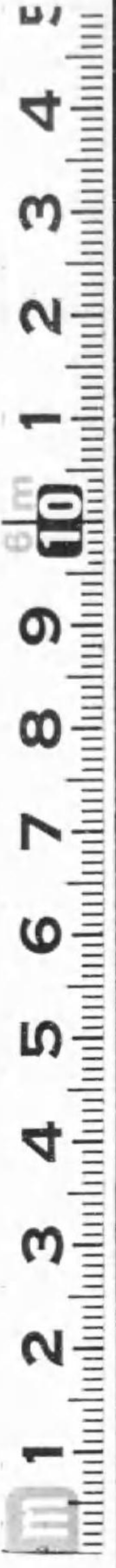


始



電氣工學講義第五卷

直流電氣機械

社團
法人 電氣協會中國支部編纂

396
369

特219
794



電氣工學講義 第五卷

直流電氣機械

社團電氣協會中國支部編纂
法人



序

電氣が世に現れて二千年、是が久しきに亘りて實用に供し得られざりし原因は電力を低廉に發生する方法無かりしために外ならず。即ち從來電氣は物體を摩擦して靜電的に發生する方法と藥品を使用して化學的に電池として發生する方法とにより發電し得たに過ぎず、靜電的に發生する方法は大なる動力を以てしても尙僅かなる電力を得るに過ぎず、又化學的に發生する電力はその價額非常に高價にして到底電燈電力用として經濟的に利用するには困難なり。然るに機械力を以て電氣磁氣的に電氣を發生する方法が發明せられて以來電力の發生は著しく安價となり是がため先づ電燈への利用となり續いて動力への利用も促進せられたり。即ち一度發電機の出現するや電力の供給は殆んど之によりて行はれその利用に一段の進歩を來たしたり。今日電氣が電燈電力は云ふに及ばず電熱に交通に電氣化學にありとあらゆる方面に應用せられ國家産業の基本となり國民生活の根源となりたるは實に電氣機械の發

達によるものに外ならず。

抑も電氣が電燈電力に應用し始められたる當初に於ては主として直流が用ひられ是がため直流機械は交流機械に先んじて進歩發達を示したり。又直流は交流に比し幾多の長所を有し、今日も尙多方面に之が應用は行はれ電氣鐵道其他特殊の動力方面に使用せられ電氣化學方面も亦盛に直流が用ひらるゝ現状なり。而も直流機械はその特性に於て構造に於て交流機械の基礎ともなり理論も亦兩者相通するものあるを以て電氣機械の修學には先づ直流機より究めざるべからず。

本書は直流發電機、電流機、整流機等直流機全般に涉りて理解し易く詳述したるを以て直流機の知識修得には最良の教科書と信ず。希くは本書により電氣機械の知識を完全に修め以つて之が活用を計られん事を。

昭和十四年十月五日

社団法人電氣協會中國支部

支部長 鈴 川 貫 一

直流電氣機械目次

第一編 直流機械

第一章 直流發電機の原理

- 1. 誘起電壓..... 1
- 2. 勵磁法..... 3

第二章 直流發電機の構造

- 1. 電機子鐵心..... 5
- 2. 磁極と磁鐵..... 6
- 3. 整流子..... 7
- 4. 刷子..... 8
- 5. 電機子捲線法..... 8

第三章 直流發電機の理論

- 1. 電機子誘起電壓..... 13
- 2. 端子電壓..... 14
- 3. 電機子反作用..... 16
- 4. 電機子反作用防止法..... 18

第四章 直流發電機の特性

- 1. 無負荷特性曲線..... 21
- 2. 負荷特性曲線..... 22
- 3. 他勵磁發電機..... 22
- 4. 分捲發電機..... 23
- 5. 直捲發電機..... 26
- 6. 複捲發電機..... 27

7. 電圧変動率	29
8. 発電機の能率	29
9. 機器の定格	31
10. 練習問題	33

第五章 直流発電機の並行運転

1. 分捲発電機	34
2. 複捲発電機	36
3. 練習問題	37

第六章 直流電動機

1. 電動機の原理	38
2. 速度	39
3. 廻轉力及パワー	40
4. 分捲電動機の特性	40
5. 直捲電動機の特性	42
6. 複捲電動機の特性	43
7. 廻轉力速度特性	45
8. 電動機の入力	46
9. 練習問題	46

第七章 直流電動機の速度変動率及び能率

1. 速度変動率	49
2. 電動機の能率	49
3. 練習問題	50

第八章 電動機使用法

1. 起 動 器	53
----------	----

2. 自働起動器	55
3. 速度制御法	56
4. 練習問題	62

第九章 整 流

1. 短絡電流曲線	64
2. 整流の難易	67
3. 均 壓 環 (イクオライザーリング)	68
4. 練習問題	68

第十章 特殊直流機

1. ローゼンバルヒ発電機	69
2. 第三刷子発電機	70
3. 加減壓機 (ブースター)	71
4. 列車點燈用発電機	71

第二編 廻轉變流機

第一章 廻轉變流機概論

1. 變流機の種類	73
2. 廻轉變流機の原理	74
3. 廻轉變流機の構造	74

第二章 廻轉變流機の理論

1. 電 壓 比	78
2. 電 流 比	79
3. 電機子導體電流	81
4. 電機子銅損	85

5. 電機子内に於ける直流電圧降下	89
6. 電機子反作用	89
7. 周波數と直流定格電壓との關係	91
8. 亂調と閃絡	93
9. 電壓の調整法	94
10. 廻轉變流機の特性	96
11. 練習問題	97

第三章 廻轉變流機の接続及び 起動法

1. 廻轉變流機の接続	98
2. 廻轉變流機の並行運轉	99
3. 廻轉變流機の起動性	101
4. 練習問題	103

第三編 整流器

第一章 水銀整流器

1. 概 説	105
2. 原 理	105
3. 電 壓 降 下	107
4. 硝子製水銀整流器	108

第二章 鐵槽水銀整流器の構造

1. 眞 空 鐵 槽	110
2. 陽極板及び凝縮筒	110
3. 陽 極	110
4. 陰 極	111

5. 水銀蒸氣誘導ファンネル	111
6. パッキング及びパッキング材料	111
7. 勵 弧 極	112
8. 起 動 装 置	112
9. 眞 空 活 栓	113
10. 眞 空 接 續 管	113
11. 冷 却 装 置	113

第三章 眞 空 装 置

1. 眞 空 ポ ン プ	115
2. 眞 空 計	117
3. 抵 抗 眞 空 計	118

第四章 水銀整流器の理論

1. 變壓器リアクタンスを無視した た場合の電流及び電壓の關係	120
2. 單 相 整 流 器	121
3. 三相變壓器一次 Y. 二次六相接續の整流器	122
4. 變壓器二次のリアクタンスを考慮した場合	124
5. 一次 Δ. 二次二重星形接續	128
6. 一次 Y. 二次二重星形	130
7. 相間變壓器を有する六相接續	132

第五章 水銀整流器の特性及 運轉

1. 化 成	135
2. 運轉中の注意	136
3. 逆 弧	136

4. 並行運轉..... 137
 5. 濾波装置..... 138
 6. 損失並に能率..... 139

第六章 格子制御水銀整流器

1. 格子制御の原理..... 140
 2. 交流による制御法..... 142
 3. 格子制御水銀整流器の直流電圧..... 144

第七章 各種整流器

1. タンガール整流管..... 146
 2. 酸化銅整流機..... 146
 3. 機械的整流器..... 148
 4. 練習問題..... 150

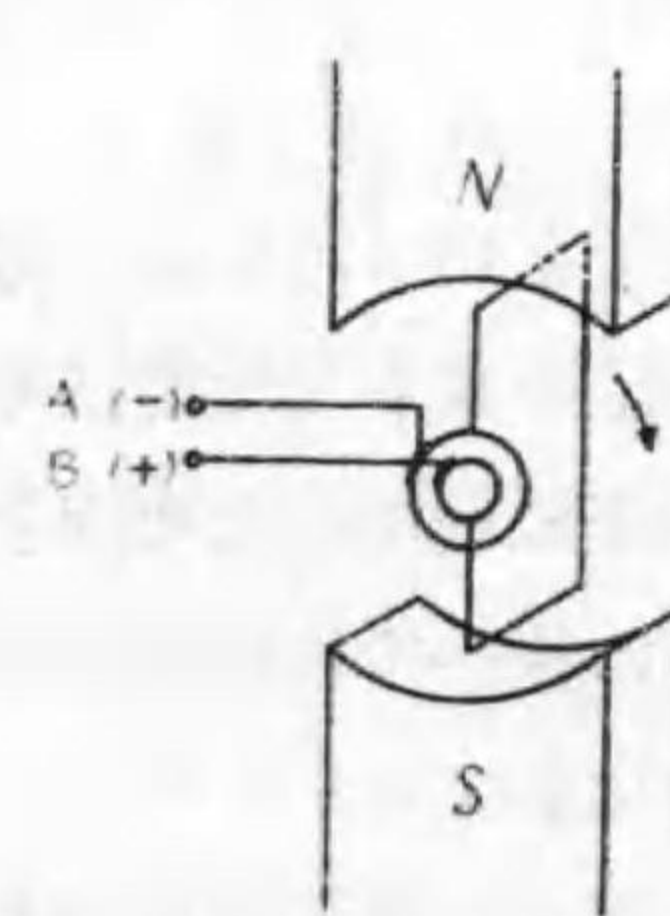
直流電気機械

第一編 直流機械

第一章 直流発電機の原理

1. 誘起電圧

発電機 (Generator ディージェネレーター) といふのは機械エネルギーを電気エネルギーに変へる機械である。而して電力を得るためには電圧を発生せしむることが必要である。発電機では導体と磁束との間に關係運動をなさしめて電圧を発生せしむるのである。第1圖に於て NS 磁極で作られた兩極間の磁界中に線輪を



第 1 圖

廻轉せしむる場合を考ふれば線輪が時計の廻轉方向と同じ方向に廻はるとした時誘起電圧の向きは N 極の下では Naka 向き即ち紙面に直角に向ひ、S 極の下では Soto 向き即ち紙背から紙面に向ふやうになる。

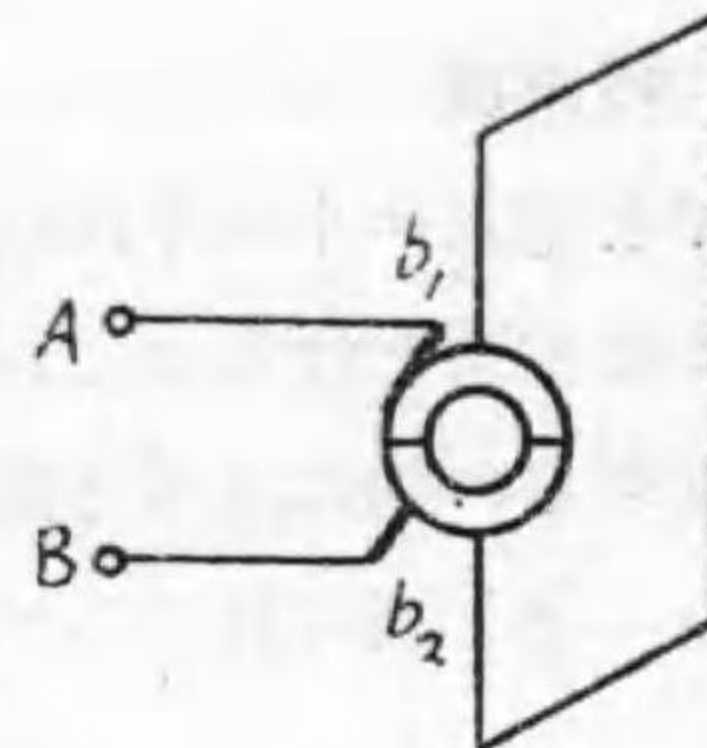
誘起電圧の大きさは單位時間に導体が切る磁束の數に比例する。1本の導体が1秒間に1億本 (10^8 本)の磁束を切るときに誘起される電圧の大きさを1ヴォルトと定めてある。第1圖に於て

- l導體の有効長 (cm) 上下の水平邊の長さの和
- B導體の位置の磁束密度 (Gauss)
- v導體が磁束を切る速度 (cm/秒)

とすれば誘起電圧 e は次の式で示される。

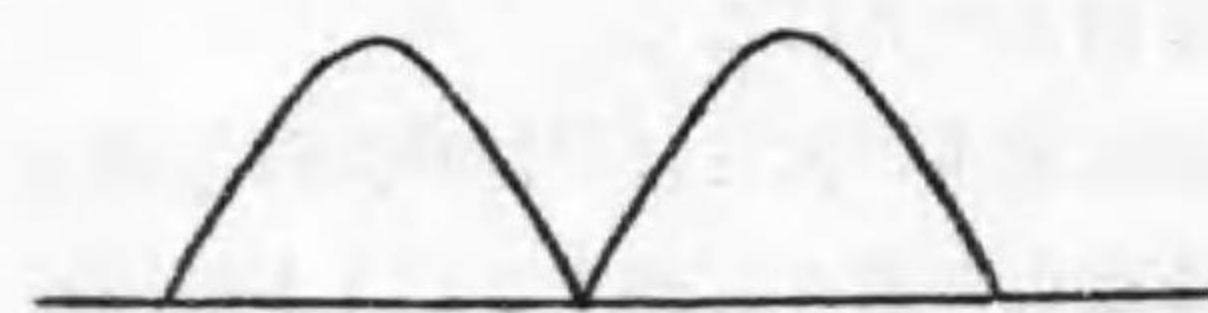
$$e = Blv \times 10^8 = Blv \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots(1)$$

第1圖のやうな構造では圖の位置から 180°廻轉した時刻では AB の極性正負が異り外部回路中にも一種の交流が流れる。其の波形は磁束密度 B (各位置に於ける導體並に運動の方向と直角方向の磁束密度の分力) の分布によつて異なるものである。直流電圧を得るには1箇の聚電環を用ふる代りに1箇の聚電環を2等分して互に絶縁した第2圖のやうなものを用ひ其各に線輪の兩端を接続すればよい。即ち上半に來た導體は常に外部の A 端子につながれ下半では常に B 端子につながれるから AB 端子間に直流電圧が得られる(第3圖)。かやうに聚電環を



第 2 圖

割つたものを整流子と云ふ。かやうな整流子を用ひた場合外部回路には直流が流れるけれども導體自身にはやはり交流電圧を發生し交流が流れてゐる。即ち整流子は内部に發生した交流を直流に變へて外部に送出す作用をする。



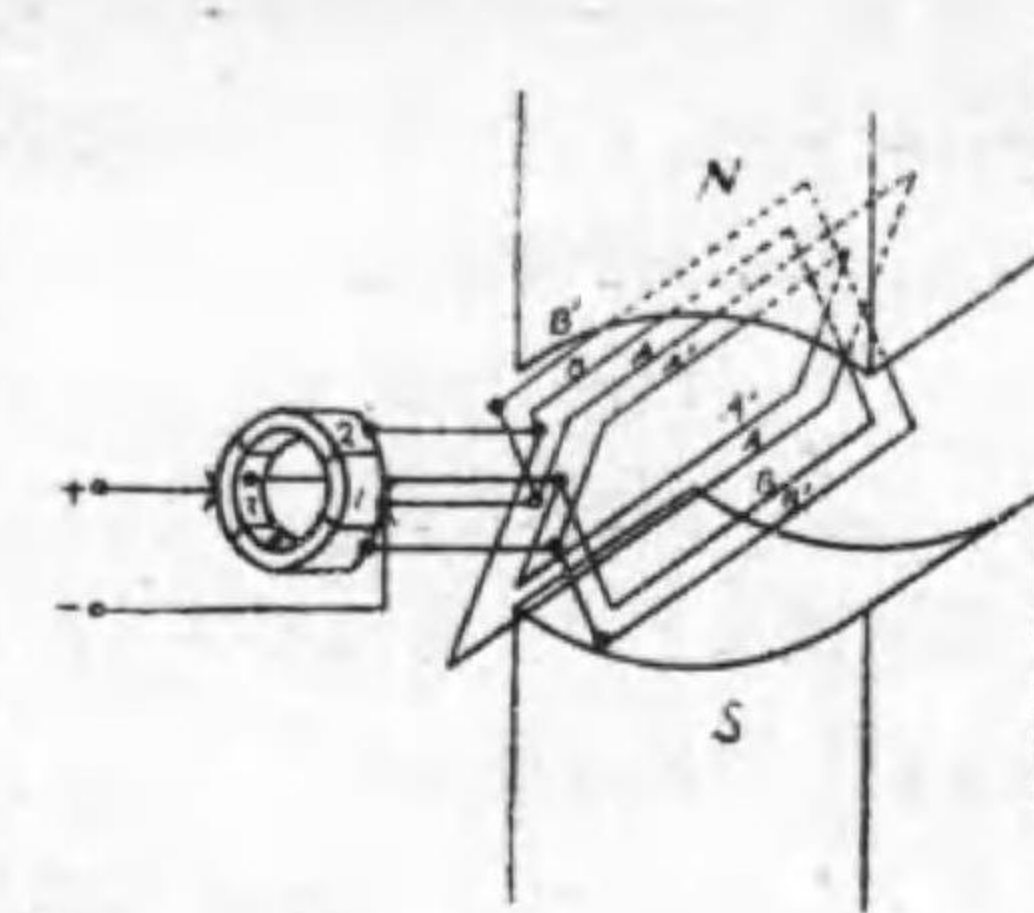
第 3 圖

整流子は整流子片の集りから成り第2圖の場合には1箇の線輪と2箇の整流子片を使用した場合であるが第4圖に示すやうに4箇の線輪と4箇の整流子片を用ふれば、電機子

(磁界の中で廻轉して電圧を發生する装置) 内の回路は2箇の線輪を直列とした2箇の並列回路から成る。整流子片1から3に至る回路は次の二つである。

$$(-) \text{ 刷子 } \left\langle \begin{array}{c} 1-A \quad A-2-B \quad B-3 \\ 1-B' \quad B'-4-A' \quad A'-3 \end{array} \right\rangle (+) \text{ 刷子}$$

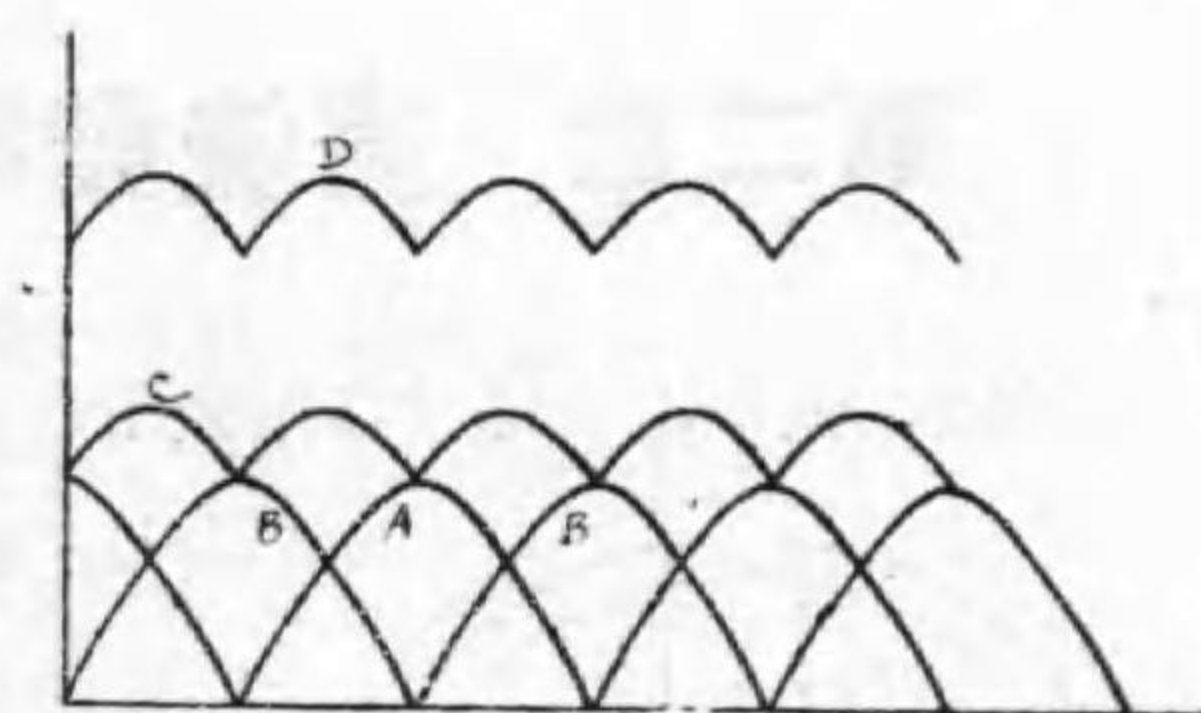
何れも2箇の線輪の誘起電圧を加へたものであるから電機子端子間に得らるゝ電圧波形は第5圖D曲線の如くなり第3圖に比して脈動の程度が著しく減少する。若し線輪及び整流子片の数を數十乃至數百箇に増加すれば端子電圧の脈動は極めて小さくなり實用上一定不變と見ることが出来る。



第 4 圖

2. 勵 磁 法

發電機の磁極は鐵心の周圍に絶縁銅線を捲き之に電流を通じて磁石とす



第 5 圖

るのである。鐵心は軟鋼より成り、軟鋼は容易に磁石となる代りに電流を斷つと磁氣の殆ど全部を失ふ性質があるから磁界を維持する爲には絶えず電流を通すことが必要である。このやうに電流により鐵を磁石となすことを勵磁 (Excitation エキシテーション) と稱し、その電流を勵磁電流 (Exciting current エ

(クサイティング・カレント) 又は界磁電流 (Field current フィールドカレント) と云ふ。

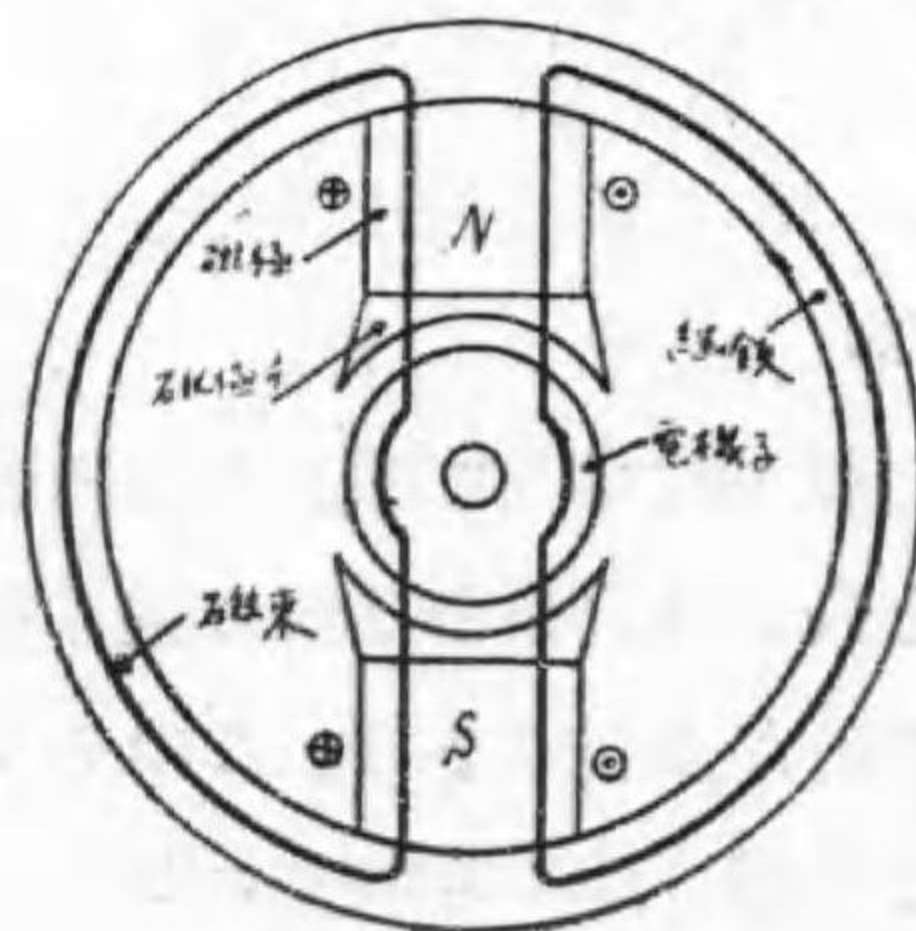
一般に直流機は勵磁の方法から次の二つに分けられる。一つは發電機自らが勵磁電流を供給するもので之を**自勵發電機**他は發電機以外の電源、例へば電池又は他の直流發電機から供給されるもので之を**他勵發電機**と稱へる。且つ自勵式の中に次の三種がある。

- 1. 直捲發電機
- 2. 分捲發電機
- 3. 複捲發電機

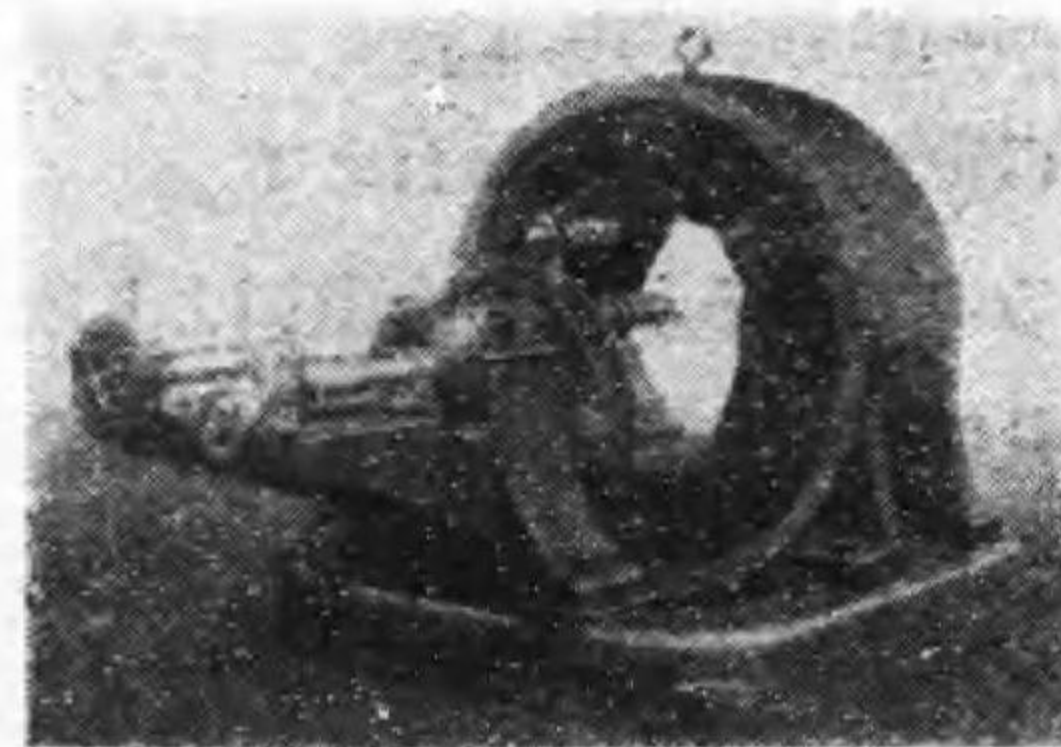
電話機及メガー等に用ひられる小さい發電機は永久磁石を用ふるから勵磁電流は要らない。之を**磁石發電機** (Magneto マグネト) といふ。磁石發電機は現今自動車航空機等エンジンの着火装置に使用される。

第二章 直流發電機の構造

直流發電機の主要部分は電機子、界磁極及び轡鐵から成つてゐる。磁極は磁束を作り電機子は



第 6 圖 a

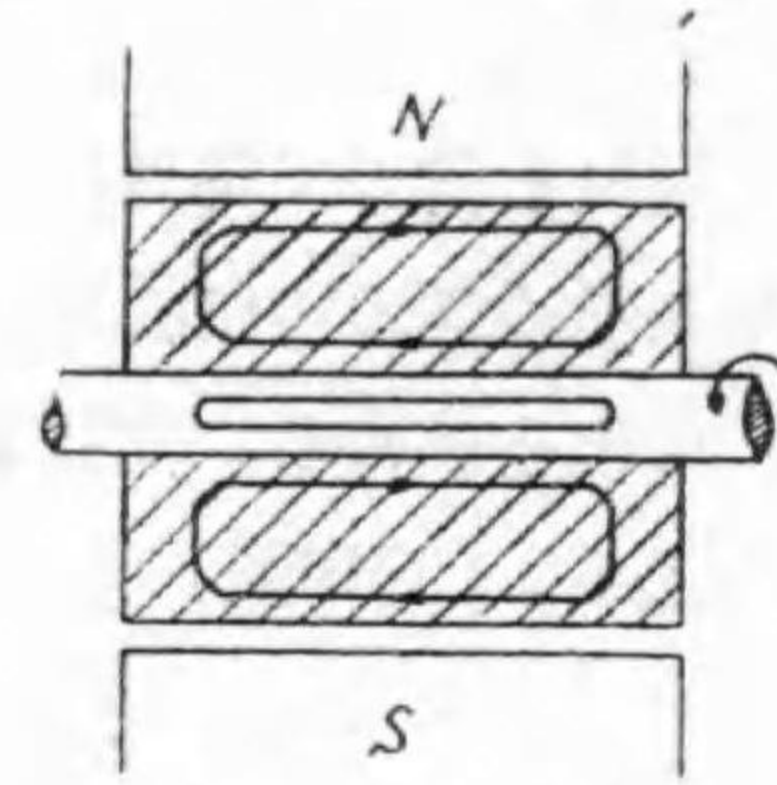


第 6 圖 b

界磁内を廻轉し電壓を誘起する導體と之を支持する部分の總稱である。轡鐵 (Yoke ヨーク) は磁極と磁極とを連結して磁路を作ると同時に發電機としての骨組をなす部分である(第6圖)。

1. 電機子鐵心

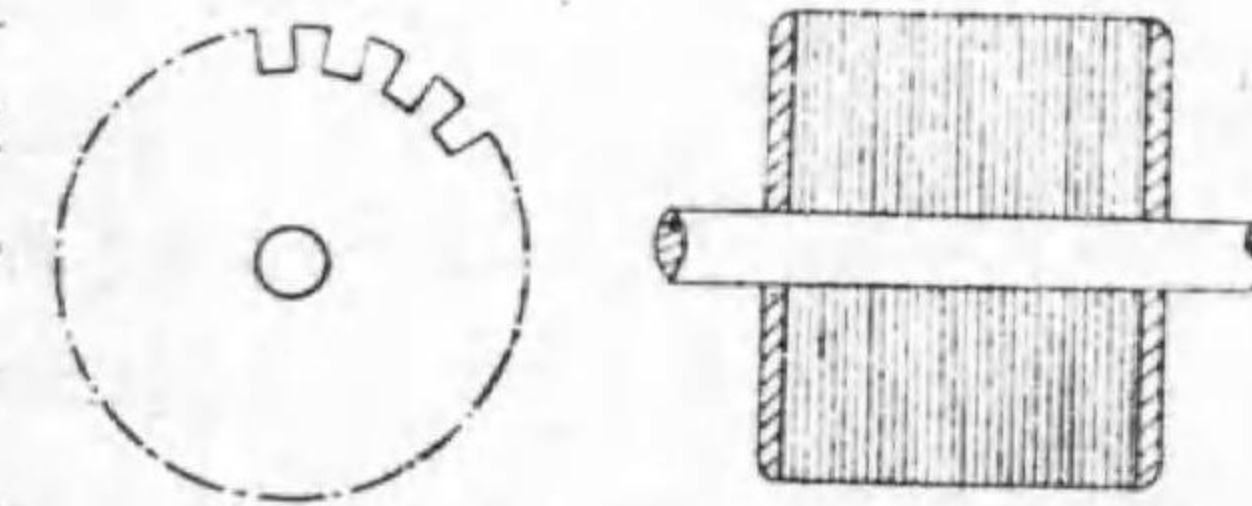
磁氣抵抗を小さくするために電機子鐵心には鐵を用ふる。而して鐵も導體であるから之れが磁界の中で廻轉すれば其の中に電壓が誘起される。若し鐵心が1箇の鐵塊で出来て居ればその内部には(第7圖)矢で示すやうな方向に電流が流れる。之を渦



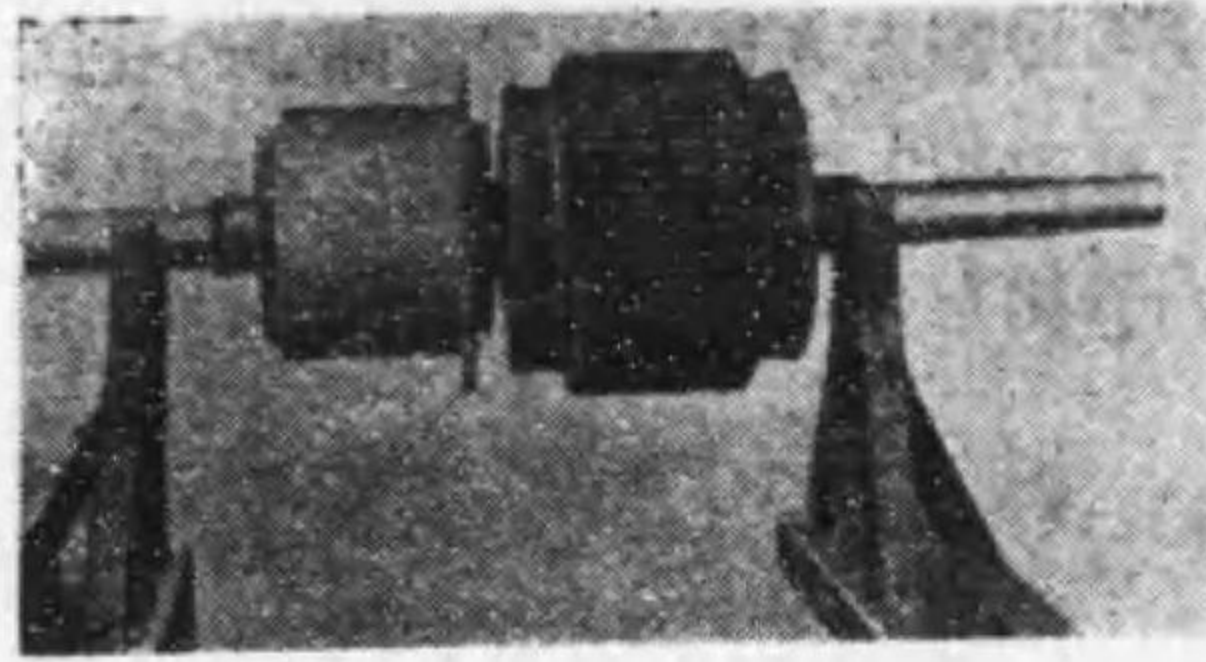
第 7 圖

流といふ。電流が流るれば I^2R なる電力が熱に變り、無益に鐵心を熱する事になる。之を防ぐ爲に實際の發電機では厚さ 0.35mm 乃至 0.5mm 位の薄い鐵板を積重ねて鐵心を作る。鐵板と鐵板との間は鐵の酸化物を利用し又はニスを塗り或は薄い紙で絶縁する。故に廻轉に際し地鐵の場合と同一電壓が誘起されるけれども電流が減少するから電力損失は著しく小さい。(第8圖)

小容量の發電機鐵心は1枚の鐵板から打抜くことが出来るが、大容量になると1枚の鐵板から打抜くことは出来ないから第9圖のやうな扇形鐵板を組合せて作る。鐵板には線輪を捲く溝が切つてある。この



第 8 圖 a

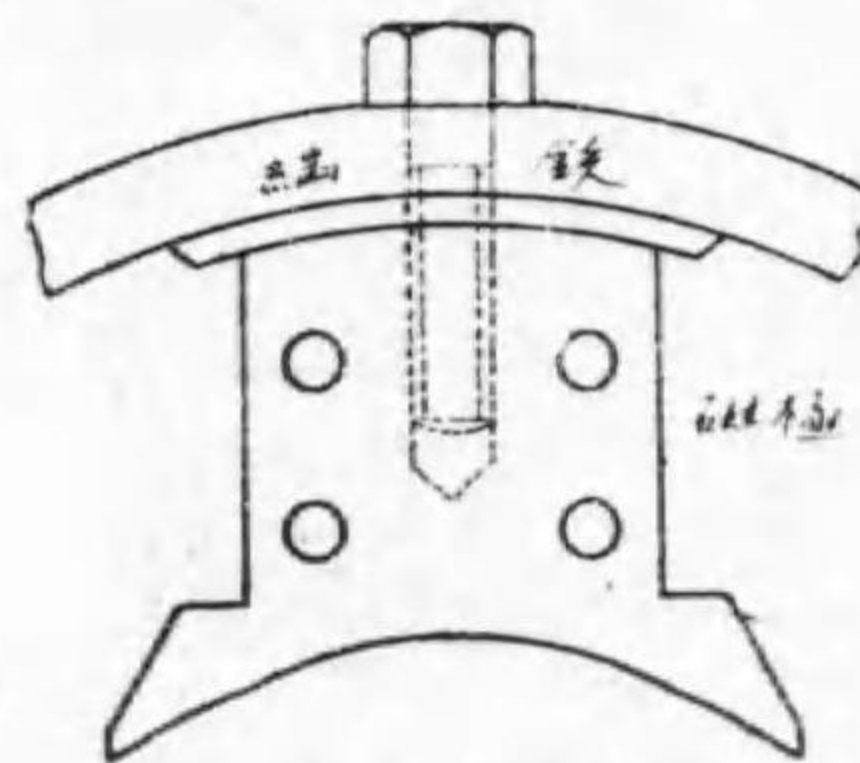


第 8 圖 b

やうな鉄板を積重ねて必要な軸方向の長さを得るのであるが、此成層が餘り厚くなると内部の冷却が不十分となり温度の上昇を來すから適當の間隔毎に通風渠を作り兩端は充分の強さを有する端板を當てて締付けキー又はネチで留める。かやうにして出來た鐵心溝の中に線輪を納めそれが飛出すのを防ぐために入口に楔を嵌める。楔は木材、竹、ファイバーのやうな絶縁物を用ふる。(第10圖)

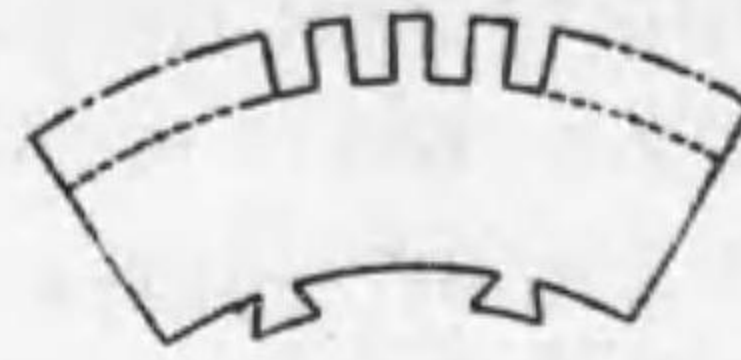
2. 磁 極 と 繼 鐵

界磁鐵心 (Field core フィールド・コア)、磁極片 (Pole piece ポール ピース) 界磁線輪 (Field coil フィールド・コイル) を總稱して磁極 (Magnet pole マグネット・ポール) といふ。



第 1 1 圖

鐵心は小さいものは軟鋼塊を火造り、大なるものは鑄鋼を使用することもある。又極片だけは0.8mm乃至1.6mmの薄鐵板を成層し之を鍛打した上で界磁鐵心に取り付けるか、又は鐵心、極片の兩者を同時



第 9 圖



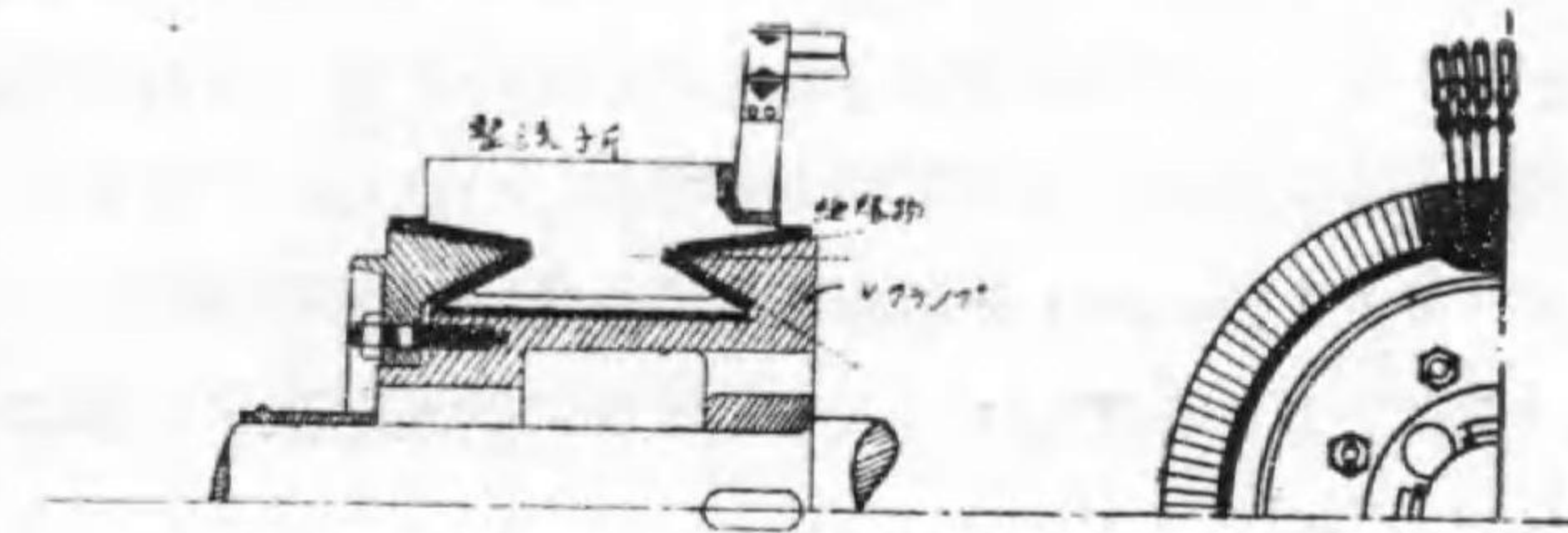
第 1 0 圖

に一つの鐵板から打抜いた成層鐵心もある(第11圖)。極片を成層するのは渦流を軽減する目的からである。

繼鐵は鑄鐵又は鑄鋼で造られ相隣る磁極間に磁束の通路を與へてやる外に發電機に充分な機械強度を有たせる目的もあるから杵とも云ふ。

3. 整 流 子

整流子は硬銅の整流子片を並べて作る(第12圖)。整流子片間



第 1 2 圖

はマイカナイト (Micanite) 類で絶縁され、Vクランプで締めつけられてゐる。特に速度の速いもの又は電流容量の大なる機械の整流子は軸方向の長さが長くなりVクランプのみでは支へ切れなくなる爲に外周に2~3箇の丈夫な鐵の環をはめる。之は硬い鋼鐵で作り、絶縁した上へ焼嵌めする。

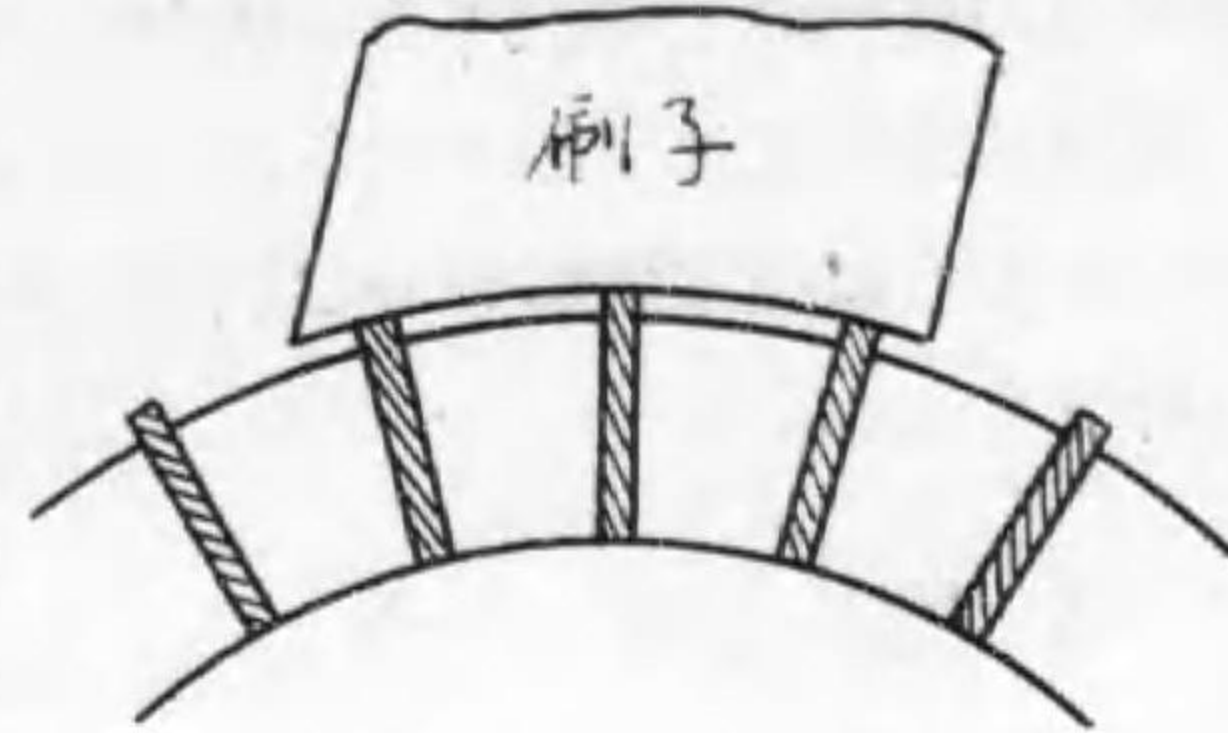
運轉中絶縁物が整流子面以上に突出すると刷子の接觸が悪くなるから豫め絶縁物は整流子面以下に切り下げて置く場合もある。之を切込整流子といふ。然し餘り深く切り下げると刷子の炭素粉末が挟つて又整流を不完全ならしむる原因となる。

マイカナイトが銅よりも硬いと第13圖のやうに銅片が先きに磨滅して次第にマイカの突起を生じ刷子と整流子片との接觸を

害する。之を突起マイカと稱し整流子には大禁物である。

4. 刷 子

刷子には一時銅網又は銅板を使用した事もあるが金属刷子は整流子を磨滅する事烈しく、且つ接觸抵抗が低いために整流



第 1 3 圖

子に火花が出易いから今日では殆ど炭素刷子のみを用ひる。炭素或はグラファイトは硬軟種々のものが場合に應じ採用され、整流子面に適当な壓力のスプリングで押しつけられてゐる。

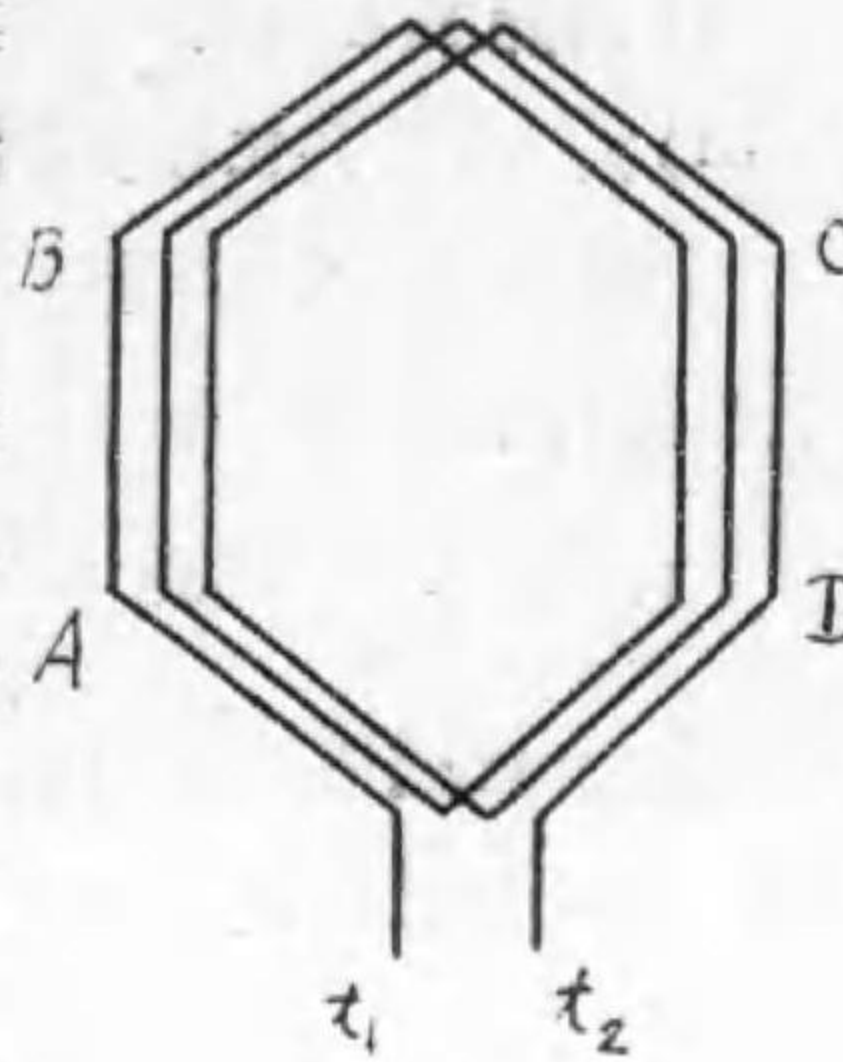
グラファイト類の刷子を用ふる事は整流子面への滑劑として働き、銅刷子のやうなものよりも整流子の磨滅を減する事に役立つ。

5. 電機子捲線法

線輪を電機子鐵心に捲くには一定の法則に従つて捲かなければならぬ。直流機の捲線は皆閉路捲であつて捲線自身が閉回路を作つてゐる。之れを大別すると重捲 (Lap winding ラップ・ワインディング) 及波捲 (Wave winding ウェーブ・ワインディング) の2種となり、是等が數箇集つたものに多重捲及多重波捲がある。

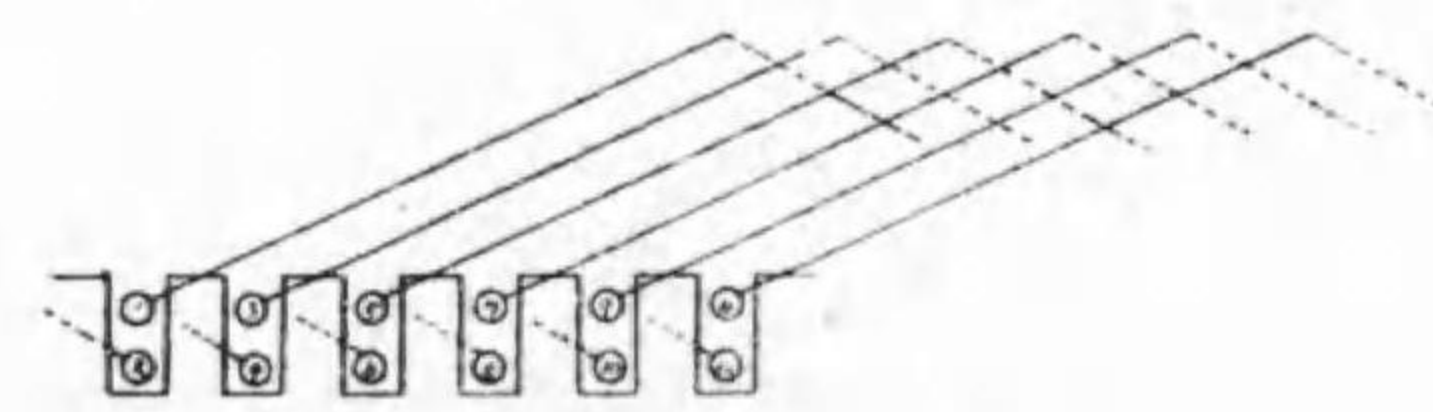
捲線をなすには第14圖のやうな線輪を作る。之れは必要な數だけ捲いた線輪にテープを掛けたものを溝に納むるに適するやう形を整へたもので型捲線輪といふ。AB及CDの部分をコイル・サイド (Coil side) といひ電壓發生に有効な部分である。コ

イル・サイドを連結する部分は電壓發生に役立つ部分で之を端線輪 (End coil エンド・コイル) といふ。 t_1, t_2 は整流子片を経て他の線輪に接続される。此の t_1 又は t_2 が幾つ目の線輪に接続されるか其の間隔を前節 (Front pitch フロント・ピッチ) といひ、ABコイル・サイドとCDコイル・サイドの間隔を後節 (Back pitch バックピッチ) といふ。1箇の線輪を成す兩コイル・サイドの間隔が極間隔と一致する捲線を全節捲といひ、極間隔より短いものを短節捲といふ。



第 1 4 圖

線輪を溝に納むるには第15圖のやうに線輪の1コイル・サイ



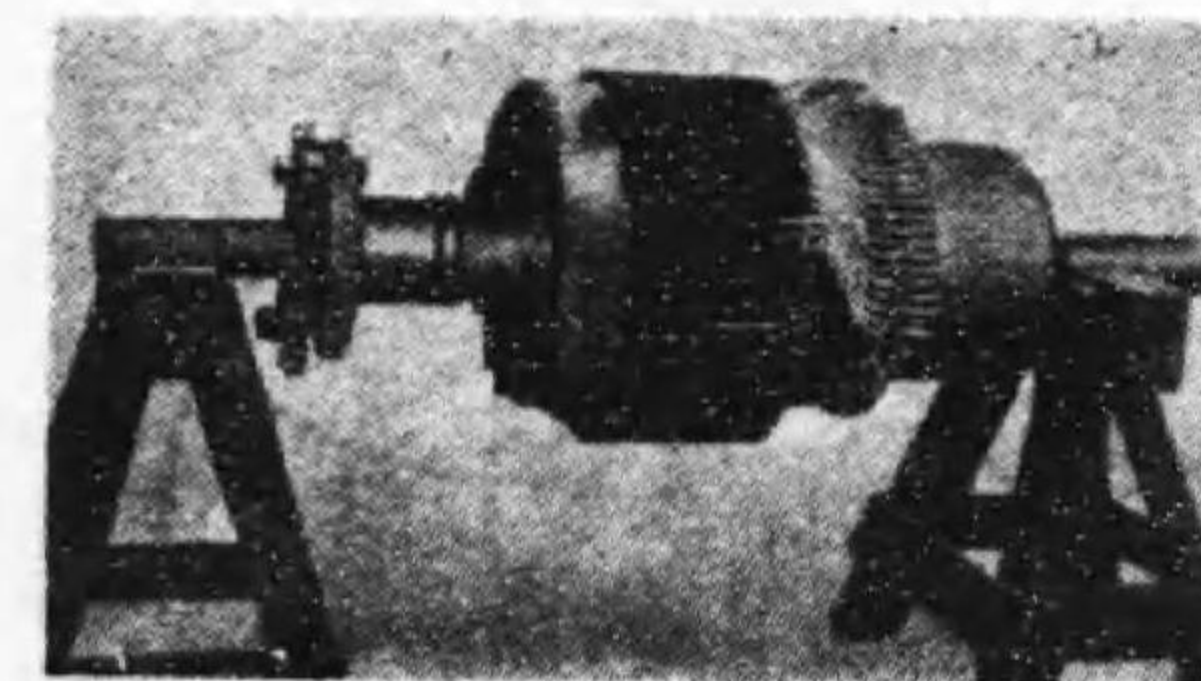
第 1 5 圖 a

ドが溝の上部にあれば他の1コイル・サイドは溝の底にあるやうに入れる。このやうに

溝の中に二つのコイル・サイドを上下に重ねた捲線を二層捲といふ。

重 捲

重捲は又並列捲ともいふ。此捲方をなす爲の條



第 1 5 圖 b

件は次のやうである。

- i) コイル・サイドの總數Zは偶數なる事

- ii) 前節 y_1 と後節 y_2 は共に奇数であつて其の差は2なる事
- iii) y_1, y_2 は共に極間隔に近い値なる事 (コイル・サイドの
数で数へた極間隔)

以上の条件を満足する y_1, y_2 は次の式で計算される。

$$y_1 \cong \frac{Z}{2p} \quad y_2 = 2 - y_1$$

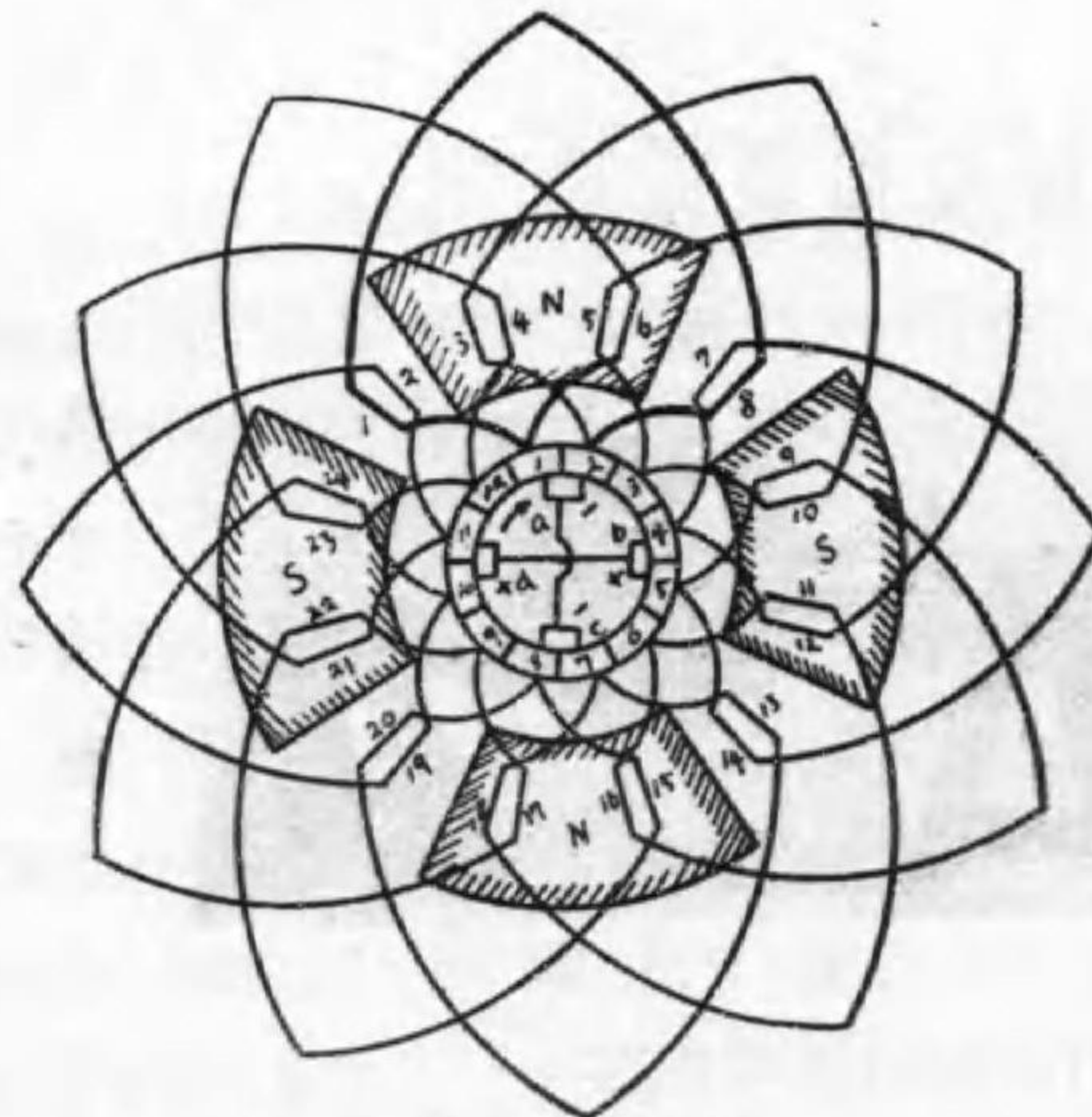
此の式の p は磁極の對の数で y_1 は必ず $\frac{Z}{2p}$ に近い奇数をとる。

例へば4極発電機のコイル・サイドの總數24なる重捲は次のやうになる。

$$Z=24, \quad p=2, \quad y_1 \cong \frac{24}{4} = 7, \quad y_2 = -5$$

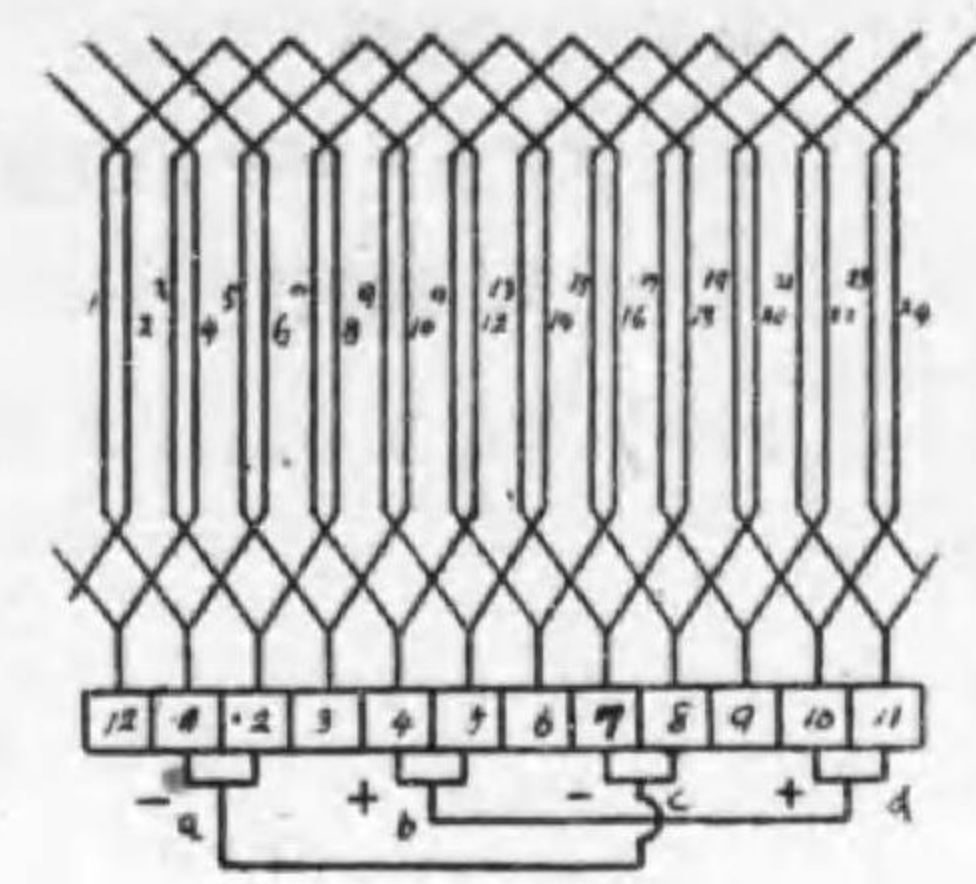
之を圖に示せば第16圖のやうになる。整流子側から発電機を見た時を前とすれば $y_2 = -5$ の負號は一つのコイル・サイドが次のコイル・サイドに前方でつながれる時に元に戻つて第5番目のコイル・サイドにつながることを示す。

此の電機子が右に廻轉するものとすればN極の下では Na a 向き、S極の下では Soto 向きの電壓が誘起される。1, 2, 7, 8, 13, 14, 19, 20 の導體は略々極間にあるから誘起電壓は極めて小さい。故に刷子 之等の導



第 16 圖 a

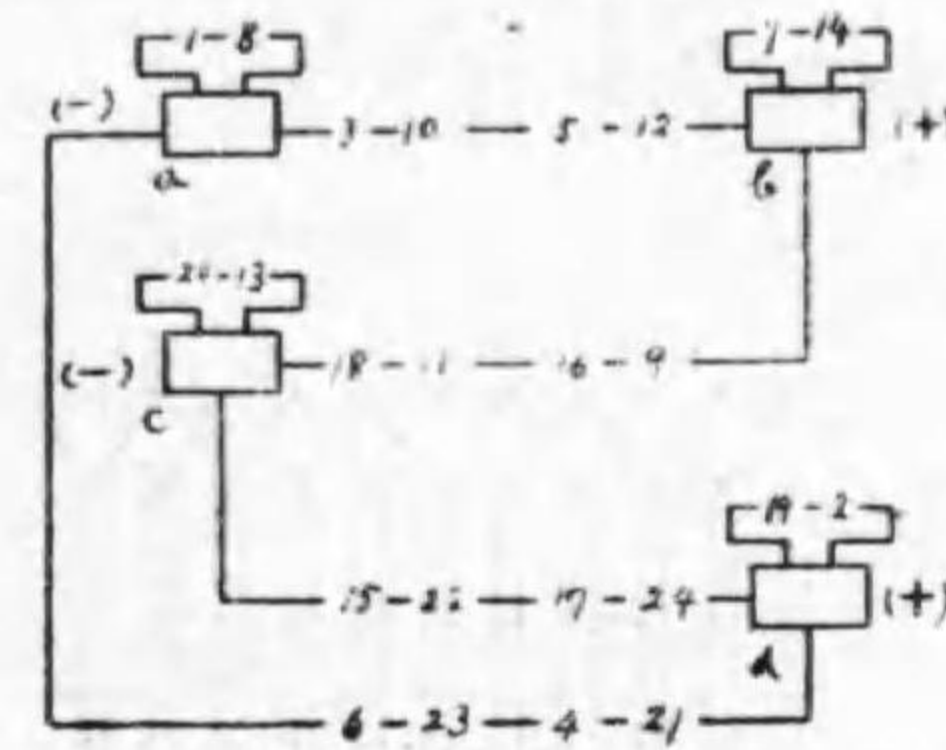
體が接続された整流子片の上に置く。此の附近は整流子上の中性帯であつて刷子を置くに最も適する點である。4極発電機であるから電機子内には正負刷子間に4回路が並列に存在する。



第 16 圖 b

第16圖では1—8, 7—14,

20—13, 19—2の線輪は刷子で短絡されてゐる。正刷子と負刷子



第 16 圖 c

との間にある導體の數は上に示した通り常に同じ數になつてゐる。此の4回路を並列につないで外部回路に電力を供給する。

波 捲

波捲は又直列捲ともいひ電機子回路の數が極數に拘らず唯2箇だけで總べての導體が此の2回路の中に直列に存在する。

前述の並列捲では電機子回路の數が磁極數と同一であるから極數の多いことは其の発電機の電流容量の大なる事を示す。直列捲では回路數は2に限定されてゐるから極數の多い事は電壓の高い事となる。故に並列捲は電流の大なる発電機に適し、直列捲は電流は餘り多くなく、電壓の高い発電機に適す。

波捲をなす必要な條件は

- i) 前節 y_1 後節 y_2 は共に奇数であつて其の値は等しいか又は其の差が2なる事
- ii) 整流子片の總數 K は極の對の数 p が偶數ならば奇數、

p が奇数ならば偶数である。

iii) コイル・サイドの数は

$$y_1 = y_2 \text{ なる時は } Z = 2py_1 \pm 2$$

$$y_1 = y_2 \pm 2 \text{ なる時は } Z = 2py \pm 2 \text{ 但し } y = \frac{y_1 + y_2}{2}$$

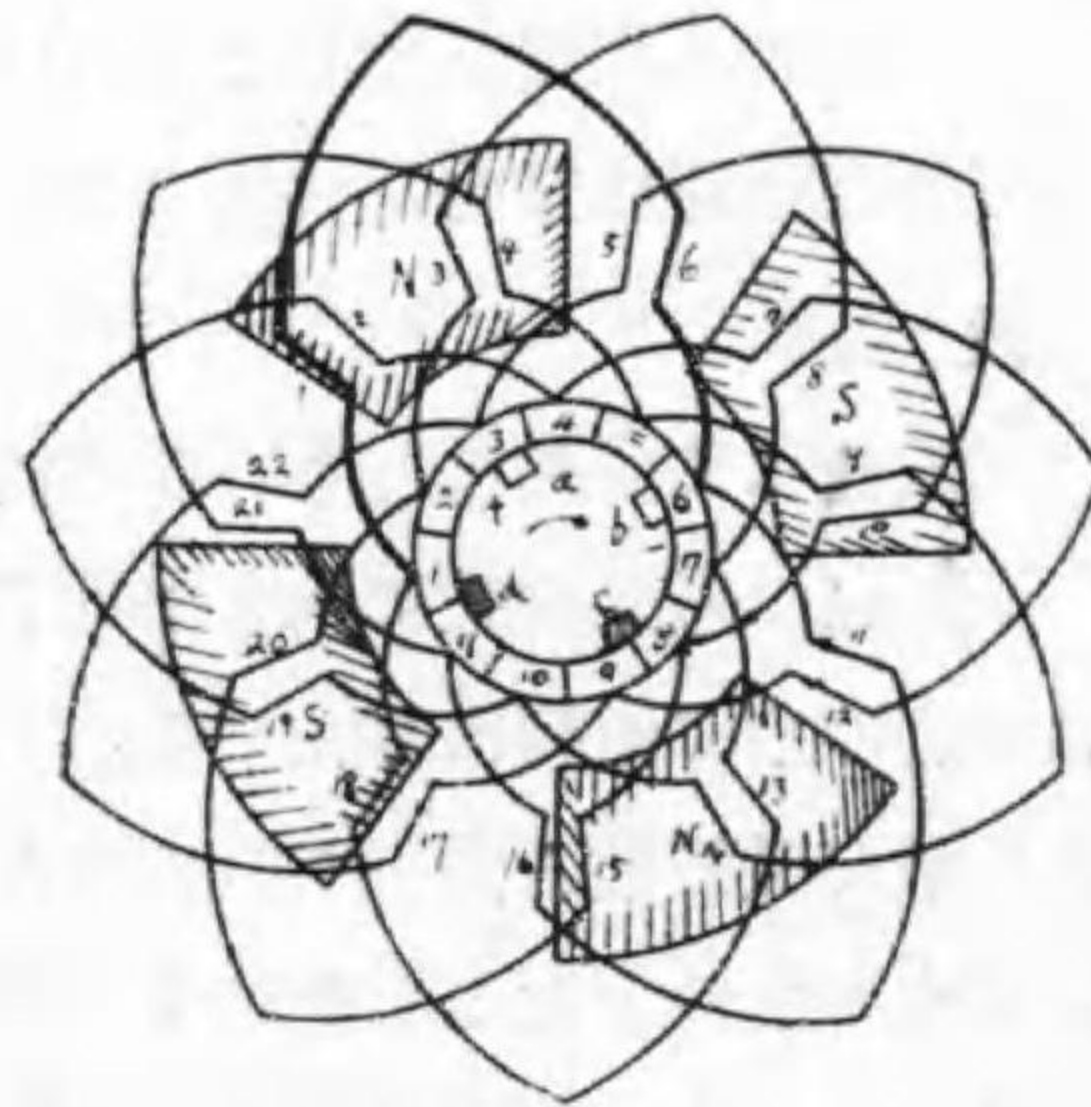
例へば

$$Z = 22, p = 2, y_1 \approx \frac{22}{4} = 5, K = \frac{22}{2} = 11,$$

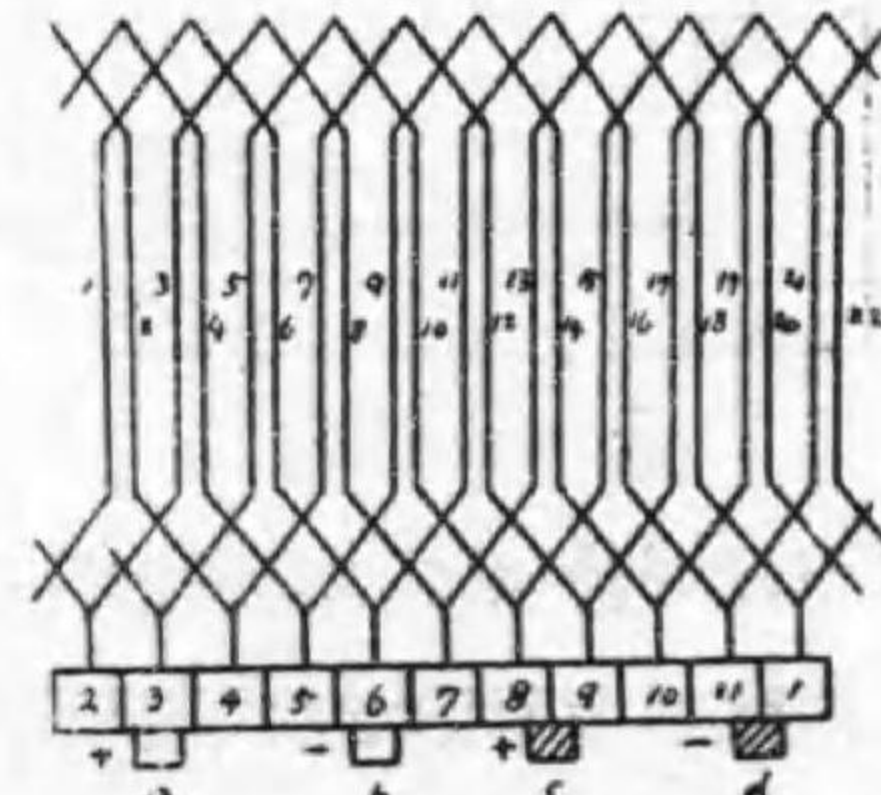
$$y_2 = 5, y = \frac{5+5}{2} = 5 \text{ (整流子節) Commutator pitch}$$

コンミュテーター・ピッチ)

y は 1 線輪が跨つてゐる整流子片の數である。重捲の時は y=1 であつた。之を圖に示せば 第17圖のやうになる。

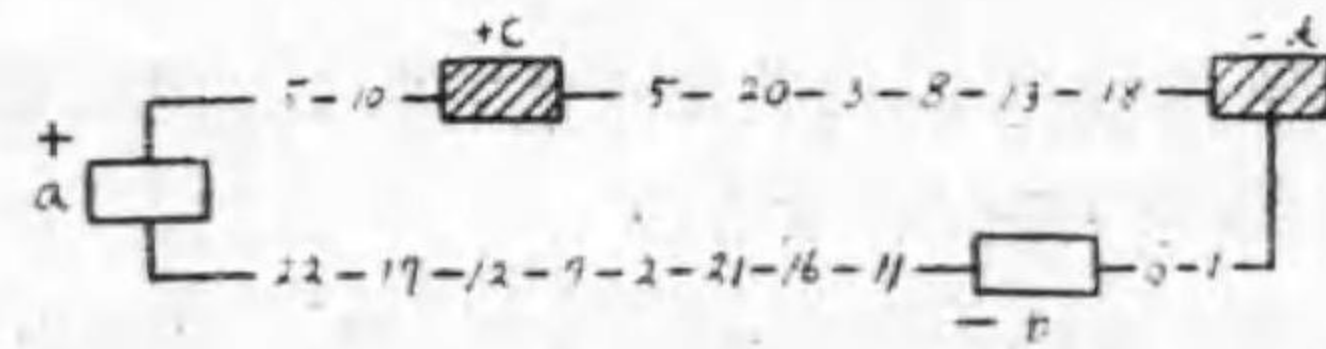


第 17 圖 a



第 17 圖 b

重捲の場合のやうに 4 箇の刷子を置いて電機子導體の接続を調べて見ると次のやうになる。

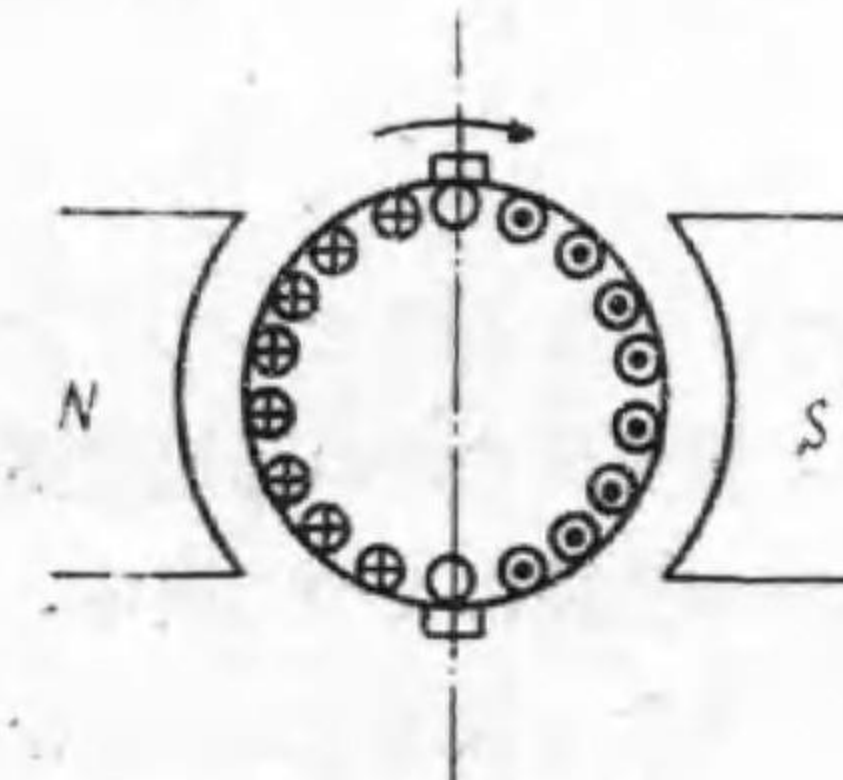


之を見ると正刷子 a 及 c は 5—10 のコイルでつながり負刷子 b 及 d は 6—1 のコイルでつながれてゐるから 2 箇の正又は負の中各 1 箇は無くても宜しい。即ち a, b 2 箇の刷子から外部へ電流を導くことが出来る。之は 4 極の場合を示したが 6 極でも 8 極でも極數の如何に關せず常に刷子を 2 組にすることが出来る。従つて電機子回路の數は常に 2 箇即ち a=1 である。

第三章 直流發電機の理論

1. 電機子誘起電壓

導體が磁界の中を運動する時はその中に電壓を誘起することは前に述べた通りである。普通に用ひられる直流機では電機子捲線は鼓狀捲線であつて第18圖で中心線から左半の導體は全部直列に又右半の導體も直列にあるものと考へる。



第 18 圖

刷子間に現はれる誘起電壓を E_a ヴォルトとすれば之は左半或は右半の各導體の誘起電壓の和になる即ち 1 本の導體に誘起される電壓の平均値と直列導體の數との積が E_a になる。

今一般に多極の場合を考へて

p = 磁極の對の數

Φ = 每極の有効磁束數 (マクスエル)

a = 電機子回路の對の數

n = 電機子毎秒の廻轉數

Z = 電機子全導體數

とする。電機子が1回轉する毎に1本の導體が切る磁束の數は $2p\phi$ マクスエルである毎秒 n 回轉するから1秒間に切る數は $2pn\phi$ マクスエルである。故に誘起電壓の平均値は

$2pn\phi \times 10^{-8}$ ヴォルトである。

直列導體の數は $Z/2a$ であるから刷子間の誘起電壓は

$$E_a = 2p \left(\frac{Z}{2a} \right) n\phi \times 10^{-8} = \frac{p}{a} Zn\phi \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots (2)$$

或る一つの機械では p, a, Z は定數であるから次のやうになる。

$$E_a = Kn\phi \text{ ヴォルト} \dots \dots \dots (3)$$

即ち誘起電壓は廻轉速度と磁束數に正比例する。 E_a は發電機の場合にはその方向に電流を流す役目をなし、電動機では加へられた端子電壓並に流入する電流に反抗するもので此の場合には反抗起電力 (Counter e.m.f. カウンター・イ・エム・エフ) ともしふ。

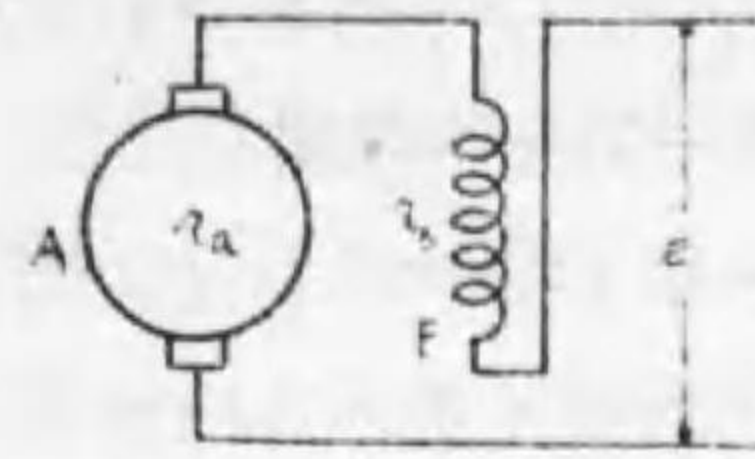
2. 端 子 電 壓

(2) 或は (3) 式は電機子内に誘起せらるゝ電壓であつて發電機の端子から得らるゝ電壓ではない。無負荷の時の誘起電壓が一定であつても端子電壓は發電機に掛る負荷によつて異なる。負荷が小ならば誘起電壓に近く、負荷が大なる程端子電壓は小さくなる。

各種發電機に就き誘起電壓と端子電壓との關係を示す。

1. 直捲發電機 (Series generator シーリース・ジェネレーター)

直捲發電機の接續圖は第19圖のやうになつてゐる。Aは電機子で之に直列に界磁線輪Fがつながれてゐる。 E_a を誘起電壓、



第 19 圖

電機子抵抗 (整流子と刷子との接觸抵抗をも含む) を r_a 直捲界磁線輪の抵抗を r_f とし負荷電流を I とすれば端子電壓 E は次の式で現はされる。

$$E = E_a - I (r_a + r_f) \dots (4)$$

$$I r_a = \text{電機子降下}$$

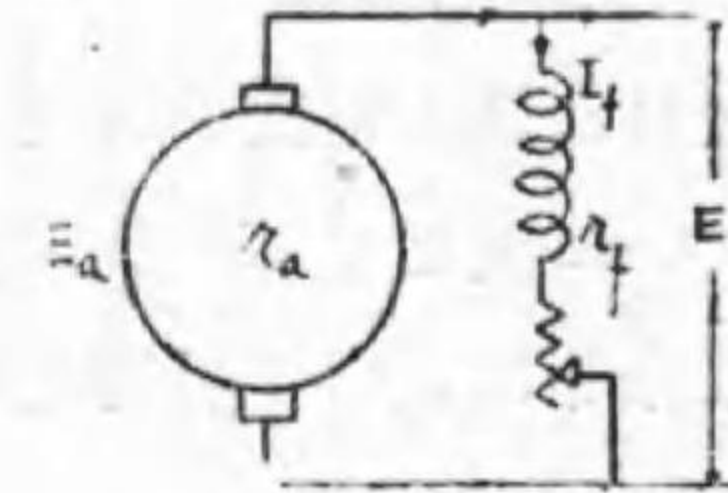
2. 分捲發電機 (Shunt generator シヤント・ジェネレーター)

(第20圖)

r_f は分捲線輪の抵抗 (抵抗器の抵抗をも含む) で分捲界磁電流を I_f とすれば

$$E = E_a - (I + I_f) r_a \dots (5)$$

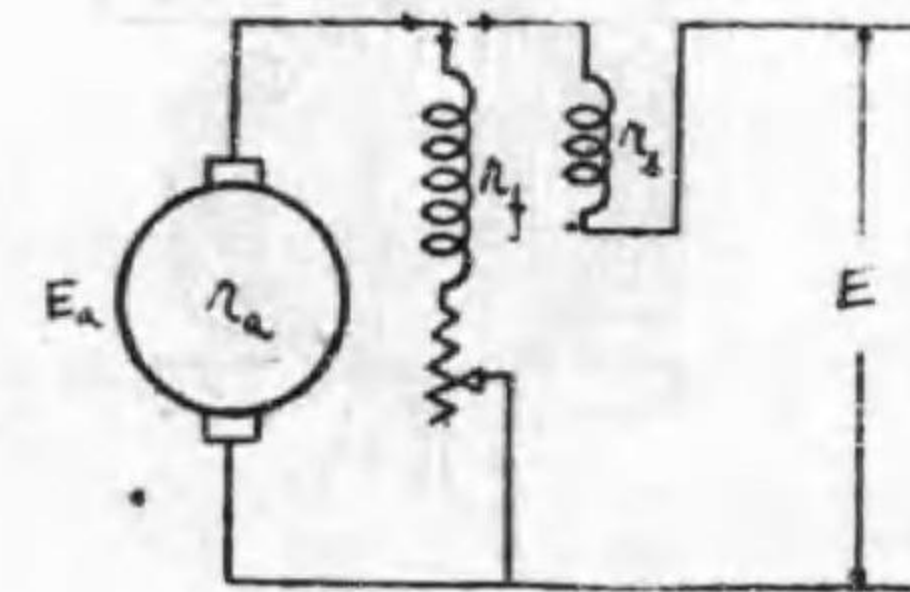
$$I_f = \frac{E}{r_f}, \text{ 電機子電流 } I_a = I + I_f$$



第 20 圖

3. 内分捲複捲發電機 (Short shunt compound generator ショート・シヤント・コンパウンド・ジェネレーター)

複捲發電機は接續上から二種に區別される。分捲線輪が直接電機子の兩刷子へ接續されたものを内分捲複捲發電機といひ、電機子並に直捲線輪の兩者に跨つて分捲線輪の兩端を接續したものを外分捲複捲發電機といふ。



第 21 圖

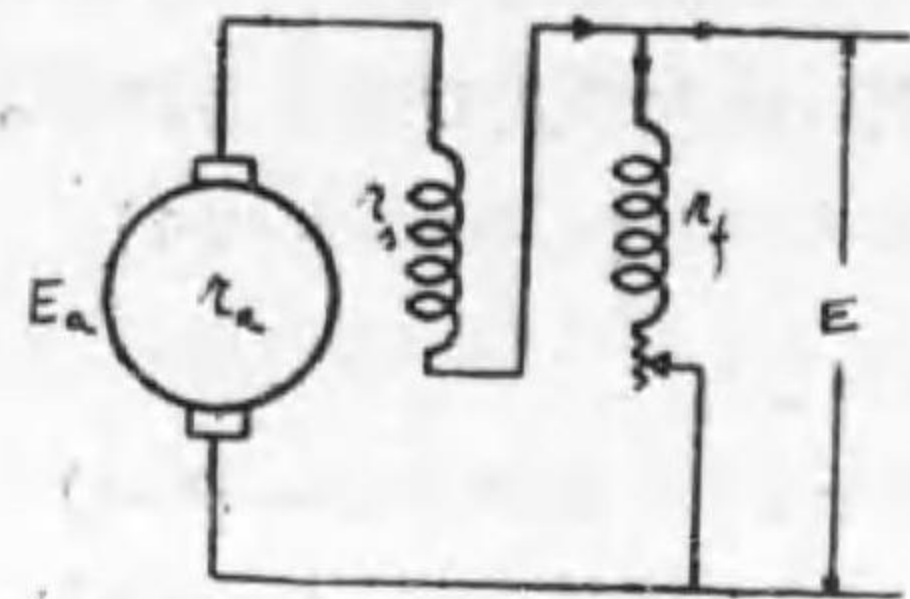
複捲發電機は接續上から二種に區別される。分捲線輪が直接電機子の兩刷子へ接續されたものを内分捲複捲發電機といひ、電機子並に直捲線輪の兩者に跨つて分捲線輪の兩端を接續したものを外分捲複捲發電機といふ。

第21圖の内分捲複捲發電機の場合には

$$E = E_a - I_a r_a - I r_s = E_a - (I + I_f) r_a - I r_s \dots (6)$$

$$I_f = \frac{E + I r_s}{r_f}$$

4. 外分捲複捲発電機 (Long shunt compound generator ロング・シヤント・コンパウンド・ジェネレーター) (第22圖)



第 2 2 圖

$$E = E_a - I_a (r_a + r_s)$$

$$= E_a - (I + I_f)(r_a + r_s) \dots (7)$$

$$I_f = \frac{E}{r_f}$$

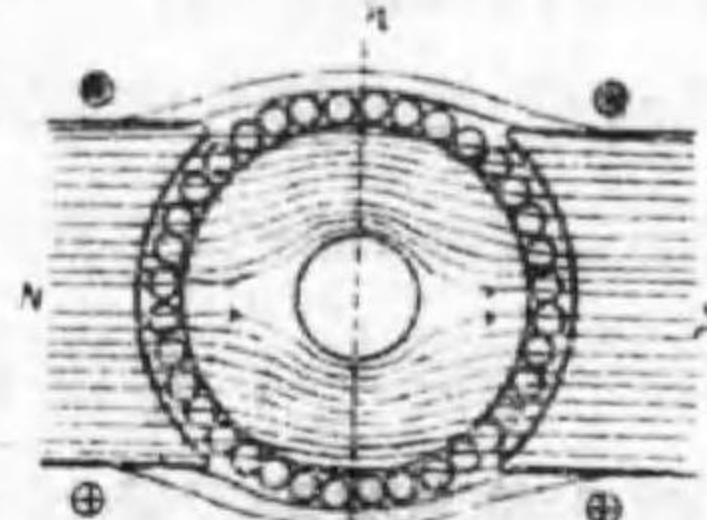
3. 電機子反作用

電機子に電流を流すと其の起

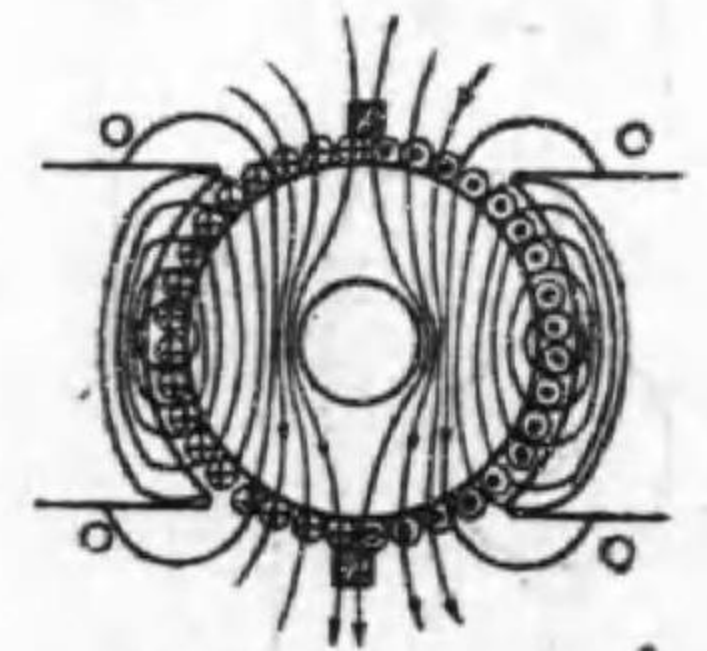
磁力の爲に電機子周囲の磁束分布が大いに變化する。此電機子電流が磁束分布に及ぼす影響を電機子反作用 (Armature reaction アーマチュアリアクション) といふ。発電機の場合でも電動機の場合でも全く同じ様な作用をする。

電機子に電流が流れない時には磁極N, Sによつて生ずる主磁束が通るのみで其の方向及び分布は第23圖 a のやうになる。

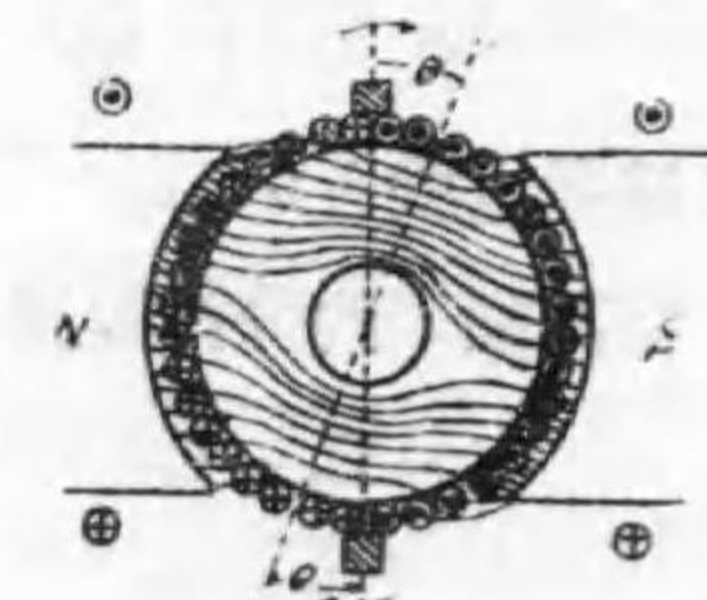
刷子が発電機の幾何學的中性線に (軸の中心を通つて磁束と直角な直線nn) にある時は電機子電流が作る起磁力の中心は主磁極に對し直角の方向を有し (第23圖b) 合成磁界の方向を第23圖cのやうに變化せしむ



第 2 3 圖 a



第 2 3 圖 b

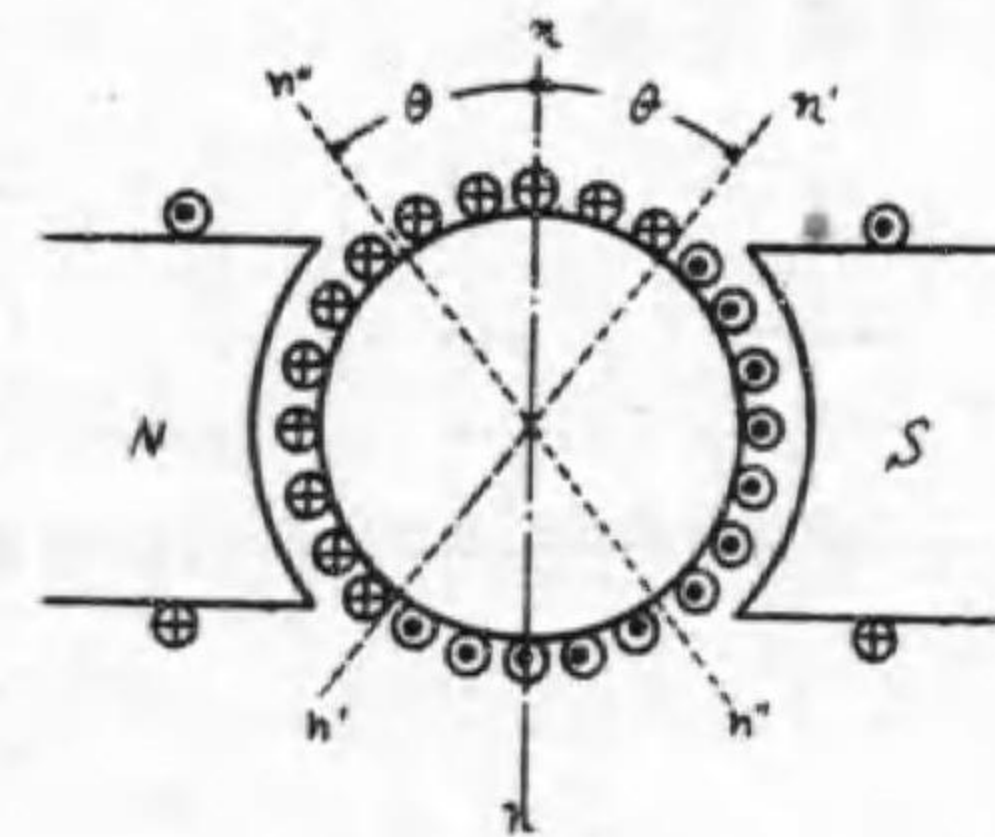


第 2 3 圖 c

る。発電機が實際に荷を負うて運轉してゐる時は第23圖cに示すやうに廻轉方向に向つて前方の極片端は磁束密度を増し、後方の極片端は密度を減少する。磁界は全體として廻轉方向に傾き磁氣中性線と幾何學的中性線とはθなる角をなす。即ち発電機に負荷すると中性線は幾何學的位置から廻轉の方向に前進する。而して電機子電流が大きい程第23圖bの磁束が増して合成磁界の偏り方が烈しくなり中性線前進の度合が甚しくなる。

電機子反作用は種々害を及ぼすものであるが、これを大體減磁作用と偏磁作用とに分けることが出来る。

刷子は磁束を切らない導體に結ばれた整流子片に置かねばならぬ。負荷された発電機では磁氣中性線が廻轉方向に移動するから刷子も廻轉方向に移動せねばならぬ。移動角θを進角度といふ。負荷電流が大きい程此の進角が大になる。中性線nnから廻轉と反對にθの角をとりn'n''を引けば2θ内にある導體は水平方向に右から左に向ふ磁束を作る。之は主磁束と正反對の方向にあるから減磁作用をする (第24圖)。残りの導體は鉛直方向に上から下に向ふ磁束を作る。之を交叉磁束といひ、第23圖cのやうに偏磁作用をなすのである。磁束を一部に集中せしむる結果、鐵の飽和のため有效磁束従つて誘起電壓を減少せしむる。偏磁作用は中性線を移動させ、負荷電流の大きさによつて移動角が變る。其の結果負荷電流の變化に應じて其の都度刷子を適當に移動させる必要がある。さうしないと整流子と刷子との



第 2 4 圖

間に火花を生ず。火花は整流子を損じ、甚しければ発電機の役目が果されなくなる。

減磁作用は刷子の移動角と電流の大小とで變るが主磁界を弱め発電機の電壓を降下させる。

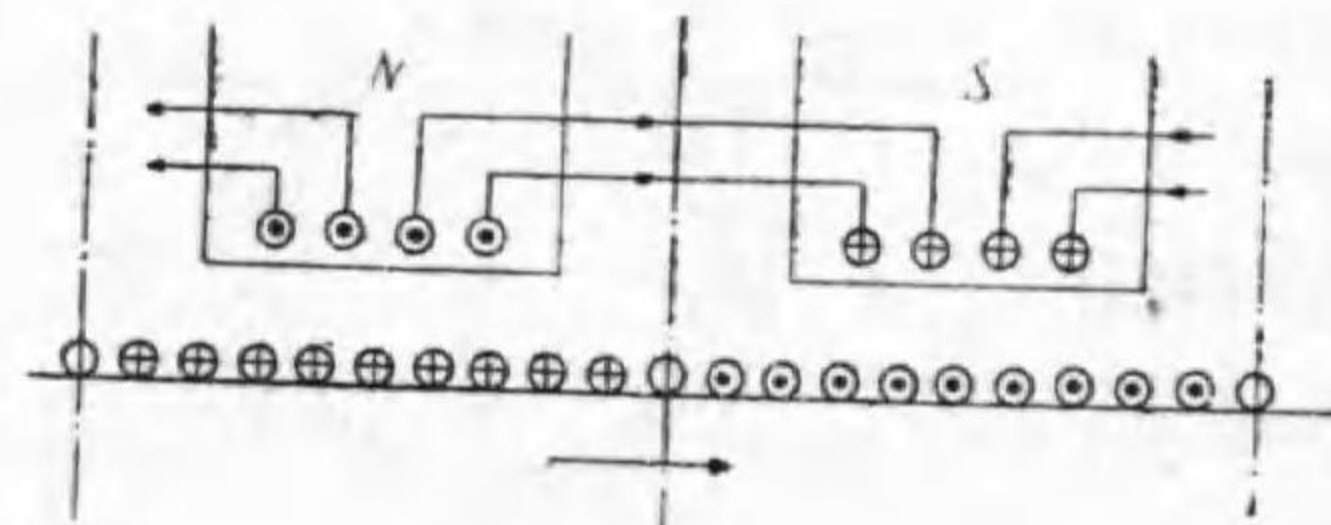
4. 電機子反作用防止法

電機子反作用は出来るだけ之を防止せねばならぬ。このために種々の方法が行はれる。

1. 電機子反作用を全然打消すこと。

之は反作用を起す電機子アンペア・ターンを他から加へた逆のアンペア・ターンで打消す方法で補償捲線がそれである。補極も其の一種と考へられる。

補 償 捲 線



第 2 5 圖

圖に示すやうに直下にある電機子導體の電流と逆方向の電流を通すやうにする。

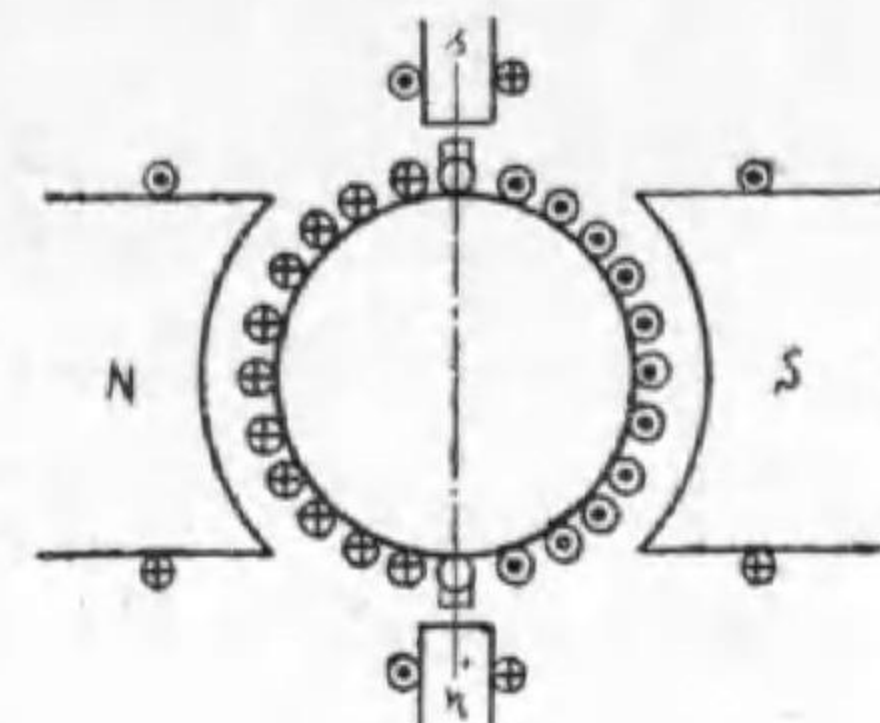
補 極

補償捲線を電機子全周圍に設くることは困難で従つて電機子反作用を全部補償捲線で打消すことは出来ない。中性線の處では電機子アンペア・ターンが打消されないから負荷がかゝつた時刷子に火花を發する。之を防ぐために補極を用ふ。第26圖の

補償捲線といふのは界磁極片に多數の溝を設け此の中に捲線を施し、之が電機子回路に直列に接続せられ各導體に第25

やうに主磁極 NS の中間幾何學的中性線上に小極 ns を設け其の勵磁線輪は電機子と直列に接続し、極性は電機子反作用に反對方向になるやうにする。此のやうにすれば補極の強さは常に電機子反作用に比例して増減し之を打消すことが出来る。

補償捲線は其の工作が面倒な上に各部が大になり經費が高むから普通は補極を用ひて電機子反作用を打消す。



第 2 6 圖

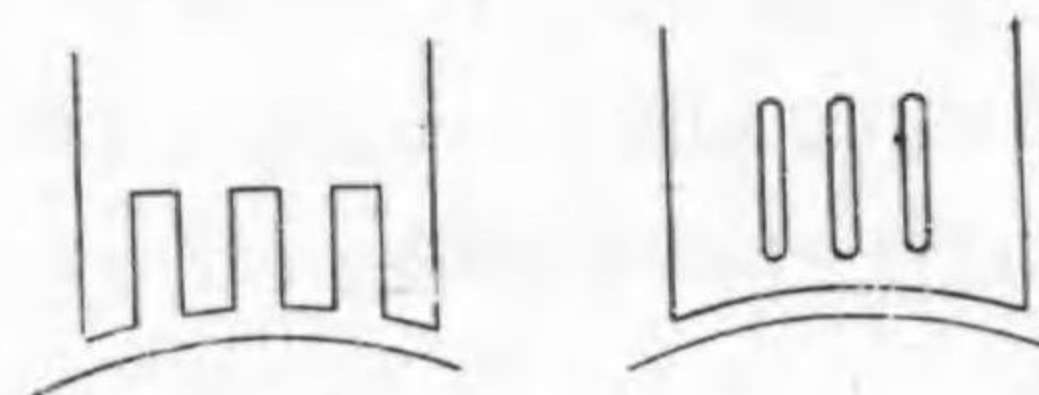
2. 反作用のアンペア・ターンを小さく取ること。

之は反作用を軽減するために1極當りの電機子アンペア・ターンを出来るだけ小さく取る、そのため電機子導體の總數を小さく取り主磁束を多くする。さうすると界磁線輪の起磁力に比し、反作用の起磁力が小さい。

3. 磁路、主として空隙の磁氣抵抗を大きくとること。

3. 磁路、主として空隙の磁氣抵抗を大きくとること。

空隙を大にして磁氣抵抗を増すと反作用による磁束は減少するが主磁束に對する磁氣抵抗が増すから必要な磁束を作るため



第 2 7 圖

に界磁アンペア・ターンを大にせなければならぬ。之は不利益であるから、主磁束の通路の磁氣抵抗は餘り増さないで電機子が作る磁束に對して

は著しく磁氣抵抗が大なるやうにすることが望ましい。第27圖は此の目的のための磁極鐵心を示し交叉磁束に對しては溝のために磁氣抵抗が著しく大になるやうにしたものである。

4. 練 習 問 題

1. 4極、160 導體の重捲電機子が毎分1800回轉の時誘起する電壓を計算せよ。但し1極から出る有効磁束を 5×10^6 本とする。

$$\text{解 } E_a = \frac{P}{a} n \phi Z \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

$$p = 2, a = 2, n = \frac{1800}{60} = 30, \phi = 5 \times 10^6, Z = 160$$

$$\therefore E_a = \frac{2}{2} \times 30 \times 5 \times 10^6 \times 160 \times 10^{-8} = 240 \text{ ヴォルト}$$

2. 4極、152 導體の波捲電機子が毎分 1500回轉の時誘起する電壓を計算せよ。但し1極から出る有効磁束を 4.5×10^6 本とする。

$$\text{解 } p = 2, a = 1, n = \frac{1500}{60} = 25, \phi = 4.5 \times 10^6, Z = 152$$

$$\therefore E_a = \frac{2}{1} \times 25 \times 4.5 \times 10^6 \times 152 \times 10^{-8} = 340 \text{ ヴォルト}$$

3. 問2の電機子が4極重捲ならば何ヴォルトの電壓を誘起するか。(答 170ヴォルト)

4. 300 k.W. 直流分捲發電機がある。其の電機子抵抗 0.008Ω で全負荷に於ける端子電壓 220ヴォルト、界磁電流を13アンペアとする。全負荷に於ける誘起電壓を計算せよ。

$$\text{解 全負荷電流 } I = \frac{300 \times 1000}{220} = 1364 \text{ アンペア}$$

$$\text{電機子電流 } I_a = I + I_f = 1364 + 13 = 1377 \text{ アンペア}$$

$$\text{誘起電壓 } E_a = E + I_a r_a = 220 + 1377 \times 0.008$$

$$= 231 \text{ ヴォルト}$$

5. 230ヴォルトの誘起電壓を有し220ヴォルトの端子電壓で働く75k.W. の分捲線輪に10アンペア流れてゐるとすれば電機子抵抗は何程か。(答 0.0277Ω)
6. 全負荷の時、端子電壓 250ヴォルトを有する 300k.W. の分

捲發電機に於て電機子抵抗が 0.008Ω 、界磁回路の抵抗が 20Ω とすれば誘起電壓は何程か。(答 259.7 ヴォルト)

7. 直流分捲發電機がある。磁極數 6、電機子導體數 400、每極の有効磁束數 10^6 で、毎分の廻轉數 600 なる時電機子に誘起する電壓幾ヴォルトなるか。但し電機子捲線法は直列捲とす。(大正10三種)(答 120 ヴォルト)
8. 4極、直流發電機で鼓狀捲線を施せる電機子ならば補極は相對する位置に2箇使用すればよい理由を説明せよ。
9. 直流分捲發電機に於て補極と補償捲線との作用の異なる點を述べよ。(大正11、二種)
10. 直流電動機又は發電機の補極の作用を説明せよ。(昭和5三種)

第 四 章 直 流 發 電 機 の 特 性

1. 無負荷特性曲線

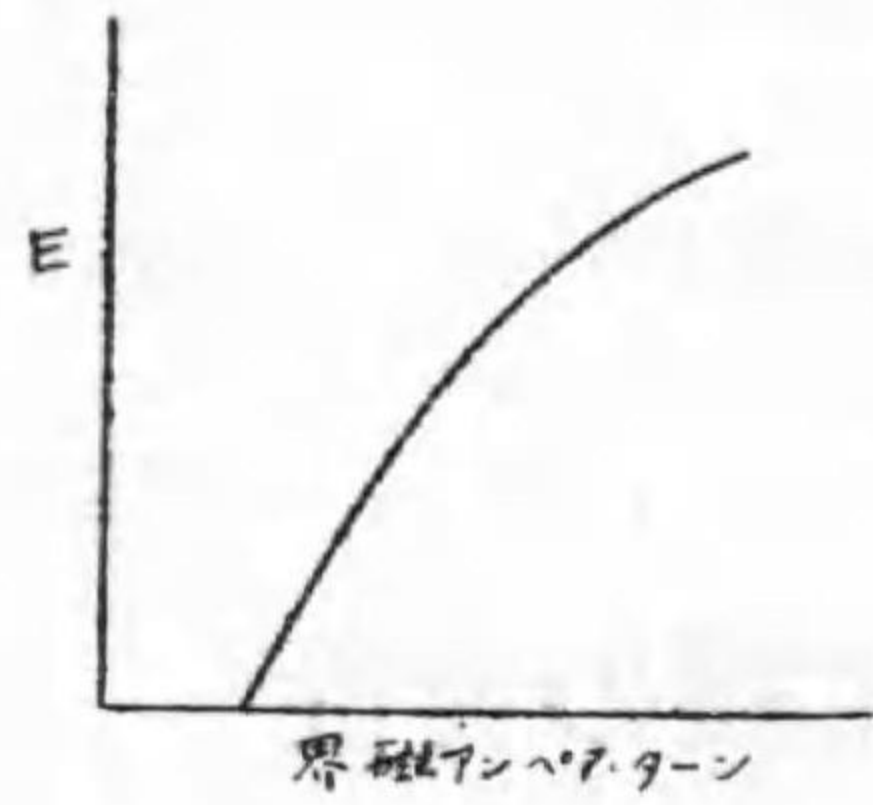
界磁起磁力(勵磁電流、又はアンペア・ターンを横軸に取り、縦軸に無負荷で一定廻轉速度の時の端子電壓、即ち誘起電壓 E_a を取つたものを無負荷特性曲線(No-load characteristic ノーロード、キヤラクタリスチック)、或は飽和曲線(Saturation curve サチュレーションカーブ)、或は磁化曲線(Magnetization curve マグネチゼーションカーブ)といふ。(第28圖)

E_a は(2)式の関係で ϕ に比例するものであるから、縦軸に E_a の代りに ϕ を取る事もある。此の曲線は要するに磁氣回路の特

性を示すもので非常に重要なものである。発電機でも電動機でも之が主として動作特性を決定する。

2. 負荷特性曲線

無負荷特性に對して、発電機に一定の電流を流した時、界磁起磁力によつて端子電壓Eの變化する特性を**負荷特性** Load characteristic (ロード・キヤラクタリスチック) といふ。(第29圖)



第 2 9 圖

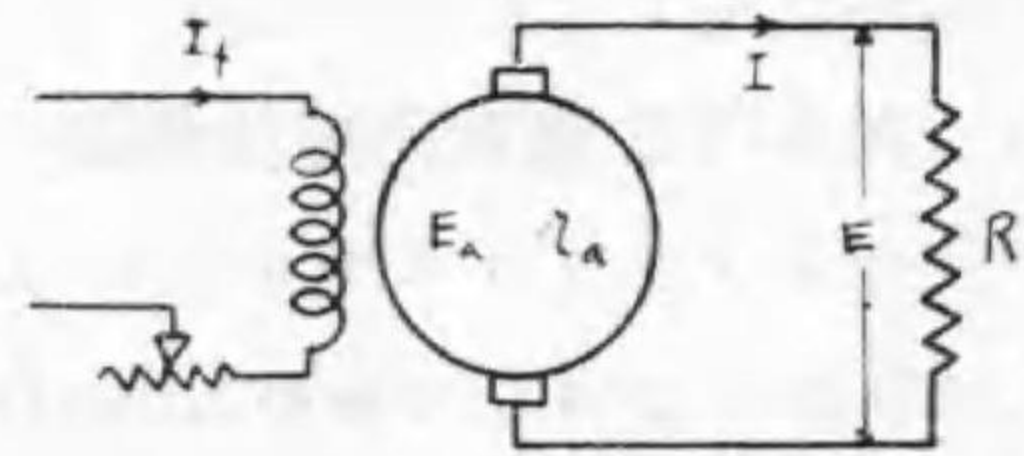
同一起磁力ならば端子電壓が負荷をかける事によつて減少する事は明かであるが、其の主なる原因は次の通りである。

- (1) 減磁起磁力
- (2) 交叉起磁力 (交叉磁束を作る電機子アンペア・ターン)
- (3) 電機子抵抗による電壓降下。

3. 他勵磁發電機

他勵磁發電機の接續を第30圖に示す。

- E_a = 誘起電壓
- E = 端子電壓
- I = 負荷電流
- R = 負荷抵抗
- r_a = 電機子抵抗 (電機子兩端子間の抵抗)



第 3 0 圖

とすれば次の關係がある。

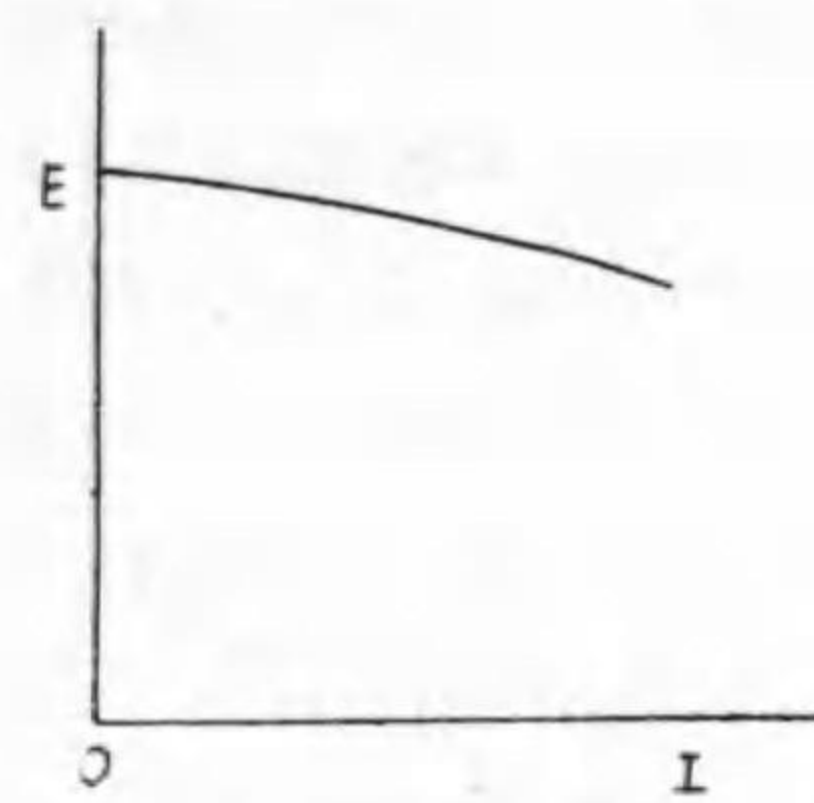
$$E = E_a - I r_a$$

$$E_a = \frac{p}{a} Z n \phi \times 10^{-8} \dots \dots \dots (2)$$

此式で p, a, Zは一定で nは原動機によつて調整し得るものである。φは每極の有効磁束數で勵磁電流 Ifによつて變化する。又 φは負荷電流 Iによる電機子反作用の影響を受ける。

a) 外部特性

速度 n と勵磁電流 Ifとを一定に保ち、負荷電流 Iによつて端子電壓 Eが如何に變化するかを示すものを**外部特性** (External characteristic エクスターナル・キヤラクタリスチック) といふ(第31圖)。



第 3 1 圖

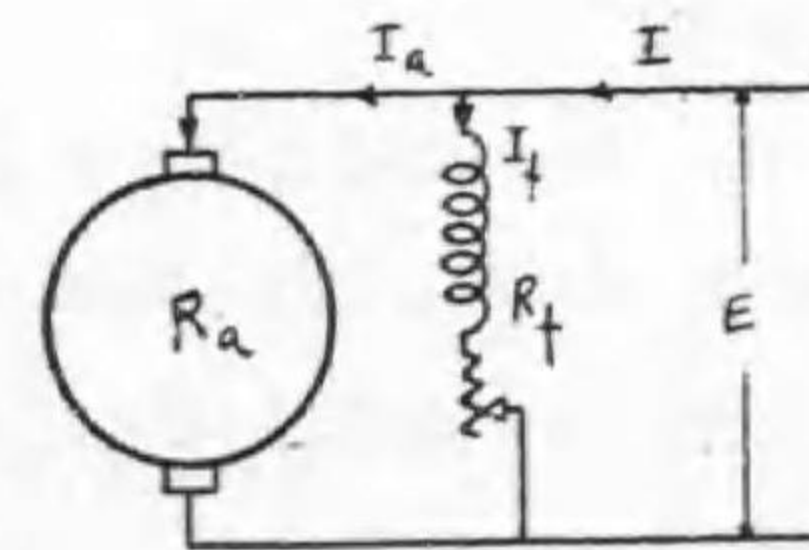
負荷電流の増加に従ひ端子電壓が降下するのは電機子抵抗 raと電機子反作用の減磁作用による。

他勵磁發電機は試験室でよく用ひられるけれども、一般の場合には分捲式か複捲式で充分に間に合ふ場合が多い。

4. 分捲發電機

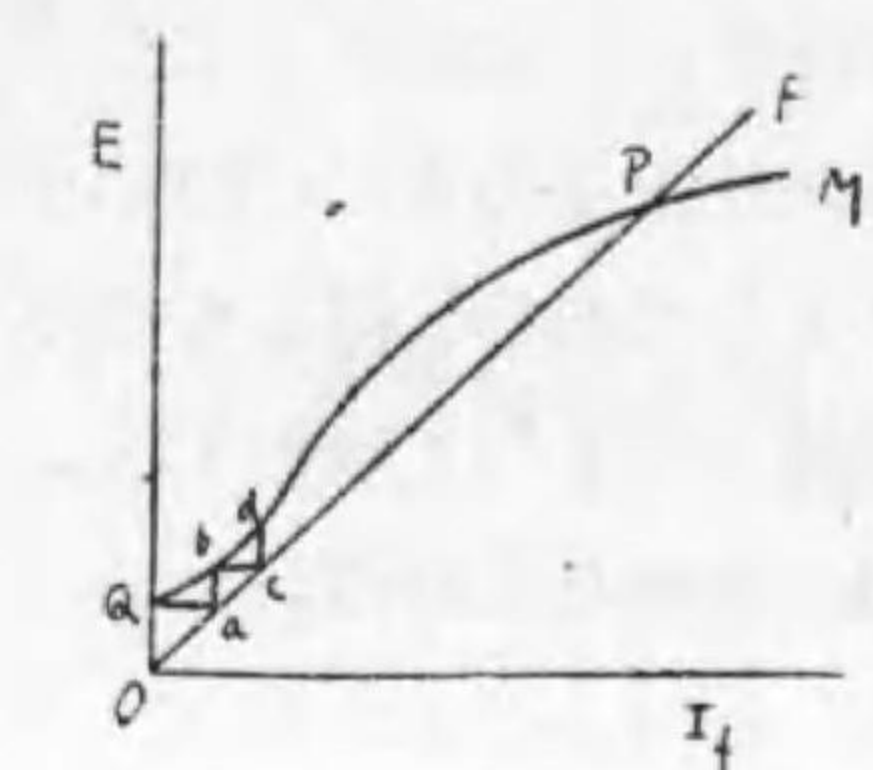
(a) 分捲發電機の自己勵磁

第32圖は分捲發電機の接續圖を示す。分捲發電機では廻轉によつて發生した電壓が勵磁回路に加はつて磁束が作られる。此場合に發生する電壓の大きさは無負荷特性曲線と分捲界



第 3 2 圖

磁回路の抵抗によつて定まる。自己勵磁 (Self excitation セルフエキシテーション) を行ふ事が出来る源は残留磁氣にあるが、この残留磁氣によつて発生する電圧から電圧が上昇する状態を考へて見る。第33圖 QM を無負荷特性曲線とし勵磁回路は OF のやうな特性をもつてゐるとする。勵磁回路を開いた状態では OQ だけの僅かな電圧を発生してゐるだけである。勵磁回路を電機子に接続すると OQ なる電圧によつて、a 點で示されるやうに僅かながら I_f が流れ、その僅かな勵磁によつて b のやうな電圧が発生することになる。此電圧は OQ より大で従つて少し増加して c のやうな I_f を流し之は更に大なる電圧 d を発生せしめる。かやうにして I_f と E とが自然に P 點まで上昇する。

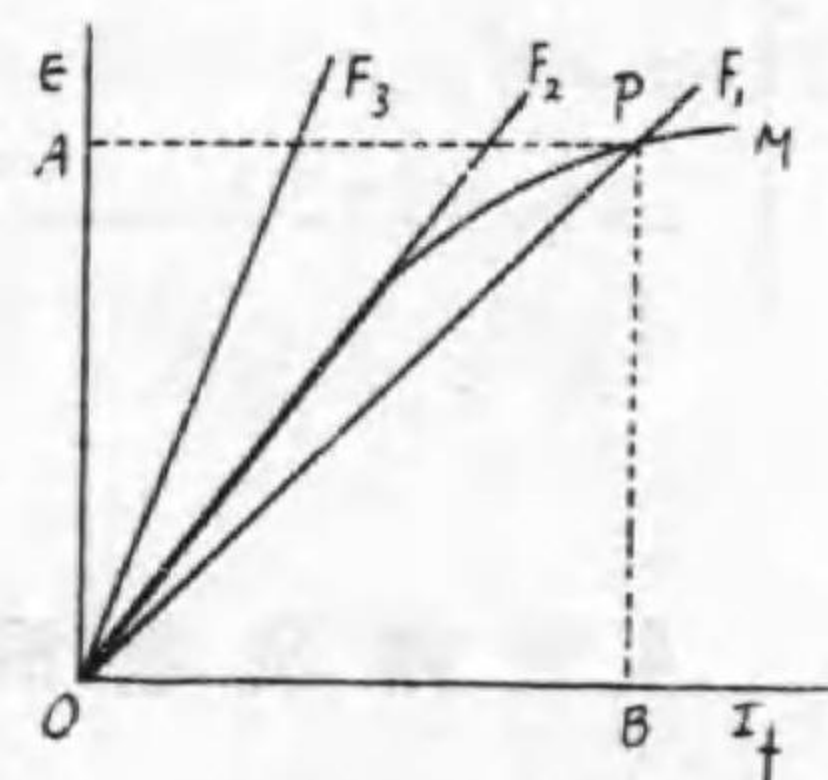


第 33 圖

勵磁回路の特性は勵磁回路の抵抗 (分捲線輪の抵抗及び抵抗器の抵抗) によつて定まるもので、勵磁電流 I_f とその電流を流すために勵磁回路の兩端に加ふべき電圧との關係を示し第34圖のやうに直線で示される。

抵抗器の抵抗を増す程此の界磁特性は垂直に近くなる。今界磁特性が OF_1 である時 n なる速度で廻轉すれば無負荷特性曲線と OF_1 との交點 P で示される。電圧まで上昇する。即ち $E = 0A$ になりそれによつて $I_f = OB$ なる勵磁電流を生ず。

界磁特性が OF_3 になるやうに抵抗を増したとすると此の場合



第 34 圖

には無負荷特性曲線の上で交點がないから電圧は上昇しない。僅かな OQ なる残留磁氣のみによる電圧程度に止まる。即ち此の場合は自勵作用は行はれない。

自勵作用で電圧が上昇するか、又は自勵作用が行はれないかの境目は界磁特性が OF_2 になるやうな抵抗の場合である。此の OF_2 直線は無負荷特性曲線の直線部と重なつて居て其の範圍で電圧は不定になる。

此の時の勵磁回路の抵抗を r_{f2} とし r_{f2} より小さい抵抗に對しては自勵作用によつて電圧が上昇する。 r_{f2} を此の場合の **臨界抵抗** (Critical resistance クリチカル・レジスタンス) と稱する。

自己勵磁を起し得ない場合は次の通りである。

- (1) 界磁回路の抵抗が高すぎる場合
- (2) 廻轉速度が低すぎる場合
- (3) 逆方向に廻轉せしめた場合
- (4) 界磁回路の接続を逆にした場合
- (5) 残留磁氣が無い場合

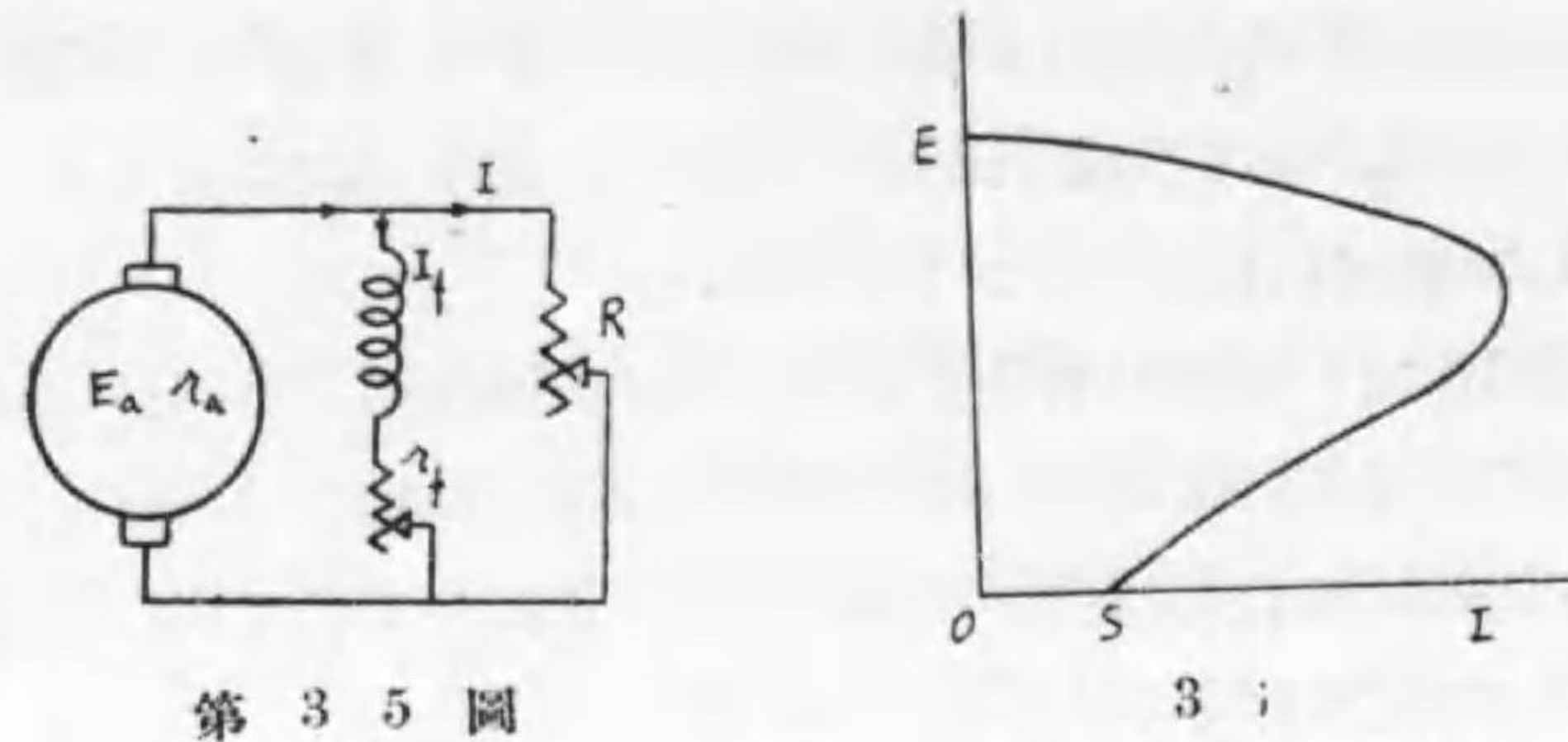
(b) 分捲發電機 の 特性

無負荷特性

無負荷電圧と云つても分捲線輪が結ばれてゐる状態では電機子に I_f だけの電流が流れ、 $E = E_a - I_f r_a$ で $I_f r_a$ だけの電圧降下があるけれども之は小さなものであるから E は E_a と大差ない。故に無負荷特性は第33圖のやうになる。

外部特性

負荷が大になると電機子反作用の起磁力と抵抗による電圧降下によつて端子電圧が降下し、 I_f を減少せしめるから、他勵磁式の場合に比べると電圧の負荷による減少が激しくなる。



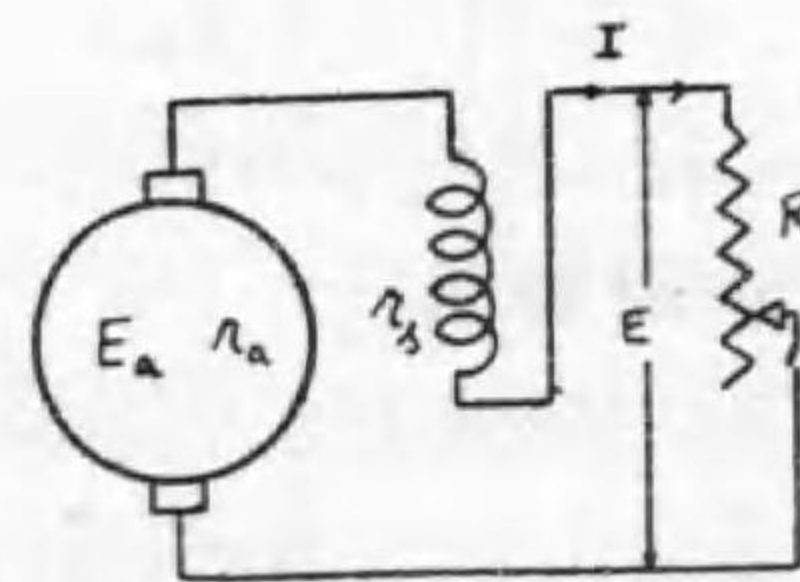
第 35 圖

第35圖のやうな接続で一定速度で運轉した場合の I と E との関係が外部特性である。第36圖のやうになる。 P 附近で電流最大値があり、負荷抵抗 R を如何に小さくしても I は或る限度以上に大にならない。 S 點は端子間を短絡した状態を示し、短絡すると P のやうな場合よりも却つて電流が小さくなる。短絡状態では $E=0$ 、従つて $I_r=0$ 、 E_a は 残留磁氣で作られ之によつて OS なる短絡電流が生ずる。従つて分捲發電機では残留磁氣が小さく、電機子反作用の減磁作用と r_a が比較的大きいと OS は小さくなるから短絡しても大した電流は流れない。然し一般の分捲發電機では残留磁氣もそれ程小さく無く、 r_a は極く小さいから OS も相當な値になり短絡で運轉しても安全と云へない事が多い。

5. 直 捲 發 電 機

無負荷特性

第37圖は直捲發電機に負荷をかけた状態を示す。直捲發電機では負荷をかけないで運轉すれば残留磁氣によつて僅かの電壓を發生するだけで

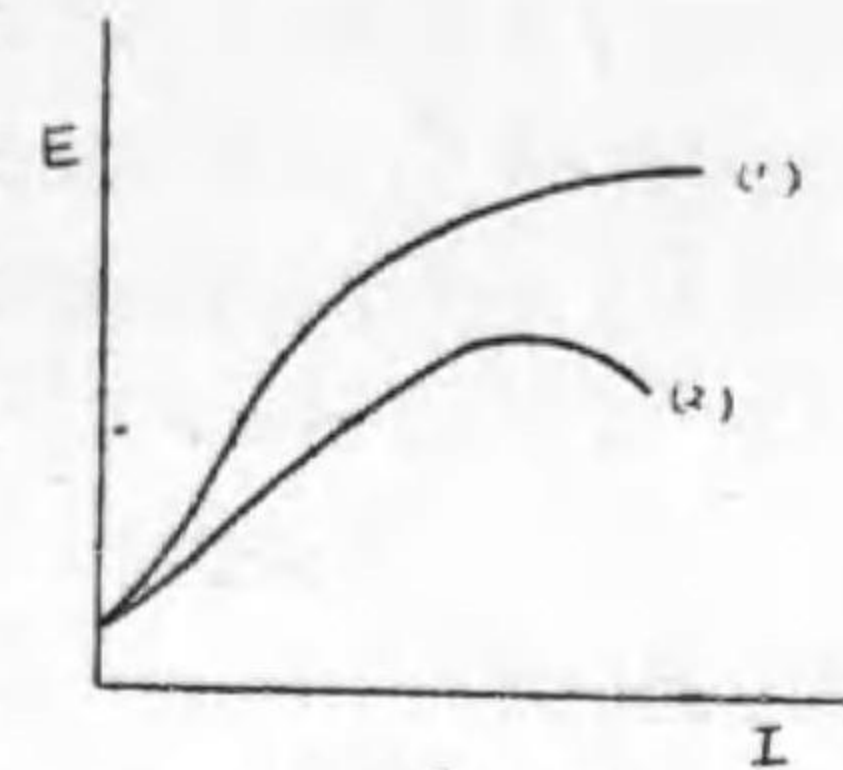


第 37 圖

あるから、無負荷特性を知るためには、直捲線輪だけに電流を通して他勵磁にして求むる。

外 部 特 性

負荷電流 I と端子電壓 E との関係で第38圖のやうになる。分捲發電機の自己勵磁の場合と同じやうに負荷抵抗が臨界抵抗以上に大になると極く僅かの電壓より發生しない。



第 38 圖

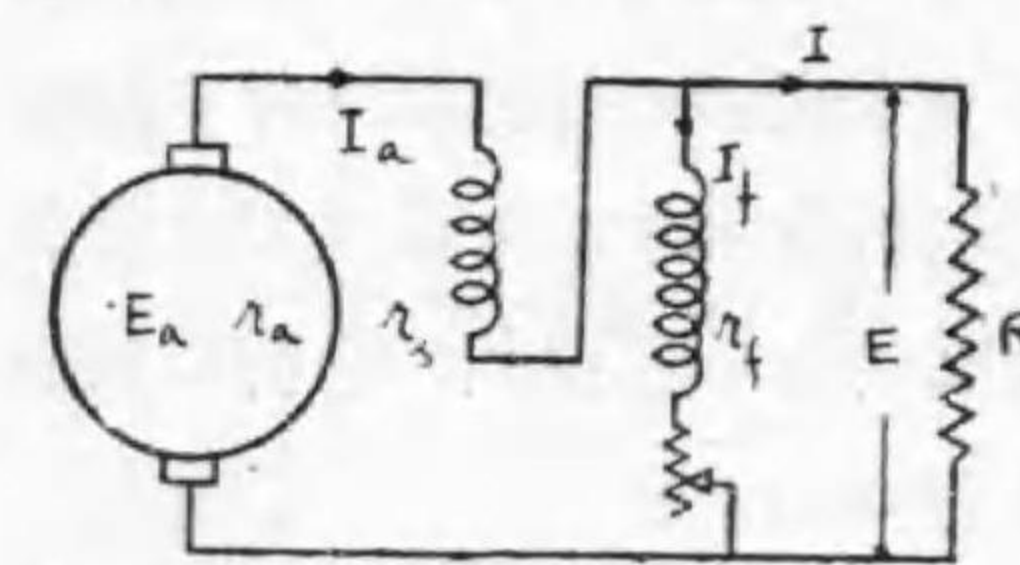
電機子反作用が著しい發電機では第38圖2に示すやうに電流が増すに

従つて却つて電壓が降下するやうな垂下特性が得られる。之を極端に行ひ且つ無負荷特性曲線の飽和した所で働くやうにすれば負荷に對して不變電流を與へるやうな發電機とすることが出来る。

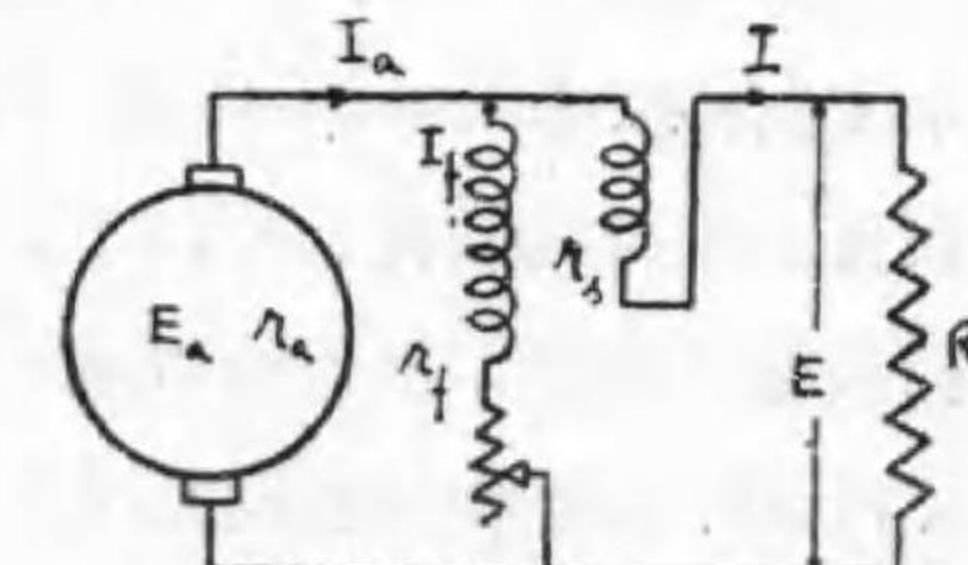
發電機としては一定電壓を要求する場合が多く、従つて他勵磁式や分捲發電機は多く用ひられるけれども、直捲發電機を用ふる場合は極めて少い。

6. 複 捲 發 電 機

接続には第39圖のやうに2種ある。(a)は外分捲複捲發電機、(b)は内分捲複捲發電機である。



第 39 圖(a)



第 39 圖(b)

直捲線輪の起磁力と分捲線輪の起磁力とが相加はるやうに働くものを和働複捲と云ふが之は分捲と直捲との兩方の發電機の特性を組合した特性が得られる。分捲では負荷が増すと端子電圧は降下する傾向を持つてゐるが、適當に直捲線輪を置くと負荷が變つても、大體電圧が變化しないやうな發電機を作る事が出来る。かやうな性質を與へたものを平複捲 (Flat compound フラット・コンパウンド) といふ。之よりも直捲線輪の作用を強くすると、負荷が増すと幾分電圧が上る傾向のものとなる。之を過複捲 (Over compound オーバー・コンパウンド) といふ。又平複捲より直捲線輪の作用が弱くて、負荷が増せば若干電圧が下る性質のものを不足複捲 (Under compound アンダー・コンパウンド) といふ。

次に直捲線輪の起磁力が分捲線輪の起磁力と反對に働くものを差働複捲と云ふ。之は分捲發電機で減磁起磁力が著しく大きな場合と同様で負荷が増すと電圧が急激に減少する所謂垂下特性となる。之は電弧用の電源として用ひられる。

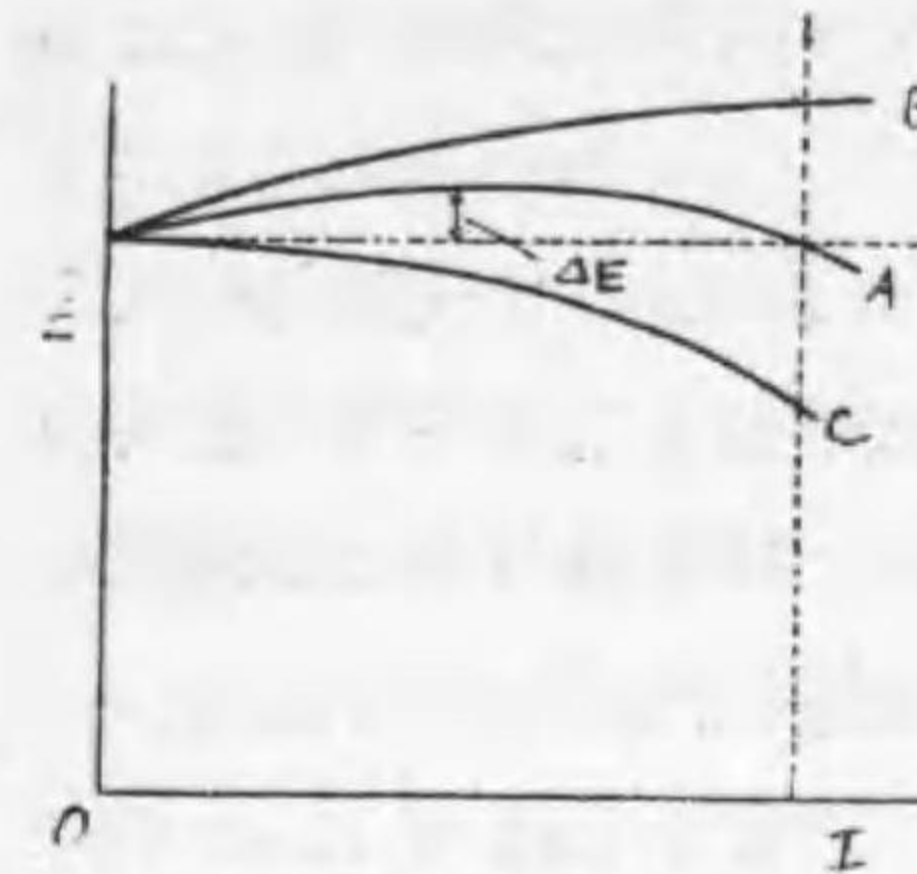
無負荷特性

之は分捲發電機の場合と同様にして無負荷運轉で近似的に求められる。嚴密に調へるには他勵磁式にして調べれば宜しい。

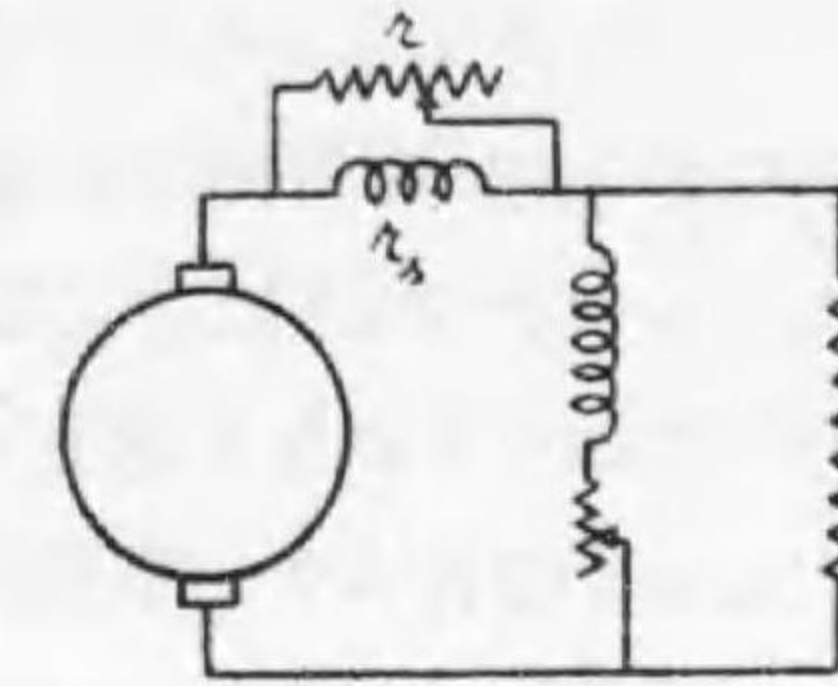
外部特性

之も速度及分捲回路の抵抗を一定にした時 E と I との關係を示す曲線である。第40圖は和働複捲發電機の外部特性で A は平複捲、 B は過複捲、 C は不足複捲特性を示す。平複捲では全負荷の端子電圧が無負荷の端子電圧に等しいが中間の負荷に對しては端子電圧が無負荷電圧よりも稍高い。

第41圖の様に r なる抵抗器を直捲線輪に並列に入れておけ



第 4 0 圖



第 4 1 圖

ば、之を調整することによつて發電機の性質を自由に變へる事が出来て便利である。即ち r を小さくすれば直捲線輪の作用が薄弱になり、 r を大にすれば直捲線輪の作用を強めることが出来る。此の r をダイバーター (Diverter) と云ふ。

7. 電 壓 變 動 率

負荷によつて電圧の變動する程度を示すために電壓變動率が用ひられるが、之は一般に次の比の値を云ふ

$$\text{電壓變動率} = \frac{\text{無負荷電圧} - \text{全負荷電圧}}{\text{全負荷電圧}}$$

平複捲で同じ取り方をすると零になるから、此の場合には無負荷から全負荷の間で一番多く偏る値 ΔE を取つて、

$$\text{電壓變動率} = \frac{\Delta E}{E}$$

がよく用ひられる。上述の比の値は通常百分率で呼ばれる。

8. 發 電 機 の 能 率

發電機は機械エネルギーを電氣エネルギーに變へる機械であるが、その變換の途中で幾分のエネルギーは機械内で無駄になる。

単位時間に無駄となるエネルギーをパワー損失又は単に損失といふ。

一般に或る機械に外部から送り込まれるパワーを其の入力 (Input インプット) と云ひ、その機械が送り出すパワーを其の出力 (Output アウトプット) といふ。発電機の入力は機械パワー、出力は電気パワーで其の差が発電機内の損失である。

一つの機械がどの位有効に働くかの程度を表はすのに能率 (Efficiency エフィシエンシー) と云ふ語を使ふ。

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100 = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100\%$$

発電機の入力は機械パワーで、此の測定は甚だ困難であるから、先づ実測・計算又は其の他の方法で総損失を決定し之を出力に加へて入力を知り、然る後に上式から能率を計算するのが普通である。之を **規約能率** (Conventional efficiency コンベンショナル・エフィシエンシー) といふ。之に反し直接に入力と出力とを測定して其の比を取つたものを **実測能率** と云ふ。

直流電機の損失は抵抗損 (又は銅損) と鉄損に分類される抵抗損の中電機子線輪及之と直列にある諸線輪の抵抗損と刷子の接觸抵抗に依る抵抗損は略負荷電流の二乗に正比例するから之を **負荷損** と云ひ、機械損、鉄損、分巻勵磁損等は負荷の大小に無関係にあるから之を **不変損** と云ふ。鉄損は電機子鉄心のヒステリシス損及び渦流損から成る。又機械損は軸承の摩擦損、廻轉部と空氣との摩擦による、所謂、風損及び刷子の摩擦損から成る。速度が一定なら之等の損失は不変と見ることが出来る。以上の外に決定し難き漂遊負荷がある。之は負荷の變化に伴ひ不規則に變化する損失である。一二の例を挙げれば電機子導體を

切る磁束の變化に依つて生ずる導體内の渦流、電機子の齒の存在に依り磁極の表面に生ずる鐵損等である。之等は計算も測定も殆ど不可能であるのみならず前述の諸損失に比べると一般に極めて僅少で出力の1%を超過することは稀である。

発電機の能率は、概して云へば容量の大なるものは小なるものより、又は一容量では高速度のものは低速度のものより能率が高い。且つ又同一機械でも負荷の大小に依つて能率に大差がある。一般に全負荷又は其の附近で最高能率を出すやうに設計される。

出 力 KW	1	5	10	15	30	50	100	500	1000
全負荷能率 %	76	80	85	86	88	89	90	93.5	94.5

10 k. W. 直 流 發 電 機 の 能 率

負 荷	¼ 負 荷	½ 負 荷	¾ 負 荷	全 負 荷	1 ¼ 負 荷
能 率 %	73.5	83.5	86	86.5	86.5

9. 機 器 の 定 格

発電機の損失は殆ど全部熱に變はる。故に一定負荷の下に運轉する發電機からは絶えず一定の割合で熱量が発生され機械各部の温度を高める。然し高温の物體には傳導、輻射及對流等の放散作用が働いて温度の上昇を制限する。而して熱量放散の割合が熱量發生の割合と等しくなつた時に温度は一定となる。

最後の一定温度と最初の温度 (周圍温度) との差を温度上昇

と云ふ前に述べた事から発電機に許し得べき温度が高い程、其の発電機の出力を大にし得ることがわかる。発電機に許し得べき最高温度は発電機を組成する物質の變質劣化を起さない範囲内に於ける最高の温度に依つて決定される。

電気機器の各部に許さるべき最高温度は次の表の通りである。

日本電気機器標準規程
大正十一年二月制定

級 別	絶 縁 物 の 種 類	許し得べき 最高温度	最大温度 上 昇
O	何等の處理をも施さない 木綿、絹、紙及他の纖維質	90°C	50°C
A	含浸法を施した木綿、絹、 紙及び他の纖維質	105°C	65°C
B	雲母、(少量のA種) 石綿等(物質を含むも可)	125°C	85°C

機器に許し得べき出力の制限即ち定格を決定するには其の機器の各部が前述のやうな危険温度に達しないことを必要とする。故に同じ機械でも其の使用法や周囲の空気温度等で定格は種々に相違する筈である。

使用状態に關して定格を區別すれば

1. 連続定格 (Continuous rating コンチニユアス・レーティング)
2. 短時間定格 (Short time rating ショートタイム・レーティング)

になる。連続定格とは無制限に永く連続使用しても、何等の支障を起さない出力の最大限を定める事を云ふ。短時間定格とは5分間10分間乃至は1時間、2時間等一定時間だけ連続負荷し

ても差支へないやうな出力の最大限を定める事を云ふ。

周囲温度の標準は世界各國を通じて攝氏 40° に取ることに定められてゐる。

10. 練 習 問 題

1. 直流分捲發電機を試運転せるに規定の廻轉に達するも起電せず、其の主要なる原因を掲げ且つ此の際如何なる處置を取るべきや。(明治44、五級)
2. 直流分捲發電機の廻轉數一定せる場合に負荷によりて端子電壓の變化する理由を説明せよ。(明治45、五級)
3. 無負荷に於て 119V. を有する分捲發電機が 6% の電壓變動率を有すといふ。全負荷の端子電壓を求めよ。(答 112V.)
4. 電壓變動率 8% の分捲發電機が全負荷運轉で 200V. を出してゐる。之を無負荷にすれば電壓は何ヴォルトになるか。(答 216V.)
5. 直流直捲發電機の負荷抵抗が或る程度を超過せば自勵し能はざるに至る理由を説明せよ。
6. 600V. 300k.W. の發電機あり之が送出す電流を計算せよ、又能率を 93% とすれば之を運轉するに幾k.W. を要するか。
解 電流 = $\frac{300 \times 1000}{600} = 500 \text{ A.}$
運轉に要するパワー = $\frac{300}{0.93} = 324 \text{ k.W.}$
7. 直流分捲發電機が運轉中短絡を生じても甚だしく線輪を焼損しないのは何故か。
8. 分捲發電機が全負荷運轉の時端子電壓 110V. で 100A. を供給してゐる。

界磁回路の全抵抗 $r_f = 44$ オーム
 電機子回路の抵抗 $r_a = 0.15$ オーム
 鉄損及び機械損 = 700 ワット

とすれば全負荷能率は幾%なるか。

解 出力 = $E I = 110 \times 100 = 11000$ W.

$$\text{勵磁電流 } I_f = \frac{110}{44} = 2.5 \text{ A.}$$

$$\text{界磁銅損} = I_f^2 r_f = E I_f = 110 \times 2.5 = 275 \text{ W.}$$

$$\text{電機子銅損} = (I + I_f)^2 r_a = (100 + 2.5)^2 \times 0.15 = 1575 \text{ W.}$$

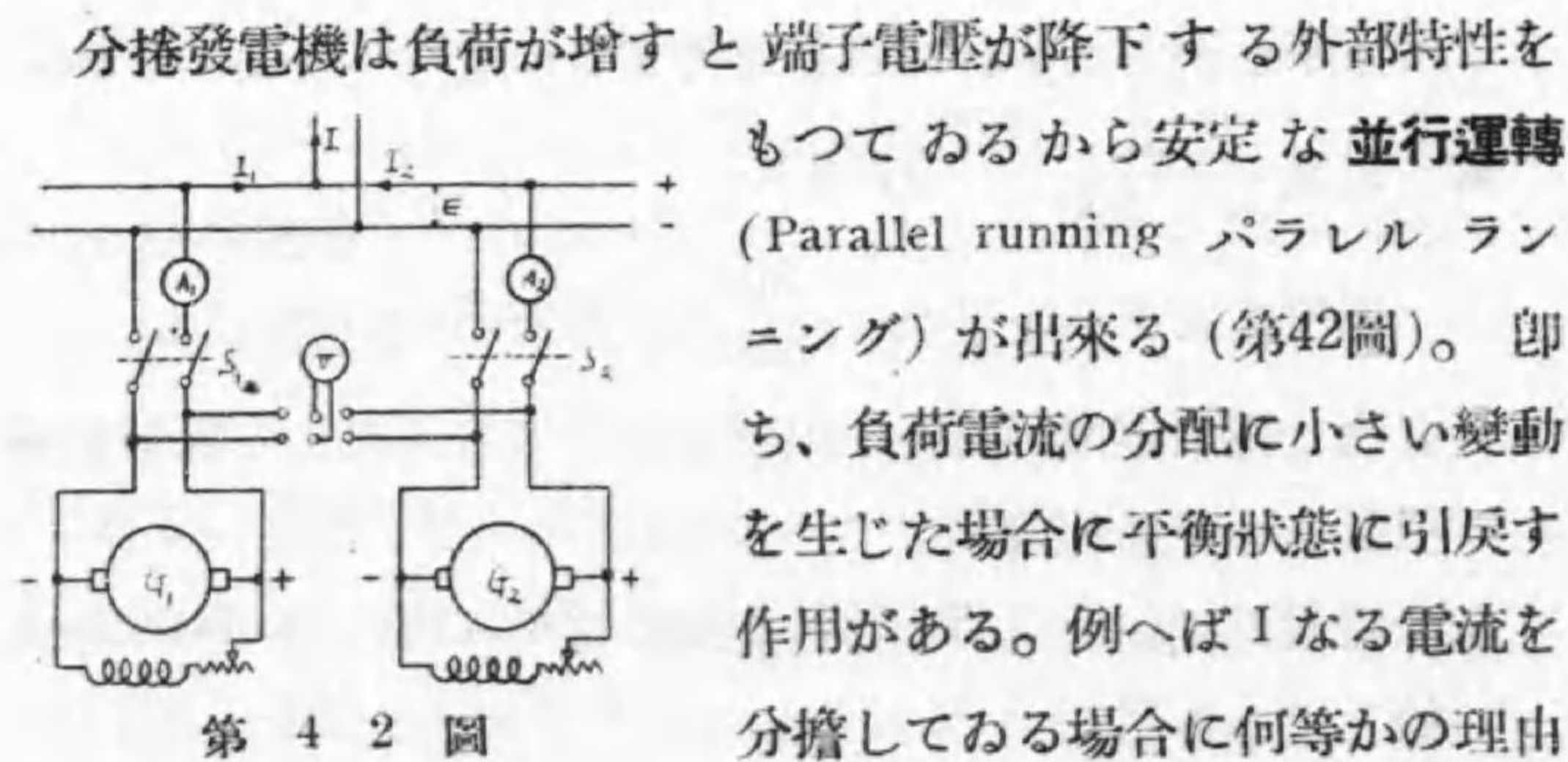
$$\text{總損失} = 275 + 1575 + 700 = 2550 \text{ W.}$$

能率を η とすれば

$$\eta = \frac{11000}{11000 + 2550} \times 100\% = 81.3\%$$

第五章 直流發電機の 並行運轉

1. 分捲發電機

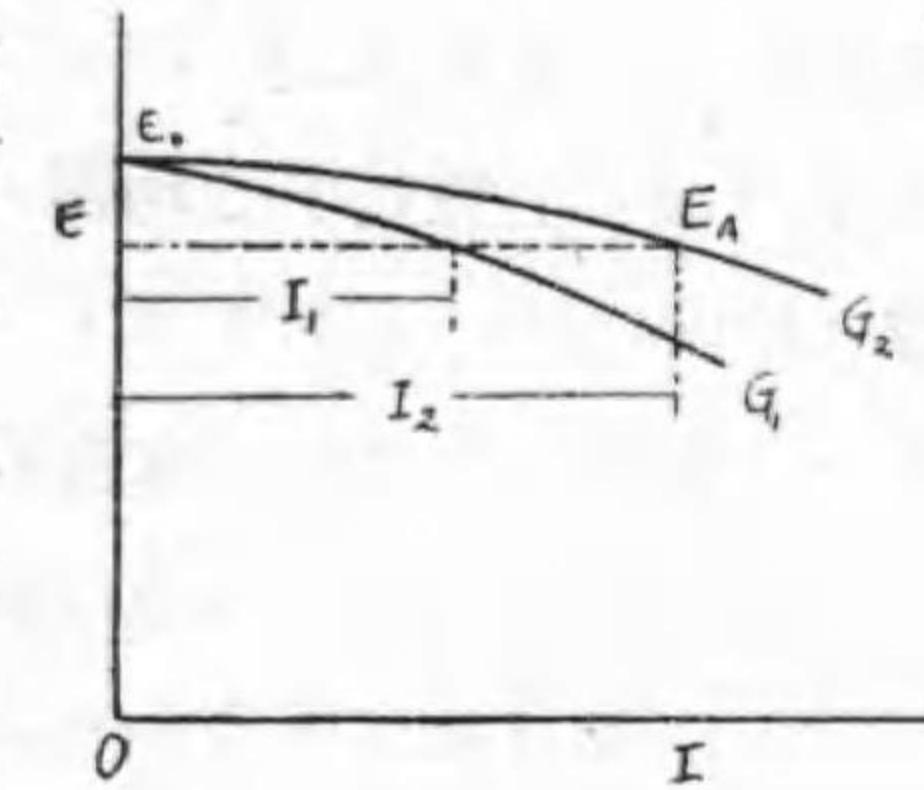


分捲發電機は負荷が増すと端子電圧が降下する外部特性をもつてゐるから安定な並行運轉 (Parallel running パラレルランニング) が出来る (第42圖)。即ち、負荷電流の分配に小さい變動を生じた場合に平衡状態に引戻す作用がある。例へば I なる電流を分擔してゐる場合に何等かの理由

で G_1 發電機の電流 I_1 が少し増したとする。然る時は G_1 の端子電圧は降下し G_2 の方は上るやうになるから I_1 は減少し、 I_2 は増加して、もとの平衡状態に戻る。

G_1 が運轉してゐる時 G_2 を並列にするにはスイッチ S_2 を開いたまゝ、 G_2 を無負荷起動をなし、その無負荷電圧が G_1 の端子電圧と等しくなるやうに界磁を調整する。此の時 S_2 を閉ぢる。此のまゝでは G_2 は無負荷であるが界磁を更に調整すれば任意の負荷を G_1 から G_2 に移すことが出来る。

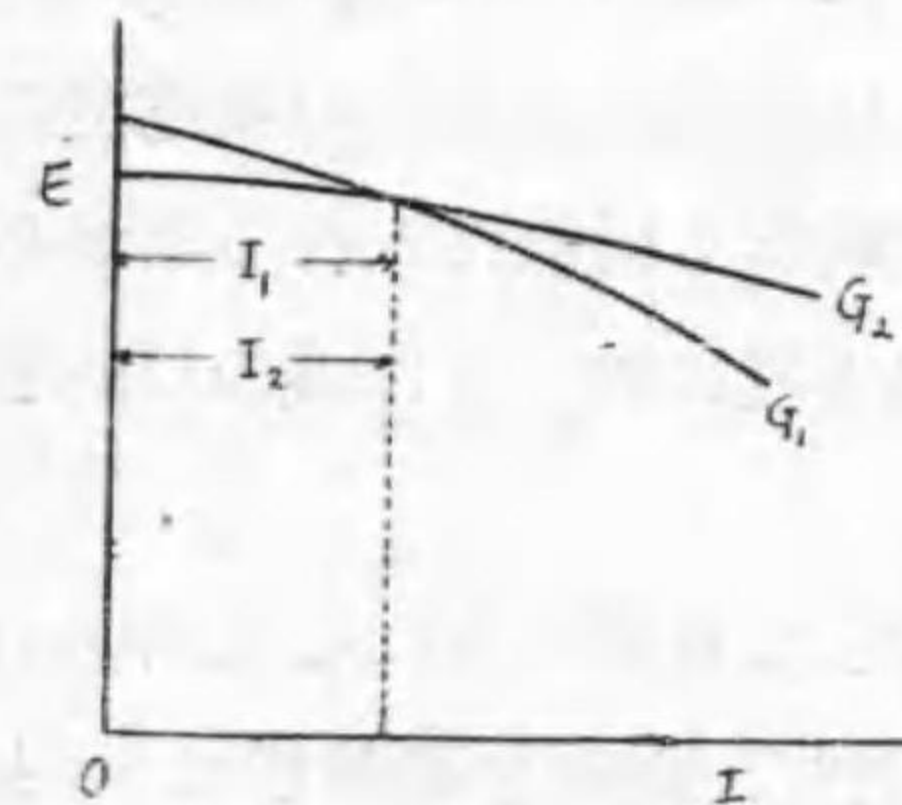
此の場合の負荷の分擔は各發電機の外部特性で定まる。(第43圖) 如何なる場合でも各發電機の端子電圧は等しくなることが並行運轉の根本條件である。故に端子電圧 E_A なる時の G_1, G_2 各發電機の負荷電流は I_1, I_2 になる。此の時 I_1, I_2 の分擔をかへるには界磁抵抗を調整し或は速度を變へて外部特性を少し變へればよい。



第 4 3 圖

一般に端子電圧を増加せしむると其の負荷が大になる。逆に

勵磁を弱めて端子電圧を下げると負荷が軽くなる。



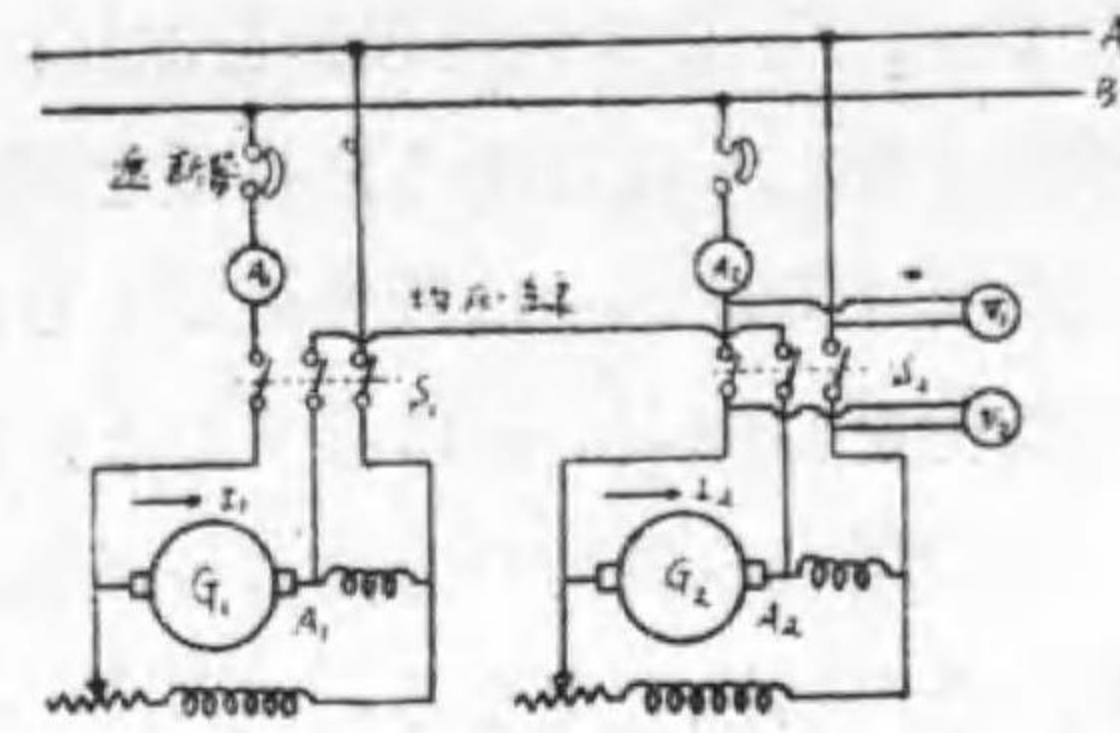
第 4 4 圖

第45圖のやうな特性の場合は無負荷になると I_1 も I_2 も零になる。而し第44圖のやうな場合は特性曲線の交點で $I_1 = I_2$ になる之から負荷が増加すると傾斜の少い G_2 の方に餘計に負荷がか

かり反対に減少すると傾斜の多い方の発電機 G_1 に餘計に負荷がかかる。

2. 復捲発電機

不足復捲や差働復捲ならば分捲の場合と同様に簡単であるが、過復捲や平復捲の場合には安定運轉を行ふためには第45圖に示すやうな A_1A_2 を短絡する均壓線 (Equalizer イクワライ



第 4 5 圖

ザー) を用ひなければならぬ。此の場合には I_1 が少し増したとすると均壓線で G_2 の方の界磁も G_1 の方と同様に強められ、且つ I_2 は幾分減少するから、發電子抵抗による電壓降下と減磁起磁力とを考えると G_1 の發電子端子電圧が G_2 の發電子端子電圧より小になるから I_1 の増加を妨げる結果となつて安定な平衡が保たれる。

均壓線の接続を忘れないやうに主開閉器に3極のものが用ひられる。注意を要することは電流計はB線の方に入れる事が是非必要である。反対の線に入れると均壓線の爲に各の発電機の負荷を示さない事になる。同様に遮断器も同線に入れる事が必要で他の線に入れると各発電機の過電流に對して保護の目的を達し得ない。

此の接続で G_1 が運轉中 G_2 を起動して並列に入れるには G_2 のスイッチ S_2 を開いたまゝ遮断器を閉ぢ、勵磁を調整して V_1 と V_2 とを等しくして S_2 を閉づ。以後は更に勵磁を加減して負荷

の分擔を自由に調整出来る。

3. 練習問題

1. 直流分捲発電機 G_1 及 G_2 がある。定格電流 G_1 は 100A. G_2 は 80A. である。 G_1 の全負荷電圧は 120V. その變動率 7%, G_2 の全負荷電圧 115V. で其の變動率 8% なる時兩機を並行運轉して共通負荷に 150A. を供給せんとす。各機に分擔すべき電流及び母線電壓を求めよ。但し外部特性は直線をなすと假定する。

$$\text{解 } G_1 \text{ の無負荷端子電壓} = 120 + 120 \times \frac{7}{100} = 128.4V.$$

$$G_2 \text{ の無負荷端子電壓} = 115 + 115 \times \frac{8}{100} = 124.2V.$$

G_1, G_2 の負荷電流を I_1 及 I_2 とす、 G_1 が 100A. 出す時の電壓降下は 8.4V. なる故 I_1 なる時の電壓降下は

$$8.4 \times \frac{I_1}{100}$$

同様に G_2 が I_2 出す時の電壓降下は

$$9.2 \times \frac{I_2}{80}$$

G_1 の端子電壓と G_2 の端子電壓は等しくなるべきであるから

$$128.4 - 8.4 \times \frac{I_1}{100} = 124.2 - 9.2 \times \frac{I_2}{80}$$

$$\text{又 } I_1 + I_2 = 150$$

此の二式を解けば

$$I_1 = 107.8A. \quad I_2 = 42.2A.$$

$$\text{端子電壓 } E = 128.4 - 8.4 \times \frac{107.8}{100} = 119.4V.$$

2. 全負荷にて並行運轉をなせる 2 箇の直流分捲発電機あり。

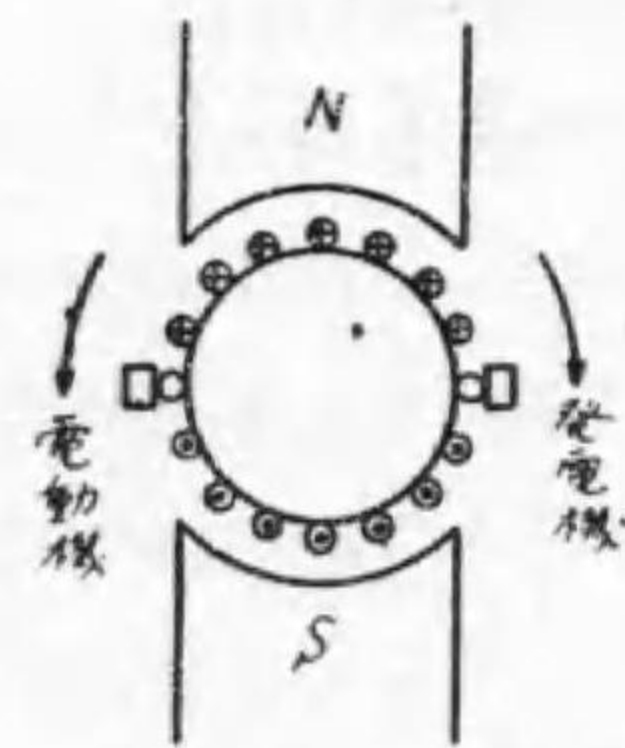
其の一は定極電圧 200V. 定極容量 100k.W. 電圧變動率 6%
 他は定格電圧 200V. 定格容量 200k.W. 電圧變動率 3% なり。
 今負荷減少して全電流 1000A. となりたる時各發電機の負
 荷電流幾何となるか。(大15、三種) (答400A.600A.)

3. 2 箇の直流複捲發電機を並列に接続する場合の開閉器操作
 順序を圖に就きて説明し其の理由を述べよ。(昭3、三種)

第六章 直流電動機

1. 電動機の原理

電動機 (Motor モーター) といふのは電気エネルギーを機械エ
 ネルギに變へる機械であつて、今まで述べた直流發電機はその
 まゝ直流電動機として使用出来る。即ち磁界中に電流を通して
 る導體が存在すれば、それは必ず一定方向の力を受ける。そ
 の向きは發電機と電動機とは作用が反對であるといふことから
 知る事が出来る。第46圖に於て圖に示す向きに電機子導體に電



第 4 6 圖

ば廻轉方向に變化なし。

壓を發生するためには右廻りに廻轉させ
 てやらねばならぬから、若し電動機とし
 て同じ向きに電流を通してやれば廻轉方
 向は反對になる。

電動機の廻轉方向を變へるには界磁電
 流を逆にするか、電機子電流を逆に流し
 てやれば宜しい、兩方を同時に逆にすれ

2. 速 度

電動機が廻轉する時は、發電機の場合と同じやうに磁力線を
 切るから同じ導體の中に電圧が誘起される。電動機の場合には
 誘起電圧は端子電圧よりも小さい。

電機子回路の全抵抗 = R_a (直捲線輪を有する時は
 其の抵抗も含む)

電機子電流 = I_a

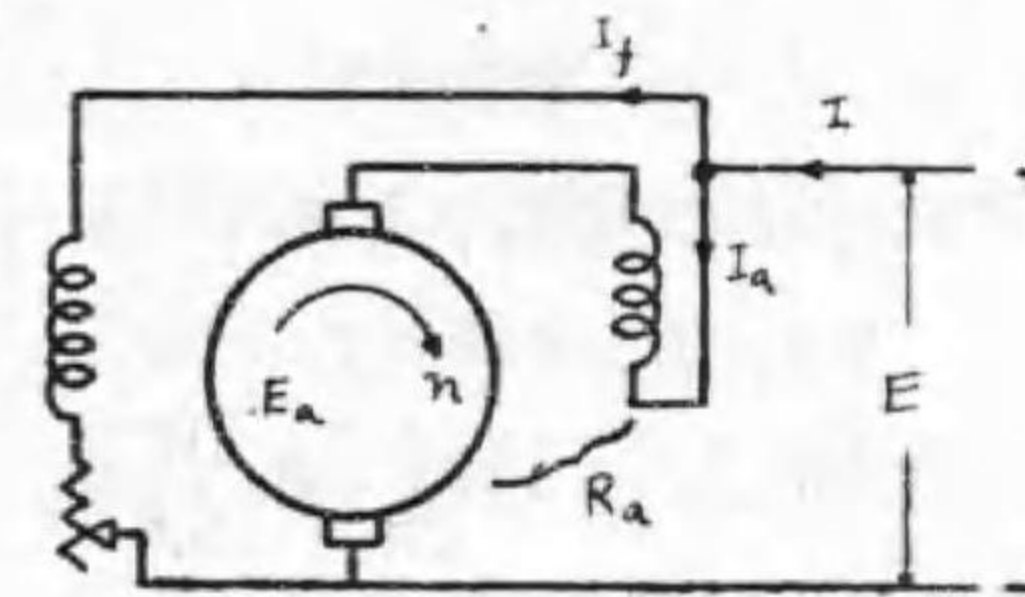
端子電圧 = E

誘起電圧 = E_a

每極磁束數 = ϕ

廻轉數每秒 = n

として第47圖のやうな電機子回路を考へる。誘起電圧は給與
 電圧と正反對の向きに起るから、端子電圧から誘起電圧を
 差引いた残りが電機子抵抗に打勝つて電流を流す電圧にな
 る。故に次の關係式が成立す
 る。



第 4 7 圖

$$I_a = \frac{E - E_a}{R_a} \dots\dots\dots (8)$$

然るに $E_a = \frac{P}{a} n \phi \cdot 10^{-8}$

p, a, Z 等は一つの機械では定數であるから

$$\frac{P}{a} Z \times 10^{-8} = k \quad \text{とおけば}$$

$$E_a = kn\phi$$

$$\text{故に } n = \frac{E_a}{k\phi} = \frac{E - I_a R_a}{k\phi} \dots\dots\dots (9)$$

即ち直流電動機は反起電力に比例し每極の磁束に逆比例

する。

3. 廻轉力及パワー

(8) 式を書換へると

$$E = E_a + I_a R_a$$

此の式の両邊に I_a を掛けると

$$E I_a = E_a I_a + I_a^2 R_a$$

此の式で $E I_a$ は電機子入力、 $I_a^2 R_a$ は電機子銅損であるから $E_a I_a$ が電機子によつて機械力に變へられたパワーであつて之から電機子内部の鉄損及び廻轉部分の摩擦損を引いた残りが電動機軸に於て利用せられるパワーになる。

$$\text{發生する廻轉力} = T \text{ kg-m}$$

$$\text{廻轉數每秒} = n$$

とすれば次の關係がある

$$9.8 \times 2\pi n T = E_a I_a$$

$$\therefore T = \frac{P}{a} \cdot \frac{Z}{2\pi} \phi \frac{10^{-8}}{9.8} I_a = k_1 I_a \phi \dots\dots\dots (10)$$

即ち發生する廻轉力 (Torque トルク) は電機子電流 I_a と每極の磁束數 ϕ との積に比例する。例へば負荷が増加して必要な廻轉力が増せば速度が減少し $k n \phi$ で表される反起電力 E_a が減じその結果(8)式より得られる電機子電流 I_a が増加して必要な廻轉力を發生する。

4. 分捲電動機の特性

第48圖に於て分捲勵磁回路は電機子回路とは無關係で、電機子電流の影響を蒙らないから他勵磁のものと分捲のものととは全

く同一である。

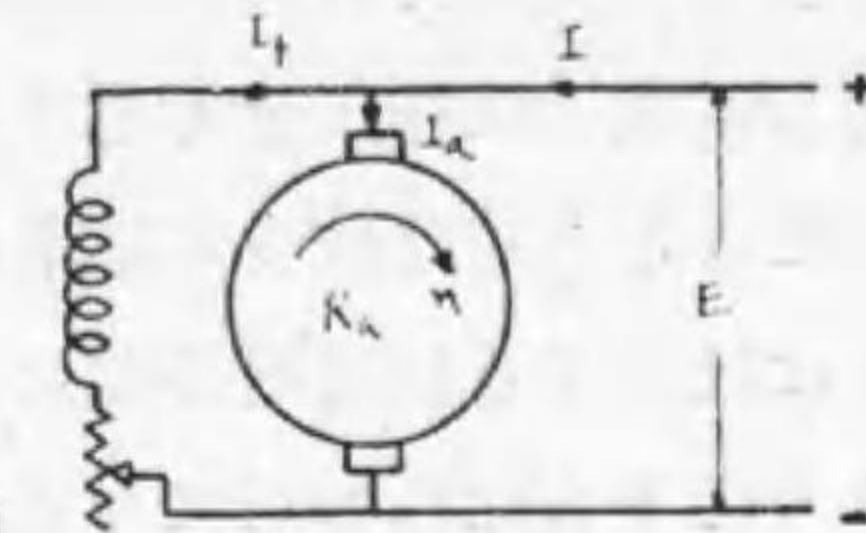
$$\text{入力電流 } I = I_a + I_r$$

I_r は勵磁電流

速度特性

電機子電流 I_a を横軸に速度を縦軸

にとつたものを速度特性といふ。

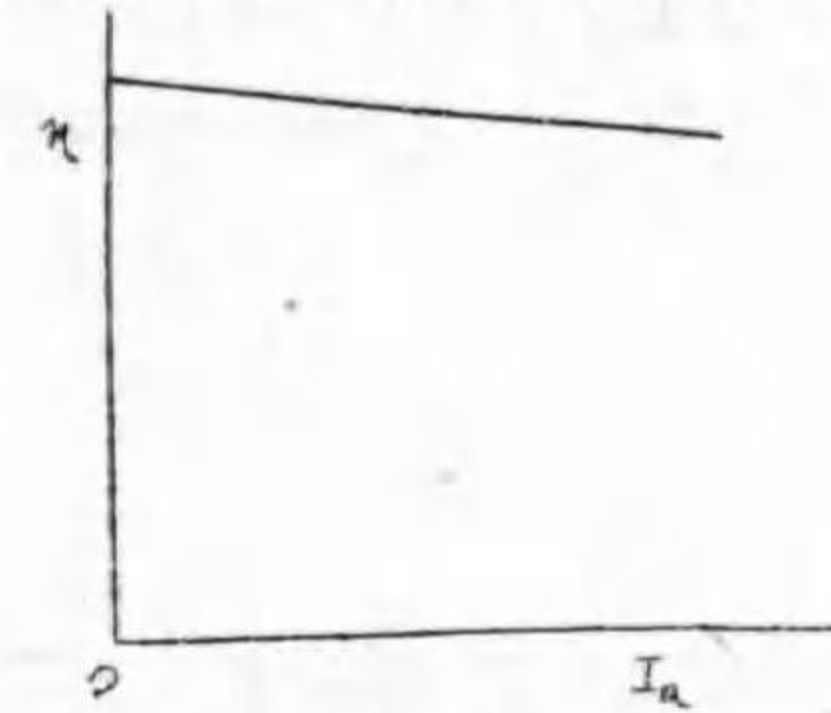


第 4 8 圖

(第49圖)。分捲電動機の速度 n は次式で與へられる。

$$n = \frac{E - I_a R_a}{k \phi} \dots\dots\dots (11)$$

電機子反作用を無視すれば ϕ は一定なる故 I_a と n との關係は直線となる。(11)式の $I_a R_a$ は電機子電壓降下で普通の使用範



第 4 9 圖

圍では端子電壓 E に比べて極めて小さく、負荷が増しても速度は大して變化せず大體定速度電動機として働くわけである。

即ち分捲電動機は定速度電動機と稱せられるのであるが、勿論界

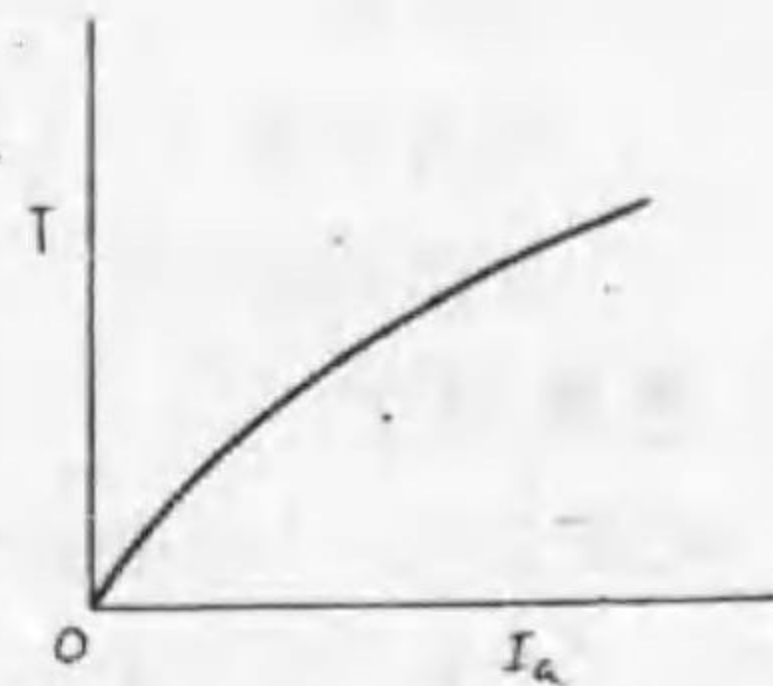
磁を調整すれば速度を變へることが出来るのであつて此の性質を加減速度と稱する。

電機子反作用の影響を考えると、之は負荷が増した場合 ϕ を減少せしむるから却つて速度上昇を生ぜしむる傾向となり $I_a R_a$ の影響と反對に働く。

廻轉力特性

廻轉力 T を縦軸に取り電機子電流 I_a を横軸に取つた特性曲線を廻轉力特性といふ。(10)式に示すやうに T は I_a と ϕ との積に正比例するから電機子反作用を無視すれば I_a のみに比例す

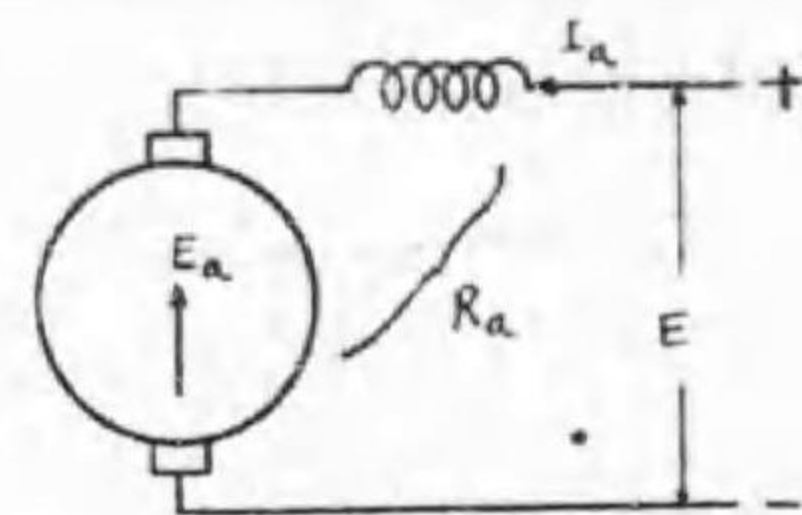
る事となり廻轉力特性は直線になる。
而し電機子反作用を考慮すると I_a が
大になると ϕ は減少する事になり T は
 I_a に比例する程は増さないで第50圖の
やうに上方に凸の形になる。



第 5 0 圖

5. 直捲電動機の特性

直捲電動機は電機子と界磁捲線が直列につないである(第51圖)。
 R_a を直捲線輪を含む電機子抵抗、 I_a を電機子電流とすれば
 I_a は界磁電流であると同時に又
負荷電流である。



第 5 1 圖

速度特性

速度は分捲の場合と同様に次の
式で與へられる。

$$n = \frac{E - I_a R_a}{k\phi}$$

ϕ は n によつて定まるもので、電機子反作用を無視するとその
関係は磁化曲線である(第52圖)。

今磁氣飽和を無視して ϕ が I_a に比例するものとすれば

$$\phi = k'I_a$$

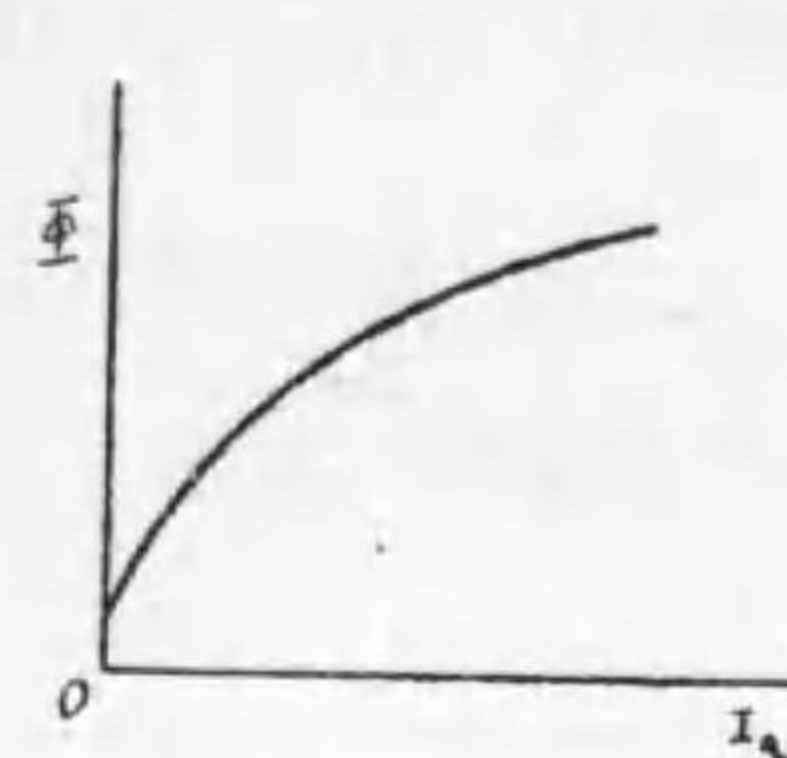
と置くことが出来る。

$$\therefore n = \frac{E - I_a R_a}{kk'I_a}$$

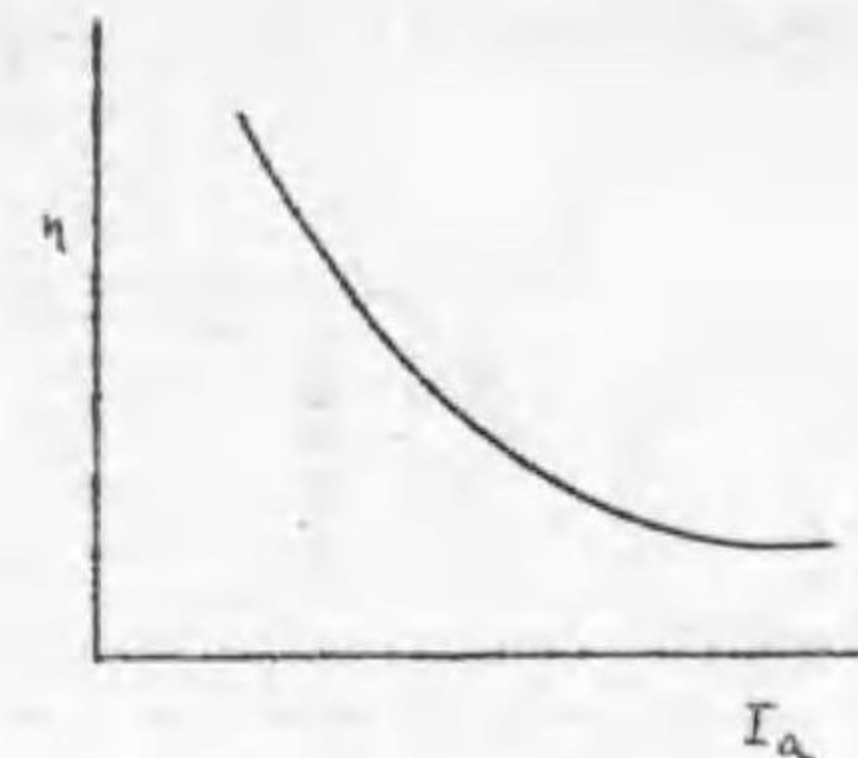
$I_a R_a$ は E に比べると非常に小さいから之を無視すると

$$n = \frac{E}{kk'I_a} = \frac{E}{K'I_a} \quad (K' \text{は常數}) \dots\dots(12)$$

k, k', E は常數である。此の式から n と I_a との關係を曲線に示
せば第53圖のやうになる。



第 5 2 圖



第 5 3 圖

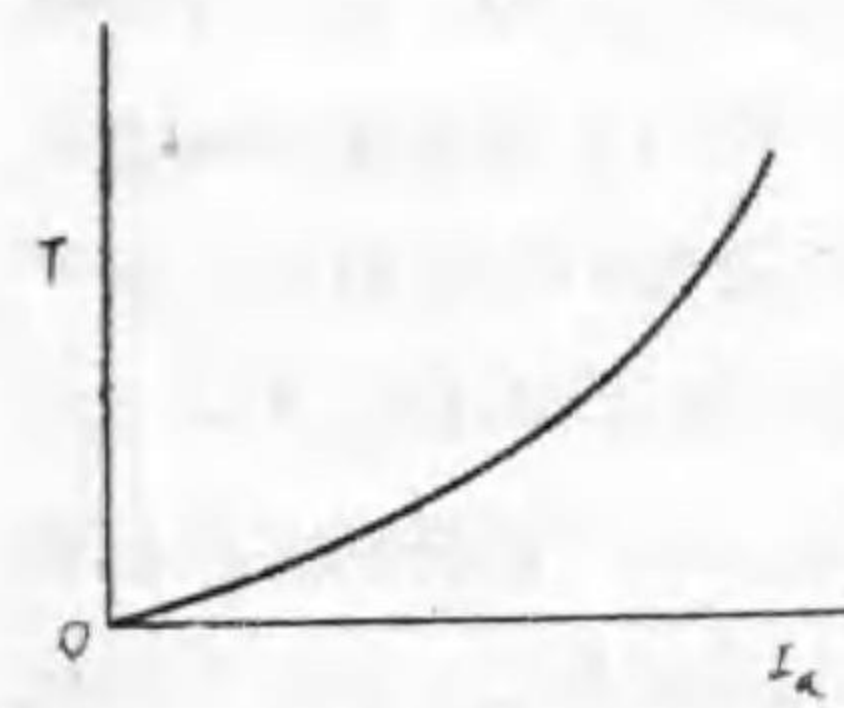
I_a の小さい部分では、實際 ϕ は I_a に比例し、 $I_a R_a$ も小さい
から略此の曲線に一致する。負荷が大きくて I_a が大になると磁
氣飽和のため ϕ が I_a に比例して増さなくなり n を増加せしむる
ことになり、 R_a の方は n を減少せしむる事になる。

廻轉力特性

$$\text{廻轉力 } T = K\phi I_a \quad (K \text{は常數}) \dots\dots(13)$$

大體の傾向を見るために ϕ が I_a に比例するものとすれば

$$T = K_1 I_a^2 \quad (K_1 \text{は常數}) \dots\dots(14)$$



第 5 4 圖

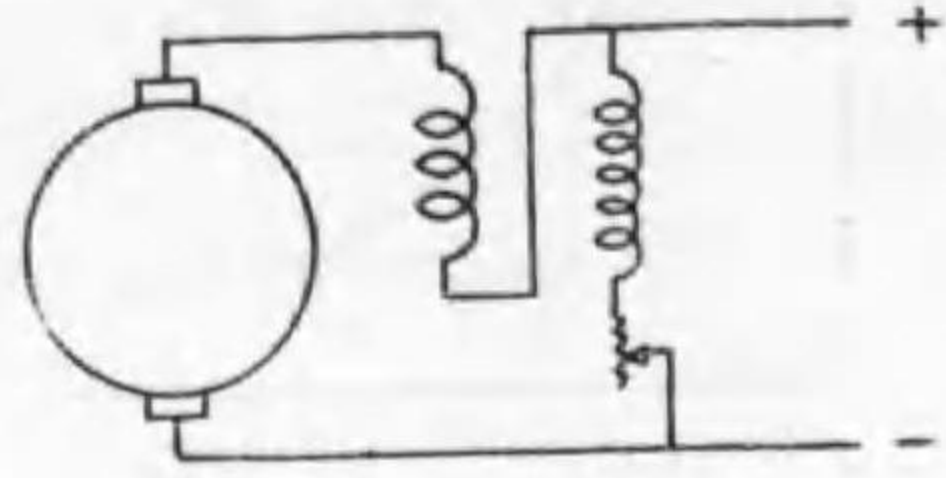
即ち負荷の小さい所では廻轉力は
電流の二乗に比例する。次に I_a が増
加して極度に飽和した所を考へると
 I_a が増しても ϕ は殆ど増加した
から之を一定と考へると

$$T = K_2 I_a \quad (K_2 \text{は常數}) \dots\dots(15)$$

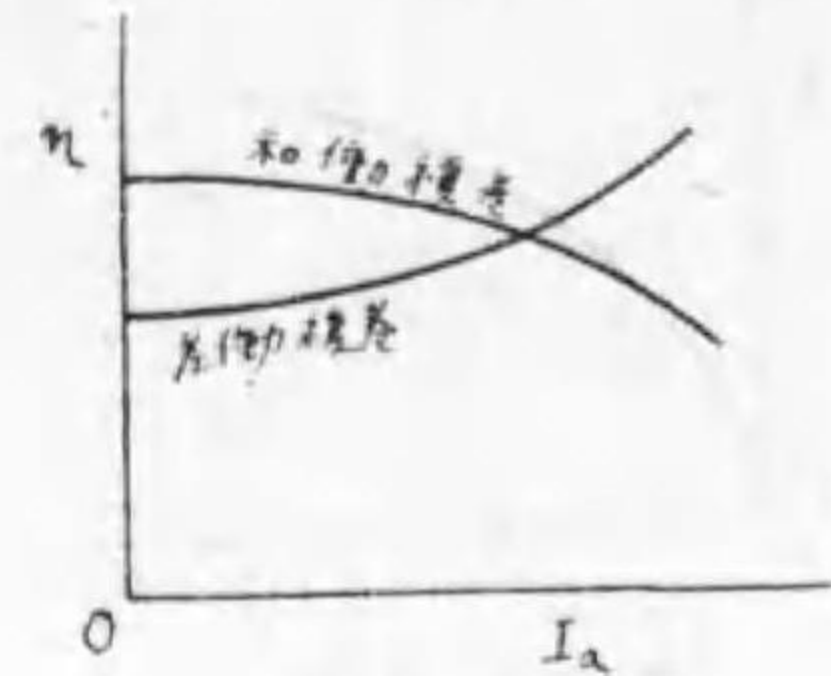
即ち負荷が大になると廻轉力は電流に比例するやうになる。
(第54圖)

6. 複捲電動機の特性

直捲線輪起磁力の方向と分捲線輪起磁力の方向とが同一方な



第 5 5 圖

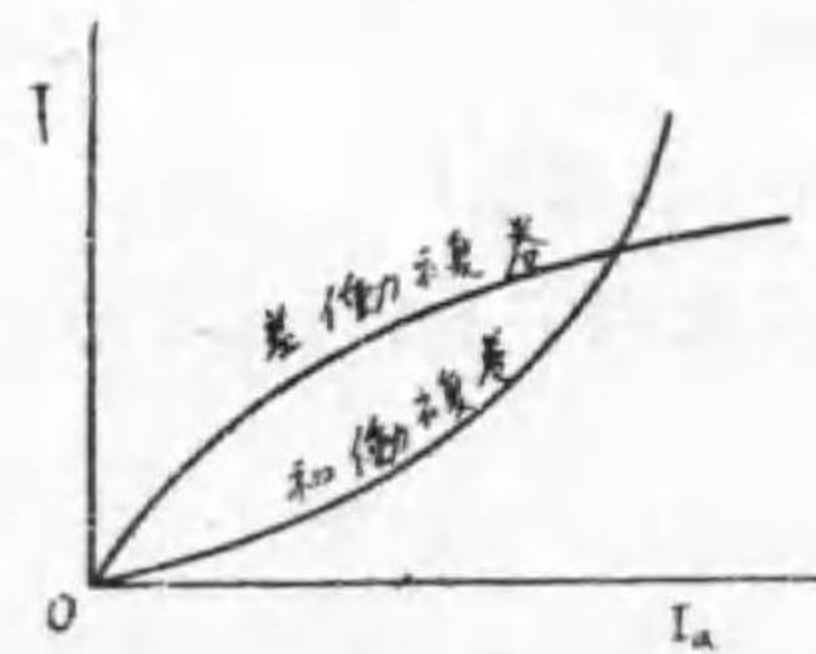


第 5 6 圖

るものを和働複捲、反対方向なるものを差働複捲といひ、又分捲線輪の位置により内分捲、外分捲の別がある。兩者共特性に大した差異はない。第55圖は外分捲を示す。

第56圖は速度特性を示す。和働複捲電動機はその性質が直捲特性と分捲特性との中間になる。無負荷にしても直捲電動機のやうに危険は無い。

差働複捲電動機は直捲線輪の強さを適當にすれば負荷の大小に關せず一定速度の電動機とする事が出来る。然し之は分捲電動機で略間に合ふ事であり又差働にしてあると過負荷の場合に速度上昇の危険があり起動の場合に分捲線輪の方は自己インダクタンスが大きく、直捲線輪並びに電機子回路の自己インダクタンスが比較的小さい爲、分捲磁界に先立つて直捲磁界が出来



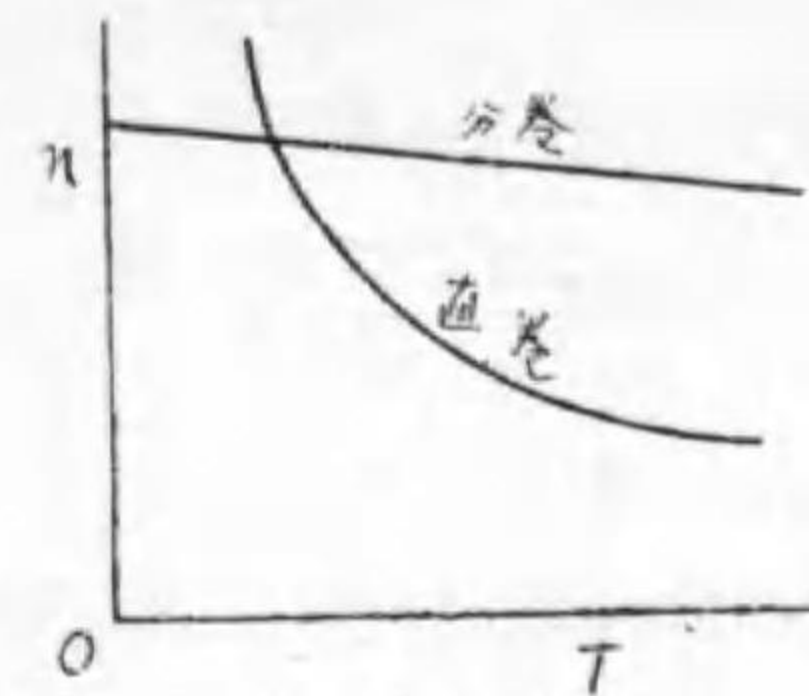
第 5 7 圖

て逆轉の危険がある。故に差働複捲電動機は通常用ひない。

廻轉力特性は第57圖のやうになり、和働複捲は直捲電動機の特性に近づき差働複捲の方は分捲電動機の特性に似て来る。

複捲勵磁のもので注意を要する事は、發電機で和働のものをそのまま電動機とすると差働になる事である。又逆に差働發電機は和働電動機となる。

7. 廻轉力速度特性



第 5 8 圖

之は速度特性と廻轉力特性から作り得る。即ち同じ電動に對する速度と廻轉力の値をとつて圖示すれば宜しい(第58圖)。

分捲電動機

電機子反作用を無視すると端子電壓と界磁回路の抵抗が一定であるから

ϕ は一定になるから廻轉力Tは I_a に比例する。又速度 n は、 $(E - I_a R_a)$ に比例するから、Tが増すと少しづつ減少する。 $I_a R_a$ は全負荷廻轉力の場合を考へても、Eよりずつと小さいから使用範圍つ廻轉力に對しては n は大した變化はせない。

直捲電動機

飽和を無視すると

$$T = K_1 I_a^2 \dots\dots\dots (16)$$

$I_a R_a$ を無視すると

$$n = K_2 \frac{E}{I_a} = K_3 \frac{1}{\sqrt{T}} \quad (K_3 \text{は常數}) \dots\dots\dots (17)$$

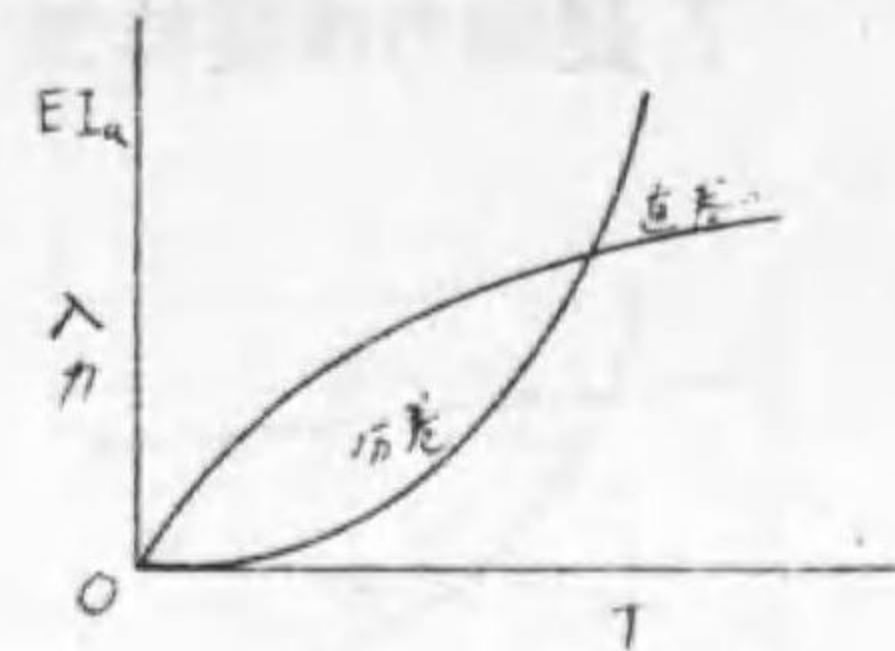
即ち n は T の平方根に反比例する。

之れからわかる通りに分捲電動機は凡そ定速度電動機として働くが直捲電動機では負荷の要求する廻轉力によつて運轉速度は著しく變化するもので此の性質を變速度と稱する。

8. 電動機の入力

電機子回路の入力だけを考へて見ると端子電圧は一定であるから入力 I_a に比例する。故に分捲電動機の場合は第50圖から考へて第59圖のやうな傾向をもつ事がわかる。直捲電動機の場合は第54圖から大體知られる。

曲線からわかるやうに分捲電動機では負荷が重くなれば入力は著しく大になる。直捲電動機では負荷が重くなつても入力は左程増加せぬ。分捲電動機は定速度を有し、直捲電動機は負荷が重くなつた場合速度が減少するから入力が左程大にならないですむ。故に定速度を要しない負荷で、負荷が軽重種々變化する場合には直捲電動機が好都合である。電車や起重機には専ら直捲電動機が用ひられる。



第 5 9 圖

9. 練習問題

1. 直流直捲電動機あり端子電圧220V.電機子電流50A.電機子全抵抗0.1オーム、廻轉數毎分1500なりとすれば電機子内の發生廻轉力は幾 kg—m なるか。

解 誘起電圧 $E_a = 220 - 0.1 \times 50 = 215V$.

發生機械パワー $= E_a I_a = 215 \times 50$ ワット

發生廻轉力を T kg—m とすれば

$$9.8 \times 2\pi n T = E_a I_a$$

$$\therefore T = \frac{E_a I_a}{9.8 \times 2\pi n} = \frac{215 \times 50}{9.8 \times 2\pi \times \frac{1500}{60}} = 7 \text{ kg—m}$$

2. 10H.P. の直流分捲電動機あり、端子電圧220V.全負荷廻轉數毎分1200なる時、全負荷運轉の時、軸に於て利用され得べき廻轉力を計算せよ。(答 6 kg—m)

3. 直流直捲電動機あり供給電圧600V.電流50A.なる時廻轉數毎分1500なりといふ。今供給電圧を400V.に減ずる時同一電流に對して廻轉數は幾何なるか。但し電動機の電機子捲線及界磁捲線の全抵抗を0.5オームとす。

解 直捲電動機では電機子電流が一定であれば磁束數も一定である。故にその廻轉數は逆起電力に比例するから求むる廻轉數を毎分 n 回轉とすれば

$$n = 1500 \times \frac{400 - 50 \times 0.5}{600 - 50 \times 0.5} = 978 \text{ r.p.m.}$$

4. 電機子抵抗0.04オームの分捲電動機あり。110V.の電源に接続する時逆起電力は106V.なりといふ。電機子電流は幾Aなるか。又若し電機子が靜止せる時直に電源に接続せば幾何の電流を通ずるか。但し電機子反作用は之を無視す。(答 100A.2750A.)

5. 220V.直流分捲電動機あり、電機子電流45A. 1200r.p.m.の時電機子が發生する廻轉力は幾 kg—m なるか。電機子抵抗を0.1オームとす。(答 7.78kg—m)

6. 220V.分捲電動機の界磁捲線及び電機子捲線の抵抗を測定して夫々100オーム及び0.5オームを得た、全電流50A.なる時電機子内に誘起せらるゝ反起電力は何V.なるか。

解 界磁電流 $I_f = \frac{220}{100} = 2.2A$.

電機子電流 $I_a = 50 - 2.2 = 47.8A$.

$$I_a R_a = 47.8 \times 0.5 = 23.9V.$$

反起電力 $E_a = E - I_a R_a$

$$=220-23.9=196.1V.$$

7. 電機子抵抗 0.05 オームの直流分捲電動機あり、端子電圧 220V、速度 956r.p.m. の時電機子電流 100A. なりといふ。今之を發電機として使用し端子電圧及び電機子電流を前と同様に保つ時廻轉數は幾許となるか。但し電機子反作用は無視す。

解 電動機の反起電力 $=220-0.05 \times 100=215$

$$k\phi = \frac{215}{956}$$

發電機としての誘起電圧 $=220+0.05 \times 100=225$

$$E_a = kn\phi$$

$$n = \frac{E_a}{k\phi} = 225 \times \frac{956}{215} = 1000r.p.m.$$

8. 直流電動機が 1200r.p.m. なる時誘起電圧 200V. なり。電機子發生廻轉力 14kg-m なる時電機子電流幾 A. なるか。
(答 86A.)
9. 直流發電機は補極を有せざる時は負荷の増加と共に刷子を電機子廻轉と同じ方向に移動して整流子火花を防ぐ。電動機の場合は刷子を何れの方向に移動すればよいか。
(答 電機子廻轉と反対方向)
10. 電機子抵抗 0.05 オームなる直流分捲發電機あり、廻轉數毎分 1000 にて端子電圧 220V. の時電機子電流 100A. を示せり。今之を電動機として使用し其の端子電圧及び電機子電流を上記の値と同一になす時はその廻轉數幾許となるか。但し電機子反作用は之を無視す。(大正9、一四級)(答 956r.p.m.)
11. 直流直捲電動機が電氣鐵道及び起重機に適する理由を説明せよ。
12. 直流複捲電動機の種類を挙げ其の性質を略述せよ。

13. 負荷の増減に関係なく廻轉數一定なる直流電動機の種類を述べ其の原理を説明せよ。

第七章 直流電動機の種類 變動率及び能率

1. 速度變動率

電動機の端子電圧を定格値に保ち、規定の時間定格負荷を掛けて運轉し、一定温度に達した時の廻轉數 N を測り、次に負荷を全くとり去り、勵磁回路の抵抗は變へないで、無負荷廻轉數 N_0 を測ると速度變動率は次の式で表はされる。

$$\text{速度變動率} = \frac{N_0 - N}{N} \times 100\% \dots\dots\dots (18)$$

2. 電動機の能率

電動機は入力電力が出力が機械動力である。能率は普通次の式から計算する。

$$\text{能率} = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100\%$$

損失の種類及び計算の方法等は發電機の時と同じやうでよい。分捲電動機のやうな定磁束の電動機の損失は負荷の變化に拘らず一定と見做し得る不變損と負荷の大小により變化する負荷損との二つに分けられる。直捲電動機のやうなものは負荷により總べての損失が變化する。

端子電圧を E 、線電流を I 、電機子電流を I_a 、電機子抵抗を R_a として分捲電動機の能率 η を求むれば

$$\eta = \frac{EI - (I_a^2 R_a + P_c)}{EI} \times 100\% \dots\dots\dots (19)$$

P_c は電動機の不変損を表はす、界磁電流は小さいから

$$I \cong I_a$$

と置いて上の式を書換へると

$$\eta = \left\{ 1 - \frac{1}{E} \left(I R_a + \frac{P_c}{I_a} \right) \right\} \times 100\%$$

然るに $\left(I_a R_a + \frac{P_c}{I_a} \right)$ が最小なる時能率 η は最大になる。

代數で知る通り甲乙二數の積が不変である時甲と乙との和が最小になるのは甲乙二數が相等しい時である。

$$I_a R_a \times \frac{P_c}{I_a} = R_a P_c \quad (\text{一定})$$

$\therefore \left(I_a R_a + \frac{P_c}{I_a} \right)$ が最小なるためには

$$I_a R_a = \frac{P_c}{I_a} \dots \dots \dots (20)$$

なれば宜しい。

即ち電機子銅損が不変損に等しい時 $\left(I_a R_a + \frac{P_c}{I_a} \right)$ が最小になり従つて能率 η が最大になる。普通電動機は全負荷の附近で運轉する場合が多いから、設計者は丁度其の附近で最大能率に達するやうに電機子銅損(即ち負荷損)や不変損の大きさを決定する。

3. 練 習 問 題

1. 200V. 直流分捲電動機あり、電機子回路の全抵抗 0.12 オーム、電機子電流 50A. の時の速度 1000 r.p.m. なりと云ふ。之を無負荷とすれば速度は凡そ幾許となるか。又其の際の速度變動率は凡そ幾許か。但し電機子反作用は無視す。

解 負荷の際の反起電力 $E_a = 200 - 0.12 \times 50 = 194V$.
無負荷の際の反起電力を凡そ 200V. とすれば無負荷廻轉數 N_0 は

$$N_0 = 1000 \times \frac{200}{194} \cong 1030 \text{ r.p.m.}$$

$$\text{速度變動率} = \frac{1030 - 1000}{1000} \times 100\% = 3\%$$

2. 100V. 5H.P. 直流分捲電動機あり、界磁回路の抵抗 50 オームにして全負荷に於ける能率は 80% なりといふ。全負荷に於ける電機子電流を求めよ。

解 出力が 5H.P. なる故之をワットに直すと

$$746 \times 5 = 3730W.$$

$$\text{全入力} = \frac{3730}{0.8} = 4660W.$$

$$\text{界磁回路の } I_f^2 R_f = \frac{100^2}{50} = 200W.$$

$$\text{電機子入力} = 4660 - 200 = 4460W.$$

$$\text{電機子電流} = \frac{4460}{100} = 44.6A.$$

3. 100V. 10H.P. 直流分捲電動機あり、全負荷に於ける入力及び電機子電流を求め。但し此の場合に於ける能率 85%、勵磁電流 2A. なりとす。(答 85.8A.)

4. 直流分捲電動機あり、其の端子電壓 200V. 電機子回路の全抵抗 0.3 オーム、界磁回路の全抵抗 100 オーム、無負荷電流 6A. とす。速度電壓を元のまゝに保ち電流を 30A. とせる時の電動機の能率を概算せよ。

解 無負荷入力 = $200 \times 6 = 1200W$.

$$\text{電機子銅損} = 6^2 \times 0.3 = 10.8W.$$

\therefore 不 變 損 = $1200 - 10.8 = 1189W$.

$$\text{界 磁 電 流} = \frac{200}{100} = 2A.$$

$$\text{電機子電流} = 30 - 2 = 28 \text{ A.}$$

$$\text{電機子銅損(負荷の時)} = 28^2 \times 0.3 = 235 \text{ W.}$$

$$\text{入力(負荷の時)} = 200 \times 30 = 6000 \text{ W.}$$

$$\text{能率} = \frac{6000 - (1189 + 235)}{6000} \times 100\% = 76.3\%$$

5. 直流分捲電動機あり、端子電圧 100V. 電機子抵抗 0.2 オーム、界磁線輪抵抗 40 オーム、無負荷電流 5A. なりといふ。供給電流 50A. なる時の能率を求めよ。(答 81%)
6. 全負荷に於て 100V. 50 A. 1000 r. p. m. なる分捲電動機あり、定格電圧、定格速度に於ける無負荷電流は 4A. といふ。電機子及び界磁回路の全抵抗は夫々 0.12 オーム及び 80 オームの時此の電動機の能率を最大ならしむる負荷電流を求めよ。

$$\text{解 勵磁電流} = \frac{100}{80} = 1.25 \text{ A.}$$

$$\text{電機子電流(無負荷)} = 4 - 1.25 = 2.75 \text{ A.}$$

之は小さいから

$$\text{無負荷入力} = 100 \times 4 = 400 \text{ W.}$$

を不変損と見てよい。之と電機子銅損とが等しい時能率は最大となるから能率を最大ならしむる時の電機子電流

$$I_a = \sqrt{\frac{400}{0.12}} = 57.6 \text{ A.}$$

$$\text{故に供給電流} = 57.6 + 2.75 = 60 \text{ A.}$$

7. 全負荷運轉に於て 100V. 50 A. 1500 r. p. m. なる分捲電動機あり、規定速度に於ける無負荷電流 4A. にして電機子回路の抵抗は 0.1 オーム、界磁回路の全抵抗は 80 オーム といふ。全負荷及び $\frac{1}{2}$ 全負荷に對する能率を概算せよ。

$$\text{解 無負荷損} = 100 \times 4 = 400 \text{ W.}$$

之を不変損と見て大して誤差はない。

$$\text{全負荷電機子電流} = 50 - 1.25 = 48.75 \text{ A.}$$

$$\left(1.25 = \frac{100}{80} \text{ 界磁電流} \right)$$

$$\text{全負荷電機子銅損} = 48.75^2 \times 0.1 = 237 \text{ W.}$$

$$\text{全負荷入力} = 100 \times 50 = 5000 \text{ W.}$$

$$\therefore \text{全負荷能率} = \frac{5000 - (400 + 237)}{5000} \times 100\% = 87.3\%$$

$$\frac{1}{2} \text{ 全負荷の時の電機子電流} = \frac{48.75}{2} = 24.38 \text{ A.}$$

$$\text{電機子銅損} = 24.38^2 \times 0.1 = 59.5 \text{ W.}$$

$$\frac{1}{2} \text{ 全負荷時の入力電流} = 24.38 + 1.25 = 25.6 \text{ A.}$$

$$\frac{1}{2} \text{ 全負荷入力} = 100 \times 25.6 = 2560$$

$$\text{能率} \left(\frac{1}{2} \text{ 全負荷} \right) = \frac{2560 - (400 + 59.5)}{2560} \times 100\% = 79\%$$

8. 無負荷にて 900 r. p. m. をなす電動機の時速度變動率 4% なる時全負荷廻轉數を求めよ。(答 865 r. p. m.)

第八章 電動機使用法

1. 起 動 器

電機子電流は

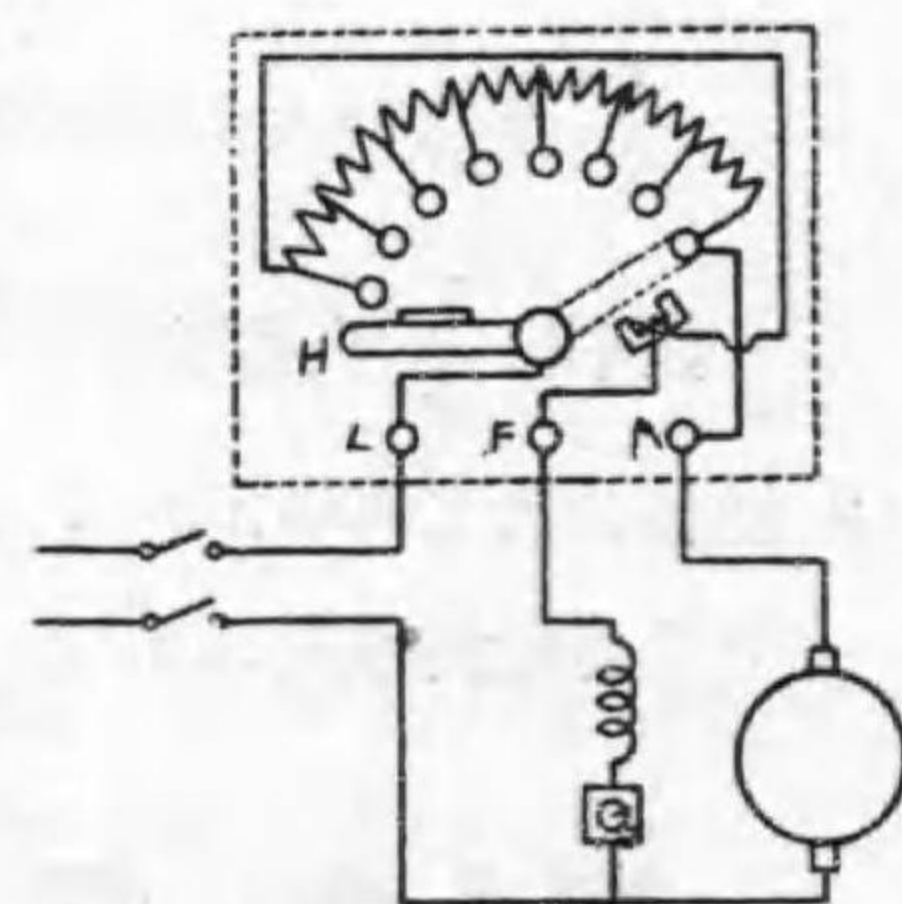
$$I_a = \frac{E - E_a}{R_a}$$

で表はされ給與電壓 E が一定の場合には I_a は反起電力 E_a の増

加に伴つて減少するものである。然るに起動の始めでは速度は零であるから E_a も零である。故に起動の際全電圧を加へると R_a が小であるから電機子に過大電流が流れて之を焼損する。此の過大電流を防ぎ安全に起動するには初め規定電圧より遙に低い電圧を刷子間に加へて起動し、速度が上昇するに従つて徐々に電圧を高め、規定速度近くになつて始めて規定電圧を加へるやうにすればよい。

此の目的のため電機子と直列に一の加減抵抗器を結びその電圧降下によつて刷子間に加へる電圧を低くする方法を用ふ。かやうな加減抵抗器を起動器 (Starter スターター) といふ。電機子電流が流れるから洋銀の太い線を用ふるか或はグリッドと稱し特殊の鑄鐵抵抗板を用ふることもある。

第60圖は起動器を分捲電動機に用ひた例である。Aは電機子、Fは界磁線輪につなされ、Lは電機子及び分捲線輪の結ばれてゐない電路につなされる。ハンドルHを右の方に少し廻はすと全抵抗が入つて起動が開始せられ、尙ハンドルを進めると抵抗が次第に減つ



第 6 0 圖

て行く。點線が運轉中のハンドルの位置でハンドルにはスプリングが仕掛けてあつて常に最初の停止の位置に引戻さうとしてゐるが點線の位置で運轉中はAなる鐵片が電磁石Mに吸引力を受けて支持されてゐる。此のMを無電圧解放器と云ふ。即ち停止のために主開閉器を開いた場合や、運轉中に停電したりすると此のMは磁性を失つてハンドルはスプリングの力で最初の位

置に戻る。かくして再び起動する場合に無抵抗のまま起動するやうな誤りを防ぐ。

起動用抵抗は起動の際短時間だけ使用するもので、連続的に電機子電流を流すわけに行かない。従つて之を速度制御に使ふことは禁物である。

又起動の場合にハンドルを途中の位置で進めるのをためらつてゐるのも好ましい事ではなく、抵抗器を焼損する原因となる。

起動器には過負荷保護装置を有するものもある。

直接電動機を起動する時も分捲の場合と同じやうな起動器を用ふればよい。

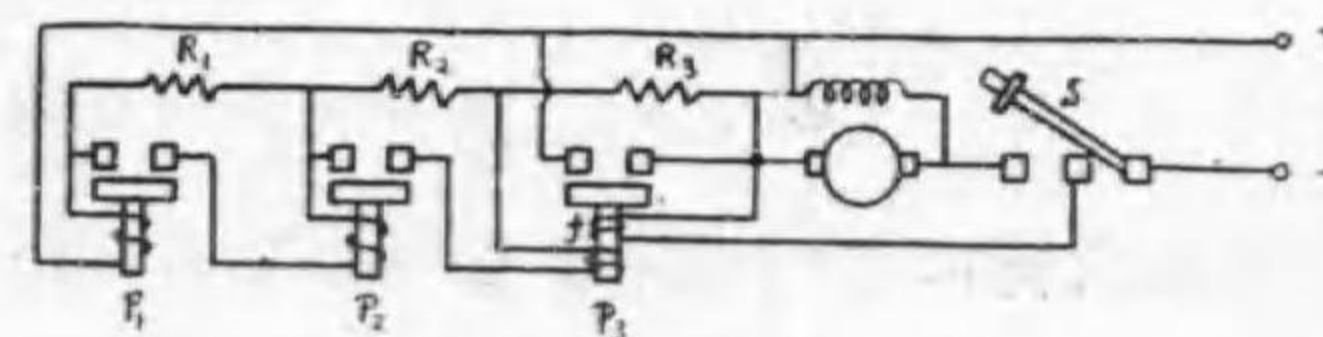
此の時は無負荷解放器は電機子回路へ入れて置く。

2. 自 働 起 動 器

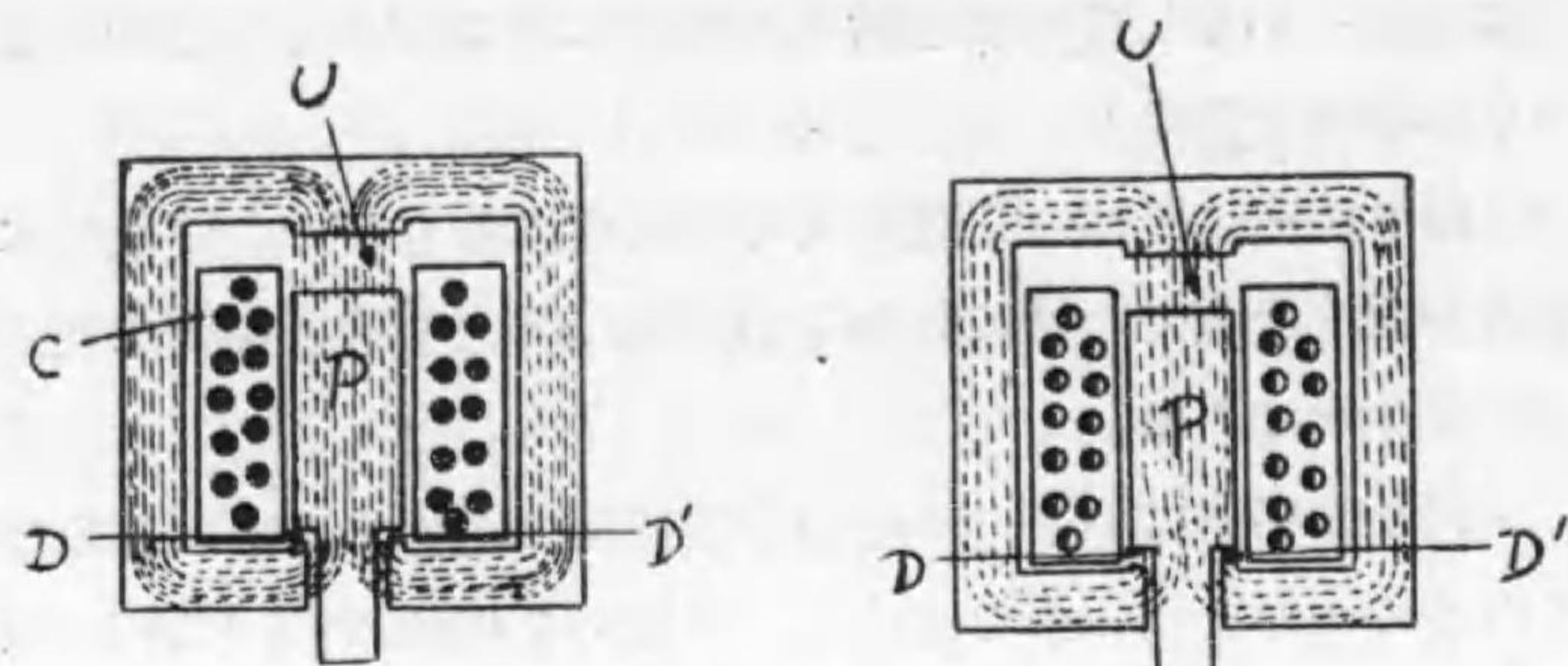
一例として、接觸器形の自動起動器を説明する。第61圖 P_1, P_2, P_3 は閉塞式接觸器で電流が或値まで減少すると動作するものである。

スイッチSを閉ぢると起動され電流が適當に減ると先づ P_1 が動作して R_1 を短絡する。それから又電流が同じ位減つた時に P_2 、次に P_3 が動作する。 P_3 が動作すると P_1, P_2 は線輪が短絡されて接觸片が開かれるが P_3 には並列線輪 f に電流が通つてゐる結果接觸片は閉ぢたまゝで電流は電源から直接に電機子に供給される。

第62圖は閉塞用接觸器の一例でCは直列線輪を示す。線輪



第 6 1 圖



第 6 2 圖 a

第 6 2 圖 b

の電流によつてUに引上げる力を生ずるのであるが鉄心Pは下部が細くなつて飽和し易く電流が大きい時は(a)圖のやうに下部Dに漏洩磁束を生ず。此のDの磁束はPを引下げるやうに働くから此の状態では鉄心Pの重量に打勝つて、それを引上げる事は出来ない(b)圖は電流が少なくなつた状態でDの漏洩磁束が無くなるからUの吸引力でPは引上げられ之によつて接觸片が閉路される。

3. 速度制御法

Eを電機子に加へる電圧(電機子に直列にある直捲線輪、抵抗器等總てを含む直列回路の両端に加へられた電圧)、 I_a を電機子電流、 R_a を電機子回路の抵抗(電機子に直列抵抗器を置く場合にはその抵抗をも含む) ϕ を各極磁束数とすれば速度nは次式で與へられる。

$$n = \frac{E - I_a R_a}{k \phi}$$

I_a は負荷によつて定まるものであるがE、 R_a 、 ϕ の何れを變化させても速度制御が出来る。

(1) 磁束制御、 ϕ を變へる。通常抵抗器を用ひ、分捲線輪では直列に入れた抵抗を變へて勵磁電流を加減する。直捲電動機では並列に置く。

(2) 電機子回路の抵抗による制御、 R_a を變へる。即ち電機子に直列に抵抗器を入れそれを加減する。

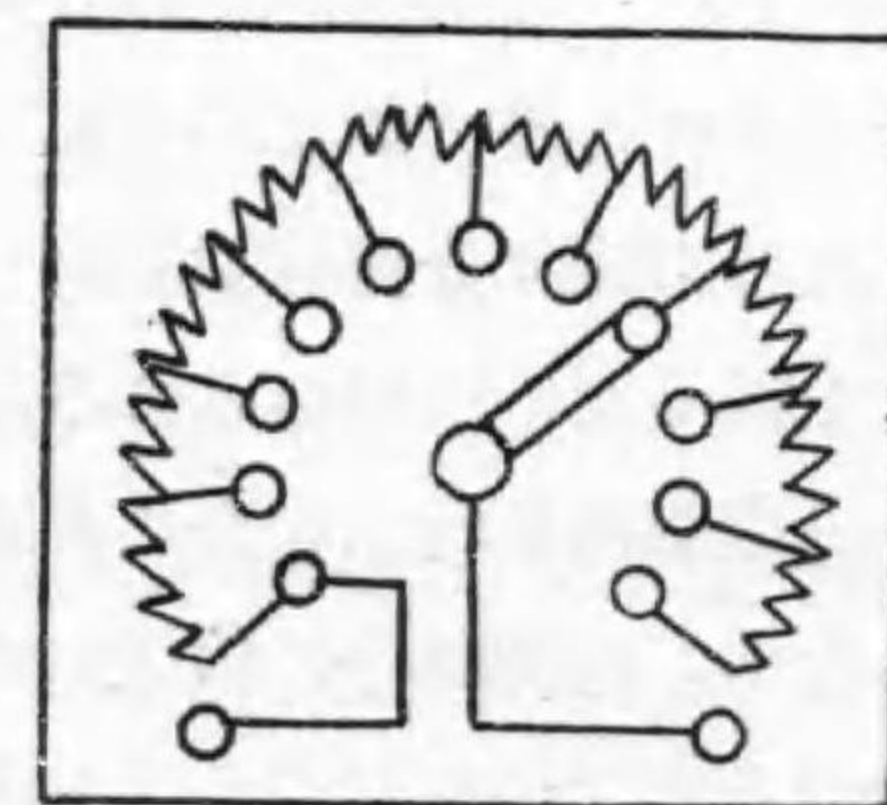
(3) 電壓制御、Eを變へる。即ち電機子回路に加へる電壓を變へるのであつて、分捲電動機の場合には界磁線輪には一定電壓を加へる。

以上の中電機子回路に抵抗を入れる方法は抵抗器に大なる電流を流すため、電力損失が多く、電流容量の大なる抵抗器が必要であるから仲々厄介である。かやうな抵抗器としては鑄造のグリッド抵抗器や水抵抗器等が用ひられる。分捲線輪では電流は小さく、従つて抵抗器も小型のもので済み且つ操作も非常に容易であつて最も廣く用ひられる。此の場合の抵抗器は適當な抵抗線を用ひて第63圖のやうに作られる。

(a) 分捲電動機の速度制御

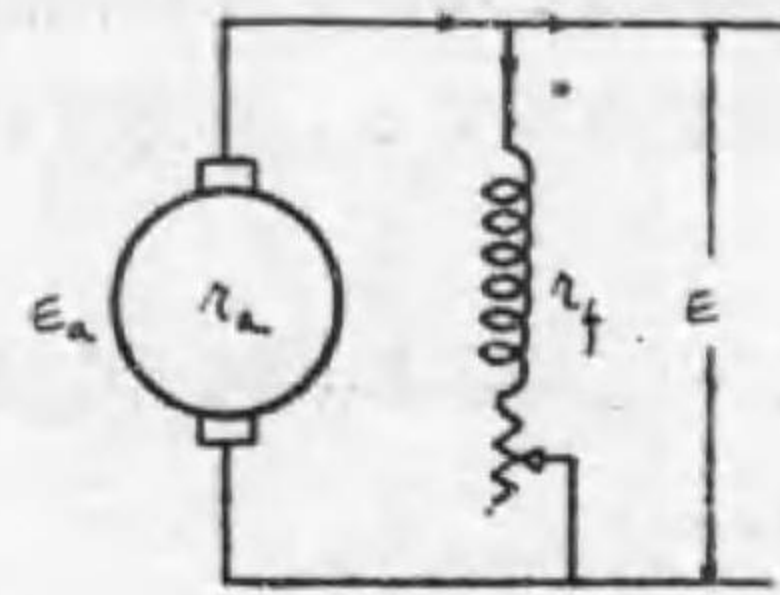
(1) 界磁抵抗器による制御

第64圖の R_f を變へて ϕ を變へる方法である。 ϕ を減少すると速度特性は S_1 から S_2 に上る(第65圖)。 ϕ を變へても速度特性は大體に於て I_a 軸に平行で、やはり定速度電動機である。

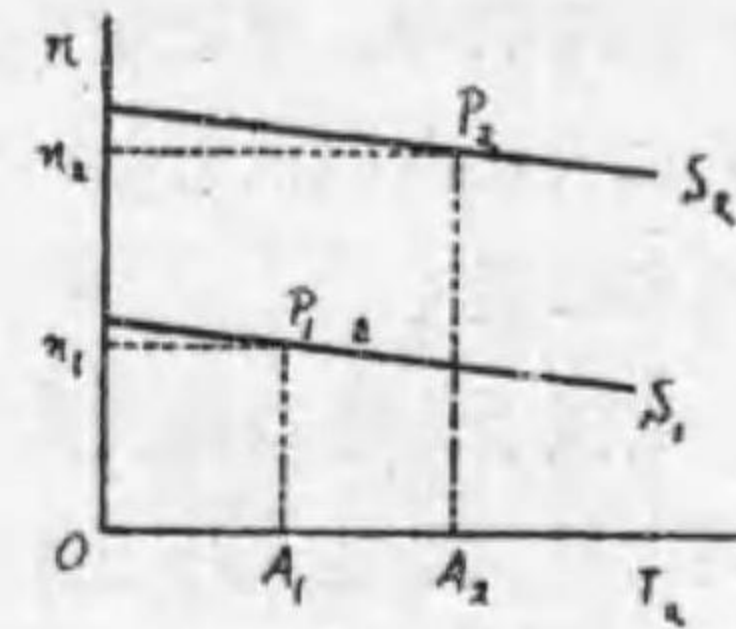


第 6 3 圖

このやうに定速度性を有してゐるから ϕ を $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{1}{3}$ とするに隨ひ速度は略2倍、3倍となる。今負荷特性が速度に無關係に一定の廻轉力を要求するやうな場合を考へて見る。



第 6 4 圖



第 6 5 圖

電機子反作用を無視すると或る ϕ では S_1 の速度特性を有し、 ϕ を $\frac{1}{2}$ にすると S_2 のやうになり、 S_1 特性に対して $I_a = OA_1$ で $n = n_1$ ならば ϕ を $\frac{1}{2}$ にした時同一廻轉力を生ずるためには $I_a = OA_2$ ($OA_2 = 2OA_1$) となるから速度は n_2 で與へられる。即ち働作状態は P_1P_2 のやうな點で示される。

然るに實際は速度特性は直線でなく、殊に ϕ を少くすると電機子反作の影響が著しくなる。此の結果整流を非常に困難ならしめ、此の方法で相當廣い範圍に速度を制御するためには後で述べるやうな整流極が必要になる。又更に補償捲線の必要にもせられるやうになつて来る。

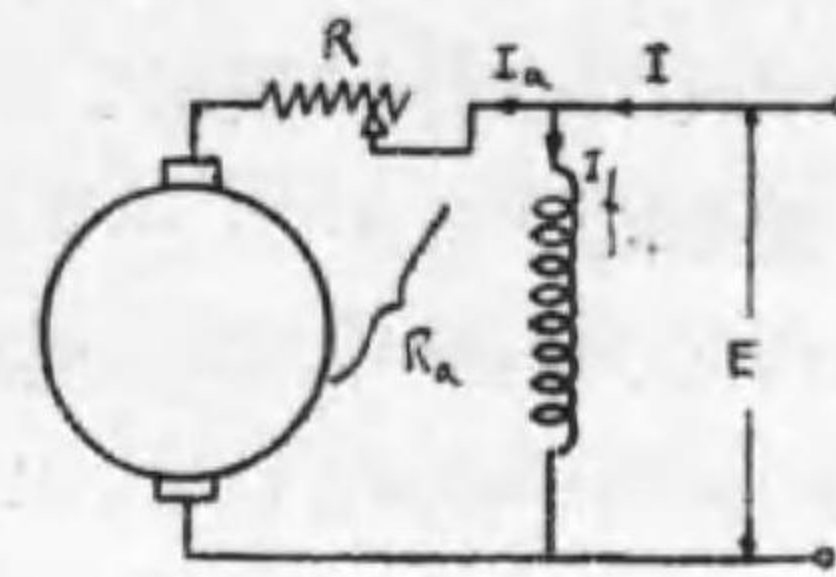
此の方法は分捲線輪回路へ抵抗器を入れるのであるから速度を上げるだけに用ひられる。

速度制御を行ふ場合に界磁抵抗を餘り急激に變化させてはならない。廻轉部分の慣性のために電動機の色度の変化には若干時間を要するわけであるから、急に ϕ を大きくすると發電機のやうになり、又急に ϕ を弱くすると充分な反起電力を生じないために大きな衝撃的電流が電機子に流れ込む。

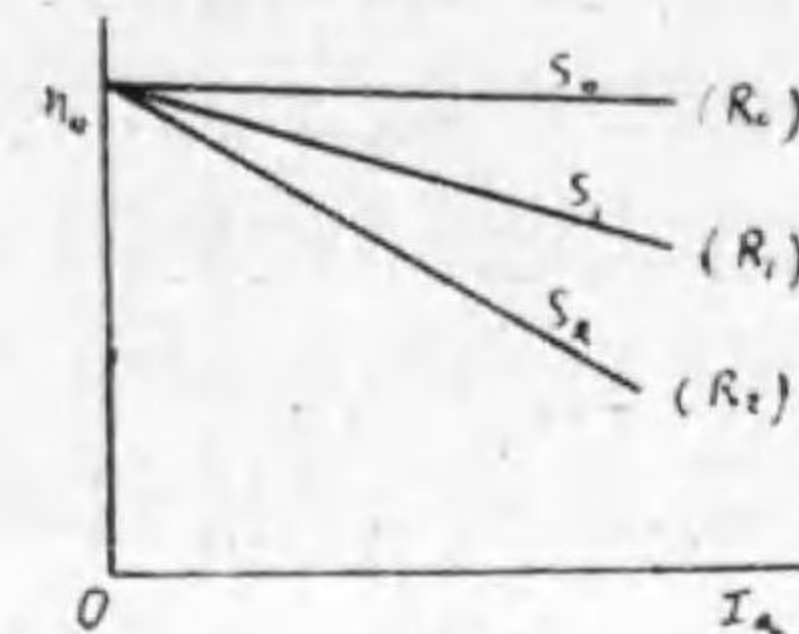
(2) 電機子回路の抵抗器による制御

第66圖のやうに R_a を變へる方法である。 ϕ は一定であるか

ら無負荷速度は變化しない。電機子抵抗 R_0 だけの時の速度特性は S_0 で抵抗器 R の抵抗を大にして R_a を R_1, R_2 とするに随つて



第 6 6 圖



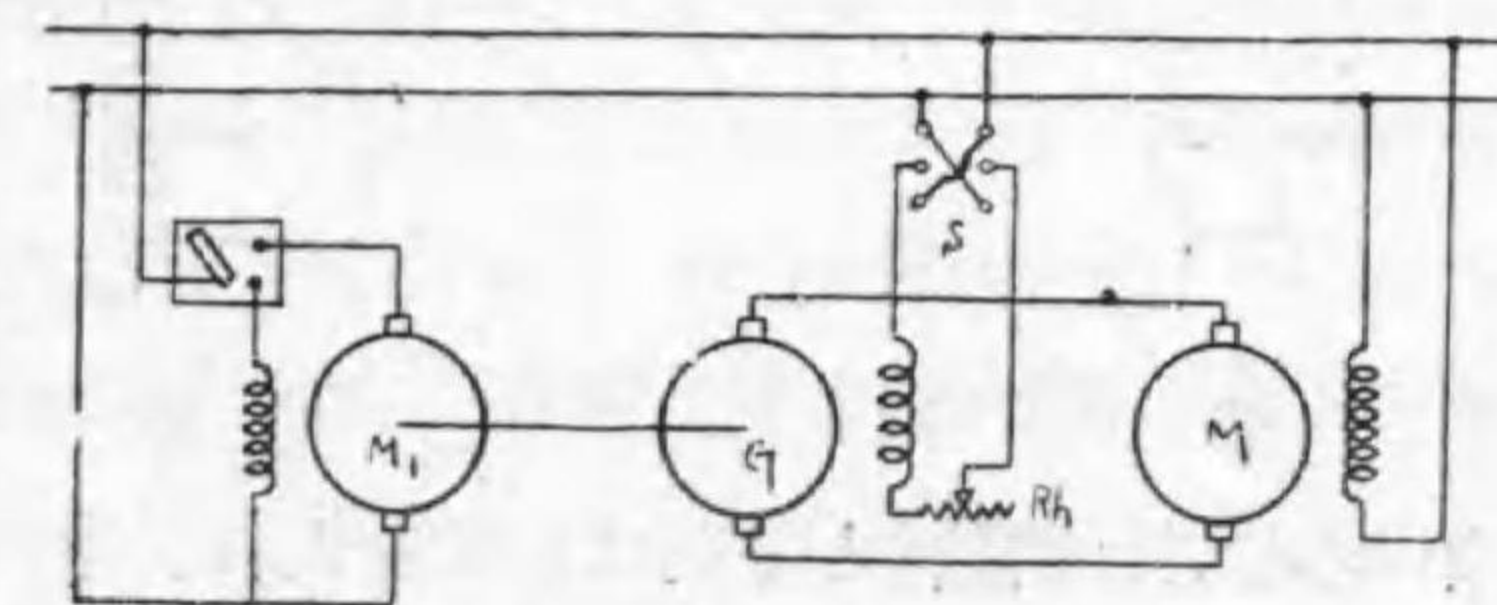
第 6 7 圖

S_1, S_2 のやうになる。廻轉力 $T = k\phi I_a$ で表されるから一定廻轉力を要求する負荷に対しては I_a は不變である。界磁電流を一定とすれば電機子反作用を無視して ϕ を一定とすることが出来る。然る時は第67圖の I_a 軸は廻轉力の軸を表はすものと考へることが出来、負荷廻轉力が少し變動した時を考へると R を大きくした場合には速度の變化が著しいことがわかる。即ち運轉速度が變動し易くなり分捲電動機の色度性が大なる抵抗を用ふるに随つて減少して来る。又主電流の通路に抵抗を入れたから電力損が大になる。

(3) ワード・レオナード方式 (Ward Leonard system)

此の方式は供給電壓 E を加減する方法で第68圖はその接続を示す。 M は速度

制御を受くべき主電動機で直流幹線から一定の強さに勵磁されてゐる。 M_1 は



第 6 8 圖

補助電動機で不変速度で補助発電機Gを運轉する。GはMと同じく直流幹線から他勵され界磁抵抗器 R_h を加減してGの電壓を零から最大まで或は逆方向にも極めて広い範囲に調整される。従つてMの速度は零から最大まで或は逆廻轉も出来る。

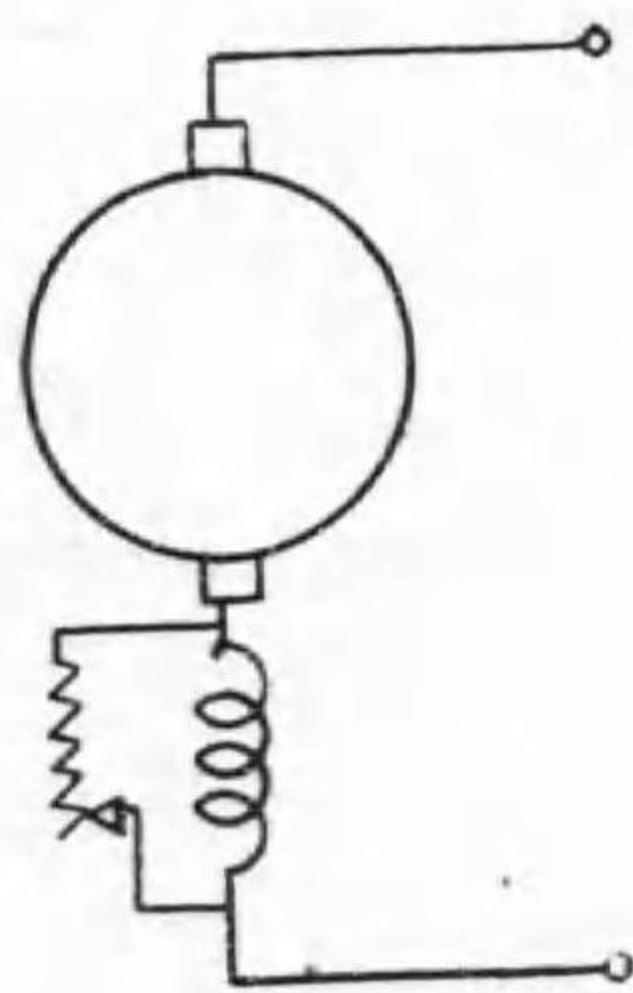
この電動発電機の廻轉軸に大なる蓄勢輪(Fly wheel フライ・ホイール)を附する時はMにかゝる負荷の變動の甚だしい場合にも電源から M_1 に供給される電力の變動が緩和される。この蓄勢輪を附した時にイルグナー方式(Ilgner system)と云ひ又直流電動機 M_1 の代りに交流誘導電動機が使用される。

(b) 直捲電動機の世界速度制御

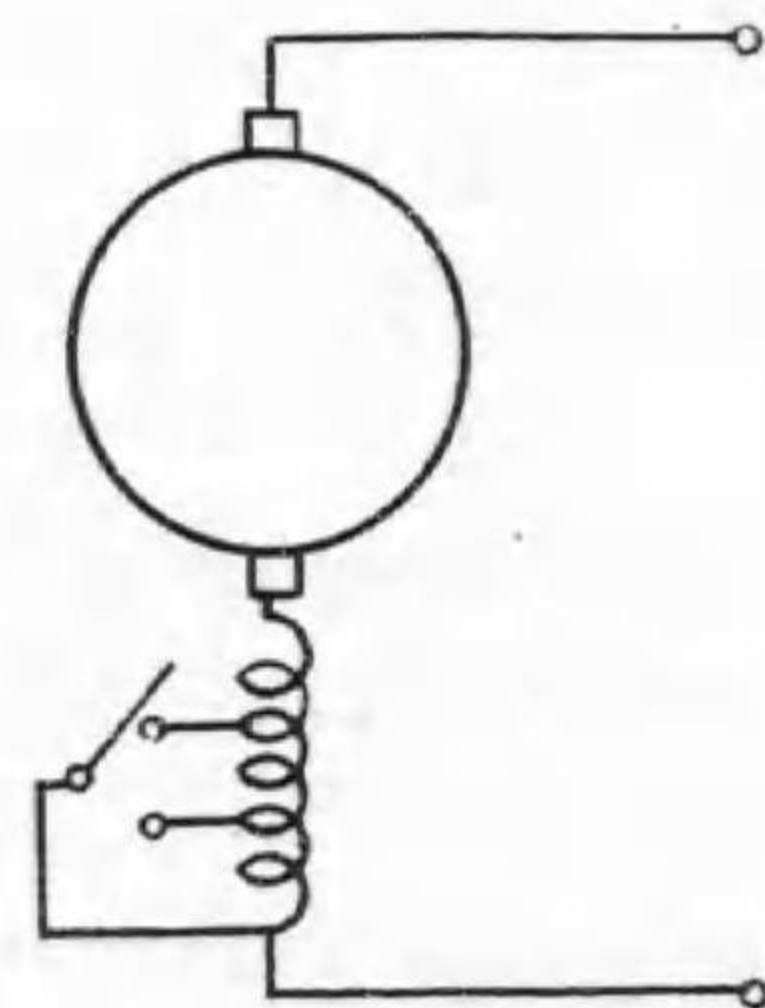
$$\text{速度 } n = \frac{E - I_a R_a}{k\phi}$$

で表はされるから R_a , ϕ , E の中どれかを變化させれば速度が制御出来る。

(1) 界磁制御法



第 6 9 圖

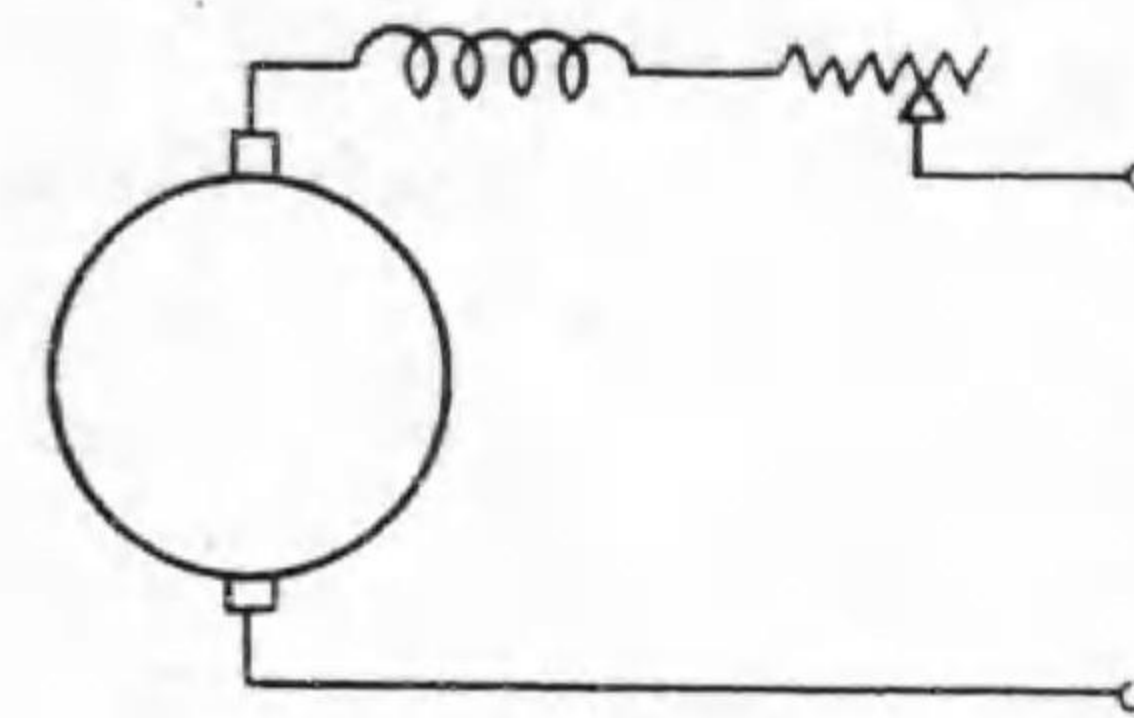


第 7 0 圖

第69圖は界磁捲線と並列に抵抗を入れ、第70圖は界磁捲線中のタップによつて捲数を變へるものである。第69圖の場合には

界磁捲線が大なるインダクタンスをもつてゐるから負荷や給與電壓が急激に變動した場合に電流は分流抵抗を通り易く、磁束の變化は遅れて電機子回路に突流を生ずるから注意を要す。例へば、電氣鐵道に用ひたやうな場合で、トロリーと聚電子の接觸が完全でなく、動搖して切れたり、觸れたりした際に、切れて一度電流が零になつて後、再び接觸して電壓が加へられると、磁束は出來てゐないし誘起電壓は至つて少く従つて抵抗分路を通じて短絡したやうな状態に陥る。之を防ぐには分流抵抗を純抵抗としないで、相當な自己インダクタンスを與へればよい。

(2) 電機子回路の抵抗器による制御



第 7 1 圖

第71圖のやうに直列抵抗を用ひて電機子回路の抵抗 R_a を變化させる。主電流の通路に抵抗があるから大なる電力損を生ずるも之は止むを得ない。

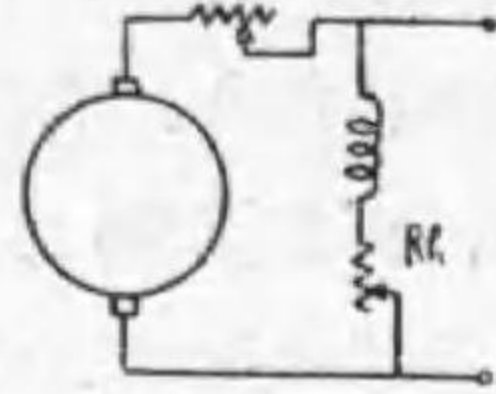
(3) 直並列制御

2 箇或は 2 箇以上の直捲電動機を用ふる場合に之等を直列或は並列に接続を變へて速度を制御する。之は一種の電壓制御法で 4 箇の等しい電動機で一つの負荷を運轉する場合には全部並列にした時各電動機には E なる電壓が給與され、2 箇宛直列にすると $E/2$, 4 箇全部直列にすれば $E/4$ なる電壓が各加はる。此の方法と抵抗制御法とを併用すれば速度を廣範圍に制御出来、且抵抗器のみによる方法に比してずつと能率がよい。

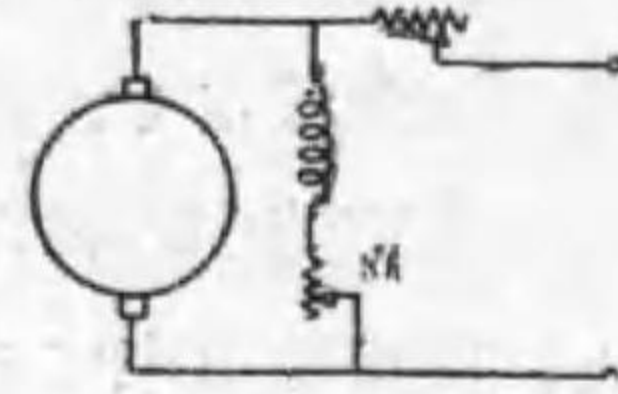
4. 練 習 問 題

1. 直流分捲電動機を起動するに對し起動抵抗を挿入するに (イ) 及び (ロ) 圖

の内何れが正し
き方法なるや、
而して正しき理
由を説明すべ



(イ)



(ロ)

し。(明44—五級)

解 (イ)が正しい。此の接続では界磁線輪は全電圧を受けるから R_h を零にして置けば大なる起動廻轉力を生じ電動機は速に起動を開始する。(ロ)の接続では起動抵抗内の電壓降下のために界磁線輪の受ける電圧が低くなるから勵磁電流が小さく充分な起動廻轉力が起らない。

2. 小なる直流分捲電動機に使用する起動器の接続圖を示し、且其の作用を説明せよ。(明44—五級)
3. 直流分捲電動機を速度を制御するに電機子に抵抗を挿入する方法と勵磁電流を變更する方法との得失を比較せよ。(大2—五級)
4. 無電壓開放器を説明せよ。(大15—三級)
5. 直流電動機の自動起動方法の原理を列挙せよ。(大9—二級)
6. 200V. 直流分捲電動機あり、電機子抵抗は0.3オームにして全負荷電流は40A. といふ。之に要する起動抵抗は何オームを可とするや。

解 起動電流が全負荷電流の1.5倍まで許されるものとする

ば次の式を得

$$40 \times 1.5 = \frac{200}{0.3 + R}$$

∴ 求むる抵抗 $R \cong 3$ オーム

7. 直流分捲電動機あり端子電壓200V. 電機子抵抗1Ω、界磁線輪抵抗40Ω、全負荷電流45A. の時1800r.p.m. なりと云ふ。今同一廻轉力に對して900r.p.m. とすためには電機子回路に何程の抵抗を入るべきか。

解 界磁電流 = $\frac{200}{40} = 5$ A.

$$\text{電機子電流} = 45 - 5 = 40 \text{ A.}$$

$$1800 \text{ r.p.m. の時の反起電力} = 200 - 1 \times 40 = 160 \text{ V.}$$

界磁電流及び電機子電流一定なる故反起電力は廻轉數に正比例する故に900r.p.m. の時の反起電力は

$$160 \times \frac{900}{1800} = 80 \text{ V.}$$

故に挿入すべき抵抗をRとすれば

$$\frac{200 - 80}{1 + R} = 40$$

∴ $R = 2 \Omega$

8. 直流分捲電動機あり、端子間の給與電壓200V. 電機子抵抗0.2Ω、界磁線輪抵抗100Ω、全負荷電流60A. 毎分700回轉をなす、今同一廻轉力に對し速度を前の半分となすためには電機子回路に幾何の抵抗を挿入すべきか。(答1.62Ω)
9. 550V. 直流直捲電動機あり、界磁抵抗0.05Ω、電機子抵抗0.25Ωにして電流90A. の時毎分500回轉をなす、電流を50A. に減ずる時廻轉數は幾許となるか、但し磁束は電流に比例し、電機子反作用は無視する。

解 90A.の時の反起電力 = $550 - 90 \times (0.05 + 0.25) = 523V$.
 磁束が電流に比例するから速度の式は次のようになる。

$$n = \frac{E - I_a R_a}{k I_a}$$

$$k = \frac{E - I_a R_a}{n I_a} = \frac{523}{500 \times 90}$$

50A.の時の反起電力 = $550 - 50 \times (0.05 + 0.25) = 535V$.

$$\therefore n = \frac{535}{\frac{523}{500 \times 90} \times 50} = 920 \text{ r.p.m.}$$

10. 端子電圧500V. 電流40A. 1500r.p.m.なる直流直捲電動機あり、今電流を不変にして電圧 350V. に減ずる時廻轉数は幾許となるか、但し電機子及び界磁捲線の全抵抗を 0.5Ω とす (答 1030r.p.m.)
11. 直流電動機の起動専用の抵抗器を一般に其の速度制御用に使用せざる理由を述べよ。(大5五級)
12. ワードレオナード方式による分捲電動機速度制御法を述べよ。

第九章 整 流

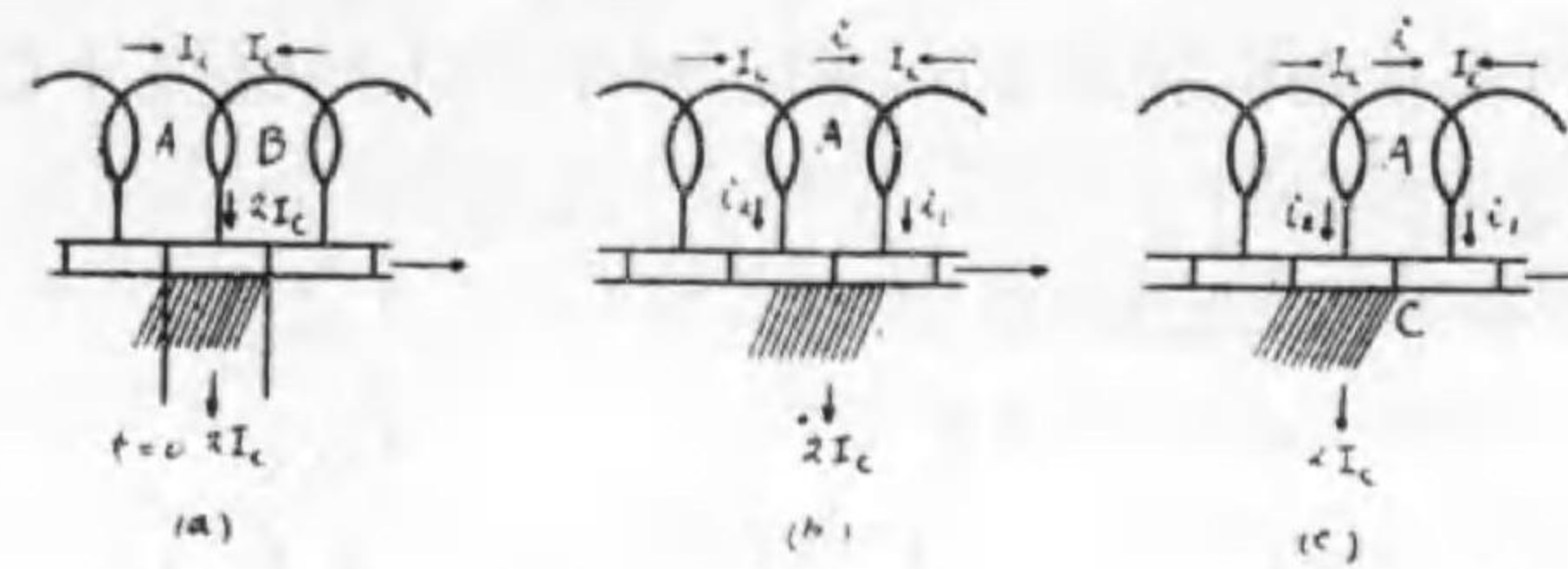
1. 短絡電流曲線

電機子が廻轉するとき一つの導體を流れる電流は刷子を通る毎にその向きが反対になる。電流の向きが反対になるまではコイルは刷子によつて短絡される。

短絡電流が短絡が始つて終るまでどんな変化をするか、その有様を示すものを短絡電流曲線といふ。

電機子電流を I_a , 電機子内部回路の總數を $2a$ とすれば各導體を通る電流は

$$I_c = \frac{I_a}{2a}$$



第 7 2 圖

第72圖 (a) は A なる線輪が整流を受ける直前を示し、電機子及び整流子は右へ進むものとする。A が B なる位置に來ると I_c の向きが逆になる。刷子の幅を d , 整流子片間の絶縁の厚さを δ , 整流子の周邊速度を V とすれば一つの線輪が短絡される時間 T は次のやうになる。

$$T = \frac{d - \delta}{V}$$

(b) は (a) より少し進んだ状態で A 線輪が短絡されてゐる。線輪が結ばれてゐる整流子片から刷子に移る電流をそれぞれ i_1, i_2 , 短絡電流を矢の向きに i とすれば

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= I_c + i \\ i_2 &= I_c - i \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (21)$$

次に T 秒たつて短絡が終つた状態、即ち (c) 圖のやうになれば線輪 A には始めと反対向きの電流 I_c が流れる。刷子の處に火花が出ないやうにするためには短絡の終りに於て $i_1 = 0$ なることが必要である。若し此の時 i_1 が零でなければ刷子は無理にそ

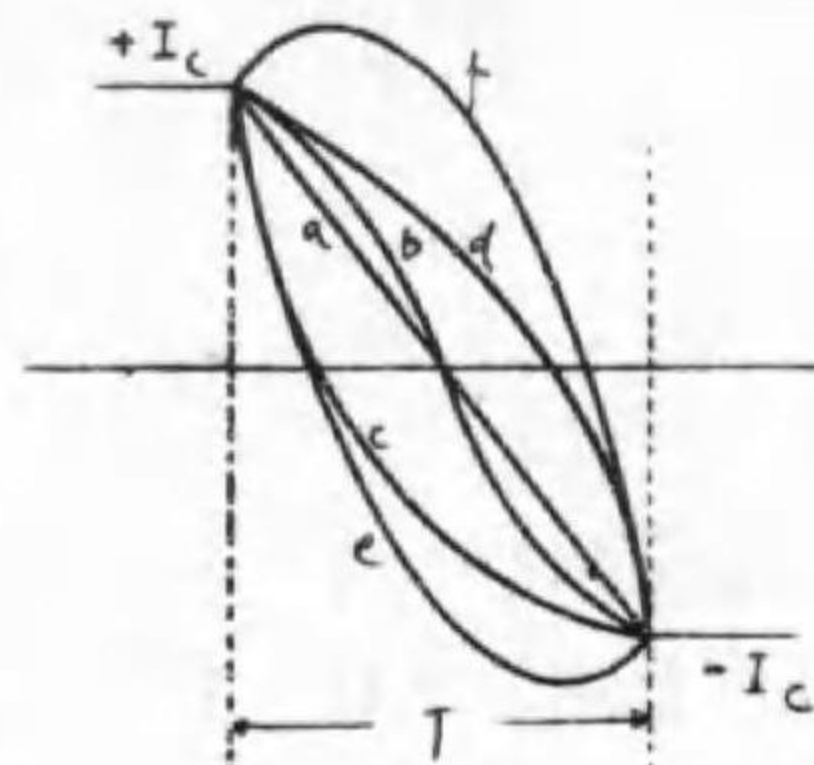
れだけの電流を切る事になり刷子のC端に火花を発生する。

$t=T$ の (c) の状態で $i_1=0$ なるための条件は (21) より

$$I_c + i = i_1 = 0 \quad \therefore i = -I_c$$

$t=0$ の時は $i=I_c$ なることは勿論である。短絡電流は T の間に (T を整流時間といふ) $(+I_c)$ から $(-I_c)$ に変化することが必要である。

第73圖は短絡電流曲線を示す。a は短絡電流 i が直線的に変化するもので之が理想的である。かやうな整流を直線整流 (Linear commutation リニヤー コンミュテーション) といふ。此の場合には刷子接觸面の電流密度分布が一様になる。b は i が正弦波形の変化をするもの (Sinusoidal commutation シヌソイダル コンミュテーション) で c と同様に整流の終りでは極く緩かに $(-I_c)$ の値になつてゐるから $t=T$ に於て刷子の端に火花を生ずる事なく満足な整流が行はれる。d は $t=T$ で i が急激な変化をしてゐて刷子に火花を生じ無理な整流である。e は電流変化が過度であつて過度整流 (Over commutation オバー コンミュテーション) と呼ばれ $t=T$ に於て $i = -I_c$ になる點に就ては満足なものであるが、刷子の電流密度が局部的に集中する結果、刷子過熱のため整流作用が害される。f は e と反対で不足整流 (Under commutation アンダー コンミュテーション) と呼ばれるもので、e の方は i の変化が早すぎるのであるが f の場合は遅れすぎるのである。e と同様に $t=T$ に於ける i の値は満足なものであるが、刷子の電流分



第 7 3 圖

布が悪く局部的過熱が著しく火花の原因になる。

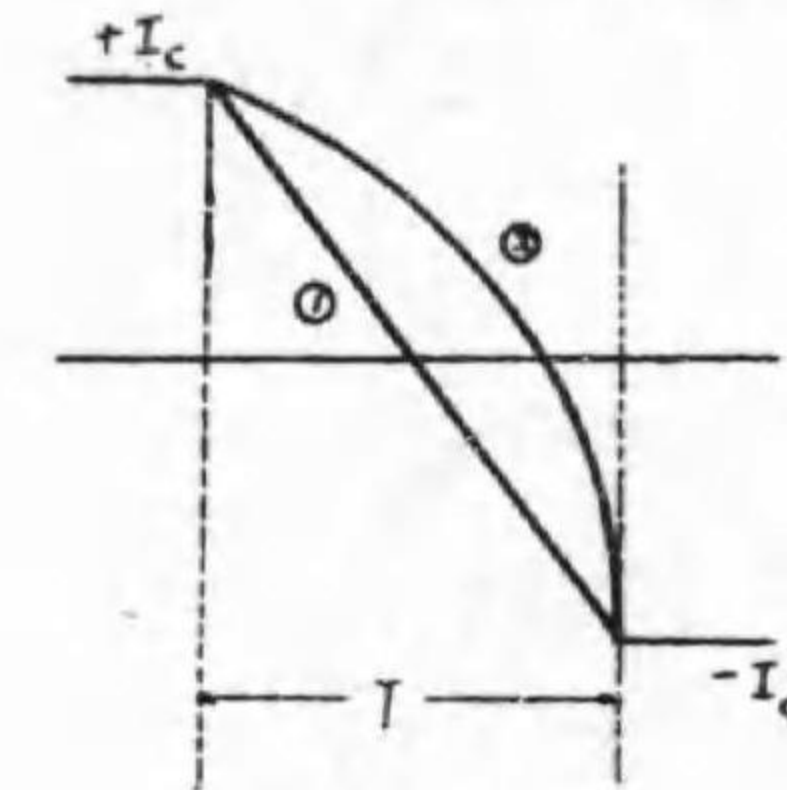
2. 整流の難易

なるべく整流を容易にするには次の三要求がある。

(1) T を長くすること

T は普通の直流機に於ては 0.002 秒乃至 0.0005 秒位の小さい値である。 T が大であれば短絡電流の変化が徐々に行はれ整流が容易に行はれる。 T を大にするには刷子の幅 d を大にするか、整流子の周速速度 V を小にするかである。

(2) 短絡回路のインダクタンスを小さくすること



第 7 4 圖

短絡回路にインダクタンスがあると電流の変化が押へられて第74圖②の様な傾向になり、インダクタンス L が大きいと此の傾向が著しくなつて $t=T$ に於ける i の変化が急激になり火花を生ずる事になる。

(3) 刷子と整流子との接觸抵抗を大にする事

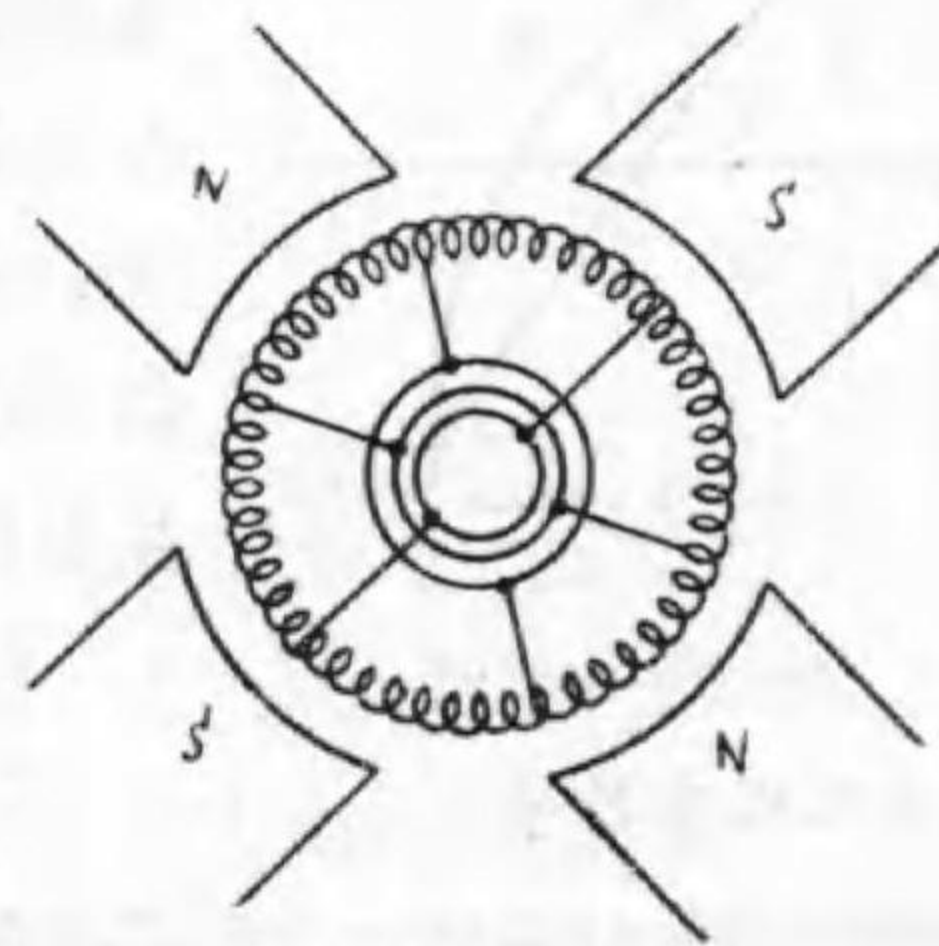
短絡回路の抵抗を大にする事は短絡電流を制限する事になり火花軽減法の主要素である。短絡回路の抵抗を大にするために接觸抵抗を大にする、之が金屬刷子を用ひずして炭素刷子を採用する第一の理由である。

既に述べたやうに電機子反作用を防ぐために補償捲線や補極を設けたのは結局整流作用を良好ならしむるためである。補極は電機子のアンペア ターンを打消して尙其の上に整流を行ふに必要な磁束を作るだけのアンペア ターンを與へるやうにす

るから補極に加ふべきアンペアターンは電機子アンペアターンよりも30~40%多い。

3. 均壓環 (Equalizer ring) イクオリザーリング

重捲電機子は極数と同数の回路を持つてゐる。而して之等の回路は夫々相隣れる一対の磁極によつて電圧を誘起せられる。発電機は十分に注意して均等に製作されるけれども、空隙の少しの相違其の他の爲に並列にある各回路の電圧が總べての瞬間に相等しいとは言はれない。電圧の相違は僅少であつても電機子抵抗が小さいために大なる横流が流れ、コイルを無益に熱するのみならず刷子に火花を生ずる原因となる。之を防ぐために第75圖のやうに電機子側面に數箇の銅環を設け捲線の等電位にあるべき點を夫々1箇の環に接続すれば、横流は之に流れて火花を防ぎ、又電機子に働く不平衡磁力を打消す。



第 7 5 圖

波捲電機子の導體は或る一対の磁極によつて電圧を誘起されることなく機械の全磁極に關係するために、並列にある回路の電圧に不平均を生ずることが少ないから均壓環は要らない。

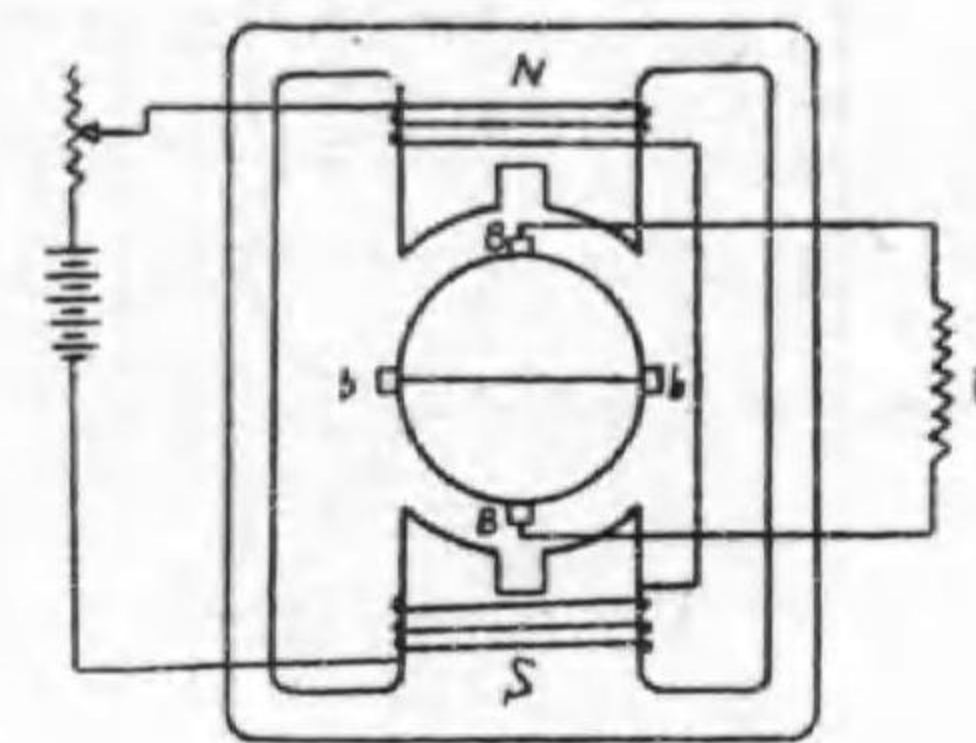
4. 練 習 問 題

1. 直流分捲電動機の廻轉方向を變ずるために界磁電流の方向を變化すれば、補極の極性は如何にすべきか。(答 反對)

2. 補極を有する直流分捲發電機が或る方向に廻轉しつゝあり、之れを電動機として同じ方向に廻轉せしむるには補極の接続に變化を要するか。(答 變化を要せず)
3. 直流發電機と直流電動機に於て無火花整流を得るために刷子を移動すべき方向の反對なる理由を述べよ。

第十章 特殊直流機

1. ローゼンベルヒ發電機 (Rosen berg generator)



第 7 6 圖

之は定電壓型發電機として考へられたものである。(第76圖) 刷子は二組あつてbbは中性點に置かれて短絡してある。磁極の中央にある刷子BBが負荷に結ばれる。磁極には電池から一定の起磁力が與へられてゐる。BBの方向の磁束 ϕ_B によつてbb間に短絡電流 I_b が流れ、それによつてbbの方向に ϕ_b なる磁束を生じ、之れを切つてBB間に電圧を誘起する。 ϕ_B には電機子反作用が働く。或る速度 n で或る負荷電流 I_B を抵抗 R に流してゐる場合を考ふ。今速度が増したとすれば I_b が増加し、従つて ϕ_b が増すことになりBB間の誘起電圧を増すことになる。而しその結果として I_B が増した影響を考へると I_B による減磁起磁力のため ϕ_B を減少せしめる。故に速度 n が増しても ϕ_B の減少を惹き起す結果 I_b は大して増加しないことになる。故に速度の變化が起つても誘

起電圧は大して變化しない。従つて負荷抵抗Rには略一定の電圧が與へられる。

刷子BBが整流するコイルは線輪邊が磁極中央にあるから整流が困難なる故、整流を容易にするため圖のやうに磁極面の中央に溝を設ける。

尙此の發電機は、逆轉しても負荷への給與電圧極性は變化しない。此の性質は列車點燈用として、車軸で驅動する發電機として非常に適當してゐる。此の場合には停車中にも點燈の必要があるから蓄電池を併用し第77圖のやうに接続する。列車進行中は電池を充電し且負荷に電

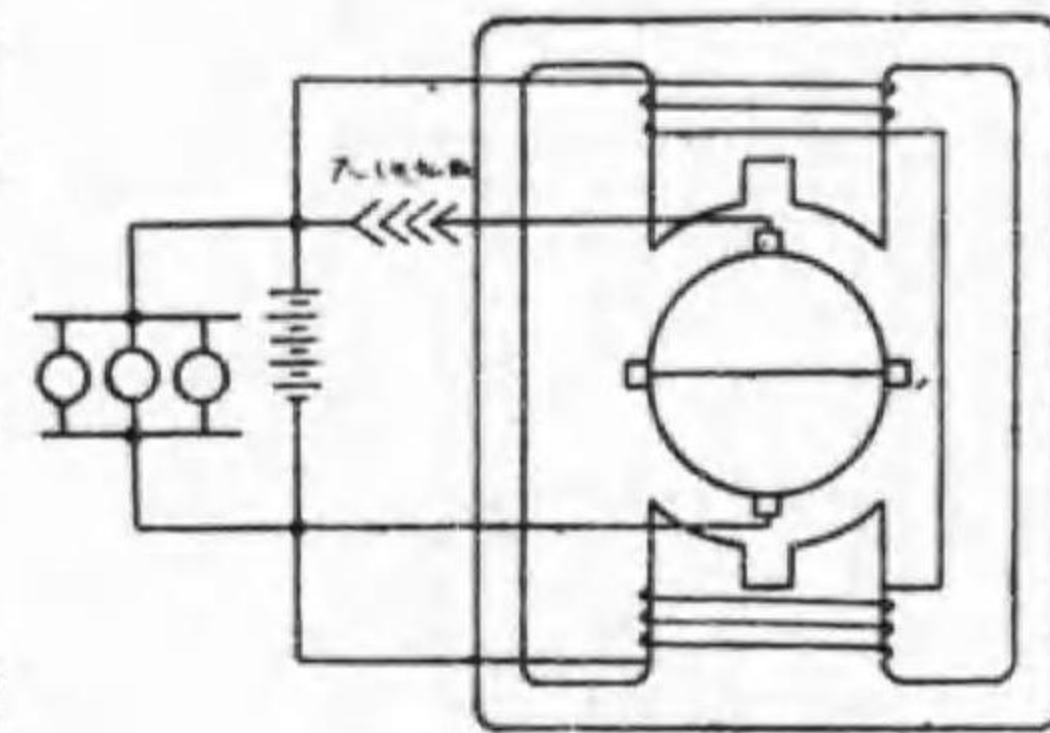
流を供給する。或程度以下の速度では十分な電圧を發生しないからアルミニウムセルのやうな逆流防止装置を置く。

此の發電機は要するに電機子反作用を極度に利用したも

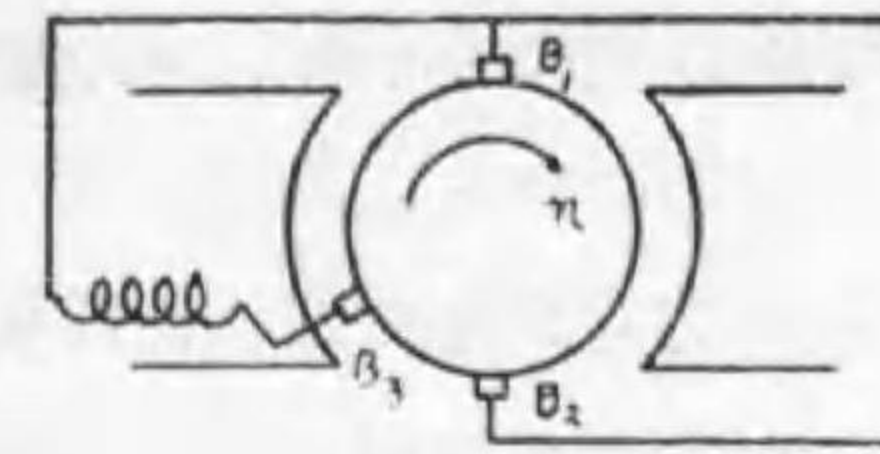
のであるから一定速度で運轉した場合外部特性が著しく垂下特性となる。従つて定電流發電機として用ひらるゝのであつて、直捲自己勵磁式にしたものが電弧熔接用發電機として利用される。

2. 第三刷子發電機

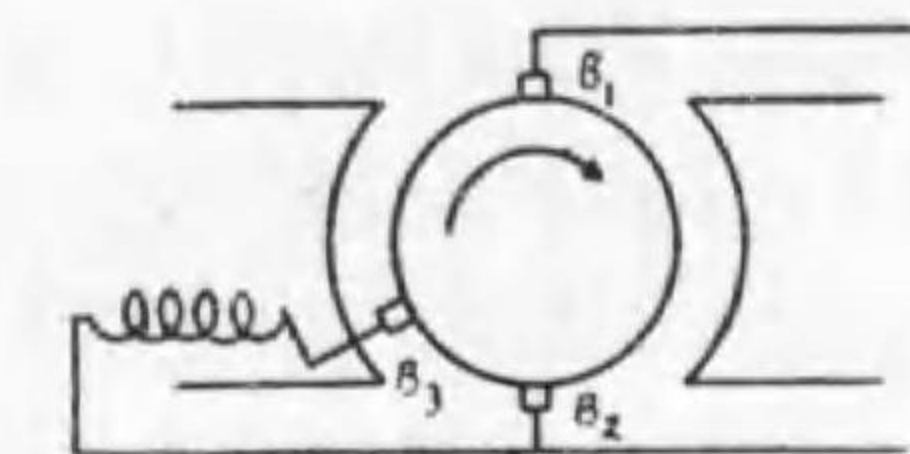
第三刷子發電機 (Third brush generator サード ブラツシユヂエネレーター) は又 Sayer 式發電機ともいふ。定電壓型と定電流型とあつて此の式の本來のものは定電壓型 (第78圖) のもので、これは分捲型の定速度の發電機でその電機子反作用を



第 7 7 圖



第 7 8 圖



第 7 9 圖

利用して複捲作用を自働的に持たせたものである。分捲界磁捲線を第三刷子 B_3 と主刷子 B_1 との間に接続する。此の場合には電機子反作用によつて磁極面の後半に磁束が増加し、 $B_1 B_3$ 間の誘起電圧が増加し従つて界磁電流が増加して端子間の電圧を高める。現在使用せられるのは主として自動車の充電用發電機としてであつて、これは定電流型 (第79圖) である。此の場合には界磁捲線は $B_2 B_3$ 間に接続せられる。負荷の増加と共に電機子反作用によつて磁極面の前半では磁束が減少し、 $B_2 B_3$ 間の誘起電圧が下り従つて負荷電流を制限する。

3. 加減壓機 (Booster ブースター)

直流發電機の電機子を一つの電路に直列に接続し、その發生起電力を利用して勵磁の方向によつてその電路の電圧を増減するために使用する場合にこの發電機を加減壓機といふ。これは蓄電池充電用、直流定電壓配電又は電氣鐵道用變電所の緩衝蓄電池用等に使用せられる。

4. 列車點燈用發電機

列車の車軸によつて運轉されるからその速度は廣い範圍に變る上に、いづれの方に廻轉しても同じ方向に電圧を誘起する必要がある。ローゼンベルヒ發電機はこの目的に使用せられる

もの一つである。又ストーン式発電機は調帯で車軸より運轉せられ、負荷が滑りを生ずべき既定値以上になると調帯の滑りで発電機の色度は一定に保たれる。廻轉方向が逆になつた時に発電機の極性を逆にするためにロッカーを軸に取附けた自働装置があつて刷子を電氣的に180°移動する。その外に速度及び発電機電壓が豫め定められた臨界値に達した時には発電機と蓄電池とを接続し速度が或値以下に下るとそれを切るやうに調整された開閉器が附いてゐる。

第二編 廻轉變流機

第一章 廻轉變流機概論

1. 變流機の種類

一つの種類の電流を機械エネルギーの媒介によつて他の種類の電流に變ずるものを變流機といふ。その中で交流を直流に變ずる目的に用ひられるものが最も普通であるが、此の目的を達するためには次の三種類の機械が一般に用ひられてゐる。

- (a) 電動發電機
- (b) 廻轉變流機
- (c) 水銀整流器

電動發電機 (Motor generator モーターゼネレーター) は一つの交流電動機例へば誘導電動機或は同期電動機と直流發電機とを適當の方法で連結したものである。故に交流側の電壓や電流の方式に適當した電動機を選び、之を以て直流側の電壓を出すに適當した發電機を運轉すればよい。此の場合2箇の機械を使用しなければならないから全體としての能率が多少悪くなり、又其の製造に要せられる費用が高くなる。

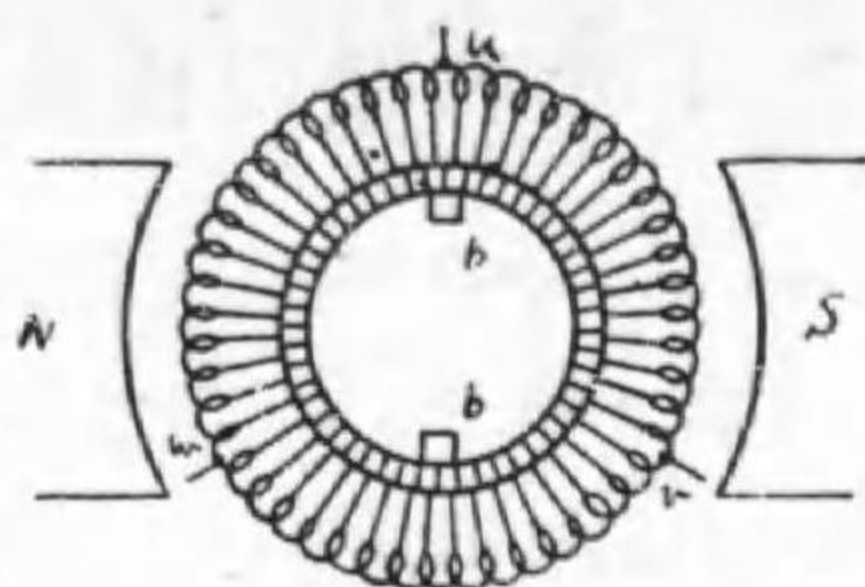
廻轉變流機 (Rotary converter ロータリーコンバーター) は同期電動機と直流發電機とを重ね合はせたやうな一つの電氣機械である。一般的に云へば廻轉變流機は電動發電機よりはその能率が良く、又値段も廉い。然し其の交流側の電壓と直流側の

電圧との間に一定の関係があるから、之を實際に用ゐる場合には之と共に必ず變壓器を用ゐなければならぬ。

2. 廻轉變流機の原理

第1圖の直流發電機を廻轉すると刷子bbの間に直流電圧が生ずる。然し電機子導體の中で誘起される電圧は交番起電力であるから、若し此の電機子コイルの中

の任意の二點例へばuとvとの二點を滑動環を通して外部へ導き出したとすればその間に交番電圧が得られる。若し此の圖に示す様に、互に120°づつ隔つた三點u, v, wを取れば、其の間に三相交流電圧が出て来るから之は廻轉發電子型の三相交流發電機となる譯である。然して交流發電機は之にそれが發生するものと同種類の交流を供給すれば必ず一つの同期電動機となつて廻轉するから、若し此の機械にu, v, wの方から三相交流を送込めば電機子は同期速度で廻轉する。その結果として整流子に装置してある刷子bb間に直流電圧が起り、交流を直流に變へる目的を達する事が出来る。之が廻轉變流機の原理であるが、同じ電機子が交流側に對しては同期電動機の電機子として働き、直流側に對しては直流發電機の電機子として働くからそのコイルの中には交流側の電流と直流側の電流との差が流れるやうになる。



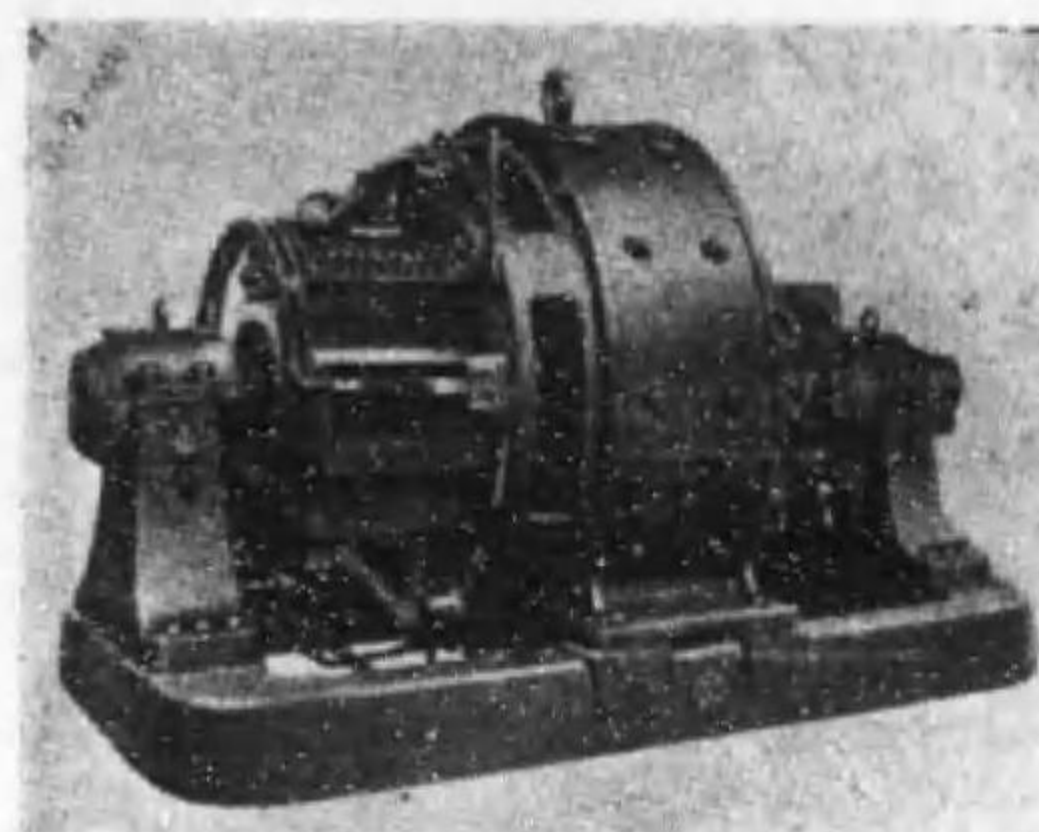
第 1 圖

第1圖の直流發電機を廻轉すると刷子bbの間に直流電圧が生ずる。然し電機子導體の中で誘起される電圧は交番起電力であるから、若し此の電機子コイルの中の任意の二點例へばuとvとの二點を滑動環を通して外部へ導き出したとすればその間に交番電圧が得られる。若し此の圖に示す様に、互に120°づつ隔つた三點u, v, wを取れば、其の間に三相交流電圧が出て来るから之は廻轉發電子型の三相交流發電機となる譯である。然して交流發電機は之にそれが發生するものと同種類の交流を供給すれば必ず一つの同期電動機となつて廻轉するから、若し此の機械にu, v, wの方から三相交流を送込めば電機子は同期速度で廻轉する。その結果として整流子に装置してある刷子bb間に直流電圧が起り、交流を直流に變へる目的を達する事が出来る。之が廻轉變流機の原理であるが、同じ電機子が交流側に對しては同期電動機の電機子として働き、直流側に對しては直流發電機の電機子として働くからそのコイルの中には交流側の電流と直流側の電流との差が流れるやうになる。

3. 廻轉變流機の構造

廻轉變流機はその構造から云ふと直流發電機とよく似てゐ

る。第2圖は廻轉變流機の一例を示す。電機子コイルに交流側の電流と直流側の電流との差が流れるから同容量の直流發電機



第 2 圖

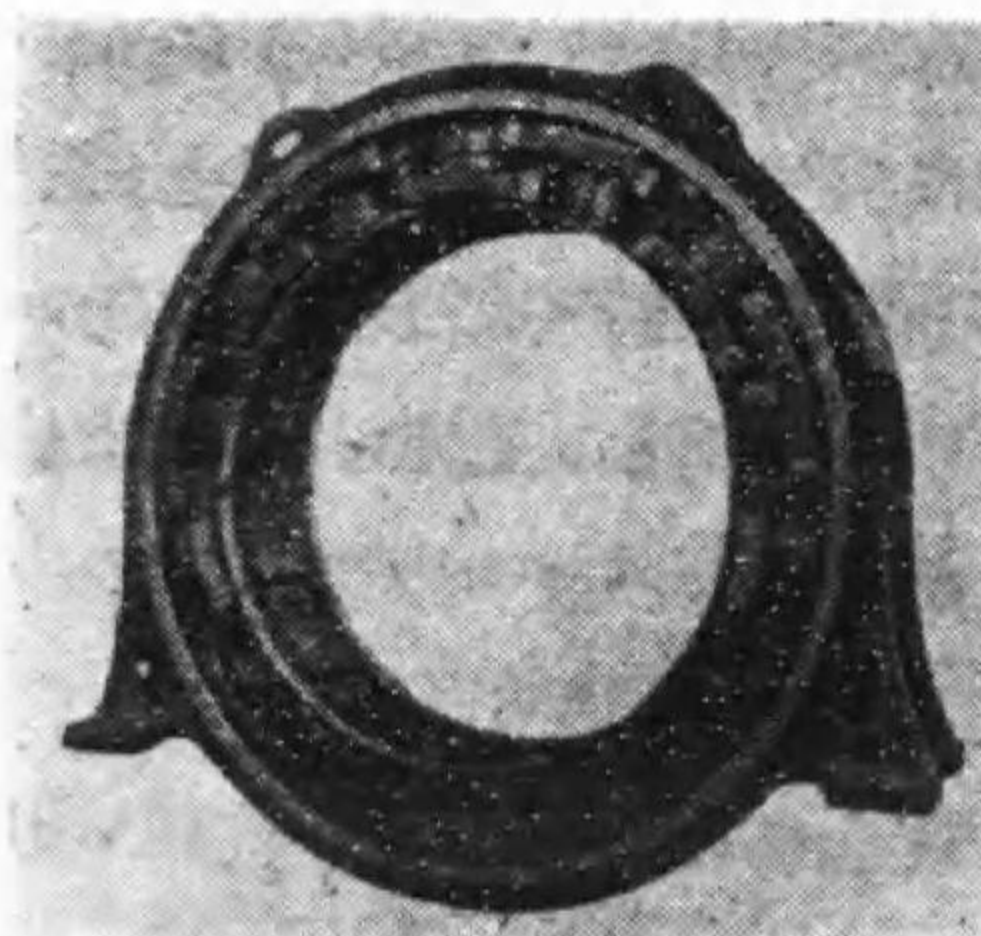
に比べると電機子に捲く電線も細くてよいし又電機子の大きさも小さくて済む。故に第2圖からわかるやうに電機子の長さが整流子の大きさの割合に大變短い。滑動環は多くは砲金で造られその數は交流側の相の數によつて異り相の數

がmならば滑動環の數も亦mである。現今用ひられてゐる廻轉變流機は大概六相になつてゐるから滑動環の數も6箇ある。然し小容量のものでは三相交流を用ひ、従つて3箇の滑動環を備へてゐるものもある。第3圖は廻轉子、第4圖は固定子を示す。磁氣回路の不平均より廻轉子コイルに不均等な電圧が誘起されて整流を害することを防ぐため整流子側に均壓環を取付けて廻轉子コイル中の不平衡電流が刷子を通じて流れぬやうにしてあるから整流作用はよくなる。

がmならば滑動環の數も亦mである。現今用ひられてゐる廻轉變流機は大概六相になつてゐるから滑動環の數も6箇ある。然し小容量のものでは三相交流を用ひ、従つて3箇の滑動環を備へてゐるものもある。



第 3 圖



第 4 圖

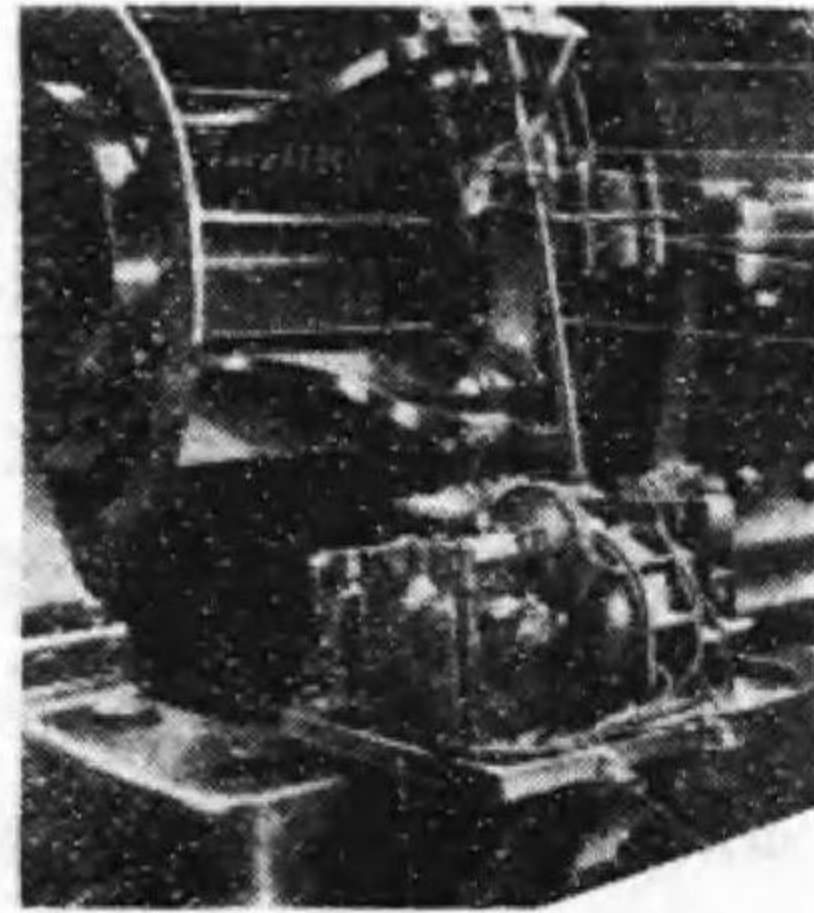
均より廻轉子コイルに不均等な電圧が誘起されて整流を害することを防ぐため整流子側に均壓環を取付けて廻轉子コイル中の不平衡電流が刷子を通じて流れぬやうにしてあるから整流作用はよくなる。

鐵は導磁率の高い良質の特

殊鋼を使用して重量を軽くする。磁極鉄心は1枚の鉄板を打抜き、これを積重ねて鋳造したもので繊維に固定してある。磁極片には廻轉子に近く充分の切斷面積を有する平銅又は銅棒の制動線輪 (Damper ダンパー) を嵌入して運轉時の亂調 (Hunting ハンチング) を防止すると同時に交流側から起動する時の二次回路としてある。

又直流機と同じやうにその整流作用を都合よく行ふために補極を備へる事もあるが直流機の場合と違つて補極には餘り多くの磁束を生じなくてもよいのであるから、其の鉄心には磁氣抵抗の大きい材料を用ひ、場合によつては眞鍮等のやうな非磁氣材料を用ひる事もある。

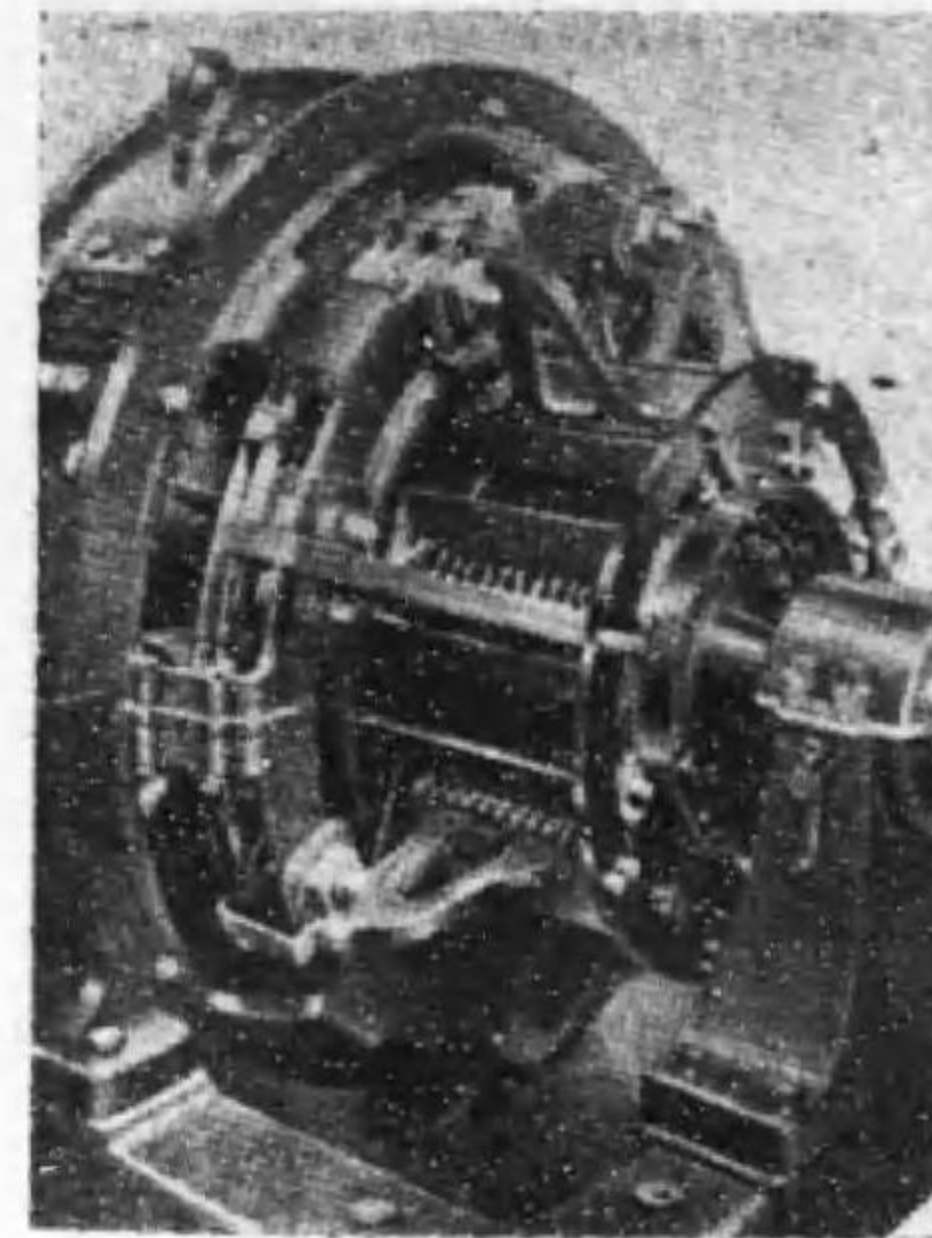
交流を用ひて廻轉變流機を起動する場合には其の刷子の處に大きな火花が出る事がある。殊に大きな容量の機械に於て甚しい。火花による障害を除く爲に、起動の時に、總ての刷子を整流子から離して置く。此の目的のために廻轉變流機の刷子保持器には刷子引揚げ装置(第5圖)が設



第 5 圖

けられてゐる。而して別に直流側に發生する電壓の極性を確めるために小さな厚さの薄い刷子が一對だけ備へてある。之をパイロット・ブラッシュ (Pilot brush) と稱し、起動の時には總ての刷子を整流子から離して置くが、此のパイロット・ブラッシュだけを整流子に接觸させて置く。

又廻轉變流機は負荷が急變する場合等に於て閃絡 (Flash over フラッシュ・オーバー) と云ふ現象を生ずることがある。



第 6 圖

此の現象は刷子の處に大きな火花が発生して整流子の廻轉すると共にその表面に沿うて成長し、次にある反對の極の刷子に連絡し刷子と刷子との間が火花で短絡する様になる事を云ふのである。此の閃絡が起つた場合に、その火花による損害を出来るだけ少なくするために、刷子の前面即ち整流子片が刷子から離れる方に石棉を原料として造つた絶縁體の板を置く。之によつて火花が整流子の廻轉の方向に蔓延するのを或程度まで防ぐことが出来る。此の絶縁體の板はバリアー (Barrier 隔壁) (第6圖)と稱せられる。此のバリアーは負荷の變化が急激でなく且電壓の低い廻轉變流機に於ては之を省くこともあるが、電壓が高い時又は電氣鐵道の場合のやうに負荷の變化が急激で且つ頻繁に起る廻轉變流機には必ず之を設けて置く。殊に電壓が高い場合には刷子の前面ばかりでなく、其の後面にも又其の側面にも之を設けて刷子をバリアーで全部取圍むやうにする事もある。

又廻轉變流機には其の軸をその方向に前後に靜かに動揺させる装置即ち揺軸装置が備へてある。若し廻轉變流機の軸が一定の位置にあつて廻轉してゐると整流子或は滑動環の刷子に接觸してゐる部分だけが磨滅して溝が出来る事がある。之を防ぐために揺軸装置によつて軸を靜かに前後に揺り動かす。近頃の廻轉變流機には、製作の材料やその方法を改良して整流子や滑

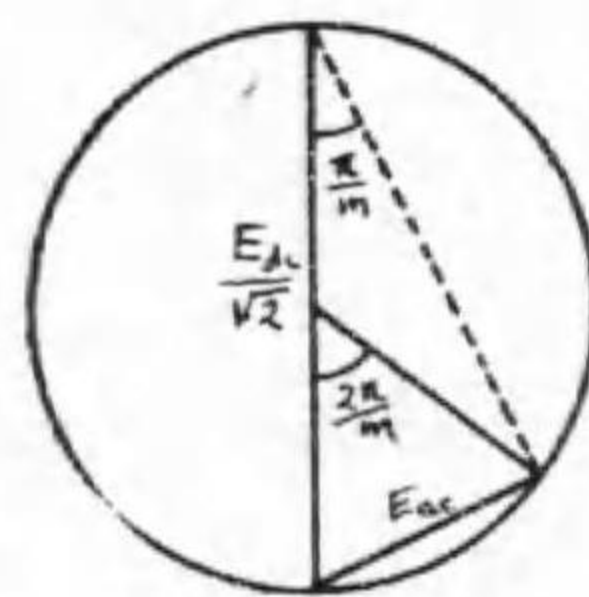
動環が磨滅しても溝が出来ないやうにし、揺軸装置を備へてゐないものもある。

第二章 廻轉變流機の理論

1. 電 壓 比

廻轉變流機では同じ電機子コイルに交流と直流とが同時に流れるから交流側の電圧と直流側の電圧との間には一定の関係がある。事柄を簡単にするために電機子電圧降下を無視する。然る時は交流側及び直流側の電圧は夫々電機子誘起電圧に等しくなる。又電機子各導體の中で起る交流電圧の波形を正弦波形であるとする。

廻轉變流機の電機子は直流機と同じやうに捲いてあるから電機子に一樣に分布された捲線である。故に導體の誘起電圧のベクトル圖は第7圖のやうに圓で表はすことが出来る。故に單相の場合にはその圓の直徑に相當する電圧 E_{ac} が二つの滑動環の間に



第 7 圖

與へられることになる。次に、整流子刷子が中性帯にある時には刷子間の直流電圧 E_{dc} は各導體に誘起される電圧の最大値のベクトル和であるから

$$E_{dc} = \sqrt{2} E_{ac} \dots\dots\dots(1)$$

又は $E_{ac} = \frac{E_{dc}}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots(2)$
を得。

m相機は一組の並列回路を m 等分してその等分點から口出し

(Tapタップ)を出して滑動環につなぐから、電機子回路の数が $2a$ あれば各の滑動環は電機子コイルの a 箇の點につながれる。従つて、m相捲線の各相は a 箇の並列回路から成る。故に m 相の時には第7圖の $\frac{2\pi}{m}$ の間にある導體に誘起される電圧のベクトル和が二つの滑動環の間の交流電圧 E_{ac} になるから、一般に

$$E_{ac} = \frac{E_{dc}}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{m} \dots\dots\dots(3)$$

なる關係を得。單相式の場合には $m=2$ とおけばよい。無負荷の時、滑動環電圧と直流電圧との比を色々の相數に對して示せば次の表のやうになる。

單 相	三 相	六 相
$\frac{E_{ac}}{E_{dc}} = 0.707$	0.612	0.354

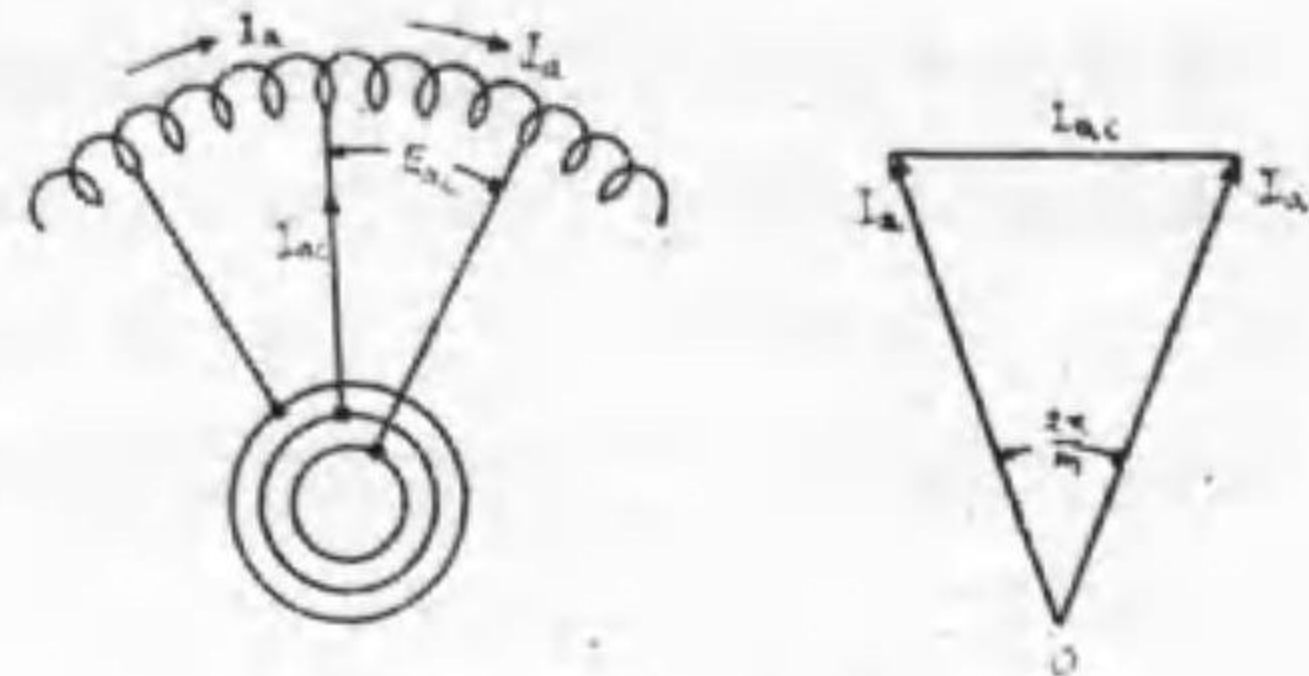
無負荷では滑動環給與電圧と誘起電圧とは殆ど等しいから(3)式に與へた電圧の比は無負荷の場合には滑動環給與電圧と整流子直流電圧との比に殆ど等しい。負荷がかゝると滑動環の間の誘起電圧は給與電圧より電機子インピーダンス降下だけ低くなる。廻轉變流機には適當な電壓を與へ、相數を變成するために普通變壓器を使用する。無負荷から全負荷にした時の電壓降下は變壓器も含めて4~6%位である。

2. 電 流 比

電機子は交流側から見ると環狀結線になつてゐるから滑動環電圧と相電圧は等しい滑動環から流入する電流を I_{ac} 、一つの相を流れる電流を I_a とすれば第8圖からわかるやうに

$$I_{ac} = 2I_a \sin \frac{\pi}{m} \dots\dots\dots(4)$$

直流を I_{dc} として、機械に損失がないものとすれば交流側の入力と直流側の出力は相等しいから



第 8 圖

$$E_{dc} I_{dc} = m E_{ac} I_a \cos\phi \dots\dots\dots (5)$$

之と(3)式から

$$\frac{I_a}{I_{dc}} = \frac{\sqrt{2}}{m \sin \frac{\pi}{m} \cos\phi} \dots\dots\dots (6)$$

之と(4)式から

$$\frac{I_{ac}}{I_{dc}} = \frac{2\sqrt{2}}{m \cos\phi} \dots\dots\dots (7)$$

力率 $\cos\phi = 1$ の場合に色々の相数に對して電流比を求むれば次の表のやうになる。

單 相	三 相	六 相
$\frac{I_a}{I_{dc}} = 0.707$	0.545	0.472
$\frac{I_{ac}}{I_{dc}} = 1.41$	0.943	0.472

導體を流れる直流電流 I_d は

$$I_d = \frac{I_{dc}}{2a} \dots\dots\dots (8)$$

又交流の導體電流を I'_a とすれば

$$I'_a = \frac{I_a}{a} \dots\dots\dots (9)$$

I'_a の最大値を I'_{am} として(6)(8)(9)から I'_{am} と I_d との比を計算すれば

$$\frac{I'_{am}}{I_d} = \frac{4}{m \sin \frac{\pi}{m} \cos\phi} \dots\dots\dots (10)$$

を得。色々の相数に對して此の比を力率 $\cos\phi = 1$ に對して計算すれば次のやうになる。

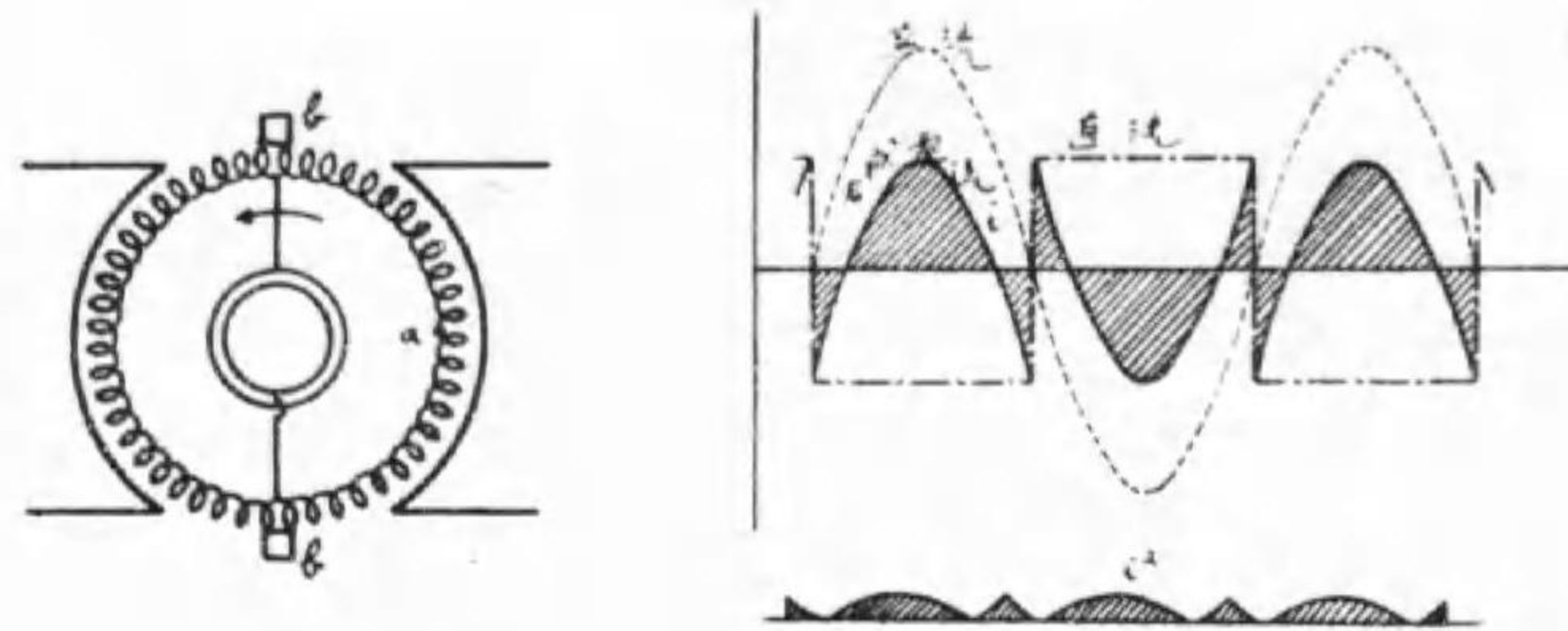
單 相	三 相	六 相
$\frac{I'_{am}}{I_d} = 2$	1.54	1.33

滑動環から電機子に與へる交流と整流子刷子からとり出す直流は、電機子導體の中で一部分は互に打消される。打消されない残りの電流は機械損、鐵損及び銅損を與へる。此の損失電流の値は同じ容量の直流發電機の場合よりも遙に小さい。故にすべての構造が同一なら直流發電機として使ふよりも廻轉變流機として使用する方が出力は大になる。

3. 電機子導體電流

廻轉變流機の電機子コイルの中には(10)式で表はされる關係を持つた交流と直流とが重なり合つて流れる。廻轉變流機を交流側から見ると一つの同期電動機であり、又之を直流側から見れば一つの直流發電機である。而してすべての電動機に於てはその電動子コイルを通る電流はその中で誘起される電壓とは反對の方向に流れ、又すべての發電機に於ては其の電機子コイルを通る電流はその中で起る電壓と同じ方向に流れる。廻轉變流機の場合に於てもその電機子コイルの中で起る電壓は界磁極が

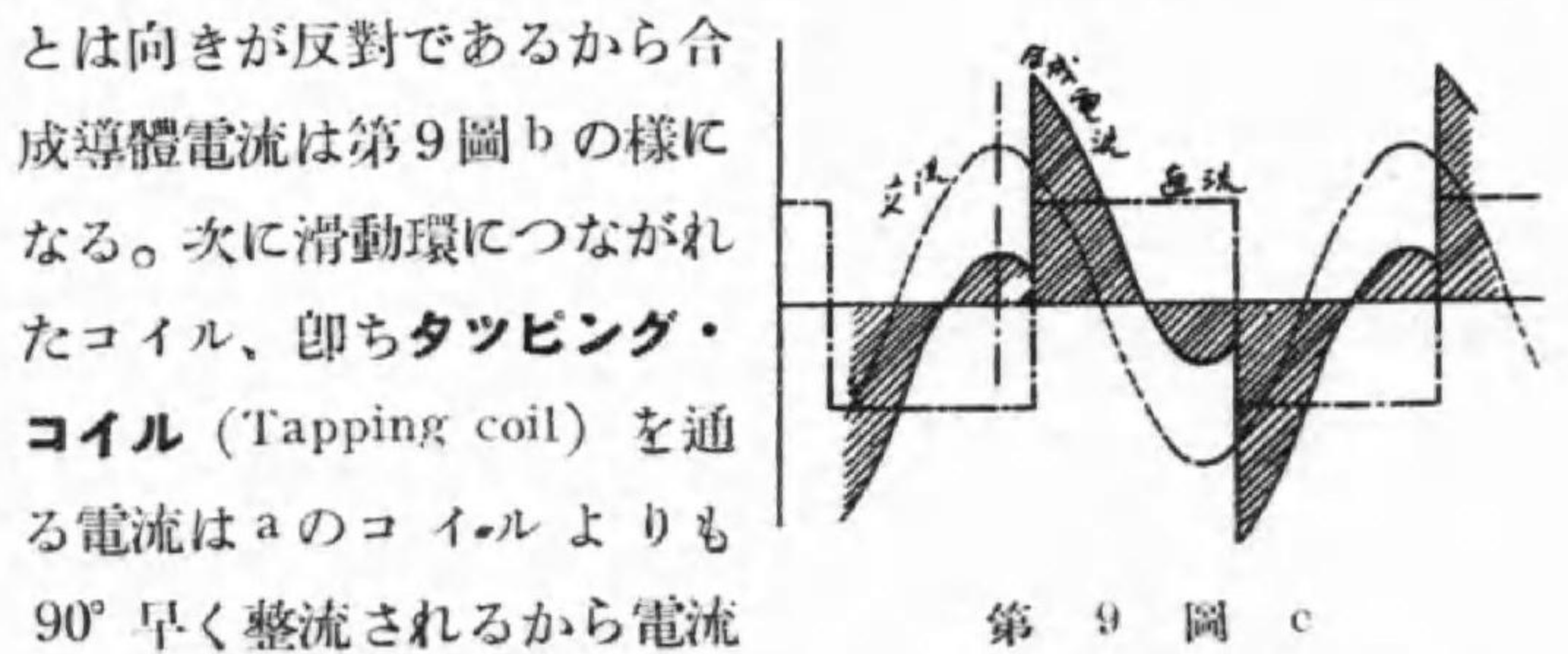
作る磁束を電機子コイルが切るために起るのであるが、交流側の電流は此の起電力と反対に流れ、直流側の電流は之と同じ方向に流れるから之等二つの電流は互に反対に流れて居る譯である。



第 9 圖 a

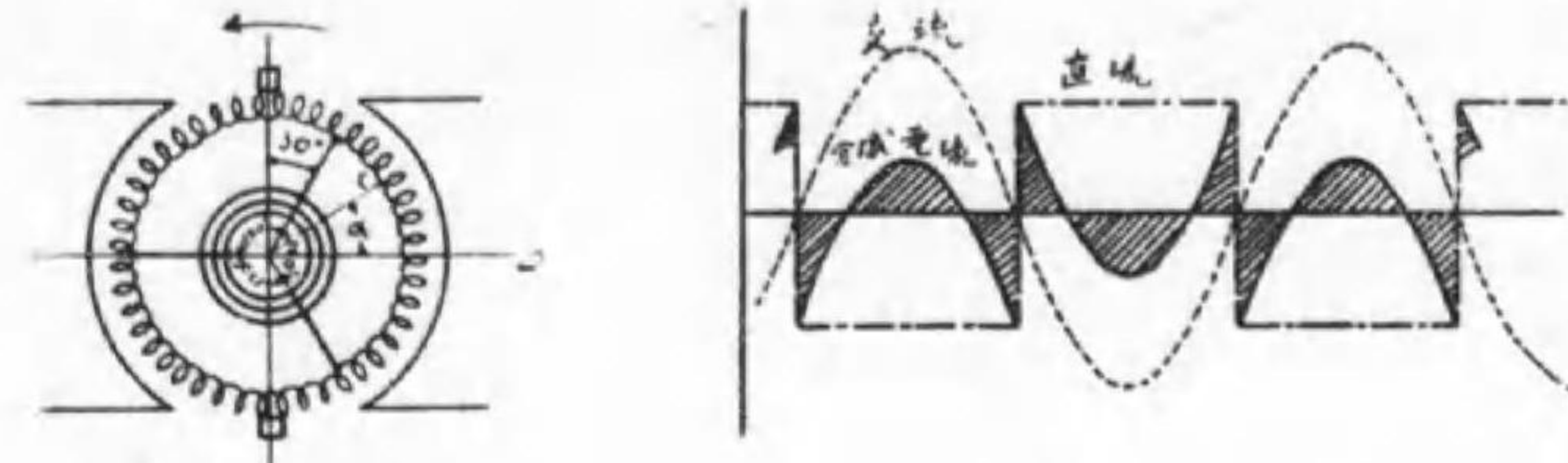
第 9 圖 b

今単相廻轉變流機をとり相の中央にある導體 a を通る電流を調べる。直流は刷子 b を通る毎に電流の向きが反対になるから矩形波で示される(第 9 圖 a, b)。交流の方は正弦波と假定し力率を 1 とすれば電圧の位相と一致する。誘起電圧は導體 a が磁極の中央にある時最大で刷子 b の下では零になる。直流と交流とは向きが反対であるから合成導體電流は第 9 圖 b の様になる。次に滑動環につながれたコイル、即ち **タッピング・コイル** (Tapping coil) を通る電流は a のコイルよりも



第 9 圖 c

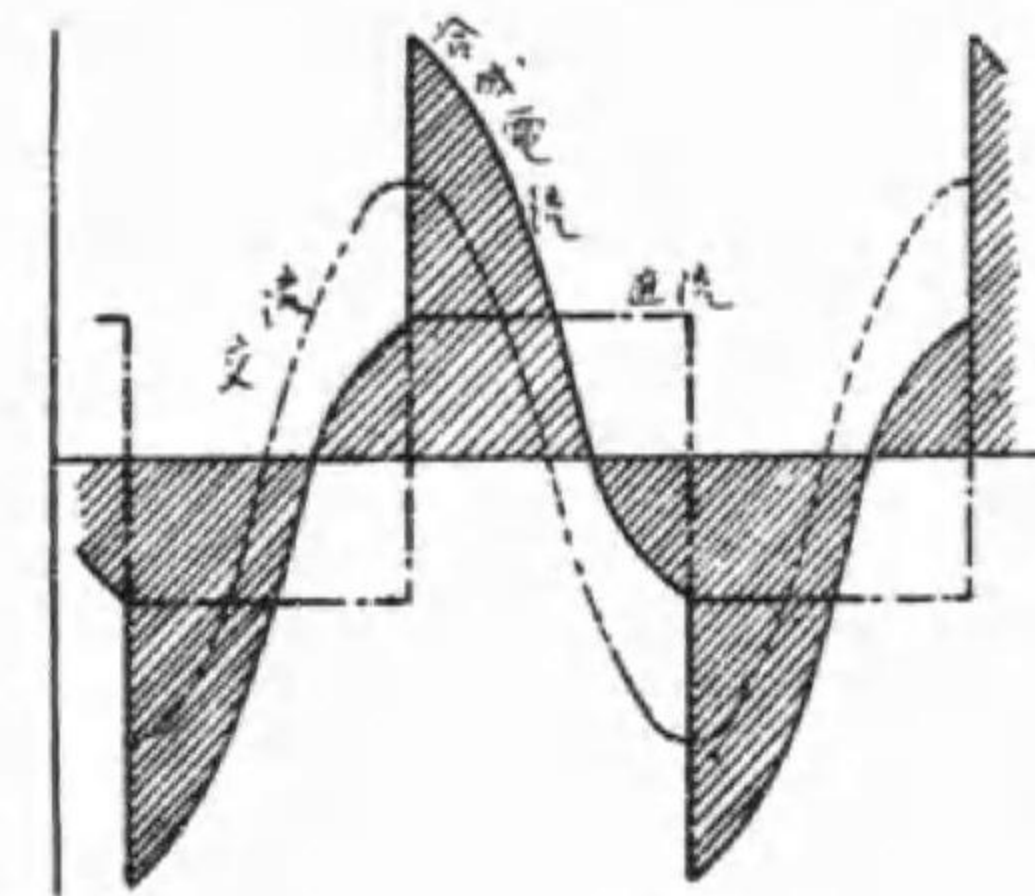
90° 早く整流されるから電流波形は第 9 圖 c に示すやうになる。此の時は第 9 圖 b の場合よりも合成電流は大になる。



第 10 圖 a

第 10 圖 b

同様な考へで三相廻轉變流機の一相の中央のコイルに就て導體合成電流を調べると第 10 圖のやうになる。タッピング・コイルは中央のコイルよりも 60° 早く整流されるので電流波形は第 11 圖のやうになる。此のやうに廻轉變流機に於ては電機子コイルを通る電流は導體毎にその實効値や波形が異なるのであつて此の事柄は他の一般の電氣機械と大變異なる點である。



第 11 圖

電機子コイルを通る此のやうな電流は簡単に式で表はす

ことはむづかしいけれども一つの導體が一つの刷子から次の刷子まで動く間だけの事を考へれば之を式で表はす事が出来る。m相式をとり第 12 圖で一相の中央から α だけ離れたコイル C を通る交流は $\sqrt{2} I_a' \sin(\omega t - \alpha)$ で表はされ、直流は I_a であるから導體電流 i は

$$i = I_a - \sqrt{2} I_a' \sin(\omega t - \alpha)$$

之に $I_a = \frac{I_{dc}}{2a}$ と(10)式(力率 1 の場合)を代入すれば次の式を得。

$$i = \frac{I_{dc}}{2a} \left\{ 1 - \frac{4}{m \sin \frac{\pi}{m}} \sin(\omega t - \alpha) \right\} \dots \dots (11)$$

α は導体の位置を示す角でその値は $-\frac{\pi}{m}$ から $+\frac{\pi}{m}$ までの間に存在する。

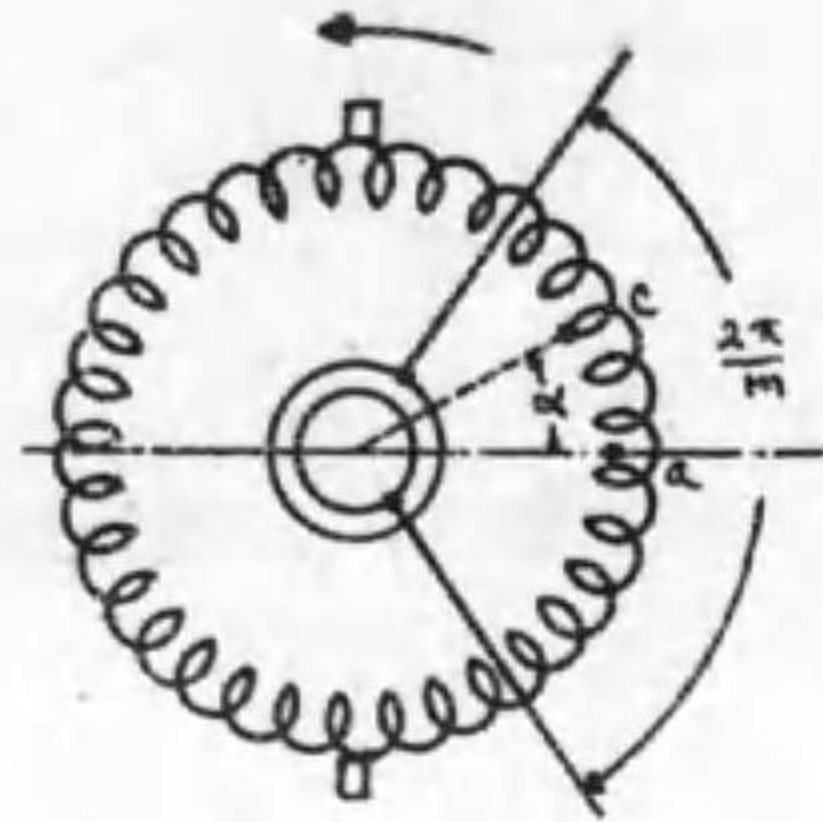
此の電流の実効値 I は(11)式で表はされた瞬時値の二乗の平均の平方根で示されるから i^2 をとると次の通りになる。

$$i^2 = \left(\frac{I_{dc}}{2a} \right)^2 \left\{ 1 - \frac{8}{m \sin \frac{\pi}{m}} \sin(\omega t - \alpha) + \frac{16}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}} \sin^2(\omega t - \alpha) \right\}$$

此の式に於て ωt が 0 から π まで變はるのであるが高等數學によれば $\sin(\omega t - \alpha)$ の平均の値は $\frac{2}{\pi} \cos \alpha$ に等しく、 $\sin^2(\omega t - \alpha)$ の平均の値は $\frac{1}{2}$ に等しいのであるから之によつて i^2 の平均の値を求めてその平方根をとると次のやうになる。

$$I = \frac{I_{dc}}{2a} \sqrt{1 - \frac{16 \cos \alpha}{\pi m \sin \frac{\pi}{m}} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}}} \dots \dots (12)$$

之が廻轉變流機の電機子コイルを通る電流の実効値を表はすのであるが此の式からわかる通り、その値は導体の位置、即ち α の値によつて異なる。即ち I は $\alpha=0$ の場合、即ち一相の中央にある導体に於て最小であつて、 α が増すと I の値も亦増す。故に今若し一相の中央にある導体を流れる電流の値を 1 とすれ



第 1 2 圖

ばタップコイルを通る電流即ち I の最大の値は次のやうになり、相の数が大きい程其の値が小さくなる。

三相の場合には	2.315
六相の場合には	1.480
十二相の場合には	1.138

4. 電機子銅損

前に述べたやうな電流が電機子導体の中を通ると電機子抵抗のために電力が失はれコイルを熱する。今電機子コイルの一つの抵抗を r オームとし其のコイルを通る電流の実効値が I アンペアであるとするとその中で失はれる電力 P_c は次の式で示される。

$$P_c = I^2 r \text{ ワット}$$

而して此の電流 I の値がコイルの位置によつて異なるのであるから此の電力の値も亦そのコイルの位置によつて異なる。而して電流 I の値は二つのタップの間の中央のコイルが最小でタップの點で最大である。従つて P_c の値も亦之と同様になり、電機子が熱せられる程度もタップの間の中央で最も少く、タップの點で最も多いのである。

P_c の式に(12)を代入すると

$$P_c = \left(\frac{I_{dc}}{2a} \right)^2 r \left\{ 1 - \frac{16 \cos \alpha}{\pi m \sin \frac{\pi}{m}} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}} \right\}$$

となるが、 α はコイルの位置によつて $-\frac{\pi}{m}$ から $+\frac{\pi}{m}$ までの値を持つから P_c の平均値 P_{cav} を求めると次の通りになる。

$$P_{cav} = \left(\frac{I_{dc}}{2a}\right)^2 r \left\{ 1 - \frac{16}{\pi^2} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}} \right\} \dots\dots (13)$$

従つて導体電流の一相の平均値 I_{av} は

$$I_{av} = \left(\frac{I_{dc}}{2a}\right)^2 \left\{ 1 - \frac{16}{\pi^2} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}} \right\}$$

R_a を直流で測つた電機子抵抗とすれば一つの分路の抵抗は $2a R_a$ になるから一つの分路の銅損は

$$I_{av}^2 (2a R_a)$$

になる、従つて電機子全体の銅損は

$$2a I_{av}^2 (2a R_a) = I_{dc}^2 R_a \left\{ 1 - \frac{16}{\pi^2} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}} \right\} \dots\dots (14)$$

之は廻轉變流機としての銅損であるが、直流発電機としての銅損は $I_{dc}^2 R_a$ であるから廻轉變流機としての銅損と直流発電機としての銅損との比を K とすれば

$$K = 1 - \frac{16}{\pi^2} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}} \dots\dots (15)$$

力率が1に等しくない時には(15)式は次の式で表される。

$$K = 1 - \frac{16}{\pi^2} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m} \cos^2 \varphi} \dots\dots (16)$$

(16)式から色々の力率に対して、色々の相数に対する廻轉變流機としての銅損と直流発電機としての銅損との比 K を計算して表に示すと次の通りになる。銅損は電流の二乗に比例するから、銅損を變流機と直流機と同一にすれば、變流機からとり出すことの出来る電流と直流機からとり出すことの出来る電流と

の比は $\sqrt{\frac{1}{K}}$ で表はすことが出来る。

相数 $m =$	1	3	6	12
$\cos \varphi = 1$	1.38	0.56	0.27	0.21
$\cos \varphi = 0.9$	1.85	0.84	0.48	0.40
$\cos \varphi = 0.8$	2.51	1.23	0.77	0.67
$\cos \varphi = 0.7$	3.46	1.80	1.19	1.06
	K	K	K	K

相数 $m =$	1	3	6	12
$\cos \varphi = 1$	0.85	1.33	1.93	2.20
$\cos \varphi = 0.9$	0.73	1.09	1.45	1.58
$\cos \varphi = 0.8$	0.63	0.90	1.14	1.22
$\cos \varphi = 0.7$	0.54	0.74	0.91	0.97
	$\frac{1}{\sqrt{K}}$	$\frac{1}{\sqrt{K}}$	$\frac{1}{\sqrt{K}}$	$\frac{1}{\sqrt{K}}$

電機子の出力は平均発生熱を基準にして定むることは出来ない。最大発生熱を考慮せなければならぬ。表からわかる通りに力率1の時三相式の平均発生熱は直流機の0.56倍であるが、六相式になると0.27倍になる。故に三相式よりも六相式の方が著

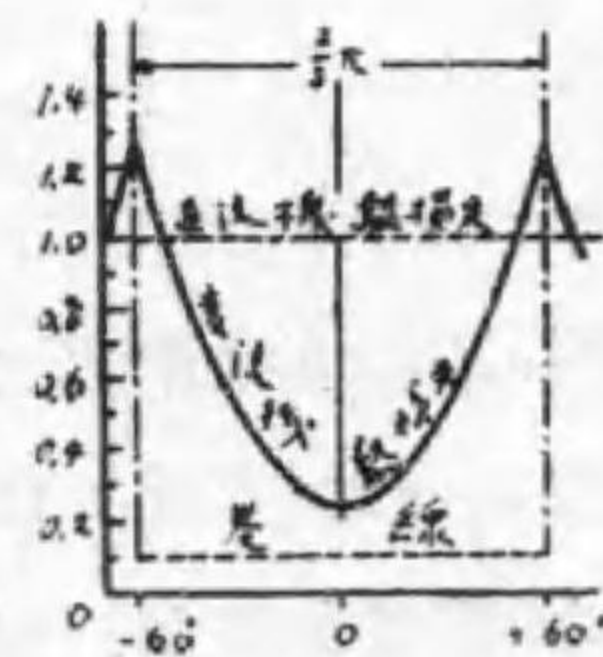
しく優れてゐる。六相と十二相とを比較すると十二相は滑動環が12箇要る。又十二相にしても耐量は大して増加しない。此の理由で廻轉變流機は六相が主として作られる。力率が低下すると變流機出力は著しく制限せられる。

(12)式から交流と直流の導體電流の比を求むれば次の通りになる。

$$\frac{I^2}{I_{dc}^2} = 1 - \frac{16 \cos \alpha}{\pi m \sin \frac{\pi}{m}} + \frac{8}{m^2 \sin^2 \frac{\pi}{m}} \dots \dots (17)$$

三相式をとり、一相の一つの口出しから次の口出しまでの間の各コイルに起る熱損失の割合を力率1に於て(17)から計算すれば次のやうになる。

$\alpha = 0$ (一相の中央のコイル)	
	$1 - 1.95 + 1.18 = 0.23$
$\alpha = 10^\circ$	0.26
$\alpha = 20^\circ$	0.35
$\alpha = 30^\circ$	0.49
$\alpha = 40^\circ$	0.69
$\alpha = 50^\circ$	0.93
$\alpha = 60^\circ$	1.21



第 1 3 圖

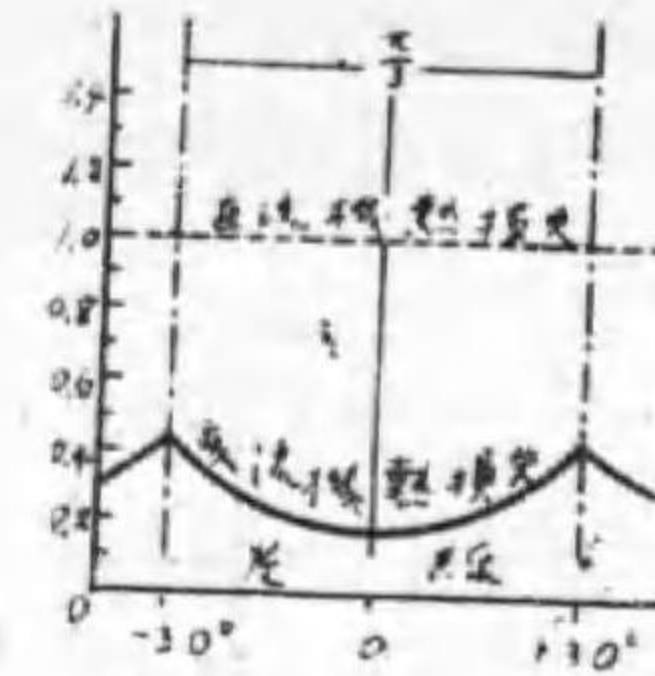
即ち一相の中央のコイルが熱損失は最小で直流機としての場合の23%になつてゐる。最大熱損失は口出しコイルで起り121%になつてゐる。此の結果を曲線に示せば第13圖のやうになる。

次に六相の場合を力率1に就て計算すれば次のやうになる。

$\alpha = 0$	0.19
$\alpha = 10^\circ$	0.22
$\alpha = 20^\circ$	0.29
$\alpha = 30^\circ$	0.42

之を曲線に示せば第14圖のやうになる。

上の二つの曲線を比較すると三相の場合よりも六相の方がコイルの中の發生熱が一樣になる。



第 1 4 圖

5. 電機子内に於ける 直流電壓降下

直流電壓降下は

$$I_{ac} R_a = \frac{I_{dc}^2 R_a}{I_{dc}} = \frac{\text{銅損}}{I_{dc}}$$

然るに廻轉變流機銅損は

$$(\sqrt{K} I_{dc})^2 R_a$$

であるから變流機の直流電壓降下 ΔE は

$$\Delta E = \sqrt{K} I_{dc} R_a \dots \dots (18)$$

で表はされる。

多相式廻轉變流機では

$$\sqrt{K} < 1$$

であるから直流機としての電壓降下より著しく小さい。

6. 電機子反作用

廻轉變流機に於てもその電機子を通る電流はその界磁極に或

る磁氣的の影響を與へる。即ち電機子反作用が起る。然し廻轉變流機の電機子に流れる電流は前に述べたやうに同期電動機の電流と直流發電機の電流とを重複したものであるから電機子反作用も亦之等の二つの機械に起るものを重複したものに等しい。

廻轉變流機では直流刷子は常に無負荷の時の中性線上に置かれる。故に變流機を直流發電機として考へれば主磁界に對し廻

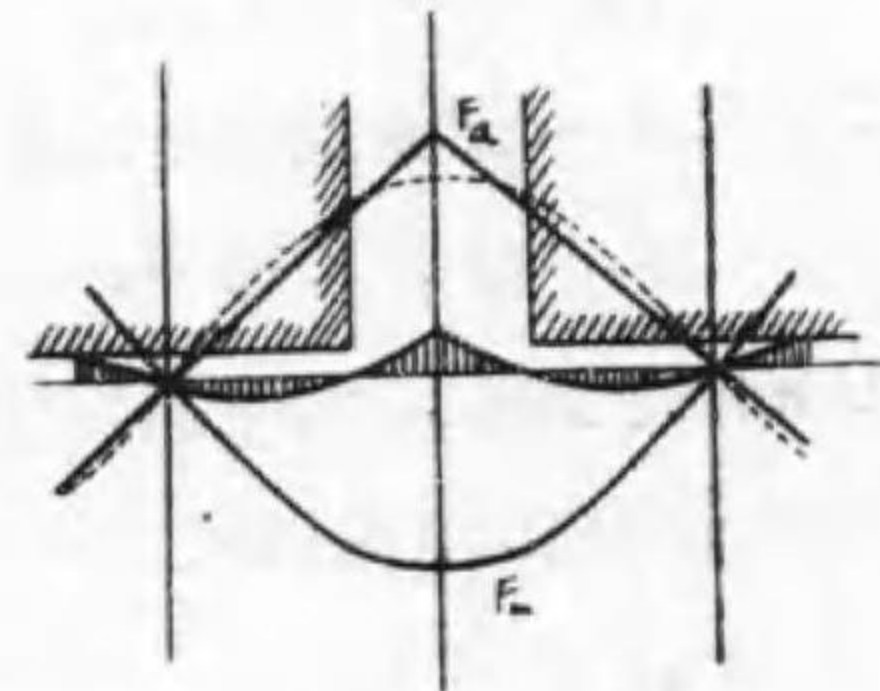


第 1 5 圖

轉方向に 90° 進んだ交叉磁化作用 F_a を生ず(第15圖)。F は主極起磁力を示す。次に變流機を同期電動機と見て交流の反作用を考ふれば、力率1の時主磁界より 90° 遅れた交叉磁化を生ず。故に電動機の電機子反作用起磁力を F_m で表はすことが出来る。即ち直流が起す反作用と交流が起す及作用とは方向反對で互に打消す事が出来る。只直流發電機としての反作用起磁力 F_a は中性線上に最高點を有する三角形(第16圖)として分布するが、電動機反作用起磁力 F_m は大體正弦波形として分布する。此の二曲線の差が空際に於て作用する。

故に力率1の場合には反作用が整流に及ぼす事は微弱であるから無負荷から全負荷まで刷子を中性線上に置くことが出来る。又過負荷しても反作用により整流を害さるゝ事が無いので短時間なら倍位の過負荷をなす事が出来る。

勵磁電流の調整が悪くて力率が1でないと、進んだ電流は減



第 1 6 圖

磁作用、遅れた電流は磁化作用を起して磁界を歪め整流に影響を及ぼすことになる。反作用が直流と交流で起磁力の分布曲線が異なるから完全に打消すことが出来ないため補極を置いて整流を助ける。直流機の場合より補極のアンペアターンは少くてよい。直流機の場合の25~40%で足る。

7. 周波数と直流定格電壓との關係

廻轉變流機も直流機と同様に整流子をもつてゐるから、刷子の下に於ける整流が大切である。整流の良否の目安は整流子片間に加はる平均直流電壓を以てする。今 E_{dc} を直流定格電壓、 E_s を整流子片間の平均直流電壓、 N を1極間隔の整流子片数とすれば

$$E_{dc} = E_s N$$

なる關係がある。又

f = 廻轉變流機への供給周波数

p = 磁極の對の数

D = 整流子の直径(m)

V = 整流子に許し得る最大周邊速度 (m/秒)

b = 整流子片の幅 (mm) 絶縁の厚さをも含む

とすれば1秒間の廻轉速度は

$$n_0 = \frac{f}{p}$$

なる故周邊速度 V は

$$V = \pi D \frac{f}{p} \text{ (m/sec)}$$

故に $\pi D = \frac{pV}{f}$ (m)

又極間隔は(Pole pitch ポールピッチ)は $\frac{\pi D}{2p}$ であるから1

極間隔の整流子片数は之を整流子片の幅で除したものである。

$$\therefore N = \frac{1000\pi D}{2pb} = 500 \frac{V}{bf}$$

故に直流定格電圧 E_{dc} は

$$\begin{aligned} E_{dc} &= E_s N \\ &= 500 \frac{VE_s}{bf} \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

即ち直流定格電圧は整流子の周速と整流子片間電圧とに比例し、整流子片の幅と周波数とに反比例する。

周速は整流子の機械的構造より或限度がある。整流子片間電圧は整流を良好に保つ上から、餘り高い値をとることは出来ぬ。又整流片の幅 b も整流子の機械的構造より餘り小にすることは出来ぬ。普通 b は 5mm より小さくはせぬ。

電氣鐵道用の直流定格電圧としては 600V. 位が適當とされたのであるが、廻轉變流機が發明された當時に於ては製作技術が幼稚であつたので、此の電圧を得るために、止むを得ず普通の周波数より低くし、廻轉變流機用としては 25 サイクルが適當とされた。

而し之では特別の發電機を要し、普通の電燈動力用の 50 又は 60 サイクルの電源を用ふる場合には周波数變換機を備へねばならぬ。近來は製作技術が進歩したため 50 又は 60 サイクルの廻轉變流機が製作されるやうになつた。我國に於て製作可能の周波数と直流最大電圧との關係は大體次のやうになつてゐる。

60~ なら 1035V.

50~ なら 1250V.

25~ なら 2500V.

8. 亂調と閃絡

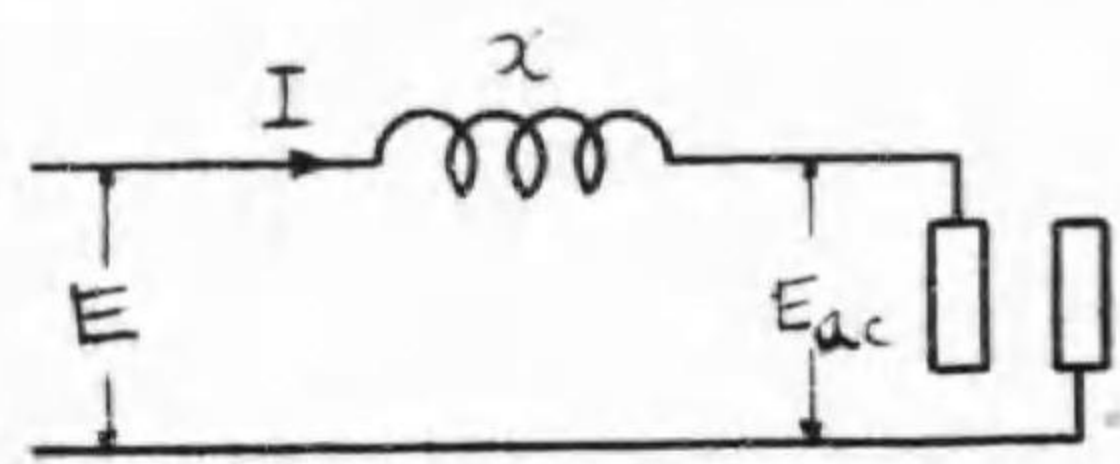
廻轉變流機は直流側又は交流側の原因によつて亂調を起すことがある。刷子の位置が中性點より遅れの位置にあること、直流側負荷の急激な變化、交流側電源の周期的變動、力率の甚しい惡化等の場合に起る。亂調が起つた場合には變流機の電機子は正しい同期の位置より前後に振動する。周波数の高い變流機に於て亂調を起す傾向が大きい。亂調の防止法は強力な制動捲線 (Damper ダンパー) を設けることである。急激な負荷がかつた場合には電機子は運動エネルギーを以てその一部を償ひ、ある角度だけ無負荷の同期の位置より遅れる。この負荷が急にとれた場合には元の位置に戻るために大なる同期化電流が流れる。この電流による電機子反作用のために磁束が移動して刷子が中性點より外れ、刷子によつて短絡せられたコイルに相當の電圧を誘起し、そのコイルが刷子の下をはずれる時に火花を發生する。之が次々と整流子片に傳はり遂に隣の極の刷子まで短絡を起すことがある。此の現象が閃絡 (Flash over フラッシュオーバー) である。豫防法としては高速度遮斷器を用ふることで、電機子が最大變位に至る時間は 0.1~0.15 秒であるに對し標準遮斷器では完全に遮斷するのに 0.25 秒を要するが、高速度遮斷器は 0.015 秒を要するのみで、従つて最大變位に至らぬ中に遮斷し、同期化電流も少く閃絡の原因を除く。又補極の下の磁束を減じ不平衡電機子反作用を減ずるために高磁氣抵抗補極を使用する。又閃絡に對する保護として隔壁を設けることは既に述べた通りである。

9. 電 圧 の 調 整 法

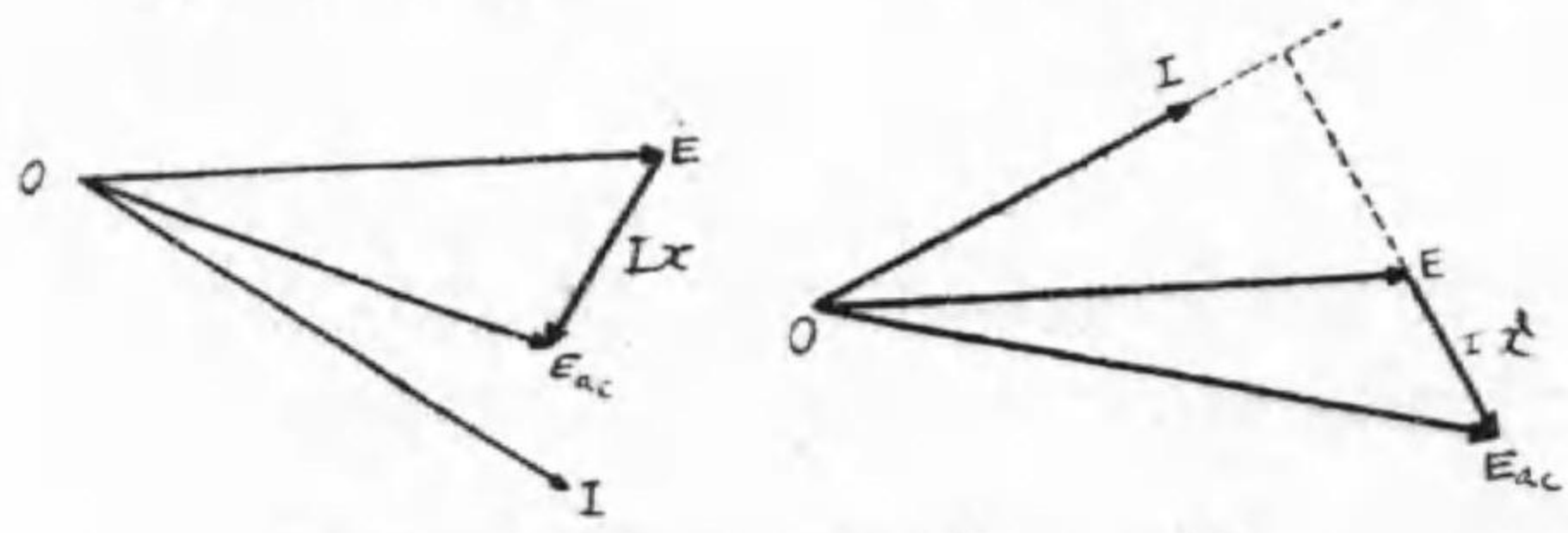
廻轉變流機はその直流電圧と交流電圧との間に一定の関係があるから直流電圧を調整するためには必ずその交流側の電圧を變へねばならぬ。故に此の交流側の電圧を變へる方法が廻轉變流機の電圧調整の方法となる譯であるが、今其の方法の二三を述べる。

(a) リアクタンスを利用する方法

今交流側電源の各相の星形電圧 E が一定に保たれてゐるとする。而して此の電源と廻轉變流機との間にリアクタンス x があるものとし、之に電流 I が通ると(第17圖)、その爲に Ix だけの電圧降下が生ずる。 E, E_{ac}, I の関係をベクトル圖に示せば第18圖 a, b のやうになる。a は遅れ電流の場合で E_{ac} は E より小さい。b は



第 1 7 圖



(a) 第 1 8 圖 (b)

進電流の場合で E より E_{ac} が大になる。即ち、電源の電圧は一定であつても電流の位相を變へることによつて廻轉變流機の交流側の端子電圧を變へることが出来る。

廻轉變流機はその交流側から見れば同期電動機と同じ性質をもつてゐるから、若し一定の負荷がかゝつてゐる時にその勵

磁電流を變へると、電機子に供給される電流の位相が變はつて来る。即ち勵磁電流を増加せば電流の位相は進み、勵磁電流を減ずれば電流の位相は遅れる。故に電源と廻轉變流機との間にリアクタンスがあれば直流發電機の場合のやうにその勵磁電流を加減することによつて直流側の電圧の調整を行ふ事が出来る。而して若し廻轉變流機が複捲になつてゐれば負荷の増減に應じて直流側の電圧が自動的に調整されるやうにする事も出来る。此の電圧調整法は交流側の回路にリアクタンスが存在する事が必要である。此のために其の回路に特別のコイルを接続する事もあるけれども、多くの場合には變流機の交流側に接続してある變壓器の漏洩リアクタンスを此の目的に利用する。

此の電圧調整法には電圧を調整すると共に力率が變化するといふ不利益がある。即ち此の方法に於ては電圧を調整するために無効電流を利用するのであるが、無効電流の流れることは電機子の中に於ける銅損を増加するといふ不利益がある。電圧調整範囲は $\pm 6\%$ 位に止める。

(b) 誘導電圧調整器を用ふる方法

交流側に誘導電圧調整器を用ふる方法は最も簡單で廣い範囲に調整が出来 ($\pm 20\%$) しかも無効電流の影響を受けないので一般に廣く使用せられる。

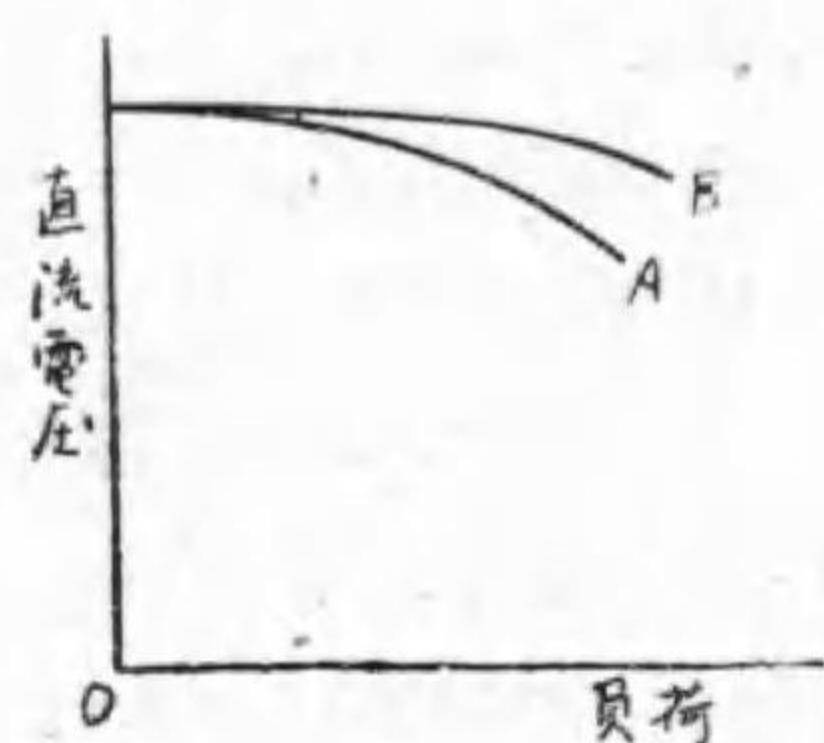
(c) 同期交流加減壓機による法

此の方法は變壓器二次コイルと廻轉變流機の電機子との間に一つの交流發電機の電機子を直列に接続し、此の發電機が起す起電力を加減して廻轉變流機の電機子に送込まれる電圧を變へ之によつて直流電圧を調整する。此の交流發電機は加減壓機 (Booster ブースター) と稱せられるものであつて、常に廻轉變

流機の電機子の中で起る電圧と同じ周波数の電圧を起すやうになつて居なければならないから通常其の廻轉變流機と同じ軸に取付けられる。

10. 廻轉變流機の特 性

廻轉變流機の交流側に一定の電圧を與へてゐる時、直流側の負荷が變はると之に伴つて直流側の電圧が變はつて來る。故に其の負荷或は直流側の外部電流と直流側の電圧との關係を表はす曲線が廻轉變流機の外部特性曲線である(第19圖)。Aは界磁コイルが分捲になつてゐる場合、Bは複捲になつてゐる場合である。實際に廻轉變流機を用ふる時には必ず變壓器と共に使用するのであるから便宜上その變壓器と廻轉變流機とを合併したものゝ特性を表はすのが通例である。即ち廻轉變流機の交流側の端子電圧を一定に保つ代りに變壓器の一次コイルに於ける端子電圧を一定に保つた場合に、負荷によつて直流電圧が變はる有様を表はす特性曲線が實際に用ひられる。



第 19 圖

分捲廻轉變流機では圖に示す通りに負荷が増加すると直流電圧が下るのであるが、此の電圧が下る事は電機子抵抗等による電壓降下に因るばかりでなく、電圧が下るために界磁捲線を通る電流が少くなりその結果として交流側の電流の位相が遅れてくるので、そのために廻轉變流機の交流側の端子電圧が下つて來る事にも原因する。故に若しその界磁捲線を複捲にしておけばその電圧の下り方が少くなる、分捲廻轉變流機に於いては通

常規定の負荷がかゝつてゐる時交流側の力率が1に等しくなるやうに勵磁電流を調整する。従つて負荷が軽くなると此の廻轉變流機は僅か進電流をとるやうになる。複捲廻轉變流機の場合には規定の負荷の $\frac{3}{4}$ 位の負荷が掛つて居る場合に力率が1に等しくなるやうに調整する。

廻轉變流機は交流側から見れば同期電動機と同じであるから一定の負荷がかゝつてゐる場合に其の勵磁電流を變へると力率が變はり往々交流側の電圧が變つて來る。勵磁電流 I_f と交流側の入力電流 I との關係を曲線で表はすと同期電動機の時示したと同じやうなV曲線が出來る。之は廻轉變流機の位相特性曲線である。

11. 練 習 問 題

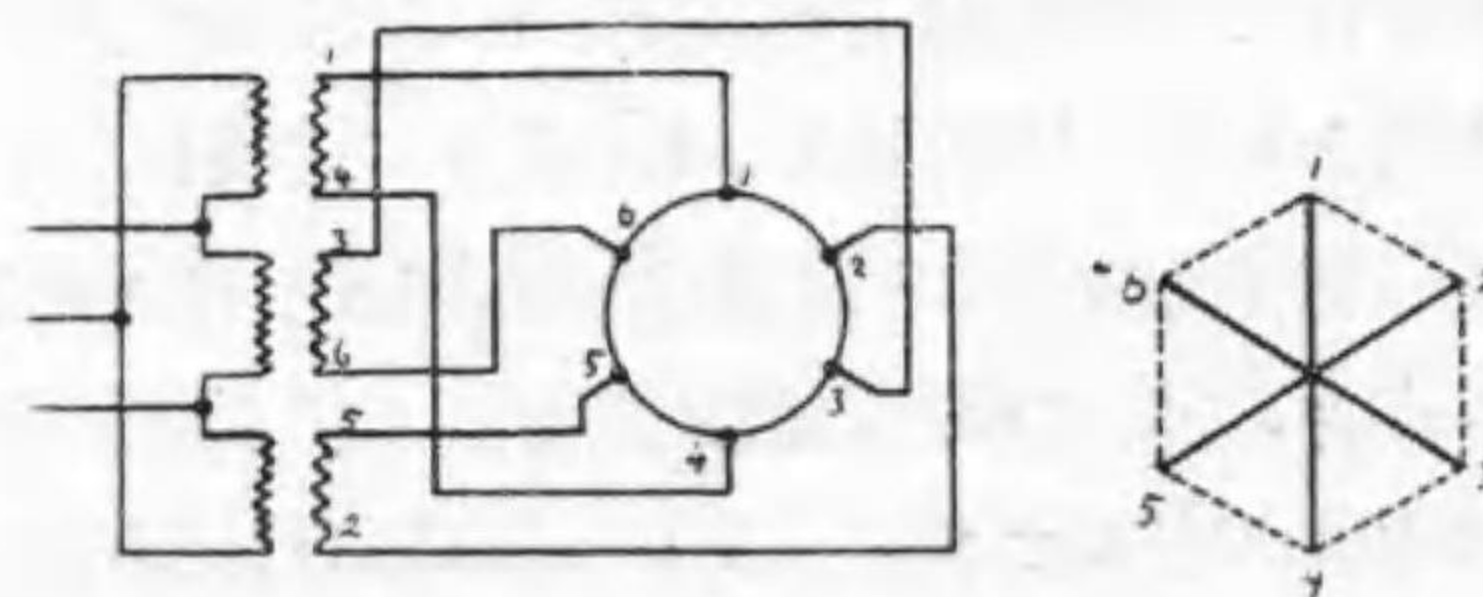
1. 六相廻轉變流機あり其の直流電壓 600V. なり、交流側に於ける星形電壓及び環狀電壓を求めよ。(大正2、三級)
(答 兩方共 $600 \times 0.354 = 212.4V.$)
2. 普通の廻轉變流機の交流電圧を不變に保つ時は勵磁電流を増減するも直流電圧を多く變ずること能はざる理由を説明せよ。(大正3、三級)
3. 多相廻轉變流機を原動機を用ひて單に直流發電機として使用する場合には之を廻轉變流機として使用する場合と如何なる差異ありやを略述せよ。(大正3、三級)
4. 大容量の廻轉變流機は三相式より六相式を可とする理由二點を擧げよ。(大正5、三級)
5. 廻轉變流機に直列にリアクタンスを使用して直流電圧を自動的に加減し得る理由を説明せよ。(大正8、三級)

- 6. 廻轉變流機の実出力は力率によつて如何なる影響を受けるか。
- 7. 六相廻轉變流機の滑動環につながれたコイル (Tapping coil タッピングコイル) を流れる電流と一相の中央のコイルを流れる電流の波形を圖示せよ。但し力率は 100% とす。

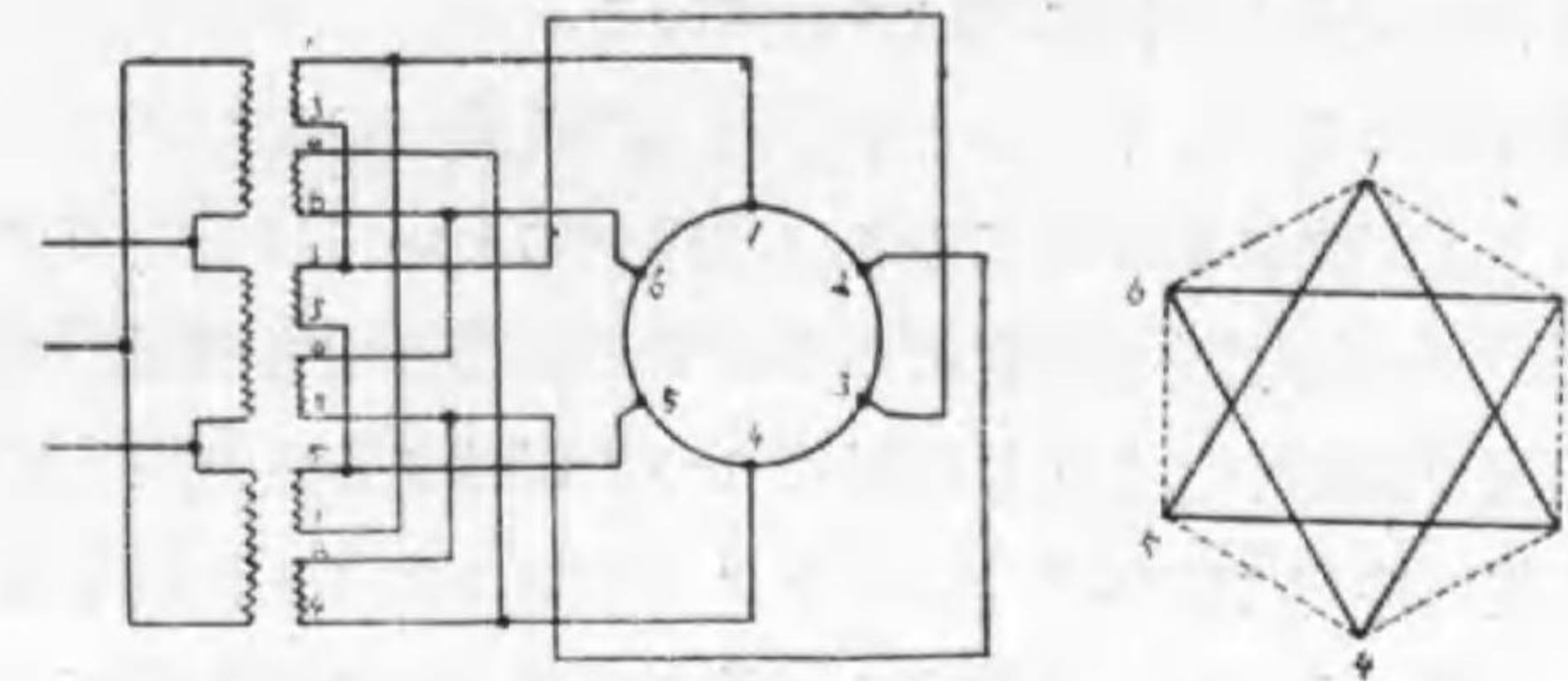
第三章 廻轉變流機の接続及び起動法

1. 廻轉變流機の接続

廻轉變流機は其の直流電圧と交流電圧との間に一定の関係があるから之を實際に用ふる場合には交流側に變壓器を用ひて交流側の電圧を適當の値となし直流側に要せられるだけの電圧が出るやうにしなければならない。廻轉變流機の交流側は通常六相になつてゐるから此の變壓器によつて電圧を適當にすると同時に相の數を六相にしなければならない。普通は三相交流で電力が送られてゐるから變壓器を用ひて之を六相に變へねばならぬ。第20圖の一次は單相變壓器3箇を三角結線にしたもので二次は廻轉變流機の端子1と4、3と6、及び5と2と間、即ち



第 20 圖



第 21 圖

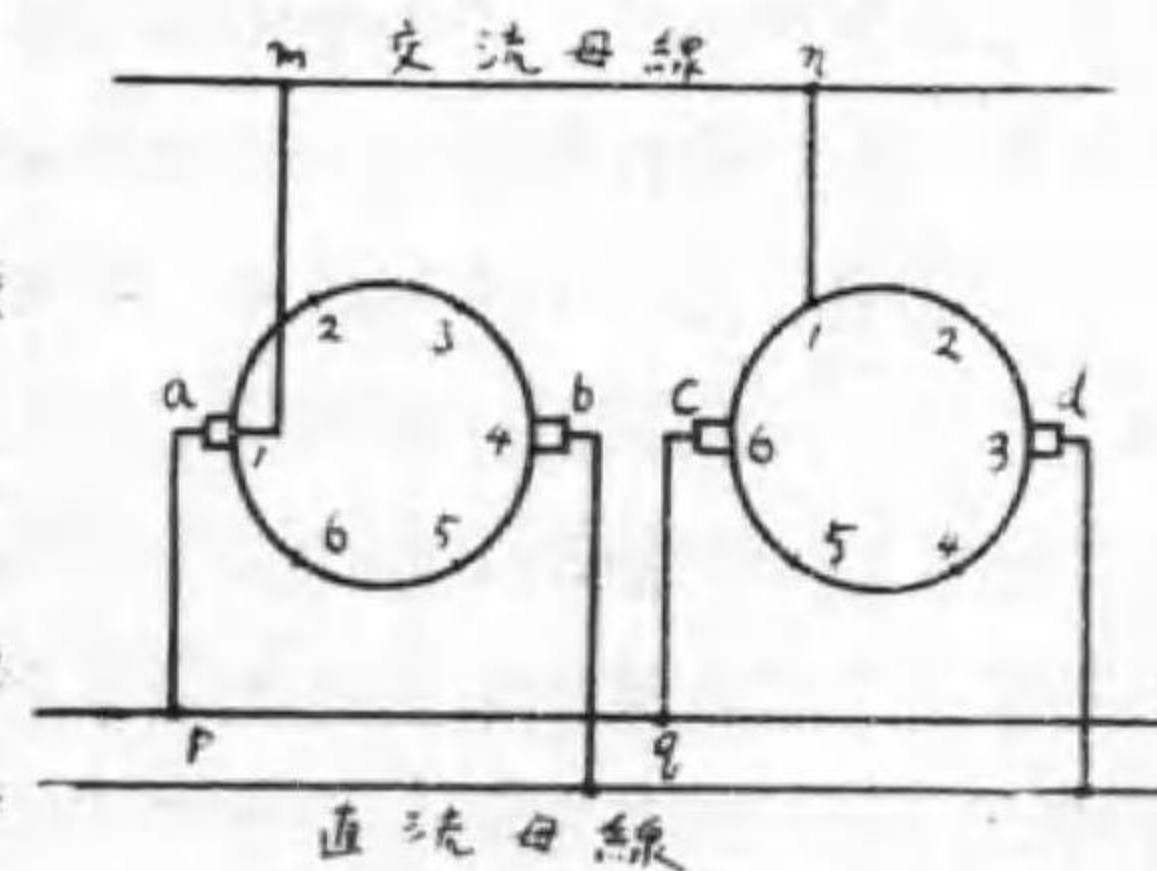
電位の位相差が丁度 180° である滑動環に結ぶのである。ダイアゴナル結線法 (Diagonal connection) と稱せられる。

又第21圖は各變壓器に二組づゝの二次コイルがあつて、之で二組のデルタ結線を作り之を夫れ夫れ1, 3, 5及び4, 6, 2の滑動環に結ぶ。之を二重デルタ結線法 (Double delta connection ダブルデルタ接続) といふ。

2. 廻轉變流機の並行運轉

2 箇以上の廻轉變流機を並列に連結して並行運轉を行ふ場合には其の直流側は同じ母線に結ぶのであるが交流側は同じ母線に連結してはならない。

若し交流側が互に連絡してゐると兩方の廻轉變流機の間には大きな横流 (cross current クロスカレント) が流れる心配がある。第22圖で R_1, R_2 を二つの廻轉變流機の電機子を示すものと



第 22 圖

し直流刷子は交流母線に連結されてゐる。

交流母線は6本の中1本を示し兩方の變流機の**タップ** (Tap に出し) 1が之に結ばれてゐる。或時刻に於いて R_1 の方のタップ1が (+) 刷子の位置にあるとする。然し兩方の廻轉變流機の電機子は必ずしも同じ位置にあつて廻轉するとは限らないから、其の時刻に於いて R_2 のタップの點1は (+) 刷子より離れた位置にあることも出来る。然る時は R_2 の電機子に於いて刷子cとタップ1との間にあるコイルの中で起つてゐる起電力はcqamncの回路に大きな横流を流し、従つて整流子と刷子との間に火花が生ずるやうになる。故に交流側は別々の變壓器を用ひて接続せねばならぬ。

廻轉變流機が並列に運轉してゐる場合に若し何かの原因によつてその何れか一方の交流側の開閉器が切れて交流の供給が止まると、その廻轉變流機は他の廻轉變流機の直流側から電流を受けて直流電動機となつて運轉する。そして此の時は勿論其の機械には負荷がかゝつてゐないから若しその廻轉變流機が複捲になつてゐるものであると直捲線輪を通る電流がなくなるために磁束が減じ、その廻轉速度が非常に速くなる。それ故此のやうな異常速度に因る危険を豫防するために、變流機の軸に一つの開閉装置 (第23圖) を設けて廻轉速度が一定値以上になつた時は此の装置によつて直流側にある遮斷器を働かせて直流側の回路を切るやうにする。之を**遠心開閉器** (Centrifugal switch セントリフューガル スキツ



第 23 圖

チ) といふ。

3. 廻轉變流機の起動法

廻轉變流機の起動法には三つの方法がある。

(a) タップ起動法

同期電動機の場合と同じやうに**起動補償器** (Starting compensator スターチング コンペンセーター) で交流側電圧を20~40%位に下げて之を電機子に送込む。然る時は磁極に装置してある籠型ダンパーに電流が流れ、誘導電動機としての廻轉力を発生し廻轉を始める。そしてその速度が同期速度近くになつた時電圧を規定の値になし、その界磁捲線に勵磁電流を送込むと同期速度で運轉するやうになる。大きな廻轉變流機の場合には起動する時に必要な廻轉力を出す爲めに可なり大きな電流が流れ、同期速度に達するまでの間で整流子と刷子との間に火花を出すことがある。故に起動の際には刷子を揚げて整流子から離して置かねばならぬ。之を行ふために刷子引上げ装置が附いてゐる。又直流側に発生した電圧の極性を定めるために**パイロット ブラツシュ** (Pilot brush) が附いてゐる。

此の起動法は簡単で且つ便利であるので多くの場合に用ひられるが、只同期速度になつた時に直流側の極性のきまり方が全く偶然であつて何れの刷子が (+) となり、何れの刷子が (-) になるかといふ事は豫め定まつてゐない。故にその極性が反對に出来たならば界磁捲線に流れる電流を逆にすればよい。即ち適當な切替スイッチによつて勵磁電流を逆に流れるやうにして磁極の極性を反對にすると電機子の方も之と對應するためにその位置が丁度1極間隔 (Pole pitch ポール ピッチ) だけ移動

し、そのために前に (+) であつた刷子が (-) となり、(-) であつたものが (+) に變つて来る。然し若し之を其のまゝにして置けば界磁線輪を通る勵磁電流が又反對になり元の通りになるから、此の時、切替スイッチを元の通りにして勵磁電流が最初の場合と反對に流れるやうにすれば、直流側の極性を反對にする事が出来る。又別に適當な直流發電機を備へて置いて之から界磁線輪に電流を流し起動の際に豫め界磁極に幾何かの磁束を作つて一定の極性を與へて置くと、直流側の電圧が常に一定の極性を以て起るやうにする事も出来る。此の方法で 3000 k.W. まで位の變流機を起動することが出来る。

(b) 起動用電動機を用ふる方法

起動用電動機として用ひられるものは、同期電動機の場合と同じく、廻轉變流機より一對だけ磁極数の少い誘導電動機である。此の電動機によつて廻轉すると、廻轉變流機は一つの發電機となり、直流側に電圧が起ると共に交流側にも電圧が起る。此の交番電圧と供給せられる交番電圧が同期になつてゐるかどうかを同期檢定器等で檢定し同期になつた時に交流側のスイッチを閉ぢる。此の方法は主として大きな容量の廻轉變流機を起動する場合に用ひられる。

(c) 直流側より起動する方法

廻轉變流機の直流側に電流を送り、之を直流電動機として起動する方法である。而してその勵磁電流を加減して廻轉速度を適當に調整し前と同じく同期檢定器等を用ひて同期の點を見定め、交流側のスイッチを閉ぢる。此の方法は數箇の大きな廻轉變流機が備へられてゐる場合等に用ひられるものであつて最初の機械を他の方法で起動すれば第二以下のものは此の方法によ

つて起動する事が出来る。

4. 練習問題

1. 廻轉變流機の起動法に就き説明せよ。
2. 500V. 300k.W. の六相廻轉變流機あり、三相 3000V. の配電線から電力を受けてゐる。變壓器をダイアゴナル接続として全負荷の場合の一次電流を計算せよ。一次は三角結線としすべての損失は無視するものとす。又交流側の力率も 1 と假定す。

解 損失を無視し、交流側の力率を 1 と假定したから次の式が成立する。

$$\sqrt{3} \times 3000I = 300 \times 1000$$

$$I = 57.7 \text{ A.}$$

3. 直流 600V. の廻轉變流機にダイアゴナル六相結線又は二重三角形結線にする場合の變壓器二次端子間の電圧を求めよ。

解 直流電圧 600V. に對する

滑動環電圧は

$$600 \times 0.354 = 212.4 \text{ V.}$$

ダイアゴナル結線の場合は

$$212.4 \times 2 = 424.8 \text{ V.}$$

二重三角形の場合は

$$(212.4 \times \cos 30^\circ \times 2) \times 2 = 369 \times 2 \text{ V.}$$

4. 六相廻轉變流機あり其の直流電圧は 600V. なり直流側に於ける星形電圧及び環狀電圧を求めよ(大正 2、三級)

(答 共に 212.4V.)



5. 1000k.W.600V.の六相式廻轉變流機が二重三角形結線の単相變壓器3箇につながれてゐる。全負荷力率100%、全負荷能率93%、高壓側電壓11000V.なる時次の値を求めよ。

- (a) 變壓器二次端子電壓
 (b) 一次が三角結線なるとき變壓器の捲數比
 (c) 變壓器二次電流

解 (a) 問題3の解と同様に

$$(212.4 \times \cos 30^\circ \times 2) \times 2 = 369 \times 2 \text{ V.}$$

$$(b) \frac{11000}{369 \times 2} = 14.9$$

(c) (7) 式より

$$\frac{I_{ac}}{I_{dc}} = \frac{2\sqrt{2}}{m \cos \varphi}, \quad I_{dc} = \frac{1000 \times 1000}{600} = 1665$$

$$I_{ac} = 1665 \times \frac{2\sqrt{2}}{6} = 787 \text{ A. (滑動環電流)}$$

$$\text{一相の電流} = \frac{I_{ac}}{\sqrt{3}} = \frac{787}{\sqrt{3}} = 454 \text{ A.}$$

能率93%なる故求むる一相の電流は

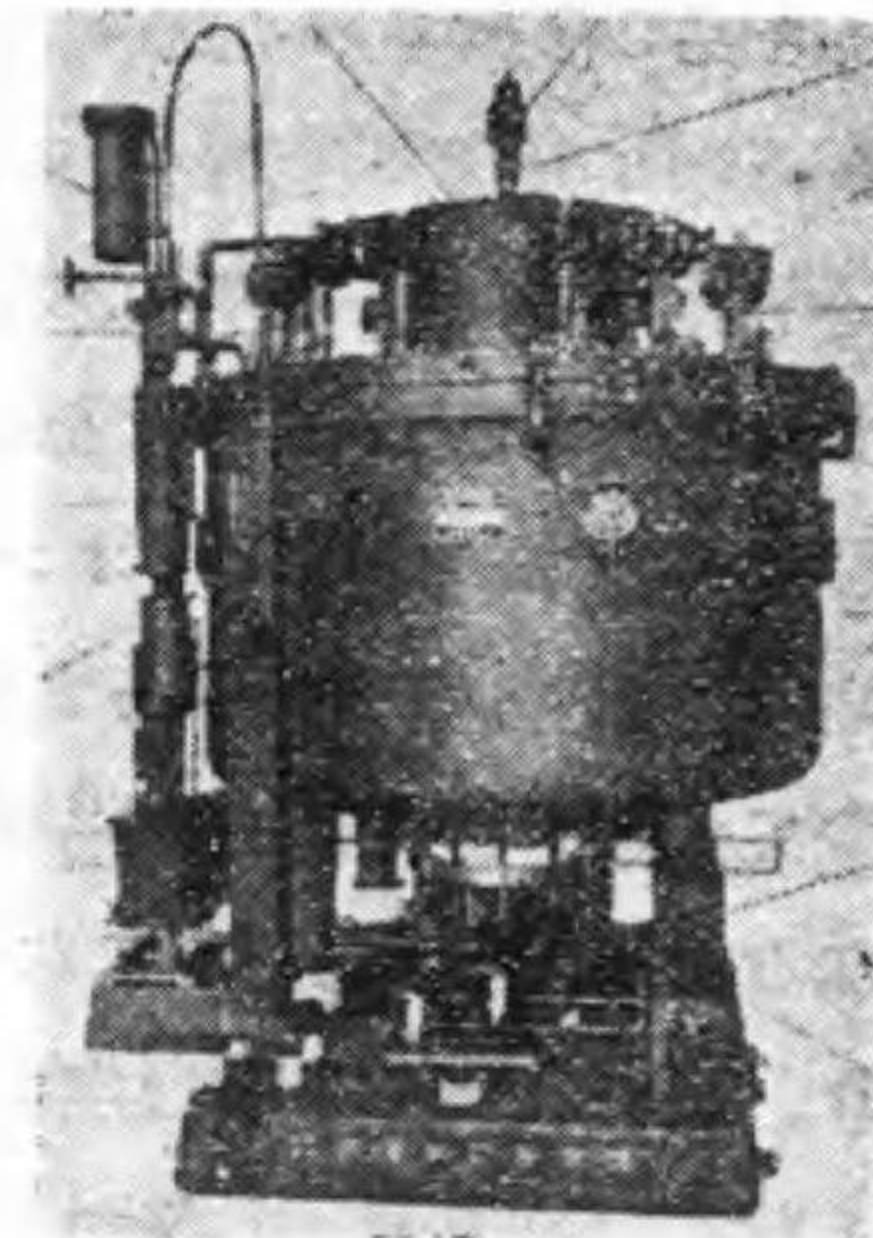
$$\frac{454}{0.93} = 488 \text{ A.}$$

第三編 整流器

第一章 水銀整流器

1. 概 説

交流電力を直流電力に変換する装置として水銀整流器 (Mercury arc rectifier マーキュリアークレクチファイヤー) は廻轉變流機に比較するとその發達の歴史は比較的新しい。水銀整流器は廻轉變流機と同じく電気鐵道用として益々發達の傾向にあり、特に格子制御水銀整流器は電気化學用として廻轉變流機を凌ぎつゝあり。水銀整流器は真空ポンプ等の補助装置の他には廻轉部分をもたないから騒音を嫌ふ都市の變電所に適當してゐる。第1圖は水銀整流器の外観を示す。

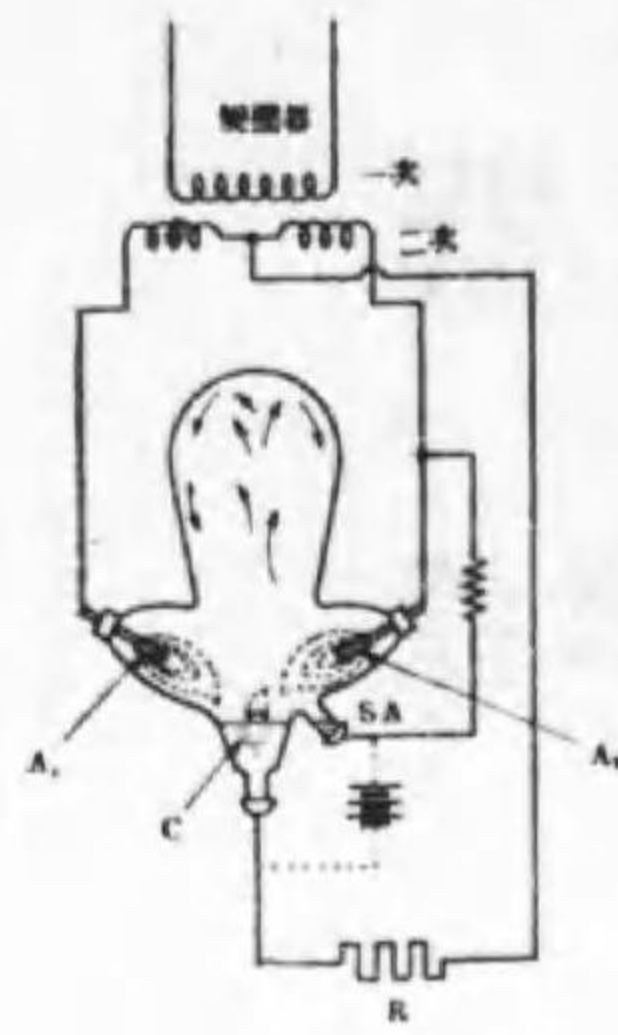


第 1 圖

2. 原 理

真空中の水銀蒸氣の中では電弧は電流の流れる方向が只一方のみに限られるといふ性質をもつてゐる。

即ち、真空中の水銀蒸氣の中に交流で電弧を發生させると交流波形の半分のみを通し、他の半分は



第 2 圖

通さない。之が水銀整流器の根本原理である。

第2圖のやうな硝子製小型水銀整流器に就て考へると變壓器一次を交流電源に接続し、二次側の兩端子を整流器の陽極 A_1A_2 に變壓器の中性點を水銀陰極 C に負荷抵抗 R を通して接続する。次に二次側の一端子を起動抵抗 r を通して起動電極 SA に接続するか或は點線で示すやうに直流電源を SA と C との間に接続して、整流器を僅かに動搖してやると水銀面に陰極點 (Cathode spot カソード スポット) が出來、これが整流回路の電弧に於ける電子發生點となる。陰極點の温度は確定的には明瞭でないが 2000°C 位である。陰極點を安定に作るためには4乃至5A.の電流を要す、水銀蒸氣が陰極に強く當り、又正イオンが衝突するために陰極點は水銀槽の中を常に高速度で移動する。陰極點の電流密度は 4000A./cm^2 とされてゐる。

今陽極 A_1 が正極になつた場合を考へると中性點が A_1 に對して負性であるから自熱點から出た電子は器内の水銀蒸氣と衝突してそれ等の分子をイオン化する。かやうにして出來た陽イオンは陽極 A_1 の方向から水銀陰極面に向ひ、電子は陽極 A_1 に向つて進む。即ち電流は陽極 A_1 から陰極に向つて流れることになる。次に A_2 が正極になると A_1 の時と同様な作用が A_2 で行はれ、 A_1 には電子を發生する自熱點が存在せぬため逆流することなく、常に A_1 及 A_2 から C の方向にのみ電流が流れ、即ち整流が行はれることになる。

3. 電 壓 降 下

水銀整流器の電壓降下は次の三つの部分から成る。

- (a) 陰極表面に於ける電壓降下
- (b) アークの中に於ける電壓降下
- (c) 陽極表面に於ける電壓降下

陰極電壓降下はすべての整流器に對して凡そ一定で容器の中の状態及び負荷には無關係であつて、凡そ6乃至9V.位である。此の電壓降下によつて生ずるエネルギーによつて陰極が熱せられ電子を放出し、又、水銀を蒸發する。

アーク自身の電壓降下は鐵槽水銀整流器が普通の状態で運轉してゐる時、アークの長1cm毎に0.05乃至0.2V.である。此の電壓降下によつて生ずるエネルギーは衝突によつて水銀蒸氣を電離するエネルギーになる。眞空度が低くなると此の値は増加する。又温度が上ると器内の壓力が高くなるから電壓降下も大になる。アーク電壓降下は電流と共に變化し、電流が零から次第に増加すれば、始めは、アーク電壓降下は減少して最小の値に達し、次に又増加する。始めの間は電流が増せば電離作用が容易になるから電壓降下は減少するが、更に電流が増せばアークの密度が増して電壓降下も大になる。

陽極電壓降下は凡そ5V.で、之れは陽極のまはりに集る電子のために生ずる電界に打勝つために費される。陽極には鐵、炭素等を用ふるのであるが、その材料によつて電壓降下の値も異なる。陽極電壓降下は眞空度が低下すると、大になる。陽極の電流容量は、陽極の大きさ、形及び材料に關係し、普通の使用状態では $8-25\text{A./cm}^2$ である。

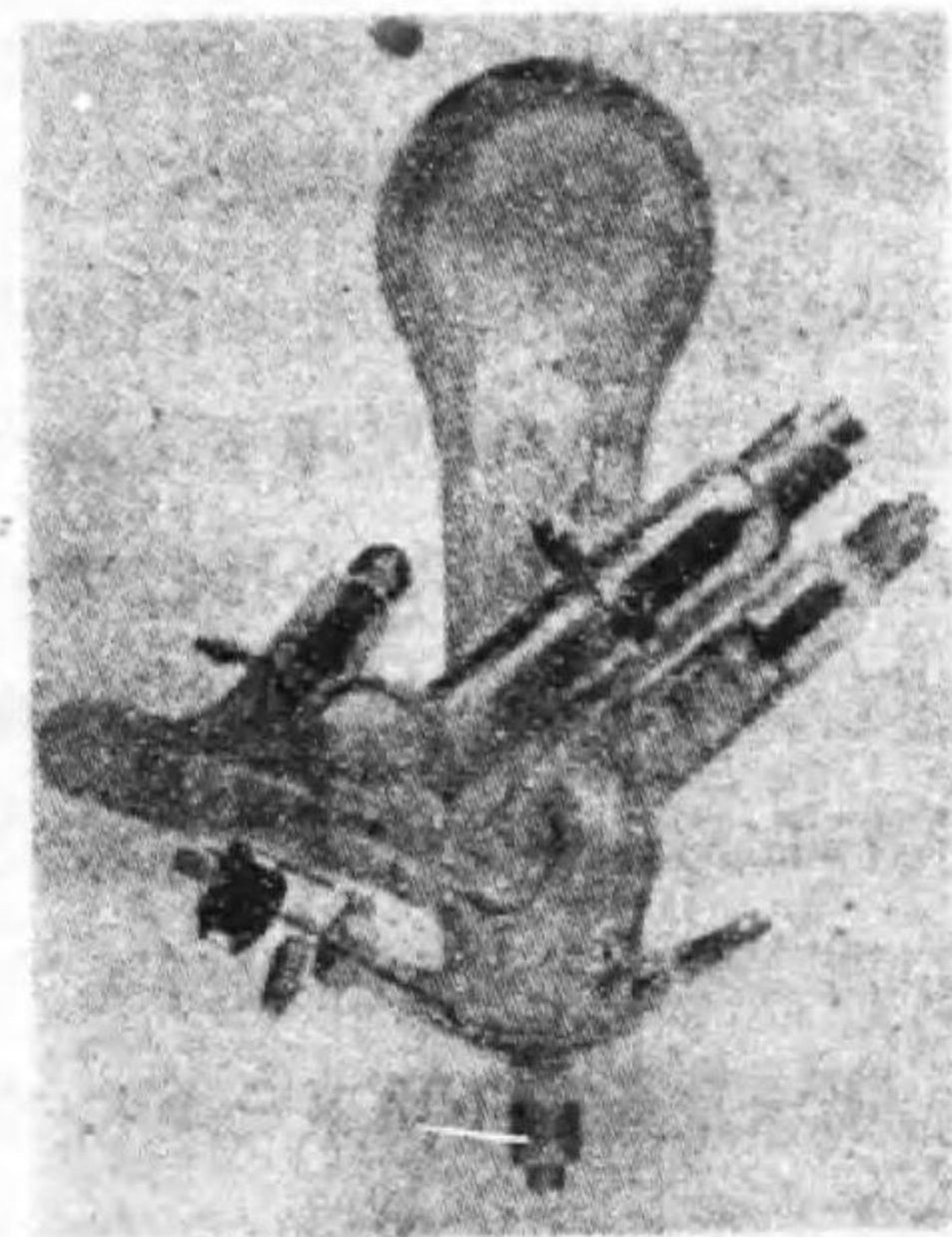
例へば、アークの長さ 1m 陰極電圧降下 7V. アーク電圧降下 0.1V./cm陽極電圧降下を 5V. とすれば水銀整流器の全電圧降下は

$$7+5+(100 \times 0.1)=22V.$$

4. 硝子製水銀整流器

硝子製水銀整流器は特殊耐熱硝子で真空室を作り其の下部に水銀を充して之に電流を通じ導電鋳を外から其中に封入せしめたものを陰極となし、其の上側部でグラファイト (Graphite) 製の陽極を取付け、更に最初水銀面の一部分に電氣火花に依り放電開始の端緒となる電子を発生せしめる點弧極 (Ignition anode イグニション アノード) と稱するものを陽極取付壁下の陰極水銀面に接近して取付けたものである(第3圖)。

真空の良好なものは揺り動かせば金屬性の音が聞える。冷却を要する場合には扇風機又は油槽を用ゐる。現在電壓に於て 3000V. 電流に於て 500A. の程度迄製作せられて居る。硝子管の電流導入部には初め白金線が用ひられたが、高價なため現在ではニッケル鋼に銅又は白金を鍍金したものが用ひられ、電流容量大なるものにはモリブデン硝子にモリブデンを接合したもの、クロム鐵を硝子に接合したもの等が用ひられる。壽命は 2000~10000 時間である。用途は蓄電池充電、映寫機弧光燈、電氣鍍金、無線



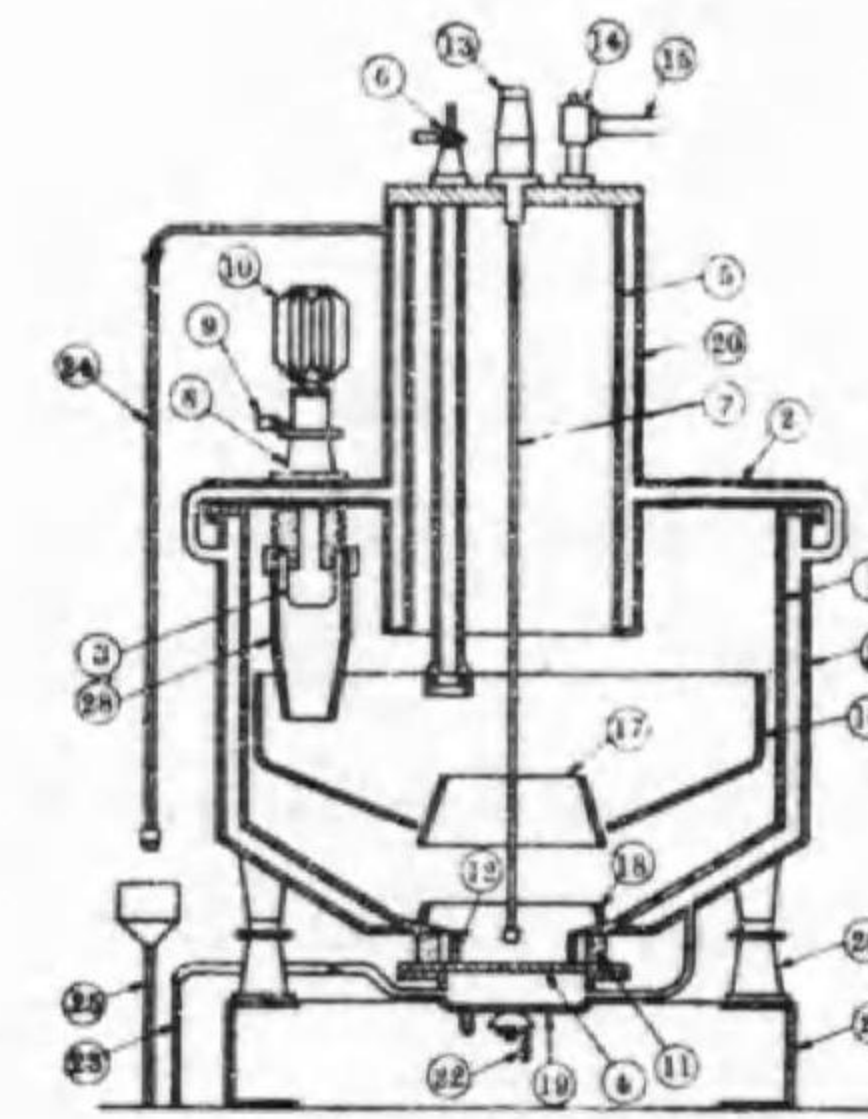
第 3 圖

用途は蓄電池充電、映寫機弧光燈、電氣鍍金、無線

用プレート電源等であつて、大型のものは電燈、電氣鐵道にも用ひられる。

第二章 鐵槽水銀整流器の構造

鐵槽水銀整流器の主要部分第4圖に示してあるやうに真空槽、陽極板、凝縮筒、陰極水銀槽及び各陽極等から成り、陽極は各々絶縁して陽極板に取付けてある。陰極水銀槽は主真空鐵



第 4 圖

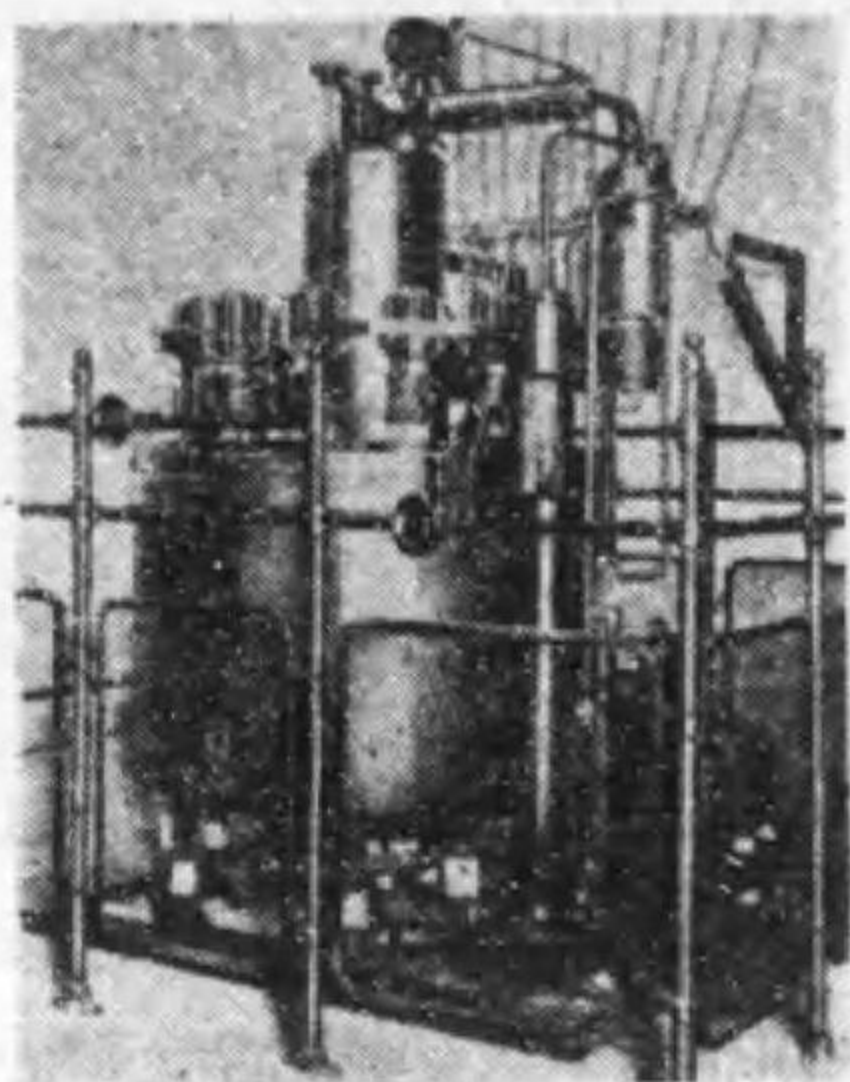
槽の下部に陰極碍子によつて絶縁されて取付けてある。此の陰極は直流としての正極となり主變壓器の二次側の中性點が負極となる。運轉の際陰極水銀槽から發する水銀蒸氣を冷却凝固させて再び水銀槽に復歸させるため主真空鐵槽及び凝縮筒の外部に水冷用ジャケットを備へて居る。又陽極には自冷冷却器を各取付け、容量によつて空氣冷却式、水冷却式とある。陽極の外に補助陽極と稱し常に電流を通して負荷の如何に拘らず電弧を持続させるための2筒或は3筒の小陽極と起動點弧用電極が備へてある。

整流器及び真空ポンプには常に電壓がかゝつてゐるから大地と絶縁されて居る上に保護柵を圍らして直接これ等の装置に觸れない様にしてあるが操作上必要な冷却水操作把手、真空活栓

操作把手等は皆この柵外から容易に且つ安全に操作出来るやうに組立てある。(第5圖)

1. 眞 空 鐵 槽 (1)

眞空鐵槽の内面は常に弧光に曝され且水銀蒸氣に作用され、外面は冷却水と接して居るから、特にその材質を吟味して水銀と化學作用を起さない又高度の眞空を保持し得るに適した緻密で且つ残留瓦斯の殆んど無い特殊鋼板を用ひてある。



第 5 圖

2. 陽極板及び凝縮筒(2,5)

陽極板及び凝縮筒も眞空槽と同じ特性の特殊鋼板を使用する。主陽極及び勵弧電極等をこれに碍子で絶縁して取付け、機械的にも化學的にも充分な耐久力を持たせてある。凝縮筒は陰極の上方に位置して陽極板の中央に取付けてあるから、陰極から上昇して來る水銀蒸氣を全部凝結し得るやうに充分の冷却表面積を有す。

尙大型のものは整流器中央部及び凝縮筒中央部に冷却管を取付け水銀蒸氣の凝結不十分から生ずる種々の缺點を除去する構造になつてゐる。

3. 陽 極 (3)

陽極は高温度に熱せられるから自身の熱作用によつて陽極内から整流作用に有害な瓦斯を放出せず、又水銀蒸氣に作用され

ず且つ瓦斯及び不純物の含有量が殆ど皆無な純鐵又はグラフアイトを使用する。

陽極を陽極板へ取付ける方法は碍子及び鐵の膨脹係数が異なるため特別の**パツキング** (Packing) が施してある。第6圖は**マイカレックスシール** (Mycalex seal) を用ひたグラフアイト主陽極である。

大電流に使用する陽極は水又は油等を充たした自冷式陽極放熱器を取付けてある。この放熱器の内部は防錆劑を施して冷却水等のために腐蝕されないやうにしてある。



第 6 圖

4. 陰 極 (4)

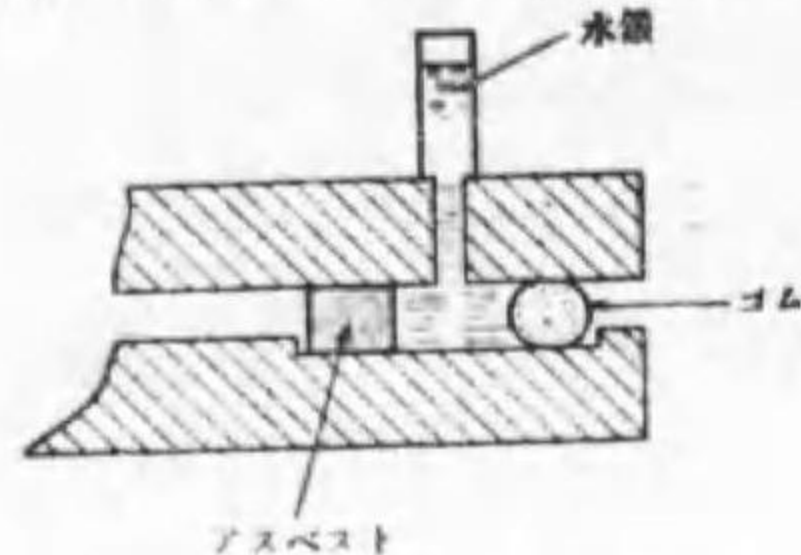
非常な高温度に熱せられ陰極は冷却作用を完全に殊に陰極點に直接觸れる陰極の絶縁は高温度に耐へるのは勿論、大なる絶縁耐力を有する石英と硬質磁器とを適當に配置してある。又復歸水銀の短絡によつて生ずる故障を防止する水銀滴下案内環をも装置してある。

5. 水銀蒸氣誘導ファンネル(16)

適當な陰極の構造と共に最も大切なことは陰極から發生する水銀蒸氣の器内分布と凝縮した水銀の復歸とを適當にすることである。このために倒立漏斗狀誘導ファンネルを装置して逆弧又は電壓異常上昇による故障を未然に防ぐ構造になつてゐる。

6. パツキング及びパツキング材料

陽極板と陽極との取付、陽極板と真空鐵槽との締附、真空鐵槽と陰極との取付等は完全に真空を保ち得るやうに密閉せねば



第 7 圖

及び、真空のために損することのない様にしてある。

7. 勵 弧 極 (6)

水銀整流器が無負荷の状態になつた時には陰極の白熱點が高温度に保ち得なくなり、アークは消滅するから再び負荷状態にするためには陰極點の再生を必要とする。即ち再び起動を繰返さねばならぬ不便を生ずるからこのために主陽極の他に低電壓小容量の補助陽極を設置して、起動後は常にこの補助陽極がアークを保持繼續して起動を繰返す必要のない様にしてある。これが勵弧極 (Excitation anode エキシテーション アノード) である。

8 起 動 装 置 (13)

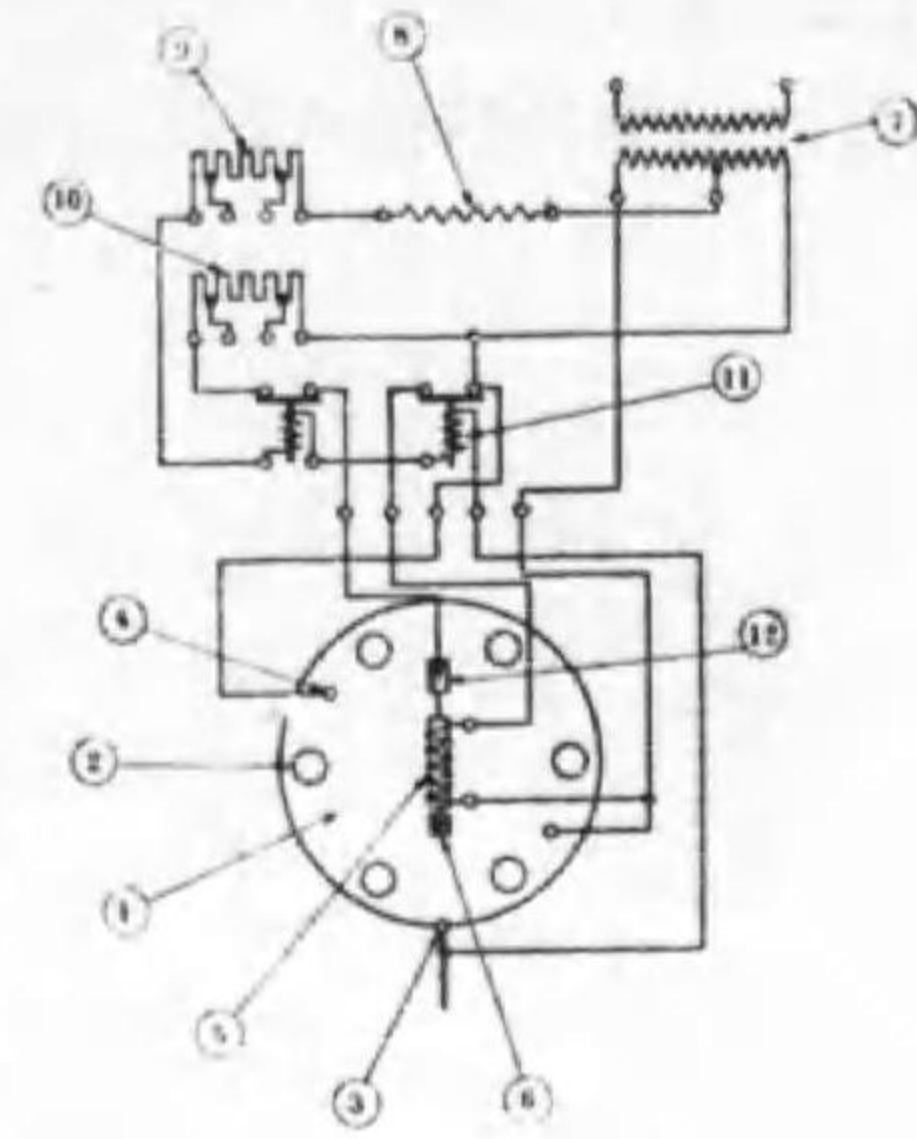
水銀整流器を起動するためには陰極水銀面に陰極點を生じさせる必要がある。この起動装置は第8圖のやうに接続してあつて、先づ變壓器を回路に接続すると整流器の上部にある起動線輪を附勢する、然るときは起動装置内の可動鐵心を吸引して起動電極を水銀面と接觸させる。起動電極、陰極を通じて電流が流れるから起動接觸器が動作して起動線輪の電流が切れ、起動

ならぬ。この密閉材料としてはマイカレックス (Mycalex) 或は水銀を使用する。第7圖は水銀パッキングの一例を示す。直接アークに曝される部分はアスベストを使用し、アーク

電極が水銀面から離れる際にアークを發生し、次いで陰極點を生じ整流器の起動が完成する。この時間は1秒以内である。

9. 真 空 活 栓

整流器と真空ポンプとの真空的接続は真空活栓によつて開閉されるやうになつてゐる。この活栓は運轉中は勿論如何なる時でも空氣洩れの絶対にないやうになつてゐる。



第 8 圖

- | | |
|----------|-----------|
| 1. 水銀整流器 | 7. 勵弧變壓器 |
| 2. 陽 極 | 8. 勵弧塞流線輪 |
| 3. 陰 極 | 9. 勵弧用抵抗 |
| 4. 勵弧電極 | 10. 起動用抵抗 |
| 5. 起動線輪 | 11. 起動接觸器 |
| 6. 起動電極 | 12. フューズ |

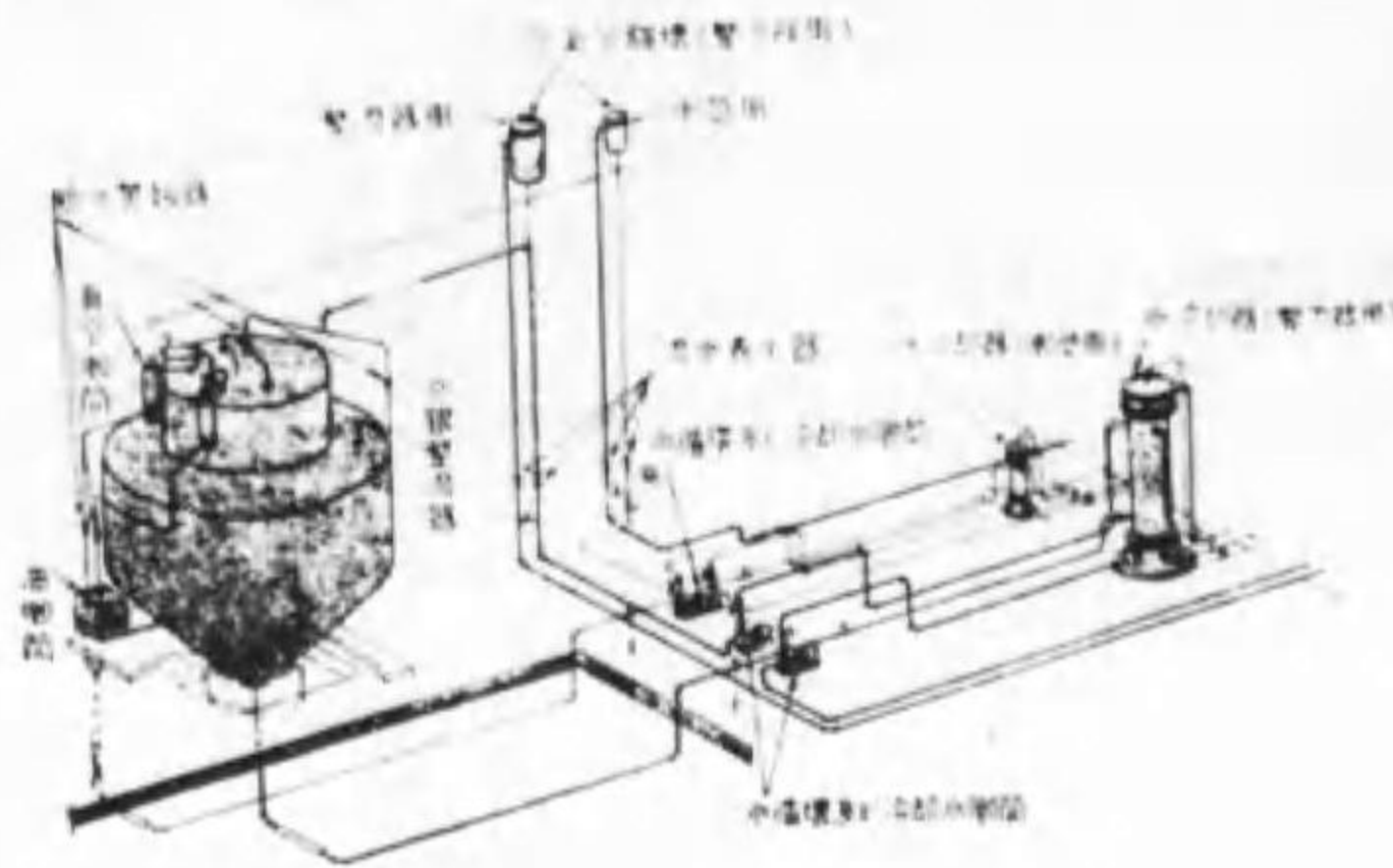
10. 真 空 接 續 管

水銀整流器と高度真空ポンプ、高度真空ポンプと補助真空ポンプとを接続する真空接続管はすべて継目無しの特殊鋼管を使用し且空氣洩れののないものを使用する。尙この接続管は排氣速度を増すために充分太く出来るだけ短かくしてある。

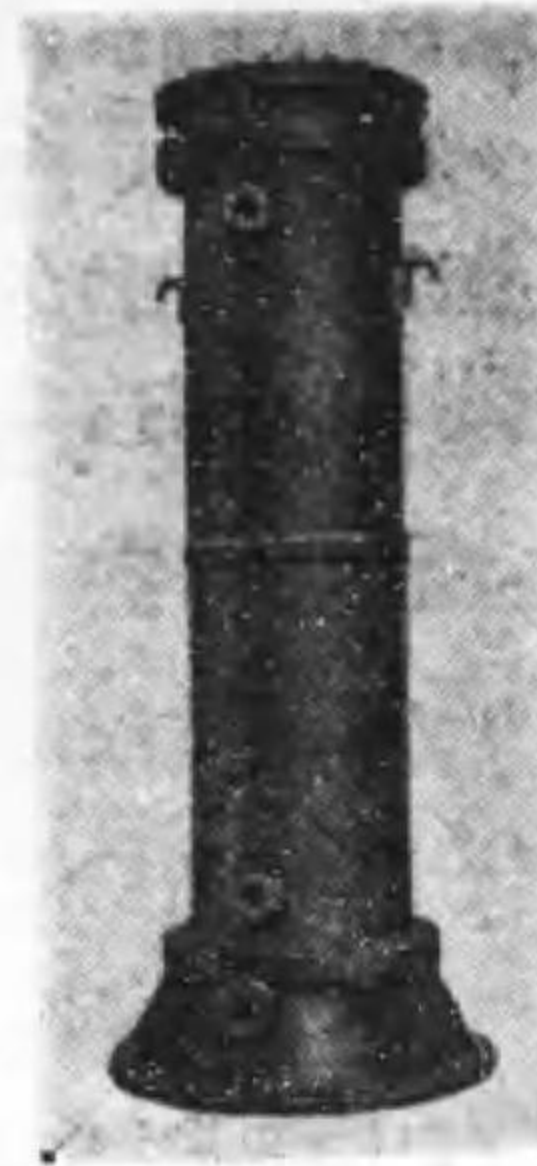
11. 冷 却 装 置

水銀整流器を安全に運轉するには可なり多量な良質の冷却水が必要である。即ち、その水量は、凡その目安として真空ポンプに對して毎分約5ℓ、又整流器本體のために負荷電流100A.に對して毎分2ℓ以上を必要とする。水質の簡単な鑑定法としては、1cc に付3000オーム以上の電氣抵抗を有するものを適當とする。之は整流器を有効に冷却すると同時に、器壁を腐蝕させないためであるから、萬一變電所で良質の水を所要量だけ得ら

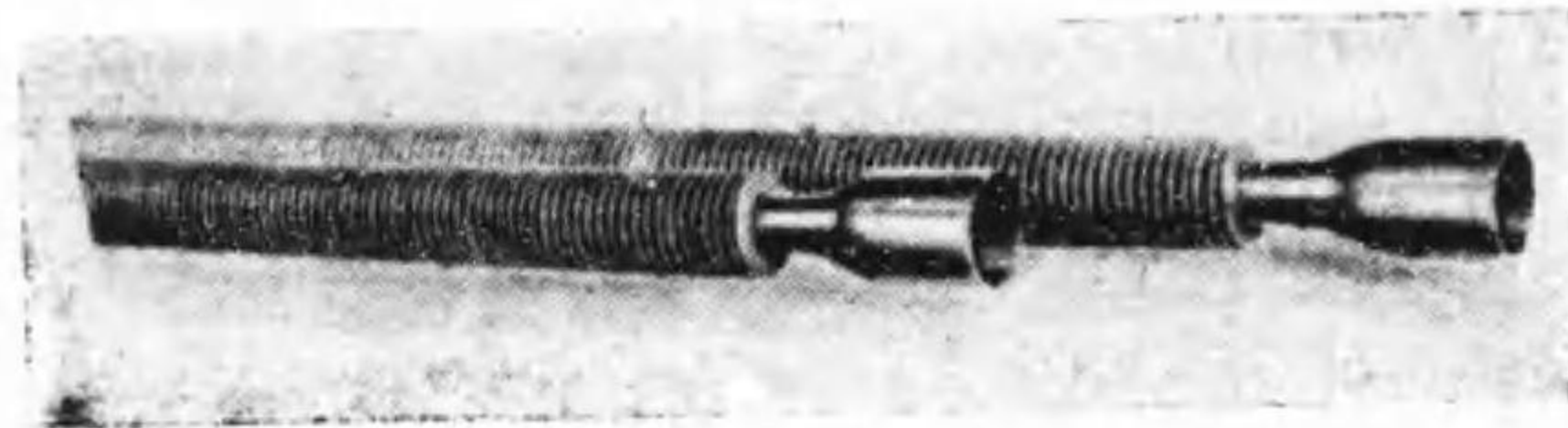
れないやうな場合には冷却水再冷装置を用ふ。之は整流器通水部と冷却器の中に清水



第 9 圖



第 10 圖



第 11 圖

を充し、之を電動ポンプで循環させて冷却する方法であつて最も廣く用ひられる方式は次の二種類である。

(1) 強制通風冷却式 之はエロフキン型の冷却管(第11圖)で出来た冷却器中を通る循環水を、電動送風機による強風で冷却する方法である。

(2) 水で水を冷却する方式これは良質でないが多量の低温水が得られる場合に適するもので上記の強風の代りに、この水で冷却する方法である。(第10圖)は冷却水再冷却器で(第9圖)は其の配管圖の一例である。

第三章 真空装置

真空装置は水銀整流器の附屬品中最も重要なものである。据附當初及び修理等の際の化成には勿論のこと、常時安全な運轉を確保するためにも整流器内部を高真空に保つ必要がある。水銀整流器用真空装置には次の種類がある。

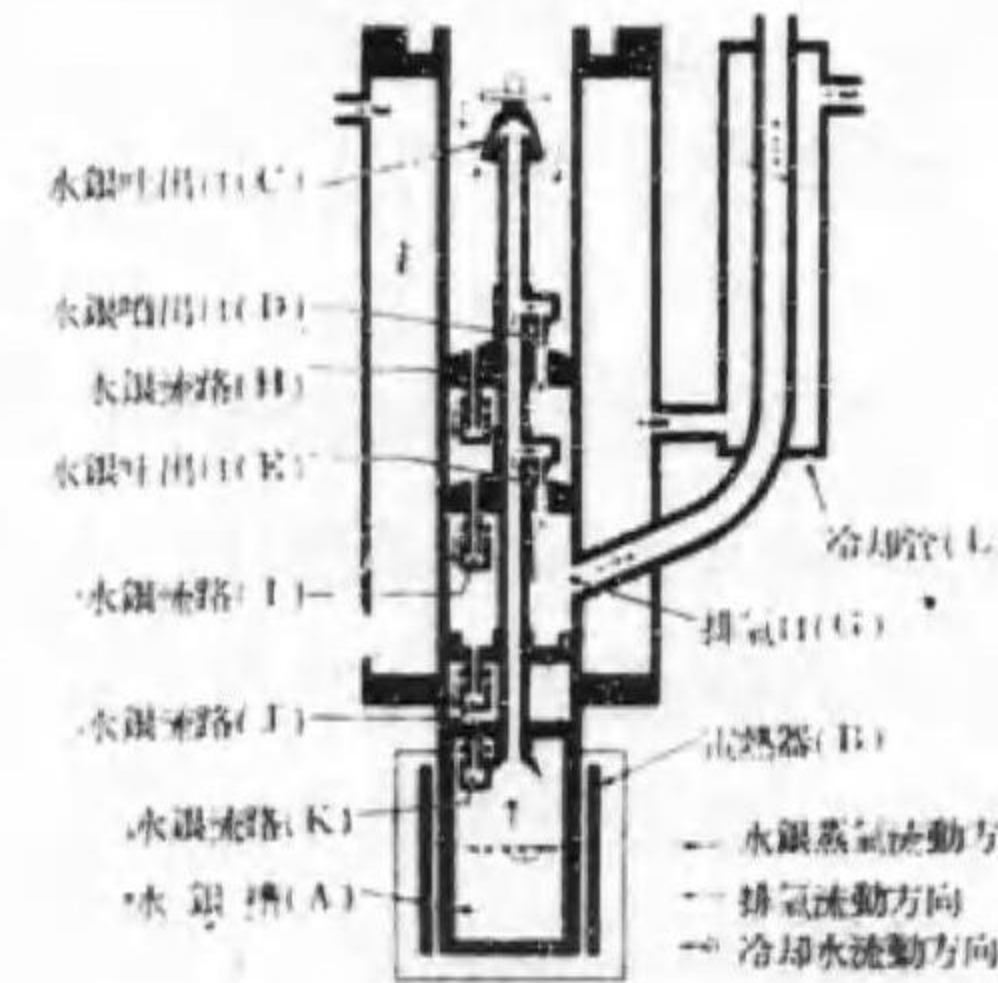
- 1. 真空ポンプ
- 2. 真空計

1. 真空ポンプ

水銀整流器用真空ポンプとしては、水銀蒸氣真空ポンプと油真空ポンプとが併用される。

a) 水銀蒸氣真空ポンプ

このポンプは高速度高度真空用であつて何等の動的部分もなく、消耗部分もなく多段式水銀擴散ポンプ (Mercury condensation pump マークユリー コンデンセーション ポンプ) の一種



第 12 圖

で第12圖は三段式水銀蒸氣ポンプの動作説明断面圖である。吸氣口(F)を水銀整流器に、排氣口(G)の端を補助油真空ポンプに於て各々氣密に接続して排氣側を或程度の真空として、電熱器Bによつて水銀槽Aを加熱させる。この加熱によつて發生した水銀蒸

氣を(C), (D), (E)から噴出させると非常に速い水銀蒸氣の流動によつて周囲の空氣及び瓦斯は(G)へ排出される。即ち水銀整流器の排氣を行ふことが出来る。瓦斯を運ぶ水銀蒸氣は外部の冷却水により凝結して(H), (I), (J), (K)の水銀流路を通り再び水銀槽に戻るやうになつてゐる。

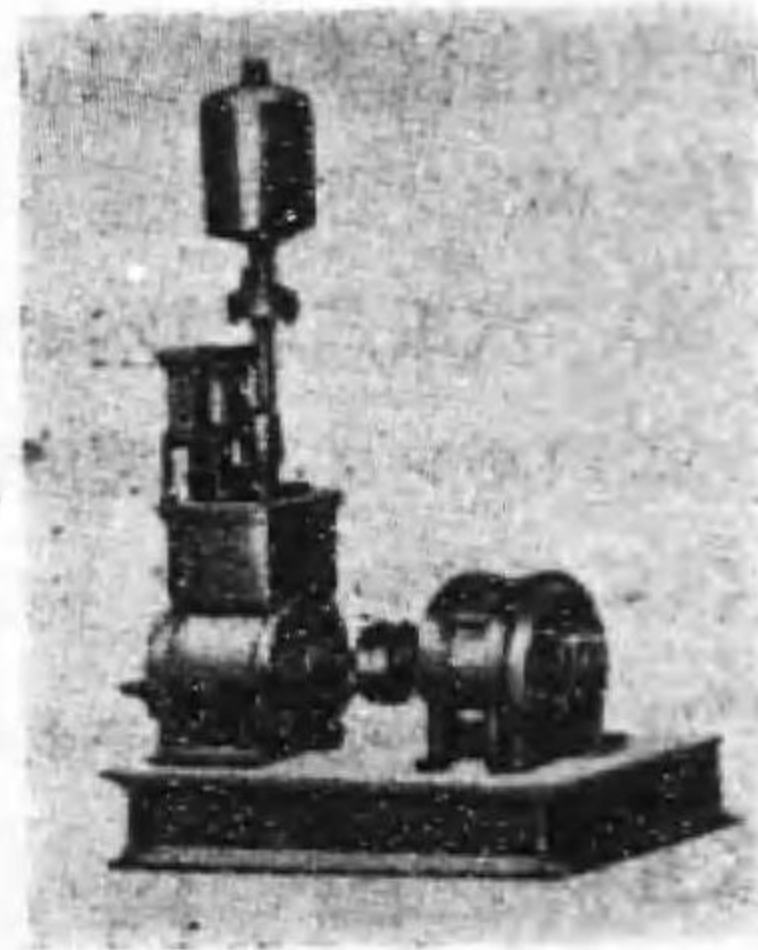
この冷却水の量は水温25°Cで毎分2乃至5ℓを要す、このポンプは排氣側の壓力が相當に高くても能く働くが通常は水銀柱1mm以下が適當であり最高排氣速度は一概には云へないが毎秒15乃至25ℓ位である。

b) 廻轉式油真空ポンプ (Rotary oil pump ロータリーオイルポンプ)

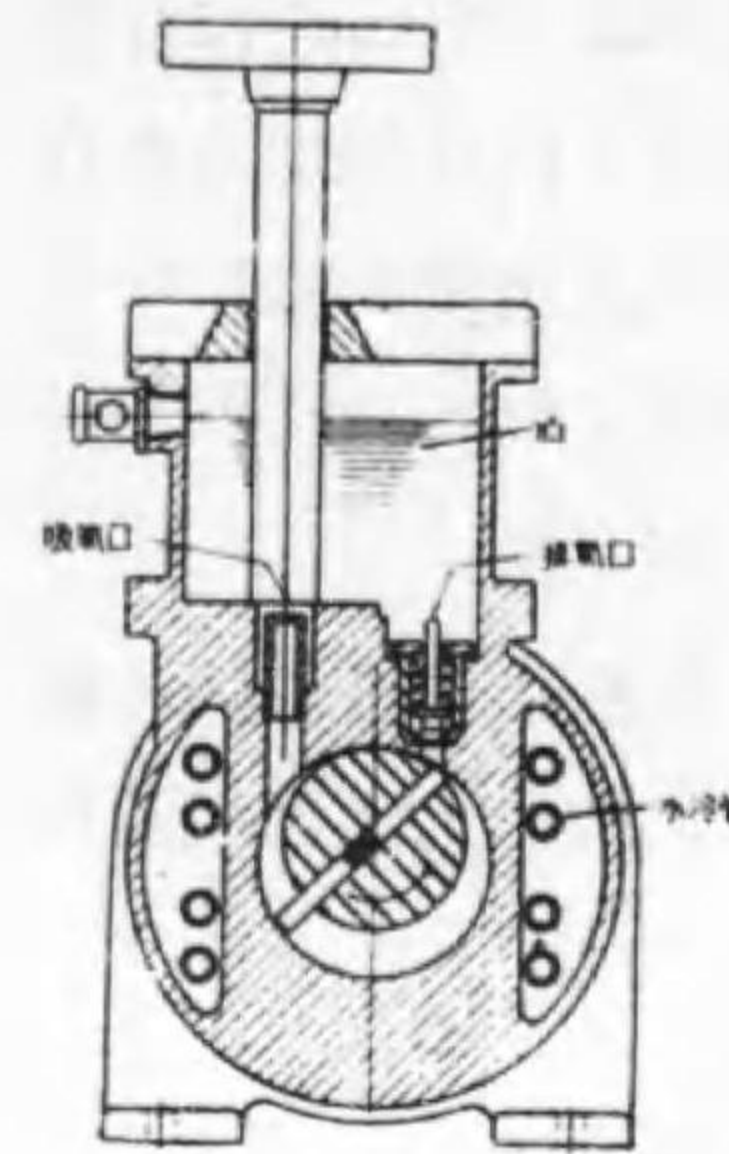
これは直結電動機によつて運轉され、水銀蒸氣真空ポンプの補助ポンプとして使用するもので排氣速度は毎秒約1.5ℓ位である。(第13圖)

第14圖はその構造説明、第15圖は作用説明を示したものでこれ等の圖によつて明かなやうに内部廻轉子の廻轉により(第15圖a, b, c, d, e)の斜線のやうに動く順序により排氣作用をなす。

このポンプは全部油の中に浸してあり、この油に潤滑作用と氣密作用とを兼ね行はしめる。油真空ポンプの排氣速度はその油の温度に非常に關係し、油の温度が高まると急激に排氣能力を減殺する。この缺點を除くために、ポンプ内部に水冷管を取付けて、これによつて油の温度上昇を防ぎ排氣能力低下を防いだものもある。此の時は冷却用水の水量は毎分約2ℓ以上を要



第 13 圖



第 14 圖



第 15 圖

し通常水銀蒸氣真空ポンプの冷却水を直列に用ふるが便利である。尙このポンプの排氣口には逆流防止瓣が取付けてあつて運轉休止中に油が真空部へ逆流するのを防ぐ此の二組の真空ポンプを用ふることによつて 10^{-6} mm位の真空を作ることが出来る廻轉真空ポンプ

だけでは達し得る真空度は $1\sim 0.001$ mmである。

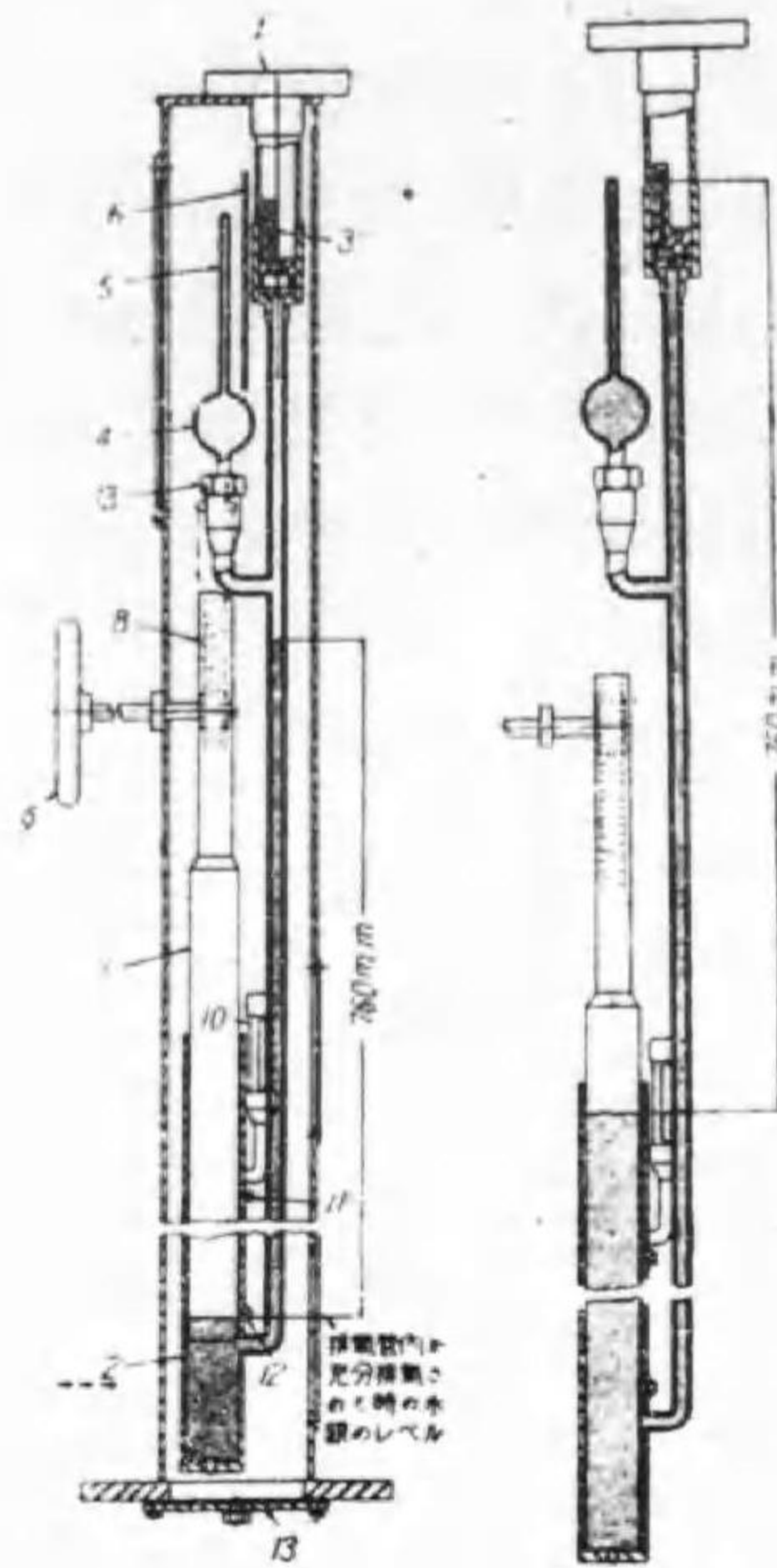
水銀整流器は少くとも 0.01 mm以下の真空を保つ必要がある。

2. 真 空 計

a) マクラウド真空計 (McLeod's manometer マクラウド マノメーター)

この真空計は、測るべき壓力に於ける空氣又は瓦斯の一定量を壓縮してその増大した壓力によつてその真空度を知るやうにしたものである。これは直續式で正確に廣い範圍を測定出来るが一々必要に応じて測定せねばならぬ。

第16圖はその内部構造説明圖である。(1)は整流器内部に通じて接続される(9)のハンドルを廻はして(7)のロッドを(2)の水銀槽中に壓入すれば水銀は第17圖のやうな状態になつて(4)の硝子球中に入る。故にこの細い硝子管(5)に封入された瓦斯壓は整流器内部のそれに等しく第18圖はこの場合水銀面の關係を示したものである。



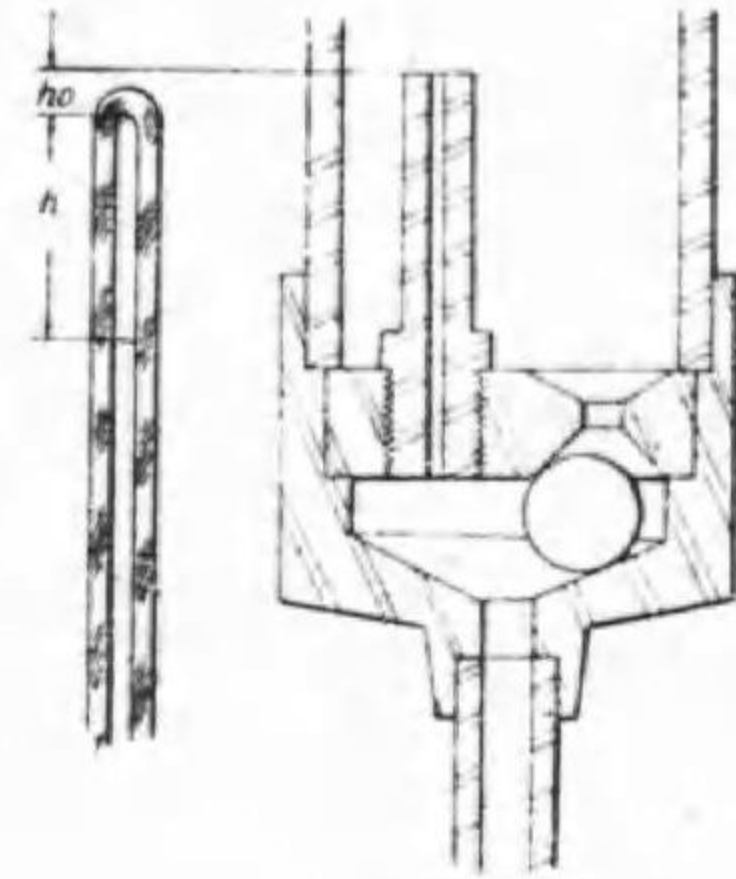
第 16 圖 第 17 圖

硝子管中の壓力は $(h+h_0)$ に比例し、その體積は h に比例するから測定せんとする瓦斯壓 P は

$$P = kh(h+h_0)$$

k = 比例定數

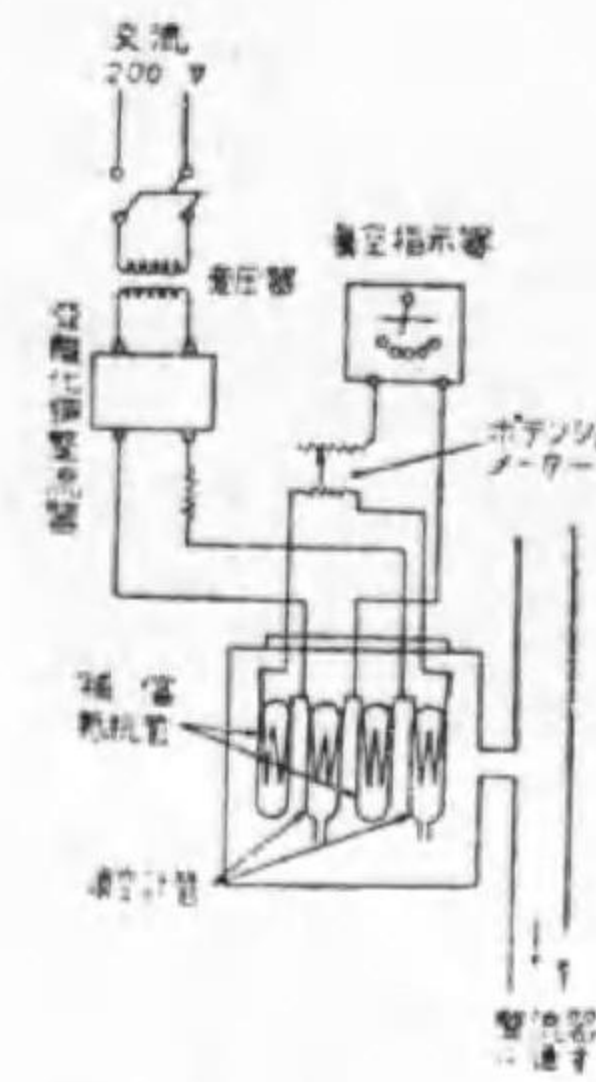
この際 h_0 を最小に且正確に保つ事が指示の正確のために絶対に必要である。



第 18 圖

3. 抵 抗 眞 空 計

これは眞空を電氣的に常時指示せしめ、又繼電器としても動作せしめるものである。其の原理は瓦斯體中の熱傳導が高眞空に於ては輻射のみによつて行はれるが壓力が増加するに従つて傳導作用が増加することを利用したものである。即ち眞空中で金屬纖條に電流を通じて或る温度に熱してある時、此の中に瓦斯が入つて眞空度が低下すると上述の理由により纖條の温度は下り従つてその抵抗は減るので之に流れる電流は増加する。之等の變化をブリッジ結線 (Bridge connection) により電壓計



第 19 圖



第 20 圖



第 21 圖

で測る。第19圖はこの接続圖で第20圖は整流器部分に取付ける眞空函とその内部に使用する眞空計管と補償抵抗管で第21圖は眞空指示器兼眞空繼電器である。この眞空繼電器は整流器の内部眞空に應じて、眞空ポンプの運轉、休止、更に眞空異常の場合には整流器を休止させる操作をも行ふ。

第 四 章 水 銀 整 流 器 の 理 論

整流器の電流及電壓の關係を考究するにあたり、事柄を簡單にするため次の假定をおく。

- a) 直流電流波形を直線とす。
- b) すべての負荷に對してアークの電壓降下を一定と假定する。
- c) 整流器用變壓器の變壓比を 1:1 とす。
- d) 變壓器の勵磁電流を無視す。

以上の假定のもとに電流及び電壓の關係を導く、先づ變壓器の抵抗及びリアクタンスを無視し、次にその影響を考慮する。

1. 變壓器リアクタンスを無視した
場合の電流及び電圧の関係

p相整流器を考へ、直流 I を供給してゐるとして、變壓器リアクタンスは之を無視する、然る時は陽極は順次に一つ宛作用し各陽極が $\frac{2\pi}{p}$ の間は電流 I を供給する。陽極電流は第22圖のやうに矩形をなしてゐる。

その平均値は

$$\frac{I \frac{2\pi}{p}}{2\pi} = \frac{I}{p} \dots\dots\dots(1)$$

で表はされ、その實効値は之を A で表はせば

$$A = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2\pi}{p} I^2} = \frac{I}{\sqrt{p}} \dots\dots\dots(2)$$

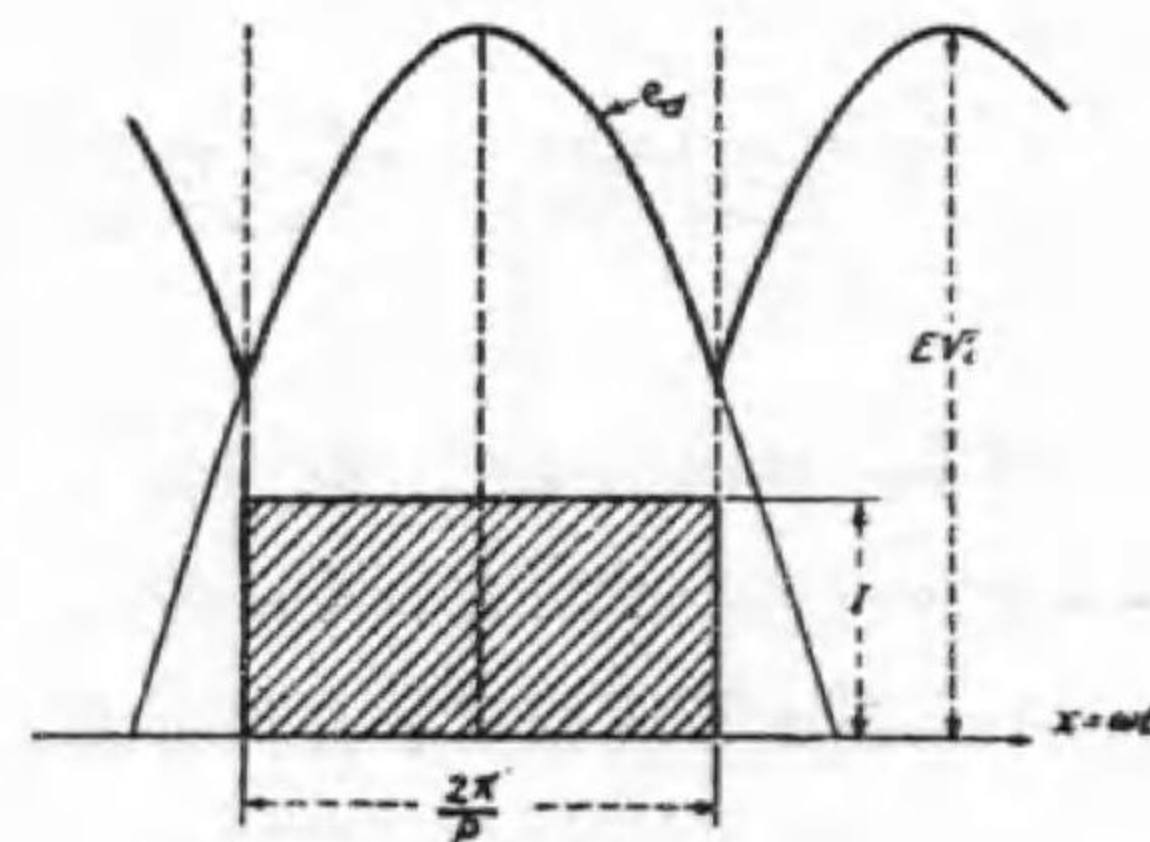
リアクタンス電圧降下を零と假定したから直流電圧波形は第22圖太線のやうになり、その平均値 E_d は次の式で與へられる。交流電圧を

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

で表はされるとす。

之から E_d を計算すると

$$E_d = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \dots\dots\dots(3)$$



第 2 2 圖

$$\therefore \frac{E_d}{E_s} = \frac{\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \dots\dots\dots(4)$$

p	3	6	12
$\frac{E_d}{E_s}$	1.17	1.35	1.40

平均の直流パワー P は

$$P = E_d I = E I \sqrt{2} \frac{\sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \dots\dots\dots(5)$$

變壓器の定格容量は

$$P_2 = p E A = E I \sqrt{p} = \frac{\pi}{p} \sqrt{\frac{p}{2}} P \dots\dots\dots(6)$$

六相に對しては p=6 なる故

$$P_2 = \frac{\pi}{\sqrt{3}} P = 1.81 P$$

變壓器接続が定まれば變壓器の一次電流及び線電流の波形を陽極電流から求むることが出来る。然る時は電流の實効値及び變壓器一次の定格容量をも計算出来る。

2. 單 相 整 流 器

單相整流器では(第23圖)各陽極には半サイクルの間だけ電流 I が流れる。勵磁電流を無視し變壓比を 1:1 と假定したから變壓器一次電流 i_p と陽極電流 a_1, a_2 との間には次の式が成立する。

$i_p = a_1 - a_2$
 之から一次電流波形を作
 図すると第23圖のやうにな
 る。又圖から

二次電流

$$A = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \cdot \pi I^2} = \frac{I}{\sqrt{2}}$$

一次電流 $I_p = I$

直流電圧 $E_d = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} E$

直流パワー $P = E_d I$

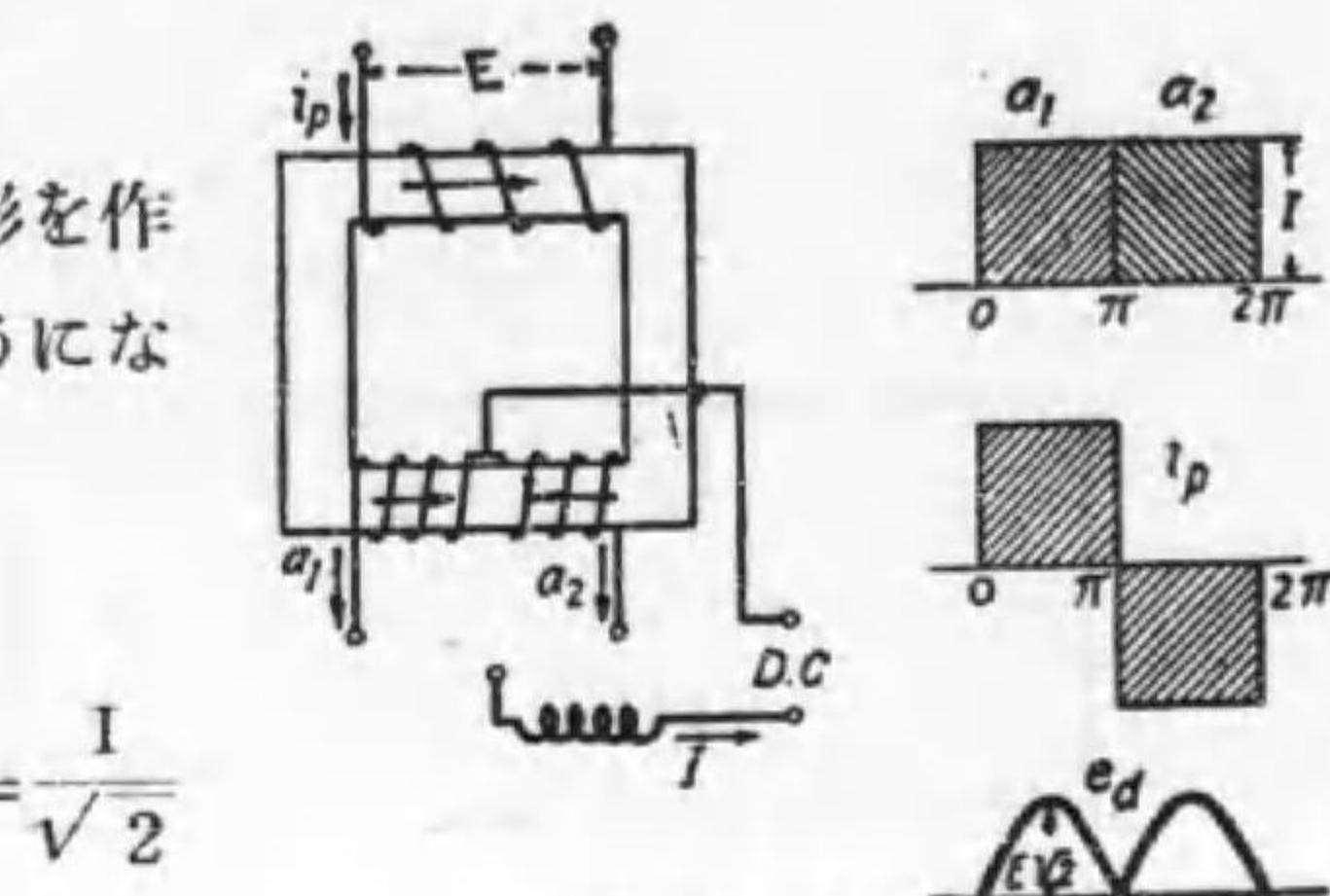
二次容量 $P_2 = 2EA = EI\sqrt{2} = \frac{\pi}{2} P = 1.57P$

一次容量 $P_1 = EI_p = EI = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} P = 1.11P$

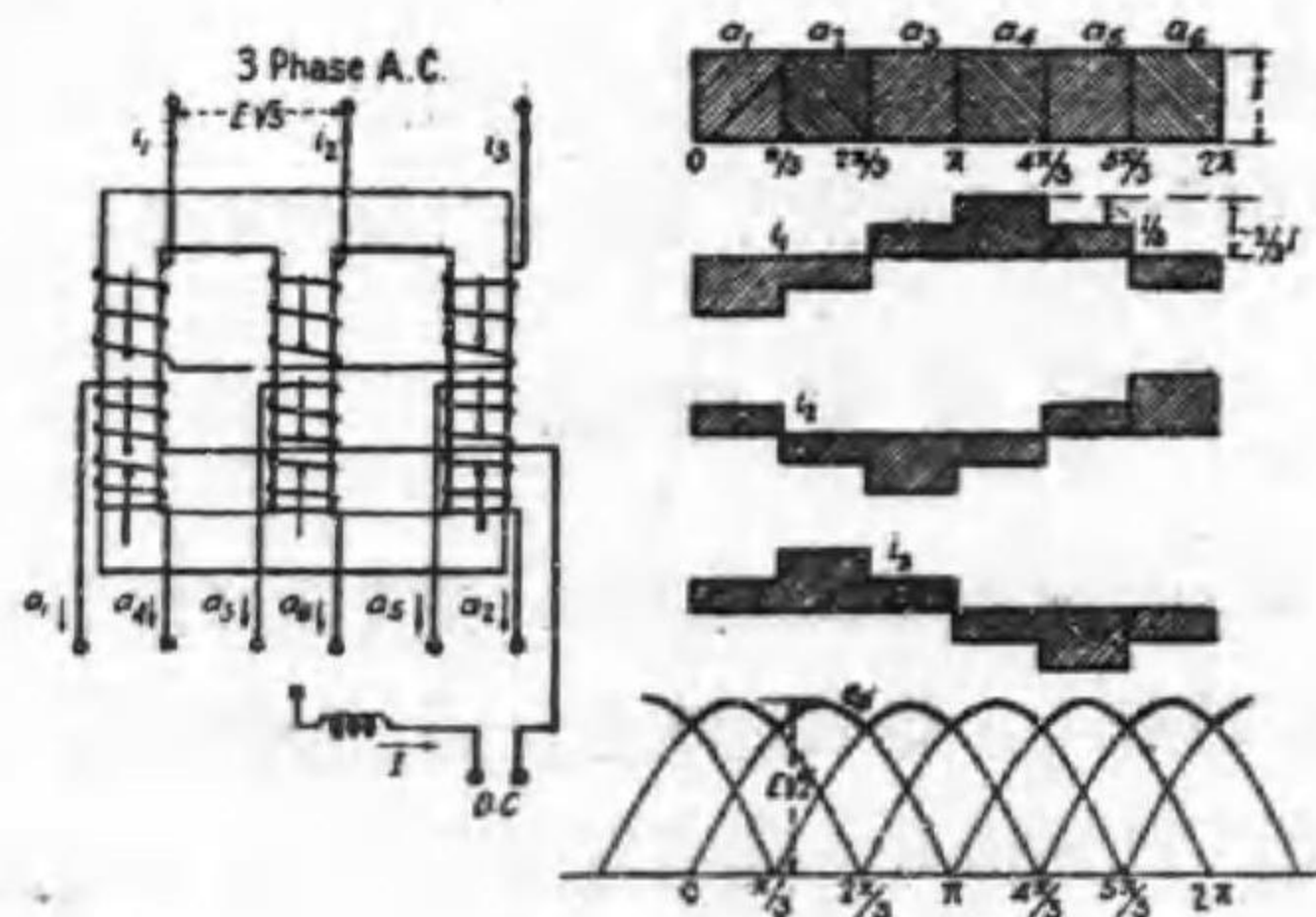
力率 $PF = \frac{P}{P_1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0.90$

3. 三相變壓器一次Y、二次六相 接続の整流器

此の接続の整流
 器に就て電流、電
 圧及び變壓器容量
 を計算する。第24
 圖で $a_1, a_2, a_3 \dots a_6$
 は陽極電流を表は
 し $a_1, a_2 \dots$ の順序に
 陽極は作用するも



第 2 3 圖



第 2 4 圖

のとする。變壓器の磁化電流を無視したから、變壓器鐵心の一
 つの磁氣回路に作用する全體の起磁力の和は零になる。又變壓
 比を 1:1 と假定したから捲回数起磁力の式では省略される。

第一、第二鐵心の磁氣回路に就て

$$i_1 + a_1 - a_4 + a_6 - a_3 - i_2 = 0 \dots\dots\dots(7)$$

第一、第三の磁氣回路に就ては

$$i_1 + a_1 - a_4 + a_2 - a_5 - i_3 = 0 \dots\dots\dots(8)$$

$a_1, a_2 \dots a_6$ は陽極電流の瞬時値を表はすものとす。尚キルヒ
 ホッフの第一法則により

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \dots\dots\dots(9)$$

i_1, i_2, i_3 は變壓器一次電流の瞬時値である、この三方程式を
 解いて

$$\left. \begin{aligned} i_1 &= -\frac{2}{3}a_1 - \frac{1}{3}a_2 + \frac{1}{3}a_3 + \frac{2}{3}a_4 + \frac{1}{3}a_5 - \frac{1}{3}a_6 \\ i_2 &= \frac{1}{3}a_1 - \frac{1}{3}a_2 - \frac{2}{3}a_3 - \frac{1}{3}a_4 + \frac{1}{3}a_5 + \frac{2}{3}a_6 \\ i_3 &= \frac{1}{3}a_1 + \frac{2}{3}a_2 + \frac{1}{3}a_3 - \frac{1}{3}a_4 - \frac{2}{3}a_5 - \frac{1}{3}a_6 \end{aligned} \right\} \dots\dots(10)$$

此の式から一次電流波形を求むれば第24圖のやうになる。

陽極電流 $A = \frac{I}{\sqrt{p}} = \frac{I}{\sqrt{6}}$

$$E_d = E\sqrt{2} \frac{\sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} = E\sqrt{2} \frac{\sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E = 1.35E$$

一次電流の實効値 I_p は

$$I_p = \sqrt{\frac{1}{\pi} \cdot \frac{\pi}{3} \left[\left(\frac{1}{3}I\right)^2 + \left(\frac{2}{3}I\right)^2 + \left(\frac{1}{3}I\right)^2 \right]} = \frac{\sqrt{2}}{3} I = 0.47I$$

直流パワー $P = E_d I = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} EI$

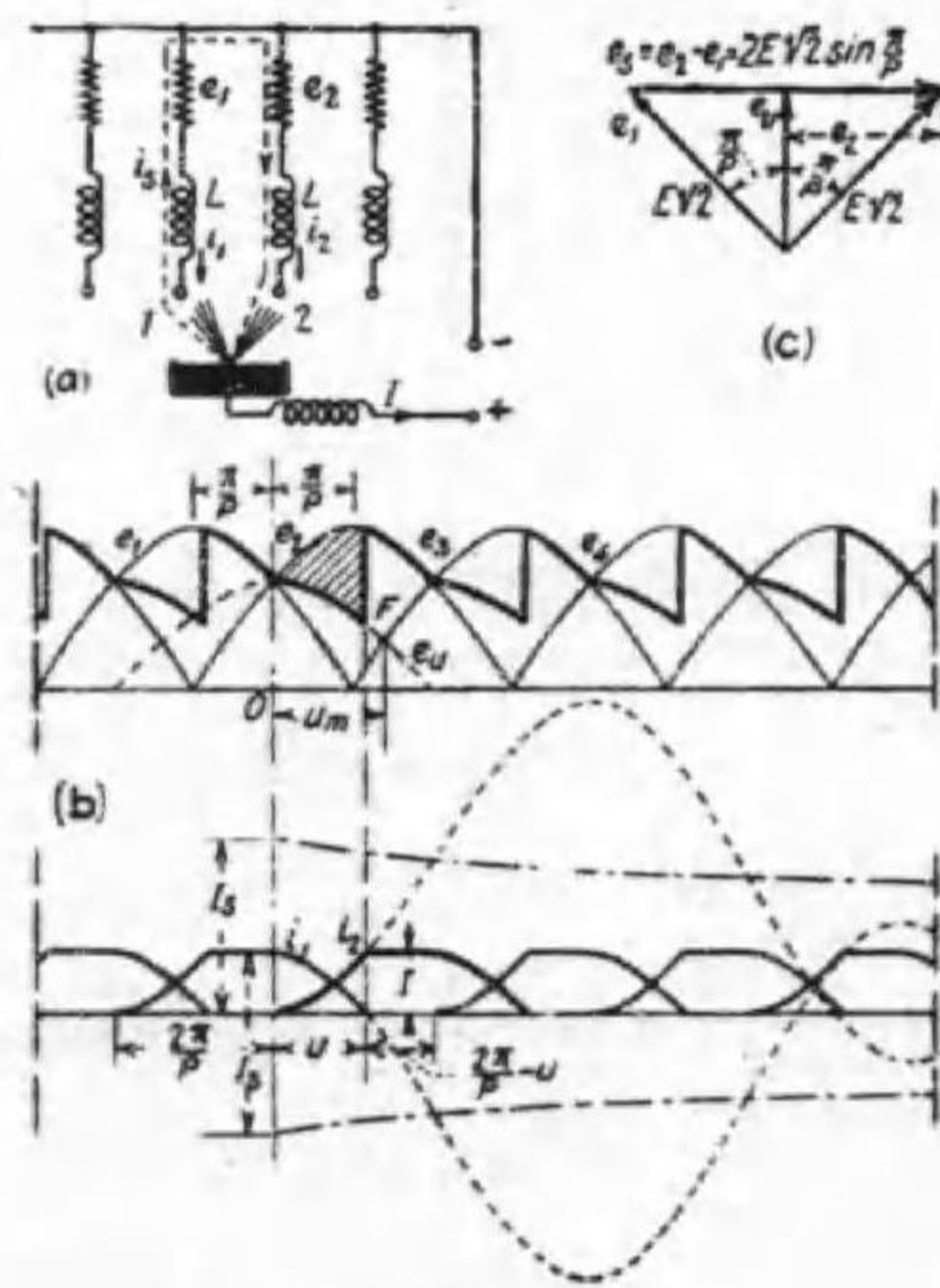
二次容量 $P_2 = pEA = EI\sqrt{6} = \frac{\pi}{\sqrt{3}}P = 1.81P$

一次容量 $P_1 = 3EI_p = EI\sqrt{2} = \frac{\pi}{3}P = 1.05P$

力率 $P.F = \frac{3}{\pi} = 0.955$

4. 變壓器二次のリアクタンスを考慮した場合

P相整流器を考へ變壓器二次の各相インダクタンスをLとす。このインダクタンスのために陽極電流は、陽極が作用し始むる電壓から少し遅れる。故に第一相と第二相の陽極電流が同



第 25 圖

$e_1 = \sqrt{2} E \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{p} \right)$

時に流れる時間がある。故に、整流された電流波形を示せば第25圖bのやうになる、隣り同志の二つの陽極には第25圖に示すやうに、短時間の間は、アークが同時に起つてゐる。陽極1は e_1, e_2 電壓波形が交叉する點までは全電流 I を擔ひそれからさきは陽極2にアークが起る。

電壓波形の交點Oを電流、電壓を表す式の原點にとれば電壓は

$e_2 = \sqrt{2} E \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{p} \right)$

で表はされる、又

$i_1 + i_2 = I$

第25圖 a の第一相と第二相にキルヒホッフ第二法則を適用して上の三式から i_1, i_2 を求むれば

$i_1 = I - \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{X} (1 - \cos \omega t) \dots \dots \dots (11)$

$i_2 = I - i_1 = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{X} (1 - \cos \omega t) \dots \dots \dots (12)$

$X = \omega L$

重複角の間に於ける i_1 と i_2 の電流波形を求むるため(11)(12)式を次のやうに書換へる

$i_1 = I - I_s + I_s \cos \omega t \dots \dots \dots (11a)$

$i_2 = I_s - I_s \cos \omega t \dots \dots \dots (12a)$

$I_s = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{X}$

之によると i_1, i_2 は直流分と交流分から成つてゐる。その交流分は

$i_s = I_s \cos \omega t$

である。第25圖bに示すやうに(點線に示す)交流分は陽極電流の零軸から移動してゐる。交流分 i_s は1及び2の陽極を短絡したために起る電流で相電壓の差を相リアクタンスの和で割つた

* $e_1 - L \frac{di_1}{dt} + L \frac{di_2}{dt} - e_2 = 0$

ものである。

$$e_s = e_2 - e_1 = 2E\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{p} \sin \omega t$$

之は第25圖 c のベクトル圖に示す。

$$i_s = \frac{e_s}{2X} = -\frac{E\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{p}}{X} \cos \omega t$$

此の交流分は重複角の間は第25圖 a に示すやうに點線の閉回路を流れる。直流回路には現はれて來ぬ。

電流の重複は i_1 が 0 になるまで續く。故に重複角 u は $i_1 = 0$ とおけば求められる。

$$i_1 = I - \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{X} (1 - \cos u) = 0$$

$$\cos u = 1 - \frac{IX}{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}} \dots \dots \dots (13)$$

或は $\frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{X} = \frac{I}{1 - \cos u}$

$$\therefore i_1 = I \left(1 - \frac{1 - \cos \omega t}{1 - \cos u} \right)$$

$$i_2 = I \frac{1 - \cos \omega t}{1 - \cos u}$$

陽極電流の實効値を求むると

$$A = \frac{I}{\sqrt{p}} \sqrt{1 - p\phi(u)} \dots \dots \dots (14)$$

$$\phi(u) = \frac{(2 + \cos u) \sin u - (1 + 2 \cos u) u}{2\pi(1 - \cos u)^2} \dots \dots \dots (15)$$

u	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$\phi(u)$	0	0.007	0.015	0.023	0.03	0.038	0.047	0.054	0.061	0.07

此の場合の平均電壓降下 ΔE_d を求むると

$$\Delta E_d = \frac{\omega L I}{\frac{2\pi}{p}} = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cdot \frac{1 - \cos u}{2} \dots (16)$$

故にリアクタンス降下を考慮した場合には直流平均の電壓 E_d は

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} - \Delta E_d \\ &= \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} - \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cdot \frac{1 - \cos u}{2} \\ &= \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cos^2 \frac{u}{2} \dots \dots \dots (17) \end{aligned}$$

第25圖電壓曲線の太線の部分はインダクタンスの影響を考へた場合の直流電壓波形を示し、インダクタンスを無視した場合と比較すると斜線を施した部分だけ異なる。

$$\text{直流パワー } P = E_d I = \frac{\sqrt{2} E I \sin \frac{\pi}{p}}{\frac{\pi}{p}} \cos^2 \frac{u}{2} \dots (18)$$

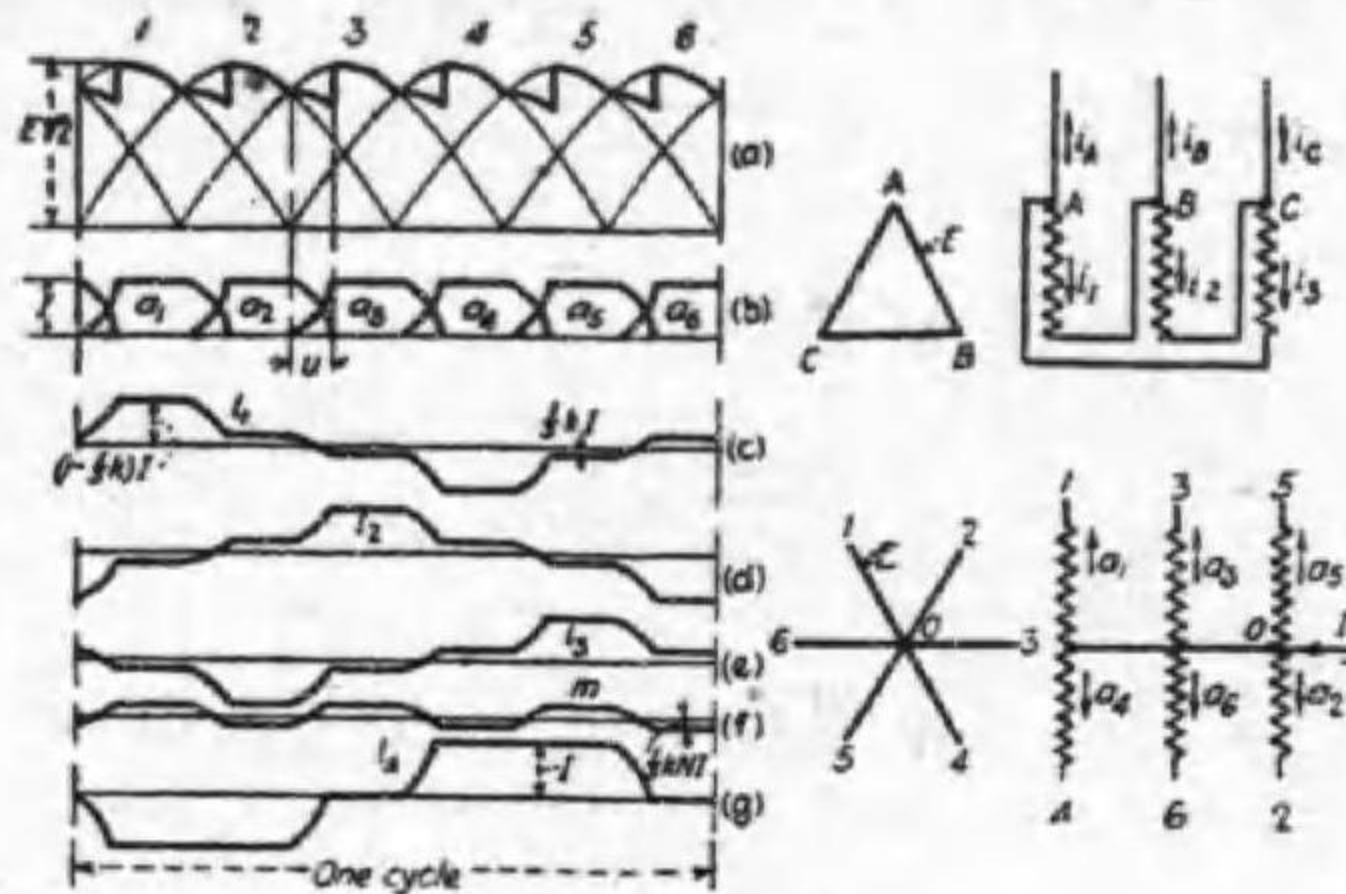
$$\text{變壓器二次容量 } P_2 = p E A = E I_a \sqrt{p} \sqrt{1 - p\phi(u)} \dots (19)$$

以上電流電圧の關係を導くに變壓器接続が二重星形六相の場合を考へたが多相整流器の接続では之れが一番簡單であるが廣く用ひられない。その外色々他の接続があり、二重星形よりも優れた點をもつてゐるものもある。

5. 一次△、二次二重星形接続

二重星形接続は整流器の六相結線としては最も簡單であるが變壓器の利用率が低いといふ缺點をもつてゐる。又電壓變動率も大で能率も低い。故に餘り用ひられない。

第26圖にその接続と電壓ベクトル圖及び電流曲線を示す。各陽極には $\frac{1}{6}$ サイクルの間だけ電流が



第 2 6 圖

流れる、無負荷の時直流平均電圧は

$$E_{d0} = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} = 1.35 E \dots\dots\dots (20)$$

負荷時の直流電圧は

$$E_d = 1.35 E \cos^2 \frac{u}{2} \dots\dots\dots (21)$$

重複角 u は

$$\cos u = 1 - \frac{IX}{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{6}} = 1 - 1.41 \frac{IX}{E} \dots\dots\dots (22)$$

負荷時の直流電圧降下 ΔE_d は

$$\Delta E_d = \frac{\sqrt{2} E \sin \frac{\pi}{6}}{\frac{\pi}{6}} \left(\frac{1 - \cos u}{2} \right) = 0.955 IX \dots\dots (23)$$

損失を含めた直流出力は

$$P = E_d I = 1.35 E I \cos^2 \frac{u}{2} \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{陽極電流 } A = \left(\frac{I}{\sqrt{6}} \right) \sqrt{1 - 6\phi(u)} = 0.408 I \sqrt{1 - 6\phi(u)} \dots (25)$$

$$\text{一次電流 } I_p = \left(\frac{I}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{1 - 6\phi(u)} = 0.577 I \sqrt{1 - 6\phi(u)} \dots (26)$$

$$\text{線電流 } I_L = \left(\frac{I\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \right) \sqrt{1 - 3\phi(u)} = 0.817 I \sqrt{1 - 3\phi(u)} \dots (27)$$

變壓器二次容量

$$P_2 = 6EA = 2.44 E I \sqrt{1 - 6\phi(u)} \\ = \frac{1.81 P \sqrt{1 - 6\phi(u)}}{\cos^2 \frac{u}{2}} \dots\dots\dots (28)$$

變壓器一次容量

$$P_1 = 3EI_p = 1.73 EI \sqrt{1 - 6\phi(u)} \\ = \frac{1.28 P \sqrt{1 - 6\phi(u)}}{\cos^2 \frac{u}{2}} \dots\dots\dots (29)$$

變壓器平均容量

$$P_{av} = \frac{P_1 + P_2}{2} = 2.09 EI \sqrt{1 - 6\phi(u)} \\ = \frac{1.55 P \sqrt{1 - 6\phi(u)}}{\cos^2 \frac{u}{2}} \dots\dots\dots (30)$$

線路から這入るヴォルト・アンペア

$$P_L = \frac{3EI_L}{\sqrt{3}} = 1.41E I \sqrt{1-3\phi(u)}$$

$$= \frac{1.045P \sqrt{1-3\phi(u)}}{\cos^2 \frac{u}{2}} \dots \dots \dots (31)$$

線路力率

$$P.F = \frac{P}{P_L} = 0.955 \frac{\cos^2 \frac{u}{2}}{\sqrt{1-3\phi(u)}} \dots \dots \dots (32)$$

6. 一次Y、二次二重星形(三次捲線を有す)

變壓器リアクタンスを無視した場合は第3節に述べた。第27圖はリアクタンスを考慮した場合で(a)は直流電圧波形、(b)は陽極電流、(c)(d)(e)は一次電流を示す、一次電流は(10)式で示されるから之を書換へて

$$i_1 = -a_1 + a_4 + \frac{1}{3}(a_1 + a_3 + a_5 - a_2 - a_4 - a_6)$$

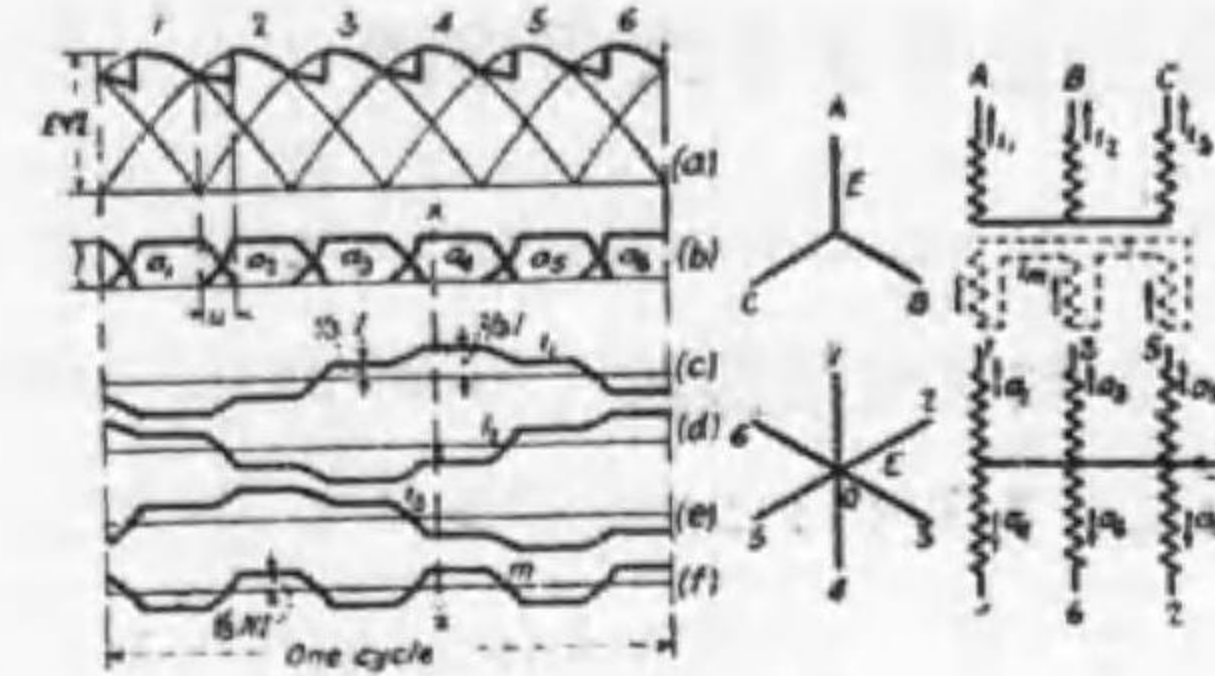
$$i_2 = -a_3 + a_6 + \frac{1}{3}(a_1 + a_3 + a_5 - a_2 - a_4 - a_6)$$

$$i_3 = -a_5 + a_2 + \frac{1}{3}(a_1 + a_3 + a_5 - a_2 - a_4 - a_6)$$

とす、之からわかるやうに一次には各相共に

$$\frac{1}{3}(a_1 + a_3 + a_5 - a_2 - a_4 - a_6)$$

なる電流が同時に流れ之れによつて變壓器鐵心に惹起される漏洩磁束が非常に大になり直流側の電圧降下も大になる。第27圖點線に示すやうに△に接続した三次捲線をもつておれば、三次捲線内に



第 2 7 圖

$$i_{\Delta} = \frac{1}{3}(a_1 + a_3 + a_5 - a_2 - a_4 - a_6)$$

なる電流を生じ一次電流による

$$\frac{1}{3}(a_1 + a_3 + a_5 - a_2 - a_4 - a_6)$$

が作るアンペアターンを打消して漏洩磁束を無くすることが出来る。

$$\text{陽極電流 } A = \frac{I}{\sqrt{6}} \sqrt{1-6\phi(u)} \dots \dots \dots (33)$$

$$\text{直流電圧 } E_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E \cos^2 \frac{u}{2} \dots \dots \dots (34)$$

$$\text{一次電流 } I_p = I \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{1-3\phi(u)} \dots \dots \dots (35)$$

$$\text{三次電流 } I_{\Delta} = \frac{I}{3} \sqrt{1-12\phi(u)} \dots \dots \dots (36)$$

$$\text{變壓器一次容量 } P_1 = 3EI_p = EI \sqrt{2} \sqrt{1-3\phi(u)} \dots (37)$$

$$\text{變壓器二次容量 } P_2 = 6EA = EI \sqrt{6} \sqrt{1-6\phi(u)} \dots (38)$$

$$\text{變壓器三次容量 } P_3 = 3EI_{\Delta} = EI \sqrt{1-12\phi(u)} \dots \dots (39)$$

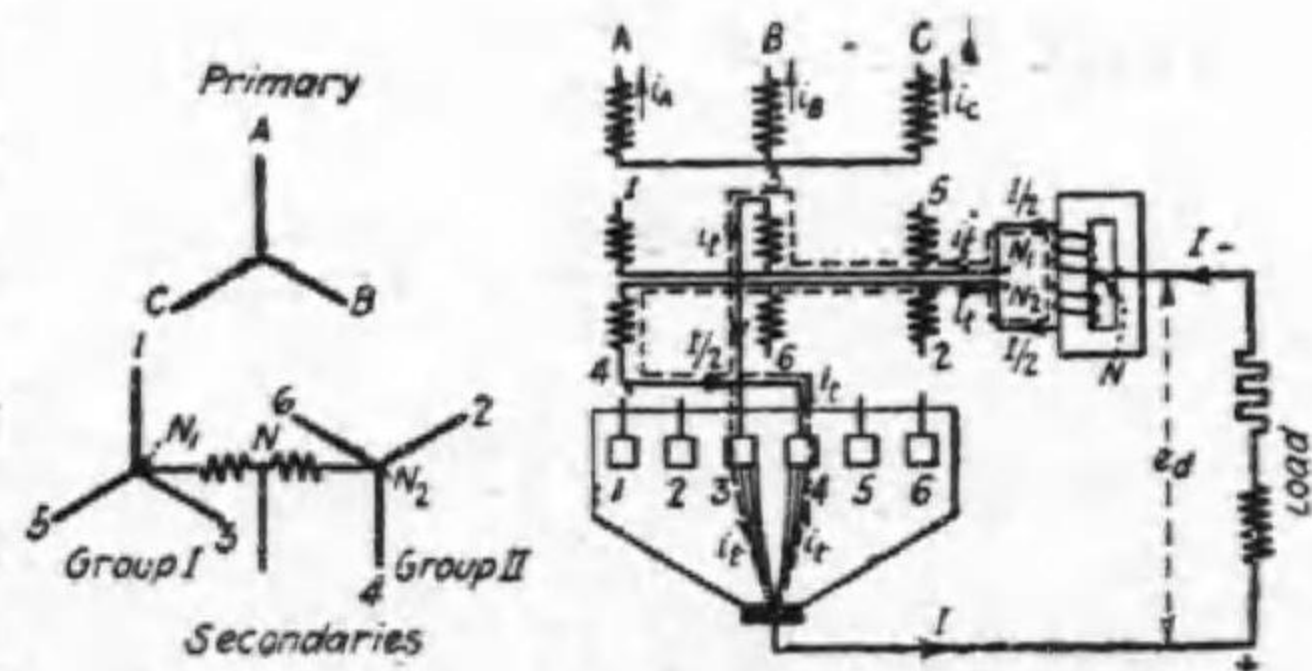
$$\text{力率 } P.F = \frac{P}{P_1} = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\cos^2 \frac{u}{2}}{\sqrt{1-3\phi(u)}} \dots \dots \dots (40)$$

7. 相間変圧器を有する六相接續

相間変圧器 (Interphase transformer インターフェーズ、トランスフォーマー) は又吸収線輪 (Absorption reactance coil アブソープション、リアクタンス、コイル)とも云ふ。此の接続にすれば整流器は2箇の三相整流器が並列になつたと同様に作用し、而も電圧波形は六相式と同じ波形になる。整流器が三相式として働けば各陽極は1サイクルの $\frac{1}{3}$ だけ作用し変圧器の利用率が大きくなる。相間変圧器を有するための利點は次の通りである。

1. 変圧器の利用率が大きくなる。
2. 電圧降下は相の數に比例するから、整流器の電圧變動率がよくなる。
3. 陽極電流の最大値が小さくなり整流器の中のアーク電壓降下を小さくする。

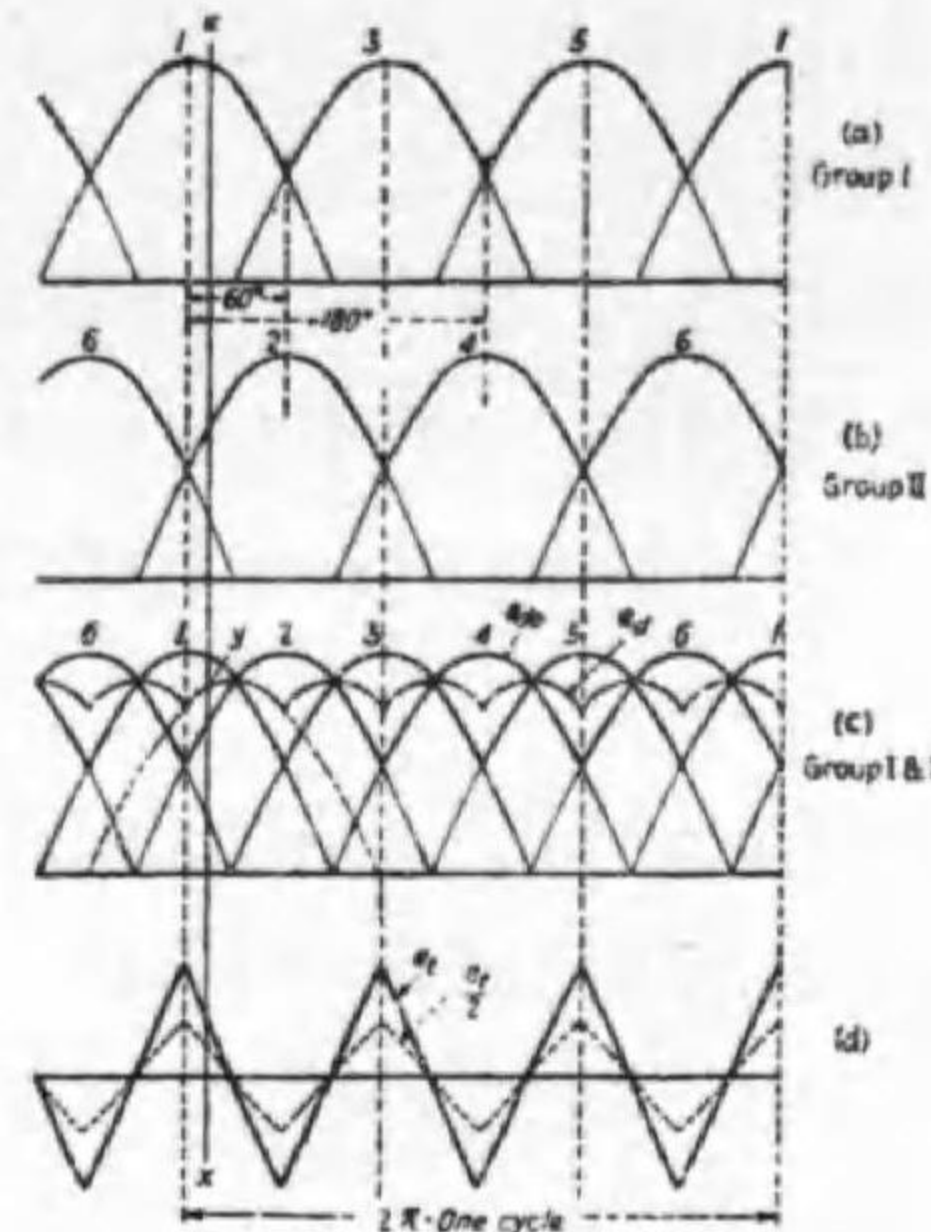
第28圖に吸収線輪をもつた變壓器の接続を示す。變壓器二次は2箇のY結線が吸収線輪によつて並列につながれてゐる。1と4のコイルは同じ鐵心に捲いてあつて、その電圧は位相が互に 180° 異なる。従つて1, 2, 3, 4, 5, 6の相電圧には 60° 宛の位相差が出来る。吸収線輪を用ひなければ、2箇の三相の中性點を直接つないで之を直流側の一極として使ふから變壓器二次は二重星形六相結線となる。若し二つ



第 28 圖

第29圖に吸収線輪をもつた變壓器の接続を示す。變壓器二次は2箇のY結線が吸収線輪によつて並列につながれてゐる。1と4のコイルは同じ鐵心に捲いてあつて、その電圧は位相が互に 180° 異なる。従つて1, 2, 3, 4, 5, 6の相電圧には 60° 宛の位相差が出来る。吸収線輪を用ひなければ、2箇の三相の中性點を直接つないで之を直流側の一極として使ふから變壓器二次は二重星形六相結線となる。若し二つ

の三相式の中性點Nを切離して、各々を獨立の三相式として使へば、各陽極は $\frac{1}{3}$ サイクルの間電流をとる。二つの三相式の直流電圧波形は第29圖(a)(b)のやうになる。此の圖から正弦波の



第 29 圖

最大値の點は1, 2, 3, 4, 5, 6の相で互に 60° 宛離れてゐることがわかる。

次に此の二つの三相式を吸収線輪で連絡すれば、此の二つは並列に働き、吸収線輪は兩三相式の電圧を均一にする役目をなす、吸収線輪を用ひたため直流電圧波形は(c)の點線eaで示したやうになる。二つの三相式の間にも(c)の太線で示すやうに

電圧差があるから、並列につなぐためには吸収線輪で此の差を無くせねばならぬ。此の電圧の差をとつて曲線に示せば(d)圖の實線のやうになる。點線はその電圧の差の半分を示したものである。二つの三相電圧を均一にして、中性點Nの電位を並列に作用してゐる二つの陽極に對して同じ電位にするためには電位差の半分は第28圖のNN₁捲線により吸収され、残りの半分はNN₂捲線によつて吸収されねばならぬ。此の時、N點の電位はN₁の電位とN₂の電位との中間にある。此の結果整流器(+)(-)兩極間の電圧は(c)圖のeaで示す曲線になる。これは二つの三相式の相電壓の中間に引いた曲線である。

次に、吸収線輪の作用を説明する。そのため、第29圖のx-x點で變壓器が勵磁されて陽極1に電流が流れたとする。陽極電

流が増すに従つて N_1N 捲線は吸収線輪の鐵心に磁束を作る。そのため N_1N_2 捲線に電壓を誘起し NN_1 と NN_2 とはコイルが差働捲になつてゐるから(c)圖に示すやうに第一群1, 3, 5の電壓は $\frac{e_t}{2}$ だけ降下し、第二群2, 4, 6の電壓は同量だけN點に對して上昇する。従つて陽極1と陽極2の電位が等しくなり、此の二つを並列につなぐことが出来る。同様に第一、第二の三相群の陽極は次々に同じ電位になり此の二つを並列につなぐことが出来る。二つの三相變壓器のインピーダンスが等しければ負荷電流は兩方に一樣に分擔される。

電壓變動率 吸収線輪は上に述べたやうに、二つの三相式を並列につないで六相式と同じやうな直流電壓波形が得られ、而も變壓器の利用率が大きとなり、尙單純な六相式の場合よりも電壓變動率がよくなるといふ利點があるが、輕負荷では、吸収線輪に十分な電流が流れないため鐵心を十分磁化することが出来ない。そのため二つの三相式を満足に並列運轉するやうな電壓を起すことが出来ず、整流器は單なる六相式の直流電壓として

$$E_{d0} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} E = 1.35E$$

が得られる。二つの三相並列の六相式では陽極が 120° の間作用するから、三相式の場合と同じやうに直流電壓として

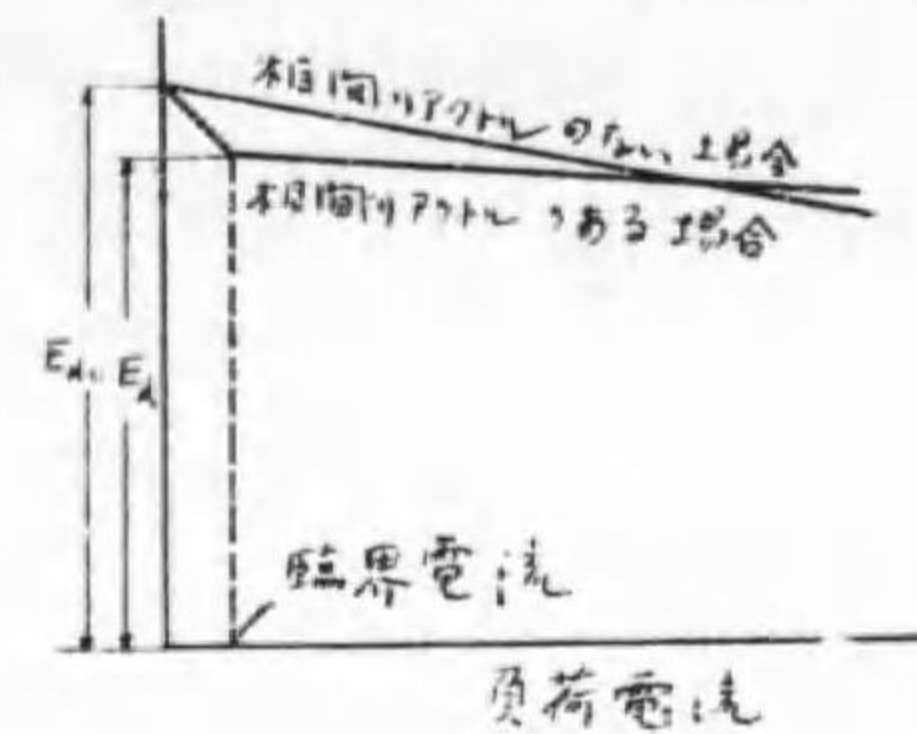
$$E_d = \frac{3}{2} \frac{\sqrt{6}}{\pi} E = 1.17E$$

になるから輕負荷になつて吸収線輪が作用せなくなると電壓が上昇する。負荷が増加すると磁化電流も次第に増加して吸収線輪に電壓が現はれて来る。十分な磁化電流が流れるやうになつた時の負荷電流を臨界負荷 (Critical load クリチカル ロード) と稱す。

無負荷から臨界負荷に移る時の電壓變動率は

$$\frac{E_{d0} - E_d}{E_d} = \frac{1.35E - 1.17E}{1.17E} = 15.4\%$$

臨界負荷から負荷が減少すると電壓が昇るから此の電壓を受けてゐるランプを焼いたり、器具を破損したりする。相間變壓



第 30 圖

やうに急激な變化はない。

器に第三高調波電流を外部から送つて常に勵磁しておけば此の電壓上昇を防ぐことが出来る。

相間リアクトルを有せざる時は第30圖に示すやうに負荷の増加と共に電壓は次第に降下し、相間リアクトルを有する場合の

第五章 水銀整流器の特性及運轉

1. 化 成

整流器が運轉に入る前には弧光及び眞空に曝される部分に吸着せられてゐるガス、水蒸氣、油その他の不純物を放逐する必要がある。この操作を化成 (Formation フォーメーション) と云ふ。硝子製整流器に於ては化成はすべて製作の際に行はれるが、鐵製のものでもその大部分を製作の際に行ふもので、排氣しながら器體を規定の温度以上に温め、定格の負荷に於て眞空の下らぬやうにする。従つて實際運轉の場合には各部分の温度

が化成時の温度以上に昇らぬやうに注意しなければならぬ。ある時間運轉した後何等かの理由で整流器を開蓋して真空を破つた場合にも化成が必要である。化成は變壓器の化成用タップ或は化成變壓器を用ひて 50~90V. の低壓で行ふのが普通であるが、低壓化成の終つた後に使用電壓によつて所謂高壓化成を行ふことも必要である。

2. 運轉中の注意

整流器の靜止器であるから摩耗の心配はないが、次の注意を要する。

(1) 冷却水による腐蝕 使用電壓の高いとき冷却水の電氣抵抗が低い程器面の腐蝕が著しいから、なるべく高い水を使用すると共に絶縁を完全にしなければならない。又水質を軟化清淨し水管系の詰りを點檢せねばならぬ。悪水は電氣化學的淨化が必要である。

(2) 絶縁物の汚損 長年月使用の時は器體内部の絶縁物が鐵の薄層で覆はれることがあり、これは絶縁破壊の原因となるから數年毎に之を除かねばならぬ。

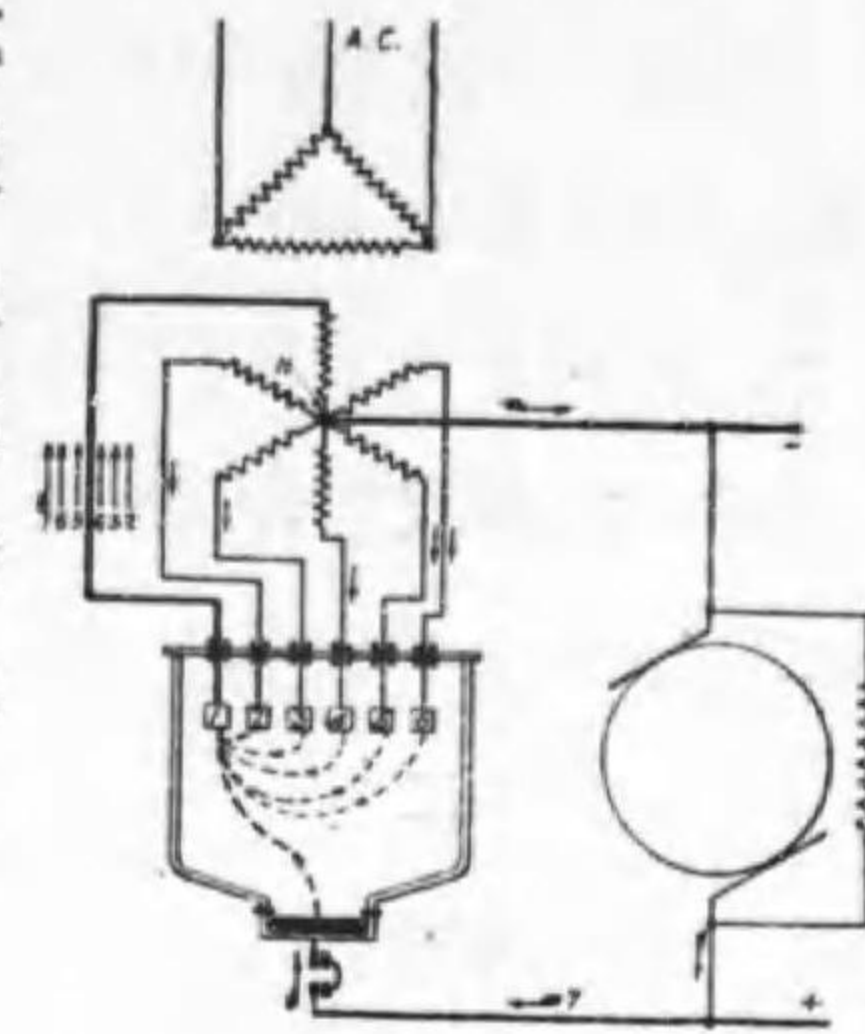
(3) 真空の監視 高真空を保つことは整流器の生命であるから、真空ポンプに對する監視を怠らぬと共にパッキングの箇所は屢々點檢する必要がある。

(4) 冷却水の調節 温度を常に適當の範圍に保つために冷却水の調節を怠ることは出来ない。

3. 逆 弧

1 筒或は數筒の陽極に陰極點を生じ、陽極が陰極のやうに作

用して水銀弧光の瓣作用が失はれる現象を逆弧 (Back fire バックファイアー) といふ。この時電流は各陽極から直接に逆弧を起した陽極に向つて流れ(第31圖)、變壓器捲線の抵抗及びリアクタンスのみで制限される大電流を生じ、變壓器に對しては相間短絡と同一の結果を與へる。この現象が數秒も繼續するときは遂に全相短絡の如き状態となつて整流器及び變壓器に多大の損傷を與へるから、逆弧を生じた場合には電源をなるべく速に遮斷する必要がある。



第 31 圖

逆弧の原因としては過負荷電流、内部真空の劣化等が挙げられるが、更に複雑な原因に基くことが多い。逆弧を防止する決定的の方法は見出されてゐない。而し如何なる整流器でも電壓、電流が或程度以上になれば逆弧は免れぬものであつて、整流器の定格は今日に於ては逆弧を生ずる極限として定められる。

4. 並 行 運 轉

整流器の並行運轉を行ふ場合に負荷の分配は變壓器の特性及び整流器の弧光電壓によつて定まる。而して通常は逆流の虞がないから電源が同一でなくても、また周波数が異つてゐても並行運轉は可能である。

廻轉變流機との並行運轉はこれに分捲特性を與へておけば可能である。廻轉機は低負荷及び過負荷の時能率が低下するからこれ等は常に全負荷附近で運轉し、負荷の變動は整流器にとら

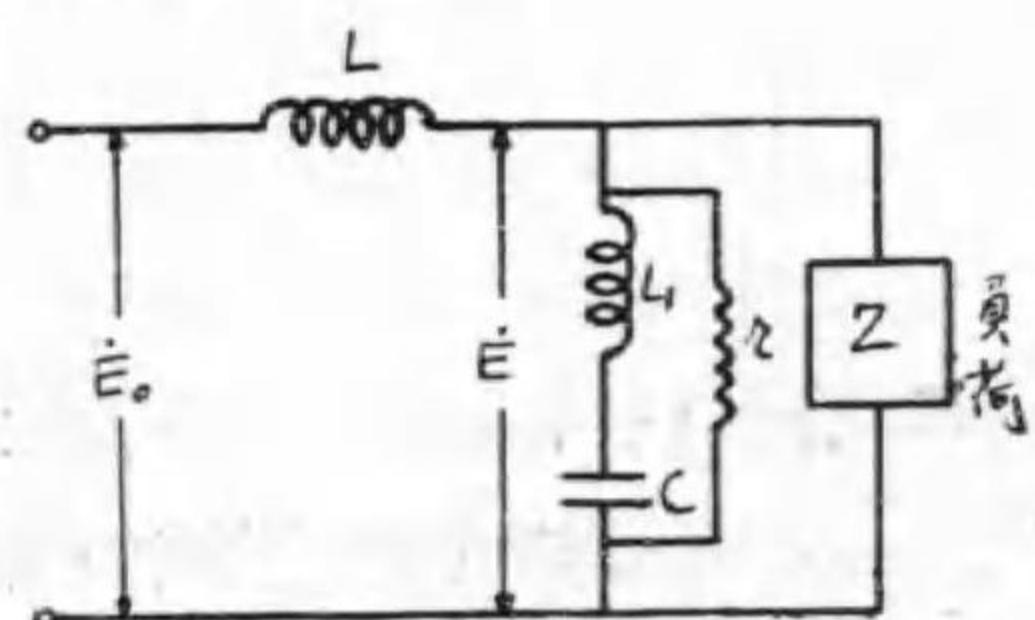
せるやうにするのが普通である。

5. 濾 波 装 置

電源の周波数を50サイクルとすれば直流側に発生する脈動電圧の周波数は300サイクルを基本波としてその整数倍の高調波を、又60サイクルとすれば360サイクルを基本波としてその整数倍の高調波を含有する。而して交流分の振幅は周波数の増加に伴ひ減少するものであつて普通濾波装置を施すべき高調波は

50〜に對し	60〜に對し
300	360
600	720
900	1080
1200	1440
1500	1800

迄とされてゐる。



第 3 2 圖

濾波装置 (Wave filter ウ

ェブ フィルター)も理論上は色々あるけれども最も一般に採用されてゐるものに就き説明する(第32圖)。

交流分に就きキルヒホッフ

の法則を適用すれば

$$\dot{E}_0 = \dot{E} + \left\{ \frac{\dot{E}}{Z} + \frac{\dot{E}}{j\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C}\right)} \right\} \times j\omega L$$

$$\therefore \frac{\dot{E}}{\dot{E}_0} = \frac{1}{\left\{ \frac{1}{Z} + \frac{1}{j\left(\omega L_1 - \frac{1}{\omega C}\right)} \right\} \times j\omega L + 1}$$

$$\omega L_1 = \frac{1}{\omega C} \text{ とすれば}$$

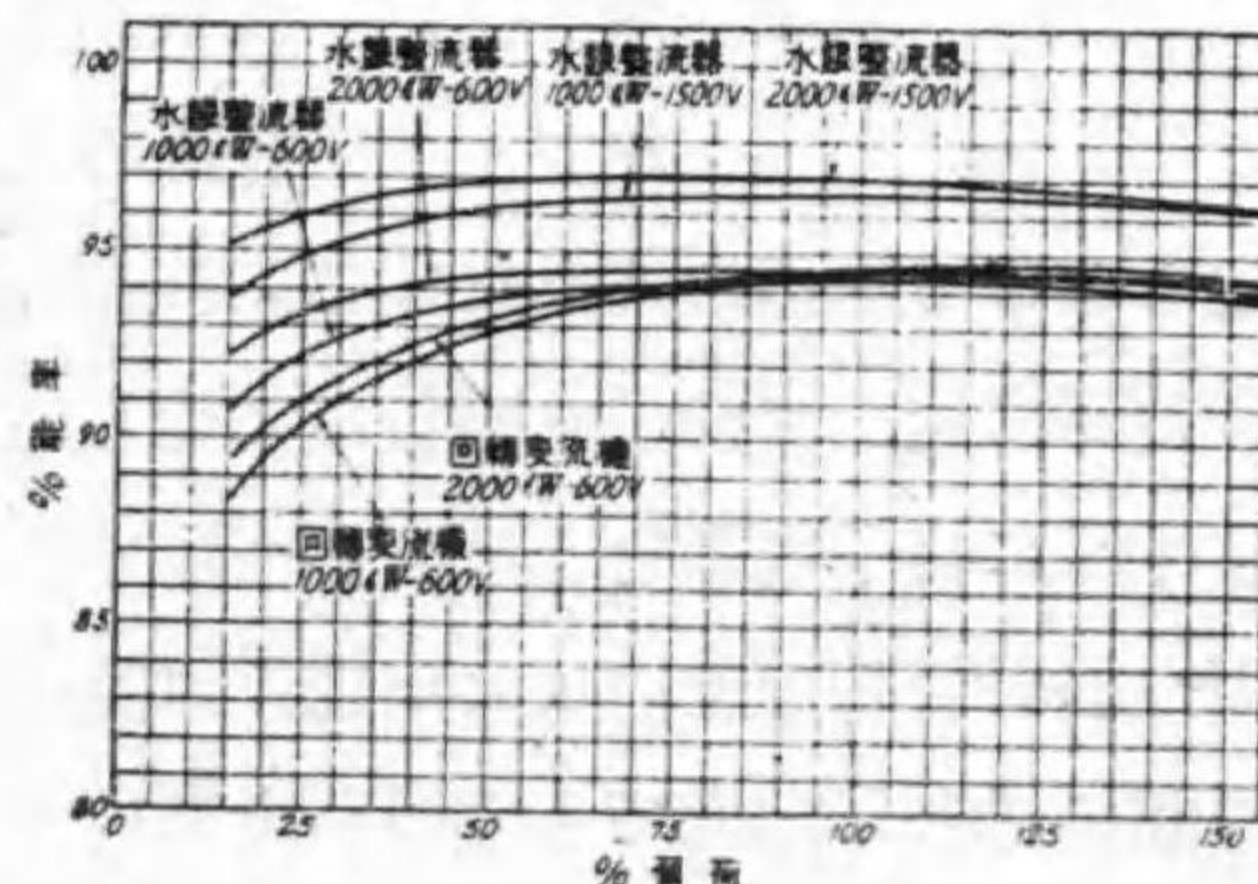
$$\frac{\dot{E}}{\dot{E}_0} = 0$$

となり完全に高調波電圧を吸収せしむることが出来る。而し實際には各部に抵抗があり且つ色々の事情により完全なる吸収は望まれない。従つてLなる直列リアクターを用ふ。このL₁とCから成る共振分路は主なる調波に對して数箇並列に使用し通例3~5箇を用ふ。

尙共振分路を閉づる時は振動現象を生じ且つ瞬時の過大電流を生ずる事があるから始動抵抗を一時挿入し數秒後之を繼電器によつて自動的に短絡する装置を附してあるのが普通である。

6. 損 失 並 に 能 率

水銀弧光を維持するために要する電圧即ち弧光を有する陽極と陰極との間の電圧を弧光電圧といふ。整流器内の氣體壓力が水銀柱で0.01mm以下、水銀蒸氣壓力が0.1mmの程度に於て弧光電圧は極小となり、その値は20V.前後である。これ



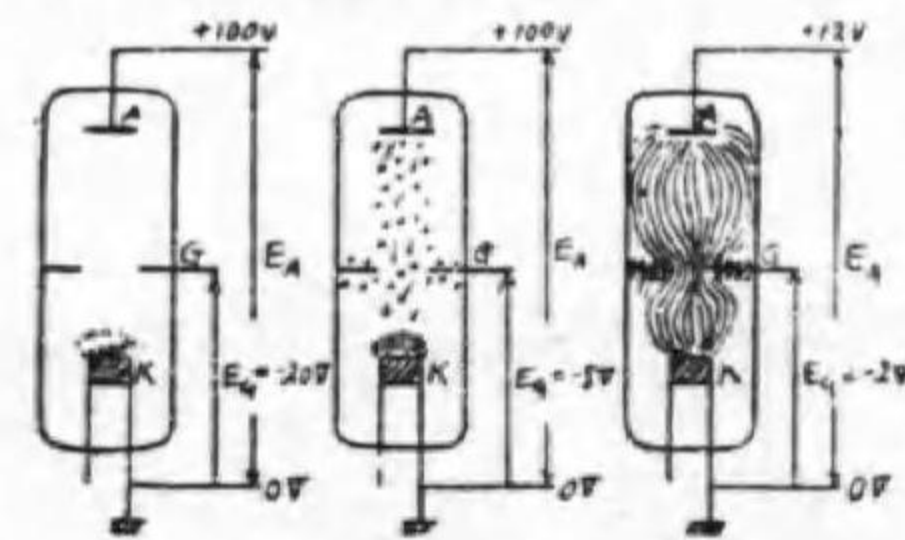
第 3 3 圖

が整流器の損失の大部分であつて、而もこの値が整流電圧及び電流に無關係に殆んど一定であることが水銀整流器の特徴である。故に水銀整流器の能率は整流電圧の高い程高く、輕負荷に於ても能率は低下しない。故に電氣鐵道のやうに負荷の變動の多い場合に使用せられる一つの理由である。第33圖は變壓器も含めて整流器の能率と廻轉變流の能率を比較したものである。

第六章 格子制御水銀整流器

1. 格子制御の原理

熱陰極整流管に就て格子制御 (Grid control グリッドコントロール) の機構を説明する。陽極Aと電流により熱せられた陰極Kとの間に格子Gを置く(第34圖)。陽極に格子に対して正電位例へば100V.を加へ、格子が陰極に対して-20V.の電位に保たれてゐるとする。然る時は陰極から放出される熱電子は格子の制動電界のために格子と陰極との間を



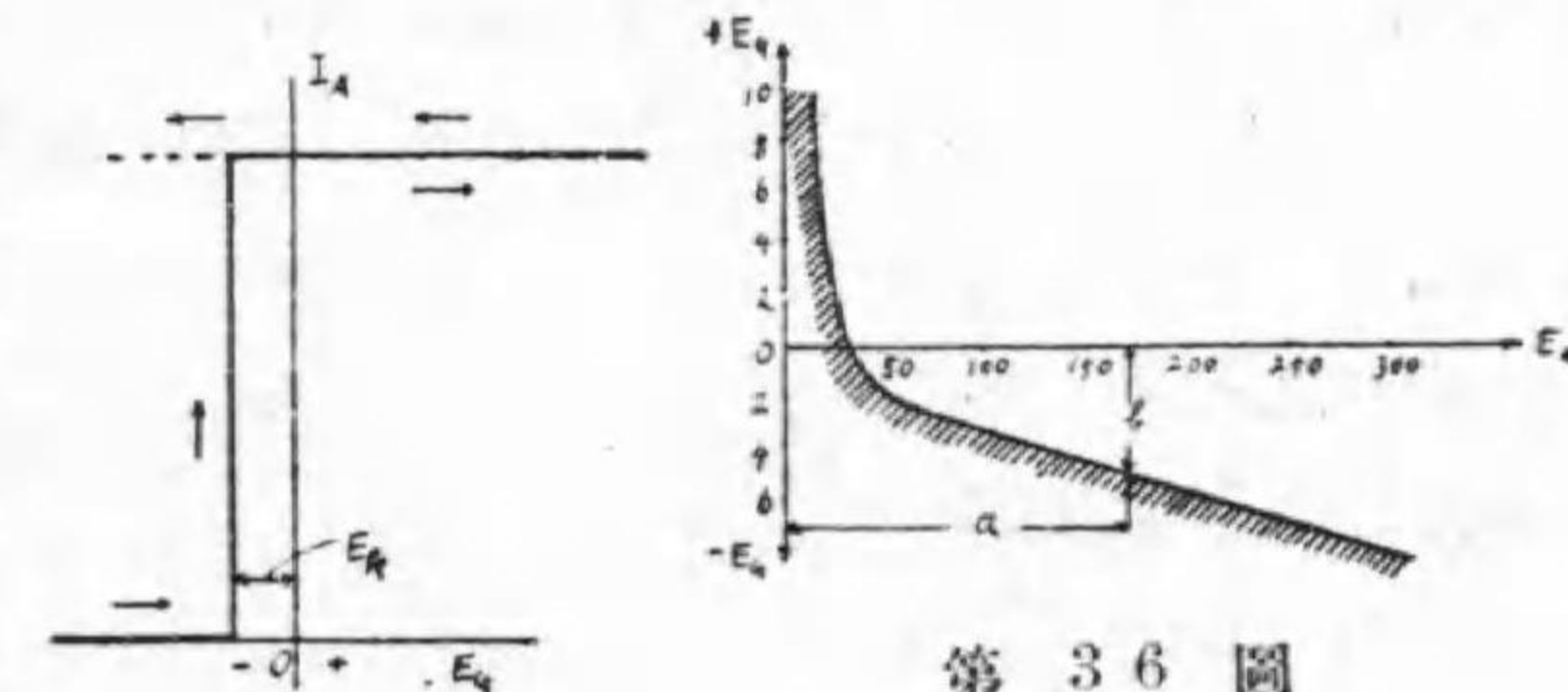
第 3 4 圖

走らないで陰極の周りに集る。只初速度の大きい電子だけが制動電界に逆つて格子を突抜けて走るものがある。次に(b)に示すやうに格子電圧を上げて例へば-5V.にすれば電子は格子の方へ移動し初速度の大きい電子は格子を突抜けて陽極と格子との間に進入し此處で水銀蒸氣を電離する。格子の負電圧を小さくすれば電子が中性分子に衝突する時のエネルギーが大にな

り、陽極と陰極との間に澤山のイオンを生じ遂には陽極と陰極との間に電弧を發生するに至る。此の有様を(c)に示す。而して端子電圧と外部抵抗によつて定まる電流が流れる。此の時陽極電圧は電弧を維持するだけの電圧に下がり12V.乃至15V.位になる。格子の働きとしては、陽イオンが格子に向つて流れ之を包むことが大切である。格子を陽イオンで被へば最初に格子が作つてゐた電界は遮蔽されるから、格子は放電に對して最早作用しなくなる。格子が陽イオンで被はれた時に格子の負電圧を高めても陽極電流には影響はないが、格子をとり捲いてゐる陽イオンの厚さが變はる。電弧が一度發生した後では格子の作用は止む。故に電流は格子電圧に無關係に端子電圧と負荷抵抗によつて定まる。格子を包む陽イオンが消えた時、即ち電流が零になつた時、始めて格子が作用する。交流の時は半サイク

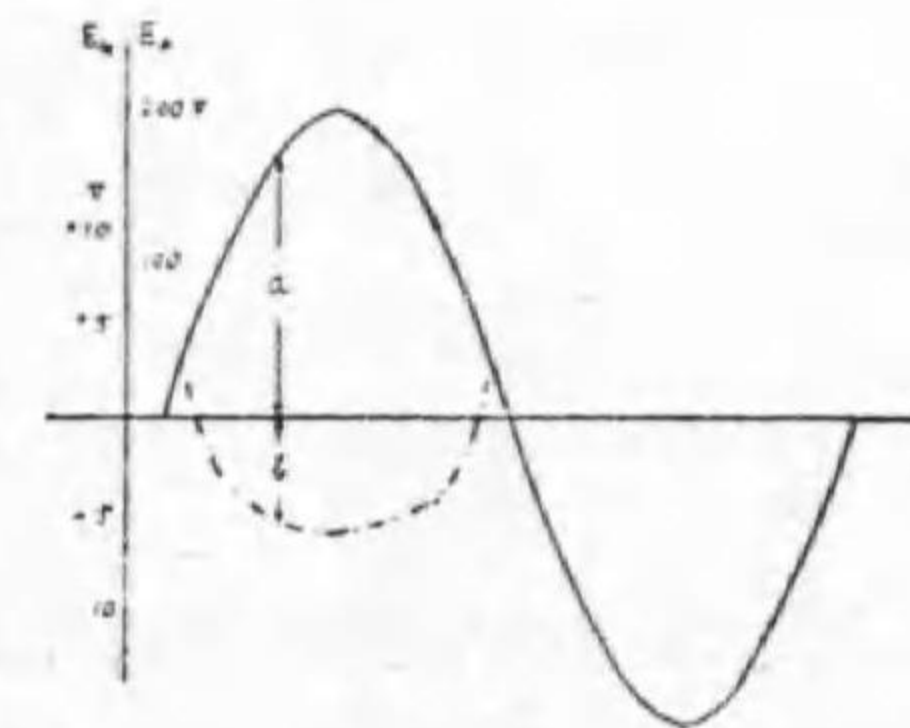
ル毎に電流が零になるから格子制御が出来る。

水銀蒸氣整流管の格子電圧と陽極電流



第 3 5 圖

との關係は第35圖で示される。一定の陽極電圧の時格子電圧が臨界電壓 E_k 以上になると電流が流れ始むる。此の時電流の値は電圧と外部抵抗とで決定される。電流が流れてゐる時格子電圧を正或は負



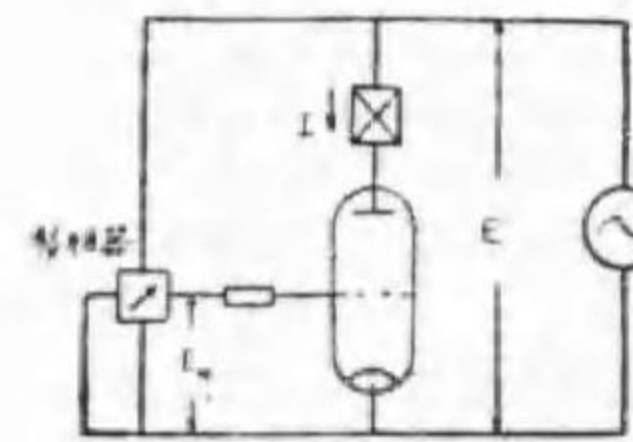
第 3 7 圖

の方に變へても電流の値は變らぬ。第36圖に臨界電壓 E_k と陽極電壓 E_A との關係を示す。之に依ると整流管は、例へば格子の負電壓 5V. で陽極電壓 170V. の時電流を止めることが出来る。第37圖に示すやうな正弦波交流電壓を整流管に與ふれば陽極電壓 e_A の或臨時値 a に對して臨界電壓 b がある。之は第36圖から求められる。格子電壓が斜線を施した部分にある間は電弧は發生しない。格子電壓波が臨界電壓曲線を切る時その交點から電弧が起る。

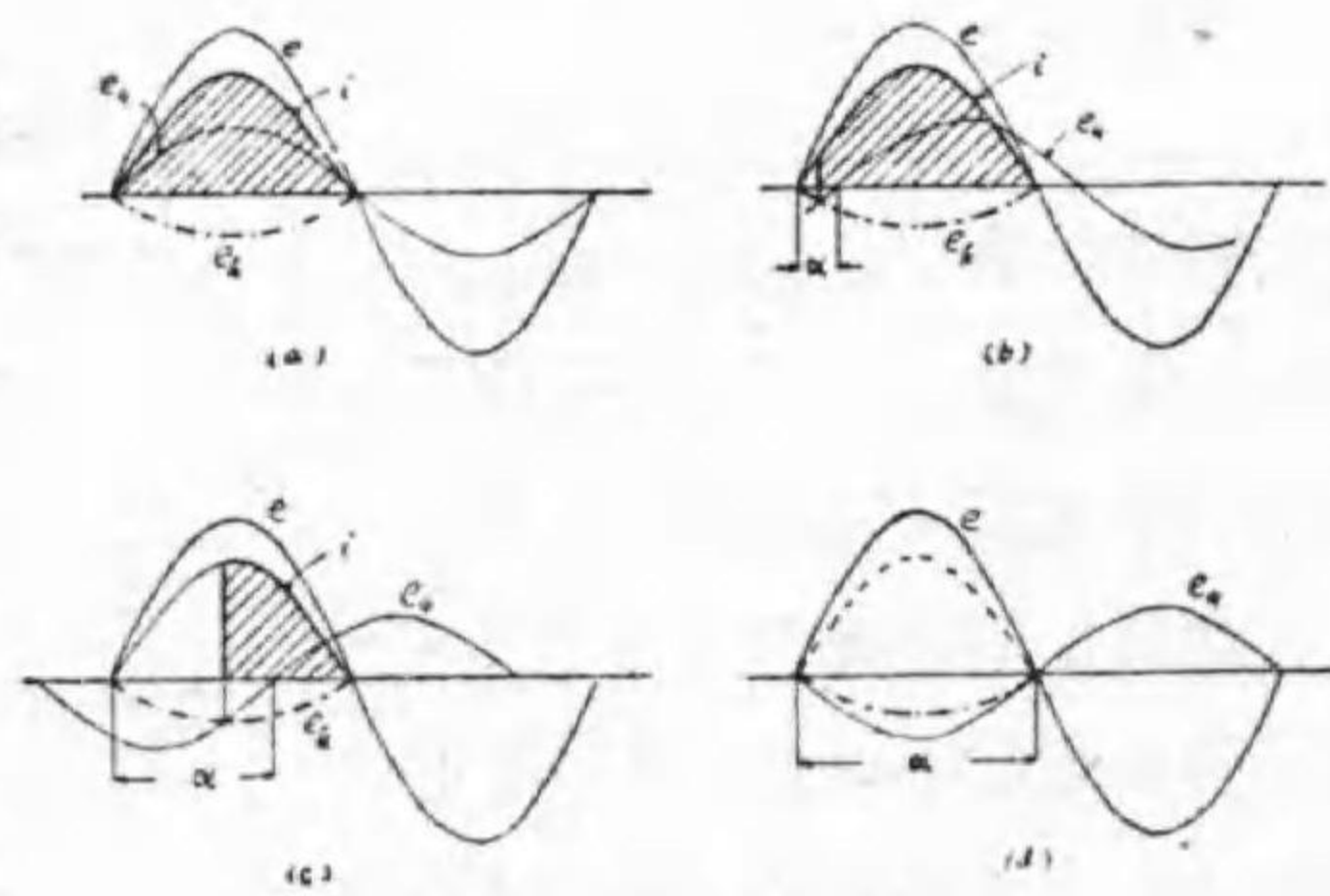
2. 交流による制御法

ツーロン (Toulon) の考案による制御法を第38圖に示す。陽極電壓 E_A に對して格子電壓(交流電壓) E_G の位相を變へることによつて電壓調整を行ふ。 E_G と E_A が同じ位相にある時は、放電管は正の半サイクルだけ作用し、負の半サイクルの間は、 E_G が臨界電壓よりも小さいから作用しない(第39圖 a)。I は陽極電流を示す。

E_G の位相を E_A から α だけ遅らすれば b に示すやうに e_k と



第 38 圖



第 39 圖

e_G との交點から電流が流れ始め負荷抵抗と電壓 E_A によつて定まる電流が流れる。此の時も彼の半サイクルでは電流は流れな

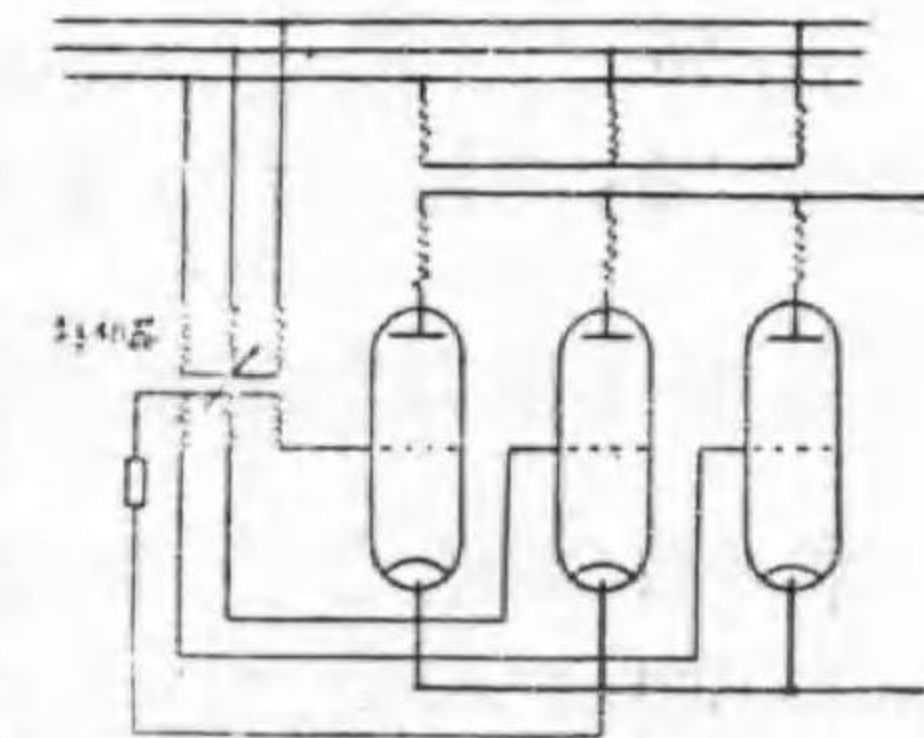
い。格子電壓を更に遅らせて (c) のやうにすれば e_G と e_k との交りが遅れて電流 I の平均値が小さくなる。次に (d) のやうに e_G と e_k が全く反對位相になるやうにすれば e_G が e_k 以下になるから此の時は陽極電流は流れない。第39圖は簡單のために負荷を無誘導抵抗負荷と假定したが誘導負荷の場合にも無誘導抵抗負荷の場合と同様に調整出来る。

陽極電流を半サイクルの値から零まで調整するに大なる水銀整流器に於ても簡單な装置で出来る。

格子と陰極及び格子と陽極の間には静電容量があるから格子が電流を止めてゐる間は極めて僅かの容量電流が流れる。格子が働いて電流を通してゐる時は格子電流は格子に加へる交流電壓と格子回路に入れた高抵抗によつて定まるが、抵抗が大であるから此の値も非常に小さいものである。格子制御に要する電力は小さい整流管で 1mW. 大きい整流管で 10W. 位である。1000kW. の整流器で 20W. 位を要す。

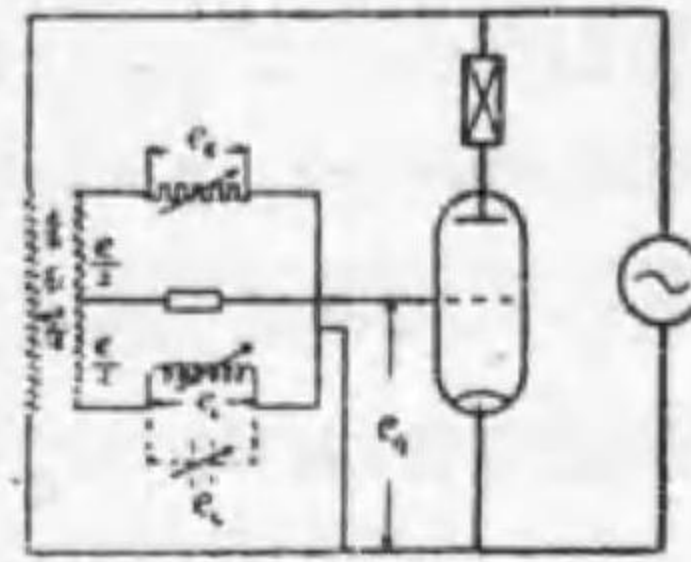
第40圖に三相電壓の移相装置 (Phase shifter フェーズ・シフター) を示す。三相變壓器を用ひ、一次に對して二次を廻轉し得る構造になつてゐる。固定子に對して廻轉子を 360° 廻はせば陽極電壓に對して格子電壓の位相を 360° 變へることが出来る。

單相の時は第41圖の接続による。變壓器二次に抵抗 R 及びインダクタンス L 又はコンデンサー C をつなぎブリッジ接続にする。抵抗又はインダクタンスを變へると格子電壓ベクトル E_G の端は變壓器二次電壓 E を直径とする圓の上を變

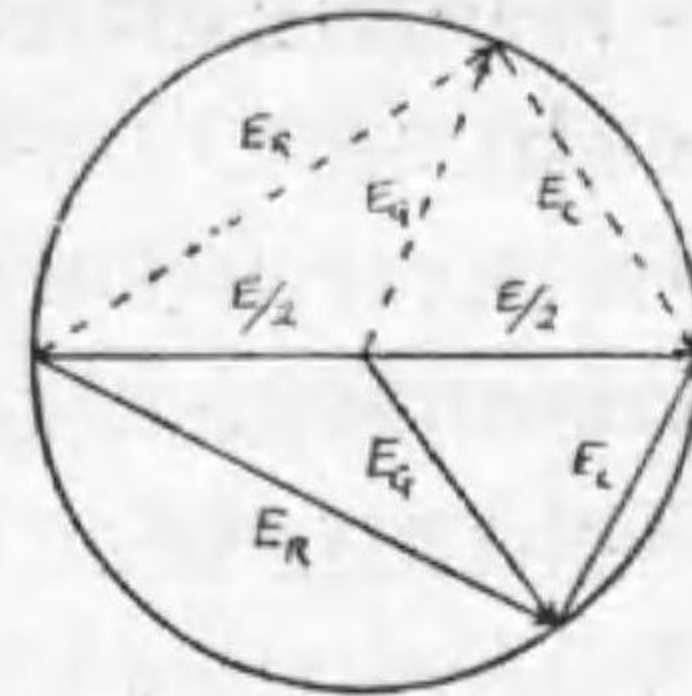


第 40 圖

はる。(ERとEC又はERとELとは常に直角でなければならぬからである。)ベクトル図からわかるやうに抵抗を0から∞まで

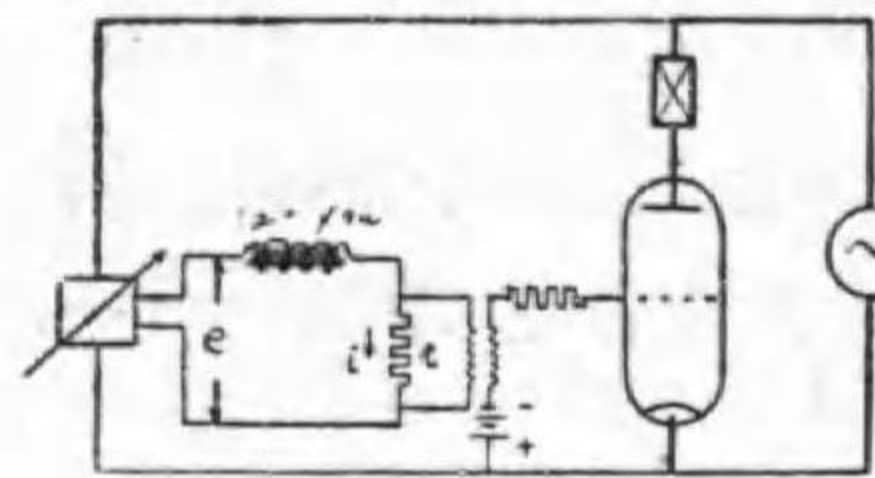


第 41 圖

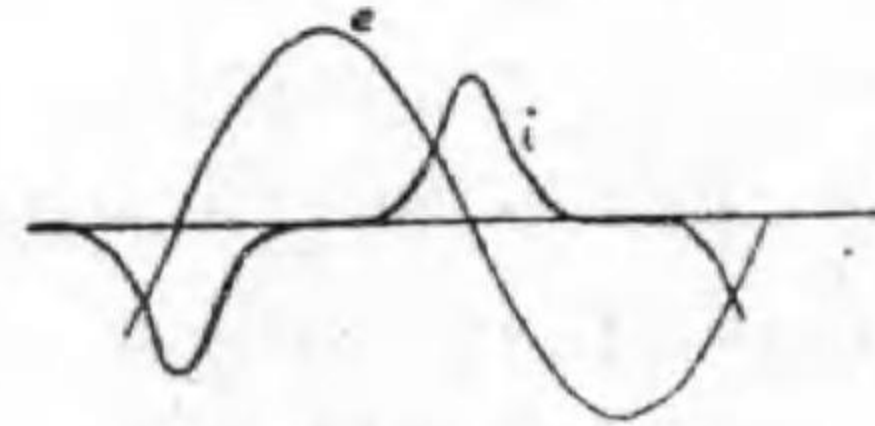


第 42 圖

變へるに従ひ EG の位相も連続的に 0° から 180° まで變はる。電圧を確實に制御するためには、格子に加へる電圧が正弦波形のものよりも出来るだけ急峻なものがよい。かやうにする時は格子電圧と臨界電圧との交點が精確に定まる。第43圖に格子電



第 43 圖



第 44 圖

波形を急峻にする方法を示す。インダクタンス・コイルの心に導磁率の高いミュー・メタル(鐵・ニッケル・銅の合金)を用ひ、之を飽和して用ふ。鐵が飽和してゐると勵磁電流 i の波形が第44圖に示すやうに尖頭波形になる。之が抵抗 r を流れ、ir なる電圧が變壓器を通して格子に加へられ、直流負電壓

と重疊する。電圧の位相は移相器によつて變へる。

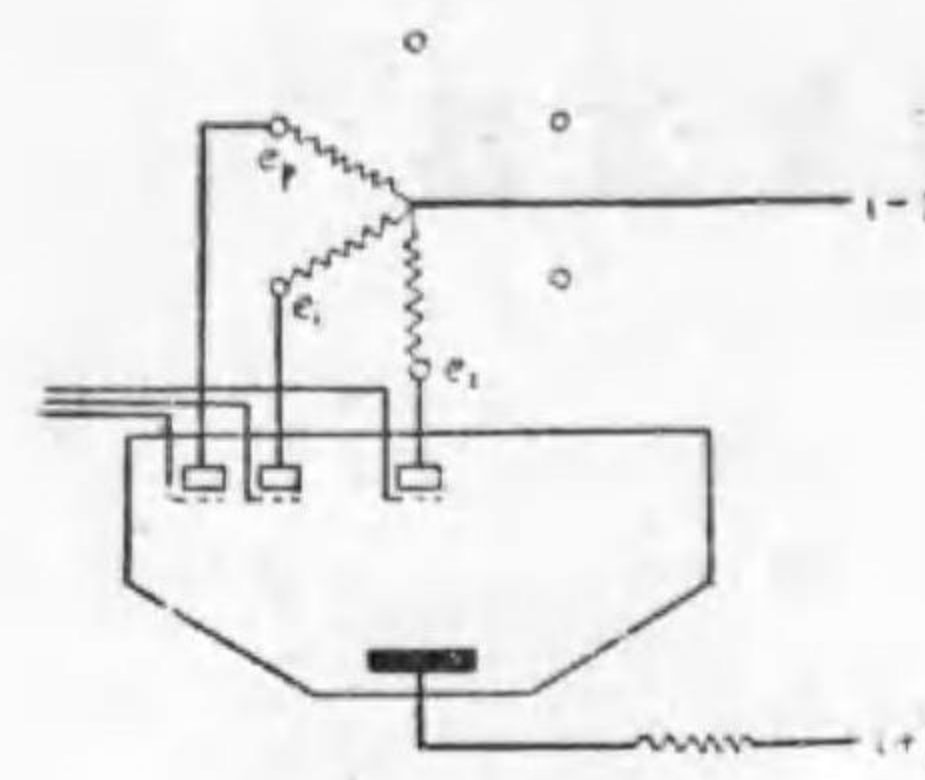
3. 格子制御水銀整流器の直流電壓

一番簡単な場合を考へ負荷が無誘導抵抗負荷とする。整流器が p 箇の陽極 (p=2, 3, ...) を有し、之に對稱 p 相式の相電壓 e1, e2, …, ep が加へられてゐるとする(第45圖)、電壓波形は第46圖

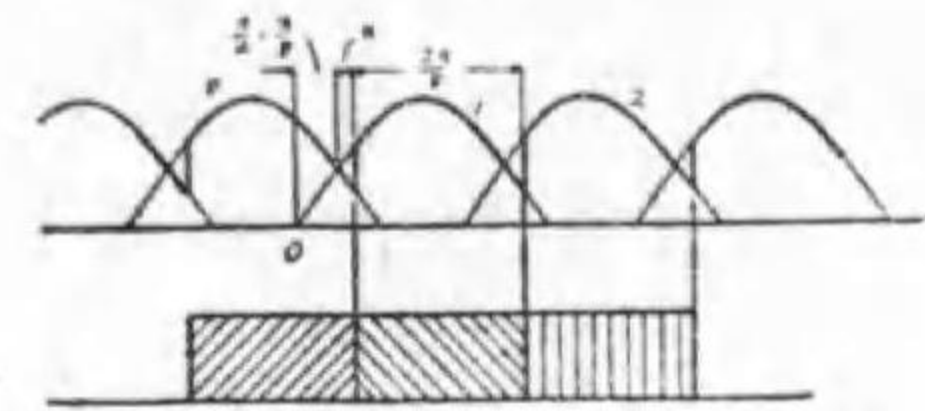
のやうになる。此の時直流側電流は一定電流(第46圖陰線を施したもの)とする。格子制御しない時は電弧は陰極に對して電位の高い方の陽極に移る。即ち陽極 1 は $x = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p}$ から

$$x = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p}$$

まで作用する。格子制御により陽極の點弧時を α だけ遅らすれば、電弧の發生は此の時刻まで遅れる。此の α を點弧遅れの角或は制御角といふ。



第 45 圖



第 46 圖

此の時陽極 1 の電弧は

$x = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} + \alpha$ から $x = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p} + \alpha$ まで續く。此の時の直流電壓波形は太線で示したやうになる。一つの陽極では電弧は 1 サイクルの中 $\frac{2\pi}{p}$ の間續く。

$$e_1 = \sqrt{2} E \sin x, \quad x = \omega t$$

とすれば格子をもたない p 相整流器の直流電壓平均値は

$$E_{dm0} = E \sqrt{2} \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} \dots \dots \dots (3)$$

次に格子制御により各陽極の點弧時を α だけ遅らすれば一つの陽極に就て電弧が $x = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{p} + \alpha$ から $x = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{p} + \alpha$ まで續くからその時の直流電壓平均値は

$$E_{dm} = E \sqrt{2} \frac{p}{\pi} \sin \frac{\pi}{p} \cos \alpha \dots \dots \dots (41)$$

即ち直流電壓は制御角 α の餘弦に比例する。

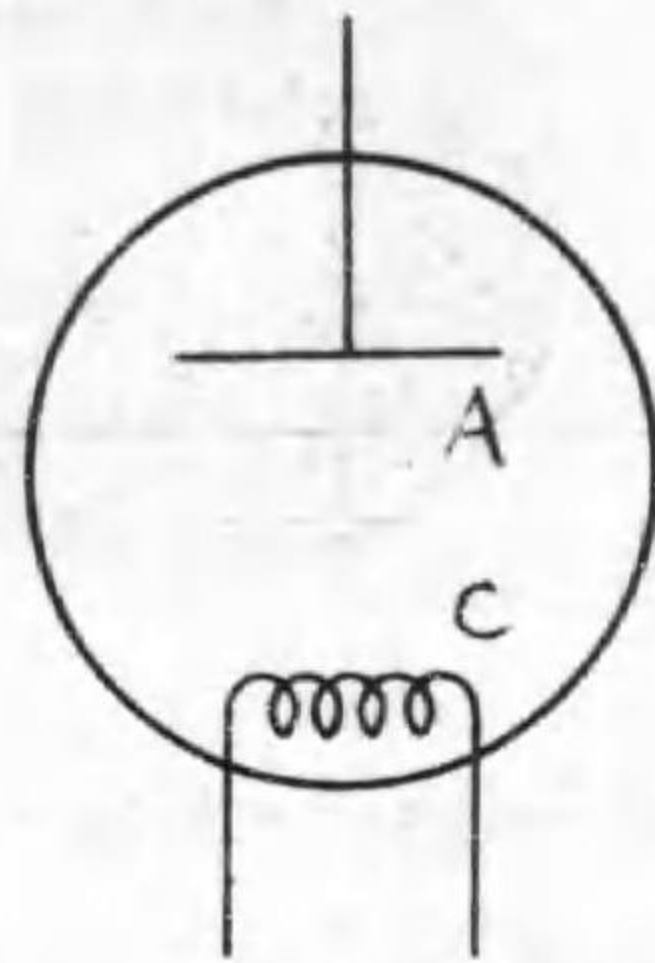
第七章 各種整流器

1. タンガー整流管

タンガー整流管 (Tungar rectifier タンガー・レクチファイアー) の構造は第47圖のやうになつてゐるAはグラファイト製陽極、Cはトリウム入タングステン繊維條である。アルゴン・ガスが水銀柱數 cm の壓力で封入されてゐる。

始動電壓は12~15V.で所謂低電壓弧光の性質を有し、始動後の管内電壓降下は陽極電流によつて異なるが7~9V.である。

タンガー整流管は一般に蓄電池充電に用ひ次のやうな種類がある。



第 4 7 圖

名 稱	纖維電壓		纖維電壓 (概略値) (A)	陽極電流 (平均値) (A)	電池電壓 (V)	始動電壓 (概略値) (V)	弧 光 電 壓 (V)
	無負荷 (V)	全負荷 (V)					
2アンペア ・タンガー	2.0	1.6	12	2	75	12	7
6アンペア ・タンガー	2.5	2.0	17	6	100	12	8
15アンペア ・タンガー	2.5	2.5	25	15	60	14	8
30アンペア ・タンガー	3.0	2.5	45	30	60	14	9

2. 酸化銅整流器

銅の酸化物には酸化第二銅(CuO)と酸化第一銅(Cu₂O)とが

ある。後者は一名亞酸化銅とも稱せられ銅母體との間に整流作用を有して居る。銅板は四角形もあるが、一般には中央に内徑1.3cm 位の孔を有する外徑4cm位の蛇目形の圓板が使用されてゐる。その厚みは特性に關係するが1mm内外である(第48圖)。



第 4 8 圖



第 4 9 圖

實際使用する場合は酸化銅層の上に鉛の如き軟柔な接觸板を當て端子板と共に絶縁ボルトで強く締め付ける。

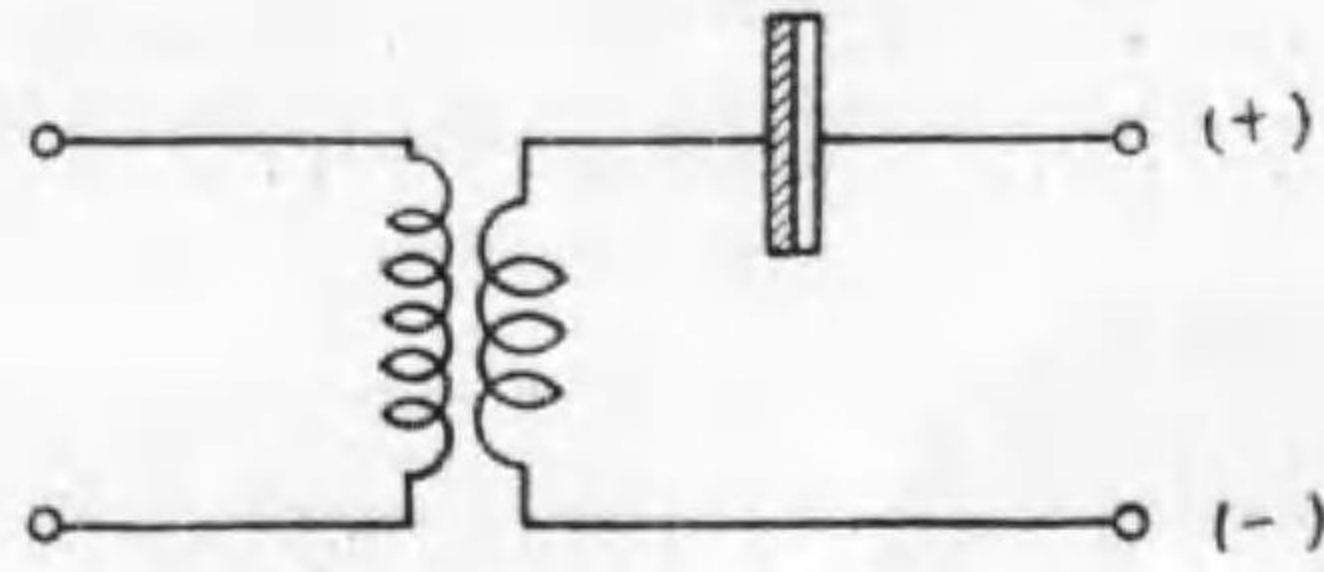
このやうな素板は酸化銅層から銅板の方へは電流は通り易いが、その反對の方向には通り難い即ち整流作用をするものである。電流密度は普通連續使用の場合は大體 0.05 A/cm² 位である。使用時間の短い場合は、その時間によつて3~10倍もの電流を整流し得る。1枚に加はる阻止電壓は普通の場合は4~7V.程度である。

本器は一般に温度に影響され易い。組立に際し冷却法を考慮す。第49圖のやうに素板1枚乃至2枚毎に冷却板と適當な厚みの間隔片とを配置したものが多し。所要出力に應じて多數の素板を直列或は並列に接続する。

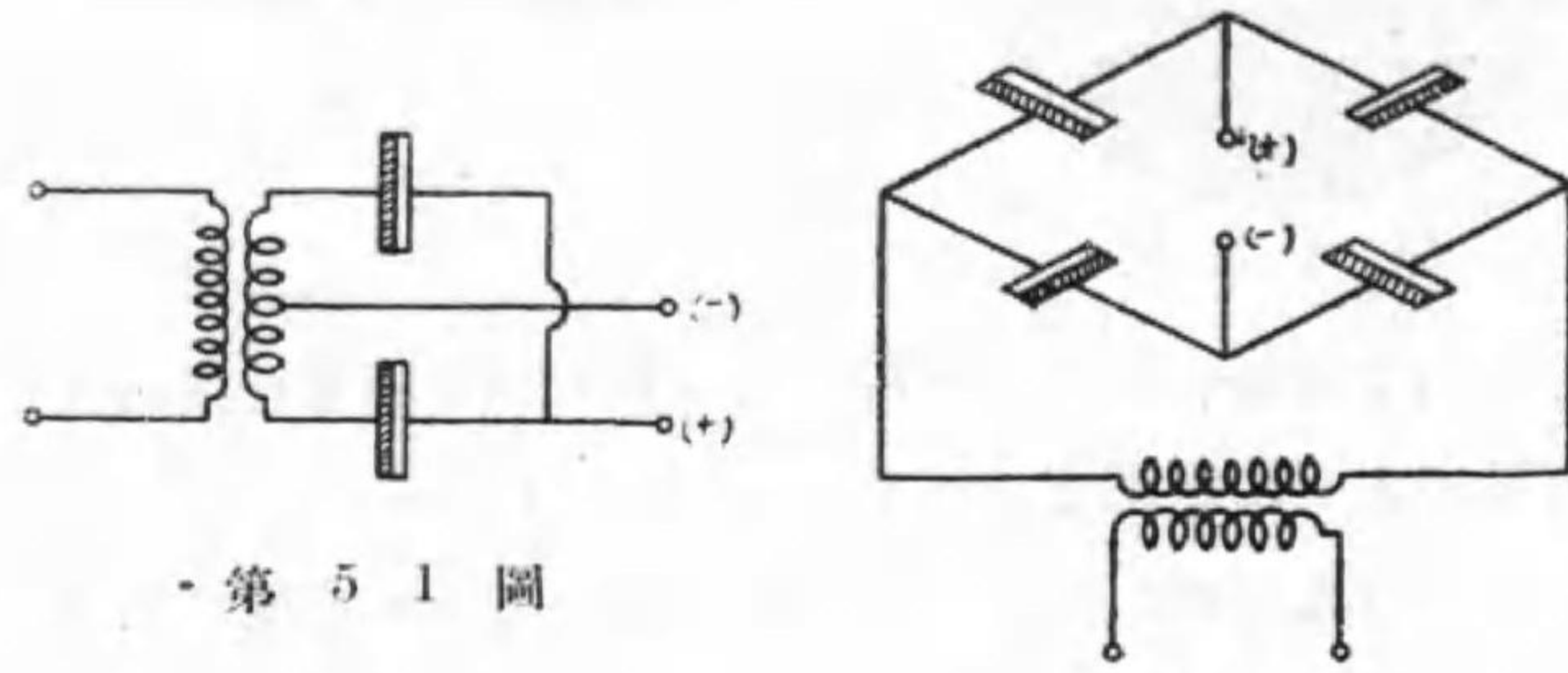
第50圖は半波整流、第51圖及び第52圖は全波整流の接続圖である。

整流器それ自身の能率は40~60%、力率は100%程度である。

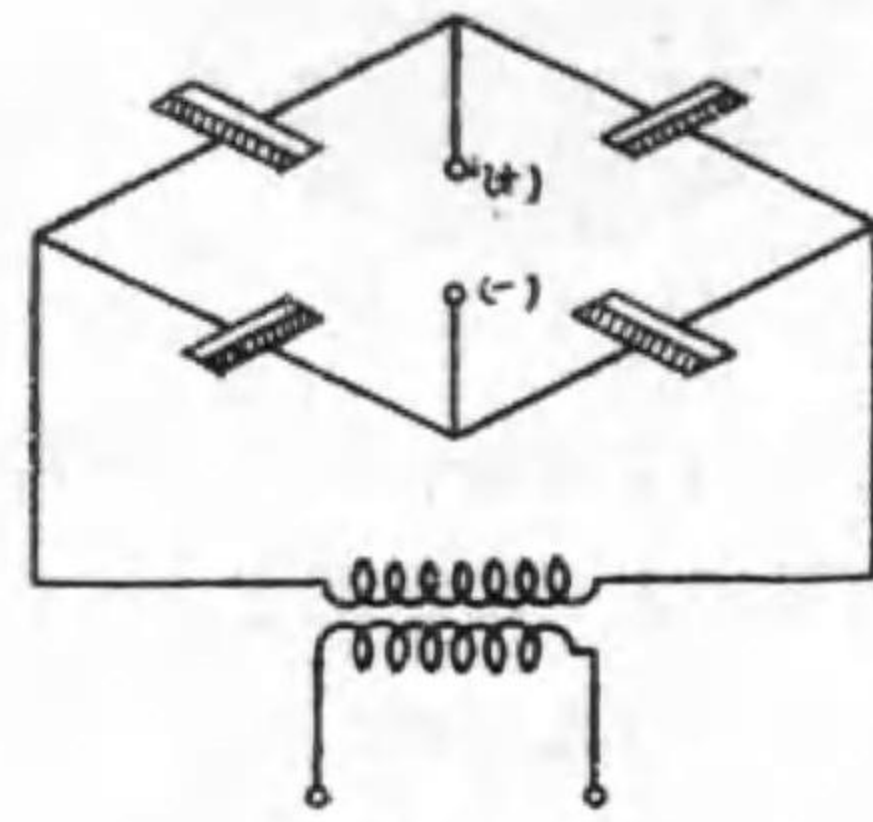
寿命は主として使用中の温度上昇に支配されるもので、温度上昇20°Cを超えさへしなければ半永久的である。



第 5 0 圖



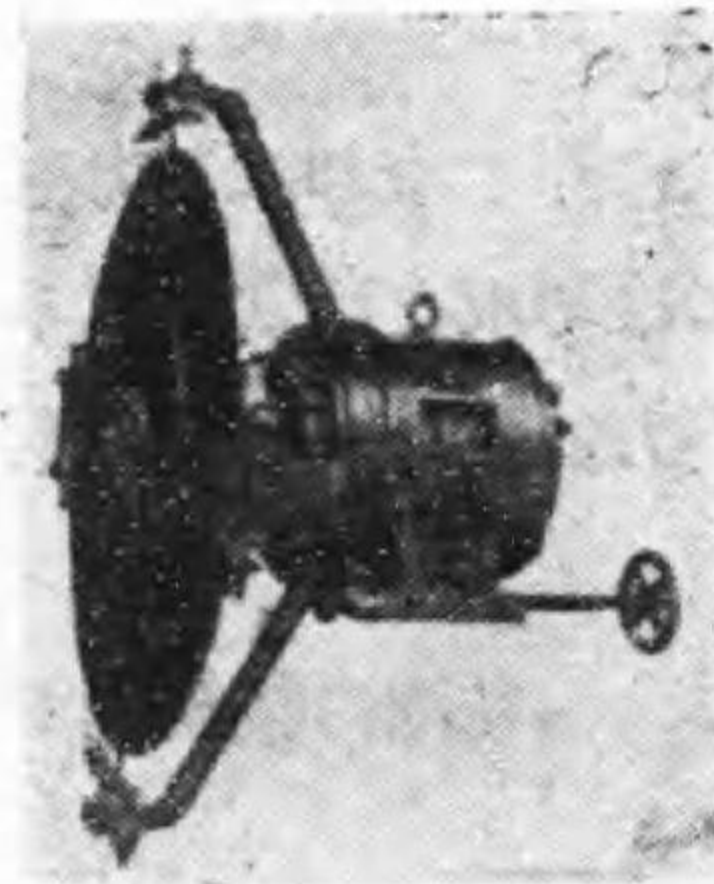
第 5 1 圖



第 5 2 圖

3. 機 械 的 整 流 機

第53圖は整流機と反動電動機とを直結した写真で、整流機は



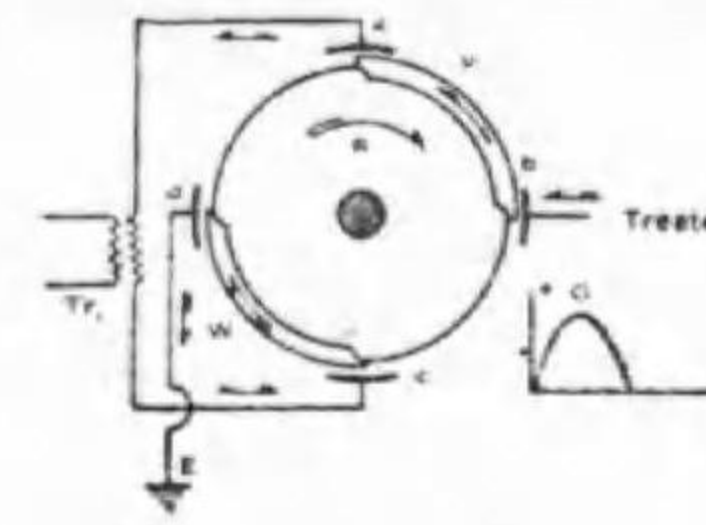
第 5 3 圖

ベークライト製圓板の周邊に眞鍮板製四分圓弧を相對的に向ひ合はせて廻轉出来るやうにし、その周邊に沿うて4箇の靜止脊を或間隙を置いて配置したものでこの圓板を反動電動機に直結すると電流と整流機とは常に完全に同期するため定方向の電流に整流することが出来る。整流機の相對向する2箇の脊にかゝる電壓は

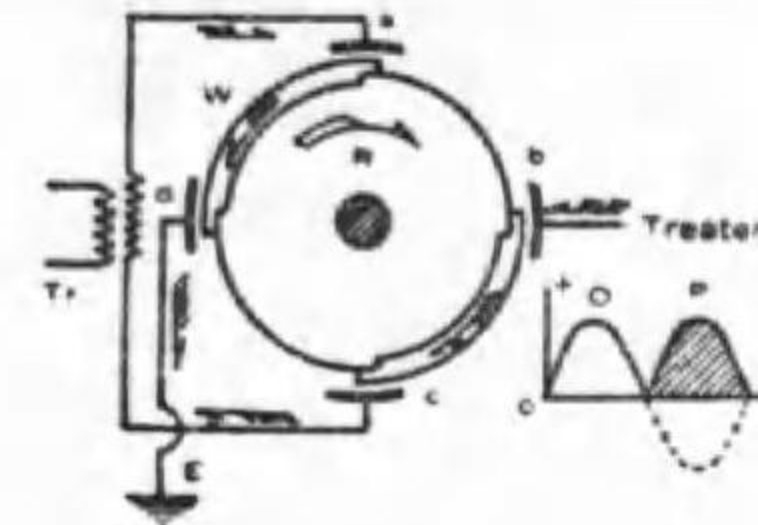
高電壓のために絶縁が最も重要である尙脊の位置を移動させるには整流脊取付部分をハンドルによつて任意の位置まで廻轉し得るやうになつてゐる。

動 作

4極の反動電動機で整流機を第54圖の如く時計式方向に廻轉させると、それに供給する交流と同期するため、電源及び變壓



第 5 4 圖



第 5 5 圖

器の二次側が2サイクルを繰返す間に整流機は1回轉する。

Rはベークライト圓板、V, Wはセグメント (Segment), a, cは高壓交流の兩脊、b, dは整流側の兩脊である。交流が1周波する間に圓板は半回轉して第54圖の瞬間にaは負の最大電位をcは正の最大電位を與へられたとするとa, V, b間及びc, W, dに火花を生じて脊bは負、脊dは正の電位を得。次に圓板Rが廻轉して第55圖のやうにa, W, d間及びc, V, b間に火花を生ずるやうになれば脊a及びcの電位は第54圖の場合と極性が反對になるから依然脊bは負、脊dは正の電位となる。

機械的整流機は現在コットレル收塵装置或レンドゲン用の高壓直流電源として使用される。コットレル收塵器用としては、容量10~20 k.V.A. 二次交番電壓65000~75000V. 程度で電動機としては2馬力、電源は220V. が普通である。

三 相 反 動 電 動 機

整流機の圓板を廻轉するためには整流脊と同一數の極數を有する同期電動機を直結するが、最近は直流勵磁を必要としない

同期電動機として反動電動機 (Reaction motor リアクション・モーター) が専ら使用される。この電動機は固定子には普通の三相捲線が設けられ、廻轉子は一つの鐵塊から成立し極數に相當した突出極がある。又此の突出極の表面には籠型捲線が設けられ起動の場合にはこれが誘導電動機の籠型捲線的作用をなし、電動機が起動して同期速度近くに達すると自ら同期化して同期電動機になる。

4. 練 習 問 題

1. 水銀整流器の逆弧に就き論ぜよ。(昭和8、一種)
2. 三相水銀整流器の原理を述べその構造を略述せよ。(大正14二種)
3. 電鐵用大型水銀整流器の一種につきその構造並びに運轉操作を説明せよ。(昭和5、二種)
4. 多相水銀整流器に使用せらるゝ相間變壓器の作用を説明せよ。(昭和6、二種)
5. 水銀整流器の直流側の電壓及び電流の脈動を抑制する各種の方法を詳述せよ。(昭和8、二種)
6. 水銀整流器の直流電壓を格子に依りて制御する方法を述べ其の原理を詳述せよ。(昭和10、二種)
7. 六相6極水銀整流器の無負荷時に於ける直流側電壓と交流側電壓との關係を表はす算式を求めよ。但し電弧の重疊及び電壓降下は無きものとす。(昭和11、二種)
8. 交流電源より下記の直流電源を得るに、最も適當なる變成装置各一種を擧げその理由を附記せよ。
 - (イ) 3000V. 數百 k.W. の電力
 - (ロ) 100000V. 程度の耐壓試験用電源
 - (ハ) 50000V. 程度の收塵用電源
 - (ニ) 500V. 8000A. 程度の電氣分解用電源
 - (ホ) 100A.H. 程度の蓄電池充電用電源 (昭和7、二種)

索 引

	硝子製水銀整流器…………… 108
	〔キ〕
	規約能率…………… 30
	均 壓 線…………… 36
	起 動 器…………… 53
	器 壓 環…………… 68
	起動補償器…………… 101
	極 間 隔…………… 101
	凝 縮 筒…………… 110
	起動装置…………… 112
	吸收線輪…………… 132
	逆 弧…………… 136
	機械的整流機…………… 148
	〔ク〕
	グラフアイト…………… 108
	〔ケ〕
	繼 鐵…………… 7
	減磁作用…………… 26
	〔コ〕
	コイルサイド…………… 8
	後 節…………… 9
	交叉磁束…………… 17
	弧 極…………… 108
	〔イ〕
陰 極 點……………	106
陰 極……………	111
移相装置……………	143
	〔エ〕
遠心開閉器……………	100
	〔オ〕
横 流……………	99
	〔カ〕
界磁鐵心……………	6
界磁線輪……………	6
重 捲……………	8.9
外分捲複捲發電機……………	16.27
外部特性……………	23.25.28
過 複 捲……………	28
廻 轉 力……………	40
廻轉力特性……………	41.43
廻轉力速度特性……………	45
過度整流……………	66
加減壓機……………	71.95
廻轉變流機……………	73
滑 動 環……………	77
廻轉式油眞空ポンプ……………	116

格子制御水銀整流器..... 140
格子制御..... 140

〔サ〕

残留磁気..... 26
差動複捲..... 28
酸化銅整流器..... 146
三相反動電動機..... 149

〔シ〕

自勵發電機..... 4
磁石發電機..... 4
磁極片..... 6
磁極..... 6
自己勵磁..... 24
實測能率..... 30
白勵起動器..... 55
眞空鐵槽..... 110
眞空活栓..... 113
眞空接續管..... 113
眞空ポンプ..... 115
眞空計..... 117

〔ス〕

水銀整流器..... 105
水銀蒸汽誘導ファンネル..... 111
水銀擴散ポンプ..... 115

〔セ〕

整流子..... 2
前節..... 9

全節捲..... 9
整流..... 64
制動線輪..... 76
閃絡..... 76.93

〔ソ〕

速度..... 39
速度特性..... 41.42
速度變動率..... 49
速度制御法..... 56
相間變壓器..... 132

〔タ〕

他勵發電機..... 4.22
端線輪..... 9
短節捲..... 9
端子電壓..... 14
ダイバーター..... 29
短時間定格..... 32
短絡電流曲線..... 64
第三刷子發電機..... 70
タツピングコイル..... 82
ダイアゴナル結線法..... 99
タツプ..... 100
タンガー整流管..... 146

〔チ〕

直捲發電機..... 14.26
蓄勢輪..... 60
直線整流..... 66

〔テ〕

電機子..... 2
電機子鐵心..... 5
電機子反作用..... 16.89
電壓變動率..... 29.134
電動機..... 38
定速度電動機..... 41
電動機入力..... 46
電動機の能率..... 49
電動發電機..... 73
電壓比..... 78
電流比..... 79
電機子導體電流..... 81
電機子銅損..... 85
電離作用..... 107
鐵槽水銀整流器..... 109
抵抗眞空計..... 118

〔ト〕

同期化電流..... 93

〔ナ〕

波捲..... 8.11
内分捲複捲發電機..... 15.27

〔ニ〕

二層捲..... 9
二重デルタ結線法..... 99
二重星形接續..... 128

〔ハ〕

發電機..... 1
反抗起電力..... 14
パワー..... 40
パイロット、フラッシュ..... 76.101
パーリアー..... 77
バッキング..... 111
反動電動機..... 150

〔フ〕

分捲發電機..... 15.23.34
負荷特性曲線..... 22
負荷特性..... 22
複捲發電機..... 27.36
不足複捲..... 28
負荷損..... 30
不變損..... 30
不足整流..... 66
ブリッチ結線..... 118

〔ヘ〕

偏磁作用..... 17
平復捲..... 28
並行運轉..... 34.137
變流機..... 73

〔ホ〕

補償捲線..... 18
補極..... 18
補助電動機..... 59

[マ]

マイカレックスシール... 111
 マイカレックス... 112

[ム]

無負荷特性... 28

[ユ]

誘起電圧... 1.13

[ヨ]

搖軸裝置... 77
 陽極板... 110
 陽極... 110

[ラ]

亂調... 76.93

[リ]

臨界抵抗... 25

[レ]

勵磁法... 3
 勵磁電流... 3
 連續定格... 32
 列車點燈用發電機... 69
 勵弧極... 112
 冷却裝置... 113

[ロ]

ローゼンベルヒ發電機... 69
 濾波裝置... 138

[ワ]

和働複捲... 28
 ワード、レオナード方式... 59

昭和十四年十月二十日印刷
 昭和十四年十月廿五日發行



定價四十錢

送料六錢

廣島市三篠本町一丁目七五ノ一

社團法人電氣協會中國支部

中村

演

發行者兼

廣島市大手町七丁目一

雄

印刷者

增田計

雄

印刷所

廣島市大手町七丁目一

所

廣島市三篠本町一丁目七四五ノ一

株式會社 增田兄弟活版所

發行所

社團法人電氣協會中國支部

電話 三二四〇番
 振替 西三二四〇番
 口座 廣島③ 九六〇八番
 下關

特 219

794

終

3