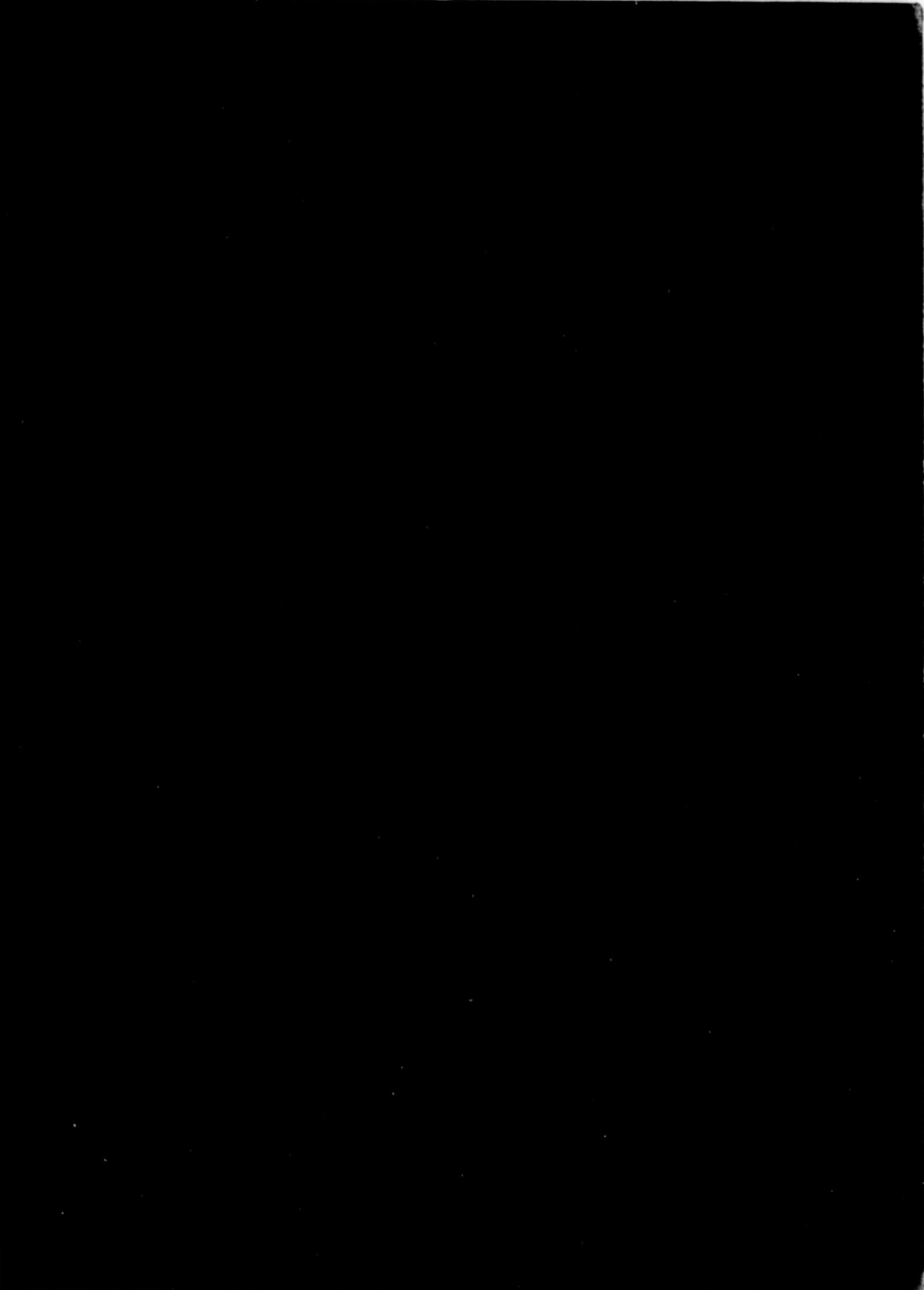
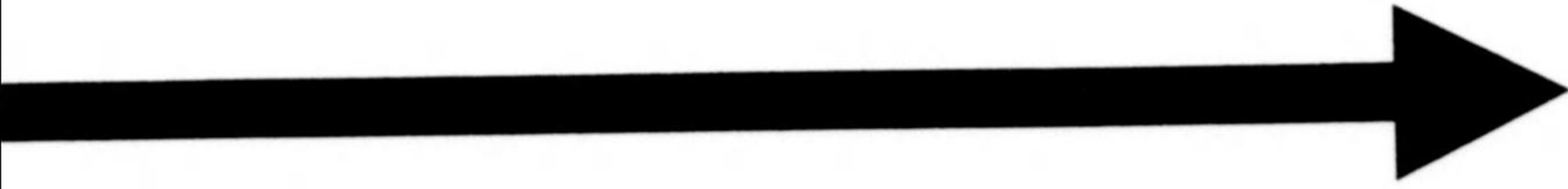


始

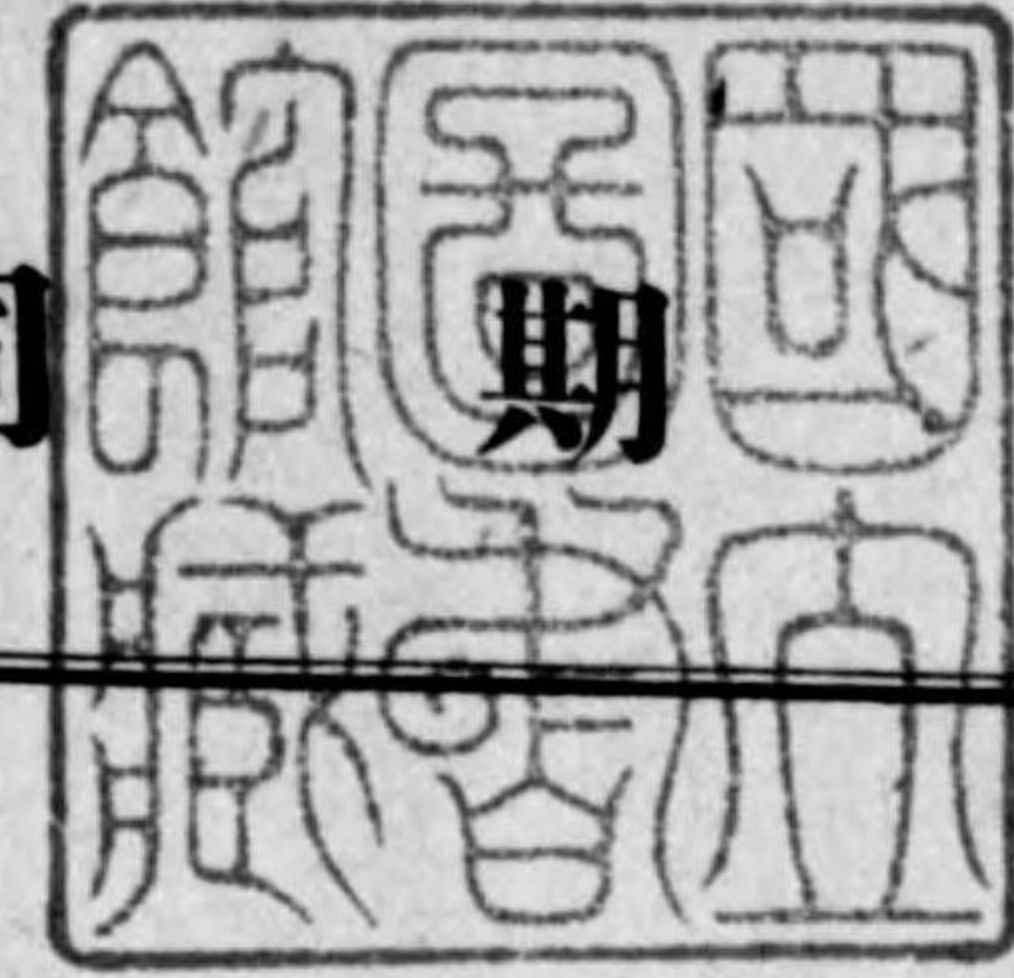


542.3
D581

542.3

D.581

同



機

編 園 學 機 電

序

本學園発行の電氣工學に關する圖書は、難解といわれる電氣工學を、最も理解し易い様に書かれている所に價值があると思ふ。本書は交流電氣機械の内の同期機即ち普通に交流發電機といわれるものと、それを電動機として使用した場合とに主力を注いで述べてある。本書の特長は稍冗長と思われる程、理論の解説に力を入れてあるから、初めて同期機を學ぶ人及び高等學校程度の電氣科生徒諸君又電檢受驗者諸君の參考書として、讀んで頂けば大いに價值を發揮するものと信ずる。

本書の前身は、故加藤靜夫先生が執筆され、それを長澤三四郎が書改めたもので、先生の文章は夙に名がある。書中亂調の説明など實に名文で、事象彷彿として眼底に浮ぶ、この箇所はそのまま載せてある。讀者諸君よろしく味つて頂きたい。なお花田猶興 大河内治兩先生に大くの補正を賜つた、ここに記して感謝の意を表する。

本書名は初め姉妹編である直流機に對應して、交流機と題したが内容を明瞭にするため、同期機と改めたことを申添えておく。

なお本書は電機學園編電氣機械シリーズの中、既刊直流機、變壓器・誘導電動機に續くものにして、更に續いて整流機器が近く登場する運びである。江湖の御期待を切望する。

昭和二十三年夏

編者しるす



同期機

目次

第一章 同期発電機総説	1
1. 交流発電機 2. 交流発電機の原理 3. 容量、電圧及び勵磁機	
4. 回轉電機子型、回轉界磁型及び誘導子型 5. 常用周波數 6. 周波數と磁極數及び回轉速度との關係 7. 同期速度 復習問題 I	
第二章 交流発電機の構造	9
1. 回轉速度と形態との關係 2. 交流発電機の分類 3. 水車発電機	
4. タービン発電機 5. 機關直結発電機 6. 発電機の冷却 7. 勵磁機 8. 特殊交流発電機 復習問題 II	
第三章 電機子巻線法	37
1. 總説 2. 電機子巻線法の種類 3. 單相巻線法 4. 集中巻と分布巻 5. 單層巻と二層巻 6. 重巻、波巻及び鎖巻 7. 全節巻及び短節巻 8. 三相巻線法 9. 三相巻線の相間接続 (1) 10. 三相巻線の相間接続 (2) 復習問題 III	
第四章 交流発電機の理論	53
1. 誘起起電力の波形 2. 空隙の磁束分布と起電力の波形 3. 短節巻及び分布巻の採用と起電力の波形 5. 分布係數及び短節係數 6. 三相発電機の端子電壓と電流 7. 星形結線の採用 8. 同期インピーダンス 9. 電機子内電壓の釣合 10. 電壓變動の原因 11. 電壓の調整法 12. 電機子電流に依る磁界 13. 電機子反作用 14. 漏洩リアクタンス 15. 短絡及び其の障害の防備 16. 過渡短絡電流と永久短絡電流 復習問題 IV	
第五章 交流発電機の特性及び運轉法大要	85
1. 交流発電機の定格 2. 無負荷飽和曲線 3. 短絡曲線 4. 短絡比 5. 全負荷飽和曲線 6. 電壓變動率 7. 能率 8. 交流発電機の試験法 9. 單獨運轉法 10. 並行運轉の大要 復習問題 V	

第六章 同期電動機の原理及び構造	105
1. 總説 2. 同期電動機の起動 3. トルクの發生 4. 同期電動機の運轉 5. 同期電動機の構造 復習問題VI	
第七章 同期電動機の理論	115
1. 電機子内電壓の釣合 2. 電機子反作用 3. 負荷の變化と逆起電力の位相 4. 同轉子の位置と逆起電力の位相 5. 勵磁の變化と電流の位相 復習問題VII	
第八章 同期電動機の特性	127
1. 力率及び入力 2. 出力及び能率 3. トルク 4. 最大トルク 5. 位相特性曲線 6. 亂調の發生 7. 亂調の機械的類推 8. 亂調防止法 復習問題VIII	
第九章 同期電動機の起動法	143
1. 他起動と自起動 2. 制動巻線に依る起動法 3. 起動の順序 復習問題IX	
第十章 同期電動機の用途	149
1. 同期電動機の得失 2. 同期電動機の用途 復習問題X	
第十一章 特殊同期電動機	153
1. 超トルク同期電動機 2. 誘導同期電動機 3. 同期調相機 4. 周波數變換機 5. 單相同期電動機 6. セルシン電動機 復習問題XI	
第十二章 交流機並行運轉の理論 (其一)	163
1. 並行運轉の必要條件 2. 電力の授受 3. 無負荷ベクトル圖 4. リアクタンスの必要 5. 同期化力 6. 同期化力の最大値 7. 亂調の發生 8. 亂調防止法 復習問題XII	
第十三章 交流機並行運轉の理論 (其二)	178
1. 直流勵磁の相違 2. 無効橫流 3. 電機子反作用の效用 4. 勵磁變化の比較 5. 高調波の橫流 6. 原動機の速度變動率 7. 速度漸減の必要 8. 原動機の選擇 復習問題XIII (終)	



第一章 同期發電機總說

1. 交流發電機 今日各所の發電所で電力發生の爲に運轉して居る發電機は殆ど交流發電機である。即ち發電所に於ては交流電力を發生しそれを需用地に送るので、負荷も亦その大部分は交流電力を消費するものである。然らば直流の電力は使用されてゐないかと云ふに、その用途に依つては是非直流で無ければならないものもある。それ等の用途に當てる爲には、交流から直流に變換して使用するのが普通である。従つて今日の發電事業は交流機萬能の時代と云へるのである。

これが爲に使用される交流發電機 (A.C. generator 又は alternator) の大部分は本講義に於て述べる同期發電機 (synchronous generator) である。従つて只單に交流發電機と云へば同期發電機を指すのである。故に本講義中、交流發電機とあれば同期發電機の事であると承知されたい。同期發電機の名稱の因つ

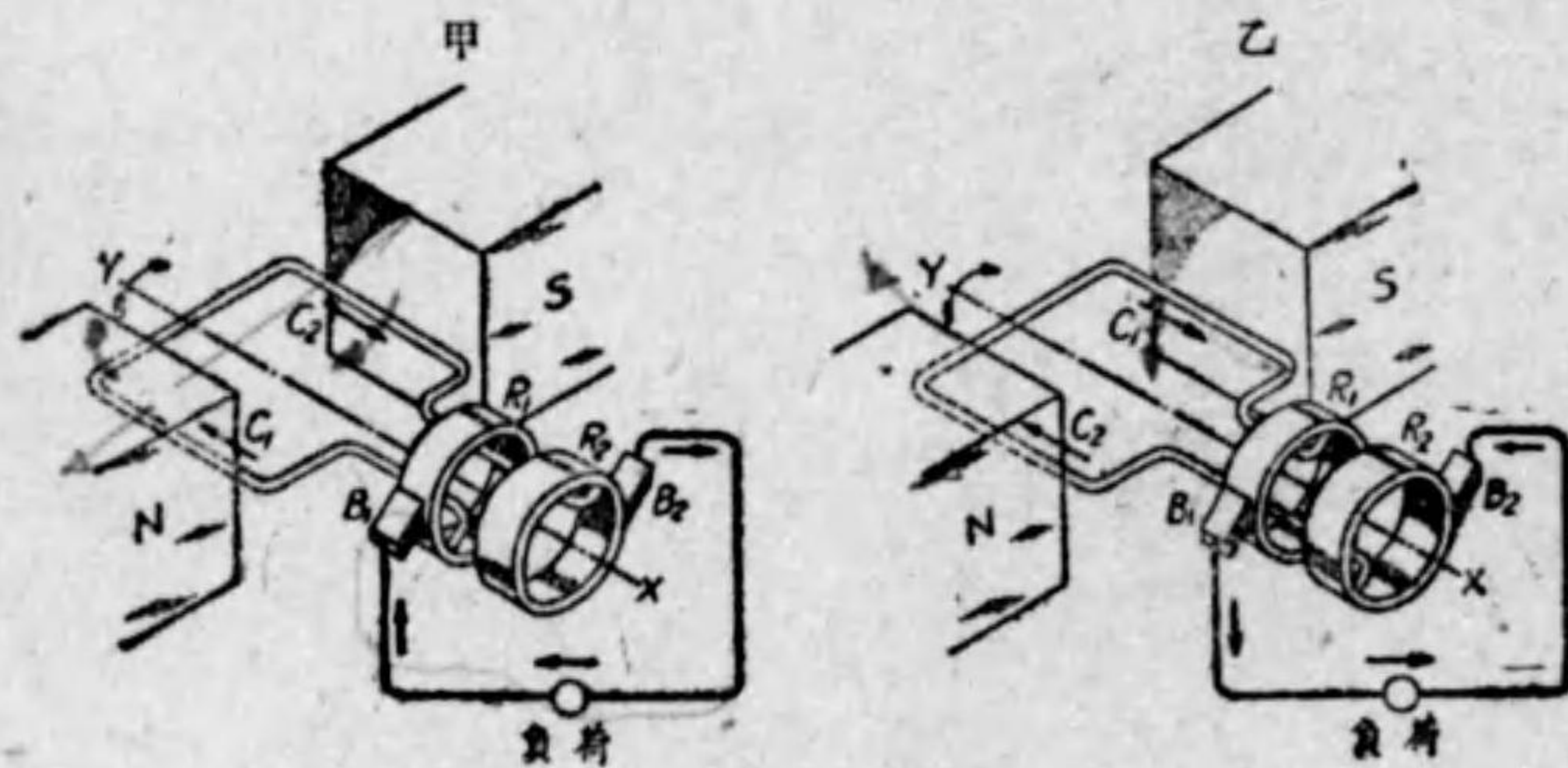
て来る所以は講義の進むに従つて諒解される事であらう。

2. 交流発電機の原理 交流発電機も直流発電機と同様に原動機に依つてこれを回轉する時電磁誘導の法則に依つて起電力を誘起し、外部負荷に電気エネルギーを供給するものである。

原動機には蒸汽タービン、水車、内燃機関等が使用せられる。

第 1・1 圖甲乙は最も簡単な交流発電機を示した略圖であ

第 1・1 圖



交流発電機の原理

る。圖に於て線輪が磁界中を $X Y$ 軸の周圍に回轉すれば、線輪には所謂交番起電力が誘起する。この事は直流発電機の原理に於ても述べたが、今一度繰返して説明すれば、導體 C_1 及び C_2 は後側で接續してあるから、同圖甲の瞬時には各導體の起電力は相加はつて、刷子 B_2 より負荷 L を經て、刷子 B_1 の向きに電流を通ずる。次に同圖乙の様に、 C_1 及び C_2 の導體が入

れ換つた位置迄回轉すれば、 B_1, B_2 刷子間に表れる電壓は、電流を B_1 から負荷 L を經て B_2 の向きに通ずる。この様に線輪の回轉に従つて各導體には交番起電力を誘起し、負荷に交流電力を供給するのである。

3. 容量、電壓及び勵磁機 前節の原理に依つて、小は數 kVA から、大は十數萬 kVA の出力の交流發電機が各所で運轉されて居る。

交流發電機の定格電壓は日本電氣工藝委員會の標準規程に次の六種類と定められて居る。

110V, 220V, 3 300V, (3 450V), 6 600V, 11 000V

上記中 3 450V は發電機電壓を以て直ちに配電する場合に採用される電壓である。110V, 220V の如きは小出力のもので、出力の大なるものには 6 600V 及び 11 000V が採用される。

相數は三相式が最も多く、二相、單相は特別の場合の外今日殆ど實用されない。

軸の位置から言へば、水車で廻されるものには豎軸、横軸共にあるが、蒸汽タービン及び内燃機関で運轉されるものは大部分が横軸である。

回轉速度は 100 轉/分 の如き低速度のものもあるが、蒸汽タービン用のものでは $3 600 \text{ 轉/分}$ の高速度すら用ひられる。

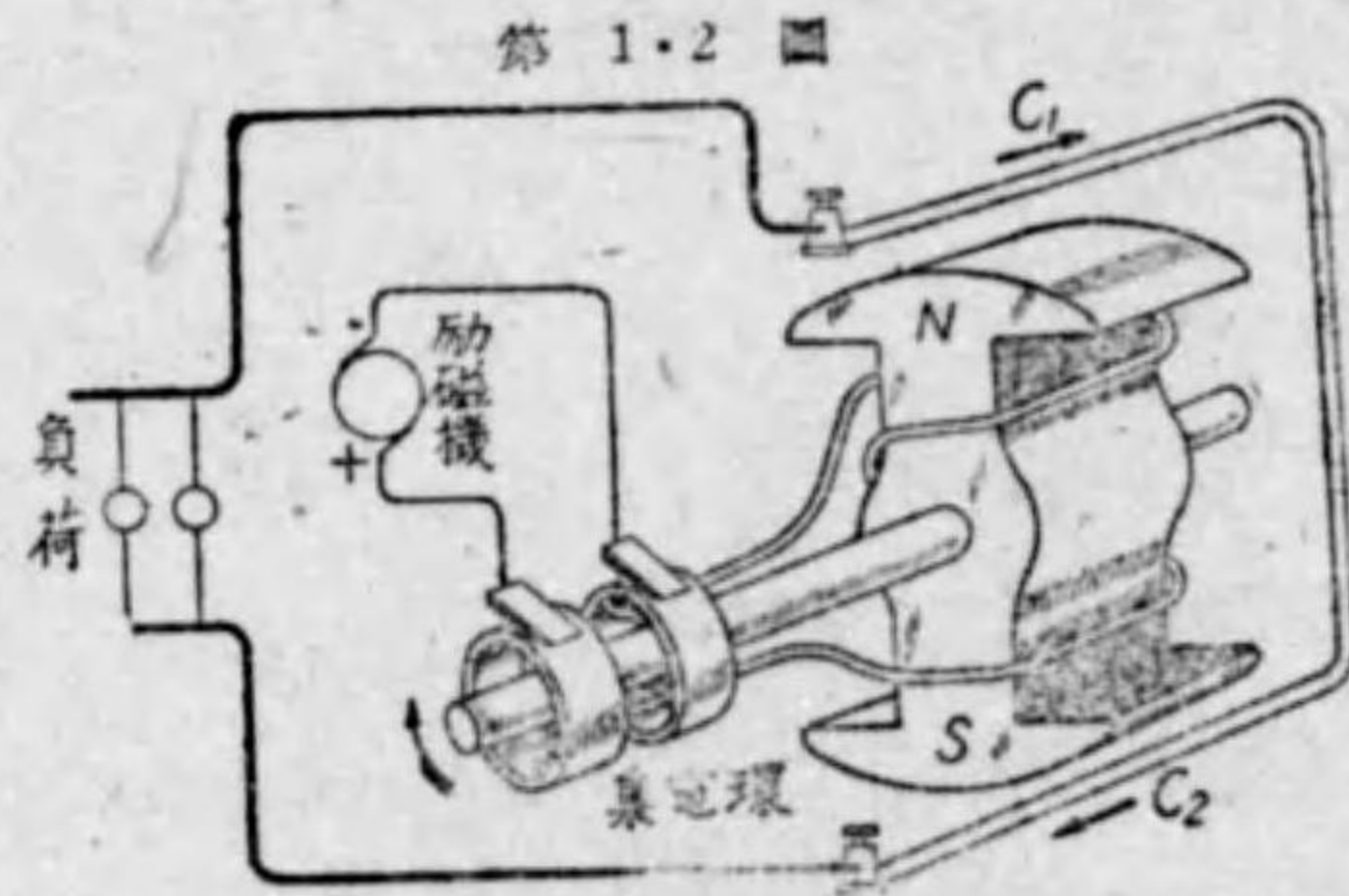
前節に依つて明かな様に、交流発電機も直流発電機と同様に、 N, S の磁極が交互に配置せられたものが必要であるから、これらの磁極を勵磁する爲に、直流発電機を使用するのが普通である。此の種の直流発電機を勵磁機 (exciter) と稱へる。勵磁機は交流発電機の軸の一端に取付けられる事もあるが、全く獨立して置かれる事もある。その出力は主発電機の出力及び回轉數に依つて異なる。詳しくは第二章第 7 節に述べる。

4. 回轉電機子型、回轉界磁型及び誘導子型 第 1・1

圖に於ては外側にある磁極が靜止し、内側の線輪が回轉するものであつたが、第 1・2 圖の様
に外側に線輪を置き、その内側の磁極を回轉しても

矢張り、磁束と線輪とが切り合ふ事には變りがないので、導體 C_1 及び C_2 には起電力を誘起する。

斯様に磁極の回轉する型式を回轉界磁型 (revolving field type) と云ふ。これに對して第 1・1 圖の様な型式を回轉電機子型 (revolving armature type) と稱へる。



回轉界磁型交流發電機の原理を示す圖

實際に於ては、今日殆ど回轉界磁型が採用される。此の型に於ては靜止して居る巻線の端子から口出線 (lead) を以て容易に外部に電流を導き出すことが出来る。その代り回轉する磁極に直流を供給してやる爲に、界磁巻線の兩端を集電環に結び、之に接觸する刷子を勵磁機の兩端子に接續せねばならない。

回轉電機子型は直流発電機の整流子の代りに、集電環を用いたものに外ならない。初めは此の型が行はれたが、高電壓の交流発電機が用ひられる様になつて、だんだん廢れて來た。その理由は、回轉部分に高電壓のものを置くと機械的に絶縁を破る危険も多く、又集電環、刷子等の部分で故障を生じ易いからである。

又別に誘導子型 (inductor type) と稱して、電機子も界磁巻線も靜止した儘で交流を發生する特別な型式がある。之に就ては後節に述べる。

5. 常用周波數 我國に標準として採用されて居る交流發電機の周波數 50 はサイクルであるが、關西方面及び其の他では 60 サイクルが使用されて居る。

交流の周波數が低過ぎる時は白熱電燈の光度にチラツキを生じ、種々の電氣設備が概して高價となる。又周波數が高きに過ぎれば長距離の送電が面倒となり、運轉に不都合を生ずる電動

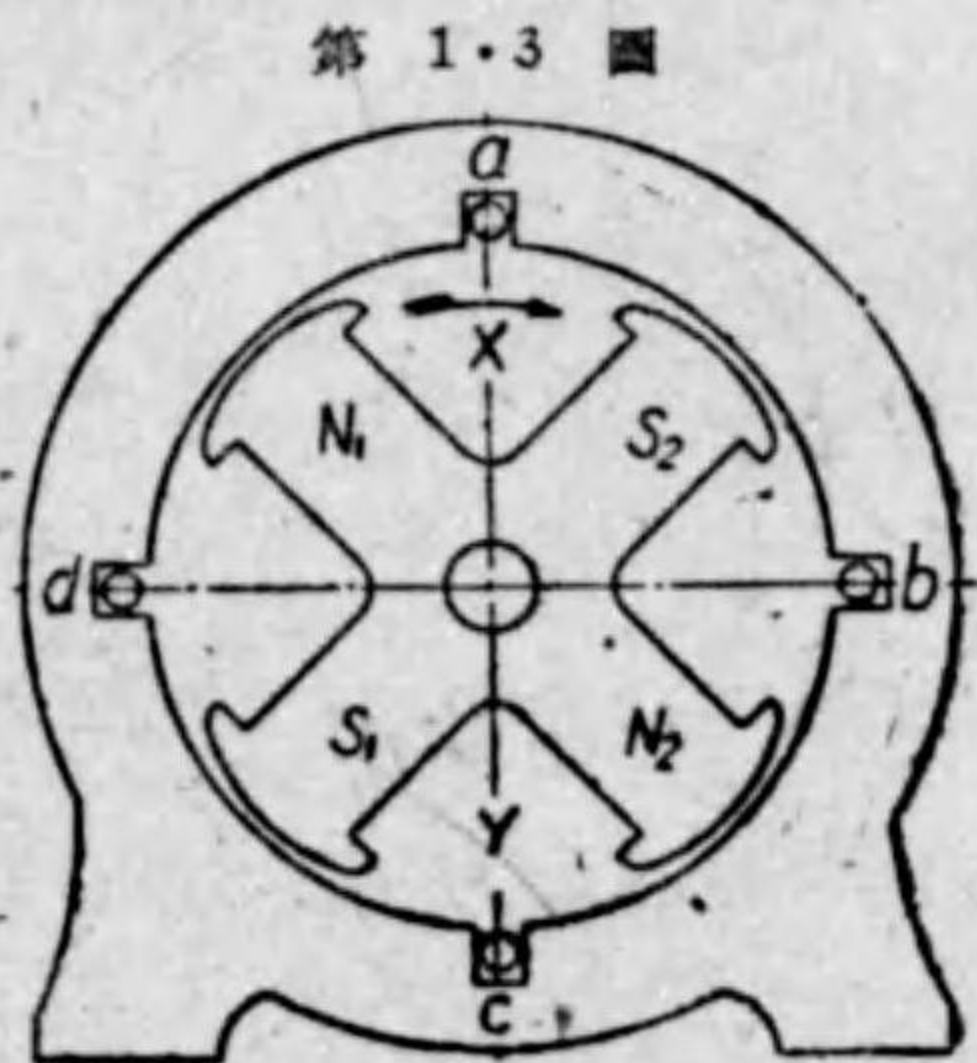
機もある。それで我國に於ては 50 サイクルを標準周波數として採用される事になつたのである。

各地で使用する交流電源の周波數が異なると云ふ事は、お互に電力を融通する場合に大變具合が悪いので、地域的には 50 か 60 かの何れかの周波數に統一されつゝある。然し全国的に單一周波數にするには、種々の困難があり、未だ實現されて居ない。註、昭和21年4月60サイクルに統一することに決定した。

現今では關東方面と關西方面の中間にある發電所では 50 サイクルと 60 サイクルの何れの周波數の電力をも發生し得る様に設備して、どちらへでも電力を送り得る様にしたものがある。この様な設備のない所では特別な装置（周波數變換装置）を施さなければ、電力の融通が出来ないのである。

6. 周波數と磁極數及び回轉速度との關係 第 1.2

圖に於て磁極が一回轉すれば、 C_1 及び C_2 なる導體の起電力は一サイクルを爲す。又第 1.3 圖は、四極の回轉界磁型發電機を示したもので、磁極が一回轉する毎に a, b, c, d なる各導體の起電力は 2 サイクルの變化



第 1.3 圖

をする。従つて p 個の磁極を有する發電機が一回轉すれば、 $p/2$ サイクルの變化をする事が分る。故にこの發電機が n 回/分、即ち毎秒 $n/60$ 回の回轉をすれば、誘起起電力の周波數 f は

$$f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60} = \frac{pn}{120} \quad (1.1)$$

となる。第 1.1 表は 50 サイクル及び 60 サイクルの起電力を發生する爲に選ばれた標準の磁極數と回轉速度との關係を示すものであつて、本表以外の磁極數は設計上不便な點があるので成るべく用ひない方針になつて居る。

第 1.1 表

磁極數 (p)	回 轉 數 (n)	
	50~	60~
2	3 000	3 600
4	1 500	1 800
6	1 000	1 200
8	750	900
10	600	720
12	500	600
16	375	450
20	300	360
24	250	300
32	187.5	225
48	125	150

7. 同期速度 (1.1)式を

書き換へると

$$n = \frac{120f}{p} = \frac{f}{p/2} \times 60 \quad (1.2)$$

(1.2) 式に於て、 n は毎分の回轉數、 f は電機子に誘起する起電力の周波數、 p は磁極數である。

この様に、電機子に誘起される起電力の周波數を、磁極の對數で除して得た商に等しい回轉數を、同期速度 (synchronous



speed) と稱し、普通はこの値を 60 倍して毎分の回轉數で表す。同期速度で回轉する電氣機械を同期機 (synchronous machine) と云ふ。

同期機には、同期發電機、同期電動機 (synchronous motor)、同期調相機 (synchronous phase modifier)、同期周波數變換機 (synchronous frequency changer) 及び回轉變流機 (rotary converter) 等がある。上記の内、本書に於ては回轉變流機は述べないが、他は順次説明を加へて行く。

復 習 問 題 I

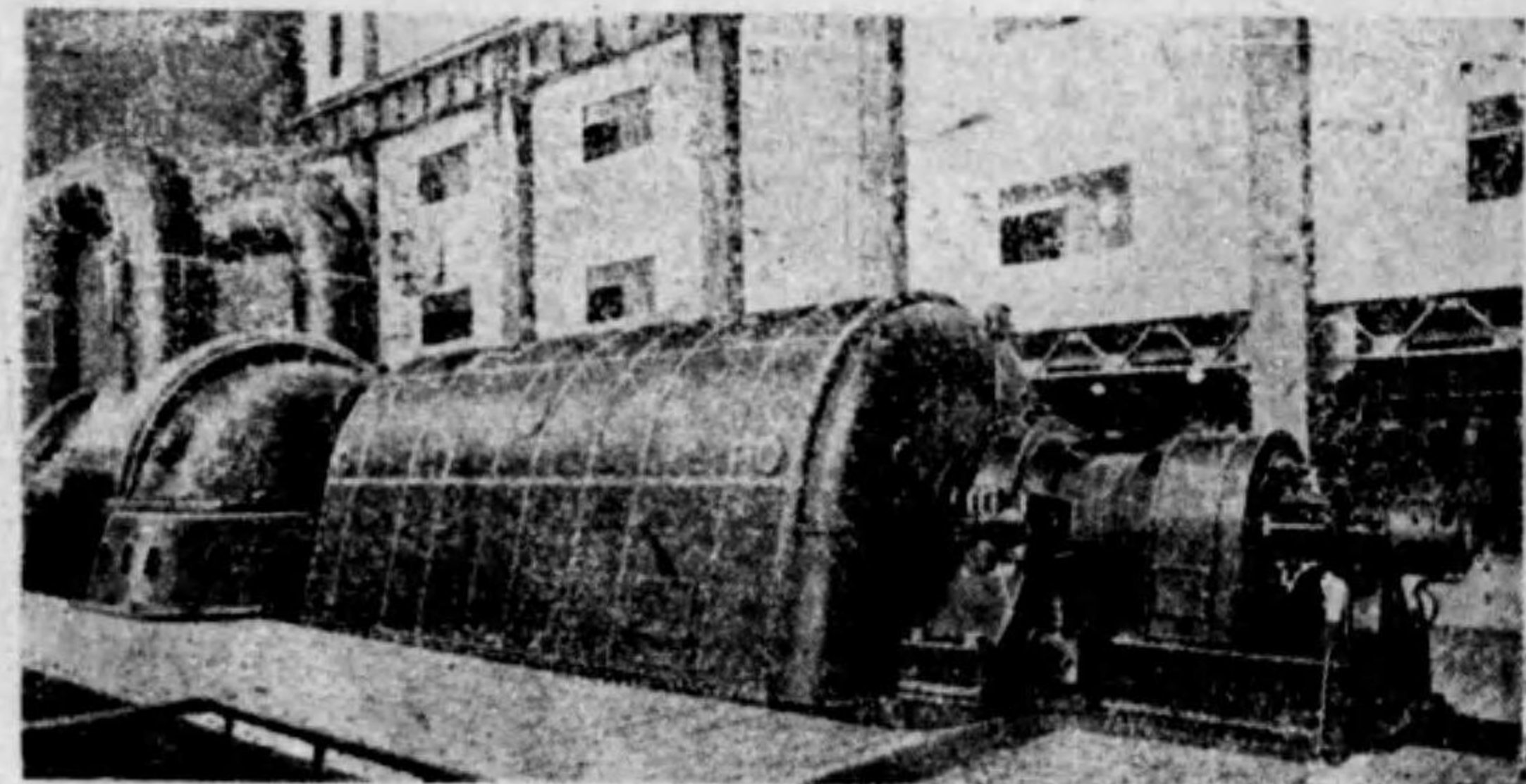
1. 交流發電機の電壓は何ボルト位が採用されるか。又その周波數の我國に於て用ひられて居るものは幾何か。
2. 回轉界磁型交流發電機とは如何なる型式のものか。又回轉電機子型に勝る點を述べよ。
3. 6 極で 50 サイクルの周波數を得る爲には毎分何回轉の速度を與へねばならぬか。
4. 常用周波數の電壓を發生する發電機では、その回轉數は毎分 3 600 回が最高であると云ふ。その理由を説明せよ。
5. 勵磁機とは何か。
6. 同期速度とは何か。

第二章 交流發電機の構造

1. 回轉速度と形態との關係 前章で述べた様に交流發電機に於ては回轉速度と周波數及び磁極數との間には、一定の關係があつてこの内二つが定まれば他は (1・1) 式から、自から定まつて了ふ。周波數は前述の様に特殊の使用方面を除けば、50 サイクルと 60 サイクルとである。又回轉速度は使用する原動機の種類に依つて大體は定まる。即ち原動機は夫々その種類に依つて最も經濟的な速度を有するものである。

例へば内燃機關では 80 乃至 300 轉/分位。水車では落差に依つて大いに異なるが 100 乃至 900 轉/分位である。然るに蒸汽タ

第 2・1 圖



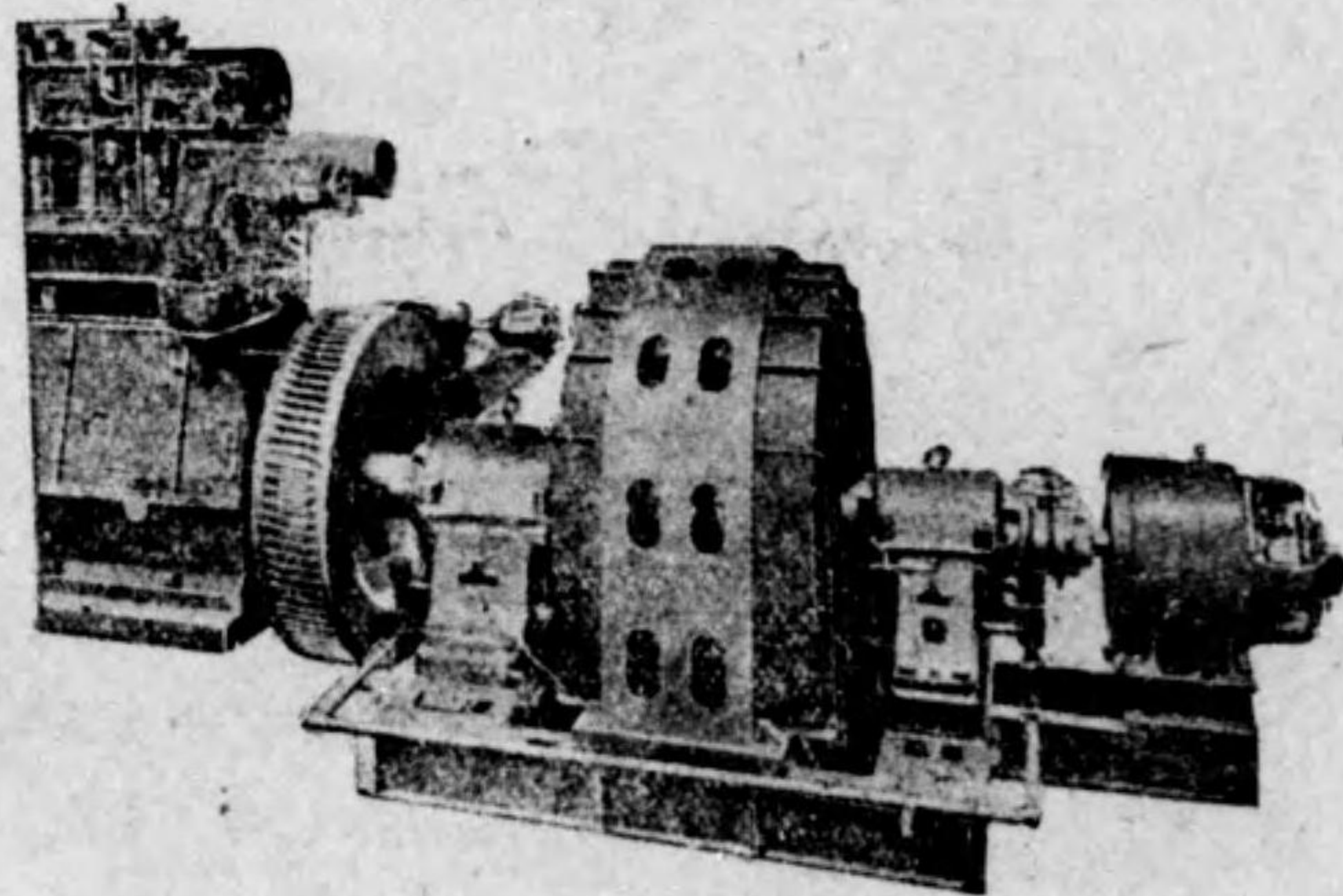
蒸 汽 タ ー ビ ン 用 發 電 機

ーピンでは桁違ひの高速度で、1500乃至3600 $\frac{rpm}{分}$ が最も廣く用ひられる。従つて、發電機の極數も内燃機關用では20極以上、水車用には8乃至60極位で、蒸汽ターピン用には2乃至4極と云ふ事になる。

第2・1圖は回轉速度の大なる蒸汽ターピン用發電機を、第2・2圖に速度の低い内燃機關用發電機の各一例を示したものである。

この様に回轉速度が違ふと何故にその形態が異なるかと云へば、それには二つの理由がある。第一に同じ周波數に對して速度の大小に應じて磁極の數が違ふ。第二に速度の大小に應じて許し得べき最大の直徑が異なるからである。即ち高速度になる

第 2・2 圖



内 燃 機 關 用 發 電 機

と遠心力の爲に破損する心配があるので、回轉部分の直徑を成るべく小とする必要があり、又磁極の數も少くなるので、後に述べる理由から勢ひ直徑に比して軸長の大きいものとなる。これに反して低速度の發電機は20極又はそれ以上もの磁極を回轉部分の外周に並べる結果直徑は大となり、軸長は小でも良くなる。この様に直徑は大となつても回轉數が少いから遠心力の爲に破壊される心配が少い。

2. 交流發電機の種類 交流發電機は第一章第4節に述べた様に一般に回轉界磁型であつて、回轉部分は回轉子 (rotor) とも呼ばれ、之に對して靜止せる電機子の部分を固定子 (stator) と呼ぶ。

固定子は、固定子枠 (stator frame)、電機子鐵心 (armature core)、電機子線輪 (armature coil) 等より成立つて居る。

回轉子は、軸 (shaft)、輻鐵 (spider)、轡鐵 (yoke)、界磁鐵心 (field core)、界磁巻線 (field coil) 及び集電環 (slip ring) 等より出來て居る。

この外刷子 (brush)、軸受 (bearing) 及び軸受臺 (bearing stand 又は pedestal) 等の必要な事は直流發電機の場合と異なる。尙ほ發電機と直結或は獨立に磁勵機を必要とする。

上記のものを説明するに當つて、その便宜上次の様にこれを

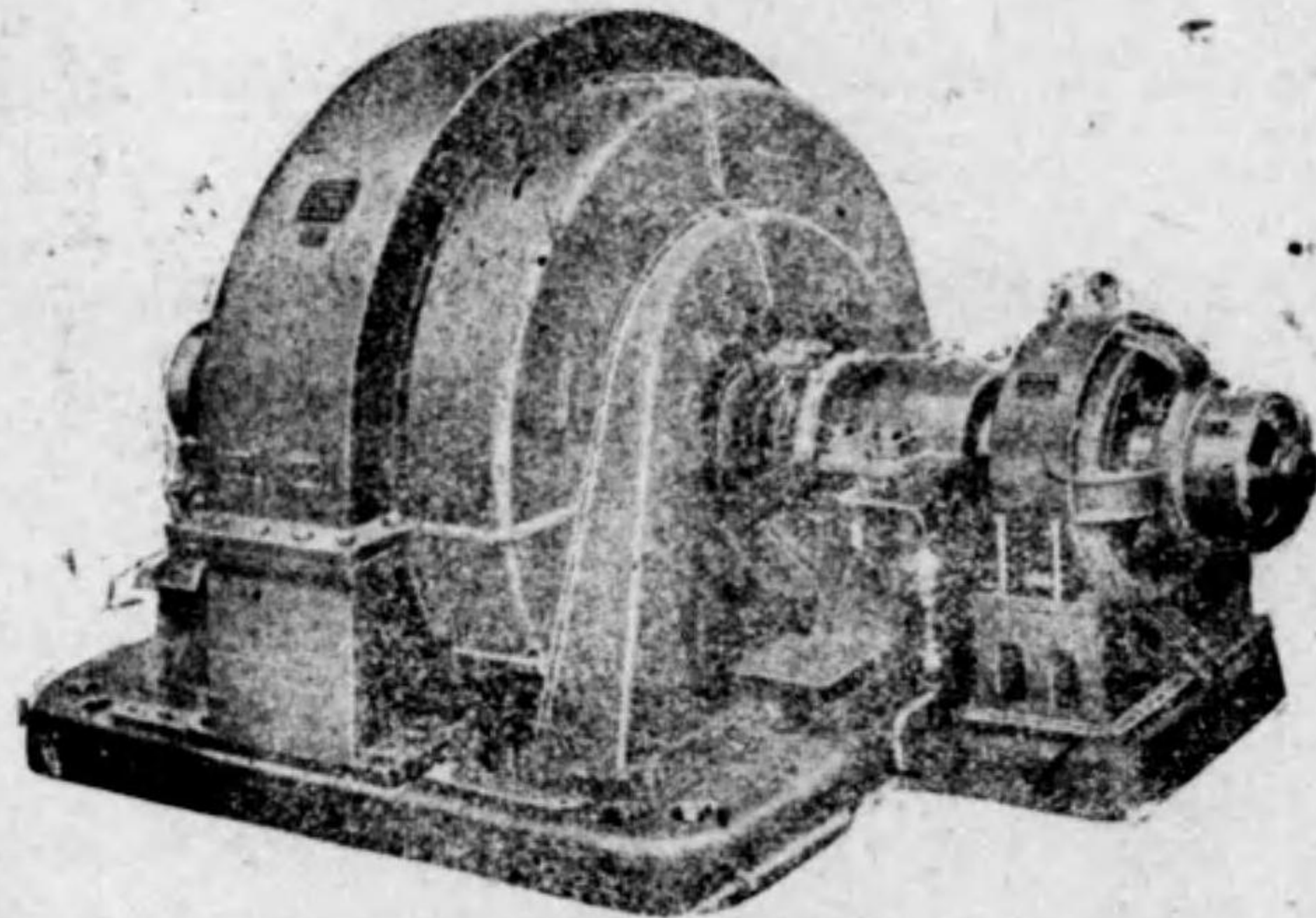
運轉する原動機に依つて發電機を分類して見よう。

- a. 水車發電機 (water-wheel generator)
- b. タービン發電機 (turbine generator)
- c. 機關直結發電機 (engine generator)

これ等の説明は節を改めて述べよう。

3. 水車發電機 水車發電機には横軸型 (horizontal type) と縦軸型 (vertical type) とがある。第 2・3 圖は横軸型、第 2・12 圖は縦軸型水車發電機の一例である。

第 2・3 圖



横軸型水車發電機

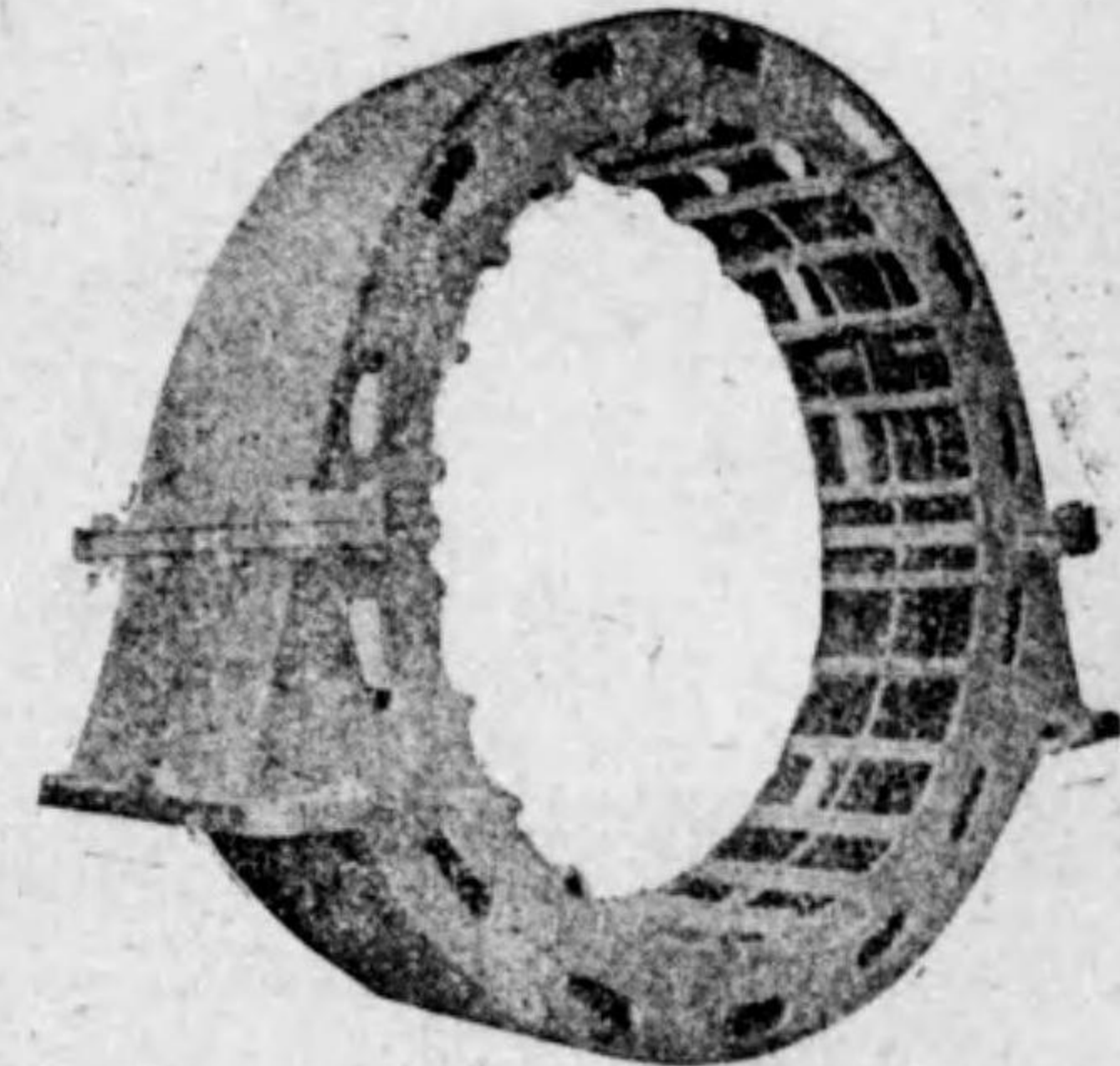
縦軸型は床面積が少なくて済み、又低落差の場合等に落差を無駄なく利用出来るので近時好んで用ひられて居る。その理由は

横軸型では發電機軸と水車軸とが同一水平面内にあるので、洪水に際し浸水の害を防ぐため、放水面を發電機の床面より相當に低くする結果、落差の一部を損失するに對し、縦軸型では水車を發電機の下方に取付け、發電機を洪水面より高く置く事が出来るためである。

a. 固定子 固定子

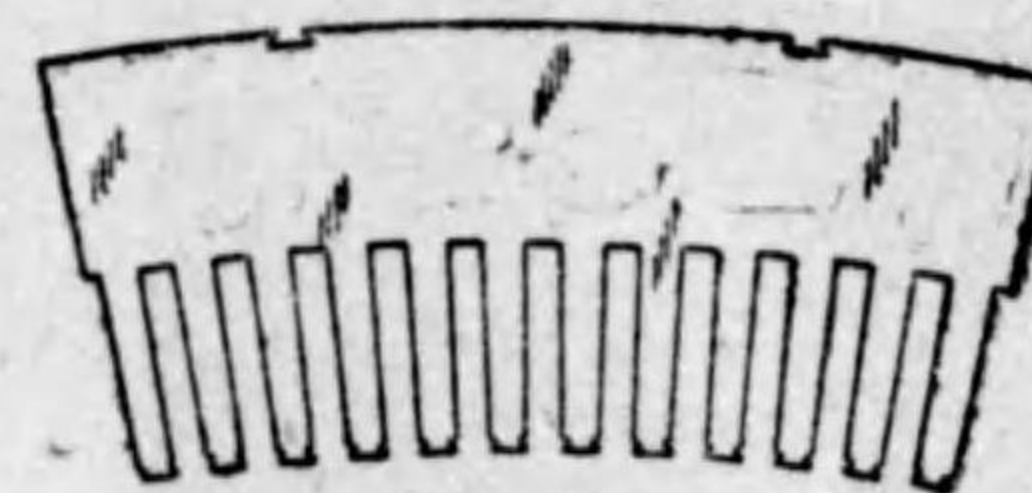
枠は以前は鑄鐵で造られたが、近時は専ら鋼板を電氣熔接して造つた接合構造 (fabricated construction) の枠 (frame) のものが多い、但し小容量のものには鑄造したものが用ひられる。第 2・4 圖は接

第 2・4 圖



接合構造固定子

第 2・5 圖



電機子鐵板

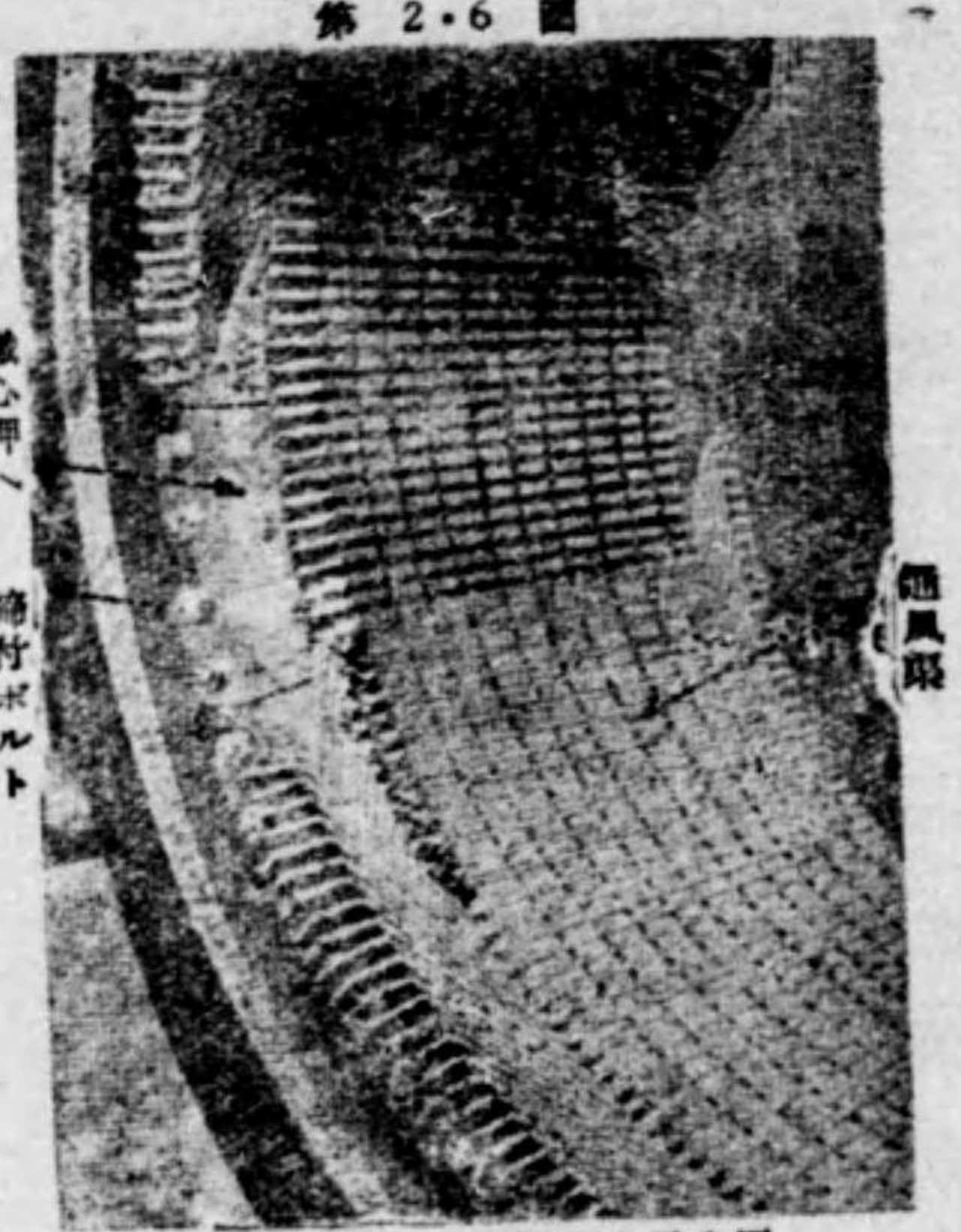
合して造つた固定子枠である。

電機子鐵心には厚み 0.35 mm の硅素鋼板を、第 2・5 圖の様に扇形 (sector) に打抜いたものを、固定子枠の内

周に沿うて、ありざし接 (dove-tail joint) 即ち鳩尾狀結合に依

つて取付けながら成層する。この際各扇形鋼板は半重積 (half lap) 即ち半分宛接目の位置がづれて置かれるのである。鐵心の兩外側は押へ板を當て、強力な通しボルトで締付ける (第 2・6 圖参照)。

鐵心を成層する際には直流機と同じ様に通風の



交流電機子の二層巻を示す圖

第 2・7 圖



交流電機子の單層巻を示す圖

ため適當の個所に間隔片を入れた通風渠 (air duct) が設けられる。

電機子の溝 (slot) は普通は開溝 (open slot) であるが、小容量低壓のもの或は線輪の巻數の 1 乃至 3 のものでは半閉溝 (semi-enclosed slot) を採用することがある。半閉溝は開溝に比して鐵損が少ないが線輪に絶縁を完全に施すことが困難である。

線輪は半閉溝の場合は手巻きを用ひるが、多くは開溝にして型巻 (former-wound) の線輪を嵌める。型巻線輪は小容量では丸線を用ひるが、普通は銅條を用ひる。

線輪の絶縁は特に重要な問題であつて、型巻線輪に於ては普通は直流機と同様に二重綿巻の軟銅線を巻型に巻くのであるが、6 600 V 以上の様な高電壓のものでは、マイカナイトで絶縁した軟銅線

第 2・8 圖



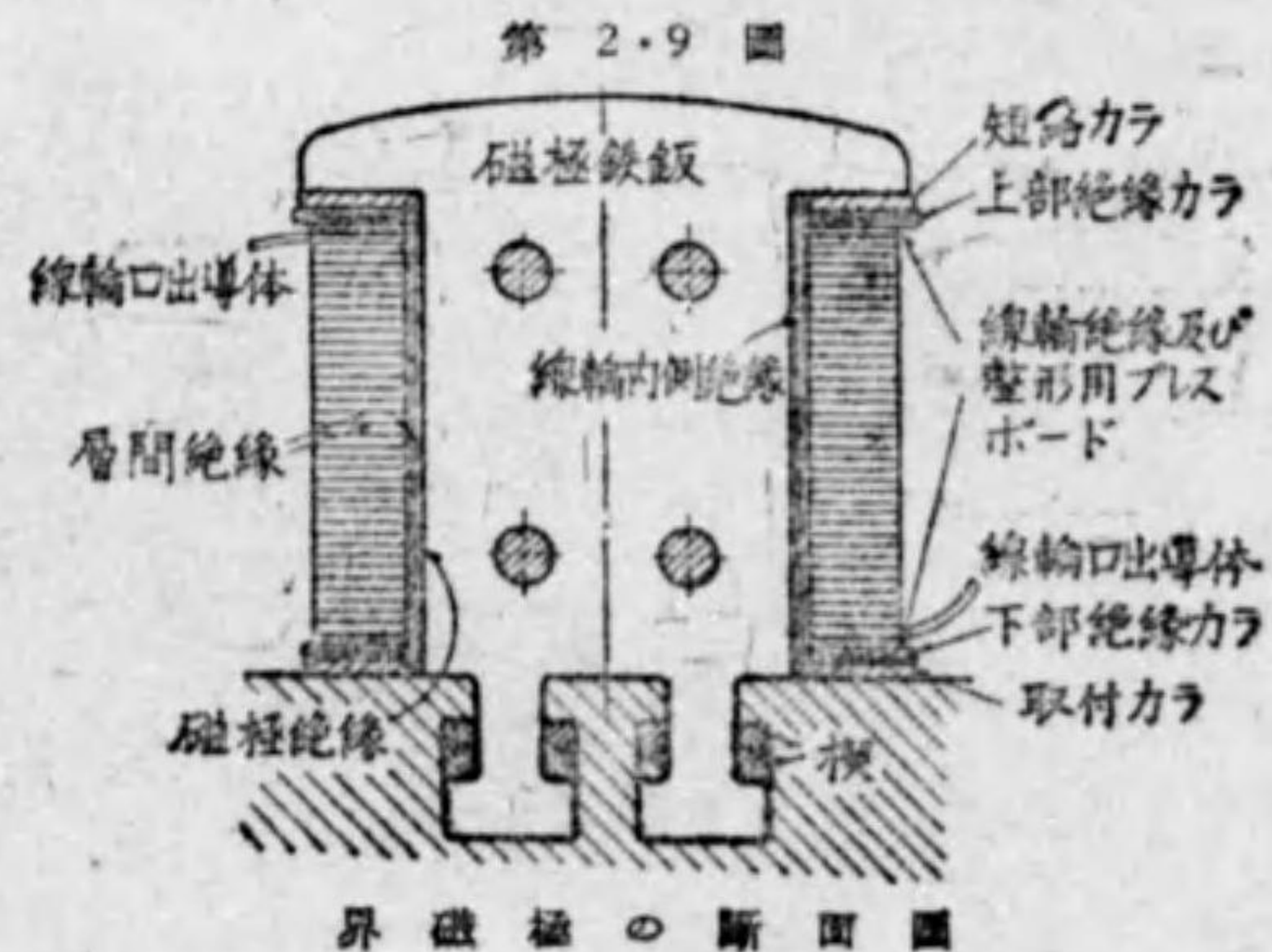
を巻型に巻き、その上にマイカ紙で層間絶縁を施し、更にその上をマイカ紙にて十分に絶縁をして、これを、真空乾燥して、混和物を壓入する、所謂含浸法を施すのである。

上記の様に十分に絶縁された線輪を溝に納める際は、溝の内側に、ファイバ又は石綿紙の様なものを入れて、溝絶縁を施すのである。

溝に線輪を入れる方法には第 2・6 圖の様の一つの線輪邊が溝の深さの半分を占有する二層巻 (double-layer winding) と、第 2・7 圖の様の一つの線輪邊が溝の深さ全部を占有する單層巻 (single-layer winding) 又は鎖形巻 (chain winding) とがある。二層巻は直流機の電機子と同じ方式で溝に納められるが、單層巻は全然様子が違ふ。之等に就ては後節で詳しく述べる。

b. 回轉子 第 2・8 圖は回轉界磁型回轉子であつて、輻鐵

(軸に嵌め込まれた部分と、輻射状の腕の部分)の周圍の繼鐵 (yoke) に磁極が取り付けられて居る。輻鐵及び繼鐵には、鑄

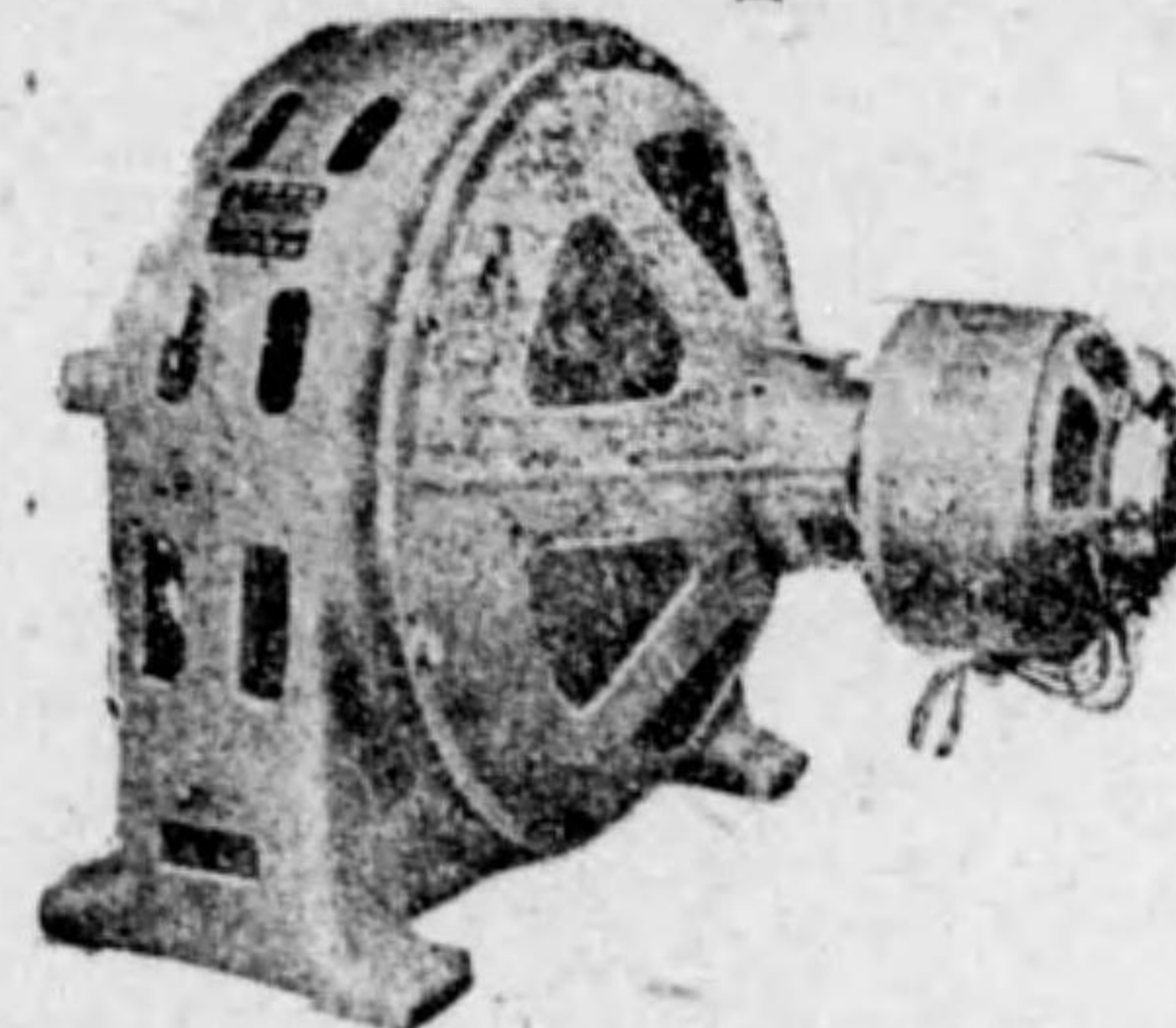


鐵又は壓延鋼板の積重ねたものが用ひられ、磁極の鐵心は 1.6 mm

第 2・10 圖



第 2・11 圖 界磁巻線 (平打巻線)



横軸型交流發電機 (ブラケット型軸受)

これをファイバ製の絶縁カラで絶縁して嵌め込む (最上部の短絡カラに就ては後節に述べる)。

この様な磁極を繼鐵にありざし接となし、楔 (wedge) で止める。

乃至 3.2 mm の鋼板を第 2・9 圖の様な型に打抜いたものを成層してボルト締めとする。

界磁巻線は第 2・10 圖の様な平打巻線 (edge-wise winding) を使用し、

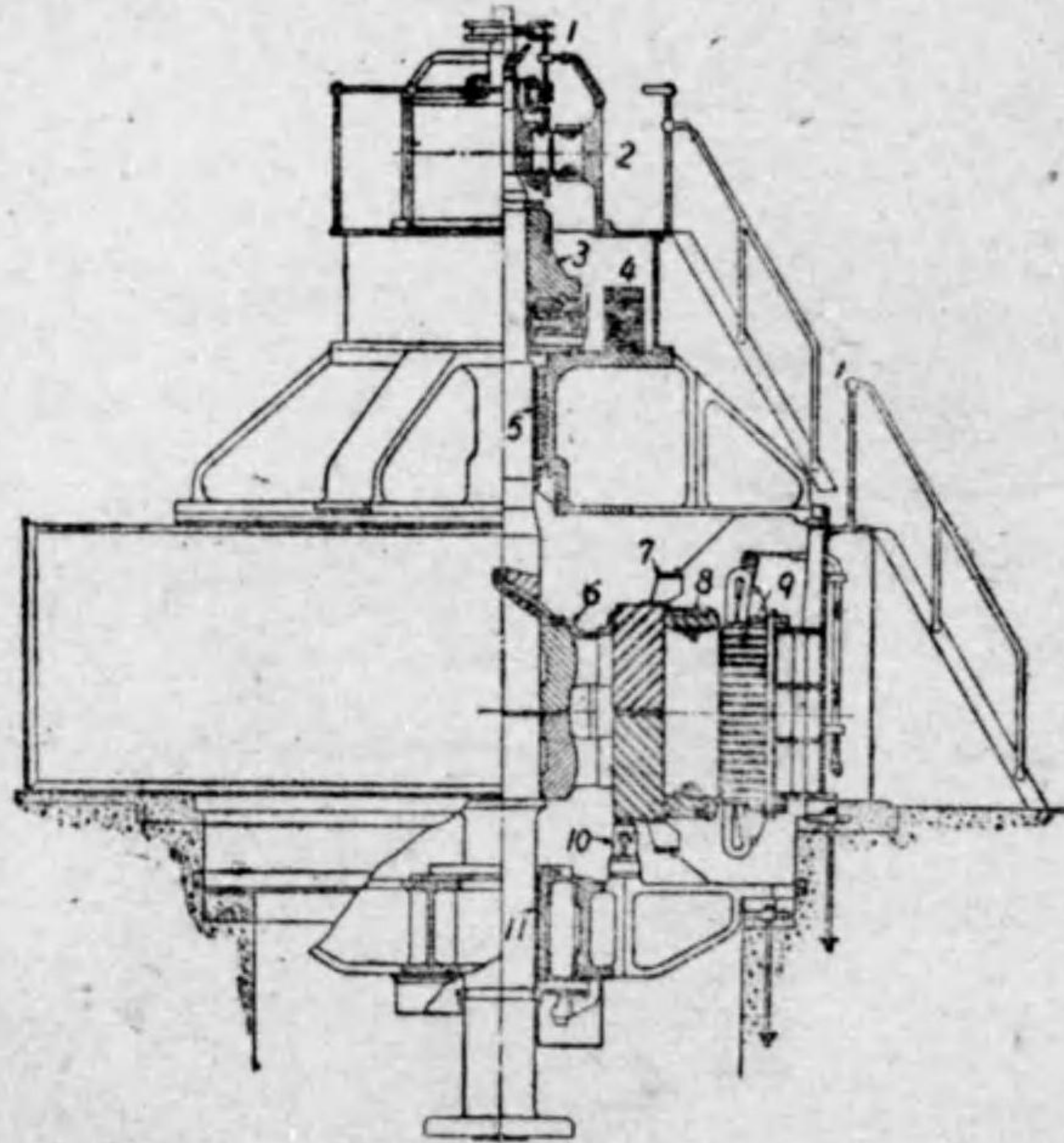
第 2・12 圖



豎軸型水車發電機

第 2・8 圖の最上端の環は集電環であつて、之に刷子を接觸せしめて界磁電流を供給する。この圖では集電環と界磁巻線との接續線は軸の中を通つて居る。集電環の隣に小さい電機子の見えるのは直結勵磁機のものである。尙ほこの圖から明かな通り磁極の部分が凸出して居るので、この種の回轉子を有する發電機は凸極型發電機 (salient pole generator) とも云はれる。

第 2・13 圖



- | | | | |
|----------|----------|-----------|--------|
| 1 集電環 | 2 勵磁機 | 3 推力軸受 | 4 冷却水管 |
| 5 上部補助軸受 | 6 直流ケーブル | 7 通風翼 | 8 界磁巻線 |
| 9 電機子鐵心 | 10 プレーキ | 11 下部補助軸受 | |

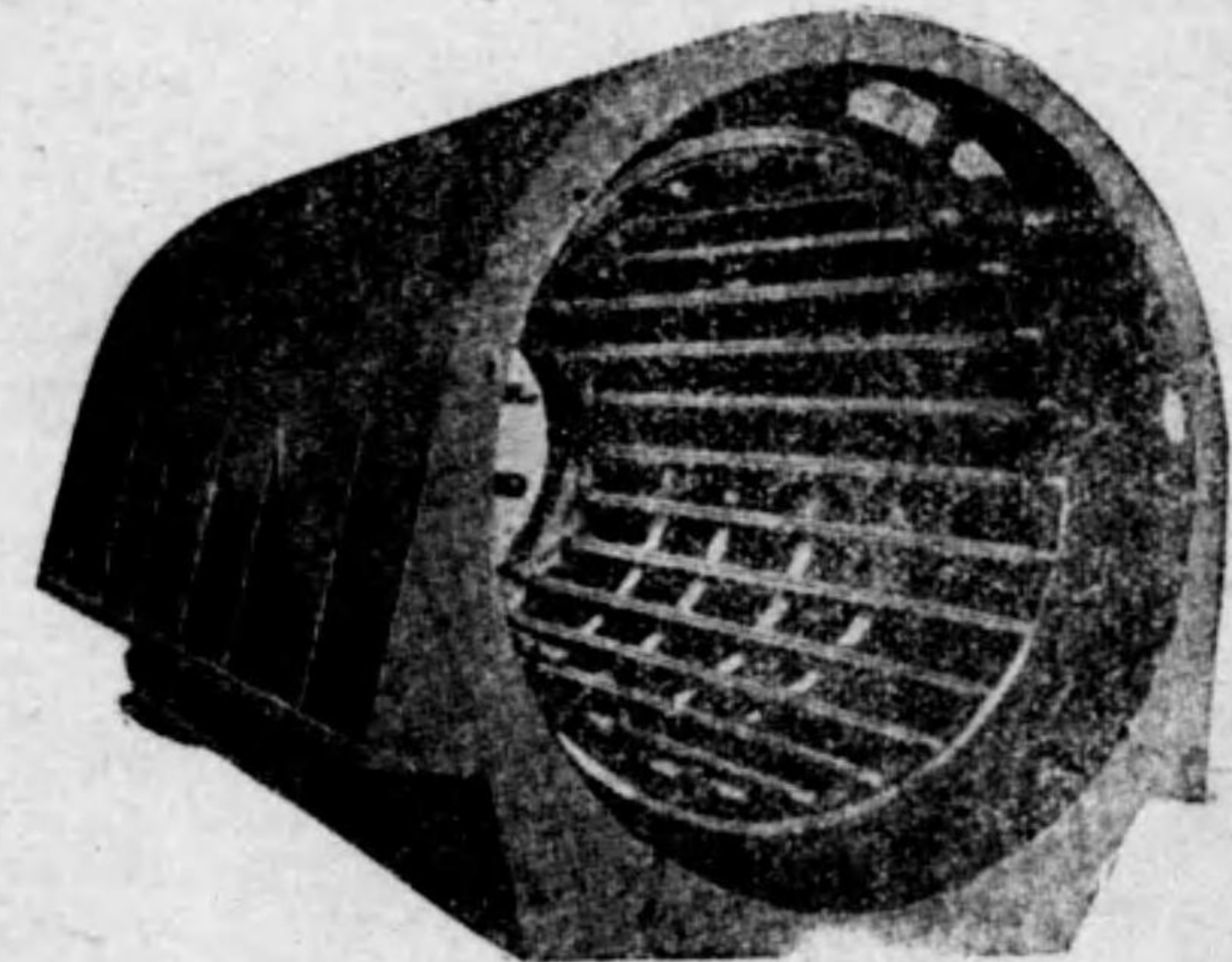
c. 豎軸型と横軸型 豎軸型も横軸型も發電機そのものには變りはないが、只軸受の部分が異なる。第 2・11 圖は横軸のブラケット型、第 2・3 圖はスタンド型、第 2・13 圖は豎軸型である。豎軸型の機械的部分の構造は水力發電所の部門に譲るが、電機子の溝が縦になつて居るので、長年月の後にも線輪が溝の方向にすれ落ちぬ様に考慮する必要がある。

第 2・13 圖に豎軸型水車發電機の断面を示し、各部の名稱が付してあるから仔細に點檢せられたい。

4. タービン發電機 蒸汽タービンは速度が大である程能率が高いから、運轉費が廉くなる。又速度が高いと同じ出力の機械であつて

第 2・14 圖

も著しくその容積、重量、床面積が節約され、従つて建設費が僅かで済む。これ等の理由で、現代の火力發電所では蒸汽

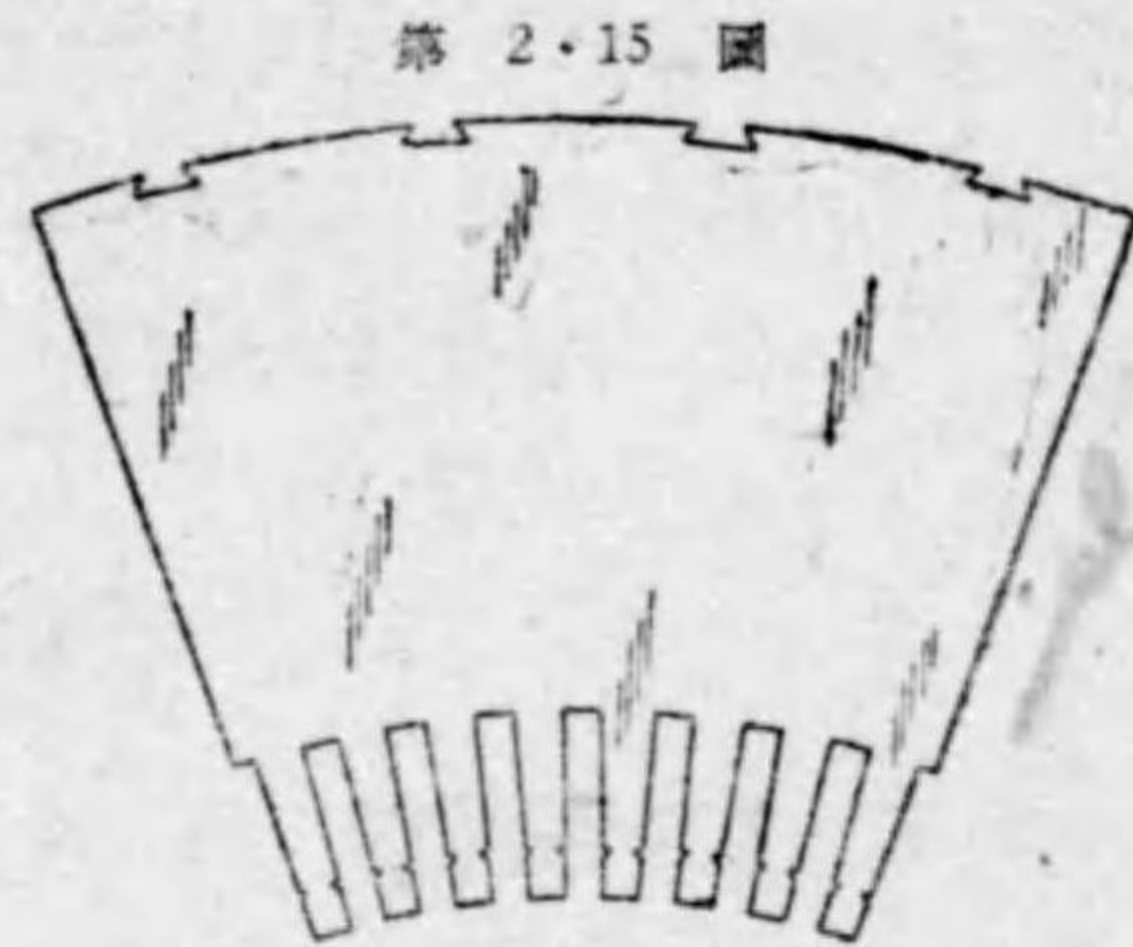


タービン發電機用電機子鐵心

タービン萬能の觀がある。尤もこれが爲に發電機の設計には特に考慮せねばならぬ點が多々あつて、水車や機關で回轉されるものとは著しく異なるのである。

a. 固定子 第2・14圖にタービン發電機の固定子枠を示す、これも水車用のものと同様に鋼板を電氣熔接して造るのが最近の傾向である。

電機子用薄鋼板は第2・15圖の様な形に打抜かれ、これを固定子枠の内周に成層するのである。

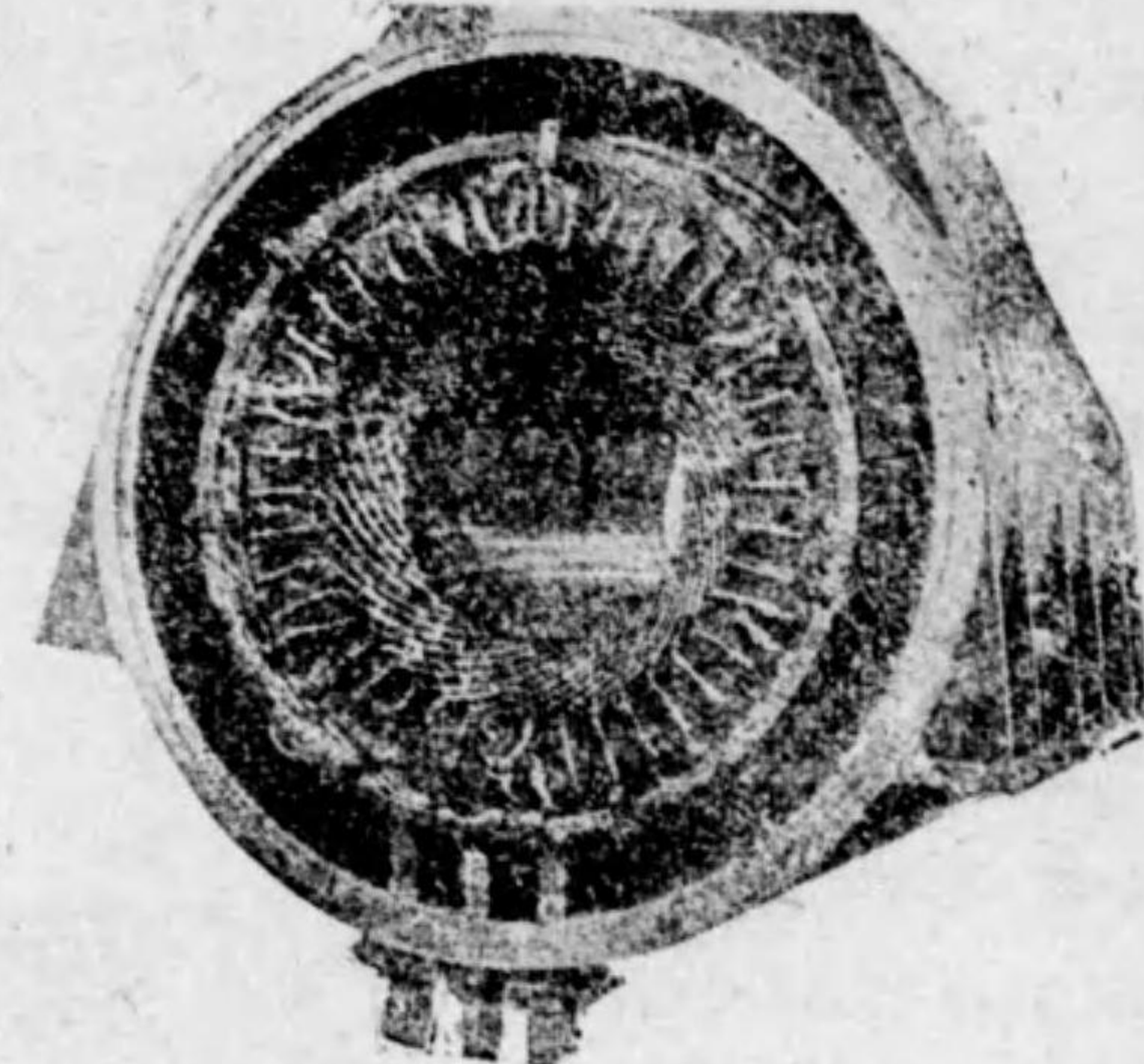


タービン發電機の電機子鐵板

電機子巻線も水車用のものと大差ない。然しタービン發電機の固定子の特徴は、第2・16圖の様にその鐵心の溝の底から鐵心の外周迄の距離が、水車發電機の鐵心に較べて、非常に厚い事である。これは磁極數の少ない結果每極の磁束が法外に大きい爲である。又端接續の部分が溝の外へ左右共長く突出して、中々大きい場所を取つて居る。これも磁極數の少ない結果比較的、線輪ピッチが大となり、端接續の部分で重り合ふ部分が多くなる爲である。さうして、その部分は發電機に短絡でもあれば、電線相互間に非常に大きな電流力作用に依る機械的力が働いて、その形を歪め、又は被覆を破つて銅線間に火花を發する様

な危険を招く虞れがある。故に此の部分は特に堅固な線輪支へを施して、容易に動搖出來ぬ様にして置く必要がある。第2・16圖は完成したタービン發電機の固定子の一例である。

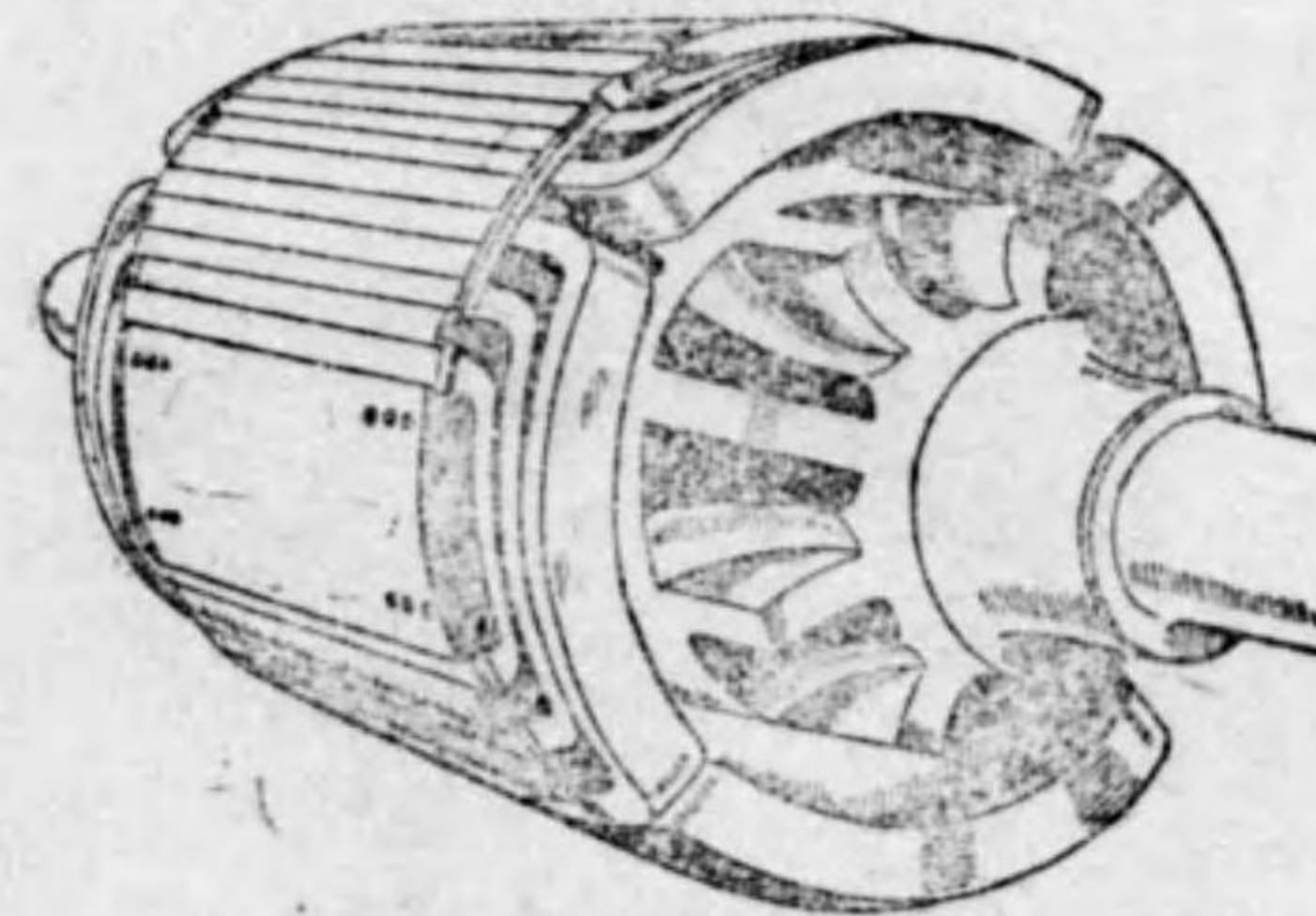
第2・16圖



完成せるタービン發電機固定子

b. 回轉子 タービン發電機の回轉子は回轉數が甚だ大きいため直徑を餘程小さく取つても周邊速度は可なり大きくなる。

第2・17圖



輻狀溝の圓筒形磁極に巻線を入れた圖

即ち水車發電機ではその周邊速度は2000*/分を越えないが、タービン發電機では6000*/分以上に達する場合も稀でない。従つて遠心力に依つて

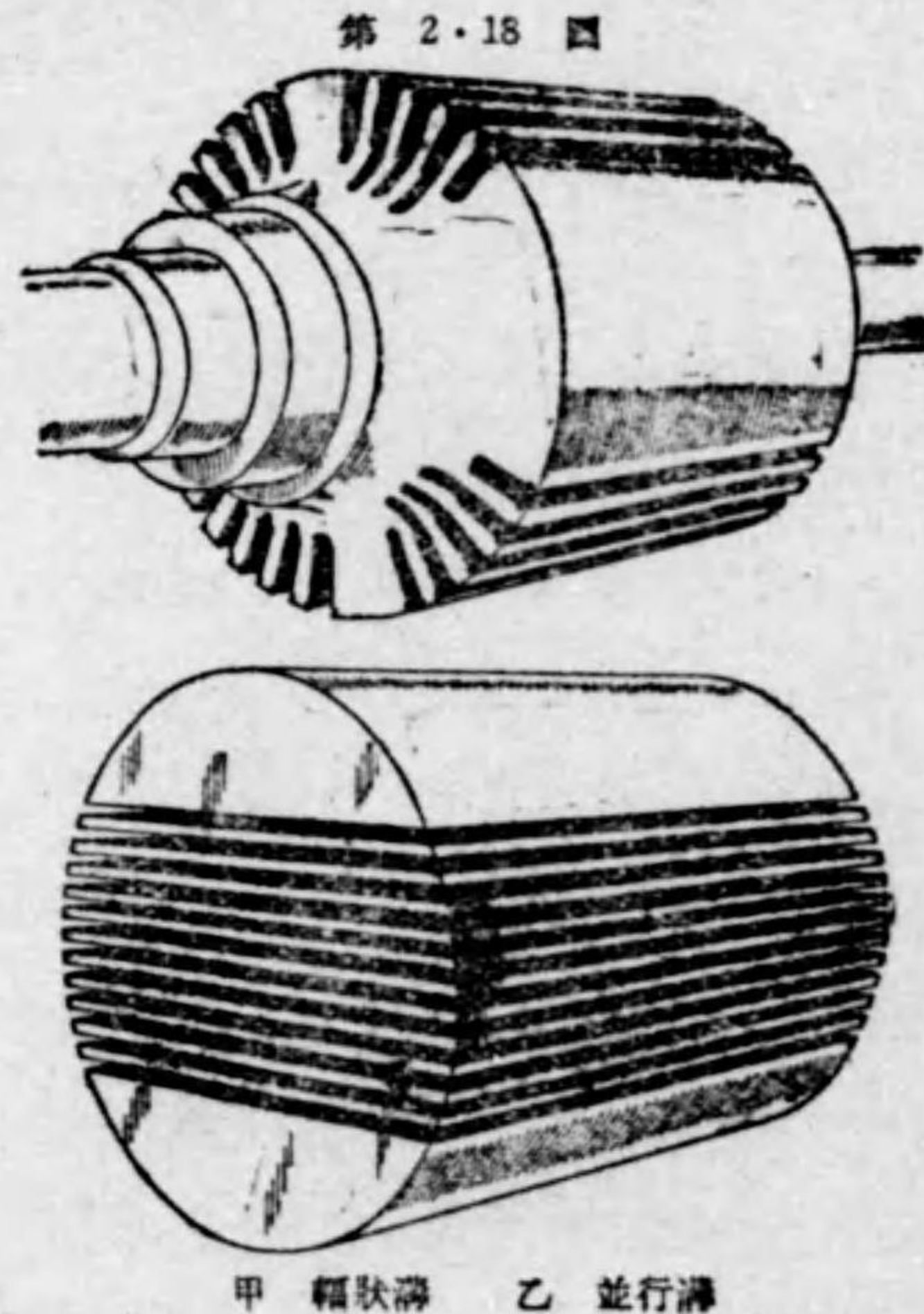
破壊されることを避けるため、周到な設計と優秀な材料とを必要とする。

又直径が小さいので、輻鐵及び繼鐵部分を一塊の鋼鐵とし、之に凸極 (salient pole) を設ける方法もある。然しそれよりは寧ろ第 2・17 圖の様に其の鋼鐵塊を圓筒形に作り、之に溝を設けて界磁線輪を嵌め込む方が良く、此の種のことを圓筒形磁極 (cylindrical pole) と云ふ。

圓筒形磁極の溝には第 2・17 圖及び第 2・18 圖の様に輻状溝 (radial slot) のもの

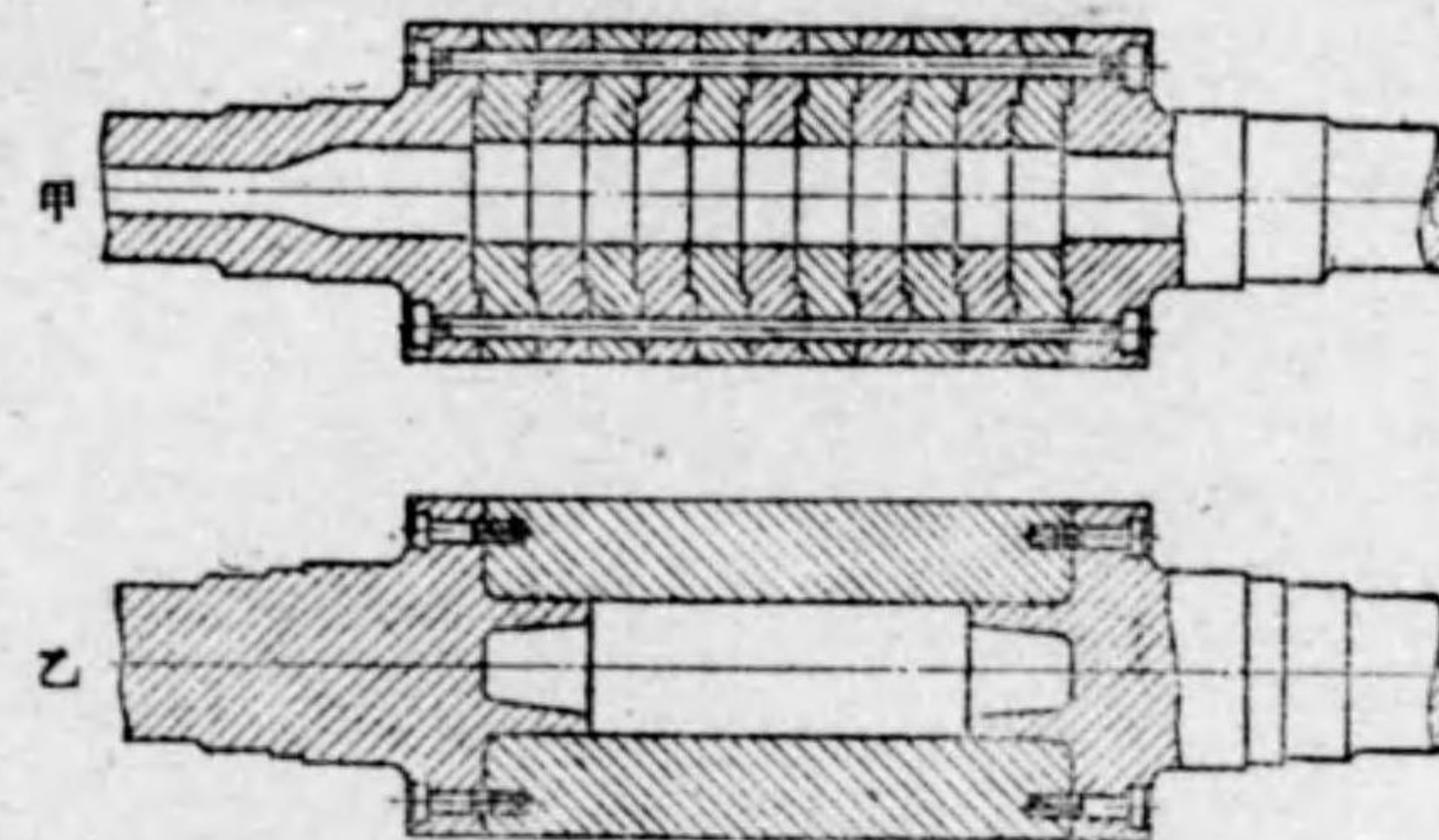
が多いが同圖乙の様に並行溝 (parallel slot) のものもある。甲

圓筒形磁極を有する回轉子の材料にはニッケルクロム鋼の様に強力な特殊合金鋼が用ひられるのであるが、それにしても、前記の様な單一鋼塊から造つたものは最も力のかゝる中



央部の鍛鍊が不十分になり勝もで、又熱處理に依る歪等の缺陷が起り易いので、これを何個かに分けて造る事が行はれる。第 2・19 圖甲は中央鐵心部に數個の厚い鋼板を積み、兩側に軸の

第 2・19 圖

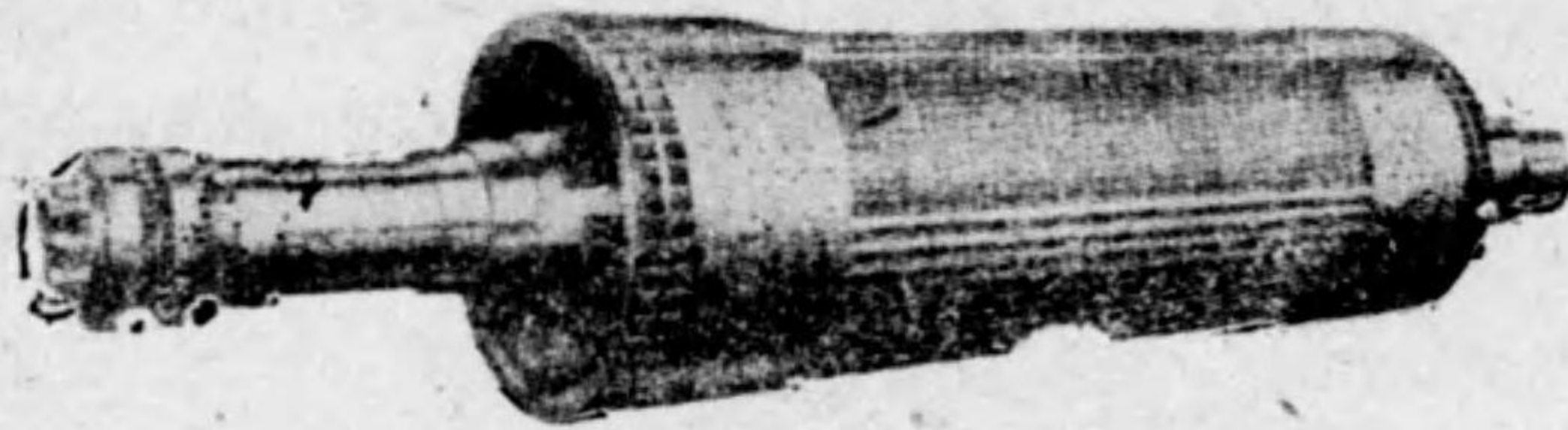


甲 鋼板組立式回轉子 乙 三部組立式回轉子

兩端になる部分を當てゝ、強力なボルトで締付けたもの、又乙圖の様に中央鐵心部を一つの鋼塊で造り、兩側に回轉子の軸部を燒嵌めして、ボルトで締付けたもの等、單一鋼塊式の缺點を補ふ方式が採られて居る。

以上の様にして組立てられた回轉子に界磁巻線を入れる溝を切り、そこへ巻線を絶縁して納めるのである。尙ほ遠心力に依つて巻線が脱出するのを防ぐ爲に、丈夫な非磁性金屬の楔を嵌める。又端接續の部分が膨れ出さない様に、矢張り非磁性金屬の保持環の端を燒嵌めし、その突出部を保持する。第 2・20 圖

第 2・20 圖



完成せる圓筒形磁極回轉子

は完成した圓筒形回轉子を示す。

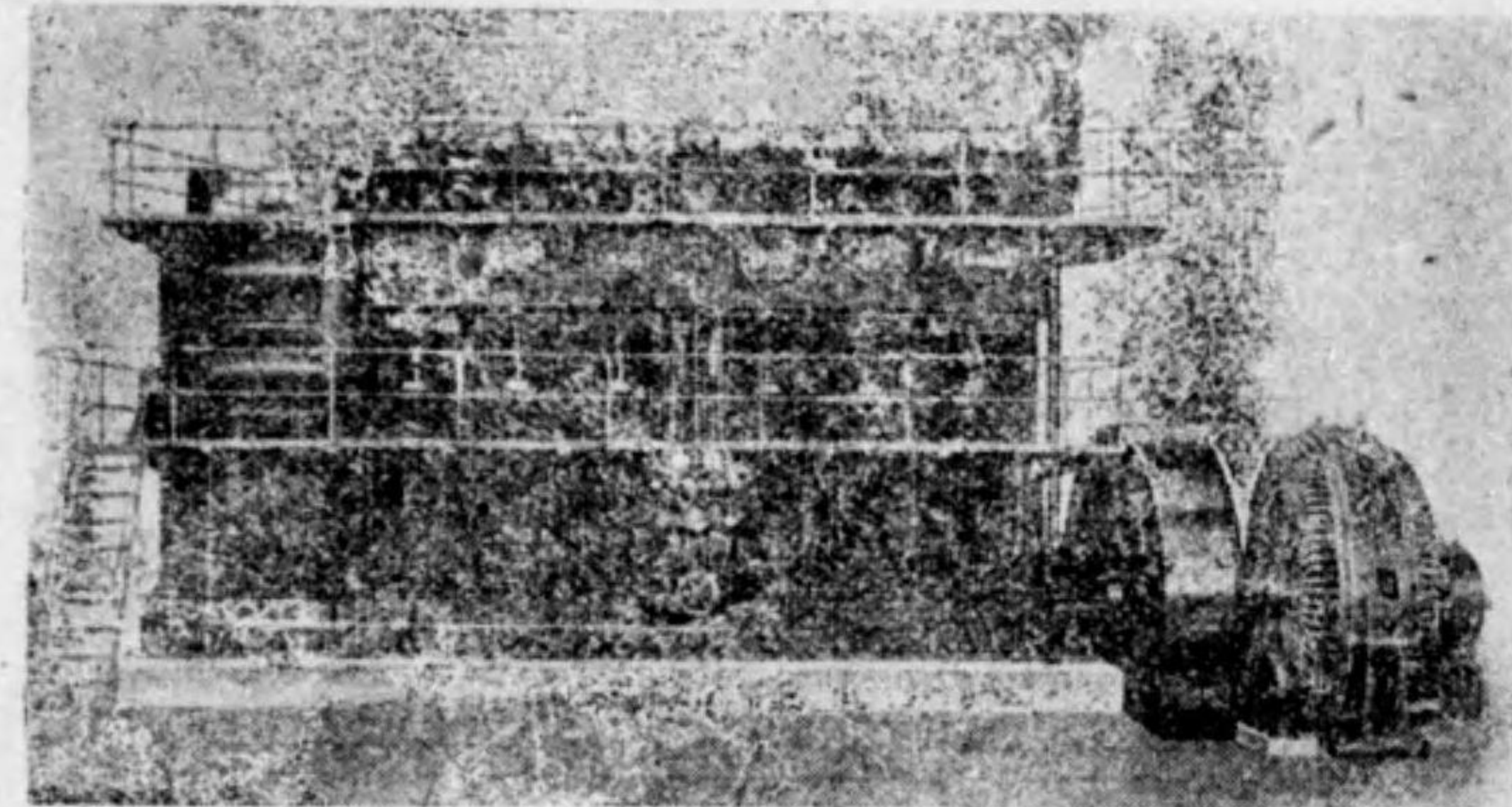
回轉子の各部重量の配布の不整から起る、運轉中の機械の振動は、直徑に比して軸長の甚だ長い、この種の發電機に於ては屢々起る困難である。此の不整を修正する事を、平衡 (balance)を取ると云ひ、各工場に於て嚴密に行はれるのである。

この様にタービン發電機回轉子は、設計及び製作に苦心されるのであるが、最近界磁卷線に銅の代りに、アルミニウムを使用する案も考慮されて居る。普通の電動機などの導體にアルミニウムを使用するのは、銅の不足を補ふ代用品として採用されるのであるが、タービン發電機の場合にはこれとは別の意味がある。即ち界磁卷線が遠心力の爲に回轉子に與へる力を幾分でも小さくしようとする爲である。然し、アルミニウムはその工作及び電氣抵抗、強度等に難色があるので、これに代る輕金屬の出現は望ましいものであるが、卷線の重量は輕減されるので將來大容量の發電機に大いに利用され得る可能性がある。

5. 機關直結發電機 ガス機關、重油機關に直結せられる發電機は補助發電、工場動力用、獨立小部落の電燈電力用又は非常用發電等に使用せられる。これは取扱の簡單、起動に要する準備時間の短い事等の利益がある。

この種の原動機に依つて運轉されると、一回轉中の回轉速度にムラを生ずる。これを成可く一樣にする爲には、回轉部分の慣性能率を大とする方法が採られる。第 2・21 圖にタービン機

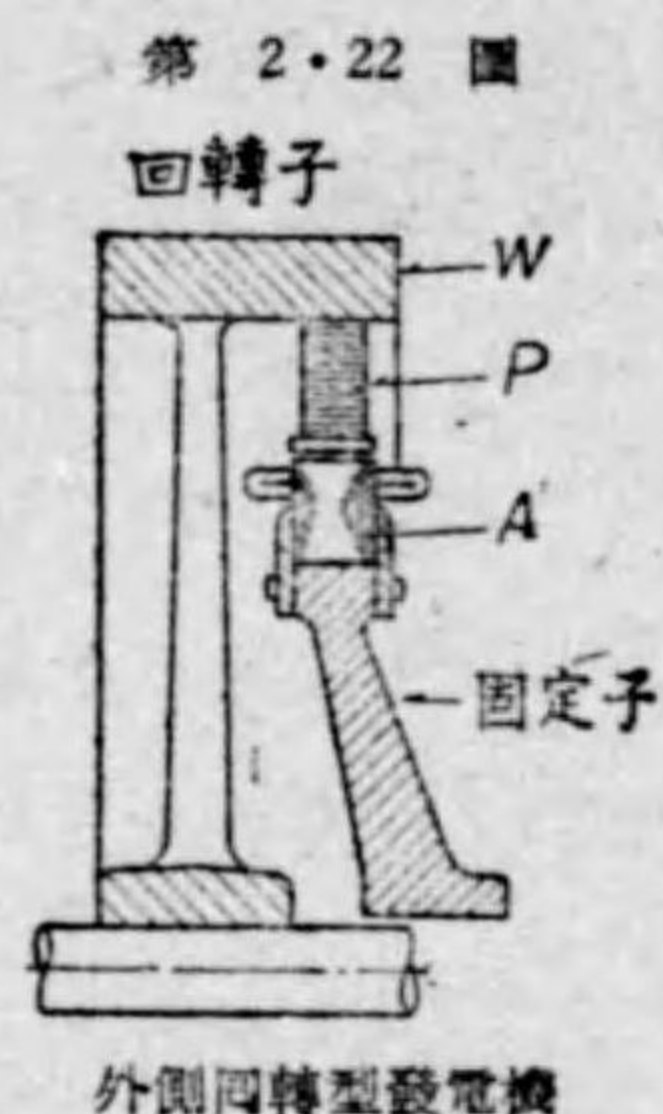
第 2・21 圖



タービン機關發電機

關直結の發電機を示す。同圖に見えるはずみ車 (flywheel) は慣性能率を増加する爲に附加せられたものである。この様に、はずみ車を附加するならば發電機には特殊な設計を施さずともよいが、次に述べる様な特殊の型式のものもある。

それは外側回轉型発電機 (outer-pole generator) と云つて、第 2・22 圖の様に固定子は内側で静止し、外側に回轉界磁を置いたものである。この様な構造にすると、回轉子のはずみ車効果が大きであつて、而も電機子鐵心の半径を小なる物に造る事が出来るので、発電機構造としては材料の節約となる。然し電機子の中心を回轉子が貫く點に於て、機械的構造が複雑して來る虞れがある。近頃はターゼル機關等も次第に高速度となつたので、外側回轉型のものは殆どない。



6. 発電機の冷却 交流発電機に限らず一般に電気機械は電力損失に依つて生ずる温度上昇を防ぐ爲に冷却空氣を通じ、機械の各部を冷却する様に設計せられて居る。

通風を行ふには第 2・8 圖又は第 2・20 圖の様に回轉子に扇風弁を取付け、回轉子の回轉に伴つて生ずる扇風を利用するものが多い、これを自己通風方式 (self-ventilation system) と云ふ。又他に送風機を置いて通風冷却を行ふものを他力通風方式 (separately-ventilated system) と云ふ。冷却方式は冷却空氣の通路から次の様に分類が出来る。

- a. 発電機室内の空氣を吸込んで、機械を冷却し、その空氣を又室内に放出するもの
- b. 室外の空氣を通風路から吸込んで、冷却し、その空氣を室内に放出するもの。又はこれの逆通路を取るもの
- c. 室外の空氣を通風路から吸込み、冷却後空氣を更に他の通風路より室外に放出するもの
- d. 水冷式空氣冷却器を空氣の通路に備へて、同じ空氣を循環させて冷却する方式

これ等の内 c 及び d は発電機を外被にて閉鎖するので、閉鎖通風方式 (enclosed ventilation system) と云はれ、特に d の方式は循環通風方式 (circulated ventilation system) と云ふ。

閉鎖通風方式の特徴は、発電機室内の騒音が軽減され、又発電機の故障にて發火の際、消火法が簡便である。何故ならば発電機の發火に際して、その温度上昇に依つてヒューズを熔かし、そこから水を噴出せしめて消火する方法もあるが、この様な方式では発電機は水浸しになり、其の後の使用に差支へを生ずる。然るにこの際に循環通風方式であれば、其の循環空氣中に、炭酸ガスを噴出せしめ、又 c の方式なれば、空氣の出入口の扉を閉め、新しい空氣の供給を断ち、風胴内の扉を開いて循環通風と爲し、そこへ炭酸ガスを噴出せしめる。

この様にして、炭酸ガスに依つて消火する様にすれば、發電

機は故障部分のみの修理にて再び運轉することが出来る。これを炭酸ガス消火装置と云ふ。炭酸ガスを噴出せしめるには自動的でもよし又手動的に行つてもよい。

前記の様に外氣を吸入して、發電機を冷却する方式は空氣中の塵埃が共に吸入せられて、年月と共に通風渠を塞ぎ、通風を悪化し、線輪の熱傳導を防げる。それ故に吸入空氣の通路に空氣清淨装置を備へた方式が次第に増加して來た。

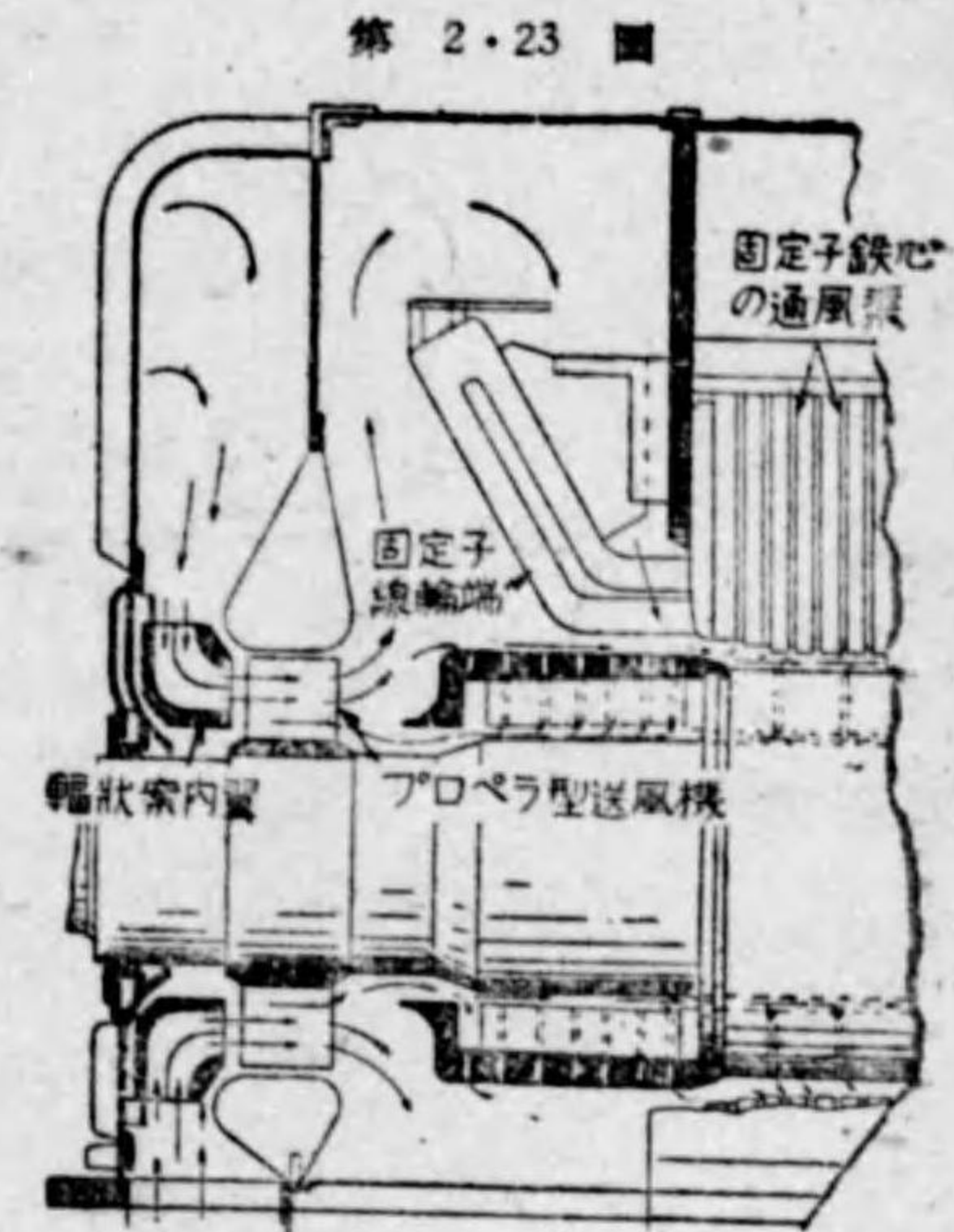
空氣清淨装置には、噴霧狀に水を噴出せしめた中を、吸入空氣を通過せしめて、後水粒を除去すると同時に塵埃を取り除く方法、又は銅屑等に粘着性の油を付着せしめたものを金網箱の中に入れ、その中に空氣を通過せしめて塵埃を油に吸着せしめるもの等がある。

最後の循環通風方式は常に清淨な空氣で冷却されるので、線輪の壽命長く、塵埃の堆積もないので、近時大容量のタービン發電機には勿論、水車發電機にも採用される様になつた。

上記の様な冷却方法は水車用、タービン用何れにも共通であるが、特にタービン發電機では軸長が長いので、冷却の爲に設計の際考慮が拂はれて居る。第2・15圖の鐵板の楔の位置を溝の奥の方に入れて軸方向の通風を計るのは勿論、成層鐵心の通風渠に依つて半徑方向にも通風するのである。尙ほ回轉子にも第2・20圖の様に保持環の部分に孔を開け、下から空氣を入

れて冷却し、又は齒の部分に通風の溝を開ける等の方法を行ひ冷却能率を高めて居る。第2・23圖にタービン發電機の通風路の一例を示し、第2・24圖に循環通風方式の概略を示す。

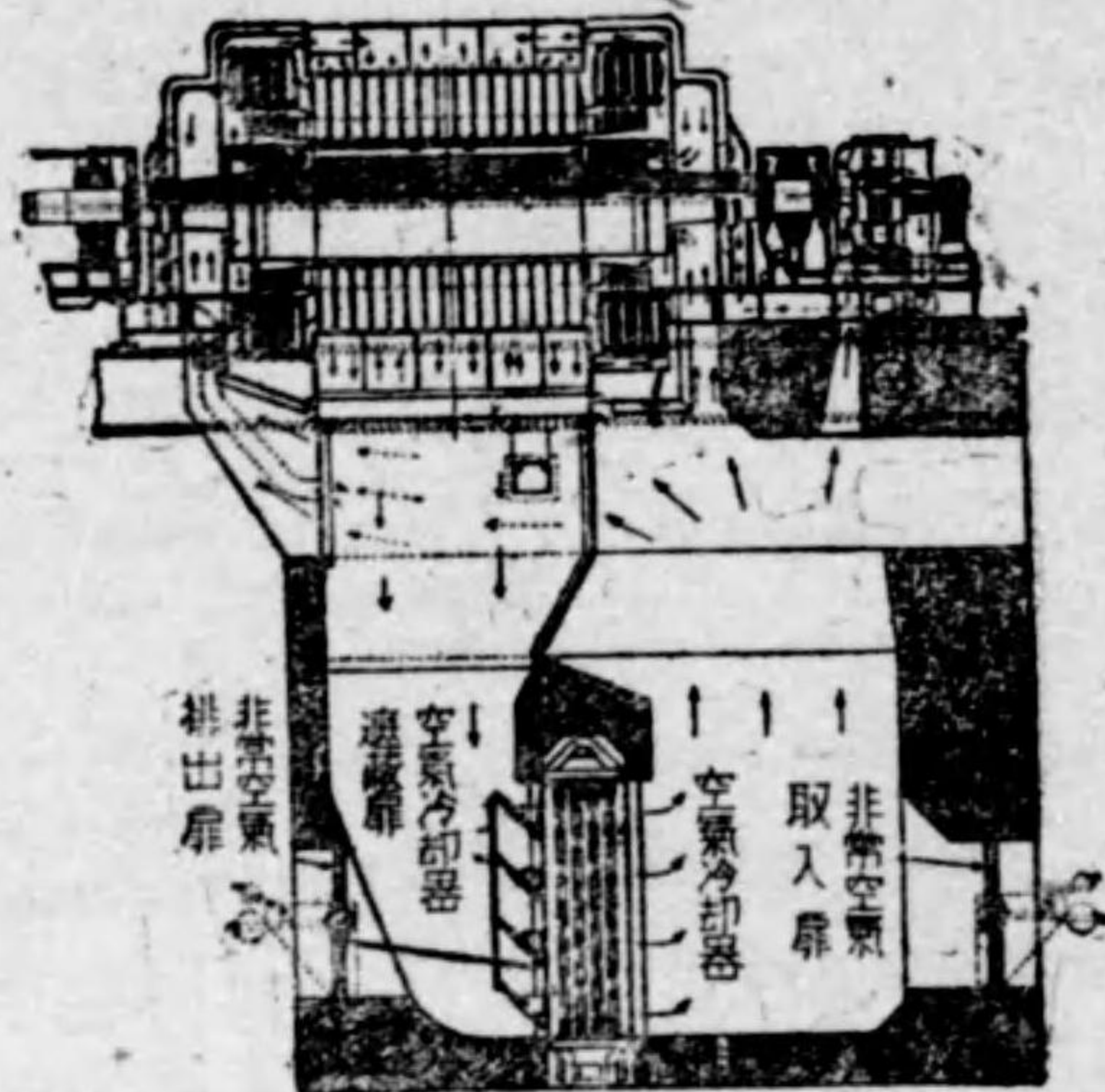
循環通風方式に於て、空氣の代りに水素ガスを使用する水素冷却方式がある。元來電氣機械の出力は温度



タービン發電機の循環通風方式の一例

が或る値以上にならない様に定められたものであるから、通風に依つて冷却を更に多く行へば、それ丈出力も大とする事が出来るのである。水素は熱を奪ふ作用が空氣よりも多いから、水素を使用すれば、電氣機械の出力を増加せしめる事が出来る。同時に、軽いために風損が軽減され、絶縁物及び油類の劣化が小となり、酸素でないから燃焼する憂ひがない。又空氣通風よりも静かである等種々の利益がある。然し空氣と混合すると爆發の虞れがあるから、外被 (cover) 内の水素壓力を大氣壓より幾分高くして置く必要があるので、外被を氣密にせねばならない。又水素を充填する時は先づ炭酸ガスを充し、次に水素を送

第 2・24 圖



タービン発電機の自己通風方式の一例

つて置換するのである。

7. 勵磁機 勵磁機 (exciter) には分巻又は複巻の直流發電機を使用する。その電圧は小容量のものは 110 V, 大容量では 220 V を標準とする。出力は交流發電機の出力に依つて變はる事は前に述べたが、次頁の表に大體の値を示す。

勵磁機の運轉方法には、a. 主發電機に直結する方法、b. 電動發電機とする方法、c. 勵磁機用原動機に依つて運轉する方法、d. c と d を組合せた方法等がある。

a は最も多く使用せられる方法であるが、速度變化に依る電

主發電機容量 (kVA)	勵磁機容量/主發電機容量(%)				
	水車發電機			タービン發電機	
	4極	8極	14極	2極	4極
100	1.8	2.2	2.9	3.0	4.0
1000	0.82	1.1	1.3	1.25	1.6
10000		0.5	0.6	0.5	0.65
50000			0.4	0.27	0.3

壓の變動が甚しい、それは速度の影響が主發電機と勵磁機の兩方に現れるからである。

b は他の發電所と連絡のない所では採用出来ない。c は原動機の容量が小となるのでその能率が悪い。d は勵磁機の兩側に電動機と原動機とを置いたもので、平時は電動機運轉とし、電源故障の際のみ原動機を使用するので信頼度が高いが、設備費が高價となる。

數多の交流發電機が並列に運轉される發電所に於ては、各交流發電機に共通の勵磁機を置いた所謂共通勵磁方式 (common exciter system) は近時は漸次中止せられつつある。その理由は、交流發電機の容量が大きくなると勵磁電流も相當に大となり、之を抵抗に依つて加減する事は抵抗損失も大であるし、且つ制御装置も相當に大掛りの物となるからである。従つて近來は各個の交流發電機に勵磁機を直結して、交流發電機と共に運轉す

る個別勵磁方式 (individual exciter system) が採用せられる。

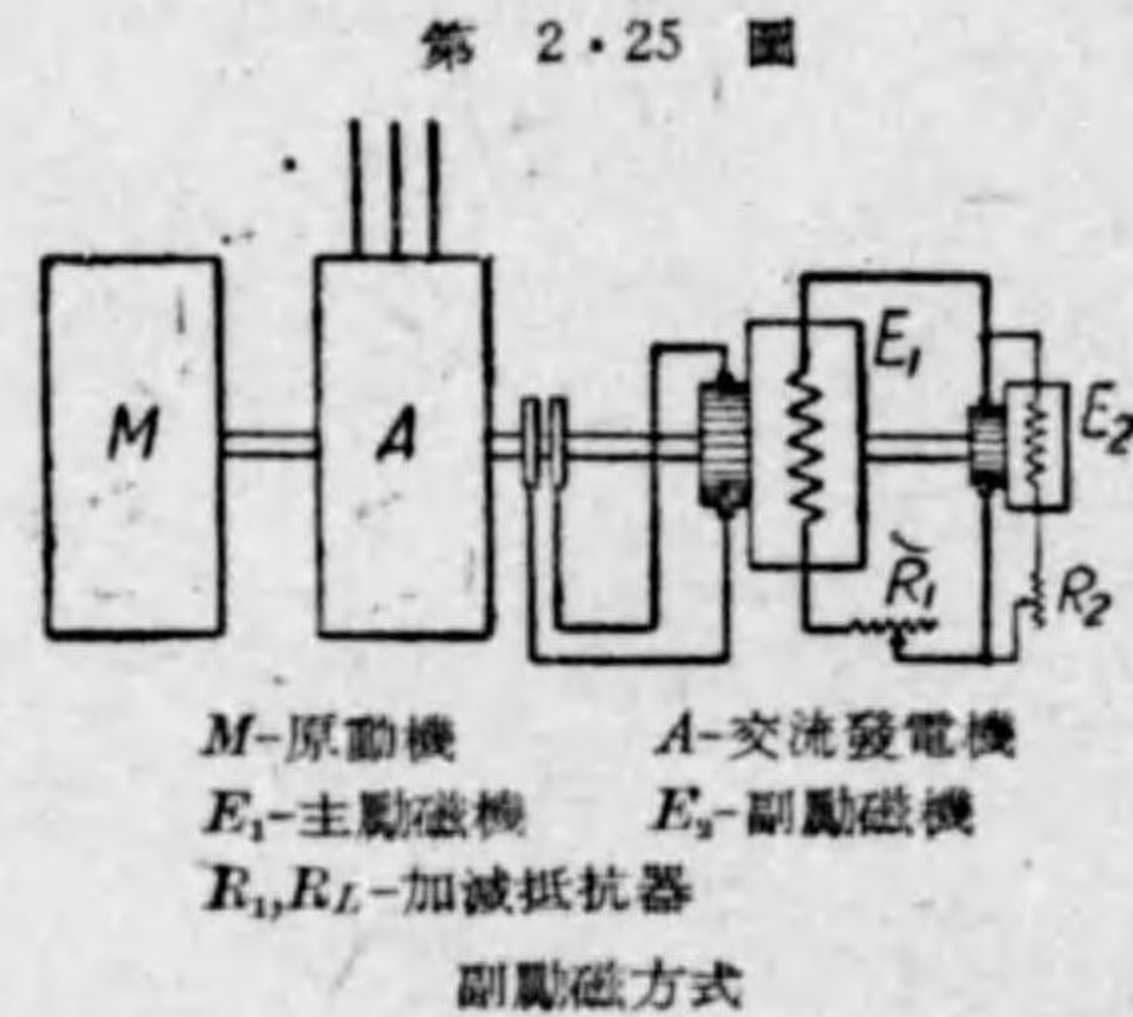
近時大容量の發電機例へば 50 000 kVA 以上のものには勵磁機の勵磁機即ち副勵磁機 (pilot exciter, sub-exciter) を使用する傾向が多い。これは主勵磁機より更に小容量の直流發電機であつて、主勵磁機へ勵磁電流を供給するものである。この概略圖を示すと第 2・25 圖の様で、主發電機の電壓を調整するのに主勵磁機の勵磁電流を加減すればよいので、主發電機の勵磁回路の加減抵抗器を省略し得る利點がある。

此の方式では勵磁機が一個の時よりも更に電壓の調整が手軽に出来、殊に副勵

磁機の界磁抵抗器で直流電壓を調整すれば、極めて少量の直流を加減することに依つて、發電機の界磁電流の調整が出来る。

この様な事から副勵磁機は發電機の電壓調整を自動的に行ふ自動電壓調整器を使用する場合に甚だ好都合である。

無停電送電を行ふ爲には送電線の故障の際などに生ずる急激な電壓低下に對して、發電機の界磁電流を急速に増大して電壓を急昇せしめる必要がある。それが爲には勵磁機の構造に特別の考慮を拂ひ、副勵磁方式を採用して、急速なる界磁電流の變



化を行はしめる。これを速應勵磁方式と云ふ。

8. 特殊交流發電機 今迄述べたものは 50 サイクル又は 60 サイクル用の發電機であつたが、こゝにはそれよりも周波数の高い、所謂高周波發電機に就て述べる。高周波と云つてもその用途に依つて次の様に分けられる。

- a. 高速度電動機用電源として、100 ~ 200 サイクルのもの
- b. 高周波電氣爐用として、500 ~ 2000 サイクルのもの
- c. 高周波電氣爐用又は通信用として、1000 ~ 40 000 サイクル位のもの

a の用途は紡績工場の人絹製造用ボット電動機運轉用電源であつて、これに對しては、4 極の圓筒形磁極の發電機を蒸汽タービンで、4 000 r.p.m. から 4 500 r.p.m. 位に回轉し、上記の様な周波數を得て居る。

b には磁極數の非常に多い回轉界磁型發電機が使用せられ、それを電動機に依つて、1 500 r.p.m. 或は 1 800 r.p.m. の様な速度で運轉するものである。その一例を示すと

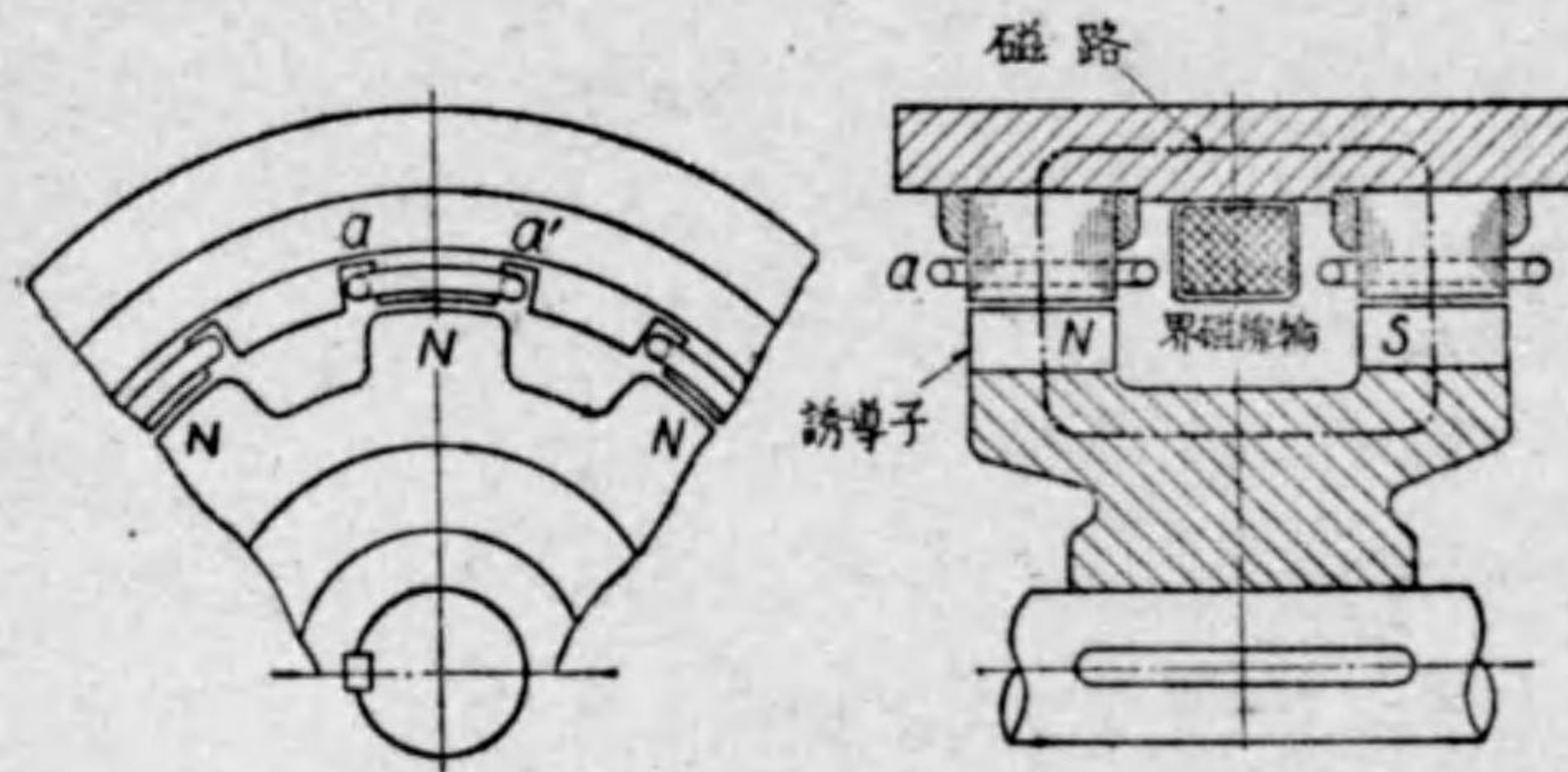
磁極數 80 電 壓 800 V 出 力 666 kVA

周波數 1 000 サイクル 回轉數 1 500 轉/分

の様である。この様に磁極數は多くても磁極の形が小さいので、回轉子直徑は左程に増さない。

c の型式には誘導子型が使はれる。この型の一例は第 2・26 圖に示す様に電機子も界磁線輪も静止し、誘導子 (inductor)

第 2・26 圖

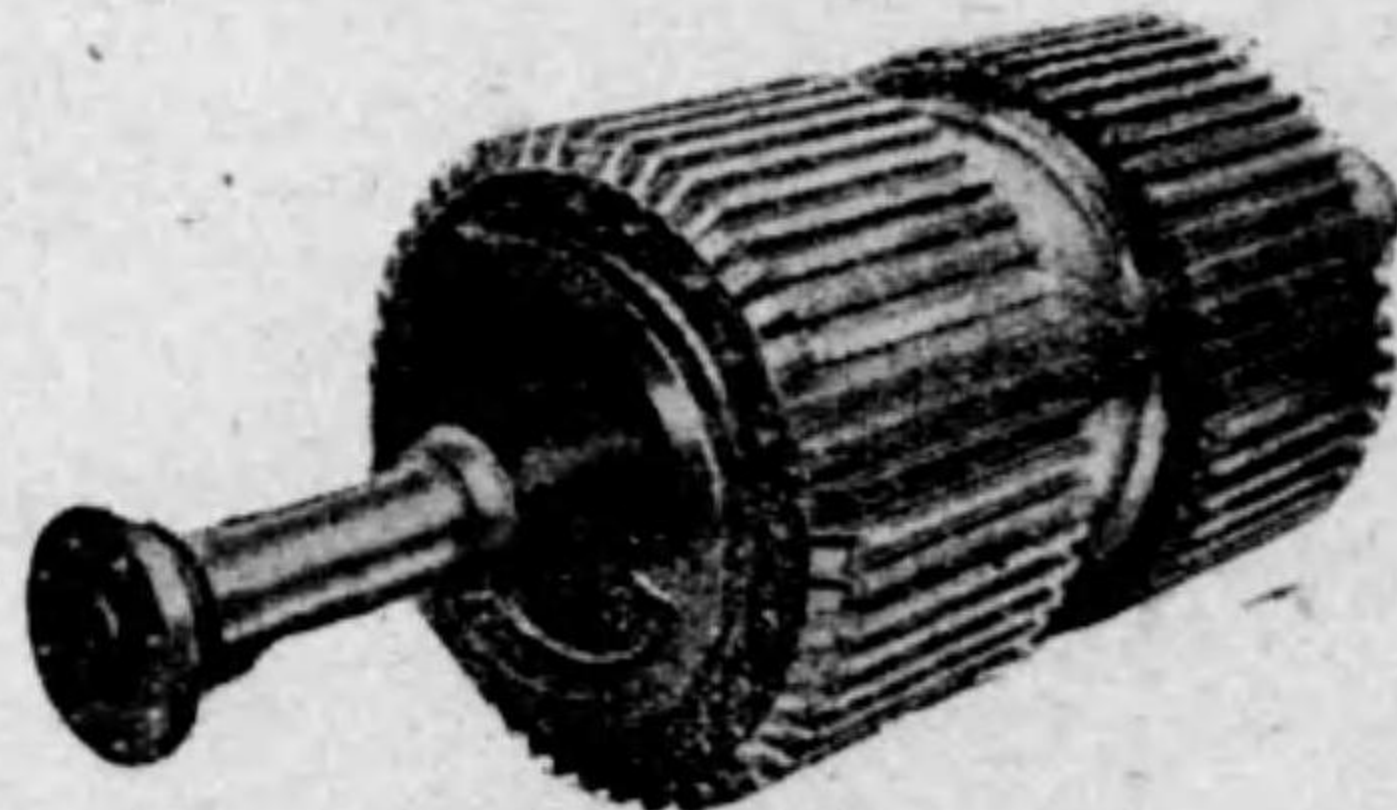


誘導子型交流發電機

と稱する多數の凸出部を持つた鐵塊が回轉し、これに依つて電機子線輪が磁束を切る仕組になつて居る。誘導子は第 2・27 圖の様に凹部と凸部とが圓周に沿うて交互に並んで居るので、これが回轉するに従つて、凸部が或る電機子線輪 $a a'$ の下を通過する時は、その部

第 2・27 圖

分の (縦断面参照) 磁氣抵抗が低くなるから同一起磁力に對し線輪 $a a'$ は多くの磁束と鎖交する。然し此の凸部が過ぎ



誘導子型交流發電機の誘導子

去り凹部が $a a'$ の下に來ればその部分の磁氣抵抗は高くなつて、磁束鎖交數が少くなる。

又次の凸部が來れば再び磁束増し、凹部が來れば減する。以下同じ事を繰返して線輪 $a a'$ の誘起起電力は通過した凸部の數だけ周波を描いて交番する。

界磁線輪は静止して居るから集電環は全然不要である。又此の線輪は電機子鐵心の左右突出部の中央にあるから、断面圖の縦の側の誘導子突出部は皆同じ極性である。従つて或る一個の線輪は決して反對の方向の磁束を切る事はない。一定方向の磁束の増減だけで起電力が交番するのである。左側と右側の電機子線輪は適當に接続して起電力の相加はる様にする。

上記の事より誘導子の片側の凸出部の數を P 個とし、毎分の回轉數を S 回とすると周波數 f は $f = \frac{PS}{60}$ となる。

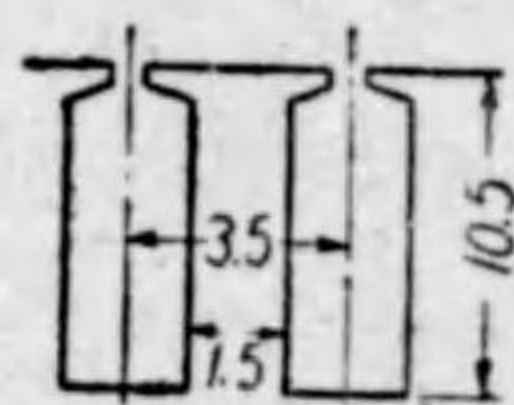
故に凸出部の數を 50 個とし、これを 1200 r.p.m. にて回轉すれば、1000 サイクルの高周波電氣爐用の電源となり、又凸出部を 400 個とし、1800 r.p.m. とすれば 12000 サイクルの様な無線通信用電源となる。

復習問題 II

1. 回轉速度の大なる發電機は比較的直徑が小さいと云ふ。その理由を説明せよ。

2. 発電機の構成部分を、固定子と回転子に分けて列記せよ。
3. 近時発電機の固定子（或は回転子にも）鋼板を熔接して作った接合構造のものが多いと云ふ。その利点を挙げよ。
4. 平打巻線の特徴を述べよ。
5. 圓筒形回転子を有する発電機の原動機は何が使用せられるか、又圓筒形にする理由を述べよ。
6. 副励磁機とは何か。
7. 50 000 kVA のタービン発電機に於て熱となるべき全負荷損失を 2 000 kW とし、損失 1 kW 毎に 2.8 立米/分 (100 立米/時) の冷却用空気を要するものとする。今空气中容積一億分の一の塵埃を含むと假定すれば、毎日 12 時間運轉にて、100 日間に此の発電機に容積何立方メートルの塵埃が入り込むか。 答 4.03 立方メートル
8. 1 500 R.P.M. の蒸汽タービン直結交流発電機に於て、回轉界磁（幅状溝型）の直径 120 cm、溝の形が第 2・28 圖の様になるとき齒の根部に働く遠心力如何。

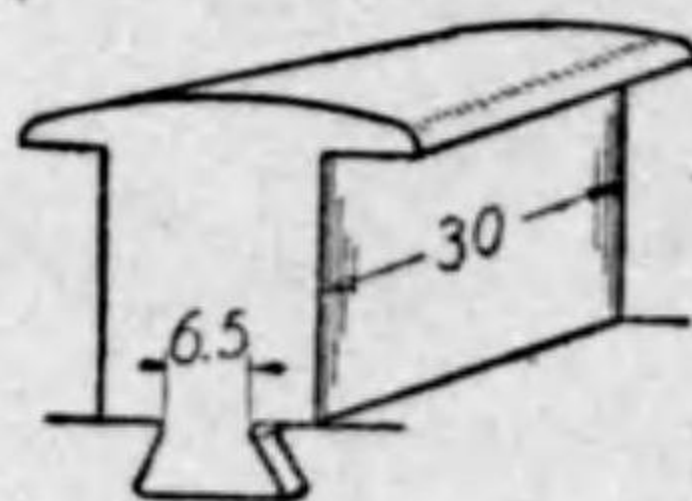
第 2・28 圖



(寸法單位一覽)

9. 毎分 600 回轉、水車直結発電機に於て、界磁巻線を含む各磁極の重量 75 斤、磁極片を含む回轉子直径 120 cm、鳩尾部の寸法が第 2・29 圖の様になるとき、各極に働く遠心力及び鳩尾の個所の引張り内力如何。
10. 回轉數 3 000 轉/分の誘導子型発電機を以て、波長 15 000 米即ち毎秒 20 000 サイクルの無線電信用交流を發生せんとす。誘導子 凸出部幾個を具ふべきか。

第 2・29 圖



(寸法單位一覽)

第三章 電機子巻線法

1. 總 説 電機子巻線法の根本の規則は、直流機でも交流機でも、直列に結ばれた各導體の誘起々電力が成るべく打消し合ふことのない様にするに云ふ事が主である。然し交流発電機の電機子の巻線法が直流電機子の場合と著しく違ふ所は整流子のない點にある。従つて電機子巻線それ自身は別段に閉電路を成す必要はない。尤も直流電機子と同じ様に巻線同志で閉電路を形づくるものもない事はないが、それは單に設計上の都合による事と考へてよい。従つて溝の數、巻線ピッチの定め方等大いに直流機と異なる所がある。

2. 電機子巻線法の種類 巻線が電機子面上に分布する状態又は線輪の形で分類すると次の様になる。

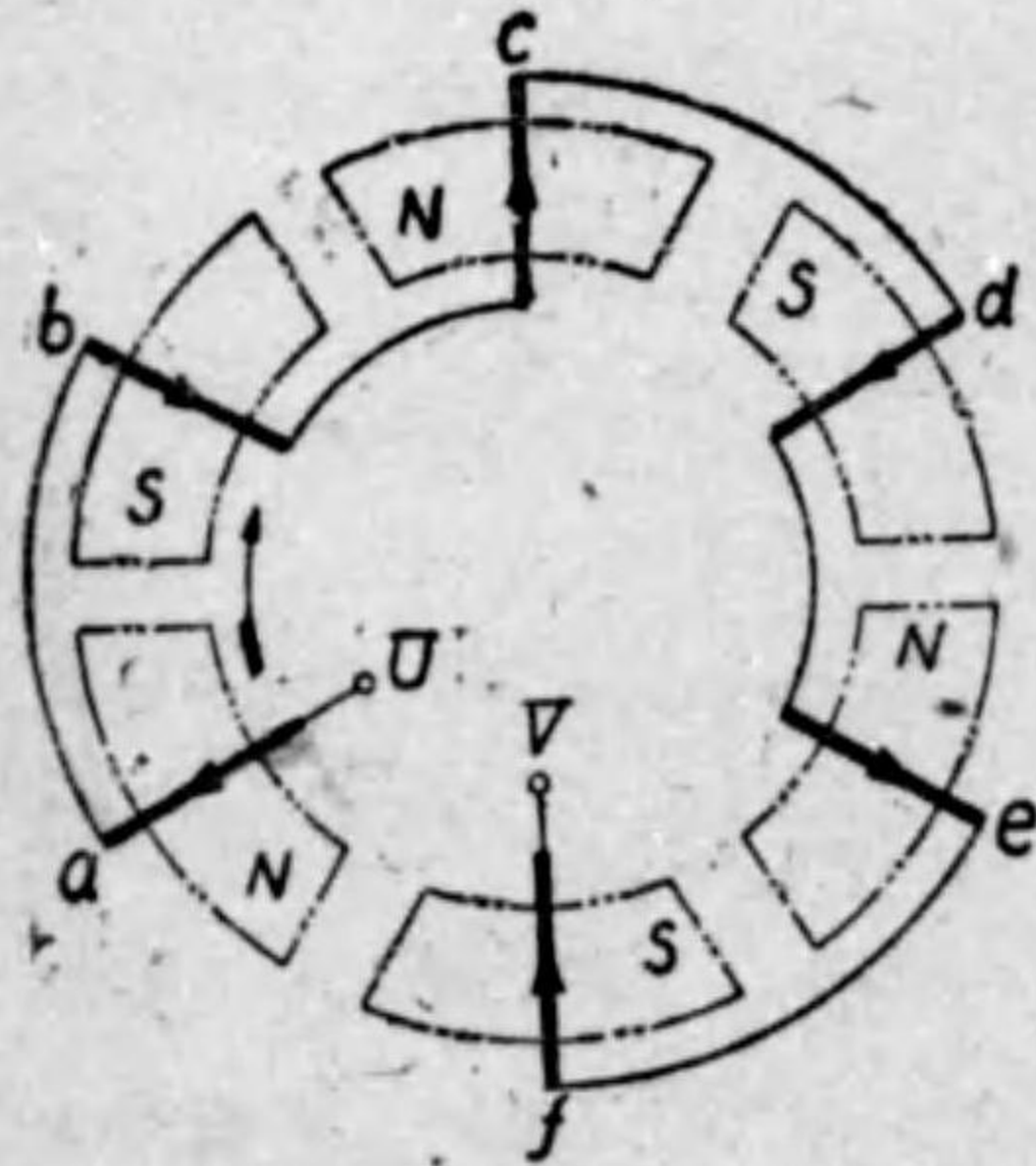
- a. 集中巻と分布巻
- b. 單層巻と二層巻
- c. 重巻と波巻及び鎖巻
- d. 全節巻と短節巻

これらに就て例を擧げて説明しよう。但し交流発電機は概ね三相式であるが説明の都合上單相式の巻線法から述べる。

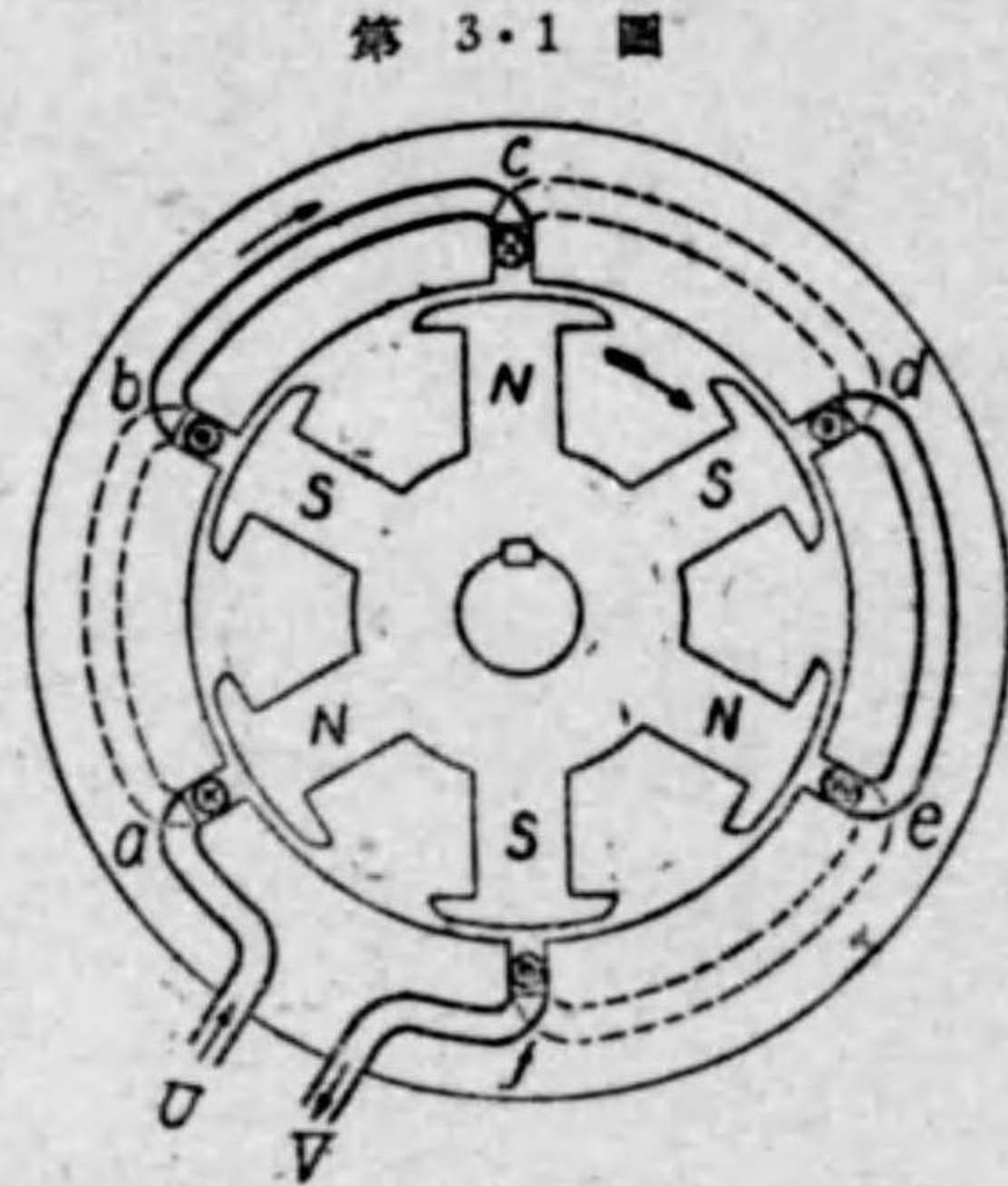
3. 単相巻線法 第 3・1 圖は六極単相發電機の最も簡単な巻線圖である。この場合には各導體を前後兩端で適當に曲げて、次の導體に接續すればそれで巻線は完成される。巻線ピッチはどこも正しく 180 電氣度である、即ち一極間隔毎に置かれる。

第 3・2 圖甲、乙は輻射線圖及び展開圖に書き直したものである。尚ほ第 3・1 圖の位置に磁極のあ

第 3・2 圖 甲



輻射線圖



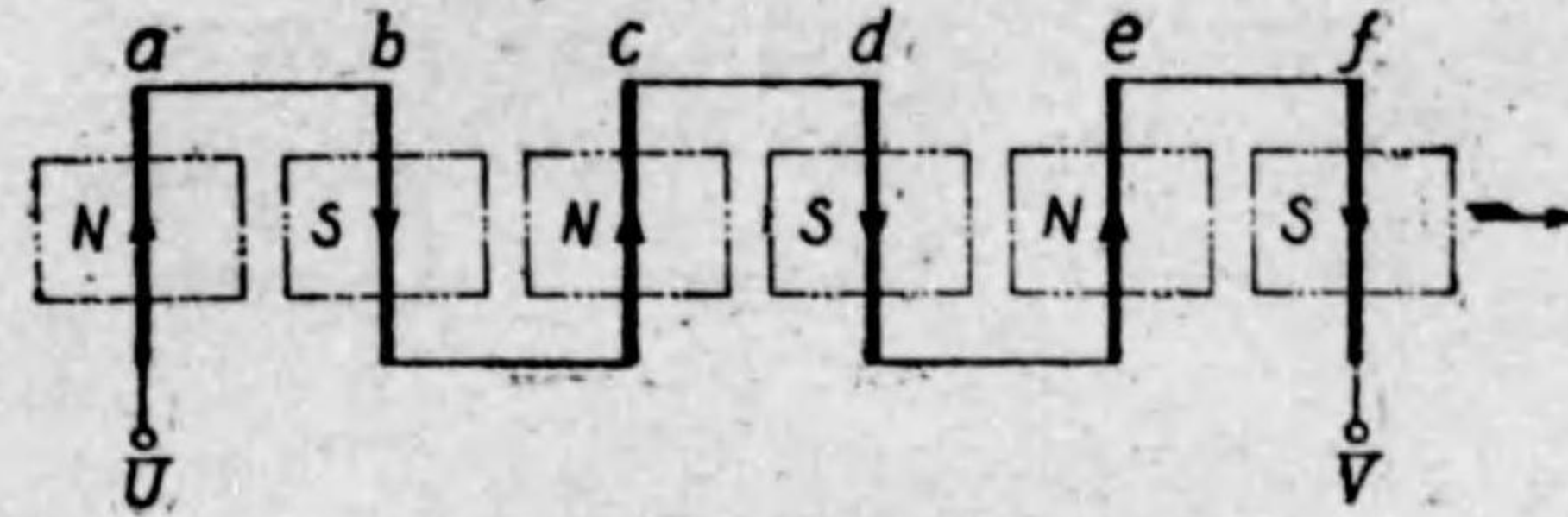
第 3・1 圖

6 極單相單層集中巻

る瞬時の各導體の起電力の向きを矢印にて入れて見れば、端子 UV 間の合成起電力には、各導體の起電力の 6 倍が得られる事が分る。

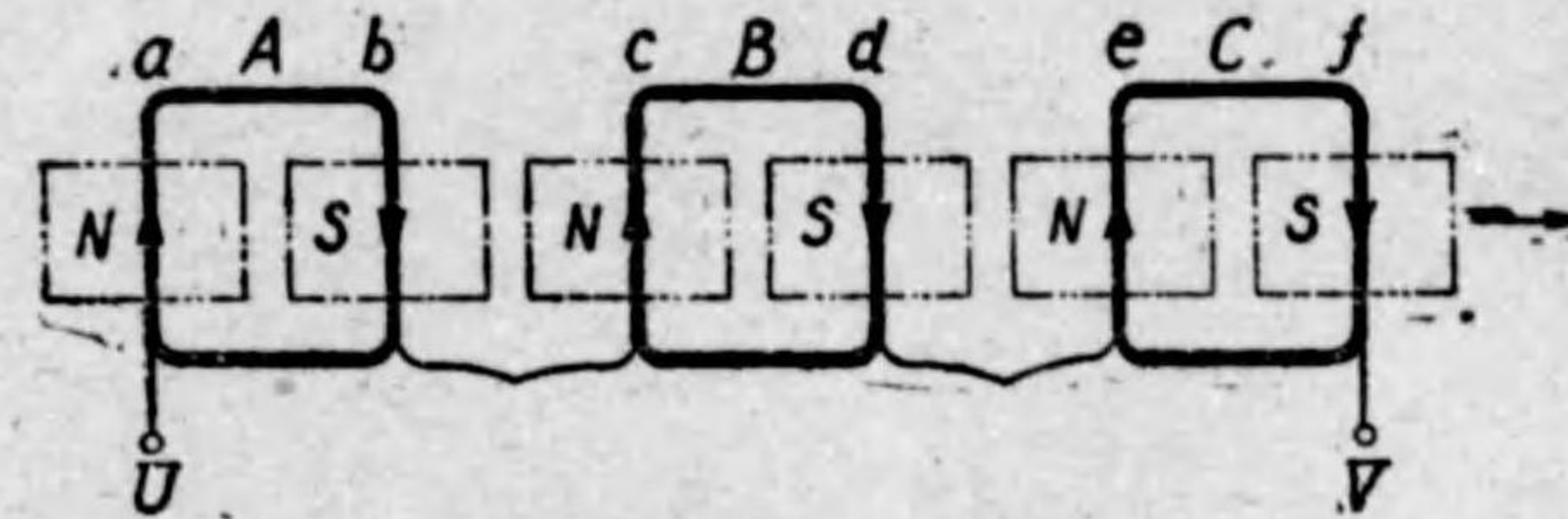
今起電力を更に大にする目的を以て、第 3・1 圖の溝に n 巻の A, B, C なる 3 個の線輪を入れて、第 3・3 圖の様

第 3・2 圖 乙



展開圖

第 3・3 圖

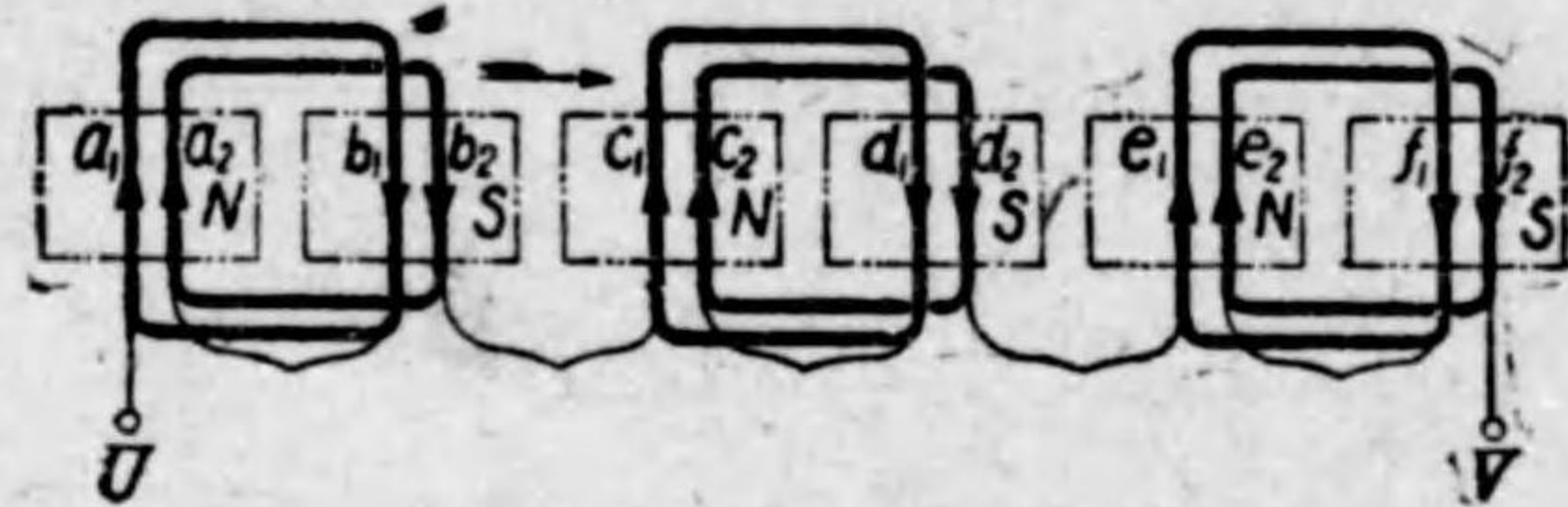


集中巻展開圖

に A 線輪の巻き終りと、 B 線輪の巻き始めとを接續し、更に B 線輪の巻き終りと、 C 線輪の巻き始めとを接續し、 A 線輪の巻き始めと C 線輪の巻き終りを各 U, V とすれば、 UV 間には各溝の導體一本の起電力の $6n$ 倍が得られるであらう。

4. 集中巻と分布巻 第 3・3 圖に於ては溝と溝の間隔が廣過ぎて電機子面の利用率が悪い。そこで第 3・4 圖甲、乙に示す様に在來の溝のすぐ側に新しく溝を作り溝の總數を 12 にして、この溝に巻數 n なる線輪 6 個を圖の様に納めて各線輪邊の起電力が相加はる様に接續をする。この様にすれば UV 間

第 3.4 圖 甲



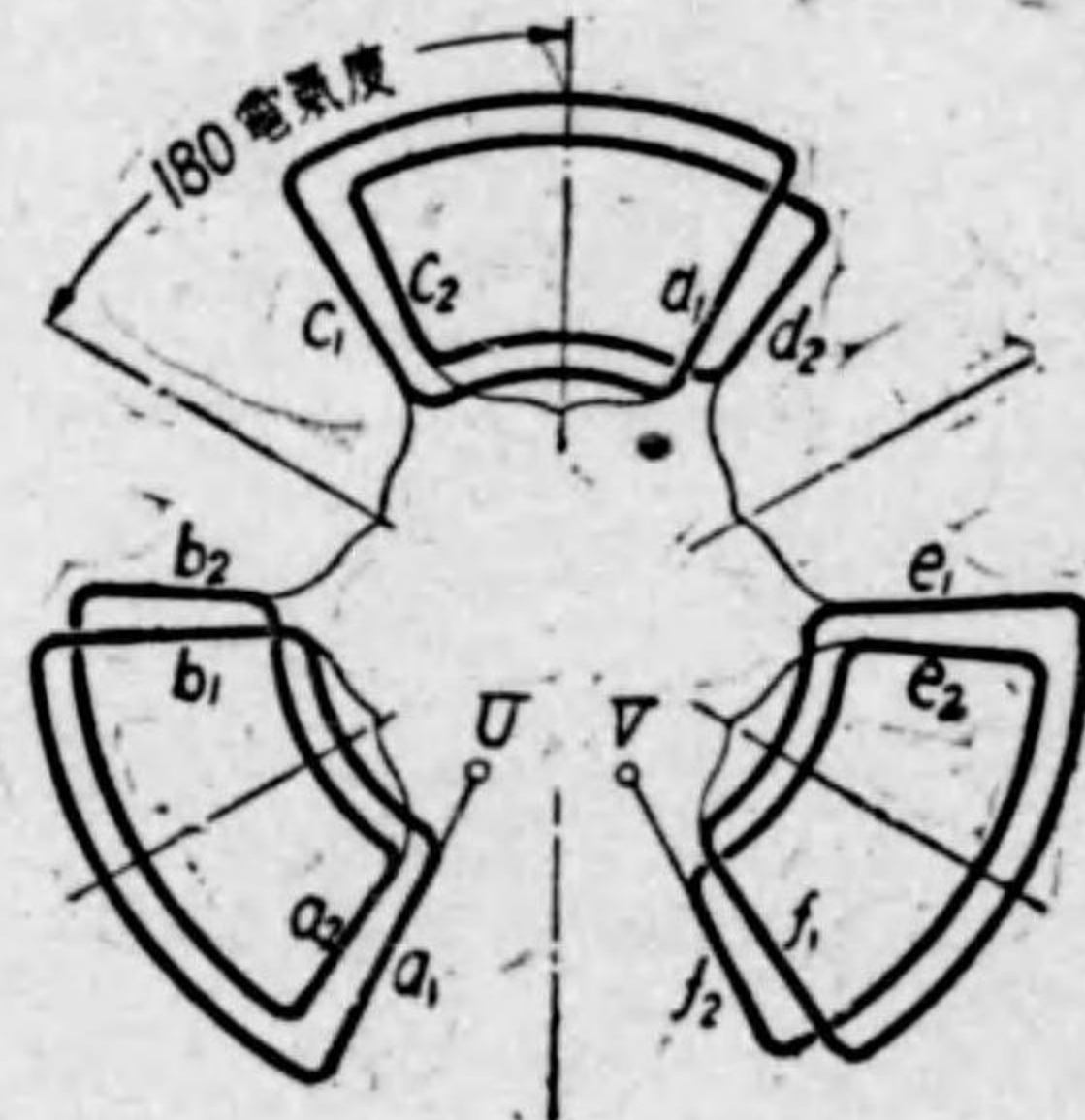
每極二溝分布巻展開圖

には矢張り各導體の起電力の總和が現れる。

然し第 3.2 圖の場合の 2 倍の起電力を得る事は出来ない。即ち a_1b_1 線輪の起電力と a_2b_2 線輪の起電力との間には相差があるのでその合成は 2 倍の起電力より幾分小さい。この事は第四章で更に詳述する。

每極の溝の数はまだもつと増加することは出来るが、溝間隔を前と同じにして、溝の数を増しても前述の理由から、その割合に起電力は増加しなくなるから、実際には自ら限度がある。故に單相機に於ては線輪が電機子面に平等に分布して居ない。即ち或る個所に密集し、暫く間が空いてからまた密集する様に線輪が配置せられるのである。

第 3.4 圖 乙



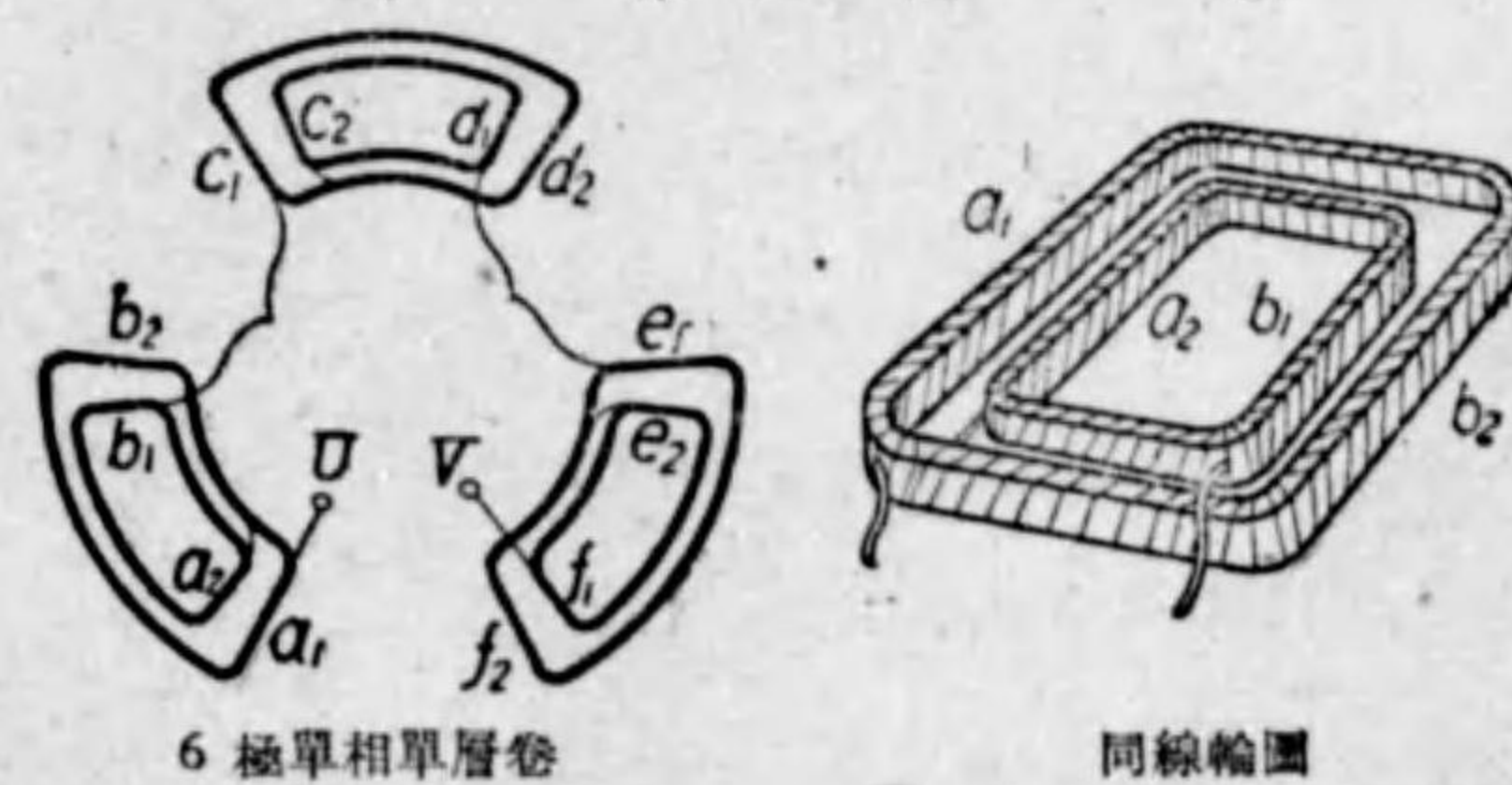
每極二溝分布巻輻射線圖

第 3.4 圖は每極の溝数が 2 である。斯様に每極 2 溝以上を有する巻き方を分布巻 (distributed winding) と云ふ。之に對して第 3.3 圖の様に、每極の溝数が 1 であるものを集中巻 (concentrated winding) と云ふ。

第 3.4 圖甲に於ては磁極の極性及び運動の方向が記入してあるから、起電力の方向は矢印の様である事は直ちに分り、從つて線輪の接続に當つて見誤りがない。然し同圖乙の様に磁極の極性の表示はなく共、全圓周を 6 等分したものが 180 電氣度に相當する事を頭に置いて巻線を辿る様にしてもよい。

5. 單層巻と二層巻 第 3.4 圖に於ては、 a_1b_1 の線輪と a_2b_2 の線輪とが重り合ふ部分を生じて、修繕の際等に困難を伴

甲 第 3.5 圖 乙

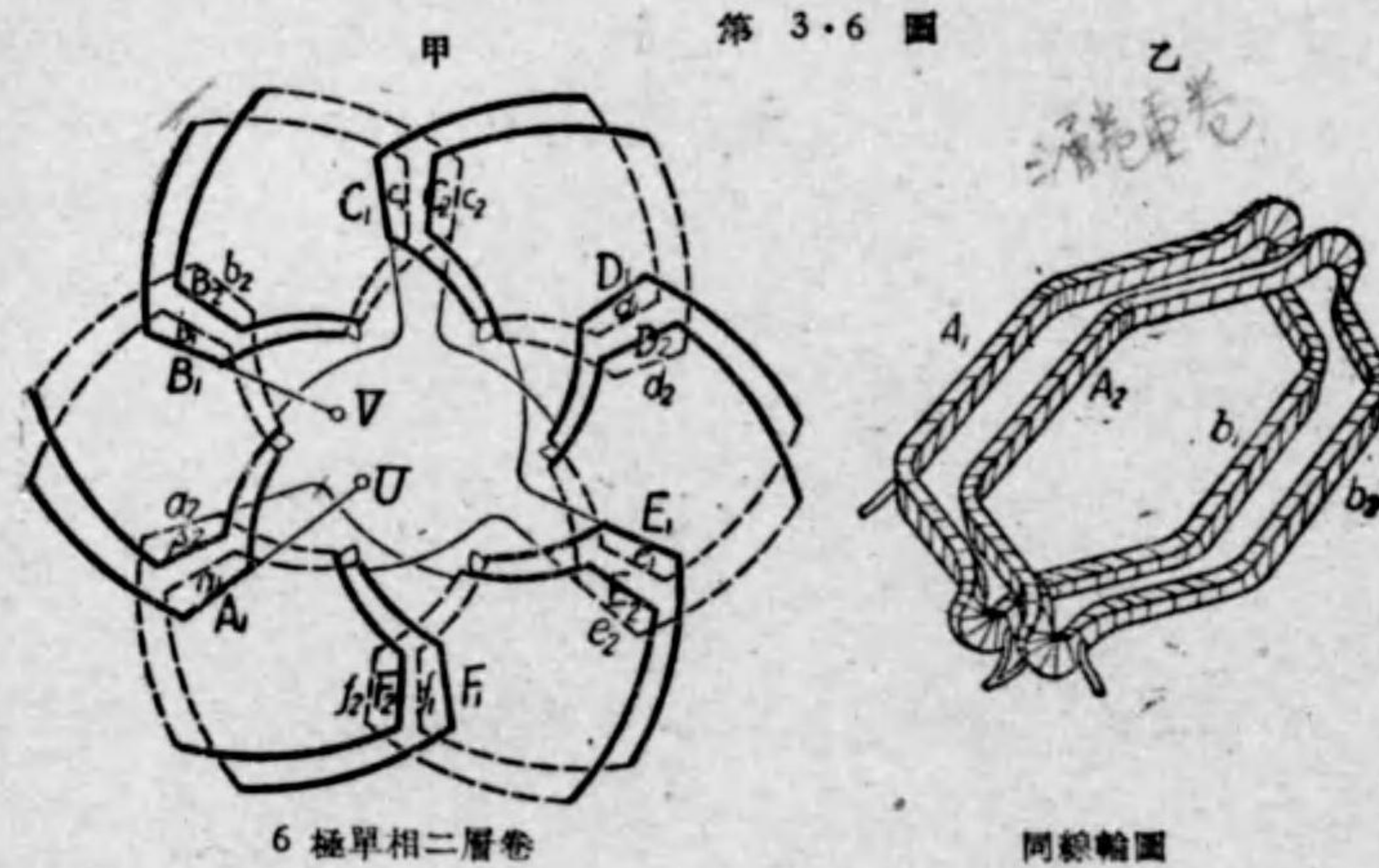


6 極單相單層巻

同線輪圖

ふ。それ故この場合第 3.5 圖の様に a_1 から b_2 に跨る線輪と、 a_2 から b_1 に跨る線輪と、二種の形の異つたものを用意して圖の様につなげば巻線作業は非常に樂に出来る。斯うしても

結局 $a_1a_2b_1b_2$ の四つの線輪邊は直列につながるから、全體の起電力に毫も變りはない。上述の様に凡て一つの溝に唯一つの線輪邊の收められる巻き方を**單層卷** (single-layer winding) と云ふ。之に反し直流機と同じ様に一つの溝に線輪邊を上下二部に分けて、上部と下部とを全く別の線輪の線輪邊とする巻き方を**二層卷** (double-layer winding) と云ふ。



6 極單相二層卷

同線輪圖

第 3.6 圖甲, 乙は二層卷の一例である。但し實線は上口導體, 破線は下口導體を示す。

上述の様に單層卷を採用すれば線輪の異なる形のものを二種以上用意せねばならないが, 二層卷に於ては直流機の場合と同じ様に唯一種の形の巻線を用意すれば足る。故に近時は二層卷を採用する傾向が多い。

6. **重卷, 波卷及び鎖卷** 直流機の巻線法に**重卷** (lap winding) と**波卷** (wave winding) があつた様に, 交流機に於ても同様のものが考へられるが, 實際の場合には**波卷**を使用する事は特殊の場合のみで, 一般には**重卷**である。第 3.3 圖, 第 3.4 圖共に重卷である。即ち行きつ戻りつしながら全部の線輪を拾ひ盡して居るのである。

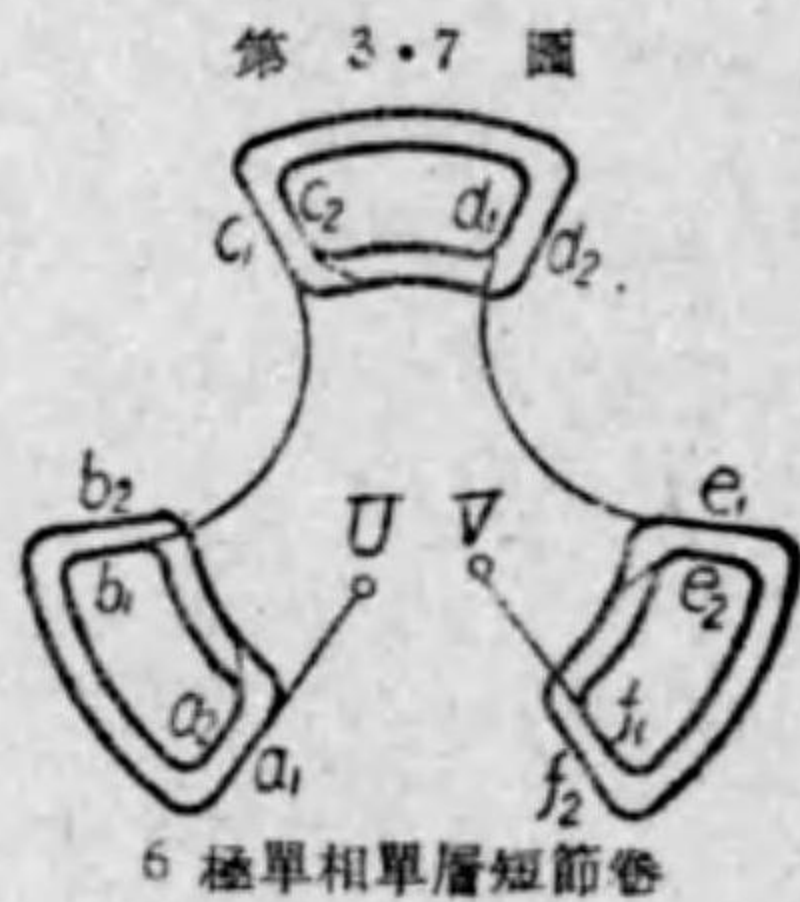
この様な意味で第 3.5 圖の單相巻を見るに, これも矢張り重卷の一種である。然しこれは前節で述べた通り特殊な形の線輪で巻線を施すので, この様な巻線に對してその形から, これを**鎖卷** (chain winding) と呼んで居る。即ち單層卷は鎖卷とも云はれるのである。

7. **全節巻及び短節巻** 交流發電機の巻線ピッチは, 180 電氣度を以て原則とするが, さうでない場合がある。第 3.5 圖の a_1b_2 線輪, a_2b_1 線輪の様なのがそれである。尤もこれ等の線輪を用ひても兩端子間の總誘起起電力は, 第 3.4 圖の場合と何等變りはない。

然し後述の理由で誘起起電力の減少を犠牲にしても, 何れの線輪も皆巻線ピッチを 180 電氣度以内にとることがある。之を**短節巻** (fractional-pitch winding, short-pitch winding) と云ひ,

之に對して丁度 180 電氣度の巻線ピッチを有するものを全節巻 (full-pitch winding) と云ふ。短節の程度即ち 180 電氣度のものに對して何程短いかを示すのに、百分率又は電氣度を以てする。例へば巻線ピッチが 150 電氣度のものは $150/180=83.3\%$ の短節巻と云ふ。

短節巻の目的の一つは起電力の波形を良好にすることである。又端接續の部分が短くなる結果銅線の總重量、抵抗及びリアクタンス等を小にし得ることも短節巻の利益である。然し第四章で説明するが、一つの線輪の兩線輪邊に誘起する起電力に位相差があるので、線輪としての起電力は幾分減少するのである。第 3・7 圖に

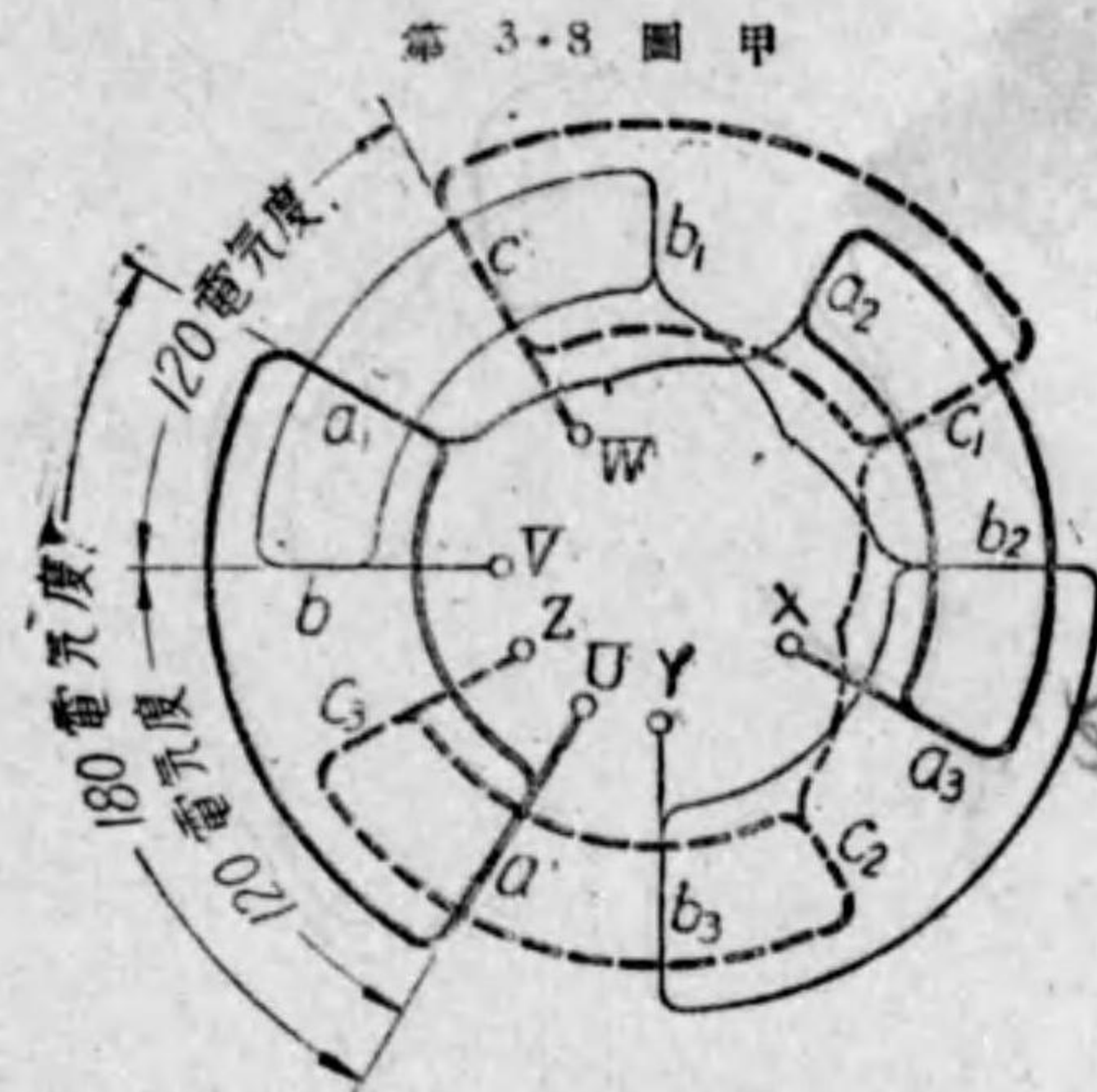


第 3・7 圖
6 極單相單層短節巻

6 極單相短節巻の例を示した。第 3・5 圖甲と比較して a_1, b_2 間隔, a_2, b_1 の間隔が共に小となつて居る事に氣の付く事であらう。

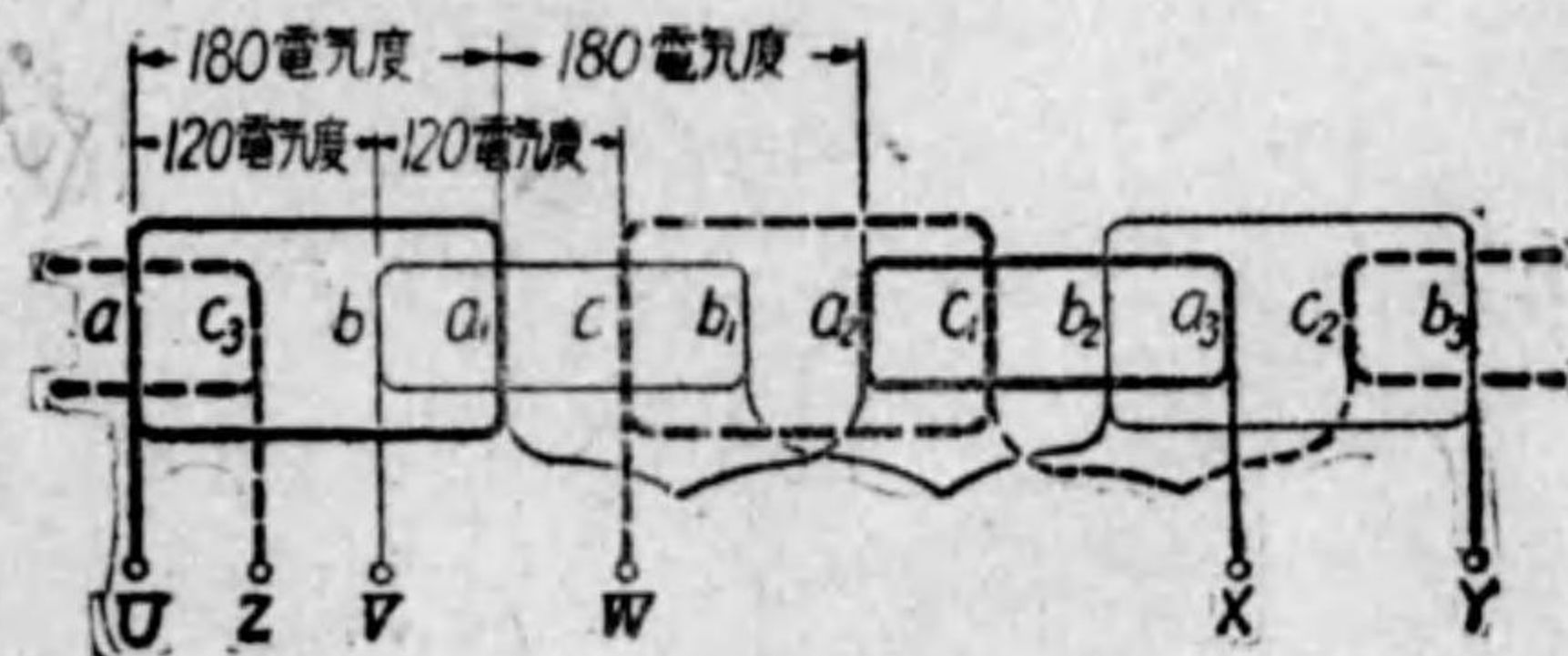
◎ 8. 三相巻線法 今日の交流發電機は殆ど悉く三相發電機である。而して三相式とは、實効値も周波數も波形も全く等しく、唯位相が互に 120 度だけ違つた三つの單相交流を組合せたものである。故に三相發電機の電機子には、お互に 120 電氣度を距てた位置に、今迄述べた様な單相の巻線を三組配置すれば

よい。第 3・8 圖甲及び乙に三相の巻線としては最も簡単な四極集中巻の全節巻を示し、同圖丙には線輪の型を示した。この様にすれば第 3・9 圖の様に磁極の回轉に従つて、 a に誘起し



第 3・8 圖 甲

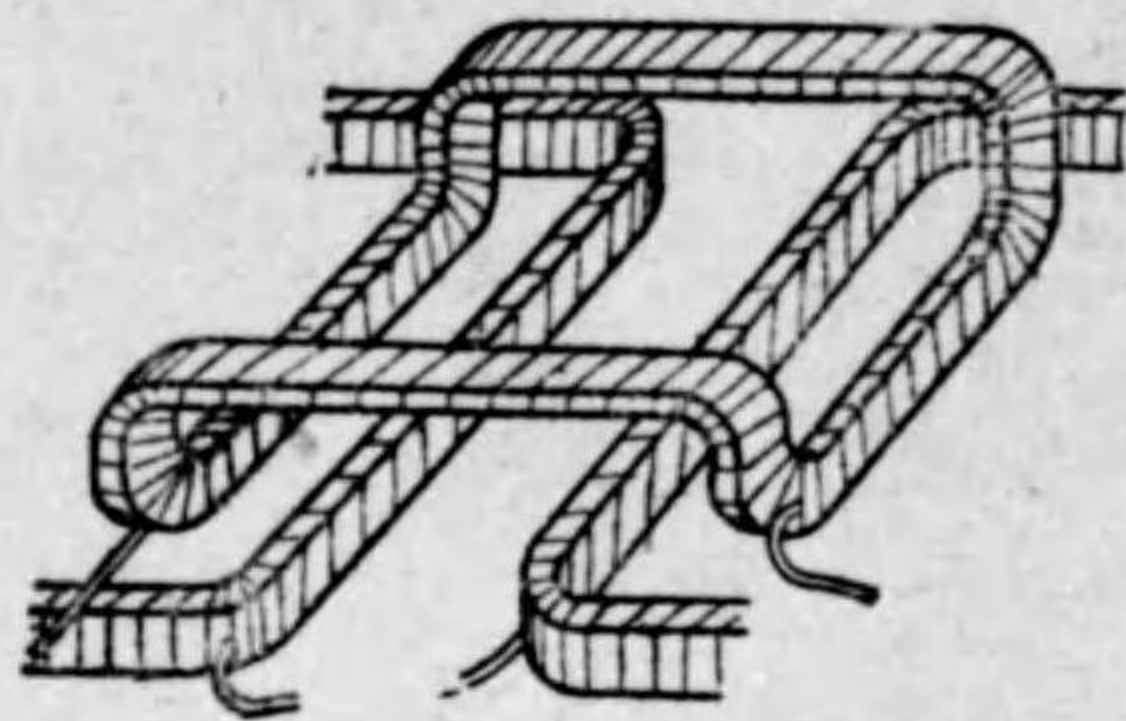
(每極每相 1 溝)
四極三相單層集中巻



第 3・8 圖 乙

(每極每相 1 溝)
四極三相單層集中巻

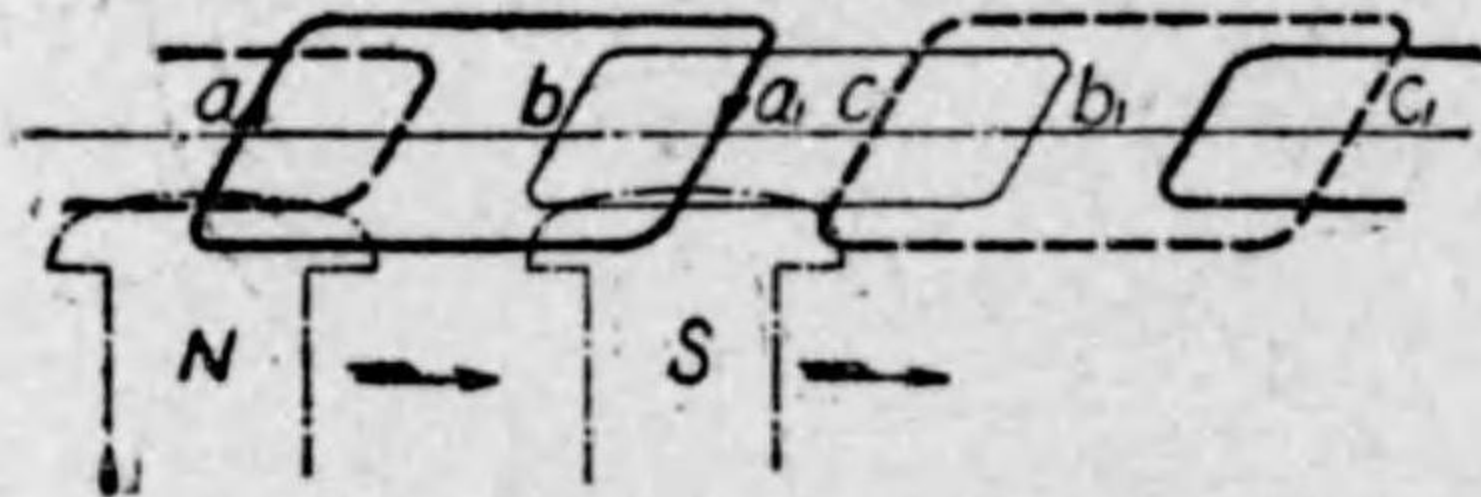
第 3・8 圖 丙



同上線輪

た起電力と同じ値が、120
電氣度距てた位置にある b
には位相が120度だけ遅れ
て生じ、尙ほ c には更に
位相が120度遅れて生ずる。
従つて、第3・8圖の様
に各線輪を接続すれば、

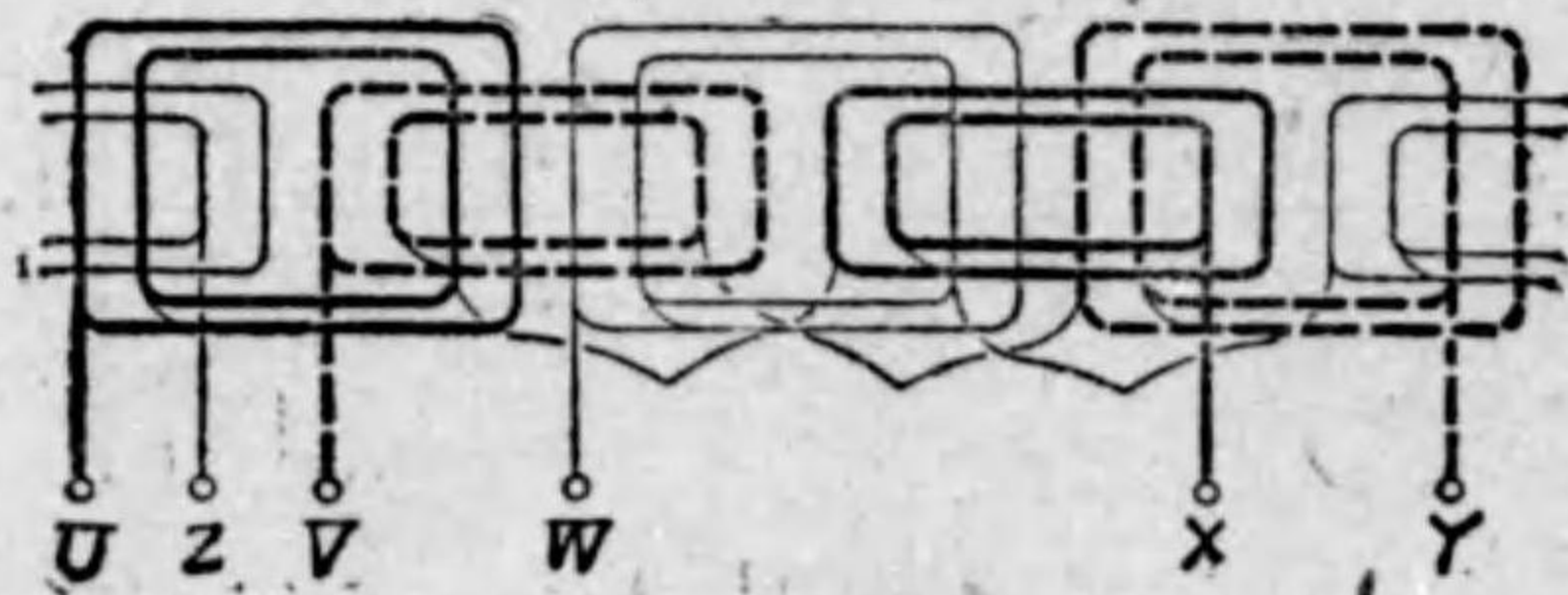
第 3・9 圖



UX, VY, WZ の三組の端子に表れる起電力は三相の起電力で
ある。

尙ほここで全體の線輪邊の數は12であるから每極每相の線
輪邊の數は1である。この場合の様に單層巻であれば每極每相

第 3・10 圖

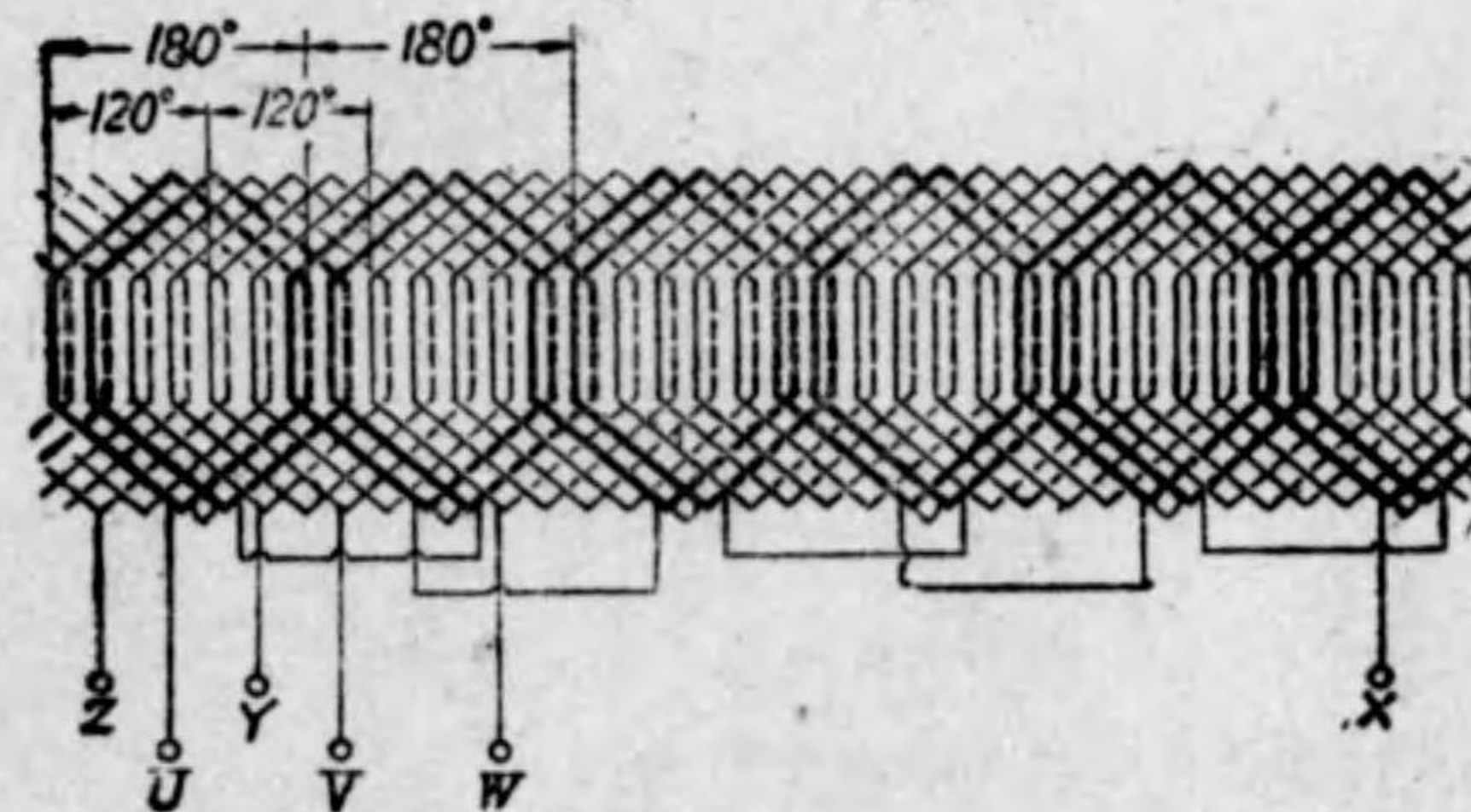


(每極每相2溝)
四極三相單層分布巻

の溝の數も亦1である。第3・10圖は每極每相の溝數が2の場
合を示したものである。この圖と第3・8圖及び第3・5圖と
比較して見れば、直ちに氣の付く事は、單層巻で每極每相の溝
數を増加すると使用する線輪の型の變つたものを多く必要とす
る事である。即ち第3・5圖も第3・8圖も共に二種の線輪で
足りたのに、第3・10圖では四種の形のものが必要となり、更
に每極每相の溝數を増加すれば、尙ほ線輪に多種の形のもの
を要する事となる。従つて故障の際に取換へる爲に用意して置く
所の豫備の線輪が、數多く必要である事が分る [章末復習問
題3参照]。每極每相の溝數 (no. of slots per pole per phase)
と云ふ代りに略して slots *p.p.p.* と書く事がある。

以上單層巻に就て説明したが、二層巻でも勿論同じ原理に従
つて三相電機子の巻線が出来る。每極每相三溝以上でも變りは

第 3・11 圖



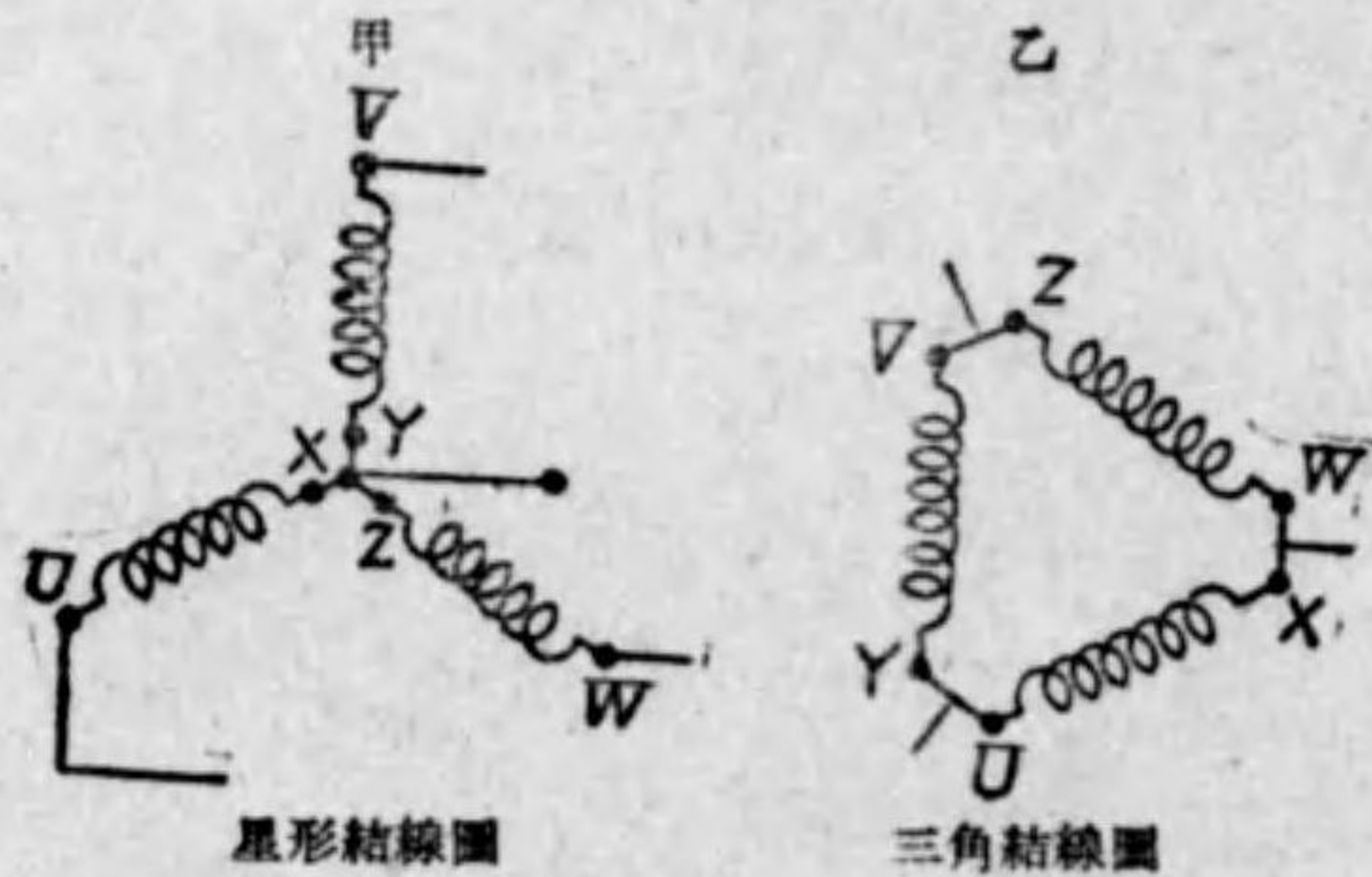
六極三相二層巻 (每極每相2溝)

ない。第3・11圖は6極三相二層巻の毎極毎相2溝の場合を示したものである。但し複雑するので UX の相だけ接続を行つてある。この様に二層巻は線輪の型が毎極毎相の溝数の如何に係はらず、同一でよい事は大なる利點である。

9. 三相巻線の相間接続 (1) 前節の様な巻線を施して、三相の起電力を誘起せしめたとして、これを實際に使用するに當つては、各群の線輪を適當に接続して、三角結線即ち Δ 結線 (delta connection) 或は星形結線即ち Y 結線 (star connection) として、之に負荷するのである。

今第3・8圖に於ては aa_1, a_2a_3 なる線輪の兩端子 UX と、

第3・12圖



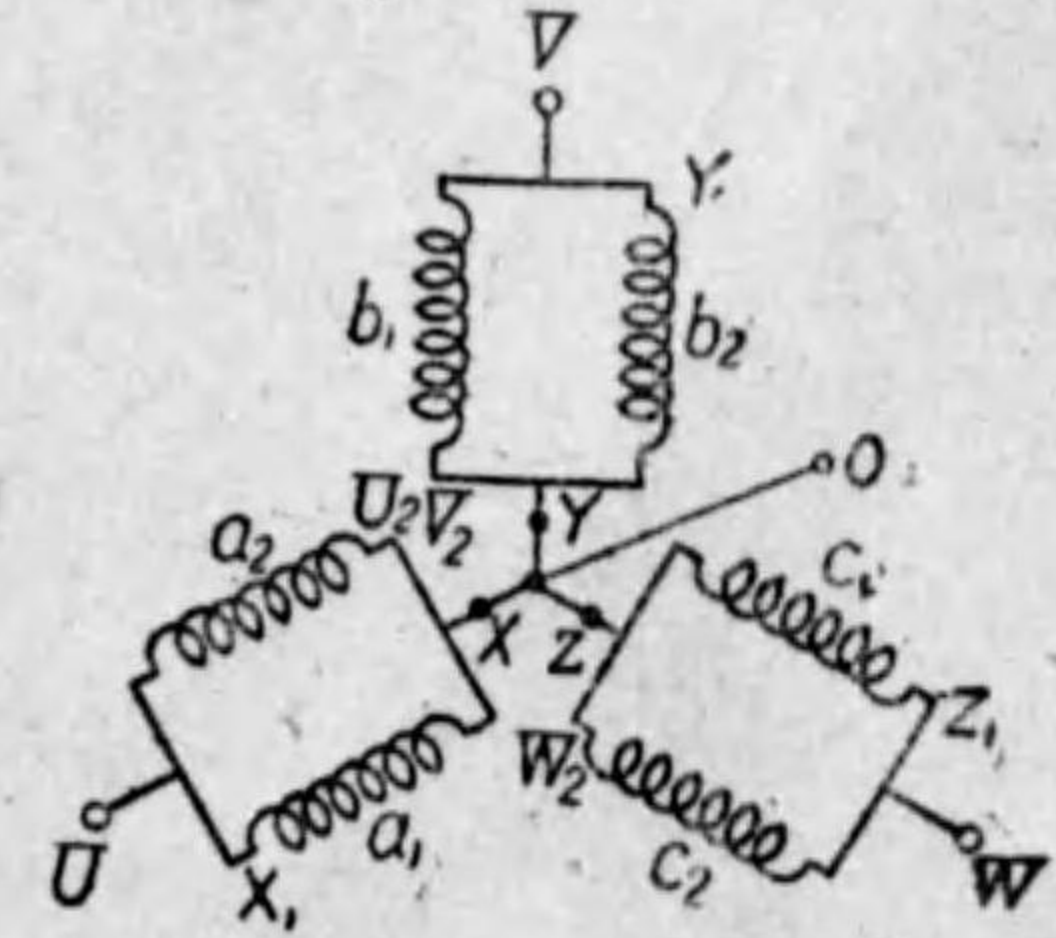
bb_1, b_2b_3 なる線輪及び cc_1, c_2c_3 なる線輪の各端子 VY 及び WZ には互に120度の位相差を有する起電力が得られたのであるから、この XYZ を一纏めにして結べば、第3・12圖甲の様な星

形結線を得て、 UVW の各端子間には、各相の電壓の $\sqrt{3}$ 倍が得られ、その電壓は三相電壓である。尙ほ星形結線で XYZ の結合點から端子を引出して中性點 (neutral point) を得る事が出来る。

又同圖乙の様に、 U と Y , V と Z , W と X とを接続すれば、三角結線が得られる。第3・10圖及び第3・11圖に於ても、各 $UVWXYZ$ を前記と同様に接続すれば、星形或は三角結線の得られる事に變りはない。

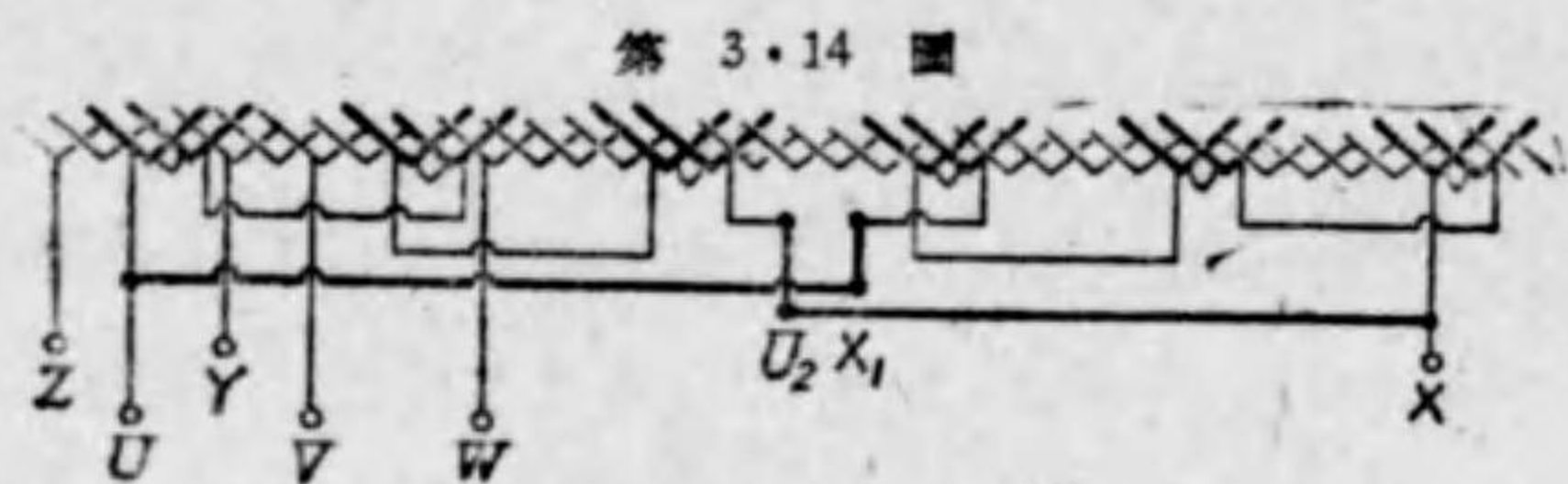
10. 三相巻線の相間接続 (2) 第3・12圖の接続は各相唯一回路しか持たぬ場合であるが、發電機の電壓低く且つ電流の多い様な場合には、第3・13圖の様に各相が二個以上の回路を並列にする方が都合な場合もある。この様な場合には、並列に接続された回路の電壓の位相、並びにその大きさが完全に一致して居な

第3・13圖



いと、 a_1a_2, b_1b_2, c_1c_2 なる各並列回路内に、負荷電流以外の横流が流れて、損失を増加する結果となるから、巻線の接続に際して注意を要する。この様な接続を得る爲には、例へば第3・12

圖の場合なれば、第3・14圖の様に UX 兩端子間のつながる巻線の内から、 U_2, X_1 の様に切り離して、これを圖の様に並列に接続すればよい。



第3・14圖
並列星形結線

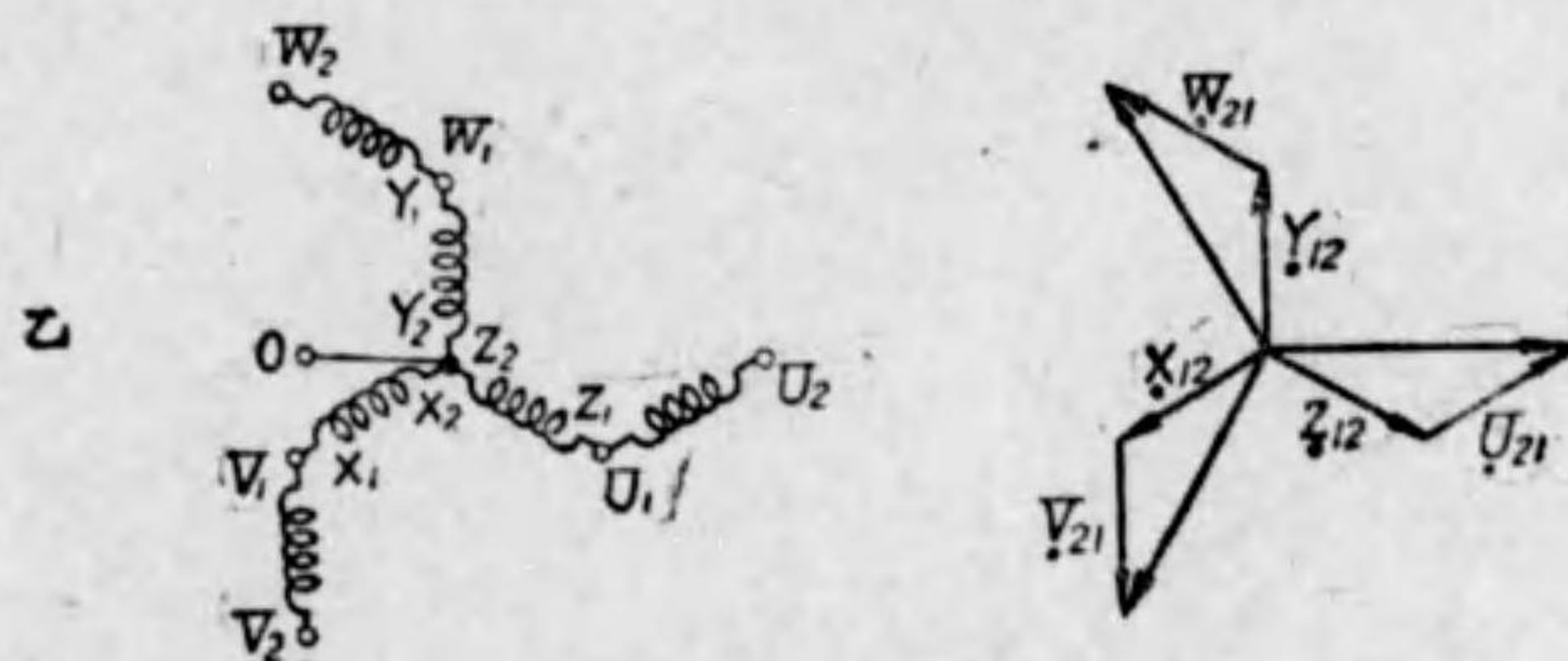
第3・14圖の様に一相の巻線を二つに分ける事は、他に應用がある。即ち第一章第5節で述べた、50 サイクル、60 サイクルの兩周波數の起電力を發生する發電機に、採用される場合がある。三相巻線の各相の起電力は互に120度の相差を有するから、巻線とベクトル圖とを、並記して見れば第3・15圖甲の様になる。従つて、一相の巻線を二つに分けた、 U_1U_2, X_1X_2 なる二つの巻線には一相の電壓の1/2が生じて居る。今これを同圖乙の様に接続すれば、どうなるであらうか。

各巻線に誘起する起電力を、 V_1V_2 巻線に V_{12} なる電壓が、 U_1U_2 巻線には U_{12} なる電壓が以下同様にベクトル圖に示す様な起電力が生じて居るものとしその絶対値を E とすれば、同圖甲の接続では、 U_1V_1 間、 V_1W_1 間及び W_1U_1 間には $2E \times \sqrt{3}$ なる電壓が得られる。又同圖乙の様に接続すれば $O-U_2$ 間、 $O-V_2$ 間及び $O-W_2$ 間には $\sqrt{3}E$ なる電壓となり、 U_2-V_2 間、

第3・15圖



星形結線



千鳥星形結線

V_2-W_2 間及び W_2-U_2 間は $\sqrt{3} \times \sqrt{3}E$ なる電壓となり、乙圖と甲圖との端子電壓の比は

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

となる。故に第3・15圖甲の様に接続した發電機を、50 サイクルを發生する様に運轉した時の端子電壓は、若しこの儘の接続で、60 サイクルを發生する様に回轉數を上升して運轉すれば、當然 $60/50=1.2$ 倍の電壓を生ずる。然るに若し、60 サイクルを發生せしめるときには、同圖乙の様に接続して運轉すれば、

$1.2 \times 0.866 = 1.04$ 倍の電圧になる。

この様に接続を変更すれば、勵磁電流の少しの調整に依つて、50 及び 60 サイクル兩用の發電機とする事が出来るのである。

第 3・15 圖乙の様な接続法は千鳥星形結線(zig-zag star connection)と呼ばれる。

復習問題 III

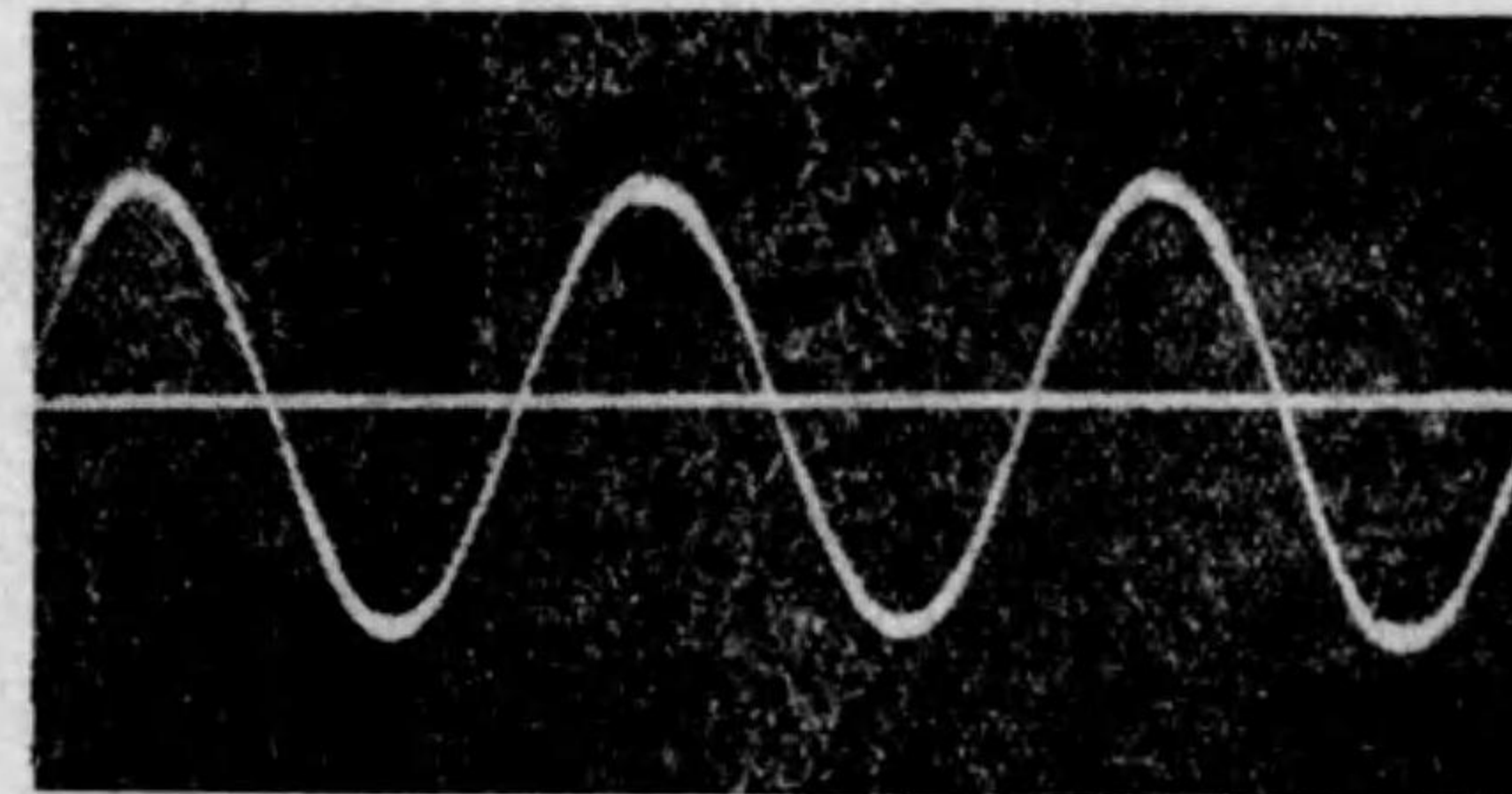
1. 交流發電機の電機子巻線法の種類を挙げよ。
2. 分布巻と集中巻を區別し、且つ分布巻の利点を述べよ。
3. 單層巻と二層巻の優劣を比較せよ。
4. 第 3・6 圖の巻線は何巻に屬するや。
5. 短節巻の利点を述べよ。
6. 出来上つた三相電機子巻線の星形結線の接続が正しいか否かを、簡単に検査するには、三つの端子を皆一つに接いで、之を適當な直流電源の一極に結び、さうして他極を中性點に接いで、磁針を固定子の内周に沿うて移動した場合に、 NS が交互に固有極数の 3 倍丈け出来て居る事を確かめればよいと云ふ。その理由を説明せよ。
7. 8 極三相 48 溝單層巻、 Y 結線の展開圖と輻射線圖を描け。
8. 問題 7 の每極每相の溝數如何。
9. 2 極三相二層巻、每極每相 4 溝の展開圖を作り、 Y 結線と Δ 結線とを作つて見よ。
10. 短節巻を説明し、66.7% の短節巻とは如何なる意味かを述べよ。
11. 4 極三相二層巻 1 slot p.p.p. の 66.7% 短節巻を輻射線圖で示し、巻き始めを $U_1 V_1 W_1$ 、巻き終りを $X_2 Y_2 Z_2$ にて示せ。

第四章 交流發電機の理論

1. 誘起起電力の波形 交流發電機の起電力の波形は種々の點から、正弦波形を最も理想的とする。

第 4・1 圖に示す正弦波形は電力會社より供給された 50 サイクルの交流電壓の波形を本校のオシログラフで撮影したもの

第 4・1 圖



である。この様な正弦波形の起電力を發生せしめるには、その發電機の設計に際し次の様な事項を考慮しなければならない。

1. 空隙に於ける磁束の分布を適當にする事
2. 短節巻及び分布巻を採用する事

上記二項を適當に施せば、大體に正弦波形の起電力が得られるのである、これを次節以下に説明をする。尙ほ起電力の波形を亂す原因として、界磁鐵心の磁氣飽和、電機子反作用、電機

子溝の影響等があるが本章では説かない。

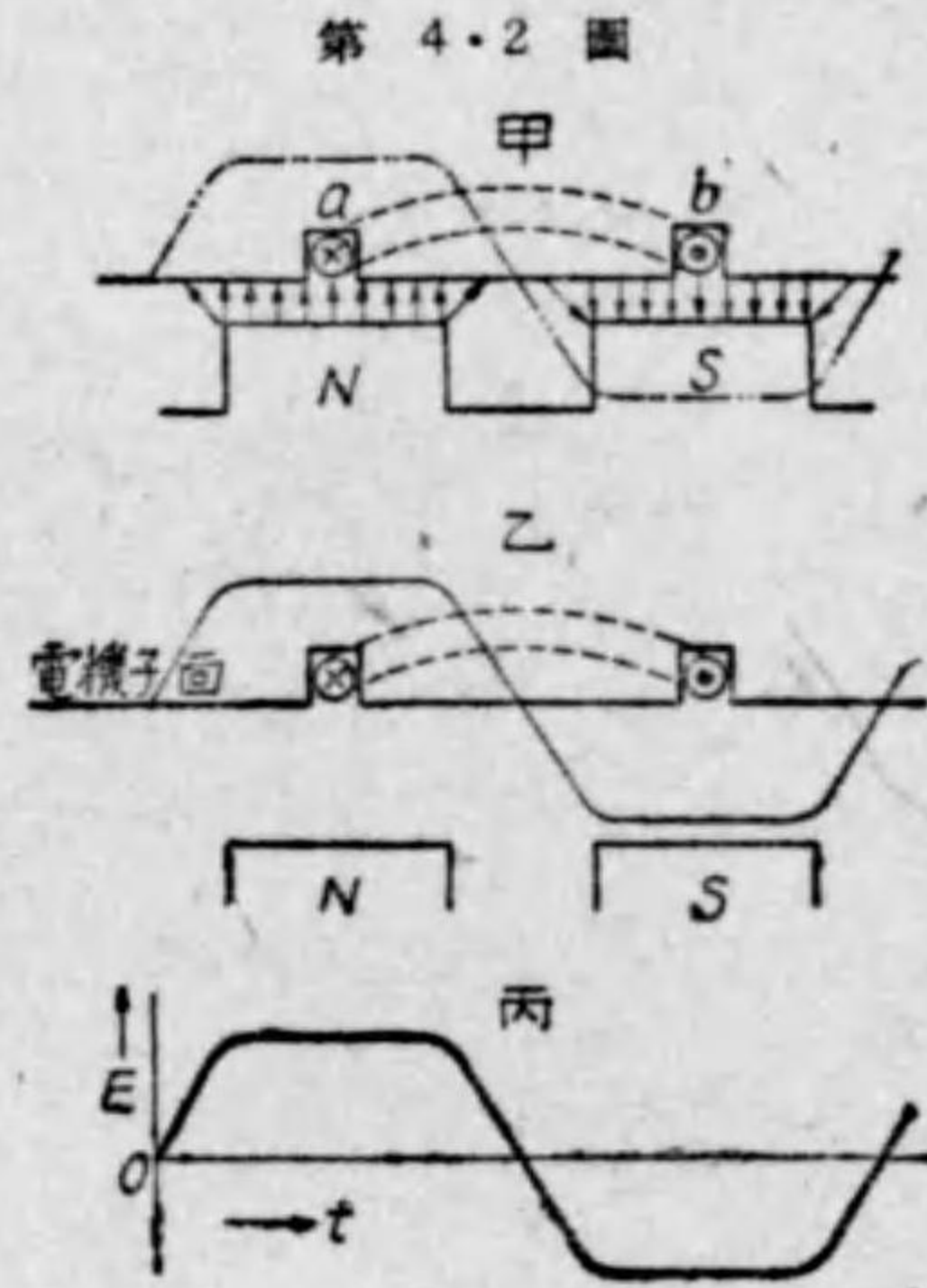
2. 空隙の磁束分布と起電力の波形

a. 凸極発電機の場合 発電機の固定子内面と磁極面との空隙に於ける磁束分布を適宜にすれば、正弦波形に近い起電力を誘起する事が出来る。

第 4・2 圖甲の様に空隙が平等であると、磁極面の磁束密度は平等であるが、その両端の部分では幾分疎になる。これを甲圖の様に表してもよいが、同圖乙の様に電機子面を展開して、磁束の分布を、N 極に對するものをその上側に、S 極に對するものを下側に描いて示す場合もある。

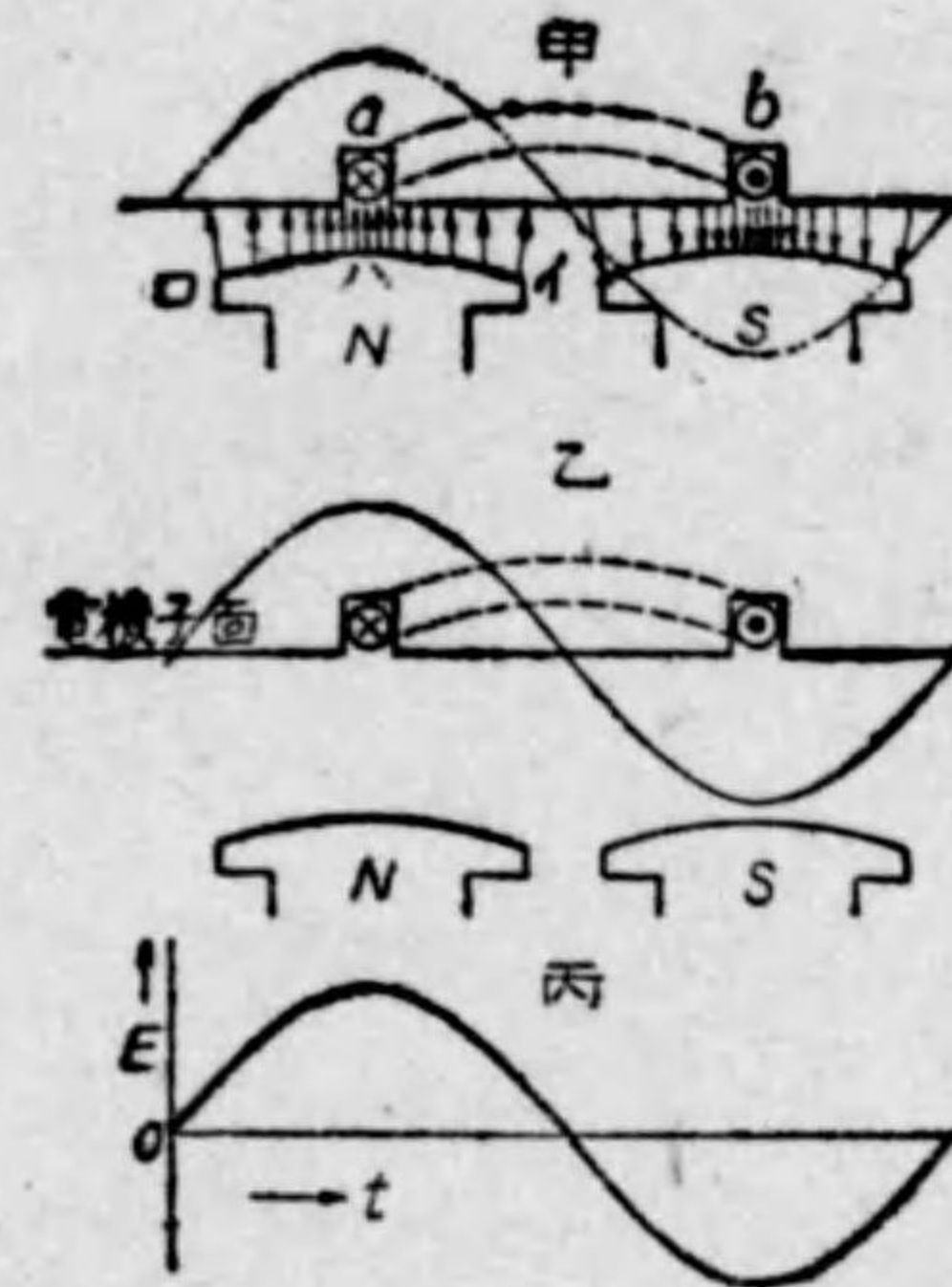
この様な構造の磁極が回轉すれば、導體に誘起する起電力の波形は丙圖の様に頭の平らなものとなる。それは誘起起電力はその下を通過する磁極の磁束分布に従ふからである。

然るに第 4・3 圖甲の様に、磁極の形をその両端に於ては空隙を広く、中央で狭くして置けば、磁束の分布は磁極の中央部



第 4・2 圖

第 4・3 圖

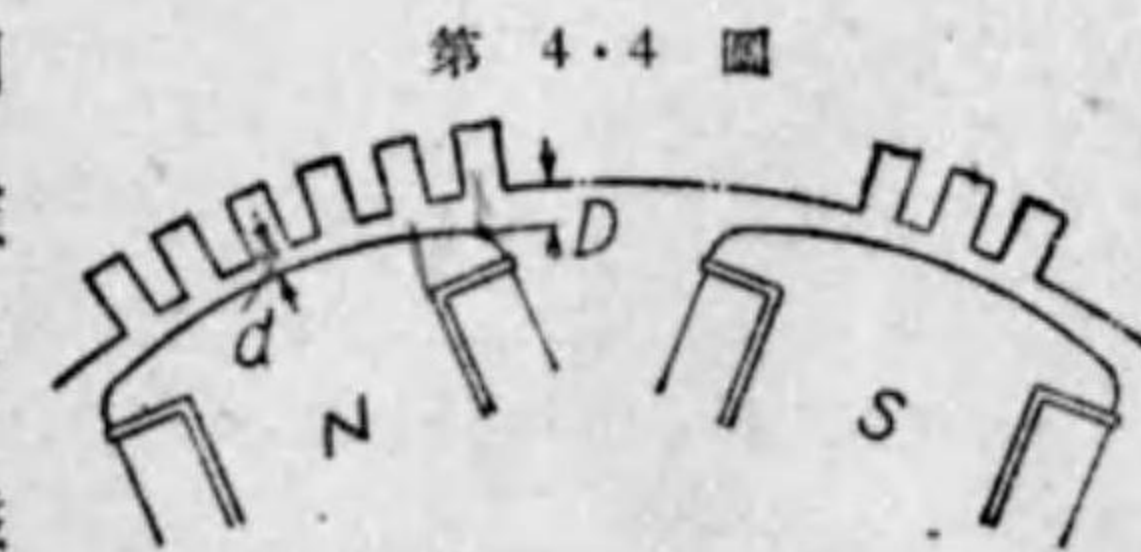


分では密で、兩端に行くに従つて疎になる。これを展開圖で示せば乙圖の様になる。この様な形の磁極が導體の下を一樣の速度で移動すれば、當然導體の起電力は丙圖の様に中高な波形となる。

以上の事から明かな様に、空隙部分の磁束分布が、第 4・2 圖乙の様に梯形であれば、起電力の波形も亦梯形を爲し、第 4・3 圖乙の様に磁束が正弦波形に近い形で分布して居れば、起電力の波形も正弦波形に近づく。依つて起電力に正弦波形のものを得る爲には空隙に於ける磁束分布も亦正弦波形となる様にしなければならない。

實際の場合には第 4・4 圖の様に、磁極の中央部の空隙に對して、その兩端の空隙を 1.5 乃至 2.3 倍に取つて、磁束の分布を正弦波形に近づける様に計つて居る。

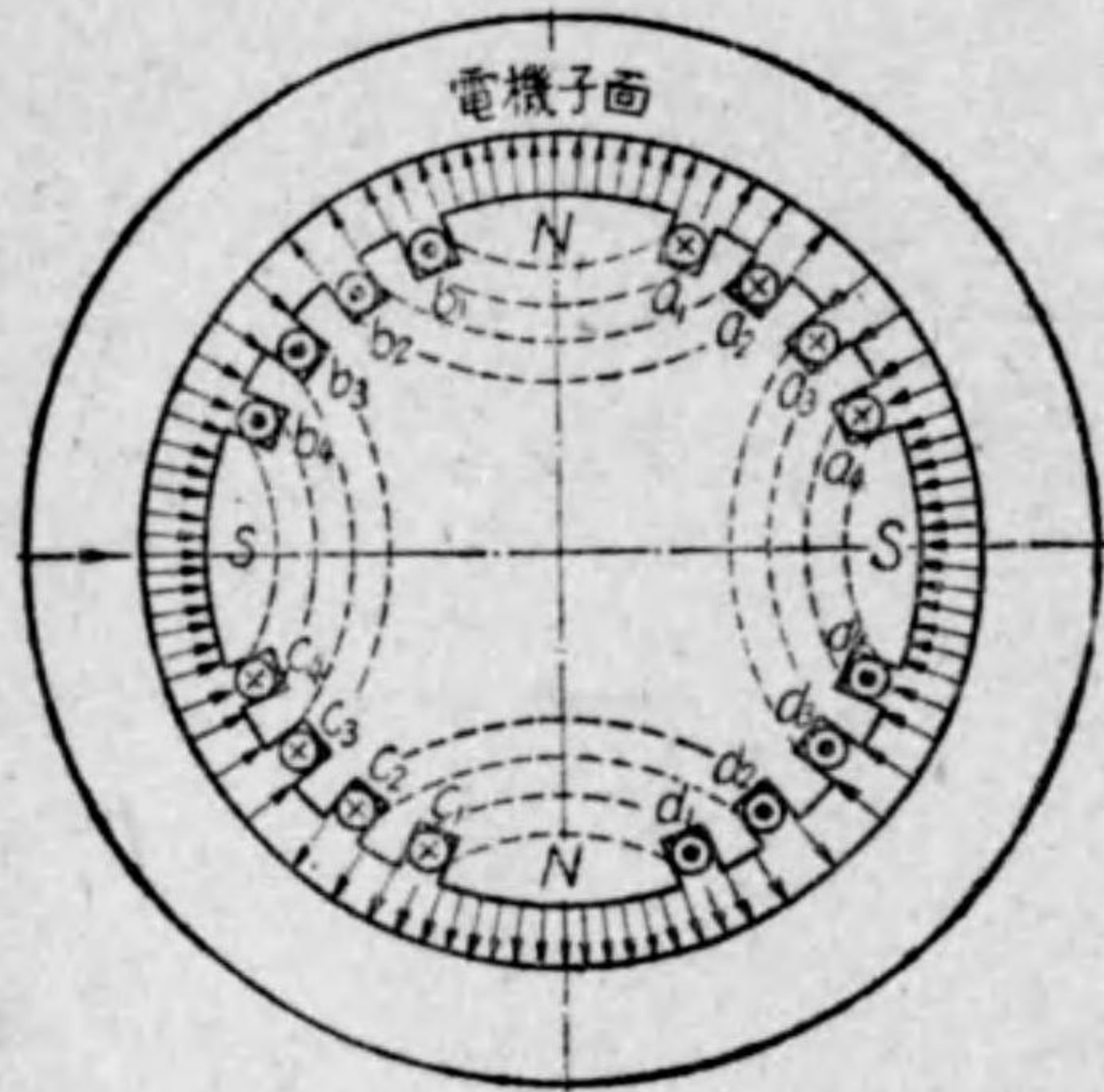
b. タービン発電機の場合 前章に述べた様に、タービン発電機の高轉子は圓筒形であるから、その空隙は平等である。こ



第 4・4 圖

の様な構造のものでは、界磁巻線を回轉子面に分布して溝に納める事に依つて、空隙の磁束の分布状態が良くなるのである。

第 4.5 圖

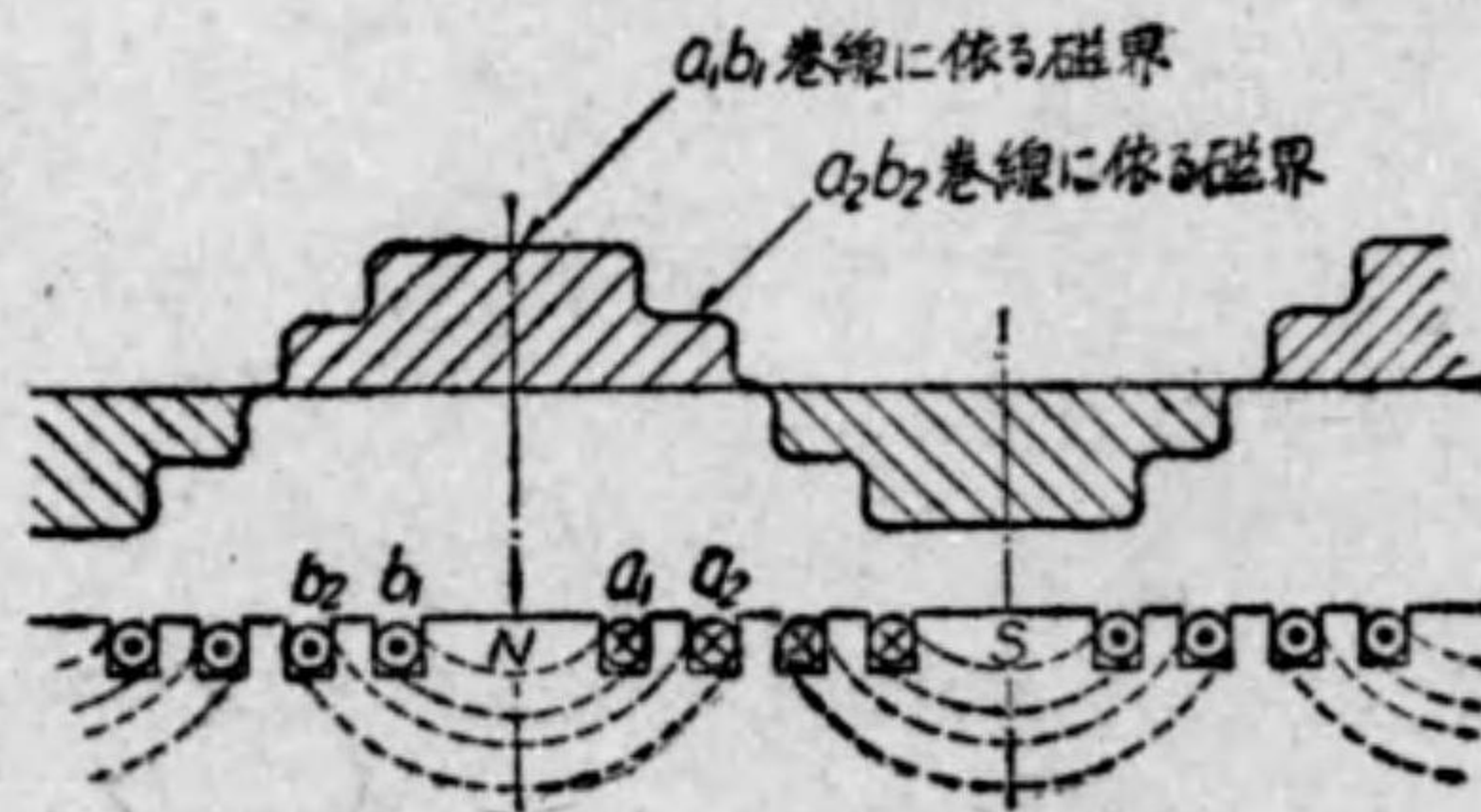


第 4.5 圖は四極の回轉子に 16 溝のある場合を示したもので、界磁巻線は a_1b_1, a_2b_2 又は a_3d_3, a_4d_4 の様に磁極に跨がつたものを使用するので各巻線に依つて生ずる起磁力は、磁極の中央部で相加

はつて密集する。第 4.6 圖は磁束の分布状態を示したもので、各巻線に依つて

生ずる起磁力を合成したものは、その形が階段状となる。この様な起磁力に依つて生ずる磁界を階段状磁界と云ふ。

第 4.6 圖

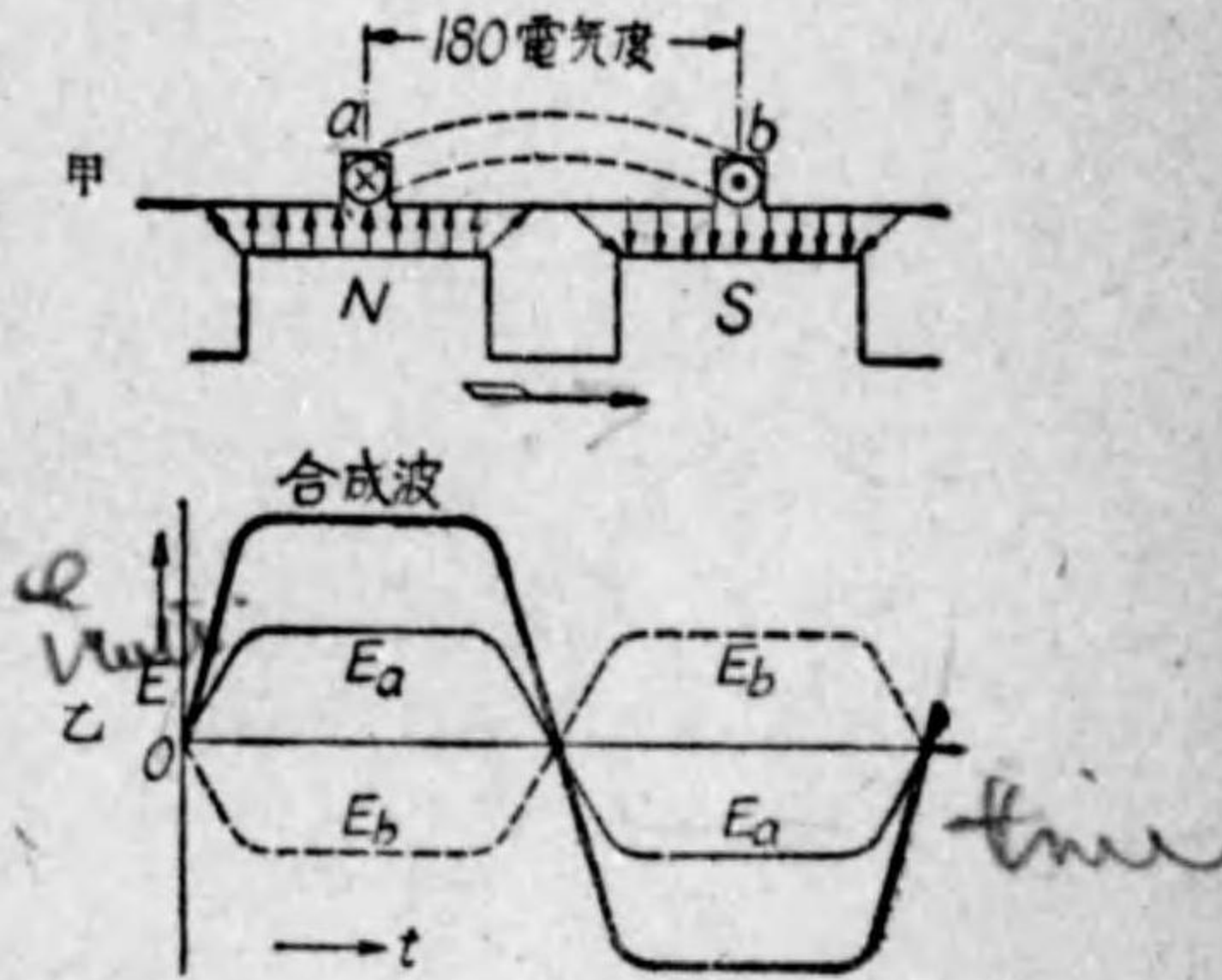


3. 短節巻及び分布巻の採用と起電力の波形

前節に説明した様に、正弦波形の起電力を得る爲に、空隙の磁束を正弦波状に分布するのであるが、短節巻及び分布巻の效用を述べ

第 4.7 圖

るため、故意に第 4.7 圖の様な磁極の形を用ひて説明を加へる。今第 4.7 圖甲の様に磁極が矢印の向きに回轉すれば、 ab 導體には梯形状の波形の起電力を得る事は前節に述べた通りである。而して各導體の起電力の正の向を \otimes の向と定めて、起電力の値を



縦軸に、横軸には時間を取つて曲線に示せば乙圖の様になる。

ab 兩導體は一極間隔即ち 180 電氣度を隔て、配置してあるから、その正負の波形は等しいと共に、絶對値は時間的にも等しい變化をして居る。

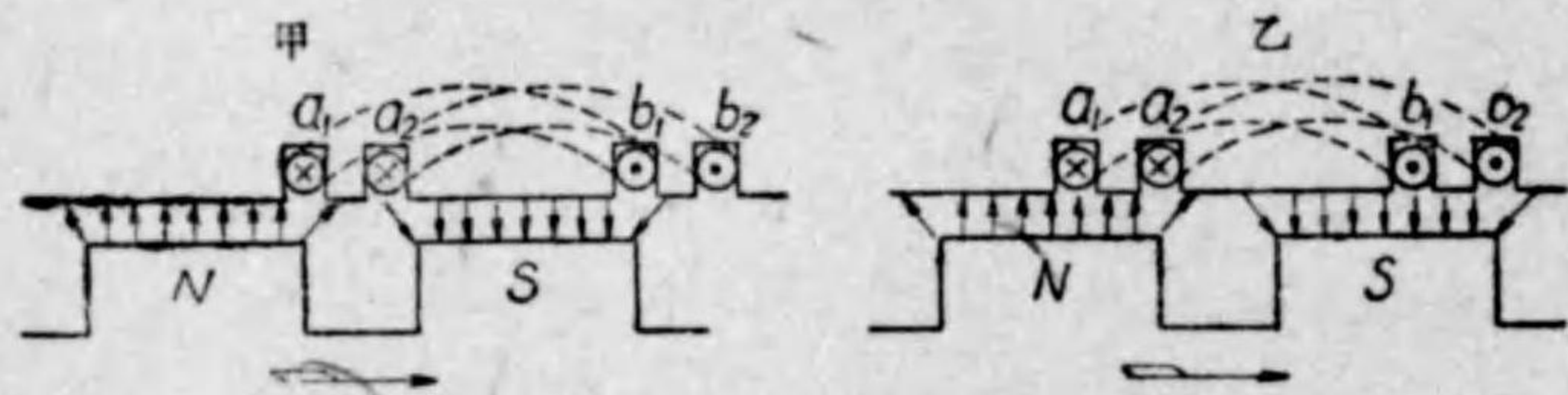
従つてこれを後側で圖の様に接続すれば、 $-E_b$ が E_a に相加はつて、乙圖の合成波で示す様な起電力を得るのである。

然るに短節巻を行つて、 ab の間隔を第 4.8 圖甲の様に、例へば 150 電氣度即ち $150/180=83.3\%$ の短節巻とすれば、

乙圖の様にb導體の起電力が先づ負の向に生じ、次にa導體に正の向の起電力を生ずる。この起電力を合成したものは、第4・7圖乙の場合よりも稍尖つたものとなり、正弦波形に近づいて来た事が分る。

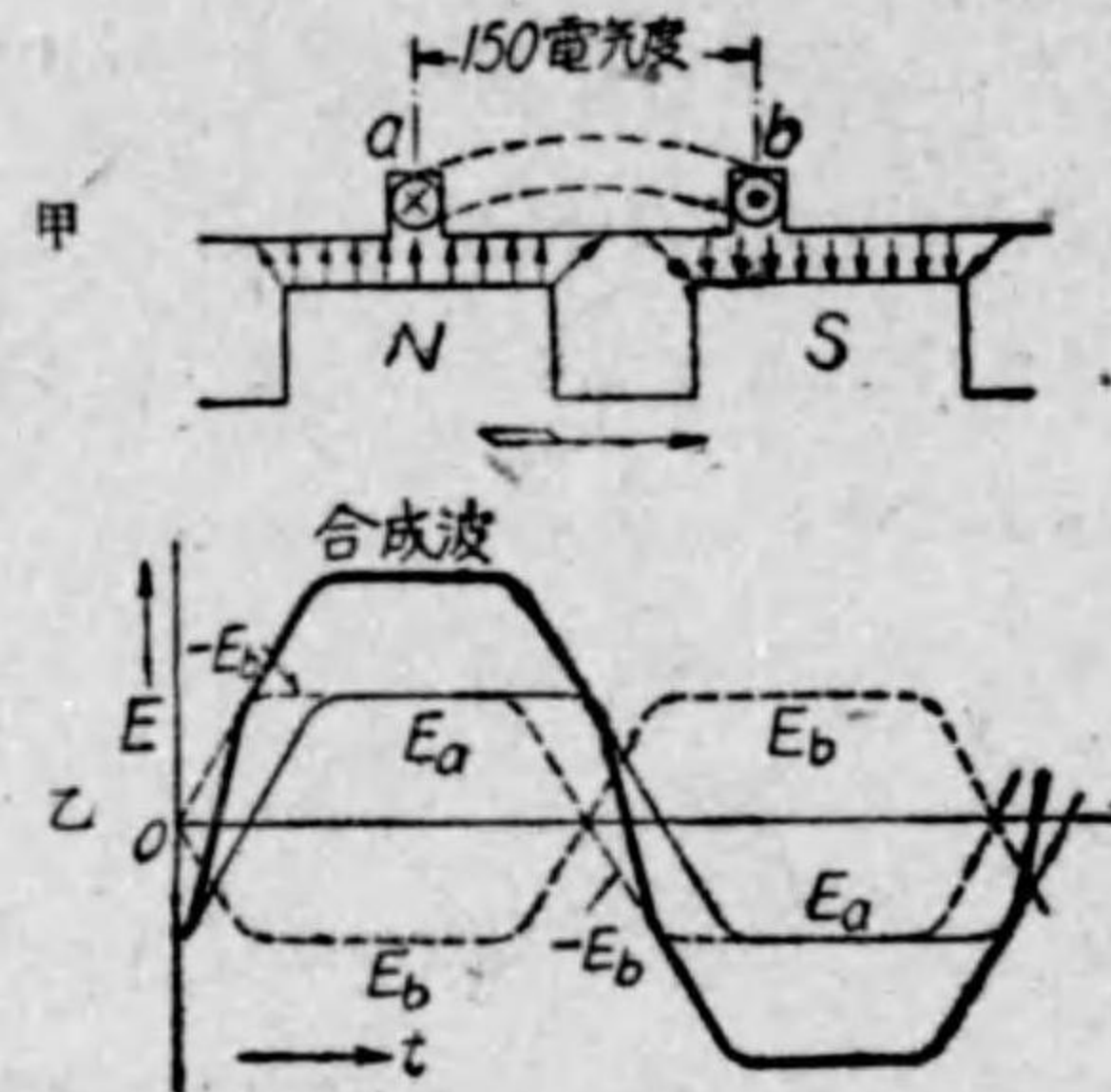
次に第4・9圖甲の様に

第4・9圖



每極每相二溝即ち分布巻とした場合を説明しよう。同圖に於てa₁b₁線輪の起電力と、a₂b₂線輪の起電力には時間的のずれがある。即ち甲圖の瞬時にはa₁b₁線輪には起電力が生じ始めたが、a₂b₂線輪には未だ生じて居ない、磁極が移動して乙圖の様になつてから初めてこれに起電力が生ずる。即ちa₂b₂線輪の起電力はa₁b₁線輪の起電力よりも時間的に遅れて生ずるのである。従つて第4・10圖の様に①なる波形の起電力とそれより遅れて生じた②なる波形の起電力との合成は各線輪單獨の起電力の波

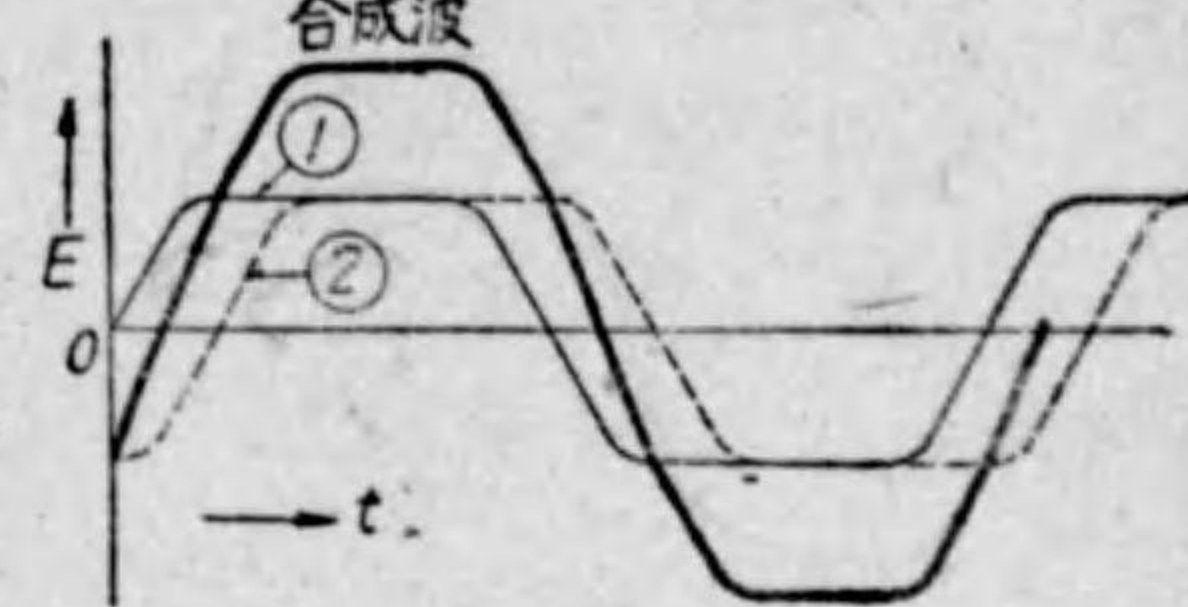
第4・8圖



形よりも中高となつて、正弦波形に近づいて居る。每極每相の溝数を更に増加すれば、それ等を合成した起電力の波形は益々正弦波形に近づくのである。

發電機の設計に當つては、磁極の形を適當にして、各導體に生ずる起電力を正弦波形に近からしめ、更に短節巻及び分布巻を採用するのであるから益々正弦波形に近づくのである。

第4・10圖



4. 誘起起電力の計算 交流發電機も直流發電機も共に電磁誘導の法則に依り、起電力を誘起する事に變りはない。

今發電機の極数をp、每極の有効磁束をΦ(マクスウェル)、毎分の回轉數をnとすれば、導體一本が一極の磁束Φを切るに要する時間は60/np秒である。何故なれば、磁極が一回轉するには、60/n秒を要し、1/p回轉で一本の導體が磁束Φを切り終るからである。故に導體一本が毎秒切る磁束の平均は

$$\Phi \div \left(\frac{60}{n} \times \frac{1}{p} \right) = p \Phi \times \frac{n}{60} \text{ マクスウェル/秒}$$

従つて一相に直列につながる導體數をN_cとすれば、一相分の合成した起電力の平均値は、

$$E_m = p \frac{n}{60} N_c \Phi \times 10^{-8} \text{ ボルト} \quad (4 \cdot 1)$$

Handwritten notes: $N_c = \frac{120}{p}$, $\frac{1}{p} = \frac{120}{N_c}$

となる。之は直流発電機の第五章1節で求めた起電力の公式である。然るに交流電圧何ボルトと云ふのは、平均値ではなくて、実効値である。正弦波形に於ては、実効値 E と平均値 E_m との比、即ち波形率は交流理論で説かれてある通り、〔波形率〕

$$= \frac{E}{E_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$
 である。又交流発電機第一章第6節に述べた様に、周波数 $f = \frac{p}{2} \times \frac{n}{60}$ であるから、実効値 E は

$$E = [\text{波形率}] \times E_m = 1.11 p \frac{n}{60} N_c \Phi \times 10^{-8}$$

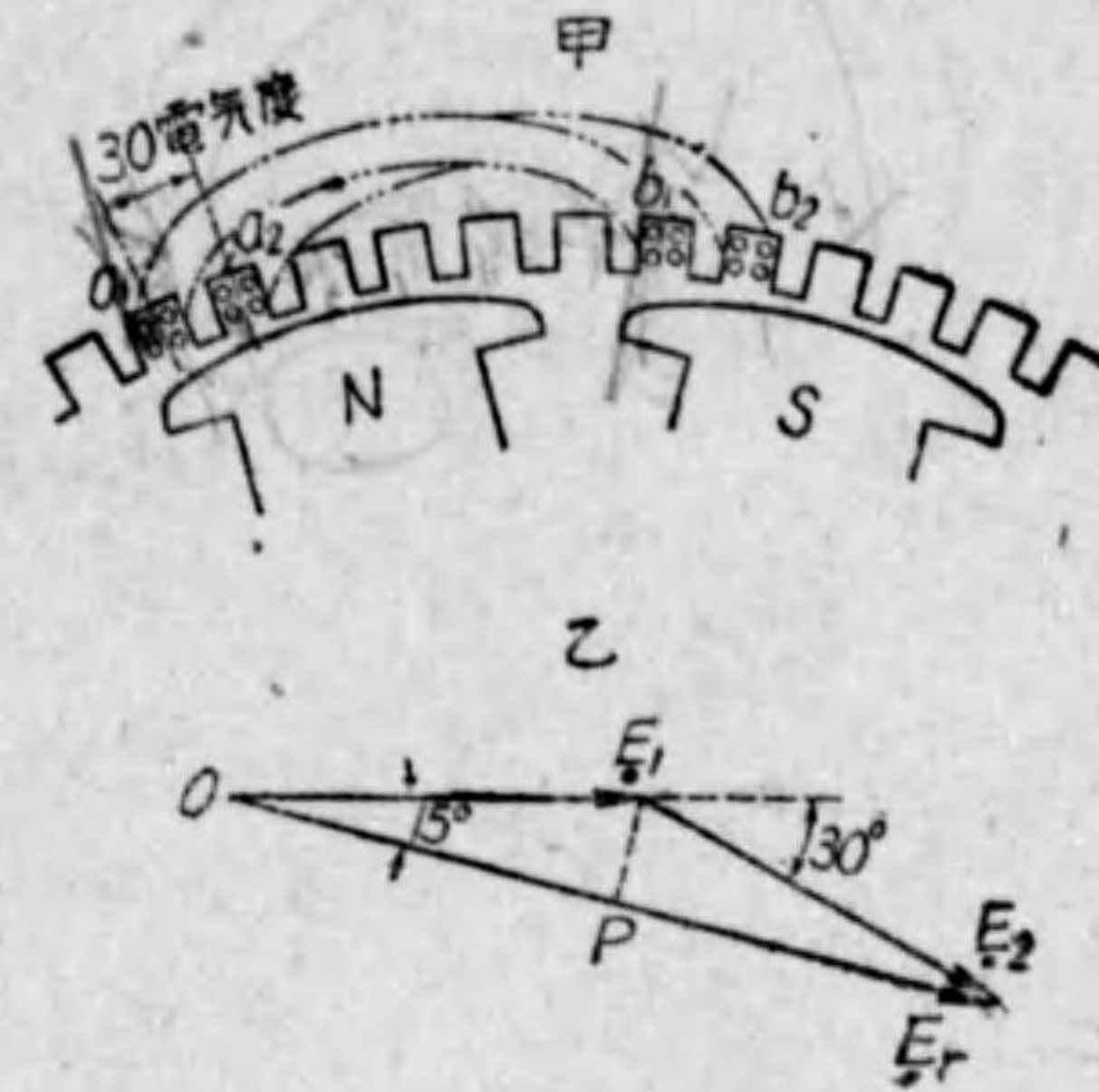
$$= 2.22 f N_c \Phi \times 10^{-8} \text{ ボルト} \quad (4 \cdot 2)$$

となる。但し此處には N_c 本の導體には悉く同じ位相の起電力が誘起されると假定したのである。然るに實際の交流発電機は、分布巻及び短節巻を採用するので、各導體の起電力が同相では有り得ないので、これに應ずる修正を加へなければならない、この修正値が次に述べる巻線係数である。

⑤ 5. 分布係数及び短節係数。(イ) 分布係数 分布巻即ち每極每相の溝数が二つ以上の場合には、前節(4・2)式の E の値に或る係数 k_d を乗じたものが眞の誘起起電力の値となる。この k_d を普通分布係数と稱し、その値は必ず1よりは小さい。

今第4・11圖甲の様に、每極每相の溝数が2である三相発電機の一相分の二線輪に誘起する起電力の分布係数を計算して見

よう。此の場合隣り同志の溝の間隔は圖から明かな様に $180 \times \frac{1}{6} = 30$ 電氣度である。依つて $a_1 b_1$ 線輪の起電力と $a_2 b_2$ 線輪の起電力のベクトルを各 E_1, E_2 とすれば E_2 は E_1 より 30° 遅れて居るから、その合成起電力 E_r は



乙圖のようになる。この際 $|E_1| = |E_2| = E$ とし、 $|E_r| = E_r$ とすれば、 $2E$ は兩線輪が同一の溝に收められた場合即ち集中巻の時の起電力であつて、 E_r は分布巻とした時の起電力である。故に(第4・11圖参照)

$$k_d = \frac{E_r}{2E} = \frac{2 \times OP}{2E} = \frac{2E \cos 15^\circ}{2E} = \cos 15^\circ = 0.9659$$

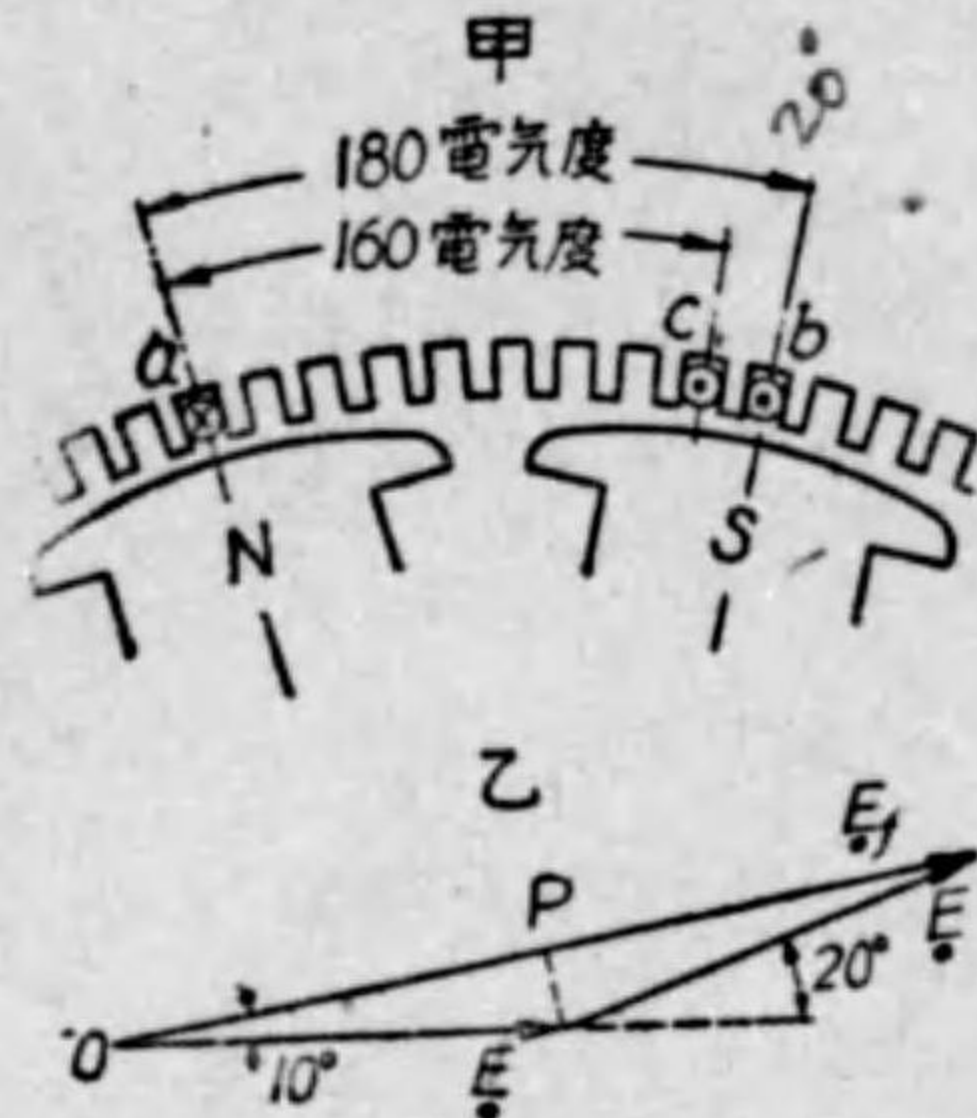
この k_d が上例の時の分布係数である。

(ロ) 短節係数 短節巻を行ふと分布係数の外に更に(4・2)式に修正を施さなければならない。その修正値を短節係数と稱し、これを普通 k_p で表す。

短節係数も亦常に1より小さい。第4・12圖甲に於て、一つの線輪の兩線輪邊が、 180 電氣度に跨がつて $a b$ の溝に收めて

$$\frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}}$$

第 4.12 圖



あれば、兩線輪邊の起電力は 180° の相差がある。それを後側で接続して線輪として考へれば各線輪邊の起電力の二倍が得られる。然るに ac の様に、160 電氣度になる様に線輪邊を収めたとすれば、各起電力のベクトル和は第 4.12 圖乙の E_r の様になる。そこで

$$k_p = \frac{\text{各線輪邊の起電力のベクトル和}}{\text{各線輪邊の起電力の算術和}} = \frac{2 \times E \cos 10^\circ}{2E} = \cos 10^\circ = 0.9848$$

即ち短節巻とした場合の合成起電力は全節巻の場合より幾分小となる。上に述べた分布係数と短節係数との積即ち $k_d \times k_p$ を巻線係数又は巻方係数と云ふ。この値も必ず 1 より小さい。

今 $k = [\text{波形率}] \times [\text{巻線係数}]$ とすれば、交流発電機の一相の巻線の両端に表れる無負荷誘起起電力は

$$\left. \begin{aligned} E &= 2kf\phi N_c \times 10^{-8} \text{ ボルト} \\ &= 4kf\phi N_t \times 10^{-8} \text{ ボルト} \end{aligned} \right\} (4.3)$$

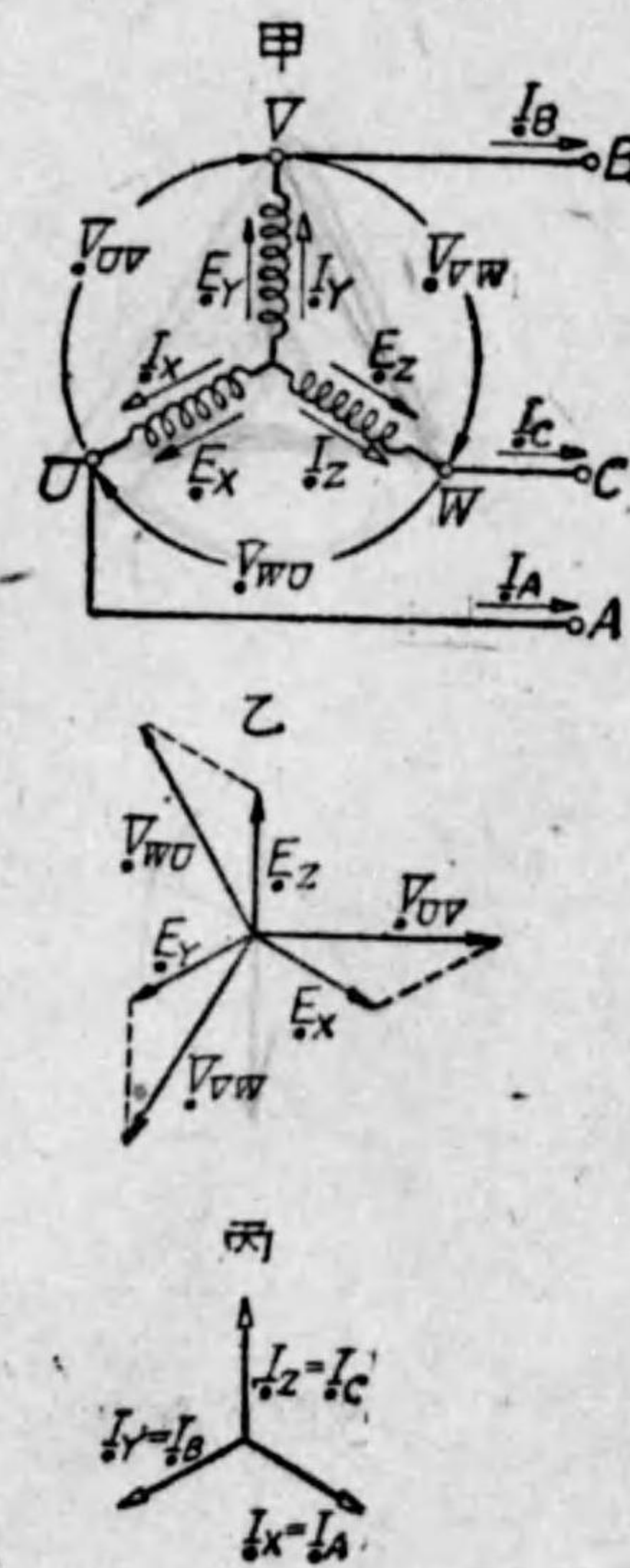
但し N_c は一相の直列導体数、 N_t は一相分の巻数である。勿論 $N_t = \frac{N_c}{2}$ の関係がある。正弦波起電力に於て k の値は 1.11

より小さく普通 1.00 乃至 1.07 位である。

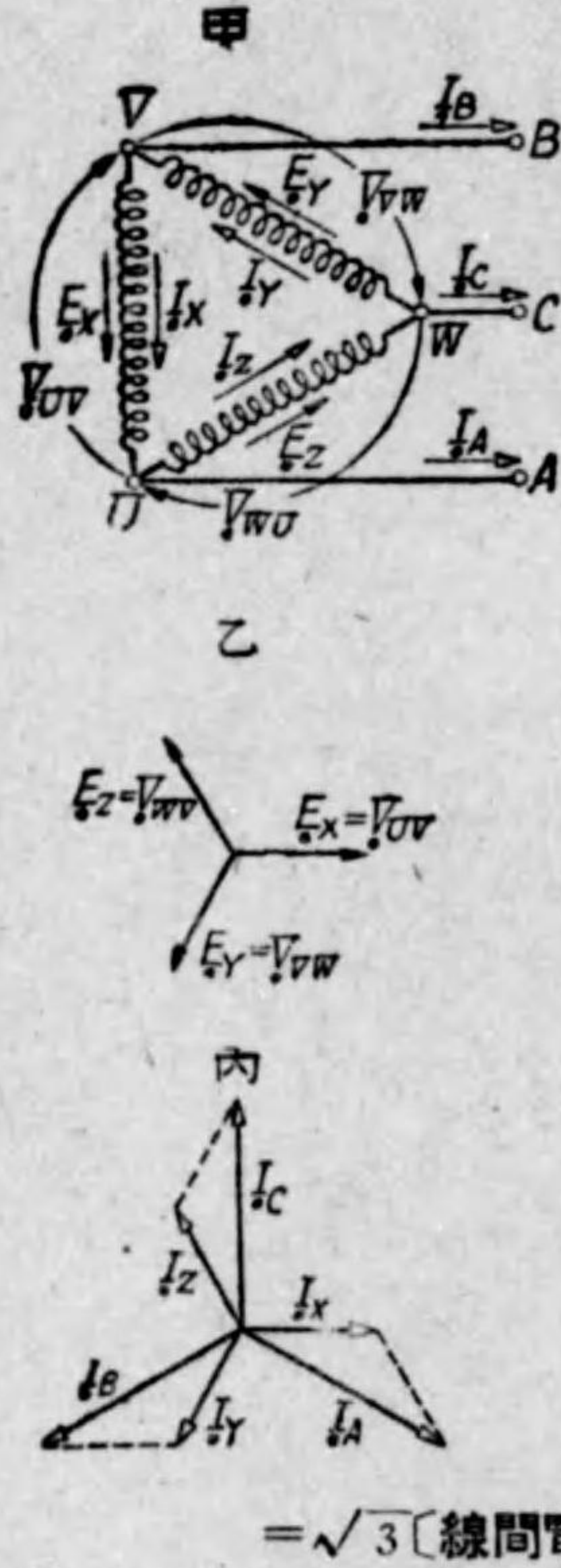
6. 三相發電機の端子電圧と電流 第 (4.3) 式は前述の通り一相の誘起起電力を示す。三相發電機に於ては、各起電力の値は等しいが、互に 120° の相差のある三組の巻線を有してゐるから、これ等の相互の接続法如何に依つて三角又は星形結線を得るのである。

今各組の誘起起電力を E_x, E_y, E_z とし、この順序に従つて 120° 宛遅れて居るものとし、これを第 4.13 圖甲の様に星形結線とすれば、 U, V, W の端子に表れる電圧は、 V_{UV}, V_{VW}, V_{WU} であつて乙圖に示す様に $V_{UV} = E_x - E_y, V_{VW} = E_y - E_z, V_{WU} = E_z - E_x$ となる。各電圧が平衡せる時は $E_x = E_y = E_z = E$ とする事が出来るから、 $V_{UV} = V_{VW} = V_{WU} = \sqrt{3}E$ 即ち無負荷に於ては [線間電圧] $_r = \sqrt{3}$ [一相の起電力] となる。又星形結線に於ては線電流と發電機巻線を通ずる電流とが等し

第 4.13 圖



第 4・14 圖



い事は圖より明かであらう。

次に第 4・14 圖甲の様に三角結線とすれば、無負荷の場合には

$$[\text{線間電圧}]_{\Delta} = [\text{一相の起電力}]$$

又負荷電流の通ずる時は丙圖の様に $I_A = I_x - I_z$, $I_B = I_y - I_x$, $I_C = I_z - I_y$ となり負荷が平衡して居る時は、 $I_x = I_y = I_z = I$ と書けるから

$$I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} I \quad \text{即ち} \quad [\text{線電流}]_{\Delta} = \sqrt{3} [\text{一相の巻線の電流}]$$

以上の事から三角結線、星形結線の何れの場合でも、巻線内の電圧降下を無視すれば

$$\begin{aligned} \text{發電機出力 (VA)} &= 3 [\text{一相の起電力}]_{\text{ボルト}} \times [\text{一相の電流}]_{\text{アンペア}} \\ &= \sqrt{3} [\text{線間電圧}]_{\text{ボルト}} \times [\text{線電流}]_{\text{アンペア}} \end{aligned}$$

註 第 4・13 圖及び第 4・14 圖に於て U, V, W を端子記號とした。三相發電機の端子記號は必ず U, V, W を記號とする事及び線間電壓の相回轉方向も、發電機が正方向に回轉せられる時、U→V→W の順序になる様に接續すべき事が J. E. C. の規程で定められて居る。

7. 星形結線の採用 三相交流發電機の結線法には殆ど總

てに星形結線が採用せられて居る。次にその理由を述べよう。

1. 同じ kVA 出力に對して、星形結線は比較的高電壓なる場合に適し、三角結線はそれに反する。然るに今日の様に大容量の發電機の要求される時は電壓を高くして、電流を小として使用する方が具合が宜しいので星形結線が採用される。

尚ほ上記以外に次の點も考慮されて居る事も注意を要する。

2. 星形結線では容易に中性點を引出し、發電機又は線路の故障の際の故障發見装置を設備する事が出来る。又中性點を引出せば、三相四線式の配電を行ふ事も出来る。

この外に星形にした方が三角結線より幾分波形が良くなるのだが、こゝには述べない。

Tues. Sept. 9

8. 同期インピーダンス 直流發電機に於てその電機子に電流が通すれば電圧降下を生じた。交流發電機の場合も電流に依つて電圧降下を生ずる事は同じであるが、交流である爲に巻線のインピーダンスを考へなければならない。

今電機子巻線一相分の抵抗及びリアクタンスを各 r, x とすれば、一相のインピーダンス $z = \sqrt{r^2 + x^2}$ である。従つて若し電機子巻線の電流を I とすれば、電圧降下は $Iz = I\sqrt{r^2 + x^2}$ となる。同期機に於ては特にこのインピーダンス z を同期インピーダンスと云ひ、リアクタンス x を同期リアクタンスと

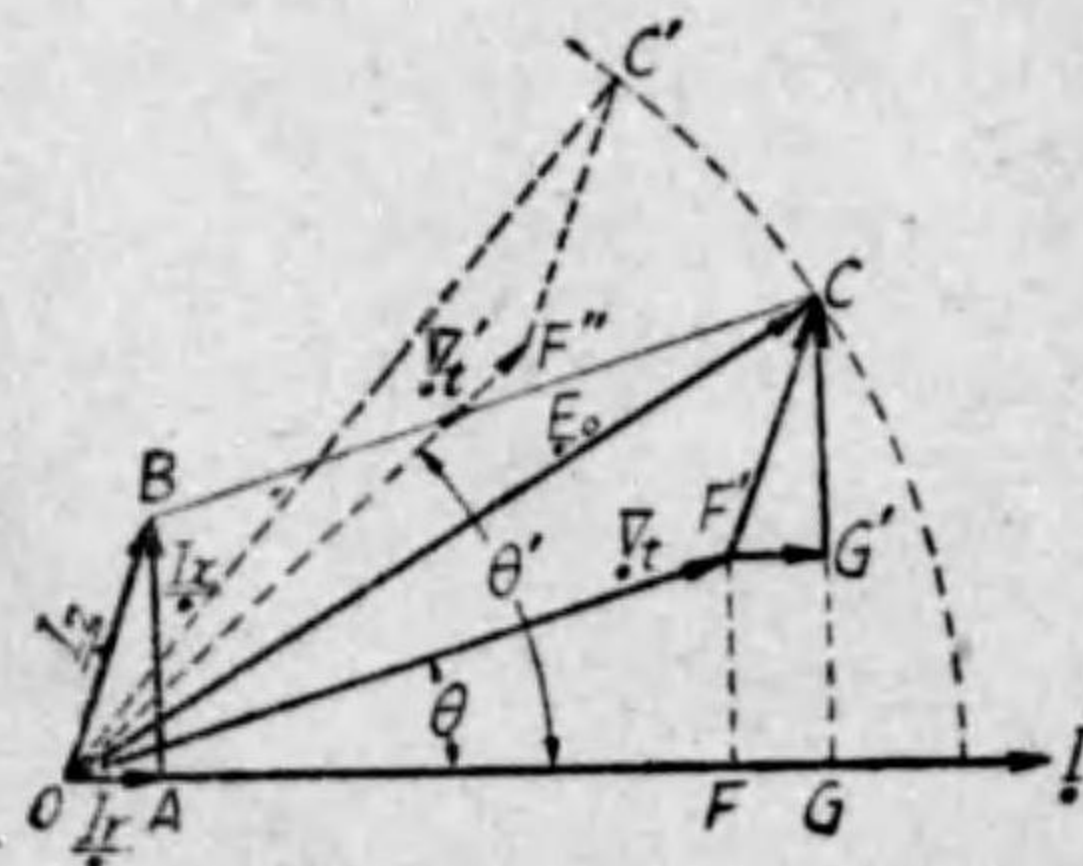
云ふ。

註 何故に同期インピーダンスなどと、同期と云ふ言葉を冠せるかと云ふに、電機子に電流が通ると磁束の生ずる事は勿論であるが、この磁束の一部は回転子の磁極の部分を通り、他は磁極を通過しない。実際の場合として磁極を通過する磁束と、磁極を通過しない磁束とは、その作用が幾分異なるので、時としてこれを別々に考へる事がある。その様な場合に通用する様に同期と云ふ言葉を冠せるのである。

9. 電機子内電圧の釣合 前節に述べた同期インピーダンスと云ふ術語を用ひれば、電機子内電圧の釣合の状態が簡単に説明される。即ち各相の誘起起電力から各相の同期インピーダンスに依る電圧降下をベクトル的に引去つた残りが各相の端子電圧となるのである。

ベクトル圖でこれを示せば、第4・15圖の通りである。圖中

第4・15圖



とすれば、電機子抵抗に依る電圧降下 I_r が電流と同相に、同

I は或る一相の電流ベクトルでこれを基本に取る。この際電流がその相の端子電圧 V_t より θ だけ遅れて居るとすれば、端子電圧 V_t は圖の様になる。又その相の巻線の抵抗を r 、同期リアクタンスを x

期リアクタンスに依る電圧降下に I_x がこれより 90° 進んだ位相に描かれる。故に同期インピーダンスに依る電圧降下 I_x は OB で示される。依つて B 點から V_t に平行に BC を引き、 O を中心として誘起起電力の大きさ E_0 を半径とする圓周との交點を C とすれば、 $\vec{BC} = V_t$ となる。 C と V_t の先端 F' を結べば、 $\vec{F'C} = I_x$ であつて、 $OBA = \triangle F'CG'$ なる様に $F'G'$ を定めれば、次の關係が得られる。

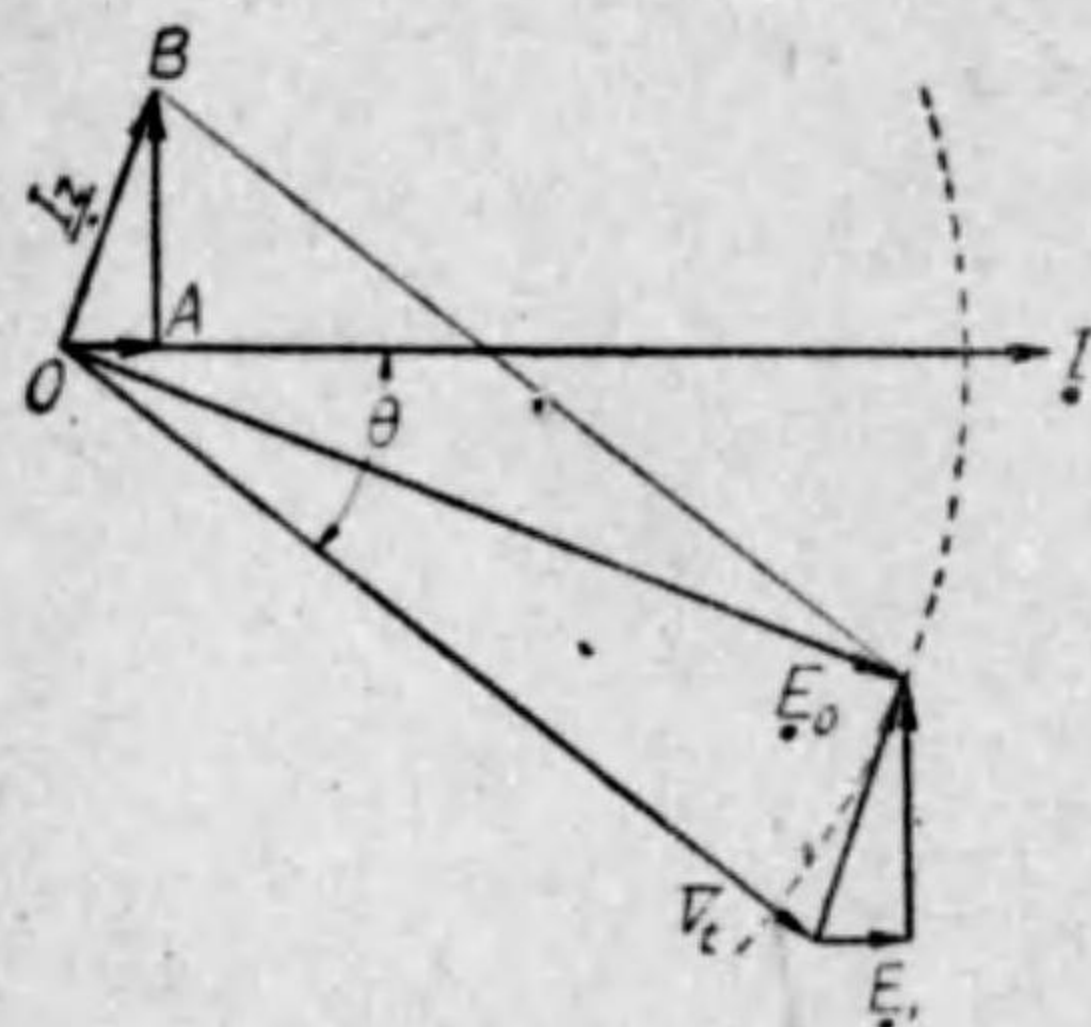
$$\begin{aligned} E_0^2 &= \overline{OG}^2 + \overline{CG}^2 \\ &= (\overline{OF} + \overline{FG})^2 + (\overline{G'G} + \overline{CG'})^2 \\ &= (V_t \cos \theta + Ir)^2 + (V_t \sin \theta + Ix)^2 \end{aligned}$$

$$\therefore E_0 = \sqrt{(V_t \cos \theta + Ir)^2 + (V_t \sin \theta + Ix)^2} \quad (4 \cdot 4)$$

10. 電圧變動の原因 直流發電機の場合には誘起起電力から發電機内の電圧降下を算術的に減すれば、直ちに端子電圧が算出された。然し交流發電機の場合は第4・15圖又は(4・4)式は示すところから明かな様に、起電力が一定の場合に、負荷が遅力率で一定であれば、端子電圧は電流が大である程小となる。然したとへ E_0 と I とを一定に保つても負荷力率が變化すれば V_t の値も變化する。即ち遅力率であれば力率角の大である程 V_t は小となり、進力率の時は力率角の大である程 V_t の値は大となる。これを説明しよう。

第4・15圖を見れば、 V' は遅れ力率角が θ' になつた場合の端子電圧を示すもので、 V' に同じ大きさの電流に依る電壓降下 I_2 をベクトル的に加へたものは誘起起電力であつて、 $\triangle OC'F''$ と $\triangle OCF'$ とを比べて見れば $V' < V_1$ である事が直

第4・16圖



ちに分る。 θ が負の値即ち進力率となつた時のベクトル圖を第4・16圖に示す。この場合にも $V_1 + I_2 = E_0$ である事に變りがないが、この場合は V_1 の値は θ の増す程大となる事に注意して貰ひたい。

斯様に交流發電機の端子電壓變動の原因は、電流の大小と、負荷力率との二つである。

11. 電壓の調整法 交流發電機の端子電壓は負荷の大小、力率の如何に係はらず一定である事が望ましい。然るに前節に述べた通り、若し勵磁電流を一定としてその誘起起電力を一定に保てば、端子電壓は負荷の大小、力率の變化に依つて著しく變動する。そこで端子電壓の變動に應じて勵磁電流を調整して端子電壓を一定に保つ必要を生ずる。

勵磁電流の調整を負荷に應じて手動で行ふ事は實際に困難で

あるから、これも自動的に行ふ所謂自動電壓調整器を使用するのが普通である。

自動電壓調整器には種々の形式があるが、こゝでは振動型と稱せられる、チリル調整器 (Tiril regulator) に就て簡単に述べる。この方式の妙味は勵磁機の界磁抵抗器が交流發電機の電壓の高低に應じて、自動的に特殊の調整を受ける點にある。

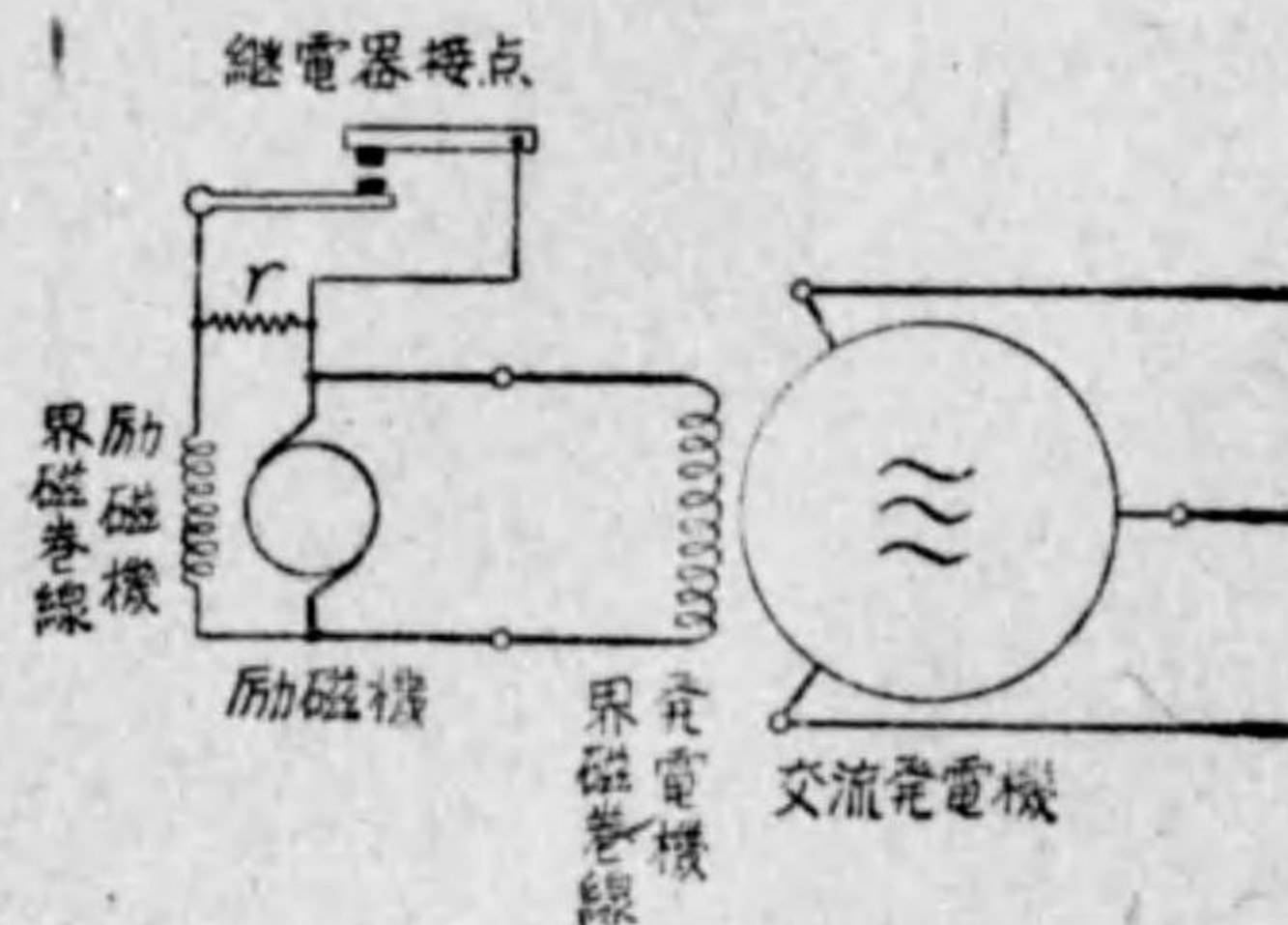
第4・17圖はその原理の概略を示す圖で、繼電器の接點が接

觸すれば勵磁機の界磁加減抵抗 r は短絡せられ、勵磁機の電壓は上昇し、交流發電機の勵磁電流は増加し、従つてその端子電壓も上昇する。

反對にこれが開けば

r が直列に入るから、結局交流發電機の端子電壓は降下する。この様な接點の開閉は交流發電機の端子電壓に依つて働らく電磁石と、バネの作用とに依つて絶えず振動的に繰り返へされ、その閉ちて居る時間と開いて居る時間との長短に依つて勵磁電流の平均の値に大小を生せしめて、常に交流發電機の端子電壓を一定に保つのである。

第4・17圖



チリル調整器の原理

12. 電機子電流に依る磁界 (イ) 三相発電機の場合 三相発電機の電機子電流に依る起磁力即ち電機子起磁力は、その電流の大きさ及び線輪の巻数の積に比例する。而してその起磁力の状態は

(I) 電機子起磁力は、同期速度にて同轉子と同方向に移動する。従つてそれに依つて出来る磁界も同期速度で移動する。

(II) 電機子起磁力は電機子面上に略正弦波状に分布する。

先づ I から説明しよう。第 4・18 圖は三相二極の每極每相二溝の電機子に戊圖に示す様な平衡三相交流の通じた場合①, ②, ③, ④ の瞬時に於ける電機子起磁力の分布状態を、各甲, 乙, 丙, 丁圖に示したものである。即ち A 相電流は電機子の A_1A_2 巻線に、B 相、C 相の電流は各 B_1B_2 巻線、 C_1C_2 巻線に通じたものであつて、 A_1, B_1, C_1 導體の電流の正の向は \otimes とし、 A_2, B_2, C_2 導體の電流の正の向は \odot と定める。

然る時は①なる瞬時には A 相の電流は正の向に最大で、B 相、C 相に於ては負の向に最大値の $\frac{1}{2}$ であるから、甲圖の様な電流分布となり、起磁力の分布も矢印を入れた細線の様になる、而してその起磁力の中心軸は、 A_1A_2 巻線の軸と一致して水平である。又②の瞬時を示す乙圖では B 相の電流が正の向に最大で他の相には負の向の電流が通じて居るから起磁力の中心軸

は甲圖の場合より

も 120° 移動して

居る事が分る。更

に③の瞬時となれば

C 相の電流が

正の向に最大とな

り、他の相は負の

向の電流が通じて

居るから、C 相巻

線の中心軸迄起磁

力の中心軸が移動

して來て居る。丁

圖は④の瞬時であ

るから甲圖の場合

と全く同様な起磁

力の分布となつて

居る。

これ等の圖を見

ると電流が 120°

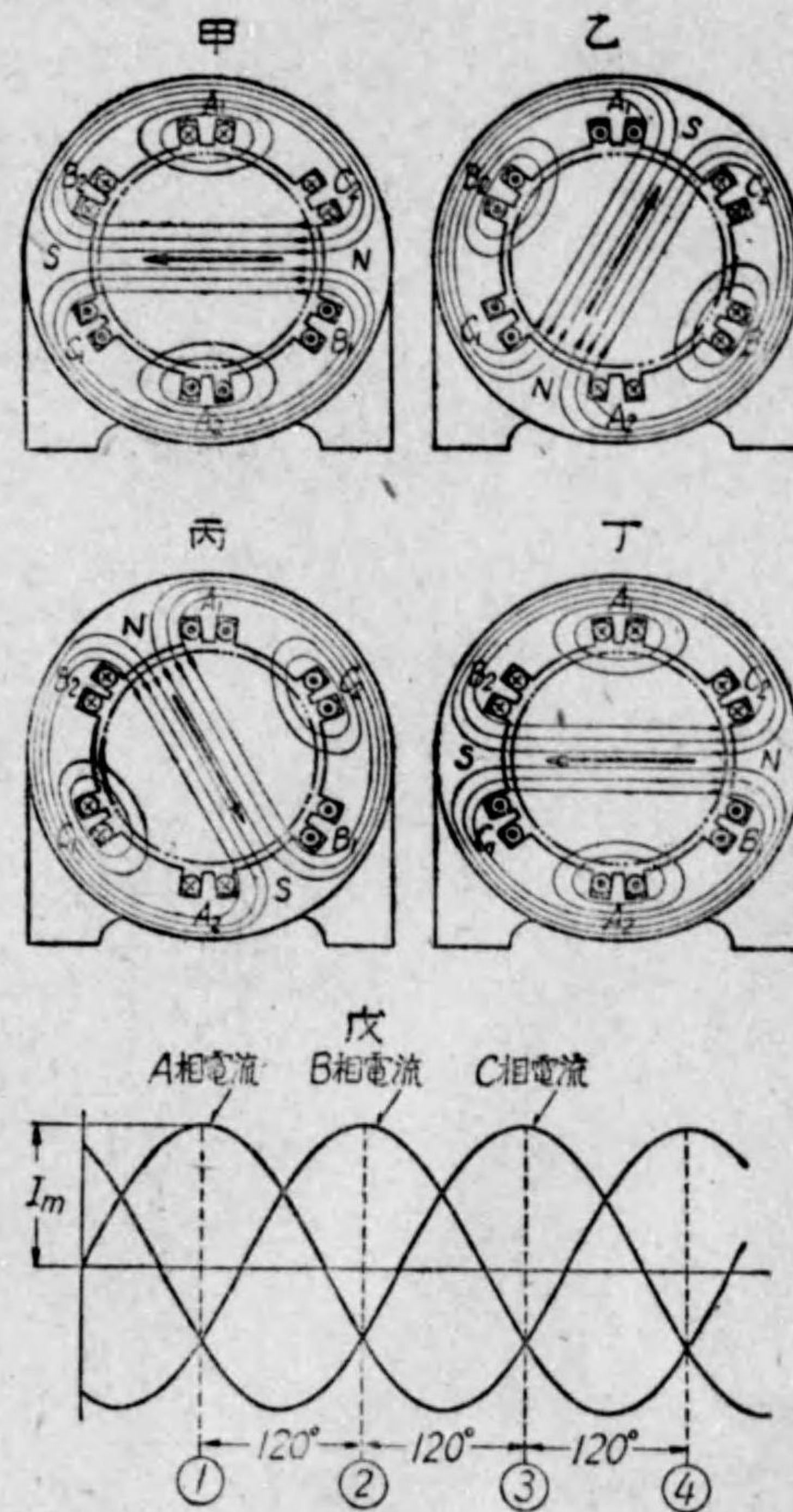
變化すれば、起磁

力の中心軸も亦 120°

移動して居る事が

わかると共に、①の瞬

第 4・18 圖

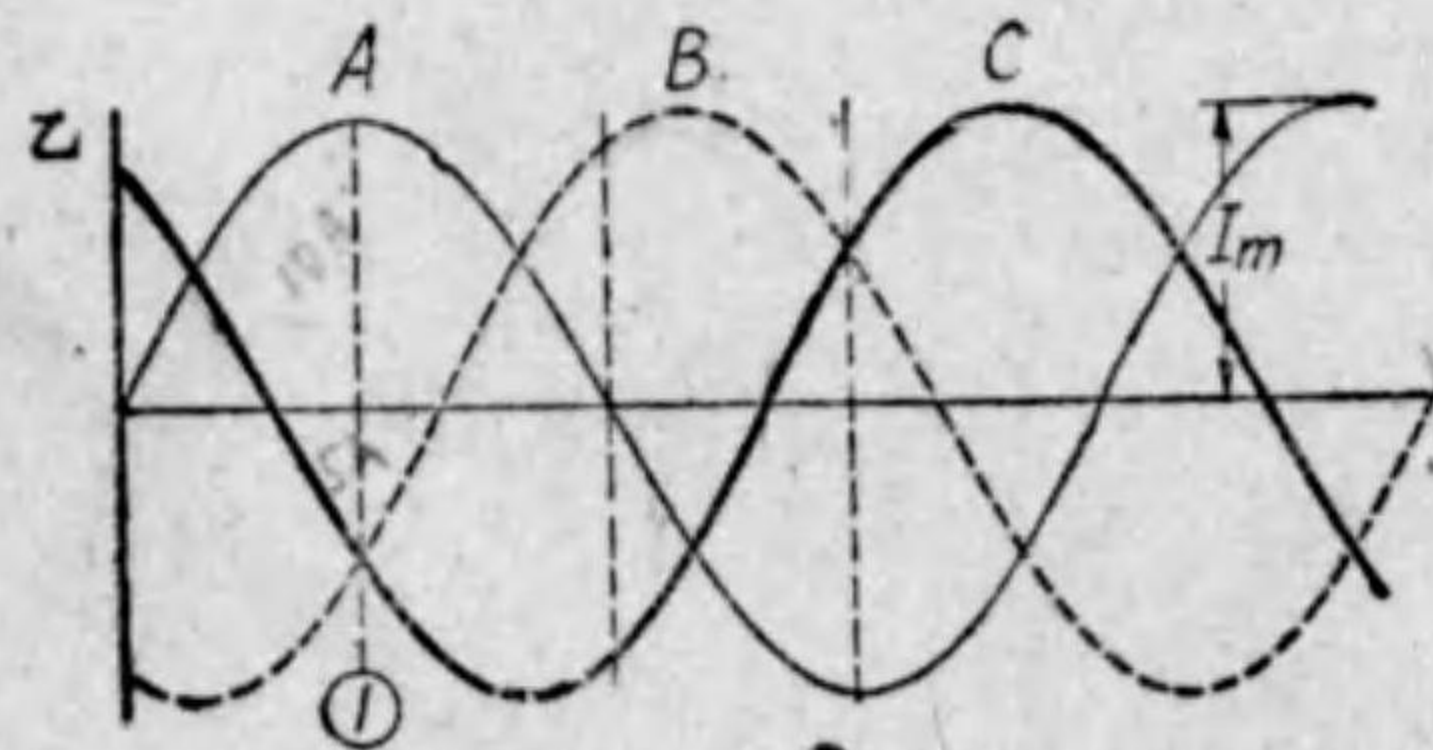
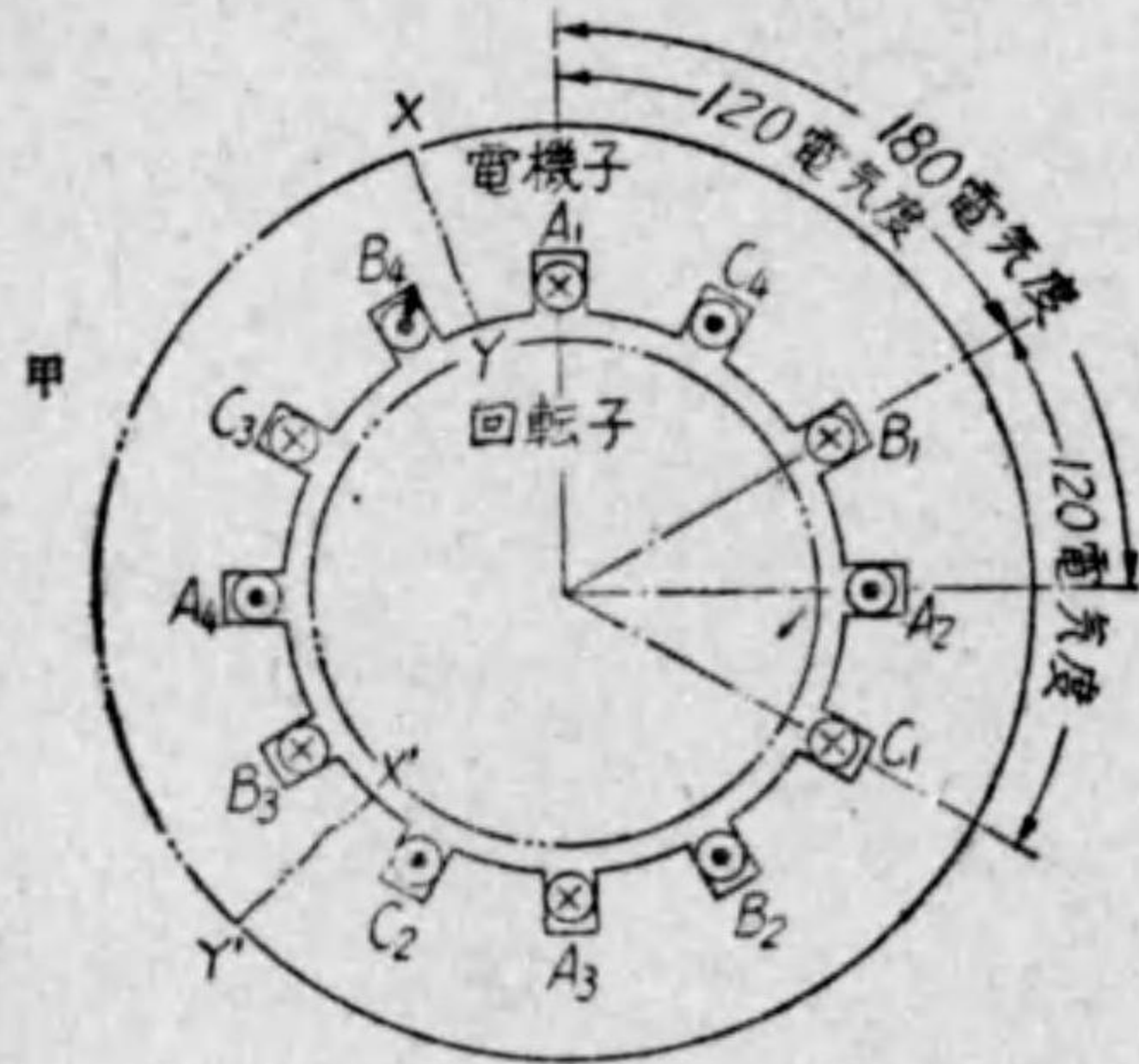


①の瞬

時から④の瞬時迄の間に起磁力の中心軸が 360° 即ち一回轉して居る事もわかる。

本例の様に二極發電機では電流が1サイクルする間に、回轉子も1回轉(同期速度)して居ると共に、その回轉方向は電流の相回轉の方向と同一であるべき筈であるから、三相の電機子起磁力は、眼に見える回轉界磁極と同じ速度、即ち同期速度で回轉子と同方向に移動して居るのである。この起磁力は電機子の内周に沿うて移動するので、回轉起磁力と呼ばれ、この起磁力に依つて生ずる磁界を回轉磁界(revolving field)と云はれる。

第4・19圖



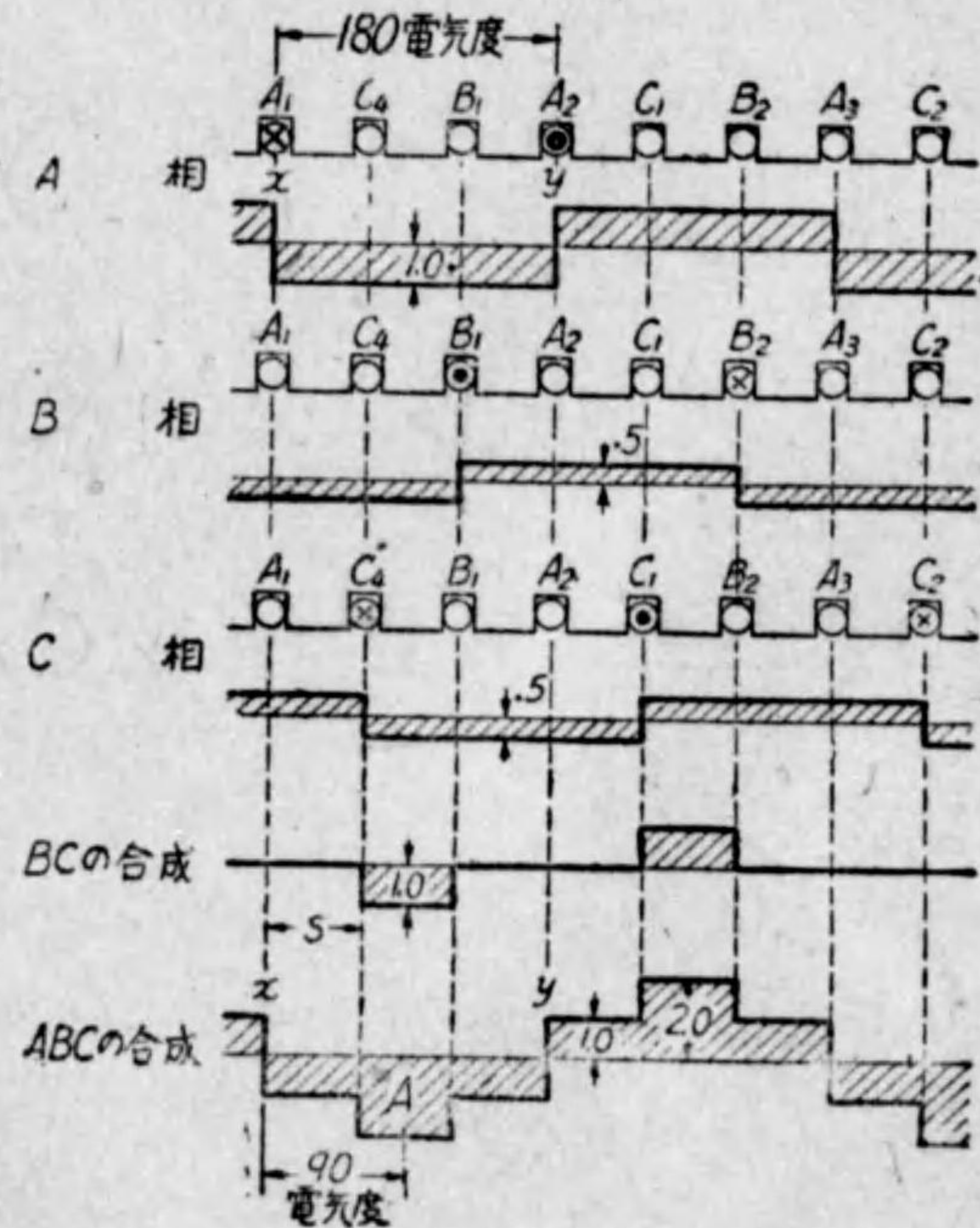
次に II の現象に就て説明する。これには第4・19圖甲に示す様な四極每極每相一溝の單層巻の發電機に乙圖の様な平衡三相交流の、①の

瞬時の電流が各相巻線に通じた時の状態で説明を試みよう。

瞬時の電流が各相巻線に通じた時の状態で説明を試みよう。

甲圖に於て A_1A_2 , A_3A_4 は A 相巻線の線輪邊で、 B_1B_2 , B_3B_4 よりなる B 相巻線及び C_1C_2 , C_3C_4 よりなる C 相巻線に互に 120° 電氣度を隔て、配置されてある。又これ等の導體に記入した $\otimes \odot$ の符號は電流の正の向を示したものである。これを第4・20圖の様な展開圖として起磁力の分布を調べて見る。同圖に於ては便宜上、各相巻線の電流に依つて生ずる起磁力を別々に求め、それを

第4・20圖

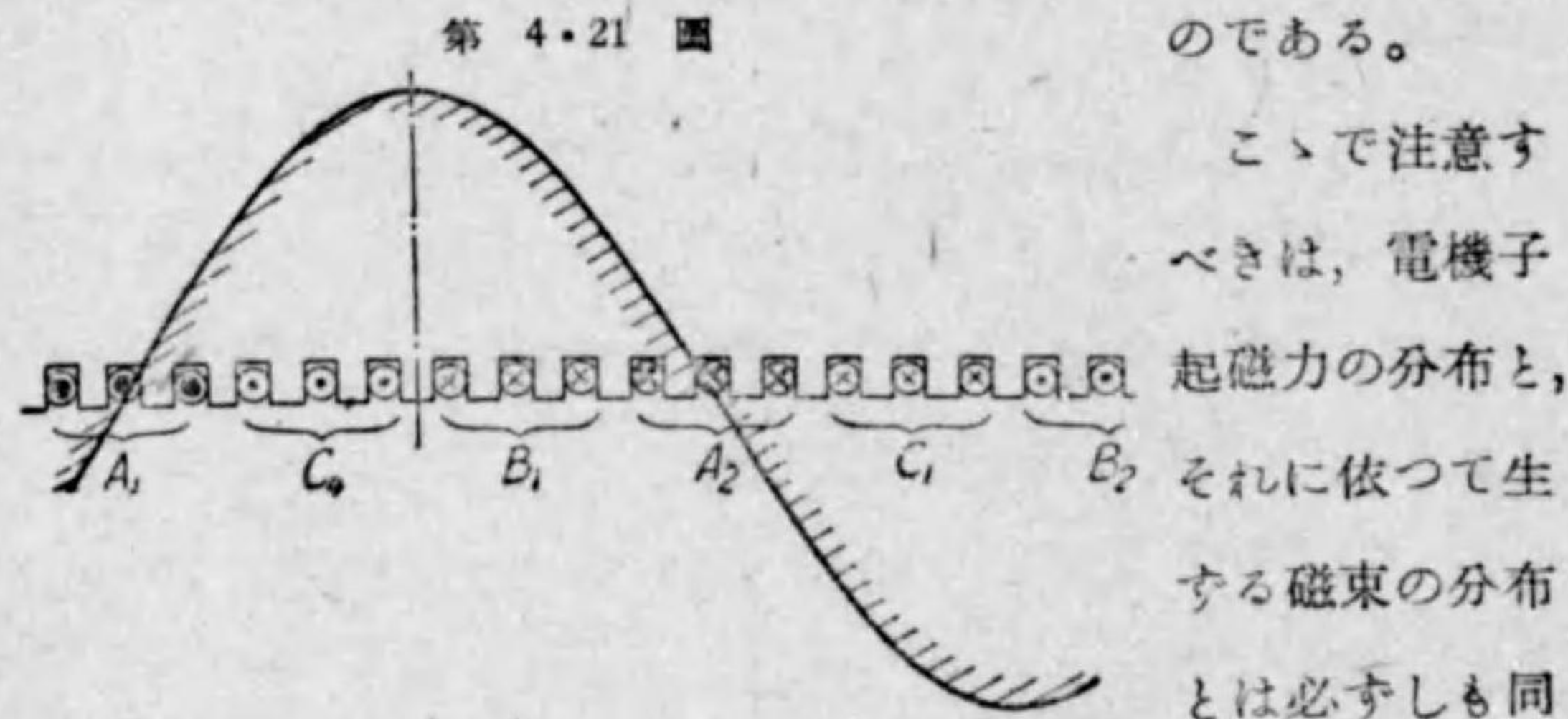


組合せて全體の起磁力の合成が A 相求めてある。

第4・20圖の最上段は A 相電流のみに依つて生ずる起磁力である。B 相及び C 相巻線の電流は、第4・19圖甲に記入した電流の正の向と反對の向に A 相

電流の $\frac{1}{2}$ の電流で、之が通じた爲に生じた起磁力を其の下に陰影を付した矩形部分で示してある。但しその高さは A 相の分に對して、B 相、C 相の分は $\frac{1}{2}$ である。

これを B 相、C 相の分だけで合成したものを下から二段目に示し、これと A 相の分との合成したものを最下段に示してある。この合成起磁力を見るに B、C 相の起磁力は、A 相の起磁力を相助け、その結果形状が階段状となるのである。然し實際の場合には毎極毎相の溝數も多く、且つその階段状の角が取れて来て、第 4・21 圖の様に略正弦波状の起磁力の分布となる



と云ふ事である。即ち起磁力は正弦波状に分布しても、それに依つて生ずる磁束は磁氣回路の磁氣抵抗に依つて異なるからである。凸極發電機の様には磁氣抵抗の不均等なものは磁束の分布状態は簡單なものではないのである。

(□) 単相發電機の場合 単相發電機の電機子電流に依つて

生ずる起磁力は巻線軸の中心軸に於て、電流の周波數と同じ周波數で交番する。従つてこれに依つて生ずる磁界も巻線の軸を中心軸として交番する。

13. 電機子反作用 交流發電機の電機子反作用は直流發電機の場合とは大分に趣きが違ふ。直流發電機では電機子反作用が減磁作用とか、偏磁作用等になる原因は、その刷子の位置如何に依るのであつたが、交流發電機では、起電力に對する電機子電流の位相に依つて電機子反作用の結果が異なるのである。即ち

(I) 起電力に對して電流が同相であれば偏磁作用

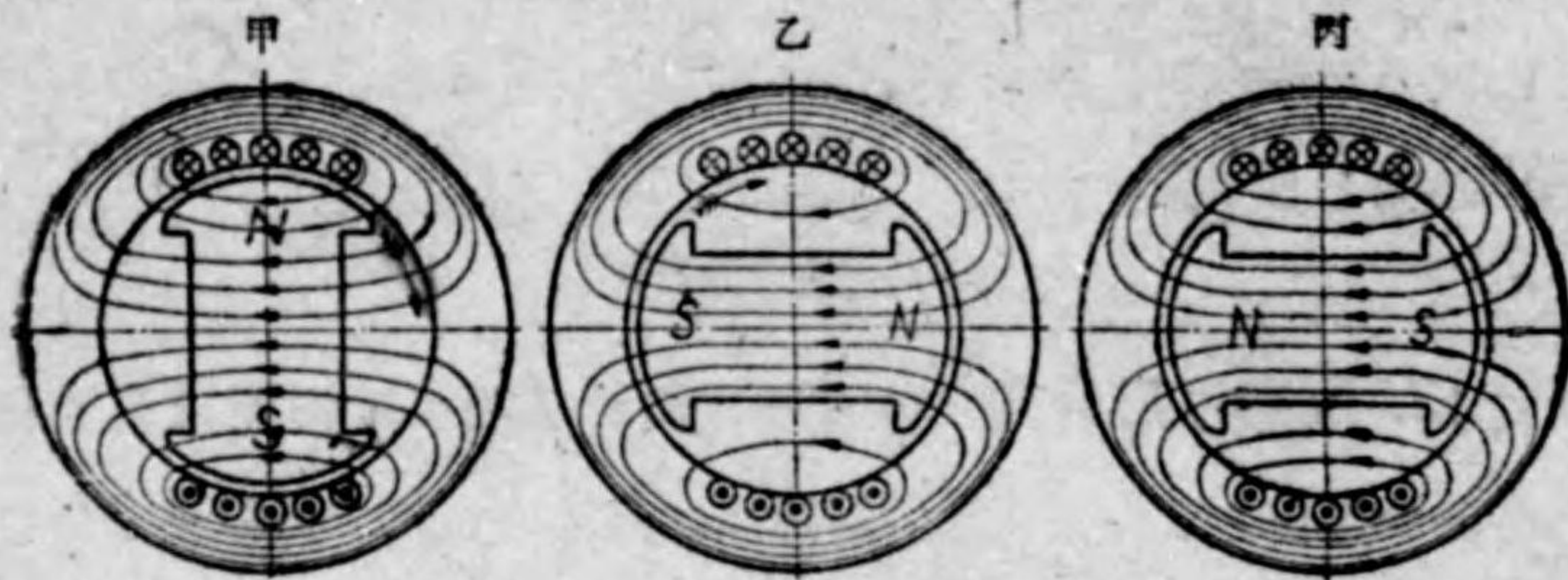
(II) 起電力と電流とが同相でない場合は

(イ) 電流の位相の遅れる程大きな減磁作用を與へ、 90° の遅電流の時最大の減磁作用となる。

(ロ) 電流の位相の進む程大きな増磁作用を與へ、 90° の進電流の時、最大の増磁作用を與へる。

第 4・22 圖甲は起電力と電流とが同相の場合は、その反作用は偏磁作用である事を説明するもので、今各導體の真下に磁極が来て、これが矢印の方向に回轉して居るとすれば、導體に誘起する起電力の向は、圖の $\otimes \odot$ で示され、且つその値は圖の瞬時に於て最大である。若し電流がこの起電力と同相であれば、

第 4.22 圖



これ又圖の瞬時に最大である。この電流に依る起磁力の方向は矢印を付した細線で示される。従つてこの起磁力の磁極に與へる影響即ち電機子反作用は、磁極の前半を減磁し、後半を増磁して、磁束を偏らせるので偏磁作用である。又この場合同圖より明かな様に起磁力の中心軸と磁極の中心軸とが互に交叉して居る事より、交叉磁化作用と云ふ事もある。

次に乙圖は 90° の遅れ電流に依る電機子反作用が減磁作用となる事を説明したもので、各導體に記入してある \otimes \odot の符號は電流の向を示すもので、圖の様な瞬時にその値が最大となつて居る筈である。何となれば磁極は導體の真下に於て起電力の最大値を誘起した瞬時から 90° 回轉して、今は零であるが、 90° の遅れ電流は圖の瞬時に最大になつて居らなければならないからである。この電流に依る起磁力は磁極に對して真正面で、界磁巻線の起磁力と反對方向に生じて居るから、その反作用は減磁作用である。

又丙圖で 90° の進み電流に依る起磁力は界磁巻線の起磁力を補ふ様な方向に生じて居る事は同圖より明かであらう、これを増磁作用と云ふのである。即ち進み電流に依つて生ずる起磁力は、電流の通じてゐない時よりも界磁の磁束を増加せしめる作用を與へるのである。

以上は電流が 90° 遅れ、或は進んで居る場合に就て説明したが、 90° に迄至らない遅れ或は進みの電流に對しては、甲圖の場合と乙圖又は丙圖の場合との中間の何處かに磁極があるので、減磁又は増磁の作用が、乙又は丙圖の様に真正面から作用しない爲に、その反作用は小となり、遅れ又は進みの角が大となる程、次第に反作用は大となるのである。

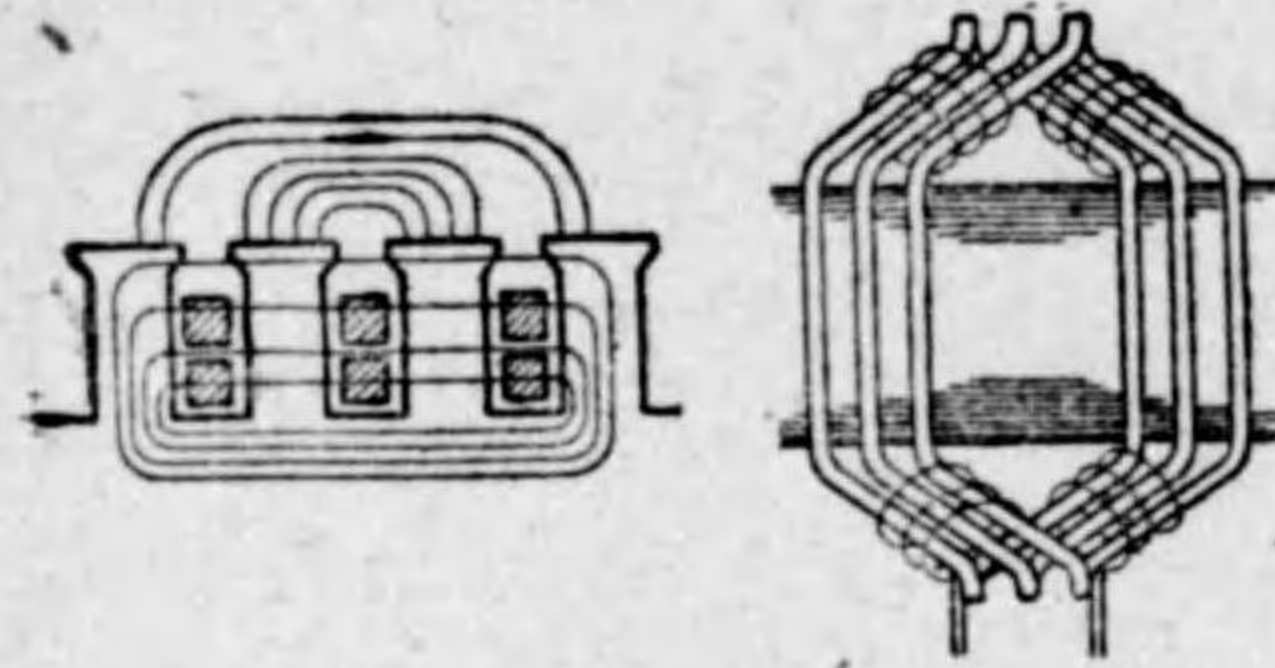
14. 漏洩リアクタンス 第8節に同期インピーダンスの意味の説明を略して置いたが、それをこゝで述べよう。

第8節に於ては電機子起磁力に依つて、その巻線は磁束を生じ、その磁束は電流の交番に従つて變化するので、これが電機子回路にリアクタンスとして作用を與へる。これ即ち同期リアクタンスであると考へたのである。然しこの電機子起磁力に依つて生じた磁束は次の二種に分けて考へる事が出来る。

- (a) 空隙を越えて界磁の磁束に影響を及ぼす磁束
- (b) 電機子線輪のみに鎖交する磁束

(a) は電機子反作用となつて表れ、界磁の磁束に増減を與へるものであるが、(b) の磁束は第4・23圖のやうに電機子線輪

第4・23圖



齒端漏洩磁束

線輪端漏洩磁束

端の部分、溝の内部及び齒端等に於て電機子線輪のみと鎖交して、界磁鐵心を磁路としない。これを電機子漏洩磁束と稱し、これに依つて生ずる自己インダクタンスを漏洩インダクタンスと云ひ、これに $2\pi f$ を乗じたものを漏洩リアクタンスと云ふ。何故に同じ電機子起磁力に依つて生ずる磁束を、この様に考へる必要があるのであらうか、それは發電機の電壓に對して磁束の及ぼす影響が異なるからである。

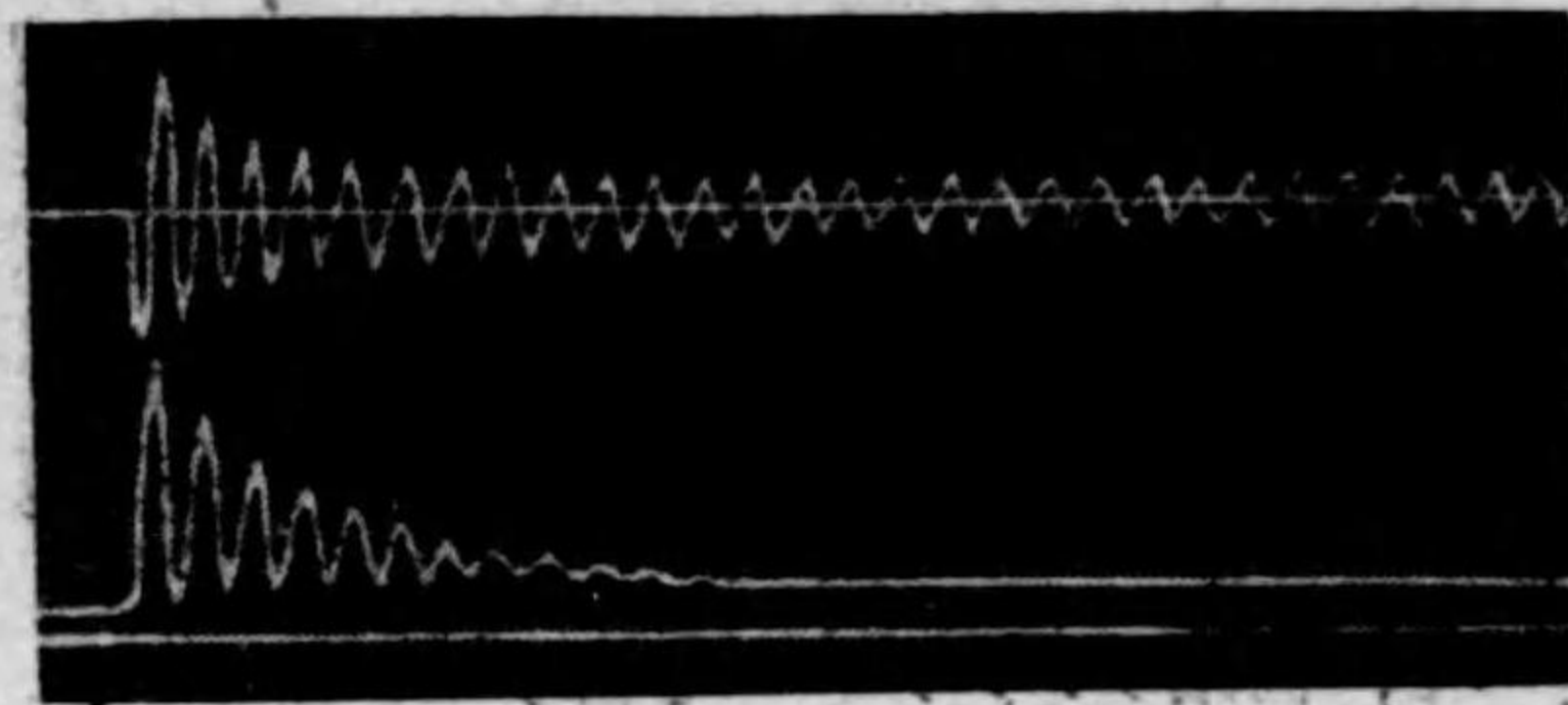
發電機が無負荷で運轉して居る時端子に表れる電壓は、界磁磁束が電機子巻線を切つて誘起した起電力そのものである（これを勵磁起電力と云ふ事にする）。今發電機に負荷を掛けて電流を通すれば、當然端子電壓は變化する。假りに負荷電流が遅れ力率であつたとすれば、電機子反作用は減磁作用である爲に、空隙に於ける界磁磁束は減少し、従つてその磁束の減少しただけ誘起起電力の値も小となる。又電機子には前述の通り漏洩リアクタンス及び抵抗があるから、それに依つて電壓降下を生ず

る。その結果端子に表れる電壓は、勵磁起電力よりも、電機子反作用の影響だけ小となつた起電力から更に漏洩リアクタンス及び抵抗に依る電壓降下をベクトル的に差引いた電壓が表れる。この事から分る通り、同じ電機子起磁力に依つて生ずる磁束の影響であり乍ら、電機子反作用磁束は界磁に影響を與へて起電力そのものを變化せしめ、漏洩リアクタンスは電壓降下を生ずるのである。然るにもともと、共に、同じ電機子起磁力に依つて生じた磁束に依る現象であつて、發電機の端子電壓を變動せしめる事には變りはないのであるから、これを假想的に一種のリアクタンスと考へて、同期リアクタンスと稱するのである。

15. 短絡及び其の障害の防備 交流發電機は使用中、何時かは事故に依つて、短絡されるものと覺悟せねばならない。即ち開閉器の操作の誤り、送電線に於ける鳥獸の接觸、絶縁物の故障等の原因で短絡される事がある。この様な場合の電流は時として非常に大きくなり、遮斷器で電流が切られる前に、發電機を焼いてしまふ事がある。この様な短絡電流は短絡された瞬間、莫大の電流が流れ、時にその大き全負荷電流の十數倍に達する事がある。タービン發電機に於ては特に短絡瞬時の電流が大きい。その理由はタービン發電機は其の構造上漏洩リアクタンス x_l は比較的小さいが同期リアクタンス x_s は相當に大き

い。之に反して低速度の発電機に於ては x' は比較的大きいが x は小さい。然るに短絡された瞬時の電流を決定するものは x でなくて、 x' である (この理由は省く)。故にタービン発電機の短絡瞬時の電流は非常に大となるのである。第4・24圖の上

第4・24圖



(上) 三相短絡電流 (下) 界磁巻線の電流

の電流は大きいから、次第に小となつて行く状態を示して居る。一般にこの様に短時間だけ流れる電流を過渡電流 (transient current) と云ふ。

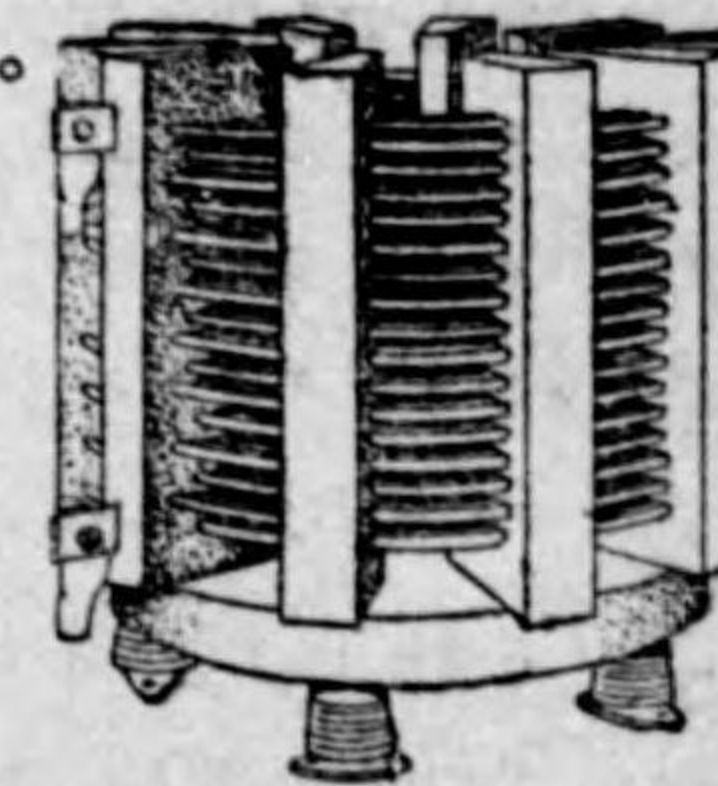
この様に莫大な値となる短絡電流に依る障害を防備する爲には、発電機の各部を頑強に造る必要があるが、特に電機子巻線の端接續部分の支持物を充分堅固にして、電線相互間の電流力作用に依る莫大な機械力に耐へる様にする必要がある。

又短絡電流の値を制限する必要も生じて来る。これが爲には、発電機の外部回路に適當のリアクタンスを置く、これを限流リアクトルと云ふ。

は三相短絡即ち三相発電機の三線間が同時に短絡された場合の短絡電流の一例を示したもので、短絡された瞬時

之を置く位置は発電機に近い程良いが、時として母線や饋電線の近くに置かれる。斯様な場合には発電機數臺に共通に一個にて足らず事も出来る。限流リアクトルは普通は第4・25圖の様にコンクリートの枠に數十回巻いた電線を埋め込んだものが多い。鐵心を使用しない理由は

第4・25圖



限流リアクトル

- (1) 磁氣飽和を避けるため
- (2) 平時の鐵損を避けるため
- (3) 磁束の急變を妨げないため

である。

例 漏洩リアクタンス 12% の単相交流発電機の端子間に突然短絡が起つた時、幾何の過渡短絡電流を生ずるか。

解 自己インダクタンス L ヘンリ又は漏洩リアクタンス $2\pi fL$ オームと云ふ代りに、便宜上、其の自己インダクタンスに定格周波数 f の定格電流 I を通じて起る電壓降下 $(2\pi fL)I$ ボルトを、定格電壓の百分率で表し、何パーセントのリアクタンスと稱へることが屢々ある。即ち

$$[\% \text{リアクタンス}] = \frac{[\text{リアクタンス}]_{\text{オーム}} \times [\text{定格電流}]}{[\text{定格電壓}]} \times 100$$

$$\text{従つて } \frac{[\text{定格電壓}]}{[\text{リアクタンス}]_{\text{オーム}}} = \frac{100}{[\% \text{リアクタンス}]} \times [\text{定格電流}]$$

此の式の右邊の $[\% \text{リアクタンス}]$ が漏洩リアクタンスであれば、発電機に於て起る過渡短絡電流を與へるものと見做して實用上差支へ無い。依つて本題の過渡短絡電流は、其の定格電流の約 $\frac{100}{12} = 8.3$ 倍に達するものと見るべきである。序に述べて置くが、短絡突發時から、約 $\frac{1}{20}$ 秒後位

迄の間に於ては、突發の瞬時の電機子電壓や電流の状態、短絡の爲に界磁線輪中に誘起せられる異常電流（第4・24圖の下圖）等の複雑な影響で、更に大きな電流の瞬時値を呈することが多いのである。

又假りに上記の電機子に8%の限流リアクトルを直列に挿入するとすれば、全體のリアクタンスは $12+8=20\%$ 、従つて過渡短絡電流は定格電流の $\frac{100}{20}=5$ 倍と見做し得られる。

16. 過渡短絡電流と永久短絡電流 發電機が短絡された時流れる電流は、一時的には非常に大きい過渡短絡電流が流れるが、時間の経過と共に小さくなる。第4・24圖の上圖で短絡された瞬時（左側の方）より右に行くに従つて小となつて居る事が分る。右側の方では電流の値は大體一定となる。この電流の値は發電機の起電力を同期インピーダンスで除したものであつて、これを普通**永久短絡電流**と云ふ。この永久短絡電流を決定する同期インピーダンスはこれも百分率で示す事が出来る。即ち

〔%同期インピーダンス〕

$$= \frac{[\text{同期インピーダンス}]_{\text{オーム}} \times [\text{定格電流}]}{[\text{定格電壓}]} \times 100$$

百分率同期インピーダンスは普通の發電機では100%に近い値を持つてゐる。これは發電機を無負荷にして定格電壓で運轉中これが短絡されても永久短絡電流は大體定格電流程しか流れ

ないと云ふ事である。

然し實際に負荷が掛つて居る場合には發電機のインピーダンスに依る降下だけ勵磁電流を大として端子電壓を定格に保つてゐるからこの時の永久短絡電流は相當に大きくなる。

復 習 問 題 IV

- 二つの交流發電機あり。甲は6極、乙は8極なり。今是等の發電機より50サイクルの交流を得んとせば、甲、乙各幾何の回轉數に回轉せしむ可きや。
- 單相交流發電機あり、

Φ	一極の空隙を過ぐる全磁束數	.....	5×10^6
P	磁極數	.....	16
N	一分間の回轉數	.....	375
N_2	直列に接続せられたる導體數	.....	384
	波形	.....	正弦波

 此の發電機の誘起起電力の實効値を求む。
 手引 本文公式(4・3)を用ひよ。但し、集中巻と見做し、短節係數及び分布係數を何れも1.00として可なり。
- 短節巻とすれば起電力の波形が正弦波に近づく理由を説明せよ。
- 短節係數、分布係數及び巻線係數とは何か。
- 交流發電機の起電力の波形を正弦波状とする爲に採用される方法を挙げよ。
- 三相發電機の端子符號はどの様にして表されるか。
- 三相交流發電機の線間電壓を V 、線電流を I とする時は發電機巻

線の結線法が星形でも、環状でも、その kVA 出力は $\sqrt{3}VI/1000$ で表される事を説明せよ。

8. 交流発電機の巻線は星形結線の採用される主なる理由を説明せよ。
9. 電機子反作用とは何か。交流発電機の場合に就き説明せよ。
10. 第4・21圖は每極每相三溝を有する三相交流発電機の電機子電流に依る起磁力の状態を示したものである。各相巻線に通ずる電流に依つて生ずる起磁力を第12節の如くして合成して見よ。
又圖は A, B, C 相何れの相の電流が最大になつた瞬時を表して居るか。
- 11. 発電機の端子電圧は負荷電流の値が一定でも力率が變化すれば、その値を變ずると云ふ。その理由如何。
12. 自動電圧調整器は如何なる目的で設置せられるか。
13. 同期インピーダンスとは何か。
14. 三相発電機の電機子起磁力は同期速度を以て回轉する事を説明せよ。
15. 電機子電流に依つて生ずる磁束をその作用の上から二種に分けて考へると云ふ。それは何と何か。
16. 電機子漏洩リアクタンスと同期リアクタンスとの區別如何。
17. 漏洩リアクタンス 10% なる発電機あり、この発電機を定格電壓で運轉中短絡せり、短絡直後の電流略幾何なりや。

第五章 交流発電機の特性及び 運轉法大要

1. 交流発電機の定格 交流発電機に於ても、他の電氣機械と同様、その構造がきまると、自ら電壓、電流、速度等に使用する限度が定まる。即ち電壓は磁氣回路の磁氣飽和及び勵磁電流に依つて制限せられるが、その外、電壓が高過ぎれば、各部の絶縁が之に耐へなくなり、又鐵損のため鐵部の溫度が許し難い程度に昇る。電流が大に過ぎる時は銅損のため線輪の溫度が許し難い迄に昇る危険がある。速度も規定周波數の電壓を發生する爲には自ら定まる。この様に、各發電機には規定された使用限度がある。これを發電機の定格と云ふ。従つて定格には定格電壓、定格電流、定格速度、定格周波數、定格力率等がある。

定格出力は一般に皮相電力即ち kVA にて表される。今定格電壓を V_t (端子電壓ボルト)、電流 I_t (線電流アンペア) とすれば

$$\text{單相機} \quad \text{定格出力} = \frac{V_t I_t}{1000}$$

$$\text{三相機} \quad \text{定格出力} = \sqrt{3} \frac{V_t I_t}{1000}$$

而して發電機から出し得る電力即ち kW 容量は定格出力に負荷力率を乗じて得られる。この値は發電機を運轉すべき原動機の容量を定めるに重要である。従つて發電機には定格出力を銘記すると同時に負荷の力率を明示する必要がある。例へば 3 500 kVA, 負荷力率 80% 等の類である。この場合 kW 出力は $3\,500 \times 0.8 = 2\,800$ kW である。

負荷の力率は後に述べる電壓變動率に多大の関係を有し、力率が低過ぎると定格出力を出し得ないから、交流發電機の購買仕様書には前記諸定格事項と共に起り得べき負荷の最低力率を附記するがよい。

尙ほ原動機の大きさは勿論出力 kW に依つて定まる。故に定格出力 3 500 kVA, 定格力率 80% とあるものには 2 800 kW より少し大なるものを用ふればよい。又力率が明示されて居ないものは 80% と考へてよい事になつて居る。負荷の力率は、大體第 5・1 表の範囲内にあるのが普通である。

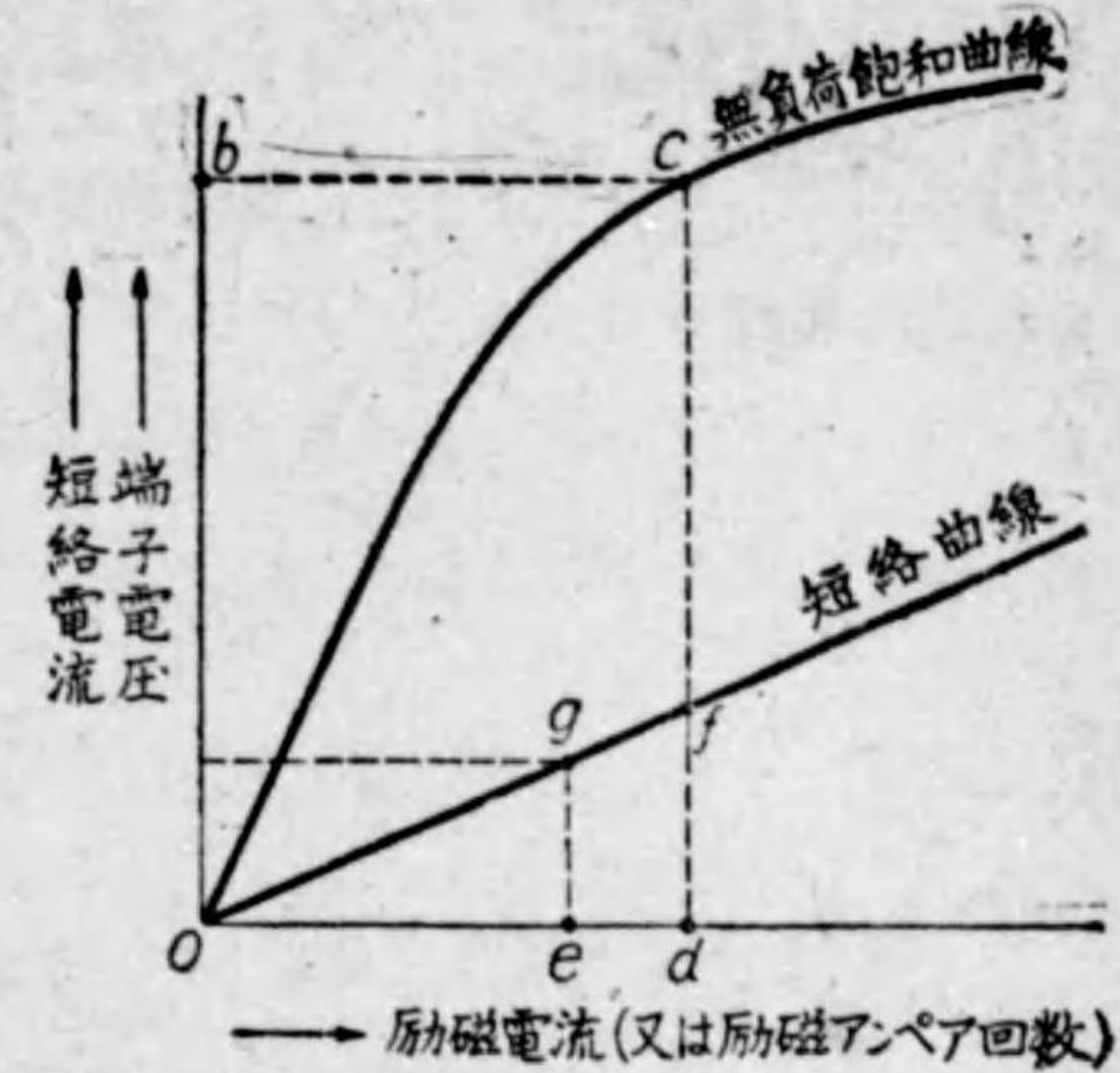
第 5・1 表 負荷の力率

負 荷 の 種 類	力 率 (%)
電 燈 の み	95
電 燈 及 び 同 期 電 動 機	90~95
電 燈 及 び 各 種 電 動 機 混 用	80~85
誘 導 電 動 機 の み	65~80

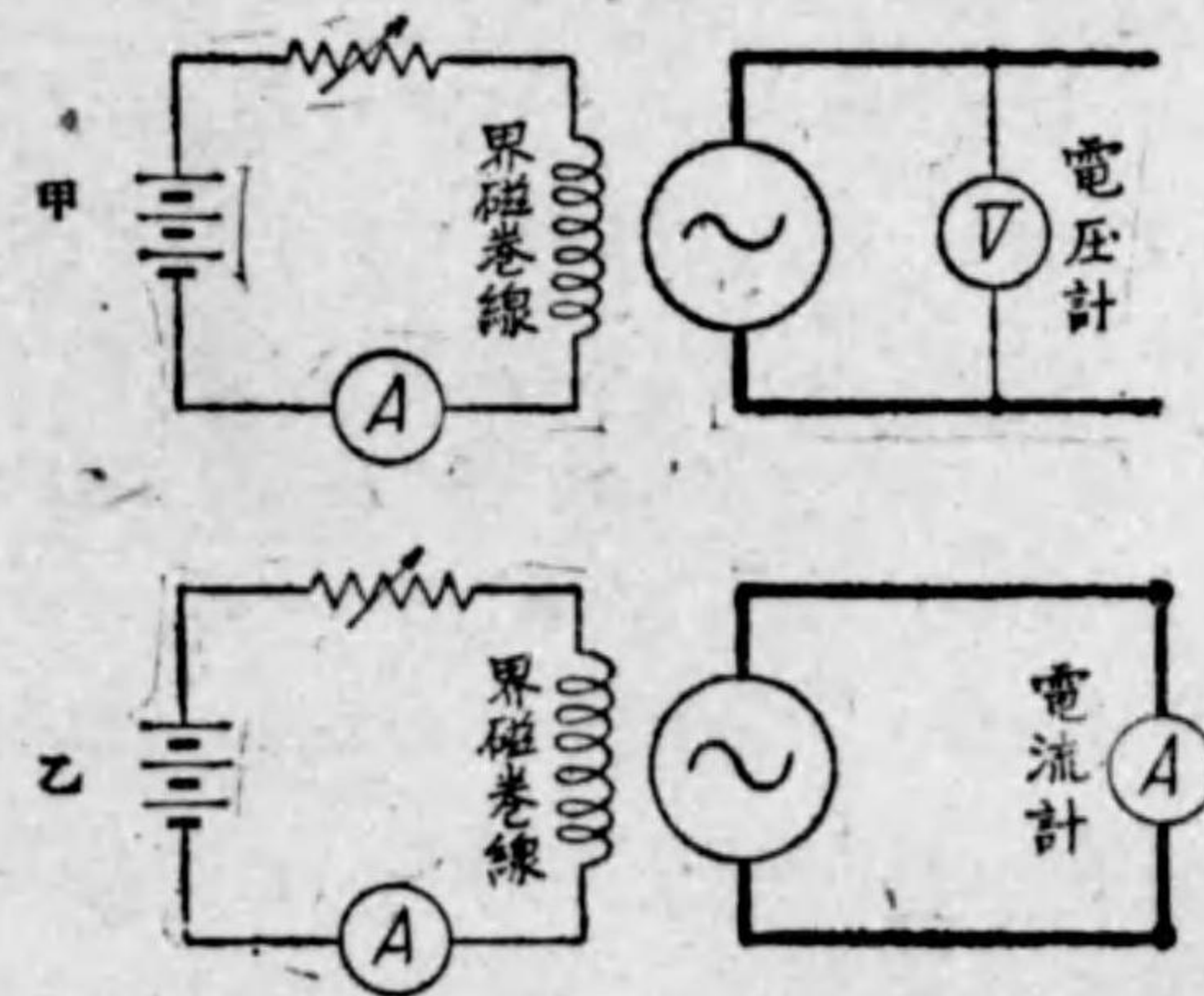
2. 無負荷飽和曲線 交流發電機の電壓特性即ち負荷の變化に對する電壓變化

第 5・1 圖

の状態を明かにする爲には、先づ第一に無負荷に於ける勵磁アンペア回數と、端子電壓との關係を知らなければならない。この關係を示す曲線を無負荷特性曲線と云ふのである。第 5・



第 5・2 圖



甲 無負荷試験の接続圖
乙 短絡試験の接続圖

1 圖に示す通り横軸に勵磁アンペア回數を取り、縦軸に端子電壓を取つたものが即ちこれである。之を求めるには直流機の場合と同様に、第 5・2 圖甲の様に接続し、回轉速度を定

格の値に保ち、勵磁電流を極めて低い所から、漸次増加して之に對應する無負荷端子電壓を讀み、定格電壓の120%位になる迄求めて、之を曲線に表せばよい。磁路の各部が次第に飽和して行くから、直流機と同じく飽和曲線となる。従つてこれを無負荷飽和曲線とも云ふ。

ヒステリシス現象の爲に勵磁電流を増加する場合と減少する場合とでは同一電流に對して電壓に多少の差があるが、普通はその平均を取る事にして居る。

3 短絡曲線 交流發電機には短絡曲線と云ふものがある。これは横軸に勵磁アンペア回數を取り縦軸に電機子の短絡電流を取つたものである。之を實驗に依り求めるには、單相發電機では第5・2圖乙の様に、發電機の兩端子を電流計を入れて短絡し、三相發電機では三線を一緒にして短絡し、その中の任意の一相に電流計を入れるのである（凡て電流計はなるべく抵抗の低いものがよい。又圖には省いてあるが、變流器を経て電流計に接されるのが普通である）。斯うして發電機を定格速度で運轉し、勵磁電流を漸次増加し、これに對する短絡電流を讀み、その結果を圖示すれば良い。短絡電流は定格電流の二倍位迄手早く測定することが望ましい。

第5・1圖に於て或る勵磁電流 I_f に對する無負荷端子電壓

V_0 を、同じ勵磁電流 I_f に對する短絡電流で除したものは、その發電機の同期インピーダンスである。何となれば、發電機の端子は短絡してあるから、發電機の電流を制限するものは同期インピーダンスだけだからである。

尙ほ短絡曲線が略直線に近いのは、短絡電流は起電力に對し著しく遅電流である爲に、電機子反作用は減磁作用となり、實際空隙に實在する磁束が少なく、鐵の磁氣回路が飽和しないからである。

例 測定の結果、無負荷特性曲線及び短絡特性曲線を描くべき材料として、次の數字を得た。

勵磁電流(アンペア)	5	10	15	20
誘起起電力(ボルト)	1000	1800	2500	3100 (無負荷特性)
短絡電流(アンペア)	30	55	78	102 (短絡特性)

之を用ひて同期インピーダンスを算出せよ。

解 勵磁電流5アンペアに對し1000ボルト誘起されて居るが、電機子電流30アンペアのため、同期インピーダンスに依る電壓降下を生じて1000ボルト丁度費され盡すのである。故に、此の場合の同期インピーダンスの値は $\frac{1000}{30} = 33.3$ オームである。他の勵磁電流に對しても同様に計算すると次の表が出来る。

勵磁電流(アンペア)	5	10	15	20
同期インピーダンス(オーム)	33.3	32.8	32.0	30.4

尙ほ此の結果を見て解る通り、同期インピーダンスは、勵磁の高い程、又電機子電流の大きくなる程減少する傾きがあつて、決して一定不變ではない。これは同期インピーダンスが假想的のもので、其の電壓降下は、一

部分は純インピーダンスに基くが、他は電機子反作用の減磁作用に依るからである。減磁作用に依る電圧降下は、獨り其のアンペア回数のみで無く、磁路の飽和状態如何に依つても變化する。即ち磁氣的飽和の高い所では同じ電機子電流1アンペア當りの電圧降下は割合少くなり、恰もインピーダンスが減少するかの様な現象を起すのである。この様に同期インピーダンス(又は同期リアクタンス)なるものは普通のインピーダンス(又はリアクタンス)の様に不變のものと考へることは出來ないが、其の變化が著しくないから、普通一定と見做して取扱ふ。

4. 短絡比 第5.1圖に於て ob を定格電壓、 ge を定格電流とすれば、三相發電機の一相分の同期インピーダンスは

$$\frac{cd}{fd} \times \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (\text{三相機であるから端子電壓 } cd \text{ を } \sqrt{3} \text{ で除して一相の電壓を出したのである。})$$

である。同圖よりこの場合の百分率同期インピーダンスを求めて見れば

$$\frac{ge \times \frac{cd}{fd} \times \frac{1}{\sqrt{3}}}{\frac{cd}{\sqrt{3}}} \times 100 = \frac{ge}{fd} \times 100 = \frac{oe}{od} \times 100$$

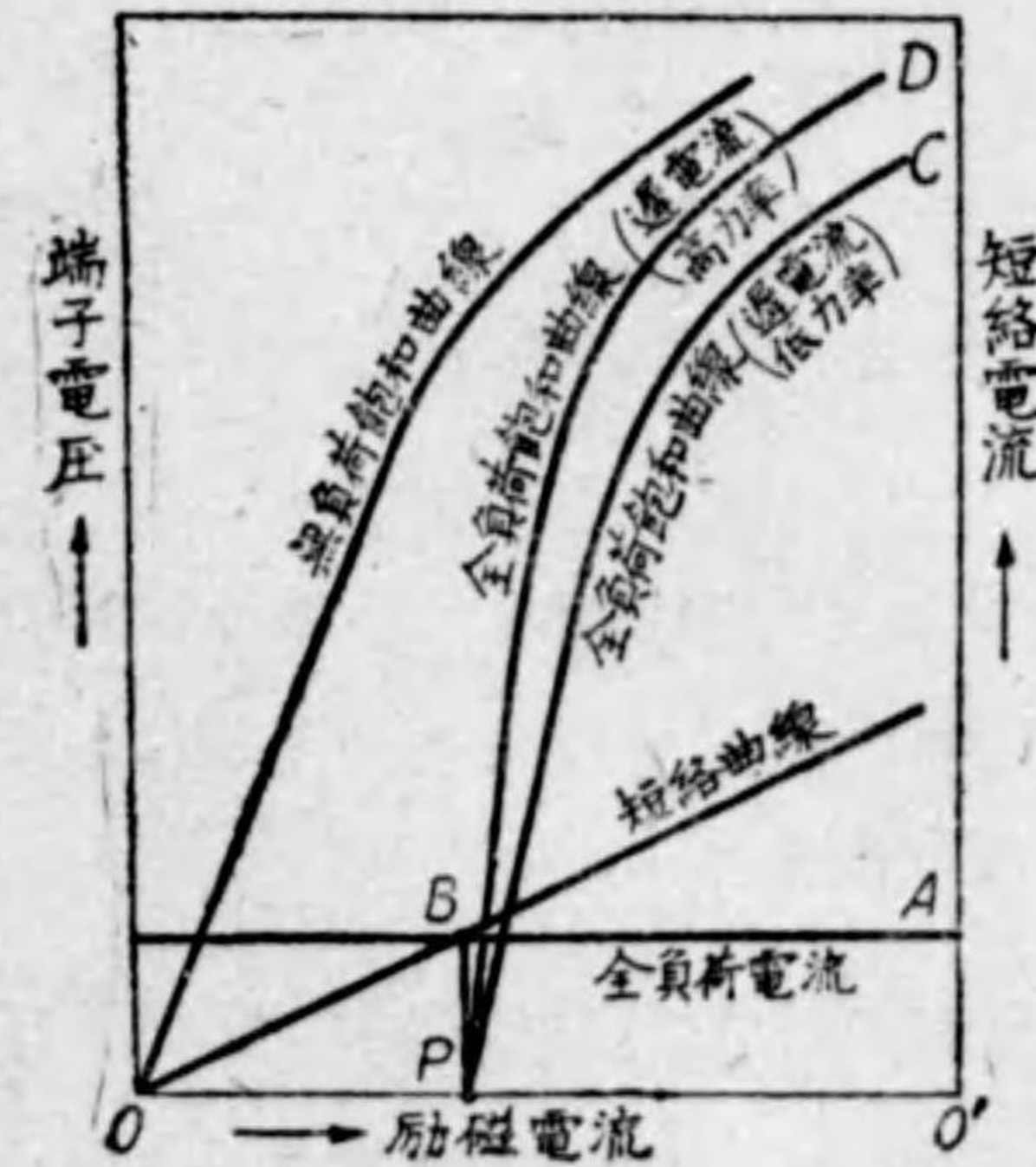
となる。上式は定格電流に同期インピーダンスを乗じたもの即ち定格電流に依る電圧降下を定格電壓で除したものである。

od は無負荷にて定格電壓を誘起するに要する勵磁電流であり、 oe は端子を短絡して置いた場合、定格電流を過すに要する勵磁電流の値である。

然るに od/oe の値は短絡比と云はれるもので發電機之特性を定める重要な要素である。従つて定格電流に對する同期インピーダンス降下を、定格電壓にて除したものの逆數は短絡比に等しいのである。短絡比は普通1に近い値である。

5. 全負荷飽和曲線 此の曲線は横軸に勵磁電流、或は勵磁アンペア回數を取り、縦軸には一定力率の全負荷電流を通じた場合の發電機端子電壓を取つたものである。無負荷飽和曲線は略原點 O を通るが、この場合は、勵磁電流を増加しても直ちに端子電壓は表れない。何となれば、少し位勵磁電流を増加しても全負荷電流にはならないから、或る勵磁電流となる迄は端子を短絡して置くからである。

第5.3圖



第5.3圖はこの曲線を示したもので、端子に電壓の表れる點 P は、次の様にして容易に決定せられる。先づ縦軸上に定格電流の値 $O'A$ を取つて A から水平に AB を引き、 AB と短絡特性

曲線との交点を B とする。 B から横軸に下した垂線の足が求める P 点である。これは勵磁電流の増加に従つて電機子電流が漸次増加し、 P に到つて定格電流となるから、これ以上勵磁電流を増加するには、發電機に負荷を挿入する必要があるからである。即ちこれ以上勵磁を増加すれば、〔定格電流〕 \times 〔負荷のインピーダンス〕なる電圧が端子に表れるのである。

P 点から更に勵磁を増し、同時に負荷のインピーダンスを適當に増して、常に負荷電流を定格値に保つ様にすれば、端子電圧は圖の PC 或は PD の様に増加する。但しこの場合負荷インピーダンスの力率が一定になる様にしなければならないので実際には容易の事ではない。圖の PC , PD は同じ定格電流を通じた場合であり乍ら、 PD は負荷の力率が大である爲に、同じ勵磁電流に對して端子電圧が高い。この理由は第四章第10節に説明して置いたが、負荷電流が同じ大きさでも、その力率の異なる時は端子電圧に大小を生ずる爲である。

6. 電壓變動率 交流發電機の電壓變動率は直流發電機の場合と異なり負荷の力率が影響するので、この點を明瞭にして置く必要がある。

J.E.C. の規程では“交流發電機の電壓變動率とは、勵磁及び速度を変更することなく、定格出力（定格力率に於けるもの）

より無負荷になしたる時の電壓變動の割合を云ひ、之を定格電壓の百分率にて表す。上記以外の場合に於ける電壓變動率は指定條件に於ける電壓變動率と稱す”となつて居る。即ち發電機が定格出力を出して居る時の勵磁電流及び速度を變化しないで、無負荷とした場合如何に端子電圧が變化するかを定格電壓の百分率で表したものである。

交流發電機の電壓變動率が負荷の力率や、發電機の構造に依つて、どれ位の相違があるかは、第5・2表に依つて大凡窺ひ知る事が出来よう。

第 5・2 表 電 壓 變 動 率

	力率=1	力率=0.8
低速度發電機	8~10%	18~22%
タービン發電機	12~16%	25~30%

この表で明かな通りタービン發電機の方が水車用等の低速度發電機より電壓變動率が大きい。その理由は設計上、タービン發電機は磁極數少く、每極の電機子導體數が大きい結果として、電機子反作用が大きいからである。即ち定格電流に依る減磁作用が著しいので、全負荷のとき定格電壓を得る様に勵磁を調整して置けば、その儘無負荷にした時に可なり磁束が増加するのである。故にタービン發電機では一般に空隙を大にして、變動率の過大になる事を防ぐ。空隙が大きいと電機子電流に依つて

生ずる起磁力即ち反作用起磁力が主磁極の磁界に及ぼす影響が少なくなる爲である。然し斯様にすれば界磁巻線の銅の量が増して勢ひ発電機が高價となるから空隙を広く取るにも自ら制限がある。結局低速度の発電機よりは大きい電圧變動率で我慢する事になる。

発電機の電圧變動率の大である事は大變に発電機の特性上悪い事であると考へ易いが、さうばかりも云へない理由がある。この事は更に後章で説明する。

7. 能 率 交流発電機の能率も亦直流発電機と同様に規約能率と實測能率とがある。さうして交流発電機は直流発電機より一層大容量のものが多から、製作當時に於て實測能率を知ることは殆ど不可能である。その理由は、原動力、負荷共に得難い事、機械的入力の実測が困難な事の爲である。發電所に据付けた後は原動力は勿論得られるが、機械的入力の測定は依然困難なので、多くの場合に、大きな交流発電機の能率を実測する事は斷念しなければならぬ。従つて別段の斷りのない限り、交流発電機の能率は總て規約能率を意味する。

規約能率に対しては、各種損失を実測其の方法に依つて決定する必要がある。依つて各損失を決定の難易に従ひそれを第 5.3 表に記載する。

第 5.3 表 交流機の各種損失

	實用上精確に測定し得るもの	近似的に測定し得るもの
界磁回路の損失	界磁抵抗損 界磁抵抗器損 勵磁機の損失	刷子電氣損
一定と見做す損失	鐵軸受摩擦損 全風損 刷子摩擦損	
負荷損	電機子巻線の機械損	鐵中の漂遊負荷損 導體中の漂遊負荷損

上表中刷子の電氣損は炭素或は黒鉛刷子の場合は一輪具毎に 1V、金屬黒鉛刷子では一輪具毎に 0.3V の電壓降下あるものとし、これに通過する電流の値を乗じて求めればよい。

漂遊負荷損とは負荷の大小、磁氣飽和の高低等に依つて磁極面等に起る局部的損、又は導體中の渦流損等を謂ふ。

交流発電機の能率は直流発電機と異り、一定 kW 出力に對しても、負荷力率を指定しなければその値が區々になる。遅電流で力率の低い程能率は悪くなる。これは kVA が増すのみならず、勵磁に要する電力が大きくなるからである。例を挙げると 500 kVA 程の交流発電機に於て、400 kW の出力に對し、負荷力率が 100% ならば能率は 93% 位のものが負荷力率が 80% になると 91% 位に下る。又同じ出力のものでも速度の大きい方が能率が高い傾向がある。

8. 交流発電機の試験法 交流発電機の完全な試験を行ふことは直流発電機の場合より一層面倒である。又一通りの試験でも同期電動機を理解した後でなければ十分な説明は出来ない。次に大體の事を述べて置く。

試験は直流機と同じく、先づ巻線の断線の有無、接續の誤り、絶縁抵抗等を検査した後、次の様な試験を行ふ。

1. 過速試験
2. 無負荷試験及び短絡試験
3. 温度試験
4. 絶縁耐力試験
5. 能率試験
6. 變動率試験

過速試験 之は次の様な過速度に一分間耐へる構造でなくてはならない。但し特にこの試験を必要とする場合には指定する事になつて居る。

第 5.4 表 過速度表

	機械の種類	過速度
1	水車発電機	合成無拘束速度
2	蒸汽タービン発電機	定格速度の 115%
3	其の他の同期機	定格速度の 125%

水車発電機の合成無拘束速度は使用水車の種類に依つて相當

に廣い變化がある。その例を挙げれば、ペルトン水車では定格速度の 200%、フランシス水車では 180%、プロペラ水車では 200~300% 位である。

無負荷試験及び短絡試験 之は第 2 節及び第 3 節に述べた事柄を其の儘試験すればよい。

温度試験 交流発電機が使用中各部の温度が上昇する有様は、それを使用する状態に依つて大いに異なる事、直流発電機の場合と大體同様である(直流機第六章第 17 及び 18 節参照)。従つて使用目的に依つて適當の方法が採られるのである。

交流発電機を現場に据付けた後、實際の負荷を掛けて連續運転を行へば最も明確な結果が得られるので、何處の発電所でも之を實行して居る。

然し容量の大きなものを製作工場に於て、この試験を行ふことは困難な場合が多いので、等價負荷法が必要になる。直流発電機の場合の返還負荷法がその一例であるが、交流機の場合は零力率の負荷を掛けて行ふ事になつて居る。

この場合各部の温度上昇の限度は J. E. C. の規程に精しく載つて居るから是非参照されたい。

絶縁耐力試験 試験の電圧値は電氣工作物規程に準據して行ふ事が必要で、供給する交流電圧は成る可く正弦波形のものを選ぶがよい。

又絶縁抵抗の値は、機器の温度、湿度、清潔度等により大いに異なるが、電機子巻線に対しては直流 500 V を加へて大體次の様な値のものが、最小値であると思へばよい。

$$\frac{\text{定格電圧(V)}}{\text{定格出力(kVA)} + 1000} \quad (\text{メガオーム})$$

この試験は豫備の試験として行ひ、機器が絶縁耐力試験を行つてよい状態にあるか、どうかの見當を付けるがよい。

能率試験 之は前述の様に、多くの場合規約能率を求めるのであつて、第 5・3 表に掲げた諸損失を種々工夫して求めるのであるが、詳細は茲では省略する。

變動率試験 之は發電所に於て實測に依つて求めることが出来る。即ち指定力率の實際の負荷を掛け、定格電圧 (V) の下に、定格出力の運轉を爲した後、勵磁電流と速度とを變へることなく無負荷とした時の端子電圧 (V) を讀めば、

$$\text{電壓變動率} = \frac{V_0 - V}{V} \times 100\%$$

例 第 5・4 圖の様な特性曲線を有する交流發電機の電壓變動率を 100%、85% 及び 20% の力率に對して夫々圖上から計算せよ。但し定格電壓は 2400 V である。

解 力率 100% に對しては

$$\text{變動率} = \frac{\overline{ab}}{\overline{be}} \times 100 = \frac{250}{2400} \times 100 = 10.4\%$$

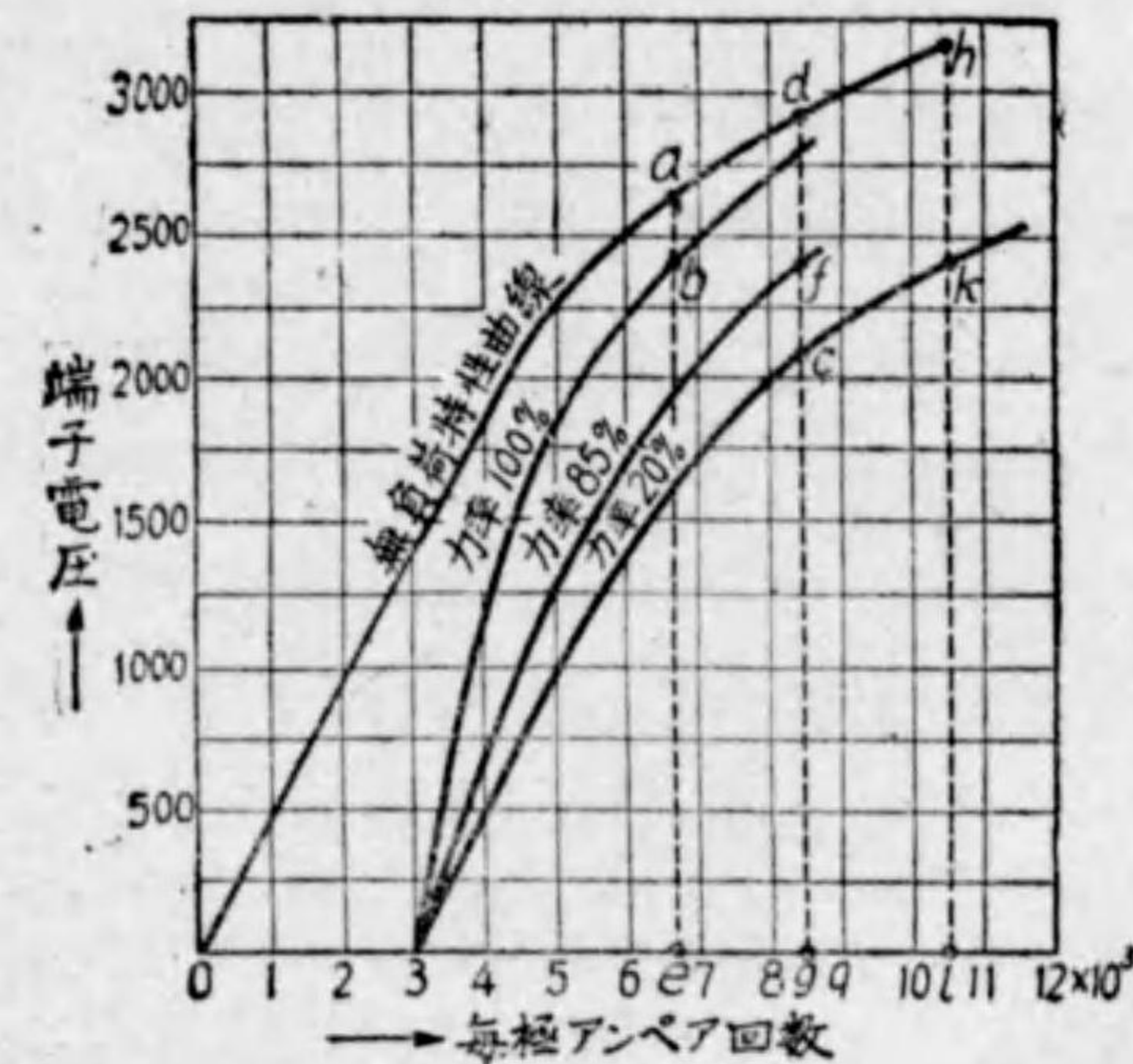
力率 85% に對しては

$$\text{變動率} = \frac{\overline{df}}{\overline{fg}} \times 100 = \frac{500}{2400} \times 100 = 20.8\%$$

力率 20% に對しては

$$\text{變動率} = \frac{\overline{hk}}{\overline{kl}} \times 100 = \frac{750}{2400} \times 100 = 31.3\%$$

第 5・4 圖



三相、400 V、2400 kVA、60 サイクル發電機特性曲線

9. 單獨運轉法 交流發電機の運轉及び取扱に就ては、直流機の場合に述べたこと以外に特別の注意を要する點がある。次に唯一臺の發電機から外部電路に電力を供給する場合を述べよう。

先づ其の勵磁機を運轉して發電させ、交流機の界磁巻線に直流を送る。それから交流機を廻して、規定速度まで徐々に速め

15227

る（直結勵磁機の場合には緩速度で両方の機械を廻し勵磁機に電壓を起こさせて後、交流機を勵磁し徐々に速度を速める）。斯うして後勵磁機の加減抵抗器又は交流機の界磁抵抗器に依つて交流機の電壓を規定の値に高める。そこで初めて主幹開閉器を閉ちて外部電路に電流を送る。尤も唯一臺の場合には、最初から交流機の主幹開閉器を閉ちて置いて何等の差支も無い。否理論上此の方が却つて合理的であらう。斯うしても電壓上昇は毫も妨げられない。勵磁電流は交流機以外の直流機から送られるからである。尙ほ主幹開閉器を閉ちた儘起動すれば交流機の負荷は徐々に増すから、交流機や原動機に衝撃が掛からない。又外部電路に短絡等の故障があれば、十分に勵磁せぬ前に外部電流が増すから、災害を未然に防ぎ得るかも知れない。

運轉を停止するには原動機を速度を漸次遅くして行けば良い。さうして電流が極めて小さくなつた時、主幹開閉器を開く。これが普通の順序である。然し線路は故障等のため急を要する場合には主幹開閉器を敏速に開くが良い。

交流機は普通直流機よりも電壓が高いから、取扱上周到の注意を要する。

10. 並行運轉の大要 二臺以上の交流發電機を並行運轉する場合には、直流機の並行運轉より遙かに慎重の注意を要す

る。以下簡単に其の順序方法だけ述べるが、詳しいことは其の理論を説明した後でなければ充分に分らない。交流發電機並行運轉の理論は後に改めて説く。

先づ甲機が既に運轉して居る所へ甲と同じ設計の乙機を新に起動して並行に入れようとする際の順序を述べる。此の場合甲を運轉機、乙を起動機と云ふ。第一の手段として起動機に適當の勵磁電流を送りつつ、徐々に之を加速する。第二に目測其の他の方法に依つて起動機と同轉速度が略、運轉機に近づいた事を知つたならば、起動機の界磁抵抗器を加減して其の電壓を運轉機の電壓と正しく合致させる。第三に同期檢定と云ふ手段を取る。同期檢定とは端子電壓の位相と周波數とが、運轉機起動機共に合一して居るかどうかを検する事である。之については尙ほ後章に詳しく述べるが、其の實際方法には特殊の計器又は電燈を使用する。

第四に起動機を速度を精密に調整して、理想的の同期状態に接近させる。此の際眞の同期状態は決して永續しないから、同期檢定器（又は檢定燈）の指示に依り、最も理想に近い瞬時を逸せず、決斷と熟練とに依つて起動機の主幹開閉器を閉ちる。これで甚だしい衝撃を與へずに済んだら、第五に起動機を原動機出力を徐々に増し同時に運轉機を原動機出力を徐々に減する（それには配電盤から各原動機への水又は蒸汽の供給を加減し

水
汽
供給

得る様な装置がある)。さうすれば運轉機の負荷の一部は漸次起動機に移る。第六に起動機並に運轉機の界磁抵抗器を調整して兩方の力率を合はせる。第七に運轉中も原動機出力調整装置に依り兩機の負荷の分擔を同じにし(容量が違ふ場合は略それに比例させる)、又界磁抵抗器に依り兩機の力率を同じにする。

11. 發電機の保守 發電機が常に具合よく運轉をする爲には、運轉中は勿論、停止してゐる時でも、點檢或は手入をして、圓滑な運轉の出來得る様な状態に保つて置く事を發電機の保守と云ふ。

従つて發電機の保守は運轉中はそれを永續せしめる爲に、停止中は次の運轉に備へて萬全を期する事が必要である。次に注意事項を摘記しよう。

發電機を起動する時は軸受の油ゲージに依り油量を調べ、油の冷却装置を有するものは水量の調整をする。運轉したならば油の供給状態を調べる。給油環式のものでは給油環の回轉してゐる事を確める。

運轉中は軸受の温度、機械の音響、振動の状態、各部の温度上昇等に常に注意を拂ひ、負荷の大小、周波數、電壓、電流、勵磁電流等も注視して、發電日誌に正確に記入する。

停止中は各部の掃除をすると共に整流子面の荒れ、刷子の摩

耗、軸受油の點檢等をなす。又運轉中吸込んだ埃が堆積すると通風を妨げ、冷却効果を低下し、温度が上昇して絶縁物の劣化の原因となるから、一年に一度位は發電機を分解して掃除する必要がある。

發電機を組立てた儘、永く運轉を休止した様な場合は特に濕氣の爲の絶縁の低下に注意しなければならない。

豫備品即ち發電機の各部分品の故障又は摩耗のした時に、取換へを行ふため備付けて置くものに對しては、不時の使用にも直ちに應じ得る様にして置かなければならない。

復習問題 V

1. 構造のきまつた發電機では、電壓、電流を或る限度以上に高める事は出來ないと云ふ理由如何。
2. 定格出力 8000 kVA の三相發電機の定格電壓が 10000 V である時、定格電流は幾何か。
3. 定格出力 8000 kVA の發電機の前動機には、どの位のものを選んでらよいか。
4. 發電機を無負荷にして置いて、定格速度で運轉し、勵磁電流を零から次第に増加する時、どんな特性が表れるかを曲線で示せ。
5. 短絡曲線とは何か。この曲線を得る爲の接續圖を描いて説明せよ。
6. 第3節の例の同期インピーダンスの計算値と電壓、電流の特性を、勵磁電流を横軸に取つて曲線を描け。
7. 發電機の電壓變動率とは何か。又力率が電壓變動率の値に影響があ

ると云ふ。その理由を記せ。

8. 交流発電機の勵磁電流は負荷の變化する度に調整する必要があると云ふ。理由如何。
9. 定格電壓 3300 V の三相発電機の、電壓變動率が 15% であつたと云ふ (力率=1.0)。定格出力で運轉して居る時、勵磁及び速度を變へずは無負荷にしたなら、電壓は幾何になるか。
10. 発電機の空隙が廣い事の利害を述べよ。
11. 實測能率と規約能率とを説明し、交流発電機の場合には多くは規約能率の用ひられる理由を説明せよ。
12. 一定 kW 出力に対しても力率の大小に依つて能率が變化すると云ふ理由を問ふ。
13. 交流発電機にはどんな試験をするのかそれを列記せよ。
14. 交流発電機の電機子巻線の絶縁抵抗を測定したるに 2 メグオームなりしと云ふ。この値で絶縁耐力試験を行つてよいか。但し発電機の定格出力 2000 kVA, 定格電壓 3300 V である。

第六章 同期電動機の原理及び構造

1. 總 說 直流発電機は少しもその構造を變へることなく、その儘之を直流電動機として使用することが出来た。前章迄に説明した交流発電機即ち同期交流発電機もその儘之を電動機として運轉することが出来る。

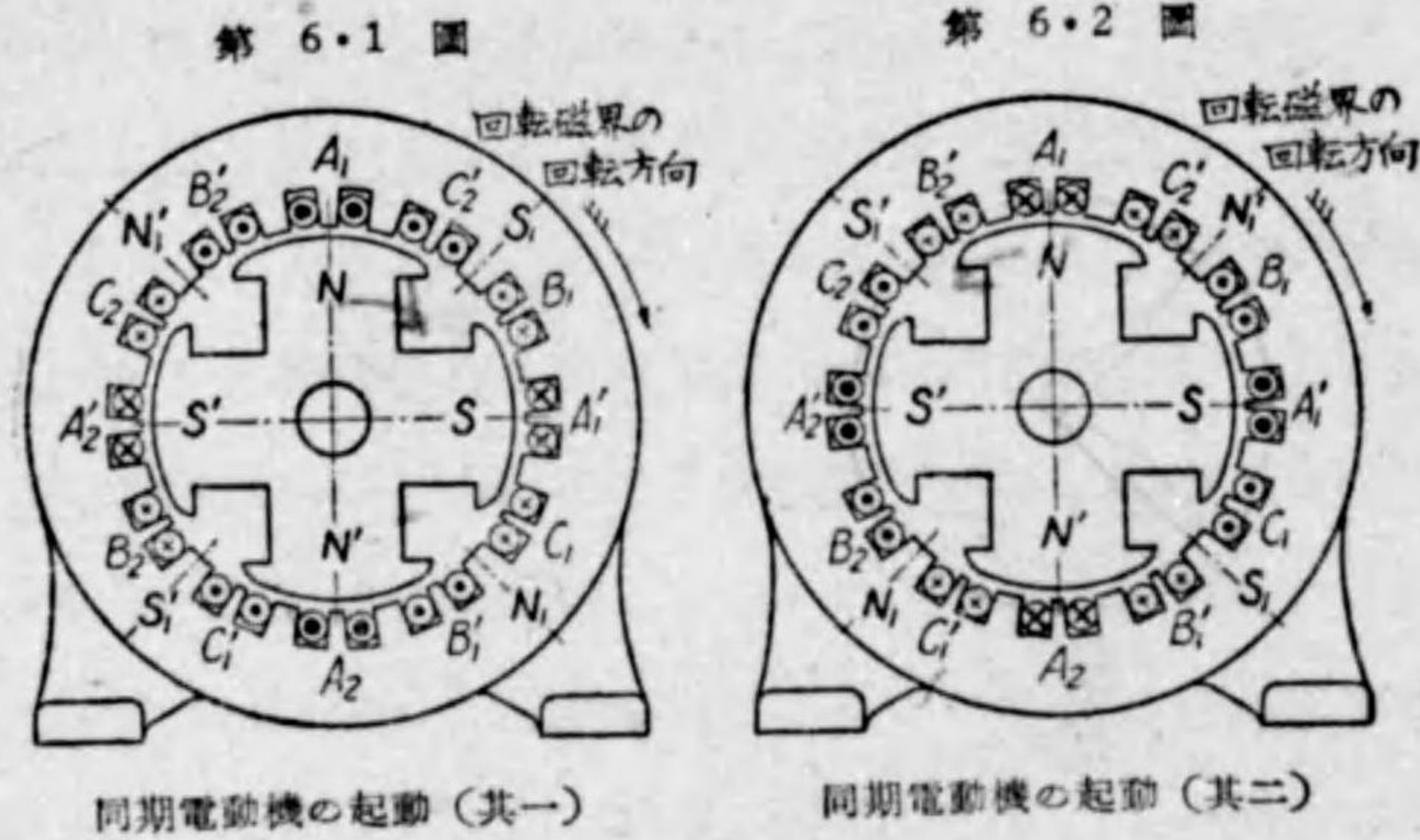
発電機の場合には外部から原動機でこれを回轉せしめて發電したのであるが、これを電動機とする場合には、他の電源から電機子巻線に交流電壓を加へれば、電動機として使用することが出来る。さうしてこの場合これを同期電動機 (synchronous motor) と稱へる。但し電動機の場合には同期と云ふ言葉を省かないで使用して居る。それは交流で運轉する電動機には色々の種類があつて混同するからである。

同期電動機は極く小形のものを除いては三相用のものが最も一般に用ひられるから本講義では主として三相同期電動機に就て説明をする。三相同期電動機は他の電動機に見られない特徴があるので漸次各方面に使用せられる數が増加して居る。

この電動機は供給せられる交流電壓の周波數が一定であれば、常に同期速度で運轉するもので、同期電動機の名はこれから來たのである。

2. 同期電動機の起動 同期電動機が停止して居る時、これを起動しようとした場合を考へて見よう。

第 6・1 圖は三相四極の同期電動機を示したもので、今その



同期電動機の起動 (其一) 同期電動機の起動 (其二)

同轉子に直流を送つて勵磁すれば、圖の様に磁極 N, S, N', S' を生ずる。又その固定子の三相巻線に三相交流を送れば回轉磁界の出来ること交流發電機の場合と異なる。唯發電機の場合には誘起した起電力に依つて電流が流れ、それに依つて磁界が生ずるのに、電動機では供給した電壓に依つて電流が流れ込み、それに依つて磁界が出来るのである。この回轉磁界の回轉方向が時計式である様な電流を送つたとしよう。

第 6・1 圖は A 相の電流が最大になつた瞬時を示すものであつて、この場合他の相の電流は A 相の巻線の磁界を相助ける様

な向に出来るから、この時の回轉磁界の中心軸は、固定子の S_1, N_1, S_1', N_1' の位置にある。従つて回轉子の N は S_1 に引かれ、 N_1' に撥かれて時計式に回轉しようとする力を受ける。同様に S は N_1 に、 N' は S_1' に、 S' は N_1' に引かれて何れも時計式にトルクを受ける。そこで廻り出さうとするが回轉子は機械的の慣性を持つて居るから、直ぐに動き得ないで居る内に、回轉磁界は移動してしまふ。例へば供給電壓の周波数が 50 サイクルであつた時第 6・1 圖の瞬時から $1/100$ 秒間経てば S_1 の位置に N_1' が、 N_1 の位置に S_1 が、 S_1' 及び N_1' には各 N_1, S_1' が来ること第 6・2 圖の様である。その時は回轉子は第 6・1 圖とは反對に反時計式のトルクを受ける事になる。次の瞬時には S_1' が第 6・2 圖の N_1' の位置に来るので、磁極片は又も時計式の方のトルクを受ける。この様に回轉子は静止して居るのに左右交互に回轉せしめる様なトルクを受けるので結局回轉し始める事が出来得ない。即ち同期電動機はこの儘では自ら起動する能力を持つてゐないのである。然しこの様なものでも、若しこれを何等かの方法で一度同期速度としてやれば立派に電動機の役目をはたすのである。換言すれば同期電動機には起動する装置が特別に必要である。

3. トルクの發生 前節に説明した通り何等かの方法で、

同期電動機の高轉子を同期速度即ち回轉磁界の高轉速度と同じ速度にした場合のトルクに就て考へて見る。

第 6・3 圖は第 6・1 圖と同様のものであるが、今度は回轉子も矢印の方向に回轉して居る場合で、この場合も前節同様に

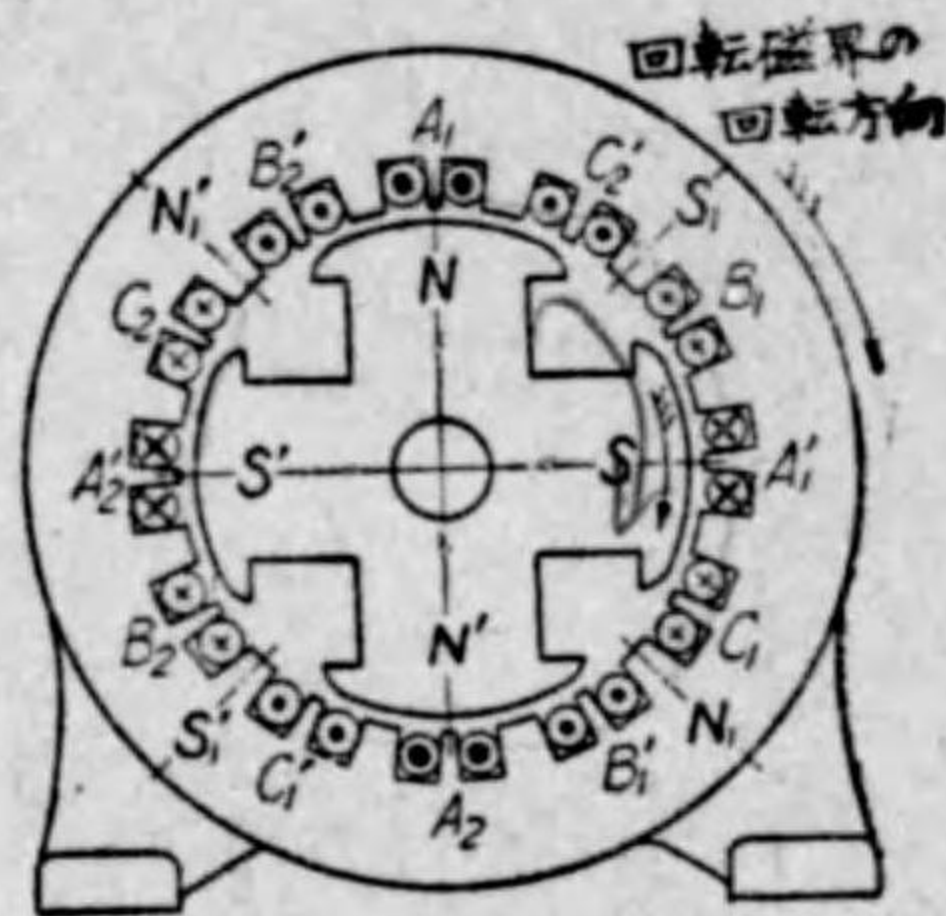
N は S_1 に引かれ、 N_1' に撥かれてトルクを受けるが、回轉子も同期速度で回轉して居るのであるから、回轉子の受けるトルクは常に一定であつて、 N と S_1 との距離が常に一定であれば、回轉磁界と回轉子の磁極の強さの變らぬ限り引き合ふ力は一定となり、磁極は回轉磁界の爲に引かれ乍ら回轉を續けるのである。然しこれだけでは三相同期電動機が實用に供されるとは云へない。更に同期速度以外で

廻らうとする場合、これを同期速度に引戻す作用があるかどうかを研究する必要がある。

第 6・4 圖は第 6・3 圖の

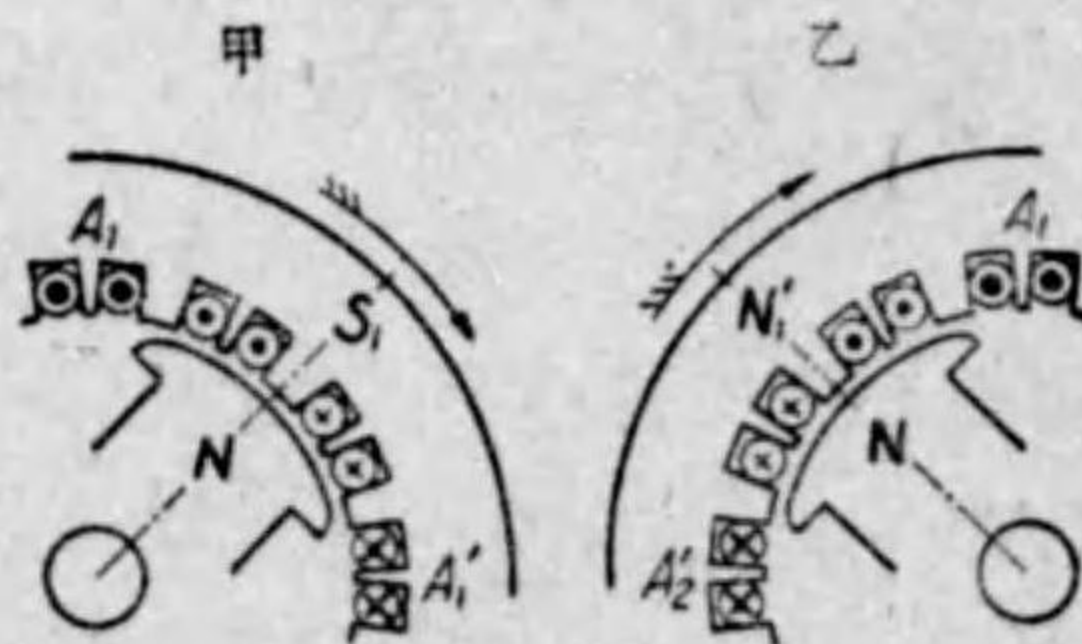
S_1 、 N_1' 、 N の關係のみを示したものであるが、甲の様に磁極片

第 6・3 圖



トルクの發生

第 6・4 圖



トルク零の説明

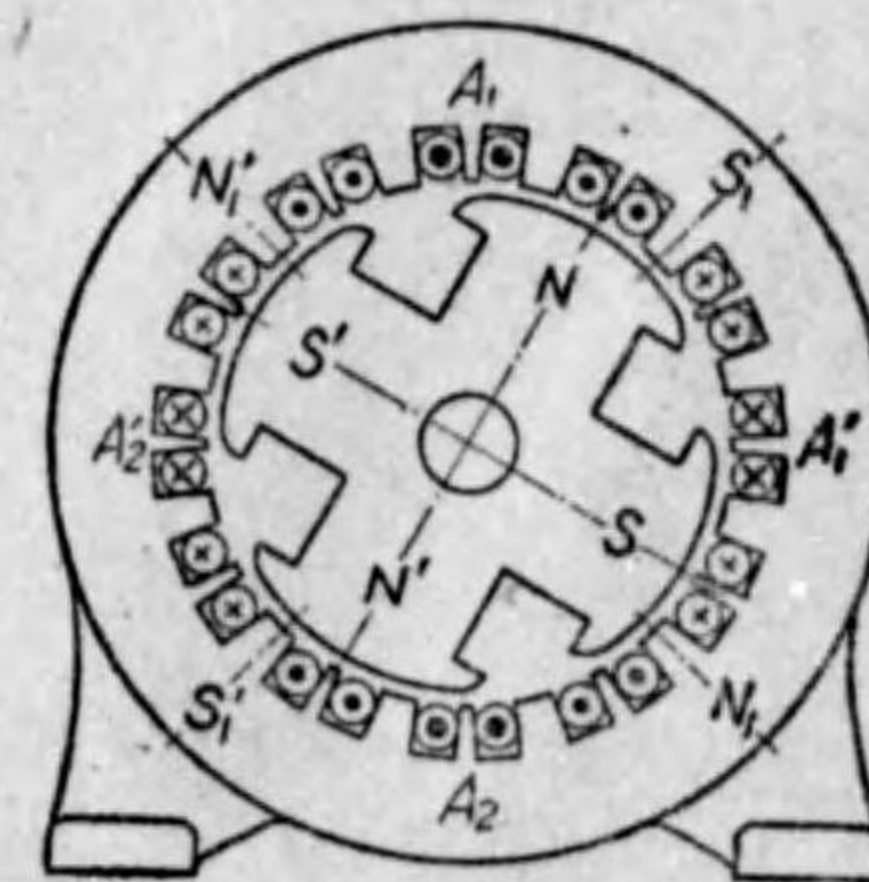
N が第 6・3 圖の位置から回轉方向に進んで、 S_1 と N が一致すれば、 N は S_1 の方に引かれるだけで何等トルクを受けない。又乙圖の様に N と N_1' が一致しても、これ亦 N と N_1' の反撥力は回轉子を回轉せしめる力とはなつてゐない。この事から磁極片 N は S_1 と N_1' の中間即ち第 6・1 圖の様な位置にある時が最大のトルクを發生する事が想像出來得る譯である（この事は後節に於て詳しく分る）。

實際の場合に磁極片は第 6・5 圖の様に S_1 と N_1' の二等分線と S_1 との中間の位置にあつて、 S_1 に引張られ乍ら回轉するものであつて、若し回轉子が同期速度より速くなつたとすれば N は S_1 の方に近づく。 N が S_1 に近づけば近づく程トルクは小となり、 N が S_1 を越えて先へ行くと逆方向に引戻さうとするトルクが働くので、回轉速度は小となつて、又同期速度となるのである。

又回轉子が同期速度以下となれば、 N は S_1 と N_1' の中間の位置に近づくので、磁極に大なるトルクを與へる事になり、このトルクが負荷の要求するトルクより大で

あれば、回轉子は加速されて、同期速度に近づき遂に同期速度

第 6・5 圖



運轉中の回轉子の回轉磁界に於ける位置

に入り込むのである。然し、回轉子が N_1' と S_1 の中間の位置迄來た時發生するトルクが、負荷の要求するトルクより小であれば、電動機は益々遅くなり遂に停止してしまふ。

この様にして、電動機の間轉速度が同期速度より大であつても小であつても、負荷の要求トルクが電動機の出し得る最大トルクより小なる限りは、常にこれを同期速度に保たうとする力が働らくので、回轉子は常に同期速度で運轉をするのである。

4. 同期電動機の運轉 前節を綜合して同期電動機の運轉に關して次の様な結論が得られる。

- (a) 回轉子が同期速度で運轉する時は一定の電流に對して一定のトルクを持続する。
- (b) 回轉子が同期速度を有せぬ時は、トルクは一定であることが出来ない。此の場合は下の三種に區別することが出来る。
 1. 回轉數が同期速度より高い時は減速されて同期速度に戻る。
 2. 回轉數が同期速度より稍低い時は加速されて同期に入り込む。
 3. 回轉數が同期速度より著しく低い時は益々減速されて遂に停止する。

斯様に、此の電動機は常に同期速度で運轉することを必須條

件とするから、同期電動機の名がある。

第2節に説明したが靜止して居る同期電動機の間轉を始めるには、これを同期速度或は同期速度近く迄回轉をしてやらなければ一定のトルクを發生することは出来ない。従つてこの爲には特殊な方法を講じて外力を附與し回轉してやるのである。これを同期電動機の起動法と稱へる。起動法のことは詳しく後に説くが、他の電動機を用ひて廻してやる方法と同期電動機の間轉子に加工をして起動の際だけ他の電動機の原理に依つて起動せしめる様にして起動する方法がある。前者を他起動法、後者を自起動法と云ふ。

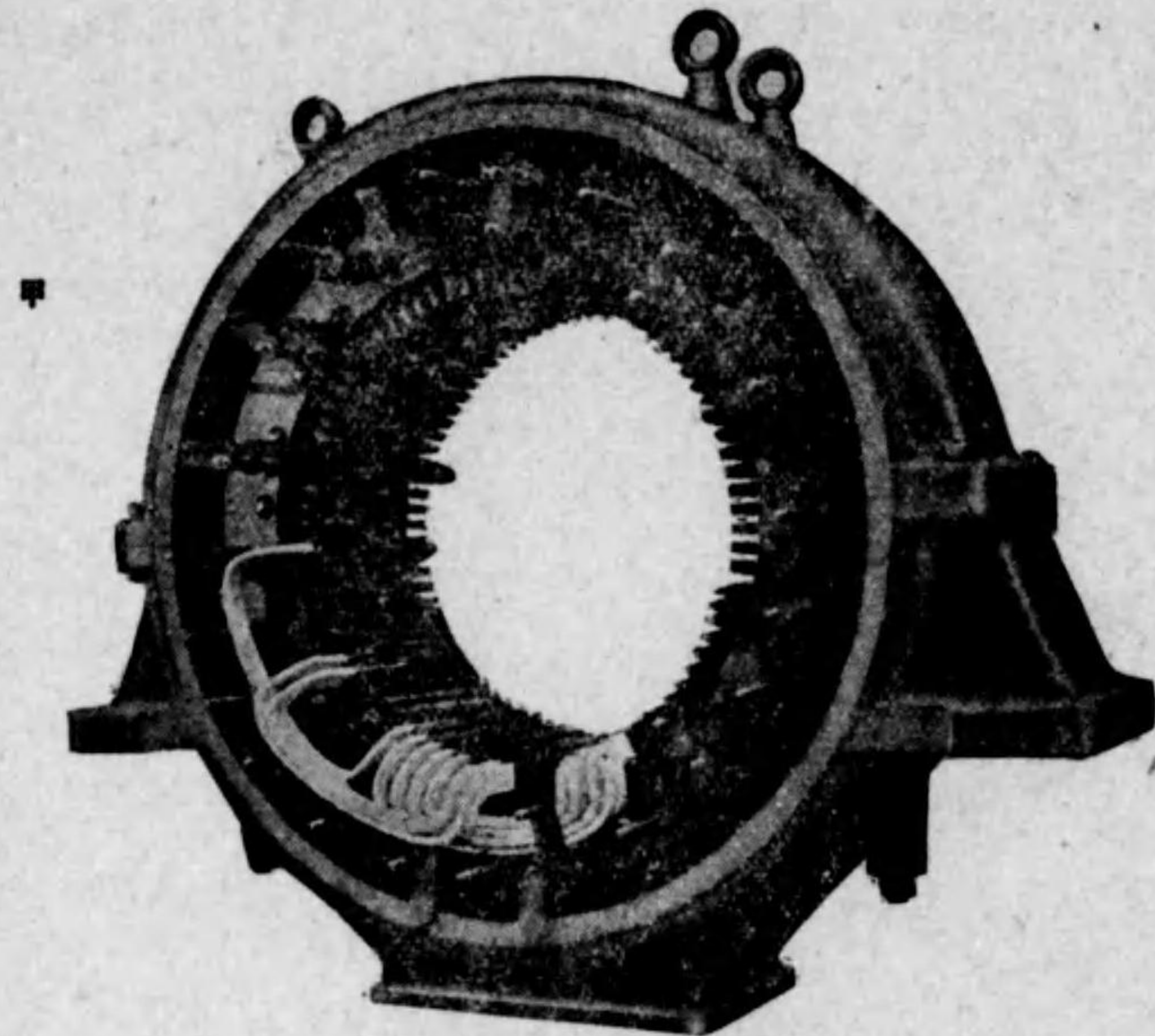
5. 同期電動機の構造 前述の様に同期電動機の構造は同期交流發電機と同様である。即ち回轉電機子型、回轉界磁型の何れでもよい。然し普通には發電機と同じく回轉界磁型のものが多い。

その主要な理由は發電機の場合と同じく、絶縁破損の危険の多い回轉子に高電壓を通過させない爲である。

又同期電動機は單相多相共に存在し得るが、單相のものは極く特殊の場合に使用されるのみで、實用上には三相同期電動機のみである。

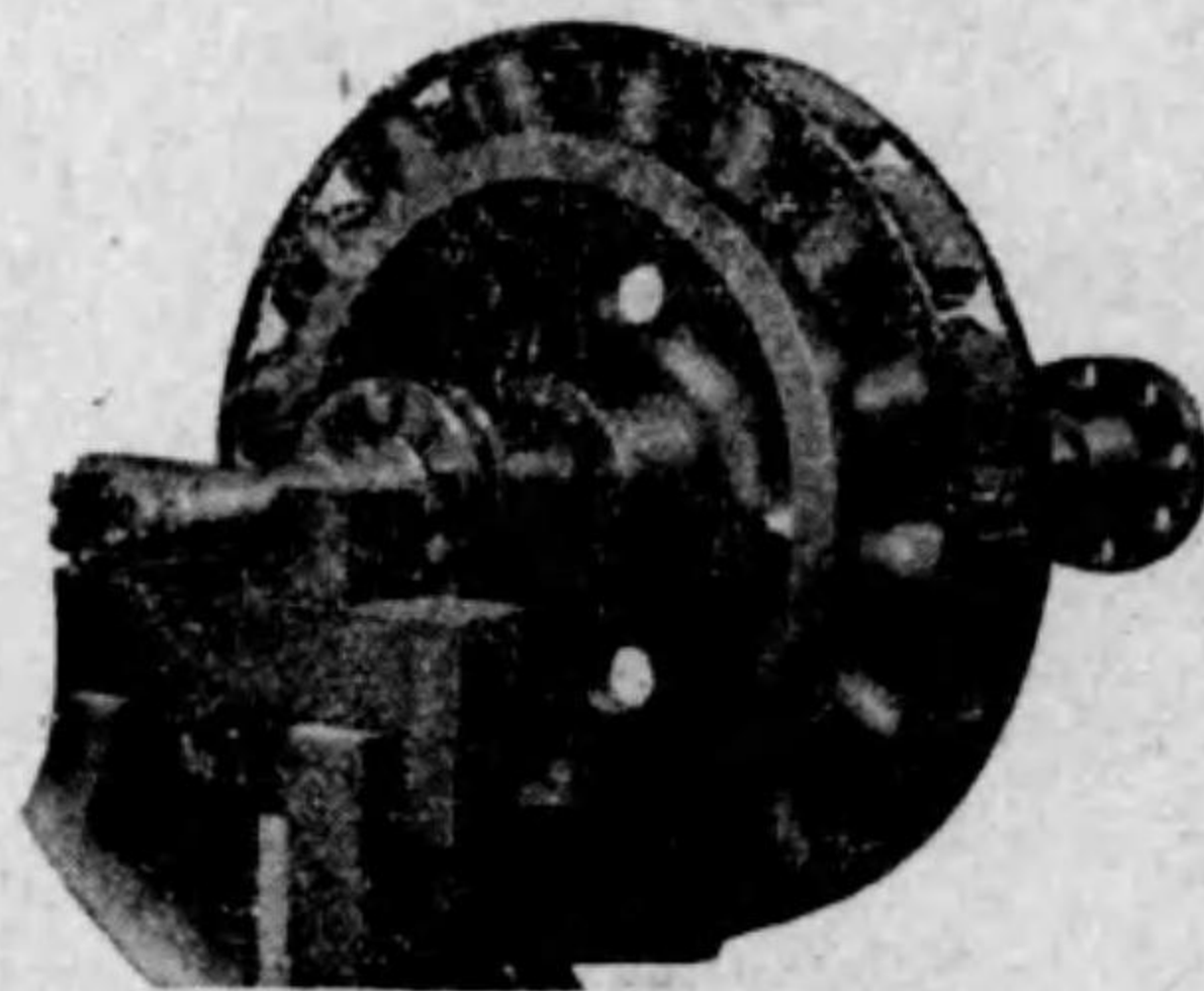
同期電動機では發電機の様に入動機に速度に依つて回轉數の

第 6・5 圖



固 定 子 (電機子)

乙



回 轉 子 (界磁)

制限を受けないから、同期電動機には極めて低速度、又は高速度のものは稀で電気機械として最も適当な速度(300乃至1000 R. P. M. 位)を有するのが常である。又同期電動機は實際上殆ど凸極で、圓筒型磁極のものは特に高速度を要する場合以外は用ひられない。又起動時の事を考慮して回轉子鐵心は成層して置く必要がある。即ち實用上の同期電動機は中速度、凸極、成層回轉界磁型の三相發電機に特別な起動装置を施したものと見てよい。起動装置の事は後で述べるが、回轉界磁極片の表面に溝を造り、これに導體を入れ、この導體と回轉磁界との作用で起動する方法のものが多い。その電機子及び界磁の構造、絶縁等は同期發電機と殆ど同じであるが、只起動装置を施す爲にその點幾分異なる所がある。別に勵磁機を備へて界磁を勵磁しなければならない事發電機と同様である。第6・6圖は同期電動機の構造を示す一例である。

復 習 問 題 VI

1. 第6・1圖はA相の巻線の電流が圖の様な向きに最大になつた瞬時を示すものであるから、回轉子は反時計式のトルクを受けるのであるが、諸君は回轉子の圖の位置の儘で居る時、この瞬時から120電氣度だけ電流の位相の變化した瞬時即ちB相巻線の電流が最大になつた瞬時の電流に依つて生ずる回轉磁界に依つて、回轉子は何れの向きのトルクを受けるかを圖を畫いて説明せよ。

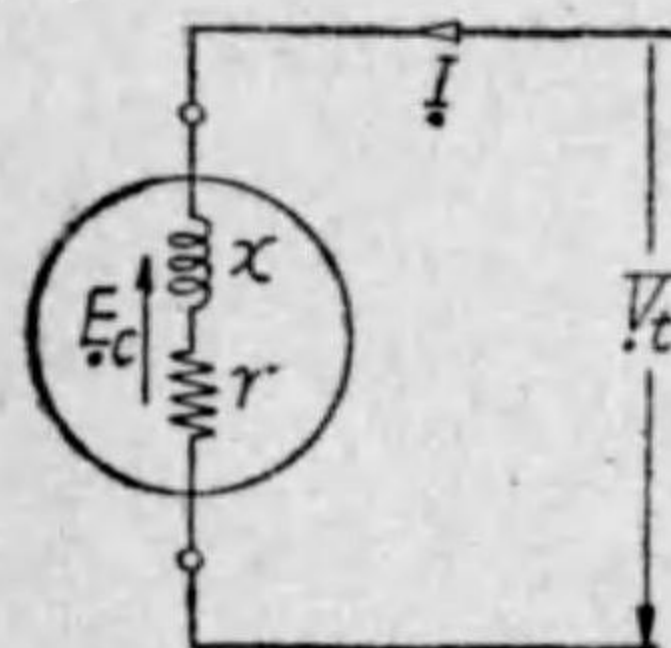
2. 同期電動機が運轉中は、界磁の磁界と、回轉磁界とのお互の作用で引き合ひ或は反撥し合つて回轉して居るのであるが、第 6・5 圖の状態は S_1 が N を、 N_1' が S' を、 S_1' が N' を、 N_1 が S を引つ張り乍ら回轉して居る事になる。この際 S_1 と N 及び其の他に於て S 極性と N 極性とが間近に居るのでお互の間は磁束でつながつて居て、この磁束はその性質がゴム紐の様なものであるから、丁度ゴム紐でお互を連絡した様にも思へる。この際回轉子を留め様とする力が働いたとしたらどんな現象が起るか考へよ。
3. 前問の回轉子を停止し様とする力が非常に大きく、 S 極性、 N 極性を連絡する磁束即ちゴム紐が切れる程の大きな力が加はつたなら、どんな事になるか。
4. 同期電動機の構造に關して説明し、特に發電機と異なる點を擧げよ。

November 15, 195

第七章 同期電動機の理論

1. 電機子内電壓の釣合 前章で同期電動機は交流發電機と同じ構造のものでよい事を述べた。交流發電機の電機子巻線に電流の通る時は同期インピーダンスに依つて電壓降下が生じたが、同期電動機に電流が流入すれば、矢張り電壓降下が生ずる。この電壓降下も電機子の抵抗と、同期リアクタンスとの合成である同期インピーダンスに依るものである事發電機の場合と異ならない。

第 7・1 圖



電壓の釣合を説明するベクトルの正の向き
の定め方
一相分を示す

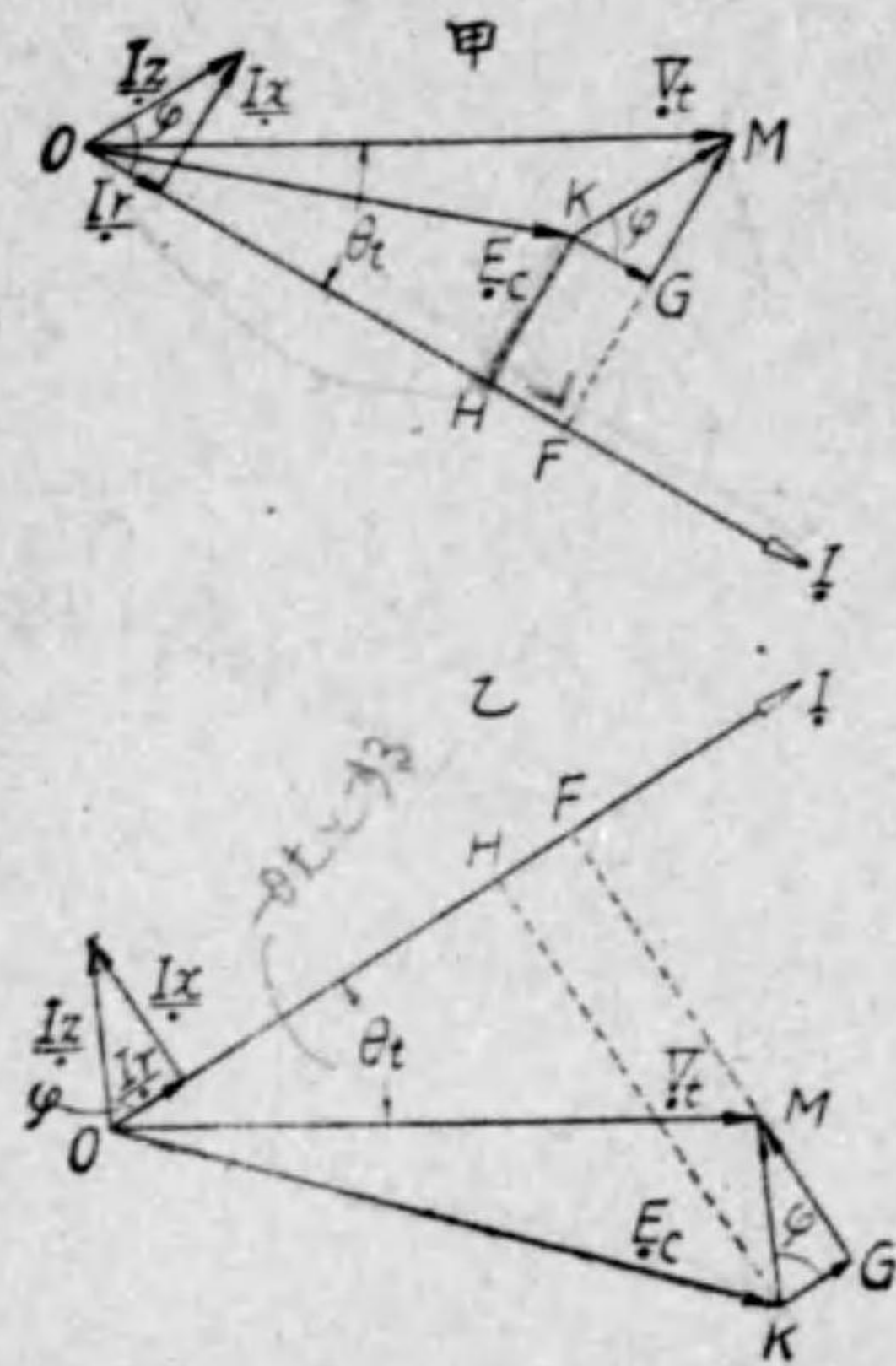
今第 7・1 圖の様に端子電壓 V_t と電流 I との正の向を同じとし、電機子巻線に誘起する起電力 E_c の正の向を電流と反対と定めれば、キルヒホッフ法則に依つて明かな様に、 $V_t - E_c = I_z$ 或は $V_t = E_c + I_z$

z は前記の同期インピーダンスであつて、 V_t , E_c , と共に一相分のものを示すも

のである。

上式をベクトル圖で示せば第 7・2 圖甲乙の様になる。一相に加はる端子電壓 V_t を基準ベクトルに取つて、それより θ

第 7.2 圖



同期電動機のベクトル圖

からも認められると共に端子電圧 V_t から同期インピーダンス降下 I_z をベクトル的に減じたものが E_c になる事も注意する必要がある。又電流 I は I_z から常に $\varphi = \arctan \frac{x}{r}$ だけ遅れてゐる事も注視せねばならない。今これを算式で示せば

甲圖の様な遅電流の場合は

$$E_c^2 = (OF - HF)^2 + (MF - GM)^2$$

$$= (V_t \cos \theta_t - Ir)^2 + (V_t \sin \theta_t - Ix)^2 \quad (7 \cdot 1)$$

進電流の場合は

だけ遅れた電流の流入する場合が甲圖で、乙圖は進電流の場合を示す。こゝで進み、遅れの二つの場合を示した理由は、後節で説明する様に、同期電動機に於ては、勵磁電流の加減に依り、流入する電流の位相は自由に變へ得られるからである。ベクトル圖に就て説明すれば、 KM は I_z であつて、 I_r と I_x の合成である。 $I_z + E_c = V_t$ になる事を圖

$$E_c^2 = (OF - HF)^2 + (MF + GM)^2$$

$$= (V_t \cos \theta_t - Ir)^2 + (V_t \sin \theta_t + Ix)^2 \quad (7 \cdot 1)'$$

となる。然るに兩式の θ_t の正負を考へれば、 I が V_t より遅れる場合は正で、進む場合は負と取るのであるから (7.1)' 式の θ_t を $-\theta_t$ とすれば

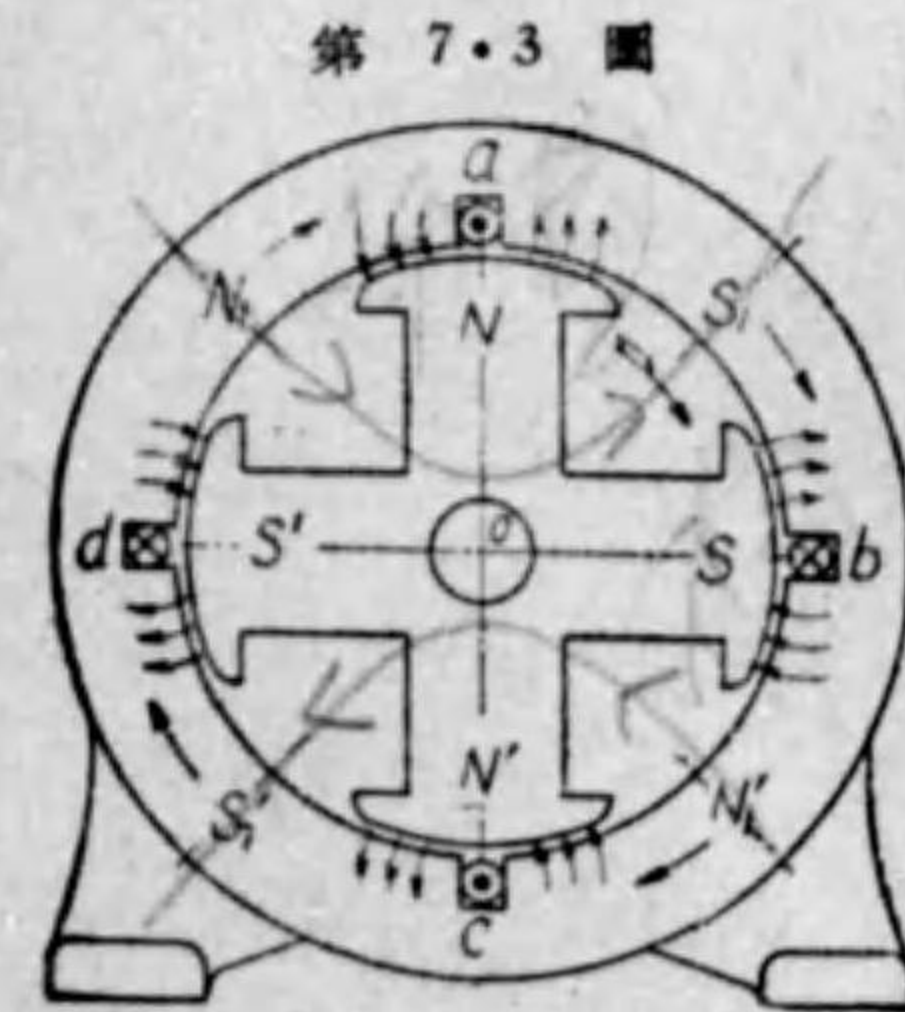
$$E_c^2 = \{ V_t \cos (-\theta_t) - Ir \}^2 + \{ V_t \sin (-\theta_t) + Ix \}^2$$

$$= (V_t \cos \theta_t - Ir)^2 + (-V_t \sin \theta_t + Ix)^2$$

$$= (V_t \cos \theta_t - Ir)^2 + (V_t \sin \theta_t - Ix)^2$$

となつて電流の進み遅れに依つて、角の正負を考へれば何れの場合も (7.1) 式一つでよい事になる。

2. 電機子反作用 三相同期電動機の電機子に三相電流を通す時は回轉磁界が出来、その速度は同期速度である事は前章



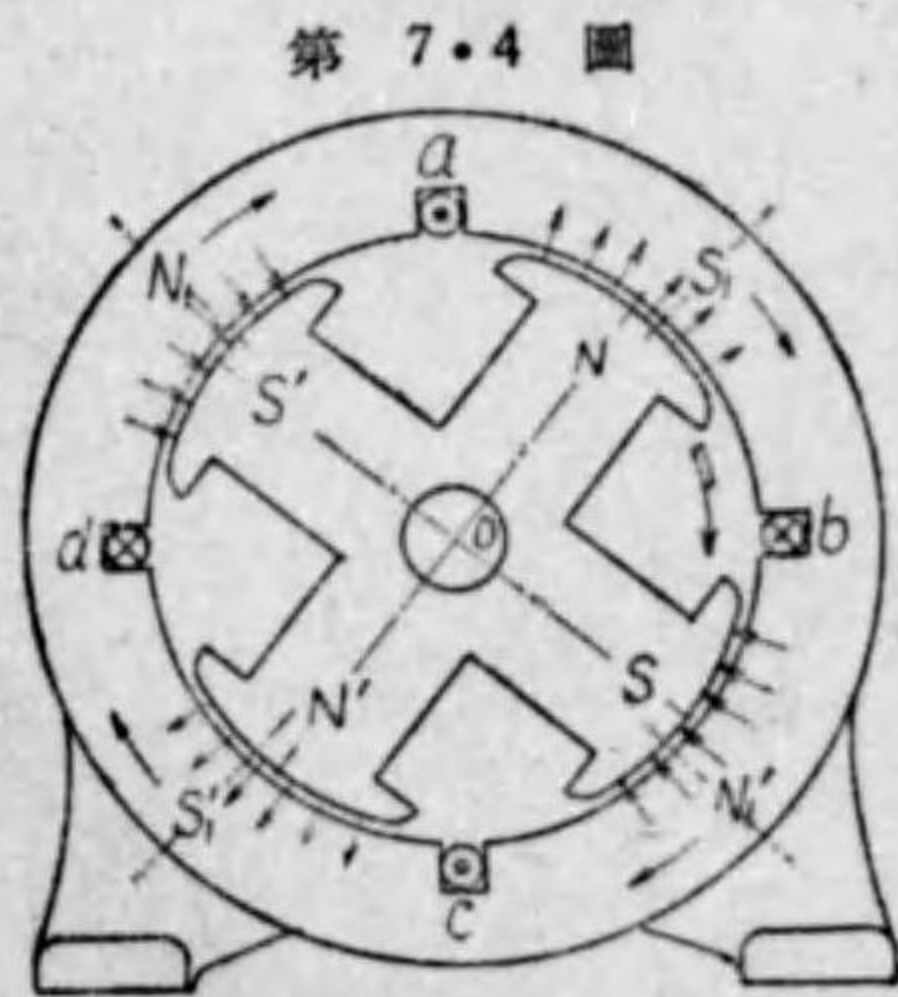
電機子反作用 説明圖 (其一)

で説明した。電動機が平常の状態
で運轉して居れば、回轉子も亦同期速度であつて、磁極片は回轉磁界の中心軸より幾分遅れた位置で同じ速度で、回轉磁界について廻る。

第 7.3 圖は 4 極三相同期電動機の略圖で固定子巻線を簡略にし

て、只 ab 及び cd の二つの線輪だけ示してある。 $abcd$ の導体に電流が圖に示す様に $\otimes \odot$ の向に最大になつた瞬時に、この圖の様に導体の真下に矢印の向に回轉して居る磁極片が來たとすると、導体 $abcd$ にはこの瞬時に、電流とは反對の向に起電力が誘起すること右手法則から明かである（これが前節で説明した逆起電力である）。従つて一相の端子電壓及び電流を圖の $\otimes \odot$ の向を正とし、逆起電力の正の向をこれと反對とすれば、第7・3圖の様に回轉磁界と磁極片とが 90 電氣度離れた状態を維持しつゝ、回轉する場合は電機子電流と逆起電力とは同相である。それは電流も逆起電力も共に定めな方向に最大値となるからである。

然るにこの様な状態では回轉磁界の中心軸は S_1, N_1 の様な位置にあるので磁極片の前半は増磁、後半は減磁作用を受ける。



第 7・4 圖
電機子反作用の説明圖（其二）

従つてこの場合の電機子反作用は偏磁作用である。

次に電機子電流が逆起電力より遅れて居る場合は第 7・4 圖の様になる。即ち $abcd$ 導体の真下を磁極片が通り過ぎて圖の様な位置に來た時、各導体の電流が最大になつたとすれば、逆起電力より電

流は時間的に遅れて最大になつた事を意味するから電流は逆起電力より遅れて居る事を示すのであるから、この様な場合は圖より明かな様に回轉磁界は磁極片に對して増磁作用を與へてゐる。而して電流の遅れ角が 0 から 90 電氣度迄増すに従ひ増磁作用は大きくなる。之に反し電流が逆起電力より進んでゐる場合は減磁作用となるのである。

結言すれば同期電動機の電機子反作用は、逆起電力に對して遅電流の時は増磁作用、進電流では減磁作用を爲し、その遅角或は進角が大である程（勿論 90 電氣度以内）反作用は大きい。

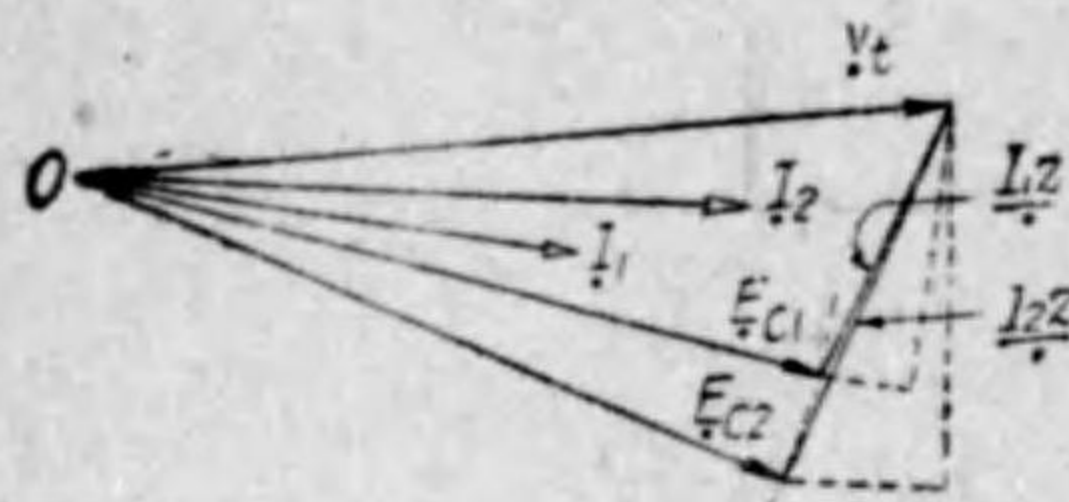
3. 負荷の變化と逆起電力の位相

第 7・2 圖で見る様に、逆起電力 E の大きさ及び位相は基本ベクトルに取つた端子電壓 V_1 に對して色々變る。又この圖では電流 I の大きさは一定に取つたが、その位相も甲と乙とでは變つてゐる。一般には電流の大きさ及びその位相は、負荷の變化した時、又は逆起電力 E の大小に依つて變化するものである。この事を考察するために直流分巻電機の場合をこゝで少しく考へて見る必要がある。即ち直流分巻電動機では一定の端子電壓の下に或る負荷を擔つて運轉中負荷が増加すれば、速度が減じて逆起電力は小となり、爲に電機子電流が増加し、トルクが大となるのである。即ち負荷の増減は常に速度の増減を招來し、電機子電流に變

化を生ぜしめ常に新しい負荷トルクに釣り合ふ様なトルクを發生して運轉を續けるのである。

然るに同期電動機ではこれ迄に述べた様に供給周波數の變らぬ限り速度の永續的變化は許されない。即ち一時回轉子の位置のずれる事はあつても、速度が持續的に變化して、それに依つて負荷の變化に順應することは出来ない。故に同期電動機の負荷が變れば、速度變化以外の方法で電機子電流 I の大きさや位相が變化する必要がある。第 7・5 圖に於て E_1 及び E_2 は大きさは同じであるが、 V_1 に對する位相が異なつてゐる。従つて $V_1 - E_1$ と $V_1 - E_2$ のベクトル I_{12} 、 I_{22} は大きさ及び位相が異なり、この電壓降下を生ずべき電流は I_1 、 I_2 となり、 I_{22} は I_{12} より位相は進み且つ値の大である事より、 I_2 及び I_1 は圖の様にならなければならない。即ち圖より I_2 は I_1 より位相進み且つその値の大である事より、 I_2 の流入する時の入力は大となるのである。従つて勵磁を一定として負荷を變へる結果としては、逆起電力 E の位相の變はる事に依つて流入する電流の大きさ及び位相が變はつて入力も變はる事になるのである。

第 7・5 圖

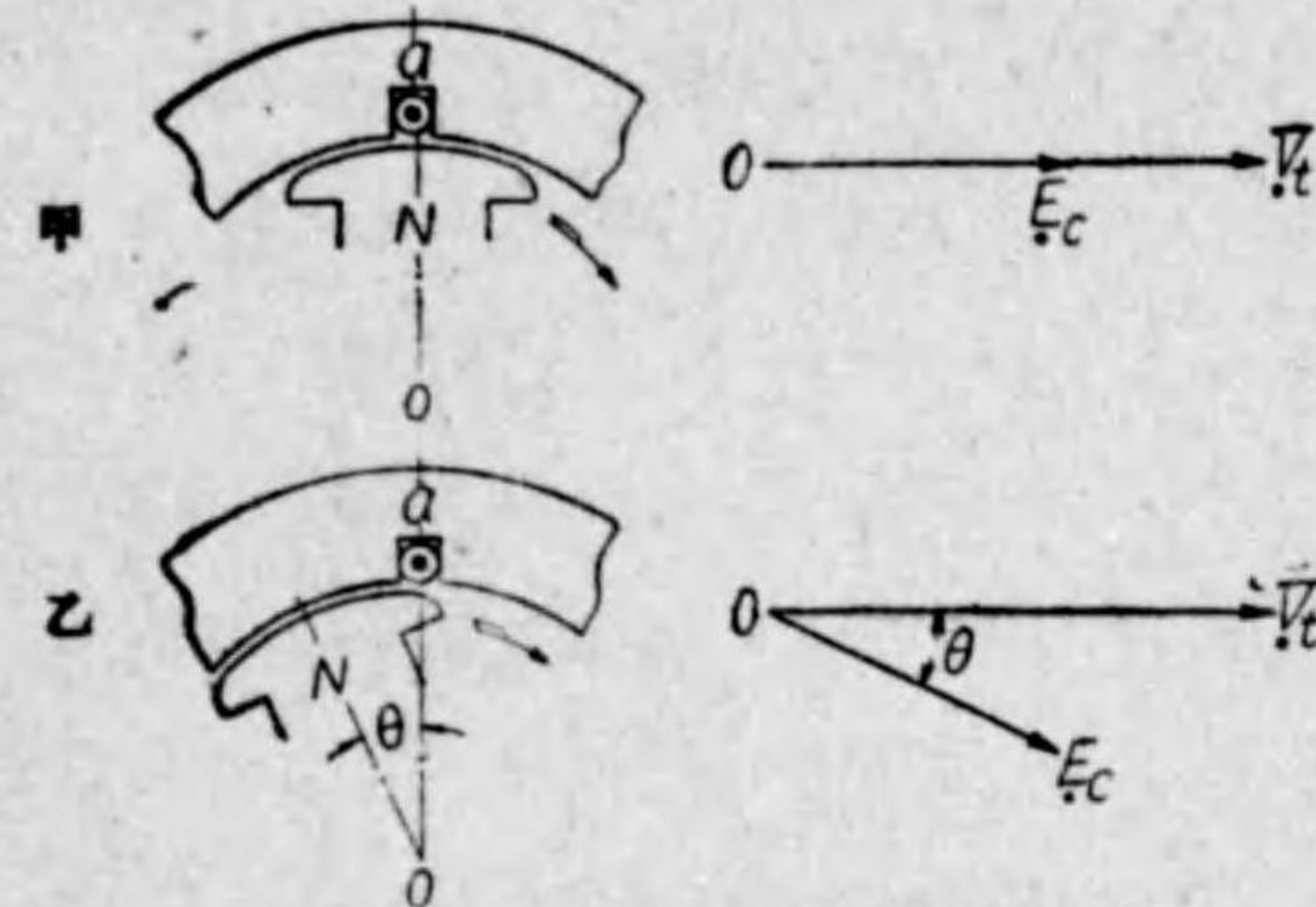


逆起電力の位相の變化と電流の變化

第 7・5 圖に於て E_1 及び E_2 は大きさは同じであるが、 V_1 に對する位相が異なつてゐる。従つて $V_1 - E_1$ と $V_1 - E_2$ のベクトル I_{12} 、 I_{22} は大きさ及び位相が異なり、この電壓降下を生ずべき電流は I_1 、 I_2 となり、 I_{22} は I_{12} より位相は進み且つ値の大である事より、 I_2 及び I_1 は圖の様にならなければならない。即ち圖より I_2 は I_1 より位相進み且つその値の大である事より、 I_2 の流入する時の入力は大となるのである。従つて勵磁を一定として負荷を變へる結果としては、逆起電力 E の位相の變はる事に依つて流入する電流の大きさ及び位相が變はつて入力も變はる事になるのである。

○ 4. 回轉子の位置と逆起電力の位相 然るに逆起電力の位相の變ると云ふ事は、具體的の現象としてどの様な事を意味するのであるかと云へば、それは回轉子が一時的に同期速度を脱出してずれを生ずる事である。次に之を説明する。

第 7・6 圖



回轉子の位置と逆起電力の位相

第 7・6 圖甲乙は一つの同期電動機に於て、共に導體 a には端子電壓 V_1 が \odot の向に最大值に達した瞬時を示すものとすれば、甲に於ては逆起電力 E_c と V_1 と

は同相を意味し、乙では E_c が V_1 より電氣角 θ だけ遅れてゐる事を示す。何となれば甲の様な位置に磁極片の來た時 a に誘起する逆起電力は最大であつて、この時 V_1 も最大であるからである。然るに乙では a に供給される端子電壓 V_1 が圖の様な磁極の位置で最大值であれば、 a に誘起する逆起電力が最大になるには磁極片が更に θ 電氣度回轉した後となるからである。

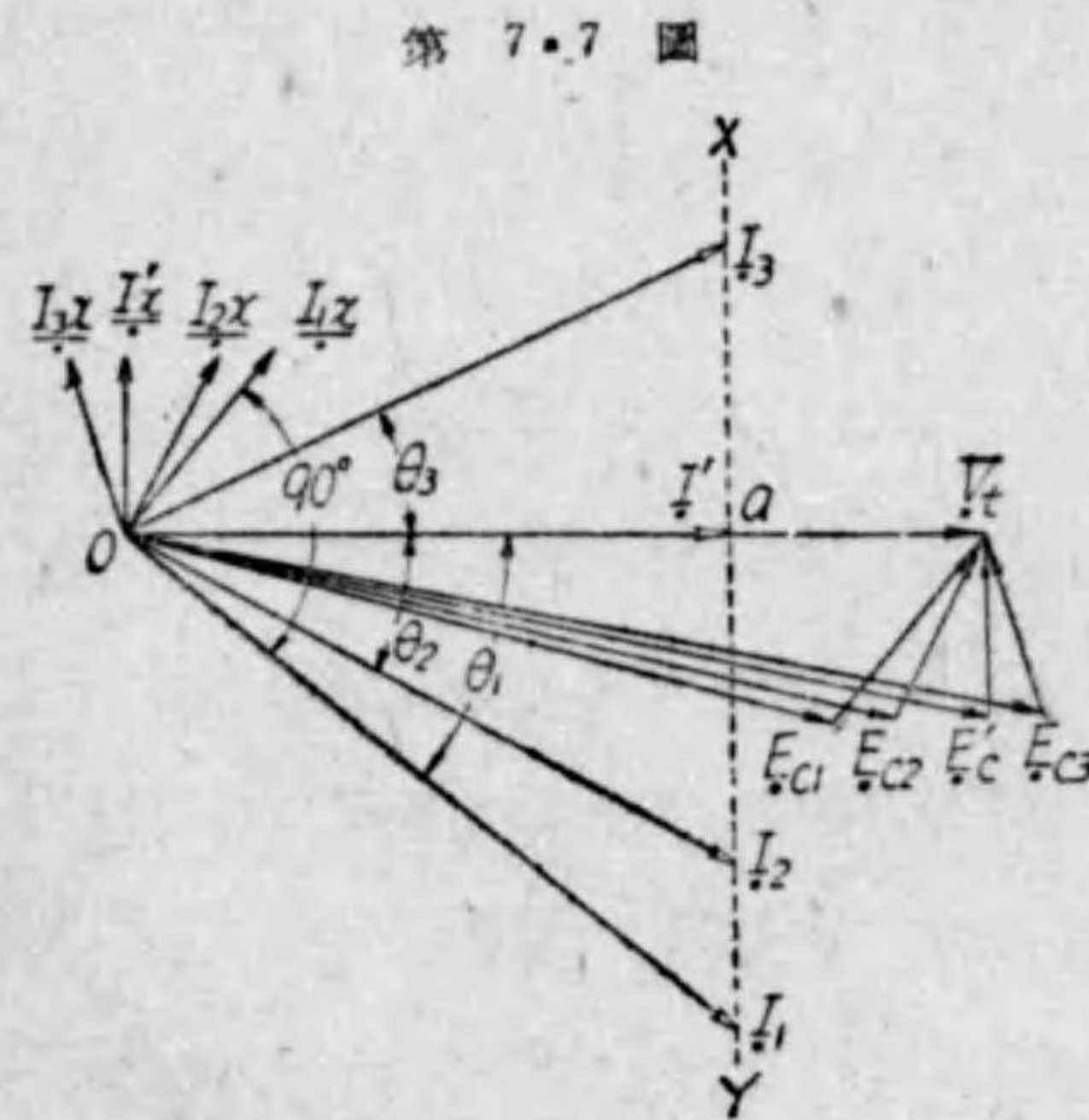
以上から明かな様に端子電壓 V_1 に對して逆起電力 E_c の位相が遅れると云ふ事は回轉子が一時的に同期速度を外れて、今迄より幾分ずれを生ずると云ふ事でなければならぬ。この様

な回轉子の一時的づれを、以後回轉子の**相對變位**と呼ぶ。

以上の事柄から分る様に同期電動機の負荷が増加すれば回轉子は相對變位を生じて、逆起電力 E の位相が幾分遅れ 従つて電流の位相は進みその値は大となつて新しい負荷に釣り合ふ様なトルクを發生して、同期速度で回轉を續けるのである。負荷が減少すれば反對な相對變位を生じて減少した負荷に釣り合ふ様な電流となるのである。

5. 勵磁の變化と電流の位相 前二節では同期電動機の

端子電壓及び勵磁電流は一定にして置いて、負荷を變化した場合の研究であつたが 本節では端子電壓及び負荷の一定の時、



逆起電力の大きさと電流の位相

勵磁電流を變化したならば如何なる現象を生ずるかを考へよう。

第 7・7 圖は同期電動機が入力 $V_t I'$ で運轉して居る時のベクトル圖で、 a 點に於て V_t に對して垂直に引いた XY 線上に並ぶ電流のベクトル、 I_1, I_2, I_3 等

は共にその有效分は I' であるから、これ等種々の位相と大きさの電流に對する入力は等しい。即ち

$$V_t I' = V_t I_1 \cos \theta_1 = V_t I_2 \cos \theta_2 = V_t I_3 \cos \theta_3 \quad (7 \cdot 2)$$

である。

今電機子に於ける銅損と鐵損とを無視すれば、出力は入力に比例するから、出力を一定とすれば入力 $V_t I'$ も一定と云ふ事になる。この様に出力は一定になる様な I_1, I_2, I_3, I' 等に依つて生ずる電壓降下は $I_1 r, I_2 r, I_3 r, I' r$ の様になる(銅損を無視したから電機子抵抗を無視してある、従つて電壓降下は $I_1 r, I_2 r$ 等のみでこれ等は I', I_1 等より 90° 進んでゐる)。これ等の電壓降下を V_t からベクトルの的に差引いた E_1', E_2', E_3', E' は一定出力に對して夫々 I', I_1 等の電流の流入する時の逆起電力でなければならぬ。然して圖より明かな様に最も遅電流である I_1 に對する逆起電力は最も小さく、最も進電流である I_3 に對する逆起電力 E_3 はその値最も大である。即ち同じ出力で逆起電力の小なる時は電流の位相は遅れ、逆起電力を大とするに従ひ電流の位相は進んで行く。然るに逆起電力は磁極片が廻る事に依つて電機子巻線に誘起する起電力であるから同期電動機の様な一定速度で運轉する電動機では、逆起電力は磁極の磁束に比例する。この磁束は勵磁電流に比例する(磁氣飽和がなければ)から逆起電力は勵磁電流の大小に比例する譯である。

従つて同期電動機では一定の端子電圧及び一定出力で運転中の勵磁電流を増加すれば電機子電流の位相は進み、勵磁電流を減ずれば電機子電流の位相は遅れる。換言すれば一定出力、一定端子電圧で運転中の同期電動機の力率は、勵磁電流の変化に依つて自由に變え得られる事が分る。

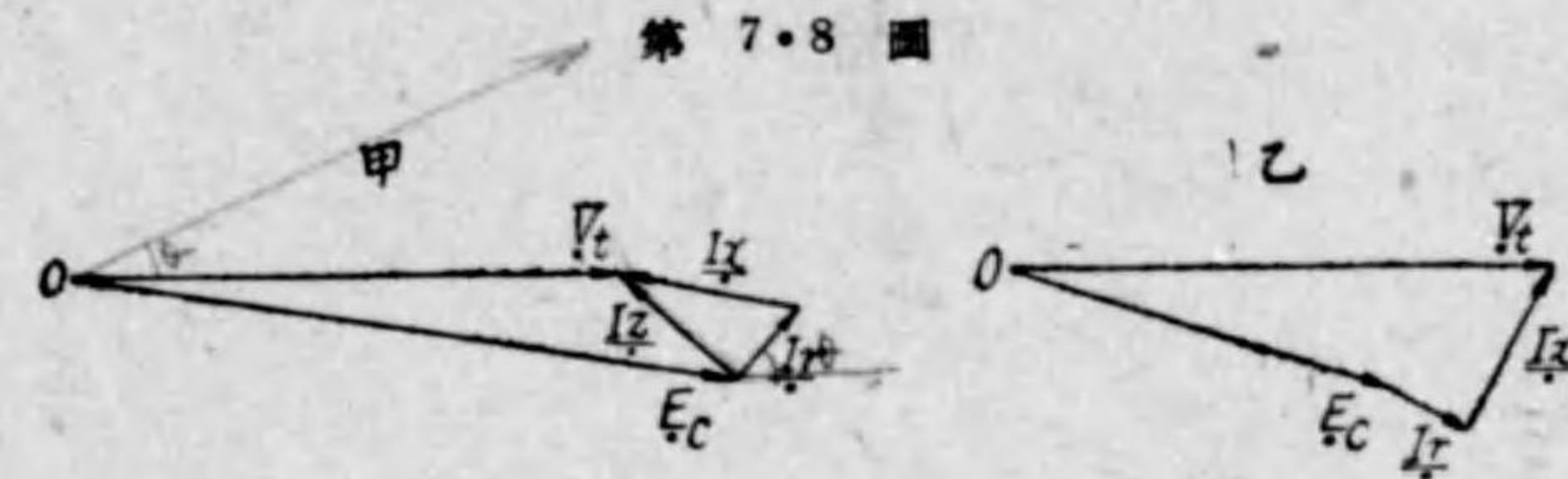
以上の事からは、同期電動機の実際使用する立場から非常に大切な事である。發電機の項にも述べたが、一般負荷の性質は、遅れ電流を要求するものであるから、この際その負荷内の電動機に同期電動機を使用して置けば、それに電動機としての負荷を掛けて、その上勵磁電流を充分に強めて、充分に進電流を取る様にすると、全體の負荷の綜合力率が良くなる、その結果は變壓器、配電線、送電線、發電機等の電力損失が小となり、その能率はよくなり、又電氣機械全體の利用率も増加する。

同期電動機をこの様に使用する事を同期電動機を調相機として使用すると云ふ。蓋し調相機とは遅電流を要求する負荷の電流の位相を調整して力率をよくする意味である。

後節に更に詳説するが、同期電動機を空轉して置いて、勵磁電流を強めると進電流丈を取る事になる、この原理を利用して、變電所に電流を進ませる丈の役目をする特別の同期電動機を置く事があるこれを同期進相機と云ふ。

復習問題 VII

1. 同期電動機が或負荷で運転中の一相分の電圧のベクトルが次の様なものであつたと云ふ。各圖に就て電流ベクトルを畫け。



2. 直流分巻電動機で逆起電力が端子電圧に等しいか或はそれより大であれば電流は流れ込まぬが同期電動機ではそんな場合でも電流は流入する。それをベクトル圖で説明せよ。
3. 第 7・3 圖の磁極の位置より更に同轉子が 90° 回轉した時の回轉磁界の中心軸と磁極の位置を第 7・3 圖の様なものを書いて示せ。
4. 電流が逆起電力より位相の進んだ場合は電機子反作用は減磁作用である事を説明せよ。
5. 發電機の場合と同期電動機の場合の電機子反作用の相違を記せ。
6. 電動機に負荷を掛けると云ふ事は、電動機の軸にブレーキ作用を加へて廻り悪くした事になる。直流分巻電動機と同期電動機につき負荷を増した時の速度の變化の有様を考へよ。
7. 同期電動機が殆ど無負荷で進電流の流入してゐる時のベクトル圖を畫け。
8. 第 7・7 圖に於て電機子電流が最小となるのは力率が幾何の時か。

9. 同期電動機の一相の供給電圧が 200 V, 抵抗 0.3Ω , 同期リアクタンス 2.4Ω であつて, 相電流が 10 A の時遅力率角 30° , 進力率角 30° の場合のベクトル圖を畫きて各の場合の逆起電力は大略幾何の値でなければならぬかをその圖上より求めよ。

更に (7.1) の公式を用ひて計算し幾何の違ひあるやを見出せ。

第八章 同期電動機の特 性

1. 力率及び入力 第七章第5節に述べた事柄から次の様な重要な結論が得られる。即ち同期電動機は一定負荷, 一定供給端子電壓の下に, 自由に電機子電流の位相を變化させる事が出来得るのであつて, それは只界磁回路に加へられる勵磁電流の調整に依るのである。故に直流勵磁を適度に選ぶならば, 如何なる負荷に對しても電機子電流の位相を端子電壓と同相に持來ることが出来る。即ち同期電動機は勵磁の加減に依り負荷の大小如何に關せず力率を 1 にすることが出来る。これが同期電動機以外の電動機では簡單に得られない顯著な特性であり, 大なる長所である。

從來述べた所から同期電動機の入力は次式で表される。

$$P' = V_i I \cos \theta_i \quad (8 \cdot 1)$$

但し P' = 一相の入力(ワット) V_i = 一相の給與電壓(ボルト)

I = 一相の電流(アンペア) θ_i = I が V_i より遅れる角

(第 8.1 圖参照)

$\cos \theta_i$ は同期電動機の力率である。故に三相同期電動機に於ては

$$[\text{入力}] P = 3 V_i I \cos \theta_i = \sqrt{3} V_{L-L} I \cos \theta_i \text{ (ワット)} \quad (8 \cdot 1')$$

但し V_{L1} =線間電圧(ボルト) I_1 =線電流(アンペア)である。

2. 出力及び能率 次に同期電動機一相の発生機械動力(有効出力と鐵損及び機械損との和) P_a' は次式で示される。

$$P_a' = E_c I \cos \theta_c \quad (8 \cdot 2)$$

但し E_c =一相の誘起起電力(ボルト)

θ_c = I が E_c より遅れる角

である。これについて説明を加へよう。

直流分巻電動機に於て端子給與電圧を V_1 , 電機子電流を I , 電機子抵抗を r_a とすると次式の成り立つ事は説明の要はあるまい。

$$V_1 = E_c + I r$$

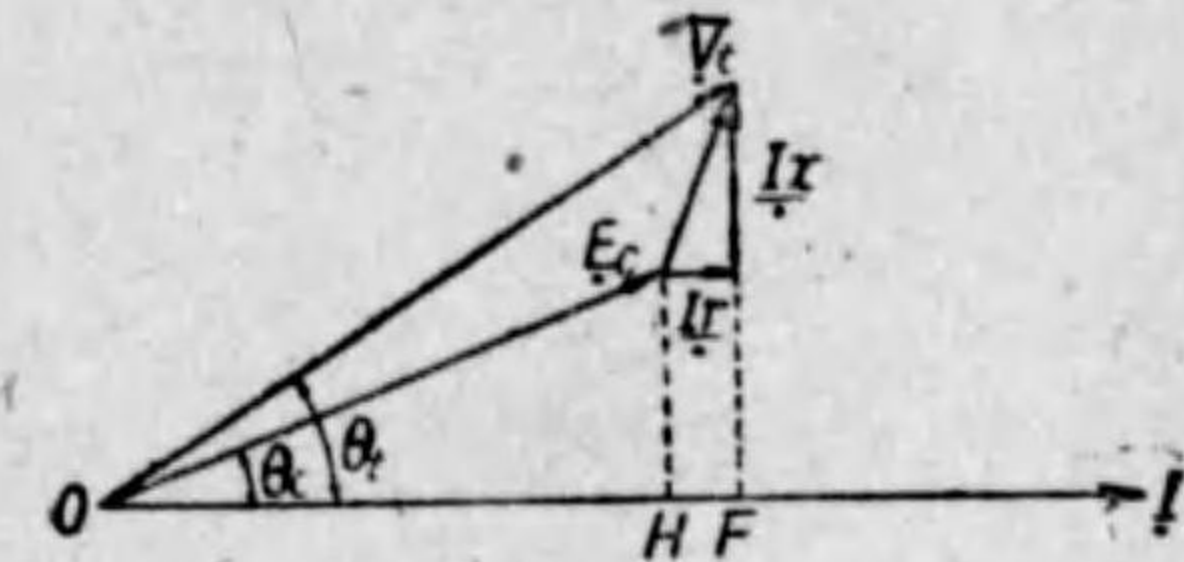
これは電圧の釣合ひを示す式であるが、この式の兩邊に I を乗ずると

$$V_1 I = E_c I + I^2 r$$

となつて [入力]=[発生機械動力]+[電機子銅損]なる電力の釣合を示すものになることは既に學んだ所である。同期電動機に於てもこれと同じ様に、第 8・1 圖を見れば $OF = OH + HF$ から

$$V_1 \cos \theta_1 = E_c \cos \theta_c + I r \quad (8 \cdot 3)$$

この式は給與電圧 V_1 及び誘起起電力 E_c の中、夫夫電流と同相にある分のみを考へ、これ等の二つの同相分間の關係を示す方程式である。この式の兩邊に



同期電動機一相の電圧電流ベクトル圖

I を乗ずれば

$$V_1 I \cos \theta_1 = E_c I \cos \theta_c + I^2 r \quad (8 \cdot 4)$$

これ即ち電力の釣合を示す式であつて、

[一相の入力]=[一相の発生機械動力]+[一相の銅損]であること直流機の場合から推定出来ることである。

故に三相電動機の場合は

$$\begin{aligned} \sqrt{3} V_{L1} I_1 \cos \theta_{11} &= \sqrt{3} E_{c1} I_1 \cos \theta_{c1} + 3 I^2 r \\ P &= P_a + 3 I^2 r \end{aligned} \quad (8 \cdot 5)$$

但し P_a =三相の発生機械動力(ワット)である。

同期電動機の能率は

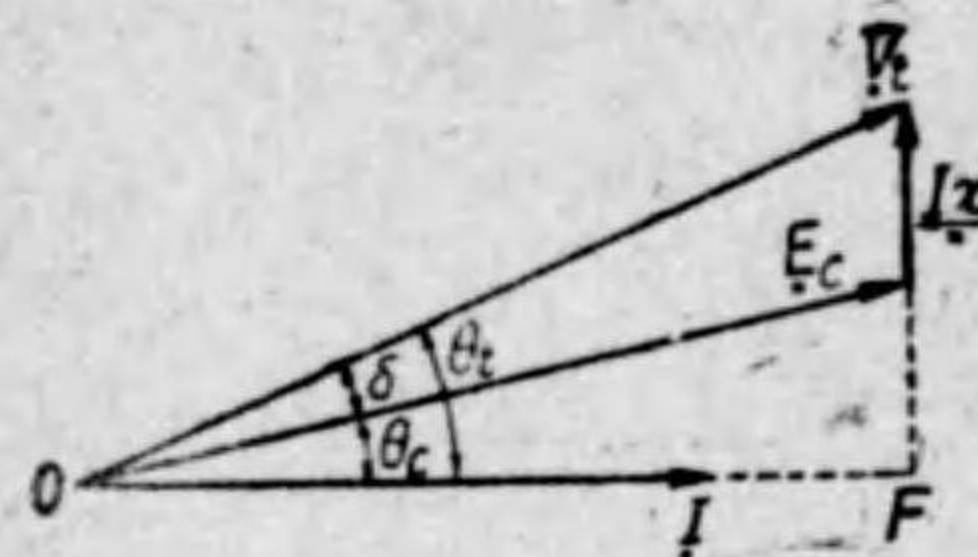
$$\eta = \frac{P - [\text{電機子銅損} + \text{鐵損} + \text{機械損}]}{P} \times 100\% \quad (8 \cdot 6)$$

の式で計算するが良い。但しこれ以外に勵磁損を考慮しなければならない。勵磁損は勵磁機が主電動機に直結の場合は、勵磁機及び勵磁回路全體の損失であるが、他勵磁の場合は界磁抵抗

損と界磁回路の抵抗損である。

3. トルク 同期電動機のトルクは、電機子電流に依つて

第 8・2 圖



V_1 = 一相の供給電圧 (ボルト)
 E_c = 一相の誘起起電力 (ボルト)
 I = 電機子電流 (アンペア)
 x = 同期リアクタンス (オーム)
 電機子抵抗を無視した場合の電圧電流ベクトル図

生ずる磁界即ち回轉磁界と同轉子磁界との作用と考へられると述べたが、この事を更にこゝで考へて見る。今簡單の爲に電動機の電機子の抵抗を無視して、電圧電流の間の關係をベクトル圖に畫くと第 8・2 圖の様になる。

同圖に於て、 $V_1 \cos \theta_i = E_c \cos \theta_c$ (イ)

電機子抵抗を無視したからこの様になつたのである。

$$Ix = V_1 \sin \theta_i - E_c \sin \theta_c$$

$$\therefore I = \frac{V_1 \sin \theta_i - E_c \sin \theta_c}{x} \quad (\text{ロ})$$

然るに $P_a' = E_c I \cos \theta_c$

この式に (イ)(ロ) 兩式を代入すれば、

$$\begin{aligned} P_a' &= \frac{E_c V_1 \sin \theta_i \cos \theta_c - E_c \sin \theta_c E_c \cos \theta_c}{x} \\ &= \frac{E_c V_1 (\sin \theta_i \cos \theta_c - \cos \theta_i \sin \theta_c)}{x} \\ &= \frac{V_1 E_c \sin(\theta_i - \theta_c)}{x} = \frac{V_1 E_c \sin \delta}{x} \end{aligned}$$

故に $P_a = 3 \frac{V_1 E_c \sin \delta}{x} = \frac{V_a E_{ca} \sin \delta}{x}$ (ワット) (8・7)

今トルクを T kg-m で表せば、

$$\begin{aligned} \frac{V_a E_{ca} \sin \delta}{x} &= 980 \times T \times 1000 \times 100 \times 2\pi \frac{n_0}{60} \times 10^{-7} \text{ (ワット)} \\ &= 2\pi \times 9.8 \times \frac{n_0}{60} T = 1.026 n_0 T \end{aligned}$$

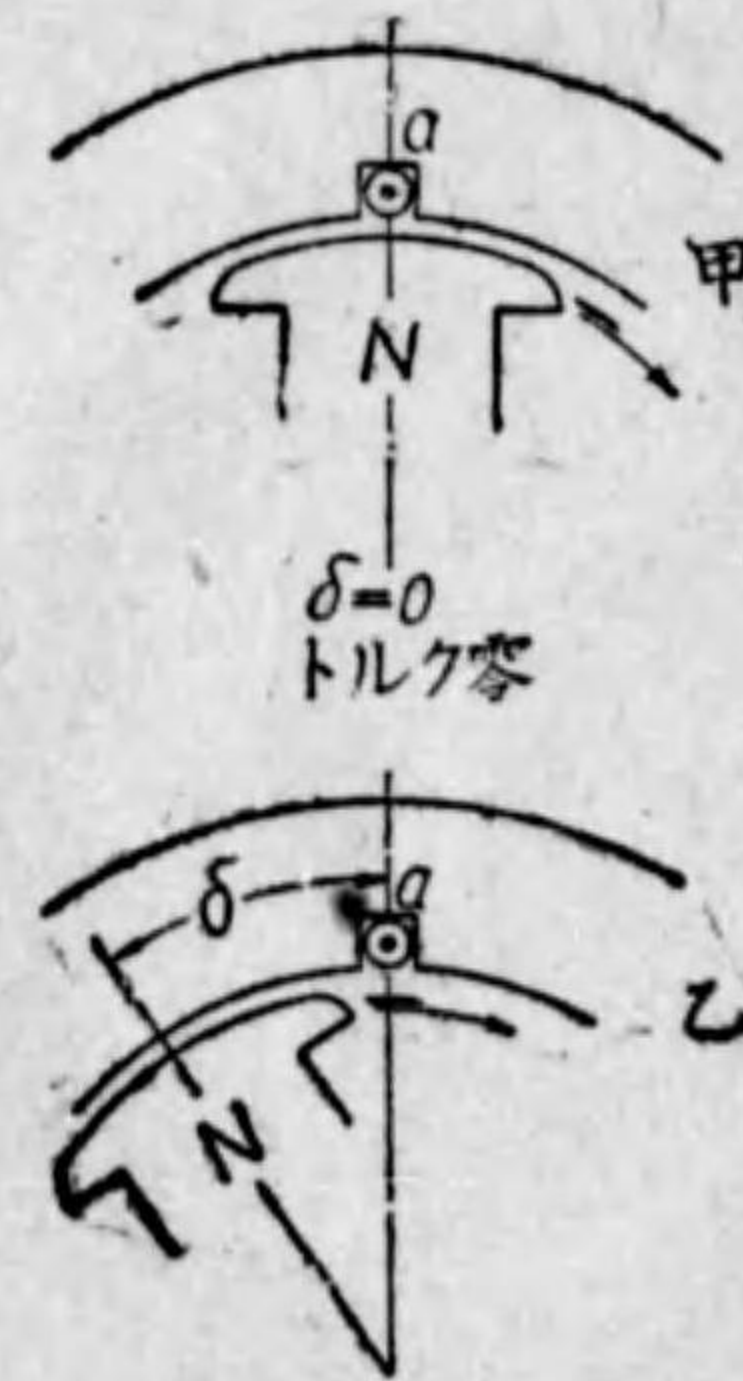
$$\therefore T = 0.975 \frac{V_a E_{ca}}{n_0 x} \sin \delta \text{ kg-m} \quad (8 \cdot 8)$$

(8・7) 及び (8・8) 式から同期電動機の出力及びトルクは供給電圧と誘起起電力とその相差角の正弦に比例すると云ふ重要な結果を得たのである。

この相差角 δ を同期電動機の運轉角又は聯結角と云ふ。

この角は第 8・3 圖の甲乙に記入された δ がそれである。但し甲乙共に固定子導體 a に供給された電圧の正の向に最大値になつた時の磁極片の位置を示すもので、甲圖は a に供給された電圧が最大の時、その真下に N 極が來て居るから誘起起電力は供給電圧と同相である事を示すもので、この場合は $\sin \delta = 0$ であるからトルクは零である。乙圖の様にならばトルクはその δ の正弦に比例するので、

第 8・3 圖



運轉角を示す圖

磁極片は回轉磁界の方向にトルクを受けて回轉する。今 δ とトルクとの關係を曲線に示すと

第8・4圖の様になり、最大トルクは $\delta=90^\circ$ の時に發生する。従つて理論上電動機が運轉をする時は δ は 0° 乃至 90° の内で運轉するものである事

も分る。尙ほ(8・7)(8・8)式の中の x は同期インピーダンス z とその値が略等しいから

$$P_a = \frac{V_a E_d}{z} \sin \delta \quad (\text{ワット}) \quad (8 \cdot 9)$$

$$T = 0.975 \frac{V_a E_d}{n_p z} \sin \delta \quad (\text{kg-m}) \quad (8 \cdot 10)$$

とした方がよい。

4. 最大トルク 前節(8・10)式で示された様に同期電動機のトルクは、供給電壓及び勵磁電流を一定として運轉して居る時、漸次に負荷を増して行けば運轉角 δ も次第に増して行き $\delta=90^\circ$ で最大のトルク即ち

$$T = 0.975 \frac{V_a E_d}{n_p z} \quad \text{kg-m} \quad (8 \cdot 11)$$

となり、この値から負荷を増せば當然電動機は停止してしまふ。之を同期電動機が同期外れしたと云ふ。

step out



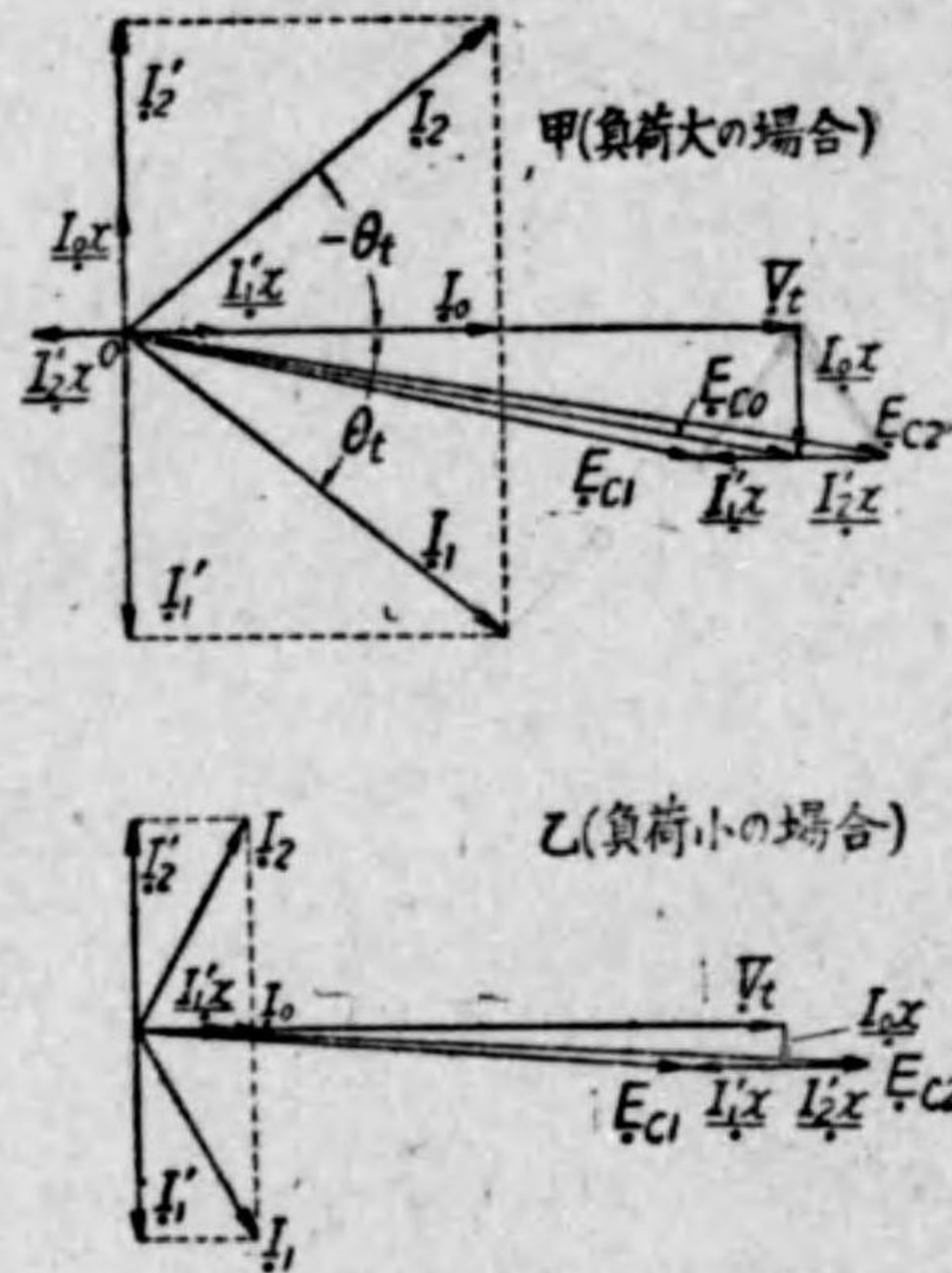
上記の式から求めた最大トルクは、前節の假定に依つて電機子の抵抗を無視しての計算であるから、實際の場合には、電機子内の抵抗損の爲これより幾分小さい値となる。

5. 位相特性曲線 直流發電機と直流電動機とで其の特性曲線の趣を異にする様に、同期電動機の特性曲線は交流發電機とは自ら別種の趣きがある。且つ又直流電動機では速度特性曲線が最も重要であるが、同期電動機では此の曲線には何等の價値はない。同期電動機はその名の示す様に負荷の如何に拘らずその速度に永續的の變化は許さないことは、これ迄屢々述べた通りであるからである。即ち同期電動機は速度と電流との關係を示す曲線は何等の興味も教訓も齎らさない一の水平直線に過ぎない。

然らば同期電動機の特性曲線としては如何なるものが最も重要であらうか。それは嘗つて第七章第5節に説いた直流勵磁と電機子電流との關係を明瞭に示す曲線である。即ち端子電壓と負荷とを一定に保つ時、直流勵磁を變化すれば電機子電流の大きさ及び位相がどう變はるかを示す曲線が最も重要である。以下少しく之を研究しよう。

第8・5圖甲は同期電動機に I_0 、 I_1 及び I_2 の様な電機子電流の流入した場合のベクトル圖(何れも電機子抵抗を無視して

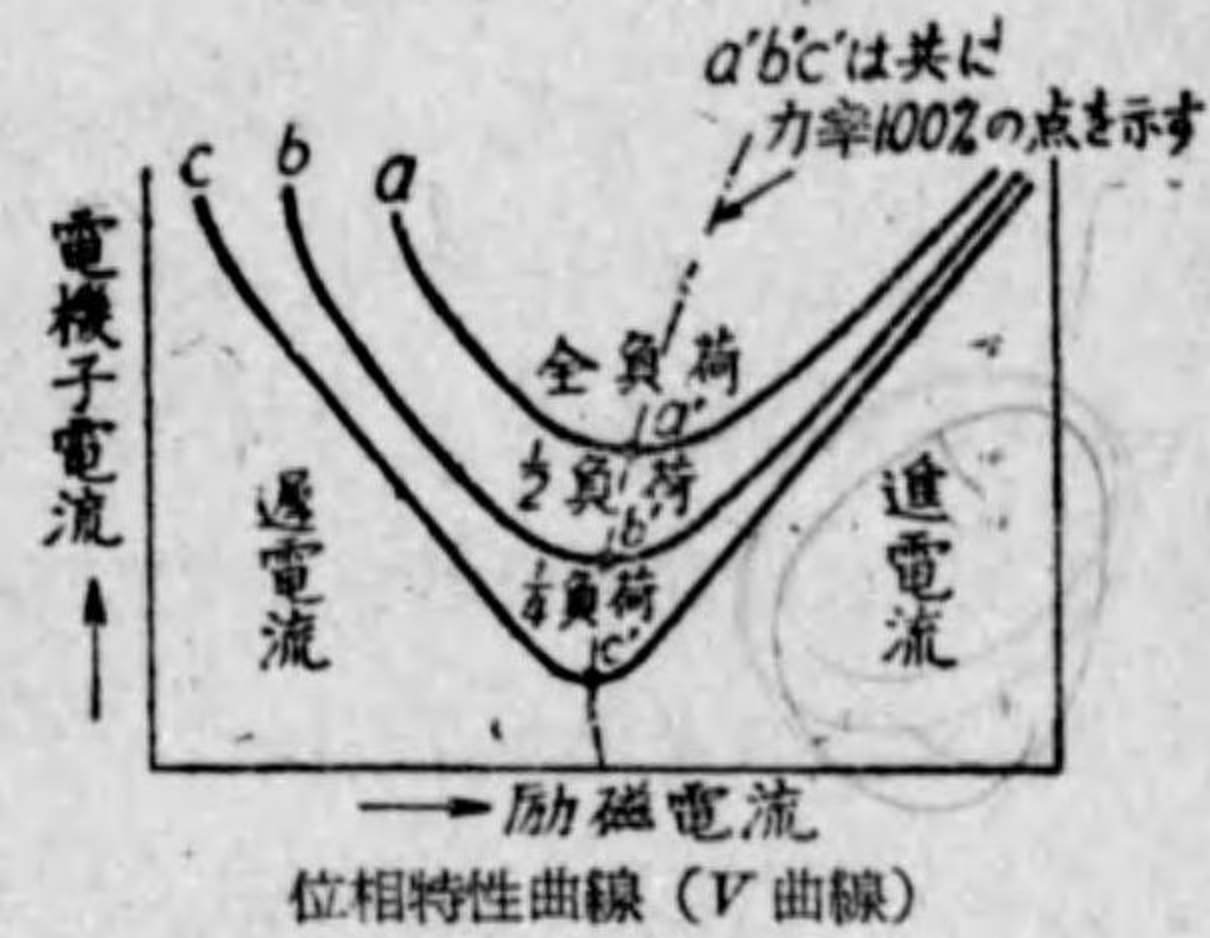
第 8・5 圖



一定負荷に於て勵磁電流の變化に對する電機子電流の變化

ある)を示すもので、 I_0 即ち端子電壓 V_t に対して同相の電流の流入してゐる時には起電力は V_t から $I_0 x$ を差引いた E_0 でなければならない。然るに圖から明かな様に I_1 は I_0 と I_1' の合成で、 I_2 は I_0 と I_2' の合成であるから、 I_0 、 I_1 及び I_2 何れの場合も發生機械動力は同じで共に $V_t I_0$ である。依つて I_1 の様な遅電流の流入してゐる場合の起電力 E_{c1} は E_0 から更に I_1' に依る電壓降下 $I_1' x$ を差引いたものであるから圖の様に E_{c1} より小さくなければならない。又 I_2 の様な進電流の時は I_2' に依る電壓降下 $I_2' x$ を E_0 から更に差引いた E_{c2} でなければならない。即ち I_1 の様な遅電流の流入してゐる時、勵磁電流を増加して起電力を大として E_{c1} とすれば、電機子電流は I_0 となり、更に勵磁を増して起電力を E_{c2} とすれば、 I_2 の様な進んだ電機子電流となる。この際何れの電流も V_t に対する同相分は同じであるから

第 8・6 圖



位相特性曲線 (V 曲線)

發生機械動力即ち負荷に變化のない事を示すのである。そこで第 8・6 圖の様に横軸に勵磁電流を取り、縦軸に電機子電流を取つて一定負荷に對して勵磁を變化した時の電機子電流の有様を曲線をもつて示せば V 字形の曲線となる。これを位相特性曲線又はその曲線の形から V 曲線と云ふ。勿論勵磁の適當の値の時力率は 100% になるのであるから、この時の電機子電流の値は最小でなければならない。a, b, c 何れの曲線に於ても V 字の最底部は力率 100% の時の値を示すものであるから、曲線の最底部が一番上にある a 曲線は他の曲線の時よりも負荷の大である事を示す。

結言すれば一定端子電壓、一定出力の下に同期電動機の勵磁を極めて低い所から漸次に高めて行くと電機子電流は徐々に減少する。これが V 字の左邊に相當する。此の際力率が漸次増すこと勿論である。或る點迄勵磁を増すと電流は最小となり、力率が 1 となる。これが V 字の底に相當する。更に勵磁を増せば電流の大きさは再び増加し、力率は減ずる。これが V 字の右邊に相當する。但し勵磁の増すに従ひ電流の位相が進むので

あるから、V字の左邊は遅電流、右邊は進電流である事を示す。

6. 亂調の發生 同期電動機は運轉方法或は機械の設計のよろしきを得ない時、又は負荷の變化狀態等に依つては亂調(hunting)の現象を生ずることがある。

亂調とは同期電動機の間轉速度が同期速度よりも速くなり或は遅くなる事の繰り返し、即ち回轉子が振動をして、この振動が次第に増大して、電動機がその歩調を破つて所謂同期外れとなり、危険速度に迄上り、或は著しく低速度となり、遂に停止してしまふ事である。

この様な事はどうして起るのであらうか、これを次に説明しよう。今一つの電動機が或る負荷の下に運轉して居る時、俄かに負荷の大部分を除去したとすると、この際勿論、端子電壓は一定、勵磁も變化しないのであるから、從來のトルクは新しい負荷に對して過大だから、一時回轉子の速度が増して、端子電壓と起電力との相差角即ち運轉角 δ がずつと減少する。然し回轉子には機械的の慣性があるから、トルクが丁度新しい負荷に相當する様な運轉角に達した瞬時には、回轉子は同期速度以上で回轉して居るので、運轉角はもつと小となる迄進んでしまふ。従つてトルクは必要以上に小となる。その結果として速度はまた一時的に同期以下となり、運轉角は大となり過ぎて又も

過大のトルクとなつて、速度を過大とさせ、トルクは再び減少する。この様にして回轉子の速度並に位置の上に振動を生ずる。この振動は漸次その範圍を狭小にし、遂に同期速度に落着いて、適當の運轉角となるのが普通である。然し不幸にして設計がよろしきを得て居ない時は、振動が漸次その振幅を増して亢進性となり、所謂亂調に陥つてしまふのである。

亂調の現象は同期機特有のものであつて、發電機でも電動機でも、同じ交流回路に結ばれた二つ以上の同期機は皆亂調の心配がある。亂調は實に同期機の仇敵である。

7. 亂調の機械的類推 上述の間轉子の振動は振子の振動とも似て居る所がある。振子はこれが止つた位置から動かしてやると、元の位置に復歸しようとしては、その慣性の爲に行過ぎて尙ほも復歸しようとして左右に振動を續けるのである。但しこの振動も他から絶えず外力を加へてやらない限り止まつてしまふ。それは振子の運動に對する空氣の抵抗が制動作用をするからである。空氣の代りに油の中で振動させれば更に早く止まつてしまふ。これと同様に同期電動機の場合にも制動作用の大きい程振動が早く止まつて亂調を防ぎ得るのである。然し制動作用が小さかつたり、又は他に振動を助ける原因があつたりすると、所謂亂調となるのである。振子の場合にその振動が次

第に大きくなる場合はどんな時であらうか。その最も適例はブランコである。ブランコに於ては、丁度ブランコの振れ方（振動の自然周期）に調子を合せて人が力を加へると振動が増大するのである。同期電動機の場合でも、回転子の振動の自然周期が負荷の要求するトルクの周期と一致すると、振動は大となつて亂調に陥ることがあり得るのである。

第 8.7 圖
振動現象の説明圖

この様な振子の例を取つて見ても實際の電動機の振動状態とは大變に違ふ所があることに注意しなければならない。それを更に次の例で説明しよう。

第 8.7 圖で、 S は外力により同期速度で矢印の向きに軸の周圍に廻つてゐるとし、 R は數多のバネで S と同心的に結び付けられてゐるものとすれば、 S が回転するにつれて、 R はバネを通じて引かれて廻る。この際軸に負荷が掛れば、バネはその負荷に応じて幾分伸びるから R は S より幾分位置がずれて同じ速さで廻る譯である。

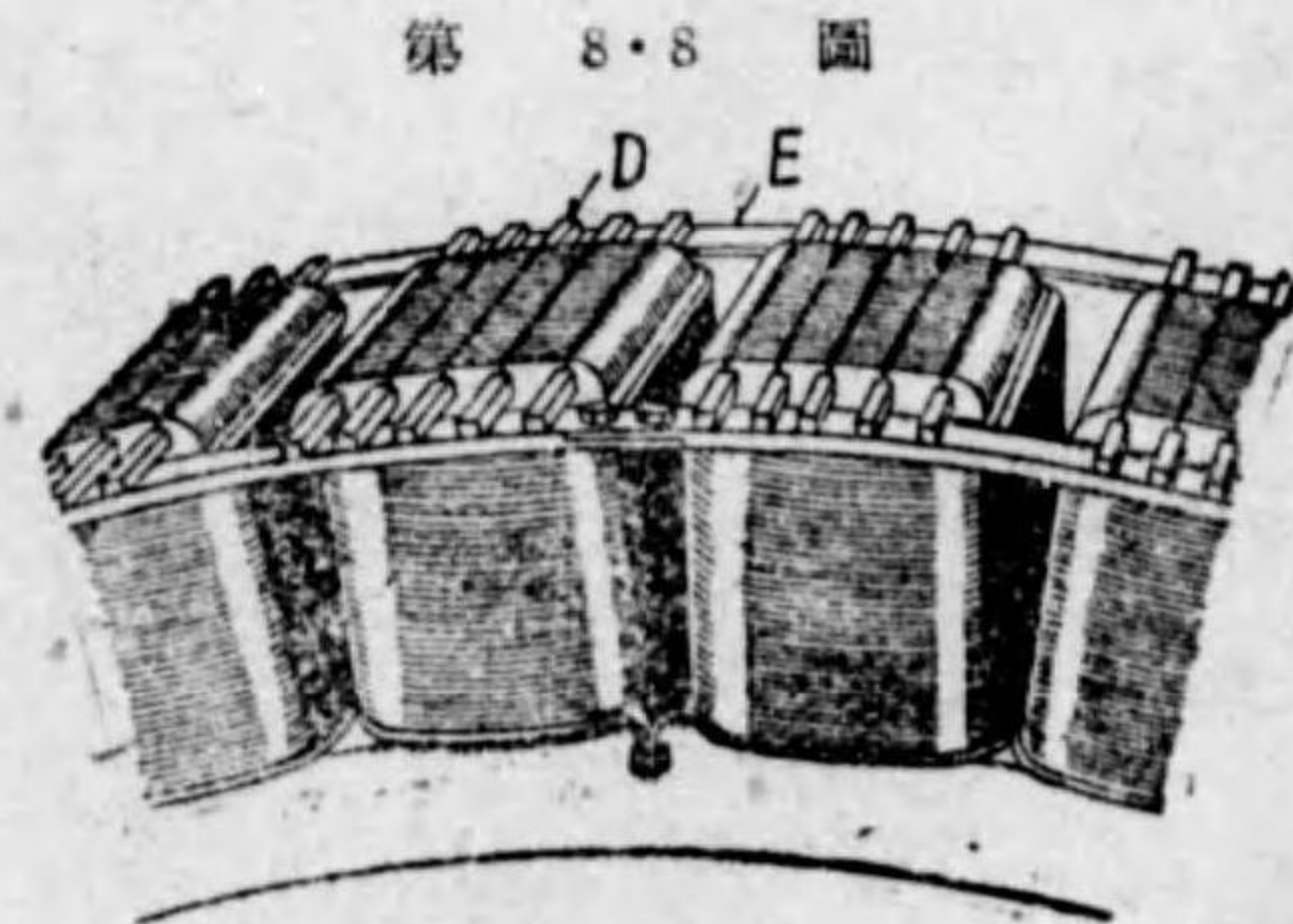
そこで急に軸に掛る負荷を減ざると、バネの伸びは小となつて R の慣性の爲に丁度よい伸びの所を通り過ぎ、縮まり過ぎてしまふ。こうなれば S が R を引く力は弱くなり過ぎるから

R の速度は一時遅くなつてバネを伸ばす。この時慣性の爲に伸び過ぎて、又も強く引かれて、又慣性の爲に伸び過ぎ、又も縮まり過ぎる。この様に R は S の回転速度に對して、速くなつたり遅くなつたりして、バネの伸びの丁度良い位置を中心に振動をしながら次第にその振幅を小にして、遂に S と同じ速度になるのである。

この例は同期電動機で云へば S は回転磁界、 R は回転子、バネは磁束に相當すると思へばよい。前例の振子と違ふ所は振子では振動がなくなると止まつてしまふのであるが、この例では振動がなくなると R (回転子) は S (回転磁界) の回転速度 (同期速度) となる事に注意して貰ひたい。

8. 亂調防止法 前節で凡て制動作用が働けば振動はうま
く止まる事を述べた。

従つて同期電動機に於ても制動作用を大とすれば亂調に陥る事を防ぎ得る。この制動作用を與へる爲には次の二つの方法が取られる。

第 8.8 圖
亂調防止用制動子

1. 制動巻線を界磁極片の表面に排列すること

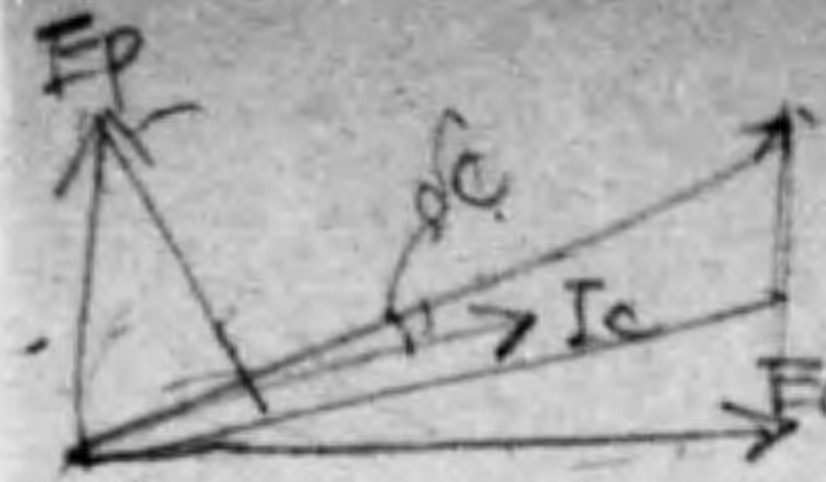
2. 回轉部の慣性能率を大きくすること

1. の制動巻線はアモルト巻線とも云はれ、第 8・8 圖の様に磁極片の頭に溝を造り、そこに D の様な導體を植め込み、その両端を E なる導體でお互の間を短絡したものである。このものは回轉子が同期速度であれば回轉磁界の磁束を切らないから、導體 D には何等起電力を誘起しない。然し回轉子に振動が起きると、その際、導體 D は回轉磁界の磁束を切るから、右手法則に従つて D に起電力が誘起し、これに電流が通る。この電流は回轉磁界の磁束と作用して、左手法則に従ひ回轉子に機械的の力を働かすので回轉子に制動作用を働かす事になり亂調を防止し得るのである。

2. の方法は軸にハズミ車を付けるのと同様の結果になる。即ち速度の變化が頻繁に起らうとしても回轉部の慣性が大きいので、頻繁の速度變化を防止してしまふのである。

○ 復習問題 VIII

1. 同期電動機を使用すれば、その回路の力率を自由に換へ得られるといふ。何を調整してそれを行ふか。
2. 同期電動機を採用する原因の一つは、その特性に非常に勝れた點があるといふ。それは何か。
3. 第 8・1 圖は遅電流が流入して居る場合のベクトル圖である。之から $V_t I \cos \theta_t = E_c I \cos \theta_o + I^2 r$ を求めた。諸君は進電流の場合のベ



クトル圖を畫いて上式を求めて見よ。

4. 發生機械動力とは有効出力と鐵損及び機械損の和である。同期電動機の機械損は他の可變速度電動機のそれと違つた點のある事を考へよ。
5. 同期電動機のトルクの式 $T = 0.975 \frac{V_t E_c}{n_p z} \sin \delta$ (kg-m) の内 E_c はどうすれば求められるか。
6. 同期電動機が一定負荷で運轉中、電機子電流の位相が遅れて居て力率が低いと云ふが力率を大とするには如何にせばよいか。
7. 同期電動機が一定負荷にて運轉中、勵磁電流を増加したるに電機子電流の値は大となつたと云ふ、電機子電流の位相は電壓より進んで居るか遅れて居るか。
8. 同期電動機の重要な特性を示すものゝ内 V 曲線と云ふものがある、如何なるものかを説明せよ。
9. 運轉中の同期電動機があつて、その回路には單に電流計のみ挿入せられて居る。今一定負荷に對して力率を 100% とする爲には勵磁電流を如何に調整すればよいか。
10. 同期電動機は一定端子電壓、一定の負荷で運轉中勵磁電流を次第に減少して行くと、最後に一定負荷に對して發生するトルクが不足して安定に運轉が出来なくなる。この事をトルクの式から考察せよ。
11. 前問から判る様に一定負荷で運轉中、勵磁電流を小にして置くと若し負荷が何かの爲に増加すると、直きに安定に運轉出来ない事になる。従つて同期電動機の運轉中は成るべく勵磁電流を大として置いた方がよい、この事についてもトルクの式から考察せよ。
12. 前問に於て勵磁電流を大として置けば安定に運轉の出来る理由が解

つた筈である。そこで一定負荷に對して勵磁電流が大である場合と小である場合とでは、電機子電流の位相に違ひがある筈である。安定に運轉の出来るのは電流の位相は遅れて居る場合か進んで居る場合か。

13. 同期電動機の亂調とはどんな事か、諸君の身邊に起る諸現象の内にこれに似た事はないか。一例を擧げて見よ。
14. 同期電動機の亂調防止法二つを擧げてこれを説明せよ。

第九章 同期電動機の起動法

1. 他起動と自起動 同期電動機の起動法は實際上特に重要な問題である。それは同期電動機が自ら起動トルクを發生し得ないからである。

同期電動機の起動法には外部から他の電動機で起動の時だけ廻してやる他起動法と、他は同期電動機そのものに施された制動巻線を利用して起動する自起動法とがある。

以上二種の起動法中、今日廣く行はれるのは自起動法であつて、他起動法は後に述べる同期調相機の場合に限られて居るからその時に述べる事にする。

2. 制動巻線に依る起動法 前節に述べた制動巻線を起動装置として利用する起動法に就て述べよう。今磁極片の頭に第 8・8 圖に示した様な導體を嵌め込んで置いて、電機子に三相交流を供給すると、回轉磁界が生じこれが移動をする時、この磁界に依る磁束が制動巻線を切つて起電力を誘起し、電流が流れ、その電流と磁界との作用は、制動巻線を回轉磁界の移動する方向に動かさうとするトルクであるから、回轉子はそのトルクに依つて次第に速度が高まり同期速度近く迄上昇するので

ある。この現象は誘導電動機の原理であつて精しくはその項を見て貰ひたい。兎に角制動巻線を持つて居る同期電動機は、これを起動装置として利用の出来るものであつて、同じ制動巻線が起動に際しては起動巻線となり、運轉に際しては制動巻線となる。所謂一舉兩得である。

3. 起動の順序 次に制動巻線を有する三相同期電動機について起動の順序を述べる。小容量のものでは、同期電動機を無負荷或は無負荷近くにして置いて全電圧を端子に加へれば、直ちに同轉子は起動し、この時起動電流は相當に大きく流入するが速度が高まるに従つて、次第に小となり殆ど一定の値に落付く。その時勵磁電流を供給すると同期速度となるから、次に負荷を掛ければよい。然し容量の大きなもの或は特殊の装置の施してないものに、直ちに全電圧を端子に加へると起動電流は莫大となり、他の電動機其の他に影響を及ぼすから、次に述べる様に、始めは低い電圧を加へて起動をするのである。

1. 同期電動機が無負荷若しくは極めて軽負荷の状態に在ることを確める。例へば同期電動機で他の發電機を運轉する場合には發電機の主幹開閉器を開いて置くが良い。何となれば起動トルクには制限があるからである。

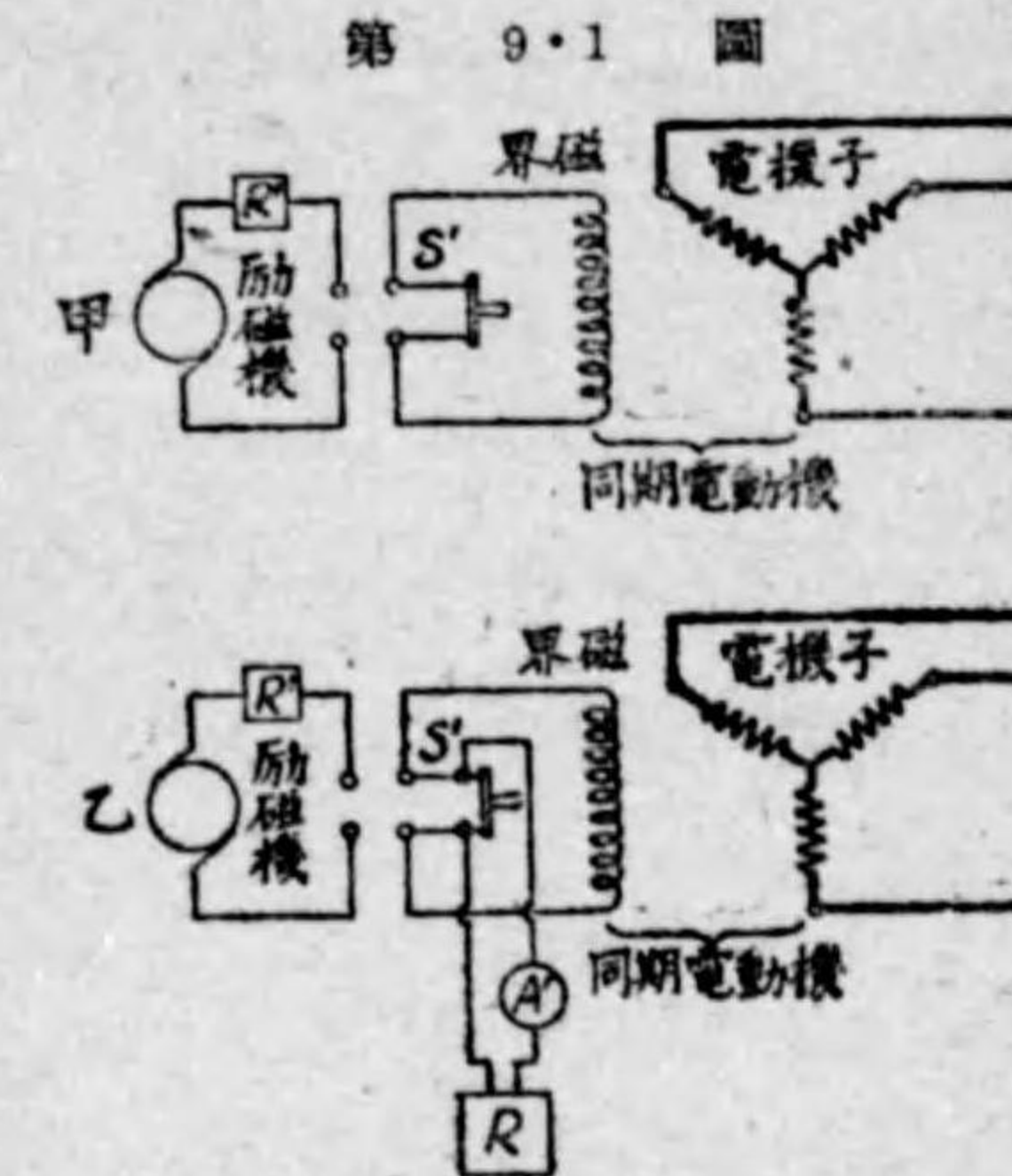
2. 勵磁電路を検する。勵磁電路は從來第 9・1 圖甲の様に

起動時には開放して置くのを常としたが、近時は同圖乙の様に抵抗器 R を通じて閉電路にする方法が行はれるやうになつた。其の理由は界磁線輪の巻数は極めて多いから、勵磁電路を開放して置くと、起動時には變壓器作用で界磁線輪の兩端に高電圧が誘起され、引いて絶縁を破る恐れがあるからである。之を R で短絡しても、

やはり高い起電力は誘起されるが、それに相當する電流が流れるから、其の大部分は其のインピーダンスに依る電壓降下となり、兩端子に表れる電壓及び對地電壓は低くなる。以上開路、閉路何れの方法でも差支ない。

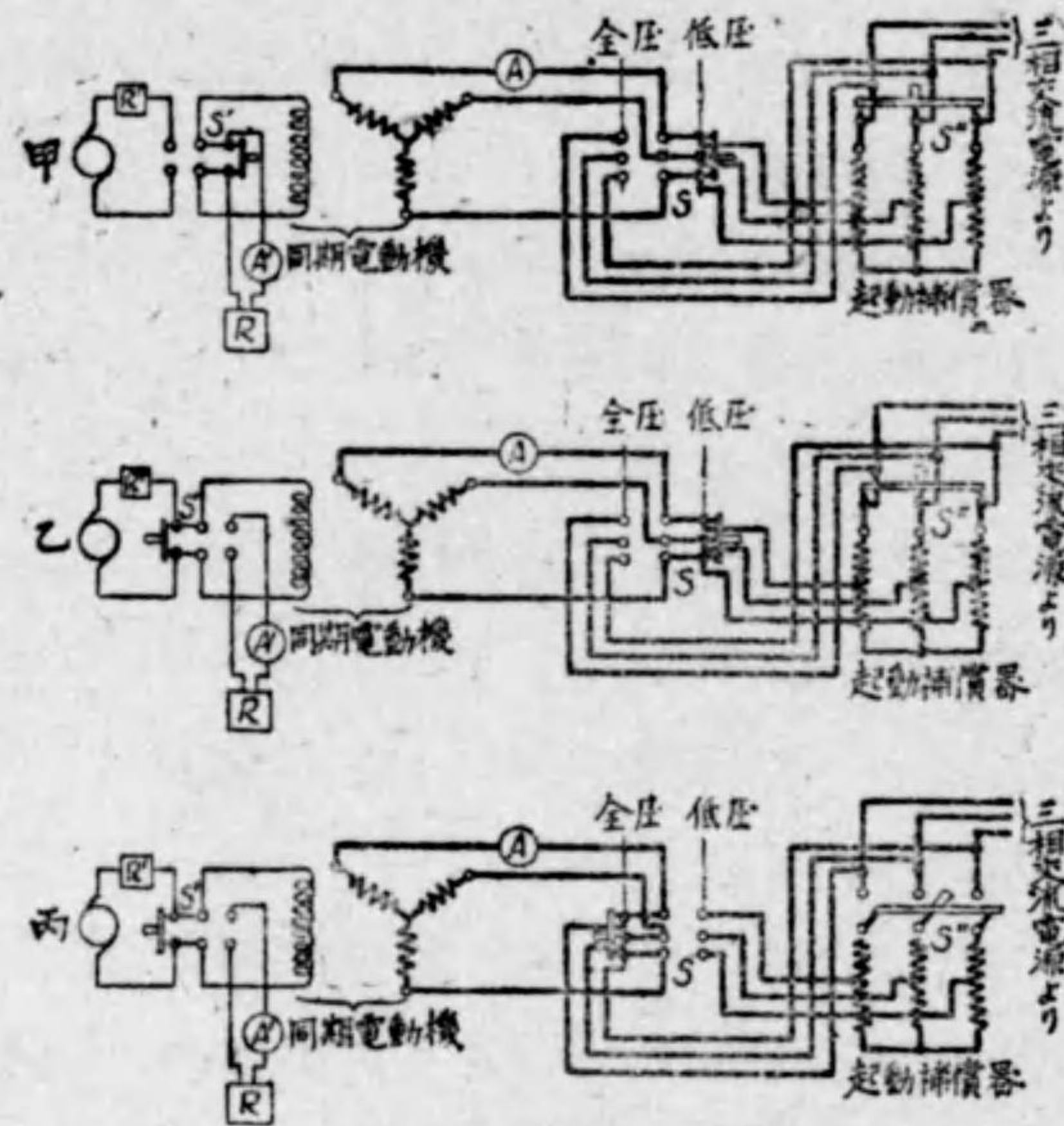
3. 起動補償器により低電壓を端子に供給する。嘗つて誘導電動機の講義中に説いた起動補償器で、常用電壓の $1/2$, $1/3$ 等の低電壓を作り、第 9・2 圖甲の様に開閉器 S を右に倒して之を電動機の端子に加へると、電動機は徐々に加速される。さうして十秒乃至一分位で殆ど同期速度に達するのが常である。

4. 勵磁電路に直流電壓を加へる。2 の手段で勵磁電路を開



同期電動機起動時の界磁電路

第 9・2 圖



同期電動機起動の順序

放して置いた場合には、固定子電流の讀の著しい減少に依つて同期速度に近づいたのを知る事が出来る。そこで初めて開閉器 S' を左に倒して界磁線輪に直流電壓を加へる。又 2 の手段で勵磁電路を閉電路にした場合には、電機子電流の生ずる磁束のため勵磁電路に起電力が誘起され、之に交流が通る。此の交流は起動の初めに其の値及び周波数が大きく、回轉子が同期に近づくと従ひ其の値及び周波数が共に減少する。故に第 9・1 圖乙及び第 9・2 甲圖の様に抵抗器 R と直列に電流計 A' を装置

すると、 A' の讀が極めて小さくなつた時、殆ど同期に達した事が解る。そこで第 9・2 圖乙の様に開閉器 S' を左に倒して界磁線輪に直流電壓を加へる。以上兩方法とも界磁に直流を送つた瞬時から、本然の同期電動機としてトルクを生じ、同期速度に引込まれるのである。

5. **交流常用電壓を加へる。**最後に第 9・2 圖丙の様に開閉器 S を左方に投じて交流全電壓を端子に加へる。同時に補償器用開閉器 S'' を開く。茲に於て初めて完全な使用状態の同期電動機となり、全トルクを生ずる。

6. **負荷を加へる。**先きに 1 に擧げた例では、此の同期電動機で廻される發電機の開閉器を閉ち、其の負荷を増加する。

7. **界磁抵抗器を調整する。**前述の順序を経て電動機が全く同期速度で負荷を取る様になれば、勵磁電路の抵抗器 R' 又は勵磁機の界磁抵抗器を加減して力率最大、電流最小である様な點を見出す(若し同じ回路に多数の小誘導電動機があるなら、寧ろ幾分進電流を取らせる方が良い。此の方が同期電動機も安定である。

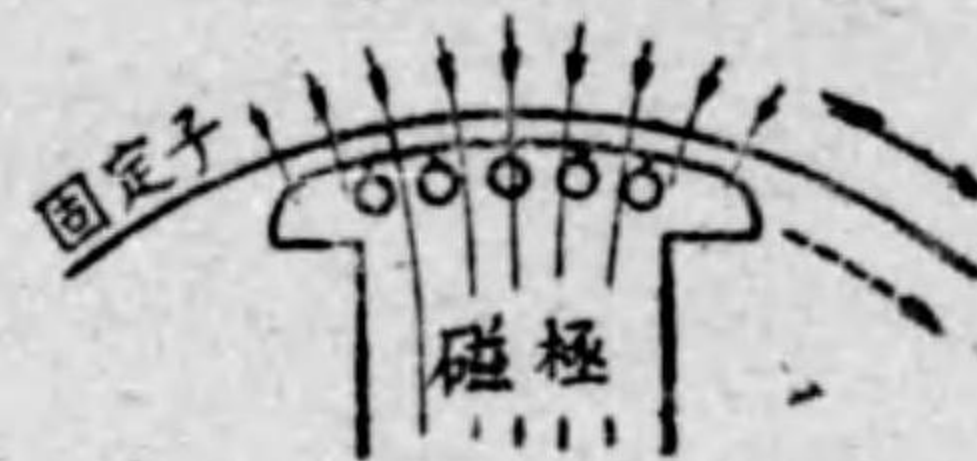
第 9・1 圖以下の接續圖は單に説明に必要なものばかりを掲げたので、此の外力率計、計器用變壓器、變流器等の附屬品が要るのである。

復習問題 IX

1. 同期電動機の起動法は實際上重要な問題であると云ふ。何故か。
2. 制動巻線は起動トルクを発生すると云ふ。第 9・3 圖に於て磁極が静止の際回転磁界が實線の矢印の向きに移動する時、回転子は點線の矢印の向きにトルクを受けて起動しようとする事を説明せよ。
3. 同期電動機が大容量の時と小容量の時とは同じ自起動でも大變に違ふ所がある。何か。
4. 大容量の同期電動機を自起動する順序の要領を簡條書にせよ。
5. 同期電動機を起動する場合、その速度が略同期速度に近づいた事を知るには何に依るか。
6. 同期電動機の起動補償器を用ひて起動すを時直流勵磁を加へてから交流常用電壓を加へる理由の説明が出来ますか。併義の解答を見る迄に種々に考へて置きなさい。

第 9・3 圖

回転磁界



第十章 同期電動機の用途

1. **同期電動機の得失** 同期電動機の特徴を考へるには、この電動機以外に最も多く利用されてゐる誘導電動機と比較するのがよい。即ち同期電動機の特徴は、次の様である。

1. 勵磁の調節に依つて力率を自由に變へられる事
2. 空隙が廣い事
3. 速度が一定である事

この三點は誘導電動機の到底企て及ばない所であつて、(1)に對しては誘導電動機でも方法が絶無ではないが、中々複雑になる。(2)は實際問題として初學者の到底想像し得ぬ程の大利點である。(3)に就ては説明の要はあるまい。

この様な利點があるので、この同期電動機に特有の缺點たる次の様な事があるにも拘らず、今日誘導電動機の應用範圍を次第に侵蝕しつつある状態である。即ち缺點は

1. 起動トルク小さく、起動に手数が掛る事
2. 勵磁の爲に直流電源を必要とする事
3. 亂調の憂のある事

であるが、最近(1)(3)の缺點も大いに改善されてその用途は着々擴大されつつある。(2)は是非もない事ではあるが、極小

型のものには磁極に永久磁石を使用したものもある。

2. 同期電動機の用途 同期電動機の用途を考へる場合は起動トルクが小である事を考慮し、起動の際には無負荷或はそれに近い負荷状態で起動出来得る場合が理想的である。然し特に大きな起動トルクを要求する場合には後節に説く様な特別な装置を施したものを用ひてもよい。主な用途は、製鐵用壓延機用電動機、セメント製造用粉碎機、製紙工場に於ける碎木機用電動機、送風機、空氣壓縮機、電動發電機、船舶の電氣推進用等であつて、この外小型のものではオシログラフの鏡の回轉、寫真電送等同期速度を必要とする場合に用ひられる。

上記の用途は同期速度を必要とするもの以外は皆誘導電動機で事足りて居たのであるが、近時同期電動機の特長を生かして、これに代つて用ひる事が増加して來たのである。

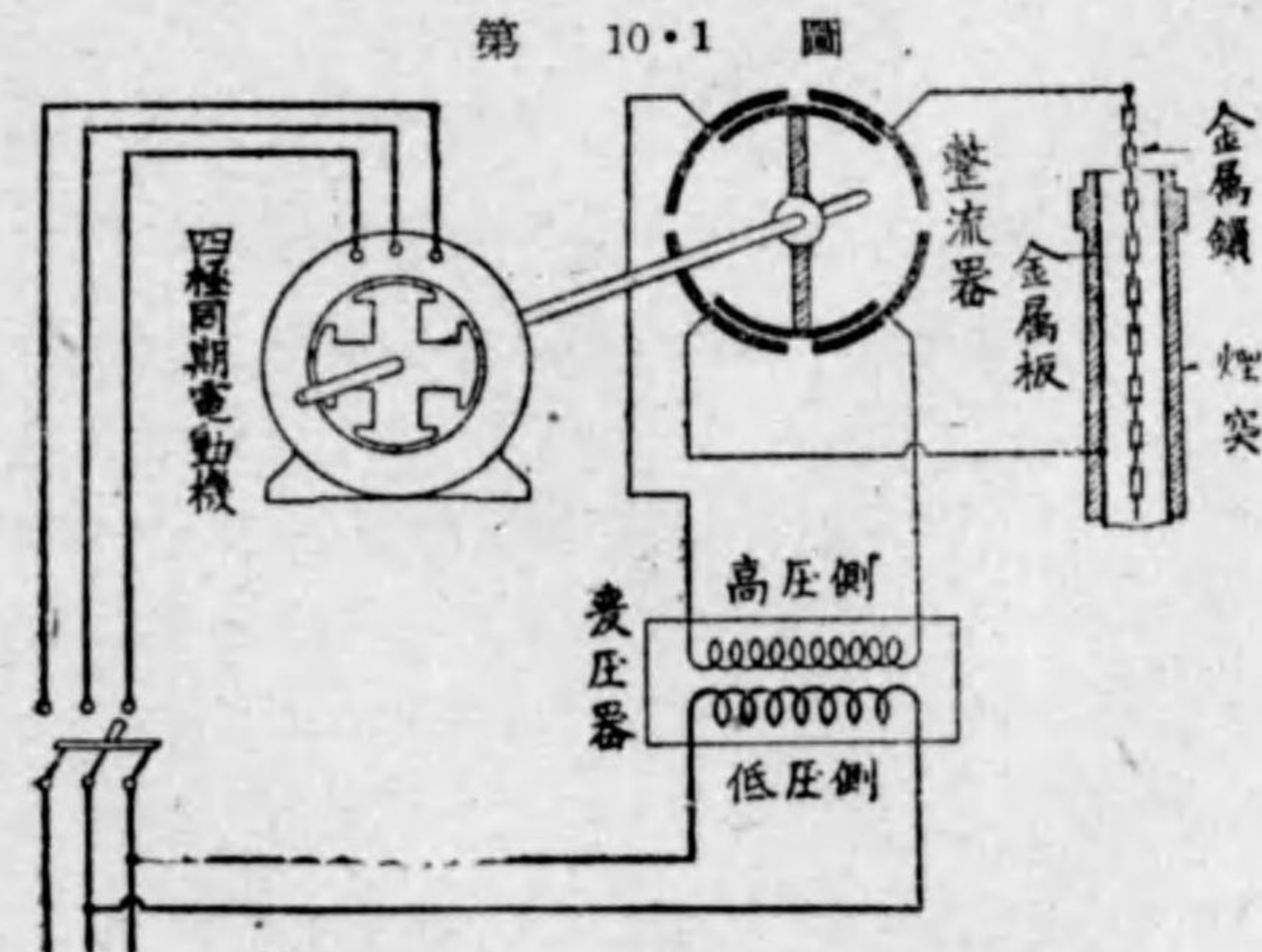
以上を些か細説すれば、直流發電機を運轉する電動機の場合等は最も良く、起動の際は直流發電機の開閉器を開いて置けば殆ど無負荷で起動出来る。

又大容量の電動機であつて起動時のみ負荷を極く軽くする事が出来る負荷の場合には、同期電動機を使用しては如何と一考の餘地あるものであつて、大容量のもの力率の大小が電力系統に與へる影響が大きいから、電力節約の意味からも必要の事

である。船舶推進用にも電氣機關車運轉用にも使用された例があるが、これは勿論力率良好の點もあるが、それに劣らず空隙廣く、且つ修繕の容易な點を喜んで使用した實例である。

次に工場等に於て何か非常の際に直ちに動力を止めないと、工場員其の他の安危に關する様な場合のある事もある。斯様な場合に同期電動機を使用すれば非常の際電氣制動を行ひ、動力を瞬時に停める事が出来る。この場合には同期電動機を供給幹線から切り離し、其の端子を適當の抵抗で短絡すれば至極簡單に行ひ得るのである。

同期速度を必要とする場合の例を示せば、近時多いに利用される電氣收塵法の電源運轉電動機である。第10・1圖の様な接



機械的整流器に依る電氣收塵法

續で同期電動機を運轉すれば、圖中金屬鎖を常に陰極、金屬板を陽極とする事が出来るので、陰陽兩極間に煙其の他の微粒子を含んだ氣體を通すと金屬板上に微粒子は捕集されるのである。この様な電氣收塵を行ふには數萬ボルトの直流高電壓を要するが、これは同期電動機に依る圖の様な機械的整流法を用ひれば適當な電源となるのである。又オシログラフの鏡を廻す電動機に同期電動機を用ひれば簡単に同期調整が出来る。この場合には永久磁石を使用する單相同期電動機が用ひられる。

復習問題 X

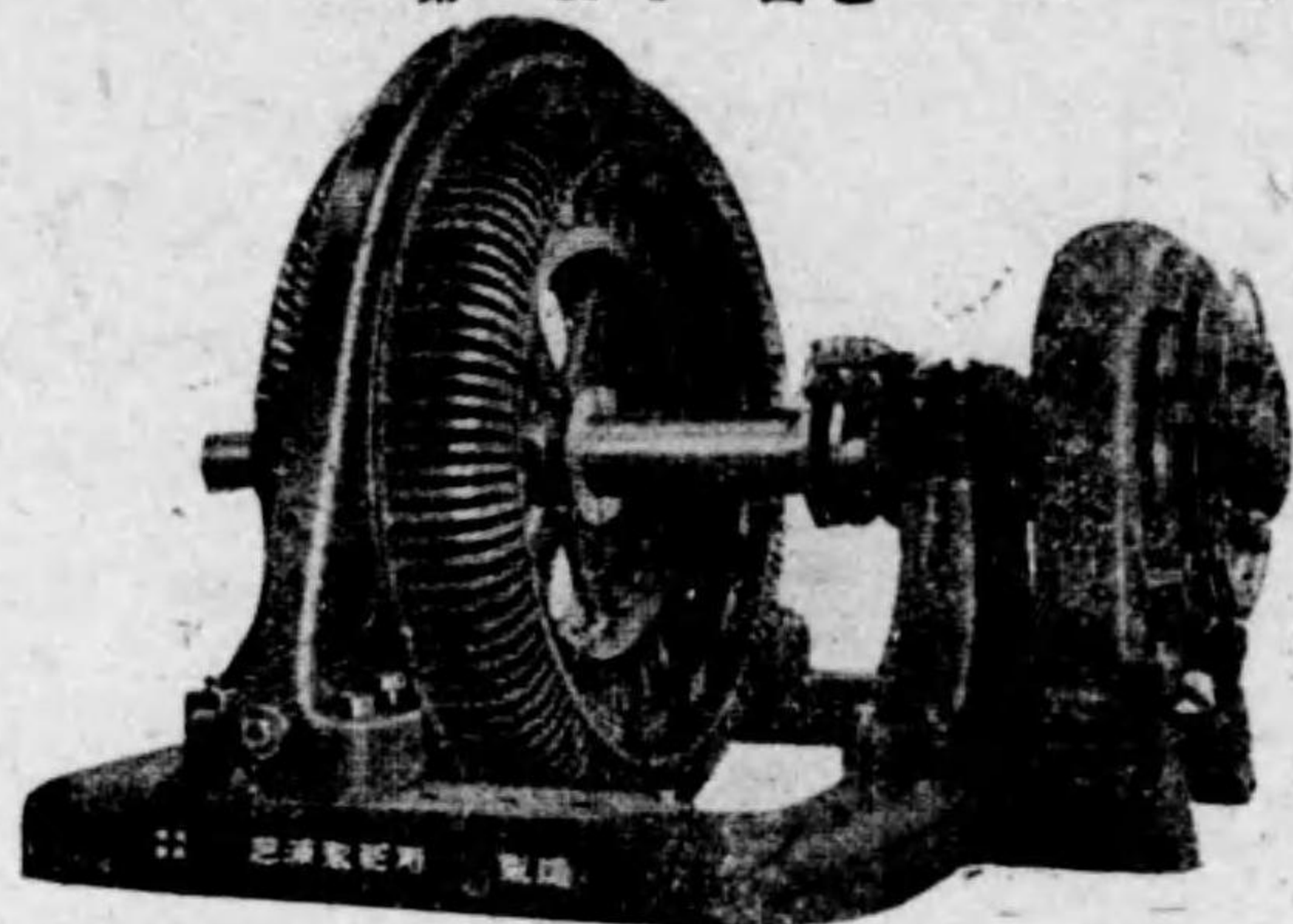
1. 同期電動機の特徴は何か。
2. 同期電動機の缺點に就き述べ、それに對する方策はどんな方法が採られてゐるかを示せ。
3. 同期電動機を電氣制動にて停止する場合、幹線から電動機を切り離し、その端子に抵抗器を接続すればよいと云ふ、その接続圖を畫いて見よ。
4. 第 10・1 圖で整流器の内側のみ同期電動機で回轉されるものである。斯様の構造のもので直流電壓を得られる理由を説明せよ。但し黒く太い線は導體で、斜線の部分は絶縁物である。

第十一章 特殊同期電動機

同期電動機で特殊なものと言へば、起動トルクが小さい事を補ふ爲の装置をしたものが主であるが、他に力率調整を目的としたもの、同期速度である事を利用したもの、單相用等である。

1. 超トルク同期電動機 100% 以上の起動トルクを要求する場合に採用される特殊のもので、軸受が二重になつて居て回轉子も電機子（固定子）も共に回轉出来る様になつてゐる。 負荷も回轉子に掛けた儘電機子に低い電壓を加へると、回轉子は負荷が掛つて居るので廻れないが、電機子は界磁極の起動用巻線の爲に先づ回轉を始め、漸次速度を増して行く。電機子の同期速度に近づいた所で勵磁を與へ、更に電機子に全電壓を加へれば、同期電動機として大なるトルクが生じて居る状態となる。そこで電機子に制動を掛けると回轉子は電機子と反對方向に徐々に廻り出し、電機子の速度が低下するにつれて回轉子の速度は漸次上昇して、最後に制動を強めて電機子を停止せしめると回轉子は同期速度となる。これで起動は終つたのであるがこの間回轉子は常に最大のトルクを維持出来るから、大きな負荷の掛つた儘起動が出来得るのである。この様なものはどうし

第 11・1 圖 乙



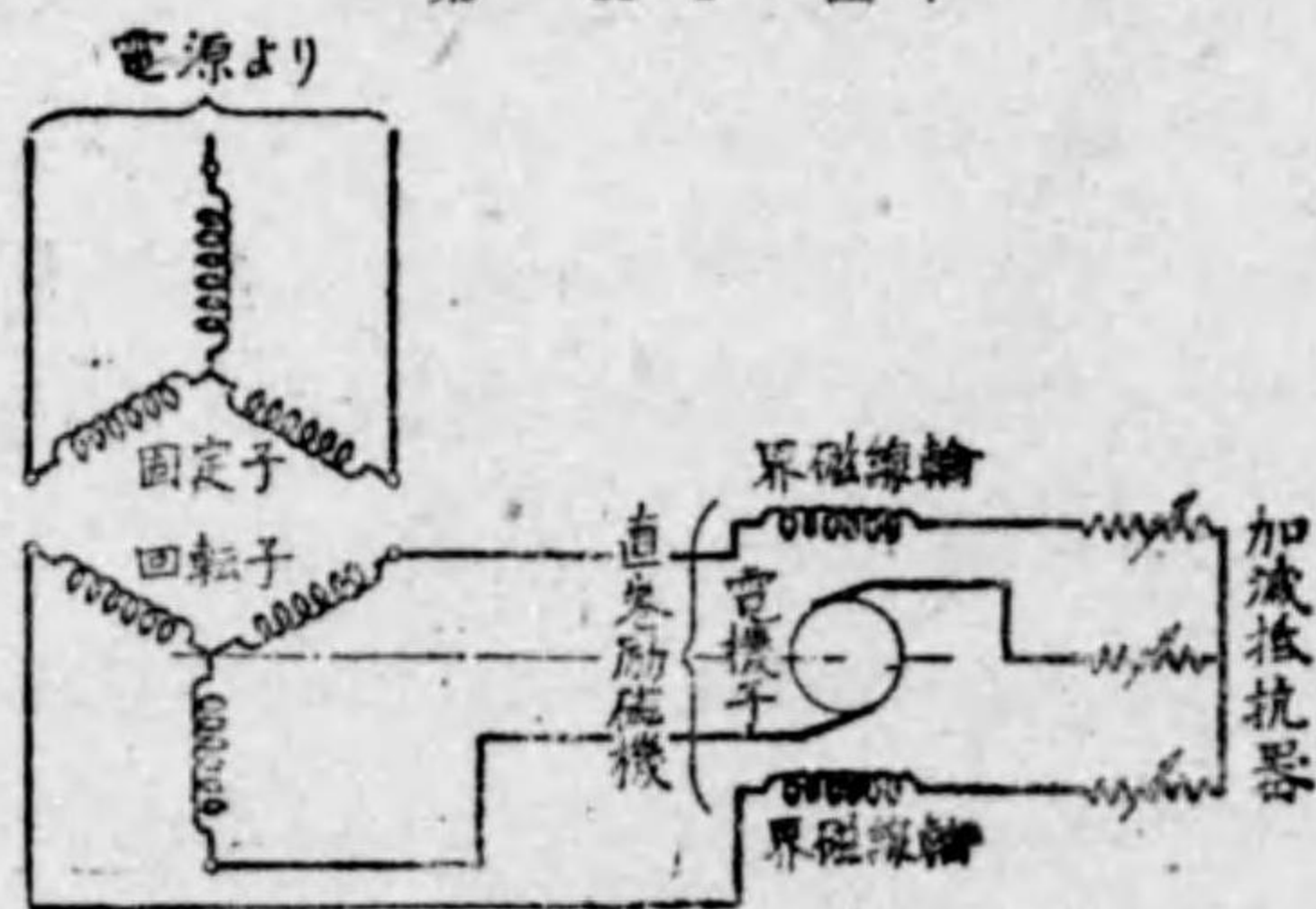
誘導同期電動機の外観

ても機械が高價となるのは止むを得ない。

2. 誘導同期電動機 前節の超トルク同期電動機でも普通の同期電動機でも起動に可なり煩はしい手数を要する。そこで

起動は簡単、
起動トルクは割合に大きく、尚ほ運轉中の特性は同期電動機と異ならないものを得たい希望が生ずるこの様

第 11・1 圖 甲



誘導同期電動機接続圖

な目的で案出されたものが誘導同期電動機である。

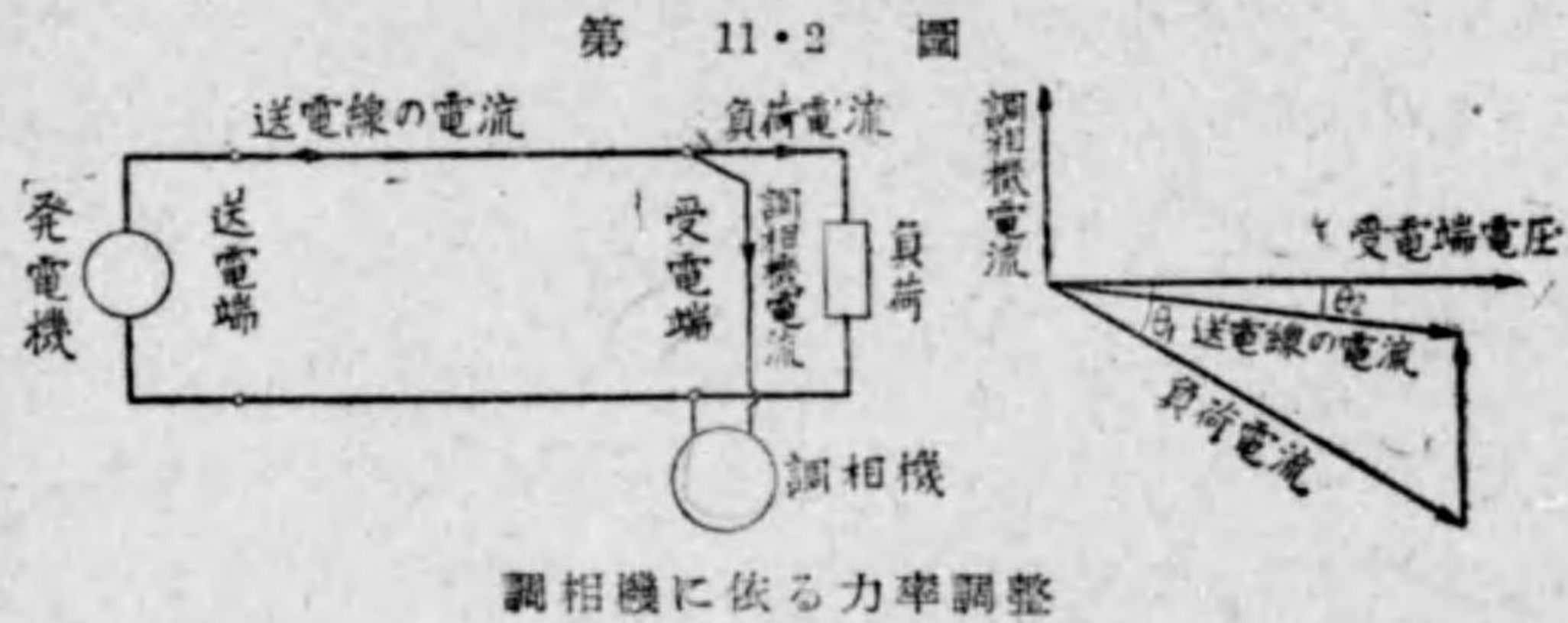
第 11・1 圖甲は誘導同期電動機の一種の型を示すもので、回転子は凸極ではなく圓筒型で、これに三相の巻線が施してある。その巻線に勵磁機が圖の様に接続されて居る（鎖線が軸のつながつて居る事を示す）三相固定子に電源から三相交流を供給すると回転磁界が生ずる。故に回転子の巻線に電流が通じて廻り始める。さうすると回転子回路に生じた電流が圖の様に直結された勵磁機の中を流れる。その電流は回転子の速度の増すに従ひ周波数が小となり（この原理は誘導電動機と同じである）丁度界磁を非常に低い周波數で勵磁した事になるので、同期電動機の特性を表して來て、遂に同期速度になつた時は完全な同期電動機になるものである。乙圖は此の型の一様である。

3. 同期調相機 同期電動機の勵磁電流を調整する事に依つて力率を變へられる事を利用するもので、電動機を無負荷で運轉し、充分の勵磁電流を通ずると任意の進電流を電動機に流す事が出来る。この様な用途に同期電動機を用ひる場合特に同期調相機 (cycronous phase modifier) と云はれる。

一般に配電線に接続された負荷は遅力率になるのが普通である。遅電流が送電線を通ずることは無益の損失を増すことになり電壓降下も大となり、發電機にも悪い結果を與へる。この様

な遅電流を無くして力率を100%近くにするには、送電線の受電端に大型の調相機を置いて、進電流を採らせる事が広く行はれて居る。

第11・2圖はその状態を示すもので負荷電流が θ_1 の様に遅れて居ても調相機の勵磁を強めて進電流を十分に採れば、送電線の電流も位相が進んで無効分が小となり、送電線の損失、電



壓降下を減少させ、発電機の容量を充分利用出来る様になるのである。又この原理に依つて送電線中の電壓降下を調整し、受電端の電壓を自動的に一定とする様な方法も採用されて居る。

同期調相機は、同期電動機の構造と殆ど同じであるが、負荷を掛けるものでないから軸も細く速度は比較的高く600乃至1000 R. P. M. 位に選ばれる。

近時大電力系統の發達に伴ひ、調相機の容量も非常に大きなものが製作される様になり、一臺3萬kVAに達するものもある。

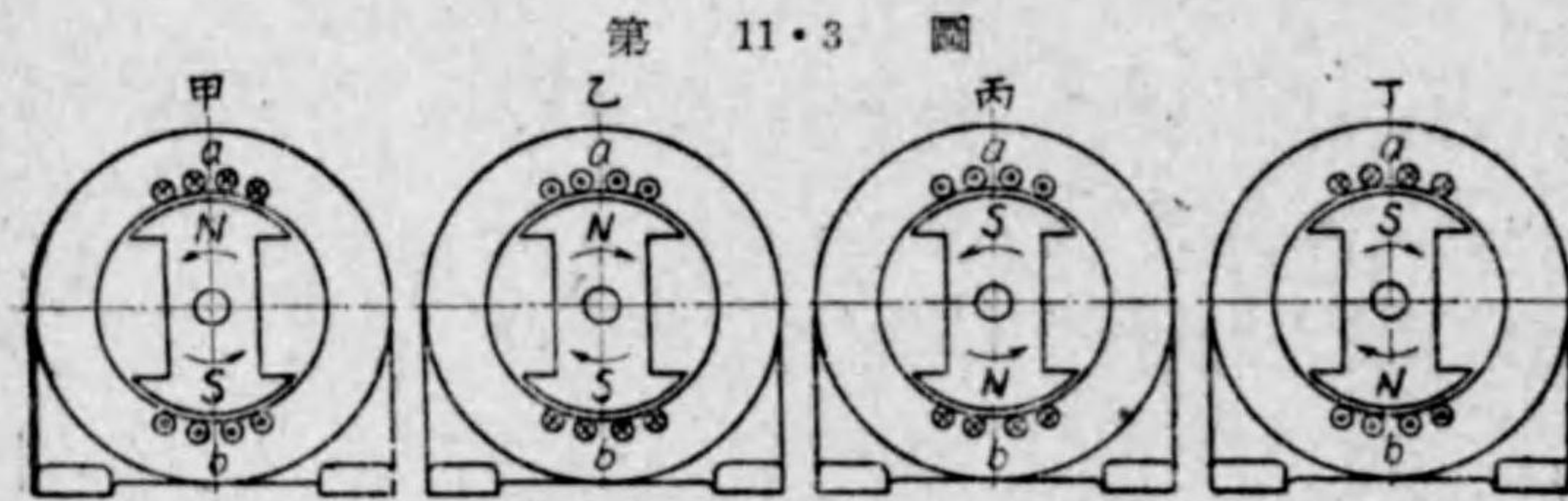
勿論同期電動機の特長そのものを生かして使用したのが調相機であるから、同期電動機が負荷を負つて運轉してゐる際に勵磁電流を大とすれば、調相機の役目をすると同時に電動機の目的も果すのであつて、同期電動機の用途の増加して來た理由も一つはそこにあるのである。

前記の様な調相機を起動する際は屢他起動法が採用されるのであつて、起動用の電動機を調相機の軸の一端に取付けて起動するのである。この際起動用電動機に誘導電動機を用ひる場合の一例を説明すれば、この電動機の磁極を調相機の磁極数より2だけ少ないものを選び、調相機が同期速度になる迄誘導電動機と同轉子の抵抗を加減するのである。調相機が殆ど同期速度となつた所で、調相機の勵磁及び同轉數を調整して幹線の電壓に對して同期檢定(これは後章に述べる)を行つて、開閉器を閉ぢて幹線に接續するのである。

4, 周波數變換機 例へば50サイクルから60サイクル或は之と反對に交流の周波數を變へる場合に同期電動機と同期發電機とを直結してこれを行ふ場合が多い。この様な場合は同期同期周波數變換機と云はれる。この場合には兩機の磁極の數を兩電源の周波數の比になる様に選ばなければならない。例へば50サイクルの交流電壓を60サイクルとする場合には電

動機を 10 極とし発電機を 12 極とするのである。この際電力を送る方向に依り電動機ともなり発電機ともなるのであつて、一方の固定子を他から幾分同心的に動かし得る様な装置が附加されて居る。それは負荷が変化すると同期電動機の運轉角が幾分變らなければならないが、発電機と同轉子と直結されて居るので電動機側が單獨には變化出來ないため、固定子を移動するためである。

5. 單相同期電動機 第 11・3 圖の様に電機子に單相巻線を施し、これに單相交流を供給すれば、電機子電流は甲或は乙



單相同期電動機のトルク發生の説明圖

圖の様に a 及び b 導體の電流は交番するから、その下にある磁極 NS は左右交互にトルクを受けて結局廻り出し得ない。この場合も三相同期電動機と同様に起動トルクを發生しないのである。然るに今磁極を外部から同期速度で廻してやれば、甲圖の様な瞬時に磁極が反時計式方向にトルクを受け次に丙圖の様

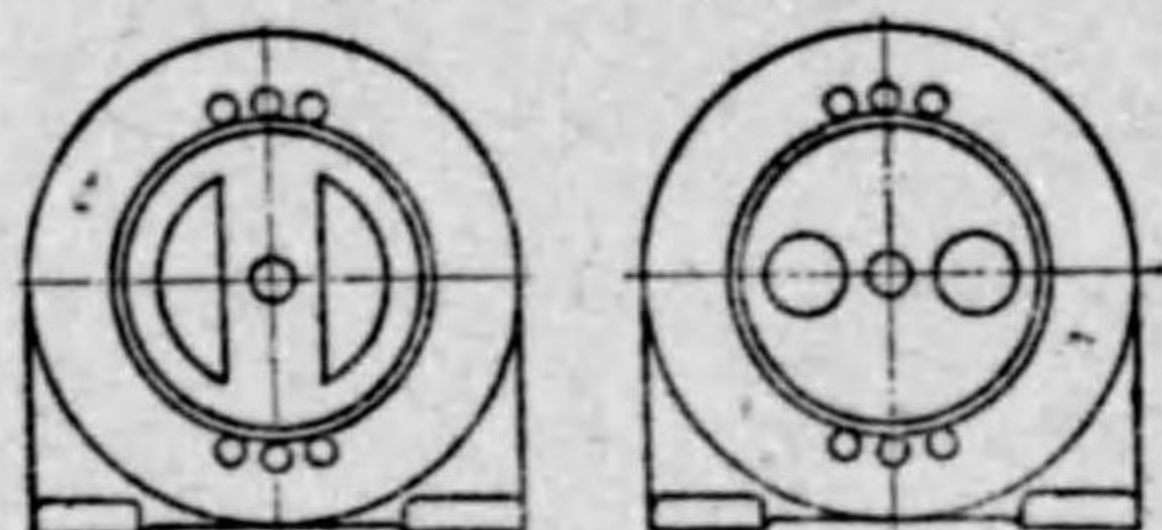
に電流が $\otimes \odot$ 入れ變つた時 (180 電氣度變化した事である) 磁極も亦 180 度移動 (同期速度で廻してやつたのであるから) して居る事になるから、磁極の受けるトルクの向きは矢張り反時計式方向である。又更に電流が 180 電氣度變化して甲圖の様なになれば磁極も亦甲圖の様な位置迄移動して居る筈で、常に反時計式方向にトルクを受けて回轉を続けやうとするに違ひない。これ即ち、單相同期電動機が外部から同期速度で廻してやれば一定方向にトルクを發生する理由である。

更に單相同期電動機の特異な性質は外部から廻してやる方向に依つて何れの方にも回轉する事である。これを説明すれば第 11・3 圖乙の瞬時には時計式にトルクを受けて居るが、この時外部から同期速度で廻してやる方向が同じく時計式であつたとすれば、丁圖の様に電流が 180 電氣度變化した時は、磁極も亦 180 度移動して居る筈であるから、矢張り受けるトルクは時計式である。即ちその方向に回轉するのである。

上述の様に同期速度で磁極を廻してやりさへすれば何れの向きにもトルクを發生するのであるが、電機子電流が零の瞬時には何等トルクを發生しないから、その時只回轉子の慣性で回轉を続けるにすぎない。従つて單相同期電動機は一回轉中に發生するトルクは脈動的である事に注意を要する。

以上の事から解る様に單相同期電動機も起動トルクを有せず

従つて之を實用に供するには、何等かの起動装置を必要とする。実際の場合には外部から手で廻してやる方法又は電機子に隈取線輪を



第 11・4 圖

反動電動機の構造

施し移動磁界を造つてやる方法等に依つて起動してやるのである。この種の電動機は大きなものには殆ど實用されて居ない。

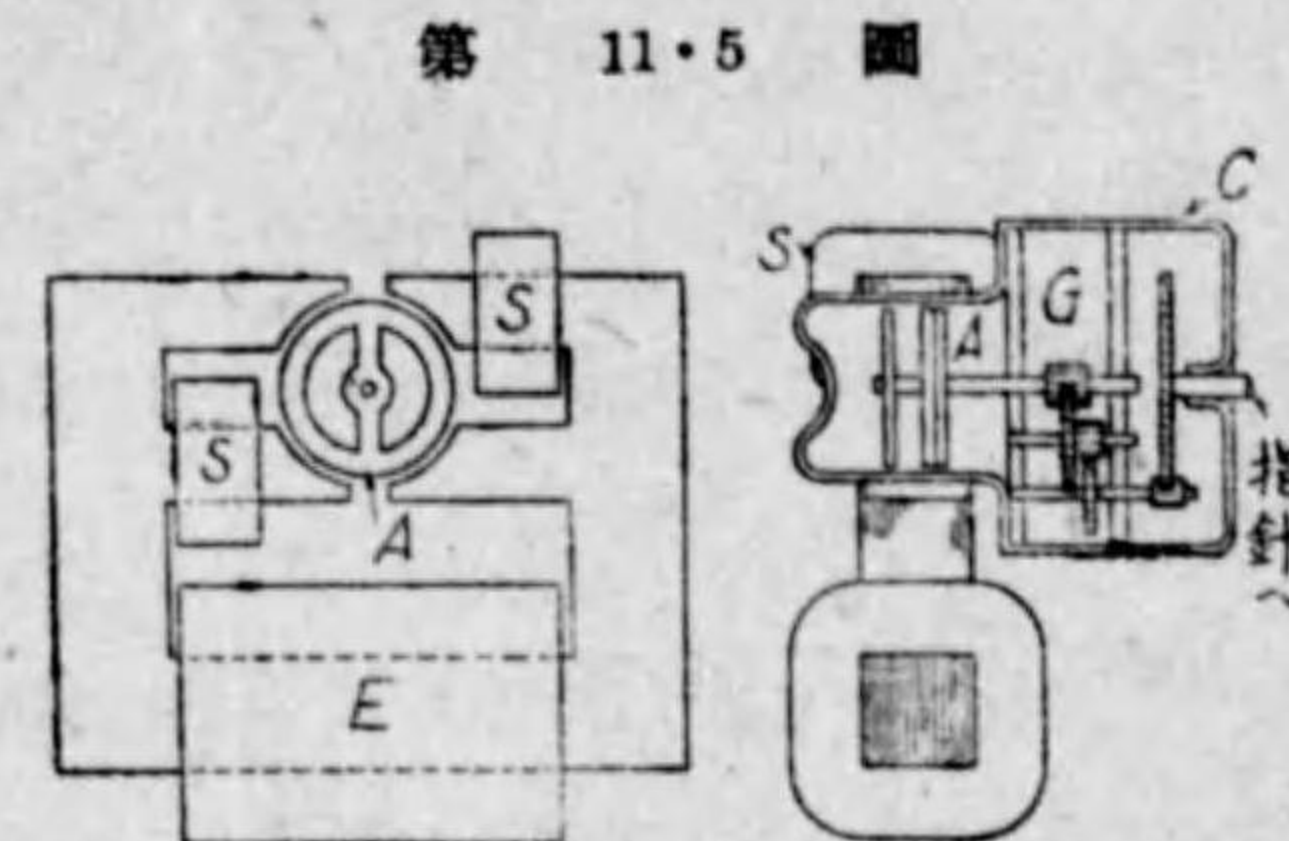
單相同期電動機の一つであるが、磁極の代りに同轉子が第 11・4 圖の様に NS の極がなく、只その磁氣抵抗が方向に依つて變つて居る様なものがある（圖では縦軸の方向に磁氣抵抗低く、横軸の方向に大である）。之は**反動電動機**（reaction motor）と稱せられるもので、その原理は、同轉子は交番磁界に依る磁束の磁氣抵抗を最小にする様な位置に来る爲に、同期速度で回轉するのである。これも亦起動装置を必要とする事一般の同期電動機と異ならないが、これは構造簡單であるから電氣時計などの極小型のものに用ひられる。

第 11・5 圖はこの電動機に起動装置を施して電氣時計に應用した一例を示すもので E は固定子線輪、A は同轉子、S は隈取線輪でこれが起動装置、G は齒車の組合で電動機の高轉數を減ずるもの、A 及び G は摩擦及び噪音を減ずる爲に C の外面の中の油に浸してある。圖の様な構造で 50 サイクル交流に

使用する時は齒車 G で

3000 r. p. m. から 1 r. p. m. に減速する。若し供給電源の周波數が異れば齒車の組合せの變つたものを使用しなければなら

ない。又電源の周波數に變化があれば正確な時を示さない事勿論である。電氣時計用の電動機には、この他種々ある。

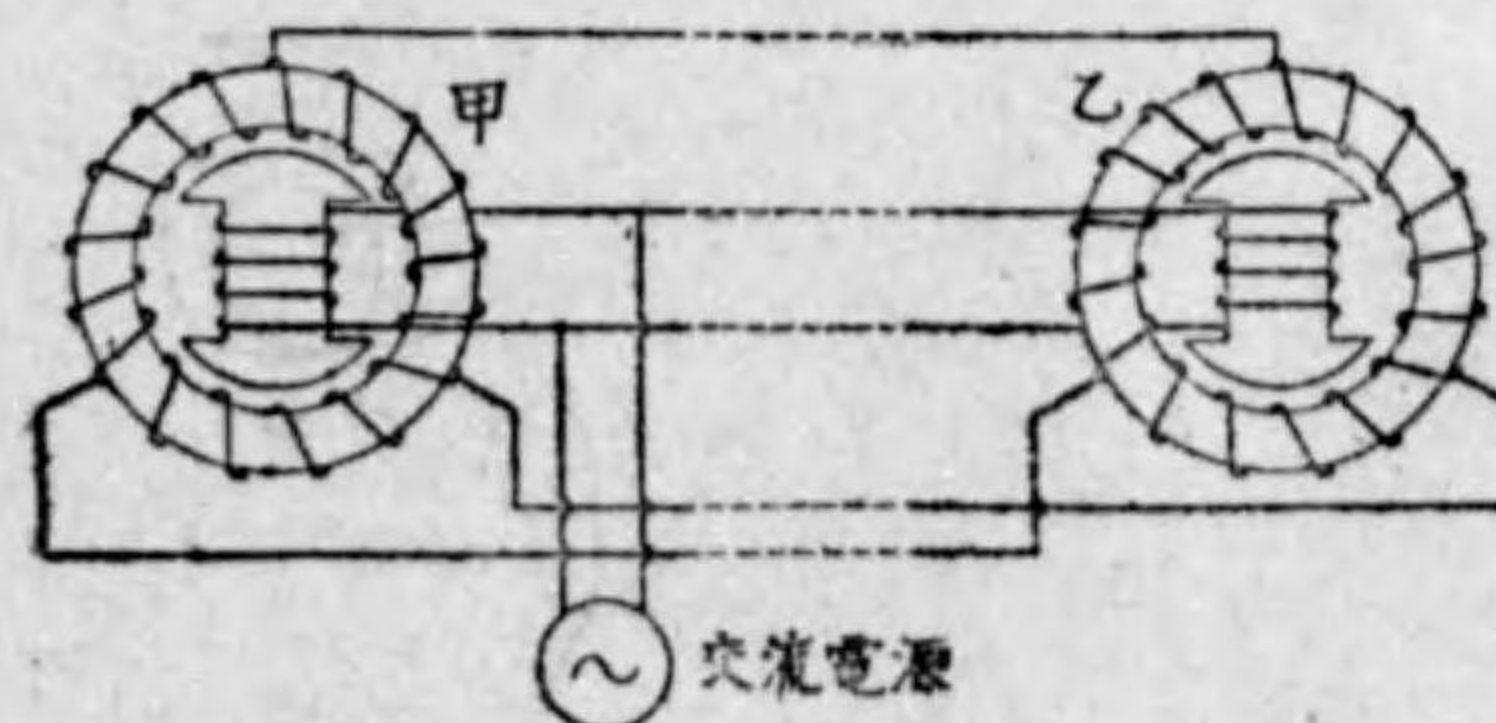


第 11・5 圖

6. セルシン電動機

セルシン電動機は第 11・6 圖の様に固定子に三相巻線を施し、同轉子は成層した二極の凸極界磁とする。この固定子の巻線を圖の様にお互に接続して、同轉子の

第 11・6 圖



巻線には同一電源から單相交流を供給する。この様にした二個の機械の、同轉子は何れかの一方

を動かさなければ、共に靜止して居る（圖でに共に直立して居る）。若し一方の同轉子を少しでも廻せば、他の同轉子も同じ角度だけ移動する。従つて圖の甲乙二個の機械の位置を離して置

いても、只兩機の間を三本の電線でつなぎ且つ共通の単相交流を界磁に供給出来る様にして置けば、一方から他方に機械的角度の移動を傳達させ得るので、遠隔信號、遠隔制御等に應用せられる。

この原理は、セルシン電動機と同轉子が静止して居る時は、兩機の界磁の固定子巻線に對する位置が同じである爲に、同固定子巻線には電流が流れないが、若し一方の同轉子を動かせば、兩機間を通じて同固定子巻線に電流が通じ、これと界磁束と作用してトルクを生じ、兩機の同轉子の固定子巻線に對する位置が等しくなる迄同轉するのである。尙ほセルシン電動機は同轉電機子型としても動作上何等變りはない。

復習問題 XI

1. 超トルク同期電動機とはどんなものか。
2. 誘導同期電動機の特徴につき述べよ。
3. 同期調相機を使用するとどんな利點があるか。
4. 同期調相機と同期電動機との構造上の相違はなにか。
5. 同期同期周波數變換機とは何か。
6. 同期同期周波數變換機で 50 サイクル交流電源を 60 サイクルに變換せんとす、若し 50 サイクル用電動機が 20 極ならば、發電機は何極になるか、計算せよ。

第十二章 交流機並行運轉の理論 (共一)

(主として有效横流に關する事)

1. 並行運轉の必要條件 先きに第五章で交流同期發電機並行運轉 (parallel running) の大體の順序方法だけを述べた。それは同期發電機並行運轉の理論は、同期電動機の説明を終つた後の方が能く分るからである。

同期發電機の並行運轉に必要な條件は、直流發電機並行運轉の場合よりも複雑である。即ち直流機では、單に兩機の端子電壓が等しい事だけで良いが、同期機では其の電壓瞬時値が絶えず變化するから、各瞬時に雙方の端子電壓が等しくなければならぬ。換言すれば、

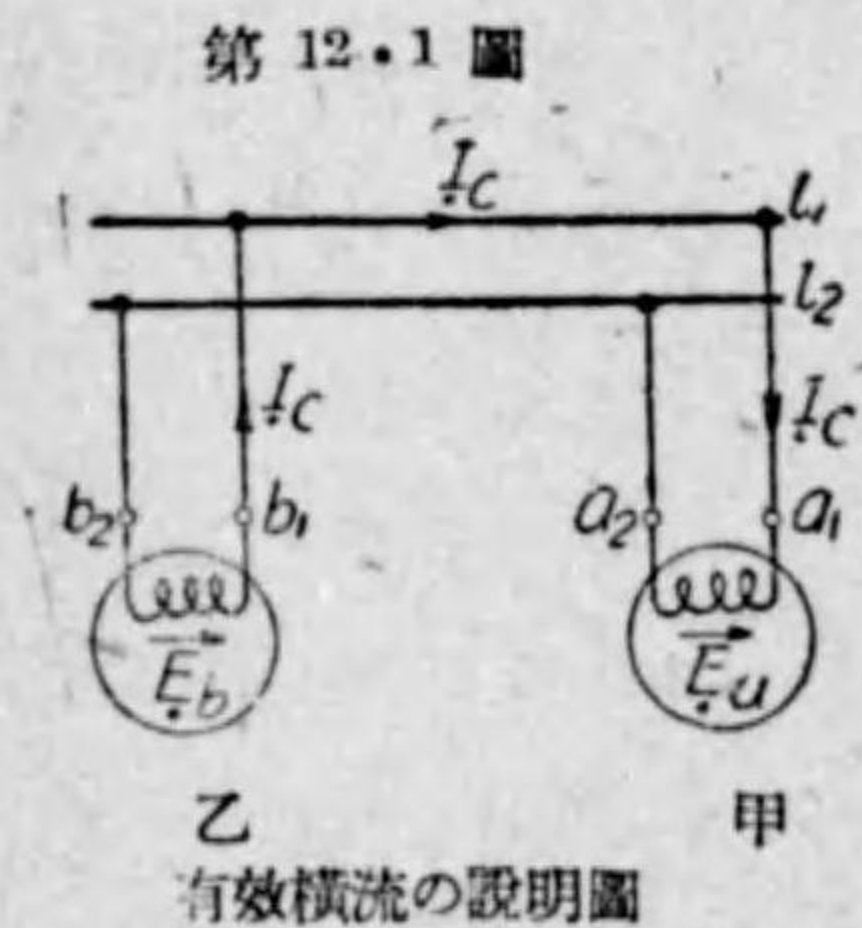
1. 雙方の起電力の周波數及び位相が一致すること。
2. 雙方の起電力の値の等しいこと。
3. 雙方の起電力の波形が全然同一であること。

を必要とする。之等三條件が悉く具備されなければ、如何なる瞬時でも兩機の端子電壓が相等しいと云ひ得ないからである。然らば之等の條件の一つ若しくは二つ以上を充足せぬ様な同期發電機の並行運轉を行はうとすれば、どうなるであらうか。それは兩方の發電機から成る電路に横流 (cross current) を生じて、

其の結果、多くは前記の三条件を具備する様になるのである。然し假令横流が流れても不幸にして三条件が充足されない場合には、各機は其の歩調を亂して遂に並行運轉を全然失敗に終らせるのである。以下順を逐うて説明しよう。

2. 電力の授受

同期發電機の並行運轉中、前節の第一条件、即ち起電力の周波數及び位相の合一と云ふ条件が充足されない様になつたら、如何なる結果を引起すであらうか。之を研究するには同期電動機の根本の理論を想起す必要がある。今



第 12.1 圖の様に、相等しい構造の甲乙兩機が、相等しい誘起起電力を有し、相等しい負荷電流を通じて、相等しい端子電壓の下に前節の三条件を具備した完全な並行運轉をして居る際に、假りに甲の回轉數が減少しようとするれば、(回轉數の減少しようとする事とは起電力の位相が遅れようとする事である。) 負荷に無關係に、甲乙兩機のみから成る局部電路に横流が流れ、甲は同期電動機として乙の同期發電機から電力を受取る様になる事は第 3 節に説明する通りである。即ち兩機の間には**エネルギーの授受**が行はれる(註を見よ)。故に此の際の横流を**有效横流** (energy cross current)

と云ふ。

既に有效横流に依りエネルギーの授受がある以上は、之を授ける乙(回轉數の速くなりかけた方)は發電機として幾分制動を受け、從て減速され、之を受ける甲(回轉數の低くなりかけた方)は電動機として幾分加速されるに違ひない。其の結果として甲乙兩機は常に其の回轉數即ち周波數を同じにし、同時に起電力の位相も合一して、所謂**同期運轉**を續けることが出来る。又之と反對に、乙が遅れ甲が進まうとすれば、エネルギーは甲から乙に授けられる。從つて甲が減速され乙が加速される。斯様にして兩機の起電力は相差を生じようとするれば、常に發電機同志で同一歩調を取る様に努力するのである。尤も此の際、適當な加速、減速に依り一度に起電力の位相を合一させることは困難である。多少とも、第八章 6 節に述べた振動の現象を生ずるのが常である。尙ほ詳しくは後節に説く。

以上甲乙兩機の出力が相等しいことを前提として考へて來たが、原動機の出力に不同があれば、甲乙各機の起電力の位相が少し違つた儘、同期速度で運轉を續け、從つて甲乙兩機の電氣的の負荷にも大小の別を生ずるのである。但し此の場合と雖、端子電壓は甲乙同じ大き、同じ周波數で、同じ位相を取ること勿論である。

註 此のエネルギーの授受は實際には負荷の分擔の變化となつて現れる事が多い。

文字通り乙から甲へエネルギーの傳へられるのは無負荷又は極めて軽負荷の運轉の時に限るのである。然し可なり大きな負荷がある場合にも、適當な負荷の分配の上に本節に述べたエネルギーの授受が重なると考へる方が便利である。

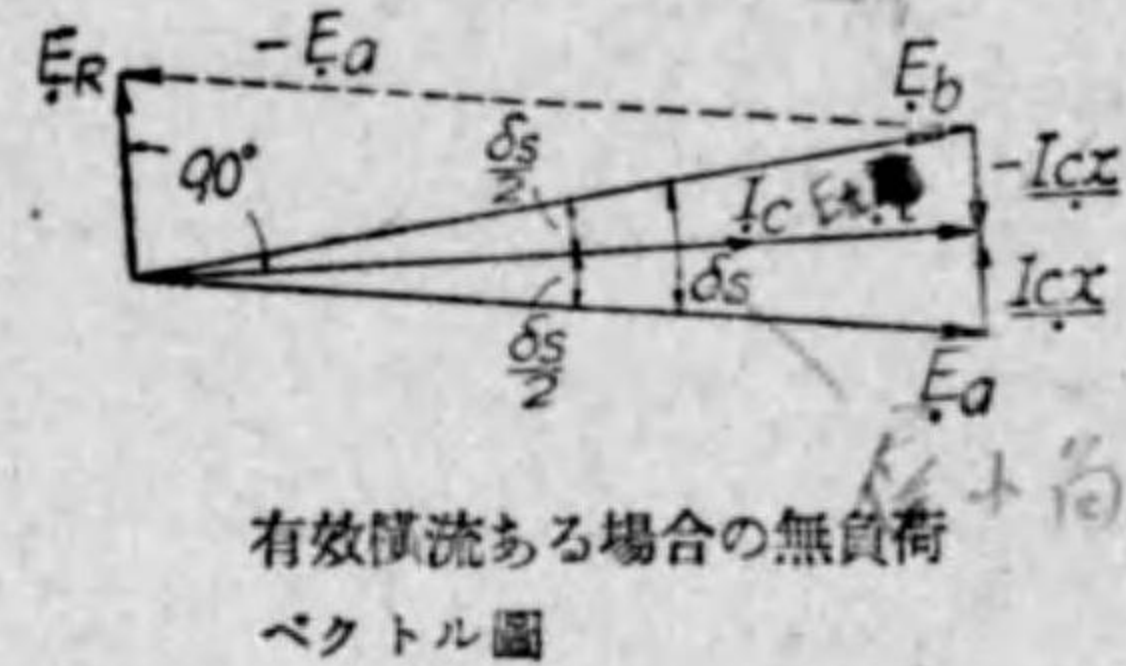
3. 無負荷ベクトル圖

前節に述べたエネルギー授受の関係は極めて重要である。第 12・2 圖の様な無負荷ベクトル圖に就て更に詳説しよう。

今甲乙兩機が相等しい勵磁の下に、甲の速度が低くなり、乙より電氣角 δ だけ起電力の位相が遅れたと假定すれば、甲及び乙の誘起起電力〔以下時々此の誘起起電力を勵磁起電力と呼ぶ〕のベクトルは夫々 E_a, E_b で表される。但し甲乙の起電力の正の向及び兩起電力に相差の生じた爲に流れる電流即ち有效横流の正の向を第 12・1 圖に記入した矢印の向と定めた。

この横流の通る局部電路即ち $b_1, l_1, a_1, a_2, l_2, b_2$ なる回路に働く起電力は $E_b - E_a$ であつて、ベクトル圖では $E_b - E_a = E_R$ である。横流 I_c はこの E_R を横流電路の總インピーダンスで除したものであるが横流電路の總インピーダンス Z は兩機の同期インピーダンスの和と導線のインピーダンスとの合成に等しい。甲乙兩機が同一發電所内にある場合は、導體のインピーダンスは省

第 12・2 圖



略し得る程度の小さなものであらう。尙ほ又一機の電機子巻線の抵抗 r は其の同期リアクタンス x に比して頗る小さい。故に甲乙二機から成る横流電路の總インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = \sqrt{(2r)^2 + (2x)^2} = 2\sqrt{r^2 + x^2} = 2x \approx 2x$$

となり、横流 I_c は E_R より 90° 遅れると考へられる。

従つて I_c は圖の様に E_a と E_b との爲す角 δ を二等分した位置に来る。然して同圖中 E_i は l_1, l_2 間の端子電圧であつて、 E_b より乙機中の電壓降下 $I_c x$ をベクトル的に減じたものであつて、甲機の方から考へれば、 E_a に $I_c x$ をベクトル的に加へたものである。即ち

$$E_i = E_b - I_c x = E_a + I_c x$$

さうしてその大きさは二等邊三角形 $O E_a E_b$ の頂角の二等分線の底邊に至る長さになる事も同圖から明かであらう。

尙ほ前述の起電力及び電流の正の向を選んだ時の事から、乙機は自身の誘起起電力の正の向と同じ正の向の電流 I_c との爲す角が $\delta/2$ となり、この $\delta/2$ は必ず 90° 以内であるから、乙機は發電機として働いてゐる事を意味し、これに反し I_c と E_a との関係は、正の向の選び方が反對であるものゝ互の位相角が $\delta/2$ (90° 以内) にあるのであるから、甲機は電動機として作用を受けてゐる事になる。これに關しては前述の同期電動機の場合の事を思いだして貰ひたい。即ち同期電動機の節に述べ

た E_a は丁度今の場合の E_b に相当するのであつて E_b に對して正の向の反對である I_a と E_b との積にその相差角の cosine を乗じたものは正しく電動機作用として働く電力でなければならぬ。これ等の事から前節に述べた有効横流の爲に乙機は發電機作用をして電力を授けて制動を受け、甲機は電動機作用を受けて加速されると説明した理由も明かになつた筈である。

4. リアクタンスの必要 前節で横流 I_a は同期機のリアクタンスが抵抗に比し大である爲、 E_a と I_a との相差角 δ_a が甚だ小さい。その爲に、同じ大きさの横流に對して大きなエネルギーが乙機に送られるのであつて若し δ_a が大であると、兩機の起電力の間に出来た或る位相差に對して〔即ち兩機の速度に同一の高低の差が生じた場合〕それを元の如く引き戻そうとする力は小となるのである。 δ_a が極く小さい内に大きなエネルギーが授受されて元の速度に引戻す作用を充分に大とする爲には、電機子の抵抗に比して同期リアクタンスの値の大である事を必要とするのである。換言すれば電機子に可なりのリアクタンスがあると比較的小さい横流で比較的大きなエネルギーが授受される。此の見地から同期發電機の巻線には、**相當に高いリアクタンスを與へる方が並行運轉が樂に行はれる。**若し V に比し x が極めて小さければ、同期保持に有効なエネルギーの授受を見

ることが出来ない。幸にして同期機の電機子巻線は何れも相當の大きい漏洩リアクタンスを有する。従つて此の點から考へて並行運轉に逃向きである。

5. 同期化力 次に甲乙兩機間に授受されるエネルギーを計算して見よう。簡單のため無負荷の場合について考察する。第 12.2 圖で乙機の發生電力 P_b 及び甲機の受ける電力 P_a は次の通りになる (E_a と E_b とはその大きき相等しいとし、之を E と置く)。

$$P_a = P_b = E_a I_a \cos \frac{\delta_a}{2} = E_b I_b \cos \frac{\delta_b}{2}$$

$$\text{然るに} \quad E_b \cos \frac{\delta_b}{2} = V_t$$

$$\therefore P_a = P_b = V_t I_a$$

上式は第 12.2 圖から明かな通り V_t は $l_1 l_2$ 間の電圧で、 I_a はそれと同相分の電流であるから、乙機が甲機に送る電力である。即ちこの電力が兩機の起電力に位相差の出来た時それを引戻す作用を爲すものであつて、これを P_s と置いて式を更にかき直すと

$$I_a = \frac{E_R}{2x} \quad \text{又} \quad \frac{E_R}{2} = E_b \sin \frac{\delta_b}{2} = E_a \sin \frac{\delta_a}{2} = E \sin \frac{\delta_a}{2}$$

$$P_s = P_a = P_b = \frac{V_t E}{x} \sin \frac{\delta_a}{2} \quad (12.1)$$

E は前述の様に兩機の誘起起電力である。(12.1) 式を甲機

が電動機作用を受ける電力であると考えたと同期電動機の入力を示す式 $\frac{E_s E_c}{x} \sin \frac{\delta}{2}$ と同じものであつて、同期電動機の誘起起電力 E_c とのは (12.1) 式の E に相当し、 $\delta_s/2$ は端子電圧と起電力 E_c の相差角 δ に相当する事は直ちに氣の付く事であらう。この事から考へても発電機の並行運転の理論は同期電動機の理論を理解する上に必要があると云つた意味が解ると思ふ。

上述のやうな意味から P_s を同期化力 (synchronizing power) と呼ばれる事もある。又 P_s の微細な變化とその變化を起させる原因たる兩機の起電力相差角 δ_s の微細の變化との比即ち微係数 $\frac{dP_s}{d\delta_s}$ を同期化力と云ふ場合もある。同期化力に對して有効横流 I_s を同期化電流と呼ぶ事もある。蓋し同期化力とは兩機の回轉速度に少しの違ひの出來た時に兩機を元の同期速度に引戻す作用をする電力と云ふ意味で、同期化電流とは同期化力を發生する爲の電流である事を示すものであるからである。

尙ほ (12.1) 式の中の x は $Z \sin \frac{\delta_s}{2}$ である事から

$$P_s = \frac{V_t E}{Z} \sin \frac{\delta_s}{2} \quad (12.2)$$

としてよろしい。

6. 同期化力の最大値 前節 (12.2) 式に $V_t = E \cos \frac{\delta_s}{2}$ (第12.2圖参照) を代入すると

$$P_s = \frac{E^2}{Z} \sin \frac{\delta_s}{2} \cos \frac{\delta_s}{2} = \frac{E^2}{2Z} \sin \delta_s \quad (12.3)$$

故に一定の勵磁起電力に對して同期化力が最大になる爲には δ_s 即ち兩機の起電力の位相差が 90° になつた時であつて、 δ_s が 90° 以上となると P_s は負となるから、それ以上位相差が大きくなると並行運転は續けられない。

然るに同期化力の定義を $\frac{dP_s}{d\delta_s}$ の様に考へると少しく違つた事になる。

$$\frac{dP_s}{d\delta_s} = \frac{d \frac{E^2}{2Z} \sin \delta_s}{d\delta_s} = \frac{E^2}{2Z} \cos \delta_s \quad (12.4)$$

上式でその値が最大になる爲には $\delta_s = 0$ の時であつて、(12.3) 式の最大値の條件が異なるので奇異の感があるかも知れないが、眞の同期化力の意味を考へるには、(12.3) (12.4) の兩式の示す意味を能く理解しなければならない。それを次に説明しよう。

(12.3) 式の示す P_s は今兩機の起電力に δ_s の相差のある時起電力の位相の進んで居る方の発電機が他の発電機を同期に引込むために送つてゐる電力の値を示すもので、(12.4) 式の示す $\frac{dP_s}{d\delta_s}$ の値は今兩機が並行運転中何れかの発電機に速度の變化が起らうとした時直ちに元の速度に引戻さうとして働らく電力を示すものであるから、兩機の起電力の位相の一致して運轉してゐる時、それが何かの理由で位相差が出來様とした時に働

らく同期化力が一番大であると云ふ事である。機言すれば何かの原因で起電力に位相差が出来様とした時兩機の起電力の位相の一致してゐる時が、最も位相差の出来難い状態即ち最も安定な運轉状態である事を意味するのである。

7. 亂調の發生 前數節に述べた通り、並行運轉中の同期機甲乙は其の起電力の大きき相等しく、位相が一致しない時は兩機の發電機としての負荷の有無大小に依り、 P_s 即ち單位時間の電力移動の割合は幾分異なるが兎に角、必ず**エネルギーの授受がある**。其の結果位相の進んだ方の發電機は正常以上の負荷を分担しなければならぬ。然るに甲乙兩機には夫々負荷耐量の制限がある。故に P_s の存在する時は兩機が正常に負荷を分擔した時よりも、兩機に許し得べき總負荷が減少する譯である。これはまだしも忍び得るとしても、同期化電力 P_s の移動が頻々として行はれ、甲乙交々其の授受の位置を變へる様になると、恐るべき**亂調 (hunting)** が現はれることがある。次に少しく亂調の現象を説明しよう。讀者は本節と第八章6節以下同期電動機亂調の説明とを比較研究するが良い。

今假りに構造全く相等しい甲乙兩機が、其の誘起起電力の位相を一にし、同じ負荷の下に同じ角速度で運轉して居る場合に何等かの原因で乙の角速度 ω_2 が甲の角速度 ω_1 より大きくな

つたとする。但し簡單のため、以下の研究では甲乙共原動機の出力は變化しないものと假定しよう。さうすると乙の起電力は甲の起電力より進むから、同期化力は乙から甲に移動し、其の結果として ω_2 は減少し、 ω_1 は増大する。従つていつかは、 $\omega_1 = \omega_2$ となる。然し ω_1 が ω_2 に等しくなつただけでは相對變位が、それ以上に増さぬと云ふに止まり、今迄の變位を取返すことが出来ない。換言すれば甲の位相が乙の位相に合致する爲めには、更に進んで $\omega_1 > \omega_2$ とならなければならない。故に丁度甲乙の起電力の位相が一致する瞬時には甲は既に**必要以上の高速度**に在る。さうして位相の一致する瞬時には、同期化力は全く零となるけれども、甲乙共に回轉子の**機械的慣性**に依つて其の瞬時に精密に速度が相等しくなることは望まれない。即ち其の瞬時後は必ず甲が却つて乙より進む様な結果になる。斯うなると同期化電力は遂に甲から乙に授けられ従つて再び $\omega_2 > \omega_1$ となつても、復た甲乙が同相に合致した瞬時には乙は既に**必要以上の高速度**に在る。

斯様なことを繰返して、甲乙位相を合致する瞬時其の瞬時——は次から次へやつて来る——其の各瞬時に於ける角速度の差が漸次増大する傾向を有する時は**亢進性亂調**となる。即ち兩機は速度は交々一上一下して、時には破壊的の危険を醸し、若しくは歩調を亂して運轉休止の止むなきに至る。然し幸にして甲

乙の位相が一致する瞬時に、兩者の角速度の差が漸次減少する傾向のある時は、亂調は一時性のもので済む。然し其の爲めには相當に大きい制動作用が働かなければならない。それには又同期電動機の亂調について述べたと同様な制動装置が必要となる。これを次節に述べる。

8. 亂調防止法 亂調は獨り一發電所内に在つて並行運轉をする數個の發電機の間になるばかりでなく、一つの發電所と他の發電所、若しくは變電所との間にも生ずることがある。故に其の防止法を講ずる事は極めて肝要である。其の主要なものは同期電動機の際述べた(第11章8節)と同様で次の通りである。

- a. 發電機に制動巻線を付けること。
- b. はずみ車を大にすること。
- c. 往復動汽機又は水車の調速機に制動壺を設けること。

先づ第一の制動巻線は第8・8圖に示した。亂調防止のためには、制動作用が必要であるから同期發電機でも完全な並行運轉をなす爲には制動巻線のある方が望ましい。然し之は發電機では電動機の場合ほど重要なものではない。何となれば、同期電動機では制動巻線が同時に起動巻線を兼ねるが、發電機では起動制動の役目は不必要だからである。又タービン發電機では屢

ば單一磁極(成層しないもの)が用ひられる。斯様な場合には、亂調が起ると、電機子反作用に依つて生ずる磁束が回轉子磁極の面を前後に動搖するので、大きな鐵損を生じ、之に依つて亂調の機械的エネルギーを熱エネルギーとして吸収して了ふ。依つて制動巻線は無くとも立派に制動の目的が達せられる。又界磁巻線の罫に多く眞鍮製の分厚の環を用ひるのは、之で制動巻線に代用する目的を加味したものである。

第二のはずみ車を大にすることは負荷の變化に應じて、發電機が速度が急變する傾向を防ぐのみならず一回轉中の速度の變化を小にする事が出来る。

それで同期機の回轉子の慣性モーメントは適當に大きく設計されるのである。

若しこれを大きく出来得ない場合は別にはずみ車を付ける事もある。特にディーゼル機關や往動汽機で運轉される發電機は一回轉中のトルクが一定でなく、これが爲に速度が同期的に變化して亂調を起し易いので、特に大きな慣性モーメントが必要であるので、はずみ車を付けたり又第二章第2・22圖に示した様に回轉子を外側に出して慣性モーメントを大とする事もある。然し慣性モーメントを大とする結果、回轉部全體の自然周期と、原動機の與へるトルク變動の周期とが接近すると、反つて亂調を亢進させる事もある。

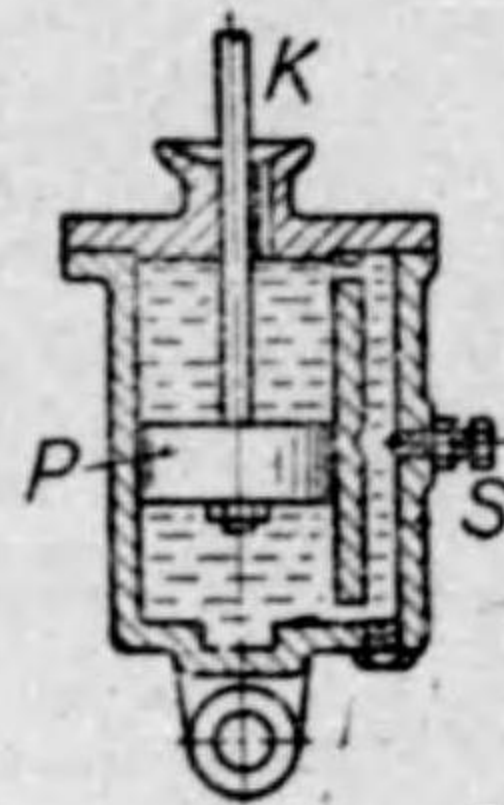
第三の調速機に制動壺を設けるのは調速機が餘り鋭敏に動作するのを防ぐ爲である。一回轉中トルクの変化の大きい原動機で、若し調速機が過敏であると、他機から同期化力を受ける迄もなく、自ら發電機入力の頻繁な調節を行ひこれが却つて振動の原因となる。従

つて仮令發電機の出口に頑強なる脈動があつても、直ちに之に應じて、原動機の入力を加減することを抑厭する必要を生ずる場合が多いのであ

る。

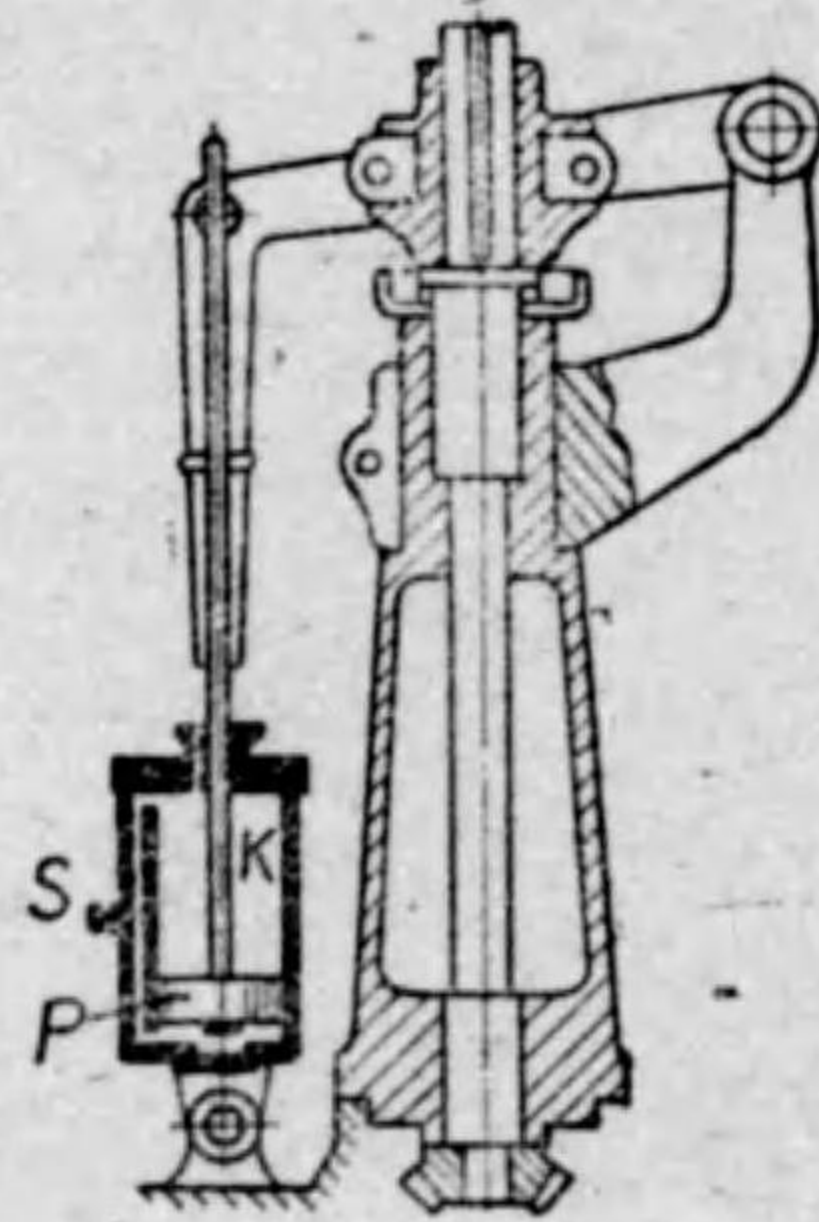
此の目的を達するものが即ち制動壺である。第 12・3 圖に示したのは側道 (by-pass) を有する油制動壺の一例で、第 12・4 圖は其の制動壺を取附けた調速機の一例である。圖中 K の心棒が上下することに依り、蒸汽の供給量が加減される。 K の下端にピストン P があり、 P の上下には粘性油が充たされて居る。故に P が上下するためには、其の上下の油が圖中圓筒一側の上下の小孔から側道を経て、再び圓筒内に入つて來る必要があ

第12・3圖



調速機に制動壺を附けた圖

第 12・4 圖



る。これには勿論相當の時間を要する。依つて蒸汽供給量の調節を要求する原因が相當長く續かなければ、調速機は其の機能を發揮しないのである。

復 習 問 題 XII

1. 並行運轉に必要な條件を擧げよ。
2. 第 12・2 圖は發電機の抵抗を無視したベクトル圖であるが、抵抗を無視しない場合のベクトル圖を書け。但し $x/r=10$ とせよ。
3. 前題のベクトル圖で、 $E_a=E_b=2000v$ 、 $\delta_a=4^\circ$ 、 $x=2\Omega$ $r=0$ なる時効横流何アンペアか。
4. 同機發電機の並行運轉には相當に高いリアクタンスが必要であると云ふ。その理由を問ふ。
5. 同期化力とは何か。問題③の與へられた數値でそれを計算せよ。
6. 亂調とは如何なる事かを簡単に述べ、その防止法三つを擧げよ。
7. 制動巻線は同期電動機の場合は必ず設けられて居るが、發電機の場合には設けてない場合もあると云ふ。その理由如何。
8. 調速機があるとかへつて亂調を引起す事があると云ふ。これを説明せよ。
9. 發電機のリアクタンスが大である事の利害を述べよ。

第十三章 交流機並行 運轉の理論 (其二)

(無効横流及び原動機に関する事)

1. 直流勵磁の相違 第 12.1 節に列挙した並行運轉の三條件の第二、即ち各機の起電力の値が等しくなかつたならどうなるであらうか。こゝで各機の起電力とは勵磁起電力であるから、起電力の等しくないと云ふ事は兩機の勵磁電流が等しくなかつたなら如何なる結果になるかと云ふ事になる。この様な場合には、各機の力率計の読みが異なると云ふ結果が表はれるだけであつて、力率が異なつても構はないならばその勵磁電流の大小は或る程度變通自在である。

今定格、構造等全く相等しい甲乙兩機が夫々無負荷で單獨運轉して居る時、兩機の勵磁に幾分の相違があつて、甲乙夫々 E_a 、 E_b の誘起電力を有して居るものとし $|E_a| > |E_b|$ であるとしよう。此の際兩機の起電力の位相の合致する様に並列に結んだなら、どうなるであらうか。第 13.1 圖乙は此の場合のベクトル圖である。起電力、電流の正の向は第 13.1 圖甲の様に定めて電流 I_c の通する回路を考へれば、この回路に働らく合成起電力は

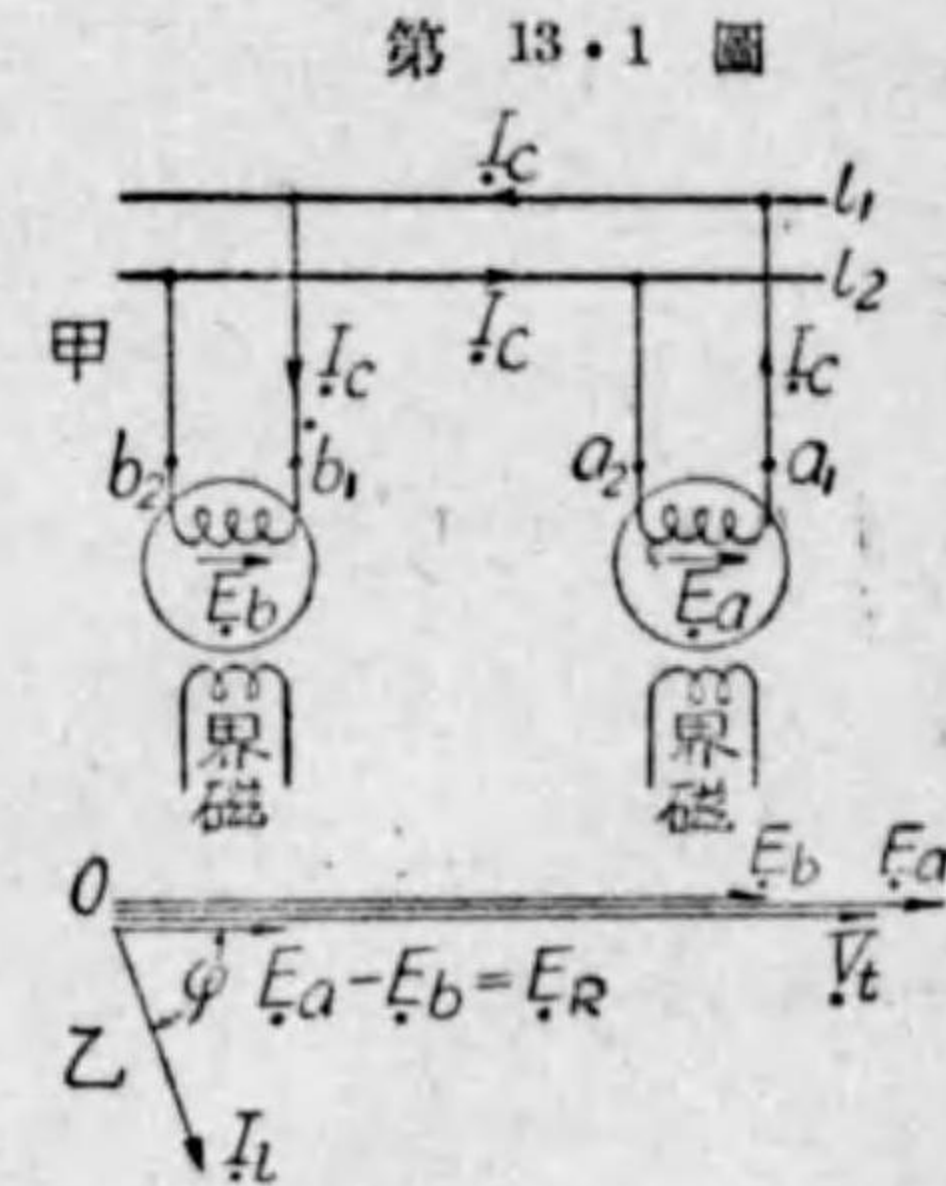
$$E_R = E_a - E_b$$

となり、この E_R の爲に回路には横流 I_c が流れる。

$$I_c = \frac{E_R}{2Z} = \frac{E_a - E_b}{2Z}$$

上式中 Z は各一機の同期インピーダンスで、 $Z = \sqrt{r^2 + x^2}$ であるから横流 I_c は E_R より殆んど 90° 遅れる。従つてこの

I_c は甲機から見れば遅れ電流を流出してゐる事となり、乙機では遅れ電流が流入した結果となる。然るに發電機では遅れ電流の場合の電機子反作用は界磁を弱める即ち減磁作用を與へ、同期電動機の場合の



直流勵磁の相違より起る無効横流

遅れ電流は増磁作用を爲す。それで I_c が兩機に與へる作用は甲機では發電機の場合と考へられ、乙機は同期電動機に遅れ電流の流入してゐる場合に相當する。従つて甲機の端子電壓は直流勵磁のみに依る誘起起電力即ち勵磁起電力 E_a の値から減磁作用のため幾分か下降し、乙機は増磁作用のため勵磁起電力 E_b の値より幾分か上昇する。

この様に発電機の並行運転中各機の勵磁に不同があつても電機子反作用の爲に起電力そのもの値を變へて横流 I_c の大なる値となる事を制限するのであるから、電機子反作用と電機子の純リアクタンスの合成が同期リアクタンスであつた(第四章第8節参照)事を考へると、此の一節では考へを二段に分ける方が理解を正確にする。即ち甲機では、 x の内電機子反作用の影響に依り、勵磁起電力 E_a より小さい實在誘起起電力 E'_a が發生され、それから更に純リアクタンスと電機子抵抗に依る電壓降下を減じて端子電壓 V_t が得られると考へる方がよい。又乙機でも電機子反作用のため勵磁起電力よりも大きな實在起電力 E'_b に電機子巻線中の純リアクタンスと抵抗に依る電壓降下を加へたものが V_t になると考へてよいのである。

尙ほ第 13.1 圖乙の V_t を得る順序を説明しよう。圖で E_R と I_c との間の角を φ とすれば $\tan \varphi = \frac{2x}{2r} = \frac{x}{r}$ であるから、横流 I_c の爲に同期インピーダンス Z に依つて生ずる甲の電壓降下は $\frac{1}{2}E_R$ でなければならない。従つて甲機の端子電壓は

$$V_t = E_a - \frac{1}{2}E_R$$

同様に乙機の方から計算すれば、電壓降下と起電力との和が V_t になる。

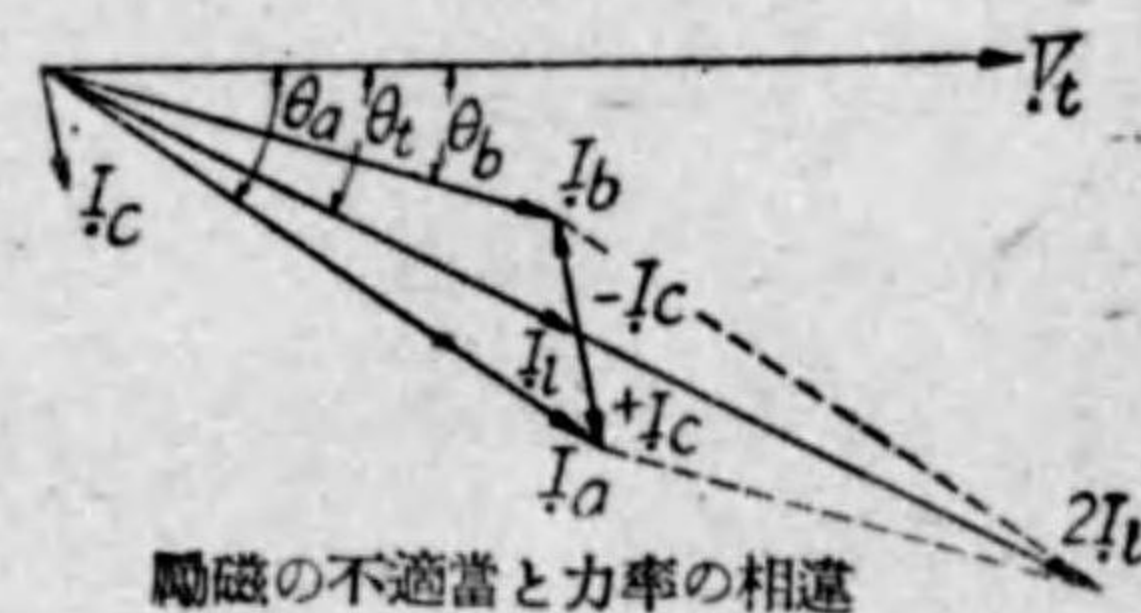
$$V_t = E_b + \frac{1}{2}E_R$$

即ち両者は當然等しくなければならない。

2. 無効横流 讀者は前節に學んだ直流勵磁の相違から流れる横流と、前章に説明した有効横流とでは大きな相違がある事に心付いたであらうと思ふが、前節の直流勵磁の相違から来る横流は各起電力より略 90° 遅れるから、殆ど全く電力の授受を行はない。故に之を無効横流と稱する(註を見よ)。

従つて無効横流は直接、亂調の原因とはならない。然し第 13.1 圖の無効横流の上に更に兩機相等しい負荷電流 I_l を負ふてゐる場合を考へると、そ

第 13.2 圖



のベクトル圖は第 13.2 圖の様になり。 V_t なる端子電壓から遅れ角 θ_a なる負荷電流に、甲機では

I_c を加へ、乙機では I_c を減すれば、各機の電流は I_a 及び I_b となり、各機の力率は $\cos \theta_a$ 及び $\cos \theta_b$ となつて、甲乙兩機の力率の讀は必ず相違する。此の際横流 I_c の存在しない場合の方が、一定力率の負荷に對する總出力 kIV が大きくなる。此の點で無効横流を流さない様、常に適當の直流勵磁を與へるのが最も良い。

尙ほ第 13.2 圖について注意すべき事がある。それは勵磁の強過ぎる甲機の方が電流の遅れ甚だしく、従つて力率の低いことである。換言すれば勵磁を強くすると電流の位相が遅れるこ

とである。故に無効横流を皆無にする爲めには力率の低い方の勵磁を弱くするか、力率の高い方の勵磁を強くするか、又此の兩方を併せ行はねばならない。以上負荷が遅電流を要求する場合に就いて述べた。負荷が進電流を取る場合には力率の高い方の勵磁を弱くする事に依つて無効横流が除かれる。

註 有効、無効の名は初學者に取つては誤解を招き易いが、決して並行運轉を圓滑ならしむる効果の有無を意味するのではない。單に機械的動力に變へ得らるゝ電力を傳へると否とに依つて、有効又は無効と稱するのである。

3. 電機子反作用の效用 以上の説明から分る通り、並行運轉用の同期發電機には寧ろ相當に大きい電機子反作用が入用である。甲乙兩機に不適當な勵磁電流が流れて居る時にも、能く兩者を同じ端子電壓に保つのは、無効横流に依る同期リアクタンス、就中、電機子反作用の力が與つて大であるからである。若し電機子反作用が小さいと、些少の勵磁の差に對しても、大きな無効横流を要する。従つて前述の様な出力の不經濟を大にする。然し電機子反作用の大きいと云ふ事は電壓變動率の不良なことを意味する。故に満足なる並行運轉の爲めには幾分電壓變動率を犠牲に供する必要がある。

4. 勵磁變化の比較 同期電動機に於ては、V曲線からも明かな通り勵磁を強くすれば電流の位相が次第に進んで行

く。其の間の關係は前數節に述べた同期發電機並行運轉の場合とは正反對である。又單獨運轉の同期發電機では勵磁の増減は勿論直ちに端子電壓の増減となつて表れ、電流の位相關係には何等の影響をも及さない。又並行運轉の場合に於ける勵磁増減の影響を同期發電機と直流發電機とについて比較して見ると、大に注意すべき相違がある。即ち同期機並行運轉では勵磁の變化が各機力率の相違を來すのに、直流機では負荷分擔を招く。

5. 高調波の横流 第十二章第1節に列擧した第三の條件即ち起電力波形の合一といふ條件が満足されない同期發電機を並行運轉させる場合には、各機の高調波の横流が流れる。何となれば起電力の波形が相違すると云ふのは、夫々次數や振幅の違つた高調波が存在するのに起因するからである。此の種の高調波横流は有効横流と無効横流との複雑な合成であり、發電機を改造しない限り、何等防止の方法はないが、深く意とすることを要しない。電機製造技術の發達程度では、同期機の起電力波形は何れも理想的な正弦波を去ること遠くない。即ち各機起電力の波形に著しい差異がなく、高調波横流の大きさも亦従つて心配すべき程度のものではない。

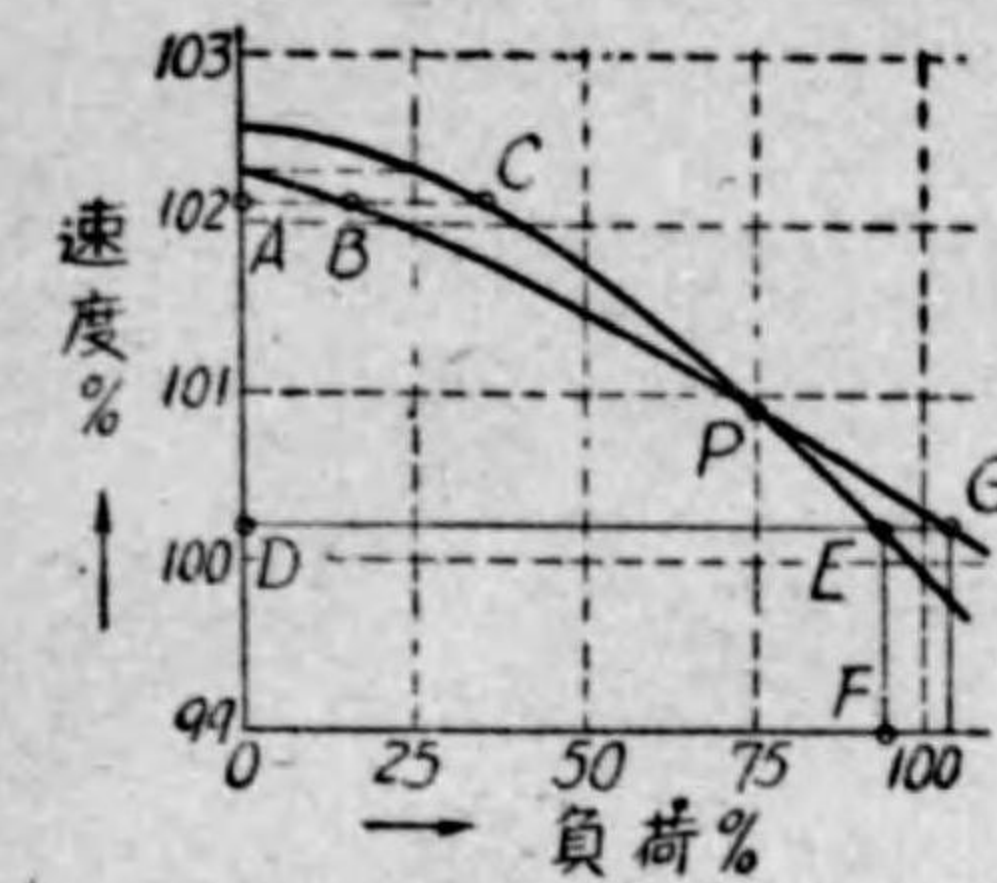
6. 原動機の速度變動率 甲乙二台の同期發電機が各

自の原動機に依り回轉され、或る負荷の下に並行運轉を行ふ時に、總負荷に變化を生ずると、甲乙二機の負擔も亦當然變化すべきである。然し原動機は其の調速機の働き具合を變じ、或は主要弁の開きを調節して蒸氣、水等の供給量に人為的の加減を施さない以上は、與へられた負荷を擔ふのは唯一の定まつた速度の時に限るのである。一方、並行運轉をする甲乙二機が周波數を同じくする爲には、二機の百分率速度は全然同じにならなければならない。そこで、あらゆる負荷に對して其の分擔を適當にしようと思へば、全負荷から無負荷まで、甲乙原動機の世界變動の状態が全然一致しなければならない。

斯様に完全無缺な事は多くの場合に望むことが出来ない。二機の速度變化に多少相違がある方が普通である。假りに甲の原動機には無負荷から全負荷まで、全負荷の2.5%の速度降下があり、乙の原動機には同じく2%の降下があると假定しよう。此の時若し四分の三全負荷で各々其の定格出力の四分の三を出すとすれば、四分の三負荷以上では乙即ち變動の小さな方が適當以上の負荷を分擔し、四分の三全負荷以下では甲即ち變動の大きな方が適當以上の負荷を分擔する様になる。今其の理由を下に述べよう。

第13.3圖で CP と BP は夫々甲及び乙の負荷と速度との關係を示す曲線で之を原動機の世界變動率曲線 (speed regulation

第 13.3 圖



速度特性の相違と負荷の分擔

と稱へる。直流電動機の世界速度電流曲線に相當するものである。圖中 P は即ち全負荷の四分の三に相當する點で、仮定に依つて此の點では甲乙の百分率速度從つて周波數が相等しいのである。依つて P 點から更に負荷を増すと、甲は CPE 線に沿ひ、乙は BPG 線に沿うて漸次其の速度を減少する然し前述のやうに甲と乙とは常に同速度を有しなければならない。即ち甲が OD の速度に對し、 $OF = DE$ の百分率負荷を有する時、同じく OD の速度に對して乙は DG の百分率負荷を有しなければならない。即ち重負荷では速度調整の密な方の原動機乙が負荷分擔額を大にする。同理に依り四分の三全負荷以下では、 OA なる共通百分率速度に對し甲の負荷分擔額 AC は乙の分擔額 AB よりも大きい。換言すれば輕負荷では速度變動の大きな原動機甲が分擔額を大にする。

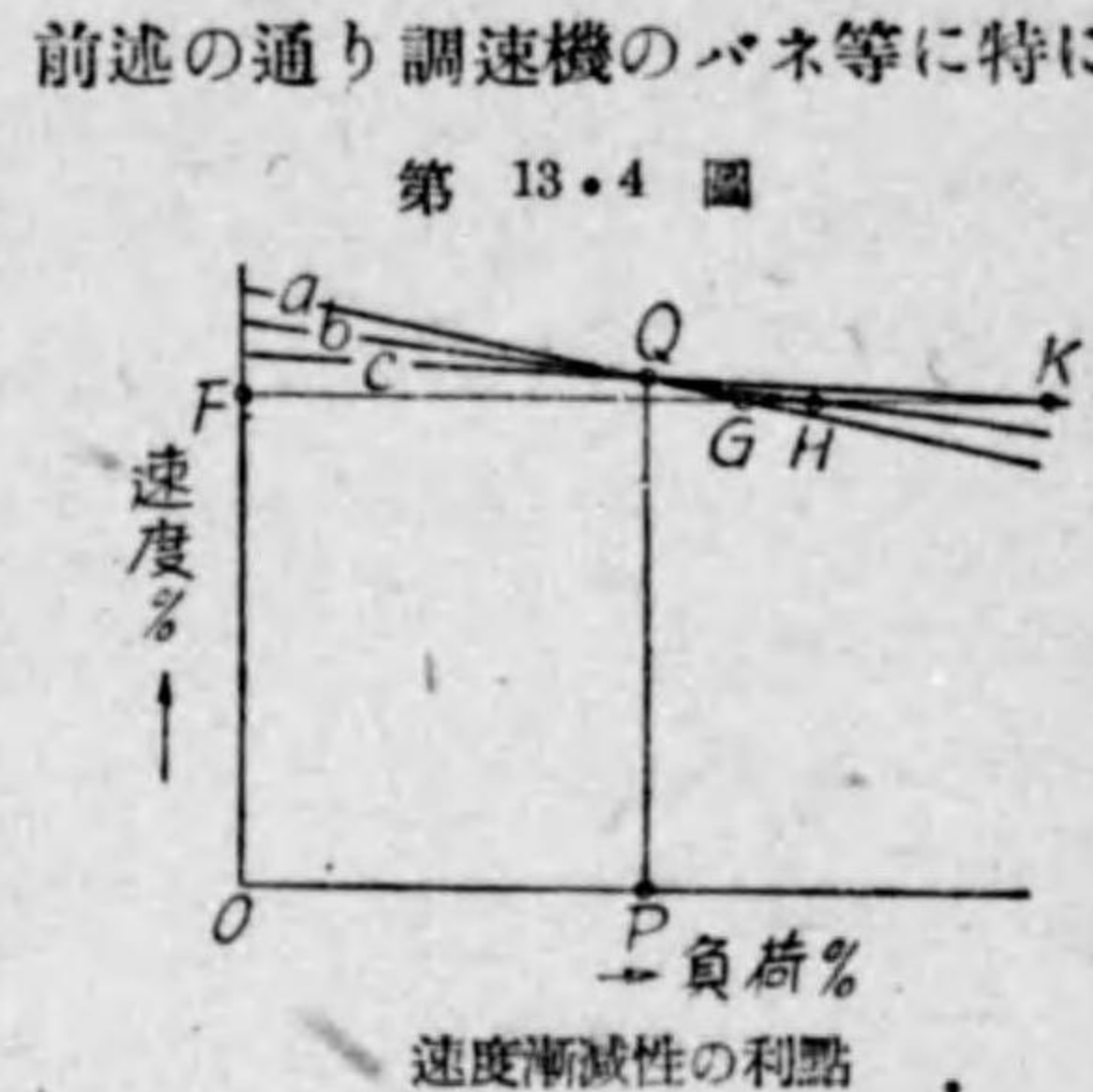
若し又固有の世界變動の程度が甲乙二機に異なる時でも負荷の分擔を常に適當にしようと思へば、勢ひ調速機の働き工合を人為的に變更して、最も簡便に且つ極めて精密に原動機速度を制御する必要がある。實際上多くは配電盤から電氣的に之を行ひ

得る様な方法を採用する。詳しくは後節に述べる。

7. 速度漸減の必要

前述の通り調速機のパネ等に特に人為的の調節を加へない限り、原動機の世界は負荷の増すに従つて減少する。即ち速度曲線は多少とも漸減特性を有する。同期機に於て速度の變動は周波數の變動を意味するから、此の種

の漸減特性は甚だ忌むべきものの様に感ぜられるが、事實は決してさうでない。第 13.4 圖で三つの特性線、 a , b , c は夫々甲、乙、丙の速度變動を示す。簡單の爲め少し實際とは違ふが、 a , b , c 共に直線で表はされるものとしよう。さうして a と b との間の角は b と c との間の角に等しいと假定しよう。今甲と乙とが並行運轉をなす際、共に PQ の百分率速度で、 OP の百分率負荷を擔つて居るのが負荷分擔上理想的の状態である。此の時負荷が或る分量だけ増すと、例へば OF の百分率速度で甲は FG 、乙は FH の百分率負荷を分擔する。依つて百分率負荷で乙の方が GH % だけ甲より大きい。次に乙と丙との並行運轉では、 b と c との傾斜の差が a と b との傾斜の差に等しいにも



拘らず、負荷分擔の不公平は甲乙並行運轉の場合より遙に大きくなる。即ち OF の速度に對して、百分率負荷の大小から云へば丙の方が HK % だけ乙より大きい。圖から一見して明な通り、又平面幾何學で容易に證明される通り、 HK の方が GH より大きい。故に漸減性の著しい場合の方が、同じ傾斜の相違から來る負荷分擔の不公平が少くなる。

尙ほ漸減特性が餘り小さいと、速度の極めて僅かの變動に對しても負荷が著しく變動する。其の結果各機の運轉に一種の不安定を招來する。斯様な見地から、**原動機速度の漸減特性は寧ろ或る程度迄、同期發電機の並行運轉に歓迎すべきものである。**

8. 原動機的選擇

今迄述べた所から、同期交流發電機並行運轉の成績は大に原動機の性質に依つて左右されることが分る。調速機の過敏性に依つて生ずる亂調と云ひ、一回轉中の速度の不齊と云ひ、速度變動率の多少と云ひ、皆原動機の問題で、發電機其の物の問題ではない。之を換言すれば、**交流機並行運轉の難易は大半原動機の良否に依つて決せられるのである。**

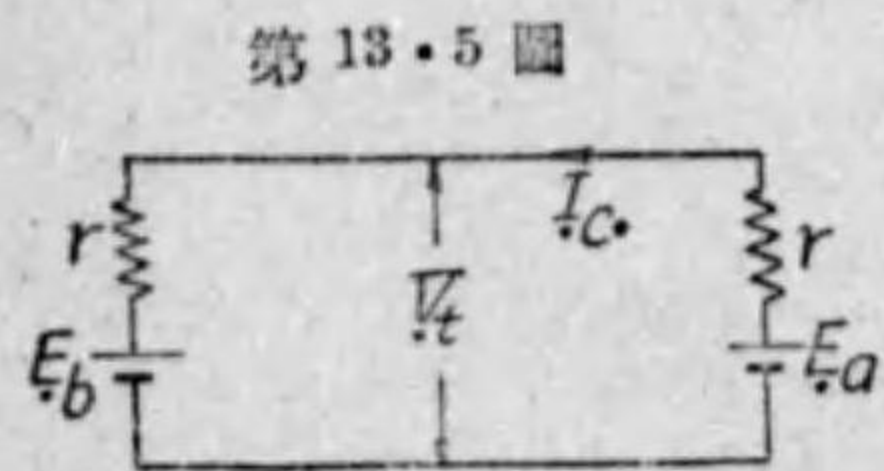
タービン交流發電機の電機子反作用が大であると云ふことは既に第四章第15節で説明した所であるが、此の缺點は並行運轉に對しては却つて甚だ好都合である。電機子反作用の小さな交流發電機は其の並行運轉に際して無効横流の値を大にし、各機

の有効出力を減少させることは第3節に述べた通りである。故にタービン交流発電機は此の點に於て並行運轉に適するものと言ふことが出来る。其の他蒸気タービン其の物の性質上、之に直結されるタービン交流発電機が極めて均一である事、其の回轉速度が大である爲にはすみ車効果が大である事、磁極の数が少いから速度亂調の弊に陥り難い事、鑄鋼製回轉子では、これが一種の制動子として作用する事等、タービン交流発電機の並行運轉に適する理由が甚だ多い。

交流発電機並行運轉用の原動機として蒸気タービンに次ぐものは水車であらう。一回轉中の速度の變化の多い往復動汽機及びディーゼル機関を使用する場合には殊に細密の注意を要することは既に説いた所である。

復習問題 XIII (並行運轉その二)

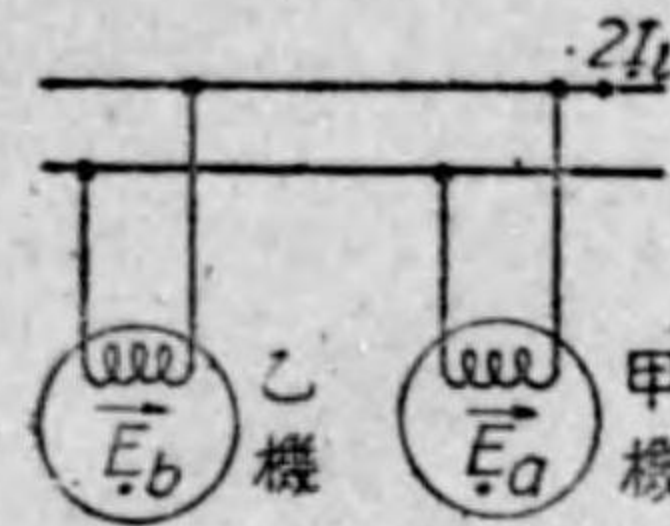
1. 第1節で $V_t = E_a - \frac{1}{2}E_R = E_b + \frac{1}{2}E_R$ (但し $E_R = E_a - E_b$) なる式の算出される理由を次の問(第13.5圖)にて再考せよ。即ち端



2. 第13.2圖で、甲機の電流 I_a はその負電荷流 I_l と横流 I_c との

子電壓 V_t を算出するに E_a 側より計算する時は電壓降下 I_r を差引き、 E_b 側よりすれば I_r を加へるのは何故か但し $E_b < E_a$ とす。

第13.6圖



ベクトル和で、乙機では $I_l - I_c = I_b$ となつてゐる理由を第13.6圖の各発電機に電流の流れる向を記入して説明せよ。

3. 前問の $2I_l$ なる負電荷流は運電流であるが、諸君はこれが進電流である場合に甲機の勵磁が乙機より大なるものを與へたとしてベクトル圖を第13.2圖にならつて畫け。
4. 前問では甲機乙機何れの発電機の勵磁が強過ぎるのであるか。
5. 二台の発電機が並行運轉して居る。今その一機の力率は他機に較べて力率小であるのでその機の勵磁電流を増加したのに力率は更に小となつたと云ふ。何故か。又この際適當な手段を問ふ。
6. 発電機の並行運轉に際して負荷が進電流を要求してゐる場合には勵磁の強過ぎる方の発電機の力率は大きであると云ふ、その理由如何。
7. 発電機の並行運轉に際しては、同期リアクタンスは電機子抵抗に比較して大である方が都合がよいと云ふ。同期リアクタンスの大である事は何か外に不利な點はないか。
8. 交流発電機の並行運轉で、一機の勵磁電流を増加すれば、その機の力率は小となる(一般の負電流は運電流である)。然し、直流機の並行運轉で一機の勵磁を増したらどんな結果になるか。
9. 第13.3圖では P 點より負荷を次第に減じて行くと、乙は甲より常に小さな負荷を負ふてゐると云ふ事を示して居るが甲の負荷が25%になつた時は乙機の負荷は幾何なりや。
10. 原動機負荷の増加に依る速度の漸減特性とはどんな事か。