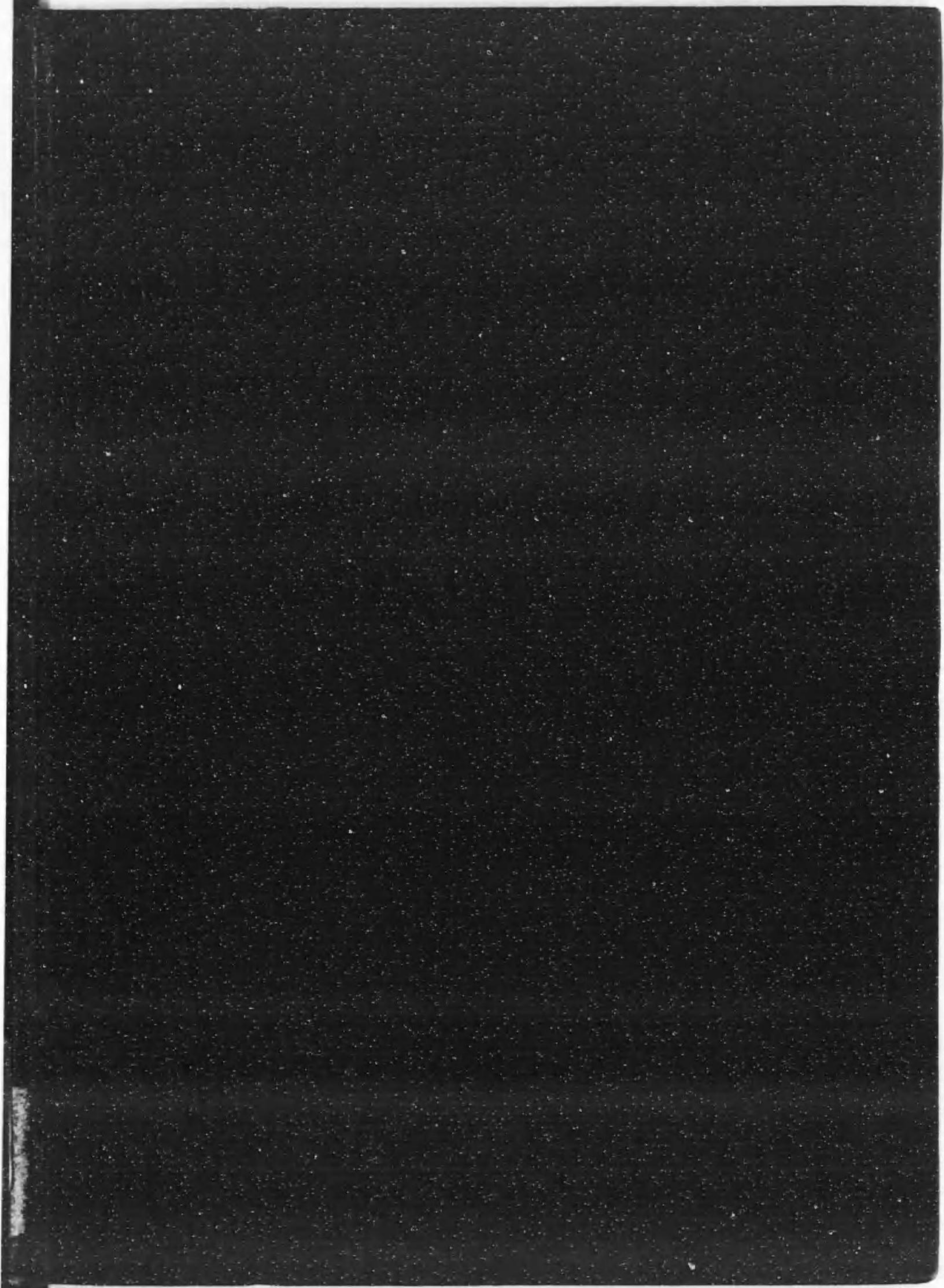




始



214
660



電



械



大石堂出版部

序　　文

本書は大阪公立工業學校數校の電氣科各専門教諭三十名が、眞摯なる教授研究の目的を以て組織する電教社の編纂せるもので、工業學校電氣科用教科書として凡ゆる角度より最新にして合理的なることを目標としたものであります。

現非常時局下工業の大發展につれて技術員の急速養成を必要とする際之に應じ且は初學者にも簡易に其研究に便せんが爲め嘗て發刊せる教科書中より、電氣磁氣。交流理論。電氣磁氣測定法並器具を一括して

電氣理論並測定法

送電配電。電燈照明並電熱工學。電氣鐵道の三冊を

電氣應用一般

直流機械。交流機械前編。交流機械前編の三冊を

電　氣　機　械

として發刊せし者であります。

電 氣 機 械 目 次

直 流 機 械

第 一 章 序 論

1. 定 義	1
2. 入力と出力	1
3. 負荷と定格	2
4. 損失と能率	3
問 題	3

第 二 章 直 流 發 電 機 の 原 理

5. 發 電 機 の 原 理	4
6. 整 流 子 の 原 理	6
7. 發 電 子 の 逆 廻 轉 力	7
問 題	10

第 三 章 直 流 發 電 機 の 構 造

8. 直 流 發 電 機 各 部 の 名 稱	10
9. 發 電 子 の 構 造	11
10. 界 磁 の 構 造	15
11. 發 電 機 の 種 類	16
12. 整 流 子 の 構 造	18
13. 刷 子 及 び 刷 子 保 持 器	19

14. 軸及び軸承 …… 21
 問 題 …… 21

第四章 発電子捲線法

15. 鼓状捲 …… 22
 16. 重捲と波捲 …… 24
 17. 捲線ピッチ …… 27
 問 題 …… 28

第五章 直流発電機の理論

18. 誘導起電力 …… 29
 19. 端子電圧 …… 31
 20. 発電子反作用 …… 33
 21. 反作用軽減法 …… 35
 22. 電圧調整法 …… 36
 問 題 …… 38

第六章 直流発電機の特性

23. 磁化曲線 …… 39
 24. 負荷特性曲線及び電圧変動率 …… 41
 25. 各種発電機の負荷特性 …… 41
 26. 直流発電機内の損失 …… 45
 27. 直流発電機の能率 …… 46
 28. 温度上昇と定格 …… 48
 問 題 …… 49

第七章 直流電動機の理論

29. 直流電動機の原理 …… 50
 30. 廻轉力 …… 52
 31. 逆起電力 …… 54
 32. 廻轉速度 …… 55
 33. 電動機の出方 …… 56
 34. 電動子反作用及其の軽減法 …… 56
 問 題 …… 58

第八章 直流電動機の特性及用途

35. 直捲電動機の特性及用途 …… 59
 36. 分捲電動機の特性及用途 …… 62
 37. 複捲電動機の特性及用途 …… 63
 38. 速度変動率 …… 65
 39. 電動機の損失及能率 …… 65
 問 題 …… 66

第九章 起動と速度制御

40. 起 動 法 …… 67
 41. 起動器の附属装置 …… 69
 42. 分捲電動機の速度制御 …… 72
 43. 直捲電動機の速度制御 …… 74
 問 題 …… 76
 44. 据 付 …… 76

45. 故 障	77
46. 運 轉 法	78
47. 並列運轉	79
問 題	81

第十章 試 驗 法

48. 試験の種類	82
49. 極性試験	83
50. 無負荷試験	83
51. 負荷試験	84
52. 絶縁試験	89
問 題	90
問題解答	91

交 流 機 械 前 編

交 流 發 電 機

第一章 交流發電機の原理及構造

1. 緒 言	92
2. 交流發電機の原理	92
3. 交流發電機の種類	93
4. 勵 磁 機	94
5. 磁極數と周波數	95
6. 發電機の形狀と回轉數	96
7. 低速度交流發電機の構造	98

8. タービン交流發電機の構造	101
-----------------	-----

第二章 交流發電機の發電子捲線法

9. 發電子捲方	104
10. 單相式捲方	104
11. 捲方係數	105
12. 捲方の種類	106
13. 二相式捲方	107
14. 三相式捲方	108

第三章 交流發電機の理論

15. 誘導起電力	109
16. 三相發電機の電壓及電流	110
17. 交流發電機の耐量及出力	111
18. 電壓調整法	112
19. 發電子反作用	113
20. 發電子の自己誘導	115
21. 電壓のヴェクトル圖	116
22. 電壓變動率	117
23. 短絡過渡電流	117
24. 特性曲線	118

第四章 交流發電機の運轉法

25. 單獨運轉法	119
26. 並行運轉法	120
27. 亂 調	122

28. 単相同期検定法… ……123
 29. 三相同期検定法… ……124
 30. 並行運転の順序… ……126

同 期 電 動 機

第 五 章 同期電動機の理論

31. 同期電動機の原理… ……128
 32. 電動子反作用… ……130
 33. 電動子リアクタンス… ……131
 34. 勵磁電流の影響… ……132
 35. 反起電力… ……133

第 六 章 同期電動機の特性及其應用

36. 出 力… ……133
 37. 回 轉 力… ……134
 38. V 曲 線… ……135
 39. 電路の力率改正… ……136
 40. 電壓の調整… ……137
 41. 特長と缺點及用途… ……138

第 七 章 同期電動機の起動法

42. 起動法の種類… ……139
 43. 自起動法… ……139
 44. 他起動法… ……141

第 八 章 同期機の試験法

45. 試験法の種類… ……142
 46. 過速度試験… ……142
 47. 開路試験… ……143
 48. 短絡試験… ……143
 49. 熱 試 験… ……144
 50. 能率試験… ……145
 51. 變動率試験… ……146
 52. 絶縁耐力試験… ……148
 53. 起動試験… ……148
 54. V 曲線の求め方… ……149
 練習問題… ……149

變 壓 器

第 九 章 變壓器の原理及構造

55. 變壓器の利用と其原理… ……151
 56. 變壓器の種類と構造… ……153
 57. 變壓器の冷却装置… ……159

第 十 章 變 壓 器 の 理 論

58. 勵磁電流, 一次及二次起電力… ……164
 59. 誘導起電力の大きさ… ……166
 60. 二次負荷電流及一次負荷電流… ……167
 61. 捲 數 比… ……169

62. 端子電圧と誘導起電力	170
63. 等価回路	171
64. 力率	175
65. 電圧変動率	175
66. 変圧器の損失と能率	177

第十一章 変圧器の結線法

67. 配電用変圧器の並列結線	182
68. 中間引出線	183
69. 単相変圧器の並列結線	185
70. 変圧器の極性	186
71. 単相変圧器の三相結線	188

第十二章 特殊変圧器

72. 三相変圧器	193
73. 單捲變壓器	195
74. 三捲線變壓器	196
75. 計器用變成器	196
76. 不變電流變壓器	199
77. 試験用變壓器	200
78. 電鈴用變壓器	201
79. 熔接用變壓器	201

第十三章 變壓器の据付と諸試験

80. 据付	201
81. 乾燥	202

82. 變壓器油	203
83. 其他の諸試験	205
練習問題	205
解答	208

交流機械後編

誘導電動機

第一章 三相誘導電動機のご概念

1. 誘導電動機の特徴	209
2. アラゴアの圓板	209
3. 誘導電動機の原理	210
4. 固定子の構造	211
5. 回轉子の構造	212
6. 型の種類	214
7. 容量と速度	218

第二章 三相誘導電動機の理論

8. 滑り	220
9. 誘導起電力	221
10. 回轉子電流と其の周波數	222
11. 無負荷電流及び負荷電流	223
12. 電壓比及び電流比	224
13. ヴェクトル圖	225

第三章 三相誘導電動機の特性

- 14. 能 率 ……227
- 15. 力 率 ……228
- 16. 入力、出力及び電流 ……230
- 17. 回 轉 力 ……231
- 18. 起動回轉力及び最大回轉力 ……232
- 19. 回轉子抵抗と回轉力 ……233
- 20. 最大出力 ……235
- 21. 供給電圧の影響 ……236
- 22. 周波数の影響 ……236

第四章 誘導電動機の起動法

- 23. 起動装置 ……237
- 24. 入△閉閉器 ……239
- 25. 起動補償器 ……240
- 26. 起動抵抗器 ……242
- 27. 特殊起動法 ……244
- 28. 二重籠型誘導電動機 ……246
- 29. 深溝型誘導電動機 ……247

第五章 誘導電動機の世界調整法

- 30. 調整法の種類 ……247
- 31. 供給周波数を變へる方法 ……248
- 32. 縱 續 法 ……248
- 33. 固定子の極数を變化する方法 ……249

- 34. 回轉子抵抗を變化する方法 ……250
- 35. 籠型と捲線型との比較 ……250

第六章 誘導電動機試験法

- 36. 點檢及び手入 ……252
- 37. 無負荷試験 ……253
- 38. 拘束試験 ……254
- 39. 溫度試験 ……255
- 40. 滑りの測定 ……256
- 41. 絶縁試験 ……257
- 42. 圓 線 圖 ……258

第七章 誘導發電機

- 43. 誘導發電機の理論 ……261
- 44. 誘導發電機と同期發電機 ……263
- 45. 誘導發電機の用途 ……263
- 練習問題 ……264

回 轉 變 流 機 (其の他)

第八章 回轉變流機

- 46. 電流の變換 ……267
- 47. 回轉數變流機の概念 ……268
- 48. 電壓比及び電流比 ……270
- 49. 電機子電流と溫度上昇 ……273
- 50. 電壓の調整 ……274

51. 閃路と其の防止	276
52. 限速装置	277
53. 起動法	278
54. 縦横變流機	280
練習問題	281

第九章 特殊機器

55. 水銀整流器	281
56. 水銀整流器の構造	282
57. 水銀整流器の特性と運轉	284
58. 水銀整流器と回轉變流機との比較	285
59. 誘導電圧調整器	287
60. 誘導同期電動機	289
61. 單相誘導電動機	290
62. 單相誘導電動機の起動法	292
63. 交流整流子電動機	294
64. 單相直捲整流子電動機	296
65. 反撥電動機	297
66. 三相直捲整流子電動機	298
67. 三相分捲整流子電動機	299
68. 周波數變換機	299
練習問題	302
練習問題解答	304

電 氣 機 械

直 流 機 械

第一章 序 論

1. 定 義

發電機 (Generator) は電磁誘導作用 (Electro magnetic induction) を應用して、外部から供給された機械エネルギー (Mechanical energy) を電氣エネルギー (Electrical energy) に變へるものである。

電動機 (Motor) は磁界中にある電流が力を受ける作用を應用し、發電機とは反對に、外部から供給された電氣エネルギーを機械エネルギーに變へる機械である。

外部へ直流を供給する發電機は直流發電機 (Direct current generator) と云ひ、交流を供給するものは交流發電機 (Alternating current generator or Alternator) と云ふ。同様に直流で運轉されるものを直流電動機 (Direct current motor) と云ひ、交流で運轉されるものを交流電動機 (Alternating current motor) と云ふ。

直流發電機と直流電動機とを總稱して直流電氣機械 (Direct current machine or D.C. machine) 或は略して直流電機又は單に直流機と云ふ。

2. 入力と出力

一般に機械に外部から供給される動力を其の機械の入力 (Input) と云ひ、機械から外部へ出て行く動力を其の機械の出力 (Output) と云ふ。

と云ふ。

発電機を発電させるには外部から**原動機** (Prime-mover) で運転せねばならぬ。即ち**機械動力** (Mechanical power) を外部から注ぎこまねばならぬ。此の外部から注ぎこまれる動力を入力と云ふのである。発電機の入力は機械動力で出力は電力である。逆に電動機の入力は電力で、出力は機械動力である。

習慣上機械動力の単位には**馬力** (Horse power) が用ひられる。1馬力は毎秒75kgmの仕事に相當する機械エネルギーを表はすものであつて、736ワットの電力に當る。

3. 負荷と定格

機械が発生する動力を消費するものをその機械の**負荷** (Load) と云ふ。発電機で云へば、電燈、電熱器、電動機等總て電力を消費するものが負荷であり、電動機で云へば、ポンプ、精米機等總て機械動力を消費するものが負荷である。

或る機械が相當の時間中安全に且つ能率よく出し得る出力の最大限度を其の機械の**定格出力** (Rated output) と云ふ。定格出力を定める爲に規定された電壓、電流、回轉數等を夫々**定格電壓** (Rated voltage)、**定格電流** (Rated current)、**定格回轉數** (Rated R.P.M) と云ふ。以上を總稱して**定格** (Rating) と云ふ。或る機械の定格の値は其の機械の**銘板** (Name plate) に記載してある。

定格出力に等しい負荷即ち機械に無理をしないで掛け得る最大負

荷をその機械の**全負荷** (Full load) と云ふ。全負荷より小さいものを**軽負荷** (Light load)、大きいものを**過負荷** (Over load) と云ふ。

4. 損失と能率

如何なる機械を用ゐてもエネルギーは全く新に發生する事は出来ぬ。例へば発電機にしても外部から供給した機械動力を電力に變へる役目をするだけである。實際には機械に供給した機械動力の全部を有効に電力に變へる事は出来ない。供給した動力の一部分は機械内で熱エネルギーに變つて逃げ去り利用する事が出来なくなる。此の逃げ去る動力を**損失** (Loss) と云ふ。機械には損失があるから機械の出力は常に入力より小さい。即ち入力と出力との差が損失になるのである。

機械の發生した出力と受け入れた入力との比を**能率** (Efficiency) と云ふ。或る機械の能率は其の機械への入力の内どれだけが無効に出力として外部へ供給され得るかを示すもので、結局損失の大小を示すものと考へられ、機械の良否を決定する上に重大なる關係がある値である。

$$\text{能率} = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} = \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \dots\dots\dots (1)$$

能率は常に1より小さく、通常上式に100を乗じて百分率(パーセント, %) で表はされる。

問 題

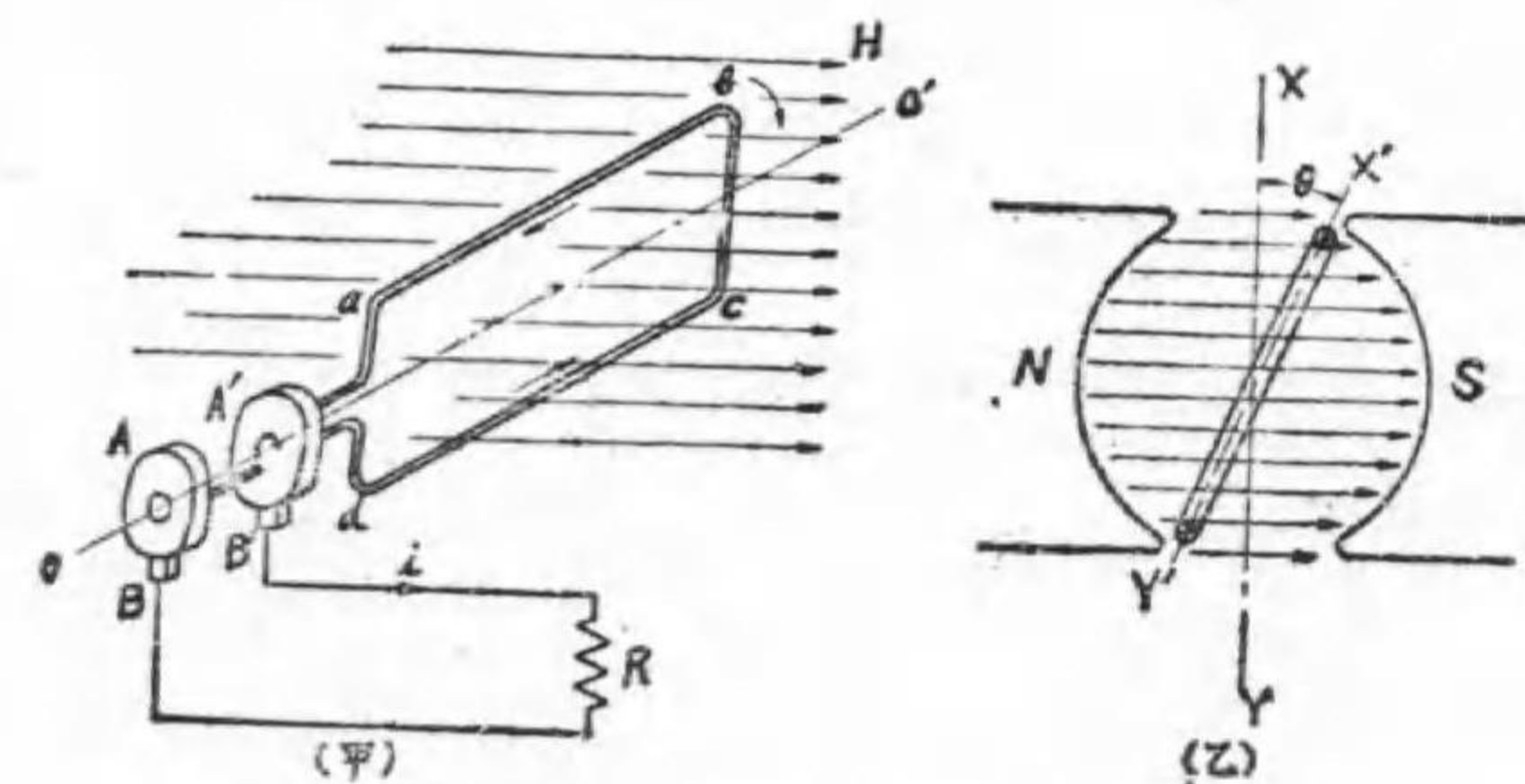
(1) 発電機には何故原動機が必要であるか。

- (2) 15馬力の出力を有する原動機にて運轉せられる發電機あり。電壓110Vにて88アンペアを出せるときの能率はいくらか。又損失は幾何。
- (3) 電壓110V, 電流9Aの時, 出力1馬力の電動機あり, 能率はいくらか。又損失は幾ワットか。
- (4) 能率は何故1より小さいか。

第二章 直流發電機の原理

5. 發電機の原理

第 圖(甲)は簡単な交流發電機の原理を示す圖であつて、一つの磁界内にて磁界に直角な軸 OO' の周りに $a b c d$ なる矩形狀線輪を一定の速さで以つて廻轉せしめ、矩形狀線輪の兩端 a 及び d は夫々軸上に絶縁して固定してある2箇の金屬製の滑動環(Slip ring) AA' に結ばれる。而して此の各々に接觸してゐる刷子 (brush) BB' によつて外部電路に接続する様にすれば茲に線輪、滑動環、刷子、外部



第1圖 交流發電機の原理

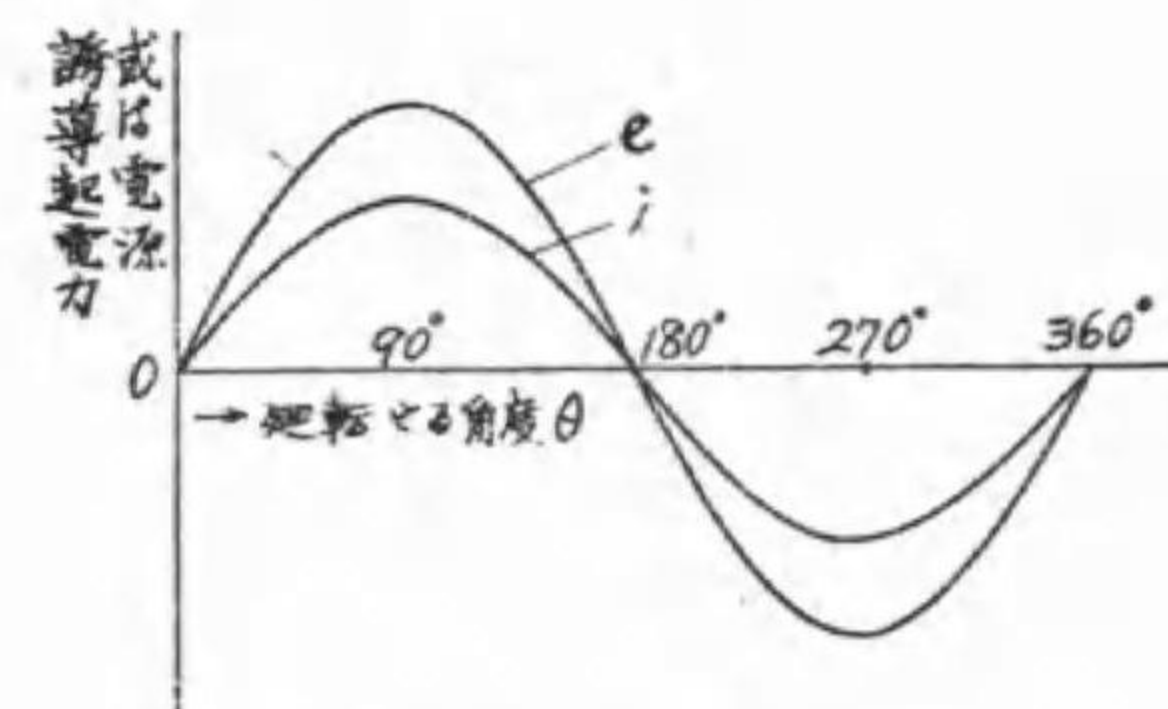
電路といふ一つの電氣回路が作られるから軸の廻轉に伴ひ線輪は磁力線を切り $a b$ 及び $c d$ の導線には各瞬間に於て相加はる方向に起電力が誘導し電流が流れる。

次に各瞬間に於て線輪に誘導される起電力の方向及び大きさを考へるに、第1圖(乙)で線輪の面が磁界に直角な位置即ち XY の位置より出發するものとすれば、 XY 上にある瞬間は各導體は少しも磁力線を切らないから導體には起電力は誘導されぬ。

然るに矢の方向に廻轉するに従ひ段々値の大きな起電力が誘導され、丁度導體が磁極 NS の中心に面する位置、換言すれば最初より $\frac{1}{2}$ 廻轉 (90° 廻轉) の位置では磁力線を直角に切る故導體には最も大きな起電力が誘導される。

此の位置を過ぎて次の $\frac{1}{2}$ 廻轉中は導體の誘導起電力は順次小さくなり、最初より $\frac{1}{2}$ 廻轉即ち最初より 180° 廻轉せる位置では導體に起電力は誘導されない。以上間に導體に誘導される起電力の方向は $a b$ では b から a の方向に $c d$ では d から c の方向であるから BB' の間では兩導體に誘導される起電力の和の起電力が加へられ外部電路には B' より B に向つて電流が流れる。而して其の大きさは BB' 間の起電力に比例する。

更に次の $\frac{1}{2}$ 廻轉中には各導體に誘導される起電力は何れも反對方向となり外部電路に向つて B より B' の方向に電流が流れる。而して此の間導體が磁極の中心に面するとき即ち最初より 270° 廻轉せるとき起電力は最大値であつて一廻轉して元の位置に



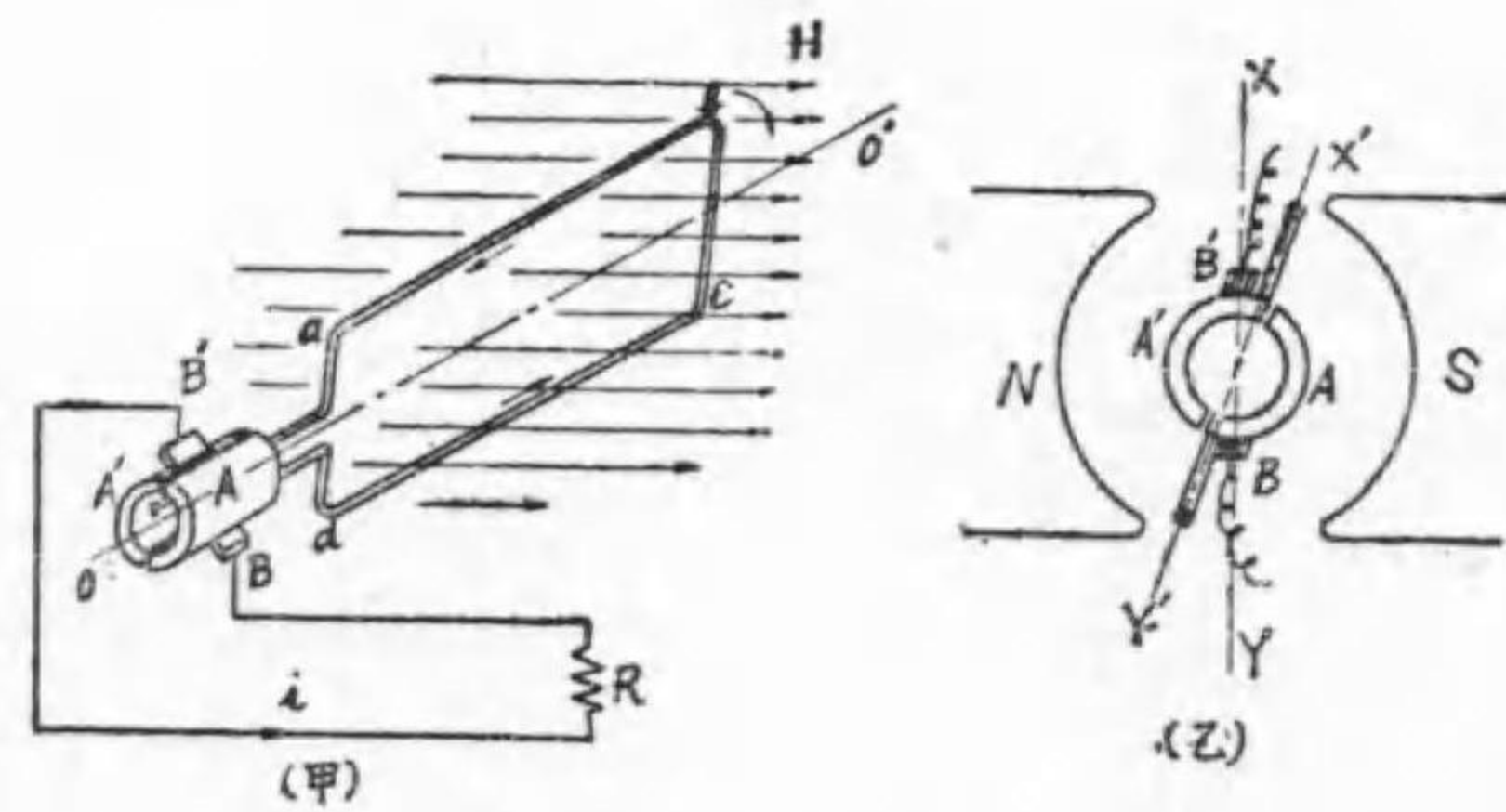
第2圖 誘導起電力の變化

歸るときは零となる。此の様に線輪が $\frac{1}{2}$ 廻轉する毎に起電力の方向従つて電流の方向も變るものである。

此の變化をグラフに描くと第2圖の如くなる。此の様に規則正しく方向を變化する起電力及び電流を夫々交番起電力並に交流といひ此の交番起電力を起す發電機を交流發電機といふのである。

6. 整流子の原理

前節で述べた交流發電機では線輪に誘導せられる交番起電力が其のまゝ外部電路に加へられるから外部電路に流れる電流も亦同じ變化をする交流である。然し適當の装置を用ふることによつて、線輪に誘導される起電力は交番起電力であつても、外部電路に対しては一定方向の起電力を加へしめることが出来る。此の様に直流起電力を外部電路に加へ直流を送り出す發電機が直流發電機であつて、線輪の交番起電力(或は交流)を直流起電力(或は直流)に直す装置を整流子(Commutator)といふ。

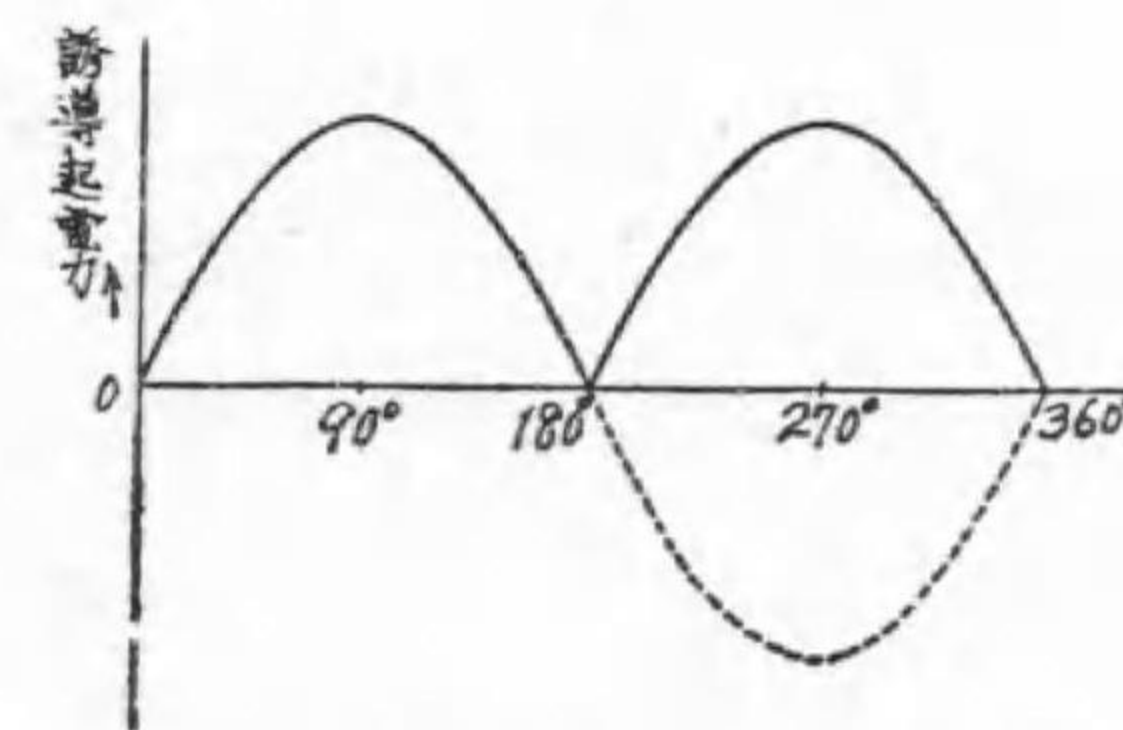


第3圖 直流發電機の原理

第1圖の滑動環 AA'を用ふる代りに1箇の金屬製環を半分に割り之を第3圖の如く相互の間は絶縁して線輪の端につなぎ且つ軸にも絶縁して固定する。然も金屬環に接續する刷子 BB'は線輪に起電力が零の瞬間、即ち線輪に誘導する起電力の方向が反對にならうとする瞬間に、此の金屬環に接觸する様な位置に固定することとし、之等の刷子間に外部電路を接續すること第3圖の如くする。此の場合の AA'を整流子片(Commutator segment)といふ。

以上の装置を用ひ、最初導體がXYの位置より廻轉し始めるとすれば、初めの $\frac{1}{2}$ 廻轉中は第1圖の場合と同様で電流は刷子B'より外部電路を通り刷子Bに歸る方向に流れる。然し次の $\frac{1}{2}$ 廻轉の間は線輪に誘導される起電力は第1圖の場合と同方向であるが、刷子より外の回路に対しては反對で刷子B'より外部電路を経て刷子Bへ向つて電流が流れる。即ち初めの $\frac{1}{2}$ 廻轉の場合と同方向である。何故かといふと初めの $\frac{1}{2}$ 廻轉中はBはA'に接して居るが次の $\frac{1}{2}$ 廻轉中はBはAに接する様になるからである。

此の様に2箇の整流子片の作用によつて外部電路に常に一定方向の電流を流すことが出来る。此の場合兩刷子間に生ずる起電力の變化の状態をグラフで示せば第4圖の様になる。即ち後の $\frac{1}{2}$ 廻轉で線輪中に誘導される起電力は下の點線の

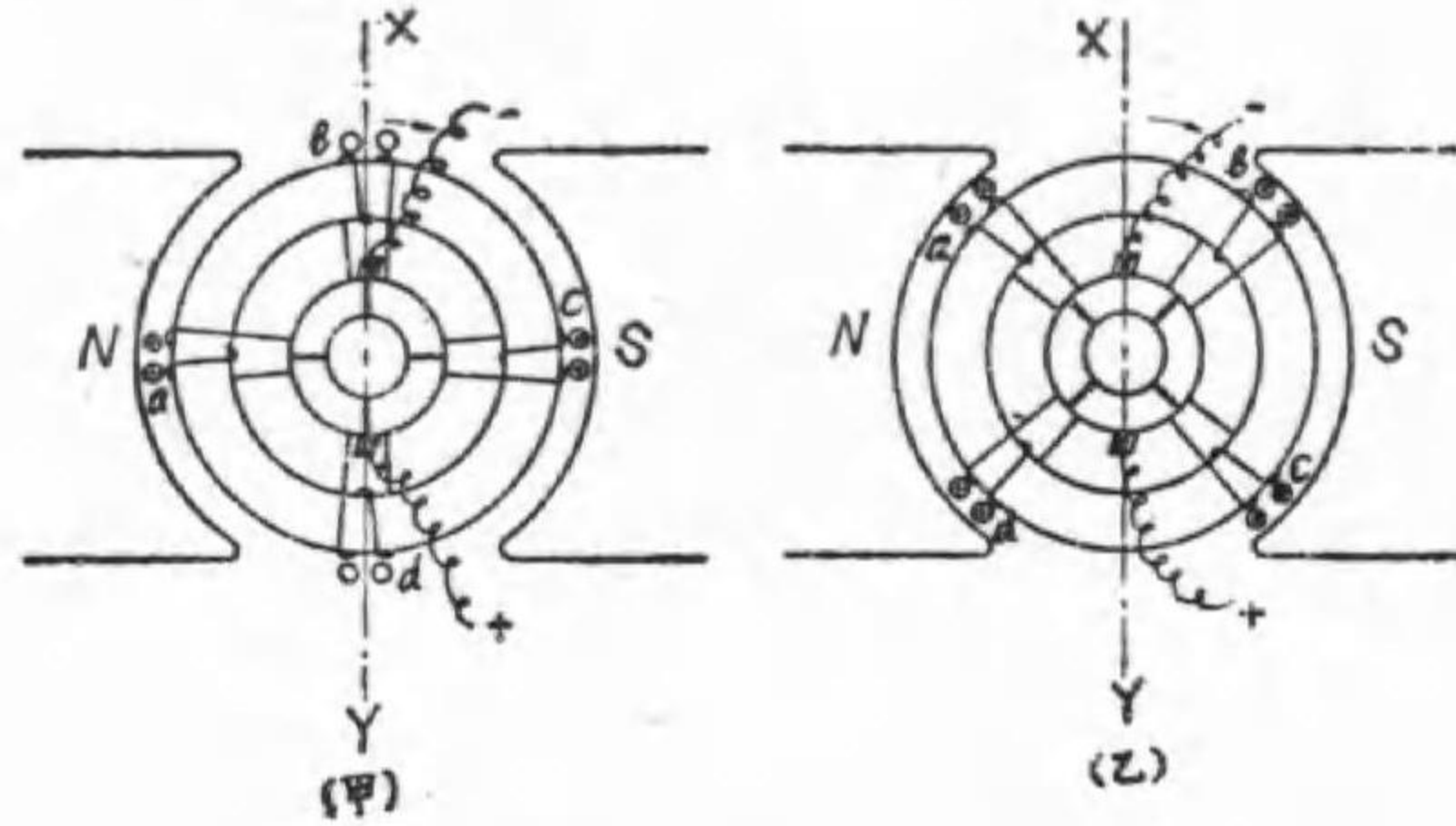


第4圖 刷子間の直流起電力

如き變化であるが刷子間では上の實線の如きものとなる。従つて外部電路に流れる電流も大體同じ様な變化となる。

上述の様に2箇の整流子片を用ふることによつて、線輪に流れる交流を外部電路に直流として送り出すことが出来るが、其の値の變化は第4圖の如く非常に大である。そこで起電力なり電流の値の變化を少なくするために數多くの整流子片を用ふる。

第5圖(甲)(乙)は4箇の整流子片を用ひた場合に起電力及び電流

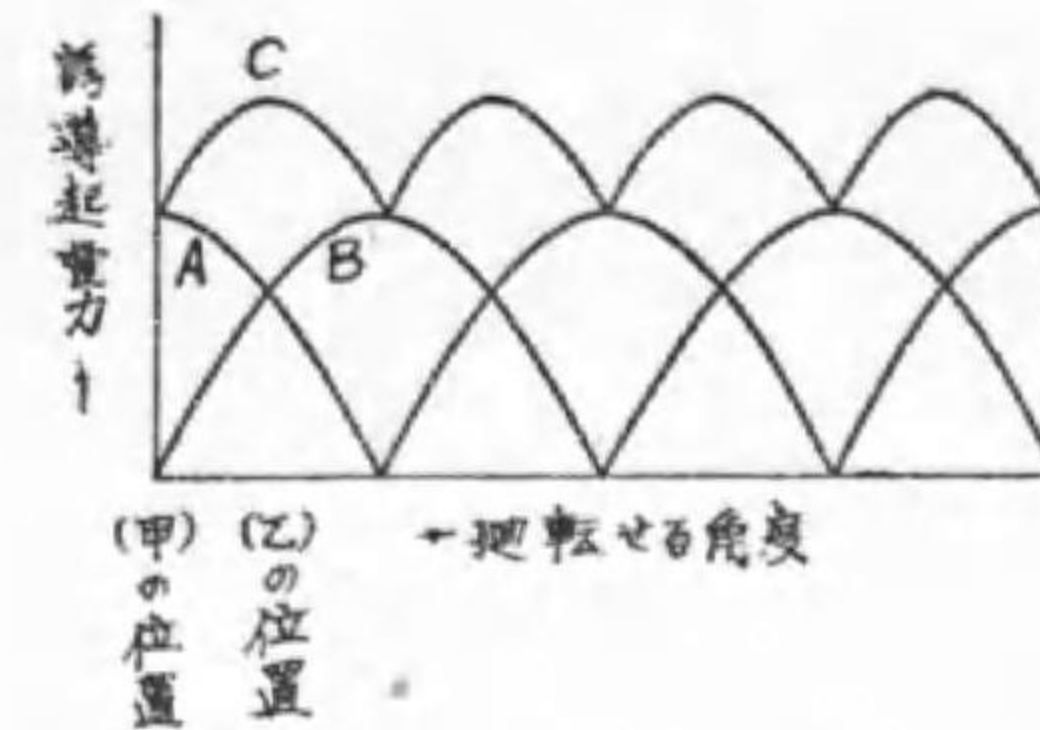


第5圖 整流子片4個を有する直流發電機の原理

の均される原理を説明する圖で、4箇の線輪 a, b, c, d が整流子片に依つて順次接続されてゐる。(甲)圖の位置では b, d の線輪は刷子に依つて短絡され、a, c 線輪には最大起電力が誘導してゐて之が刷子間に現はれる。而して此の際發電機の刷子より内では回路が二つに分れ、一つは a 線輪、他は c 線輪の方の回路になつてゐる。

次に 45° 廻轉せる(乙)圖の位置では各線輪には圖の方向に起電力が誘導され、XY より左では a, d 線輪の起電力が相加はり、右では b, c 線輪の起電力が相加はつて刷子間に現はれる。而して a, c 線輪

に誘導される起電力の變化は第6圖のA曲線、b, d 線輪のはB曲線で示すことが出来るから、結局刷子間に現はれる起電力は之等二つの曲線の和のC曲線の如く變化することを知る。



第6圖 刷子間の起電力の均らされる圖

即ち第4圖の場合と比較すると起電力の値が零になることも無く、最大最小の變化の割合が少なくなつたことが判る。更に整流子片の數が多くなれば變化は更に小さくなる。

又刷子の置かれる位置は上述の如く短絡される線輪中に起電力が誘導されない所でなければならぬ。若し起電力があれば刷子と整流子片とが離れる時大きな火花が生ずる。此の刷子の置くべき所を中性點 (Neutral point) といふ。

7. 發電機の逆廻轉力

一般に發電機の線輪が磁界中で廻轉して其の導體に起電力を誘導し、之に依つて外部電路に電流を供給せる場合換言すれば發電機が負荷せられたる時は導體中にも當然電流が流れる。然るに導體中に電流々れる時にはフレミング左手の法則に従ふ機械力が其の導體に働くものである。

例へば第1圖に於て時計式に線輪を廻轉せしめた時、圖の位置では電流は d より a へ向つて流れる故之に働く機械力は a, b, c, d 兩導

體共反時計式に廻轉せしめんとする方向である。即ち發電機を廻轉して負荷を掛けた時必ず發電機の廻轉方向とは反對方向に發電機を廻轉せしめんとする逆廻轉力を生ずるものであるから、原動機は此の逆廻轉力に打勝つて發電機を廻轉せしめなければならぬ。

然も此の逆廻轉力は發電機の負荷が大なれば大なる程大となるものであるから、原動機は出力を大にして之に打勝つことを要する。

此の如く發電機の出す電氣エネルギーが大となれば之に應じて原動機に依つて供給される機械エネルギーも大としなければならぬものである。

問 題

- (1) 直流發電機として何と何とが必要であるかを考へよ。
- (2) 直流發電機に負荷を掛けた場合何故發電機運轉用の原動機にも負荷が掛かるか。

第三章 直流發電機の構造

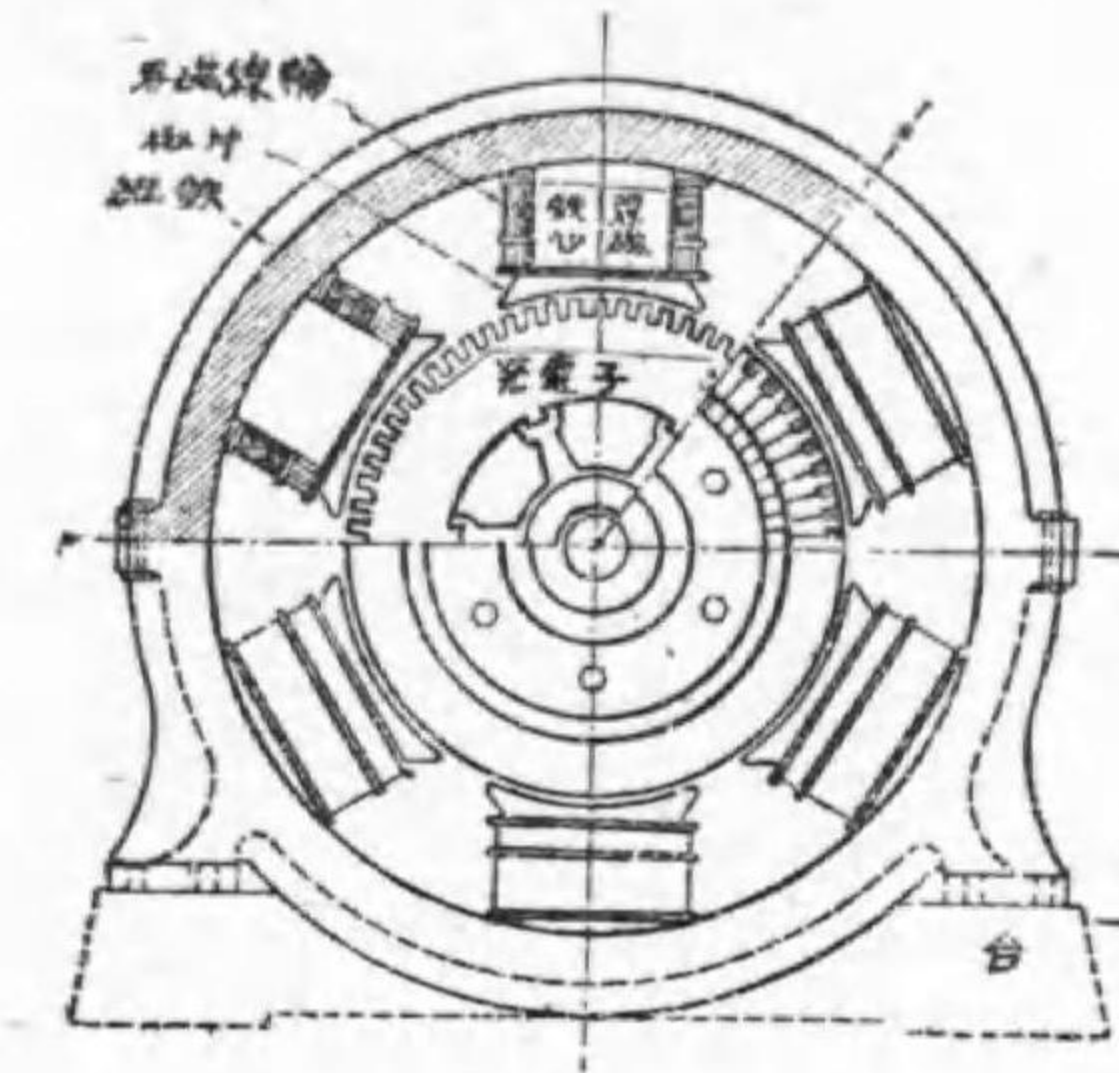
8. 直流發電機各部の名稱

第7圖は代表的な大型直流發電機の圖であつて、次の様な主要部から出来てゐる。

- (a) 繼鐵 (Yoke)
- (b) 界磁鐵心 (Field core) 及び極片 (Pole piece)

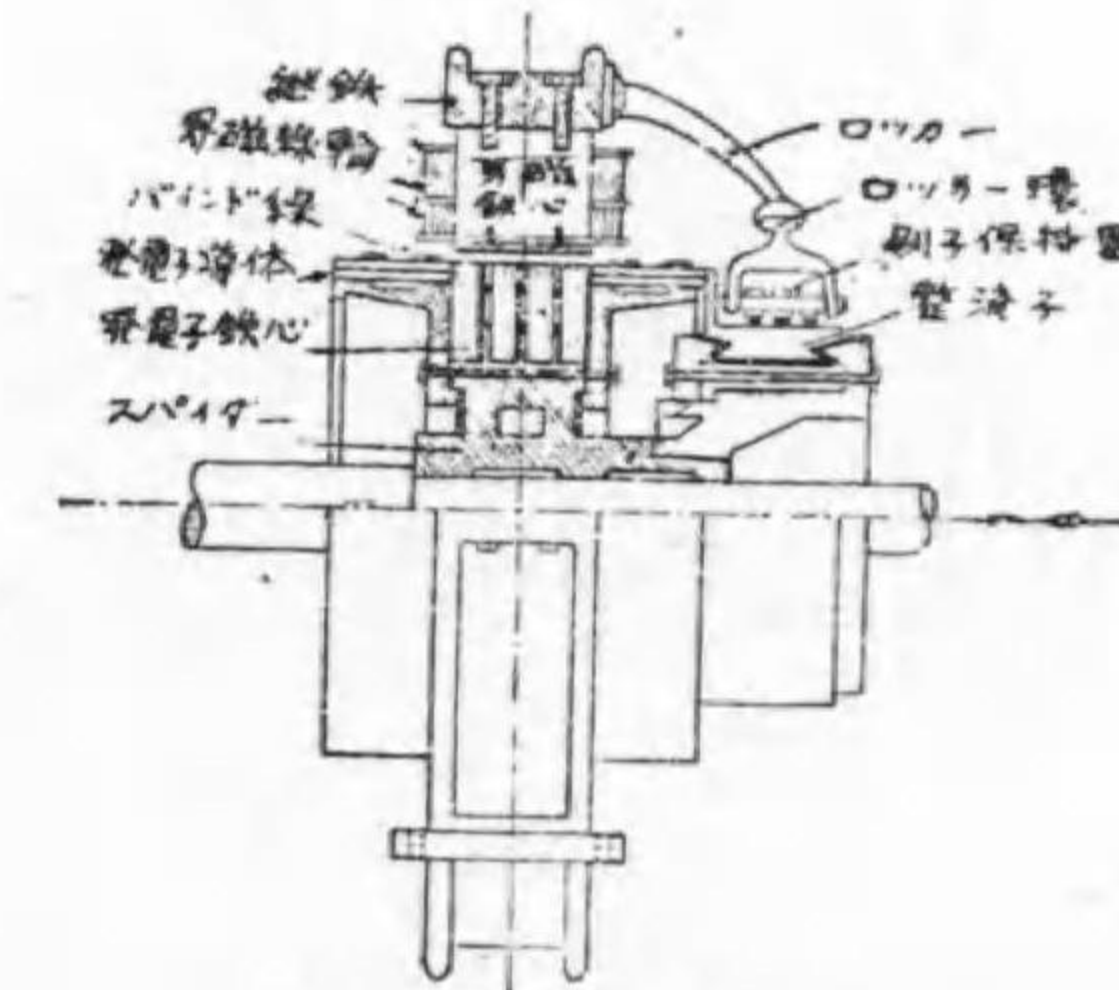
- (c) 發電子鐵心 (Armature core)
- (d) 發電子捲線 (Armature winding)
- (e) 整流子
- (f) 刷子及び刷子保持器 (Brush holder)
- (g) 界磁線輪 (Field coil)

此の中 (a) (b) (c) は磁束の通路即ち磁路となり、(d) (e) は起電力を誘導する電路を、(f) は此の誘導された起電力を外部電路に接續する集電器具を、又 (g) は磁路を勵磁する電路を夫々形作つてゐる。



9. 發電子の構造

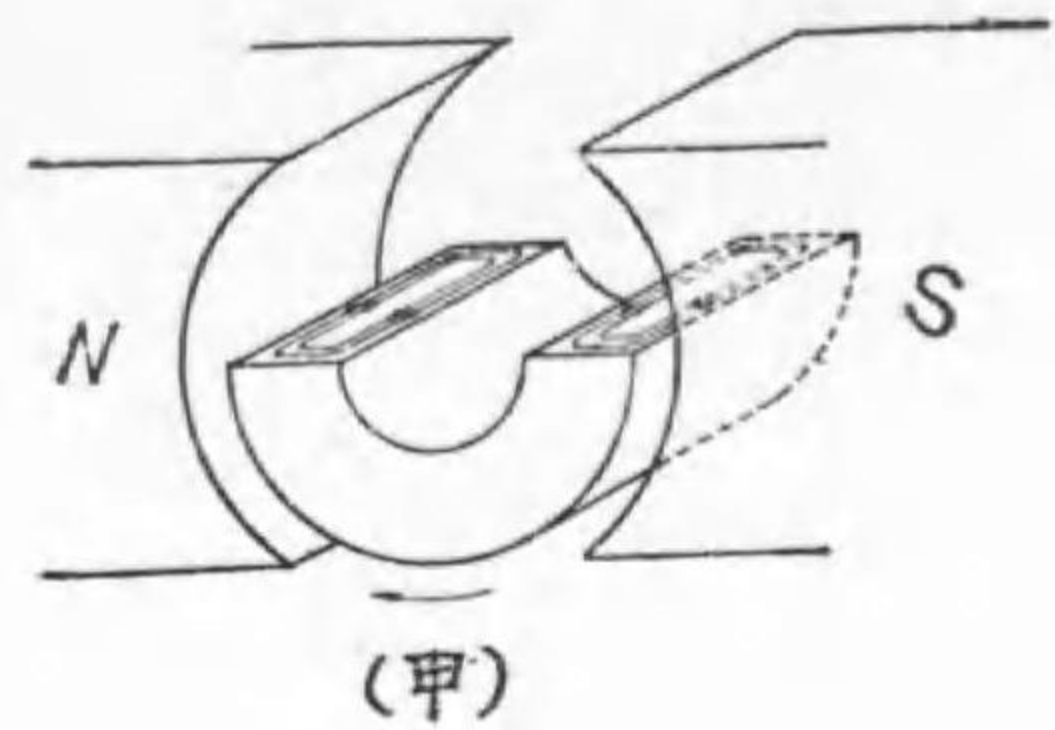
發電子 (Armature) は界磁と共に發電機の最も重要な部分であつて、發電子導體と發電子鐵心とから成る。導體は起電力を誘導するためのもので、



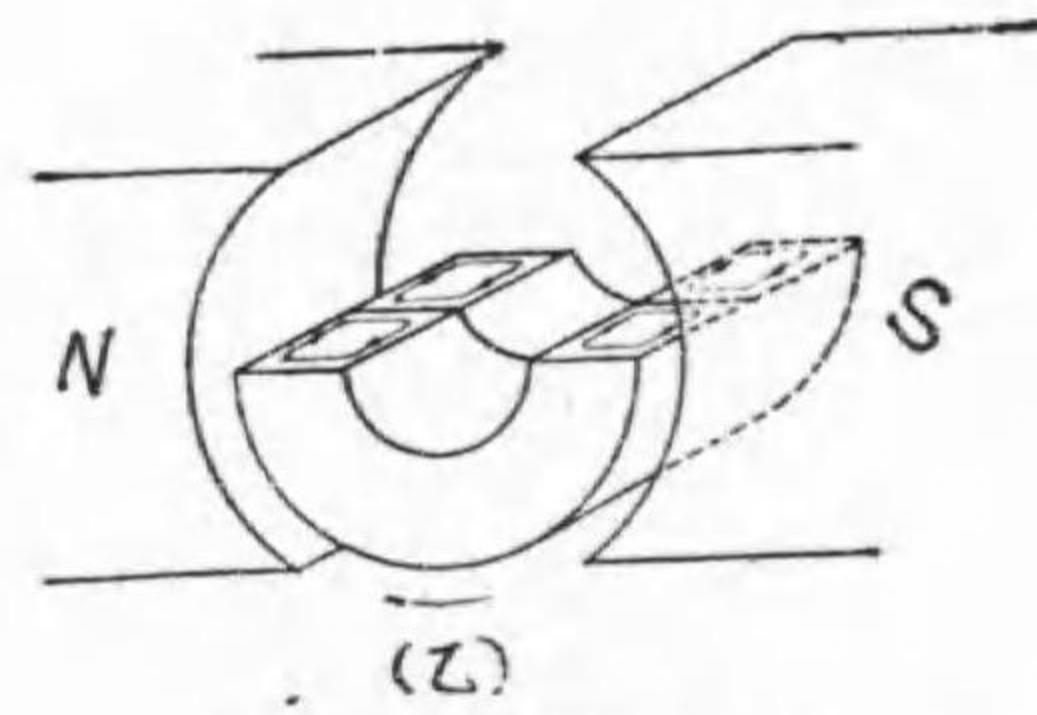
第7圖 直流發電機

鐵心はその導體を支持し且つ磁束の通路となるものである。發電子

鐵心は厚さ0.35~0.5mm位の固有抵抗の高い鋼板即ち薄鐵板 (Sheet iron) を所要の形に打ち抜き、之を積み重ねて作る。此の様な鐵心を成層鐵心 (Laminated core) といふ。薄鐵板は俗に電氣鐵板といはれるもので普通の鐵板より高價である。



(甲)



(乙)

第8圖 渦流の生ずる圖

發電子鐵心を成層せず第8圖(甲)の様に一塊の鐵で作ると、鐵も電氣の導體であるから、之が磁界中で廻轉すれば鐵心中にも起電力が発生して鐵心内部に所謂渦流 (Eddy current) が流れる。渦流が流れるとエネルギー損失を生ずる許りでなく、發電子の温度を高めて絶縁物を劣化する虞れがある。

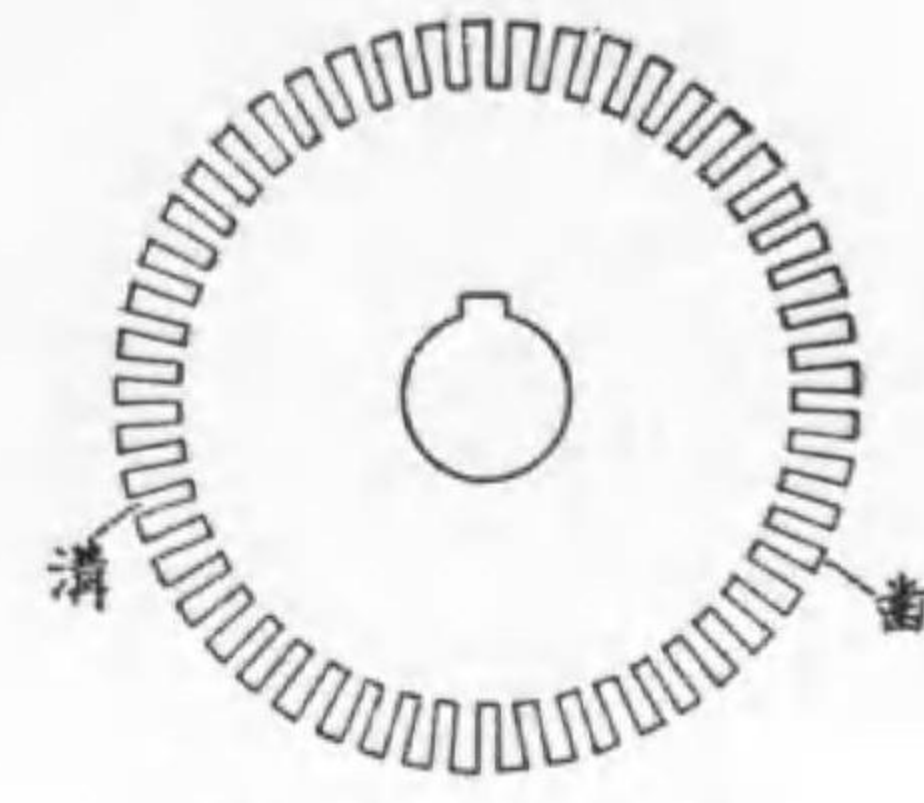
成層すると此の渦流が著

しく小さくなり従つて渦流損も減少する。一般に渦流損は厚さの二乗に比例して増減するものである。即ち第8圖(乙)の様に若し二つに成層すると渦流損は(甲)の場合の約四分の一になる。

鐵心が成層される面は廻轉軸及び發電子導體に直角の方向であつて、各薄鐵板の表面には絶縁用ワニスを塗つて簡単な絶縁をするか又は表面を自然酸化させて錆で絶縁に代へる。従つて成層鐵心の實

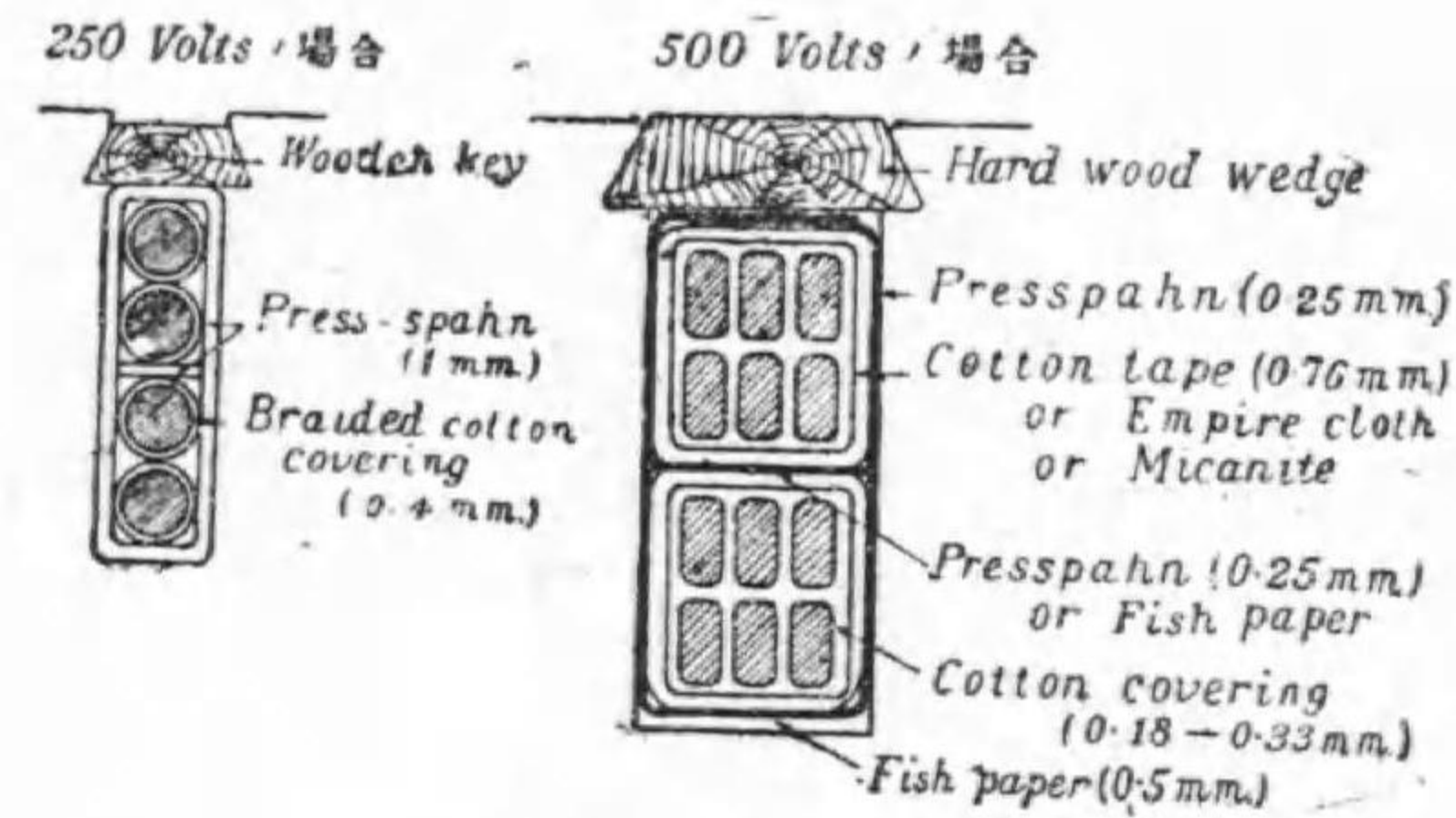
際の長さの約90%が鐵の部分である。

發電子導體は鐵心の表面に穿たれた溝 (Slot) の中に納められる。溝の形状には種々あるが普通直流機械には多く開放溝 (Open slot) が採用されてゐる。而して溝と溝との間を齒 (Tooth) といふ。



第9圖 薄鐵板

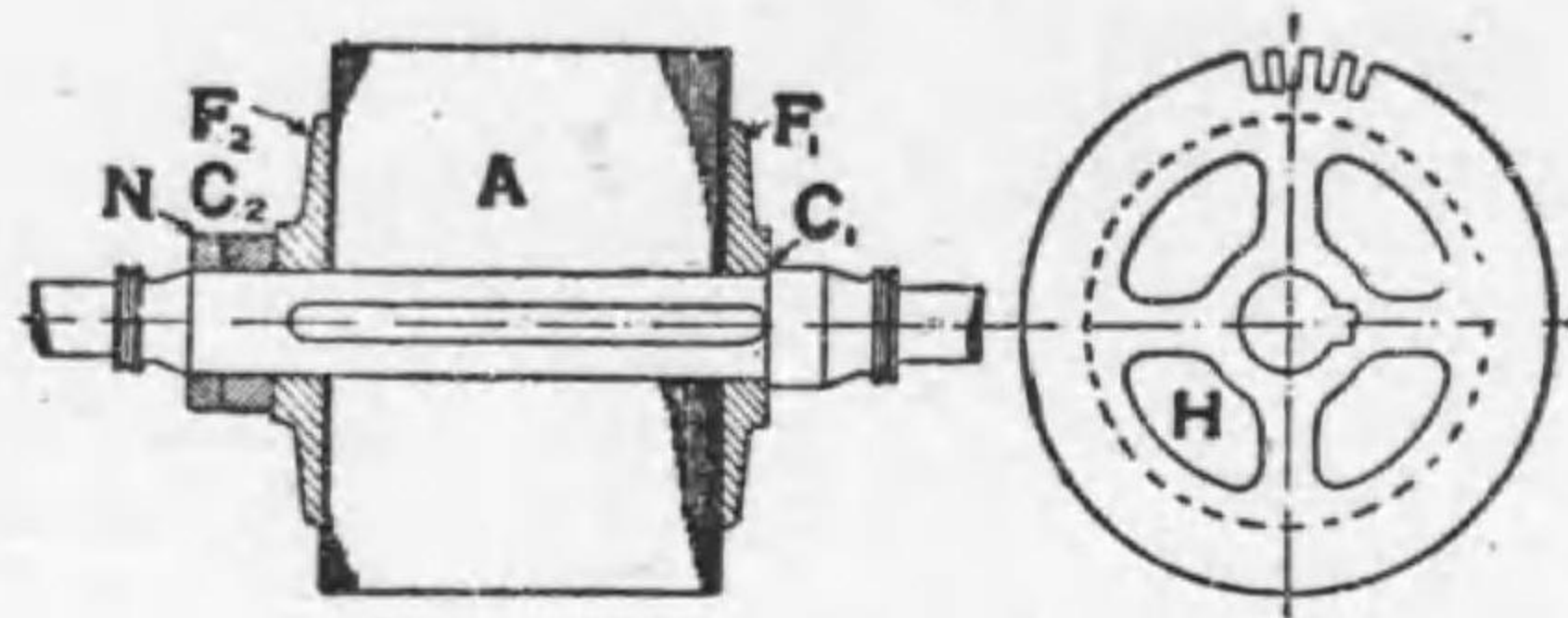
第9圖は一枚の薄鐵板の周圍に溝及び齒を設けられたものを示す



第10圖 溝の絶縁

又第10圖は溝中の導體を示すもので、導體は夫れ自身に適當な絶縁を施すのみでなく、相隣れる導體間及び溝との間も充分絶縁せなければならぬ。

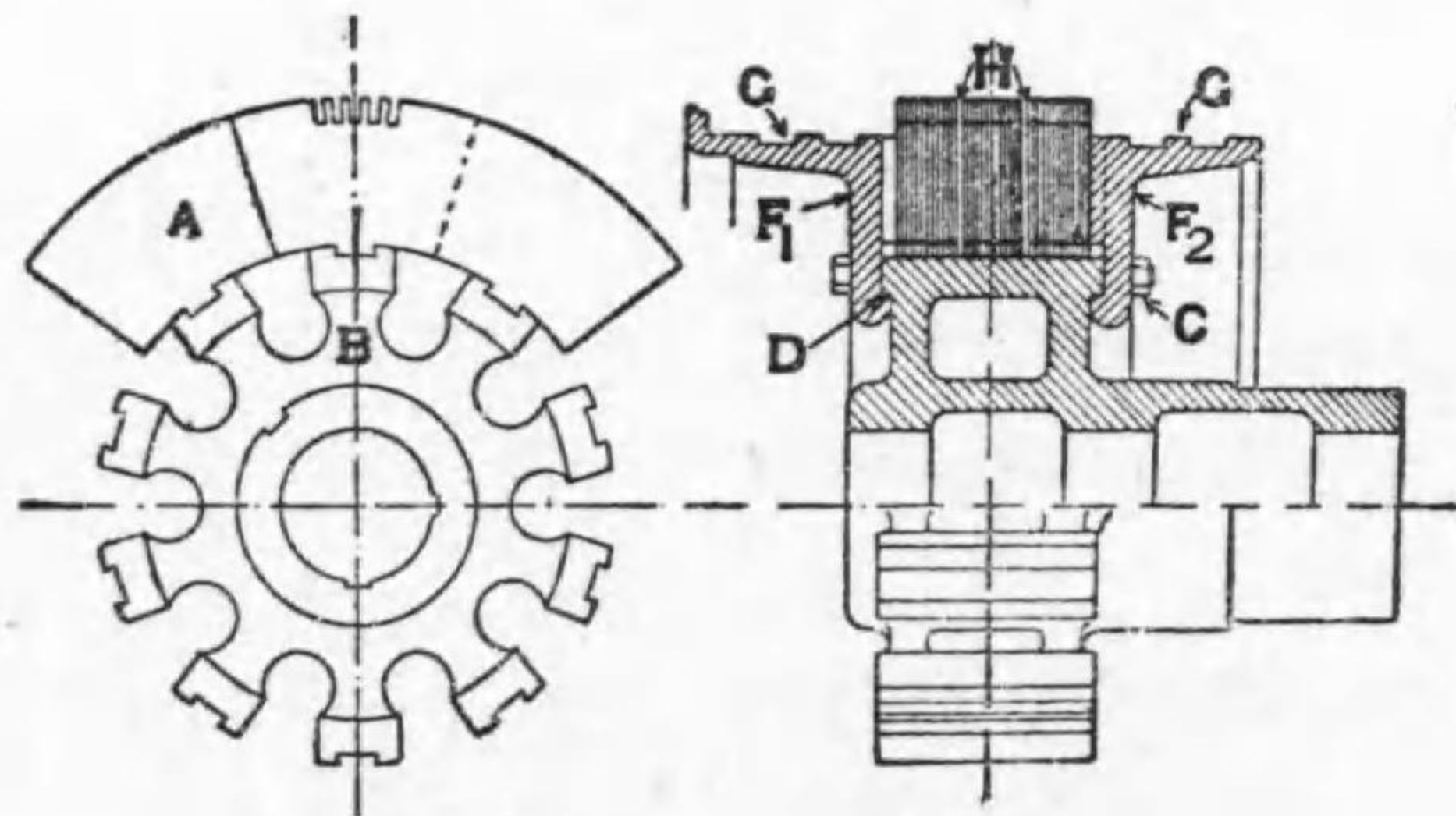
第11圖は小型の發電子鐵心の構造を示す圖である。Aが成層鐵心の部で其の兩端に鑄鐵製の錨 (End flange) F_1 , F_2 があつて、 F_1 は軸上のカラー C_1 で受け止められ F_2 は捻子附のカラー C_2 で締附けら



第11圖 小型發電子

れ、更に弛みを防ぐために止捻子 (Lock nut) N を使用する。普通磁束は鐵心の表面に近い部分だけを通るものであるから、軸に近い部分にHの様な孔を打抜いて鐵心内部の通風を良くし且つ鐵心の重量を減少せしめる。

大型の發電子では直徑が大であるため市販の薄鐵板から圓形の發電子板を切り取ることが出来ないから第12圖の様な扇形の發電子板を用ひ、各層の扇形板の繼目が重ならぬ様成層する。鐵心は軸に固定されてゐる輻鐵 (Spider) Bに鳩尾狀結合 (Dove tail joint) で取付



第12圖 大型發電子

け、遠心力に依つて飛び去るのを防ぐ。

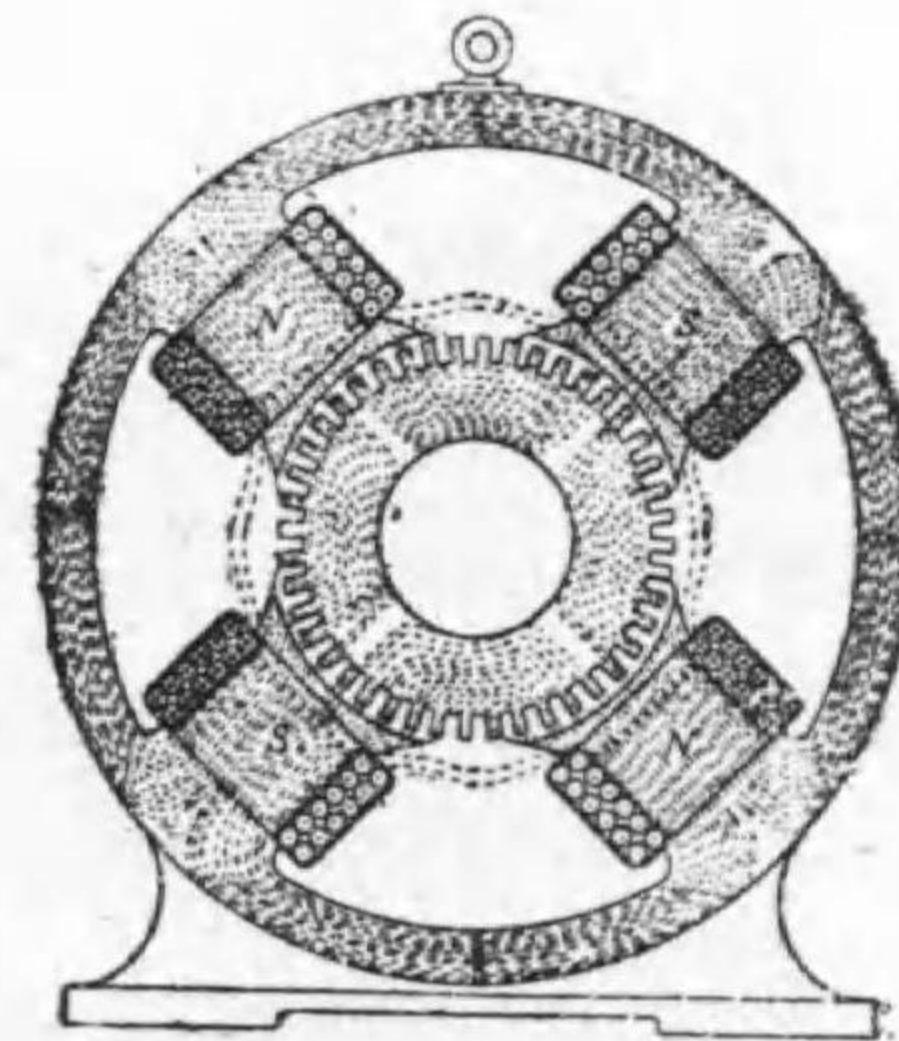
尙發電子鐵心を冷却する目的で鐵心の内部に於て軸の方向に鐵心の積み厚さ6~10cm 毎に10mm 幅位の通風渠 (Air duct) Hをおく。通風渠の中には間隔片 (Duct piece) が挟まれてゐて間隔を保つ。

10. 界磁の構造

界磁 (Field magnet) とは發電子鐵心を除いた一つの磁氣回路を形作つてゐる部分の名稱である。最も簡単な場合は2極であるが、実際には4, 6, 8, 10, 12 極等極數の多い發電機がある。4極以上の界磁を有する發電機を多極發電機 (Multipolar generator) といふ。

界磁は界磁鐵心、極片、繼鐵及び界磁線輪から出来てゐる。

第13圖は4極發電機の界磁を示すもので、圖の突出した鐵のN, Sの部分を界磁鐵心といひ、界磁鐵心の材料としては一般に鑄鋼、鍛



第13圖 四極機の磁束分布

鐵及び薄鐵板が用ひられる界磁鐵心の發電子に近い部分を極片と稱し、磁束を發電子の表面に適當に擴げて分配する役目をする。此のものは界磁鐵心と一體に作られるか、或は別に製したものを鐵心に取付ける。

繼鐵は磁氣回路の一部をなすと共に界磁鐵心を支へ又磁氣力の爲めに變形を起さぬ様にせ

ねばならぬから機械的にも十分な強さが必要である。即ち之は外圍の枠で普通用ひらるゝ材料は鑄鐵或は鑄鋼である。

發電機に必要な磁束を生ずるには永久磁石でもよい譯であるが其れよりも安價で且つ強力な磁力を生ずることの出来る電磁石が専ら用ひられる。界磁線輪は此の電磁石を勵磁するために界磁鐵心に捲き付けた線輪をいひ、界磁線輪を流れる電流を勵磁電流 (Exciting current) といふ。

界磁鐵心、極片及び界磁線輪を總稱して磁極 (Field pole or magnet pole) といふ。各磁極の極性は N と S が交互に配列されて居らねばならぬ。又 4 極の磁束の分布状態は圖の如くである。

11. 發電機の種類

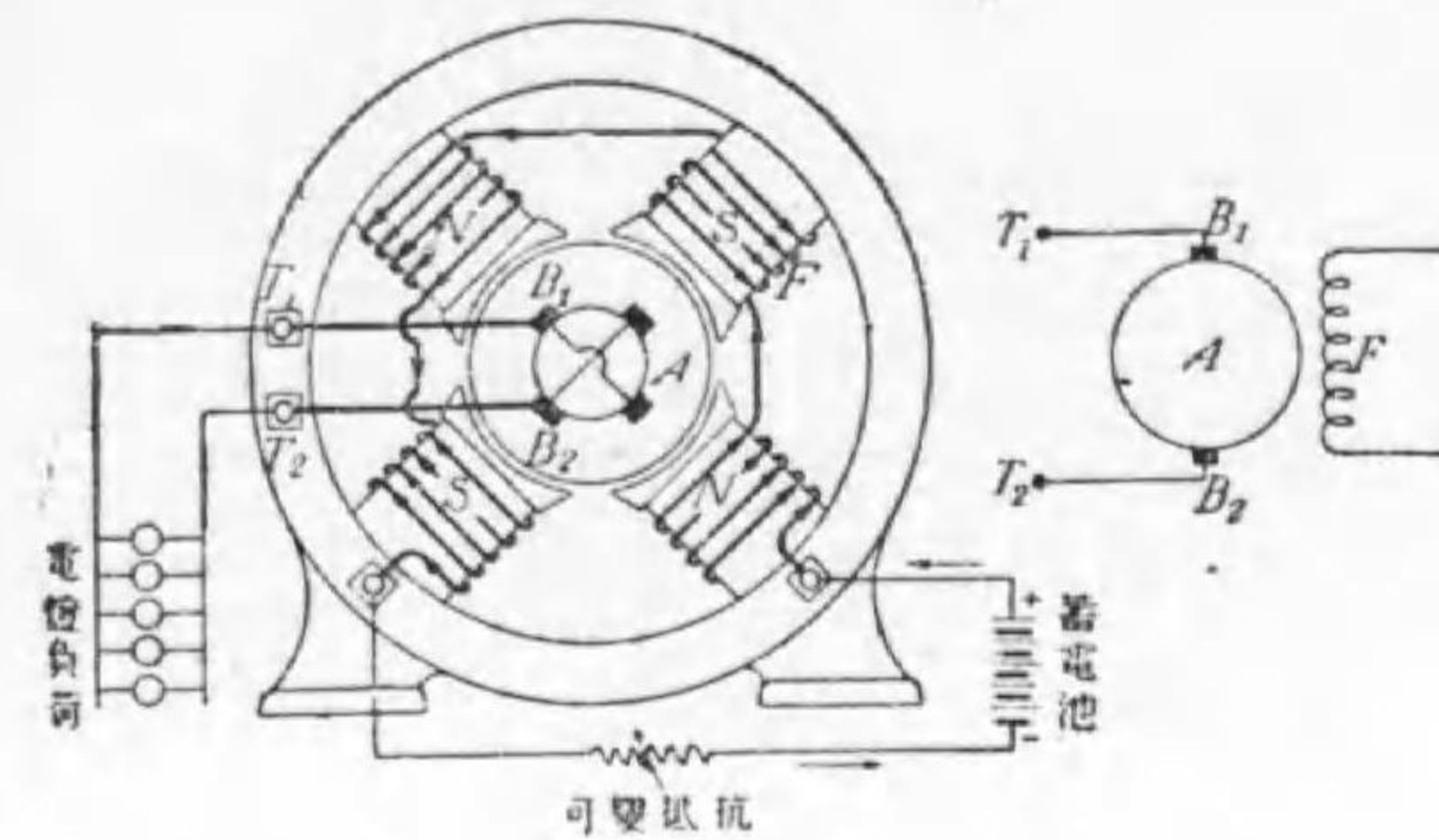
勵磁電流を通ずる方法に依つて發電機を分類すると

- (a) 他勵發電機 (Separately excited generator)
- (b) 自勵發電機 (Self-excited generator)
 - (i) 直捲發電機 (Series wound generator)
 - (ii) 分捲發電機 (Shunt wound generator)
 - (iii) 複捲發電機 (Compound wound generator)

となり此の外に上記永久磁石を用ふる磁石發電機があるが非常に小さい發電機以外には用ひられない。

他勵發電機とに第14圖の様に他の電源からの電流を界磁線輪に供給するものである。

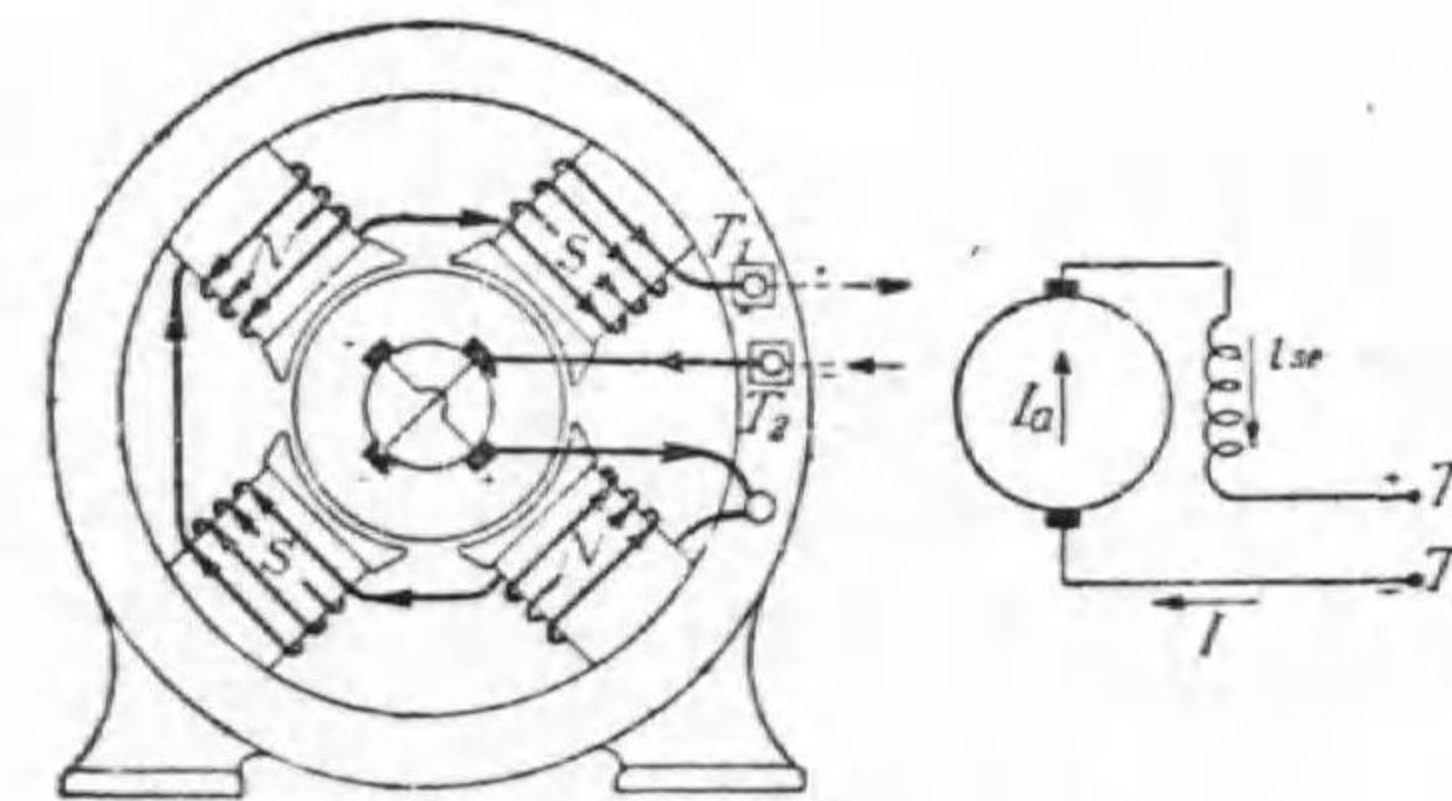
之に對して自勵發電機は自己の發生する電流を界磁線輪に送る方



第14圖 他勵發電機

法であつて大抵のものは此の方法に依る。

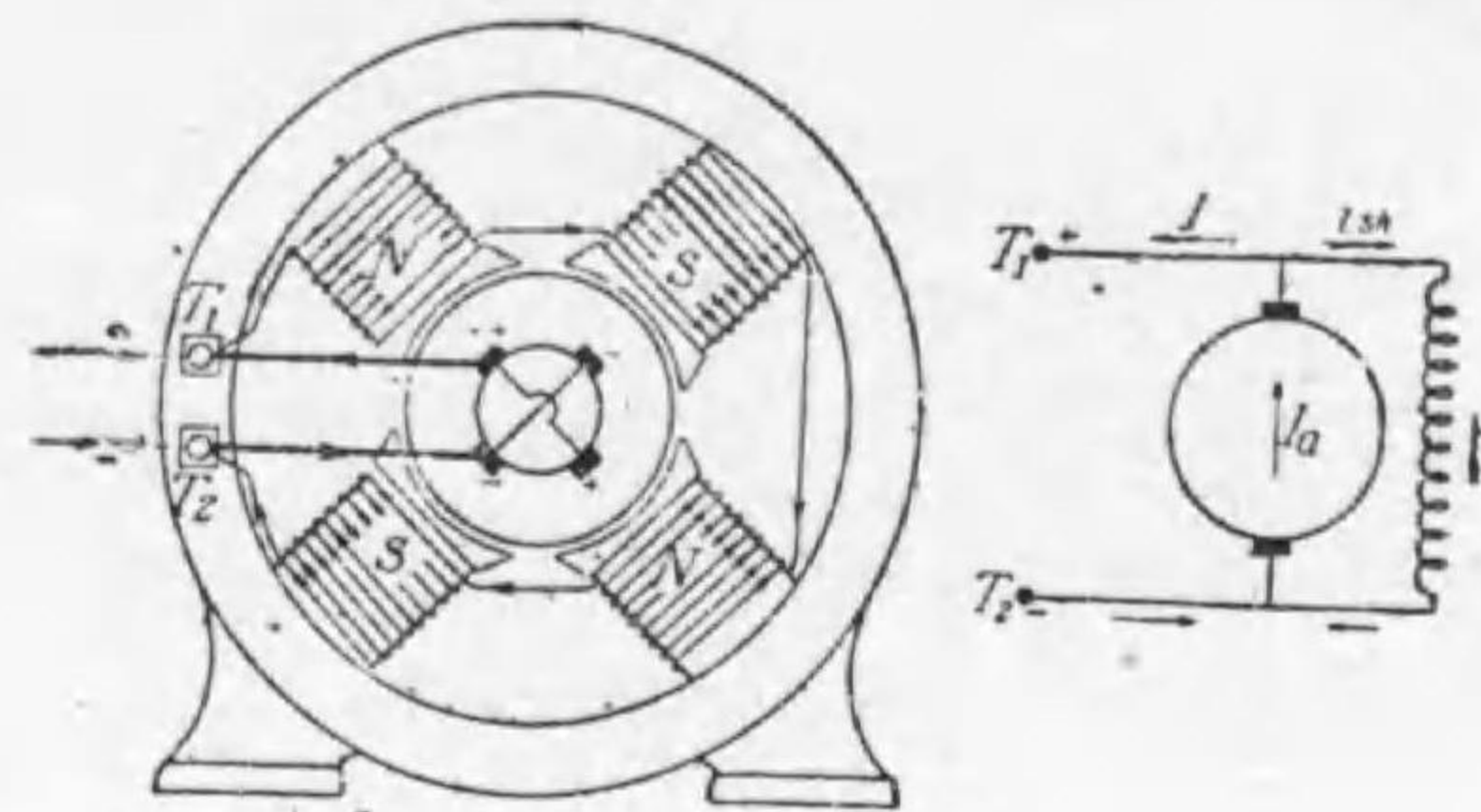
其中直捲發電機は第15圖の様に發電子と界磁線輪とが直列に接続せられるものであるから勵磁電流は發電子電流と同一値である。



第15圖 直捲發電機

故に界磁線輪には太い導線を數少く捲く。此の様な界磁線輪を直捲線輪 (Series coil) といふ。

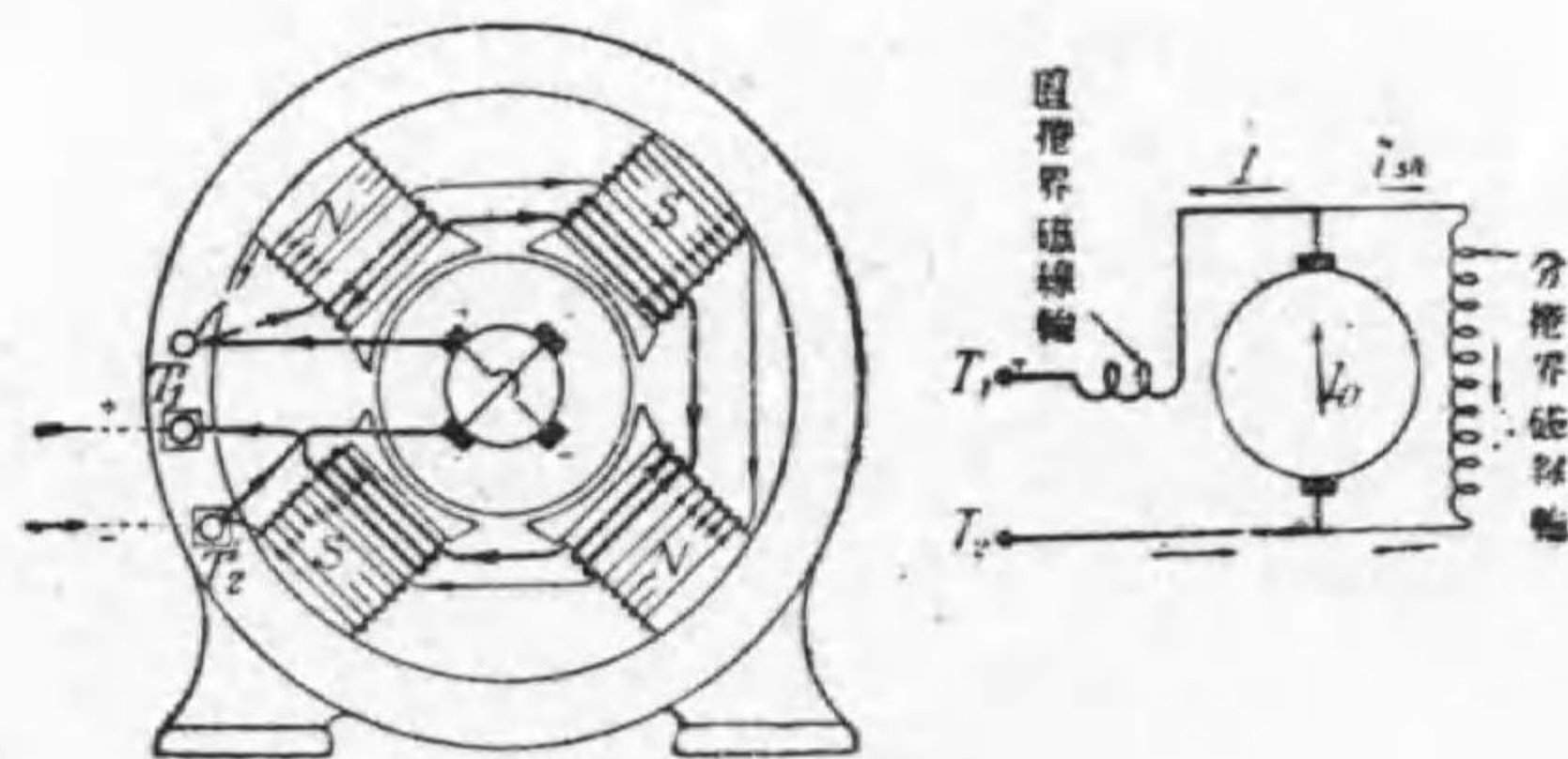
分捲發電機は第16圖の如く界磁線輪と發電子とが並列になつて居り發電子電流の一部分が勵磁電流となる。全負荷の場合で發電子電流



第16圖 分捲發電機

の数パーセント以下であるから界磁線輪には細い導線を用ひ捲敷を多くする。此の様な界磁線輪を分捲線輪 (Shunt coil) といふ。

複捲發電機は各磁極に直捲線輪と分捲線輪の両方が捲かれた發電機である。之は更に分捲線輪の接続法に依つて内分捲と外分捲に區別せられて、第17圖は内分捲を示す。

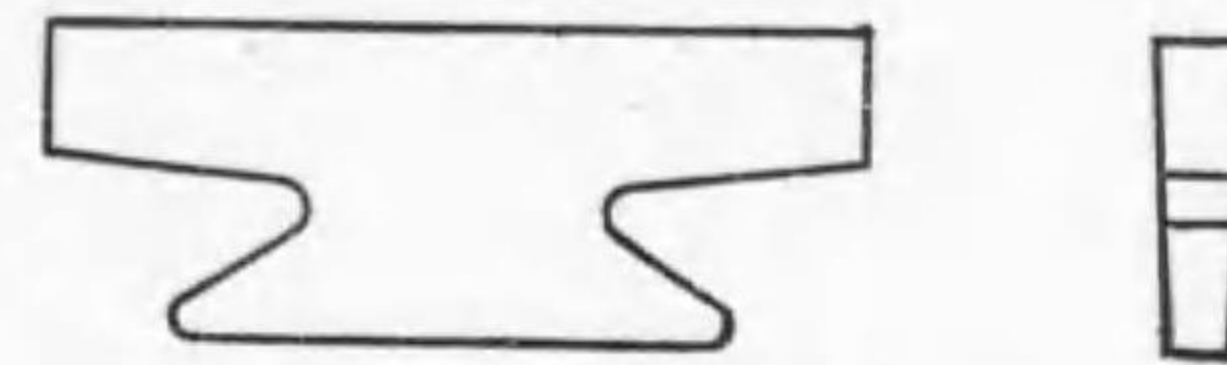


第17圖 複捲發電機

12. 整流子の構造

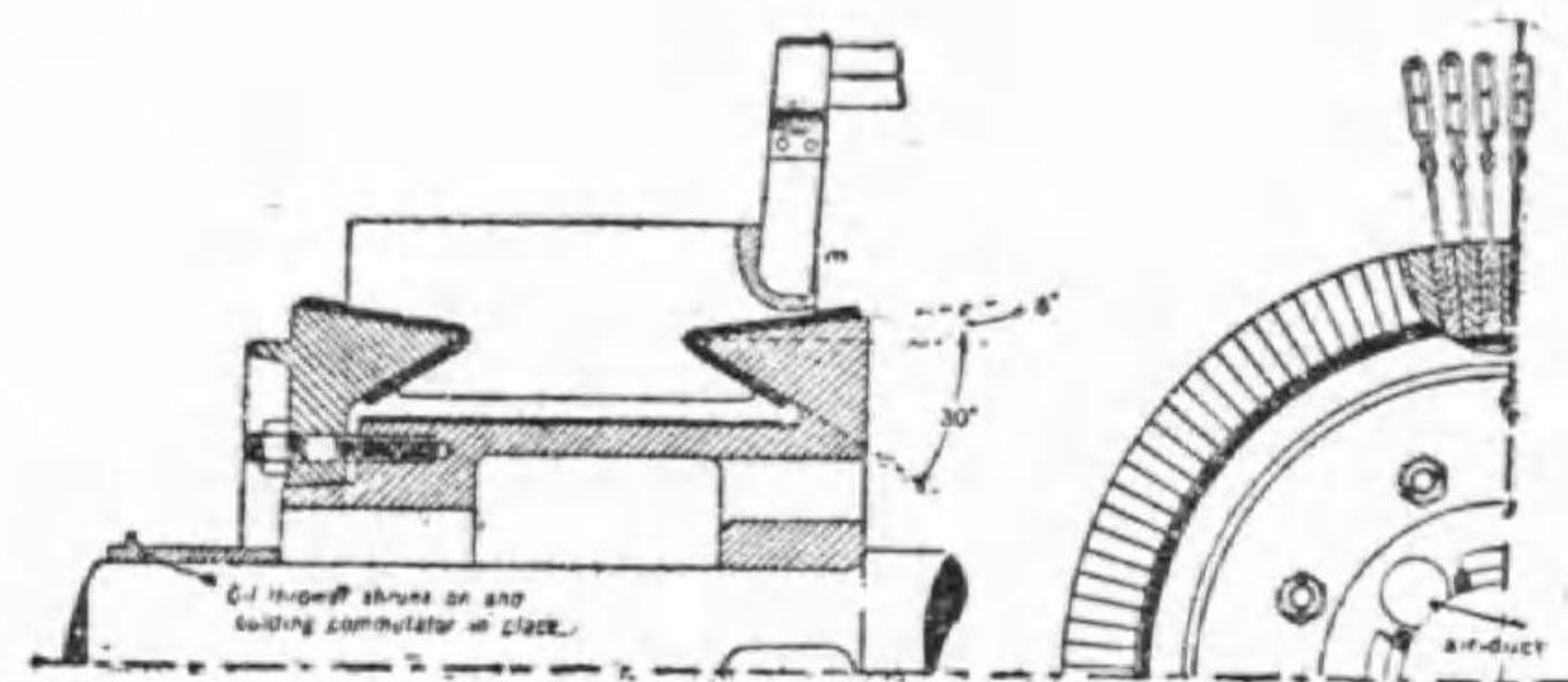
實際の直流機械では数多くの整流子片を持つた整流子が用ひられ

る。整流子片は硬引純銅 (Hard drawn copper) で第18圖の如き形状に作られ、整流子片間は雲母から製した薄いマイカナイトで絶縁せられる。



第18圖 整流子片

組立てられた整流子は圓筒状をなし、其の表面は刷子が圓滑に接觸出来る様滑らかで完全な圓形に仕上げられる。其の構造の一例は第19圖に示す。



第19圖 整流子の構造

發電子線輪の端は各整流子片に鐵着する。導線の直徑が大きい場合或は角線が用ひられて居れば、直接整流子片に鐵着せずしてなる整流子接續片 (Commutator riser) に鐵着する。

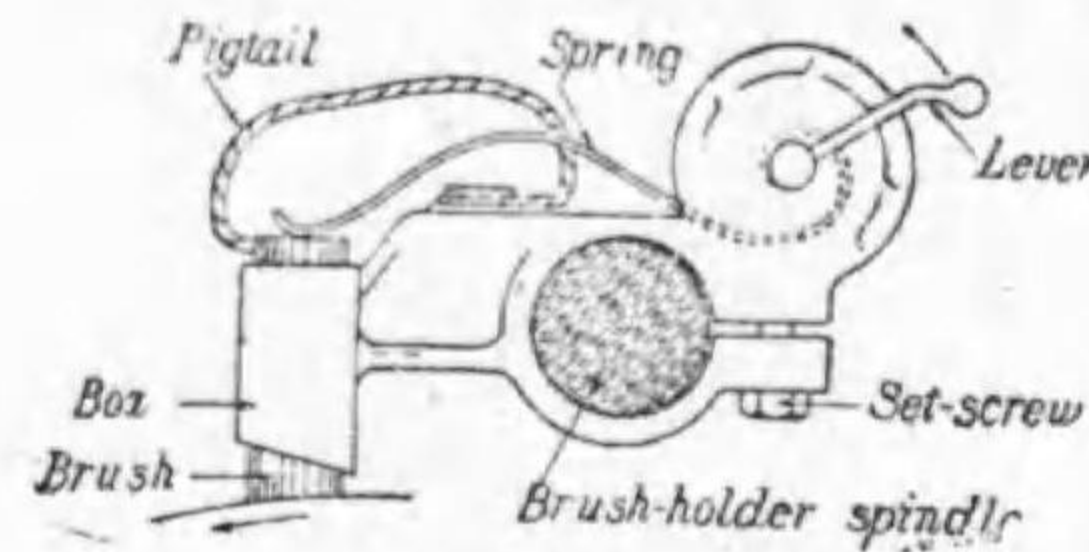
13. 刷り及び刷り保持器

廻轉してゐる整流子の表面に接觸して發電子電流を外部電路へ導き出す装置を刷りといふ。刷りは整流子片との擦り合ひ良く常に其の表面を平滑に保つことが出来るもので、尙整流子片との間に火花

を飛ばすことの少い接触抵抗の大なるものでなければならない。

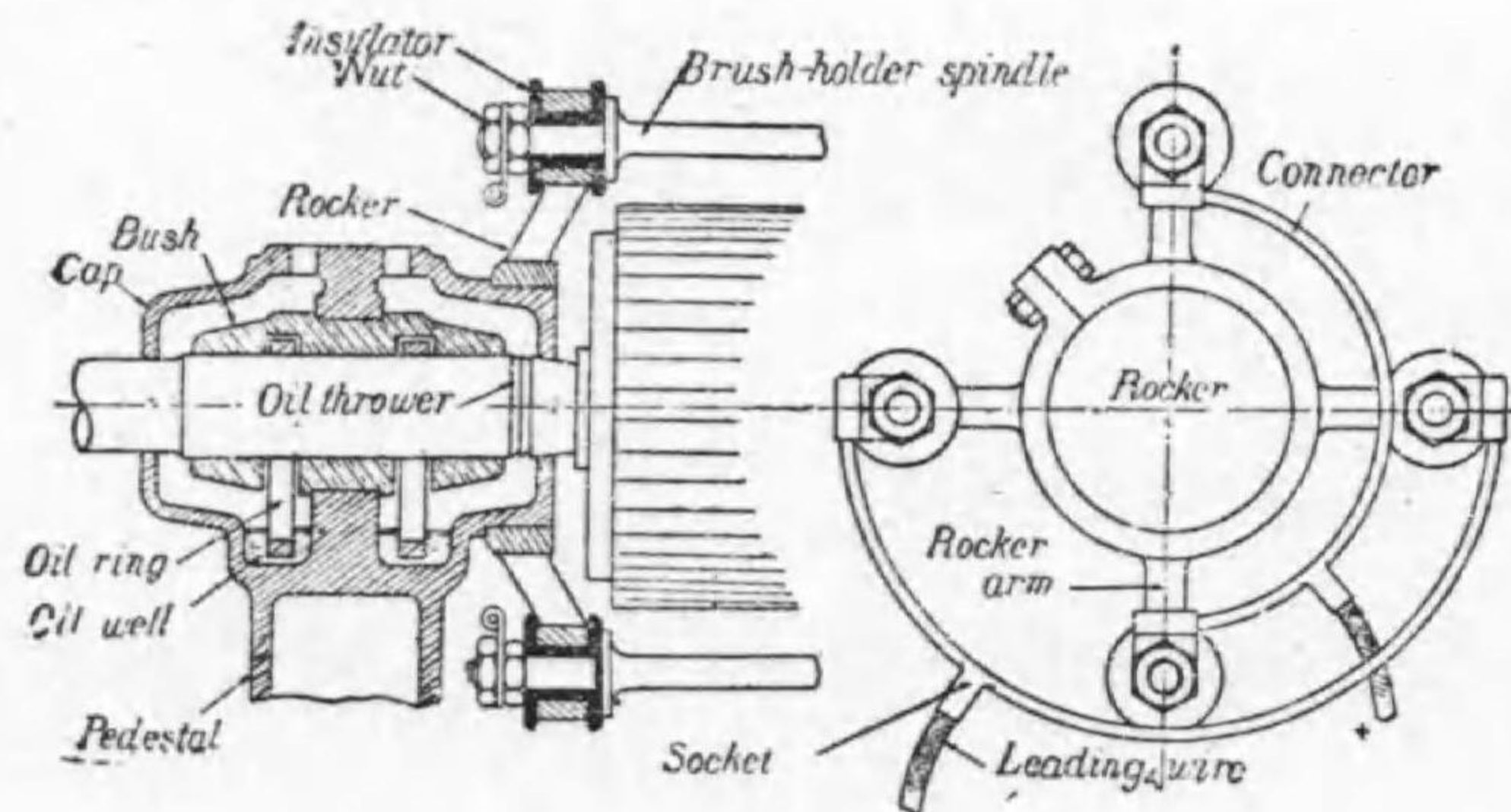
普通には炭素又は炭素の一種である黒鉛で製した刷子が用ひられる。かかる刷子は一平方糎毎に 4.5~12 アンペア位の電流を通ずることが出来る。

第20圖は刷子を所要の位置に保持する刷子保持器を示す。圖から判る様に刷子は彈條(Spring)に依つて適當の壓力で整流子面に押し着けられる。而して此の壓力は槓桿(Lever)で加減することが出来る。



第20圖 刷子保持器

刷子進退器(Rocker)といふ小型発電機用の刷子進退器は第21圖の如く軸承の一端に取付けられる。



第21圖 軸承とロッカー

適當な壓力は一平方糎毎に 0.1~0.15 瓦位が普通である。

刷子保持器を適當の間隔に支持し且刷子全體の位置を變へ得る様にせるものを

14. 軸及び軸承

直流機械の廻轉軸は良質の軟鋼で製せられる。此の軸に發電子及び整流子が取付けられる外原動機と連結するための聯結子(Coupling)或は調車(Pulley)が取付けらる。而して軸は軸承(Bearing)で支へられる。電氣機械は概して廻轉速度が大であるから軸承のメタルと注油法には注意を要する。メタルには砲金、眞鍮、ホワイトメタルが使用せられる。

注油は通常給油環(Oil ring)に依つて行ふ。給油環とは第21圖で見られる様にメタルの上半に切り欠きを作り、此處で金屬製の環を軸に掛けたものである。給油環の下部は油壺中に浸されてゐるから、軸の廻轉につれて給油環が廻れば油がメタルに自動的に注がれる。

尙場合に依つては球入軸承(Ball bearing)又はころ入軸承(Roller bearing)が用ひられることがある。之は軸承の摩擦を減ずる利益がある。

問 題

- (1) 渦流の起る譯を説明せよ。
- (2) 發電子鐵心の厚さ20cmで途中に幅9.5mmの通風渠が2個ある。鐵の部分の正味の厚さは幾らか。但し積重ねた鐵板の厚さの90%が正味の鐵であるものとする。
- (3) 分捲發電機の電圧が220ヴォルト分捲線輪の抵抗が55オームならば勵磁電流は幾らか。
- (4) 整流子片間の絶縁にマイカナイト以外の絶縁物を使用しない譯を考へ

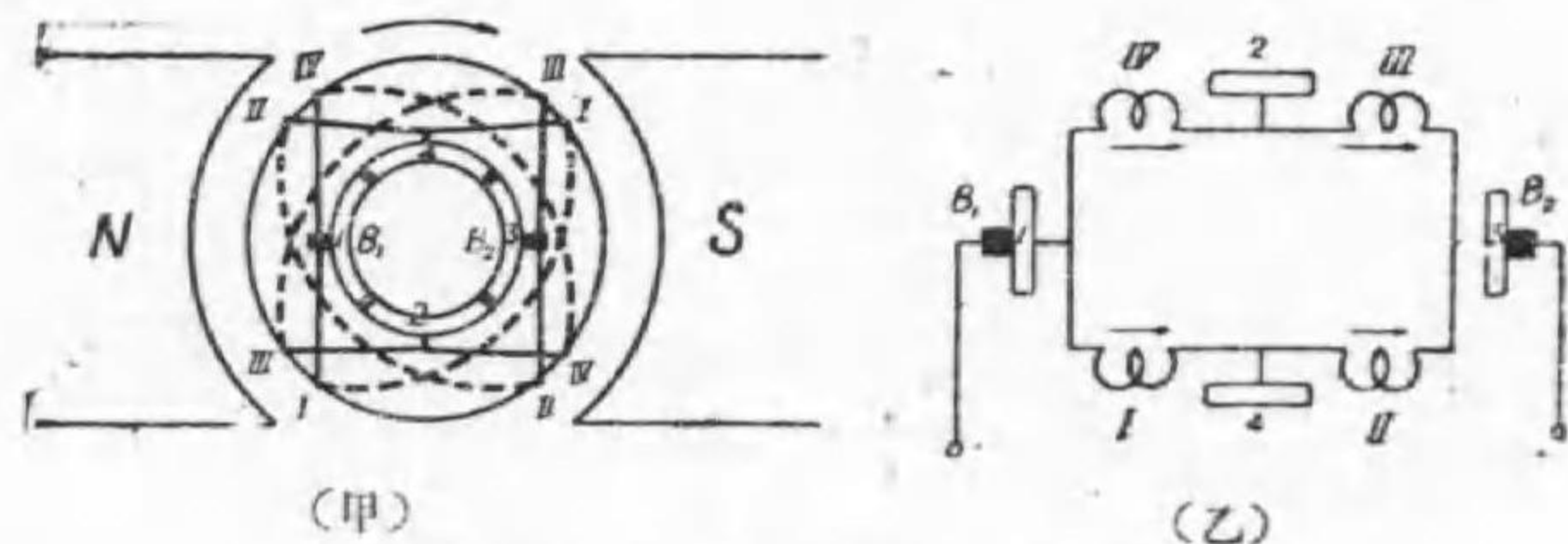
- よ。
- (5) 厚さ 15mm の炭素刷子に 36 アンペアの電流を通さうと思ふ。電流密度を毎平方厘に 8 アンペアとするならば、刷子の幅は幾らにせねばならぬか。
- (6) 六極發電機の磁束の分布状態を圖示せよ。

第四章 發電子捲線法

15. 鼓 狀 捲

第 2 章の原理の説明は簡單の爲發電子導體の数が極めて少ない場合に就いて述べたが、實際の發電機ではなるべく平滑な電壓を得且つ相當の高電壓、強電流を得る爲に、多數の發電子導體を適當に接続して用ひる。かくの如く適當に接続された導體全體を指して**發電子捲線** (Armature winding) と云ふ。

捲線法には**鼓狀捲** (Drum winding) と**環狀捲** (Ring winding) との二種あるが、環狀捲に種々の缺點を有するので現在では用ゐられ

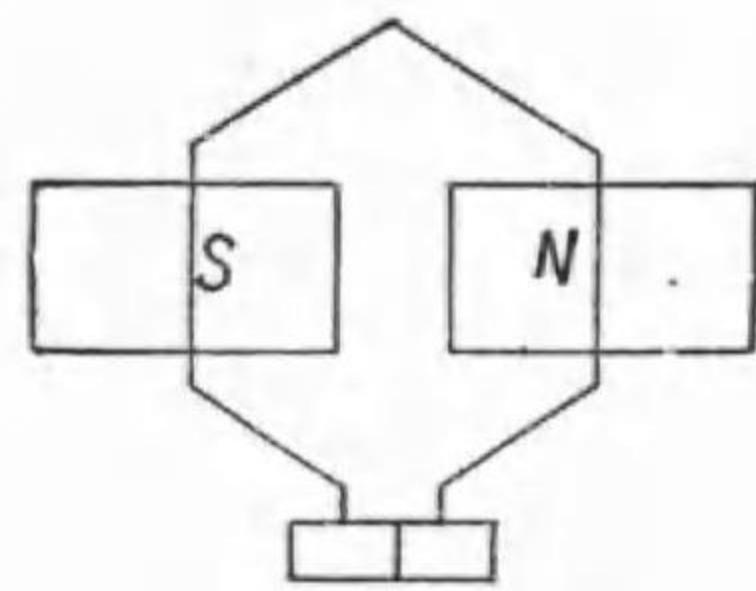


第22圖 鼓 狀 捲

て居ない。

第22圖(甲)は 4 箇の線輪を有する鼓狀發電子を示す。即ち鼓狀鐵心の表面に 4 箇の線輪 I, II, III, IV を箆め込み、之等線輪の端を順次に接続し、各接続點から**タップ** (Tap) を出して 4 箇の整流子片に夫々接続し刷子を中性點に置いたものである。此の場合 1 箇の線輪の 2 箇の線輪邊 (Coil side) の幅を**極間隔** (Pole pitch) に等しくし之等線輪邊に發生した起電力が加はり合つて無駄にならぬ様にする尙圖中實線で示したのは**前部端接続子** (Front end connector) で、點線で示したのは**後部端接続子** (Back end connector) である。尙第23圖參照)

此の捲線は第22圖(乙)に示す回路と同じであつて、4 箇の線輪は全體として 1 箇の**閉回路** (Closed circuit) を形づくつて居る。斯様な捲線の仕方を**閉輪捲** (Closed coil winding) と云ふ。直流機の捲線



第 23 圖

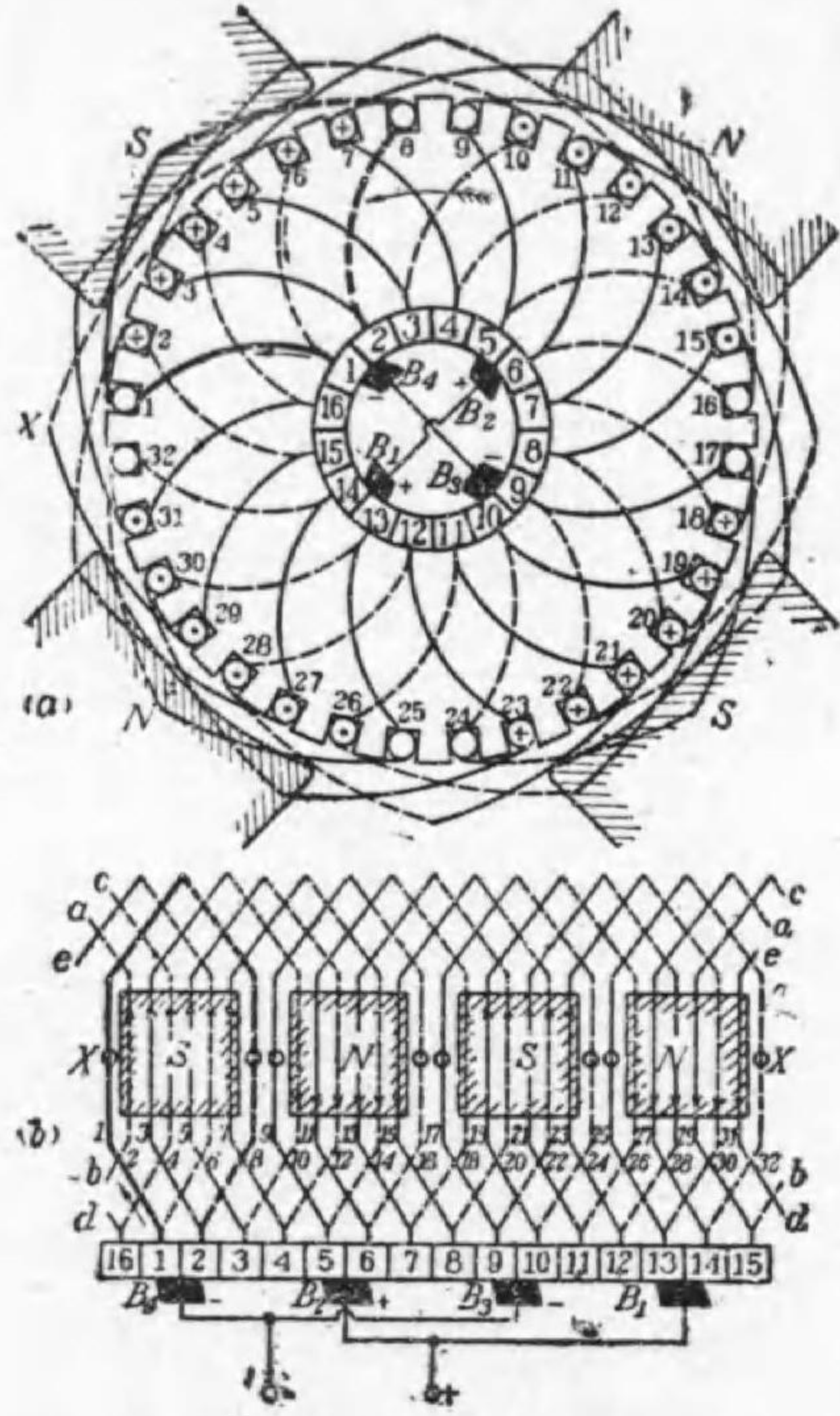
は總て閉輪捲である。之れに反して交流電機の捲線は閉電路を形作らぬので**開輪捲** (Open coil winding) と云ふ。

第22圖(乙)の回路は、之れを外部から見れば二つの並列回路であつて、各の回路の各線輪の誘導起電力は全部加はり合つて刷子間に表はれる。全體が閉電路をなしてゐても此の閉電路を流れる**循環電流** (Circulating current) は生じない。之は各分路の合成起電力は、此の閉電路に就いて考へるに大きさが等しく方向が反對だから打ち

消し合つて起電力が作用しないと同じだからである。

16. 重捲と波捲

鼓狀捲には重捲 (Lap winding) と波捲 (Wave winding) とがある
第24圖 (a) は4極32導體の重捲を示す。整流子片は線輪の數と



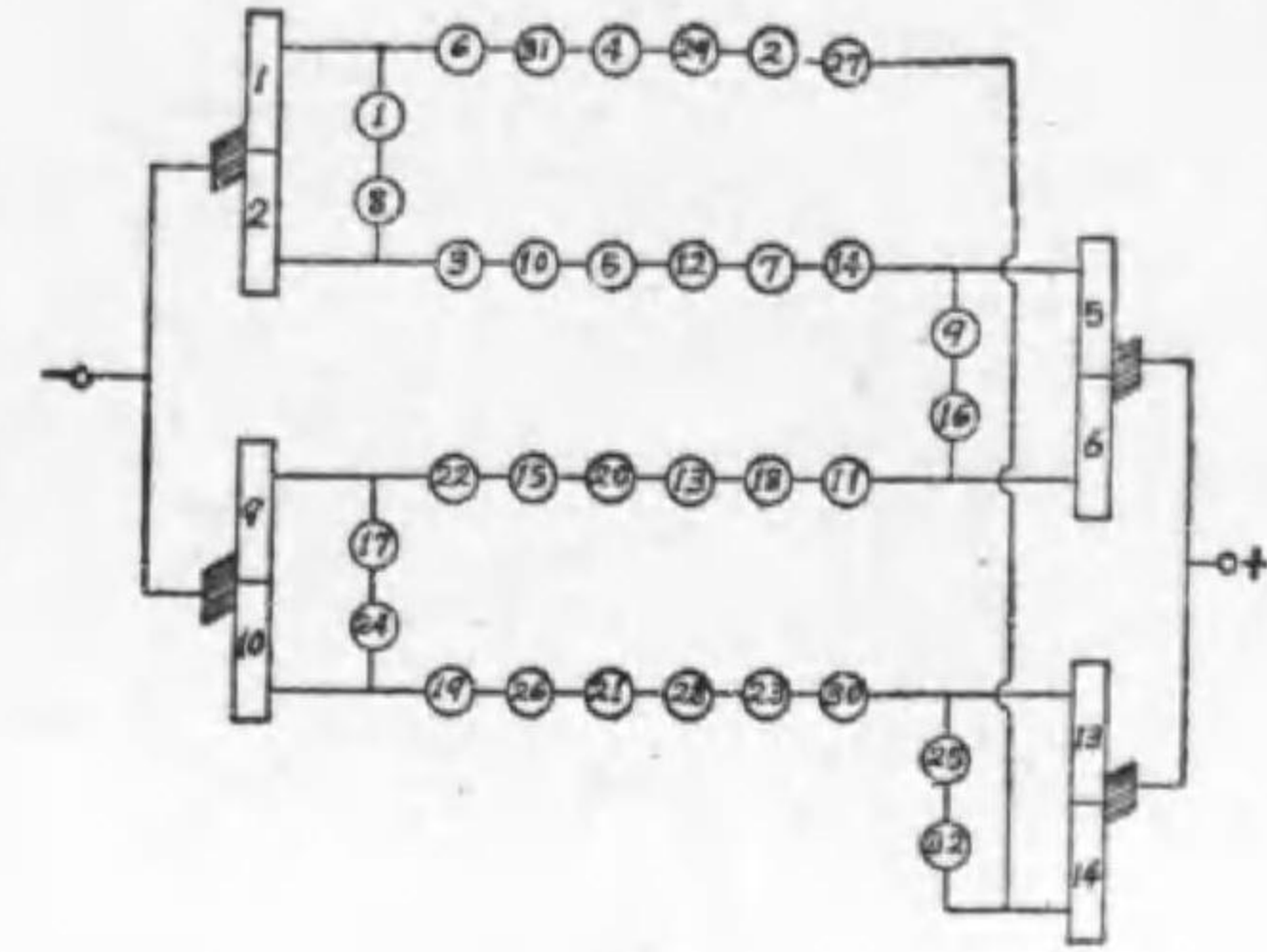
第24圖 重捲四極發電機の捲線圖及展開圖

第27圖 (a) は4極42導體の場合の波捲を示す。各線輪の兩端は重

同數で、1箇の線輪の兩端は隣り合つた整流子片に接続される同圖 (b) はその展開圖を示す。捲線が順次に重なる如く捲き進む故に重捲と云ふ。

第25圖は此の瞬間の電路の状態を示す圖から分る如く磁極と同數の並列分路がある。刷子に依つて短絡されてゐる線輪は何れも中性線にあるから短絡電流の流れる恐れはない。

捲の場合と異なり直ちに隣りの整流子片に接続されず總ての磁極の下にある導體を直列に通過した後、隣りの整流子に入るのである。同圖 (b) は其の展開圖を示



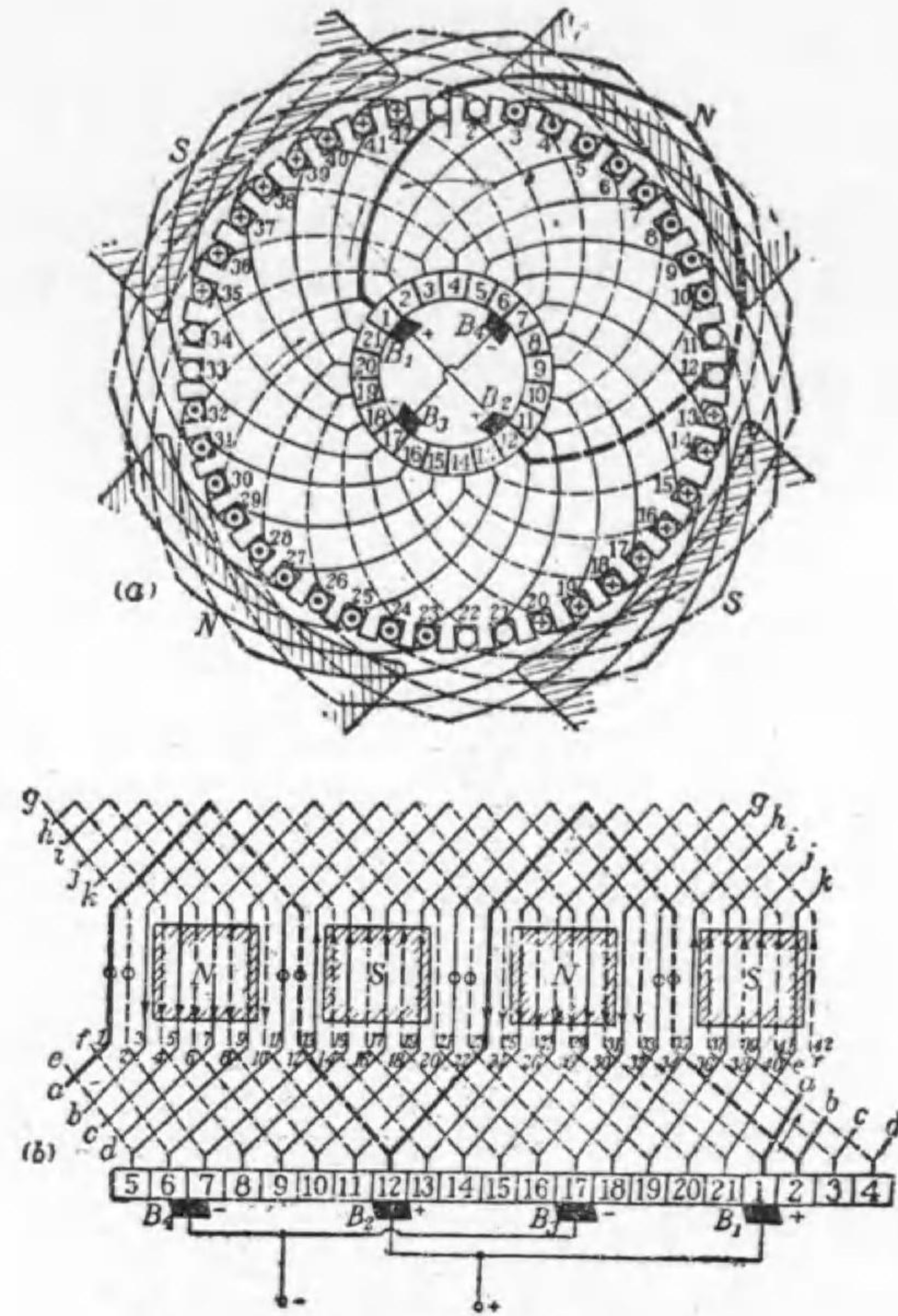
第25圖

す。則ち捲線が波の形をなして進行して行くから波捲と云ふのである。

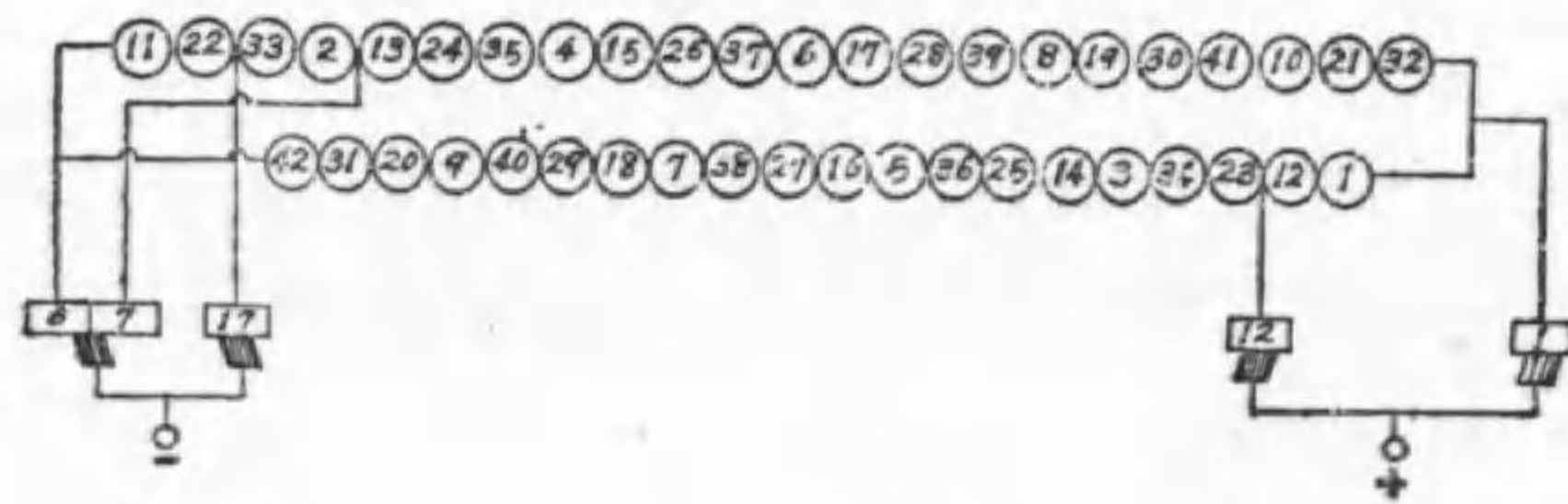
第27圖はその發電機電路の状態を示す。波捲では並列分路の數は極數に無關係に常に2箇であつて、従つて刷子の數は2箇だけでも良い。則ち第27圖ではB1とB4だけでも差支へない。重捲、波捲何れでも、2箇の刷子間にある線輪に發生する起電力は全部有効に加はり合ふ事圖に見る如くである。

重捲は直列導體數が少なく、並列分路數が多くなるから、低電壓強電流の電機に適し、之を並列捲とも云ふ。波捲は直列導體數が多くて並列分路數は少ないから高電壓小電流の電機に適し、之を直列捲とも云ふ。

上に掲げた圖は何れも1箇の溝に1箇の線輪邊を入れたものである實際の發電機では發電機表面になるべく多くの線輪を納める爲に二層捲 (Double layer winding) とする。之は第28圖に見る如く1箇の

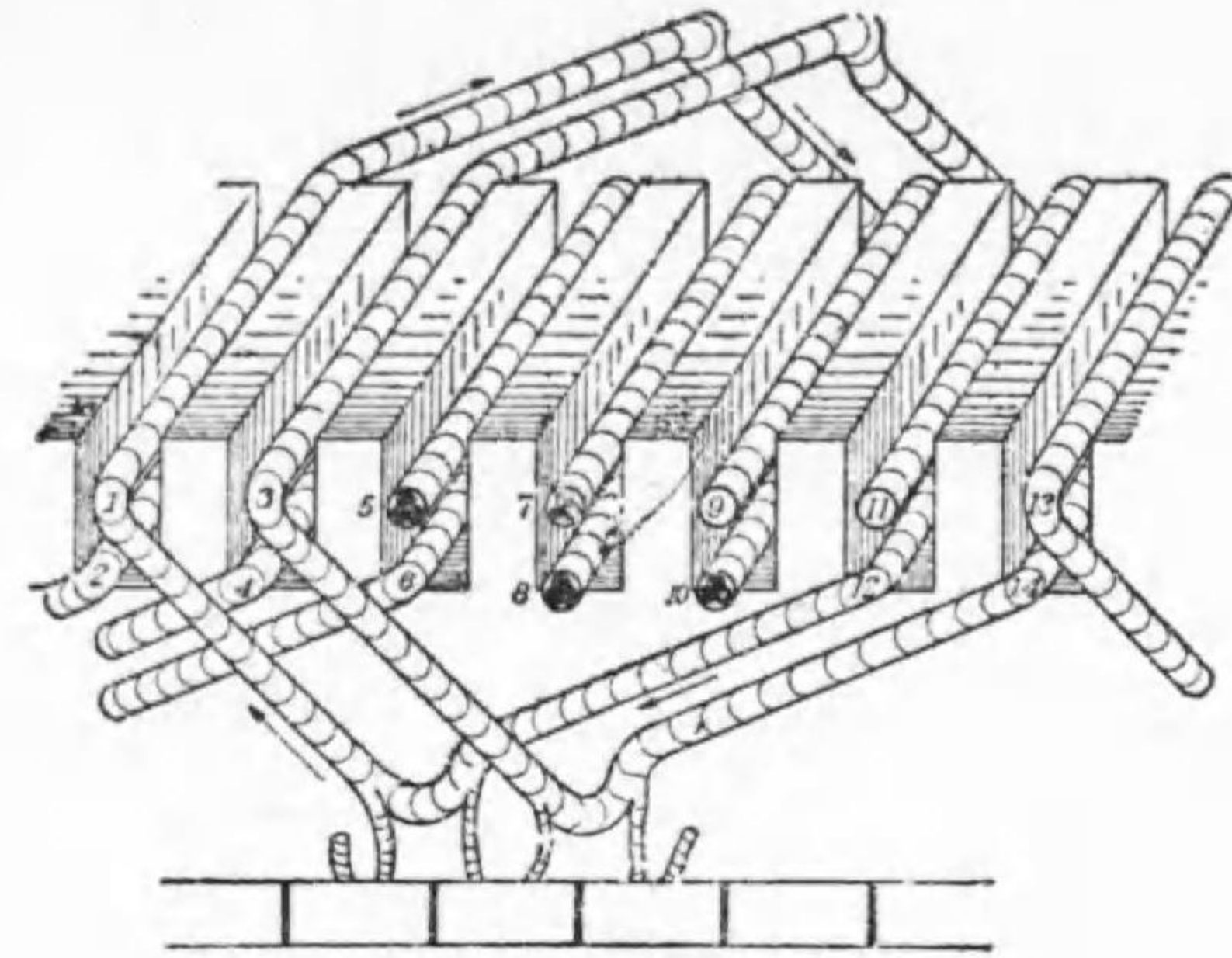


第26圖 波捲四極發電機の捲線圖及展開圖



第 2 7 圖

溝の下部に1箇の線輪邊を入れその上部に他の線輪の線輪邊を入れて行く方法であつて、兩線輪間は勿論完全に絶縁される。之は1箇の線輪に就いて云へば、その一方の線輪邊は一つの溝の上部に、他の線輪邊は他の溝の下部に入れる。

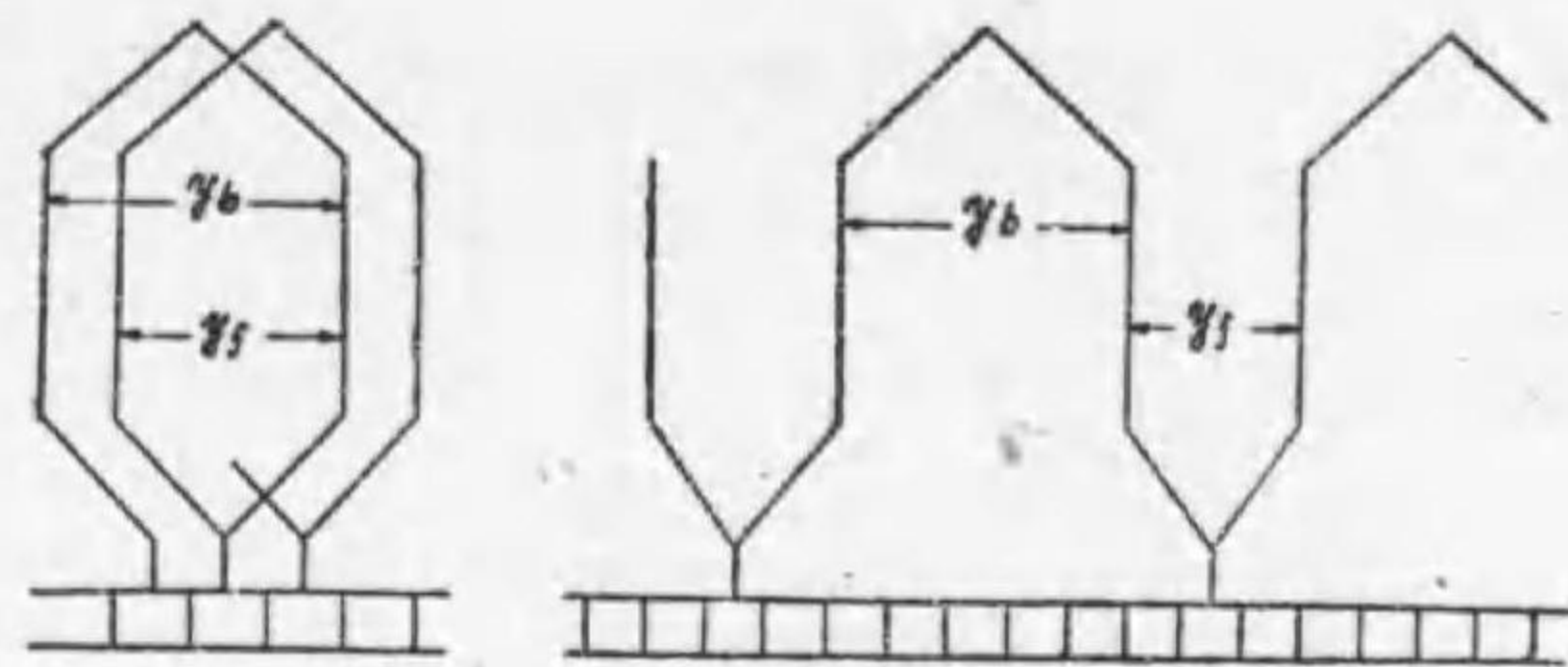


第28圖 二層重捲を溝に納める圖

17. 捲線ピッチ

鼓狀捲に於ては線輪の幅は凡て極間隔に等しくなければならぬ。此の線輪の幅を線輪ピッチ (Coil pitch) 又は後ピッチ (Back pitch) と云ひ、第29圖の y_b は之を示す。後ピッチに對して同圖の y_f を前ピッチ (Front pitch) と云ひ、此の y_b 及 y_f 兩者を總稱して捲線ピッチ (Winding pitch) と云ふ。

之等ピッチの大小は何れも線輪邊間の距離で表はさず線輪邊の數で表はす。例へば第24圖の重捲では $y_b=7$, $y_f=5$ であり、第26圖の



第 29 圖

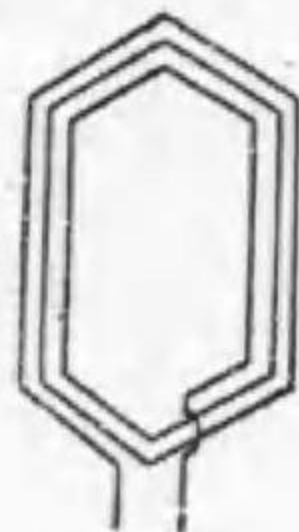
波捲では $y_b = y_f = 11$ である。

尚 $(y_b + y_f)/2$ を平均ピッチ (Average pitch) と云ひ、之れが極間隔 (全線輪邊数を極數で割つたもの) に等しい時は全節捲 (Full pitch winding) と云ひ、極間隔より小さい時は短節捲 (Short pitch winding) と云ふ。第24圖の重捲では極間隔は $3\frac{3}{4} = 8$ で、 $(y_f + y_b)/2 = (7 + 5)/2 = 6$ であるから短節捲である。

短節捲は誘導起電力の利用が充分でないが、端接續子が短かくて銅線の經濟となる。

問 題

- (1) 發電子線輪は通常の場合一捲きでなくて數回捲いたものを使用する。この際導體同志の間は心線上の木綿被覆で絶緣されて居るだけであるが、かうして出來た線輪を溝中に納める時は、其の線輪邊と鐵心間、又は同一溝内に納められる他の線輪の線輪邊との間は、綿テープ、プレスパン、其の他の絶緣紙類で嚴重に絶



緣される。之れは何故か。

- (2) 42個の線輪を二層捲にするには發電子溝數及整流子片數は何個入用か但し各溝に2個の線輪邊を入れるものとする。
- (3) 前問の場合6極發電機ならば極間隔はいくらか又線輪ピッチはいくらにしたらよいか。
- (4) 前問の場合之れを重捲とすれば前ピッチはいくらか。
- (5) 前三問の場合平均ピッチはいくらか。之れは全節捲か短節捲か。
- (6) 以上の發電機の捲線圖を畫用紙に丁寧に畫き一週間以内に提出せよ。

第五章 直流發電機の理論

18. 誘導起電力

直流發電機に於て今

E = 誘導起電力

p = 磁極の數

ϕ = 各磁極と發電子間の磁束數

z = 發電子の導體總數

a = 發電子捲線中の分路數

N = 發電子の毎分廻轉數

とすれば1本の發電子導體が一つの磁極の下を通過する毎に ϕ 本の磁束を切るから1廻轉につき $p\phi$ 本だけ、又1秒間には $p\phi \frac{N}{60}$ 本の磁束を切ることになる。然るに1秒間に1億 (10^8) 本の割合で磁

束を切ると1ヴォルト発生するのであるから、此の導体には $p\phi \frac{N}{60}$ 10^{-8} ヴォルトの起電力が発生する。

全體でZ本の導体は發電子の捲線法の如何に依つてa組に分れ、各分路中にある導体 $\frac{z}{a}$ 本の起電力は相加はつて發電機の起電力となる故、直流發電機の誘導起電力は1本の導体の値の $\frac{z}{a}$ 倍となる。即ち

$$E = \frac{p}{a} z \phi \frac{N}{60} \times 10^{-8} \quad \text{ヴォルト} \dots\dots\dots (3)$$

然るに一つの造られた發電機についてはp, a, zの値は當然定つたものであるから之等を常數にして表はすと

$$E = K \phi N \dots\dots\dots (4)$$

但し

$$K = \frac{p}{a} z \times \frac{10^{-8}}{60}$$

と書き改めることが出来る。即ち一つの發電機に於ては誘導起電力は磁束數と廻轉數との積に比例するものであることが判る。

而して發電子に重捲を施したものでは $p = a$ で、波捲の場合は $a = 2$ となる。

例題

六極直流發電機がある。發電子導體の總數480、1極の出す磁束數 5×10^6 本毎分廻轉數400であつて、波捲が施されてありとすれば誘導起電力幾ヴォルトか。

解：— 誘導起電力の一般式

$$E = \frac{p}{a} z \phi \frac{N}{60} \times 10^{-8} \quad \text{ヴォルト}$$

に於て $p = 6$ $z = 480$ $\phi = 5 \times 10^6$

$$N = 400 \quad a = 2$$

$$\therefore E = \frac{6}{2} \times 480 \times 5 \times 10^6 \times \frac{400}{60} \times 10^{-8} \\ = 480 \quad \text{ヴォルト}$$

19. 端子電壓

發電子線輪には値は小さいが必ず抵抗がある。發電機が負荷を負つて運轉してゐる場合は發電子線輪には電流が流れるから、其の線輪の抵抗に依つて電壓降下を生じ、+、-兩刷子間に現はれる電壓は一般に(3)式にて示す誘導起電力よりはその値小となる。換言すれば兩刷子間の電壓即ち**端子電壓**(Terminal voltage)は、誘導起電力より發電子捲線の抵抗による電壓降下だけ小さい。

例へば或る發電機が負荷を負つてゐる場合誘導起電力が105ヴォルトで、此の際發電子の電壓降下が5ヴォルトとすれば、此の發電機の端子電壓は $105 - 5 = 100$ ヴォルトである。

誘導起電力の大きさが一定の場合端子電壓の大きさは負荷の値に依つて變る。各種發電機の端子電壓と誘導起電力との關係を表はす式を導き出すために

$$E_t = \text{端子電壓 (ヴォルト)}$$

$$I_a = \text{發電子電流 (アンペア)}$$

$$I = \text{負荷電流 (")}$$

I_f = 分巻線輪を流れる電流(")

r_a = 發電子抵抗(オーム)

r_s = 直巻線輪の抵抗(")

r_f = 分巻線輪の抵抗(")

とすれば

(a) 直巻發電機の場合 直巻發電機では發電子電壓降下 $I_a r_a$ の外に直巻線輪に於ても $I_a r_s$ なる電壓降下があるから此の發電機内の電壓降下は

$$I_a r_a + I_a r_s = I_a (r_a + r_s)$$

であつて端子電壓は次の如くなる。

$$E_t = E - I_a (r_a + r_s) \dots\dots\dots (5)$$

(b) 分巻發電機の場合 分巻發電機にては $I_a = I + I_f$ で發電子内部の電壓降下は唯發電子電壓降下の $I_a r_a$ のみであるから

$$E_t = E - I_a r_a \dots\dots\dots (6)$$

となる。

(c) 複巻發電機の場合 内分巻複巻發電機では發電子電壓降下は $I_a r_a$ で直巻線輪には負荷電流が流れるから $I r_s$ なる電壓降下がある。従つて發電機内の全電壓降下は $I_a r_a + I r_s$ となるから

$$E_t = E - I_a r_a - I r_s \dots\dots\dots (7)$$

なり。

例題

20K.W.の分巻發電機がある。全負荷に於て端子電壓200ヴォルト、外部電

路へ100アンペアの電流を供給して居るといふ。發電子回路の抵抗0.05オーム、界磁電路の抵抗50オームとすれば、發電子に幾何の起電力を誘導して居るか。

解:— (6)式を變形して

$$E = E_t + I_a r_a = E_t + (I + I_f) r_a$$

に於て

$$E_t = 200 \text{ ヴォルト} \quad I = 100 \text{ アンペア}$$

$$r_a = 0.05 \text{ オーム} \quad r_f = 50 \text{ オーム}$$

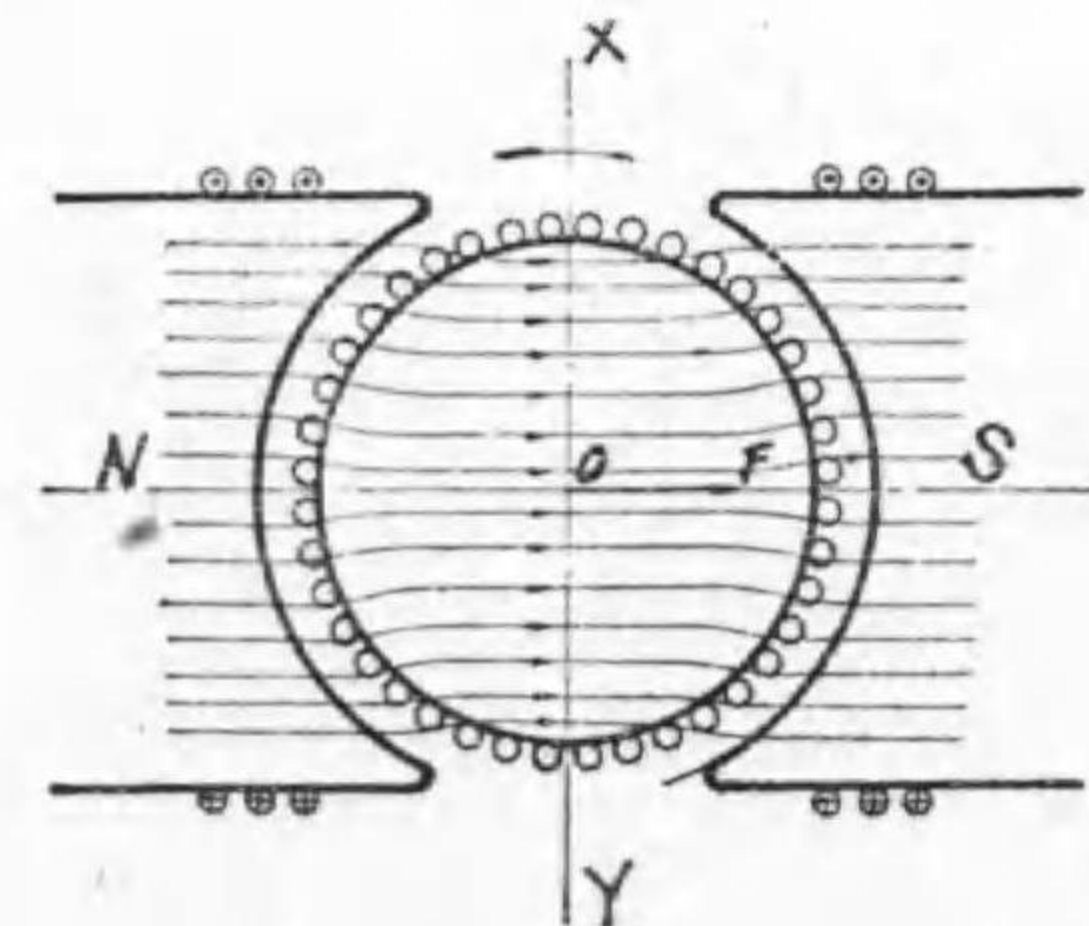
$$\text{又 } I_f = \frac{E_t}{r_f} = \frac{200}{50} = 4 \text{ アンペア}$$

$$\therefore E = 200 + (100 + 4) \times 0.05 = 205.2 \text{ ヴォルト}$$

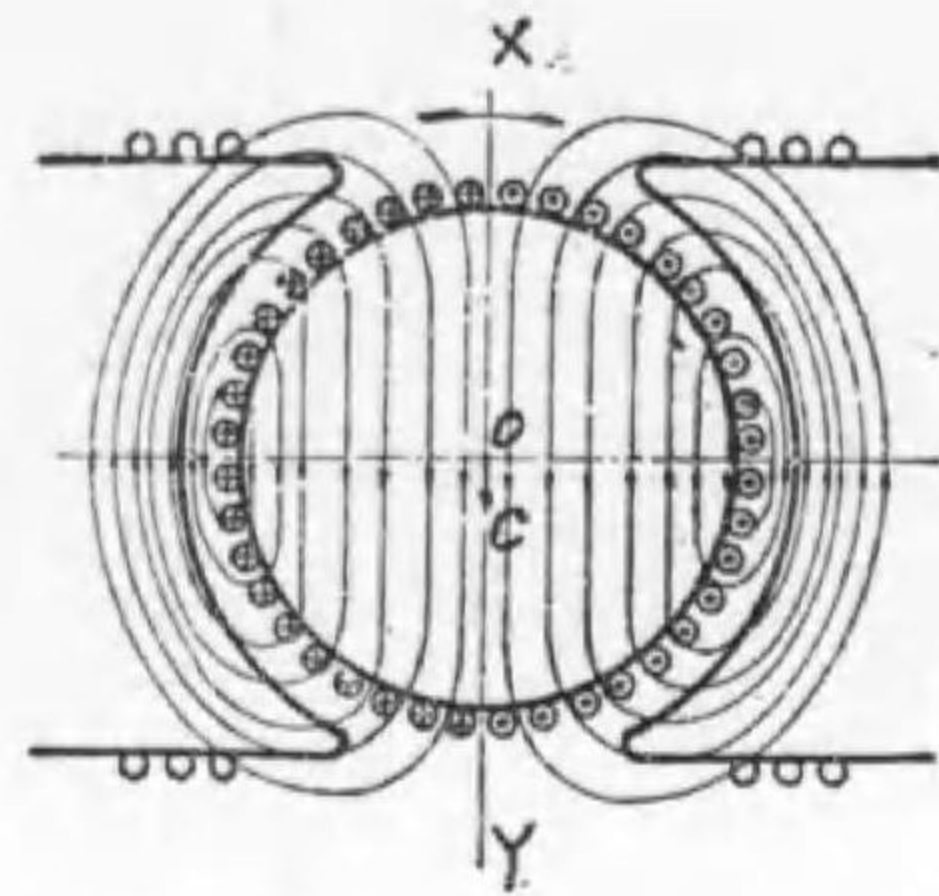
20. 發電子反作用

發電子が負荷されると發電子導體を取巻いて磁界が出来ることが考へられる。然るに此の磁界は主磁極に依つて作られる磁界とは餘程様子の異なつたものである。

第30圖(甲)は二極發電機で發電機が無負荷の場合とすれば、磁極の作る磁界の状態は圖の矢の如く發電子に於ては右の方向で起磁



第30圖 勵磁電流に依る磁束(甲)



第30圖 發電子電流に依る磁束(乙)

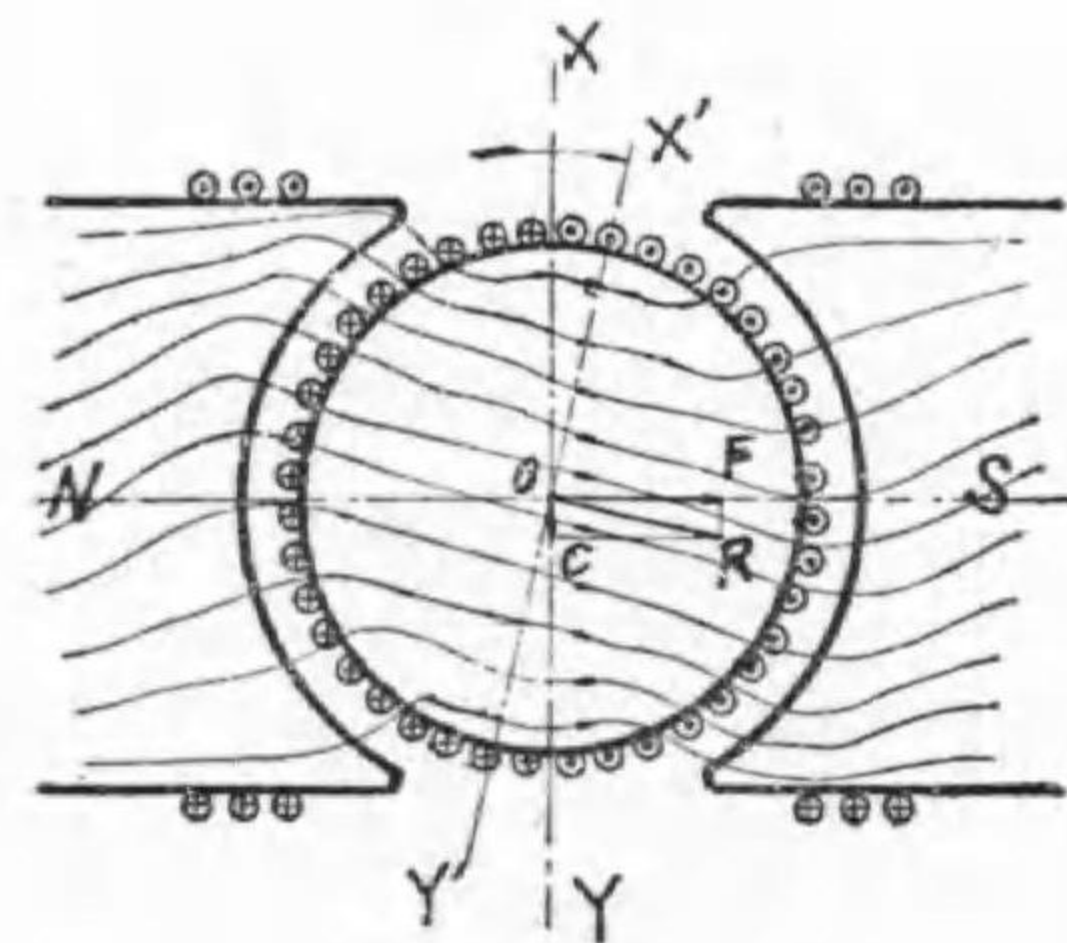
力はOFである。

次に(乙)圖の如き方向に發電子導體に電流が流れると此の電流に依つて、磁極の作る磁界とは關係なしに圖の様な主磁界とは直角な上より下の方向に磁界を作る。而して此の起磁力はOCである。但し此の圖は磁

極に依つて作られる磁界は書き表はしてゐない。

其所で實際出来る磁界は此の兩者の合成せられたもので、發電子の中心に於てOFとOCの合成であるORの方向であつて、第30圖(丙)が之を示してゐる即ち圖から判る通り磁界の方向が全體として

發電子の廻轉方向に偏り、磁極面に於ける磁界の強さも一樣ではなくなる。此の様に磁界が偏ると中性點も移動するから刷子の位置を廻轉方向に進める必要がある。而して刷子を進めるならば其のために主磁界は弱められる。



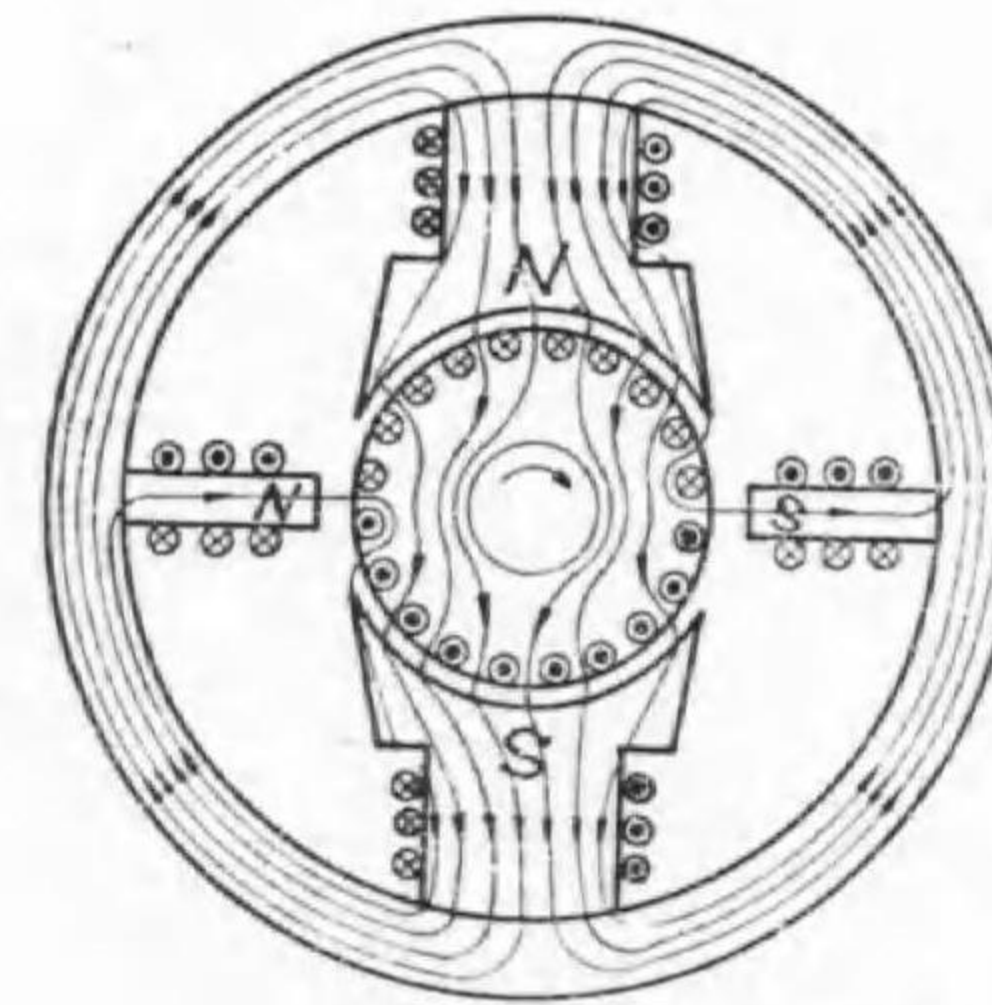
第30圖 合成磁束(丙)

此の如く發電子導體に電流が流れたが爲めに磁界の方向、分布及び強さに變化を與へる現象を發電子反作用 (Armature reaction) といふ。發電子反作用は發電子導體に流るゝ電流によつて現はれるものであるから、發電子電流が大なれば大なる程即ち負荷が大なれば大なる程其影響は大である。

21. 反作用輕減法

上述の如く發電子反作用は發電機に負荷すれば必ず現はれる現象であつて、然も此の作用は發電機の運轉上障害を起す。即ち整流子と刷子間に火花を發せしめて遂には運轉を困難ならしめる。故に此の反作用を出来るだけ輕減する方法を採らなければならぬ。

而して發電子反作用は發電子電流のため生ずる磁界が界磁に依つて作られる磁界に、磁極及び發電子鐵心に於て直角であるが爲めに生ずるものであるから、發電機の構造を少しく變へることに依つて



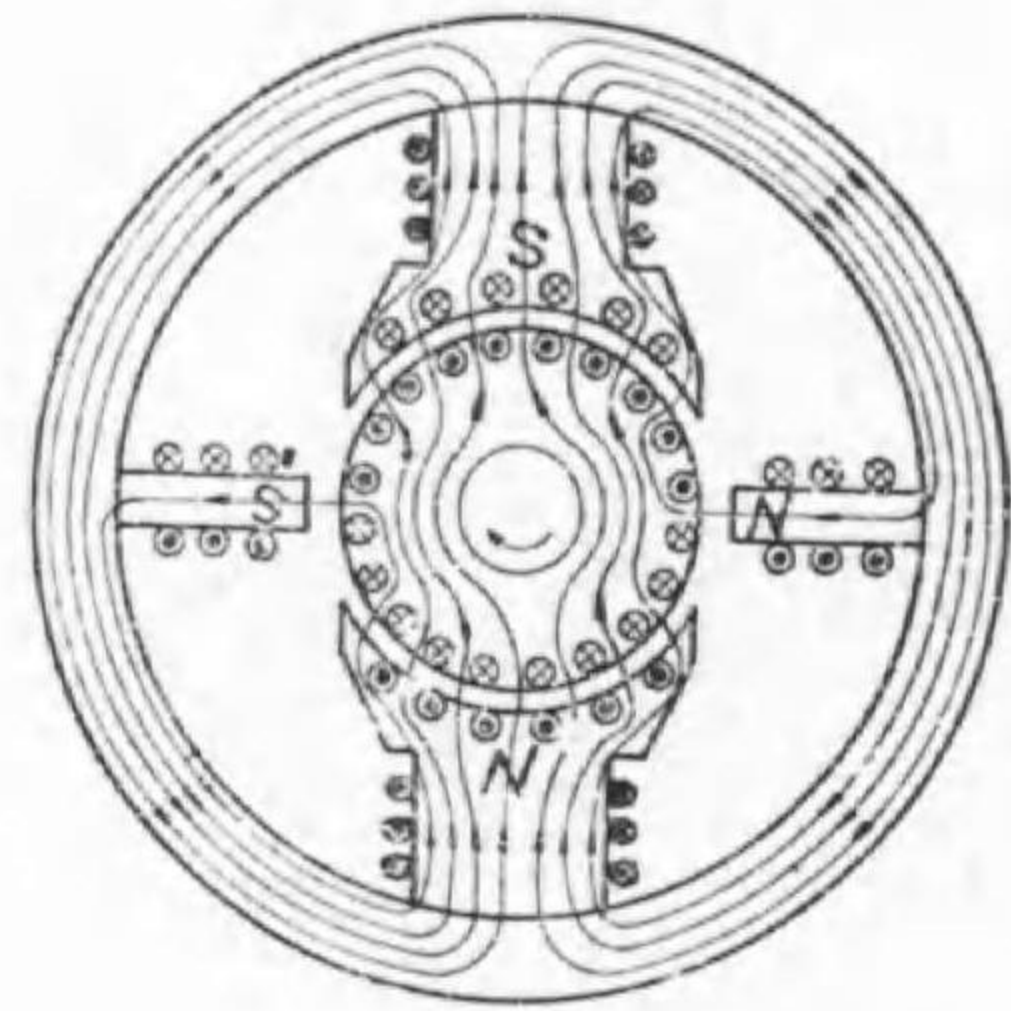
第31圖 補極發電機

比較的簡單に此の反作用を輕減することが出来る。即ち發電子電流に依つて生ずる磁束に對する磁氣抵抗を大とする如き、或は磁極を強きものとし反作用に依つて攪亂されぬ様な構造にする。

尙發電機に特別の装置を

付けて負荷に應じて自動的に反作用を消すものがある。之は第33圖の如く主磁極の中間に別に小さい磁極を取付ける。此の磁極を補極 (Interpole) といひ、太い導線で作った線輪を捲いて發電子導體と直列に接続する。而して補極線輪の捲数を適當にし且つ發電子電流に依つて生ずる磁束と、反對方向に磁束を生ずる如くすれば、發電子電流が増加して發電子磁束が多くなれば同時に補極に依り反對方向の磁束も増加しお互に打消して發電子電流に依る主磁界への影響はなくなる。補極のある此の種の直流機が多く用ひられる。

又補極と同様に自動的に發電子反作用を打消す装置として補償捲線 (Compensating winding) を用ひることがある。之は第32圖の如く磁極面に軸と平行に溝を作り、此の中に太い導線を納めて發電子導體と直列に接続する。但し相向合ふ發電子導體を流れる電流とは反對方向の電流を流す様にせられたものである。



第32圖 補償捲線

22. 電壓調整法

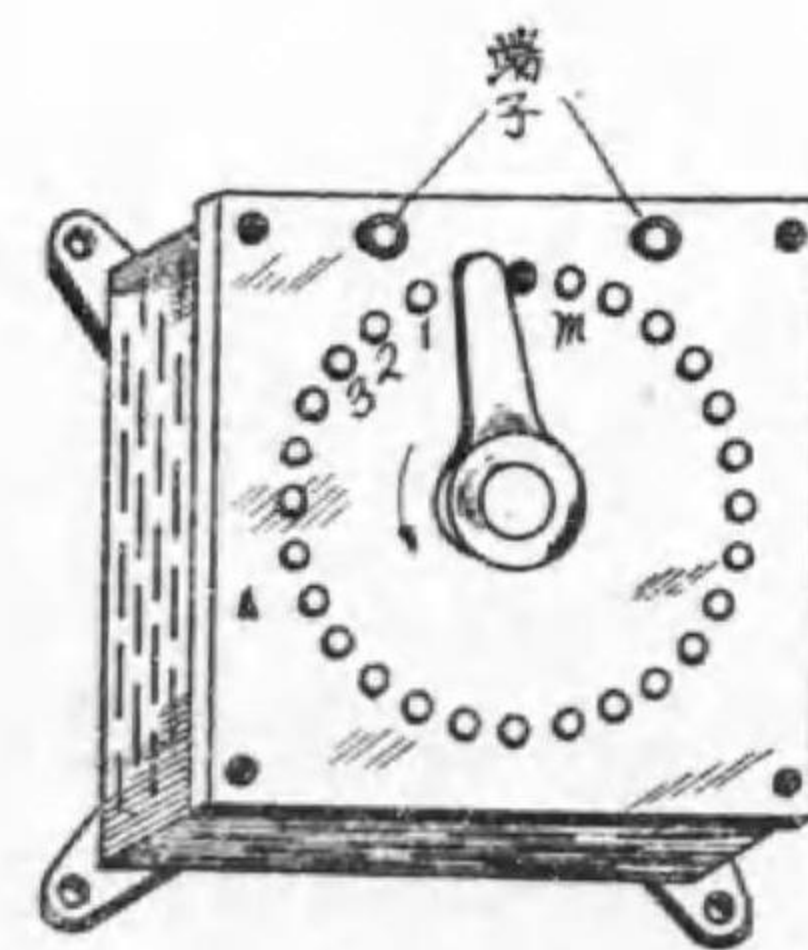
發電機の端子電壓を調整して負荷電流の變化に對し其の値を常に一定に保つことを要求する場合が多い。然るに端子電壓を變へるに

は發電機の誘導起電力を變へればよい。(4) 式に依つて明かなる様に發電機の誘導起電力は發電機の廻轉數と磁束との積に比例する。従つて起電力の値を變化するには廻轉數か或は磁束を變化すればよい。然し實際問題としては廻轉數を變ずることは種々の不都合を伴ふ故磁束の値を増減して行ふ。即ち界磁線輪を流るゝ勵磁電流を加減するのである。

直捲發電機では勵磁電流は發電子電流と同一であるから、負荷電流が變化すれば勵磁電流は其れにつれて變化し、従つて端子電壓は常に變動する故、此の種發電機では一定電壓を供給することは不可能である。

分捲發電機では格別な調整法を施さずとも端子電壓は負荷電流の大小に拘らず餘り大差がない。然し嚴密に考へれば負荷電流が増加すれば幾分端子電壓の減少を來す。依つて分捲發電機では界磁線輪

と直列に第33圖の如き可變抵抗器を接続しておき、負荷電流が増加して端子電壓が降下すれば抵抗器の抵抗の値を小にし、勵磁電流を増加して磁束を増大させ之に依つて誘導起電力を大にして端子電壓の降下を補ふ。此の目的に使用せらるゝ可變抵抗器を界磁抵抗器 (Field rheostat) といふ。



第33圖 界磁抵抗器

界磁抵抗器を用ひる方法は負荷の變動に應じて一々抵抗の値を調

整せねばならぬ不便がある。然るに磁極に分捲線輪の外に適當の捲數の直捲線輪を施す法即ち複捲法になすことに依つて自動的に端子電壓の降下を補はしめ、或は反つて負荷電流が増加すれば端子電壓を上昇せしめることも出来る。但し之等の兩線輪に依つて作られる磁束は同一極では、同一方向に生ずる様捲かれ、且つ分捲線輪は無負荷で規定の端子電壓を生じ得るものでなければならぬ。

此の複捲法に依れば、負荷電流が増加して發電子反作用及び發電子抵抗等のため端子電壓が減少せんとすると直捲線輪によつて生ずる磁束が増加して誘導起電力が増し、端子電壓の降下を補ふことが出来て常に端子電壓を略々一定に保つことが出来る。此の様な發電機を平複捲發電機 (Flat compound generator) といひ、直捲線輪の捲數を多くして負荷電流が増加すれば反つて端子電壓が上昇する如くした發電機を過複捲發電機 (Over compound generator) といふ。

複捲發電機でも分捲線輪に直列に界磁抵抗器を接続して端子電壓を調整し、又直捲線輪の影響大なる場合は之と並列に抵抗器を接続して分流せしめる。

問題

- (1) 直流分捲發電機あり。其の磁極數6、發電子導體全數400、各磁極の磁束數1,000,000にして其の1分間の廻轉數600なる時發電子に誘起する起電力幾ヴォルトなるか。但し發電子捲線法は直列捲なりとす。
(大正10年 三種)
- (2) 二極發電機あり。發電子導體數180、各磁極の磁束數 2.5×10^6 にして120ヴォルトを發生するといふ。廻轉數は幾らか。但し發電子内部の

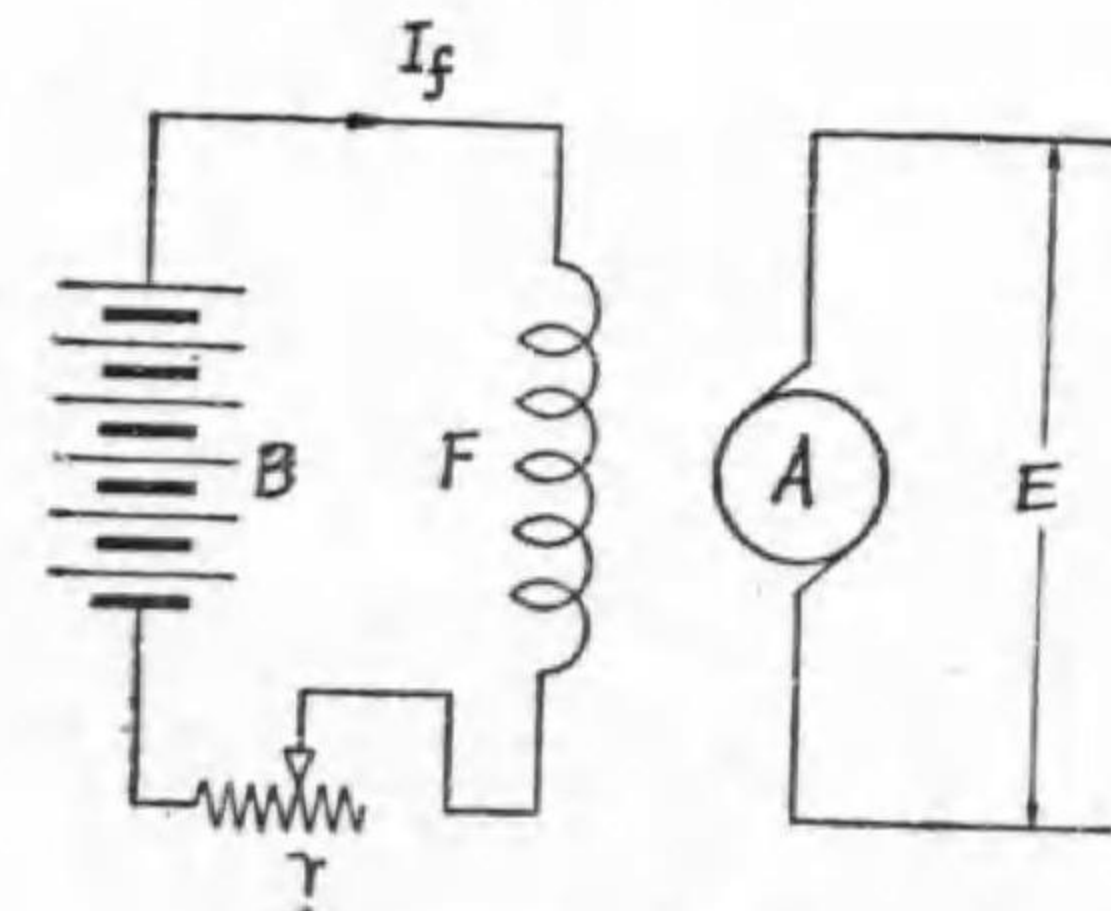
並列分路數は2とせよ。

- (3) 發電子線輪の抵抗0.1オーム、直捲線輪の抵抗0.05オームを有する直捲發電機に負荷をつないで發電子から100アンペアを取り出すとき端子電壓200ヴォルトなりといふ。發電子の誘導起電力は幾らか。
- (4) 端子電壓500ヴォルトの下に60アンペアの負荷電流を供給せる分捲發電機あり。今發電子抵抗を0.07オーム、分捲線輪回路の抵抗を238オームとすれば發電子中の誘導起電力及び發電子中の電力損は夫々幾何なるか。
- (5) 直流發電機の發電子反作用を説明し其の補償方法を擧げよ。(大正9年 五級)
- (6) 直流分捲發電機に補極を用ふる目的を略述せよ。(大正3年 五級)
(明治44年 一級)

第六章 直流發電機の特性

23. 磁化曲線

一つの發電機を第34圖の如く外部電源より勵磁し、發電子の廻轉數を原動機に依つて一定に保つた場合に、勵磁電流を零より順次増加して、之と發電子に誘導する起動力



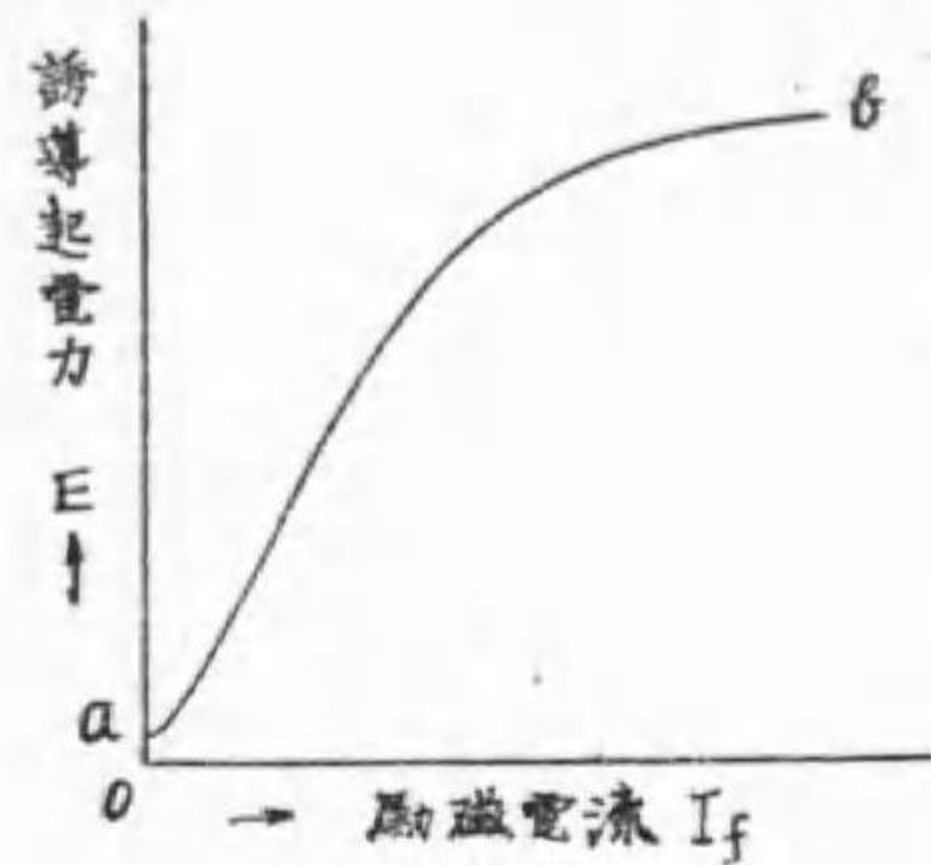
第34圖 磁化曲線を得る結線圖

との間の関係を曲線に描くと第37圖の如きものが得られる。此の曲線を磁化曲線(Magnetization curve)といふ。

一般に或る發電機に於ては

$$E = K \phi N$$

なる関係があるから廻轉數Nが一定なる場合の誘導起電力は磁束φに比例する。然るにφは又勵磁電流に依つて變るものであるから結局起電力は勵磁電流に依つて變化する。起電力と勵磁電流との関係を示す磁化曲線で判る通り、起電力はI_fの値が小なる間は比例的に増すがI_fが大となれば起電力は之に比例して増さなくなる。之は發電機の磁路の飽和に依るものであるから、此の曲線のことを飽和曲線(Saturation curve)ともいふ或は又發電機が無負荷の場合の誘導起電力を示すものであるから無負荷特性曲線(No load characteristic curve)とも稱せられる。



第35圖 磁化曲線

あるから、此の曲線のことを飽和曲線(Saturation curve)ともいふ或は又發電機が無負荷の場合の誘導起電力を示すものであるから無負荷特性曲線(No load characteristic curve)とも稱せられる。

第35圖の磁化曲線に於て勵磁電流が零の場合でも或る小電壓oaを誘發して居るもので之は磁路の残留磁氣に起因するものである。自勵發電機では残留磁氣がなかつたならば發電しない。此の残留磁氣に依つて生ずる起電力のため界磁線輪に極く僅かながら勵磁電流が流れ磁束が増加して發電子の起電力が増加する。従つて此の増加せる起電力のため勵磁電流が更に大となり誘導起電力も亦増大して行

く。而して其の結局の大きさは界磁回路の抵抗に左右せられる。

24. 負荷特性曲線及び電壓變動率

直流發電機が負荷を負つてゐる場合の負荷電流と端子電壓との関係を表はすために、發電子を規定廻轉數にて廻轉する様にし且つ界磁抵抗器の値を全負荷で規定電壓を誘發する如く調整して一定に保つた時、負荷電流を横軸に取り、端子電壓を縦軸に取つて發電機の負荷に對する性質を示す曲線を負荷特性曲線(Load characteristic curve)又は外部特性曲線(External characteristic curve)或は電壓變動率曲線(Voltage regulation curve)といふ。

一般に全負荷の場合の端子電壓E_tと無負荷の時の誘導起電力Eとの差のE_tに對する百分率を電壓變動率(Voltage regulation)といひ、其の發電機の電壓の變動する程度を表はす。此の値は負荷特性曲線より求めることが出来る。

之を式で示すと。

$$\text{電壓變動率} = \frac{E - E_t}{E_t} \times 100 \% \dots\dots\dots(8)$$

となる。

25. 各種發電機の負荷特性

(1) 他勵發電機の負荷特性曲線 他勵發電機の負荷特性曲線は第36圖に示す如くで、負荷の増加に伴ひ其の端子電壓は多少降下する。此の降下する原因としては次の如きものがある。

(a) 發電子抵抗がr_aあるために之と發電子電流I_aとの積である

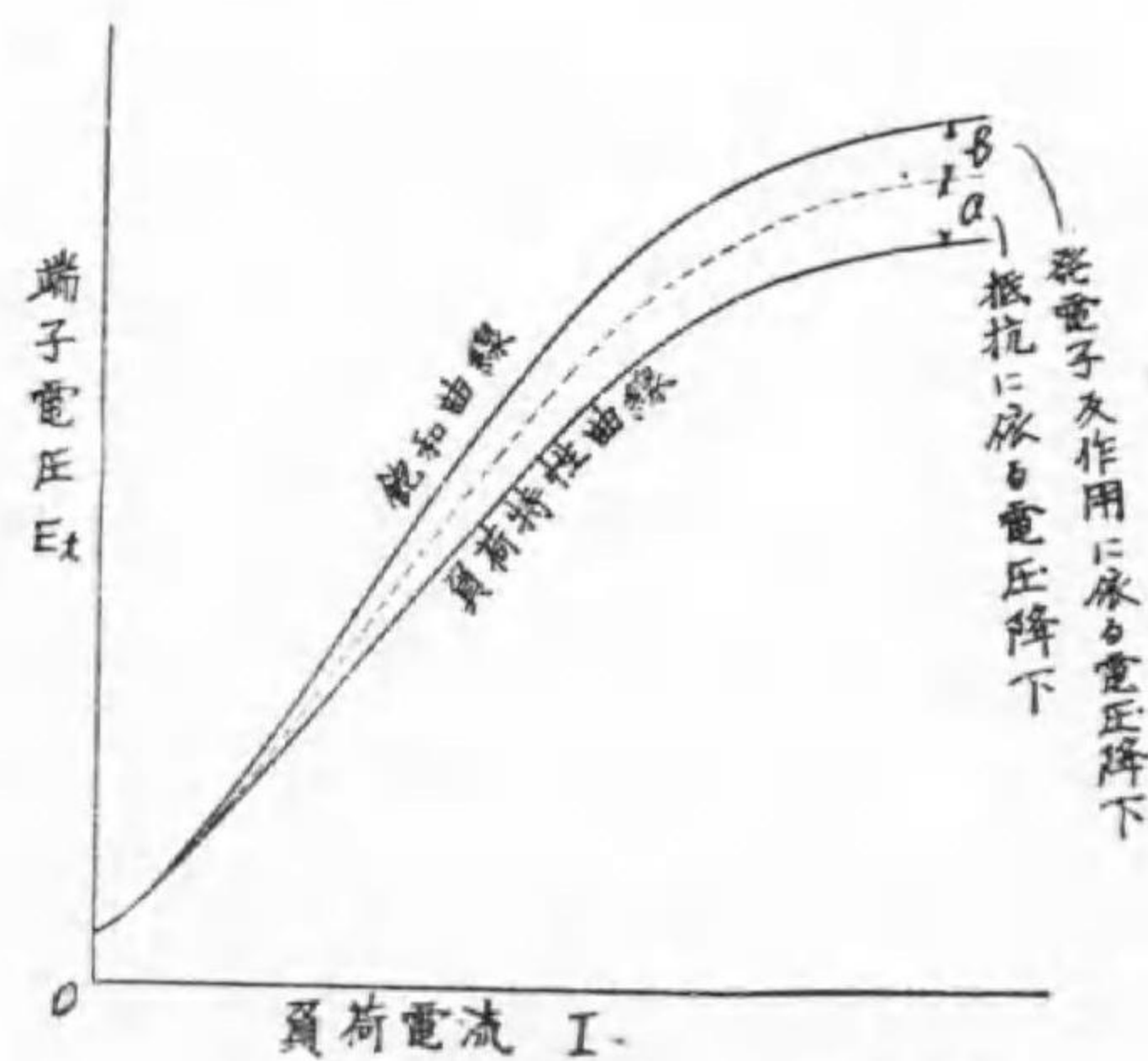
$I_a r_a$ 降下がある。

(b) 發電子電流の増加に依り發電子反作用が大となり磁束が減少して誘導起電力が減ずる。

普通他勵發電機

では電壓變動率の

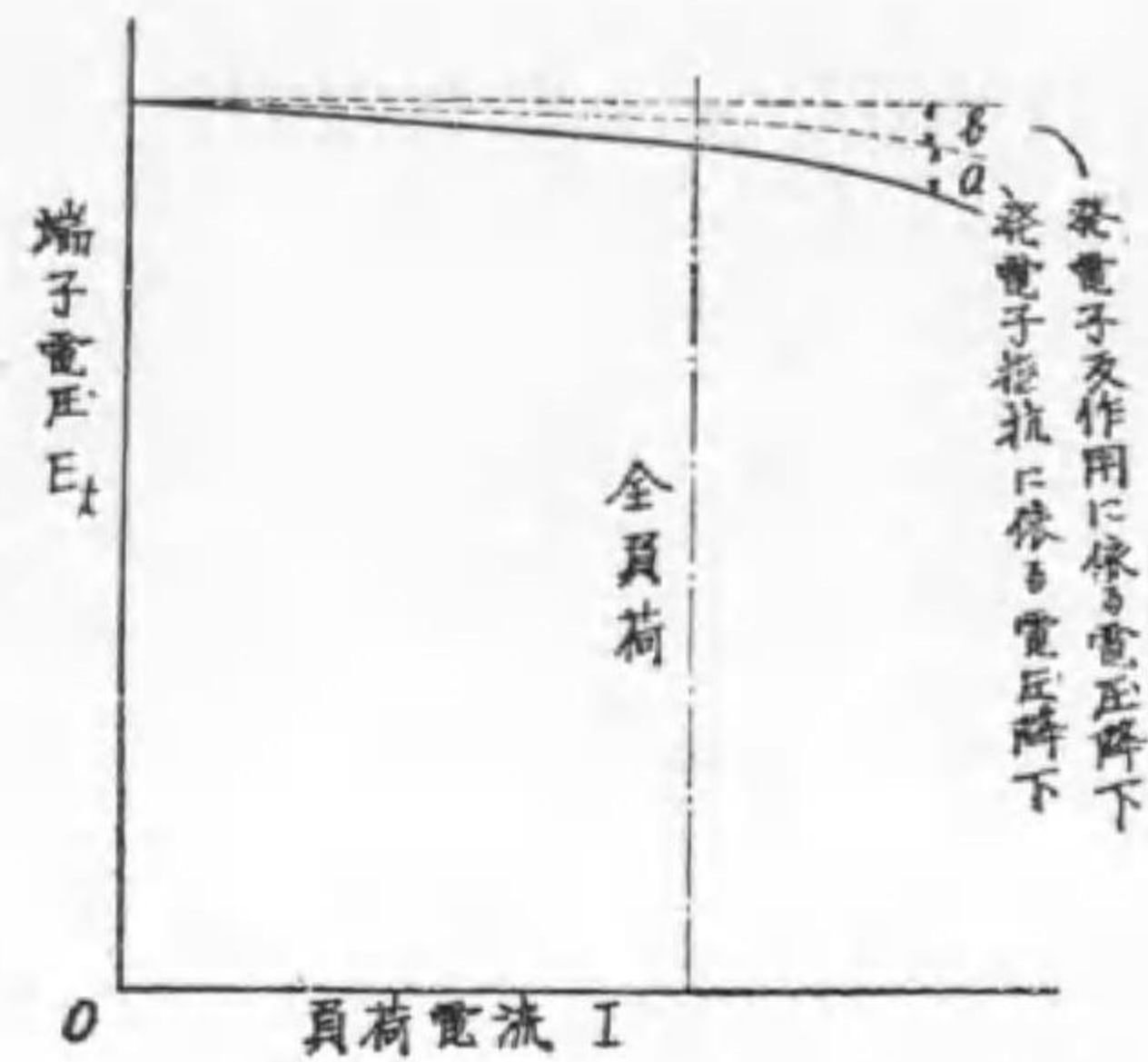
値は數パーセントのものである。此の種發電機は誘導起電力の方向を屢々變換する必要あるもの、又は規定電壓の極めて低きものに使用せられる。



第37圖 直捲發電機の負荷特性曲線

使用せられる。

(2) 直捲發電機 直捲發電機では發電子と界磁線輪が直列に接続せられてあるから、勵磁電流は發電子電流であり且つ負荷電流である。従つて此



第36圖 他勵發電機の負荷特性曲線

の種の發電機では外部に電流を送り出さねば界磁を勵磁せず、唯殘留磁氣に依つて極く僅かな起電力を誘發して居るのみである。

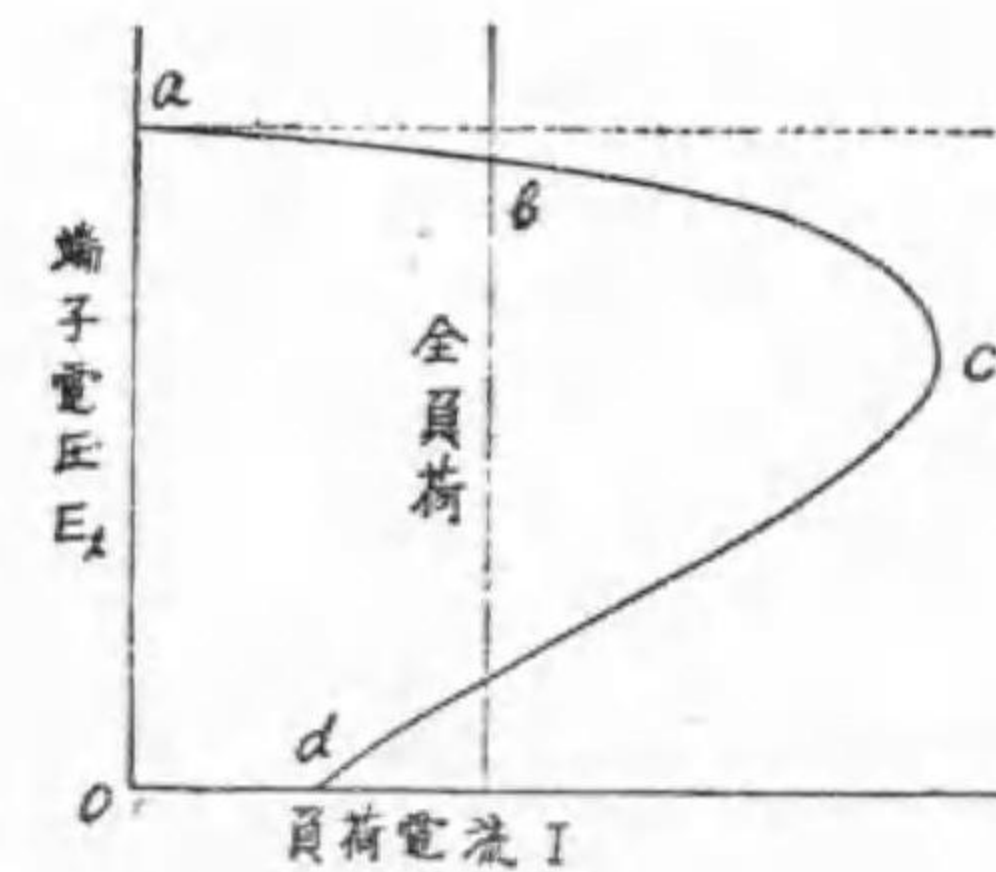
直捲發電機の負荷特性曲線を求めると第37圖の如き曲線が得られる。

誘導起電力より端子電壓の降下する値が負荷の増加につれて増す原因は

- (a) 發電子抵抗並に直捲線輪の抵抗 r_a による $I_a (r_a + r_s)$ 降下の増加により
- (b) 發電子反作用の増加により

であつて此の負荷特性曲線に $I_a (r_a + r_s)$ 降下及び發電子反作用に依る降下を加へると飽和曲線が得られる。

圖の如く直捲發電機は負荷の變動に依つて非常に端子電壓が變化するものであるから、一定電壓を要求する白熱電球や電動機用の電源としては適せず。現在は餘り用ひられないが、時には昇壓機として用ひられ又外國にては高電壓直流送電を行ふとき用ひられる。



第38圖 分捲發電機の負荷特性曲線

(3) 分捲發電機の負荷特性曲線 分捲發電機の負荷特性曲線は他勵發電機の夫に似通つてゐて第38圖の a b c d 曲線が之である。負荷電流に依つて端子電壓の降下するのは

- (a) 發電子抵抗に依る

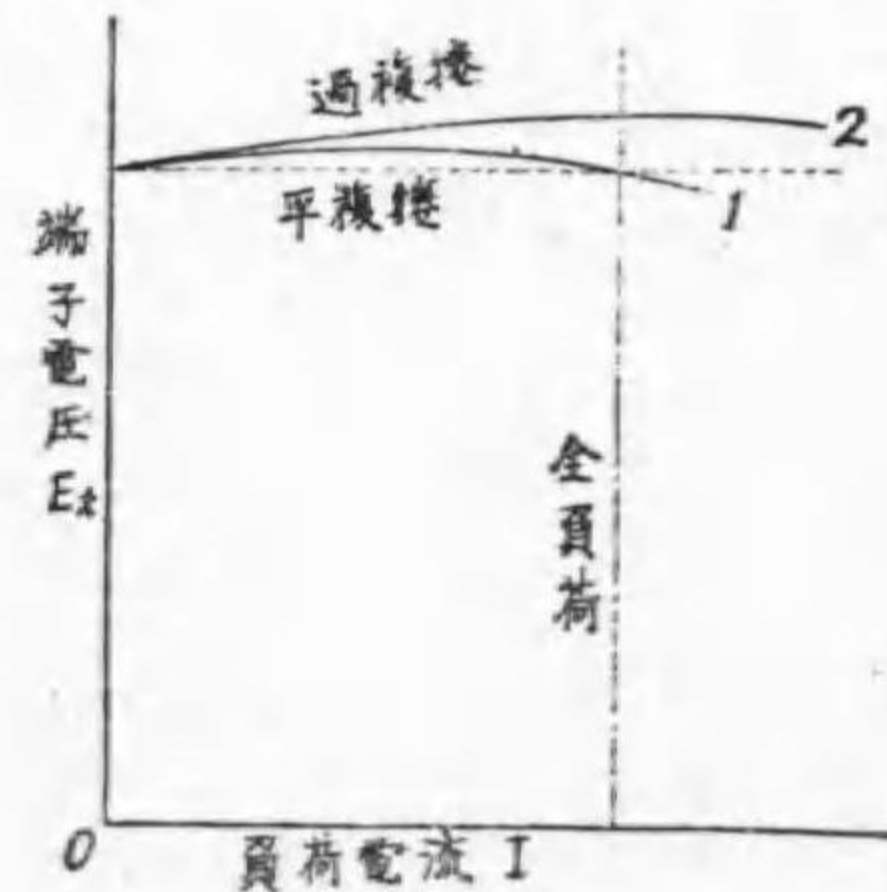
I_ar_a 降下

- (b) 發電子反作用の増加に依つて誘導起電力の減少すること
 (c) 上二つの原因に依る端子電壓の降下は又勵磁電流の値を減じ、其の結果主磁極の作る磁束を少くし端子電壓の降下を大ならしめる。

今外部電路の抵抗を順次減少して行けば負荷電流は増加するが、端子電壓は降下して或る極限になると抵抗を減少しても負荷電流は反つて減少し、遂に短絡すれば端子電壓は零となる。之はc點附近では抵抗を減する度合よりも端子電壓の減少する割合が大なるためである。従つて分捲發電機では急に短絡しても發電子電流が其の機械を燒損する程大なる値に達することはない。

此の様に分捲發電機では他勵發電機よりも端子電壓の降下は幾分大きくなる傾向があるが、適當に作れば電壓變動率を小さくして略々一定電壓を出すことが出来る。

(4) 複捲發電機の負荷特性曲線 複捲發電機では負荷電流の増加に伴ひ上記發電機と同様に、發電子抵抗に依る電壓降下並に發電子反作用の増加に依る誘導起電力の減少等のために、其の端子電壓が減少せんとする傾向があるが、一方負荷電流の増加と共に直捲線輪による磁束が増加して誘導起電力



第39圖 複捲發電機の負荷特性曲線

を大きくし様とするので、之等が互に打消して端子電壓が略々一定に保たれる。

故に平複捲發電機では第41圖の曲線(1)の様な負荷特性曲線になり、又過複捲發電機では曲線(2)の如くなる。

平複捲發電機は交流發電機の勵磁機用として又は電氣分解用等實用的に最も用途廣く、過複捲發電機は特に配電線路比較的長く然も負荷端の線間電壓を一定に保つ必要あるとき例へば電氣鐵道の如き場合に用ひられる。

26. 直流發電機内の損失

直流發電機内に生ずる損失の主なるものは次の三種に大別することが出来る。

(a) 銅損 (Copper loss) 銅損とは各種捲線の抵抗に依る抵抗損のことであるから其の大きさは電流の二乗に比例する。従つて發電子捲線及び之と直列に接続されてある直捲線輪、補極捲線、補償捲線等の銅損の大きさは負荷電流の値の二乗に比例するから負荷が大となれば銅損は非常に大となる。

分捲線輪に於ける銅損も電流の二乗に比例するが、勵磁電流一定の場合は銅損も亦一定であるから負荷の大きさに依つては殆ど變化しない。但し此の回路の抵抗中には界磁抵抗器の抵抗も含まれる。尙刷子の接觸抵抗のためにも銅損を生ずるが之は電流に比例するものである。

(b) 鐵損 (Iron loss) 鐵損とは鐵心の部分に生ずる渦流損及びヒ

ステリシス損の總稱であつて、渦流損は磁束密度の二乗と廻轉數の二乗とに比例し、ヒステリシス損は磁束密度の1.6乗と廻轉數との積に比例するから、鐵損は一つの發電機では其の誘導起電力の大小に依つて變化すると考へられる。従つて勵磁電流及び廻轉數が一定の場合では鐵損は一定と見ることが出來て負荷の大小には關係しない

(c) 機械損(Mechanical loss) 機械損とは廻轉部が廻轉するために生ずる損失の總稱で、發電子及び整流子が廻轉する場合風を切つて廻轉するのに要する風損とか、軸と軸承との摩擦損とか、或は刷子と整流子面に生ずる摩擦損等を含んでゐる。而して機械損に負荷とは無關係で廻轉部の廻轉速度に關係するものであるから、廻轉數一定な發電機では機械損は一定であるが廻轉數が大となれば著しく増大する。

27. 直流発電機の能率

發電機の入力は機械動力で出力は電力である。電力は簡単に測定することが出来るが機械動力の測定は比較的困難であるから發電機の場合には(1)式より

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

として計算する。今

$$E_t = \text{端子電壓 (ヴォルト)}$$

$$I = \text{負荷電流 (アンペア)}$$

$$P_L = \text{損失 (ワット)}$$

とすれば

$$\text{出力} = E_t I \text{ワット}$$

であるから

$$\text{能率} = \frac{E_t I}{E_t I + P_L} \times 100 \% \dots\dots\dots (9)$$

にて示される。一般に一つの發電機に於ては能率の値は發電機の負荷の大きさに依つて異なるもので負荷が軽い程能率は悪い。普通の發電機では全負荷附近に於て最も能率が良い様に設計されてある。單に能率といへば其の機械の全負荷の場合の能率が幾何かを表はす。

第1表は三種の發電機の全負荷及び全負荷の1/4, 1/2, 3/4, 1 1/4の各場合の能率の概略の値を示せるものである。

第 1 表

容 量 (K.W.)	能 率 (%)				
	1/4負荷	1/2負荷	3/4負荷	全 負 荷	1 1/4負荷
10	73.5	83.5	86.0	86.5	86.5
100	82.0	88.0	89.2	89.5	89.4
1000	88.5	92.9	94.0	94.1	94.0

又發電機の能率は其の容量の大きさ設計の良否等に依つて異なるが一般的にいへば容量の大なるもの程能率は良好で又同一容量の場合

第 2 表

容 量 (K.W.)	全負荷能率 (%)	容 量 (K.W.)	全負荷能率 (%)	容 量 (K.W.)	全負荷能率 (%)
1	76	20	87	300	92.5
2	78	30	88	500	93.5
5	80	50	89	750	94.0
10	85	100	90	1000	94.5

には廻轉數の大きいもの程能率は良好である。第2表は各種容量に對する能率の概略を示す。

28. 温度上昇と定格

既述の如く発電機の運轉中其の内部に於て生ずる種々の損失は風損を除き何れも皆熱に變るべきものであつて、之は機械各部の温度を高めるから発電機の温度は漸次上昇する。而して発電機の温度が高くなれば周囲に發散する熱量も多くなる。丁度發熱と放熱との割合が等しくなれば機械は一定の温度になる。此の温度上昇は大略損失の割合に比例するから勢力損失は出来る丈少く止める様になければならぬ。又發生した熱量は自然の儘放置して置けば、放熱は速かでないため適當な通風装置を設けて放熱を盛んにする。即ち発電機の冷却法の如何に依つても温度上昇は違ふ。

機械に許される最高温度は使用した絶縁物の種類で異なる。最高温度が高きに過ぎると絶縁物は弱められるばかりでなく、遂には絶縁能力を失ふために或る程度に最高温度を制限しなければならぬ。

第3表は日本電機器標準規程に依る各種絶縁材料に許さるべき最高温度及び最大温度上昇を示してゐる。但し最大温度上昇は周囲の温度が40°Cに對するものである。

此の様に機械に許さるべき最高温度があるから発電機の最大出力も亦限定せられる。発電機が相當時間の間、安全に且つ能率よく運轉し得られる最大出力を**定格出力** (Rated out put) といふ。定格出力は温度上昇ばかりでなく整流作用に依つても制限せられる。即ち整

流作用の悪い発電機では整流子と刷子間に生ずる火花のために發電子電流を増加させることが出来なくなる。従つて出力を増やすことが出来ない。即ち此の方面からも最大出力の制限を受けるものである。

第 3 表

種類	材 料	最高温度	最大温度上昇
A	木綿, 絹, 紙及び類似の材料をワニス類にて含浸したる場合又は常に油中に浸したる場合並にエナメル線	105°C	65°C
B	雲母, 石綿, 其の他高温に耐え得る材料をA種材料と共に用ゆる場合に單にA種材料は構造上の目的に使用せられ、之が損することあるも全體として電氣的及び機械的性質を害せざるもの(マイカナイト, 石綿紙等の如し)	125°C	85°C
C	生雲母, 石綿, 磁器, 石英其の他B種よりも高き温度に耐え得る材料	制限を附せず	

A種の木綿, 絹, 紙及び類似の材料をワニス類にて含浸せず又は油中に浸されざるものにおいて、最高温度及び最大温度上昇はA欄の特定限度より15°Cを減じたるものたるべし。

問 題

- (1) 磁化曲線とは何を表はす曲線であるか。
- (2) 電圧變動率5%, 全負荷端子電圧200ボルトの分捲発電機あり。無負荷誘導起電力は幾らか。
- (3) 各種発電機の負荷特性曲線を比較せよ。
- (4) 二極10K.W. 100V.分捲発電機あり發電子抵抗0.04オーム, 分捲線輪の抵抗20オームにして鐵損は定格出力の2%, 機械損は3%なりとすれば全負荷能率は幾らか。刷子接觸損は省略するものとす。
- (5) 前問に於て速度及び磁束を不變として半負荷即ち5K.W.に於ける能率

を求めよ。

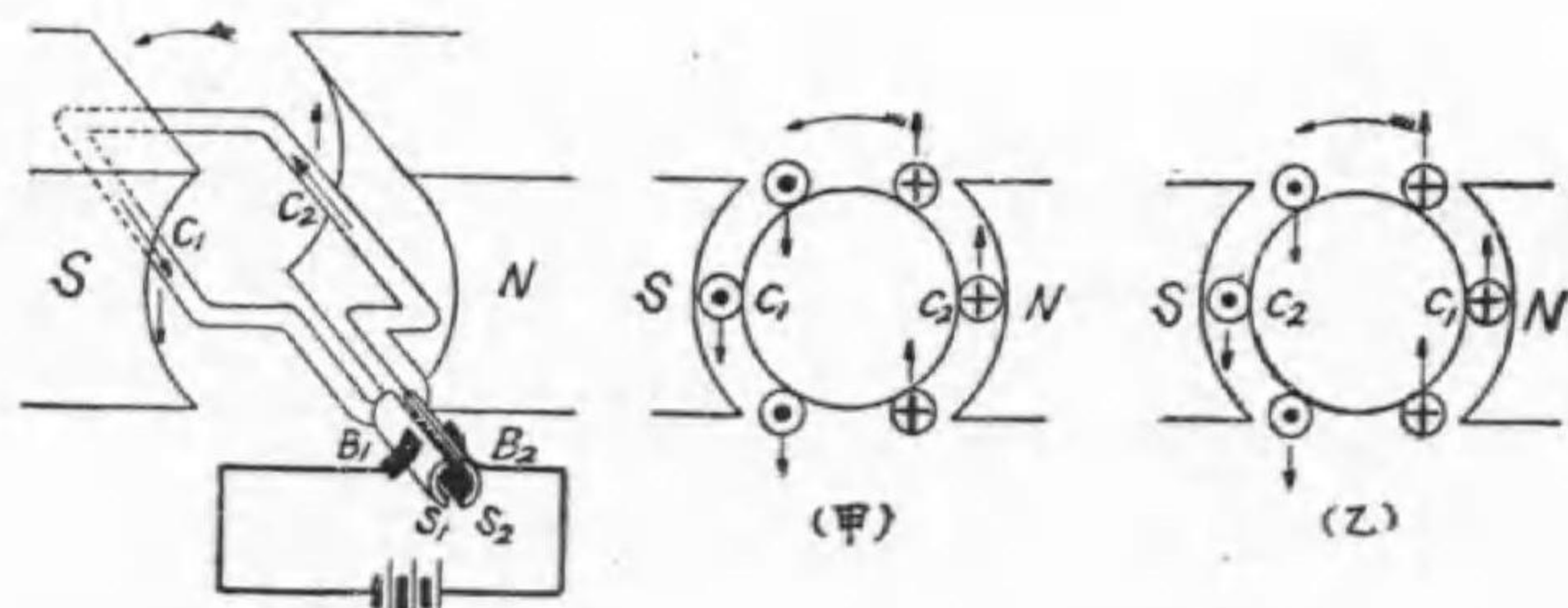
- (6) 直流発電機及び電動機の各要部に於ける許容最高温度凡そ幾何なりや
(大正13年 三種)

第七章 直流電動機の理論

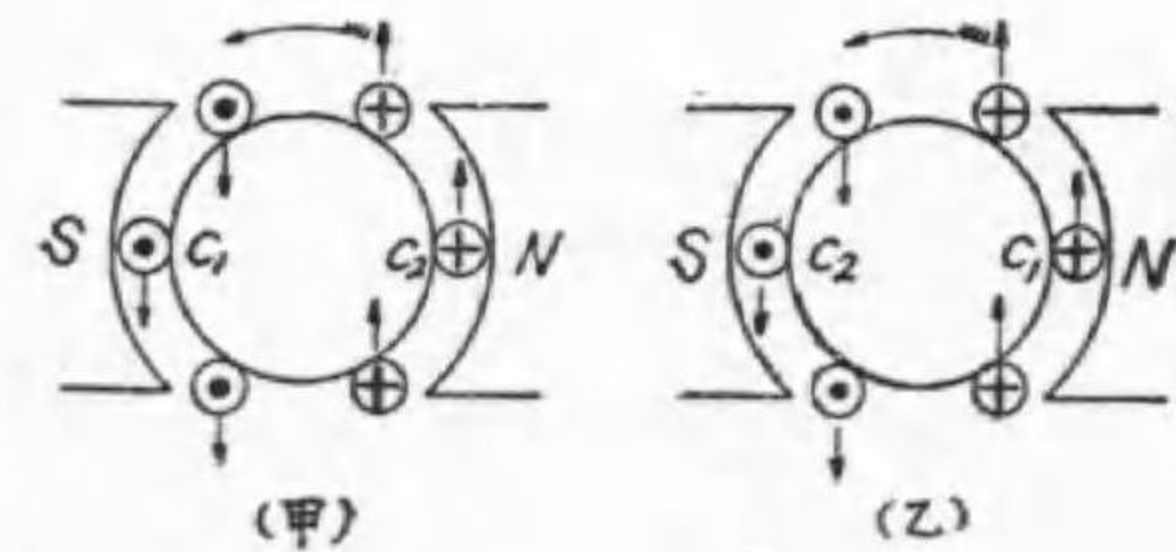
29. 直流電動機の原理

直流発電機は少しも構造を變へず其儘之を電動機として使用する事が出来る。

第40圖の如く発電機と同様の構造のものに外部より電流を通すればフレミング左手法則によりその導體には矢印の如き力が作用して廻轉する。第41圖は各導體に働く力の方向を示すもので、中性點より右側にては上方に、左側にては下方に作用する。



第40圖



第41圖

それ故左右各別にこの作用が加はり矢の方向に廻轉を續ける事に

なる。

この廻轉軸に對して導體を廻轉さす能力即ち廻轉力は第40圖の如く線輪が唯一組の場合にはその位置により大きさが變化して實用上には不便である。

實際の電動機ではこの導體が多數設けてあるから左右兩方の導體に發生する廻轉力の總和はいつも大體一定になる。而して發電機各部の構造、名稱、捲線等はその儘電動機に適用される。但し發電子は電動機に於ては電動子 (Armature) と稱す。

この直流電動機は發電機と同様に勵磁の方法により分類すれば次の三種となる。

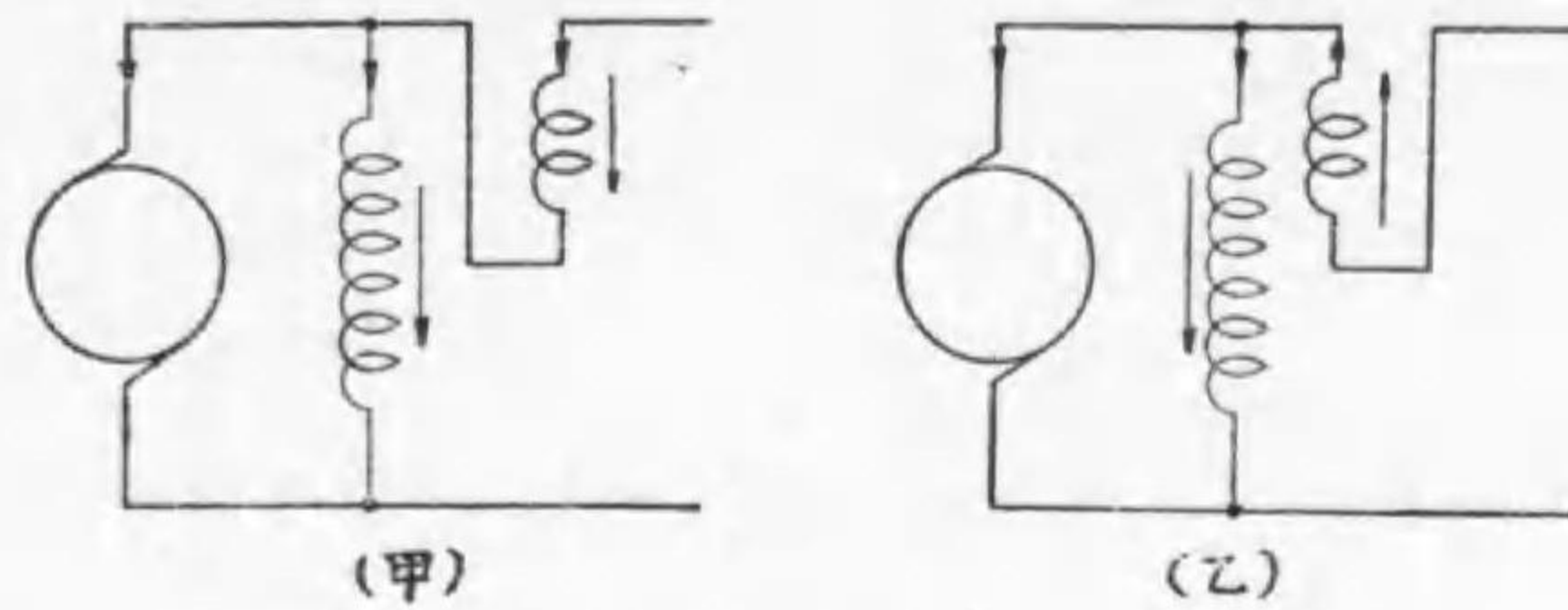
- (1) 直捲電動機 (Series motor)
- (2) 分捲電動機 (Shunt motor)
- (3) 複捲電動機 (Compound motor)

(1), (2) は發電機の接続と全く同じで(3)は發電機のとときと同様外分捲、内分捲の二種類がある。

發電機のとときは分捲線輪の起磁力と直捲線輪の起磁力とが加はり合ふ様に捲かれた和働複捲のみであつたが電動機に於てはこの外兩起磁力の方向が反對である様に捲かれた差働複捲も用ひられる。

第42圖(甲)は和働複捲電動機 (Cumulative Compound motor)、同圖(乙)は差働複捲電動機 (Differential Compound motor) の結線圖を示す。

次に一般に直流電動機の運轉方向を逆にする爲には單に供給電壓の方向を變へても何もならない。即ち電動子電流の方向のみを變へ



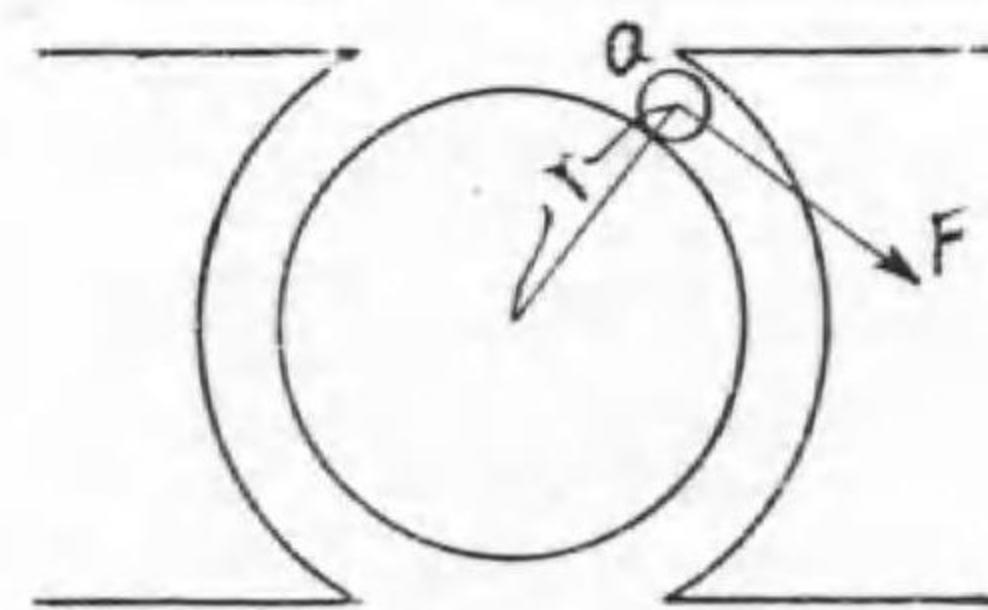
第42圖

るか又は界磁電流の方向のみを變へるかすればよい。何となれば電動機の運轉方向はフレミング左手の法則により電動子電流と界磁との相互關係より定まつて來るからである。

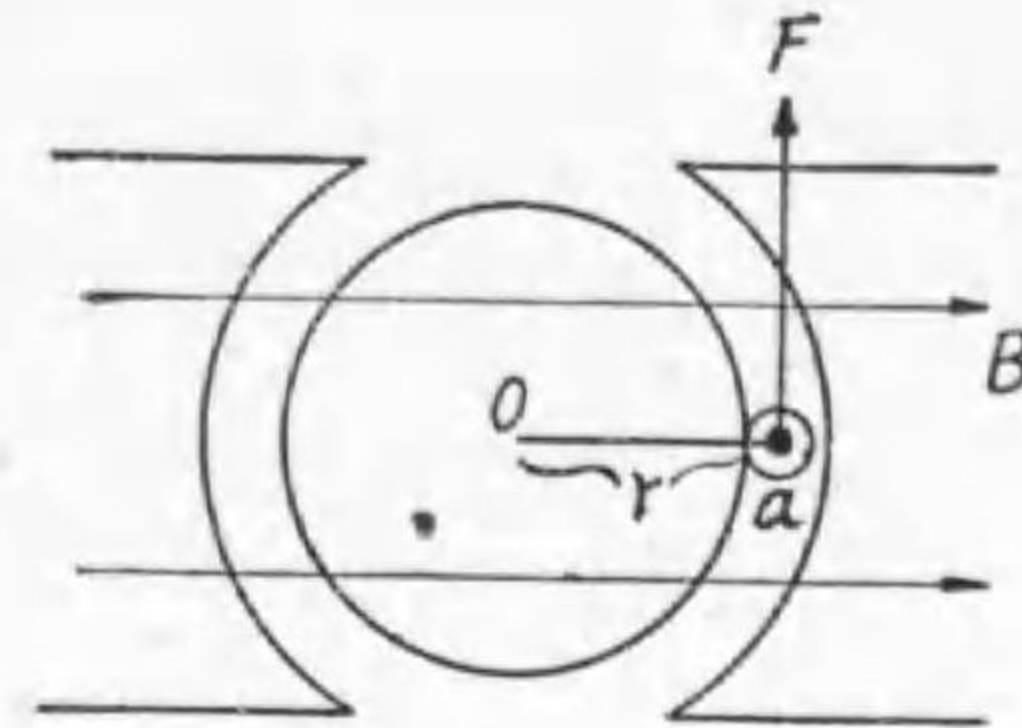
30. 廻 轉 力

今第43圖の如く中心Oからr 厘の距離に一つの導體aがあつて、之にF ダインの力がaに於ける切線方向に働くものと假定する。この場合aの導體に働く力FはF × r ダイン厘のモーメント (Moment) を以て軸を廻はさうとする。

實際の電動子に於ては各導體のこの作用が代數的に加はり合つて軸を廻はさうとする。この全體のモーメントを一括して考へたものを電動子の廻轉力 (Torque) といふ。



第43圖



第44圖

この廻轉力を電動機の場合に就いて詳しく考へて見よう。

今磁束密度Bといふ磁界中に置かれたaなる導體にIといふ電流が流れた場合、この導體に働く力Fは

$$F = \frac{1}{10} B I l \text{ ダイン}$$

で表はされる。茲にlは導體の長さ(厘)を表はす。

今電動機の構造に依りlは一定なる値であるから

$$F \propto B I$$

又 $B = \frac{\phi}{A}$ であるが、電動機の構造が定まつて居れば磁極の斷面積Aも一定であるから

$$B \propto \phi$$

$$\therefore F \propto \phi I$$

今多數の導體がある時はその各導體に働く力を合計したものはいつも略々一定で之を磁場に直角な一つの力Fに置換へて考へて見よう。

然るときはその電動子に働く廻轉力τは

$$\tau = F r$$

$$\therefore \tau \propto \phi I r$$

茲にrは電動機の構造により定まる値であるから

$$\tau = k \Phi I \dots\dots\dots(12)$$

即ち電動機の廻轉力は磁束と電動子電流との積に比例す。この結果は極めて重要なもので直流機のみならず各種の交流機にも應用せられる根本的なものである。

31. 逆起電力

電動機は丁度發電機と反對に入力電力で、出力が機械動力である。この際電動子は磁束を切つて廻轉する故發電機と同じ理に依りこの電動子捲線には誘導起電力を發生する。その方向は電動子電流の方向、即ち給與電壓と反對方向になる。それ故これを**逆起電力**(Counter electro motive force)と名付ける。

この逆起電力の大きさは發電機のと時と同様であるから

$$\left. \begin{aligned} E_c &= \frac{P}{a} z \Phi \frac{N}{60} \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \\ &= K \Phi N \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

但し

$$K = \frac{P}{a} z \times \frac{10^{-8}}{60}$$

で表はされる。

前式より明かな如く逆起電力は廻轉數に正比例するものであるから電動子が静止又は固定してある場合即ちNが零のときは逆起電力も零である。今

E_t = 電動子の刷子間に於ける供給電壓

E_c = 逆起電力

r_a = 電動子線輪の抵抗 (刷子の接觸抵抗も含む)

I_a = 電動子電流

とすれば

$$I_a = \frac{E_t - E_c}{r} \text{ アムペア} \dots\dots\dots(14)$$

上式を書き換へれば

$$E_t = E_c + I_a r_a \dots\dots\dots(15)$$

$$E_c = E_t - I_a r_a \dots\dots\dots(16)$$

即ち逆起電力とは給與電壓から内部抵抗に依る電壓降下を引去つた残りである。但し $I_a r_a$ は全負荷に於ても E_t の10%以上になることはない。

32. 廻轉速度

前述の如く $E_c = E_t - I_a r_a$ 又 $E_c = K \Phi N$ なる故

$$N = \frac{E_c}{K \Phi} = \frac{E_t - I_a r_a}{K \Phi} \dots\dots\dots(17)$$

即ち電動子の廻轉速度は逆起電力に正比例し磁束數に逆比例するといふことを知る。

又内部電壓降下 $I_a r_a$ は上述の如く端子電壓の數パーセントに過ぎないものであるから極めて概略的に考へれば廻轉速度は給與電壓に略々比例するものと考へられる。

$$N \div \frac{E_t}{K \Phi}$$

33. 電動機 の 出力

今 $E_c = E_c + I_a r_a$ の両邊に I_a を乗すれば

$$E_c I_a = E_c I_a + I_a^2 r_a \text{ ワット}$$

$$\therefore E_c I_a = E_c I_a - I_a^2 r_a \text{ ワット} \dots\dots\dots(18)$$

この式に於て $E_c I_a$ は電動子に供給された電力であり $I_a^2 r_a$ は電動子内で失はれる銅損である。

電動子に供給せられる $E_c I_a$ の中から銅損 $I_a^2 r_a$ を引いた残り $E_c I_a$ は即ち電動子の中で電力から機械動力に変形される動力を表はすものである。之を假りに發生機械動力 (Developed mechanical power) と名付け P_a を以て表はさう。然しこの發生機械動力の全部が機械的出力となつて外部に利用されるものではなく鐵損 (ヒステリシス損及渦流損) と機械損 (風損及摩擦損) となり幾分は機械自身の内にて消費される。又逆起電力は前述の如く $E_c = K \phi N$ で表はされる。故に機械的出力は

$$P_a = E_c I_a = K \phi N I_a \text{ ワット} \dots\dots\dots(19)$$

即ち電動子の發生機械動力は毎分の廻轉數、每極の磁束及び電動子電流に比例する事を知る。又 ϕI_a は廻轉力に比例するから

$$P_a = K' N \tau \dots\dots\dots(20)$$

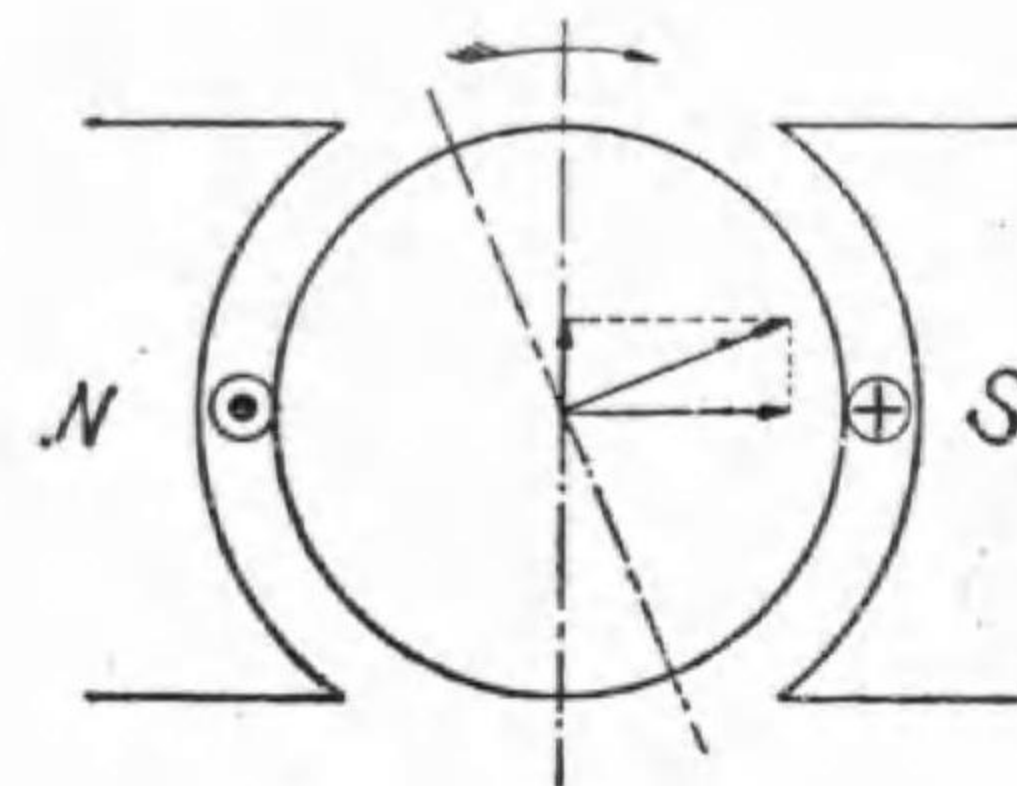
と考へることが出来る。

34. 電動子反作用及其の輕減法

電動子に電流が流れれば電動子起磁力より依り生ずる磁束の爲に合

成磁界が偏らされる。而して電流の大なる程一定界磁起磁力に對し偏り方激しく即ち中性線移動の度合も負荷に従ひて大となる。かゝる現象を電動子反作用 (Armature reaction) と稱する。發電子反作用の原理及び作用と全く相等しくその防止法も同様にすればよい。只同一磁束及び電流に對し發電機と電動機ではその廻轉方向は互ひに反對となるから刷子の位置も發電機では進ませ電動機では遅らす必要がある。

電動機に於ては刷子に遅れ角度が與へられると電動子反作用は主磁界の方向を偏らしてその分布を変更する所謂偏磁作用と多少主磁束の強さを弱める作用、即ち減磁作用とをなす。この

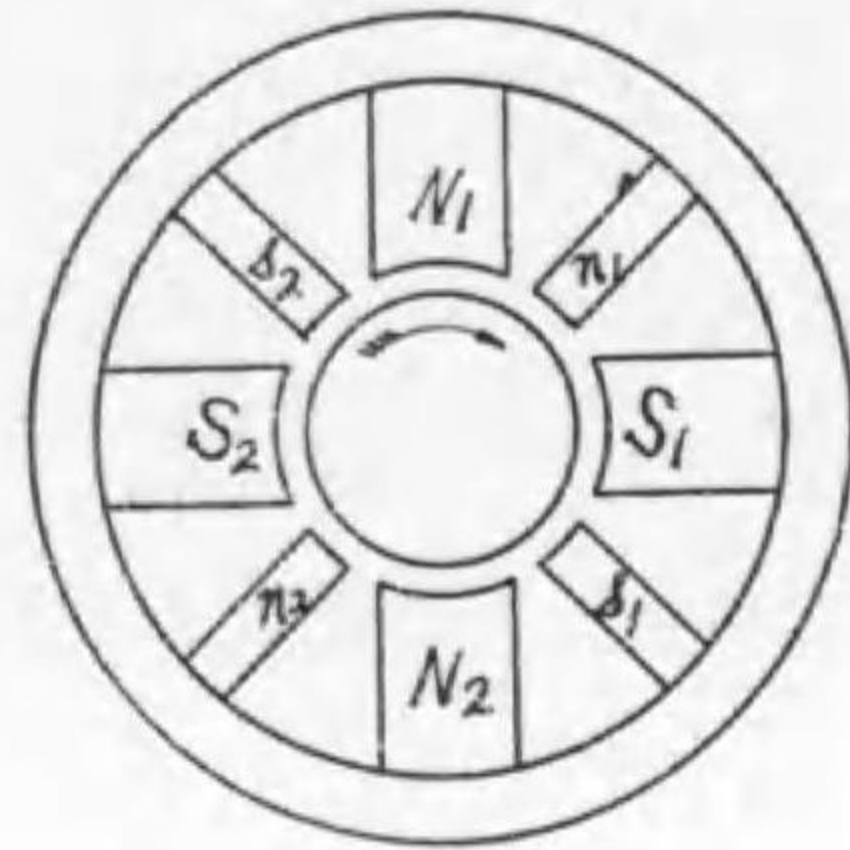


第 45 圖

反作用は電動機ではその電動子廻轉力を減少し又廻轉速度を増加する働きをなす。電動機は發電機と異り概して他の機械等と共に一々手のつけられぬ所に据付けられることが多いから運轉中刷子を移動しなくともよい様にしなければならない。

次に反作用輕減法は發電機の場合と全く同様であるが一般に定速度の電動機では界磁を充分強く設計し電動子反作用の影響を極めて僅かになる様にする。

その他補償捲線、補極等を用ひる。補極は第46圖に示す様に勵磁せねばならない。即ちある主磁極と廻轉方向にその主磁極の一つ先



第46圖

の補極とを同じ極性に勵磁せねばならぬ。

以上主として分捲電動機の場合について述べたが直捲電動機では負荷の増減に応じて電動子反作用の増減すると同時に主磁界の強さも増減する故に或る負荷に對して刷子の位置を適當に選べば他の負荷に對しても整流

の困難はない筈である。従つて直捲機に反作用防止装置は不必要と思はれるが電車用電動機の様には廻轉方向を變へる必要あるものはその都度刷子の遅角度を反對にせねばならない。斯くの如きことは事實上出來難いから電車用直捲電動機は大抵補極を有してゐる。

問題

- (1) 發電機の誘導起電力と電動機の逆起電力とは發電子(電動機の場合は電動子)電流に對しどう働くか。
- (2) 電動子回路の抵抗 0.2Ω を有する分捲電動機が給與電壓 $200V$ に於て電動子に $100A$ を流すならばその時電動子には何?ヴォルトの逆起電力を生じてゐるか。
- (3) 前問に於て分捲界磁電路の全抵抗が 50Ω ならば勵磁電流は何アムペアか。
- (4) 普通の力と廻轉力との違ふ所を述べよ。
- (5) 直流電動機の廻轉力は I_a や Φ と如何なる關係があるか。

- (6) 直流電動機の廻轉数は E_c や Φ と如何なる關係があるか。
- (7) 分捲電動機がある。供給電壓 $110V$ 電動子電流 $20A$ の時廻轉數毎分 1200 回であるといふ。若しこの電動子に $50A$ を流し且つ勵磁を前より 10% 強くする時には同一供給電壓に對し廻轉數は幾何となるか。但し電動子の抵抗を 0.1Ω とし且つ電動子反作用は無視するものとす。
- (8) 直流電動機の種類を挙げよ。
- (9) 直流電動機の廻轉方向を變へるにはどうすればよいか。各種電動機につき圖示して説明せよ。
- (10) 直流直捲電動機あり。その電動子抵抗及び界磁線輪抵抗共に各 0.8Ω にしてその勵磁曲線は廻轉數毎分 200 電流 $30A$ に對して電壓 $300V$ を示す。この電動機を電壓 $500V$ にて使用し、電流は上記 $30A$ とするときの速度を計算せよ。但し電動子反作用及び摩擦損、風損、鐵損は全然無視す。(大正3年 4級)

第八章 直流電動機の特性及用途

35. 直捲電動機の特性及用途

直捲電動機に於ては各部の鐵が飽和するまでは磁束は電動子電流に略々比例するから

$$\phi \propto I_a$$

次に廻轉力 τ は第30節の公式に依り

$$\tau \propto \phi I_a$$

この式に $\phi \propto I_a$ を代入すれば

$$\tau \propto I_a^2 \dots\dots\dots (21)$$

となる。(又逆に $I_a \propto \sqrt{\tau}$)

電流が非常に大となり磁極が飽和すれば電流の増すに拘らず磁束は略々一定となる。即ち

$$\tau \propto I_a$$

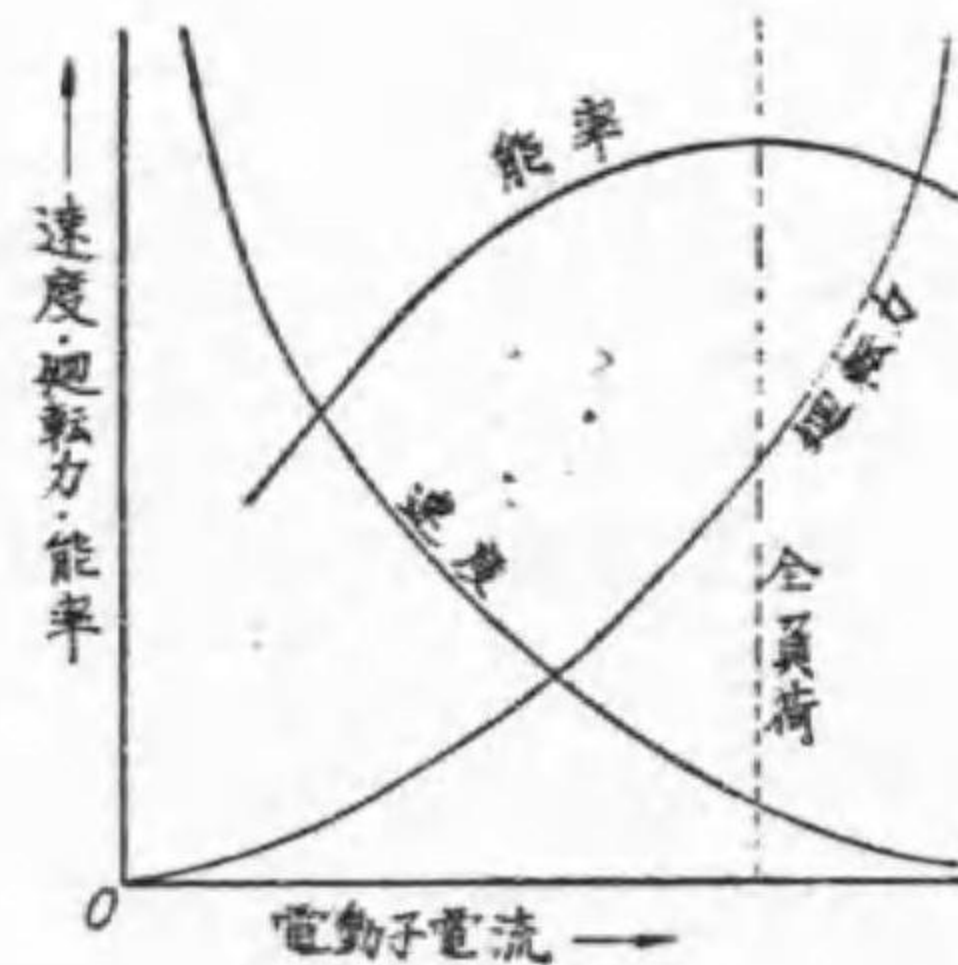
となる。

故に電流の広い範囲に考へれば廻轉力は電流の一乗と二乗との間に比例するが、實際設計の場合全負荷電流のときに始めて各部の鐵が飽和状態に近づく様設計されてゐる。故に直捲電動機に於ては電動子電流は始んど廻轉力の平方根に比例するといふ風に考へることが出来る。之をグラフにて表はせば第47圖の様になる。

何れの電動機に於ても起動の瞬間には大電流が流れるものである。然るとき直捲電動機に於ては第47圖からでも判る様に起動の始めに最も大なる廻轉力を出すことが出来るといふ性質がある。

次に直捲電動機の様子は

$$N = \frac{E_t - I_a (r_a + r_s)}{K \Phi} \dots\dots\dots (22)$$



第47圖

で表はされる。

今端子電壓 E_t が一定 であるときは ϕ は I_a が増すと共に増すから上式の数分子が減ると共に分母が増し、結果直捲電動機の様子は第47圖の様になる。

かくの如く電動子電流の變化により速度の變化を表はす曲線を速度特性曲線と稱し電動機に於ては發電機の負荷特性曲線に相當する重要なものである。

次に前式に於て $I_a = 0$ のときは $\phi = 0$ であるから無負荷の時は速度は無限大となる譯である。

實際残留磁氣があり又絶対に無負荷になることはあり得ないから ϕ が零になることはないが然し所謂無負荷又は輕負荷のときにはこの磁束の値は非常に小さくなるから規定の全電壓を與へると非常な高速度となり所謂急轉 (racing) を生ずる虞れがある。この急轉は機械を破壊したりその他の災害を及ぼすから出来るだけさけねばならぬ。その爲には負荷とは必ず直結又は齒車結合運轉をして調帶運轉はしてはならない。

この直捲電動機は前述の特性より明かな様に極めて大なる起動廻轉力 (Starting torque) を有するから電車、電氣自動車、起重機、捲揚機等の動力用に適する。

36. 分捲電動機の特性及用途

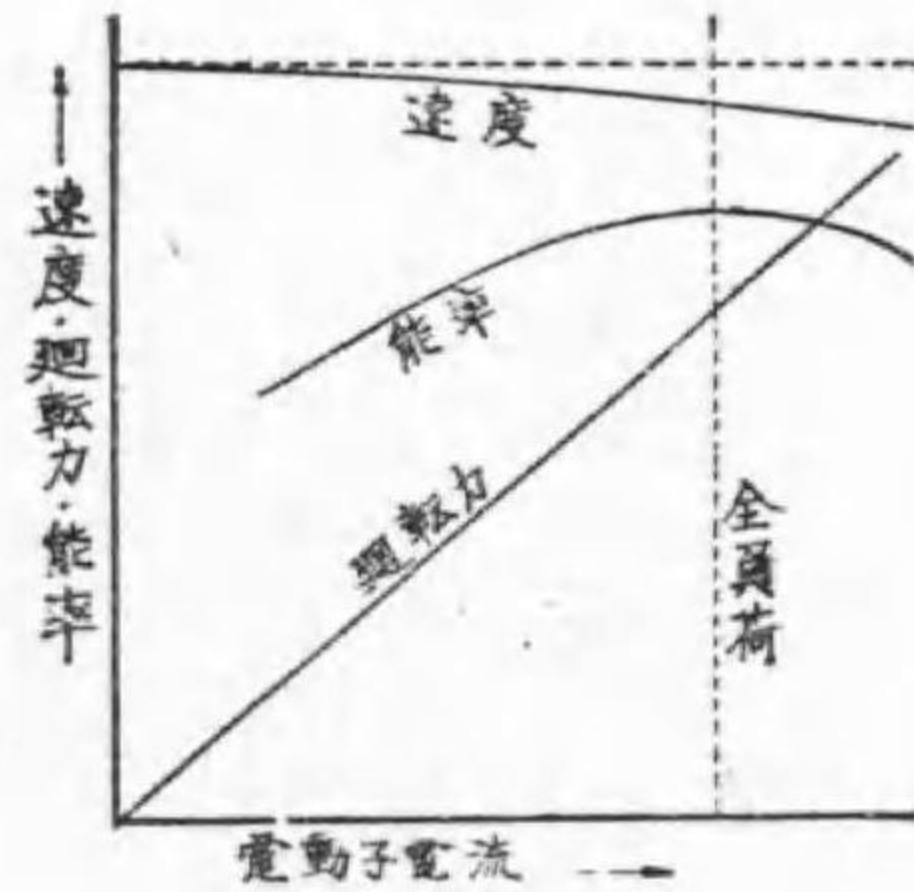
分捲電動機は電動子回路と勵磁回路とが並列にあるから給與電壓が一定で且つ界磁抵抗を一定にして置けば磁束は負荷の大小に拘はらず一定と見てよい。故にφは略々一定といふ關係を廻轉力の公式τ ∝ φ I_a に代入すれば

τ ∝ I_a(23)

即ち廻轉力は電動子電流に正比例する。それ故分捲電動機に於ては直捲電動機の様大きい起動廻轉力を出すことが出来ないが負荷の變化に拘らず速度は略々一定である。

何となれば負荷が増すと當然電流も増すが速度の公式

N = (E₁ - I_a r_a) / (K φ)(24)



第48圖

より明かなる様にI_aの増加に基く分子全體の減じ方は比較的小さいものに過ぎない。其上I_aが増せば一方電動子反作用が大となり分母のφを幾分減する結果速度の減少は極めて僅かである

以上の理由から分捲電動機は負荷の變化に關係なく

略々不變速度と見做してよい。上述の關係を圖示すれば第48圖の如

くなる。

分捲電動機は上述の様な特性を持つてゐるから特に大なる起動廻轉力を要せず唯一定速度を要求する様な負荷、例へば工場機械等を運轉するのに至極適當してゐて其他ポンプ、扇風機、送風機、紡績機、施盤等の各方面に用ひられる。

37. 複捲電動機の特性及用途

直捲電動機の如く起動廻轉力が大にして電流の變化小なる性質と分捲電動機の如く速度が略々一定なる性質を兼ね具へることが望ましいことがある。この様な場合に用ひられるものが和働複捲電動機である。

この電動機に於ては起動時には直捲線輪に大なる電流が通ずるから直捲電動機に近い作用をなし大なる起動廻轉力を出すことが出来る。然し速度が相當に増すと電動子電流は小さくなるから直捲線輪の作用が小さくなり殆んど分捲電動機たる作用を呈し速度を大約一定に保つて運轉するのである。

この和働複捲電動機は昇降機 (Elevator) 等に最も適當してゐる。それは昇降機と云ふものは起動時には大なる廻轉力を要するが一旦全速度に達した後は負荷の大小に拘らず出来るだけ速度が一定であることが望ましい。即ち和働複捲機はその特性より之に適してゐることが判る。

此外起重機、壓搾機、剪斷機、打貫機等に用ひられる。

次に仕事に依つては負荷の變化に拘らず廻轉數が精密に一定なる

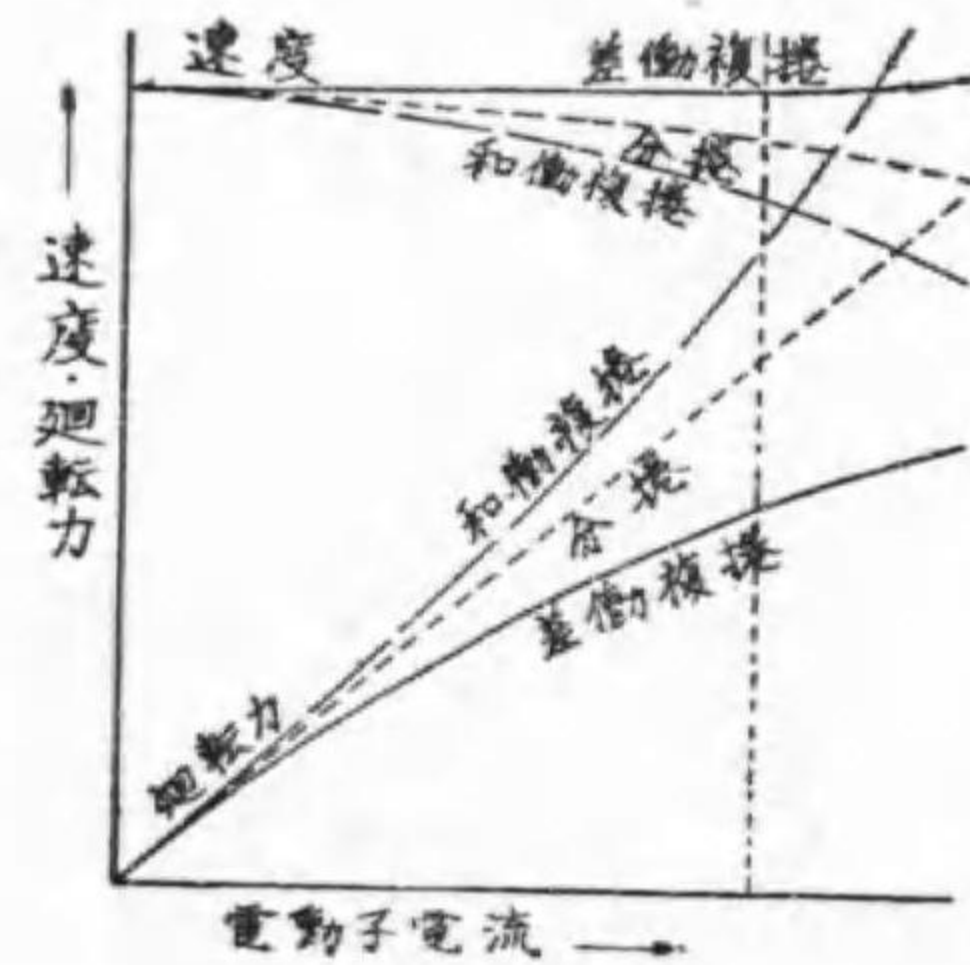
電動機を要するものがある。

今分捲電動機に於て負荷が増すと幾分速度の下る譯は前の速度の公式に於て分子の減少の度が分母の減少の度よりも大であるからである。故に若し負荷の増加に伴ひφの減る割合を更に一層大となる様な装置を施せば分子、分母の變化の割合が丁度釣合つて負荷が變つても或る程度までは速度に變化を起させない様になし得るはずである。この目的に作られたのが差働複捲電動機である。

即ち差働複捲電動機では前述の様に直捲、分捲の磁束が反對方向に生ずる様に起磁力の方向を選び、且つ直捲線輪の起磁力を適當の強さに選んである。

故に凡ゆる負荷に對し速度變化を殆んど全く零とすることが出来る。この様に差働複捲電動機は速度の變動は極めて少いが、一方起動廻轉力に非常な缺點がある。それは起動時にあたり分捲勵磁電流が定常値に達する前に直捲電流が大となりその直捲起磁力が主起磁力に反對するからφを著しく小にする。φが小になれば廻轉力が小になる譯である。

それ故差働複捲電動機を起動する場合には或る特別の装置を用ひて起動時に直捲線輪を短絡し單なる分捲電動機として運轉を開始す



第49圖

るのである。

差働複捲電動機は速度が精密に一定である。それ故製品の均質を期する爲にこの様な特性を必要とする紡績機等に用ひられてゐたが上述の如く起動時に缺點があるので現在では分捲電動機に壓倒され殆んど用ひられなくなつた。

第49圖は和働複捲電動機と差働複捲電動機との速度及廻轉力の特性を示すものである。

38. 速度變動率

電動機の速度の變動の程度を表はすために速度變動率 (Speed regulation) といふものを考へる。定格端子電壓、一定界磁抵抗の下に於て全負荷の速度を N, 無負荷時の速度を N₀ とすれば

$$\text{速度變動率} = \frac{N_0 - N}{N} \times 100\% \dots\dots\dots(25)$$

之をその電動機の速度變動率といふ。

前數節の説明により差働複捲機の變動率は零、分捲機は變動率小で、和働複捲機は變動率が大きいことが判るのである。

39. 電動機の損失及能率

電動機は發電機とは反對にその入力は電力で出力は機械動力であるから能率の計算は(4)式から

$$\text{能率} = \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100\% \dots\dots\dots(26)$$

として計算せば便利である。

元來直流機は發電機も電動機も同様な構造であるから損失の種類及計算の方法は兩者全く同様にして行へばよい。

問 題

- (1) 直接電動機の性質を述べよ。
- (2) 分捲電動機の性質を述べよ。
- (3) 複捲電動機の性質を述べよ。
- (4) 直接電動機の急轉とはどんな事か。
- (5) 直接電動機が電車用電動機として適当な譯を述べよ。
- (6) 各種電動機の用途の一覽表を作れ。
- (7) 各種電動機の特性及び用途を比較せよ。
- (8) 直流電動機中下記の目的に對し一般に使用せられる種類を記載せよ。
 - (イ) 起重機 (ロ) 昇降機 (ハ) 紡績機械
 (大正5年 4級)
- (9) 分捲電動機あり。全負荷に於ける定格廻轉數は毎分1500にして速度變動率10%なりといふ。無負荷に於ける廻轉數は幾らか。
- (10) 或る直流電動機の入力が50KWの時全損失が7KWであるといふ。この時の能率は幾%か。

第九章 起動と速度制御

40. 起 動 法

電動子電流 I_a は前述の如く次の公式で表はされる。

$$I_a = \frac{E_t - E_c}{r_a}$$

茲に E_t = 端子電壓, E_c = 逆起電力, r_a = 電動子抵抗

上式に於て r_a は一定であるから端子間の給與電壓 E_t が一定の場合には電動子電流 I_a は逆起電力 E_c の増加に伴つて減少する譯である。今運轉中の電動子電流を考ふれば電動子には廻轉數に比例した逆起電力を生じてゐるから實際電動子回路に働く電壓の値は $E_t - E_c$ でその値は極めて小である。それ故 r_a が極めて僅小なるにも拘らず I_a は過大にならない。

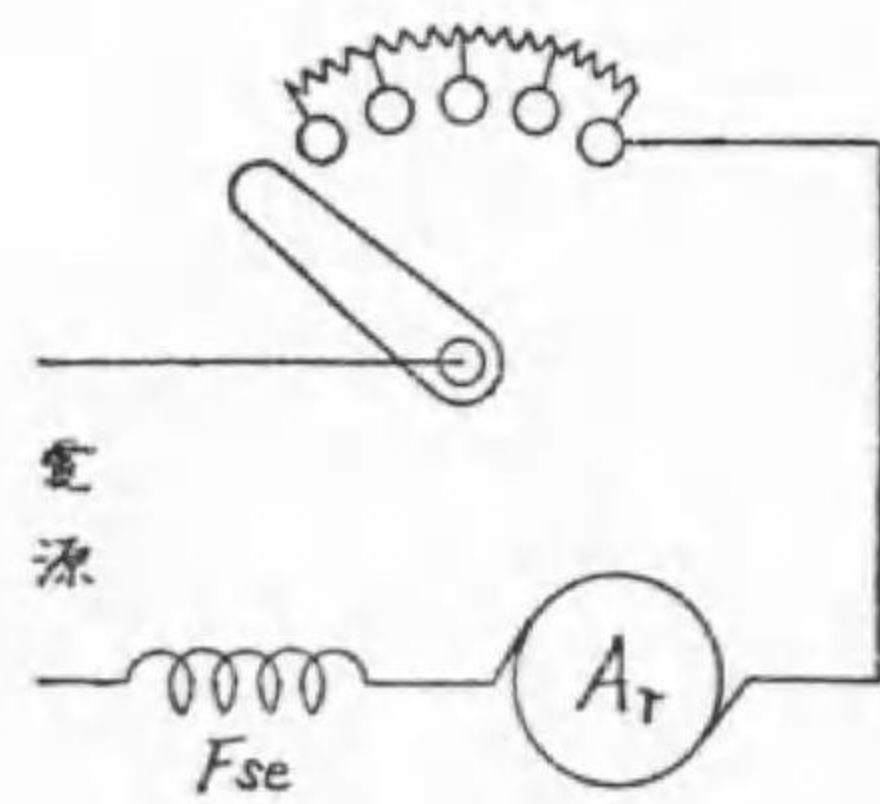
然るに電動機が**起動**(Start)を始める瞬間には廻轉數 N は零であるから E_c も零である。故に起動の際定格電壓をその儘端子に給與すれば I_a は莫大な値に達し捲線を焼損することがある。次に起動作用が進行して廻轉速度が増加して來れば漸次逆起電力も増し電流は減つて來るのである。

この起動時の危険なる過大電流を防ぎ安全に起動するには初め定格電壓より遙かに低い電壓を端子間に加へて起動し速度が漸次増すに従つて徐々に電壓を高め定格速度附近に至つて初めて定格電壓を

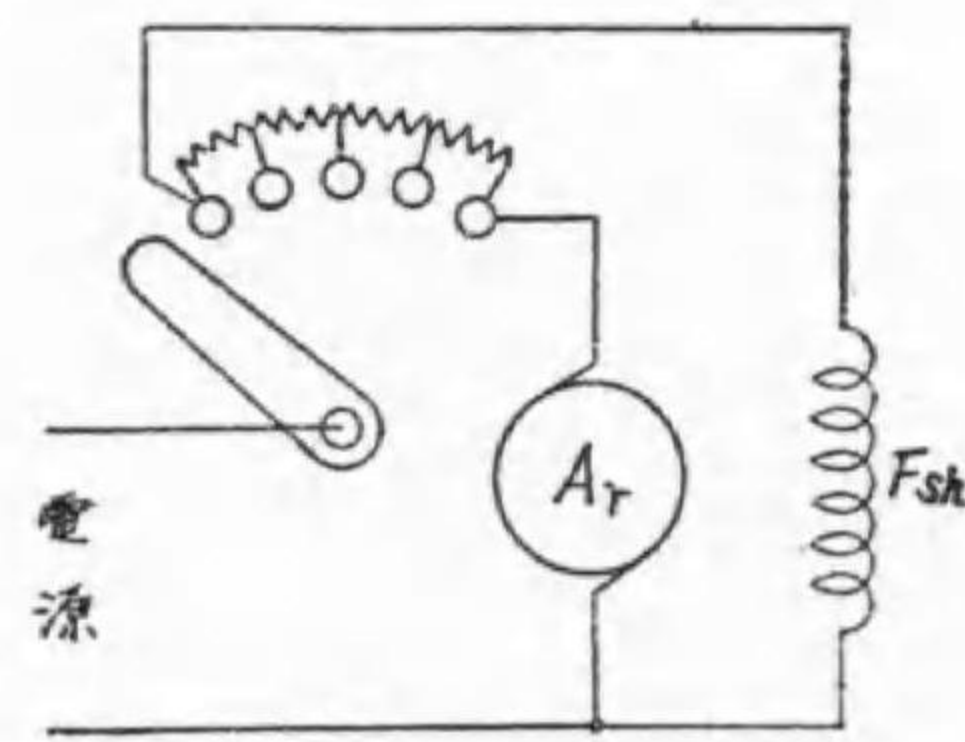
加へる様にすればよい。

實際に於ては電動子と直列に加減抵抗を結びその中の電圧降下によつて端子電壓 E_t を低くする方法を採る。かゝる目的に使用されるものを**起動器** (Startor), **起動抵抗器** (Starting rheostat) 又は**起動函** (Starting box) と稱する。起動器には大きな電動子電流が流れるから、洋銀の太い線又は帯を用ひるか、或は第50圖に示す様な**グリッド** (Grid) と稱する特殊の鑄鐵抵抗を用ひることもある。尙用途に應じて起動器には特殊の附屬器具を附してある。第51圖は直捲電動機に、第52圖は分捲電動機に起動器を用ひた結線圖である。

今端子電壓を E_t 、發電子抵抗



第51圖



第52圖

を r_s 、直捲界磁抵抗を r_a 、起動抵抗を R とすれば起動電流 I_s は



第50圖

$$\text{分捲機は } I_s = \frac{E_t}{r_a + R}$$

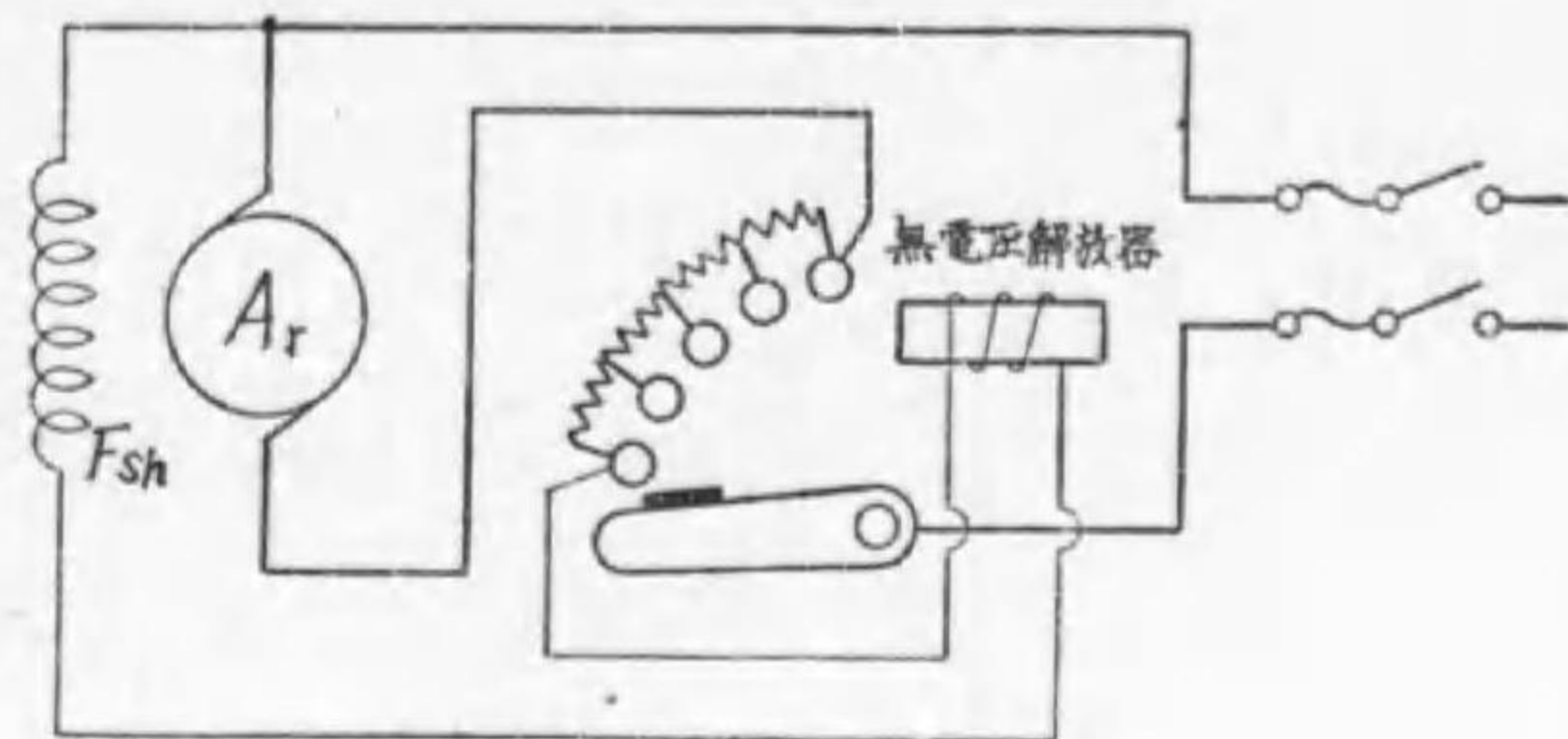
$$\text{直捲機は } I_s = \frac{E_t}{r_a + r_a + R}$$

尙起動の際に注意を要することは抵抗を抜く途中で柄を一つ所で數秒以上停滯さしてはいけない。それは起動器は界磁抵抗器と異り電流密度を非常に大きくとつてあるから、形が小さく熱容量が小さい故に僅かな時間でも莫大なる温度上昇を起すからである。

41. 起動器の附屬装置

(1) **無電壓開放器** 分捲電動機に於て運轉中その界磁電路が遮斷されるとか(直捲電動機に於てはその界磁電路が短絡されるとか)或は何等かの原因により勵磁電流が激減すると電動機の廻轉數は磁束に反比例するから無負荷のときには非常な速度で廻轉する。さうすると遠心力のために機械に災害を及ぼす恐れがある。又機械的負荷が相當にかゝつてゐるときは廻轉力は磁束に比例する故磁束減少すれば廻轉力が不足し、爲に電動機は停止してその結果過大電流が流れて電動子を燒損する恐れがある。故に勵磁電流が或る値以下に減少すれば直ちに電動子電路を遮斷する様な自働装置を設けることは極めて必要なことである。この目的に使用するものを**開放磁石** (Release magnet) 又は**無電壓開放器** (No voltage release) と稱する。

第56圖は分捲電動機にこの無電壓開放器附起動器をとりつけた結線圖である。

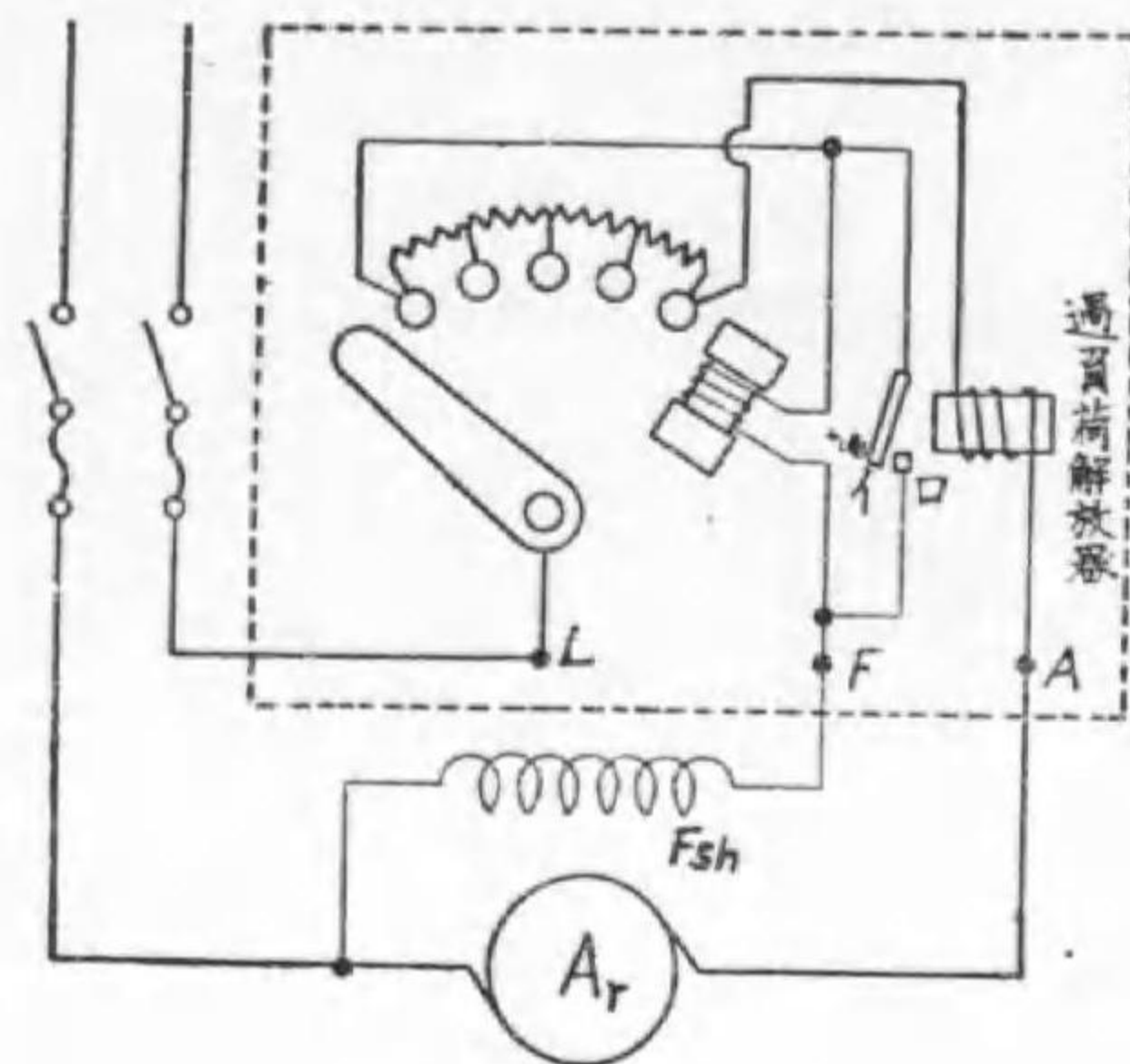


第 53 圖

直捲電動機の場合も起動抵抗に直列に無電圧解放器を接続すればよい。この無電圧解放器の働きを第53圖について簡単述べると起動器の軸には彈條が巻きつけてあつて、起動の際はこの彈條の力に逆らつて柄を動かして抵抗を抜いて行き、運轉の位置に來ると電磁石が柄についてある軟鐵片を吸引して柄をその位置に保持する。若し何かの原因により勵磁電流が甚しく減ずれば電磁石の吸引力が彈條よりも弱くなるので柄は自動的に停止の位置に彈ね戻つて電動子回路をひらく。尙電動機の運轉中停電するとか、又は運轉を中止した場合に起動器の柄を停止の位置に戻すことを忘れてゐて、その儘再び送電すれば電動子を焼く惧れがある。この場合前述の無電圧解放器は同時にこの危険を防ぐ。何となれば線路電圧が或る値以下になればその吸引力が弱くなり柄を自動的に停止の位置に戻すからである。

(2) **過負荷開放器** 電動機の機械的負荷が甚しく過大になれば電動子に過電流が流れ遂に捲線を焼損するに至る。之を避ける爲に電動子電流が規定以上の値に達すれば電動子回路を自動的に遮断す

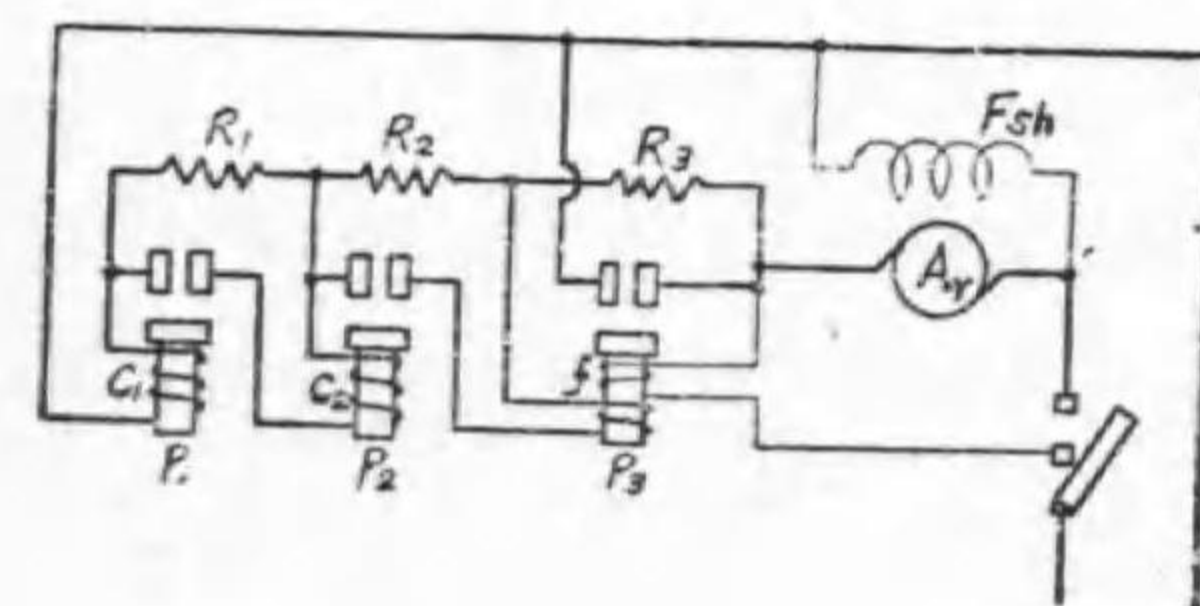
る装置を附したものがあつた。この装置を過負荷解放器 (Overload release) と稱し屢々無電圧解放器と共に起動器の盤面に取付けられる。第54圖は之を示し圖より分る如く過負荷解放器は電動子回路に



第 54 圖

直列に接続される。今電動子電流が或る値以上に達すれば過負荷解放器の吸引力が大となるからイとロとが接觸し爲に解放磁石は短絡されて彈條の力が之に打勝つて柄を停止の位置に戻し電路を遮断するのである。

(3) **自動起動器** 電動器が普及するにつれて全くの素人にも取



第 55 圖

扱ひ得る様に、又一人で多數の電動機を取扱ふ場合或は遠方より取扱ふ場合等に自動的に起動器を働かすことが出来れば便利である。この目

的の爲に自動起動器 (Automatic starter) なるものが考案された。この自動起動器には種々あるが第55圖にその一例を示す。

42. 分捲電動機の世界速度制御

電動機の世界速度 N は

$$N = \frac{E_c - I_a r_a}{K \phi} \div K' \frac{E_c}{\phi}$$

即ち $I_a r_a$ は E_c に較べて小さいから之を無視すると速度は大體電動機に與へた端子電壓に比例し、磁束に反比例することが判る。故に若し電動機の世界速度を變化させんとすれば即ち速度制御 (Speed control) を行はんとするには

- (1) 勵磁電流を増減して磁束 ϕ を變へる。
- (2) 電動機の刷子間に與へる電壓 E_c を變へる。

以上の二つの方法を單獨に或は併用すればよい。

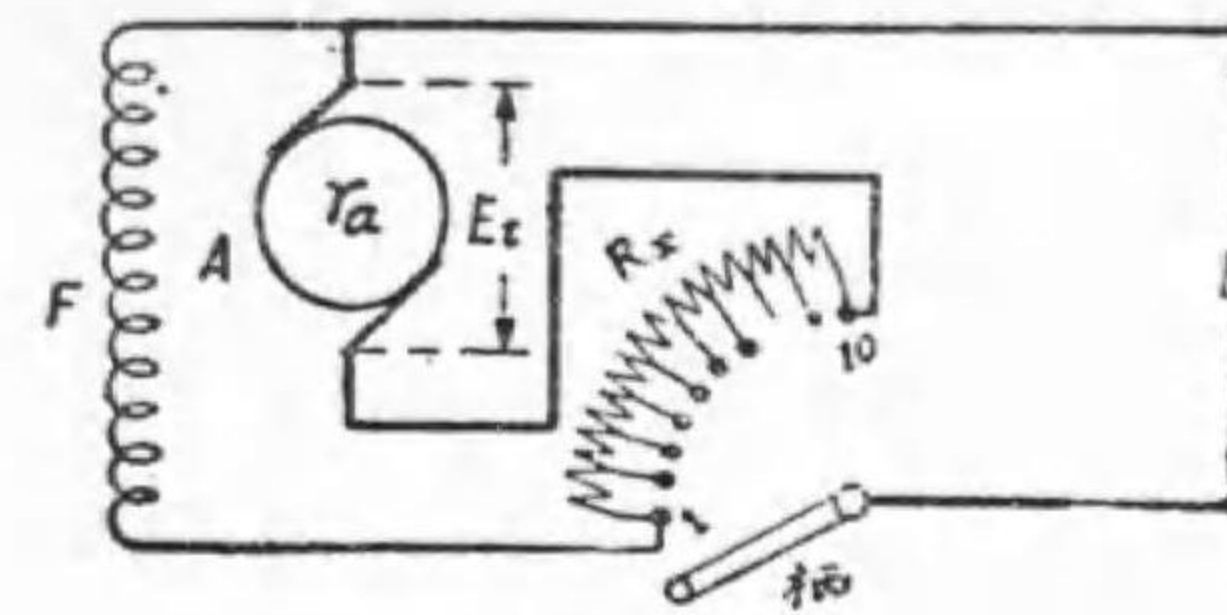
分捲電動機の世界速度調整の最も簡單で、且つ最も經濟的な方法は分捲界磁回路の抵抗に依つて磁束を變化する方法である。之は上述の(1)の方法に屬し最も普通に行はれてゐる。

然しこの方法は餘り廣い範圍に速度を變へることは出來ない。それは速度を増す爲に界磁を著しく弱めると電動機反作用のために整流作用が不完全となり、整流子と刷子間に火花を生ずるに至るからである。然し補極電動機であれば廣い範圍に速度を變へることが出来る。此様に界磁を加減して速度を變へる方法を界磁制御 (Field control) といふ。

次に電動機の刷子間に與へる電壓、即ち供給電壓を變へて速度を變へる方法であるが、之は更に次の二つに分けることが出来る。

- (イ) 抵抗制御 (Rheostat control)
- (ロ) 電壓制御 (Voltage control)

(イ)の方法は太い線或に帯にて作られた一つの加減抵抗器を電動機回路に直列に入れ、その中の電壓降下を變化して間接に端子間の電壓を變へる方法である。



第56圖

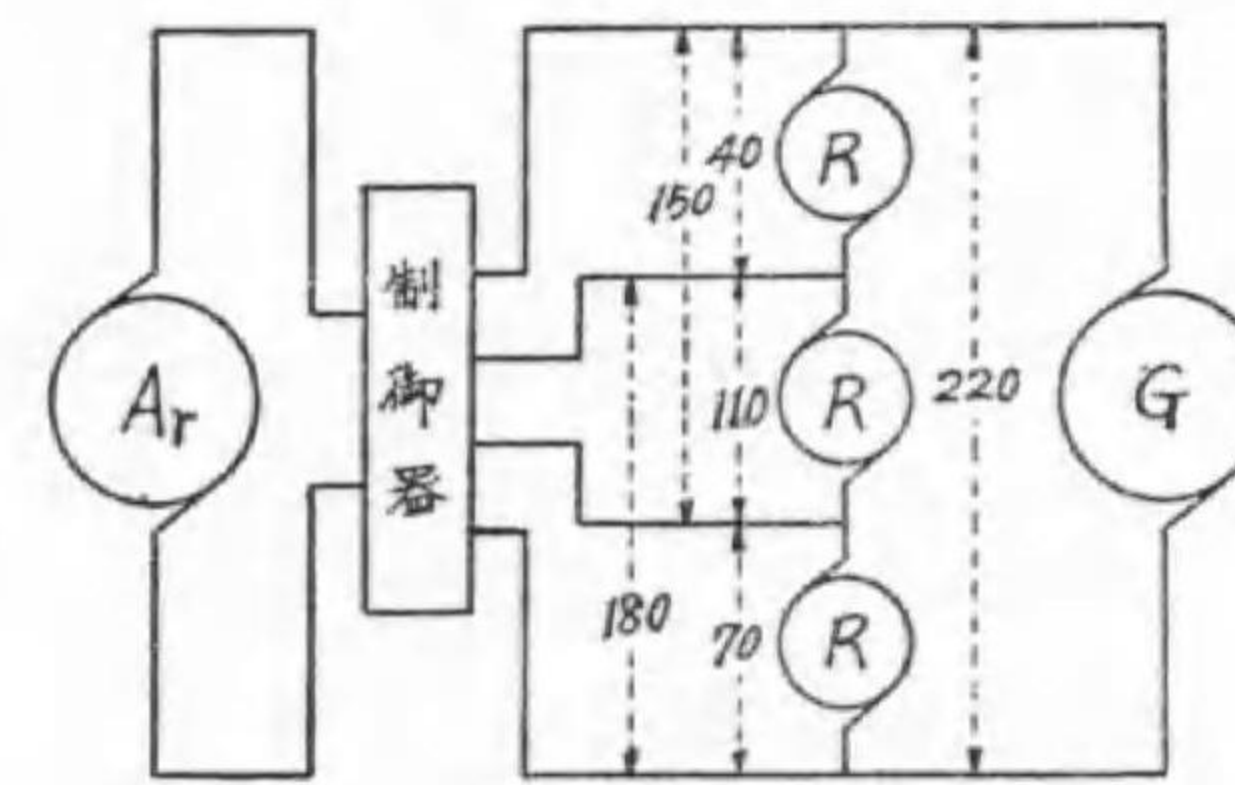
次に(ロ)の方法は電源の電壓を變化し直接に端子間

の電壓を變へる方法で、之には多電壓式制御 (Multi-voltage system) とワード・レオナード法 (Ward-Leonard system) の二つがある。

この多電壓式制御は第57圖に示す様になつて居り、 R といふのは均壓機と稱する一種の電動機にして、その各電動機は機械的に連結されてゐる。

圖中にある制御器により各種の電壓に切換へて電動機に供給する電壓を變へる

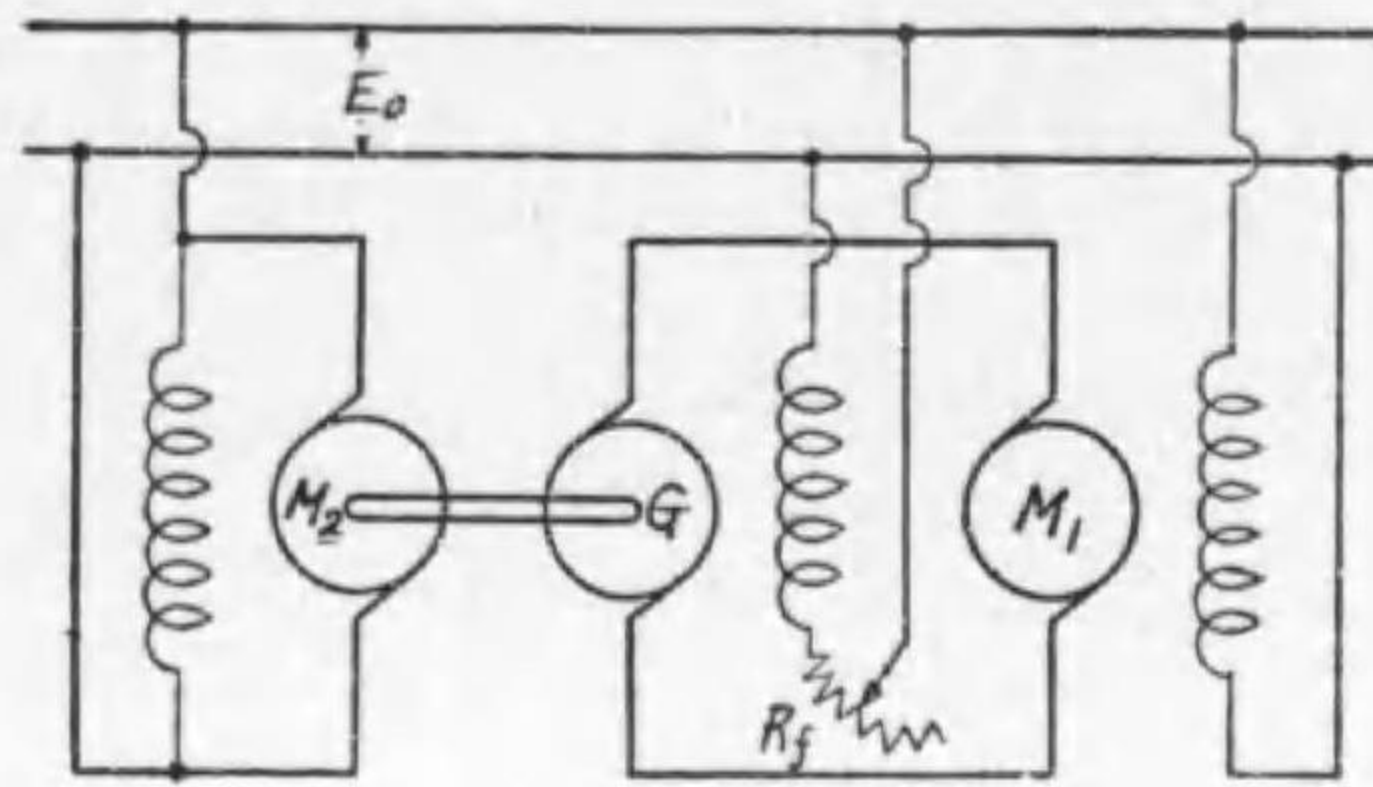
のである。この方法は其の装置に相當の費用を要する。



第57圖

次にワード・レオナード法の一種を第58圖に示す。この方法を圖について説明しやう。

M_1 は速度を變化させんとする主電動機でその界磁回路は一定の電圧Eなる幹線から勵磁され



第58圖

Gは M_1 に電流を供給する發電機で M_2 はGを一定の速度で運轉する補助電動機である。この補助電動機は交流電動機でも或は他の原動機でも差支へない。發電機Gの界磁線輪は幹線Eから勵磁され、之と直列に界磁加減抵抗器 R_f がある。之は勵磁電流をその最大値から零まで變へ得る様な大きさに作られる。故に M_1 に供給される電圧は零からGが出し得る最大値まで變へることが出来る。

従つてこの方法によれば少しも電力を無益に消費することなく速度を零から全速度以上まで細密に且つ圓滑に制御なし得るから軍艦の砲架の運轉或は電氣的に制御される舵を操る際等用ひられる。然しその装置が複雑となり据付費用が増大する。

43. 直捲電動機の世界速度制御

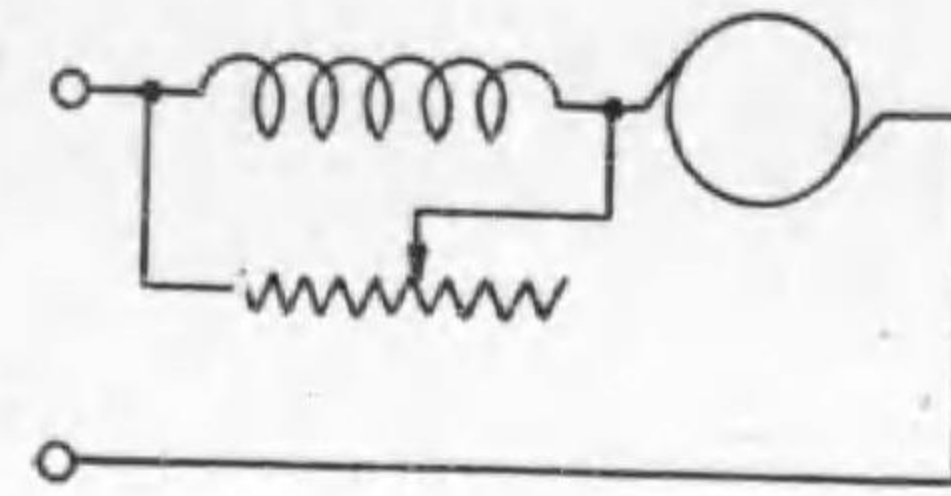
前述分捲電動機の世界速度制御法は大體直捲電動機にも當てはまるものである。併し分捲電動機とはその構造を異にするためその儘では

都合が悪い。

前述の様に速度制御には界磁制御と電壓制御の二種類がある。直捲電動機に於て界磁制御を行ふには、界磁線輪に並列に加減抵抗器

を入れて界磁電流を加減して磁束を變へる。

この加減抵抗器は分捲電動機の界磁抵抗器に比し電流容量の大なるものを用ひねばならない。



第59圖

次に電動子電壓を變へて速度制御する爲には此の回路に直列に加減抵抗器を挿入する。

即ち分捲電動機のと異なるのは界磁捲線が電動子及び抵抗器を直列につなされることである。この抵抗制御法は直捲電動機に最も普通に用ひられる。

この外直捲電動機には直並列制御法 (Series-parallel control) といふ方法がある。之は電車の様に二臺以上偶數個の直捲電動機が使用される場合にそれら電動機を直列又は並列につなぎ替へて各電動機に加はる電壓を變へ起動をよくし又其の速度を變へる方法である。通常之を前の抵抗制御と並用して用ひる。

この電動機を直並列に切り替へたり或は抵抗を加減し得る様に造られたる装置を速度制御器 (Speed controller) 或は單に制御器 (Controller) と稱する。制御器には電動機の廻轉方向を反對になし得る装置をも有してゐる。

問 題

- (1) 直流電動機の起動時に大なる起動電流の流れる譯を述べよ。
- (2) 電動子抵抗 0.5Ω を有する 10H.P. 分捲電動機あり。端子電圧 200V ならば起動電流は全負荷電流の何倍か。
- (3) 上の電動機に於て全抵抗 2Ω の起動器を用ふれば起動時の電流は幾らか。
- (4) 直流電動機の世界速度調整の原理を述べよ。
- (5) 普通の直流分捲電動機の界磁抵抗の加減に依る速度調整に制限あるは何に依るか。(大正元年 5級)

第十章 据付及運轉

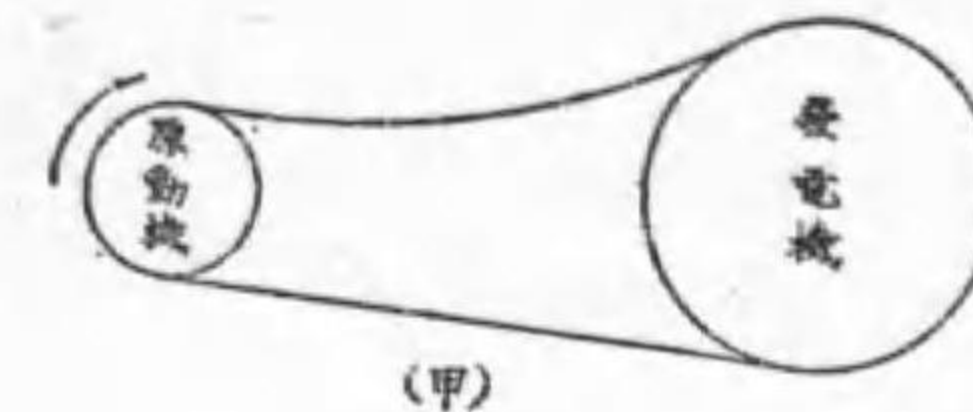
44. 据 付

(1) **位置の選定** 電機を据付ける位置は、發電機ならば原動機的位置で、電動機ならば負荷の位置で、或る制限を受けるのであるが、成る可く空気の流通が良く、濕氣塵埃が少なく、且つ周圍に多少の餘地があつて點檢が容易に出来る所が良い。周圍の状態に依つては機械を密閉型 (Enclosed type) 若しくは半密閉型 (Semi-enclosed type) とし、必要に応じて適當な通風装置を施さねばならぬ。

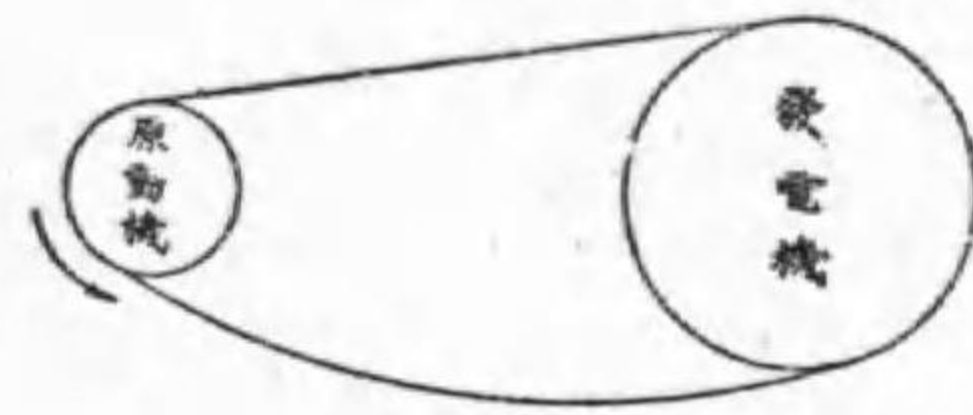
(2) **基礎** 地盤の硬軟、機械の大小に応じて夫々適當に杭 (Pite)、石積、煉瓦積又は混凝土等で固め、如何なる場合でも運

轉によりて機械が振動したり位置が變つたりする事のない様にする基礎には豫め**基礎ボルト** (Foundation bolt) を埋め込んでおき之に**電機臺** (Bed plate) を取付ける。

(3) **据 付** 機械の大小、運轉の方向 (原動機又は負荷と直結するか、又は調帶運轉か) に依つて異なるが、要するに軸軸承の位置を無理のない様に正しく定める事が肝要である。大型の機械



(甲)



(乙)

第 60 圖

は分解されて運ばれるから、現場で組立て、据付けねばならぬが、組立中に整流子、發電子、軸、界磁線輪等を損傷しない様に注意する。調帶運轉の場合は兩軸間の距離を近づけすぎはよくない。尙調帶のかけ方は第 60 圖 (甲) の如くその伸張部を下部にするのが正しく、(乙) は誤りである。

45. 故 障

直流機に生ずる故障の主なるものを挙げれば大體次の如くである

(1) **整流子に於ける火花發生** 之れは整流子面の荒れた時、刷子の位置或は壓力が不適當であるか又は接觸の悪い時、過負荷が掛つたり短絡線輪がある... 等。

(2) **各部の過熱** 油の不足、不良、又は塵埃が混入した時、磁

極の中心と電機子の中心とが一致せぬ時等は軸承が過熱する。整流子に烈しい火花が出る時には整流子が過熱する。過負荷が掛る時、短絡線輪がある時、内部電路に大循環電流が流れる時には電機子が過熱する。

(3) **發電不能** 残留磁氣がない時、發電子に対する界磁線輪の接續を誤つた時、刷子の位置が不適當な時、界磁線輪の斷線した時界磁の抵抗が過大な時等。

(4) **音響發生** 刷子の下に異物が入つた時、刷子の壓力が弱きに過ぎる時、刷子の傾斜角度が不適當なる時、軸承磨滅の爲發電子の表面が極片に接觸する時、各部のネジの緩んだ時等は種々の音響を發生する。凡て運轉中聞きなれぬ噪音や奇音が發生すれば、何處かに不備の點があるものと思つて間違ひはない。

46. 運 轉 法

(1) **運轉開始前の注意** 斷線の有無を**マグネットベル** (Magnet bell) で檢し、絶縁の良否 (第52節参照) を**メガ** (Megger) で調べる。絶縁が低下してゐる場合には乾燥せねばならぬ。整流子と刷子との擦り合せ、刷子の壓力とその位置等が適當か否かを調べ、次に軸承の油の有無其の良否等を確認する。尙手で軸を廻して軽く廻るか否かを確認する。

(2) **運轉の順序** 發電機に於ては、その界磁抵抗を最大にして置いて界磁用開閉器を閉ち、原動機の運轉を開始して徐々に定格速度にする。次に電壓計を見乍ら次第に界磁抵抗を減じ定格電壓を發

生させて、**主開閉器** (Main switch) を閉ち、負荷へ電流を供給する最後に界磁抵抗を加減して電壓を調整する。尙止める場合は界磁抵抗を増して電壓を下げるか原動機を停止してから主開閉器を開くが良い。電動機に就きては 第40節参照)

(3) 運轉中の注意

- (a) 各部の温度上昇に絶えず注意し、特に軸承の油の廻り具合を時々檢する事。
- (b) 整流子の火花の有無に注意する事。
- (c) 運轉中には界磁開閉器を決して開かぬ事。
- (d) 大きな負荷電流が流れて居る間は主開閉器を開かぬ事。
開く必要ある場合には**遮斷器** (Circuit breaker) を備へて之を開く様にする事。

47. 並 列 運 轉

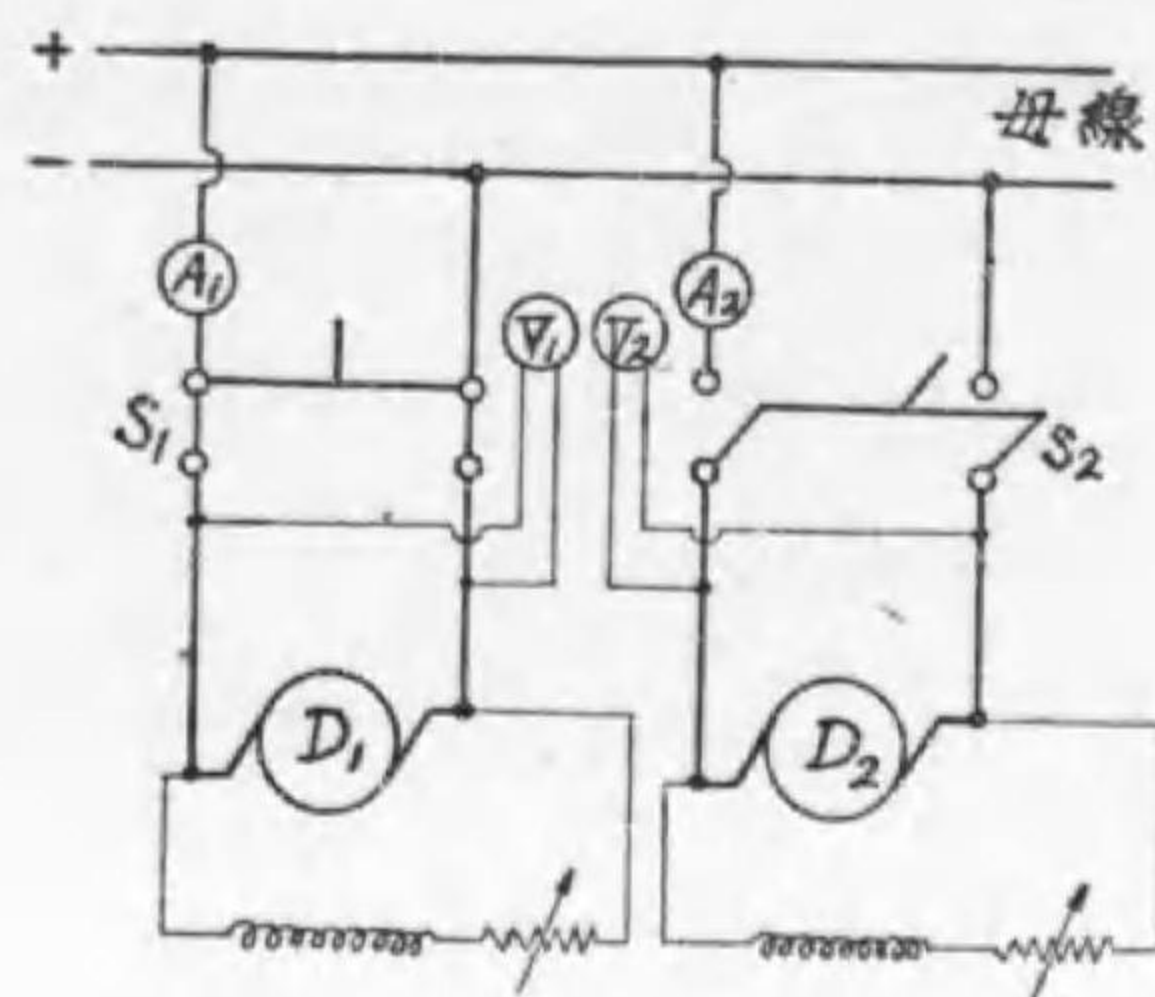
2箇以上の發電機を並列に接續して使用することを**並列運轉** (Parallel running) と云ふ。接續の方法は電池の場合と同じで、發電機の凡ての正端子は共通の正母線に、總ての負端子は共通の負母線に接續する。

並列運轉を行ふ場合に忘れてならぬ事は、各發電機の端子電壓は母線電壓と等しくせねばならぬと云ふ事である。

(1) **分捲發電機の並列運轉** 此の場合の接續は第61圖に示す如くである。

分捲發電機の並列運轉中、何かの原因で一方の原動機、例へばD₁

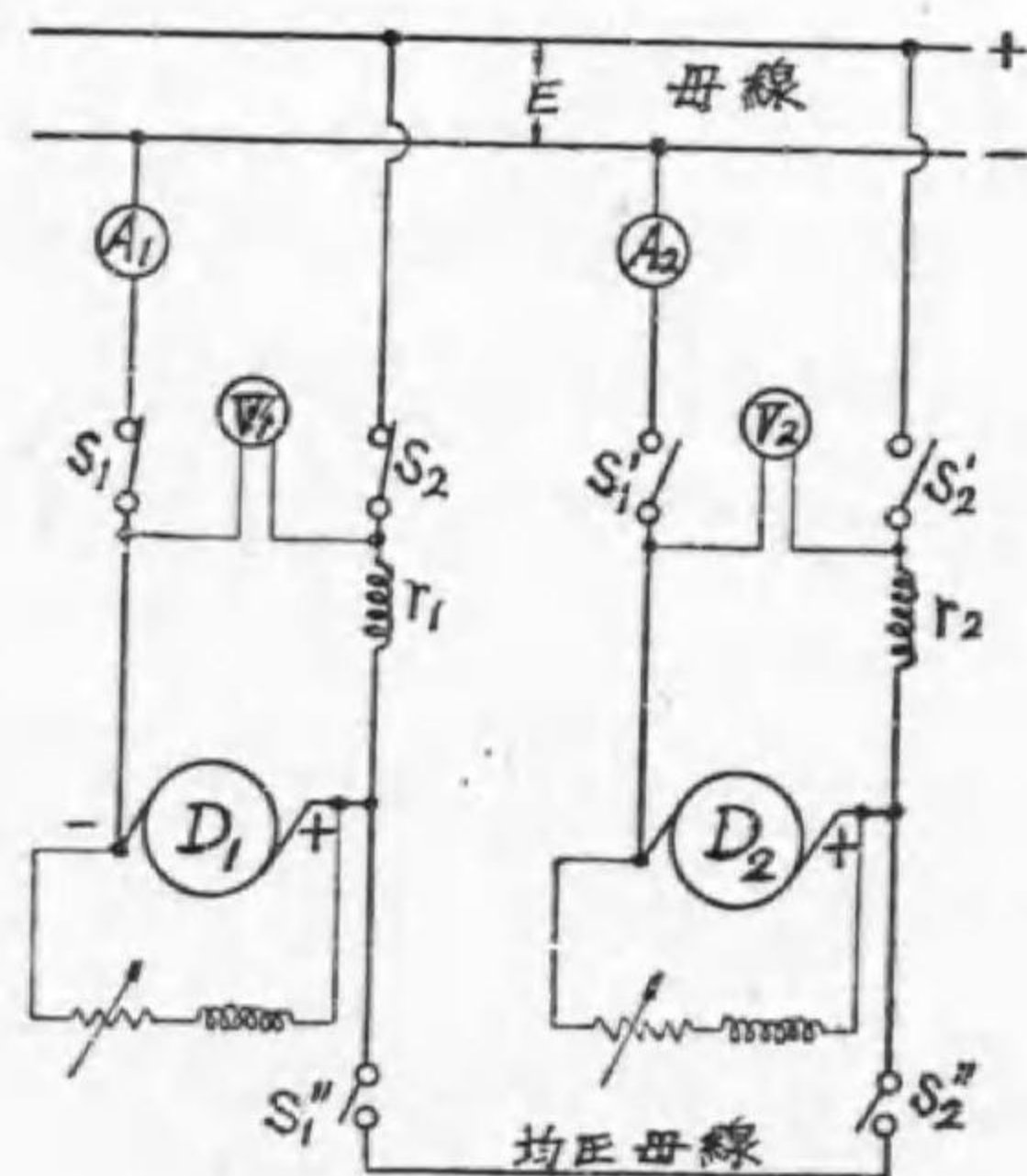
の廻轉が速くなつたものとすると、 D_1 の誘導起電力が高くなるから D_1 の電流は増し、 D_2 の電流は減少する事となる。即ち D_1 の負荷は重くなり、 D_2 は軽くなる故に D_1 の速度が減じ兩機の原動機は速度は調



第61圖 分捲發電機の並列運轉

整されて平衡を取戻す即ち分捲發電機の並列運轉は安定である。

次に並列運轉中の各機に掛る負荷の分擔を變へるには界磁抵抗を調整して誘導起電力を變へればよい。斯くすると端子電壓は各機同



第62圖 複捲發電機の並列運轉

じでなければならぬから各機の發電子降下が變つて其れに應じた電流が流れる事になる。

(2) 複捲發電機の並列運轉 複捲發電機の並列運轉は不安である。之は何かの原因で D_1 の廻轉が早くなり誘導起電力が高まると、 D_1 の電流は増し D_2 の電流

は減少する。此の場合複捲機では直捲線輪の作用があるから、 D_1 の電壓は益々大となり D_2 の電壓は小となり不平衡が甚しくなる許りで遂には運轉不可能となるに至るからである。

之を安定にする爲に複捲機の並列運轉の際は第62圖に示す様な均壓母線 (Equalizer bus) を使用する。之は抵抗の少い導體で各直捲線輪の發電子側を同電位にする役目をする。こうすると各直捲線輪を流れる電流は常に一定の割合を保つから、直捲起磁力の割合が變らず安定になるのである。

(3) 並列運轉の順序 第62圖に於て、 D_1 は既に運轉中で之に屬する總ての開閉器は閉ちて居る。之に D_2 を並列にするものとする。

- (イ) D_2 の原動機を運轉し、次第に速度を上げて定格速度とする。
- (ロ) D_2 に屬する開閉器 S''_1, S''_2, S'_1 を閉じて直捲界磁の勵磁を行ふ。
- (ハ) D_2 に屬する界磁抵抗を加減して、 V_2 が V_1 より2~3%高くなる様にする。
- (ニ) 次に S'_1, S'_2 を閉ちる。
- (ホ) D_2 の界磁抵抗を徐々に減じて負荷を D_1 から D_2 に移す。 A_1 と A_2 との讀みが各機の容量に比例する様にすればよい。

問 題

- (1) 直流機に生ずる故障の主なるものを挙げよ。
- (2) 直流機の夫々の故障に對して如何に處置したらよいか。
- (3) 並列運轉の安定不安定とは如何なる事か。
- (4) 均壓母線の使用される理由を述べよ。
- (5) 全負荷に於て並列運轉をなせる2個の直流分捲發電機あり。其の一は

定格電圧200V, 定格容量100KW, 電圧變動率6%, 他は定格電圧200V, 定格容量200KW, 電圧變動率3%なり。今全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。(大正15年 3種)

- (6) 直流分捲發電機を試運轉せるに規定の廻轉數に達するを起電せず。其の主要なる原因を擧げ且此際如何なる處置を取るべきや。(明治14年 5級)

第十一章 試 験 法

48. 試 験 の 種 類

電氣機械を製作した時又は組立据付が終つた時, 其の電機が實際使用に差支ないかどうかを確める爲に試験を行はねばならぬ。その試験法の種類は大體次の如くである。

- (1) 絶縁試験 (Insulation test)
- (2) 極性試験 (Polarity test)
- (3) 磁化試験 (Magnetization test)
- (4) 能率試験 (Efficiency test)
- (5) 温度試験 (Temperature test)
- (6) 負荷特性試験 (Load characteristic test)

(1) は電機の捲線の良否を検する試験, (2) はN及S極が交互に出来てゐるか否かを検する試験, (3) は磁化曲線を決定する試験で

之れは無負荷で行ふから**無負荷試験** (No load test)と云はれる。

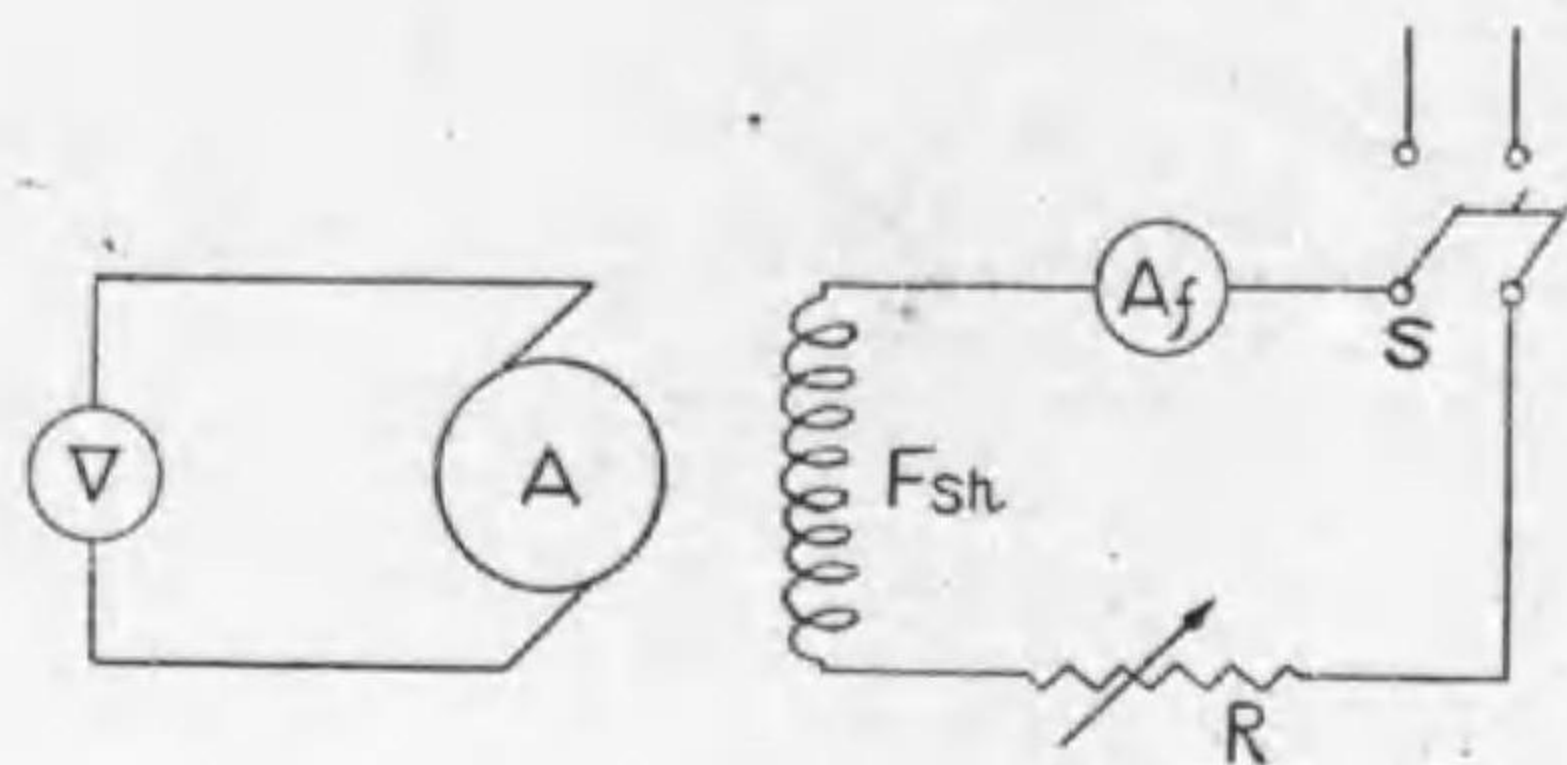
(4) は能率を求める試験, (5) は全負荷で運轉した場合各部の温度上昇を検する試験, (6) 發電機ならば外部特性曲線を決定して電圧變動率を求め, 電動機ならば速度特性曲線を決定して速度變動率を求める試験である。以上(4)から(6)までは電機に負荷をかけて行ふから之を**負荷試験** (Load test)と云ふ。

49. 極 性 試 験

磁界が交互にNSになつて居るかどうかを見るには、先づ界磁線輪に極めて微弱な電流を通じて置き、水平に運動し得る**小磁針** (Magnetic needle)を順次各磁極の極片に近づけ、其の一端を吸引させる。磁針の位置を順次移す毎に其の向が逆になる時は極性が正しいのである。但し注意を要する事は餘り磁極を強くしたり或は磁針を磁極に近づけすぎると磁氣誘導のために虚偽の指示を與へることがある。

50. 無 負 荷 試 験

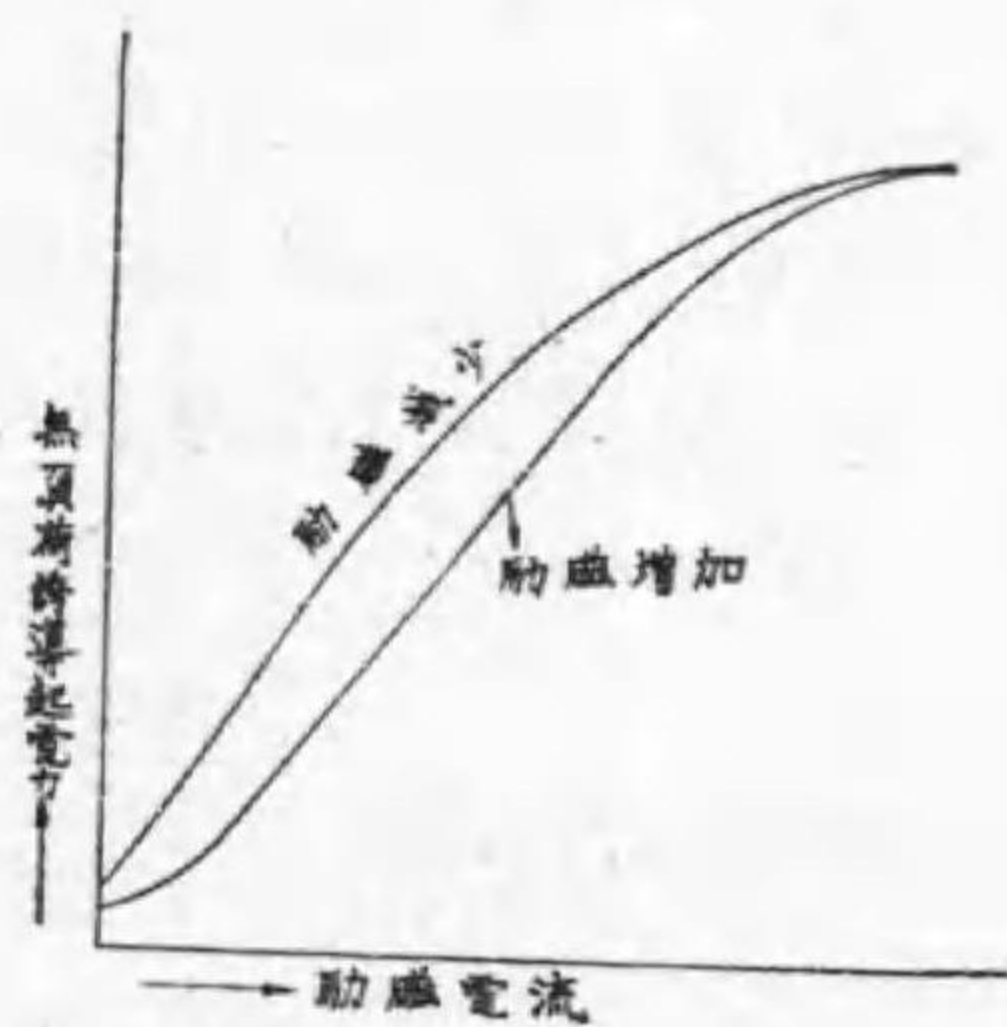
磁化曲線を求めるには、第63圖の如く、他勵磁として之に電流計 A_r 加減抵抗器R及び電圧計Vを挿入し、電機子の速度を定格回轉數に合せて一定に保ち、次に開閉器Sを閉ぢ、Rを僅か宛減らして次第に勵磁を強め其の都度 A_r とVを同時に讀む。さうして起電力が定格電壓の125%に達したら次にRを少し宛増し勵磁を減らして其の都度前と同じ様に讀みをとるかくして得た一回の結果を次表の様に記



第 6 3 圖

録し、その結果を横軸に励磁電流の値を縦軸に誘導起電力の値をとつてグラフに表はせば第64圖の如き磁化曲線が得られる。

毎分廻轉數	勵磁電流	誘導起電力
N	I _f アンペア	E ヴォルト



第 6 4 圖

51. 負荷試験

能率, 負荷特性, 溫度上昇を求めの爲の試験であつて, 種々な方法があるが, 茲には**プロニー制動機** (Pronybrake) を用ふる方法と,

カッフ氏返還負荷法 (Kapp's loadingback method) に就て述べる。

(1) **プロニー制動機法** 之は電動機の能率, 速度變動率を求め方法で, 負荷として制動機を使用するのである。

第65圖の様に電動機の**調車** (Pulley) を布又は革製の制動帶と木製

の制動腕で締め付けて負荷をかける。負荷の大きさは捻子の締付け方で變る。今

F = 電動機を運轉した時の臺秤の讀み (kg)

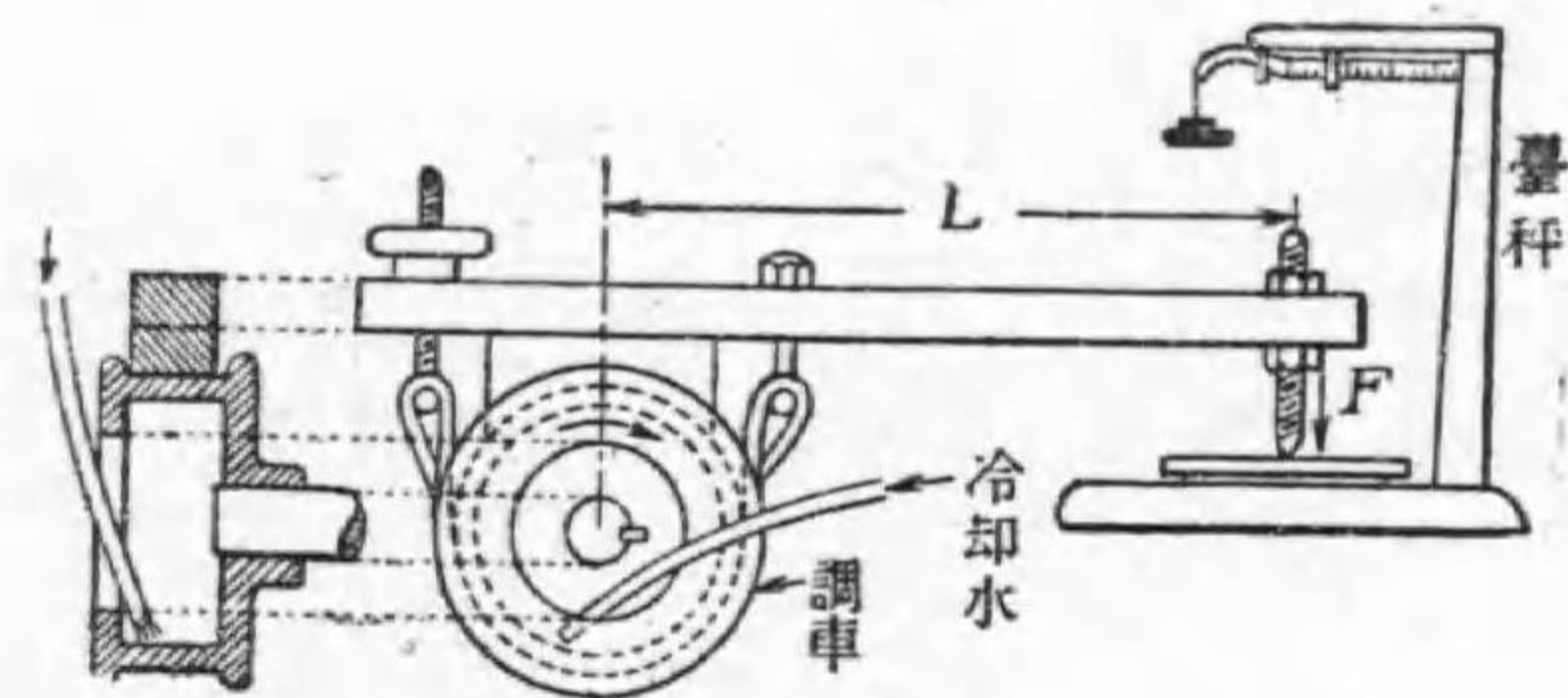
W = 電動機を停止した時の臺秤の讀み (kg)

L = 調車の中心から制動腕の右端迄の距離 (m)

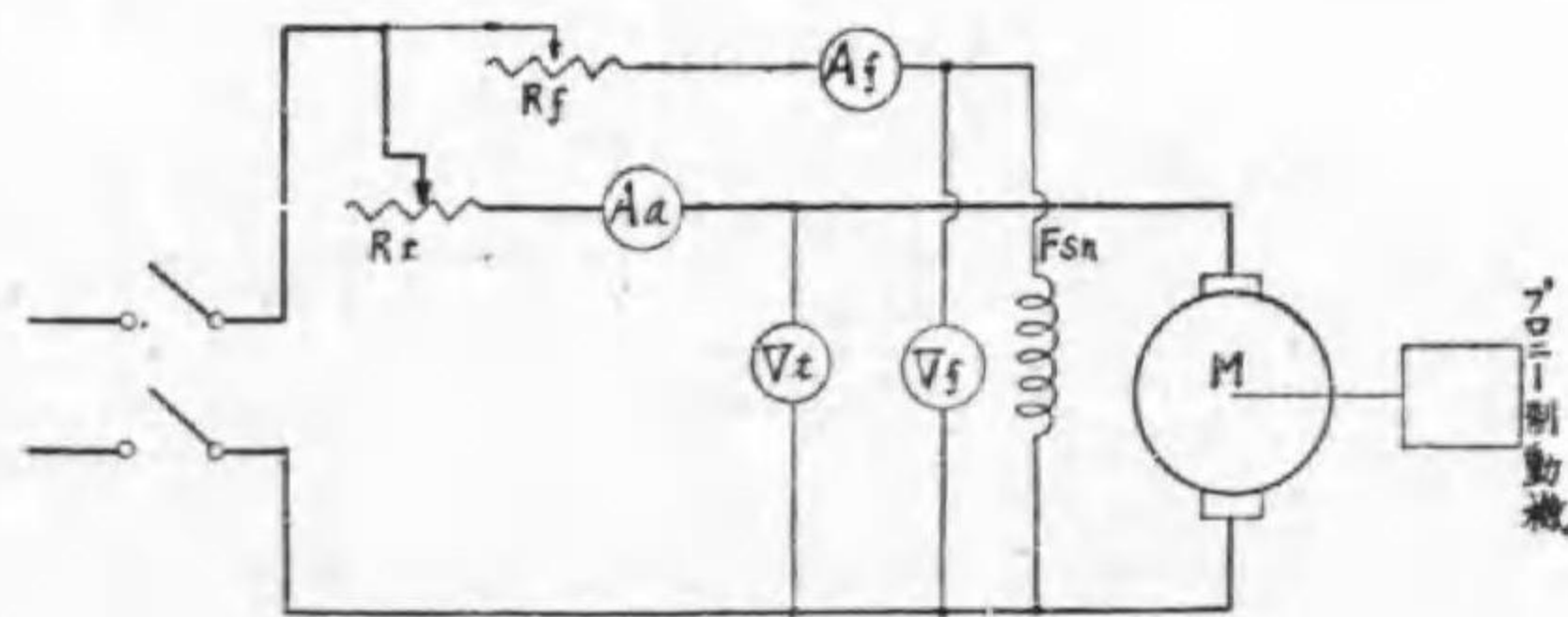
N = 電動機毎分の廻轉數

とすると, 電動機の出カ P₁は

$$P_1 = 2\pi \frac{N}{60} (F - W) L \text{ 瓦特/秒} = 1.028 (F - W) LN \text{ ワット} \dots (27)$$



第65圖 プロニー制動機



第 6 6 圖

次に第66圖に於て, 電動子への供給電壓を E_t ヴォルト, 電動子電

流を I_a アンペア、界磁供給電圧を E_f ヴォルト、勵磁電流を I_f アンペアとすれば、入力 P_2 は

$$P_2 = E_a I_a + E_f I_f \quad \text{ワット} \dots\dots\dots (28)$$

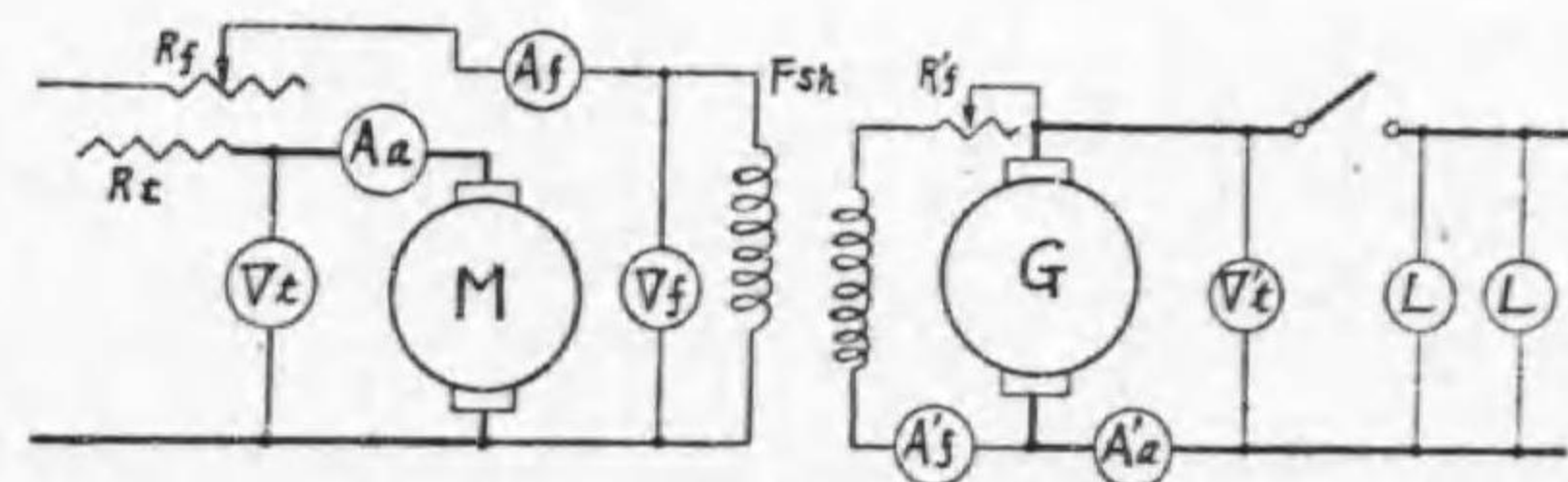
であるから、能率を求めることが出来る。

速度變動率を求めるのも上記と同様であるが出力を測定する必要がない。定格電圧全負荷の下で定格廻轉數になる様に、初め負荷及界磁抵抗を調整し、次に界磁抵抗はその儘不變に保ち、負荷を變化した場合の各計器の讀みを取り記録する。

端子電壓 E_a ヴォルト	電動子電流 I_a アンペア	分捲勵磁電流 I_f アンペア	毎分廻轉數 N
--------------------	---------------------	----------------------	------------

上の結果から速度特性曲線を作る。尙制動試験では電動機の出力がごとごとく調車の摩擦で熱に變るので、過熱する恐れがあるから調車に水を注いで冷却せねばならない。

電動機速度變動率試験、溫度上昇試験の様に負荷をかけるだけで出力を知る必要のない場合には、プロニー制動機に依るよりも他の發電機を利用して負荷をかけるがよい。即ち第67圖の如く試験す



第 6 7 圖

べき電動機で、之と同じ位の容量の發電機を運轉し、此の發電機に

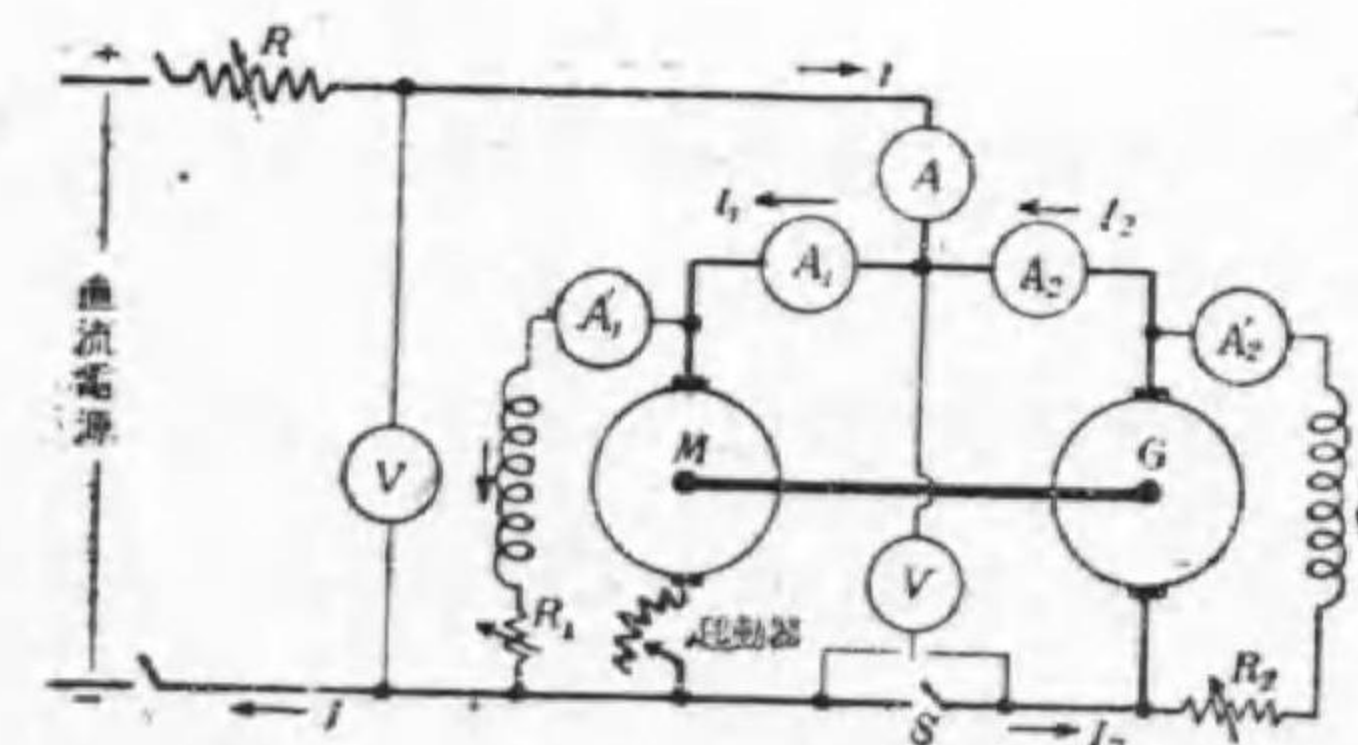
負荷をかけて電動機に負荷する。

能率試験を行ふには、運轉用電動機の能率を豫めプロニー制動法などで求めて置き、第67圖の如く電圧計、電流計を接続し、電動機(M)側、發電機(G)側の電圧、電流を測定し、夫々Mへの入力、Gから出力を測定する。Mの入力と能率からMの出力即ちGへの入力がわかり、Gの能率を知る事が出来る。

(2) **カップ氏返還負荷法** 大型の電動機の試験の際に実際に負荷をかける事は電力が不經濟であるのと、電源及適當な負荷を得るのが困難である爲返還負荷法を使用する。

返還負荷法は、同型同一定格の電機が二臺ある時に行ふ事が出来るので、一臺を電動機として動作させて他の一臺を發電機として運轉し、發電機の電氣的出力を其の儘電動機へ返還させるのである。故に電流からは單に兩機の内部損失に等しい電力を供給する丈ですみ然も兩機共大體負荷状態におく事が出来るのである。

第68圖に於て最初Sは開いた儘で電源の主開閉器を閉ち、Mに定格電圧を供給して起動し定格速度で運轉する。次に R_2 を加



第68圖 カップ氏返還負荷法

減してGの誘導起電力をMの端子電壓に等しくしてSを入れ、更に R_1 を増加し R_2 を減すればGからMへ所要の電流を供給する事が出来る

圖示各電流 I_1 , I_2 及び I の間には,

$$I_1 = I_2 + I$$

なる関係がある。

端子電圧を E_1 とすれば, 電源から供給される電力は $E_1 I$ で, 之が兩機中の損失で兩機相等しいとすれば, 兩機の能率は夫々次式より求められる。

$$\left. \begin{aligned} G \text{ の能率} &= \frac{E_1 I_2}{E_1 I_2 + \frac{E_1 I}{2}} \times 100 \% \\ M \text{ の能率} &= \frac{E_1 I_1 - \frac{E_1 I}{2}}{E_1 I_1} \times 100 \% \end{aligned} \right\} \dots\dots (29)$$

G なる発電機の特性格試験を行ふには, R_2 の値を G が定格速度で廻轉する時定格負荷に對し定格電圧を發生する様な値に不變に保ち, 速度は R を加減して不變に保つ。 R_1 を加減すると G の電流が變るから, 種々なる負荷電流に對して端子電圧を測定すれば外部特性曲線が得られる。

次に M なる電動機の特性格試験を行ふには, R を加減して M の端子電圧を定格値に不變に保ち, R_1 の値を定格負荷に對し定格速度に廻轉する様な値に不變に保つ。 R_2 を加減すれば M の電動子の電流を任意に變化出来るから, 種々な電流に對する速度を測定すれば, 速度特性曲線が得られる。

(3) 温度試験 返還負荷法其の他で電機に全負荷を數時間かけて, 最高一定温度に達せしめた後停止して各部の温度を測定する。測定した電機の温度から室内温度を差引いて温度上昇を得る。

温度上昇を計る部分は, 電機子, 電機子鐵心, 分捲界磁線輪, 直捲界磁線輪, 補極捲線, 整流子等である。以上の内電機子捲線, 分捲界磁線輪等の捲線の温度は, 抵抗を測定して次式を用ひ銅線の温度係數から逆に温度を求め他のものは直接寒暖計で求める。即ち R_t を室温 t °C に於ける捲線の抵抗, R_T を最後の抵抗とすれば, 捲線の温度 T は

$$T = (234.5 + t) \frac{R_T}{R_t} - 234.5 \dots\dots (30)$$

以上測定した温度に抵抗法では 10°C を加へたもの, 寒暖計に依つたものは 15°C を加へたものを以て内部の最高熱點の温度とする。

52. 絶 縁 試 験

絶縁試験は電機の絶縁の良否を検するものであるが, 絶縁抵抗の大きさを見る所の絶縁抵抗試験 (Insulation resistance test) と實際に一定高電圧を加へて耐え得るかどうかを調べる絶縁耐力試験 (Dielectric strength test) とがある。

絶縁抵抗はメガを用ひて界磁捲線と鐵轆間, 電機子捲線と鐵轆間の絶縁抵抗を測定し, 次式の値より大なるを要する。

$$\frac{\text{定格電壓(V)}}{1000 + \text{定格出力(KW)}} \text{ メグオーム} \dots\dots (31)$$

絶縁耐力試験は捲線と鐵轆間に (定格電壓) $\times 2 + 1000$ (V) の電圧を 1 分間加へて絶縁が之に耐えるかどうかを検するのである。尙出力が 1KW 以下の時は (定格電壓) $\times 2 + 500$ (V) を加へる。耐壓試験を行ふと絶縁物を傷めるから屢々之を行つてはならぬ。

問題

- (1) 或る発電機の磁化試験を行ひ、次の如き結果を得たり、之より磁化曲線を書け。

I_f	E	N	I_f	E	N
0.2A	80V	1500	1.0A	136V	1500
0.4A	108V	1500	1.2A	135V	1450
0.6A	122V	1500	1.4A	148V	1550
0.8A	130V	1500	1.6A	146V	1500

- (2) 分捲電動機をプロニー制動機にて試験し次の結果を得た。能率はいくらか。供給電圧 220V, 電圧子電流 32A, 界磁電流 2A, 速度 910r.p.m. 台秤の読み運轉中 11.9kg. 停止の時, 1.09kg. 制動腕の有効長 61cm.
- (3) 電動発電機あり。電動機側の線路電圧 240V, 線路電流 110A, 発電機側の線路電圧 110V, 負荷電流 202Aなりと云ふ。電動機の能率 91.5% ならば, 発電機の能率はいくらか。
- (4) 2台の 30HP, 460V 分捲電動機をカツブ氏返還負荷法で試験したら, 発電機側から出る電流 55A, 電源から供給される電流 13Aであつた。兩機の能率はいくらか。
- (5) 或る発電機の發電子抵抗は 20°C に於て 0.16Ω, 溫度試験後 0.20Ω であつた。此の時の捲線の平均溫度を求めよ。
- (6) 400 KW, 600V の直流機の絶縁抵抗はいくら以上でなければならぬか。

問題解答

第一章

- (2) 能率 86.5%, 損失 1.51KW (3) 能率 75.4%, 損失 244W

第三章

- (2) 16.3cm (3) 4 アンペア (5) 3cm

第四章

- (2) 42溝 整流子片數 42, (3) 極間隔 14, 線輪ピッチ 13 (4) 11

第五章

- (1) 120 ヴォルト (2) 1600r.p.m. (3) 215 ヴォルト
(4) 504.4 ヴォルト, 270 ワット

第六章

- (2) 210 ヴォルト (4) 87.7% (5) 32%

第七章

- (2) 180V (3) 4A (7) 1060r.p.m. (10) 359r.p.m.

第八章

- (9) 1650r.p.m. (10) 86%

第九章

- (2) 10.7倍 (3) 80A

第十章

- (5) 400A, 600A,

第十一章

- (2) 82.4%, (3) 92% (4) 89.4%, 84.5%
(5) 83.6°C (6) 0.43×7 以上

交流機械 (前編)

交流發電機

第一章 交流發電機の原理及構造

1. 緒言

現代廣汎なる電力の需要に應ずべき發電所に用ひらるゝ大容量の發電機は總て交流發電機(a. c. Generator or alternator)であつて、直流發電機は極めて特殊な用途に限り使用せらるゝにすぎない。其の理由は交流發電機は構造上高壓大規模の發電が可能であり、且つ變壓器と相俟つて特別高壓大電力の輸送に便利な爲である。

2. 交流發電機の原理

原理は直流發電機に同じく電磁誘導作用によるもので、磁界中に於て導體が磁束を切る事によつて導體に電壓を誘導するのである。但し直流發電機に於ては整流子を用ひて發電子内に發生した交流を直流に變へて外部に送り出すのであるが、交流發電機に於ては發電子中の交流を其儘外部に送り出す様になつてゐる。故に交流發電機も要素は界磁(Field)と發電子(Armature)との二者である。

3. 交流發電機の種類

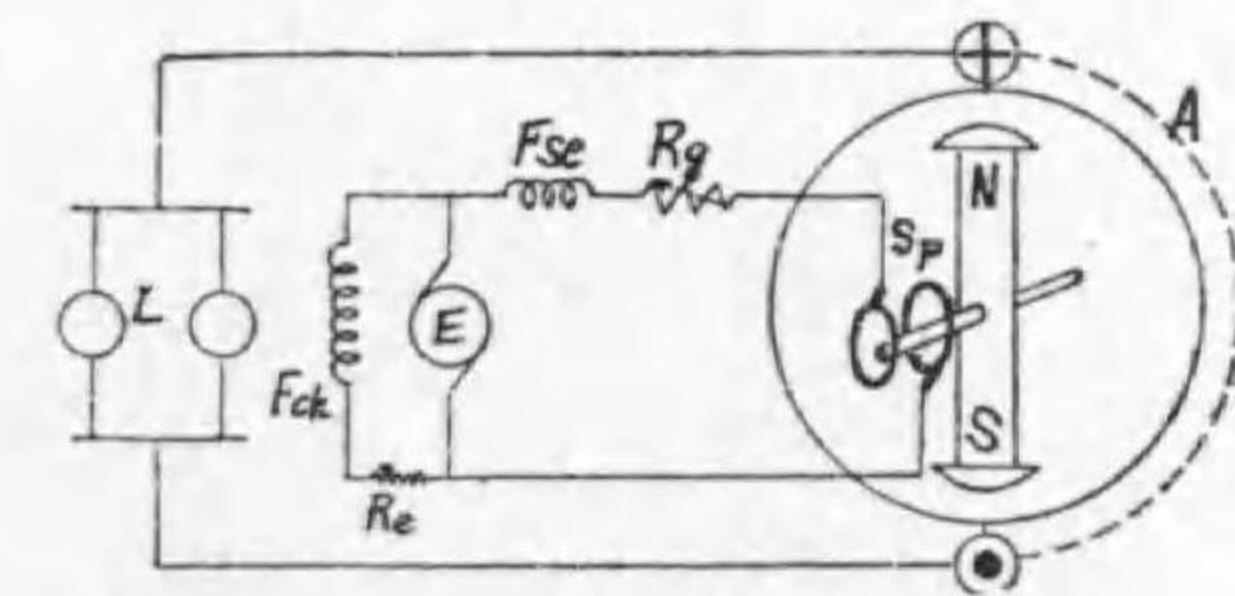
電磁誘導作用は要するに導體と磁束との切合によつて起るのであるから界磁を固定して發電子を廻轉させても又反對に發電子を固定して界磁を廻轉させても電壓を誘導する事に變りはないのである。此點から區別すると交流發電機は次の種類に分たれる。

- (a) 回轉發電子型 (Revolving armature type)
- (b) 回轉界磁型 (Revolving field type)
- (c) 誘導子型 (Inductor type)

(a) は界磁が外側にて固定され發電子が内側にて廻轉する。發電子電流は滑動環(聚電環)に集めて環に接觸する刷子から外部へ送り出される。小容量の外は餘り用ひられない。

(b) は發電子が外側で固定され界磁は内側で廻轉する。界磁に勵磁電流を送るには矢張り滑動環及刷子を用ひる。此の型の利點は勵磁電流は低壓小電流

であるから滑動環及刷子は小規模にて足る。又發電子電流は高壓大電流であつても發電子は外側の廣い場所を占めてゐるから絶縁が完全に出來且つ静止して居るから大電流を外部



A. 發電子線輪	E. 勵磁機發電子
N.S. 磁極	Fsh. 分捲界磁
Sp. 滑動環	Ese. 直捲界磁
B. 刷子	Re. 勵磁機界磁調整器
L. 負荷	Rg. 發電機界磁調整器

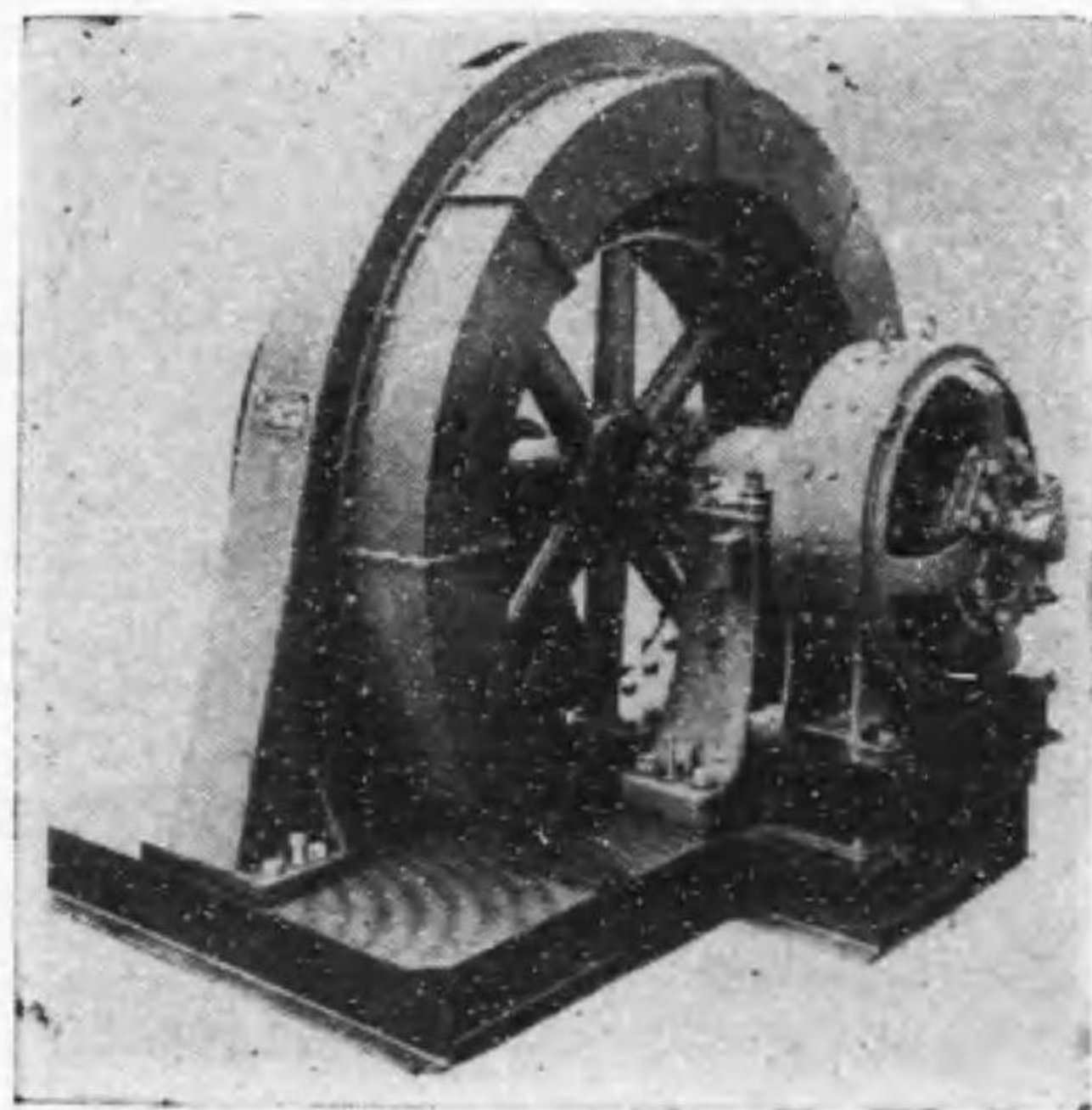
第 1 圖

に導き出すに便利である。故に小容量のものゝ外は皆此の型を採用する。第1圖は此の型の原理を示す。但し圖は单相發電機を示したものであるが、現今は三相のものが最も廣く用ひられる。

(c) は界磁も發電子も共に静止し、中間の空隙を誘導子と名づくる數箇の鐵片が順次廻轉しそれが發電子線輪の下に来ると磁氣抵抗が減じ線輪を貫く磁束は増加す。鐵片が過ぎ去ると磁束は減る。かくて發電子に交流を誘導する。此の型も現今無線電信電話用の高周波發電機として使用さるゝにすぎない。

4. 勵磁機

直流機械では多く自勵法を用ふるが、交流發電機では必ず直流發電機を附屬せしめ、之れを電源として交流發電機の界磁を勵磁せね



第2圖

ばならぬ。此の目的に用ひられる直流發電機を勵磁機(Exciter)と稱し、分捲又は複捲發電機が用ひられる。交流發電機と勵磁機とは各の軸を連結子にて直結するか、又調帯にて共通の原動機により運轉される事が多い。

此の式では原動機が速度が變化すると兩機の速度が共に變化して交流發電機の電壓に二重の變化を及す不利がある。又勵磁機を獨立させて別箇の原動機で運轉し交流發電機數臺に電流を供給するものもある。第1圖に於てRe及びRgは勵磁機並に交流機用の界磁抵抗器で、之れを加減すると勵磁電流が變るのである。

第2圖は勵磁機直結回轉界磁型發電機を示す。

勵磁機の電壓は100-125V又は200-250Vを採用して居る。之れは勵磁機の外に發電所内の電燈又は補助機運轉に使用せんが爲である。次に勵磁機の容量は從來の例により全負荷に對し小容量のもので5%, 大容量のもので1.5%位のものを設備する。

第1表

交流發電機	勵磁機	交流發電機	勵磁機
100	4~5 K.W.	2000K.V.A.	20~30K.W.
200	6~8	5000	50~80
300	9~12	10000	100~120
500	12~14	20000	150~250
1000	15~20	50000	300~500

5. 磁極數と周波數

交流發電機の磁極數を2, 回轉數を1分間n回とすれば此の發電機が一回轉する間にN極の中心は一回だけ發電子線輪aの下を通過する。其の瞬間にaに誘導せらるゝ起電力は最大値になる。S極の中心も一回だけaの下を通過する。その瞬間にaの誘導起電力は反對

方向の最大値に達する。即ち二極なれば一回轉する間に1周波を完成し毎秒 $\frac{N}{60}$ 回轉する間に $\frac{N}{60}$ 周波を完成する。P極なれば1回轉する間にNS兩極共 $\frac{P}{2}$ 回だけaの下を通過するから誘導起電力は $\frac{P}{2}$ 周波を完成する。故に毎秒 $\frac{N}{60}$ 回轉する間には $\frac{P}{2} \times \frac{N}{60}$ 周波を完成する、即ち周波数は、

$$f = \frac{PN}{120} \text{ サイクル/秒} \dots\dots\dots(1)$$

回轉數は、

$$N = \frac{120f}{P} \text{ 回/分} \dots\dots\dots(1')$$

となる。今 $f=50$ サイクル及 60 サイクルとすれば回轉數は次表の如くなる。

第 2 表

$f \backslash P$	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
50	3000	1500	1000	750	600	500	429	375	333	300
60	3600	1800	1200	900	720	600	514	450	400	360

我國に於ては電燈電力用に50サイクル又は60サイクルを使用し、電鐵用に限り25サイクルをも使用する。

6. 發電機の形狀と回轉數

發電機の形狀は回轉數によりて大差がある。即ち回轉數の大なるものは直徑小にして横巾が廣い。之れは直徑を大にすると周邊速度が大になつて危険であるからである。之れに反して回轉數の小なる

ものは直徑大にして横巾が狭い。

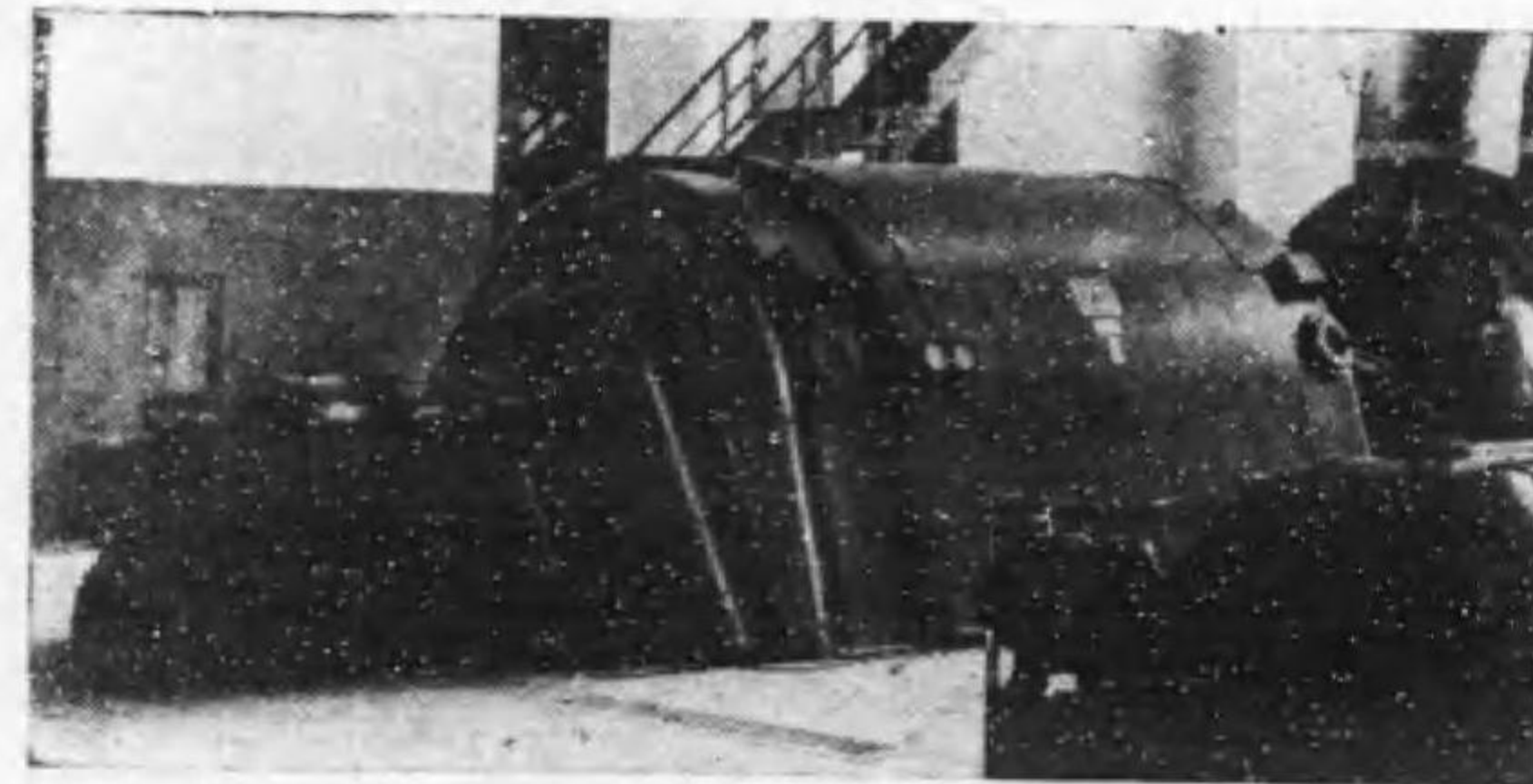
然して發電機は多くの場合原動機と直結せられる故、其の回轉數は原動機によつて左右せられるもので普通蒸汽機關又は内燃機關直結のものでは100-500回/分、水車直結では300-750回/分、蒸汽タービン直結では1000回/分以上が適當であるとされてゐる。かくの如く發電機の回轉數は原動機に依つて大差がある。又(1)式で示

す如く回轉數は磁極數に反比例するから磁極數も原動機によつて大差がある。故に發電機の形は原動機によつて左右せられる。例へば50サイクルを要する場合



第3圖 低速度交流發電機

に、發電機が低速度水車直結なれば500回/分以下の回轉數となりて12以上の磁極を有し其の形は第3圖の様になる。



第4圖 高速度交流發電機

蒸汽タービン直結にすれば、1000回/分以上の高速となりて、六極以下の極数となり、其の形状は第4圖の様になる。

7. 低速度交流発電機の構造

何れも回轉數は約 600回/分 以下のものとする。

(1) 界磁 (Field) 之れは内側にあり回轉するから回轉子 (Rotor) と云ひ、鐵心線輪及繼鐵から成立つてゐる。界磁鐵心

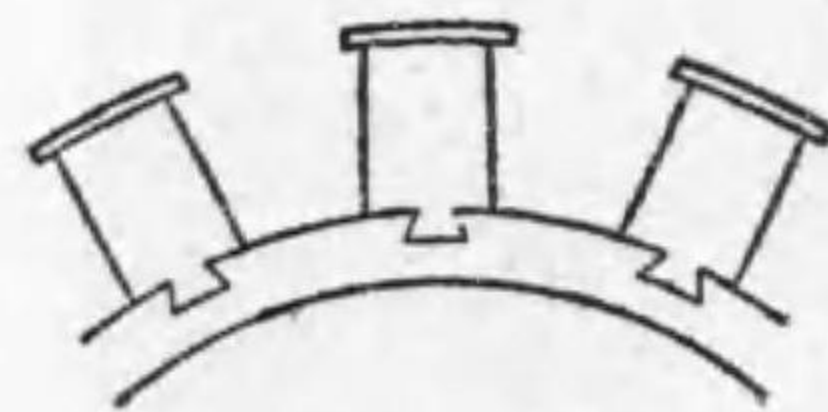


第5圖 低速度型の界磁

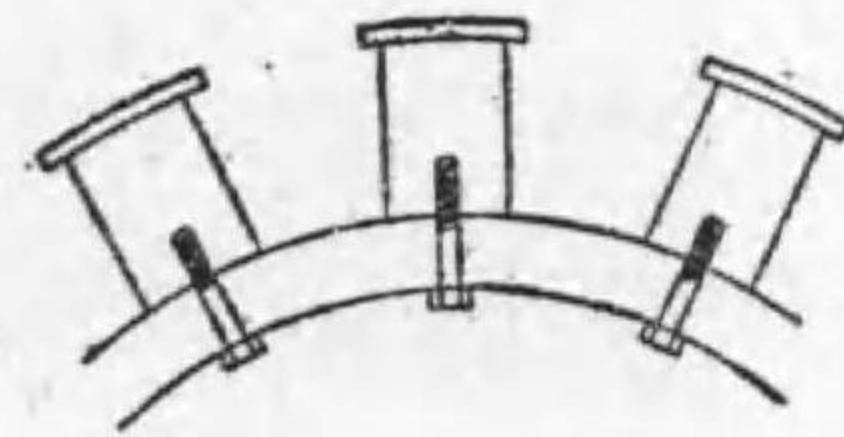
(Field core) は第5圖の如く鑄鐵又は鑄鋼で造られた車輪狀の繼鐵 (Yoke) の周圍に取付けられた成層鐵心 (Laminated core) である。

鐵心を繼鐵に取付けるに次の方法がある。

(a) 鳩尾端結合 これは第6圖に示す様に薄鐵板の一端を鳩尾狀に切り之れを積重ね之に適合する様に切つた繼鐵の溝に嵌入したものである。



第6圖 鳩尾端結合

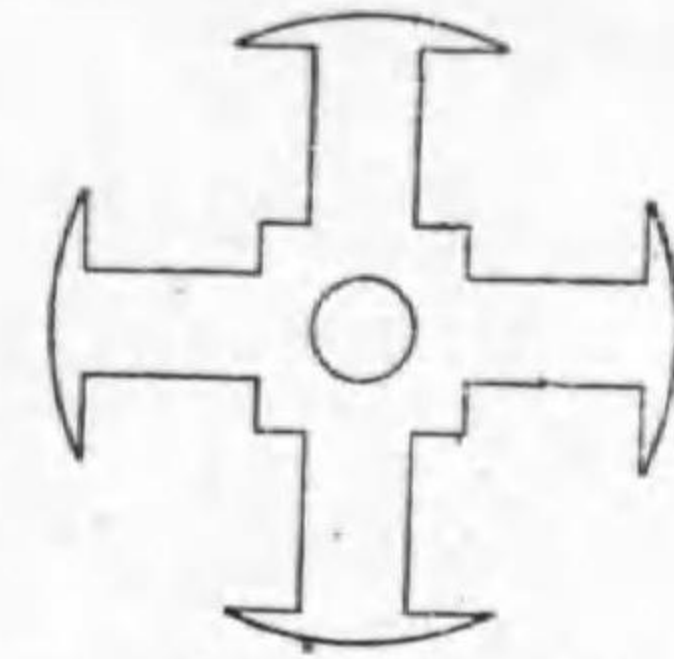


第7圖 ボルト結合

(b) ボルト結合 之れは第7圖に示す様に鐵心と繼鐵との面をよく接觸せしめボルトで締付けたものである。

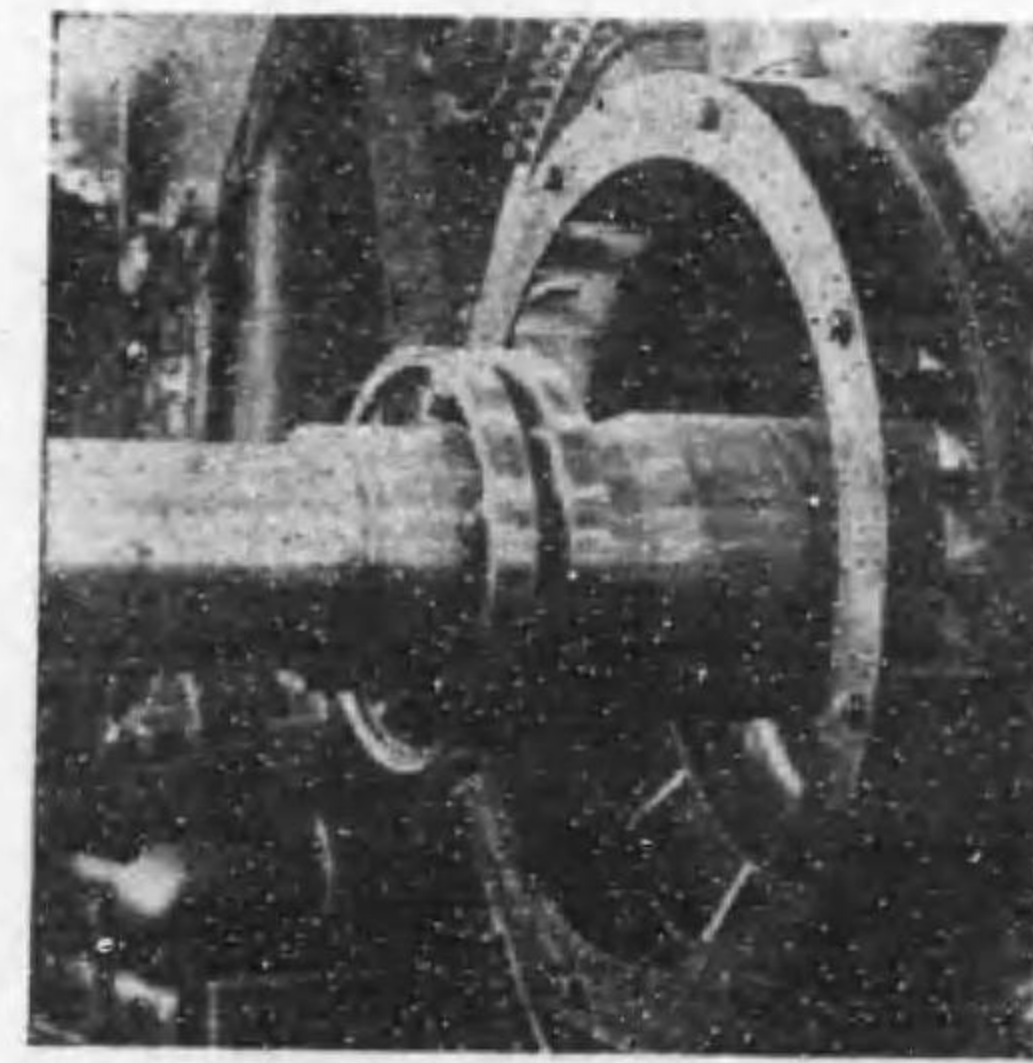
(c) 單一型 之れは鐵心繼鐵共に單一なる薄鐵板より打抜かれ車軸の上に積重ねて締付けたもので極めて小型のものに用ひられる。

界磁線輪 (Field coil) は捲框 (Bobbin) の上にまかれる。捲框は外端は極片端 (Pole tip) に他端は繼鐵に支持せらる。小容量のものは綿捲銅線を用ひ、大容量のものは裸銅帶を縱捲 (Edge wise) に捲き各層間に絶緣物を挟む。之れは平捲よりも線輪内に生じた熱をよく發散する。線輪には手捲と型捲とがある。



第8圖 單一型

(2) 滑動環 (Slip ring) 之れは外部から界磁に勵磁電流を供給するために軸に裝置せられた2箇の金屬環である。

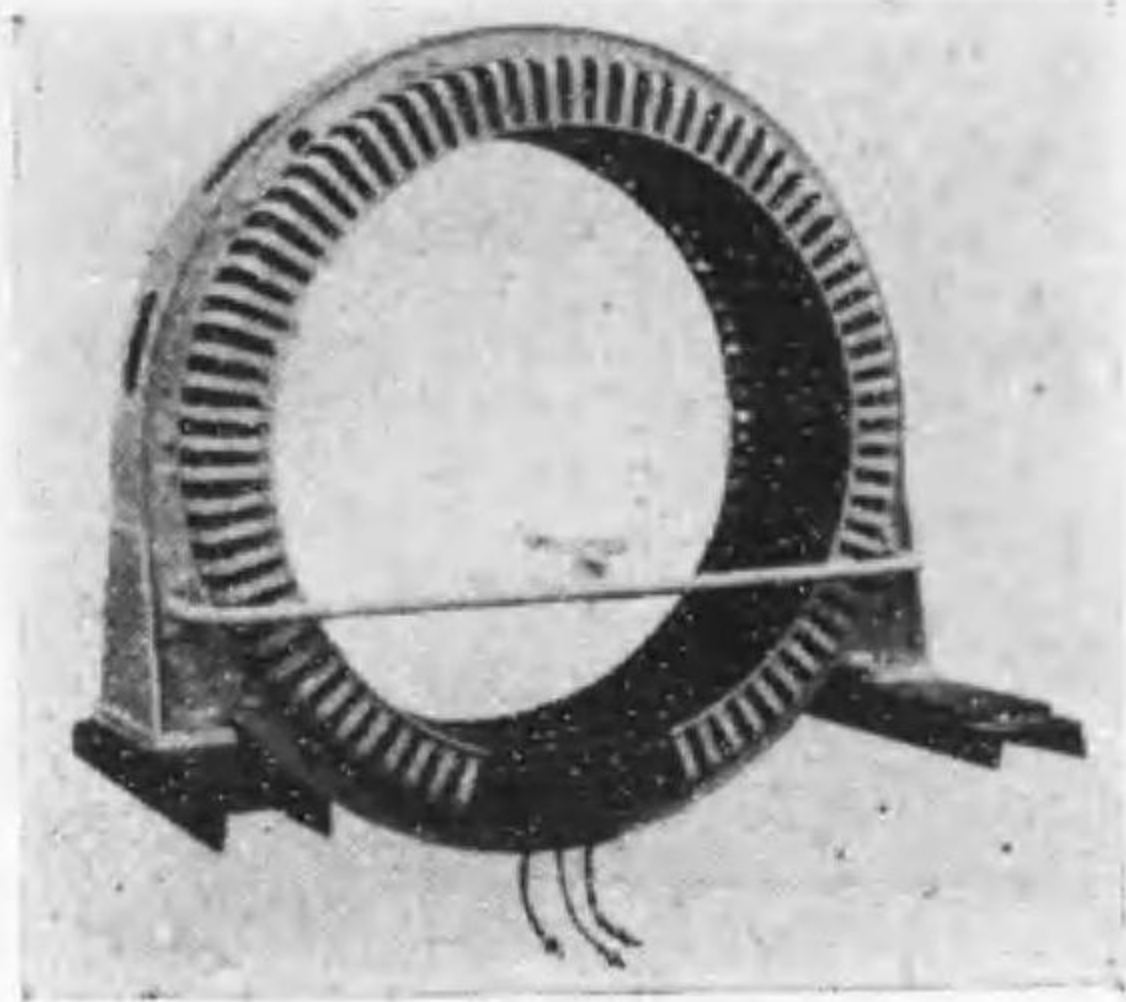


第9圖 滑動環

之れに接觸する刷子 (Brush) は多く炭素を用ふ。而して刷子の位置を動かす必要がないから、刷子保持器 (Brush holder) は軸承に固着されてゐる。

(3) 發電子 (armature)

これは外側にあつて固定されてゐるから**固定子 (Stator)**とも云ふ。

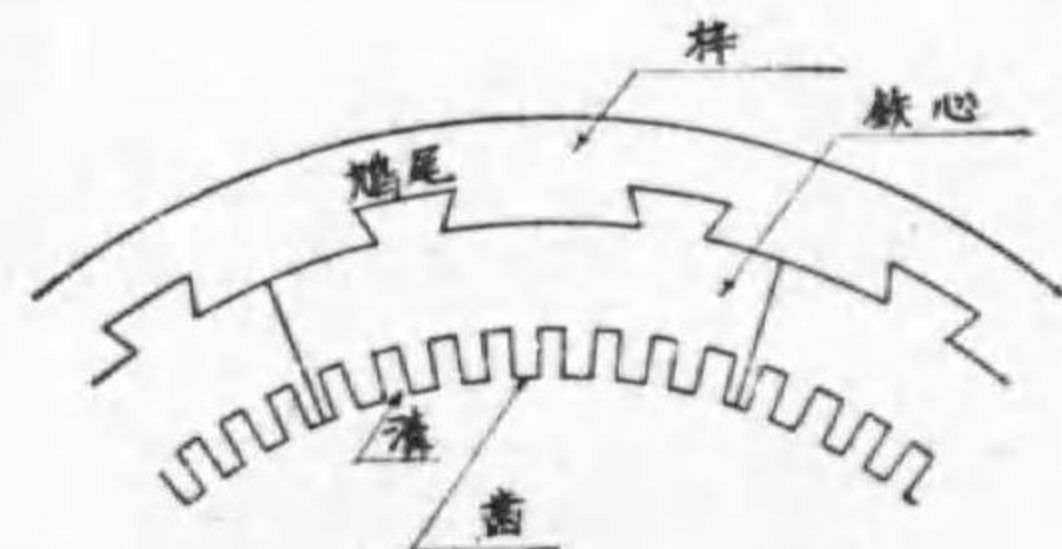


第10圖 低速度型發電子

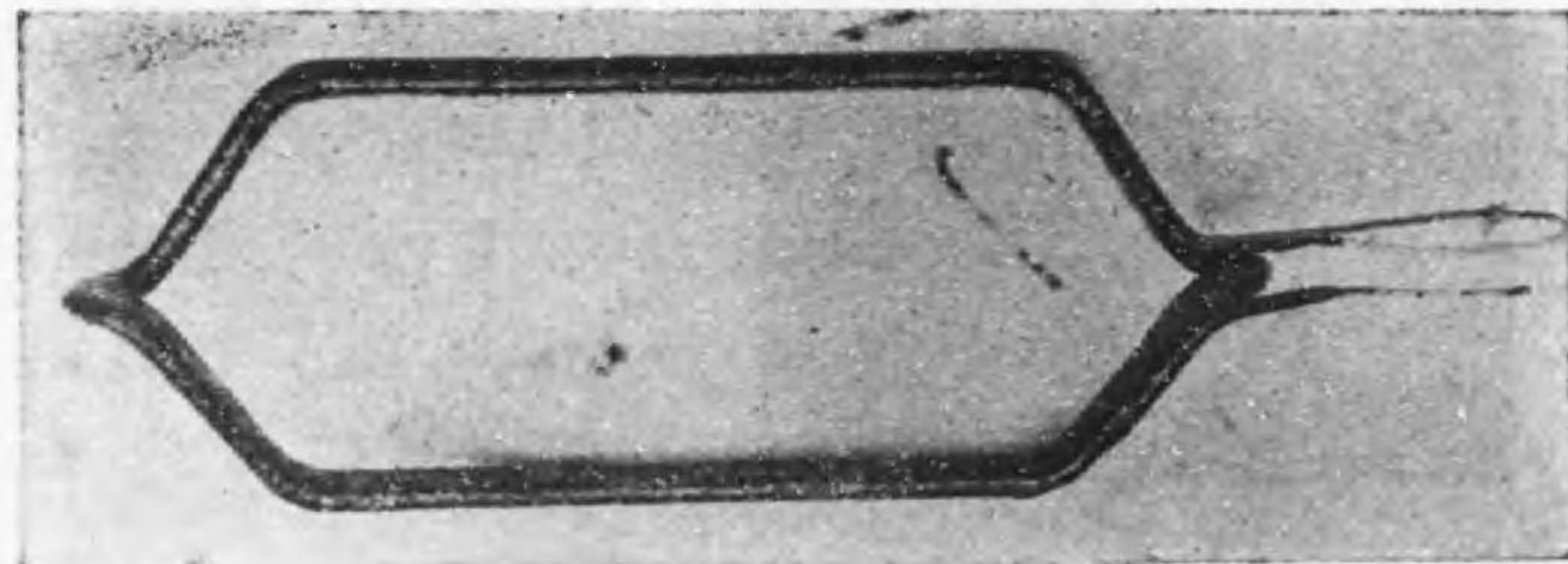
發電子鐵心は鑄鐵で作つた圓形の**枠 (Frame)**の内側に取付けられる。やはり成層鐵心で其の外側は鳩尾をなし枠に取付けられ内側には線輪をはめる**溝 (Slot)**を有す。薄鐵板は數箇の扇形を集めて圓形となるやうに切られる。又鐵板を積み重ね

るに際し所々に**風道 (Air duct)**を設ける。

發電子線輪にも手捲と型捲とがある。**型捲線輪 (Formed coil)**を開放溝 (Open slot) に入れたものが多く用ひられる。これは絶縁も完全に行はれ



第11圖 發電子鐵心取付法



第12圖 型捲線輪

修繕取換へも便利である。

型捲線輪を溝に嵌めるには線輪を、マイカナイト、エンバイアクローズ、オイルペーパー等にて使用電壓に充分耐え得る様に絶縁してから入れるのである。

8. タービン交流發電機の構造

高速度發電機は殆んど蒸汽タービンによつて直結運轉せられる。故これを特に**タービン發電機 (Turbo-generator)**と云ふ。元來タービンは高速度になる程能率は良くなるから直結發電機の回轉數は大となり、極數は2又は4に限られる。従つてその直徑を小にし、第13圖の様な細長い回轉子になる。大容量のものに於ては低速度發電機に比し形も小さく價格も安いから多く用ひられる。



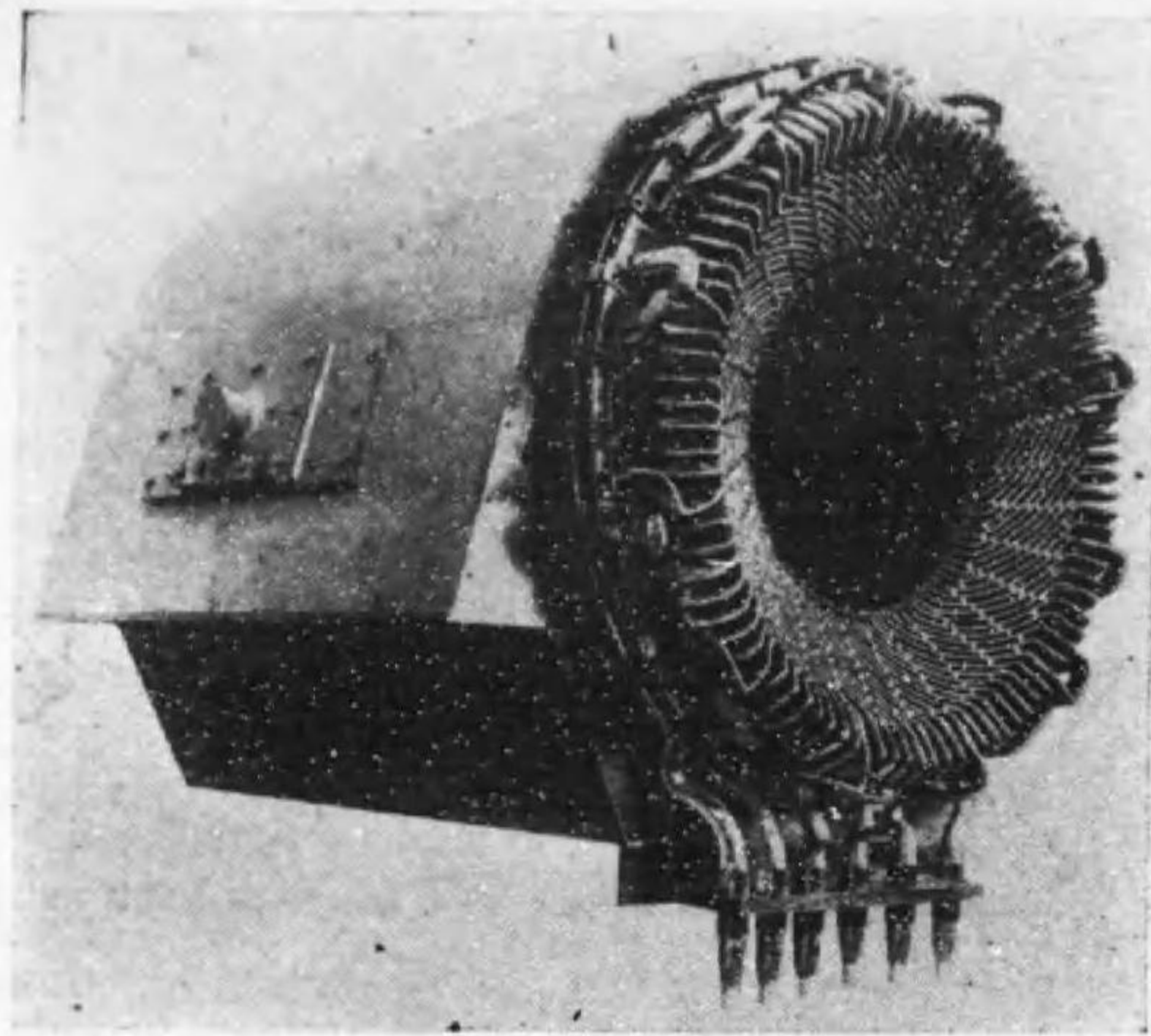
第13圖 タービン發電機界磁

タービン發電機には**縦型 (Vertical type)**と**横型 (Horizontal type)**とがある。前者はタービンが發電機の下にあつて熱するから近頃は皆横型である。之れに反し水力機では場所の節約上縦型が多い。

今タービン發電機に関し必要事項を列挙して見よう。

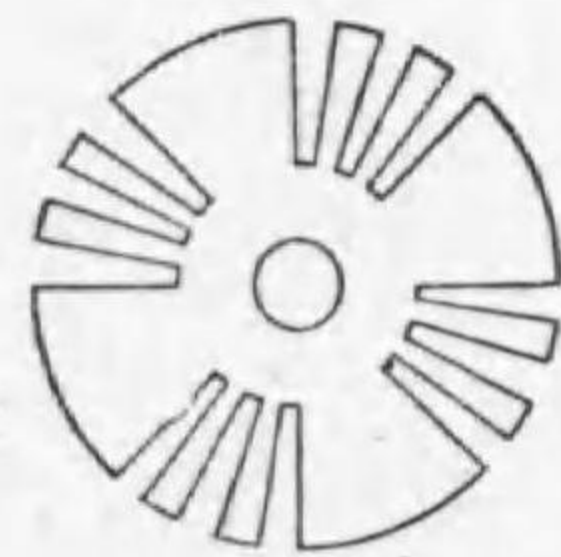
(1) **圓周速度** 現今の技術程度ではタービン交流發電機の如き構造で**圓周速度 (Peripheral speed)**は140米/秒を限度としてゐるか

ら、之れを超えると遠心力により機械的に危険である故に低速度では直徑大なるものを用ひ得るも、高速度では努めて直徑を小にする必要がある。之れがタービン発電機に於て平衡通風絶縁等種々な困難を忍んでも直徑を小にして胴體の長い構造にする理由である。

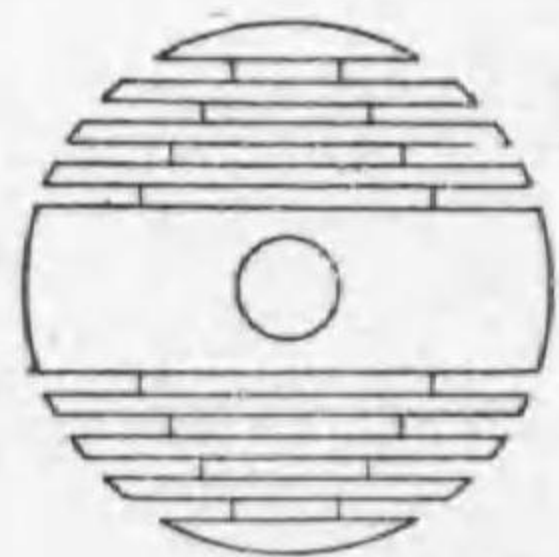


第14圖 タービン交流発電機發電子

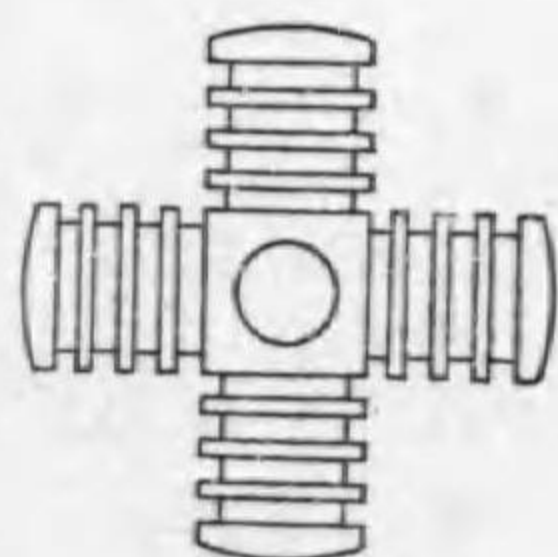
(2) **界磁の構造** 回轉數が大で直徑に制限があるから鐵轆と磁極とを一體として一つの圓筒狀に仕上げて軸に取付ける。此の圓筒



第15圖 放射型



(甲)



(乙)

第16圖 並行溝型

に溝を作り界磁線輪を収める。溝の種類には次の2がある。

(a) **放射溝型** (Radial Slot type)

(b) **並行溝型** (Parallel slot type)

(a)は15圖の如く溝が回轉子の半徑の方向に穿たれ線輪は放射狀に配列されてゐる。(b)は第16圖の様に圓筒に多數の並行溝を作つて之れに線輪を入れる。

(3) **嵌込軸** タービン発電機の回轉子は、鑄鋼製の丈夫なものであるが何分直徑に制限があるために圓筒の肉の厚さが減する傾向がある。故に圓筒を貫通しない軸を用ひて強さを増す。之れを嵌込軸と云ふ。即ち回轉子を一塊の鑄鋼で作し其の兩端に相當の深さの穴を穿ち之れに軸を嵌入する。この構造は高速度大容量の發電機製作の上に大なる利益をもたらした。

(4) **平衡及通風** 軸の周圍に於ける重量の分布が一様でないとき機械が震動して壽命が短かく時には危険を伴ふ。タービン発電機の様に胴體の長いものは殊に重量の**平衡** (Ballance) を取る事が困難である。

次に軸長が大であれば、内部に發生した熱の排出が容易でないから**通風** (Ventilation) に就いて注意を要する。即ち軸に扇風翼を取付けるか又は扇風機を別に離して運轉送風し空氣の流通をよくする。

(5) **絶縁** 熱の排出は扇風機を用ひても尙困難であるから、絶縁材料に良好なものを用ひないと燃損する恐れがある。所が高壓になるに従ひ絶縁を完全にする必要から其の厚さを増せば尙熱の放散が難しくなる。故に材料の厚さを増して**絶縁** (Insulation) を完全に

保たんとするのは機械の大きさの點から言ふも、熱の放散の點から云ふも愚の至りである。須らく絶縁物は薄くして強くよく熱に耐へ絶縁耐力の大なるものでなければならない。現今マイカ(Mica)が最適である。即ちタービン発電機で免れ難い高温に耐へ、高速度の爲に生ずる機械的損傷に對して強いからである。

第二章 交流発電機の發電子捲線法

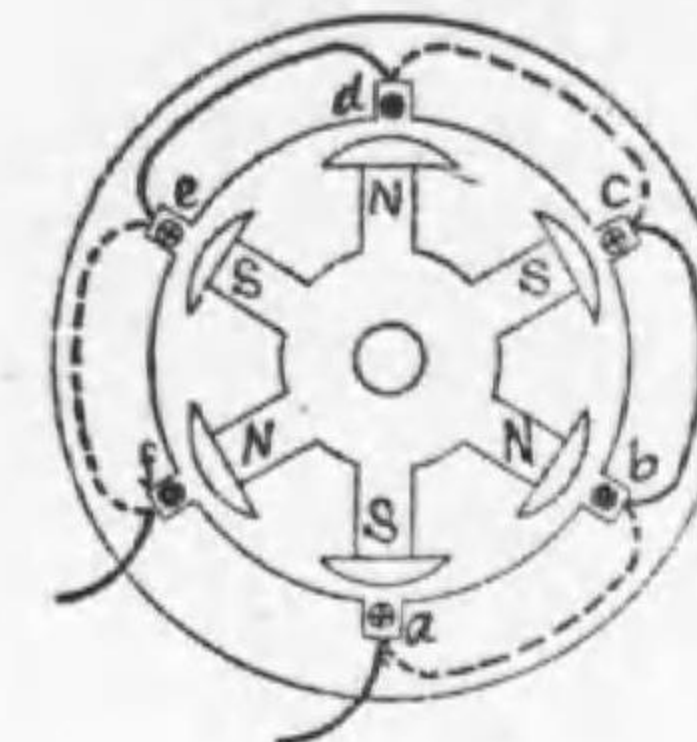
9. 發電子捲方

交流発電機の發電子捲方は直列に結ばれた各誘導子の誘導起電力が互に打消さるゝ事なく加へ合されれば良いのである。即ち起電力の瞬時値の相等しい誘導子のみを直列に結ぶのである。従つて直流の様に誘導子を發電子の表面に一様に分布する譯には行かぬ。之れから單相式のものより順を追ふて説明せう。

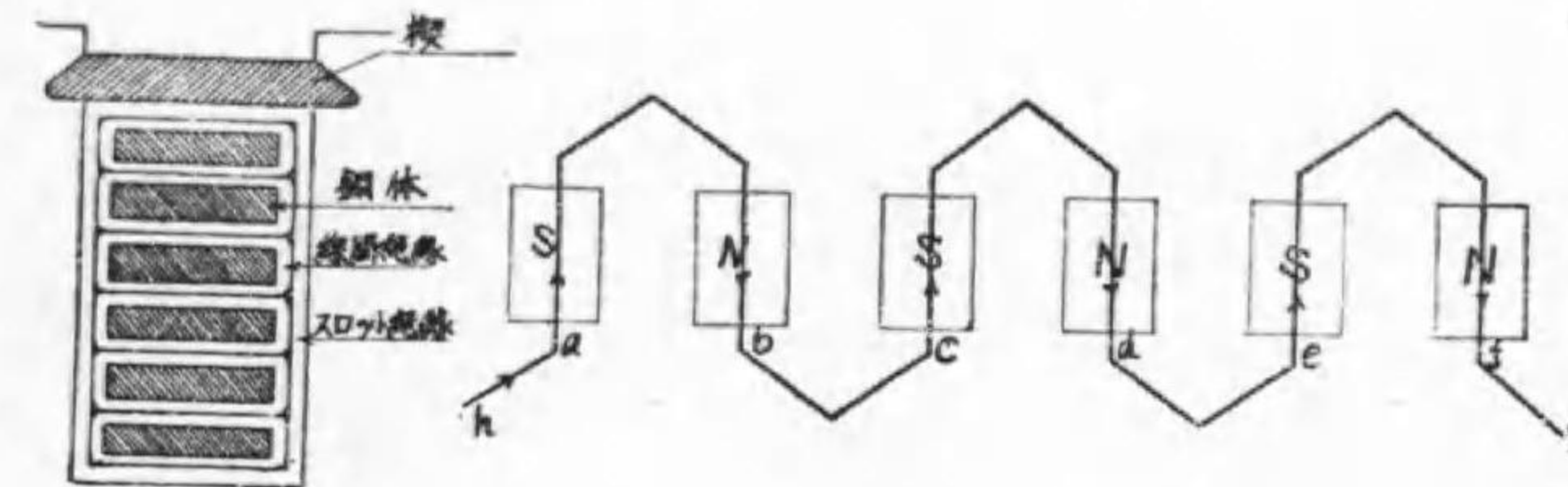
10. 單相式捲方

第17圖の如き発電機に於ては6本の誘導子は圖の位置に於て最大起電力を誘導してゐる。之れを圖の様に接続すれば端子 g, h. 間には1本の起電力の6倍の電圧が得られる。界磁が回轉するに従ひ各誘導子の起電力は變化するが、其の變化は各誘導子に共通であるから各起電力は同相である。a, c, e. と b, d, f. とは相が180°異なるが反

對に接続されてゐるから同相と見てよい。即ち常に各誘導子起電力の和が端子電壓である。但し溝が違へば誘導起電力も幾分違ふから此等を直列に結ぶ事は總電壓の減少になる。故に一溝に多數の線を入れる、其の切斷圖は第18圖の如し。又第17圖の展開圖は第19圖の如く其の一部は第20圖又は第21圖で表はさる。

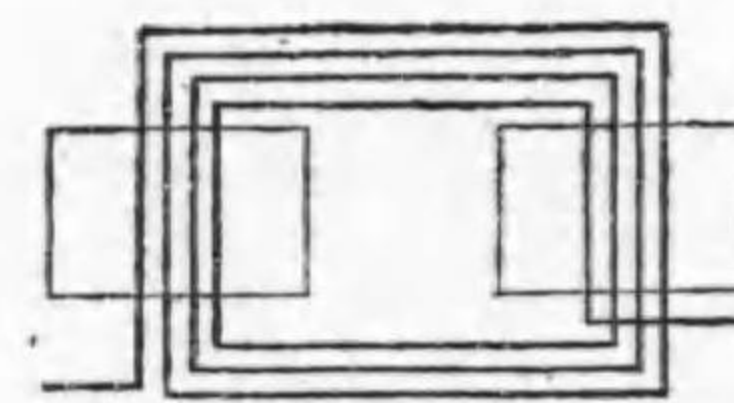


第17圖

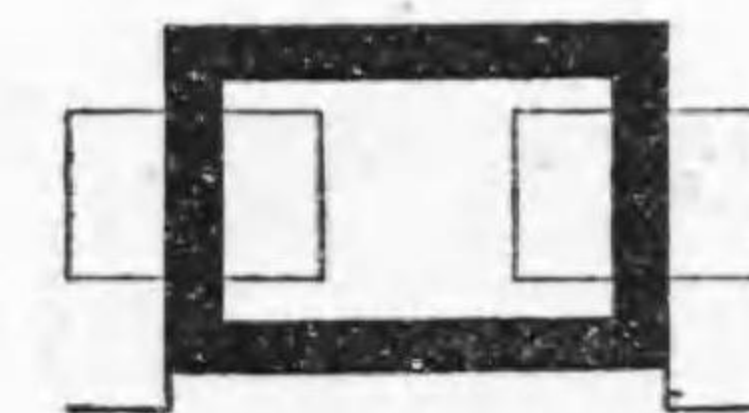


第18圖

第19圖



第20圖

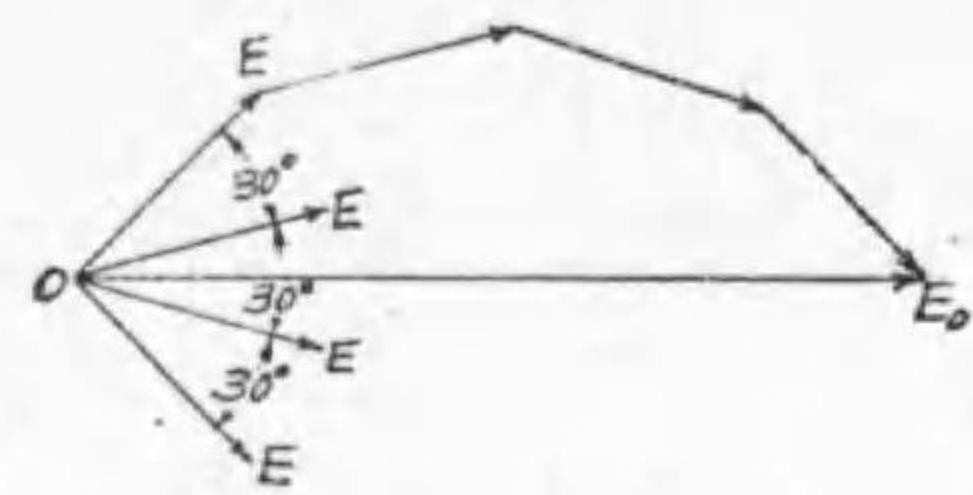


第21圖

11. 捲方係數

幾何學上の角は1廻轉すれば360°であるが電氣角は一周波を完成すれば360°と云ふ。故に電氣角と幾何學の角との關係は周波數と一

秒間の廻轉數との關係と全く同じく、電氣角 $=\left(\frac{P}{2} \times \text{幾何學上の角}\right)$ である。而して交流發電機に於て2箇の線輪に誘導する起電力の相差角は電氣角で表はす。今36溝を有する6極の發電機に於て相隣れる線輪の相差角は $\frac{6}{2} \times \frac{360}{36} = 30^\circ$ である。此の場合に相隣れる線輪1箇を直列に結べば第23圖の如く各線輪の起電力はOEにして



第22圖

其の合成は、 $OE_0 = 20 E \cos 15^\circ + 20 E \cos 45^\circ$ で、これは4OEより小なる事は明らかである。此の $40E - OE_0$ は電壓の損失である。この

損失の程度を表はすに捲方係數を用ふ。

$E = 1$ 線輪に誘導する起電力

$n =$ 直列に結ばれたる線輪の數

$E_0 =$ 端子電壓とすれば

$$\text{捲方係數 (Width coefficient) } K = \frac{E_0}{nE} \dots \dots \dots (3)$$

Kの値は普通0.9-1.0である。

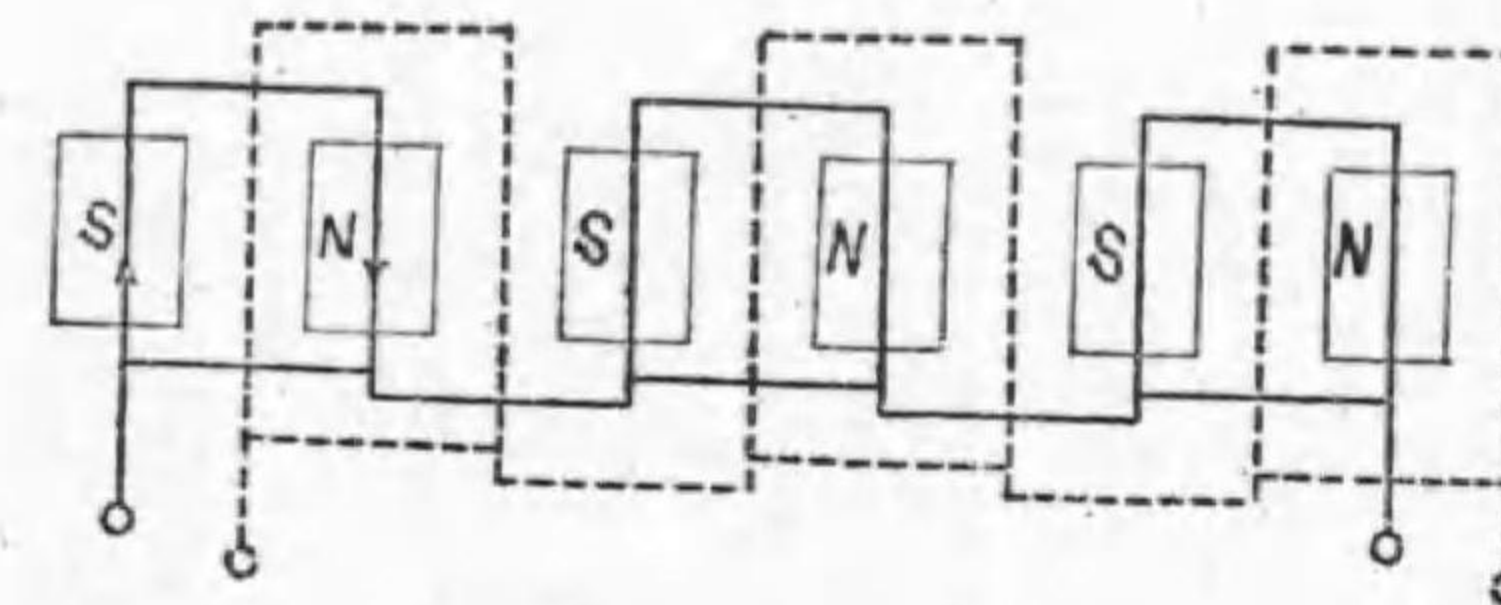
12. 捲方の種類

誘導起電力を少しも損じない様に電氣角で 180° 又はその倍數を距てた溝に線輪を集めて捲くものを**集中捲**(Concentrated winding)と云ひ、起電力に少しの損をしても高い電壓を得、正しい正弦波を得るために相隣れる溝に線輪を分配して捲き之れを結ぶものを**分布捲**

(Distributed winding)と云ふ。後者の端子電壓は各線輪の起電力の總和にkをかけたものである。又1溝に1線輪のみを入れたものを**鎖捲**(Chain winding)と云ひ、一溝に2線輪を入れたものを**菱捲**(Diamond winding)と云ふ。

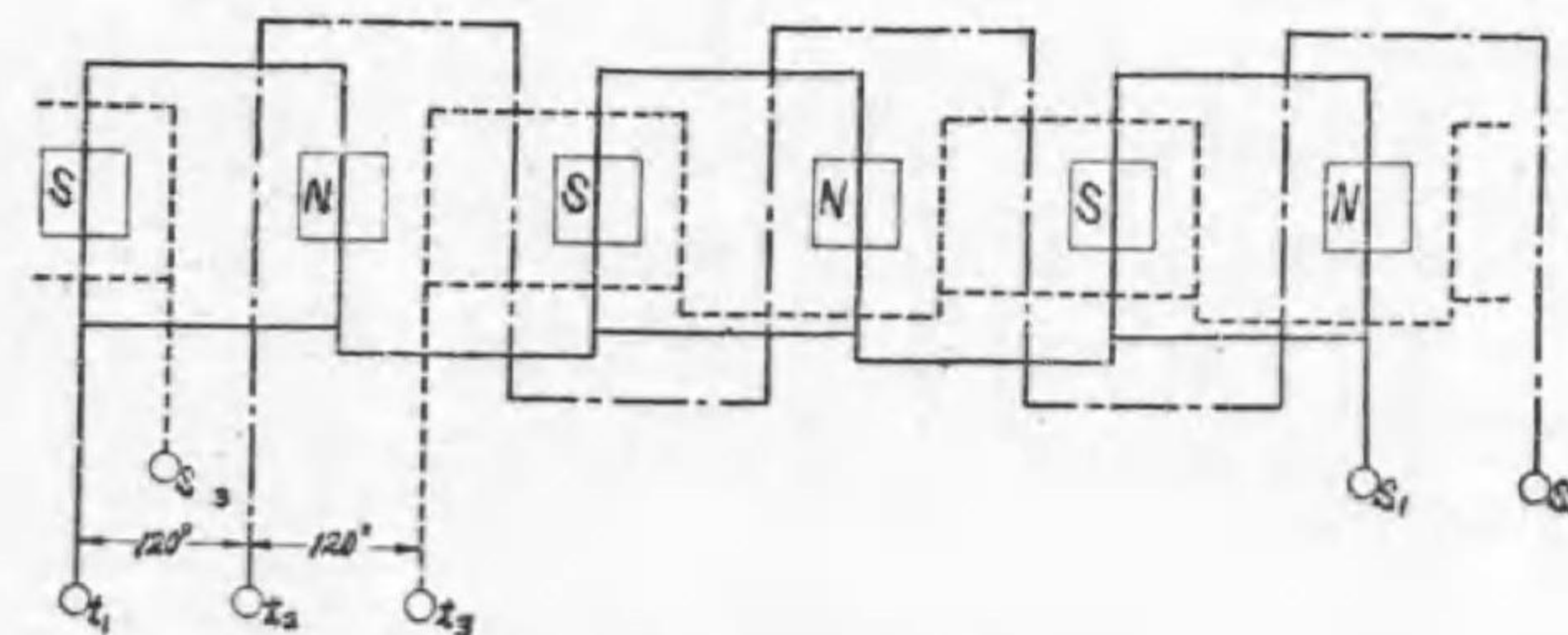
13. 二相式捲方

二相交流とは其の實効値波形及周波數が等しく只位相のみ 90° 異なる2組の單相式交流を同時に使用するものである。故に發電子の



第23圖 二相式捲線法

二相式捲方は單相式捲線の外に今一つこれと同じ捲線を極間隔の $\frac{1}{2}$ へだて、捲く事第23圖の如し。

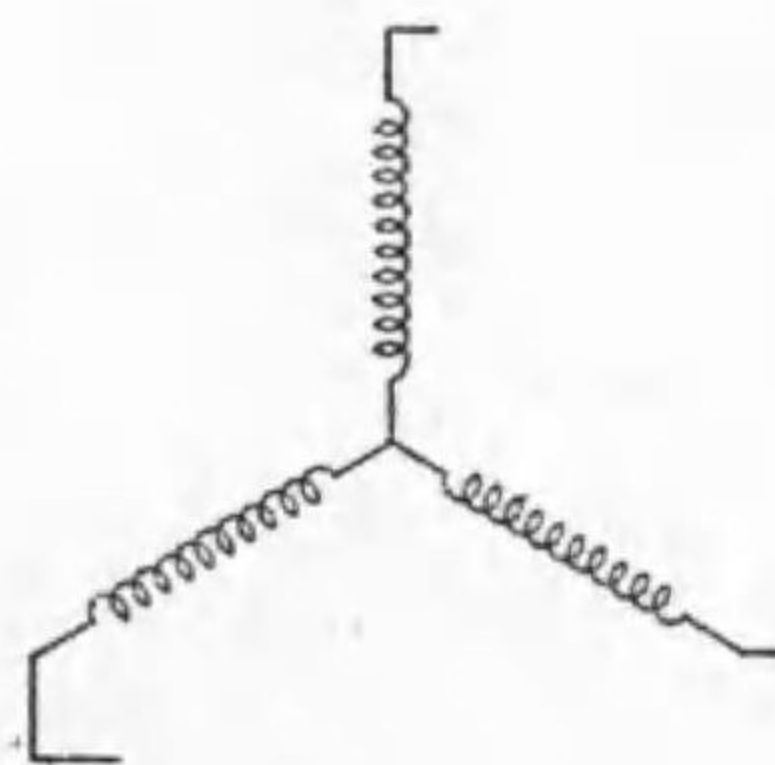


第24圖 三相捲線

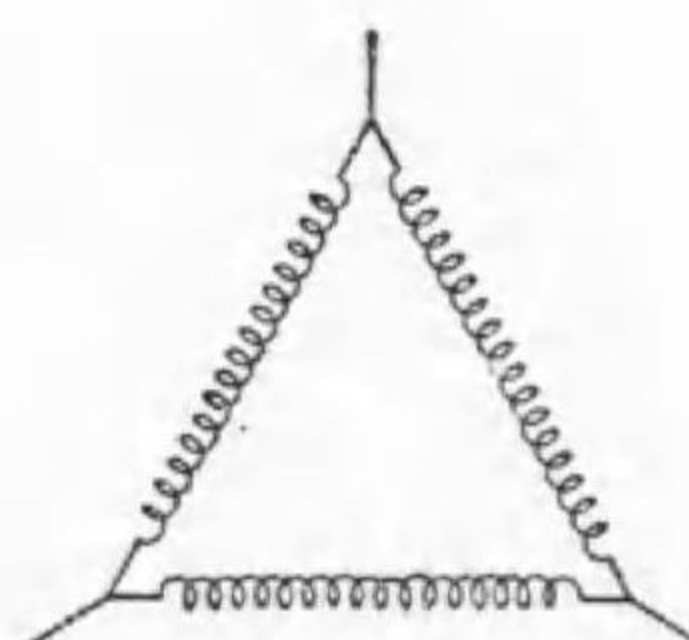
14. 三相式捲方

三相交流とは位相が120°宛異なる3組の相等しい単相交流を同時に用ふるのである。故に三相式捲方は極間隔の%だけへだて、3組の単相式捲線を捲く事、第24圖の如くする。

此の三相の捲線の接続法に二種あり、即ち第25圖の様に各捲線の一方のはしを集めて一緒につなぎ残りの三つの端から導線を引出したものを星形結線(Star connection)と云ひ、第26圖の様に各線輪の端と端とをつなぎ其等の接ぎ目から導線を引出したものを三角結線(Delta connection)と云ふ。



第25圖 星形結線



第26圖 三角結線

三相交流発電機にては殆んど星形結線である。この星形結線に於て3端子が一點に結合されたる所を中性點 (Neutral point) と云ふ。

第三章 交流発電機の理論

15. 誘導起電力

直流発電機に於て一本の導体に誘導される平均起電力は、

$$e = P\Phi \frac{N}{60} \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

但し P = 磁極數

Φ = 發電子に入る磁力線の數

N = 回轉數/毎分

交流発電機に於ても導體1本毎に平均 $P\Phi \frac{N}{60} \times 10^{-8}$ ヴォルトの起電力を誘導する。今同じ相にて直列に結ばれる誘導子の數を Z とし其等の誘導子が總て同相の起電力を誘導するものとすれば一相の起電力の平均値 E_a は、

$$E_a = P\Phi Z \frac{N}{60} \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

ところが交流に於ては起電力は實効値で表はす。然して^{實効値}平均値を波形率と云ひ正弦波に對しては $\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$ である。故に正弦波に於ける一相の起電力の實効値 E は

$$E = 1.11 P\Phi Z \frac{N}{60} \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots\dots(4)$$

上式では直列に結ばれた誘導子が總て同相にある集中捲の場合で

あるから、分布巻の方は此の値より少し小になる。即ち一般の場合として巻方係数を考へれば、

$$E = 1.11 K P \Phi Z \frac{N}{60} \times 10^{-8} \text{ ヴォルト } \dots\dots\dots(5)$$

(1)式を書きかへると $\frac{PN}{60} = 2f$

之れを(5)式に代入すると

$$E = 2.22 K f \Phi Z \times 10^{-8} \text{ ヴォルト } \dots\dots\dots(6)$$

次に T_c を同じ相の線輪の巻数とすれば、

$$T_c = \frac{Z}{2}$$

であるから、これを(6)式に代入すれば、

$$E = 4.44 K f \Phi T_c \times 10^{-8} \text{ ヴォルト } \dots\dots\dots(7)$$

(4)(5)(6)(7)は交流発電機の一相の誘導起電力の実効値である。

16. 三相発電機の電圧及電流

単相発電機に於ては、一相の巻線の電圧即ち相電圧が線と線との間の電圧即ち線路電圧となりて表はれ、巻線を通る電流即ち相電流が線間を通れる電流即ち線路電流となるのであるが、三相発電機に於ては星形接続の場合には、

$$\text{線路電圧} = \sqrt{3} \text{ 相電圧}$$

$$\text{線路電流} = \text{相電流}$$

であり、三角結線の場合には、

$$\text{線路電圧} = \text{相電圧}$$

$$\text{線路電流} = \sqrt{3} \text{ 相電流}$$

である。以上の関係から三相発電機に於ては相電圧及相電流が一定であれば星形につないでも、三角形につないでも次の様な同じ結果が得られる。

$$\text{線路電圧} \times \text{線路電流} = \sqrt{3} \times \text{相電圧} \times \text{相電流} \dots\dots\dots(8)$$

17. 交流発電機の耐量及出力

交流発電機の耐量は直流発電機の様には、定格電圧×定格電流=負荷電力(ワット又はキロワット単位)で表はす事は出来ない。何となれば交流では、

$$\text{電圧} \times \text{電流} = \text{皮相電力}$$

(ヴォルト, アムペア又はキロヴォルトアムペア単位)

であつて、之れに力率を乗じ初めて真電力になる。故に定格電圧、定格電流を出しても力率によつて真電力は種々に變るからである。故に交流発電機に於ては定格電圧×定格電流=皮相電力を以て、其の負荷耐量(Capacity)を表はし、其れに力率を乗じて出力(Output power)を表はすのである。

$$\text{今 線路電圧} = E \quad \text{線路電流} = I \quad \text{相電圧} = E'$$

$$\text{相電流} = I' \quad \text{耐量} = Pa \quad \text{出力} = P$$

$$\text{力率} = \cos \phi$$

とすれば、

単相発電機に於ては

$$Pa = \frac{E I}{1000} \text{ (KVA)} \dots\dots\dots(9)$$

$$P = \frac{EI}{1000} \cos \phi \text{ (KW)} \dots\dots\dots (9)$$

三相発電機に於ては

$$Pa = 3 E' I' = \sqrt{3} EI \text{ (VA)} = \frac{\sqrt{3} EI}{1000} \text{ (KVA)} \dots\dots\dots (10)$$

$$P = \sqrt{3} EI \cos \phi \text{ (W)} = \frac{\sqrt{3} EI \cos \phi}{1000} \text{ (KW)} \dots\dots\dots (10')$$

負荷の種類と力率の関係は第3表の如し。

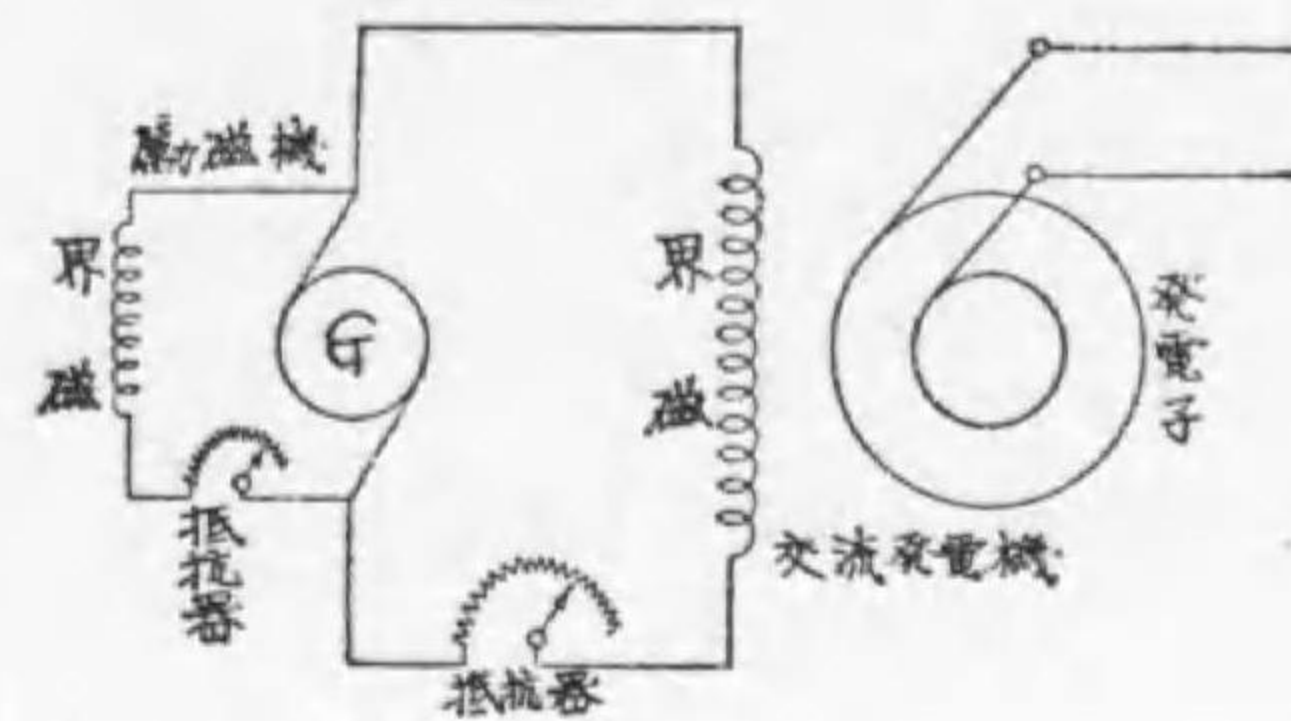
第 3 表

負荷の種類	其 例	力 率
無誘導負荷	電燈及電熱器	95—100%
誘導負荷	誘導電動機	80—85電燈共 70—80電動機のみ
反誘導負荷	蓄電器進相機	單獨に用ひず

18. 電 壓 調 整 法

発電機の端子電圧を調整して受電端の電圧を一定に保つ事は極めて重要である。負荷電流及力率が一定なる場合端子電圧を變へるには誘導起電力を變へれば良い。然るに(5)式から判る様に誘導起電力を變へるには原動機の回轉數を變へるか、又は磁束數を變へねばならぬ。然し回轉數を變へる事は周波數を變へるから執り難い故に磁束數を變へて端子電圧を調整するのが普通の方法である。即ち第27圖の様に、(1)交流発電機の界磁電路に直列に抵抗器を入れるか、(2)勵磁機の界磁電路に直列に抵抗器を入れる。其等の抵抗を加減

して勵磁電流を加減し誘導起電力従つて、端子電圧を調整する。時には自働電壓調整器を用ひ、負荷の變動により電圧が變ら

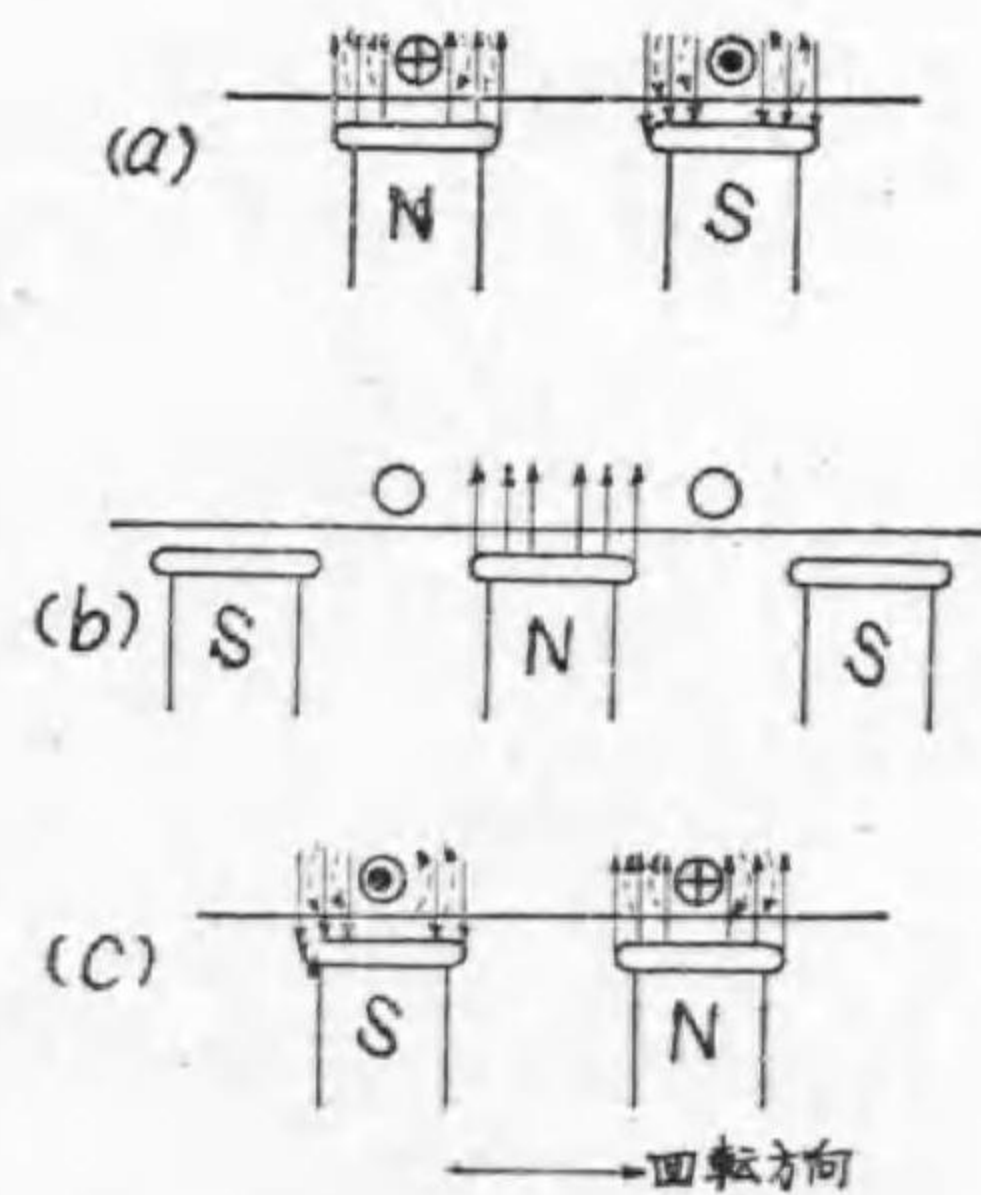


第 2 7 圖

うとする時に此の調整器が自働的に働いて電圧を一定に保つ。其の一例にチリル調整器がある。

19. 發 電 子 反 作 用

交流發電機に於て發電子に電流が通すれば發電子反作用 (Armature reaction) を起す事は直流發電機と同じである。火花を起さないが偏極作用又は減極作用をなす。しかも交流反作用は電壓と電流との位相如何によつて甚だしく異なる。



第28圖 同相の場合の反作用

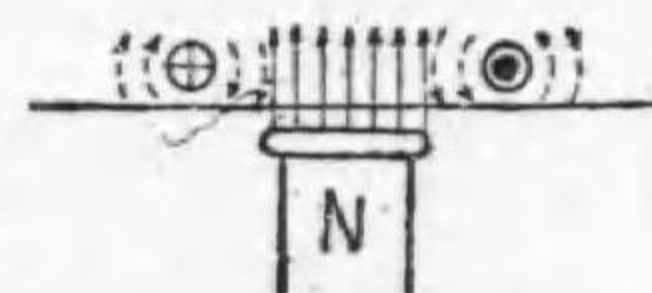
との位相如何によつて甚だしく異なる。

A. 電流が電壓と同相にある場合 此の場合で磁極の中心線が線輪の中心線と一致した時、即ち第28圖(b)に於ては線輪は磁束を切らないから起電力を誘導しない。従つて電流は流れず反作用は全くない。然る

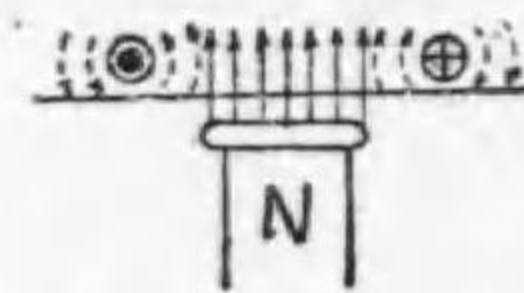
に第28圖(a)の様に磁極 N が未だ線輪の中心線に來ない前には線輪は磁束を切り起電力が誘導され線輪に電流が流れる。此の電流に依つて生ずる磁束は主磁界とは磁極の左側で同方向であり右側では反対方向である。第28圖(c)の様に磁極 N が線輪の中心線を通りすぎた位置では線輪の電流は反対方向になり、其の電流に依つて生ずる磁束も反対となる。然し主磁束も反対となつてゐるから兩磁束は磁極の左側で同方向、右側で反対方向である。即ち發電子電流による磁束の影響は磁極の後端を密にし前端を粗にして偏極作用をなすも磁束總數には増減がない。

B. 電流が電壓よりも遅れてゐる場合 此の場合には磁極 N の中心線が線輪の中心に來た時にも電流は遅れてゐるからりとならずに第29圖の様に流れてゐる。故に其の電流のために生ずる反磁束は主磁束と反対方向であつて減極作用をする。此の位置の前後では減極作用の外に偏極作用もする。

C. 電流が電壓よりも進んでゐる場合 此の場合には磁極 N の中心線が線輪の中心線に來た時にはすでに電流は B の場合と反対に流



第29圖 遅電流の反作用



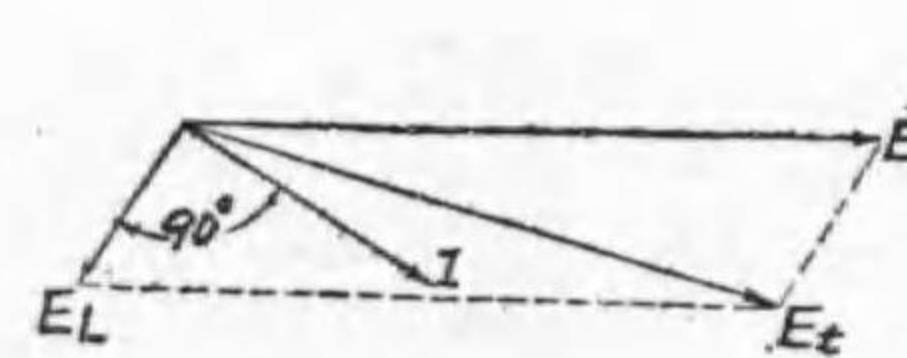
第30圖 進電流の反作用

れて居り、磁束も反対方向に生ずる。故に第30圖の様に主磁束と同方向になり増極作用をなす。此の前後では偏極作用をもする。要するに交流發電機の反作用は如何なる場合にも偏極作用をなし遅電流

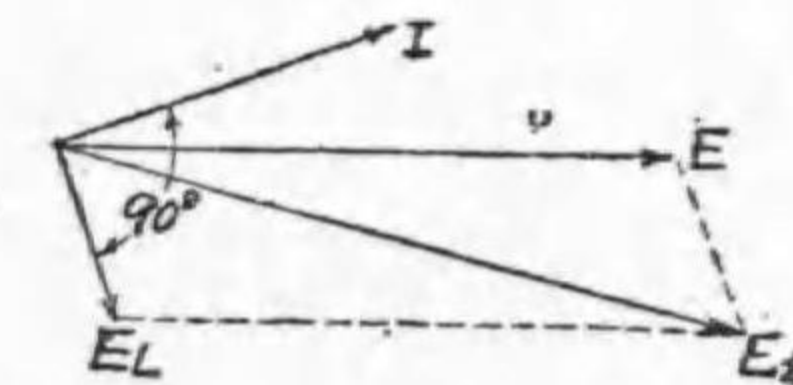
は減極作用をなして端子電壓を降下せしめ、進電流は増極作用をなして端子電壓を上昇せしめる。然るに交流發電機には發電子の自己誘導及負荷の性質から遅電流の場合が多く、電壓を降下せしむるが普通である。

20. 發電子の自己誘導

發電子電流のために發生する磁束中發電子線輪と界磁線輪とを共に貫通するものは發電子反作用をなし、發電子線輪のみを貫通するものは發電子電流が變化すると共に變化して發電子内に自己誘導作用 (Self induction) に依る或起電力を發生せしむ。此の起電力は電流より 90° 遅れてゐる。今此の起電力を E_L 、發電子の誘導起電力を E 、端子電壓を E_t 、發電子電流を I とすれば遅電流の場合には第31圖の様に端子電壓は誘導起電力より低く、進電流の場合には第32圖の如く端子電壓は高くなる。即ち發電子の自己誘導作用は遅電流の場合には端子電壓を降下せしめ、進電流の場合には上昇せしめる。



第31圖 遅電流



第32圖 進電流

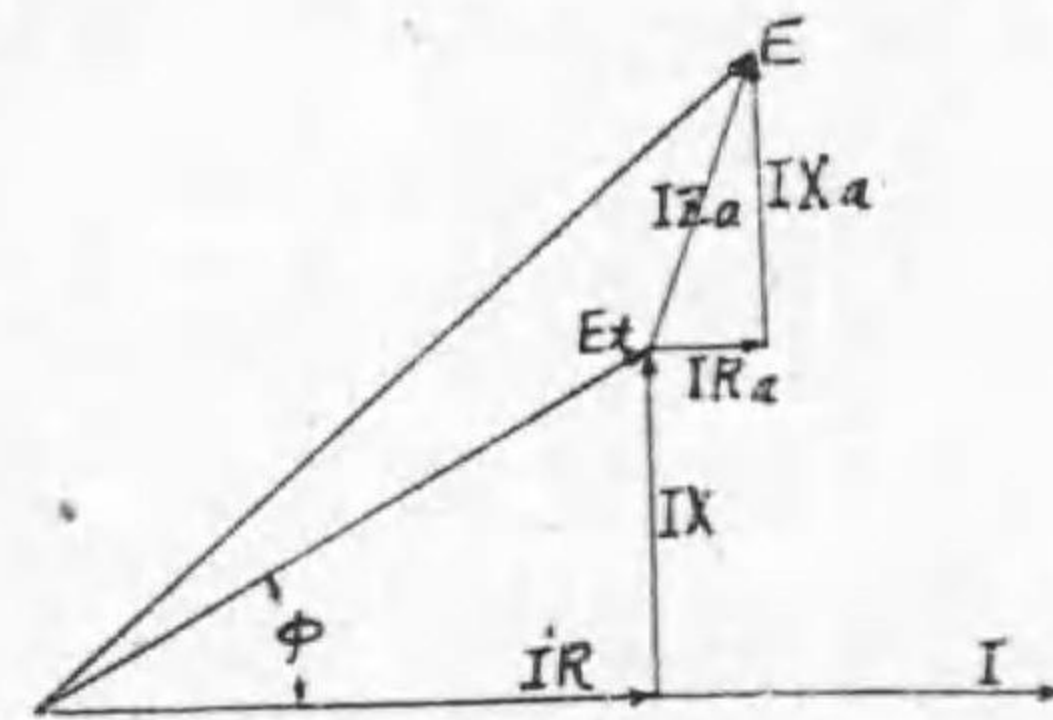
これは發電子反作用の場合と同じである。故に自己誘導作用と反作用とを一つに考へ之れを同期リアクタンス (Synchronous reactance) と云ひ、之れと發電子抵抗とを合成して同期イムピーダンス (Syn-

chronous impedance)と云ふ。

21. 電圧のベクトル図

今交流発電機から外部に電力を送つてゐる場合に其の誘導起電力を求めやう。先づ負荷電流を I , 外部抵抗を R , 外部リアクタンスを X とすれば, 第33圖の様に抵抗による電圧降下は I と同相なる IR , リアクタンスによる電圧降下は I より 90° 進みたる IX である。故に端子電圧 E_t は IR と IX との合成であり, E_t と I との位相角 ϕ は, $\tan \phi = \frac{X}{R}$ より求められる。次に発電子の抵抗を R_a , 同リアクタンスを X_a とすれば R_a による電圧降下は IR_a であり, X_a による電圧降下は IX_a である。然して

発電子のインピーダンスによる電圧降下は IR_a と IX_a との合成で IZ_a である。此の IZ_a と端子電圧 E_t との合成が誘導起電力 E である。



第33圖 電圧ベクトル図

第33圖より E の大きさを求めると次式の如くなる。

$$E = \sqrt{(E_t \cos \phi + IR_a)^2 + (E_t \sin \phi + IX_a)^2} \dots \dots \dots (11)$$

次に負荷電流が増加すれば発電子内の電圧降下が増加する故に端子電圧を一定不変に保つ爲に誘導起電力を高めねばならぬから勵磁電流を増す必要がある。さうしなければ端子電圧の降下を免れない。

22. 電圧變動率

交流発電機に於ては回轉數及び勵磁電流を一定に保つても負荷電流が増減すれば端子電圧は必ず變化する。今全負荷に於て規定電圧を出してゐる発電機を回轉數及勵磁電流を一定に保つて, 急に無負荷にする時は端子電圧は上昇する。此の上昇の値の規定全負荷電圧に對する比を%で表はしたものを電圧變動率 (Voltage regulation) と云ふ。

$$\text{電圧變動率} = \frac{E - E_t}{E_t} \times 100\% \dots \dots \dots (12)$$

但し E = 無負荷電圧 E_t = 全負荷電圧

此の様に電圧の變動するは発電子の抵抗, リアクタンス及反作用による電圧降下の爲である。然してリアクタンス及反作用は電流の位相に依り左右せられるから變動率は負荷の性質即ち力率によつて異なる。低速度発電機の變動率は力率1なる時8~15%で, 力率0.8なる時は15%~25%になる。又タービン発電機では磁極數が少ないから一極に割りあてた誘導子の數が多く従つて反作用が大になり變動率は大になる。之れを防ぐには空隙を大にする。

23. 短絡過渡電流

タービン発電機に於ては反作用は大であるが, 空隙を大にしてあるから発電子の自己誘導によるリアクタンスは小である。所が発電子が短絡された時に一時的に流れる大電流, 即ち短絡過渡電流 (Transient current) は端子電圧を上記のリアクタンスで除したもの

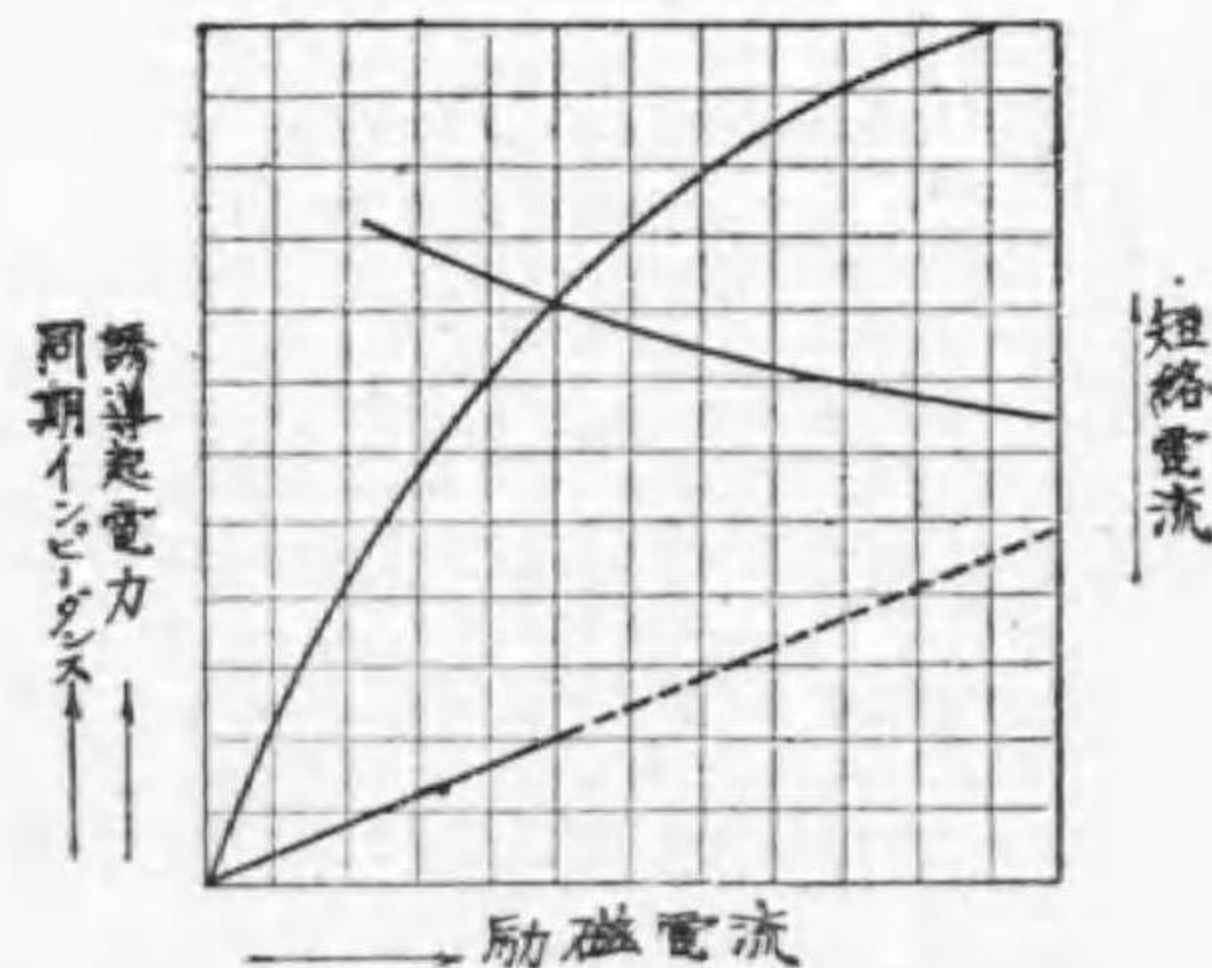
で非常に大となり、規定電流の10-20倍に達する。然し数秒後には
 $\frac{\text{端子電圧}}{\text{同期リアクタンス}}$ となり著しく減少する。これは同期リアクタンス
 が大である為である。此の大電流は自動遮断器で防ぎきれないから
 大なるリアクタンス線輪(Reactance coil)を直列に入れて防止する。
 発電機自身に於ても發電子捲線端を堅固に保持し大電流のために働
 く機械力を防ぐ様にする。

24. 特性曲線

交流発電機の特性を知るために次の様な特性曲線 (Characteristic curve) を描く。

A. 磁化曲線 (Magnetization curve) 之は勵磁電流と發電子誘導起電力との関係を示すもので、直流発電機に於けると同様である。

B. 短絡特性曲線 (Short circuit characteristic curve) 之は發電子の端子が短絡された時、勵磁電流と發電子電流との関係を示したもので、之れを求めるには電流計を入れて發電子を短絡し、規定速

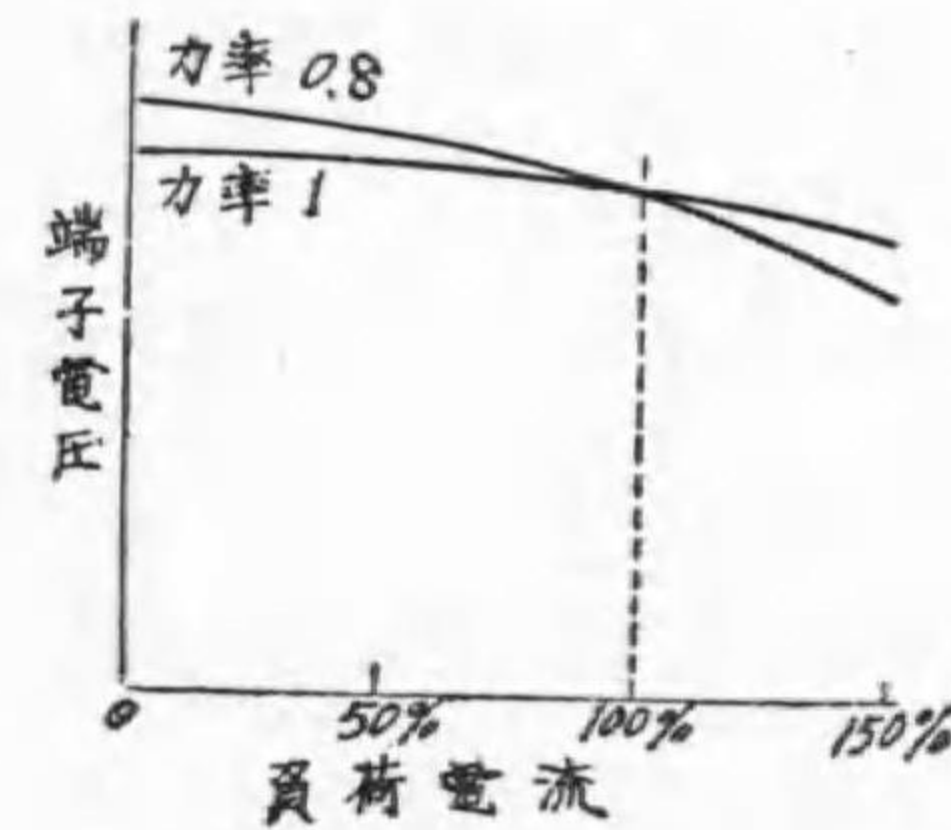


第34圖 無負荷特性曲線

度で回轉させ勵磁電流 I_f を0から次第に増し、發電子電流 I_a を計り、勵磁電流 I_f を横軸に I_a を縦軸にとり曲線を描く。第34圖は(A)及(B)の一例である。勵磁

電流 I_r に対する E 及 I_s を知る時は $\frac{E}{I_s}$ は同期イムピーダンスである。(A)及(B)は無負荷の状態で之れを求めるものであるから、總稱して無負荷特性曲線 (No load characteristic curve) と云ふ。

C. 外部特性曲線 (External characteristic curve) 之れは交流發電機が負荷を負ふて規定速度で回轉してゐる時に負荷電流と端子電圧との関係を表はす曲線で負荷特性曲線 (Load characteristic curve) とも變動率曲線 (Regulation curve) とも云ふ。之れを求めるには規定速度に保ち乍ら全負荷の時に規定電圧を出す様に勵磁を與へて置き種々に負荷電流を變へて之れを横軸に、端子電圧を縦軸にとり曲線を描く。第35圖は其の例で



第35圖 負荷特性曲線

ある。負荷が増せば電圧が降り又同一負荷に於ても電圧は力率により異なる。其の理由は22節で述べた通りである。全負荷に達する迄は誘導負荷は無誘導負荷より電圧が高く變動率は悪い。

第四章 交流發電機の運轉法

25. 單獨運轉法

交流發電機は一般に直流發電機よりも高壓大容量のものが多いか

ら取扱上特に注意を要す。今單獨運轉の方法から説明しやう。

勵磁機が交流機と別々に運轉されるものは先づ勵磁機から起動して直流電壓を發生せしめ、交流機の界磁線路に直流を送り次で交流機を起動し除々に速度を増して規定速度に達せしめる。又勵磁機が交流機と直結されてゐるものでは緩い速度で兩方を回轉し、勵磁機に電壓を發生させて交流機を勵磁し除々に速度を高め、遂に規定速度に達せしめる。

斯く規定速度に達すれば、次に勵磁機及交流機の界磁抵抗器を加減して交流機端子電壓を規定の價まで高める。こゝで始めて主開閉器を閉ぢ外部に負荷電流を送る。其の後は負荷の變動に應じ抵抗器に依り端子電壓を調整するのである。始めから主開閉器を閉ぢたまゝ起動しても良い。

運轉を停止するには原動機が水車ならば水量を、蒸汽機ならば蒸汽量を漸減し原動機を速度を次第に減じて發電機の電流が充分小になつた時に主開閉器を開き其の他の開閉器をも開く。

26. 並行運轉法

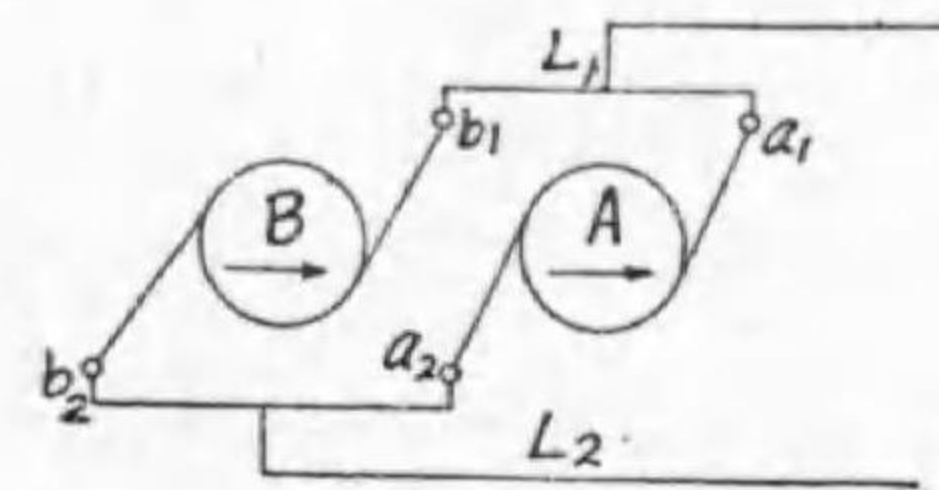
直流發電機の並行運轉は兩機の端子電壓さへ等しければ良いのであるが交流發電機に於ては常に電壓の瞬時値が等しい事を必要とする。それがためには次の條件が必要である。

1. 兩機の端子電壓の位相が正しく一致して居る事。
2. 兩機の端子電壓の周波数が一致して居る事
3. 兩機の端子電壓の實効値が一致して居る事

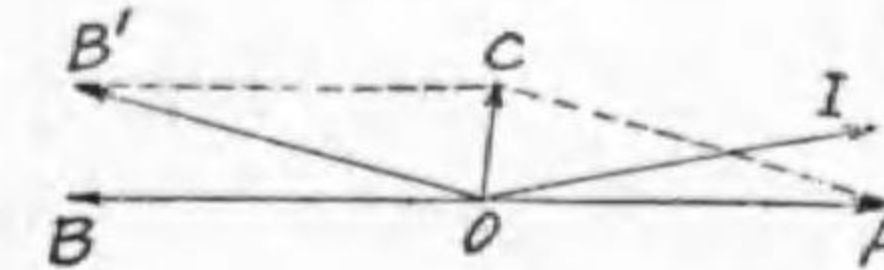
4. 兩機の端子電壓の波形が同一なる事

是等條件の一つでも満足されない時は完全並行運轉 (Parallel running) は不可能である。以下是等の條件について順次説明する。

(1) A B 二つの交流發電機が完全なる並行運轉をなすつゝある時は、第36圖の $L_1 b_1 b_2 L_2 a_2 a_1 L_1$ なる回路を考ふれば、A の電壓 O A と B の電壓 O B とは其の大きさ相等しく相差角は 180° である。従つてベクトル圖は第37圖の如くなり其の合成電壓は O となる故に此の回路には循環電流は流れない。



第36圖



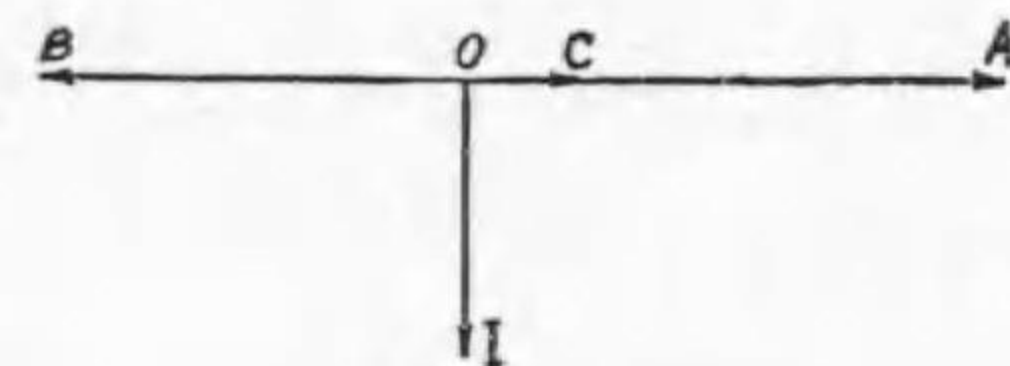
第37圖

然るに B の位相がおくれた時には、B 發電機の電壓は OB' となり、A B 兩發電機の電壓の合成は OC となる故、 $L_1 b_1 b_2 L_2 a_2 a_1 L_1$ なる回路には OC 電壓の爲に循環電流が流れる。此の回路はリアクタンスに富む故に循環電流 OI は OC より 90° 近く遅れる。そして A 發電機の負荷を増し B 發電機の負荷を減ずる故に相の進んだ A 發電機は減速され、相の遅れた B 發電機は加速されて遂に相は一致するかくの如く相の異つた時之れを元に引き戻す力を同期力 (Synchronizing force) と云ひ此の時の循環電流を有効横流 (Watt cross current) と云ふ。

(2) A B 兩機の周波数が違ふ場合は丁度相が合致した瞬間には

良いが次第に相が違つて来て、(1)の場合と同様合成起電力を生じ横流が流れる。若し相が 180° 近く違へば兩機の起電力の和に依つて過大な電流が流れ並行運轉は出来ない。故に兩機の周波数は常に同一に保たねばならぬ。

(3) A 發電機の端子電壓を OA, B 發電機の端子電壓を OB とする。兩機の電壓が周波數及相が一致し只其の値を異にし $OA > OB$ なる場合には第38圖の如く $OA - OB$ に相當する電壓 OC が回路に働き循環電流 OI が流れる。そして此の回路はリアクタンスに富む故に OI は OC に對して殆んど 90° 遅れる。 OC は OA と同相である故に OI は OA より 90° 遅れ OB より 90° 進んでゐる。然るに發電子反作用によれば、遅電流は界磁を弱め進電流は界磁を強める故に OI は OA を降下せしめ OB を上昇せしめ兩機の電壓を一致せしめる。此の電流 OI を無効横流 (Wattless cross current) と云ひ磁束を作をものであるが有効横流の様に電力の授受はしない。然し熱となつて線輪を過熱する原因となる。



第38圖

(4) 波形が違へば電壓の瞬時値が異ふ事になる故に、(3)と同様に無効横流が流れる。然し現今の發電機は皆その波形は殆んど正弦波を持つて居るが故に特殊の場合の外波形についての心配はない。

27. 亂 調

A の回轉數が減じて横流が B から A に流れ、B から A に電力を送

る場合に丁度適當な丈の電力を送らずに餘分に送りすぎるものである。その結果 A の速度が B よりも速くなり反對に A より B に電力を送る事となる。此の様に電力の授受が交互に行はれて兩機の速度が交互に運轉する現象を亂調 (Hunting) と云ふ。この状態が漸次減少して遂に平靜になる時は一時的亂調で並行運轉には止むを得ないが漸次増大して來ると並行運轉は出来ない。

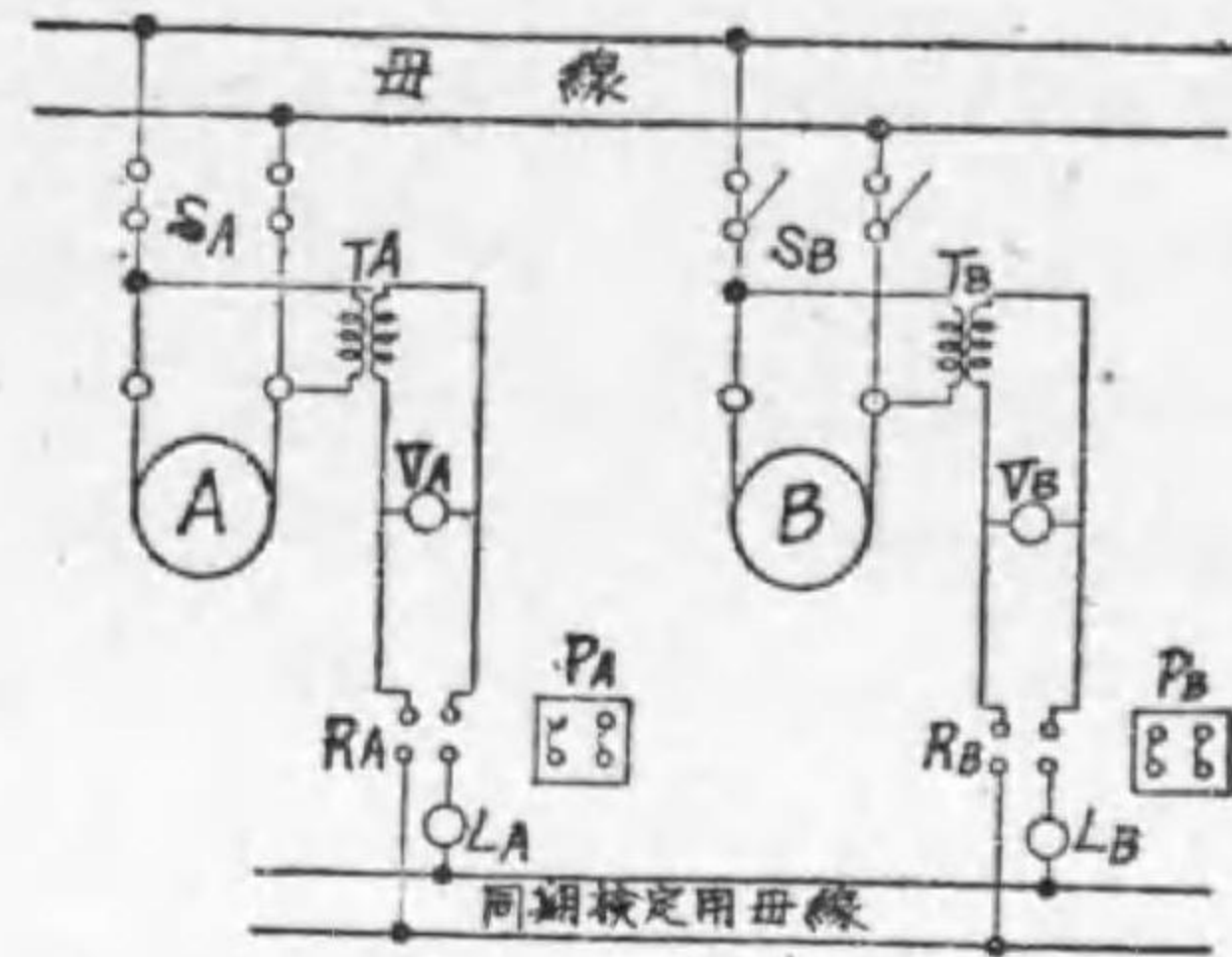
往復汽機又は瓦斯機關では速度不齊の程度が大であるから亂調の原因となり並行運轉に適しない。又低速度發電機の様に磁極數の多いものは、回轉子の遅速が僅少であつても其の位相差角(電氣角)は甚だしく大となり亂調を起し易い。以上の理由でタービン發電機は並行運轉によい。

亂調を防ぐにはハズミ車 (Fly wheel) を大にしたり、調速機 (Governor) に制動壺 (Dash pot) を用ひたり、發電機に制動器 (Damper) を付けたりして居る。

28. 單相同期檢定法

26節で述べた條件の内端子電壓の實効値は電壓計によりて確かめるが、周波數及位相の合致は同期檢定法を行ふて確かめる。第39圖は2臺の單相發電機を並行運轉する時の接續圖である。A が運轉してゐる時に、B を並行運轉するには先づ B を單獨に廻して徐々に電壓を上げ、其の回轉數が A と等しくなつた時、界磁抵抗を加減して V_B を V_A に一致させ、然る後 AB 兩機が同期にあるか否かを檢定する。即ち周波數及相が一致せるか、どうかを見るのである。之れを

行ふには栓 (Plug) P_A, P_B を栓受 (Receptacle) R_A, R_B に差込む。若



A, B. 交流發電機
 TA, TB. 變壓器
 RA, RB. レセプタクル
 LA, LB. 電燈
 SA, SB. 主開閉器
 VA, VB. 電壓計
 PA, PB. プラツグ

第39圖 單相交發電機の並行運轉接續圖

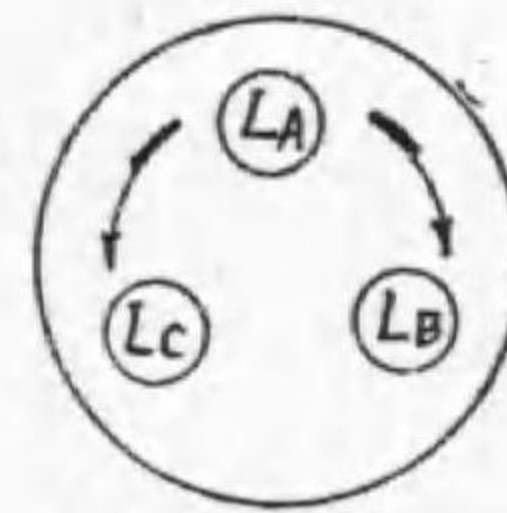
し周波數及位相が一致せる場合には L_A, L_B に加はる電壓は相反するから L_A, L_B は點火しない。180度の相違がある時にはA, B電壓の和が加はるから L_A, L_B は最大燭光に達する, 中間の相違なれば中間の燭光を出す。但し光が一定なるは位相が異つて周波數が合致せる事を示す。周波數異なる時は其の差の數だけ電燈は明滅する。何故なれば同じ數だけ位相の一致する時があり相違の最大なる時があるからである。明滅の度が激しければ周波數の差が大であるから早くBの速度をAに近づけねばならぬ。明滅の度が緩くなつたならば電燈が正に暗黒に入らうとする瞬間を見すまして S_B を入れると兩機は完全に並行運轉する。此の電燈栓及栓受を總稱して同期檢定器 (Synchronizer) と云ふ。

29. 三相同期檢定法

三相式の同期檢定を行ふには第40圖の様に電燈 L_A を I と I' との間

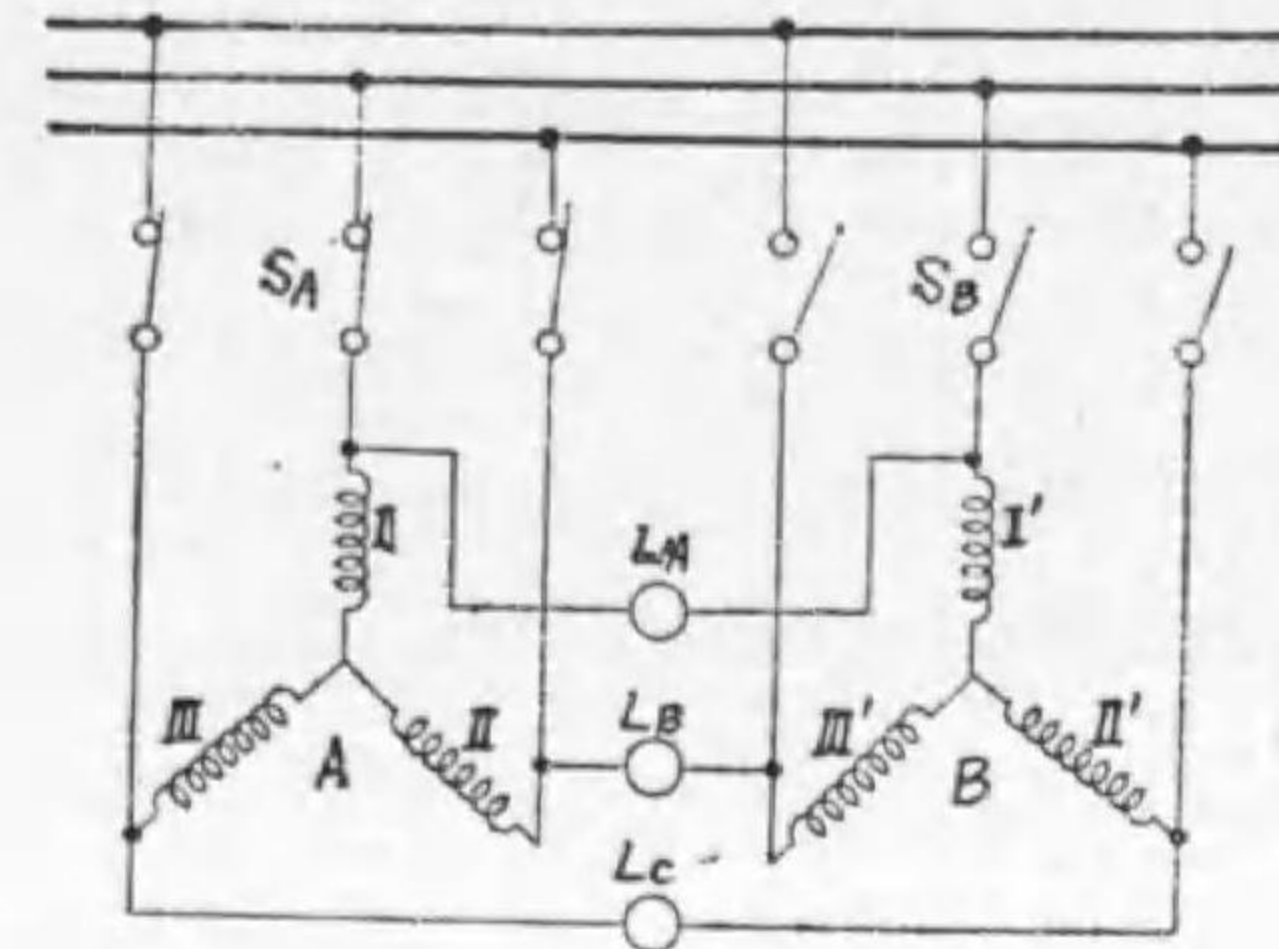
につなぎ L_B を II と III'、 L_C を III と II' とにつなぐ。 L_A は單相の場合と同じ様に明滅する。 L_B, L_C の明滅は異相を結んで居るから L_A と一致しない。今3燈を第41圖の如く一つの箱内に收めると明滅の順序は時計式又は反時計式となる。

につなぎ L_B を II と III'、 L_C を III と II' とにつなぐ。 L_A は單相の場合と同じ様に明滅する。 L_B, L_C の明滅は異相を結んで居るから L_A と一致しない。今3燈を第41圖の如く一つの箱内に收めると明滅の順序は時計式又は反時計式となる。



第41圖

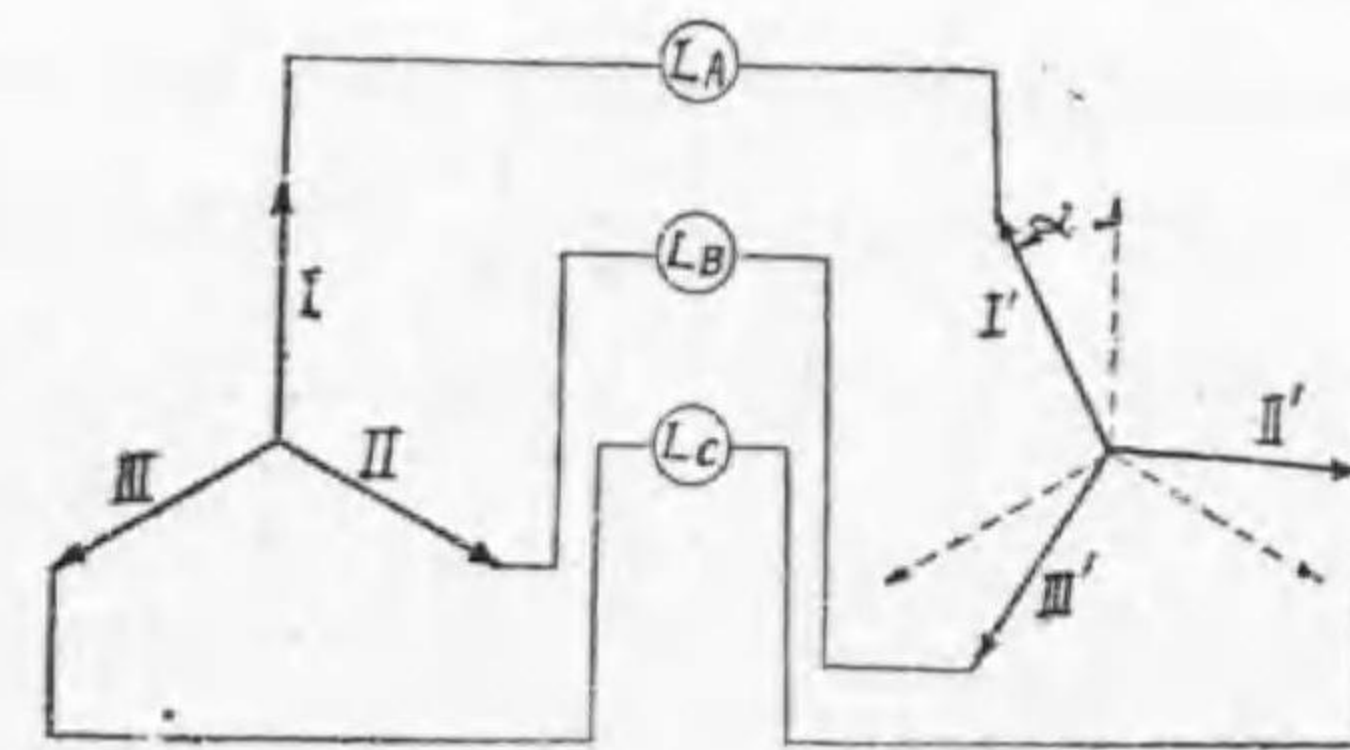
同相になるまでの時間即ち L_A が消えるまでの時間は I と I' との角距離を B と A との角速度の差で割ればよい。



第40圖

Aを運轉中Bを並行に入れんとする時明滅の順序が時計式なればBの速度が速きにすぎ反時計式なれば、Bの速度が遅きにすぎる事を表はす。

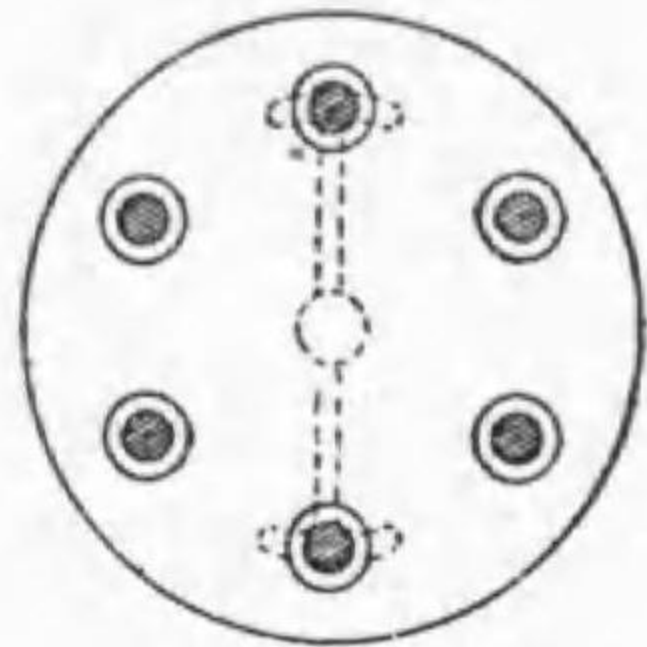
第42圖の様にBの速度速き時にはBの相がAより α 丈進んでゐる故に I' が I と



第42圖

即ち $\frac{360^\circ - \alpha}{360(f_2 - f_1)}$ 秒である。同様に L_B の消る時間は $\frac{120^\circ - \alpha}{360(f_2 - f_1)}$ 秒

L_C の消える時間は、 $\frac{240^\circ - \alpha}{360(f_2 - f_1)}$ 秒である。以上三つを比較すると消える順序は L_B, L_C, L_A である。点火する順序も同様で B の周波数大なれば明滅の順序は時計式である。周波数が近づくと明滅の度は緩くなり、周波数が一致すると明滅しない。而して相が一致すると L_A が



第 43 圖

消え、 L_B と L_C とは等しい光を放つ。此の瞬間が完全な同期に達したのである。第43の様に電燈の代りに電磁石を用いたものもある。即ち L_A の代りに AA' 、 L_B の代りに BB' 、 L_C の代りに CC' を置いて鐵片 I を明滅の順序に廻轉せしめる。41、43圖の如き

を廻轉式同期檢定器(Synchroscope)と云ふ。

30. 並行運轉の順序

A が既に運轉してゐる際 B を並行に入れんとする順序を列記する

- (1) B に勵磁電流を送り徐々に B を加速する。
- (2) 目測其の他回轉計などで、B の運轉速度が大體 A に近づいたと知れば、B の界磁抵抗器を加減して B の電壓を正しく A と一致せしめる。
- (3) 同期檢定を行ふ。
- (4) B の原動機用調速機に取付けてある小電動機を操作して B

の速度を精密に調整し、同期檢定器の指針が 0 の點を指す瞬間を逸せず B の主開閉器を閉ぢる。

(5) B の原動機出力を徐々に増し同時に A の原動機出力を徐々に減ずる。そこで A の負荷の一部が B へ移動する。

(6) B 及 A の界磁抵抗器を調整し兩機の力率を等しくする。

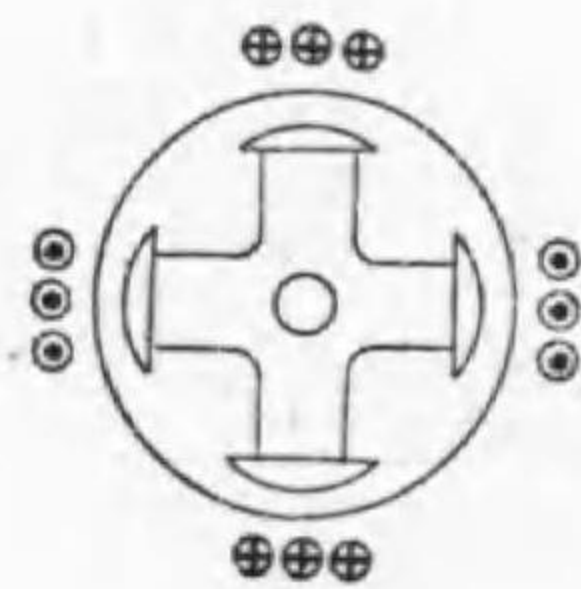
(7) 運轉中は原動機出力を調整する装置により兩機の負荷分擔額を適當にし且つ力率が變動すれば、界磁抵抗器に依り之れを等しくする。

同期電動機

第五章 同期電動機の理論

31. 同期電動機の原理

直流発電機が其儘直流電動機として使用し得るゝ様に交流発電機は其儘電動機として運転させる事が出来る。之れを同期電動機 (Synchronous motor) と云ふ。第44圖は、4極の回轉界磁型交流発電機である。其の界磁、即ち回轉子 (Rotor) に直流を送り磁極 N. S. N'. S'. を生ぜしむ。又其の發電子即ち固定子 (Stator) に交流を送り最大値の方向を圖の如くならしめる時は左手の法則に依り導體は時計式に回轉力を生ずるが、固定されてゐるから磁極が反時計式に回轉せられる。磁極が $\frac{1}{4}$ 回轉した時交流が半周波をなし最大値の方向がと反對になれば磁極は矢張り同じ反時計式回轉力を生ずる。磁極が $\frac{1}{2}$ 回轉した時交流を1周波、磁極が1回轉した時交流を2周波完成さす様にすれば磁極は常に同方向の回轉力を生ずる。以上は4極の場合であるが、若しP極とすれば回轉子の回轉速度と固定子電流の周波數との間に



第44圖

$$f = \frac{P}{2} \times \frac{N}{60}$$

即ち

$$N = \frac{120}{P} f$$

の様な関係がある時には電動機として回轉を續ける。此様な速度を同期速度 (Synchronous speed) と云ふ。故に此の電動機は回轉子が同期速度で回轉せる場合には一定の回轉力を生じ電動機として負荷されるが、同期速度に達しない時又は同期速度を超える時には次の様になる。

(1) 回轉子の回轉數が同期速度よりも少しく低い時には加速されて同期に達する。何故なれば、第45圖Aの如く、aの電流が最大値に達するにかゝらず、S極は θ 角遅れてゐる。(但 $\theta < 45^\circ$) 然しSはbよりもaに近いからSを反時計式に廻さうとするaの力はSを時計式に廻さうとするbの力より強く之れが回轉子の反時計式回轉力を助けるからである。



第45圖

(2) 回轉子の回轉數が同期速度よりも大に低い時には減速されて速度は益々緩くなる。何故なれば第45圖(B)の如くaの電流が最

大値に達するに拘はらずS極は θ 丈遅れてゐる。(但 $\theta > 45^\circ$) Sはaよりもbに近いから、Sを時計式に廻さうとするbの力はSを反時計式に廻さうとするaの力に打勝ち、回轉子の反時計式回轉力を妨げるから、速度は益々緩くなる。

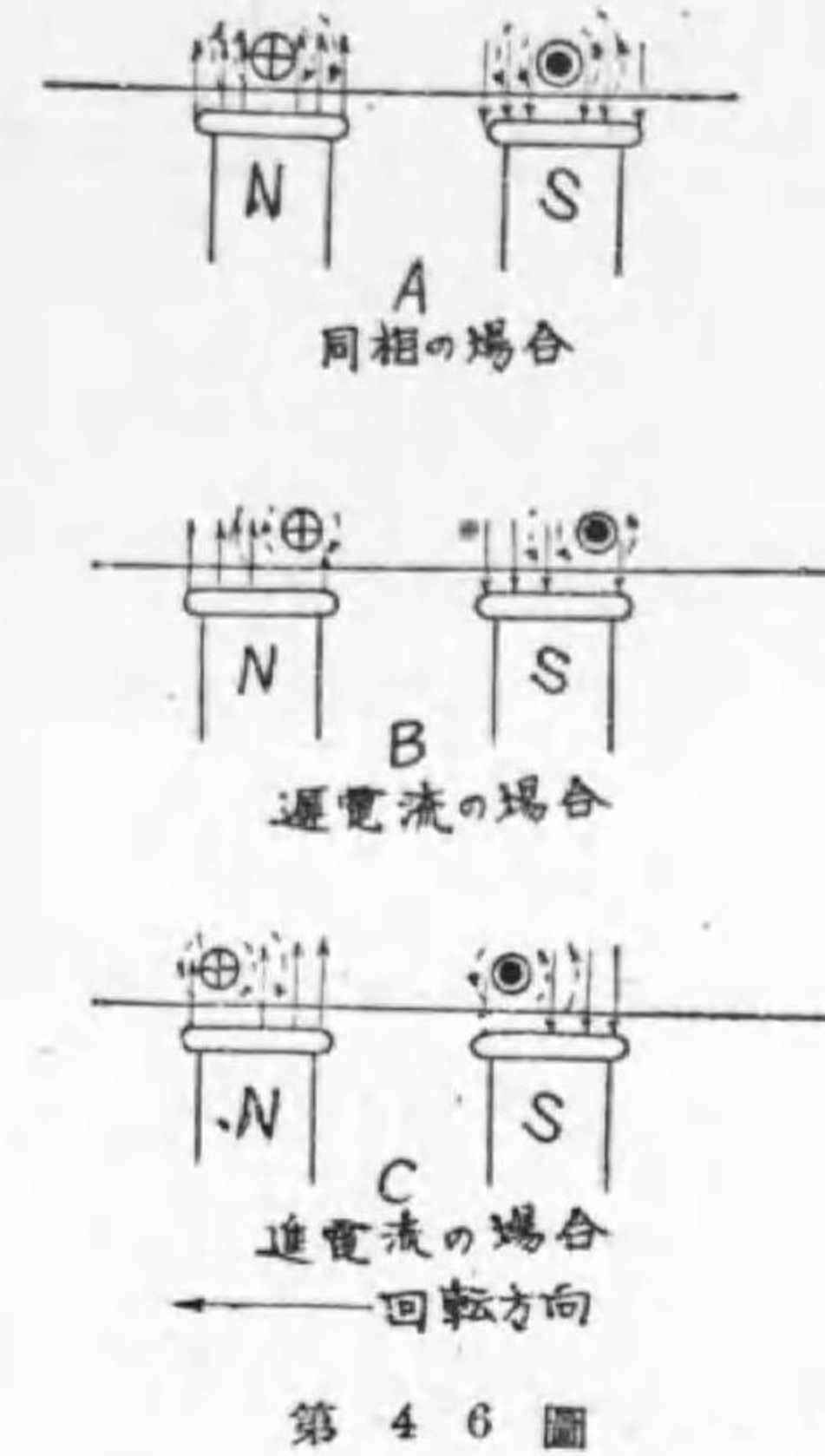
(3) 回轉子が同期速度よりも高い時には減速されて同期に戻る何故ならば第45圖(C)の如くSがaを越へて θ 角進んでゐるから $\theta < 45^\circ$ ならば反時計式に減少した回轉力を生じ、 $\theta > 45^\circ$ ならば時計式に回轉力を生じ、何れの場合も回轉子は同期速度になるまで減少されるからである。

32. 電動子反作用

同期電動機に於ても、固定子即ち電動子に電流の通る結果、主磁界に種々の影響を及ぼす。之れを**電動子反作用**(Armature reaction)と云ふ。反作用は電動子の電流と誘導起電力(逆起電力)に對抗すべき電圧との相差によりて甚だしく異なる。

(a) 電流と誘導起電力に打ち勝つ電圧 E_c' とが同相なる場合、此の場合にはNの中心はaと一致す、故にaの電流の爲に生ずる磁束はN極の左半を強め右半を弱める。S極に就いても同様である即ち偏磁作用のみをなし起電力に變化がない。

(b) 電流が起電力 E_c' よりも遅れてゐる場合、此の場合には起電力の最大なる瞬間(Nとaとが一致した瞬間)にはa、bを通る電流は未だ最大値に達せず、第46圖Bの様にNの中心線がaを越えて進んだ時に電流は最大値に達する。故にa電流より生ずる磁束は



第46圖

N極の左の大部分を強め右の小部分を弱める。S極についても同様である。即ち遅電流の場合は偏磁作用の外に増磁作用をなし起電力を上昇せしめる。

(c) 電流が起電力 E_c' より進んでゐる場合、此の場合には第46圖Cの如くなり電流の生ずる磁束は極の左小部分を強め右大部分を弱める。故に偏磁作用と減磁作用をなし起電力を下降

せしむ。

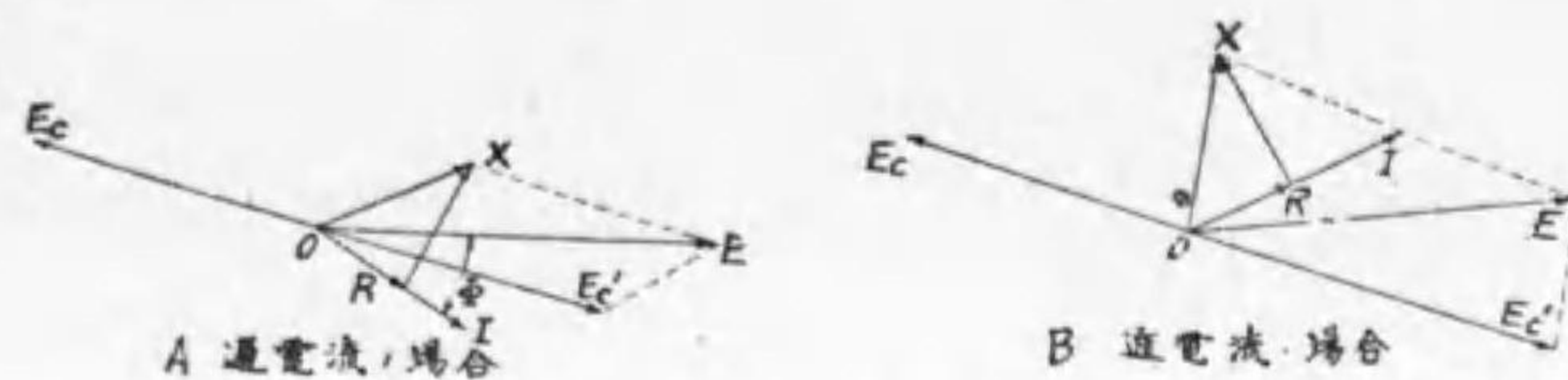
以上の如く電動子の反作用は發電機の場合と全く反対の結果を及ぼすものである。

33. 電動子リアクタンス

電動子の自己誘導によるリアクタンスの作用は電動子反作用とよく似てゐる。即ち遅電流の場合は端子電圧は誘導起電力より大となり、勵磁電流は小なるを要し、相が進むに従ひ端子電圧は誘導起電力よりも小となり勵磁は大なるを要する。

(a) 電流が端子電圧より遅れてゐる場合、第47圖Aに於てOE

を端子電圧としそれよりφ遅れたるOIを電流とし、ORを電動子抵抗によりて費さるゝ電圧、RXを同リアクタンスに依り費さるゝ電圧、OXを同イムピーダンスにより費さるゝ電圧とする。同期電動



第 47 圖

機に於ては外部より端子に加へる電圧はイムピーダンスに依り費さるゝ電圧と誘導起電力に打勝つ電圧との合成である故にOEとOXとのベクトル差が誘導起電力に打勝つ電圧OE'である。故に誘導起電力はOE'と同じ大きさで方向相反するOE_cである。此のOE_cはOEよりも小である。即ち端子電圧は誘導起電力より大である。

(b) 電流が端子電圧よりも進んでゐる場合、此の場合には第47圖Bの如くなり端子電圧は誘導起電力より小となる。

以上の如く電動子リアクタンスの影響も発電機の場合と全く相反してゐる。此のリアクタンスの作用と電動子反作用とを合せて同期リアクタンスと云ふ事も発電機と同様である。

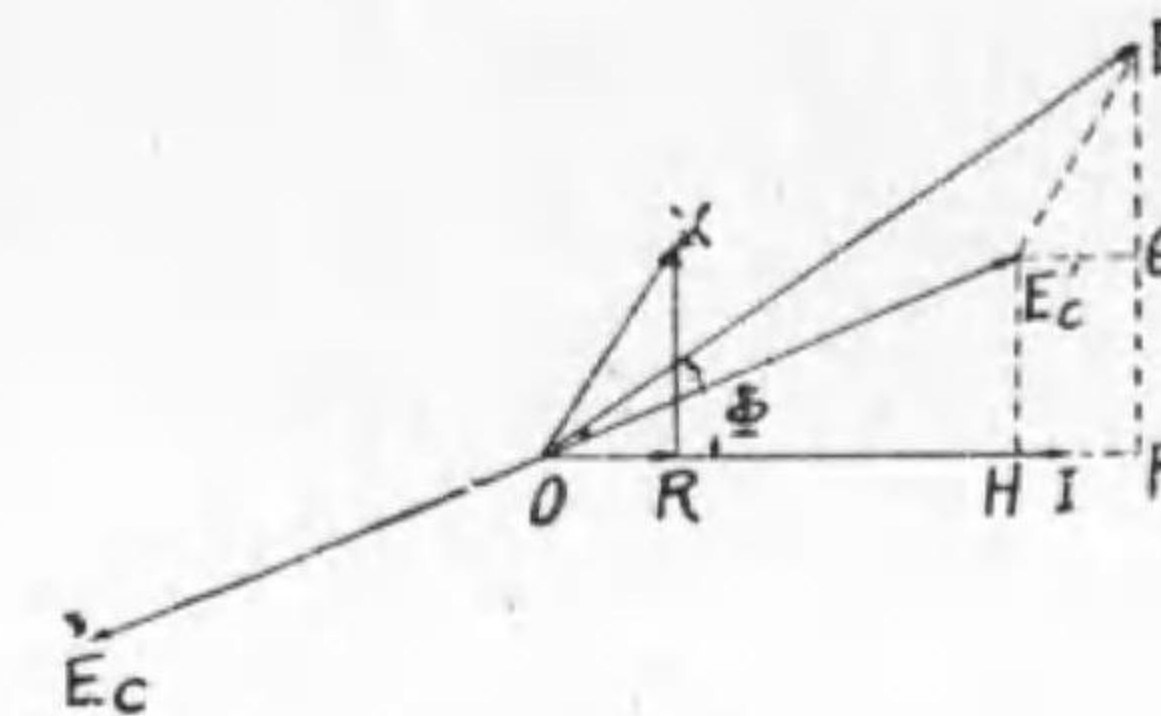
34. 勵磁電流の影響

前述の如く電動機の同期リアクタンスは一定の端子電圧に對して電流が遅れるに従ひ誘導起電力は小なるを要し勵磁は弱くてよい。電流が進むに従ひ誘導起電力は大なるを要し勵磁を強めねばなら

ぬ。即ち端子電圧を一定にする時は勵磁の強弱は電動子電流の相を變化せしめる。

35. 反起電力

反起電力の公式を求むるには第47圖Aを書かへ電流を基準にして第48圖の様にとると反起電力は、



第 48 圖

$$E_c = OE_c = \sqrt{OH^2 + HE_c'^2}$$

$$= \sqrt{(OF - OR)^2 + (EF - RX)^2}$$

$$\therefore E_c = \sqrt{(E \cos \phi - IR)^2 + (E \sin \phi - IX)^2} \dots\dots\dots(13)$$

反起電力は又誘導起電力である。

$$E_c = 1.11 K \frac{N}{60} \frac{P}{2} \Phi Z 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

$$= 2.22 K f \Phi Z 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots\dots(14)$$

三相式Y接続に於ては上の式を√3倍すればよい。但し比の時にはZは各相の導體數である。

第六章 同期電動機の特性及其應用

36. 出力

同期電動機に於てワットで表はした出力Pは直流電動機と同様に

反起電力×電動子電流で是れに力率をかける事丈が異つてゐる。

$$P = E_c I \cos \phi_c \dots\dots\dots(15)$$

但し P は鐵損、摩擦損及風損を含む出力、 ϕ_c は反起電力 E_c に打勝つ電壓 E_c' と電動子電流 I との相差角である。又同期電動機の入力 P_i は

$$P_i = E I \cos \phi \dots\dots\dots(16)$$

但し、E は供給電壓、 ϕ は E と I との相差角である。

次に電動子内で熱となる銅損は $I^2 R$ であるから、

$$P = P_i - I^2 R = E I \cos \phi - I^2 R \dots\dots\dots(17)$$

(15)式と(17)式は等しいから兩邊を I で割れば、

$$E_c \cos \phi_c = E \cos \phi - I R \dots\dots\dots(18)$$

三相式に於ては出力及入力は(15)式と(16)式とに $\sqrt{3}$ を乗すればよい。

37. 回 轉 力

電動機の出力は直流発電機と同様に其の回轉力(Torque)と角速度との積である。即ち

$$P = \tau \times \omega \text{ エルグ毎秒} = 2\pi \frac{N}{60} \tau \times 10^{-7} \text{ ワット} \dots\dots(19)$$

但し τ はダインセンチで表はした回轉力である。

(19)式と(15)式とは等しい。即ち

$$E_c I \cos \phi_c = 2\pi \frac{N}{60} \tau \times 10^{-7} \text{ ワット} \dots\dots\dots(20)$$

$$\therefore \tau = E_c I \cos \phi_c \frac{60}{2\pi N} \times 10^{-7} \text{ ダインセンチ}$$

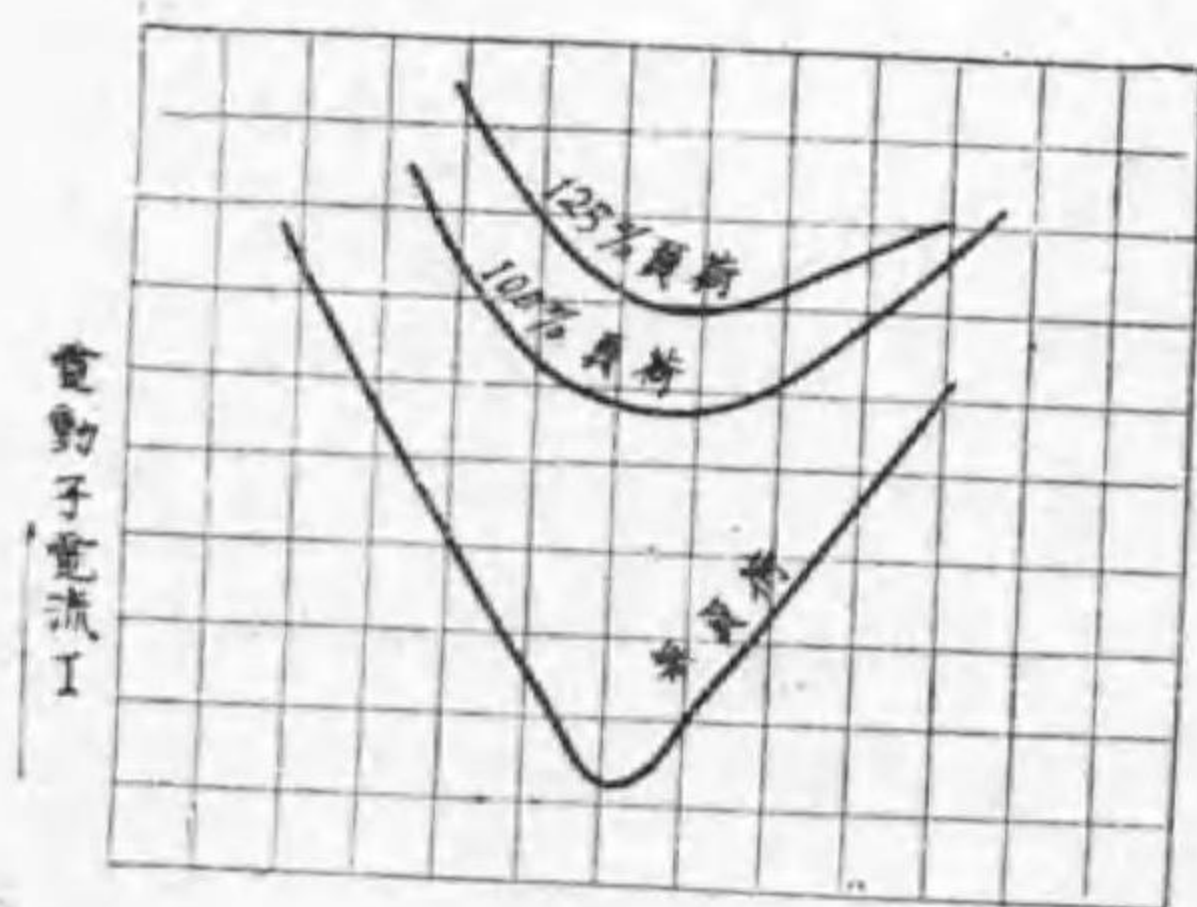
此の式の E_c に(14)式の値を代入すれば、

$$\tau = 1.11 K \frac{P}{2} \Phi Z I \cos \phi_c \times 10^{-7} \text{ ダインセンチ} \dots\dots\dots(21)$$

となる。

38. V 曲 線

同期電動機の端子電壓と負荷とを一定に保ち勵磁電流を變化せしめる時は電動子電流の大きさ及相が變化する。即ち負荷及端子電壓を一定とし勵磁電流を甚だ小さくすれば、力率は甚だ低く電動子電流は大なる値に達する。勵磁電流を増せば力率も増す。故に電動子電流は減少する。更に勵磁電流を増せば力率は遂に 1 となり、電動子電流は最小點に達するが、此點を越えて勵磁を増大すれば電流は進相力率となり、電動子電流は却て増大する。以上の變化の有様を表



第 49 圖 勵磁電流

はすに勵磁電流を横軸にとり電動子電流を縦軸にとつて曲線で表はせば第49圖の様なV字形となる。之れを相特性曲線又はV曲線と云ふ。

出力を増せば同一

力率に於ても電流は増す故に曲線は上方になり軽負荷の際には下方になる。是等曲線の底部は力率1の点であり、一定負荷に於て電流の最小なる点である。故に此の点を結んだ曲線を**最小電流曲線**(Minimum current curve)と云ひ、重負荷になるに従ひ少々過勵磁の方向に傾く。

最小電流曲線より左は遅電流、右は進電流である。

39. 電路の力率改正

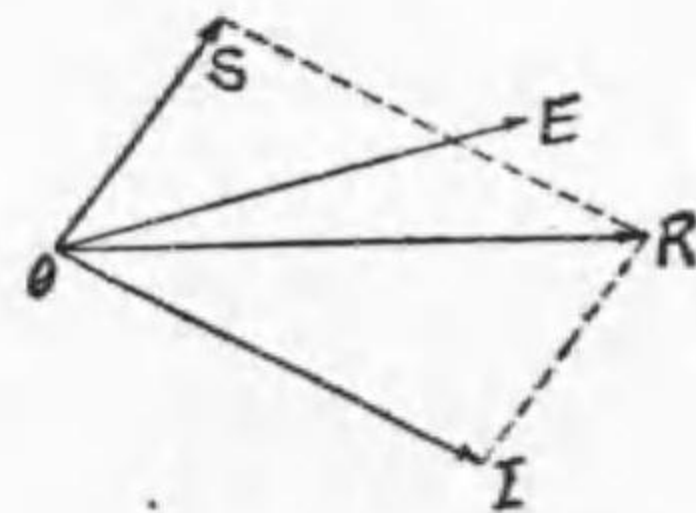
前述の如く同期電動機は勵磁電流を加減する事により電流の位相を進め或は遅らせる事が出来る。所が交流回路は一般に遅電流の場合が多い。誘導電動機が回路にある場合は殊に然りである。此の様な場合に電路に同期電動機を入れ其の勵磁を強くし進電流を取らしめる時は合成電流の相を進め全電路の力率を良くする事が出来る。

之れをベクトル圖で示せば、

第50圖の様になる。OEを電路電圧、OIを誘導電動機のみを負荷とする時の電流とすれば力率は $\cos \angle EOI$ である。今同期

電動機を誘導電動機と並列に入れ

勵磁を強くして電流をOSの様に進ませる時は、電路の全電流はOIとOSとの合成ORの様になり、力率は $\cos \angle EOR$ となつて著しく改正せられる。此の目的に用ひた同期電動機を特に**同期進相機**(Synchronous condenser)と云ふ。

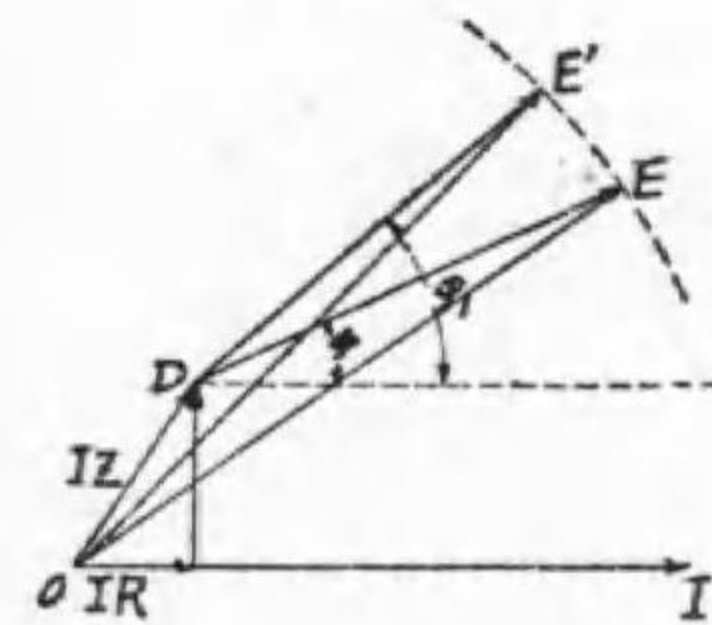


第50圖

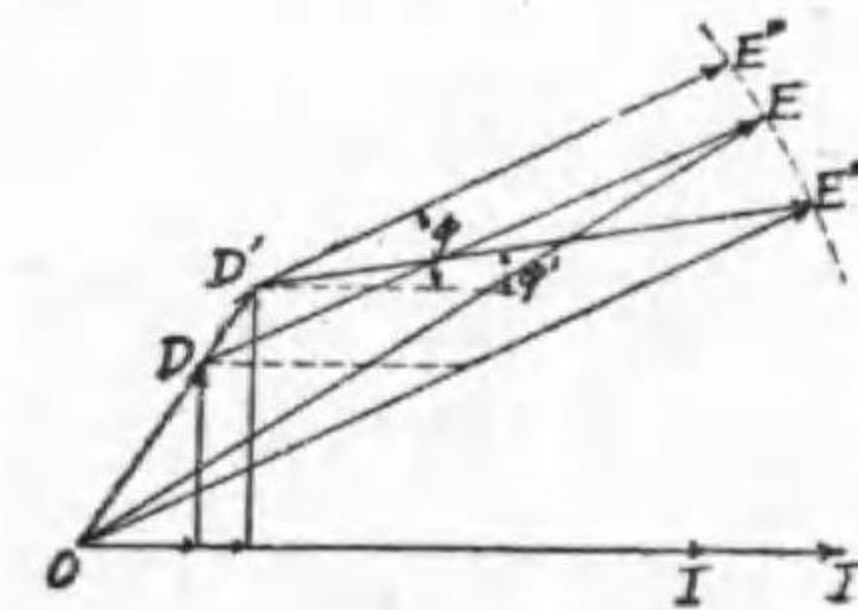
40. 電壓の調整

送電線の受電線の受電端に於て、同期電動機を用ひて電壓を調整することを得る。之れを説明しやう。

第51圖に於て線路電流をOI、送電線の抵抗をR、リアクタンスをXとすればIRとIXとの合成IZは線路のイムピーダンスに依る電壓降下である。次に受電端に於ける負荷の力率を $\cos \phi$ とすれば、電流と ϕ なる角をなすDEは受電端電圧の方向を示す。發電端電圧OEの大きさは不変であるからOを中心としてOEを半径として圓を畫きDEとの交点をE'とせばDEは受電端電圧の大きさである。



第51圖



第52圖

今電流の大きさを不変として力率を減する時は ϕ' は大となり電圧はDE'に減す、此時に受電端に同期電動機を用ひ其の勵磁を強め進電流を生せしめると力率は増し受電端電圧をDEに保つ事が出来る。

又力率を其儘とし電流を増せば第52圖の様にイムピーダンスによる電壓降下がOD'に増し受電端電圧はD'E'に減す。此時に同期電動機にて電流の位相を進ませると電圧をD'E'に上昇せしめ電壓降

下を防ぐ事が出来る。同様にして力率及電流の大きさが共に變化して受電端電壓の降下せる場合、同期電動機を用ひ勵磁を強め電流の相を進ませ電壓の降下を防ぐ事が出来る。無論電壓の上昇した場合に引き下げる事も出来る。

41. 特長と缺點及用途

(A) 特 長

1. 絶対に不變速度なること
2. 空隙が大なる故、回轉子と固定子と接觸による故障が少ない。
3. 誘導電動機に比べて能率が高い。
4. 電流の位相を任意に調整する事が出来る。即ち力率は誘導電動機に比べて遙かに大である。

(B) 缺 點

1. 速度の變化は不可能である。
2. 起動法が困難で起動回轉力が小である。
3. 亂調を起す。
4. 勵磁機が必要である。
5. 誘導電動機の様、取扱簡單堅牢安價でない。

(C) 用 途

1. 起動に際し無負荷又は輕負荷なるものに用ひられる。例へば直流發電機の運轉又はポンプの運轉等の如し。
2. 力率改正の爲同期進相機として用ひられる。

3. 受電端の電壓調整用として用ひられる。
4. 同期周波數變換機 (Synchronous frequency changer) として用ひらる。
5. 同期速度を必要とする場合に用ひらる。
6. 種々なる缺點が改良され起動回轉力も大となり、製鐵用ローリングミル、製紙、セメント等の諸機械、船舶の電氣推進用にまで用ひらるゝに至つた。

第七章 同期電動機の起動法

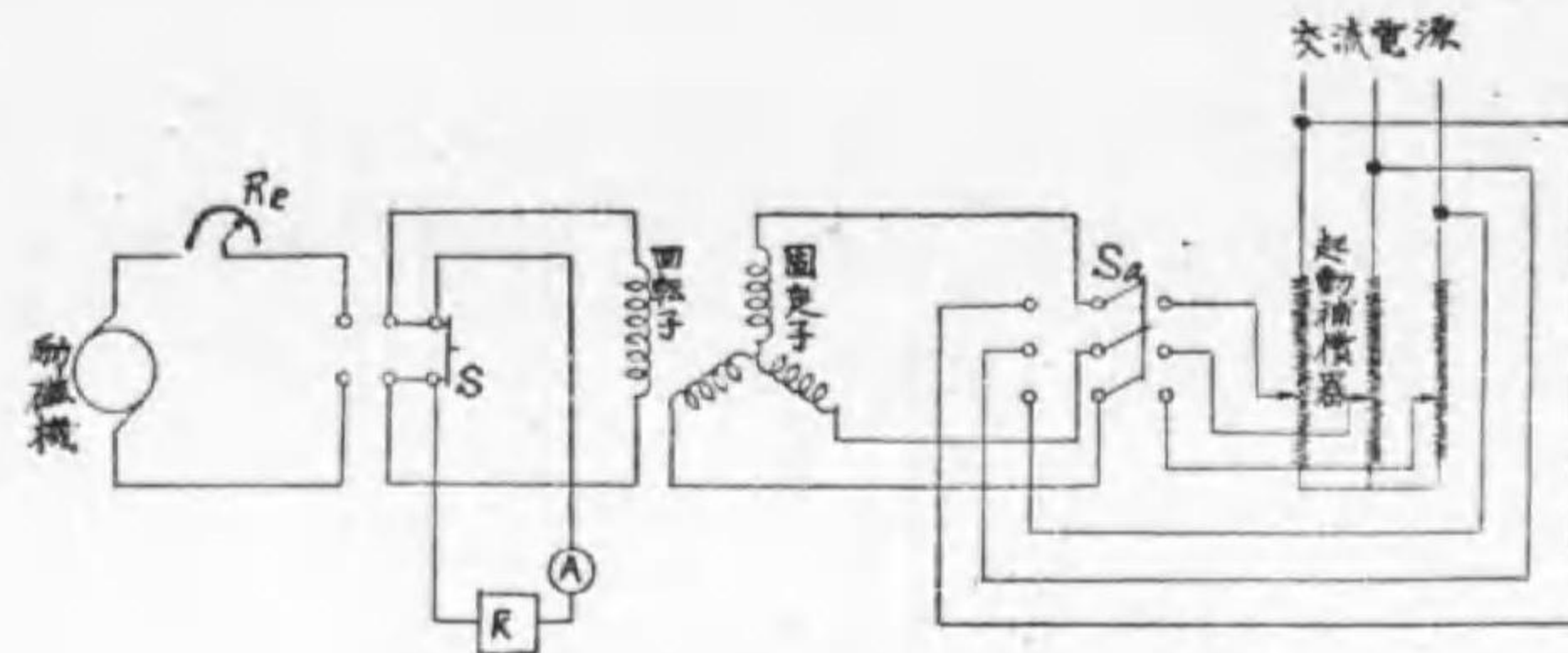
42. 起動法の種類

同期電動機が回轉力を發生する爲には、回轉子が同期速度で回轉することを必要條件とする。従つて靜止してゐる電動機が同期電動機として回轉する爲には、先づ回轉子を同期速度で回轉させることを要する。然るに同期電動機を同期速度まで持ち來す爲には特種な起動方法を講せねばならぬ。此の起動法に自起動法と他起動法との二つがある。

43. 自 起 動 法

同期電動機の磁極の表面近くに發電機の制動器 (Damper winding) と同じ装置を附して置いて、其の固定子に多相交流を送ると

制動器は回轉磁界と鎖交して電流を生じ回轉力を發生する。此の回轉力の爲に回轉子を起動して同期速度近くに達する。此の起動法の順序は次の如くである。



第 5 3 圖

- (1) 無負荷又は輕負荷なる事を確める。
- (2) 界磁電路は抵抗器 R と、電流計 A とを通じて閉じて置く、之れは開いて置くと固定子に電流が流れた時界磁の兩端に高電壓が誘導され絶縁を損ふからである。閉じて置けば電壓の大部分はインピーダンス降下となり、兩端の電壓は低くなる。此の時の電流は始め大であるが、直ちに消失するから過熱する程の事はない。
- (3) 轉換開閉器 S_a を右に倒し**起動補償器** (Starting compensator) に依り低電壓を固定子に供給し回轉子を起動せしめ徐々に速度を上げる。起動補償器は電源電壓を降下させる**單捲變壓器** (Auto transformer) である。
- (4) 同期速度に近づいたところで、S を左に倒し勵磁電路に直流電壓を加へる。同期速度に近づいた事を知るには(2)で述べた電流が消失して電流計が0を指すから直ちに分る。

- (5) S_a を左に倒し、常用電壓を供給する、電動子は全回轉力を出して同期速度で回轉する。
- (6) 始め軽く負荷をかけ次第に増加する。
- (7) 界磁抵抗 R_e を加減して最大力率最小電流の點を見出す。

44. 他 起 動 法

之れは起動用として小型の誘導電動機を用ひ同期電動機を起動せしめ同期速度に上すのである。其の順序は次の如し。

- (1) 及(2)自起動法と同じ。
- (3) 起動用電動機で同期電動機を起動する。
- (4) 起動用電動機の電流が一定となり同期速度に近づくや勵磁電路に直流を入れ界磁抵抗器を加減して誘導起電力を高め交流の供給電壓に近づかしむ。
- (5) 同期速度に達したる時同期檢定器を用ひて交流電源と同期電動機とが全く同期にあるを知るや手早く主開閉器を閉じて交流電壓を加へる。然る後小電動機との連結を絶つ。
- (6) 及(7)自起動法と同じ。

起動用電動機には同期電動機よりも極數の二つ少ないものを用ひる。

第八章 同期機の試験法

45. 試験法の種類

直流機械の試験と大差は無いのであるが、特殊な点もあるから一通り説明する。

先づ外部検査、断線の有無、絶縁抵抗を調べた後、大體次の如き試験を行う。

- (1) 過速度試験 (Over speed test)
- (2) 開路試験 (Open circuit test)
- (3) 短絡試験 (Short circuit test)
- (4) 熱試験 (Heat test)
- (5) 能率試験 (Efficiency test)
- (6) 変動率試験 (Regulation test)
- (7) 絶縁耐力試験 (Dielectric strength test)
- (8) 起動試験 (Starting test)
- (9) V 曲線試験 (V Curve test)

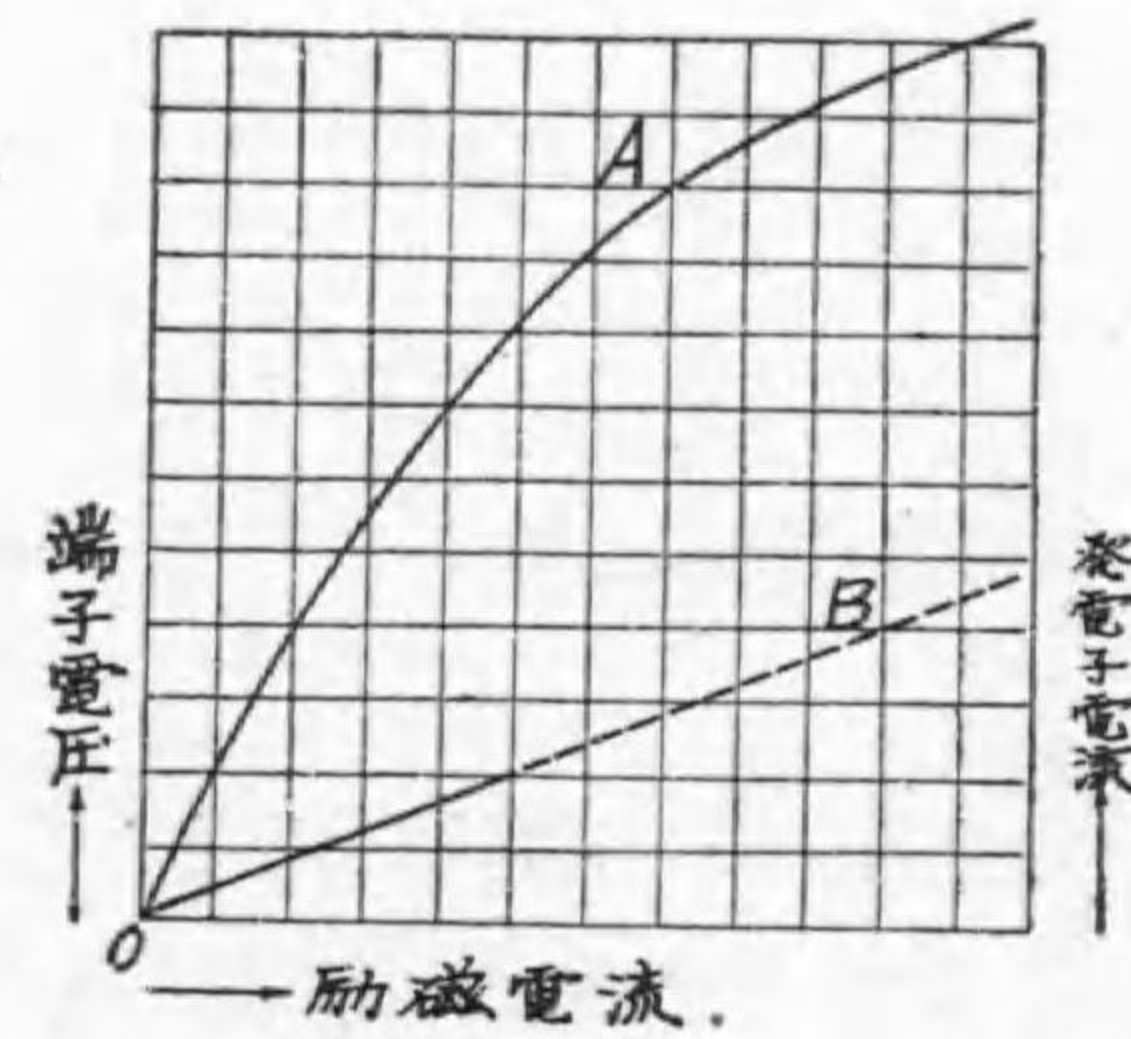
46. 過速度試験

之れは原動機で発電機を(同期電動機なれば発電機として)起動させ静かに速度を上げる。然して規定速度の下に一時間運轉して故障

なき事を確めた後充分注意して低速度のものなれば、25%の過速度で2分間、高速度なれば20%の過速度で2分間運轉するのである。

47. 開路試験

之れは同期機を規定速度で無負荷即ち開電路で運轉し勵磁機から勵磁電流を送り徐々に發電子電圧を上げて規定電圧を出し得るか否かを見る。此の際勵磁電流を横軸に端子電圧を縦軸に取りて曲線を描けば、第54圖Aの如き磁化曲線(Magnetization curve)が得られる。



第54圖

又此の時の發電子入力は無負荷鐵損、界磁銅損及機械的損失の合計である故に此の入力から發電機を勵磁せずに刷子を滑動環に接觸させたまま運轉した時に計つた入力(機械的損失)を差引けば、

無負荷鐵損+界磁銅損

($I_f R_f$)になるから無負荷鐵損を知る事が出来る。

48. 短絡試験

之れは發電子線輪に電流計を入れて短絡したまま規定速度で運轉し徐々に勵磁を強める。而して勵磁電流を横軸に發電子電流を縦軸に取り曲線を描けば第54圖Bの様になる。此の曲線から發電子電流

Iに對する勵磁電流 I_f を求め、A 曲線で I_f に對する電壓 E_0 を求めると同期インピーダンスは

$$Z_a = \frac{E_0}{I}$$

従つて同期リアクタンスは

$$X_a = \sqrt{Z_a^2 - R^2}$$

から求める事が出来る。又此の時の入力主として、發電子銅損+機械的損失である。(47)(48)の試験は熱、能率、變動率試験の準備ともなる。

49. 熱 試 験

交流發電機は一般に大容量のものが多いから、實際に負荷をかけて熱試験を行ふ事は困難であり不經濟である。故に代用負荷法を用ふ。

(1) **開路並に短絡法** 之れは開路試験で過電壓を生せしめ無負荷鐵損及界磁銅損から生ずる溫度上昇と、短絡試験で過電流を通せしめ發電子銅損から起る溫度上昇とを交互に反覆して起させる方法である。何れも無負荷で出力0であるから發電機を回轉させる機械力は甚だ小である。

(2) **零力率法** 之れは試験せんとする發電機を同期電動機として、他の發電機で回轉せしめ電動機の勵磁を強め電動子電流の相を進め、V 曲線の右側まで持つて行くと力率は悪くなり電流は増す。勵磁を出来るだけ強めると力率を0近くにまでする事が出来る。而

して少しの動力により鐵損、銅損共負荷をかけた時と同じ状態にする事が出来る。

以上何れかの方法により負荷をかけた状態にし、寒暖計法又は抵抗法等に依つて溫度上昇を測るのである。

50. 能 率 試 験

小容量のものはプロニーブレーキ法によるが大容量のものは**損失分離法**(Separate loss Method)を用ふる。

發電機では

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

電動機では

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

である。

入力及出力は計器によりて計り得るから損失さへ測れば能率を決定する事が出来る。損失を分つと次の様になる。

(A) 精確に決定し得るもの

- (1) 無負荷鐵損
- (2) 發電子の銅損
- (3) 界磁銅損

(B) 略々決定し得るもの

- (4) 機械的損失(軸受及刷子の摩擦損及風損)

以上は47, 48節の方法で決定する。

(C) 容易に決定し得ざるもの

(5) 負荷の大小並に磁氣飽和の高低によつて變る磁束分布の不規則に依り各所に生ずる鐵損。

(6) 同じ理由に依り銅線中に生ずる渦流損。

この二つを漂遊負荷損(Stray load loss)と云ふ。此の損失は發電機を短絡して所要の電流を得るまで勵磁を高め其の時の入力計り其の入力から、A及Bの損失を差引けば略々知る事が出来る。

以上A.B.C.を合計し全損失としての能率の式に入れるのである能率は特に指定せぬ限り力率1の場合をとる。

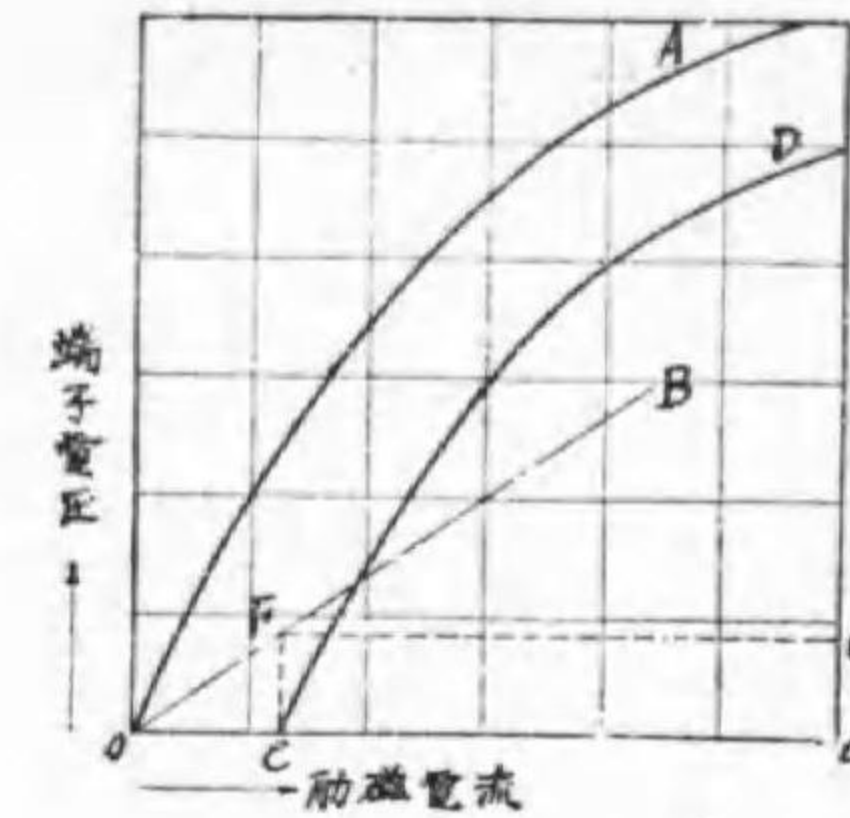
51. 變動率試験

(a) 直接法 之れは特定力率の負荷を發電機にかけ速度と勵磁とを變へず無負荷にし、端子電圧がどれ丈上るかを見る。而して12式により算出する。

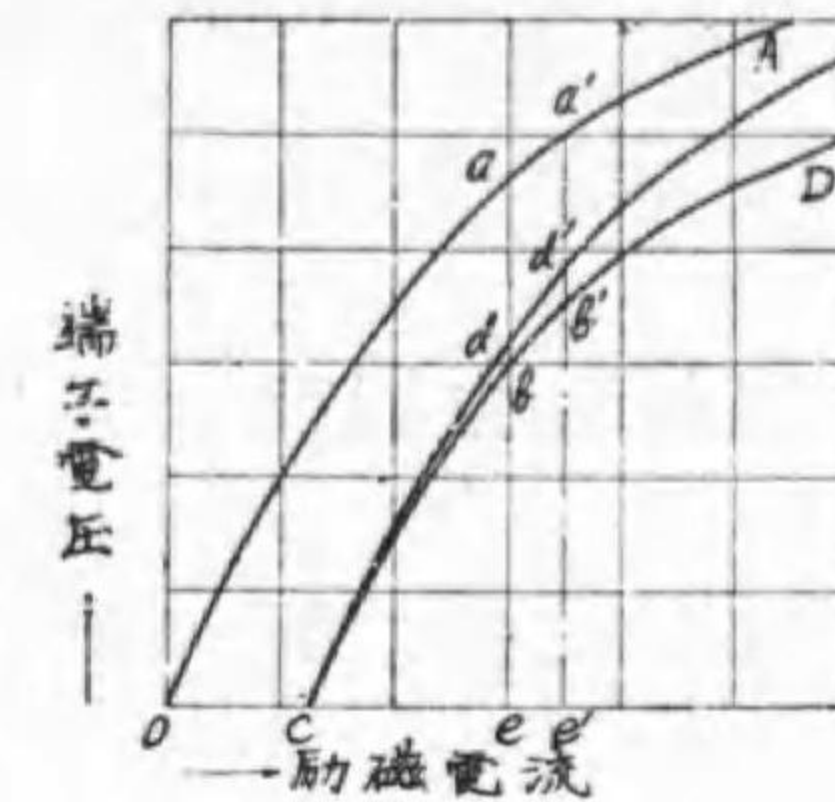
(b) 飽和曲線より見出す法 之れは無負荷飽和曲線(47節の磁化曲線)と零力率の負荷飽和曲線とから求める。後者を見出すには被試験發電機で他の同期電動機を無負荷で廻轉させ發電機の勵磁を高め電動機の勵磁を低くすると此の電路の電流は無効磁化電流で發電機の起電力より約90°遅れる。即ち力率は0である。故に此の時の端子電圧と勵磁電流との關係を曲線で表はせばよいのである。

又47節及48節の曲線からも求める事が出来る。即ち全負荷電流O'Gをとり、Gより水平線を引き短絡曲線との交點をFとす。Fより垂線FCを下し、次にOAを水平に右に移し、CDを得、之

れが求むる零力率の負荷飽和曲線である。何故なれば短絡試験では發電子の抵抗は無視されてゐるから力率は0である。而して端子電圧0に對して0力率の全負荷電流を通す爲にOCの勵磁電流が必要である。故に端子電圧0以上の時にはOA曲線に相當する勵磁の外にOCを餘分に與へねば發電子に電流を流すことは出来ないからで



第55圖

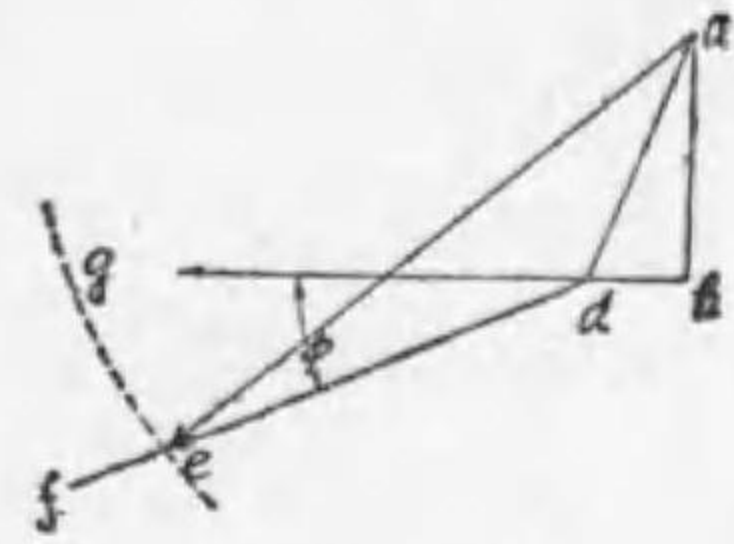


第56圖

ある。さて第56圖に於てOAを無負荷曲線、CDを零力率負荷飽和曲線とする。任意の勵磁0eに對する無負荷端子電圧はae、零力率全負荷端子電圧はbeである。故に電壓降下はab、變動率は $\frac{ab}{be}$ である。

零以外の力率 $\cos \phi$ に對する變動率は次の如くして求める。第57圖に於てadを第56圖のabに等しく取る。adは發電子のインピーダンス降下。従つてahはリアクタンス降下、dhは抵抗降下である。hgは電流の方向であるから $\angle gdf = \phi$ ならしめる様にdfを引き、次にaを中心として第57圖のaeに等しき半徑を以て圓を描けばdfとeに於て交はる。aeは無負荷電圧、adは發電子降下、

故に $d'e$ は $\cos \phi$ に對する端子電壓を表はす。之れを第56圖に移して de を取り、他の勵磁 $0e'$ に對しても同様に $e'd'$ を取る。かうして dd' を結べば此の曲線は力率 $\cos \phi$ に對する全負荷飽和曲線である。次に規定端子電壓の水平線を引き其の曲線と d' に於て交はるとすれば力率 $\cos \phi$ に對する電壓變動率は $\frac{a'd'}{d'e'}$ である。



第57圖

52. 絶縁耐力試験

之れは直流機械と同じであるから略す。

53. 起動試験

自起動の同期電動機の出す起動回轉力、若しくは起動に要する電壓を知るには次の試験を行ふ。回轉子を固定し低壓を固定子に加へ、固定子に入る電流と電力とを読む。次第に電壓を上げ其の度に電流と電力とを読み回轉子が異状に熱して來ると止める。而して電壓を横軸に電流と電力とを縦軸に取り曲線を描く、回轉子に傳はる電力は固定子入力から固定子銅損及鐵損を差引いたものである。此の銅損は固定子抵抗を測れば直ちに分る。鐵損は電壓が低いから無視する。而して回轉子入力は回轉力と角速度との積であるから回轉力は入力を角速度で割ればよい。此の時回轉子は靜止して居るが磁界は同期速度で回轉してゐるから角速度は $2\pi \times (\text{同期速度毎分})$ である

$$\text{起動回轉力} = \frac{\text{回轉子入力(kw)} \times 3300}{0.746 \times 2\pi \times (\text{同期速度毎分})} \text{呎封度}$$

起動補償器が使用される場合には、最低電壓で起動回轉力が電動機を起動せしめるに十分である事を要する。

54. V曲線の求め方

同期電動機に於ては一定の負荷をかけ、其の勵磁を種々に變へて之れに對する電動子電流を読み、V曲線を描く。

練習問題 1.

1. 50サイクル 750回轉毎分の發電機は磁極數幾何か。
2. 定格電流 I アムペア、定格電壓 V ヴォルト なる三相交流發電機に力率 $\cos \theta$ なる負荷を接続するとせば、此發電機の供給し得る出力幾何か
3. 端子電壓 3300V、 Δ 結線の三相交流發電機あり、其負荷は電動機合計 500hp 電燈 100kw、電熱 200kw なりとせば、發電機線輪内を流れる電流幾アムペアか。但し電動機の能率は平均 90% 全負荷の合成力率は 80% とし配電線中の損失は無視するものとす。
4. 交流發電機の回轉數並に勵磁電流一定せる場合に其負荷によりて端子電壓の増減する理由を説明せよ。
5. 交流發電機の亂調とは何ぞや。
6. 並行運轉をなしつゝある交流發電機に横流を生ずる二つの主なる原因を擧げよ。
7. 二つの交流發電機が並行運轉をなしつゝあり、今此一機の勵磁電流を増

- 加したりとす、其結果如何。又此二機の負荷異なる場合如何にせば同一となるや。
8. 同期電動機の供給電壓及負荷一定せる場合に勵磁電流を増減せば供給電流變化してV曲線をなす理由を説明せよ。
 9. 同期電動機の磁極に附せる短絡捲線の作用を述べよ。
 10. 三相同期電動機を自起動する際其界磁線輪を抵抗を通じて短絡する理由を述べよ。

變 壓 器

第九章 變壓器の原理及構造

55. 變壓器の利用と其原理

變壓器は或電壓の交流を他の任意の電壓の交流に變へる装置で當今交流全盛時代を呈してゐるのは實に此の變壓器の賜と云つても過言ではない。

現今大容量電力の發生には、多く經濟的な水力を利用する。然るに水力地點は主に山間僻地にあるから水力發電所で發生した電氣は是非共需要家の多い都會地に輸送しなければならぬ。

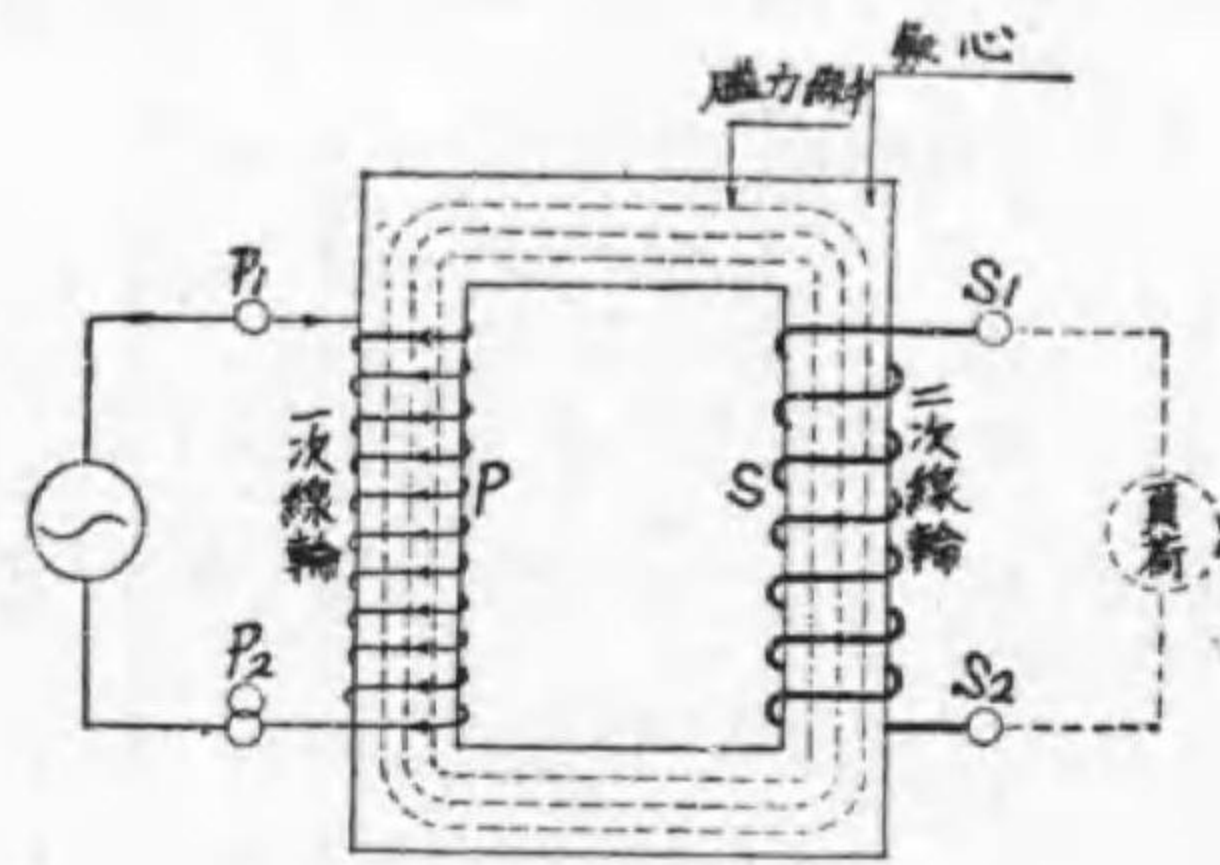
電力を經濟的に遠方へ運ぶには送電電壓を高くする必要がある。所が發電機電壓を無暗に高める事は危險でもあり、又製作が極めて困難となる。茲に於て變壓器を用ひて發電機で發生した電壓を高くして目的地の變電所に送り此處で3300volt位の電壓に降す。尙此れから一般需要家に入る迄には今一度電柱上に取付けた柱上變壓器で105V又は210Vの低壓に變へるのである。

此の場合發電所等で電壓を高めるために使用せらるゝ變壓器を**昇變壓器**(Step-up transformer)と云ひ電壓を降す爲に使用されるものを**遞降變壓器**(Step-down transformer)と稱す。尙近來は發電所や

變電所で變壓器を屋外に設ける事がある。之れを屋外用變壓器と云ひ、屋内に据付けられるものを屋内用變壓器と呼ぶ、其の構造は全く同じで、唯屋外用は雨露を凌ぐ様に出てゐる。

以上の如く變壓器は極めて重要なものであるが、其の構造は頗る簡単であつて絶縁された二種の線輪を一つの鐵心に捲いて之を外函に收めただけである。

其の原理は相互誘導作用を利用したものに過ぎない。今第58圖に於て、 $P_1 P_2$ に交番電壓を加へると P 線輪には電流が流れ、其の結果鐵心内に電流の變化に伴つて交番的に變化する磁束が生ずる。従つて電磁誘導作用に依つて P 及 S 線輪に起電力が誘發せられる。若し鐵心を完全な磁氣回路と



第 58 圖

すれば兩方の線輪を貫通する磁束は同一であるから各線輪の一捲に誘發する起電力は相等しい筈である。

此の如く、P 線輪に電流を供給してゐる間だけは S 線輪に起電力が発生して居て、之れを外部回路に連結すると何時でも電力を供給し得るのである。

此の場合 P 線輪を一次線輪 (Primary coil), S の方を二次線輪 (Secondary coil) と呼び、各々捲数を適當に擇ぶ事によつて P と S との電壓

結果鐵心内に電流の變化に伴つて交番的に變化する磁束が生ずる。従つて電磁誘導作用に依つて P 及 S 線輪に起電力が誘發せられる。若し鐵心を完全な磁氣回路と

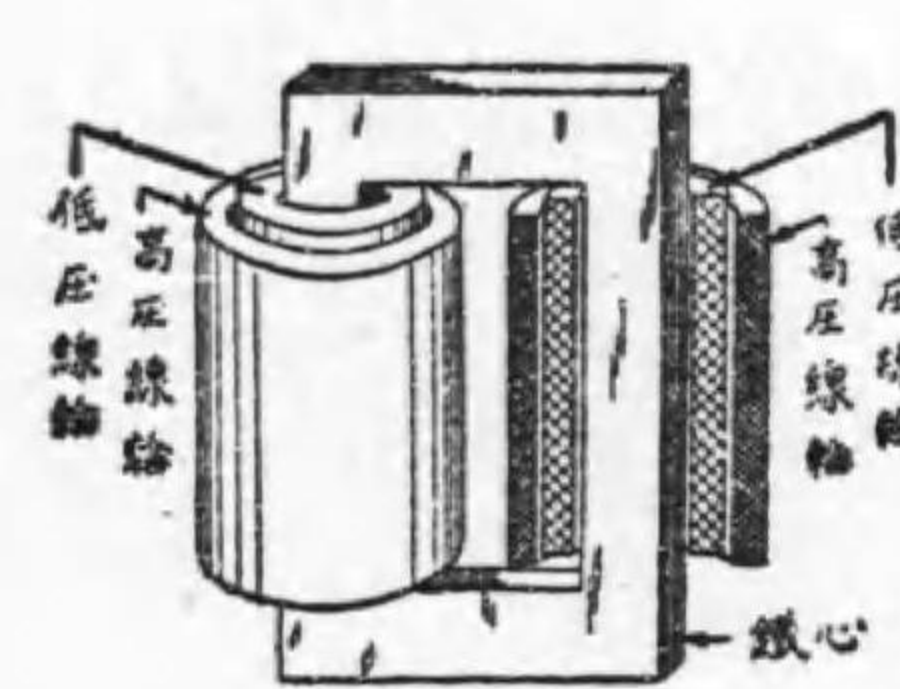
の割合を任意に定める事が出来る。

56. 變壓器の種類と構造

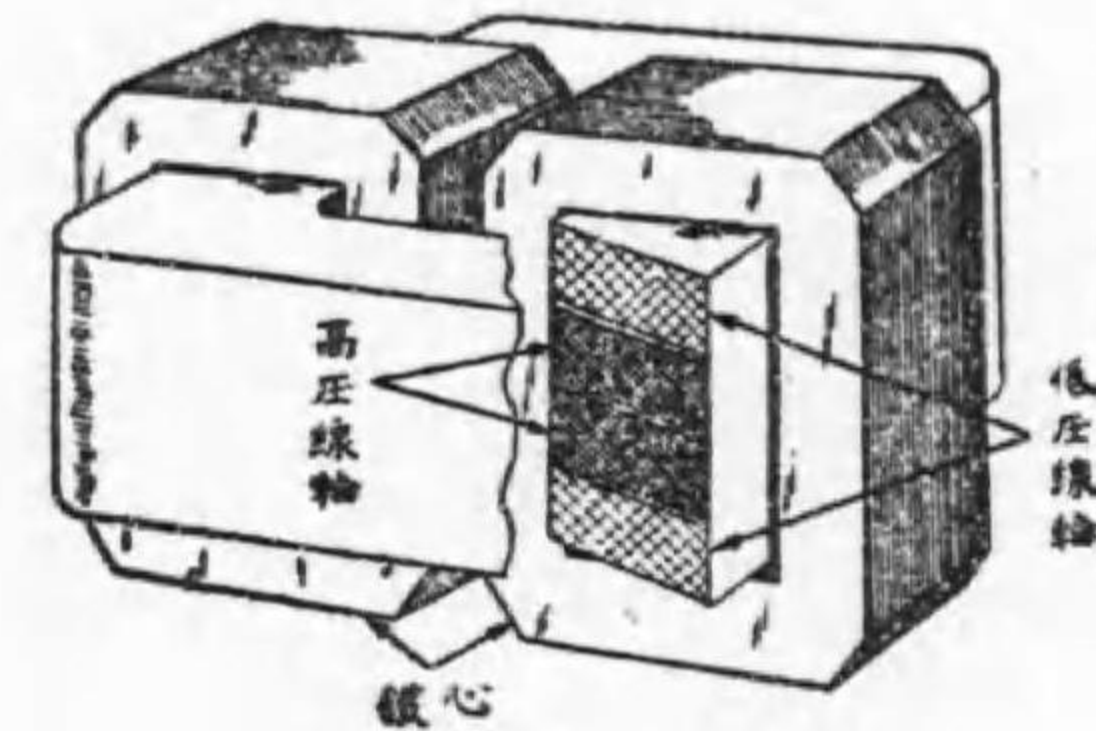
A. 變壓器の分類 變壓器を其の鐵心と捲線との配列から大別すると次の二種となる。

- (1) 内鐵變壓器 (Core type transformer)
- (2) 外鐵變壓器 (Shell type transformer)

内鐵變壓器は第59圖の如く、鐵心の兩脚の外側に同心式に一次及び二次線輪を捲いたもので、外鐵變壓器は第60圖の如く鐵心が線輪



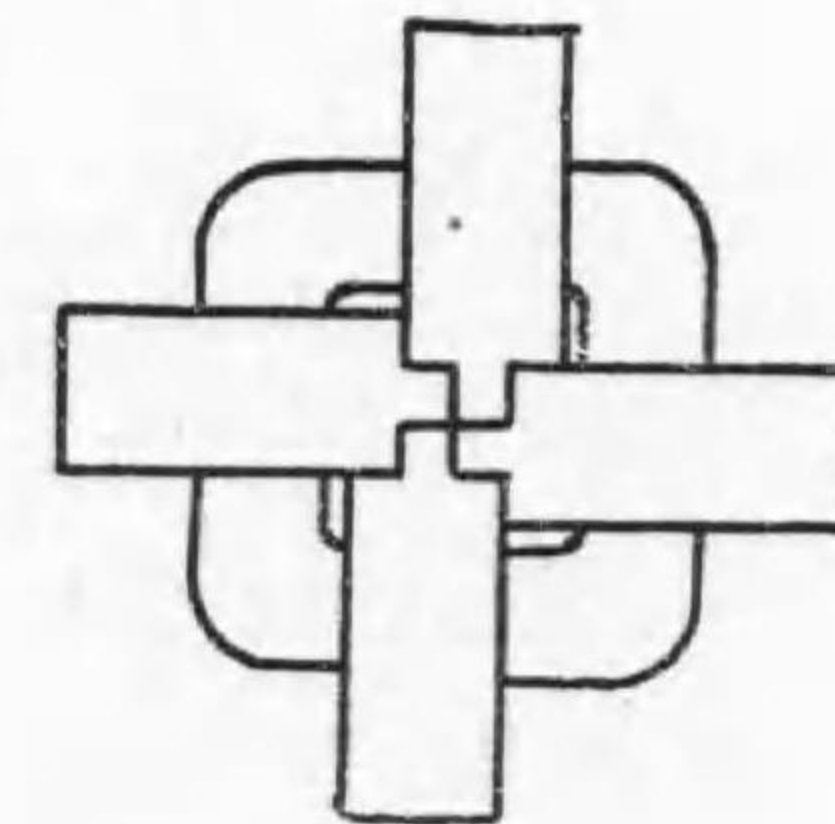
第 59 圖



第 60 圖

を圍み、一次及び二次線輪は鐵心の中央の脚に交互に並べてある。此の場合は鐵心を横に倒して捲線を立てるのである。

此外に配電用變壓器に用ひられるもので、鐵心が十字型になつたところの交叉鐵心型と云ふものが



第 61 圖

ある。

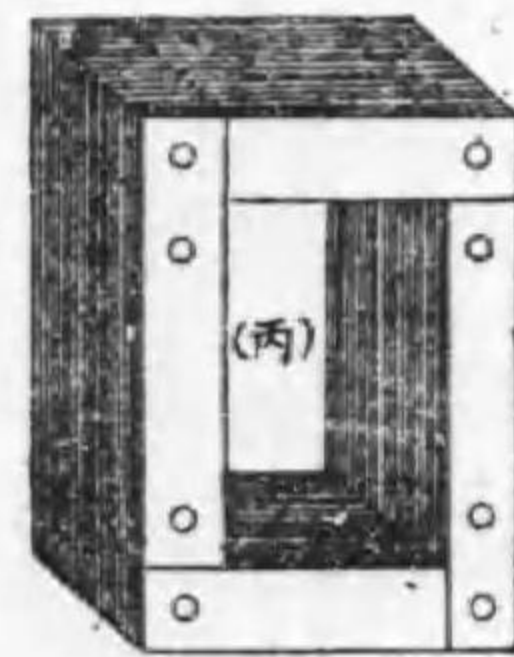
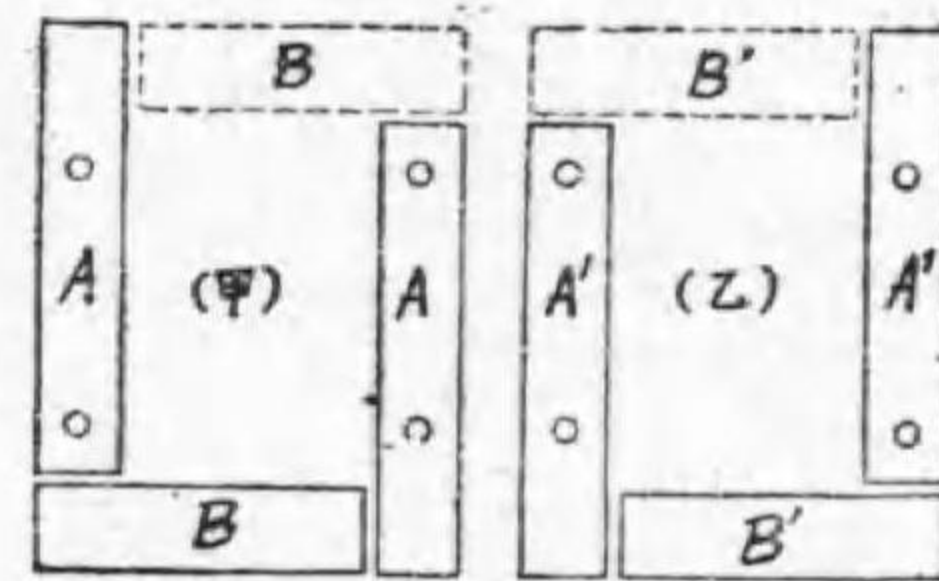
第61圖はこれを示すもので、普通15 K. V. A. 以下の容量に用ひられる。内鐵型と外鐵型と比較すれば次の様になる。

	内 鐵 型	外 鐵 型
所 要 鐵 量	少ない。	多い。
鐵 損	少ない。	多い。
勵 磁 電 流	磁路が長いから多い。	少ない。
所 耗 銅 量	多い。	少ない。
絶 緣	充分行はれ易い。	充分行はれ難い。
電 壓 變 動 率	漏洩リアクタンスが大きい らか大きい。	少ない。

B. 變壓器鐵心の構造 變壓器の鐵心も他の電氣機械の鐵心と同様に一定の形に切つた薄鋼板

を成層して造る。

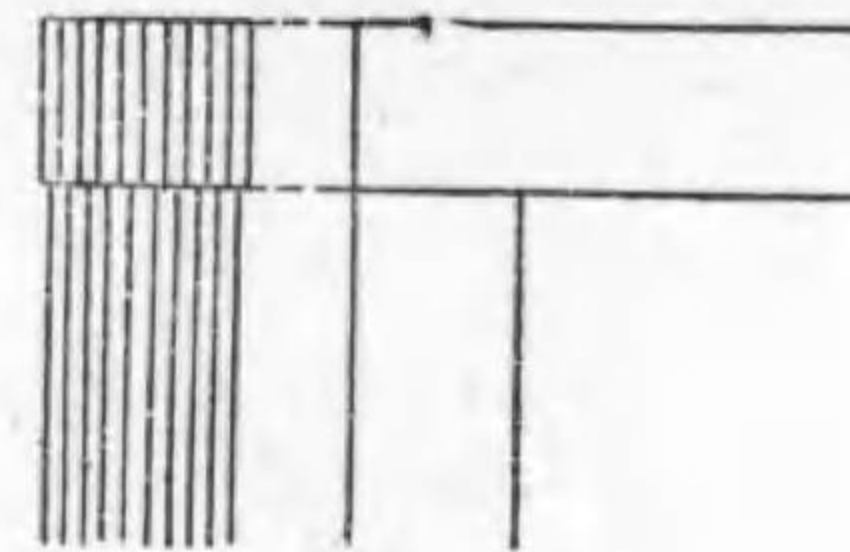
内鐵變壓器の鐵心を成層するには、第62圖(甲)の如く最初は實線で描きたる AAB を並べ、其の上に(乙)圖の様に並べた A'A'B' を重ねて積み、之を交互に繰返して鐵板上の接目の連続するのを避けるのである。此の作業を繰返して適當の厚さまで積重ねたならば(丙)圖の如く適當の場所を



第 6 2 圖

金具で締付ける。次に一次及び二次線輪を兩脚に嵌め最後に項上の水平部に(甲)及び(乙)圖の點線に畫ける如く喰違ふ様に交互に鐵板を挿込んで行つて底部と同様に蓋をするのである。

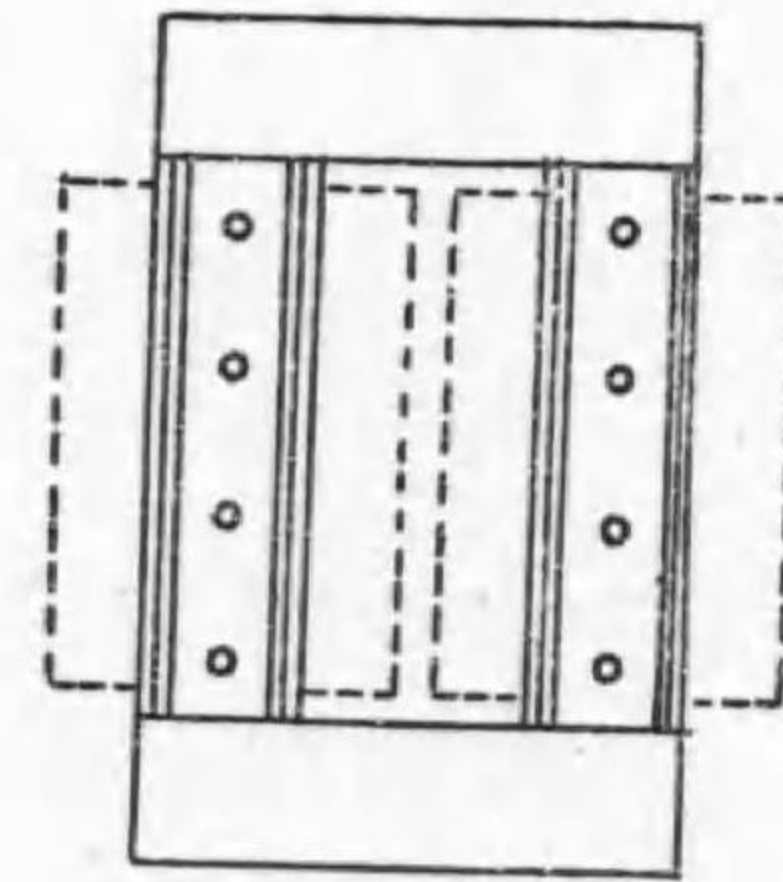
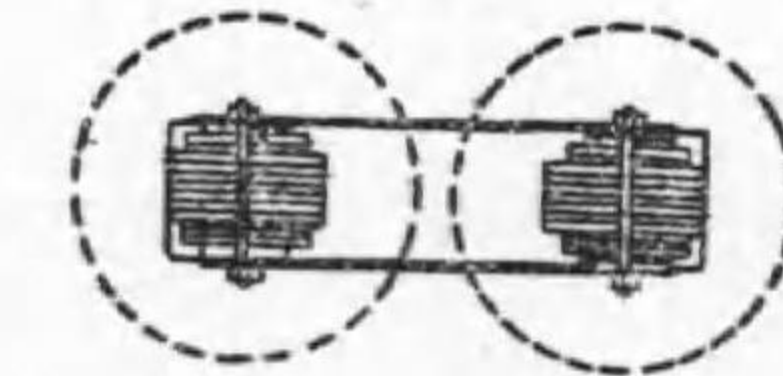
上の如き方法を重ね接續 (Lap joint) と稱するのであるが、此の外衝頭接續 (Butt joint) と云つて第64圖の如く鐵板の端を衝き合して組立て、接目を生じてゐるものもある。前者は接目に於ける渦電流を防止勵磁電流を輕減するが、組立及修理に手數がかゝる。これに對し後者は組立及修理が容易な點で大容量のものに



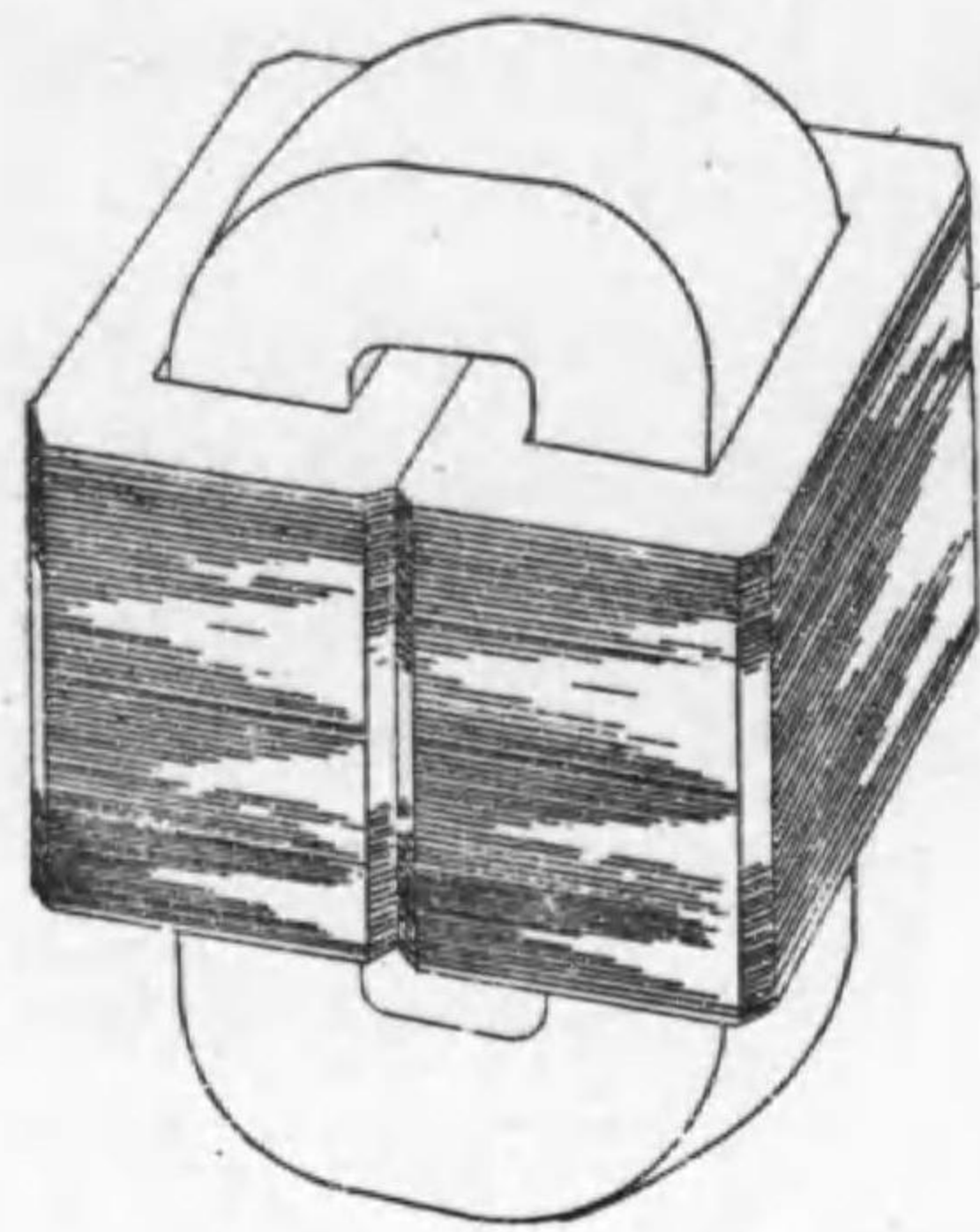
第 6 3 圖

て組立て、接目を生じてゐるものもある。前者は接目に於ける渦電流を防止勵磁電流を輕減するが、組立及修理に手數がかゝる。これに對し後者は組立及修理が容易な點で大容量のものに

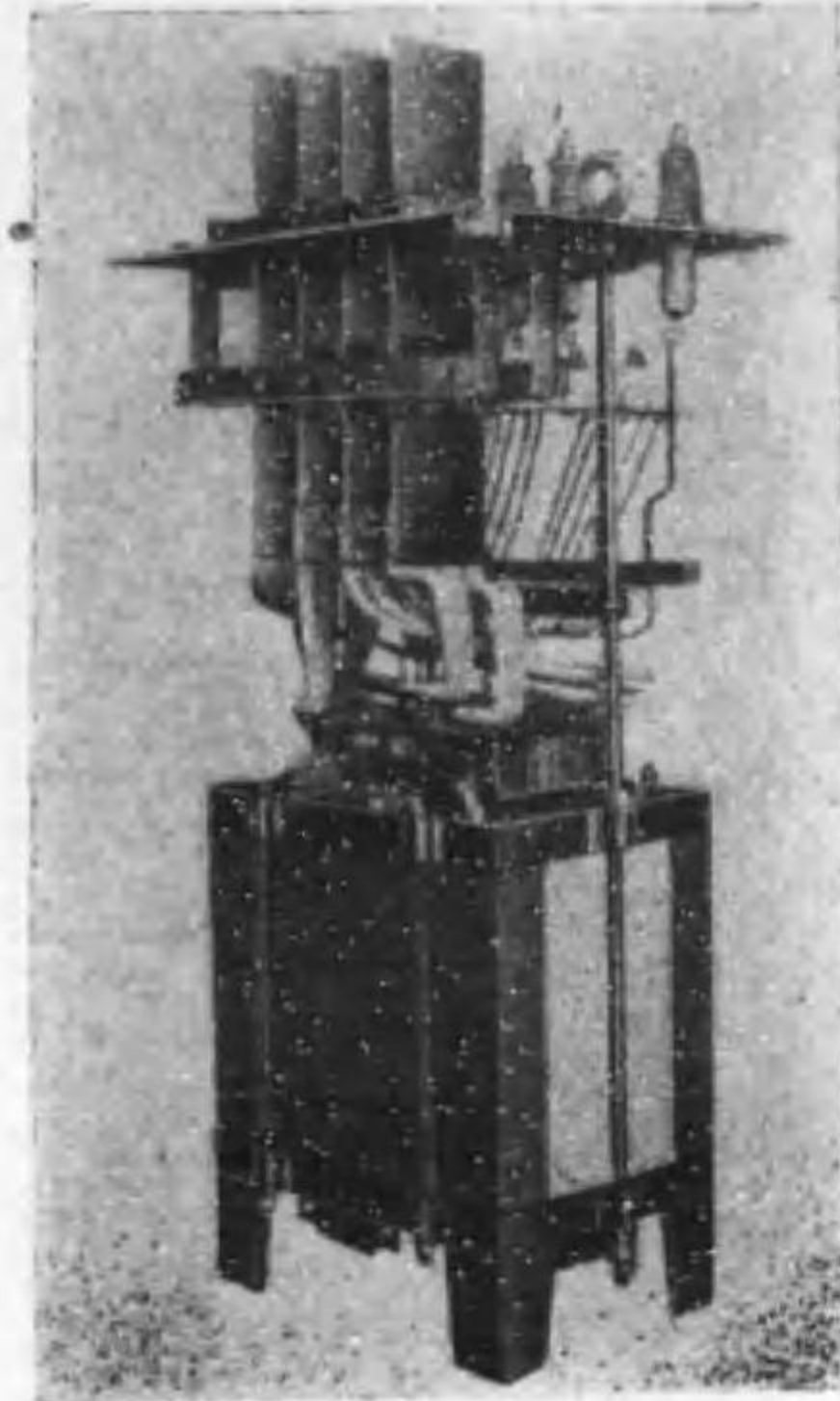
使用されて居る。又線輪を嵌め易くする關係上第64圖の如き形に兩脚を作つたものがある。外鐵變壓器では線輪と鐵心との排列が内鐵型と反對である爲組立法も多少異つてゐる。即ち第65圖の如く線輪を全部立て、並べ、其の周圍に鐵板を積重ねて行くのである。鐵板の並べ方に種々あるが、其の一例は第66圖の様な方法である。即ち外鐵型は磁路が二つに作られるから最初(甲)(乙)二組を並べ次からは(甲)圖の上には(乙)圖のものを



第 6 4 圖



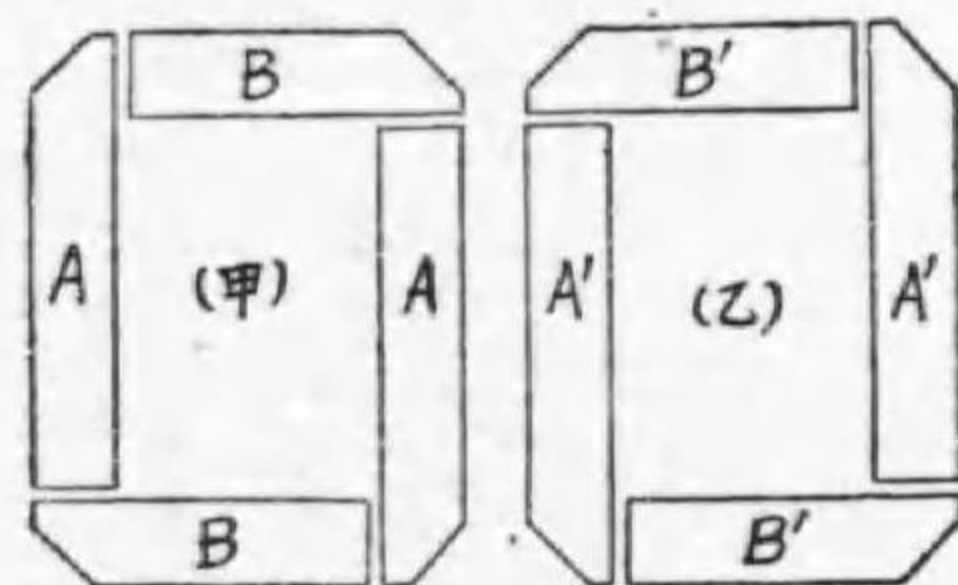
(甲)



(乙)

第 6 5 圖

重ね、(乙)圖の上には(甲)圖のものを並べて、これを繰返し所要の厚みまで積重ねる。



第 6 6 圖

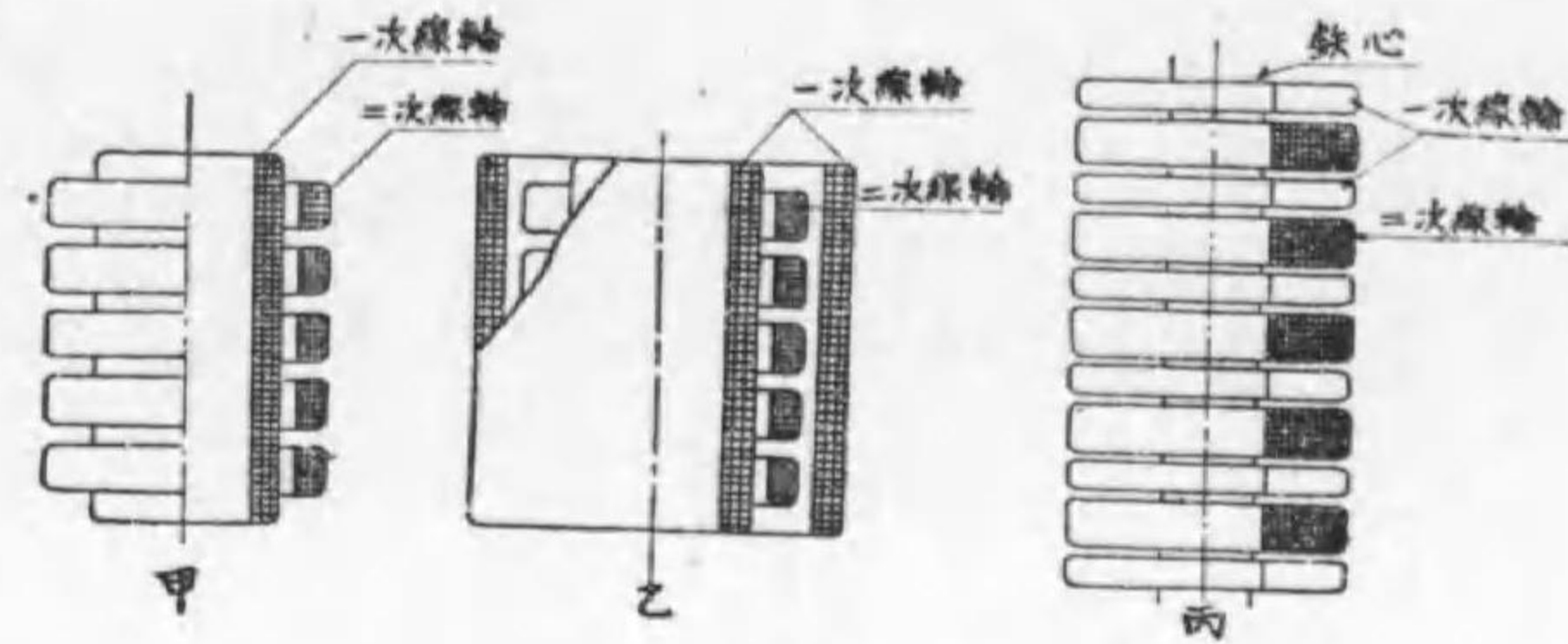
C. 變壓器線輪の構造 變

壓器線輪の構造は小容量のものでは、低壓側も電流が少ないから一重綿捲丸銅線を使用するけれども、一般には一重

綿捲の銅帯を使用する事が多い。高壓側は二重綿捲或はエナメル銅線に一重綿捲を施した丸銅線を用ひる。

線輪の配置は一次線輪と二次線輪とを成る可く密接させて漏洩磁束等による損失を少なくする様に考へなければならぬ。従つて特別

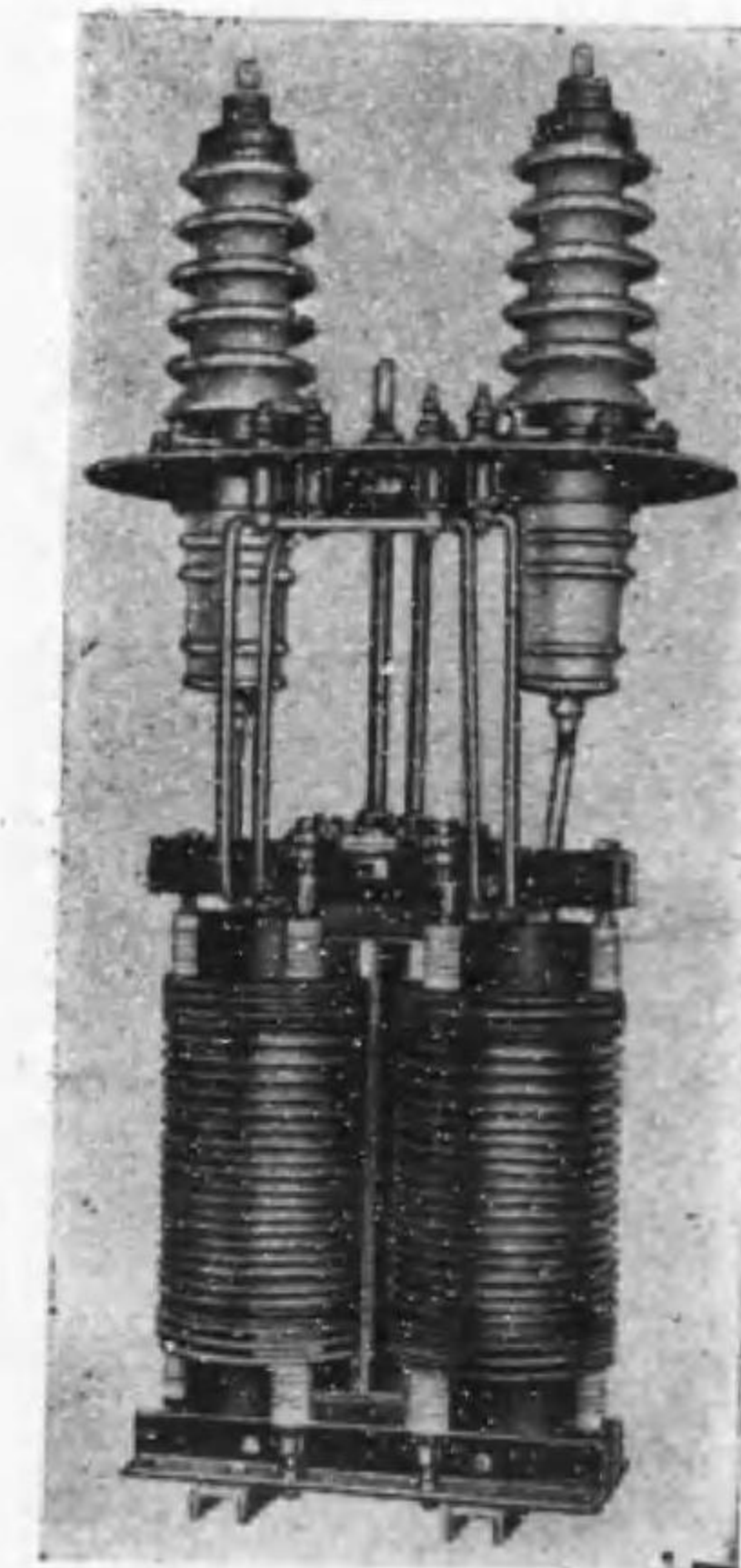
の場合を除くの外は一般に各線輪は數箇に分割され高壓側、低壓側が適當に組合はされるのである。故に内鐵型で屢々略圖に描かれて



第 6 7 圖

る如く一方を一次線輪、他方を二次線輪のみにするが如き事はしない。

内鐵型では一次及び二次線輪を2箇の圓筒狀に造り、一次を内側に、二次を外側に箆め込み、第59圖の様にする。又第67圖甲の如く一次は長き圓筒狀とし、二次は數箇に分割する事もある。同圖(乙)は一次が長き圓筒狀に分られたもので、一次及び二次線輪の空間は絶縁及び冷却をよくする効果がある。又(丙)圖は一次、二次共同様な線輪として交互に排列し磁束の漏洩を少なくしたものである。第



第 6 8 圖

68圖は内鐵型の線輪を鐵心に嵌めたところを示す。

外鐵型は一次、二次線輪共第67圖(丙)の如く扁平に造り、此を堅にして恰度サンドウキチの様に交互に並べて行く。線輪を如何なる配置にするかを定めるには各部の絶縁、冷却、機械的強度、電圧等を考慮に入れねばならぬ。一般に線輪からは一次、二次の引出線が變壓器の外函を貫いて引出されねばならぬ。この際は兩者の間を充分に絶縁する必要があり、電圧に応じて種々の型の套管が用ひられる。

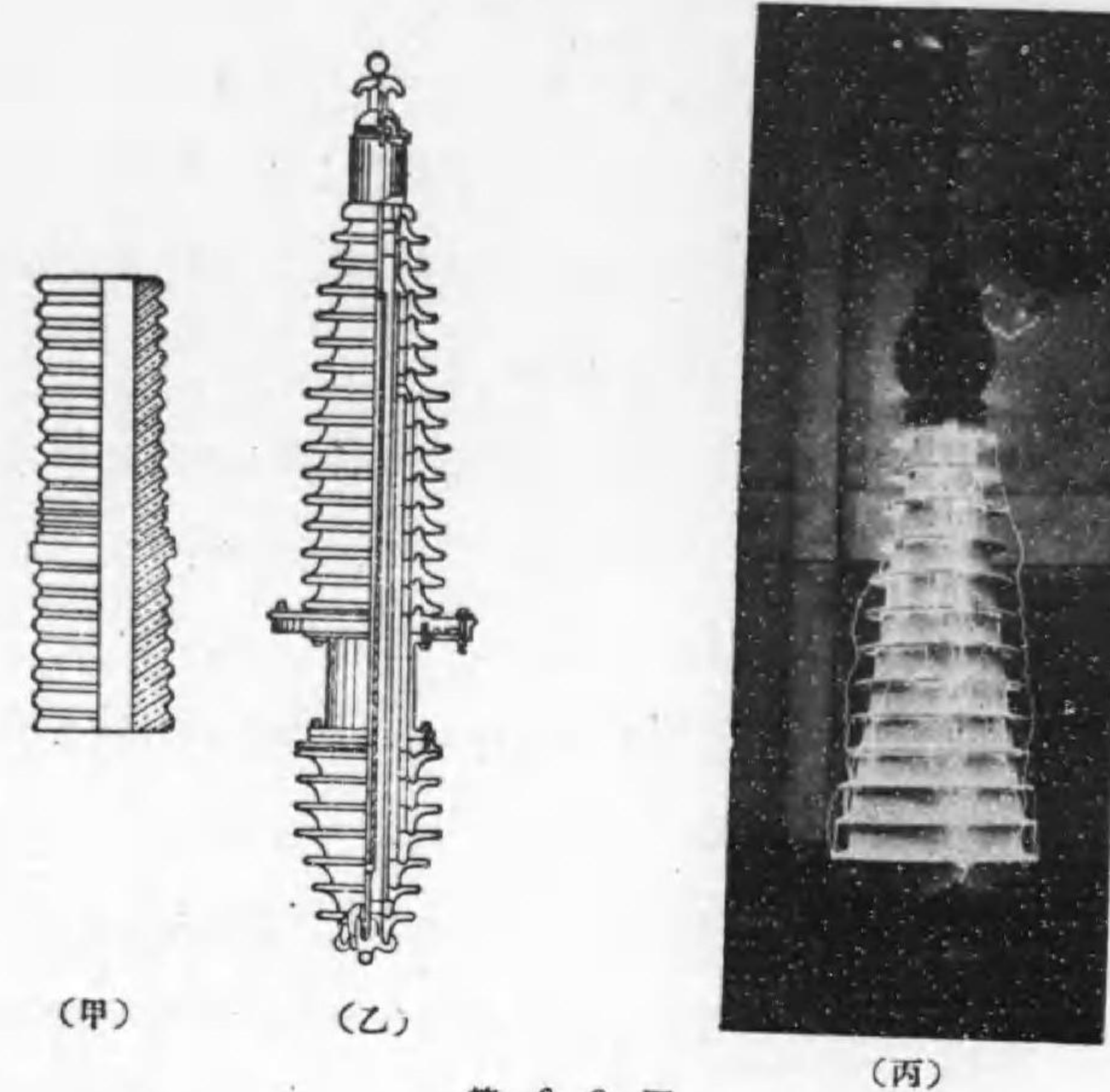
D. 套 管 (Bushing) 變壓器の電圧低き時は單純なる磁器の碍管でよいのであるが、電圧の高いものには此様な簡單なものでは役に立たない。

中位の電圧では大きい磁器性碍管を用ひ、引出線と碍管内側壁との間の空間には絶縁混和物を充填する。電圧が40000V以上になれば、蓄電器型套管又は油充填式套管を用ひる。

蓄電器式套管と稱するのは引出導線の周圍に絶縁紙と薄き金屬板(多くは錫箔を用ふ)とを交互に、恰度切り口が筍の皮の様に捲き、各層間の静電容量を等しくしたものである。此の様にすると各層に加はる電圧が均一になるので絶縁耐力が増大するわけである。

以上の如くして作つたものに、最後に絶縁筒を嵌めて、其の間に絶縁油或は絶縁混和物を充填する。

次に油充填式の方は、第69圖丙の如く大きな套管に金屬管を貫通させ、金屬管と外壁の間に絶縁油を入れ又上下兩端は銜を有する磁器製輪を重ねて密着せしめ、其の中間を外函に取付るに便利な様に



第 6 9 圖

鑄鐵製筒にて結んである。

然し蓄電器型では、油中にある部分がコロナ放電等の爲に漸次侵されて、有効壽命が短縮される怖があり、油充填式の方は油が絶えず少しづつ漏洩するから注意を要する。然し此の種のものには套管の上部に硝子球を附して油の存在程度を知るのに便利な様にしてある。

57. 變壓器の冷却装置

變壓器に電流を流して使用すると、他の電氣機械と同様に鐵損や銅損が生じ、之等は皆熱に變じて變壓器各部の溫度を上昇させるも

ので、大容量になる程其の値が大きくなる。温度が一定以上の値(約95°C)になると絶縁を悪くする事になるから温度上昇を或程度に止めねばならぬ。所が変圧器は他の電気機械と異なり廻轉部がないから熱の放散には極めて都合が悪い。故に種々の冷却法を講じてゐる。之れを大別すると次の如くなる。

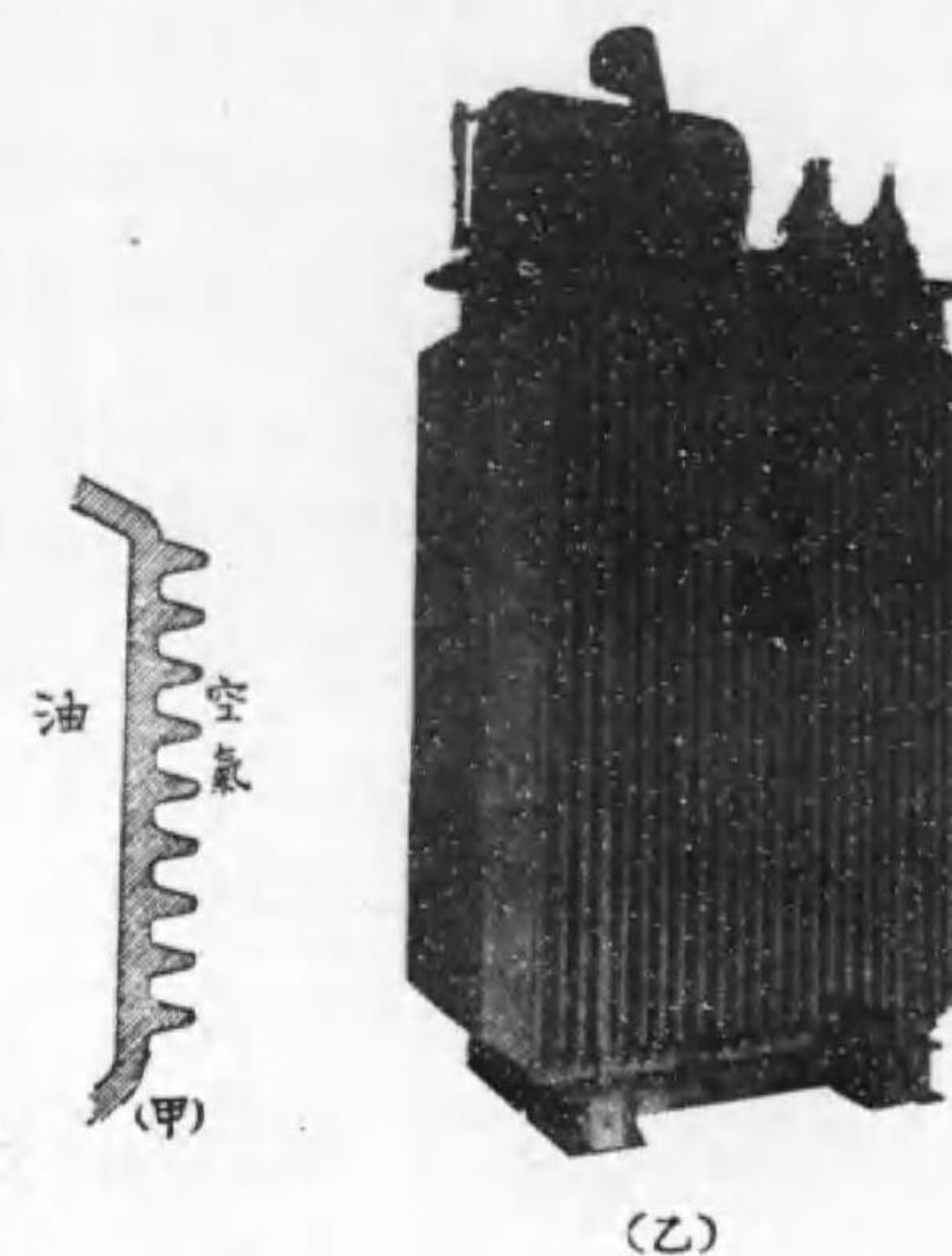
- (1) 自冷變壓器 (Natural air cooled transformer)
- (2) 油冷變壓器 (Oil cooled transformer)
- (3) 送風變壓器 (Air blast transformer)
- (4) 油入水冷變壓器 (Oil immersed water cooled transformer)
- (5) 循環油冷變壓器

(1) 自冷變壓器 小容量のものでは冷却が問題でないから、自然に任せて其の儘にしてあるか、又は鐵心を唯鑄鐵製外函に收めるだけである。之れを自冷式と稱して25K.V.A.位迄は製作し得られ現在では普通高壓の計器用變壓器や電鈴用變壓器等に應用されてゐる。

(2) 油冷變壓器 此れは外函の中に油を入れ、線輪や鐵心は油中に浸されるものである。現在では小は1K.V.A.位の柱上變壓器から、大は數百K.V.A.の變電所用變壓器に至る迄極めて廣く用ひられてゐる。

此の如く油を用ひると、第一油は比熱が大きいから鐵心や線輪の温度が上り難い。又内部に浸み込んでよく熱を奪ひ去ると同時に對流に依つて此の熱を表面に運び去つて終ふ。第二には油は絶縁耐力が大きいから絶縁を有効ならしむる利點がある。

内部に生じた熱は、外函に傳はり其の外面から大氣中に放散されるのであるが、大容量のものでは、外面の冷却面積だけでは不足を感じるから、此れを増大する目的で外函の表面を種々なる形に工夫される。例へば20K.V.A.~100K.V.A.位では第70圖(甲)の如く薄き突起を作る。又容量が此れ以上になれば同圖(乙)の如く外函は薄き



第 7 0 圖

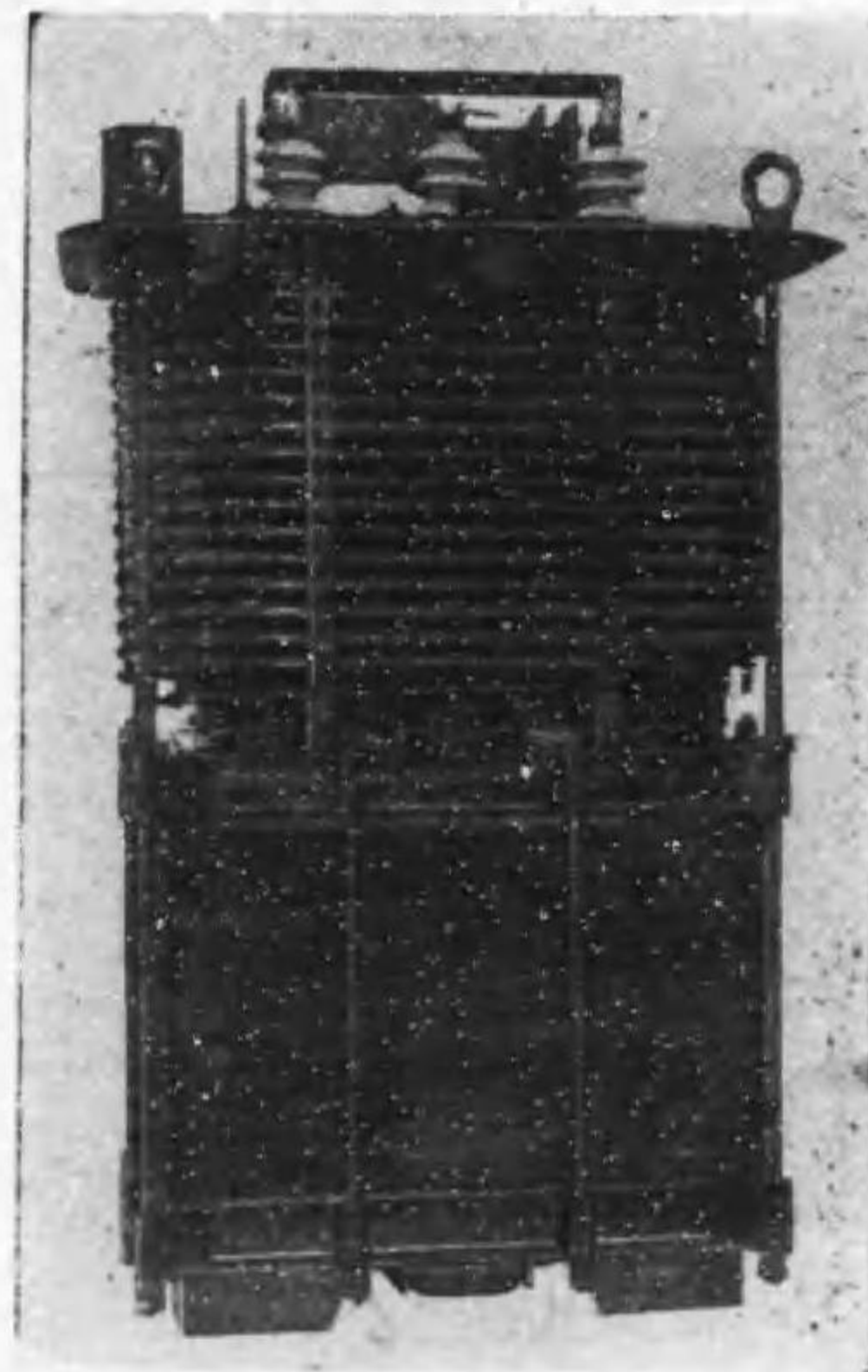


第 7 1 圖

鐵板で造り、此れを波形に曲げて所謂波形函として冷却面積を増大する。

近時後述の強制冷却法の行ひ得ない所、例へば自働發電所の如く監視人の居ない所、又は人家の密集して居る市内などでは油冷式大容量のものを作り放熱管式(Radiator type)にする。これは第71圖の如く外函に澤山の冷却管を取り付け油の對流を利用して有効なる冷却を行ふものである。即ち熱せられた油は比重が減少して上部に昇り、一方放熱管中の油は冷却されて下方に下るから都合良く油の循環が行はれる此種のものでは、500K.V.A. 或は其れ以上の大容量のものが作られる。

(3) 送風變壓器 冷却用水が容易に得られず又電壓も餘り高くない時は扇風器で強制通風する事がある。送入空氣の量は損失1ワットに付き4立方米位要する。



第72圖

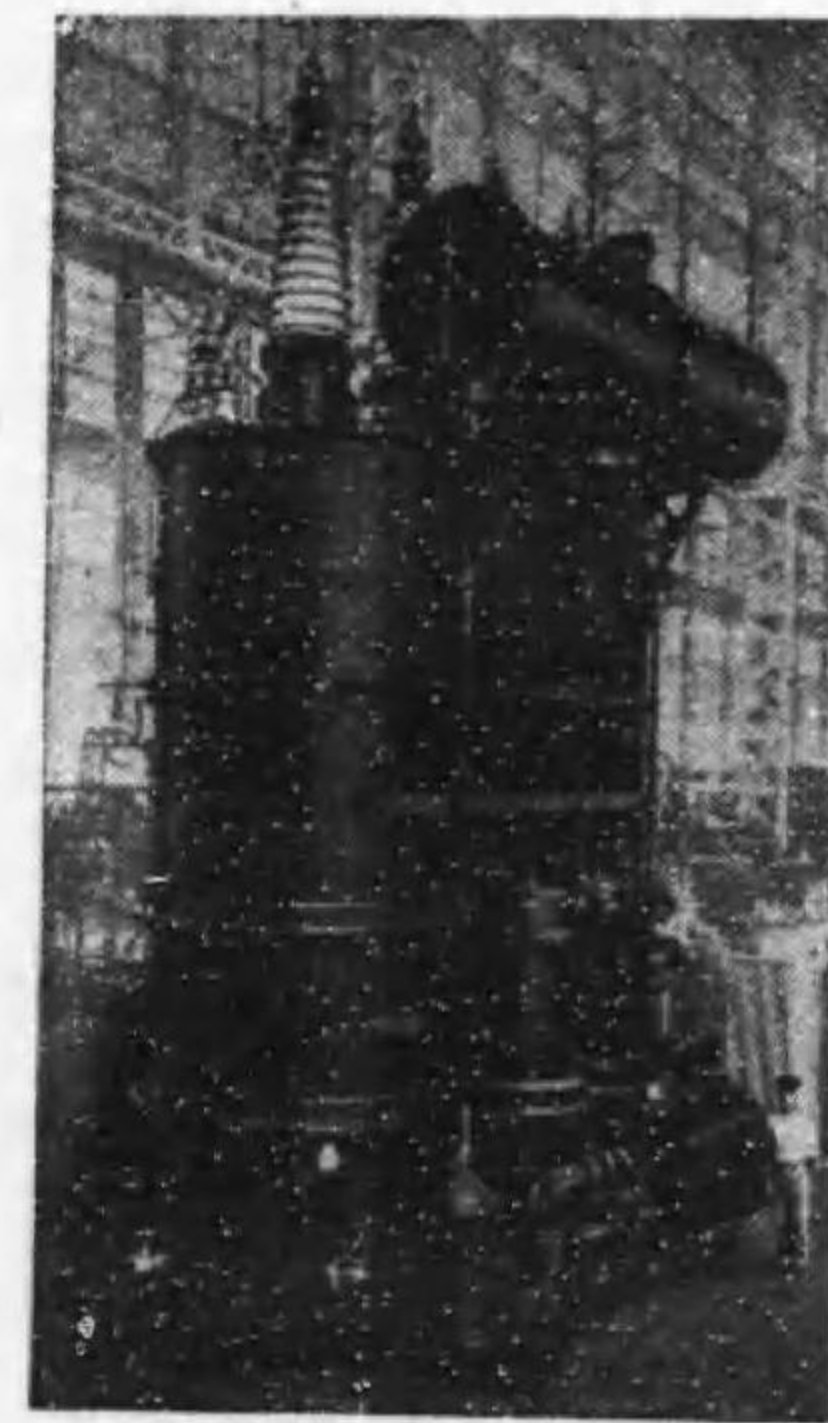
(4) 油入水冷變壓器 自然冷却式では間に合はぬ位の大容量になれば、第72圖の如く線輪上部、即ち外函の上層部に蛇管を設け、之れに唧筒で水を循環させて油の熱を奪ひ去らせる。之が油入水冷式で、數千K.V.A.迄製造せられる。冷

却水を容易に得られない時には冷却水を循環させなければならぬ。其の點水發電所は水が豊富であるから、自然の落差を應用して蛇管に通水する事が出来、非常に便利である。

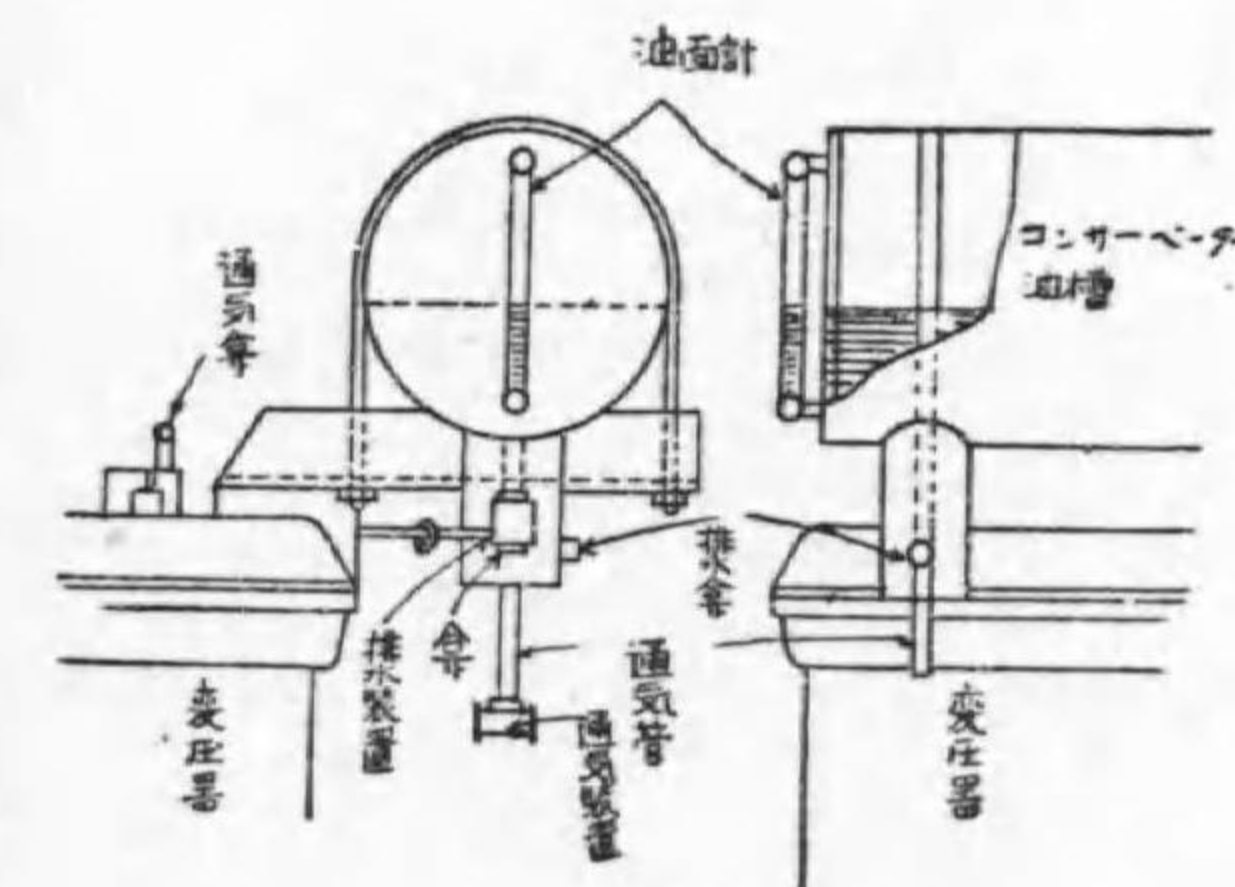
(5) 循環油冷變壓器 之は變壓器内の油を函外に誘出して冷却し、それを再び器内に返すと云ふ風に循環させるのであるが、水冷式程用ひられない。

オイル・コンサーベーター (Oil conservator) 變壓器の冷却には影響はないけれ共、大容量變壓器にはオイル・コンサーベーターと云ふものを取付ける事が屢々ある。是れは第73圖の如く變壓器外函の上部に取り付けた鐵板製圓筒で、變壓器外函とは鐵管或は眞鍮管で油の連絡を取つてある所の油槽にすぎない。此の目的は次の點にあ

る。
近來變壓器は屋外に設置せられる



(甲)



(乙)

第73圖

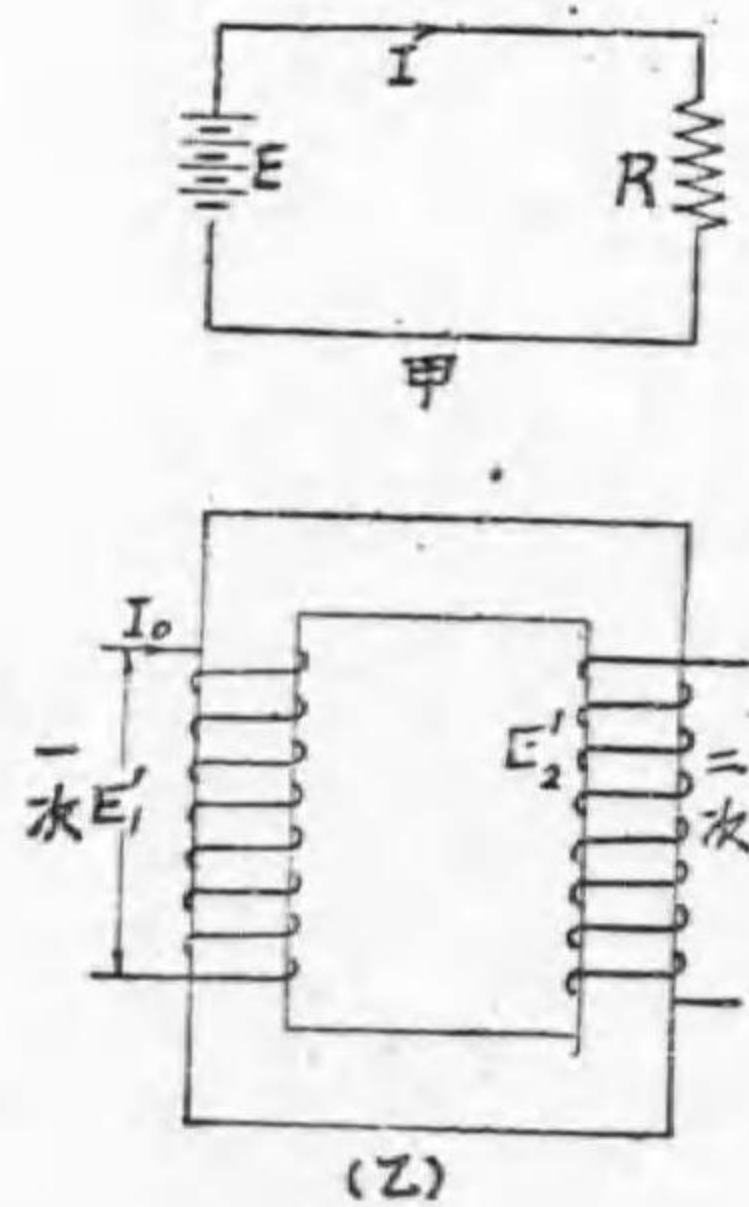
事が多いから若し油面上に空所があると濕氣が入つて絶縁を害し、

又温度の變化に伴つて油面が上下し、爲に空氣が出入する場合がある。所が第73圖の如く小油槽を設けて、油面を外函の上迄上昇させたならば油面の上下も、コンサーベーターの上面に現はれるだけで函内に空氣の浸入することがない。

尙コンサーベーターに出入する空氣は通風装置を通るのであるが此處で豫め鹽化カルシウム内を通過せしめて濕氣を除去する。

第十章 變壓器の理論

58. 勵磁電流、一次及二次起電力



第74圖

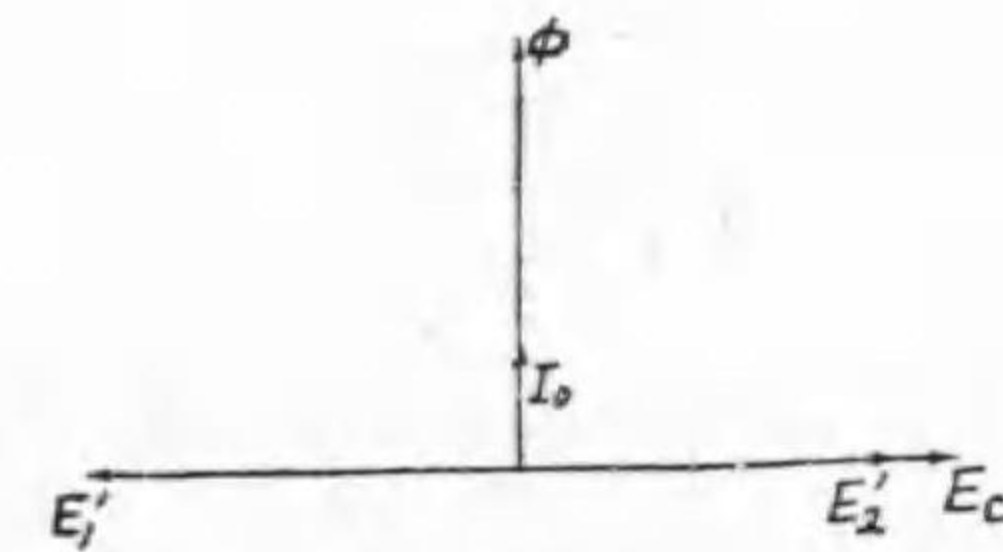
第74圖(甲)の如く、電壓Eの直流電源に抵抗Rを接続すれば、電流Iと抵抗Rとに依る反起電力がR内に起り此れが給與電壓Eと相殺し平衡を保つものである。

それと同様に、同圖(乙)の如き變壓器の一次線輪に電壓 E_1 を加へると、線輪に抵抗がないものとするれば一次線輪に起る反起電力 E_c と給與電壓 E_1 と相殺する迄、磁束を増加して行く様に I_0 が流れて

遂に平衡を保つ様になる。而してイムピーダンスが大であるから、 I_0 は決して大きな値にはならない。此の I_0 を勵磁電流 (Exciting current) と稱へる。

勵磁電流 I_0 に依つて作られた磁束は、電流の變化と同位相的に變化し、若し磁束の漏洩なきものとすれば、全磁束は一次及二次線輪に鎖交する事は勿論である。其の結果一次及二次線輪には誘導作用の理に依つて、交番起電力が起る。之れを一次起電力 E_c 、二次起電力 E_2' と稱へる。而して前にも述べた通り兩線輪には同一磁束数が鎖交するものと考へてゐるから、此の場合は各線輪の一捲に發生する起電力の大きさは等しいのが當然である。

以上の關係をベクトル圖にて表はすと第75圖の如くなる。即ち一次側に給與電壓 E_1' を加へると誘導リアクタンスの爲に(抵抗を無視する)電壓より 90° 遅れて I_0



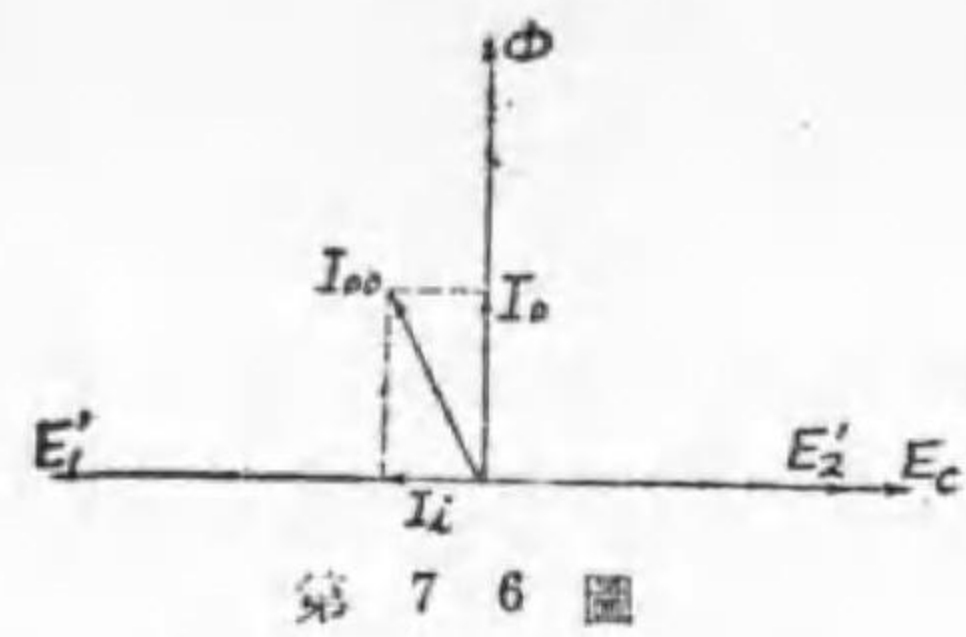
第75圖

が流れ磁束 Φ を作る。此の Φ の爲に E_1' に反對する逆起電力 E_c が出来る。又 Φ は二次線輪をも同時に貫くから Φ より 90° 遅れて E_2' が出来るので

ある。

而して前には線輪には抵抗なきものと假定し、又磁束の漏洩は全然なきものとして考へて來たが實際には、誘導係數の外に抵抗もあり、又鐵心を使用してゐるのであるから、渦流損やヒステリシス損の出来る事は已むを得ない。尙漏洩磁束も出来るから、それに對す

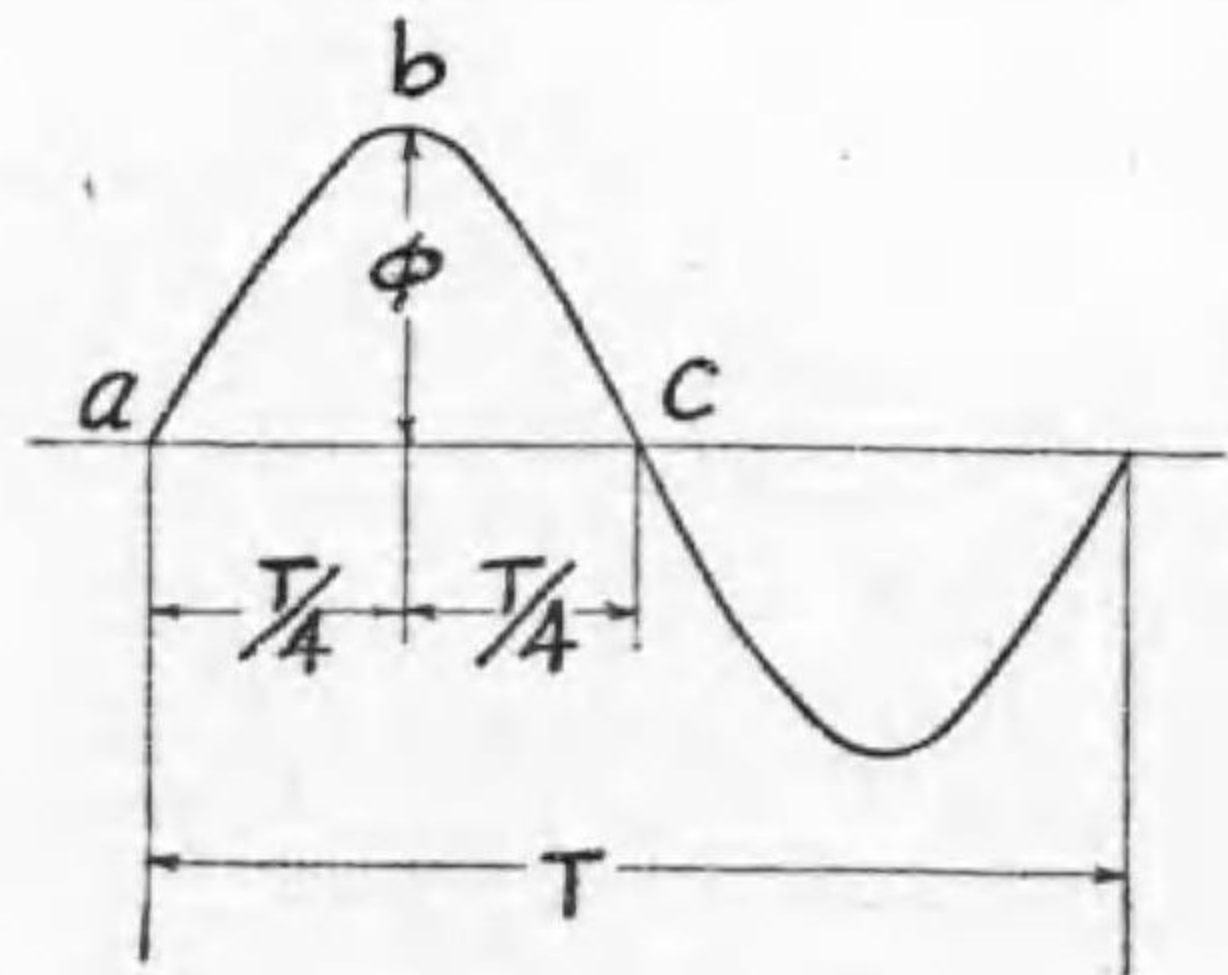
る餘分の電流が要る筈である。以上の事を考慮すれば實際の勵磁電流は I_0 より種々の損失に打勝つだけ大きくなければならぬ。然かも抵抗等が存在するから I' は E_1' より正しく 90° 遅れずして、其れよりも少くなる。即ち第76圖の如く、實際の勵磁電流は I_0 で表はされる。而して I_0 は Φ を作るべき I_0 と、種々の損失を補ふ I_1 とに分割して考へる事が出来る。前者を磁化分力 (Magnetizing component) と云ひ、後者を鐵損分力 (Iron loss component) と呼ぶ。



第 7 6 圖

59. 誘導起電力の大きさ

變壓器の鐵心内を通つて各線輪と鎖交する磁束は交流で作られるのだから、それと同じ變化をなす事は明かである。



第 7 7 圖

今一次線輪に正弦波交番電圧が加えられて居るとすれば、それによつて生ずる磁束も亦正弦波になる。今その最大値を Φ_m とし、周期を T とすれば、第77圖に於

て a 點より $\frac{T}{4}$ 秒間に零より b 點の Φ 迄増加する。即ち a より b 迄の $\frac{T}{4}$ 秒間に一次及二次線輪の一捲きと鎖交する磁束數の變化は Φ である。従つてこの $\frac{T}{4}$ 秒間に線輪の一捲に起る平均起電力 E_a は鎖交磁束數の 1 秒間の變化の割合に等しいから、

$$E_a = (\Phi \div \frac{T}{4}) \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

然るに $T = \frac{1}{f}$ であるから、

$$E_a = 4 \Phi f \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots\dots (22)$$

同様に bc 間、 cd 間等何れの $\frac{T}{4}$ 秒間をとつて考へても其の平均起電力は常に E_a ヴォルトである。

次に一捲の線輪に起る起電力の實効値 E を求むれば、

$$E = E_a \times \text{波形率} = 1.11 \times E_a$$

即ち

$$E = 4.44 f \Phi \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots\dots (23)$$

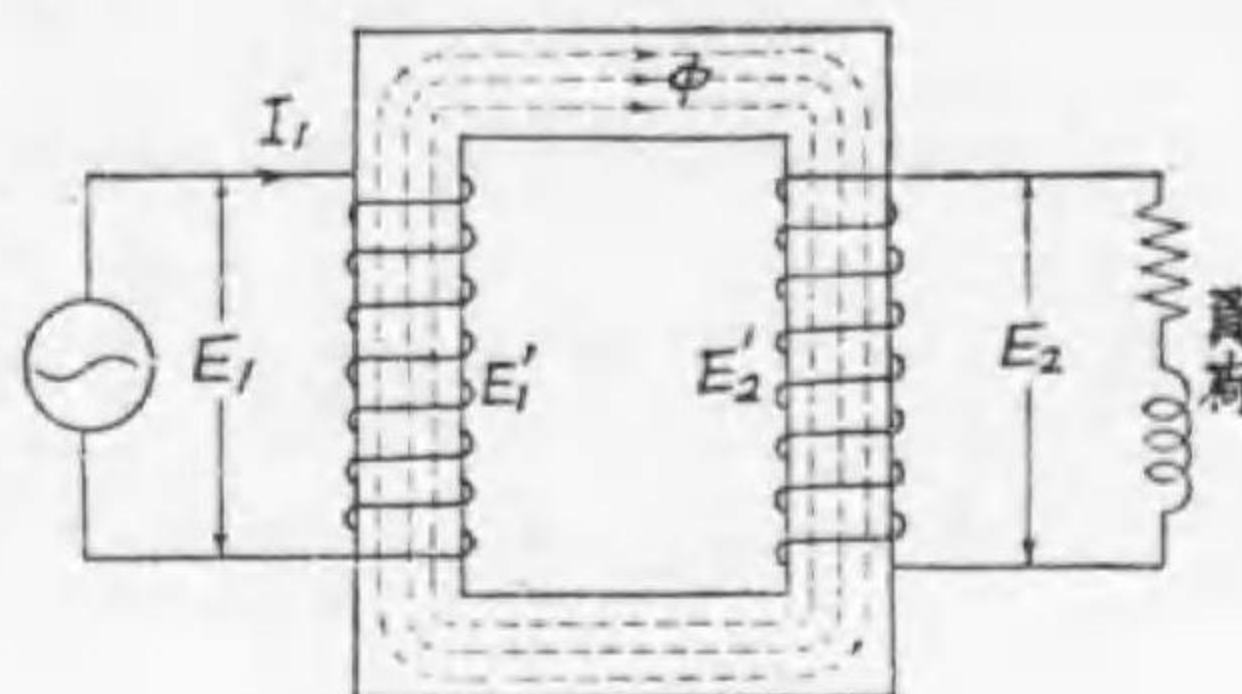
故に一次及二次線輪の捲數を各々 n_1, n_2 とすれば、各線輪に起る誘導起電力の實効値は次の式で表はされる。

$$\left. \begin{aligned} \text{一次}(E_1) &= 4.44 f \Phi n_1 \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \\ \text{二次}(E_2) &= 4.44 f \Phi n_2 \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \end{aligned} \right\} \dots\dots (24)$$

60. 二次負荷電流及一次負荷電流

第76圖の關係は二次線輪を開放した場合、即ち二次側を無負荷とした時のものである。

然るに第78圖の如く二次側に負荷をつないで、二次電路を閉ずれば、二次線輪には E_2' なる起電力が出来て居るから、



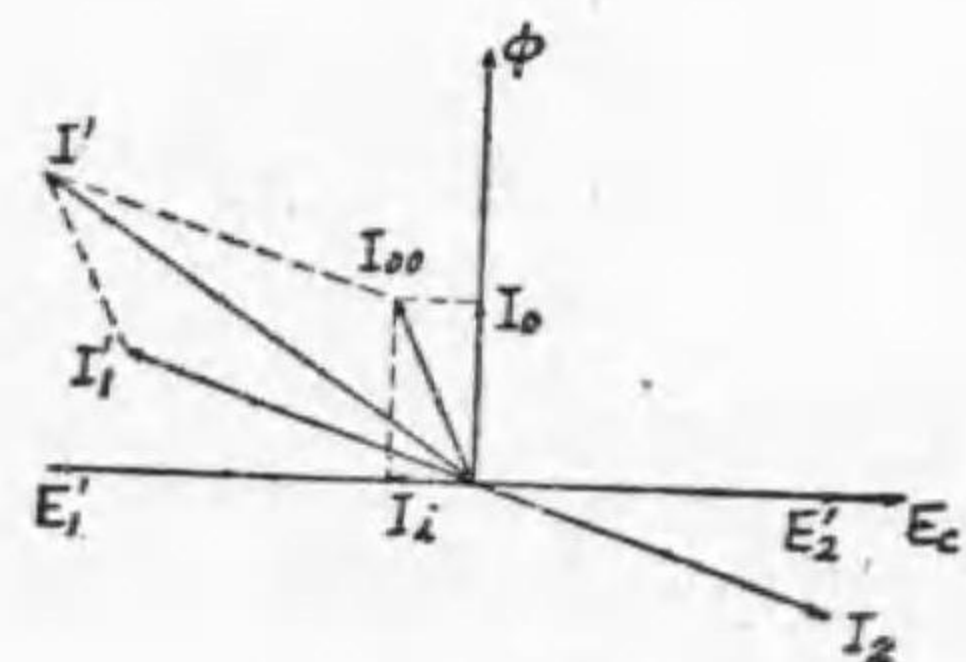
第 7 8 圖

負荷に相應した負荷

電流 I_2 が流れる。此の電流を二次電流と稱し、一般に二次電壓よりも位相が遅れて居る。

所が新たに二次電流が流れると、無負荷の時の電壓、電流の関係よりも今少し複雑となる。即ち I_2 が流れると I_0 の作る Φ の外に新たに磁束を作る。此の磁束は一次線輪が作った Φ に反對する様な位相を有つてゐるから此のまゝ放置すれば Φ の値が減少して E_c の値が變る。所が供給電壓が不變である限り $\Phi \cdot E_c$ の値は不變である。

其處で一次側では勵磁電流 I_0 の外に二次電流 I_2 とは方向反對の I_1' が流れて I_2 に依る磁束を打消し、 Φ 丈の磁束を元通りに保たうとする。故に一次側には I_0 と I_1' との合成電流 I_1 が流れる。此



第 7 9 圖

の I_1' を一次負荷電流と云ひ、

I_1 を一次電流と稱する。

以上の関係をベクトル圖で表はすと第79圖の如くで、負荷状態に於ける電壓、電流の關係を示したものである。

I_1' は I_2 の増減に應じて變化するが、 I_0 は負荷の大小に係らず略々一定で其の値は全負荷を掛けた時の一次電流の約 2 ~ 3 % 程度のものである。

61. 捲 數 比

今一次及二次誘導起電力の比を取つて見ると、

$$\frac{E_c}{E_2'} = \frac{4.44 \phi f n_1 \times 10^{-8}}{4.44 \phi f n_2 \times 10^{-8}} = \frac{n_1}{n_2} = a \dots\dots\dots (25)$$

一次誘導起電力 E_c はそれに打勝つ爲に加へたる E_1' に等しいから、第25式は、

$$\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{n_1}{n_2} = a \dots\dots\dots (26)$$

となる。上の $\frac{n_1}{n_2} = a$ を變壓器の捲數比 (Turn ratio) と稱し、變壓器には重要な數値である。

次に一次側端子に加へられた給電壓を E_1 とすれば、 E_1 は E_1' と一次側電壓降下との合成であるが、其の電壓降下を無視すれば、 E_1 は略々一次起電力 E_1' に等しいから $E_1 \doteq E_1'$ となり、又二次側に於ても同様に電壓降下を無視すれば端子電壓 E_2 は略々 E_2' に等しくなるから $E_2 \doteq E_2'$ となる。故に

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = a \dots\dots\dots (27)$$

60節で述べた様に、二次側に負荷電流 I_2 が流れると、 $I_2 n_2$ アムペアターンに相當する磁束を作るから、此れを打ち消して一次回路の平衡を得る爲に、何時でも一次線輪と鎖交する磁束は、 Φ に保たな

ければならぬ。其の爲に一次側に I_1' が流れて $I_1' n_1$ アムペアターンを作つてゐる。故に

$$I_1' n_1 = n_2 I_2$$

でなければならぬ。即ち

$$\frac{I_1'}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{a} \dots\dots\dots (28)$$

一次電流 I_1 は前述の如く I_1' と I_{00} とのベクトル和であるが、 I_{00} は I_1' に比べて極めて僅少であるから、 $I_1 \approx I_1'$ とすれば、第28式は次の如くなる。

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{a}$$

即ち一次電流と二次電流との比は略々捲數比の逆數に等しい。

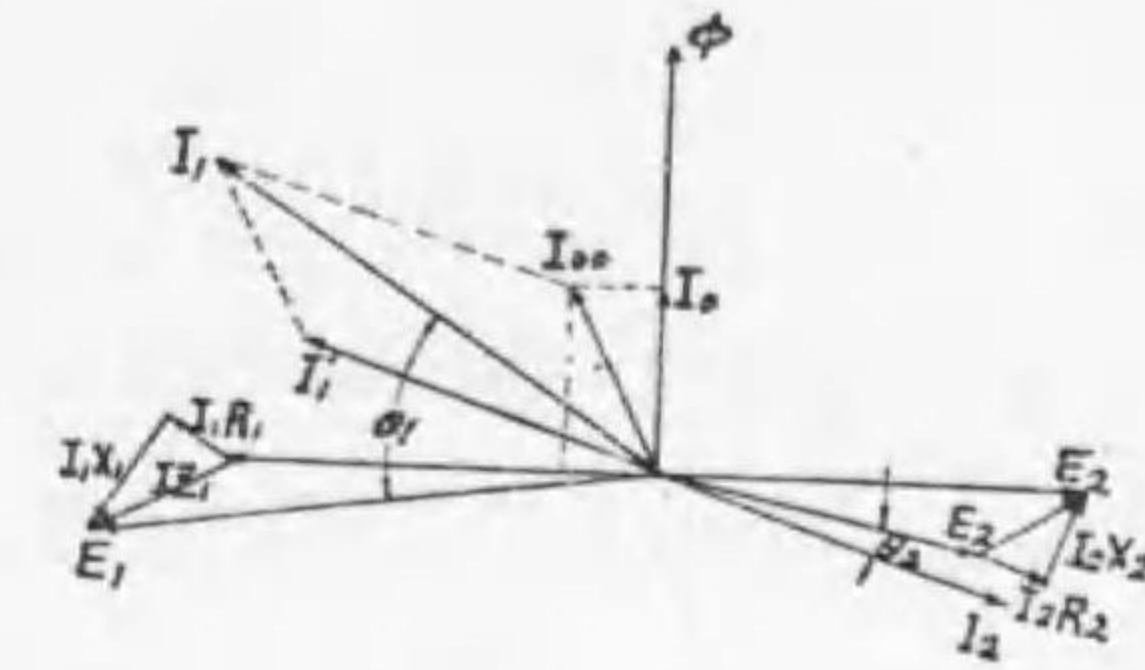
62. 端子電壓と誘導起電力

一次線輪の端子に給與される電壓を一次端子電壓と稱し、二次線輪の兩端間の電壓即ち負荷に加はる電壓を二次端子電壓と云ふ。今二次側に負荷をつないで一次及二次電流を流すと各線輪は夫々抵抗及リアクタンスを持つて居るから電壓降下の生ずる事は免れない従つて一次起電力 E_1' が是非必要であれば、一次端子電壓は E_1' の外に降下する電壓だけ餘分に加へねばならぬ。

又二次側では誘導起電力は E_2' であるが負荷電流 I_2 のため線輪中に電壓降下が起るから之れを E_2' より引去つた残りが二次端子電壓 E_2 となる。

以上の關係をベクトル圖で示すと第80圖の如くなる。即ち一次電

流 I_1 に依つて I_1 と同位相に $I_1 R_1$ (R_1 は一次線輪の抵抗) 又 I_1 より 90° 進んで $I_1 X_1$ (X_1 は一次線輪のリアクタンス) の降下がある。この二つの電壓降下を合成した $I_1 Z_1$ を E_1' に加へれば E_1 が得られる。



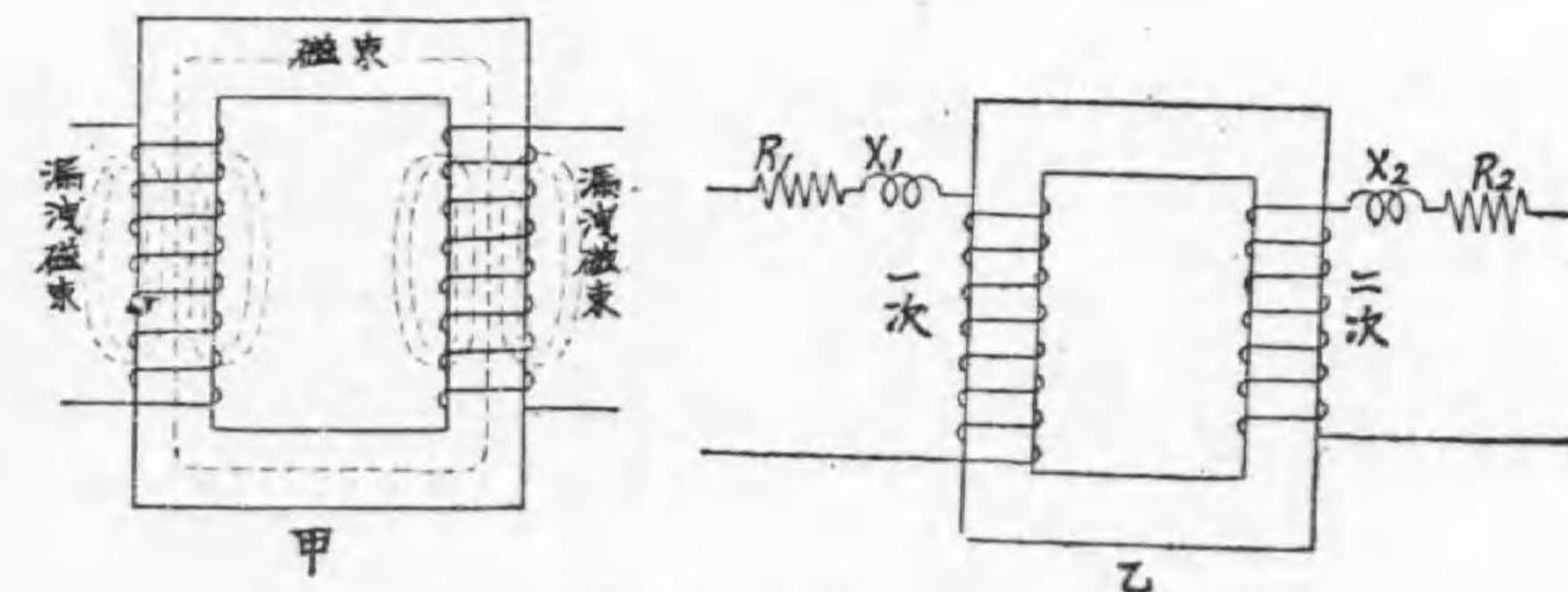
第 8 0 圖

同様にして二次側では起電力 E_2' から二次線輪内の R_2 と X_2 とによつて生ずる $I_2 R_2$ と $I_2 X_2$ との合成 $I_2 Z_2$ の電壓を引去つて E_2 を求むる事が出来る。

然して此等一次電壓降下或は二次電壓降下は全負荷の時でも夫々一次端子電壓の約 5 - 6 % 以下の値である。

63. 等 價 回 路

(A) 回路の表はし方 最初變壓器の理論を考へた時は、線輪に



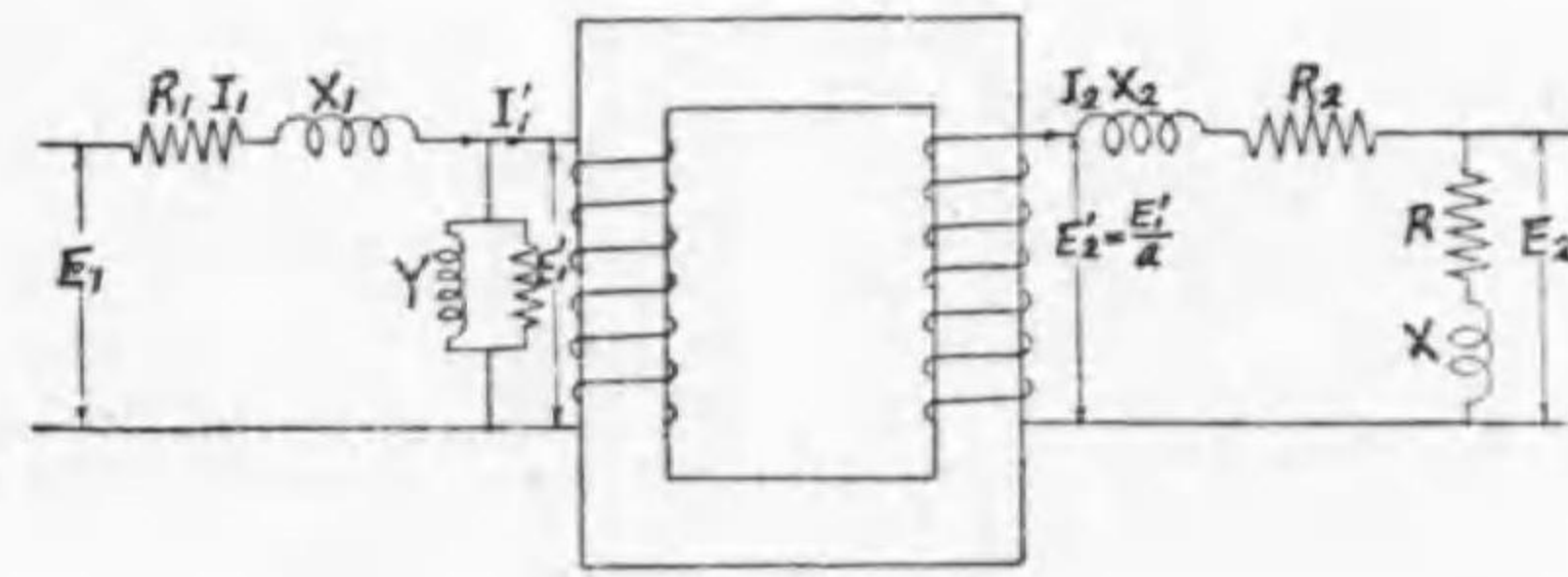
第 8 1 圖

は抵抗なく、又一次線輪の作った磁束は全く漏洩なしに、一次及び二次線輪と鎖交し、且つ二次負荷電流に依つて生ずる磁束も全部一次線輪に鎖交するものと考へて來た。然し前節でも述べた如く實際は第81圖(甲)の様に一次線輪に依る磁束の一部分は二次線輪を貫かずして自身の線輪だけに鎖交する。又二次側の分も同様である。此等各自身の線輪だけに鎖交して他の線輪を貫かない磁束を漏洩磁束と稱へる。

此の漏洩磁束を一ヶ所に集中して考へると、これは明かに一つの自己インダクタンスである。此の如く漏洩磁束を代表するインダクタンスを漏洩インダクタンスと云ひ、之れを各線輪に直列に接続したものと取扱ふ事が出来る。

次に各線輪の抵抗も分布してゐるものであるが、之れを一箇所に集中して考へれば無漏洩、無抵抗なる變壓器に上の漏洩インダクタンス及抵抗を直列に入れたもの即ち第81圖(乙)の様な状態と見る事が出来る。

此の様に次第に變形して行つたものを更に進んで考へると勵磁電流は必ずしも一次線輪中を流れると考へずとも差支なく、第82圖の



第 8 2 圖

様に恰度勵磁電流を流す丈のアドミッタンス Y を一次線輪と並列に假想して I_1' と別れるものと見ても何等不都合を來たさない。

(B) 二次を一次に換算すること並に等價回路

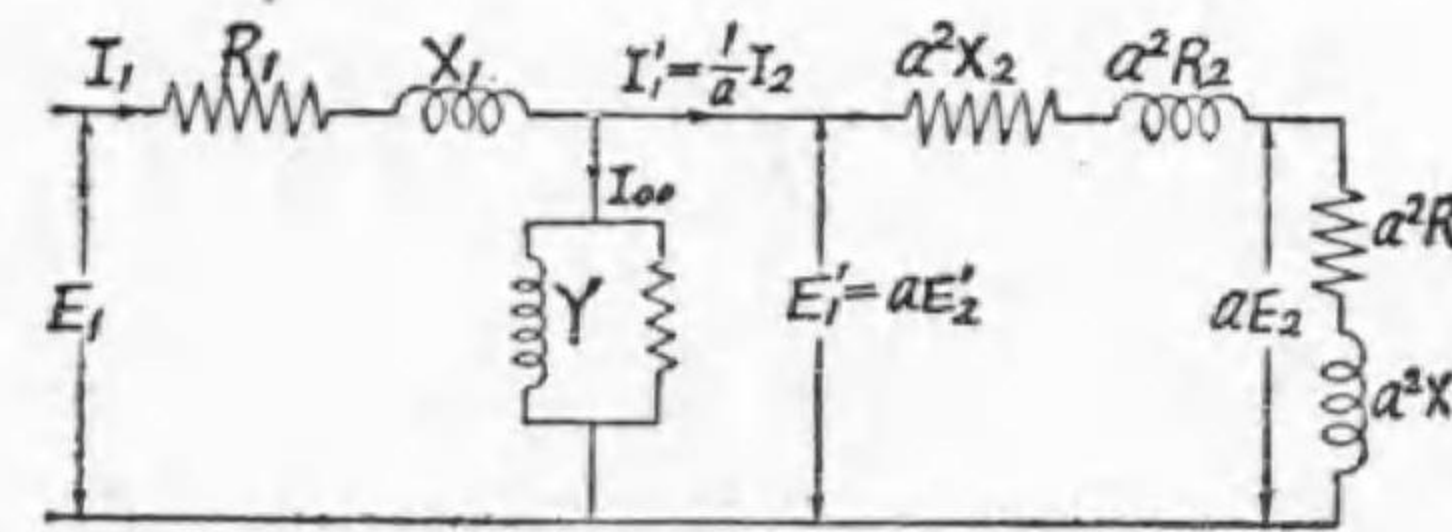
一次と二次との誘導起電力 E_1' と E_2' との關係は前述の通り

$$\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{n_1}{n_2} = a \quad \therefore E_1' = a E_2'$$

換言すれば E_2' を a 倍すれば E_1' と等しくなり恰度二次側の巻数を一次と同一と見做した時の値となる。

又 I_2 を作る要素は I_1' であつて、 $I_1' = \frac{1}{a} I_2$ であるから $\frac{I_2}{a}$ を考へれば、 I_1' を取扱ふのと同じである。

此の如く二次起電力 E_2' 及二次電流 I_2 を一次起電力 E_1' 及負荷分力 I_1' に等しくなる様に換算して考へると鐵心上に捲かれた兩線輪には關係なく、一次及二次間を第83圖の如くつなぎ合はす事が出来る。勿論二次側の電壓降下も其れに適合する様に換算して置かねばならぬ。此の様にして得た回路を等價回路 (Equivalent circuit) と稱へ、電壓電流の計算上大いに役立つものである。



第 8 3 圖

二次抵抗降下を一次に換算すると

$$I_2 \times (R_2 \times a) = I_1' \times a \times R_2 \times a = I_1' a^2 R_2$$

となつて一次回路に對して $a^2 R_2$ があるのと同じの結果となる。

同様にして等價リアクタンスや、等價イムピーダンスを求めれば次の如くなる。

一次に換算した二次等價リアクタンス $= a^2 X_2$

同 上 イムピーダンス $= a^2 Z_2$

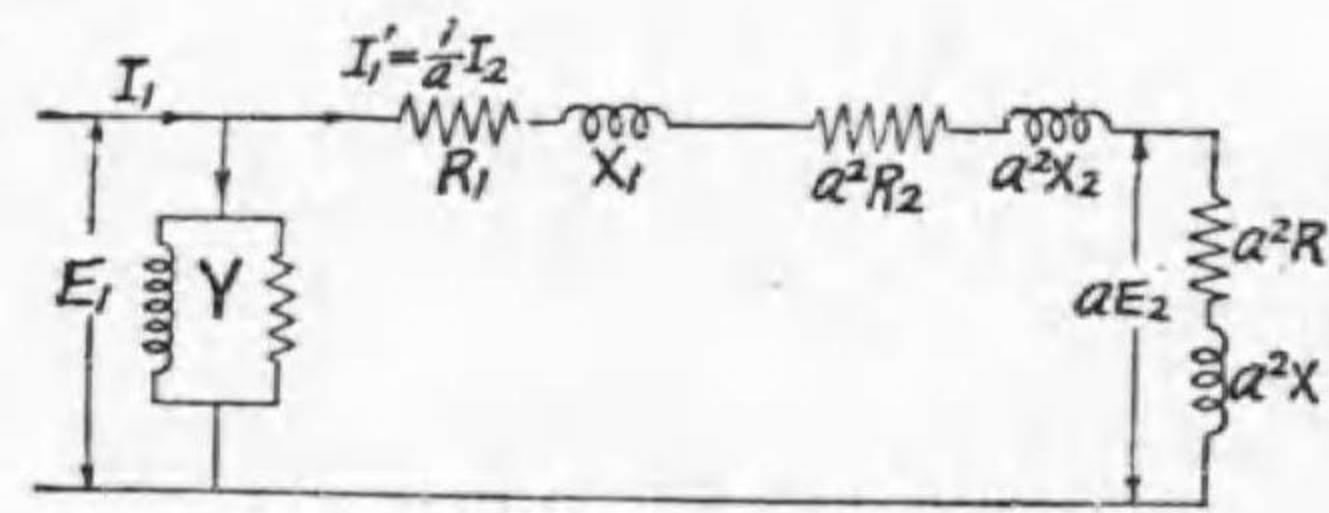
同 上 負荷抵抗 $= a^2 R$

同 上 負荷リアクタンス $= a^2 X$

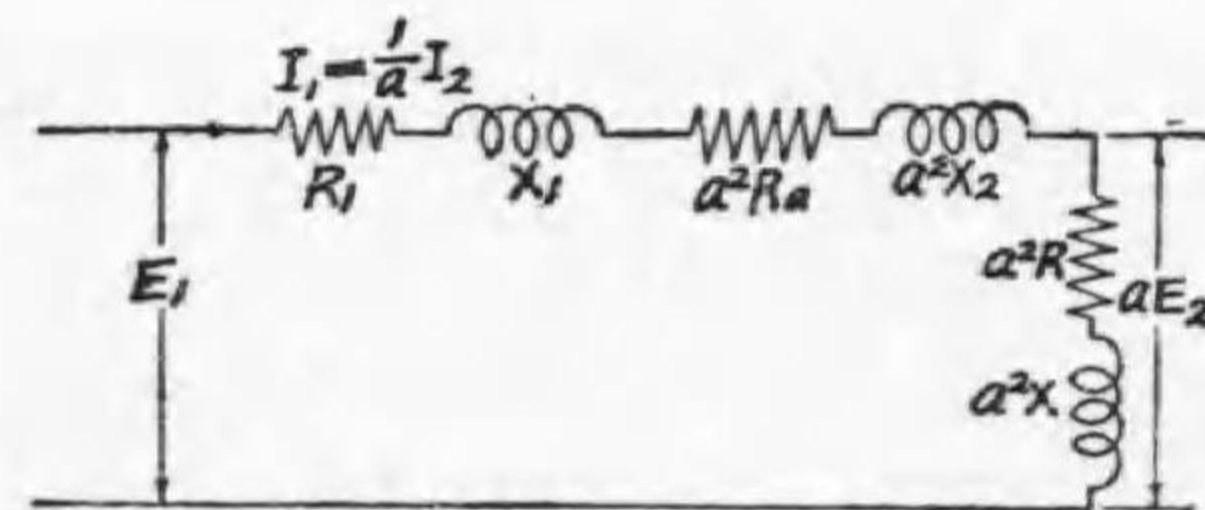
同 上 負荷イムピーダンス $= a^2 Z$

上の等價回路より計算して得た I_1 は實際の一次電流であり又 I_1' を得れば、之れを a 倍して實際の I_2 を求める事が出来る。

變壓器の勵磁電流は全負荷電流と比較すれば極めて少ないから此の電流が R_1 及び X_1 を通つた時に起る電壓降下の影響を無視しても大した違ひはない。従つて第83圖を更に第84圖の如く簡単に書直す事が出来る。又はこれを全く閉却して第85圖の如く簡単に取扱ふ場合もある。



第 8 4 圖



第 8 5 圖

64. 力 率

一次端子電壓 E_1 と一次負荷電流 I_1' との相差角を θ_1 とすれば $\cos \theta_1$ を一次力率と稱す。又二次端子電壓 E_2 と二次電流 I_2 との相差角を θ_2 とすれば $\cos \theta_2$ を二次力率と云ふ。

此の二次力率は負荷の性質に依つて定まるものである。又ベクトル圖に於ても想像出来る様に勵磁電流 I_m が一定であるから負荷の重い時には $\cos \theta_1$ は $\cos \theta_2$ に殆んど等しくなるが負荷が軽くなると $\cos \theta_1$ は次第に $\cos \theta_2$ より小さくなつてくる。

65. 電 壓 變 動 率

變壓器の電壓變動率 (Voltage Regulation) は、次に述べる能率と共に變壓器に於ては重要な性質であつて、次の様なものである。

即ち一次端子電壓を規定電壓に保つておいて、二次側に指定力率の下にて、全負荷電流を通じた場合の二次端子電壓を E_2 とし、次に負荷を取り去つて無負荷とした時の二次端子電壓を E_2' とすれば

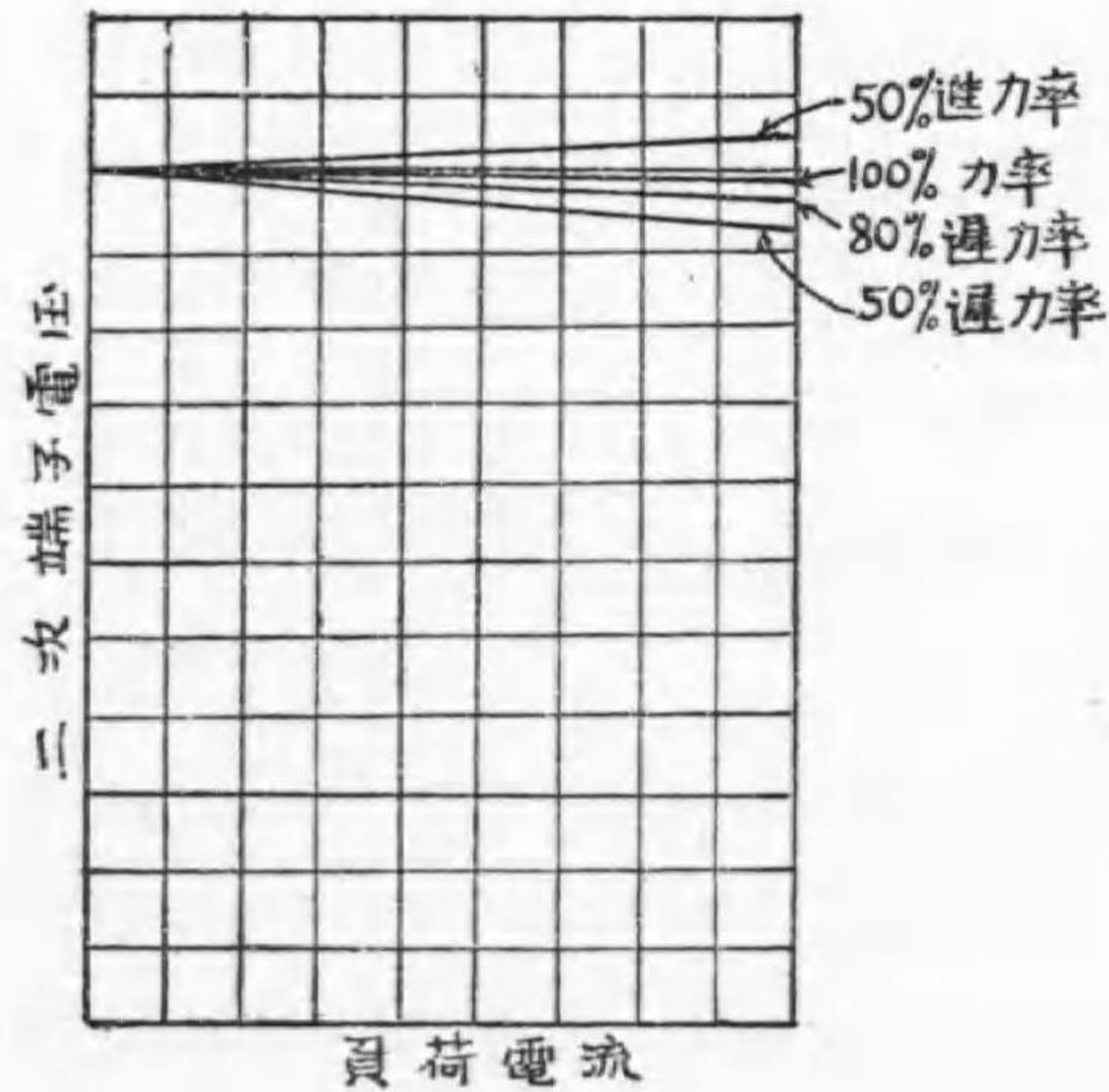
$$\text{指定力率に於ける電壓變動率} = \frac{E_2' - E_2}{E_2} \times 100\% \dots\dots\dots(30)$$

二次負荷電流が第81圖の如く遅れ力率であれば、負荷電流の増加に伴ひ、 E_2 は E_2' よりも減少する。又進み力率の場合には、第86圖の如く却つて E_2 は高くなる。此の如く二次端子電壓は負荷の力率及電流に依つて異なるから、變動率を云ふ時には、必ず力率を指定せなければならぬ。

例へば力率100%に於て、變動率は2%で、遅力率80%の時には2.7%になると云ふ様なものである。

電壓變動率が少ないと云ふ事は負荷の増減に依る電壓變化が小である事を示すものであるから、此値の小なる程良好な譯である。

殊に電燈の光力は電壓の僅かの變化に對しても可成大きな影響を受け、又誘導電動機では回轉數に變化を及ぼすから變動率は出

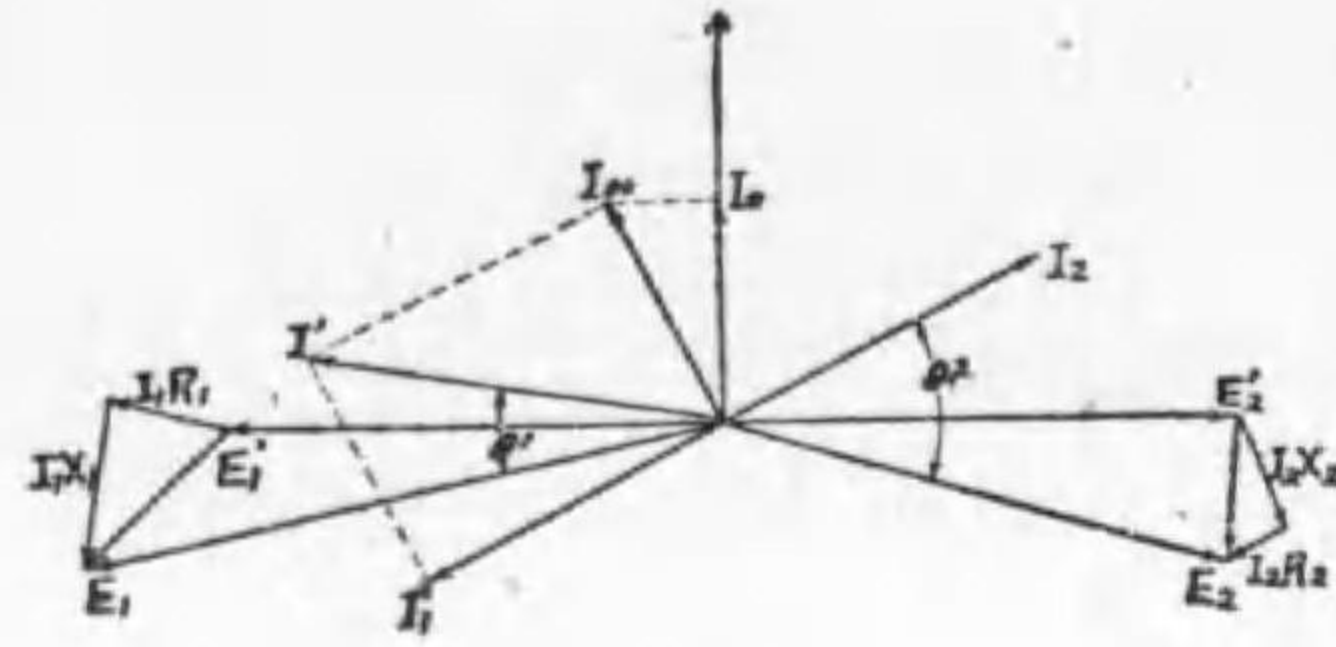


第 8 7 圖

來るだけ小さくせねばならぬ。

然し變壓器の電壓變動率は他の回轉機械に比較すると餘程小さい方であり、尙又容量の大きいもの程此の値は小になる。

第87圖は種々の力率に於て端子電壓の變化する有様



第 8 6 圖

を示した曲線である。

66. 變壓器の損失と能率

(A) 鐵 損 (Iron loss) 變壓器鐵心には前にも述べた通り半周波毎に其の方向を轉換する磁束が通過するから渦流損とヒステリシス損とが生ずる。此の兩者を合はせて變壓器の鐵損と稱へ、夫々次の式で計算出来る。

$$\text{ヒステリシス損} = \eta f V B^{1.6} \times 10^{-7} \text{ワット} \dots\dots(31)$$

$$\text{渦流損} = K \frac{B^2 t^2 f^2}{9} V \text{ワット} \dots\dots(32)$$

但し η 及び K = 係數

ρ = 鐵の固有抵抗

V = 鐵の容積

t = 鐵板の厚さ

B = 磁束密度

f = 周波數

上の式より解る様に、鐵損を小さくするには磁束密度を低くし固有抵抗の大きいもので厚さの薄い鐵板を撰び鐵板相互間の絶縁を良くしなければならない。

然し餘り薄い鐵板を使用すると價格も高くなるし、絶縁物で占領される部分が多くなるから大體0.3~0.5耗程度のものが用ひられる。

(B) 銅 損 (Copper loss) 此れは一次及二次線輪の有する無誘導抵抗 R_1 及び R_2 に依つて失はれる電力、即ち $I_1^2 R_1$ 及び $I_2^2 R_2$ である。

鐵損は負荷の増減には關係なく略々一定の値であるが、銅損は電流の自乗に比例して増加するから、負荷電流の多い程、著しくその値を増してくる。

(C) 能 率 變壓器には回轉部分がないから、摩擦損や風損はなく、只鐵損と銅損だけである。故に能率は次の式で表はされる。

$$\begin{aligned} \text{能率} &= \frac{\text{出力}}{\text{出力} + (\text{鐵損}) + (\text{銅損})} \times 100\% \\ &= \frac{E_2 I_2 \cos \phi_2}{E_2 I_2 \cos \phi_2 + P_i + P_c} \times 100\% \dots\dots\dots(33) \end{aligned}$$

但し P_i = 鐵損

P_c = 一次及び二次線輪に於ける銅損の和

第33式より明かな通り、變壓器の出力は一定の電壓の下に一定の

第 4 表

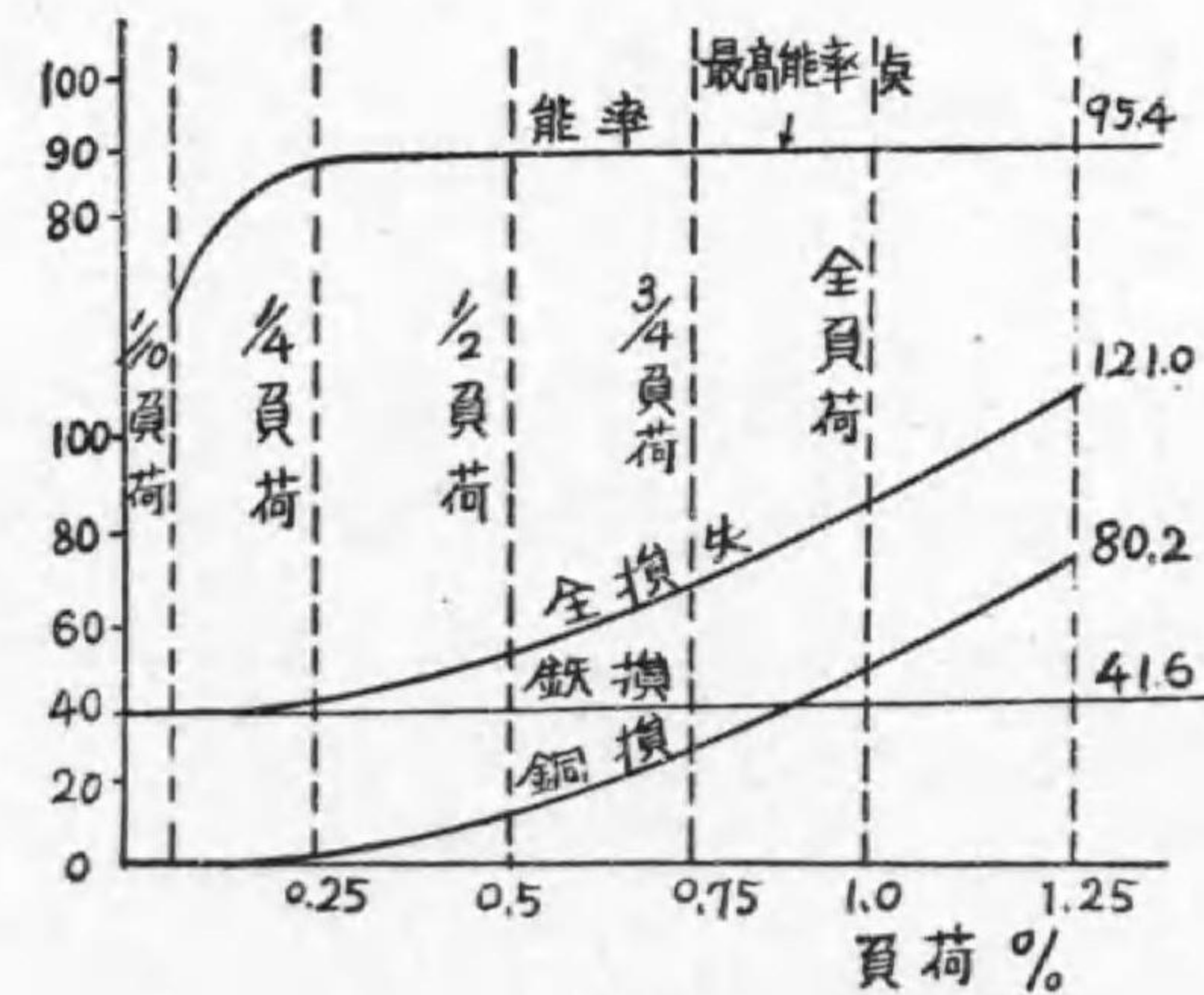
單相 60~ { 一次電壓 3000V級 或ハ 2000V級
 { 二次電壓 200V級 及ビ 100V級

容量 K.V.A.	能 率 %				電壓變動率 %	無負荷電流 %
	1/4負荷	全負荷	3/4負荷	1/2負荷		
1	95.5	95.7	95.6	95.0	2.5	10.0
2	96.0	96.3	96.4	96.0	2.4	8.0
3	96.3	96.5	96.6	96.2	2.2	7.0
5	96.8	97.0	97.1	96.8	1.9	5.5
7.5	97.0	97.2	97.3	97.0	1.8	5.0
10	97.2	97.5	97.5	97.2	1.6	4.5
15	97.5	97.7	97.7	97.5	1.5	4.0
20	97.7	97.8	97.8	97.5	1.4	4.0
25	97.7	97.8	97.8	97.6	1.4	3.5
30	97.8	98.0	98.0	97.7	1.3	3.5
50	98.0	98.1	98.1	97.8	1.2	3.0

負荷電流を流しても負荷の力率 $\cos \phi_2$ の値に依つて異なる。従つて同一の鐵損及銅損に對して出力が異なれば、當然能率も變るから、能率も電壓變動率と同様に、負荷の力率を指定しなければその意味をなさない。又能率は負荷の力率に依つて異なる計りでなく、負荷の大小に依つて變化し輕負荷に於ては能率は低く、全負荷附近で最高となるものである。

そして變壓器の最大能率の點は鐵損と銅損とが相等しくなつた時であるから、此の状態が3/4~全負荷の間に在る様に設計されるのである。一般に變壓器の能率は他の電氣機械に比べて高い方であつて第4表の如く大きな容量のものでは98%或は99%に達する。

第88圖は大容量の變壓器に於ける各損失並能率が負荷によつて變



第 8 8 圖

化する有様を示したものである。

(D) 全日能率 發壓器は二次側に負荷をかけない時でも、一次側には勵磁電流が流れてゐるから、鐵損失は常に存在する。故に間斷なく使用して居るものは別として配電用變壓器の如く無負荷の時間の長いものは、全回路の能率と云ふ點から見れば、其の能率を低下さす原因となる。従つて變壓器の選擇に際しては、唯單に全負荷能率のみならず、全日能率と云ふものも考へねばならない。

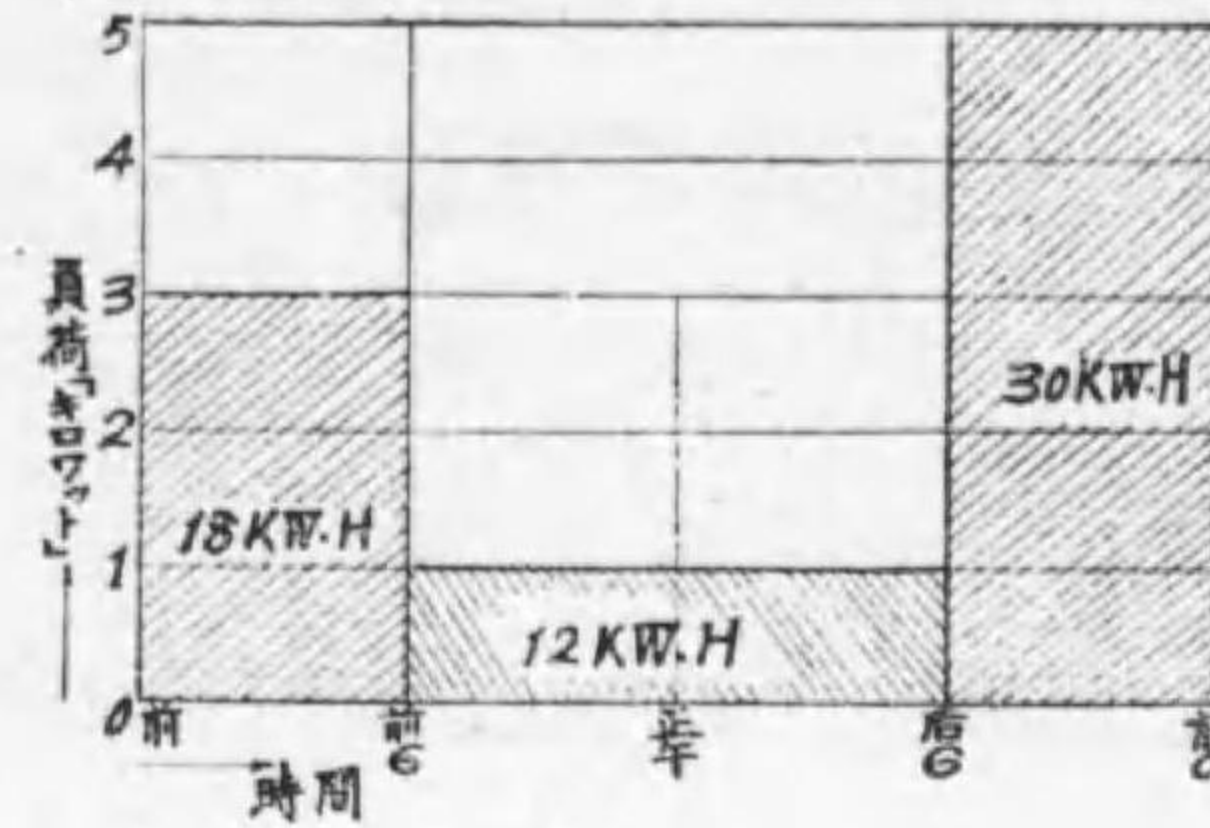
全日能率は普通の能率とは意味が異なり、變壓器の利用される度合とも考へられ、一晝夜即ち24時間中に於ける變壓器の全出力量(K.W.H.)を全入力量(K.W.H.)で除した値を百分率で表はしたものである。

$$\begin{aligned} \text{全日能率} &= \frac{\text{一日中に變壓器の二次側より出せる全出力量}}{\text{一日中に一次側に供給せられた全入力量}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{一日中の全出力量}}{\left(\frac{\text{一日中の全出力量}}{\text{全鐵損失量}}\right) + \left(\frac{\text{一日中の全出力量}}{\text{全銅損失量}}\right)} \times 100\% \end{aligned}$$

以上の如くであるから無負荷の時間の少ないもの程全日能率は良好である。若し24時間中全負荷運轉をなせば、全日能率は全負荷能率と同一の値となる。此等の點から變壓器を無負荷又は輕負荷で使用する事は出来る丈け避けなければならぬ。

例 今5K.V.A.の變壓器がある。其の二次側に於ける一晝夜の負荷曲線が第89圖に示す様なものとすれば全日能率は何程になるか。

但し、力率=100%、全負荷の時の銅損は120ワット、全負荷の時



第 8 9 圖

の鐵損は100ワット。

第90圖により明かな様に此の變壓器は午前0時より6時迄3%負荷即ち3 K.W (力率100%なる故)にて働らき、其後12

時間は全負荷5 K.W.で働いてゐるから一晝夜に於ける全出力量は次の如くなる。

$$\begin{aligned} \text{全出力量} &= (3\text{K.W.} \times 6\text{時}) + (1\text{K.W.} \times 12\text{時}) + (5\text{K.W.} \times 6\text{時}) \\ &= 60\text{K.W.H} \end{aligned}$$

次に鐵損は無負荷の時でも、全負荷の時でも殆んど變らないから之れを一定と見做せば全鐵損量は

$$100\text{W} \times 24\text{時} = 2400\text{W.H} = 2.4\text{K.W.H.}$$

となる。銅損は電流の二乗に比例するから、3%負荷の時は全負荷の時の $(\frac{3}{100})^2$ 倍となる。其他の負荷の場合も亦同様であるから、全銅損量を求むれば、

$$\begin{aligned} &\{120\text{W} \times (\frac{3}{100})^2 \times 6\text{時}\} + \{120\text{W} \times (\frac{1}{100})^2 \times 12\text{時}\} \\ &+ \{120\text{W} \times (\frac{5}{100})^2 \times 6\text{時}\} = 1036\text{W.H} = 1.036\text{K.W.H.} \end{aligned}$$

故に全日能率は

$$\frac{60\text{K.W.H.}}{60\text{K.W.H.} + 2.4\text{K.W.H.} + 1.036\text{K.W.H.}} = 94.6\%$$

第十一章 變壓器の結線法

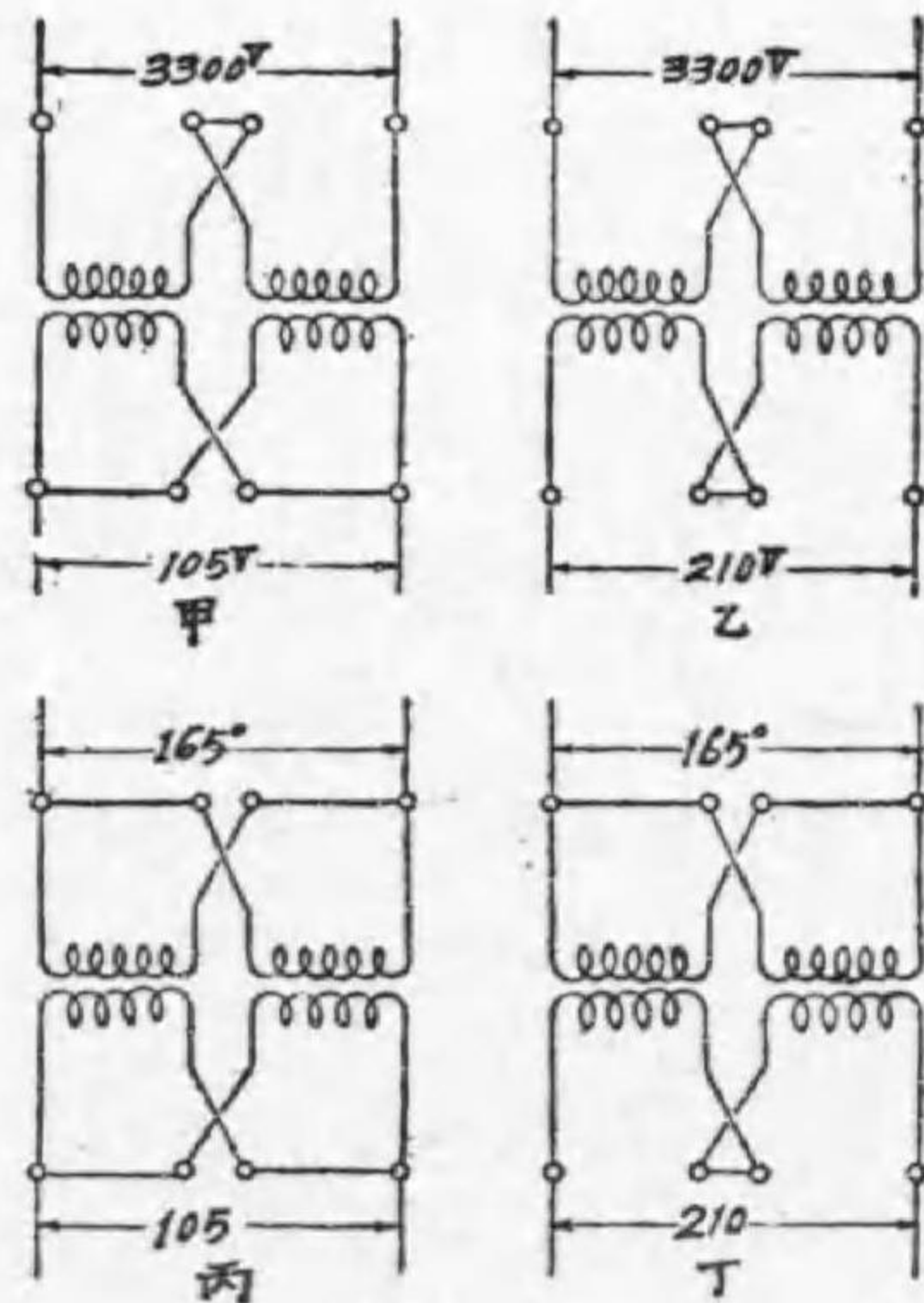
67. 配電用變壓器の並列結線

我國の配電電壓の標準は、高壓は3.300V、低壓は105Vと210Vで前者は電燈用に後者は主に電動機用に使用される。

従つて配電用變壓器は、普通一次及二次を各獨立した相等しい2箇の線輪に分ち、此等を並列或は直列に結線して、適當な電壓を得る様にする。而して之れ等各線輪の兩端には夫々引出線をつけ、其の先端は絶縁物を通じて外函から引出されてゐるが、一般に引出線が外に出てゐる時の位置

が結線に容易な様に各線輪の一端が入れ違ひになつてゐる。(第90圖参照)

今高壓側が3300Vで低壓側を105Vにしたい時は第90圖(甲)の様に、又210Vにしたい時には(乙)の如く結線すれば良い。高壓側が1650Vで低壓側に105V或は210Vを得やうとするには、同圖



第 9 0 圖

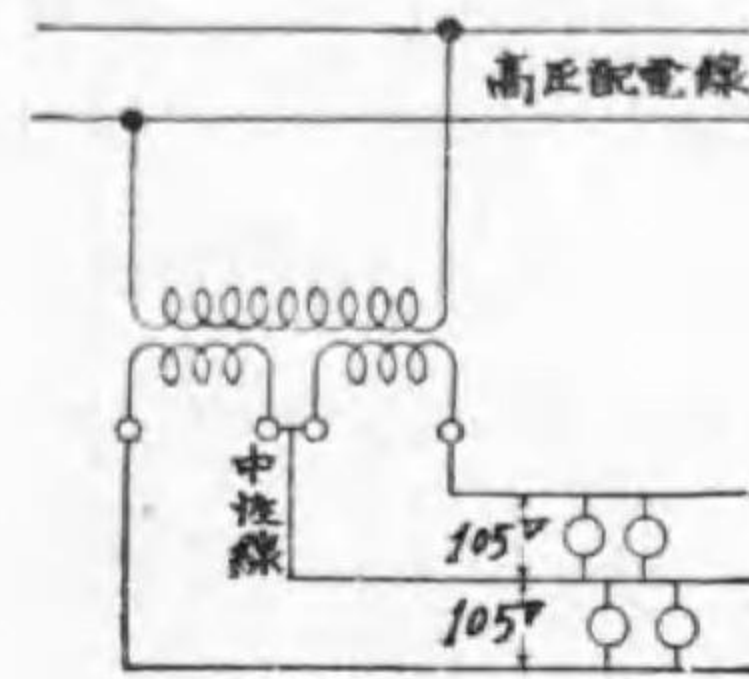
(丙)及(丁)の結線法を用ふればよいのである。

以上の四種の方法をまとめて見ると次の様になる。

- 一次直列 (3.300V) 二次並列 (105V)
- 一次直列 (3.300V) 二次直列 (210V)
- 一次並列 (1.650V) 二次並列 (105V)
- 一次並列 (1.650V) 二次直列 (210V)

交流配電でも直流配電と同様に、

三線式を採用する事が出来る。此の時は第91圖の如く、二次側の中央の二端子を連結して中性線を引出し外側の二線と合はして3本とし、負荷は外側二線と中性線との間に連結する。

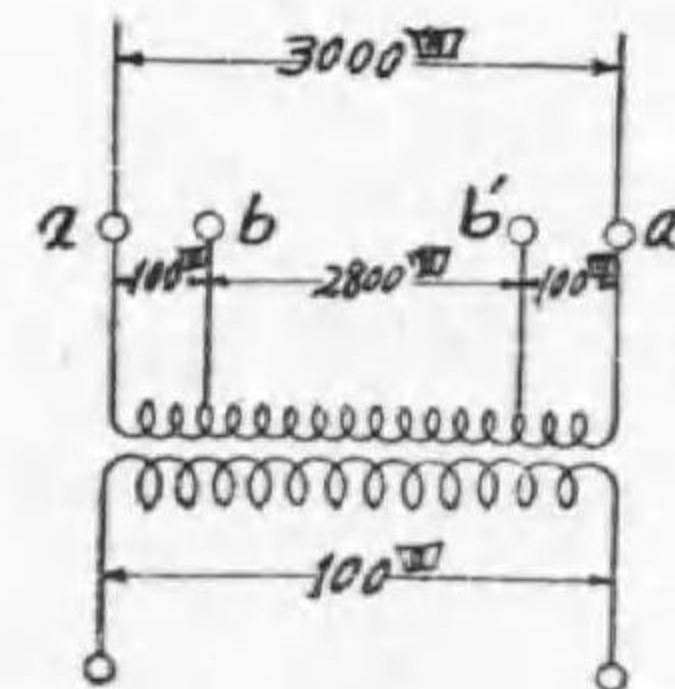


第 9 1 圖

68. 中間引出線

變壓器は必要に応じて一次或は二次線輪中の適當の捲數のところより引出線を出す事がある。これを中間引出し又はタップ (Tap) と稱へる。此の様に引出線を作るのは一次側の電壓が多少變化しても二次側の電壓を一定に保たんとする目的である。

例へば、第92圖の様に一次捲數を3.000回、二次捲數を100回とした單相變壓器に於て、一次側の捲數の中、兩端子より



第 9 2 圖

夫々100回目の點b及びb'に引出線を作つたものとする。

此時は引出線の使ひ方に依つて變壓器は、三つの異つた捲數比を持つ事になる。即ち

$$a a' (3000\text{回})\text{を一次配電線に結ぶ時 } a = \frac{3000}{100} = 30$$

$$a b' \text{ 又は } a' b \quad " \quad a = \frac{2900}{100} = 29$$

$$b b' (2800\text{回}) \quad " \quad a = \frac{2800}{100} = 28$$

となる。

此の様な變壓器を適當に用ふれば、電源に近くて配電線の電壓が降下して居ない所に据付られた變壓器の二次電壓も、電源より遠くて相當電壓降下の生じた所に据付けられた變壓器の二次側電壓も皆等しく保つ事が出来る。

即ち第93圖に於て、各變壓器間の電壓降下を、1本の配電線に就て50Vと假定し、配

電線の電壓を3000Vとすれば、同圖中の

(I)の場合はaa'を配電線に結び、a =

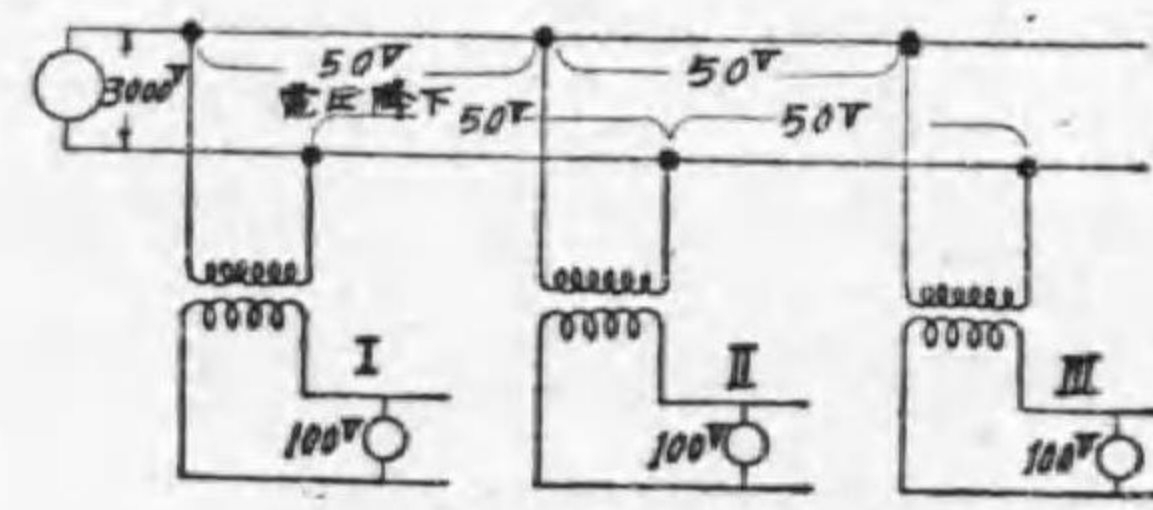
30を使へば、二次電

壓は100Vとなる。又(II)の場合は配電線電壓は100Vだけ降下して

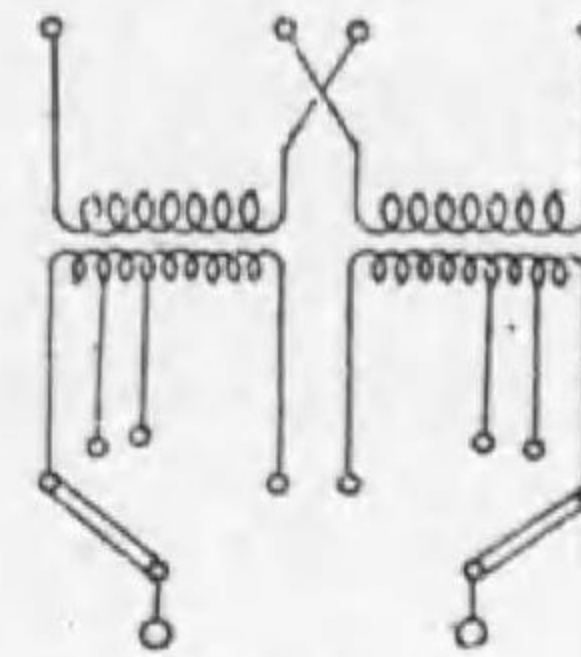
2900Vとなつてゐるから、此の場合にはab'或はa'bを使用してa

=29とすれば、二次電壓は矢張り100Vとなる。同様にして(III)の

場合はbb'間を使用すれば良いのである。



第 9 3 圖



第 9 4 圖

此の如く中間引出を行へば、二次電壓を調整する上に便利である。従つて饋電線等では、一次に第94圖の如く數箇のタップを作り種々の電壓に對して二次電壓を一定に保つ事が出来る様にしてある。

69. 單相變壓器の並列結線

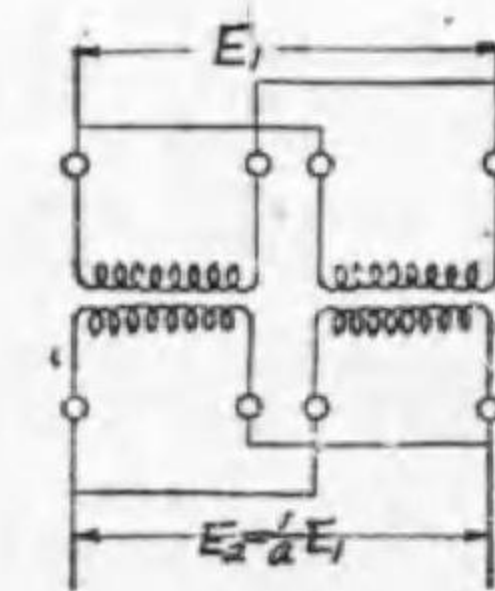
前記の配電用變壓器の如く、1箇の變壓器内で線輪を並列に接続するのみでなく第95圖の如く各々獨立した2箇の單相變壓器をも並列に運轉する事が出来る。其れは發電所等に於て、負荷が増加した場合に交流發電機の並行運轉を行つて發電所能率を良くするのと同じで變電所等に於ても負荷の關係で變壓器の並行運轉を必要とする場合が屢々起る。

凡そ變器を並列に接続する場合には、次の要件を具備しなければならぬ。即ち

- (a) 兩變壓器の捲數比が同一である事。

此れが満足されないと二次電壓の差に依つて、無負荷の時でも大きい電流が兩器の間を環流して損失を増し、線輪を過熱して充分その出力を發揮する事が出来ない。

- (b) 極性を誤らない様に二次側を結線する事。



第 9 5 圖

極性に就いては次項に述べる事とする。

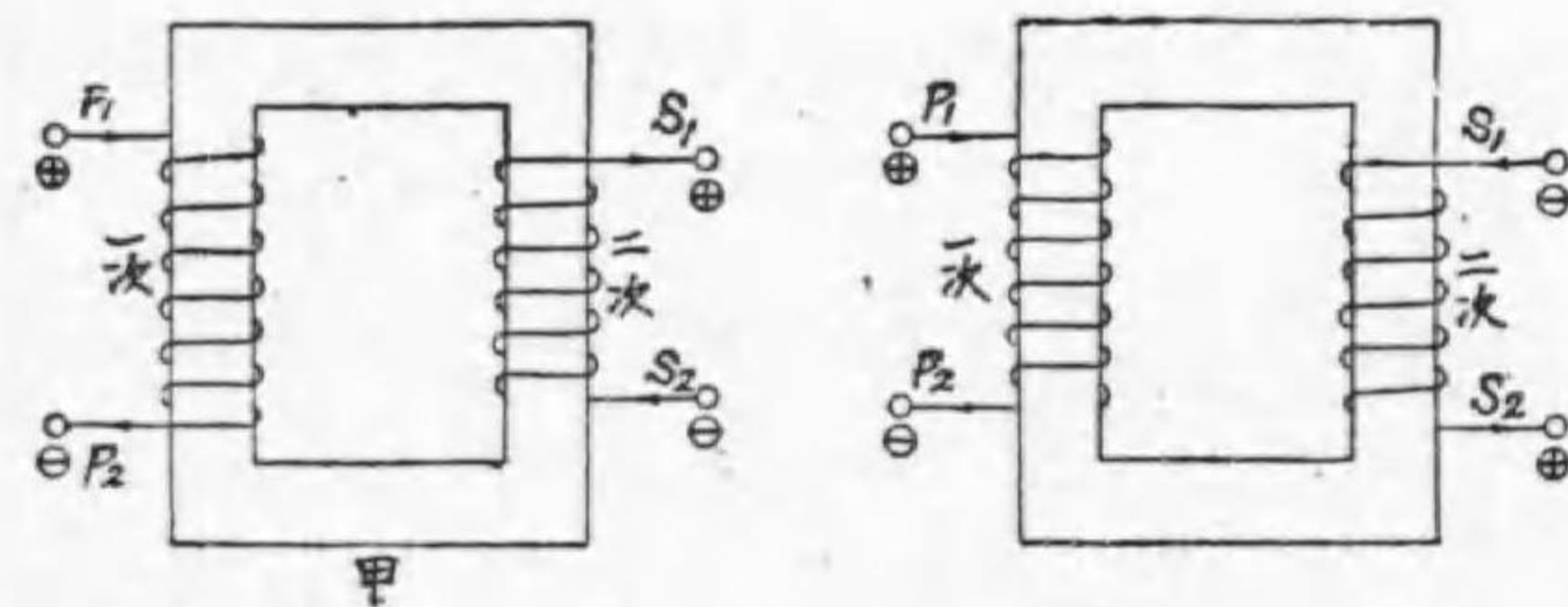
(c) 兩器の總抵抗及び總リアクタンスが容量に反比例してゐる事。

若し然らざる時は負荷の力率の變化に依つて兩器に流れる電流に相違が出来て出力を十分に發揮する事が出来ない。

70. 變壓器の極性

變壓器に限らず凡て交流回路の結線に當つては、極性 (Polarity) 即ち方向を考へる事が必要である。變壓器の如き交流の装置に極性と云ふのは一寸不思議な様であるが、次に其の意味を説明しよう。

第96圖(甲)の様に一次二次線輪が同方向に捲かれてゐると或瞬間



第 9 6 圖

に一次端子 P_1 より P_2 に向つて電流が流れてゐるとすれば、誘導起電力の方向の関係から、二次端子では S_1 より流れ出て S_2 に歸るべきである。然して電流が P_1 より一次線輪に流れ込むのであるから P_1 は P_2 よりも電位が高いと考へ、假りに P_1 に \oplus の符號をつけ、 P_2 には \ominus の符號を附けて置く。

次に二次側では二次線輪が電源となつて S_1 より負荷に電流を流さうとするのであるから S_1 は S_2 よりも電位が高いとしなければならぬ。従つて S_1 に \oplus の符號をつけ、 S_2 には \ominus の符號をつけておく。

同圖(乙)では二次側の線輪の捲方を前と反對にしてあるが、其の時は一次側は前と變りない。けれども二次側では符號が前の場合と反對になる。

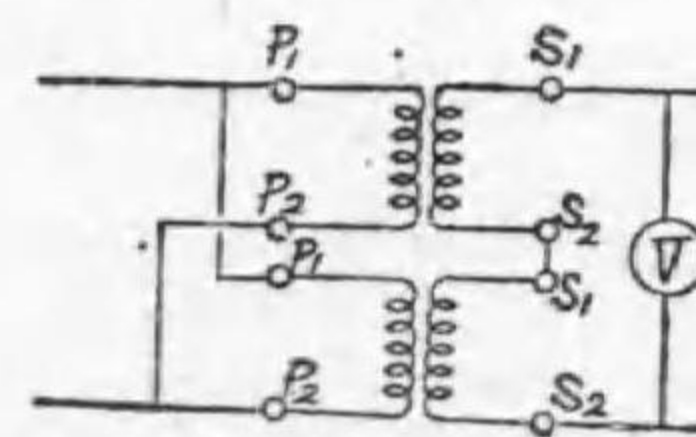
此れに依つて見れば、捲線法の如何に依つて、一次側に對し、二次側端子の符號は全く反對となる。

此の兩變壓器を見た時、(甲)圖の S_1 と(乙)圖の S_2 或は(甲)圖の S_2 と(乙)圖の S_1 とは同極性だと云ふのである。

以上の如くであるから、若し極性を誤つて並列或は直列に結線すると各々の電圧が打消し合つたり、又循環電流が流れたりする。獨り單相變壓器の並列結線のみならず、後に述ぶる三相變壓器に於ても、結線前に極性を充分試験して置く必要がある。

極性は大抵變壓器につけてある結線圖に示してあるが、もし不明の場合は、次の様にすれば簡単に解る。

先づ第97圖の如く一次側を、相對應する端子同志を結び、二次側は線輪が直列になる様に任意に結ぶ。



第 9 7 圖

次に、二次側の兩端子間に1箇の變壓器の二次電壓の2倍の電壓を計り得る様な電壓計を入れて置いて、一次側を電源につなぐ、此の時その電壓計に、兩變壓器の二次電壓の和

が表はれたならば、完全に直列になつてゐるのであるから、 S_1 同志又 S_2 同志は同極性である。若し電圧計が零か又は零に近い値を表はしたならば、 S_1 と S_2 とが同極性である。

71. 単相變壓器の三相結線

今迄述べて來たのは何れも單相變壓器を用ひて、單相交流の變壓を行ふ場合である。

然し多相交流も要するに一定の位相差を有する單相交流を組合せたものに外ならないのであるから、多相式の變壓も亦單相變壓器を適當に組合はして行はれると云ふ事は想像に難くなくからう。

一般の多相式は餘り多く用ひられないから、次には最も廣く用ひられ又最も重要な三相變壓に就いて述べやう。

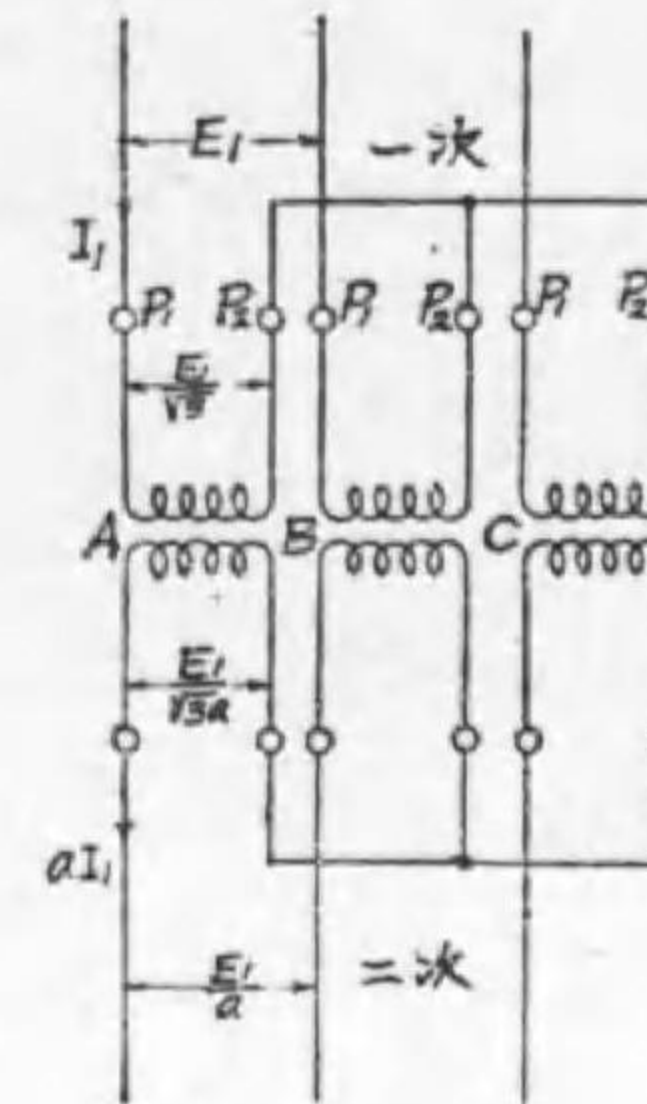
三相變壓を行ふには單相變壓器3箇を使用し之れを星形又は三角形に結線するものであつて、一次及び二次側の線輪の組合せに依つて次の様な接續法が出来る。

一次側結線	二次側結線
Y	Y
Y	Δ
Δ	Y
Δ	Δ

其の他特別の場合としてV結線及びT結線がある。

A. Y-Y結線法 此の結線方法は第98圖の如く同様な變壓器A. B. C. の3箇を使用し、一次及び二次側を各々星形に接續するものである。

即ち3箇の變壓器を順序よく並べて各一次線輪の P_1 の端子ばかり一諸に結んで之れを中性點とし、各線輪の残りの端子 P_2 を夫々外線に接續するのである。勿論二次側も全く之れと同様に接續して三相負荷につなぐ



第98圖

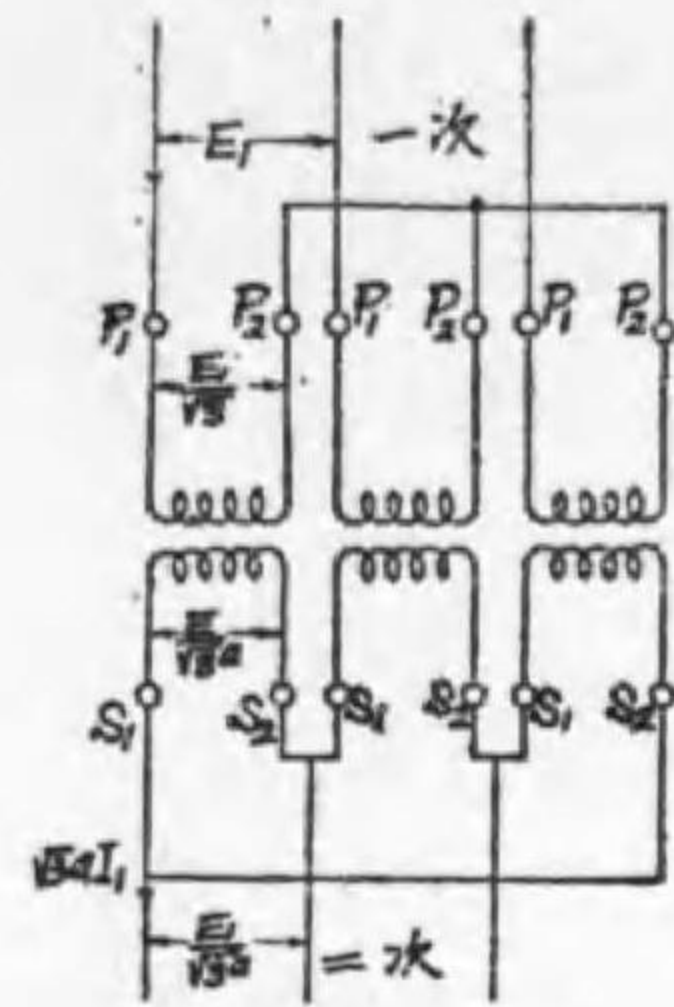
此の結線法では線間電壓は變壓器線輪1箇の電壓の $\sqrt{3}$ 倍に等しく又線電流は變壓器線輪中の電流に等しい。

今一次側に給與された線間電壓を E_1 とすれば各變壓器に加はる電壓は $\frac{E_1}{\sqrt{3}}$ である。此等變壓器の捲數比 $\frac{n_1}{n_2}$ を a とすれば、各二次線輪には $\frac{E_1}{\sqrt{3} \times a}$ の電壓が誘起される。此れが又星形に結線されてゐるから、二次側線間電壓は、 $\frac{E_1}{a\sqrt{3}} \times \sqrt{3} = \frac{E_1}{a}$ となり線間電壓が捲數比に應じて變壓された事になる。

又一次電流が I_1 なれば、勵磁電流を無視すれば $I_2 = I_1 \times a$ となる

Y-Y結線法は上の如く、變壓器に加へらるゝ電壓が線間電壓の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ に減せられて絶縁上或は其他取扱ひ上に於ても便利であり、又中性點が接地され得ると云ふ利益がある。但し運轉中1箇の變壓器に故障を生じた時は常に豫備變壓器を有してゐて直ちに取りかへなければ三相配電を繼續して行く事は出来ない。尙この結線法では二次側Y電壓に第三周波の電壓が著しく表はれる傾向があるから送電線や配電線に使用するのは餘り好ましくない。

B. Y-Δ結線法 此の結線法は第99圖に示す如く、捲數比の等しい變壓器を3箇使用し、一次側をYに、二次側をΔにつなぐものである。此時に二次側をΔに接ぐには前に述べた極性を誤まらない



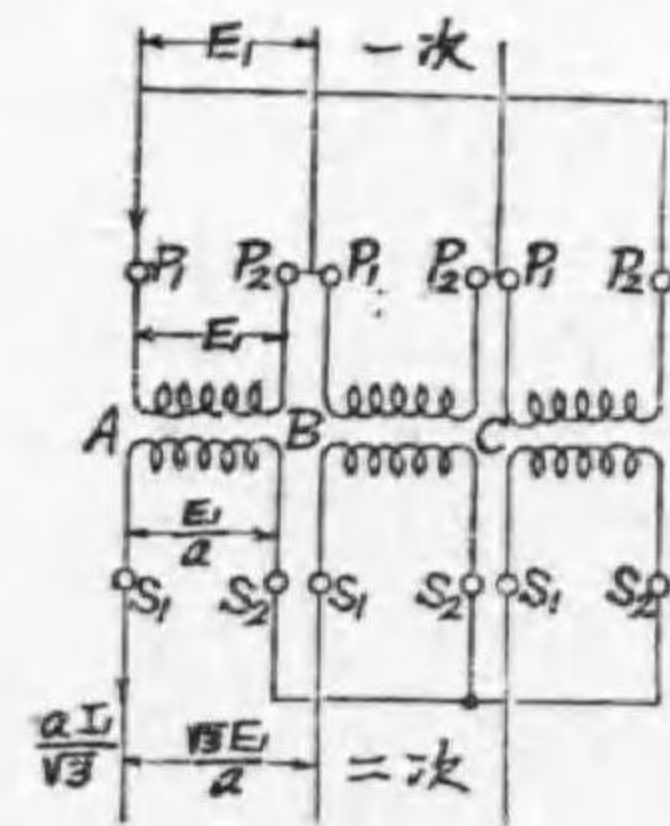
第99圖

様にしないと、所要の結果が得られない。

今一次電圧が E_1 ならば1箇の變壓器に給與される電壓は $\frac{E_1}{\sqrt{3}}$ となり二次側では $\frac{E_1}{\sqrt{3}a}$ となる。然るに二次側はΔ結線であるから變壓器の電壓と線間電壓とは相等しく、二次側線間電壓は $E_2 = \frac{E_1}{a\sqrt{3}}$ である。

一次線電流 I_1 は、變壓器電流と等しいから二次側では aI_1 となる。而して二次側はΔに接続されてゐるから二次線電流は其の $\sqrt{3}$ 倍即 $\sqrt{3}aI_1$ となる。此のY-Δ結線は一次側の線間電壓が高い時にY-Yの場合と同様絶縁物を軽減し得ると云ふ利益がある。

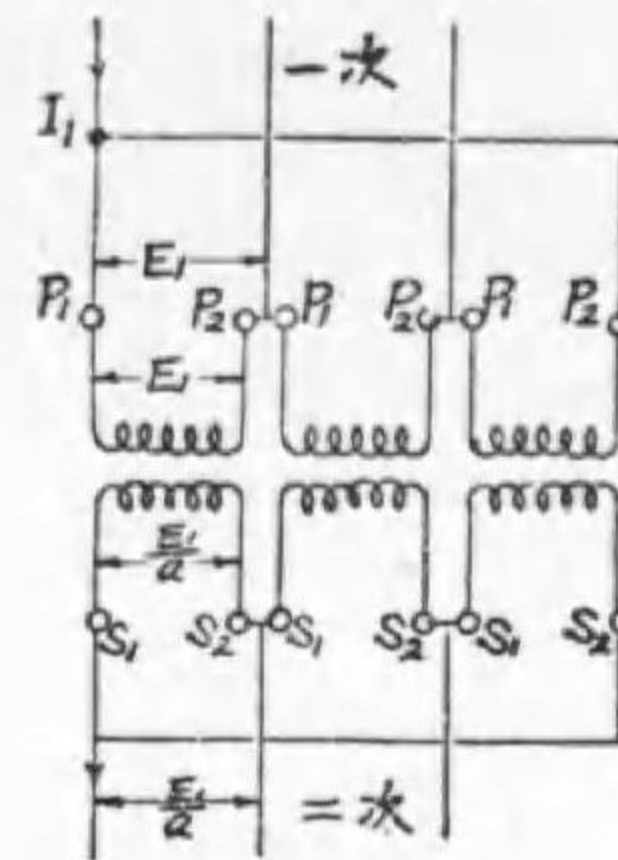
C. Δ-Y結線法 此の接続法は前のY-Δ結線の反對であつて、一次側をΔに、二次側をYに接続したものである。従つて其の特性も全く同一である。其の結線圖と電壓電流の關係を第100圖に示しておいたから、諸君自ら考察せられたい。



第100圖

此の結線方法は中性點を接地する送電系統に専ら使用されて居る

D. Δ-Δ結線法 此結線法は一次及び二次側共にΔに接続されたものであつて、電壓電流の關係は第101圖の如くである。即ち一

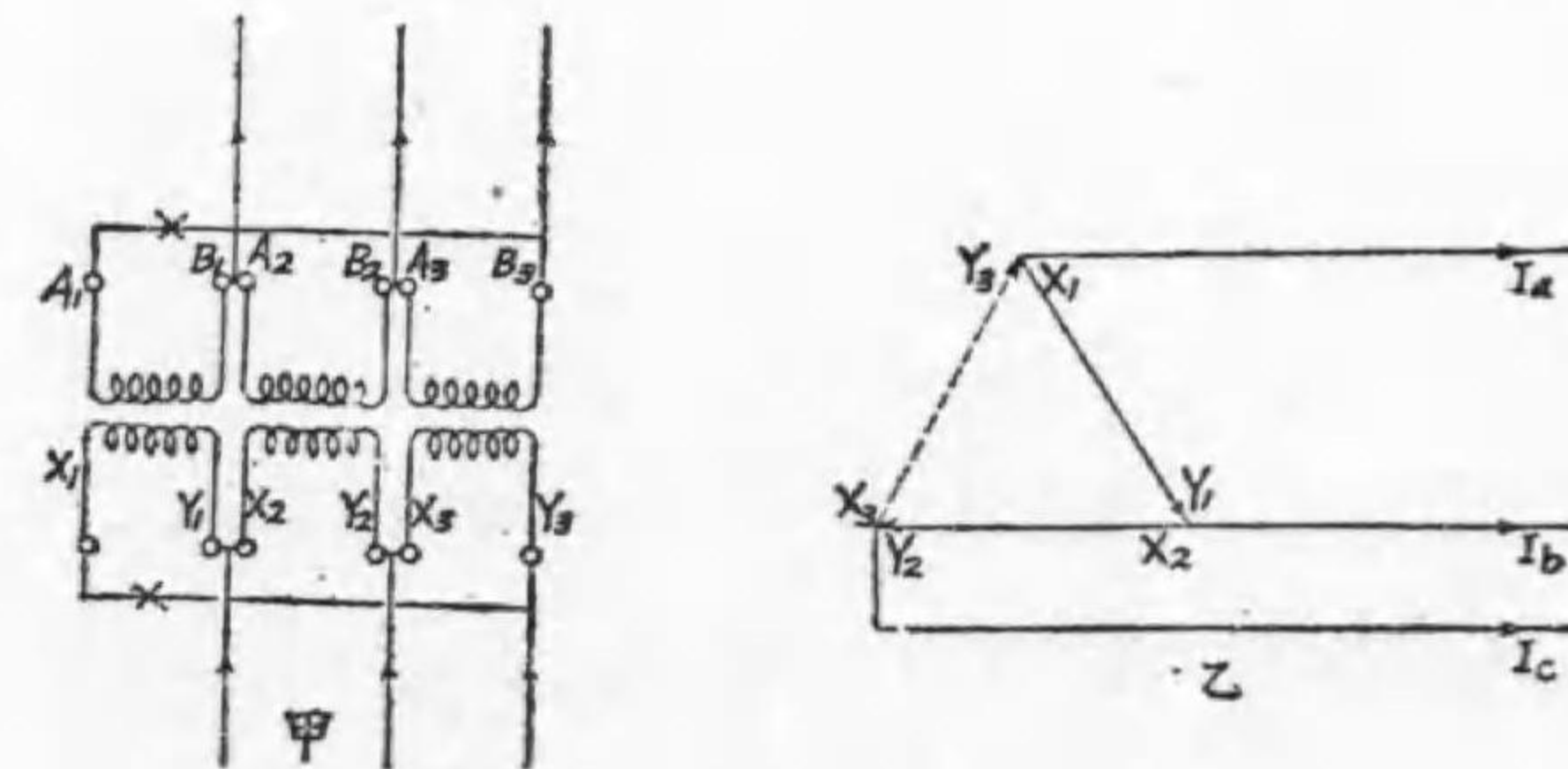


第101圖

次及び二次共Δであるから、線間電壓は變壓器電壓に等しく一次側線間電壓が E_1 ならば二次側線間電壓は $\frac{E_1}{a}$ となつて表はれる。又電流は變壓器の内では線間電流の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ となるが二次線電流としては再び $\sqrt{3}$ 倍となるから結局 I_1 の a 倍となる。

Δ-Δ結線も廣く使用されるものであつて、運轉中1箇の變壓器が燒損しても、其れを一時取り除き後述するV結線法を用ひて三相負荷を供給する事が出来る特長を有つて居る。

E. V結線法 前にも述べた様に Δ-Δ結線法に於て1箇の變壓



第102圖

器に故障の起つた場合には、V結線として残りの2臺の變壓器だけで三相送電を繼續させる事が出来る。

今第102圖の如き $\Delta-\Delta$ 結線でCの變壓器が何等かの故障で除外されたと考へて其の時の電壓關係をベクトルにて示せば同圖(乙)の如くなる。即ちab, bc間の電壓は夫々 X_1Y_1, X_2Y_2 の電壓に等しく、ac間の電壓も變壓器こそ無いけれ共 X_1Y_1 と X_2Y_2 とのベクトル和(Vector sum)の Y_2X_1 であつて、其の値は X_3Y_3 と同じである。又相差も互に 120° を保つてゐるから三相負荷を負ふことが出来るのである。

而して變壓器内の電流は、 $\Delta-\Delta$ 結線であるから線間電流 I_a, I_b 及 I_c 等の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ であつて、従つて線輪も線電流の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ の電流に耐え得るだけである。然るに之れをV結線とすると第102圖(甲)の結線より明かな様に I_a 及 I_b が直接變壓器の中を流れる事になるから、線電流を $\frac{1}{\sqrt{3}}$ 迄引下げないと、此等の變壓器を使用する譯には行かない故に今1箇の變壓器の出力をE.I.K.V.A.とすれば、其の出力を $\frac{EI}{\sqrt{3}}$ K.V.A.に減じたのと同じである。即ち三相出力は $3EI$ K.V.A.であるが、V結線にすると $\frac{3EI}{\sqrt{3}}$ K.V.A.= $\sqrt{3}EI$ K.V.A.に減少するから $EIK.V.A.$ のもの2箇使つても $2EI$ K.V.A.の出力は出せないのである。

故にV結線とした時の1箇の變壓器の容量が、

$$\frac{\sqrt{3}EI}{2} = 0.866 EIK.V.A.$$

即ち86.6%に減少した形となるから負荷もそれに應じて加減しなければ線輪を過熱する虞れがある。

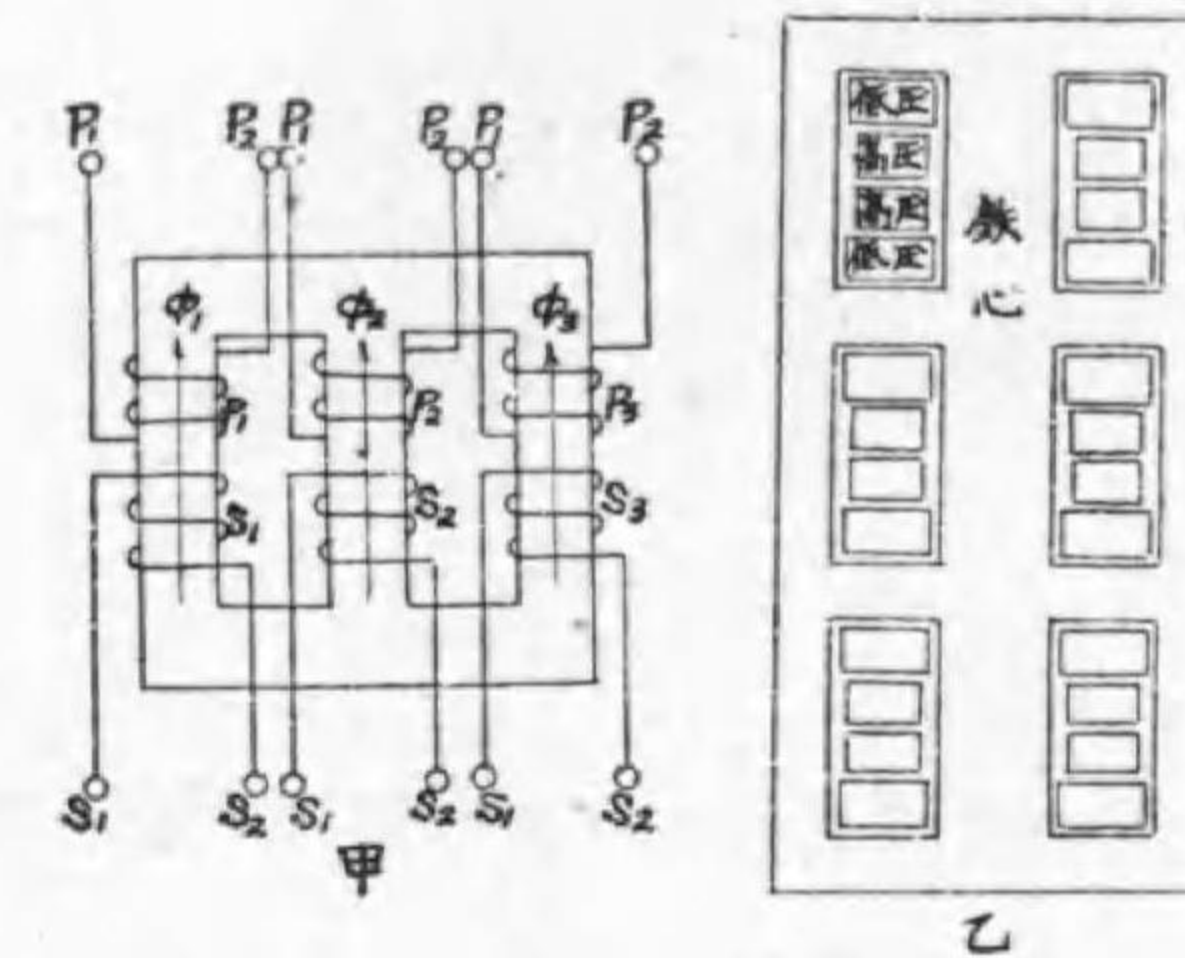
第十二章 特殊變壓器

72. 三相變壓器

3箇又は2箇の變壓器を使用して、三相變壓を行ひ得る事は、今迄に述べて來た通りであるが、三相變壓器は1箇の變壓器で三相變壓を行ふものであ

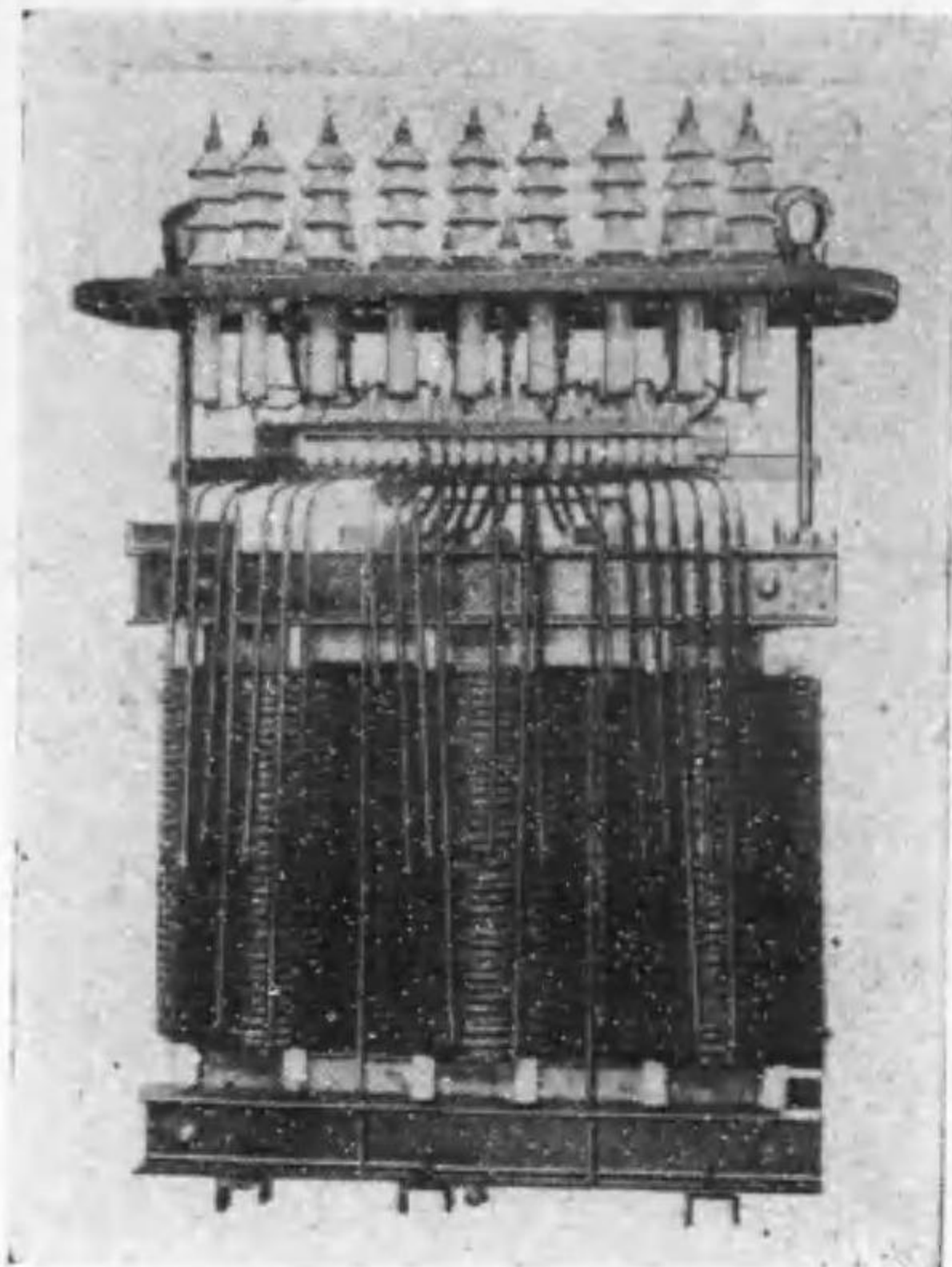
る。

要するに3箇の單相變壓器の如く箇々別々にせずして、此等を電氣的又磁氣的に1箇に縮合したものである。



第103圖

三相變壓器にも單相變壓器の場合と同様に内鐵型と外鐵型とがある。第103圖(甲)は内鐵型の骨組を示したもので、3箇の鐵心の脚を設けて、各脚に一次及び二次線輪を捲き、各々Y結線又は Δ 結線に接續するのである。鐵心各部の斷面積は皆同一の大きさに作られる。同圖(乙)は外鐵型の骨組を示したもので、恰度單相變壓器の外鐵型を3箇積ねた形となつてゐる。而して中央の3箇の鐵心に夫々一次及二次線輪を捲く事は單相變壓器の場合と同様である。此の場合



第103圖 丙

の鐵心各部の斷面積は磁束の通過量に依つて違ひ中央のA.B.C.の部分は其の他の部分の2倍に作られる。同圖丙は三相變壓器の内部を示す。

次に單相變壓器を3箇使用して、三相變壓を行ふ場合と三相變壓器1箇を使用する場合との得失を擧げて見よう。

- (a) **三相變壓器** は單相變壓器3箇を使用する場合よりも總鐵心量が少なくなり、又その他の部分も縮少し得られて經費が安くなる。
- (b) **1箇の三相變壓器を備へた時は** 一相の線輪に故障の生じた場合は變壓器全體を取かへねばならぬから、今1箇同様な變壓器を豫備として備へて置かねばならぬ。

所が單相變壓器であれば、一相の線輪が故障しても、その變壓器のみを取りかへればよから單相變壓器1箇を豫備として備へて置けばよい。此の點は三相變壓器の大なる缺點である。

73. 單捲變壓器

今迄述べて來た變壓器は皆一次二次の獨立した兩捲線をもつて居たが、一次線輪と二次線輪とを一部分だけ共通にしても、變壓作用をさせる事が出来る。此の様に造つた變壓器を**單捲變壓器** (auto-transformer)と稱へる。

即ち第104の如く鐵心に一つの線輪ACを捲き此の端ACを一次端子として電源につなぎ、次に適當なる捲数の點Bより、中間引出線を造つてABを二次端子とするものである。

今一次端子に電壓 E_1 を加へたとすれば、單相變壓器と同様に

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2} = a$$

$$\therefore E_2 = \frac{E_1}{a}$$

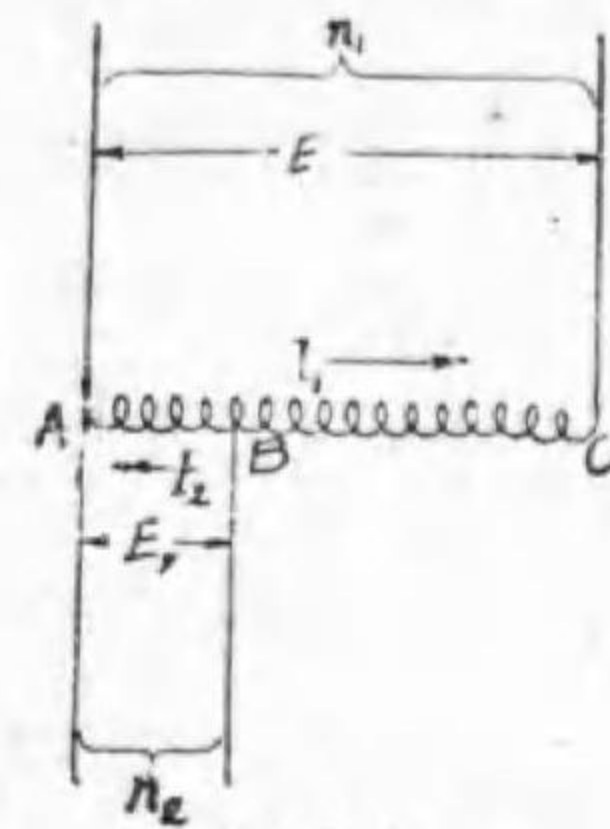
となる。又二次側に負荷電流が流れたとすれば、二次側に $I_2 n_2$ の起磁力を起して、一次側の作る磁束に反對するから、矢張り今迄と同様に之に對抗する $I_1' n_1$ を一次側に作らねばならぬ。故に、

$$I_1' n_1 = I_2 n_2 \quad \therefore I_2 = a I_1'$$

勵磁電流を無視すれば、 $I_1' = I_1$ なる故に、

$$I_2 = a I_1$$

然し I_1 の方向と I_2 の方向は互に反對であるから、實際に線輪内を流れる電流は $I_2 - I_1$ で單相變壓器の場合よりも細い銅線を使用出



第104圖

來る譯である。所が結線の關係上高壓と低壓とが連続するので危険でもあり、又電壓變動率の點に於て良好でないので一般的に用ひられない。主として交流電動機の起動の際、電壓を種々の値に變化させる起動補償器に用ひられる。

74. 三捲線變壓器

近來受電側變電所用の變壓器に三次捲線(Tertiary winding)と云つて一次及び二次線輪の外に、今一つの線輪を作り之れを同じ鐵心の上に捲いたものが用ひられる事が多い。

この場合は一次及び二次側がY-Y結線とし、三次捲線は Δ 結線とするのである。此の三次捲線の目的は大體次の様である。

- (a) 變壓器或は送電線中に發生した第三高周波の電壓を防止しY結線の中性點を安定にする事。
- (b) 遞昇變壓器の場合で二次電壓が非常に高く同期進相機に適當な電壓が得られないと云ふ様な場合には此の三次捲線から供給せられるのである。
- (c) 接地式の送電線の場合には一線が接地すれば回路中には短絡電流が流れる。此の時三次捲線からの反對の作用に依つて短絡電流の値を制限して危険の程度を低くする事が出来る。

75. 計器用變成器

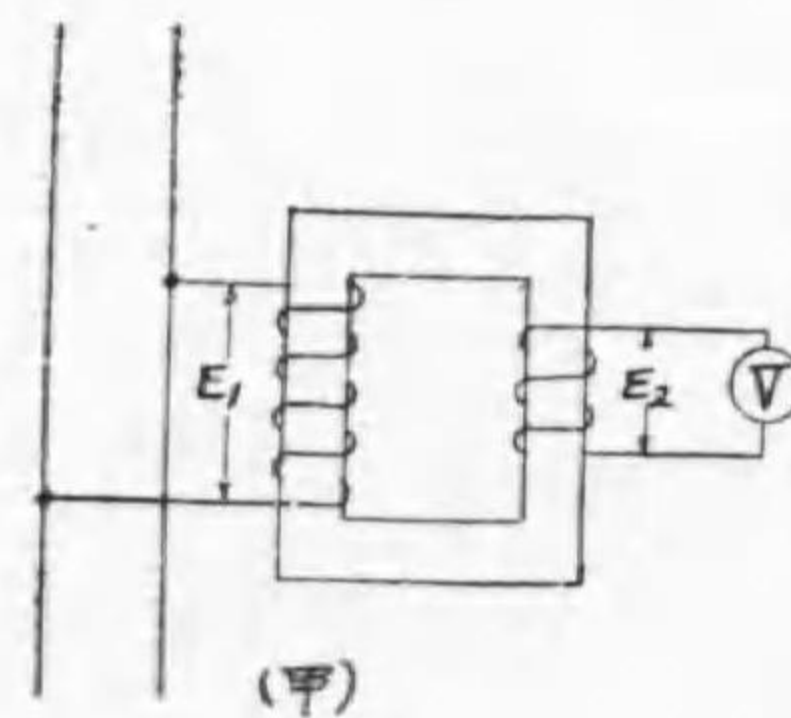
交流用測定器を安全に使用する爲に用ひらるゝ極めて小容量の變壓器を計器用變成器と稱し、計器用變壓器と變流器との二種がある

計器用變壓器(Potential transformer), 之れは非常に高い電壓を測る際に、高電壓を直接計器に加へないで、一度計器用變壓器で電壓を降し、低壓側で電壓を測り得る様にするのが普通である。計器用變壓器は普通の單相變壓器の小型のものに過ぎない。従つて接續方法も第105圖(甲)の如く普通の場合と全く變りないのであるが、相當精密を要するから製作の場合は次の様な點に注意を要する。

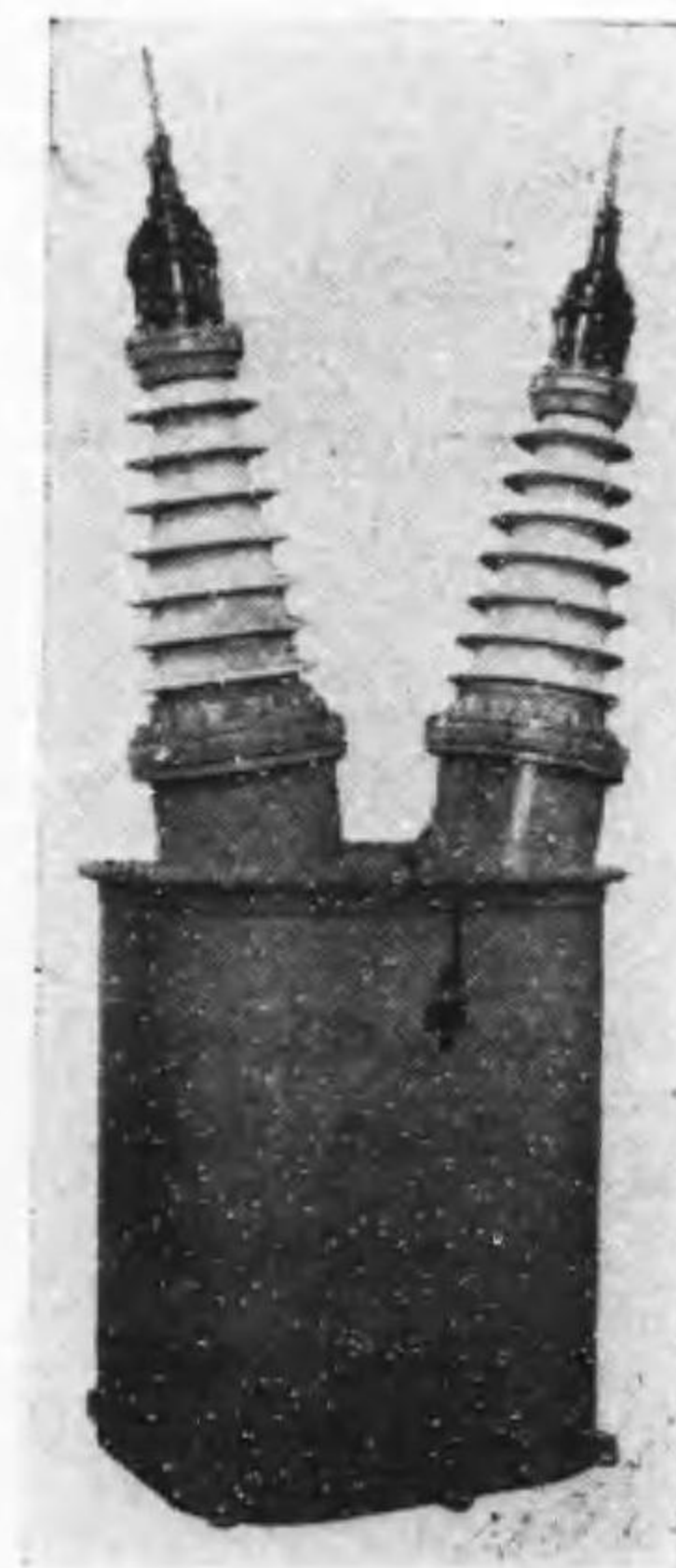
- (a) 電壓比を負荷の如何に關せず、常に一定の數値に保ち得る様にすること。
- (b) 一次電壓 E_1 と二次電壓 E_2 との位相の差を出來得る限り少なくする様に設計する事。
- (c) 二次電壓は100V又は110Vなる様に捲數比を定める事。

第105圖(乙)は7000V/110V屋外用の計器用變壓器を示す。

變流器(Current transformer) 變流器の方は普通の變壓器とは少し様子が違ひ、第106圖の如く、一次線



(甲)

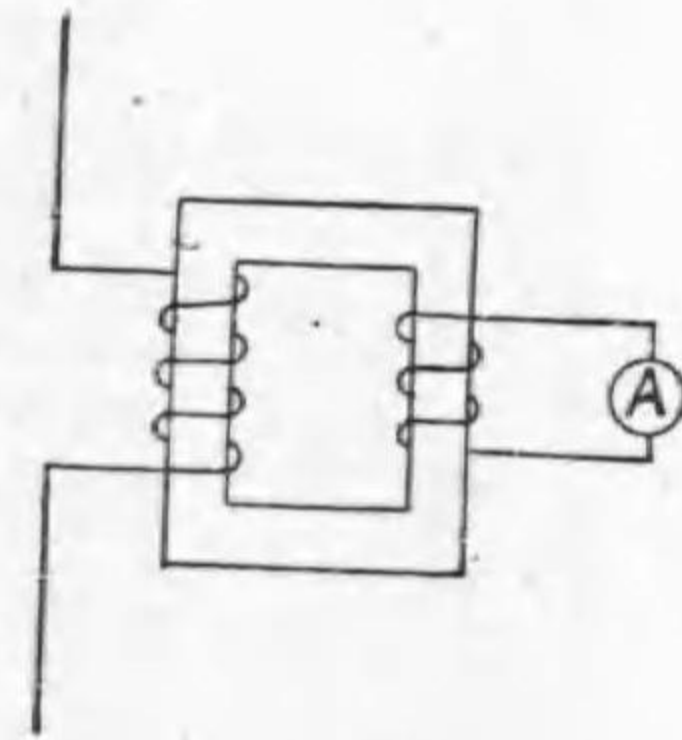


(乙)

第105圖

輪を電路の一線につなぎ、負荷電流が直接一次側を通る様にする。而して二次側を電流計を以て短絡して置く。即ち二次側の少ない電流を計つて電路の大電流を知るのである。又電路の電流が少なくても電圧が非常に高い時は、矢張り安全の爲に變流器を使用する。變流器に對しても次の様な注意が必要である。

- (a) 二次電流が5A以下になる様捲數比を定めること。
- (b) 勵磁電流は出来る限り少なくなる様に設計する事。若し勵磁電流が餘り大きければ、一次及二次の電流比が確實に



(乙)

第 1 0 6 圖

ならない。

變流器の使用上注意を要する點は二次線輪を常に閉結して置く事である。若しこれを開放すれば、一次線輪には常に電流が流れて居るから磁束を生じて二次側に非常に高い電壓を發生し變流器は燒損

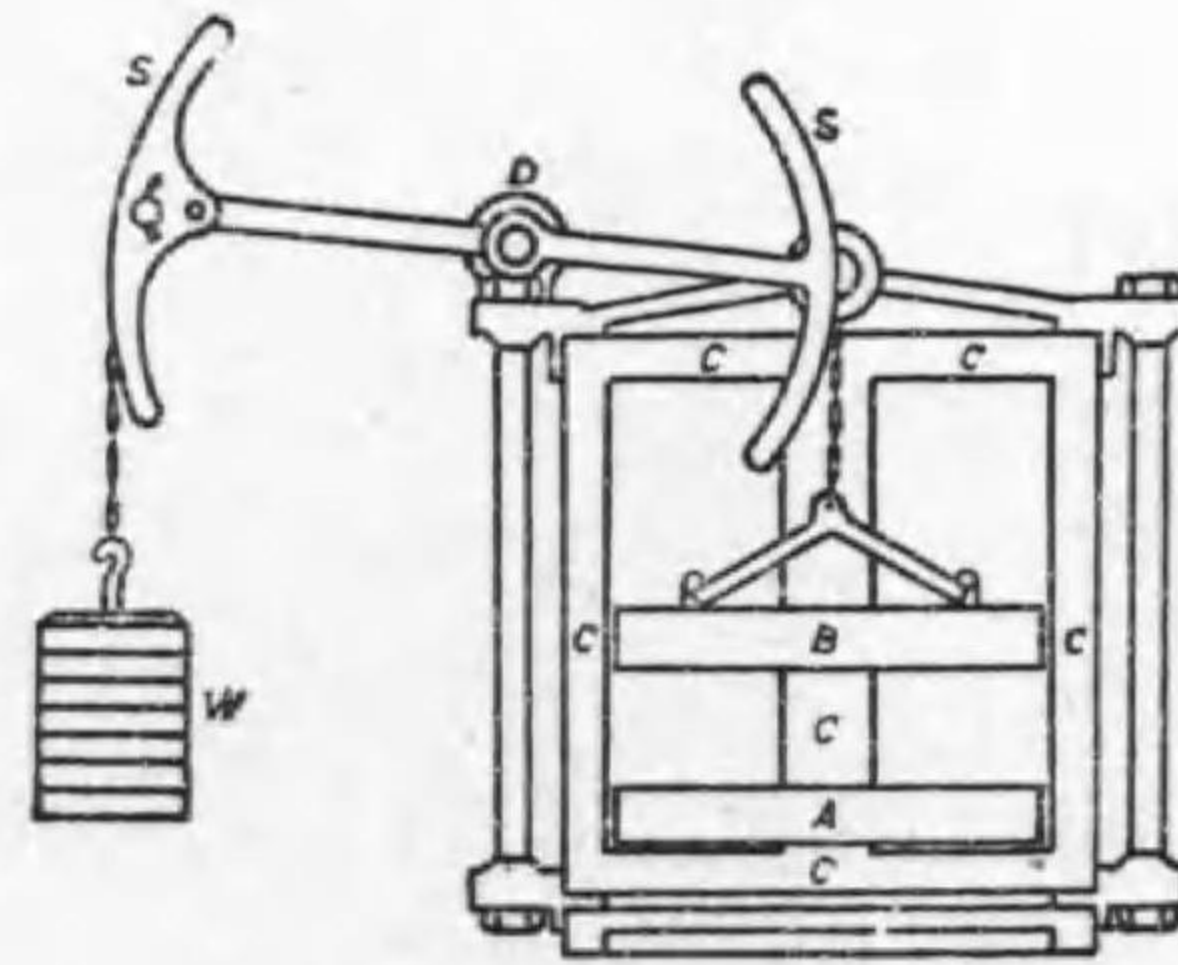
する。之れを閉路して置けば、二次側の短絡電流に依つて一次側に反對する磁束が出来るから二次側に電流を保つに要する磁束だけを通じて置けばよい事になる。

第106圖(乙)は115000V 100A/5A 屋外用の變流器である。

76. 不變電流變壓器

交流弧光燈又は街路照明の白熱電燈を直列に點燈する場合には、燈數に應じて給與電壓を適當に加減し電流を一定に保たなければならぬ。

不變電流變壓器は此の様な場合に用ひられるものである。第107圖は大體の構造であつて、圖中Cは鐵心を示し、Aは一次線輪であつて、鐵心に固定し、Bは二次線輪で、重錘Wでその一部分を平衡



第 1 0 7 圖

させ、鐵心に沿うて上下出来る様にしてある。此の變壓器は次の様に働作する。

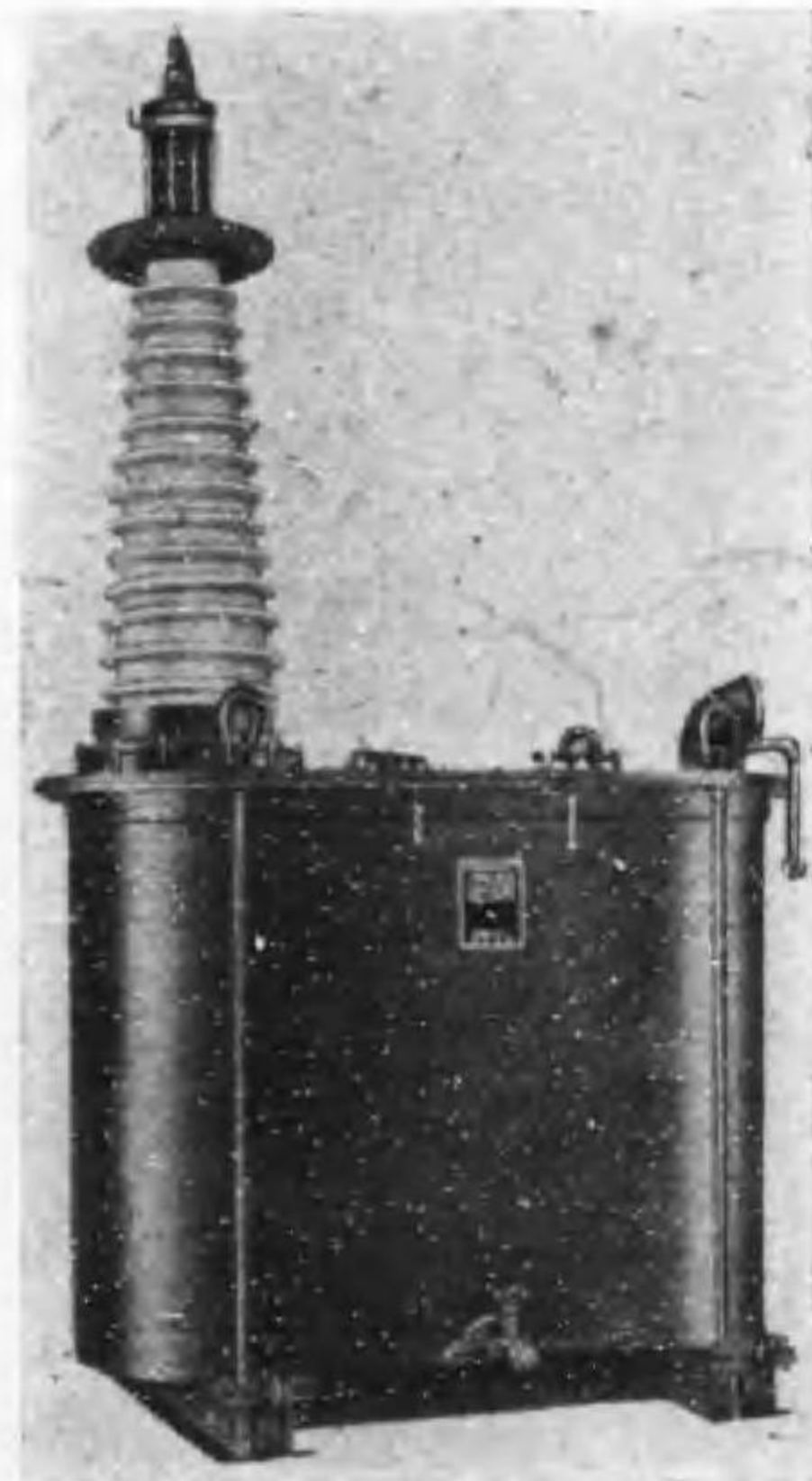
(a) 二次側に負荷をつなぎ、其の電流が多すぎた時は、AとBとの反撥作用が増加して、Bは

上方に昇る。其の結果漏洩磁速が増大して二次線輪Bの電壓が降つて電流が減少する。

(b) 反對に二次電流が減少すれば、AとBとの反撥力が減少しBは降下して來て鎖交磁束を増し誘導起電力を大ならしめて電流を増すのである。

77. 試験用變壓器

此の變壓器は、碯子、油共の他の絶縁材料を、或は電氣機械器具の絶縁耐力を試験する時に用ふるものである。此等絶縁試験には數萬乃至數十萬ヴォルトの高電壓を要する場合が多いから、二次電壓が非常に高く作られる。従つて絶縁装置を充分に施さなければならぬから變壓器の形は容量の小さい割合に随分大きくなる。一般に絶縁試験は短時間に行はれるから變壓器も短時間、定格に耐え得る様に製作して差支へない。又普通高壓端子の一方は接地され他の端子1箇だけが套管で外函から引出されてゐる。(第108圖参照) 又試験用變壓器は廣い範圍に電壓を變化せしめなければならない場合が多い。此の目的を果すのに最も良い方法は専用の交流發電機を設けて置き其の勵磁電流の調製により一次側電壓を適當に變化させる方法で



第108圖

ある。

然し此の方法が困難な時は誘導電壓調整器を用ふるか又は單捲變壓器のタップを變へて行ふ事も出来る。

78. 電鈴用變壓器

家庭用の電鈴は以前は電池を電源としてゐたが、現今は晝間電燈線を利用して交流で動作するところの交流電鈴が多く用ひられる。これには10-20V.A.と云ふ様な極く小容量の變壓器を用ひ、一次側を110Vの電燈線につなぎ、二次側に10-20Vを出させて電鈴に供給するのである。この目的のために造られるものを電鈴用變壓器と云ふ。

79. 熔接用變壓器

之れは電氣熔接を行ふ時強電流を得る爲二次側電壓を數ヴォルト電流を數千アムペアに設計したものである。

第十三章 變壓器の据付と諸試験

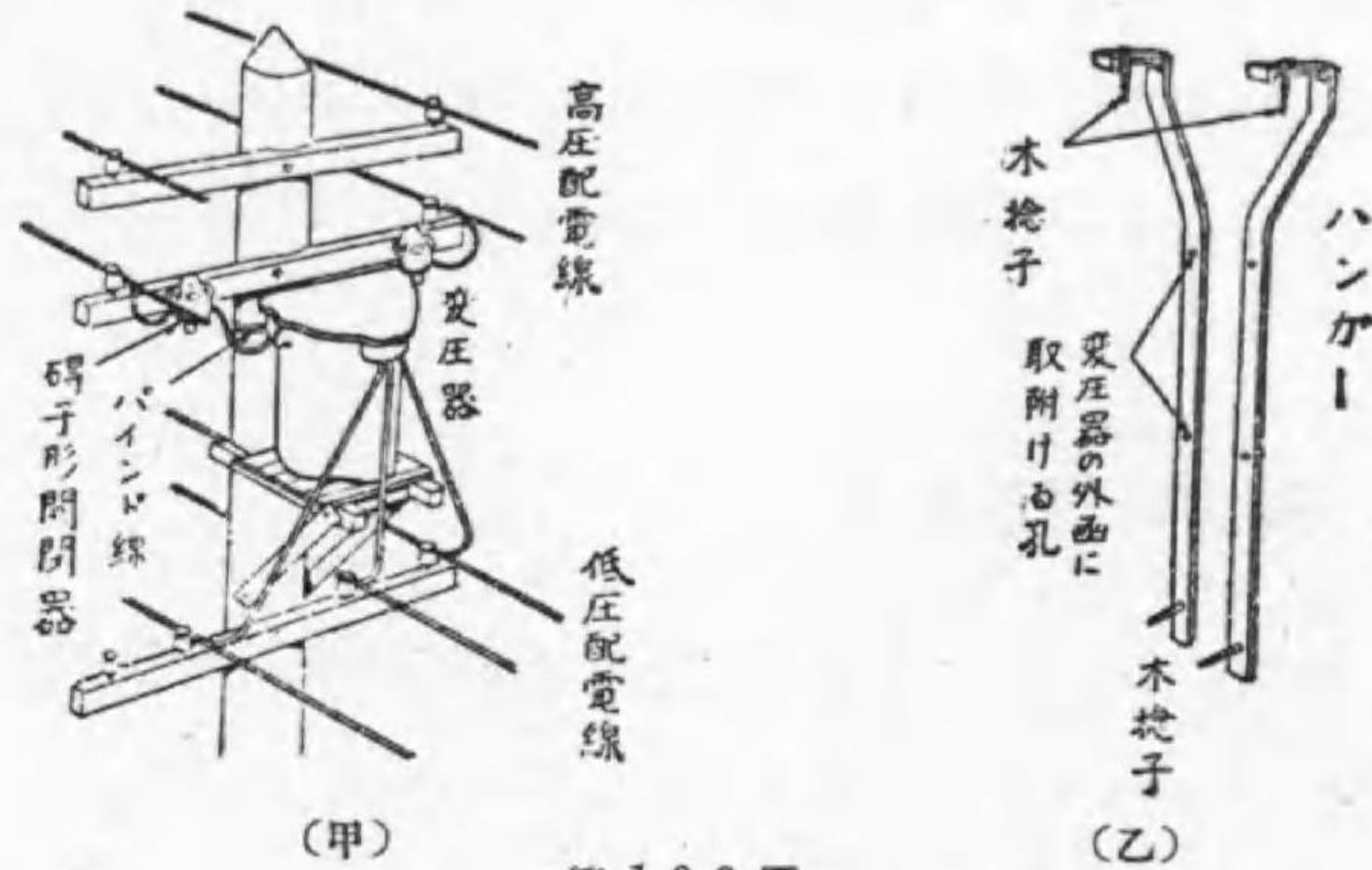
80. 据 付

發電所或は變電所等で容量の大きい變壓器を据付ける場合は、變

壓器重量に耐え得る丈の混凝土基礎臺を設け、その上に變壓器を据付ける。

又變壓器を移動させる必要のある場合は基礎臺上にレールを敷き其の上に變壓器をのせて臺車と云ふものを備へるのである。

柱上變壓器の如く電柱上に取付けるものは第109圖(甲)の如く地上から適當な高さのところに木の臺を設け、之れに變壓器を乗せて其の上、帶鐵で變壓器を電柱に縛りつけるのである。



第109圖

又今一つの方法としては、同圖(乙)の如くハンガーを變壓器に取りつけ之れを腕木に引き懸ける事も出来る。

81. 乾 燥

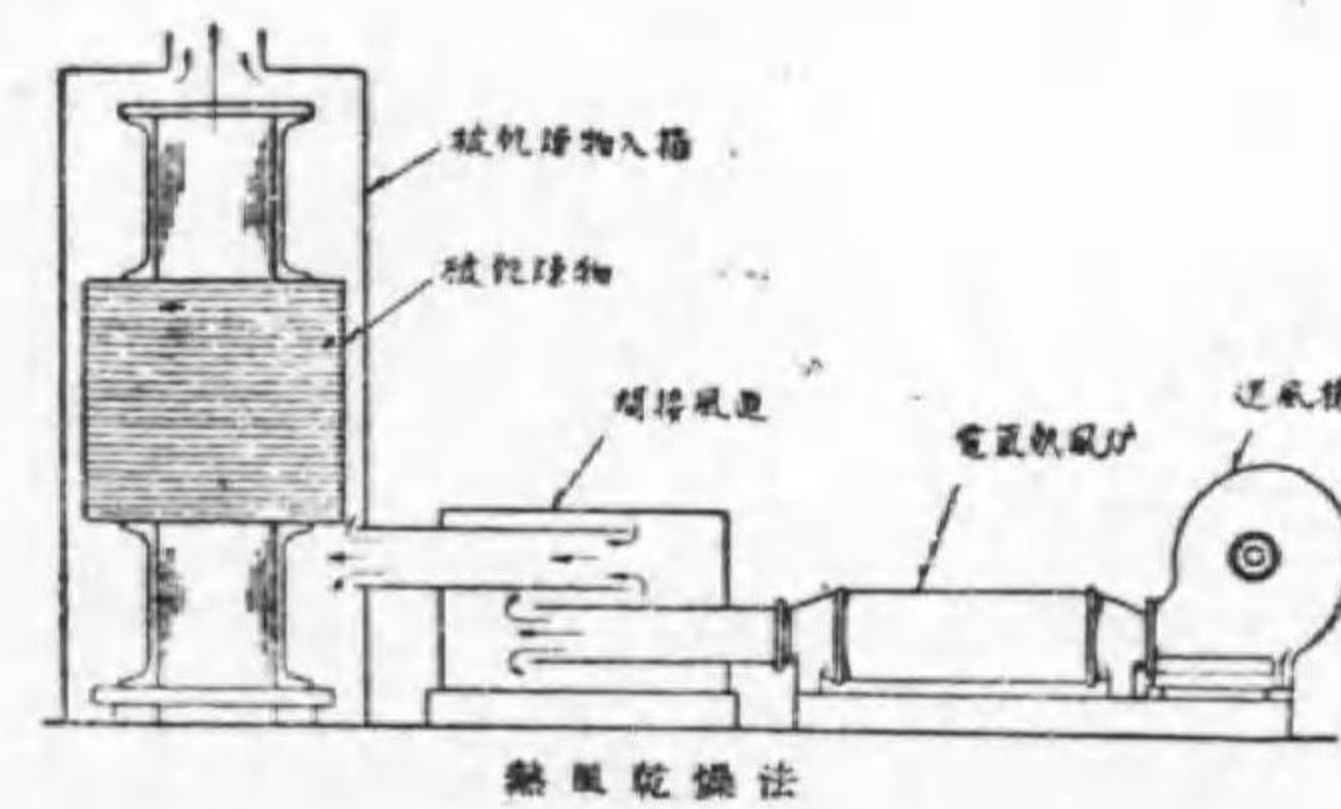
變壓器の据付が終れば、之れを充分乾燥して使用する事を忘れてはならぬ。

變壓器の乾燥法には種々ある。

其の一は短絡法と云ひ、二次側を短絡して置いて一次側に極めて低い電圧を加へ、二次側に短絡電流を流させるものである。この場合一次電圧を徐々に加減して二次短絡電流が規定電流の約70%位になる様に保ち、此の電流に依る發生熱を利用して連続的に乾燥を行ふものである。

上の方法は内部よりの發生熱を利用したものであるが、外部から熱を加へて、線輪を乾燥させる所の外熱乾燥法がある。

此の方法は線輪を乾燥室に入れて、炭火、瓦斯熱或は電熱等で乾燥するのであるが、更に進歩した乾燥法として熱風乾燥法がある。之れは第110圖の如く電熱で熱した高温度の空気を送風機に依つて、



第110圖

乾燥室内に入れてある線輪に吹き付ける方法である。

其の時の熱風温度は90°Cを越えない様に注意しなければ絶縁物を害する虞れがある。近

來真空槽を用ひ其の中に變壓器を入れ、槽内の壓力を低下させて乾燥することが行はれる。絶縁物を害する事なくして相當高温にて乾燥する事が出来る。此の場合の熱源としては多く電熱器を使用する。

82. 變 壓 器 油

前にも述べた通り變壓器油は絶縁及冷却作用をなすものであるか

ら、大體次の様な性質を有する事が必要である。

- (a) 絶縁耐力が大きい事。
- (b) 引火點や發火點が高い事。
- (c) 熱の傳導度及比熱の大きい事。
- (d) 濕氣、塵埃、酸、アルカリ、硫黄等を含まぬ事。
- (e) 高温度に於ても化學的に變化を來さない事。

變壓器油の規格として、次の數値が與へられてゐる。(但第一種變壓器油)

比 重……(15°Cにて)……0.91以下
 粘 度……(レッドウッド粘度計にて)……140秒以下(20°C)
 ……50秒以下(50°C)

凝 固 點……10°C以下

引 火 點……130°C以上

發 火 點……175°C以上

絶縁耐力……供試油内に徑 12.5mmの球狀電極を 2.5mmの間隙に保ちて50~60サイクルで放電電壓實効値 25000 V以上なる事。

變壓器油を乾燥するには、近來多く濾過器を使用する。即ち濾紙を鑄鐵板の間に挿入した障子の様なものを數箇直列に並べ之れにポンプで適當な壓力をもたした油を縦に通過さすのである。此の様にすると不純物は勿論の事水分が殆んど除去される。其の順序は變壓器の油槽の下部よりコックを通じて取出した油を濾過器に送つて乾燥し乾燥した油は油槽の上部より返還するのであるから變壓器の運

轉中でも何等差支へなく行ひ得る便利がある。

濾過を終了すれば、少量の油を清淨な容器に取出して暫く放置し氣泡の消えるのを待ち變壓器油の試験装置に依つて絶縁試験を行ふのである。

83. 其の他の諸試験

以上の外使用に先立つて次の順序に種々なる試験を行ふのであるが、其の詳細は省略する事になる。

- (a) 抵抗試験
- (b) 變壓比試験
- (c) 極性試験
- (d) 鐵損試験
- (e) 短絡試験
- (f) 温度上昇試験
- (g) 耐壓試験

練習問題 2.

- (1) 變壓器に油を用ふる理由を述べよ。
- (2) 捲數比20:1の變壓器がある。全負荷の時二次端子電壓115V 電壓變動率2%とすれば一次端子電壓は何ヴォルトか、但し一次側電壓降下を無視する。
- (3) 20 K.V.A. の變壓器がある。二次の力率0.7の全負荷をかけた時銅損が0.35 K.W. 鐵損が0.25 K.W. であるとすれば全負荷能率は幾らになるか

- (4) 問題(3)の變壓器を一晝夜中、3時間は全負荷、4時間は $\frac{1}{2}$ 負荷で運轉し後の17時間は無負荷で使用するならば全日能率は幾らになるか。
但し負荷の力率は0.8とす。

- (5) 2個の同一なる單相變壓器を以て三相交流の變壓を行はんとするには
(I)及(II)圖中何れが正

しきか、又其由を述べよ

- (6) 下記の名稱の意義を略述せよ。

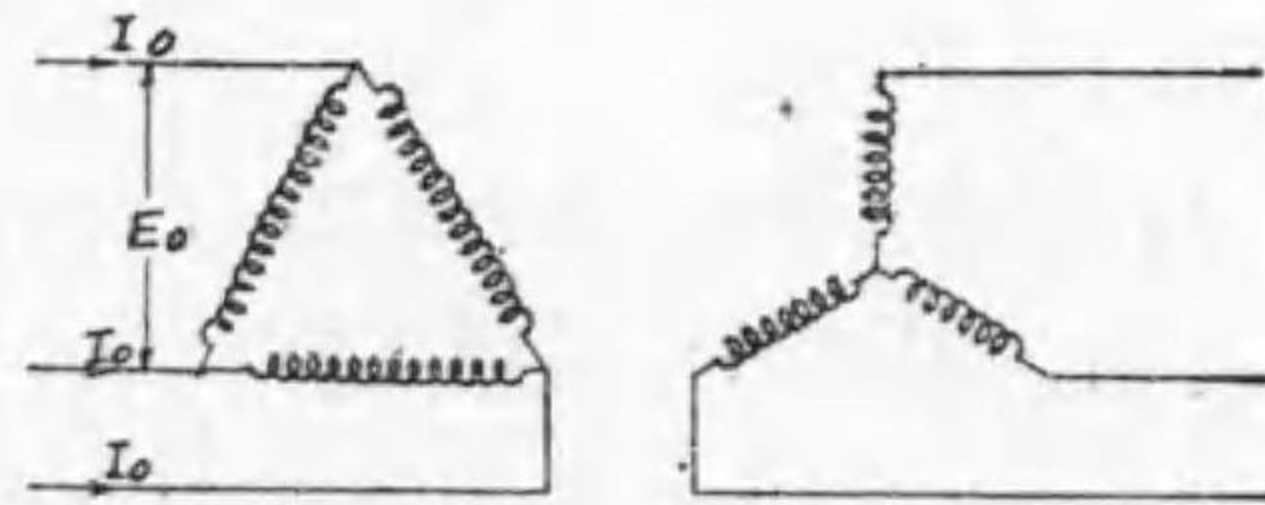
- (I) 變壓器の變動率
(II) 變壓器の極性

- (7) 變流器の二次回路は使用中開かない理由を述べよ。
(8) 下の様な單相變壓器がある。全負荷電流Iアンペア、二次電壓Vヴォルトに対する能率を概算せよ。(但力率1)

一次捲數 = N_1 一次抵抗 = r_1 オーム
鐵損 = W ワット
二次捲數 = N_2 二次抵抗 = r_2 オーム

- (9) 捲數比 $a:1$ なる三個の單相變壓器がある。之れを圖の様に一次を Δ

二次をYに接続して、三相交流回路に使用する時
一次端子電壓 E_0 、一次電流 I_0 とすれば、二次端子電壓及二次電流幾何

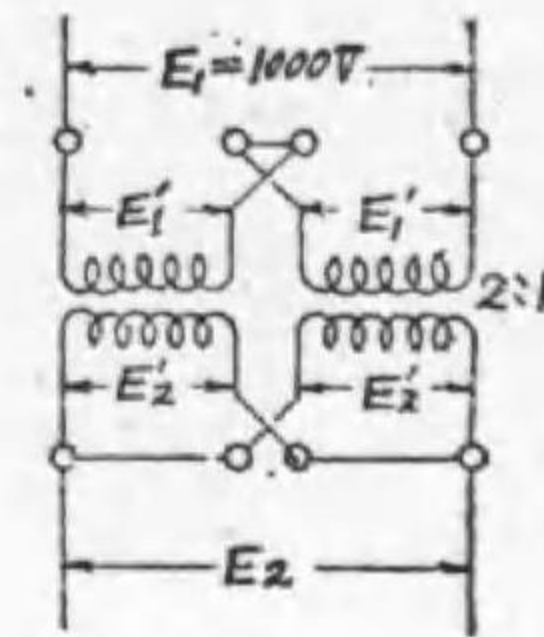


であるか。但し變壓器内の抵抗、リアクタンス及勵磁電流は無視するものとす。

- (10) 變壓器を並列に使用する際に必要な條件を挙げよ。

- (11) 50K.V.A. の同一單相變壓器を二個使用してV結線とした場合の出力を算出せよ。

- (12) 捲數比 $20:1$ の單相變壓器を圖の如く一次直列二次並列に接続し、一次線間に1000Vを供給するならば、 E_1' E_2' 及 E_2 の値は何程となるか。
但し一次及二次の電壓降下を無視する。



- (13) 一次線輪1470捲の變壓器がある。50サイクルで2460Vを發生せしめんには、何程の磁束を要するか。又同じ磁束で、二次誘導起電力を125Vとせんには、二次線輪を幾捲せば良きか。
(14) 5K.V.A. の定電壓變壓器がある。無誘導全負荷に於ける銅損120W、鐵損30Wとすれば、 $\frac{1}{2}$ 無誘導負荷に於ける能率略々幾らか。

解 答

練習問題 1.

- (1) 8極
 (2) $\frac{\sqrt{3} V I \cos \theta}{1000}$ K.W
 (3) 90アムペア

練習問題 2.

- (2) 2346 V
 (3) 96.4%
 (4) 91.5%
 (8) $\frac{V I}{V I + I^2 \left\{ \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 r_1 + r_2 \right\} + W} \times 100\%$
 (9) $E_2 = \frac{\sqrt{3} E_o}{a}$ $I_2 = \frac{a I_o}{\sqrt{3}}$
 (11) 44K.V.A.
 (12) $E_1' = 500V$ $E_2' = 25V$ $E_2 = 25V$
 (13) 755000本 75捲
 (14) 95.8%

交 流 機 械 (後編) 209

誘 導 電 動 機

第一章 三相誘導電動機の内容

1. 誘導電動機の特徴

電動機を大別すると、直流電動機 (D.C. motor) と交流電動機 (A.C. motor) とになる。交流電動機を更に分類すると、同期電動機 (synchronous motor), 誘導電動機 (induction motor), 整流子電動機 (commutator motor) 等に分たれる。

然し現在世上に最も広く使用されてゐる電動機は誘導電動機であり、普通にモートルと云へば三相誘導電動機と思つて間違ひない位である。誘導電動機がかく広く一般に使用せられるに至つた理由は

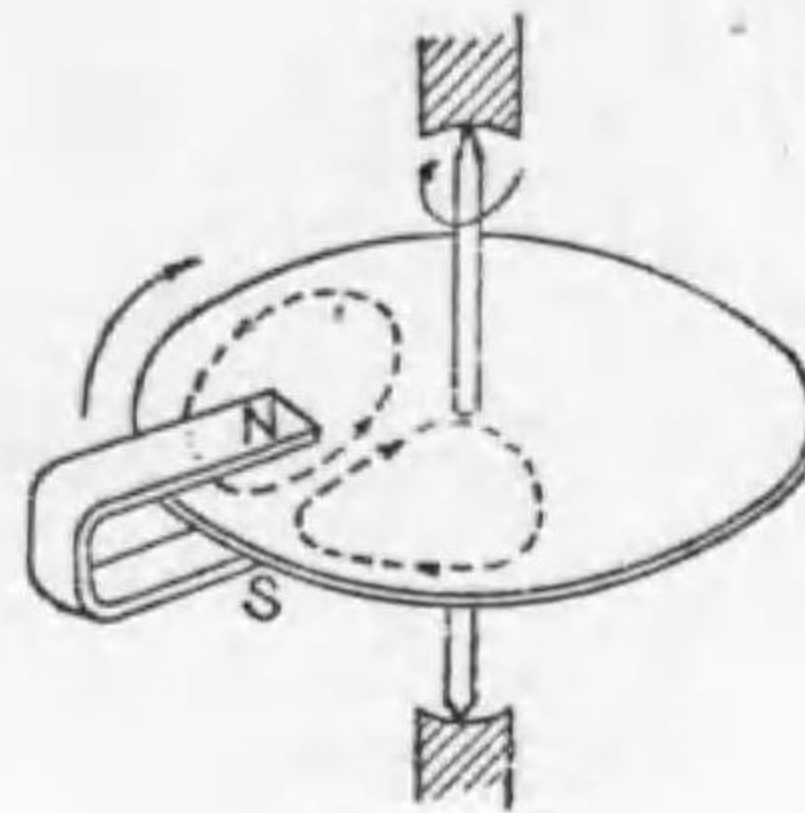
- (a) 価格が他の電動機に比して安いこと
- (b) 取扱ひが容易なこと
- (c) 構造が簡単で堅牢なこと
- (d) 諸特性が相等良好なこと
- (e) 故障が少ないこと。

等である。

2. アラゴの圓板

第1圖に示す様に耐久磁石の兩極間に圓板を挟み、圓板の中央に軸を取付け軽く回轉し得る様にしておいて、耐久磁石を矢の如く時

計方向に回轉させると、銅の圓板は磁束を切り圓板には渦流 (eddy current) が流れる。此の渦流の方向はフレミングの右手三指の法則により第1圖矢の様になる。此の渦流と耐久磁石の間には左手三指の法則に依る回轉力を生じ、圓板を矢印の方向則ち耐久磁石と同一方向に回轉させる事が出来る譯である。

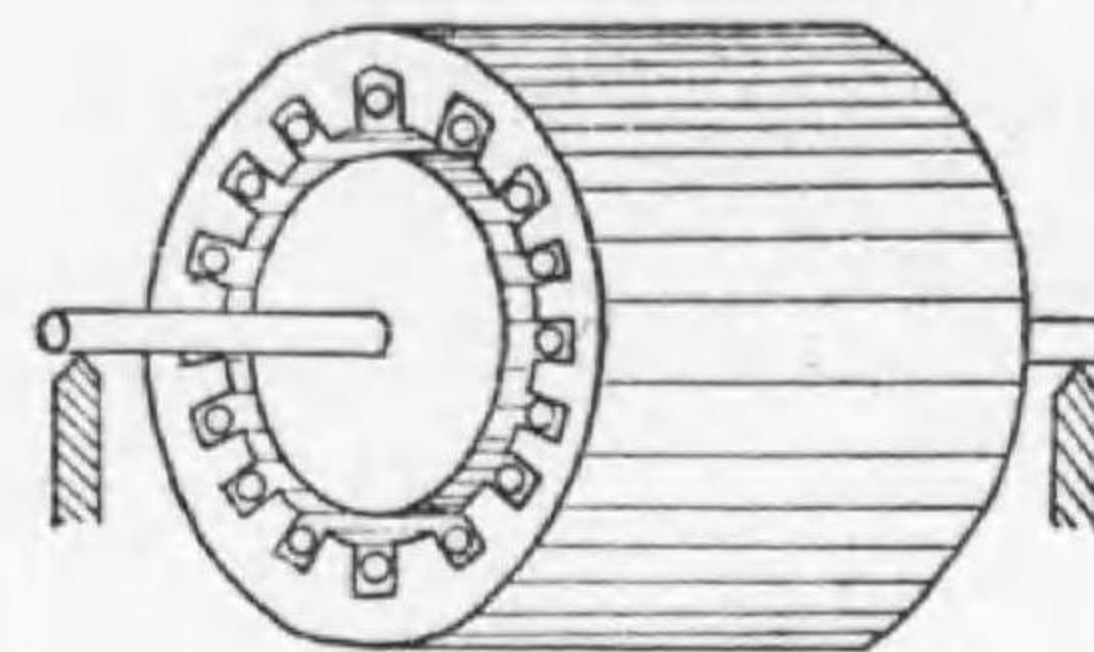


第 1 圖

此の圓板をアラゴの圓板 (Arago's disk) と云ひ、誘導電動機の原理を示すものとして有名である。

3. 誘導電動機の原理

前節に説明したアラゴの圓板は耐久磁石を外力で回轉させたが其の代りに回轉磁界を使用する事が出来る。則ち交流發電機の發電子と同様な構造を有する固定子 (stator) を作り、之れに他の電源から多相交流を供給すれば、其の鐵心内に回轉磁界を生ずる事は既に交流理論に於て説明せる通りである。故に此の固定子内部に銅の圓筒を置き、第2圖の如く自由に回轉し得る様軸に取付ける。さうして固定子に多相交流を供給して回轉磁界を生せしめると、アラゴの圓板と同様に内部の圓筒には渦流を生じ回轉磁界と同方向に回轉する。故に軸は機械力を發生する事が出来る。これ則ち誘導電動機である。



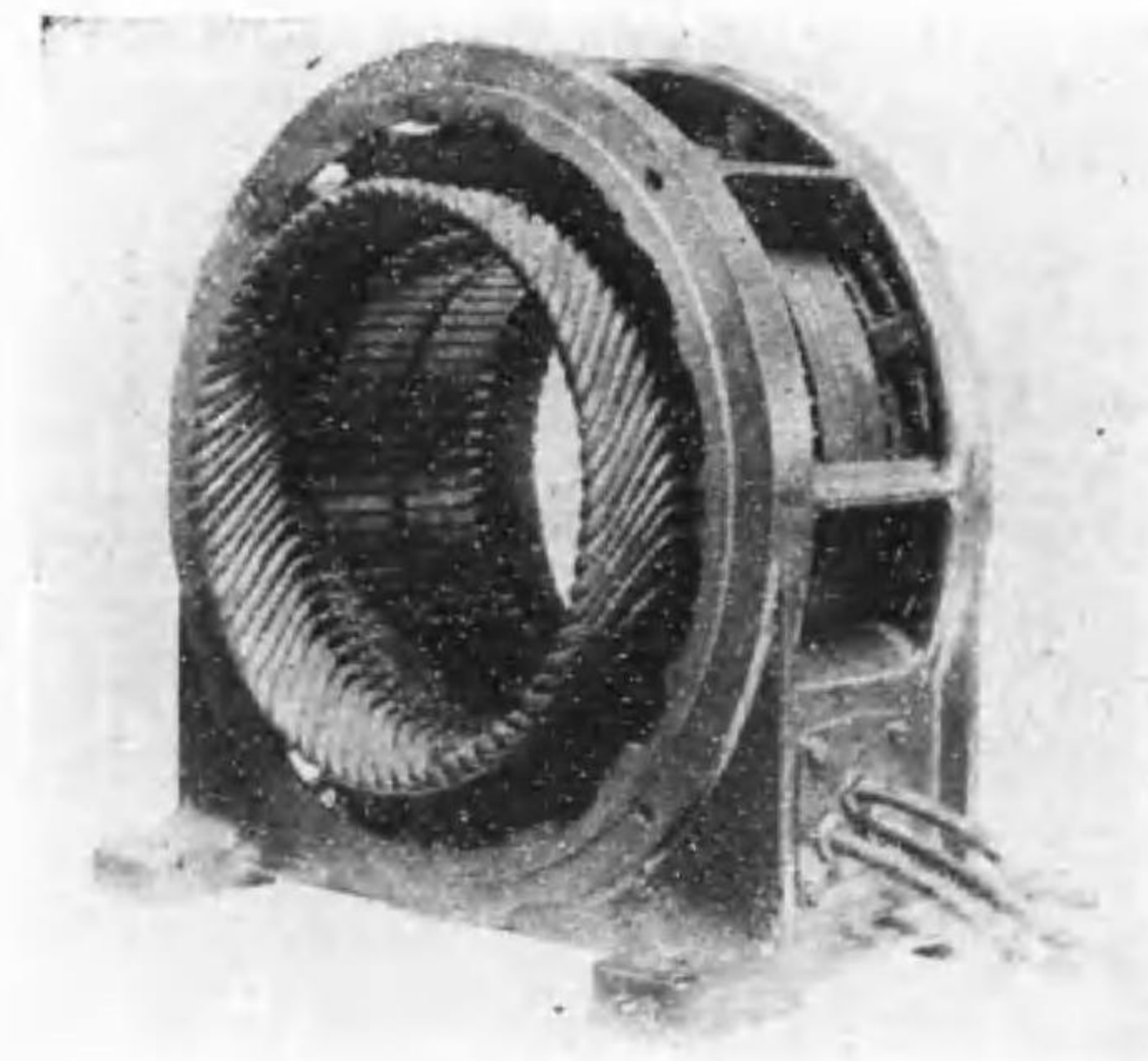
第 2 圖

實際の誘導電動機に於ては更に改良が加へられてゐる。即ち磁氣抵抗を少なくする爲に回轉子にも成層した鐵心がおかれ、且つ渦流を成るべく軸と並行に導いて回轉力を大ならしめる爲に、銅の圓筒の代りに多數の銅棒を使用して規則正しい回路を形作る様にしてある。

4. 固定子の構造

以上述べた如く誘導電動機の固定子は全く交流發電機の發電子と同様に外枠 (frame) の内部に成層せる鐵心 (core) を堅く締めて取付け、鐵心の内側には多くの溝 (slot) を設けて之れに線輪 (coil) を嵌めたものである。

鐵心の溝は小容量低壓のものでは半閉溝 (semi-enclosed slot) が多いが、大型高電壓の



第 3 圖

ものでは全閉溝(open slot)を使用する事が多い。鉄板は鐵損を少なくするため、成層する前に一枚宛塗料を塗つて絶縁する。第3圖は誘導電動機の固定子を示す。

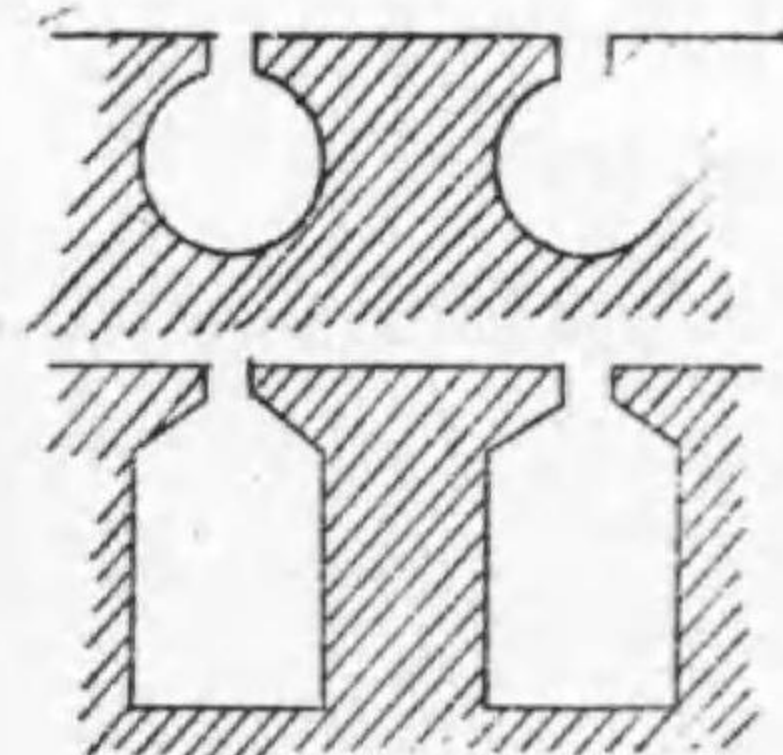
5. 回轉子の構造

誘導電動機の回轉子(rotor)は薄い鋼板を圓形に切り其の外周に溝を作り、之れを成層したるものを堅く締め付けて鐵心とする。回轉子鐵心(rotor core)は絶縁塗料を以て絶縁するに及ばない。そうして固定子と僅かな空隙(air gap)を隔て、軸(shaft)と共に廻る事が出来る。

溝には適當な捲線を施すか其の捲線の方法により大別して次の2種類とする。

- (a) 籠型回轉子(squirrel cage rotor)
- (b) 捲線型回轉子(wound rotor)

籠型回轉子は鐵心の周圍に第4圖に示す如き、圓形又は矩形の溝を作り、此の溝内に1本宛の銅棒を入れ其の兩端には各1箇の端環(end ring)を具へて多數の銅棒の兩端を鐵着け、鉸着け、鎔接又は鑄込として短絡してある。



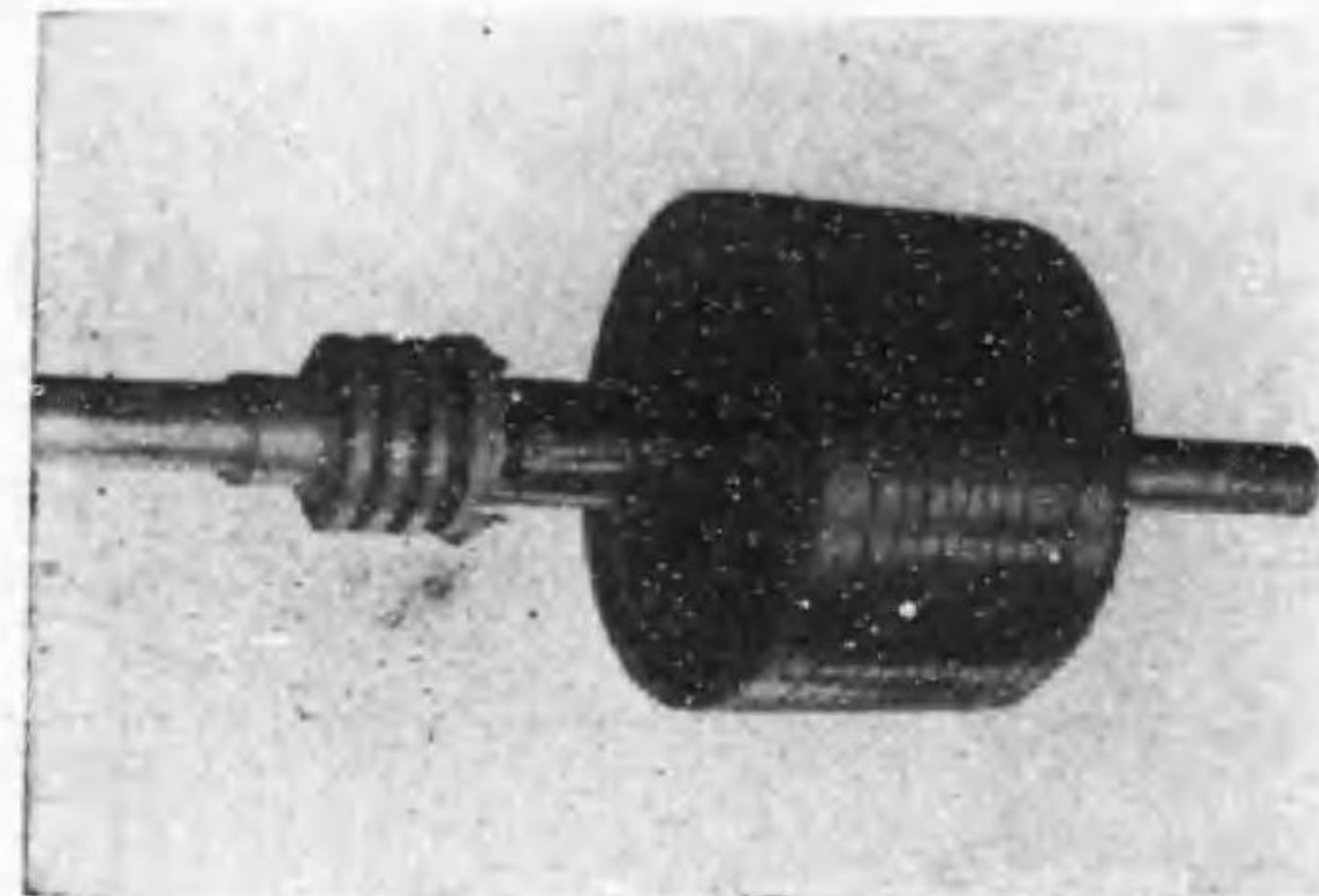
第4圖

第5圖は回轉子籠型捲線、鐵心、並に其の組立てを示した寫真である。



第5圖

捲線型回轉子は第6圖に示す如く、回轉發電子型交流發電機の發電子の如き構造のもので、其の溝は半閉溝を使用してある。溝の内

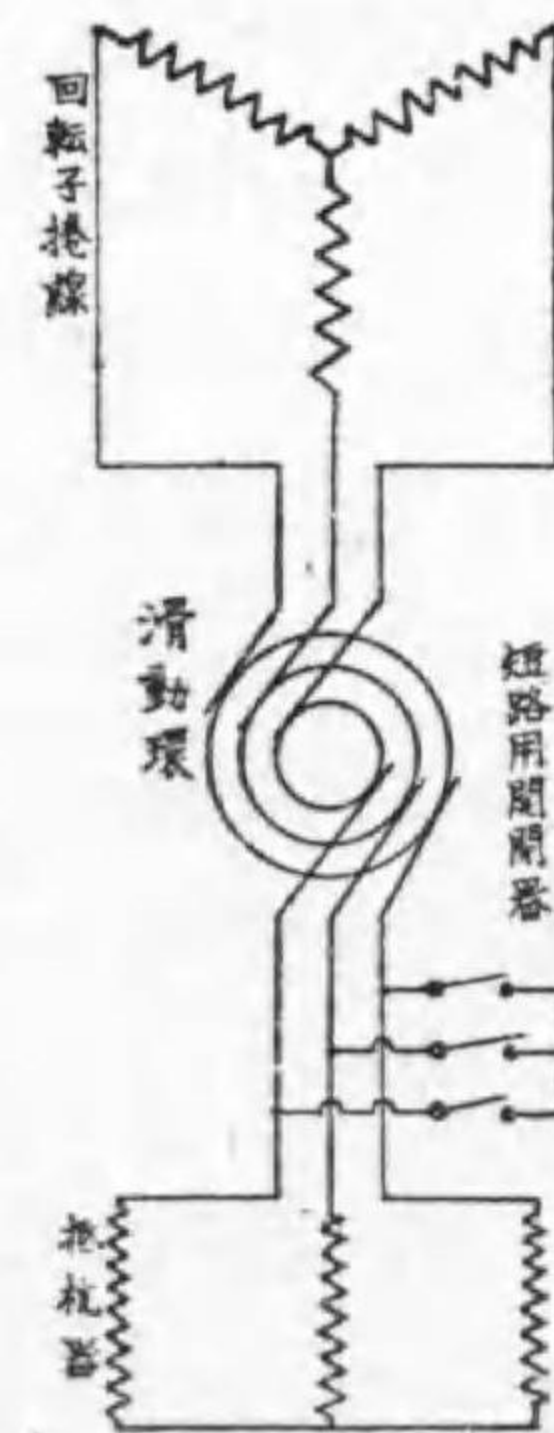


第6圖

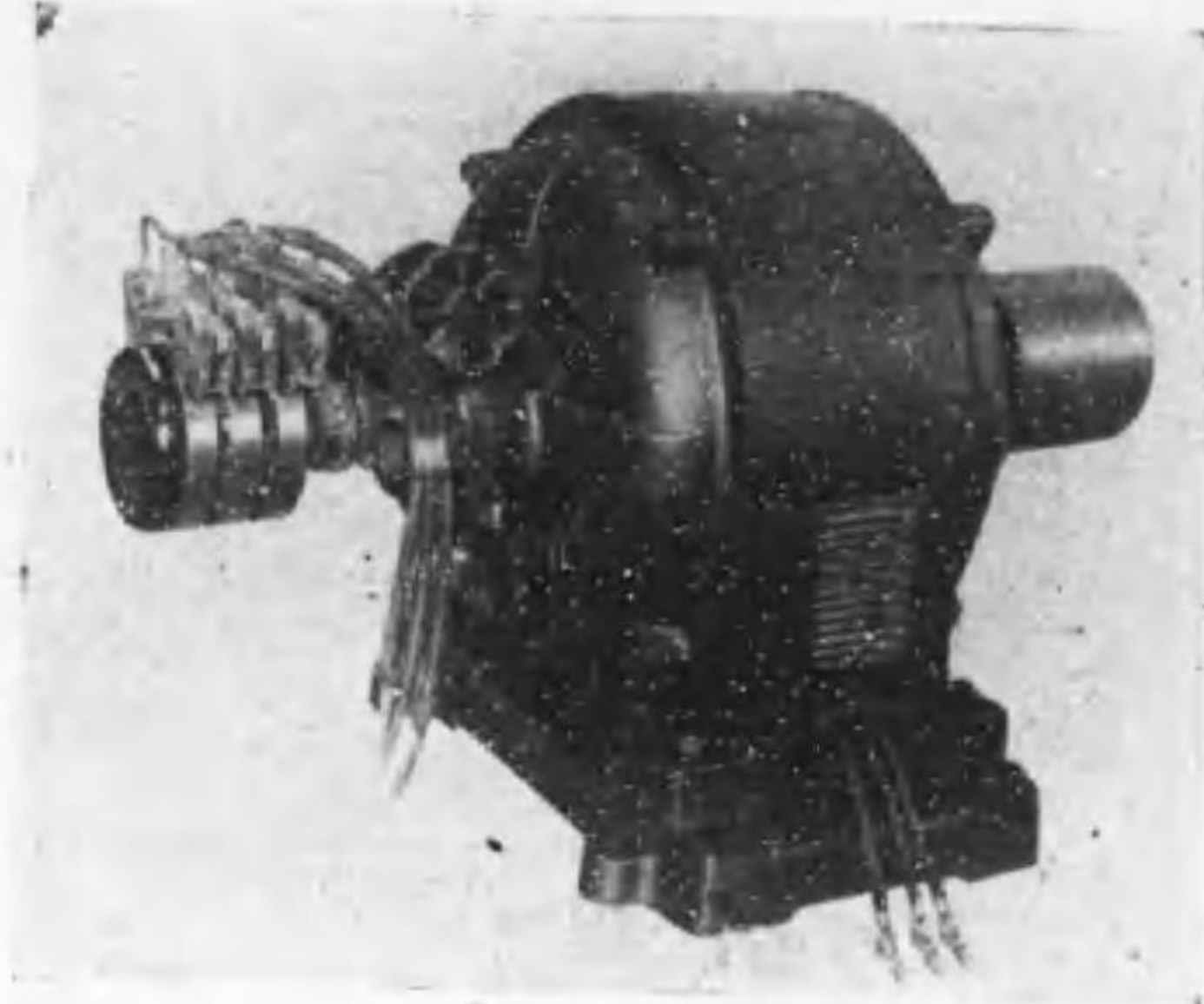
には2本の銅棒を入れ、三相二層捲々線(three phase double layer winding)を施し、之れを第7圖の

如く星形(star)に結線し、端子は3箇の滑動環(slip ring)につないである。滑動環には各々刷子(brush)を接觸させ外部に於て加減抵抗器を経て短絡される。

此の刷子は必要に應じて滑動環から引離し同時に滑動環3箇を短絡する装置のものもある。此の装置を刷子離揚装置(brush lifting device)と云ひ、第8圖は此の装置を有する



第7圖



第 8 圖

電動機の寫眞である
 刷子を揚げる事の
 利益は、第一に刷子
 の消耗を防ぐこと、
 第二に刷子に依る摩
 擦損を少なくする事
 等であるが、其の構
 造が適當でないとな
 る故障の原因となる虞
 がある。

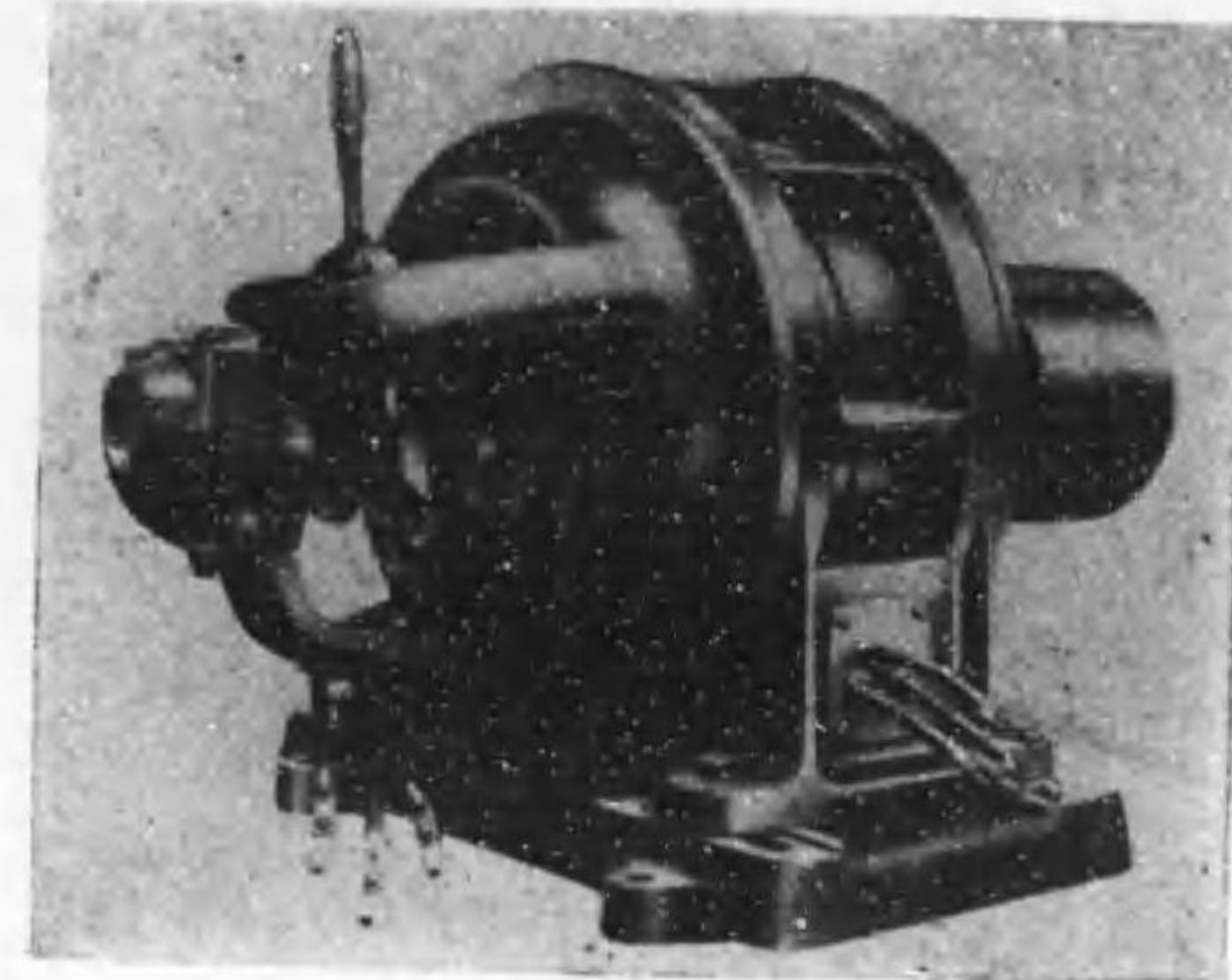
6. 型の種類

誘導電動機は他の電気機械と同様、其の用途に依り種々の型がある。其の主なるものを列挙すると次の様になる。

- (a) 開放型 (open type)
- (b) 半閉型 (semi-enclosed type)
- (c) 全閉型 (totally enclosed type)
- (d) 閉鎖通風型 (enclosed ventilated type)
- (e) 全閉外被通風型 (totally enclosed fan cooled type)
- (f) 全閉水冷型 (totally enclosed water cooled type)
- (g) 防爆型 (explosion proof type)

開放型は廣く一般に使用せられ、空氣は鐵心及び線輪に直接自由に觸れて之を冷却する型である。従つて外枠等は冷却空氣がなるべ

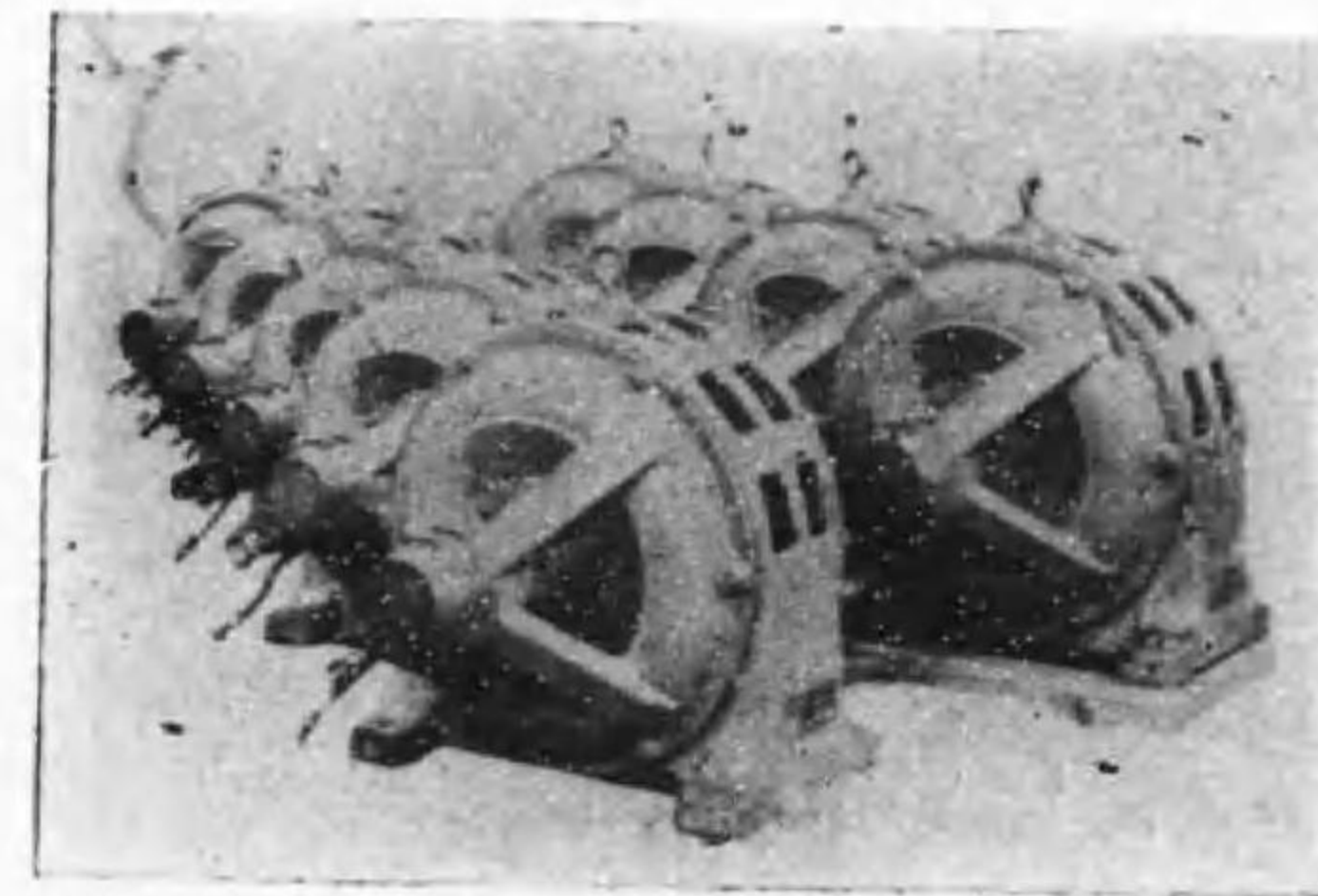
く自由に入出出来る
 様に作られる。第9
 圖は此の型のものを
 示す。



第 9 圖

半閉型には色々な
 型がある。大きな異
 物の入らない様に開
 放型電動機の窓に網
 を張つたもの又は窓
 が錠戸式になつて居

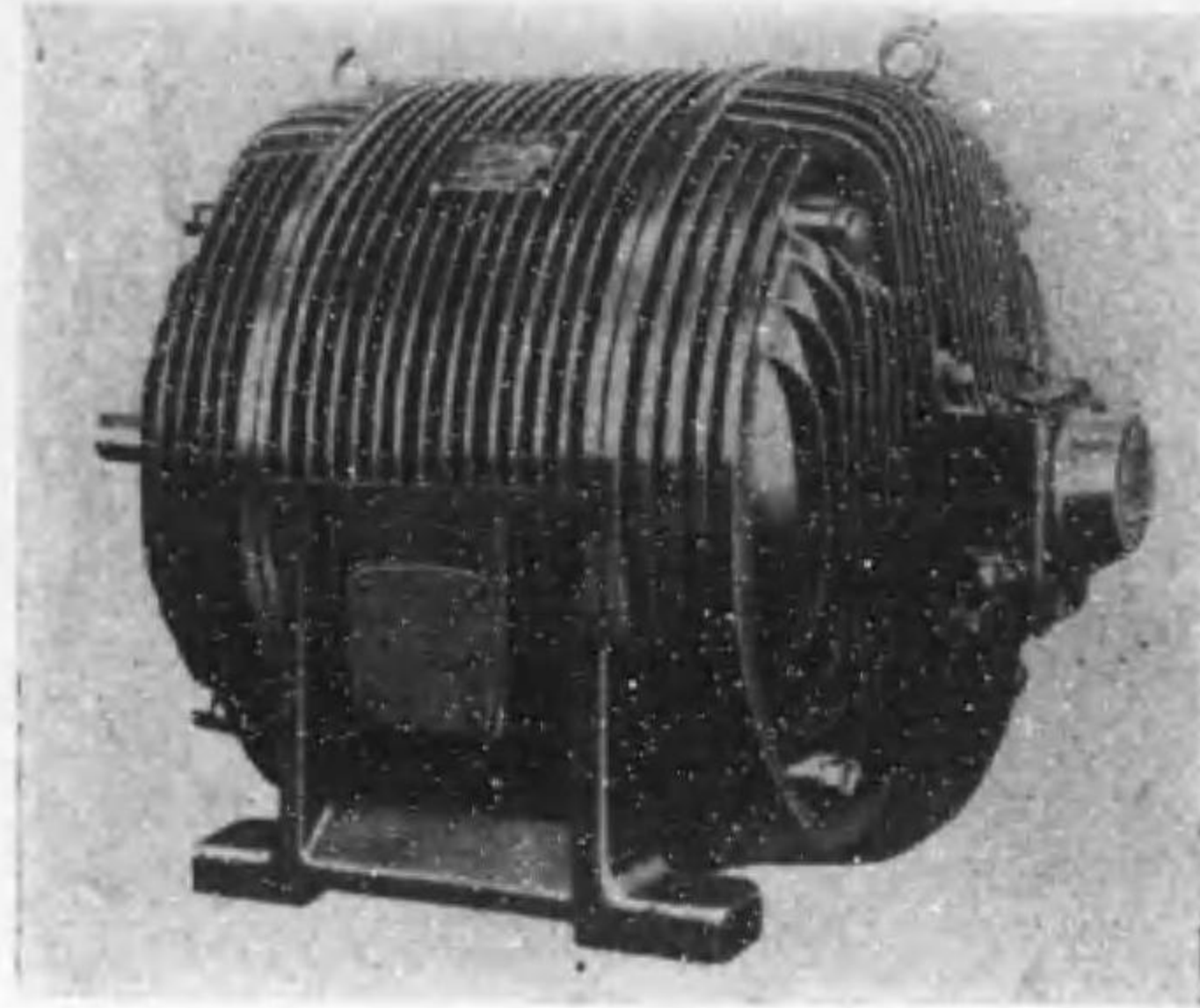
て隧道内其の他水の滴下する所に使用せられるもの等があり、時として開放型の窓が比較的小さいものをも半閉型と云ふこともある。



第 10 圖

全閉型は空氣中に
 多量の濕氣、鹽分、
 酸、塵埃其の他有害
 なるものを含んでゐ
 る場所に使用される
 型で、電動機内の空
 氣と外氣とは遮斷さ
 れて居り、内部の熱
 は外枠等を通じて外

氣に放散されるものである。従つて熱の放散は開放型よりも甚だ困難であつて、容量に比して形は大きくなることを免れない。



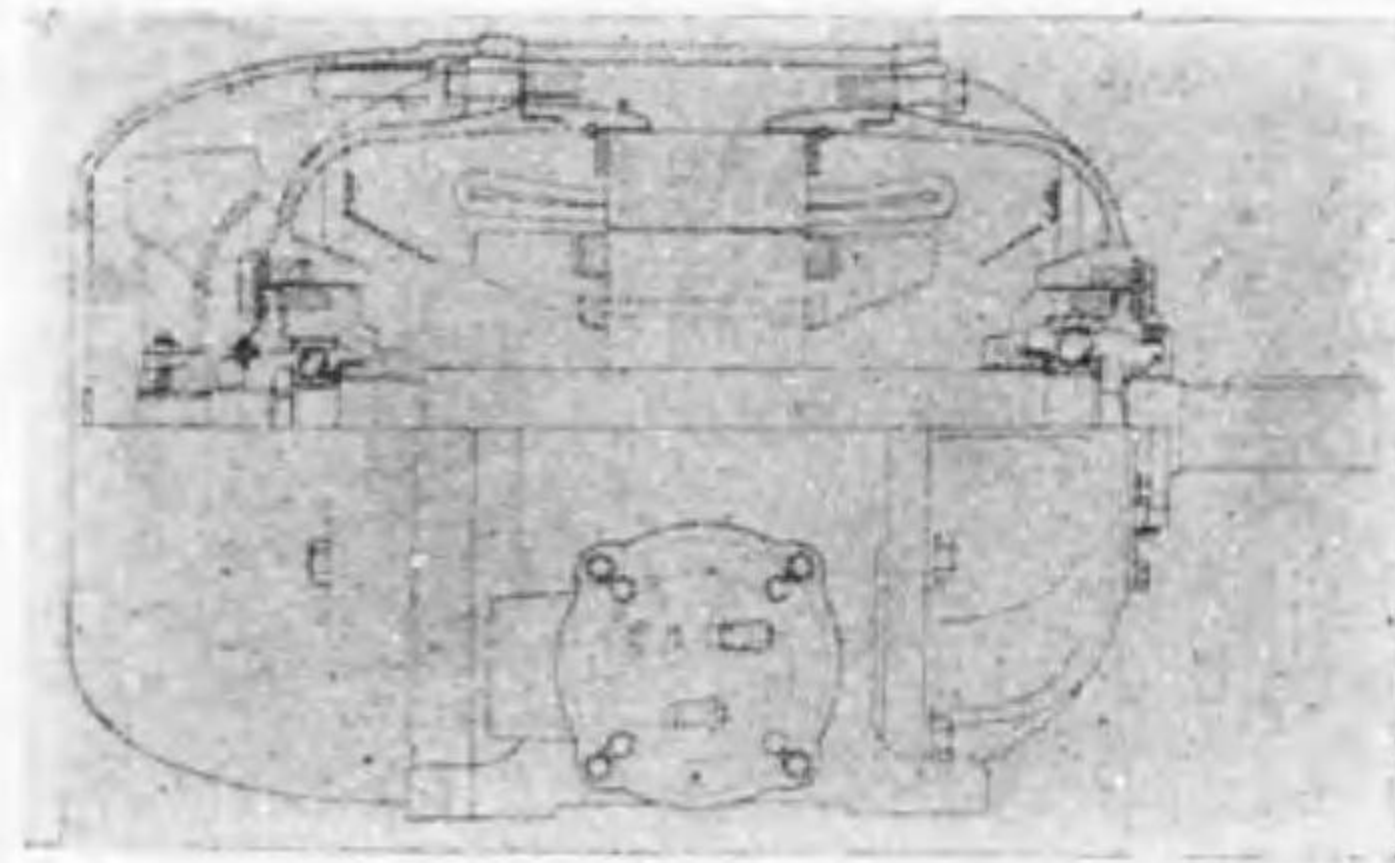
第 1 1 圖

第11圖は外枠及び側蔽にリブを附して放熱効果を大きくしたリブ附全閉型誘導電動機の寫眞である。

全閉外被通風型は第12圖示にす如く、電動機の主要部分を閉鎖し鐵心

と外被との間に風の通路を設け、強力なる扇風翼を以て冷却するもので、全閉型と同じ用途に使用せられる。

閉鎖通風型にも種々の型があるが一般に側蔽に極めて小さき通風口を設け、其の他の部分は全部閉鎖したもので、回轉子軸には強力なる扇風

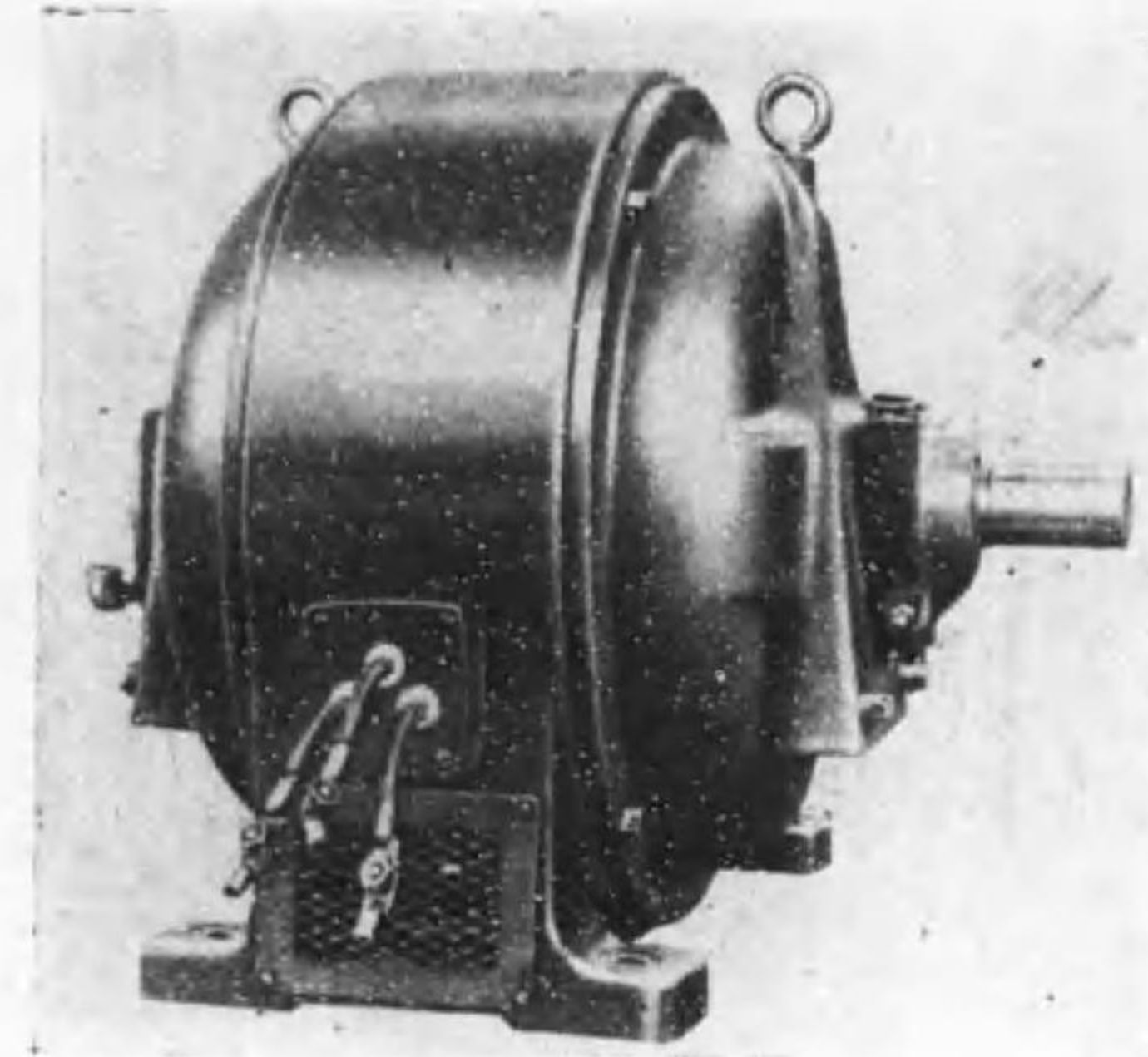


第 1 2 圖

翼を有して居り、空氣は側蔽の小窓を通じて機内に送り込まれて電動機を冷却するものである。若し室内の空氣が多量の濕氣又は塵埃等を含んで居る時は通風口にパイプを取り付け室外の清淨な空氣を

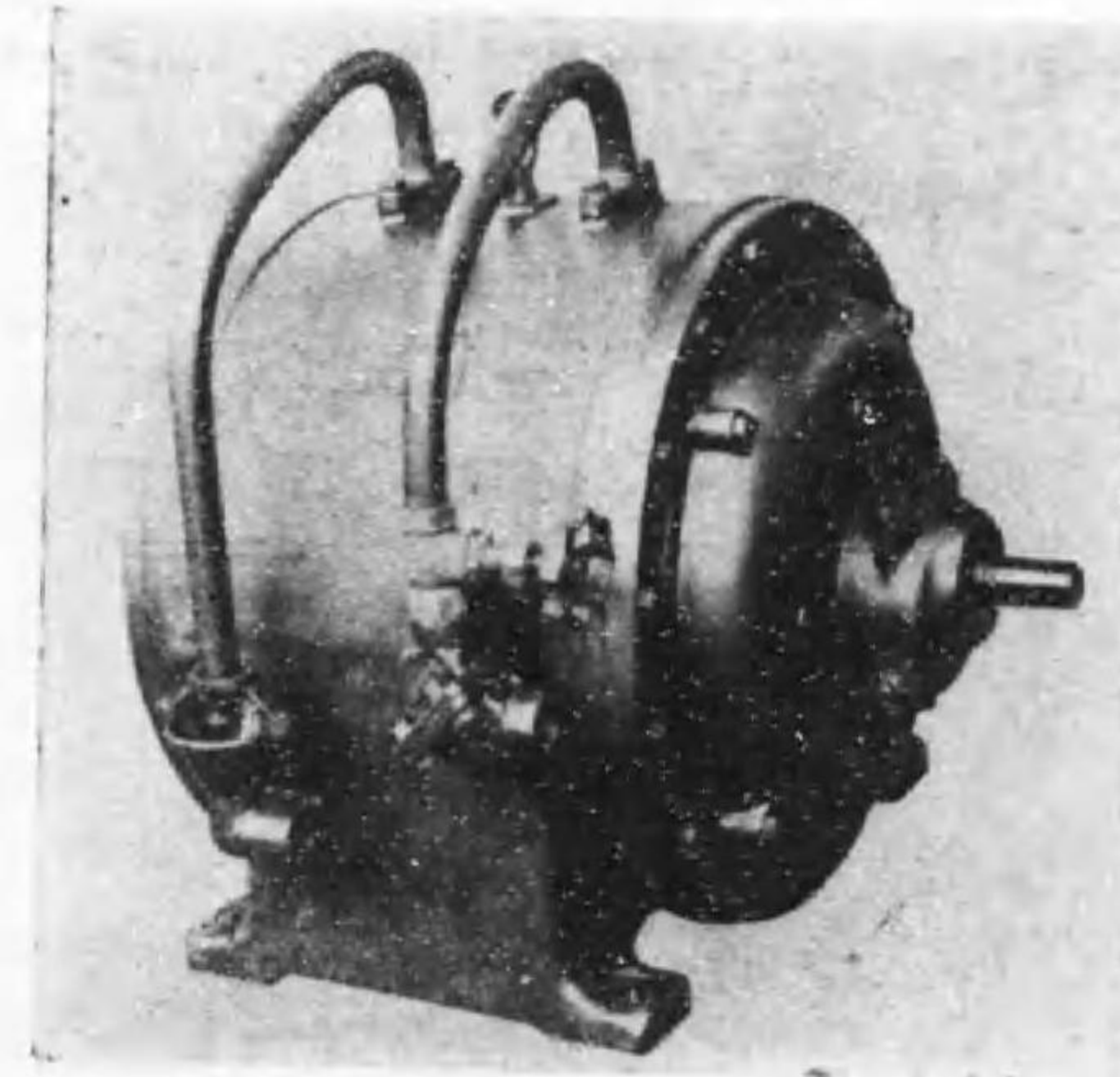
導いて冷却するものである。

全閉水冷式は電動機の内部に水管を取り付け、水を循環せしめて機内の熱を奪ひ去らしめるものであるが此の式のものゝ適當な冷却水の得られる所に限られる



第 1 3 圖

缺點がある。第14圖は此の型のものゝ寫眞である。

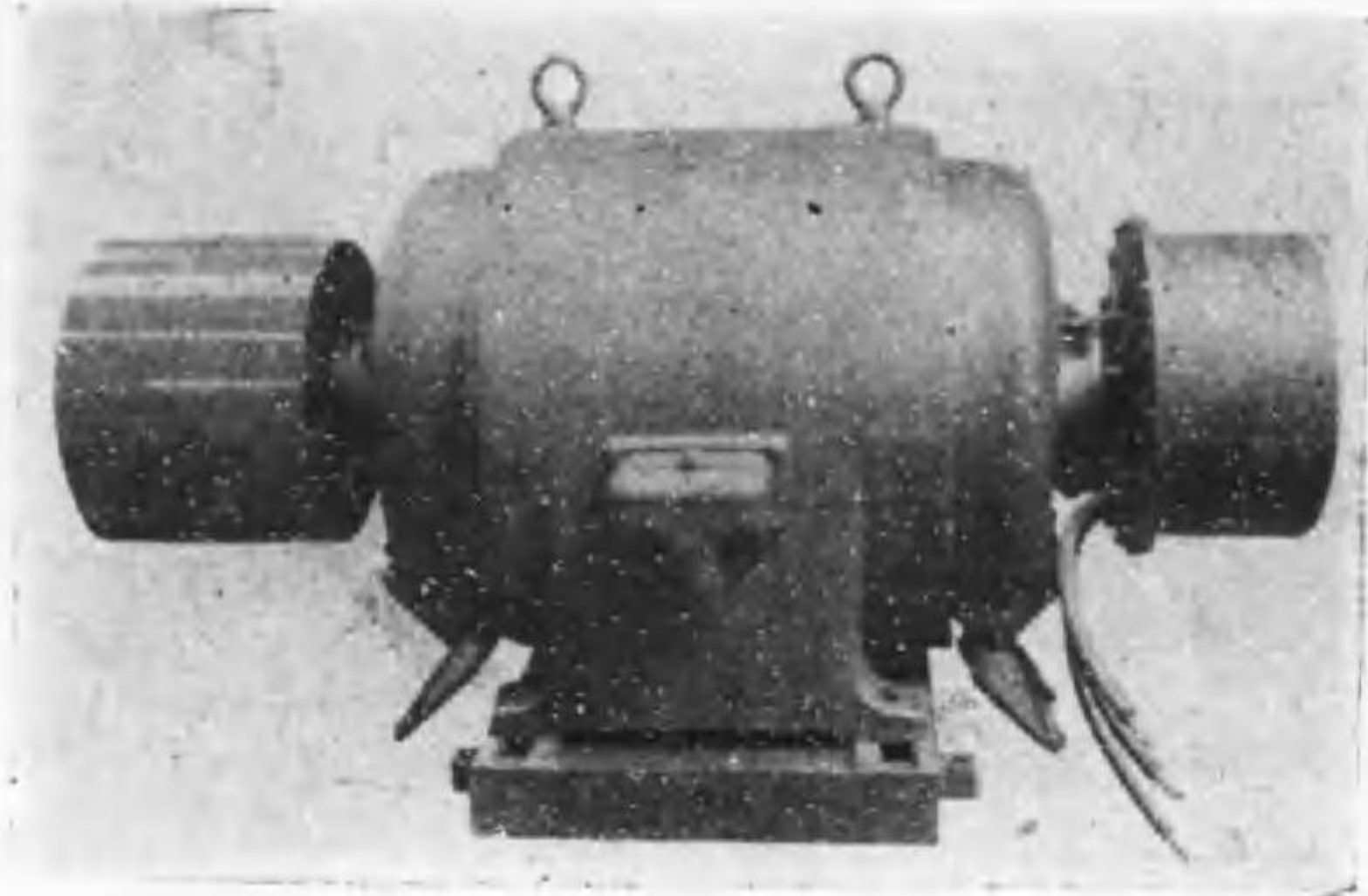


第 1 4 圖

防爆型は炭坑内の如く、瓦斯爆發の危険ある場所に使用せられるもので火花の生ずる虞ある部分を密閉して外氣を遮蔽するか、又は火花を生じても火焰が外部に漏れない構造になつてゐる。特に

火花を発生し易い滑動環部分のみを遮蔽したものを防爆滑動環型電動機と云ふ。第15圖は防爆型のものゝ一例である。

尙最近では耐水型又は水中型とも云ふべきものも作られ、水中にて運轉しても差支ないものもある



第 1 5 圖

7. 容量と速度

交流理論及び同期交流發電機の部に於て説明した如く、一般に電氣機械に於ては、磁極の數と回轉數との間には次の如き一定の關係がある。

$$N = \frac{120 f}{P}$$

但し

N = 回轉數毎分

f = 周波數

P = 磁極數

誘導電動機に於ても、回轉磁界の速度と、固定子捲線の磁極數と

供給電壓の周波數との間にはこれと同様な關係がある。即ち

N = 回轉磁界の速度(回轉數毎分)

f = 供給電壓の周波數

P = 固定子捲線の磁極數

とすれば

$$N = \frac{120 f}{P}$$

此の速さ N を誘導電動機の同期速度と云ひ、磁極數と周波數とに

第1表 容量と速度

定 格 出 力		極 數	同 期 速 度		回 轉 子 型
馬 力	キ ロ ワ ッ ト		50 サ イ ク ル	60 サ イ ク ル	
1	.75	4	1500	1800	籠 型
2	1.5	"	"	"	"
3	2.25	"	"	"	"
5	3.75	"	"	"	"
7½	5.6	"	"	"	"
10	7.5	"	"	"	"
15	11.2	"	"	"	"
10	7.5	6	1000	1200	捲線型
15	11.2	"	"	"	"
20	15.0	"	"	"	"
30	22.5	"	"	"	"
50	37.5	"	"	"	"
50	37.5	8	750	900	"
75	56.0	"	"	"	"
100	75.0	"	"	"	"

依つて決定せられる数である。

一般に誘導電動機の極数は容量に依つて略々定まつて居り、其の同期速度は、第1表に示す様なものが普通である。

第二章 三相誘導電動機の理論

8. 滑り

誘導電動機の固定子巻線に依つて発生する回轉磁界は、常に同期速度を以て回轉するものである。

回轉子の回轉力は、回轉子導體が回轉磁界を切り回轉子に電流が流れる爲に発生するものである。故に回轉子は回轉磁界と同一速度で廻る事は出来ない。又外力を加へて廻してやらない限り同期速度よりも早く廻ることは出来ない。何故なれば若し同期速度より早く廻つたと假定すれば、回轉子には今までと反對の電流が流れて逆の回轉力を発生する故である。依つて誘導電動機の回轉子は常に同期速度より幾分低い速度で回轉してゐるものである。同期速度と回轉子速度との差を滑り (slip) と云ひ、同期速度に對する百分率を以て表はす。則ち

$$\text{滑り } s = \frac{\text{同期速度} - \text{回轉子速度}}{\text{同期速度}} \times 100\%$$

滑りが100%とは回轉子が靜止してゐる事を示し、滑りが零とは同期速度で廻つてゐる事である。滑りが100%より大きいことは回

轉子が回轉磁界と反對方向に廻つてゐる事を表はし滑りが負の値であるとは同期度より早く回轉してゐる事を意味する。後の二つは電動機に外力を加へて廻す場合の外起り得ない。

滑りは容量に依り或は速度に依り多少相違するが、普通3%乃至8%位である。概して大容量のもの程滑りが小さく小容量のものは滑りが大きい。又同じ電動機でも無負荷の際は滑りは甚だ小さく、殆んど同期速度で回轉して居ると見る事が出来る。

特別用途の電動機、例へば起動の際に大きな回轉力を必要とする誘導電動機にあつては滑りが10%を越すものもある。

9. 誘導起電力

多相誘導電動機に於ては固定子線輪 (stator coil) は常に自己の發生する回轉磁界を切る故に、固定子線輪内には電壓が誘導される。そして此の誘導起電力の方向は供給電壓と180°の相差を有するから變壓器の場合と同様逆起電力として働く。

又回轉磁界は回轉子導體と鎖交する故に回轉子導體にも電壓を誘導し、其の値は回轉子が靜止してゐる場合に最大であり、次の式で表はされる。

$$E_2 = 4Kf\phi n_2 \times 10^{-8} \quad \text{ヴォルト} \dots \dots \dots (1)$$

但し

K = 係數

f = 電源の周波數

ϕ = 每極の磁束數

$n_2 =$ 回轉子每相の巻回数

回轉子が回轉し始めると、回轉磁界と回轉子導體と切合の度数は次第に少くなり、誘導起電力の値も減少する。

一般に滑り S なる時の誘導起電力は

$$SE_2' = 4KSf\phi n_2 \times 10^{-8} \quad \text{ヴォルト} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

10. 回轉子電流と其の周波數

前節に述べた如く、回轉子導體に誘導せられる電壓は、回轉子が靜止してゐる時に最大であるが故に導體に流れる電流も亦靜止の時最大である。回轉子が廻り始めると誘導起電力も減少するから回轉子電流も従つて減少する。

今、回轉子一相の抵抗を R_2 オーム、靜止リアクタンスを X_2 オームとすれば、滑り S なる時の回轉子一相の電流は次式で表はされる。

$$I_2 = \frac{SE_2'}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \quad \text{アムペア} \dots\dots\dots (3)$$

又其の力率は

$$\cos \phi_2 = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2)^2}} \dots\dots\dots (4)$$

次に回轉子電流の周波數は、靜止の際には固定子の周波數 f と全く同一であるが、回轉子が回轉し始めると次第に周波數は減少し始め、滑り S なる時の回轉子周波數は

$$f_2 = Sf$$

となる。

例へば、固定子の周波數が 60 サイクルで、滑りが 4% なる時の回轉子の周波數は

$$f_2 = \frac{4}{100} \times 60 = 2.4 \quad \text{サイクル}$$

である。

11. 無負荷電流及び負荷電流

電動機を無負荷の状態とし、固定子線輪に規定電壓を供給すると回轉子は回轉を始め、次第に加速して遂には殆んど同期速度に達する。此の状態に於て固定子に流入する電流を無負荷電流 (no-load current) と云ふ。

無負荷電流は、磁束を作る爲の磁化電流 (magnetizing current) と鐵損及び機械損に對する有効電流との合成電流である。

次に電動機に負荷すれば滑りは増し、回轉子線輪の電流も増加して大なる機械力を發生する。此の場合回轉子に流れる電流を回轉子負荷電流 (rotor load current) 又は二次負荷電流 (secondary load current) と云ひ、或は單に回轉子電流 (rotor current) 又は二次電流 (secondary current) と云ふ。

回轉子に電流が流れれば、其の起磁力 (m. m. f.) を打消す爲に固定子の電流は増加しなければならない。此の増加した丈の固定子電流を一次負荷電流 (primary load current) と呼ぶ。一次負荷電流と無負荷電流との合成電流が固定子電流 (stator current) である。固定子電流は又一次電流 (primary current) とも云ふ。

此等電流の関係は變導器に於て説明した時と同様であるが、誘導電動機は大きな空隙を有する故に、無負荷電流は變壓器に比して甚だ大きく、固定子電流の30%乃至50%位に達する。固定子電流に對する無負荷電流の比は小容量電動機に於て大きく、大容量電動機に於て小さい。又高速度のものは小さく低速度のものは割合大きい。

12. 電壓比及び電流比

誘導電動機の固定子と回轉子との電壓比 (voltage ratio) に就いて考へて見やう。

周波數を f 、每極の磁束數を ϕ 、固定子一相の捲回數を n_1 とし、回轉子一相の捲回數を n_2 、滑りを S とすれば、固定子に誘導する逆起電力 E_1' は

$$E_1' = 4Kf\phi n_1 \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

回轉子に誘導する起電力 E_2' は

$$E_2' = 4KSf\phi n_2 \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

但し K は種々の係數である。

従つて、

$$\frac{E_1'}{E_2'} = \frac{4Kf\phi n_1 \times 10^{-8}}{4KSf\phi n_2 \times 10^{-8}} = \frac{n_1}{Sn_2} \dots\dots\dots (5)$$

固定子供給電壓と逆起電力とは多少違ふがインピーダンス降下 (impedance drop) を閑却し、二者相等しいと假定すれば、固定子電壓 E_1 と二次誘導起電力 E_2' との比は

$$\frac{E_1}{E_2'} = \frac{n_1}{Sn_2} \dots\dots\dots (6)$$

となる。

次に固定子と回轉子との電流比 (current ratio) に就ては理論が相當複雑ではあるが、固定子と回轉子との相數が相等しい場合には無負荷電流を閑却し、固定子電流に依る起磁力と回轉子電流に依る起磁力とは相等しいとして概算することが出来る。則ち

n_1 = 固定子每相の捲回數

I_1 = 固定子電流

n_2 = 回轉子每相の捲回數

I_2 = 回轉子電流

とすれば、

$$n_1 I_1 = n_2 I_2$$

従つて

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

又は

$$I_2 = \frac{n_1}{n_2} I_1 \dots\dots\dots (7)$$

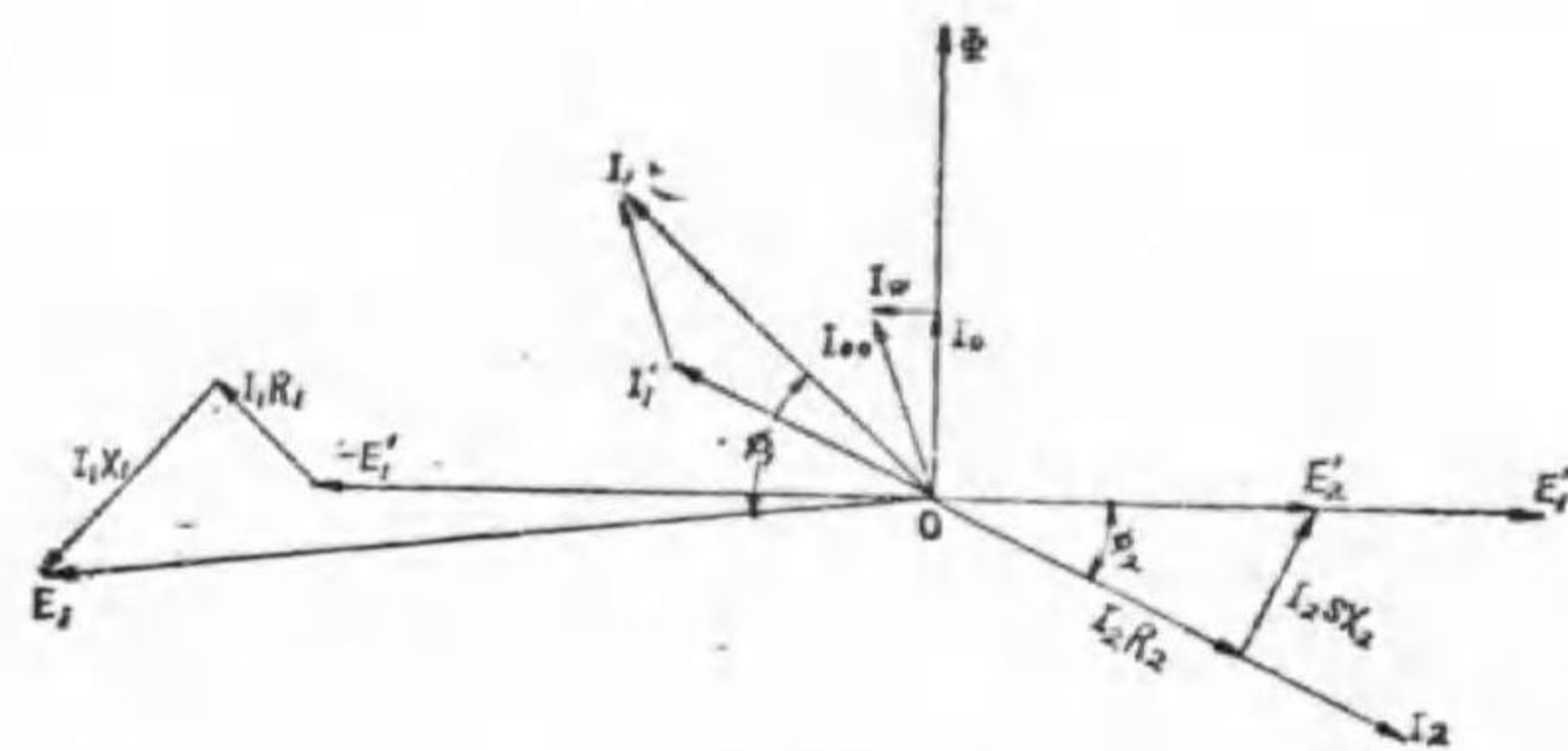
實際に於ては、回轉子電流は此の割合より稍々少く、普通は此の値の90%内外となる。

13. ヴェクトル圖

以上述べた事により明かな様に誘導電動機の理論は、變壓器の理論に甚だよく似てゐる。即ち變壓器は一次線輪に電力を受けて之れを二次線輪に傳へ、二次線輪は受けた電力を單に變壓して再度電力

として出すものであり、誘導電動機は固定子に受けた電力を回轉子に傳へ、回轉子は受けた電力を機械力に變へて外部に出すものである。唯相違するところは出力が一方は電力であり、他方は機械力である点のみである。

従つて誘導電動機の**ベクトル圖** (vector diagram) は全く變壓器と同様に描くことが出来る。但し各部の大きさは解り易い様に實際のものゝ割合とは大いに相違して描いてある。



第 16 圖

- Φ = 每極の磁束數
- E_1' = 固定子誘導起電力 (逆起電力)
- E_2' = 回轉子誘導起電力
- $-E_1'$ = 固定誘導起電力に打勝つべき電壓
- I_0 = 磁化電流
- I_w = 鐵損及び機械損に相等する有効電流
- I_{c0} = 無負荷電流
- I_1' = 一次負荷電流

I = 固定子電流

I_2 = 回轉子電流

$\cos \phi_1$ = 固定子力率 (電動機力率)

$\cos \phi_2$ = 回轉子力率

第三章 三相誘導電動機の特性

14. 能 率

誘導電動機の損失を分類すると次の様になる。

- (a) 鐵損 (iron loss)
- (b) 固定子銅損 (stator copper loss)
- (c) 回轉子銅損 (rotor copper loss)
- (d) 軸承摩擦損 (bearing friction loss)
- (e) 風損 (windage loss)

固定子に供給する電力即ち**固定子入力** (stator input) より、此等の損失を減じた残りが利用し得べき機械的出力となる譯である。故に誘導電動機の**能率** (efficiency) とは固定子入力に對する回轉子出力の比を百分率で表はしたもので、次の式で計算する事が出来る。

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{\text{回轉子出力}}{\text{固定子入力}} \times 100\% = \frac{\text{固定子入力} - \text{損失}}{\text{固定子入力}} \times 100\% \\ &= \frac{\text{回轉子出力}}{\text{回轉子出力} + \text{損失}} \times 100\% \end{aligned}$$

第2表及び第3表に各種誘導電動機の能率を示す。

第2表 誘導電動機特性表(電氣協會制定)

出力 (H.P.)	極 数	滑り (%)	全負荷 能率(%)	全負荷 力率(%)	無負荷 電流(%)	最大起動 電流(%)	型 式	起動装置
0.5	4	8.5	73.5	78.0	55	600	籠 型	無
1	"	7.5	75.0	81.5	46	"	"	"
2	"	6.5	81.0	84.0	42	"	"	"
3	"	6.0	82.2	85.0	41	"	"	"
5	"	5.5	84.0	86.0	"	"	"	"
7.5	"	5.0	84.5	86.5	38	450	"	Y Δ 開閉器
10	"	"	85.0	87.0	36	"	"	"
10	6	"	84.7	85.5	"	150	捲線型	抵抗器
15	"	"	85.5	86.5	35	"	"	"
20	"	"	86.0	87.0	"	"	"	"
25	"	"	86.5	"	"	"	"	"
30	"	4.5	87.0	87.5	"	"	"	"
30	8	"	87.0	87.0	"	"	"	"
50	"	"	87.5	"	34	125	"	"
75	"	4.0	88.0	87.5	"	"	"	"
100	"	"	88.5	88.0	33	"	"	"

15. 力 率

第13圖のベクトル圖によつて明かな如く、誘導電動機の回轉子線輪及び固定子線輪はリアクタンスを有する故に、一次負荷電流は供給電壓に對して遅れ電流となる。其の上に無負荷電流 I_0 は電壓に對して殆ど 90° 遅れてゐる。それで此等二つの電流の合成せる一次電流は供給電壓に對して相當の遅れ電流となる。此の遅れ電流と

供給電壓との相差角 (phase angle) の餘弦 (cosine) を電動機の力率 (power factor) といふ。

電動機が静止せるときは回轉子のリアクタンスが大きいから力率は甚だ低い、之れを電動機の短絡力率 (short circuit p.f.) と云ふ。

又電動機が輕負荷になる程、一次負荷電流に對する無負荷電流の

第3表 小型三相電動機特性表(商工省制定日本標準規格)

定格出力 キ ワット	極 数	同期回轉數 (毎分)		回 轉 子	起 動 装 置	全 負 荷 特 性			無負荷 電流 アムペア 各相 (平均値)	最大起 動電流 全負荷 電流 $\times 100$
		50サイ ク	60サイ ク			滑 (%)	能 率 (%)	力 率 (%)		
0.5	4	1500	1800	籠 型	ナシ	以下	75.0	79.5	以下	600
(0.75)	"	"	"	"	"	8	75.0	79.5	1.2	"
1	"	"	"	"	"	7.5	77.5	81.5	1.6	"
(1.5)	"	"	"	"	"	7	79.0	82.5	2.0	"
2	"	"	"	"	"	6.5	81.0	84.0	2.7	"
(3.0)	"	"	"	"	"	6	82.0	84.5	3.4	"
3	"	"	"	"	"	5.5	83.5	85.5	5.0	"
(4.5)	"	"	"	"	"	5	84.0	86.0	6.0	"
5	"	"	"	"	スター コン 換器	5	84.5	86.5	7.7	300
(7.5)	"	"	"	"	"	"	85.0	87.0	10.5	"
10	"	"	"	"	"	"	85.5	87.0	13.5	"
(15)	6	1000	1200	捲線型	起 動 抗 器	"	85.0	86.0	14	150
20	"	"	"	"	"	"	86.0	87.0	20	"
(30)	"	"	"	"	"	"	86.5	87.0	27	"
25	"	"	"	"	"	"	87.0	87.5	32	"
(37.5)	"	"	"	"	"	"	87.5	88.0	38	"
50	8	750	900	"	"	"	87.0	87.0	39	"
(75)	"	"	"	"	"	"	87.5	87.5	51	125
100	"	"	"	"	"	"	87.5	87.5	64	"

割合が大きくなる関係上これ又力率は低くなる。電動機が無負荷にて回轉せる時の力率を無負荷力率 (no load p. f.) と云ふ。

全負荷力率の値を一般に其の電動機の力率と云ひ、其の値は第2表及び第3表中に示す如きものである。

16. 入力、出力及び電流

電動機の端子電圧を E_1 とし、固定子の線電流を I_1 、力率を $\cos \phi$ とすれば、三相誘導電動機に於ては

$$\text{入力} = \sqrt{3} E_1 I_1 \cos \phi \quad \text{ワット}$$

となる。然るに、

$$\text{入力} \times \text{能率} = \text{出力}$$

である。故に能率を η にて表はせば、

$$\text{出力} = \sqrt{3} E_1 I_1 \cos \phi \eta \quad \text{ワット}$$

電動機の出力は KW 又は馬力 (H. P.) で表はす、故に

$$\text{出力 (KW)} = \frac{\sqrt{3} E_1 I_1 \cos \phi \eta}{1000} \quad \text{キロワット}$$

或は

$$\text{出力 (H.P.)} = \frac{\sqrt{3} E_1 I_1 \cos \phi \eta}{746} \quad \text{馬力}$$

従つて固定子電流は、

$$I_1 = \frac{(\text{KW}) \times 1000}{\sqrt{3} E_1 \cos \phi \eta} \quad \text{アムペア} \dots \dots \dots (8)$$

又は

$$I_1 = \frac{(\text{H.P.}) \times 746}{\sqrt{3} E_1 \cos \phi \eta} \quad \text{アムペア} \dots \dots \dots (9)$$

17. 回轉力

三相誘導電動機の間轉力は大略次の如くして計算する事が出来る

$$\begin{aligned} \tau &= K \times \frac{E'_2 I_2 \cos \phi_2}{N_c} \\ &= K \times E'_2 \times \frac{S E'_2}{\sqrt{R_2^2 + S^2 X_2^2}} \times \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + S^2 X_2^2}} \\ &= K \times E'_2 \times \frac{S R_2}{R_2^2 + S^2 X_2^2} \quad \doteq K \times \left(\frac{E_1}{a} \right)^2 \frac{S R_2}{R_2^2 + S^2 X_2^2} \\ &\doteq K \times \frac{S R_2}{a^2 (R_2^2 + S^2 X_2^2)} E_1^2 \dots \dots \dots (10) \end{aligned}$$

但し

K = 定數

R_2 = 回轉子抵抗

X_2 = 回轉子リアクタンス

N_c = 同期速度

S = 滑り

E_1 = 供給電壓

a = 捲線比

此の式で明かな如く、滑り S を一定とすれば回轉力は供給電壓の自乗に比例するものである。

電動機が爲す仕事の量は回轉力 (torque) と、回轉速度との積に比例する。故に回轉力が大きくとも回轉數が小さければ其の電動機の出力は小さい譯で、又例へ回轉力は小さくとも回轉數が大きければ電動機は相當大きな仕事をなす事が出来る。換言すれば、回轉力は

速度一定の場合には容量に比例し、容量一定の場合には回転数に逆比例する。之を式で表はせば

$$\text{回転力} \div 972 \times \frac{\text{出力(KW)}}{\text{回転数}} \text{ Kg, m} \dots\dots\dots (11)$$

又は

$$\text{回転力} \div 727 \times \frac{\text{出力(H.P.)}}{\text{回転数}} \text{ Kg, m} \dots\dots\dots (12)$$

又之れを呎封度を単位として表はせば、

$$\text{回転力} \div 5250 \times \frac{\text{出力(H.P.)}}{\text{回転数}} \text{ 呎封度} \dots\dots\dots (13)$$

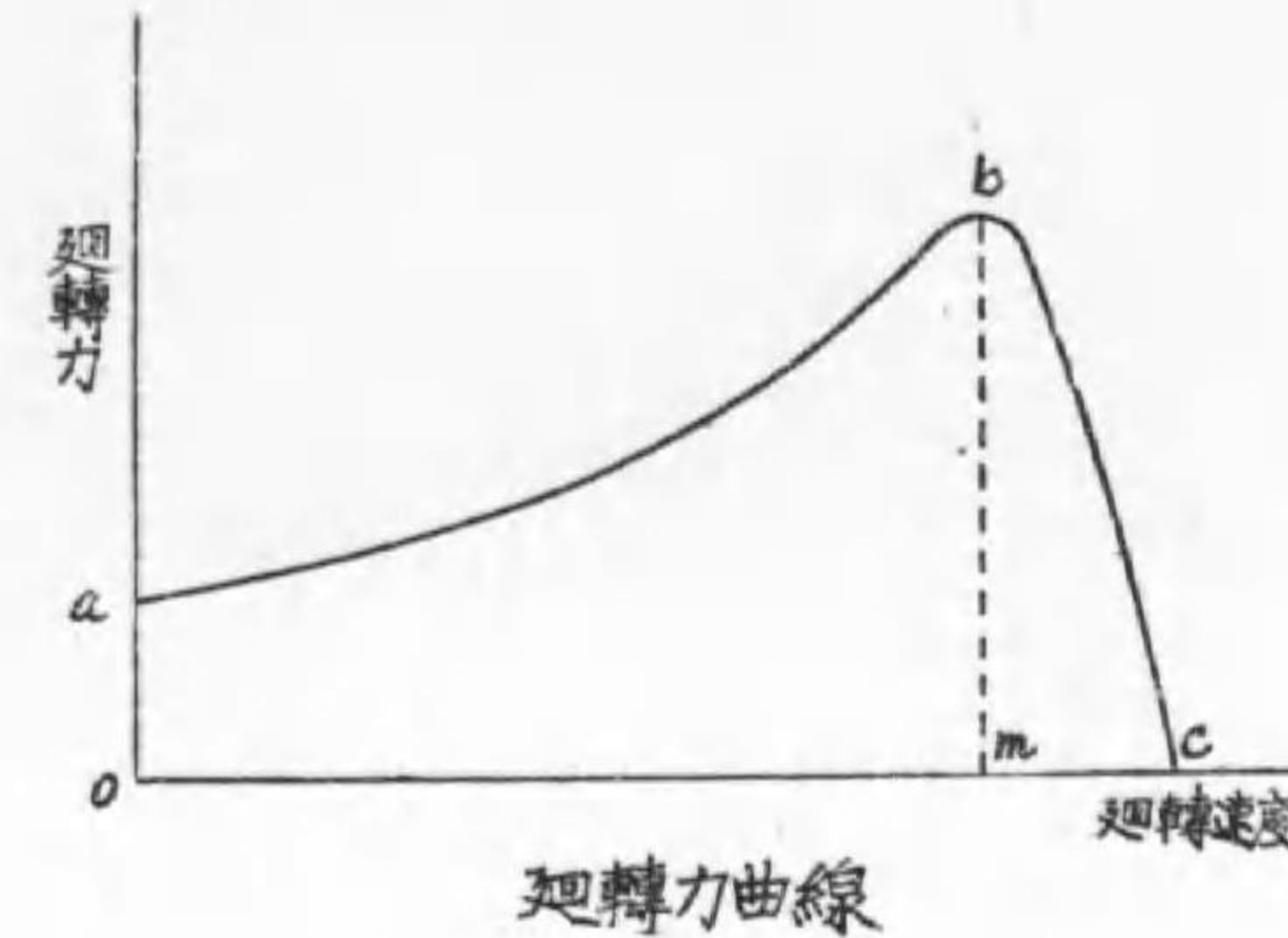
回転力は上記の如く、キログラムメーター又は呎封度で表はすのが普通であるが、時としてワットを以て表はす事がある。これは回転子が或る回転力を以つて同期速度で回転したと假定して其の出力ワットを計算し、其のワット数を以て回転力の大小を表はしたものである。斯かる回転力を同期ワットに於ける回転力 (torque in synchronous watts) と云ふ。

18. 起動回転力及び最大回転力

誘導電動機が静止せる時に固定子に規定電圧を供給すれば、回転子には大きな電流が流れる。然し其の力率は非常に小さい、故に回転力は小さいものである。

電動機が加速するに従つて回転子電流は減少するが、其の力率は大きくなるから、回転力は却つて増大する。然し速度が或る程度を越へて増加すると回転子は同期速度に接近するを以て、回転子電流は

激減して回転力は減少する。



回転力曲線

第 17 圖

回転数と回転力との関係を圖示すれば、第17圖の様になる。a 點に於ては速度は零である。此の時の回転力を起動回転力 (starting torque) と云ひ、起動回転

力大なる程電動機は早く起動する。

c 點は同期速度の點にして、従つて回転力は零である。

b 點は回転力の最大なる點にして、此の回転力の値を電動機の最大回転力 (maximum torque) と稱し、電動機にこの値以上の負荷を掛ければ停止する。普通我々が電動機を使用するのは b 點と c 點との中間にして、此の間に於ては荷が重くなれば滑りが増して回転力も増し、荷が軽くなれば滑りは減じ回転力も減少して安定なる運転を続けることが出来る。然し ab 間は不安定であるから此の間に於ては負荷する事は出来ない。

19. 回転子抵抗と回転力

第18圖の曲線 I に示す如き回転力曲線 (torque curve) を有する電動機が (bm) なる最大回転力を以て運転してゐるものとする。今若

し所要回轉力は其の儘として回轉子抵抗を2倍にしたならば、此の曲線はどんな變化を生ずるかを考へて見よう。

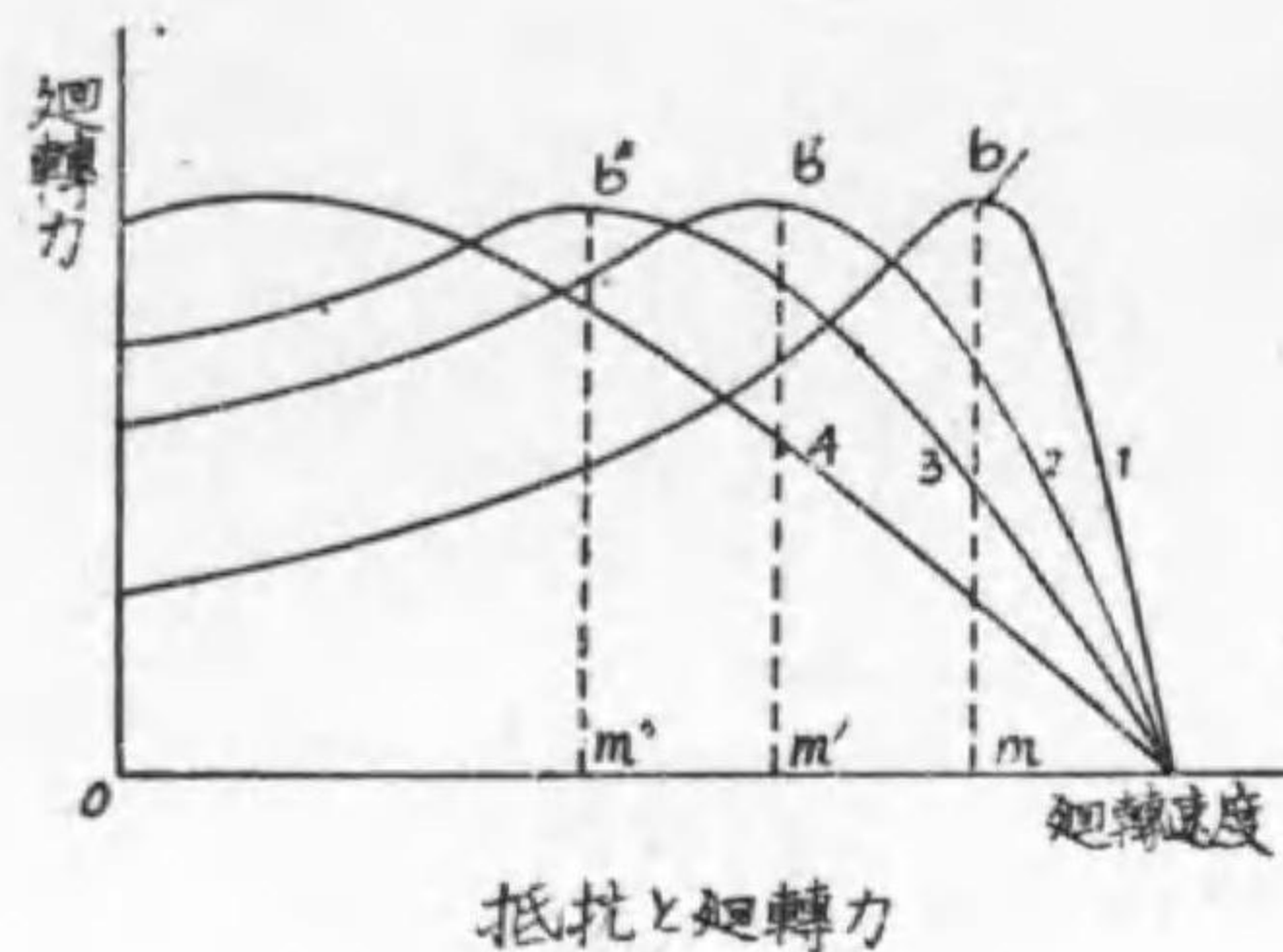
抵抗を増せば一時的に電流が減じて回轉力も少くなるものと考へられる。従つて電動機の様子は減少する、即ち滑りが増す事となる。そして滑りが丁度元の2倍の値になると、

回轉子誘導起電力も2倍になり、回轉子リアクタンスも亦2倍となる。従つて(3)(4)式より明かな如く電流も力率も元と同じになり、回轉子の出す回轉力も元と變らない。則ち回轉子の抵抗を2倍にすれば滑りは2倍となり回轉力は元の値と變らない。

抵抗を3倍にすれば滑りは3倍となり回轉力は元の値と變らない故に回轉子抵抗を2倍又は3倍とすれば回轉力曲線は第1回の2.3.曲線の如くなる。

一般に抵抗を m 倍すれば滑りも亦 m 倍となつて、前と同じ回轉力を出すものであつて、回轉力は回轉子抵抗に従つて比例推移をなすと稱せられる。

故に回轉子の抵抗を適當に増せば、起動の際に最大回轉力を出す事が出来る。



第 18 圖

捲線型回轉子に於ては抵抗器を外部に接続して回轉子抵抗を加減する事が出来るが、籠型回轉子では抵抗を挿入する事は出来ない。

籠型誘導電動機に於て起動回轉力を大にする爲には回轉子導體の細いものを使ふか、又は銅棒の代りに眞鍮棒を使用して導體の抵抗を大きくするより仕方がない。併し此の場合電動機の滑りが大きくなり、銅損も増加する譯である。此の缺點を補ふ爲に籠型回轉子に色々な工夫が施されてゐるが、それ等に就ては後章に説明する。

20. 最大出力

既に第17節に於て説明した如く、電動機の機械的出力は回轉力と回轉數とに比例するものであるが故に、回轉力が最大なる時に機械的出力が最大であるとは云ひ得ない。

一般に誘導電動機に於ては、最大回轉力を出してゐる時の速度よりも少々速い速度の時(云ひ換へれば滑りの少ない時)に於て最大出力を發生するものである。

電動機を常に最大出力で使用すれば、溫度上昇が甚しく大となり焼損するに到る故に、定格出力は最大出力よりも遙かに小さく規定してある。

最大出力の定格出力に對する比を過負荷耐量(over load capacity)と稱し、普通の電動機に於ては150%以上250%以下になつてゐる。又時には最大回轉力の規定回轉力に對する比を過負荷耐量といふ事もあるから注意を要する。

21. 供給電圧の影響

誘導電動機に供給する端子電圧が常に一定である事は望ましいが、実際問題として困難なことである。特に供給地点より距つた位置にある誘導電動機に於ては、負荷の變化につれて電圧が相當範圍に變化することは免れない。電圧が變化した場合に誘導電動機の特徴が如何に變化するかを考へて見よう。

先づ端子電圧が規定電圧よりも低い時には鐵心中の磁束は少なくてよいから勵磁電流も小さくてよく又鐵損も少くなる。然し電圧が低くなれば、同一機械力を發生する爲に電流が増さなければならないから、銅損が増し線輪は熱せられる。且つ銅損に比例して滑りが増す事となる。

これに反して端子電圧が規定電圧よりも高い時は、磁束が多くなり勵磁電流も當然大きく鐵損が増して鐵心は熱くなる。然し同一出力に對して電流が小さくてよいから銅損が減じ、滑りは小となる。

尙電動機の最大回轉力は前述の如く端子電圧の自乗に比例して増減するものである。故に端子電圧大なる場合には大なる負荷に耐へる事が出来る。

22. 周波數の影響

誘導電動機の使用中に周波數が變化する様な事は無いが、甲地に於て60サイクルに使用したものを乙地に運んで50サイクルに使用する場合或は50サイクルと60サイクルとの兩配電系統の存在する様な

地方に於て、周波數の異つた系統から電力の供給を受ける様な場合が起る。かゝる場合に電動機の特徴に如何なる影響を及ぼすやを考へて見よう。

先づ60サイクル用の電動機を50サイクル電源に接續して使用した場合には、第一に回轉數が略周波數に比例して變化する、則ち速度が約20%減少する。

次に端子電圧が一定なものとするれば、周波數に逆比例して磁束が増さなければならないから、勵磁電流が増し鐵損も増す。其の爲に力率も能率も共に低下する。従つて電動機の特徴を良好ならしむる爲には電圧を幾分下げて使用しなければならない。

50サイクル用のものを60サイクルに使用する時は此の反對の結果を生ずる事は明かである。

一般に市場にある誘導電動機、特に小型誘導電動機は50サイクル及び60サイクル兩方に使用出来る様設計せられて居るものが多い。殊に60サイクル220ヴォルト用の電動機を50サイクル200ヴォルトに使用すれば其の特徴は殆ど變らない。

第四章 誘導電動機の起動法

23. 起動装置

直流電動機及び同期電動機の項に述べた通り電動機を起動するには起動装置 (starting device) を用ひ供給電圧を下げて起動した。

誘導電動機に於ても、起動せんとする時其の儘全電壓を供給すると回轉子に莫大な電流が流れ、従つて固定子線輪にも過大な電流が流れる。

起動の際固定子に流れる電流を**起動電流**(starting current)と云ふ。起動電流は其の値が甚だ大きく、其の力率は甚だ低い故に供給電壓を著しく降下せしめ、甚だしき時には電動機を焼損し或は起動不能等の障害を起すことがある。

此の起動電流の値を或る一定値以下に制限して、斯かる障害を防止する爲に色々な起動装置が用ひられる。

但し5馬力(3.75KW)以下の小容量誘導電動機は、全電壓を用ひて其の儘起動しても起動電流に依る實害は少さい故に起動装置を使はないものが多い。

起動装置の主なるものを挙げれば、

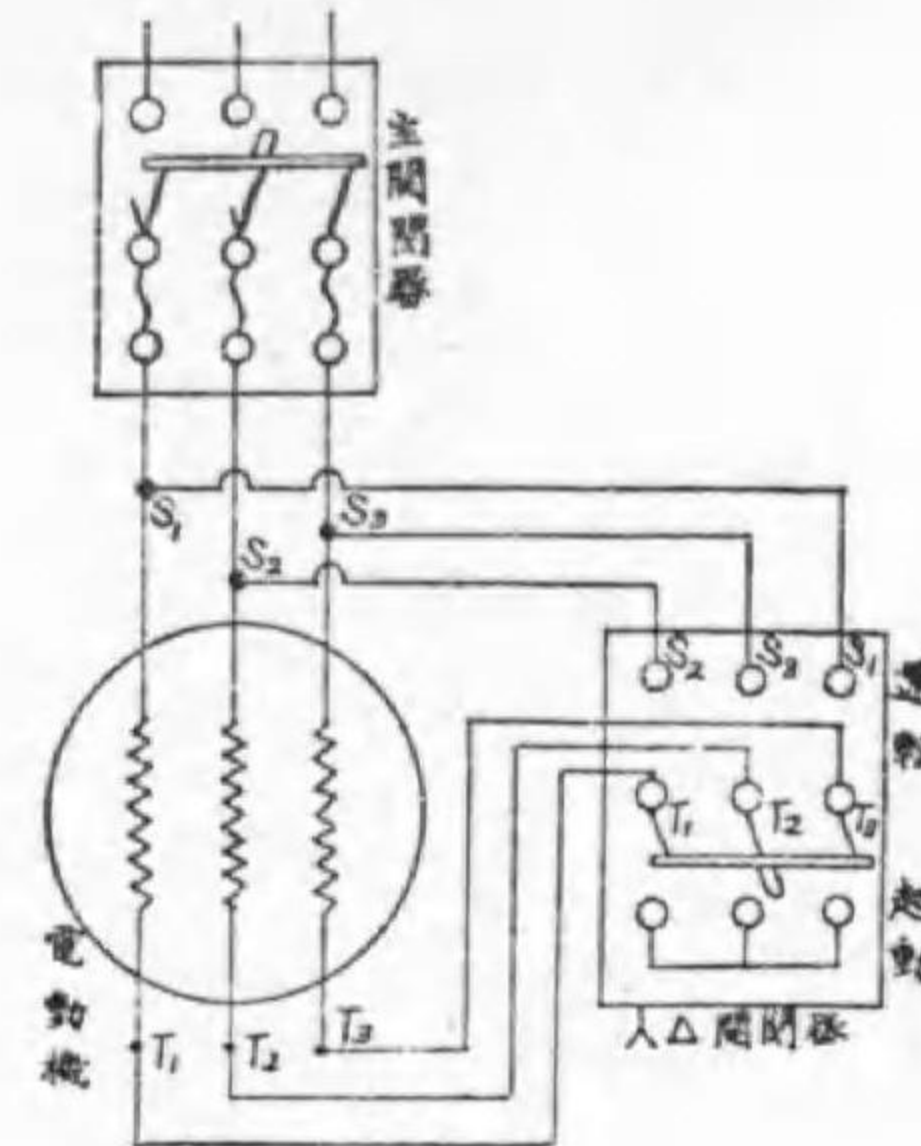
- (a) **YΔ開閉器** (star-delta switch)
- (b) **起動補償器** (starting compensator)
- (c) **起動抵抗器** (starting rheostat)

(a)及び(b)は起動の際に端子電壓を下げて起動電流を制限する方法であつて、籠型回轉子の電動機に對して用ひられるものであるが、此の場合起動回轉力は小さくなるを免がれない。

(c) は端子電壓を其の儘とし、回轉子捲線に抵抗器を挿入して起動電流を制限する方法であつて専ら捲線型電動機に用ひられ、起動電流を制限すると共に起動回轉力を増大せしむる事を得る。以下項を改めて此等起動装置に就いて説明する。

24. Y Δ 開閉器

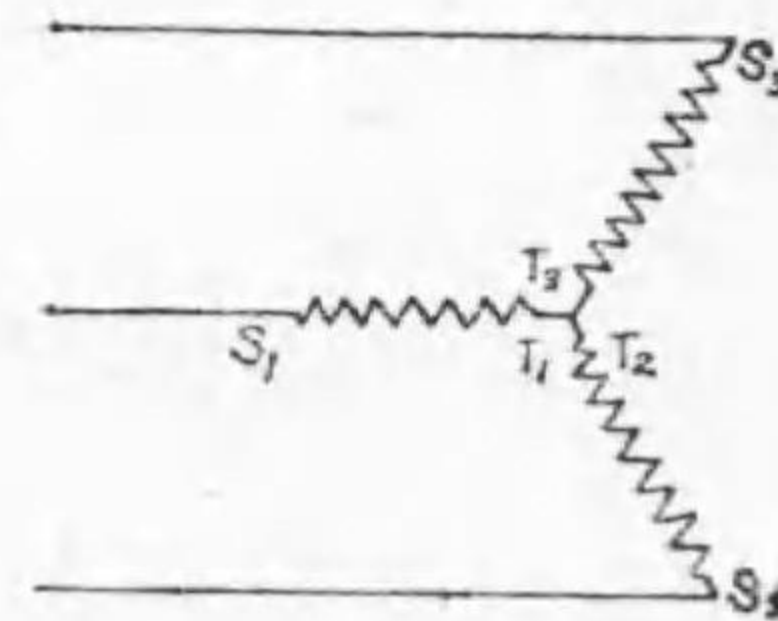
YΔ開閉器は**三極双投開閉器**(three pole double throw switch)である。Δ結線として運轉せられる様製作された誘導電動機の固定子線輪の端子を6箇共電動機外に引出し、之れを第19圖の如くYΔ開閉器に接続する。



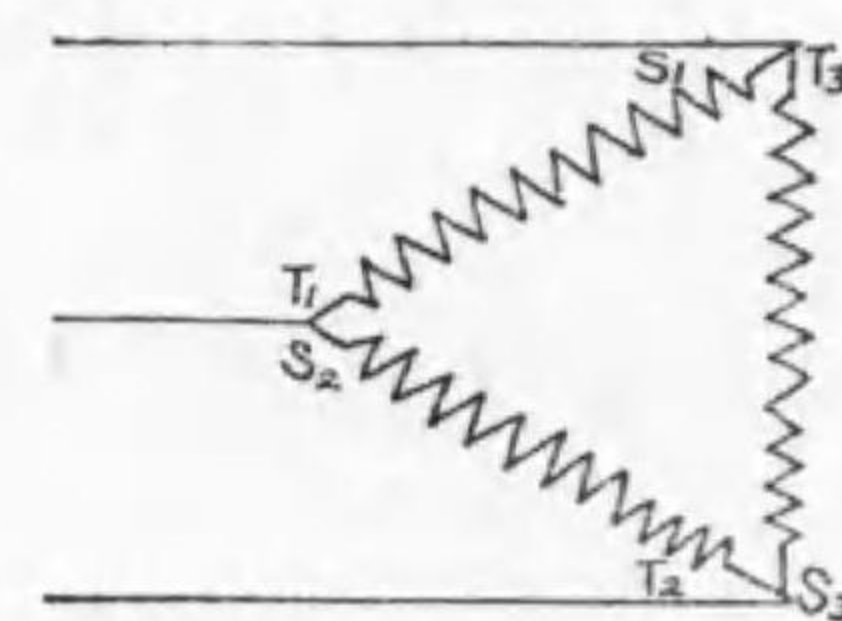
第 19 圖

起動の際は主開閉器を閉ちて把手を起動側に倒すと、固定子線輪は第20圖の如くY結線となる。従つて各相に加はる電壓は線路電壓の $\frac{1}{\sqrt{3}}$ になり、起動電流も餘り大きくなりません。

電動機が運轉を初め速度が速くなつた時把手を素早く運轉側に切り換へると、固定子線輪は第21圖の如くΔ結線となり、各相に加はる電壓は線路電壓と等しくなる。斯くて電動機は規定電壓



第 20 圖



第 21 圖

を以て運轉せられる事となる。

Y△開閉器には、氣中にて開閉するものと、油中にて開閉するものがあるが、何れも大電流を開閉する事が困難であるが故に大容量の電動機には使用されない。主として7½馬力(5KW)以上15馬力位迄のものに使用される。

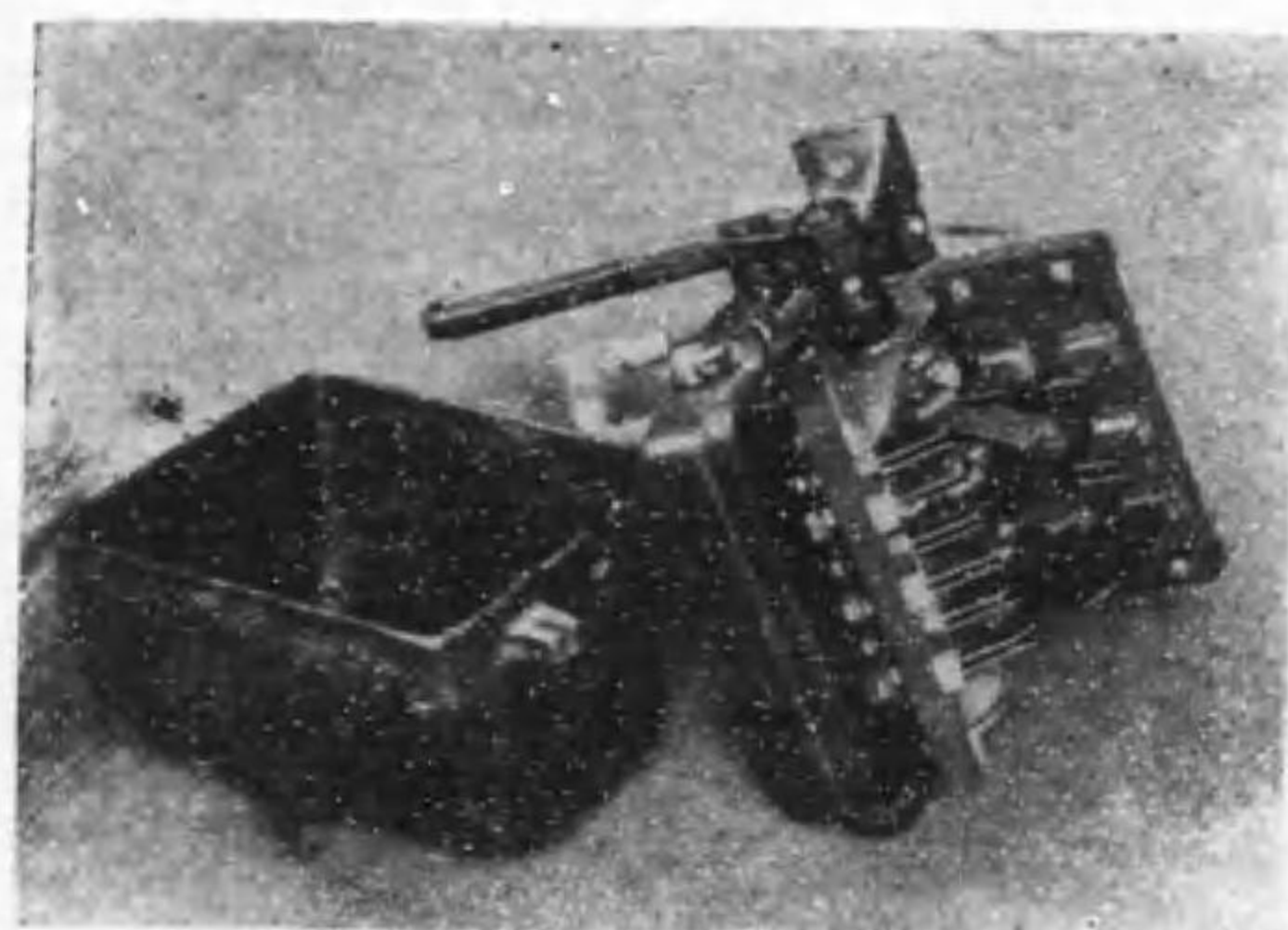
第22圖は氣中Y△開閉器の外観
第23圖は別個の氣中開閉器の内部構造を示すものである。



第 2 2 圖

25. 起動補償器

起動補償器は第24圖に示す如きもので、

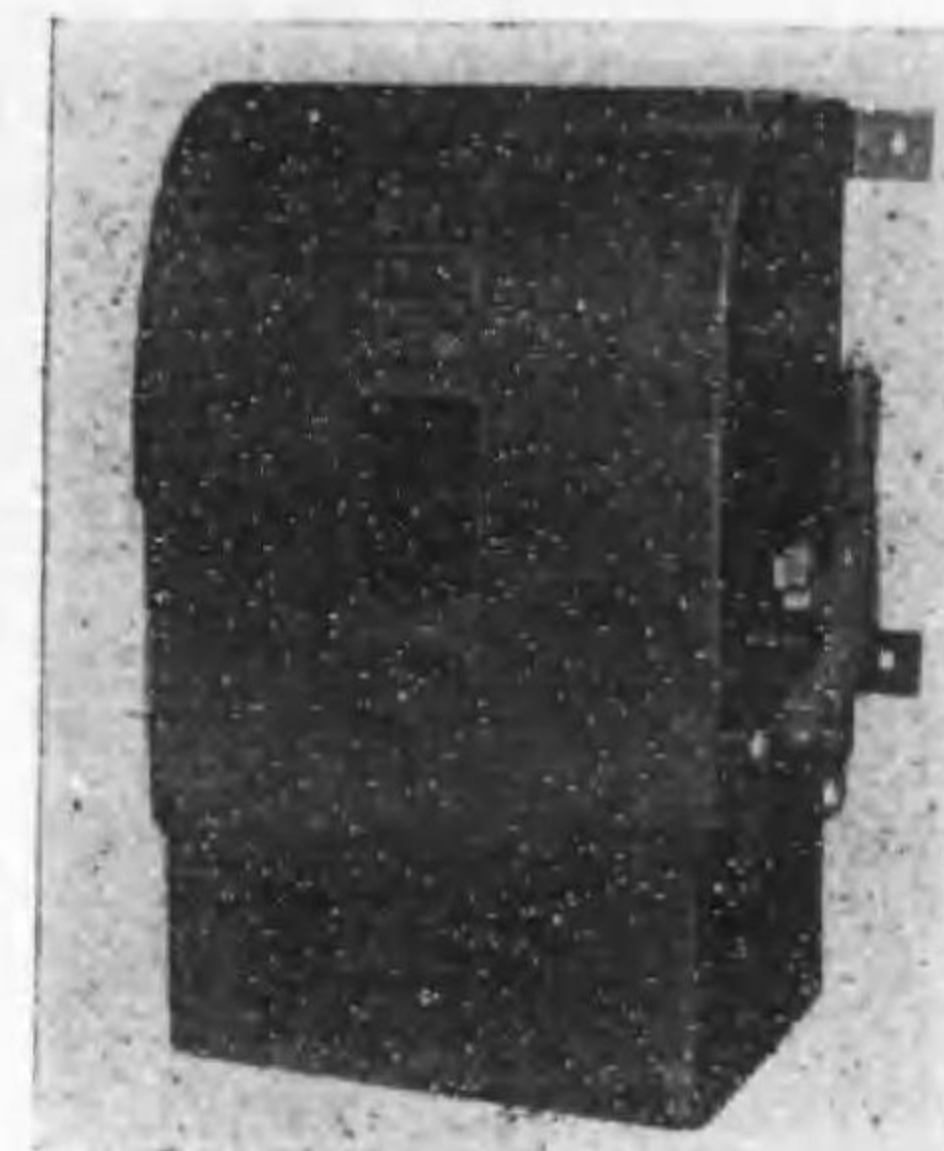


第 2 3 圖

三相單捲變壓器 (three phase auto-transformer) に切換開閉器を取り付け把手に依つて切り換へをなし得る様にしたものである。單捲變壓器は供給電壓の40%、50%、60%、70%等の電

壓を生ずる中間口出線 (tap) を有して居り、電動機とは第25圖の如く接続される。

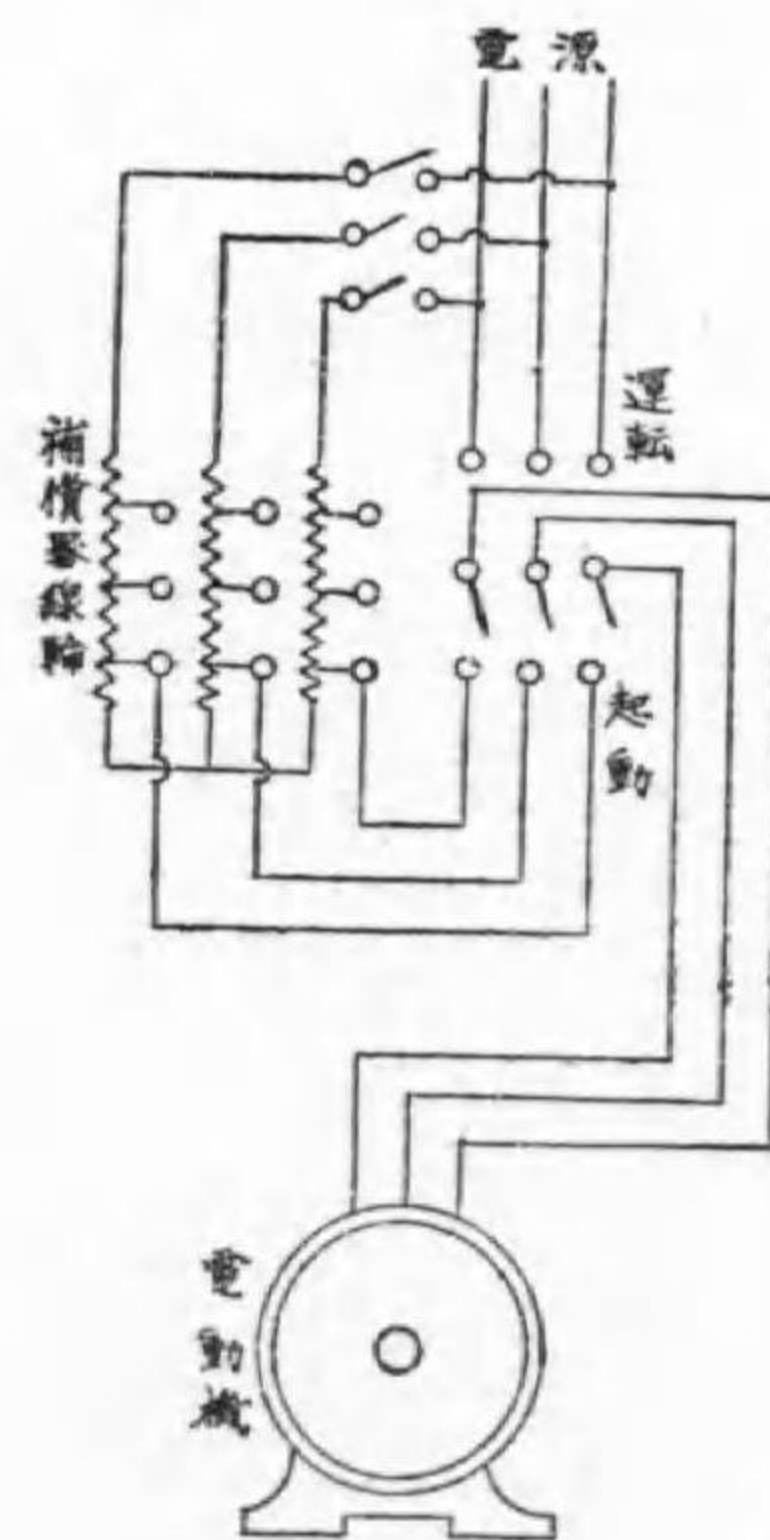
電動機を起動するには把手を起動の位置に倒し、中間口出線の一つを使用して、電動機に低電壓を供給する。そうして電動機が回轉を初め或る速度に達した時、切換開閉器の把手を運轉の位置に切り換へる事に依つて電動機に線路電壓を供給し起動補償器を幹線より切り放す。



第 2 4 圖

任意の中間口出線を用ひて、起動困難なる時は中間口出線を變へて起動電壓を高め、電動機が適當な時間で起動し併も起動電流が餘り大きくならない様な中間口出線を選ぶ。

起動補償器の構造上注意すべき點は衝擊 (shock) に對し十分丈夫に製作しなければならぬ事である。起動補償器は電動機を起動する度毎に可成り大きな衝擊を受け、其の爲に線輪が振動して短絡する恐



第 2 5 圖

れがあるからである。

起動補償器には色々な附屬器具を備へてゐるものが多い。例へば起動補償器を一旦起動の位置に持ち來した後でなければ運轉の位置に持つて行く事が出來ない様になつてゐるものがある。此の装置を過失防禦裝置(fool proof device)と云ふ。

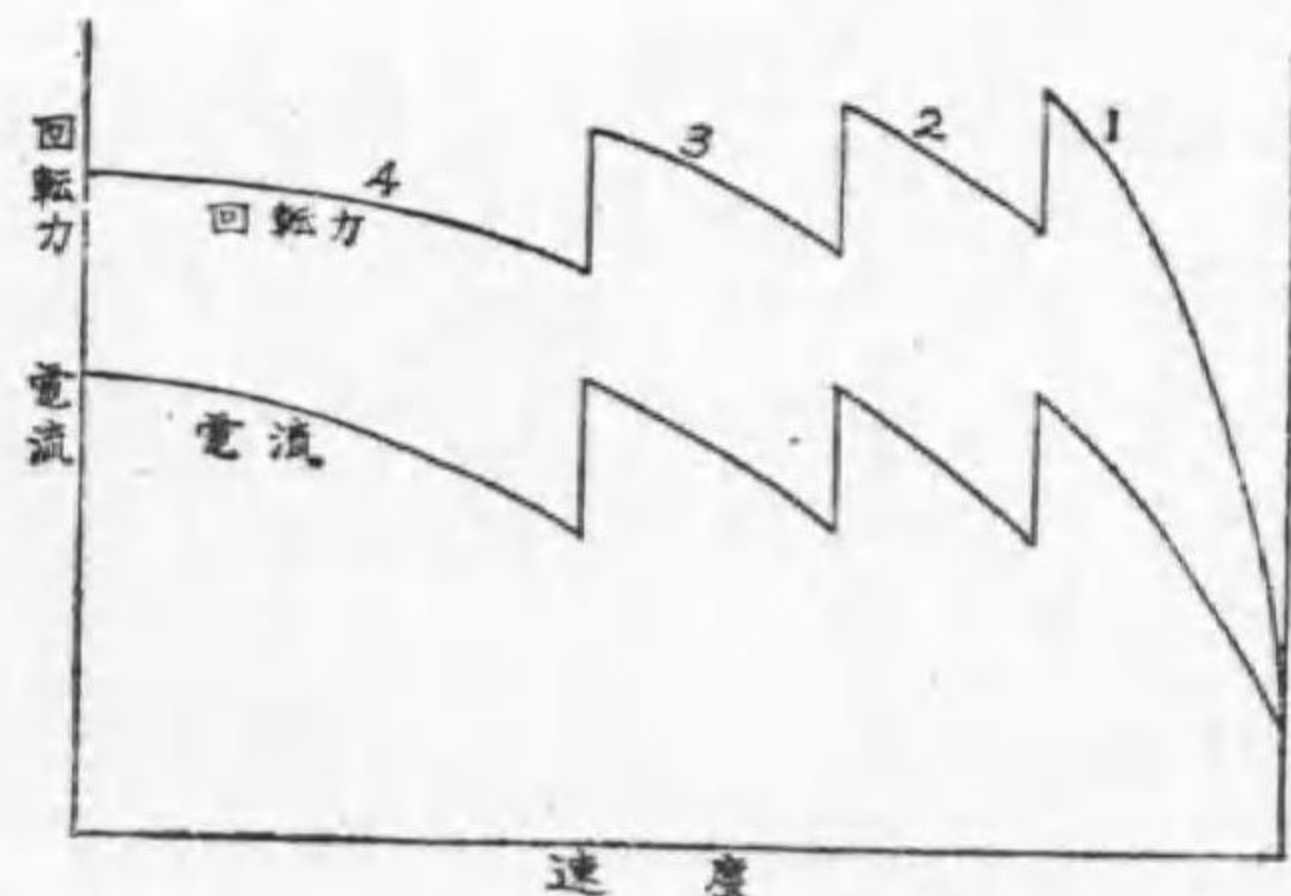
又電壓が一定値以下に降下したとき、電路を遮斷する無電壓開放器(no voltage release)及び過負荷の場合に働作して電路を遮斷する過負荷繼電器(over load relay)等を備へたものもある。何れも皆運轉の安全を期せんが爲の附屬器具である。

起動補償器は少々大容量の籠型誘導電動機に使用せられる。

26. 起動抵抗器

第19節に於て説明した如く電動機の回轉子抵抗を大きくすれば、起動回轉力は次第に大きくなる。更に抵抗を増せば起動の際に最大回轉力を出す様になり、尙抵抗を増せば却つて起動回轉力は減少する。故に適當な外部

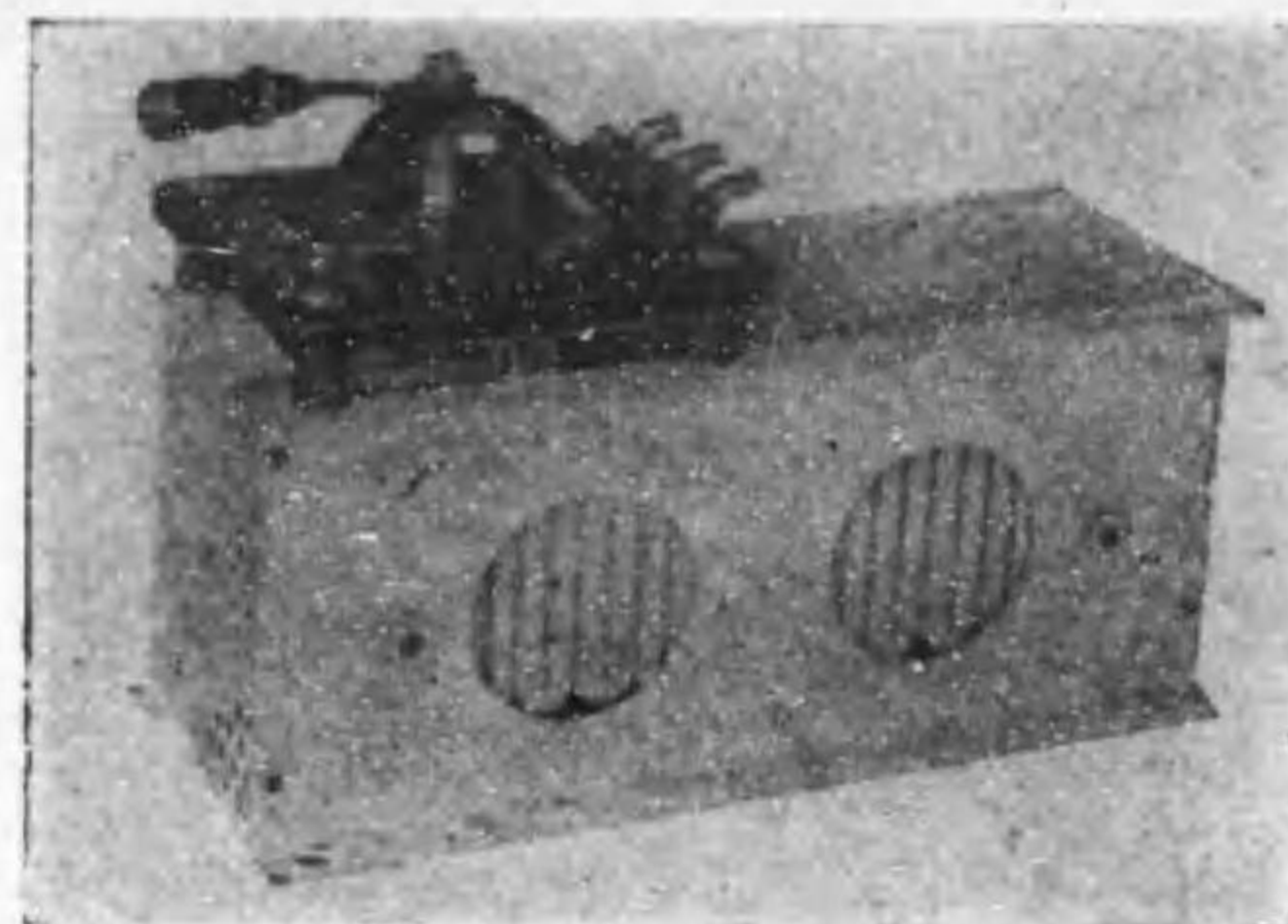
抵抗器を滑動環を経て回轉子捲線に直列に接続し、起動回轉力を大ならしめ、回轉子が或る速度に達した時次第に外部抵抗を除去して遂に回



第 26 圖

轉子捲線を短絡する時は、第26圖に示す如く回轉力曲線は4より3に移り、3より2に、更に2より1に移る。故に起動途中に於ける回轉力曲線は第26圖の如くなり、全く理想的な起動法となる。(圖は電流の最大値と最小値を一定とする)

外部抵抗器の機造は直流電動機の起動器とよく似てゐるが、只三



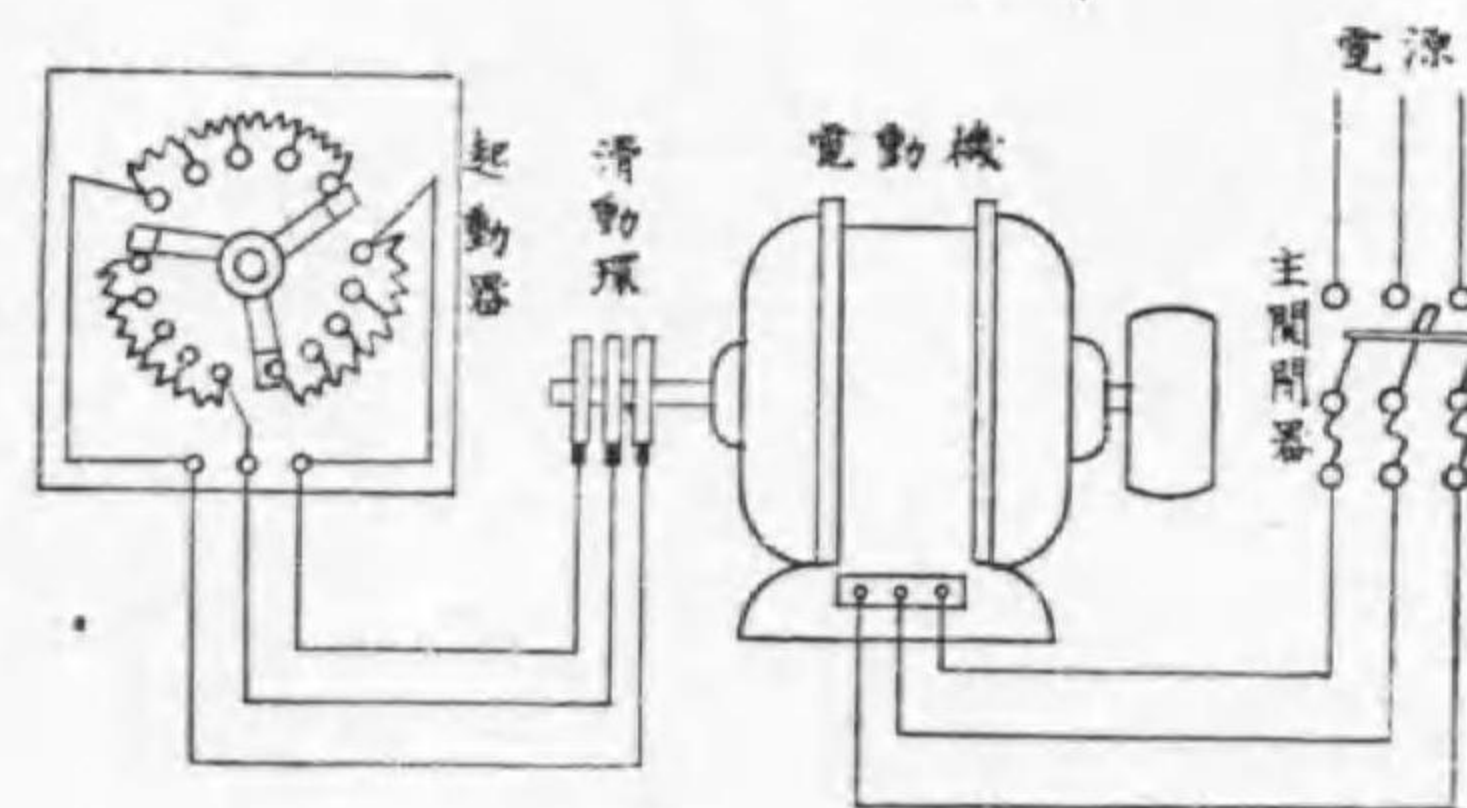
第 27 圖

相誘導電動機の場合には回轉子線輪の各相に一樣に抵抗を挿入しなければならぬから、抵抗器の抵抗は三つの部分に等分せられノツチ(notch)の數も亦三等分せられて居る。第27圖は此の種の起

動器(starter)の構造を示す寫眞である。

電動機と起動器との接続を示せば第28圖の様になる。此の起動機

の把手を起動の位置より運轉の位置に廻すに従ひ抵抗は漸次に除去せられ、最後に回轉子捲線は短絡せられ

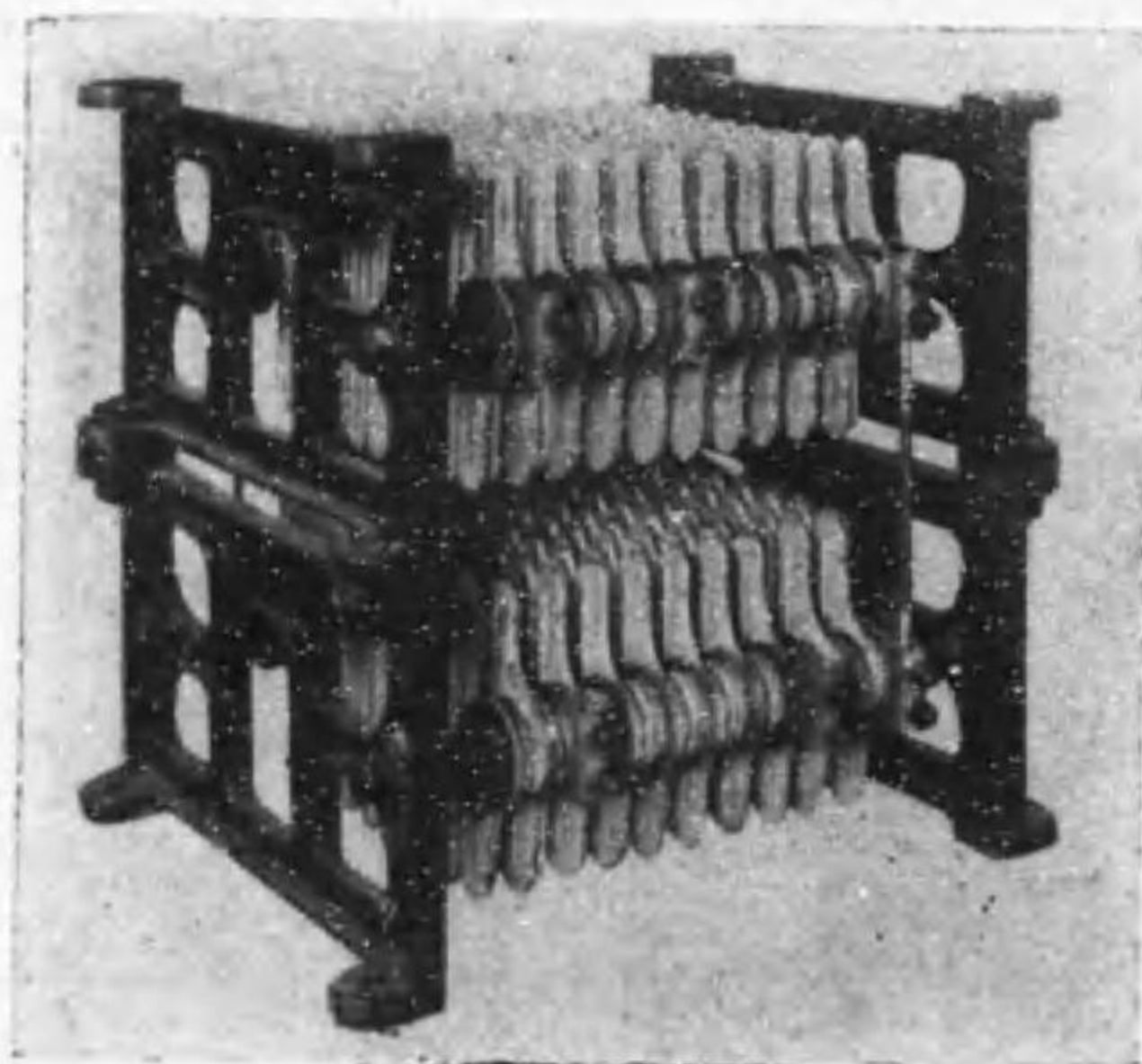


第 28 圖

る。

尙大容量の電動機を起動するには第29圖(甲)の如き制御器に同圖(乙)の如き抵抗器を附して使用する。抵抗器は抵抗の所々

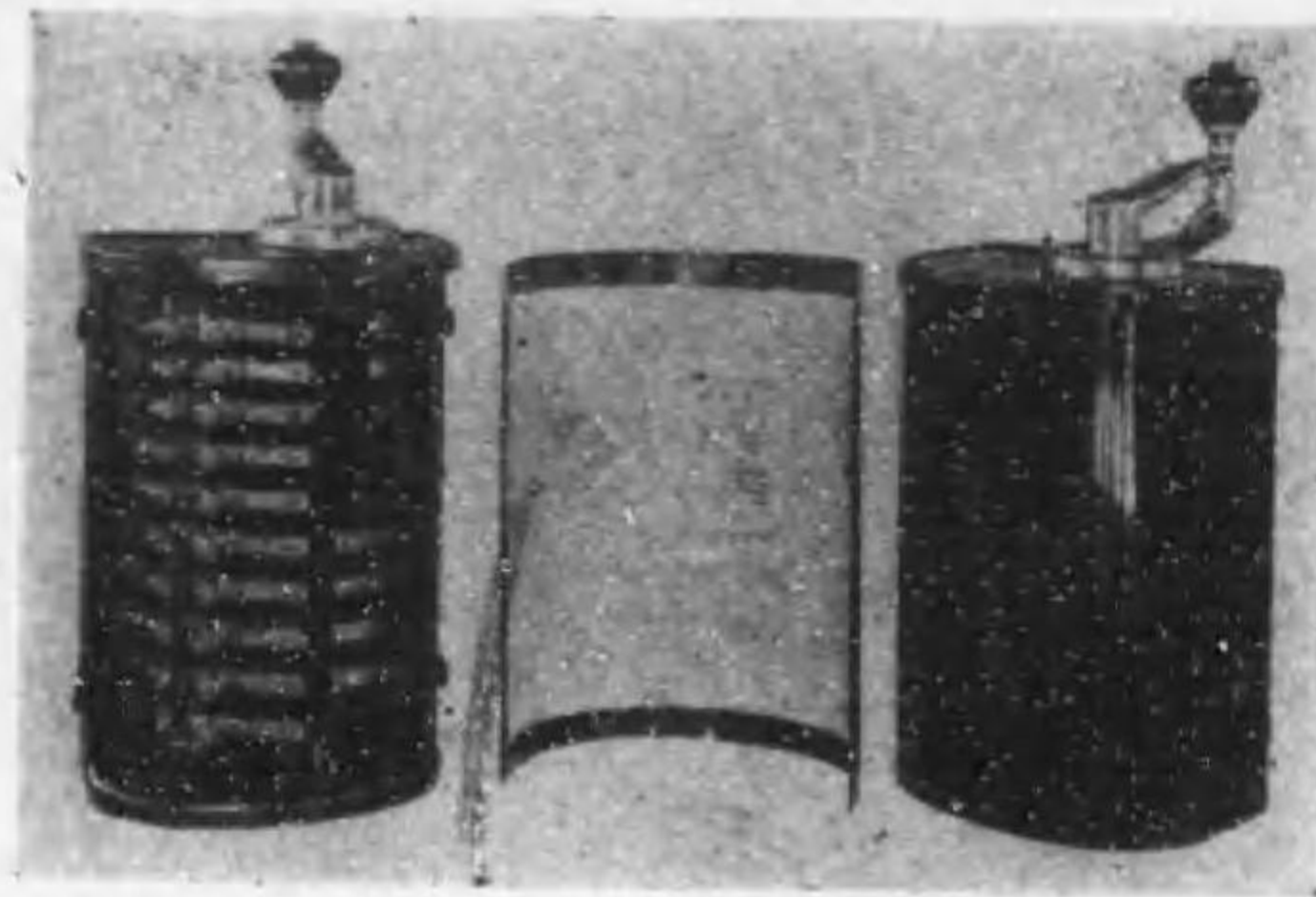
から數多くの口出線を出し制御器の端子と適當に接続される。そうして把手を廻せば抵抗は漸次に除去せられるのである。第29圖は手働操作型のものであり、第30圖は電動操作式のものである。



第 2 9 圖 (乙)

27. 特殊起動法

籠型誘導電動機を起動するに當り、 Δ 開閉器又は起動補償器を



第 2 9 圖 (甲)

又金屬抵抗器の外に水抵抗器を使用するものもある。制御器は起動及び停止が屢々繰返される誘導電動機に使用せられ後に説明する電動機の色度制御に主として使用せられる。

用ひて電壓を低減すれば起動回轉力が減少する。然るに現今次第に大容量の籠型電動機が使用せられるに至り、此等に對し電壓を低減せず起動回轉力を大なる儘とし起動電流を制限せんとする要求が盛んになつて來た。

此の要求に副ふ爲に回轉子の抵抗を大きくする事が考へられる。則ち回轉子銅線の斷面を小さくするか、抵抗の大なる導體

を使用すれば回轉子抵抗を増し、起動回轉力を大ならしむると同時に起動電流を制限する事が出来る。特殊の用途のものには斯の如き電動機を使用する。

然し回轉子抵抗を大きくすると、運轉時に電動機の能率が悪く又滑りも大となる缺點がある。此の缺點を補ひ起動の際は起動電流を小にして回轉力を大ならしめ、運轉時には滑りを小さくして能率のよい電動機を得んとして色々な考案が施されて來た。其の主なるものを挙げれば、

- (1) 二重籠型誘導電動機 (double squirrel cage motor)
- (2) 深溝型誘導電動機 (deep slot squirrel cage motor)



第 3 0 圖

28. 二重籠型誘導電動機

此の電動機は回轉子に第31圖の如き溝を作り，第32圖の如き二重



第 3 1 圖

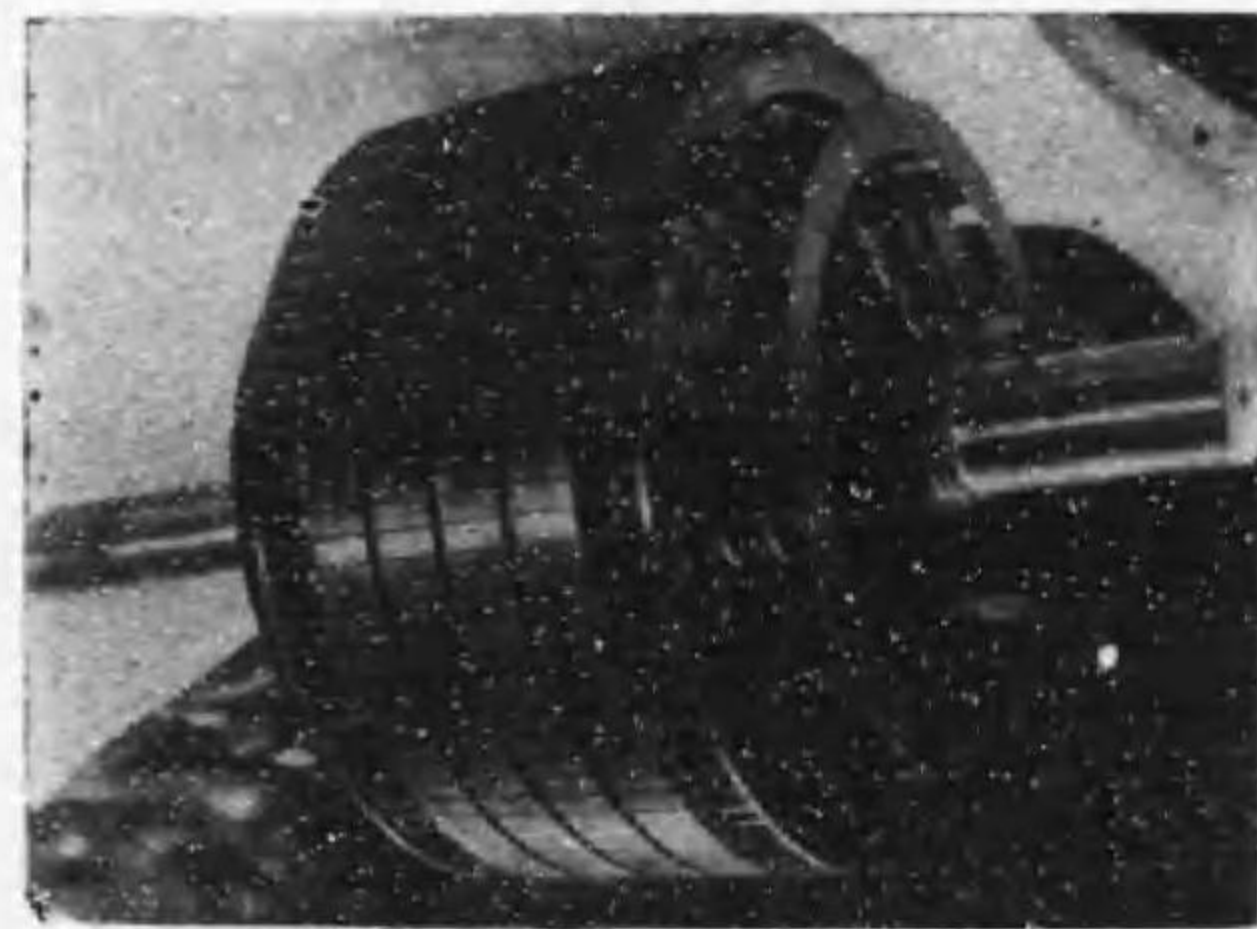
の籠型捲線を施したものである。そうして外部導體は抵抗高く，内側導體は抵抗低き捲線とする。

起動の際回轉子の周波數が大きいため

内側溝部分のリアクタンスが，外側溝部分のリアクタンスに比較して甚だ大きくなる。それ故回轉子電流の殆ど全部が外側導體を流れるから起動電流は小

で，併も起動回轉力は大きくなる。然るに回轉子が次第に加速して來ると周波數が減少して來る結果内側溝の部分のリアクタンスも減少し電

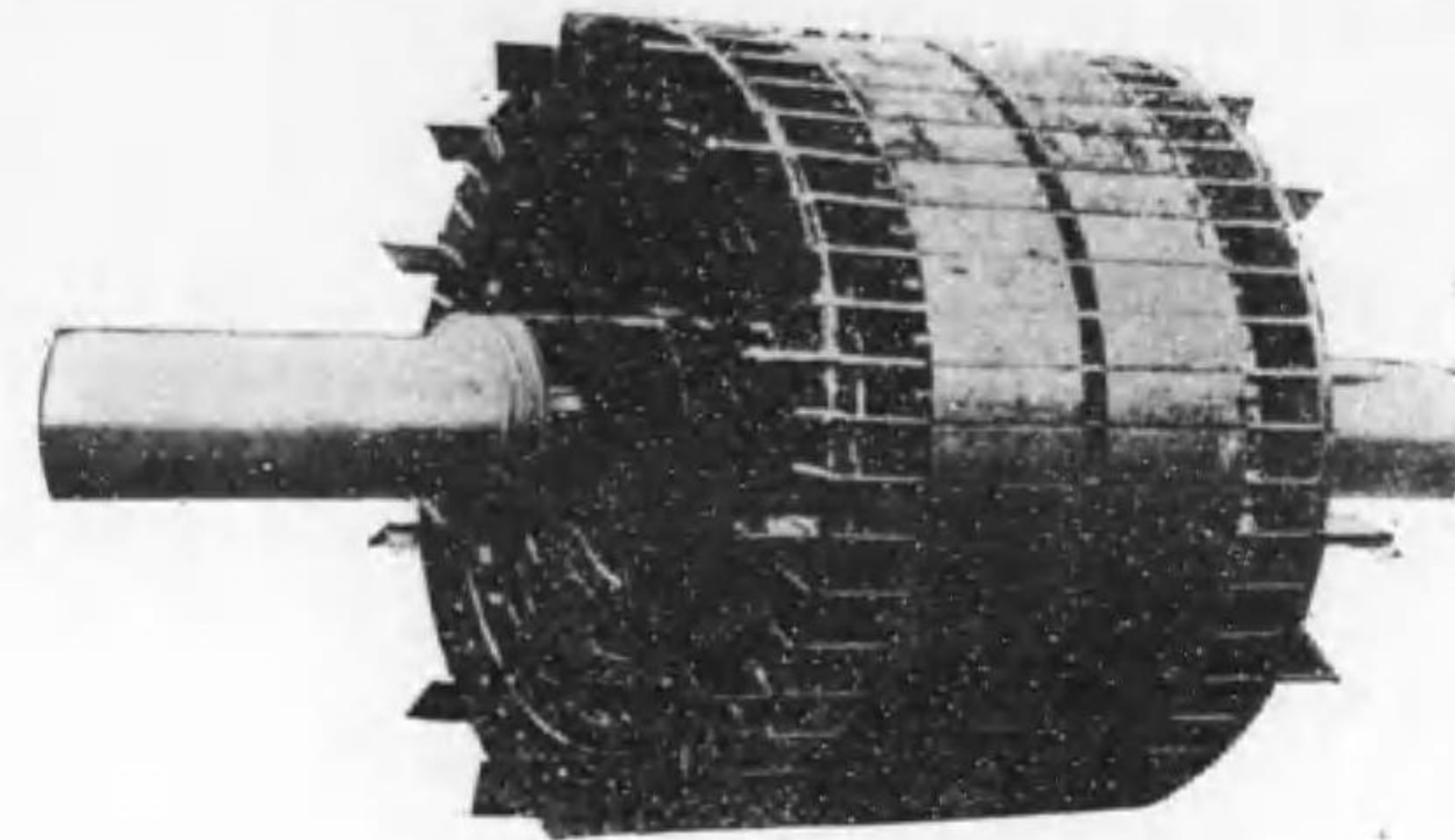
流は抵抗の低い内側導體を流れるに至る。従つて電動機の運轉特性を害する事が無い。



第 3 2 圖

29. 深溝型誘導電動機

回轉子導體を巾狭き深溝に納めたもので，作用は前節に述べた二



第 3 3 圖

重籠型電動機に似てゐる。即ち起動に際し二次周波數大なる時は導體下部はリアクタンスが大である故に電

流は導體の上部のみに流れるが，回轉子が加速して回轉子周波數が減少すれば電流は導體全部に一様に流れる。従つて起動の際は回轉子導體の抵抗高く，起動電流小にして回轉力は大きいが運轉状態に於ては抵抗低く電動機の運轉特性は良好に保たれる。第33圖は深溝型回轉子の寫眞である。

第五章 誘導電動機の世界調整法

30. 調整法の種類

誘導電動機は直流分捲電動機と同様に不變速度電動機であつて，無負荷より全負荷に至る迄速度の變化は僅かに數%に過ぎない。従

つて負荷の状態により速度を變化させる必要がある場合には特別な方法を講じなければならぬ。

誘導電動機の世界制御法としては次の如きものがある。

- (a) 供給周波數を變へる方法
- (b) 縱續法
- (c) 固定子の極數を變へる方法
- (d) 回轉子抵抗を變へる方法

此の外に整流子機を使用して回轉子電流を變化せしめ、速度を調整することも出来るがこゝでは説明を略する。

31. 供給周波數を變へる方法

供給周波數を變化すれば誘導電動機の同期速度が變化する事は明かである。

此の方法は速度制御のために電力の損失を生ずる事が無く、且つ速度の變化も極めて細かく行ひ得るが故に甚だ望ましき方法であるが、只電源の周波數を變化させるものであるから、獨立の電源に依り電動機を運轉する場合には應用し得るも、他の幹線より受けて運轉する場合には、周波數變換装置を使用しなければならぬ缺點がある。

現在では實驗室其の他極めて特殊の場合に應用せられてゐる。

32. 縱 續 法

二つの誘導電動機A及びBの軸を機械的に直結し、電氣的にはA

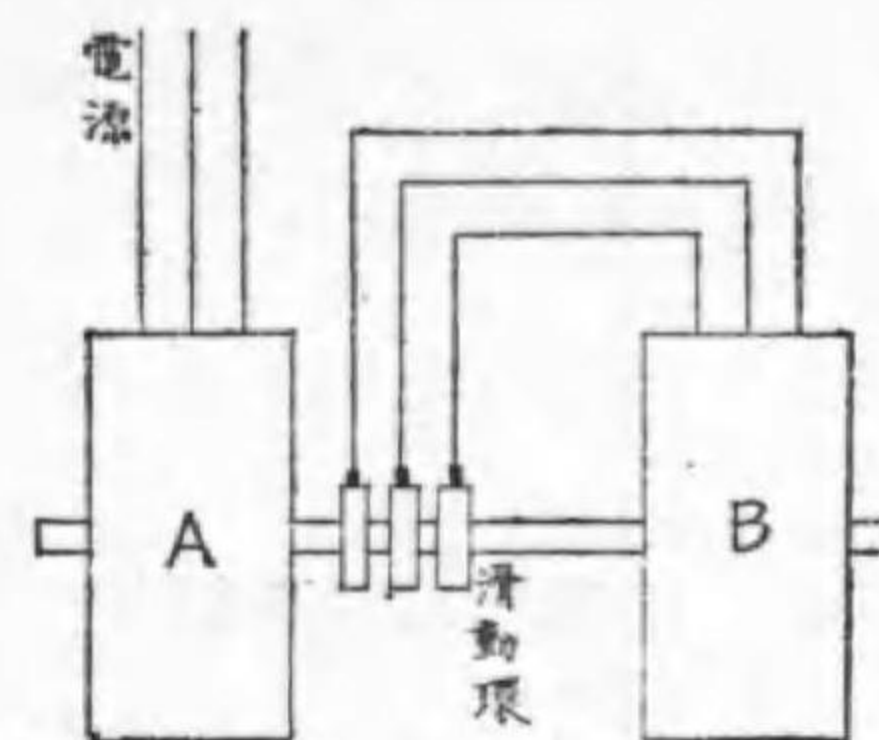
電動機的回轉子捲線を滑動環を経て、B電動機の固定子線輪に結ぶ事第34圖の如くする。

而して、A、B兩電動機の世界力は靜止の際同方向に働く様に接續すると、共同軸の世界速度はA、B二つの電動機の世界極數の和を極數とする電動機の世界速度と略等しくなる。

即ち滑りを閉却すれば、

$$N = \frac{120f}{P_1 + P_2}$$

となる。此の場合A電動機は必ず捲線型電動機である事を必要とする。



第 3 4 圖

斯の如き接續法を縱續法(cascade connection)と云ふ。

A、B兩電動機を電氣的に切離しAのみを使用すれば P_1 極に相當する速度を得、Bのみを使用すれば P_2 極に相當する速度を得る。又之を縦に接續すれば $(P_1 + P_2)$ 極に相當する速度が得られる。若しB電動機が滑動環附の時は之れに抵抗器を使用して更に細かい速度調整が出来る。

併し、縱續法は力率が悪い上に電動機の世界能力を發揮せしめる事が出来ない、故に實用に供されてゐるものは極めて稀である。

33. 固定子の極數を變化する方法

誘導電動機の世界速度は極數に逆比例するものであるから、極數を變化すれば速度をさせる事が出来る。然し既に出来上つた電動機

に於ては極数を任意に変更することは出来ない。只開閉器を用ひて端接続(end connection)を変更し、同期速度が二倍又は二分の一になる様にする事が出来る。

捲線型誘導電動機に極数變換法を應用するには固定子捲線と同時に回轉子捲線の極数をも變へなければならぬから、相當複雑になるが、籠型誘導電動機に於ては回轉子はその儘でよい。従つて現在では主として籠型誘導電動機に應用せられてゐる。エレベーター用電動機の世界制御は此の方法のものが屢々見受けられる。尙極数の比が2:3のものも出来る。

34. 回轉子抵抗を變化する方法

第17節に説明した如く捲線型誘導電動機の世界轉子に抵抗を挿入すると回轉子全抵抗に比例して滑りが増す。滑りが變化すれば電動機の世界轉数は變化する譯である。

此の世界制御方法は簡單で價格も安く、一般に廣く用ひられてゐるが、挿入抵抗の爲に銅損が増し電力の損失を伴ふ事と負荷が僅か變化しても滑りが甚だしく變る事及び輕負荷の場合に於ける速度制御が困難な事等が缺點である。

起重機、昇降機、鑛山用捲揚機等の誘導電動機に使用せられてゐる。

35. 籠型と捲線型との比較

籠型電動機と捲線型電動機との特徴に就ては既に大略承知のこと

と思ふが、其の各長所を熟知して適當に使用することは非常に必要な事と思ふ故に、茲に列記すると次の様になる。

籠型電動機は、

- (a) 構造簡單で堅牢である。
- (b) 取扱ひが甚だ簡便である。
- (c) 價格が低廉である。
- (d) 滑動環がない故に火花を發生する虞がない。
- (e) 運轉状態に於ける能率、力率等が稍々優れてゐる。

捲線型電動機は、

- (a) 回轉子回路に抵抗を挿入して起動回轉力を大ならしむる事を得る。
- (b) 速度調整が容易である。

従つて屢々起動停止を必要とする稍々大容量電動機又は速度調整を必要とする場合には捲線型電動機が適當である。又製造工場の主軸を運轉する場合にも起動回轉力の大きい事が望ましい關係上捲線型の方が優れてゐる。但し此の様な場合に籠型のものも相當廣く用ひられてゐる。

渦卷唧筒や送風機等の如く起動回轉力小さく、一旦運轉を始めたら連續使用する種類のものでは籠型の方が適當である。又電動機に接近する事が困難な場所に設置するには籠型の方が便利である。

第六章 誘導電動機試験法

36. 点検及び手入

電気機械は總て濕氣や高温度等は禁物である。又酸や瓦斯、塵埃等も有害であるから電動機を据付けるには成るべく通風のよい、乾燥せる場所を撰ぶべきであり、汽罐室や蓄電池室の近く等は出来るだけ避ける必要がある。若し斯様な場所を避け得ない時は特別の注意を以て通氣換氣につとめ、有害物の多い所では密閉型電動機等を使用する事が必要である。

据付が終つたならば試運転前にメツガーで、固定子捲線と大地との間の絶縁抵抗を測定し、其の値が小さ過ぎる時は電動機を乾燥しなければならない。又空隙を調べ大きさが各部に於て同一であることを要する。其の他回轉子捲線の接続個所の弛みが無いか、軸承の油量が充分であるか、又軸を廻して見て異状がないか否か等を調べ、不良の個所があれば手入をする。

故障がなければ無負荷にて起動し、起動後は直ちに軸承内の油の循環状態及び電動機の廻轉音等を調べて異状なきを確かめる必要がある。

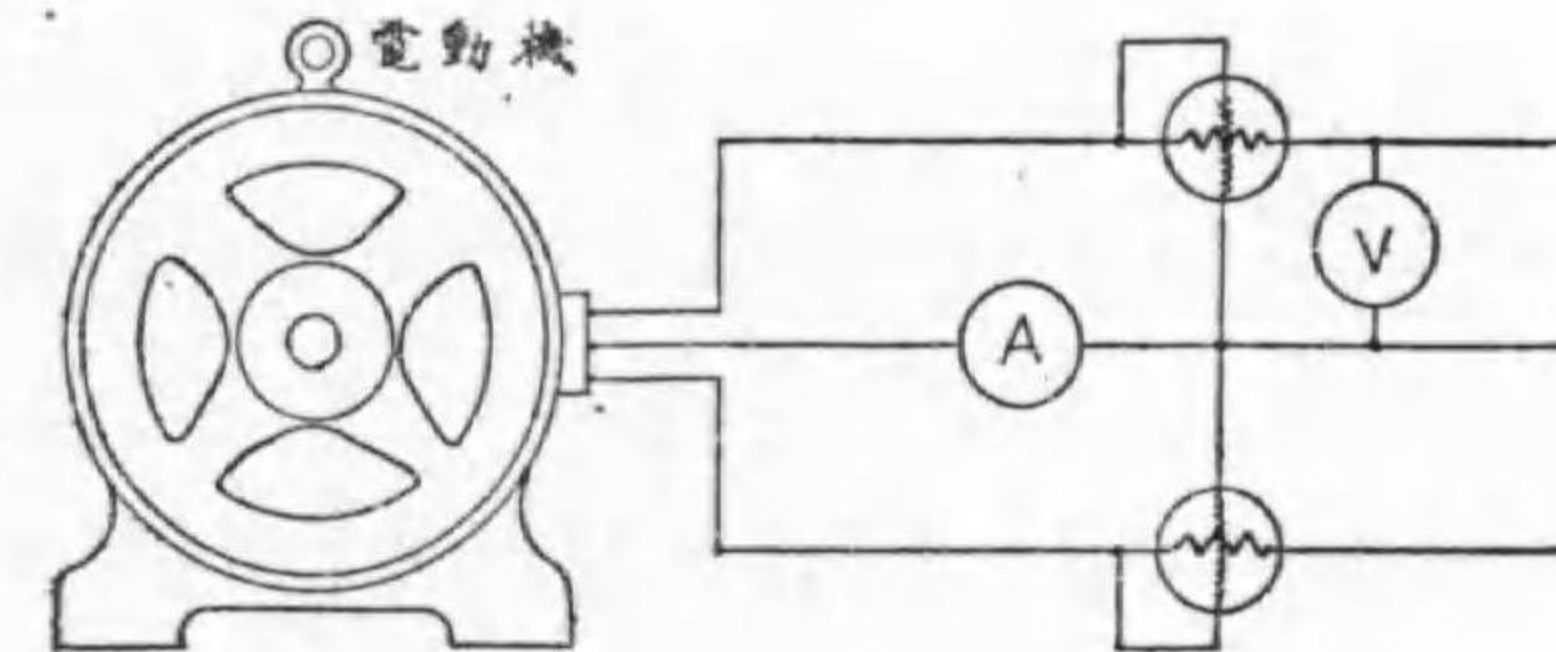
電動機の回轉方向が希望の方向と違ふ時は、三つの端子の内二つを取換へて電源に結べば回轉磁界は逆方向となり、従つて希望の方向に回轉させる事が出来る。

尚電動機起動後も使用中は常に各部の温度、軸承摩滅、油量の減少、各部のボルトの弛み等に注意すべきである。

37. 無負荷試験

無負荷試験 (no-load test) は電動機の無負荷に於ける損失、無負荷電流、無負荷力率等を測定するのが目的である。

先づ電動機に規定周波数の定格電圧を供給して無負荷運轉をなし、電圧計、電流計、電力計を接続すること第35圖の如くして供給電圧電流及び入力を測定する。電圧が丁度定格電圧である場合電流計が示す目盛が無負荷電流である。



第 35 圖

入力とは二つの電力計の指示の和となる。但し一方の電力計の読みが負となる時には、電壓線輪を切り換へて目盛を読み、二つの電力計の指示の差を求めればよい。此の際の入力は鐵損と機械損との合計と見做すことが出来る。嚴密に云へば無負荷電流に因る銅損も含まれてゐるが甚だ僅少であるから閑却する。

無負荷力率は

$$\cos \varphi_0 = \frac{W_1 + W_2}{\sqrt{3} E_0 I_{00}} \dots \dots \dots (14)$$

となる。但し E_0 は定格電圧とする。

38. 拘束試験

拘束試験(lock test)は又短絡試験(short circuit test)とも云はれ回轉子を廻らない様に拘束しておいて規定電圧を加へた時の電流、力率並に全負荷に於ける銅損を求めるのが目的である。

然し實際に全電圧を加へると非常に大きな電流が流れる故規定の五分の一位の低い電圧を加へ略々規定電流が流れる様にする。そして第35圖に示すと同様な接続に依つて電圧、電流、力率並に電力を測定する。

丁度定格電流が流れる様な端子電圧を**イムピーダンス電圧**(impedance volt)と云ひ、規定電圧の下に流れる電流を**短絡電流**(short circuit current or lock current)と云ふ。

短絡電流は電圧に比例する故に次の式から計算することが出来る

$$\text{短絡電流} = \text{測定した電流} \times \frac{\text{規定電圧}}{\text{實際に加へた電圧}}$$

又此の際の入力は一次及び二次の銅損の外に鐵損をも含んでゐるわけであるが、電圧が甚だ低いから鐵損も僅少で閑却する事が出来る。則ち入力全部が銅損と見做すことが出来る。

銅損は電流の自乗に正比例するものである。故に規定電流に於ける銅損は次式に依つて計算出来る。

$$\text{全負荷銅損} = \text{測定した銅損} \times \frac{(\text{規定電流})^2}{(\text{測定した電流})^2}$$

39. 温度試験

誘導電動機のみならず電氣機械の出力は主として温度上昇に依つて制限せられる。普通電氣機械の安全を期し、永く使用する爲には温度上昇を 45°C 乃至 50°C 以下に制限する。

電動機が規定電圧、規定周波数の下に於て規定負荷を負ふて規定時間連続運轉し、温度が室内温度よりも何度上昇するやを測定するのが**温度試験**(heat test or temperature test)である。

小容量の電動機に於ては實際に負荷して測定する事も出来るが、大容量の電動機では適當な負荷が得難いし、假りに得られたとしても電力の損失が大であるから**返還負荷法**(loading back method or pumping back method)を用ひて試験する。

誘導電動機の返還負荷法は二つの直流分捲電動機がある時は簡單に行はれる。則ち誘導電動機と直流分捲發電機とを組合せて二つの電動發電機を作り之を起動して直流發電機を並列運轉する。斯くした後、一方の發電機の勵磁電流を増し他方の勵磁電流を減すれば、前者は直流發電機として動作するが、後者は直流電動機となり誘導電動機を回轉させる。直流電動機を早くすれば誘導電動機は最早電動機ではなく、發電機となつて交流電力を發生する様になる(此の理由は第7章に説明する)

則ち一組の電動發電機に於ては交流電源より交流電力を得て直流電力を發生し、他の電動發電機は此の直流電源に依つて直流電動機を運轉して交流電力を發生せしめ、これを母線に返還する。そうし

て電源より只損失丈けを補充すればよい。これ返還負荷法の名の生れた所以である。

又誘導電動機の調車の直徑を加減して、二つの電動機を調帯聯結とし、一方が電動機として廻る時に他方は同期速度以上で廻る様にすれば、早く廻る方が發電機として働き返還負荷法を行ふ事が出来るが實際には多少の困難が供なふ。

40. 滑りの測定

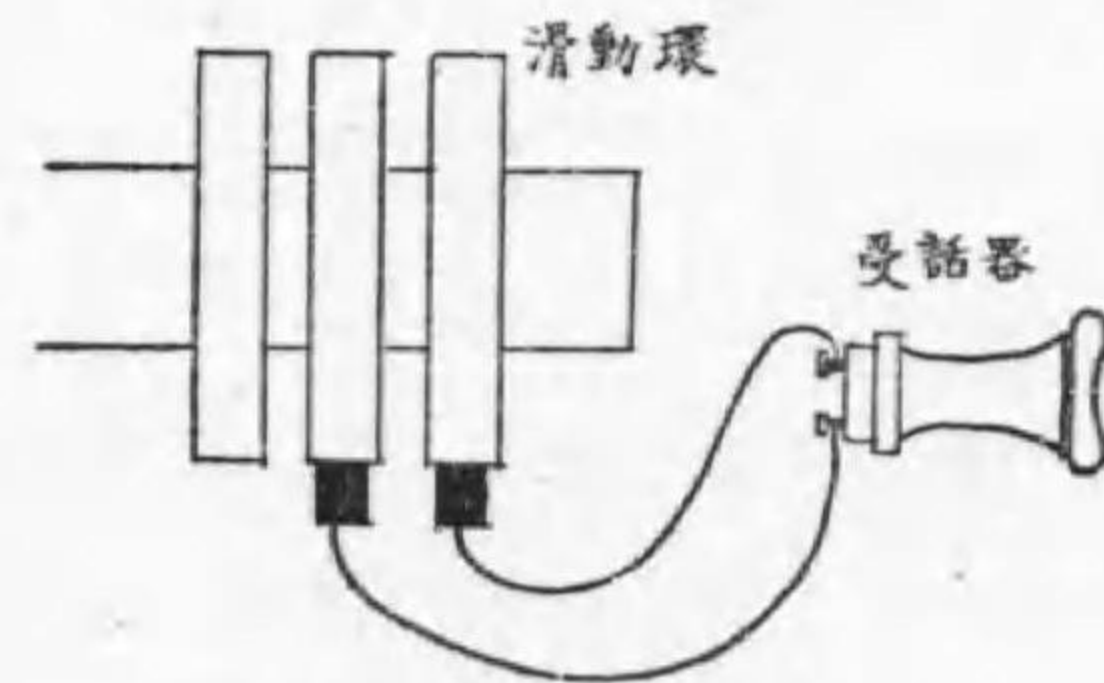
滑りは誘導電動機の特性中重要なものゝ一つであるが、之れを正確に測定する事は少々困難である。

タコメーターで電動機の実速度を實測して滑りを出す事は最も簡単な方法であるが誤差が大となる虞がある。之れを測定する方法二三を次に述べやう。

(a) 回轉子周波數に依る法

電動機が捲線型なるときは、第36圖に示す如く2箇の滑動環の間を受話器につなげば回轉子電流の周波數の2倍に相當する數丈けの音が聞へる。従つて此の音の數を數へれば二次周波數が判り、之を

電源の周波數で割れば滑りが計算出来る。受話器の代りに直流電流計をつなげば指針は電流の大きさに従つて左右に振れる。此の振れの數は二次周波數を表はす



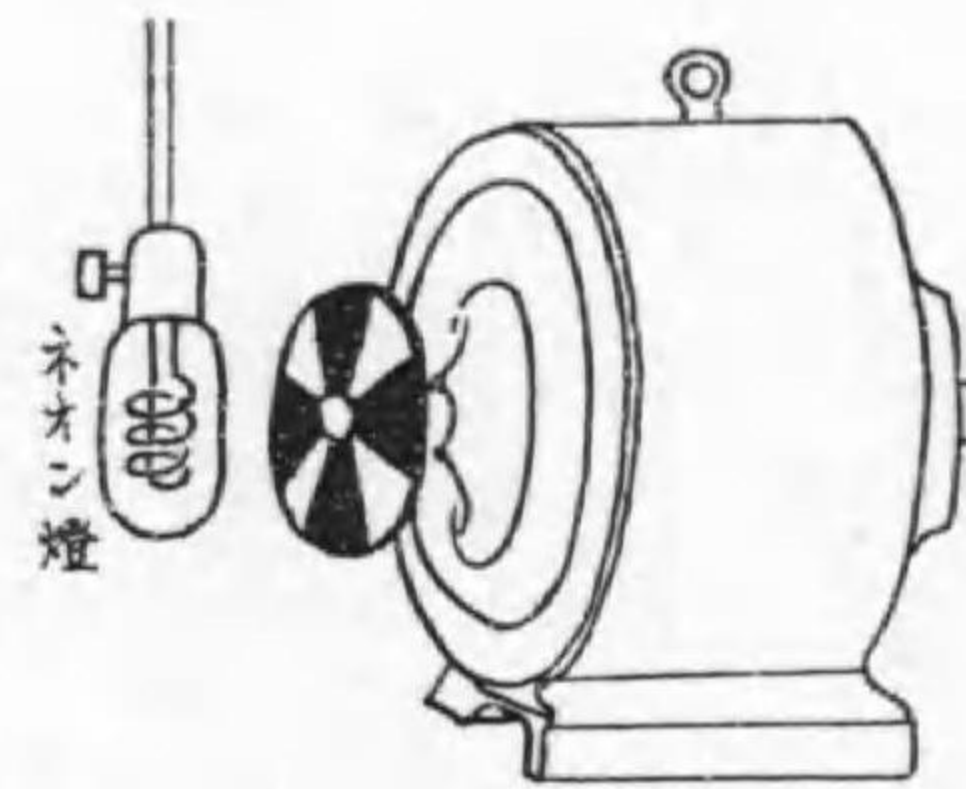
第 36 圖

故にこれより滑りを計算することが出来る。何れも回轉子周波數より滑りを計算する方法である。

(b) ストロボスコープ法

白い圓板に電動機の極數丈けの黒い扇形を描いて電動機の軸に取付け、電動機と同一の電源より**ネオン燈**を點じて此の圓板を照らす時は、黒い扇形は滑りの回轉數丈け反對方向に回轉する様に見える。故に此の黒い影が一分間に幾回轉するかを數へて同期速度で割

れば滑りが計算出来る。詳細は測定器具の部を参照されたい。



第 37 圖

(c) 直讀型滑計

(a)及び(b)に述べたものは滑りの數の小なるものに適當し、滑りの大なるものは音の數又は影の回轉數を數へる

事が少々困難である。それ故直接滑りを讀み得るために直讀型滑計がある。

41. 絶縁試験

メツガー試験 (megger test) で絶縁抵抗を測定して其の値が小さければ絶縁耐力も亦小さいものである。故に乾燥其の他適當な處理をしなければならぬ事は勿論である。然し絶縁抵抗が大である場合に必ず絶縁耐力が大であるとは限らない。従つて此の場合にも**絶縁**

試験 (insulation test) を省略する事は出来ない。

絶縁試験は規定電圧の2倍に1000ヴォルトを加へたもので、一分間試験するのであるが茲で一言注意して置きたい事は、籠型電動機の回轉子導體は絶縁してないから絶縁試験の必要はない。又捲線型電動機の回轉子捲線は最大誘起電圧の2倍に1000ヴォルトを加へたもので試験するが、捲揚機用電動機等の如く屢々回轉方向を變化するものは、特に最大誘起電圧の4倍に1000ヴォルトを加へた電圧にて試験するものとす。

42. 圓 線 圖

誘導電動機の諸特性は多少の誤差を忍べば、無負荷試験と拘束試験とから圓線圖 (circle diagram) を作成して、種々の負荷に於ける諸特性を簡単に求めることが出来る。

圓線圖を作成するには、無負荷試験により次の値を測定する。

E_o = 定格電圧

I_{o0} = 無負荷電流

W_o = 無負荷損失

次に拘束試験に依り次の値を測定する。

E'_s = イムピーダンス電圧

I'_s = E'_s に對する短絡電流

W'_s = 短絡試験に於ける入力

抵抗測定法により次の抵抗を測る。

R = 二つの端子間に於ける固定子線輪の抵抗

t = 抵抗測定當時の溫度

此等の數値から次のものを計算する。

$$R_1 = \frac{1}{2} R \left(1 + \frac{75-t}{234.5+t} \right)$$

$$I_{ow} = \frac{W_o}{\sqrt{3} E_o}$$

$$I_{ow1} = \sqrt{I_{oc}^2 - I_{ow}^2}$$

$$I_s = I'_s \times \frac{E_o}{E'_s}$$

$$I_{s1} = \frac{W'_s E_o}{\sqrt{3} E'_s^2}$$

$$I_{s2} = \sqrt{I_s^2 - I_{s1}^2}$$

$$I_{sa-1} = I_s^2 R_1 \frac{\sqrt{3}}{E_o}$$

以上の計算した値を以て、次の如く作圖する。

原点 O より水平軸 OL , 垂直軸 OS' を引き垂直線上に N' 點及び S' 點を取り

$$ON' = I_{ow}$$

$$OS' = I_{s1}$$

とす。

次に N' 及び S' 點より夫々水平線を引き、其の上に N 點及び S 點を取り

$$NN' = I_{ow1}$$

$$SS' = I_{s2}$$

とす。

NSを結び、其の垂直二等分線がN'N線の延長と交る点をCとする。C点を中心としCNを半径とする半圓を描けば圓弧はS点をも通過する。

S点よりN'Nの延長に垂直線SUを引き、SU上にT点を取る。

$$UT = I_{s-a-1}$$

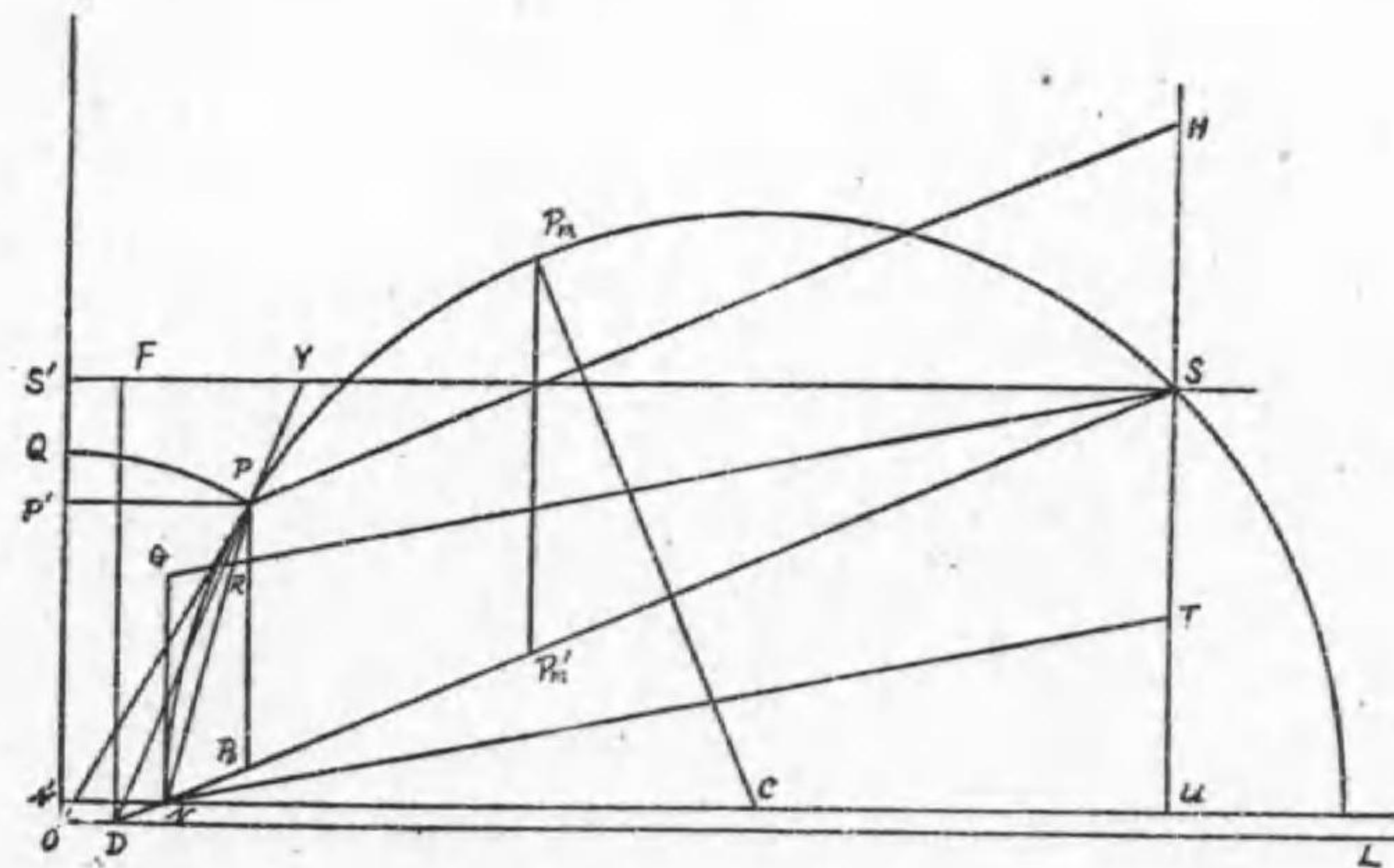
茲でNTを結び、更にSNを延長してOLとの交点をDとし、D点より垂直線を引きSS'とFに於て交らしむ。

USの延長上にIaに等しくSHを取り、NSに並行にHPを引き、圓弧とP点に於て交らしむ。

OPを結べば

$$OP = \text{全負荷電流}$$

となる。



第 3 8 圖 圓 線 圖

Pより水平線PP'を引きOS'とP'点に於て交らしむ。

O'S'上にOPと等しくOQを取れば

$$\text{力率} = \frac{OP'}{OP} \times 100\%$$

DPを結び、之れを延長してS'S線とYに於て交らしむれば

$$\text{能率} = \frac{SY}{SF} \times 100\%$$

S点よりNTに並行にSGを引き、N点よりの垂線とG点に於て交らしむ。

SGとNPとの交点をRとすれば、

$$\text{滑り} = \frac{RG}{SG} \times 100\%$$

NSの垂直二等分線と圓弧との交点をP_mとし、P_mより垂直線を引き、NSとP'_mに於て交らしむ。

P点より垂直線を引き、NSとP_oに於て交らしむれば、

$$\text{過負荷耐量} = \frac{\text{最大出力}}{\text{定格出力}} = \frac{P_m P'_m}{PP_o} \times 100\%$$

茲では説明を略するが、其の他に最大力率、最大出力、最大回轉力等も決定する事が出来る。

第七章 誘 導 發 電 機

43. 誘導發電機の理論

誘導電動機が或る負荷を荷ふて運轉してゐる時は必ず同期速度以

下の回轉數を以て廻つてゐるものである事は既に述べた通りである

即ち誘導電動機は、或る一定の滑りを以て回轉して居り、回轉子線輪には電壓を誘導して二次電流が流れてゐる。若し負荷を減ずれば、滑りも減少し二次誘起電壓は減少する、従つて二次電流も當然減少する。

更に負荷を除き無負荷の状態とすれば滑りは甚だ小となり、回轉子は殆ど同期速度となる故に二次電流も亦殆ど零となる。

次に回轉子に外力を加へて同期速度を以て回轉せしめれば、回轉子線輪は磁束を切らないから誘導起電力は全く零となり、二次電流も亦零となる。

更に外力を増してやれば、回轉子は同期速度よりも早く回轉する事となり、回轉子線輪は回轉磁界の磁束を切つて進むことになる。従つて回轉子線輪に誘導される電壓は今までとは反對方向となり、電流も逆方向となる。二次電流が前と逆に流るれば、其の起磁力を打消すべき一次負荷電流も前と逆に流れるわけである。

換言すれば、同期速度以下で誘導電動機として回轉して居る時に供給電壓の方向に流入してゐた一次負荷電流は、同期速度以上に廻せば逆起電力の方向に流出する事となる。

外部から機械的勢力を受けて電流を誘導起電力の方向に送り出すものは、も早や電動機では無く其の機能より見て發電機と云ふべきである。

斯の如き發電機を誘導發電機 (induction generator) 又は非同期發電機 (asynchronous generator) と云ふ。

44. 誘導發電機と同期發電機

誘導發電機は同期發電機に較べて色々の相違の點がある。誘導發電機の利點と考へられるところは

- (a) 直流勵磁機を必要としない。
- (b) 籠型回轉子を使へば構造簡單で頑丈である。
- (c) 固定子周波數は回轉子の速度と無關係である。
- (d) 従つて並列運轉の際に位相を合はす面倒がなく、同期檢定器の必要も無い。
- (e) 働作甚だ安定で亂調を生ずる心配がない。
- (f) 短絡の際は勵磁作用を失ひ損傷を輕減する。
- (g) 以上の理由により取扱ひや監視が簡單である。

但し次の如き缺點を有してゐる。

- (a) 自分自身が電力を供給しつゝある電路から勵磁電流を取らねばならぬ故、必ず他の同期發電機と並列運轉しなければならぬ。
- (b) 空隙が小さいから取扱ひに注意を要する。
- (c) 負荷の如何に拘らず常に一定の力率を持つた進電流だけしか供給出来ない。それで負荷が遅電流を取る場合には、同期發電機の出す電流は甚だ力率の悪い遅電流となる。

45. 誘導發電機の使用

前述した様な理由に依り誘導發電機は負荷に進電流を供給する場

合には有利であるが、遅れ電流を供給をする場合には甚だ不利である。

又並列運転が簡単である爲に、初期の小容量自働発電所には誘導発電機が使用されたが、其の後同期交流発電機の自働装置が著しく進歩したので最近建設せられる自働発電所は同期発電機を使用し、誘導発電機は特殊の場合の外殆ど使用され無くなった。

練習問題

1. 周波数50, 極数6なる三相誘導電動機あり, 滑り4%なる時の回転数如何。(大正七年 選試 五級)
2. 周波数50サイクルなる普通の誘導電動機あり, 其の全負荷に於ける回転数毎分950なりとすれば, 其の極数幾何なるか。(大正九年 選試 五級)
3. 誘導電動機は之に負荷する時滑り(slip)を生ずる理由を説明せよ。(昭和二年 選試 三種)
4. 3馬力誘導電動機の全負荷時の入力の概数を記せ。(大正十二年 選試 三種)
5. 200ヴォルト, 50サイクル, 50馬力, 8極三相籠型誘導電動機の
(イ) 能率 (ロ) 力率 (ハ) 価格
凡そ幾何か。(大正四年 選試 四級)
6. 無負荷の誘導電動機は力率小にして, 負荷するに従ひ力率の増加する理由を説明せよ。(明治四十四年 選試 四級)
7. 200ヴォルト, 5馬力三相誘導電動機あり, 全負荷に於ける力率85%, 能率84%なりとせば全負荷に於ける電流は幾何。(大正十年 選試 三種)
8. 三相誘導電動機に直結せる直流発電機あり, 今発電機に 100KW の負荷

をかけたる時, 電動機の KVA 入力幾何となるか。但し此の場合に於ける発電機の能率90%, 又電動機の能率90%, 力率88%とす。(昭和十一年 選試 三種)

9. 誘導電動機の起動回転力は下の場合如何に変化するや。
(イ) 供給電圧並に周波数を一定して回転子の抵抗を變ずる場合。
(ロ) 供給電圧の周波数並に回転子の抵抗を一定して供給電圧を變ずる場合。(大正四年 選試 四級)
10. 三相誘導電動機の使用電圧を一定とし, 一次接続法を三角形より星形に変更する時は最大回転力は凡そ幾何に減するや。(大正十四年 選試 三種)
11. 60サイクルに設計せられた三相誘導電動機を同一電圧の下に50サイクルに使用するとき, 下記各項につき其の増減を述べ且つ簡単に理由を附記せよ。
(イ) 無負荷電流 (ロ) 温度上昇 (ハ) 速度
(昭和十年 選試 三種)
12. 三相誘導電動機の起動法三種を挙げ, 之を説明せよ。(大正十五年 選試 三種)
13. 籠型三相誘導電動機と其の起動に使用せらるゝ入△閉閉器の接続を圖示し, 其の効用を略述せよ。(大正十二年 選試 三種)
14. 捲線型誘導電動機に使用する起動抵抗の作用を説明せよ。(昭和四年 選試 三種)
15. 滑動環附三相誘導電動機あり, 50サイクル回路に於て全負荷の際回転数1分間950なり。今同一電圧の下に全負荷回転力にて起動せしむる爲に回転子回路の各相に挿入すべき抵抗幾何なりや。但し回転子は星形結線にして各相の抵抗 r オームとす。(昭和七年 選試 三種)

16. 籠型誘導電動機の起動法並に起動を容易ならしむる構造上の考察に就いて説明せよ。(昭和五年 選試 三種)
17. 二重籠型電動機の構造を述べ其の作用を説明せよ。(昭和十二年 選試 三種)
18. 直流分捲電動機と誘導電動機との類似点を挙げ之れを説明せよ。
19. 籠型誘導電動機と滑動環付誘導電動機との適當なる用途を挙げ其の理由を説明せよ。(大正九年 選試 四級)
20. 三相誘導電動機の回轉の方向を變ずるには如何にすべきや。(大正五年 選試 五級)
21. 誘導発電機と同期発電機とを比較して其の得失を略述せよ。(大正十二年 選試 二種)
22. 下記の術語の意義を略述せよ。
 (イ) 同期速度 (大正十一年 選試 三種)
 (ロ) 誘導電動機の滑り (大正九年 選試 五級)
 (ハ) 電動機の回轉力 (大正十一年 選試 三種)
 (ニ) 起動補償器 (昭和六年 選試 三種)
23. 三相誘導電動機の購入に當り仕様書に記載すべき主要事項を列挙せよ。(昭和十年 選試 三種)

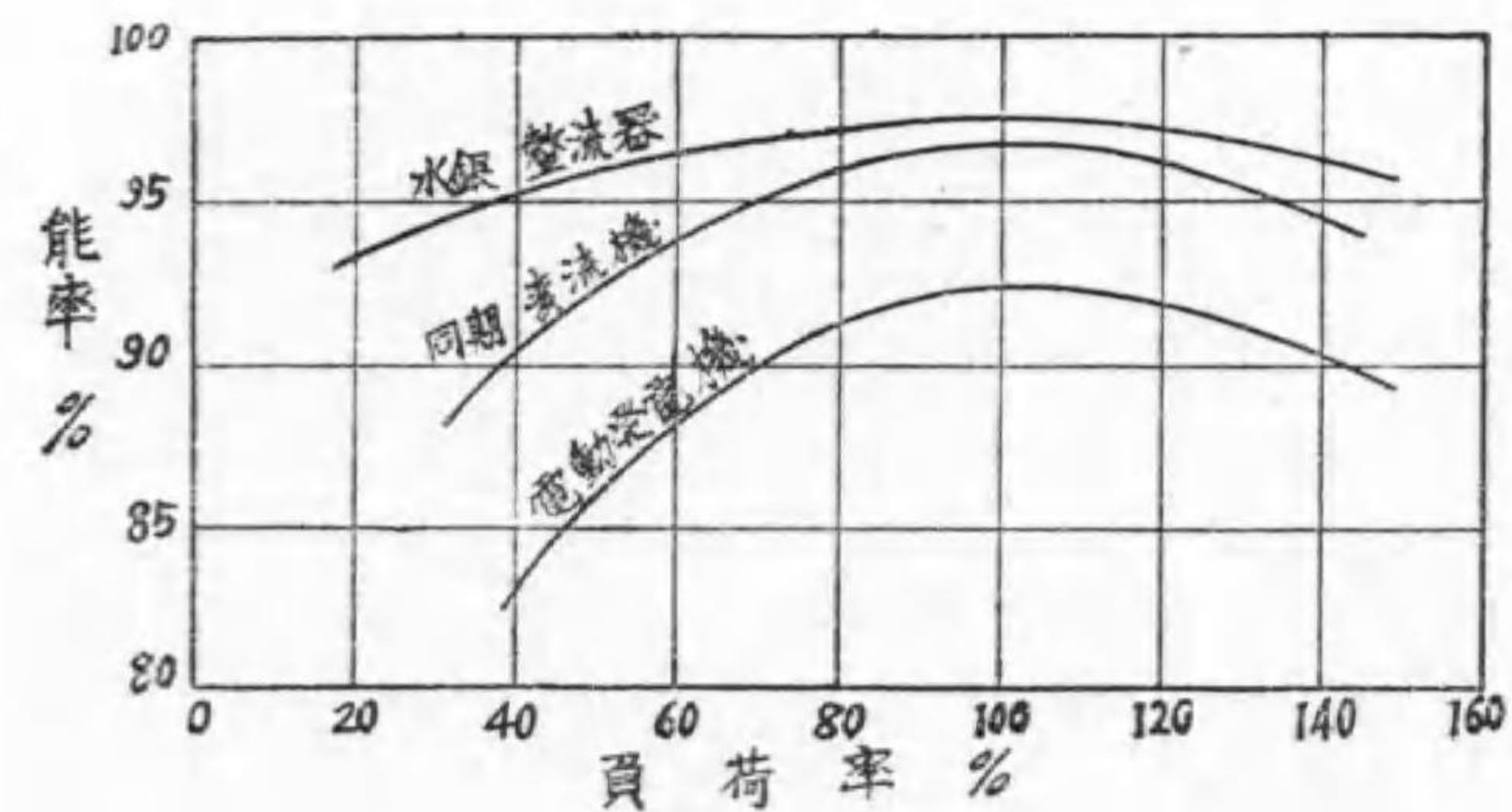
回轉變流機 (其他)

第八章 回轉變流機

46. 電流の變換

今日の電氣界は交流が全盛であるけれども、電氣化學工業、電氣鐵道其他運輸關係方面では直流が主として使はれる。之等に必要なる直流は經濟上の點から交流を高電壓で送電し、變電所或は受電個所で直流に變換するのである。この變換のため用ひられる機械は主に次の三種類である。

- (a) 電動發電機 (motor generator)
- (b) 回轉變流機 (rotary converter)
- (c) 水銀整流器 (mercury rectifier)



第 39 圖

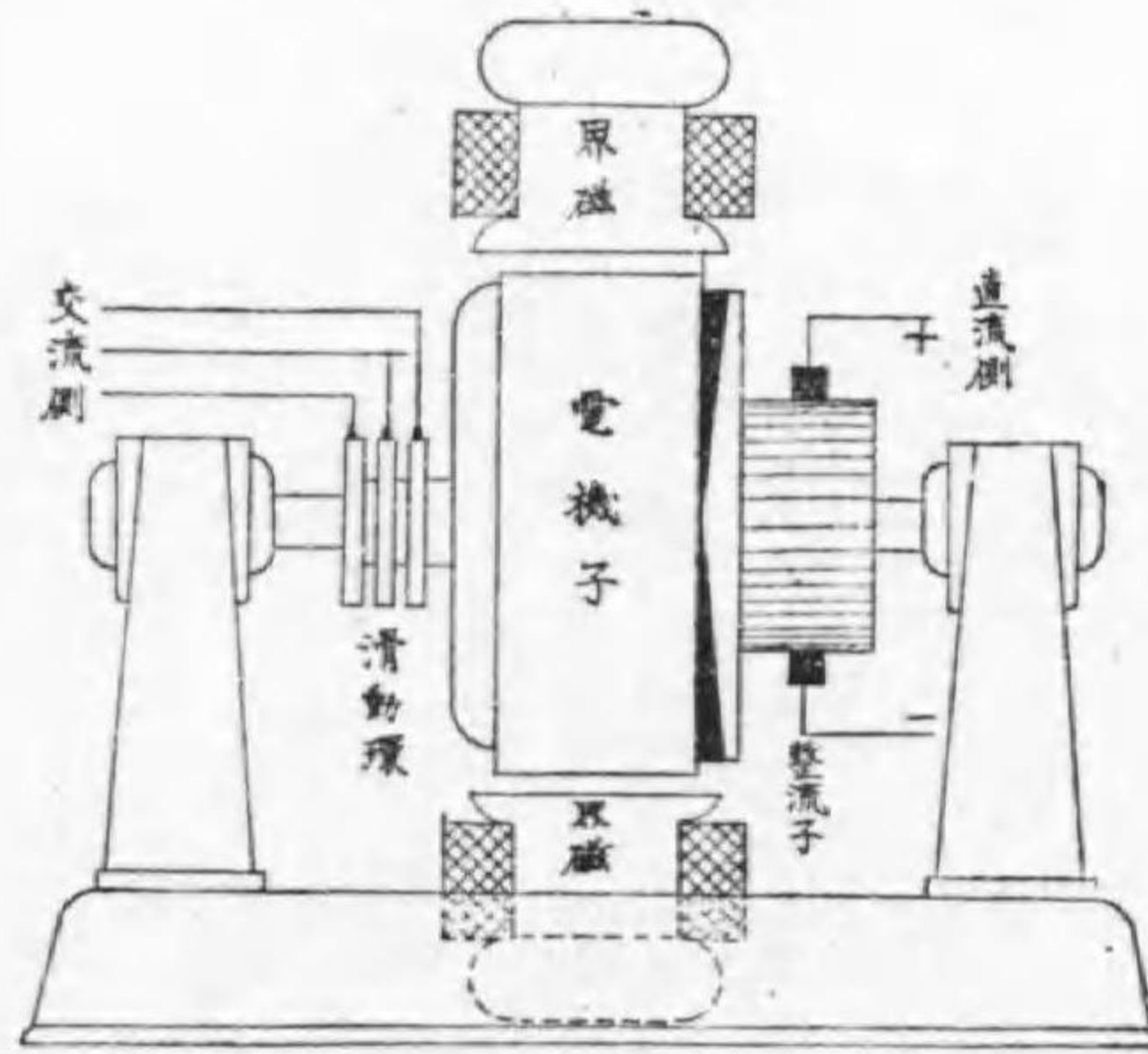
電動發電機は直流發電機を同期電動機或は誘導電動機で運轉するもので、取扱ひが簡單なるを以て小容量のものに多く用ひられる。然し大容量となると回轉變流機又は水銀整流器の何れかで、今迄は回轉變流機が多く採用されてゐたが、最近水銀整流器も回轉變流機と並んで盛んに設置される様になつた。

今これ等の能率比較を表はすと大體第39圖の如くなる。

47. 回轉變流機の場合

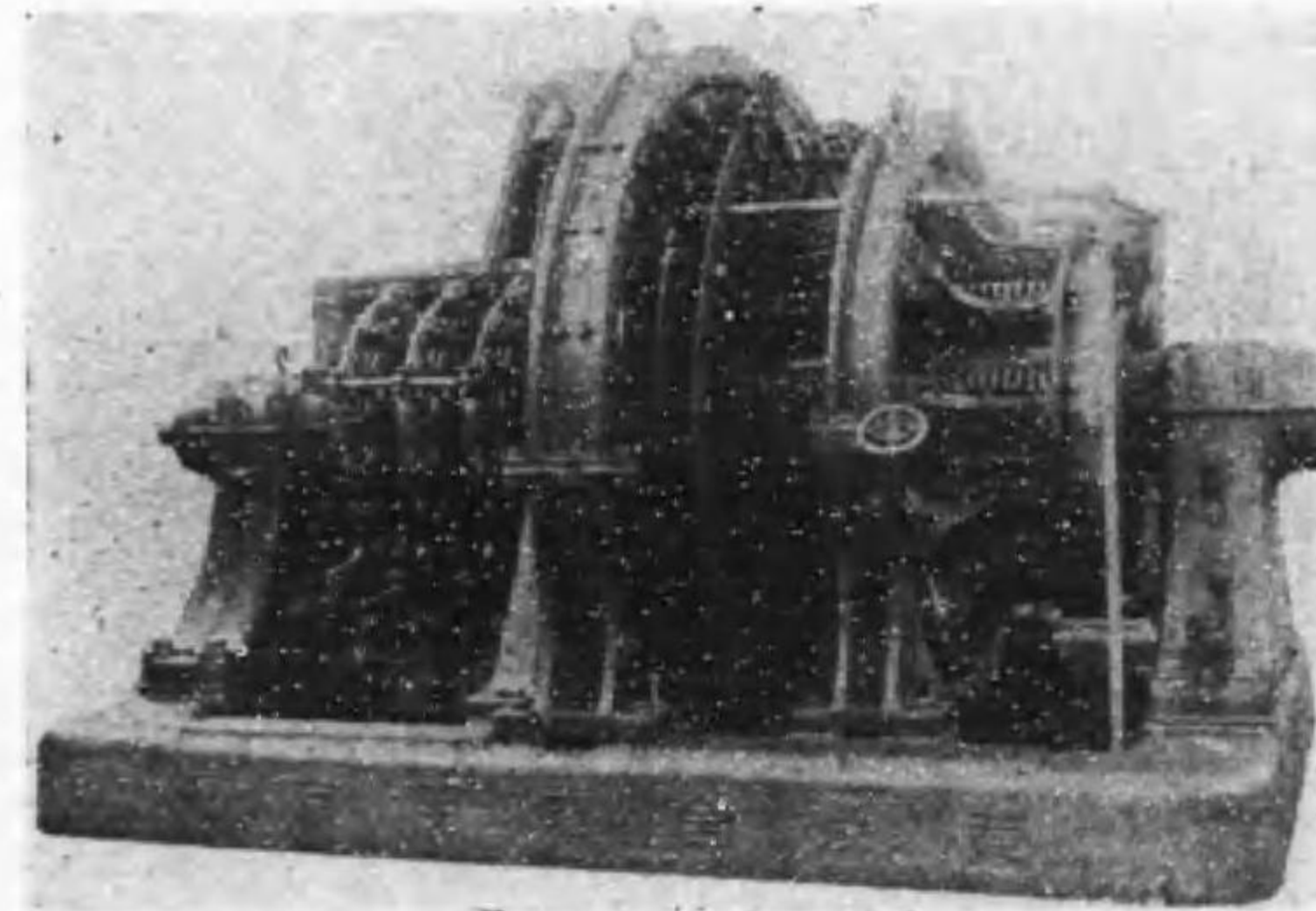
回轉變流機は同期變流機 (synchronous converter) とも稱せられ、同期電動機と直流發電機とを同一機體中に合併し、兩者の機能を同時に活用出来る様にしたもので、滑動環から交流を受けて同期電動機として運轉し、直流側は直流分巻發電機として整流子より直流電力を外部に供給する。界磁及び電機子は全く共同で電機子には直流と交流とが同時に通すが其の捲線法は直流機と同様である。

回轉變流機は供給周波數が増加すると製作運轉ともに困難となつてくる。則ち、周波數が増加すると、そ



第 40 圖

れに伴つて變流機の磁極數を増加するか、或は回轉數を増すか、時には兩方共増さねばならない様になる。然るに磁極數が増すと極間隔が狭くなつて刷子の位置の調整が困難となり、又一極當りの整流子片の數が減少して整流子片間電壓が高くなり、閃絡 (flash over) の原因となる。更に幾何學的角と電氣的角との差が大きくなつて亂調を起し易くなる。次に回轉數を増大すると整流子の周邊速度も相當大きくなるから整流の時間が短くなつて火花を發生する虞がある。且つ周邊速度の制限から電機子直徑を小さくとらねばならぬから一極當りの磁極面が小さくなり、其の磁極面に取付ける制動捲線 (damper winding) の導體數が少なくなつて亂調防止に對しての効果が少なくなる。



第 41 圖

以上述べた種々の原因で初期時代の回轉變流機は25サイクルが限度とされてゐたが、現今では設計製作に改良を加へた

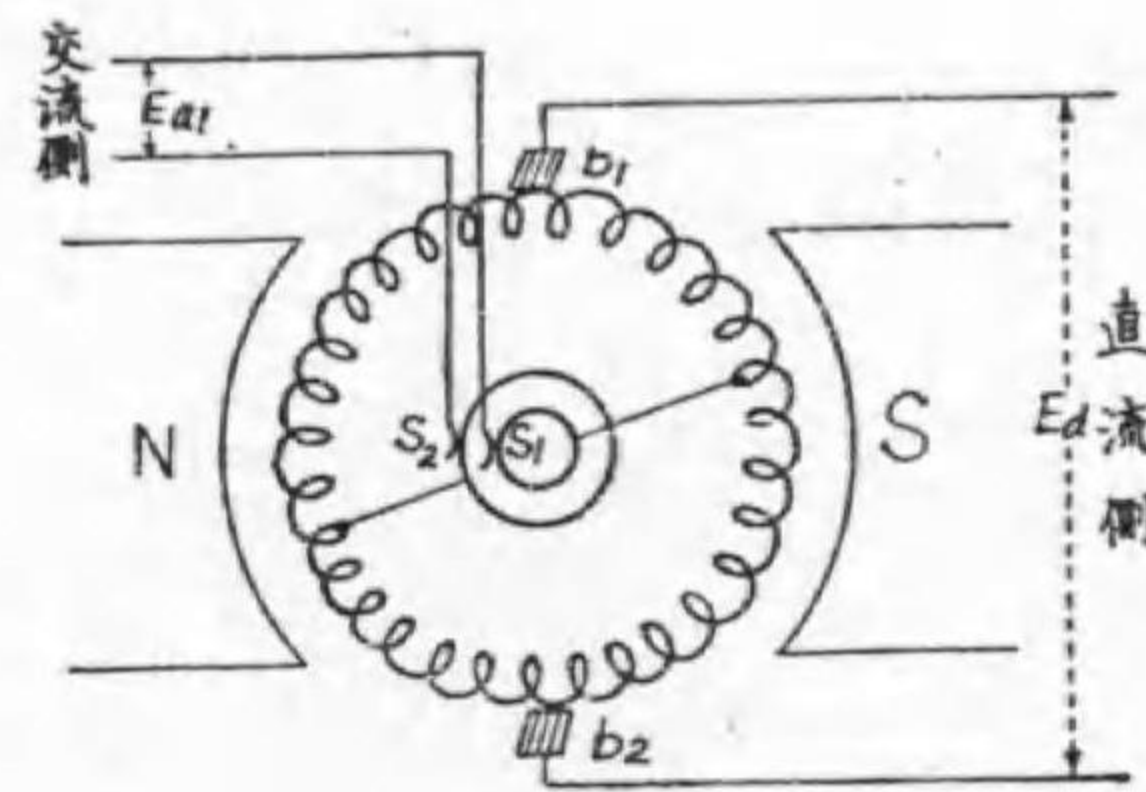
ので、60サイクルで電氣化學用の600V、6600KW、の如き大容量のものが國産品として出現する様になつた。併し60サイクルにては、現在設計上直流電壓は800V位までが普通で、1100Vが大體極限に近

いから、電車線電圧1500Vの鐵道では750Vの變流機二基を直列にして用ひてゐる。

48. 電壓比及び電流比

回轉變流機は交流直流の兩側とも同一界磁、同一電機子であるから、交流側電壓と直流側電壓との間には一定の関係がある。

第42圖の如き單相變流機を他の電動機で運轉したとしやう。電機子捲線中には説明する迄もなく交番起電力が誘導され、之れが整流子の作用に依つて初めて直流起電力となる。故に滑動環の間に誘導される起電力は勿論交番起電力でなければならぬ。そうして交番起電力の最大値は直流電壓に等しい。即次の関係がある。



第 4 2 圖

$$E_d = \sqrt{2} E_{a1}$$

$$\therefore E_{a1} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_d = 0.707 E_d \dots \dots \dots (15)$$

次に第43圖(甲)の如き三相回轉變流機に於ては、交流と直流との電壓の間には第43圖(乙)の如き関係がある。圖に於て

$$\overline{AD} = \overline{DC} \quad \angle AOC = \frac{1}{2} \angle AOC = \frac{\pi}{3},$$

$$\overline{AD} = \overline{OA} \sin \frac{\pi}{3} \quad \therefore \overline{AC} = \overline{AE} \sin \frac{\pi}{3},$$

\overline{AE} は單相電壓を表はし、 \overline{AC} は三相電壓を表はす。

$$\frac{\text{三相電壓}(E_{a3})}{\text{單相電壓}(E_{a1})} = \frac{\overline{AC}}{\overline{AE}} = \sin \frac{\pi}{3}$$

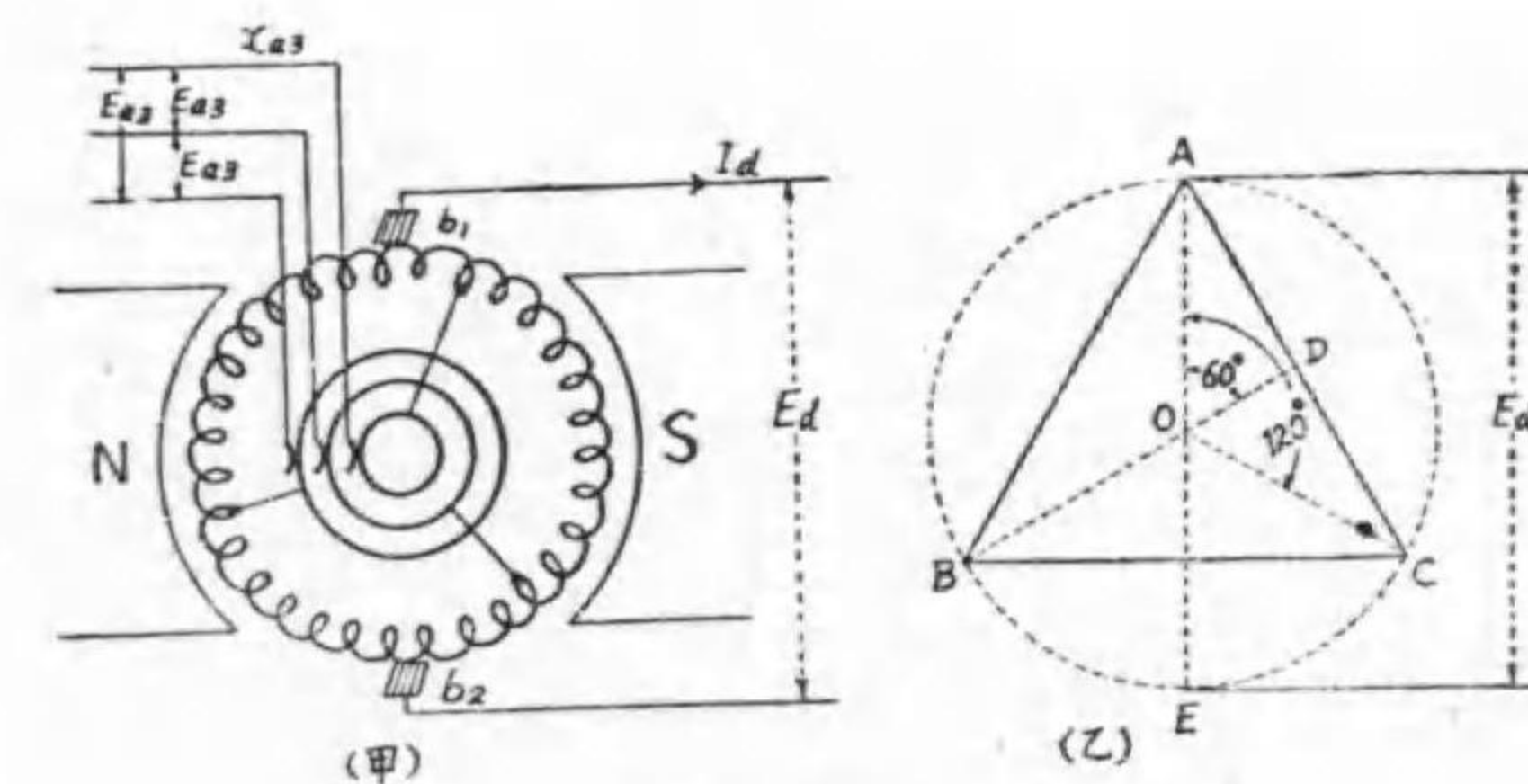
而して、單相電壓 E_{a1} と直流電壓 E_d との間には前述の様に

$$E_{a1} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_d$$

の関係があるから

$$\frac{E_{a3}}{E_d} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{3}$$

$$\begin{aligned} \therefore E_{a3} &= \frac{E_d}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{3} \\ &= \frac{E_d}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3} E_d}{2\sqrt{2}} = 0.612 E_d \dots \dots \dots (16) \end{aligned}$$



第 4 3 圖

次に交流の實効値を I_{a3} 、直流を I_d とし、内部損失を無視すると入力と出力とは等しくなるから

$$\sqrt{3} E_{a3} I_{a3} \cos \phi = E_d I_d$$

回轉變流機は同期電動機と同様に勵磁電流の調整によつて自由に力率を調整し得るから、 $\cos \phi = 1$ とすると

$$\sqrt{3} E_{a3} I_{a3} = E_d I_d$$

$$I_d = \frac{\sqrt{3} E_{a3} I_{a3}}{E_d} = \frac{\sqrt{3} E_{a3}}{\frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} E_{a3}} I_{a3} = \frac{3}{2\sqrt{2}} I_{a3}$$

$$\therefore I_{a3} = \frac{2\sqrt{2}}{3} I_d = 0.943 I_d \dots \dots \dots (17)$$

さて、(16)及び(17)は三相交流機に於ける交流及び直流の間に存在する電圧、電流の関係を表はすものである。斯様な関係を m 相式迄推し擴げて公式で示すと次の様になる。

$$\left. \begin{array}{l} \text{電圧の関係 } E_a = \frac{E_d}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{m} \\ \text{電流の関係 } I_a = \frac{2\sqrt{2}}{m} I_d \end{array} \right\} \dots \dots \dots (18)$$

現在最も多く用ひられるものは六相式にして、300KW 以下の小容量のものには三相式が用ひられる。六相式電圧は變壓器の特殊接続により三相回路より得る。上の公式を用ひて變流機の直流側及び交流側の電圧、電流の比を算出して表に示すと第4表の如くなる。

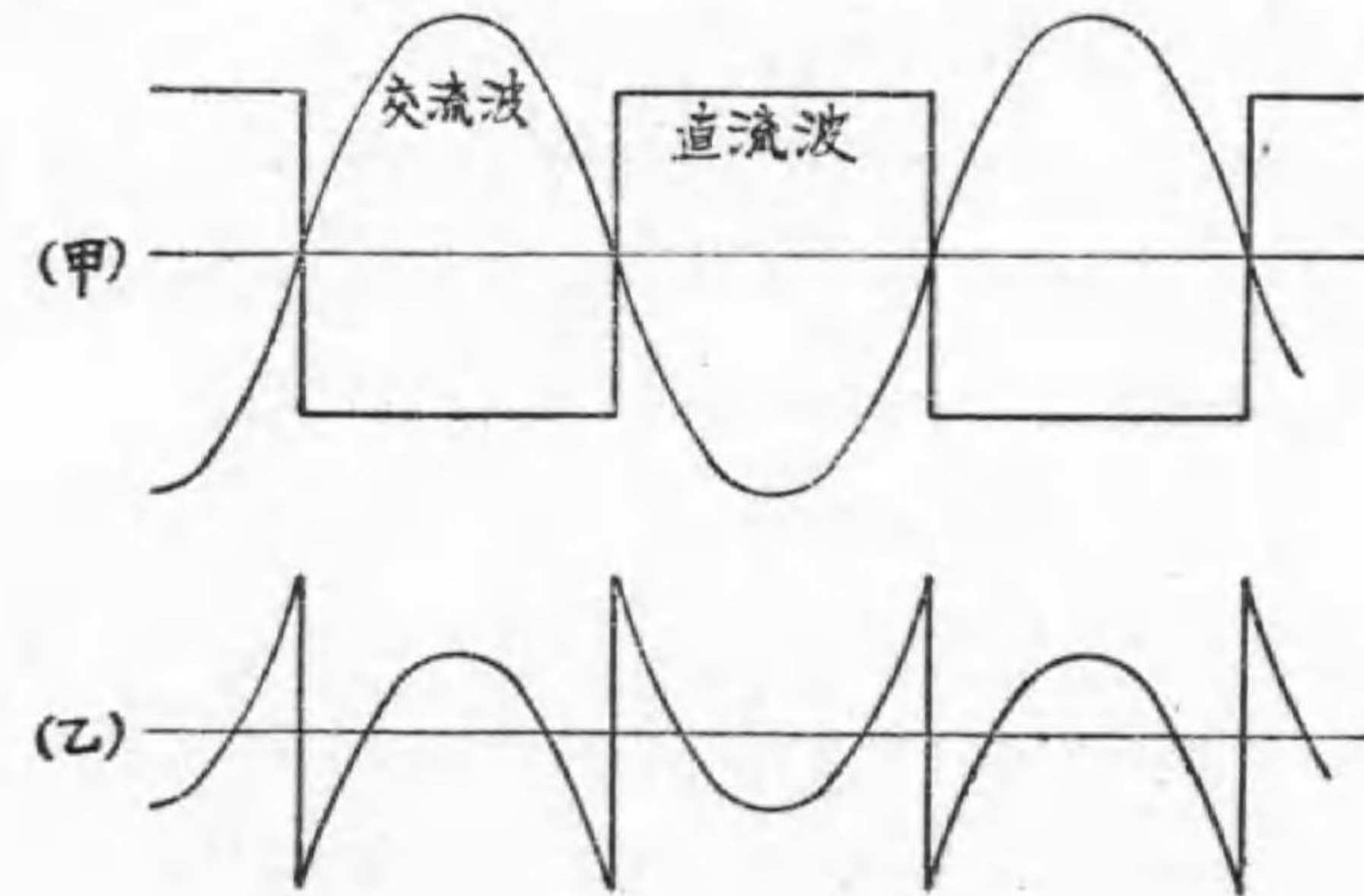
第 4 表

相數	單 相 (m=1)	三 相 (m=3)	六 相 (m=6)	m 相
電壓 電 流				
滑動環間の電壓 (E_a)	$E_d / \sqrt{2}$ = 0.707 E_d	$\frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E_d}{\sqrt{2}}$ = 0.612 E_d	$\frac{E_d}{2\sqrt{2}}$ = 0.354 E_d	$\frac{E_d}{\sqrt{2}} \sin \frac{\pi}{m}$
一相の線路電流 (I_a)	$\sqrt{2} I_d$ = 1.414 I_d	$\frac{2\sqrt{2}}{3} I_d$ = 0.943 I_d	$\frac{\sqrt{3}}{2} I_d$ = 0.472 I_d	$\frac{2\sqrt{2}}{m} I_d$

49. 電機子電流と温度上昇

回轉變流機の電機子捲線には交流と直流とが同時に流れるから、其の合成電流の波形は普通の場合と大いに異なる。然かも各線輪と滑動環との距離の大小によつて合成電流の波形が著しく違ふのみならず、力率の如何によつても波形が異なつてくる。

第44圖は力率が1で滑動環より最も遠い位置にある線輪中の電流の有様を表はしたもので、直流分 I_d は發電機作用で、交流分 I_a は電動機作用に依つて流れるのであるから、 I_d が正の時は I_a は負である。圖の(乙)は其の合成電流の波形を示す。一般に一相の中でも直



第 4 4 圖

接滑動環に接続される線輪の電流が最大となり、中央線輪の電流が最小となる。又力率が悪くなる程交流直流の打消す割合が小さくなつて、合成電流の値は大きくなるものである。

以上の理由から、變流機交流側の相數を多くすれば一相の中央線

輪より滑動環に結ばれる線輪に至る距離が小さくなり、従つて交流直流の打消し合ふ割合が大きくなり、電機子各線輪の合成電流が益々均一に近づいて行く。

斯様に交流側相数の多い程電機子線輪の合成電流の値は小さくなり、第44圖から推察出来る様に其の實効値は小さい値となる。従つて機械自身の温度上昇も尠くなる。既に知る様に此の温度上昇が電氣機械類の定格容量を制限するのであるから、今假りに或る容量の回轉變流機を單に直流機又は同期機として運轉したならば、其の出力は餘程小さくなる筈である。

50. 電圧の調整

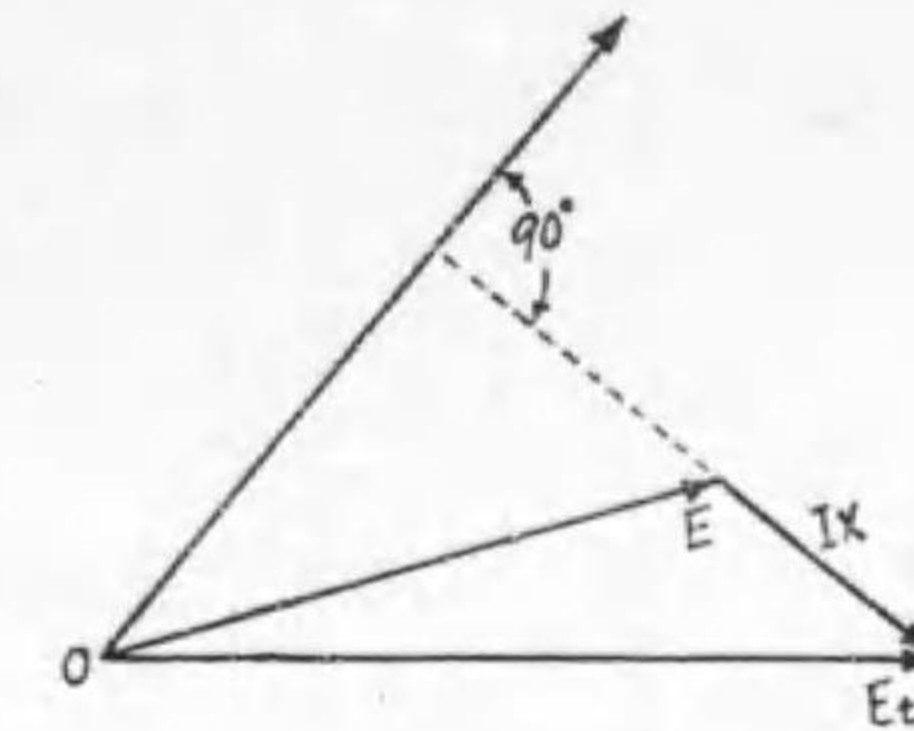
回轉變流機の交流側電圧と直流側電圧との間には、其の相数によつて定まる一定の関係があることを説明した。それで直流側の電圧を調整しようとして直流勵磁を増減しても、其の結果は唯同期電動機の如く交流側の位相を變化させるだけで、決して直流電圧を上下することは出来ない。直流電圧を上下させるには必ず交流供給電圧を調整すべきであつて、普通次の方法が用ひられる。

- (a) 變壓器と變流機滑動環との間に誘導電壓調整器を入れて、交流の供給電圧を變化する方法
- (b) 變壓器の低壓側に數個のタップを設けて、これを必要に応じて切換へ滑動環に供給する電圧を變化する方法
- (c) 交流側に直列リアクタンスを用ひる方法

第45圖から知れる様に、進電流をリアクタンス中に通するとリア

クタンスの爲に、電源の電圧より大きな電圧を得ることが出来る。

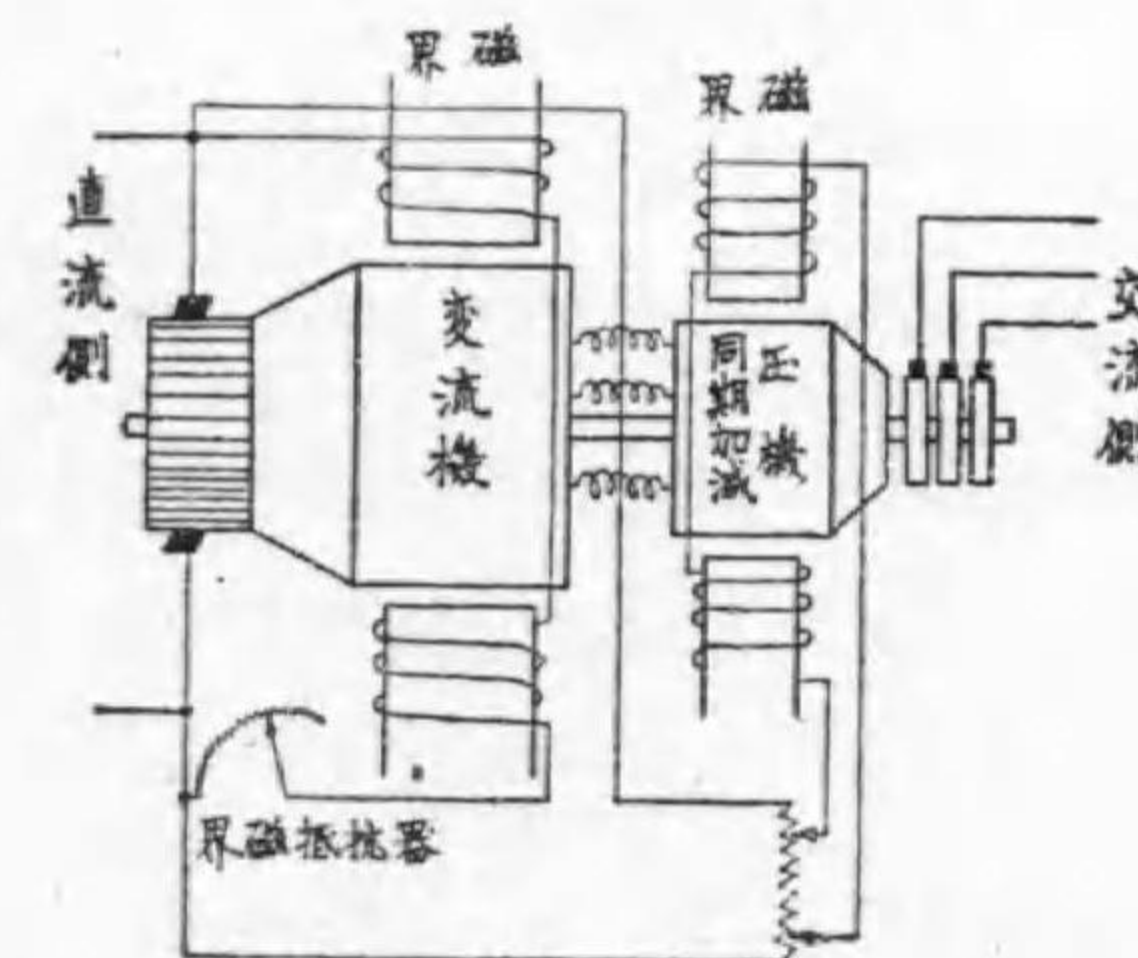
此の原理を用ひて交流電源と滑動環との間にリアクタンス線輪を入れ、變流機の勵磁を強くして位相を進めると供給電圧より大きな滑動環電圧が得られる。それで變流機の界磁に複捲法を用ひ負荷電流の増大に比例して界磁が強くなる様にすれば容易にこの目的が達せられる。



第45圖

此の方法は設備が簡單で費用も低額である長所を有してゐるが、並行運轉が少々困難となる。最近の回轉變流機は分捲性のものが多く、複捲性を有する本方法は追々用ひられなくなつた。

(d) 加減壓變流機 (booster converter) 同期加減壓機は一個の



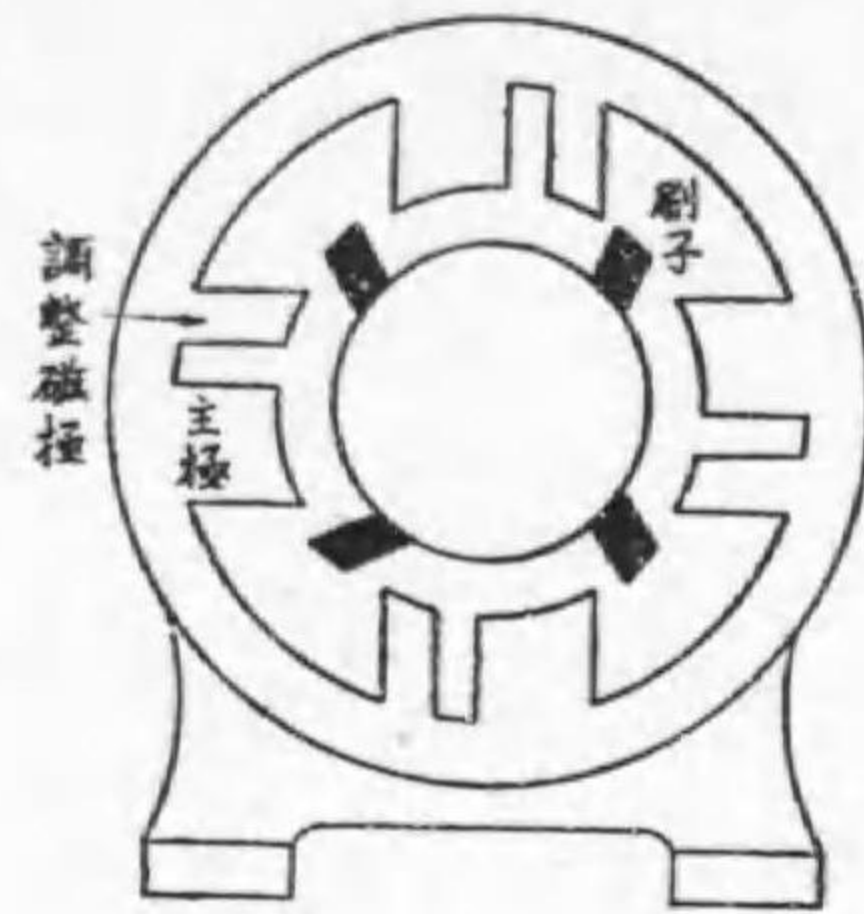
第46圖

回轉變流機と同軸上に取付けられ互ひに直列に接続されてゐる。今外部から加減壓機の界磁に適當の電流を送つて勵磁

すると、加減壓機の發電子には電源と同方の起電力が誘導され、電源の電圧に附加され高電圧となる。次に勵磁電流の方向を反對にす

ると其の起電力は電源電圧と方向が反対になり、此の場合は變流機の供給電圧を減少させる。又之れに似て直流側に加減壓機を入れる方式もある。我國に於ては現今餘り使用されぬ。

(e) 分割極變流機 (split pole converter) 第47圖に示す如く磁極が大小二つに分たれ、各別に界磁捲線を捲き、小さき磁極則ち調



第 47 圖

整磁極 (regulating pole) の強さを種々に加減し、或は反対にすると間接的に中性点を種々の位置に移させることが出来て直流側電圧を調整し得る。之れと同じ目的に刷子を動かしても良いが火花を発生して實用上困難で、この何れの方法も殆ど使用されぬ。

51. 閃絡と其の防止

回轉變流機の電機子反作用は交流直流双方の電機子反作用の相殺に依つて偏磁作用は殆ど起らない。従つて整流の困難は殆どない様に思はれるが、周波数が50又は60サイクルとなると整流が次第に困難となるから、完全な無火花整流を得るには是非補極 (inter pole) が必要である。補極の強さは直流機の場合に較べて約 $\frac{1}{3}$ でよい。

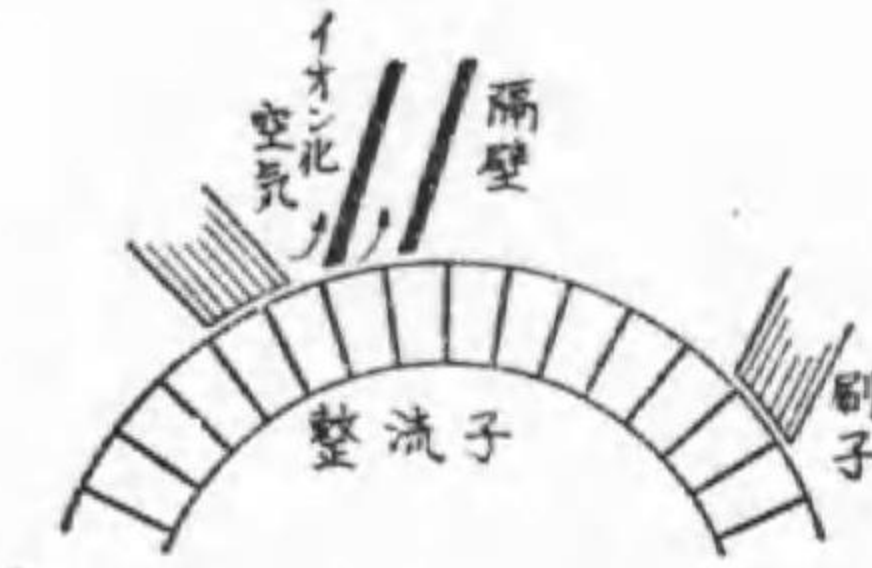
整流の困難は補極によつて救はれるが、變流機に有勝ちな刷子間を火花に依つて短絡する恐しい閃絡 (flash over) を防ぐ事は困難である。この閃絡の主なる原因は亂調である。今何かの原因で直流側

に短絡等が起つて負荷電流の激増する様な場合、電機子回轉の機械的エネルギーで以て短絡エネルギーの大部分を一時供給しなければならぬ。茲に於て直流と交流との安定状態が破れて甚だしく偏磁作用が起り、整流子片間電圧が急に上昇して閃絡の原因となる。

閃絡を防止する方法には、

(a) 閃絡隔壁 (flash barrier) 第48圖に示す如く、火花の爲にイオン化された導電性の空気を、次の異極刷子に向はない様に、回轉方向に對し刷子の直前に絶縁物にて造られた隔壁を設ける。

(b) 高速度遮斷器 (high speed circuit breaker) 直流側に於て短絡等が起つた場合 $\frac{1}{100}$ 秒以内で動作し、大電流を遮斷す



第 48 圖

る最も有効な方法である。電氣鐵道方面に盛んに用ひられる。

其の他制動捲線を磁極面に施して亂調を防止することは間接に閃絡を防止することになり、高磁氣抵抗を有する補極も閃絡に對して有効である。

52. 限速装置

回轉變流機が並行運轉して居る時、或る一臺が開閉器から滑動環に到る迄の間で短絡すると直流側は他の機械の直流側と並行になつてゐるから、他の變流機より直流電力を受け逆變流機となつて短絡個所へ遅電流を供給する。この遅電流は普通力率が非常に低いので

界磁に對して減磁作用をなし、直流電動機として危険速度に達する恐れがある。

斯様な故障時に安全を期する爲に**限速装置**(speed limiting device)を用ふ。此の装置に次の方法がある。

(a) **遠心力调速機**(centrifugal governor)を用ひて變流機が一定以上になるとクラッチを外し、其の結果交流及び直流回路の開閉器を開く。

(b) 直流側に**逆流繼電器**(reverse current relay)を用ひて、他より直流電力の逆流ある時には、直ちに故障變流機を遮断する。又變流機毎に別個の直結勵磁機を用ひて、この速度上昇を防止する方法もある。

最近の回轉變流機には餘り採用されないが、軸端に**搖軸装置**(end-play device)を取付け、軸を少し許り前後に動かす様にしたものがある。

53. 起 動 法

回轉變流機の起動法は同期電動機の起動法と同様であつて、大別すると次の三つである。

- (a) 交流自動起動法
- (b) 直流自動起動法
- (c) 補助電動機による起動法

交流自動起動法は變流機に定格電壓の30%の電壓を加へると、磁極面にある制動捲線が籠型誘導電動機の如く働き除々に起動する。

速度が上昇するにつれて交流電壓を高め、最後に定格電壓を加へると同期速度附近に達し、更に界磁を勵磁すれば完全に同期速度に入る。起動回轉力は回轉部の摩擦抵抗に打勝つだけの回轉力があれば充分で、殊にローラー又はボール軸承を使用する機械では全負荷回轉力の15%位でよい。直流側刷子は整流子面から離揚して起動するのが普通である。

併し補極の磁氣抵抗を大にし、又起動時の交流供給電壓を出来るだけ降下して、刷子を放置した儘自起動せしめるものがある。此の方法で起動する時界磁捲線に非常に高い電壓を誘起して危険を伴ふ爲に、これを數個に分割する**分割開閉器**(sectionizing switch)を設けて直列に働かない様にしてゐる。

交流側より起動して同期化する時、直流端子の極性が一定せず何れの方角にでも同期化するため、規定の極性と反對になることがある。この場合には界磁捲線切替開閉器によつて一旦磁極を逆勵磁して、更に正規の勵磁を行ふことによつて正しい極性が得られる。此の極性變換が一缺點であるが廣く用ひられる。

直流自動起動法は直流電源のある場合、變流機を直流電動機として直流側から起動する方法で、一旦同期速度以上に速度を高めて後に電源を切り、速度が減じて同期速度となる瞬時を見計ひ、所謂同期化をさして交流側の開閉器を閉づればよい。

補助電動機による起動法は變流機軸の一端に補助電動機、一般に極數の一対だけ少ない誘導電動機を直結し、始め同期速度以上に回轉し、次に補助電動機の回路を遮断して次第に減速し來る時、同期

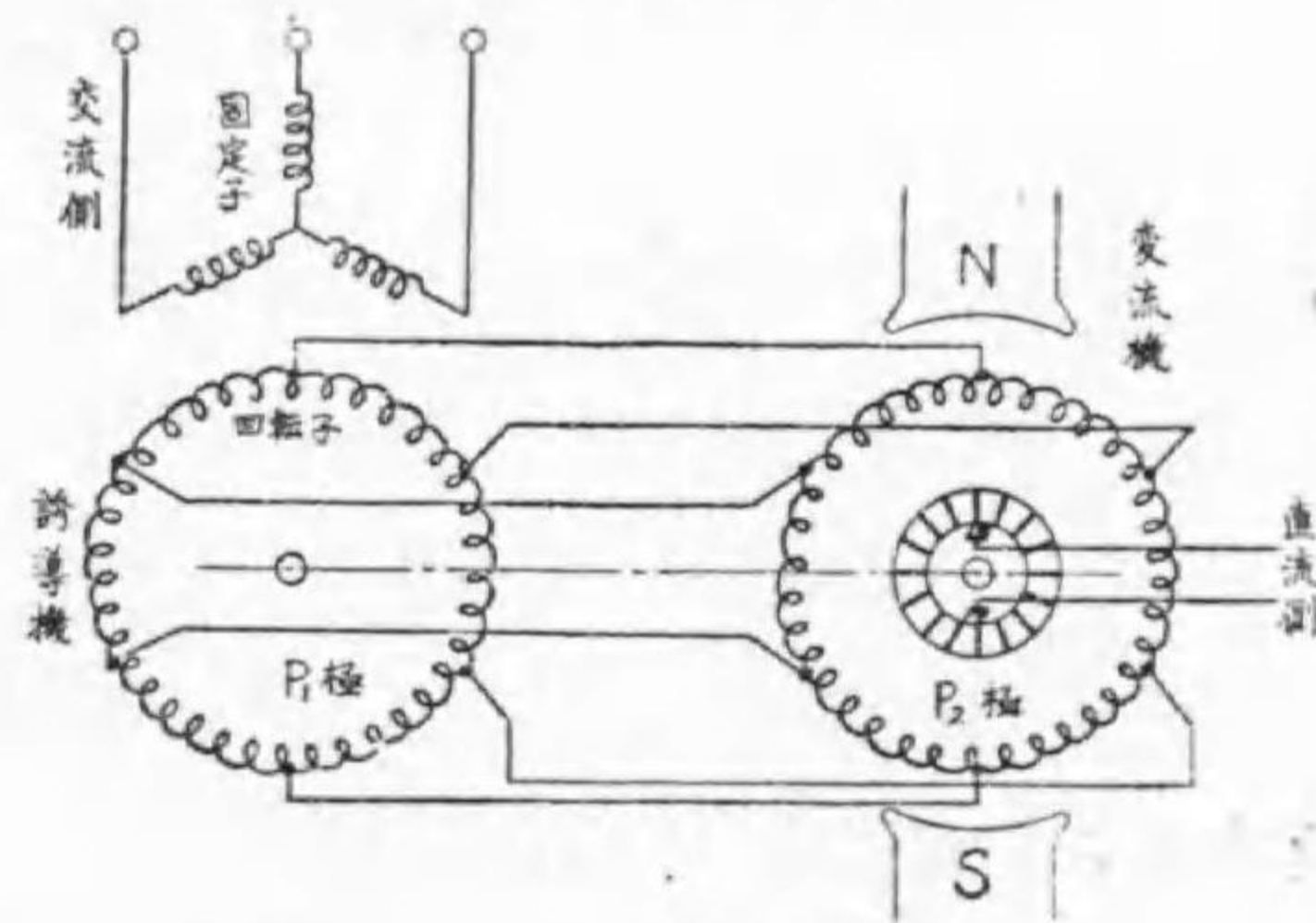
速度附近にて交流側の開閉器を閉じて同期化する。補助電動機として誘導同期電動機を用ふれば自動的に同期化し得る。

54. 縦続變流機

縦続變流機 (cascade converter or motor converter) は二臺の機械が直結されて出来て居り、一方は捲線型誘導電動機で他方は回轉變流機である。兩機の捲線は第49圖の如く直列に結ばれてゐる。即ち誘導電動機と回轉變流機とが縦續ぎされてゐるものである。

斯様に接続すると誘導機は (a) 誘導電動機的作用と、(b) 變壓器、周波數變換機並に相數變換機的作用を兼ねることになる。

誘導電動機側の極數を P_1 、變流機側の磁極數を P_2 とし誘導機側



第 49 圖

の一次周波數を f とすると、縦續變流機の回轉數は次の様になる。

$$\text{回轉速度} = \frac{120f}{P_1 + P_2} \text{ R.P.M.} \dots \dots \dots (19)$$

又誘導電動機の入力を P 、滑りを S とし、機械的出力を P_m 、電氣的出力を P_e とすれば、

$$P : P_m : P_e = 1 : (1 - S) : S$$

の割合となる。

練習問題

1. 六相回轉變流機あり、その直流電壓 600V、定格容量 1000KW なる時、滑動環間の電壓及び一相の線路電流を計算せよ。
2. 或る容量を有する回轉變流機を原動機に依り、交直兩用發電機として運轉する場合、その出力は如何になるか。
3. 電鐵用回轉變流機の界磁捲線を複捲とし、交流側にリアクタンスを直列に入れる目的を説明せよ。
4. 回轉變流機の直流側電壓を調整する方法を説明せよ。
5. 回轉變流機の閃絡とは何か又其の防止手段を列舉せよ。
6. 回轉變流機の起動法を列舉せよ。

第九章 特殊機器

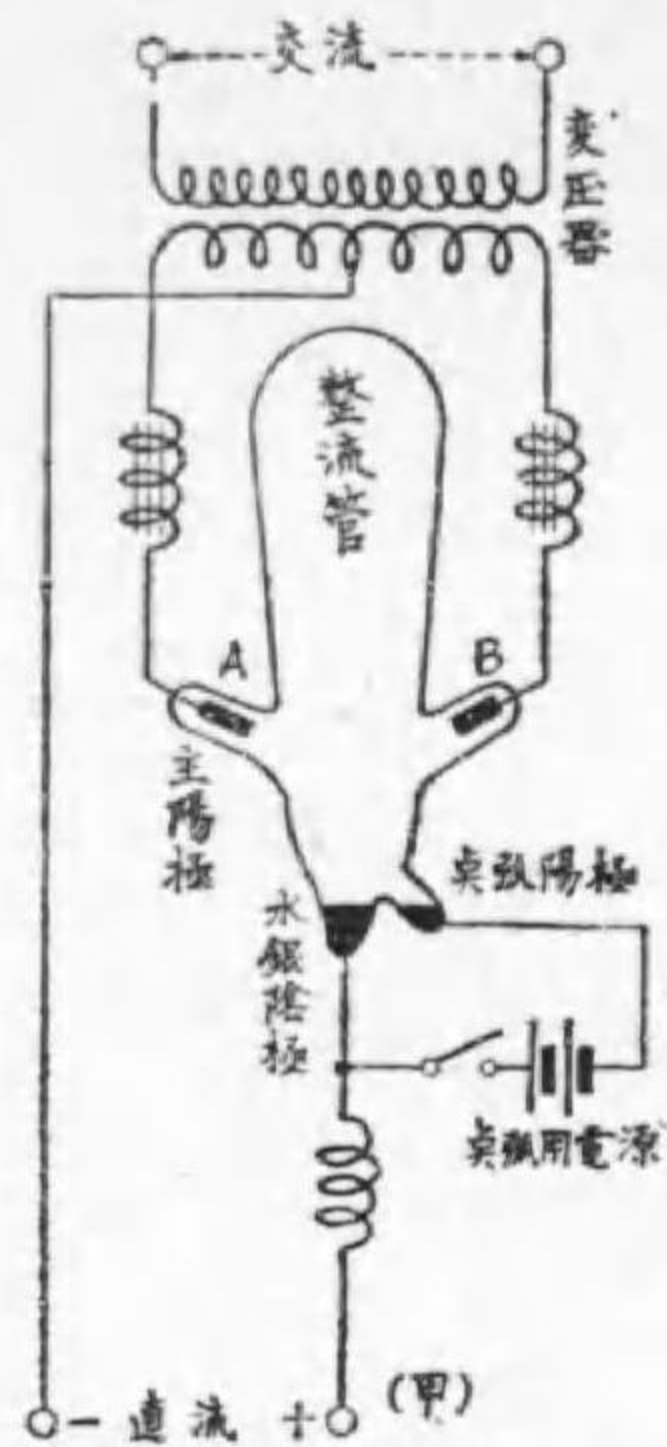
55. 水銀整流器

水銀整流器は西曆1902年米國人 C. Hewitt の發見にかゝる真空中の水銀弧光の整流作用を利用したものである。本整流器は回轉變流機、電動發電機の如く回轉を要せず全く靜止の状態で動作するを以て、機械の設置に當りても丈夫な基礎を必要とせず、所謂床面積も少く、又運轉中と雖も騒音を發しない等の長所を有するので次第に回轉變流機の使用區域内に侵入し、我國に於ても定格容量 2000KW

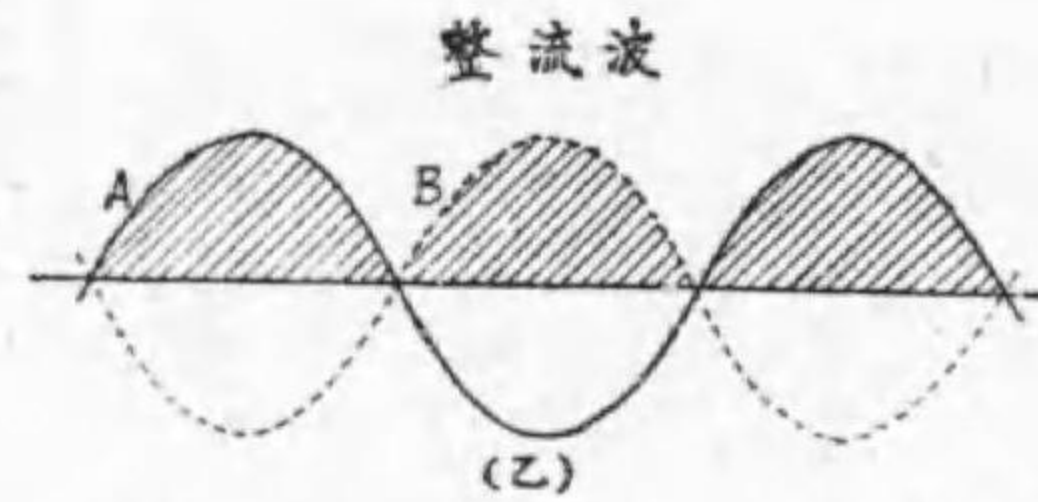
級は珍しくなく、既に3300KWのものが出現する様になった。

56. 水銀整流器の構造

小容量のものは硝子製水銀整流器が多く用ひられ、この寿命は大



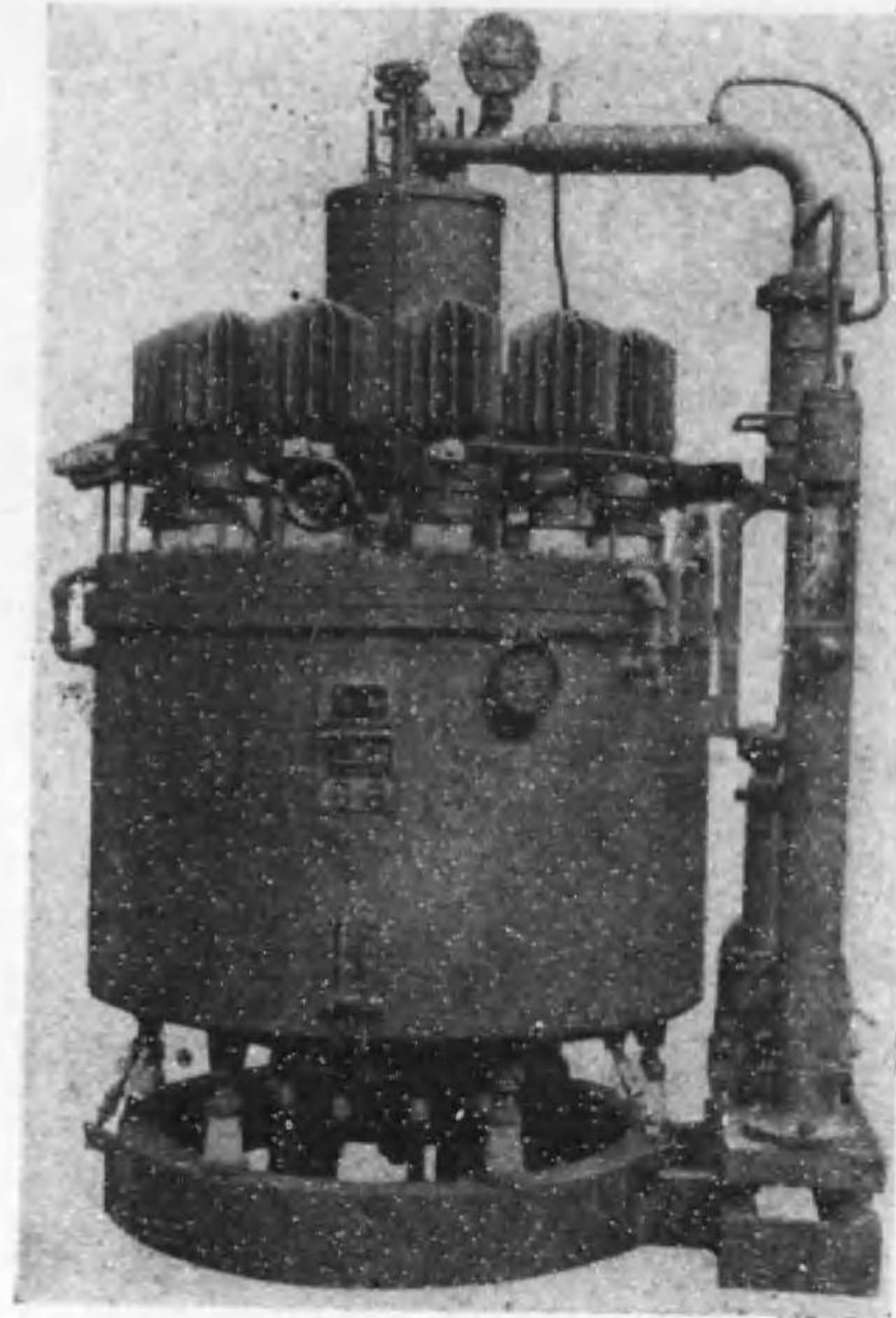
體7000~10000時間と看做され、それ以上になると真空度が低下して使用困難となる。第50圖は硝子製水銀整流器の結線圖の大略を示すものである。而して整流管の上部は水銀蒸氣の凝結室



第50圖

となり、陽極はグラフアイト、鐵等にて作られ、硝子を貫通する部分は完全に密着して耐真空でなければならぬ。

水銀整流器を働かすには、最初其の中に電弧を發生せしめて陰極點を作る事が必要である。これが爲に、第50圖に示す如き點弧陽極 (ignition anode) を備へ、先づ整流管を傾斜して點弧陽極と水銀陰極間を水銀によつて短絡し、點弧用電源で電流を通ずる。さうして整流管の傾斜を正しきもとの位置に戻すとき、水銀陰極と點弧陽極の間に初めて弧光を生じ、其の後機能を發揮して圖の(乙)に示す如



第51圖

き整流波即ち直流を得る。

この整流波は甚だしき脈流であるから塞流線輪(choking coil)を入れたり、相数を多くしたりして此の缺點を除く様にする。硝子製整流器は輕量で取扱ひ簡單な點、真空ポンプ等の附屬物を常に必要としない等の長所があるが、他方硝子の

破壊し易い缺點、陽極封入の困難、使用中次第に真空度が低下する等の難點があるために、大容量の整流器としては第51圖に示す如き鐵槽のものが用ひられる。

鐵槽水銀整流器の鐵槽内は高度真空であることが絶對的必要條件であるを以て、真空ポンプは補助機中最も大切にして普通回轉ポンプと水銀ポンプの兩者を有し、その真空度を指示さすためにマクレオッド真空計、熱電真空計等を用ふ。鐵槽の外圍は清淨な水により常に冷却され、且つ鐵槽には直接に直流電壓が加つて來るから圖に示す様に絶縁すると共に、操作上にも注意が必要である。

又斯様な鐵槽水銀整流器では始動の場合、傾斜する等の方法がとれないから特別の點弧裝置を有し、且つ輕負荷や無負荷になると主弧光が消滅する惧れがあるから主弧光とは別に勵弧 (excitation) して置く必要がある。

57. 水銀整流器の特性と運轉

水銀整流器を据付後運轉する場合或は久しく運轉を休止した後使用せんとする時、整流器の槽壁には多量の瓦斯等が吸収されてゐるから之れを十分放出せしめ、所要の真空度を得る様にしなければならぬ。此の操作を化成 (formation) と云ふ。

而して整流器の能率は E_{do} を無負荷直流電壓、 e を整流器内の總電壓降下とすれば、大略次式で表はし得る。

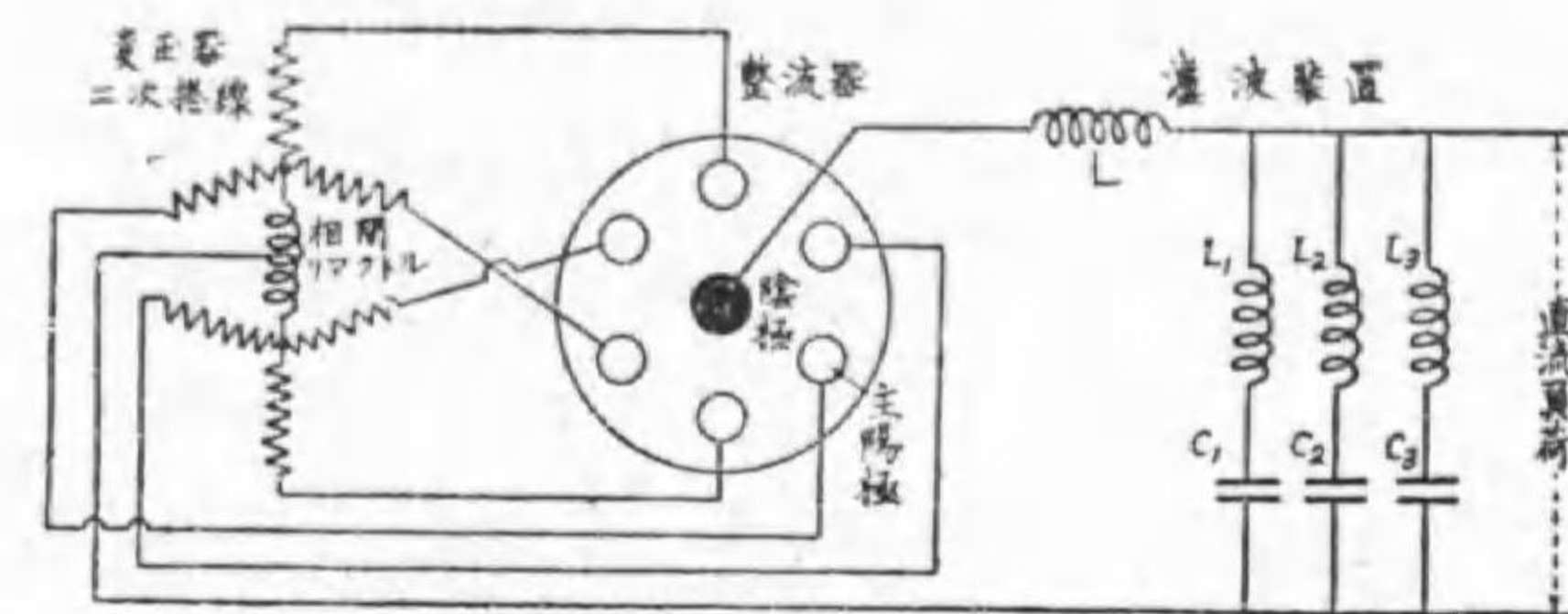
$$\eta = \frac{E_{do} - e}{E_{do}} \times 100\% \dots\dots\dots(20)$$

この e の値は一般に20~25ヴォルト程度で、負荷の大小に關せず略一定である。それ故上式から知れる様に高電壓の整流器となる程良能率となる。

次に缺點とする所は逆弧 (back firing) の現象である。これは陽極面上に白熱點を生じ陽極から陰極に向つて電流が逆流する現象であつて、此の作用により整流が不完全或は不能となり、延いては陽極間の短絡を生ずるに至る。逆弧を防ぐには常に高き真空度を保つ様にし決して0.01mm以下にしてはならぬ。實際には0.001mm附近が望ましい。又陽極を過熱したり、陽極面が陰極の弧焰に直接に曝さ

れるか、或は陰極よりの紫外線に曝される事の無い様にすべきである。其の他陽極面上の汚點、瓦斯の漏洩、水銀の酸化や陽極の形狀配置等にも注意する必要がある。

水銀整流器は普通相數が少い爲に整流した直流に多くの脈動を含み、時には附近の弱電流通信線に電磁誘導による障害を與へることがある。



第 5 2 圖

従つて脈動の著しい場合には第52圖の如きリアクタンスと静電容量とを組合した濾波裝置 (wave filter) を用ひたり、負荷に直列に大なるリアクタンスを入れ、或は電池と並列にするとか、回轉變流機と並列運轉等を行つて通信線其他に及ぼす害を少くする。

58. 水銀整流器と回轉變流機との比較

鐵槽水銀整流器は回轉變流機と同様の目的に使用されるが、水銀整流器が回轉變流機に比較して優れてゐる主なる點を挙げると、

- (a) 全負荷に於ける能率が良い上に負荷の大小に拘らず能率が略一定である。仍て電鐵用變電所の如く負荷率の低いところに適する。

- (b) 連続的過負荷に對しては負荷耐量は小であるが、瞬間的過負荷及び短絡等に對しては耐量が甚だ大である。
- (c) 直流電圧が500ヴォルト以上になると電壓の高い程全負荷能率も良く、且つ價格は殆ど電流のみによつて定まるので經濟的である。
- (d) 静止状態にて動作する故音を發せず、市中に据付けても附近住家に騒音の害を及ぼさない。
- (e) 重量が小であるから基礎取附等の工事が簡單で費用も少く、建物の二階に据付けて變電所の床面積を少なくする事が出来る。
- (f) 起動並に取扱ひが簡單で、磨耗部も無いから保守が樂である。
- (g) 種々の點から自動式變電所用として甚だ有利である。

次に整流器が變流機に較べて不利と考へられる諸點は、

- (a) 真空ポンプその他の附屬物が必要であるから小容量(250A以下)のものは單價が高くなる
- (b) 力率は95%以下であつて、100%ににする事は出来ない。特に輕負荷に於ては甚だしく低下する。
- (c) 直流電壓が低い時は能率が悪い。
- (d) 冷却用循環水が必要である。(100Aに對して毎分1立位を要す)従つて良質水の得難いところには不適當である。
- (e) 連続的過負荷耐量は變流機に比して小である。
- (f) 電氣鐵道等に於ける電力回生(regeneration)が出来ない。

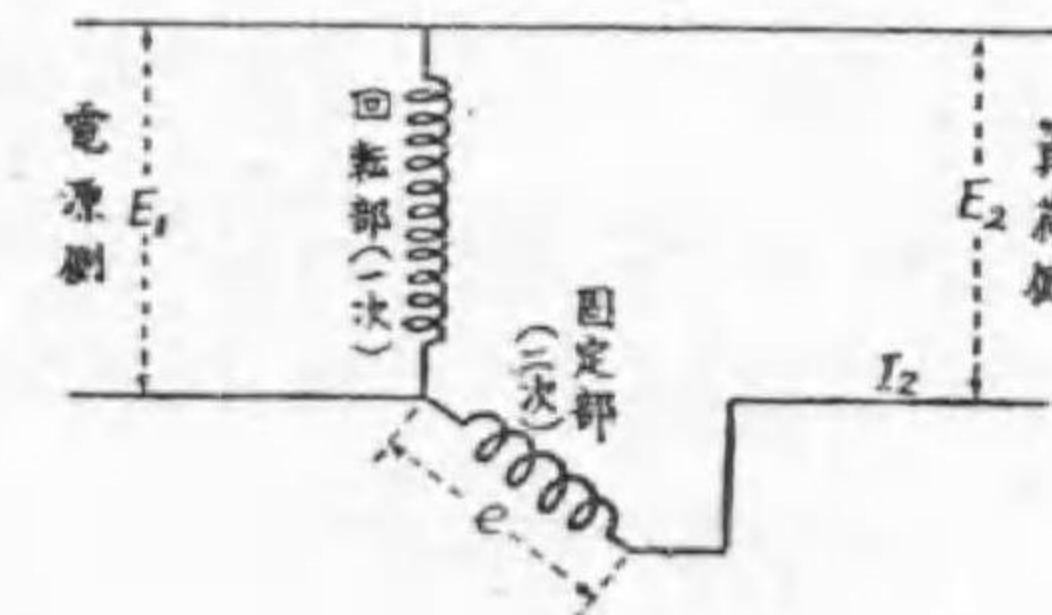
59. 誘導電壓調整器

發電所或は變電所より數回線の饋電線を出す場合、各饋電線の電壓を負荷に應じて調整したり、或は回轉變流機の直流電壓を調整する爲に交流側の供給電壓を調整したり、又は試験用變壓器の二次側電壓を調整する爲に、一次側の電壓を加減したりする必要が起る。斯様な目的に誘導電壓調整器(induction voltage regulator)が使用される。

此の誘導電壓調整器は單相式と多相式とに區別され、用途は略同一であるが、其の働作原理に於ては相違がある。

(a) 單相誘導電壓調整器 本調整器は外觀上多相式に似てゐるが構造に於ては少しく趣を異にし、其の原理に至つては明かに相違がある。其の名の如く單相回路に使用して電壓を調整するもので、回轉部を一次とし、固定部を二次とする單捲變壓器と考へてよい。

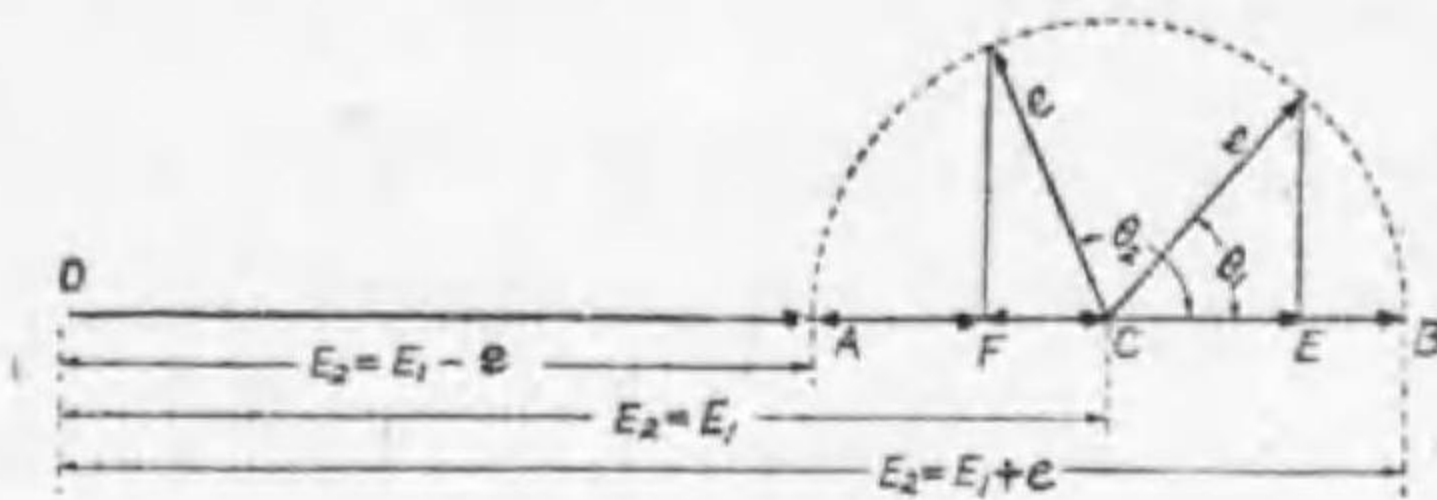
第53圖は其の捲線の接續圖を示すもので、一次捲線と二次捲線の軸が合致した時、二次捲線に誘導される起電力は最大にして、一次二次捲線の軸が互ひに直角になつた時は二次電壓は零である。



第 5 3 圖

今回轉部を適當の角度だけ動かすことにより、負荷側電壓を任意に調整することが出来る。電源の電壓を E_1 、負荷側の

電圧を E_2 とすると、ベクトル関係は第54圖の様になる。則ち一次二次捲線の軸が合致した時に最大電圧OBが得られ、其の中間回轉部を角 θ_1 だけ動か



第 5 4 圖

かせばOEの如き電圧を、角 θ_2 迄動かすとOFの如き電圧が得

られ電源側電圧よりも小さくなる。

單相誘導調整器に於て、一次二次捲線の軸が直角になつた時、二つの捲線間に全く相互磁束が無くなる譯で、この場合二次捲線が線路に直列に入つたインピーダンスの如く作用し電圧降下を來たす。これを防ぐ爲に一次捲線を取附けた鐵心に、一次捲線と其の軸が直角になる様な短絡捲線を備へる必要がある。

此の短絡捲線即ち補償捲線 (compensating winding) は單相式特有のもので、電壓調整器の二次捲線に對して短絡された變壓器の二次捲線の如き作用をして、電壓調整器の二次捲線のリアクタンスを中和する。斯様にすると、調整器二次捲線の電圧降下は二次捲線と補償捲線の等價抵抗降下と等價漏洩リアクタンス降下だけになる。

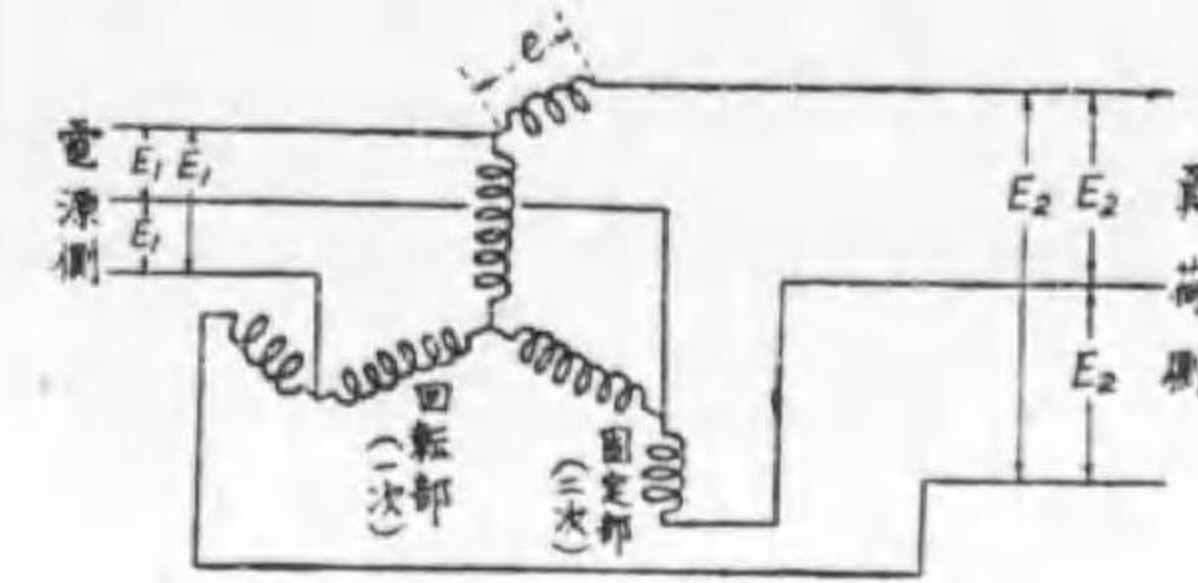
單相誘導電壓調整器の容量は $\frac{1}{2}1000\text{KVA}$ で表はされる。

(b) 多相誘導電壓調整器 多相誘導電動機 of 回轉子を動かぬ様にして、固定子へ電圧を供給すると、固定子及び回轉子は丁度多相變壓器の一次二次の如き關係を以て、回轉子へ多相電圧が誘導される。本調整器は實に之れを利用したものである。

普通一次捲線は回轉部へ、二次捲線は固定部に捲かれ、鐵心の構造は誘導電動機と同様で溝の中に捲線が施される。

回轉部は齒車装置を用ひて手働或は電動機で適當の方向に適當の角度だけ廻すと、

負荷側の電圧を自由に調整することが出来る。回轉部は多相誘導電動機の如く獨りてに回轉を續け様とするから、錠止装置が必要である。各相は單捲變壓器の様な接續になつて居



第 5 5 圖

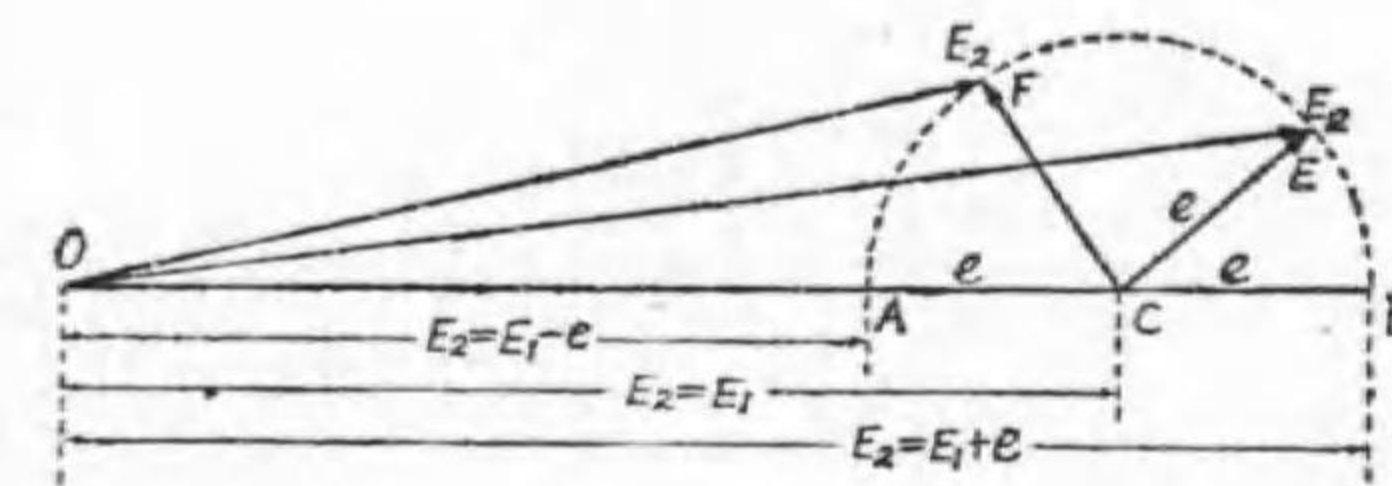
り、其の結線圖 (三相式) を第55圖に示す。

今供給側電圧を E_1 、負荷側の電圧を E_2 とする時の電壓變化のベクトル圖を第56圖に示す。茲で注意すべきは多相式に於ては、其の回轉角に應じて E_1 と E_2 との間に位相差を生ずることである。

而して三相誘導電壓調整器の容量は $\frac{\sqrt{3}}{1000} e I_2$ KVA で表はされる。

60. 誘導同期電動機

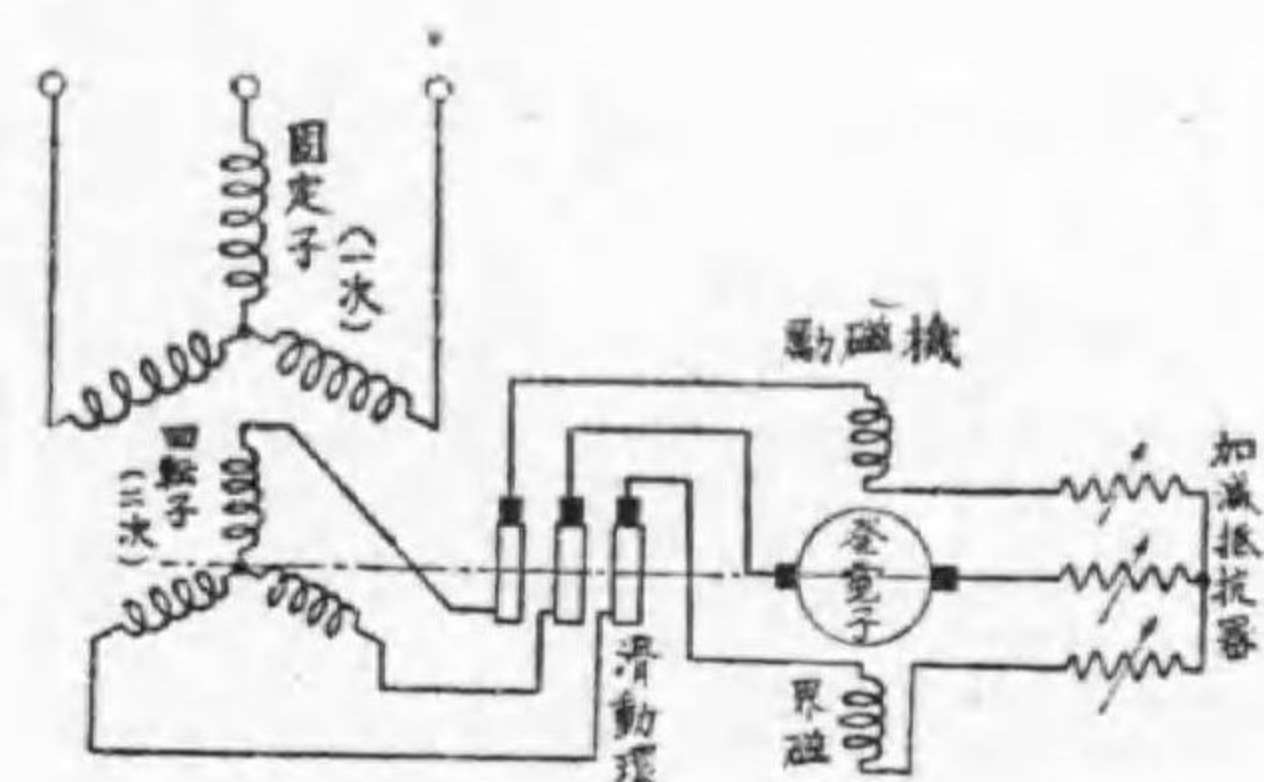
誘導電動機は其の起動特性に於て長所があり、又同期電動機は運



第 5 6 圖

轉狀態に於て負荷の變動に關せず一定の速度にて運轉し、且つ力率も良好等の優秀點を持つてゐる。それ故此等兩者の長所を一機に收め様とする考案が多くあるのは當然のことである。同期電動機の磁極面に誘導電動機の二次籠型捲線に似た構造のものを附加して、起動並に運轉の安定度を改善してゐることは既に知る通りである。

第57圖は誘導同期電動機 (induction synchronous motor) の一種を示すもので、固定子は普通誘導電動機の如き構造で回轉子には直捲型勵磁機が直結されてある。先づ固定子に電源から三相交流を供給すれば回轉磁界を生じるから、捲線型誘導電動機として其の回轉子が廻り出す。さうすると回轉子回路には滑りの周波數で二次電流が流れる。回轉子が漸次加速するに従ひ二次電路の周波數が小さくなる。その結果回轉子鐵心の各部は比較的長い間同じ極性が續く事になり他方直捲勵磁機では一方向の電壓が漸次上昇して所謂直流勵磁を與へるから、之等の作用にて同期化が圓滑に行はれ、同期電動機の如く運轉する様になる。



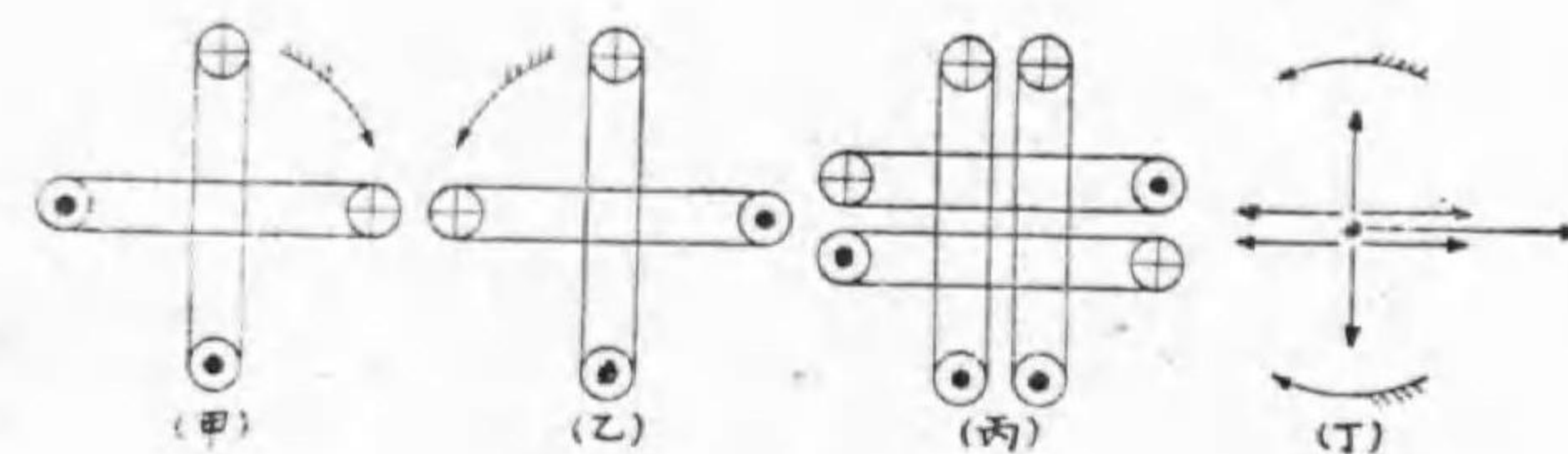
第 57 圖

61. 單相誘導電動機

第58圖の如き二相捲線に二相交流を通せば回轉磁界を生ずる。

捲型勵磁機が直結されてある。先づ固定子に電源から三相交流を供給すれば回轉磁界を生じるから、捲線型誘導電動機として其の回轉子が廻り出す。さうすると回轉子回路には滑りの周波數で二次電流が流れる。回轉子が漸次加速するに従ひ二次電路の周波數が小さくなる。その結果回轉子鐵心の各部は比較的長い間同じ極性が續く事になり他方直捲勵磁機では一方向の電壓が漸次上昇して所謂直流勵磁を與へるから、之等の作用にて同期化が圓滑に行はれ、同期電動機の如く運轉する様になる。

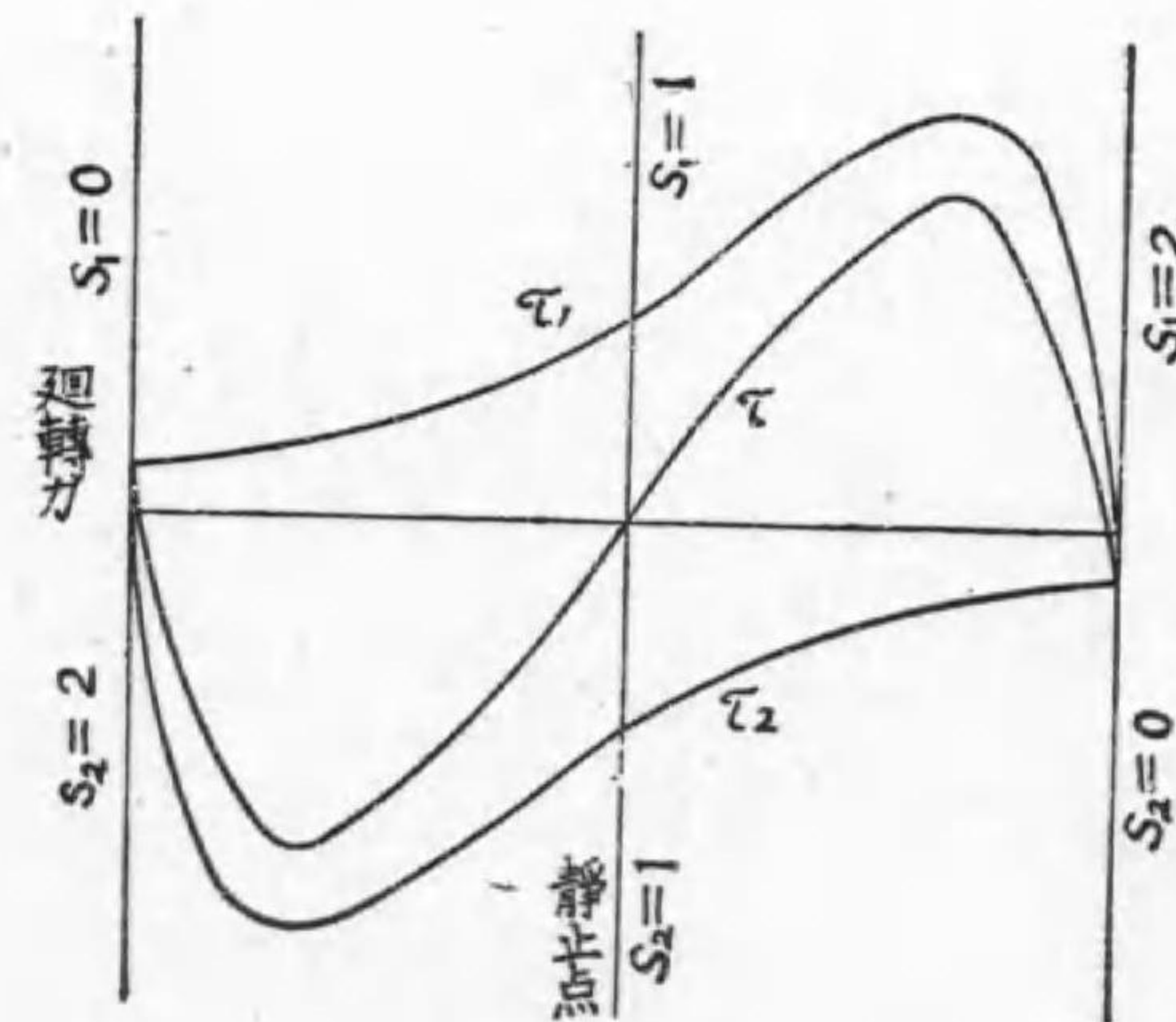
この回轉磁界の方向は同圖(甲)の時と(乙)の時では反對である。今(甲)と(乙)とを組合して(丙)の如くする時は、其の回轉磁界は(丁)の如くなる。即ち横の捲線による磁界は互ひに打消し合つて零となり、縦の捲線に依る磁界は2倍の大きになる。従つて一組の二相捲線による回轉磁界の2倍を最大値とする一つの交番磁界を作ることになる。



第 58 圖

即ち逆に廻る同じ大きさの同じ速さの回轉磁界を加へ合すと一つの交番磁界が出来る。

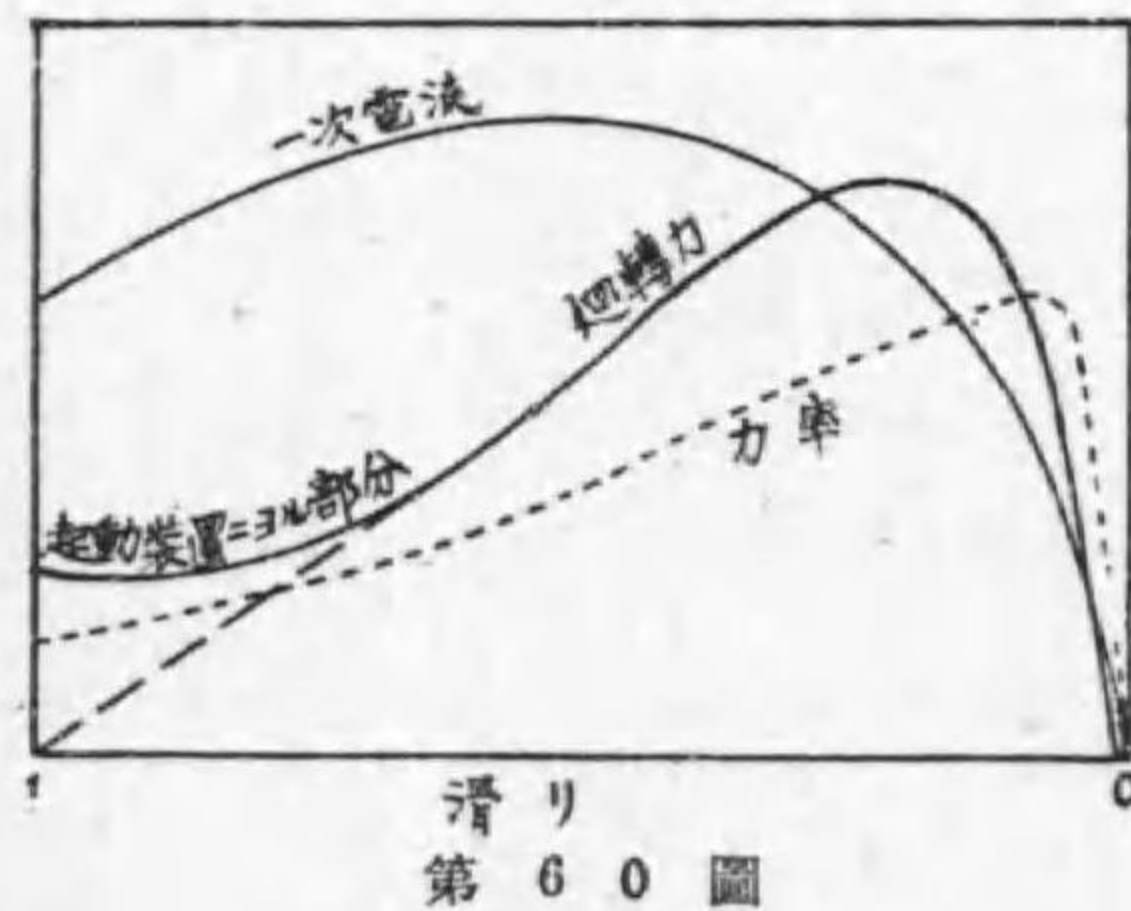
換言すれば一つの交番磁界は二つの回轉磁界に分けることが出来る。即ち交番磁界の最大値の1/2の大きさを有し、互に反對方向に廻る回轉磁界に分つことを得る。



第 59 圖

今単相誘導電動機 (single phase induction motor) の固定子を電源に結ぶと交番磁界を生ずる。この磁界を二つの回轉磁界に分けることが出来るから其の各々の磁界に就て三相誘導電動機の如く速度回轉力曲線を描くと第59圖の様になる。この二つを合成した真中の曲線が単相誘導電動機速度回轉力曲線となる。圖に於て速度が零 (滑り = 1) の時、回轉力は零なることが知れる。それで單相誘導電動機は起動回轉力が全く無く自分で起動することが出来ない。今外部より何れかの方向に廻してやれば其の方向に回轉力を生じ、略同期速度で運轉をなすものである。

單相誘導電動機は十數馬力以上の定格容量のものは殆ど用ひられず、又多相誘導電動機に較べて、態率、力率が悪く、且つ特別の起動装置を備へねばならぬ缺點を有する。然し三相電源を得難い場合例へば農村電化用電動機とか、或は小容量の電動機即ち扇風機其他家庭用電氣機器の電動機として多く用ひられる。



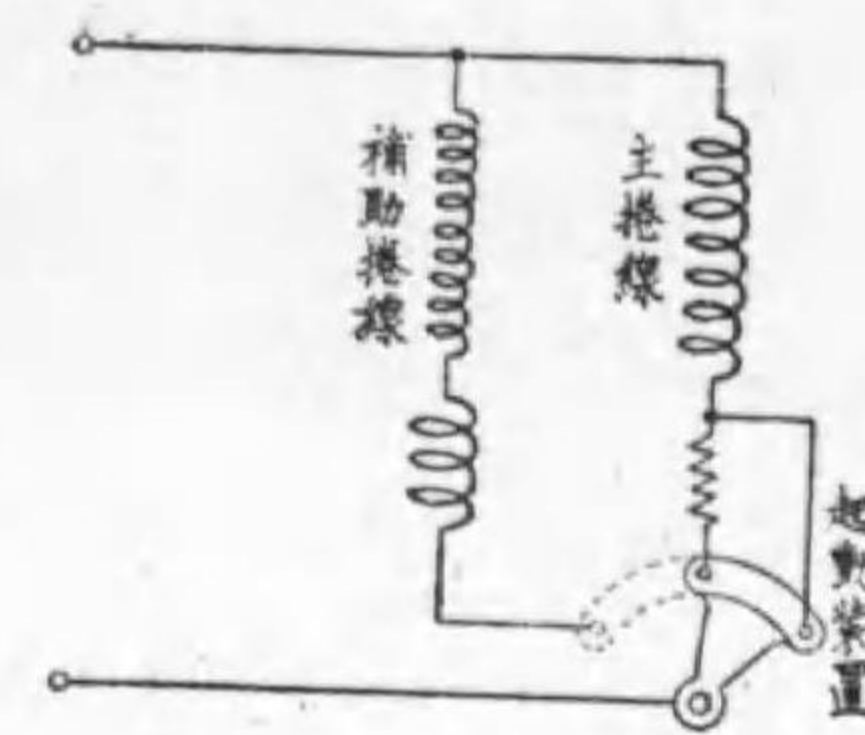
第 60 圖

速度特性曲線は第60圖の様にも多相式に似てゐるが、比例推移の現象は起らない。

62. 單相誘導電動機の起動法

單相誘導電動機は前節に述べた様に自己起動をしないから起動装置が必要である。起動方法として一般に用ひられるものは、

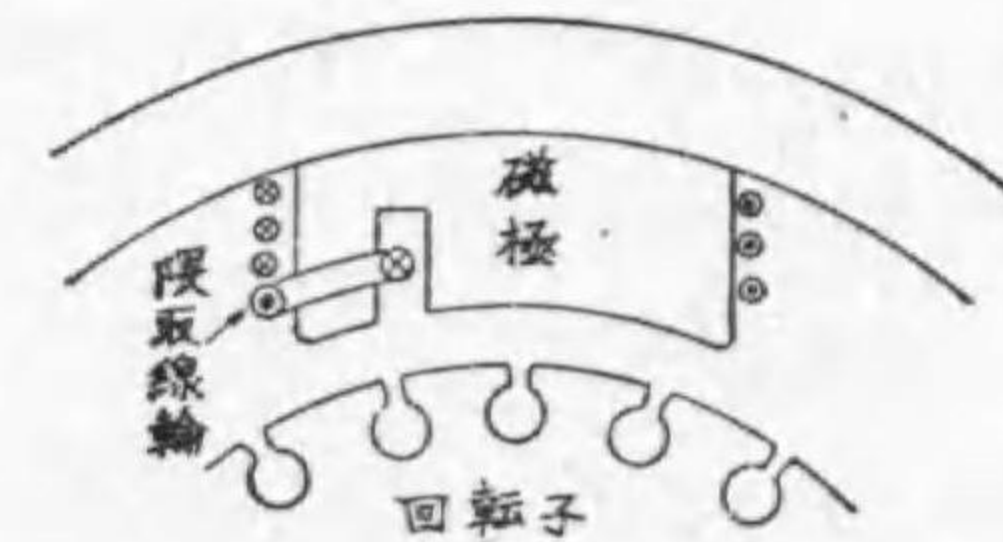
(a) 分相起動法 一次捲線以外に別に起動捲線を設け、抵抗或はリアクタンスに依つて單相電源から移相された他の相を作り、二相に近い回轉磁界を生ぜしめて起動する方法である。普通は遠心開閉器を用ひて起動後此の起動捲線を切り離す様に作られてゐる。この方法は起動電流が大で起動回轉力の小さい缺點があるが、値段が安いので小出力のものに用ひられる。



第 61 圖

此の分相起動法の起動捲線の代りに蓄電器を用ひ 90° 進んだ相に移相したものがある。中には起動後も蓄電器を切離さず力率改善に使用してゐるものがある。この型は起動回轉力が大きい。

(b) 隈取線輪法 隈取線輪 (shading coil) と云ふのは磁極の極弧間に第62圖の如く、極の半分を取捲いて兩端を短絡した導體である。この隈取線輪に取圍まれた鐵心の中を通る磁束の變化が、取圍まれない部分の磁束の變化より時間が遅れるために恰も磁界が回轉移動する如くに働くのである。



第 62 圖

(c) **反撥起動法** 回轉子を直流機の如く整流子を有する捲線とし、起動時には其の刷子を短絡して反撥電動機として起動し、同期速度附近に達すると遠心装置に依り全整流子を短絡し籠型誘導電動機の如く動作する。而して起動時には大なる回轉力を出し、運轉時には殆ど定速度を維持する。斯様な方式を用ひた電動機を**反撥起動誘導電動機**(repulsion start induction motor)と稱する。

起動並に運轉特性良好なるを以て相當廣く用ひられ、5KW以上では通常起動器を用ひるが小容量のものは線路に直接々續する。

(d) **反撥誘導型** 籠型捲線と反撥電動機の回轉子捲線の兩方を有するものであつて、運轉中も兩方の捲線はそのまゝ作用してゐるものである。この方法も起動回轉力が大きい。

63. 交流整流子電動機

直流電動機に分捲、直捲何れでも供給する電流の方向を逆にするも、その回轉方向は變らない。従つて之れを交流回路に用ふると、電流の方向は瞬間的に變化するが回轉方向は一定である筈である。かくの如き電動機を**交流整流子電動機**(A.C. commutator motor)と云ふ。併し直流機を其の儘交流回路に用ふると溫度上昇が甚だしくなつたり、能率が低下したりして完全に動作しないから構造上多少の改良が必要である。

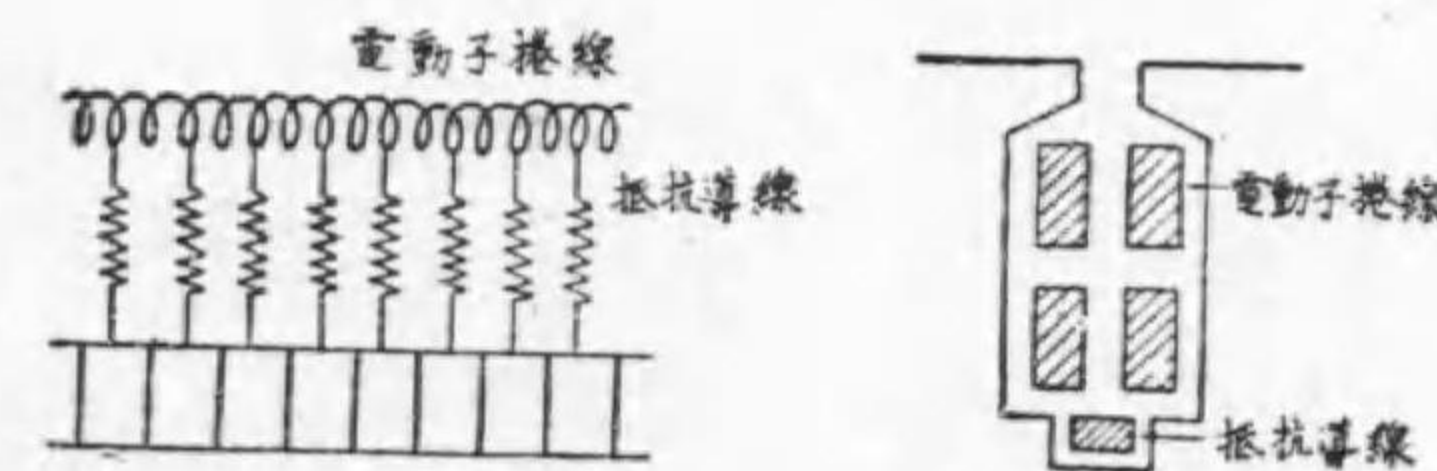
(a) 磁氣回路に用ひる鐵心を成層して渦流を防がねばならぬ。

(b) 直流機は一般に界磁アムペア回数を電動子アムペア回数に比して強大にしてゐるから、これを交流回路に用ひると界磁捲線の

インダクタンスの爲に力率が劣悪となる。此の力率低下を防ぐには界磁アムペア回数を、電動子アムペア回数に比して比較的小さくする必要がある。然しこの事は整流作用の立場から考へると困難なことであるから、**補償捲線**(compensating winding)を用ひて電動子反作用の起磁力を打消すことが必要となつてくる。

(c) 整流作用の改善が必要である。**交流整流子電動機**に於ては整流される線輪には回轉による誘起電壓の外に、界磁々束自身が時間的に交番するため、**變壓器作用**(transformer action)に依つて誘導される電壓がある。前者は中性線に於て其の値零にして、後者は中性線に於て最大である。

それで普通直流機の如く中性線に刷子をおくと、變壓器作用による誘導起電力最大のために、非常に大なる短絡電流が生じて整流が困難になる。又刷子を中性點と直角即ち磁界軸におくと變壓器作用により起る悪整流は除かれるが、回轉に依る誘導起電力が最大のために整流子に火花を發生する。それ故に何れの所に刷子を置いても整流が困難である。實際的には刷子を中性線に置いて變壓器使用による起電力を出来るだけ小さくする様に設計するとか、或は第63圖



第 63 圖

の如く整流子片と電動子捲線との間に抵抗導線(補償導線)を挿入して短絡捲線の誘起電流を減少する方法

や、適当な構造の整流極捲線を附加して無火花の整流を得る様に努力してゐる。

以上の三つが注意すべき主要點で、これ等に十分意を用ひて設計すると交直流兩用の電動機が出来る。小型電動機は云ふに及ばず、外國に其の例を見る如く市間電鐵用電動機が郊外に於ては交流で、市内にては直流で運轉する様な大型電動機迄も作ることが出来る。

交流整流子電動機に於ては刷子の移動に依り回轉數を加減したり力率を調整し得る特徴がある。

64. 單相直捲整流子電動機

單相整流子電動機にて實用的のものは殆ど直捲特性を有するものであつて、分捲特性の電動機は種々の缺點があるので實用的でない。

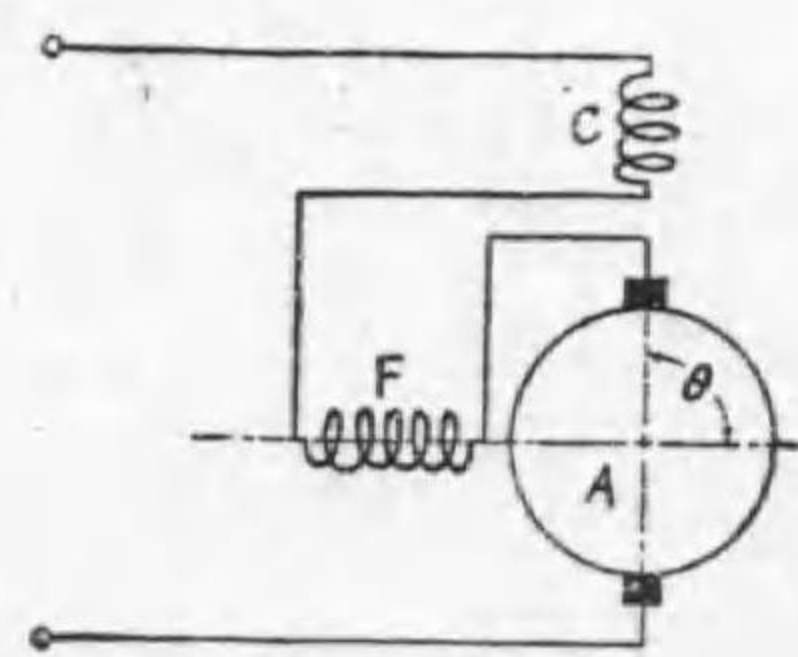
直捲特性のものに於ても界磁、電動子、補償捲線の組合せ如何により、又其の何れかを固定子に或は電動子に置くことによつて種々の型があるが、先づ二種の一般型に分類すると、

- (a) 直捲電動機 (series motor)
- (b) 反撥電動機 (repulsion motor)

となる。

第64圖は標準型とも云ふべき直捲電動機の結線圖で、界磁F、電動子A、補償捲線Cが直列になつてゐる。

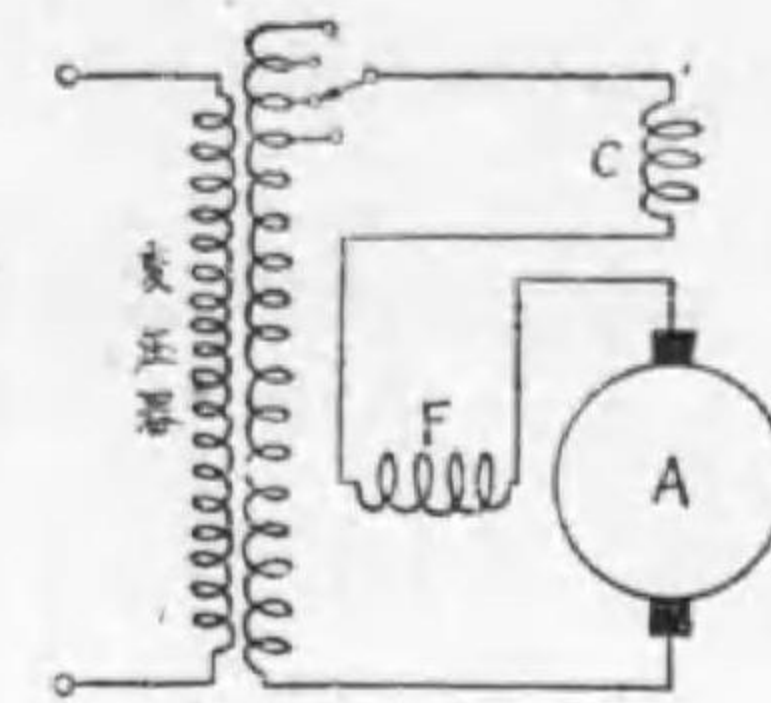
負荷が増せば速度が減少する



第 6 4 圖

事直流直捲電動機と同様である。刷子の移動角 θ が 90° の時に起動回轉力が最大になる關係上普通刷子は 90° の位置に置かれる。

速度を加減するには第65圖に示す如く變壓器を用ひ、二次側にタップを備へて電動機の端子電壓を加減すればよい。

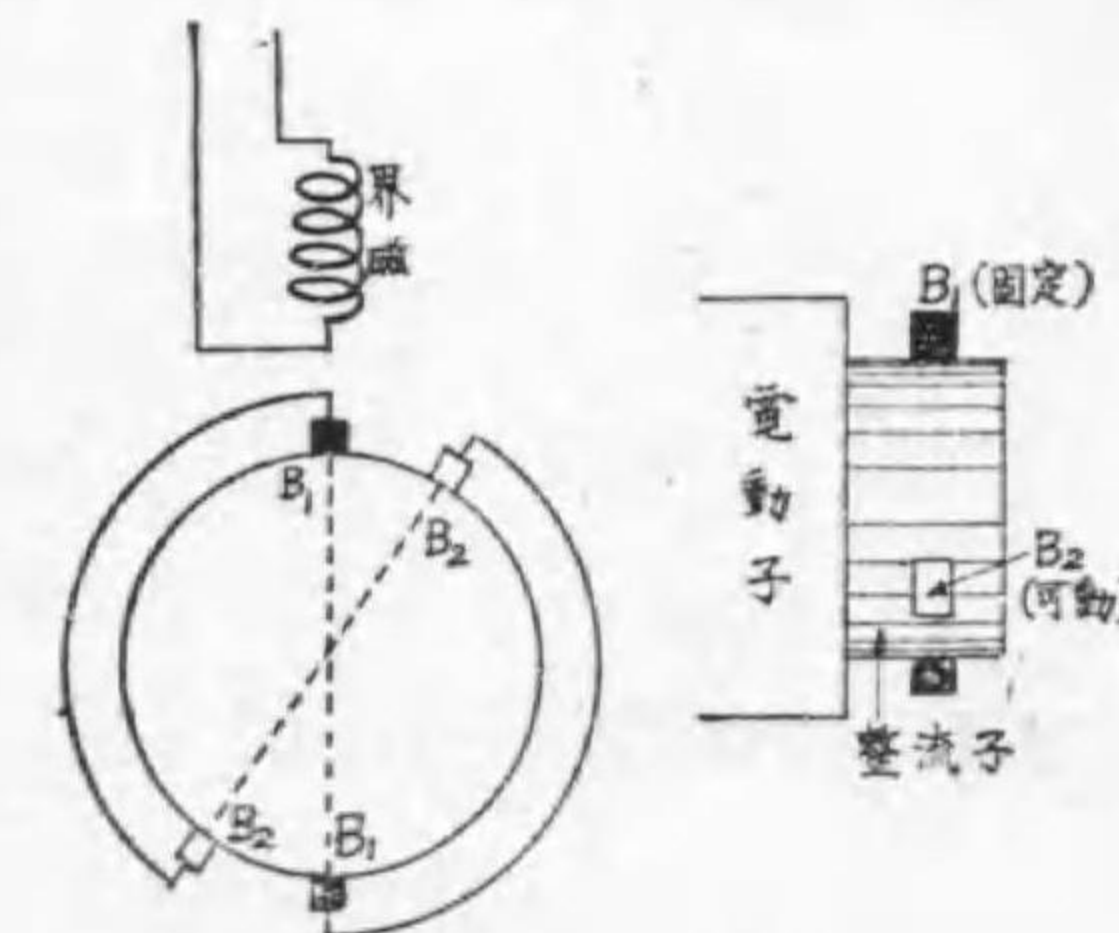


第 6 5 圖

65. 反撥電動機

反撥電動機も直捲特性を有するが、電動子電流が固定子捲線から誘導に依つて得られる。又刷子が短絡される點が直捲電動機と相違する。第66圖は界磁、電動子、補償捲線の接續圖である。

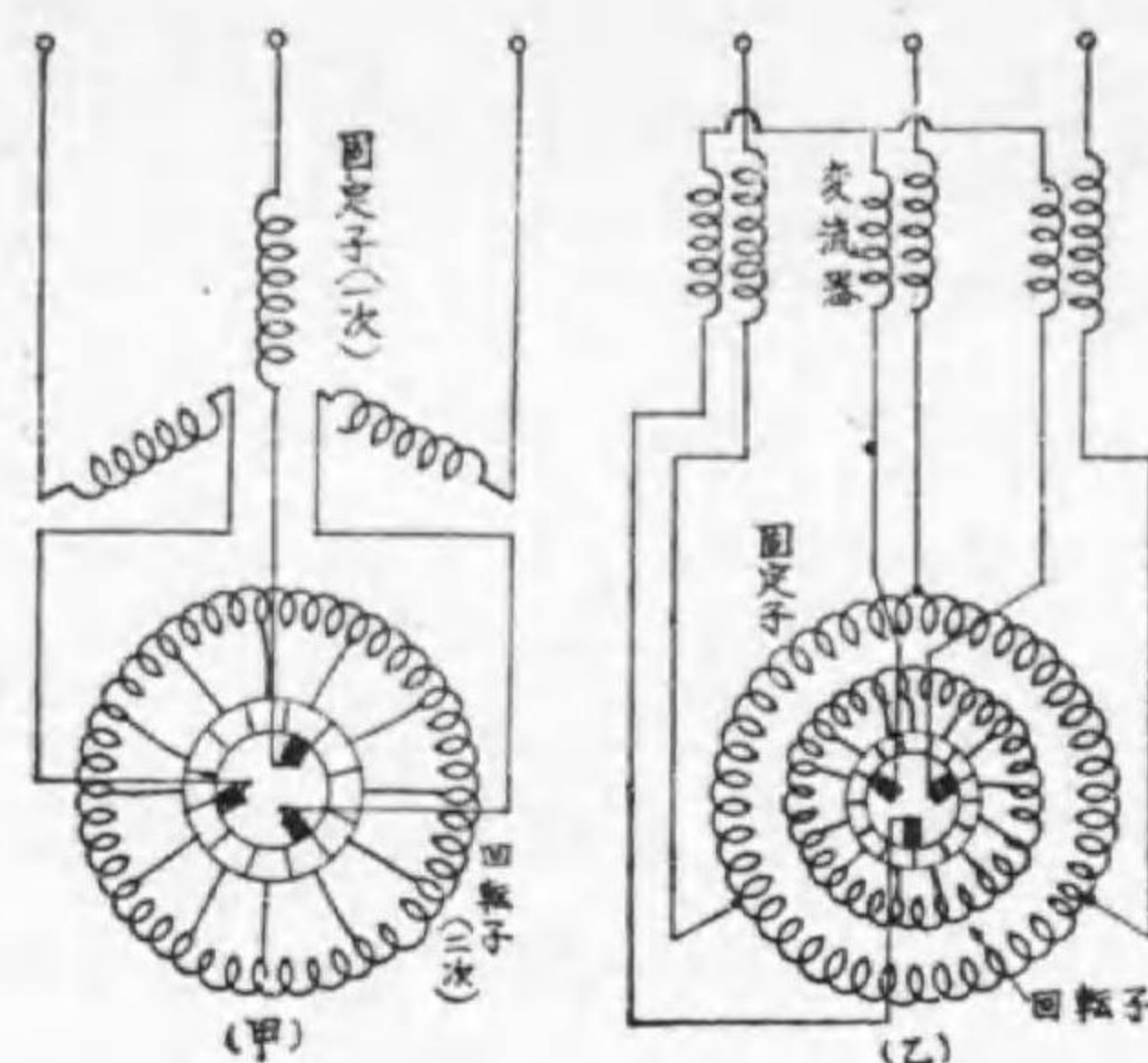
デリー(Deri)反撥電動機は第67圖の如く、一對の界磁に對して二對の互ひに獨立せる刷子を設けて、其の一對 B_1, B_1 は固定子捲線の軸に固定し、他の一對 B_2, B_2 は移動し得る様に



第 6 7 圖

設けられる。而して可動刷子 B_1B_2 を整流子の周囲に移動することにより、廣範圍の速度調整をなし或は回轉方向を變ずる事が出来る。

66. 三相直捲整流子電動機



第 68 圖

三相直捲整流子電動機 (three phase series commutator motor)の固定子は誘導電動機と同様で、回轉子は直流機電動子と同じもので、第68圖(甲)及び(乙)に示す様に刷子は固定子捲線に直接或は

變流器を通じて間接に接続されてゐる。

本整流子電動機は起動の際、刷子のために短絡せられる電流が大きく、従つて整流作用が不良となる傾向があるので、これを防ぐ爲に整流子片間の電壓を小さくしなければならぬ。實用上回轉子に加へる電壓を70~80ヴォルト以内にして、整流子片間の電壓を普通2.5~3.0ヴォルト以下にする。

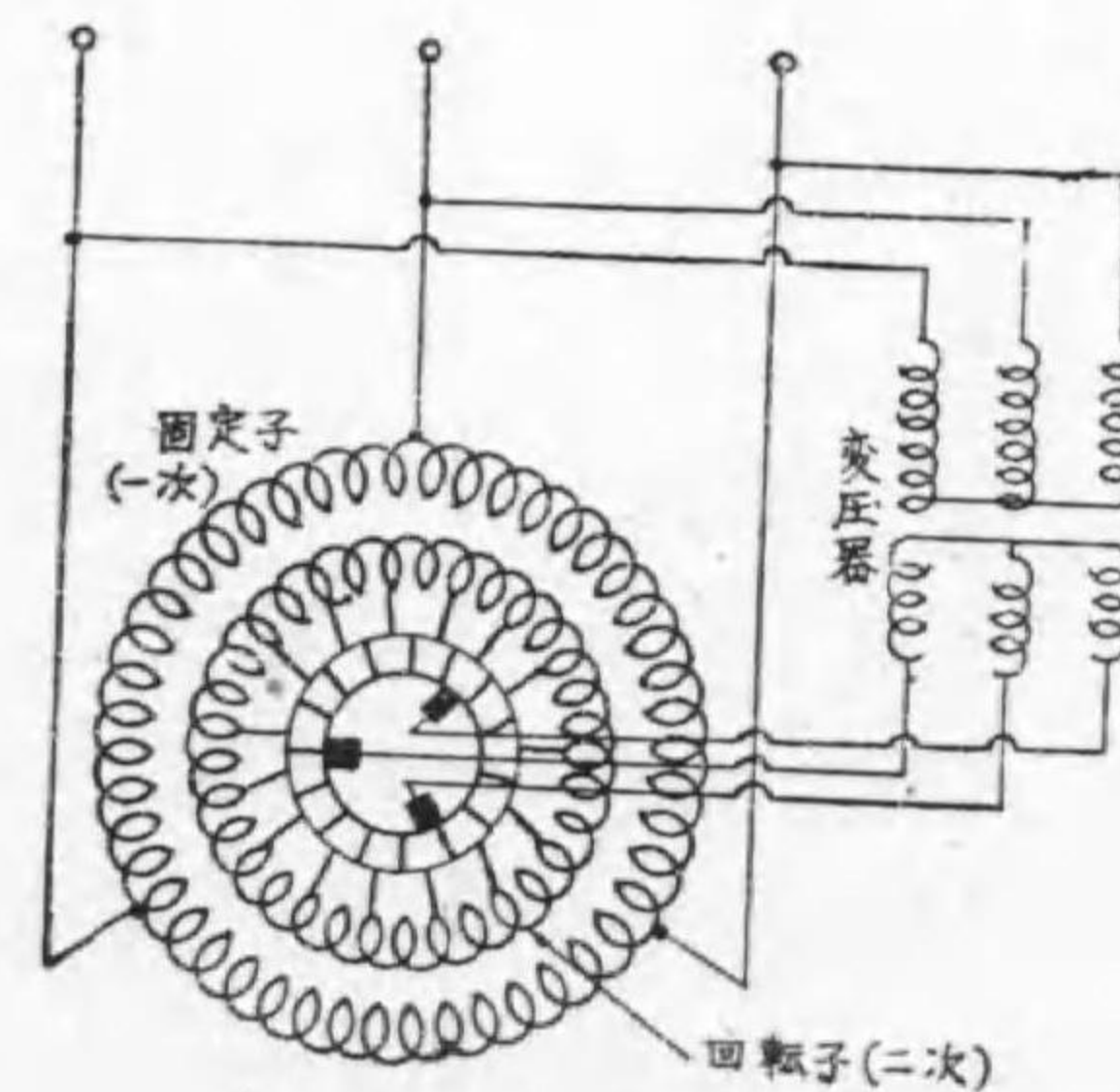
速度調整には供給電壓を加減したり、界磁を調整する方法で目的も達せられるが、刷子を移動するのが最も經濟的で、且つ連續的に調整し得る利點を持つてゐる。又力率の調整も刷子の移動により行

ふことが出来る。

直捲電動機は換氣装置用、印刷、紡績機等何れも速度を種々に制御する必要ある負荷に用ひられるが、寧ろ複捲電動機の如き特徴を備へて速度の變化が甚だしくない様にしてゐる。

67. 三相分捲整流子電動機

三相分捲整流子電動機 (three phase shunt commutator motor)の構造は三相直捲機に相似してゐるが、第69圖に示す如く二次側なる回轉子に一次側電壓の一部を加へて、速度及び力率の調整を行ふもので、此の二次加電壓は負荷電流に無關係なことが三相直捲機と根本的に異なるところで、其の二次加電壓は任意に調整出来るものである。又刷子の移動に依り速度、力率を調整することが出来る。中にはシュラーゲ (Schrage) 電動機の如く一次を回轉子として滑動環により電壓を供給し、二次側を固定子に置いた様なものもある。十數馬



第 69 圖

力程度に分捲電動機としては有利な形態である。

68. 周波數變換機

周波數變換機 (frequency changer)とは或る周波數を有する交流電力を、他の周波數の交流電力に變換するもので、其の役目

に二種類ある。

- (a) 或る周波数の電力を他の周波数の電力に変じて使用するもので、この時は電力使用側が電力の輸送側に較べて小なる容量の場合である。
- (b) 或る周波数を有する電力系統と他の周波数を有する電力系統を互に連結し、時に應じて電力を互ひに融通輸送をなす場合である。

次に二三の周波数変換機を簡単に説明する。

(1) 同期同期型周波数変換機 (synchronous synchronous type frequency changer) これは同期電動機と同期発電機とを機械的に直結したもので、 P_1 、 P_2 を夫々電動機、発電機の極数とし、 f_1 を電動機に入る幹線の周波数、 f_2 を発電機より出る周波数とすると、両者の同期速度は直結してあるから等しくなければならぬ。

$$\text{同期速度 } N = \frac{120f_1}{P_1} = \frac{120f_2}{P_2}$$

$$\therefore \frac{P_1}{P_2} = \frac{f_1}{f_2}$$

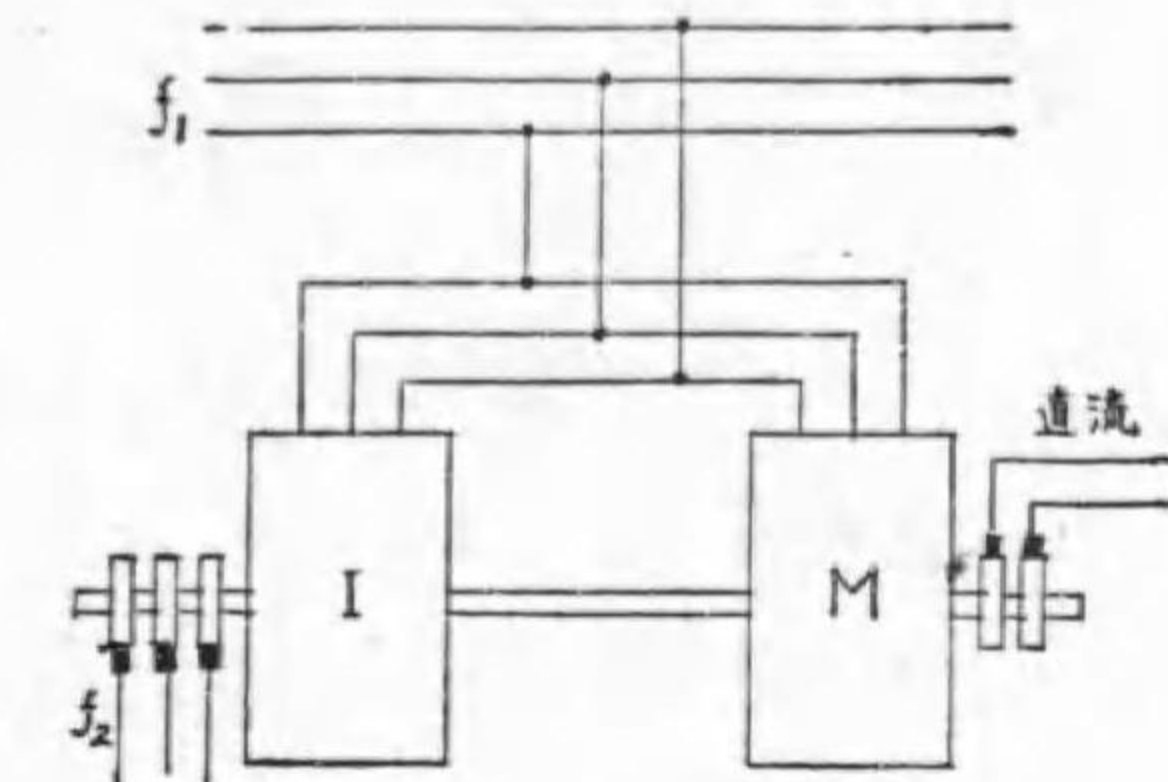
即ち周波数の比は極数の比に依つて定まる。

而して兩機の内何れでも時に應じて電動機となつたり、発電機となつたりしなければならぬから、兩機の何れか一方の固定子は回轉移動せしむる様にする。何故かと云ふと直結した二臺の同期機の中界磁極が回轉磁界より進める場合は発電機であり、遅れる場合は電動機となるからである。それで人為的に電機子捲線と磁極との關係的位置を變へ様とするのである。

(2) 同期非同期型周波数変換機 (synchronous asynchronous frequency changer) 本型は同期電動機と誘導電動機との縦続によつて周波数變換を行ふもので、此の結合法に一次捲線並列法と二次捲線並列法の二種がある。茲では一次捲線並列法を説明する。

第70圖に於て、Mは同期電動機、Iは誘導電動機にして固定子は何れも同一周波数 f_1 の電源に結ばれ、回轉子はMもIも同一軸上に機械的に直結される。さ

うしてIなる誘導電動機の二次回轉子は滑動環を通じて負荷側に結ばれ、周波数變換機として作用する。この場合IとMとの界磁束の方向相反する時能率最も良くなる。



第70圖

斯様な結合にて電力を一方より他方へ、又他方より一方へ通ずる爲には誘導電動機と同期電動機とが其の固定子を任意の位置に回轉移動せしむる事が必要である。通常は同期電動機の固定子を移動せしむる様に製作され、或は同期電動機の一次に移相機を入れて、其の移相機に依つて電力の相互融通を行ふものである。

(3) 整流子型周波数變換機 (commutator type frequency changer) 第71圖に於てFは整流子型周波数變換機で、其の回轉子は丁度回轉變流機の電機子の如く整流子と滑動環とを持つてゐる。固定子は唯磁氣回路を完成するための鐵框にして、時には力率の補償や整

流作用を良好ならしむる様に其の一部に捲線を施すこともあるが、固定子なしでも作用することが出来る。

周波数変換機の回転子が静止してゐる時には $f_2 = f_1$ であるが、回転子の回転方向を回転子捲線による回転磁界と逆方向に n なる速度を以て回転すると、

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

(但し F 及び I の磁極数は

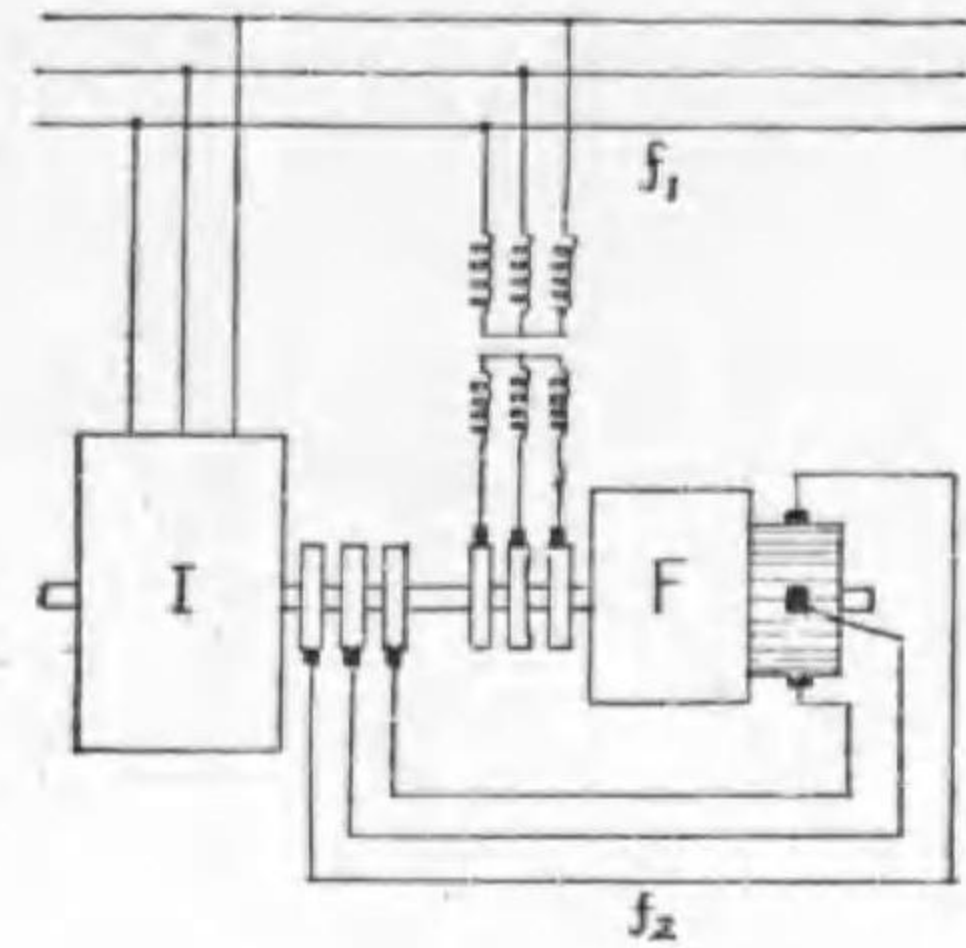
同一にして P とする。)

の関係があつて、滑動環側に f_1 、整流子側に f_2 が表はれて変換機の実目的が達せられる。更に整流子上の刷子の角度を変ずれば滑動環側と整流子側に表はれる交流電圧の位相を任意に変化する事が出来る。

本周波数変換機は今日のところ未だ異なる周波数を有する電力系統の聯繫には使用されてゐないが、誘導電動機の二次側の励磁に使用して経済的に速度調整や力率改善に應用したり、或は非同期調相機、整流子電動機の励磁用として活用されてゐる。

練習問題

1. 水銀整流器の直流電圧が高くなる程、能率が良好となる理由を説明せよ。
2. 水銀整流器の逆弧とは何か、其の原因となるものを附記せよ。
3. 水銀整流器が附近の通信線に誘導妨害を與へる理由並に其の防止法を述



第 7 1 圖

べよ。

4. 水銀整流器と回轉變流機との優劣点を簡條書にせよ。
5. 単相誘導電圧調整器の短終捲線的作用を説明せよ。(昭和九年 選試 三種)
6. 三相誘導電圧調整器の構造を述べ、原理の概要を説明せよ(昭和六年 選試 三種)
7. 誘導同期電動機の特徴を説明せよ。
8. 支流整流子電動機に補償捲線を必要とする理由を述べよ。
9. 単相誘導電動機に何故起動装置が必要か、其の起動装置の二三を説明せよ。
10. 単相直捲電動機と反撥電動機との相似並に相違点を説明せよ。
11. 同期同期型周波数変換機を用ひて、50サイクル、60サイクル兩電力系統を連絡せんとす。但し周波数変換機の回転数を600R.P.M. とすれば兩機の磁極数各何程か。

練習問題解答

〔第七章〕

1. 960回/分, 2. 6極, 4. 2.7KW, 5. (イ)88%,
 (ロ)89%, (ハ)500圓, 7. 15.1アムペア 8. 142.3KVA
 10. $\frac{1}{3}$, 15. 19r オーム

〔第八章〕

1. 212ヴォルト, 786アムペア

〔第九章〕

11. 50サイクル機10極, 60サイクル機12極

昭和十四年六月十五日 印刷
 昭和十四年六月廿五日 發行

電 氣 機 械
 定 價 金 貳 圓



著 者 電 教 社
 發 行 者 中 西 儀 藏
 大阪市大正區泉尾竹之町三丁目一三
 印 刷 所 八 ツ 橋 印 刷 所
 大阪市東區博勢町一丁目六五

大阪市大正區泉尾竹之町三丁目一三
 發 行 所 大 石 堂 出 版 部
 大阪市南區二ツ井戸町一五
 大 賣 捌 所 愛 國 出 版 社
 振替大阪九一四九〇番
 大阪市西區朝北通貳丁目
 株 式 會 社 盛 文 館
 振 替 大 阪 七 四 三 番

終