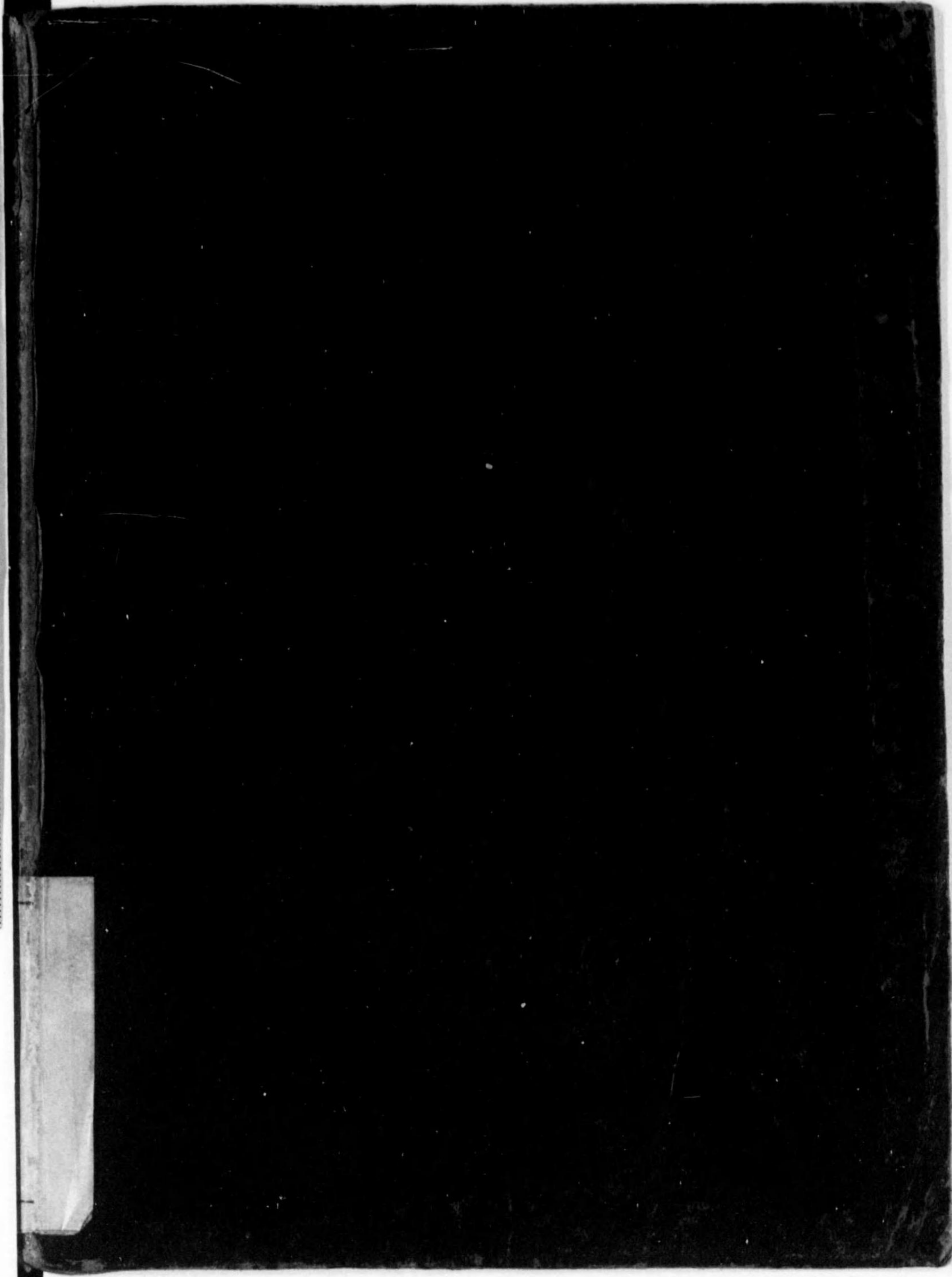




始



542
024

電氣機械の理論と實際

第1卷

(電氣機械概論)

工學博士

尾河武雄 著

共立出版株式會社



997

81

序

我國には既に電氣機械に関する良書が尠くない。然も著者が敢て茲に一書を加へんとする所以は在來の著書が稍もすれば一方に偏し勝であつて理論的のものは理論に走り、實際的のものはあまりに實地に墮してどうも理論と實際との調和を得た好著が尠い事を慨いた結果によるのである。

現在日本は國の總力をあげて大戦争を戦つて居り、從來忘れられ勝であつた科學技術の昂揚が叫ばれてゐるがまことにこの大戦争を勝ち抜く爲には劍を持てる者は劍を以て、ペンを持てる者はペンを以て、國に奉ずるの覺悟がなければならぬ。著者はペンを持つ事は必ずしも得手ではないけれ共電氣機械の理論と實際の調和に關しいささかでも叙上の缺陷を補ひ以て科學技術昂揚の一端たらしめたいと敢て本書の執筆を企てたのである。

本書は續いて表はるべき「直流機」及び「交流機」と合して三部作となる豫定である。第一卷たる本書は理論にも實際にもわざと深入りせず専ら綜合的見地に立つて電氣機械と云ふものの概念の把握を目標とした。第二卷以降は各個の電氣機械及び之に關聯する事項について更に深く掘り下げて行く積りである。斯く本書は三部作の初卷ではあるけれ共これ丈單獨でも獨立した體裁を具へて居り、特に高等専門學校程度以上の讀者を目標として各章卷尾の總括や練習問題の選定に意を用ひた。讀者は之等を丹念に試みて實力の養成に資し以て科學技術昂揚の一助とせられるならば著者の本懐之に過ぎるものはない。

本書中挿入の寫眞については東京芝浦電氣株式會社の好意によつたものが多い。記して謝意を表する次第である。

昭和 18 年初秋

著 者

目 次

第1章 電気磁気学概要	1
1.1 静電気学	1
1.1.1 帯電, 導体と絶縁物	1
1.1.2 クーロムの法則, 静電誘導	1
1.1.3 静電界	2
1.1.4 導体系	4
1.1.5 静電容量	5
總括	7
練習問題	8
1.2 磁気学	9
1.2.1 磁石と磁気	9
1.2.2 クーロムの法則	9
1.2.3 磁界	9
1.2.4 磁気誘導	10
1.2.5 磁気モーメント, 磁化の強さ	10
1.2.6 磁化曲線	11
1.2.7 磁化ヒステリシス及びヒステリシス損	12
1.2.8 地球磁気	13
總括	13
練習問題	15
1.3 電流	15
1.3.1 電荷の移動, 電流	15
1.3.2 オームの法則	15
1.3.3 抵抗	16

1.3.4	ジュールの法則	17
1.3.5	キルヒホッフの法則	17
1.3.6	抵抗の直列及び並列接続法	18
	総括	19
	練習問題	20
1.4	電磁気学	21
1.4.1	電流による磁界	21
1.4.2	電流と磁界及び電流相互間の作用	22
1.4.3	起磁力	22
1.4.4	電磁誘導作用	22
1.4.5	静電単位系と電磁単位系	23
	総括	24
第2章	交流理論概要	26
2.1	交流	26
2.1.1	交番起電力	26
2.1.2	起電力及び電流の表はし方	27
2.1.3	正弦波のベクトル及び記號法	28
2.2	インピーダンス	29
2.2.1	抵抗、自己インダクタンス及び静電容量を含む回路	29
2.2.2	アドミッタンス	30
2.2.3	交流回路に於ける諸法則	31
2.3	交流回路の電力	32
2.3.1	単相交流回路の電力と力率	32
2.3.2	抵抗中の電力	33
2.3.3	インダクタンス中の電力	33
2.3.4	静電容量中の電力	34

2.3.5	歪形波の電力	35
2.4	多相方式	36
2.4.1	多相交流回路と其の結合法	36
2.4.2	多相負荷法	37
2.4.3	多相交流による回轉磁界	40
2.4.4	多相電力	41
	総括	42
	練習問題	44
第3章	直流機械	47
3.1	直流發電機	47
3.1.1	直流發電機の原理	47
3.1.2	直流發電機の構造	49
3.1.3	電機子巻線の種類	51
3.1.4	電機子中に發生する起電力	52
3.1.5	直流發電機の勵磁方式	53
3.1.6	電機子反作用	54
3.1.7	整流作用	55
3.1.8	他勵發電機の特性	57
3.1.9	分巻發電機の特性	58
3.1.10	直巻發電機の特性	60
3.1.11	複巻發電機の特性	61
3.1.12	發電機の並列運轉	61
3.1.13	發電機の電壓調整法	62
3.1.14	電壓變動率	63
	総括	63
	練習問題	65

3.2 直流電動機	65
3.2.1 直流電動機の原理と構造	65
3.2.2 直流電動機の種類	69
3.2.3 分巻電動機の特性	70
3.2.4 分巻電動機運転上の注意	72
3.2.5 直巻電動機の特性	72
3.2.6 直巻電動機運転上の注意	73
3.2.7 複巻電動機の特性	73
3.2.8 直流電動機の起動及び速度制御	74
3.2.9 直流電動機の逆轉	77
3.2.10 電氣制動	77
總括	77
練習問題	78
第4章 交流機械	84
4.1 變壓器	84
4.1.1 變壓器の原理	84
4.1.2 變壓器の構造	86
4.1.3 ベクトル圖	88
4.1.4 等價導線網	89
4.1.5 電壓變動率	91
4.1.6 單相變壓器の三相接続	93
4.1.7 特殊變壓器	95
4.1.8 變壓器の損失並に能率	96
總括	97
練習問題	98
4.2 誘導電動機	101

4.2.1 多相誘導電動機の原理及び構造	101
4.2.2 滑り	102
4.2.3 電壓、電流及び磁束の空間分布と回轉磁界の發生	103
4.2.4 等價導線網	105
4.2.5 圓線圖	107
4.2.6 回轉力、機械的出力	109
4.2.7 誘導電動機の特性	110
4.2.8 深溝籠型及び二重籠型誘導電動機	112
4.2.9 誘導電動機の起動及び速度制御	113
4.2.10 單相誘導電動機	115
4.2.11 誘導電壓調整器	116
總括	117
練習問題	119
4.3 同期發電機	119
4.3.1 同期發電機の原理	119
4.3.2 同期發電機の構造	121
4.3.3 誘起々電力	122
4.3.4 單相機と多相機	124
4.3.5 電機子反作用、ベクトル圖	125
4.3.6 同期發電機の特性	126
4.3.7 定格及び損失	128
4.3.8 同期發電機の並列運轉	128
總括	129
練習問題	131
4.4 同期電動機	133
4.4.1 同期電動機の原理	133

4.4.2	同期電動機の構造	133
4.4.3	出力と同轉力	133
4.4.4	ブロンデル線圖とV曲線	136
4.4.5	同期電動機の起動法	137
4.4.6	亂調	138
4.4.7	誘導電動機と同期電動機との比較	140
	總括	140
	練習問題	142
第5章 特殊機器		148
5.1	同轉變流機	148
5.1.1	同轉變流機の原理及び構造	148
5.1.2	直流側及び交流側電壓の關係	148
5.2	交流整流子電動機	149
5.2.1	概説	149
5.2.2	單相整流子電動機	150
5.2.3	多相整流子電動機	152
5.3	水銀整流器	153
5.3.1	水銀整流器の原理	153
5.3.2	水銀整流器の構造	153
5.3.3	水銀整流器の特徴	154
	總括	154

第1章 電氣磁氣學概要

1.1 靜電氣學

1.1.1 帶電、導體と絶縁物

異なる種類の二種の物質を互に摩擦する時は兩物質の内一方は正に、他方は負に帯電し正負の電荷はその量が相等しい事が知られてゐる。之の現象を摩擦による**帶電**と云ふ。

一般に下表の内任意の一物質は之より上位にある物質と擦り合はされる時夫れ自身は負(-)に帯電し、下位の物質とでは正(+)に帯電する。

アスベスト→硝子→象牙→猫皮→鉛→絹→人體→綿→岩鹽→木材→石盤→
エボナイト→ガタパーチャ→硫黄→金銀→セルロイド

電荷の移動を自由に許すものを**導體**と云ひ、之を妨げるものを**絶縁物**と云ふ。絶縁物は又**誘電體**とも稱せられる。

1.1.2 クーロムの法則、靜電誘導

今ここに二個の點電荷 q_1, q_2 がありとし、この間の距離を r とすれば兩者の間には $q_1 q_2$ の相乗積に比例し r の自乗に逆比例する様な力が作用する。この力の爲、電荷が同種なる時は相反撥し、相異なる時は相吸引する。

これが**クーロムの法則**であつてこの力は兩電荷を圍繞する誘電體によつて異りその**誘電率**を ϵ とすればクーロムの法則は

$$f = \frac{1}{\epsilon} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \dots \dots \dots (1.1)$$

で表はされる。

今 $\epsilon=1$ 即ち空氣中に於て

$$q_1 = q_2 = q ; \quad r = 1 \text{cm}$$

なる時 $f=1$ ダインとなる様な q を電荷の單位とし靜電單位系で表はして**1單位電荷**であると云ふ。

一般に電荷を**静電単位** (e.s.u) で表はし r を極で表はす事とすれば(1.1)式は次の様になる。

$$f = \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \text{ (ダイン)} \dots \dots \dots (1.2)$$

電荷の實用單位としては工學上**クーロム**を用ひ1クーロムは 3×10^9 e.s.u に當る。

又絶縁された金屬棒の一端を他の帶電物體に近づけると金屬棒のその帶電體に近い方の端にはこれと異種の電氣が現はれ、他端には帶電體と同種の電氣を誘導する。斯かる現象を**静電誘導作用**と云ひ、この作用により導體の兩端に現はれる正負の電荷は其の量が相等しい。蓋し絶縁された導體の中には正負等量の電荷が平等に分布して居るが之に他の電荷を近づけるとその中の正電荷が反撥され負電荷は吸引力を受けて其の兩端に現はれるものと考へられて居る。

1.1.3 静電界

静電力が作用する空間を**静電界**或は略して單に**電界**と云ふ。静電界中の一點へ、電界の状態には何等の變化を與ふる事なくして微小正電荷を導入したとすればその電荷に作用する力の大きさを單位正電荷當りに換算したものをその點に於ける**静電界の強さ**或は**電氣力**と云ひ、この力の方向を以てその點に於ける電界の方向を表はす。

電界の強さの單位としては單位正電荷に對して1ダインの力を及ぼす様な強さの電界を取り之も e.s.u で1**單位電界**と云ふ。

電界中の B 點から A 點へ單位正電荷を移動せしめる時これに働く電氣力に逆つて外力が仕事をしなければならぬ場合には A 點の方が B 點よりも高電位にあると云ひ、その仕事の大きさを以てこの二點間の**電位差**の大小を表はす。又 B 點が無限遠の處にある場合にはこの値を單に A 點の電位と云ふ。電位差の單位としては單位正電荷を運ぶに要する仕事が1エルグなる場合の電位差を用ひ實用單位としては**ボルト**を用ふる。

1 ボルトは $1/300$ e.s.u に當る。電位差は又**起電力** (E.M.F) 又は**電壓**とも云

ふ。

等電位面とは電界中に假想した面であつて、その上の各點が到る所等電位にある如きものである。電界は等電位面と直交する。

靜電的に定常状態にある導體の表面及び内部は總て等電位にあり電氣力は導體内到處で零である。**電氣力線**とは電界内に假想した線で次の様な性質を有するものである。

- (1) 電界内の一點を通る電氣力線に對する切線はその點の電界の方向を示す。
- (2) 電界内の或る點に於ける電氣力線密度はその點の電界の強さを表はす。
- (3) 電氣力線は正電荷より出發し負電荷に終る。
- (4) 單位電荷當りの電氣力線數は 4π 本である。

電氣力線管は電界中に想像した管面であつて電界中に任意に取つた微小面積の周縁を通過する電氣力線を以て構成される。電氣力線管がその兩端に單位電荷を包含する場合には之を**單位力線管**又は**ファラデー管**と云ふ。

ファラデー管は次の様な性質を有する。

- (1) 單位正電荷から出發して單位負電荷に終る。
- (2) 高電位の點から低電位の點へと走る。
- (3) 或る帶電導體から出發する管數とこれに入來する管數との差は該導體の帶電量に等しい。
- (4) 誘電率 ϵ なる誘電體中の一點の電氣力 E はその點に於けるファラデー管密度 N の $4\pi/\epsilon$ 倍に等しい。

誘電體中の一點に於て或る方向に垂直な單位面積中を通過するファラデー管數をその方向への**誘電束密度**又は**電氣變位**と云ふ。誘電束密度の分布狀況を表はす爲に**電氣誘導線**を描くがその或る點に於ける切線はその點での誘電束の方向を示し、この線の密度はその點に於ける誘電束密度の値を表はす。

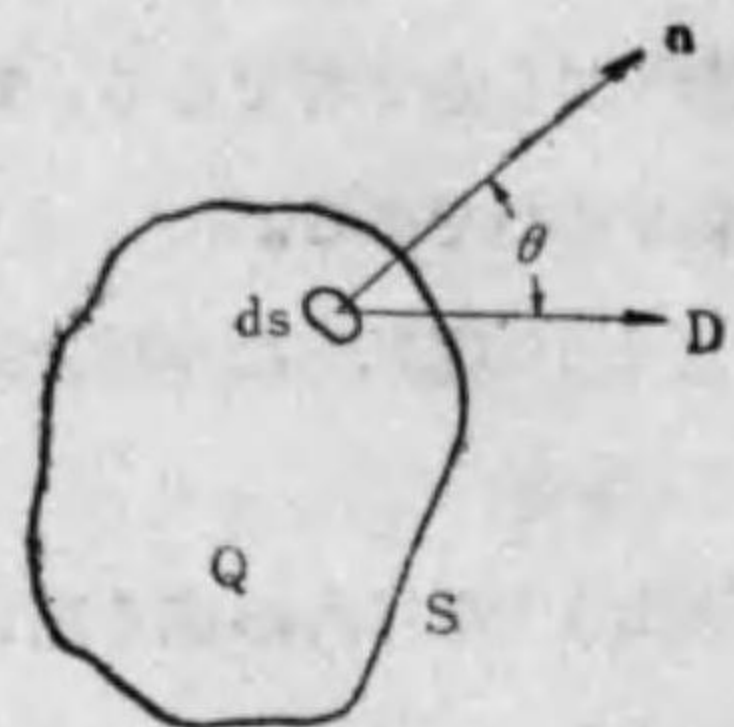
電界中に任意の閉表面 S を取りその上の一点に於ける誘電束密度を D としこれとその點を取巻く閉表面の一部 ds 上に立てた外向法線 n との間の角を θ とすれば(第1圖)

$$\iint D \cos \theta ds = Q$$

或は ds 面上の電界の強さを E とすれば

$$\iint \epsilon E \cos \theta ds = - \iint \epsilon \frac{\partial V}{\partial n} ds = 4\pi Q$$

となる。是はガウスの定理と稱せられるものである。



第1圖

又 D_x, D_y, D_z を夫々電界中の或る點の誘電束密度の x, y, z 分, ρ を其處の電荷體積密度とすれば

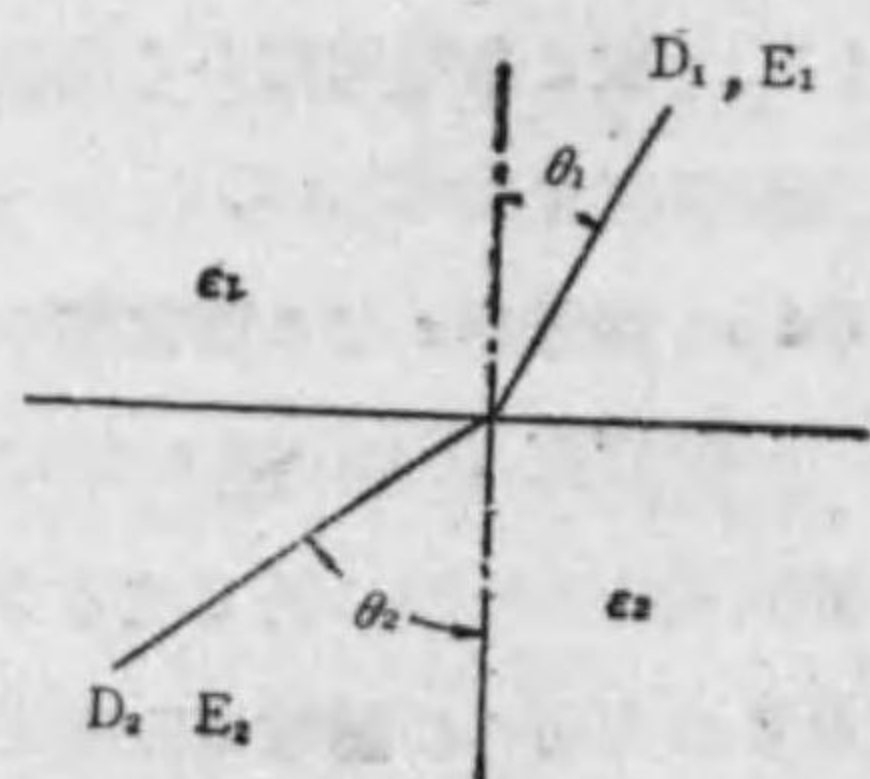
$$\frac{\partial D_x}{\partial x} + \frac{\partial D_y}{\partial y} + \frac{\partial D_z}{\partial z} = \rho$$

若し媒質が均等である場合には

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = - \frac{4\pi}{\epsilon} \rho$$

これをポアソン方程式と云ふ。特に $\rho=0$ の場合にはこれをラプラス方程式と云ふ。

誘電率が夫々 ϵ_1 及び ϵ_2 なる二種の誘電體が相接する境界面では其處に電荷が存在しない時、電氣力の界面に平行な分力及び誘電束密度の界面に對する直角分は兩誘電體に於て夫々相等しい。従つて電氣力線並に電氣誘導線は界面通過の際第2圖に示す様に屈折し次の關係式が成立つ。



第2圖

$$\tan \theta_1 : \tan \theta_2 = \epsilon_1 : \epsilon_2 \dots \dots \dots (1.3)$$

1.1.4 導 體 系

空間に n 個の獨立導體があつて第一導體に Q_1 , 第二導體に Q_2第 n 導體に Q_n の電荷を與へた時は是等の導體の電位が夫々 V_1, V_2 V_n 丈増加するものとすれば Q と V との間には次の關係がある。

$$V_r = \sum_{s=1}^n p_{r,s} \cdot Q_s$$

但し p は各導體の形, 大さ, その配置及び是等を取巻く媒質の誘電率等によりきまる値であつて是を電位係數と云ふ。

1.1.5 靜 電 容 量

孤立した絶緣導體の電位を單位量に保つ爲これに與ふべき電荷量をこの導體の靜電容量と云ひ例を示せば次の如くである。

半徑 r なる球體	$C=r$
半徑 r , 厚さ t の薄肉板 ($r \gg t$)	$C=2r/\pi$
半徑 r , 長さ l の長圓筒 ($r \gg l$)	$C = \frac{l}{4.605 \log_{10} \left(\frac{l}{r} \right)}$

又二つの導體を考へ、夫等に大さ相等しく、符號相反する電荷 $\pm Q$ を與へた場合該導體間に V の電位差を生ずる場合には是等二導體間の靜電容量 C は $C=Q/V$ である。例を示せば

同心球 (外球の内半徑 r_1 , 内球の外半徑 r_2):	$C = \frac{\epsilon r_1 r_2}{(r_2 - r_1)}$
同軸圓筒 (外圓筒の内半徑 r_1 , 内圓筒の外半徑 r_2 , 長さ l , $l \gg r_1, r_2$):	$C = \frac{\epsilon l}{4.605 \log_{10} \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$

平行板 (面積 s , 距離 t , $s \gg t$): $C = \frac{\epsilon s}{4\pi t}$

以上何れの場合に於ても ϵ は兩導體間の媒質の誘電率を示す。

二個の導體間の靜電容量を利用する爲二個の導體と誘電體とを組合せ、これ等二導體と他の導體又は大地に對する靜電容量がこの二導體間の靜電容量に比べて無視し得る様な場合には之を蓄電器と云ふ。靜電容量が C_1, C_2なる若

電器を併列又は直列に接続した場合の合成容量は次の通である。

$$\text{併列の場合: } C = C_1 + C_2 + \dots + C_n \dots\dots\dots(1.4)$$

$$\text{直列の場合: } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \dots\dots\dots(1.5)$$

静電容量の實用單位としては**ファラッド (F)**を用ふる。1ファラッドは 9×10^{11} (e.s.u) であるがこの 10^{-9} 倍を1**マイクロファラッド (μF)**と云ふ。従つて

$$1\mu F = 9 \times 10^9 \text{ (e.s.u)}$$

である。

空気を媒質とした平行板蓄電器に於て S を板の面積, t を板間の距離とすれば

$$C = \frac{S}{4\pi t} \text{ (e.s.u)}$$

なる事は上述の通であるが更にこれは

$$\begin{aligned} &= \frac{S}{4\pi t} \cdot \frac{1}{9} \times 10^{-11} \text{ (F)} \\ &= 8.84 \frac{S}{t} \times 10^{-9} \text{ (\mu F)} \dots\dots\dots(1.6) \end{aligned}$$

若し平行板間の媒質が空気でなく誘電率 ϵ なる物質で満されてゐるとすれば

$$\begin{aligned} C &= \frac{\epsilon S}{4\pi t} \text{ (e.s.u)} \\ &= 8.84 \frac{\epsilon S}{t} \times 10^{-9} \text{ (\mu F)} \dots\dots\dots(1.7) \end{aligned}$$

となる。各種の誘電体に就て ϵ の例を示せば次の如くである。

誘電體	ϵ
乾燥せる紙	2.0~2.5
パラフィン	2.0~2.3
雲母	5.7~7.0
硝子	5.0~10.0

總括

1. クーロムの法則

$$f = C \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ (空气中)}$$

$$f = C \cdot \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} \text{ (誘電率 } \epsilon \text{ なる媒質中)}$$

2. 静電界

静電力が作用する空間, 略して電界とも云ふ。

3. 静電界の強さ

静電界中の一點へ電界の状態には何等の變化を與ふる事なくして微小正電荷を導入した場合その電荷に作用する力の大きさを單位正電荷當りに換算したもの, 略して電氣力とも云ふ。

4. 電位差

電界中の B 點から A 點へ單位正電荷を移動せしめる時これに働く電氣力に逆つて外力が仕事をする場合には A 點の方が B 點よりも高電位にあると云ひ, その仕事の大きさを以てこの二點間の電位差の大小を表はす。

5. 等電位面

電界中に於て面上の各點が到る處等電位にある如き假想面を云ふ。

6. 電氣力線

電界中に想像した曲線であつて其曲線の各點に引かれた切線の方向が總て其點に於ける電界の方向を表はす如き曲線を云ふ。

7. 電氣力線管

正電荷を持つ導體の表面に一つの面積を考へ其の縁端曲線上から發する電氣力線によつて作られる管を云ふ。

8. 單位力線管

力線管の末端にある電荷量が單位量である如き力線管を云ふ。

9. 電氣力線並に電氣誘導線の屈折

$$\tan\theta_1 : \tan\theta_2 = \epsilon_1 : \epsilon_2$$

10. 静電容量

孤立した絶縁導体の電位を単位量に保つ爲これに與ふべき電荷量を云ふ。

11. 蓄電器

静電容量を利用する目的を以て導體とその間の絶縁物とを特別に配置したものを云ふ。

12. 併列蓄電器の容量

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

13. 直列蓄電器の容量

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

練習問題

(1) C_1, C_2, C_3 なる3個の蓄電器を並列に接続した場合の合成静電容量は

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

なる事を證明せよ。

(2) C_1, C_2, C_3 なる3個の蓄電器を直列に接続した場合の合成静電容量は

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$

なる事を證明せよ。

(3) 板数 n なるラジオ用可變蓄電器の容量は

$$C = 8.84(n-1) \frac{S}{t} \times 10^{-8} (\mu F)$$

なる事を證明せよ。

(註) 板数 n なる事は $(n-1)$ 個の蓄電器が並列に接続されてゐることである。

(4) 平行板蓄電器あり其の空隙 t cm で之に E ボルトを加へた時破壊放電を起すと云ふ。今若し平行板に沿ひ厚さ $0.3t$ の雲母板及び厚さ $0.3t$ の硝子板を挿入する時は幾ボ

ルトで破壊放電を起すか。但し誘電率硝子は 10, 雲母は 8 とし空氣中に於ける破壊放電を生ずる傾度は一定とする。 ($\frac{151}{400} E$ ボルト)

1.2 磁 氣 學

1.2.1 磁石と磁氣。

磁石は一種の鋼鐵片であつて之を他の鐵片に近づけると夫れを吸引することは一般に知られてゐる通りである。磁石には正極と負極とがあり正極は N 極とも云つて地球の北極に向ふ力を受け負極は S 極とも云つて地球の南極に向ふ力を受ける。故に磁石の中央を糸で吊すと地球の南北の方向を指すこととなる。

1.2.2 クーロムの法則

磁石の上述の様な性質は磁氣と稱するものゝ存在に基き、其の強弱は其處に存在する磁氣量の大小に従ふものである。

磁氣量 m_1 及び m_2 なる點狀磁極間に働く力 f は兩者間の距離を r とすれば

$$f = k \frac{m_1 m_2}{r^2} \dots \dots \dots (1.8)$$

の形で表はされる。但し k は比例常數である。これをクーロムの法則と云ふ。

m_1, m_2 が同極ならば f は正となつて反撥力を示し、異極ならば吸引力を示す。空氣中に於て同じ強さの極を距離一極隔てた時作用する力が1ダインなる時この極の強さを電磁單位系で1單位磁極と云ふ。

1.2.3 磁 界

磁極に力が働く空間を磁界と云ひ、磁界中の一點にその磁界を亂す事なく單位の正磁極を持ち來す場合これに働く力の方向と大きさを夫々その磁界の方向及び強さとする。

例へば空気中の P 點に強さ m なる正磁極がある場合之から r 距離離れた Q 點に於ける磁界の方向は PQ であり Q 點に於ける磁界の強さは

$$H = \frac{m}{r^2} \dots\dots\dots(1.9)$$

である。

方向及び強さが一樣な磁界を**平等磁界**と云ふ。

磁界中に假想した磁力線を以て磁界の方向と強さの分布を表はす。磁力線の方向はその點の磁界の方向に一致させ、又線の方向に垂直な面に對する線の密度をその點の磁界の強さに一致させる。磁力線を全體として表はす場合には之を**磁束**と云ひ**マックスウエル**なる單位を用ふる。

1.2.4 磁氣誘導

磁力線は N 極より出て S 極に終り、真空内で單位量の磁氣に出入する磁力線の数は 4π である。磁界内に置かれた物體はその作用を受け、體內全體に互り磁化されて磁石となり、その表面に新に正負の誘導磁氣が現はれるのでこの現象を**磁氣誘導**と云ふ。

1.2.5 磁氣モーメント、磁化の強さ

強さ H なる平等磁界中に強さ m なる磁石を置いた場合その兩端に夫々 +mH 及び -mH ダインの力が逆方向に作用するから之等は磁石の中心に對して一つの偶力を形成する事となる。

今磁石の長さを l、磁軸と磁界の間の角を φ とすればこの偶力のモーメントは

$$D = mHl \sin \phi \text{ (輻ダイン)} \\ = MH \sin \phi \text{ (輻ダイン)} \text{ (但し } M = ml) \dots\dots\dots(1.10)$$

この M は電磁單位の磁界中に之と直角をなす如く磁石を位置せしめた時この磁石が受ける偶力のモーメントであつて之を磁石の**磁氣モーメント**と呼ぶ。

磁石は之を如何程細かく分けてもその一つ一つは又新に磁石となる性質を有するが磁石内の各部分に於て單位體積當りの磁氣モーメントを**磁化の強さ**と云

ふ。磁化された物質内の一點に於て磁界の強さを H とし磁化の強さを J とした時

$$B = H + 4\pi J \dots\dots\dots(1.11)$$

を**磁氣誘導**と云ふ。B は別に**磁束密度**とも呼ばれる。

B と H との比即ち

$$\frac{B}{H} = \mu \dots\dots\dots(1.12)$$

を**導磁率**と云ひ J と H との比即ち

$$\frac{J}{H} = K \dots\dots\dots(1.13)$$

を**磁化率**と云ふ。

茲に或る面を考へ之と直角に單位面積當り一本宛の磁力線が通る場合には之が單位の B であつてその時の磁氣誘導度は**1 ガウス**である。

磁力線は導磁率の大なる物體程通り易く μ の値を例示すれば次の如くである。

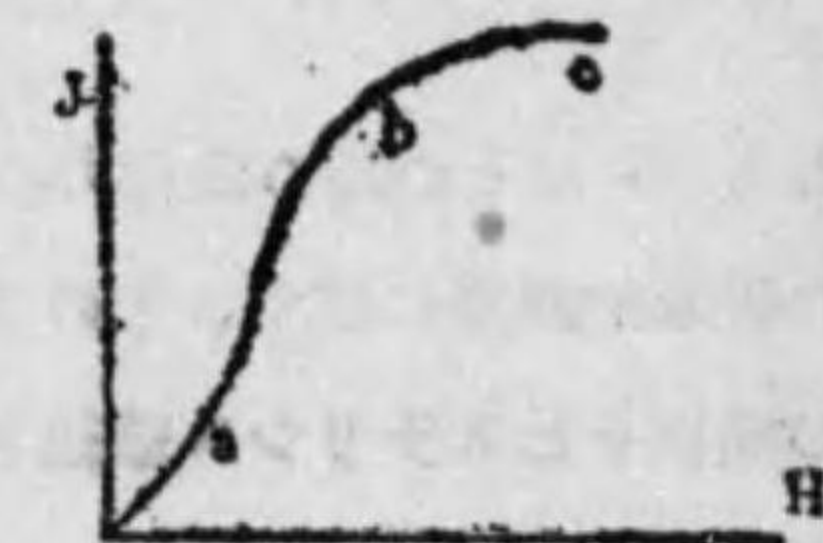
物質	μ の値
鐵	5000~10000
ニッケル	300
コバルト	200

1.2.6 磁化曲線

磁氣誘導による磁化の方向が元の磁界と同方向である物質を**正磁性體**と云ひ

その反對の性質の物質を**逆磁性體**と云ふが前者の内特に磁氣誘導作用の強いものを**強磁性體**と呼び鐵はその例である。

この強磁性體に於て**磁力**が弱い間は J は H に比例して増加するが (第3圖 Oa) H がある値迄増加すると J は急激に増加し (ab)更に



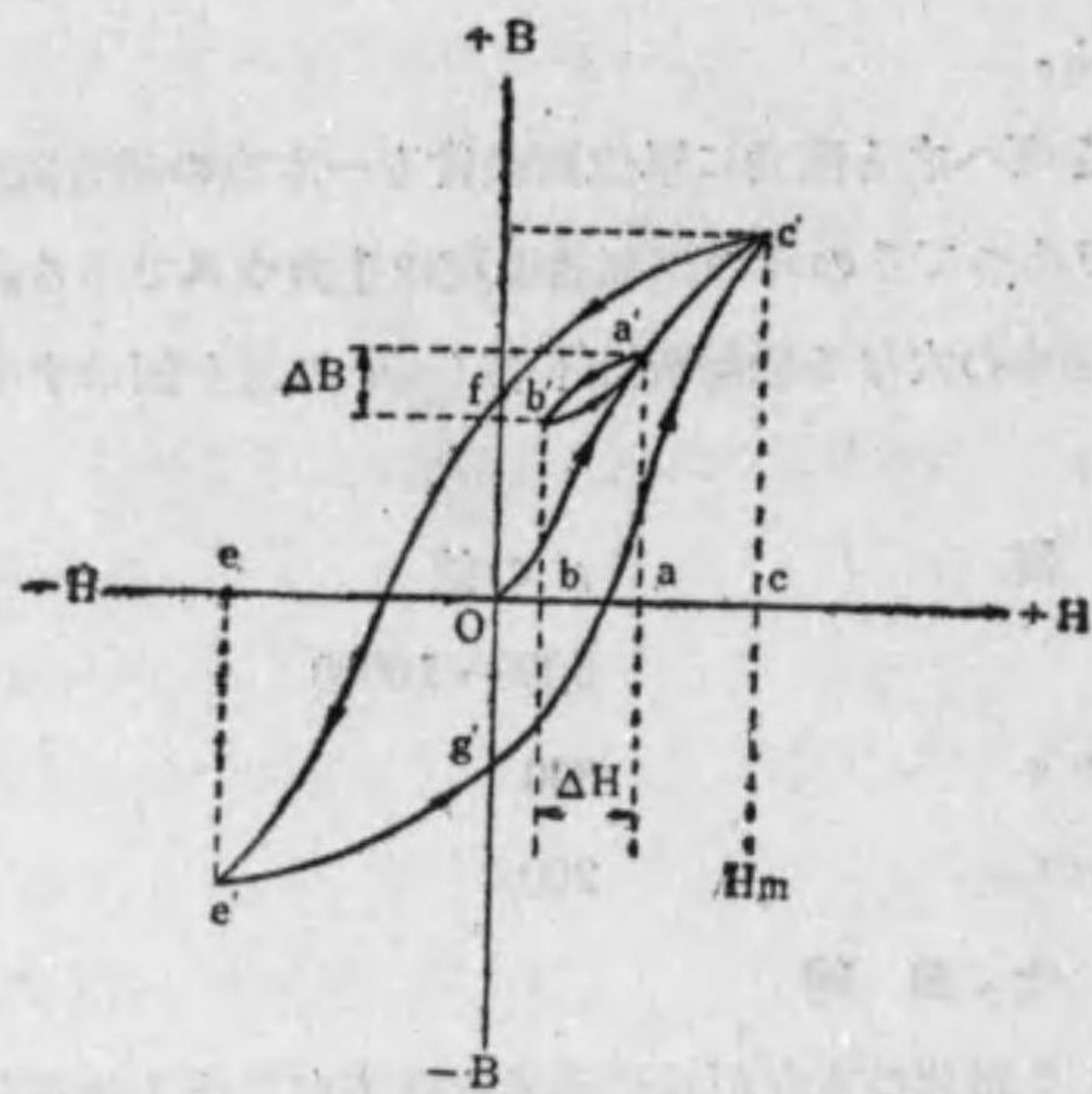
第3圖

Hが増加しても J の増加は止んで一定の値に止まる (bc) この現象を**磁気飽和**と云ふ。

この J と H との関係から B と H との関係を導き、之を**磁化曲線**又は**飽和曲線**と呼ぶ。

1.2.7 磁化ヒステリシス及びヒステリシス損

磁化されてゐない強磁性體を循環的に變化する磁化力 H により磁化すると磁化の強さ J 或は磁束密度 B はこれに従ひ或る面積を包む環線を描く。(第4圖)



第 4 圖

即ち B はその時の磁化力のみによつて定まるのではなく、その以前に經て來た磁氣的經歷に関するものであつて是の様な性質を**磁気ヒステリシス**と呼びその環線を**ヒステリシス環線**と云ふ。

従つて一度磁化されたものは外部磁界を除いても或る程度の磁化状態を残すこととなり、この性質を**保磁性**と云ひ、残留する磁氣を**残留磁氣**と呼ぶ。残留

磁氣を打消す爲には逆に磁化力を加へなければならぬがその磁化力を**保磁力**と呼ぶ。**永久磁石**は残留磁氣を利用し保磁力によりその磁氣を維持するものである。

上述により明である様に磁氣ヒステリシスの爲に磁性體内に勢力の損失が起りそれは一般に熱となる。その熱は即ち**ヒステリシス損失**である。

ヒステリシス損失は實驗的に次式によつて表はし得る事が知られて居る。即ち

$$P_h = \mu f V B_m^{1.6} \times 10^{-7} \dots \dots \dots (1.14)$$

式中 P_h = ヒステリシス損失 (ワット)

μ = ヒステリシス定數

f = 磁化力の周期的變化數 ($\frac{\text{サイクル}}{\text{秒}}$)

V = 磁性體の容積 (cm^3)

である。

1.2.8 地球磁氣

地球上の一點でその磁界の方向を含む垂直面を**磁氣子午面**、その面とその點の水平線との交點を**磁氣子午線**、磁氣子午面と地理的子午面との間の角を**方位角**、磁界 H の水平方向への分力を**水平分力**、水平分力と磁界との間の角を**傾角**と云ふ。我國本州では

水平分力 ≈ 0.3 C.G.S. e.m.u

方位角 $\approx 5^\circ 30'$

傾角 $\approx 48^\circ 40'$

の程度である。

總 括

1. クーロムの法則

$$f = k \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

2. 磁界

磁極に力が働く空間を云ふ。

3. 平等磁界

方向及び強さが一様なる磁界を云ふ。

4. 磁力線

磁界中に仮想した線であつて磁界の方向と強さの分布を表はすものを云ふ。

5. 磁氣誘導

磁界内に置かれた物體がその磁界の作用により磁化されて磁石となりその表面に新しく正負の誘導磁氣が現はれる現象を云ふ。

6. 正磁性體

磁氣誘導による磁化の方向が元の磁界と同方向なる物質を云ふ(例: 鐵)。

7. 逆磁性體

磁氣誘導による磁化の方向が元の磁界と逆方向なる物質を云ふ(例: 蒼鉛)。

3. 強磁性體

正磁性體中特に磁氣誘導作用の強いものを云ふ。

9. 磁氣モーメント

磁石の強さを m , 長さを l とした場合 $ml=M$ を云ふ。

10. 磁化の強さ

單位體積當りの磁氣モーメントを云ふ。

11. 磁氣誘導度(磁束密度)

$$B=H+4\pi J$$

12. 導磁率

$$\mu=B/H$$

13. 磁化率

$$K=J/H$$

14. 磁化曲線(飽和曲線)

B と H との關係を示す曲線を云ふ。

15. 磁氣ヒステリシス

磁化される物體がその以前に經て來た磁氣的履歴に關係する性質を云ふ。

16. 保磁性

一度磁化された物體が外部磁界を除いても猶磁化状態を示す性質を云ふ。

17. 残留磁氣

保磁性に基き残留する磁氣を云ふ。

18. 保磁力

残留磁氣を打消す爲に逆に加ふべき磁化力を云ふ。

19. ヒステリシス損失

磁氣ヒステリシスの爲に磁性體内に勢力の損失が起る現象を云ひ次の實驗式で表はされる $P_h = \eta f B_m^{1.6} \times 10^{-7}$ (ワット)

練習問題

- (1) $\mu=1+4\pi k$ なる事を證明せよ。
 (2) J と H との關係を知り是より B と H との關係を求めるには如何にすればよいか。

1.3 電 流

1.3.1 電荷の移動, 電流

例へば $+q$ 及び $-q$ の電荷を有する二つの導體 A, B を他の導體でつなぐと q の電荷は導體を通つて中和する。斯の如き電荷の移動を電流と云ひ電流の方向としては陽電荷の移動する方向をとり、電流の強さとしては單位時間に或る面を通して移動する電荷の總量を云ふ。

電流の實用單位としてはアンペアを用ふる。一アンペアは毎秒1クーロム即ち 3×10^9 (e.s.u) にあたる。

1.3.2 オームの法則

起電力を含まない任意の線状導体に電流を通じその電流の強さ並に方向が時間に対して變化しない時はその導體の狀態が一定である限り導體中の任意の二點間の電位差 V は電流の強さ I に比例する。これを**オームの法則**と云ふ。數式で示せば

$$V=RI \dots\dots\dots(1.15)$$

である。 R は金屬導體の性質のみによる定數であつて之を**抵抗**と云ふ。

1.3.3 抵抗

一樣な斷面積を持つ直線狀導體の抵抗はその長さ l に比例し斷面積 S に逆比例する。即ち

$$R=\rho_v\left(\frac{l}{S}\right) \dots\dots\dots(1.16)$$

式中 ρ_v はその物質の單位斷面積、單位長さに対する抵抗であつてこれを**體積固有抵抗**又は**比抵抗**と云ひ物質の種類及溫度によつて一定の値である。抵抗の實用單位は**オーム**を用ふる。(1.15) 式に於て電壓 V ボルト、電流 I アンペアの場合抵抗は R オームである。一オームは $\frac{1}{9} \times 10^{-11}$ (e.s.u) にあたる。

固有抵抗の逆數を**導電率**と云ひその單位は**モ**を用ふる。實用的には萬國燒鈍銅標準なるものを定めその導電率を 100%とし他の導體を之に比較してその導體の導電率を % で表はす。例へば普通の銅では 96~98% アルミニウムでは 60~61%の如くである。この様に表はした導電率を百分導電率と云ふ。

導體の抵抗は溫度と共に變化し、溫度が上昇すると金屬の抵抗は増加し炭素等に於ては減少する。或る導體の溫度 t に於ける抵抗を R_t とすれば溫度 T に於ける抵抗 R_T は次式によつて表はされる。

$$R_T=R_t[1+\alpha_t(T-t)] \dots\dots\dots(1.17)$$

但し R_T は溫度 T に於ける抵抗、 R_t は溫度 t に於ける抵抗であつて α を溫度係數と云ふ。

溫度係數の實例を示すと次の通りである。

物質	攝氏 20° に於ける溫度係數
銀	0.0038
銅	0.00393
アルミニウム	0.0039
鐵	0.0050
炭素	-6~-12×10 ⁻⁴

1.3.4 ジュールの法則

V ボルトの電位差の下に於て I アンペアの電流が抵抗 R オームなる導體中を通る場合を考へて見ると或る時間 t 秒中に移動した電荷の總量は

$$q=It$$

であつてこの場合電荷の爲す仕事は

$$W=Vq=VIt=I^2Rt=\frac{V^2}{R}t \dots\dots\dots(1.18)$$

となる。此の勢力は導體内に於て熱勢力に變換されるものであつてこの t 秒の間に發生した熱量を H とすれば

$$H=I^2Rt \dots\dots\dots(1.19)$$

で表はされる。之を**ジュールの法則**と云ふ。

I をアンペア、 R をオーム、 t を秒で表はせば H はジュールで表はされ之を熱の仕事當量 4.2 で除したものは**カロリー**で表はされる。即ち

$$H=\frac{I^2Rt}{4.2} \text{ (カロリー)} \dots\dots\dots(1.20)$$

毎秒當りの勢力即ち仕事をなす割合を**電力**と云ふ。電力の單位は**ワット**である。

1.3.5 キルヒホッフの法則

一般に電流が循環する路を**電氣回路**と云ひ導線で接續されたものを**導線網**と云ふ。キルヒホッフの法則は導線網内に於ける電流電壓起電力等の間の關係を表はしたもので次の二つの項目から成立つ。

- (1) 導線網中の任意の一つの交點に出入する電流の代數和は零である。即ち

$$\sum i = 0$$

(2) 導線網中の任意の一つの閉回路に於て各枝路中の電流と抵抗との積の代数和はその回路中に含まれてゐる總ての起電力の代数和に等しい。即ち

$$\sum iR = \sum E$$

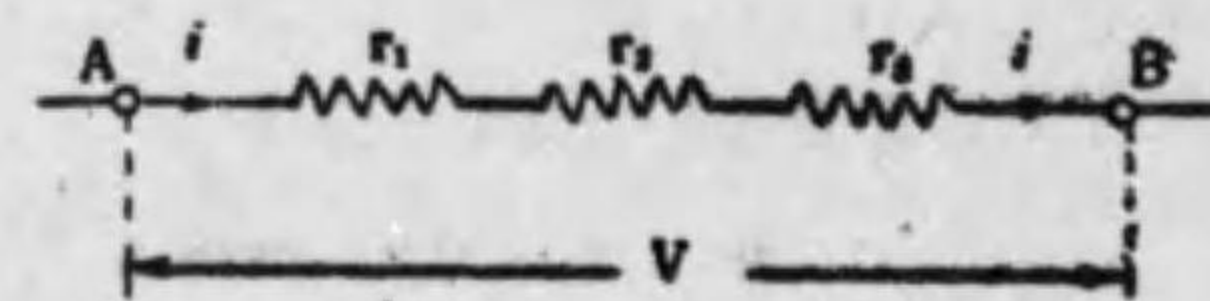
以上何れの場合にも回路中時計式或は反時計式何れかの方向に働く起電力又は電流を正とし他を負とするのである。

是等の法則を適當に運用する事により複雑な回路の問題も容易に解く事が出来る。

1.3.6 抵抗の直列及び並列接続法

(1) 直列抵抗

圖の AB 間に電圧 V ボルトを加へて i アンペアの電流が流れるものとすればキルヒホッフの第二法則により



第 5 圖

$$ir_1 + ir_2 + ir_3 = V$$

故に $r_1 + r_2 + r_3 = V/i$

又 AB 間の合成抵抗を R とすれば

$$R = V/i$$

故に $R = r_1 + r_2 + r_3 \dots\dots\dots(1.21)$

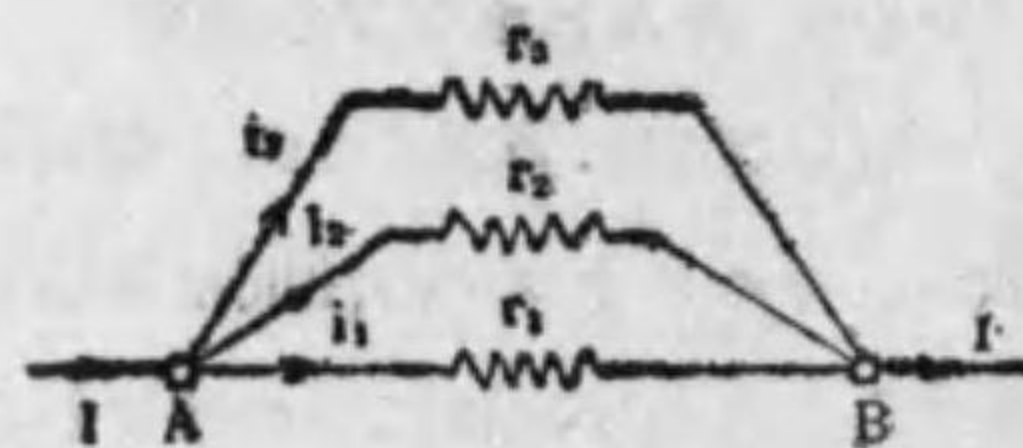
一般に n 個の抵抗が直列に接続せられてゐる場合の合成抵抗は

$$R = \sum_{n=1}^n r_n \dots\dots\dots(1.22)$$

となる。

(2) 並列抵抗

AB 間に電圧 V ボルトを加へ I アンペアの電流が流れてゐるとすればこれが r1 r2 r3 の各回路に分流する電流 i1



第 6 圖

i1 i2 i3 はオームの法則により

$$i_1 = \frac{V}{r_1}, i_2 = \frac{V}{r_2}, i_3 = \frac{V}{r_3}$$

でなければならぬ。然るにキルヒホッフの第一法則により

$$I = i_1 + i_2 + i_3 = \frac{V}{r_1} + \frac{V}{r_2} + \frac{V}{r_3} = V \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \right)$$

又全抵抗を R とすれば

$$R = V/I \text{ 即ち } I = V/R$$

であるから前式と比較して

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} \dots\dots\dots(1.23)$$

一般に n 個の抵抗が並列に接続されてゐる場合には

$$R = \frac{1}{\sum_{n=1}^n \frac{1}{r_n}} \dots\dots\dots(1.24)$$

となる。

總 括

1. オームの法則

導線に通ずる電流の強さはその両端に加へられた電位差に正比例し導体の抵抗に逆比例する。(I=E/R)

2. 抵抗

同一物質に於ける抵抗は長さに比例し断面積に逆比例する (R=ρ0(l/s))

3. 比抵抗

或物質に就て単位断面積を有する単位長さの抵抗を云ふ。

4. 導電率

抵抗の逆数を云ふ。

5. 抵抗の温度係數

$$R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

T 度及び t 度の時の抵抗を夫々 R_T 及び R_t とすれば

$$\frac{R_T}{R_t} = \frac{1 + \alpha_0 T}{1 + \alpha_0 t} = \frac{\frac{1}{\alpha_0} + T}{\frac{1}{\alpha_0} + t}$$

6. ジュールの法則

電流の通つてゐる導體より發生する熱は導體の抵抗に比例し電流の二乗に比例する ($H = I^2 r t$)

7. キルヒホッフの法則

- (1) 導線網中の任意の一點に於て $\sum i = 0$
- (2) 導線網中の任意の閉回路に於て $\sum i R = \sum E$

8. 直列抵抗

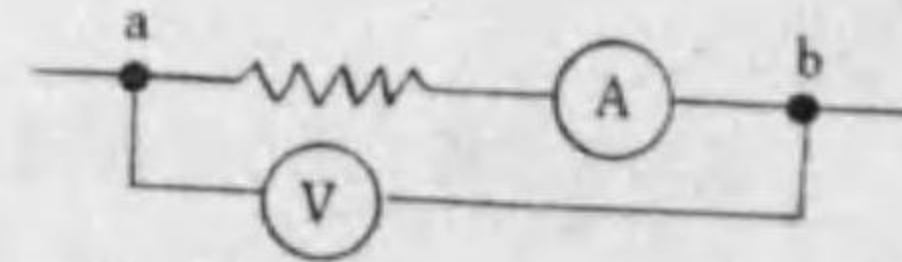
$$R = \sum_{n=1}^n r_n$$

9. 並列抵抗

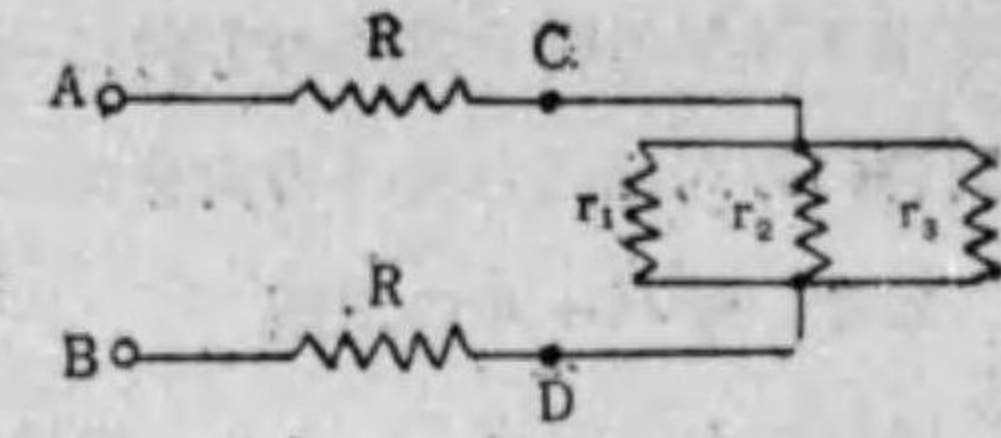
$$\frac{1}{R} = \sum_{n=1}^n \frac{1}{r_n}$$

練習問題

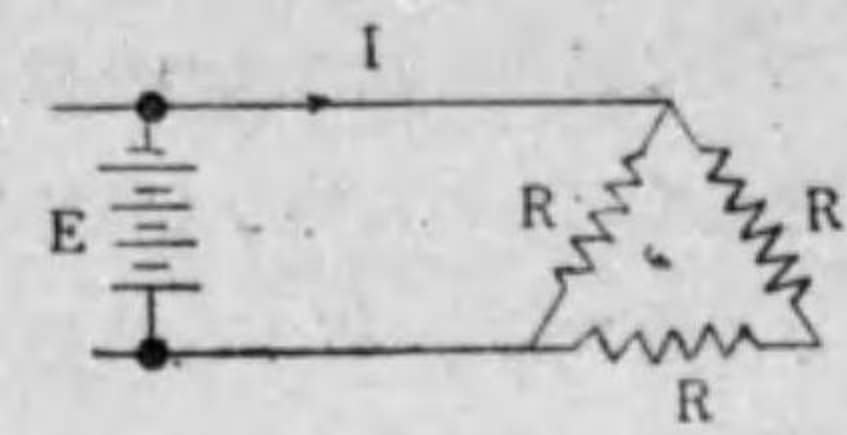
1. 抵抗 r なる銅線と抵抗 nr なるマンガニン線とを直列に接続した回路の温度係数を算出せよ。但し銅線の温度係数は攝氏 1 度に付 0.4 としマンガニン線の温度係数は零とする。 ($\alpha = \frac{0.004}{1+n}$)
2. 温度 $^{\circ}\text{C}$ に於ける抵抗夫々 R_1, R_2 抵抗の温度係数夫々 α_1, α_2 なる二個の抵抗線を直列に接続した場合その合成抵抗の温度係数如何。 ($\alpha = \frac{\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2}{R_1 + R_2}$)
3. 圖の如く電壓計及び電流計を接続し R の抵抗を測定せんとす。電流計の読み 0.5 アンペア電壓計の読み 6 ボルトなる時の R の抵抗は何オームか。但し電流計の抵抗は 1.2 オームとする。 ($R = 10.8$ オーム)
4. 直流 250 ボルトの電壓を二個の 150 ボルト用電壓計を直列にして測定するに當り二個の電壓計の抵抗は夫々 15000 オーム及び 10000 オームならば各計器の指示如何。 ($V_1 = 150$ ボルト, $V_2 = 100$ ボルト)



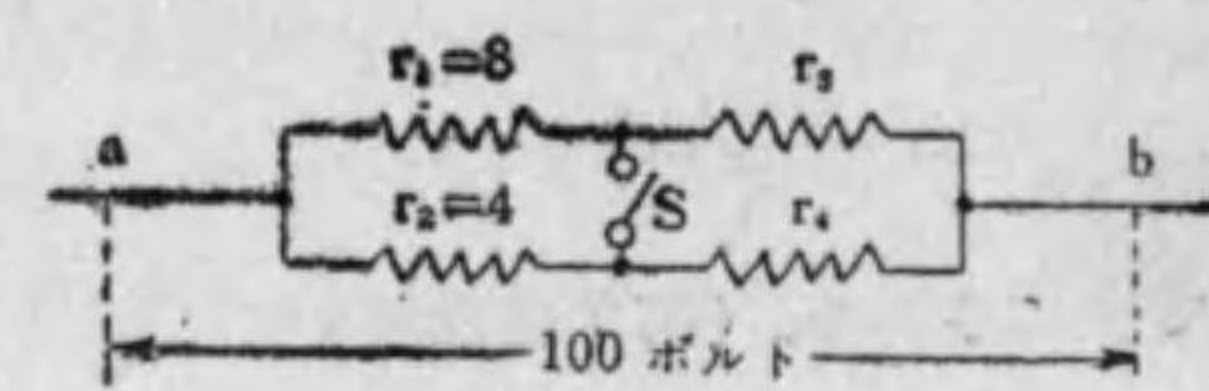
5. 圖の如き電路に於て AB 間の電壓 104 ボルト, 抵抗 $r_1 = 200$ オーム, $r_2 = r_3 = 400$ オーム, $R = 2$ オームとすれば CD 間の電壓は幾ボルトか。 (100 ボルト)



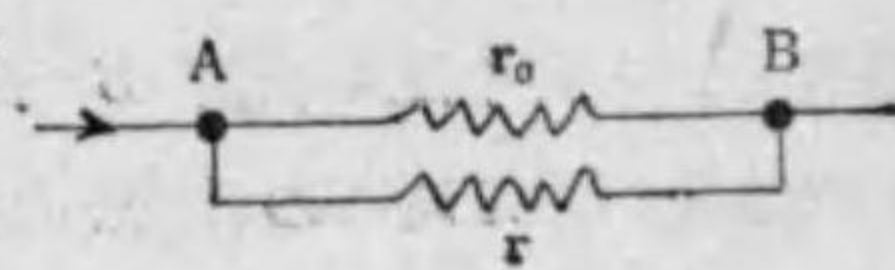
6. 三つの相等しき抵抗 R を圖の如く三角形に接続し其の頂點に起電力 E ボルト, 内部抵抗 r オームなる電池に接続する時電池電流を I アンペアとすれば R の値は幾何か。 ($R = \frac{5}{2} \left(\frac{E}{I} - r \right)$)



7. 4 個の抵抗 r_1, r_2, r_3, r_4 を圖の如く接続し a, b 間の電壓を 100 ボルトに保ち開閉器 S を開閉するも端子 ab を通ずる全電流は常に 30 アンペアであると云ふ r_3 及 r_4 は幾何か。 ($r_3 = 2$ オーム, $r_4 = 1$ オーム)



8. 圖に示す如く電路の一部 AB 兩點間に r_0 なる一定抵抗あり之と並列に r なる可變抵抗を接続し全電流 i_0 を一定に保つとすれば r の如何なる値の時その内に消費せられる電力は最大となるか。 ($r = r_0$)



9. 電氣抵抗の測定より電線の温度上昇を計算する式を求めよ。

$$\left[T - t = \frac{1 + \alpha_0 t}{\alpha_0} \left(\frac{R_T}{R_t} - 1 \right) \right]$$

1.4. 電磁氣學

1.4.1 電流による磁界

電流はその周圍に磁界を生じ直線狀電流に基く磁界の方向と強さは次の二法則に従ふ。

(1) アンペアの法則

直線狀電流によりその周圍に生ずる磁力線は電流を軸とする同心圓となり

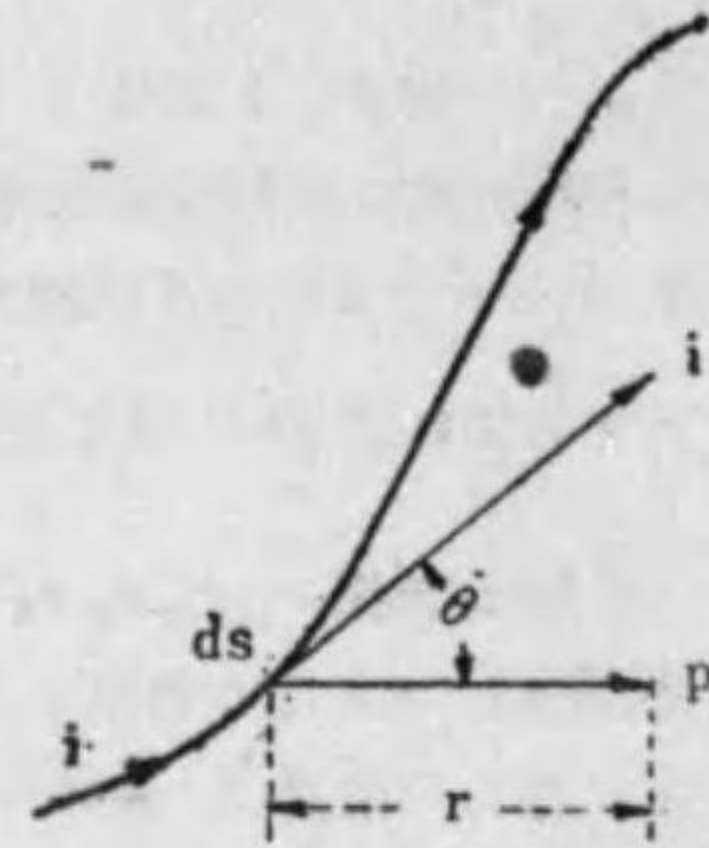
右廻り螺子の軸を電流の方向に一致せしめこれを電流の方向に進めるとその回轉の方向は磁力線の方向を與へる。

(2) ビオ、サバルの法則

任意形の線電流 i によりその外部の一點 p に生ずる磁界は線電流の各微少部分に基く磁界を重疊したものに等しく線電流 i の一點 u に於ける微少部分 dS による磁界 dH は周の媒質の如何に關せず

$$dH = \frac{i \sin \theta}{r^2} dS$$

で表はされる。(第7圖参照)



第 7 圖

1.4.2 電流と磁界及び電流相互間の作用

電流を通ずる導體が磁界中にある時はこの導體は或る力を受ける。これを**電磁力**と云ふ。今磁束密度 B なる磁界中にそれと直角に i なる電流を通ずる直線狀導體がある時この導體が受ける力は $f=iB$ であつてその力の方向は左手の親指と人差指と中指とを互に直角の位置にした場合人差指を磁力線の方向、中指を電流の方向とすれば親指は力の方向を表はす。之を**フレミングの左手の法則**と云ふ。

1.4.3 起磁力

或る線狀磁路に沿ふ磁界の強さは單位磁極をしてその回路を一周せしめる時の仕事に等しく、電路と磁路との交叉數を N とすれば I をアンペアで表した場合起磁力は $0.4\pi NI$ で表はされる。 NI を**アンペア回數**と稱へこの磁氣回路に於ける起磁力の尺度とする。

1.4.4 電磁誘導作用

磁線と交叉して居る閉電路内にある磁束交叉數が時間的に變化すれば該閉電路内に起電力を發生し電流が流れる。又導線と磁線との間に相互運動がある時

も起電力を生ずる。これを**電磁誘導作用**と云ひ、これによつて發生する起電力及電流を夫々**誘導起電力**及び**誘導電流**と云ふ。

右手の親指、人差指及び中指を夫々直角の位置とし親指を運動の方向、人差指を磁力線の方向にとれば中指は誘導起電力の方向を表はす。之を**フレミングの右手の法則**と云ふ。

電磁誘導作用によつて閉電路に生ずる誘導電流は常に誘導作用を起す磁束に反對する方向に流れる性質がある。之を**レンツの法則**と云ふ。

一つの閉回路内に流れる電流の強さを變化せしむればその電流による磁束とその閉回路との交叉數に變化を生じ磁束の變化を妨げる様な方向に起電力が誘起され電流の變化に反對せんとする作用を呈するので之を**自己誘導作用**と云ふ

又 A, B なる相近接した二回路があつてその一方 A に流れる電流の強さ、従つて生ずる磁束數が變化すれば B と交叉する磁束數が變化し、その爲に B 回路に起電力を誘起する。之を**相互誘導作用**と云ふ。

自己誘導作用による起電力 e は電流變化の割合に正比例する。即ち $e = -L \left(\frac{di}{dt} \right)$ でこの L をその回路の**自己誘導係數**或は**自己インダクタンス**と稱する。

又相互誘導作用によつて B に誘起する起電力 e_2 は A に流れる電流 i_1 の時間に對する變化の割合に比例し $e_2 = -M \left(\frac{di_1}{dt} \right)$ で表はされる。この M を**相互誘導係數**或は**相互インダクタンス**と云ふ。

自己インダクタンスに於ても相互インダクタンスに於ても電流をアンペア、電壓をボルト、時間を秒で表せばインダクタンスの單位は**ヘンリー**である。

1.4.5 靜電單位系と電磁單位系

靜止状態にある二個の電荷間に作用する力から定めた單位により各種の單位を導いた場合その單位を**靜電單位**と云ふ。

又電流がその周圍に一定の法則による磁界を生ずる事からも**電氣の單位**を導く事を得べくこの様な單位を**電磁單位**と云ふ。

上述の二種の単位の間には一定の関係がある。之等を例示すると

量	實用單位	靜電單位	電磁單位	靜電單位 電磁單位
電氣量	1 クーロム	$=3 \times 10^9$	$=10^{-1}$	C
電流	1 アンペア	$=3 \times 10^9$	$=10^{-1}$	C
抵抗	1 オーム	$=\frac{1}{9} \times 10^{-11}$	$=10^9$	C^{-2}
起電力	1 ボルト	$=1/300$	$=10^8$	C^{-1}
靜電容量	1 ファラッド	$=9 \times 10^{11}$	$=10^{-9}$	C^2

以上の式中 $C=3 \times 10^{10}$ で光の速度に當る。

總括 電磁氣學

1. アンペアの法則

直線狀電流によりその周圍に生ずる磁力線は電流を軸とする同心圓となり右廻り螺子の軸を電流の方向に一致せしめると螺子の進む方向を電流の方向とすれば同轉の方向は磁力線の方向を示す。

2. ビオ、サバルの法則

$$dH = \frac{i \sin \theta}{r^2} ds$$

3. 電磁力

電流を通ずる導體が磁界中にある時この導體が受ける力を云ふ
($f=iB$)

4. フレミングの左手の法則

左手の人差指、中指、親指を互に直角にし人差指を磁力線の方向、中指を電流の方向とすれば親指は力の方向を示す。

5. アンペア回數

$$NI$$

6. 電磁誘導作用

磁線と交叉する閉電路内にある磁束交叉數が時間的變化をなす時は該

閉電路内に起電力が発生し電流が流れる。

導線と磁力線との間に相互運動がある時も同様。

7. フレミングの右手の法則

右手の人差指、中指、親指を互に直角にし人差指を磁力線の方向、親指を運動の方向とすれば中指は誘起電力の方向を示す。

8. レンツの法則

電磁誘導作用によつて閉電路内に生ずる誘導電流は常に誘導作用を起す磁束に反する方向に流れる。

9. 自己誘導作用

閉電路内に流れる電流が變化する時はその電流による磁束の變化を妨げる様な方向に起電力が誘起される。

10. 相互誘導作用

A, B 二回路の内 A に流れる電流が變化すれば B に起電力を誘導する。

11. 自己誘導係數(自己インダクタンス)

$$e = -L \frac{di}{dt} \text{ の } L \text{ を云ふ}$$

12. 相互誘導係數(相互インダクタンス)

$$e_2 = -M \frac{di_1}{dt} \text{ の } M \text{ を云ふ}$$

13. 靜電單位系と電磁單位系

第2章 交流理論概要

2.1 交流

2.1.1 交番起電力

第8圖の如く磁束密度 B ガウスなる平等磁界の中で面積 A 極², 巻数 N の線輪を軸 O の周りに一定速度 ω (ラジアン/秒) で同轉させるとこの線輪と交叉する磁束が時間的に増減する爲線輪内に起電力が起る。圖の位置に於ける線輪と磁束との交叉數 ϕ は

$$\phi = NBA \cos \theta$$

で表はされ、この時の誘起々電力 e は

$$e = -\frac{d\phi}{dt} \cdot 10^{-8} = NBA \sin \theta \frac{d\theta}{dt} \cdot 10^{-8} \\ = \omega NBA \times 10^{-8} \sin \omega t \dots \dots \dots (2.1)$$

但し起電力と磁束の正方向を右捻子の捻ぢる方向と進む方向とに一致させる。

線輪を貫く磁束の最大値 BA は $\theta=0$ の場合に起り之を ϕ_m とすれば上式は

$$e = \omega N \phi_m \times 10^{-8} \sin \omega t = E_m \sin \omega t \dots \dots \dots (2.2)$$

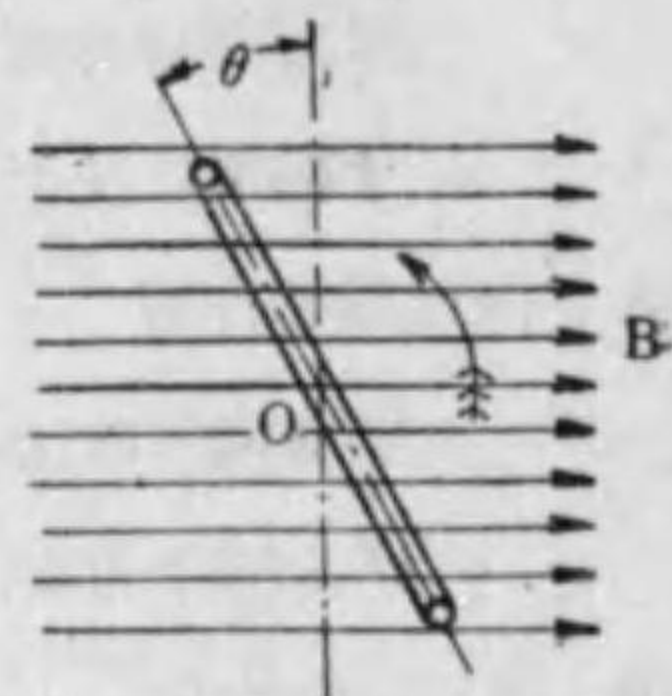
但し $E = \omega N \phi_m \times 10^{-8}$

この式で與へられる起電力は第9圖に示す如く其の大き及び方向が時間と共に規則的に變化しその周期及び周波數は夫々

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

従つて $\omega = 2\pi f$ である。

斯の如く一定時毎に大き方向共に同様な變化を繰返す起電力を交番起電力と云ふ。

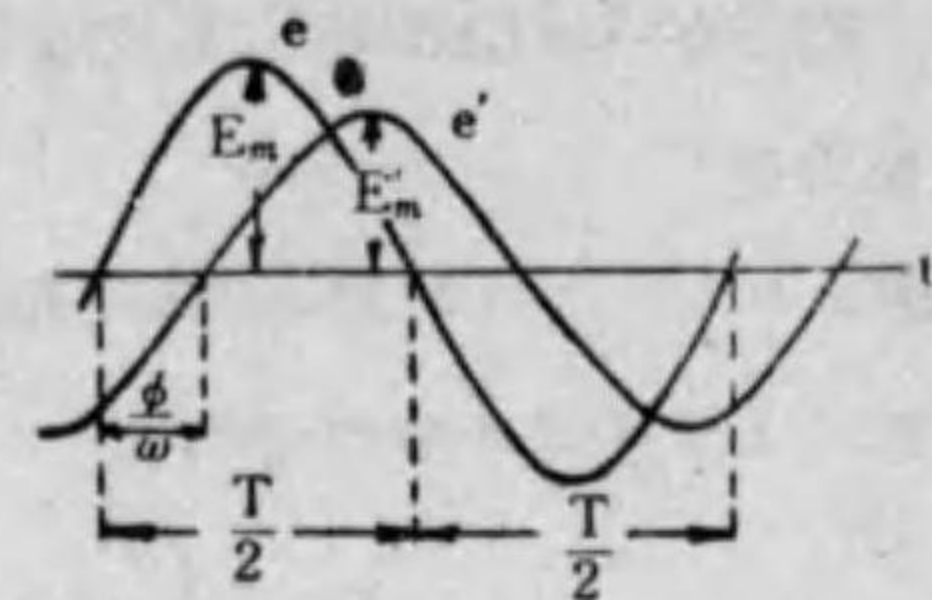


第8圖

第8圖に於て同轉方向と反對に線輪の面と ϕ なる角をなす第二の線輪を置き之を第一の線輪と共に同轉せしむれば各線輪の誘起々電力は

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

$$e' = E_m \sin(\omega t - \phi)$$



第9圖

となり第9圖の様になる。この ϕ を e と e' との相差と云ひ e は e' より ϕ 丈位相が進んで居る、或は逆に e' は e より ϕ 丈位相が遅れてゐると云ひ $\phi=0$ の場合には e と e' とは同相にあると云ふ。

2.1.2 起電力及び電流の表はし方

正弦波は交番起電力、電流等を表はす波形としては標準的なものであるが實際取扱ふ場合には正弦波から崩れた波形の事もある。この様な場合には之を歪形波と稱し次の形で表はす事が出来る。

$$e = E_{m1} \sin \omega t + E_{m2} \sin(2\omega t + \theta_2) + E_{m3} \sin(3\omega t + \theta_3) \\ + \dots + E_{mn} \sin(n\omega t + \theta_n) \dots \dots \dots (2.3)$$

式中 $E_{m1} \sin \omega t$ を基本波と稱し以下を夫々第二、第三高調波等と呼ぶ。正負兩波の波形が對稱的の場合には偶數番目の高調波は表はれて來ない。

斯の如く茲で取扱ふ諸量は時間と共に變化するから之を表はすには諸量の各瞬時値を以てする事もあるが一般的には平均値、實効値等を以てすることが實用される。平均値とは正弦波交流の半周期に於ける瞬時値の平均値であつて實効値とは瞬時値の自乗の一周期に於ける平均値の平方根を云ふ。

實効値 E は $e = E_m \sin \omega t$ に對して

$$E = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T e^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (E_m \sin \omega t)^2 dt} \\ = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot E_m$$

今後特に斷らない場合は常に實効値を意味するものとする。

因に今 $i = I_m \sin \omega t$ なる交番電流が抵抗 r 中を通る時は各瞬時に消費される電力は

$$P = ri^2 = r(I_m \sin \omega t)^2$$

故に1サイクル中の平均は

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T ri^2 dt = r \left[\frac{1}{T} \int_0^T (I_m \sin \omega t)^2 dt \right]$$

電流の実効値を I とすれば上式は

$$P = rI^2$$

となり即ちサイクル中の平均の電力は直流の場合と同じ形で表はされる。

2.1.3 正弦波のベクトル及び記號法

交流の諸量を取扱ふ際三角法を用ひて計算する方法や波形でその時間的變化を表はす事は不便なので下に述べる様なベクトル法或は記號法が主として用ひられる。

(a) ベクトル法

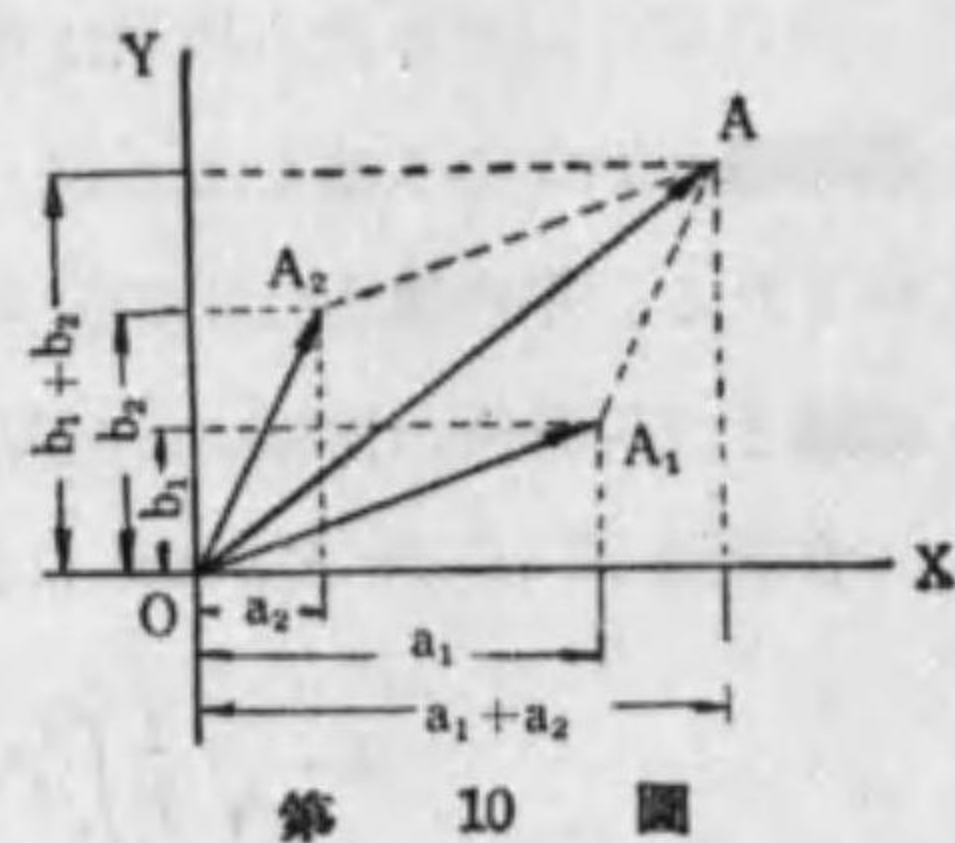
二つの正弦量例へば

$$a_1 = A_1 \sin(\omega t + \phi_1)$$

$$a_2 = A_2 \sin(\omega t + \phi_2)$$

の和は幾何であるかと云ふにそれは第10圖に示す様に X 軸と ϕ_1, ϕ_2 なる角をなし A_1, A_2 の長さを有するベクトル OA_1 及び OA_2 の長さを有するベクトル OA_1 及び OA_2 で表はす事が出来る。従つてこの二つのベクトル OA_1, OA_2 の和 OA は圖の如く OA_1, OA_2 が作る平行四邊形の對角線によつて與へられ

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\phi_1 - \phi_2)} \dots\dots\dots(2.3)$$



第 10 圖

$$\phi = \tan^{-1} \frac{A_1 \sin \phi_1 + A_2 \sin \phi_2}{A_1 \cos \phi_1 + A_2 \cos \phi_2} \dots\dots\dots(2.4)$$

となる。

差を求める場合も同様に類推し得べく X 軸の方向にとつたベクトルを標準ベクトルと云ふ。

(b) ベクトル記號法

更に一步を進めてベクトルを複素數で表はせばベクトルの和又は差は勿論加減乗除も簡單に行ふ事が出来る。

第 11 圖に於てベクトル OA の X 軸上の投影を a , Y 軸上の投影を b とし

$$A = a + jb$$

(但し $j = \sqrt{-1}$)

を以て OA を表はせばベクトルに必要な大いさ A 及び位相角 ϕ は

$$A = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$

で表はされる。即ち

$$a = A \cos \phi$$

$$b = A \sin \phi$$

であるから

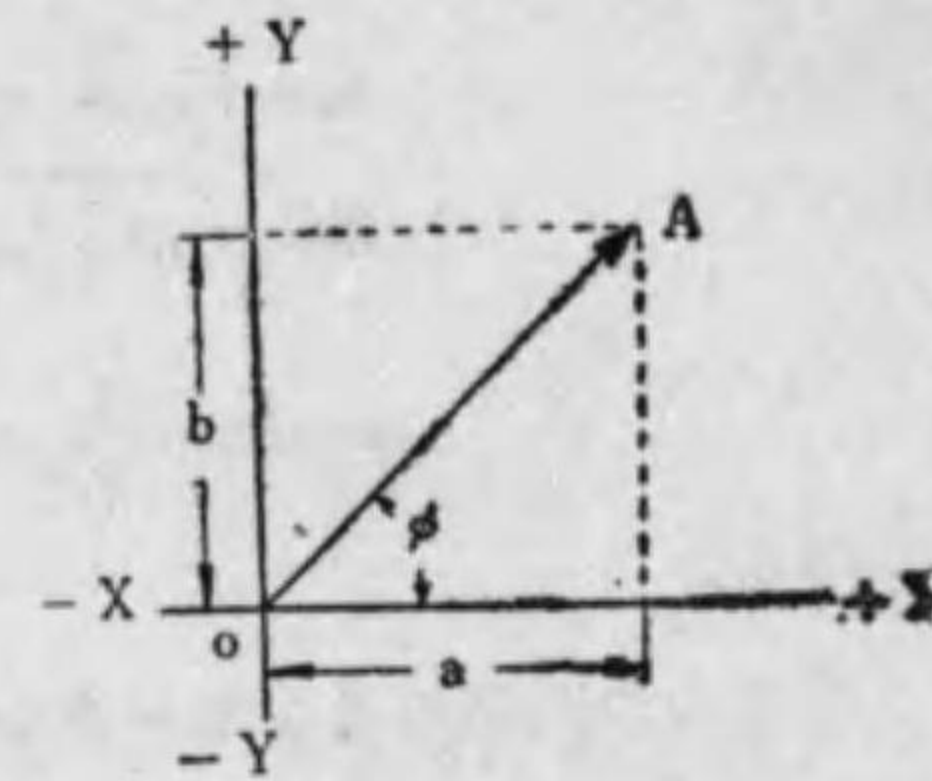
$$A = A \cos \phi + j A \sin \phi = A e^{j\phi}$$

の如く表はす事が出来る。

ベクトルを複素數で表はす方法を記號法と云ふ。

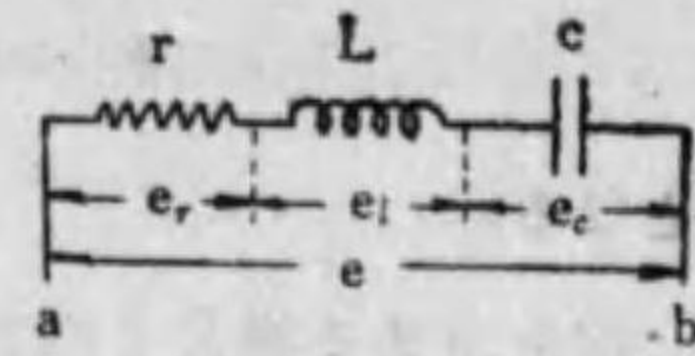
2.2 インピーダンス

2.2.1 抵抗, 自己インダクタンス及び静電容量を含む回路



第 11 圖

抵抗 r , 自己インダクタンス L , 静電容量 C を直列に接続した第 12 圖の様な回路に $v = V_m \sin(\omega t - \phi)$ の電圧を加へた時生ずる電流 i は次式を満足しなければならぬ。



第 12 圖

$$L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int i dt = V_m \sin(\omega t - \phi)$$

この式より定常状態に於ける電流は

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

が得られる。但し

$$I_m = V_m / Z$$

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

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{1}{r} \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$

を得る。

Z をこの回路のインピーダンス, X をリアクタンスと云ひ共にオームなる単位を用ふる。 φ は電圧電流間の相差である。猶 ωL を誘導リアクタンス, $\frac{1}{\omega C}$ を容量リアクタンスと稱する。

直流回路で電流を制限するものは抵抗であるが交流回路ではインピーダンスである。

2.2.2 アドミッタンス

インピーダンスの逆数をアドミッタンスと云ふ。之を \dot{Y} で表はせば

$$\dot{Y} = \frac{1}{\dot{Z}}$$

今 $\dot{Y} = g - jb$ と置いた場合 g をコンダクタンス, b をサスセプタンスと稱する。 Y の絶対値は

$$Y = \sqrt{g^2 + b^2}$$

である。

Y, g, b の単位をモ-と云ふ。

インピーダンス $\dot{Z} = r + jx$ から計算して

$$\dot{Y} = \frac{1}{\dot{Z}} = \frac{1}{r + jx} = \frac{r - jx}{r^2 + x^2} = \frac{r}{r^2 + x^2} - j \frac{x}{r^2 + x^2}$$

之と $\dot{Y} = g - jb$

とを比較すれば

$$\left. \begin{aligned} g &= \frac{r}{r^2 + x^2} \\ b &= \frac{x}{r^2 + x^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.5)$$

同様に

$$\left. \begin{aligned} r &= \frac{g}{g^2 + b^2} \\ x &= \frac{b}{g^2 + b^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.6)$$

なる事も明かである。

アドミッタンスは一般に並列回路の計算に使用して便利を得る事が多い。

2.2.3 交流回路に於ける諸法則

交流回路の起電力, 電流, インピーダンスを記號法で表はした $\dot{E} = I\dot{Z}$ なる関係式は直流回路のオーム法則と同一の形であつて交流回路のオーム法則と呼ばれる。

記號法を用ふる事によつてキルヒホッフの法則も亦交流回路に於て成立する即ち

(1) 導線網中の任意の一點に流入する電流を I_1, I_2, \dots とすれば

$$\Sigma I = I_1 + I_2 + \dots = 0$$

(2) 導線網中の任意の一閉回路に於て各枝路の電流及びインピーダンスを I_1, I_2, \dots 及び $\dot{Z}_1, \dot{Z}_2, \dots$ とし各枝路に存在する起電力を $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dots$ とすれば

$$\Sigma \dot{E} = \Sigma I\dot{Z}$$

但し起電力及び電流の正方向を同一方向にとるものとする。

又インピーダンスの直列及び併列接続も直流回路に於けると同様に取扱ひ得る。

即ち

$$\text{直列インピーダンス } \dot{Z} = \dot{Z}_1 + \dot{Z}_2 + \dots = \sum_{n=1}^n \dot{Z}_k \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\text{並列インピーダンス } \frac{1}{\dot{Z}} = \frac{1}{\dot{Z}_1} + \frac{1}{\dot{Z}_2} + \dots = \sum_{n=1}^n \frac{1}{\dot{Z}_k} \dots \dots \dots (2.8)$$

の如くである。

2.3 交流回路の電力

2.3.1 単相交流回路の電力と力率

或る回路に $e = E_m \sin \omega t$ の電圧を加へて $i = I_m \sin(\omega t - \phi)$ の電流が流れる場合、瞬時電力は

$$p = ei = E_m I_m \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \phi) \\ = EI \cos \phi \cos(2\omega t - \phi) \dots \dots \dots (2.9)$$

一周期中の p の平均値 P は

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{E_m I_m}{2} \left[\frac{1}{T} \int_0^T \cos \phi dt - \frac{1}{T} \int_0^T \cos(2\omega t - \phi) dt \right]$$

この式中

$$\frac{1}{T} \int_0^T \cos \phi dt = \cos \phi$$

となり

$$\frac{1}{T} \int_0^T \cos(2\omega t - \phi) dt = 0$$

となるから

$$P = \frac{E_m I_m}{2} \cos \phi = EI \cos \phi \dots \dots \dots (2.10)$$

但し

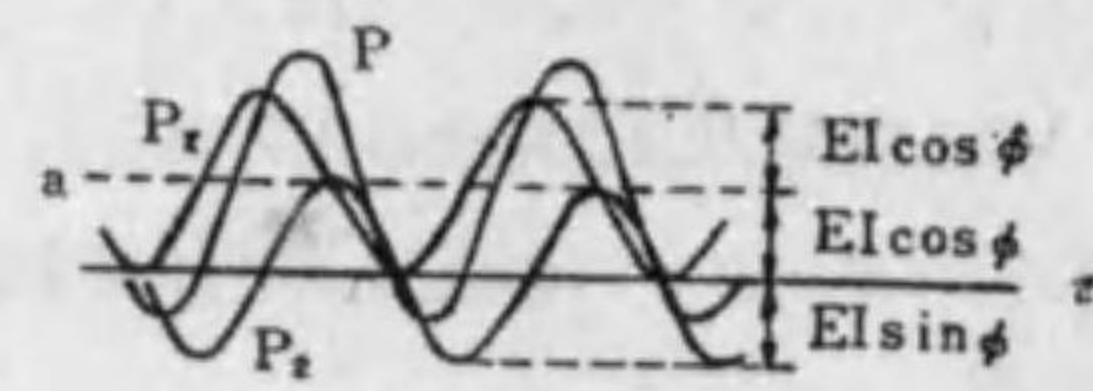
$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

(2.9) 式を書き改めて

$$P = 2EI \cos \phi \cdot \sin^2 \omega t - EI \sin \phi \cdot \sin^2 \omega t = P_1 + P_2$$

の形に表はし P_1, P_2 を圖示すれば第 13 圖の如くなる。

圖の示す如く P_1 は常に正で a を零線として $EI \cos \phi$ の振幅を有し P_2



第 13 圖

は零線の上下に $EI \sin \phi$ の振幅で變化する正弦波を示す。茲で $P_1 = EI \cos \phi$, $P_2 = EI \sin \phi$ とすれば P_1 を有効電力, P_2 を無効電力と云ふ。

又 $EI = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}$ を皮相電力又はボルトアムペアと云ひ有効電力と皮相電力との比を力率と稱する。正弦波の場合には力率は $\cos \phi$ である。

2.3.2 抵抗中の電力

抵抗 r オームなる導線の端子間に e なる電圧が加はつて電流 i が流れる場合には

$$i = e/r$$

であるから $e = E_m \sin \omega t = \sqrt{2} E \sin \omega t$ とすれば

$$i = \frac{E_m}{r} \sin \omega t = \sqrt{2} \frac{E}{r} \sin \omega t$$

となる。

茲で

$$\frac{E_m}{r} = I_m = \sqrt{2} I \text{ とすれば}$$

$$i = I_m \sin \omega t = \sqrt{2} I \sin \omega t$$

即ち純抵抗負荷の場合には i と e とは同位相にあつて $\phi = 0$ であるから瞬時値は

$$p = E_m I_m \sin \omega t \cdot \sin \omega t = r I_m^2 \sin^2 \omega t \\ = \frac{r I_m^2}{2} (1 - \cos 2\omega t) \dots \dots \dots (2.11)$$

従つて平均値は

$$P = EI = r I^2 \text{ (ワット)}$$

となる。

2.3.3 インダクタンス中の電力

インダクタンス L ヘンリーなる導線の両端に e なる電圧が加はつて電流 i が流れる場合、誘導リアクタンスは

$$x_L = \omega L = 2\pi f L \text{ (オーム)}$$

で電圧

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

に対して電流は 90° 位相が遅れ

$$i = \frac{E_m}{x_L} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2} I \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

となる。故に瞬時電力は

$$p = EI \left\{ \cos \frac{\pi}{2} - \cos \left(2\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \right\} = -EI \cos \left(2\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.13)$$

平均電力は

$$P = EI \cos \frac{\pi}{2} = 0 \dots\dots\dots (2.14)$$

となる。

蓋しインダクタンス中に於ける半周波の間の電力は消費される事なしに電流によつて作られる磁界中に貯へられ、次の半周期に於て又元の電源へ電気勢力として返されるのである。

2.3.4 静電容量中の電力

静電容量 C フアラッドを含む回路の両端に e なる電圧が加はつて電流 i が流れる場合容量リアクタンスは $x_c = \frac{1}{\omega C}$ オームで電圧は前と同様

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

とすれば電流は

$$i = \frac{E_m}{x_c} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \sqrt{2} I \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

となる。故に

瞬時値は

$$p = EI \left\{ \cos \left(-\frac{\pi}{2} \right) - \cos \left(2\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \right\} = -EI \cos \left(2\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (2.15)$$

平均値は

$$P = \sqrt{2} EI \cos \left(-\frac{\pi}{2} \right) = 0$$

となる。即ちこの場合にも半周波の間に回路に供給される電力は静電容量(例へば蓄電器)の静電界に貯へられ、次の半周期の間に再び電源へ返されるのである。

2.3.5 歪形波の電力

歪形波は一般にフーリエ級数に分析して表はす事が出来、基本正弦波とその整数倍の周波数を持つ高調波の和として表はす事が出来るのであるが斯様な歪形波電圧を回路に加へた場合の電流は各高調波の電圧が單獨に存在する場合の各電流の和に等しい。

歪形波の實効値は T を基本周期として

$$\sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T y^2 dt}$$

で表はされ、電圧は

$$V = \sqrt{V_0^2 + V_1^2 + V_2^2 + \dots} \dots\dots\dots (2.16)$$

電流は

$$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots} \dots\dots\dots (2.17)$$

を以て表はされる。

擬歪形波の起電力と電流との間の電力即ち E_n, I_m を實効値として

$$e = E_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} E_n \sin(n\omega t + \phi_n)$$

$$i = I_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \sqrt{2} I_m \sin(m\omega t + \psi_m)$$

なる電圧、電流間の電力の瞬時値 p は

$$p = ei = E_0 I_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \sqrt{2} I_m \sin(m\omega t + \psi_m) \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} E_n \sin(n\omega t + \phi_n) + I_0 \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} E_n \sin(n\omega t + \phi_n) + E_0 \sum_{m=1}^{\infty} \sqrt{2} I_m \sin(m\omega t + \psi_m)$$

p の一周期に於ける平均値をとるとこの式の右邊の第三項及び第四項は零となり第二項は $m \neq n$ の場合には零となり $m = n$ の場合には



$$\sum_{n=1}^{\infty} E_n I_n \cos(\phi_n - \psi_n)$$

となる。即ち電力の平均値 P は

$$P = E_a I_a + \sum_{n=1}^{\infty} E_n I_n \cos(\phi_n - \psi_n) \dots \dots \dots (2.18)$$

となり直流分同志及び周波数を等しくする調波同志の電力の和を求めればよい事となる。

2.4 多相方式

2.4.1 多相交流回路と其の結合法

周波数が同一で位相又は振幅を異にする二個以上の交番起電力が存在し之によつて周波数を等しくし、位相を異にする二個以上の交流を得る方式を**多相方式**と云ふ。

特に各相起電力の大きさが相等しく相隣る各起電力間の相差が等しい時は之を**対稱多相式**と云ひ然らざる場合を**非対稱多相式**と云ふ。最も多く用ひられるのは**対稱三相方式**であつて、その場合には

$$\left. \begin{aligned} e_a &= E_m \sin \omega t \\ e_b &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3} \pi \right) \\ e_c &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2.19)$$

で與へられる。是等對稱三相起電力又は電流の瞬時値の和が常に零となる事は上の數式から明かであらう。

多相式の回路は各相單獨に使用する場合と之を互に結合して用ふる場合とあり、前者の場合には之を**獨立式**と云ひ後者の場合には之を**結合式**と云ふ。

結合式の場合各相の起點を全部一箇所に結合したものを**星形結線**又は**Y-結線**と云ひ各相を順次に直列に結合したものを**環狀結線**又は**三角結線**或は**Δ-結線**と云ふ。

Y-結線の場合其の共通の結合點を**中性點**と云ひ之より各端子に至る電位差

を**星形電壓**又は**Y-電壓**と稱する。今電源に負荷した場合各相に流れる電流を**星形電流**と云ひ、之は取も直さず各相から外線へ流れる電流即ち**線電流**になる。三角結線に於ては各相の接續點が即ち端子であるから各相の電壓は端子間の電位差に等しく、之が取も直さず線間電壓である。之に對稱的に負荷した場合各相に流れる電流を**環狀電流**又は**三角電流**或は**Δ-電流**と云ふ。

2.4.2 多相負荷法

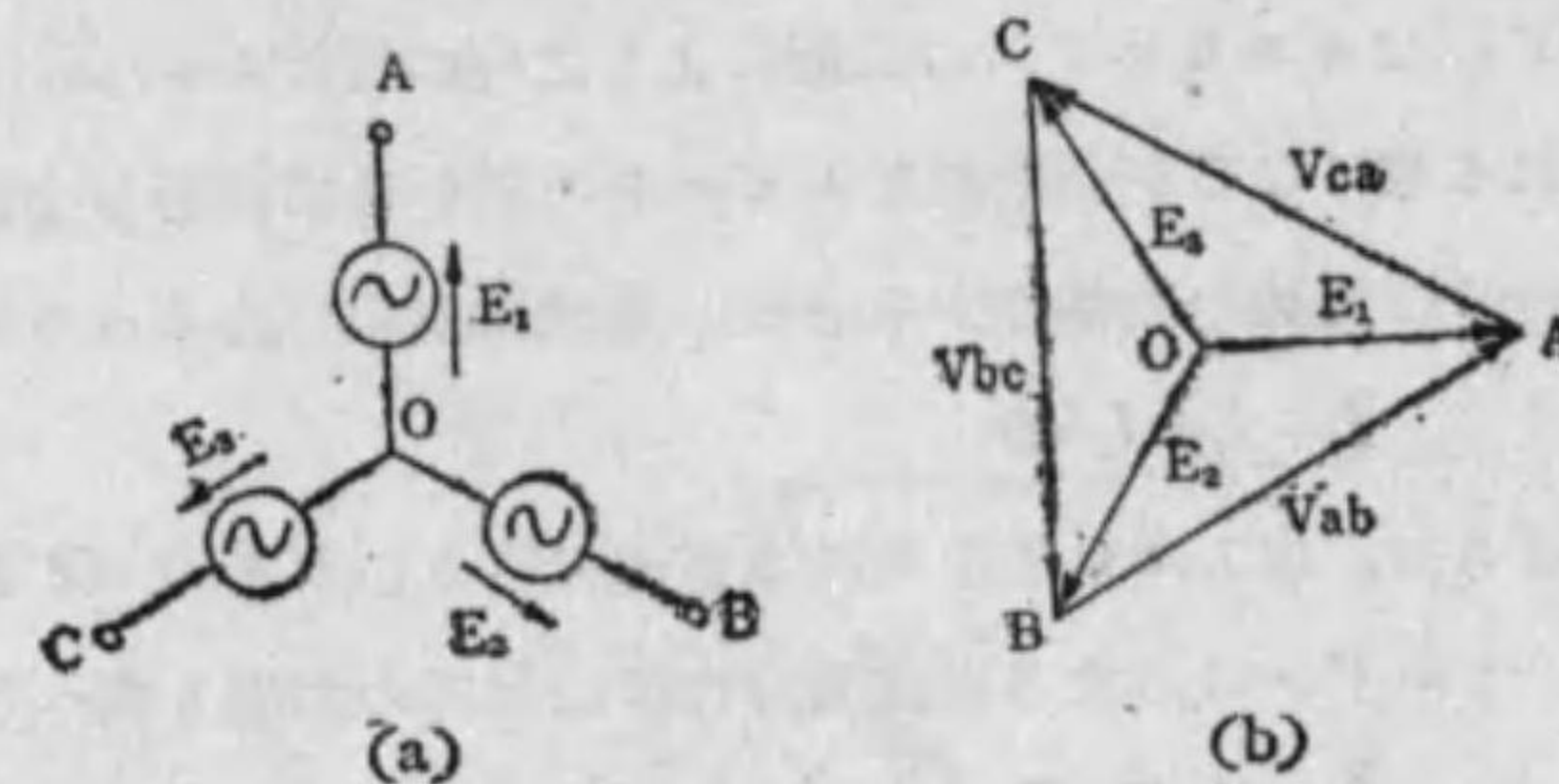
(a) 電源がY-結線の場合

是の場合簡單の爲に線路のインピーダンスを無視し、對稱負荷の一枝のインピーダンスを $Z=r+jx$ とする。

各相の起電力を $\dot{E}_1, \dot{E}_2, \dot{E}_3$ とすれば先づ

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_2 + \dot{E}_3 = 0$$

である。次に無負荷の場合の線間電壓は第14圖から明なる如く



第 14 圖

$$\begin{aligned} V_{ab} &= \dot{E}_1 - \dot{E}_2 = \dot{E} \left[1 - \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right] \\ &= E \left(\frac{3}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \end{aligned}$$

その大きさは $V_{ab} = E \sqrt{\left(\frac{3}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2} = E \cdot \sqrt{3}$

位相は $\phi_{ab} = \tan^{-1} \frac{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{\left(\frac{3}{2}\right)} = \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{3}} = 30^\circ$

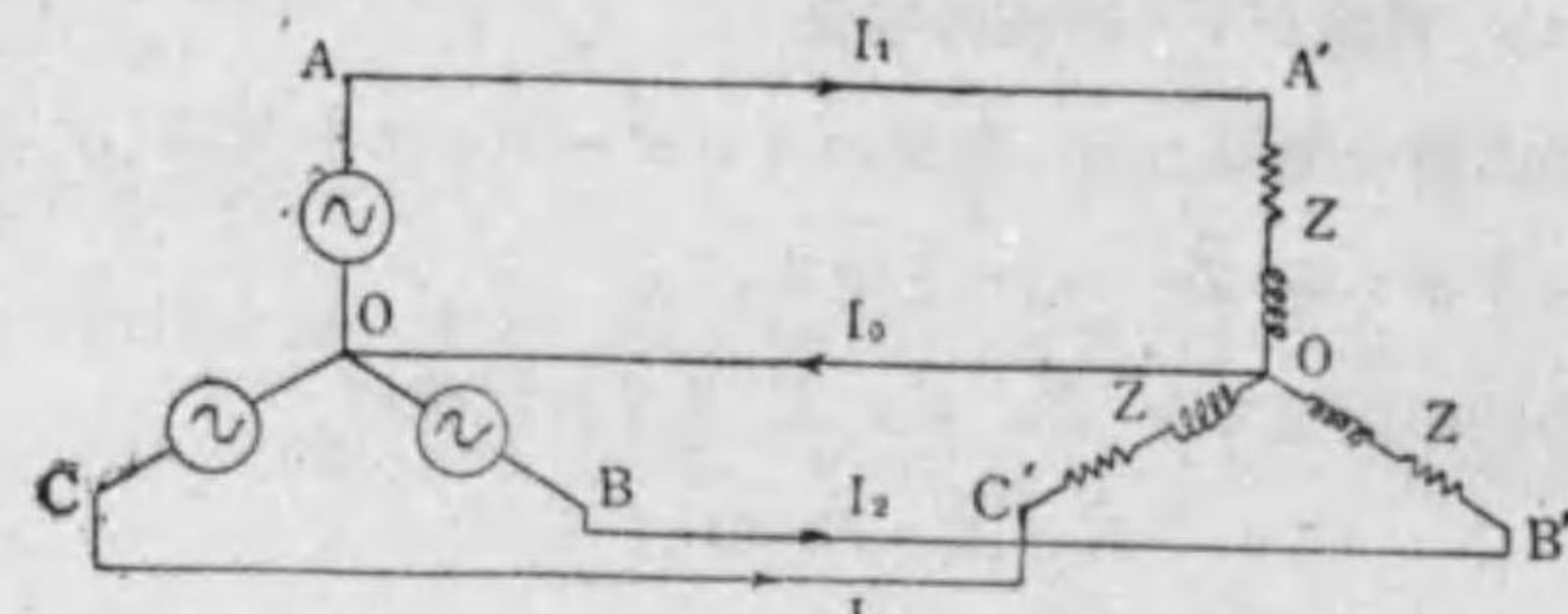
同様に

$$\begin{aligned} \dot{V}_{b.c} &= E \cdot \sqrt{3} & \phi_{b.c} &= 90^\circ \\ \dot{V}_{c.a} &= E \cdot \sqrt{3} & \phi_{c.a} &= 150^\circ \end{aligned}$$

即ち 線間電圧 = $\sqrt{3}$ (星形電圧) (2.20)

の関係が得られる。

擬次にインピーダンス Z を各相に負荷せる場合とし電源の中性点 O と負荷の中性点 O' とを第15圖に點線で示す如く接続し各相の電流を $\dot{I}_1, \dot{I}_2, \dot{I}_3$ とする。



第 15 圖

斯くする場合、

中性点 O, O' にはキルヒホッフの法則により之等の電流の和 ΣI が O' から O に向つて流れる事になるが負荷のインピーダンスが各相相等しく電源の起電力が對稱な場合には回路の對稱性から各相の電流は對稱であるべき筈であるから

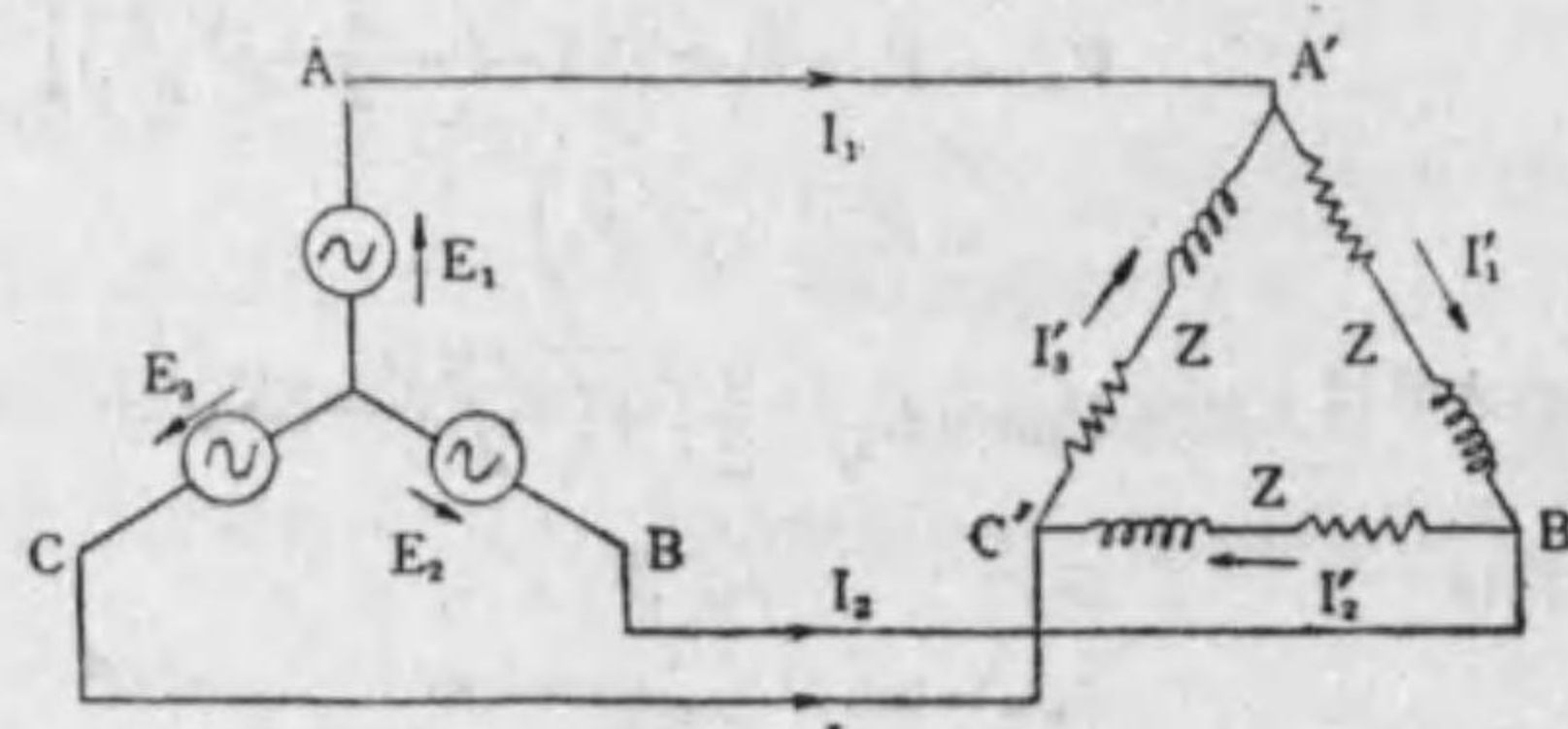
$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}_3 = 0$$

でなければならぬ。即ち中性点を流れる電流は零となり O と O' とは同電位で中性点のインピーダンスの大きさは電流分布には何等の影響も與へない。

従つて $\dot{I}_1 = \dot{E}_1 / Z, \dot{I}_2 = \dot{E}_2 / Z, \dot{I}_3 = \dot{E}_3 / Z$ (2.21)

但し Z は負荷一相のインピーダンスとする。

$Z = r + jx$ であるから各相の電流は其の相の電壓より $\theta = \tan^{-1} \frac{x}{r}$ 丈



第 16 圖

遅れる。

次に三角結線負荷の場合にも(第16圖参照)

負荷の各相を流れる電流を P_1, P_2, P_3 とすれば

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{V_{a'b'}}{Z} = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{Z} \\ P_2 &= \frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_3}{Z} \\ P_3 &= \frac{\dot{E}_3 - \dot{E}_1}{Z} \end{aligned}$$

同様に

是より P_1, P_2, P_3 の大き、位相等が皆分る。又 A', B', C' の各點にキルヒホッフの第一法則を適用すれば線電流 I_1, I_2, I_3 を求める事が出来る。即ち

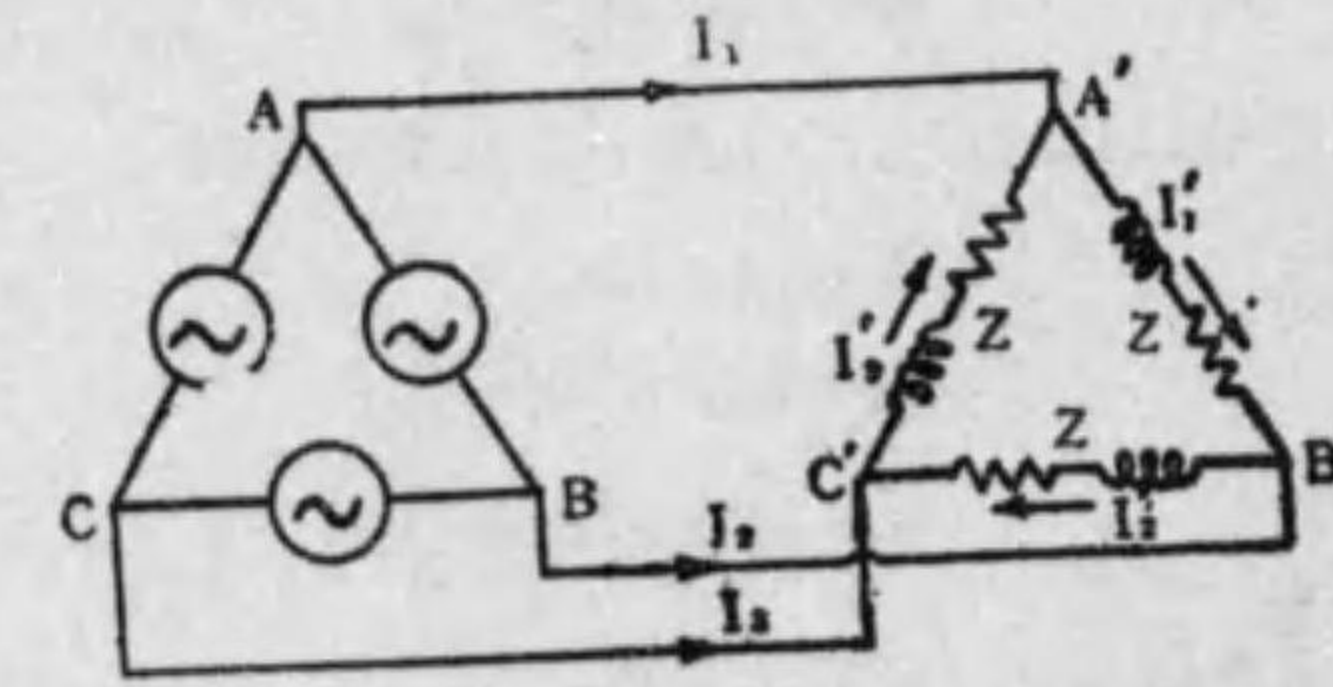
$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{3\dot{E}_1}{Z} \\ I_2 &= \frac{3\dot{E}_2}{Z} \\ I_3 &= \frac{3\dot{E}_3}{Z} \end{aligned} \dots\dots\dots (2.22)$$

是の場合線電流 I と三角電流 P との大きさの関係は

$$I = \sqrt{3} P \dots\dots\dots (2.23)$$

で表はされる。

(b) 電源が三角結線の場合
先づ三角結線負荷の場合には負荷の各相を流れる環状電流は



第 17 圖 (a)

$$P_1 = \frac{\dot{E}_1}{Z}, P_2 = \frac{\dot{E}_2}{Z}, P_3 = \frac{\dot{E}_3}{Z}$$

となり線電流は

$$\begin{aligned} I_1 &= I_1 - P_3 = \frac{1}{Z} (\dot{E}_1 - \dot{E}_3) \\ I_2 &= P_2 - P_1 = \frac{1}{Z} (\dot{E}_2 - \dot{E}_1) \end{aligned} \dots\dots\dots (2.23)$$

$$I_3 = I_3 - I_2 = \frac{1}{Z} (\dot{E}_1 - \dot{E}_2)$$

となり又 Y-結線負荷の場合には

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_3}{3Z} \\ I_2 &= \frac{\dot{E}_2 - \dot{E}_1}{3Z} \\ I_3 &= \frac{\dot{E}_3 - \dot{E}_2}{3Z} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2.24)$$

となる。

2.4.3 多相交流による同轉磁界

第18圖に示す様に三個の等しい線輪 1, 2, 3 を夫々その軸が互に120°宛距る様に配置し之に流れる電流が

$$\begin{aligned} i_1 &= I_m \sin \omega t \\ i_2 &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ i_3 &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

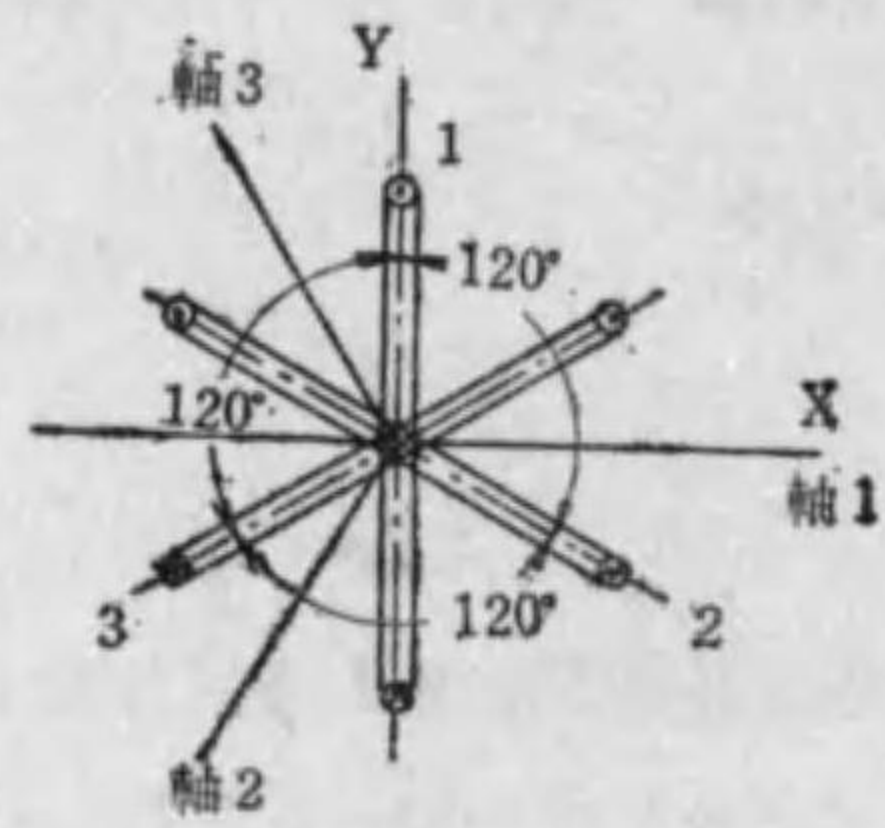
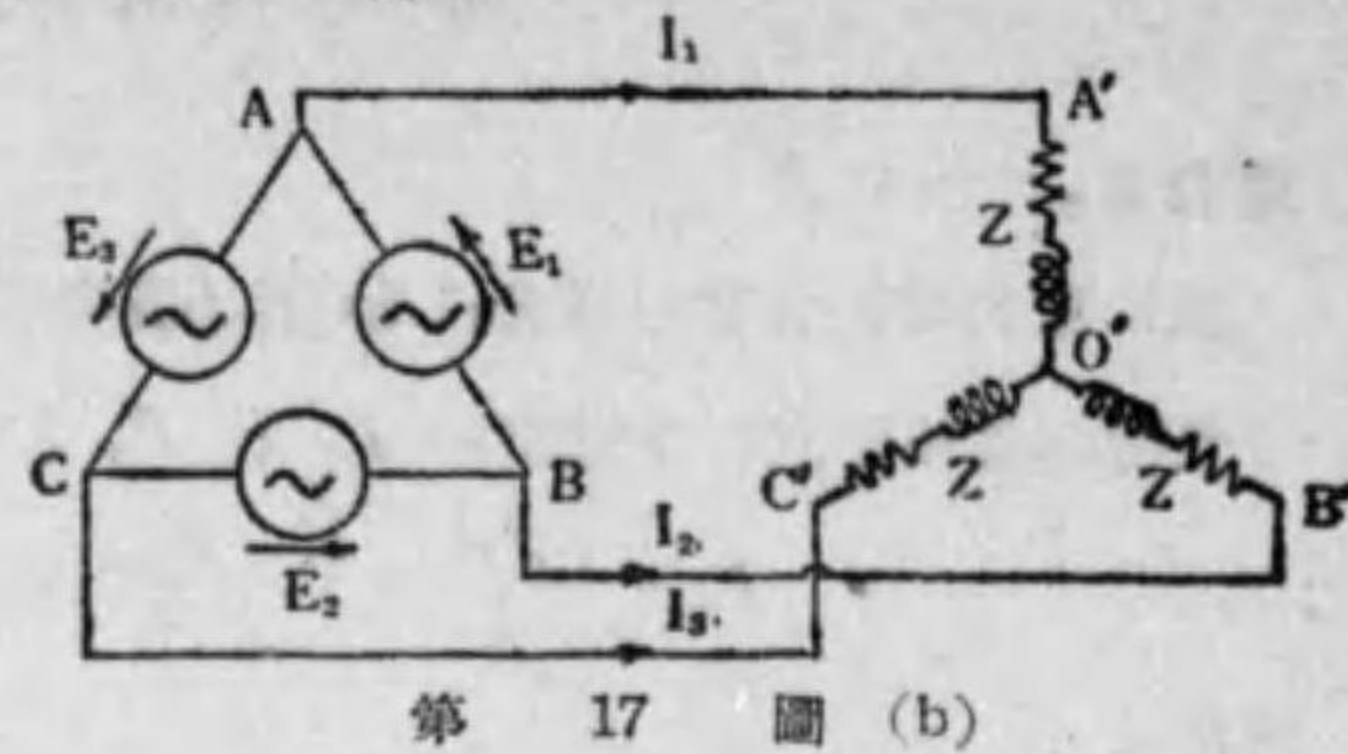
なる場合には之によつて生ずる交番磁界は

$$\begin{aligned} \phi_1 &= k I_m \sin \omega t \\ \phi_2 &= k I_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ \phi_3 &= k I_m \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \end{aligned}$$

となる。但し k は定数とする。

今第一相の巻線軸の方向を X 軸にとり之に直角に Y 軸を定めて X Y 兩軸の方向に於ける分磁界を求めると X 軸の方向への分磁界 ϕ_x は

$$\begin{aligned} \phi_x &= \phi_1 + \phi_2 \cos \left(-\frac{2}{3}\pi \right) + \phi_3 \cos \left(-\frac{4}{3}\pi \right) \\ &= k I_m \left[\sin \omega t + \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \cdot \cos \left(-\frac{2\pi}{3} \right) + \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) \cos \left(-\frac{4\pi}{3} \right) \right] \\ &= \frac{3}{2} k I_m \sin \omega t \dots\dots\dots (2.25) \end{aligned}$$



同様にして Y 軸の方向への分磁界 ϕ_y は

$$\phi_y = \frac{3}{2} k I_m \cos \omega t \dots\dots\dots (2.26)$$

となる。故に全體として合成磁界 ϕ は

$$\begin{aligned} \phi &= \phi_x + j \phi_y \\ &= \frac{3}{2} k I_m (\sin \omega t + j \cos \omega t) \dots\dots\dots (2.27) \end{aligned}$$

この式中の $(\sin \omega t + j \cos \omega t)$ は單位長のベクトルが ω の角速度を以て時計式に同轉する事を示すものであるから合成磁界は結局 $\frac{3}{2} k I_m$ の大きさを有し ω なる角速度を以て時計式に同轉する磁界なる事が分る。

斯く多相式線輪に對稱多相交流を通じた場合には大き及び速度の一定なる圓形同轉磁界を生ずる事を知るがこれ多相式に於ける特徴である。

2.4.4 多相電力

對稱三相式回路に於て各相回路に

$$\begin{aligned} e_a &= E_m \sin \omega t \\ e_b &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3}\pi \right) \\ e_c &= E_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3}\pi \right) \end{aligned}$$

なる電壓が作用して生ずる電流を

$$\begin{aligned} i_a &= I_m \sin (\omega t - \phi) \\ i_b &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{2}{3}\pi - \phi \right) \\ i_c &= I_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3}\pi - \phi \right) \end{aligned}$$

とする。之から對稱三相式回路に於ける電力を求めるのであるが一般的に多相式回路の場合として第 k 相に於ける電力を p_k とすれば

$$\begin{aligned} p_k &= e_k i_k = E_m I_m \sin \left(\omega t - \frac{k-1}{n} 2\pi - \phi \right) \sin \omega t \\ &= EI \left[\cos \phi - \cos \left(2\omega t - \frac{k-1}{n} 2\pi - \phi \right) \right] \end{aligned}$$

各相の電力の和を p とすれば

$$p = \sum_{k=1}^n p_k = nEI \cos \phi - \sum_{k=1}^n \cos \left(2\omega t - \frac{k-1}{n} 2\pi - \phi \right) \\ = nEI \cos \phi \dots\dots\dots (2.28)$$

即ち電力の瞬時値の総和は一定で各相平均電力の和に等しい。三相電力の場合には

$$p = 3E_R I_R \cos \phi = 3E_S I_S \cos \phi \\ = \sqrt{3} E_R I_S \cos \phi \\ = \sqrt{3} (\text{線路電圧}) \cdot (\text{線路電流}) \cdot (\text{力率}) \dots\dots\dots (2.29)$$

となる。但しこの場合の力率は各相の力率を意味し線間電圧と線電流間の相差の餘弦ではない。

總 括

1. 交番起電力

一定時間毎に大き方向共に同様な變化を繰返す起電力を云ふ。

2. 相 差

二つの交番量(例へば電圧と電流)が食ひ違つて居る量, 角度で表はす。

3. 實効値

交番量の瞬時値の自乗の一週期に於ける平均値の平方根を云ふ。

4. 記號法

ベクトルを複素數で表はす方法を云ふ。

5. インピーダンス

$$Z = R + jX \quad \text{大きさは } Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}$$

6. 單相交流回路の電力

$$P = EI \cos \phi$$

7. 力 率

有効電力と皮相電力との比($\cos \phi$)

8. 有効電力

$$P_1 = EI \cos \phi$$

9. 無効電力

$$P_2 = EI \sin \phi$$

10. 皮相電力

$$EI = \sqrt{P_1^2 + P_2^2}$$

11. 對稱三相方式

$$\begin{cases} e_a = E_m \sin \omega t \\ e_b = E_m \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ e_c = E_m \sin \left(\omega t - \frac{4}{3}\pi \right) \end{cases}$$

12. 星形結線

多相の起點を全部一箇所に結合したもので又 Y-結線とも云ふ。

13. 三角結線

多相の各相を順次に直列に結合したもので又 Δ-結線とも云ふ。

14. Y-結線の場合の線電圧

$$\text{線間電圧} = \sqrt{3} (\text{星形電圧})$$

15. Δ-結線の場合の線電流

$$\text{線電流} = \sqrt{3} (\text{三角電流})$$

16. 電源が星形結線の場合

$$Y \text{ 結線負荷に對しては } \dot{I} = \frac{\dot{E}}{\dot{Z}}, \quad \phi = \tan^{-1} \frac{x}{r} \quad (\text{各相})$$

$$\Delta \text{ 結線負荷に對しては } I = 3 \frac{\dot{E}}{\dot{Z}} \quad (\text{各相})$$

17. 電源が三角結線の場合

$$Y \text{ 結線負荷に對しては } I_1 = \frac{\dot{E}_1 - \dot{E}_2}{3\dot{Z}} \text{ 等}$$

$$\Delta \text{ 結線負荷に對しては } I = \frac{1}{\dot{Z}} (\dot{E}_1 - \dot{E}_2) \text{ 等}$$

18. 對稱三相交流による回轉磁界

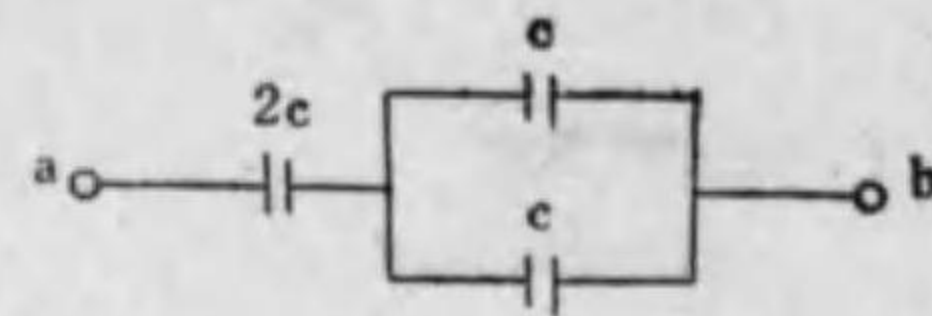
$$\phi = \frac{3}{2} k I_m (\sin \omega t + j \cos \omega t)$$

19. 三相電力

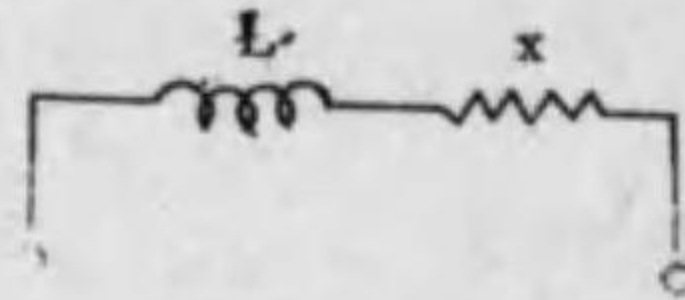
$$P = \sqrt{3}(\text{線路電圧}) \cdot (\text{線路電流}) \cdot (\text{力率})$$

練習問題

- (1) 圖の如き接続に於て ab 間に E ボルトを加へた場合に流れる電流を計算せよ。
($2\pi fCE$ アンペア)



- (2) 圖の如き負荷に於て抵抗 4 オームにして 50 サイクルに於ける力率 0.8 なる時 25 サイクルに於ける力率を計算せよ。
(0.937)



- (3) 抵抗 R , リアクタンス X を直列に接続した回路に 100 ボルトの正弦波交番電圧を加へた時流れる電流が 10 アンペアであるとする。今之に 15 オームの無誘導抵抗を直列に接続し同一電圧を加へた時電流が 5 アンペアに減少したとすれば R, X は夫々幾何か。
($R=2.5$ オーム, $X=9.66$ オーム)

- (4) 抵抗 12 オーム, リアクタンス 16 オームを直列に接続し端子間に或る交番電圧を加へた時 15 アンペアを通ずる。今此のリアクタンスに他のリアクタンスを並列に接続し同一電圧を加へ全電流を 20 アンペアとする爲に接続すべきリアクタンスを求めよ。
(20.57 オーム)

- (5) 電圧 $\dot{E} = e_1 + je_2$, 電流 $\dot{I} = i_1 + ji_2$ 間の電力及び相差を求めよ。

$$(P = e_1 i_1 + e_2 i_2, \phi = \tan^{-1} \frac{e_2 i_1 - e_1 i_2}{e_1 i_1 + e_2 i_2})$$

- (6) L ヘンリーの自己誘導, R オームの抵抗及び C ファラッドの容量を圖に示す如く接続した時 ab 端に E ボルト, f サイクルの交番電圧を加へた時の C の充電電流を計算せよ。

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



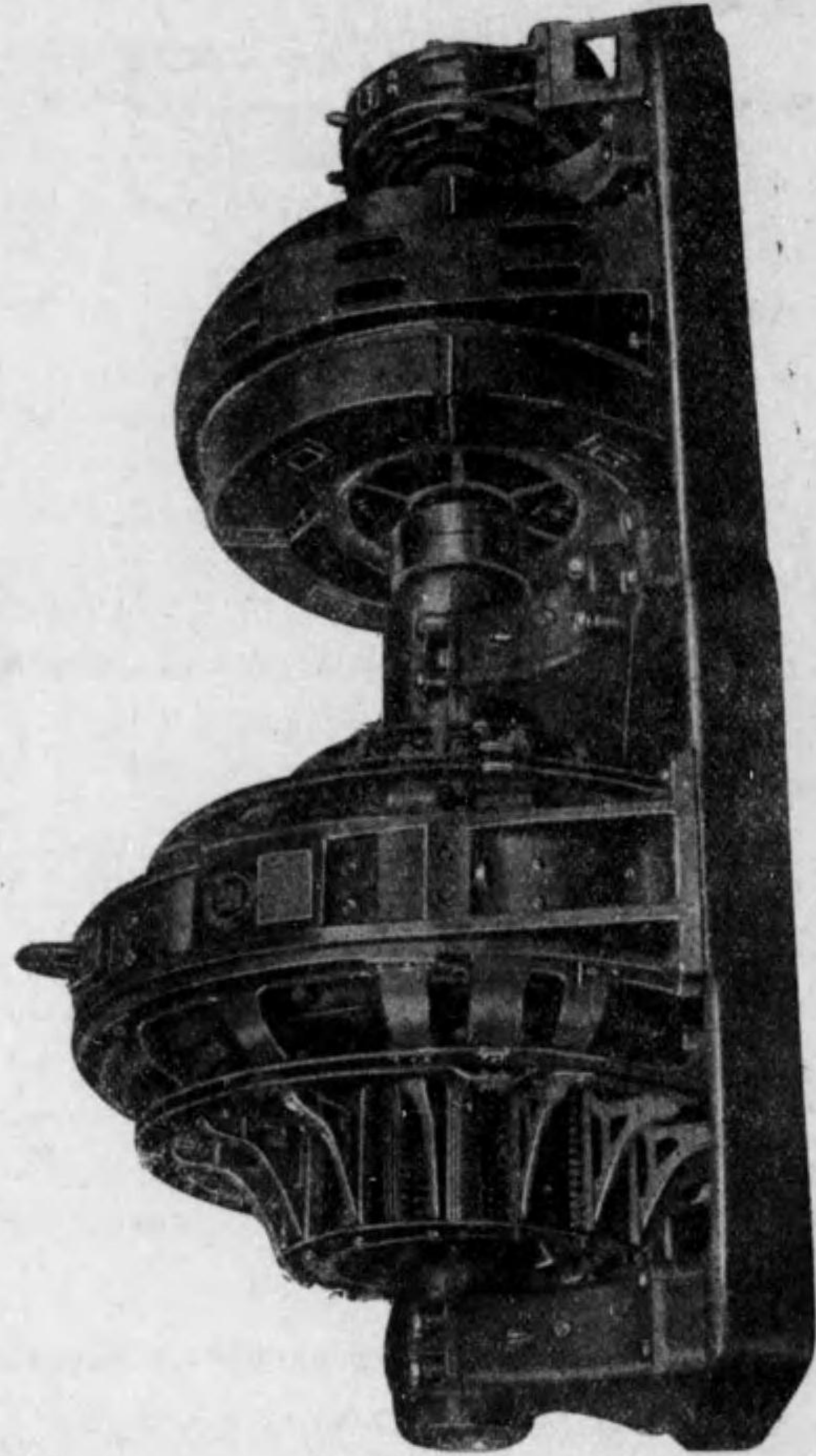
- (7) 三相平衡回路あり電圧 200 ボルト, 力率 0.8 の時 10 キロワットを消費すると云ふ負荷電流を求めよ。
(36.1 アンペア)

- (8) 三相回路に於て各相の電圧及び電流が平衡し且その波形が正弦波なる場合には其の電力は總ての瞬時に於て不變なる事を證明せよ。

- (9) 発電機及び負荷共に星形に接続した三相回路がある。発電機の各相星形電圧は

E_1, E_2, E_3 で負荷各相のインピーダンスは Z_1, Z_2, Z_3 であるとする。各相の電流は幾何か。但し線路のインピーダンスは無視して計算せよ。

$$\begin{cases} I_1 = \frac{E_1(Z_2 + Z_3) - E_2 Z_3 - E_3 Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1} \\ I_2 = \frac{E_2(Z_3 + Z_1) - E_3 Z_1 - E_1 Z_3}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1} \\ I_3 = \frac{E_3(Z_1 + Z_2) - E_1 Z_2 - E_2 Z_1}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_3 + Z_3 Z_1} \end{cases}$$



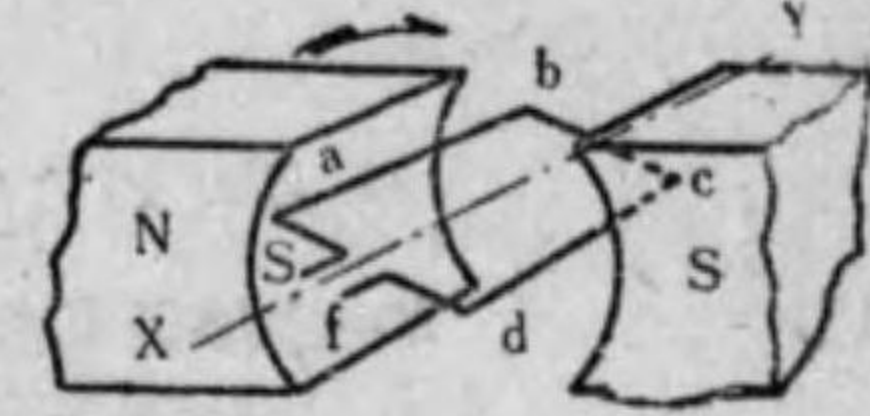
1500kw-10000A 直流發電機
 1500kw-150V-10000A
 (右側は 2300Hp 同期電動機及其の勵磁機)

第3章 直 流 機 械

3.1. 直 流 發 電 機

3.1.1. 直 流 發 電 機 の 原 理

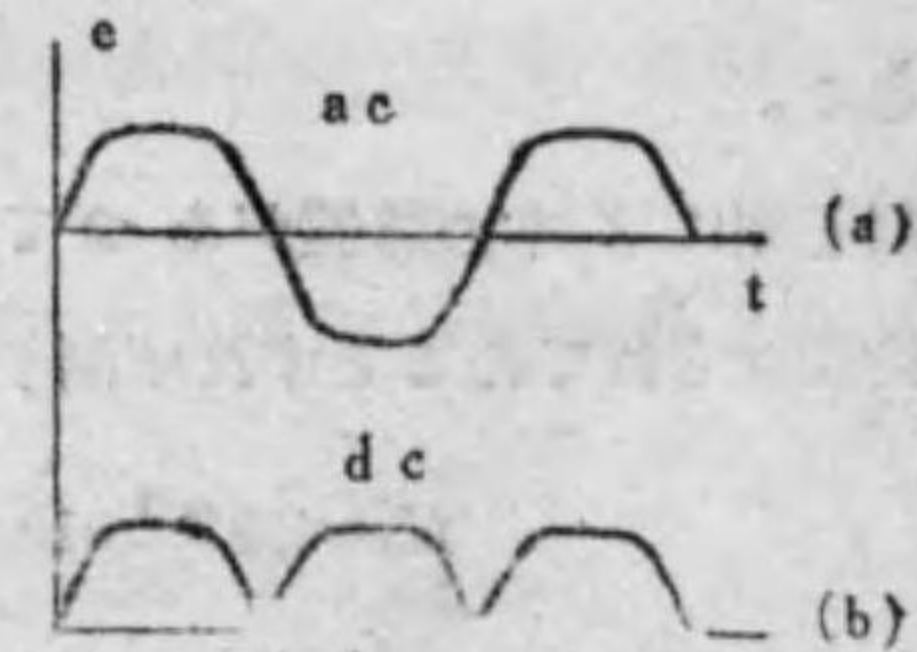
第 19 圖に示す如く磁極 NS に基く磁界内で線輪 $abcd$ を軸 XY の周りに矢の方向に一定速度で回轉せしめる時は線輪 ab 及び cd は夫々磁束を切つて起電力を誘起しその方向は既述のフレミングの右手の法則に従ふ。



第 19 圖

然して線輪は軸と垂直な面を通過する毎に誘起電力の方向を反轉するから端子間に現はれる起電力は第 20 圖 (a) に示す様に大き並に方向が周期的に變化する交番起電力である。

今線輪の兩端に二つの金屬環を結合し之を軸と共に回轉させ、その金屬環に刷子を接觸させれば交番電流を外部に取出す事が出来る筈である。更にこの金屬圓筒を二分し兩者を互に絶縁すれば線輪に誘起する電壓の方向が反轉すると共に刷子の接觸も反轉せしめられ結局第 20 圖 (b) に示す如く波形の一部が反轉される結果外部へは常に一定方向の起電力として現はれて來ることとなる。



第 20 圖

實際の場合には一定の間隔を置いて多數の線輪を配置し之等の中に誘起せられる起電力が相加はる様に接續してあるから外部に取出される直流起電力は略平滑である。更に磁束通路の抵抗を少くして強い磁界を得る爲線輪を圓筒形の鐵心上に巻く。この様な鐵心に巻いたものを電機子と稱する。第 21 圖はその例

を示す。

この様な電機子が一定速度で回転すればその一つの導体に誘起される起電力は次式で示す如くなる。

$$e = Blv \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)} \dots\dots(3.1)$$

但し

B = 空隙磁束密度 (ガウス)

l = 導体の有効長さ (寸)

v = 電機子線輪取付部分の周速 (寸/秒)

今一極當りの磁束数を Φ とすれば二極機では

$$\Phi = \frac{\pi D l}{2} B_{av}$$

但し

$B_{av} = B$ の平的平均値

従つて e の平均値 e_{av} は

$$e_{av} = 2\Phi \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)} \dots\dots(3.2)$$

となる。

刷子間に Z 本の導体があつて之等の中に誘起せられる起電力が相加はる様に接続せられてゐるとすれば刷子間で得られる直流起電力は

$$E_a = 2\Phi Z \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)} \dots\dots(3.3)$$

茲で刷子間に負荷を接続すれば巻線内に電流 I_a が流れこの電流と磁界との作用によつて巻線に電磁力 f が作用する。この電磁力の方向はフレミングの左手の法則に従ひ電機子の回転と反対の方向になる。更にその大いさはピオ、サパールの法則により次の如くなる。

$$f = \frac{B l a l}{10} \text{ (ダイン)}$$

従つて回転力は

$$L = \frac{B l a l}{10} \cdot \frac{D}{2}$$



第 21 圖

又平均回転力 τ_{av} は

$$\tau_{av} = Z \frac{B_{av} I_a l D}{20} = Z \cdot \frac{I_a D}{20} \cdot \frac{2\Phi}{\pi D}$$

仍つて外部から毎秒供給される機械的勢力は

$$\begin{aligned} W &= \tau_{av} \cdot \frac{2\pi n}{60} = \frac{I_a}{10} \cdot \left(2Z\Phi \frac{n}{60} \right) \text{ (エルグ/秒)} \\ &= 2Z\Phi \frac{n}{60} \cdot I_a \cdot 10^{-8} \text{ (ジュール/秒)} \dots\dots(3.4) \end{aligned}$$

となり発電機から外部負荷に供給される電氣的勢力は毎秒當り

$$W' = E_a I_a = \left(2Z\Phi \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} \right) \cdot I_a \text{ (ワット)} \dots\dots(3.5)$$

となり理論的には供給された機械的勢力は全部電氣的勢力に轉換されて外部負荷に供給される可きであるが實際に発電機の内部に損失があるから常に W' は W より小である。

斯の如く機械的勢力を電氣的勢力に轉換するものを**発電機**と云ひ生ずる電流が直流の場合には之を**直流発電機**と云ふ。

3.1.2. 直流発電機の構造

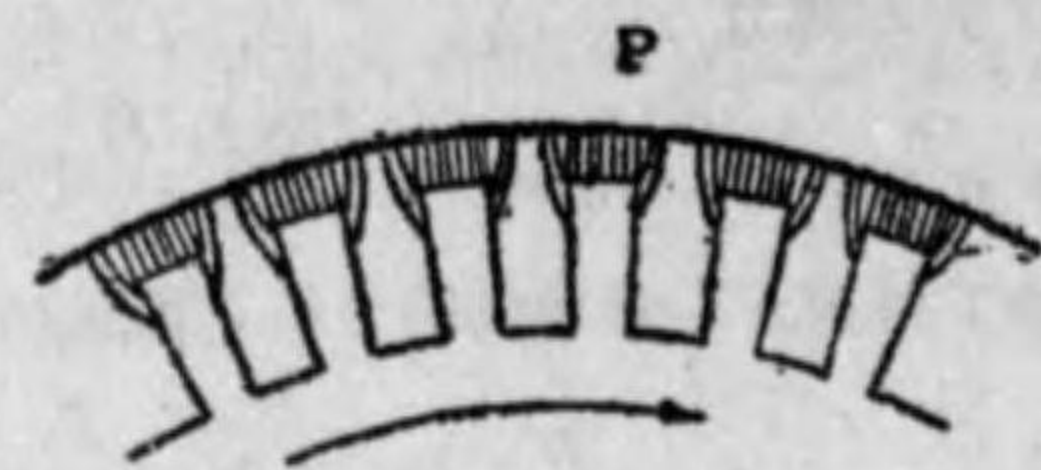
直流発電機の原理は上述の如くであるが實際の構造上之を界磁、電機子及び整流子の三部分に大別する。

界磁は磁束を發生する目的を有し鐵心の内側にある磁極に**界磁線輪**を巻いたものである。

磁極は鋼板製又は薄鋼板を積重ねて組立て、界磁線輪には絶縁した銅線を巻く。鐵心は主磁極の通路となるからそれに必要な断面積を有すべきは無論であるがその内側に磁極を取付けられてゐるからそれに必要な機械的強度を持たせなければならない。多くの場合鑄鋼製又は軟鋼を曲げて溶接したものを採用する。

磁極はボルトによつて鐵心に取り付けられ其の他端電機子に面する部分には**磁極片**がある。磁極片は磁束を電機子面に分布し易い様に取付けられてゐるのであるが電機子には線輪を収める爲溝があるからその表面は平滑ではなく其の結果磁束は圖の様に鐵心の齒の部分に集中し磁極面に於ける磁束分布は一様にな

り難いのでヒステリシス損失や渦流損失を招く原因となる。仍つて磁極が鑄鋼製の場合にも極片丈は薄鋼板を積重ねて作り渦流による損失を防ぐ様にする。



第 22 圖

以上述べた界磁部分は普通の直流機では静止部分を形成してゐる。

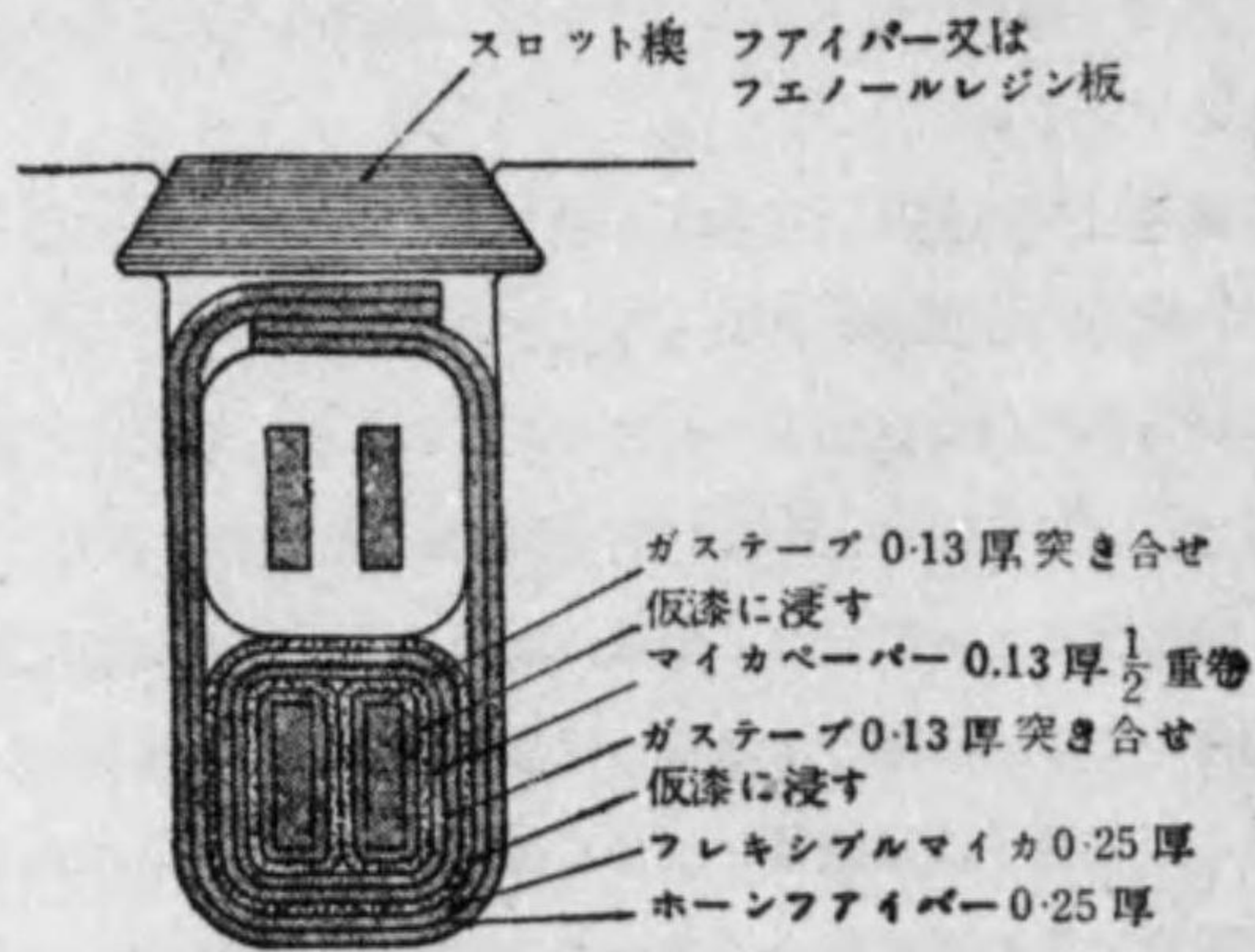
電機子は電機子鐵心と巻線とから成る。鐵心は回轉に伴ひ N 極に對した時と S 極に對した時とでは磁極の方向が反轉するから磁束は周期的變化を生じ電機子に於ける鐵損の原因となる。

之等の鐵損を輕減する爲に電機子は 0.35 ~ 0.5 耗の薄い珪素鋼板を用ひ之を相互に絶縁して組立て小型機械では之を直接軸に固定し大型機械では電機子鐵心を輻鐵に取付け、それを更に軸に嵌合する。尙小型機械では電機子を形成する薄鐵板は一枚の拔板とするが大型の場合には經濟的の點から數個の扇形に分けて打抜き、後で組立てるのが普通である。

鐵心には或る間隔を置いて通風渠を設け發生した熱を放散し易からしめる。

又鐵心には巻線を納める爲の溝が設けてある事は既述の通であるが溝の格形は回轉速度によつて

考慮を拂はなければならぬ。然し特別の機械の外は工作の便利の爲開溝を用ひ巻線型によつて作つた型巻線輪を嵌め込み、之を遠心力に對して保持する爲にファイバーや木製の楔で止

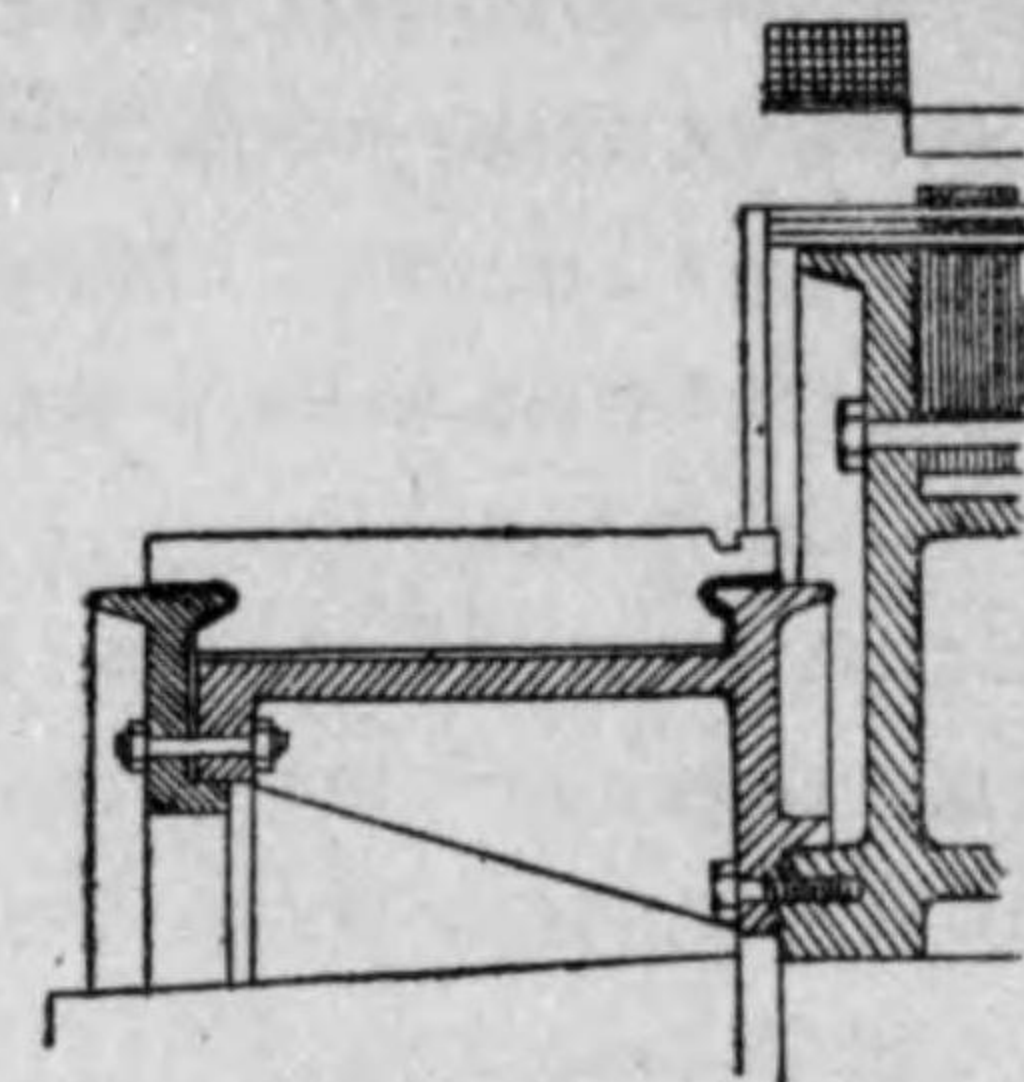


第 23 圖

めるが小型機械ではバインド線で固定する様な構造とする。

整流子は楔形の断面を持つた硬引鋼の整流子片をマイカナイトで相互絶縁して環状に組立てたものである。第24圖はその構造の一例を示す。

電機子巻線と整流子との間はライザーでつなく。整流子から外部へ電流を導く爲に用ふる刷子は電氣黒鉛質のものを普通とし、之を刷子保持器により適當な壓力の發條を以て整流子面に押付け接觸を保たせる。



第 24 圖

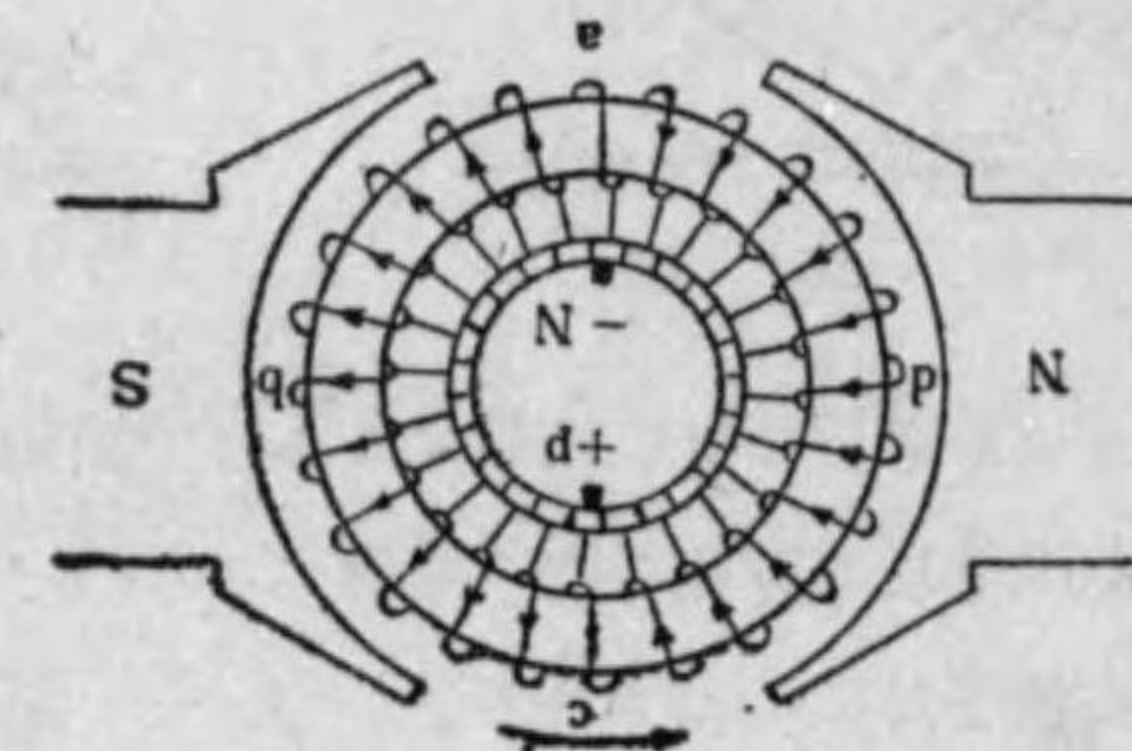
3.1.3 電機子巻線の種類

電機子巻線の捲方には種々の方式

があるが大別して環状巻及び鼓状巻の二種となす事が出来る。

環状巻は電機子鐵心に導体を螺旋狀に捲いたもので第25圖の場合には電機子巻線が鐵心を一周して閉路して居るが斯かるものを一層巻と云ふ。この様な巻線を同一の鐵心上に二重に施すこ

とも出来る譯で其の場合には二重巻となる。刷子の幅を適當に擇んで二個の整流子片を刷子が常に覆ふ如くすればこの二つの巻線は並列になる理である。



第 25 圖

何れの場合でも各極間の中性軸

上に刷子を置くと鐵心の外側にある導體部分に誘起された起電力は左半分と右半分とは相加はり其の結果刷子間に正負の電壓を發生する。

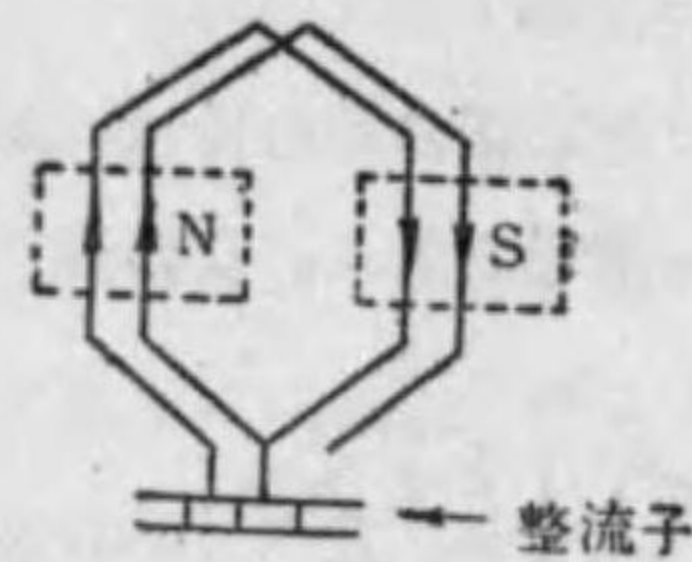
環状巻では磁極數を $2p$ とすると一般に刷子列の數は $2p$ となり内部回路の數も $2p$ に等しい。

上述の環状巻は構造は簡単であるが鐵心の内側にある導體は磁束を切らないから起電力を發生しない。従つて銅が不經濟であり修理等の際にも取外すことが面倒であるから現在では殆んど實用されない。

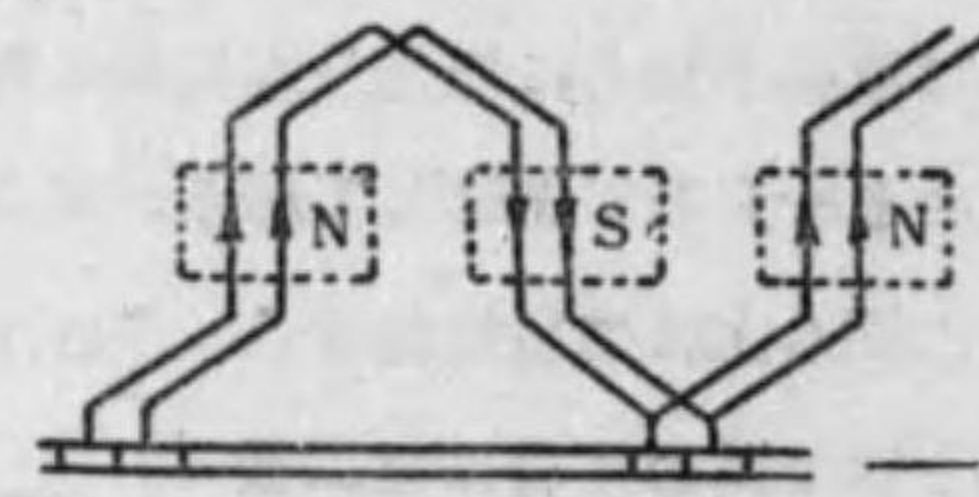
次に鼓狀巻であるが鐵心の内側に位置する導體を延して次の極の下で鐵心の外側に持つて來ると此の部分にも誘起電力を發生して相加はる事となる。鼓狀巻では型巻線輪を使ふ事が出來、修理も容易であるから現在専ら實用されてゐるものは鼓狀巻である。

以上は NS が一對即ち二極の場合に就て述べたのであるが極數が更に増加しても原理は同様であつて唯正負の磁極が隣り合つて存在するので環状巻の電機子では刷子列數を磁極の數丈備へて磁極間の中間に置き其れ等を一つ置きに接続する點が異なるのみである。

鼓狀巻は更に分つて重巻(又は並列巻)と波巻(又は直列巻)となす。



第 26 圖



第 27 圖

重巻は第26圖の様に結線するもので線輪の兩端が接近した整流子片に接続される。波巻は第27圖の様に結線するもので一つの巻線の兩端は略二極間隔丈隔つた整流子片に接続される。

3.1.4. 電機子中に發生する起電力

極數 2 で環状一層巻の場合とし每極の磁束數を Φ とすれば各線輪は一つの刷子から次の刷子に達する迄半回轉する間に磁束との交叉數は $+\frac{\Phi}{2}$ から $-\frac{\Phi}{2}$ までの變化をしなければならぬ。

従つてこの時間内に於ける總磁束變化は

$$+\frac{\Phi}{2} - (-\frac{\Phi}{2}) = \Phi$$

でなければならぬ。電機子の回轉數を毎分 n とすれば上述の半回轉をなす爲の時間は $\frac{1}{2n}$ 分であるから一秒當りの變化の割合は

$$\Phi \div \frac{1}{2n} = \frac{2n\Phi}{60}$$

である。

一般的に線輪が平均に分布されて居る場合には全體として考へれば各瞬時又は各線輪に同じく $\frac{2n\Phi}{60}$ の割合で磁束變化が起つてゐるのである。

今電機子周邊に於て磁束を切るのに役立つ有効導線數を Z とすれば刷子間に直列につながれてゐる線輪數は $\frac{Z}{2}$ であり其等の各々に $\frac{2n\Phi}{60}$ の割合による磁束の變化が起るのであるから全體として刷子間に誘起される起電力は

$$e = n \frac{d\Phi}{dt} \times 10^{-8} \text{ (ボルト)}$$

$$= \frac{Z}{2} \cdot \frac{2n\Phi}{60} \times 10^{-8}$$

$$= \frac{2\Phi Z}{60} \times 10^{-8} \text{ (ボルト)}$$

となり鼓狀巻の時も全く同じ形で表はされる。

更に一般の場合として電機子周邊に於ける導體數を Z 、磁極の對數を p 、刷子間の並列路數を c 、電機子巻線の一卷と交叉する每極最大磁束數を Φ 、毎分回轉數を n とすれば誘起電力は次式によつて表はされる。

$$E = \frac{2p}{c} \cdot Z \cdot \frac{n}{60} \cdot \Phi \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)} \dots\dots\dots(3.6)$$

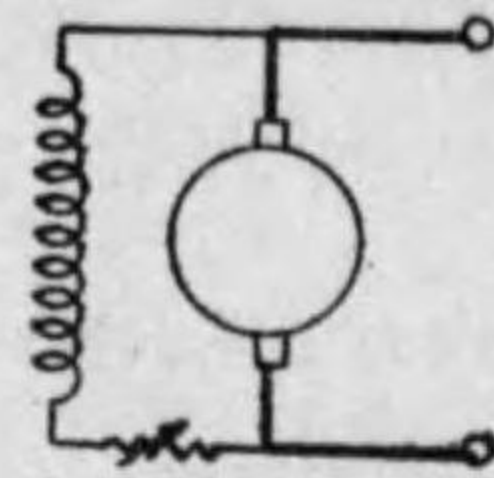
3.1.5. 直流發電機の勵磁方式

直流發電機の界磁に電流を通す場合に他の電源から電流を取つて勵磁する所謂他勵發電機と、發電機自身から發生する起電力により界磁巻線中に勵磁電流を通す自勵發電機との二種類に分つ事が出來るが一般的には後者が廣く用ひら

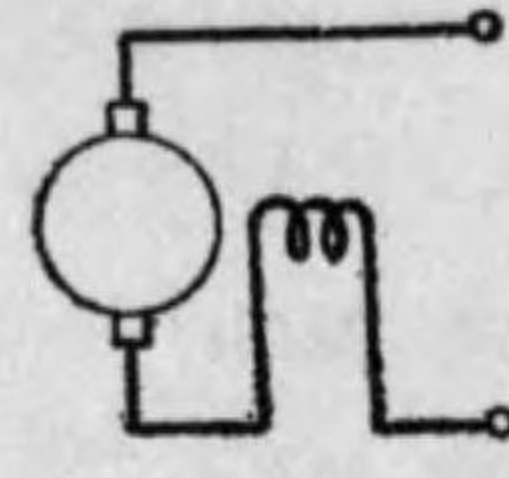
れる。

後者は更に電機子と界磁巻線とが直列に接続された直巻発電機(第28圖)電機子と界磁巻線とが並列に接続された分巻発電機(第29圖)及び分巻並に直巻の兩界磁巻線を併せ有する複巻発電機の三種類に分つ事が出来る。

直巻発電機の場合無負荷では励磁回路が開かれて居る爲起電力を發生し得ないが分巻発電機に於ては負荷回路の開かれて居ると否とに不拘励磁回路は電機



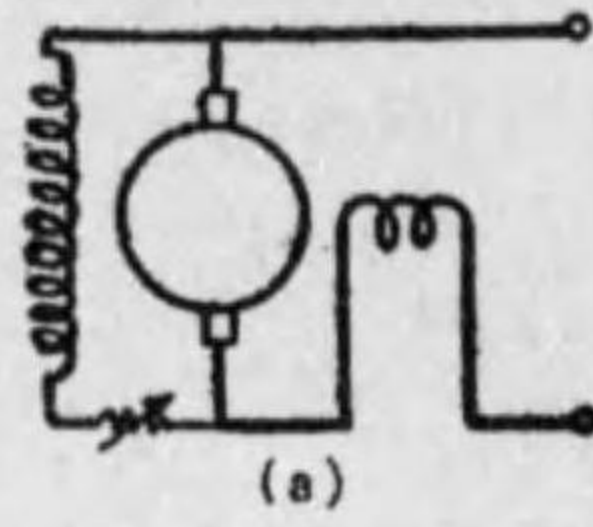
第 28 圖



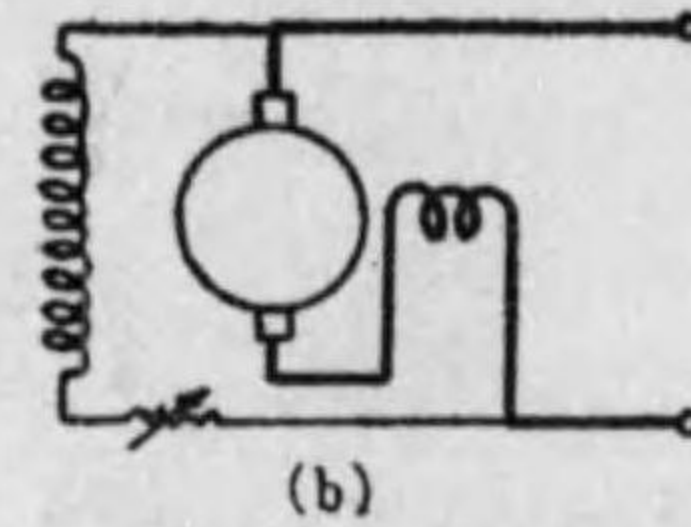
第 29 圖

子に対して閉じて居るから磁極の残留磁氣によつて自動し電壓は上昇する。

又複巻発電機の場合無負荷では分巻回路のみに電流が通り負荷状態に於ては分巻界磁と直巻界磁の双方に電流が通るべきことは上述の説明から明かであらう。更に複巻発電機は分巻線輪の接続方法によつて外分巻及び内分巻に分つ事も出来る。(第30圖)



(a)



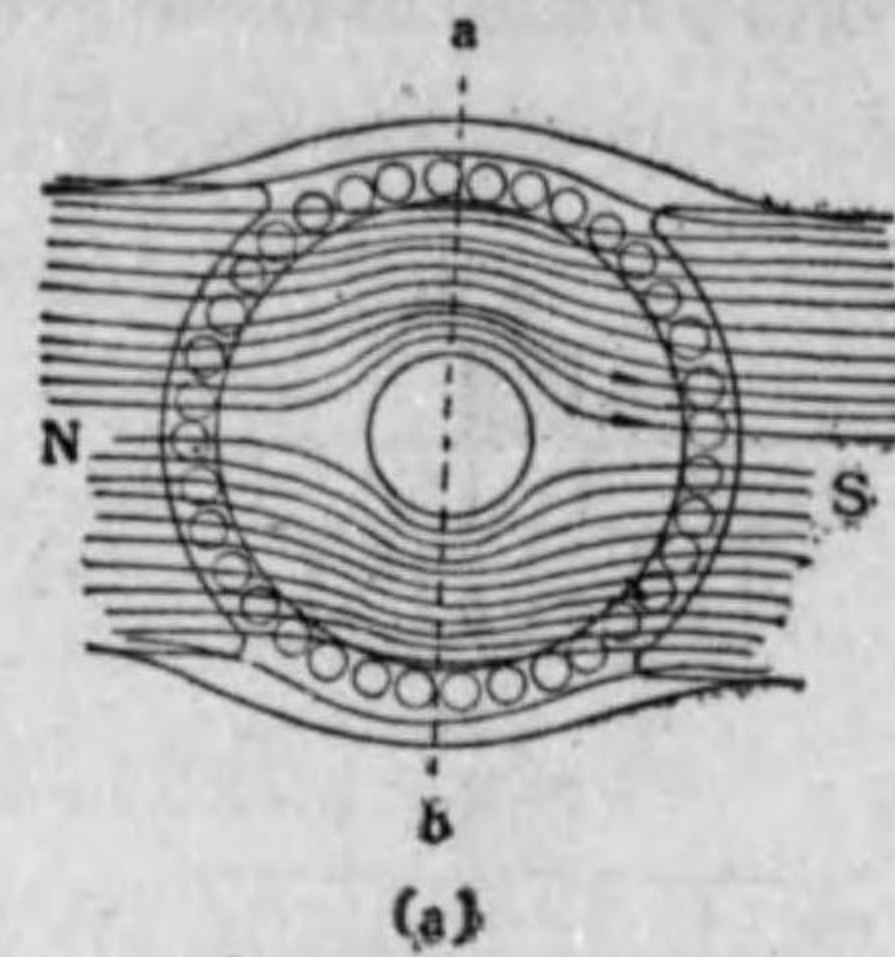
(b)

第 30 圖

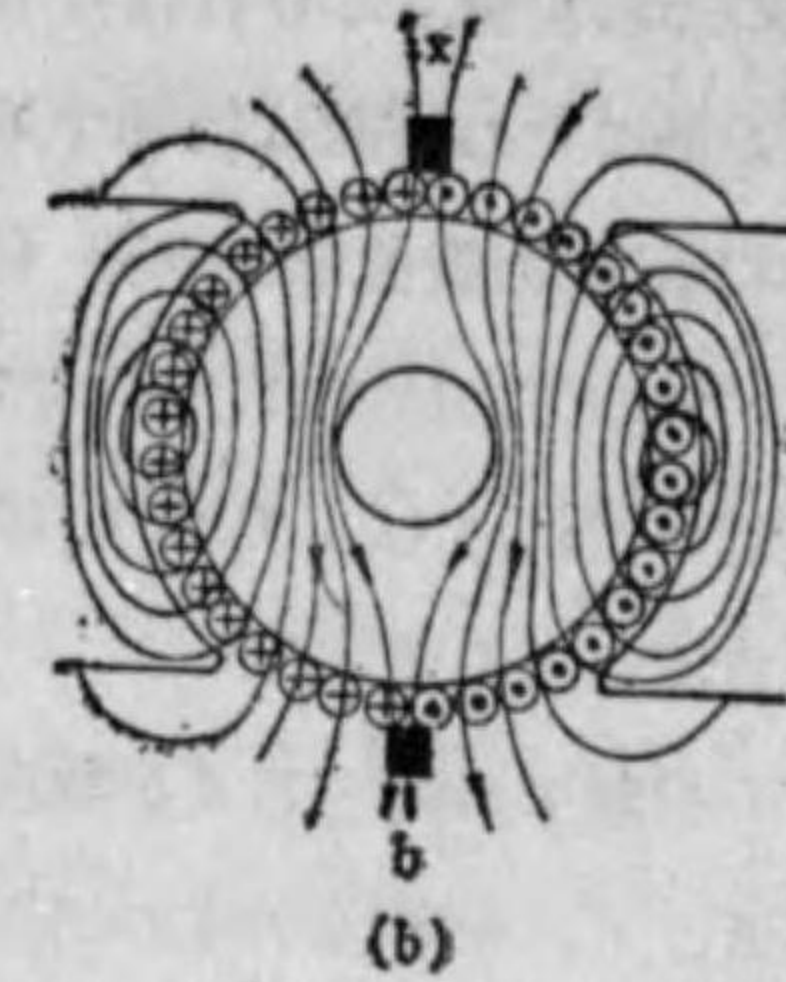
3.1.6. 電機子反作用

發電機の主磁束は界磁巻線を勵磁することによつて生ずるのであるが電機子巻線中に電流が流れるとこの電機子電流と電機子巻線とによつて起電力が生じ之が又磁束を生ずる。この磁束は勵磁電流による起磁力に重疊するから結局主磁束の分布状態は無負荷の場合と異つて來て誘起電力は變化し發電機の特性に影響を及ぼすに至る。斯の如く電機子電流による磁界が主磁界に影響を及ぼす現象を電機子反作用と云ふ。

例へば第31圖の二極機に於て(a)は無負荷の場合に磁極のみによつて生ずる



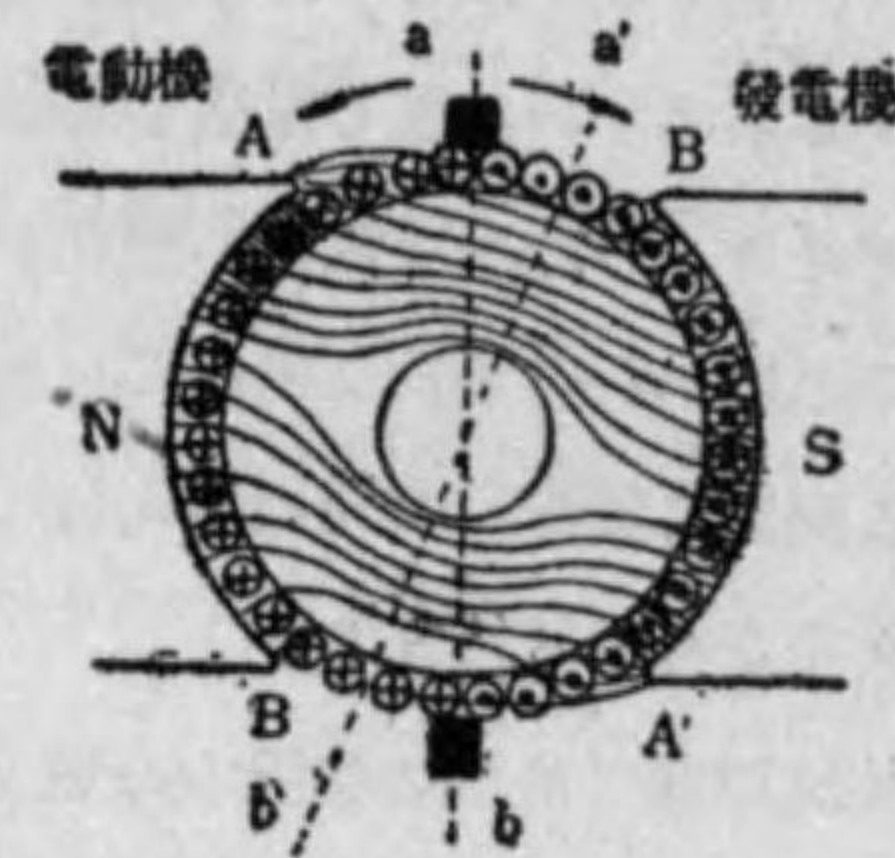
(a)



(b)

第 31 圖

磁束の分布を示し(b)は電機子電流のみによつて生ずる磁束の分布を示すものであるが是等は圖に見る如く互に直角の方向に生じ實際の負荷状態ではこれ等二つの磁界が重疊して合成磁束分布を形成するから第32圖の様に主磁界の半分は強められ他の半分は弱められ且つ中性軸が同轉方向に移動して a'b' の位置に來る。一般的に云へば電機子反作用の結果磁束分布は變歪され且磁束が幾分減少するので誘起電力が負荷電流の増加と共に減少し整流作用にも悪影響を及ぼすに至るのである。



第 32 圖

この電機子反作用を打消す爲には補償巻線が用ひられる。即ち極片部に溝を作り之に特別の巻線を設けてこれと電機子とを直列につなぎ兩巻線の作る磁界が逆になる様にして電機子によつて生ずる磁束を打消させるのである。この方法は有効であるが機械は幾分高價となる。

3.1.7. 整 流 作 用

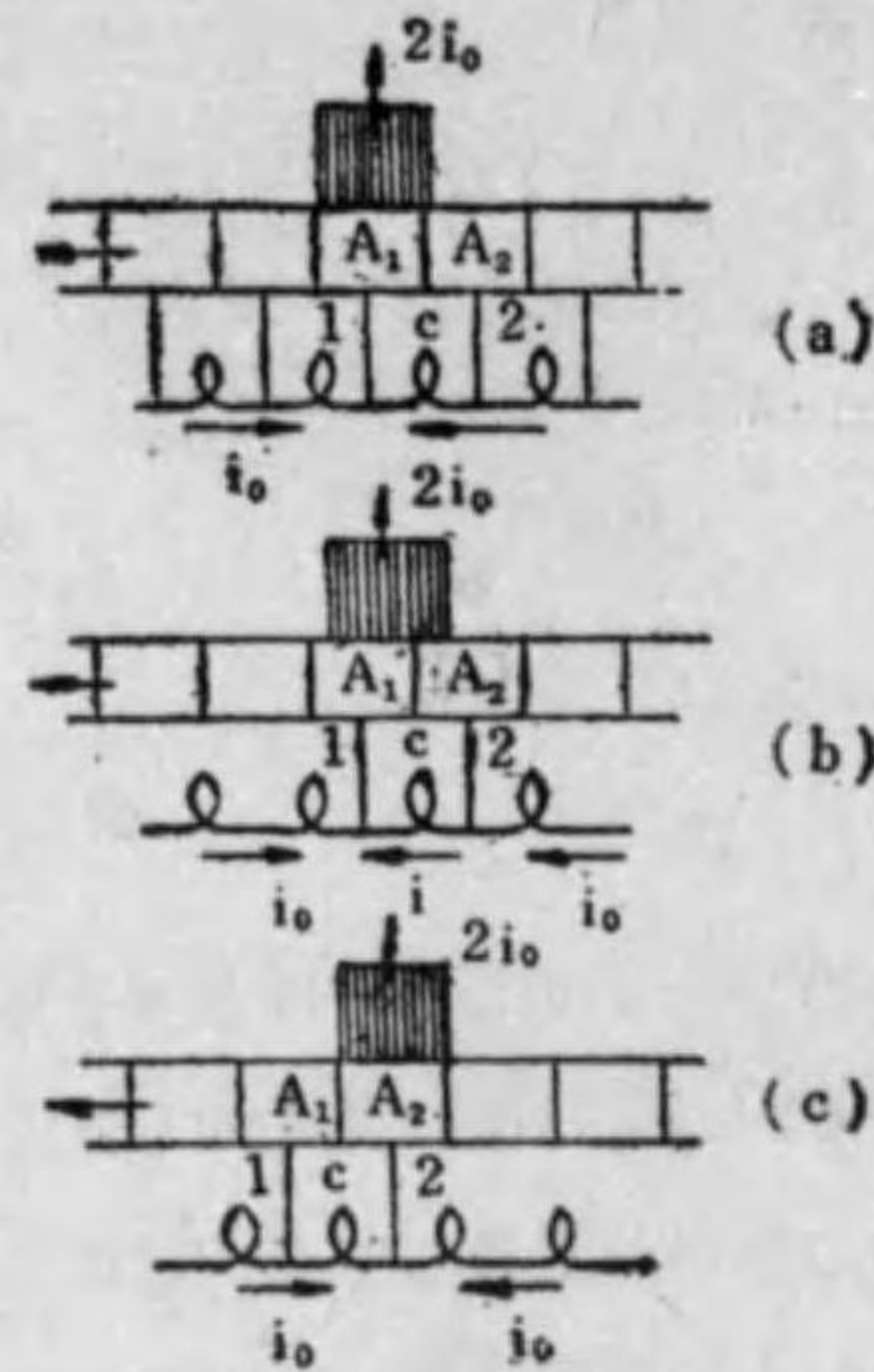
電機子導線を流れる電流はその導線が磁束を切つて生ずる起電力によるものであるから導線がN極側にある時とS極側にある時と同一の導線内を流れる

電流の方向が變らなければならぬ。即ち電機子導體中の電流は導體が刷子の下を通る毎にその方向は反轉することとなる。

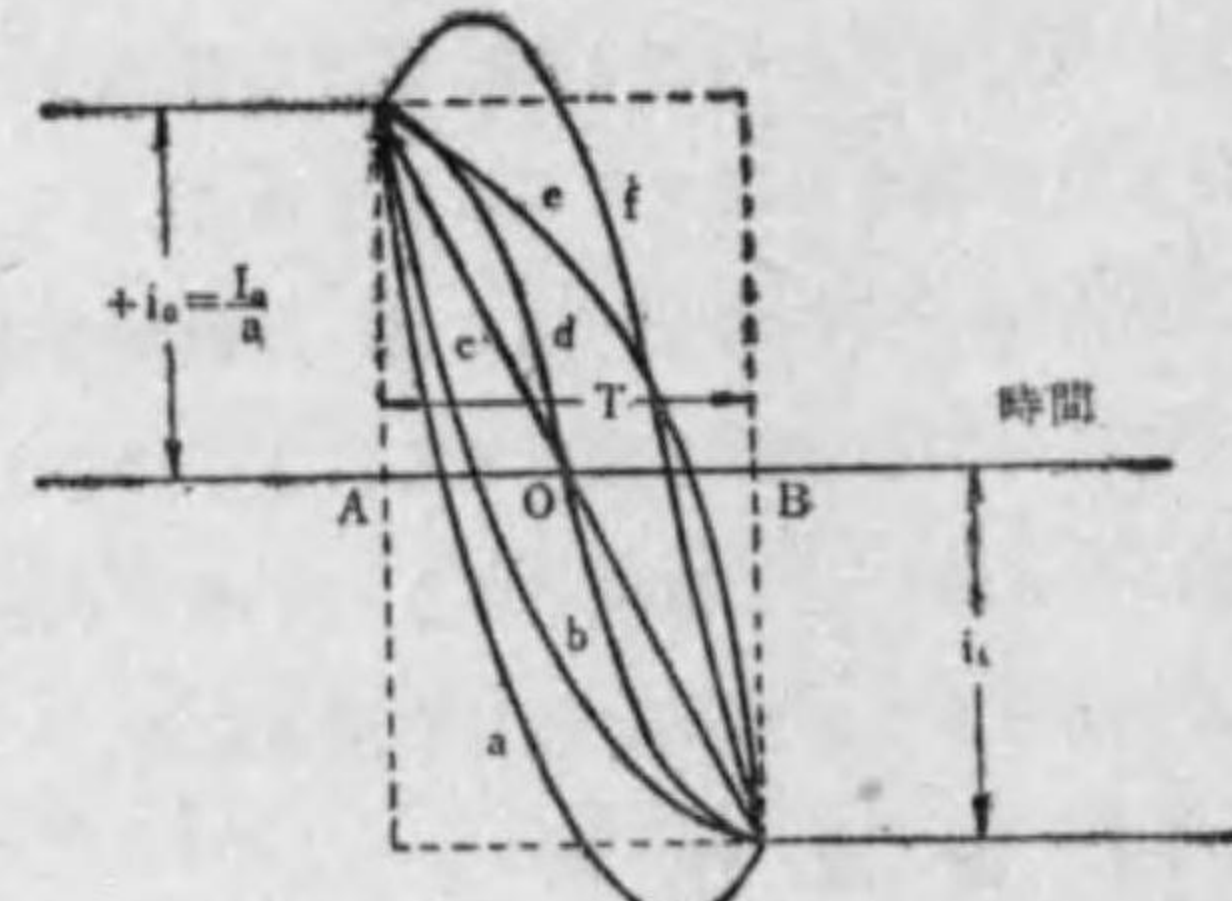
第33圖(a)の置位では巻線 C に i_0 なる電流が矢の方向に流れ、(b)では i なる短絡電流が流れ、(c)では i_0 なる電流が逆方向に流れてゐる。

今 b を刷子の幅とし δ を整流子片絶縁物の厚さ、 V を整流子片の周邊速度とすれば巻線 c が刷子を通過する時間即ち整流周期は $(b-\delta)/V$ である。この時間は極めて短いからこの短時間内に自己インダクタンスを有する巻線中の電流を反轉させる事は容易でない。蓋し電機子巻線の自己インダクタンス作用は電流の變化を妨げるからこの短かい時間内に完全に反轉させる事が出来ず、整流子片が刷子の下を離れる瞬間に電流は最後の値迄急に飛躍せしめられ、その結果高い電圧が発生して火花を生ずるに至る。

整流期間に於ける巻線中の短絡電流は第34圖に示す様に種々の時間的變化を爲し得るので b, c, d の如く良好な整流を與へる場合は別として e 及び f の如く電流の變化が遅すぎて周期の終りに電流の急激な變化が起り、所謂不足整流を來す事もあり又は a の如く電流の變化が早すぎて周期の終りに電流が急變し所謂過整流と



第 33 圖



第 34 圖

なる事もある。不足整流及び過整流の場合には夫々刷子の前側又は後側から火花を發生し整流子及び刷子を過熱又は損傷し時には運轉の繼續を不可能ならしめる事もある。

この整流作用を具合よく行はせる爲には所謂電壓整流及び抵抗整流と稱せられる方法が用ひられる。電壓整流とは電機子線輪が刷子の下を通る時他の適當な磁束を切らせて別な起電力を發生せしめ之によつて上記のインダクタンスによる逆起電力を打消させるものであつて、その目的の爲に補極を用ひる。補極は NS の兩主磁極の中間に設けられ電機子電流によつて勵磁され電機子反作用による起磁力を打消して整流に必要な磁束を作るのに充分な起磁力を得る様にする。補極による磁界は電機子電流に比例したものとなること明であらう。

次に第33圖(c)に於ける如く線輪が刷子で短絡されてゐる場合にはインダクタンスの逆起電力によつて流れる電流は刷子を横切るからこの刷子の抵抗を高くして置けばこの電流も減りインダクタンスの悪影響を軽減させる事が出来る。この様な方法によつて整流の改善を計る手段を抵抗整流と云ふ。その爲には電氣黒鉛質の如く抵抗の高い刷子を用ふるのが普通である。

尙補極に依つて其の極の下に於ける電機子反作用を打消す事は出来るが主磁極に對する電機子反作用による磁束分布の變歪を防ぐ事は出来ない。その爲には別に述べる補償巻線による要がある。

3-1-8. 他勵發電機の特性

他勵發電機に於て回轉數 n を一定とし、電機子巻線の内部回路數を c とすれば誘起電力 E は (3.6) 式によつて表はされる。

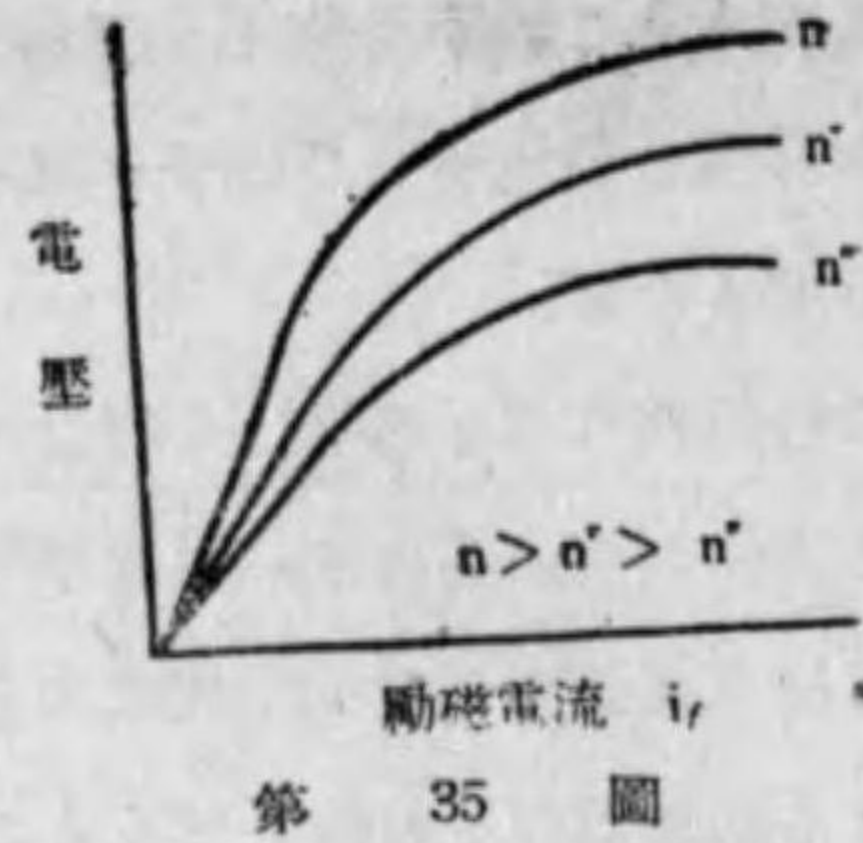
機械が一定なる場合は p, c, Z は一定であるから E は Φ 及び n に比例する。 Φ は勵磁電流 i_f によつて生じ是等兩者の關係は磁氣回路の飽和曲線によつて表はされる。従つて一定速度の下に在つては誘起電力と勵磁電流との關係は飽和曲線と同様第35圖の如き曲線で表はされ之を發電機の無負荷特性又は飽和曲線と云ふ。

次に發電機に負荷をかけ、回轉數と勵磁電流を一定として負荷電流 I を變更する時發電機の端子電壓と負荷電流とは第36圖の如く表はされ之を外部特性と云ふ。

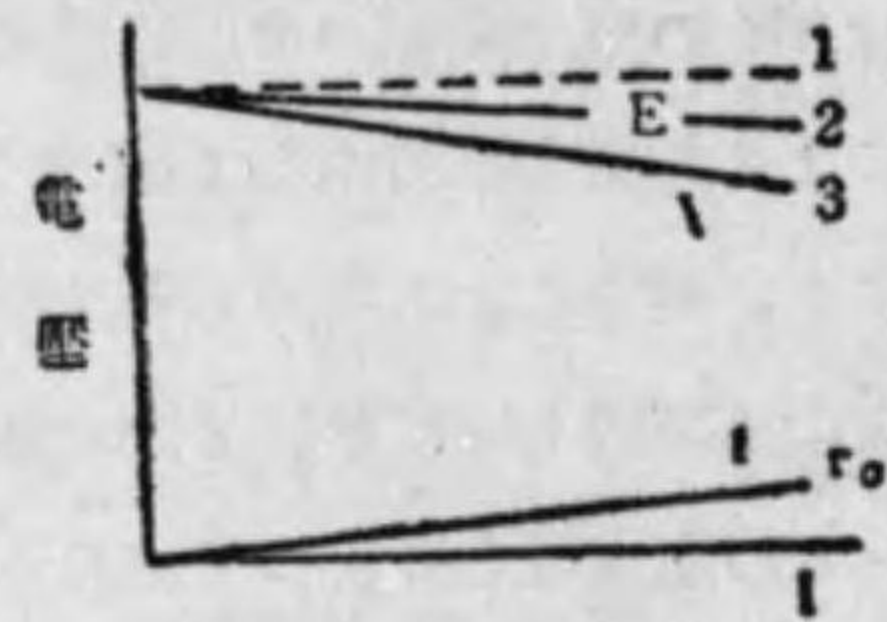
今誘起電力を E 、電機子巻線の抵抗と刷子の接觸抵抗等電機子回路の總抵抗を r_a 、端子電壓を V とすれば

$$V = E - I r_a \dots\dots\dots(3.7)$$

となり電機子反作用の爲 I の増加と共に E は若干減少するから第36圖の如くなり外部特性曲線は3の様に負荷の増加と共に降下する特性を示す。



第 35 圖



第 36 圖

3.1.9. 分巻發電機の特性

(a) 無負荷特性 發電機の電機子を一定速度で回轉し置き先づ無負荷にして置けば最初は残留磁氣により電機子巻線には僅少の電壓が誘起される。この電壓によつて電機子電流及び界磁電流 i_f が流れ之が残留磁氣を助け後述の自己勵磁現象を起すから誘起電壓は次第に増加し従つて端子電壓も漸次上昇し最後に

$$E_a = kn\Phi \dots\dots\dots(3.8)$$

$$\Phi = f(i) \dots\dots\dots(3.9)$$

$$i_f = \frac{E_a}{r_a + r_f} \dots\dots\dots(3.10)$$

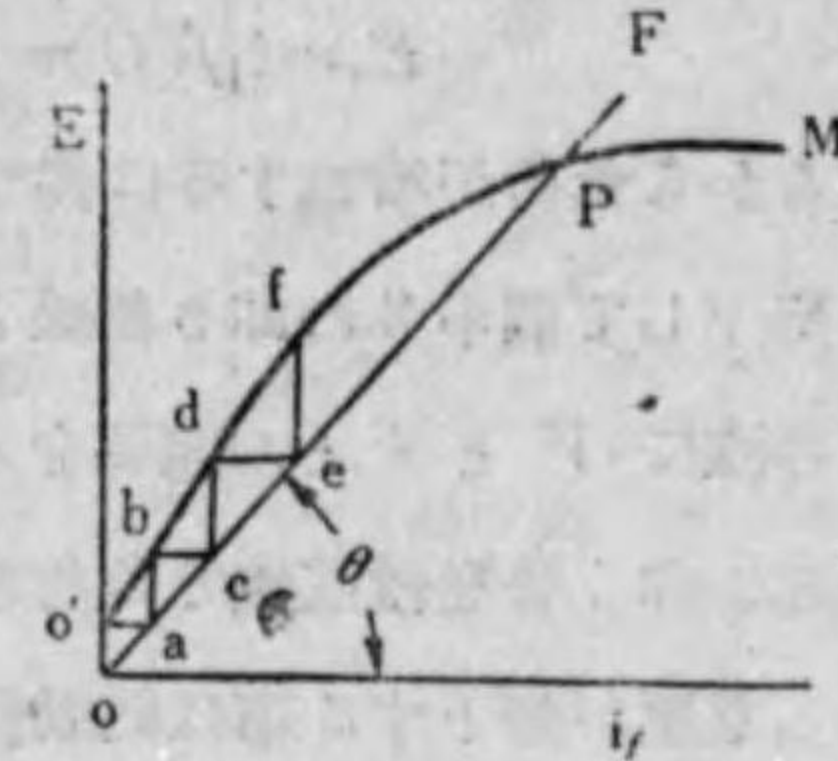
なる関係を同時に満足すべし E_a, i_f の値に至つて落付く。(3.9)式を(3.8)式に代入すれば $E_a = knf(i)$ を得るが回轉數 n は一定であるから結局

$$E_a = k_1 f(i_f) \dots\dots\dots(3.11)$$

但し k_1 は常數
となり、之は(3.9)式と同じ形であるから誘起電力と勵磁電流との関係も一

つの飽和曲線で表はされる。之を發電機の無負荷特性曲線又は飽和曲線と云ふ。

第37圖に於て $O'M$ は(3.9)式を表はす飽和曲線とし OO' は残留磁氣による誘起電壓とする。今直線 OF を以て(3.10)式を表はせば OF と $O'M$ との交點 P は兩線上に存在するから此の點に相當する起電力と勵磁電流とは(3.10)式及び(3.11)式の兩式を



第 37 圖

同時に満足するものであり自勵によつて生ずる起電力と之に對する勵磁電流とを與へる事となる。

扱 OO' なる電壓が発生すると電流 $O'a$ が流れ、磁束を増加するから發生電壓は b に相當する値となつて勵磁電流は更に bc 丈増加しその爲に電壓は又上昇する。

斯様にして電壓が漸次上昇し p 點に相當する値迄増加すると其處で初めて平衡状態に達する。之が所謂分巻發電機に於ける自己勵磁現象である。

(b) 負荷特性 發電機に負荷 R を接続した場合勵磁電流を無視すれば

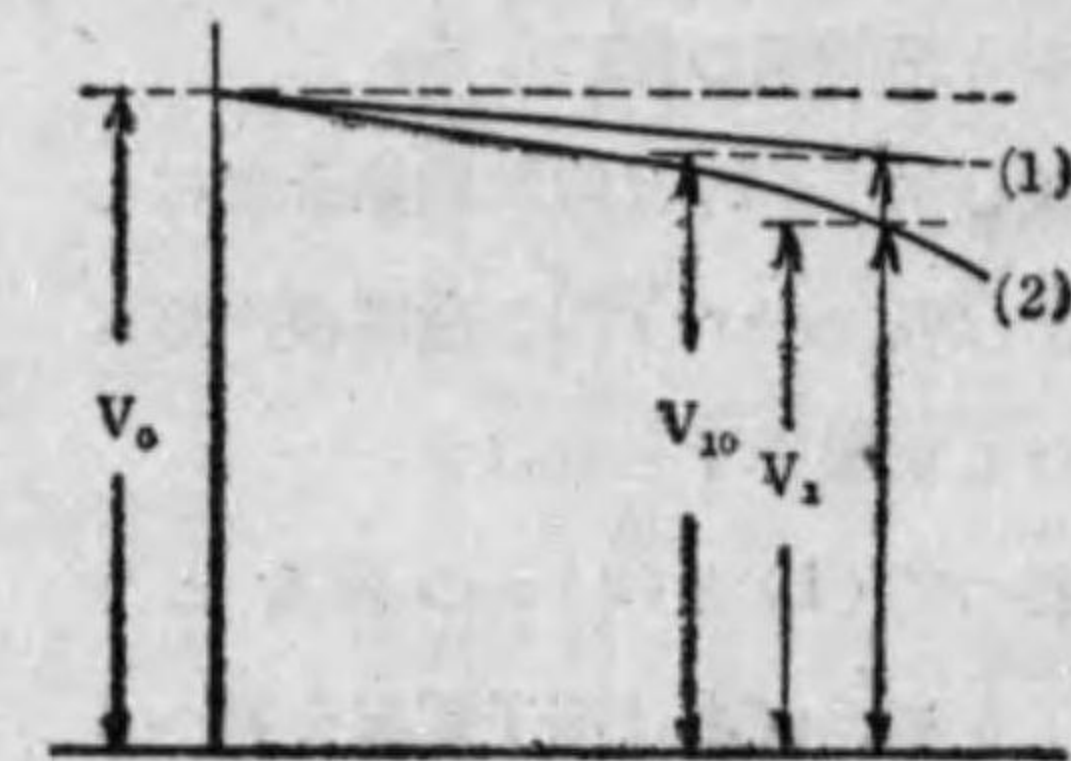
$$i = \frac{E_a}{r_a + R} \dots\dots\dots(3.12)$$

なる電流が流れる。

今 E_a 及び r_a を一定とすれば i は R に従つて變化するが一方發電機の端子電壓は

$$V = E_a - i_a r_a = E_a - (i + i_f) r_a \dots\dots\dots(3.13)$$

で與へられるから i を横軸上にとり V を縦軸上にとつて描けば第38圖の如くなる。



第 38 圖

實際の機械に於ては E_a は一定でな

く

$$E_a = k_1 f(i_f) = k_1 f\left(\frac{V}{r_f}\right) \dots \dots \dots (3.14)$$

であるから負荷が増加するに従つて V が降下すれば E_a も減少し従つて V は更に降下して圖中2の如き曲線となる。

この様に V と i との關係を示す曲線を發電機の外部特性曲線と云ふ。

上述の如く分巻發電機で負荷電流が流れると電機子反作用等によつて磁束が減少し電壓が降下する事は他勵發電機の場合と同様であるが端子電壓の降下と共に勵磁電流が益々減少するから負荷による電壓降下は他勵機より一般に大である。

3.1.10. 直巻發電機の特性

直巻發電機では界磁巻線が電機子巻線と直列に接続されてゐるから負荷電流を通すると界磁にも電流が流れて起電力を高める。然しこの場合負荷によつて磁束が變化するから従つて誘起電壓も負荷電流によつて變化する事は免れない。この場合の電流と起電力との關係は次式によつて與へられる。

$$E_a = k \cdot f(i) \dots \dots \dots (3.15)$$

$$i = \frac{E_a}{r_a + r_f + R} \dots \dots \dots (3.16)$$

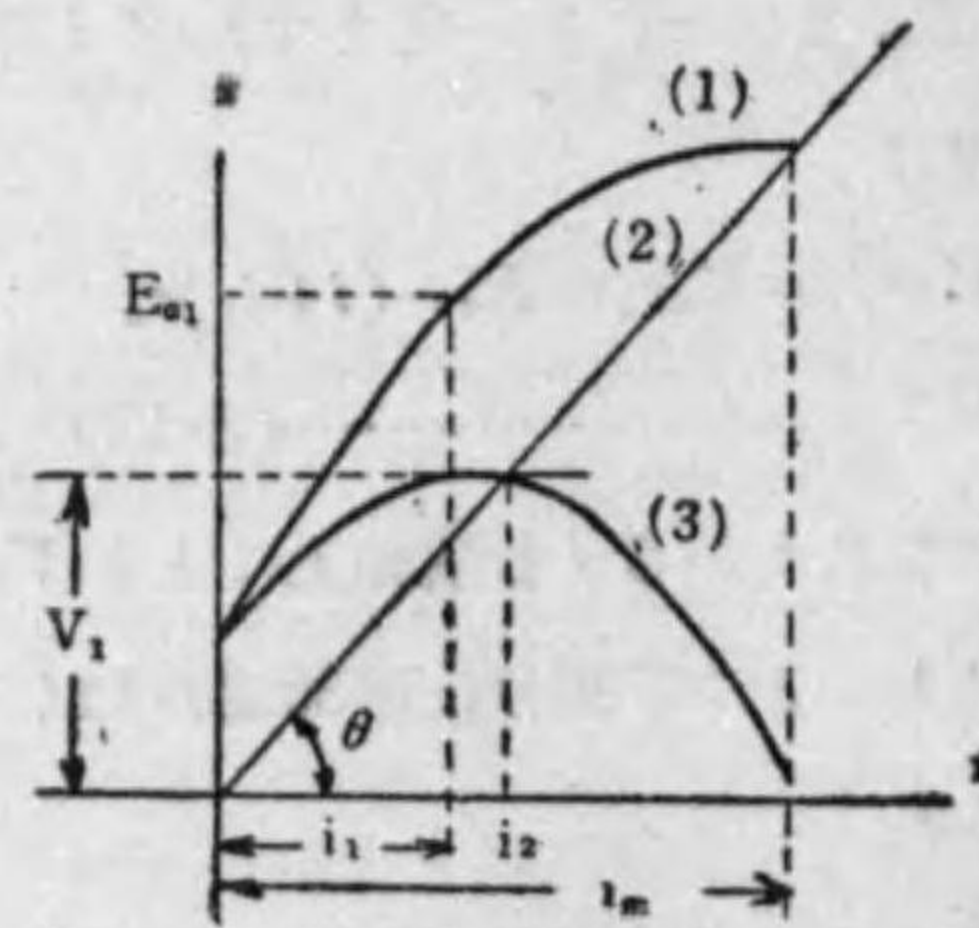
(3.15) 式は飽和曲線に外ならず又端子電壓は

$$V = E_a - i(r_a + r_f) \dots \dots \dots (3.17)$$

で表はされるから是等の關係を圖示すると第39圖の様になる。

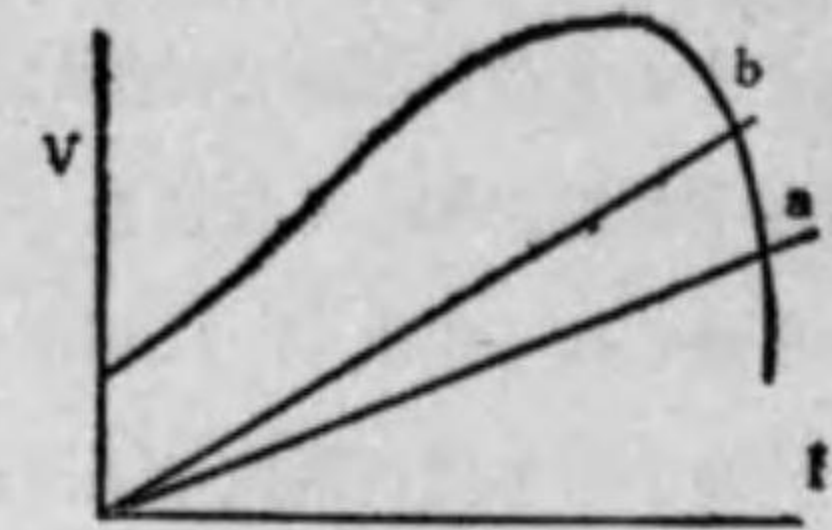
圖は於て(1)は飽和曲線を表はし(2)は $i(r_a + r_f)$ 即ち發電機内部に於ける電壓降下を表はす。

従つて(1)と(2)との差をとり(3)を描けば之は端子電壓を與へる事となる。



第 39

直巻發電機に於て例へば刷子を中性點から進めて電機子反作用を強力にして置くと負荷電流と共に急激に磁束の減少を來し外部特性は第40圖の様な所謂垂下特性を示す。斯の如き垂下特性を示す部分では負荷抵抗 R が變つても電流は殆んど變化しない事を見るであらう。



第 40 圖

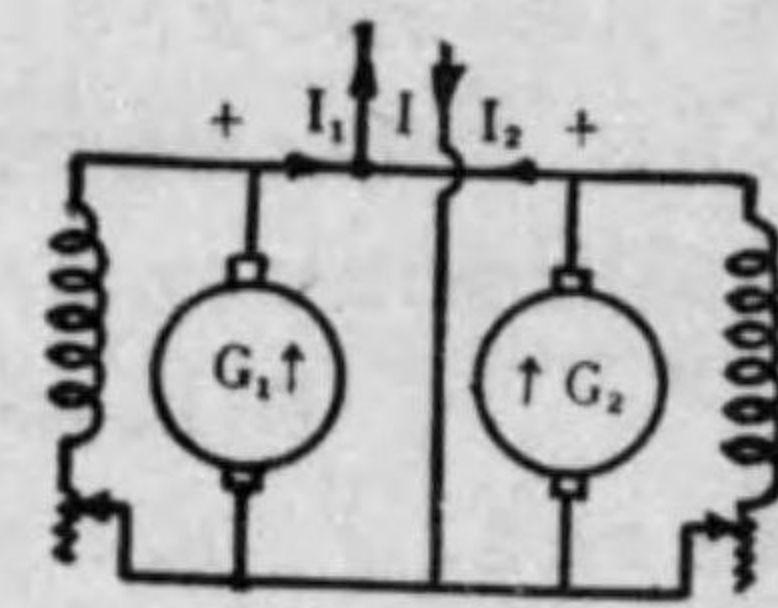
3.1.11. 複巻發電機の特性

複巻發電機は分巻界磁線輪と直巻界磁線輪とを併有するものであつて前者の特性が負荷の増加するに従つて下るのを後者の特性により償はせる様にしたものである。故に兩界磁巻線の巻數を適當に選ぶことによつて任意の特性が得られ無負荷電壓と全負荷電壓とが略等しい平復巻、或は負荷の増すに従つて電壓が上昇する過復巻又は逆に電壓が降下する不足復巻等の種類に分つ事が出来る。

以上は直巻々線の起磁力と分巻々線の起磁力とが相加はる和動複巻發電機であるが之と反對に兩起磁力が逆に働く様にした所謂差動複巻發電機と稱するものもある。

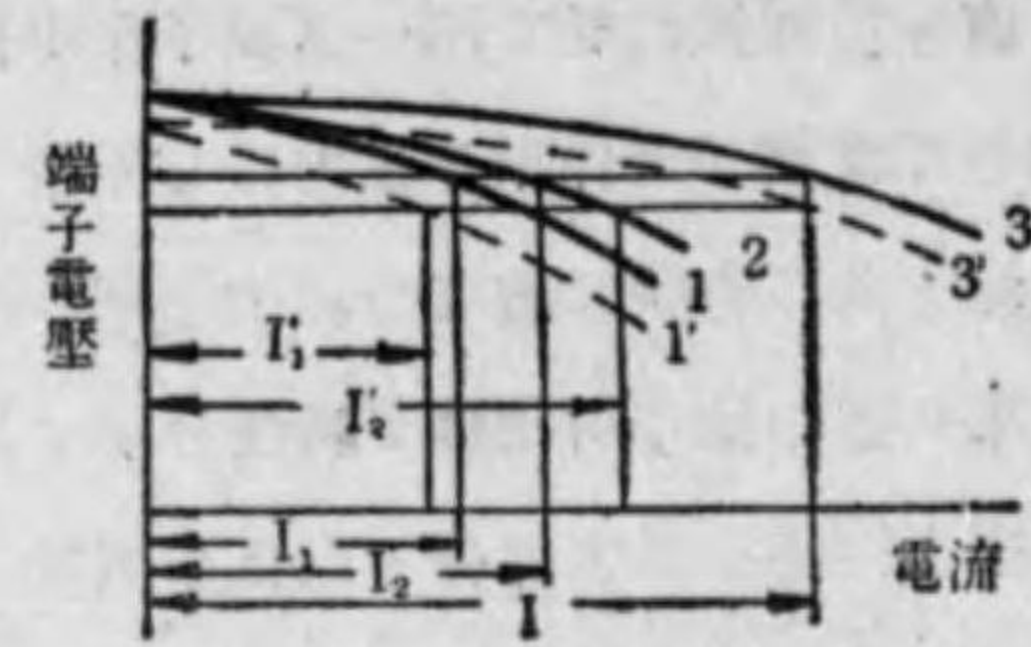
3.1.12. 發電機の並列運轉

第41圖に示す如く二つの分巻發電機 G_1, G_2 を並列に接続するには先づ無負荷の場合に G_1, G_2 の誘起電壓 E_1, E_2 の値が相等しく且其の極が反對になる様にして置き、それから並列に入れる。斯く並列に入れても電機子回路には少しも電流は流れないが負荷をかけると負荷電流 I が流れ各發電機は I_1, I_2 を分擔する事となる。この時に於ける負荷の分擔は各發電機の外部特性によつて定まるものである。



第 41 圖

第42圖 1, 2 を G_1, G_2 の外部特性とすると並列運転では常に各發電機の端子電圧が等しくなければならないから或る端子電壓 V に相當する夫々の分擔すべき負荷電流は I_1, I_2 となり全體の負荷電流 $I = I_1 + I_2$ と端子電壓との關係は3の如くなる。



第 42 圖

I_1, I_2 の分擔を變更するには何れか一方の發電機の界磁抵抗を調整するか或は發電機の速度を變更して其の外部特性を變へるかである。例へば G_1 の界磁抵抗を増して特性を $1'$ の如く移すと全體の特性は $3'$ の如くなり各發電機に對する I の分擔は今や I_1', I_2' の如くなる。即ち G_1 では I_1 より I_1' に減少し G_2 では I_2 より I_2' に増加する事となる。換言すれば界磁電流を弱める事によつて負荷の一部を他の發電機へ移す事が出来る。この場合 I_1 が少し増加したとすると G_1 の端子電壓は降下し G_2 の方は増すから従つて I_1 は減少し I_2 は増加してその平衡状態へ引戻すので並列運転は常に安定に行はれる事となる。

直巻發電機に在つては之に反し負荷が増すと端子電圧が増すから並列に接続した場合には一方の負荷が増すと其の端子電壓は増加し電流は一層増す事となり益々負荷の分擔が大となるから並列運転は不安定である。

3.1.13. 發電機の電壓調整法

直流發電機に於てその端子電壓は

$$V = E_a - ir \dots \dots \dots (3.18)$$

で表はされる。但し E_a は電機子に發生する起電力、 i は電機子電流、 r は電機子回路の抵抗である。

この式から分る通り V を變へる爲には E_a を變へるか又は i を一定として r を變へるかの方法が考へられるか r を變へる事は電機子に抵抗を挿入して

その値を變へる事であつて端子電壓を廣範圍に變更する事が出来るが抵抗内に於ける電壓降下により損失が生ずるから經濟的ではない。

之に反し E_a を變へるには勵磁電流を加減すればよいので極めて簡單である。

蓋し電機子中に生ずる起電力は同轉數 n と磁束 Φ とに比例するから

$$E_a = kn\Phi \dots \dots \dots (3.19)$$

で表はされ n 一定なる場合には E_a は Φ に比例するから Φ を變化する事によつて E_a は變化する。而して Φ は勵磁電流 i_f の函數なる事は明かであらう。この爲分巻發電機に於ては勵磁回路内に加減抵抗器を入れ直巻發電機では勵磁巻線に分路を設ける如き方法が用ひられる。加減抵抗器は簡單な手動式のもの或は自動式の方法に仍ることが出来る。チリル調整器或は放電管式自動電壓調整器等は自動式の例である。

3.1.14. 電壓變動率

發電機勵磁回路の抵抗及び同轉速度一定の時無負荷電壓 V_0 。全負荷電壓 V なる時は

$$\frac{V_0 - V}{V} \times 100$$

を以て電壓變動率を表はす。

即ち電壓變動率とは勵磁回路の抵抗及び同轉數を變更する事なく全負荷より無負荷にした時の電壓の變動の割合を全負荷時の電壓の百分率で表はしたものである。

此の電壓變動は主として電機子の内部抵抗によるもので内部抵抗の少い機械程電壓變動率は小さい。

總 括

1. 電機子に誘起される起電力

$$E = 2\Phi Z \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)}$$

2. 外部から發電機に供給される機械的勢力

$$W = \tau_a \omega = \frac{2\pi n}{60} = 2Z\phi \cdot \frac{n}{60} \cdot I_a \cdot 10^{-9} \quad \left(\frac{\text{ジュール}}{\text{秒}} \right)$$

3. 發電機から外部に供給される電氣的勢力

$$W' = E \cdot I_a = \left(2Z\phi \frac{n}{60} \cdot 10^{-9} \right) \cdot I_a \quad (\text{ワット})$$

4. 直流發電機の主要部分

{ 界磁—磁極, 界磁線輪, 磁極片
 鐵鐵
 電機子—電機子鐵心, 巻線

5. 電機子巻線の種類

{ 環状巻と鼓状巻 { 重巻(並列巻)
 { 波巻(直列巻)
 { 一層巻と多重巻

6. 直流發電機の勵磁方式

{ 他勵式
 { 自勵式 { 直巻
 { 分巻—外分巻と内分巻
 { 複巻—和動複巻と差動複巻

7. 電機子反作用

電機子電流による磁界が主磁界に影響を及ぼす現象を云ふ。

8. 補償巻線

電機子反作用を打消す爲に極片部に溝を作り之に巻線を設けこれと電機子とを直列につなぎ電機子によつて生ずる磁束を打消させるものを云ふ。

9. 整流

電壓整流と抵抗整流

整流を良くする爲には補極及補償巻線を設置する。

10. 發電機の特性

飽和曲線, 負荷特性曲線等

11. 發電機の電壓調整法

{ 手動による方法 { 電機子内抵抗挿入法
 { 界磁内抵抗挿入法
 { 自動的に行ふ方法 { チリル調整器
 { 放電管式自動電壓調整器等

12. 電壓變動率

勵磁回路の抵抗及回轉數を變更する事なく全負荷より無負荷にした時の電壓の變化の割合を全負荷時の電壓の百分率で表はしたもの即ち

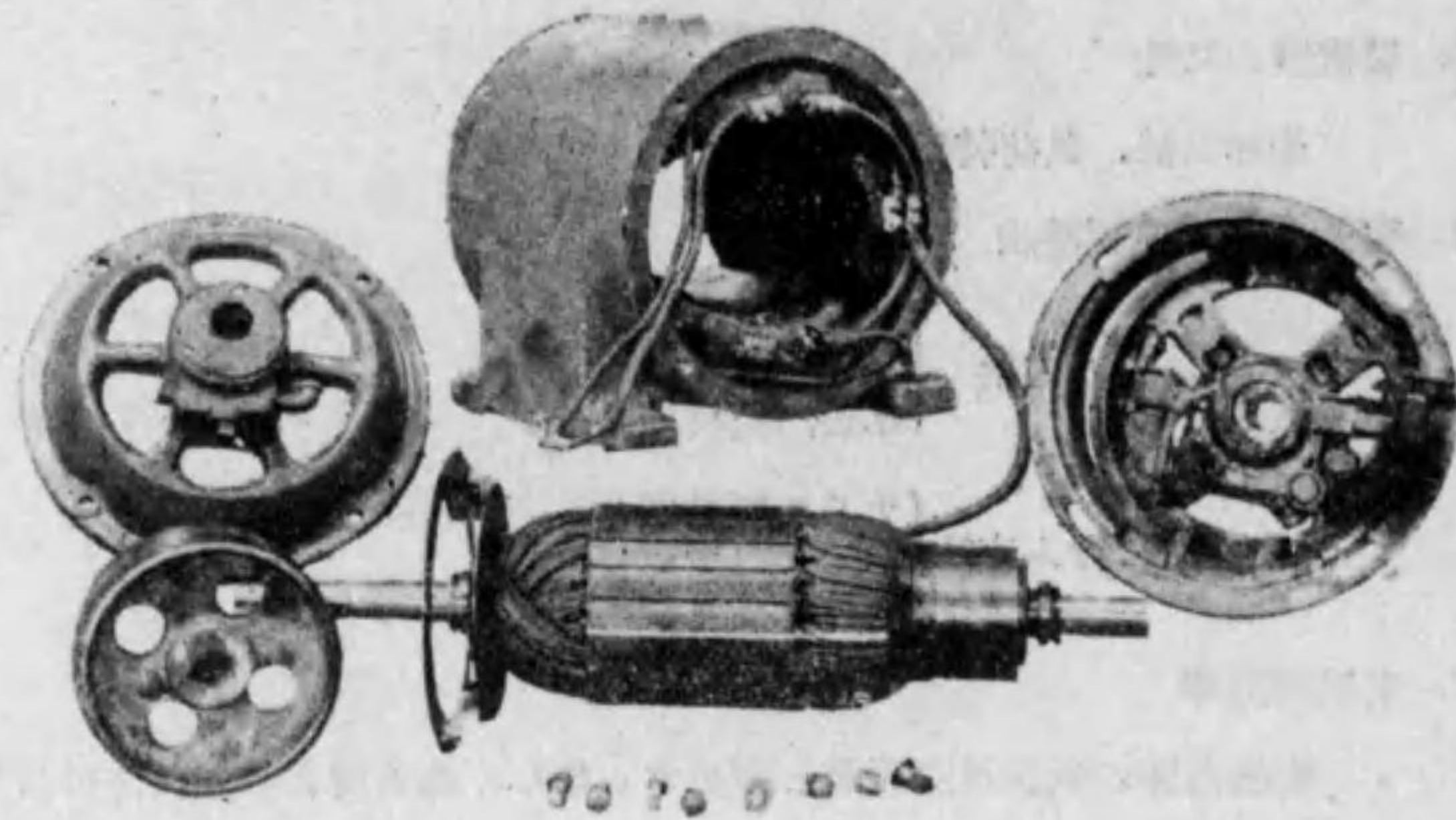
$$\frac{V_0 - V}{V} \times 100 \text{ を云ふ。}$$

練習問題

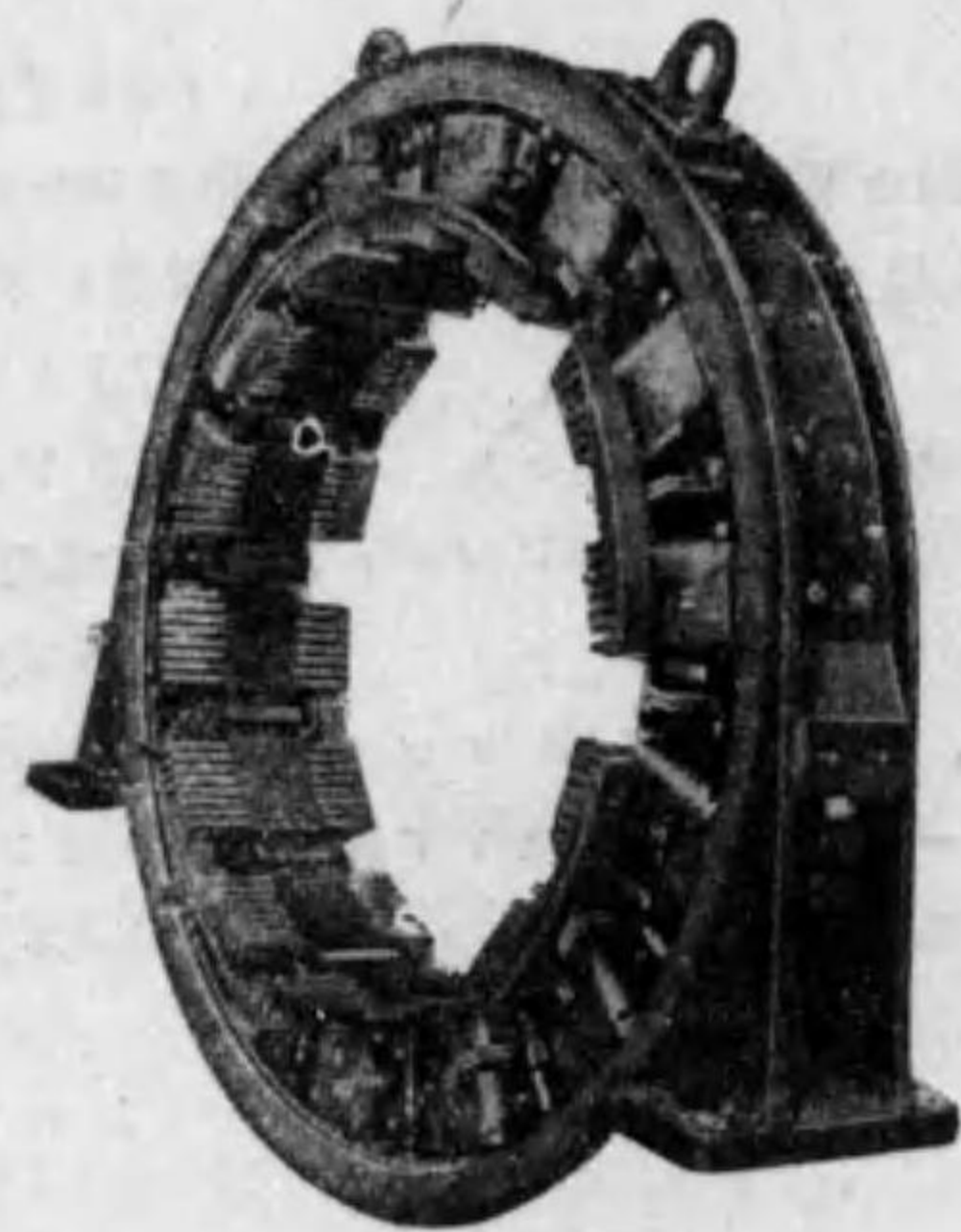
- 六極直流發電機あり, 毎分 900 回轉とし每極當りの磁束總數 1,200,000 とすれば誘起電力は幾何か。
但し $q=2$ とせよ。 (518 V)
- 直流發電機あり六極重巻にして電機子周囲の導體數 300, 每極當りの磁束 900,000 とすればこの發電機が毎分 1500 回轉する場合に刷子間に誘起する起電力を求めよ。 (67.5 V)
- 前題に於ける發電機を波巻とすれば誘起電壓は幾何となるか。 (202.5 V)
- 直流發電機あり無負荷電壓 135 ホルト, 全負荷電壓 125 ホルトとすれば電壓變動率は幾何か。 (18%)
- 直流分巻發電機あり端子電壓 110 ホルト, 全負荷電流 85 アンペア, 刷子の抵抗 0.06 オームなる時分巻回路の抵抗を 45 オーム漂遊負荷損 897 ワットとすればこの發電機の全負荷能率は幾何か。 (85.2%)

3.2. 直 流 電 動 機

3.2.1. 直 流 電 動 機 の 原 理 と 構 造



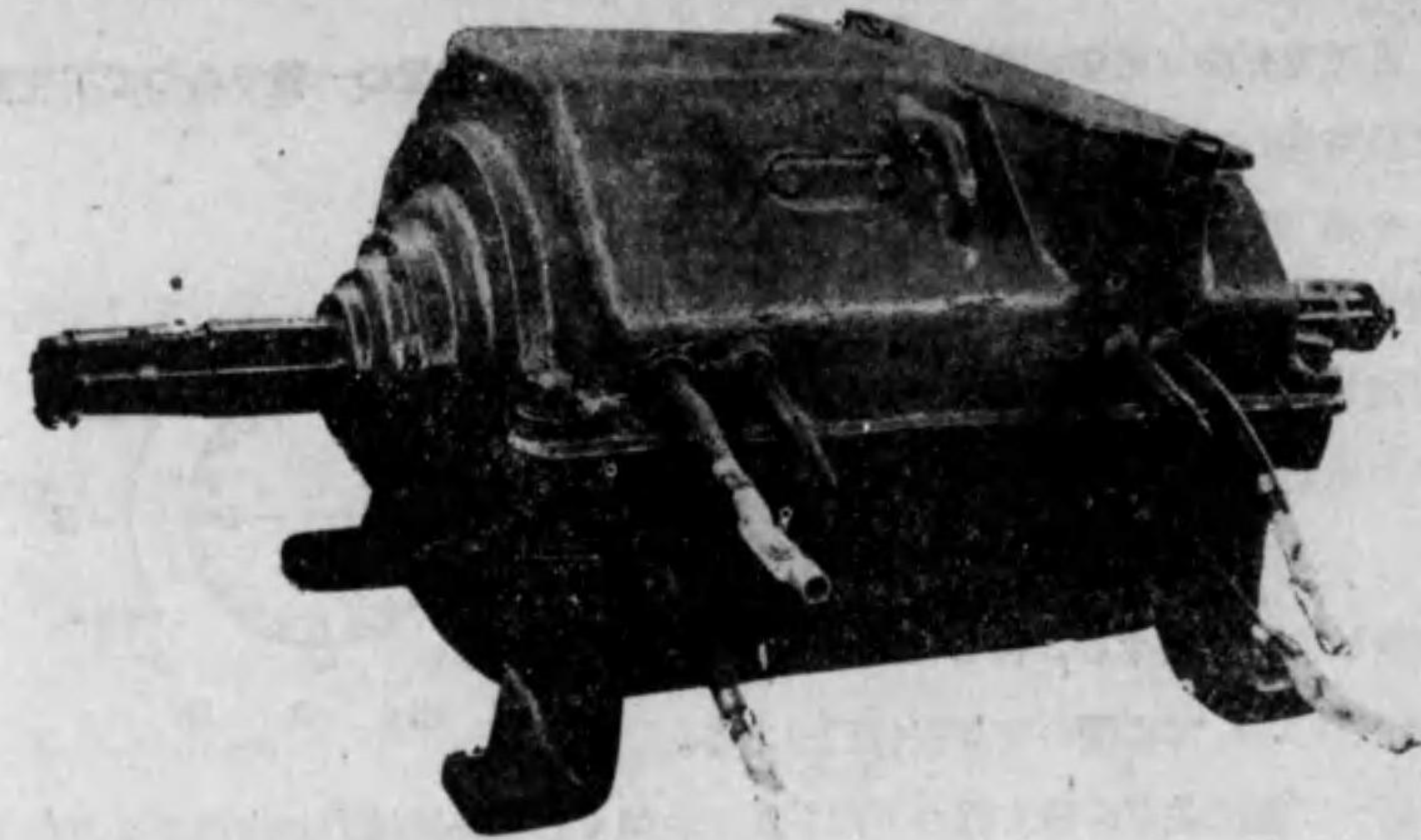
小型直流電動機の分解図



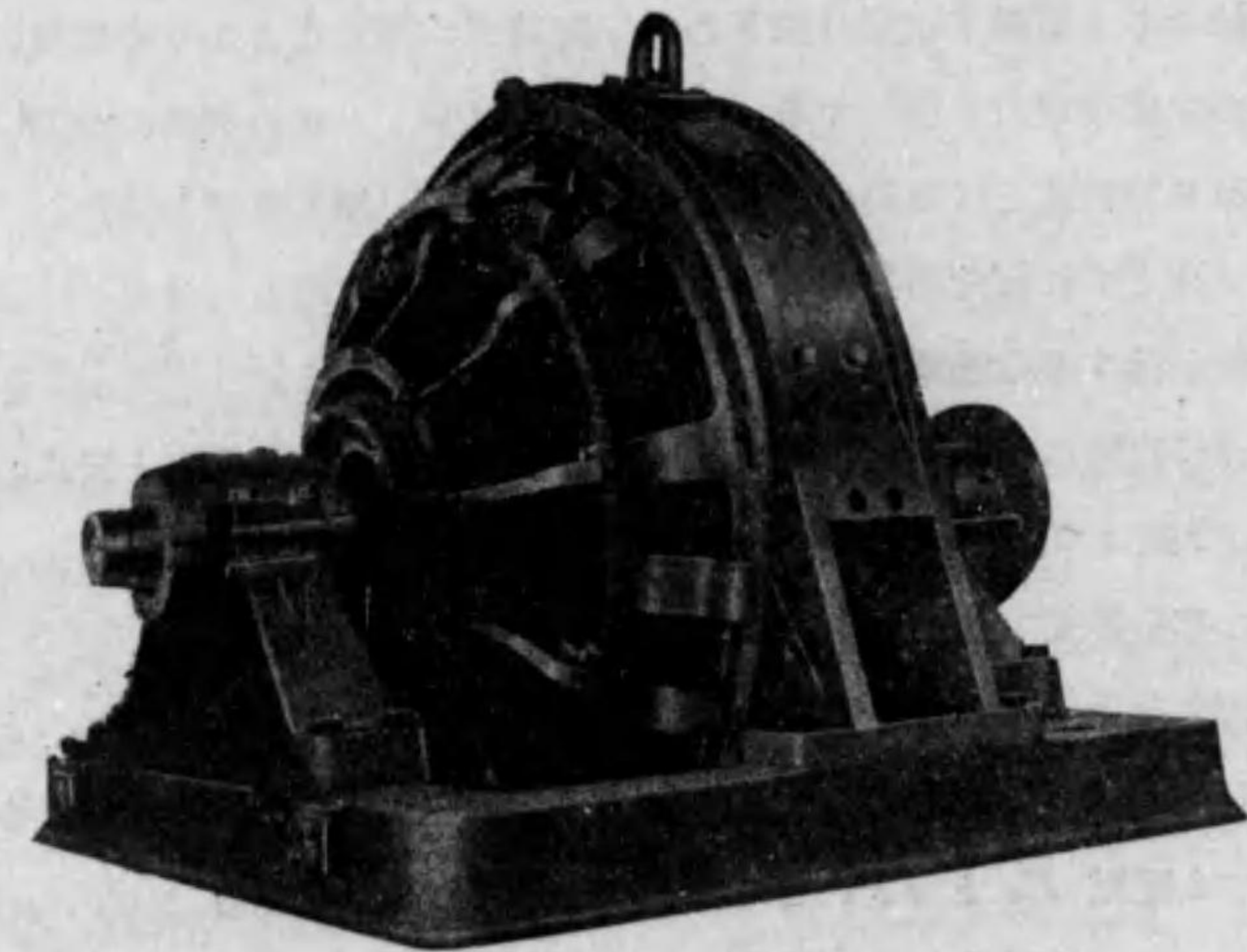
磁気枠 (補償巻線を示す)



電機子 (4500馬力電動機用)



全閉型直流電動機



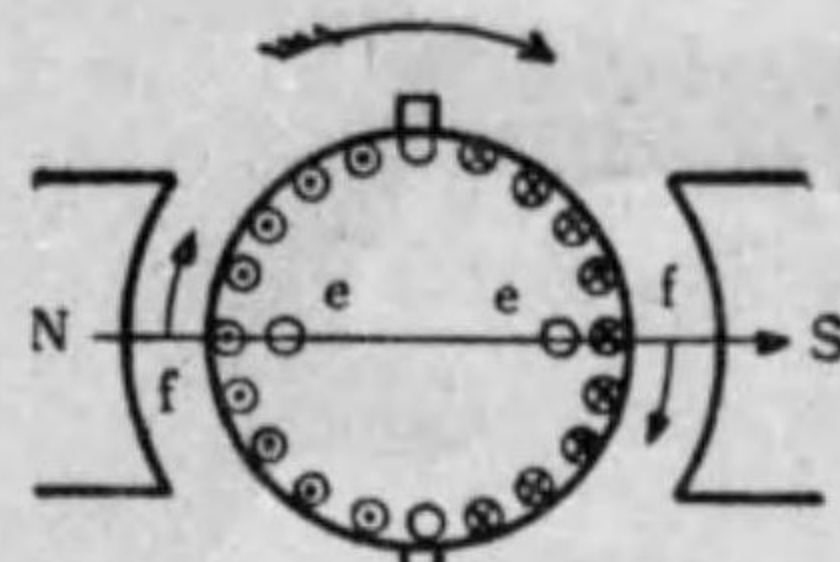
ストリップミル用直流電動機
(2200HP-750V-600/800RPM)

直流電動機は電氣的勢力を機械的勢力に変換する装置の一種であつて丁度直流發電機の逆に相當する。

今第 43 圖に示す如く正負刷子間に直流電壓を加へ電機子導體中に I_a アンペアの電流が流れるものとすればフレミングの左手の法則によつて表はされる方向に

$$f = B l a l \times 10^{-8} \text{ (ダイン)}$$

の機械力が作用する。但し B は磁束密度 (Gauss), l は導體の有効長 (寸) である。



第 43 圖

例へば電流並びに磁力線の方向を圖示の如くした時機械力の作用する方向は矢印の如くである。

導體が反對の方向の磁界に入ると同時に整流子の作用で導體中の電流も反轉されるから機械力は矢張り之と同じ方向に生じて回轉を續ける。處で電機子が回轉を始めると電機子導體は磁界の中で回轉する譯であるから發電機の場合と同様その中に起電力を誘起する。其の方向はフレミングの右手の法則に従ひ外部から通じた電流とは反對の方向である。従つて引續き電流を供給して回轉を繼續させ様とすれば此の誘起電力に打勝つて所要回轉力を生ずるに必要な電機子電流を流す様な起電力を加へてやる事が必要である。

この様に回轉によつて生ずる誘起電力を電動機の逆起電力と云ふ。是を $-E_a$ で表はす。

以上の事を數式で示せば次の如くなる。

今回轉力を生ずるのに必要な電流を I_a 、電機子の内部抵抗を r_a とすれば外部より加ふべき全電壓 V は逆起電力 $-E_a$ を打消す爲之と大き相等しく方向相反する電壓 E_a と $I_a r_a$ との和でなければならぬ。即ち

$$V = E_a + I_a r_a$$

従つて
$$I_a = (V - E_a) / r_a \dots\dots\dots(3.20)$$

E_a は發電機の場合と同様な起電力であるから

$$E_a = \frac{2p}{c} \cdot \Phi \cdot Z \cdot \frac{n}{60} \cdot 10^{-8} = k \cdot \frac{n}{60} \cdot \Phi \text{ (ボルト)} \dots\dots\dots(3.21)$$

今速度を毎秒當りの回轉數で表はし $n' = \frac{n}{60}$ とし又 $k\Phi = M$ とすれば

$$E_a = n' M$$

電機子導體に作用する回轉力の平均値を τ_{av} とすれば

$$\begin{aligned} \tau_{av} &= (B_{av} \cdot I_a \cdot l \cdot 10^{-1}) (D/2) \\ &= 2p\Phi \cdot \frac{I_a}{c} \cdot 10^{-1} / 2\pi \end{aligned}$$

従つて全回轉力は

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_{av} Z = \frac{2p}{c} \cdot \Phi \cdot Z \cdot I_a \cdot 10^{-1} / 2\pi \\ &= \frac{I_a M \cdot 10^7}{2\pi} \\ &= \frac{E_a I_a \cdot 10^7}{2\pi n} \text{ (ダイン・寸)} \\ &\dots\dots\dots(3.22) \end{aligned}$$

而して電動機入力は

$$W = V I_a = E_a I_a + I_a^2 r_a$$

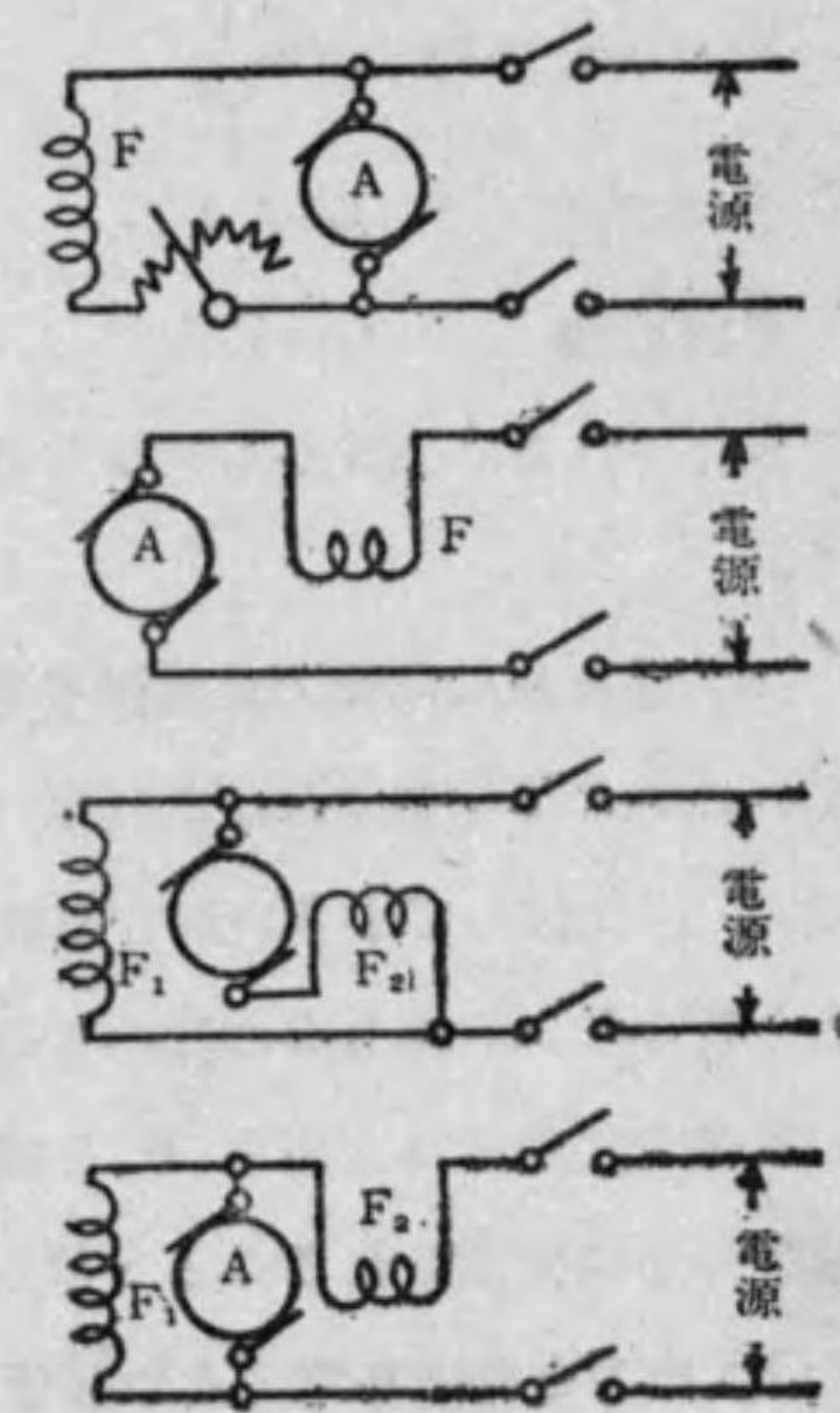
機械的出力は

$$W' = \tau \cdot 2\pi n' = E_a I_a \text{ (ワット)}$$

W の内 $I_a^2 r_a$ は電機子の銅損となり $E_a I_a$ のみが機械的勢力に轉換されるものである。 $E_a I_a$ から更に摩擦損、風損等を引去つた残りが軸端に於て機械的勢力として利用し得る部分となる。

3.2.2. 直流電動機の種類

直流電動機は大別して次の様な種類に分たれる。



第 44 圖

- (1) 直巻電動機 電機子巻線と界磁巻線とが直列に接続されてゐるもの
 - (2) 分巻電動機 電機子巻線と界磁巻線とが並列に接続されてゐるもの
 - (3) 複巻電動機 界磁として分巻巻線と直巻巻線との双方を有するもの
- 複巻電動機は発電機の場合と同様和働複巻及び差働複巻に分つことが出来る。

3.2.3. 分巻電動機の特性

第 45 圖に示す分巻電動機に於て 端子電圧 V 及び勵磁電流を一定とすれば (3.20), (3.21) 及び (3.22) の諸式から

回轉力 $\tau = \frac{k\phi}{61.6} I_a$ (瓦・米)

回轉數 $n' = \frac{V - I_a r_a}{k\phi}$

$I_a = 0$ の時は $n' = \frac{V}{M}$

負荷電流 $I = I_a + I_f$

界磁電流 $i_f = V / i_f$ R_f

で表はされる。上式から明かな通り勵磁電流一定の場合には主磁束も一定である。

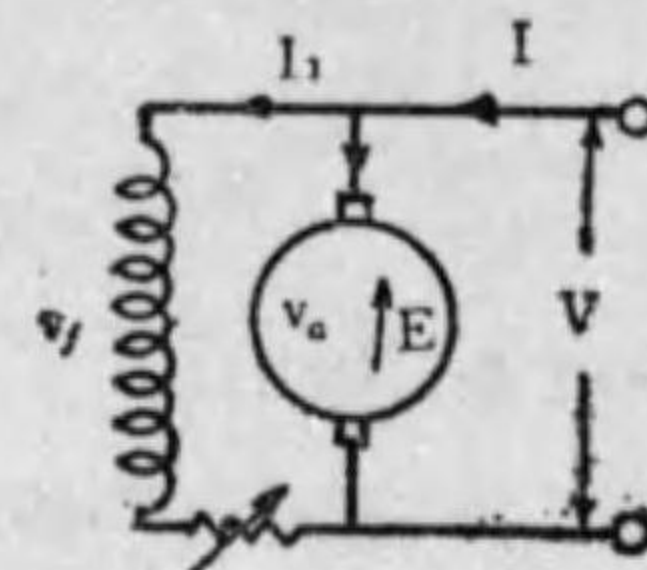
(a) 速度並に回轉力と電機子電流との關係 回轉力が増して電機子電流 I_a が之に比例して増加すれば回轉數 n' は $I_a r_a$ 丈降下する。然し普通の場合 $I_a r_a$ は V に比較して小さいから電機子電流が相當廣い範圍に變化しても速度はあまり變らない。即ちこの種のものとは所謂定速度電動機に屬する。

電機子反作用は主磁束 ϕ を減少させるから速度は上昇し電機子電流による速度降下は補償されることとなる。

(b) 出力と電機子電流との關係 出力は $P_0 = E_a I_a$ で表はされるから

$P_0 = E_a I_a = (n' M) I_a = V I_a - r_a I_a^2$ (ワット).....(3.23)

この式から出力は $I_a = 0$ の時零となり I_a が増加するに連れて増加するが或



第 45 圖

る値を越すと減少して零となる事が分る。その最大値は

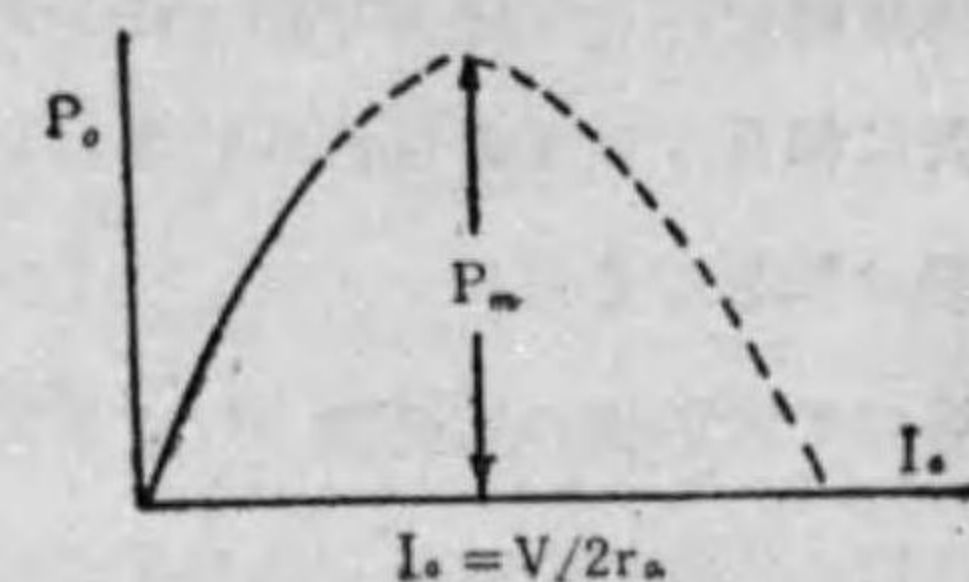
$\frac{dP_0}{dI_a} = 0$ より $I_a = \frac{V}{2r_a}$

の時である事が分る。この時の最大出力を P_m とすれば

$P_m = \frac{V^2}{2r_a} - \left(\frac{V}{2r_a}\right)^2 r_a = \frac{V^2}{4r_a}$ (ワット).....(3.24)

是を曲線で示すと第 46 圖の如くなる。

然し實際の使用範圍は P_m の値に達する事はない。



第 46 圖

(c) 端子電壓と速度との關係 勵磁回路が未だ飽和して居ない裡は磁束は勵磁

電流に比例して増加するから M も勵磁電流に比例する事となる。今 r_f を一定に保てば i_f は V に比例する事となるから M は結局 V に比例する。即ち

$M = k_1 V$ (k_1 は定數).....(3.25)

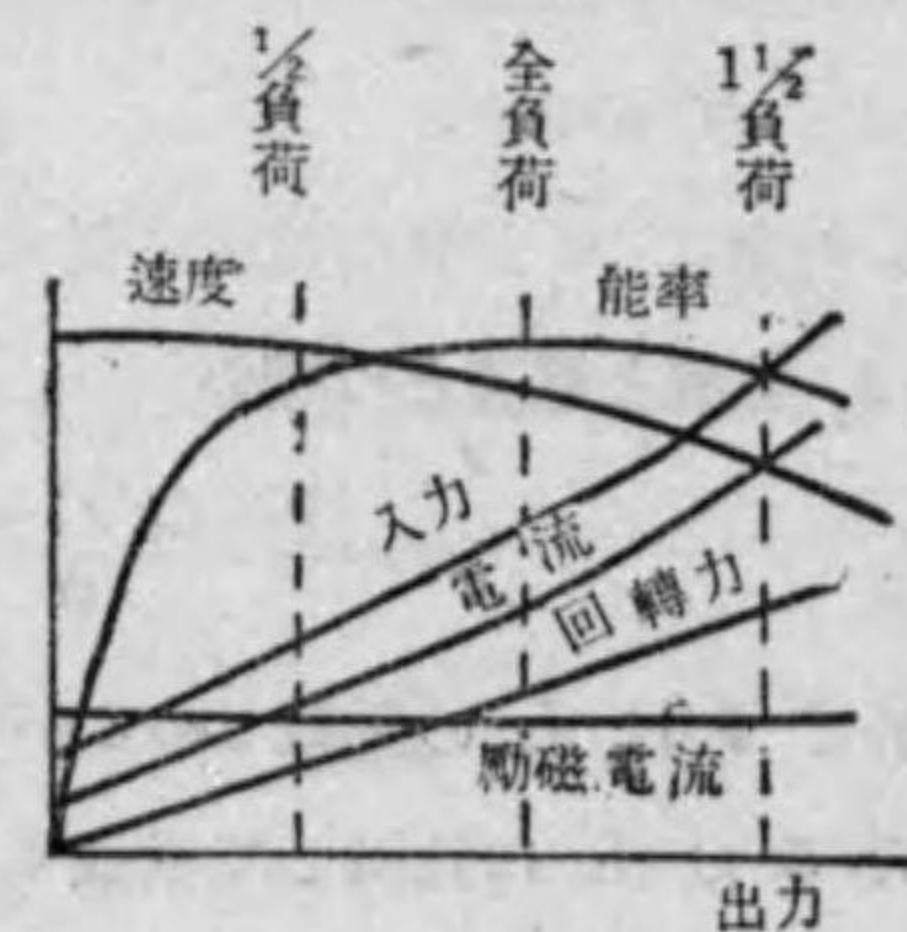
故に $n' = \frac{1}{M}(V - I_a r_a) = \frac{1}{k_1 V}(V - I_a r_a)$(3.26)

$= \frac{1}{k_1} \left(1 - \frac{I_a r_a}{V}\right)$(3.27)

即ち $I_a = 0$ の場合には n' は V に無關係となる。

負荷がかかつて居る時は $\frac{I_a r_a}{V}$ 丈減するが $\left(1 - \frac{I_a r_a}{V}\right)$ の値は V の大なる程 1 に近いから結局電壓の高い機械程速度の變動は小さい。

第 47 圖は出力を横軸に取つた場合の分巻電動機負荷特性の一例を示す。



第 47 圖

- (1) 直巻電動機 電機子巻線と界磁巻線とが直列に接続されてゐるもの
- (2) 分巻電動機 電機子巻線と界磁巻線とが並列に接続されてゐるもの
- (3) 複巻電動機 界磁として分巻巻線と直巻巻線との双方を有するもの

複巻電動機は發電機の場合と同様和働複巻及び差働複巻に分つことが出来る。

3.2.3. 分巻電動機の特性

第 45 圖に示す分巻電動機に於て 端子電壓 V 及び 勵磁電流を一定とすれば (3.20), (3.21) 及び (3.22) の諸式から

回轉力
$$\tau = \frac{k\phi}{61.6} I_a \quad (\text{廷}\cdot\text{米})$$

回轉數
$$n' = \frac{V - I_a r_a}{k\phi}$$

$I_a = 0$ の時は $n' = \frac{V}{M}$

負荷電流 $I = I_a + I_f$
 界磁電流 $i_f = V/i_f$ R_f

で表はされる。上式から明かな通り勵磁電流一定の場合には主磁束も一定である。

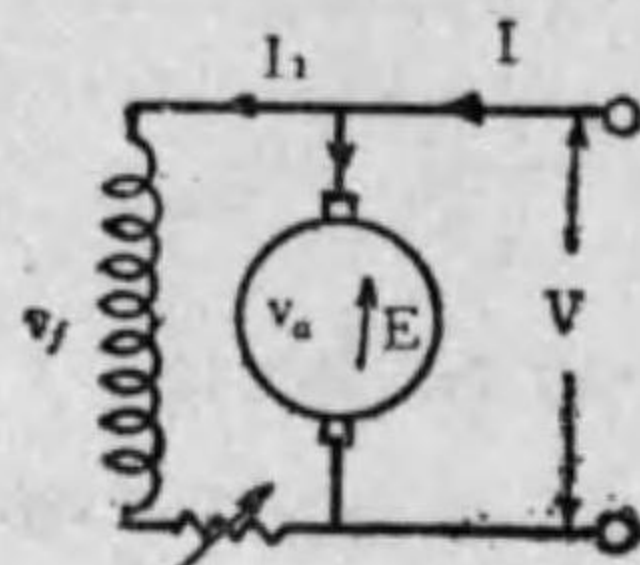
(a) 速度並に回轉力と電機子電流との關係 回轉力が増して電機子電流 I_a が之に比例して増加すれば回轉數 n' は $I_a r_a$ 丈降下する。然し普通の場合 $I_a r_a$ は V に比較して小さいから電機子電流が相當廣い範圍に變化しても速度はあまり變らない。即ちこの種のもは所謂定速度電動機に屬する。

電機子反作用は主磁束 ϕ を減少させるから速度は上昇し電機子電流による速度降下は補償されることとなる。

(b) 出力と電機子電流との關係 出力は $P_0 = E_a I_a$ で表はされるから

$$P_0 = E_a I_a = (n' M) I_a = V I_a - r_a I_a^2 \quad (\text{ワット}) \dots\dots\dots (3.23)$$

この式から出力は $I_a = 0$ の時零となり I_a が増加するに連れて増加するが或



第 45 圖

る値を越すと減少して零となる事が分る。その最大値は

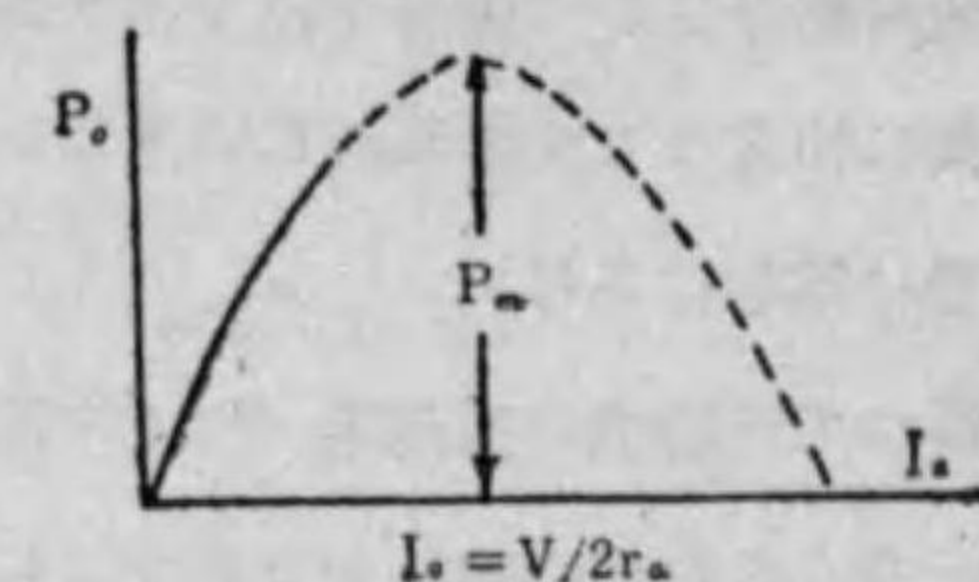
$$\frac{dP_0}{dI_a} = 0 \quad \text{より} \quad I_a = \frac{V}{2r_a}$$

の時である事が分る。この時の最大出力を P_m とすれば

$$P_m = \frac{V^2}{2r_a} - \left(\frac{V}{2r_a}\right)^2 r_a = \frac{V^2}{4r_a} \quad (\text{ワット}) \dots\dots\dots (3.24)$$

是を曲線で示すと第 46 圖の如くなる。

然し實際の使用範圍は P_m の値に達する事はない。



第 46 圖

(c) 端子電壓と速度との關係 勵磁回路が未だ飽和して居ない裡は磁束は勵磁

電流に比例して増加するから M も勵磁電流に比例する事となる。今 r_f を一定に保てば i_f は V に比例する事となるから M は結局 V に比例する。即ち

$$M = k_1 V \quad (k_1 \text{ は定數}) \dots\dots\dots (3.25)$$

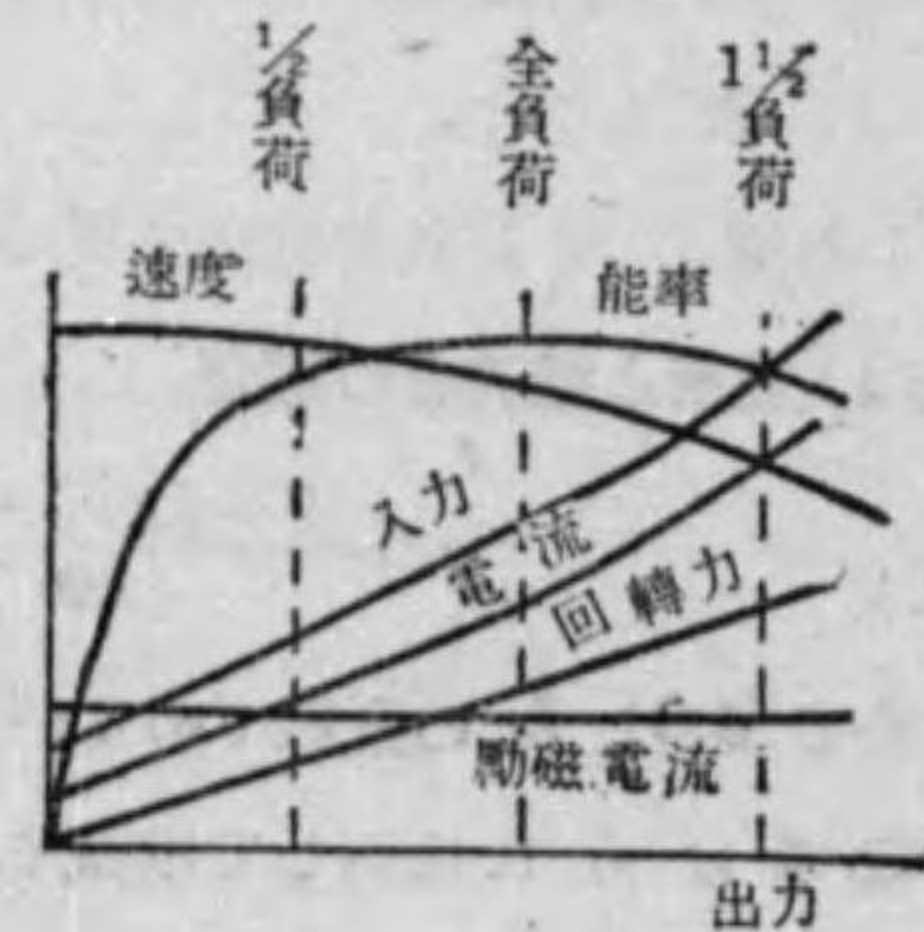
故に $n' = \frac{1}{M} (V - I_a r_a) = \frac{1}{k_1 V} (V - I_a r_a) \dots\dots\dots (3.26)$

$$= \frac{1}{k_1} \left(1 - \frac{I_a r_a}{V}\right) \dots\dots\dots (3.27)$$

即ち $I_a = 0$ の場合には n' は V に無關係となる。

負荷がかかつて居る時は $\frac{I_a r_a}{V}$ 丈減するが $\left(1 - \frac{I_a r_a}{V}\right)$ の値は V の大なる程 1 に近いから結局電壓の高い機械程速度の變動は小さい。

第 47 圖は出力を横軸に取つた場合の分巻電動機負荷特性の一例を示す。



第 47 圖

3.2.4. 分巻電動機運轉上の注意

分巻電動機運轉中若し勵磁回路が開かれると r_f は零となり Φ は僅かに残留磁氣のみとなるから非常に小さくなる。若し電動機に負荷がかかつて同轉力を出して居る場合ならば I_a は非常に大となり機器を焼損する虞がある。此の場合は電機子回路のヒューズや遮斷器等過負荷に対する保護装置により電動機の主回路を開いて傷害を防ぐ事が出来る。然し無負荷の場合には I_a は無負荷損失に相當する丈の電流に過ぎないから大きな値にはなり得ず上述の様な保護装置は役をなさない。

従つて電動機同轉數 n' は非常に大きな値に達し ($n' = \frac{1}{M}(V - I_a r_a)$) 遂には遠心力の爲に機器を破壊するに至る。即ち分巻電動機に於ては運轉中特に無負荷の場合には勵磁回路が開かぬ様注意する必要がある。

3.2.5. 直巻電動機の特性

直巻電動機では電機子と勵磁巻線とが直列に接続され電機子電流と勵磁電流とは同一である。従つて

$$V = E_a + I_a(r_a + r_f) \dots \dots \dots (3.28)$$

又 $E_a = n' M, \quad M = k\Phi$

の関係がある。

今負荷が軽く電流が少い時は M の値は小さいが電流が増すに連れ Φ が増し従つて M も増す。

この様に M が負荷電流に従つて増減する事が直巻電動機の特徴である。

(a) 速度と電流との關係

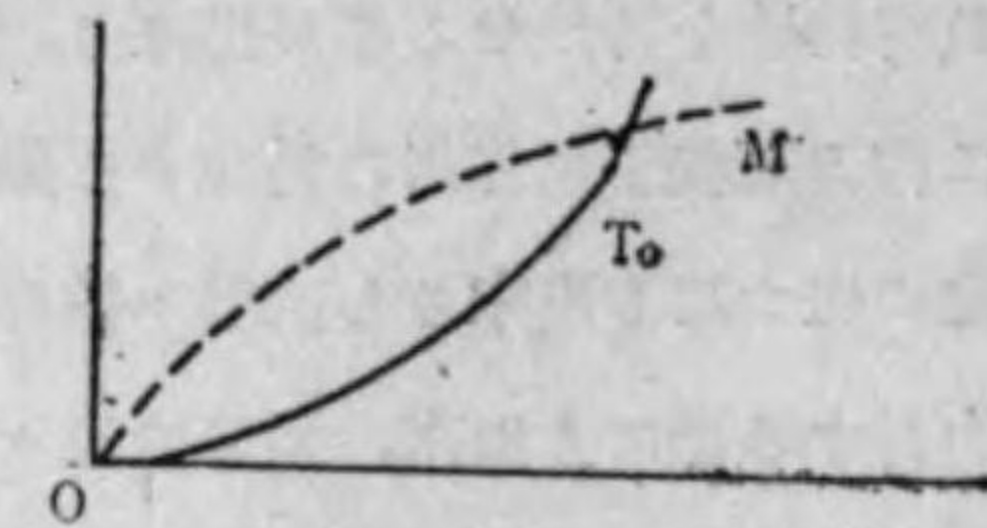
$$n' = \frac{V - I_a(r_a + r_f)}{k\Phi}$$

に於て Φ は I_a の函數であるが今 I_a が小さくて磁氣回路が飽和して居ない時は Φ は I_a に比例して増減するから V が $I_a(r_a + r_f)$ に比し遙に大である爲結局 n' は V/I_a に比例する事となり換言すれば速度は電機子電流に逆比

例する事となる。然して I_a が或る程度以上になると鐵の飽和の爲に Φ は略一定となり n' は I_a に無關係に略一定となつて大體分巻電動機と同様な特性となる。

(b) 同轉力と電流との關係 同轉力 τ は $I_a\Phi$ に比例するから鐵が飽和しない場合には I_a^2 に比例し飽和した後は I_a に比例する事となる。

斯く直巻電動機は負荷の變化に従ひ廣い範圍に速度を變化するから斯の種のもを變速度電動機と云ふ。



第 48 圖

直巻電動機は負荷の同轉力が増大すれば速度が降下し過負荷となる事を自動的に防ぎ、起動時には I_a^2 に比例する大きな同轉力を出すので電気鐵道等に適してゐる。

3.2.6. 直巻電動機運轉上の注意

特性曲線からも分る様に I_a が小さくなるに連れて n' は大となり遂に $I_a=0$ の場合に至れば宛も分巻電動機が無負荷の時勵磁回路が切斷されたのと同様になり電動機は非常な高速度となつて危険であるからこの種電動機は決して無負荷にならぬ様に注意し起動の際にも豫め適當な負荷をかけて置く事が必要である。又負荷との結合に際しても調帶の如きものは避け出来る丈直結又は齒車結合の如きを擇ぶことが必要である。

3.2.7. 複巻電動機の特性

この種電動機は界磁に分巻と直巻との兩巻線を有するものであるが兩磁束が同一方向に生ずる和動複巻電動機と直巻界磁が分巻界磁を弱める様に接続された差動複産電動機との二種類がある。複巻電動機に於ては速度は一般に

$$n' = \frac{V - I_a r_a}{k\Phi} \dots \dots \dots (3.29)$$

で表はされ和動複巻電動機の場合には I_a の増加と共に Φ も増加するから速

度の降下は分巻電動機の場合より大であるが直巻電動機よりは小さい。又分巻巻線を有するから無負荷の時も直巻電動機の如く危険な高速度に達する虞がない。

複巻電動機では分巻界磁と直巻界磁の巻数を適宜に選定する事によつて任意の負荷特性を持たせる事が出来る。即ち直巻々線的作用により電機子電流の増大に伴ふ電機子反作用の爲生ずる磁束の減少を補ひ負荷の如何に不拘速度を略一定に保つ事も出来るし直巻々線の効き方を強くすれば負荷の増加と共に速度が上昇する様にも出来、逆に直巻々線の効目を不足にして置けば負荷の増加に連れて速度が下る様にも出来る。

この時回転力 τ は $I_a \Phi$ に比例するから I_a の増加と共に直線的以上に増加する。

差動複巻電動機では (3.29) 式中 I_a の増加と共に Φ が減少するから直巻界磁の巻数を適宜に選べば速度 n' を負荷の如何に不拘一定に保つ事も出来るし或は負荷の増加と共に速度を上昇させる事も出来る。然し起動時及び過負荷には面倒があるのであまり使はれない。

3.2.8. 直流電動機の起動及び速度制御

(a) 起動 電動機が静止の状態にある時は逆起電力 $E_a = n'M$ は存在しないからこれに急に定格電圧を印加して起動させる時電機子に流入する電流は

$$I_a = V/r_a$$

となり r_a は小さいから I_a は非常に大きな値に達する。この過大な電流の爲に機器を損傷したり電源に擾亂を起したりする虞があるので起動の際は電機子と直列に抵抗を挿入し起動電流を全負荷電流の 1.5~2 倍位迄に制限する。起動後電動機が漸次加速されて逆起電力が増加するに連れて抵抗を減じ運転状態では之を全部なくして電圧 V が直接電機子回路に加はる様にする。この目的に用ひられるものを起動抵抗と云ひその装置を起動器と稱する。

(b) 速度制御 直流電動機は既述の如く

$$n' = \frac{V - I_a r}{k \Phi}$$

で表はされるから速度を制御するには V, r, Φ の何れかを變化すればよい譯である。

この爲に用ひられる方法は

- (a) 勵磁を加減する方法
- (b) 電機子端子電圧を調整する方法
- (c) 電機子回路の抵抗を加減する方法

の何れかである。

(a) 勵磁を加減する方法

第 49 圖に示す如く分巻電動機に於て勵磁巻線に直列に加減抵抗器を挿入し其の抵抗を次第に變化して行くと勵磁電流の増減により磁束が變り従つて M も増減して $V_a r_a$ 及び I_a に無關係に n' が變化する事となり速度曲線は第 50 圖の 1.2.3 の様になる。

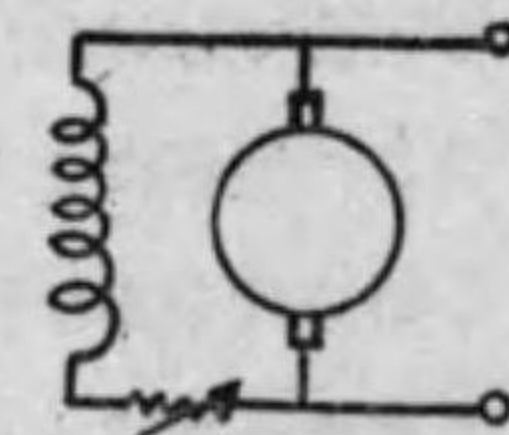
この方法は甚だ有効で不變速度の性質を害ふ事なく且勵磁電流も小であるから抵抗挿入による損失も少く、廣く用ひられる。

この方法によれば 15 ~ 4 倍位迄速度の制御を行ふ事が出来る。

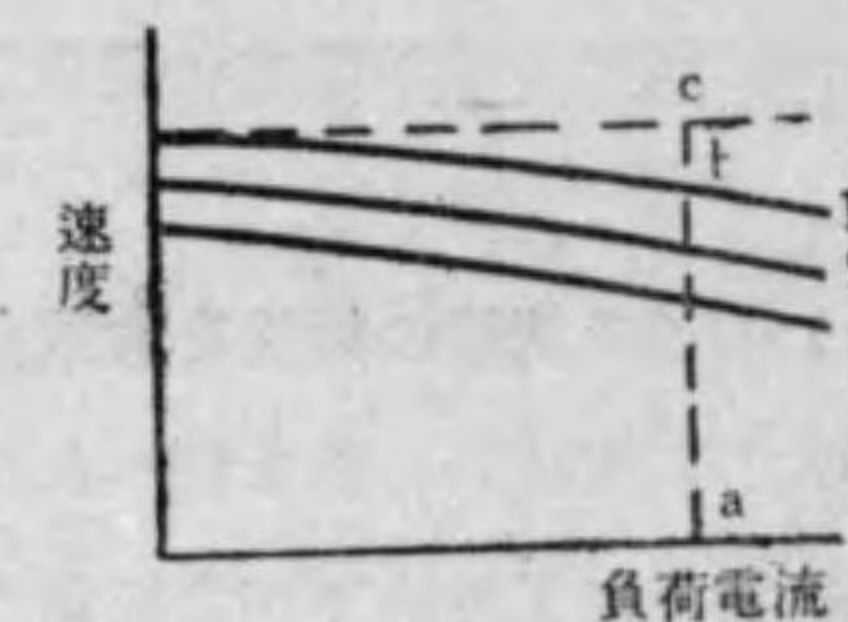
直巻電動機に對しこの方法を適用するには勵磁巻線に分路を置くか又は適當なタップを設けて置いて勵磁巻線のアンペア回数を變へるのであるが電力の損失や運転上種々な障害があるのであまり實用されない。

(b) 電機子端子電圧を調整する方法 (3.29) 式に於て V を變化させる方法であつて例へばワードレオナード式の如きは是に屬する(第 51 圖参照)

ワードレオナード方式にあつては補助の直流電動發電機 $M'G$ を設けその發

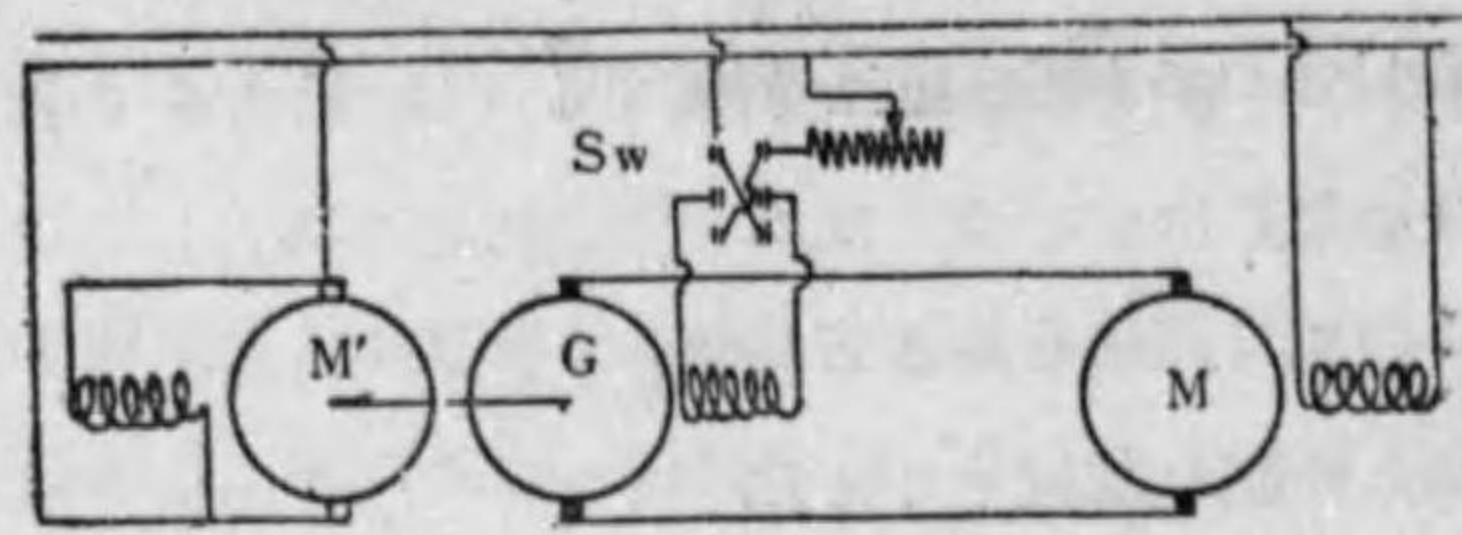


第 49 圖



第 50 圖

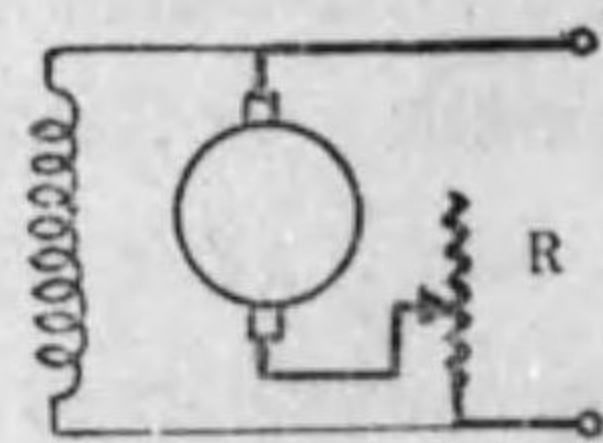
電機 G の電圧を調整して主電動機 M に於ける端子電圧を変更せしめ従つてその速度を制御する方法である。發電機の勵磁電流を逆にすれば端子電圧の極性が逆になり電動機は逆轉する。



第 51 圖

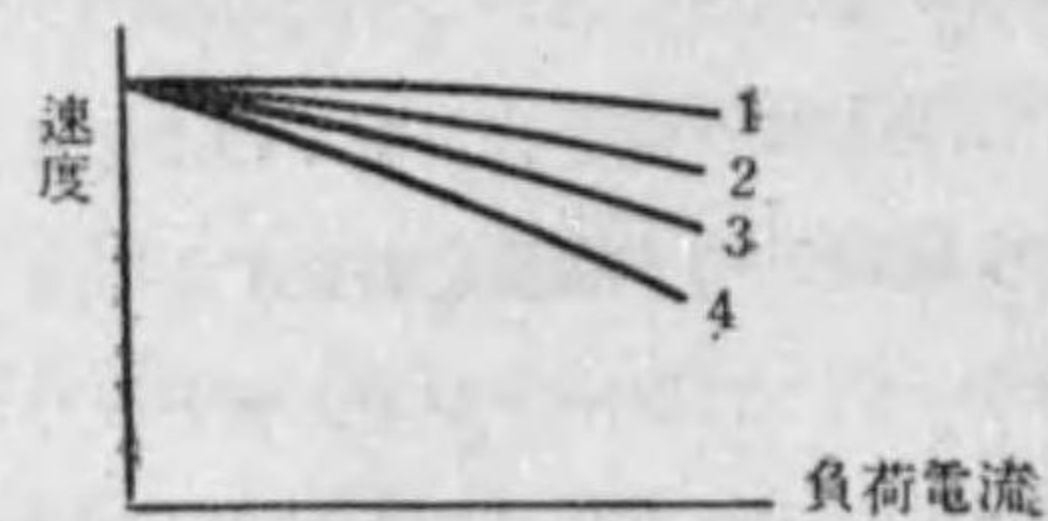
この方法は有効であるが別に發電機を必要とするので速度制御に特別の要求がある場合でなければ普通には使はれない。例へば製鐵所のローリングミルの如く負荷の性質により主電動機に短時間非常な重負荷回轉力がかかる様な場合にはこの方式を用ひ特に電動發電機の軸に大きな蓄勢輪を設ける。かかる方式をイルグナー方式と云ふ。又直巻電動機に在つて同様の電動機を二臺以上使用する場合には直並列制御法を用ひ數個の電動機を直列又は並列に接続し一つの電動機に加はる端子電圧を變化させる事によつてその速度を制御する事が行はれる。

(c) 電機子回路の抵抗を加減する方法 第 52 圖の如く電機子回路に抵抗 R を挿入して漸次この値を變へれば一定の電機子電流の下に於ては電壓降下が之に従つて變りその結果電機子の端子電圧が變化するから第 53 圖の様に變化する。



第 52 圖

即ち電機子回路の抵抗 R を増加すれば圖の 1, 2, 3, …… の様に變る。この方法によれば廣範圍に速度を變更し得るが電流量が大きいから R の中に於ける損失が大きくなり抵抗器も大型となるを免れない。然し電車の場合の如く直巻電動機



第 53 圖

を用ふる場合には前記の直並列制御法と組合せて用ひられる。

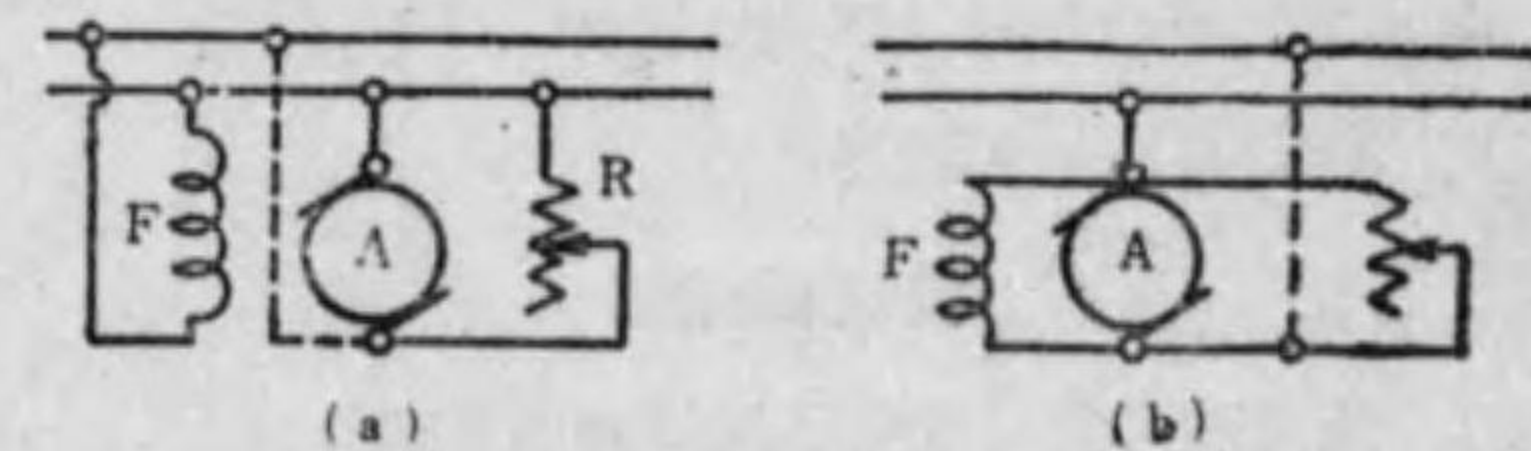
3.2.9. 直流電動機の逆轉

分巻電動機又は直巻電動機は逆轉させ様として端子電圧を逆にしても駄目である。蓋し回轉力は磁束と電機子電流との積に比例するものであるから両者が同時に反轉したのでは回轉力の方向は變らぬ譯である。故に勵磁回路か又は電機子回路の内何れか一方の極性を反轉せしめるのでなければ目的は達せられない。

3.2.10. 電氣制動

回轉中の電動機を電源から切り放しても回轉部の慣性の爲その瞬時に停止せしめることは出来ない。然し實際的に急停止させる必要もあるのでかかる場合電動機の接続を切りかへて發電機とし適當な抵抗に連結すれば回轉の勢力は熱の勢力に變はり抵抗の中で消費されるから遙に速に停止せしめる事が出来る。斯の様に急停止させる方法を電氣制動と云ふ。

第 54 圖は電氣制動を爲すための結線方法を示す。



第 54 圖

圖の (a) の方が速度降下の如何に不拘主磁束は變化しないから制動作用は強い。

直巻電動機では界磁を適當な抵抗を通して電源に接続し電機子のみを切り離し結局分巻發電機として制動するか又は直巻發電機として制動するか何れかの方法を用ふる。

總 括 直 流 電 動 機

1. 電機子に作用する回轉力

$$\tau = \frac{E_a I_a \cdot 10^7}{2\pi n} \quad (\text{ダイン 糎})$$

2. 分巻電動機の特性

$$\tau = \frac{k\Phi}{616} \cdot I_a \quad (\text{珎米})$$

$$n' = \frac{V - I_a r_a}{k\Phi} = \frac{1}{k'} \left(1 - \frac{I_a r_a}{V} \right)$$

$$P_o = E_a I_a = V I_a - I_a^2 r_a \quad (\text{ワット})$$

$$P_m = \frac{V^2}{4r_a} \quad (\text{ワット})$$

3. 直巻電動機の特性

$$n' = \frac{V - I_a(r_a + r_f)}{k\Phi}$$

$$V = E_a + I_a(r_a + r_f)$$

4. 複巻電動機の特性

$$n' = \frac{V - I_a r_a}{k\Phi}$$

5. 直流電動機の起動及び速度制御

起動抵抗と起動器

速度制御法

- ┌ 勵磁加減法
- ├ 電機子端電壓調整法
- └ 電機子回路抵抗加減法

6. ワードレオナード方式とイルグナー方式

7. 直並列制御法

8. 直流機の逆轉法

練習問題

- (1) 分巻發電機あり回轉數 1200 で端子電壓 110V, 電機子電流 20A である。今この發電機を電動機として運轉する場合に回轉數は幾何となるか。
但し電機子抵抗を 0.5 オームとし電機子反作用は無視する。 (1000 rpm)
- (2) 直巻電動機あり電壓 100V で毎分 500rpm である。今電源電壓を 20% 低下せしむれば回轉數は幾何となるか。但し電動機の内部抵抗を無視し變化の前後に於ける

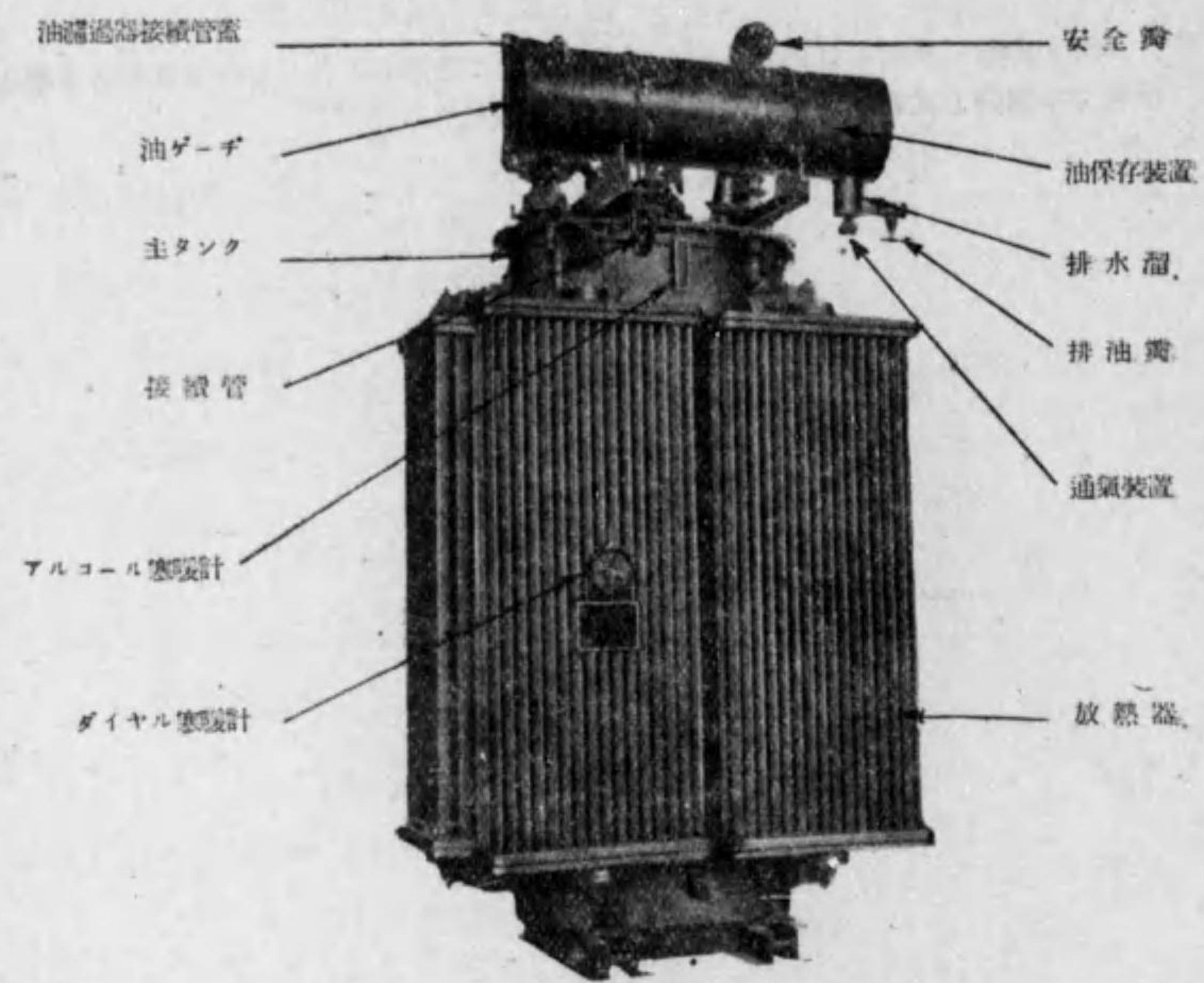
回轉力を一定とする。

(400 rpm)

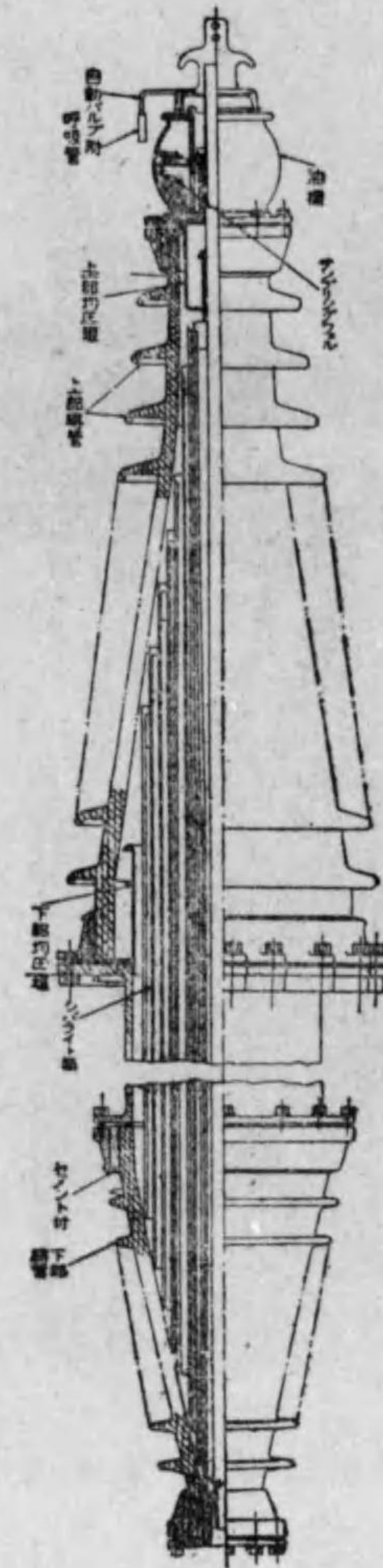
- (3) 分巻電動機あり、全負荷速度毎分 1500 なる時勵磁を 5% 強めたとすれば無負荷速度は幾何となるか。但し端子電壓は一定とし速度變動率を 10% とする。

(1590 rpm)

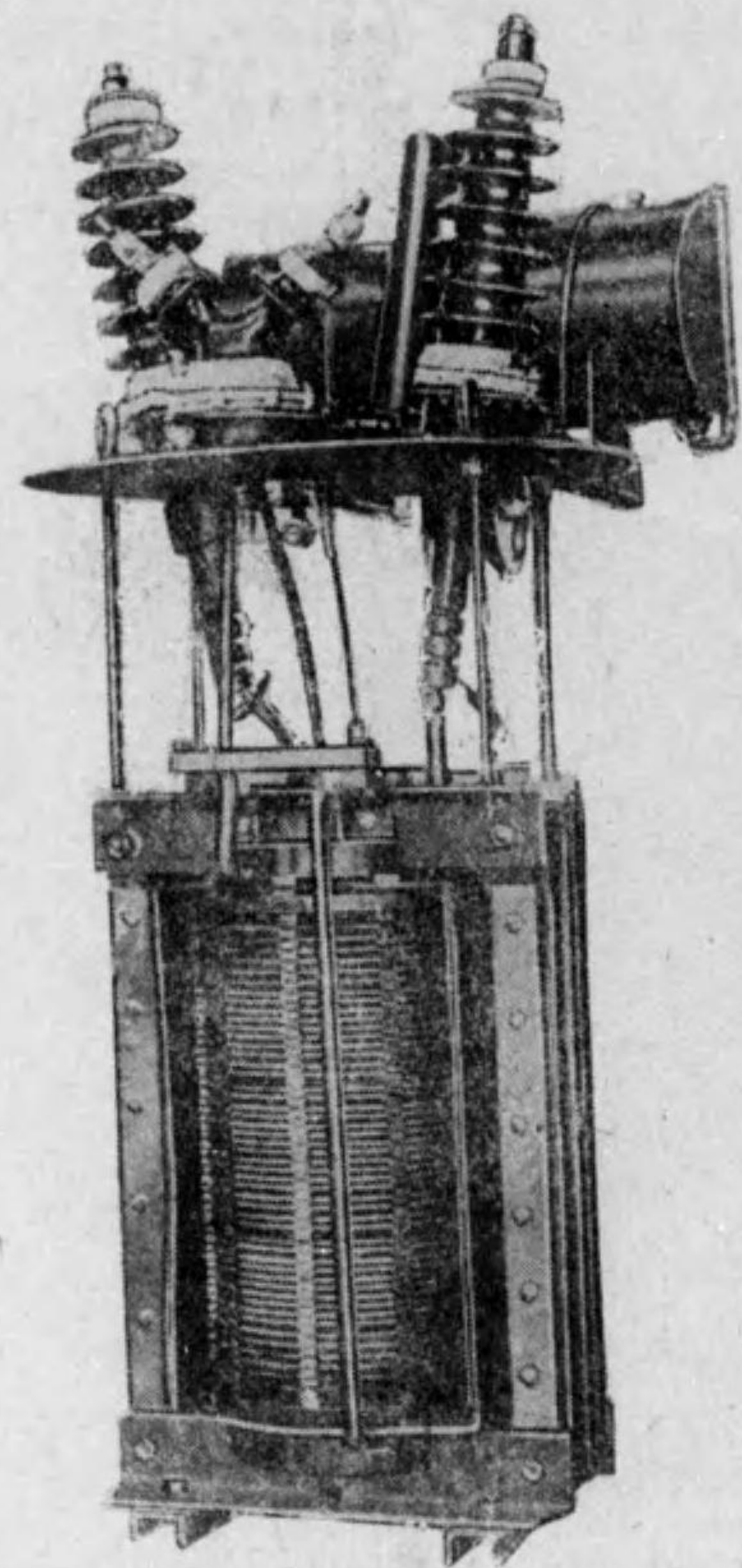
- (4) 速度に拘らず一定の回轉力を要する負荷がある。之に對し直流分巻電動機を用ひ其の速度を全速度より停止まで加減し尙之を逆轉せしめようとする時其の方法如何。
- (5) 負荷が急激に變動し且回轉方向を正負兩方向に急遽に化せしむる必要ある場合如何なる制御方式を適當とするか又その理由如何。



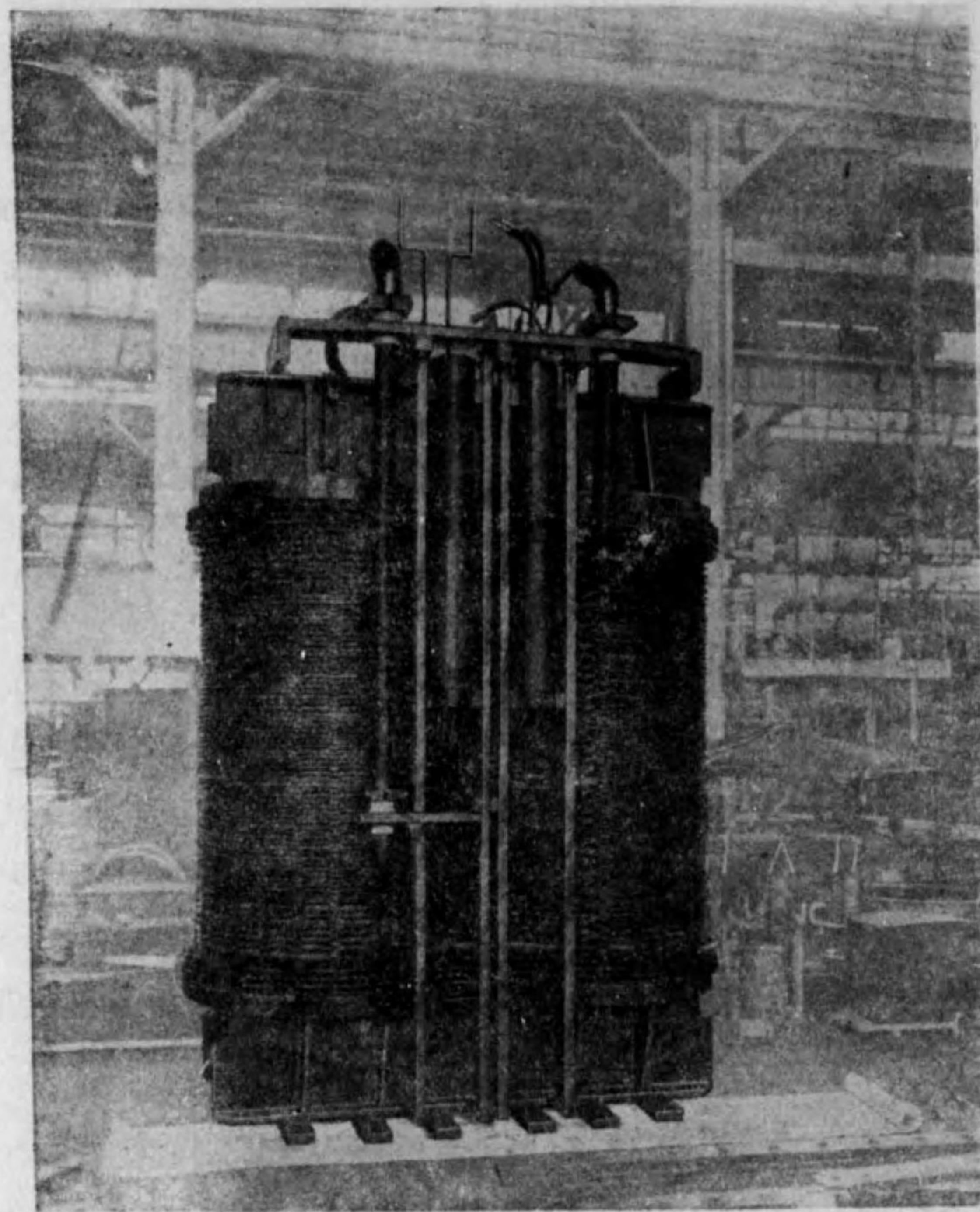
第1圖 2000 kVA 油保存装置付自冷式单相變壓器
 2000kVA 油保有装置付自冷式单相變壓器



油入套管の構造



變壓器巻線(低壓側)



30000 kVA
變壓器巻線(高壓側)

第4章 交流機械

4.1. 変圧器

4.1.1. 変圧器の原理

変圧器とは磁気回路と之に交叉する二個以上の電気回路を具へ相互誘導作用を利用して交番電圧を高め或は低下して一方から他方へ交流勢力を傳達する装置を云ふ。

先づ圖の様な断面積 A 極², 平均長 l 極なる環状鐵心を考へ、この鐵心に最初巻數 n_1 なる線輪を巻き (圖の細線で示す), 簡單の爲この線輪には抵抗はないものとし鐵心には鐵

損及び飽和現象なく且導磁率は一定値 μ であると假定すればこの線輪の自己インダクタンスは

$$L_1 = \frac{4\pi n_1^2 \mu A}{l} \times 10^{-9} \dots\dots\dots (4.1)$$

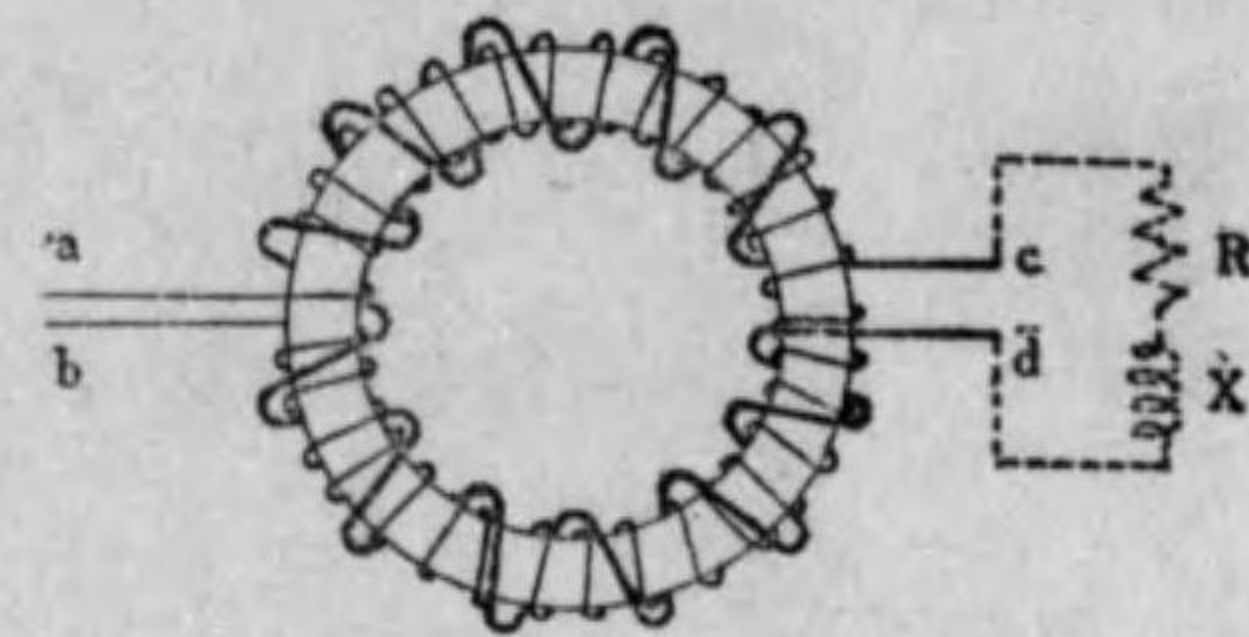
で表はされる。

扱この線輪の端子 a, b に $e_1 = \sqrt{2} E_1 \sin \omega t$ なる起電力を印加すれば n_1 には I_0 なる勵磁電流が流れて鐵心中には

$$\phi = \phi_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots\dots\dots (4.2)$$

なる交番磁束を生ずる。この場合勵磁電流は起電力より位相が 90° 遅れ ϕ も起電力より 90° 遅れてゐる。

この磁束により n_1 中に逆起電力を生じ外部から加はつてゐる起電力と平衡を保つのであるが起電力と磁束の正の方向を夫々右廻し捻子の捻ぢる方向と進



第 55 圖

行方向とに一致させると逆起電力の瞬時値を e_1' , 實効値を E_1' とすれば

$$e_1' = -\frac{d(n_1 \phi)}{dt} \times 10^{-9} = -\sqrt{2} E_1 \sin \omega t$$

即ち

$$E_1' = -E_1 = -\sqrt{2} \pi f n_1 \phi_m \times 10^{-9} \dots\dots\dots (4.3)$$

となり丁度加へた起電力と大いさ相等しく方向は反對である。

斯の如き状態の處へ更に巻數 n_2 なる線輪 (圖の太線で示す) を同じ鐵心上に巻くと n_2 にも同じ磁束が交叉するからその中に

$$E_2 = \sqrt{2} \pi f n_2 \phi_m \times 10^{-9} = \frac{n_2}{n_1} E_1 \dots\dots\dots (4.4)$$

なる起電力が誘起され、これは E_1' と同相である。茲で n_1 に加へられる起電力 E_1 と n_2 に誘起する起電力 E_2 の大いさを比較すると

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots (4.5)$$

となり E_2 は E_1 の $\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$ 倍となる。仍つて $\frac{n_2}{n_1}$ の比を適當に選べば E_1 に対し任意の E_2 を作ることが出来る理である。

これ即ち變圧器の原理であつてこの場合 n_1 を一次巻線 n_2 を二次巻線と云ひ $\frac{n_1}{n_2} = a$ を巻線比と稱する。

n_2 についても抵抗を無視するものとしその端子 c, d に負荷 $Z = R + jX$ をつなげばこの時 n_2 中に流れる電流は

$$I_2 = \frac{E_2}{\sqrt{R^2 + X^2}} \dots\dots\dots (4.6)$$

でなければならぬ。この電流は起電力 E_2 よりも $\theta_2 = \tan^{-1} \frac{X}{R}$ だけ位相が遅れる。

所で I_2 によつて $n_2 I_2$ なる起磁力が新に鐵心に働くから I_0 丈では ϕ_m を保持する事が出来なくなり、これを一定に保たうとすれば $n_2 I_2$ なる起磁力を打消す爲の電流が n_1 に流れ込まねばならぬ。之を I_1' とすれば

$$-n_1 I_1' = n_2 I_2 \dots\dots\dots(4.7)$$

となる。

一次回路に於ける全電流 I_1 は励磁電流 I_{00} と I_1' とのベクトル和であつて

$$I_1 = I_{00} + I_1' \dots\dots\dots(4.8)$$

の如く表はされるが I_{00} は I_1' に比して小さいから近似的に $I_1' \approx I_1$ としても大差なく $n_1 I_1 \approx n_2 I_2$ と考へても差支ない。然る時は

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} \dots\dots\dots(4.9)$$

となり即ち一次電流と二次電流との比は略巻線比の逆数に等しい事が分る。

4.1.2 變壓器の構造

變壓器の構造は上記の原理から分る通り磁路を形成する鐵回路と之に交叉する銅回路二個を組合せたものであつて銅回路中一は一次回路を形成し他は二次回路を形成する。

是等一次及二次の兩巻線は圓筒形又は矩形の線輪より成り其の電壓によつて夫々必要且充分な絶縁が施してある。而して鐵心と銅巻線との配置によつて

内鐵型：鐵心が内側にあつて巻線がその二脚に施されたもの

外鐵型：銅巻線が内側にあつて鐵心が之を取巻いた形のもの

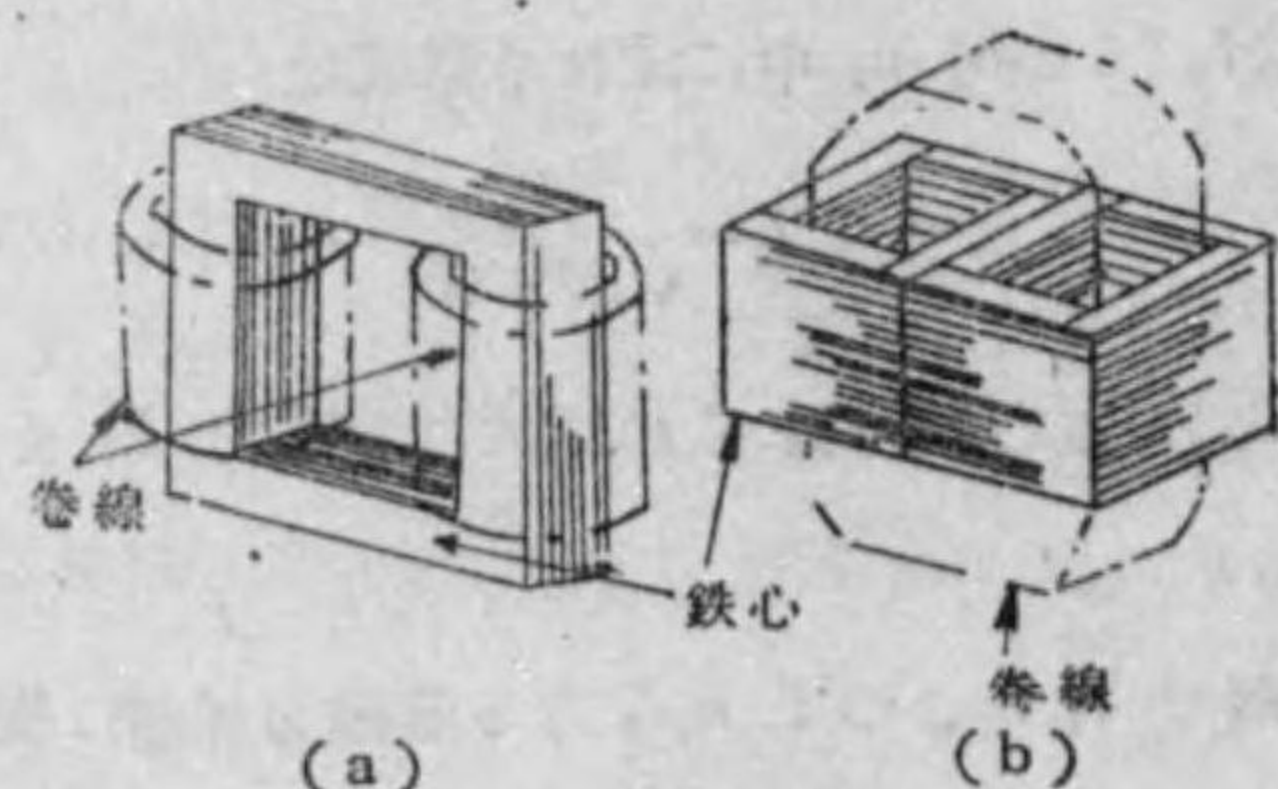
の二種に分つ事が出来る。

第56圖(a)は内鐵型、(b)

は外鐵型の構造を示す。

磁路を形成する鐵心には其の中を通る交番磁束に良好なる通路を與へる爲とヒステリシス損及び渦流損を減少する爲導磁率高く且抵抗の高い

0.35~0.5 耗の薄鋼板を相互絶縁して積重ねる。薄鋼板には普通4%程度の珪



第 56 圖

素を含むものを用ふる。

變壓器の主要部は其の絶縁を更に充分ならしめる爲變壓器油と稱する絶縁油を満した鐵槽中に収納し大型のものでは放熱を容易にする爲後述する様な種々の考案がなされてゐる。

茲に甲乙二つの變壓器がありとし兩者は相似形で寸法は甲は乙の α 倍とすれば銅線及び鐵心の斷面積は夫々 α^2 倍となるから電流密度 σ 及び磁束密度 B_m を一定とした場合出力 P は次式で表はされることとなる。

$$P = VI = k(B_m A_t)(\alpha A_c) \dots\dots\dots(4.10)$$

但し

A_c = 銅線の斷面積

A_t = 鐵心の斷面積

結局出力は元の α^4 倍となるに不拘銅線及び鐵心から發生する熱の放熱面積は α^2 倍であるから換言すれば變壓器の容量が大きくなる程熱の放散が困難になる事が想像されよう。こゝに變壓器製作上困難な點があるので發生損失を放散する爲に種々の方法が考案されて居り、是を大別して空冷式及び油冷式とする。空冷式を更に分つて自然通風方式及び強制通風方式とする事が出来る。

前者は空氣の自然流通によつて冷却するもので普通小型變壓器に限られ後者は冷却用空氣を通風機等で吹きつける方式である。

油冷式も油入自冷式、油入水冷式、送油循環式、油入送風式等に分つ事が出来る。

油入自冷式は變壓器本體を油槽中に入れ、外槽の放熱面積を増大する爲に槽の周圍に翅を設けるとか或は別に放熱管を附する等の方法が用ひられる。

油入水冷式では外槽の上部に通水冷却管を入れ水を循環させて油の放熱を良好ならしめる。又送油循環式は熱せられた油を一度外へ導き出し之を冷却して再び循環させる方式である。油入送風式は油入自冷式で放熱器を外から通風機で冷却する方式である。

變壓器油は絶縁の目的と冷却の目的とを兼ねたもので普通用ひられる鐵油は

高温に於て酸化し泥状のスラッジを生じ油の機能を低下する虞があるから大型変圧器等油温が高くなるものでは外槽を氣密にして其の上部に油保存器と稱せらるゝ圓筒状の容器を設け、外槽とは細管で連結せしめて油は容器内で比較的溫度の低い面で空氣と接觸する様に設計せられる。

變壓器の口出し線は鐵槽の上蓋から外部へ安全に導き出されねばならぬが鐵槽は大地と同じ零電位にあるから口出し線と鐵槽とは變壓器の使用電壓に耐へる丈の絶縁を施す必要がありこの爲に用ひられる絶縁體を套管と云ふ。

4.1.3. ベクトル圖

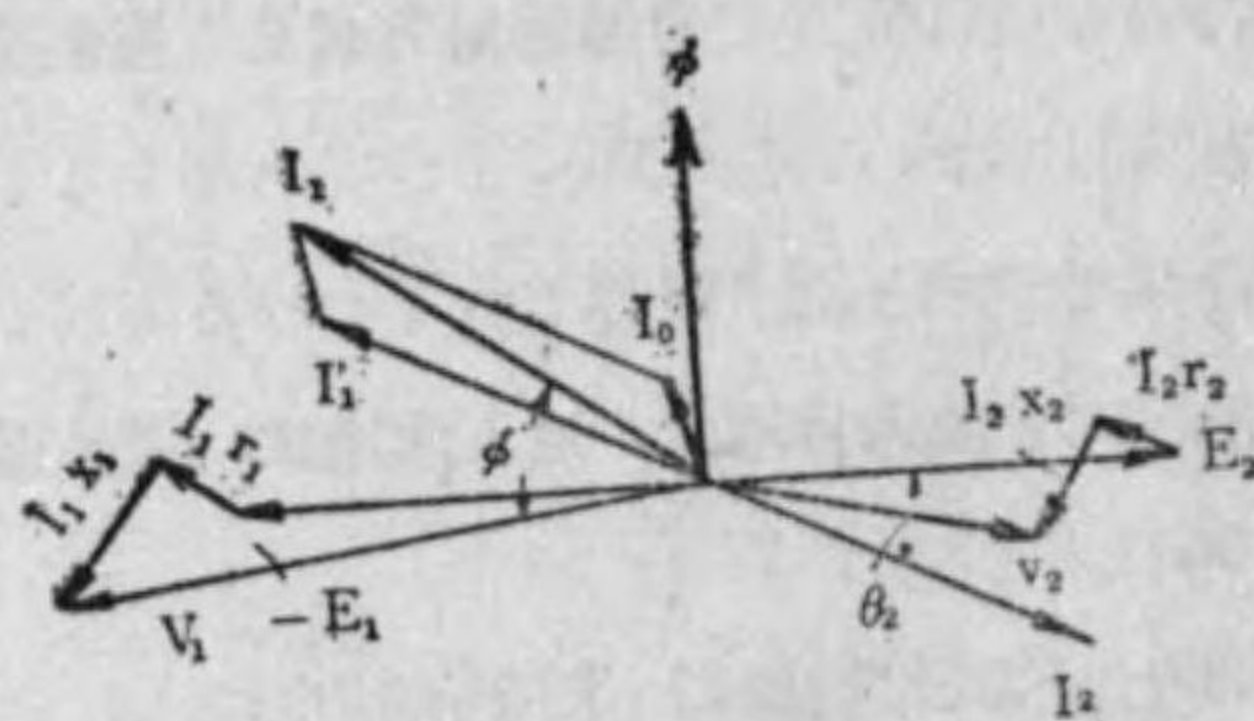
主磁束 Φ_m の作用によつて一次線輪及び二次線輪に夫々起電力 \dot{E}_1' 及び \dot{E}_2 が誘發され、この \dot{E}_2 によつて二次に流れる電流は

$$I_2 = \frac{\dot{E}_2}{(r_2 + jx_2) + (R + jX)} \dots\dots\dots(4.11)$$

で表され、この爲二次線輪中に $I_2(r_2 + jx_2)$ なる電壓降下を生ずる。

従つて \dot{E}_2 から之の電壓降下を差引いたものは二次線輪の端子電壓 \dot{V}_2 である。

又一次側に於て I_1' と I_0 のベクトル和 I_1 により一次線輪中に $I_1(r_1 + jX_1)$ なる電壓降下を生ずるのであるから \dot{E}_1 に之を加へたものは即ち一次の端子電壓 \dot{V}_1 でなければならぬ。



第 57 圖

以上をベクトルに表せば第 57 圖の様になる。本圖は更に次の様に解釋する事も出来る。即ち一次電壓 E_1 より 90° 遅れて勵磁電流 I_0 が流れ、これによつて之と同相に主磁束 Φ_m が生ずる。

この Φ_m の交番により Φ_m より更に 90° 遅れて二次側に起電力 E_2 を生ずる。

この場合 I_0 は E_1 より 90° 遅れると考へたが實際は Φ の位相より少しく進んで居る。蓋し鐵心中にヒステリシス損及び渦流損が生じ I_0 の中には之に相當する部分をも含んでゐるからである。

何れにしても二次負荷の力率を $\cos\phi_2$ とすれば \dot{E}_2 より ϕ_2 丈遅れて I_2 が流れ、之と丁度逆の位相に $n_2 I_1'$ を打消して Φ_m を一定に維持する爲の電流 I_1 が一次側に流入しなければならない。 I_1' と I_0 とのベクトル和 I_1 は即ち一次電流である。

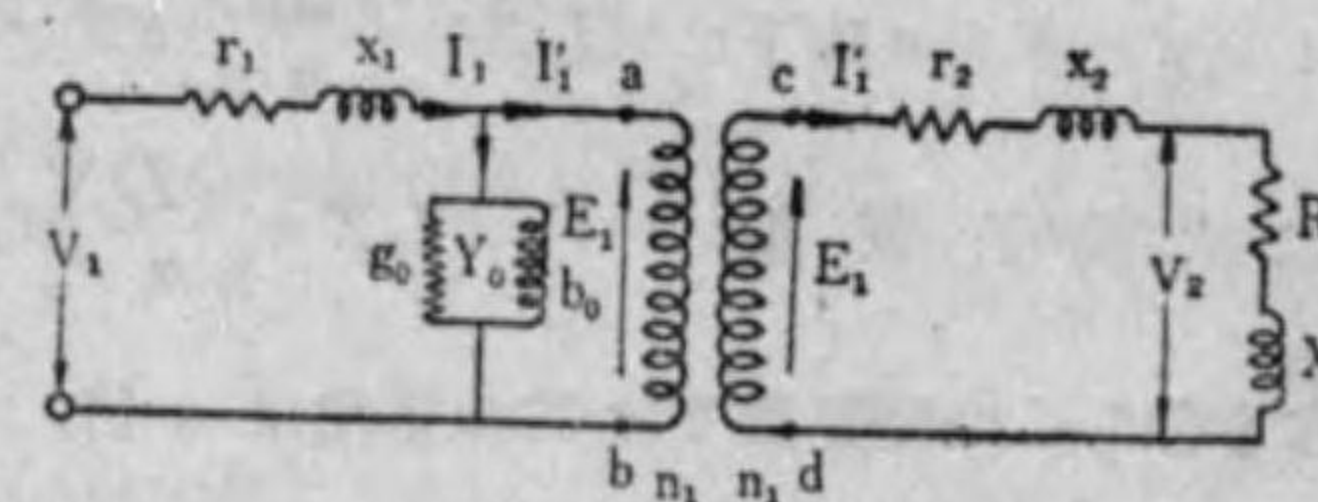
4.1.4. 等價導線網

最初變壓器の一次及び二次の巻線比が相等しく $n_1 = n_2$ と假定すれば

$$E_1 = E_2 \quad I_1' = I_2$$

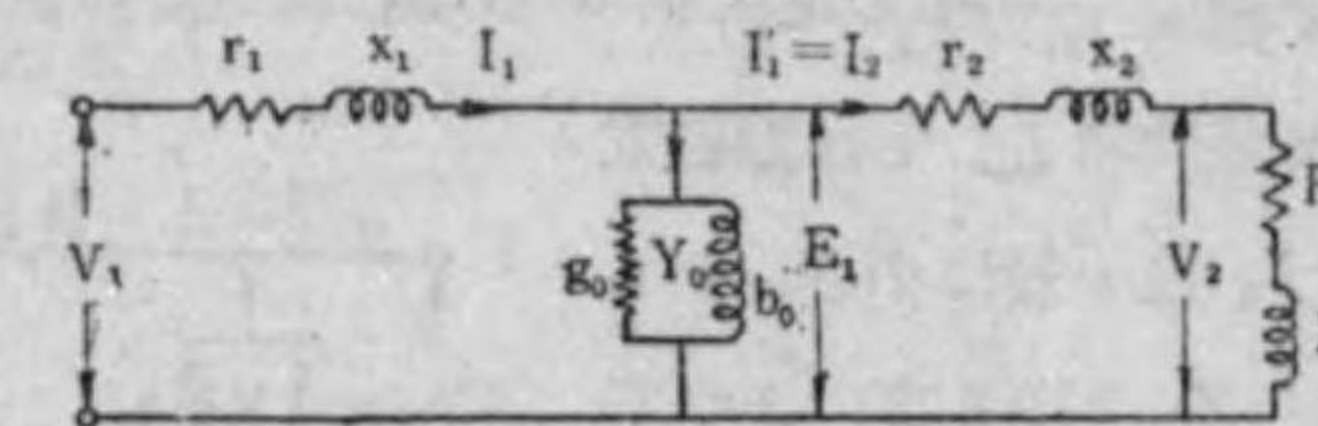
となるから等價回路は第 58 圖を以て表はされる。

更に實際の變壓器の場合では電磁誘導作用により一次側から二次側へ電力が傳達されるのであるがこの場合電壓電流は同一であるから單に導電作用によるものとする事が出来る。然る時は第 58 圖は第 59 圖の如く簡略化する事が出来る。



第 58 圖

變壓器に於て盡くの磁束が一次二次兩線輪を貫く事は理想であるが實際の場合には一方の線輪の全部又は一部のみ



第 59 圖

と交叉し他の線輪と交叉しない漏洩磁束があるからこの漏洩磁束によつて生ずる起電力はリアクタンスとして表はされ、一次に於ては $-jI_1 x_1$ 二次に於ては $-jI_2 x_2$ となる。この時 x_1, x_2 を夫々一次二次漏洩リアクタンスと云ふ。

又第 59 圖に於て變壓器の巻線は少しも勵磁電流を取らず單に \dot{E}_1 より \dot{E}_2

に變壓し二次電流 I_2 に対して I_1' を通す丈の作用をする理想的のものでその代りに $\dot{Y}_0 = g_0 - jb_0$ なるアドミッタンスが起電力 \dot{E}_1 により勵磁電流 $I_0 = \dot{E}_1 \dot{Y}_0$ を取るものと考へる事が出来る。 \dot{Y}_0 は磁束 Φ 従つて E_1 と共に増減する量で勵磁アドミッタンスと稱せられる。

次に一般の場合を考へ $\frac{n_1}{n_2} = a$ とする。然る時は二次側の抵抗, リアクタンス即ち r_2, x_2, B_1, X はすべて a^2 倍となり, 又此の回路から直接求めた二次電流は実際の場合の $\frac{1}{a}$, 電圧は a 倍となる。

試みに二次の巻数を a 倍とし同じ V_1 を加へると

二次誘起電圧: $\dot{E}_2 = \dot{E}_1 = a\dot{E}_1 \dots\dots\dots(4.12)$

二次電流: $I_2 = \frac{I_1}{a} \dots\dots\dots(4.13)$

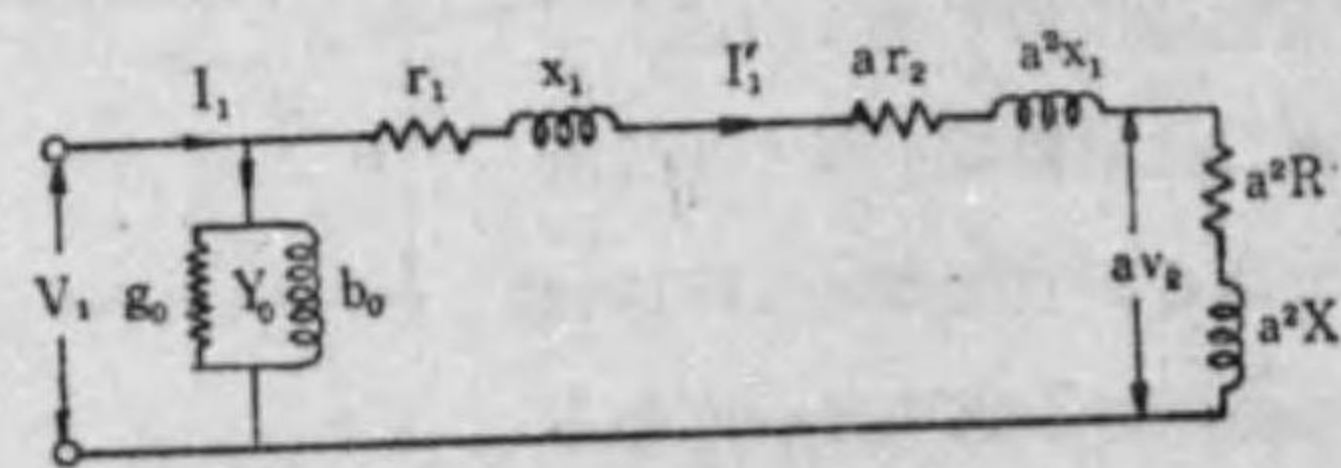
インピーダンス降下: $I_2 \dot{Z}'_2 = \left(\frac{I_1}{a}\right) \cdot a^2 \dot{Z}_2 = a I_1 \dot{Z}_2 \dots\dots\dots(4.14)$

二次端子電圧: $V_2 = I_2 \dot{Z}'_2 = \left(\frac{I_1}{a}\right) a^2 \dot{Z}_2 = a I_1 \dot{Z}_2 = a V_1 \dots\dots\dots(4.15)$

となり即ちこの變壓器では二次電圧は a 倍, 二次電流は $\frac{1}{a}$ となるが電力, 力率は少しも變らないこととなる。

この導線網によつて計算した値は一次側については其の儘でよく二次側の電圧を總て $\frac{1}{a}$ 倍し電流を a 倍すれば實際の値が得られるのである。

實際問題としては勵磁電流 I_0 は一般に小さいから之が Z_1 を通る事によつて生ずる電圧降下 $I_0 \dot{Z}_1$ を無視するならば等價導線網は



第 60 圖

第60圖の様に簡略化する事が出来る。

斯くする事によつて生ずる誤差は僅少で, 電圧電流等の計算は第59圖の場合に比し遙に簡単に行ふ事が出来る。

4.1.5. 電壓變動率

二次側に一定力率の負荷を與へ定格二次電流 I_{2N} を二次端子に適する様に負荷を接続し其の時の二次定格電圧を V_{2N} とする。

今一次端子電圧 V_1 を變へずに負荷を除いた場合の二次端子電圧が V_2 となるものとすれば

$$\frac{V_2 - V_{2N}}{V_{2N}} \times 100 \dots\dots\dots(4.16)$$

をその力率に対する電壓變動率と云ふ。

第60圖の等價導線網より

$$\dot{V}_2 = \frac{\dot{V}_1}{a} \dots\dots\dots(4.14)$$

又定格負荷電流 I_{2N} に対する定格二次電圧 V_{2N} は

$$aV_{2N} = \dot{V}_1 - \frac{I_{2N}}{a} \{(r_1 + a^2r_2) + j(x_1 + a^2x_2)\}$$

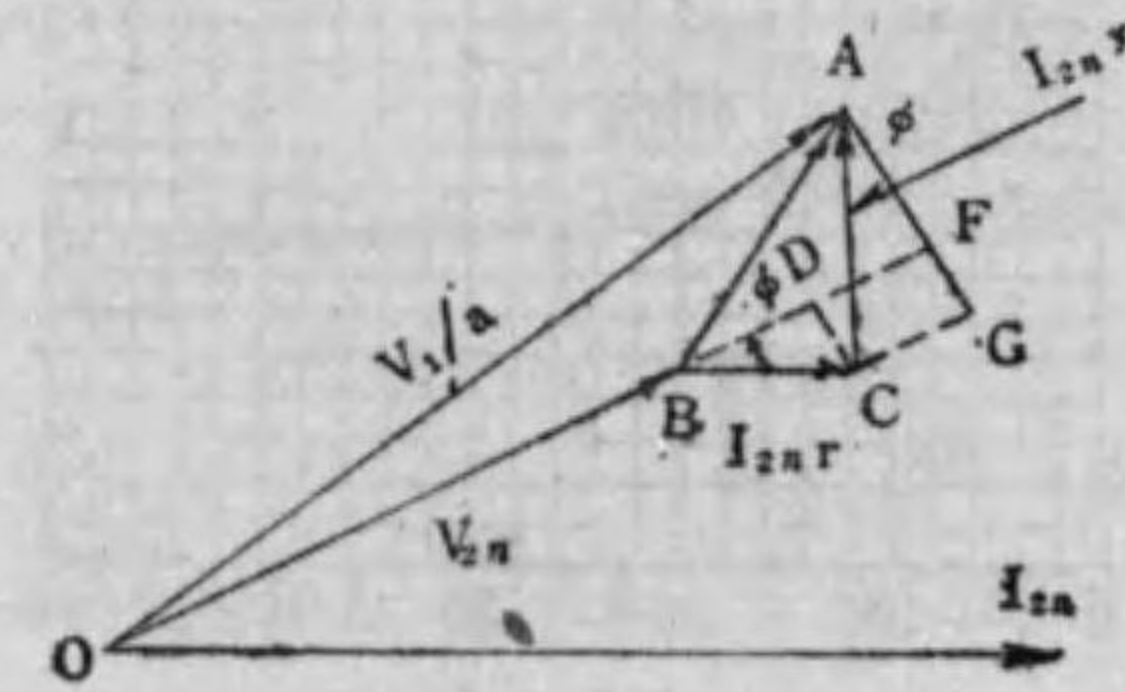
即ち

$$V_{2N} = \frac{\dot{V}_1}{a} - I_{2N}(r + jx)$$

故に電壓變動率

$$\varepsilon = \frac{\frac{\dot{V}_1}{a} - I_{2N}(r + jx)}{V_{2N}} \times 100 \dots\dots\dots(4.18)$$

但し $r = \frac{r_1}{a^2} + r_2, x = \frac{x_1}{a^2} + x_2$ とする。



第 61 圖

以上をベクトル圖で表はすと第 61 圖の様になる。
之より明な通り

$$V_{20} = \sqrt{(V_{2N} + I_{2N}r \cos\phi + I_{2N}x \sin\phi)^2 + (I_{2N}x \cos\phi - I_{2N}r \sin\phi)^2} \dots\dots\dots(4.19)$$

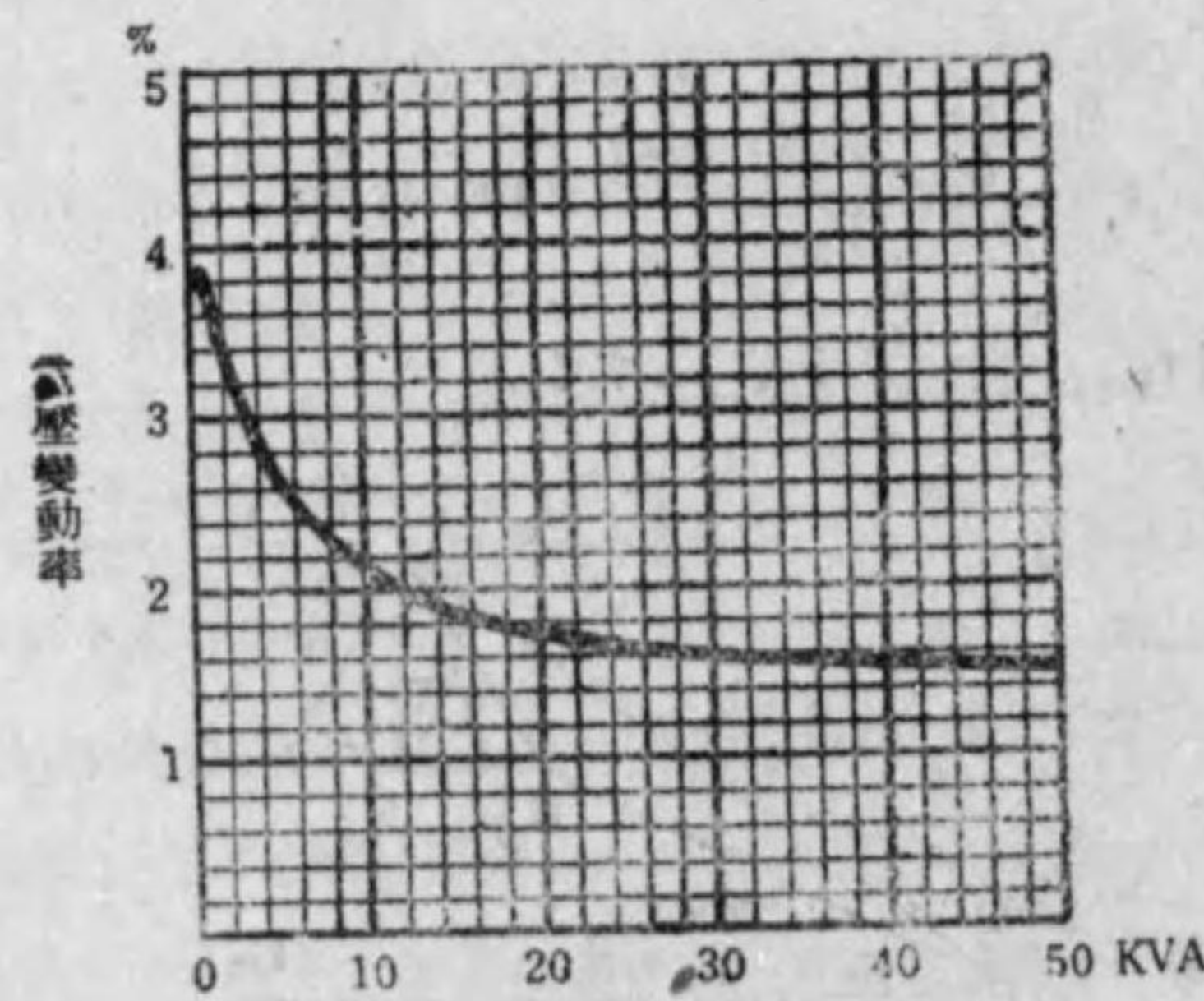
$$\begin{cases} \frac{I_{2N}r}{V_{2N}} \times 100 = q_r & \text{百分率抵抗降下} \\ \frac{I_{2N}x}{V_{2N}} \times 100 = q_x & \text{百分率リアクタンス降下} \end{cases} \dots\dots\dots(4.20)$$

として (4.19)(4.20) の兩式を (4.18) 式に代入し $\frac{q_r}{100}$, $\frac{q_x}{100}$ は何れも 1 に比し小であり又 $\cos\phi$ も $\sin\phi$ も共に 1 より小さいから其の高次の項を閉却すれば

變動率

$$\varepsilon = q_r \cos\phi + q_x \sin\phi + \frac{(q_x \cos\phi - q_r \sin\phi)^2}{200} \approx q_r \cos\phi + q_x \sin\phi \dots\dots\dots(4.21)$$

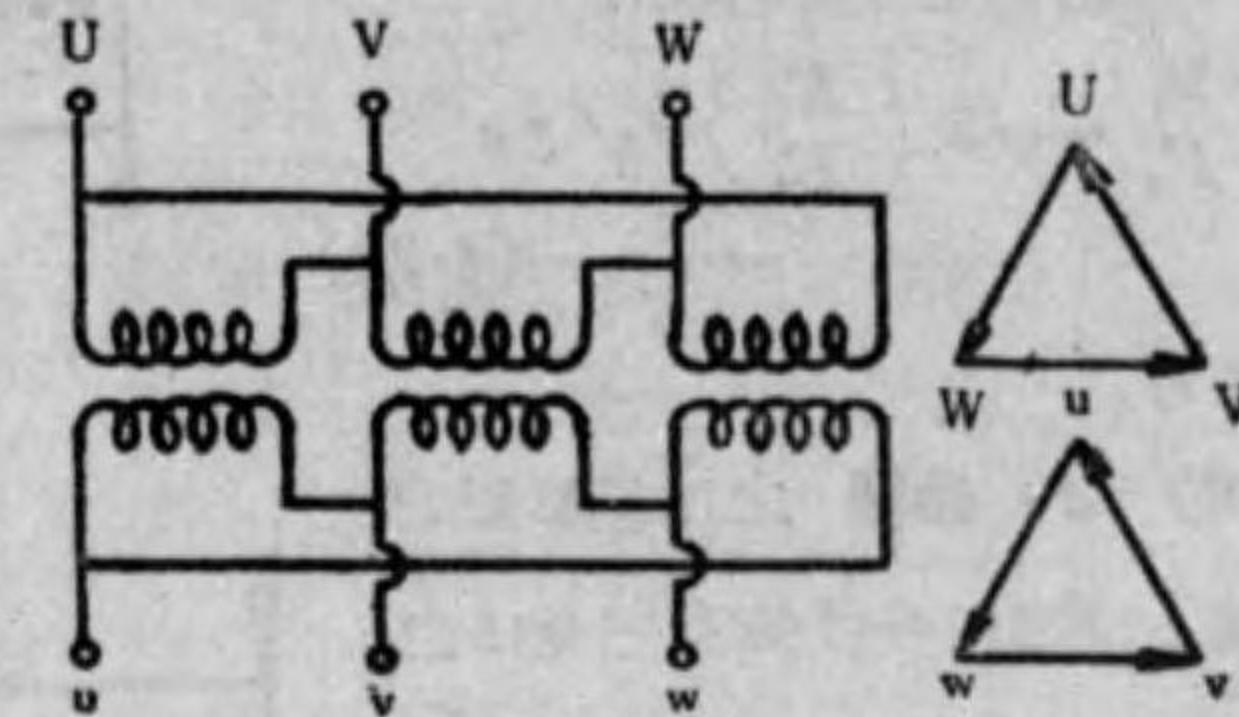
第 62 圖は各種變壓器の電壓變動率の標準値を示す。



第 62 圖

4.1.6. 單相變壓器の三相接続

以上述べたのは何れも單相變壓器に就てあるが通常單相器二個又は三個を組合せて三相回路に用ふる事が出来その主な方法を示すと次の通である。



第 63 圖

(a) ΔΔ 接続 三個の同様な單相變壓器を第 63 圖の如く一次側二次側共に三角に結合する時は各變壓器には線路電壓

UV, VW, WU 及び uv, vw, wu が加はり一次及び二次の線路電壓は同相で

$$V_1 = E_1$$

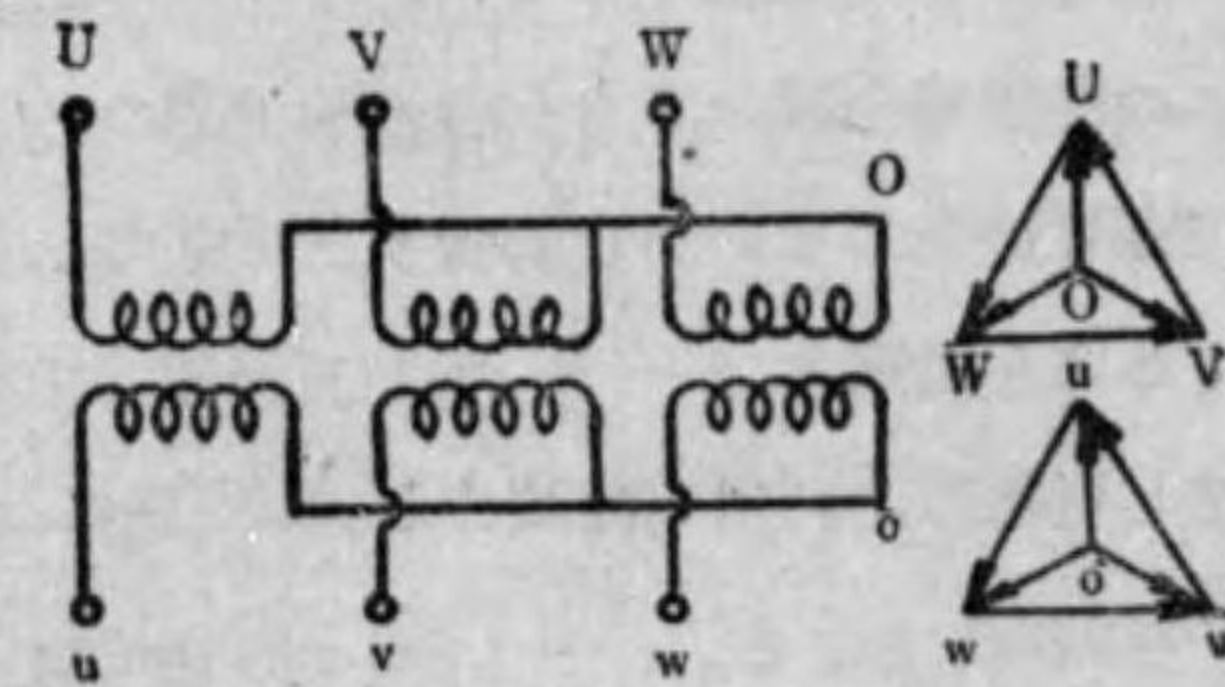
$$V_2 = E_2$$

變壓比 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = a \dots\dots\dots(4.22)$

(b) YY 接続 三個の同様な變壓器を第 64 圖の如く一次側二次側共に星形に接続する時は

$$V_1 = \sqrt{3} E_1$$

即ち各變壓器には線路電壓の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ の Y 電壓が加はる。一次及び二次線路電壓は同相で變壓



第 64 圖

比は $\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = a \dots\dots(4.23)$

である。

(c) YΔ 接続 一次側を星形に二次側を三角に接続するものであつて

$$V_1 = \sqrt{3} E_1$$

$$V_2 = E_2$$

即ち一次及び二次線路電圧の間には
30° 相差を生じ變壓比は

$$\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{3} \left(\frac{E_1}{E_2} \right) = \sqrt{3} a \dots\dots\dots(4.24)$$

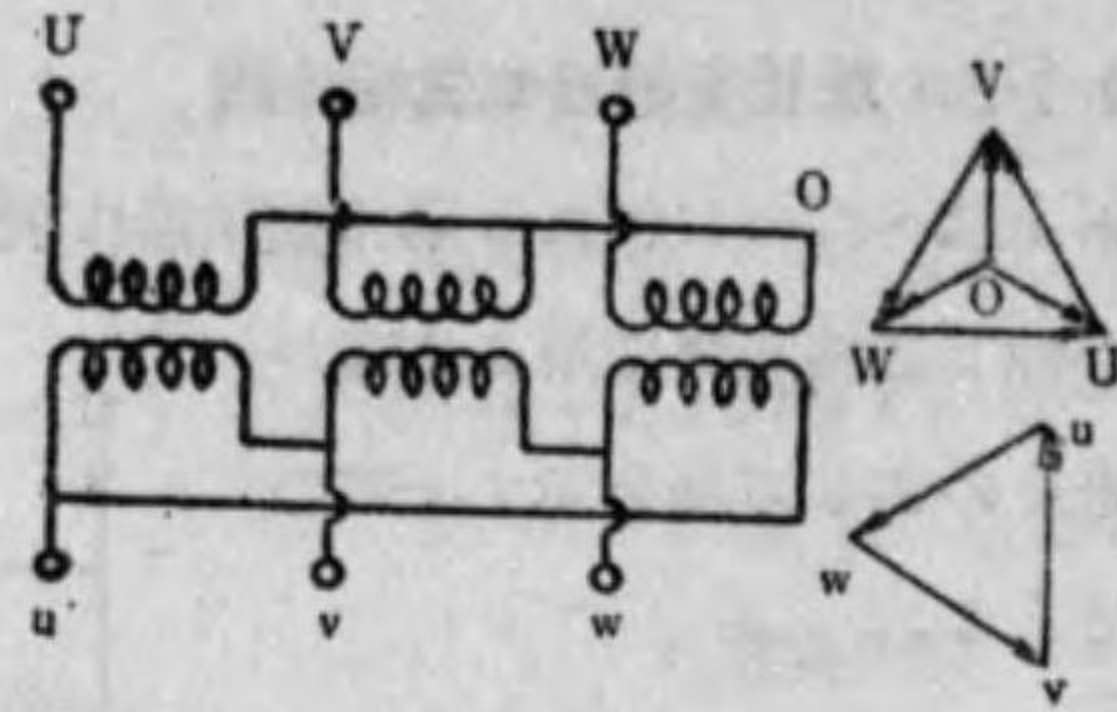
である。

(d) ΔY 接続 之は星形三角
結線とは逆に一次側を三角に
二次側を星形に結合したもので
あつて矢張り一次側及び二次
側線路電圧の間に 30° の相差
を生じ變壓比は $a/\sqrt{3}$ であ
る。

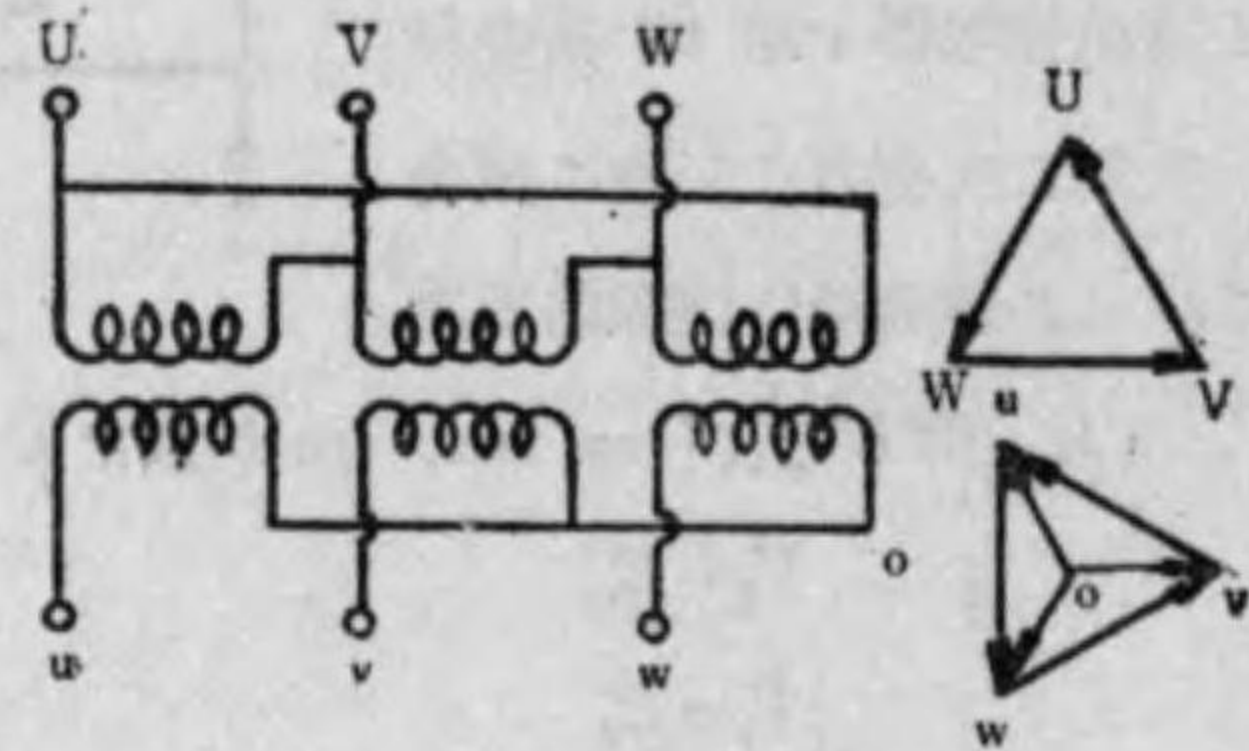
(e) VV 接続 この接続法は (a) の
 $\Delta\Delta$ 接続に於て一相の變壓器を省略した
場合に相當する。蓋し $\Delta\Delta$ 接続では或る
瞬時に於ける或る一相の電圧がその時の
他の二相の合成電壓に等しいからこの内
一個の變壓器を除いてもその兩端子間の
電位差は變化しないから矢張り三相電力
をとる事が出来る。

然し變壓器の利用率は減少し
 $\frac{\sqrt{3}}{2} = 0.866$ となる。

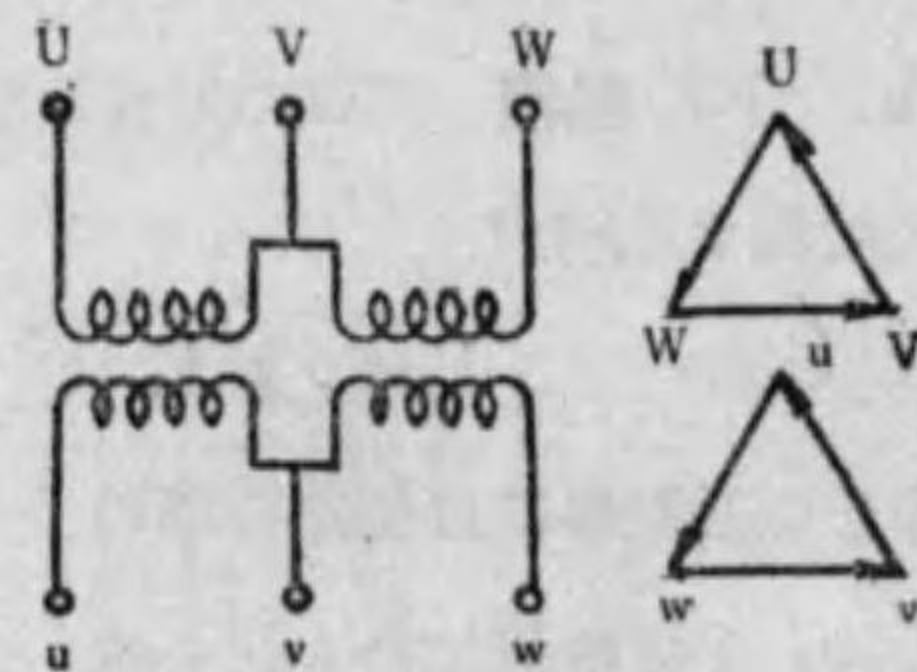
(f) TT 接続 二個の變壓器を用ひ
一方の中點 D 及び d に口出線を設けて
之を他の巻線端子に接続し三相電圧を加



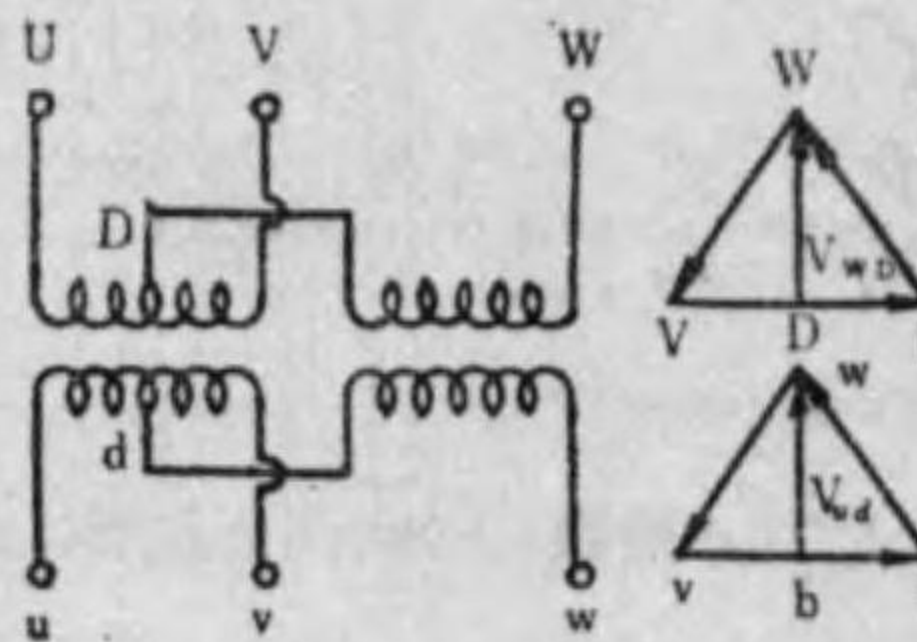
第 65 圖



第 66 圖



第 67 圖

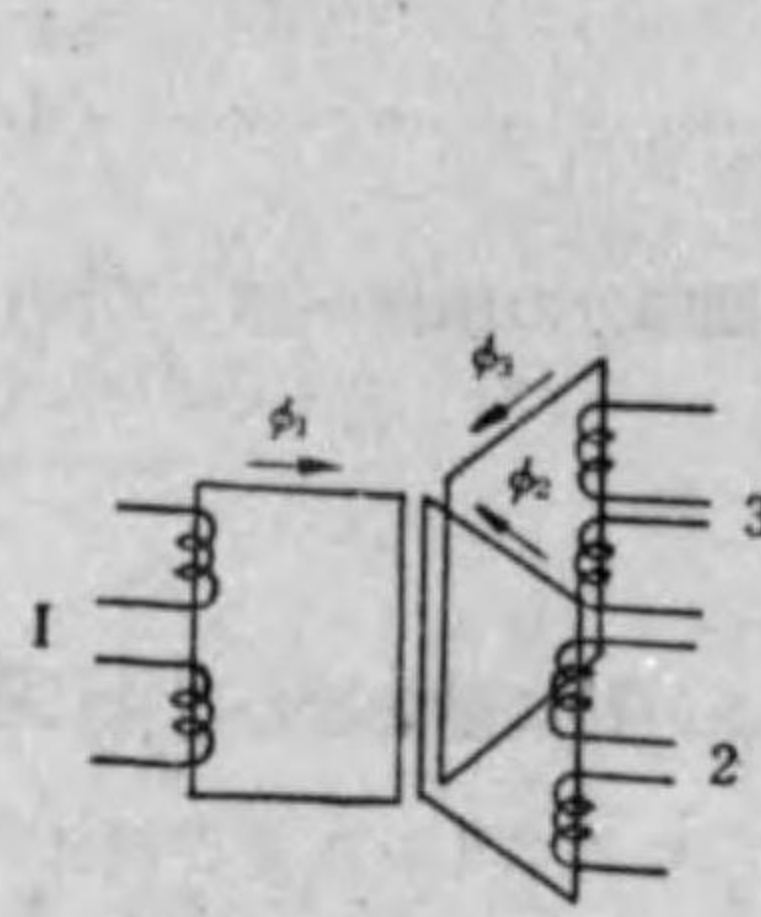


第 68 圖

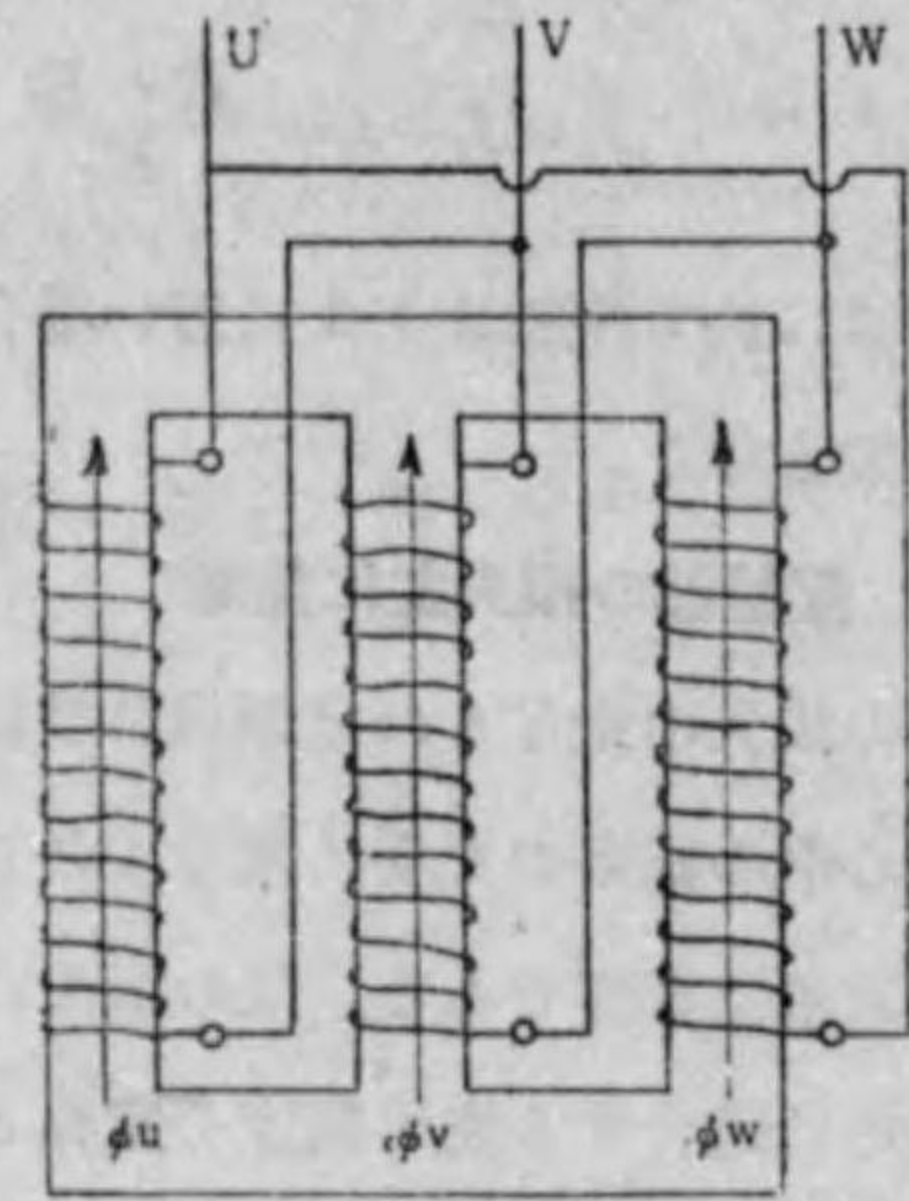
へると WD に加はる電圧は V_{wD} となり二次の wD 間には V_{wD} を生ずる。
その大いさは wv 間の電圧 V_{wv} の $\frac{\sqrt{3}}{2}$ 倍で位相は之より 90° 進む。従つて
 wvw 間には三相電圧を生ずる。

4.1.7. 特殊變壓器

(a) 特殊變壓器 第 69 圖の様な三個の單相變壓器に三相電圧を加へると



第 69 圖



第 70 圖

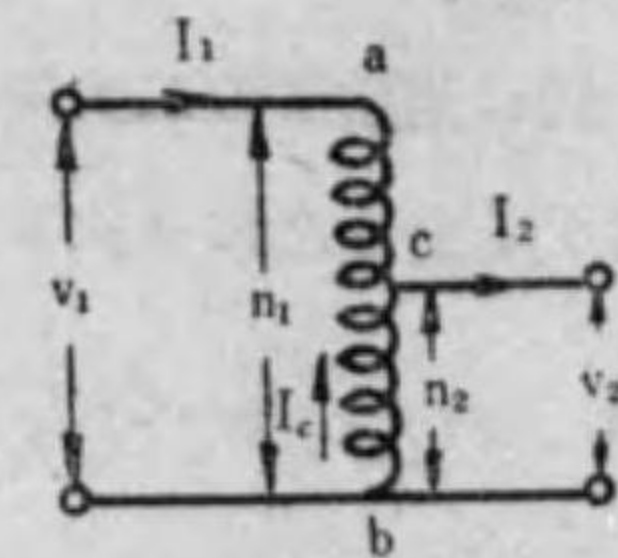
各鐵心の磁束 ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 の瞬時値の和は零となる。

仍つて之を三個組合せて共通部分の鐵心を省略しても差支ない理である。こ
の原理によるものが三相變壓器であつて實際の鐵心の形の一例は第 70 圖に示
す如くである。

之の三相變壓器は單相變壓器三基より價格は低廉
で据付に要する場所も少くて済むが一相に故障を生
じた場合三相全體を休止せねばならぬ缺點がある。

(d) 單巻變壓器 一次巻線の一部を 二次巻線に
共用した第 71 圖の様なものを單巻變壓器と云ふ。

圖に於て ab 間の巻数を n_1 とし其の中の一部



第 71 圖

を共用するとしてその巻数を n_2 とすれば

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \dots\dots\dots(4.25)$$

となる。

一次電流と二次電流とは大體逆の位相にあるから cb の部分を通る電流 I_c は大略 I_1 と I_2 との差に等しい。即ち

$$I_c = I_2 - I_1 = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times I_2 \dots\dots\dots(4.26)$$

此の變壓器に於て變壓比が 1 に近い場合には共通部分の導線が細くて済むから價格が低廉となる。

4.1.8. 變壓器の損失並に能率

變壓器の損失中主なものは銅損及び鐵損であるが特に變壓器の場合には其の作用が鐵心中の磁束の交番に基くものであるからヒステリシス及び渦流損等の鐵損を伴ふ事は當然である。是の損失によつて溫度が上昇するがその溫度上昇が或る規定に適合する使用限度を**定格**と云ひその場合の出力、電壓、電流等を夫々**定格出力**、**定格電壓**、**定格電流**等と呼ぶ。

變壓器は靜止機器であるから他の回轉機に見る様な機械的損失は無く、從つて能率は非常に良好で例へば 5kVA 程度のもので 96% 程度、10000kVA 以上では 99% にも及ぶ。

然し我國に於ては猶變壓器の能率向上の點より珪素鋼板性質の改善が期待されてゐる。

一般に變壓器の二次側を開き一次側に定格電壓を加へた際その入力に鐵損に該當するから之に一次及二次側の銅板を加へれば全體の損失となる。從つて

$$\text{能率} \quad \eta = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100 \dots\dots\dots(4.26)$$

$$\text{又は} \quad \eta = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100 \dots\dots\dots(4.27)$$

に仍つて表はす事も出来る。

實際變壓器を使用するに當り一次側を配電線に接続した儘二次側のみを開閉する事が行はれるが斯の如き場合には鐵損は常に生じてゐるから能率を表はすのに**全日能率**なるものを用ふる事がある。之は 24 時中に於ける**全勢力出力**と**全勢力入力**との比で例へば一日中 t 時間全負荷 (24-t) 時間無負荷と云ふ如き場合には

$$\frac{(\text{出力} \times t)}{(\text{出力} \times t) + (\text{鐵損} \times 24) + (\text{銅損} \times t)} \times 100 \dots\dots\dots(4.28)$$

を以て**全日能力**と云ふ。

總 括 變 壓 器

1. 變 壓 比 $\frac{E_2}{E_1} = \frac{n_2}{n_1}$
2. 變 流 比 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$
3. 二 次 電 流 $I_2 = \dot{E} / \{(r_2 + jx_2) + (R + jX)\}$
4. 電壓變動率 $\epsilon = q_r \cos \phi - q_x \sin \phi$
5. 變壓器の能率 $\eta = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100$ 又は $\eta = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100$
6. $\Delta\Delta$ 接 續 $V_1 = E_1 \quad V_2 = E_2$
變壓比 $V_1/V_2 = E_1/E_2 = a$
- YY 接 續 $V_1 = \sqrt{3} E_1 \quad V_2 = \sqrt{3} E_2$
變壓比 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{E_1}{E_2} = a$
- ($\nabla\Delta$) ΔY 接 續 變壓比 $\frac{V_1}{V_2} = \frac{a}{\sqrt{3}}$
- ΔY 接 續 變壓比 $\frac{V_1}{V_2} = \sqrt{3} a$

7. 單卷變壓器 $\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$
 $I_c = I_2 - I_1 = \frac{E_1 - E_2}{E_1} \times I_2$

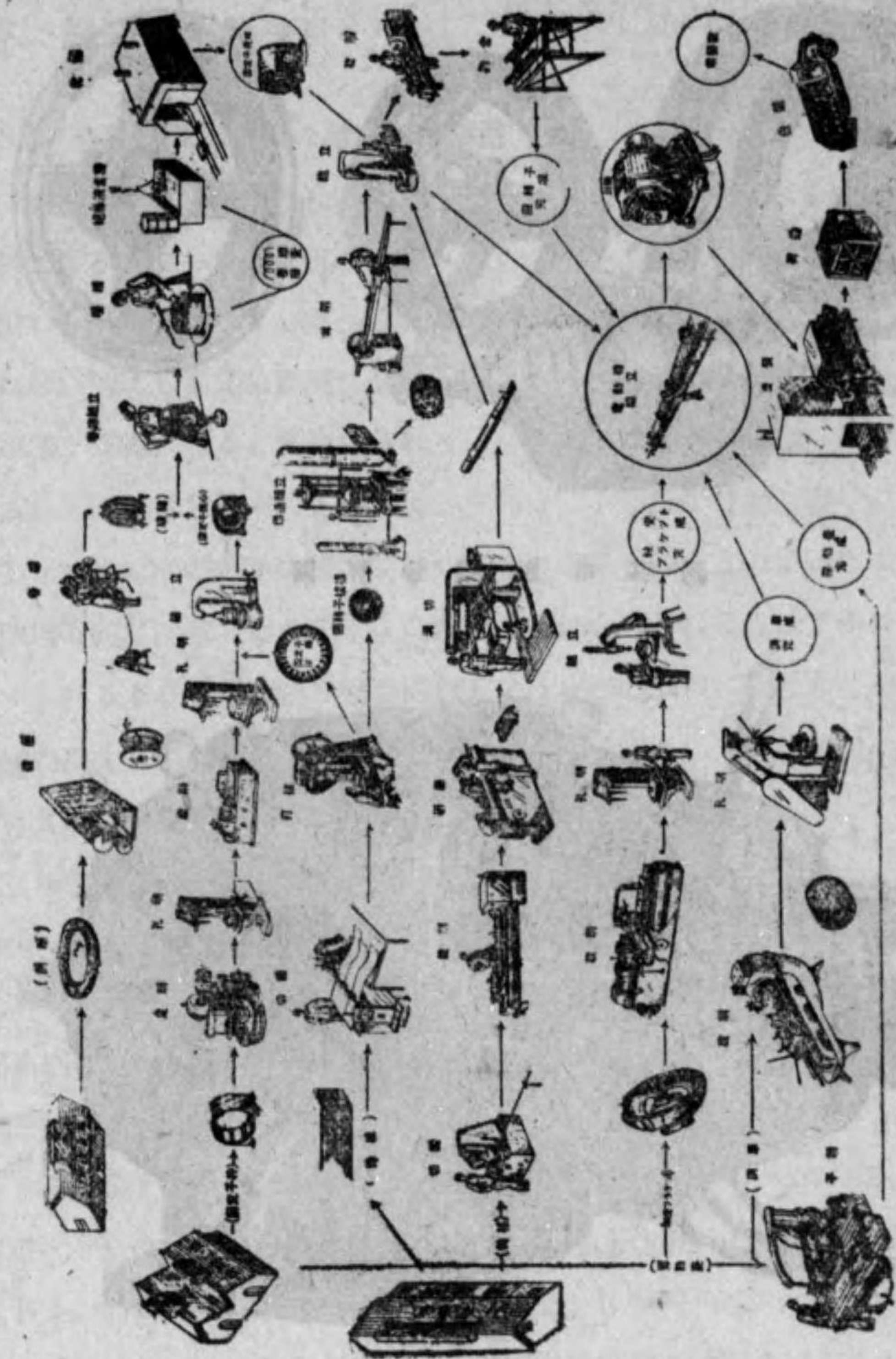
8. 全日能率 $\eta = \frac{\text{出力} \times t}{(\text{出力} \times t) + (\text{鐵損} \times 24) + (\text{銅損} \times t)} \times 100$

9. 變壓器の構造

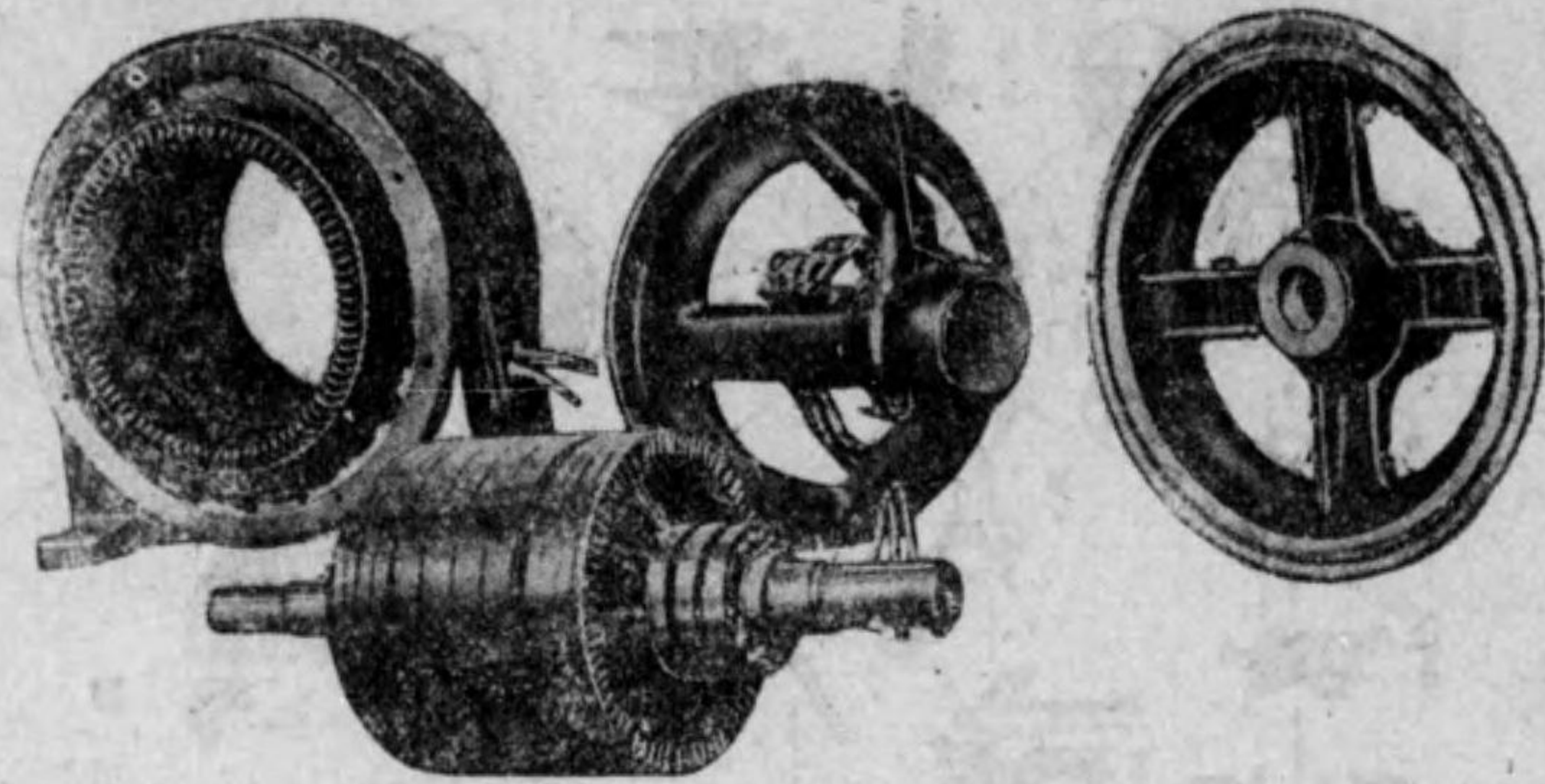
- 空冷式 { 自然通風方式
- { 強制通風方式
- 油冷式 { 油入自冷式
- { 油入水冷式
- { 送油循環式
- { 油入送風式

練習問題

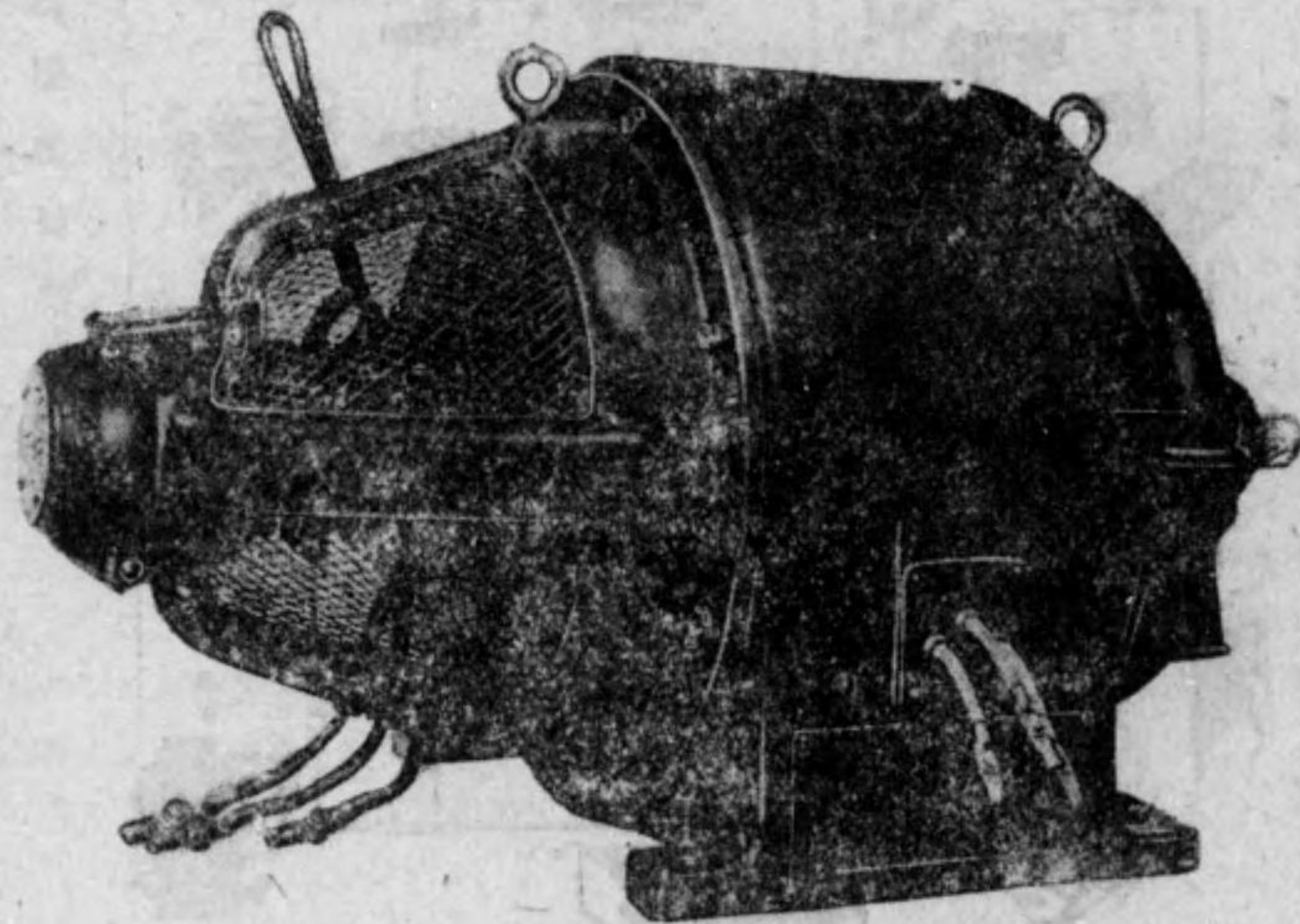
1. 或る變壓器の能率が 3/4 負荷に於て最大であると云ふ全負荷に於ける鐵損と銅損との比を求めよ。(16:9)
2. 變壓比 20 なる單相變壓器三個を 2000V の三相配電線に接続し降壓しようとする時變壓器を三角星形及び三角三角に接続した場合に於ける二次電壓は幾何か。(173V, 100V)
3. 75kVA 3300/220V の變壓器がある。一次抵抗 1.115 オーム、二次抵抗 0.00495 オームで鐵損 650 ヲツトとする。この變壓器の一次側は終日電源側につなぎ毎日十時間づゝ 75kVA, cosφ=0.8 の負荷をつなぐものとすればこの場合に於ける全日能率は幾何か。(95.7%)
4. 10kVAの單相變壓器三個を以てΔ結線とし送電中内一臺燒損した。V結線として送電を繼續しようとする時送電可能の電力は幾何に減ずるか。
5. 二相から三相を得る方法を案出せよ。



變壓器の構造及動作工程圖



誘導電動機分解圖

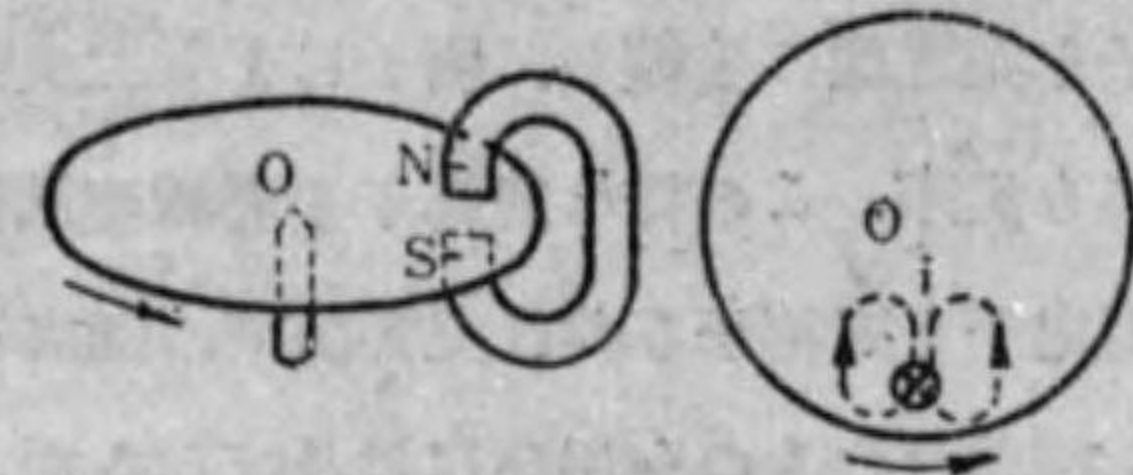


刷子短絡装置付誘導電動機

4.2. 誘導電動機

4.2.1. 多相誘導電動機の原理及び構造

圖に示す如く中心軸の周りに自由に回轉し得る様にした銅圓板の周邊に近接して永久磁石 NS を支へ圓板に觸れない様にして其の周邊に沿ひ一定速度で回轉させると圓板は磁束



第 72 圖

を切るから電磁誘導作用によつて圖の右部分に示す様な電流を發生する。

仍てフレミングの左手の法則に従つてこの電流と磁束との相互作用により磁極の回轉方向に回轉力を生ずる。これは古くから知られてゐるアラゴの圓板と稱せられるもので誘導電動機の原理もアラゴの圓板に外ならない。

上記の如く永久磁石を回轉させる代りに第 73 圖の如く鐵製圓板の内側に溝を設け其の中に絶縁導線を収めて是等を適當に接続し三相巻線として、これに對稱三相交流を送る時は一定の角速度で回轉する回轉磁界を發生する事は 2.4.2 の説明により明かな通りで永久磁石を回轉させるのと同様の効果を得る。其處で圓筒内部に更に同心の銅圓筒を設け軸を中心として回轉し得る様に装置すれば回轉磁界の發生により銅圓筒に電流を發生するからこの電流と磁界との相互作用によつて圓筒は回轉磁界と同じ方向の回轉力を發生する。



第 73 圖

この電流の中で回轉力として役に立つのは軸方向の成分丈であるから圓筒は鐵心の周圍に穿つた多數の溝に銅棒を挿入し之等を兩端に於て銅環で結合した構造にしてもよい理で、この場合端部の圓環を短絡環と云ふ。

外側の圓筒は靜止して居て回轉磁界に對して抵抗の少い通路となるもので之を**固定子**と云ひ、内側の圓筒を**回轉子**と云ふ。又上に記した様な構造の回轉子を**籠形回轉子**と云ふ。

この外回轉子にも固定子に同様な三相結線を施し Y 又は Δ につないでその端子を集電環に接続し、刷子により二次電流を外部に取り出せる様な構造にする事も出來、この様な回轉子を**巻線型回轉子**と云ふ。

固定子も回轉子も共に交番磁來の通路となるから損失を少くする爲に珪素鋼板を積重ねたものを用ひなければならぬ。

又籠型回轉子は上記の如く銅棒を溝に挿込んで作る代りに小型のものではアルミニウム鑄造によつて作る事も出来る。

第 74 圖の様に固定子導線を二つに分けて各部分に三相巻線を施せば圖の點線で示す様に四極の誘導電動機となる。

更に極数の多い場合 (例へば $2p$ 極) でも交流一サイクル毎に回轉磁界は $\frac{1}{p}$ 回轉するから一秒間の回轉數は周波數を f とすれば

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

となる。

即ち誘導電動機に於ける回轉磁界の速さは f と p とできまり n は**同期速度**と稱せられる。

4.2.2. 滑り

回轉子が同期速度 n より少し遅い速度 n' で回轉してゐるとすれば磁束は $n-n'$ の回轉數で固定子導線を切つて回轉するから回轉子にそれに相當する電流を誘起する。

この $n-n'$ と同期速度との比を**滑り**と云ふ。即ち滑りは



$$s = \frac{n-n'}{n}$$

で表はされその大きさは全負荷で數%の程度である。例へば滑りを 5% とすれば回轉磁界が一回轉する間に回轉子は 0.95 回轉し又回轉磁界はその間に回轉子に對し 0.05 回轉する。

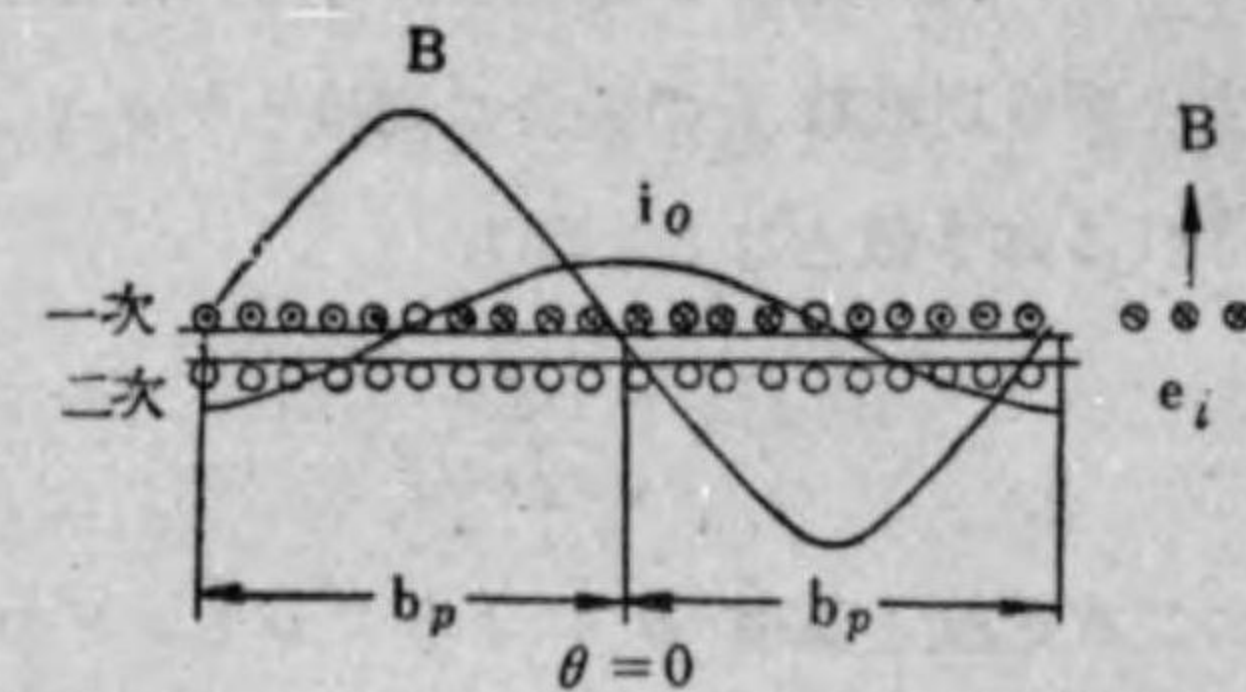
又回轉速度は

$$n' = (1-s)n$$

で表はされ、電動機が滑り s で回轉してゐる際には回轉子起電力の周波數は僅かに sf サイクルに過ぎぬ。

4.2.3. 電壓、電流及び磁束の空間分布と回轉磁界の發生

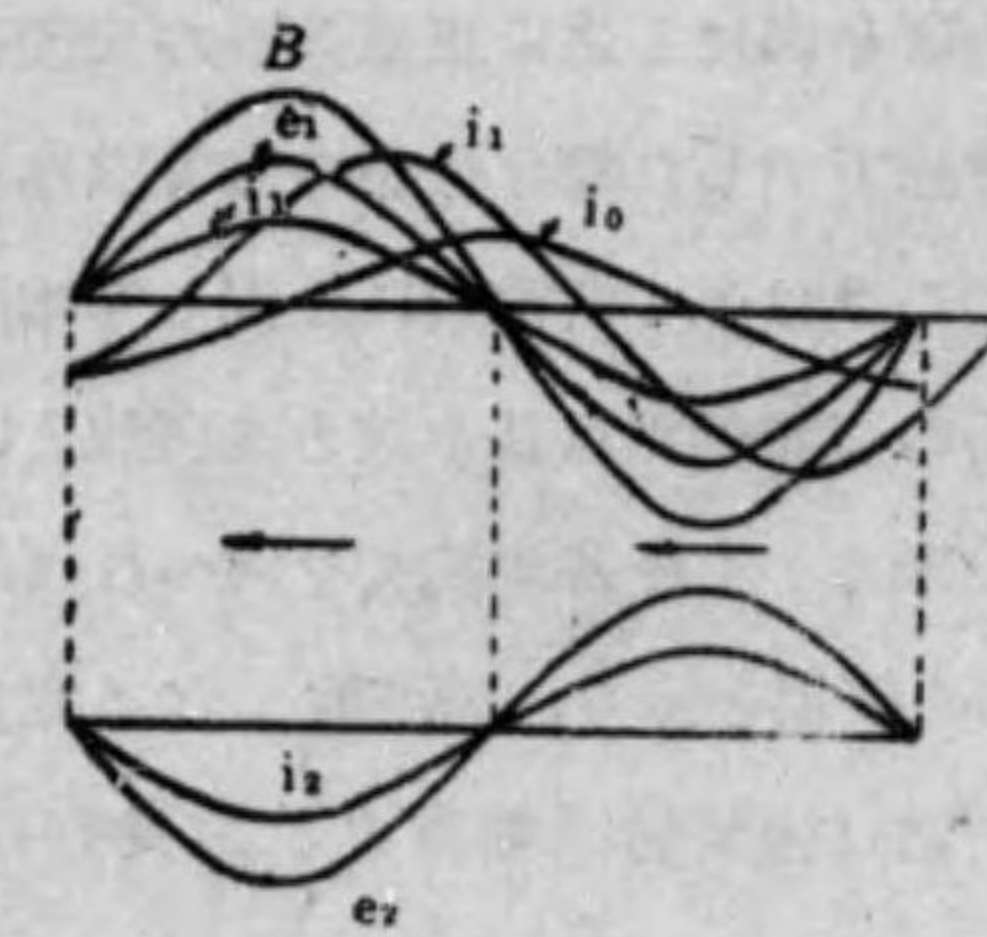
今誘導電動機の固定子に於て間隔 2τ の間に一様に分布された k 本の導體がありとしその各導體を夫々一つの相として k 相の對稱多相交流を通じたとしよう。



但し最初二次導線は開路状態にあつて回轉子は靜止してゐるものと考へて置く。

起電力、電流及び磁束の正方向を圖の様に定め、任意の瞬時に於ける一次電流 i_0 の空間分布を第 76 圖の正弦波形で表はす。

然る時は i_0 によつて生ずる磁束分布 B も正弦波形で表はされ i_0 と同様な同期速度で回轉する。この磁束は回轉によつて一次導線を切るから B に比例した



起電力 e_1' を生じなければならぬ。然してこの e_1' は一次導體に外部から加へられる電壓 e_1 と平衡を保つべきものであるからその分布は B と同相でなければならぬ。

更に二次導體には一次導體に於けると同様 B に比例した起電力が誘起されその分布は e_2' の如くなる。

今二次導體の抵抗を r_2 とし、この兩端を抵抗零なる短絡環で結合すれば各導體には e_2' と同相で大きさが $i_2 = e_2'/r_2$ なる二次電流を生じ空間的に f/p の速さで回轉する。この電流に基く起磁力の存在に不拘磁界 B を一定に保つ爲にはこの i_2 による起磁力を打消す様な電流 i_1' が一次に新しく流れ込まねばならぬ。

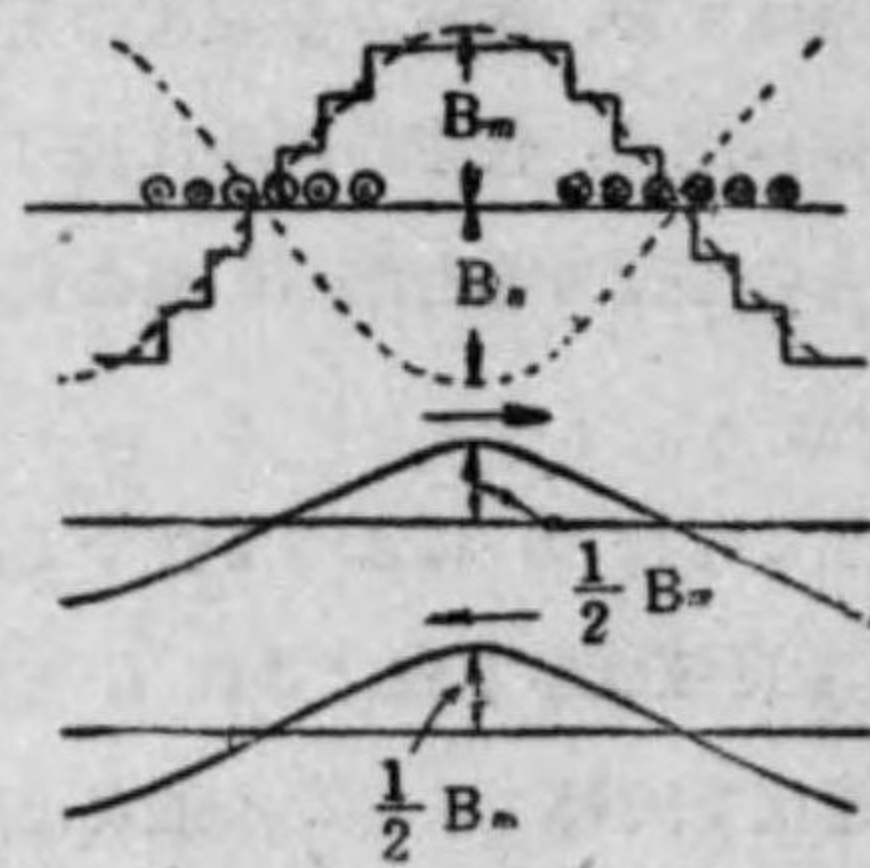
従つて一次に流れる總電流は i_1' と i_0 との和となる。又二次に漏洩磁束が存在するから周波數 f の場合の漏洩リアクタンスを x_2 とすれば i_2 は次式で表はされる如き値となる。即ち

$$i_2 = \frac{e_2'}{\sqrt{r_2^2 + x_2^2}}$$

この二次電流と磁束 B によりフレミングの左手の法則で定められる回轉力を生じその方向は回轉磁界の夫れと同一である。

實際の場合には三相交流を用ふるからこれに就て再説すれば第 77 圖は巻線の一層を表はし之に正弦波形の交流を通すれば實線で示した様な分布の交番磁界を生じその大きさは至る所電流に比例して増減する。

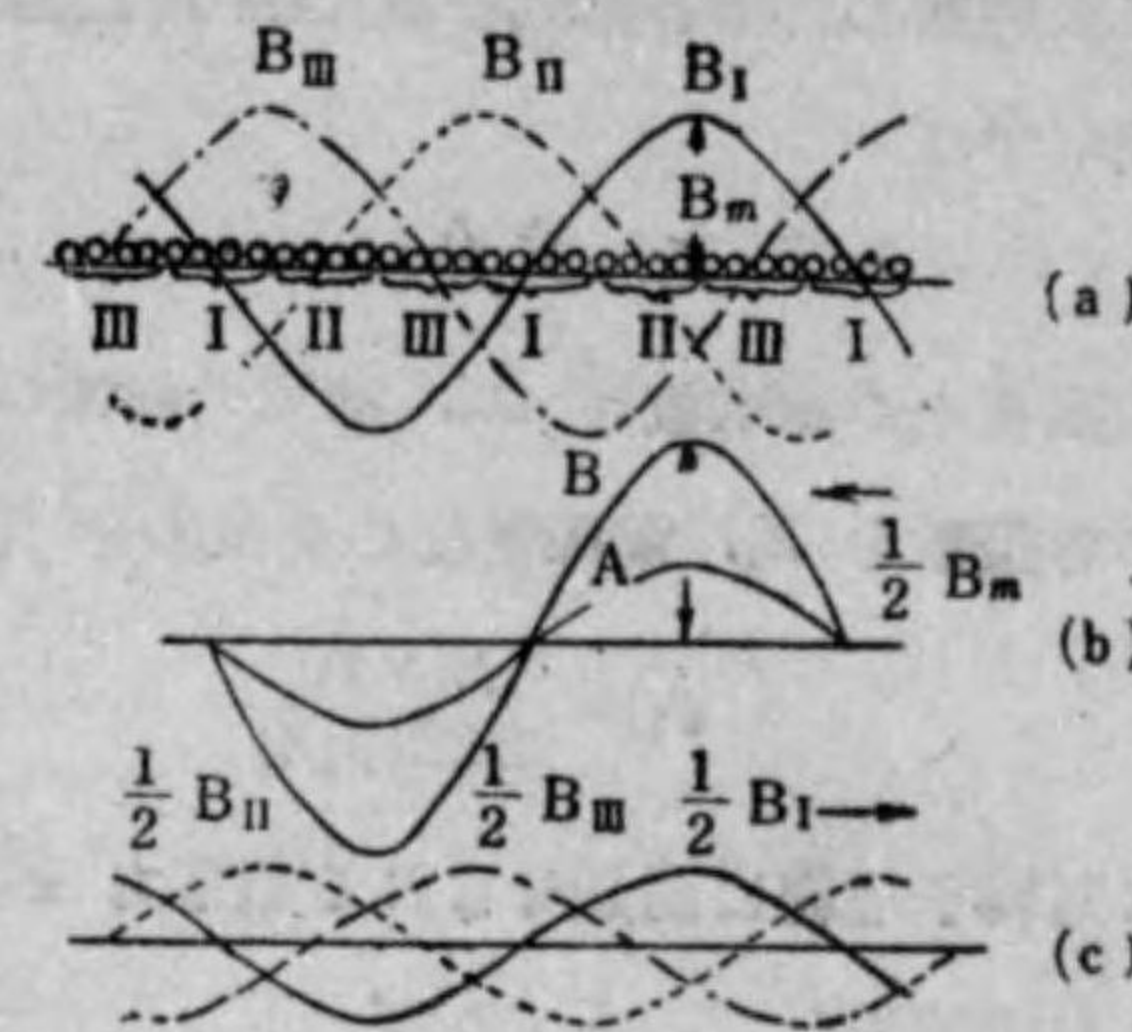
この交番磁界は基本波と高調波とに分つ事が出来るから今基本波を考へれば基本波は B_m の振幅を持ち、周波數 f なる定常波であるが之は極間隔に相當する波長を持ち振幅 $\frac{1}{2} B_m$ で互に反對方向に進行する二つの進行波



第 77 圖

に分解する事が出来る。

第 78 圖 (a) に示す三相巻線 I, II, III に相回轉が I, II, III なる三相交流を通すると B_I, B_{II}, B_{III} の如く順次に 120° の時間的相差を持つ磁界の定常波を生ずるからこれ等の定常波を左右方向に進行する進行波に分けると左方向に進行するのは第二相は第一相より時間的に 120° 遅れてゐるが空間的には 120°



第 78 圖

進んで居り第三相は時間的に 240° 遅れてゐるが空間的に 240° 進んでゐるから總て一致して合成磁界は同圖 (b) の如く $\frac{3}{2} B_m$ の振幅を以て進行するものとなる。

又右方向に進行するものに就ては第二相は第一相より時間的に 120° 遅れてゐるから 240° 遅れ、第三相は第二相より 240° 、第一相からは 120° 遅れるから合成磁界は零となる。

結局三相巻線に三相交流を通する時は同期速度で回轉する正弦的分布の回轉磁界を生ずるのである。

4.2.4. 等 價 導 線 網

先づ誘導電動機の間轉子回路が開かれて靜止して居る場合、一次の各相巻線に加へられた起電力 E_1 は固定子巻線に勵磁電流 I_0 を通しそれによつて回轉磁束 Φ を生ずるから二次巻線に E_2 の起電力を誘起し電流 I_2 を生ずる。この I_2 による起磁力を打消す爲に一次電流 I_1' が流入せねばならぬから結局一次の總電流は $I_1 = I_0 + I_1'$ となる。

以上の如く考察すれば誘導電動機は純然たる變壓器であつて固定子は一次、回轉子は二次に當る。たゞ二次巻線が短絡されてゐること、磁束の通路に空隙

があること、並に二次が回轉する事等を異にするのみである。

以上考察した所を數式を以て表せば勵磁電流は、勵磁アドミッタンスを \dot{Y}_0 で表はせば

$$I_0 = \dot{Y}_0 \dot{E}_1 \dots \dots \dots (4.29)$$

又一極當りの磁束數を ϕ_m 、固定子巻線の巻線係數を k_1 、同じく固定子一相當りの導體數を Z_1 、電源電壓の周波數を f_1 とすれば

$$\phi_m = \frac{E_1 \times 10^7}{2.22 k_1 f_1 Z_1} \dots \dots \dots (4.30)$$

次に回轉子巻線に誘起せられる起電力 E_2 は回轉子巻線の巻線係數を k_2 、一相當りの導體數を Z_2 とすれば

$$E_2 = 2.22 k_2 f_1 Z_2 \phi_m \times 10^{-8} \dots \dots \dots (4.31)$$

故に E_1 を一定に保ちつゝ回轉子回路を閉じた場合には次の式で示す二次電流 I_2 が流れなければならぬ。即ち

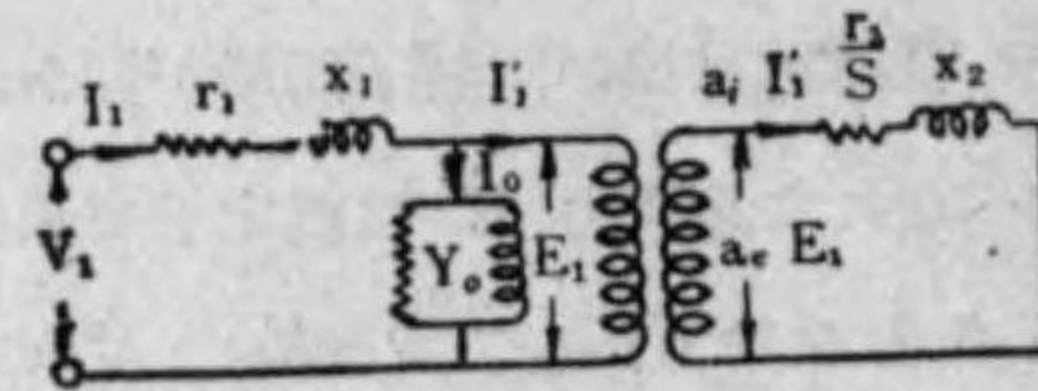
$$I_2 = \frac{\dot{E}_2}{r_2 + jx_2} \dots \dots \dots (4.31)$$

但し回轉子回路の一相當りの總抵抗を r_2 、周波數 f_1 に對するリアクタンスを x_2 とする。

この I_2 を起磁力と平衡する爲の電流を I_1' とすれば I_1 は I_1' と I_0 との重疊したものであるから

$$\dot{I}_1 = I_0 + I_1' \dots \dots \dots (4.32)$$

是を誘導電動機の一次一相に就て考へると第 79 圖の様な導線網で表はす事が出来る。



第 79 圖

次に回轉子が滑り s で回轉してゐる

場合には回轉子導線と回轉磁界との相對速度は $s\omega_0$ となり従つて回轉子導體と交叉する磁束の相波數は sf_1 となるから回路に誘起する起電力は

$$E_{2s} = 2.22 k_2 s f_1 Z_2 \phi_m \times 10^{-8}$$

$$= s \dot{E}_2$$

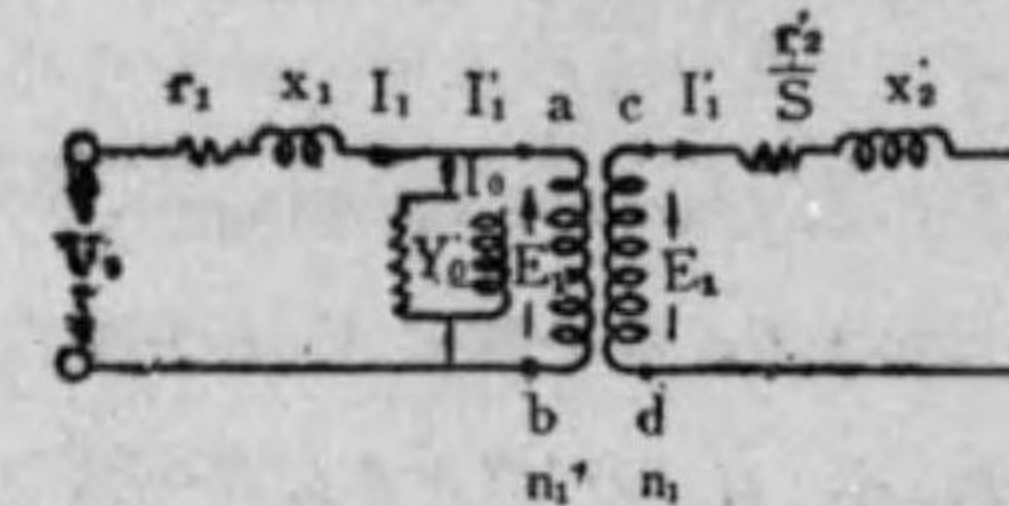
となり二次電流 I_2 は二次リアクタンスが $x_{2s} = sx_2$ となるから

$$I_{2s} = \frac{\dot{E}_{2s}}{r_2 + jsx_2} = \frac{s \dot{E}_2}{r_2 + jsx_2} = \frac{E_2}{\frac{r_2}{s} + jx_2} \dots \dots \dots (4.32)$$

となる。

これは静止の場合に比し單に抵抗が $\frac{1}{s}$ に減じた丈である。仍つて滑り s で回轉の多相誘導電動機は二次回路の抵抗が r_2/s となつた變壓器として取扱ふ事が出来る。

即ちこの場合にも第 80 圖の如き等價回路を以て代表させる事が出来るのである。



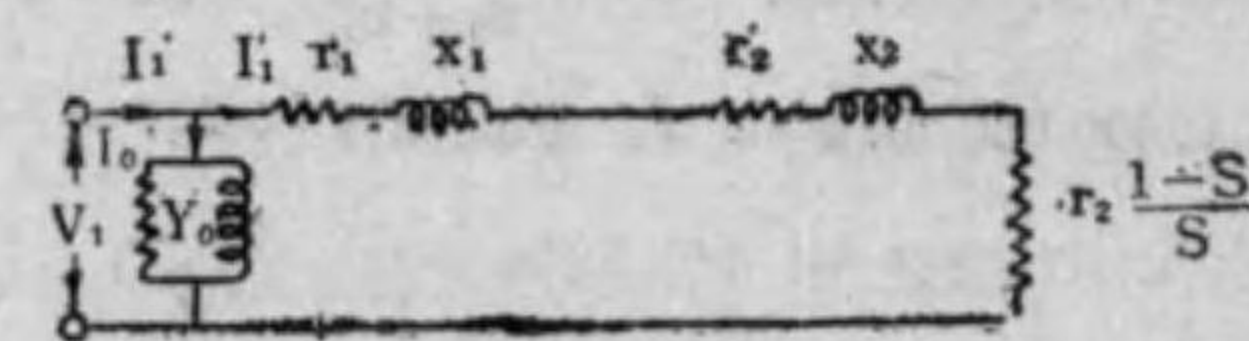
第 80 圖

但し第 80 圖に於ける r_2' 及び x_2' は夫々 r_2 及び x_2 に對し變壓器の場合と同様な換算をしなければならぬ。

$$\text{更に } \frac{r_2'}{s} = r_2' + \frac{1-s}{s} r_2'$$

なる事から第 80 圖の等價回路

は第 81 圖を以て表はす事が出来るのである。



第 81 圖

斯くすれば一次インピーダンス

$r_1 + jx_1$ 、二次インピーダンス $r_2' + jx_2'$ 、勵磁アドミッタンス Y_0 等は總て變壓器の場合と全く同様でたゞ誘導電動機の特性は負荷 R によつて代表される事となる。

4.2.5. 圓 線 圖

第 81 圖の等價導線網により誘導電動機の電壓電流の關係を表はすベクトル圖を導く事は容易である。例へば

$$I_1' = \frac{\dot{V}_1}{(r_1+r_2'+R)+j(x_1+x_2')} \dots\dots\dots(4.33)$$

是より I_1' の大きさは

$$I_1' = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1+r_2'+R)^2+(x_1+x_2')^2}} \dots\dots\dots(4.34)$$

となる。又 I_1' が \dot{V}_1 より遅れて居る角度を ψ とすれば

$$\tan\psi = \frac{x_1+x_2'}{r_1+r_2'+R} \dots\dots\dots(4.35)$$

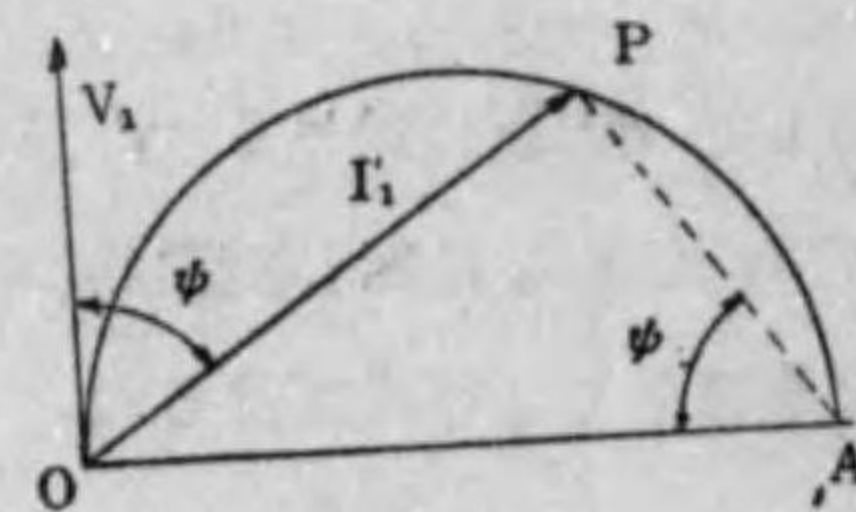
又は

$$r_1+r_2'+R = (x_1+x_2')\cot\psi$$

従つて (4.34) は次の様に變形される。

$$I_1' = \frac{V_1}{\sqrt{(x_1+x_2')^2+(x_1+x_2')^2\cot^2\psi}} = \frac{V_1}{x_1+x_2'} \sin\psi \dots\dots\dots(4.36)$$

是の式より、端子電壓 V_1 を垂直にとり、之に對して I_1' のベクトルを第 82 圖の如く描くと負荷の變動従つて ψ の變化に伴つてベクトル I_1' の一端 P の軌跡が OPA なる半圓を描く事は (4.36) 式から明である。

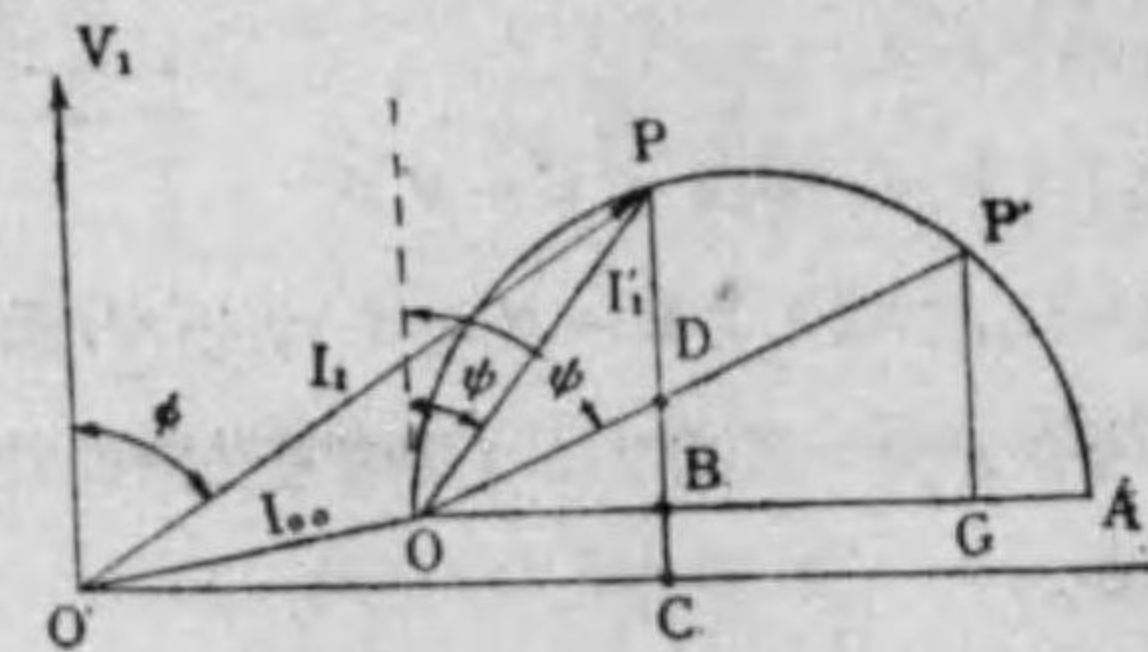


第 82 圖

この半圓の直徑は $OA = \frac{V_1}{x_1+x_2'}$ で表はされる。然して $I_1 = I_0 + I_1'$ であるからこの OP に更に I_0 を表はすベクトル OO' を追加して第 83 圖の様になれば

OP は誘導電動機の固定子電流を表はす事となり、其の他この圓線圖を以て誘導電動機の諸性質を表はす事が出来る。

例へば $\cos\phi$ は力率を表はし OP



第 83 圖

は回轉子電流を表はす。

又入力は一相當り $V_1 I_1 \cos\phi$ で表はされるが V_1 は一定であるから $I_1 \cos\phi$ 即ち PC を以て表はす事が出来る。

次に $R=0$ 即ち $s=1$ で電動機が停止して居る場合の P 點の位置を P' とし $P'O$ と PC との交點を D とすれば

$$\frac{DB}{P'G} = \frac{OP^2}{OP'^2}$$

であるから PD は出力を表はす事となる。然るに $P'G$ は $R=0$ 即ち二次側を短絡した場合の (入力-損失) であるから結局 OP' なる電流に對する銅損を表はす事となり DB は電流 OP 即ち一次電流 I_1 に對する銅損を表はす事となる。 BC が鐵損を表はす事は明かであらう。

以上はハイランド圓線圖の説明であるがこの外に他の方式によるものもあつて例へば鳳氏圓線圖と稱せられるものに於ては勵磁電流による一次側の電壓降下も勘定に入れたもので稍複雑であるが誘導電動機の特性をより正確に表はすものと見做されてゐる。

4.2.6. 回轉力, 機械的出力

既に述べた通り

$$I_1' = \frac{\dot{V}_1}{(r_1+jx_1) + \left(\frac{r_2'}{s} + jx_2'\right)}$$

で、一次電流は $I_1 = I_0 + I_1'$ によつて表はされ力率は V_1 と I_1 の位相角の餘弦に等しいが二次入力 P_a はこの場合等價導線網中の $\frac{r_2'}{s}$ で消費される電力に等しいから

$$\begin{aligned} P_a &= (I_1')^2 \frac{r_2'}{s} = I_0^2 r_2' + I_1'^2 r_2' \frac{1-s}{s} \\ &= I_0^2 r_2' + I_1'^2 R = P_1 + P_2 \dots\dots\dots(4.37) \end{aligned}$$

但し

$$R = \frac{1-s}{s} r_2'$$

この内 $I^2 r_2'$ は二次巻線内に生ずる銅損で之を差引いた残りが機械的出力として利用し得るのである。

即ち機械的出力は

$$I^2 R = \frac{V_1^2 \left(\frac{1-s}{s}\right) r_2'}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2} \dots\dots\dots(4.38)$$

又回轉力は

$$\tau = \frac{P_2}{2\pi n(1-s) \times 9.81} = \frac{p}{2\pi f \times 9.81} P_a$$

三相誘導電動機の場合には

$$\tau = \frac{3pV_1^2 \frac{r_2'}{s}}{9.81 \times 2\pi f \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2\right]} \text{ (瓦・米)} \dots\dots\dots(4.39)$$

若し同期速度 n で回轉してゐる場合の回轉力を τ とすればその時出し得る出力は

$$\tau \times \frac{2\pi f}{p} \times 9.81 = P_a \text{ (ワット)}$$

となるべく従つて一次に於ける全入力

$$P_1 = P_a + I^2 r_1 + P_i$$

となり式中 $I^2 r_1$ は一次巻線中の銅損, P_i は鐵損を表はす。従つて能率は

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

となる。

4.2.7. 誘導電動機の特

(a) 速度特性 三相誘導電動機に就て先に述べた所を要約すれば

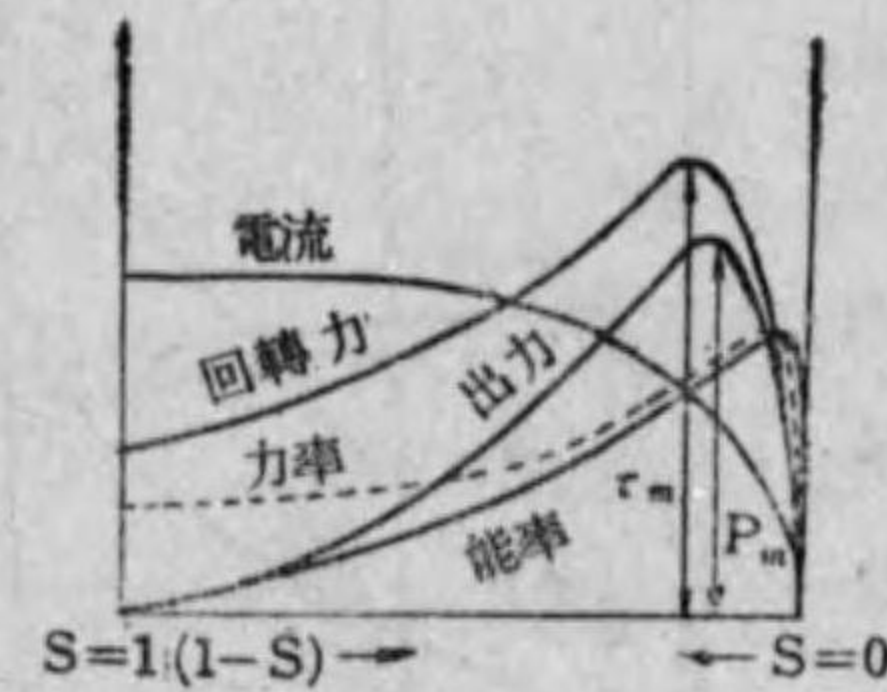
一次電流: $I_1' = I_w + I_1'$

回轉力: $\tau = \frac{3pV_1^2 \frac{r_2'}{s}}{2\pi f \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2\right]}$

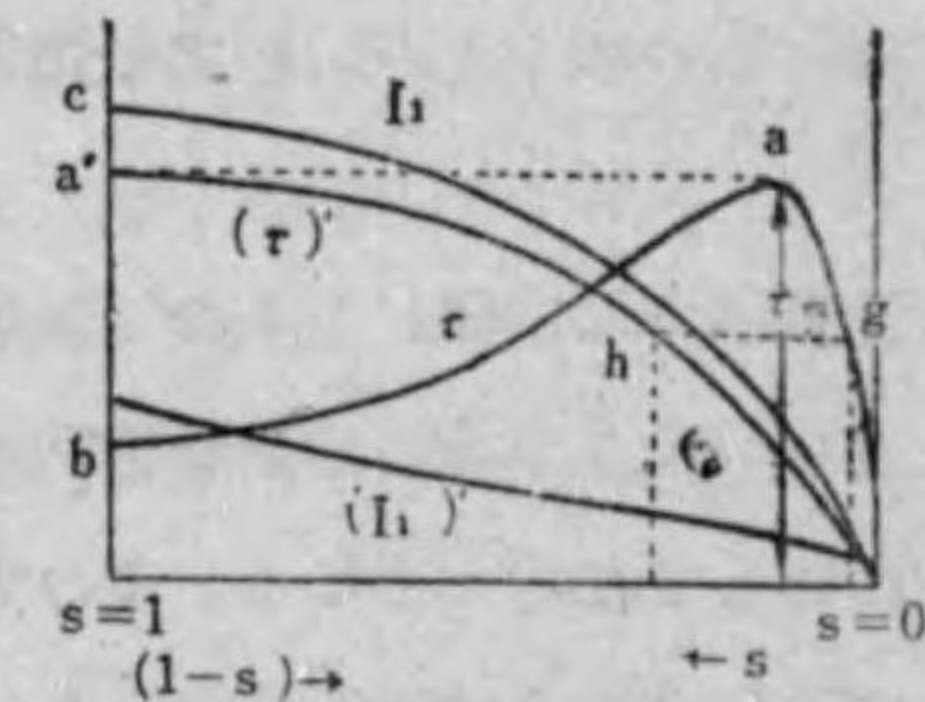
機械的出力: $P_2 = \frac{3pV_1^2 \left(\frac{1-s}{s}\right) r_2'}{2\pi f \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s}\right)^2 + (x_1 + x_2')^2\right]}$

能率: $\eta = P_2/P_1$

で表はされるが今直角坐標の横軸に s を取つて圖示すると第 84 圖のようになる。



第 84 圖



第 85 圖

又上記の式に於て一次電流 I_1' 及び回轉力 τ 等は何れも $\frac{r_2'}{s}$ の函数で表はされてゐるから r_2' を k 倍すると同じ電流又は回轉力は滑りが k 倍の所に生じ r_2' を kr_2' とした時 $(I_1)'$ 及び $(\tau)'$ は第 85 圖の I_1' や τ' の様な曲線となり最大値は變らずにたゞ比例的に推移される事となる。これを比例推移と云ふ。起動回轉力を増す爲に回轉子回路に抵抗を挿入する事も自ら了解し得るであらう。

最大回轉力 τ_m 及びその時の滑り s_c は $\frac{d\tau}{ds} = 0$ から求められ三相の場合には

$$\tau_m = \frac{3pV_1^2}{4\pi f [r_1 \pm \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}]}$$

$$s_1 = \frac{r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}}$$

で表はされる。

無負荷の時は $s=0$ 即ち同期速度で運轉し負荷回轉力が増すに従つて次第に滑りを増加し動作點は τ 一曲線上を左の方へ移つて行く。然し a の點を越すと二次誘起電流が増すので益々滑りが増大し遂に停止する。即ち a から左方の部分是一般に不安定である。

斯の如く速度による特性の變化を示す曲線を**速度特性**と云ふ。

(b) **出力特性** 更に出力を横軸として示せば第 86 圖の如くになり之を**出力特性**と云ふ。

誘動電動機では空隙があるので磁氣回路のリアクタンスが大きく其の結果勵磁電流は變壓器の場合に比して相當大となる。その爲誘導電動機に於ては力率が比較的低い事を免れない。

4.2.8. 深溝籠型及び二重籠型誘導電動機

普通の誘導電動機を静止の状態から急に回路に入れて全電壓をかけると突入電流が全負荷電流の六、七倍にもなり電源に擾亂を興へる虞があるからそれを改善する爲深溝籠型及び二重籠型誘導電動機が考案された。

深溝籠型は普通の籠型誘導電動機に比べると回轉子導體の深さを幅に比し著しく大きく作られてるので通電の結果導體の低部程多くの磁束と交叉するから、この磁束によつて導體に電流と反對の方向に起電力が誘起され、導體の低部程電流は通り難く、結局電流は溝内導體の上部に丈密に通る事になるので、導體の全抵抗は電流分布が一樣な場合に比して増加したと同様になり漏洩リアクタンスは減少する。



第 86 圖

即ち起動の際には二次周波数は電源波數に等しいから最初は二次抵抗が大きく二次リアクタンスが小なる籠型誘導電動機となり、漸次加速するに従つて二次周波数は減少するから二次抵抗及び二次漏洩リアクタンスは漸次減少し運轉状態では二次電流は略一樣に分布し、その結果 r_2 は小さくなり能率もよくなる。

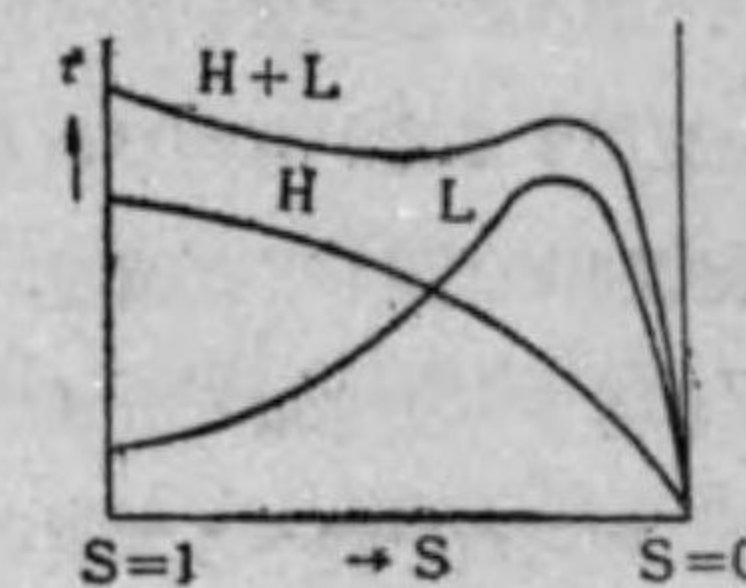
是が深溝籠型の特徴である。是と同様の原理により第 87 圖の如く回轉子の溝を上下二層に分ち上側の溝に入れる導體は高抵抗、低リアクタンスのものとし、下側の溝に入れるものを低抵抗、高リアクタ



第 87 圖

ンスのものとして兩者を共通の短絡環で結合すれば起動時二次周波數が高い間は電流は主として上側の方に通り、二次抵抗の高い籠型回轉子として起動する。漸次加速するに従つて二次周波數は減少するから漏洩リアクタンスも従つて減少し電流は主として下側の低抵抗の部分を通る様になるから結局運轉状態では抵抗の低い籠型誘導電動機として働くのである。

即ちこの種の電動機は二次抵抗の高い特性 H と二次抵抗の低い特性 L (第 88 圖) とを組合せた $H+L$ の様な特性を示すのである。



第 88 圖

4.2.9. 誘動電動機の起動及び速度制御

普通籠型誘導電動機にあつては 5kw 以下深溝籠型にあつては 20kw 以下のもので電源が起動時の突入電流に堪へ得るならば直接電源に電動機を接続するのが普通である。

普通籠型誘導電動機で 5kw 以上 10kw 以下程度のものでは Y/Δ 開閉器を用ひ起動時は一次巻線を Y に接続し、速度が上昇してから Δ に切換へる。蓋し線路電壓 V の場合起動時一次の各相巻線に加はる電壓は $V/\sqrt{3}$ であるから起動電流は $V/\sqrt{3}Z$ となり、起動電流は Δ 接続の場合に比し減少する。 Δ 接続の場合には $\frac{\sqrt{3}V}{Z}$ となるから起動電流は前の場合の 3 倍に上るのである。

但しYの場合は起動回轉力がAの場合に比し $\frac{1}{3}$ に減少する缺點がある。
 電動機の容量が更に大きくなれば起動補償器と稱する一種の單巻變壓器により起動時の電壓を全電壓の30~50%位に下げ速度が上昇して來ると共に次第に印加電壓を増し最後に全電壓をかける様にする。この場合の起動電流は定格電流の1.25~1.5倍位である。

以上は主として籠型誘導電動機に就て述べたのであるが巻線型電動機の場合には二次線輪に抵抗を挿入して回轉力、電流及び力率を $s=1$ の方向に比例推移せしめ起動時の電流を制限する事が出来るから速度が上昇すると共に次第に抵抗を減少して行くのである。運轉時に於てもこの抵抗をつないだ儘にして置くと二次抵抗が大きくなって銅損を増し能率が下るから、運轉状態に於ては必ず二次巻線を短絡して置く。

以上種々の起動法を述べたが結局起動回轉力の點から大容量の場合には巻線型を使用する方が有利である。

速度制御に関しては籠型、巻線型の何れにも適用し得る方法及び巻線型丈に適用し得る方法等種々あるが夫等を大別すれば次の通である。

(1) 周波数を變へる方法

同期速度は $n=f/p$ で表はされるから電源の周波数 f を變へれば速度を變へる事が出来、何れの型にも適用する事が出来る。

(2) 磁極数を變へる方法

$n=f/p$ の関係から p を變へても n は變はる。例へば四極から二極に轉換すると速度は二倍になる。これは主として籠型回轉子に用ひられる方法である。

(3) 二次抵抗を加減する方法

二次抵抗を變へる事により速度特性は比例推移を受けるから或る負荷回轉力に對し速度を變へる事が出来る。この方法は巻線型回轉子に限られるものであるが二次銅損の増加従つて能率の低下を免れない。

(4) 二次勵磁による方法

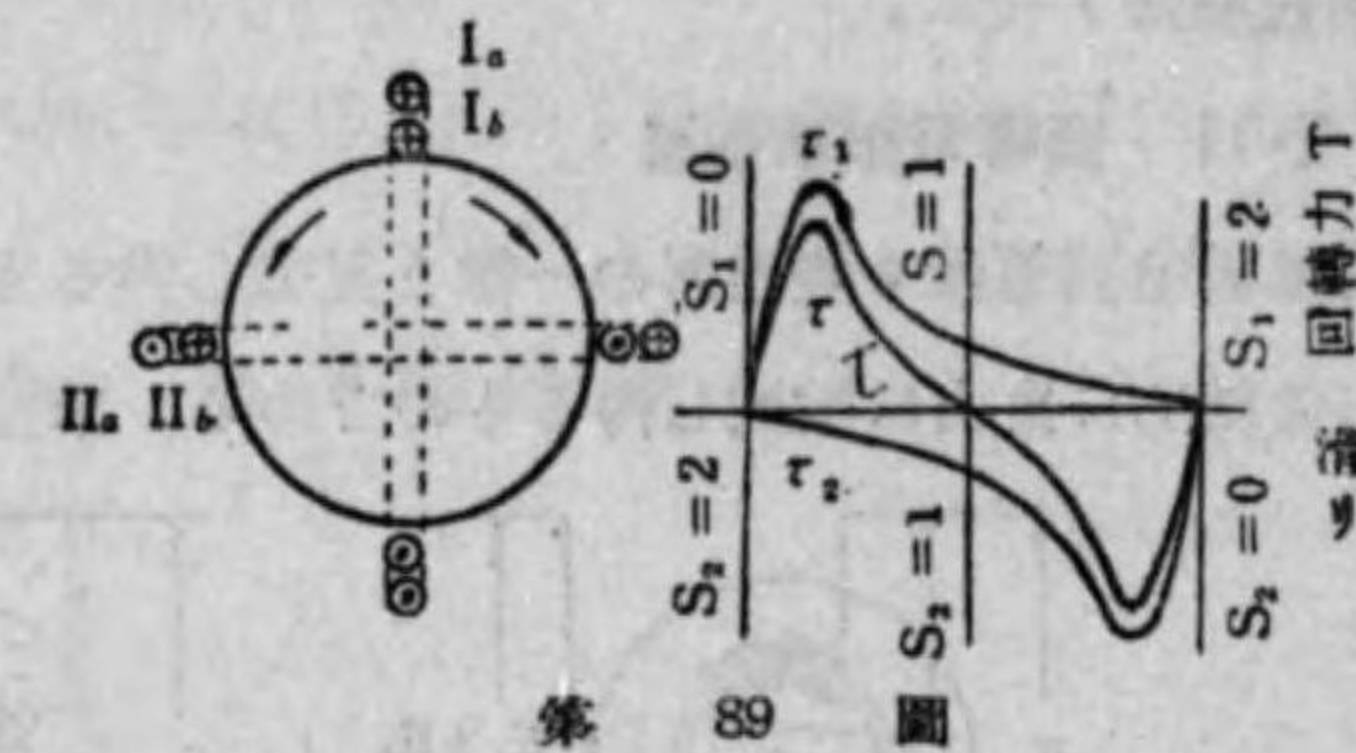
整流子電動機等を用ひ電動機の二次に外部から滑周波数の起電力を供給して速度を調整する方法で主として大型機械に適用される。

(5) 一次にリアクタンスを用ふる方法

可變リアクタンスを一次側に挿入して一次端子電壓を變へ速度を調整する方法であるがその範圍は狭い。單相電動機には屢々用ひられる方法である。

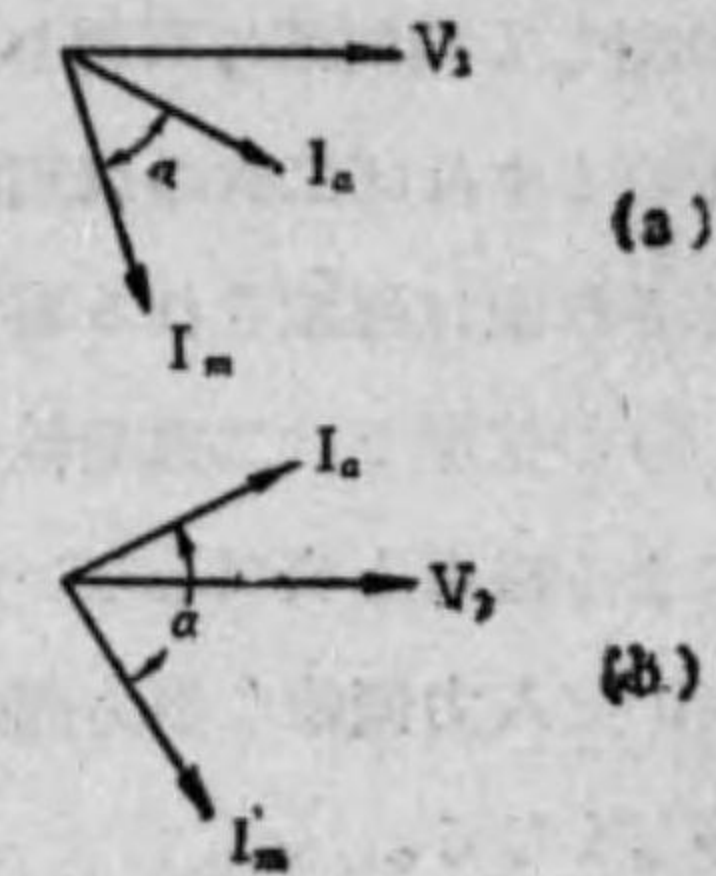
4.2.10. 單相誘導電動機

圖に示す如く固定子巻線の空間相差が互に 90° になる様に二組の線輪 $I_a I_b$ 及び $II_a II_b$ を配置し $I_a II_a$ 及び $I_b II_b$ に夫々同じ大きさの二相交流を通し豫め II_a と II_b には逆方向の



電流が流れる様にして置けばこの二相交流によつて生ずる回轉磁界は互に反對の方向に回るから静止して居る籠型回轉子の場合には回轉力は大き相等しく方向相反するので、その合成は零となり起動しない。然し之を適當な方法で起動する事が出来れば $s_1=0$ と $s_2=1$ の間では圖の τ で示される様な回轉力を生じ漸次加速して同期速度近く迄速度が上昇する。

茲で $II_a II_b$ は常に電流方向が反對であるから省略しても差支ない事となり、然る時は圖の様に二相電動機を直結したものとなり所謂單相誘導電動機となる。單相誘導電動機を起動するには第90圖(a)の様に固定子に主巻線と直角の所に補助巻線を設け高抵抗を通じて主巻線と並列に電源につ



第90圖

なげば主巻線には自己インダクタンスの影響により端子電壓 E より遅れた電

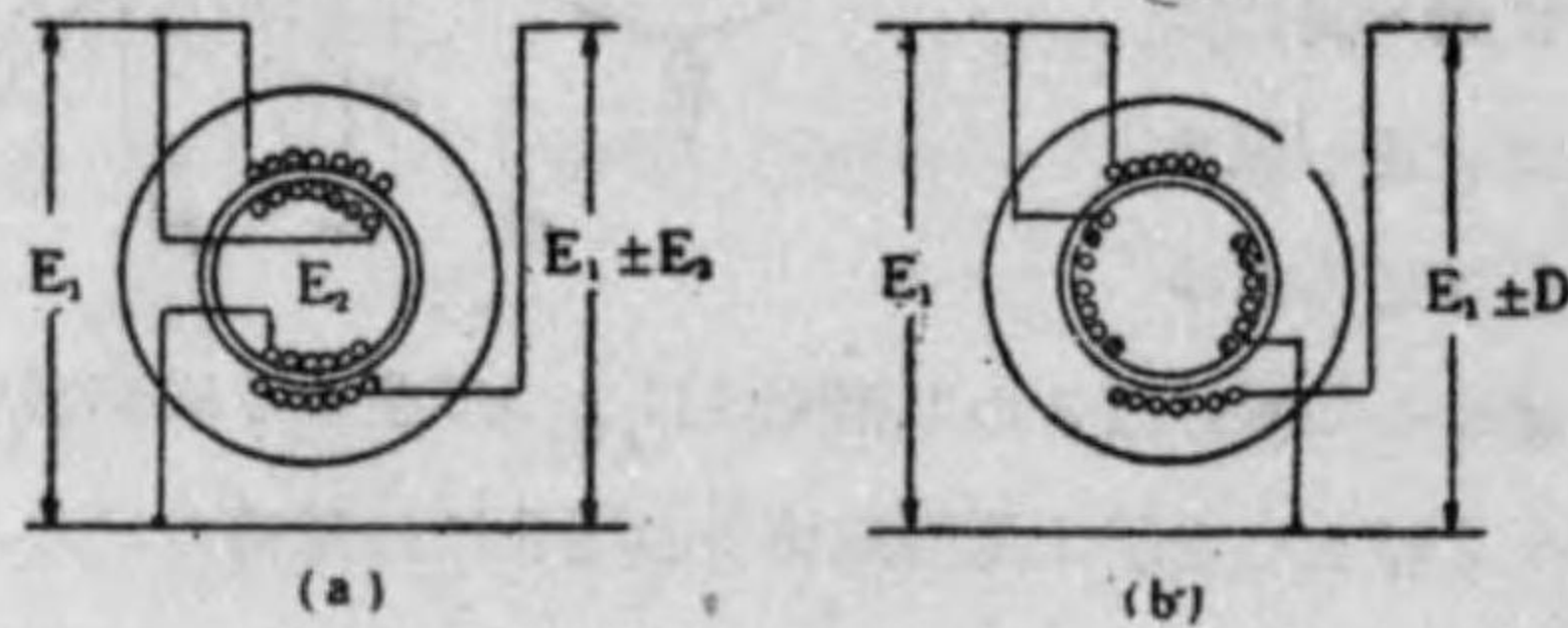
流例へば I_m が流れ、補助巻線には略同相の I_a が流れ I_m と I_a とは α なる相差を持つから楕圓回轉磁界を生じ起動可能となる。

R の代りに蓄電器 C を用ふれば I_a と I_m との関係は同圖 (b) の如く α は 90° に近く、従つて圓形に近い回轉磁界を發生しこの場合も亦起動可能である。

斯の如く單相電源に於て二相交流による回轉磁界を作つて起動させる方法を分相起動法と云ふ。

4.2.11. 誘導電壓調整器

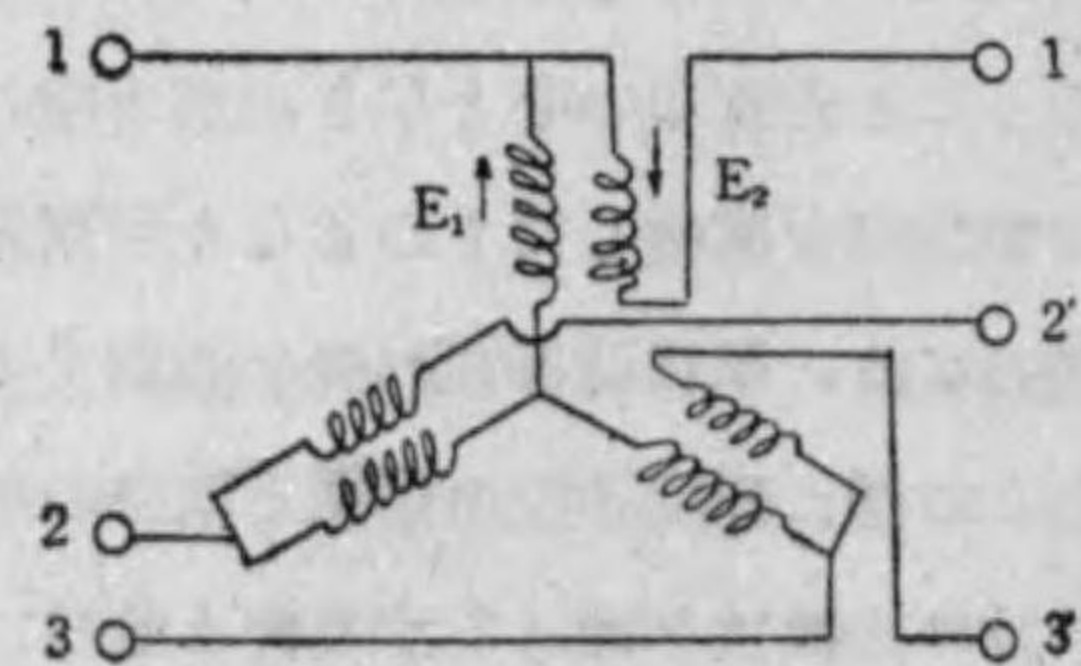
誘導電壓調整器も變壓器の一種と見做し得るものであつて電源電壓を或る範圍内連続的に自由に増減し得るものである。單相及三相の二種類がある。



第 91 圖

(a) 單相誘導電壓調整器 單相誘導電壓調整器では其の二次巻線が一次巻線に對して相對的に回轉し得る構造になつて居り今假に圖 (a) の様な位置にあるものとすれば二次の誘起電壓 E_2 は最大となるから夫れ丈の量は一次電壓に加味され或は遮減される事となるが圖 (b) の位置では二次巻線は一次巻線による磁束と交叉しないから $E_2=0$ で入力側並に出力側の電壓は相等しくなる。

(b) 三相誘導電壓調整器 三相誘導電壓調整器では一次二次共に三



第 92 圖

相巻線を施され、今相對應する巻線軸は θ の角度をなすものとする。一次巻線に三相電壓を加へると回轉磁界を發生して二次側に三相起電力が誘起される。

従つて第 92 圖の如く接続すれば端子 1'2'3' の間には E_1 と E_2 のベクトル和に相當する Y 電壓が得られる。従つて θ を加減する事により 1'2'3' の端子電壓は大き並に位相共その Y 電壓は E_1+E_2 から E_1-E_2 の範圍迄増減せしめる事が出来る。

實際の巻線配置は通常一次巻線が回轉子上にあり二次巻線は固定子上に設けられてゐる。

總括 誘導電動機

1. 籠型回轉子と巻線型回轉子
2. 同期速度 $n=f/p$
3. 滑り $s = \frac{n-n'}{n}$
4. 回轉速度 $n'=(1-s)n$
5. 等價導線網

$$\dot{I}_0 = \dot{Y}_0 \dot{E}_1$$

$$\dot{E}_{20} = 2.22k_2 f_1 Z_2 \Phi_m \times 10^{-8}$$

$$\Phi_m = (E_1 \times 10^8) / (2.22k_1 f_1 Z_1)$$

$$I_{20} = E_{20} / (r_2 + jx_2)$$

$$I_1 = I_{20} + I_1'$$

$$I_2 s = \dot{E}_2 / \left(\frac{r_2}{s} + jx_2 \right)$$

6. 圓線圖

$$I_1' = \frac{V_1}{\sqrt{(r_1 + r_2' + R)^2 + (x_1 + x_2')^2}} = \frac{V_1}{x_1 + x_2'} \sin \phi$$

7. 三相誘導電動機 of 回轉力

$$\tau = \frac{3p V_1^2 \frac{r_2'}{s}}{9.81 \times 2\pi f \left[\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]} \quad (\text{kg} \cdot \text{m})$$

8. 三相誘導電動機の機械的出力

$$P = \frac{3p V_1^2 \left(\frac{1-s}{s} \right) r_2'}{\left(r_1 + \frac{r_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2}$$

特性
速度特性
出力特性

10. 比例推移

11. 深溝籠型及び二重籠型誘導電動機

12. 起動法

直入起動

スターデルタ起動

起動補償器

二次抵抗法

13. 速度調整法

周波数変換法

磁極数変換法

二次抵抗加減法

二次励磁法

一次リアクタンス法

14. 単相誘導電動機 分相起動法

15. 誘導電圧調整器

単相誘導電圧調整器

三相誘導電圧調整器

練習問題

1. 四極三相誘導電動機あり。電源の周波数 60 サイクルとし全負荷に於ける滑り4%とすればこの電動機の無負荷回転数は幾何か (1800rpm)
2. 三相誘導電動機あり。50 サイクルの電源に結ばれ全負荷回転数 950 回転とする。この電動機を 60 サイクルの電源につなげば無負荷回転数は幾何となるか。(1200rpm)
3. 周波数が定格値に対し数%低下する場合には誘導電動機の諸特性は如何なる影響を受けるか。
4. 三相誘導電動機あり。一次側に換算した一相の抵抗及びリアクタンスを夫々 r_2 (オーム) x_2 (オーム) とし供給電圧を一定、且磁束は負荷に不拘一定とすれば滑り s の場合に於ける最大回転力は幾何となるか。
($\frac{mpE_0^2}{4\pi f x_2}$)

4.3. 同期発電機

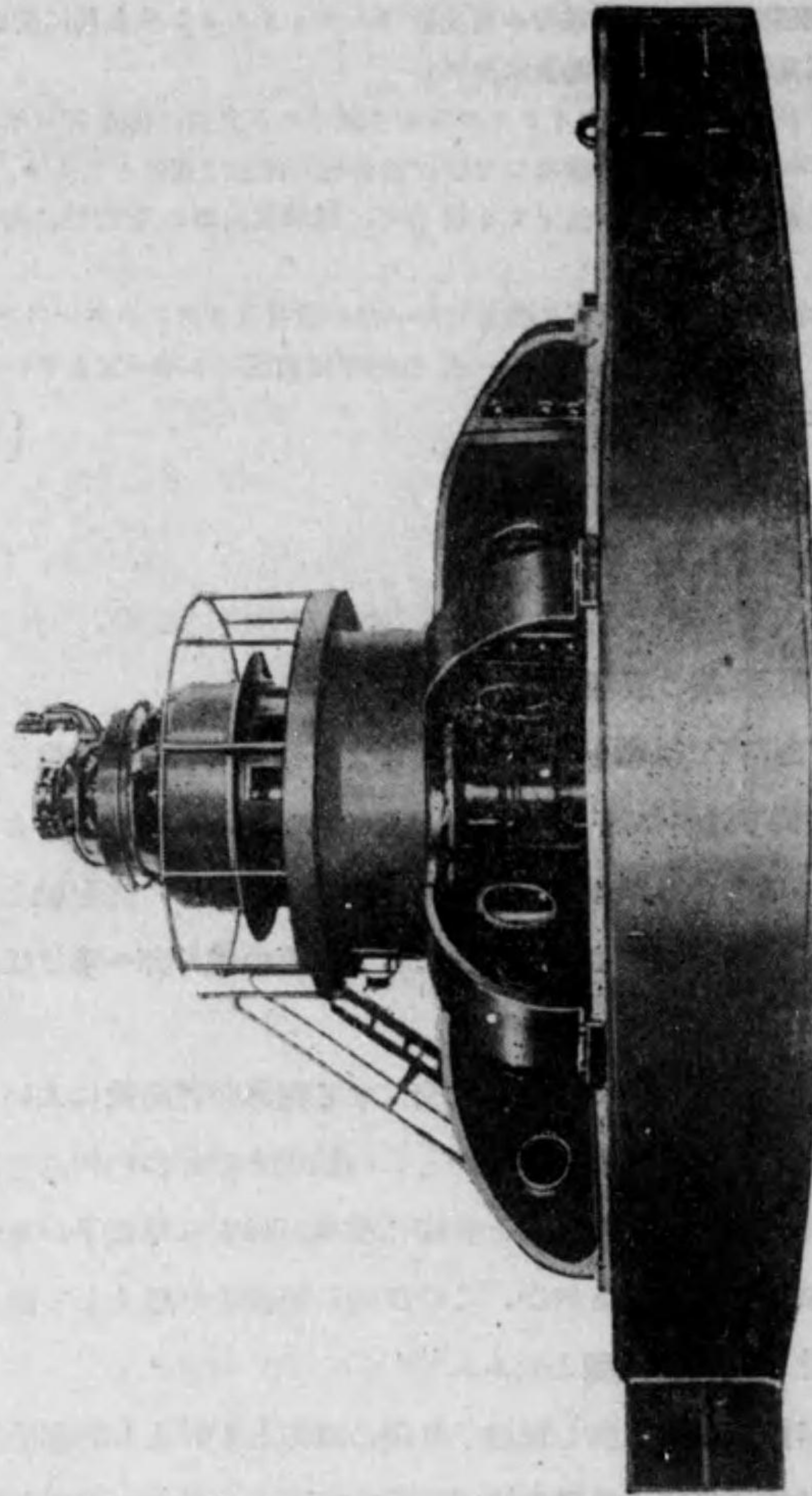
4.3.1. 同期発電機の原理

一定方向の磁界内で線輪を回転する事により交番起電力を発生せしめ得ることとは 3.1.1 に於て述べた通りである。直流機の場合は整流子によつて直流に直し外部へ導くのであるが整流子の代りに集電環を用ひ、之を軸と共に回転させその集電環に刷子を接觸させて発生起電力をその儘外部へ導けば茲に交流発電機が得られる。

斯の如く交流発電機に於ては線輪と交叉する磁界が方向並に大いさを一定の周期を以て變化すればよいのであるからこの線輪と磁界の内何れを運動させても同じ理である。即ち直流発電機と同様に磁界が静止し電機子が運動する様な場合には之を同轉電機子型と云ひ、この反對に電機子が静止して磁界が運動する様な場合は之を同轉界磁型と云ふ。

更にこの他に誘導子型と稱し電機子界磁の双方とも静止し誘導子と稱する鐵心が回転して電機子巻線と界磁巻線相互間の相互インダクタンスを變化させ電機子と交叉する磁束を周期的に變化させて起電力を誘起させるものもある。

同轉電機子型、同轉界磁型の何れに於ても直流発電機の場合と同様界磁を直



同期発電機

流で勵磁するがこの爲に用ひられる直流發電機を特に勵磁機と云ひ普通交流發電機の軸に直結される。

今磁極の對數を p 、交流の周波數を f 、毎分回轉數を n とすれば

$$f = \frac{pn}{60} \text{ (サイクル)} \dots\dots\dots(4.40)$$

なる關係があり、例へば 24 極、毎分回轉數 300 の發電機では周波數は 60 サイクルである。

斯様の發電機を同期發電機と云ふ。

高周波を發生せしめる爲には上式により明かなる如く、回轉數を上げるか或は極數を増さなければならぬが回轉數は機械的強度の點から或る程度以上となす事は不可能であるし又極數も或る程度以上増す事が出来ないから結局回轉界磁型或は回轉電機子型とも高周波發生用としては適當ではない。之れ高周波發生用として誘導子型と云ふ様な特殊構造の發電機が用ひられる所以である。

回轉界磁型と回轉電機子型との得失は大約下記の如くである。

即ち回轉界磁型では

- (1) 電機子が靜止してゐるから巻線の絶縁が機械的破壊を受ける怖が少く且容易に高電壓に耐へる絶縁を施す事が出来る。
- (2) 電機子に集電環を必要としないから集電機構上の困難を避ける事が出来る。
- (3) 蓄勢輪効果を大きくし得るから負荷の變動による速度の急變を防ぎ得る。

以上の様な利點があるので大型機に於ては主として回轉界磁型が用ひられる。

4.3.2. 同期發電機の構造

水車發電機用としてはその速度數十乃至 1000 回轉程度迄で直徑は大きく磁極數は相當多い。蓋し回轉數が低いから多數の磁極を必要とし、必然的に直徑が大きくなるのである。軸は横型及び豎型の二種があり、同一容量に對し豎型

は落差を有効に利用し得るとか床面積を小にし得るとかの利点があるが幾分高價になる。

何れにしても固定子の主要部分は電機子であつて其の鐵心は珪素鋼板を積重ねたものより成りその内側に溝があつてその中に絶縁した電機子巻線を入れる

又回転子の主要部分は鋼板を積重ねた界磁鐵心と勵磁巻線とから成り之を輻鐵に取付ける。タービン發電機は之に反し 1000 回轉以上 3600 回轉迄の高速を普通とし、機械的強度の點から水車用發電機とは大分違ふ構造である。

即ち同轉磁界は水車用の如く凸極型ではなく圓筒型とし磁極數は少く従つて直徑も小さくなり、且遠心力によつても制限せられるから大容量のものでは勢ひ細長い圓筒狀となる。蓋し發電機の出力は(電機子直徑)²×(鐵心の長さ)に比例するから水車發電機の様直徑を大きくして鐵心長の短かい換言すれば平たい外形のものとする事も出来るし或はタービン發電機に於ける如く直徑を小さくして長さを大となした細長い構造のものとする事も出来る譯である。

タービン發電機は通常密閉通風式を採用し熱せられた空氣を冷却器で冷却した後再び循環せしめる。冷却用媒體として水素を用ふれば冷却作用大で損失が少い事が研究されて居る。

4.3.3. 誘起電力

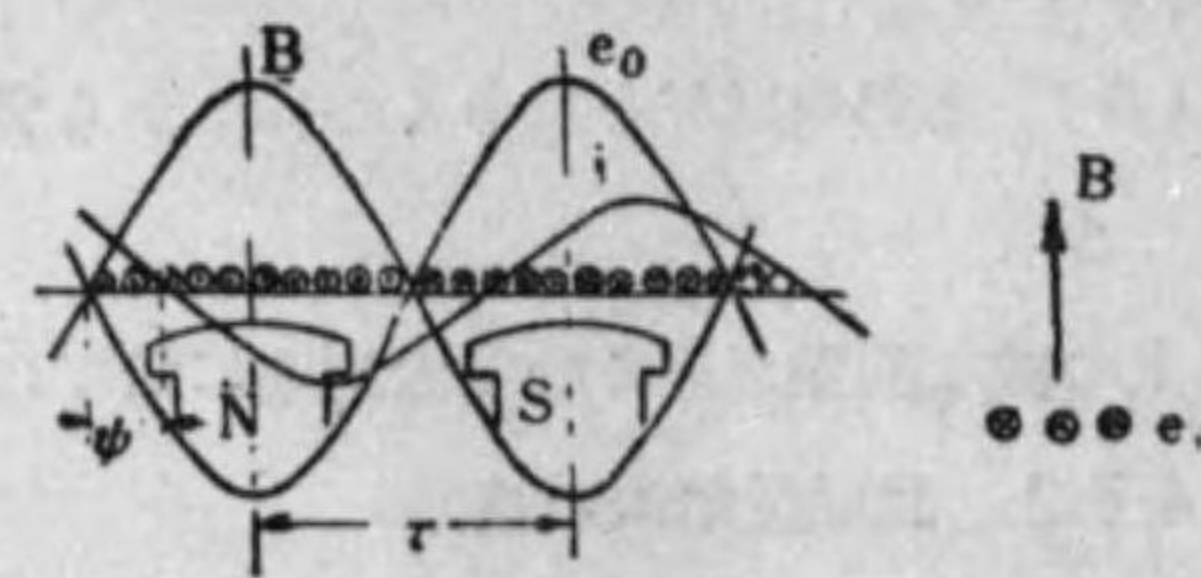
同轉界磁型に於て圖に示す様に極間隔 τ の界磁が矢の方向に v 糧/秒の速度で移動する場合一つの電機子導體

に誘起される起電力は磁束密度を B 、導體の長さを l 糧とすれば

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

で表はされる。

即ち誘起電力は磁束の空間分布と同一波形であつて B が正弦波分布を爲すものとすれば NS 極間の中心線が或る導體の位置に來た瞬間から起算して時刻 t に於ける磁束密度は



第 93 圖

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

となり、従つて

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

となる。換言すれば一般的に線輪の巻數を N とし最大磁束數を Φ_m とすれば

$$e = 2\pi f N \Phi_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \dots \dots \dots (4.41)$$

但し

$$\omega = 2\pi f = 2\pi n p$$

n は線輪と磁極の毎秒の相對速度

p は磁極の對數

この起電力の實効値を E とすれば

$$E = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot 2\pi f N \Phi_m \cdot 10^{-8} = 4.44 f N \Phi_m \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)} \dots (4.42)$$

今 Z を周邊に於ける有効導體數とすれば

$$Z = \frac{N}{2}$$

であるから

$$E = 2.22 f Z \Phi_m \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)} \dots \dots \dots (4.43)$$

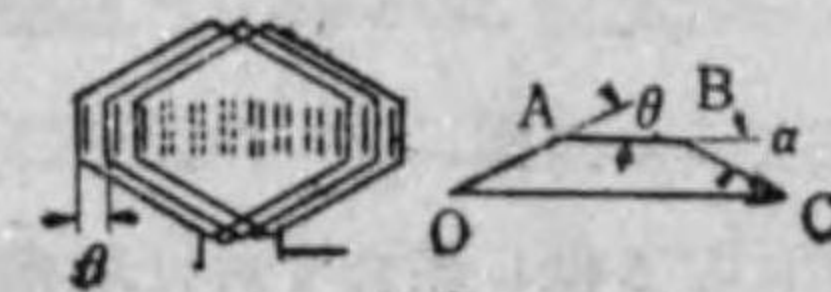
となる。

この導體から電氣的に 180° 隔つた位置にある導體は之と 180° の相差を有する起電力を誘起するから適當に兩導體を接続すれば兩者が加はり合つて

$$E = 4.44 f Z \Phi_m \times 10^{-8} \text{ (ボルト)}$$

なる誘起電力を生ずるのである。

以上は導體が總て一つの溝の中に收められたとした所謂集中巻の場合であるが第 94 圖の様 θ の角度を以て k 個の溝に分布され



第 94 圖

てゐる場合には各溝内導體の誘起電力は \vec{OA} \vec{AB} の如く順次に θ の相差を

有するから線輪端子に於ける合成起電力は \vec{OO} となり集中巻の場合に比較して減少する。この種類を分布巻と云ふ。この點を考慮して巻線係数 k なるものを乗すれば (4.43) 式は次の如く表はされる。

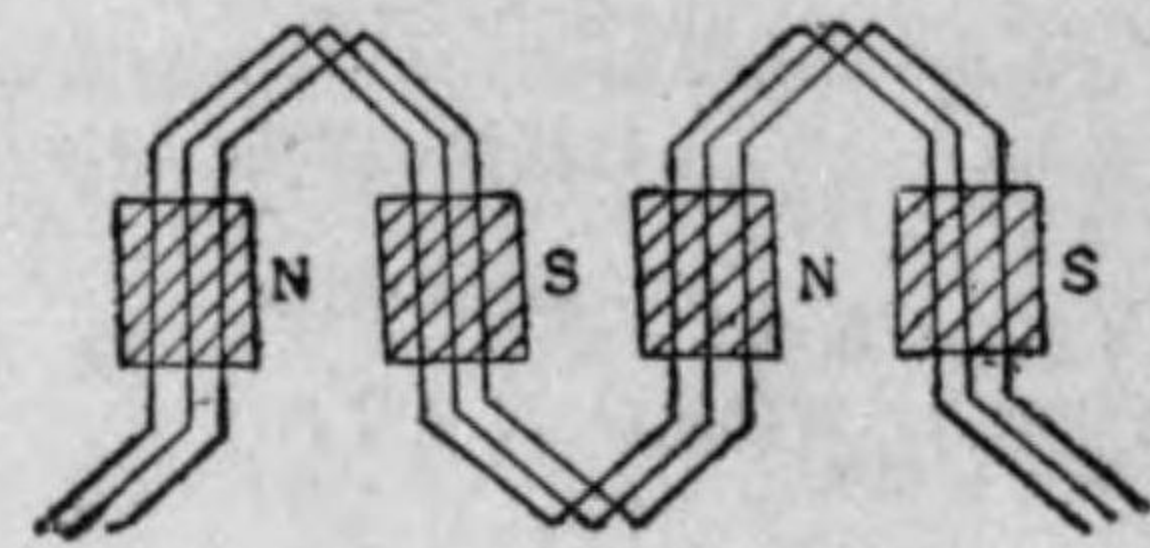
$$E = 2.22kfZ \cdot \phi_m \cdot 10^{-8} \text{ (ボルト)} \dots\dots\dots(4.44)$$

巻線係数 k は夫々實情に適する様に選定するのである。

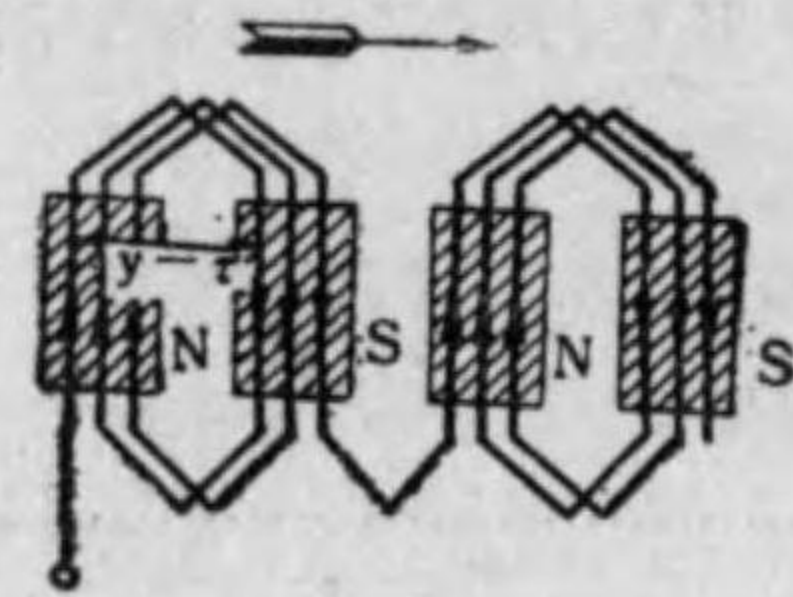
一相の電機子導體を直列に接続するには例へば第 95 圖乃至第 97 圖の如くし夫々、波巻、重巻、鎖巻と云ふ。

4.3.4. 單相機と多相機

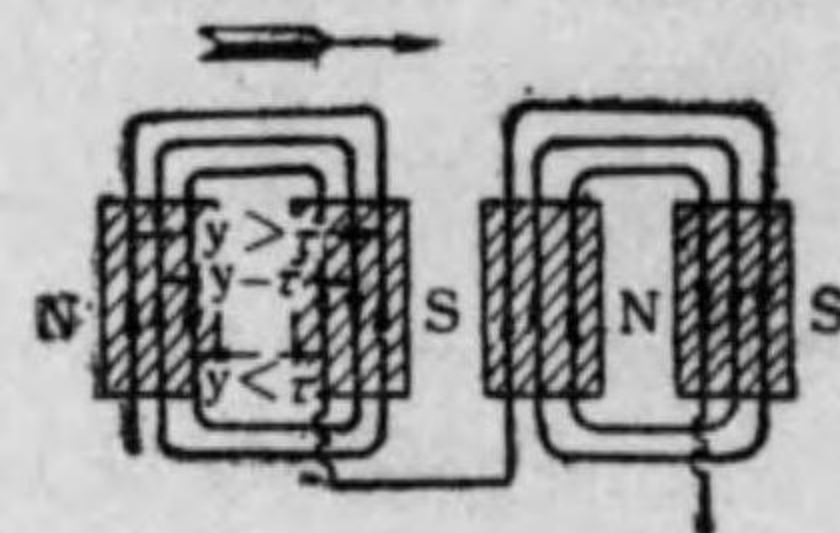
電機子の二極間隔 $2r$ の間を六



第 95 圖

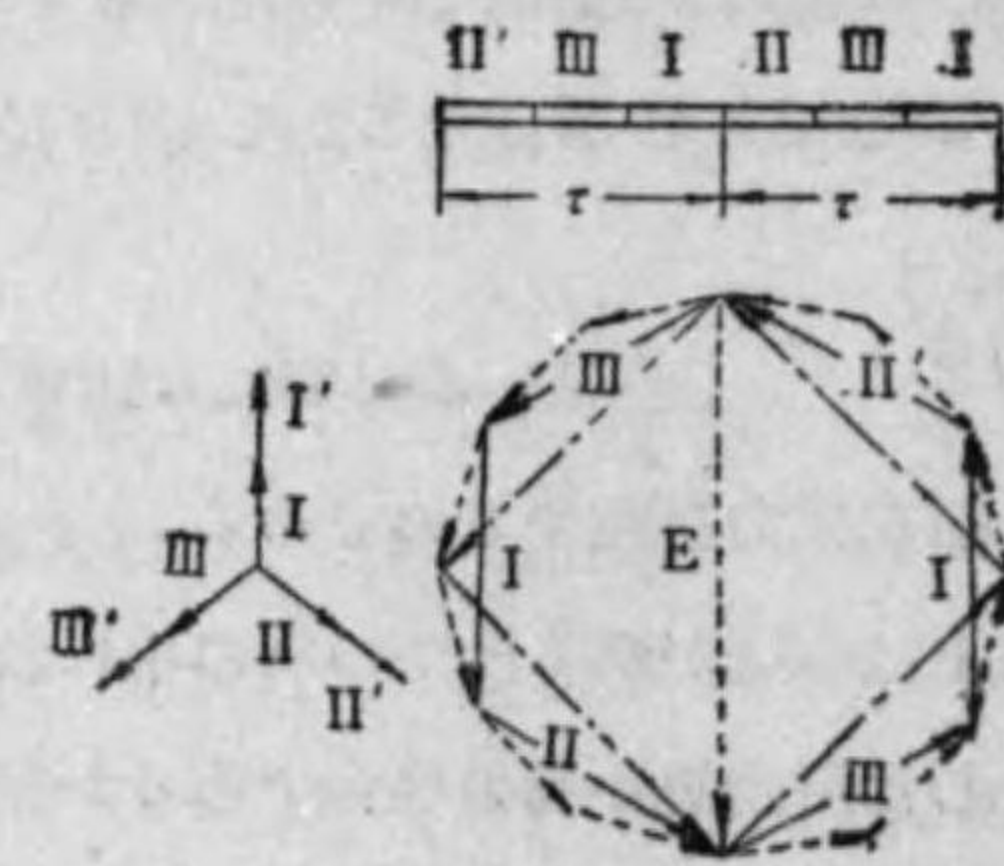


第 96 圖



第 97 圖

等分し各群の導體の起電力が夫々相加はる様に接続すれば合成起電力はベクトル圖で示す様になり $I' II' III'$ を逆にして夫々 I, II, III へ直列に接続すると三相起電力 $2E$ が得られ三相交流發電機となる。同様に $2r$ の間を二等分し之が逆になる様に結合すれば單相發電機となる。



第 98 圖

電機子電流は導體斷面積でさまるから許容電流 I に對し種々の場合に於ける

起電力従つて皮相電力は次表の通となる。

	皮相電力	出力比
單 相	$2EI$	1.00
二 相	$2\sqrt{2}EI$	1.41
三 相	$3EI$	1.50
六 相	$6 \times 2\sin 15^\circ EI$	1.55

この様に相数を増加するに従つて出力は増加するけれ共他方結線方法が複雑になるので三相交流發電機が最も廣く行はれてゐる。

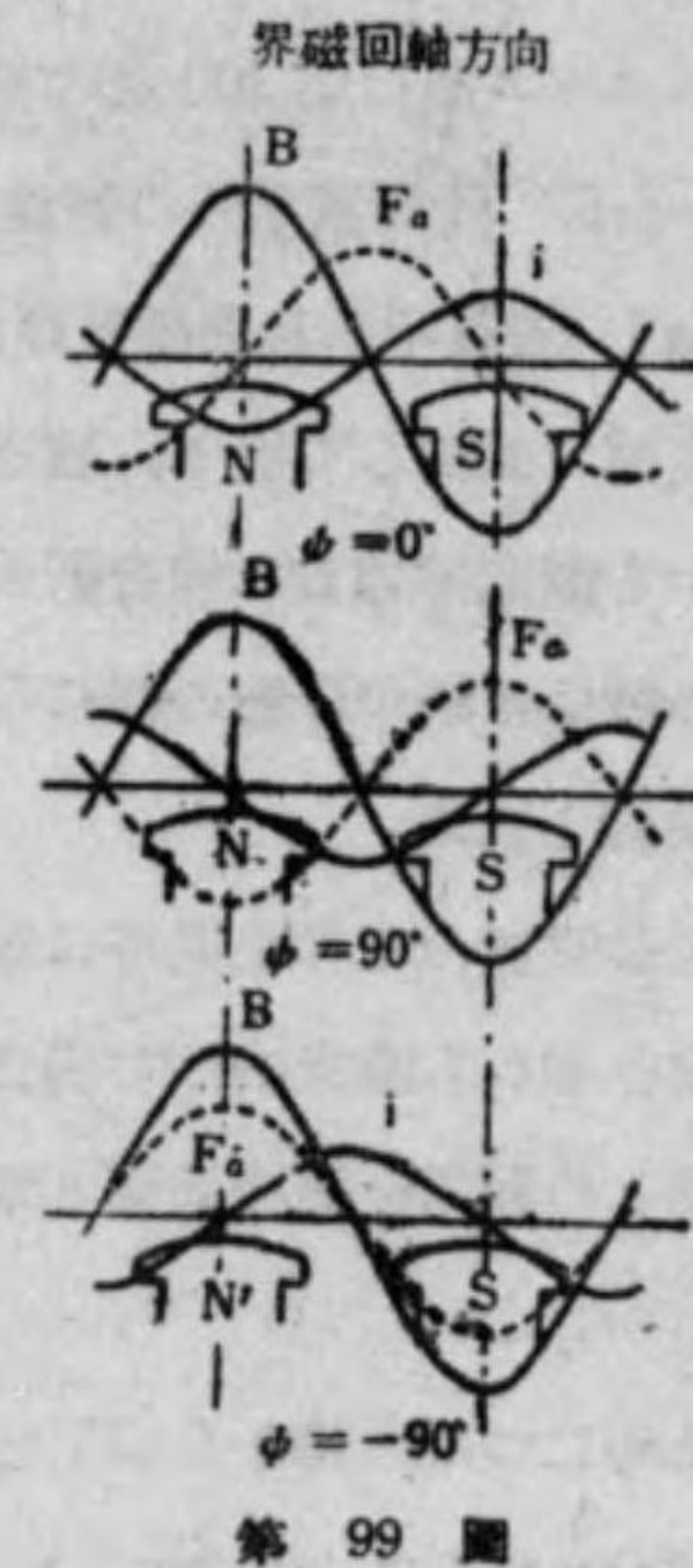
4.3.5. 電機子反作用, ベクトル圖

交流發電機に於ても直流發電機に於けると同様電機子電流が流れる事により電機子反作用を生ずる。但し此の場合には負荷の力率 $\cos\phi$ によつて誘起電流と電機子電流との位相關係が變化するから電機子反作用の影響も回路の力率によつて變化する事となる。

(a) $\phi=0$ の場合 此の場合には誘起起電力と電流とが同相にあり起電力が最大の時電流も亦最高値となりその結果電機子反作用は各磁極の半分を磁化して強めると共に他の半方を弱める。但し一極當りの磁極数は變らない。

(b) $\phi=90^\circ$ の場合 全磁極に對して減磁作用をなす。

(c) $\phi=-90^\circ$ の場合 前の場合の逆で増磁作用をなす。三相交流の場合には起磁力の基本波丈を考ふれば合成起磁力は相同轉の方向に同期速度で回轉する正弦波狀の磁界を生じその最大値は常に電流最大なる巻線の軸方向にあるから電機子反作用に就ては上記の場合と同様に考へる事が出來



第 99 圖

る。

次に電圧降下に関し一般にリアクタンスに遅電流が流れると端子電圧は降下し、進電流が流れると上昇するから電機子反作用が端子電圧に及ぼす作用は一つのリアクタンス x' を以て表はす事が出来、 x' と漏洩リアクタンス x との和

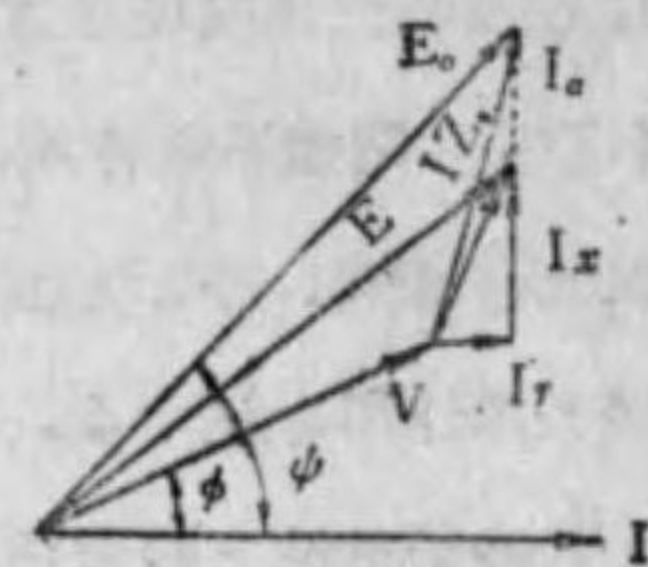
$$x_s = x + x' \dots\dots\dots(4.45)$$

を同期リアクタンスと云ひ、又

$$Z = r + jx_s \dots\dots\dots(4.46)$$

を同期インピーダンスと云ふ。通常 x_s は r の十倍前後の値を有する。

今 V を電機子端子電圧、 E_0 を無負荷端子電圧、 E を負荷時の誘起電圧、 $I Z_s$ を同期インピーダンスによる電圧降下とすれば無負荷電圧 E_0 なる巻電機に電流 I が流れる時端子電圧は $\dot{V} = \dot{E}_0 - I Z_s$ となりベクトル圖は第100圖の様になる。

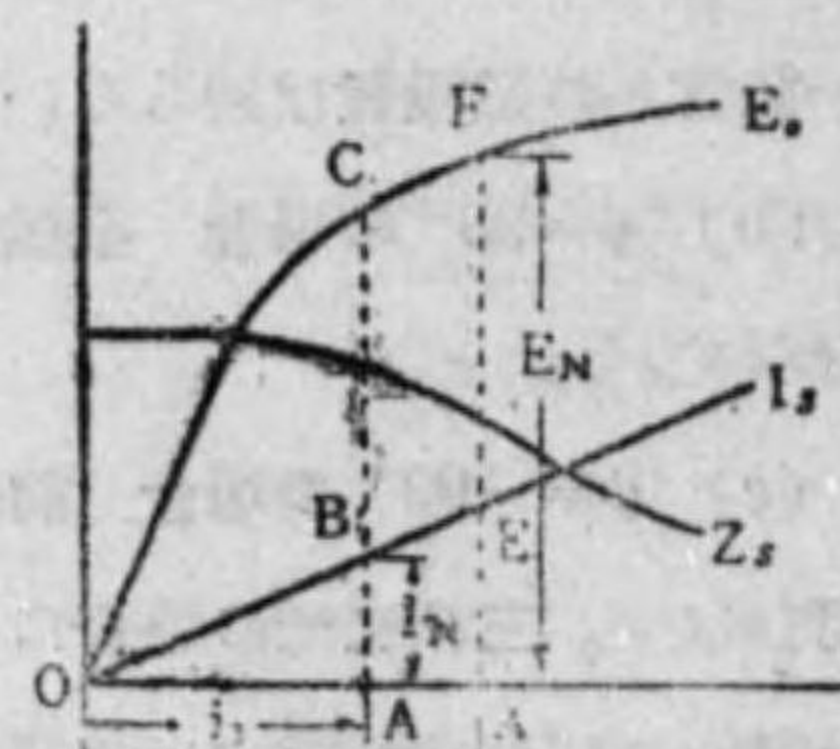


第100圖

4.3.6. 同期發電機の特性

(a) 無負荷飽和曲線及び短絡曲線 直流機の場合と同様、同期發電機を一定同轉で運轉して置き、發電機の勵磁電流を零から漸次増加した場合誘起電圧と勵磁電流との關係は第101圖の様になり之を無負荷飽和曲線と云ふ。

又發電機の三相を同時に短絡して置き勵磁電流を零から漸次増した場合線路電流と勵磁電流との關係を短絡曲線と云ふ。(第101圖の I_s)



第101圖

是等二つの曲線から E_0 と I_s との比 $\frac{E_0}{I_s}$ を求むれば之が即ち同期インピーダンスである。

定格速度無負荷で定格電圧 E_N を發生するに要する勵磁電流 i_0 と短絡時に定格電流に等しい短絡電流を生ずる爲の勵磁電流 i_1 との比を

$$k_s = \frac{i_0}{i_1} \dots\dots\dots(4.47)$$

とした時この k_s を短絡比と云ふ。

k_s は通常 0.6~1.5 の間にあり同期インピーダンスの大きい機械は短絡電流 I_s が小さいから短絡比も小さい。

同期インピーダンスが大きい事は電機子反作用の大きい事を意味するがこれは磁極と電機子間の空隙が小さく、界磁の起磁力が電機子起磁力に對して小さい事であつて換言すれば界磁の銅及び鐵が切詰つてゐる事を意味し、結局短絡比の小さい機械は重量が軽く、反對に k_s が大きい機械は電機子反作用が小さく重量大で餘裕がある事を意味する。

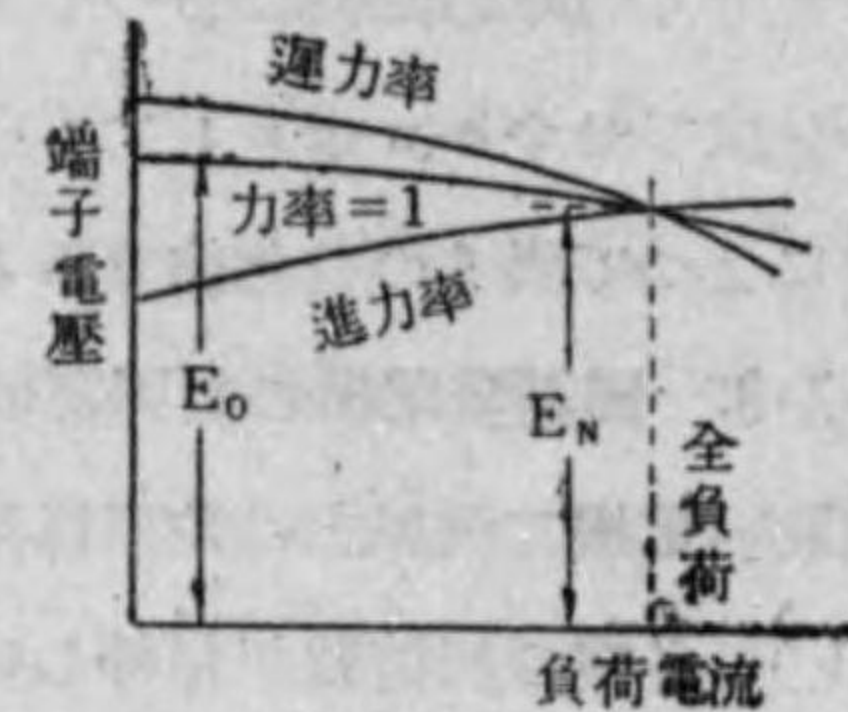
(b) 外部特性 勵磁電流と負荷の力率を一定として負荷電流を變へた場合端子電圧と負荷電流との關係を示すものを外部特性と云ふ。(第102圖)

無負荷電圧 E_0 と全負荷電壓 E_N との差と全負荷電壓との比を百分率で表はしたものを電壓變動率と云ふ。

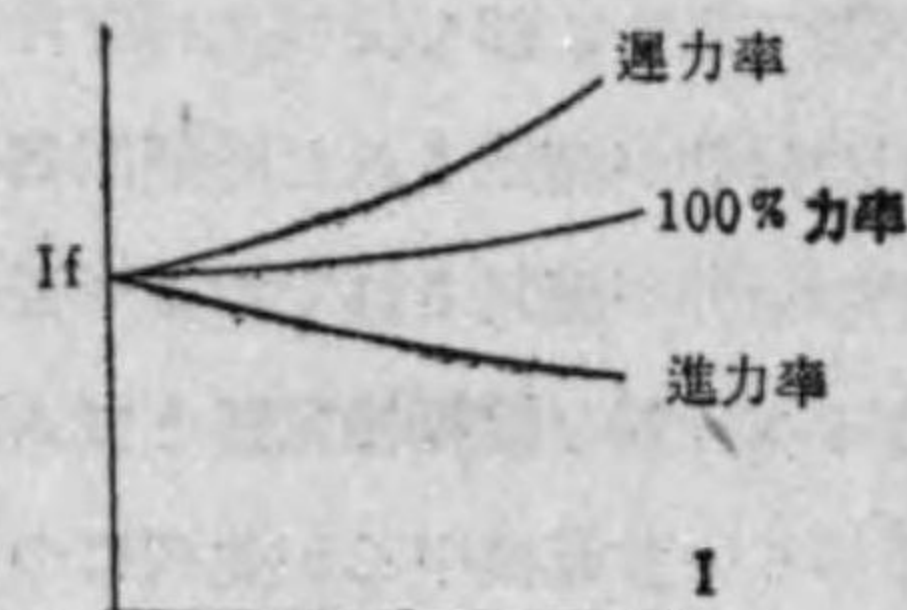
力率の悪い程變動率は大であり適當なる進力率の場合には負荷の増加と共に却つて端子電壓の上昇を來す。

(c) 界磁特性曲線 端子電壓並に負荷の力率を一定とし、負荷電流の變化に對する勵磁の増減を示すものが界磁特性曲線である。

第103圖はその例を示し力率によつて曲線の形が異なる。



第102圖



第103圖

(d) 負荷飽和曲線 負荷飽和曲線とは或る負荷電流或る力率の場合端子電圧と勵磁電流との関係を示すものである。第104圖はその一例を示す。

4.3.7. 定格及び損失

同期發電機の出力は主として溫度上昇によつて制限されるが、ヒステリシス及び渦流損失等に基く鐵損を左右するものは磁束即ち電壓であり、銅損を左右するものは電流であるから鐵損及び銅損による溫度上昇は電壓、電流によつて決定せられ力率には関係しない。その外摩擦損、風損等の機械的損失がある。タービン發電機の様高速のものに於ては風損が相當目立つて來る。

而して發電機の出力は負荷の力率によつて左右され如何に電壓が高く又は電流が大でも力率の如何によつて異なるから同期發電機の容量を表はすにはキロワットを以てせずキロボルトアンペアを以てするのが普通である。能率も負荷の力率によつて異なるのは勿論である。

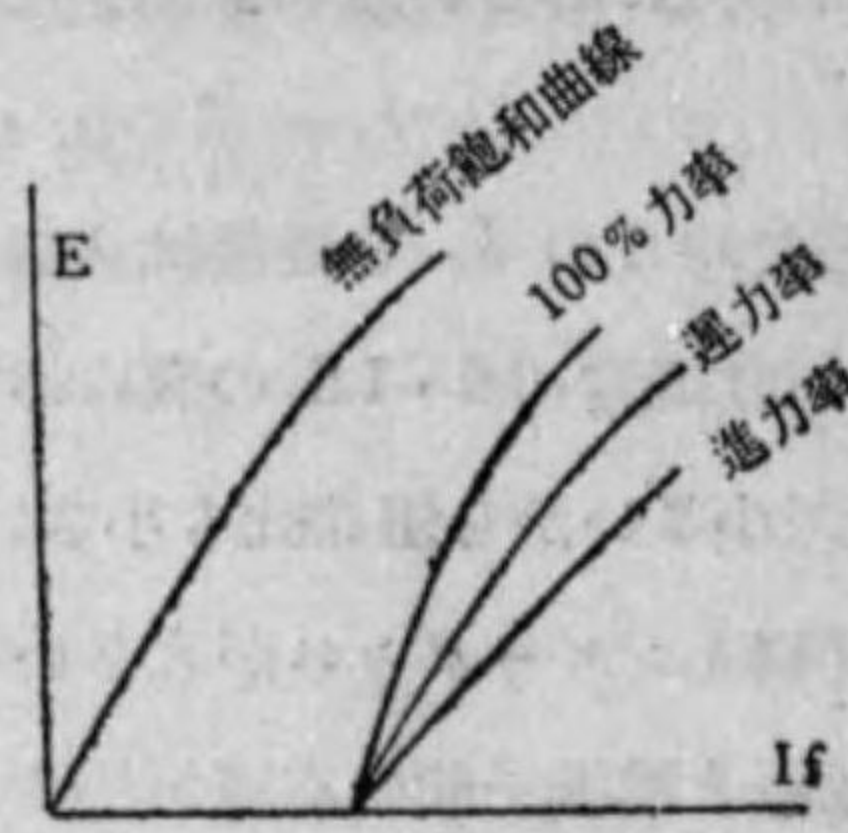
4.3.8. 同期發電機の並列運轉

同期發電機二機以上の並列運轉を行ふ場合には

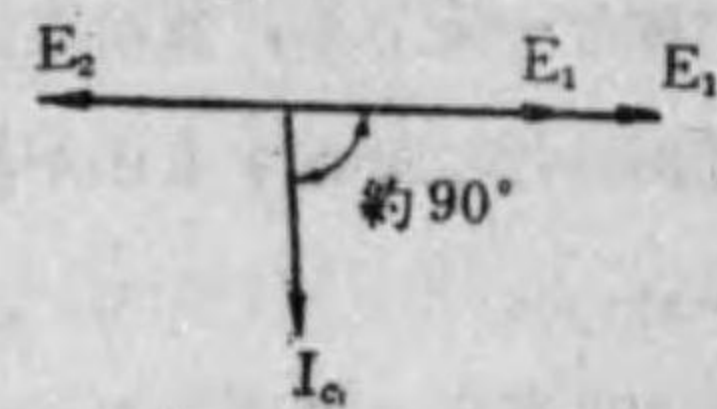
- (1) 各機の周波数が相等しいこと
- (2) 起電力相等しくその位相が一致してゐること

が必要である。即ち併列運轉を行はんとする發電機は速度及び勵磁を加減して上記の條件が満足された時開閉器を入れるのであつて之を同期化すると云ひ、上記の條件が満足されてゐるや否やを知る爲に用ひらるゝ計器を同期檢定器と云ふ。

相等しい發電機甲乙が並列につながれ無負荷運轉をしてゐる場合兩機の誘起電力 E_1 及び E_2 は第105圖の如くであつて合成起電力は零であるか



第 104 圖



第 105 圖

ら電機子回路には電流は流れない。

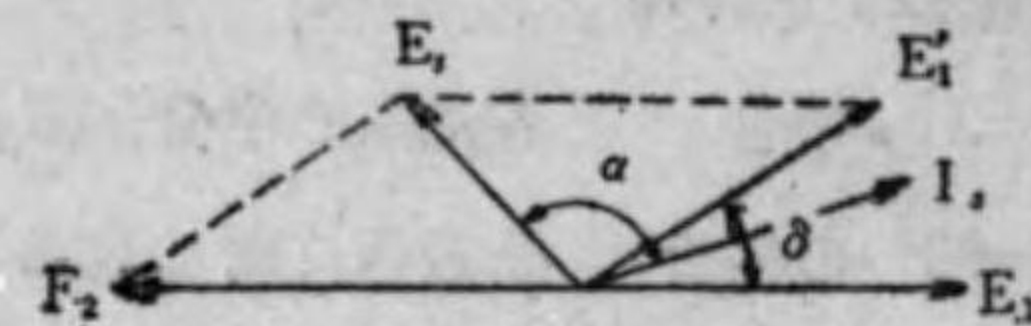
この時甲の勵磁を強くすると E_1 は E_1' となり

$$I_0 = \frac{E_1' - E_1}{2Z_s}$$

(但し Z_s = 同期インピーダンス)

なる電流が流れ、その位相は $\tan^{-1} \frac{x_s}{r} \approx 90^\circ$ 丈 E_1 より遅れるから甲の界磁は弱められ電圧は減するが Z に対しては 90° の進電流となるから界磁を強め電圧を増す。

即ち兩機の端子電圧は等しくならうとする傾向がある。 I_0 は力率殆んど零で單に兩機の間を循環して電機子巻線を熱するのみである。



第 106 圖

又甲の速度が少し上昇した場合には起電力 E_1 は第106圖の様に δ 丈進み E_1' となる。

E_1 と E_1' の合成起電力の爲之より略 90° 遅れた電流 I_0 が流れることとなる。

I_0 は略 E_1 と同相で甲に対しては發電機電流となり甲の負荷を増加させる様に働くが E_2 に対しては 180° の相差を有するから電動機電流となり Z の負荷を減少させ様とする。従つて位相の進んだ甲は速度が下り乙は速度が上つて常に自動的に兩機を同一速度に保たうとするのである。この I_0 を同期化電流と云ふ。

負荷電流が流れてゐる場合にも一方の勵磁を強めると 90° 遅れた無効循環電流が流れて電圧を下げ、他方に対しては進電流となつて電圧を上げ端子電圧を一定に保たうとする事は無負荷の場合と同様である。

總括 同期發電機

1. 磁極數と速度及周波數の關係

$$f = \frac{pn}{60} \text{ (サイクル)}$$

2. 同轉界磁型と同轉電機子型との優劣

3. 發電機の同轉數

水車直結用は數十乃至 1000 同轉程度迄、蒸汽タービン直結用は 1000~3600 同轉迄

4. 發電機の誘起電力

$$E = 4.44f\phi_m \times 10^{-8} \text{ (ボルト)}$$

5. 單相機と多相機

6. 電機子反作用

$\varphi = 0^\circ$ の場合 各磁極の半分を磁化し強めると共に他の半分を弱める。

$\varphi = 90^\circ$ の場合 全磁極に對し減磁作用をなす。

$\varphi = -90^\circ$ の場合 上記とは逆に増磁作用をなす。

7. 同期インピーダンス $Z = r + jx_s$ (x_s は同期リアクタンス)

8. 特性曲線

(a) 無負荷飽和曲線 誘起電壓と勵磁電流との關係

(b) 短絡曲線 三相を同時に短絡した時線路電流と勵磁電流との關係

(c) 外部特性曲線 勵磁電流と力率を一定にして端子電壓と負荷電流との關係

(d) 界磁特性曲線 端子電壓及負荷の力率を一定にし負荷電流と勵磁電流との關係

(e) 負荷飽和曲線 端子電壓と勵磁電流との關係

9. 短絡比

定格速度無負荷で定格電壓 E_N を發生するに要する勵磁電流 i_0 と短絡時に定格電流に等しい短絡電流を生ずる爲の勵磁電流 i_1 との比 ($k_s = i_0/i_1$)

10. 同期發電機並列運轉上の注意事項

1. 各機の周波數を等しくすること
2. 起電力相等しくその位相一致すること

11. 併列運轉中

一方の發電機の勵磁を強めた場合

一方の發電機が速度が上昇した場合

12. 同期化電流

練習問題

(1) 圖の様な同期發電機のベクトル圖から OA の長さを縦軸にとり AB の長さを横軸にとれば外部特性曲線が得られる事を證明せよ。

(2) 同期發電機の界磁特性をベクトル圖から求める方法を記せ。

(3) 電壓 6600V 6000 kVA の星形接線の同期發電機あり、機械損+鐵損 110kW、全負荷に於ける勵磁電流は力率 80% の場合 300 アムペア、勵磁機の電壓 250 ボルトで電機子各相の抵抗を 0.065 オームとすればこの力率に於ける能率は幾何か。 (95.3%)

(4) 上記の問題に於て本機を運轉するに要する原動機の馬力を求めよ。 (6755HP)

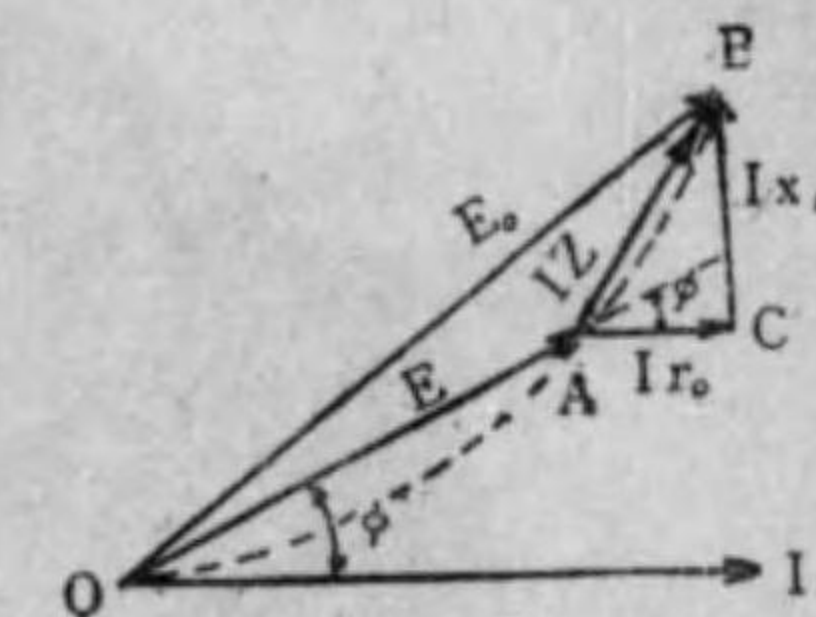
(5) 次に示す如き二基の同期發電機がある

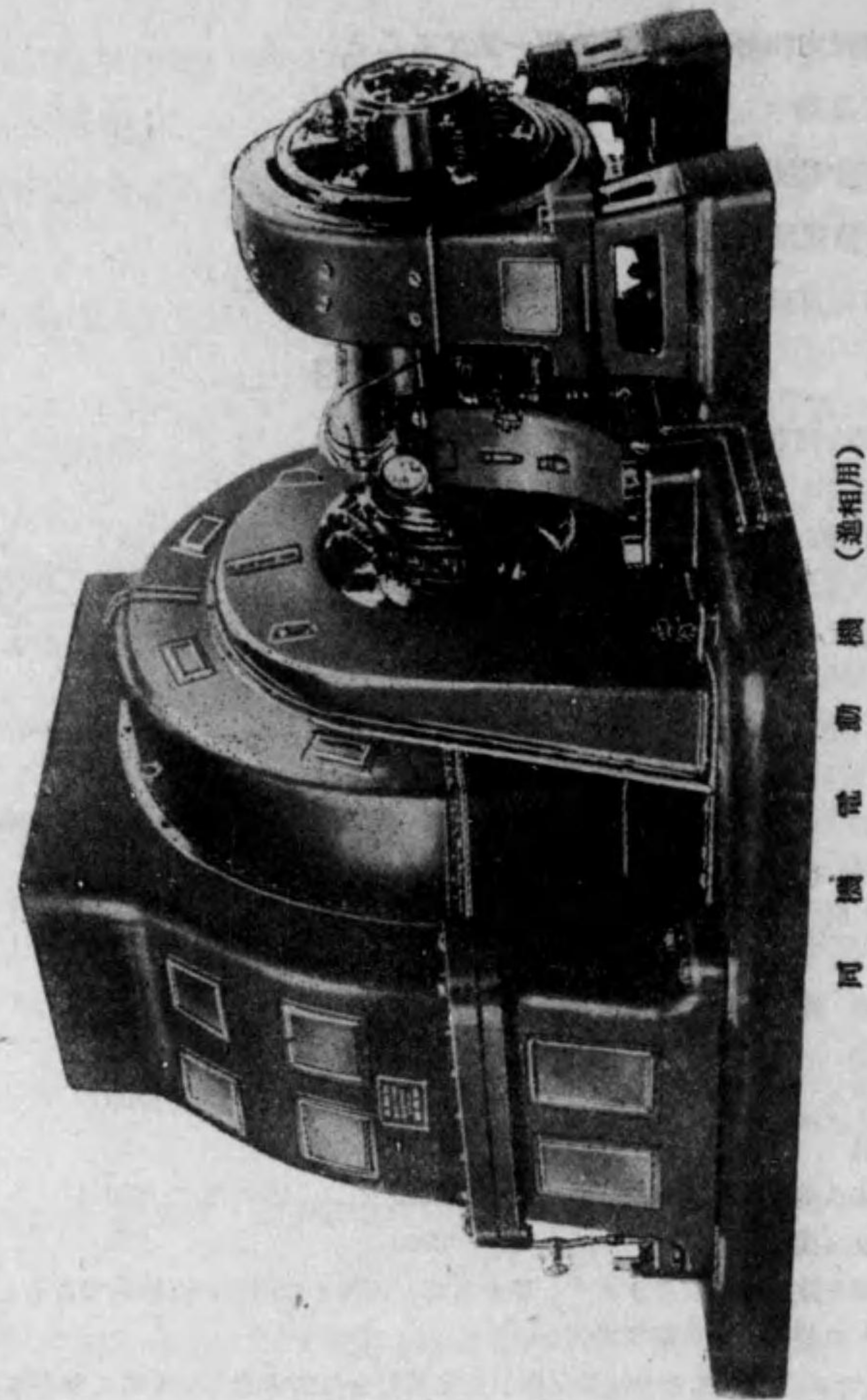
發電機	甲機	乙機
容量(kW)	1500	4000
電壓(ボルト)	6600	6600
極數	2	16
無負荷同轉數/分	3200	380
全負荷同轉數/分	2900	370

この兩機を並列運轉しようとする場合負荷と速度との關係が直線的であるとすれば 50 サイクルの場合の總負荷は幾何か。 (3000 kW)

(6) G_1G_2 なる二基の三相交流發電機が規定電壓全負荷力率 100% にて並列運轉中無負荷となつたとすれば母線の電壓は何程となるか、但し電機子巻線の抵抗を無視し同期リアクタンスを一定とする。尚

G_1 は 5000kVA, 6600V, 全負荷 $P.F=100$ に於ける電壓變動率 20%





同期電動機 (進相用)

C_2 は 10000kVA, 6600V, 全負荷 $P.F=100$ に於ける電圧変動率 30% とする。
(8320V)

4.4. 同期電動機

4.4.1. 同期電動機の原理

同轉界磁型單相同期發電機の電機子巻線に f サイクルの交流を通じ其の値が最大に達した時丁度磁極の中心が巻線の位置に来るとすればフレミングの左手の法則で示される一定の方向に同轉力を生ずるであらう。更に半周波の後電流方向が反對になつた時磁極が一極間隔進んで居れば同轉力は矢張り同方向に生じなければならぬ。

三相發電機の場合電流の最大値は相同轉の方向に移るから磁極が之と同期的に廻つて居るとすれば同轉力は常に同一方向に生ずる理である。この時の速度は $n = \frac{60}{p} \cdot f$ で表はされる。

斯の如く同期速度で同轉する電動機を同期電動機と稱しその構造は同期發電機と同様である。

同期電動機はその原理上自ら起動する事は出来ない。換言すれば静止の状態に於て急に外部から交番電圧を加へても起動同轉力を發生しない。然し何等かの方法で一旦同期速度の運轉に入れば其の後は同じ方向に同轉力が生じて同轉を繼續するものである。

4.4.2. 同期電動機の構造

上述せる如く同期電動機の構造は同轉界磁型の同期發電機と同様であるがたゞ起動同轉力を生ぜしめる爲同轉子の周圍に誘導電動機に於ける籠型同轉子の様な短絡巻線を配置し之を起動巻線と稱する。起動巻線の作用により起動時は籠型誘導電動機として働き漸次加速して同期速度に達すると同期電動機となるのである。

4.4.3. 出力と同轉力

今甲、乙二つの同期機が無負荷で並行運転を爲してゐるとし夫等の誘起電力を E_g 及び E_m とする。この時 E_g, E_m は互に 180° の相差をなし循環電流は零である。若し乙機の磁極が甲機よりも δ 丈遅れて廻つてゐるとすれば E_m のベクトルは δ 丈遅れ合成起電力従つて循環電流 I は次式によつて與へられる。

$$I = \frac{E_s}{2Z_s}$$

但し $E_s =$ 合成起電力
 $Z_s =$ インピーダンス

この I は E_g に対しては発電機電流であり、 E_m に対しては電動機電流となる。

扱乙機に機械的負荷が掛かつてゐるとすれば E_g と I との相差 ϕ に対し $E_g I \cos \phi$ なる電力が甲から乙へ供給され負荷が大となるに従つて δ も大となる。今 E_g は一定値 V を保つものとして E_m の正方向を V と逆の向にとつて之を E'_0 とすれば V, E'_0, I, Z_s 等の関係は第107圖のベクトルによつて示される。

このベクトル圖に於て原點を通り端子電圧 V のベクトルと α なる角をなす直線 x 及び $\alpha - \delta$ なる角をなす直線 x' を引いて V, E'_0, I, Z_s 等のベクトルを x 上に投影すれば

$$IZ_s \cos \phi = V \cos \alpha - E'_0 \cos(\alpha + \delta)$$

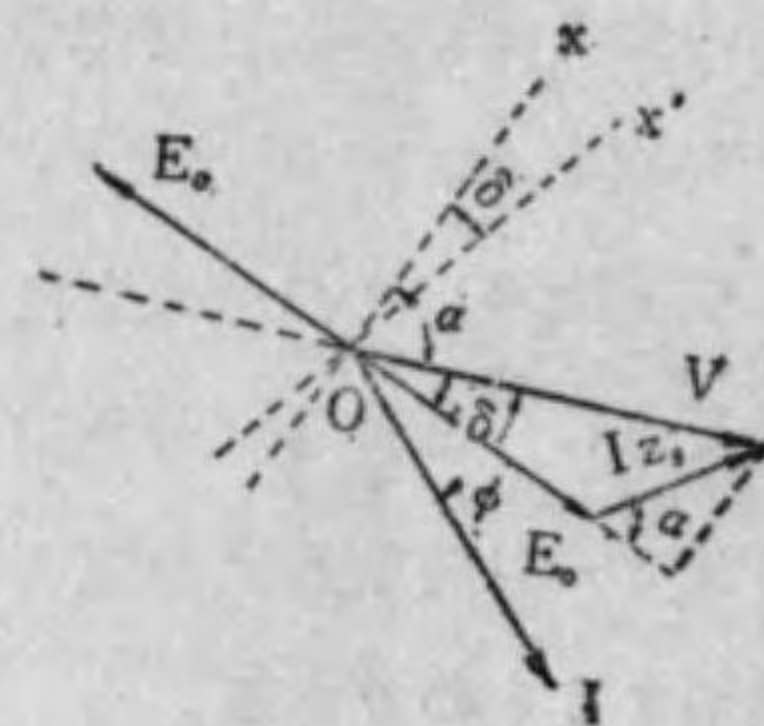
従つて
$$I \cos \phi = \frac{V}{Z_s} \cos \alpha - \frac{E'_0}{Z_s} \cos(\alpha + \delta) \dots\dots\dots(4.48)$$

となる。

又三相同期電動機の入力 P_1 は (4.48) 式より

$$P_1 = 3VI \cos \phi = 3 \left[\frac{V^2}{Z_s} \cos \alpha - \frac{VE'_0}{Z_s} \cos(\alpha + \delta) \right] \dots\dots(4.49)$$

となるが V, Z_s, α は共に一定であるから勵磁電流従つて E'_0 が一定ならば



第 107 圖

P_1 は回轉子の遅れの角 δ のみの函数である。

機械的出力は上記の入力から銅損を差引いた残りであるから之を P_2 とすれば

$$P_2 = P_1 - 3I^2 r = 3E'_0 I \cos(\phi - \delta) \dots\dots\dots(4.50)$$

之中には鐵損並びに機械的損失をも含んでゐる。次にベクトル V, E'_0, I, Z_s 等を直線 x' 上に投影すれば

$$I \cos(\phi - \delta) = \frac{V}{Z_s} \cos(\alpha - \delta) - \frac{E'_0}{Z_s} \cos \alpha \dots\dots\dots(4.51)$$

従つて

$$P_2 = 3 \left[\frac{VE'_0}{Z_s} \cos(\alpha - \delta) - \frac{E'^2_0}{Z_s} \cos \alpha \right] \dots\dots\dots(4.52)$$

通常の同期機に於ては α は略 90° であるから δ が小さい場合には

$$P_2 \approx \frac{VE'_0}{x_s} \sin \delta \approx \frac{VE'_0}{x_s} \delta$$

となり結局機械的出力 P_2 も亦 δ のみの函数である事が分る。

同期電動機に於ては速度が一定であるから P_2 は回轉力を代表するものと考えられる。斯様に P_2 を以て回轉力を代表させた場合に之を同期ワットで表した回轉力と云ふ。

同期電動機の運転中相差角 δ が $d\delta$ 丈増した時出力は dP_2 丈増すから負荷一定の場合には加速して元の状態に戻る。即ち

$$P_2 = \frac{dP_2}{d\delta} = 3 \frac{VE'_0}{Z_s} \sin(\alpha - \delta) \approx 3 \frac{VE'_0}{x_s} \cos \delta \dots\dots\dots(4.53)$$

なる関係があり P_2 を同期化力と云ふ。

然し負荷が増加するに従つて δ も増し $\delta = 90^\circ$ で最大値を採るが之れ以上に負荷が増加すると上式の P_2 は 0 となつて、不安定となるから同期速度を保つ事が困難となり遂に停止するに至る。之を脱調と云ふ。

實際の機械では $\delta = 50 \sim 70^\circ$ で脱調しこの時の最大回轉力を脱出回轉力と云ふ。

4.4.4. ブロンデル線圖と V 曲線

第 107 圖に示すベクトル圖を少しく書き改めて第 108 圖の様に出来る。

即ち oa を以て V を, ob を以て IZ_s を, ab を以て E_0 を表はし

更に $0a$ と $\alpha = \tan^{-1} \frac{x_s}{r}$ の角をなす如く直線を引いて二等邊三角形を作りその一邊 ac を Y 軸とする直交軸 aX aY に関する b 點の座標を xy とすれば

$$E_0^2 = x^2 + y^2$$

$$E_0 \cos(\alpha - \delta) = x$$

之を (4.52) 式に代入すれば

$$P_2 = 3 \left[\frac{V}{Z_s} x - \frac{\cos \alpha}{Z_s} (x^2 + y^2) \right]$$

此の式を x, y に就て整理し, 且 $\cos \alpha \frac{r_0}{Z_s}$ なることに留意すれば

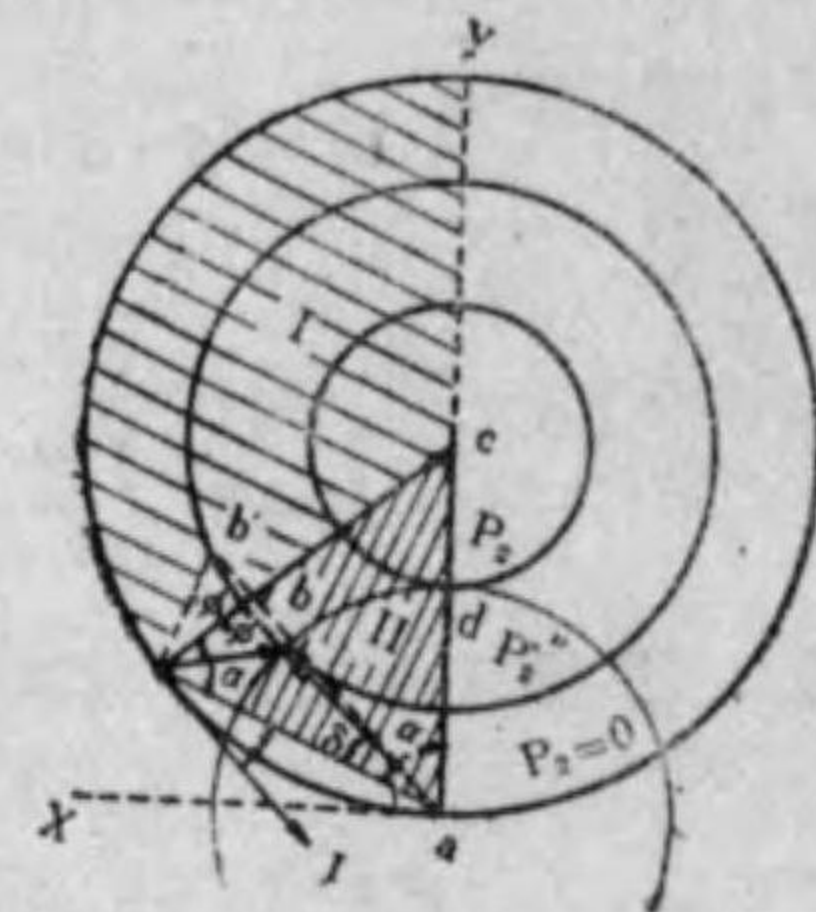
$$\left(x - \frac{V}{2 \cos \alpha} \right)^2 + y^2 = \frac{Z_s^2}{r^2} \left(\frac{V^2}{4} - \frac{P_2 r}{3} \right) \dots \dots \dots (4.54)$$

(4.54) 式は明かに $\left(\frac{V}{2 \cos \alpha}, 0 \right)$ の點即ち C 點を中心とし $\frac{Z_s}{r} \sqrt{\frac{V^2}{4} - \frac{P_2 r}{3}}$ を半径とする圓を表はす。

無負荷の時は $P_2 = 0$ であるから $R = \frac{V}{2 \cos \alpha} = ca$ で aO を通過する圓となり負荷 P_2 の増加と共に R は小さくなる。

又 $\triangle Oab$ に於て Z_s は一定であるから Ob を以て電流 I の尺度とする事が出来るし $\angle Ob = \phi$ であるから之を以て力率の角を表はさせる事が出来る。 ab は勵磁電流を表はす。

力率 1 の場合には b 點は Oe 上に來るから電機子電流は最少となり之より勵磁を増せば b は Oe の左方に移つて進電流となり之より勵磁を弱めれば右方



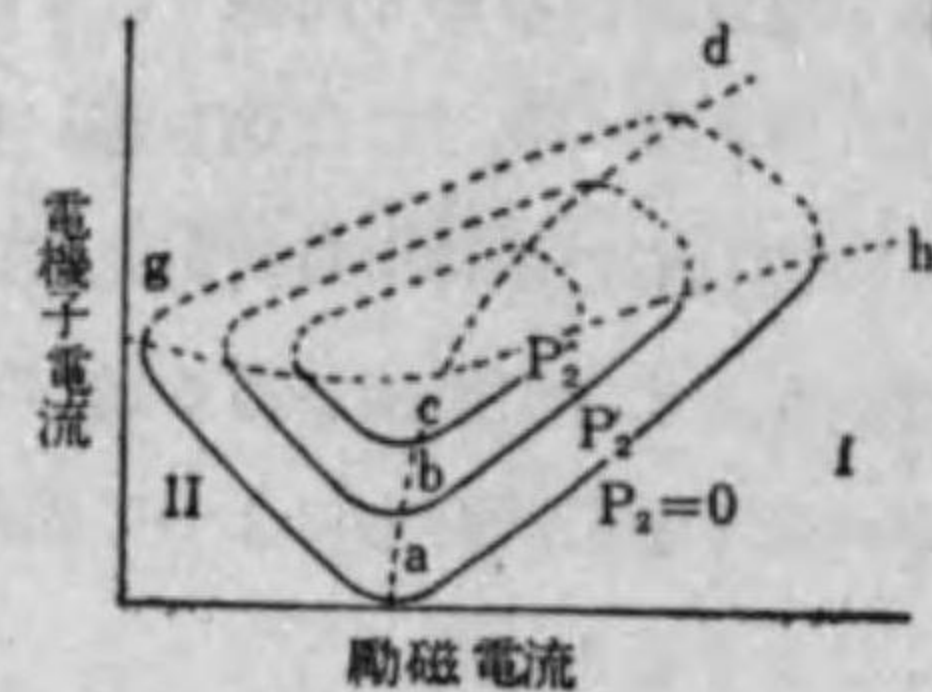
第 108 圖

に移つて進電流となる。

又 E_0 を一定に保つ場合 b の軌跡は a を中心とし E_0 を半径とする圓で表はされるから負荷が増すに従つて b 點は此の圓周上を右方に移動し ac との交點 d に於て P_2 一定の軌跡の圓と切する。この P_2 はこの場合出し得る最大出力であつて ac より右では P_2 が減少し, 不安定である。斯の如くこの線圖によつて同期電動機の各種の性能を表はす事が出来, 之を**ブロンデル線圖**と云ふ。

次に出力一定の場合勵磁電流と電機子電流との關係は第 109 圖の様な形となるが之は V -曲線又は**位相特性曲線**と稱せられ $P_2'' > P_2' > P_2$ で曲線の gh より上の部分是不安定であり谷底 a, b, c は力率 1 の點, ad より右方は進力率, 左方は遅力率の範圍を示す。

斯の如く同期電動機は勵磁電流の加減によつて, 其の力率を自由に調整し得るから線路に無負荷の同期電動機を接続して置き勵磁電流を加減して負荷の綜合力率を 1 に近く保たしめる事が出来る。この目的に使用せられる同期電動機を**同期調相機**又は**同期進相機**と云ふ。



第 109 圖

4.4.5. 同期電動機の起動法

(a) **起動電動機を用ふる方法** 起動せんとする同期電動機の極對數を p とすれば $(p-1)$ 對極で同期速度が少し高い巻線型誘導電動機を結合し之によつて起動し加速してから同期電動機を勵磁してその周波數電壓及び位相が電源側と一致した時電源に接続して同期化する。この起動方法は起動回轉力は小さく同期調相機の起動等に用ひられる。運轉中は起動用電動機は外しく置く。

(b) **自起動法** 磁極面に溝を設けて籠型回轉子と同様な導體を挿入し端部を短絡環で結合する。斯の如き電機子に三相電壓を加へると回轉磁界を發生し起動巻線に誘起する電流との間に回轉力を生じて起動し終に同期速度に達す

る。此處に於て勵磁回路を閉ぢて主磁束を作れば同期化力が作用して同期速度に引入られるのである。

同期速度に於ては回轉子は回轉磁界と同一速度で回轉するから起動巻線には少しも起電力を誘起せず、従つて何等の障害とならない。界磁巻線は起動時回轉磁界によつて高電壓を誘起せぬ様に適當な抵抗で短絡して置く方がよい。

この方法も起動回轉力は通常の誘導電動機に比して著しく少いから出来る丈輕負荷で起動させる必要がある。

4.4.6. 亂 調

同期電動機が運轉してゐる場合は誘起々電力が端子電壓に對し負荷に相當した角變位 δ を生じた時始めて電動機として電力を受入れるものである。

同期發電機の場合も同様であるが電動機の場合には誘起々電力が端子電壓より遅れ發電機の場合には進む點が相違する。

同期電動機の運轉中負荷が急激に變化すると之に應じて δ は新しい値 δ' に落付かうとするが慣性がある爲 δ' の前後に周期的變動をなし損失や速度の不同等に基く制動回轉力によつて振動の振幅が漸次減衰して最後の δ' に落付く事になるである。

又電源の電壓、周波數が周期的變動をする様な場合にも回轉速度を一定に保たうとして δ が周期的に變化する。

この様に同期機の相差角 δ が同期速度を中心として其の前後に周期的變動をなし電流の振幅が周期的に變化する現象を亂調と云ふ。

この亂調に對する制動作用を働かせる爲に磁極面に籠型巻線を施す方法が行はれ之を制動巻線と云ふ。前述の起動巻線は制動巻線としても役立つものである。

以上述べた事項を更にすこしく解析的に述べよう。

今同期電動機が負荷に相應した相差角 δ を以て運轉中であるとすればこの時の同期化力は (4.53) 式に示す如く

$$P_s = \frac{dP_2}{d\delta} = 3 \frac{VE'_0}{Z_s} \sin(\alpha - \delta)$$

で與へられる。

この場合磁極が1ラヂアン變位した場合之を元に引戻さうとする回轉力 τ_s は同期速度を n とすれば (n は rps で表はす)

$$\tau_s = \frac{P_s}{2\pi n \times 9.81} = \frac{pP_s}{2\pi f \times 9.81} \text{ (廷・米)} \dots\dots\dots(4.55)$$

又電動機回轉子の慣性能率による回轉力 P_M は慣性能率を I とし同期速度からの變位角を θ とすれば

$$T_M = \frac{I}{p} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} \dots\dots\dots(4.56)$$

扱回轉子が同期速度に相當する δ の前後に θ の變位をするものとすれば電機子電流に基く磁束は磁極との間の相對速度 $\frac{d\theta}{dt}$ に比例して磁極面に誘起電流を生じ之によつて其の運動は制動される。即ち制動回轉力 T_b は

$$T_b = q \frac{d\theta}{dt} \dots\dots\dots(4.57)$$

で表はされる。但し q は定數である。

然して δ からの變位 θ に基く同期化回轉力 T_s は

$$T_s = \tau_s \theta = \frac{pP_s}{2\pi f \times 9.81} \theta \dots\dots\dots(4.58)$$

である。

故に一般運動方程式は次の如く表はされる。

$$\frac{I}{p} \cdot \frac{d^2\theta}{dt^2} + q \frac{d\theta}{dt} + \tau_s \theta = T_b \dots\dots\dots(4.59)$$

但し T_b は外部から作用してゐる回轉力の變動分である。扱 (4.59) 式の餘函

數を求めると $q^2 < \frac{4\tau_s I}{p}$ の場合即ち振動的の場合には

$$\theta = A e^{-\frac{q}{2I} t} \sin \sqrt{\frac{p\tau_s}{I} - \frac{p^2 q^2}{4I^2}} \dots\dots\dots(4.60)$$

減衰振動の周波数 f_0 は $\frac{Pq^2}{4I^2} \ll \frac{p\tau_s}{I}$ であるから

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{p\tau_s}{I}} = \frac{240}{n} \sqrt{\frac{p_s f}{GD^2}} \dots\dots\dots(4.61)$$

但し P_s は相差角 δ に對する同期化力

$$I = \frac{GD^2}{4g} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^2)$$

である。

(4.61)式より分る通り減衰率を大にするには q を大きくする必要がある。

負荷によつて強制振動を生じ f_0 が同轉力の高調波の或るものと一致する様な場合には共振を生じ θ の振幅従つて電流が大となり遂には安定なる運轉が繼續出来ない様な事も起り得るのである。之を防ぐ爲には I を大きくする爲蓄勢輪を附する等の手段が考へられる。

4.4.7. 誘導電動機と同期電動機との比較

同期電動機が誘導電動機に比較して利點と考へられる點は

- (1) 力率を制御し得且是を良好に保ち得ること
- (2) 能率がよいこと

之に反し缺點と考へられる點は

- (1) 起動同轉力が一般に小さく全負荷同轉力の 40 乃至 60% である。(特別の工夫をしたものでも 150% 程度である)
- (2) 取扱に稍々熟練を要すること
- (3) 過負荷容量少く脱調し易いこと
- (4) 勵磁機を必要とすること

等である。従つて小型のものには特別用途の外殆んど利用せられない。

總括 同期電動機

1. 同期速度 $n = \frac{60}{p} f$

2. 三相同期電動機の入力

$$P_1 = 3 \left[\frac{V^2}{Z_s} \cos \alpha - \frac{VE'_0}{Z_s} \cos(\alpha + \delta) \right]$$

3. 三相同期電動機の機械的出力

$$P_2 = 3 \left[\frac{VE'_0}{Z_s} \cos(\alpha - \delta) - \frac{E'^2_0}{Z_s} \cos \alpha \right]$$

δ が小なる時は

$$P_2 \approx \frac{VE'_0}{x_s} \sin \delta \approx \frac{VE'_0}{x_s} \delta$$

4. 同期ワットで表はした同轉力

P_2 を以て同轉力を代表させたものを云ふ

5. 同期化力 P_s

$$P_s = \frac{dP_2}{d\delta} = 3 \frac{VE'_0}{Z_s} \sin(\alpha - \delta) \approx 3 \frac{VE'_0}{x_s} \cos \delta$$

6. 脱調

$\delta = 90^\circ$ 以上に負荷がかゝる時 $P_s = 0$ の爲不安定となり同期速度を保つ事が困難となつて停止する現象を云ふ。

7. ブロンデル線圖

$$\left(x - \frac{V}{2 \cos \alpha} \right)^2 + y^2 = \frac{Z_s^2}{r^2} \left(\frac{V^2}{4} - \frac{P_s r}{3} \right)$$

8. 位相特性曲線 (V-曲線)

同期電動機の電機子電流と勵磁電流との關係を表はす曲線

9. 同期調相機(同期進相機)

無負荷進力率で運轉する同期電動機を云ふ。

10. 同期電動機の起動法

- 1. 起動電動機を用ふる方法
- 2. 自起動法

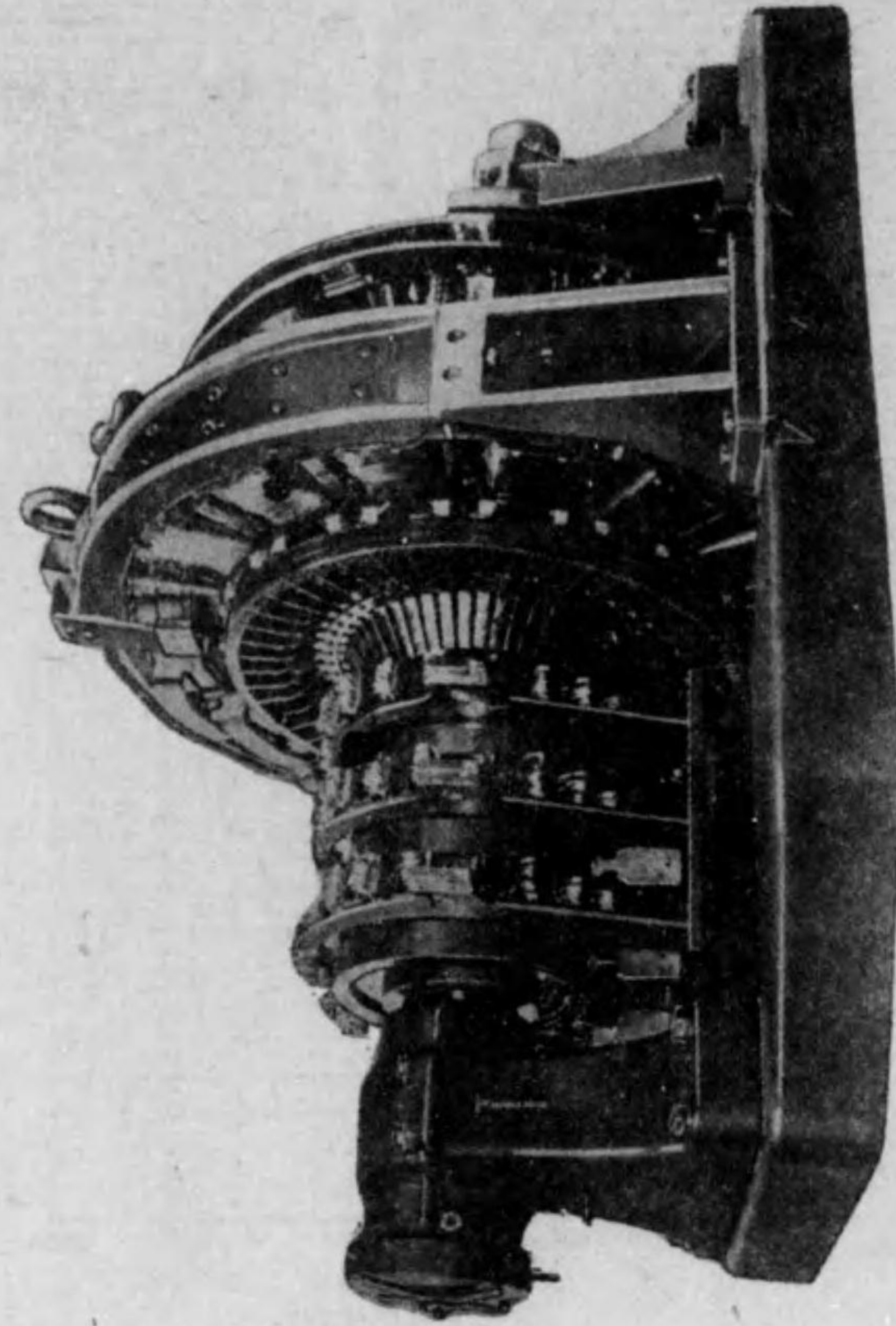
11. 亂調

同期機の相差角 δ が同期速度を中心としてその前後に周期的に變動をなし電流の振幅が周期的に變化する現象

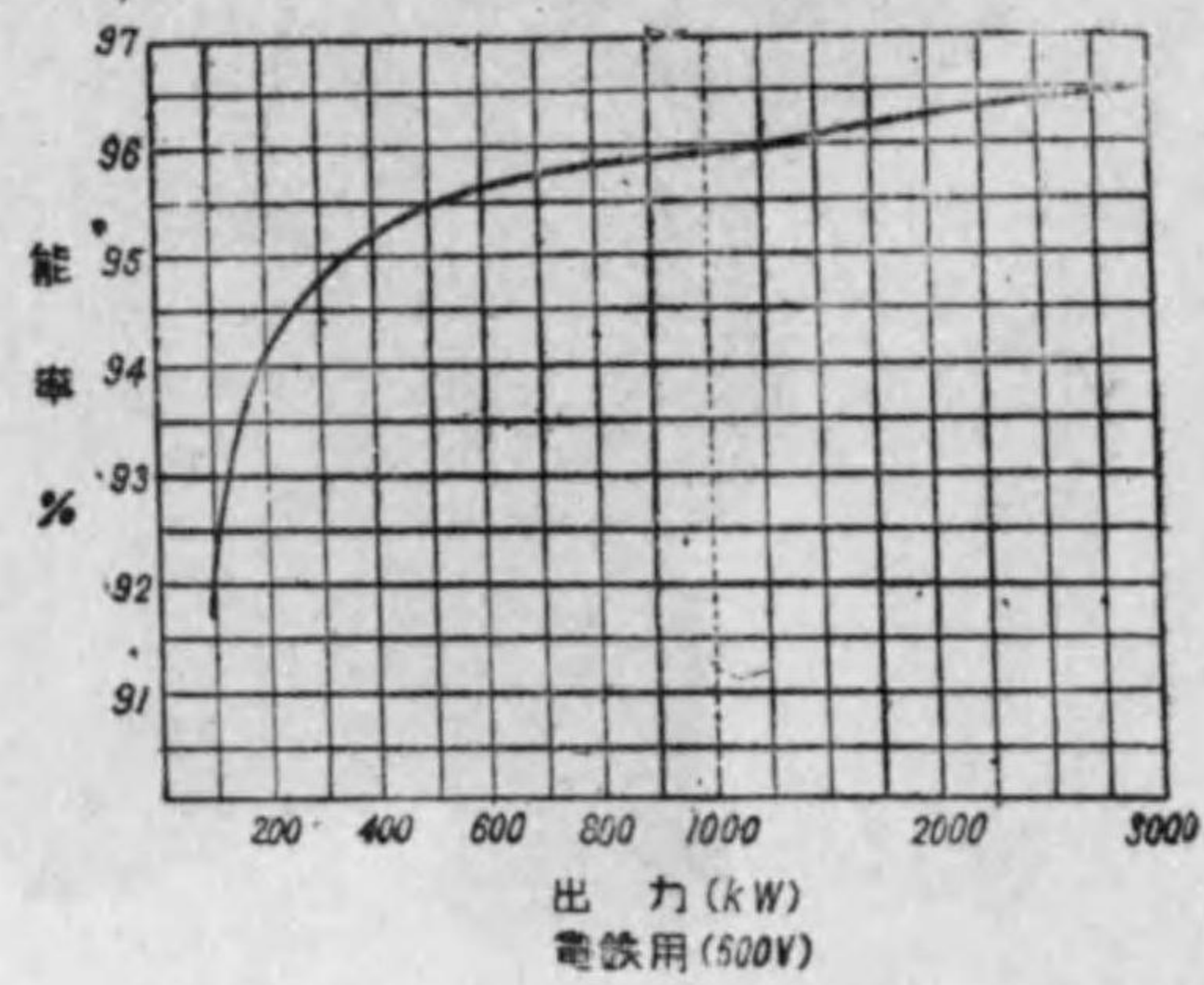
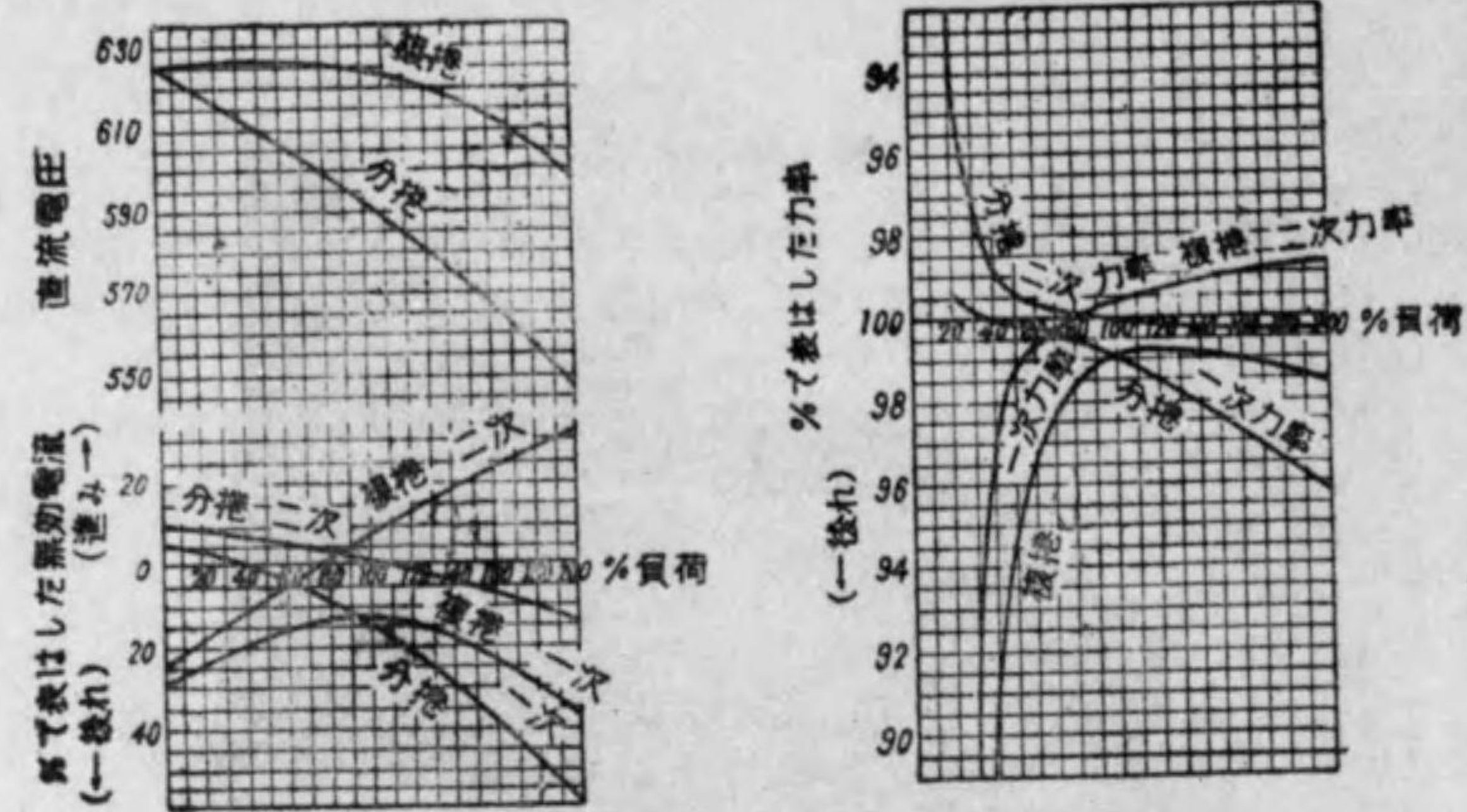
12. 同期電動機と誘導電動機との比較

練習問題

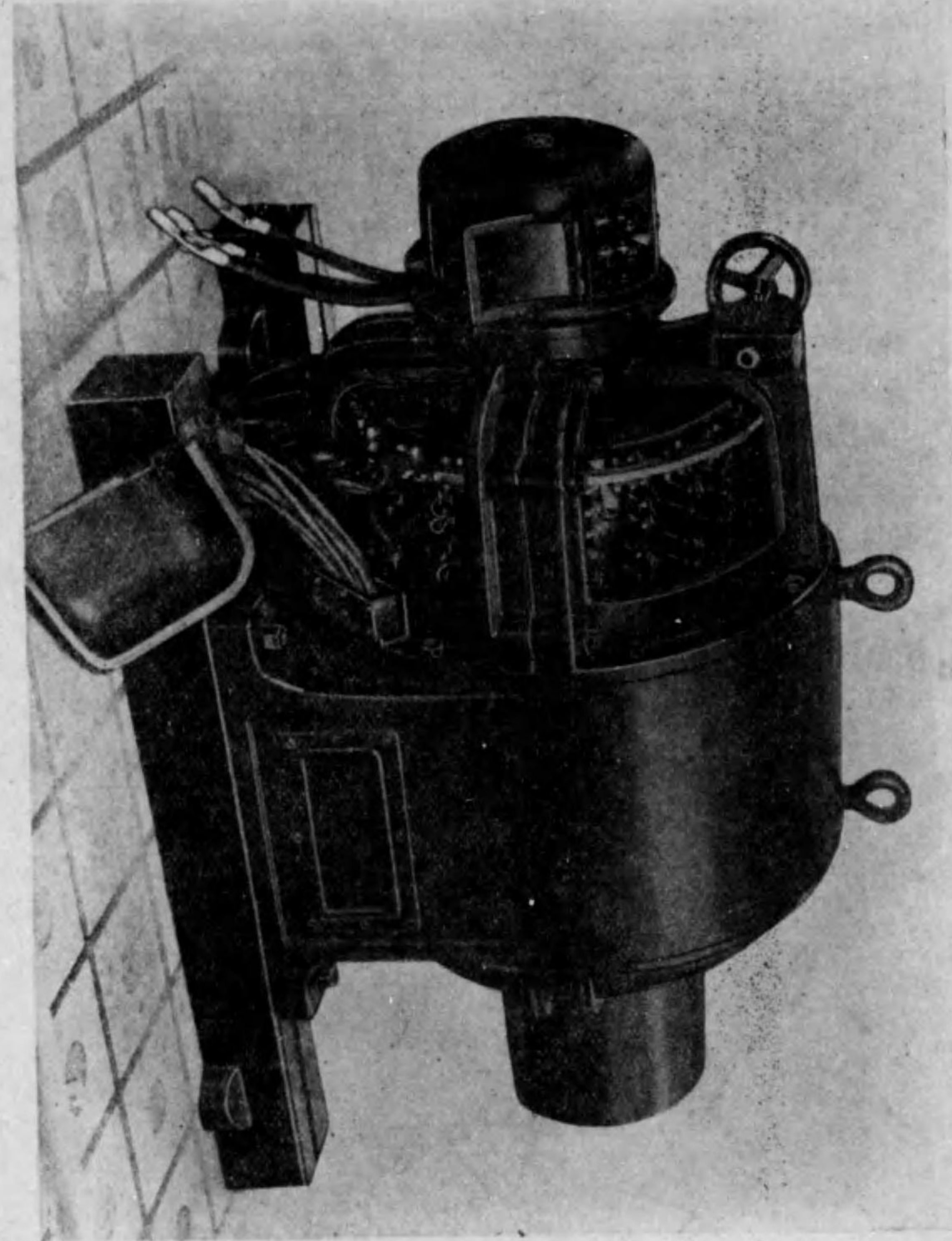
1. 力率 80% なる 500kVA の三相誘導負荷がある。之に並列に同期進相機を接続して合成力率を 95% に保たうとすれば進相機の容量を幾何とすればよいか。
(1685kVA)
2. 火力発電所用発電機を調相機として使用する場合に考慮すべき點如何。



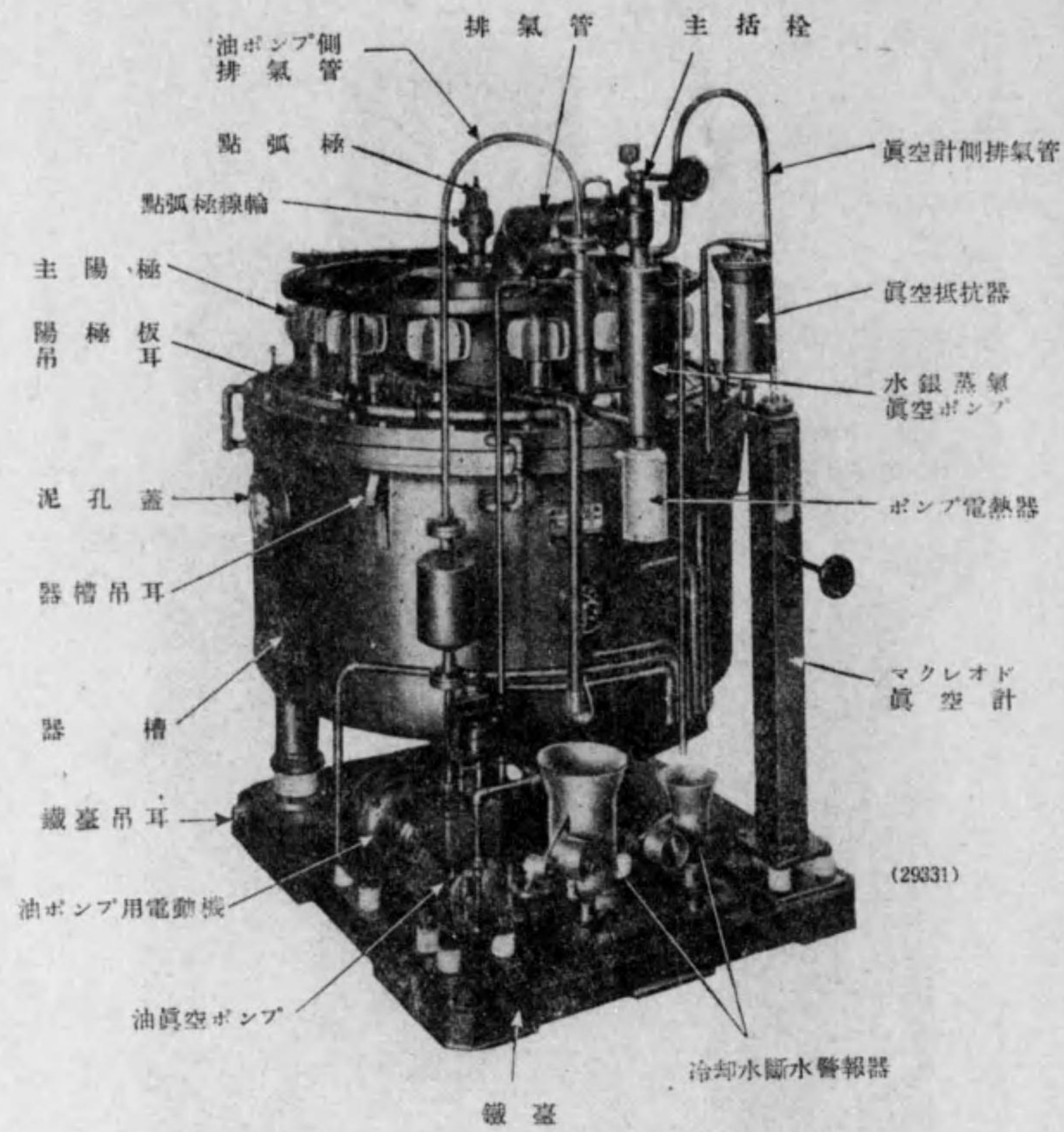
機
流
變
轉
回



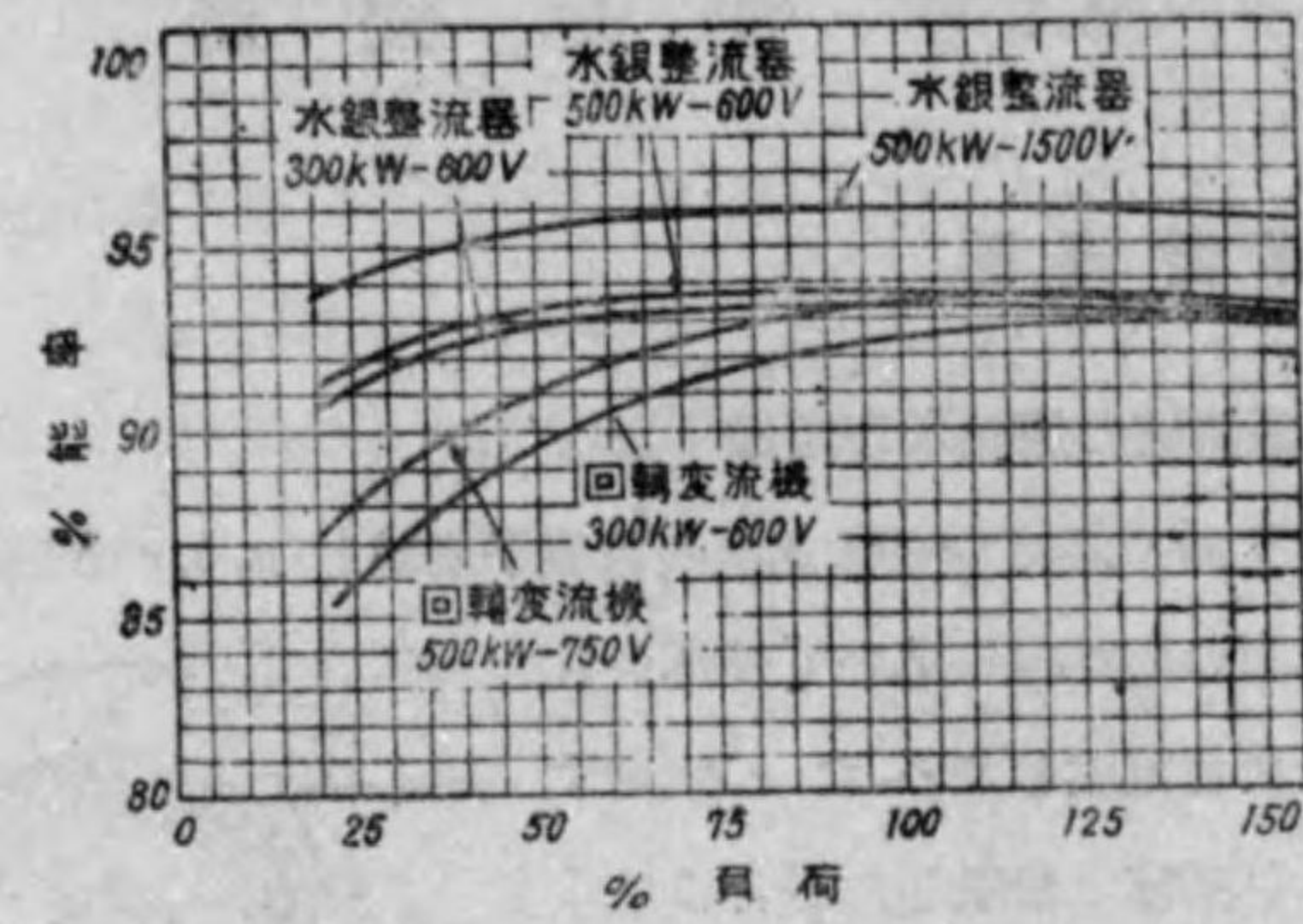
電鐵用回轉變流機の特性



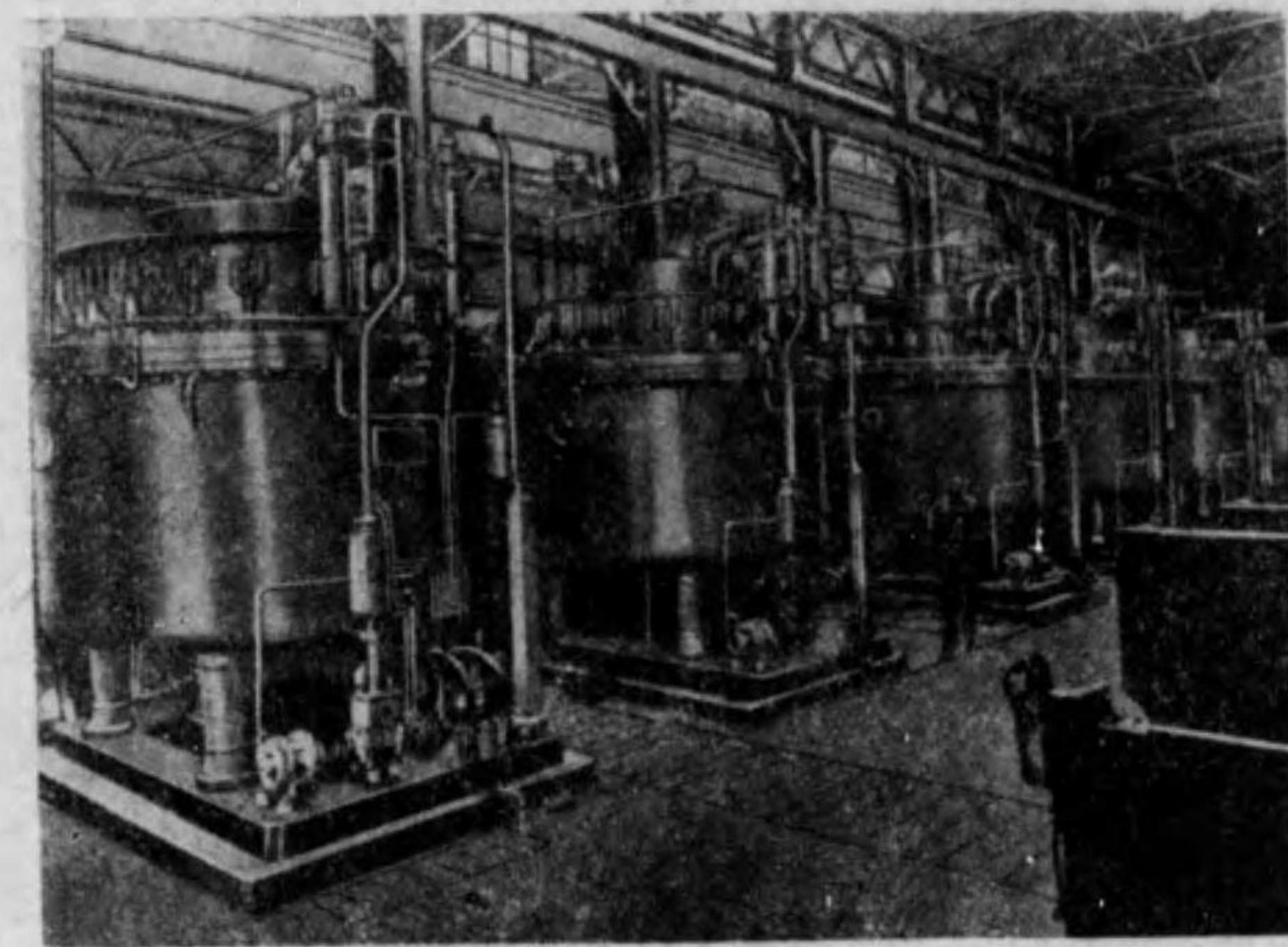
三相分巻整流子電動機



1000 kW-600 V 水銀整流器各部名稱



電鐵用水銀整流器と回轉變流機との能率比較曲線(變壓器を含む)



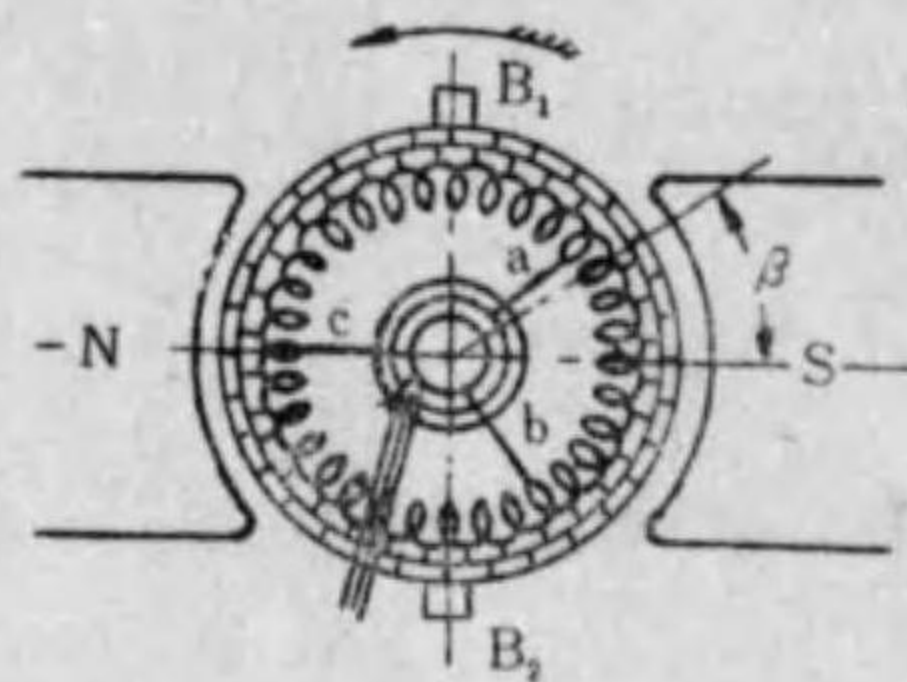
3200kW-5000A 電氣化學用水銀整流器

第5章 特殊機器

5.1. 同轉變流器

5.1.1. 同轉變流機の原理及び構造

第110圖に示す如く直流分巻発電機の電機子巻線を a, b, c で三等分し、其の各々の端子を三個の集電環に導いて外部から刷子を経て三相交番電圧を加へたと假定する。斯くて磁界を直流で勵磁した場合にはこの機械は同轉電機子型の三相同期電動機に外ならぬから當然同期速度を以て同轉する筈である。この機械に於て磁極の中性軸上に刷子 $B_1 B_2$ を置き整流子に接觸させれば直流發電機の原理により $B_1 B_2$ の間には直流起電力を發生する事となる。



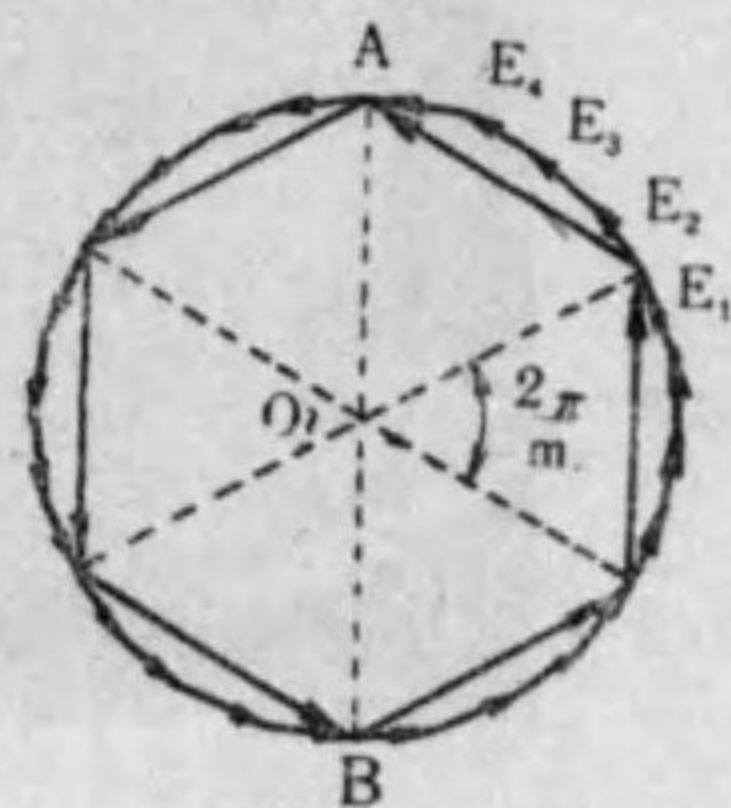
第110圖

この様に同期電動機と直流發電機の電機子を一緒にした様な構造により交流電源から直流を得る機器を同轉變流機と云ふ。

5.1.2. 直流側及び交流側電壓の關係

同轉變流機の空際磁束分布が正弦波形であれば各巻線に誘起される起電力 E_1, E_2, E_3 は何れも正弦波交番起電力となり互に一定の相差を有する。従つて集電環の間の誘起々電力はその兩端子間に存在する巻線の起電力のベクトル和となり刷子 B_1, B_2 間の直流起電力は $\sqrt{2} \cdot \overline{AB}$ となる。

今相電壓を E_s 、線間電壓を E_R とし直流起電力を E_d とすれば
 $E_s = \overline{OA}$ であるから



第111圖

$$E_d = 2(\sqrt{2} \cdot E_s)$$

$$E_s = E_d / 2\sqrt{2}$$

又三相式の場合には

$$E_R = \sqrt{3} \cdot E_s = 0.615 E_d$$

損失を無視すれば交流側の入力は直流側の出力に等しく力率を1とすれば直流を I_d 、線路電流を I_s とした場合

$$3E_s I_s = E_d I_d$$

でなければならぬ。従つて

$$I_s = \frac{2\sqrt{2}}{3} I_d = 0.943 I_d$$

斯の如く同轉變流機に於ては電壓電流とも交流側と直流側とでは一定の關係がなければならぬ。是を表示すると次の通りである。

相数 m	2	3	4	6	12
電壓比 E_R/E_d	0.707	0.612	0.500	0.354	0.185
電流比 I_s/I_d	1.414	0.943	0.707	0.471	0.236

一般に m 相式の場合には

$$E_R = 1/\sqrt{2} \cdot \sin \frac{\pi}{m} \cdot E_d$$

$$I_s = \frac{2\sqrt{2}}{m} I_d$$

の關係がなければならぬ。

5.2.1. 交流整流子電動機

5.2.1. 概説

誘導電動機にしても同期電動機にしても定速度特性であるから、その速度を廣範圍に調整する事は容易でない。然るに負荷によつては交流電源を用ひ乍ら

直流直巻電動機又は直流分巻電動機の様な特性を要するものがあるので、この要求に応じて生れたものが交流整流子電動機である。

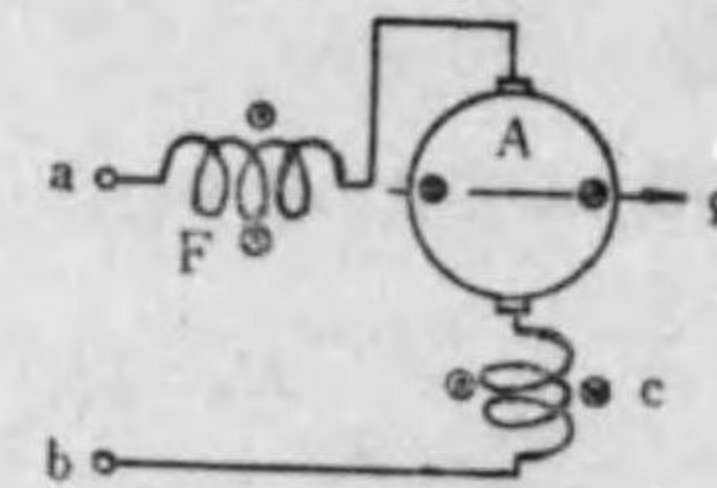
直流電動機の場合外部から之に加はる電圧の極性を逆にしても電機子と界磁の兩巻線の極性が同時に逆になるならば回轉方向が變らない事を述べた。然らば直流電動機にその儘交流を加へても同一方向に回轉力を生じ矢張り回轉を續けるだらうと云ふ事が豫想される。

理論的には正にその通りであるが實際上は直流電動機その儘では各巻線のインダクタンスや電機子反作用等のため整流作用が悪く或は磁束と電流との相差の関係上回轉力を殆んど發生し得なかつたりするので理論上の結論をその儘實行に移す事は困難である。

即ち是等の諸點に必要な改善を加へ交流回路に於て實用し得る如き各種の交流整流子電動機が開發された。茲にはその内の一、二の種類に就て簡単に説明を試みる事とする。

5.2.2. 単相整流子電動機

今第112圖に示す様な直巻電動機がありとし巻線 C は暫く考慮しない事として之に交流を通すれば電機子電流と之によつて生ずる主磁束は半周波毎に其の方向が變るけれ共同轉力は兩者の積に比例して常に同一方向となるから一定方向に回轉を續けることは既述の通りである。



第 112 圖

然し普通の直流機をその儘交流整流子電動機として使用すると電機子及び界磁巻線の漏洩リアクタンスが大きい爲力率が悪く、又主磁束が交番する爲界磁鐵心中の鐵損が大となり能率が低下する。且つ主磁束の交番の爲刷子で短絡される巻線素子の中に起電力が誘起され短絡電流を生ずるから直流機の場合に比較して整流は甚だ困難となる。

之等を改善する爲、先づ鐵損を減少する目的を以て電機子並に界磁鐵心共成

層鐵心を用ひ界磁巻線の漏洩リアクタンスを小さくする爲には界磁巻線の巻数を小にして主磁束を減ずる等の手段をとる。

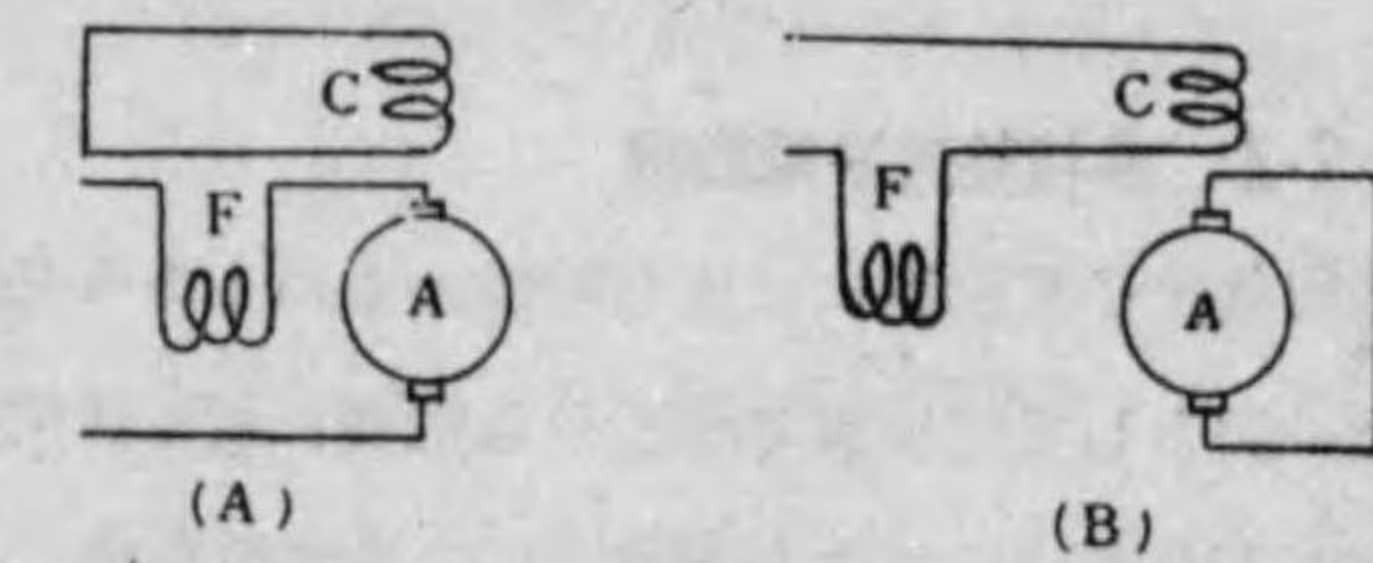
然しその儘では回轉力の減少を來すから之を補ふ爲に電機子巻線数を増し之に基く電機子反作用を押へる爲に界磁鐵心に補償巻線 C を施して電機子巻線と直列に接続する。茲に於て最初考慮外に置いた C 巻線の意味が明かになる。

電機子巻線の起磁力は補償巻線のそれと略々等しく方向反對であるから電機子巻線の漏洩磁束従つて漏洩リアクタンスは著しく減少する。

整流を改善する爲には巻線と整流子片とを高抵抗を以てつなぎ短絡電流を制限するとか或は補極を設けるとかの方法を用ふる。

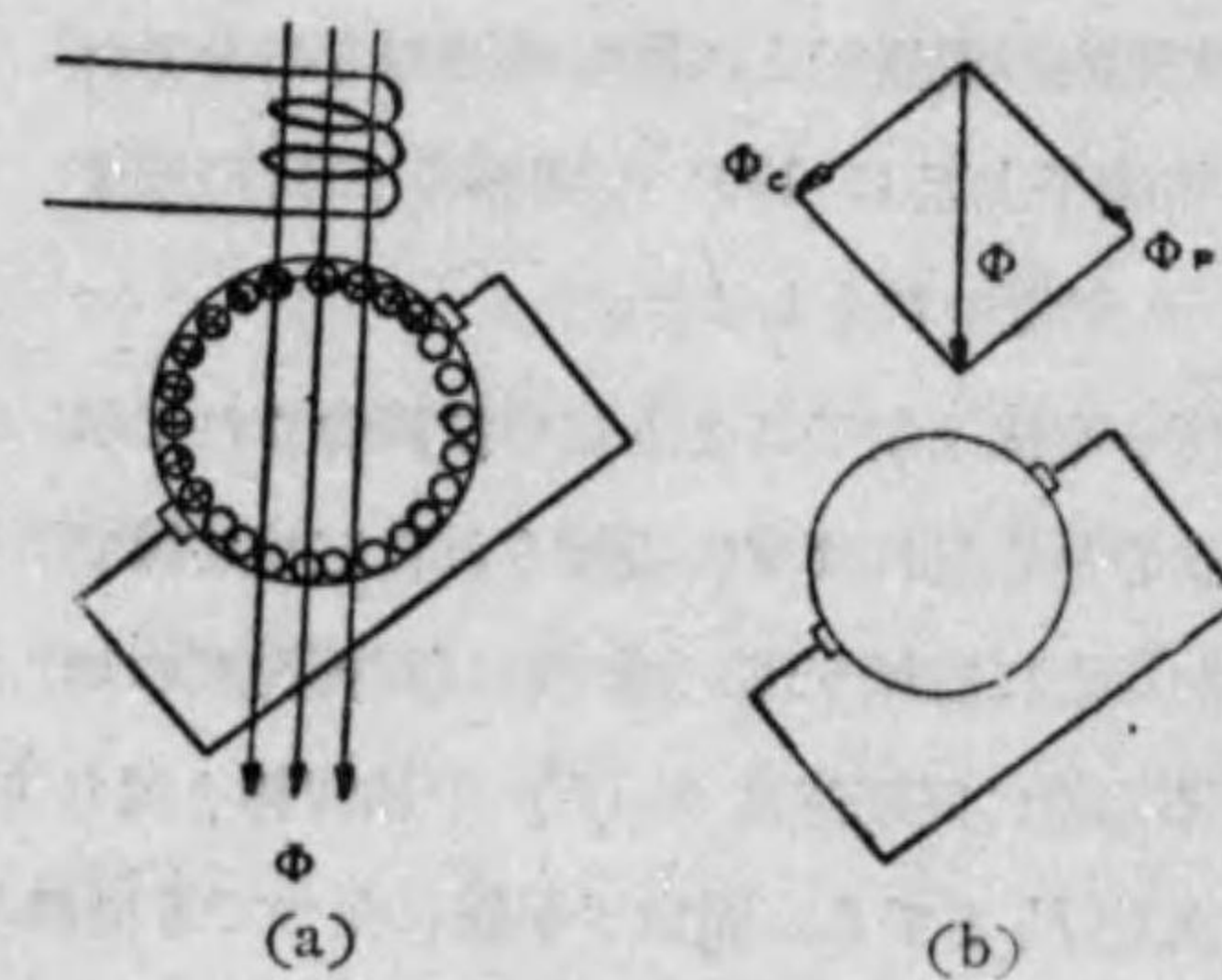
上述の補償巻線と電機子巻線の關係に於て兩者の磁軸は同一方向にあるから

之等を電氣的に接続する事は必ずしも必要でなく、何れか一方を切離して獨立の閉回路としても他方の交番磁束が之と交叉するから變壓器作用によつて電流が流れる。



第 113 圖

即ち第113圖(a)の如く電機子を一次巻線、補償巻線を二次巻線とすることも出来るし、又は逆に電機子を二次巻線、補償巻線を一次巻線としても同じ目的を達する事が出来る。又電機子上に於ける 刷子の位置を

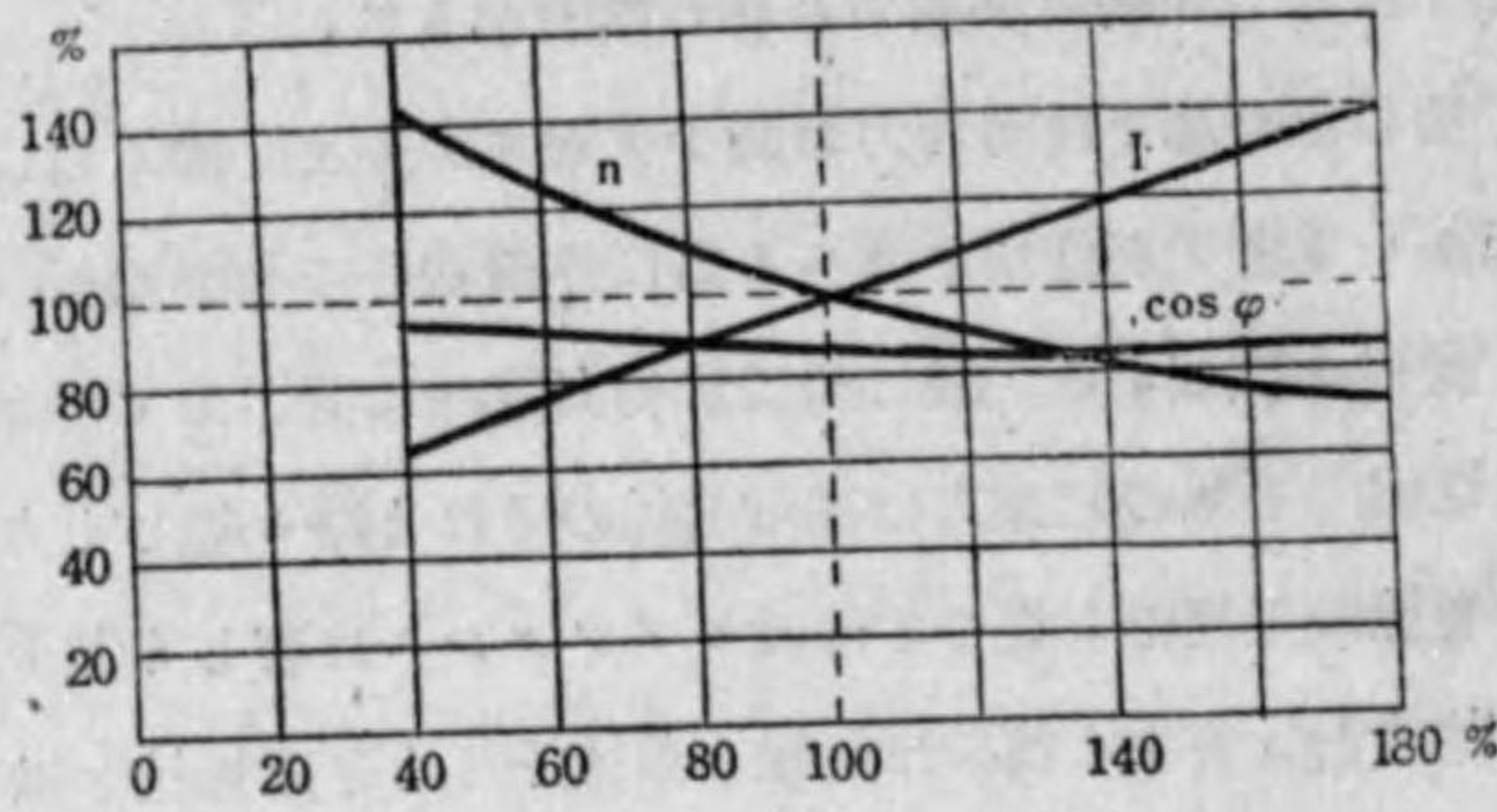


第 114 圖

巻線軸に對して傾けて置いても同じ理である。(第114圖)

即ち一個の固定子巻線による磁束を刷子の方向と之に直角の方向とに分けて

考察すると前者は補償巻線として働き、後者は界磁束として働く。斯の如き原理によるものを反撥電動機と云ふ。この種機械は刷子の位置を調整することにより



第 115 圖

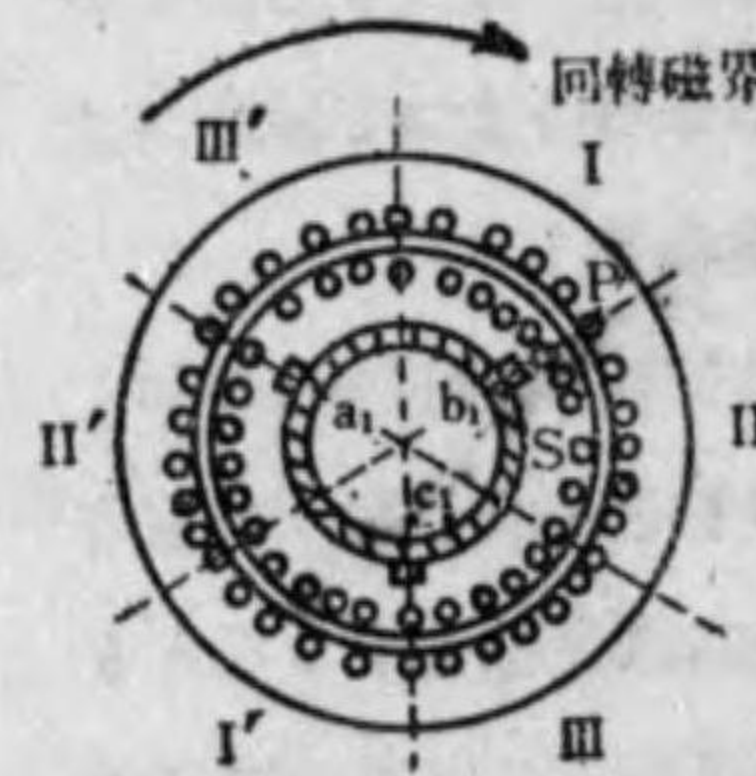
其の速度を変更することが出来る。その特性の一例を示すものが第 115 圖である。

5.2.3. 多相整流子電動機

多相整流子電動機には直巻特性のものもあり分巻特性のものもあるが茲にはその一例として三相直巻整流子電動機に就て説明する。

今第 116 圖に示す如く固定子には誘導電動機と同様な三相巻線 I, II, III を施し、回転子には直流機の電機子と同様な構造のものを考へその整流子上互に 120° の間隔に三個の刷子 a, b, c を置いたとしよう。

回転子巻線は刷子により三つに区分されて居るが刷子から見れば Δ に接続された三相巻線であるから之に三相交流が通すれば回転速度の如何に不拘常に同期速度 $n=f/p$ で相回転と同じ方向に回転する起磁力を発生する。之を F_2 とする。固定子巻線に在つても同様な起磁力 F_1 を発生する。是等 F_1 及び F_2 の合成起磁力を F とすれば F による磁界と同轉子電流との爲に回転力を発生しなければならぬ。然し F と同轉子電流による磁界の相差が 90°



第 116 圖

同轉子電流による磁界の相差が 90°

であれば合成回転力は零となつて仕舞ふから適當に刷子をずらしてその相差を 90° にならぬ様に調整すれば回転力が表はれる理である。

この調整の如何により回転力も速度も變つて来る。この場合合成磁束は負荷電流によつて變るから速度は負荷と共に低下し所謂直巻特性となる。

次に上述の様に固定子巻線と同轉子巻線とを直列に接続せず固定子巻線は Δ 又は Y とし同轉子巻線は變壓器を経て前者と併列に結べば分巻特性の三相整流子電動機を得る。この場合は負荷の如何に不拘回転磁界は略一定であつて、同轉子電流との間に回転力を發生する。この場合速度制御は刷子の移動により磁界に對する二次電流の空間分布の位相を變化するのである。

三相分巻整流子電動機の一例たるシユラーゲ電動機は三相誘導電動機の二次側に特殊な速度調整用の整流子を持つた電機子を組合せたものである。

5.3. 水銀整流器

5.3.1. 水銀整流器の原理

水銀柱 10^{-3} 耗程度の眞空管内に黒鉛又は鐵の電極を置いて、之を陽極とし、水銀を陰極として兩極間に孤光放電を行はせると水銀面上に青白い光を放つ陰極點が出来て活發に動き廻る。陰極點は約 2000°C 位の高温で之から盛に電子が放射され陽極の方に高速度で吸引される。

斯様な装置に交番電壓を加へると水銀が陰極の時はその表面から出る豊富な水銀蒸氣の電離によつて陰極の表面に電弧を維持する爲に必要な正イオン密度が得られるが、炭素又は鐵が陰極になつた時には電弧を生じ得ず電流は殆んど流れない。即ち水銀が陰極となつた半周期のみ電弧を生じて電流を通じ整流作用を行ふ事になる。

之が水銀整流器の原理である。

5.3.2. 水銀整流器の構造

水銀整流器の大容量のものは鐵槽製でその周圍には冷却水を通じて温度上昇

を防ぎ鐵槽は絶えずポンプによつて排氣される。現在数千キロワットのもの迄も盛に製作されつゝある。

整流された直流電壓の脈動を小にするには相数を多くし又大電流のものは一極の負擔電流を軽減する爲に 6 相, 12 相或は 18 相等を用ふる。

5-3-3. 水銀整流器の特徴

水銀整流器は同轉變流機に比較して運轉が容易であること, 同轉部分を有しないから運轉中も靜かであること, 起動容易なること, 能率良好なること等の利點があるのと近時では特に銅節約の見地から廣く用ひられる様になつた。

尙水銀整流器に於て陰陽兩極の間に格子狀の補助電極を挿入するか又は特殊の點弧極を裝置して各サイクルに於ける起動位相を制御することも出來之を格子制御水銀整流器と云ふ。

サイラトロン, イグナイトロンと呼ばれる電子管装置もこの種類である。

總括特殊機器

同轉變流器

1. 同轉變流機の構造並に原理
2. 直流側と交流側に於ける電壓電流の關係

$$E_R = \sqrt{3} E_s = 0.615 E_d$$

$$I_s = \frac{2\sqrt{2}}{3} I_d = 0.943 I_d$$

m 相式の場合

$$E_R = 1/\sqrt{2} \cdot \sin \frac{\pi}{m} \cdot E_d$$

$$I_s = \frac{2\sqrt{2}}{m} I_d$$

交流整流子電動機

1. 交流整流子電動機の種類
2. 直流電動機と整流子電動機と構造上の相違點

- a. 鐵損の減少の爲電機子及界磁鐵心共成層とする。
- b. 界磁卷線の漏洩リアクタンス減少の爲巻数を少とする。
- c. 同轉力の減少を防ぐ爲電機子巻線数を増す。
- d. 電機子反作用を押へる爲補償巻線を具へる。
- e. 整流改善の目的を以て電機子巻線と整流子片とを高抵抗でつなぐ。

水銀整流器

1. 水銀整流器の構造
2. 陰極點
3. 水銀蒸汽の性質
4. 鐵槽と硝子槽
5. 直流電壓の脈動減少と相數
6. 格子制御水銀整流器

索 引

ア	
アドミッタンス.....	30, 90
油入自冷式.....	87
油入水冷式.....	87
油入送風式.....	87
油保存器.....	88
アラゴの圓板.....	101
アンペア.....	15
アンペアの法則.....	21
アンペア回教.....	22
イ	
イグナイトロン.....	154
位相特性曲線.....	137
一次巻線.....	85
一層巻.....	51
イルグナー方式.....	76
陰極點.....	153
インダクタンス(自己一, 相互一).....	23
インピーダンス.....	30
エ	
圓形回轉磁界.....	41
圓線圖.....	107
オ	
オーム.....	16
オームの法則.....	16
溫度係數.....	16
カ	
界磁.....	49
界磁特性曲線.....	127
界磁線輪.....	49
外鐵型變壓器.....	86
回轉界磁型.....	119
回轉電機子型.....	119
回轉子.....	102
回轉變流機(—の原理及び構造).....	148
回轉力(直流電動機の—).....	70, 73
(誘導電動機の—).....	109
外部特性曲線(直流發電機の—).....	60
(同期發電機の—).....	127
外分巻.....	54
ガウス.....	11
ガウスの定理.....	4
角速度.....	26
籠形回轉子.....	102
重巻.....	52, 124
過整流.....	56
型巻線輪.....	50
渦流.....	50
渦流損失.....	50
環狀結線.....	36
環狀電流.....	37
環狀巻.....	51
キ	
記號法.....	28
起磁力.....	22
起電力.....	2
起電力及び電流の表はし方.....	27
起動器.....	74
起動抵抗.....	74
起動(直流電動機の一).....	74
(誘導電動機の一).....	113
(同期電動機の一).....	137
起動補償器.....	114
起動巻線.....	133

起動回轉力114
 基本正弦波35
 強磁性體11
 強制通風方式87
 逆起電力68
 逆磁性體11
 キルヒホッフの法則17

ク

空冷式87
 鎖巻124
 クーロムの法則1, 9

ケ

傾角13
 珪素鋼板50
 鐵鐵49
 結合式36

コ

格子制御型水銀整流器154
 高調波35
 鼓形巻51
 交番起電力26
 交流26
 固定子102
 コンダクタンス30

ク

サイクル25
 サイラトロン154
 サスセプタンス30
 刷子51
 刷子保持器51
 差動複巻發電機61
 差動複巻電動機73
 三角結線36
 三角電流37
 三角三角結線93

三角星形結線94
 三相變壓器95
 三相直巻整流子電動機152
 三相誘導電壓調整器116
 残留磁氣12

シ

集中巻123
 集電環119
 磁界9
 磁界の方向及び強さ9
 磁化曲線12
 磁化の強さ10
 磁氣9
 磁氣誘導10
 磁氣子午面13
 磁氣子午線13
 磁氣飽和12
 磁氣ヒステリシス12
 磁氣モーメント10
 自起動法137
 磁氣量9
 磁極49
 磁極片49
 磁極面49
 自己インダクタンス23, 24
 自己誘導作用23
 自己勵磁現象59
 磁石9
 自然通風方式87
 磁束10
 磁束密度11
 實効値27
 出力特性112
 シュラーク電動機153
 シュールの法則17

同期26
 周波数26
 自勵發電機53
 瞬時値27

ス

垂下特性61
 水銀整流器(—の原理)153
 (—の構造)153
 (—の特徴)154
 水車發電機121
 スタースター接続(Y-Y接続)93
 スターデルタ接続(Y-Δ接続)93
 スターデルタ開閉器113
 滑り102

セ

正弦波のベクトル及び記號法28
 正磁性體11
 靜電界2
 靜電界の強さ2
 靜電氣1
 靜電單位23
 靜電單位系23
 靜電誘導作用2
 靜電容量5
 制動巻線138
 整流作用55
 整流子51
 整流子片51
 絶縁物1
 線電流37
 全日能率97

ソ

相互インダクタンス123
 相互誘導作用23
 相互誘導係數23

相差27
 送油循環式87
 速度制御(直流電動機の一)74
 (誘導電動機の一)113
 速度特性110
 損失128

タ

對稱多相式36
 體積固有抵抗16
 帶電1
 タービン發電機121
 多相交流發電機124
 多相交流による回轉磁界40
 多相方式36
 多相負荷法37
 多相電力41
 多相誘導電動機152
 脱出回轉力135
 脱調135
 他勵發電機53
 他勵發電機の特性57
 單位電荷1
 單位電界2
 單巻變壓器95
 單相交流回路の電力と力率32
 單相發電機124
 單相變壓器の三相接続93
 單相整流子電動機150
 單相誘導電動機115
 單相誘導電壓調整器116
 短絡曲線126
 短絡比127
 短絡環101

チ

中性點36

中性軸148

蓄電器5

蓄電器の接続6

直巻電動機運轉上の注意73

直巻電動機の特性72

直巻發電機の原理47

直巻發電機の構造49

直巻發電機の特性60

直巻發電機の勵磁方式53

直並列制御法76

直流電動機の起動及び速度制御74

直流電動機の原理と構造65

直流電動機の種類69

直流電動機の逆轉77

直流發電機の原理47

直流發電機の構造49

直流發電機の種類51

直列巻52

直列接続(蓄電器の—)6

直列抵抗18

チリル調整器63

ツ

通風渠50

テ

定格96, 128

T-T 接続94

抵抗16

抵抗整流57

抵抗の温度係数16

抵抗の直列及び併列接続法18

定速度電動機70

鐵心(電機子—)50

鐵損50

デルタ結線(Δ-結線)36

デルタデルター接続(Δ-Δ 接続)93

デルタスター接続(Δ-Y接続)94

電壓2

電位差2

電壓變動率(直流發電機の—)63

(變壓器の—)91

(同期發電機の—)127

電壓降下63

電壓調整法(直流發電機の—)62

電壓整流57

電位係数5

電位差2

電荷の移動15

電界2

電氣回路17

電機子線47, 50

電機子反作用(直流發電機の—)54

(同期發電機の—)125

電機子鐵心50

電機子巻50

電機子巻線の種類51

電機子中に發生する起電力52

電氣制動77

電氣力線2

電氣力線管2

電氣力2

電氣變位3

電氣誘導線3

電磁氣21

電磁單位23

電磁誘導作用23

電磁單位系23

電流15

電流の方向15

電流の強さ15

電流による磁界21

電力(單相交流回路の—)32

(抵抗中の—)33

(インダクタンス中の—)33

(静電容量中の—)34

(歪形波の—)35

(多相—)41

ト

等價導線網(變壓器の—)89

(誘動電動機の—)105

套管88

導磁率11

導線網17

同期インピーダンス26

同期化力135

同期化電流129

同期檢定器128

同期進相機137

同期速度102

同期調相機134

同期電動機133

同期電動機の原理133

同期電動機の構造133

同期發電機の原理119

同期發電機の構造121

同期發電機の並列運轉128

同期リアクタンス126

同期ワット135

導體1

導體系4

導電率16

等電位面3

獨立式36

ナ

内鐵型變壓器86

内分巻54

波巻52, 124

ニ

二次巻線85

二重籠型誘導電動機112

二重巻51

ネ

熱の仕事當量17

ノ

能率96

ハ

ハイランド圓線圖109

バインド線51

發電機49

發電機の並列運轉61

發電機の電壓調整法62

反撥電動機152

ヒ

ピオ, サバールの法則22

皮相電力33

ヒステリシス環線12

ヒステリシス損失13, 50

非對稱多相式36

左手の法則(フレミングの—)22

比抵抗16

標準ベクトル29

比例推移111

フ

フアラデー管3

フアラド6

V-曲線136

V-接続94

負荷特性59

負荷飽和曲線128

深溝籠型誘導電動機112

複巻發電機54

複巻発電機の特性.....51
 複巻電動機の特性.....73
 不足整流.....51
 フレミングの左手の法則.....22
 フレミングの右手の法則.....23
 ブロンデル線圖136
 分相起動法116
 分巻電動機.....70
 分巻電動機運轉上の注意.....72
 分巻電動機の特性.....70
 分巻発電機.....54
 分巻発電機の特性.....58
 分布巻124

ハ

並列巻.....52
 並列接続(蓄電器の—).....6
 並列抵抗.....18
 並列運轉(同期発電機の—).....128
 平行板蓄電器6
 平均値.....27
 平等磁界.....10
 平複巻.....61
 メクトル法.....28
 メクトル圖(變壓器の—).....88
 (同期発電機の—).....125
 メクトル記號法.....28
 變壓器.....84
 變壓器の原理.....84
 變壓器の構造.....86
 變壓器油.....87
 變速度電動機.....74
 ヘンリ.....23

ホ

ポアソン方程式4
 方位角.....13

鳳氏圓線圖法109
 放電管式自働電壓調整器.....63
 飽和曲線.....12, 57
 補極.....57
 保磁性.....12
 保磁力.....13
 星形結線.....36
 星形電壓.....37
 星形電流.....37
 星形三角接続.....93
 星形星形接続.....93
 補償巻線.....55
 ホルト, アンペア.....33

マ

マイクロアラド6
 巻線型回轉子102
 巻線係數.....106, 124
 巻線比.....85
 マクスウエル.....10

ミ

右手の法則(フレミングの—).....23
 溝.....50

ム

無効電力.....33
 無負荷特性.....57, 58
 無負荷飽和曲線(直流発電機の—).....59
 (同期発電機の—).....126

モ

モ16

ユ

有効電力.....33
 誘導起電力(直流発電機の—).....23
 (同期発電機の—).....122
 誘導電壓調整器116
 誘導電動機101

誘導電動機と同期電動機との比較138
 誘導電流.....23
 誘導子型119
 誘導リアクタンス.....30
 誘電體1
 誘電率1
 誘導束密度3
 油冷式.....87

ヨ

容量リアクタンス.....30

ラ

ライザー.....51
 ラプラス方程式4
 亂調138

リ

リアクタンス.....30

力率.....33

レ

勵磁アドミッタンス.....90
 勵磁機.....121
 勵磁電流.....57
 レンツの法則.....23

ロ

漏洩磁束.....89
 漏洩リアクタンス104

ワ

Y-結線.....36
 歪形波.....27
 歪形波の電力.....35
 ワードレオナード方式.....75
 和動複巻發電機.....61
 和動複巻電動機.....73

(出版會承認41・5・5號)



電氣機械の理論と實際

第1卷

(電氣機械概論)

定價 ④ ¥4.00

査定番號 2の217禮

昭和19年9月20日印刷
昭和19年9月25日發行
(初版2,000部)

著者 尾河武雄
發行者 南條初五郎
東京都神田區駿河台3の9
印刷者 渡邊一郎
東京都小石川區東古川町10
印刷所 中外印刷株式會社
東京都小石川區東古川町10
(東京271)

製本所 河田製本所

東京都神田區駿河台三丁目九番地
發行所 電話 神田(25) 1518・2624
日本出版會會員番號 140041

共立出版株式會社

(國定規格A5判)

配給元 東京都神田區淡路町二ノ九

日本出版配給統制株式會社

542-024ウ



1200500746110

542
4

終