一般を概説する。

即ち非同期進相機の處で述べたやうに、誘導電動機の二次側に此の滑り周波數と等しい交流勵磁機を接続して二次側より勵磁無効電力を供給し、一次側よりは單に回轉力に相當する有効電力を供給すれば其の力率は改善され、然も二次勵磁電壓の位相を移動さすと速度制御も行ひ得る。

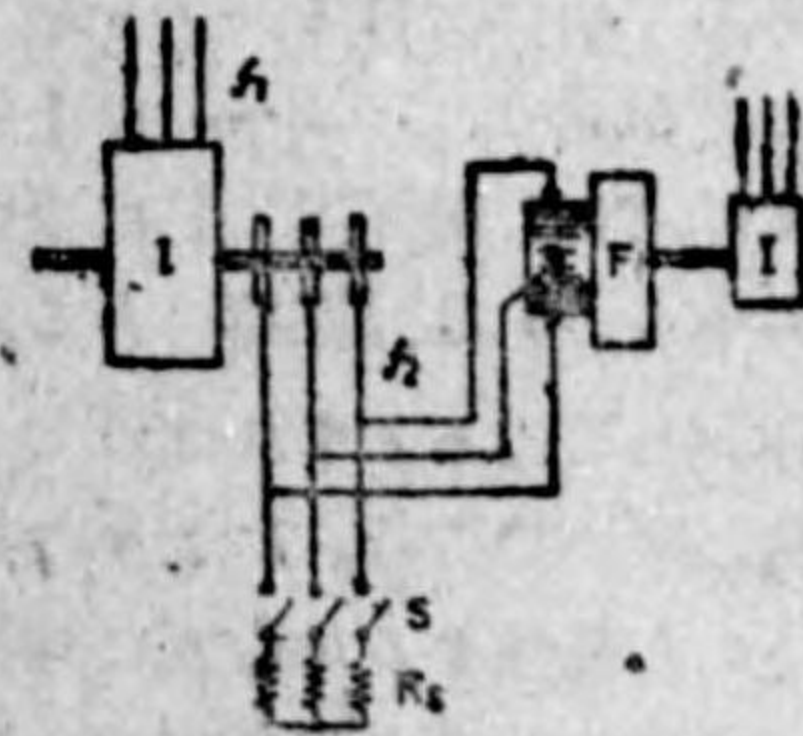


Fig 249

是等の装置を大別すると自動磁式進相機と他勵磁式進相機になる。前者は誘導電動機の二次電壓或は電流に依つて進相機の界磁束を勵磁するものであり、後者は別個の定電壓で勵磁されるものである。

自動磁式進相装置の一例を圖示すれば Fig 249 の如く、F は整流子型周波數變換機に於て滑動環を取り除いたやうな構造であり、I は之れを運轉する小型電動機である。F が靜

止して居るときは、其の界磁束は誘導電動機 I の二次周波數  $f_2$  に相當する回轉數で回轉子を切り、I の二次に鐵心を有するリアクタンスが接続されてゐるに過ぎない。次に F の回轉子を其の界磁束と同一方向に回轉してやると F の捲線には  $f_2$  と其の回轉數の差に比例する周波數の電流が流れ、リアクタンスは減じ電流は大となる。従つて回轉數を  $f_1$  と同期とすると I の二次回路には無誘導抵抗が結ばれた事となる。更に F の回轉數を増し、 $f_2$  に相當する同期速度以上とすると、F の回轉子捲線は前と逆の方向に界磁束を切り進相電流を流す。斯くて、I の一次側の力率は改善せられるのであつて、其の進相作用は回轉數に比例して増加しやう。本装置は一名をシエルビヤス進相機 (Scherbius phase advancer) と云ひ、主として小型電動機に採用されて居る。

他勵磁式進相機には直流勵磁進相機と交流勵磁進相機があり、前者は一名をカッパの振動機 (Kapp's vibrator) と云ひ、直流電動機の整流子側を誘導電動機の二次回路に結び、界磁捲線に直流勵磁を與へたやうな構造になる。但し各相に之れを入れ、界磁は共通鐵心路となつて居る。此の電動子が誘導電動機の二次周波數に應じて、右或は左に回轉し、常に何回轉か一方に回轉しては逆方向になる外見上あたかも振動して居るやうに見え、之れに依つて電動子内に進相電流が流れ、斯くて誘導電動機の力率が改善されるのであるが、現在全く實用にされて居ないから詳細は省略する。他勵磁式進相機として代表的なのは交流勵磁機を用ふるもので、之れは誘導電動機の力率改善用として用ひられることが少く Fig 225 及 Fig 240 に示したやうな接続で非同期進相機として實用に供されて居る。

何れとして用ふるも原理は全く同様であるから重ねて説明しない。

#### (B) 同期誘導電動機

誘導電動機と同期電動機を比較するに、前者は起動回轉力が大であるが、運轉時の力率は後者に劣る。今若し起動時は誘導電動機として働き、運轉時は同期電動機となるやうな電動機を考案すれば、起動運轉共に優秀なる電動機を得る。斯くて考案せられたのが此の同期誘導電動機であつて、種々なるものがあるが、次に代表的の二例を圖示した。Fig 250 (甲) はダニエルソン (Danielson) 型の同期誘導電動機であつて、捲線型回轉子を有する誘導電動機の二次側起動抵抗の三相中の二相を並列とし、之れと残りの一相との間に直捲發電機を接続して居る。起動時は發電機の刷子を磁極の中心線上即ち電位差零の處に置く。開閉器に依つて其の端子間を短絡する。斯くて誘導電動機として適當なる起動抵抗で電動機は起動する。起動後は起動抵抗器を二次回路から除いて直流機の刷子を普通の位置に戻し、開閉器を開いて勵磁機を挿入し、同期電動機として運轉する。同圖(乙) は夫れと原理が同様であつて、山本、川原田兩氏の發明になる O. Y. K 改良型同期誘導電動機である。即ち回轉子に電源を結び、之れに整流子を附して直流を取り出して固定子に供給し、運轉時は同期電動機となる。起動時には固定子捲線

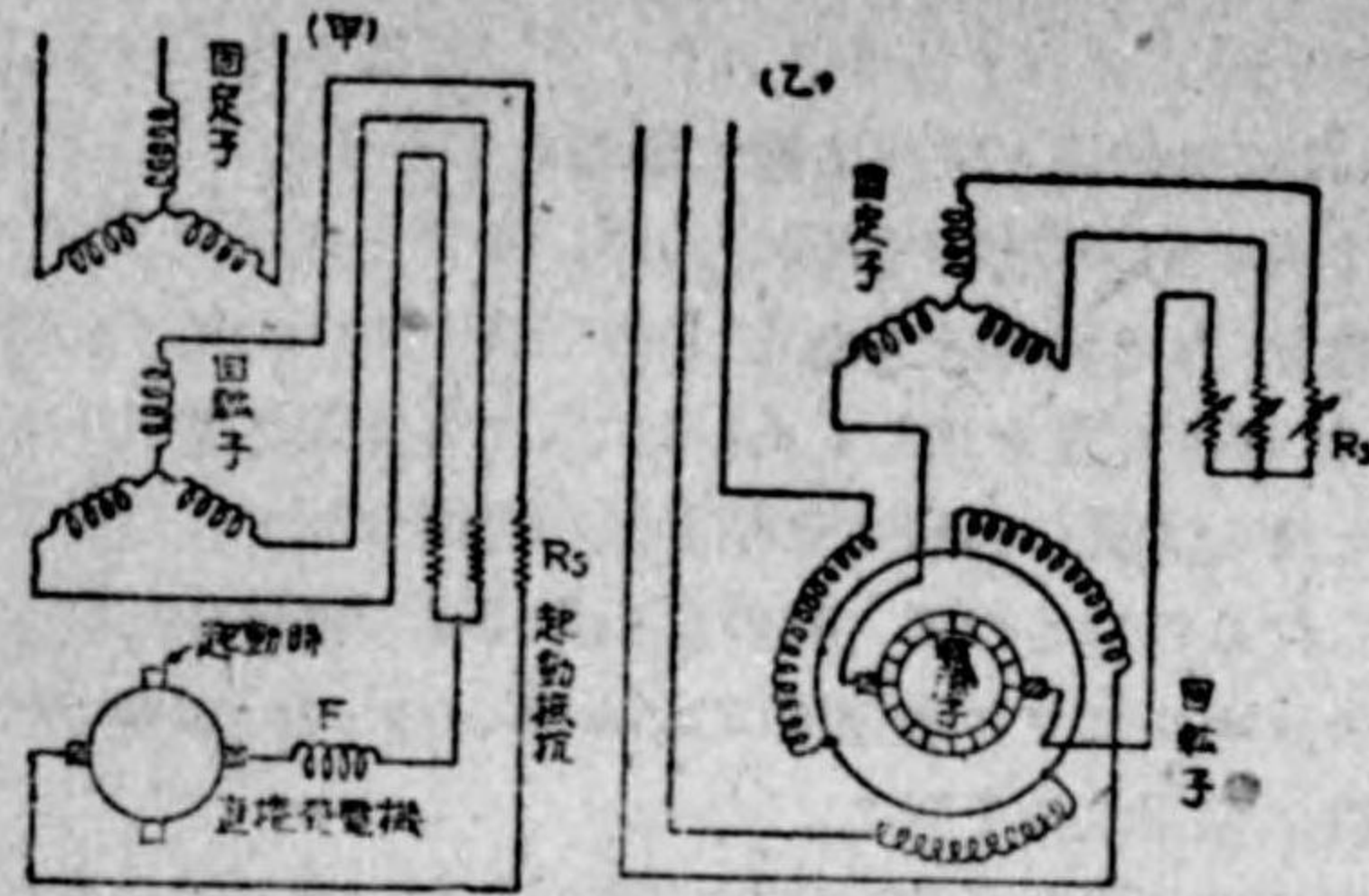


Fig 250

に起動抵抗  $R_s$  を接続して誘導電動機として起動する。

(C) 補償誘導電動機  
誘導電動機は取扱ひが簡単であるから、実用的な電動機として広く應用されて居るのであるが、力率の低いことは最も大きい欠点の一つである。特に軽負荷に於ける力率は劣悪である。此の力率を改

善する爲には二次側より勵磁電壓を加へてやればよいことは前に述べたことであり、力率改善の目的で特に交流勵磁機を備へた（これが所謂、進相機と稱せられたるものであつた）此處に記する補償誘導電動機は此の勵磁装置を電動機自身に有するものである。斯くして二次側より勵磁をすれば一次側よりなる周波の電壓  $E_1$  に対し、二次側よりは  $Sf_2$  の周波数で、 $SE_2$  の電壓を以て勵磁を行ひ得る。即ち二次側から勵磁をする場合には一次側勵磁電力の  $S$  倍だけでよい。然も充分な勵磁無効電流を供給してやると一次側は進み力率とさへなる。其の一例として Fig 251 にハイランド (Heyland) の補償誘導電動機を示した。此電動機は一次捲線を固定子に設け、回轉子には整流子を附して三つの刷子を固定子の一部に結んで居る。斯くすれば回轉子二次に固定子より  $Sf_1$  に相當する電壓が與へられ、刷子の位置を調整すれば二次側より無効電壓を與へて勵磁することが出来る。尙圖の抵抗は整流作用を良好とする爲の補償分路抵抗である。

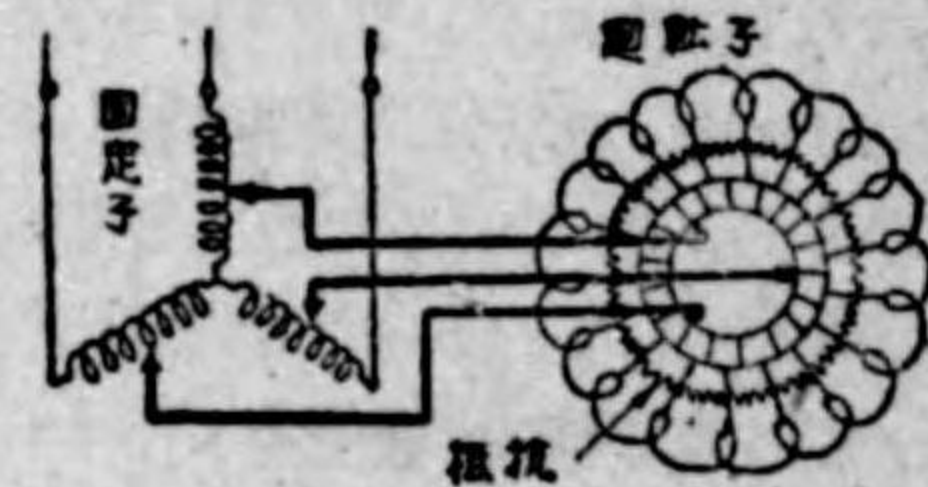


Fig 251

尙一次捲線を回轉子に設け、回轉子には別の補助捲線を置いて之れに整流子を附し、固定子の二次捲線と接続したのもある。ハイランドの方式は高電壓大容量に適し、此の方式は低電壓小容量に適當する。

(D) ヒステリシス電動機

三相誘導電動機に於て、回轉子は鐵心のみとしても、或る滑りに於て回轉する之れは鐵心内のヒステリシス並一部は渦流作用に依るのであつて、回轉數に無關係の回轉力を有する電動機が得られる。之れがヒステリシス電動機である。

(138) 靜電蓄電器 (Static condenser)

絶縁体を隔て、導体板を對立させ、導体間に靜電容量を有するやうにしたものが靜電蓄電器であつて、之れに交流電壓を加へると電壓よりも  $90^\circ$  進んだ進相電流が流れる。従つて之れを力率の低い負荷と並列に接続すれば負荷の遅相電流を打ち消すから、回路の力率が高められる。又其の結果として線路電壓降下が小となるので、電壓調整用ともされる。事實最近では配電線の處々に取付けて力率の改善と電壓低下を防ぎ、又は誘導電動機等と並列にして力率の改善を計り、配電諸装置の容量を小とし、或は變電所に設置して力率の改善に依る電壓調整を行つて居る。

(註) 其の他同調回路、濾波回路、無線有線電信電話、避雷器或は保安装置等を構成する要素として其の用途は電氣工学の全分野に亘り實に多種多様である。

回路の力率改善の目的に使用せらるゝ蓄電器は、絶縁体として良質の薄紙を用ひ、電極として薄い金屬箔をロール形に捲いて、絶縁油中に入れる。之れを套管端子を有する函に收め、完全に密封する。尙、真空處理に依つて性能をよくして居る。普通 1 個の容量は  $1 \sim 5kVA$  (電壓 220V)、 $5 \sim 450kVA$  (電壓 3500V) 所必要容量に應じて直列並列個數を調整する。

尙保護装置として可熔片、過電流繼電器、放電用抵抗を設けることもある。

蓄電器の容量は、直流用に對しては靜電容量と端子電壓で表はし、交流用では  $kVA$  で示されるのが普通である。

今板間隔  $t$  種、誘導率  $K$ 、板の有効面積  $A$  平方種とすれば

$$\text{靜電容量 } C = (0.0884 KA \times 10^{-6}) \div t \text{ マイクロファラッド} \dots (135)$$

之れを電壓  $E$  ヴォルト、 $f$  サイクルの交流回路に用ひた時の

$$\text{電流 } I_c = 2\pi / CE \times 10^{-6} \cdot kVA \text{ 容量} = E I_c \times 10^{-3} = 2\pi / CE^2 \times 10^{-9}$$

$$\dots \dots \dots (136)$$

力率改善用として進相機等に比し優れて居るのは、運轉中噪音を發せず監視を要しない、据付容易、小なる負荷に對しても夫々分屬配置し得るにある。然し進相電流を圓滑に調整することが困難であり、著しく大きな進相電流を供給し得ない

(139) 特殊整流器

(A) 各種真空管型整流器

二極真空管が整流作用を有することは既に第二卷 P 80 に於て説明した。現在此の熱電子管型整流器として市場に出て居るものにはサイモトロン、ケノトロン等がある。是等を用ひて整流を行ふ代表的接続圖を示せば、Fig 252 の如くである。元來此の整流器は交流の半波だけを整流するのであるから、全波整流を行ふには二個以上を用ひねばならない。實際は圖の如くに接続して能ふ限り脈動の少

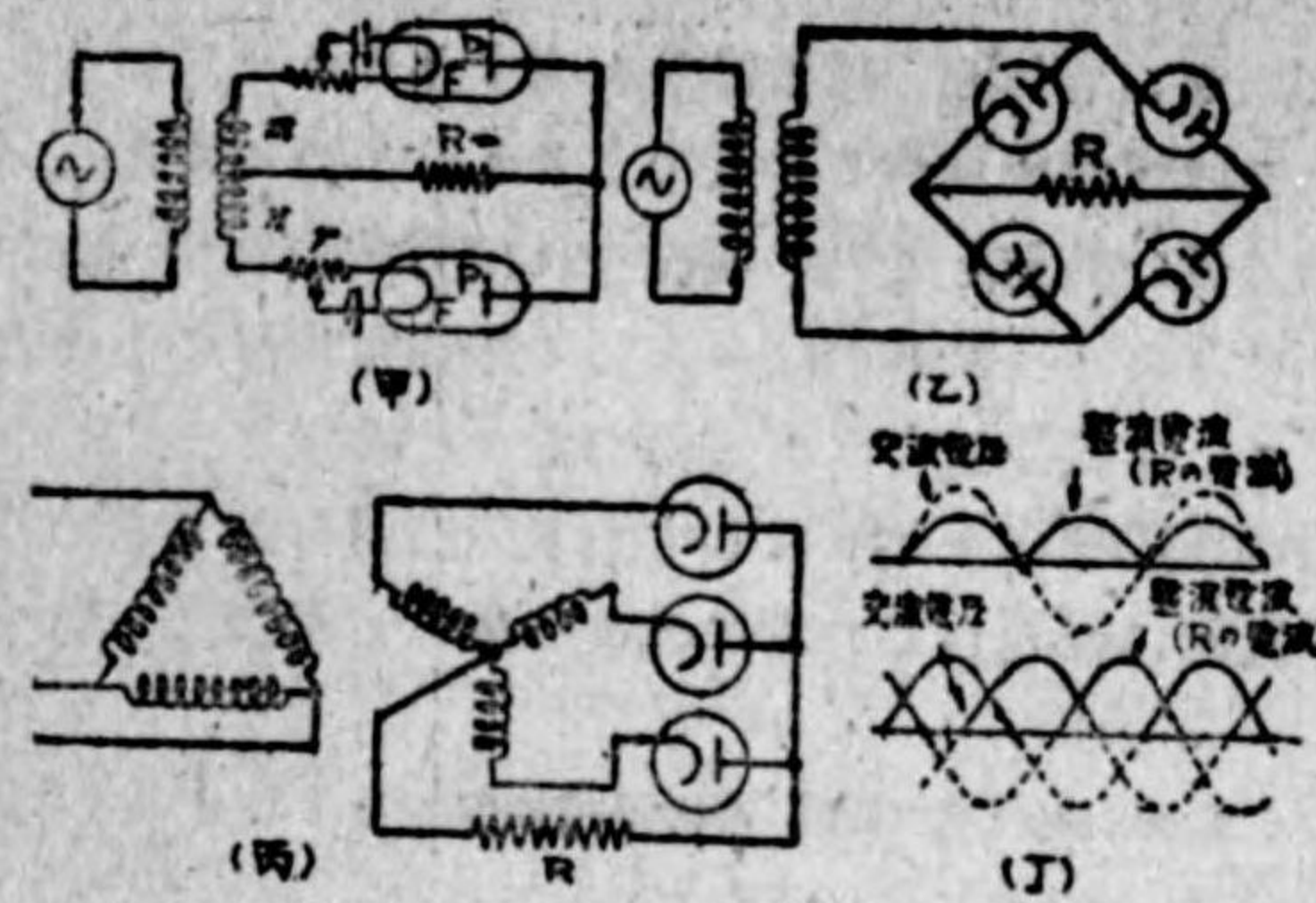


Fig 252

い直流を得て居る。(甲)或は(乙)の如くに接続すれば(丁)の上圖の如くに单相全波整流となり、1個の場合の二倍の能率が得られる。但し、(乙)以下では陰極フィラメントを加熱する電池回路を省略した。

〔註〕 斯く F が加熱せられると F より熱電子を放射し F が陰極、P が陽極となつた時のみ電流を通ずる。従つて、(甲)圖で m が +, n が - の時は下の真空管のみに電流が流れ、m が -, n が + の時は上の真空管のみに電流が流れ、R には常に左より右への整流電流即ち直流が得られる。F は電球の線條(フィラメント)と同様でタンダステン、ウエーネルト等が用ひられ、V 形或は W 型に敷られる。P' はニッケル或はタンタラム、特に大型のものは鋼板等を用ひて居る。又管内は高度の真空とせられる。

真空管を二個増して(乙)の如くに接続する理由は(甲)では變壓器の半分の電圧しか利用されない。即ち整流器に必要な電圧の二倍を要し、不経済となるからである。

(丙)の三個の真空管を用ひ、三相回路より整流電流を得る接続で、整流電流が(丁)圖の下のように、单相の場合よりも脈動の少くなることが解る。(水銀整流器の章を参照)

〔註〕 (丁)圖は直流側が純抵抗より成る場合の整流電流の波形であつたが、回路リアクタンス分を含むと電流は電圧より遅れ其の脈動も少く電流が零となる時間がない。

上記の真空管型整流器の管内に不活性瓦斯或は水銀蒸氣を封入すれば、水銀整流器の處で説明したやうに其の電離が電流の通過を容易とし、低電圧で整流が行へる。此の種に屬するものは實に多種多様である。

〔註〕 例へば不活性瓦斯を入れたものには、タンガー、ラマー、レクテゴン、フィリッブス、ウエーネルト等の整流器があり、水銀蒸氣を入れたものには二極管としてサイモトロン、三極管としてサイラトロンがある。

瓦斯充填型の代表的のものであるタンガー整流器は、純粹のアルゴン瓦斯を低電圧にて封入し、フィラメント(F)にタンダステン、プレート(P)に黒鉛を用ひて居る。本器の中には複相管と云つて、1個の管内にプレートを二枚使用して二個用ひたと同様に全波整流の出来るものもある。

三極管サイラトロンは先きに説明した格子付水銀整流器と同様に格子に加へる

い直流を得て居る。(甲)或は(乙)の如くに接続すれば(丁)の上圖の如くに单相全波整流となり、1個の場合の二倍の能率が得られる。但し、(乙)以下では陰極フィラメントを加熱する電池回路を省略した。

〔註〕 斯く F が加熱せられると F より熱電子を放射し F が陰極、P が陽極となつた時のみ電流を通ずる。従つて、(甲)圖で m が +, n が -

小なる電力で大なる陽極電流を制御して居る。

(B) 亞酸化銅整流器

本器は亞酸化銅と銅の接觸面間に於て、電流は前者より後者の方向には流れるが、其の反對には殆んど流れない(無視し得る程微弱)此の性質を利用したものであつて、硫化銅と銅、又はセレンウムと鐵板(ニッケル板)間にも同様な現象がある。

これを作るには二板の銅板を密着させて、之れを 30 分乃至 1 時間 電氣爐中で 1,000°C 以上に熱し、各片面のみを酸化させた後、之れを空中で 600°C 位に冷却し、冷水中に投入して急冷する。斯くすると其の表面は抵抗の高い黑色酸化銅で覆はれるから、之れをペーパー或は酸で取り去る。其の時、初めて表面に赤紫色の亞酸化銅の被膜を生ずる。

斯様にして作られた亞酸化銅板と普通の銅板を交互に接觸させ適當な壓力で締めつけると本整流器が得られる。

(C) 電解型整流器

本器は電氣化學作用を利用したものであつて、例へば磷酸アモニウム溶液中にアルミニウム板と鉛板を對立させて置くと、アルミニウムが陽極となつた時に電流が流れ、反對方向には殆んど流れない。これはアルミニウム板が電解液の電解に依つて生じた酸素に作用せられて酸化し、表面に酸化アルミニウムの被覆を生じ、其の抵抗が甚だ大きいので、溶液より電極に向つては水素イオンのみしか通せず整流作用をするのである。本器は簡單で安價であるが、能率は 60% 以下と云ふ劣悪なものである。従つて小容量の間湯的に使用する負荷に用ひられる。以上二つの整流回路の接続は真空管の場合と同様である。

(D) 機械的整流器

其の最も簡單なのは、振動型整流器で、Fig 253 が其の略圖である。即ち金屬製の振動片 V を永久磁石 NS の間に置き、之れに捲線 C をして交流磁石とする。併而其の固有振動數と交流電源周波數を合調させると半周波毎に振動子の接点は上側と接觸して、R に整流電流が流れる。本整流器は簡單であるが、振動片の調整が厄介であり、小容量の蓄電池の充電位にしか用ひられない。

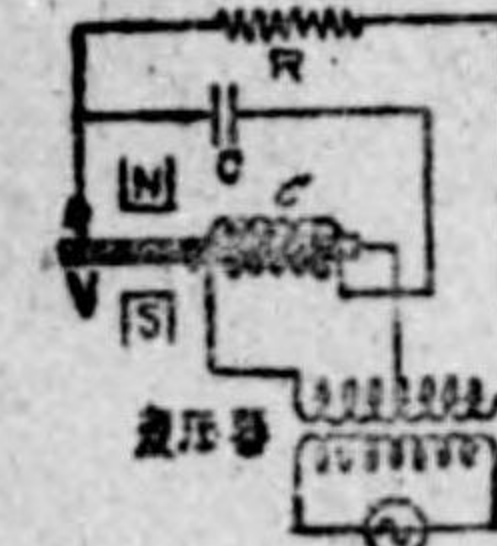


Fig 253

尙、C は振動子の火花を打ち消す作用を爲し、本器を二つ組合したやうな構造とすると全波整流が得られる。

上記の装置を今一步進めて、振動片を同期的に振動さすやうな原理にしたものが同期電動機型整流器である。

即ち、Fig 254 に示す如く、ペークライトの如き絶縁物で作られた圓板の周圍に金屬製の四分圓弧を相對的に取付け、之れを同期電動機に依つて變壓器の二次

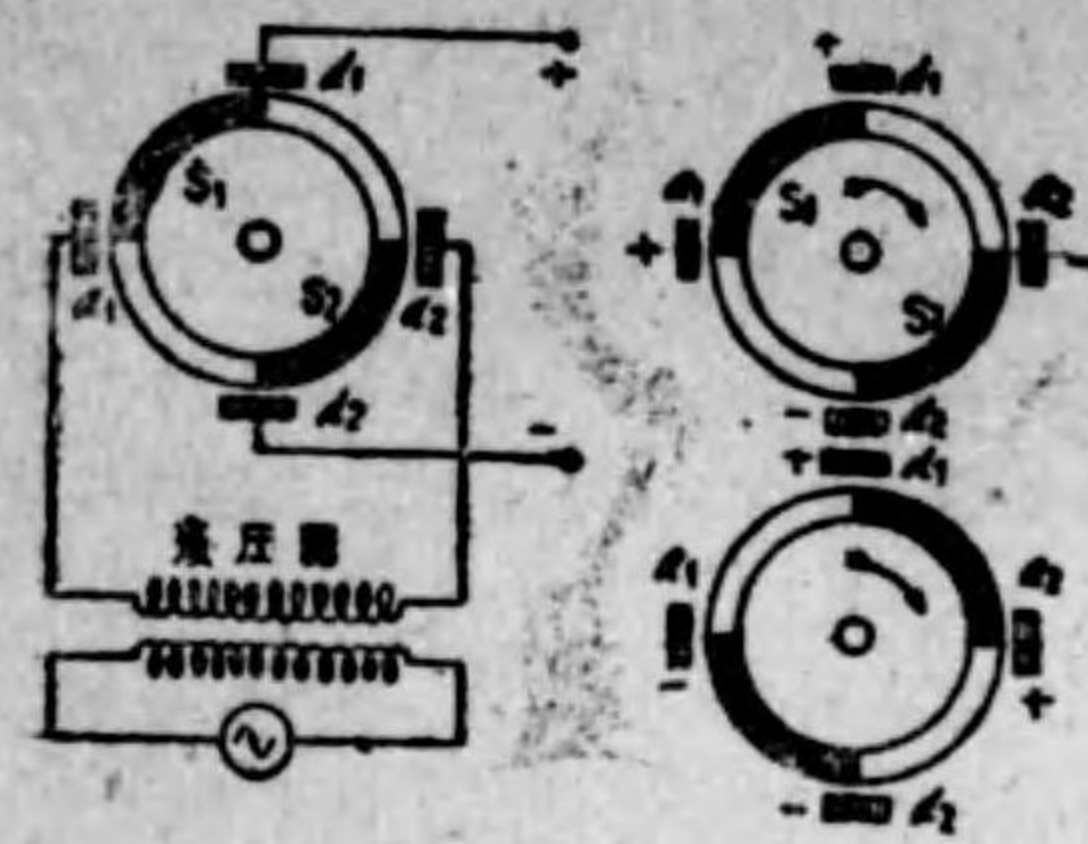


Fig 254

機に結んだものもある。尙、6分圓として三相回路から整流を行ひ得ることは説明する迄もあるまい。

電壓と同期的に回轉すれば、左圖に示したやうにして、 $d_1 d_2$  間に定方向の脈動電壓が得られる。本機は直流高壓を必要とするコツトル收塵装置（第四卷に説明する）等に採用せられる。

本装置は回轉圓板が必ず同期速度であることが必要で、之れが爲に誘導電動機と同期發電機を直結し、其の軸で圓板を回轉し、 $a_1 a_2$  を發電



電氣機器工學  
定價 97 圓

昭和22年6月10日 印刷  
昭和22年6月20日 發行

著者	電氣技術研究會
發行人	田中 增吉
印刷人	丸山 武
印刷所	電氣書院印刷所
製本所	電氣書院製本所

會員番號 A104015

發行所 電氣書院

京都市東山區今熊野御宮町三三  
振替大阪四六一五七番  
電話紙園⑥八二七番

配給元 日本出版配給株式會社  
東京都神田區淡路町二丁目九番地

542-D582ㄅ



1200500746104

2

32

終