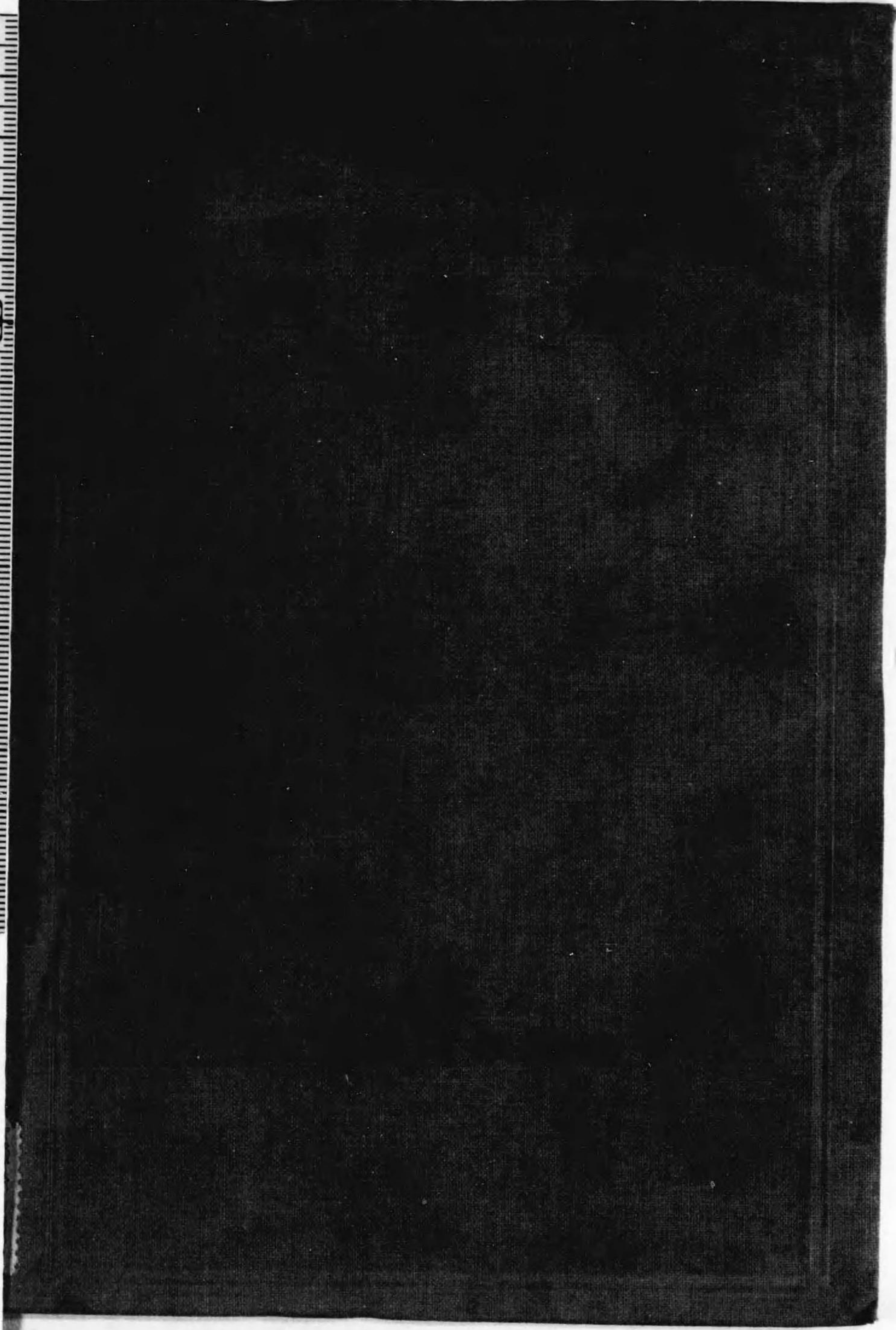




始



電 氣 機 械
直 流 機

財 團 法 人
工 業 教 育 振 興 會

特 233
20

電 氣 機 械
直 流 機

財 團 法 人
工業教育振興會
著作兼發行

例 言

1. 本書は此次に發行される『同期機及整流機器』『變壓器及非同期機』と相俟つて中等工業學校電氣科に使用する電氣機械教科書として編纂したものである。
2. 授業時間は60時間を標準としたが、細字で組んだ部分或は問題等を適當に取捨選擇することによつて40乃至80時間の場合にも使用し得るやう教材を配列した。
3. 本書に於ては出來得る限り發電機と電動機とは同一機械であることを強調し、並列主義を採つてあるから、この意を汲まれ教授に當つては充分意を用ひられたい。
4. 問題は計算問題を主とし、説明問題は本文に於て足らざるを補ふ如きものを選んだ。
5. 單位はメートル法を主とし、術語は多く日本電氣工藝委員會制定のものに據つた。
6. 本書は本會發行の他の教科書と同じく工業教育研究會と協同し、其の調査研究委員並に編纂委員が數十回の會合を重ね、慎重審議の上脱稿したものである。

る。尙この編纂に當つて、委員以外にも直接に委員會に出席せられ、或は間接に著書によつて援助を賜はりたる人士少くない。

この機會に於て是等の方々に深甚の謝意を表する。

昭和八年十二月

財團法人 工業教育振興會

直 流 機 目 次

第一章 直流機の原理と構造

1. 發電機と電動機の關係……………	1
2. 直流機の主要部分と其名稱……………	3
3. 磁路……………	5
4. 渦流と成層鐵心……………	6
5. 發電機の發電原理……………	10
6. 誘導起電力の一般式……………	15
7. 滑動環と整流子……………	15
8. 脉流を平流に直す方法……………	18
9. 電動機の廻轉原理と逆起電力……………	24
10. 電動機の廻轉力……………	26
11. 電機子の性質……………	28
問題……………	32

第二章 電機子捲線法

12. 捲線法……………	34
13. 環狀捲と鼓狀捲……………	35
14. 重捲と波捲……………	37
15. 捲節……………	38
16. 捲節の定め方……………	42

17. 重捲の捲節の定め方	44
18. 前進捲と後退捲	45
19. 重捲の刷子の組數と電路數	49
20. 波捲の捲節の定め方	50
21. 波捲に於ける前進捲と後退捲	53
22. 波捲の刷子の數と電路數	56
23. 重捲と波捲との比較	57
24. 誘導起電力	58
問題	61

第三章 直流機の理論及特性

25. 誘導起電力に対する速度及端子電壓の関係	63
26. 廻轉力と出力	65
27. 電動機入力の自己調節と逆起電力	68
28. 電機子反作用	71
29. 整流の困難とその補償	78
30. 勵磁法による直流機の分類	82
31. 無負荷特性	84
32. 負荷特性	86
33. 他勵機の負荷特性	87
34. 分捲機の負荷特性	88
35. 直捲機の負荷特性	92
36. 複捲機の負荷特性	96
37. 能率と損失	99

38. 溫度上昇と定格容量	102
問題	104

第四章 直流機の運轉

39. 電動機の起動法	106
40. 電動機廻轉方向の轉換	109
41. 電壓及び速度の調整	110
42. 分捲發電機の竝列運轉	113
43. 直捲發電機複捲發電機の竝列運轉	117
問題	119

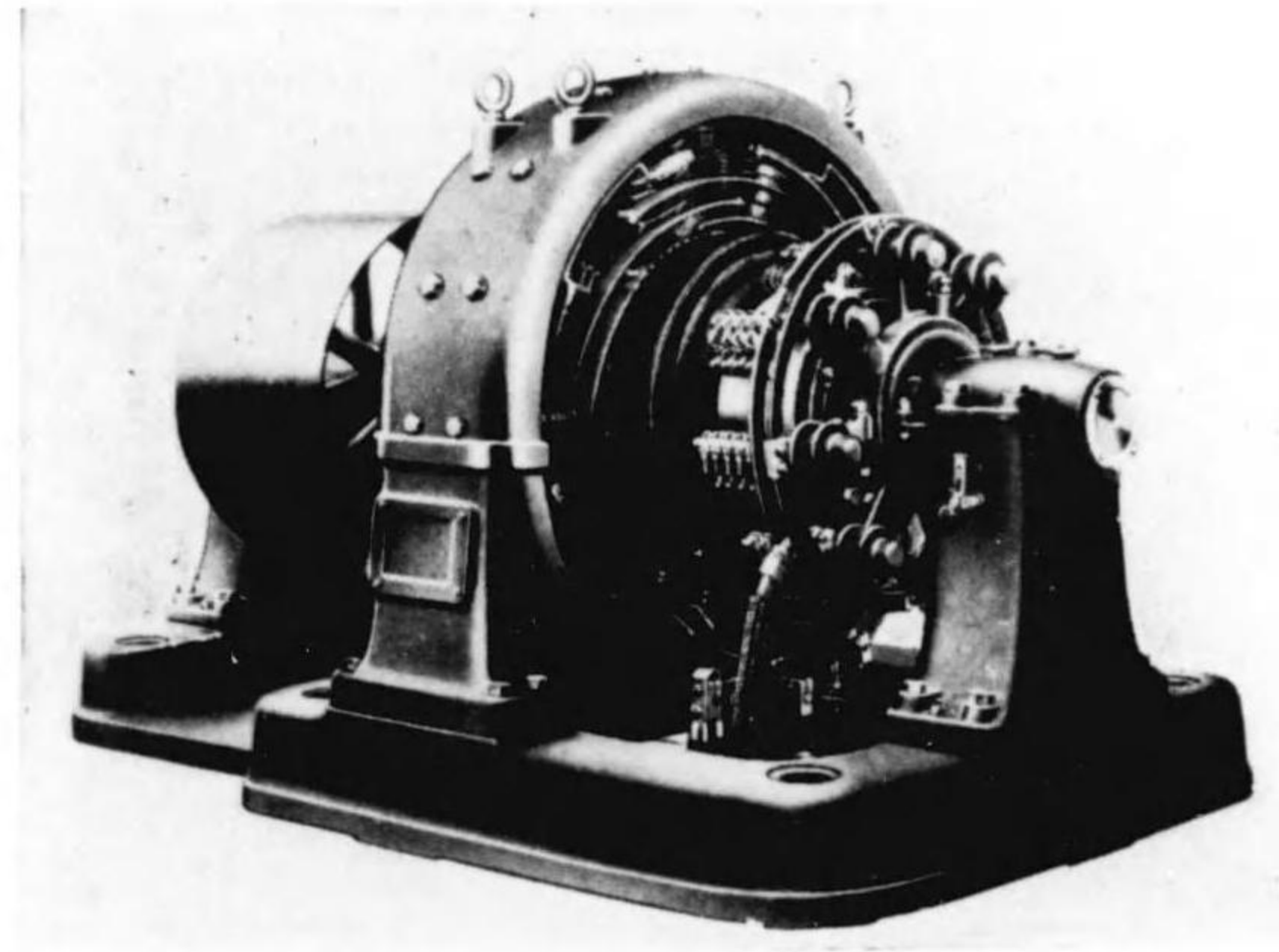
第五章 直流機の試験

44. 試験の必要と仕様書	121
45. 簡単な豫備検査	124
46. 熱試験	125
47. 絶縁耐力試験	128
48. 特性試験	129

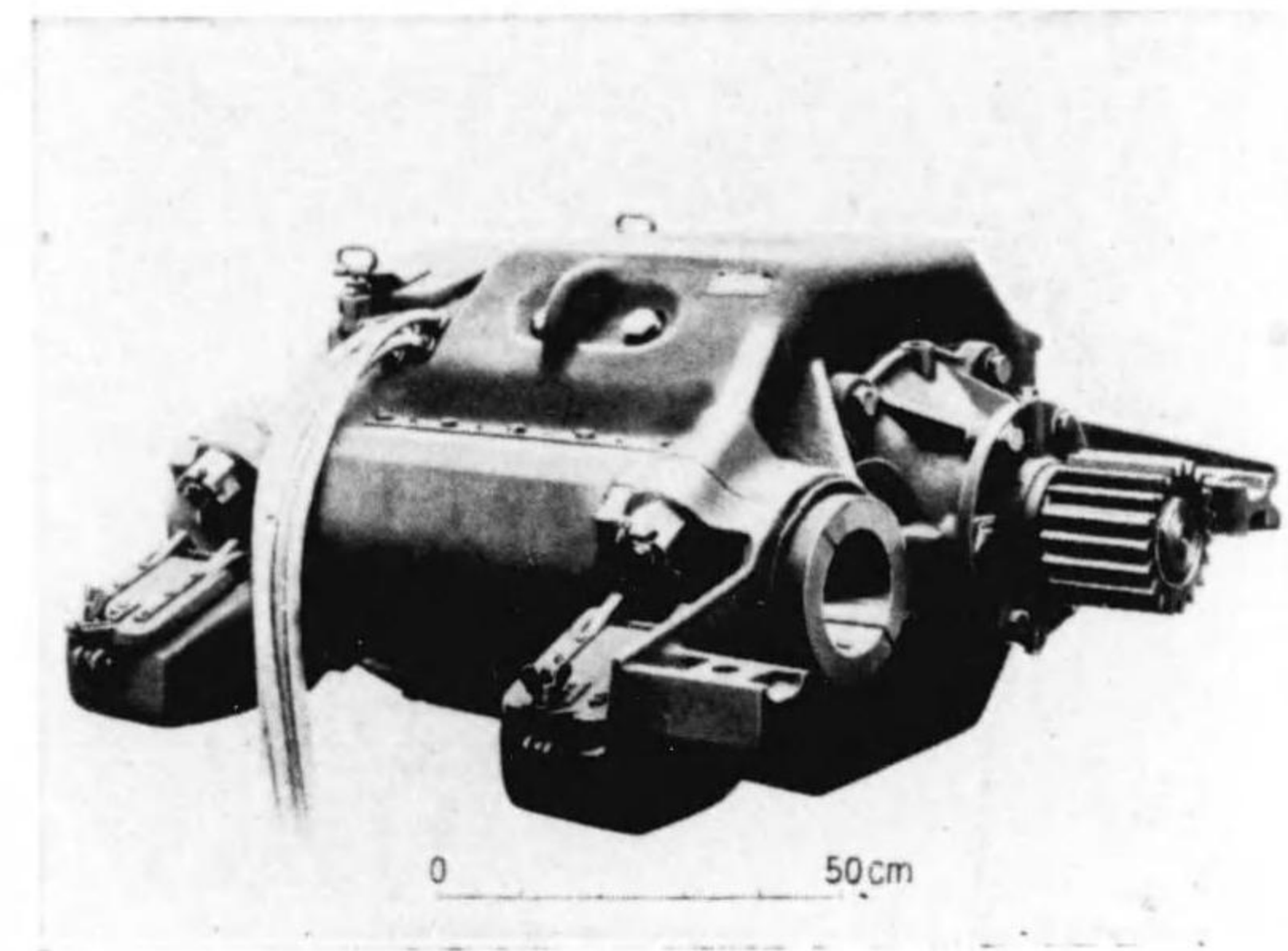
第六章 直流機の實際

49. 自動装置	136
50. 速度制御器	140
51. 故障とその原因	144
52. 直流機の容量と重量、能率等の関係	147
補充問題	150

第 1 圖
直 流 機 外 觀



第 2 圖
電 車 用 電 動 機



電 氣 機 械 【I】

直 流 機

第一章 直流機の原理と構造

(1) 発電機と電動機の関係

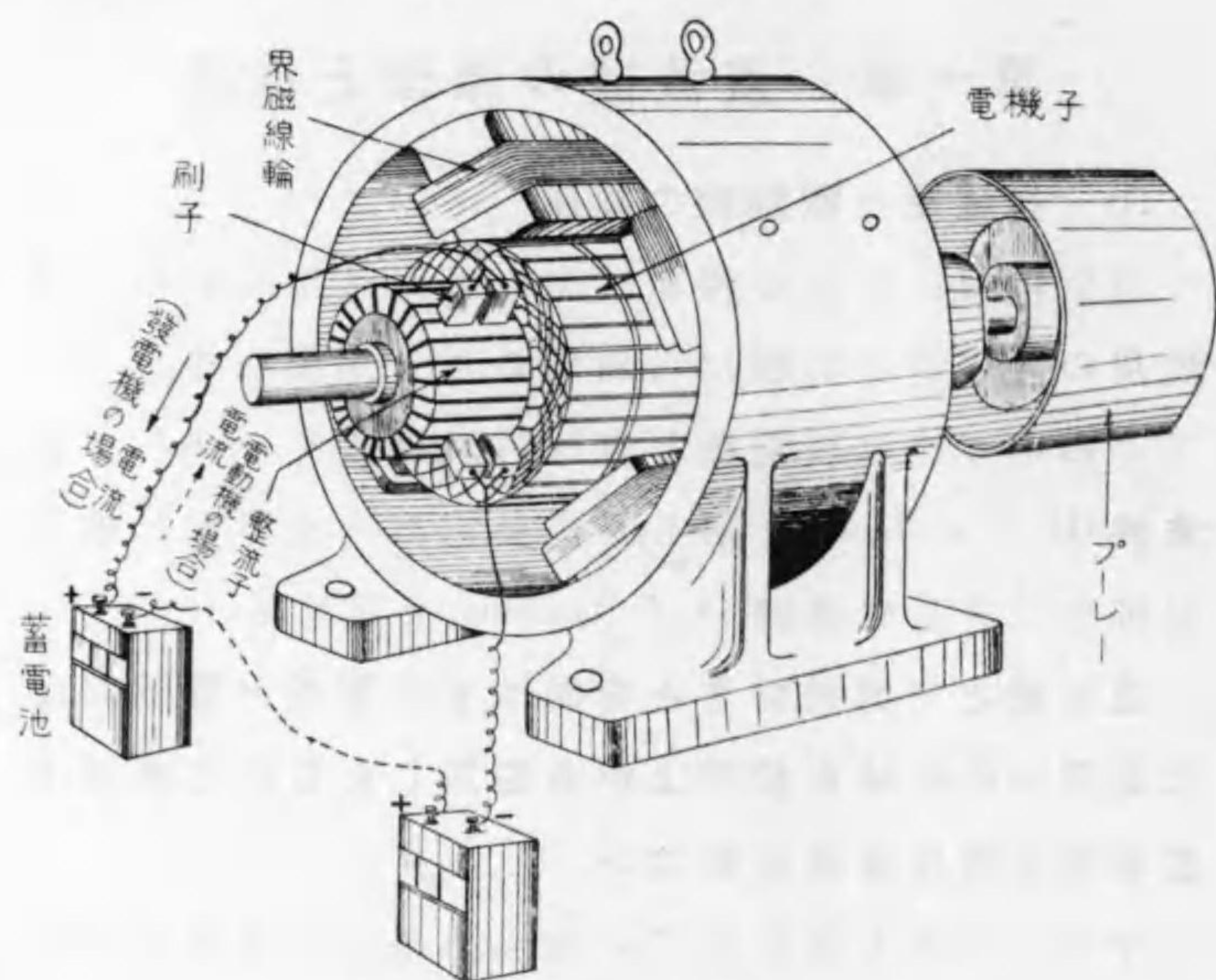
電気機械は電流の種類によつて直流用のものと、交流用のものとの二種に大別することが出来る。

その中で直流発電機と直流電動機とを一括して**直流機** (D. C. machine) と稱し、交流発電機と交流電動機とを併せて普通**交流機** (A. C. machine) と稱する。

直流機と交流機たるとを問はず、発電機と電動機は元來同一の機械を使用上から區別した名前で、構造上主要部分は何等差別がない。

今こゝに第1圖に示すが如く1臺の直流機があるとする。この機械の廻轉部、即ち**電機子** (Armature) と呼ばれる部分の軸に取付けられて居る調車(プーレー)にベルトを掛け、電機子を他の機械(これを発電機に對して原動機と云ふ)で廻轉せしめれば、**電力を發生する機械** 即ち**発電機** (Generator) となつて、反對側の**整流子** (Commutator) と稱する部分から、二組の刷子を経て電流を取

り出すことが出来、逆に整流子側の二組の刷子によつて電流を送り込めば、電機子は自ら廻轉して電力で動く機械即ち**電動機 (Motor)**となつて、ベルトによつて他の機械を廻轉せしめることが出来る。

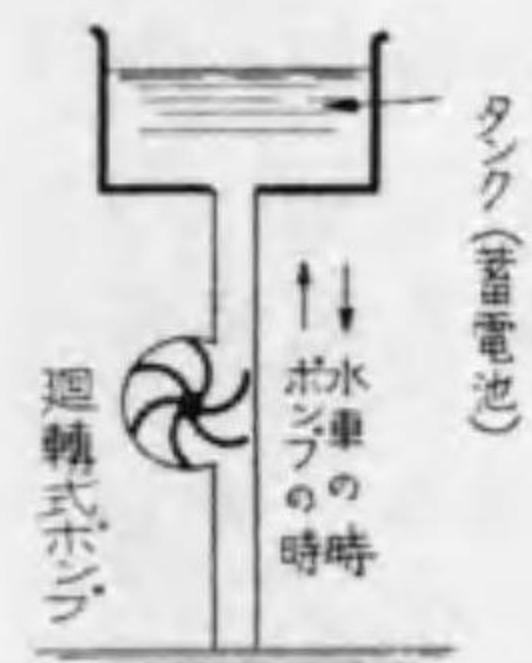


第 1 圖 直 流 機

故に此の機械を蓄電池に接続し、他の機械で廻轉せしめれば、発電機となつて蓄電池を充電し、其運轉を止めれば、蓄電池から電流が逆に流れ込んで電機子を廻轉し、電動機となつて其まゝ廻轉を續ける。

この關係は電流を水流に、蓄電池を水槽にたとへれ

ば、発電機と電動機とは、廻轉式ポンプと水車との關係に當る。(第2圖)



第 2 圖

ポンプと水車の關係

【註】第 1 圖の場合に電流が逆流して電動機となつても、発電機の時と同方向の廻轉を續けるのであるが(其理由は後章に於て述べる)、第 2 圖のポンプと水車の場合に於ては廻轉は逆方向となる

要するに此機械が発電機として利用

されるときは、**電磁誘導作用**を利用して機械的エネルギーを電氣的エネルギーに變換する装置であり、電動機として使用される時は、**電磁作用**によつて電氣的エネルギーを機械的エネルギーに變換する装置となるのである。

(2) 直流機的主要部分と其名稱

附圖(1)は直流機の構造を示したもので、各部分の名稱は圖に示す通りである。

これ等を其作用及使用目的から區別すると、次の二つとなる。

- | | | |
|--------|---|-----------------------|
| (a) 磁路 | } | 繼 鐵 (Yoke) |
| | | 界磁鐵心 (Field core) |
| | | 極 片 (Pole piece) |
| | | 電機子鐵心 (Armature core) |

- (b) 電路
 - 電機子捲線 (Armature winding)
 - 整流子 (Commutator)
 - 刷子 (Brush)
 - 界磁捲線 (Field winding)

又之を構造上より區分すれば、固定部分と廻轉部分とに分かつことが出来る。

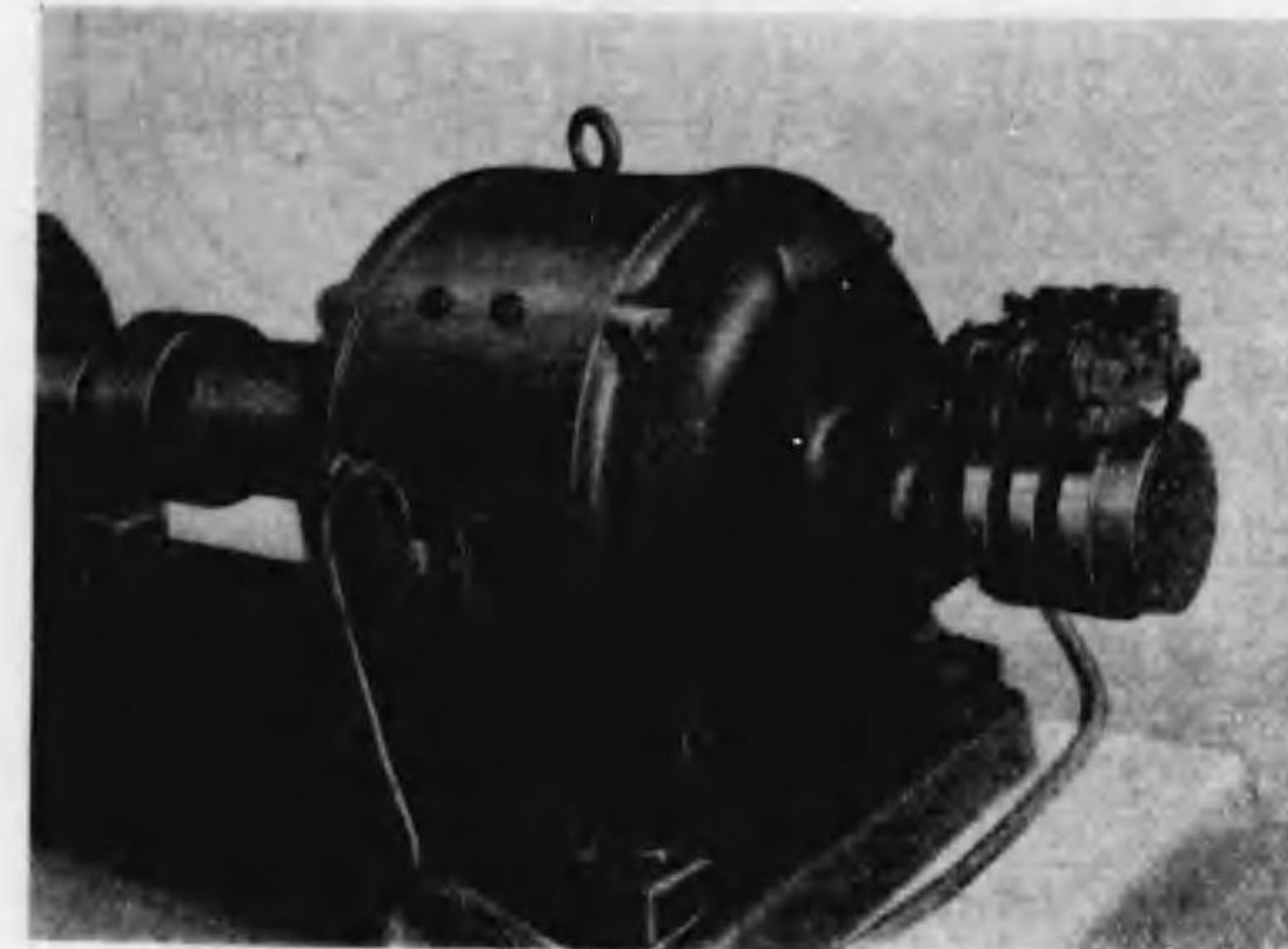
- (a) 固定部 (Stator)
 - 界磁捲線
 - 界磁鐵心及極片 } 界磁
 - 繼鐵及杵
 - 軸承 (Bearing)
 - 刷子, 刷子保持器 (Brush holder)
 - 及進退器 (Rocker)
- (b) 廻轉部 (Rotor)
 - 電機子捲線
 - 電機子鐵心 } 電機子
 - 幅鐵 (Spider)
 - 整流子
 - 軸 (Shaft)

固定部分中、界磁鐵心と界磁捲線は電磁石の理を應用した磁石装置で、磁界を作る磁石と云ふ意味から界磁 (Field magnet) と稱せられ、直流機に於ては固定部に屬して居るが、大容量の交流機に於ては廻轉部に屬する。廻轉部の中、電機子捲線と電機子鐵心とを併せて電機

子 (Armature) と呼ぶ。

電機子は發電機にあつては起電力を誘導する装置に當り、電動機に於ては電流を通じて廻轉する部分に當る。故に前者に於ては之を發電子と稱し、後者に於ては電動子と稱する。

電機子の前面にある整流子は電流の方向を變換せ



第3圖 廻轉電機子型交流機

しめる装置で、整流子の代りに第3圖に示す滑動環と稱する2個の金屬環に取り代へれば、直流機は一變

して廻轉電機子型交流機となすことが出来る。

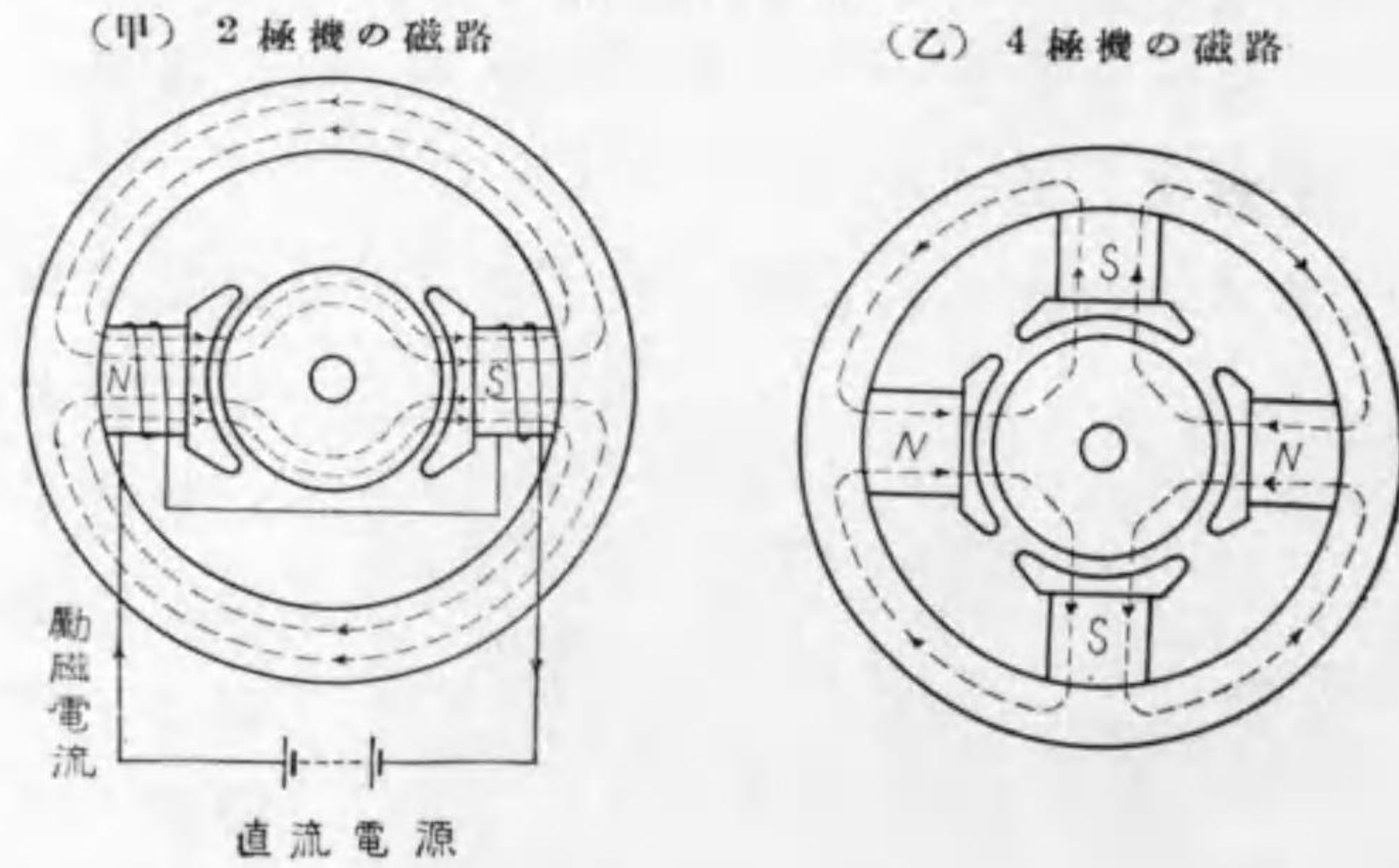
(3) 磁路

既に述べた如く、磁界は界磁によつて作られるのであるが、界磁の起磁力は界磁捲線と、それに流れる電流によつて與へられる。この電流を界磁電流 (Field current) 又は勵磁電流 (Exciting current) と云ふ。

第4圖甲及乙は夫々2極, 4極の直流機に勵磁電流

を流したとき、磁極に発生した磁力線が磁路を通る有様を示したものである。

第 4 圖

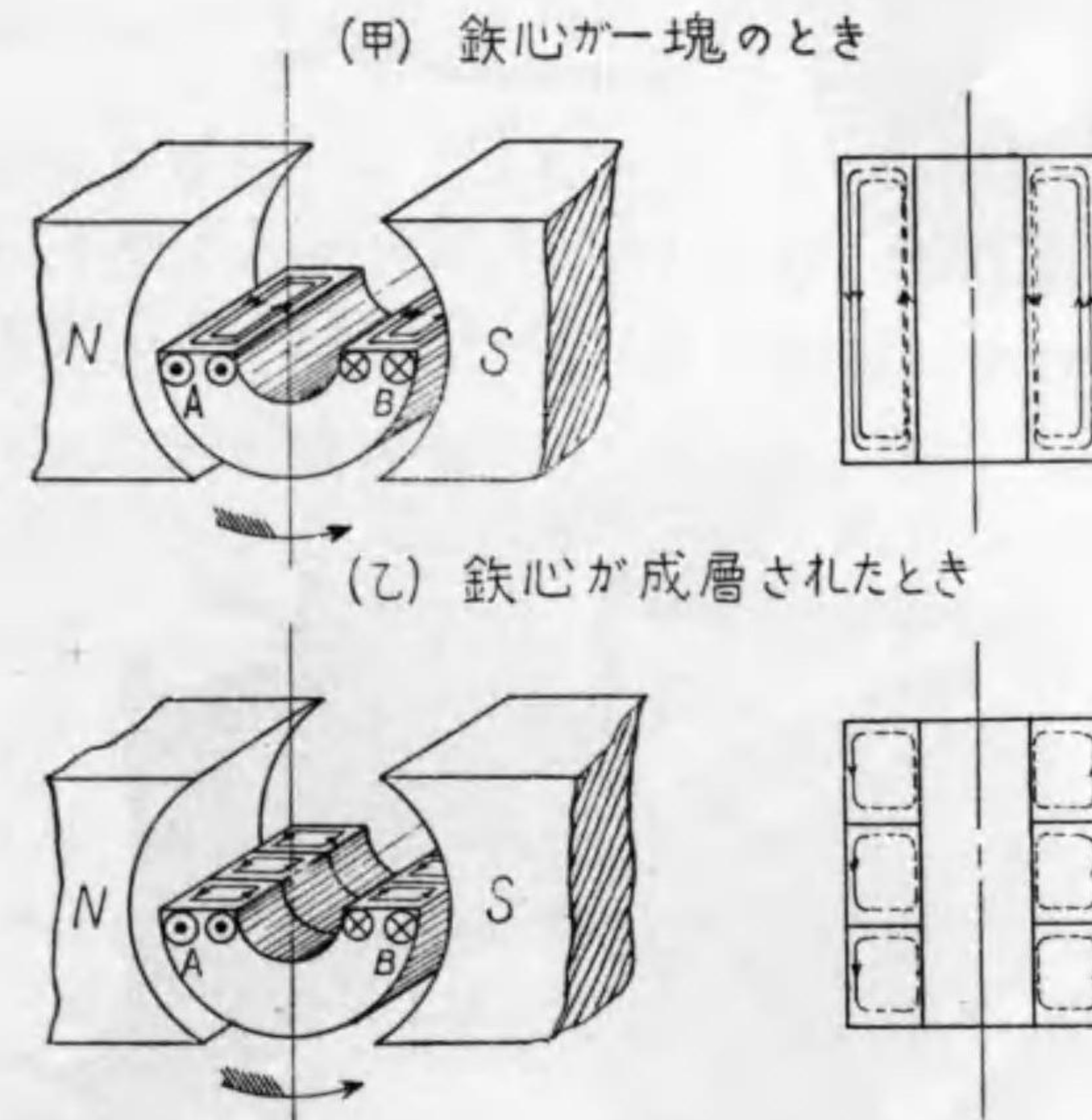


(4) 渦流と成層鐵心

電機子捲線の支持物は、磁路の一部を形成するのであるから、すべて鐵を用うる。然るに鐵も導體であるから、電機子が磁界内で廻轉すれば電磁誘導の法則により磁束を切つて起電力を誘導する。故に若し支持物が第5圖甲の如き一塊の圓筒形の鐵心であるとすれば、圖に示す様な起電力を誘導して電流を發生する。何となれば此鐵塊が無數の細い鐵線から成立つて居ると考へると、N極及S極の下にある鐵線の起電力はフレミングの右手三指の規則に従ひ、N極の下では後方から前方に、S極の下ではその反對に誘導する。然

るに起電力の大きさは1秒間に磁束を切る數に比例し、鐵心の表面に近づく程速度は大で、軸に近づくに従ひ反對に速度は小であるから、表面に近い部分は起電力が大となり、中心に近づく程小となつて、其結果周邊から中心に向つて各々の電路を作つて電流が流れる。この電流を渦流 (Eddy current) と稱し、其通路の抵抗のために損失を生ずる。これを渦流損 (Eddy current loss) と稱し、すべて熱に變じて鐵心を熱する。

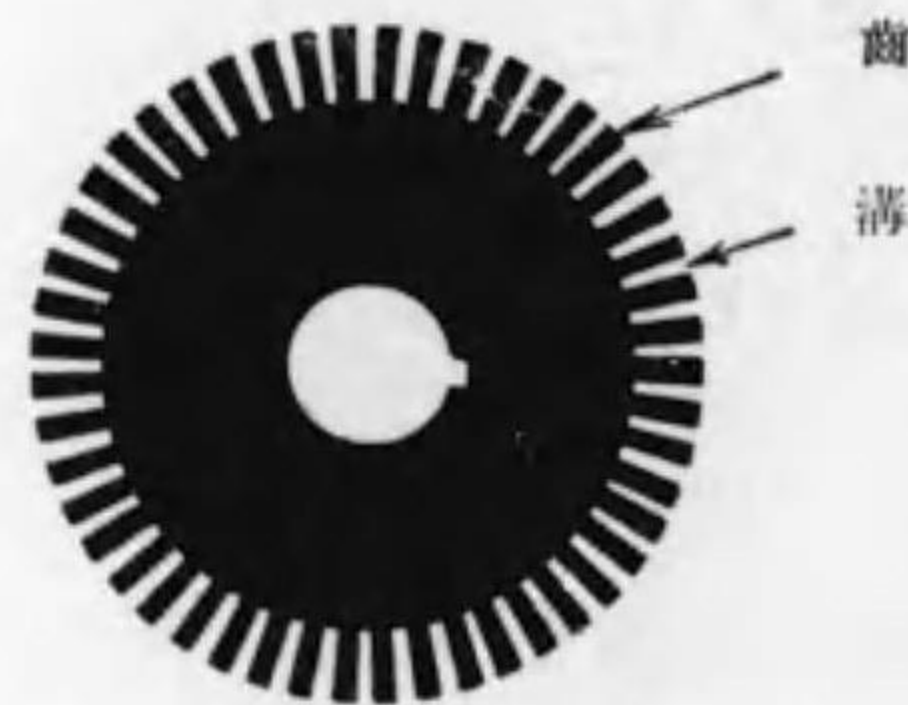
第5圖 電機子鐵心に生ずる渦流



電機子の心に鐵を用ゐる以上、この渦流を全然除去

することは不可能であるが、乙圖の如く鐵心を數個に區分して絶縁すれば、鐵線の長さは減ぜられて其發生量は著しく輕減せられる。

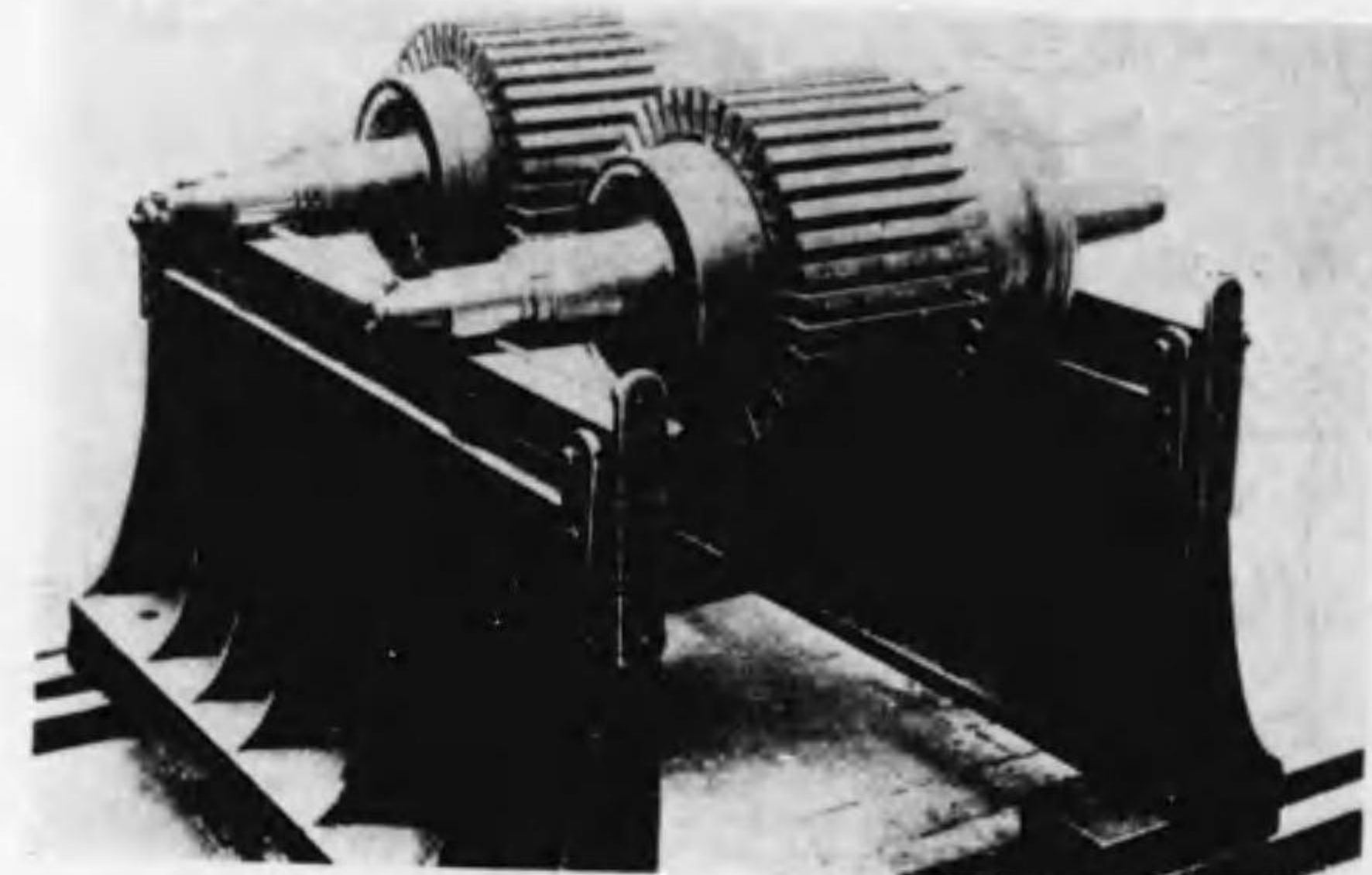
故に實際の直流機の鐵心は第6圖甲の如き固有抵抗の大きい電氣用薄鋼板にワニス(Varnish)を塗り、これを積み重ねて乙圖の如き鐵心を作る。この様な鐵心を成層鐵心(Laminated core)と云ふ。



第6圖(甲)電機子鐵板

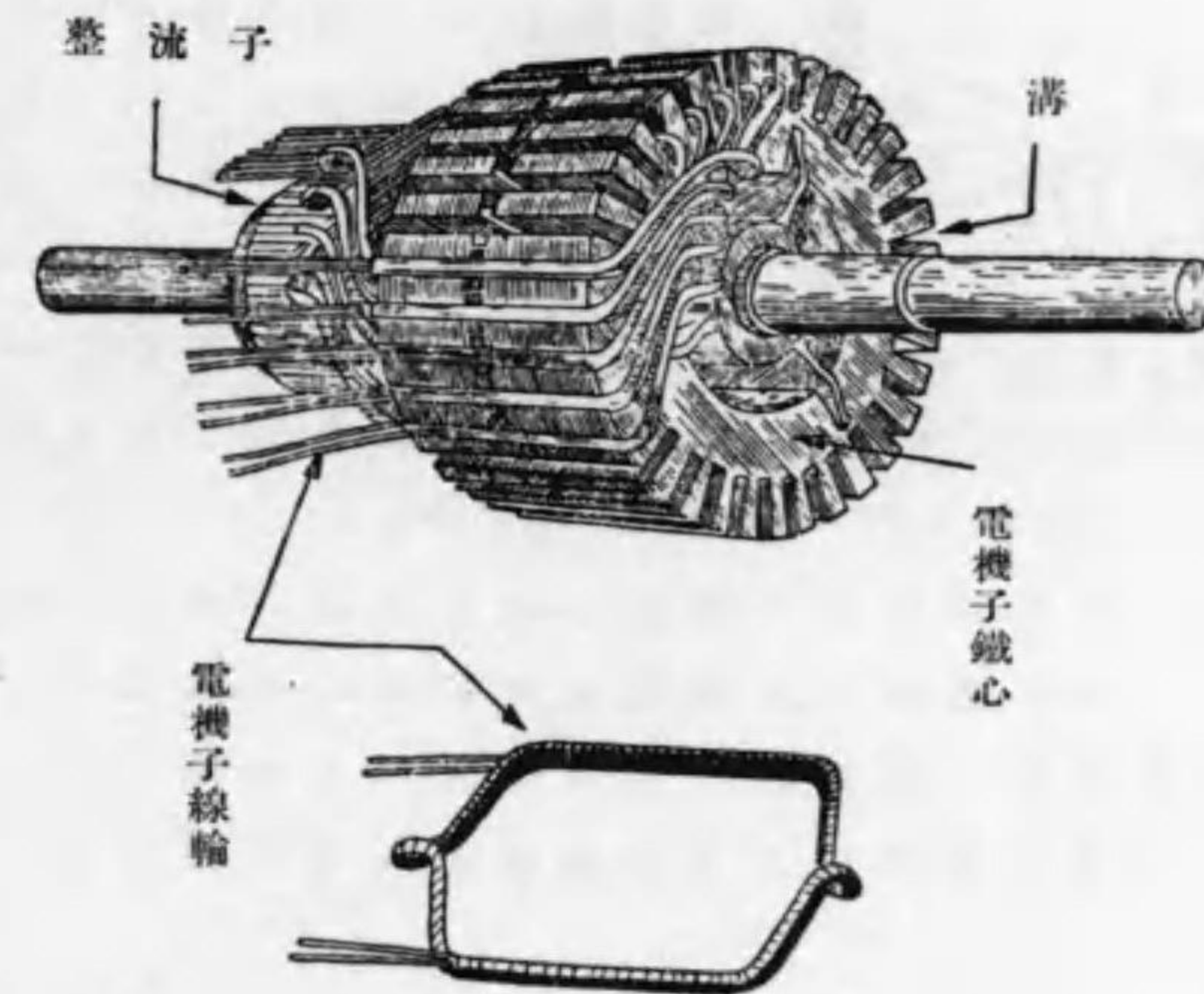
普通電機子鐵心に用ゐられる鐵板の厚さは 0.35 mm (14mil) 又は 0.38 mm (15mil) である。

界磁鐵心でも渦流の生ずる恐れのある場合には 1.6m



第6圖(乙)電機子成層鐵心

第7圖 電機子と其線輪



m. (5厘)位の鐵板を以て成層する。

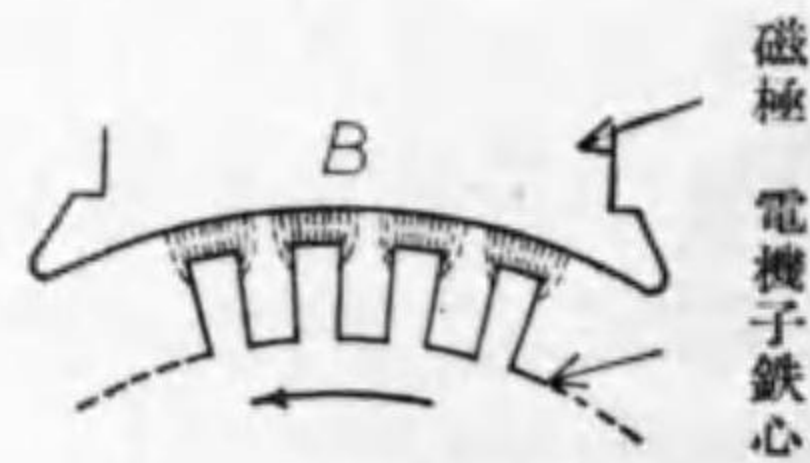
鐵心の凸部は齒(Tooth), 凹部は溝(Slot)と稱せられ、電機子線輪は第7圖に示す如く之等の溝に跨つて嵌め込まれる。この形の鐵心を鼓狀鐵心(Drum core)と呼び、線輪はすべて、あらかじめ一定の大きさの捲型に合せて捲いた所謂型捲線輪(Form wound coil or Formed coil)が用ゐられ、含浸法(Vacuum impregnation)によつて十分絶縁されたものである。

(註) 界磁鐵心を成層する理由

第7圖の様に電機子鐵心に齒を有する鐵心を齒形鐵心(Toothed core)と云ふ。

電機子鐵心に齒形鐵心を用ゐると、磁極から鐵心に入る磁束は第8圖の如く齒に向つて入る。従つて磁極面に近

い部分では、電機子鉄心の歯と向ひ合つてゐるところは磁束密度は大となり、溝と向ひ合つてゐるところは小となつて、濃淡が出来る。故に電機子鉄心が廻轉するにつれ、極面に近い部分、例へばB点には交互に疎部と密部とが通過して磁束の脈動を生じ、其結果極片には電機子の軸の方向に渦流を生ずる。



第 8 圖
磁極面に於ける磁束の脈動

齒形のために生ずる渦流は、極片に近い部分にだけ生ずるのであるが、急激な勵磁電流の變化は界磁鐵心の極片外、即ち界磁線輪の捲かれて居る部分にも渦流を生ずる。

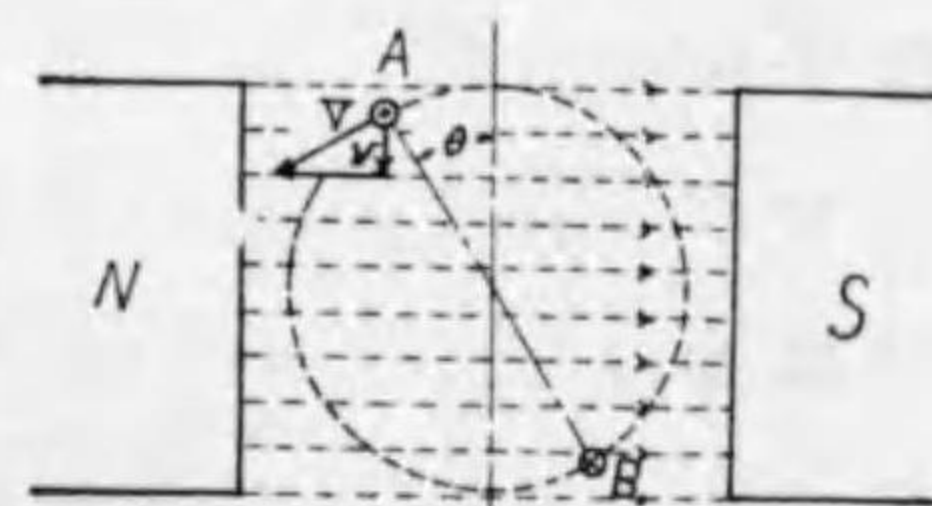
以上の様な理由により界磁鐵心も普通成層したものをを用うる。

(5) 發電機の發電原理

電氣を發生せしめる方法には種々の方法があるが、發電機と稱せられるものは特に電磁誘導を利用して機械的勢力を電氣的勢力に變換せしめるもののみ附せられた名稱である。

第 9 圖に示す如く強さの一樣な磁界、即ち平等磁界内に於て 2 本の導體 A、B を廻轉せしめれば、磁力線を切つ

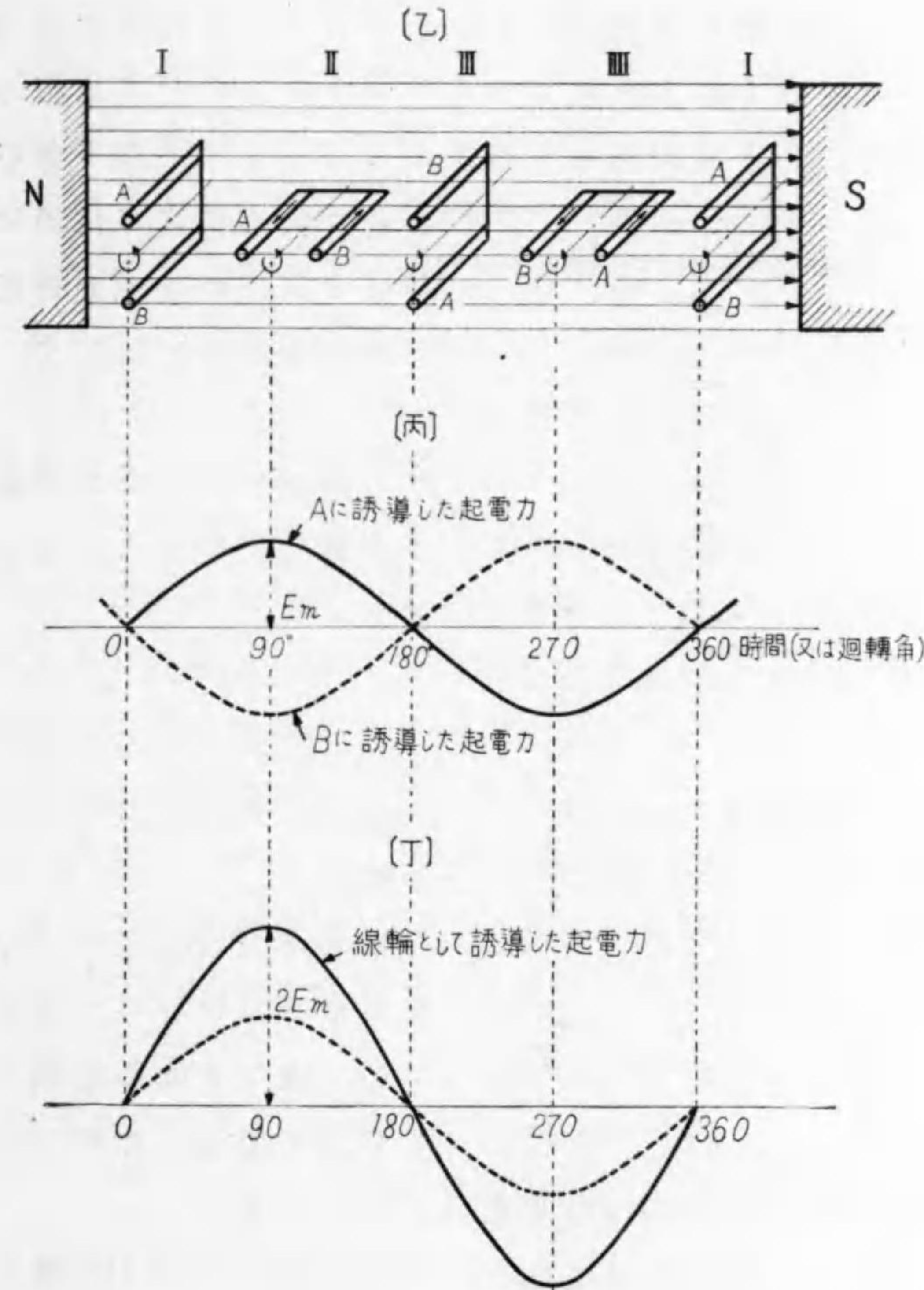
て各導體には正弦波に従ふ交流起電力を誘導する。



$$e = E_m \sin \theta$$

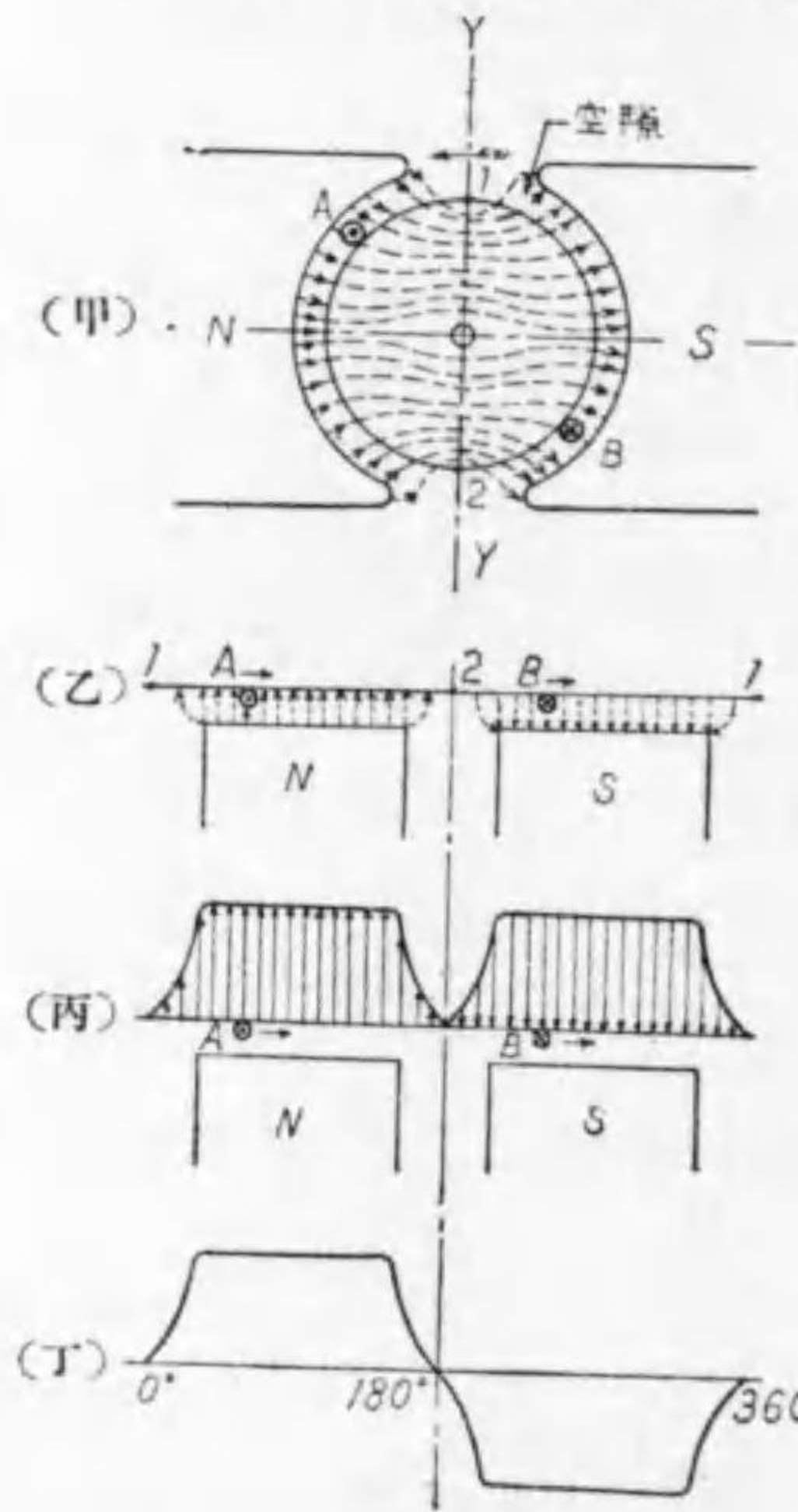
第 9 圖
(甲) 平等磁界内で廻轉する導體に誘導する起電力

第 9 圖



何となれば導體がN極前面を通過する間は、磁束を切るべき有効分速度 v は下向きとなり、S極前面を通過する間は上向きとなるから、フレミングの右手三指の規則により其方向は反對となる。そして第9圖甲

第10圖 實際の磁束分布と、その誘導起電力



に示す如く任意の位置に於ける導體の有効分速度 v は線速度 V に對して

$$v = V \sin \theta \dots \dots (1)$$

なる關係にあるから理論上導體に誘導せられる起電力 e は

$$e = E_m \sin \theta \dots \dots (2)$$

但し、 $E_m = 1$ 本の導體に誘導した起電力の最大値

となり第9圖丙に示すやうに正弦波に従つて變化する。故に2本の導體A、Bを以て線輪を作れば丁

圖の如くその2倍の起電力が得られる。

然るに實際の發電機は第10圖に示すが如く、線輪は鼓形の鐵心上に捲かれるから、空隙(Air gap)が一様であ

れば磁力線は半徑の方向に射出狀、即ち鐵心の表面に對して直角に出入する。

故に今磁極の中間線 YY 上の一、點 2 を中心とし、 1 から切り開いて、乙圖の如く左右に展開して、空隙に於ける磁束の分布状態を調べると、丙圖に示す如く矩形に近い梯形となる。

従つてこのやうな磁束を切つて誘導する導體内の起電力は、矢張り丁圖の如き梯形波 (Trapezoidal wave) の交流起電力となる。

かやうに實際の直流機では、矩形波に近い起電力となり、又設計上に於ても矩形波に近づけようとする傾向があるが、種々の點で正弦波の方が取扱い易い場合があるから、特に矩形波又は梯形波とことわらない限りは、鐵心の有無にかゝらず誘導起電力は正弦波を以て代表せしめることとする。

さて正弦波、矩形波にかゝらず2極の場合に1本の導體に誘導される起電力の大きさの平均値は次式で示される。

$$E = 2 \phi_n \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots \dots (3)$$

$\phi = 1$ 極より發電子鐵心に入出する磁束

$n = 1$ 秒間の廻轉數

何となれば、導體1本が1廻轉に、切るべき磁力線の

数は2極の場合には 2ϕ 本であるから、1秒間に n 廻轉すれば $2\phi n$ 本の磁束を切る。然るに1秒間に 10^8 本(1億本)切れば1ヴォルトの起電力が誘導されるのであるから、此場合1本につき $2\phi n \div 10^8 = 2\phi n \times 10^{-8}$ ヴォルト誘導されることになる。

故に2本の導體で一捲の線輪を作れば、線輪の起電力は

$$E = 2 \times [2\phi n \times 10^{-8}] \text{ ヴォルト} \dots\dots(4)$$

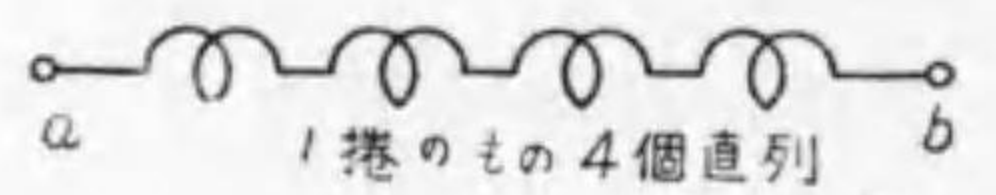
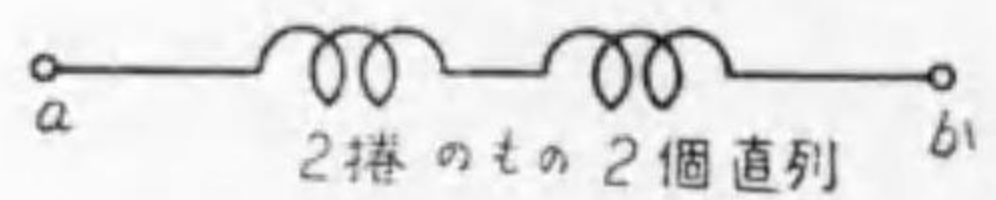
若し極数が p で、直列に接続される導體数が Z' 本であれば全誘導起電力は

$$E = Z'(p\phi n \times 10^{-8}) \text{ ヴォルト}$$

$$\text{又は } E = p\phi n Z' \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots(5)$$

發電機、電動機の廻轉数は普通1分間の廻轉数を以て言ひ表はされる。故に N を毎分の廻轉數(r. p. m.)とすれば $n = \frac{N}{60}$ なるを以て

$$E = p\phi \frac{N}{60} Z' \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots(6)$$



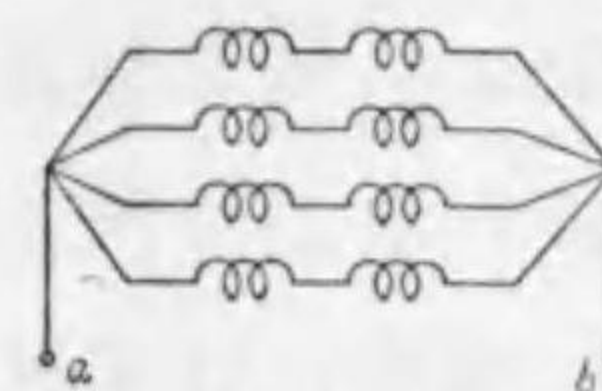
第11圖

【註】直列に接続される Z' 本の導體は $\frac{Z'}{2}$ 捲の1個の線輪と考へても、一捲の線輪が $\frac{Z'}{2}$ 直列に接がると考へても、又二捲の線輪が $\frac{Z'}{4}$ 直列に接がれると考へても差支へない。例へば8本の導體を第11圖の如く三通りに捲いて

接続しても a, b 間の起電力は何れも相等しい。

(6) 誘導起電力の一般式

實際の直流機では、後に述べる様に電壓に應じて、適當の數に捲かれた數個の線輪が直列に接続され、更にそれら直列に接続されたものが數組第12圖に示す様に、電機子内で兩端子間に並列に接続される。



第12圖
電機子線輪の接続

故に今發電子内で兩端子間に並列に接続されてゐる電路數を a 、鐵心の表面に配置せられた全體の導體數を Z 本とすれば、一つの電路に直列に接続される導體數 Z' は、 $Z' = \frac{Z}{a}$ となるから、これを(6)式に代入すれば直流機の起電力の一般式は次の如くなる。

$$E = \frac{p}{a} \phi \frac{N}{60} Z \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots(7)$$

p = 磁極の總數

a = 發電子内の電路數

ϕ = 1極から鐵心に入出する

磁束

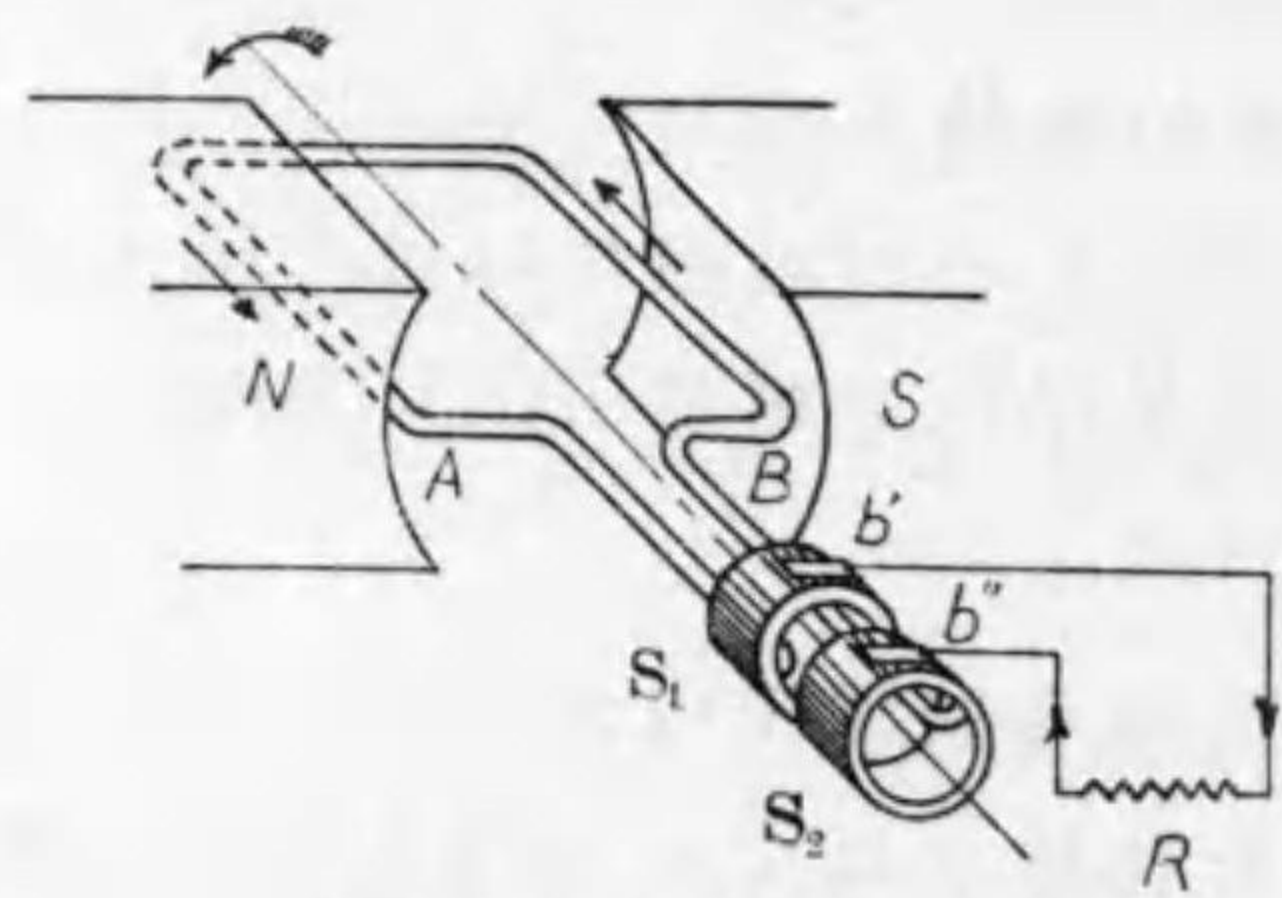
N = 1分間の廻轉數

Z = 導體の總數

(7) 滑動環と整流子

前節に述べた如く2極の發電機に於て、線輪が磁界

内を1廻轉すれば、方向の變る所謂交流起電力が誘導される。故に第13圖に示す如く線輪の兩端を軸と絶



第13圖 滑動環

縁せる2個の金屬環 S_1, S_2 に接續し、固定せる刷子 b, b' と接觸せしめて、外部電路を通じて閉電路を形作れば、正弦波に従ふ交流を生ずる。従つてこの

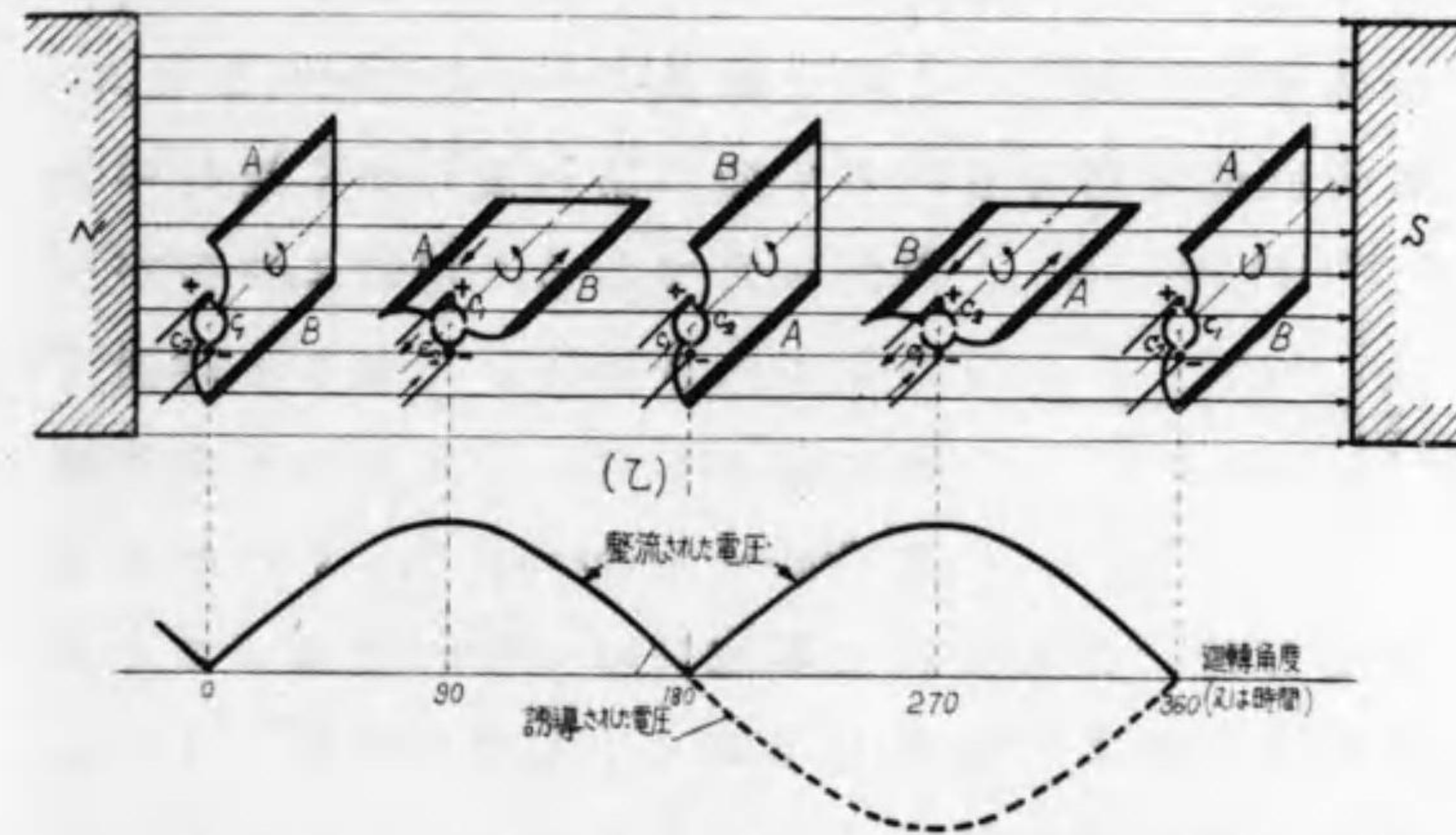
機械は1個の交流發電機として働く。これは後に述べるが如く廻轉電機子型交流機と稱せられる種類に屬するもので、上記2個の金屬環を滑動環 (Slip-ring) 又は聚電環 (Collector-ring) と云ふ。

然るにこの場合、滑動環の代りに、第14圖甲に示すが如く1個の金屬環を半分に割つて、其各片 C_1, C_2 に線輪の端を接ぎ、金屬片と刷子と接觸せしめて、外部電路を通じ閉電路を作れば、線輪内には交流が流れるにもかかわらず、外部電路には乙圖の實線で示す如き方向一定の電流が流れる。即ち一種の直流が発生する。

かやうに交流の方向を變換せしめて一定方向の電流に直すことを整流 (Rectify or Commutate) すると云ひ、整

第14圖 整流子の作用

(甲)



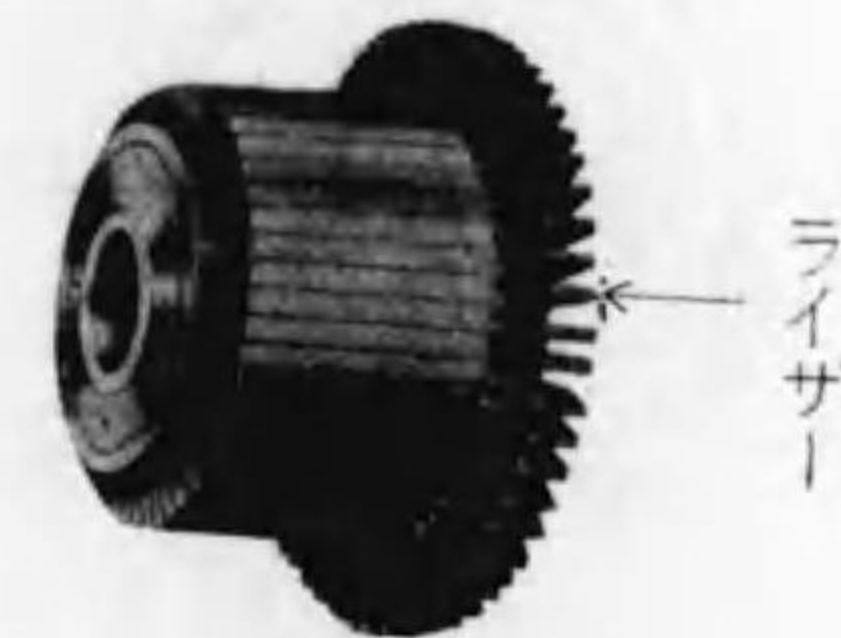
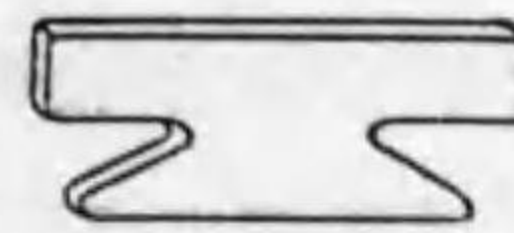
流の役目をなす前記金屬片全體を整流子 (Commutator)、金屬片各片を整流子片 (Commutator segment) と云ふ。

整流子片は普通第15圖甲の如き形をした硬引銅片が用ひられ、銅片と銅片との間は40ミル位の薄いマイカナイトを以つて絶縁せられる。

第15圖

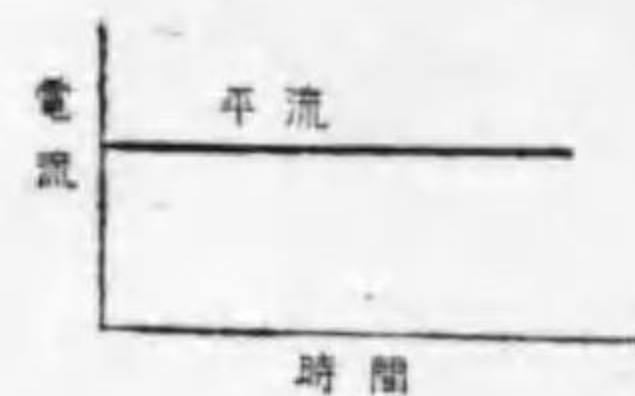
(甲) 整流子片

(乙) 整流子



さて上に述べた如く、線輪 1 個と整流子片 2 個によつて整流された電流は一種の直流ではあるが、其流れは脈動的である。これを脈流 (Pulsating current) と云ふ。普通直流と稱せられるものは、第 16 圖の如く流れの方向が一定であると同時に、負荷が一定なときは流れる強さも時間と共に變化しない一定量の所謂連続流 (Continuous current) で、かくの如き電流を脈流に對して特に平流 (Flat current) と稱することもある。然らば脈流を平流にするには如何にすれば良いか、次に節を改めて説明しよう。

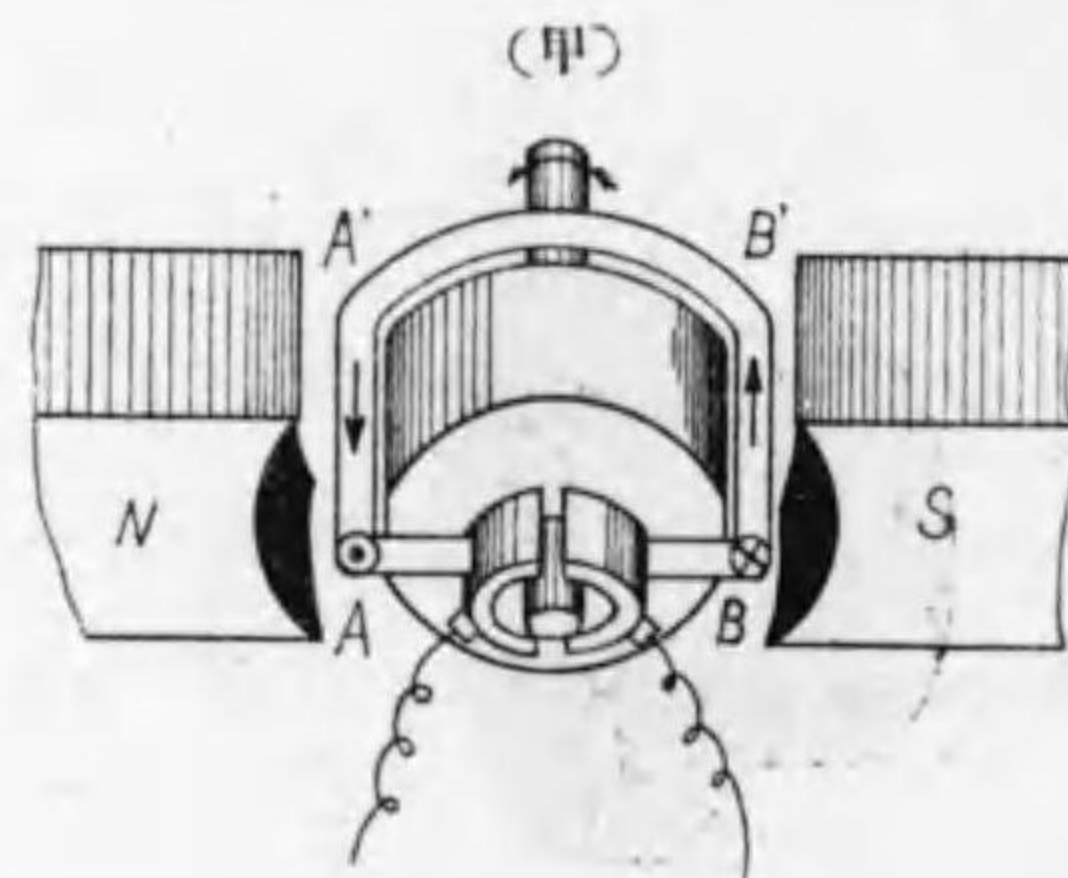
第 16 圖 平流



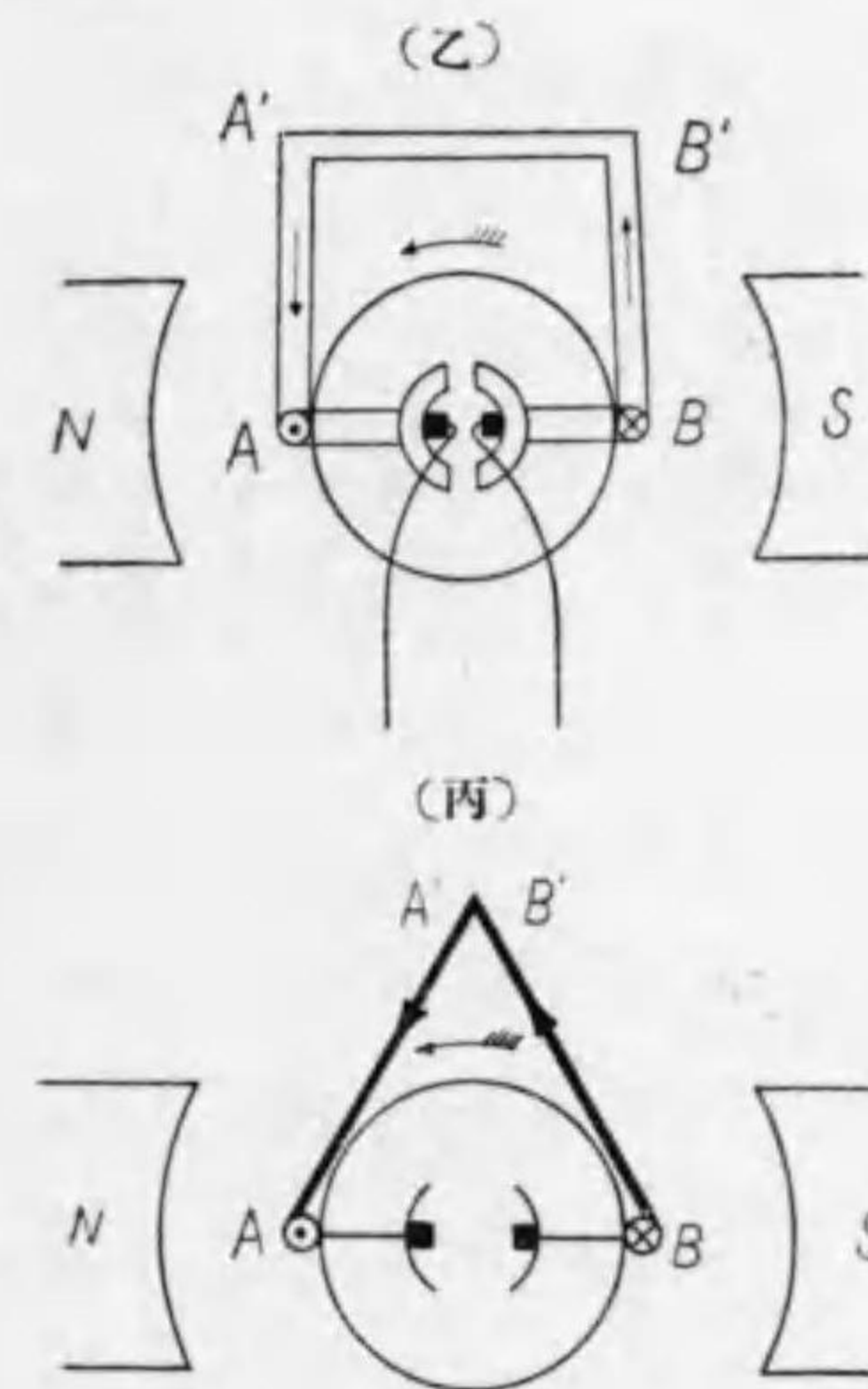
(8) 脈流を平流に直す方法

脈流を平流にする方法を説明する前に電機子線輪、整流子、刷子の接續状態の表はし方について説明する。

第 17 圖
電機子線輪、整流子、刷子の接續表示法



これらの接續状態だけを示すには、必ずしも實物圖による必要なく、例へば第 17 圖甲に示す如き接續状態の電機子は、丙の如く簡単な圖を以て表はすことが出来る。何



となれば、先づ我々が整流子側に立つて線輪の兩端が整流子に接續される方の 2 點 A, B をおさへて線輪だけをめぐり起し、これを一平面上に見潰したとすれば、乙圖に示す如くなる。

然るに各導體の起電力又は電流の方向

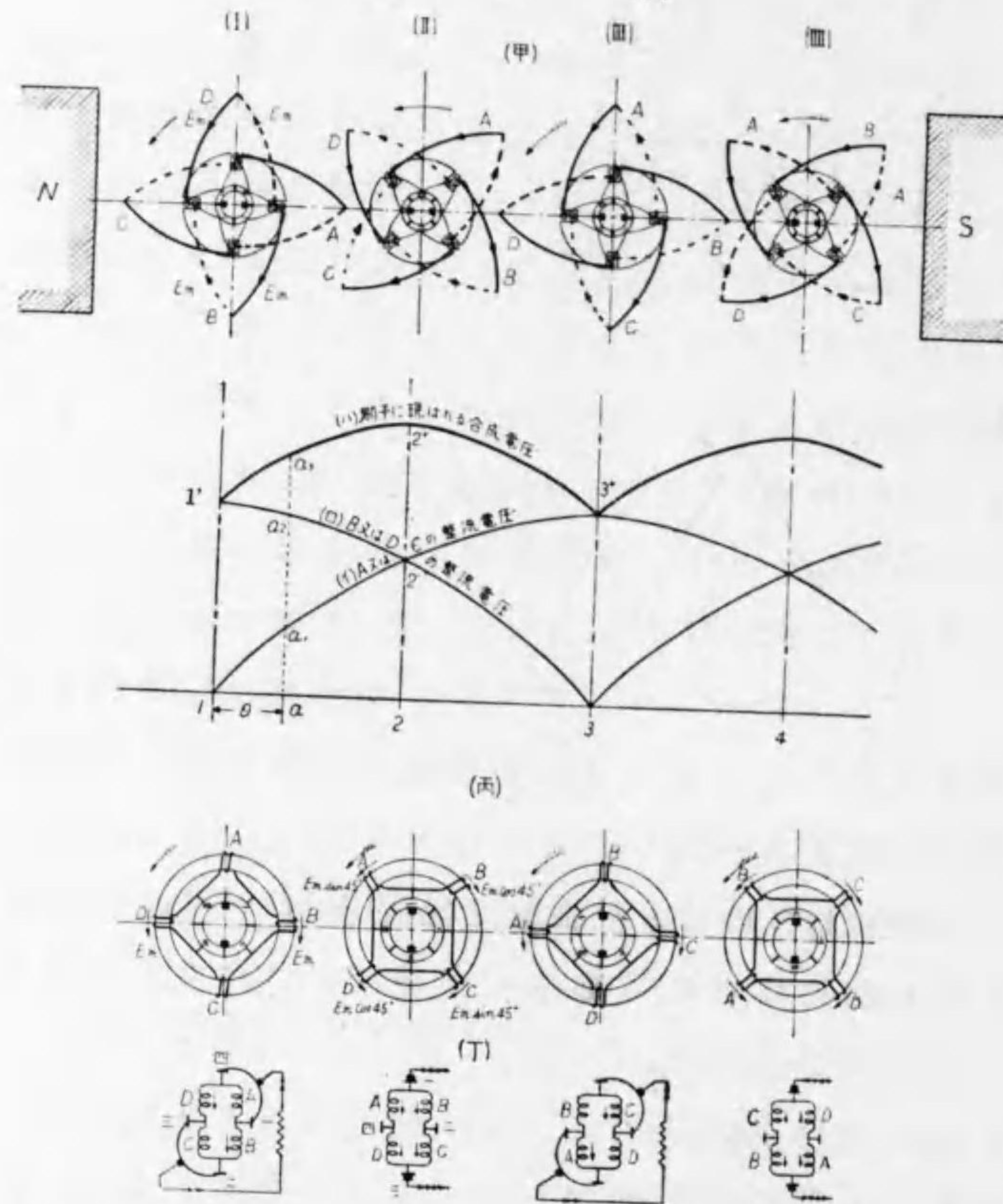
關係を示すだけならば、乙圖は更に丙圖の如く簡略に表はして差支へない。

丙圖の如き表し方を放射捲線圖 (Radial winding diagram) と云ひ、後に述べる電機子の捲線圖には多く此の表はし方が用ひられる。

さて第 18 圖に示すやうに、4 個の線輪と 4 個の整流子片とを圖の如く接續して 1 個の閉電路を作り、これを反時計式に廻轉すれば、圖で明らかな様に A と C は同じ溝にあるから、各瞬時に於ける起電力は全く相等しく、同様に B と D との起電力は相等しい。

A と B, 又は C と D を考へると、互に 90° 距つた溝に收

第 18 圖



められて居るから、誘導される起電力は90°位相を異にし、A, Cの起電力が零である時は B, Dの起電力は最大で、反対に A, Cの起電力が最大の時は、B, Dの起電力は零で、この関係は乙圖に示す通りである。

今刷子を圖の位置に置き、Iの位置に於て一の刷子から十の刷子に向つて發生してゐる起電力を調べて見ると、乙圖に示す如く A, Cは零、B, Dは最大電壓で、此兩電壓は丙又は丁圖を見れば分る様に反對向きになつて刷子間に働いてゐる。

故に電機子内の線輪全體はたとひ閉電路となつて居ても、電機子内には電流は發生しない。唯刷子を経て外部電路を通じて閉電路とすれば、始めて電機子線輪には電流が流れる。

次に Iの位置から45°廻轉して、IIの位置に來たとすれば A, Cの線輪の起電力は

$$E_m \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} E_m$$

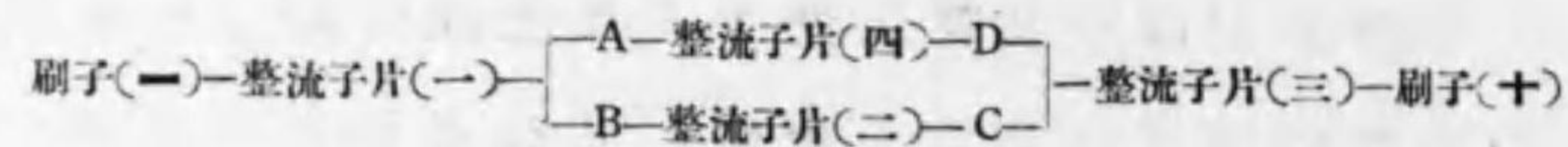
但し $E_m = 1$ 個の線輪に誘導する起電力の最大値。

B, Dの線輪の起電力は

$$E_m \sin (45^\circ - 90^\circ) = -\frac{1}{\sqrt{2}} E_m$$

となつて、其大きさは何れも乙圖の22'の長さで表はされる電壓となる。

この時、一刷子から十に到る電路と起電力の關係を調べて見ると、丙又は丁に示す様に AとD, BとCとは直列に結ばれ、更に其直列に結ばれたものが、並列に接続された状態となつて居る。即ちその順序を示せば次の通りである。



従つて刷子間に加はる電圧は何れも $2\bar{2}$ の 2 倍の電圧 $2\bar{2}'$ に等しく、しかも兩電路に於て反對向きであるから、發電子内には電流は發生しない。I から 180° 廻轉して III の位置に来るまでは、一刷子から十刷子に至る並列電路の状態は II の場合と同様で、唯刷子に加はる電圧が異なるだけである。例へば I から θ だけ廻轉した位置に於ては、刷子に加はる電圧は aa_1 と aa_2 とを加へ合せた aa_3 の電圧が加はるだけで、其他は II の場合と同様である。III から IV に到る間は並列電路は IV に示す様な状態となつて、結局乙圖の太い實線で示した様な電圧が刷子間に加はる。

かやうにして 4 個の線輪と、4 個の整流子片を以て整流すれば、刷子に加はる電圧は最低 $3\bar{3}$ と最高 $2\bar{2}'$ の間を脈動する電圧となり、脈動率 $\left(\frac{\text{最低電壓}}{\text{最高電壓}}\right)$ は線輪 1 個、整流子片 2 個の場合よりも遙かに少なくなる。

従つて 2 個の刷子を通じて、外部電路を閉ぢれば、太線で示した様な脈動電流が流れることは明らかである。

こゝに注意すべきは、線輪 1 個、整流子片 2 個のときは、外部電路を閉ぢなければ、發電子は閉電路とならな

いが、上に述べた 4 個の線輪と 4 個の整流子片を用いた場合は、外部電路に關係なく、發電子線輪全體は閉電路を形成して居ることである。

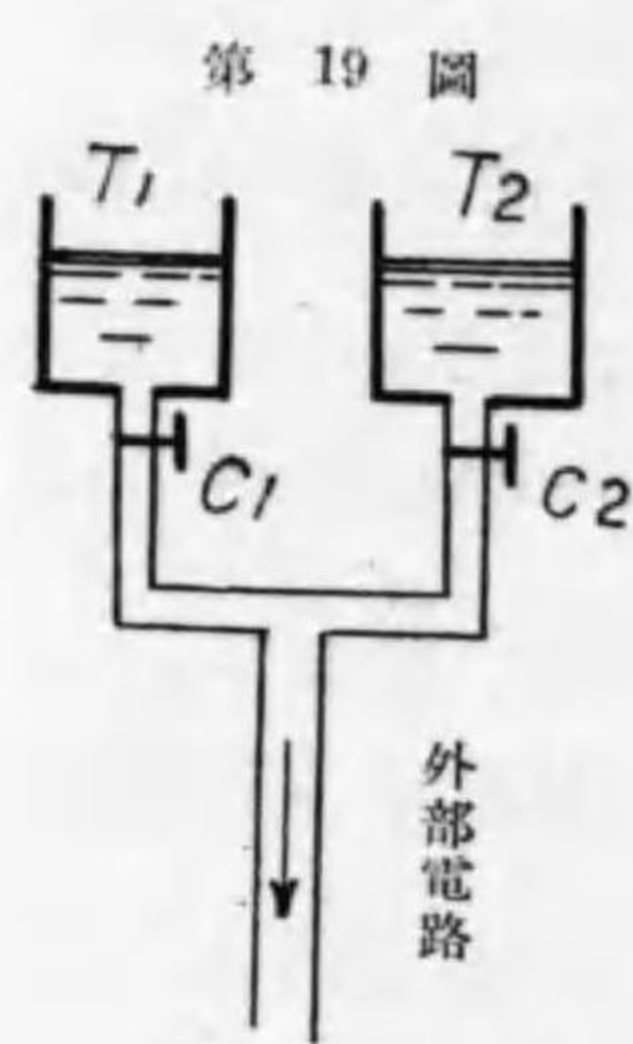
前者の場合を開電路捲 (Open circuit winding) と云ひ、後者の場合を閉電路捲 (Closed circuit winding) と云ふ。

交流機は開電路捲とするが、直流機はすべて閉電路捲とする。

【註 1】 脈動の零電壓點をなくするには、たとひ線輪は 4 個でも、整流子片 2 個では不可能で、どうしても最低整流子片 4 個と 4 個の線輪を必要とする。整流子片 2 個に對して、線輪 2 個を適當に接続すれば、零電壓のない脈動電壓が得られそうに思はれるが事實は不可能である。整流子片 3 個に對して 3 個の線輪を以てすれば如何と云ふに、この場合はたとひ零電壓をなくしても乙圖の如き規則正しい整流電壓は得られない。故に零電壓のない脈動電壓を得るには整流子片及線輪は 4 個以上を必要とする。

さて第 18 圖から推して圓周を 6 等分して、6 個の整流子片に對して、6 個の線輪を第 18 圖と同様の接続をすれば、更に脈動率の少い電圧が得られる事は明らかであらう。故に實際の機械では線輪と整流子片の數を非常に多くして平流に近づける。

【註 2】 平流に直すことを水流にたとへると、線輪 4 個、整流子片 4 個の場合は第 19 圖の如く 2 個のタンク T_1 と T_2 のコック C_1, C_2 を交互に開閉して、外部鐵管に水を送り出すと同様である。



第 19 圖

(9) 電動機の廻轉原理と逆起電力
 發電機を逆に使用すれば電動機となり、電動機を逆に使用すれば發電機となることは既に述べた。

かやうな關係にある兩者を互に可逆的 (Reversible) であると云ふ。電氣機械の多くは可逆的であるが、直流機は全くの可逆的で、無條件に同

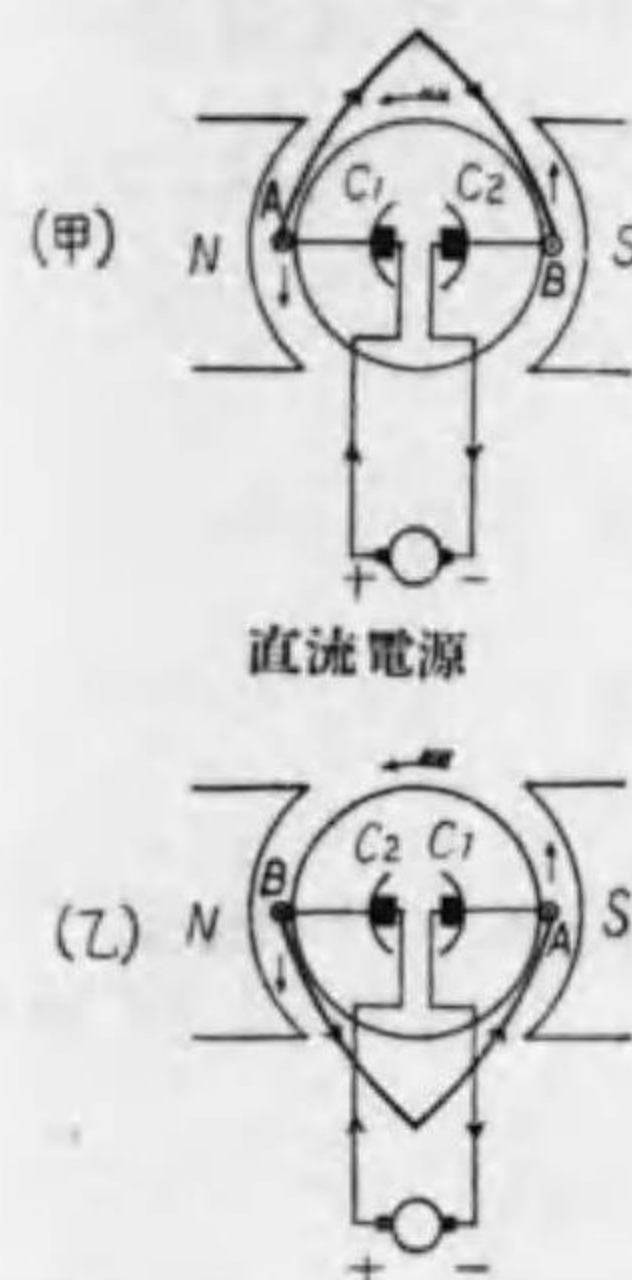
じ機械を發電機とし、或は電動機として使用することが出来る。

今静止してゐる直流發電機の電機子に、第 20 圖の如く他の直流電源から、直流電壓を加へて電流を流したとする。

甲の位置に電機子が静止してゐるとき、圖の如く刷子を通じて整流子片 c_1 から c_2 に向ふ直流電壓が加へられたとすれば、導體 A には紙面に向ふ電流、B には紙面から向つて來る電流が流れる。故にフレミング左手三指の規則によつて、導體 A は下向き、B は上向きの機械力を受けて、左廻りの偶力を發生し、電機子は矢に示す如く反時計式に廻轉する。半廻轉して乙の位置に來れば、導體 A は S 極、B は N 極直下に來て、A、B に對する極性は甲の場合と反對となるが、整流子の作用によ

り A、B に流れる電流も逆になつて、電機子に加はる廻轉力は依然として左廻りとなり、電機子は廻轉を續ける。かやうにして電機子は送り込まれた電流によつて自動的に廻轉するのである。

第 20 圖
 電動機の廻轉原理



若し此場合、電機子導體に流す電流の方向は其まゝとし、極性だけを取替へるか(即ち N 極と S 極と取かへて磁力線の向きを反對にするか)、或は極性は其まゝとして、電機子導體の電流の方向だけを逆にすれば、

導體のうける機械力は左手三指の規則により、第 20 圖の場合と反對になり、右廻りの廻轉力を生じ、時計式に廻轉して電機子は逆轉する。即ち第 20 圖の場合と反對に廻轉する。

導體のうける機械力は左手三指の規則により、第 20 圖の場合と反對になり、右廻りの廻轉力を生じ、時計式に廻轉して電機子は逆轉する。即ち第 20 圖の場合と反對に廻轉する。

逆起電力 さて電機子が廻轉すれば、導體 A、B は磁界内で磁束を切つて動くことゝなるから、電磁誘導の基本法則により導體中には起電力を誘導する。

然るに此誘導起電力の方向をフレミングの右手の規則によつて調べて見ると、電機子に加へた電壓、即ち電機子に流れる電流(この場合は電動機であるからこれを電動子電流と稱する)と反對向きであることが知

られる。故に之れを逆起電力又は反起電力 (Back or Counter E. M. F.) と名付ける。

そうしてその値は磁束を切る事によつて誘導される起電力であるから、発電機の場合に求めた(7)式で示すことが出来る。

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

但し p = 磁極の總數

a = 電動子内の分路數

ϕ = 1 極から電機子に出入する磁束

N = 1 分間の廻轉數

Z = 導體數

(10) 電動機の廻轉力

電動機の電動子に加はる廻轉力は、各導體によつて生ずる廻轉力の和で、各導體の廻轉力は導體に加はる力と半径との積で表はされる。そうして導體に加はる力 F は、磁界中に於て電流の通つて居るために生ずる力であるから、次式を以て示され、其方向は常に磁界の磁力線に對して直角の方向である。

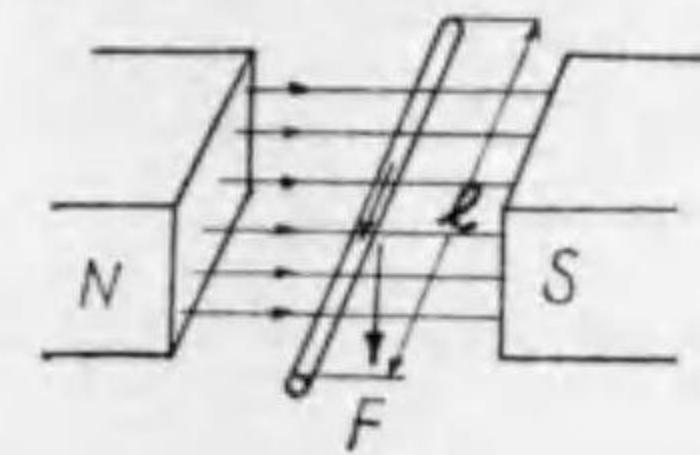
$$F = Bil \text{ ダイン} \dots\dots(8)$$

但し B = 磁束密度(ガウス)

i = 導線を流れる電流(C.G.S電磁單位)

l = 磁界にある導體の長さ(cm)

第 21 圖
磁界内にある導體が受ける力



電動子線輪が第22圖の如く鐵心に捲かれて居れば、前に述べた様に磁力線は半径の方向に出入するから、各導體に加はる力 F は常に磁力線と直角の方向となり、

何れの位置に於ても廻轉力となるべき力は等しく、其大きさは F である。故に電動子の半径を r cm とすれば 1 本の導體によつて生ずる

廻轉力 τ_1 は

$$\begin{aligned} \tau_1 &= F \cdot r \text{ ダイン糎} \\ &= Bilr \text{ ダイン糎} \dots\dots(9) \end{aligned}$$

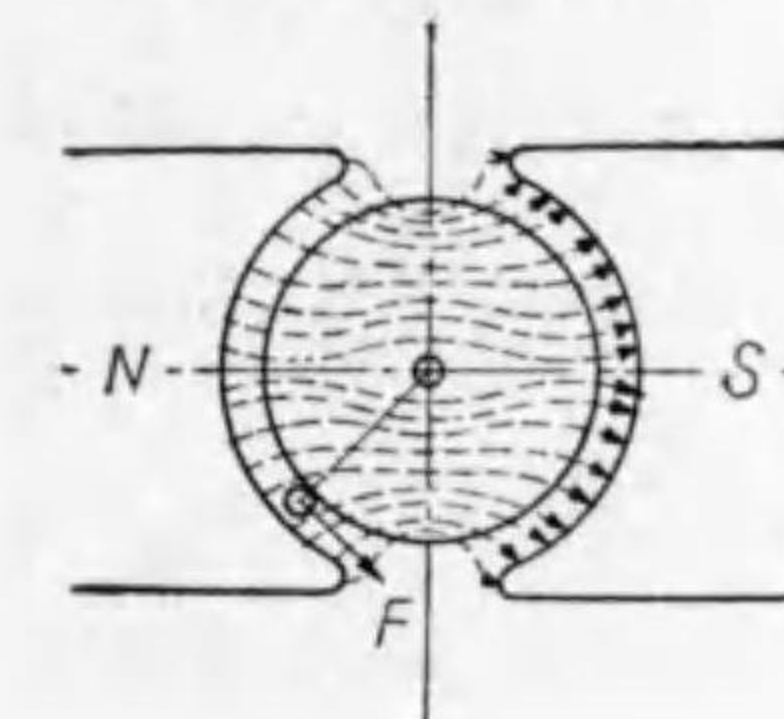
今 1 極より電機子鐵心表面に出入する磁束を ϕ 本とすれば、圖の如く 2 極の場合には鐵心の全表面 $2\pi rl$ 平方糎の半面に ϕ 本の磁束が入つて他の半面から ϕ 本出て行く。故に鐵心表面 1 平方糎につき出入する磁束は

$$B = \phi \div \frac{2\pi rl}{2} = \frac{\phi}{\pi rl} \text{ 本}$$

である。

若し p 極のものであれば、全表面 $2\pi rl$ 平方糎の $\frac{1}{p}$ に對して、 ϕ 本の磁束が出入することゝなるから

第 22 圖
電機子導體の受ける力



$$B = \frac{\phi}{2\pi rl} = \frac{p\phi}{2\pi rl} \dots\dots\dots(10)$$

$$\begin{aligned} \therefore \tau_1 &= \frac{p\phi}{2\pi rl} ilr \\ &= \frac{p\phi}{2\pi} i \text{ ダイン糶} \dots\dots\dots(11) \end{aligned}$$

故に鉄心表面にある全體の導體數をZ本とすれば、これらによつて生ずる全廻轉力τは

$$\begin{aligned} \tau &= \tau_1 Z \\ &= \frac{p\phi Z}{2\pi} i \text{ ダイン糶} \dots\dots\dots(12) \end{aligned}$$

今電機子の全電流をI_aアンペア、電路の分路數をaとすれば、1本の導體に流れる電流は $\frac{I_a}{a}$ アンペアで、これをC.G.S電磁單位に直せば $\frac{I_a}{a} \times 10^{-1}$ となる。

従つて

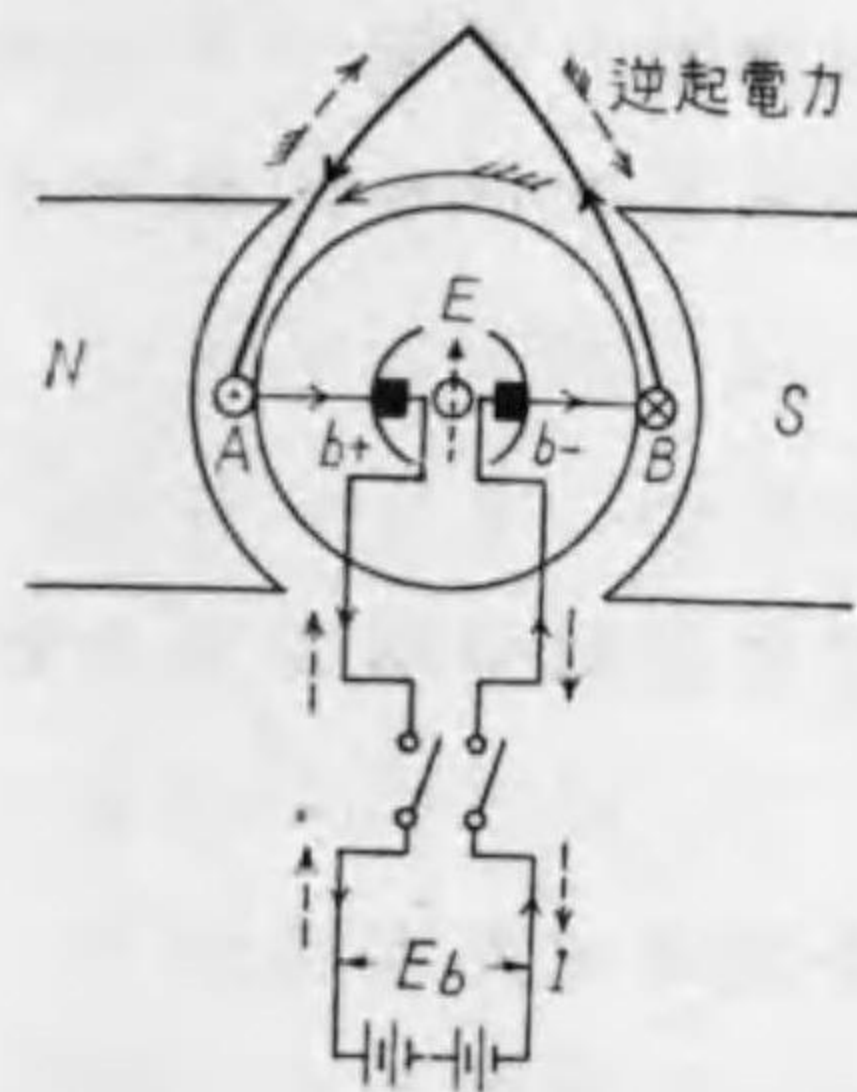
$$\begin{aligned} \tau &= \frac{p\phi Z}{2\pi} \frac{I_a \times 10^{-1}}{a} \text{ ダイン糶} \\ &= \frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} \phi Z I_a \times 10^{-1} \text{ ダイン糶} \dots\dots\dots(13) \end{aligned}$$

(11) 電機子の性質

以上述べて來たことから、電機子の性質を概括すれば、次の様な性質を持つてゐることを知る。

今第23圖に示す電機子を發電子として、原動機により外部から左廻りの廻轉力を加へて運轉したとする。然るときフレミング右手三指の規則により、線輪内には導體BからAに向ふ起電力を誘導し、従つて開閉器

第23圖 電機子の可逆性



蓄電池
實線の矢…發電子の場合に流れる電流の方向
點線の矢…電動子の場合に流れる電流の方向

を閉ち外部電路を通じて閉電路を作れば、この起電力のために電機子内にはこれと同方向(→で示した方向)の電流が流れる。然るにA及Bの導體は、磁界中にあつて電流が流れて居るのであるから機械力を生じ、その方向は左手三指の規則により右廻りで、原動機によつて加へられる廻轉力と反對方向に電機子を廻轉せしめようとする。

故に此力を反力(Retarding force)と稱し、この力によつて生ずる廻轉力を發電機の逆廻轉力(Back or Counter torque)と云ふ。原動機は常にこの逆廻轉力に打勝つて發電子を運轉することにより、機械的エネルギーを電氣的エネルギーに變へることが出来るのである。これは恰度電動機に加へる電壓が、電動機の逆起電力に打勝つて電流を流し込むことによつて、電氣的エネルギーを機械的エネルギーに變換することが出来るのと同様である。

今この電機子に圖の如く蓄電池を接続し、そうして

電機子が誘導してゐる起電力を E ヲルト, 蓄電池の電圧を E_0 ヲルト, 回路全體の抵抗即ち電機子抵抗及蓄電池の内部抵抗を合せて R オームとし, $E > E_0$ とすれば

$$\frac{E - E_0}{R} = I \text{ アムペア}$$

の電流が電機子から矢に示すが如く, 刷子 b_+ から流れ出て蓄電池を充電する。

蓄電池が充電されて蓄電池の端子電圧が上昇するにつれて, 電機子から流れ出る電流は減少し, $E = E_0$ となれば

$$\frac{E - E_0}{R} = 0$$

従つて電機子には電流が流れないのであるから逆廻轉力も零となる。このとき何かの原因で, 原動機の出力が減じて速度が下降すれば, 電機子の速度も下降し, 誘導起電力も減じて, $E < E_0$ となれば

$$\frac{E - E_0}{R} = -I$$

となる。

即ち I アンペアの電流が點線の矢で示す如く, 却つて蓄電池から b_+ を経て電機子に逆流して, 電機子電流は前と反対方向となる。従つて電機子電流によつて生ずる廻轉力も前と反対方向となり, 原動機の廻轉方向と一致して, 電機子は電動子となつて自ら廻轉し, 原

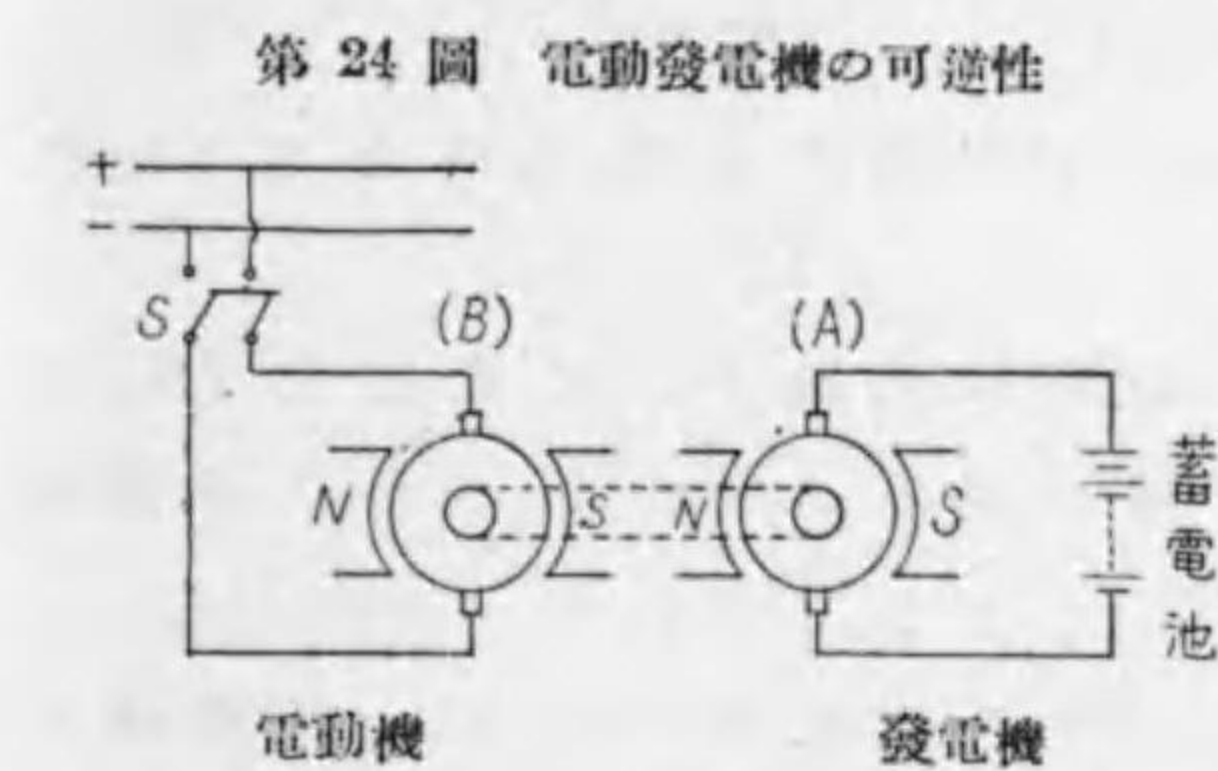
動機を加速せしめようとする。即ちこの機械は電動機となつて働き, 誘導起電力は蓄電池から電機子に流れ込む電流に逆ふ起電力となる。

かやうに電流の通じてゐる電機子が磁界内にあれば機械力を生じ, その機械力は, 電機子が發電子である間は, 原動機に反対する逆廻轉力となつて働き, 電動子となれば, 同方向となつて原動機の廻轉を助ける。

又誘導起電力は發電子である間は, 外部電路に電流を供給する原動力となり, 電動子となれば, 外部電流に逆ふ逆起電力となる。かくして發電機と電動機とは可逆的となるのである。

可逆作用の例を更に電動發電機について説明しよう。

第24圖に示す様に發電機 A の原動機に, 之と略々同容量の他の直流機 B を使用して運轉したとする。か



やうに2臺の電氣機械を以て一方を電動機とし, 他方を發電機として組合せたものを電動發電機 (Motor-generator) と云ふ。

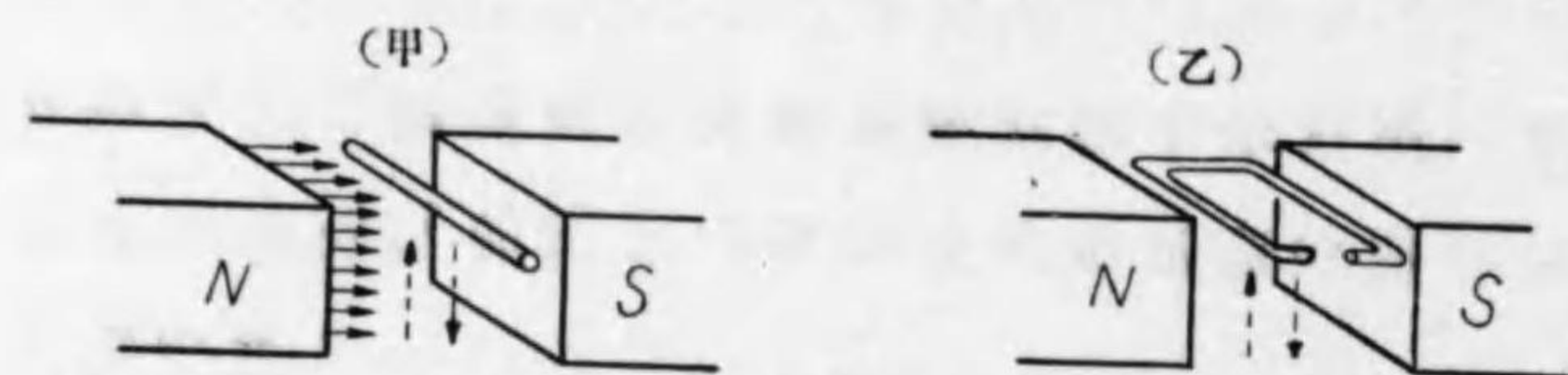
今 B を電動機, A を發電機として運轉し蓄電池を充

電してゐるとき、突然開閉器 S を開けば A 及 B の速度は減じ、従つて A 及 B の誘導起電力も減ずる。その結果蓄電池から A に電流が逆流して、今度は A が電動機となり、B を廻轉せしめる。A 及 B の極性をそのままとすれば、A 機は発電機の場合と同方向に廻轉し、従つて B 機にも前と同方向の起電力を誘導せしめて発電機とする。

【第一章問題】

[1] 圖の如き平等磁界中で 1 本の導体を、等速度で磁界に直角に往復運動せしめれば、その導体には如何なる起電力が発生するか。又導体を 2 本にして 1 個の線輪を形成して同じ運動をさせるとき、線輪に誘導する起電力は如何なる起電力か。

第 25 圖 問題附圖



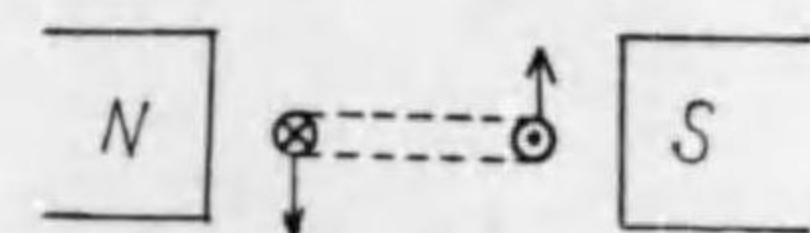
[2] 直流機を、電動機として運轉する場合、整流子は如何なる働きをするか。

[3] 2 極発電機に於て直列に接続される導体數 228、毎分廻轉數 1500 である。一極の磁束が 2×10^6 本るとき、誘導起電力は幾ヴォルトか。

[4] 極數 4、毎分廻轉數 1500 の直流機に於て、一極の磁束 2.5×10^6 本であるとき、125 ヴォルトの起電力を誘導せしめようとする。直列に接続すべき導体數を求む。

[5] 次圖に於て線輪邊に作用する力を求む。

第 26 圖 問題附圖



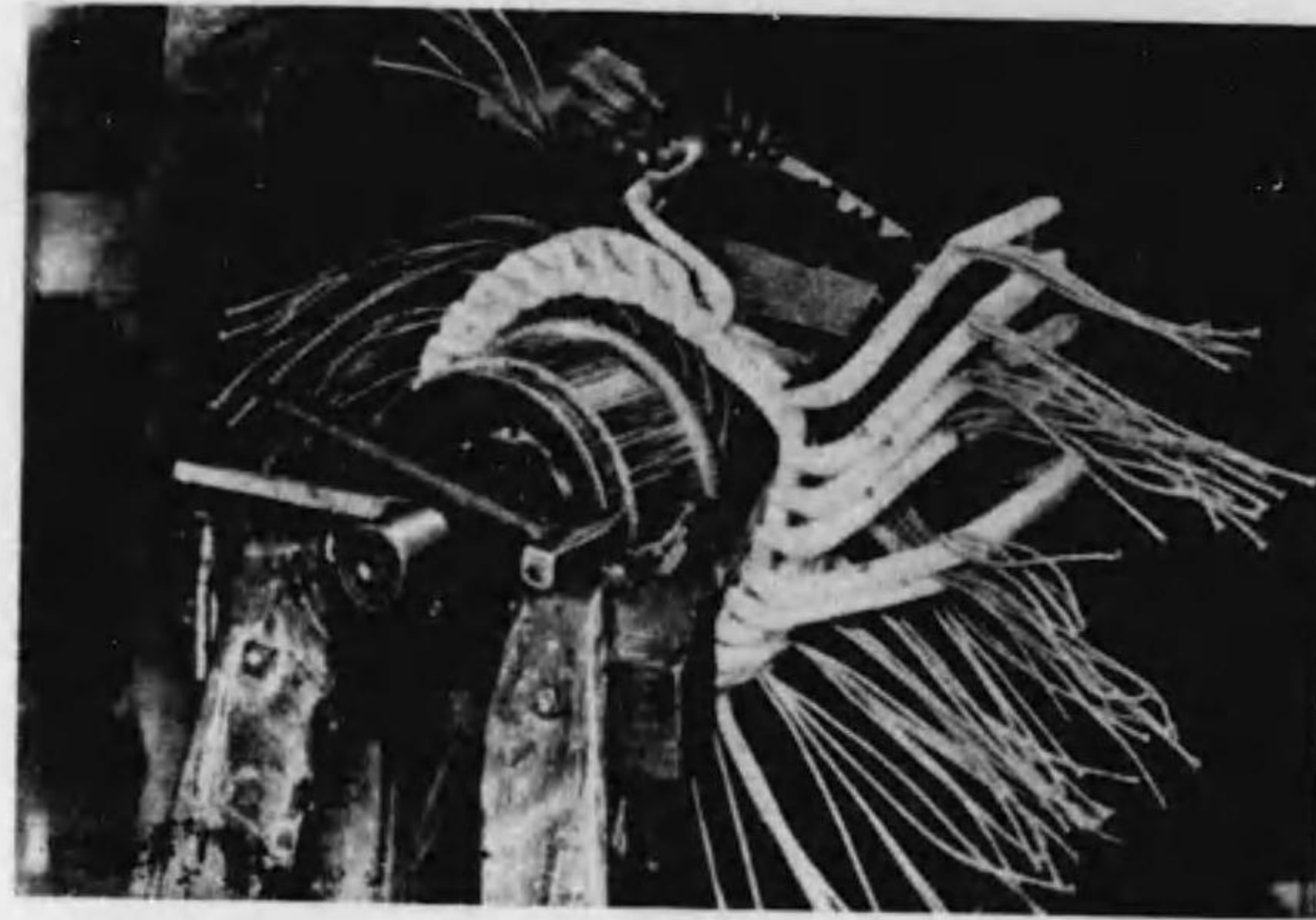
線輪の捲數 = 20
 磁束密度 = 3000 lines/cm²
 線輪の長さ = 20 cm
 電流 = 30 Amp.

第二章 電機子捲線法

(12) 捲線法

(6)及(8)から分かる様に、刷子間に脈動の少い、高い電圧を得るには、適當の數に捲かれた數個の線輪を鐵心

第27圖 (甲) 線輪嵌め込み

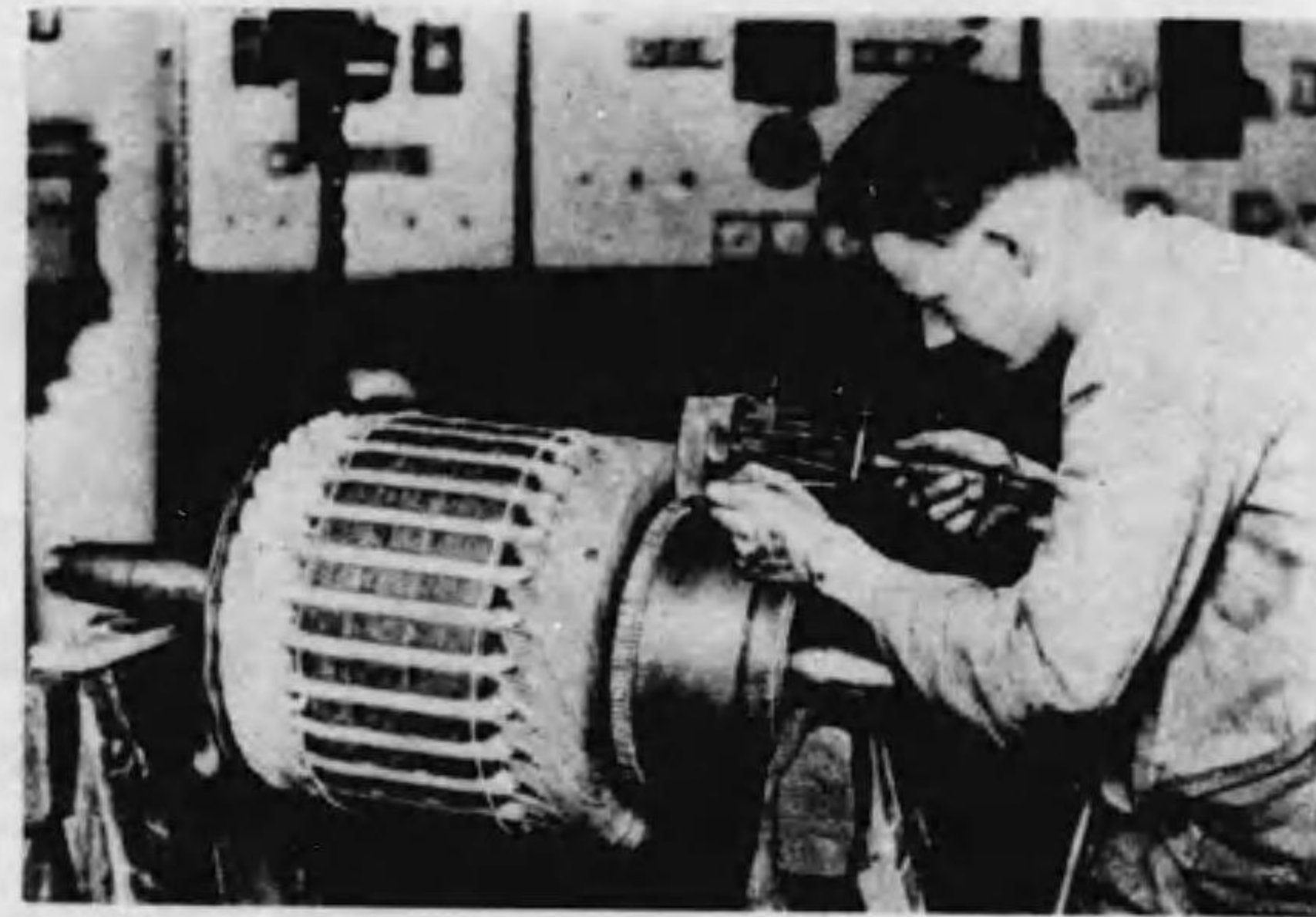


表面に配置し、それと同數の整流子片を用意して適當に接続しなければならない。これら個々の線輪を接続した全體を電機子捲線(Armature winding)と云ひ、其接続方法を捲線法(Winding)と稱する。

電機子に誘導した起電力は屢々述べた様に、發電子では外部電路に電流を供給する起電力であり、電動子では外部電流に逆ふ逆起電力であるが、個々の線輪に誘導した起電力を何れの瞬間に於ても、打ち消し合は

ない様に接続するのが捲線の根本の要訣で、しかもそ

第27圖 (乙) 線輪と整流子との接続



れらを規則正しく接続するには相當の工夫を要する。

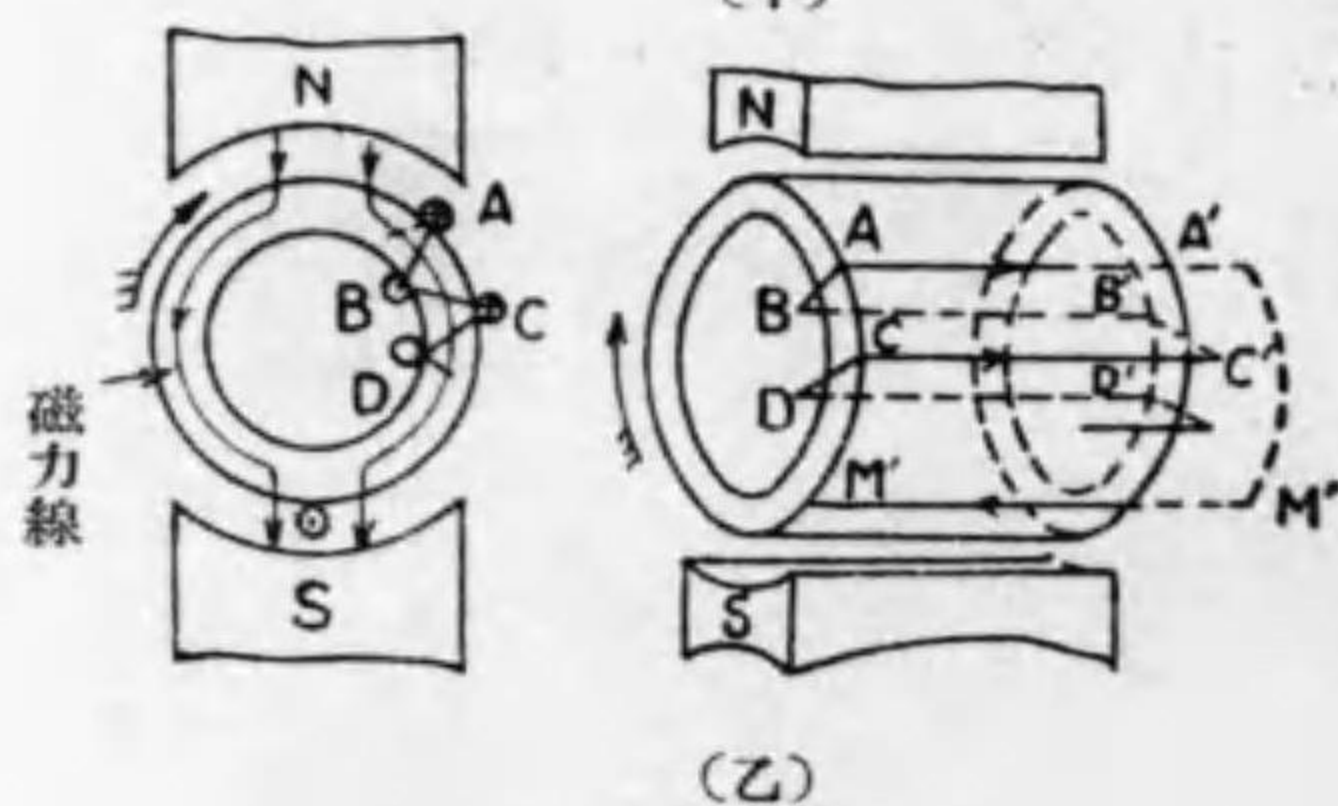
【註】電動機に於ける逆起電力は、外部電壓に逆ふものであるから、一見不必要に考へられるが、この逆起電力があるため後に述べる様に、運轉中の電機子に流れ込まうとする莫大の電流を阻止して機械の損傷を免がれしむることが出来るし、又入力の自己調節も行へるのである。

(13) 環状捲と鼓状捲

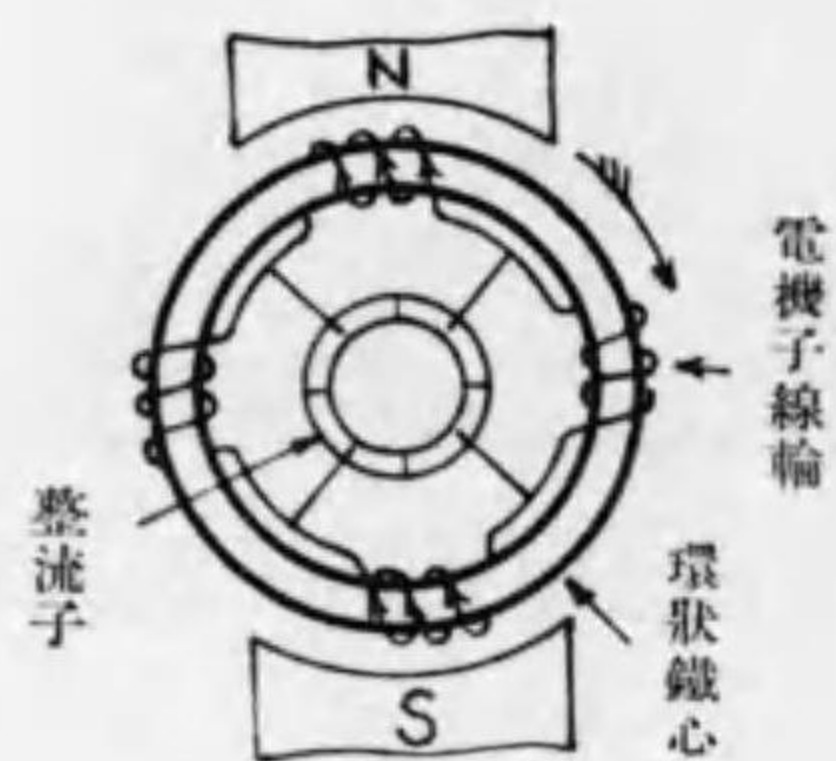
線輪が捲かれる鐵心の形狀によつて捲線法を大別すると環状捲(Ring winding)と鼓状捲(Drum winding)の二種に大別する事が出来る。

環状捲は第28圖に示す様に、線輪が環状鐵心に捲かれたもので原始時代の直流機には用ゐられたが、この捲線では線輪を手捲にして順次に接続して行かねば

第 28 圖 環状捲 (甲)



(乙)

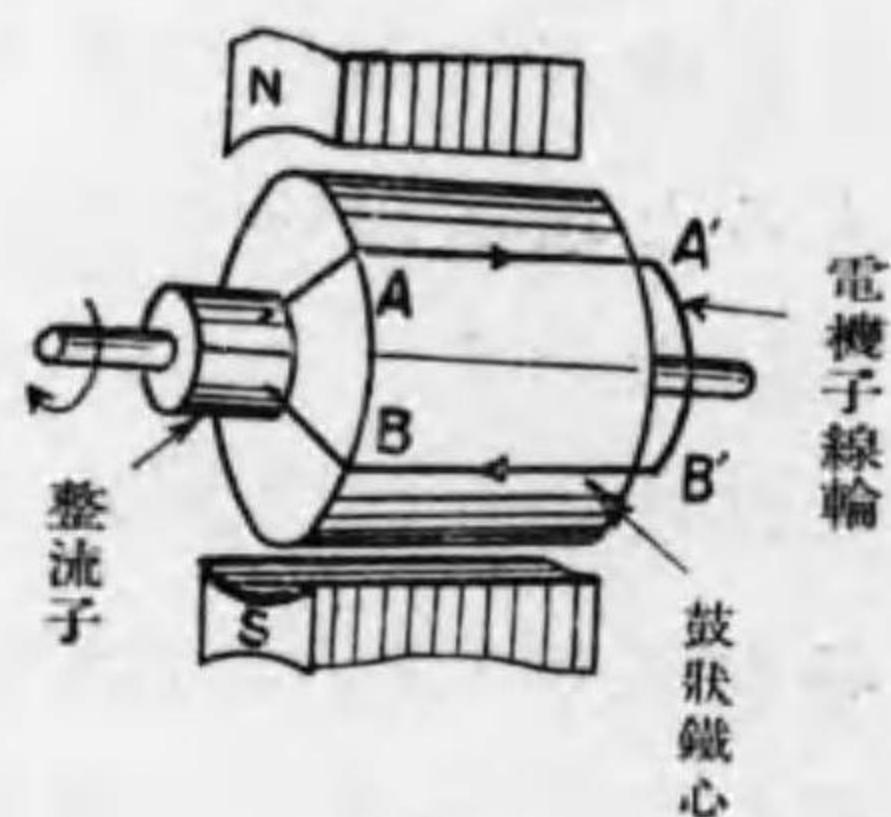


ならない不便と、且つ鐵心の内側の導體は磁束を切らないので起電力を発生せしめる役割に與かることなく、單に鐵心表面の導體に誘導した起電力を加へ合はすために必要なだけで、却つて電機子抵抗を増加する結果となる欠點がある。故

に現在では用ゐられなくなつた。唯回路の關係は次に述べる鼓狀捲と同じであるから説明圖として屢用ゐられる。

環状捲の内側の導體を省略して鐵心を鼓狀とし、其代りに第29圖に示すやうに、反對磁極の下にある導體を接続して線輪を作れば、起電力を打ち消し合はせることな

第 29 圖 鼓狀捲



く、線輪は鐵心表面にのみ配置せられて自由に取り外しが出来るから、型捲線輪として鐵心の溝にはめ込み適當につなげばよいことになる。

この様にして現在では専ら鼓狀捲のみが用ひられる様になつた。故に以下鼓狀捲のみに就いて説明する。

(14) 重捲と波捲

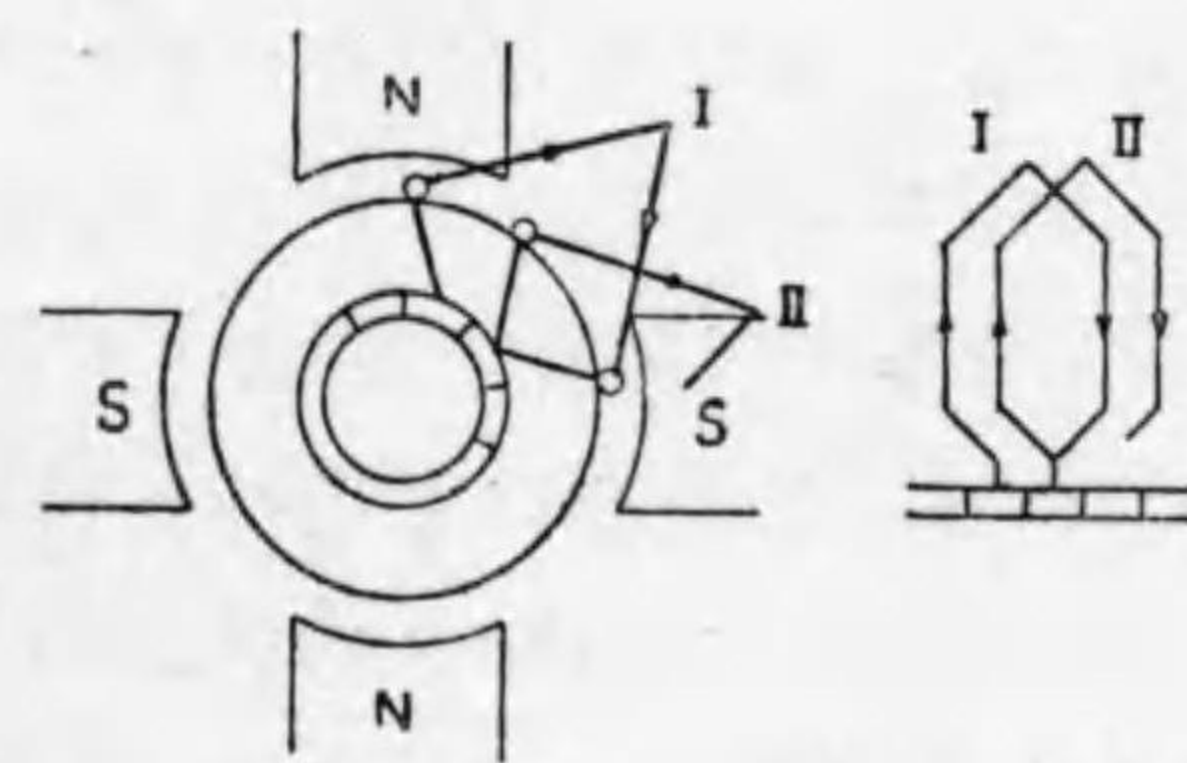
同じ鼓狀捲でも個々の線輪に誘導した起電力を加へ合せて行く方法に二種類ある。

一つは第30圖甲の如くⅠの線輪からⅡの線輪に移る時、一旦後戻りして出發點の隣の整流子片に寄道し

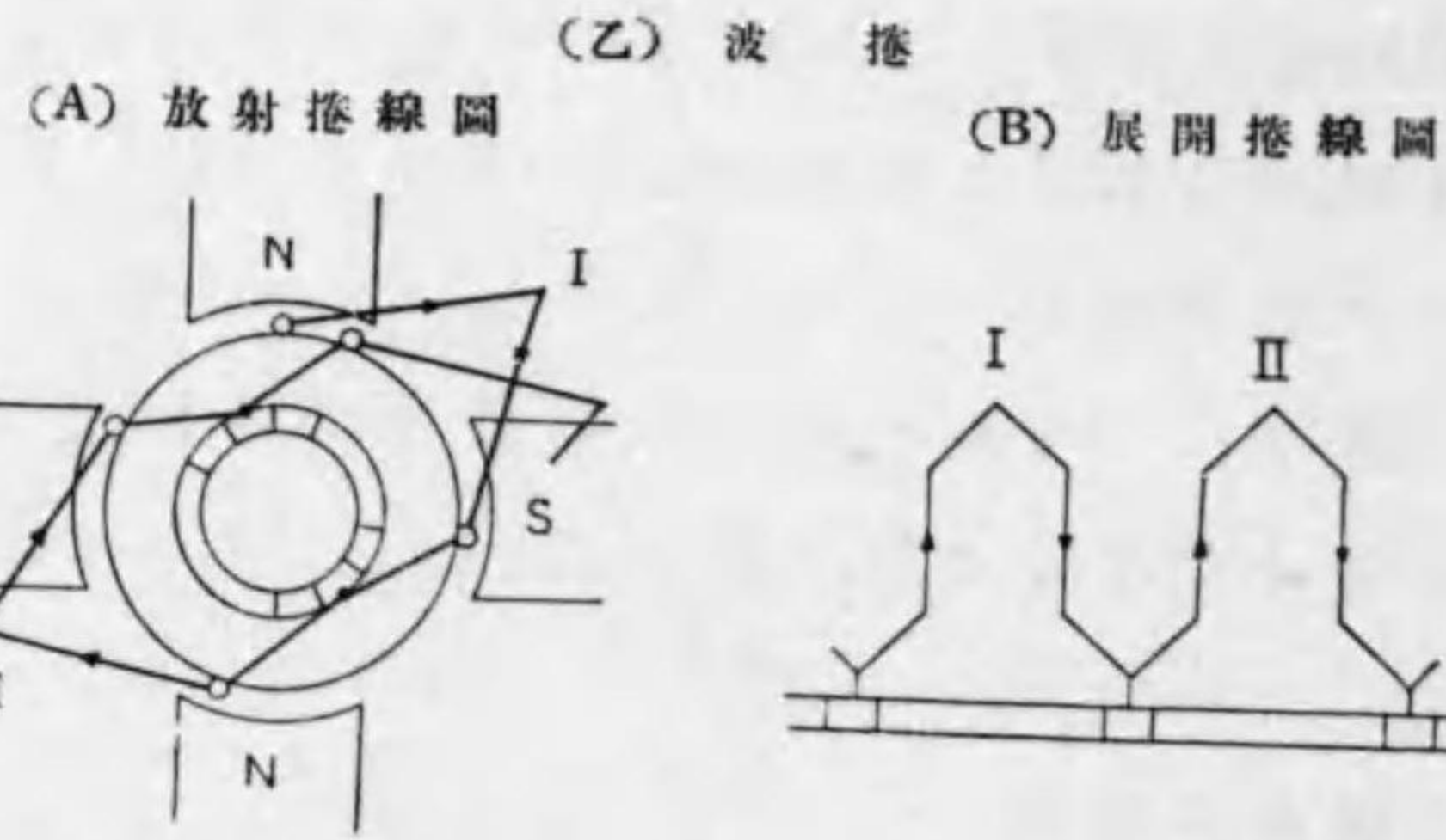
第 30 圖

(甲) 重捲

(A) 放射捲線圖 (B) 展開捲線圖



て進むもので、他は同圖乙の如くⅠの線輪からⅡの線輪に移るに後戻りをしないで、出發點から遠くはなれ



た整流子片に寄道してどんどん進んで行くものである。

展開圖を見れば分かる様に、前者は捲線が折り重なって行く様に進み、後者は波状を畫いて進んで行くから、前者を重捲 (Lap winding), 後者を波捲 (Wave winding) と云ふ。

第18圖 (脈流を平流に直す圖) は4個の線輪と4個の整流子片を以て捲いた簡単な重捲の例である。その際直流機では閉電路捲が用ひられると言つたが、重捲でも波捲でも完成したものでは、捲線の一點から捲線をたどつて行けば、全部の導體を通つて後、その出發點に戻る様になつて何れも閉電路捲となつて居る。

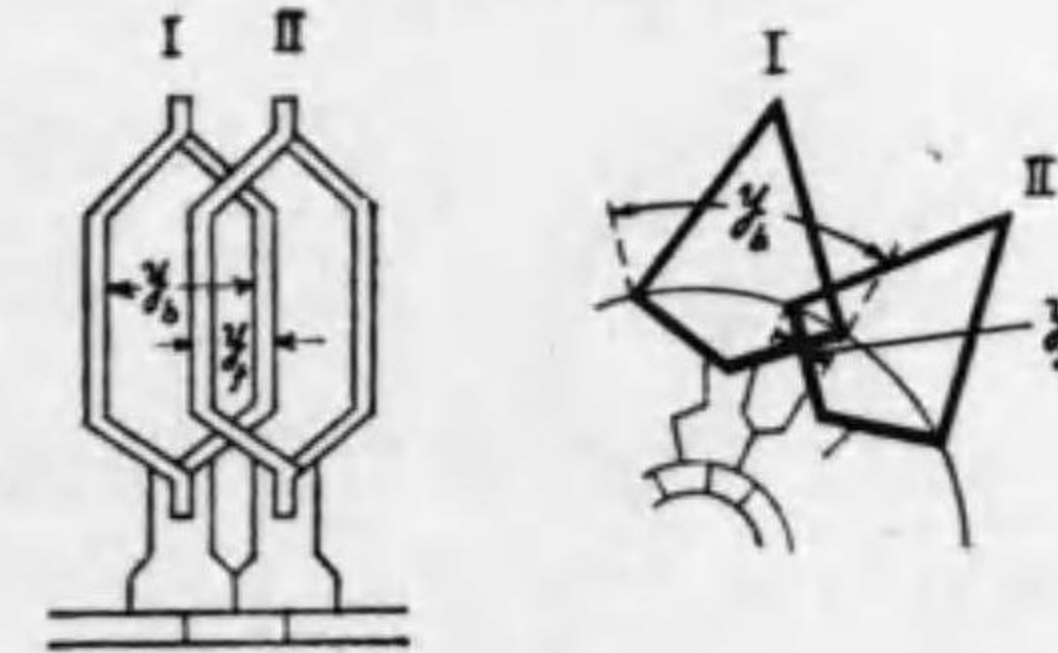
(15) 捲節 (Winding pitch)

重捲にしても、波捲にしても、個々の線輪の幅は皆相等しく、且つ一つの線輪から次ぎの線輪に移る幅も一

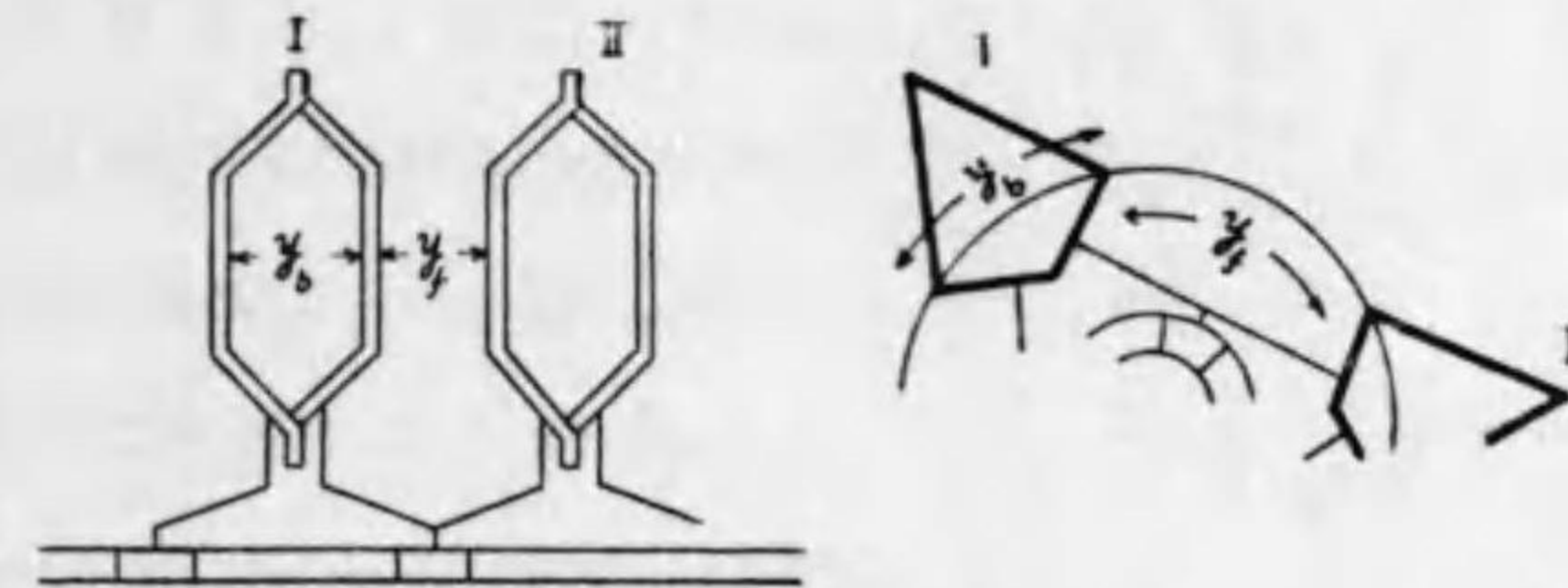
定で規則正しく捲かれて行くのである。

第31圖 (甲) 重捲

捲線の根本原理は前に述べた様に、個々の線輪に誘導した起電力を打ち消し合はない様に線輪を接



(乙) 波捲

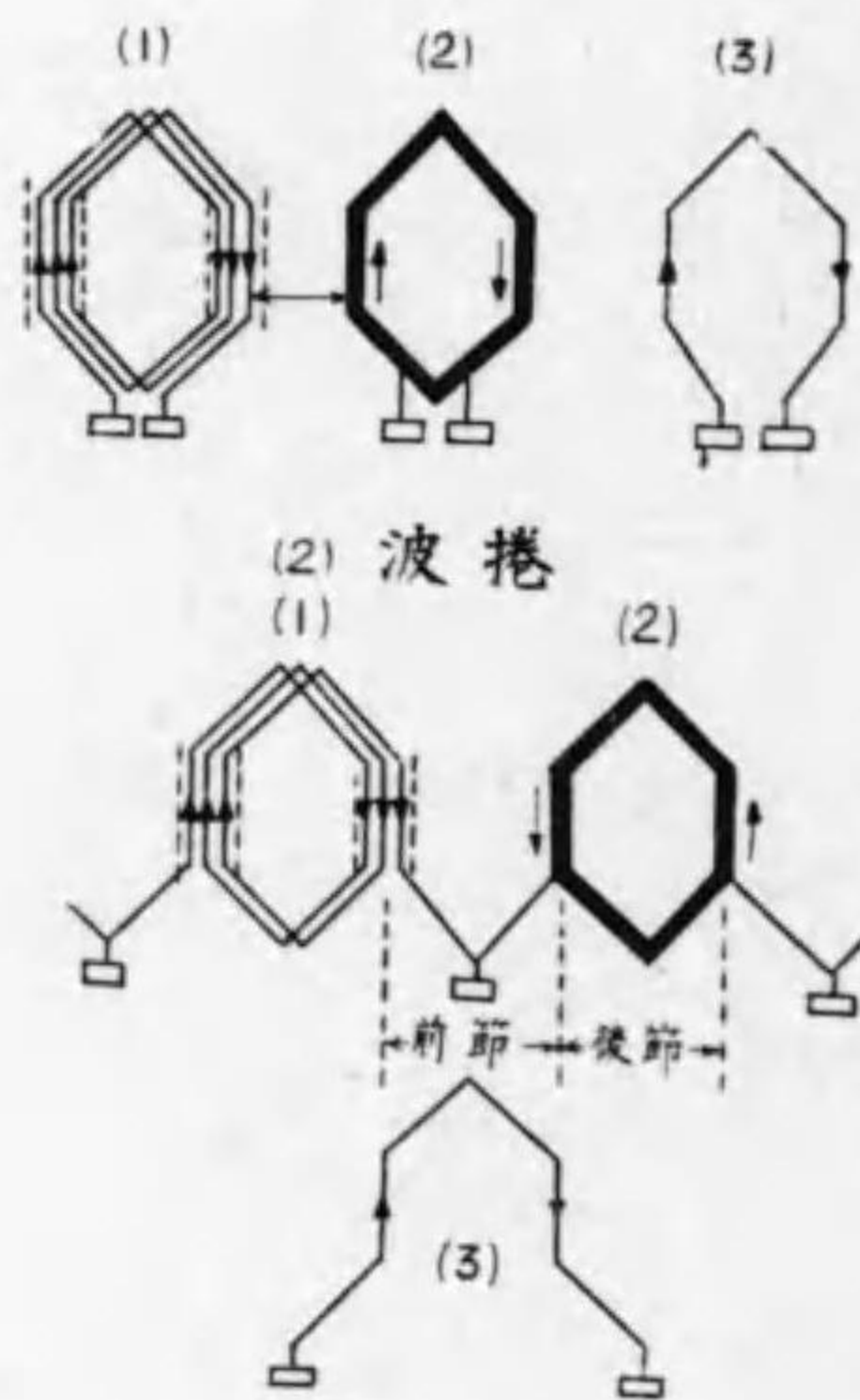


續して行くのであるから、線輪を接ぐ上からは線輪内に誘導された起電力の方向だけを知れば十分で、線輪は2捲でも3捲でもすべて1捲と見なして差支へない。

唯2捲の場合は、1捲の場合に比して2倍の起電力を生ずるだけである。第32圖は3捲のものを1捲に還元する順序を示したもので、線輪を形成する片側を捲線では線輪邊 (Coil side) 又は線輪素子 (Coil element) と云ふ。即ち捲線を考へる時は線輪邊は唯1本の導體からなるものと約束する。

第 32 圖

(甲) 重捲

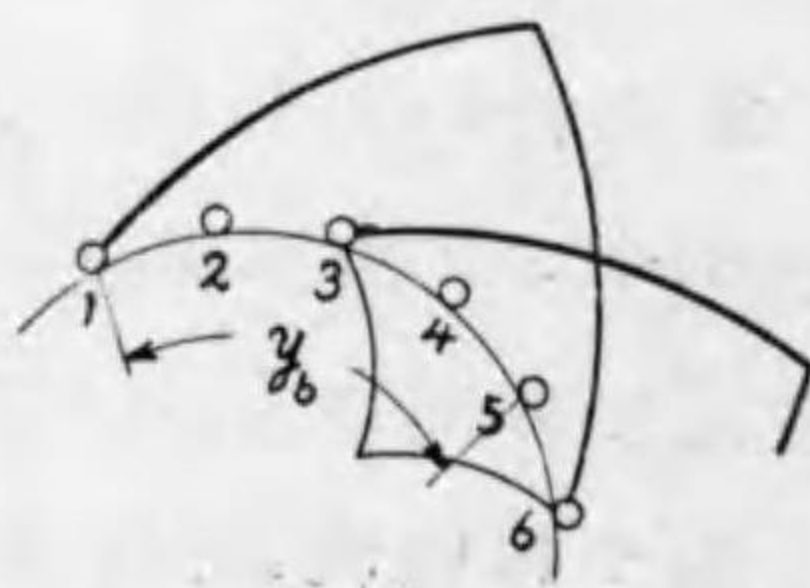


さて放射捲線圖では(8)に於て述べた様に、整流子の前面に立つて線輪をめぐり起して接続を示すのであるから、線輪は常に導體の後端で接続して作られ、線輪と線輪の接続は整流子片を通じて前端で接続される事となるので、普通線輪幅を後節(Back pitch)と稱して y_b の符號で表はし、線輪と線輪の隣接幅を前節(Front pitch)と稱して y_f の符號で表はす。此の兩節

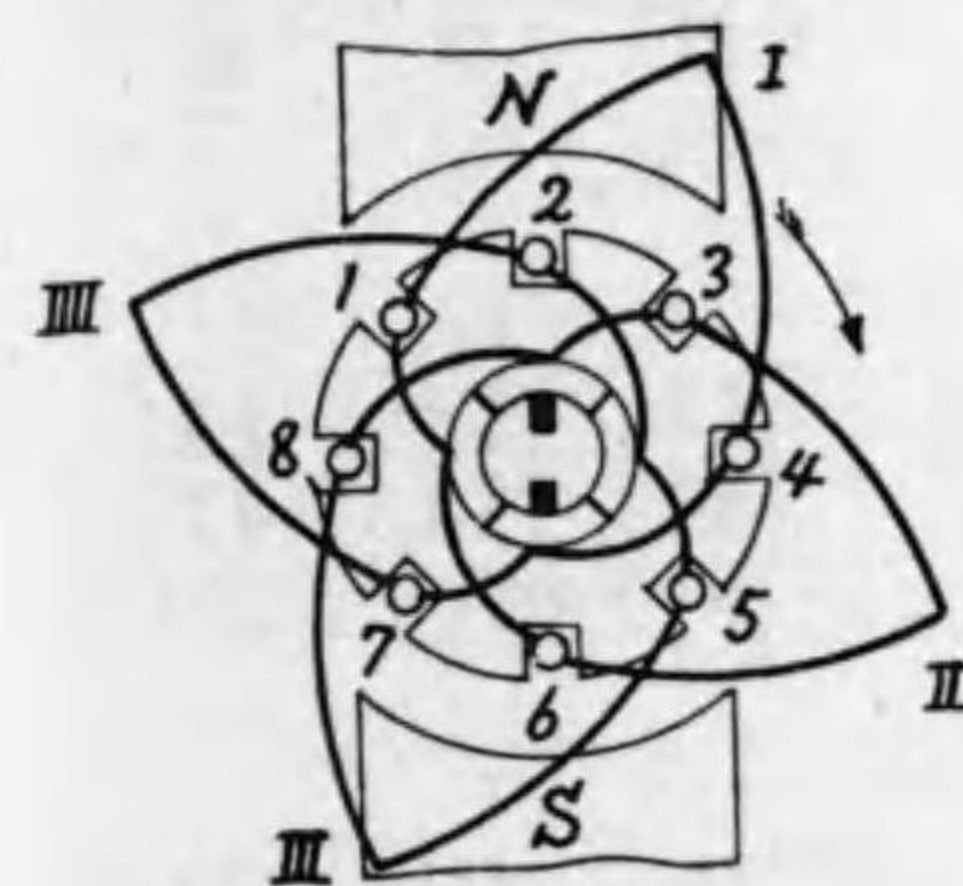
を併せて捲節(Winding pitch)と云ひ、これを適當に定めて捲線を行ふ。

捲節は原則として電機子鐵心の表面に沿うての長さで表はすべきであるが、實際の電機子では鐵心表面に等距離に導體、即ち線輪邊が配置せられるから、捲節はすべて導體數を以て表はされる。例へば第33圖に於て後節は5で前節は3である。

第 33 圖



第 34 圖
單層捲



電機子鐵心の表面の溝に入れる線輪邊の數は第34圖の如く1個の場合と、第35圖の場合の如く2段に2個以上入れる場合とある。第34圖の如く1個入れたのを單層捲(Single layer winding)と云ひ、第35圖の如く2段に入れる

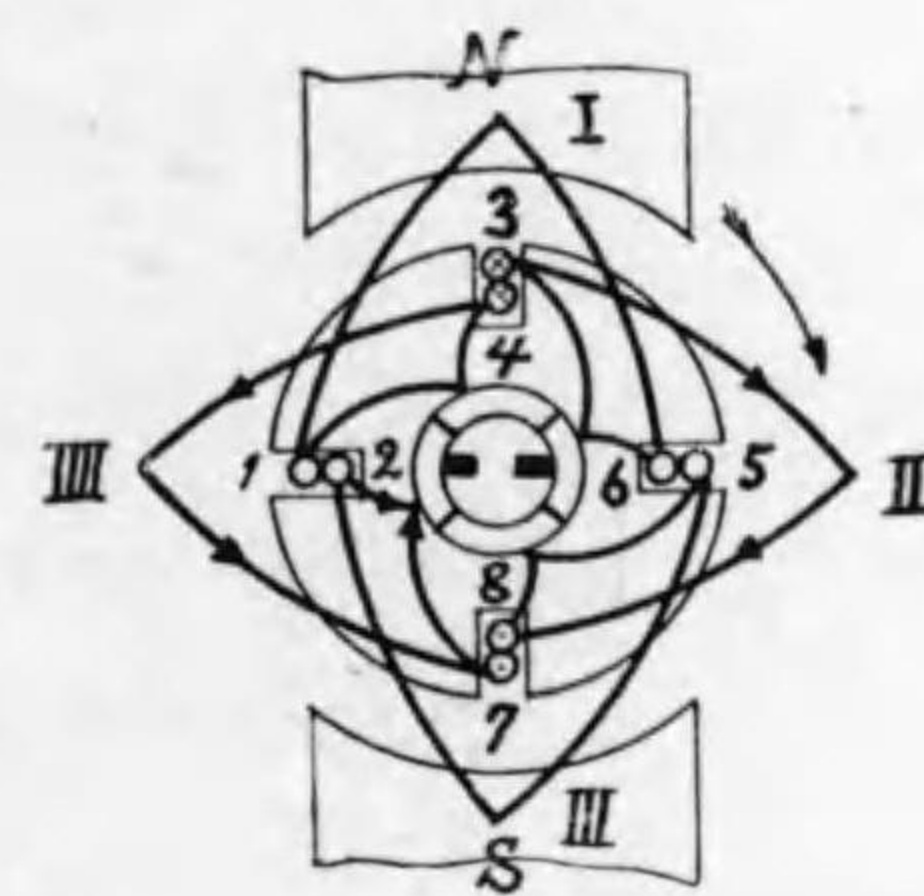
場合を二層捲(Double layer winding)と云ふ。直流機では殆んど二層捲のみが用ひられてゐる。

二層捲では

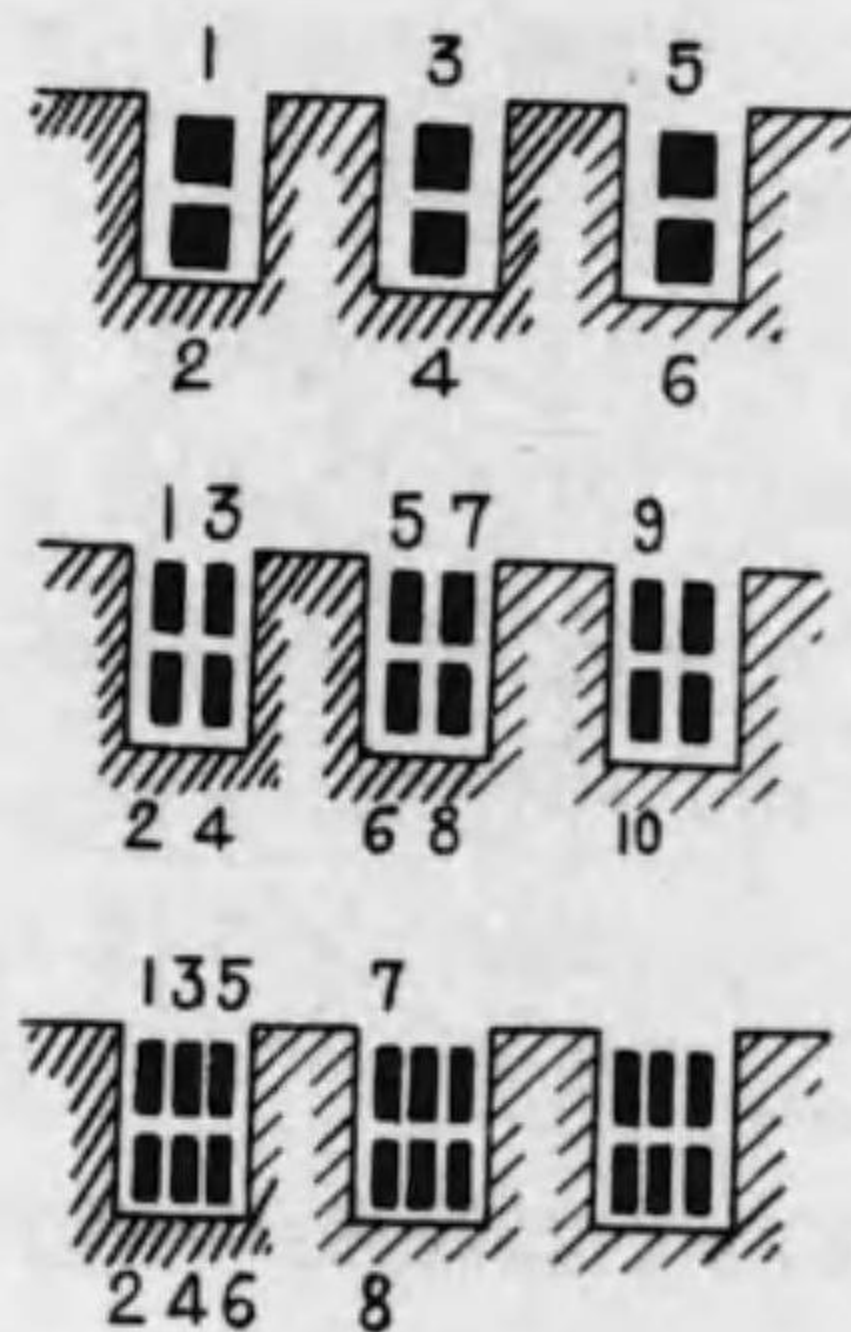
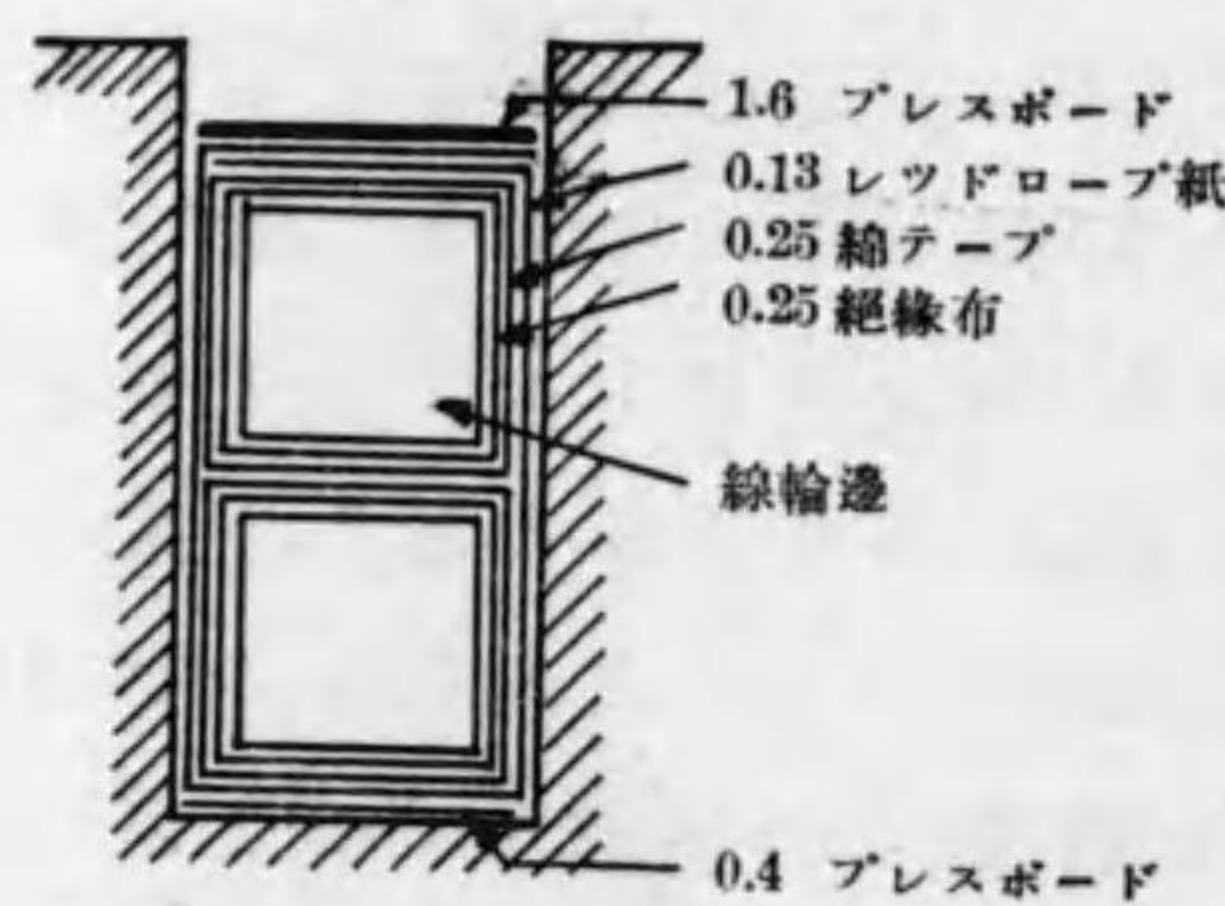
$$\text{溝數} = \text{線輪數} = \text{整流子片數}$$

なる關係がある。そして上段(溝の出口の方)にある線輪邊即ち導體を上口導體(Up-conductor)下段(溝の底)にある導體を下口導體(Down conductor)と云ひ、1個の線輪は必ず一方の邊が上口で、他の邊が下口になるやうに溝にはめられる。そして普通第35圖に示す様に上口導體に奇數、下口導體に偶數の番號を附して前節及び

第 35 圖
二層捲



第 36 圖 溝絶縁



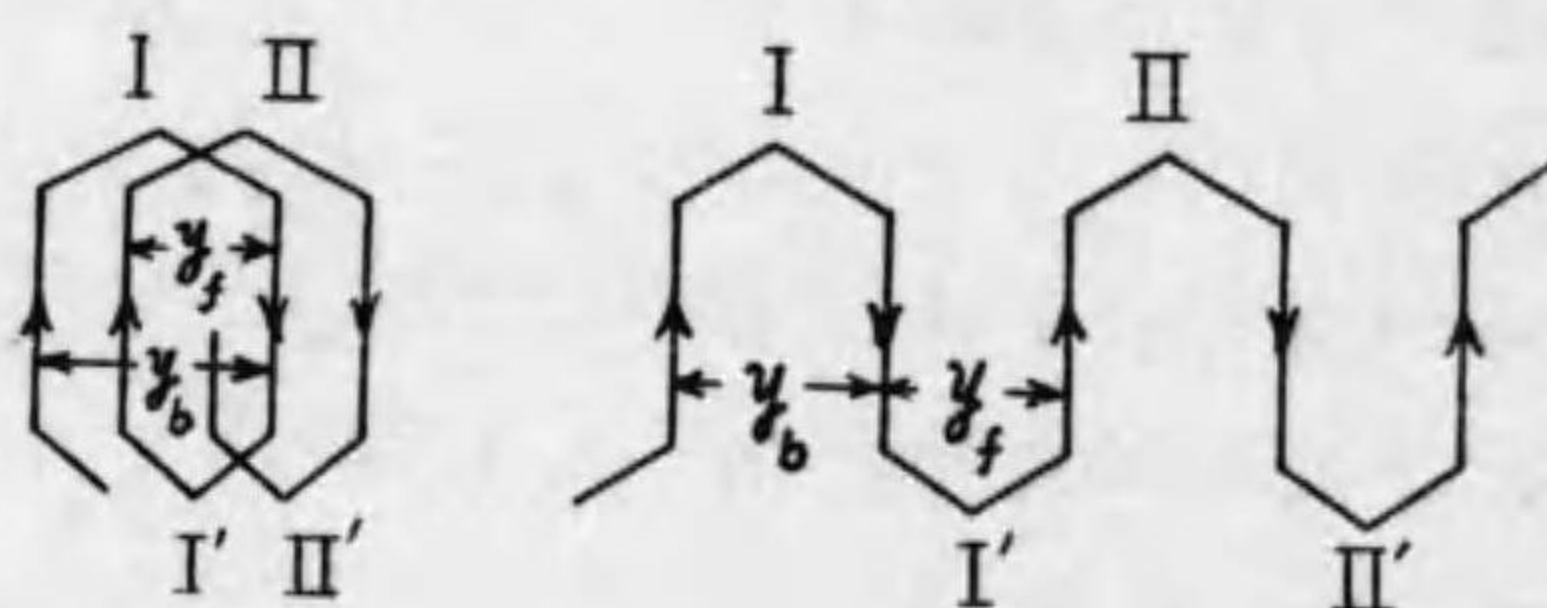
第 37 圖
一溝に數個の綸輪邊を納める場合

後節を勘定する。第35圖は後節が5で前節が3である。

時とすると第37圖の如く2段に4個,6個と云ふやうに入る場合もある。其のときの番號の付け方も矢張り上口を奇數下口を偶數とするが,溝數と綸輪數とはもはや等しくない。

(16) 捲節の定め方

第 38 圖
重捲 波捲



重ね捲にしても波捲にしても,1捲の綸輪に就いて整流子を取り去つて考へれば,第38圖に示す様に2種の異つた幅(波捲では同じ幅となることもある)を有する2組の綸輪,即ちI, II, ……とI', II', ……の群が交互に直列に結ばれて居ると考へることが出来る。従つてこれらの導體に誘導した起電力を打ち消し合はないやうに接いで行くには,其の幅は何れも極間隔(Pole pitch)に等しいことが望ましい。何となれば極間隔に等しい位置にある導體は,同時刻に同量の反對向きの起電力を誘導して居るから,これら2本を取つて綸輪を作れば,何れの瞬間に於ても互に起電力を打ち消し合ふやうなことはない。故に N_c を鐵心表面にある綸輪邊,即ち導體の總數とすれば,極間隔は $\frac{N_c}{p}$ となるから,綸輪の理想幅として

$$y = \frac{N_c}{p} \dots\dots\dots(14)$$

と置く。この y を平均捲節(Mean pitch)と云ふ。前節,後節は何れもこの平均捲節 y 即ち極間隔に等しいことが望ましいのであるが

$$y_b = y_f = y$$

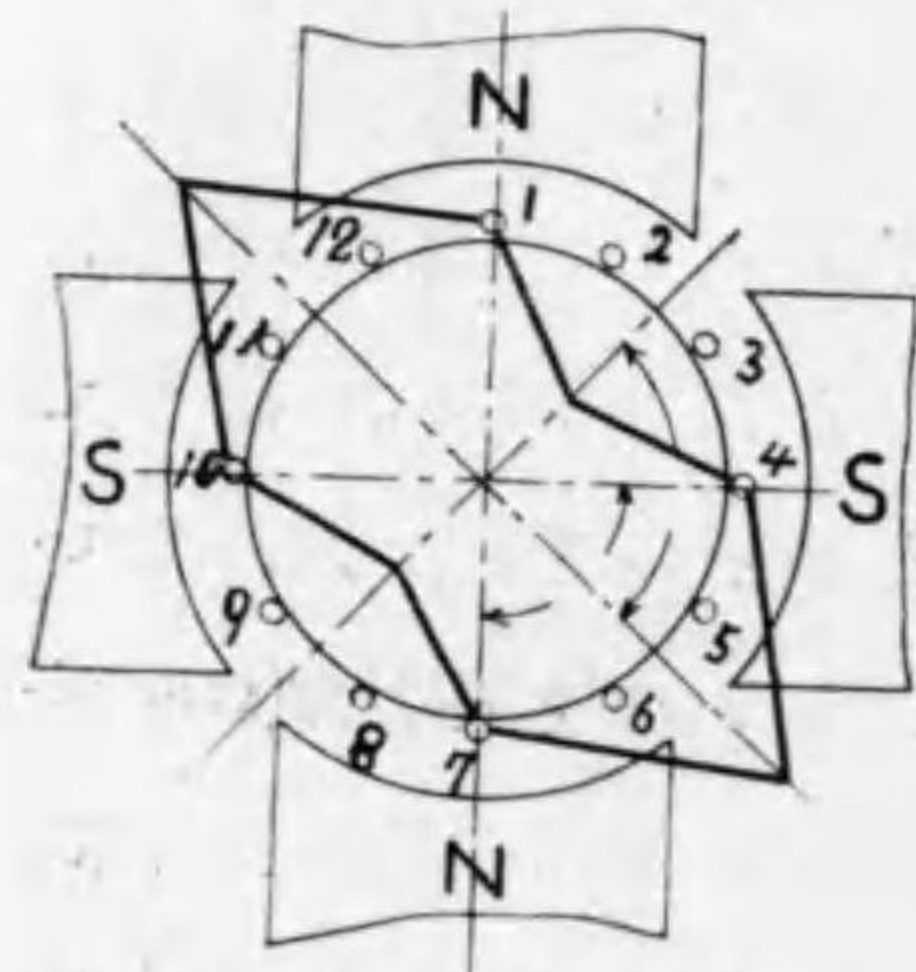
となると捲線は不能になる。

例へば, $N_c = 16, p = 4$ とすれば

$$y = \frac{N_c}{p} = \frac{16}{4} = 4$$

y_b, y_f を何れも 4 として捲線を進めれば、重捲では 4

第 39 圖



進めて 4 戻すから、1 の導體に戻つて捲線は一步も進まないし、波捲であれば第 39 圖に示すやうに磁極の下を一周して出發點 1 に戻り、其の後は同じ導體をたどることとなつて、やはりそれ以上捲線は進まない。

故に一方の捲節、例へば y_b を極間隔に等しい數に取れば、他の捲節 y_f は其れに近い數を取らせるやうにする。然るにこゝに一つの條件がある。

前に述べたやうに直流機では捲線自身で一つの閉電路を形成して居るのであるから、換言すれば最初或る 1 本の導體から出發すれば、全部の導體を拾ひつくして元の出發點の導體に戻ることを要求されて居るので、この條件を満足せしめる爲めには y_b も y_f も、即ち後節も前節も共に奇數たることを必要とする。

故に捲節を定める根本の規則は、前節も後節も共に極間隔に近い 2 組の奇數を撰定することにある。

(17) 重捲の捲節の定め方

前項に於て述べたやうに、捲線の根本規則は $\frac{N_c}{p}$ に

近い 2 組の奇數を撰ぶことであるから先づ

$$y = \frac{N_c}{p} \dots\dots\dots(15)$$

と置く。若し

i $y =$ 偶數であれば

$$\left. \begin{aligned} y_b &= y \pm 1 \\ y_f &= y \mp 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15a)$$

ii $y =$ 奇數であれば

$$\left. \begin{aligned} y_b &= y \\ y_f &= y \pm 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15b)$$

若し y が整數として得られないときは、それに近い 2 組の奇數を撰べばよい。

例へば $y = 4.5$ といふやうな値になる場合には

$$\left. \begin{aligned} y_b &= \boxed{5} \quad \text{or} \quad \boxed{3} \\ y_f &= \boxed{3} \quad \text{or} \quad \boxed{5} \end{aligned} \right\}$$

(18) 前進捲と後退捲

4 極の直流機に於て導體數を 16 本、18 本、20 本としたときの重捲の捲節を次に求めてみよう。

i 16 本の時

$$y = \frac{16}{4} = 4$$

	(甲)	(乙)
$y_b = 4 \pm 1 =$	5	or 3
$y_f = 4 \mp 1 =$	3	or 5

ii 18本の時

$$y = \frac{18}{4} = 4.5$$

$$y_b = 5 \text{ or } 3$$

$$y_f = 3 \text{ or } 5$$

iii 20本の時

$$y = \frac{20}{4} = 5$$

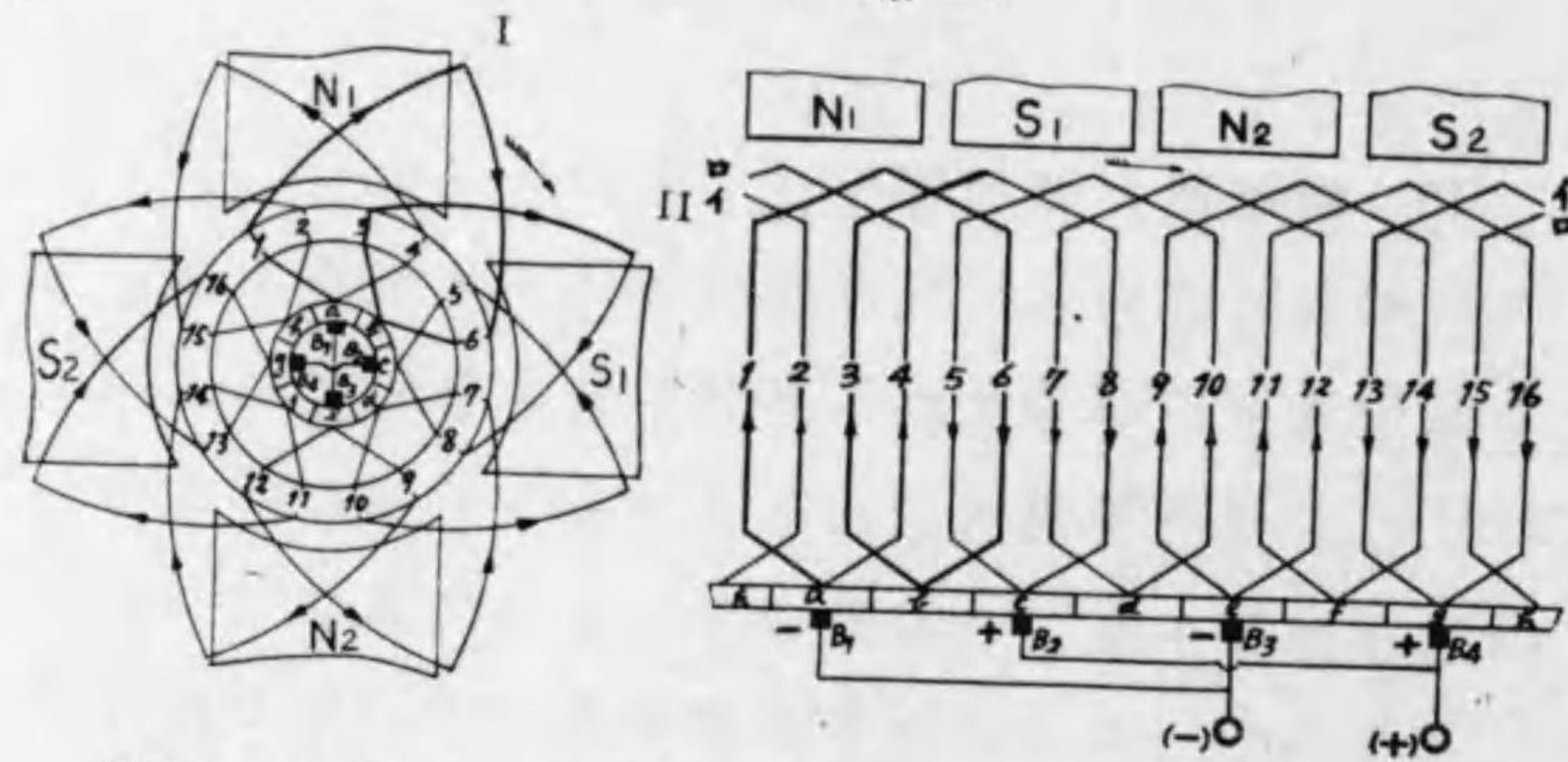
$$y_b = 5 \quad \begin{matrix} 5 & 5 \\ 7 & 3 \end{matrix}$$

$$y_f = 5 \pm 2 = 7 \text{ or } 3$$

今 i の場合,即ち導体16本の場合に就て捲線を作れば,第40圖の甲及乙に示すやうになる。

第 40 圖 (甲)

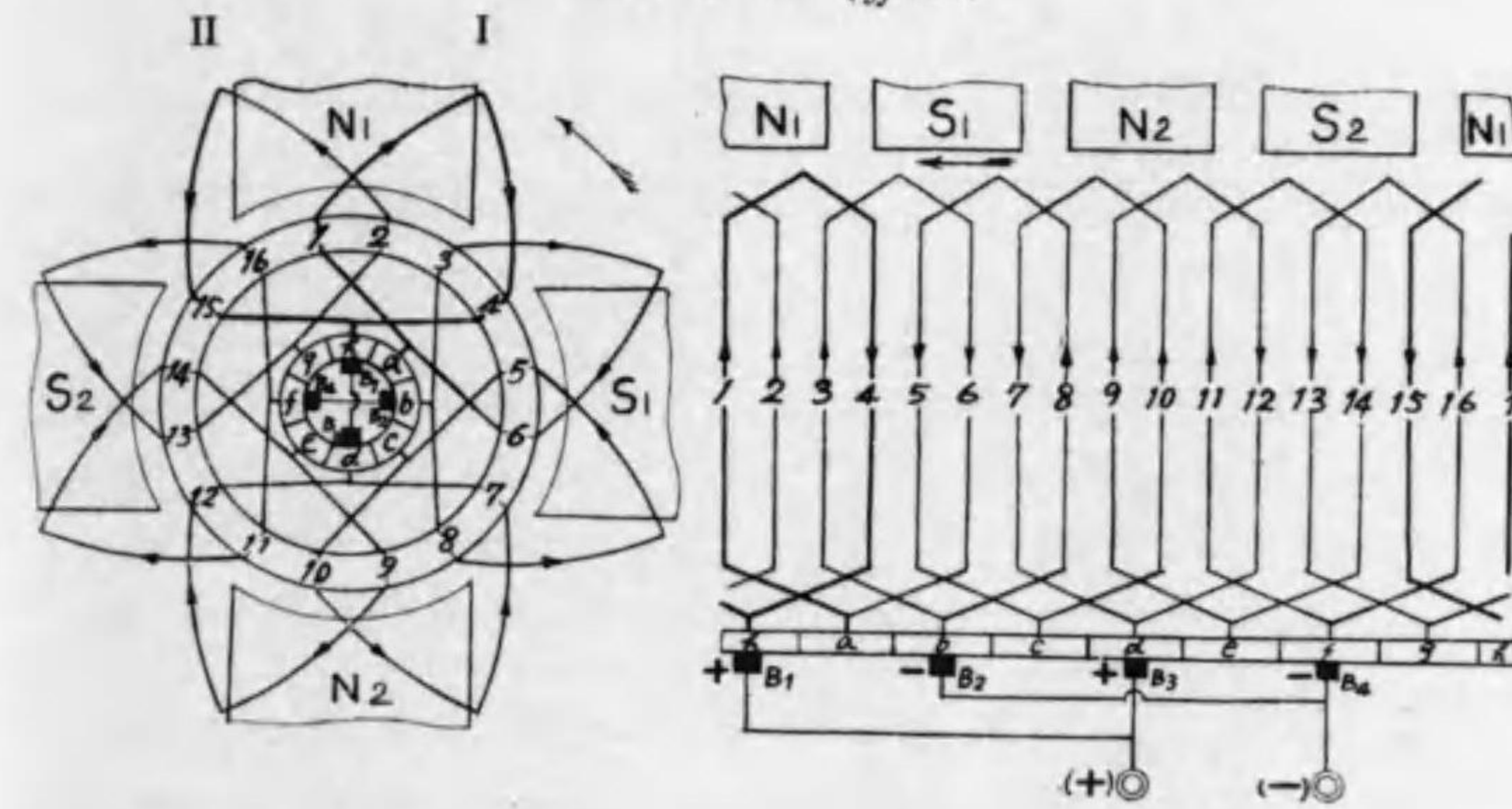
前進重捲 $\begin{matrix} y_b = 5 \\ y_f = 3 \end{matrix}$



甲は $y_b = 5, y_f = 3$, 乙は $y_b = 3, y_f = 5$, を採用した場合で,圖を見れば解るやうに甲では I の線輪から II II

第 40 圖 (乙)

後退重捲 $\begin{matrix} y_b = 3 \\ y_f = 5 \end{matrix}$



と進むに従ひ捲線は右廻りに進んで行くが,乙では I から II …… に進むに従ひ,捲線は逆に左廻りとなる。

結果に於ては兩方とも變りがないが,兩者を區別する爲めに甲を右手捲(Right hand winding)或は前進捲(Progressive winding)と云ひ,乙を左手捲(Left hand winding)或は後退捲(Retrogressive winding)と云ふ。

一般に重捲では $y_b > y_f$ の時前進捲となり, $y_b < y_f$ のとき後退捲となる。

【註】捲線圖を畫く場合には,二層捲でも普通甲又は乙に示す様に下口導体即ち偶數番號の導体を右にずらせて單層捲のやうに畫く。

さて甲及乙の捲線に於て,圖の如く整流子片及導体に番號を附して,捲線の進む順序を表で示せば,次の表

に示すやうになる。

第一表

(甲) 捲線表 $\begin{cases} y_b = 5 \\ y_f = 3 \end{cases}$

整流子片	上口	下口	导体
a ⁻	1	6	
b	3	8	
c ⁺	5	10	
d	7	12	
e ⁻	9	14	
f	11	16	
g ⁺	13	2	
h	15	4	
			1進む 2進む 2進む

(乙) 捲線表 $\begin{cases} y_b = 3 \\ y_f = 5 \end{cases}$

片	上口	下口
a	1	4
h ⁺	15	2
g	13	16
f ⁻	11	14
e	9	12
d ⁺	7	10
c	5	8
b ⁻	3	6
1退く 2退く 2退く		

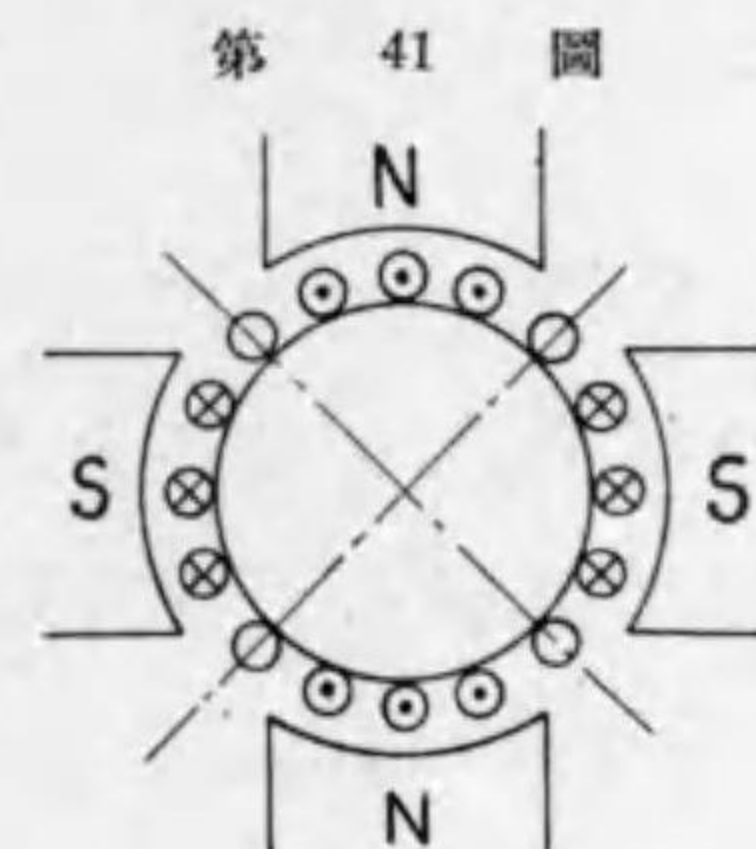
上表を見ればわかるやうに、1線輪進む毎に整流子片では1だけ進むか又は退き、導體では2だけ進退することを知る。

この表を捲線表(Winding table)と稱し、捲線圖を書くに先だつて、捲線表を作つておけば、捲線圖を書くにも樂で間違ひも少い。

又實際に捲線圖が無くとも捲線表があれば工作は出来る。

(19)重捲の刷子の組數と電路數

第40圖に於て、各導體の起電力の方向を定めるには右手三指の規則によるのであるが、實際捲線圖では第41圖の如く磁極の中間線を書き、N極に屬するものは紙面に向ふ起電力を誘導すると假定せば、S極に屬するものは其の反對向と定め、中間線上の導體は零電壓とすればよい。かくして矢印の集まる點の整流子を起電力の出口として+刷子、矢印が分かれる點の整流子を-刷子と定めて刷子を置くべき位置を求めると4個出来る。



即ち甲圖に就て言へば a と c の整流子片に-刷子 B₁, B₃, e と g とに+刷子 B₂, B₄ が置かれることになる。

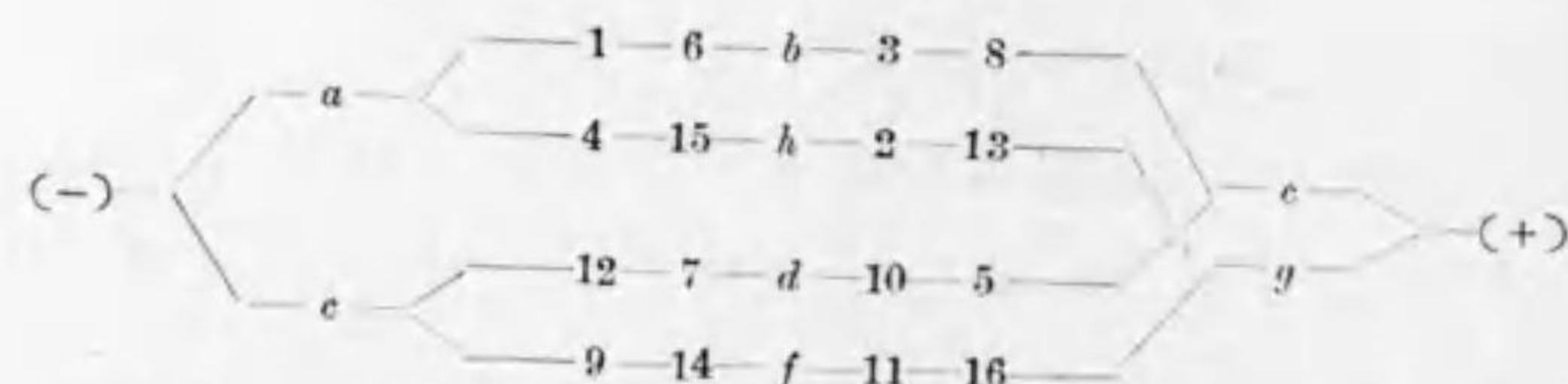
故に+の刷子は+同志、-の刷子は-同志で接いで兩端子とする。

今甲に就て一端子から+端子に至る電機子内の電路を調べると次表に示すやうな接續状態となつて結局4個の並列電路が出来る。

この並列電路の數と極數とを比較すると何れも同數の4となる。今は4極の場合に就いて考へたものであるが、重捲では一般に電機子内の電路數は極數と

同数だけ出来て、それらの回路は結局すべて兩端子間に並列に接続されることになる。故に重巻を一名**多回路巻 (Multiple circuit winding)**と云ふ。

- 端子から + 端子に行く電路



2 極の重巻では並列電路数は 2 個であるから、4 極の場合は 2 極機を 2 個並列に、 p 極機では $\frac{p}{2}$ 個だけ並列に接続したとも考へられるから、重巻を又**並列巻 (Parallel winding)**とも云ふ。

かやうに重巻では常に磁極数と同数だけの電路が出来から、刷子も必ず電路の数と同数だけ必要である。

(20) 波巻の巻節の定め方

波巻に於ても兩節は極間隔 $\frac{N_c}{p}$ に近い奇数である必要があるが、兩節の和が極間隔の 2 倍に等しくなると

$$\text{即ち } y_b + y_f = 2 \times \frac{N_c}{p}$$

$$\text{or } \frac{p}{2} (y_b + y_f) = N_c$$

なる関係になると巻線は磁極の下を一周すれば元の

出發點の導体に戻つてそれ以上一步も進まない。故に磁極の下を一周して、元の出發點に戻る事なく、更に巻線を進めるには一周して後、元の出發點の導体から 2 本先方か、手前の導体に落ちつかせる必要がある。

従つて

$$\frac{p}{2} (y_b + y_f) = N_c \pm 2$$

$$\text{or } \frac{y_b + y_f}{2} = \frac{N_c \pm 2}{p}$$

即ち平均巻節 $y = \frac{y_b + y_f}{2}$ は

$$y = \frac{N_c \pm 2}{p} \dots\dots\dots(18)$$

となる。そうして

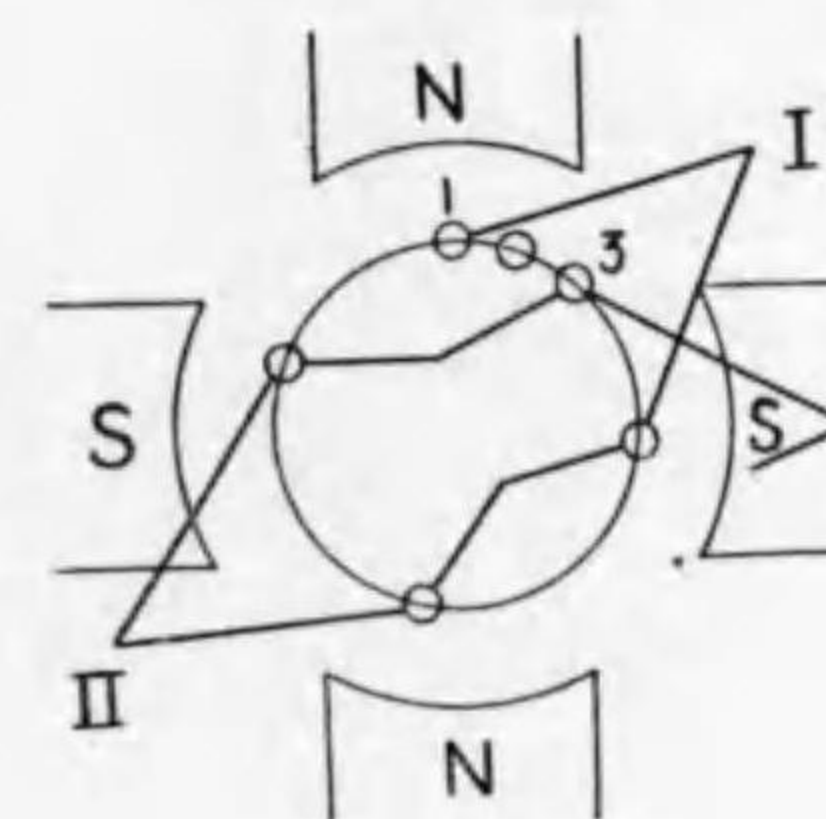
i $y =$ 偶數であれば

$$\left. \begin{aligned} y_b &= y \pm 1 \\ y_f &= y \mp 1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(18a)$$

ii $y =$ 奇數であれば

$$y_b = y_f = y \dots\dots\dots(18b)$$

第 42 圖

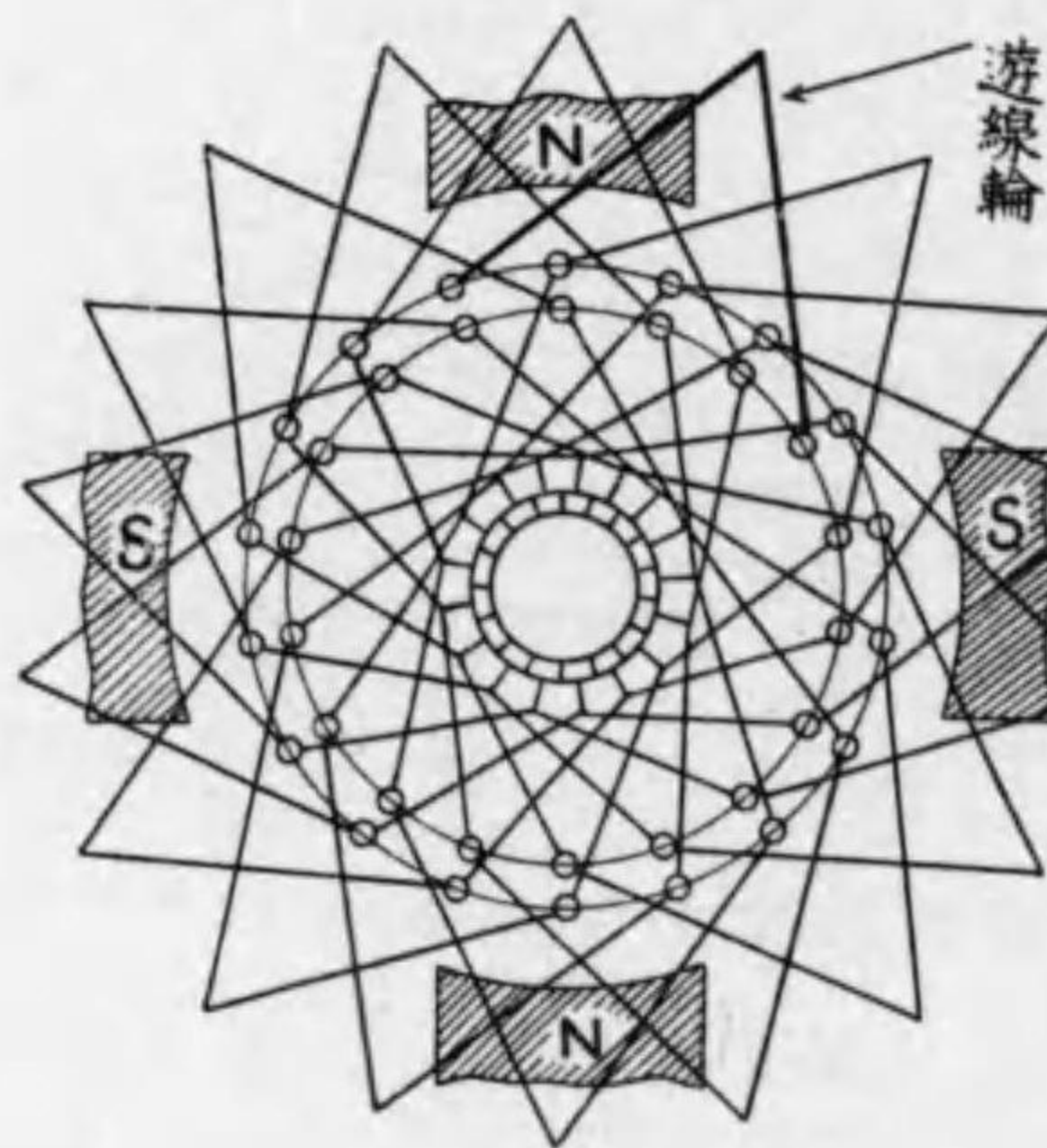


【註】若し y が整数として得られない場合、例へば $y=4.5$ の如く端数が出れば、巻線は不能となる。かゝる場合に強いて巻線を行へば、**死線輪 (Dead coil)** 或は **遊び線輪 (Dummy coil)** と稱し、巻線から切り離して、線輪の兩端を絶縁した不必要な線輪を設けて巻線を行はねばならない。かゝる巻線を **強制巻線 (Forced winding)** と云ひ、これに對して遊び線輪を設けない (i) 又は (ii) の場合を **平衡巻線 (Balanced winding)** と云ふ。第 42 圖は遊び線輪を設けた場合の巻線圖である。

遊び線輪は捲線上不必要な線輪ではあるが、機械的釣合上必要である。

以上述べたやうに波捲では、平衡捲線を行ふには必ず $\frac{N_c \pm 2}{p}$ が整数になる様に、 N_c 又は p を撰定しなければならない不便がある。

第 43 圖
遊線輪の出来る捲線



重捲では一つの線輪から次ぎの線輪に移る時、整流子での進み方、換言すれば1個の線輪が整流子に跨る幅は、整流子片で數へて1であつたが、波捲では第44圖に示す様に數個の片に跨る。

この跨る幅を整流子節(Commutator pitch)と云ひ y_k で表す。波捲では常に y_k の數は y の數に等しくなる。

即ち

$$y = y_k \dots \dots \dots (19)$$

若し S を整流子片の總數とすれば

$$S = \frac{N_c}{2} \text{ であるから}$$

$$y_k = y = \frac{N_c \pm 2}{p}$$

$$= \frac{N_c \pm 1}{2} = \frac{p}{2} = \frac{S \pm 1}{2} \dots \dots \dots (20)$$

(21) 波捲に於ける前進捲と後退捲

4 極の直捲機に於て導體數即ち線輪邊の數を18として波捲を施せば捲節は次の如くなる。

$$y = \frac{N_c \pm 2}{p} = \frac{18 \pm 2}{4} = 5 \text{ or } 4$$

i $y = 5$ とすれば

$$\left. \begin{aligned} y_k = y_f = 5 \\ y_k = y = 5 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots \text{(甲)捲線}$$

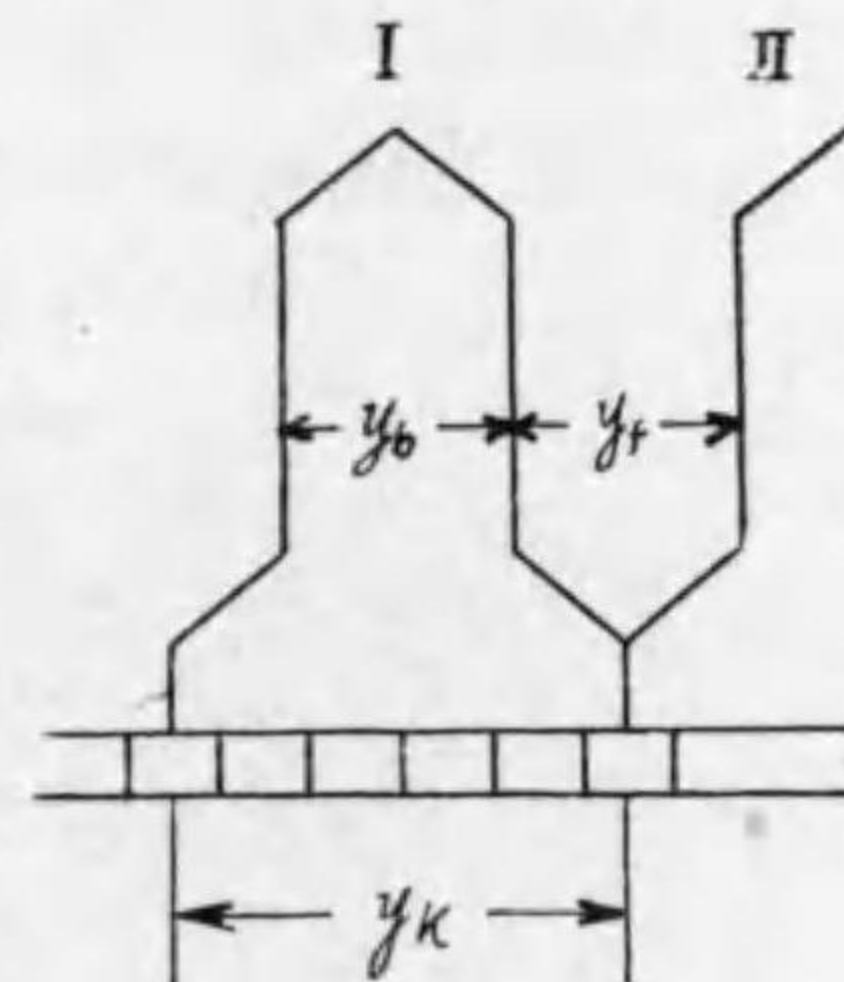
ii $y = 4$ とすれば

$$\begin{aligned} y_b = 4 \pm 1 &= \begin{matrix} \text{(乙)} \\ 5 \end{matrix} \text{ or } \begin{matrix} \text{(丙)} \\ 3 \end{matrix} \\ y_f = 4 \mp 1 &= \begin{matrix} 3 \end{matrix} \text{ or } \begin{matrix} 5 \end{matrix} \\ y_k = y &= 4 \end{aligned}$$

以上の如く3組の捲線が得られるが、其中甲と乙との捲線圖を示すと、第45圖の甲及び乙となる。

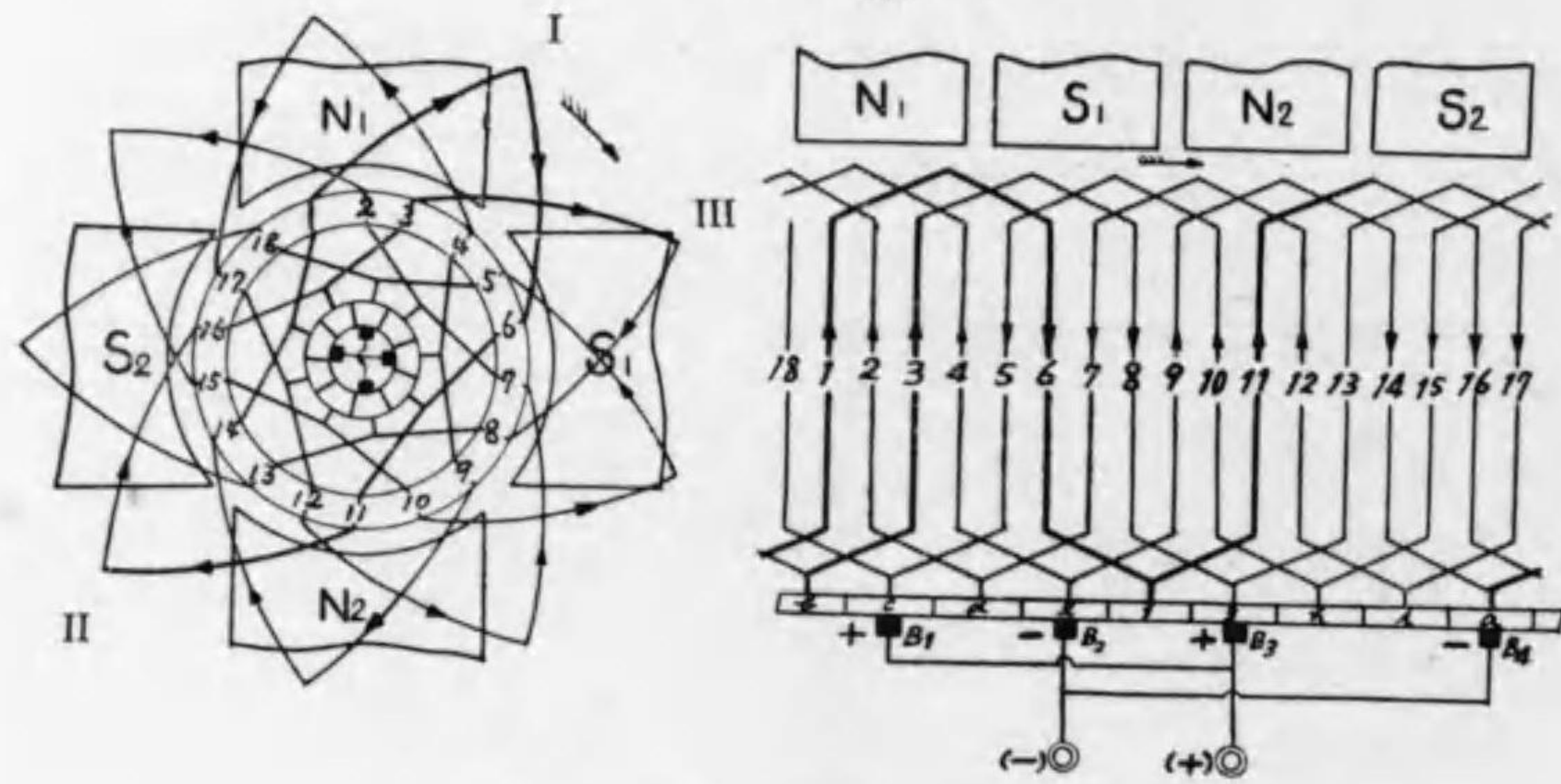
第45圖を見れば解る様に甲捲線、即ち $y_b = y_f = 5$ の

第 44 圖 整流子節



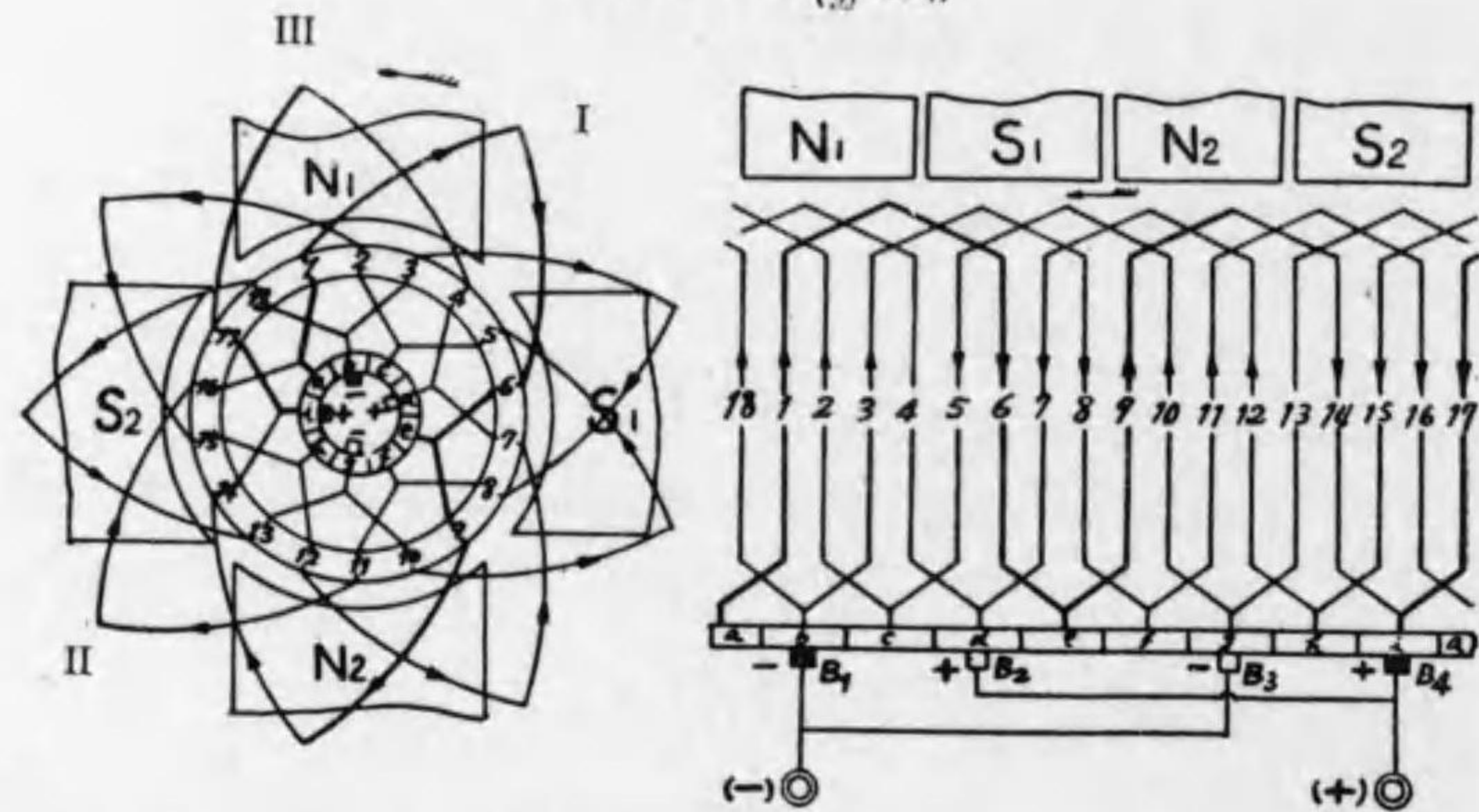
第 45 圖 (甲)

前進波捲 $\begin{cases} y_b = 5 \\ y_f = 5 \end{cases}$



第 45 圖 (乙)

後退波捲 $\begin{cases} y_b = 5 \\ y_f = 3 \end{cases}$



ときは、電機子の周囲を一巡して隣に来る \blacksquare の線輪は I の右側に出て捲線は常に右廻となるが、これに反して乙捲線、即ち $y_b = 5, y_f = 3$ のときは、 \blacksquare の線輪は I の線

輪の左側に出で同様に V は \blacksquare の左と云ふやうに一巡する毎に左へ左へと後退して行く。故に波捲では甲の場合を前進捲と云ひ、乙の場合を後退捲と云ふ。この捲線に於て極間隔の平均数は

$$\frac{N_c}{p} = \frac{18}{4} = 4.5$$

で甲の前進捲の平均捲節 $y = 5$ よりも小さく、乙の平均捲節 $y = 4$ よりも大である。

故に波捲では

$$\frac{y_b + y_f}{2} > \frac{N_c}{p}$$

の時、前進捲となり

$$\frac{y_b + y_f}{2} < \frac{N_c}{p}$$

の時は後退捲となる。

第 二 表

(甲) $\begin{cases} y_b = 5 \\ y_f = 5 \end{cases}$		(乙) $\begin{cases} y_b = 5 \\ y_f = 3 \end{cases}$	
$N_1 - S_1$	$N_2 - S_2$	$N_1 - S_1$	$N_2 - S_2$
片上□下□	片上□下□	片上□下□	片上□下□
a → 1 → 6 → f → 11 → 16		a → 1 → 6 → l → 9 → 14	
b 3 8 g 13 18		i ⁺ 17 4 d 7 12	
c ⁺ 5 10 h 15 2		k 15 2 c 5 10	
d 7 12 i 17 4		g 13 18 b ⁻ 3 8	
e ⁻ 9 14		f 11 16	
1退	2進 2進 1進 2進 2進	1退	2退 2退 1退 2退 2退

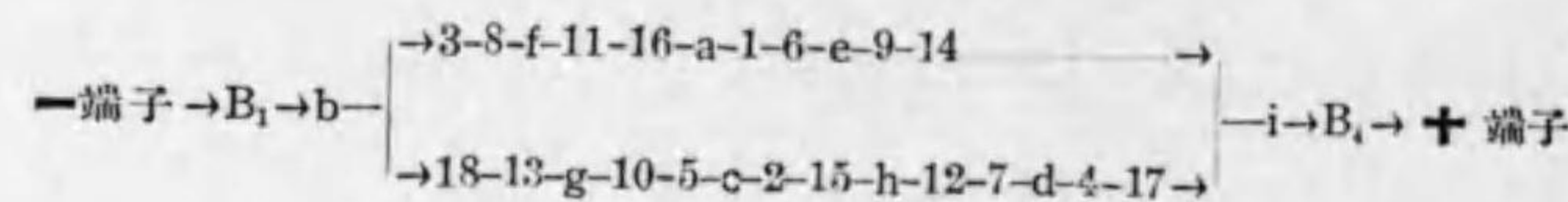
重捲の場合と同様にして甲及び乙の場合の捲線表を作れば第二表のやうになる。

重捲の捲線表と異なる點は、表に示すやうに、極數だけの欄を設けて作ることである。かくすれば鐵心の周圍を一巡すれば、捲線は重捲と同様に出發點の隣の整流子片に出ることが解る。

従つて横段 1 行、即ち $a \rightarrow 1 \rightarrow 6 \rightarrow f \rightarrow 11 \rightarrow 16$ を作れば、後は整流子片では 1、導體では 2 宛縦に進めて表を作ればよい。

(22) 波捲の刷子の數と電路數

第 45 圖乙に於て 4 と 13 の導體は中間線上にあると假定し、残りの各導體の起電力の方向を定めて、重捲の場合と同様にして刷子の位置を定めると、i に + 刷子、b に - 刷子を置かねばならないことが解る。そうして一端子から + 端子に行く電機子内の電路を調べて見ると、下表に示す二つの並列電路しか得られない。



かやうに波捲では 4 極なるにもかゝらず電機子内の並列電路數は 2 個しか出來ない。

一般に波捲では 4 極の場合のみでなく 6 極でも 8

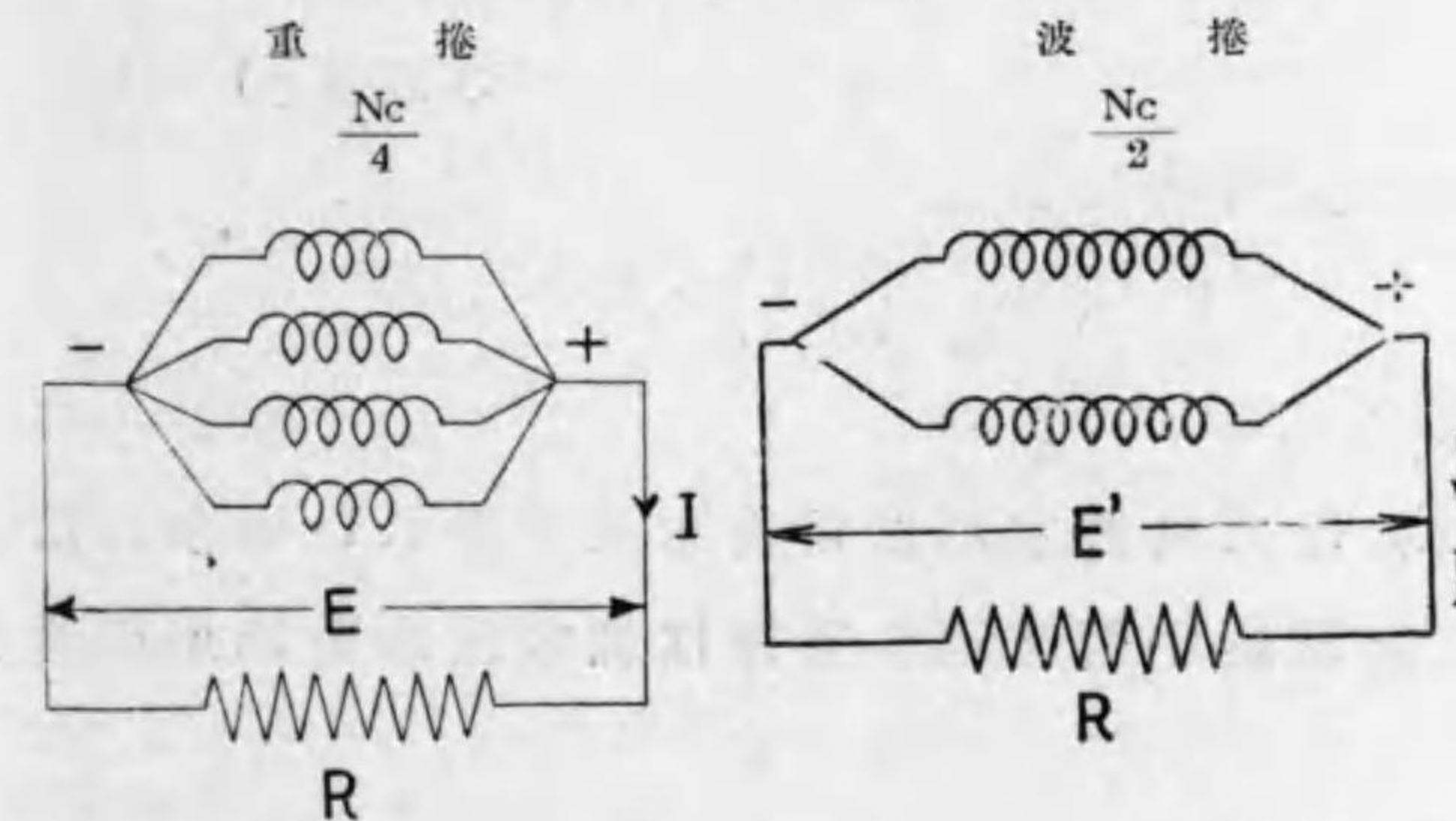
極でも、極數の如何にかゝらず電機子内の並列電路數は 2 個である。故に一名二電路捲(Two circuit winding)とも稱し、又 p 極のものは 2 極機を、極の對數($\frac{p}{2}$)だけ直列に結んだとも考へられるから直列捲(Series winding)とも稱する。

そうして刷子の數も 2 個で十分である。然し實際には整流作用を良くする爲めに、極數と同數だけの刷子を置き、刷子の間隔は約極間隔に等しくとる。

(23) 重捲と波捲の比較

廻轉數、各部の寸法及び電機子の導體總數、各導體の太さ等の相等しい重捲と波捲、換言すれば略負荷耐量の等しい兩機を比較すると重捲は低電壓大電流用に、波捲は高電壓小電流用に適する。

第 46 圖



其の理由は次の通りである。

前述の如く波捲では一端子から十端子に至る電路数は常に2個で、重捲では極數に應じただけ電路數があるから、電路に接續される導體は波捲は重捲よりも遙かに多い。例へば何れも N_c 本の導體を有する4極機に就いて考へれば、波捲の直列導體數は $\frac{N_c}{2}$ 、重捲の直列導體數は $\frac{N_c}{4}$ 本で、波捲は重捲の2倍となり、磁束及廻轉數が等しければ波捲は2倍の起電力を誘導する。即ち

$$\text{波捲の起電力}(E') = 2 \times \text{重捲の起電力}(E)$$

然し導體1本の切斷面積が相等しいとすれば、重捲は波捲に對し2倍の電路を有するから、波捲に比し2倍の電流を通ずることが出来る。即ち

$$\text{波捲の出し得る電流}(I') = \frac{1}{2} \times \text{重捲の出し得る電流}(I)$$

故に兩者の出力は

$$E'I' = (2E) \times \left(\frac{1}{2}I\right) = EI$$

となつて等しくなる。

故に出力、換言すれば負荷耐量の等しい場合には波捲は高電壓小電流用に、重捲は低電壓大電流用に適する。

(24) 誘導起電力

誘導起電力の一般式は既に述べた如く次式で示される。

$$E = \frac{p}{a} \phi n Z \times 10^{-8} \text{ ヴォルト}$$

此の式に於て $\frac{Z}{a}$ は電機子内の一電路に直列に接續される導體の總數であるから、一電路に直列に接續される線輪の數を N_c 、1個の線輪の捲數を T とすれば

$$\frac{Z}{a} = T \cdot N_c \dots\dots\dots(21)$$

又重捲では電路數 a は常に極數 p に等しいから

$$\begin{aligned} E &= \phi n Z \times 10^{-8} \\ &= \phi \frac{N}{60} Z \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots\dots(21a) \end{aligned}$$

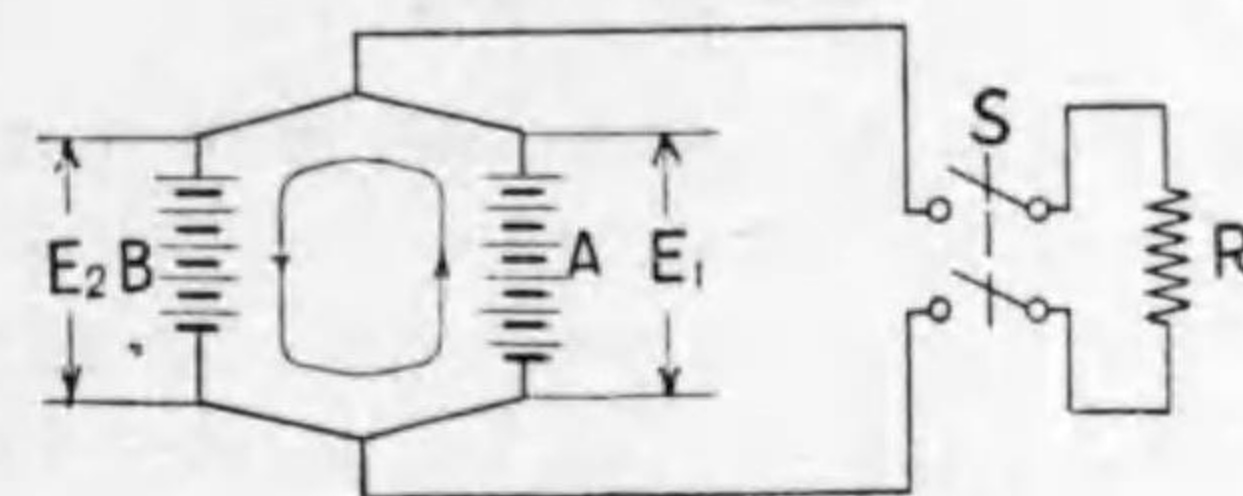
波捲なれば極數の如何にかゝらず電路數 a は常に2であるから

$$\begin{aligned} E &= \frac{p}{2} \phi n Z \times 10^{-8} \\ &= \frac{p}{2} \phi \frac{N}{60} Z \times 10^{-8} \\ &= \frac{p\phi N}{120} Z \times 10^{-8} \text{ ヴォルト} \dots\dots\dots(21b) \end{aligned}$$

【註】均壓環

今第47圖に示すやうに大ききの異なる起電力を發生して居る2個の電路A、Bを圖の如く接續して閉電路を作り $E_1 > E_2$ とすれば

第 47 圖
循環電流の發生



$E_1 - E_2$ の電圧を以つて矢の方向に電流が流れる。

この電流を横流(Cross current)又は循環電流(Circulating current)と云ふ。或は局部的に流れるといふ意味から局部電流(Local current)とも稱せられる。

第 48 圖 (甲)
均 壓 環



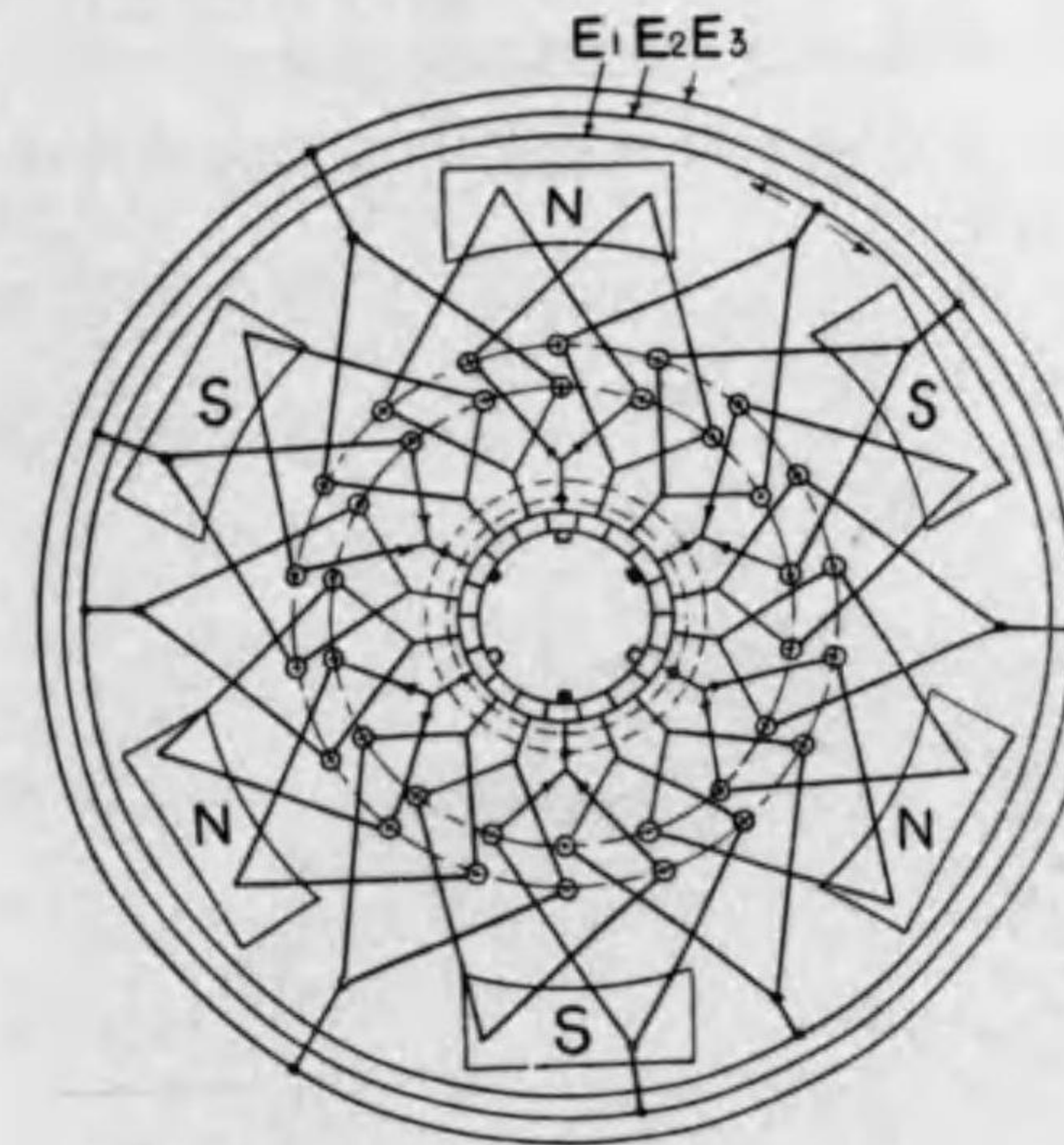
このやうに電圧が不平均で横流の生じて居る起電力を以て、閉開器 S を閉じて外部電路に電流を供給すれば、起電力の高い A の方は、横流に相當するだけの余分の電流を負擔し、B は横流に相當するだけの電流が減じて負荷の分擔が不平衡になる。

波捲では極數の如何にかゝらず並列電路數は 2 個で、且並列電路の各々を形作る導體は夫々すべての磁極の下に配置されたものを縫つて行くから、たとへ各磁極から出る磁束に不同があつても、2 個の並列電路に誘導する起電力は常に相等しく、横流を生ずる恐れがない。

然るに重捲では、並列電路數が多く且つ各々の電路は第 42 圖を見れば解るやうに、一組の磁極の下にある導體によつて形作られるから、かゝる場合には空隙の不同、軸の偏心等によつて磁束の分布に不均衡が生ずれば、各電路に發生する起電力に不同を來たし、その結果横流を生ずる。

横流を生ずれば外部電路に電流を送らないときでも、無益に電流が電機子内を流れて、電機子を熱し、又外部に電流を送る場合には各刷子の電流に不同を來たし整流作用を不良にする。これを防ぐ爲めに大きな機械では第 48 圖甲

第 48 圖 (乙)
均 壓 環 の
捲 線 圖



に示すやうに整流子と反對の裏側で、同一の電圧を有すべき點を太い導體を以て結ぶ。これを均壓環(Equalizer ring)と云ふ。

第 48 圖乙は均壓環を設けた捲線圖を示したものである。若し各電路の起電力に不同があれば、横流はこの均壓環を通じて流れ、刷子の分擔電流は等しくなつて整流作用に悪影響を及

ぼさない。

均壓環は万一横流の發生した時の防禦法であるから、其の太さ及數はあらかじめ定めることは困難で、適當と思はれる太さのものを數本設ければよい。

【第二章問題】

[1] 毎分 900 回轉の 6 極發電機がある。重捲にて 300 の導體が發電子に捲かれて居り、磁極は 25 cm 平方で磁束密度は 1 平方 cm につき 8000 本とすれば誘導起電力は幾何か。

[2] 4 極、1200 r.p.m の直流機に於て、1 極の磁束 2.5×10^6 本であるとき、100 ヴオルトの起電力を誘導せしめようとする。重捲を施すとすれば導體數幾本を要するか。

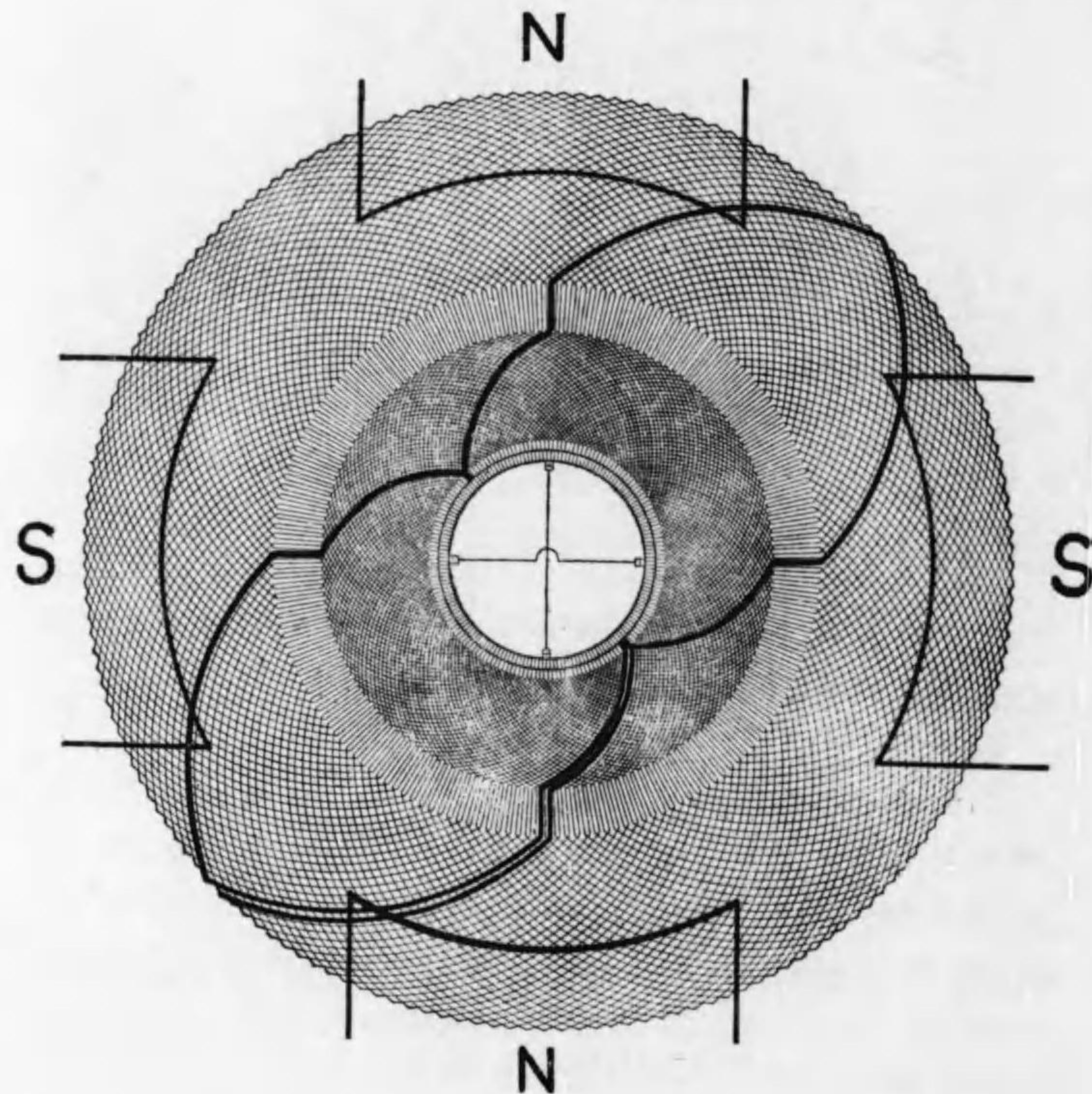
[3] 前問題の導體數にて波捲を施せば幾ヴオルトの起

電力を誘導し得るか。

[4] 直流機あり。極数6, 電機子導体数400, 毎極磁束数 10^6 本で, その回転数が600 r.p.m. のとき誘導する起電力は幾ヴォルトであるか。但し電機子は二回路巻とする。

[5] 極数4, 導体数342本の直流機を波巻とした場合の巻節を定めて巻線圖を畫け。

第 49 圖



第三章 直流機の理論及特性

(25) 誘導起電力に対する速度及端子電圧の関係

(a) 速度との関係 電機子が磁界内を廻轉すれば, 起電力を誘導し, その大きさは次式で示されることは既に述べた。

$$E = \frac{p}{a} Z \phi \frac{N}{60} \times 10^{-8} \text{ ヲルト}$$

上式中 a, p, Z は一つの完成した機械では一定数であるから

$$\frac{p}{a} Z \times \frac{1}{60} \times 10^{-8} = K$$

とおけば

$$E = K \phi N \text{ ヲルト} \dots \dots \dots (22)$$

となる。即ち誘導起電力 E は界磁の生ずる磁束 ϕ と電機子の廻轉数 N との相乗積に比例することを知る。

このことは直流機が発電機として廻つてゐるときだけでなく, 電動機として運轉されてゐる場合も同様で, 唯電動機の場合には E は逆起電力として働くだけである。

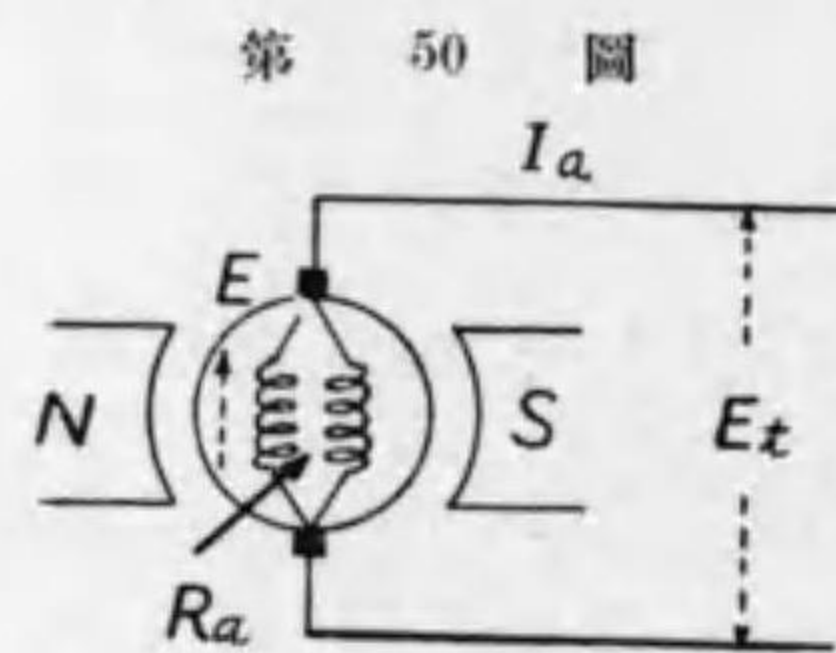
(b) 端子電圧との関係 直流機の刷子間で測つた電圧をその端子電圧(Terminal voltage)と云ひ, 電機子に電流の流れてゐる時は, 電機子に誘導された起電力 E と大きさが異なる。これは電池から電流を取り出せば電

池の起電力と端子電圧とが相違してくるのと同様である。

今電機子抵抗が R_a なる直流機があつて、これを発電機として運轉し、 E_g なる起電力が誘導されて居るものとする。電機子から電流 I_a を取り出せば、電機子抵抗 R_a 中で $I_a R_a$ だけ電圧が降下し、これを E_g から差引いた残りが端子電圧 E_t となつて現はれる。故に

$$E_t = E_g - I_a R_a \dots\dots\dots(23)$$

$I_a R_a$ を電機子電圧降下、又は單に略して電機子降下 (Armature drop) と呼ぶ。



第 50 圖 同一機械を同じ状態で、即ち廻轉數、磁束、電機子電流を等しくして、電動機として運轉した時、 E_m なる逆起電力が誘導されたとすれば、電機子に電流 I_a を

流すために加ふべき端子電圧 E_t は逆起電力に打ち勝つ外に、更に電機子降下 $I_a R_a$ にも打ち勝たねばならない。故に

$$E_t = E_m + I_a R_a \dots\dots\dots(24)$$

となる。

今(23)と(24)の兩式を比較するに、 E_g と E_m とは同一機械を同じ状態で運轉したのであるから、等しい大きさで

共に E に等しく、又電機子降下も電流が同じであれば等しい大きさであるから、直流機が発電機として廻るか、電動機として廻るかは、端子電圧 E_t が誘導起電力 ($E = E_g = E_m$) よりも電機子降下だけ大きい、小さいかの相違であると考えてよい。即ち

$$E_t = E \pm I_a R_a \dots\dots\dots(25)$$

に於て電動機として運轉されてゐるときは $+I_a R_a$ であり、発電機として運轉されてゐるときは $-I_a R_a$ である。

このことは電機子の概括的性質を述べた場合のことと全く同一で、唯この場合は蓄電池の電圧の代りに端子電圧なる言葉でおきかへたにすぎないのである。

(c) 電動機 の 速度 (24)式に(22)式を代入すれば

$$\begin{aligned} E_t &= E_m + I_a R_a \\ &= K \phi N + I_a R_a \\ N &= \frac{E_t - I_a R_a}{K \phi} \dots\dots\dots(26) \end{aligned}$$

即ち電動機の速度は電機子の抵抗が大となれば減少するが、實際に於て抵抗は極めて少く、電機子降下 $I_a R_a$ を端子電圧 E_t に比して零と見做せば

$$N \div \frac{E_t}{K \phi} \dots\dots\dots(27)$$

上式によつて電動機の速度は略端子電圧に比例し、磁束に反比例することが知られる。

(26) 廻轉力と出力

(a) 廻轉力に對する磁束と電流との關係 磁界内にある電機子に電流が流れると、電機子には廻轉力が與へられ、その大きさは次式で示されることは既に述べた。

$$\tau = \frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} Z \phi I_a \times 10^{-1} \text{ ダイン 糎 } \dots\dots\dots (28)$$

この廻轉力は發電機として運轉されて居る時は、原動機に逆ふ逆廻轉力であり、電動機として運轉されて居る時は、他の機械を廻轉せしめる原動力であることも亦既に述べた。

さて起電力の場合と同様に一つの完成した機械では

$$\frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} Z \times 10^{-1} = K_1$$

とおけば

$$\tau = K_1 \phi I_a \text{ ダイン 糎 } \dots\dots\dots (29)$$

即ち電機子に生ずる廻轉力は、磁束と電機子電流との相乗積に比例する。

(b) 出力との關係 上式の如き廻轉力で毎秒 n 廻轉すれば、毎秒の仕事即ちパワー P_w は

$$P_w = 2\pi n \tau \text{ エルグ 毎秒 } \dots\dots\dots (30)$$

何となれば毎秒の仕事は

$$P_w = (\text{毎秒の速度}) \times (\text{力}) \\ = 2\pi r n \times F \quad (F \text{ は一本の導體に加はる力, ダイン})$$

$$= 2\pi n \tau \text{ エルグ 毎秒}$$

さて(30)式の τ に(28)式を代入すれば

$$P_w = 2\pi n \times \frac{1}{2\pi} \frac{p}{a} Z \phi I_a \times 10^{-1} \text{ エルグ 毎秒} \\ = \frac{p}{a} \phi_n Z I_a \times 10^{-1} \text{ エルグ 毎秒} \\ = \left(\frac{p}{a} \phi_n Z I_a \times 10^{-1} \right) \times 10^{-7} \text{ ジュール 毎秒} \\ = \frac{p}{a} \phi_n Z I_a \times 10^{-8} \text{ ワット}$$

然るに $\frac{p}{a} \phi_n Z \times 10^{-8}$ は誘導起電力 E ヲオルトに等しいから

$$P_w = E I_a \text{ ワット } \dots\dots\dots (31)$$

$2\pi n \tau$ は毎秒の機械的エネルギー即ち機械的動力で、 $E I_a$ は毎秒の電氣的エネルギー即ち電力で、此兩者は上に示す如く相等しい。

故に發電機として運轉した場合は原動機から $2\pi n \tau$ なる機械的動力を受けて、電機子に $E I_a$ なる電力を發生し、電動機として運轉して居る場合は、他の電源から $E I_a$ なる電力の供給をうけて、電機子に $2\pi n \tau$ なる機械的動力を發生して居るのである。

従つて發電機では

$$E I_a = (E_r + I_a R_a) I_a \\ = E_r I_a + I_a^2 R_a \dots\dots\dots (32)$$

上式中 $I_a^2 R_a$ は電機子内に於ける抵抗損で熱となつて

消費され、残りの $E_t I_a$ が外部に供給される電力となる。故に此場合の入力は $2\pi n\tau = EI_a$ で、 $I_a^2 R_a$ 以外の損失を考へに入れなければ出力は $E_t I_a$ に等しいから電氣的能率 η は

$$\eta = \frac{E_t I_a}{EI_a} = \frac{E_t I_a}{E_t I_a + I_a^2 R} \dots\dots\dots(33)$$

電動機の場合には

$$\begin{aligned} E_t I_a &= (E + I_a R_a) I_a \\ &= EI_a + I_a^2 R_a \dots\dots\dots(34) \end{aligned}$$

$I_a^2 R_a$ は発電機の場合と同様に電機子内の熱損失として消費され、残りの $E_t I_a$ なる電力が機械的動力 $2\pi n\tau$ となつて外部に供給される。

故に此場合の入力は $E_t I_a$ 、出力は $E_t I_a = 2\pi n\tau$ で電氣的能率 η は

$$\eta = \frac{EI_a}{E_t I_a} = \frac{E_t I_a - I_a^2 R_a}{E_t I_a} \dots\dots\dots(35)$$

(34), (35) は共に電機子抵抗の小なる程能率の大なることを示して居る。

(27) 電動機入力の自己調節と逆起電力

発電機では負荷の變化に應じて、原動機の出力を加減しなければ、負荷に應ずる入力の調節は行はれないが、電動機では負荷の増減に應じて自動的に入力の變化が起り自己調節 (Automatic regulation) が行はれる。次に其の理由を説明しよう。

今電動機の入力と出力の關係を調べて見るに(34)式

$$\begin{aligned} E_t I_a &= EI_a + I_a^2 R_a \\ &= 2\pi n\tau + I_a^2 R_a \end{aligned}$$

に於て、出力 $E_t I_a = 2\pi n\tau$ が増減すれば、入力 $E_t I_a$ も増減する。然るに電動機に於ては、端子電圧は普通一定であるから、電流 I_a が増減しなければならない。従つて入力の増減は電流の増減に支配されるから、電流が自動的に負荷の増減に應じて變化することを證明すれば自己調節が行はれて居ることが分かる。

元來電動機に機械的負荷をかけると云ふことは、電動機の軸に制動器 (Brake)、即ち齒止めの様なものを附してしめつけるのと同様である。即ち負荷が増加することは齒止めを締付け、負荷が減ずることは齒止めをゆるめることに當る。従つて負荷が増加すれば速度は落ち、負荷が減ずれば速度は昇る。換言すれば電動機の機械的負荷が要求する廻轉力、即ち負荷廻轉力 (Load torque) と、電動機が負荷に供給するために電機子に發生して居る電動機廻轉力 (Motor torque) とは反對向きで、これが等しい状態で電動機の色度は一定に保たれる。

今電動機が或一定の負荷に對して n なる速度で廻轉して居るとき、電動子電流が I_a であつたとすれば、そ

の時の電動子電流及電動機廻轉力は次式で示される。

$$I_a = \frac{E_t - E}{R_a} \dots\dots\dots(36 a)$$

$$\tau = K_1 \phi I_a \dots\dots\dots(36 b)$$

但し E は n の速度に對して、電動子に誘導されて居る逆起電力である。

このとき負荷が増加して、負荷廻轉力が増加すれば、電動機が供給して居る電動機廻轉力 τ は不足して、このときの負荷廻轉力 τ' と τ が等しくなるまで、負荷は電動機を減少せしめようとする。

然るに電動機の速度 n が減少するに従つて逆起電力 E も減少して、(36a) に示すやうに、反對に電流 I_a は増加する。電流 I_a が増加すれば、(36b) によつて明らかになく電動機廻轉力 τ は増加して τ' に近付かうとする。かくして負荷が新に要求する廻轉力 τ' に等しくなるまで電動機の速度は減少し、負荷廻轉力と電動機廻轉力とが釣合つて新しい安定状態となる。

反對に負荷が減じて、負荷廻轉力が電動機廻轉力よりも小となれば、電動機は加速して逆起電力 E を増大せしめ、電流 I_a を減少せしめる。従つて電動機廻轉力 τ も減少して、供給廻轉力と要求廻轉力と等しくなつて新たな安定状態を作る。

かやうに電流 I_a は負荷に應じて自動的に變化して、

入力 E, I_a は調節される。

電動機が停止の状態から、起動する場合には逆起電力 E はまだ發生してゐないから

$$I_a = \frac{E_t}{R_a} \dots\dots\dots(37)$$

で莫大な電流が流れ込み、電動機廻轉力は負荷廻轉力よりも遙かに大きく、最初の間は勢ひよく加速されるが、速度の増加に伴ひ逆起電力が増大して、電流は減じ兩方の廻轉力が等しくなつて一定速度の運轉状態となる。

上に示した様に起動の際には、逆起電力がないため莫大な電流が流れ込むが、廻轉と同時に逆起電力を發生してこれを阻止するやうになる。若し逆起電力を發生しないとすれば、 I_a の莫大な電流が永續して電動機は焼損するに至る。

故に電動機の逆起電力は捲線法の〔註〕にも述べたやうに、電動機に取つて決して不要のものでなく、入力の自己調節、起動電流の永續的流入の阻止等には是非なくてはならぬものである。

(28) 電機子反作用

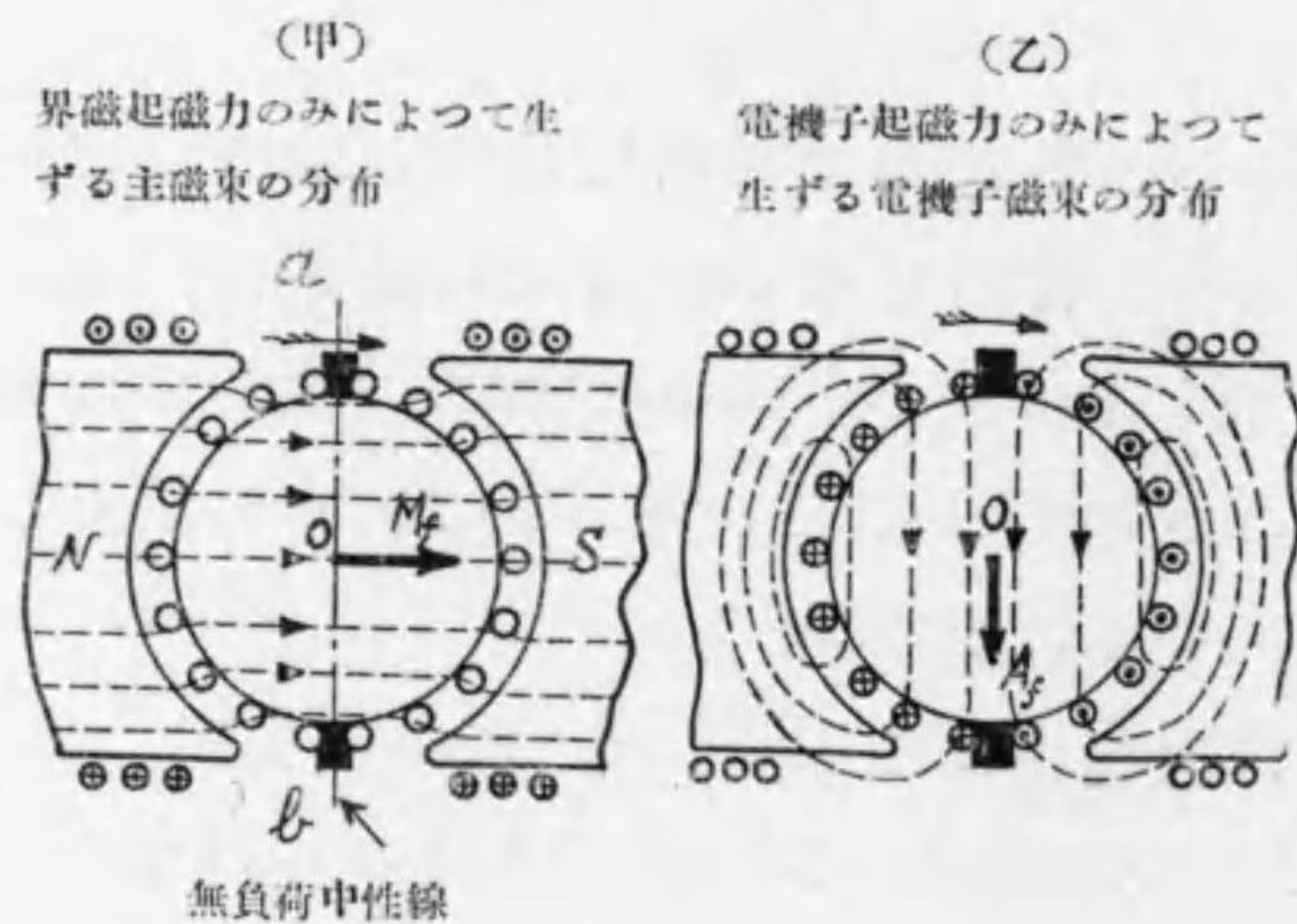
(a) 反作用の意味 電機子に電流の流れてゐない無負荷状態では、電機子の廻轉する磁界は、單に第51圖甲に示す N 及び S によつてのみ作られ、その磁束分布

は一様で圖に示す通りである。

この場合起電力を誘導しない導体は丁度兩極の中間の a, b に相當する部分で、これを **中性點** (Neutral point) と呼び、これを連らねた線 ab を **中性線** (Neutral line) といふ。刷子はこの點に置いて起電力を取出すのである。

【註】 導体に直接、刷子を接觸せしめる圖では、第51圖の如く a, b に置くが、実際には整流子上に置くから、鼓狀捲では刷子の位置は磁軸上に近い點に来る。

第 51 圖



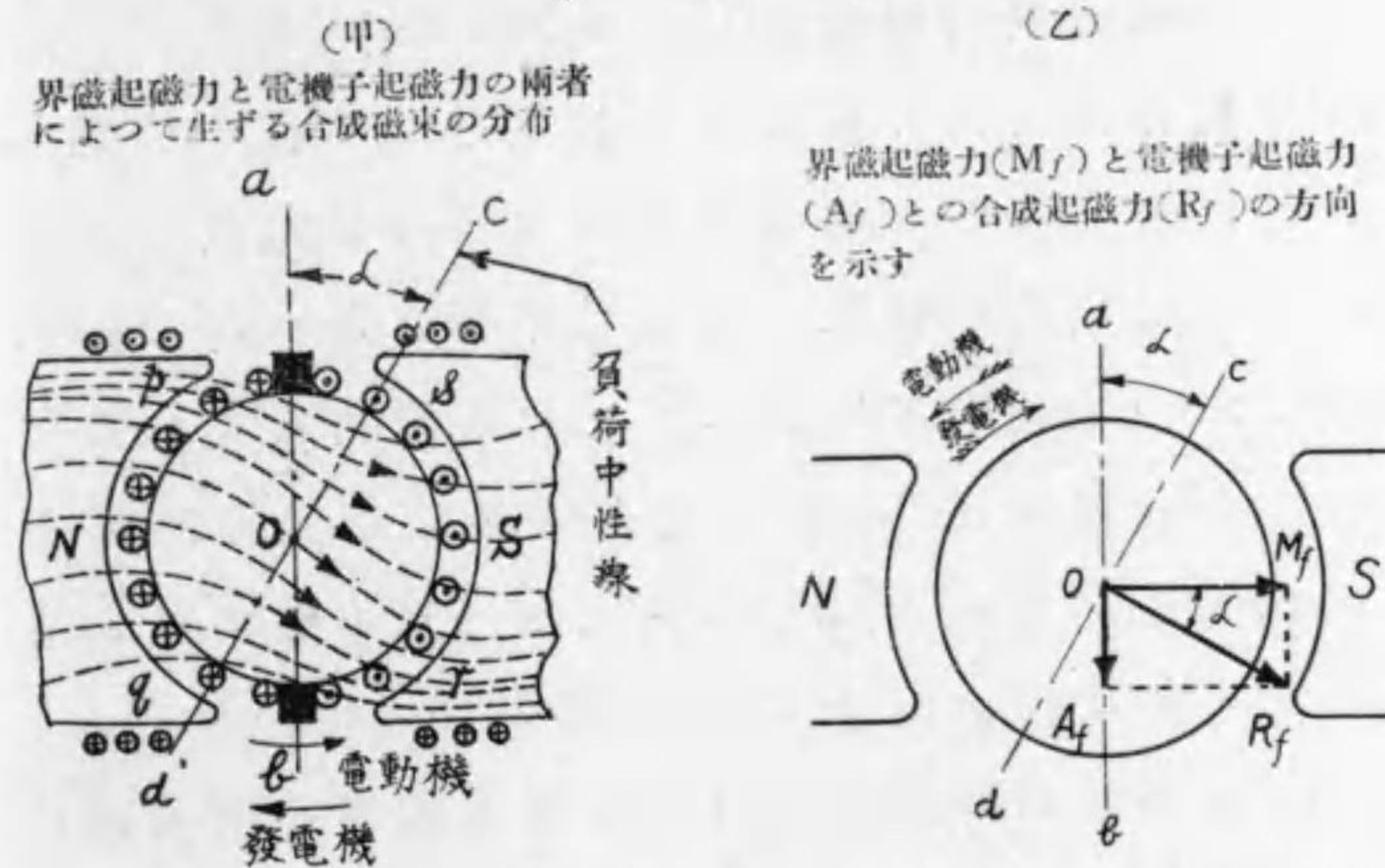
然し一旦負荷をかけて電機子に電流を流すと、磁束分布の状態も中性點の位置も變つて来る。これは電機子電流のためにも磁束が生ずるからで、これを **電機子磁束** (Armature flux) と呼び、これに對して N, S の作る磁束を **主磁束** (Main flux), N 及 S を **主磁極** (Main pole) と云

ふ。勵磁電流を流さないで電機子電流だけを流したとすると、乙圖の様に中性線に平行な起磁力による磁束を生ずる。然るに負荷状態ではこの兩電流が同時に流れ、主磁束と電機子磁束とが同時に生ずる。従つてこの磁束分布は甲、乙の磁束を合成したもので第52圖の如くなる。即ち p 及 r の部分では兩磁束が相助けて強められ、 q 及 s の部分では兩磁束が反對なため弱められて中性線は cd に移動する。

かやうに無負荷では主磁束のみによる一様な磁界が、負荷状態では電機子磁束のために、かき亂される。

この現象を **電機子反作用** (Armature reaction) といふ。

第 52 圖



第52圖に於て主磁束、電機子電流の方向を圖の如く定めて電機子の廻轉方向を考へると、發電機の場合に

は、原動機によつて右廻りに廻轉されて居り、電動機の場合は左廻りに自身で廻轉して居るから、電機子反作用による中性點の移動は、發電機では廻轉方向に、電動機では廻轉と反對方向に起る。

この移動した角 α を、發電機では進むから**進角**(Angle of lead)、電動機では遅れるから**遅角**(Angle of lag)と云ひ、負荷が増して電機子電流が増すにつれ移動角も大になつて合成磁界の偏り方もはげしくなる。

(b) **減磁作用と偏磁作用** 無負荷の時の中性線を**無負荷中性線**(No load neutral line)又は**幾何學的中性線**(Geometrical neutral line)と云ひ、これに對し負荷をかけた時の中性線を**負荷中性線**(Load neutral line)と呼ぶ。

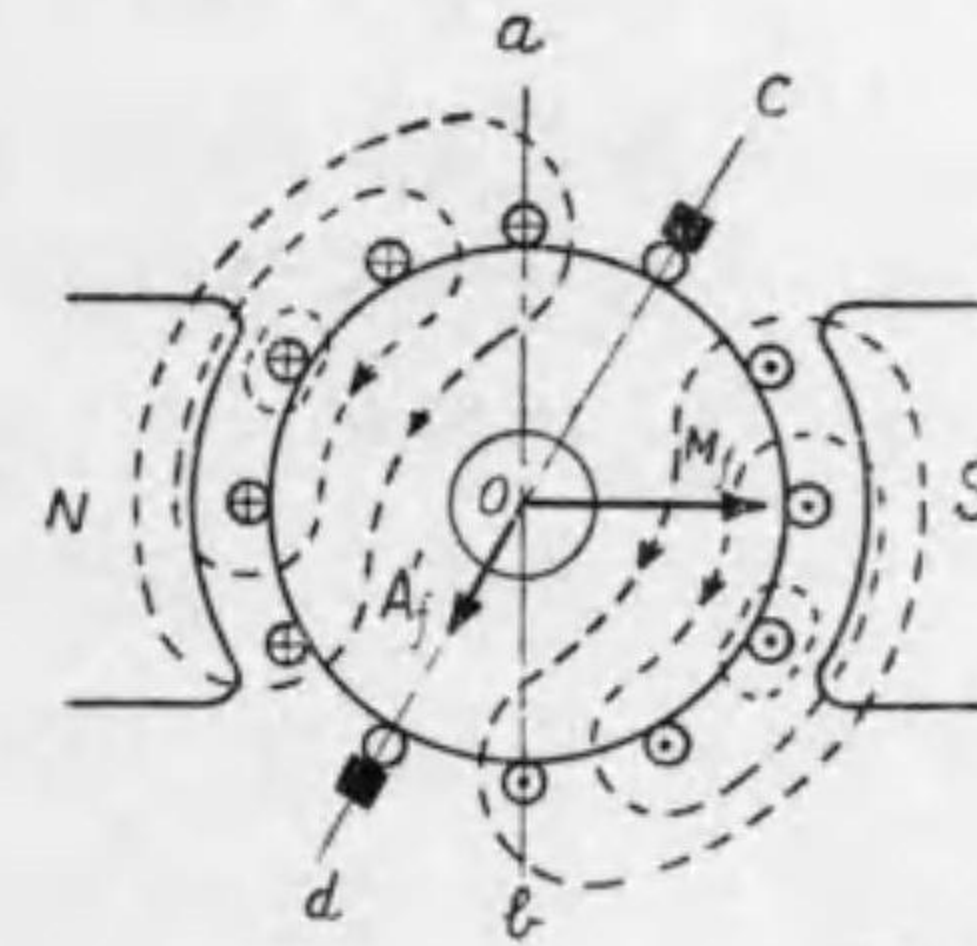
今整流作用を良くするために刷子を負荷中性點 c, d に移動せしめると、第53圖に示すやうに、電機子磁束の起磁力は負荷中性線に對して平行となり A_f' の方向に移るから、主磁束 M_f に對してもはや直角とならない。従つて合成磁界は R_f' の方向を取り、更に中性線は a' だけ移動するのであるが、この角は極めて小であるから、刷子は c, d に置いたまゝで差支へない。

さて刷子を c, d に置いたとすれば電機子磁束を生ずる起磁力 A_f は A_f' に移るから、丙圖に示すやうに、 A_f' を無負荷中性線に平行の分力 A_c と直角の分力 A_d に分解

することが出来る。

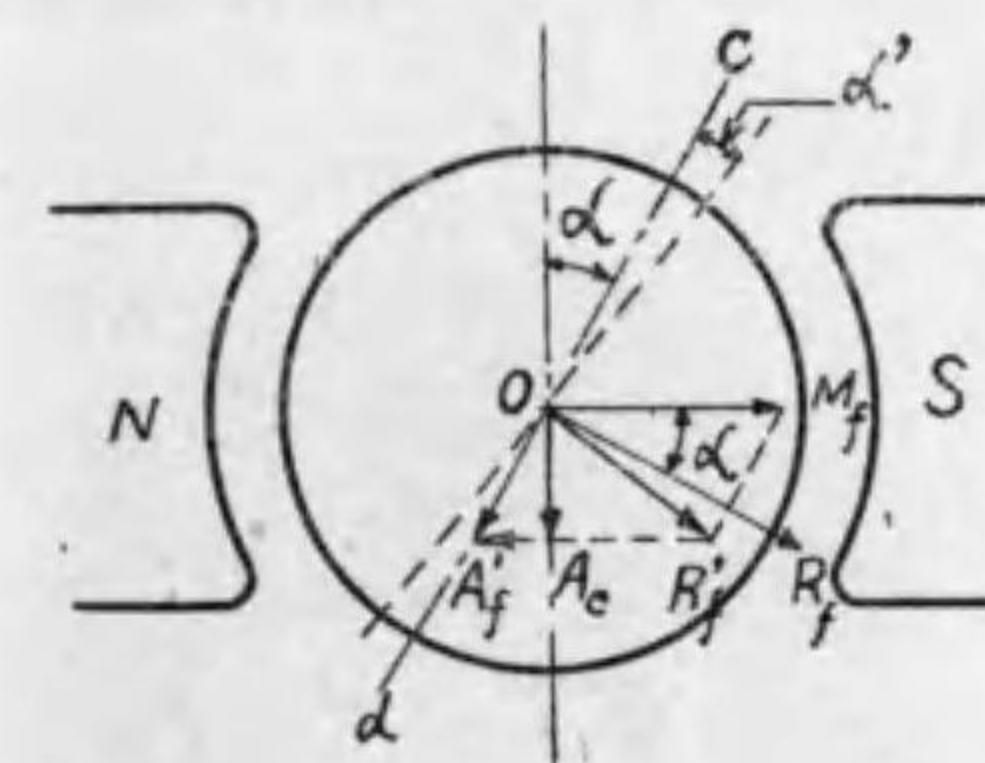
第 53 圖
(甲)

負荷中性線上に刷子を置いたとき、電機子起磁力のみによつて生ずる磁束



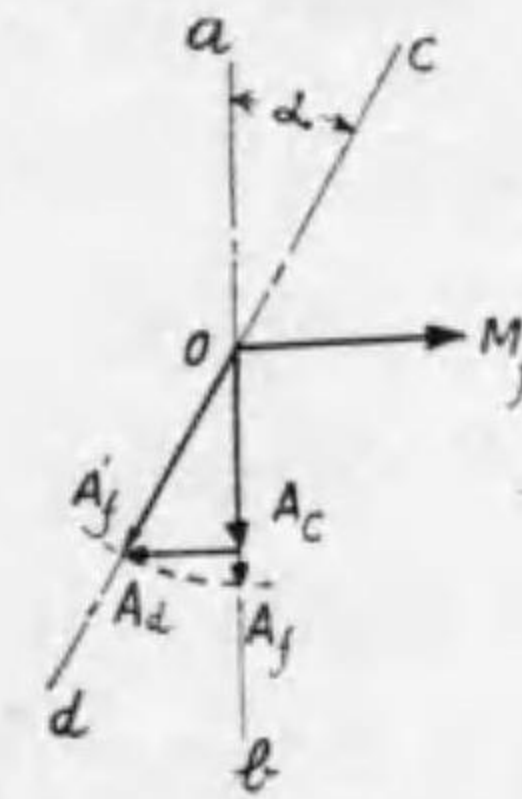
(乙)

負荷中性線上に刷子を置いたときの合成起磁力 R_f' の方向を示す



(丙)

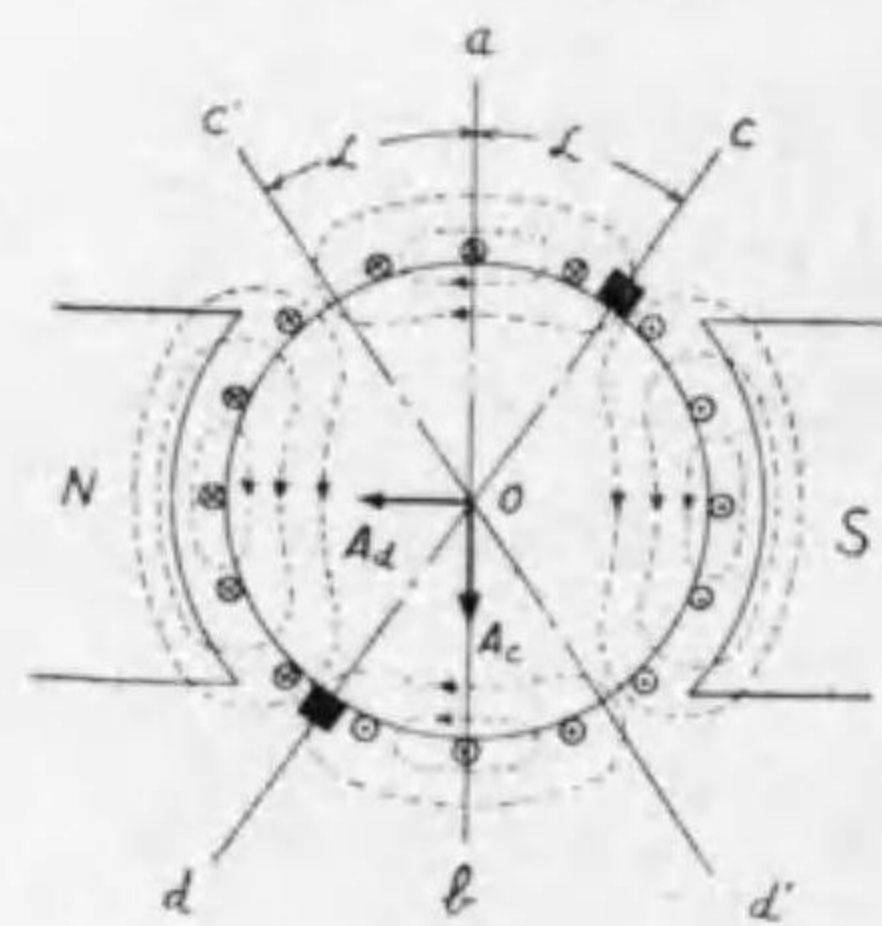
電機子起磁力 A_f' を交叉磁化力 A_c と減磁起磁力 A_d とに分解した圖



この中の平行分力 A_c は主磁束 M_f と直角で、これを**交叉磁化力**(Cross-magnetizing force)又は**偏磁力**(Distorted magnetizing force)と稱し、偏磁作用を表はす原動力となる。偏磁作用は起電力の波形に影響を及ぼす。

直角分力 A_d は主磁束と反対方向でこれを減磁力 (Demagnetizing force) と稱し、主磁束を弱める作用をなし誘導起電力を減少せしめる。

第 54 圖
交叉磁化力を生ずる交叉アンペア回数と、減磁起磁力を生ずる逆アンペア回数とを示す圖



今第54圖に示す様に、移動角 α と同じ大きさの角で、無負荷中性線に對して c, d と反対側に c', d' 線を引いて電機子を圖の如く四區分に分けると、 c, c' 間と d, d' 間の導體に流れる電流によつて生ずる磁束は主磁束と反対向きとなり、 c, d' 間と d, c' 間の導體に流れる電流によつて生ずる磁束は主磁束と直角になる。故に c, c' 間と d, d' 間のアンペア回数によつて生ずる起磁力が減磁力となり、 c, d' 間及 d, c' 間のアンペア回数によつて生ずる起磁力が交叉磁化力となるから、前者を逆アンペア回数 (Back ampere-turns) 後者を交叉アンペア回数 (Cross ampere-turns) と云ふ。

以上の如く電機子反作用は減磁及偏磁の二作用を伴ふが、何れも有害であるから、適當にこれを除去しなければならない。

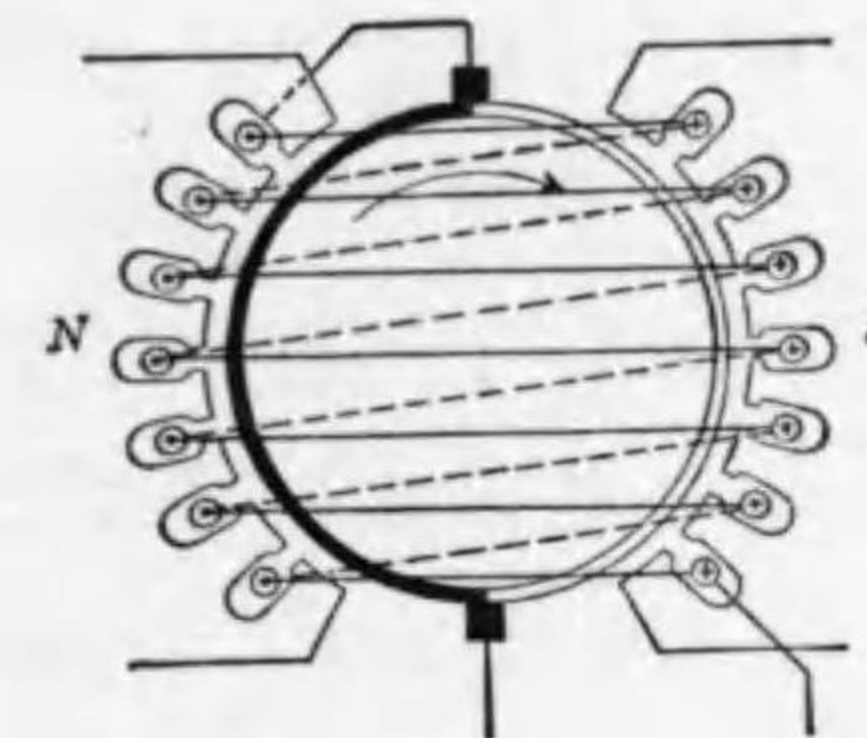
(c) 電機子反作用の軽減法 電機子反作用を軽減するには主として

- (イ) 主磁界の起磁力を強めて電機子起磁力の影響を少なくする。
- (ロ) 補償巻線 (Compensating winding) を施す。
- (ハ) 補極 (Inter pole) を設ける。

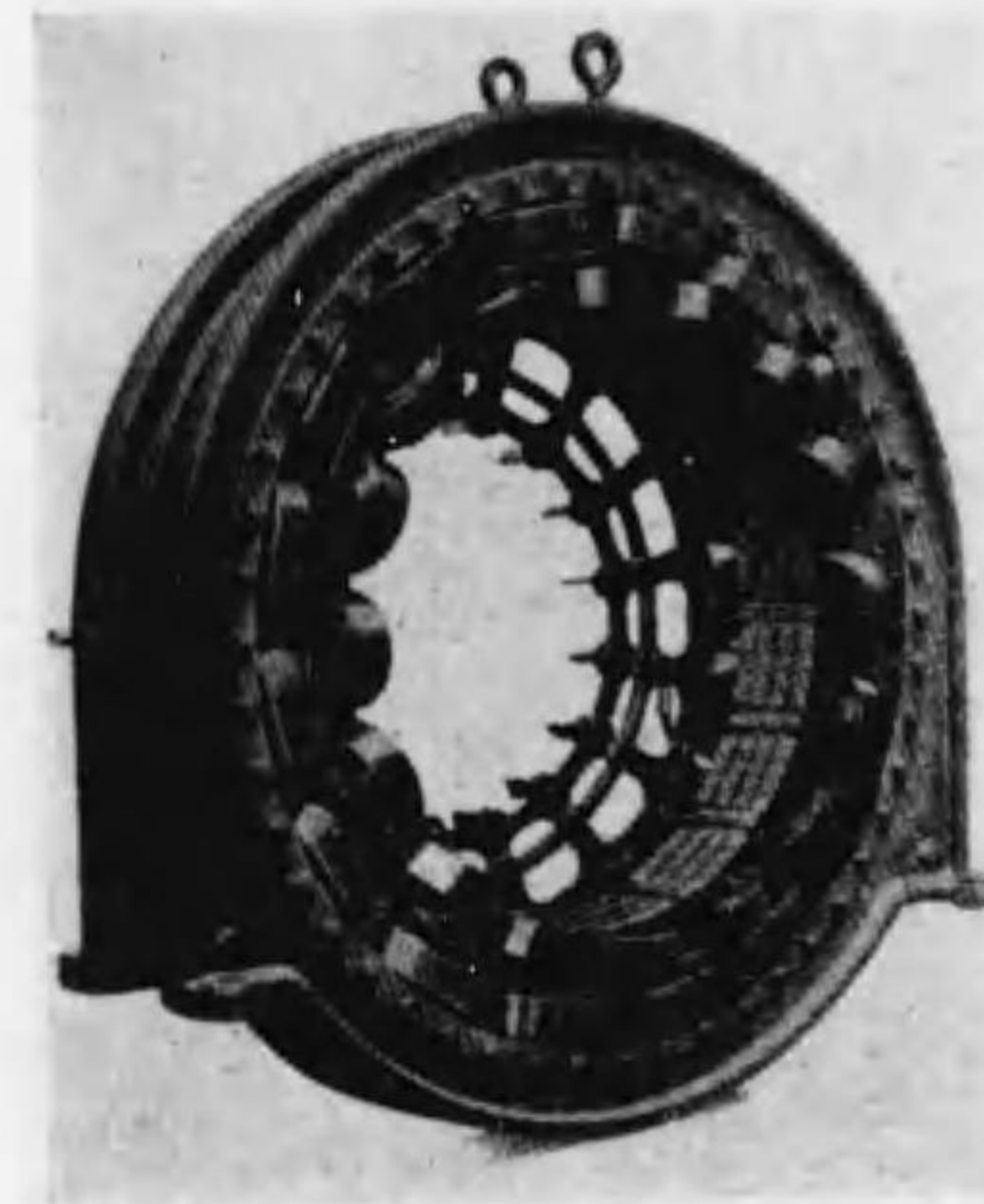
の三法がとられる。

(イ)の方法だけでは不完全であるから、普通(ロ)又は(ハ)を用ゐる。補償巻線は磁極の面に溝を作り、電機子線輪と

第 55 圖
補償巻線



第 56 圖
補償巻線の寫眞圖



直列に、然も反対方向の電流が流れるやうに接続した線輪で、これによつていつでも電機子起磁力と同じ大きさの起磁力を反対方向に生ぜしめてこれを打消し、反作用を完全に除去する

のである。

電機子磁束があると、その反作用及び自己誘導作用によつて、或部分の整流子片間に大きな電圧が発生してその間に火花を生じ、ひいては陰陽刷子間に弧光を生ずるに至る。この現象を **絡**(Flash over)といふが、補償捲線を用うればこの憂もなくなる。

補極については後に述べる。

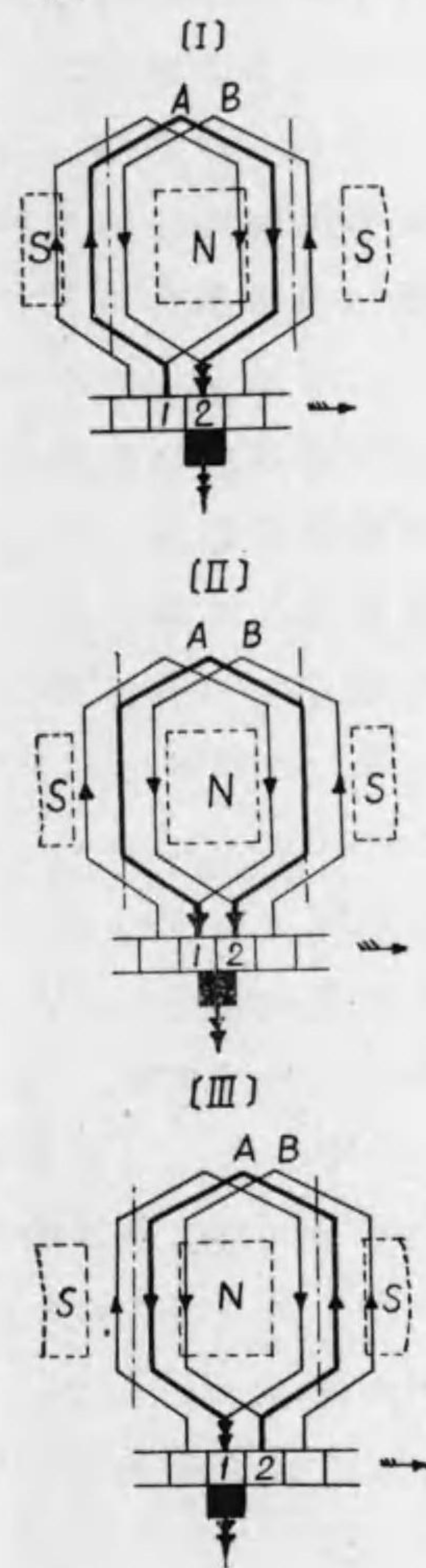
(29) 整流の困難とその補償

刷子は整流子上の中性點に置かれて電流を出入させるのであるが、適当な方法を講じないと、整流子との間に火花が発生して整流子を損傷し、その結果電機子線輪を短絡せしめるに至る。

今整流が完全に行はれる前後の経過を見るために第57圖に示す様に一つの線輪Aを取り出して考へる。

圖のIの時刻では、Aには右廻りの電流*i*が流れて居り、それから僅か後のIIの時刻では線輪は刷子によつて短絡されるが、その時此線輪の兩邊は共に磁極の中間に来て誘導起電力を発生して居ないから電流は零となり、更に僅か後のIIIの時刻では左廻りの電流*i*が流れる筈である。かやうに線輪内の電流が一方向の或値*i*から、短絡される瞬間に零となり、その次の瞬間には反対方向の*i*になれば理想的な整流が行はれ

第57圖 線輪A内の電流が整流される経過を示す



たのである。

然し実際にはIIの位置で線輪A内には磁界の磁束による起電力は誘導しないが、電流が短時間の間に $+i \rightarrow 0 \rightarrow -i$ といふやうに急激に變るために、自己誘導によつて右廻り、即ち今迄流れて居た電流と同方向の起電力を生じ、それが刷子で短絡されてゐるから右廻りの短絡電流を生ずる。故にIIIの位置の如く、刷子が一つの整流子片から離れる瞬間にはこの短絡電流を突然遮断することになり、こゝに火花が発生する。

然るに自己誘導によつて誘導される起電力は

$$(\text{線輪の捲數})^2 \times (\text{電流の變化する速さ})$$

に比例するから、これを軽減

するには次の様な方法を講ずる。

- (イ) 1 個の線輪の捲数を少なくする。
- (ロ) 刷子の幅を広くし、整流に要する時間を長くして電流変化の割合を少なくする。
- (ハ) 炭素刷子を用ひる。炭素の接觸抵抗の大きなことを利用して電流の變化の割合を少なくするのである。

以上は自己誘導作用を防ぐ消極的方法であるが、積極的方法としては短絡される線輪に他から反対向きの起電力を加へて、自己誘導起電力を打消す方法がある。その電壓の加へ方に二通りある。

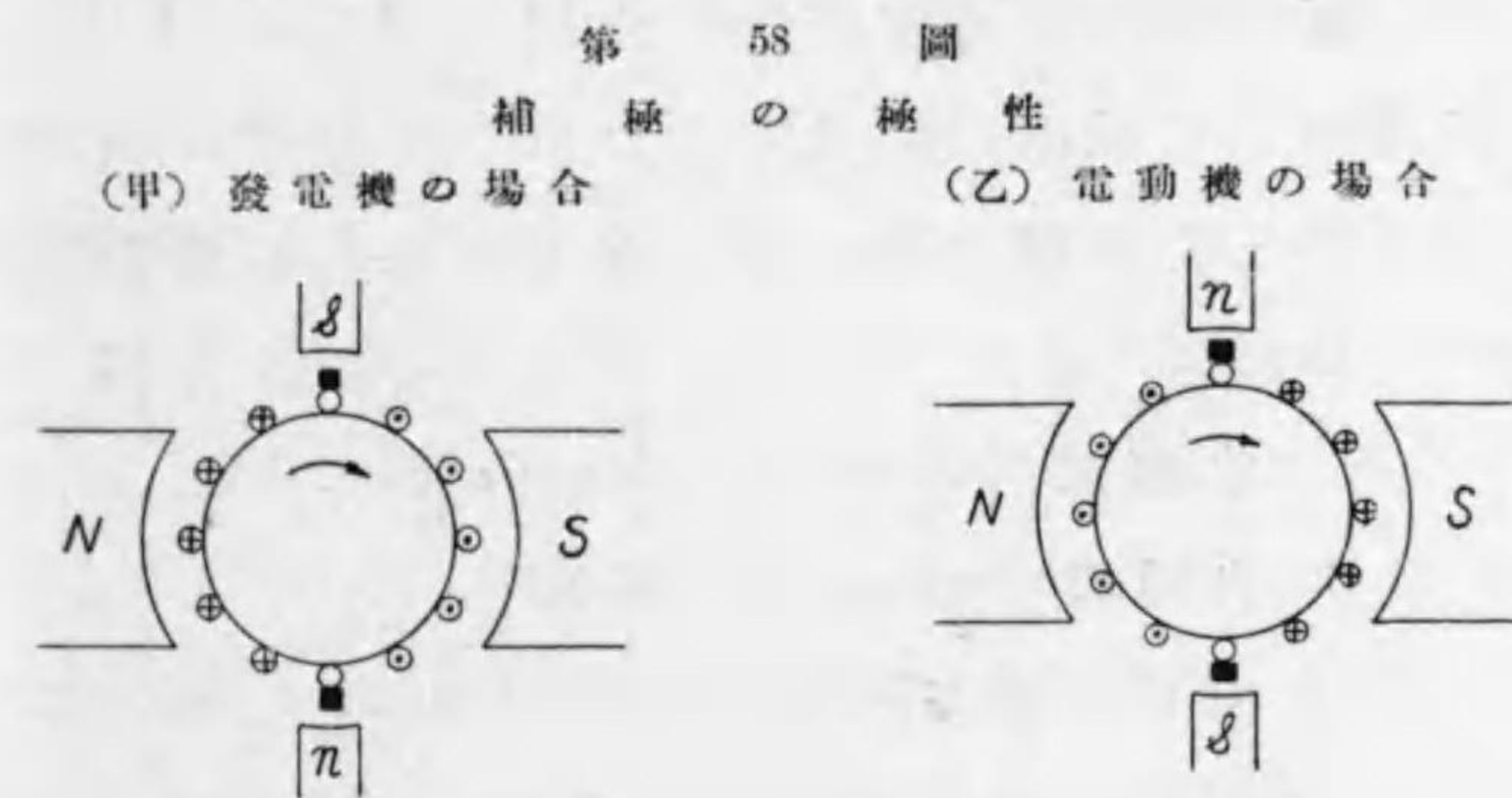
(イ) **刷子の移動** 刷子を発電機では廻轉方向に、電動機では、その反対方向に移動すれば、刷子によつて短絡される線輪 A は既に磁界のために左廻りの起電力を生じ、この起電力のために自己誘導の起電力は打ち消されて短絡電流は零となり火花は消滅する。自己誘導を打ち消すために、即ち起電力を逆轉せしめるために加へる磁界を**逆轉磁界**(Reversing field)又は**整流磁界**(Commutating field)と稱し、逆轉磁界によつて起された起電力を**整流起電力**(Commutating e. m. f.)と云ふ。

電機子電流が大きいときは、自己誘導起電力も大となるから更に刷子を移動して、整流起電力を大としな

ければならぬ。従つて刷子の移動だけによつて整流作用を良好にするには、負荷に應じて刷子の移動角をたえず變へなければならない不便がある。

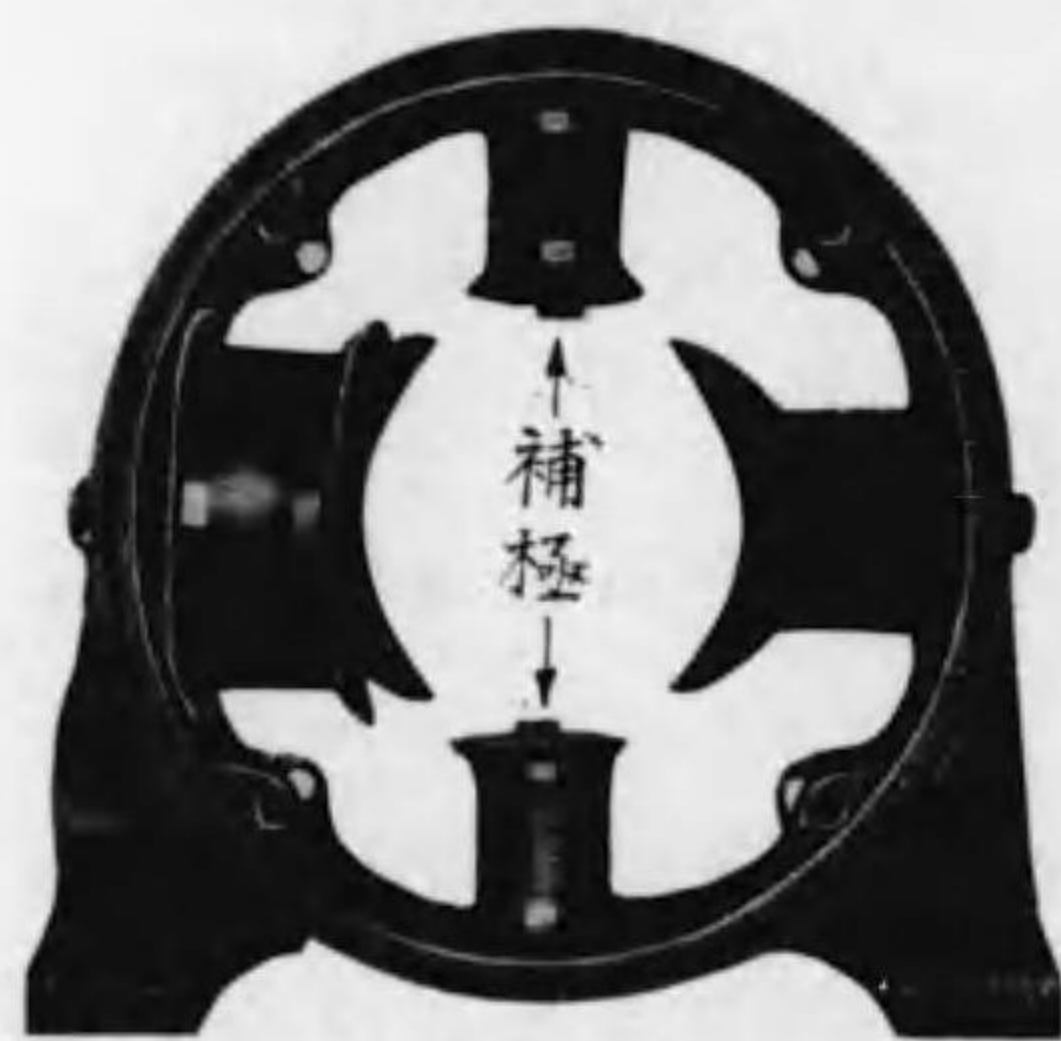
(ロ) **補極** この不便を防ぐために、主磁極の中間に**補極**(Inter pole or Commutating pole)と稱する補助極を設けて逆轉磁界を與へる。そうしてその勵磁線輪は電機子に直列につなぐ。

補極は刷子を無負荷中性點に置いたまゝ、短絡線輪の自己誘導起電力を打消す電壓を起させるのであるから、発電機では廻轉方向にある主磁極と同極性、電動機では反対の極性を與へる様にすれば良い。



上に述べたやうに補極の勵磁線輪は電機子と直列に接続されるので、その勵磁電流は負荷電流と共に變化しその磁束も變る。従つてそれに應じて整流電壓

第 59 圖
補 極



も變るから、負荷に應じて自動的に其作用を調整することが出来る。

なほ補極を使用すれば電機子反作用を防ぐことも出来る。即ち補極の極性を上に述べたやうにとれば、補極による起磁力は電機子電流によつて生ず

る起磁力と方向が反對であるからこれを打消して電機子反作用を除去するのである。

(30) 勵磁法による直流機の種類

直流機の主磁極に勵磁電流を與へて、磁界に磁力線を作ることを界磁を、勵ますと言ふ意味から勵磁(Excitation)と云ふ。その方法によつて次の如く分類する。

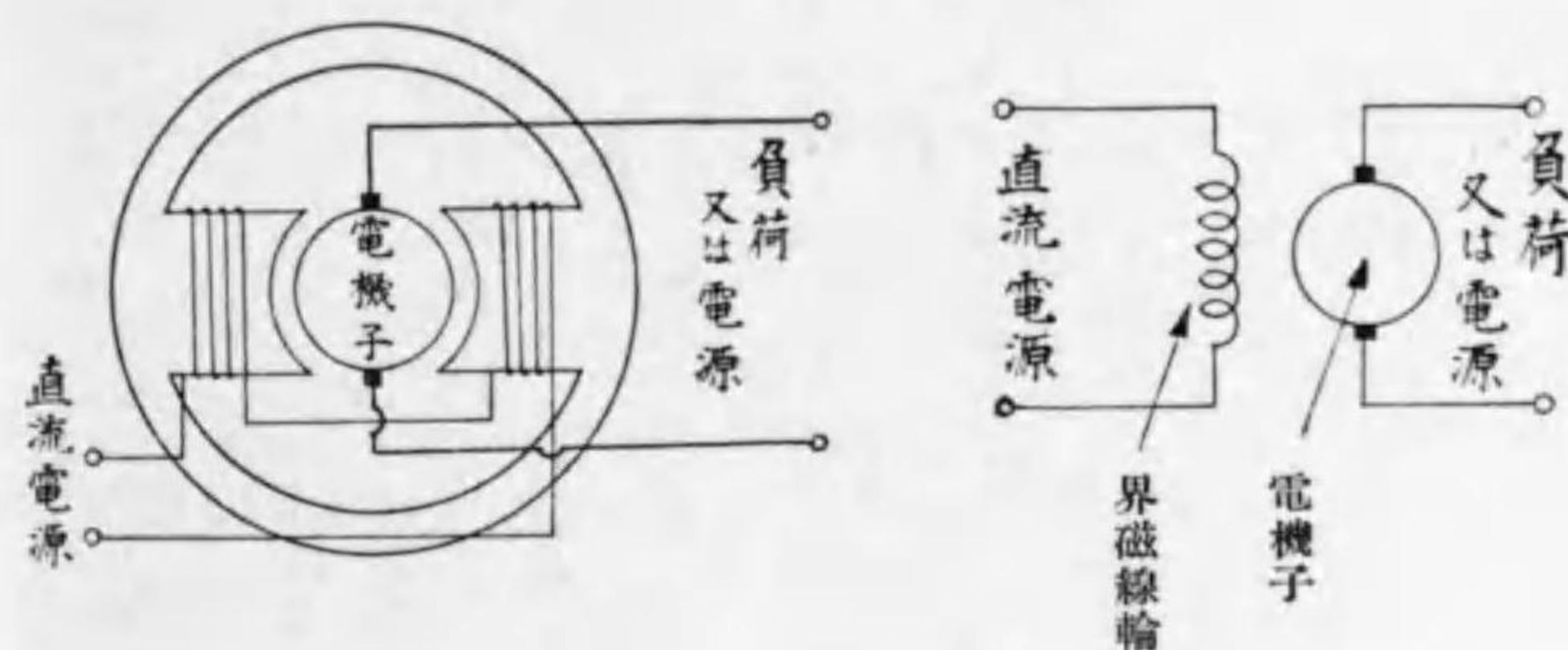
- A 他勵機 (Separately-excited machine)
- B 自勵機 (Self-excited machine)
 - (イ) 分捲機(Shunt wound machine)
 - (ロ) 直捲機(Series wound machine)
 - (ハ) 複捲機(Compound wound machine)

他勵機は勵磁電流を自身以外の他の電源に求めるものであり、自勵機は界磁線輪を自身の電機子に接續

して勵磁電流を得るもので、その接續法に依つて、直流機は更に三種に分れる。

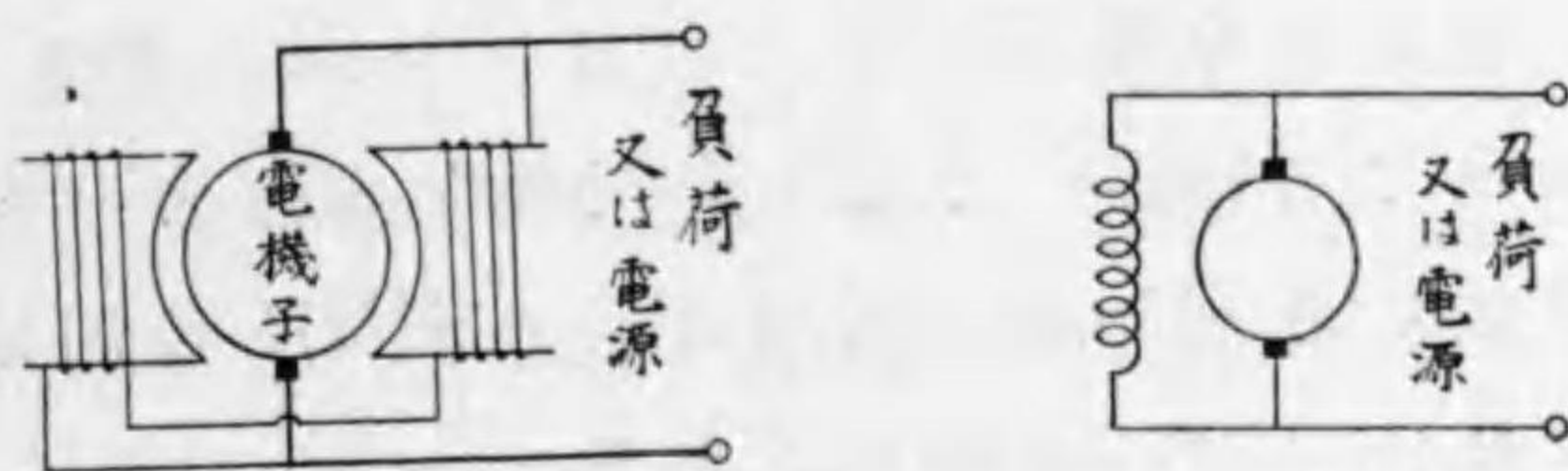
[註] 上記の分類による他勵、自勵なる言葉は元來發電機に對してのみ當はまるべき言葉で、電動機となればすべて他の電源から勵磁電流を仰ぐこととなるから、他勵機に屬する譯であるが、便宜上電動子と界磁線輪とが同一電源、即ち同一線路から電流が供給される場合を自勵機と見做して上の分類に従ふこととする。

第 60 圖
他 勵 機

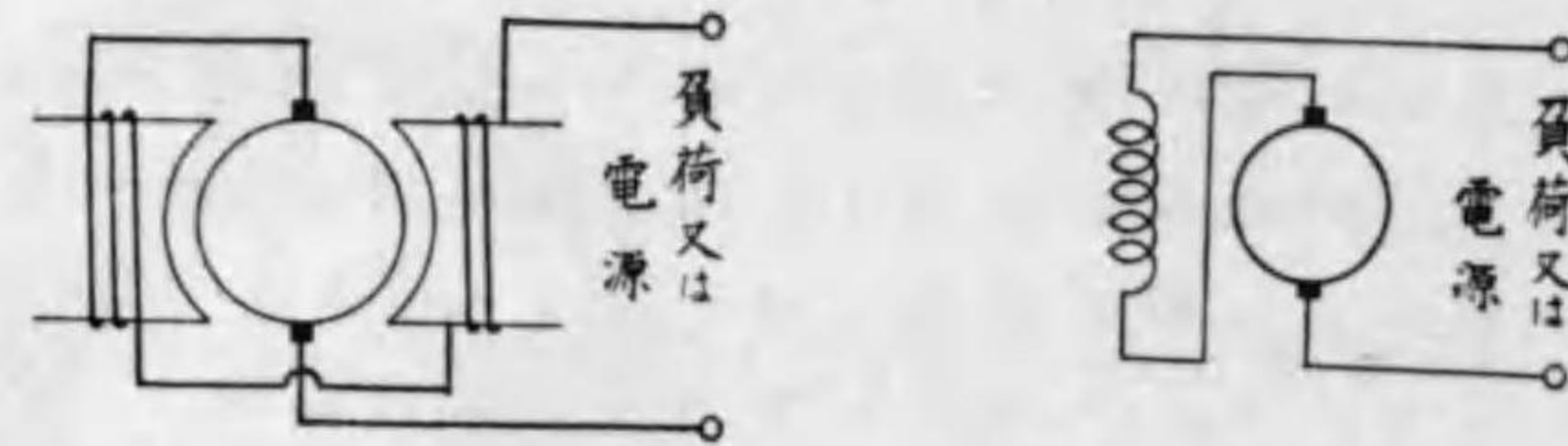


第 61 圖 (自勵機一)
分 捲 機

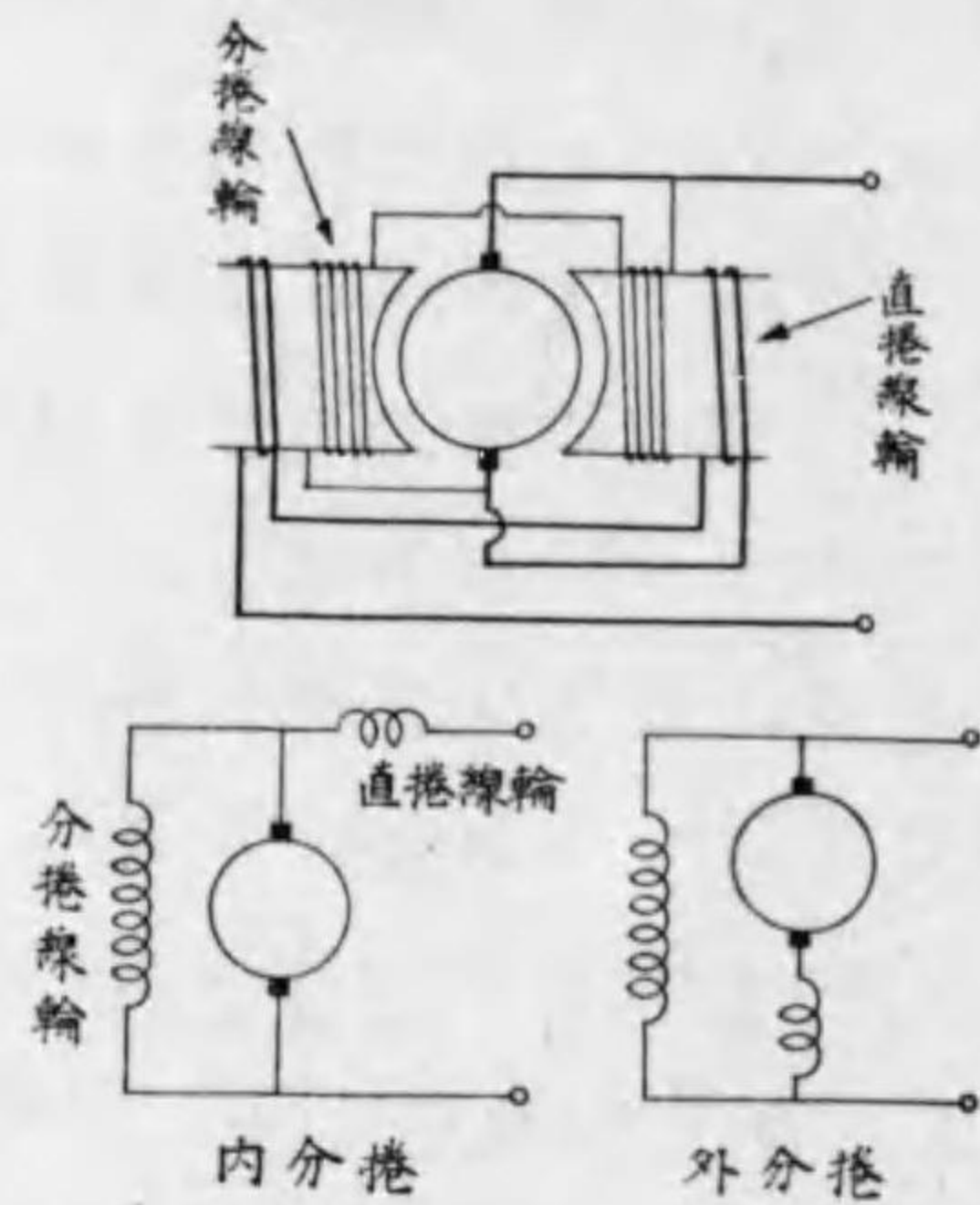
界磁線輪と電機子とが並列



第 62 圖 (自動機二)
直 捲 機
界磁線輪が電機子と直列



第 63 圖 (自動機三)
複 捲 機
界磁線輪は分捲線輪と直捲線輪とから成る



(31) 無負荷特性

發電機を無負荷一定速度で運轉した場合の勵磁電流(界磁の起磁力)と誘導起電力(磁束密度)との關係を無負荷特性 (No-load characteristic) と云ふ。

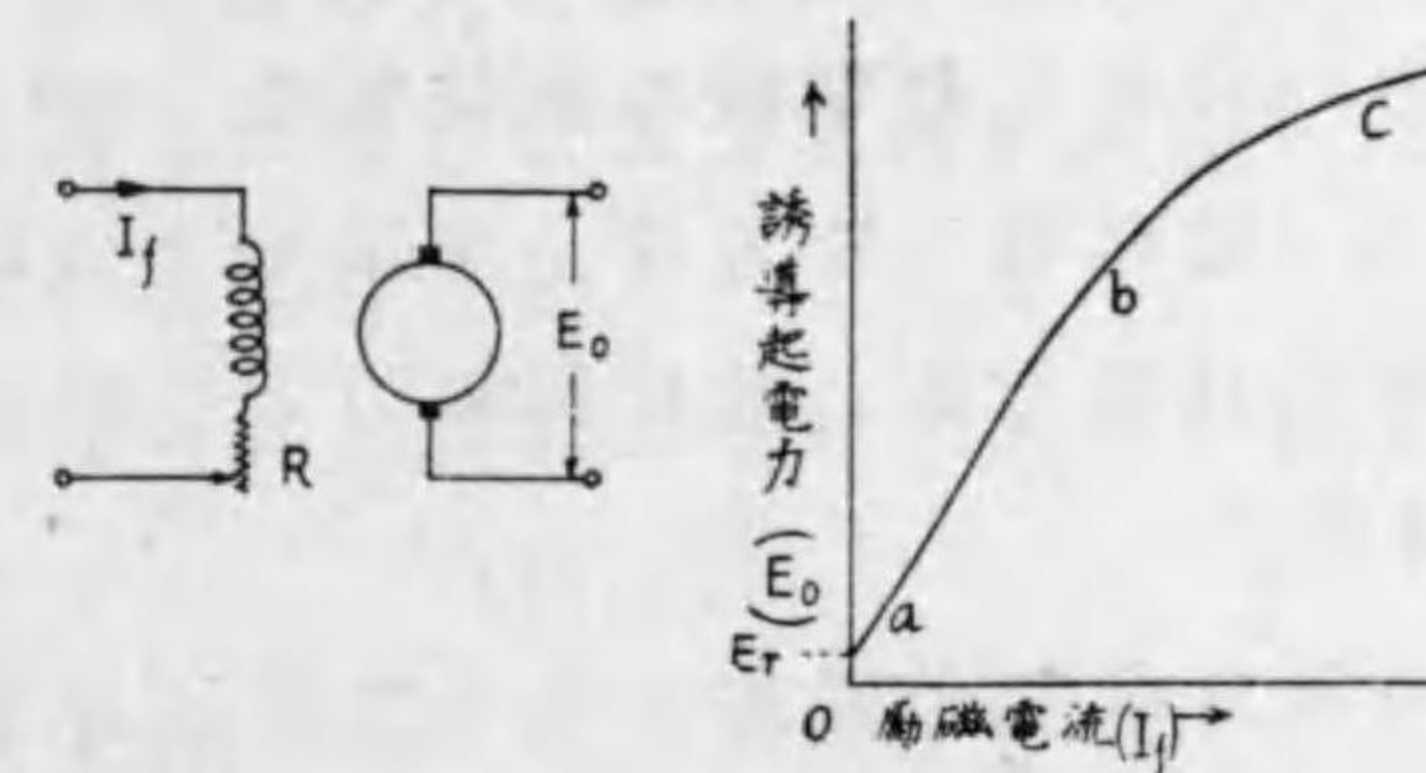
誘導起電力の一般式

$$E = K \phi N$$

に於て原動機を一定に保てば、速度 N は一定になるから、このときの誘導起電力は磁束 ϕ 即ち磁束密度 B に比例する。磁束密度は或る程度までは勵磁電流に比例するから、無負荷特性を曲線にとると初めの間は ab の如く略々直線で示される。

然し勵磁電流が或る値を越えて磁路が飽和の状態に近づくに従ひ、もはや磁束密度は勵磁電流に比例して増加しないために、起電力の増し方はずつと少くなつて、 bc の如き曲線となり横軸に平行となつて来る。

第 64 圖
他勵發電機の無負荷特性曲線



この曲線 abc を無負荷特性曲線 (No-load characteristic curve) 又は飽和曲線 (Saturation curve) と云ふ。此の曲線は磁路が磁化されて行く状態を示す曲線であるから時として磁化曲線 (Magnetization curve) とも呼ばれる。

普通の発電機では、規定電圧は飽和状態で誘導する様に設計されてあるから、勵磁電流の變化、及電機子反作用の變化に無關係に略一定の誘導起電力を發生させることが出来る。

尙勵磁電流が零の場合に起電力 E_r があるが、これは磁極の残留磁氣(Residual magnetism)に依つて發生するもので、これがあるがために自勵が行ひ得られるのである。

〔註〕電動機に於ては、無負荷特性は無負荷に於ける勵磁電流對速度の關係がこれに該當するも、不必要であるから考へない。

(32) 負荷特性

発電機を規定速度で運轉し、その負荷を種々に變へると多くの場合に端子電圧が變る。この端子電圧と負荷電流との關係を**発電機の負荷特性**(Load characteristics)と云ふ。電動機に於ては一定電壓を供給して運轉した場合の負荷電流と速度、廻轉力との關係を**電動機の負荷特性**と云ふ。

発電機の無負荷端子電壓を E_0 、全負荷に對する端子電壓を E_t とすれば、無負荷と全負荷との電壓變化は $E_0 - E_t$ で、その變化と全負荷電壓との比を百分率で表した比

$$\frac{E_0 - E_t}{E_t} \times 100 \% \dots\dots\dots(38)$$

を**電壓變動率**(Voltage regulation)と云ふ。

〔註〕電壓變動率は負荷電流を切つた場合の電壓上昇程度を表はさしめるのが目的であるから若し

$$\frac{E_0 - E_t}{E_0} \times 100 \%$$

とすれば負荷をかけたための電壓降下の程度を表はすこととなり、其の意味を異にするから兩者を混同しない様に注意を要する。

これに對して電動機では無負荷速度を N_0 、全負荷に於ける速度を N とすれば、無負荷と全負荷との速度變化は $N_0 - N$ でこれと全負荷速度との比

$$\frac{N_0 - N}{N_0} \times 100 \% \dots\dots\dots(39)$$

を**速度變動率**(Speed regulation)と稱する。

直流機の特性は各々勵磁法を異にするに従ひ、異つた特性を有する故以下これらに就て述べやう。

(33) 他勵機の負荷特性

他勵機では勵磁電流が電機子回路と無關係であるため次の様な特性を具へてゐる。

他勵發電機は負荷が増加するにつれて多少は電壓が降下する。その原因は

(イ) 電機子抵抗による降下

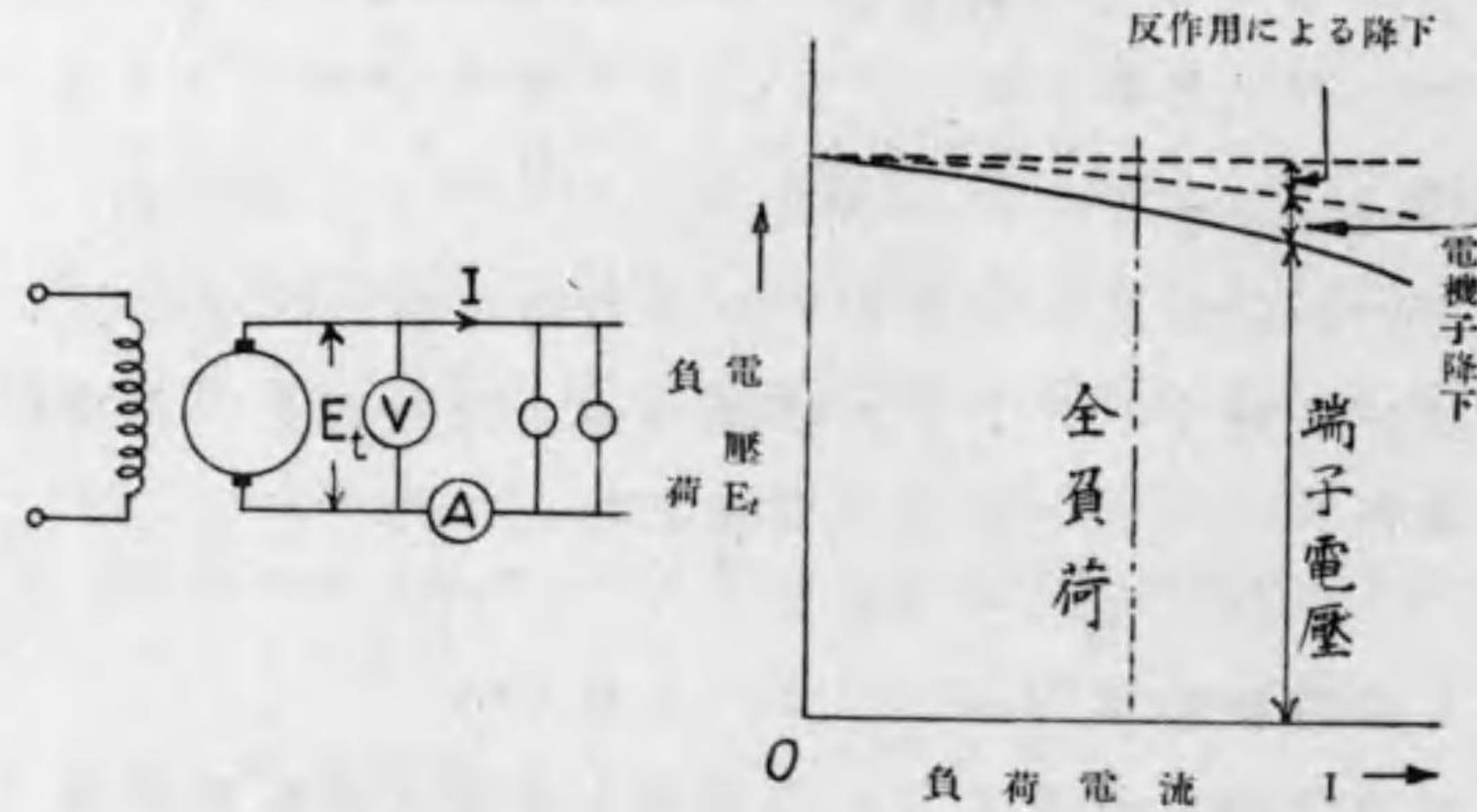
(ロ) 電機子反作用に依り界磁磁束が減少するための誘導起電力の降下

である。

他勵發電機は極めて低電壓を要求する場合等に用

ゐられるに過ぎない。

第 65 圖
他勵發電機の負荷特性曲線

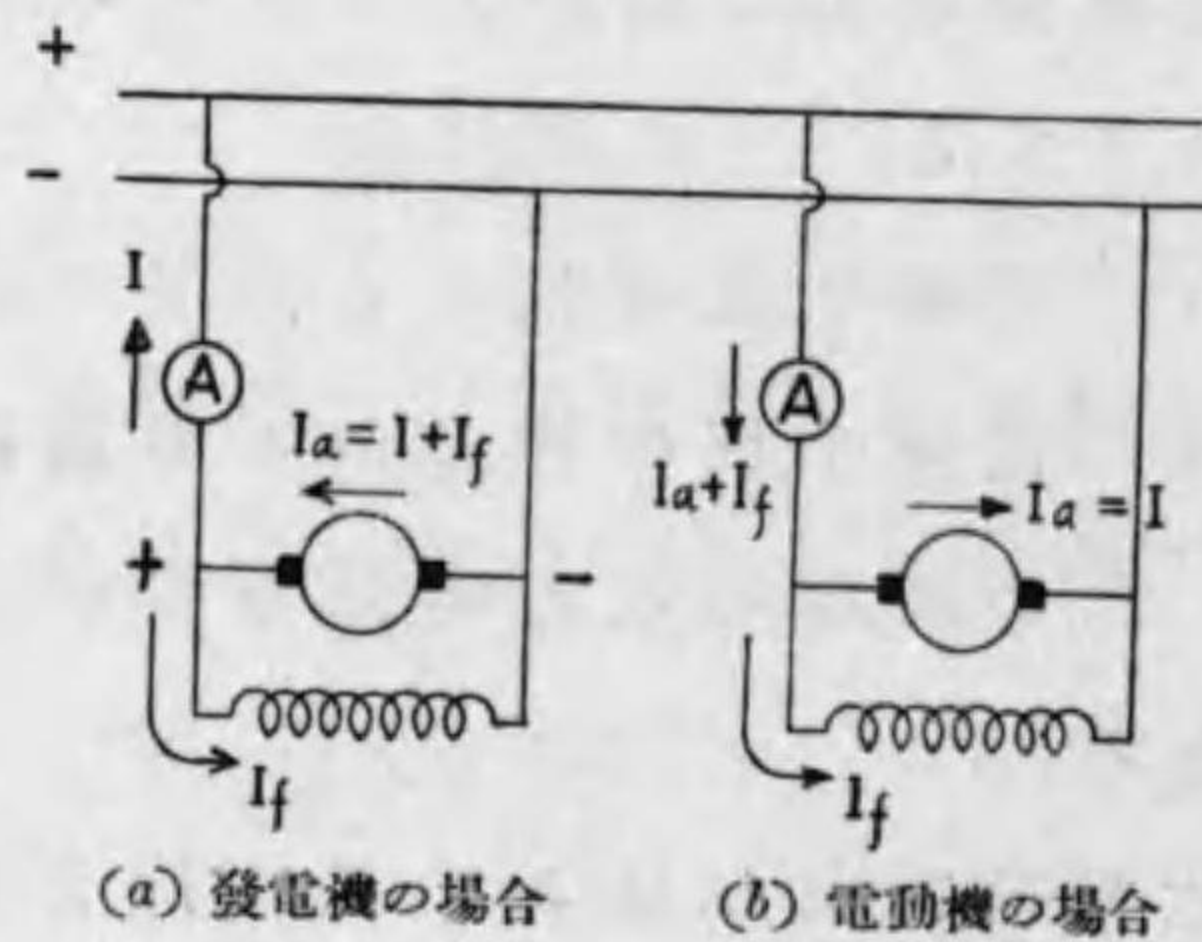


(34) 分捲機の負荷特性

分捲機では勵磁線輪が電機子に並列に接続されるため、端子電圧が一定ならば勵磁電流は一定であるが、端子電圧が變ればこれにつれて増減する。

負荷電流は負荷に依つて變化する電流であるから、電動機の場合には電機子電

第 66 圖
分捲機の負荷電流



流が負荷電流に當り、發電機では電機子電流から勵磁電流を差引いたものが負荷電流に當る。

故に第66圖に示す位置に電流計を挿入して其の示度を以て負荷電流とすれば發電機では電流計は直ちに負荷電流を示すが、電動機では勵磁電流の加はつたのが示される。然し実際には負荷電流に比べて勵磁電流は僅少であるから、電動機では流入電流を以て負荷電流と考へて差支へない。

(a) 發電機としての特性

分捲發電機の端子電圧は負荷電流の増加と共に端子電圧が降下する程度は他勵發電機よりは大きい。これは

- (イ) 電機子抵抗に依る降下
- (ロ) 電機子反作用に依る降下

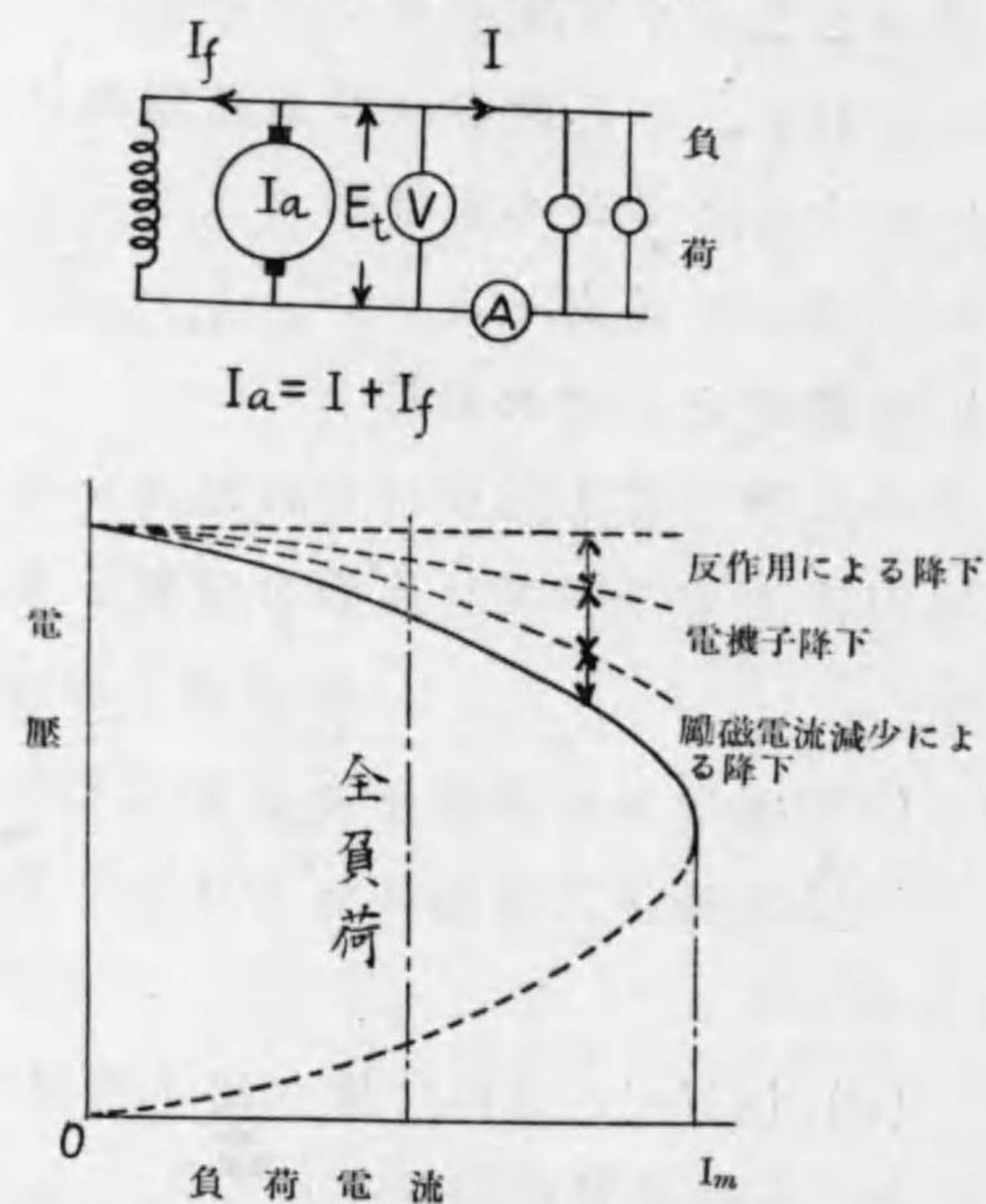
の外に更に

- (ハ) (イ),(ロ)の原因に依り、端子電圧が降下した結果、勵磁電流が減少して、更に誘導起電力が減少するためである。

負荷電流が著しく増すと、反作用による電圧降下が増して遂に誘導起電力及び勵磁電流は消滅して曲線は第67圖に示す點線の如き經路を経て0點に戻る。故に分捲發電機は過つて短絡する事があつても、その

瞬間最大電流 I_m が流れるが、直ちに起電力が消滅して焼損を免かれる。この性質を分捲発電機の自己防禦性(Self-protection)と云ふ。

第 67 圖
分捲発電機の負荷特性曲線



この発電機の電圧変動率は他勵発電機よりは大きくあるが、それでも數%にすぎないから、略々一定電圧を要求する場合に使用される。従つて直流機を以て配電を行ふ場合にはこれが用ゐられる。

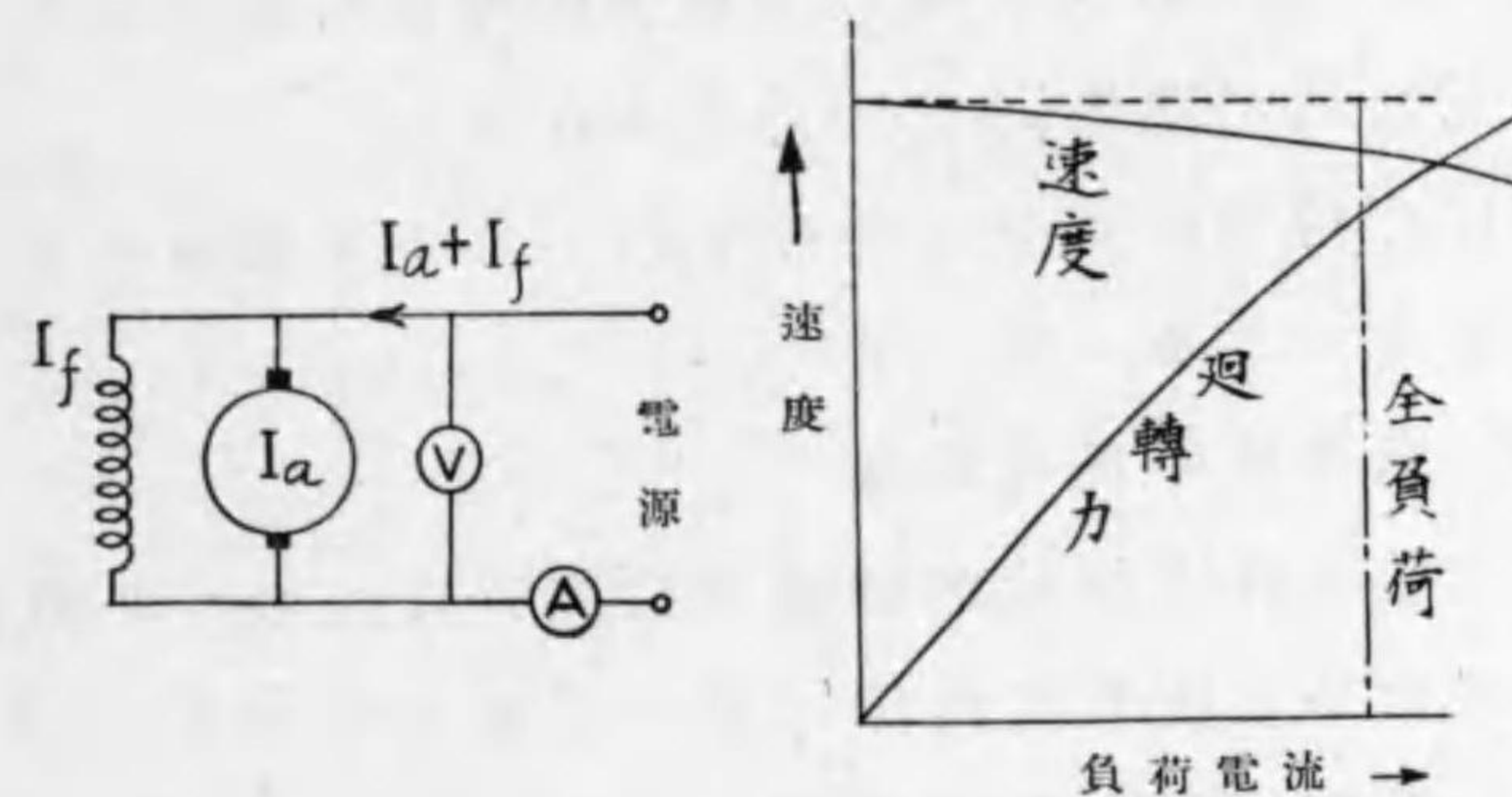
(b) 電動機としての特性

分捲電動機に於ては、速度の一般式

$$N = \frac{E_t - I_a R_a}{K \phi}$$

に於て、端子電圧 E_t が一定のため、勵磁電流 I_f は一定となり、従つて、それによつて生ずる磁束 ϕ も負荷電流に無關係に一定となる。故に其の速度は負荷電流 $I = I_a$ に比例して減少する。勿論此の變動率も數%程度の値にすぎない。

第 68 圖
分捲電動機の負荷特性曲線



迴轉力の一般式

$$T = K_1 \phi I_a$$

に於ても、前と同様の理由により ϕ は一定と見なし得るから、迴轉力は負荷電流に比例して増加する。この電動機は略々一定速度で引續き運轉される場合に使用される。

こゝに注意すべきことは

$$N = \frac{E_r - I_a R_a}{K \phi}$$

に於て $\phi = 0$ とすれば $N = \infty$ となる。

若し分捲電動機に於て界磁捲線を開いたまゝ、電圧を加へて起動すれば、磁界には残留磁氣による磁束のみしか存在しないから ϕ は非常に小さく、従つて電動機は危険な程の高速度に達し遠心力のために、電動子は飛散してしまふこともある。かゝる速度を**無拘束速度**(Run away speed)と稱し、電動機が此の状態になることを電動機が**逸走**(Run away)すると云ふ。

故に分捲電動機では界磁を開いたまゝ起動することは危険である。

(35) 直捲機の負荷特性

直捲機は界磁線輪が電機子に直列にあるため、勵磁電流、電機子電流、負荷電流はすべて同一である。

(a) 發電機としての特性

直捲發電機は、起電力の一般式

$$E = K \phi N$$

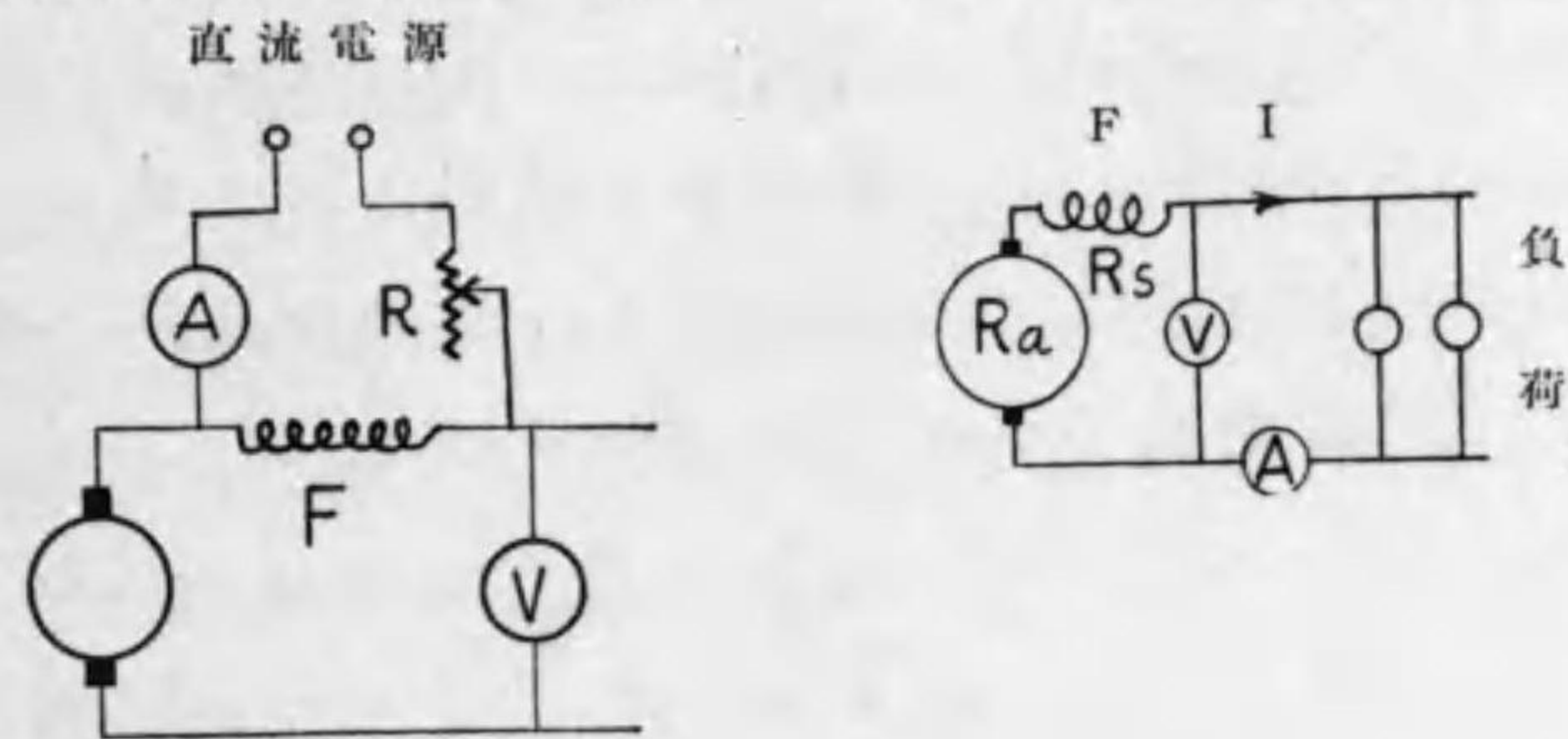
に於て、磁束 ϕ が大體勵磁電流(この場合は特に負荷電流)に比例するから飽和状態になるまで負荷電流に比例した起電力が誘導され、それから電機子反作用に依る降下及び電機子と直捲線輪内の降下 $I(R_a + R_s)$ だけ

差引いた残りが端子電圧として現はれる。

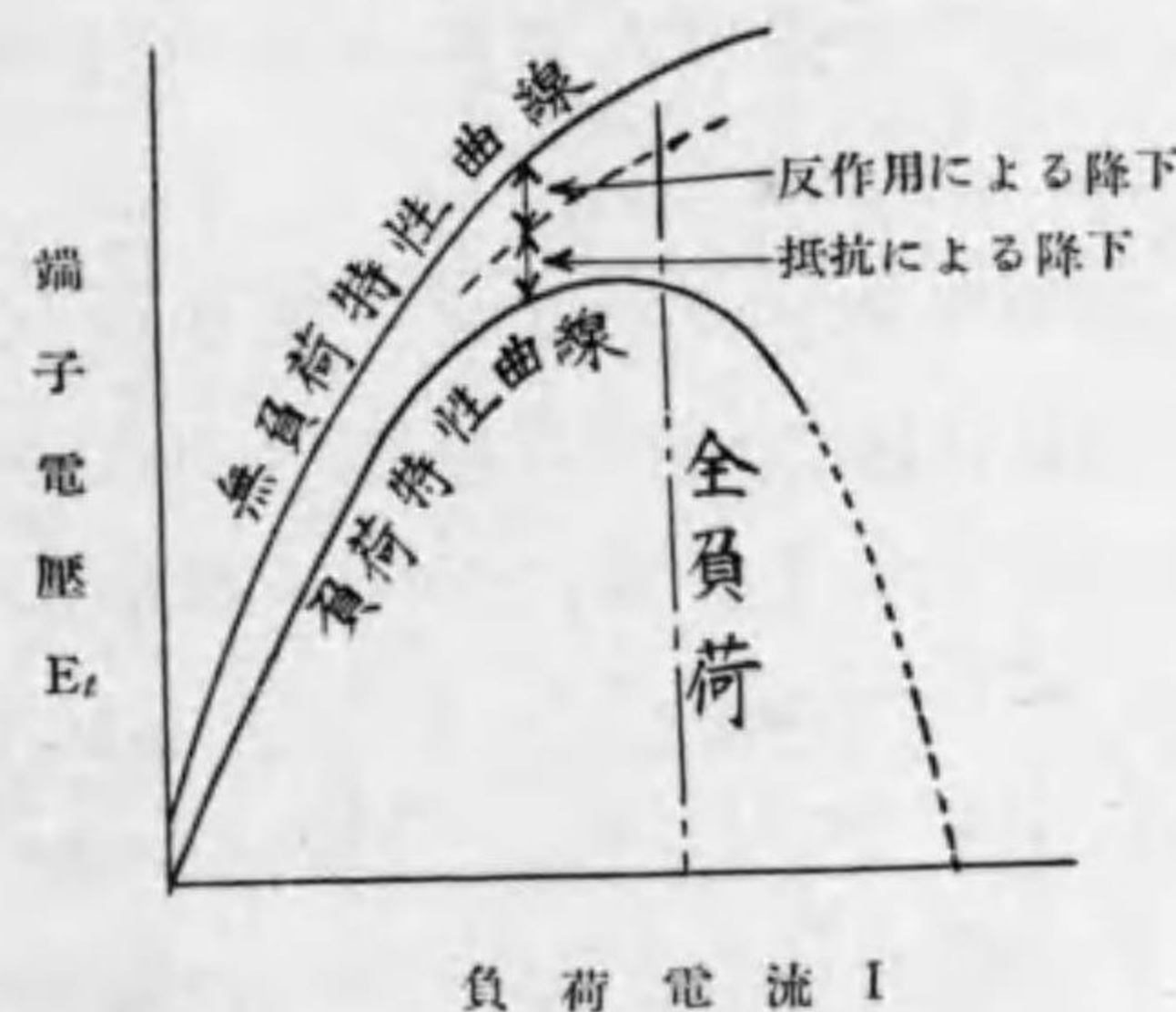
第 69 圖

直捲發電機の無負荷特性曲線と負荷特性曲線

(甲) 無負荷特性曲線を求める方法 (乙) 負荷特性曲線を求める方法



(丙) 特性曲線

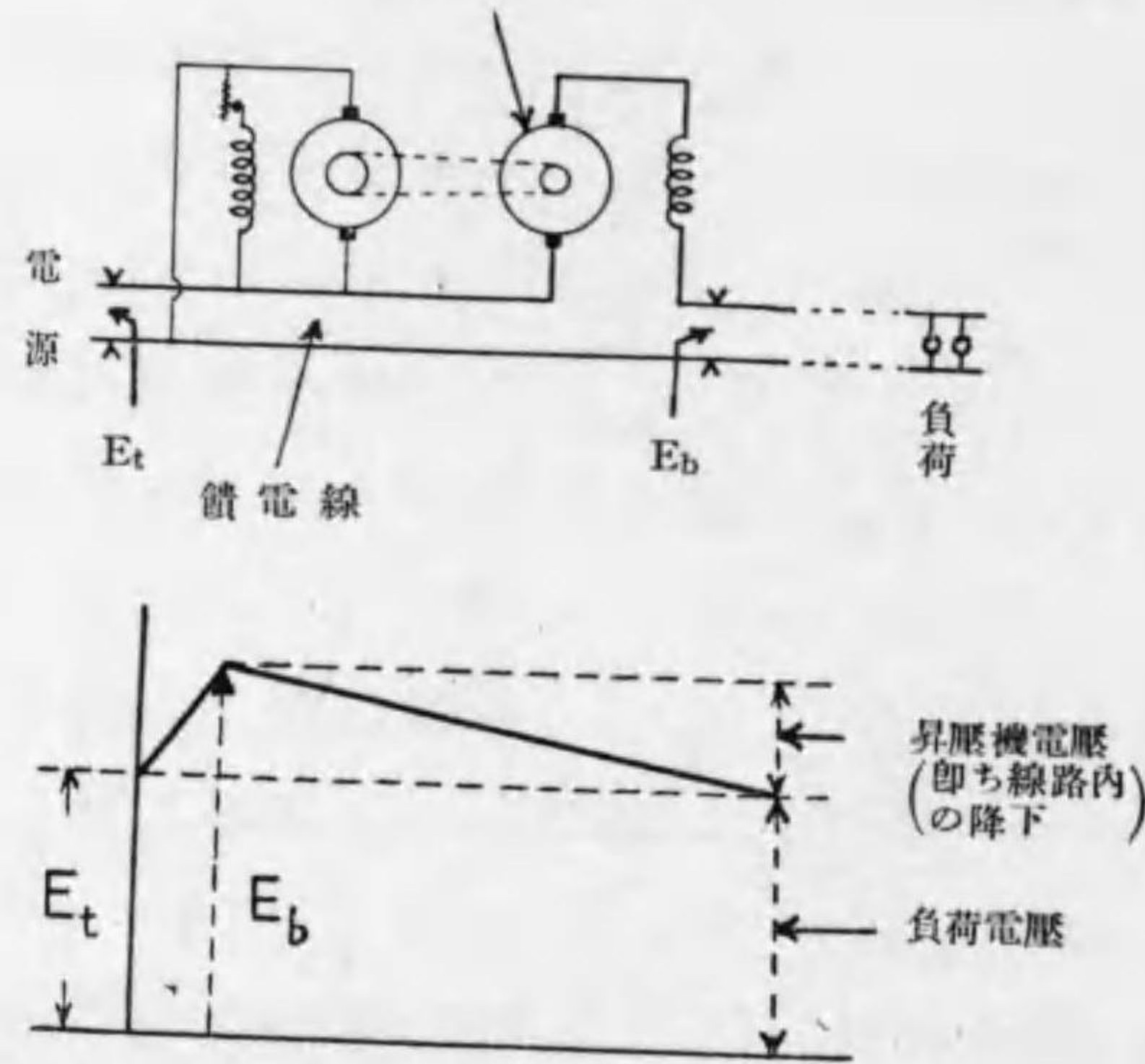


この發電機は特に無負荷、即ち外部回路を開いたときは、勵磁電流がないため僅かに残留磁氣による起電力が生ずるだけである。

そうして負荷した場合には丙圖の如く負荷による

電圧の變化が激しいから、現在の如く定電壓配電法に従ふ發電機としては適しない。然し饋電線のやうに負荷電流に比例して電壓降下が起る場合に、自動的に其の降下だけ高めて負荷電壓を一定に保ちたい様な時には、その回路にこの發電機を直列に附け加へればその目的を達することが出来る。この時は特に昇壓機或は加減壓機 (Booster) と呼ばれてゐる。

第 70 圖
昇 壓 機
昇 壓 機



(b) 電動機としての特性

直捲電動機では、界磁線輪の抵抗を R_s とすれば逆起電力 E_m は

$$E_m = E_t - I(R_a + R_s)$$

となるから速度 N は次式で示される。

$$N = \frac{E_t - I(R_a + R_s)}{K\phi} \dots\dots\dots(40)$$

故に供給電壓 E_t を一定とすれば、負荷電流 I が増加するに従つて抵抗降下 $I(R_a + R_s)$ が増加して速度は減少する。然し此の減少の割合は極めて少いが、前に述べた様に直捲機では負荷電流と勵磁電流は同一のものであるから、電流 I が増大すれば ϕ も増大して速度は急激に減少する。

磁路が飽和の状態に達してゐれば其の影響は少いが、輕負荷の時は僅かな電流の變化でも速度の變化は激しい。

この電動機を無負荷で起動すれば、残留磁氣に依る磁束だけであるから、前に述べた様に逸走する危険があるので、普通幾何かの負荷をかけて起動する。

廻轉力 τ は

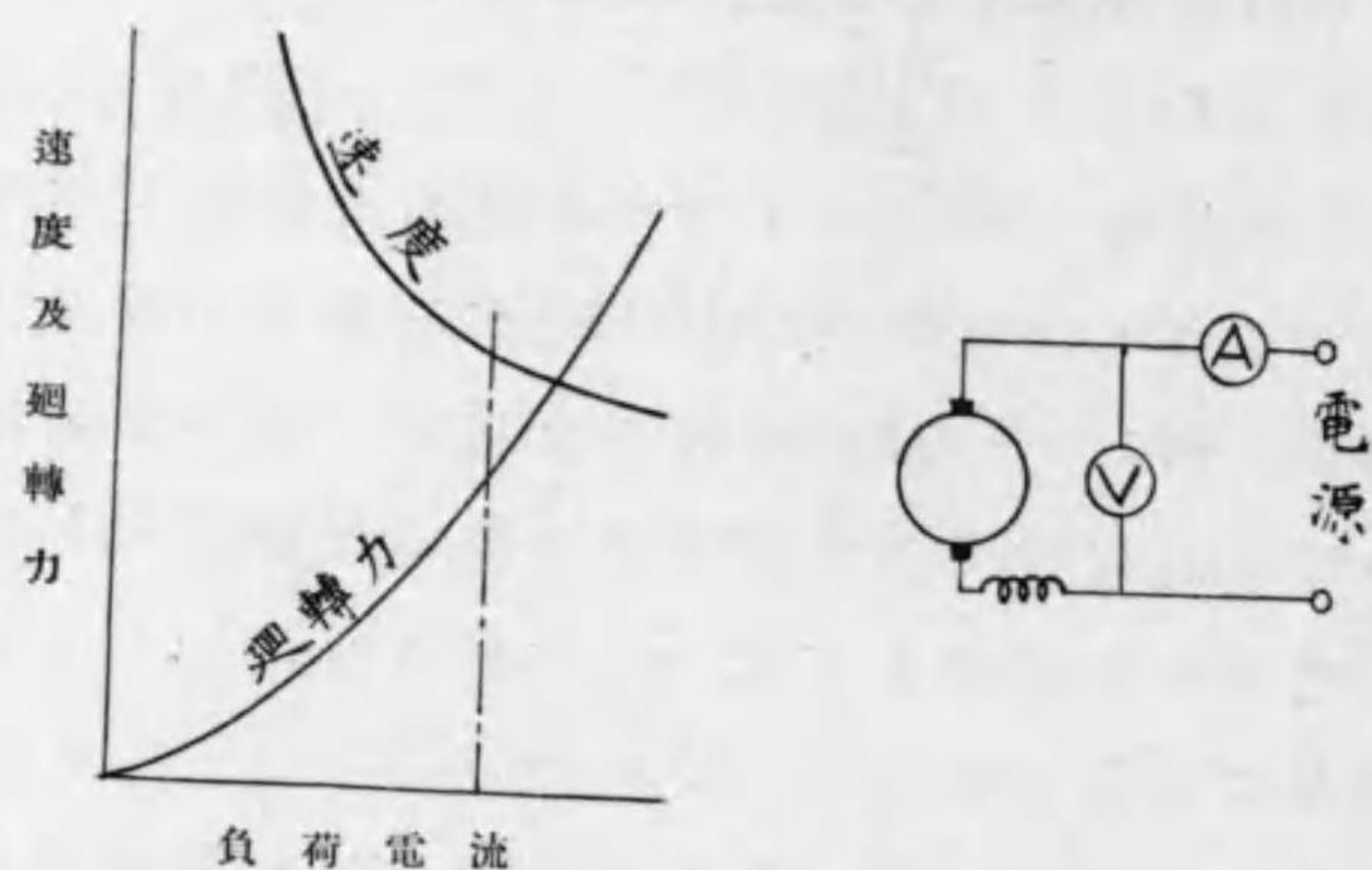
$$\tau = K_1 \phi I$$

に於て磁路が飽和して居なければ、 $\phi \propto I$ と見做し得るから

$$\tau = K_2 I^2 \dots\dots\dots(41)$$

となり、電流の自乗に比例する。故に起動の際は極めて僅かの電流で非常に大なる廻轉力が得られる。

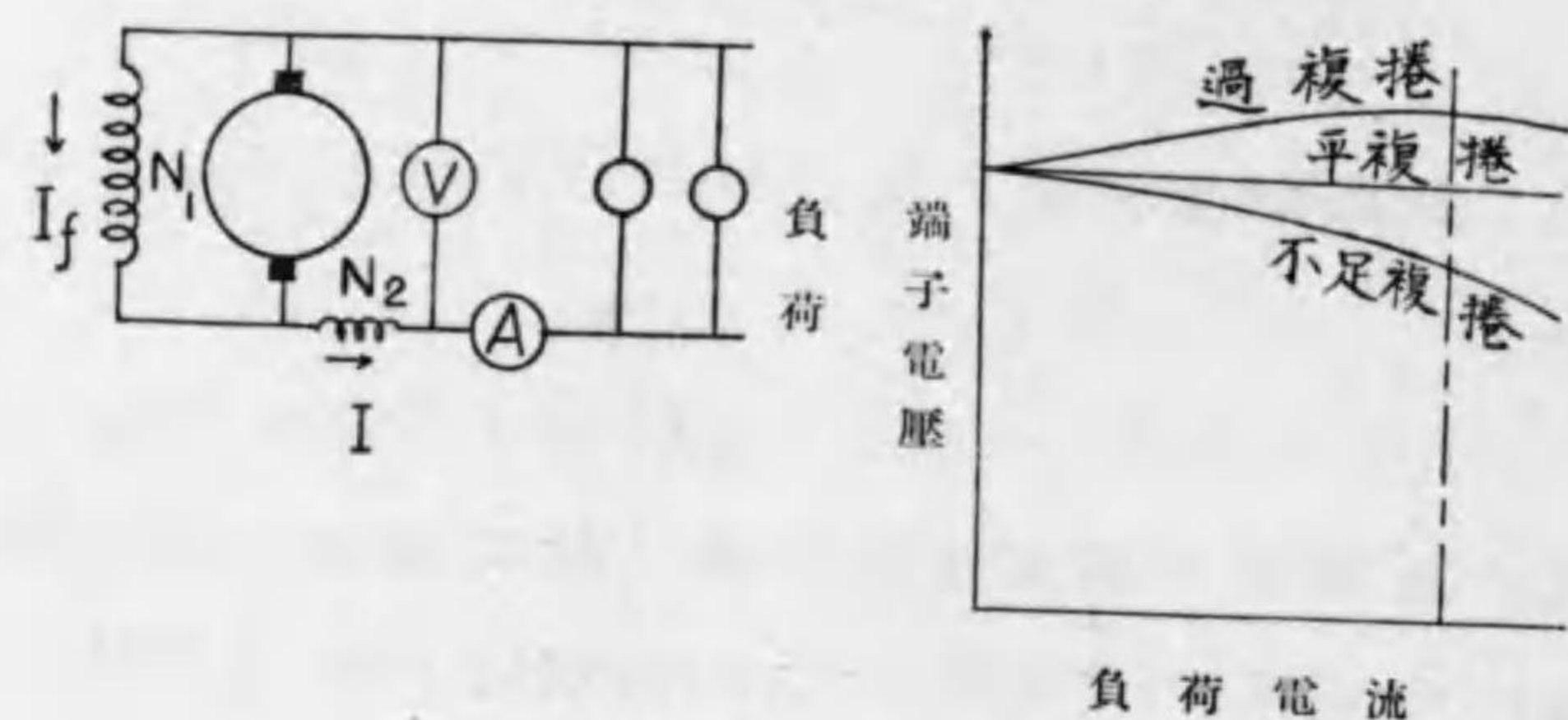
第 71 圖
直捲電動機の負荷特性曲線



以上の様な特性を有するからこの電動機は**起動廻轉力** (Starting torque) が大なることを要し、且つしばしば起動、停止を行ふ電車や起重機用の電動機に適する。

(36) 複捲機の負荷特性

第 72 圖
複捲發電機の負荷特性曲線



複捲機は分捲機に直捲界磁を附加したもので、分捲界磁の捲数を N_1 、直捲界磁の捲数を N_2 とすれば、磁界に生ずる全磁束 ϕ は、

$$I_f N_1 \pm I N_2 \dots\dots\dots(42)$$

に比例する。 $+ I N_2$ の場合を**和働複捲** (Cumulative compound)、 $- I N_2$ の場合を**差働複捲** (Differential compound) と稱する。

差働複捲は電動機の場合に用ひられることもあるが、發電機としては和働の場合のみが用ひられる。上式中分捲界磁のアンペア回數 $I_f N_1$ は殆んど一定と見做し得るも、直捲界磁のアンペア回數 $I N_2$ は負荷電流に比例して變化し、複捲機はこのアンペア回數によつて異つた特性をとる。

(a) 發電機としての特性

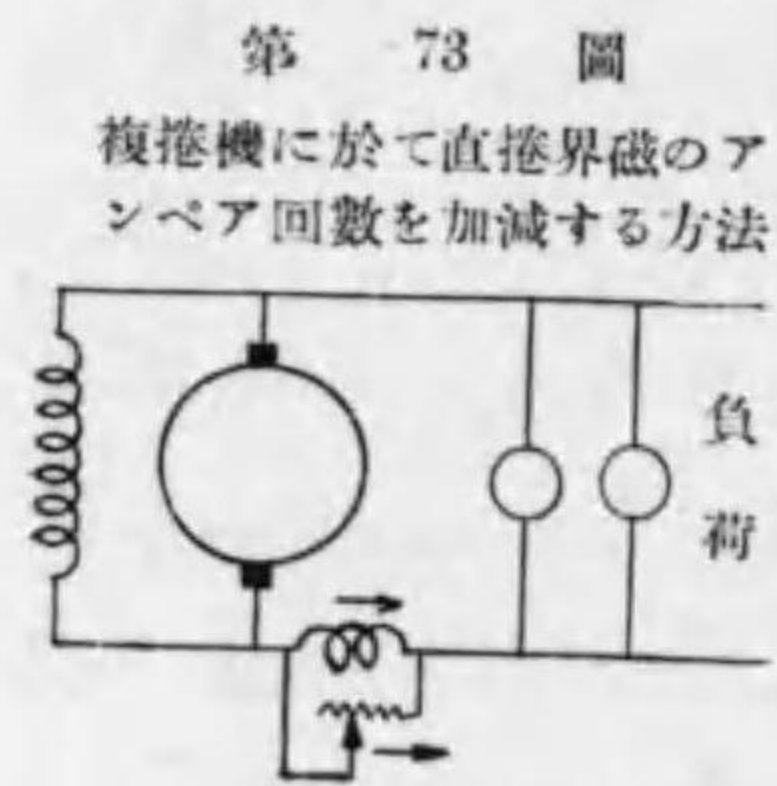
複捲機を發電機として使用した時、直捲界磁アンペア回數 $I N_2$ の大きさによつて分類すると次の三種類に分けることが出来る。

- (イ) 平複捲 (Flat compound)
- (ロ) 過複捲 (Over compound)
- (ハ) 不足複捲 (Under compound)

平複捲は負荷に無關係に、殆んど端子電壓が一定して居る様に $I N_2$ を利かせたもので、一定電壓を要求す

る所に用ひられ、過復捲は負荷の増加と共に、端子電圧が上昇する様に IN_2 を更に強くしたもので、比較的長い配電線路に用ゐられる。

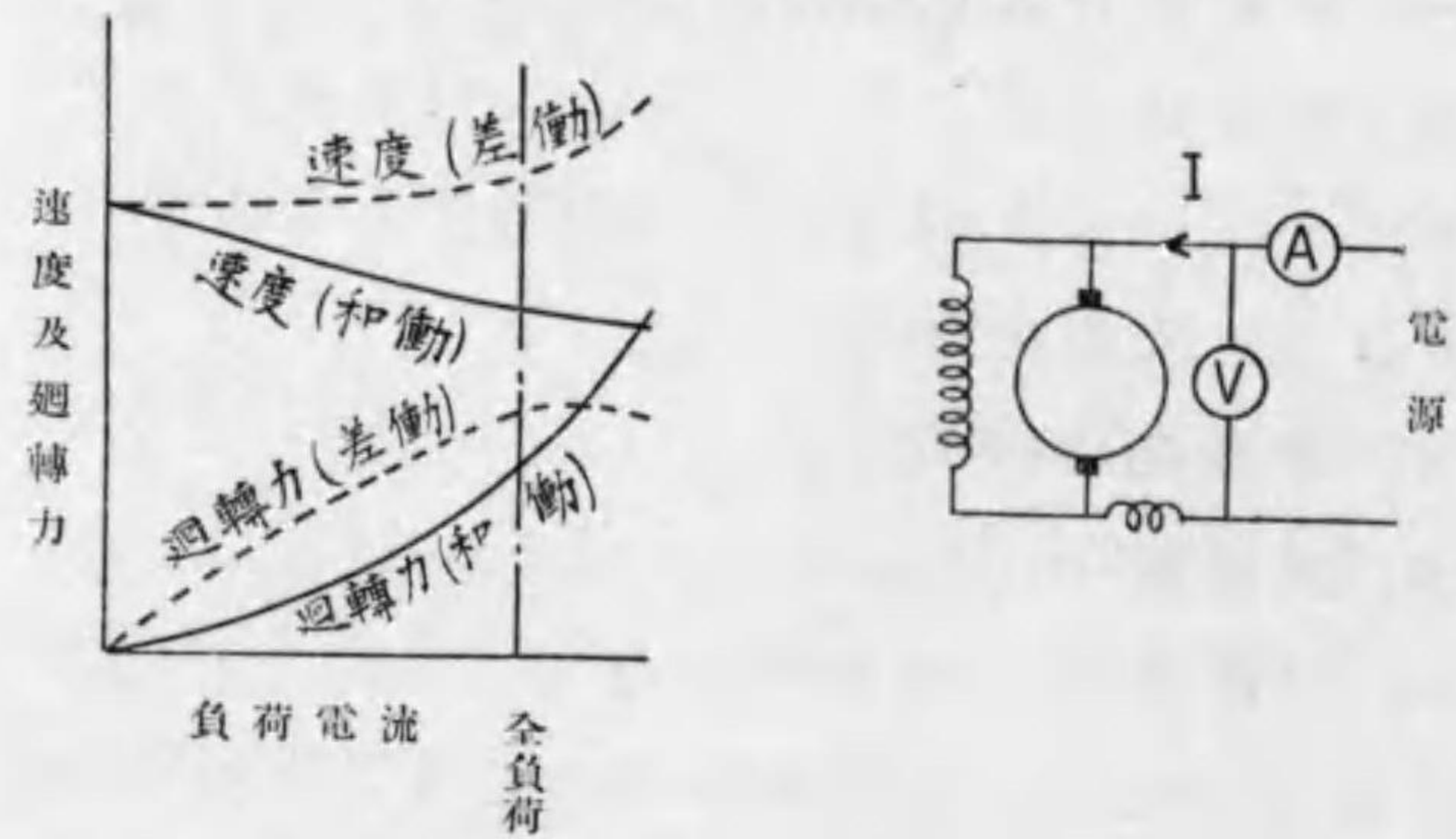
不足復捲は IN_2 を少くしたため負荷と共に端子電圧が下降する様になつたものである。



IN_2 を加減するには直捲線輪の捲数を變へても出来るが、簡単に行ふには第73圖の如く直捲線輪に分路抵抗を用ひて直捲線輪の勵磁度を變へればよい。

(b) 電動機としての特性

第 74 圖
複捲電動機の負荷特性曲線



複捲電動機には前に述べた如く、直捲界磁を分捲界磁に反對に利かせて分捲界磁だけの時の速度減少を補ひ、常に一定速度に保たせる差働復捲も、兩界磁を同方向に利かせて分捲電動機と直捲電動機の中間の性質をもたせる和働復捲も共に用ゐられる。

(37) 能率と損失

すべて機械の能率 (Efficiency) は、その發生した出力と、受入れた入力との比を百分率で表はすもので、これの高い程有効にその役目を果すのである。

大抵の機械は全負荷で運轉した場合に最高能率を發揮する様に設計される。

出力は入力から、その機械の中で失はれる損失を差引いた残りであるから、能率 η は次の様に考へられる。

$$\eta = \frac{\text{出力}}{\text{入力}} \times 100\% \dots\dots\dots(43)$$

$$= \frac{\text{入力} - \text{損失}}{\text{入力}} \times 100\% \dots\dots(43a) \quad \text{電動機の場合}$$

$$= \frac{\text{出力}}{\text{出力} + \text{損失}} \times 100\% \dots\dots(43b) \quad \text{發電機の場合}$$

日本電氣機器標準規程では電氣機械の能率を次の様に定めて居る。

實際に機械に負荷をかけて入力及出力を測つて(43)式から求めた能率を實測能率 (Direct measured efficiency) と云ふ。然し電力は簡単に測れるのに比べて、機械的

動力は測り難い。又實際に負荷をかけることは不経済でもあり、不可能な場合もあるから、或る規約(標準規程 445—454) に基いて損失を決定し (43a) 又は (43b) から求めた能率を考へてこれを規約能率 (Conventional efficiency) と云ふ。

直流機の損失は大體

(イ) 銅損(Copper loss)

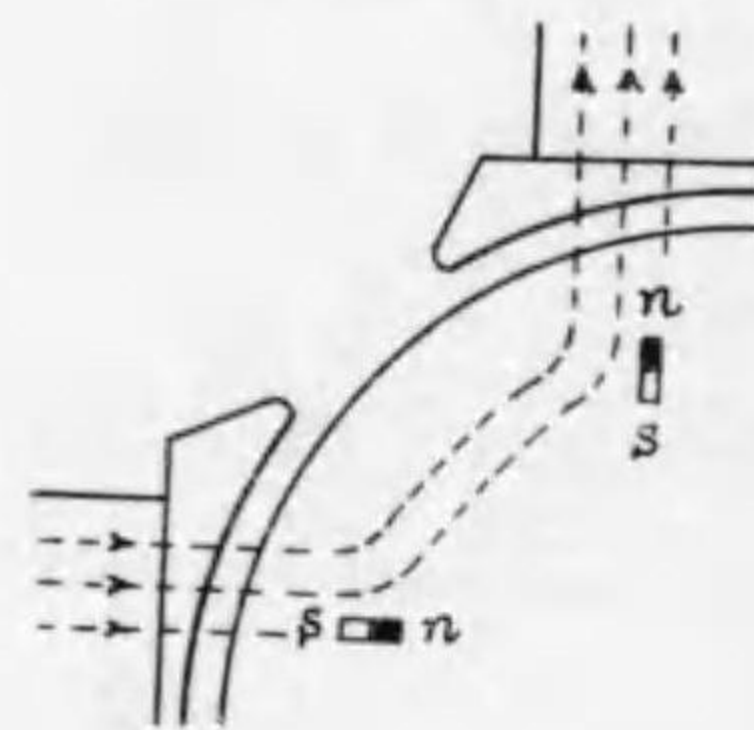
(ロ) 鐵損(iron loss)

(ハ) 摩擦損(Frictional loss)又は機械損(Mechanical loss)

の三つに大別される。これらはすべて熱となつて機械の溫度を上昇せしめる。

銅損は電機子電路、界磁電路の抵抗及び刷子の接觸抵抗 (Contact resistance) 内に於て、その中を通る電流のため費される損失で(電流²×抵抗)から計算出来る。

第 75 圖
電機子鐵心にヒステリシスの起る理を示す



鐵損は電機子鐵心内に於て磁化の方向が交互に變るために起るヒステリシス損(Hysteresis loss)と、渦流によつて生ずる渦流損(Eddy current loss)とを併せたもので、これは測定することが出来る。

摩擦損は刷子と整流子、軸と

軸承、廻轉部と空氣との間に生ずる摩擦のために起る損失で大體の値は測定出来る。

漂遊負荷損 以上の損失を測定なり、計算なりして求めた總和は實測した損失より幾分少い。つまり上に述べた外に種々の原因による損失があるので、これを一まとめにして漂遊負荷損(Stray loss)と云ふ。

【注】上記損失中、電機子及び直捲界磁銅損は負荷によつて變化するが、他の損失は殆んど一定である。この可變損(Variable loss)と不變損(Constant loss)とが相等しいとき最大能率で動作する。

次に電動機についてこのことを證明しよう。

$$\eta = \frac{\text{入力}-\text{損失}}{\text{入力}} = \frac{EI - I^2 R_a - L}{EI}$$

$$= 1 - \frac{I}{E} \left\{ \frac{I^2 R_a + L}{I} \right\}$$

但し

E = 供給電壓

I = 負荷電流

R_a = 電機子直列回路の抵抗

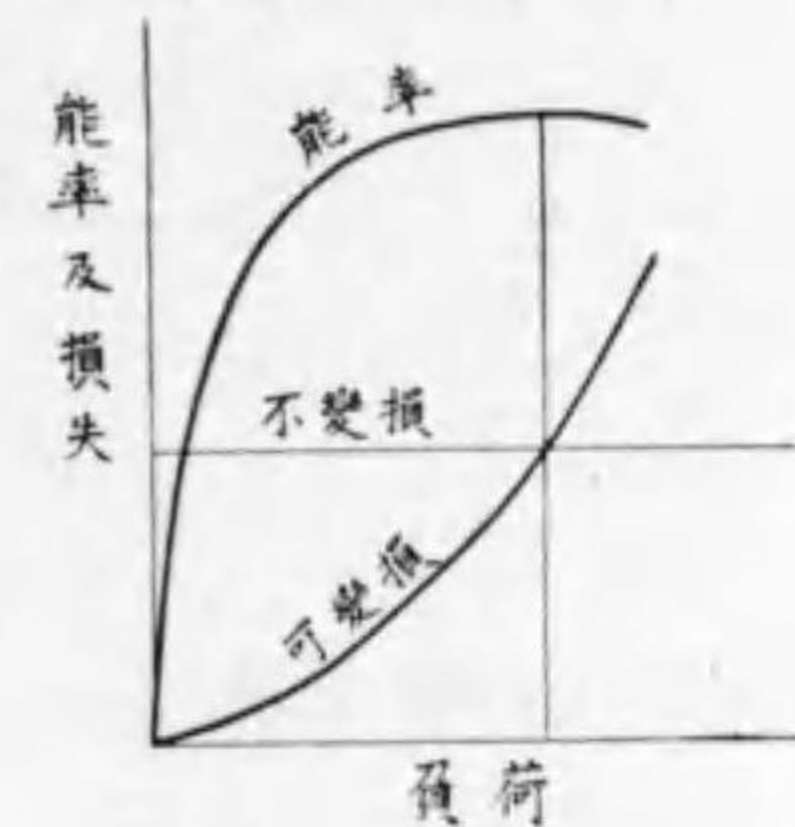
L = 不變損

η を極大にするには、括弧内を極小にすればよい。今括弧内を p とおけば

$$p = \frac{I^2 R_a + L}{I}$$

p の極小を見るために、上式の右邊を次ぎの如く書きか

第 76 圖
損失及能率曲線
可變損と不變損とが等しい
とき能率は最大である。



へる。

$$\begin{aligned}
 p &= IR_a + \frac{L}{I} \\
 &= (\sqrt{IR_a})^2 - 2\sqrt{IR_a}\sqrt{\frac{L}{I}} + \left(\sqrt{\frac{L}{I}}\right)^2 + 2\sqrt{IR_a}\sqrt{\frac{L}{I}} \\
 &= \left(\sqrt{IR_a} - \sqrt{\frac{L}{I}}\right)^2 + 2\sqrt{R_a L}
 \end{aligned}$$

上式に於て、 p が極小であるためには、右邊の括弧内が零であることが必要である。即ち

$$\begin{aligned}
 \sqrt{IR_a} - \sqrt{\frac{L}{I}} &= 0 \\
 \therefore IR_a &= \frac{L}{I} \\
 \therefore I^2 R_a &= L
 \end{aligned}$$

即ち負荷電流によつて變化する損失 $I^2 R_a$ と不變損 L とが等しい時に能率は極大となる。

$$P = y, \quad I = x, \quad a = R_a, \quad L = c,$$

と置き普通の代數式として考へて見よ

$$y = \frac{ax^2 + c}{x} = ax + \frac{c}{x}$$

(38) 温度上昇と定格容量

直流機に限らずすべて電氣機械は負荷を掛ければ發熱して、その發生熱量と放散する熱量とが等しくなるまで温度は上昇する。

温度が著しく上昇すれば、絶縁物を燒損して絶縁を破壊し、ひいては線輪の短絡等を生じて遂に機械を燒損するに至る。故に無制限に負荷を掛けることは出來なくて、其の最大出力は先づ温度上昇に依つて或る程度まで制限を受ける。

【注】絶縁材料に許し得べき最高温度及び最大温度上昇は次の如く定められてゐる。
(標準規定 301)

種類	材 料	最高温度 攝 氏	最大温 度上昇 攝 氏
A°	木綿、絹、紙及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°	65°
B	雲母、石棉其の他高温に耐へ得る材料をA種材料と共に用ゐる場合に單にA種類は構造上の目的に使用せられ之れが損ずる事あるも全體として電氣的、機械的性質を害せざるもの(マイカナイト、石棉、紙等の如し)	125°	85°
C	生雲母、石棉、磁器、石英、其他のB種より高き温度に耐へ得る材料	制限を附せず	

○木綿、絹、紙及類似の材料をワニスにて含浸せず、又は油中に浸されざるものにおいて、最高温度及最大温度上昇はA欄の特定温度より攝氏15°を減じたるもの。
但し制限されるのは温度そのものであるから、許容温度上昇は周圍の状況、例へば周圍温度、その土地の高さ等によつて異り、機械の動作状態によつても異る。故にそれぞれの場合に應じて適當に考慮しなければならない。上記の表は周圍温度は40°C、高さは海拔1000 m 以下での値である。

この温度上昇の外に變動率、能率、整流子に於ける火花等によつて機械の最大出力は制限される故、普通幾K.W.の發電機とか幾H.P.の電動機とかいふのは上の様な事項について或制限内での最大出力を云ふの

で、これを**定格容量** (Rated capacity) といふ。

連続運転をする機械と、短時間運転しては停止する機械の様に働作状態が異れば、温度上昇の程度が異なるから、働作状態によつて定格を次の如く分類してある。(標準規定 205)

連続定格 機器が指定試験条件で連続的に働作し得る出力をいふ。普通定格容量といへば連続定格のことである。

短時間定格 断続働作する機器が、指定試験条件で一定の短時間動作し得る最大出力をいひ、一時間定格三十分定格、十五分定格がある。

〔第三章問題〕

〔1〕 端子電圧110ヴォルト、電動子電流90アムペアなる10馬力の電動機の逆起電力を求めよ。但し電動子線輪の抵抗を0.05 オームとする。

〔2〕 1500 r. p. m. で廻轉し、120ヴォルトの起電力を誘導してゐる直流発電機の廻轉数だけ變へて1200 r. p. m. にすれば誘導起電力は幾何になるか。

〔3〕 端子電圧110ヴォルトの電動機がある。その電動子抵抗は0.08 オームで、1000 r. p. m. のとき電動子電流50アムペアとすれば、電流120アムペアのとき廻轉数はいくらになるか。但し界磁の強さは變らないものとする。

〔4〕 前問に於て界磁電流が減じて、磁界が10%だけ弱くなつたとすれば、電動子電流50アムペアのとき毎分何廻轉するか。

〔5〕 100ヴォルト、10馬力、分捲発電機の全負荷に於ける入力及び電動子電流は幾何か。但しこの場合の能率85%、勵磁電流2アムペアとする。

〔6〕 全負荷で100ヴォルト、5アムペア、1000 r. p. m. なる分捲電動機の、定格電圧及び定格速度に於ける無負荷電流が4アムペアであるといふ。電動子及び界磁回路の全抵抗が各々0.12 オーム、80オームであるとき、この電動機の能率を最大ならしめる負荷電流を求めよ。

〔7〕 110ヴォルト、5キロワット、1250 r. p. m. の分捲発電機がある。その電動子回路の抵抗 $R_a = 0.22$ オーム、界磁回路の電流 $I_f = 1.0$ アムペア、鐵損及び機械損の和 = 350 ワットであるといふ。全負荷に於ける能率を求めよ。

第四章 直流機の運轉

(39) 電動機の起動法

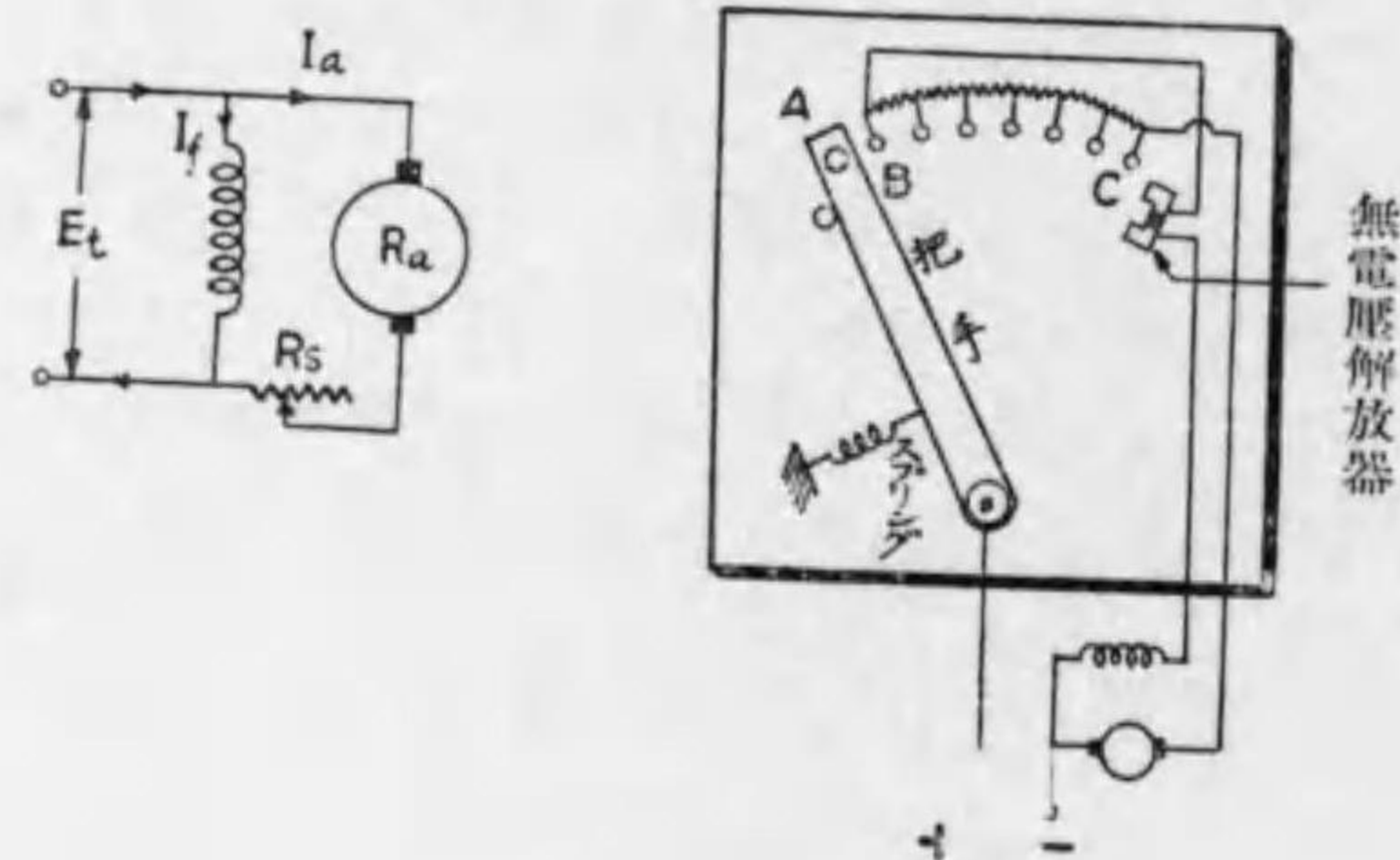
直流発電機の運轉開始に當つては左程注意を要しないが、電動機の起動に際しては餘程の注意が必要である。前に述べた如く、起動の際速度は零で、逆起電力がなく、電機子抵抗は、極く僅かであるから、直接規定端子電圧を加へると、その瞬間

$$I_s = \frac{E_a}{R_a}$$

なる莫大な起動電流が流れる。故に何等かの方法により、この電流を必要な起動廻轉力を與へる程度で制限しなければ電機子捲線を焼損する様なことが起る。

この起動電流を制限するために**起動器**(Starter)が使用される。第77圖に分捲電動機の起動器を示したが、

第 77 圖
無電壓解放器を有する起動器



これは電機子回路に直列に接続された一種の加減抵抗器である。

最初把手はAにあつて回路は遮断されて居る。把手をBに移し、主開閉器を閉ちて電圧を加へれば

$$I'_s = \frac{E_t}{R_a + R_s}$$

だけの電流が流れて廻轉を初める。

勿論この電流は起動器のないときの電流より遙かに少いが、それでも全負荷電流の1倍半位になるやうに起動器の最大抵抗を選ぶのが普通である。

廻轉を初めれば逆起電力を生じ、速度が加はるに従ひ次第に増して電流は減少するから、把手を除々に右へ移して起動抵抗を減じ、最後にCに移して起動抵抗を全部抜いて、運轉中は必らずこゝに止めておく。

この起動抵抗は極く短時間起動電流を通すだけであるから、通す電流の割合に細い導体で作られて居る。故に餘り徐々に把手を動かしたり、或は運轉中にこの抵抗を回路に入れたりすると著しく發熱して焼損する恐れがあるから注意を要する。

若し故障のため供給電圧を失つて運轉が停止し、起動器の把手を起動位置Aに歸しておかないで、再び送電が開始される様な場合には折角の起動器が用をなさない。かやうなことの無い様に運轉を停止したな

第 78 圖
起 動 器

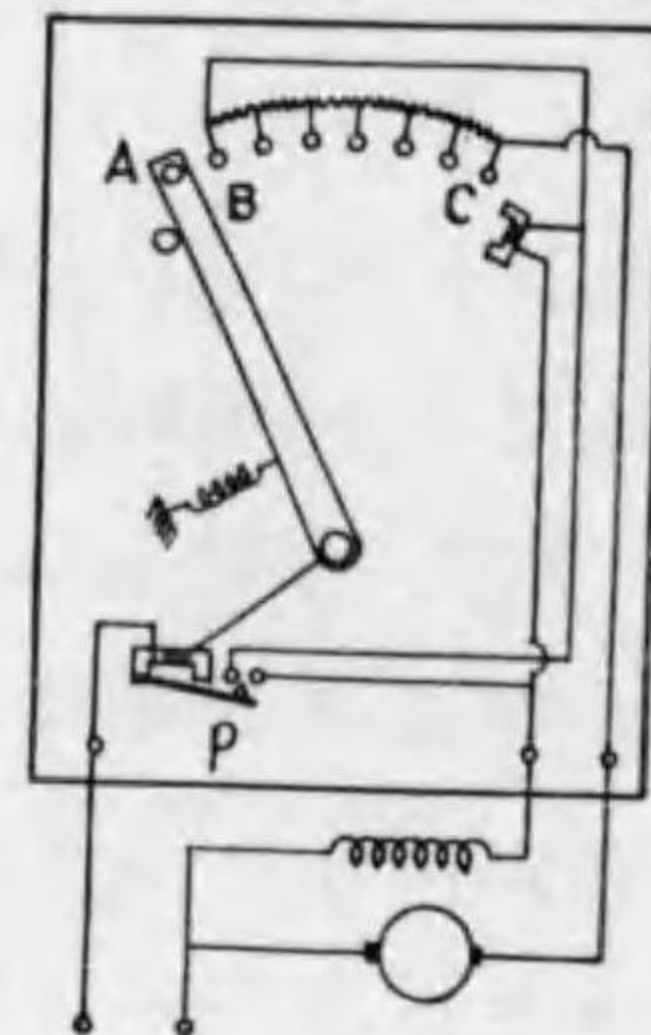


らば、必ず自動的に把手が起動位置に歸る様な装置を起動器は備へてゐるもので、これを無電壓解放器 (No voltage release) といふ。これは界磁線輪に直列な線輪によつて勵磁される電磁石で、彈條に引返されようとする把手を引きつけてその位置に止めて置く。若し供給電壓がなくなると電磁石がその働きを失つて把手は必ず起動位置に歸る故前に述べた心配はない。

第 79 圖の如く過負荷解放器 (Over load release) と云つて、負荷電流が過大になると、把手を A に歸して自動的に電動機の運轉を止める電磁石を備へた起動器もある。この線輪は電機子回路に直列に入れられる。負荷電流が或値に達すると鐵片 P を引上げて無電壓解放器線輪を短絡して、無電壓と同じ状態にしてその目的を達する。

複捲電動機の起動器も分捲電動機のもとその主要部に大差はないが、直捲電動機では後に述べる速度制御器が起動器の役目を兼ねる

第 79 圖
過負荷解放器を有する
起 動 器

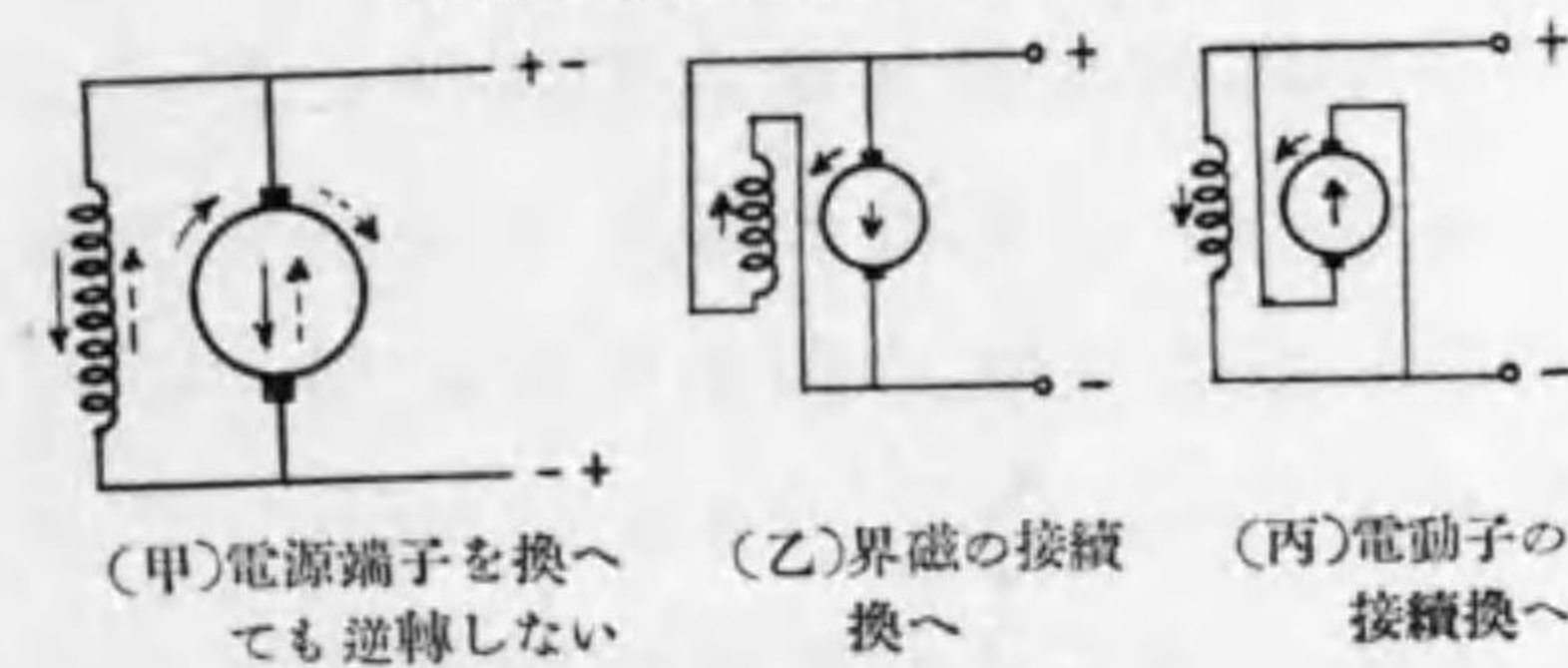


ことが多い。又押釦一つ押せば自動的に起動を行ふ自動起動器 (Automatic starter) もあるが後に述べる。

(40) 電動機廻轉方向の轉換

電動機の廻轉方向を反對にするには、第一章(9)で述べた通り、界磁又は電機子電流の何れか一方の方向を變へればよい。自勵電動機では供給電壓の +, - を取かへただけでは、その目的を達することは出来ないから注意を要する。分捲電動機を例にとると、第 80 圖甲の如く供給電壓をとりかへたのでは、界磁及電機子の兩電流共その方向が變るから廻轉の方向は變らない。従つて界磁か電機子かどちらかの線輪だけ接續換へをせねばならないのである。

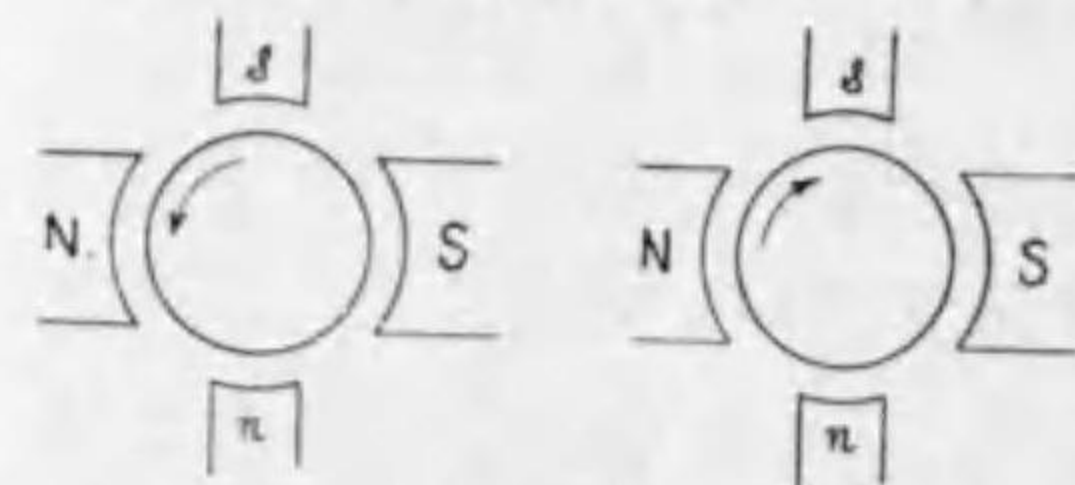
第 80 圖
電動機の廻轉方向を變換する方法



若し電機子の接續を換へるならば、補極の線輪も同時に變へることを忘れてはならない。
主磁極、補極の極性が變らないで、廻轉方向だけが變

第 81 圖

主磁極、補極を元のまゝにして廻轉方向を變へると主磁極に對する補極の極性は逆になる



(甲)正しい極性 (乙)誤れる極性

れば、補極の働きは却つて電機子反作用を助け整流を悪くするからである。

(41) 電壓及び速度の調整

(a) 發電機の電壓調整

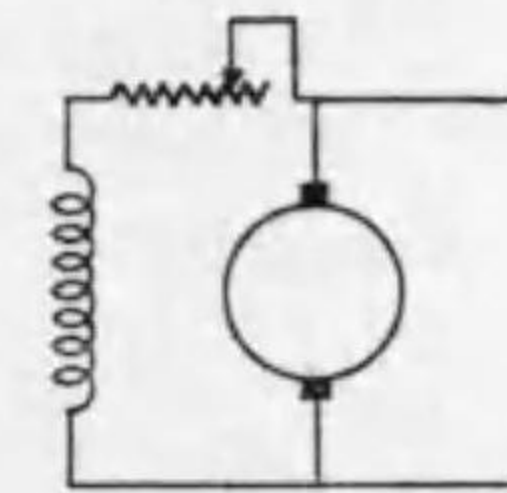
分捲發電機の端子電壓が負荷の増加するにつれて多少降下することは既に述べたが、負荷の如何に關らず一定の端子電壓を望む場合、或は多少電壓を變へたい場合等に、電壓を調整する必要が生ずる。發電機の電壓を調整するには誘導起電力の一般式 $E = K \phi N$ から

- (イ) 磁束 ϕ を變へるか
- (ロ) 速度 N を變へるか

の二通りの方法が考へられるが、速度を變へることはその原動機によつては好ましくない場合が多いから、磁束、従つてそれを生ずる勵磁電流を變へる界磁調整の方が多く用ひられる。

分捲發電機を例に取れば、第82圖に示す如く界磁線輪に直列に加減抵抗器を挿入し、この抵抗の加減によつて相當廣範圍に調整を行ふことが出来る。これを界磁調整器 (Field regulator) 又は界磁抵抗器 (Field rheostat)

第 82 圖
電壓調整器
(界磁制御器)



と云ふ。

界磁抵抗器は今述べた様に發電機に於ては電壓調整器 (Voltage regulator) として働くが、電動機に於ては次に述べる様に速度制御器 (Speed regulator) として働く。

(b) 電動機の速度制御

電動機を速度を變へることを速度制御 (Speed control) といふ。

その速度を變へるには速度の一般式

$$N = \frac{E_t - I_a R_a}{K \phi}$$

から、

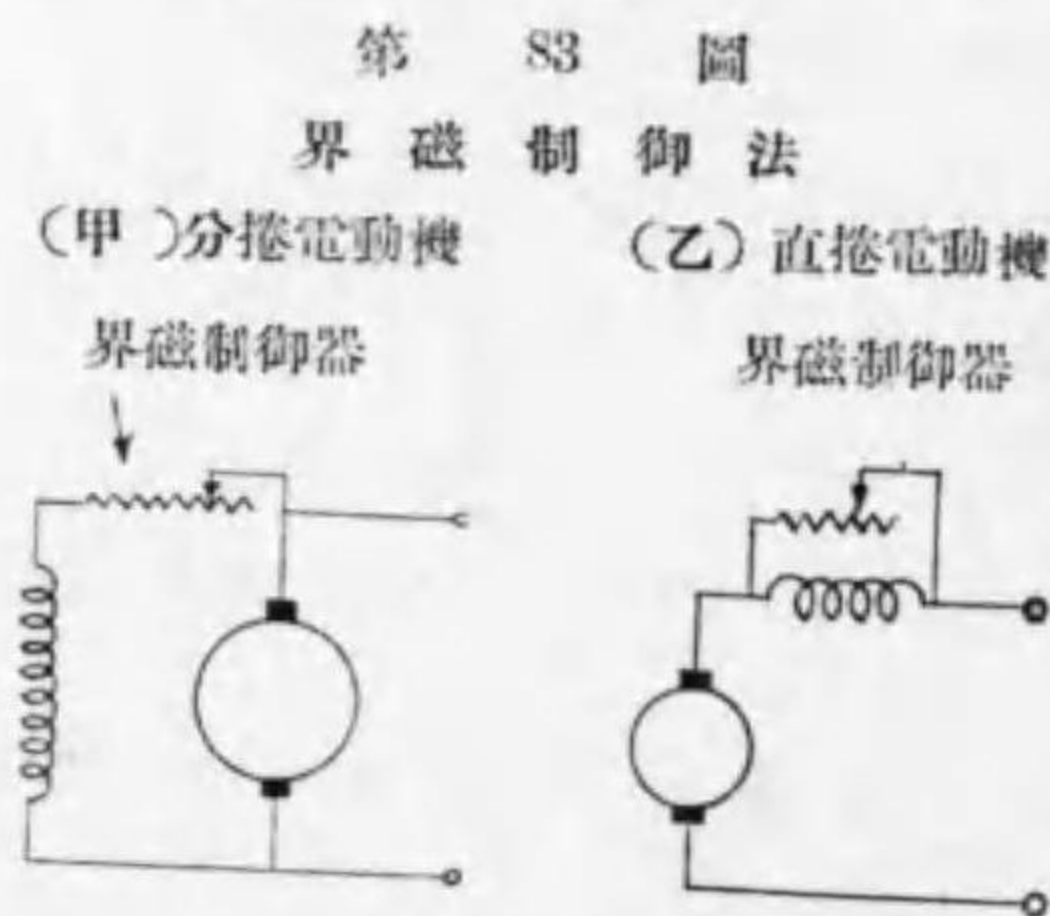
- (イ) 勵磁電流を加減して磁束 ϕ を加減する界磁制御法 (Field control)
- (ロ) 供給電壓 E_t を加減する電壓制御法 (Voltage control)
- (ハ) 電動子回路の抵抗を加減して $(E_t - I_a R_a)$ 即ち逆起電力を加減する抵抗制御法 (Rheostat control) の

三通りの方法が考へられる。

分捲電動機の速度制御には、ロ、ハの方法は餘り用ひられないでイの方法が最も多く用ひられる。

即ち第83圖甲の如く加減抵抗器を界磁捲線に直列に挿入し、これを變へて勵磁電流を加減するのである。

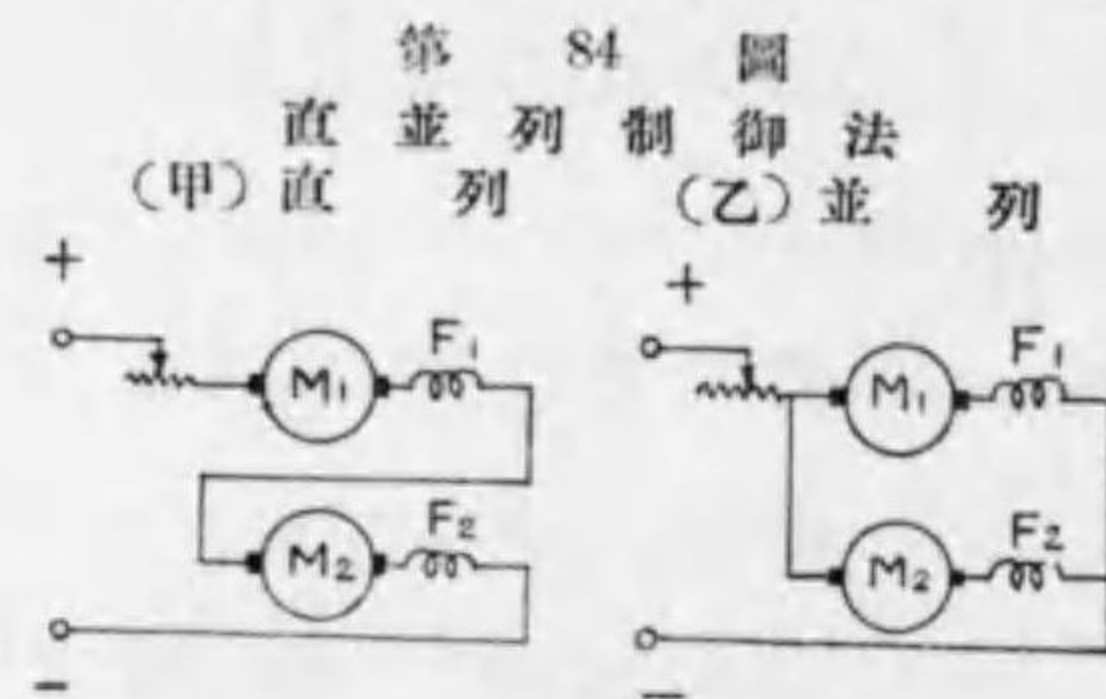
この抵抗を増せば、勵磁電流は減じ、従つて磁束が減ずるから速度は増す。



直捲電動機は速度制御をイの方法で行はうとするには、乙圖の如く界磁抵抗器を界磁線輪に並列に接続しなければならない。この場合は界磁に直列に抵抗を

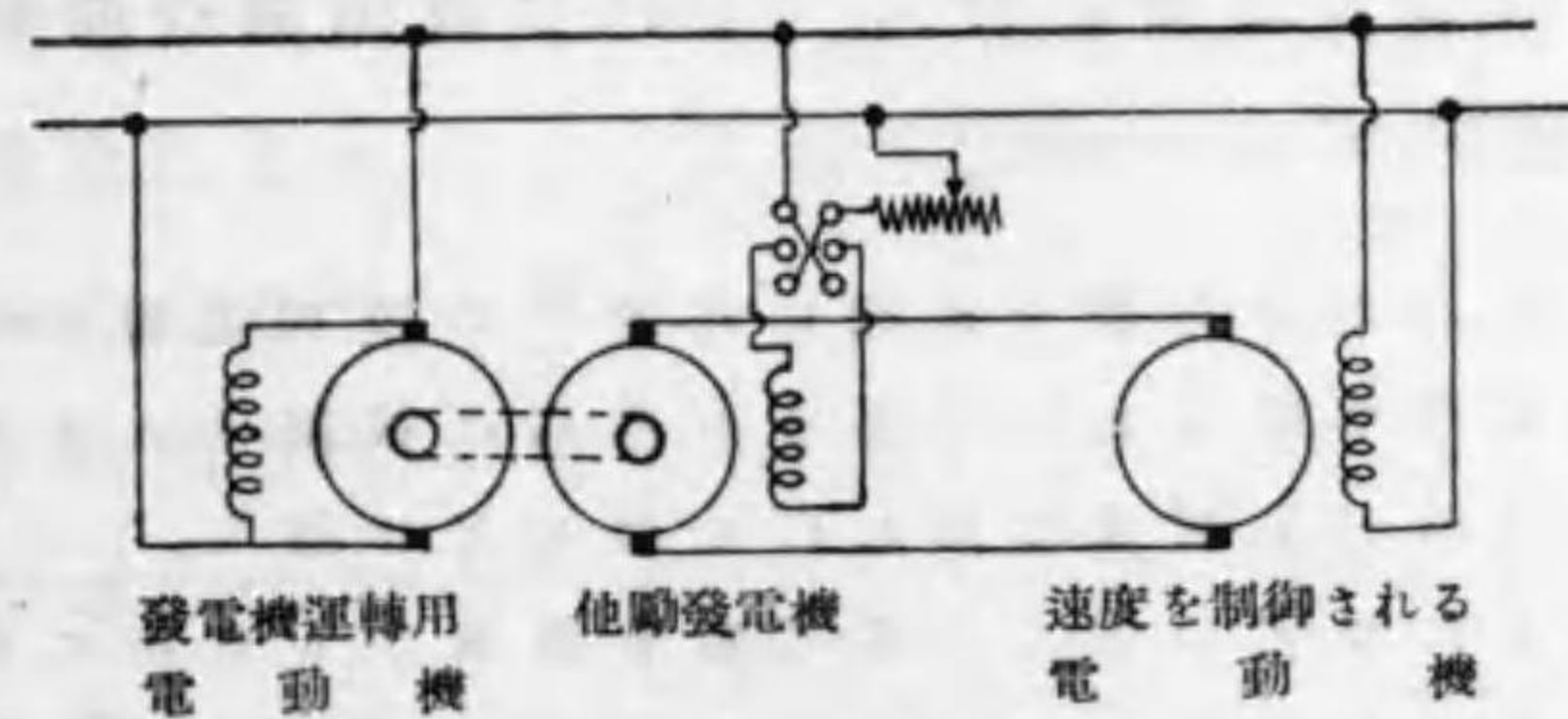
入れた時と反對に抵抗を増せば、勵磁電流が増して速度は落ちる。

電圧制御法は電車が2臺以上の直捲電動機を有するとき、その電動機を第84圖の如く或は直列に、或は並列に接続して1臺の電動機の供給電圧を簡単に換へて行ふ直並列制御法 (Series-parallel control) の如きものが、その一例で、他の方法に比べて損失が少い。



〔註〕ワードレオナード法 (Ward Leonard system) と云つて、第85圖の如き組合せで行ふ速度制御も電圧制御法に屬し、種々に電圧の變る他勵發電機で運轉するので、滑らかな速度の變化が出来る點から昇降機 (Elevator)、軍艦の砲塔、電動操舵などに用ひられる。

第 85 圖
ワード、レオナード法



(42) 分捲發電機の並列運轉

(a) 並列運轉の必要

電力供給事業の様、時によつて負荷が變動する様な場合は容量の大きな1臺の發電機で供給するよりも、容量の小さい數臺の發電機に分擔させる方が便利である。かやうにすれば負荷の多いときは全發電機を運轉し、負荷の少いときはその内の何臺かを運轉するといふやうに、負荷に應じて運轉臺數を増減して、發電機や原動機を常に最高能率を發揮する全負荷附近で運轉することが出来る。又1臺しか備へてないときは、その機械に故障が起れば、全部の負荷に對して停電しなければならないが、數臺で供給すれば1臺位故障が起きて、全部に亘つての停電をする必要はなく、僅かの間ならば故障機に分擔額を残りの機械で分擔せしめて運轉することも出来る。

かやうな理由で數臺の發電機を同一の送電線に並列に接続して運轉を行ふ。これを發電機の並列又は並行運轉(Parallel running)と云ふ。

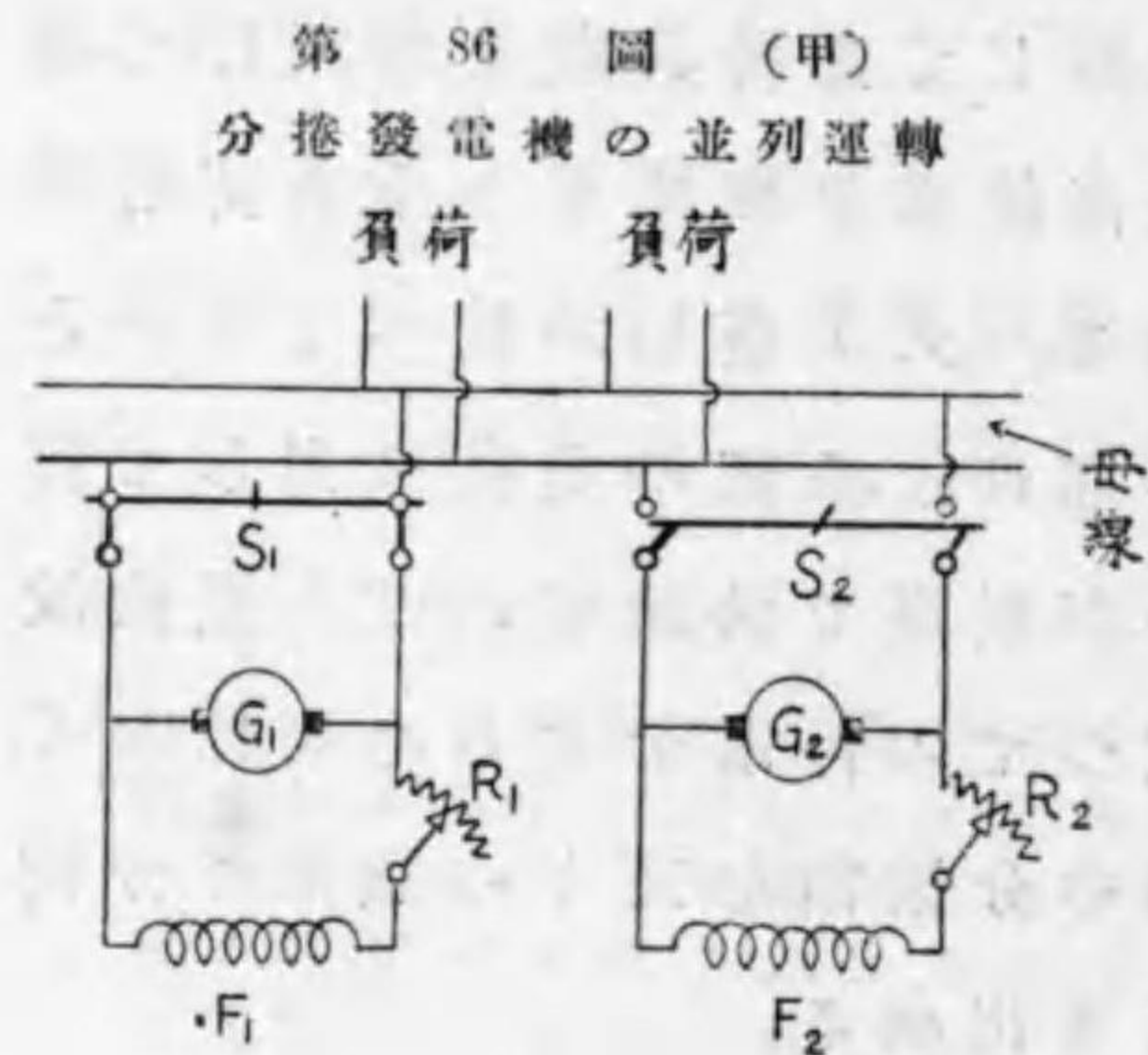
【註】數臺の發電機を直列に接続する直列運轉 (Series running)も行ひ得るわけであるが直列に接続すれば電壓は増すけれども電流は何れにも同じだけ通る。

然るに現在の如く一定電壓を要求する負荷に対しては、負荷の増減によつて臺數の増減を行つても何等効果なく、無意味である。故に直列運轉はたゞ電壓を高めるとき等に行はれるに過ぎない。

(b) 分捲發電機の並列運轉

先づ最も簡単な2臺の分捲發電機の並列運轉について述べよう。

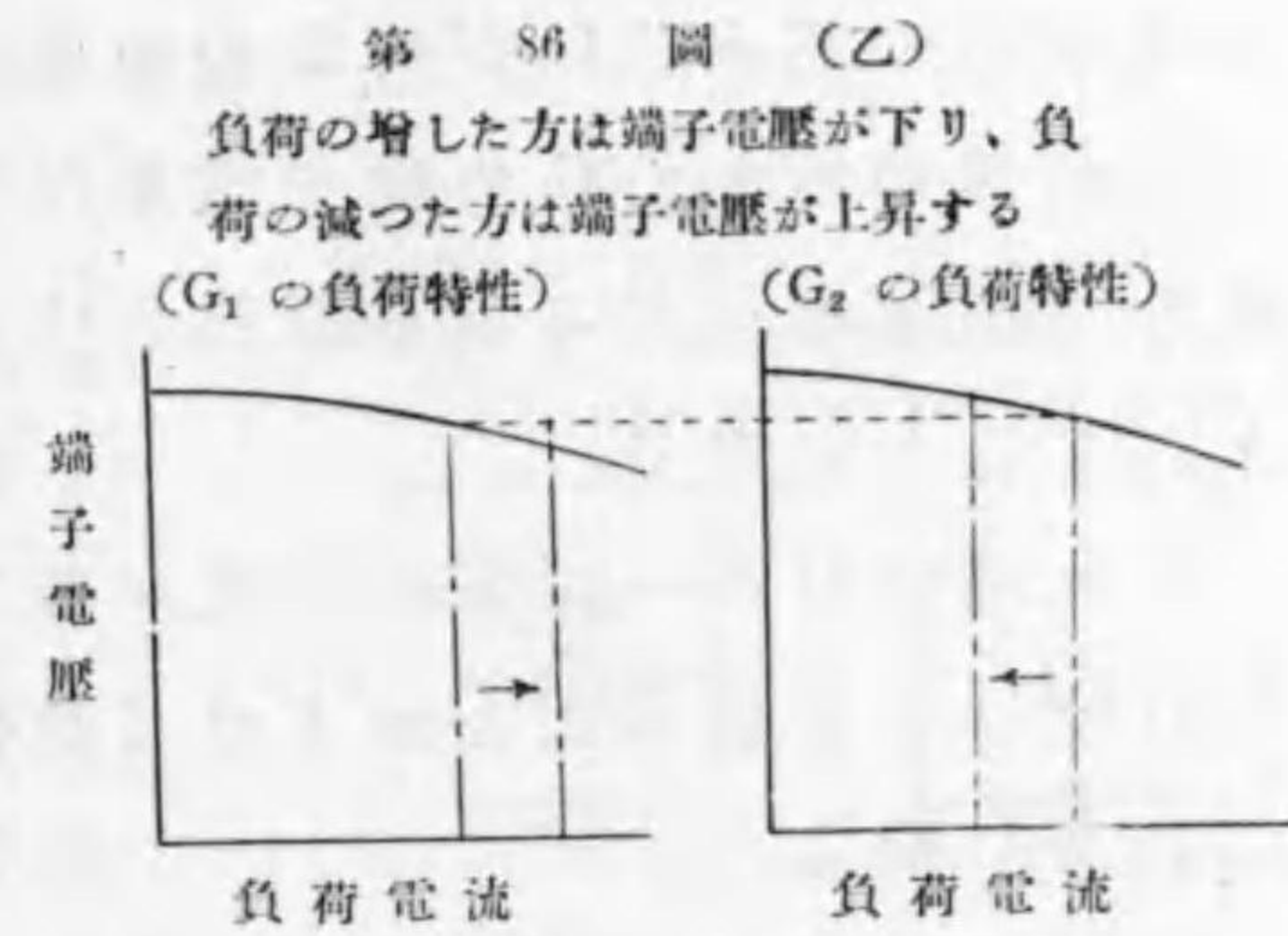
第86圖の如く誘導起電力と、負荷特性の同一な分捲發電機 G_1, G_2 を夫々同一送電母線に並列に結ばれるやうにし、今 G_1 が運轉中



全負荷以上になり、 G_2 を新に運轉して、その負荷を分擔させるものとする。

先づ G_2 の開閉器 S_2 を開いたまゝ、規定速度で運轉し、界磁抵抗

を調整してその誘導起電力 E_2 が母線電壓 E_t より1~2%高くなつたとき開閉器 S_2 を閉ぢる。 G_2 の勵磁を増して、更に誘導起電力を高くし、反對に G_1 の勵磁を減じて、その誘導起電力を下げれば、 G_2 から母線に電流が流れて次第に G_1 の負荷を分擔し出すのである。



この勵磁の増減を適當に行へば、兩者の負荷の分擔を適當に行ふことが出来る。

又若し容量の異つた2臺の發電機、例へば G_1 が30 K. W., G_2 が20 K. W.の發電機であつたとしても、負荷特性が同一であれば、負荷電流を3:2に分擔させて並列運轉を行ふことも出来る。

反對に負荷が減じて1臺で充分に間に合ふ様になれば、何れか1臺例へば G_2 の勵磁を減じ、 G_1 の勵磁を増して G_2 の負荷を全部 G_1 に移して零になつたとき、その開閉器 S_2 を開いて1臺を取除く。

2機が或割合で負荷を分擔して並列に運轉されて

居る途中で、假りに G_1 が何かの原因で餘分の負荷を擔へば、負荷の増した G_1 の端子電壓は下り、負荷の減じた G_2 の端子電壓は昇るから、自然に G_2 は G_1 から負荷を取り返すことになる。

又故障のため一時 G_1 の速度が落ちるやうなことがあるれば、その誘導起電力が下つて負荷を減じ G_2 は餘分な負荷を擔ふ。

更に G_1 の速度が落ちて、その誘導起電力が母線電壓より下れば、(11)に於て述べた如く、母線から G_1 に電流が逆流して G_2 は電動機として廻轉し、加速して規定速度に戻らうとする。勿論この時 G_1 を運轉する電力まで G_2 が餘分に負擔することは云ふまでもない。

然し G_1 の故障が回復して、 G_2 の厄介にならなくても規定速度が保てるやうになれば、又 G_2 は發電機となつて負荷を分擔し出し、それからは前のやうな経過を経てそれぞれ元の状態に歸つて並列運轉をつゞける。

かやうに分捲發電機の並列運轉は極めて安定である。

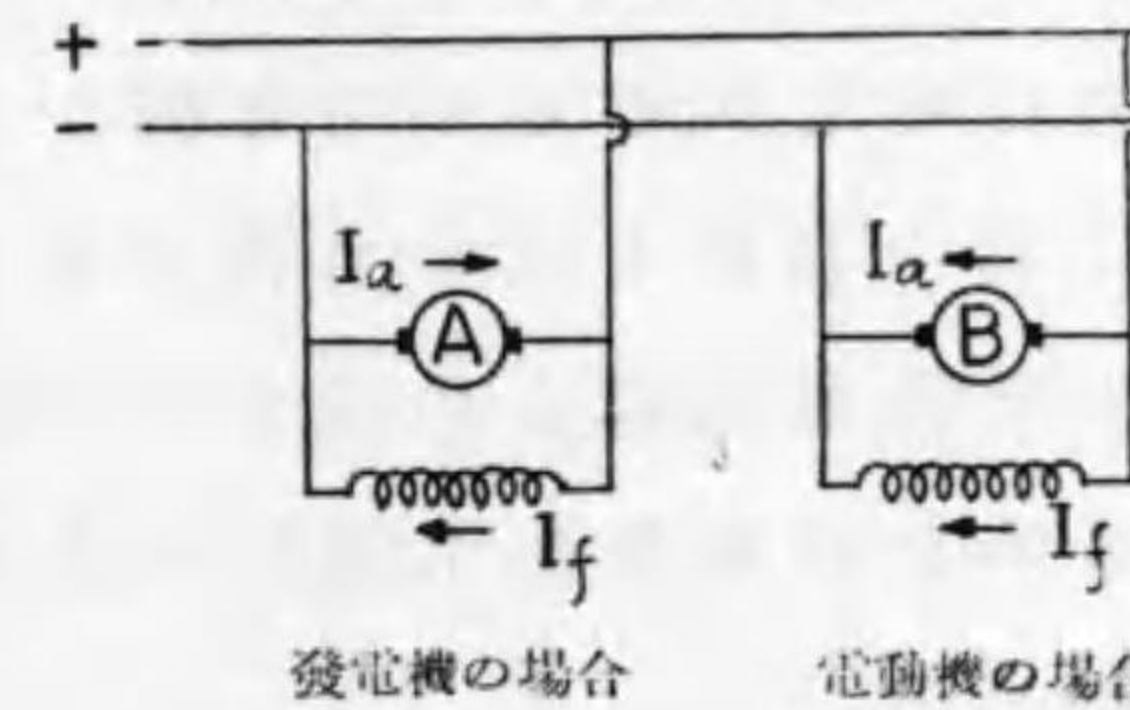
【註】(11)に於て述べた發電機が電動機に變る状態は他動機について説明したが、このことはこの場合の分捲機にも其まゝ適用することが出来る。

第87圖Aは發電機として、Bは電動機に變つて運轉したときの状態を示した圖であるが、圖に示す様に電機子

電流だけ方向が變り、勵磁電流の方向は變らないで磁極の極性は元のまゝであるから、他動機の時々の如く廻轉方向は電動機となつても變らない。

第 87 圖

發電機として運轉しつつある分捲機が電動機となつても廻轉方向は變らない



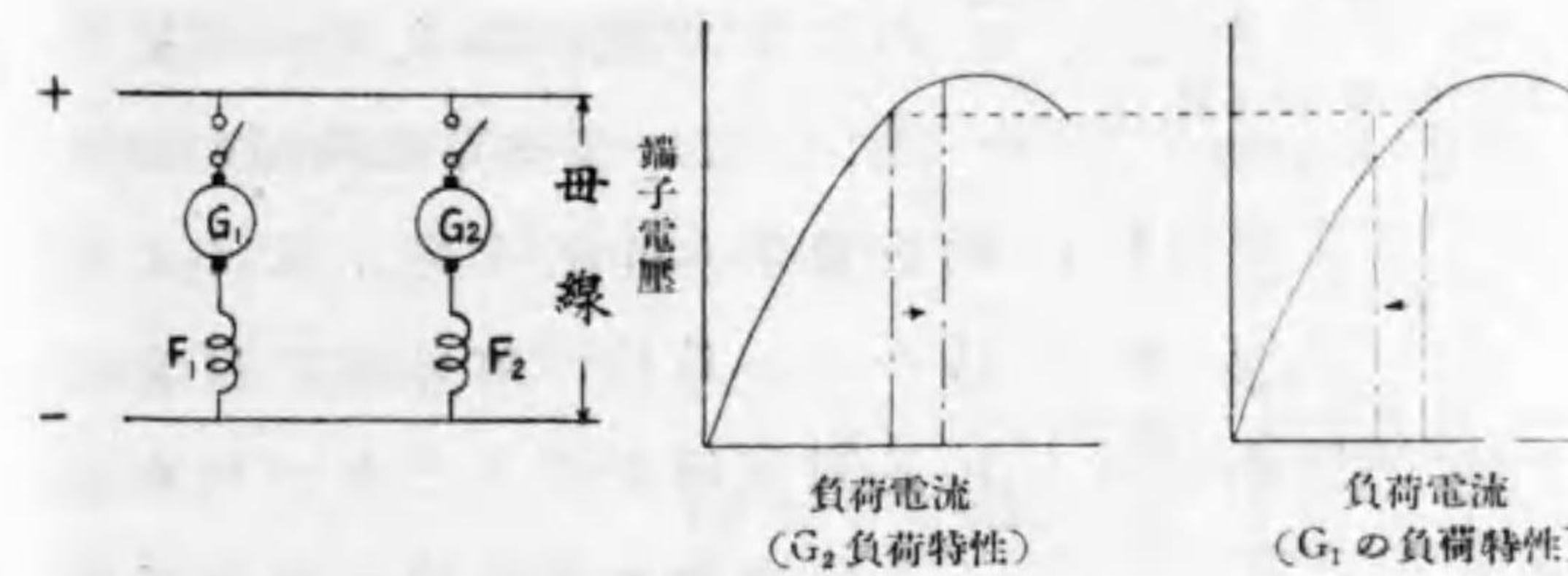
(43) 直捲發電機、複捲發電機の並列運轉

直捲發電機の並列運轉は實際には行はれないが、複捲發電機の並列運轉を理解する便宜上、直捲發電機の並列運轉について述べる。

第 88 圖

直捲發電機の並列運轉

(甲) 接 續 圖 (乙) 負荷の増した方は端子電壓が上り、負荷の減つた方は端子電壓が下る。

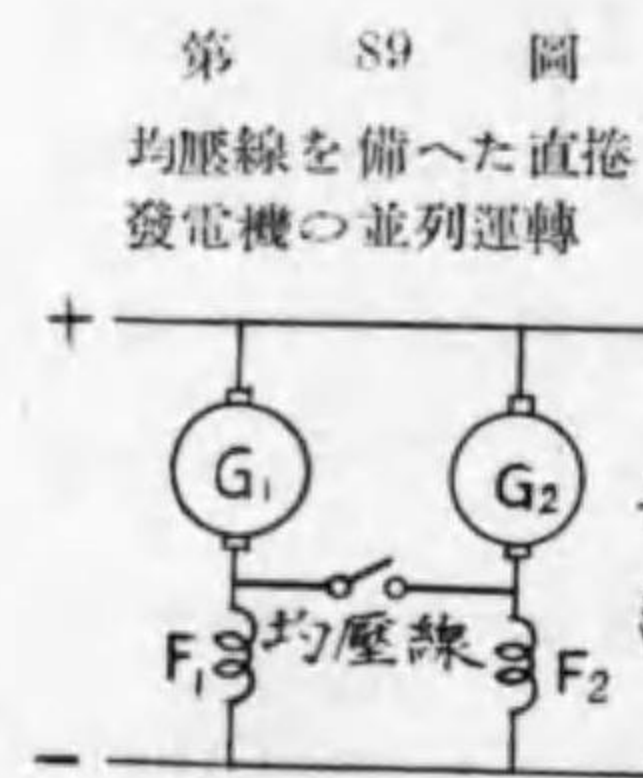


第88圖の如く出力も負荷特性も同じ2臺の直捲發電機 G_1, G_2 が並列に運轉されて居るとする。

兩發電機が全く等しい負荷を分擔してゐる間はよいが、何かの原因で G_2 の負荷が少しでも減じたとすれば、負荷電流が勵磁電流である直捲機では G_1 の誘導起電力は増し、 G_2 の起電力は減少する。その結果 G_1 の負荷は益々加はり、 G_2 の負荷は益々減ずる。この負荷の減少と誘導起電力の減少は、交互に原因結果となつて、逆に G_2 には母線から電流が逆流し電動機として廻轉し初める。

しかも分捲機とちがつて界磁も反對になるから、その廻轉方向が發電機のとときと反對になり、原動機の廻轉力に逆つて減速するため、莫大な電流が流れ込んで焼損するに至る。

かやうに直捲機は分捲機と異つて、一度負荷の不均衡が起ると取返しがつかなくなる。



然し第89圖の如く、兩發電機の一刷子に近い方の界磁線輪の端を均壓線 (Equalizer) と呼ぶ太くて抵抗の少い導線で連結すれば、安定に並列運轉を行ふことが出来る。その理由は均壓線で兩界磁線輪を短絡したことになるから、たとひ各々の負荷が變つても兩線輪の抵抗が同じならば、全體の負荷電流が

等分されて各界磁を通るため、誘導起電力は兩機共同じである。

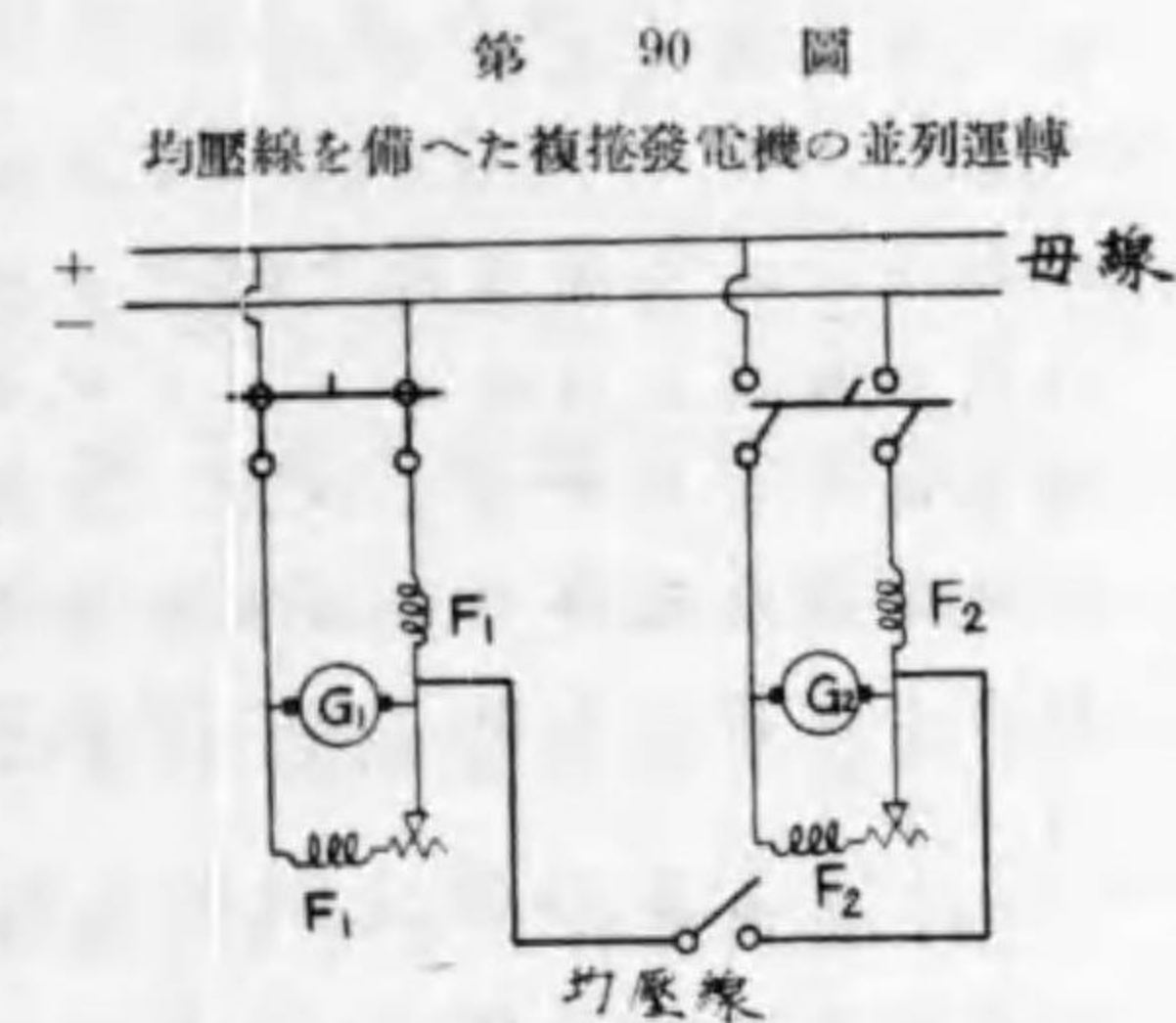
然し端子電壓は負荷電流の多い方が少くなるから、結局分捲機の如く負荷の分擔は元の状態に歸るのである。

初め G_1 を運轉してゐて後に、 G_2 を並列に入れるには、 G_2 を母線電壓と殆んど同一電壓に勵磁してからでなくてはならない。

この勵磁電流を與へるには G_2 を規定速度で運轉しながら均壓線開閉器を閉ぢればよい。

複捲發電機も直捲線輪を有するから均壓線を備へなければ安定な並列運轉は出来ない。

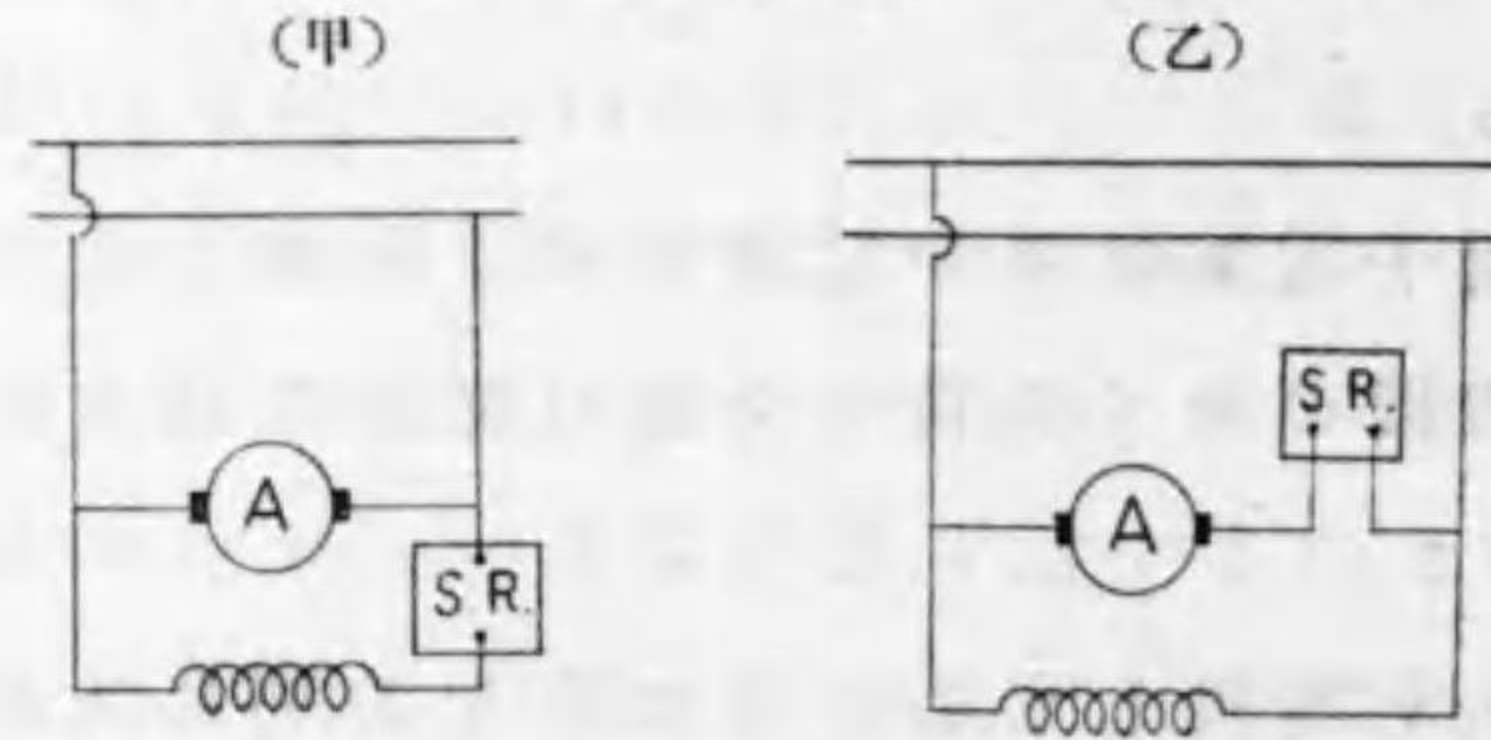
均壓線を備へれば分捲機と同様の性質を取り並列運轉は安定となる。



【第四章問題】

[1] 直流分捲電動機を起動する際、起動抵抗 S.R. を挿入するのに、第91圖甲及び乙の如き接続をした場合、及び電源に直接直列に接続した場合の内、何れが最も正しいか、その

第 91 圖 問題 1 の 附 圖



理由を述べよ。

〔2〕 直流分巻電動機 の速度制御に於て、電動子に直列に入れた抵抗の變化による方法と、勵磁電流の變化による方法との得失を比較せよ。

〔3〕 50 キロワット 220 ヲルト の分巻發電機 2 臺の並列運轉を行ふに、無負荷で 230 ヲルトとして並列にした。第一發電機は全負荷までに 8 ヲルト第二は 12 ヲルトの電壓降下を生ずるといふ。全負荷電流 360 アムペア のとき各發電機は幾何の電流を分擔するか。又幾キロワットの電力を分擔するか。但し電壓降下は直線狀に變化するものとする。

〔4〕 並列運轉をなせる 2 個の直流分巻發電機があつて、甲は定格電壓 500 ヲルト、定格容量 1000 キロワット、電壓變動率 5%、乙は定格電壓 500 ヲルト、定格容量 3000 キロワット、電壓變動率 3% である。今全負荷より輕減して、負荷電流 6000 アムペアとなつたとき、甲乙各機の供給電流は何程となるか。

但し發電機の負荷特性曲線は直線的であるとする。

〔5〕 前問の並列運轉中更に負荷が輕減して 800 アムペアとなつたときの兩機の負荷狀態を求む。

第五章 直流機の試験

(44) 試験の必要と仕様書

すべて機械器具を購入する際には、一應その機械に不備な點はないか、その特性が購入者の要求する所と一致してゐるかを試験して見なければならぬ。試験をしないで購入した後、使用してみて不備な點を発見したり、適當でない機械を使用した爲めに破損したりした場合に、その責任が何處にあるかを明かにすることが出来ない。一方納入者側から考へても、自己の納入した機械が購入者に不満を與へるやうでは信用に關することであるから、購入、納入の兩方の立場からみて種々な點について豫め試験をする必要がある。

又購入者が製造者に特別の機械を注文するに當つては、自己の要求する諸種の條件を漏れなく記した文書を注文書に添付し、これによつて購入の契約を結ぶのが普通で、その文書を仕様書 (Specification) といふ。

仕様書はそれによつて自己の欲する條件を具へた機械を購入するものであるが、餘り微細な點まで指示すれば却つて製造者を束縛して良好な機械を得難く、又値段も高くなる恐れがあるから、要件を逸しない程度に止めねばならない。普通仕様書に記入される項

目は次の如きものである。

要項

1. 用途
2. 使用場所 温度、湿度の常態でない場所、塵埃多き場所、爆発の恐れある場所等は特に断らねばならない。
3. 使用状態 長時間運転、反覆起動等。
4. 機械の定格及び臺數。
5. 附属品、豫備品及びその數量。
6. 構造上、運転上特に注意を要すべき點。
軸承の種類、回轉方向等。
7. 試験に關する諸條件 試験方法、立會試験必要の有無等。
8. 製作進行に關する件 圖面の提出等。
9. 納期及受渡場所。

次に直流機仕様書の一例を挙げよう。

直流電動發電機仕様書

1. 使用目的
蓄電池充電に用うるものにして、三相交流誘導電動機により直結運転せるものとす。
2. 充電方式
(イ) 蓄電池 某會社製「チュードル」型
型錄番號 384 L T-6 型
270 アムペア時(10時間放電率)

(ロ) 同時に充電する電池數
14個直列のもの1組

(ハ) 充電時間
8時間

3. 直流電動發電機 1組

(イ) 直流發電機

型式 分捲界磁開放式

出力 1.6キロワット連続

電壓 40ヴォルト

但し全負荷に於て25ヴォルトより50ヴォルトまで加減し得るもの

電流 40アムペア

廻轉數 1500 廻轉(毎分)以下

(ロ) 三相交流誘導電動機

型式 籠型回轉子開放式

容量 前項の發電機を運転するに充分の容量を有するもの

電壓 200ヴォルト

周波數 50サイクル

廻轉數 1500 廻轉(毎分)以下

温度上昇

全負荷に於て連続運転をなし、その温度上昇は、捲線及び鐵心部は 50°C 以下、整流子及刷子は 40°C 以下、軸承は 35°C 以下たること

但し室内温度は 40°C 以下とす

尙絶縁試験その他明記せざる事項は日本電氣工藝委員會制定、日本電氣機器標準規定に準據するものとす。

4. 附属品

本機には次の附属品、豫備品を供給すべし

電圧調整器	1 個
共通鐵臺	1 個
カップリング	1 組
基礎ボルト及びナット	1 式
分解工具	1 式
豫備刷子	2 組

5. 附記

(イ) 本機請負者は契約後二十日以内にその組立圖を呈出し承認を受くるを要す

(ロ) 納入期限 年 月 日

(ハ) 受渡場所 某 所

(45) 簡単な豫備検査

(イ) 断線及び絶縁の試験

電氣機械では何をあいても、必要な電路に断線がないか、絶縁抵抗が充分であるかを調べなければならない。断線試験は**マグネトベル**(Magneto-bell)で、絶縁抵抗は**メガー**(Megger)で何れも簡単に試験することが出来る。

絶縁抵抗が直流 500 ヴォルトメツガーで測つて次式以上の値であれば後に述べる絶縁耐力試験を行ふのである。(標準規定316)

$$\frac{\text{定格電壓 (ヴォルト)}}{1000 + \text{定格出力 (キロワット)}} \text{ メグオーム}$$

(ロ) 機械的検査

機械部分の検査も怠つてならないもので、聯結子の

聯結の具合、軸承の潤滑油の有無などは特に注意せねばならない。

(ハ) 電圧端子の極性

直流機で端子電圧の+、-を確める必要のある場合には、直流電圧計を兩端子に接続して見るか、青寫眞紙の切れ端を濡らし、兩極を少し離してこれに當て、見れば陰極の周圍が白くなるので分かる。

(ニ) 磁極の極性

磁極の極性が正しくN、S交互に生じて居るかを知るには、磁針を極に近く界磁の周圍を通過させ磁針の向きによつて調べる事が出来る。

そのときには界磁を餘り強くすると磁針が界磁に磁化されて独自の極性を持ち得ないから注意しなければならない。

(46) 熱試験

既に述べた如く電氣機械の出力は、その温度上昇から最も制限をうける故、機械が完成したならば、これを全負荷又は過負荷をかけて長時間運轉し、その温度上昇の程度を試験しなければならない。これを**熱試験**(Heat run)といふ。

温度を測る部分は捲線その他、高温度に達すべき機械部分で普通

(イ) 電機子捲線

(ロ) 界磁線輪

(ハ) 整流子

(ニ) 軸承

等である

温度を測るには

(イ) 寒暖計によつて測る

(ロ) 抵抗を測つて其の變化から温度上昇を知る

(ハ) 埋入温度計を使用する

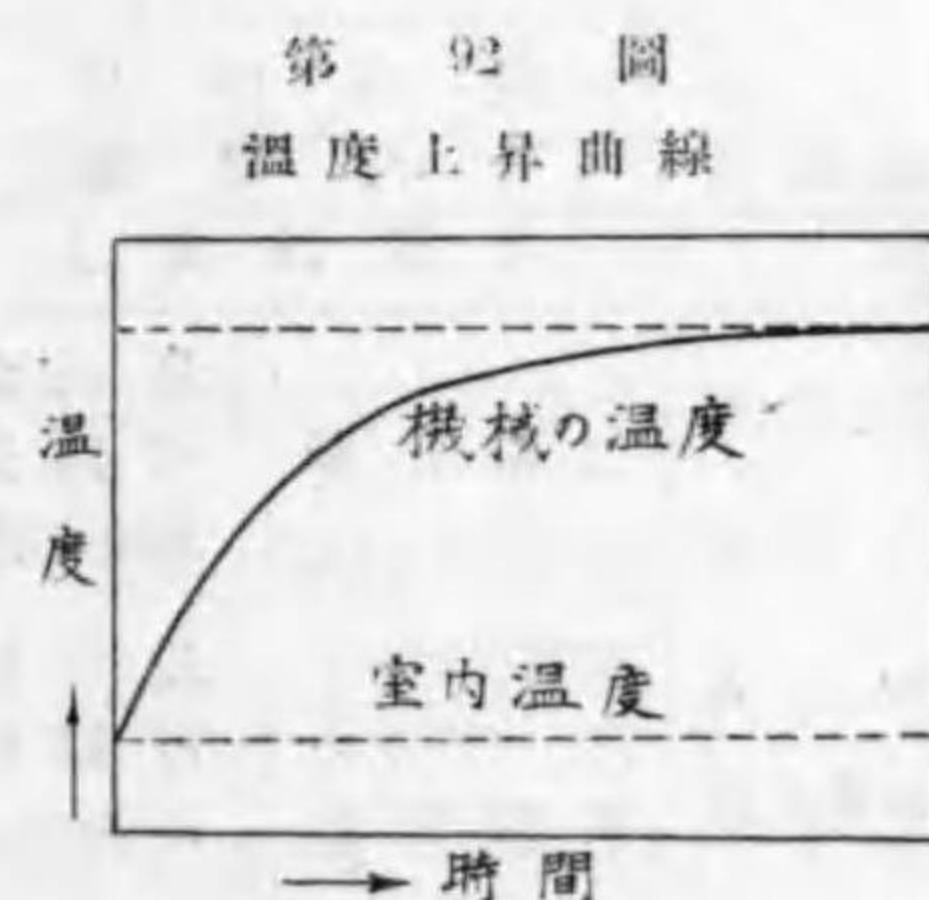
の三法があるが、最も簡易なイの方法、即ち寒暖計法で測ることが多い。

機械の静止部分即ち界磁、軸承等にパテで寒暖計を密着させ、機械を全負荷で運轉して、一定時間をおいては測定部分の温度と周囲の温度を讀んで、温度上昇曲線を書き、温度上昇が殆んどなくなつたら、運轉を止め直ちに測定すべき廻轉部分に寒暖計を密着して温度を測る。この間に要する時間は、全負荷では一晝夜も要するのが普通であるから、過負荷で數時間運轉して温度が一定になつたときの温度上昇が、許された値よりも小さければそれでよいとすることもある。要するにこの機械は全負荷以上で長時間連續運轉しても、それ以上温度が昇らないといふ見極めがつけばよい

のである。

この寒暖計による方法は、捲線等の外部の温度は測れるが眞の温度は測れない。内部の温度を求めるには抵抗を測つて求める。

然しこの方法では温度上昇による抵抗變化が少いから、餘程抵抗を正確に測らないと測つた温度に大きな誤差が生ずる恐れがある。



又密閉型の機械で寒暖計の挿入が出来ないものや、特に指定された機械では豫め製作の際、機械内部の最高温度となるべき部分に熱電對又は抵抗線を埋入しておき、運轉中任意に温度を測定し得るやうにするのが埋入温度計法である。然しこれも矢張導體外部の温度を測るので眞の温度を知ることは出来ない。

故に各法で測定した温度は次表の如く修正して、その値が前に述べた制限温度より低いことを要する。
(標準規定 302)

測定法	許容すべき温度	絶縁材料の種類		
		A 攝氏 105°	B 攝氏 125°	
寒暖計法	最高温度の修正	15°	15°	
	可測温度の限度	90°	110°	
	可測温度上昇の限度	50°	70°	
抵抗法	最高温度の修正	10°	10°	
	可測温度の限度	95°	115°	
	可測温度上昇の限度	55°	75°	
埋入 温度計法	二層巻線	最高温度の修正	5°	5°
		可測温度の限度	100°	120°
		温度上昇の限度(可測)	60°	80°
	五千ヴォルト 以下の 単層巻線	最高温度の修正	10°	10°
		可測温度の限度	90°	115°
		可測温度上昇の限度	55°	75°
五千ヴォルト を超過せる 単層巻線	最高温度の修正	$10^{\circ} + (E-5)$	$10^{\circ} + (E-5)$	
	可測温度の限度	$95^{\circ} - (E-5)$	$115^{\circ} - (E-5)$	
	可測温度上昇の限度	$55^{\circ} - (E-5)$	$75^{\circ} - (E-5)$	

* E は端子間の電圧をキロヴォルトにて表はしたもの。

(47) 絶縁耐力試験

絶縁抵抗は絶縁物を一種の導体と見てその抵抗を測つたもので、これでは真に絶縁物が或る電圧を受けて破壊しないかどうかはわからない。それを知るには更に絶縁耐力試験(Puncture test)を行ふ。

これは線輪と鉄心との間、又は線輪と他の電路の線輪との間に試験用の高圧変圧器から実際に交流の高電圧を加へてみて、或る電圧内では何處にも絶縁破壊點がなくて放電をしなければよいのである。

加へるべき最大電圧の値には次の如き標準がある。
(標準規程315)

機器及其部分の名稱 或は定格	試験電圧
一キロワット未満のもの	定格電圧の2倍に500ヴォルト加へたもの
一キロワット以上のもの	定格電圧の2倍に1000ヴォルト加へたもの

試験時間は1分間とす

絶縁耐力試験は、熱試験の直後に行ふものとされてゐる。温度の高いときが絶縁の悪い時で、最悪条件の場合に合格する様であれば大丈夫であるからである。又この試験は一回行ふ毎に絶縁を悪くする恐れがあるから餘り度々行ふべきものではない。

(48) 特性試験

直流機の特性試験は、無負荷試験と負荷試験とに大別され、各試験から次の如き結果が得られる。

無負荷試験

- (イ) 無負荷特性 { (a) 発電機では、勵磁電流と誘導起電力との關係
(b) 電動機では、勵磁電流と速度との關係

(ロ) 規約能率

負荷試験

- (イ) 負荷特性 { (a) 発電機では、負荷電流と端子電圧との關係
(b) 電動機では、負荷電流と速度及び廻轉力との關係

(ロ) 實測能率

(ハ) 温度上昇曲線

試験の方法は實驗に譲り、こゝには負荷試験の場合如何にして負荷をかけるかを主に記述するに止める。

發電機の負荷としては廉價で大きな容量を有する水抵抗器が廣く用ひられ、電動機の負荷としては、負荷した發電機、ダイナモメーター負荷等が多く用ひられる。

然しこれらの方法は機械の容量が大きなものとなり、熱試験の如く長時間負荷を要する試験になると電力の損失、即ち電力費が莫大となり取扱も困難となるので、容量の大きなものは返還負荷法に依ることもある。次に負荷法の二三に就いて説明しよう。

(イ) 抵抗器 電流小なるときは金屬線の加減抵抗器を使用し、電流が大で電圧が餘り高くないときは金屬線加減抵抗器を水中に浸して使用する。水抵抗器は2枚の極板を水中に對立させて極板間の距離又は浸潤面積を加減し、尙純水のまゝではその抵抗が高過ぎるため食鹽等を投じて適當に抵抗を小さくする。たゞ水抵抗の温度係数は一定でなく複雑な變化をするので抵抗が不安定で金屬線抵抗器に比して調整が面倒になる缺點がある。

(ロ) ダイナモメーター負荷

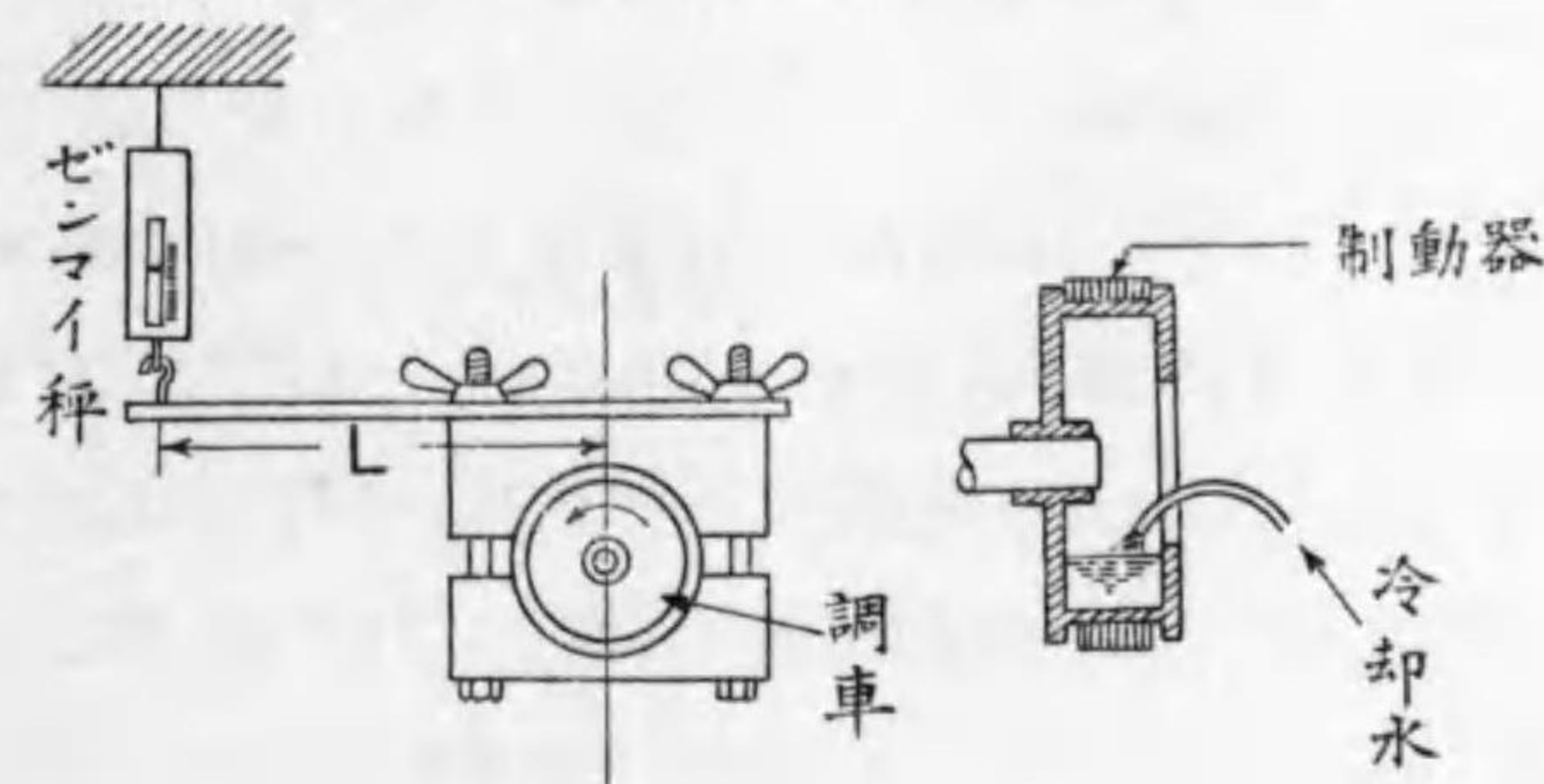
小なる電動機では、電動機軸に逆廻轉力即ち制動を與へて直接機械的負荷をかけ、廻轉力、能率を求めることが出来る。

この最も簡単なものはプロニー制動器である。その大略は第93圖の如く、電動機の調車に二組の木片をしめつけ長さL米なる腕の一端にゼンマイ秤を結んで、調車と木片との摩擦による電動機の廻轉力と、ゼンマイ秤の逆廻轉力とが、水平の位置で平衡を保つやうにする。そのときの電動機の毎分廻轉數をN、ゼンマイ秤の指度をW kg、ネヂを全くゆるめた場合の指度をw kgとすれば、電動機廻轉力 τ 及び出力Pは

$$\tau = L(W-w) \text{ kg. m}$$

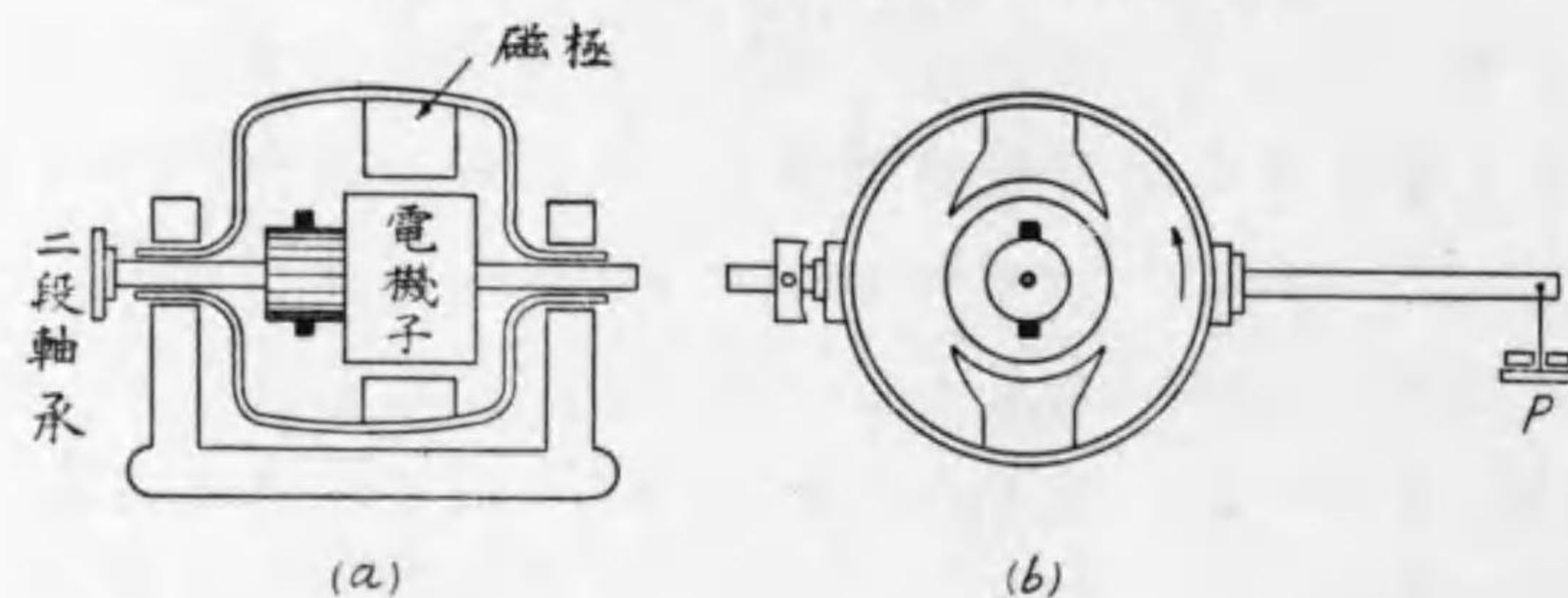
$$P = \frac{2\pi N L (W-w)}{60 \times 75} \text{ HP}$$

第 93 圖
プロニー制動試験方法



となる。入力も電氣的に測定出来るから能率を算出することも出来る。この方法では制動器の平衡を保つことが困難で、且つ出力の全部が調車と制動器との摩擦損失となるからこの部の發熱著しく、實際にはなかなか困難な試験である。故にこれと全く同じ考への下に摩擦力の代りに電磁力を應用した電磁ダイナモメーターがある。然しこれは設備を要するから、一般的に行ひ得る方法ではない。

第 94 圖
ダイナモメーター 固定子が、電機子廻轉の反作用で廻轉しようとするのを錘で平衡させて廻轉力を測る



(ハ) 返還負荷法

試験しようとする機械と同容量のものが2臺以上あれば、返還負荷法 (Loading back method) と稱する方法を用ゐて、僅かの電力を費すのみで任意の負荷状態で運轉し、熱試験、負荷特性試験、能率試験を行ひ得る。特に熱試験の如く長時間に亘つて、全負荷運轉をしなければ

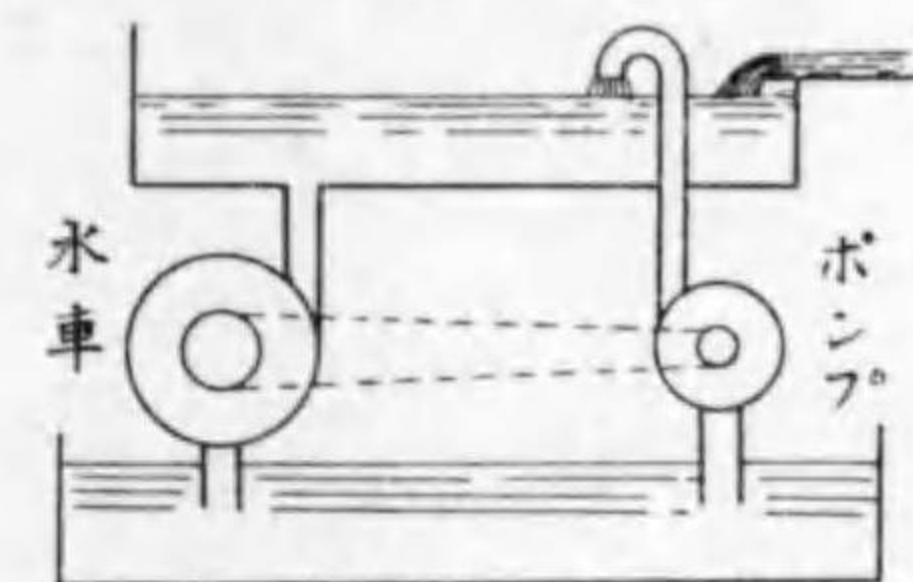
ばならない様な時には、實に經濟的にその目的を達し得る。

この方法は1臺を電動機、他の1臺をそれに依つて運轉される發電機として使用し、後者から出る電力を、前者に供給する電源に返還するのである。即ちこれが返還負荷法と稱せられる所以で、従つて外部から供給すべき電力は兩機械の中で費される損失に相當する電力だけを供給すればよい。

〔註〕これは水車でポンプを運

轉し、水車を廻した水をポンプで水槽に汲み上げ、その汲み上げた水で再び水車を廻すことと同じ理である。この時、ポンプは水車を廻した水全部をどんどん汲み上げることは出来ないから、恰度外部から損失だけ電力を供給すると同様に水槽にはそれだけ外部から補充してやらなければならない。

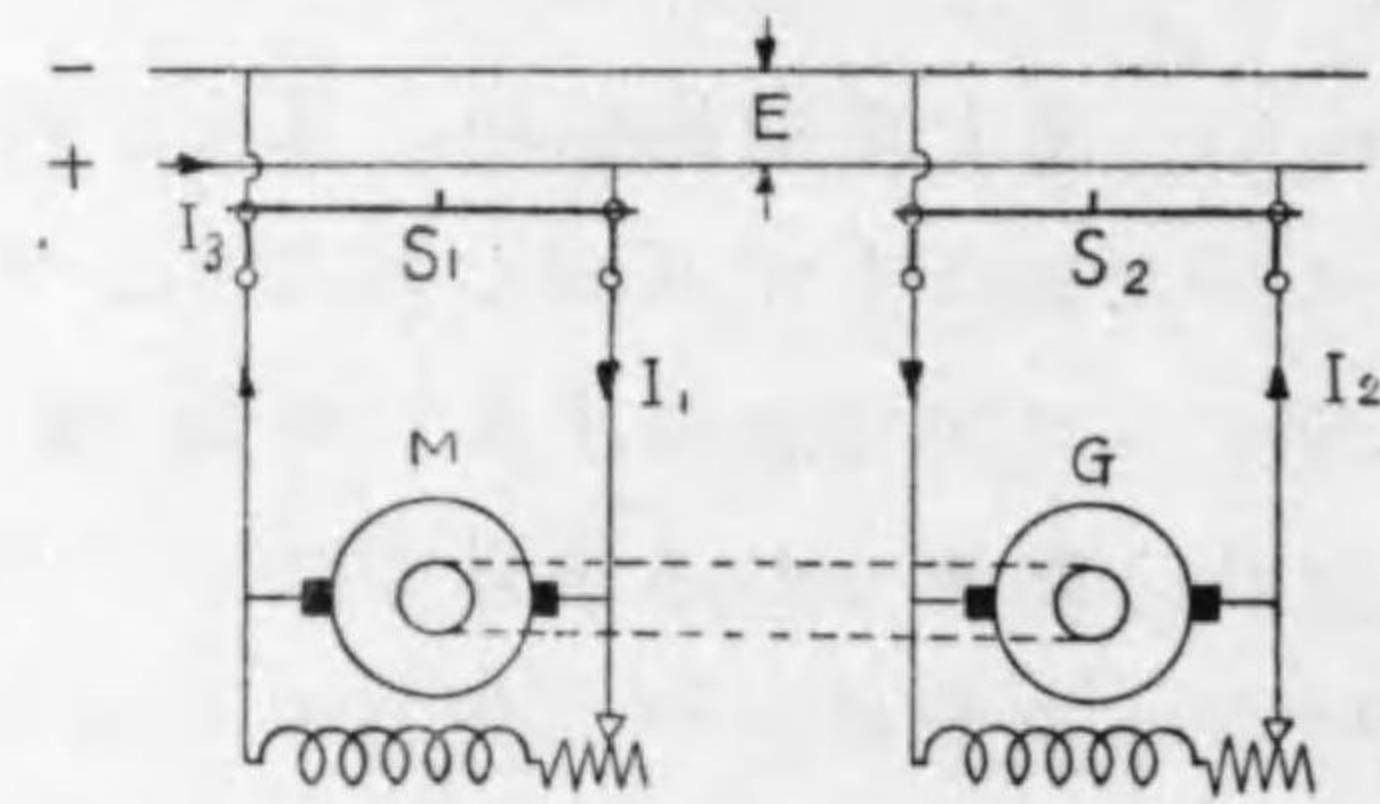
第 95 圖
返還負荷法の比喩



この損失は機械的に與へてもよいが、機械力の測定は困難であるから、電氣的に供給する方法が多く用ひられ、この方法の一つについて説明する。

同じ直流機2臺を第96圖の如く機械的に連結し、更に電源に並列に接續しMを電動機、Gを發電機として次の如き順序で運轉する。

第 96 圖
返還負荷法の接続



- (イ) S_1 を閉じて電動機を起動し、界磁を調整して規定速度に達せしめる。
- (ロ) 発電機の界磁を調整して、その電圧が電源電圧と等しくなったとき、 S_2 を閉じて電源に接続する。
- (ハ) 発電機の勵磁を強めると、それから次第に電源に電流が流れ出し、電動機の負荷は増して来る。この発電機勵磁の加減で兩機の負荷電流の加減を自由に行ひ得る。

【註】次にこの方法による能率の求め方を述べよう。

實測すべきものは次の

I_1 = 電動機に入る電流

I_2 = 発電機の出す電流

I_3 = 電源から供給する電流

E = 電源の電圧

であつて、電源は電動機に I_1 を供給して発電機から I_2 だ

け返還されるから結局電源が供給する電流 I_3 は

$$I_3 = I_1 - I_2$$

$$\text{or } I_1 = I_2 + I_3$$

である。故に電動機に供給される電力を P_1 とすれば

$$P_1 = EI_1 = E(I_2 + I_3) \text{ワット}$$

負荷 I_1 に於ける電動機の能率を η とすれば、その出力 P_2 は

$$P_2 = \eta P_1 = \eta E(I_2 + I_3)$$

で、これだけが発電機に與へる機械的動力となる。

発電機の負荷 I_2 に於ける能率を電動機の負荷 I_1 に於ける能率 η に等しいと考へれば、その出力 P_3 は

$$P_3 = \eta P_2 = \eta^2 E(I_2 + I_3) \text{ワット}$$

然るに $P_3 = EI_2$ ワットであるから

この兩式を等しいとすれば

$$\eta^2 E(I_2 + I_3) = EI_2$$

$$\eta = \sqrt{\frac{I_2}{I_2 + I_3}}$$

故に上式から任意の負荷に於ける能率を求めることが出来る。

第六章 直流機の実際

(49) 自動装置

経常費を節約し、運転の正確と敏速とを期するため、あらゆる機械が着々と自動化されつつあるが、次に直流機に用ひられる自動装置について述べよう。

(a) 自動起動器

電動機の起動器は、要するに最初その全抵抗を電動機回路に直列に入れ、起動電流が減ずるに従つてその抵抗を減ずればよいので、この操作を自動的に行ふものを**自動起動器** (Automatic starter) といふ。

これにも種々な方式があるが次にその一例を示す。第97圖で C_1, C_2, C_3 は電源に直列に接続される線輪、 P_1, P_2, P_3 は鐵の啣子 (Plunger) で、それぞれの線輪の電流が或豫定量以上である間は接觸部 S_1, S_2, S_3 を開いてゐるが、豫定量以下に達すると各々の接觸を閉ぢる。但し電流の豫定量は C_1, C_2, C_3 の順に少くしてある。今開閉器 K を閉ぢれば、

$+ \rightarrow C_1 \rightarrow R_1, R_2, R_3 \rightarrow$ 電機子 $\rightarrow -$

の回路が出来て電動機は起動する。

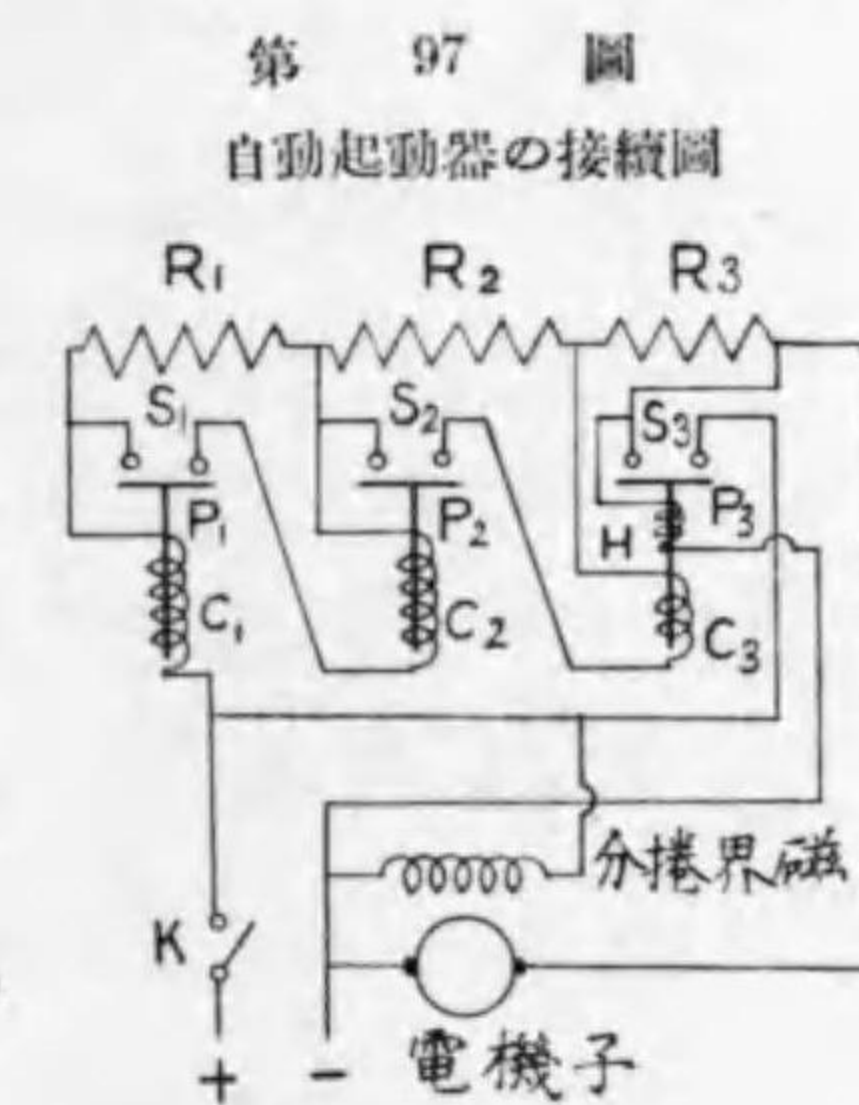
起動すれば次第に電流が減じ、 C_1 の電流が豫定量以下に達すると接觸部 S_1 が閉ぢて

$+ \rightarrow C_1 \rightarrow S_1 \rightarrow C_2 \rightarrow R_2, R_3 \rightarrow$ 電機子 $\rightarrow -$

の回路が出来、 R_1 は短絡して抜かれる。

故に更に速度が増して、電流が C_2 の豫定量以下に減ずれば、 S_2 が閉ぢて R_2 が抜かれる。最後に S_3 が閉ぢて R_3 が抜かれ、起動抵抗は全部除去されたことになる。

このとき線輪 H が電源に並列に接続されて、運転中はこれに流れる電流で P_3 をその位置に保つて接觸部 S_3 を閉ぢてゐる。これは普通の手動起動器で、把手を無電圧解放器で引止めておくのと同じ働きである。



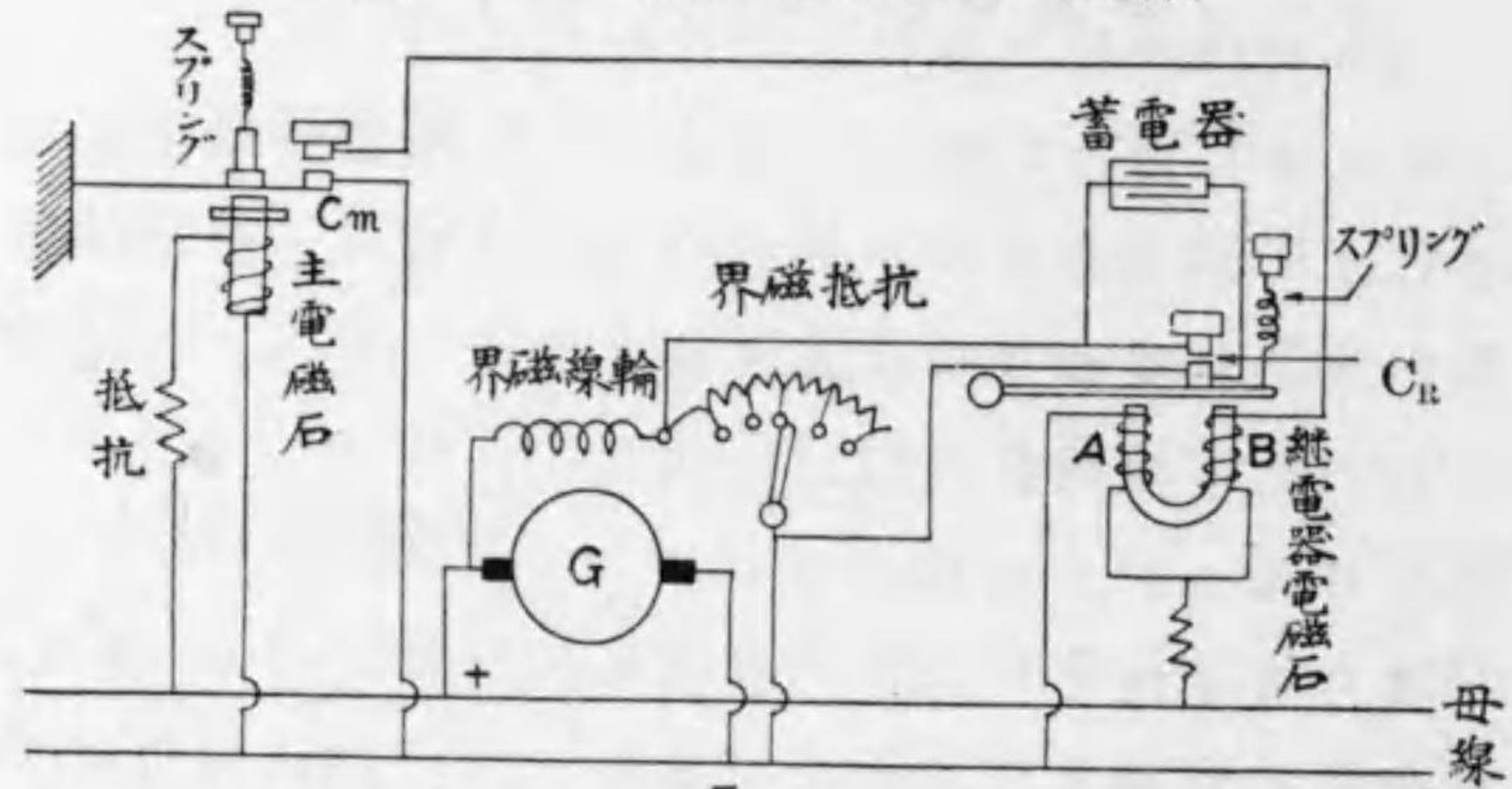
(b) 自動電圧調整器

發電機の電圧を負荷の變動に關せず自動的に一定に保たしめる装置を**自動電圧調整器** (Automatic voltage regulator) と云ひ、現在最も廣く使用せられるものはチリル氏 (Tirril) の發明にかゝる**振動型** (Vibrating type) のものである。チリル調整器には直流用のものと交流用のものがあるが第98圖は直流用のものである。

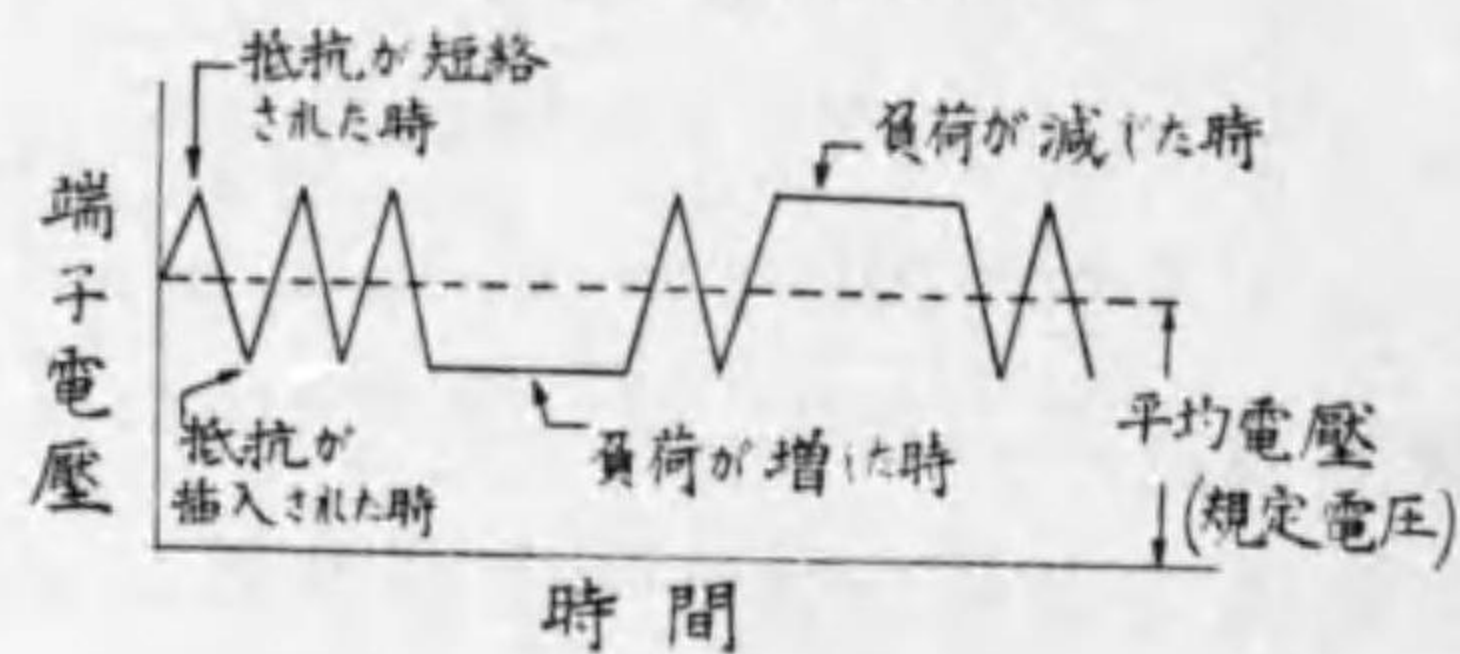
その主要部と動作を分けて説明すれば

(1) **界磁抵抗器** 之が短絡されれば勵磁電流が増して電圧を増し、挿入されれば反對に減少する。

第 98 圖
(甲) チリル自動電圧調整器の接続圖



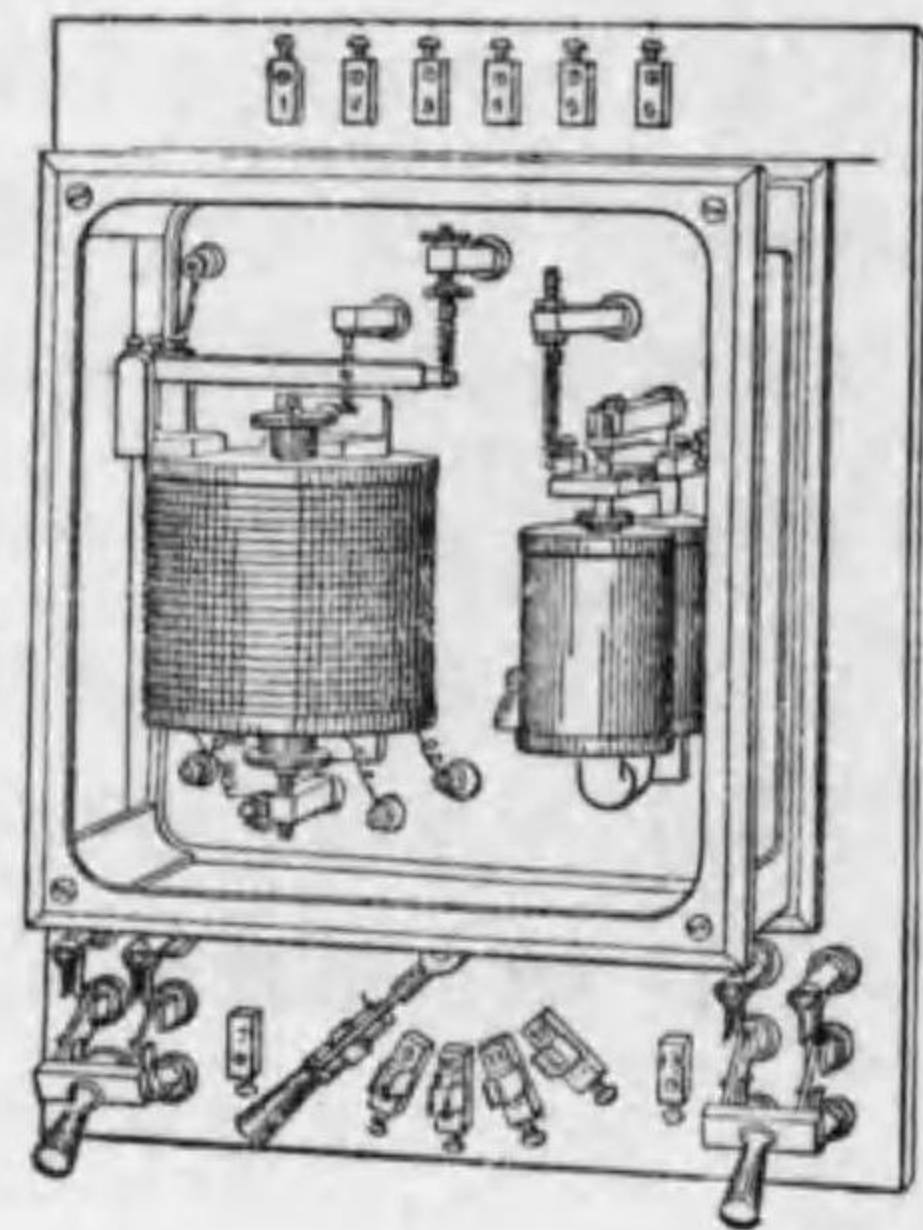
(乙) 電圧の變化



(丙) 繼電器電磁石

石は圖の如く反對に働く二つの

(丙) チリル自動電圧調整器



線輪からなる差働電磁石 (Differential magnet) で、A は常に發電機端子に接続されて電流の供給を受け、B は主接觸子 C_m が閉じたときのみ A と等しい電流が流れる。B に電流が流れると、電

磁石は働きを失ひ、繼電器接觸片 C_R (Relay contact) は閉ぢられて界磁抵抗を短絡する。

- (ハ) 主電磁石 その線輪は發電機端子に接続されて電流の供給を受け、電流が或る値以上になれば主接觸子 C_m (Main contact) を開き、以下になれば主接觸子を閉ぢる。

今この調整器の動作を考へて見るに、假に主接觸子 C_m が開いて居るとすれば、A のみに電流が流れて、繼電器接觸子 C_R も開いて居るから、界磁線輪には抵抗が挿入され發電機の端子電圧が下る。其の結果主電磁石の電流が減じて主接觸子は閉ぢられ、B に電流が流れて繼電器接觸子も閉ぢられる。そうすると界磁抵抗は短絡されるから發電機の端子電圧は昇り、主電磁石の電流は増大して主接觸を開いて再び電圧を下げる。

以上の動作を繰り返して主接觸子及繼電器接觸片は一定の周期を以て振動し、従つて端子電圧も規定電圧を中心として乙圖に示すやうに振動的に増減し一定の電圧を保つ。

若し負荷が増して端子電圧が下れば、其の間主接觸子も閉ぢられて居て、界磁抵抗の短絡時間は長くつき、やがて電圧が恢復すると再び振動を始める。

反對に負荷が減れば、電圧の下るまで主接觸子は

開いたまゝとなつて電圧は下り、それから再び振動を始める。かやうにして自動的に電圧の調整が行はれるのである。

蓄電器は繼電器接觸回路に電流がある時開くと火花が出て接觸點を損傷するから、これを防ぐために接續したものである。

(50) 速度制御器

變速度用電動機を速度を制御するには、電機子回路、界磁回路に挿入した抵抗の加減、或は供給電圧の加減によることは既に述べたが、これを適當に加減出来るやうに仕組んだものを**速度制御器**又は單に**制御器**(Controller)といふ。次ぎに直捲電動機の極く簡単な制御器について説明しよう。

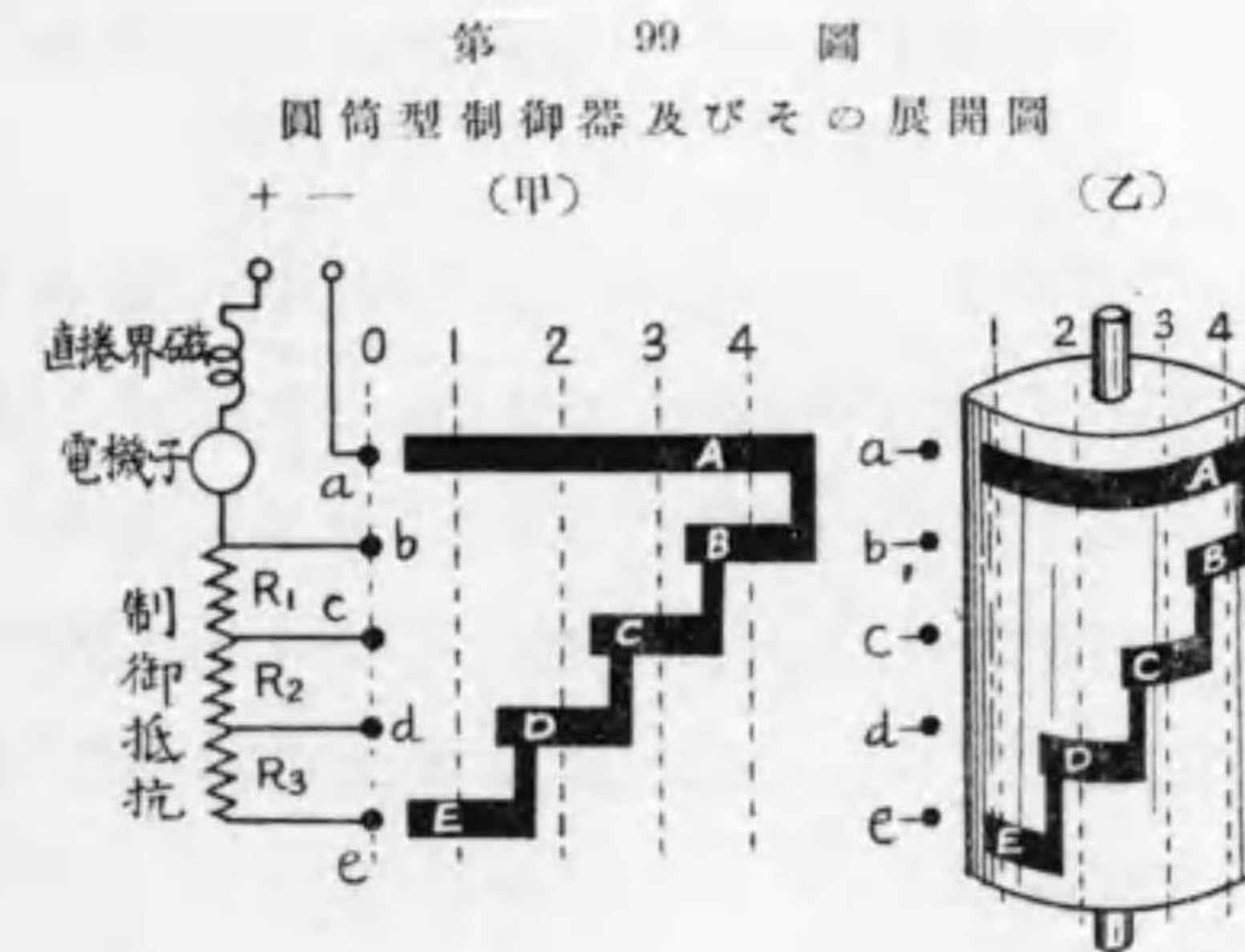
その主要部は第100圖に示す如く次ぎの2部分からなる。

(イ) 廻轉圓筒(Drum)に捲付けた長さの異なる**接觸片**(Contactor)群

(ロ) 接觸片群に接觸し、一直線上に配置された**指片**(Finger)群

指片には電源、加減抵抗の各端子が接續されて居り、圓筒を廻すにつれて接觸片と指片との接觸が變つて、種々な接續に變る。

第99圖乙は制御器要部を實物に近い形に書いたもので、普通これを展開して、同圖甲の如く書いて接續状態を考へる。



停止の際、指片群は0線上にあつて電機子回路は遮断されてゐる。

圓筒を廻して1ノッチ進めると指片群は1線上に来てaはAと、eはEと接觸を生じ、且つ接觸片は圖の如く全部接續されてゐるから、次の順序で制御器全部の抵抗が電機子回路に接續されて起動する。

+ → 界磁 → 電機子 → R_1, R_2, R_3 → e → E, D, C, B, A → a
→ -

次ぎに更に1ノッチ進めれば、aとA、dとDとが各々接觸し、抵抗 R_3 は抜かれ、抵抗を減じて速度が増す。

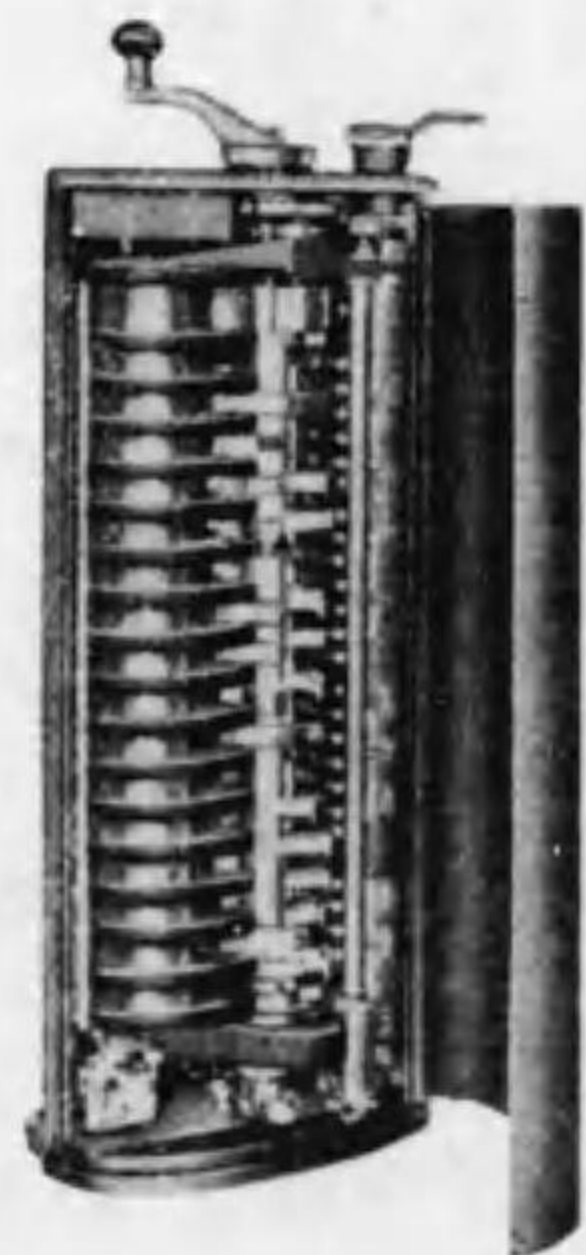
そのときの接続は次の如くである。

+ → 界磁 → 電機子 → R_1, R_2 → d → D, C, B, A, → a → -

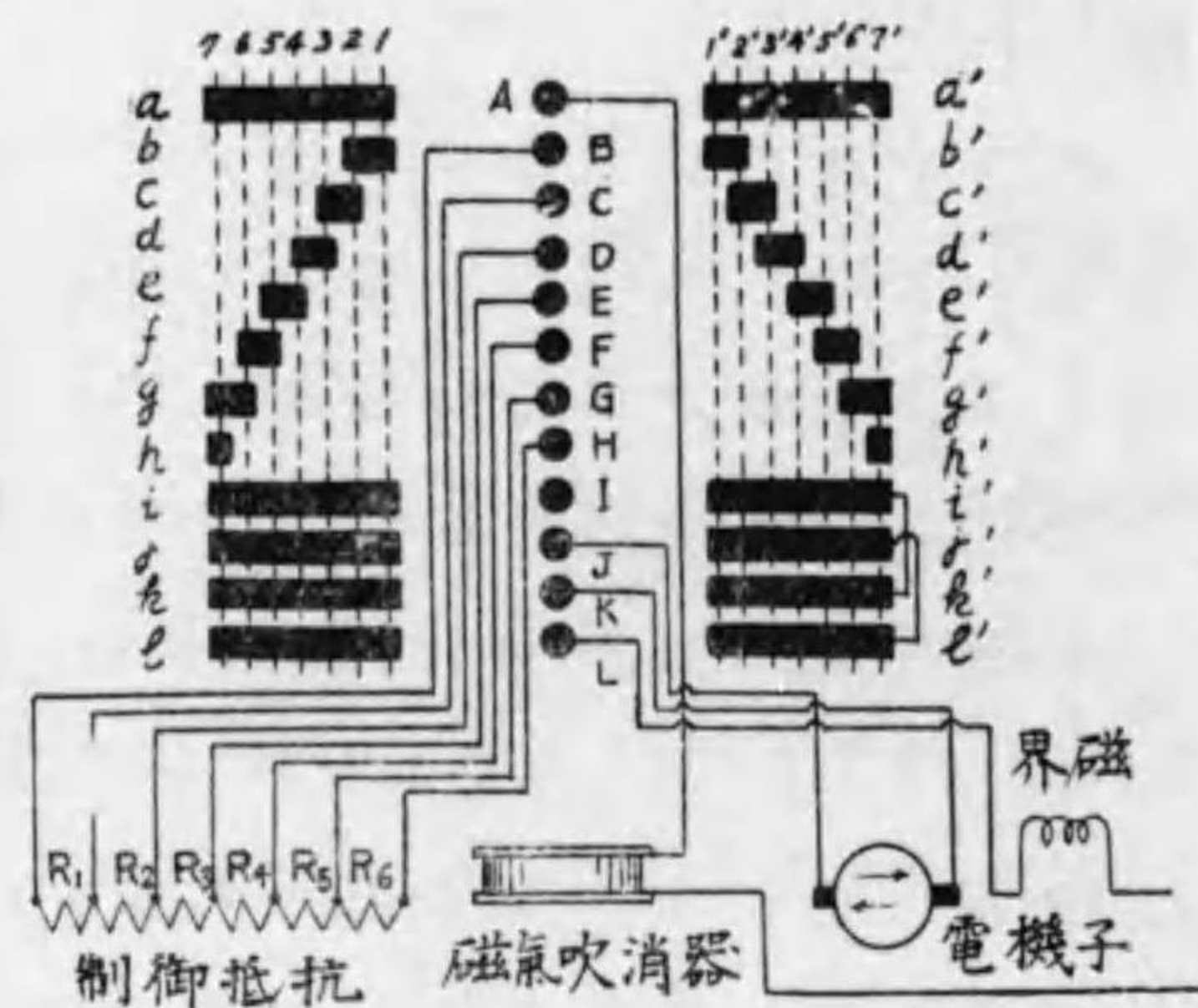
かやうに或方向に圓筒を廻せば次第に抵抗が抜かれて速度が増し、圓筒を反対方向に廻せば反対に速度が減ずる。

実際にはこれより小刻みに速度を變へる必要上、抵抗にもつと多くの段がつけてある。従つて1組の指片群、接觸片群の數も多く、又逆轉出来るやうな制御器、或は2臺の電動機を直列、並列に接続換へも出来るやうな制御器では2組の指片群、接觸片群を備へてゐる。一例として101圖に電車などに使用される可逆制御器

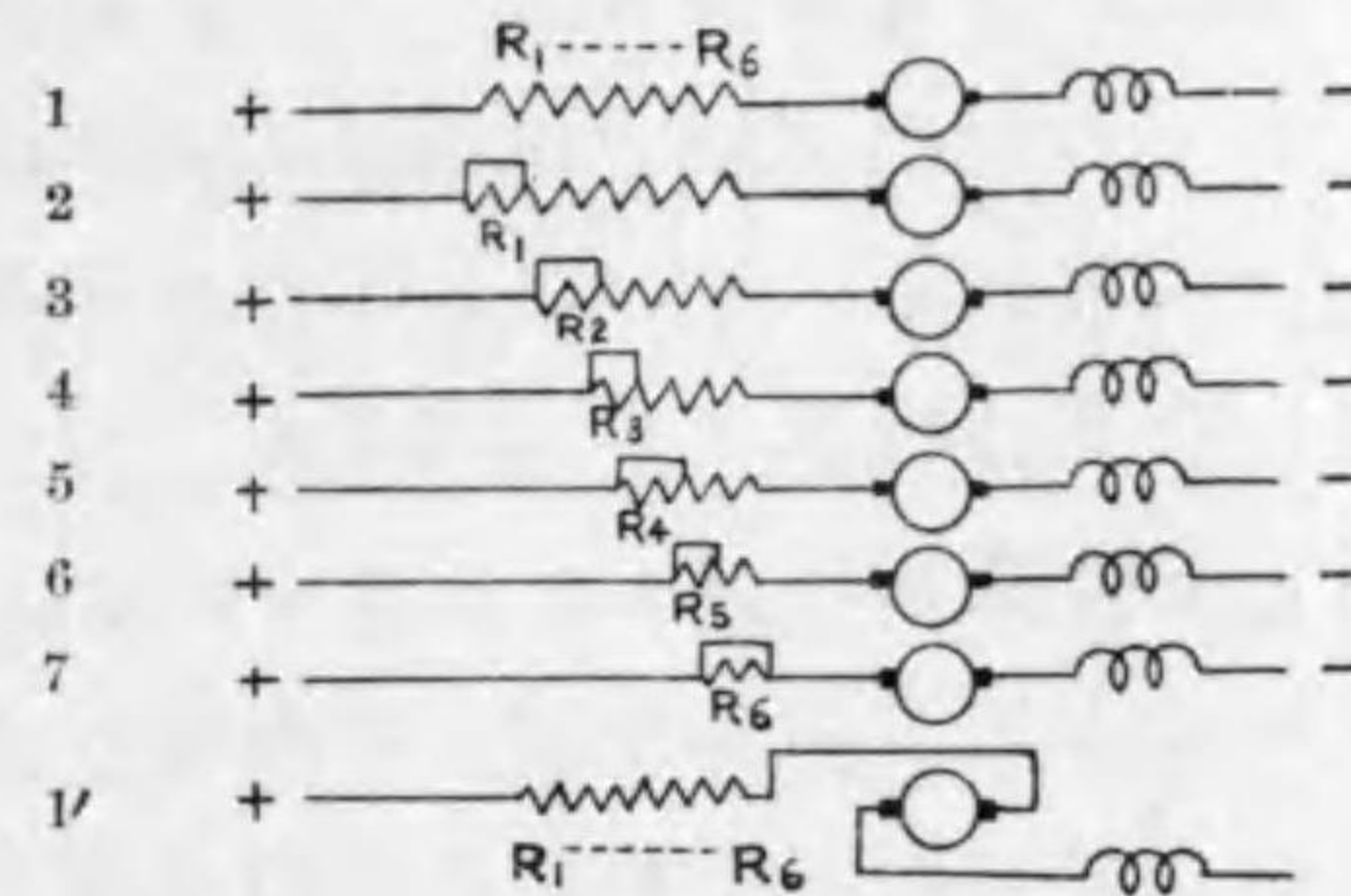
第 100 圖
制御器



第 101 圖
(甲) 制御器展開圖
前進 逆轉



第 101 圖
(乙) 制御器接続圖



の展開圖、及びその運轉時の接続状態を示す。

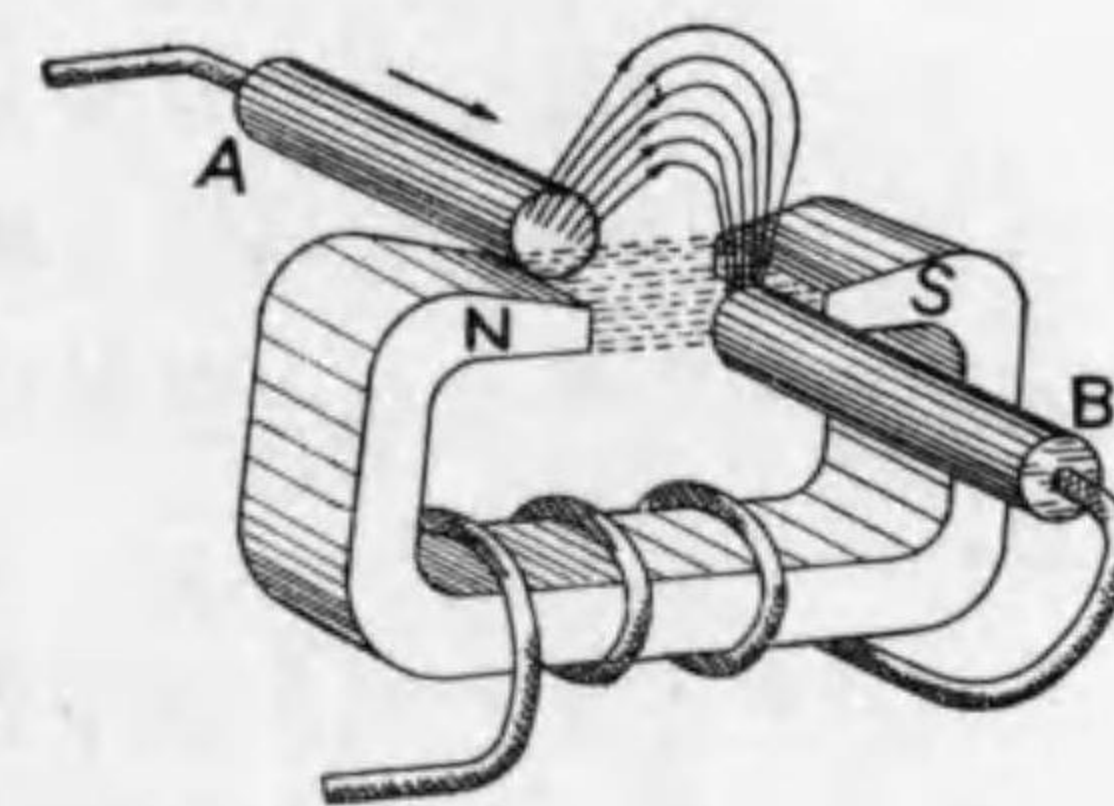
磁氣吹消器 (Magnetic blow-out)

第101圖の甲に示す磁氣吹消器とは、接觸片が指片からはなれる時、電流があれば、火花を發して接觸部を損傷するから、火花を吹き消すために設けられたものである。

其原理は第 102 圖に示す通りである。

今 A を指片、B を接觸片と考へ、A から B に電流が流れて居る時、A、B がはなれようとして AB 間に火花が出たとする。火花も一種の電流と見

第 102 圖
磁氣吹消器



做し得るから、A B間の火花は、電流の流れて居る導体が、磁界中に置かれてゐると考へることが出来る。従つてフレミングの左手三指の規則により、火花は上方に押し上げられ、押し上げられるにつれて抵抗が多くなるから遂に火花は消滅するに至る。

(51) 故障とその原因

機械の故障は人間の病氣と同じで、病氣の診療はその外面に表れた症状から判断して体内に存在する病因をつきとめるのであるが、人體の生理に通曉し、諸種の病理を究め、豊富な經驗を持たない限り直ちに的確な判断を下すことは困難である。機械の故障の原因をつきとめるにも、よく機械の構造、原理を知り、熟練をつまないと却々容易なことではない。病氣の診療の手遅れが往々人を死に至らしめる如く、機械の故障の発見が遅れたために、その機械全體を損傷することがあると同時に、技術者の注意と機智が早く故障を発見して大事を未然に防いだ例も少くない。須らく機械を取扱ふ者は、常に機械の運轉状態に深甚な注意を拂ひ、機械の温度、發音等の異状には敏感でなくてはならない。

次に設計上によるものは別として、運轉中に起り易い故障の症状と原因とを挙げよう。勿論これらの外

に實に些細な點からも大きな故障が起るものであることは云ふまでもない。

a 整流上の故障

直流機の操作上最も困難を感じ、種々の故障の原因となるものは整流子と刷子との間に起る火花である。

(1) 刷子と整流子との間に火花を多く生じ整流子の温度上昇が著しい場合の原因

(イ) 過負荷で運轉してゐる。

(ロ) 刷子の位置が正しくない。

(ハ) 刷子が整流子面上等距離に配置されてゐない。

(ニ) 刷子、整流子に塵埃等が附着し、或は刷子が摩滅して整流子との接觸が悪い。

(ホ) 刷子の品質が硬過ぎるか、軟か過ぎる。

(ヘ) 刷子に加はる壓力が適當でない。この壓力は每平方糎0.1~0.5疋を適當とする。

(2) 刷子が振動し、そのとき火花を發して整流子の大部分が黒色となり温度が昇る場合の原因。

(イ) 整流子片間のマイカが突出してゐる。

(ロ) 整流子片が緩んで居る。

(ハ) 刷子の壓力が弱すぎる。

(3) 各刷子の火花の状態が異なる場合の原因。

軸承が摩滅してゐるか、機械の据付が悪いため
に電機子が中心になくて電機子と磁極との間
隙が各極によつて異なるため、このとき電機子
捲線には短絡電流が流れて無負荷でも發熱す
る。

b 發電状態の不良

(1) 自勵發電機の電壓が全然出ない場合の原因。

- (イ) 電機子回路に斷線がある。
- (ロ) 勵磁回路の斷線。多くは界磁調整器及び接
續個所にある。
- (ハ) 残留磁氣を失つた。他勵磁で發電子端子電
壓の極性と一致する様勵磁すればよい。
- (ニ) 自勵の方向が残留磁氣の方向と反對である。
- (ホ) 複捲發電機で直捲線輪の一部又は全部の接
續悪く、直捲界磁が分捲界磁と反對方向であ
る。

(2) 規定速度で運轉して規定電壓が出ない場合の
原因。

- (イ) 刷子の位置が正しくない。
- (ロ) 界磁線輪に直列に入れる抵抗に誤りがある。
- (ハ) 刷子と整流子とが密接して居ない。
- (ニ) 磁極の極性が正しくない。

(ホ) 電機子捲線或は界磁捲線に短絡個所がある。
この時は局部的溫度上昇を伴ふ。

C 迴轉の不能

(1) 電動機が無負荷で起動しない場合の原因。

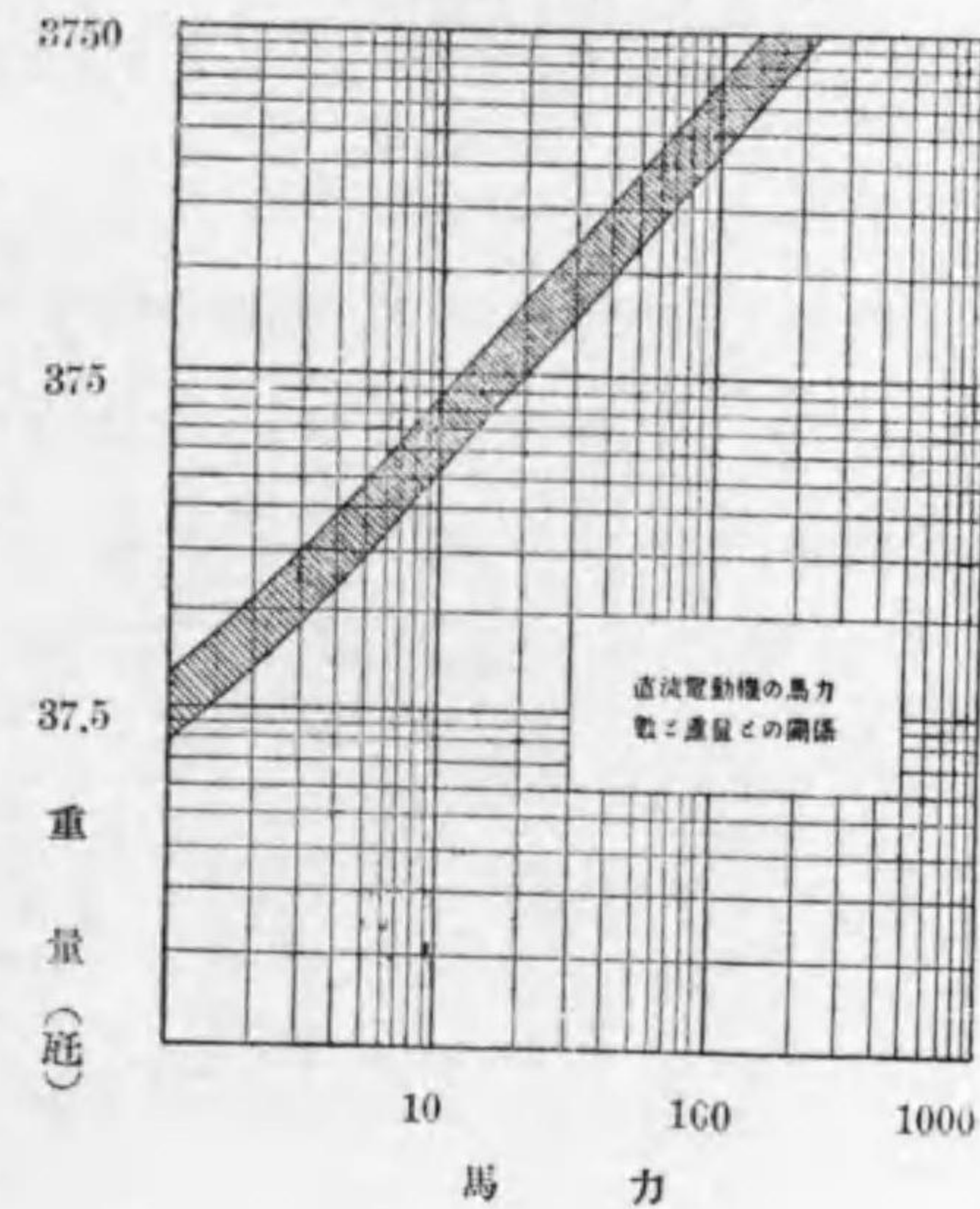
- (イ) 電機子回路に斷線がある。
- (ロ) 界磁回路に斷線がある。
- (ハ) 起動器の接續に誤りがある。
- (ニ) 磁極の極性が正しくない。

(2) 規定電壓を加へて輕負荷で規定速度が出な
い場合の原
因。

勵磁電流が
餘り大き過
ぎるときで
界磁の著し
い溫度上昇
を伴ふ。

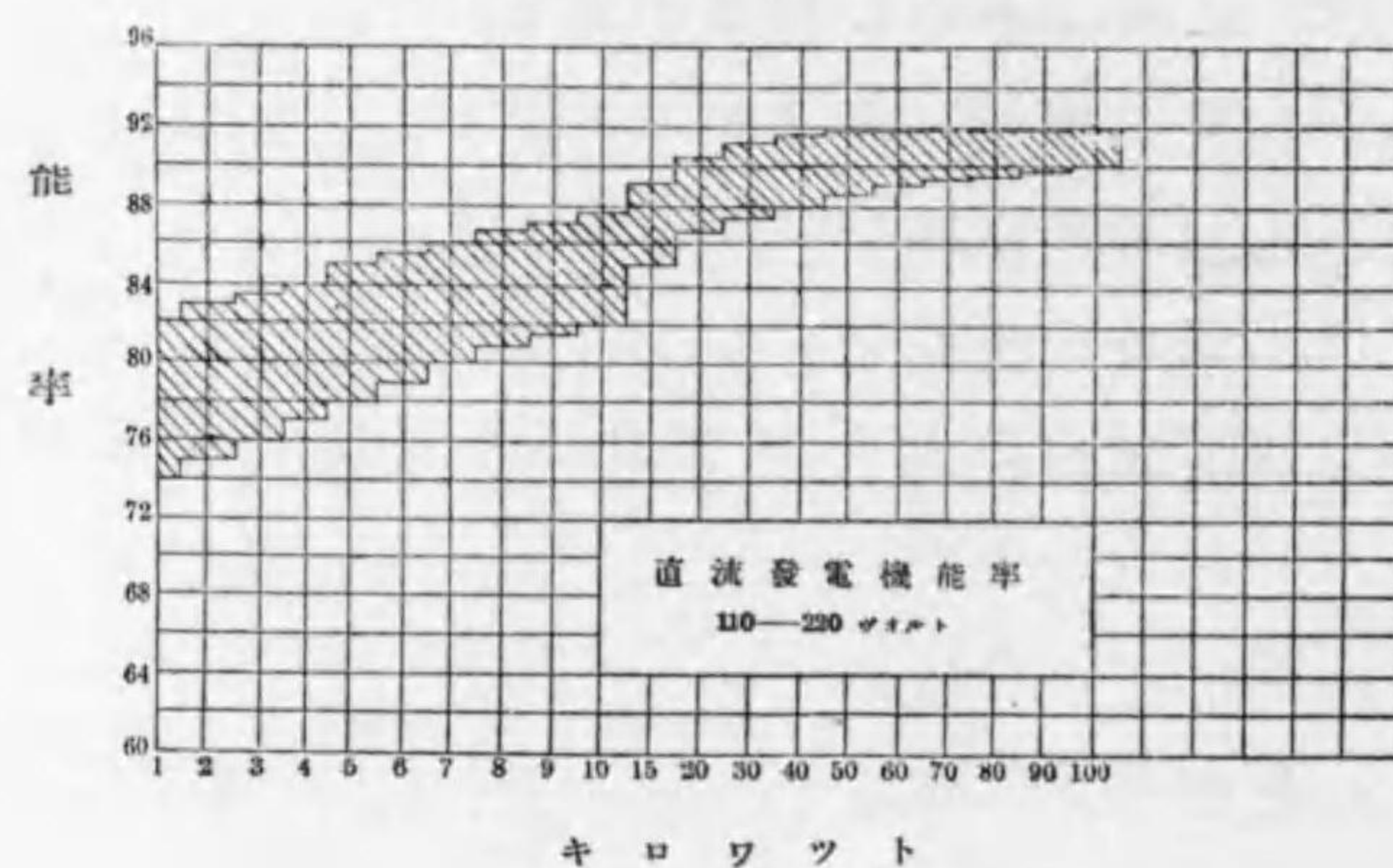
(52) 直流機の容
量と重量、能
率等の關係
すべて機械は材
料、据付場所の節

第 103 圖
直流電動機の馬力數と重量

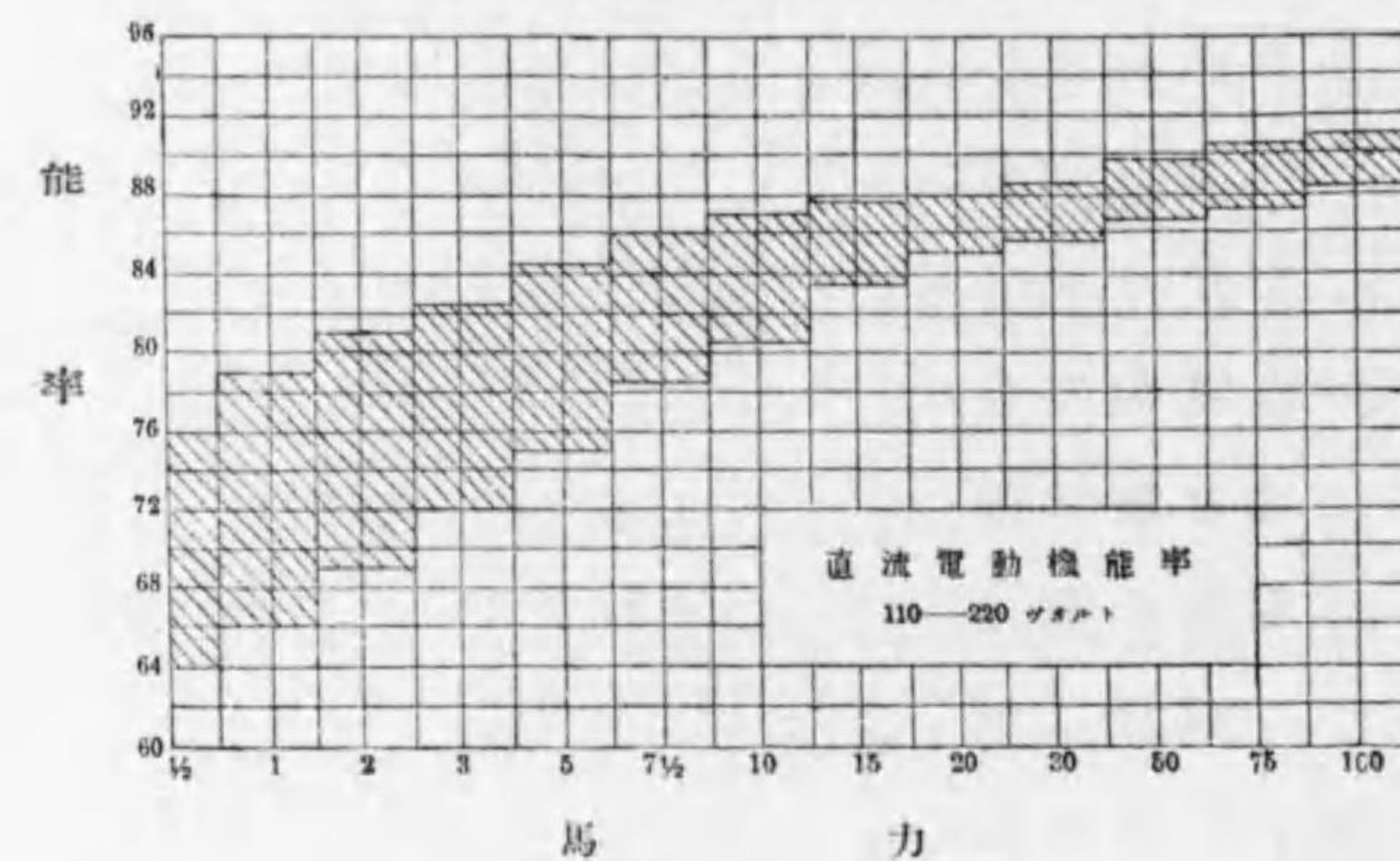


約を計るため、定格容量に於て良好なる性能を發揮する範圍内で出來得る限り小型、輕量のものが望ましいのである。

第 104 圖
直流發電機の能率

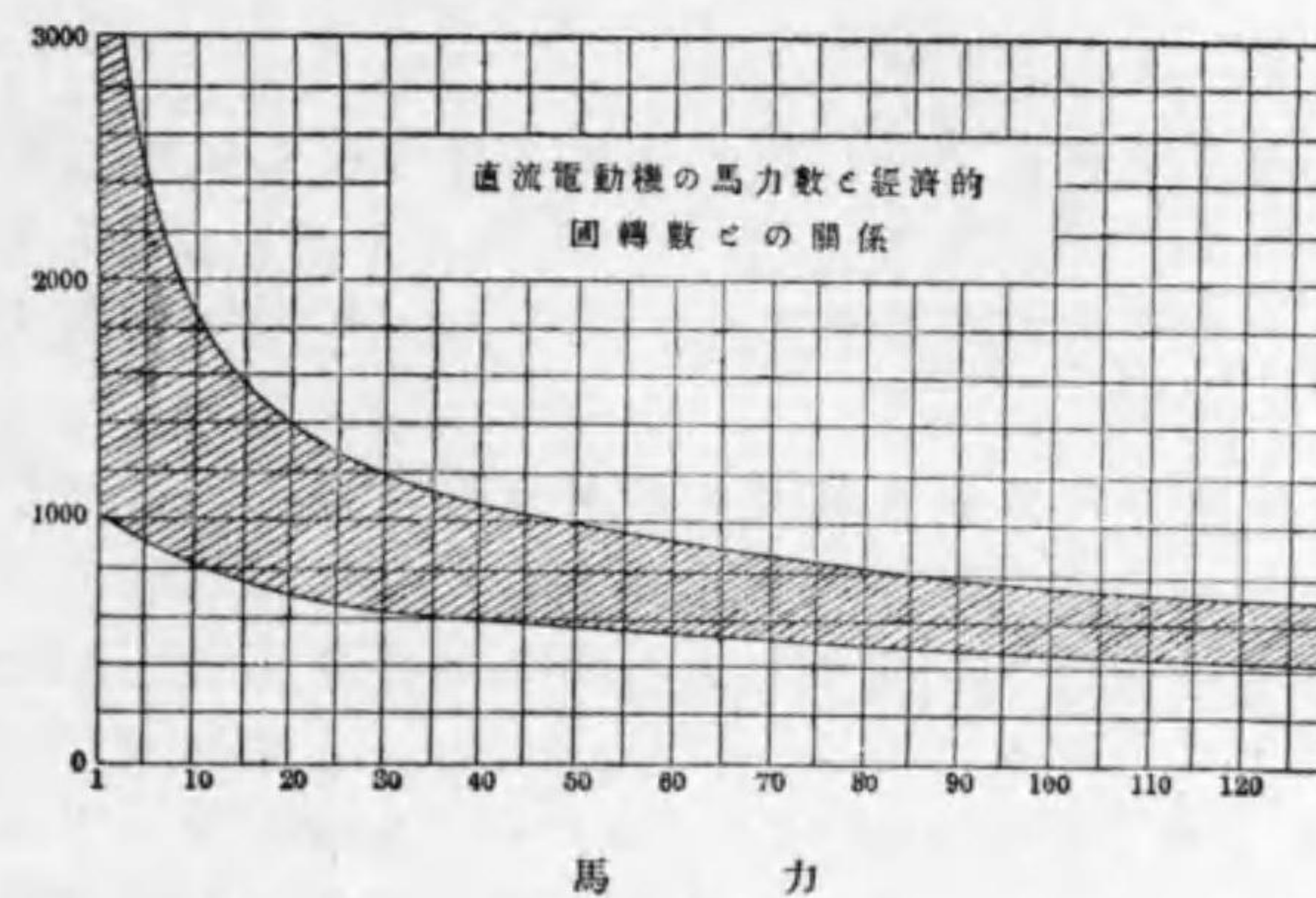


第 105 圖
直流電動機の能率



今圖によつて直流機の容量と重量、容量と能率、容量と經濟的廻轉數との大體の關係を示す。

第 106 圖
直流電動機の馬力數と經濟的廻轉數



電氣機械の大きさは廻轉數によつて非常に異なるもので、第103圖の馬力數と重量との關係は第106圖の經濟的廻轉數の範圍内での値を示したのである。

又第104圖、第105圖から電氣機械は大容量になる程能率が良好なることを知る。

補 充 問 題

- 整流子片 2 個に対して、線輪 2 個を有する直流機から取出す脈動起電力には必ず零電圧の時があることを説明せよ。本文(8)参照
- 320本の導体が重捲に捲かれた 4 極直流電動機がある。1 極當りの磁束が 2.4×10^6 本で電動子全電流が 16 A になるとき、この電動機の廻轉力はいくらか。(答) 196×10^3 ダイン 糶 = 2 kg. m
- 導体数 238、波捲を施された 4 極直流機あり、廻轉數毎分 1500 に於て 110V の誘導起電力を得るには、1 極の切斷面積を何程にすればよいか。但し磁束密度を 1 平方 cm につき 8×10^3 とする。
(答) 116 平方糶
- 重捲の多極直流機に、均壓環を附する目的を説明せよ。
(選試)
- 或電動機が、電動子電流 50 アムペアのとき、8kg. m の廻轉力を発生した。全磁界の強さが 75% に減じ、電流が 80 アムペアとなつたとき廻轉力は何程になるか。(答) 9.6 kg. m
- 直流發電機と電動機とでは、刷子の進みを反對にする理由を説明せよ。
- 無負荷に於て 120V を有する分捲發電機の電壓變動率が 7% であれば、全負荷に於ける端子電圧は何程か。
(答) 111.6 V
- 端子電圧が 225V で、電機子電流 70 A を流してゐる分捲發電機の誘導起電力は幾 V か。但し電機子抵抗を 0.24 オームとする。(答) 241.8 V
- 端子電圧 110V の分捲電動機の勵磁電流は 2.8 A、無負荷に

於ける電動子電流は 3 A である。

今電動子を固定し、これに全負荷電動子電流 50 A を流すに 5.5V の端子電圧を要したといふ。

(1) 界磁線輪の抵抗 (2) 電動子抵抗

(3) 無負荷運轉中の逆起電力

を求む。(答) 39 オーム, 0.11 オーム, 109.67 V

- 前問の機械は、4 極で界磁線輪には 14 mm の軟銅線 (1000m につき常用温度で 13.2 オーム) を用ひてある。各線輪は平均直徑 18cm の圓筒捲框に捲かれてゐるとすれば各線輪の捲數は幾何か。
(答) 1310

- 電機子抵抗が 0.1 オームある分捲電動機を 110V の電源に接続した場合、20 A の電機子電流を生じた。此の場合の逆起電力を求む。(答) 108 V

- 前問に於て全電流が 22A ならば、分捲界磁の全抵抗は何オームか。(答) 55 オーム

- (11) の場合にこの電動機が毎分 1200 廻轉するならば、電機子電流 4A のときの廻轉數を求む。但し電機子反作用は無視す。(答) 1218 R.P.M.

- 電機子の抵抗 0.05 オームなる分捲發電機が、廻轉數毎分 1000、端子電圧 200V のとき電機子電流 100A を示した。今これを電動機として使用し、その端子電圧、電機子電流を上記と同一にするときは、その廻轉數は幾何か。但し電機子反作用は無視する。(選試)(答) 950 R.P.M.

- 直流分捲電動機あり。電機子回路の總抵抗は r オームで、 V ヴオルトの電圧を以つて或る負荷に對し I_a アムペアの電機子電流をとり、毎秒 n 廻轉をなす。今若し負荷を全く取去るとすれば如何なる速度に達するか。

(選試)(答) $\frac{V}{K\Phi}$

16. 一定電圧の回路に接続せる直流分捲電動機の運転中、その電機子回路に抵抗を挿入するとき、その電流及び廻轉速度に如何なる影響を及ぼすか。但し廻轉力は不變とす。(選試)
17. 直流分捲電動機あり、端子電圧 215 V、電機子電流 50 A、電機子全抵抗 0.1 オーム、廻轉數毎分 1500 なるとき發生する廻轉力は幾何か。(選試)
(答) 6.8 kg.m
18. 分捲發電機に於ては勵磁回路の抵抗が過大なときは發電しない。何故か。(選試)
19. 分捲發電機を、短絡して運転する場合と、その運転中に短絡する場合との結果に如何なる相違があるか。その理由を説明せよ。(選試)
20. 定格 110V、100 Amp の直捲發電機がある。その界磁線輪の抵抗は 1.5 オームである。今 100V の直流電源を用ひてこれを他勵式で運転をするには如何なる接続を行へばよいか。
21. 直捲電動機を負荷と聯絡するに調帯を用ひない理由を説明せよ。
22. 或直捲電動機に 30 A 流れるとき 14.7 kg.m の廻轉力を發生する。電流 50 A、90 A の場合の廻轉力は幾何か。但し磁束は電流に比例するものとする。(答) 40.8 kg.m, 132.3 kg.m
23. 或分捲發電機が 110V の端子電圧で 30 A を流してゐる。全損失 350 W ならば能率は幾%か。
(答) 90.4 %
24. 或分捲電動機が端子電圧 220V、全電流 350 A で運転してゐる。電機子抵抗 0.3 オーム、界磁線輪抵抗 110 オーム、不變損(界磁銅損を含む)は 400 W ならば出力は幾馬力か又能率は如何。

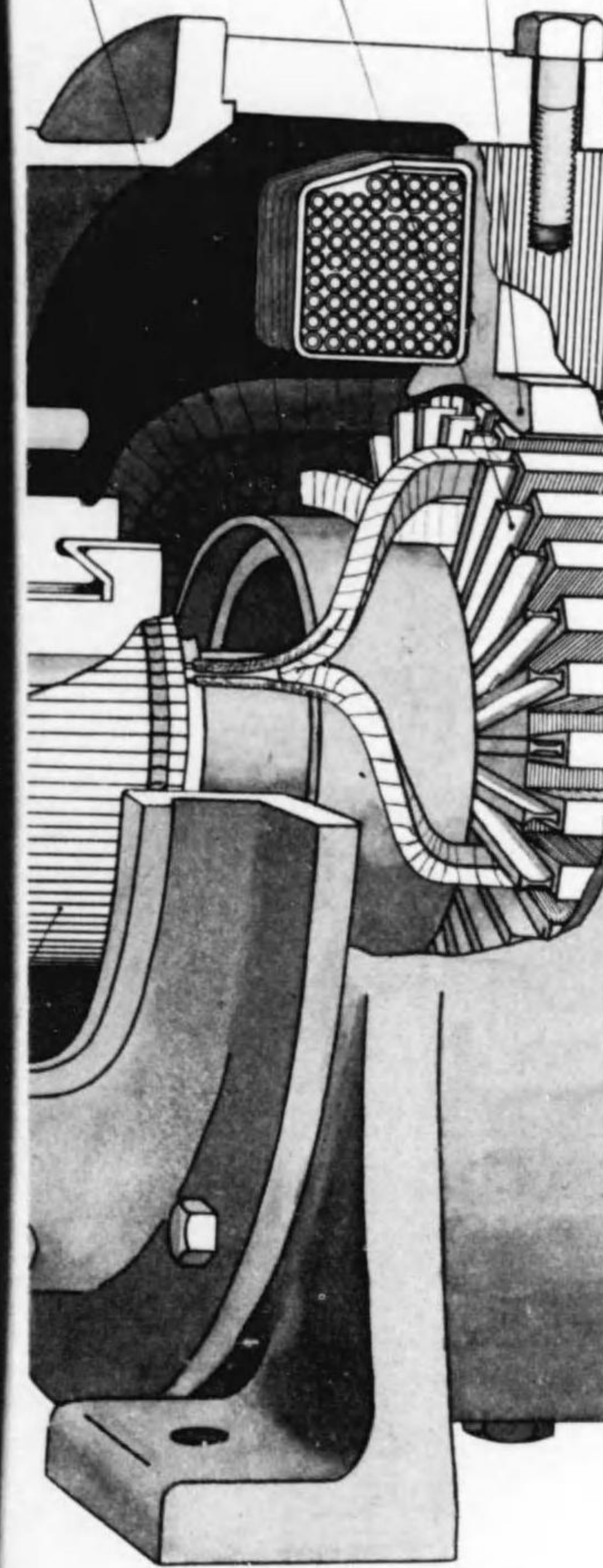
- (答) 9.3馬力 90.1 %
25. 5 H.P. 200 V、20 A、900 R.P.M. なる分捲電動機の全負荷能率は幾何か。(答) 93 %
26. 直流分捲電動機あり。その電圧 100 V、電機子抵抗 0.2 オーム、界磁線輪抵抗 40 オーム、無負荷運転時の供給電流 5 A なりといふ。供給電流 50 A なるときの能率を計算せよ
(答) 81 %
27. 端子電圧 250 V、電機子抵抗 0.3 オーム、界磁抵抗 250 オーム、無負荷電流 4 A、全負荷電流 60 A なる分捲電動機の全負荷に於ける能率及び速度變動率を求む。(答) 86.5 %, 6.75 %
28. 端子電圧 100V、全負荷電機子電流 10 A、電機子抵抗 0.72 オームなる分捲電動機あり。無負荷、規定廻轉數で運転した場合の勵磁電流 0.58 A、電機子電流 1.1 A ならば全負荷及び 1/2 負荷の能率如何。
(答) 77.4 % 66.7 %
29. 複捲電動機の損失を細別して列挙せよ。(選試)
30. 複捲發電機 2 臺の並列運転を行ふに、兩機の直捲線輪の抵抗が異つても均壓線を使用すれば安定に行へるか。それとも何等かの處置を要するか。
31. 100 KW. 及び 75 KW の 2 臺の複捲發電機を並行に運転するに、直捲線輪の抵抗は兩機とも 0.002 オームなりといふ。常に適當に負荷を分擔せしむるには如何なる處置を講ずべきか。
32. 蓄電池充電用發電機に複捲發電機を使用するとき、發電機電圧が蓄電池電圧より低下した場合は如何なる現象を呈するか

直流機

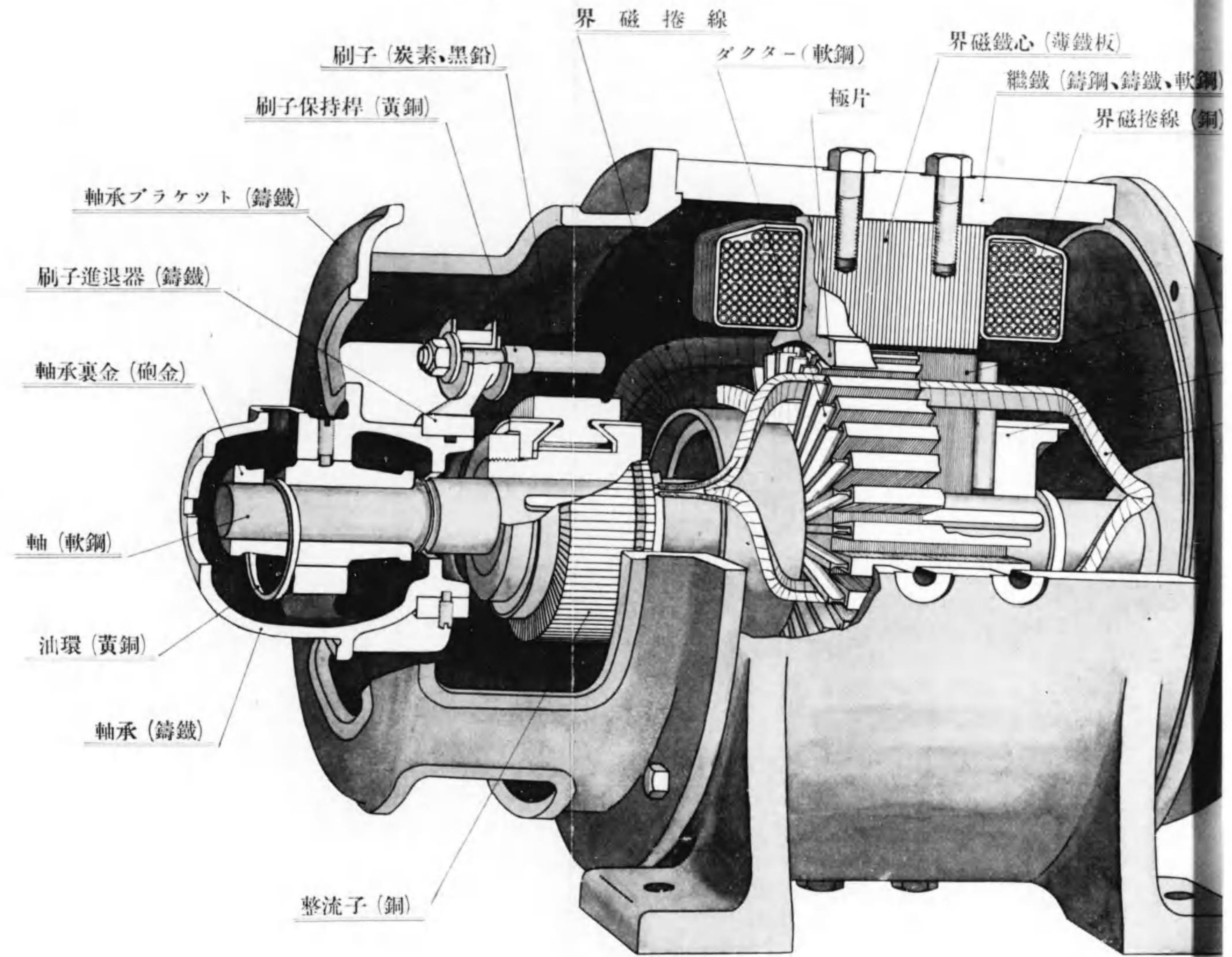
界磁捲線

ダクター(軟鋼)

極片

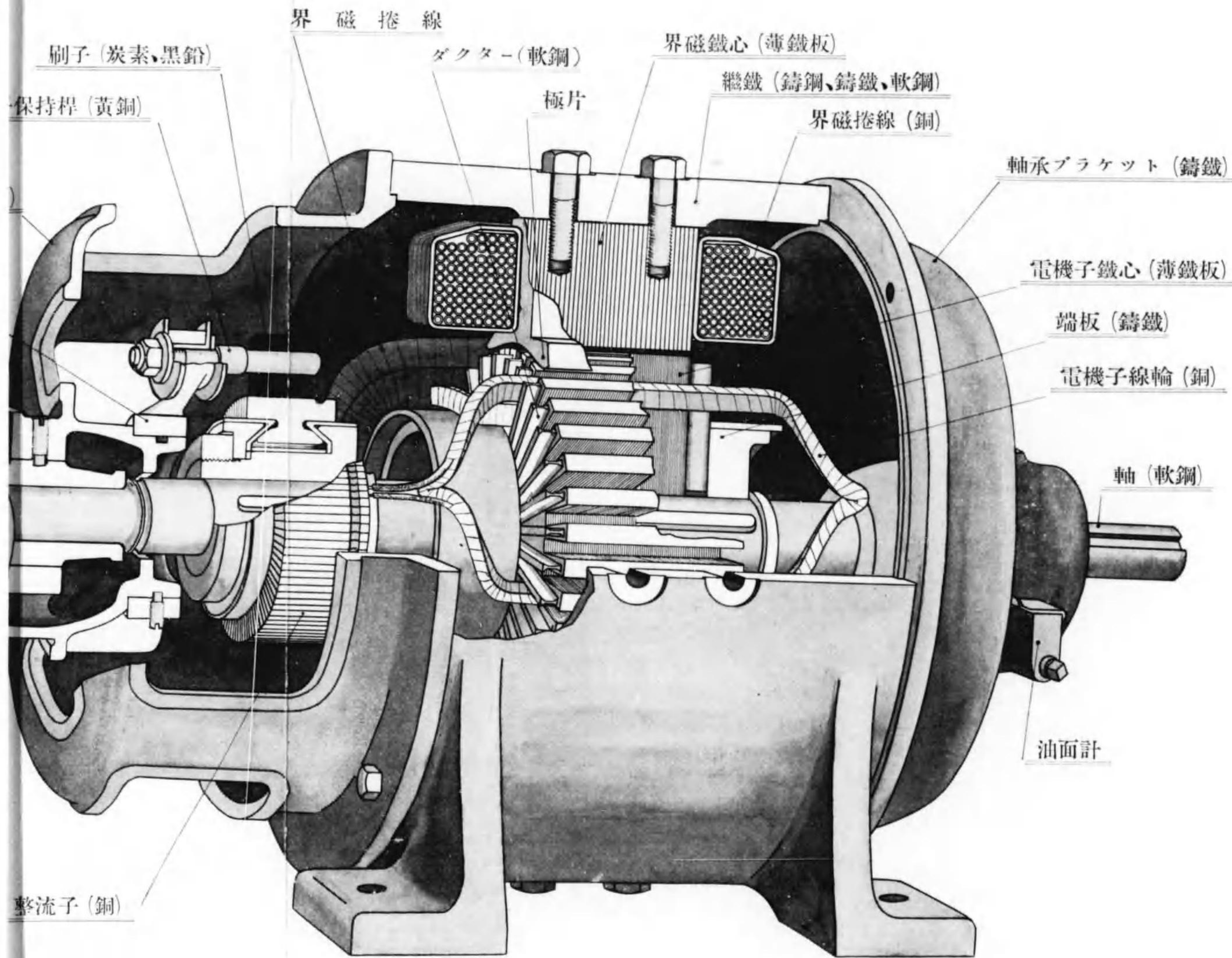


附圖 1. 直 流 機 の 構 造



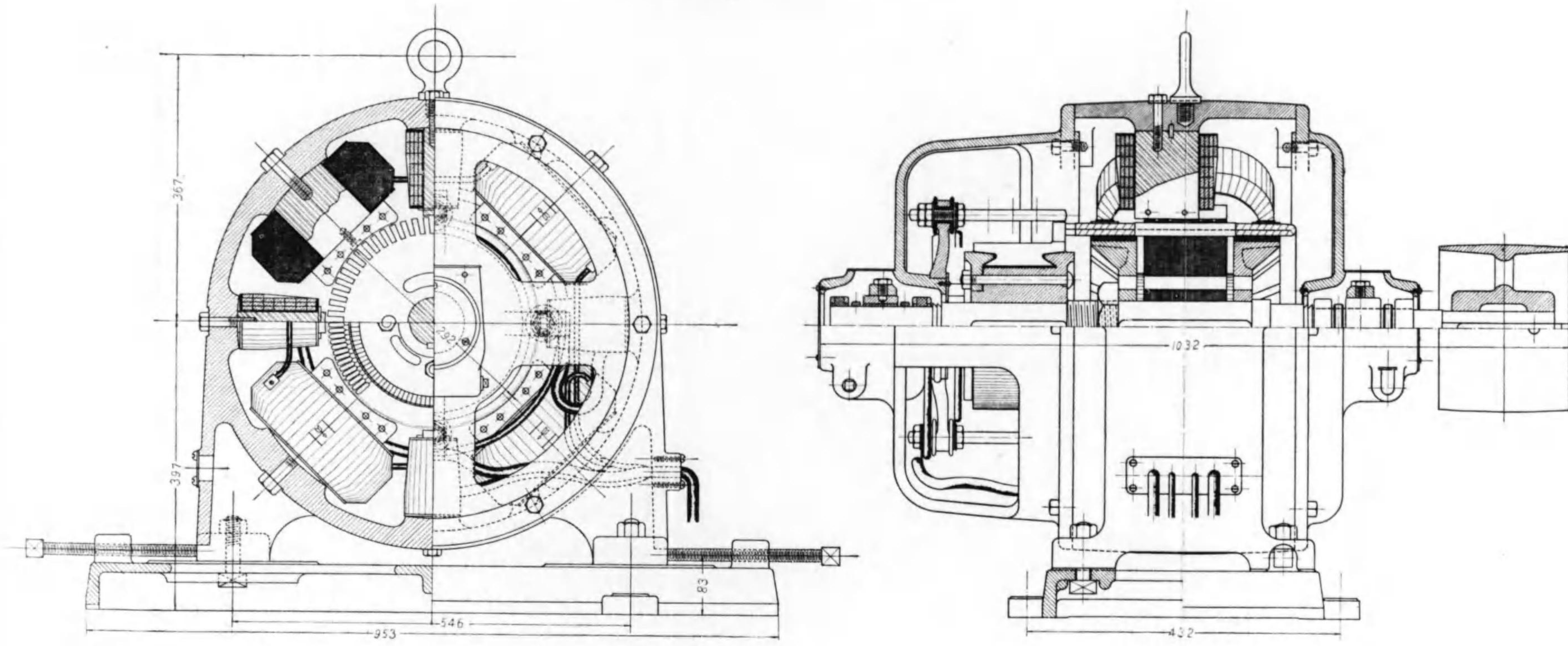
附圖 1.

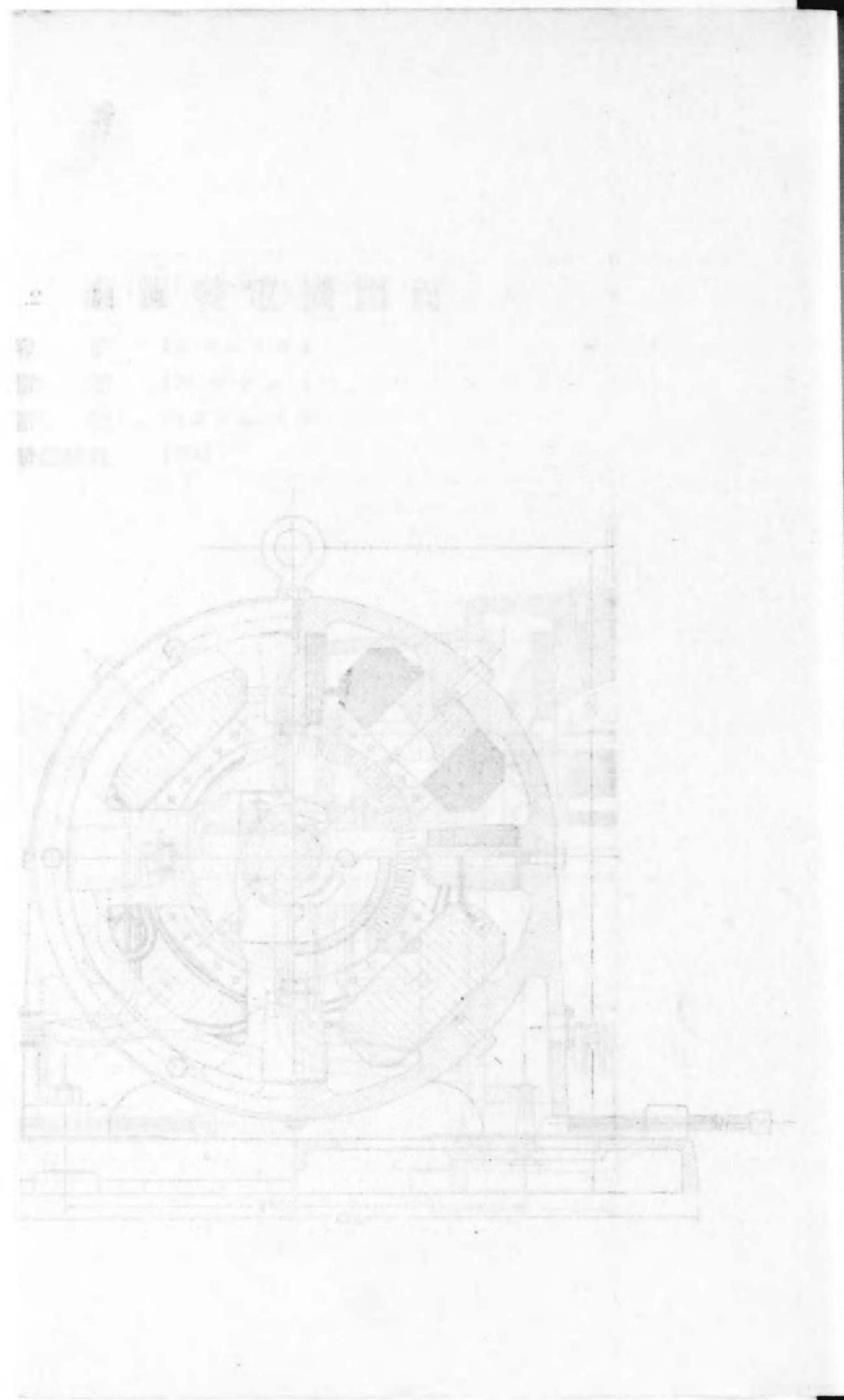
直流機の構造



附圖 2. 直流發電機圖面

容量 12 キロワット
電 壓 125 ヴォルト
電 流 94.4 アムペア
毎分廻轉數 1200





昭和九年一月二十五日印刷
 同九年一月三十一日發行

定價 金壹圓參拾錢

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 X 電 氣 機 械 X
 X 直 流 機 X
 X ● X
 X 複製ヲ許サス X
 XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

著者兼發行者 財團法人工業教育振興會
 代表者 山口 貴 雄

發行所 財團法人工業教育振興會
 東京市荏原區中延町千百番地
 振替口座東京七七一六三番
 電話荏原三〇四七番

印刷者 鈴木 茂
 東京市京橋區築地四丁目四番地

印刷所 中屋三間印刷株式會社
 東京市京橋區築地四丁目四番地

本會ノ起源、沿革ノ概要

抑本會（財團法人工業教育振興會）ハ大正十四年五月商工中心會（當時大阪府立商品陳列所ノ協賛團體）カ其ノ創立五周年ヲ記念スヘク會員其他ヨリ發行資金ノ義捐ヲ受ケ工業教育研究會（東京、横濱、名古屋、京都、大阪、神戸等ニ於テ工業教育者ノ研究調査機關）ト協同シテ中等工業學校用教科書ヲ著作、發行シタルニ起源セリ、而シテ創立當初ニ在リテハ特ニ商工中心會教科書部ヲ設ケテ之ヲ經營セシカ昭和二年七月其ノ會員總會ニ於テ教科書部ヲ廢シ且適當ノ時機ニ財團法人ヲ設立スヘク決議シ、之ト同時ニ從來ノ事業ヲ舉テ工業教育研究會ニ委嘱スルコト、セリ、同年八月工業教育研究會ハ商工中心會協同編輯所、（略稱、協同編輯所）ヲ大阪府立商品陳列所（今、大阪府立貿易館）内ニ設ケ次テ之ヲ東京市（芝區三田臺町）ニ移シ（昭和三年八月更ニ現在ノ位置ニ轉セリ）前大阪府立商品陳列所長山口貴雄氏ニ所長ヲ、六大都市ノ工業教育家二十名ニ監修委員ヲ委嘱シ、大阪市（東區内本町）大阪府立商品陳列所内ニ支所ヲ置キ專ラ工業學校用教科書ヲ著作發行セリ、昭和四年三月十八日商工中心會同月二十八日工業教育研究會ハ昭和二年七月商工中心會會員總會ノ決議ヲ尊重シ各其ノ會員總會ニ於テ理事者ノ提案ヲ承認シテ協同編輯所ノ財産（昭和四年七月三十一日現在）ヲ寄附シ財團法人ノ設立並ニ其ノ寄附行爲ヲ決議シタルニ付同年八月十日附ヲ以テ設立代表者田村駒治郎及同山口貴雄ノ兩名ヨリ設立許可ヲ文部省ニ申請シ同五年三月二十七日附ヲ以テ其ノ設立ノ許可ヲ得タリ。（同年四月九日設立登記済）

特233

20

終